3㎝

13RTRP-C068243-01

4㎝

상태기반스마트유지보수핵심기술개발최종보고서

R&D Report

2018

국토교통과학기술진흥원

국토교통부

(견고딕 25p)

3㎝

보안 과제( ), 일반 과제(√) / 공개(√), 비공개( )

철도기술연구사업 사업 최종 보고서

3㎝

0.5㎝

과제번호 13RTRP-C068243-01

2.5㎝

9㎝

(견고딕31p)

5㎝

상태기반 스마트 유지보수 핵심기술개발 최종보고서

(0.1㎝)

2018.07.30.

0.15㎝

(견고딕15p)

주관연구기관 한국철도기술연구원

공동연구기관 ㈜카이엠

㈜글로비즈

한국과학기술원

서울과학기술대학교

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

(견고딕 20p)

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 개발’(연구개발 기간 : 2013.12. ~ 2018 04.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2018 . 07 . 30 .

주관연구기관명 :	한국철도기술연구원	나 희 승 (인)
공동연구기관명 :	㈜카이엠	정 운 찬 (인)
	㈜글로비즈	임 종 순 (인)
	한국과학기술원	신 성 철 (인)
	서울과학기술대학교	이 동 훈 (인)

주관연구기관책임자:	한국철도기술연구원	이 관 섭 (인)
공동연구기관책임자:	㈜카이엠	정 운 찬 (인)
	㈜ 글로비즈	임 종 순 (인)
	한국과학기술원	여 화 수 (인)
	서울과학기술대학교	최 규 형 (인)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제 고유 번호</td><td>13RTRP-C068243-01</td><td>해당 단계 연구 기간</td><td>2013. 12. 27 ~ 2018. 04. 26</td><td>단계구분</td><td>총단계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구사업명</td><td>중사업명</td><td colspan="4">철도기술연구사업</td></tr>
<tr><td>세부사업명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>대과제명</td><td colspan="4">도시철도 역사 운영 효율화 및 상태기반 유지보수 기술 개발</td></tr>
<tr><td>세부과제명</td><td colspan="4">상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구책임자</td><td rowspan="2">이관섭</td><td>해당단계 참여 연구원 수</td><td>총: 48명
내부: 6
외부: 42명</td><td>해당단계 연구 개발비</td><td>정부:3,457,649
기업:1,240,000
계:4,697,649
(단위:천원)</td></tr>
<tr><td>총 연구기간 참여 연구원 수</td><td>총: 48명
내부: 6명
외부: 42명</td><td>총 연구 개발비</td><td>정부:3,457,649
기업:1,240,000
계:4,697,649
(단위:천원)</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소속 부서명</td><td colspan="3">주관연구기관: 한국철도기술연구원
공동연구기관: ㈜ 카이엠
㈜글로비즈
한국과학기술원
서울과학기술대학교</td><td colspan="2">연구책임자 : 이관섭
정운찬
임종순
여화수
최규형</td></tr>
<tr><td>위탁연구</td><td colspan="3">연구기관 : 서울대학교
서울도시철도공사</td><td colspan="2">연구책임자 : 윤병동
황홍환</td></tr>
<tr><td colspan="4">도시철도차량의 안전성, 신뢰성, 가용성을 동시에 향상시키면서도 운영·유지보수 비용을 절감할 수 있는 새로운 유지보수체계인 상태기반유지보수체계(CBM : Condition Based Maintenance)의 핵심기술을 개발
■ 상태기반 유지보수체계 실행방안 연구
■ 빅데이터 기반 유지보수 전문가시스템 개발
■ 유지보수자원에 대한 로지스틱스(Logistics) 시스템 개발
■ 동력전달계통 주요장치(동력전달장치, 추진제어장치, 고전압장치 등)에 대한 CBM모델 연구</td><td colspan="2">보고서 면수 : 697</td></tr>
</table>

〈 요약문 〉

연구의 목적 및 내용	도시철도차량의 안전성, 신뢰성, 가용성을 동시에 향상시키면서도 운영·유지보수 비용을 절감할 수 있는 새로운 유지보수체계인 상태기반유지보수체계(CBM : Condition Based Maintenance)의 핵심기술을 개발 ■ 상태기반 유지보수체계 실행방안 연구 ■ 빅데이터 기반 유지보수 전문가시스템 개발 ■ 유지보수자원에 대한 로지스틱스(Logistics) 시스템 개발 ■ 동력전달계통 주요장치(동력전달장치, 추진제어장치, 고전압장치 등)에 대한 CBM모델 연구		
연구개발성과	■ 상태기반 유지보수체계 실행방안 보고서 - 철도차량의 상태기반유지보수(CBM) 일반적 지침(안) - 기존 유지보수체계와 CBM 연계기술 - 입출력 데이터 표준화(안) ■ 빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 S/W (ESOM - Expert System of Optimal Maintenance) - 수학적/통계적 방법에 의한 유지보수의사결정 S/W (ESOM - Black Box) - 운영 및 유지보수 빅데이터를 활용한 유지보수의사결정 S/W (ESOM - Gray Box) ■ 유지보수자원에 대한 로지스틱스(Logistics) 시스템 S/W (LAMP - Logistics Analysis Model & Program) - 예비품에 대한 최적 소요량 산출 S/W (LAMP) - 예비품에 대한 적정성 평가 S/W (LAMP - Verifier) ■ 도시철도차량 동력전달계통 6개 장치에 대한 CBM 모델 - 차축베어링 CBM 모델 - 기어박스 CBM 모델 - 차륜찰상 CBM 모델 - 상용제동 솔레노이드밸브 CBM 모델 - 견인전동기 CBM 모델 - 고속도차단기 CBM 모델 ■ 실시간 데이터 모니터링시스템 시제품 (24ch, 3 KHz 이상) 및 도시철도 현차시험 데이터베이스		
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	■ 철도운영자가 신형/노후 도시철도차량에 대해 CBM을 적용하고자 할 때 지침서로 활용 ■ <철도안전법> 에 의거 제정•고시된 “철도안전관리체계 기술기준 (국토교통부고시 제2014-132호, 2014. 5. 26.)”의 시행에 활용 ■ 참여기업과 기술이전계약을 통한 국내외 철도 유지보수 시장 진출 ■ 6개 장치에 대한 기존 유지보수주기 및 방법 개선에 활용		
핵심어	상태기반	도시철도차량	유지보수체계

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	Development of core technology of condition based maintenance for urban rail vehicle for the purpose of enhancing its safety, reliability, and availability, as well as reducing its maintenance cost ■ Research for implementation of condition based maintenance ■ Development of big data based maintenance expert system ■ Development of maintenance logistics system ■ Research for CBM models for core components of power train system s uch as power transfer, brake, traction, and high voltage equipment
Results	■ Report for implementation of condition based maintenance - General Guidelines of Condition Based Maintenance (CBM) for Rolling Stock(Draft) - Standardization for input/output data - Interface technology to existing maintenanc system ■ Big data based maintenance expert system S/W (ESOM : Expert System of Optimal Maintenance) - Expert system using mathematical/stochastic method (ESOM-Black Box) - Expert system using big data of operation and maintenance (ESOM-Gray Box) ■ Resource logistics system S/W (LAMP : Logistics Analysis Model & Program) - Resource optimization S/W (LAMP) - Resource verifying S/W (LAMP-Verifier) ■ CBM models for 6 core components of power train system - CBM model for axial bearing - CBM model for gear box - CBM model for wheel surface wear - CBM model for solenoid valve of brake equipment - CBM model for traction motor - CBM model for high speed circuit breaker ■ Prototype of real time data monitoring system (24ch, more than 3 KHz, for on-board test equipment) and urban rail vehicle test database
Expected Contribution	■ Guideline for operation authority in case of applying CBM to old /new urban rail vehicles ■ Implementation of railroad safety management system for national s afety law (Notification No. 2014-132 of MOLIT, May 26 2014) ■ Technical business for domestic/foreign railroad maintenance ma rket by technical transfer contract with related company ■ Enhancement of exiting maintenance period and method for 6 co re components

Keywords	condition based	urban rail vehicle	maintenance

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 8

1. 연구개발 목적 및 최종폭표 ····· 8
2. 연구개발의 필요성 ····· 8
3. 연구개발 범위 ····· 10

제2장 국내외 기술 개발 현황 ····· 11

1. 국내 유지보수체계 현황 ····· 11
2. 해외 유지보수체계 개선 사례 ····· 15

제3장 연구 수행내용 및 성과 ····· 23

1. 상태기반 유지보수체계 실행방안 연구 ····· 23
   가. 개요(연구목표) ····· 23
   나. 연구성과 ····· 24
      (1) 철도차량의 상태기반 유지보수(CBM) 일반적 지침(안) ····· 24
      (2) 기존 유지보수체계와 CBM의 연계기술 ····· 48
      (3) 입출력 데이터 표준화(안) ····· 57

2. 빅데이터 기반 유지보수전문가 시스템 개발 ····· 65
   가. 개요(연구목표) ····· 65
   나. 연구성과 ····· 66
      (1) 수학적/통계적 방법에 의한 유지보수의사결정 S/W (BLACK BOX) ····· 66
      (2) 운영 및 유지보수 빅데이터를 활용한 유지보수의사결정 S/W(GRAY BOX) ····· 72
      (3) 유지보수의사결정 S/W 통합 및 정보관리 인터페이스 ····· 104
      (4) 유지보수 전문가 시스템 신뢰성 검증 ····· 113

3. 유지보수자원에 대한 로지스틱스(LOGISTICS) 시스템 개발 ····· 147
가. 개요(연구목표) ····· 147
나. 연구성과 ····· 148
(1) 예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 S/W ···· 148
(2) 유지보수자원에 대한 적정성 평가 S/W ····· 158
(3) 유지보수자원 로지스틱스 시스템 신뢰성 검증 ····· 171

4. 도시철도차량 동력전달계통 주요장치(동력전달장치, 추진제어장치, 고전압장치 등)에 대한 CBM 모델 연구 ····· 186
가. 개요(연구목표) ····· 186
나. 연구성과 ····· 187
(1) 차축베어링 CBM 모델 ····· 187
(2) 기어박스 CBM 모델 ····· 202
(3) 차륜 찰상 CBM 모델 ····· 212
(4) 상용제동 전자 솔레노이드밸브 CBM ····· 236
(5) 견인전동기 CBM 모델 ····· 256
(6) 고속도차단기 CBM 모델 ····· 269
(7) 실시간 데이터 모니터링시스템 시제품 ····· 282
(8) 현차시험 데이터베이스 구축 ····· 290

제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 303
1. 목표 달성도 ····· 303
2. 관련분야 기여도 ····· 308

제5장 연구개발성과의 활용 계획 ····· 310

제6장 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 311

제7장 연구개발성과의 보안등급 ····· 312

제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 장비 현황 ····· 312

제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의
안전 조치 이행 실적 ····· 312

제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 313

제11장 기타사항 ····· 321

제12장 참고문헌 ····· 321

별첨 1. 도시철도차량 CBM적용 주요부품 선정방법 ····· 323
별첨 2. 연구개발성과 활용계획서 ····· 334
별첨 3. 연구성과물에 대한 운영사의 의견 ····· 359
별첨 4. CBM모델의 기술적용 조건 ····· 382

부록 1. 빅데이터 기반 유지보수전문가시스템(ESOM) 매뉴얼
1-1 사용자 지침서(Black Box+Gray Box)
1-2 사용자 지침서(통합)
1-3 운용자 지침서(Black Box+Gray Box)
1-4 운용자 지침서(통합)

부록 2. 유지보수자원 로지스틱스 시스템(LAMP) 매뉴얼
2-1 LAMP_사용자 매뉴얼 지침서
2-2 LAMP_운용자 매뉴얼 지침서

제1장 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적 및 최종목표

도시철도차량의 안전성, 신뢰성, 가용성을 동시에 향상시키면서도 운영·유지보수 비용을 절감할 수 있는 신 유지보수체계인 스마트 상태기반유지보수체계(CBM)의 활용전략을 수립하고, 이의 구현을 위해 도시철도차량 부품의 상태에 기반한 상태기반 유지보수(CBM : Condition Based Maintenance) 핵심기술을 개발

- 상태기반 유지보수체계 실행방안 연구
- 빅데이터 기반 유지보수 전문가시스템 개발
- 유지보수자원에 대한 로지스틱스(Logistics) 시스템 개발
- 동력전달계통 주요장치(동력전달장치, 추진제어장치, 고전압장치 등)에 대한 CBM모델 연구

2. 연구개발의 필요성

기존 도시철도차량의 유지보수체계는 주기적(시간적) 유지보수체계로서 다음과 같은 비효율성이 상존하고 있어서 안전핵심 부품에 대한 상태기반유지보수(CBM : Condition Based Maintenance) 핵심기술 개발의 필요성이 제기되었다. (2011년 8월, 국토부 철도안전위원회)

- 부품의 노화정도나 열화 상태를 고려하지 않고 일률적인 교환과 수리
- 정상상태인 부품에 대해서도 분해수리 또는 교체
- 보수 예비품 과다 보유 또는 필요부품 적기 공급 미흡
- 부품 고장이 지속적으로 발생함으로써 운전지연 또는 운전사고 야기
- 경직된 유지보수업무로 유지보수비용 증가 및 안전성 저하
- 차량 고장 및 사고시 대응조치 지연

주기적으로 부품을 교체하거나 수리하지 않고 부품의 상태에 따라서 최적의 교체시기를 결정하고, 부품의 수명예측을 통해 고장이 발생하기 이전에 부품을 교환/수리하는 효율적인 스마트 유지보수체계가 필요하다. 기존의 주기적 유지보수체계를 지능형 상태기반 유지보수체계로 전환하게 되었을 경우를 비교하면 그림 1.2.1과 같다.

현재 도시철도차량 운용기관은 RCM 프로세스에 의한 RAM분석 등을 통해 유지보수체계의 개선을 추구하고 있으나, RCM 분석 결과가 유지보수체계에 피드백 되지 않고, 유지보수주기 및 유지보수자원에 대한 최적화 의사결정에 필요한 기술적 판단기준이 없는 실정이다. 이에 따라, 필드데이터를 활용한 유지보수 최적화 의사결정 전문가시스템, 기존 유지보수시스템과의 확장이 가능한 상태기반 유지보수기술,

예비품 등 유지보수 자원에 대한 최적화 소요량 판단 기술 개발이 필요하다.



그림 1.2.1 기존 유지보수체계와 CBM의 비교

도시철도차량에서 동력전달계통(동력전달장치, 추진제어장치, 고전압장치 등)은 가장 안전과 운영에 민감하고 중요한 계통이며, 이에 대한 유지보수비용도 가장 많이 소요되는 바, 이들 장치에 대해 상태기반 유지보수를 먼저 적용하는 것이 바람직하다. 따라서, 이들 동력전달계통에서 안전과 운영비용을 고려하여 CBM대상 장치의 우선순위를 평가한 후 선정된 장치에 대해 유지보수 의사결정의 기준이 되는 CBM 모델 연구가 필요하다.

해외의 경우, 프랑스 알스톰, 독일 지멘스, 런던 지하철 등은 전동차 일부 장치에 CBM을 적용하여 철도차량의 운행 신뢰성 향상, 주요부품의 MTBF증대, 주요 고장 발생빈도의 저감, 철도차량의 유용성 증대, 정비자원의 사용축소, 중수선 정비주기의 확대 등을 도모하고 있다.

한국은 해외에 전동차를 수출하고 있으며, 해외 진출시 가장 중요시 되는 부분은 기술이전 뿐만 아니라 유지보수의 신뢰성과 운영의 안전성 확보이다. 또한 철도시스템에 있어 상태기반 스마트 유지보수 관리 구현이 세계적인 추세이며, 점차 필수적인 사항으로 발전되고 있다. 따라서, 철도차량의 첨단 IT 기술경쟁력 강화를 토대로 해외 철도시장을 개척하여 새로운 국부창출의 추진 동력 확보를 위해 지능형 상태기반 유지보수체계에 대한 연구가 절실한 실정이다.

3. 연구개발 범위

본 과제에 대한 RFP 주요내용은 다음과 같다.

연구 목표	○ 도시철도 차량 부품의 상태에 기반한 상태기반 유지보수 (CBM : Condition Based Maintenance) 핵심기술 연구 ○ 상태기반 유지보수 핵심기술 활용 전략 수립
연구개발 내용	○ 상태기반 유지보수체계 실행방안 연구 - 기존 유지보수체계와 CBM의 연계기술 개발 ○ 빅데이터 기반 유지보수 전문가시스템 개발 - 수학적/통계적 모델링을 통한 유지보수 최적화 알고리즘 개발 - 축적된 경험, 운영/고장/유지보수 빅데이터를 활용한 유지보수 최적화 추론 엔진 개발 - 스마트 유지보수 정보관리 및 의사결정시스템 개발 (기존 유지보수시스템과의 정보 인터페이스) ○ 유지보수 자원에 대한 로지스틱스(Logistics) 시스템 개발 - 예비품 등 유지보수 자원에 대한 최적 소요량 산출 알고리즘 및 시스템 개발 - 예비품 등 유지보수 자원에 대한 적정성 평가시스템 개발 (CBM 효과도/가용도 평가용 시뮬레이션 포함) ○ 동력전달계통 주요 장치(고전압장치, 추진제어장치, 동력전달장치 등)에 대한 CBM모델 연구 - 동력전달계통 주요장치별 상태 진단 및 예지 기법 연구 - 경험 및 운영/고장/정비 이력 데이터를 활용한 CBM 모델 연구 (Experienced/Inspection Based CBM Model) - 기존 TCMS 및 계측 신호데이터를 활용한 데이터 기반 CBM 모델 연구 (Data-driven CBM Model) - 센서 신호처리 및 특성 추출 (feature extraction) 기법을 활용한 물리적 고장 메카니즘 기반 CBM 모델 연구 (PoF-Physics of Failufre Based CBM Model)
최종성과물	○'상태기반 스마트 유지보수'기술의 활용을 위한 전략보고서 ○ 유지보수 최적화 전문가시스템 1식 ○ 예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 시스템 1식 ○ 동력전달계통에 대한 CBM 모델 1식

제2장 국내외 기술 개발 현황

1. 국내 유지보수체계 현황

국내 철도 운영기관과의 협동 연구를 통해 국내 유지보수 전산시스템 운영, 부품 이력관리 등 유지보수 관리에 관한 현황을 조사하고 운영기관들의 신뢰성에 대한 인식과 현업에서의 활용성에 대해 분석하였다. 현황 분석을 위해 방대한 데이터와 한정된 일정으로 인해 대부분의 자료가 온라인을 통해 수집되었다. 안전성, 경제성, 기술성, 기존 방식 활용성, 작업자 숙련도 및 유지보수 품질목표 등 운영환경이 각 운영기관마다 따르기 때문에 도시철도 전동차의 유지보수 관리검사는 기관마다 고유의 체계가 사용되고 있다. 표 2.1.1은 국내 도시철도차량의 유지보수 검사 체계를 나타내며, 정비방식은 일정기간을 정해서 정비하는 예방정비와 고장이 발생하고 나서 행하는 사후검사로 크게 나누어진다.

표 2.1.1 국내 도시철도 유지보수 검사 체계

구 분			주요 업무	장소
예방정비	정기검사	일상검사	• 정해진 주기에 전동차 해당 장치의 외관상태 및 동작 확인	검사고
		월상검사 (경정비)	• 전동차 해당 장치의 외관상태 및 동작 확인 • 기기청소 및 소모품 보충, 교환 검사	
		중정비	• 영구결합 부분을 제외한 전동차 모든 장치의 부품을 분해, 수선 및 교환	주공장
	비정기검사	임시검사	• 전동차의 이상 상태 발생시 또는 발생우려가 예상될 때 이상 부위를 원상회복하기 위한 검사	검사고 또는 주공장
		특별검사	• 전동차 개조 또는 수선 등을 목적으로 특별히 계획에 의해 시행하는 검사	
		차륜교환	• 차륜외경이 사용한도에 도달하거나 또는 차륜의 균열, 파손 등으로 차륜을 교환하는 검사	
		인수검사	• 신규제작 또는 주요부위를 개조하여 도입된 전동차의 상태, 기능을 확인하는 검사	
사후정비			• 예방정비를 통해 발견할 수 없는 고장 • 실내설비 등 운행에 지장을 초래하지 않는 간단한 고장	

전동차 정기검사 주기는 차량 사용조건, 사용년수 등을 고려하여 안전성, 경제성, 기술성 요인들을 최적화시켜 설정된다. 최근에 도입되는 전동차의 경우, 부품 및

장치의 신뢰성 향상으로 인하여 검사 주기가 점차 늘어나는 추세이며, 기존 운영 중인 차량에 대해서도 검사 방법을 개선시켜 차량 검수에 소요되는 시간이 단축되고 검수 주기가 늘어나는 추세이다. 각 운영기관은 신규 전동차 제작 기술 향상, 신뢰성 향상 및 다중 모듈 설계 등으로 인해 다양한 검사체계 도입 및 검사 주기 변경을 시도하고 있다. 서울도시철도공사의 경우, 정비 기간 단축을 위해 완제품 단위로 우선 교환한 후 수선을 별도로 시행하고 있다. 또한, 중정비에서 부품을 수선한 후 재장착하는 방식에서 예비품으로 먼저 교환한 후 차량을 출고하고 별도로 부품을 수선하는 방식으로 전환함으로써 재창 시간 단축 효과를 거두었다. 표 2.1.2는 국내 도시철도 중전철 운영기관 유지보수체계 현황을 나타낸다.

표 2.1.2 국내 도시철도 중전철 운영기관 유지보수체계 현황

기 관		경정비		중정비	
		일상검사	월상검사		
서울도시철도		7일검사	4월검사 (4만Km)	4년검사(40만Km) 20년검사(리모델링) : 20년	
서울 메트로	구형	3일	2월 (4만Km)	2년 (30만Km)	4년 (60만Km)
	신형	3일	3월 (5만Km)	3년 (50만Km)	6년 (100만Km)
코레일 (수도권 전철)	저항	1,000Km (평균3일)	2월 (3만Km)	2년 (30만Km)	4년 (60만Km)
	VVVF	1,500Km (평균4일)	3월 (4.5만Km)	3년 (54만Km)	6년 (108만Km)
	신규반입	2,500Km (평균5일)	4월 (6만Km)	4년 (72만 Km)	8년 (144만 Km)
메트로 9호선		6일	3월	4년 (60만 Km)	8년 (120만 Km)
인천 1호선		7일 운행시	3월 (4만Km)	4년 (40만Km)	80만Km
부산	1호선	48시간	3월	2년 (30만Km)	4년 (60만Km)
	2~3호선	72시간	3월	3년 (40만Km)	6년 (80만Km)
대구도시철도		72시간	3월 (4만Km)	3년 (40만Km)	6년 (80만Km)
광주도시철도		3일(72시간)	3월 (4만Km)	3년 (40만Km)	6년 (80만Km)
대전도시철도		2천Km 검사	3만Km검사	3년 (40만Km)	6년 (80만Km)

도시철도 중전철 노선과 비교하여 운영 효율성, 건설 재원 및 수익성을 고려하여 수요 지자체는 민간투자사업 방식 등으로 경전철 건설을 추진하고 있다. 이에 따라 경전철 운영기관의 유지보수체계 현황이 조사되었으며 표 2.1.3과 같다.

표 2.1.3 국내 경전철 운영기관 유지보수체계 현황

기 관	경정비		중정비
	일상검사	월상검사	
부산-김해	7일	3개월	400,000 km(3년) 800,000 km(6년)
인천2호선	3일	3개월	400,000 km(3년) 800,000 km(6년)
부산 4호선	5일	4개월	3년 (주행거리 40 만 km) 6년 (주행거리 80 만 km)
의정부 경전철	12,500 km 25,000 km 50,000 km	100,000 km 400,000 km	800,000 km

가. 전동차 고장 및 유지보수 데이터 관리

국내 모든 도시철도운영기관은 도시철도차량에 대해 고장 및 유지보수 데이터를 전산으로 기록 및 관리하고 있으며, 표 2.1.4는 서울도시철도공사의 전동차 고장 및 유지보수 데이터를 예시한 것이다.

표 2.1.4 전동차 고장 및 유지보수데이터(예시)

구 분	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
합 계(건)	19,144	19,521	17,972	세부내용 생략								
고전압장치	336	427	409									
공기/제동장치	2,628	2,775	2,343									
공기조화장치	838	734	701									
구동장치	455	514	656									
대차장치	1,532	1,821	2,366									
차체/설비장치	2,882	3,304	2,593									
승객안내장치	4,480	3,881	3,453									
연결장치	58	60	46									
인버터장치	1,321	1,400	1,294									
전기장치	1,698	1,594	1,582									
컴퓨터장치	2,916	3,011	2,529									

나. 주요장치 검사 및 측정 데이터 기록

각 운영기관은 도시철도차량의 주요장치에 대한 주요 검사 및 측정데이터를 기록 유지하고 있다. 표 2.1.5는 도시철도차량 주요장치에 대한 서울도시철도공사의 검사 및 측정 데이터 기록을 예시한 것이다.

표 2.1.5 주요장치 검사 및 측정 데이터 기록(예시)

월상검사(경정비)	중정비
• 판토그라프 압상력 측정표 • 주,보조 공기압축기 기동시간 측정표 • 차륜 보정상태 측정표 (ATC) • MRPS, PANPS 점검표 • 엔코더 측정표 (7&8호선 1차분) • 공기압력 측정표 • 접지브러쉬 측정표 • 주간제어기 측정표 • 축전지 측정표 • 차륜 측정 기록표 • 구내시운전 점검표 • 축전지 방전 측정표 • 정위치 정차 측정표 • 차륜 삭정 기록표 • 계전기 상태 점검표	• 입출창 공장 - 소음/진동 측정표 - ATC 검사표, 안테나 측정표 - TCMS 검사표. 엔코더/디코더 판넬 검사표 등 • 부품공장 - 축전지 측정표 - 주간제어기 측정표 등 • 차체공장 - 도어엔진 시험 측정표 - 레벨링 밸브 측정표 등 • 회전기 공장 - 견인전동기 측정표 - 기어 커플링 검사표 등 • 대차공장 - 기어커플링 검사표 - 차륜 삭정 및 교환 기록표 등 • 기타 - 보조전원장치 검사표 등

다. 전동차 TCMS 데이터 현황

도시철도차량이 운행하고 있는 상태에서 각종 고장 및 운행기록 등이 차량의 TCMS에 기록 및 관리되고 있다. 표 2.1.6은 서울도시철도공사 7호선 3차분의 TCMS 데이터 기록을 예시하고 있다.

표 2.1.6 주요장치 TCMS 기록 데이터(예시)

장치명	상태 데이터(Status Data)	추적 데이터(Trace Data)
자동열차제어(ATC)	ATC속도 등 66개	Speed Code 등 73개
자동열차운행(ATO)	출입문 닫힘 등 56개	역행/제동 지령 명령 등 63개
통합 설정기	표시기고장상태 등 43개	
디지털공기제어장치	객실온도 등 117개	
RF차상장치	RSD 장애 등 11개	
열차무선장치	열차무선장치 고장 등 13	
VVVF 인버터	모터 과전류 등 105개	인버터 입력 전류 등 61개
SIV장치	출력 과전압 등 50개	가전전압 등 31개
제동장치(ECU)	정차제동 등 69개	BC압력 등 55개
공기압축기(CMSB)	CMSB상태 등 9개	
출입문(DCU)	출입문 닫힘 등 25개	고장코드 등 10개
고객서비스(CSC)	상태 데이터 등 10개	

2. 해외 유지보수체계 개선 사례

가. 일본

동일본철도는 21세기의 경영 구상으로 생활 창조 기업, 미래 지향 기업, 인간 존중 기업을 기본 방향으로 한 'FUTURE 21'을 수립하였다. 차량 유지보수 부문에서 이를 실현하기 위해 '차량 유지보수 근대화 계획'을 수립하고 유지보수의 개혁에 착수하였다. '차량 유지보수 근대화 계획'은 '차량의 신뢰성 향상', '차량의 라이프 사이클 비용의 절감', '작업이 수월하고 생산성 있는 차량 유지보수 업무'의 세 가지 지향점을 가지고 있다. 이러한 방향에 따라 업무의 대상인 '차량', 방법인 '검사 체계', 도구인 '검수기지 설비', 이들을 유기적으로 결합시키는 '시스템', 그리고 유지보수 업무의 주체인 '검수자'의 관점에서 개혁이 착수되었다. 이를 실현하기 위해 니가타 차량 제작소에서 차량을 새롭게 제작하여 설계·계획, 제조, 운용, 유지보수, 폐차까지의 차량 라이프 사이클 관점에서 변혁이 시도되었다.

전동차에서 정보 수집, 전송, 표시의 기능에만 머물렀던 모니터 장치의 기능이 개량되었으며, 자동 출구 점검, 차상 시험 기능의 향상, 편성의 일괄 제어가 가능하도록 하였다. 이러한 열차 정보 제어 장치(TIMS)의 성능개량을 통해 차량 내 배선을 큰 폭으로 삭감시킬 수 있었으며, 이를 통해 초기 비용의 절감과 검사·점검 작업의 간소화에 의한 유지보수 비용의 절감이 가능하였다.

차량 단위로 일정한 주기에 따라 획일적으로 실시되고 있는 검사 체계에서 벗어나기 위해 13년간 주행 200만 km까지는 차량의 대수선(overhaul)이 불필요하다는 설계 개념을 근거로 차량 모니터를 이용한 기기의 상태 감시를 통해 적절한 시기에 검사를 실시하는 새로운 검사 체계로 변환하는 것을 목표로 삼았다.

새로운 검사 체계는 종래의 일정 주기로 고정되어있던 일상, 월상, 년간, 대수선 검사 등을 실시하는 반복 검사 체계에서 신기술과 새로운 차량에 적합한 최적 주기와 정비 내용을 탄력적으로 적용할 수 있도록 혀용하였다.

그림 2.2.1은 동일본철도의 새로운 개념의 전동차 유지보수방식을 나타낸다. 신개념 유지보수 체계의 방향은 기존의 획일적인 주기와 사람의 오감에 의한 검사방식에서 소모품 및 각종부품의 첨단자동장치에 의한 상시 모니터링과 자동측정기술 및 대용량 고속통신기술의 도입에 의한 실시간 차량상태 파악, 불필요한 개소의 분해검수의 최소화, 부품 수명을 개선하여 정확한 검수시기의 예측과 부품의 적시 최적 교체를 통하여 차량 전체의 중수선 주기를 연장하고 분해를 최소화하는 그룹군 정비를 하는 것이다. 즉 철도차량 유지보수의 지능화를 통하여 차량의 분해검수를 위한 기지 체류를 최소화하고 운영 중 부품 교체로 중수선 도래 주기를 연장하는 방식이다.

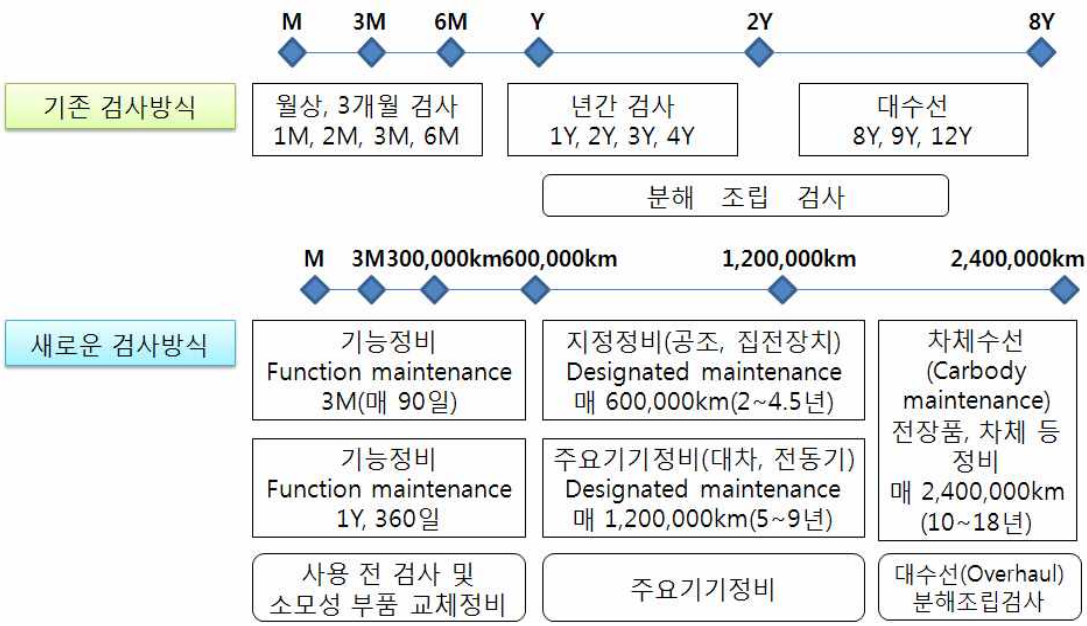


그림 2.2.1 동일본철도의 철도차량 신개념 유지보수(전동차)

그림 2.2.2는 동일본철도의 그룹검수를 통한 새로운 유지보수방식을 나타내고, 그림 2.2.3은 기존 검사 체계와 신검사 체계의 유지보수비용을 비교하고 있다.

새로운 검사 체계가 실현됨으로써 차량의 유지보수 비용은 기존 검사체계에 비해 약 35%까지 절약할 수 있을 것으로 기대된다.

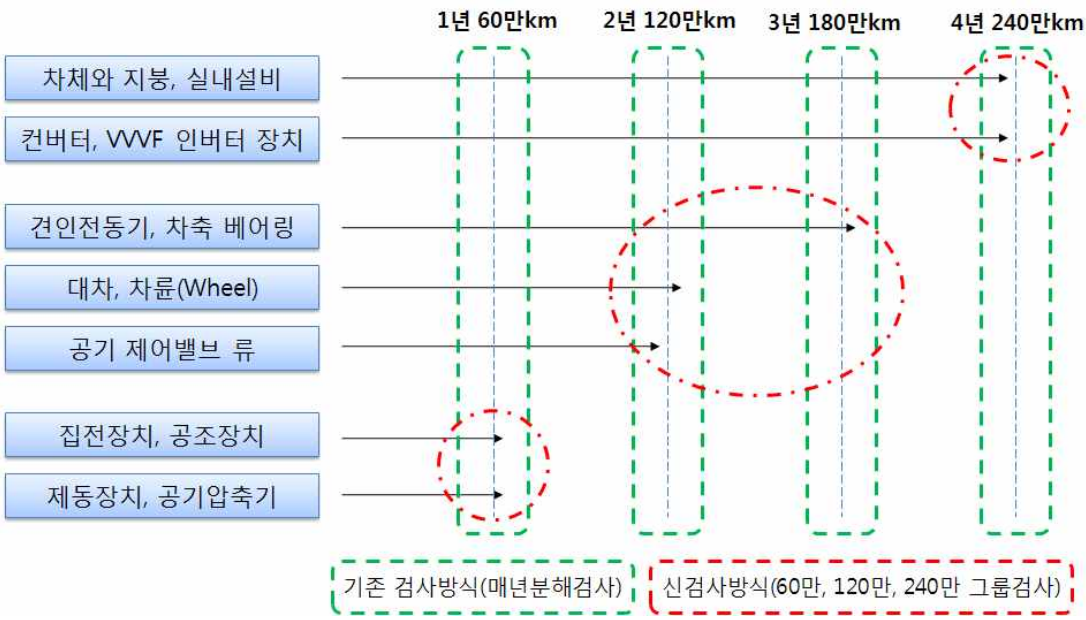


그림 2.2.2 동일본철도의 철도차량 신개념 그룹검수

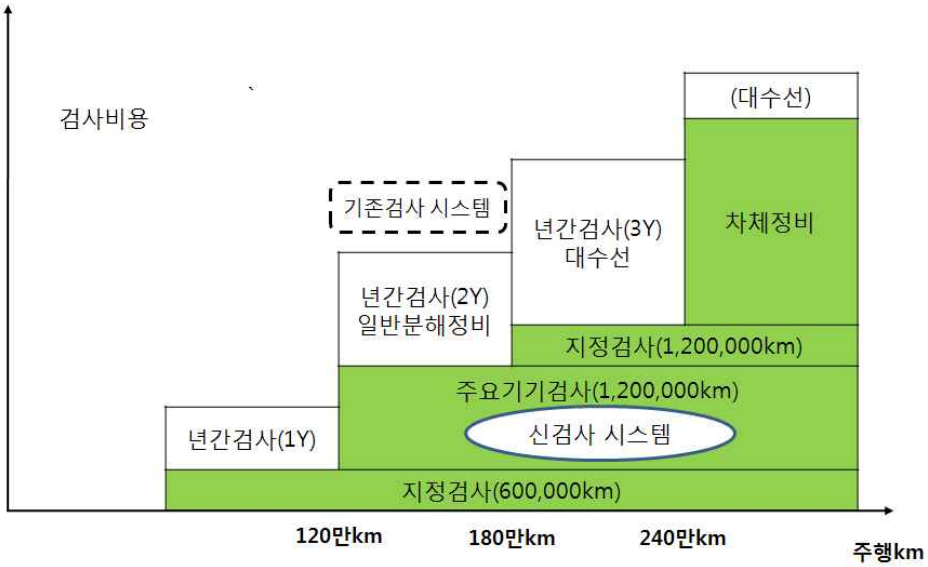


그림 2.2.3 동일본철도의 철도차량 신개념 유지보수비용

검수 기지·설비의 개선은 현대적인 검수 기지의 구축을 목표로 한다. 신계열 차량의 투입으로 인한 업무량의 감소에 따라 각 정비 공장의 역할 및 검수 기능이 재편성되고 검수 설비는 현대화 되었다.

차량을 1량 단위로 기기를 분리하여 분해·검사·수선하는 유지보수 방식에서 차량을 연결된 편성 상태에서 대차, 지붕 상부 기기, 연결 장치 등을 동시 착탈하여 작업하는 방식으로 개선되었다.

추진 모터의 검수 라인은 인력이 주체가 되었던 기존의 검수 시스템을 컴퓨터에 의한 총괄 제어 방식의 검수시스템으로 변경되었다. 모터 청소 작업에 드라이아이스를 사용하는 청소 로봇, 볼트의 풀림·전기자 추출을 실시하는 볼트의 위치 맞춤 기능, 충격력 흡수 기능을 가진 해체 로봇, 무인 반송 장치, 사람과 기계의 협동을 통한 조립 장치 등이 설치되었다.

새로운 유지보수 장치로 도입된 판토그래프 슬라이더 자동 측정 장치는 차량사업소의 입구에 설치하여 전동차가 정비지역에 진입할 때부터 자동 계측하고, 마모를 예측하는 기능을 가지고 있다.

제륜자·브레이크 라이닝 자동 측정 장치는 선로에 설치된 CCD카메라를 통하여 제륜자와 브레이크 라이닝을 화상 처리를 통해 계측하는 장치이다.

소모품 교환의 자동화와 기기 탈착 작업의 자동화도 계속하여 진행되고 있다.

종래의 차량 유지보수를 위한 검수 시스템은 정비공장의 컴퓨터 시스템과 운행노선의 컴퓨터 시스템을 별개로 보유하고 있었으나, 새로운 차량 관리 시스템은 차량의 유지보수 시스템과 일체화하여 차량 이력 관리, 차량 사용 관리, 차량 고장 관리, 검사 계획을 하나의 시스템으로 데이터베이스의 구축 및 활용을 가능하게 함으로써 유지보수의 시행, 보고 절차와 서류를 대폭적으로 절감시켰다.

나. 홍콩

홍콩 MTR은 도시철도차량 전기장치에 CBM을 일부 적용하였다. 즉, 변압기에 온도센서를 장착하고 RFID를 통해 신호를 계측하는 시스템이다. 이를 통해 장치에 CBM을 적용하는 것이 장치의 RAMS 성능을 효과적으로 개선하고 유지보수 자원의 최적화를 가능하게 한다는 결론이 유추되었다. 이에 따라 홍콩 MTR은 차축베어링, 추진 모타, 제동장치에 대해서도 CBM을 확대 적용하는 방향으로 추진하고 있다.

그림 2.2.4 ~ 그림 2.2.6은 홍콩 MTR이 변압기에 CBM을 적용한 예를 나타내고 있다.

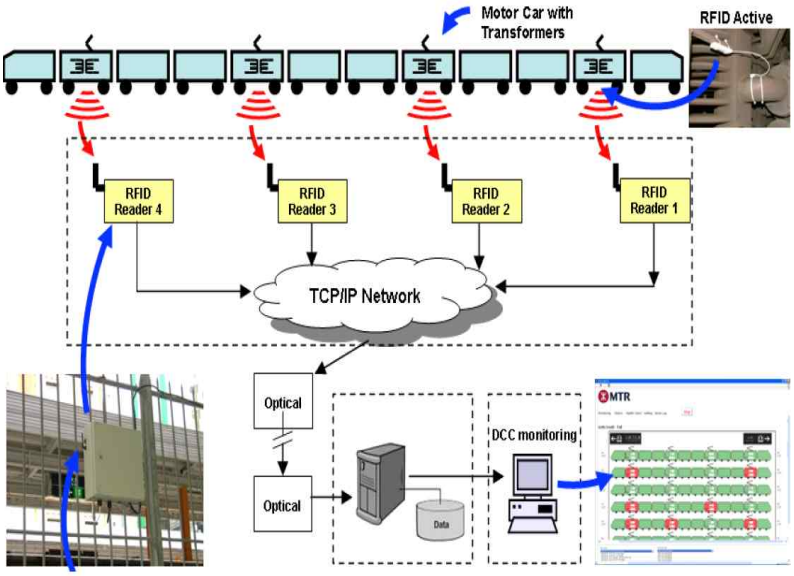
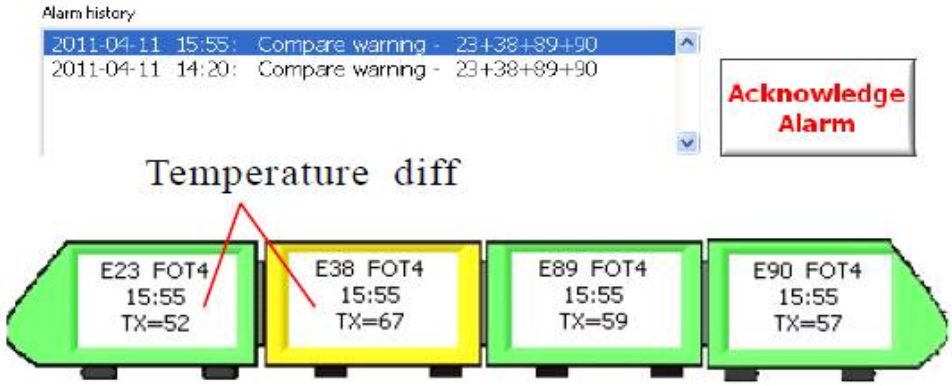


그림 2.2.4 홍콩 MTR의 CBM 시스템 구성 예시



그림 2.2.5 홍콩 MTR의 CBM 시스템 센서 장착 예시



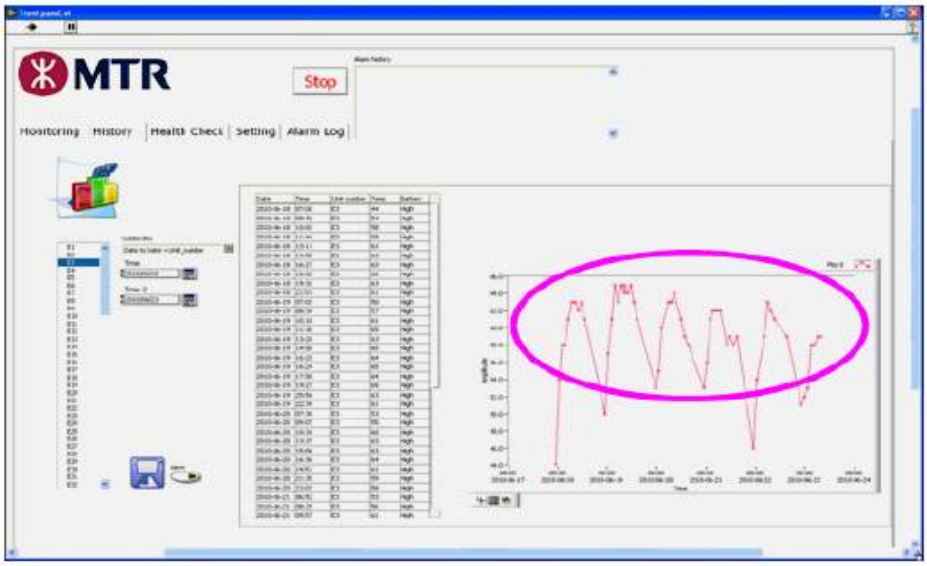


그림 2.2.6 홍콩 MTR의 CBM 시스템의 UGI 예시

홍콩 West Central Rail은 철도차량 CBM 유용성에 관한 연구를 통해 유지보수 방법에 따른 효과를 분석하였으며, CBM이 다음과 같은 효과가 있는 것으로 파악하였다.

- 기존 예방적 유지보수에 비해 효율 8~12% 개선
- 유지보수비용은 25~30% 절감
- Breakdowns은 70~75% 제거
- 차량 장치 및 운영의 Downtime 35~45% 감소
- 생산성 20~25% 증가

다. 프랑스

프랑스 알스톰은 전동차에 상태감시를 위한 센서를 부착하여 상태 데이터를 측정하고, 고장상황을 예측하는 프로그램을 시행하였다. 이렇게 획득한 데이터를 활용하여 잔존수명을 예측하여 주간 및 월간단위로 고장경고를 각 운영자에게 보내도록 하였다. 또한, 이 데이터는 유지보수 작업계획 수립, 예비부품 주문, 운행다이아 편성에 활용되고 있다. 이 프로그램을 통해 알스톰은 철도차량의 운행 중 신리성 향상, 주요부품의 MTBF 증대, 주요 고장발생빈도의 저감, 가용성 증대, 자원사용의 축소, 그리고 중수선 주기의 확대를 통한 유지보수비의 절감효과를 얻게 되었다.

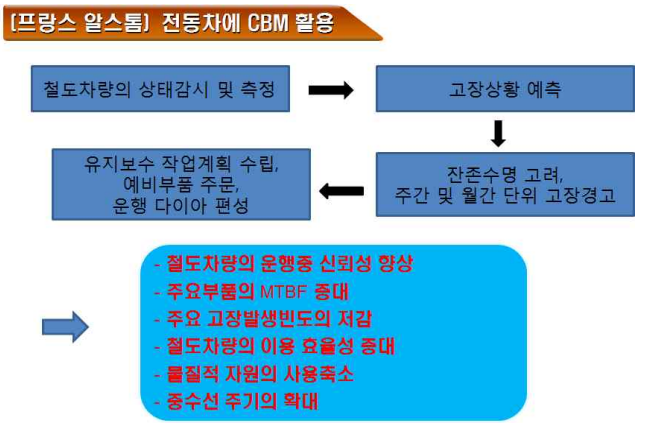


그림 2.2.7 프랑스 CBM 활용

라. 영국

영국 런던의 지하철 공사 (런던 언더그라운드)는 윤축 베어링에 진동감시시스템을 장착하는 등 각종 부품에 대해 자동적으로 또는 규칙적으로 상태데이터를 측정하였다. 이 데이터를 통해 주요 부품의 마모상태를 계산하고 잔존수명을 자동을 예측하도록 하여 고장여부를 식별하도록 하였다.



그림2.2.8 영국 CBM 활용

이를 통해 부품의 성능과 마모 이력에 대한 통계적 자료를 확보하여 운영자가 편리한 운영 보고서를 작성할 수 있었다. 또한, 차륜검사주기를 2주에서 4주로 확대함으로써 비용 절감 효과를 볼 수 있었다.

마. 독일

독일 지멘스는 러시아의 모스크바와 상트 페테스부르크 간을 운행하는 운행속도 250Km/h인 SAPSAN train을 공급하였다. 러시아 철도청과 30년간 차량에 대한 유지보수 계약도 공급과 함께 체결함으로써 유지보수비용의 절감과 차량 가용성의 증대, 사고 감소를 책임지고 수행하게 되었다.

이에 따라, 사전 유지보수를 도입하여 차량 주요부품의 상태데이터가 차량기지로 실시간으로 전동되도록 하여 차량이 기지로 들어올 때에는 모든 정비 준비가 완료되는 시스템을 구축하였다. 전송된 데이터는 중안진단시스템에 수집되어 결함 검지 및 예측진단시스템에 의해 추세분석과 최적시기 정비가 되도록 하였다.

이를 통해 2009년 12월 이후 열차고장이 발생하지 않았고 5분 기준 99.4%의 정시성을 실현하였다.



그림 2.2.9 독일 CBM 활용

바. EU

유럽연합은 InteGRail Project를 칠레 등과 39개 기관이 참여하여 운영 유지의 효율화 프로젝트를 수행하였다. 이 프로젝트는 철도시스템 지능화 모니터링, 지능화 유지보수, 지는화 운영관리 전반에 걸친 것이며, 철도연구기관과 철도 운영기관 및 기

업체가 공동으로 연구하였다,

각종 센서 등을 통해 상태데이터를 획득하여 유지보수의 주기 재산정, 실시간 안전경고 등에 활용함으로써, 신뢰도 50% 향상, 유지보수비 10% 절감, 정시성 5% 증대, 수송력 12~15% 증대 등을 실현하고 있다.

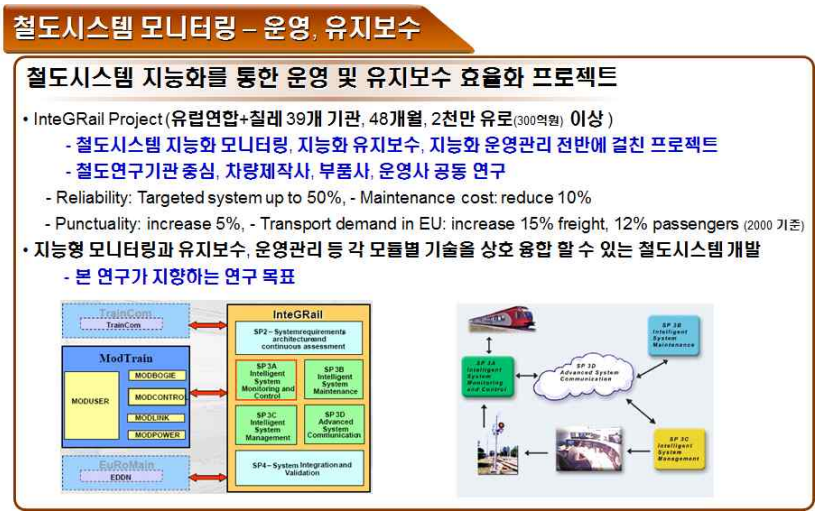


그림 2.2.10 EU 철도 유지보수 효율화

사. 해외 CBM 체계 및 유지보수비 절감효과

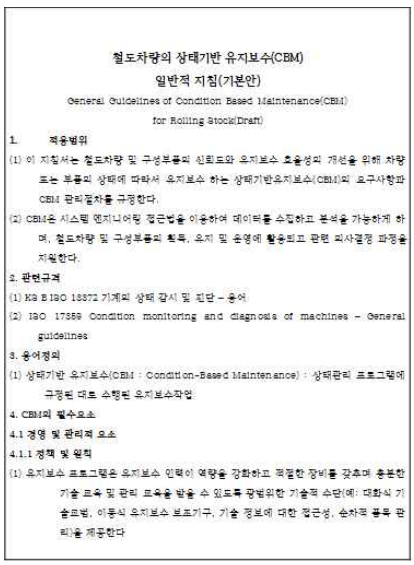
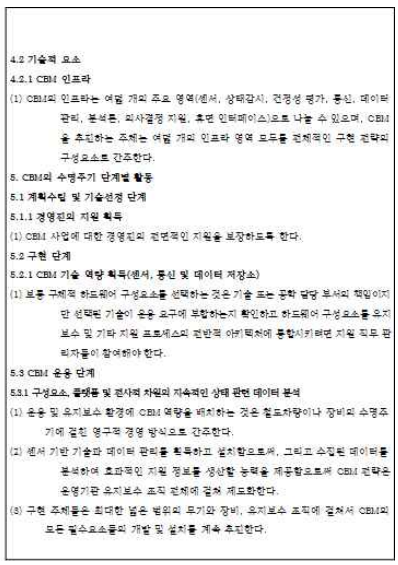
해외의 CBM 체계와 새로운 유지보수체계 도입에 따른 성능확인 방법 및 유지보수비 절감효과를 종합하면 아래와 같다.

국가	유지보수체계 개선 (CBM)	성능확인 방법	유지보수비 절감효과	비고
일본	그룹검수에 의한 철도차량 신개념 유지보수	주요기기 사용전 검사 및 현차상태 모니터링	35%	
홍콩	전동차 전기장치에 CBM 적용	온도센서로 변압기온도 측정, RFID 및 TCP/IP Network를 이용한 실시간 상태 모니터링	25∽30%	
독일	전동차에 CBM 적용	주요부품 실시간 상태 모니터링 및 중앙집중식 진단 및 상태 예측	10∽20%	
EU	InteGRail Project를 통한 CBM 적용	철도시스템 지능화 및 상태데이터 모니터링을 통해 유지보수 최적시기 예측	10%	

제3장. 연구 수행내용 및 성과

1. 상태기반 유지보수체계 실행방안 연구

가. 개요(연구목표)

목표 (정의)	철도차량에 상태기반 유지보수체계(CBM)를 적용할 경우 필요한 일반적 시행 지침을 제시하고, CBM을 기존 유지보수체계의 정보화 시스템과 연계할 방안을 제시 - 철도차량의 상태기반 유지보수 일반적 지침(안) - 기존 유지보수체계와 CBM의 연계 방안
관련그림 / 사진 (예시)	 철도차량의 상태기반 유지보수(CBM) 일반적 지침(기본안) General Guidelines of Condition Based Maintenance(CBM) for Rolling Stock(Draft) 1. 적용범위 (1) 이 지침서는 철도차량 및 구성부품의 신뢰도와 유지보수 효율성의 개선을 위해 차량 또는 부품의 상태에 따라서 유지보수 하는 상태기반유지보수(CBM)의 요구사항과 CBM 관리절차를 규정한다. (2) CBM은 시스템 엔지니어링 접근법을 이용하여 데이터를 수집하고 분석을 가능하게 하며, 철도차량 및 구성부품의 특록, 유지 및 운영에 활용되고 관련 의사결정 과정을 지원한다. 2. 관련규격 (1) KS B ISO 13372 기계의 상태 감시 및 진단 – 용어 (2) ISO 17359 Condition monitoring and diagnosis of machines – General guidelines 3. 용어정의 (1) 상태기반 유지보수(CBM : Condition-Based Maintenance) : 상태관리 프로그램에 규정된 대로 수행된 유지보수작업 4. CBM의 필수요소 4.1 경영 및 관리적 요소 4.1.1 정책 및 원칙 (1) 유지보수 프로그램은 유지보수 인력이 역량을 강화하고 적절한 장비를 갖추며 충분한 기술 교육 및 관리 교육을 받을 수 있도록 장법위한 기술적 수단(예: 대화식 기술교범, 이동식 유지보수 보조기구, 기술 정보에 대한 접근성, 순차적 품목 관리)을 제공한다  4.2 기술적 요소 4.2.1 CBM 인프라 (1) CBM의 인프라는 여덟 개의 주요 영역(센서, 상태감시, 건정성 평가, 통신, 데이터 관리, 분석툴, 의사결정 지원, 휴먼 인터페이스)으로 나눌 수 있으며, CBM을 추진하는 주체는 여덟 개의 인프라 영역 모두를 전체적인 구현 전략의 구성요소로 간주한다. 5. CBM의 수명주기 단계별 활동 5.1 계획수립 및 기술선정 단계 5.1.1 경영진의 지원 획득 (1) CBM 사업에 대한 경영진의 전반적인 지원을 보장하도록 한다. 5.2 구현 단계 5.2.1 CBM 기술 역량 획득(센서, 통신 및 데이터 저장소) (1) 보통 구체적 하드웨어 구성요소를 선택하는 것은 기술 또는 공학 담당 부서의 책임이지만 선택된 기술이 운용 요구에 부합하는지 확인하고 하드웨어 구성요소를 유지보수 및 기타 지원 프로세스의 전반적 아키텍처에 통합시키려면 지원 직무 관리자들이 참여해야 한다. 5.3 CBM 운용 단계 5.3.1 구성요소, 플랫폼 및 전사적 차원의 지속적인 상태 관련 데이터 분석 (1) 운용 및 유지보수 환경에 CBM 역량을 배치하는 것은 철도차량이나 장비의 수명주기에 걸친 영구적 경영 방식으로 간주한다. (2) 센서 기반 기술과 데이터 관리를 획득하고 설치함으로써, 그리고 수집된 데이터를 분석하여 효과적인 지원 정보를 생산할 능력을 제공함으로써 CBM 전략은 운영기관 유지보수 조직 전체에 걸쳐 제도화한다. (3) 구현 주체들은 최대한 넓은 범위의 로기와 장비, 유지보수 조직에 걸쳐서 CBM의 모든 필수요소들의 개발 및 설치를 계속 추진한다.
연구내용	- 해외 CBM 기술과의 비교 분석을 통해 도시철도차량의 CBM 기본방향 제시 - 도시철도차량의 안전성을 보장하면서 가용성을 최대화 할 수 있는 도시철도차량 상태기반 유지보수체계 일반적 시행지침(안) 제시 - 기존 도시철도차량 유지보수체계 정보화시스템과 CBM 시스템의 연계방안 제시 - CBM 일반적 지침(안)에 대한 전문가 자문

나. 연구 성과

(1) 철도차량의 상태기반 유지보수(CBM) 일반적 지침(안)

(가) 철도차량 CBM 기본방향

철도차량의 유지보수 방법은 크게 사후 정비(Reactive 또는 Corrective)와 사전 정비(Proactive)로 분류되고, 사전 정비는 다시 예방 정비(Preventive 또는 Scheduled)와 예지 정비(Predictive)로 분류된다. 예지정비는 1단계의 진단기반(Diagnostic) CBM에서 2단계의 예지기반(Prognostic) CBM으로 발전되고 있다[1].

신뢰성기반 유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance)는 철도차량이 운행되는 환경 하에서 운영자가 원하는 것을 계속할 수 있도록 보장하기 위해 최적의 유지보수 방법을 선택하는 절차이다.[2] 운영자는 RCM을 통해 철도차량의 안전성/가용성/정비성 및 경제성을 분석하여 차량 별 또는 장치/부품 별로 최적의 유지보수방법을 선택하며, 동일한 차량에 대해서도 장치/부품 별로 다른 방식의 유지보수를 시행할 수 있다

철도차량에 CBM을 적용하기 위해 CBM 대상 장치/부품을 선정해야 하며, 이때 고려해야 할 요소는 CBM을 추진하기 위한 전략 기본 구성요소와 CBM시스템이 갖추어야 할 기본요구조건이 있다.

■ 철도차량의 주요부품에 대한 CBM 적용대상 선정 고려요소
- 안전에 미치는 영향이 큰 부품
- 유지보수비용이 많은 부품
- 상태진단 및 고장수리가 가능한 부품

■ CBM 시스템 기본 요구조건
- CBM 대상 부품이 단계적으로 확대될 경우를 고려한 오픈프레임워크 기반 확장성
- 지식기반의 아키텍쳐 설계
- 산업표준과 호환이 되는 개방형 시스템(OSA-EAI)
- 미 국방성 CBM Plus 벤치마킹
- 국제 표준화 설계 : ISO, SAE, IEEE, MIMOSA 등
- 기존 유지보수 운영시스템과의 호환성 및 연계성
- CBM 대상 품목 및 시행절차의 단계적 추진
- 도시철도법, 철도안전법 등 철도차량 관련 규정과의 연계성

※ CBM모델에 대한 정량적 기술제한 조건 : 별첨 4

철도차량의 상태기반 유지보수(CBM) 일반적 지침(안)

General Guidelines of Condition Based Maintenance(CBM) for Rolling Stock(Draft)

서 문

국내 철도차량에 대한 유지보수는 대부분 예방정비 즉, 주기적(시간적) 정비로 시행되고 있음으로써, 부품의 노화 정도나 열화상태를 고려하지 않고 일률적인 교환/수리, 정상상태 부품에 대해서도 분해수리 또는 교체, 보수 예비품 과다 보유 또는 필요부품 적기 공급 미흡, 부품 고장 지속적 반복 발생으로 운전지연 또는 운전사고 발생, 경직된 유지보수업무로 유지보수비 증가 및 생산성 저하 등의 문제점이 제기되고 있다. 이와 같은 문제점에 대해 장치/부품의 상태를 파악하여 부품의 수명을 예측하고 고장 전에 교환 및 수리를 하는 상태기반유지보수(CBM)은 하나의 좋은 대안이 될 수 있다. CBM을 철도차량에 적용하기 위해서는 기존의 유지보수 정책과 경영전략을 고려한 안전중심 경제성 지향 추진전략을 수립하고 국제 산업환경에 부응하는 시스템을 적용하는 것이 중요하다.

상태기반 유지보수가 철도차량에 성공적으로 적용된다면, 안전성과 서비스 신뢰성, 가용성이 향상될 뿐만 아니라 총 수명주기비용도 절감될 것으로 기대된다.

1. 적용범위

(1) 이 지침서는 철도차량 및 구성부품의 신뢰도와 유지보수 효율성의 개선을 위해 차량 또는 부품의 상태에 따라서 유지보수 하는 상태기반유지보수(이하 CBM이라 한다.)의 요구사항과 CBM 관리절차를 규정한다.

(2) CBM은 시스템 엔지니어링 접근법을 이용하여 데이터를 수집하고 분석을 가능하게 하며, 철도차량 및 구성부품의 획득, 유지 및 운영에 활용되고 관련 의사결정 과정을 지원한다.

2. 관련규격

(1) KS B ISO 13372 기계의 상태 감시 및 진단 - 용어

(2) ISO 17359 Condition monitoring and diagnosis of machines - General guidelines

(3) KS B ISO 13374-1 기계의 상태 감시 및 진단 - 데이터 처리, 통신 및 표현 - 제1부 : 일반 지침

(4) KS B ISO 13379-1 기계의 상태 감시 및 진단 - 데이터 해석 및 진단 기술 - 제1부 : 일반적 지침

(5) ISO 10303-1 Industrial automation systems and integration - Product data representation and exchange - Part 1 : Overview and fundamental principles

(6) SAE J1850 Surface vehicle standard - Class B Data communications network interface

(7) SAE J1939 Surface vehicle recommended practice - Serial control and communications heavy duty vehicle network - Top level document

(8) SAE JA1012 Surface vehicle recommended practice - A guide to the Reliability-Centered Maintenance(RCM) standard

(9) IEEE 1451 Standard for a smart transducer interface for sensors and actuators

(10) UIC International Railway Standard IRS 50405 Railway Application - Rolling stock transmission of diagnostic data

3. 용어정의

(1) 유지보수(Maintenance) : 부품 또는 장치를 유지하고 복구하며, 그것이 필요한 기능을 수행할 수 있는 상태에 있도록 하는 감독 행위를 포함한 모든 기술적, 관리적인 행위의 조합

(2) 상태기반 유지보수(CBM : Condition-Based Maintenance) : 상태관리 프로그램에 규정된 대로 수행된 유지보수작업

(3) 상태감시(Condition Monitoring) : 부품 또는 장치의 상태를 알려주는 정보 및 데이터의 탐지 수집

(4) 진단(Diagnostics) : 결함 또는 고장의 특성을 측정하기 위한 증상과 증후군의 검사-종류, 상황, 정도

(5) 고장(Failure) : 필수 기능을 수행하는 아이템 능력의 종결

(6) 결함(Fault) : 한 요소 또는 제품의 성능이 저하되거나 비정상적 특정을 보일 때 발생하는 조건으로 기계의 고장을 일으킬 수 있음

(7) 예지 유지보수 (Predictive maintenance) : 고장 또는 품질 저하를 막기 위해 장치의 고장을 예측하여 수행되는 유지보수 작업

(8) 예방 유지보수(Preventive maintenance) : 유용한 수명을 유지 또는 연장하기 위해 수리 스케줄에 따라, 시스템 또는 요소의 품질 저하를 탐지 또는 예방하는 규정된 기준에 따라 수행되는 유지보수 작업

(9) 사전 유지보수(Proactive maintenance) : 고장을 일으킬 수 있는 근본 원인 조건의 일상적 탐지 및 교정을 활용하는 유지보수작업의 한 종류

(10) 사후 유지보수(Reactive maintenance) : 고장이 일어난 후에 수행되는 유지보수 작업

(11) 예지(Prognostics) : 부품 또는 장치의 결함에 대한 증상 분석을 통해 부품 또는 장치의 미래 상태 및 잔여 수명을 예측하는 것

(12) 신뢰성(Reliability) : 부품 또는 장치가 주어진 조건하에서 주어진 시간 동안 요구된 기능을 수행할 수 있는 확률

(13) 유지보수성(Maintainability) : 주어진 조건하에서 사용 중인 부품 또는 장치에 대해, 정해진 조건과 절차 및 자원 하에서 유지보수가 수행될 때, 정해진 시간 간격 안에 주어진 능동적인 유지보수 행위가 수행될 수 있는 확률

(14) 가용성(Availability) : 특정 조건하에서 사용될 때 장치가 만족스럽고 효과적으로 운전될 확률

(15) 안전성(Safety) : 허용될 수 없는 손해의 위험으로부터의 탈피

(16) 고장모드 및 영향분석(FMEA : Failure Mode and Effects Analysis) : 시스템의 고장 원인 및 결과에 의해 평가되는 고장 발생 장치의 기능 및 기능적 고장을 측정하기 위한 구조화된 절차

(17) 고장모드 영향 및 심각도 분석(FMECA : Failure Mode Effects and Criticality Analysis) : 결함의 심각도에 근거한 FMEA

(18) 근본 원인(Root Cause) : 고장모드의 초기에 발생하는 일련의 조건 및 대책

(19) 근본 원인 고장 분석(RCFA : Root Cause Failure Analysis) : 고장 발생 후, 고장모드를 확인하고 고장 메커니즘과 기본 원인을 결정하기 위한 어떤 제품과 그 제품의 구성, 사용 및 관련 자료에 대한 체계적 조사

(20) 지원(Logistic support) : 정해진 가용도 수준에서 필요한 수명주기비용(Life Cycle Cost)으로 시스템을 유지보수하고 운영하기 위하여 배치되고 조직된 전반적인 자원

(21) 신뢰성 중심 유지보수(RCM : Reliability Centered Maintenance) : 장비의 수명 기간 동안 재원의 최소 지출로 장비의 주요 신뢰성을 실현시키는데 효과적이고 기술적으로 가능한 유지보수 업무 로직

(22) 시스템 수명 주기(System Life Cycle) : 시스템을 계획한 시간부터 시작하여 시스템을 더 이상 사용할 수 없다는 판단까지의 시간 동안에 발

생되는 일련의 행위

4. CBM의 필수요소

4.1 경영 및 관리적 요소

4.1.1 정책 및 원칙

(1) 유지보수 인력의 역량을 강화하고 적절한 장비를 갖추며 충분한 기술 교육 및 관리 교육을 받을 수 있도록 광범위한 기술적 수단(예: 대화식 기술교범, 이동식 유지보수 보조기구, 기술 정보에 대한 접근성, 순차적 품목 관리 등)을 제공함으로써 유지보수 프로그램이 이루어진다.

(2) 운영기관은 적절한 프로세스와 절차, 기술적 역량, 정보 시스템, 자원 개념을 확립함으로써 철도차량의 유지보수 및 지원을 위한 CBM 활동을 하며, 다음과 같은 요소를 포함하고 있다.

- 적용가능하고 효과적인 내장형 센서, 온라인/오프라인 의사결정 지원 시스템, 분석 도구를 이용한 시스템 상태 감시
- 시의적절하고 정확한 정보에 기초하여 의사 결정할 수 있는 유지보수 담당자 차원의 상태 기반 유지보수 활동
- RCM과 같은 신뢰성 분석
- 통계 분석
- 정확한 유지보수 데이터의 자동 입력 및 검색
- 통합적 유지보수, 지원, 관리 및 재무 정보 시스템
- 조직 관리 및 자산에 대한 식견
- 운영이력 기반 유지보수 계획, 보수장비 일정 계획, 실제 장비 사용내용의 추적(경향 분석)
- 원격 진단, 분야별 전문가, 전문가 지원 시스템의 준비
- 명확한 오류 감지, 분리, 예측
- 대화식 전자기술교범(IETM)
- 개방형 아키텍처, 데이터 기반 쌍방향 훈련 및 기술 지원 역량
- 휴대형 보조 전자장치 및 유지보수 현장용 보조 전자장치의 광범위한 이용
- 현장 정비인력, 철도차량 운영자, CBM 운영자 간의 정보 전파 및 공유

4.1.2 경영 전략

(1) 운영 관리자는 경제적이고 통합적인 내장형 진단 및 예지 기술, 자동화된 훈련 및 테스트, 품목리스트 관리, 자동 인식 기술, 그리고 지속적인 기술 업데이트를 통하여 최적화된 유지보수 준비태세를 갖춘다.

(2) 수명주기 관리자는 총수명주기 관리시스템에 다음과 같은 CBM 고려사항을 포함시킨다.

- 시스템 엔지니어링의 일부로서 CBM 요구사항을 포함
- 생산지원계획이 수록된 철도차량 및 부품 획득전략문서에 CBM 사업내용을 포함
- 철도차량 및 부품 획득전략문서에 측정지표 및 기준, 자본조달 요구조건을 기술
- 테스트 및 평가 종합 계획에 CBM 고려사항과 테스트항목을 포함시키고, 향후 수명주기 동안 지속적으로 테스트 실시
- 부품 생산 및 유지 프로그램 자금조달에 CBM 요건을 포함
- 초기 차량운용 전후에 CBM 진전 상황을 평가
- 철도차량 설계 검토시 CBM 성과 수치를 포함
- 철도차량 신규 획득을 위한 공급처 선택 평가에 CBM 고려사항을 포함

(3) 철도차량 및 장치의 가용성을 최적화하기 위한 유지보수 업무 요구사항을 설정한다.

(4) 운영기관은 운용 필요성, 유지보수시설의 구성, 기술의 적용, 조직의 구조, 그리고 자원의 가용성 등을 기반으로 각 기관에 적합한 구체적인 유지보수 경영 전략을 수립한다.

(5) 조직별 CBM 경영 규칙은 아래와 같은 요구사항을 반영한다.

- 장치의 장애 예측
- 장치 상태에 대한 통합적인 분석
- 장애 예측의 정확성 향상
- 소유 비용 절감
- 장치 및 부품의 신뢰성 개선사항
- 장치의 평균작동불능시간 단축(정비성)
- 장치 성능 최적화(가용성)

(6) 장치의 장애 예측 요구 : 유지보수 방식에 따라 목표설정을 다르게 할 수 있다. 예지 유지보수 방식에서는 장치 및 부품에 대한 장애를 신속하게 예측하도록 요구한다. 예방 유지보수 방식에서는 유지보수 전략 효용의 극대화와 장애 예측 역량을 개선하도록 요구한다.

(7) 장치 상태에 대한 통합적인 분석 요구 : 계획된 유지보수 임무들을 통합적으로 결합시킴으로써 장치의 총 작동불능시간이 최소화되도록 장치 상태에 대해 통합적 관점에서 분석한다. 장치의 상태 감시에 대한 통합적 관점은 다음과 같은 내용의 통합을 필요로 한다.

- 자동화된 상태 감시 결과(진동 분석, 오일 분석, 온도 기록 등과 같은 사용되는 모든 상태 감시 기술을 포함)

- 시각적인 검사 결과
- 일정한 간격으로 실시되는 '예방적' 유지보수 활동
- 비정기적 또는 사후 유지보수
- 보수설비 성능 감시

상태 감시의 완전한 정확성과 시의 적절성이 보장되도록 다양한 감시 기술을 이용하도록 요구한다.

(8) 장애 예측의 정확성 향상에 대한 요구 : 장치의 운용 환경과 임무 조건을 고려하여 개별 장치에 최적화된 장애예측이 되도록 요구한다. 다양한 데이터 소스를 결합하거나, 최소한 공통 표준 프로토콜을 이용하도록 하고 데이터 분석 체계를 통합시킬 것을 요구한다. CBM 분석 소프트웨어가 다양한 형태의 분석 데이터와 상태 데이터를 하나의 정보관리로 효과적으로 통합할 수 있도록 요구한다. 상태 감시 및 장애 분석 오류를 최소화하기 위해 센서와 데이터 수집 및 분석 장치에 대해 신중한 투자를 요구한다.

(9) 소유 비용 절감에 대한 요구 : 상태 데이터 처리를 위해 온시스템(On-system)과 오프시스템(Off-system) 모두에서 이용되는 알고리즘이 정확하고 신뢰할 수 있으며 비용이 효율적이어야 한다. CBM 사업의 가장 효율적인 투자를 보장하기 위해 합리적인 사업계획서의 작성과 비용분석을 요구한다.

(10) 장치 및 부품의 신뢰성 개선에 대한 요구 : 의사결정자가 신뢰성 증가와 유지보수에 대한 추가 투자 사이에서 절충점을 찾을 수 있도록 다음과 같은 요소들을 고려하도록 한다.

- 설계 및 성능 변경 기준
- 장애의 결과 : 비용 증가와 생산성 감소, 안전성 또는 환경적 영향
- 빈도가 높고 엄격한 상태 감시와 신뢰성 향상을 위한 비용
- 기존 유지보수 및 운용 상태

신뢰성을 개선하기 위한 투자나 유지보수 방식 변경에 대한 정당성을 확보하기 위해 상태기반 분석 정보를 충분히 이용하도록 요구한다.

(11) 장치의 평균작동불능시간 단축 요구(정비성) : CBM 구현을 통해 유지보수 프로세스의 효율성이 높아졌다는 사실은 CBM을 도입한 시스템과 구성요소에 대한 전체적인 평균작동불능시간이 상당히 감소했다는 사실을 통해 입증되어야 한다. 평균작동불능시간은 "실제 수리 시간과 모든 지연 시간을 포함하여, 사후 유지보수나 예방적 유지보수로 인해 시스템을 이용할 수 없는 평균 시간"으로 정의된다. 시스템 및 구성요소의 평균작동불능시간이 최소화되고 추적될 수 있도록 요구한다.

(12) 장치 성능 최적화에 대한 요구(가용성) : 장치와 부품의 상태를 판단

하는 측정지표를 철도차량이나 장치가 충분한 성능으로 제공해야 한다. 상태 평가 프로그램의 성능 구성요소의 일부로서 상태 기반 정보를 기초로 하는 측정지표를 개발하고 이용하도록 요구한다.

4.1.3 RCM과의 관계

(1) RCM은 장애가 발생할 가능성이 확인되면 그것을 분석하여 CBM이 기술적으로 적절하고 효과적인지 판단하여 CBM 활동을 선택할 수 있는 옵션을 가지고 있다.

(2) CBM을 도입함으로써 철도차량 운용자와 유지보수팀은 임박한 장애를 미리 알 수 있으며, 장애가 발생할 때 요구되는 비용과 작동불능시간을 방지하기 위한 적절한 조치를 취할 수 있다.

(3) RCM은 최적의 장애 관리 전략을 결정하고, 선택된 CBM 활동을 구현할 수 있도록 CBM 사업계획서 작성에 필요한 입력 정보를 제공한다.

(4) CBM은 RCM을 기반으로 유지보수 분석 프로세스를 개선하기 위한 광범위한 절차와 분석 및 도구를 제공함으로써 RCM을 보완하고 확장한다.

(5) RCM 프로세스 단계와 대표적인 CBM 활동의 관계

RCM 프로세스 단계	CBM 활동
기능: 요구되는 시스템의 능력. 기능이 어떤 환경에서 얼마나 잘 수행되는가	- 요구되는 시스템 성능을 보장하기 위한 수명주기 유지보수 전략의 결정을 지원하는 분석 데이터 제공. - 선택된 유지보수 임무를 수행하기 위한 최적의 자원 적용을 결정할 수 있도록 기술적 데이터 제공.
기능 장애: 시스템에 장애가 생긴 상태. 일반적으로 시스템이 요구되는 성능 기준 아래로 떨어졌을 때	- 시스템/구성요소에 발생한 상태 악화의 정도를 평가하기 위한 진단 도구 제공. - 설치된 구성요소의 건전성 및 상태 추적.

장애 유형(원인): 기능 장애를 초래하는 구체적인 상태	- 센서와 데이터 분석 기술을 이용하여 장애 원인 확인. - 시스템 상태 및 장애 데이터의 수집, 저장, 전달.
장애 영향: 장애의 영향을 정확히 평가할 수 있도록 각 유형의 장애가 발생할 때 어떤 일이 일어나는지를 상세히 설명묘사.	- 자동화된 도구와 데이터 관리 소프트웨어를 이용하여 감지된 장애에 대한 진단 정보 제공. - 보고, 문제 해결, 테스트, 장애 지원 문서화를 위해 대화형 전자기술 교범의 적용.
장애 결과: 작동불능이 어떻게 문제가 되는지 설명(예: 안전, 환경, 임무, 경제)	- 플랫폼 하드웨어 및 소프트웨어 구성을 유지하여 상태 경향과 이력, 경영 프로세스에서 나온 기록을 포함하는 포괄적 데이터베이스 제공. - 모든 사용자가 이용 가능.
유지보수 임무 및 간격: 장애 예측 또는 예방을 위해 수행되는 적용 가능하고 효과적인 임무의 설명.	- 장애의 원인 및 시기에 대한 예측을 돕기 위한 예지 통합. - 각 플랫폼에 내장된 건전성 관리 시스템이 복합적인 상태 분석을 통해 얻은 장애 예측에 기초하여 장비/구성요소의 잔여 수명을 예측.
기본 조치: 장애 발견 임무와 사후 정비, 엔지니어링 재설계, 운영 절차 및 기술 교범의 변경 및 추가 등	- 표준 그래픽 및 경향 표시, 사용자 경고, 데이터 마이닝 및 분석, 시뮬레이션과 모델링, 전사적 의사결정 지원 시스템, 권고 생성을 지원.

(6) CBM은 기본적인 RCM 임무를 강화할 수 있도록 절차와 기술적 지원을 함으로써 보다 효과적인 RCM 분석을 가능하게 한다.

(7) RCM 분석을 통해 유지보수 임무의 수정이 제안되는 경우, 유지보수 관리자는 수정된 유지보수 임무 절차를 뒷받침하기 위해 어떻게 CBM을 적용할 수 있는지 평가해야 한다.

(8) RCM과 CBM은 서로에게 도움을 주는 관계이며, RCM 분석이 없는 건전성 관리는 철도차량 및 장치의 관점에서 보면 기능과 성능이 정당화되지 않은 상태에서 상태진단을 하는 것과 같다.

4.2 기술적 요소

4.2.1 CBM 인프라

(1) CBM 인프라는 다음과 같은 8개의 주요 영역으로 구성된다.

- 센서
- 상태감시
- 건전성 평가
- 통신
- 데이터 관리
- 분석
- 의사결정 지원
- 운영자 인터페이스

(2) 센서는 장비나 구성요소의 운용 매개변수 또는 상태를 감시하거나 기록하거나 전송하는 물리적 장치이며, 영구적으로 장비에 내장시키거나 일시적으로 장비에 연결하여 유무선을 통해 전기적으로 연결된다.

(3) 상태감시는 임박한 장애의 징후를 발견하기 위해 물리적 특성과 관련된 장비의 상태를 감시하는 유지보수 프로세스이며, 진동 분석 장비와 같은 정교한 도구를 이용하거나 인간의 감각을 이용하여 감시한다. 센서 장치와 건전성 평가 분석 기능 사이를 연결하며 다음과 같은 기술을 포함한다. .

- 진동 측정 및 분석
- 적외선 온도 측정
- 오일 분석 및 마모(마찰/마모) 분석
- 초음파
- 모터 전류 분석

(4) 건전성 평가는 시스템 거동의 상태 감시를 통해 얻은 정보를 이용하여 운용자와 지원 경영진에게 장비의 운용 상태에 대한 평가(현재 측정과 관련 데이터에 근거한 평가) 결과를 제공하며, 플랫폼이나 운용 장비 상에서 실시간으로 이루어진다. CBM 건전성 평가의 이용은 기본적으로 두 가지가 있다. 첫째는 시스템 내부(on-system) 처리와 예지 유지보수에 관련된 것이다. 두 번째는 데이터의 저장과 관리를 통

해 수집한 센서 데이터를 시스템 외부(off-system)에서 처리하는 것이다. 오프시스템(Off-system) 분석은 통신 네트워크와 데이터베이스 그리고 전사적 차원의 데이터 수집 및 분석을 수행하는 건전성 분석 소프트웨어를 이용한다.

(5) 통신은 상태 데이터와 기타 기술적 정보, 유지보수 절차 및 관리 정보 등과 관련되며, 데이터 저장 위치에 관계없이 CBM 환경에 포함된 모든 요소 사이에서 유지보수 정보와 기타 데이터를 공유할 수 있어야 한다. 단일 시스템 외부에서 데이터 공유를 용이하게 하고 차후의 성능개선에 대비하기 위해 개방형 아키텍처 데이터 표준이나 상용 데이터 표준 또는 정부가 인정한 데이터 표준을 이용해야 한다.

(6) 데이터 관리는 센서와 기타 획득 기술을 통해 데이터를 획득하고, 데이터를 유용한 형태로 변환하며(예: 아날로그 데이터를 디지털 데이터로 변환), 전자식 방식을 통해 디지털 형태로 데이터를 저장하고, 전자식 수단을 통해 데이터를 전송하며, 데이터에 접근하고, 데이터를 의사결정자에게 제공하는 활동으로 이루어진다. CBM에서 데이터는 두 가지 방식으로 저장된다. 첫째는 내장형 건전성 평가 및 보고를 지원하기 위해 소규모로 저장하는 시스템 내부(on-system)) 방식이고, 두 번째는 데이터 웨어하우스라고 불리는 대규모 전자 저장 매체에 보관하는 시스템 외부(off-system) 방식이다. 모든 효과적인 데이터베이스에는 자격을 갖춘 사용자에게 접근권한을 부여하는 잘 확립된 절차가 있어야 하며, 각각의 기능을 이용할 때 실행 가능한 정보 교환과 일관적인 데이터 제품을 보장할 수 있도록 가용한 데이터 형식 표준과 정의를 적용해야 한다.

(7) 분석은 상태 기반 건전성 평가의 오프시스템(off-system) 측면에서 정의되며, CBM 구현에 사용된 아키텍처 접근법에 따라 데이터 마이닝과 같은 다양한 기법을 이용하여 아키텍처 안의 모든 원천으로부터 데이터를 획득해야 한다. 분석은 아래와 같이 다양한 형태로 이루어진다.

- 가장 기본적인 형태는 경고 및 경보에 대한 상태 임계치를 파악하기 위해 단일 센서를 통해 구체화된 신호 출력을 이용하는 상태 감시이다.
- 진단 평가는 결함 상태를 식별하고 가용한 과거 이력이나 기술정보를 고려하여 장비 또는 프로세스의 현재 건전성을 '정상' 매개변수와 비교하는 것이다.
- 예측 평가는 저장된 센서 데이터의 외삽(extrapolation) 및 상호연계성을 통해 차후의 건전성 상태를 예측하는 것이다.
- 경향 분석은 주로 운용상의 측정이나 진단 측정 작업을 통해 얻은 데이터를 이용하는 예측 평가의 한 형태이다. 경향 분석을 통

해 장비의 잔여 수명을 정확히 예측할 수는 없지만, 장비 성능 요건에 대한 부품의 장애율 상한선과 하한선 등을 확인할 수 있다.

- 고장 예지 평가는 장비의 잔여 수명을 신뢰할만하고 충분히 정확하게 예측하는 것이다. 상태 감시 시스템은 예지 평가를 통해 단순한 임계치 초과나 진단 경고하는 것 이상으로 평가할 수 있다.

(8) 의사결정 지원은 모든 수준의 관리자들이 경향을 확인하도록 지원을 하며, 계획 수립 과정을 지원하는 분석 도구와 의사결정과정을 지원하는 도구를 포함한다. 공급, 운송, 엔지니어링 등 모든 운영인력이 필요한 시간과 장소에서 데이터를 이용할 수 있도록 하는 것도 포함된다. 주요 기능은 유지보수와 엔지니어링 조치 및 대안들을 추천하고 추천된 각 행동의 영향을 제공하는 것이다. 추천에는 유지보수 활동 일정 수립과 장비의 운용 수정, 임무 달성을 위한 업무절차의 수정 등이 포함된다. 의사결정 알고리즘은 운용 이력(사용 및 유지보수 포함)과 현재 및 미래의 임무 목표, 개별 부품의 임무 목표, 자원의 한계 등과 같은 다양한 요인들을 고려해야 한다. 의사결정 지원의 출력 결과는 컴퓨터 간에 상호 연결되어 자동으로 통지되고, 통지 형태는 경고와 경보, 건전성 및 예지 평가를 비롯한 기타 권고 사항을 포함한다.

(9) 운영자 인터페이스는 운영자가 의사결정 지원 아키텍처 내의 모든 부분에 저장된 데이터에 접근할 수 있는 도구이다. 일반적으로 이상이 보고되거나 추가적인 정보가 요구될 때 의사결정 소프트웨어에 의해 상태 또는 경고(건전성 평가, 예지 평가, 또는 결정 권고)가 운용자에게 표시된다. 검사나 비파괴검사에서 얻은 상태 정보를 운용자가 입력할 수 있다.

4.2.2 개방형 시스템 및 데이터 전략

(1) 개방형 시스템은 상호운용성과 이동성, 확장성을 가지고 있으며, 다양한 공급자들이 제공하는 표준 제품의 이용을 용이하게 한다.

(2) 데이터 관리 전략은 상이한 네트워크와 기존 시스템 및 응용프로그램 내에서 데이터를 개별적으로 소유 및 저장하는 것으로부터 권한을 부여받은 사용자들이 어떤 정보에도 접근할 수 있고 자기 글을 게시할 수도 있는 전사적 정보 환경으로 이동하는 것이다.

(3) 운영기관 CBM에 적용할 수 있는 효과적인 개방형 시스템은 모든 인터페이스에 대해 국제표준기구(ISO)와 전기전자기술자협회(IEEE), 자동차기술자협회(SAE) 등의 표준 관리 기구가 확립한 공개 표준을 적용해야 한다.

(4) 데이터 교환 및 저장은 MIMOSA가 발표한 개방형 아키텍처 표준에

기초한 데이터 흐름 체계인 전사적 애플리케이션 통합을 위한 개방형 시스템 아키텍처(OSA_EAI)를 따르는 것이 바람직하다.

(5) CBM을 구현하는 주체들은 정보 및 표준 문서 입수를 위해 표준화 조직의 웹사이트를 이용한다.

(6) 데이터 전략은 조직적 경계를 넘어 모든 수준에서 CBM 데이터를 공유하는 것을 원칙으로 한다.

4.2.3 CBM을 위한 운영기관 아키텍처 체계

(1) CBM 아키텍처 체계는 철도사업의 운용과 프로세스에 대한 아키텍처를 기반으로 제품이나 프로세스의 전체 수명 주기에 걸쳐서 상호 인터페이스를 비교하고 서로 연관시킬 수 있도록 설계한다.

(2) CBM 아키텍처는 다음과 같은 사항을 고려하여 구현한다.

- CBM 의 여러 구성요소에 대한 필요성 입증.
- CBM 의 구성요소 간 성능 및 기능의 격차를 확인.
- 시스템을 구성하고 있는 각종 요소와 오프시스템으로 운용되는 요소를 연결하고, 정보 교환 및 건전성 평가 흐름을 확인.
- 중복 및 불필요한 요소 파악.
- CBM 아키텍처 내의 적절한 위치에 데이터 수집자, 정보 처리자, 및 분석 처리자의 위치를 결정.
- 정보 교환 경로 및 저장 노드(node) 확인.
- CBM 전범위에 걸쳐 프로세스 및 시스템 구성요소의 상호 운용성 및 호환성 보장.
- 운영자 인터페이스의 요건 및 위치 문서화.
- 다양한 CBM 요소를 구현하기 위한 시기 및 자원 지출.
- 구현을 완수하기 위한 자원 요구사항

(3) 아키텍처를 완전하게 개발하기 위해 운용 관점, 시스템 관점, 기술표준 관점의 아키텍처를 동시에 고려해야 한다.

(4) CBM을 구현하는 주체(개발자)는 운용기관과의 협약을 통해 CBM 전체 범위를 효과적으로 묘사해야 한다.

(5) 철도차량과 유지보수 현장 및 유지보수 지휘소 간 유무선 통신 네트워크를 통해 상태정보 및 명령이 원활하게 전달되어야 한다.

(6) 유지보수 지휘소는 건전성 관리시스템과 부품 공급체인 관리, 그리고 유지보수 총괄 및 통제조직을 가진다.

5. CBM의 수명주기 단계별 활동

5.1 계획수립 및 기술선정 단계

5.1.1 경영진의 지원 획득

(1) CBM 사업에 대해 경영진의 전면적인 지원이 보장되도록 한다.
(2) CBM을 추진하는 주체는 취지와 의미를 전파하여 유지보수 관리자들이 CBM 전략과 이 전략을 조직에 적용하는 것에 대해 충분한 설명을 들을 수 있도록 해야 한다.
(3) CBM 사업의 수요자들인 운용자와 정비자 등이 예상되는 변화에 대해 잠재적인 효과와 혜택을 인지하도록 해야 한다.

5.1.2 RCM(신뢰성 중심 유지보수)과 신뢰성 분석 수행

(1) 신뢰성 분석은 장애 발생 시간과 시스템 성능, 시스템 수명주기 비용 사이의 균형을 고려하여 실시한다.
(2) CBM을 적용하는 시스템의 유지보수 가능성 및 자원지원 가능성에 대해 상호 의존성을 검토해야 한다.
(3) 신뢰성 분석은 다음을 포함하여 수행한다.
- RCM
- 고장모드 영향 및 심각도 분석(FMECA) : 시스템에 장애가 일어날 수 있는 방식과 성능에 미치는 영향, 그리고 시스템 장애에 대한 지원 방안을 확인.
- 결함 수목(fault tree) 분석 : 시스템 아키텍처 설계에서 중요한 안전 기능을 평가.

5.1.3 CBM 팀 구성

(1) CBM은 다양한 조직적, 기술적 기량을 갖춘 참가자들을 필요로 하므로 CBM 추진 주체는 계획수립 초기 단계에 팀을 구성해야 한다.
(2) 최소한 팀에는 다음 분야의 전문성을 갖춘 인력이 포함되어야 한다.

- 차량/장비 운용
- 사업계획서 작성
- 시스템 엔지니어링
- 신뢰성 분석
- 안전
- 데이터 관리
- 건전성 관리 시스템
- 유지보수 조직
- 공급체인 관리
- 통신 및 네트워크
- 교육훈련 및 인증
- 성과 지표
- 유지보수 관리
- 프로세스 아키텍처 개발
- 센서 및 AIT
- 예산 수립 및 자금 조달

(3) CBM 사업이 진행됨에 따라 CBM 구현을 지원하기 위해 다른 능력이 요구될 수 있다.

5.1.4 CBM 구현 중점사항 확인

(1) CBM을 구현하기 위해서는 운영기관의 유지보수 조직이 초기에 상당

한 자원을 투자해야 한다. CBM 추진 주체가 적어도 초기에는 성능 개선과 시스템 수명 연장, 효율적 유지보수, 수명주기 자원 소비의 전체적인 절감에 효과가 클 것으로 예상되는 장비에 선별적으로 집중 투자한다.

(2) 기존 시스템에 CBM을 추가할 경우에는 최대한 개방형 시스템 표준을 이용하고 공통적인 건전성 관리 프로그램 적용과 표준화된 교육훈련을 실시하는 등 통신 및 데이터 관리 기술의 표준화에 집중해야 한다.

5.1.5 CBM 개념검증 수행

(1) CBM 구현에 필요한 시간과 자금을 고려하여 구현 주체들은 전면적인 구현에 앞서 CBM의 주요 방법과 기술에 대한 소규모 시연을 실시한다.

(2) 구현 주체들은 가능하면 예상되는 향후 환경하에서 운용 인력을 이용하여 테스트를 실시한다.

5.1.6 구현 계획 준비

(1) 구현 주체들은 신뢰할 수 있으며 모든 잠재적 운영자가 쉽게 이해할 수 있어야 한다는 원칙을 준수해야 한다.

(2) CBM 계획은 다음을 포함한다.

- CBM 적용 범위 전체에 걸쳐 장비와 조직, 기능 등에 대한 포괄적 서술
- 주요 유지보수 활동에 대한 전반적 목표(유지보수 결과와 관련한 목적 및 목표 포함)
- 사업의 목적과 목표를 어떻게 달성할 것이며 그러한 목적과 목표 달성을 위해 필요한 인력과 자본, 정보 관리, 예산을 어떻게 확보할 것인지에 대한 설명. 운영과 분석 프로세스, 기능 및 기술에 대한 대안 분석에 대한 설명.
- CBM의 8가지 필수 요소 각각에 대한 요건과 계획된 설계 접근법.
- 전반적인 목적과 목표의 달성에 상당한 영향을 줄 수 있으면서 조직의 통제 범위 밖에 있는 조직 외부의 주요 요인에 대한 확인.
- 예산 범위 내에서 원하는 수준의 목표 달성을 위해 진전 상황을 관리하고 평가하기 위한 프로그램 평가 프로세스에 대한 설명.
- 활동 계획 및 추진일정(시간이 지나면서 더 상세하게 기술).

(3) 본격적인 CBM 구현 활동을 실시하기 전에 공식적으로 구현 계획을 준비하고 충분한 인원을 갖추며 적절한 수준의 관리자로부터 승인을 받아야 한다.

(4) 관리자로부터 승인된 계획은 주요 고객과 이해당사자들에게 잘 전달

되어야 한다.

5.1.7 새로운 기술의 검토

(1) 가용한 하드웨어와 소프트웨어, 그리고 유지보수기술 등이 미래의 유지보수 프로세스의 요건에 적절한지 검토한다.

(2) 특정 기술을 CBM에 채택하기 위한 결정은 기술 자체의 장점이나 효용성에만 의존해서는 안 된다. 궁극적으로 특정 기술의 채택 여부는 그 기술이 유지보수 성능지표 개선이나 비용절감에 얼마나 기여하느냐에 달려있다.

(3) 기술 선택에 대한 결정은 항상 사업계획서의 범위 내에서 기능적 요구조건을 충족시키는 수준에서 이루어져야 한다.

5.1.8 데이터 전략 수립

(1) 플랫폼 내부 또는 외부에서 상태기반 분석을 수행하기 위해 요구되는 관련 데이터와 상태의 관리를 위한 방법과 메카니즘을 고려한다.

(2) 데이터 관리와 저장, 교환에 관한 아키텍처 인터페이스를 최대한 빨리 완성한다.

(3) 개방형 데이터 표준과 완전하게 호환 가능한 소프트웨어 패키지를 획득한다.

5.1.9 아키텍처 개발

(1) CBM 구현 계획이 승인되면 CBM 팀은 운영기관 아키텍처 체계에 규정된 대로 아키텍처의 방향과 요소별 요건 등을 구성하기 시작한다.

(2) 관리자는 아키텍처 요건에 따라 인력 훈련 주제를 확인하고, 각 프로세스 구성요소에 대한 진전 상황을 평가하며, 개발 자원을 재할당하고, 다양한 프로세스 구성요소를 통합하고, 외부 검토자에게 사업의 세부사항에 대해 검토 의뢰한다.

(3) 통합 CBM을 완성하기 위해 장비 획득 계획을 수정한다.

(4) 아키텍처 설계의 최종 결과물은 완전해야 하고 고객의 요구를 충족시키도록 보장해야 하며 실행 가능해야 한다.

5.1.10 수명주기 지표 설정

(1) CBM 구현을 위한 전략을 수립하는 과정에서 원하는 CBM 환경으로 이행하기 위해 요구되는 전략적 변화를 확인하고 이러한 변화에 대해 지속적으로 주의를 기울인다.

(2) 초기에 CBM 구현 팀은 전반적인 유지보수 성과와 비용, 결과를 감시하기 위해 어떤 수준의 지표가 요구되는지를 파악해야 한다.

(3) 구현 과정이 진행됨에 따라 성과 및 비용 지표를 개발하고 진단 지표를 결정해야 한다.

(4) CBM 구현 팀은 개발된 지표를 기반으로 과거의 경험이나 추정된 지표 대상을 이용하여 정량적 기준지표를 개발한다.

(5) 정량적 기준지표는 다음과 같은 영역을 포함한다.

- 운영기관의 전략적 필요 충족
- 개별 운용자의 필요 충족
- 기관 경영 성과 요구 충족
- 유지보수 프로세스 개선 사업 결과에 대한 요구 충족

5.1.11 배치 및 지원 전략 개발

(1) 구현 주체는 교육훈련 및 CBM 설치 날짜 등이 포함된 예상 배치 일정을 발표해야 한다.

(2) 구현 주체는 누구에게 새로운 작업을 배치할 것이며, 그들의 현재 업무 방식과 정책은 어떠한지, 그들이 받아들일 수 있는 변화는 어느 정도인지, 배치된 후에 CBM이 유지보수에 어떤 영향을 미치게 될 것인지에 대해 이해해야 한다.

(3) 구현 주체는 새로운 프로세스가 운용되고 있다는 가정 하에 임무를 완수해야 하는 운용자가 시행하는데 필요한 지원 사항을 파악해야 한다.

(4) 프로세스가 결함이 발생할 경우 이에 대응하고 사용자의 운용의견을 받아들이며 측정지표 데이터를 추적한다.

5.1.12 사업계획서 작성

(1) CBM 사업계획서는 운영기관의 경영 목표와 관리 기본방향을 달성하기 위해 철도차량 수명주기에 걸쳐 CBM 대안을 선택하기 위한 경제적, 기술적 논증을 제시한 문서이다. CBM 구현 팀은 사업계획서에 대한 보완 문서로서 포괄적인 효익(B/C)분석서를 준비한다.

(2) CBM 시스템 획득 과정에서 CBM 관련 기술이 제외되거나 변경되는 경우, 수명주기 비용에 미칠 영향을 분석하기 위해 효익분석 다시 수행한다.

5.1.13 자원 전략 및 통합 예산 마련

(1) CBM 사업에 대해 사업초기부터 이해당사자와 운영자들에게 철도차량 전 수명주기에 걸친 유지보수 프로세스 개선 및 자원 절약 도구라고 홍보한다.

(2) CBM 사업이 철도차량 수명주기의 어느 시점에 적용되느냐에 따라

자금 조달 방안을 연구개발, 장비 조달, 운영 및 유지보수 비용 등으로 구분하여 마련한다.

(3) CBM 자금지원 관리자는 수명주기의 각 단계마다 잠재적인 CBM 성과와 준비상태, 효익분석을 활용하여 조달 가능한 자금을 극대화 한다

(4) CBM 구현 주체는 프로그램 관리자 및 자금지원 관리자와 긴밀하게 협력하여 CBM을 구현하기 위한 자금지원 요건이 운영기관의 정책 요건에 부합하는지 철저히 입증해야 한다.

(5) CBM 프로그램 관리자는 유효성이 확인된 자원이 철도차량 획득 계획에 최대한 빨리 포함될 수 있도록 해야 한다.

(6) 운영기관의 CBM 프로그램 계획서는 CBM 자금지원 방안을 구체적으로 포함해야 한다.

5.2 구현 단계

5.2.1 CBM 기술 구성요소 획득(센서, 통신 및 데이터 저장소)

(1) 구체적인 하드웨어 구성요소를 선택하는 것은 기술 또는 공학 담당 부서의 책임이지만 선택된 기술이 운용 요구에 부합하는지 확인하고 하드웨어 구성요소를 유지보수 프로세스의 전반적 아키텍처에 통합시키기 위해 유지보수 직무 관리자들이 선택에 참여해야 한다.

(2) 운영기관은 민간 부문보다 장비를 상당히 오래 유지하는 경향이 있으므로 공급자가 기술 업그레이드를 제공할 수 있는지 여부를 검토한다.

(3) 운영기관은 비용 고려사항과 투자수익, 공급처 가용성, 납품 소요시간 등을 감시한다.

(4) 첨단 기술을 선택하는 것이 항상 최선의 해결책이 아니며, 기능 요건을 충족하되 기능요건을 과도하게 초과하지 않도록 기술을 선택한다.

5.2.2 건전성 관리 소프트웨어 획득

(1) 소프트웨어를 획득하는 과정은 상호 운용성, 비용, 기능적 요구 충족의 측면에서 시스템에 적용되는 가이드라인에 따라 이루어져야 한다.

(2) 하드웨어와 소프트웨어는 호환되어야 하지만, 먼저 소프트웨어의 기능을 우선 입증한 뒤 지원되는 하드웨어를 맞추어서 패키지를 완성해야 한다.

(3) 운영자 인터페이스 기능 및 성능에 대해 특별한 관심을 기울여야 하며, 운용자는 소프트웨어 구성요소에 내장된 인터페이스와 상호 작용하므로 지나치게 복잡하거나 표준화되지 않은 인터페이스 기술은 지양해애 한다.

(4) 소프트웨어는 구체적인 기능 요구조건을 만족해야 하고, 소프트웨어 획득은 상용품목 구매 원칙을 적용한다.

5.2.3 데이터 관리 시연

(1) 데이터 표준화를 최대한 적용하고, CBM의 모든 관계자는 CBM 구성요소 전반에 걸친 데이터 정의에 대해 인식해야 한다.

(2) 초기부터 CBM 아키텍처에 근거한 데이터 관리 방법을 도모한다.

(3) 구현 단계 초기에 기술 및 운용 인력(즉 사용자)에게 데이터 관리 프로세스의 기능을 시연해 보인다.

(4) '실제와 똑같은' 테스트 데이터베이스에서 건전성 관리 소프트웨어의 테스트 시연이 이루어지도록 한다.

5.2.4 RCM 및 신뢰성 분석 재확인

(1) 시스템 재설계, 구성요소 변경, 운용 및 과업 변경, 기술 진보, 부품 조달 개선 등이 이루어지는 것과 병행하여 지속적인 검토 프로세스를 통해 초기의 신뢰성 평가결과를 주기적으로 재확인한다.

(2) 주기적인 신뢰성 평가결과에 근거하여 유지보수 방법을 수정하고 유지보수자원을 재할당 한다.

5.2.5 CBM 요소 상호운용성 시연

(1) 상태 데이터 수집, 진단 및 예지 플랫폼, 플랫폼 외부 현장 등 모든 CBM 조직에 속한 주체들 사이에서 정보가 공유되고 상호 운용되도록 한다.

(2) 산업에서 지원되는 기술방식, 제품, 사양, 표준을 이용하는 '개방형 시스템' 전략을 적용하여 상호 운용성 달성을 위한 성능과 비용, 산업체 수용성, 장기 가용성, 기술지원 가능성, 업그레이드 잠재력 등을 평가한다.

(3) 센서를 통해 얻은 상태 데이터와 분석 정보를 이용하여 CBM 사업을 위해 획득된 하드웨어, 소프트웨어, 데이터 분석 시스템 등을 시연한다.

(4) 아키텍처 환경 전체에 있는 데이터 저장소와 획득된 분석 소프트웨어 간의 인터페이스를 철저히 테스트하고 시연한다.

(5) 승인된 아키텍처 체계에 근거하여 CBM 하드웨어와 소프트웨어, 운용자 인터페이스 구성요소의 상호운용성을 평가한다.

5.2.6 CBM 기능성 시연

(1) 기능성이란 어떤 프로세스가 승인된 설계에 따라 주요 임무를 수행하고 입력 및 출력이 형식, 품질, 처리량, 시기적절성 측면에서 수용 가능하다는 것을 의미한다. 1단계로 CBM 사업의 구성요소들을 획득하고 개

별적인 테스트를 시행하고, 다음 단계로 시스템 입력과 출력, 분석 결과를 승인된 지표 및 정량화된 목표와 비교하여 테스트하고 확인한다.

(2) 모든 기능성은 아키텍처 설계에 의거하여 테스트되어야 한다.

(3) CBM 구현 주체는 CBM 구성요소가 정확하고 시기적절하며 운용자의 목표 기대치가 충족되는지를 확인시키기 위해 기능성 시연을 수행한다.

(4) 최대한 '실제 상황과 같은' 조건에서 CBM 사업의 운용자 인터페이스를 시연하며, CBM 운용자 대표도 기능성 시연에 참가한다.

5.2.7 시범 프로그램 현장 테스트 완수

(1) 운용 환경에서 단계별 시범 테스트를 실시한다. .

(2) 예측되지 못한 조건으로부터 영향을 받게 되는 실제 현장에서 시범 테스트를 시행하여 실제 운용 환경에서 CBM 사업이 원활하게 실행되도록 한다.

(3) 시범 테스트 환경은 다음의 요소를 가진다.

- 전체 아키텍처에 대한 테스트 계획 구조
- 운용 사용자의 의견, 테스트 활동, 결과의 추적에 대한 철저한 기록
- 입출력 테스트 데이터 확인 후 허용범위를 벗어나는 데이터의 분명한 구별
- 구현 팀 실무자의 감독에 의한 운용자의 철저한 훈련 습득
- 시범 테스트 기간과 종료일의 명확한 설정

(4) 모든 성능이 목표대로 발휘되고 원인과 결과의 프로세스가 원활하게 작동하는지 확인한다.

(5) 신뢰성 분석을 통해 결정된 유지보수 활동이 시험 대상 장치나 구성품에 가장 적합한지를 평가하기 위해 시범 테스트 결과를 문서화 한다.

5.2.8 성능 및 비용 문제 해결

(1) CBM 구현 주체는 자금지원 프로그램과 성능향상 프로그램을 검토하여 CBM 획득 계획을 수정하고 실행한다.

(2) 성능 및 비용을 변경할 수 없다면 이로 인해 구현 계획에 미치게 될 영향을 CBM 총괄 관리자에게 통보한다.

(3) 모든 획득 계획 문서의 수정은 현재의 총괄 관리자의 의사결정에 따른다.

5.2.9 이해당사자와 운용자에 대한 교육훈련

(1) CBM 교육훈련 계획 및 일정은 CBM 구현 일정계획과 일치하게 한다.

(2) CBM 교육훈련 계획은 새로운 교육훈련 기법과 시뮬레이션 기술을 활용하여 작업장 내 교육훈련과 장소와 시간에 구애받지 않고 훈련 기관의 수요를 줄여주는 원격 학습 시스템의 이용을 병행한다.
(3) 운용자가 새로운 기술을 이용하는 최초의 사용자일 수 있지만, CBM 운용 역량을 갖춘 유자격자가 되기 위해 해당 기술에 대해 교육과 훈련을 충분히 받을 필요가 있다.

5.2.10 구현 계획 수정

(1) CBM 구현 계획을 최신 상태로 유지하고 경영진의 결정과 자원 가용성, 필수 CBM 요소 획득 및 일정계획에 따라 조정한다.
(2) 필요시 CBM 구현 규모를 축소하거나 목표일을 연기할 필요가 있다.
(3) 지연이 발생했을 경우 구현 계획을 세부적으로 조정하거나 대안 계획을 수립한다.

5.2.11 유지보수전략 업데이트

(1) 수명주기비용을 절감하고 철도차량 가용성을 높이기 위해 주기적 평가와 함께 필요한 경우 유지보수 전략에 대한 개선이 수행되어야 한다.
(2) 지속적인 분석을 통해 유지보수 준비사항, 장비 유지보수, 유지보수 프로그램 일정 및 실행 항목 등에 대해 조정한다.
(3) 신뢰성 분석 결과 유지보수전략 변경이 필요한 것으로 판단되면 CBM 범위도 변경한다.

5.2.12 완전한 CBM 시스템 획득

(1) CBM 시스템 전체를 획득하기 전에 모든 계획과 획득, 테스트, 시연 활동이 성공적으로 완수되어야 한다.
(2) 하드웨어/소프트웨어 및 관련 품목의 획득은 계획된 배치 일정에 근거하여 단계적 획득 계획에 따라 이루어져야 한다.
(3) CBM 시스템의 주요 구성요소의 납품 지연이 최소화되도록 한다.

5.2.13 CBM 배치 완수

(1) CBM 시스템 배치는 배치 및 유지보수전략 계획에 따라 실행한다.
(2) CBM 시스템의 요소들은 계획된 환경 전체에 걸쳐서 점진적이거나 단계적으로 구현되어야 한다.
(3) CBM 구현 주체는 CBM 시스템의 설치와 함께 결함을 보완하고 사용자의 운용결과를 수집하며, 성과 및 비용 지표를 추적한다. .
(4) CBM 시스템의 전체 또는 일부분이 배치 운영된 후 '경험에서 얻은

교훈' 보고서를 준비한다.

5.3 CBM 운용 단계

5.3.1 구성요소, 플랫폼 및 전사적 차원의 지속적인 상태 관련 데이터 분석

(1) 운용 및 유지보수 환경에 CBM 시스템을 배치하는 것은 철도차량이나 장치의 수명주기에 걸쳐 지속적으로 경영한다는 의미를 가진다.

(2) CBM 전략은 운영기관 유지보수 조직 전체에 걸쳐 제도화한다는 것이다. 센서 기반 기술, 데이터 관리 획득, 수집된 데이터 분석 등이 유용한 유지보수 지원정보를 제공하여 유지보수업무 생산성 향상을 가능하게 한다.

(3) CBM 구현 주체는 철도차량 및 장치, 유지보수 조직에 걸쳐 광범위하게 CBM의 모든 필수요소들의 개발과 설치를 계속 추진한다.

5.3.2 RCM 및 신뢰성 분석 재확인

(1) 효과적인 투자수익과 운영기관의 유지보수 요건을 충족하는 가장 효과적인 유지보수방식을 획득하기 위해 상태기반전략과 CBM 도구의 활용을 재평가한다.

(2) 신뢰성 기반 유지보수(RCM) 분석 결과를 정기적으로 검토하고 필요한 경우 유지보수방식을 재조정한다.

(3) 장비 성능 및 운영 환경이 변화함에 따라 유지보수 계획을 적용 가능하도록 재수립한다.

5.3.3 성과 기준 개발

(1) CBM 사업 내부에 성과 지표와 비용 지표 데이터베이스를 구축하고 지속적으로 유지보수 정보를 수집하고 추적, 평가한다.

(2) CBM 성과 및 비용 정보를 위한 이력 기반 데이터 저장소를 구축하여 유지보수 프로그램 및 예산 수립 , 효익 분석, 유지보수 전략의 유효성 확인 등을 수행한다.

5.3.4 지속적인 CBM 지표 검토

(1) CBM 사업의 진전 상황과 결과를 평가하고 추적하기 위해 측정지표를 필수적으로 이용한다.

(2) CBM 사업이 진행됨에 따라 경영진의 기대를 충족시키기 위해 운영기관의 전사적 목표와 비교하여 진행 상태를 추적한다.

(3) CBM 지표는 다음과 같다.

- 철도차량 및 장비의 준비상태 및 가용성 극대화
- 철도차량 및 장비, 구성요소의 신뢰성 향상

- 수명주기 소유비용 절감
- 작동불능시간 감소

(4) 통합적이고 체계적이며 장기적으로 지표 데이터를 수집하고 분석한다.

(5) CBM 사업을 평가하기 위한 계획은 다음과 같은 단계를 가진다.

- 어떤 측정지표를 이용할지, 어떤 데이터가 필요할지 파악.
- 최적의 의사결정을 위해 필요한 데이터만을 수집.
- 우선적으로 개선해야 할 업무 파악, 해당 업무의 영향 측정, 이해당사자와 고객의 만족 유지
- 희망하는 성과 목표 설정, 목표 달성 정도 파악
- 투자수익이 만족스럽게 달성되고 있는지 평가

(6) 측정지표를 이용하여 CBM 활동을 재평가하고 CBM 사업이 조직의 과업을 완수하는 데 얼마나 도움이 되고 있는지를 평가한다.

5.3.5 실행 기술 업데이트

(1) 장기적으로 비용 대비 효과적인 유지보수 및 운영이 가능하도록 빠른 기술발전에 적극 대응하여 CBM 구성요소가 노후화 되기 전에 업그레이드를 추진한다.

(2) 다음과 같은 목표를 가지고 기술 업데이트를 관리한다.

- 기술의 노후화를 선제적으로 평가하고 예상되는 미래의 기술 발전을 반영하여 기술 업데이트 계획 수립
- 상용 산업 기술 발전을 이용하여 시스템 비용을 절감하면서 시스템 신뢰성 및 성능을 향상.
- 선제적 현대화 계획을 통해 제품 노후화가 CBM 시스템에 미치는 영향을 최소화.
- 선별된 필수 제품에 대해 신뢰할 수 있는 기술 업데이트 계획 일정 수립
- 기술 업데이트 계획 수립을 지원하기 위해 접근이 용이한 정보(예: 경험에서 얻은 교훈)를 활용한 지식 데이터베이스 구축 및 유지.

(3) 비용이 많이 드는 변경이나 여러 버전의 소프트웨어 및 하드웨어에 의한 구성요소 관리 증가와 같은 기술 업데이트의 부정적인 측면도 고려한다.

5.3.6 운영자 인터페이스 재확인

(1) 인터페이스 재확인은 플랫폼에서부터 의사결정 지원 시스템에 이르기까지 CBM 프로세스의 모든 수준에서 이루어져야 한다.

(2) 운영자가 CBM 기술과 운영정보를 정확하게 이해하고 최대한 이용할 수 있는 능력이 부족하지 않도록 적절한 훈련을 실시한다.

(3) 운용자와 관리자에게 신뢰할 수 있고 시기적절하며, 쉽게 이해할 수 있고, 의사결정과 관련되는 정보가 제공되도록 지속적으로 확인한다.

5.3.7 주기적인 CBM 사업계획서 업데이트

(1) 시스템이나 장비의 수명주기가 진행됨에 따라 사업계획서를 재검토하여 CBM 운용을 검증하는 지표가 계속 적용 가능한지 확인한다.
(2) 최초 계획된 성능이 달성되고 있는지, 예상된 투자수익이 발생했는지를 판단한다.
(3) 효익분석을 재평가하여 장기적인 CBM 전략을 세부적으로 조정하고 예산을 수정한다.

5.3.8 지속적인 자원 전략 및 통합 예산 업데이트

(1) 수명주기에 걸친 자금지원 전략을 지속적으로 검토하고 업데이트한다.
(2) 이해당사자와 고객들의 변화에 따라 총괄 관리자의 지속적인 지원을 확보하기 위해 CBM 전략을 홍보한다.
(3) 운영기관이 설정한 유지보수 수준을 유지하기 위해 재무 프로그램 주기에 걸쳐 유지보수 프로그램과 예산을 업데이트한다.

5.3.9 유지보수 전략 최적화

(1) 배치 초기부터 경험에서 얻은 교훈을 기록하고 CBM 방법과 기술 보완 등을 업데이트한다.
(2) 현재의 프로세스를 지속적으로 개선하고, 완전히 숙달된 후에는 도전적인 유지보수 목표를 수립한다.
(3) 개선은 혁신과 점진적 변화로 구분된다.
- 혁신은 비교적 짧은 시간에 이루어지고 기존 프로세스에 대한 상당한 개선이 포함되며 큰 투자를 필요로 한다.
- 점진적 변화는 장시간에 걸쳐 이루어지고 모든 직원들의 협조를 통해 지속적 인 노력의 결과로 일어나는 작은 개선들이 모아지는 것이다.

(4) 혁신적 개선과 점진적 개선 기회를 모두 모색하며, 소기의 성과를 달성하기 위해 필요한 경우 계획을 조정하거나 수정한다. 궤도를 벗어나는 원인이 밝혀지면 원래의 궤도로 돌려놓기 위해 계획을 조정한다.
(5) 현재의 전략이 목표 이상의 성과를 올리고 있다면 동일한 기간 동안 좀 더 높은 새로운 목표를 채택한다.
(6) CBM 전략의 모든 변화를 공식적인 유지보수 계획에 철저히 기록한다.

(2) 기존 유지보수체계와 CBM의 연계방안

(가) 기존 유지보수 정보시스템과 CBM모듈의 연계

도시철도차량 운영기관은 기관별로 독자적인 차량운영 및 관리 시스템, 차량 유지보수 시스템, 신뢰성 분석 정보시스템을 보유하고 있으며, 이들 개별 시스템과 CBM모듈을 연계하는 것이 필요하다. 유지보수정보시스템에 있어서 서울도시철도공사는 SMRT-Uffice, 서울메트로는 RIMS, Korail은 Kovis, 공항철도는 차량검수정보시스템, 대구메트로는 DRIMS 등을 보유하고 있다. 신뢰성 분석시스템에 있어서 서울도시철도공사는 신뢰성관리시스템, 서울메트로는 차량분석시스템, Korail은 KTX-RCM 등을 보유하고 있다.

CBM모듈은 이들 정보시스템으로부터 운영정보, 부품의 생산/품질/상태정보, 고장 유지보수 정보, 고장원인 등에 대한 정보를 받아서 최적의 유지보수 의사결정과 유지보수자원을 결정하여 유지보수order와 상세 신뢰성 분석order를 기존 시스템에 제공한다. 입출력 데이터는 표준 형식을 가지고 있으며, 모든 기존 시스템은 이 표준형식에 맞추어 데이터를 제공하고 받아들인다. 그림 3.1.1은 CBM모듈과 기존 유지보수시스템과의 데이터 연계를 설명하고 있고, 그림 3.1.2는 기존시스템의 입력정보의 표준양식의 예를 제시한 것이다.

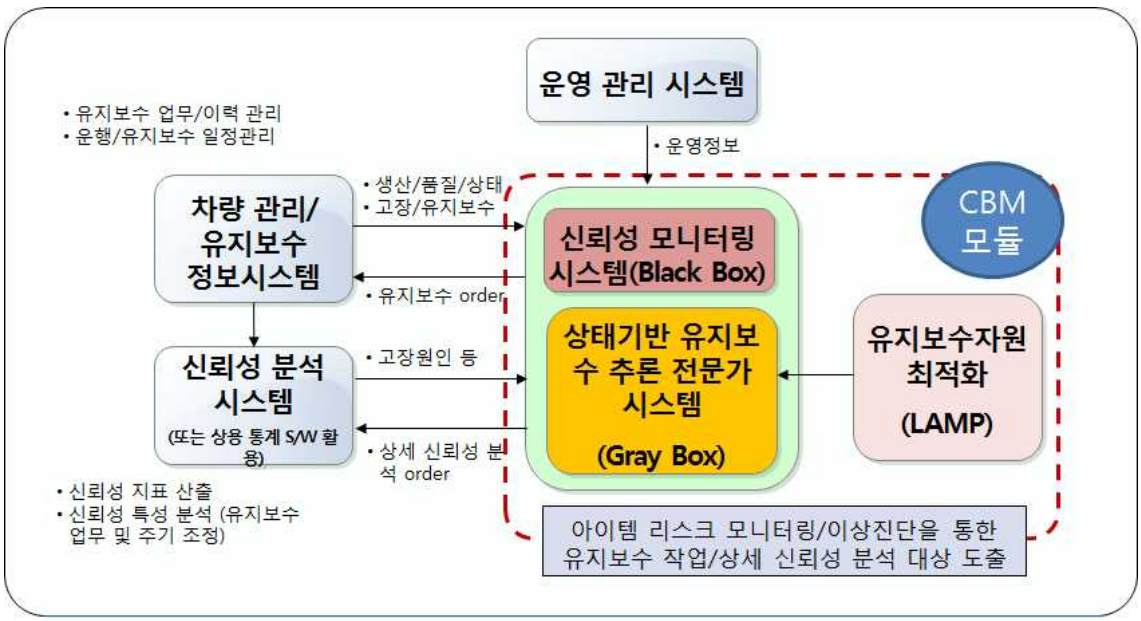


그림3.1.1 기존 차량 운영/유지보수 시스템과 CBM 모듈의 연계도



그림 3.1.2 입력정보 표준양식(예)

(나) 서울도시철도공사 정보화시스템과의 연계(예시)

서울도시철도공사의 전동차 유지보수 관리 시스템과 상태기반 유지보수 시스템 적용시 전체적인 연계모듈은 다음과 같다.

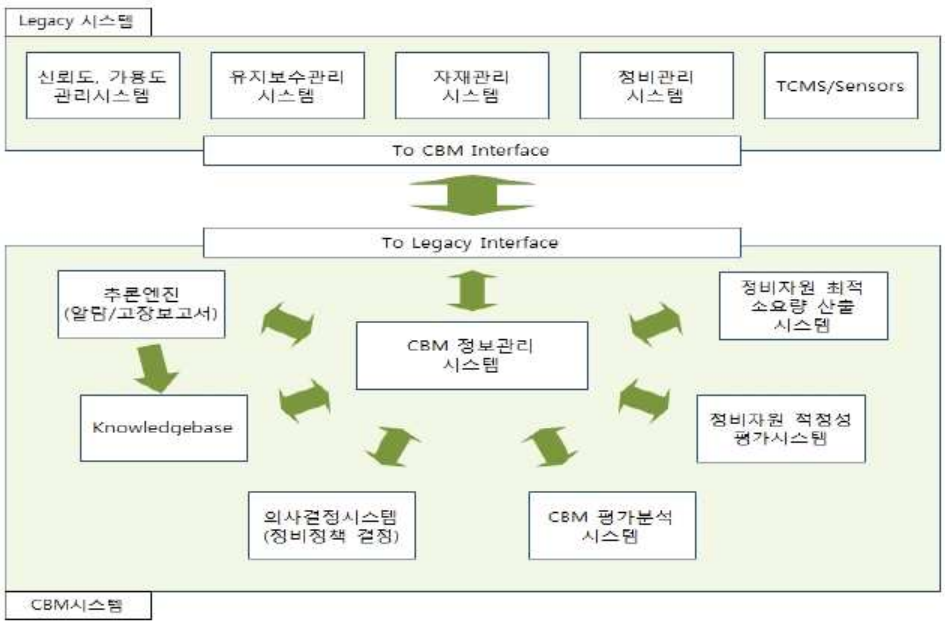


그림 3.1.3 서울도철 기존 유지보수 시스템과 CBM 시스템 연계

표 3.1.1 대상시스템별 세부항목

대상 시스템	대상정보	세부항목
의사결정	정비정책	차종, 부품, 기지, 호선, 편성, BOM코드, 일련번호
	알 람	차량번호, 일련번호, 장치코드, 기준값, 부품코드, TCMS 코드 등
유지보수관리	정비 이력	고장일시, 기지, 차종, BOM, 고장조치, 누적운행거리, 소요인원, 조치유형, 수리소요시간, TCMS 코드, 일련번호, 부품위수 등
정비자원 최적소요량 산출	최적정비자원	최적 정비기지, 최적 정비인력, 최적 정비수리 부품, 최적 기계장비
정비자원 적정성 평가	평 가	서비스 가용도, 비용, 유지보수 적정 여부
CBM 평가 분석	평 가	서비스 가용도, 효과도, 평가결과 적정 여부
진단	측 정	TCMS 코드, 편성, 차량번호, 위수, 부품, 고장일시 등
작업관리	검 사	검사일자, 검사종류, 작업조, 검사표, 검사표 종류
통계품질관리	측 정	측정일자, 편성, 차량번호, 부품명, 일련번호, 측정값, 기준값, 판정 결과 등
	자 재	물품번호, 부품명, 규격, 재고단위, 수불처리, 내구년한, ABC 등급, 자산구분, 사용용도, 위수 기준, 계약방법 등
	운 행	차종, 편성, 기지, 계획운행시간, 실제운행시간 등

(다) 예비품 소요량산출시스템과의 연계

철도 운영사는 대부분 계획점검 및 고장정비에 대한 정보를 관리하는 유지보수시스템(검수정보시스템)과 운용, 고장이력을 기반으로 구성품의 신뢰성을 분석/관리하는 신뢰성분석시스템을 운용 중에 있다. 이러한 철도 운영사의 상황을 고려하여 시스템 설계가 필요하다. 기본적인 차량의 BOM, 운행실적, 정비자원, 부품소모실적, 계획점검 주기 및 내용, 재고정책 등의 자료는 기 운용중인 유지보수시스템과

신뢰성분석시스템으로부터 자료를 연계 받도록 설계하고 확보된 자료를 기반으로 정비자원별 적정 소요를 산출하도록 한다. 따라서 필요한 분석을 위한 자료 식별이 선행되어야하고 식별된 자료에 대한 연계 가능성에 대한 확인이 필요하다.

도시철도차량 운영기관으로부터 연계된 자료와 고장 감지 임계치(FDT: Failure Detection Threshold)를 기반으로 「예비품 등 유지보수자원에 대한 소요량 산출 시스템」은 예비품 소요량 산출, 인력, 시설/지원장비 소요 산출, 산출된 소요량에 대한 적정성 평가와 CBM 적용 효과도 분석을 수행한다. 분석의 목적에 따라 필요한 자료는 표 3.1.2와 같다.

표 3.1.2 분석 목적별 입력 자료

분석 기법	입력 자료
예비품 소요량 산출	운영기본정보, 차량BOM, 부품소모실적
인력, 시설/지원장비 소요량 산출	운영기본정보, 차량BOM별 정비정보, 주기교환/점검, 정비/보급기지, 정비자원, 재고수준
유지보수자원 적정성 평가	운영기본정보, 차량BOM별 정비정보, 주기교환/점검, 정비/보급기지, 정비자원, 정비자원 소요량 산출 결과,
CBM 효과도 평가	운영기본정보, 차량BOM별 정비정보, 주기교환/점검, 정비/보급기지, 정비자원, 재고수준, FDT

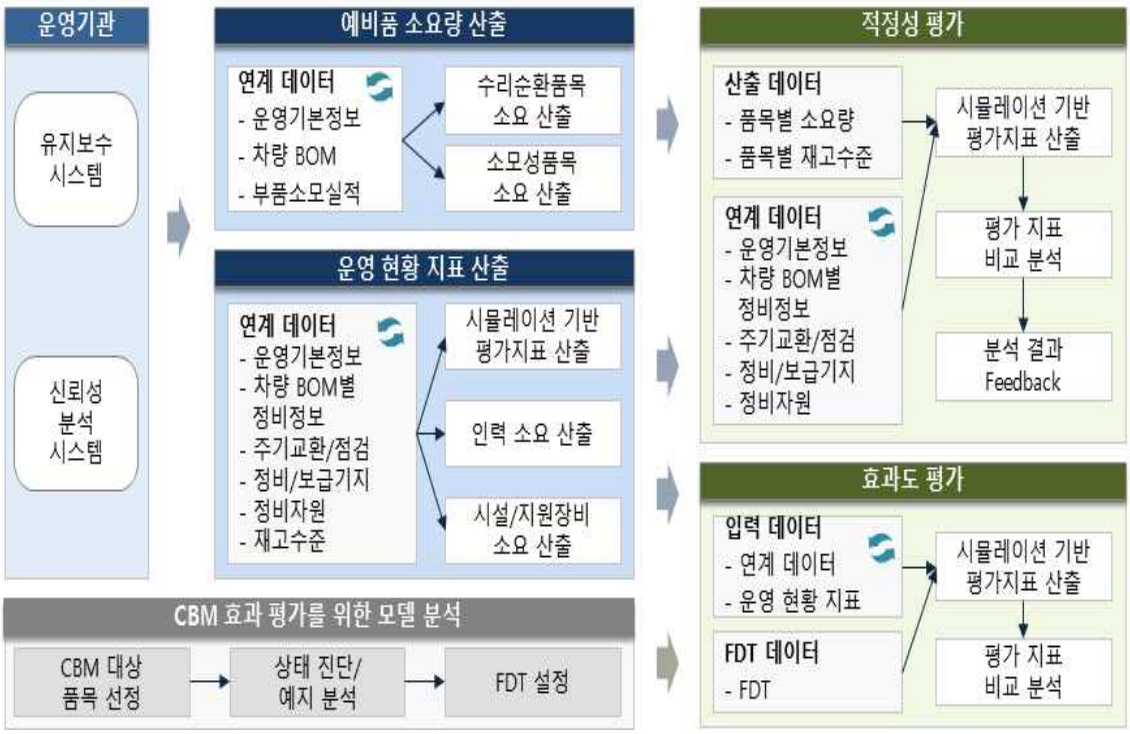


그림 3.1.4 소요량산출 시스템 연계



그림 3.1.5 연계 자료 정의

분석 목적별 필요 자료는 자료 항목을 기준으로 그룹핑하여 운영사로부터 자료 확보를 위한 인터페이스 표준을 설계한다.

운용자료 연계 업무는 기존 운용사에서 운용하고 있는 철도차량 관리 시스템을 통해 철도 운용정보를, 철도 신뢰성 분석 시스템을 통해 RAM 정보를, 철도 재고 관리 시스템을 통해 기존 재고정보를 연계하여 소요량 산출 시스템의 입력정보로 활용하고 CBM 분석 대상으로 선정된 품목에 대해서는 CBM 시스템을 통해 분석 결과를 제공받아 효과도 분석을 위한 입력 자료로 활용한다.

소요량 산출 시스템은 실시간 운용되지 않고 년 1회~ 2회 정도 분석이 필요한 시점에 활용되는 시스템임을 고려하여 실시간 ON-LINE 연계체계가 아닌 BATCH 성 OFF-LINE 연계체계 개념으로 설계한다.

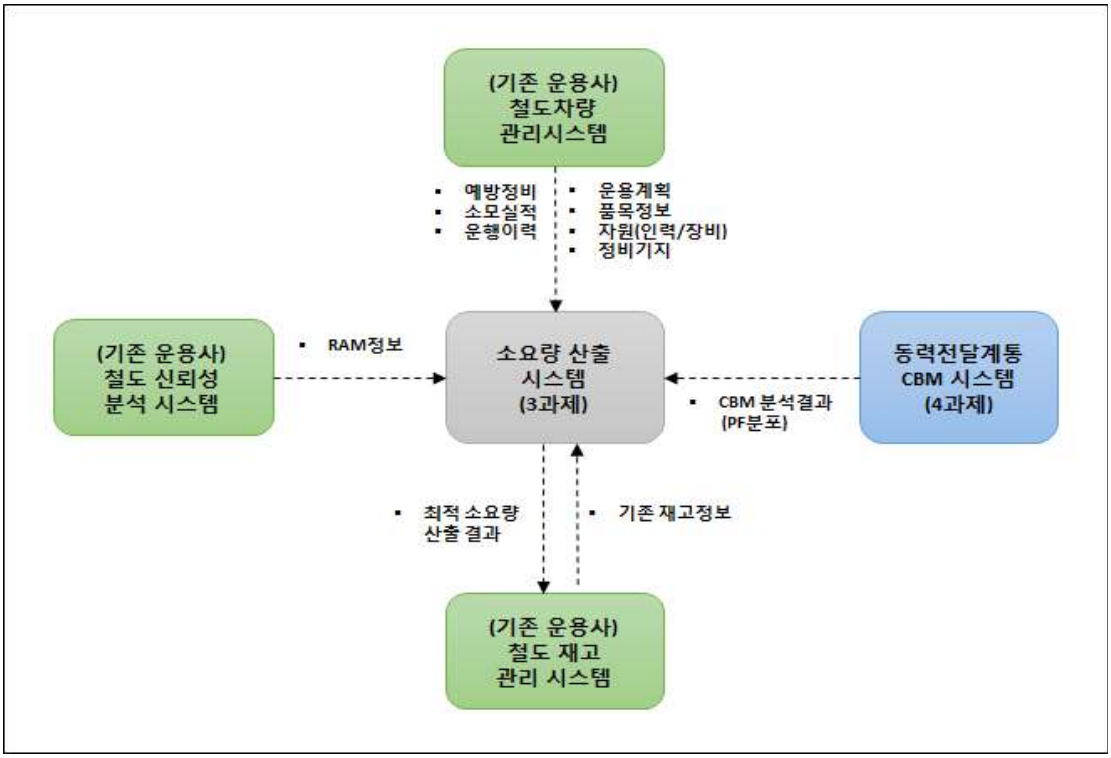


그림 3.1.6 연계도

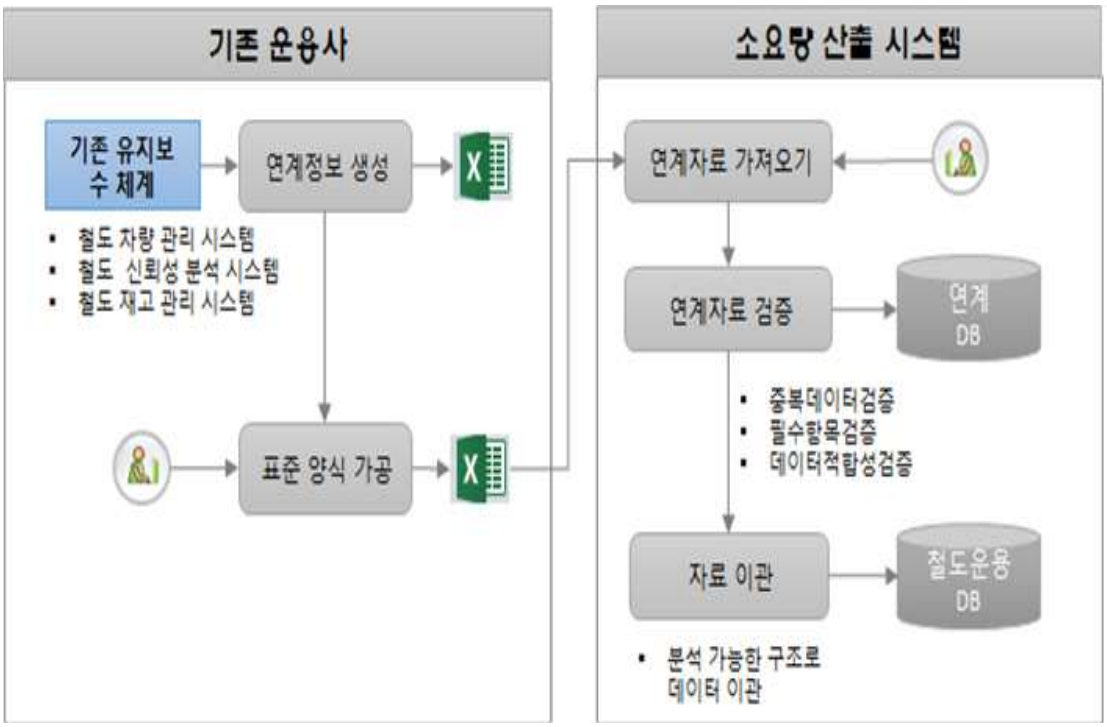


그림 3.1.7 연계절차

표 3.1.3 운용자료 연계 업무

업무 명		업무 설명
기존 운용사	연계정보 생성	기존 유지보수 체계에서 운용중인 「철도 차량 관리 시스템」,「철도 신뢰성 분석 시스템」,「철도 재고 관리 시스템」을 통해 연계자료를 생성한다.
	표준 양식 가공	정의 표준 양식을 이용해 연계자료를 가공한다.
소요량 산출 시스템	연계자료 가져오기	분석가는 표준 양식에 정의된 연계자료를 시스템의 가져오기 기능을 통해 연계 DB에 수집한다.
	연계자료 검증	수집된 연계 자료에 대해서 데이터 검증을 수행 후 오류정보를 보완한다.
	자료이관	연계자료를 분석이 가능한 구조화된 DB 로 이관한다.

표 3.1.4 연계 데이터 목록

부문	엔티티 명	관리 항목
기존 운용사 연계 업무	철도 운용 계획	시스템명, 편성수량, 첫차출발시간, 막차출발시간, 시간간격, 평균 운행시간/거리, 시스템별 정비수준
	품목 정보	품목번호, 품목명, 소모품여부, 주기성여부, 구성수량, 품목유형, 단가, 재고유지비용, 폐기비용, 조달시간, MTBF, 교환비율, 수리가능비율, 정비유형, 정비유형별 정비수준/시간/소요인력/소요장비, 외주 수리정보
	주기교환 정보	품목별 교환주기, 교환주기단위
	예방정비 정보	예방정비명, 정비주기, 정비단위
	품목 소모실적	품목별 정비수준, 편성번호, 차량번호, 작업일자, 점검종류, 소모수량, 소모단위
	자원정보	인력-인건비, 장비-초기도입비용, 장비-운용유지비용
	정비기지정보	정비수준, 초기투자비용, 운용유지비용, 인력명/보유수량, 장비명/보유수량

부문	엔티티 명	관리 항목
	품목재고수준	품목별 최대재고수량, 재주문점
	운행이력	편성번호, 차량번호, 운행일자, 운행거리, 운행시간
	연계 이력	연계일자, 연계담당자, 연계대상, 연계결과, 철도 운용 업무 이관정보
철도 운용 업무	철도 운용정보	첫차출발시간, 막차출발시간 시간간격, 평균 운행시간, 평균 운행거리
	철도 환경정보	정비행정 지연시간, 보급행정 지연시간
	철도 시스템 정보	시스템명, 편성수량, 단가
	품목 정보	품목번호, 품목명, 품목유형, 단가, 구성수량, MTBF, 주기성여부, 소모성여부, 교환비율, 수리가능 비율, 고장분포, 고장분포모수1-2, 조달시간분포, 조달시간분포모수 1-2, 재고유지비율, 외주정비시간분포, 외주 정비시간분포모수 1-2, 외주정비비율, 폐기비용
	품목 정비	품목번호, 정비유형, 정비수준, 정비시간분포, 정비시간분포모수 1-2
	자원 정보	자원ID, 자원유형, 자원명, 인건비, 초기도입비용, 운용유지비용
	정비 소요자원	정비유형, 자원ID, 소요수량
	정비 기지정보	정비기지명, 정비수준, 초기투자비용, 운용유지비용, 역간이동시간 분포, 역간 이동시간 분포모수 1-2, 관련 보급기지ID, 보급기지 이동시간 분포, 보급기지 이동시간 분포 모수 1-2, 보유자원
	예방정비	예방정비명, 예방정비 주기, 예방정비 시간 분포 및 모수, 예장정비 소요자원 ID, 소요자원 수량
	주기교환	품목ID, 교환주기구분, 교한주기, 주기단위
	고장식별 정보	시스템별 고장식별 FTA 다이어그램, 고장구성 구조정보

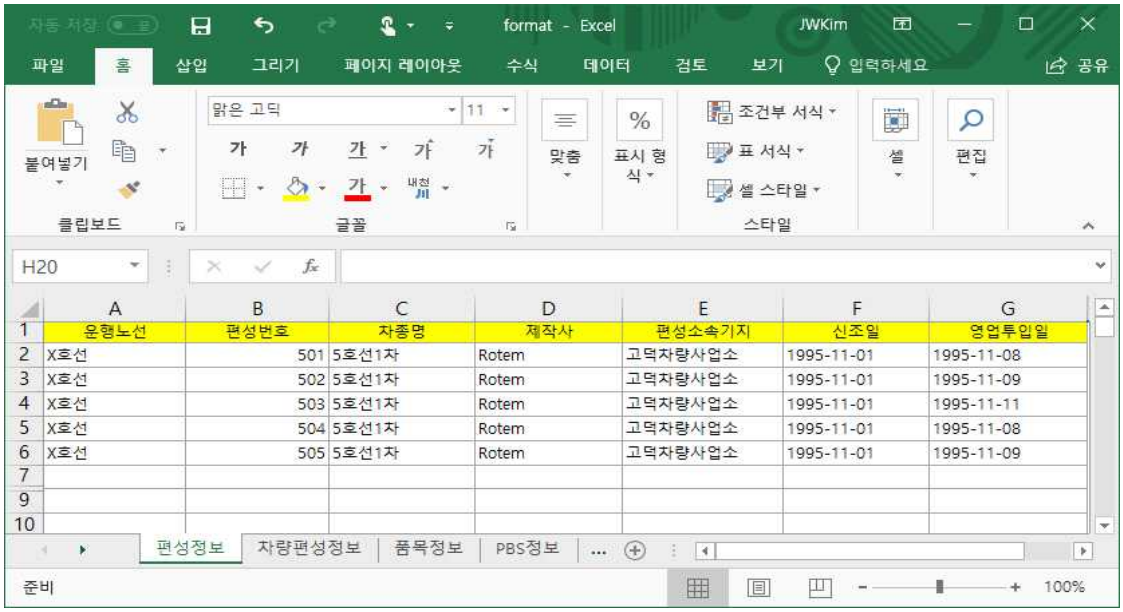
부문	엔티티 명	관리 항목
	운행업무	시스템ID, 편성번호, 차량번호, 운행일자, 운행거리, 운행시간
	소모실적	작업일자, 기지명, 정비수준, 편성번호, 차량번호, 점검종류, 품목번호, 품목명, 소모수량, 소모단위
소요량산출	분석 기준정보	분석명, 분석대상 실적기간, 분석 수량 최소-최대값, 목표 가용도 최소-최대값, 목표 비용 최소-최대값, 최적화 탐색횟수 및 개체수
	분석 결과 정보	분석 ID, 분석명, 분석 소요시간, 분석 상태, 달성 운용 가용도, 달성 비용
	분석 결과 - 최적 재고량	품목ID, 기지ID, 최적 재고 수량
시뮬레이션 평가	시뮬레이션 기준 정보	시뮬레이션 ID, 운용기간, 반복 수행수, 시드번호, 시뮬레이션 시작시간, 시뮬레이션 종료시간, 시뮬레이션 수행상태
	적정성 평가 정보	평가 ID, 적정성 평가명, 기준 시뮬레이션 정보, 평가 대상 소요량 분석 ID, 평가 요청자, 평가 요청시간, 평가 상태
	효과도 평가 정보	평가 ID, 효과도 평가명, 기준 시뮬레이션정보, 평가요청자, 평가상태, 평가방법
	효과도 평가 대상 CBM 품목 정보	평가 ID, 품목ID, PF분포, FDT
	평가 지표 정보	달성 가용도, 달성 비용, 서비스 준수도, 수리부속 재고량, 정비인력 투입율, 정비장비 가동율, 보급 충족도, 평가결과
	평가결과-정비자원 가동율	자원ID, 정비기지ID, 자원가동율
	평가결과-RAM	품목ID, 총 운용시간, 총 대기시간, 총 정비 이동시간, 총 정비 지연시간, 총 정비시간, 총 고장횟수, MTBF, MTTR
	평가결과-품명평균재고	품목ID, 보급기지ID, 평균 재고량

(3) 입출력 데이터 표준화(안)

① 입력자료 Import/Export 표준 템플릿

■ 빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 표준 템플릿

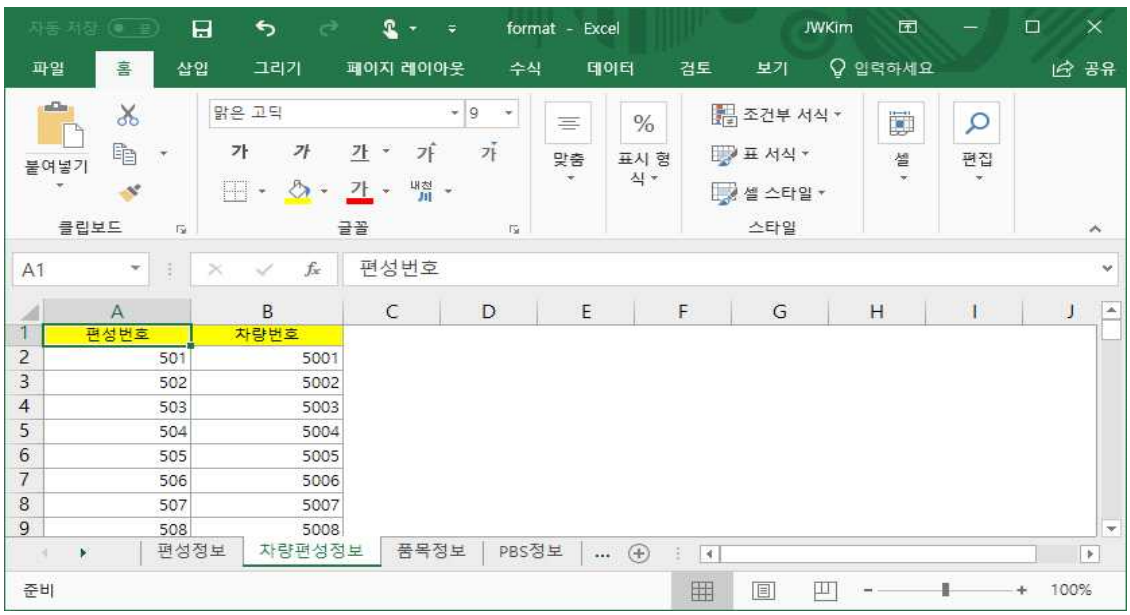
- 편성정보 표준 템플릿



	A	B	C	D	E	F	G
1	운행노선	편성번호	차종명	제작사	편성소속기지	신조일	영업투입일
2	X호선	501	5호선1차	Rotem	고덕차량사업소	1995-11-01	1995-11-08
3	X호선	502	5호선1차	Rotem	고덕차량사업소	1995-11-01	1995-11-09
4	X호선	503	5호선1차	Rotem	고덕차량사업소	1995-11-01	1995-11-11
5	X호선	504	5호선1차	Rotem	고덕차량사업소	1995-11-01	1995-11-08
6	X호선	505	5호선1차	Rotem	고덕차량사업소	1995-11-01	1995-11-09
7							
9							
10							

그림 3.1.8 편성정보 표준 템플릿

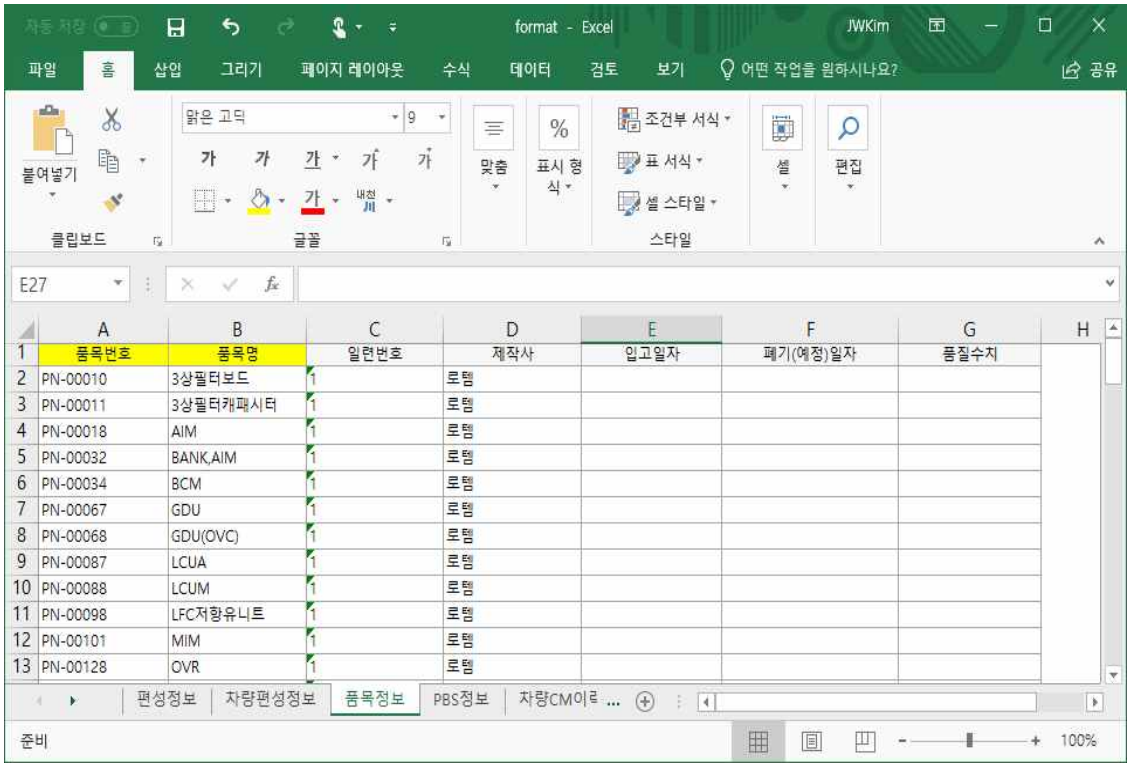
- 차량편성정보 표준 템플릿



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	편성번호	차량번호								
2	501	5001								
3	502	5002								
4	503	5003								
5	504	5004								
6	505	5005								
7	506	5006								
8	507	5007								
9	508	5008								

그림 3.1.9 차량편성정보 표준 템플릿

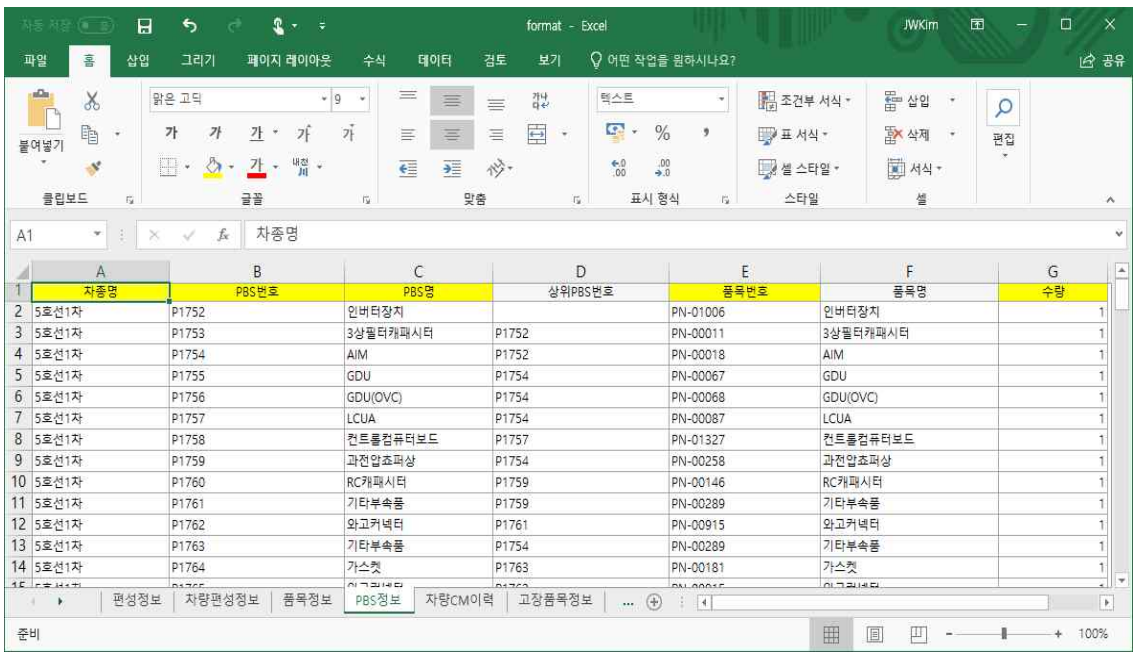
- 품목정보 표준 템플릿



품목번호	품목명	일련번호	제작사	입고일자	폐기(예정)일자	품질수치
PN-00010	3상필터보드	1	로템			
PN-00011	3상필터캐패시터	1	로템			
PN-00018	AIM	1	로템			
PN-00032	BANK,AIM	1	로템			
PN-00034	BCM	1	로템			
PN-00067	GDU	1	로템			
PN-00068	GDU(OVC)	1	로템			
PN-00087	LCUA	1	로템			
PN-00088	LCUM	1	로템			
PN-00098	LFC저항유니트	1	로템			
PN-00101	MIM	1	로템			
PN-00128	OVR	1	로템			

그림 3.1.10 품목정보 표준 템플릿

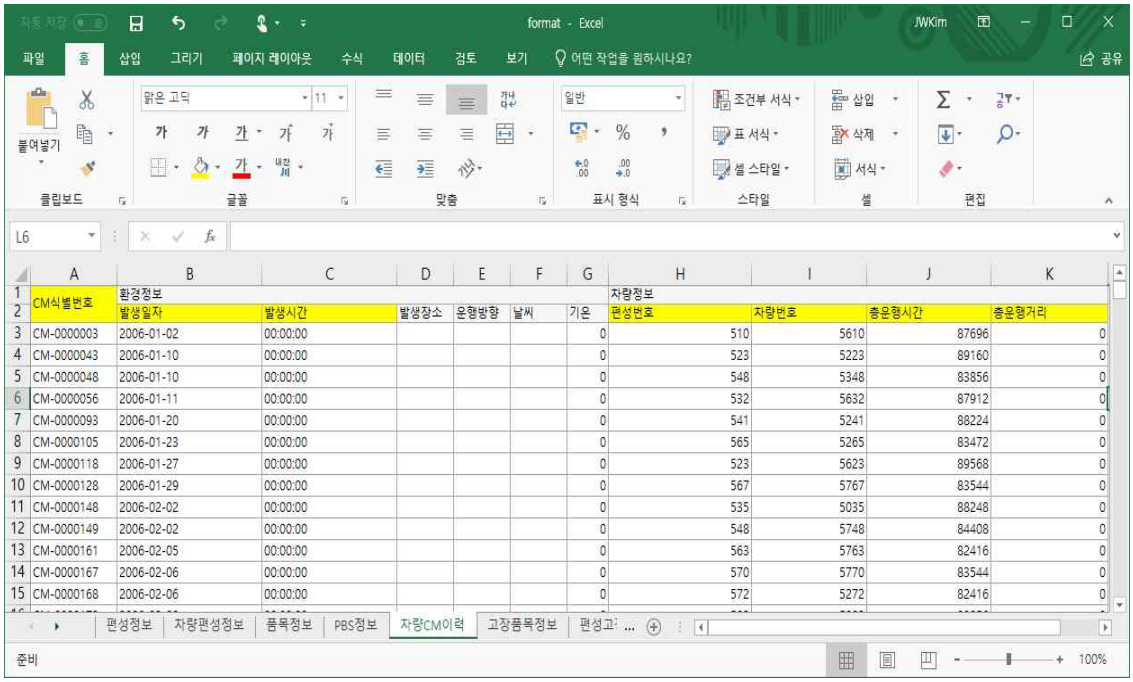
- PBS 정보 표준 템플릿



차종명	PBS번호	PBS명	상위PBS번호	품목번호	품목명	수량
5호선1차	P1752	인버터장치		PN-01006	인버터장치	1
5호선1차	P1753	3상필터캐패시터	P1752	PN-00011	3상필터캐패시터	1
5호선1차	P1754	AIM	P1752	PN-00018	AIM	1
5호선1차	P1755	GDU	P1754	PN-00067	GDU	1
5호선1차	P1756	GDU(OVC)	P1754	PN-00068	GDU(OVC)	1
5호선1차	P1757	LCUA	P1754	PN-00087	LCUA	1
5호선1차	P1758	컨트롤컴퓨터보드	P1757	PN-01327	컨트롤컴퓨터보드	1
5호선1차	P1759	과전압초퍼상	P1754	PN-00258	과전압초퍼상	1
5호선1차	P1760	RC캐패시터	P1759	PN-00146	RC캐패시터	1
5호선1차	P1761	기타부속품	P1759	PN-00289	기타부속품	1
5호선1차	P1762	와고커넥터	P1761	PN-00915	와고커넥터	1
5호선1차	P1763	기타부속품	P1754	PN-00289	기타부속품	1
5호선1차	P1764	가스켓	P1763	PN-00181	가스켓	1

그림 3.1.11 PBS 정보 표준 템플릿

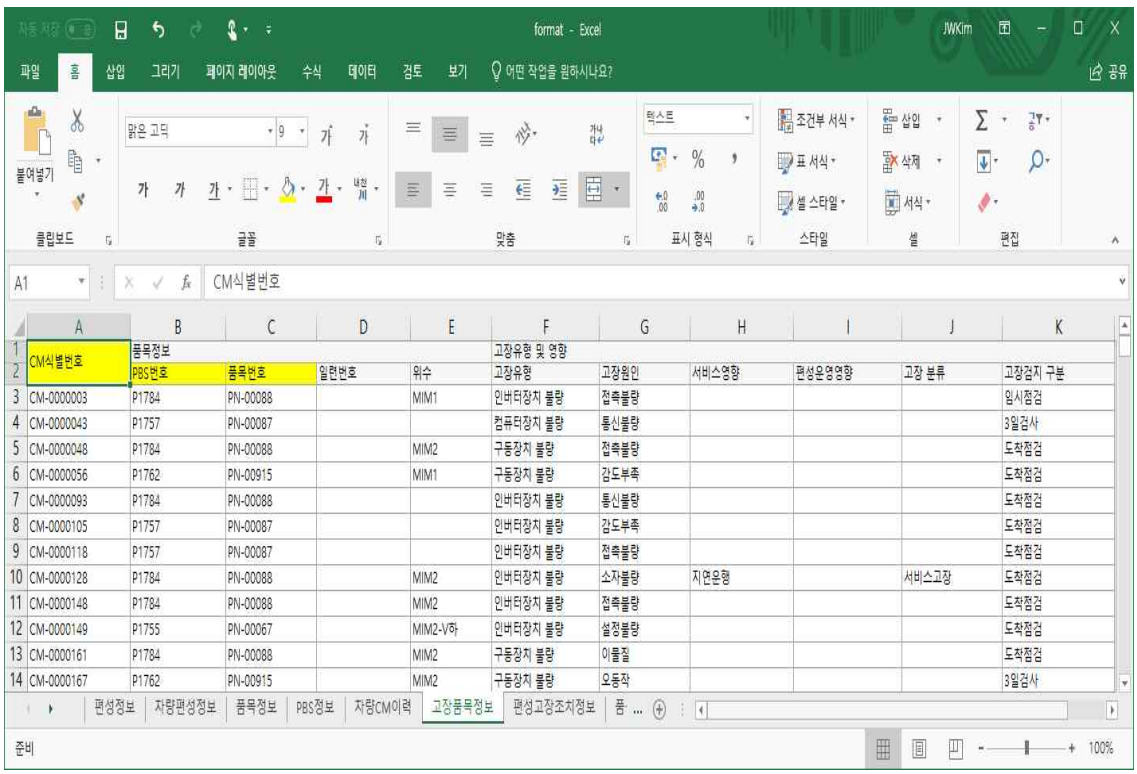
- 차량 CM 이력 표준 템플릿



CM식별번호	환경정보						차량정보			
	발생일자	발생시간	발생장소	운행방향	날씨	기온	편성번호	차량번호	총운행시간	총운행거리
CM-0000003	2006-01-02	00:00:00				0	510	5610	87696	0
CM-0000043	2006-01-10	00:00:00				0	523	5223	89160	0
CM-0000048	2006-01-10	00:00:00				0	548	5348	83856	0
CM-0000056	2006-01-11	00:00:00				0	532	5632	87912	0
CM-0000093	2006-01-20	00:00:00				0	541	5241	88224	0
CM-0000105	2006-01-23	00:00:00				0	565	5265	83472	0
CM-0000118	2006-01-27	00:00:00				0	523	5623	89568	0
CM-0000128	2006-01-29	00:00:00				0	567	5767	83544	0
CM-0000148	2006-02-02	00:00:00				0	535	5035	88248	0
CM-0000149	2006-02-02	00:00:00				0	548	5748	84408	0
CM-0000161	2006-02-05	00:00:00				0	563	5763	82416	0
CM-0000167	2006-02-06	00:00:00				0	570	5770	83544	0
CM-0000168	2006-02-06	00:00:00				0	572	5272	82416	0

그림 3.1.12 차량 CM 이력 표준 템플릿

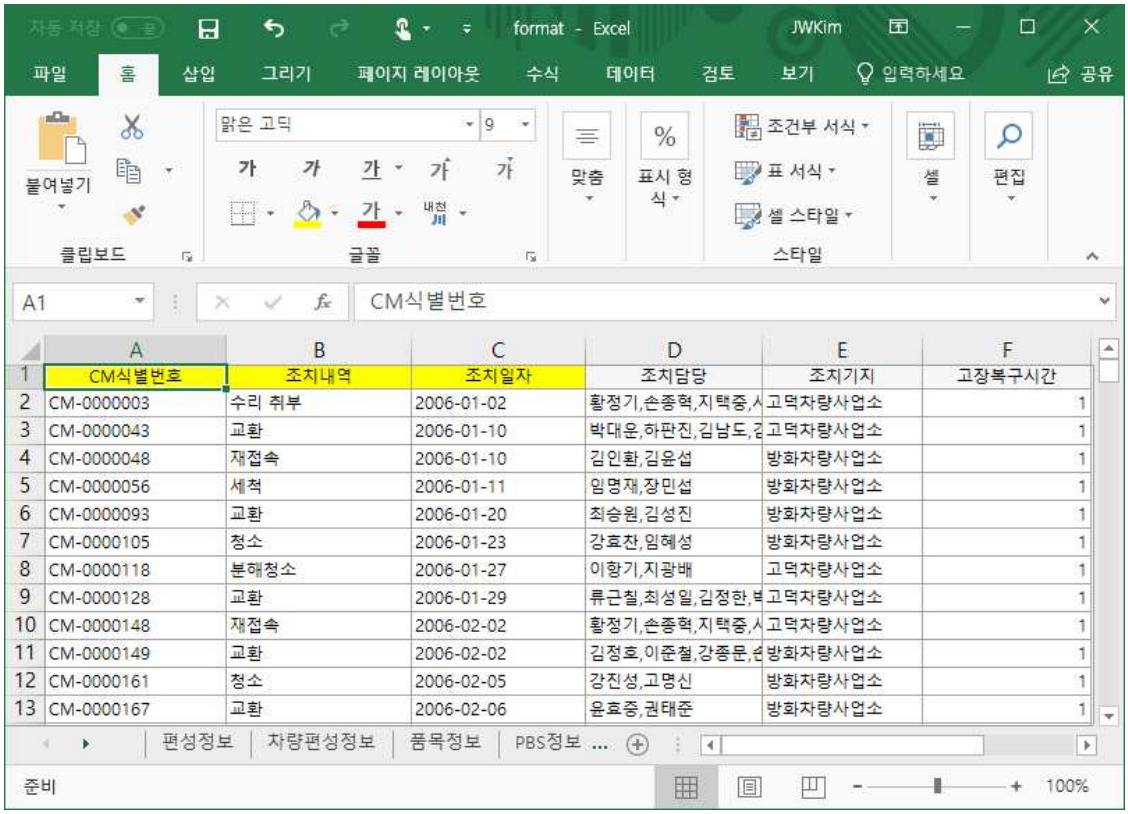
- 고장품목정보 표준 템플릿



CM식별번호	품목정보				고장유형 및 영향					
	PBS번호	품목번호	일련번호	위수	고장유형	고장원인	서비스영향	편성운영영향	고장 분류	고장검지 구분
CM-0000003	P1784	PN-00088		MIM1	인버터장치 불량	접촉불량				임시점검
CM-0000043	P1757	PN-00087			컴퓨터장치 불량	통신불량				3일검사
CM-0000048	P1784	PN-00088		MIM2	구동장치 불량	접촉불량				도착점검
CM-0000056	P1762	PN-00915		MIM1	구동장치 불량	감도부족				도착점검
CM-0000093	P1784	PN-00088			인버터장치 불량	통신불량				도착점검
CM-0000105	P1757	PN-00087			인버터장치 불량	감도부족				도착점검
CM-0000118	P1757	PN-00087			인버터장치 불량	접촉불량				도착점검
CM-0000128	P1784	PN-00088		MIM2	인버터장치 불량	소자불량	지연운행		서비스고장	도착점검
CM-0000148	P1784	PN-00088		MIM2	인버터장치 불량	접촉불량				도착점검
CM-0000149	P1755	PN-00067		MIM2-V하	인버터장치 불량	설정불량				도착점검
CM-0000161	P1784	PN-00088		MIM2	구동장치 불량	이물질				도착점검
CM-0000167	P1762	PN-00915		MIM2	구동장치 불량	오동작				3일검사

그림 3.1.13 고장품목정보 표준 템플릿

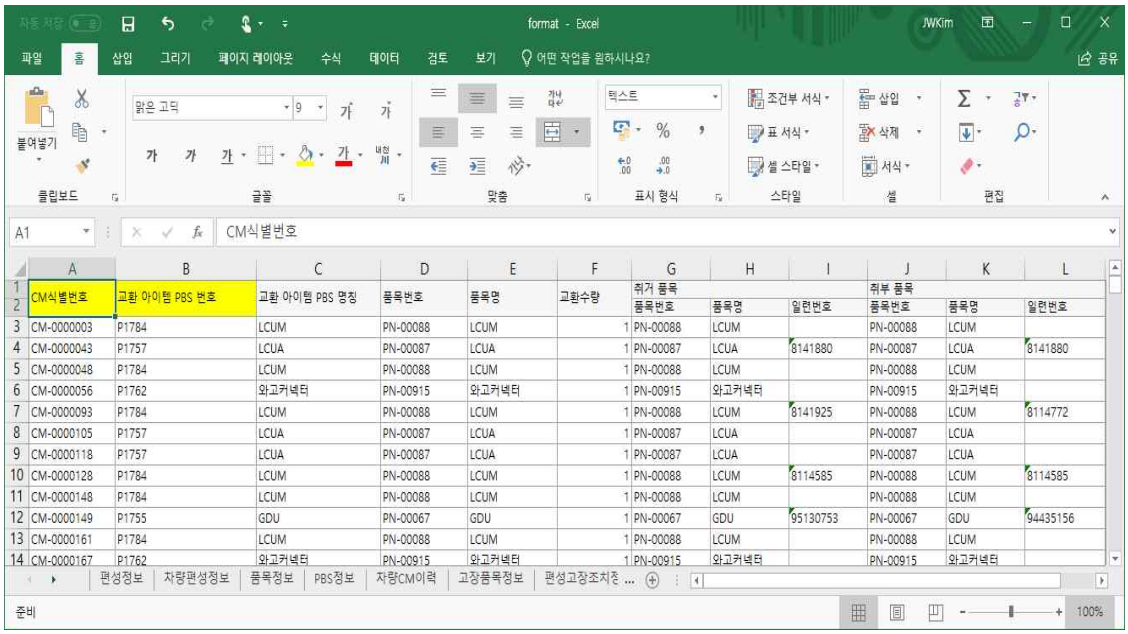
- 편성고장조치정보 표준 템플릿



	A	B	C	D	E	F
1	CM식별번호	조치내역	조치일자	조치담당	조치기지	고장복구시간
2	CM-0000003	수리 취부	2006-01-02	황정기,손종혁,지택중,서	고덕차량사업소	1
3	CM-0000043	교환	2006-01-10	박대운,하판진,김남도,김	고덕차량사업소	1
4	CM-0000048	재접속	2006-01-10	김인환,김윤섭	방화차량사업소	1
5	CM-0000056	세척	2006-01-11	임명재,장민섭	방화차량사업소	1
6	CM-0000093	교환	2006-01-20	최승원,김성진	방화차량사업소	1
7	CM-0000105	청소	2006-01-23	강호찬,임혜성	방화차량사업소	1
8	CM-0000118	분해청소	2006-01-27	이항기,지광배	고덕차량사업소	1
9	CM-0000128	교환	2006-01-29	류근칠,최성일,김정한,변	고덕차량사업소	1
10	CM-0000148	재접속	2006-02-02	황정기,손종혁,지택중,서	고덕차량사업소	1
11	CM-0000149	교환	2006-02-02	김정호,이준철,강종문,손	방화차량사업소	1
12	CM-0000161	청소	2006-02-05	강진성,고명신	방화차량사업소	1
13	CM-0000167	교환	2006-02-06	윤효중,권태준	방화차량사업소	1

그림 3.1.14 편성고장조치정보 표준 템플릿

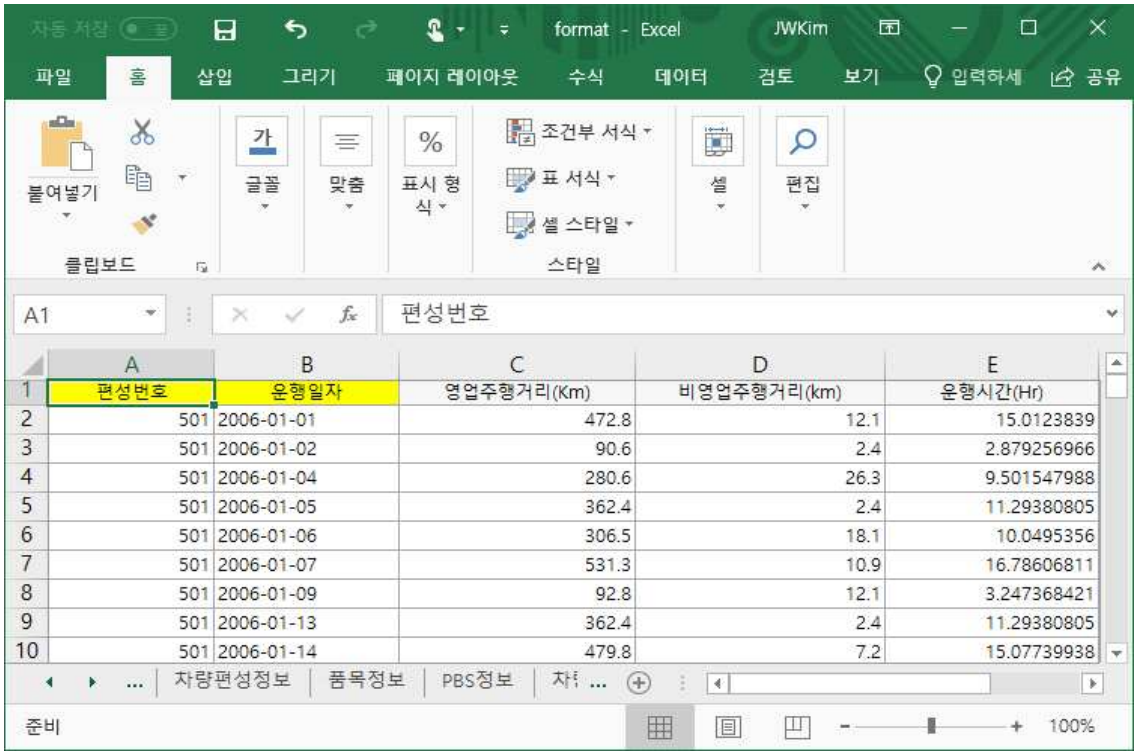
- 품목교환정보 표준 템플릿



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1							취거 품목			취부 품목		
2	CM식별번호	교환 아이템 PBS 번호	교환 아이템 PBS 명칭	품목번호	품목명	교환수량	품목번호	품목명	일련번호	품목번호	품목명	일련번호
3	CM-0000003	P1784	LCUM	PN-00088	LCUM	1	PN-00088	LCUM		PN-00088	LCUM	
4	CM-0000043	P1757	LCUA	PN-00087	LCUA	1	PN-00087	LCUA	8141880	PN-00087	LCUA	8141880
5	CM-0000048	P1784	LCUM	PN-00088	LCUM	1	PN-00088	LCUM		PN-00088	LCUM	
6	CM-0000056	P1762	와고커넥터	PN-00915	와고커넥터	1	PN-00915	와고커넥터		PN-00915	와고커넥터	
7	CM-0000093	P1784	LCUM	PN-00088	LCUM	1	PN-00088	LCUM	8141925	PN-00088	LCUM	8114772
8	CM-0000105	P1757	LCUA	PN-00087	LCUA	1	PN-00087	LCUA		PN-00087	LCUA	
9	CM-0000118	P1757	LCUA	PN-00087	LCUA	1	PN-00087	LCUA		PN-00087	LCUA	
10	CM-0000128	P1784	LCUM	PN-00088	LCUM	1	PN-00088	LCUM	8114585	PN-00088	LCUM	8114585
11	CM-0000148	P1784	LCUM	PN-00088	LCUM	1	PN-00088	LCUM		PN-00088	LCUM	
12	CM-0000149	P1755	GDU	PN-00067	GDU	1	PN-00067	GDU	95130753	PN-00067	GDU	94435156
13	CM-0000161	P1784	LCUM	PN-00088	LCUM	1	PN-00088	LCUM		PN-00088	LCUM	
14	CM-0000167	P1762	와고커넥터	PN-00915	와고커넥터	1	PN-00915	와고커넥터		PN-00915	와고커넥터	

그림 3.1.15 품목교환정보 표준 템플릿

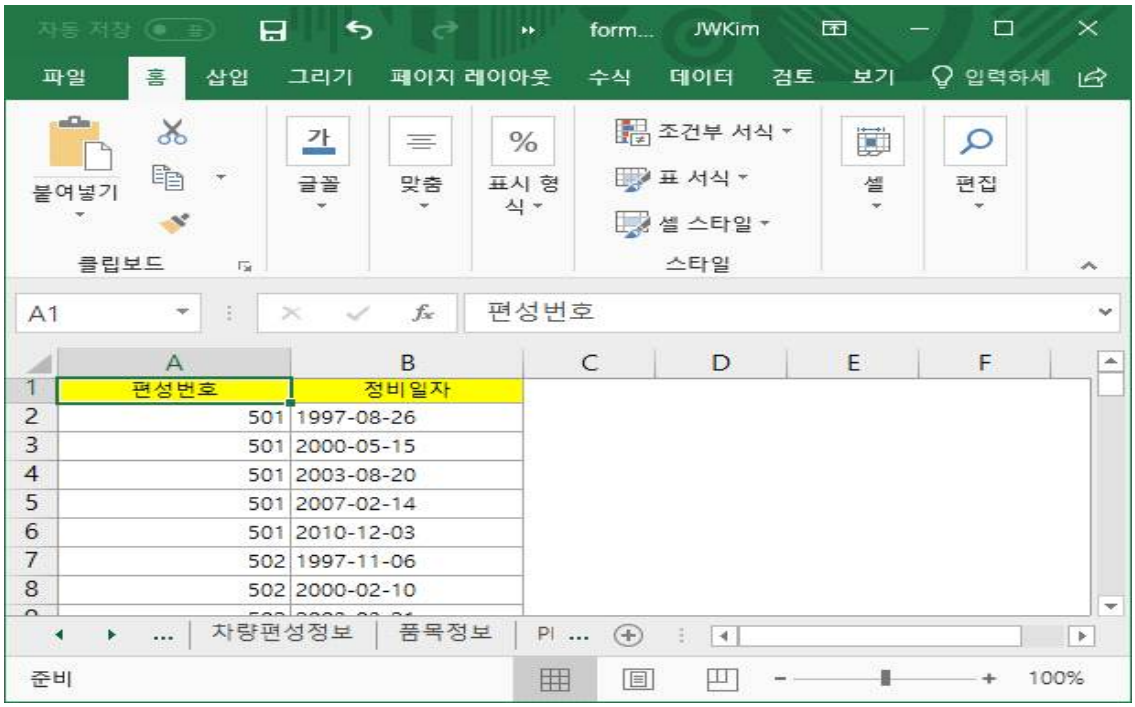
- 운행이력정보 표준 템플릿



	A	B	C	D	E
1	편성번호	운행일자	영업주행거리(Km)	비영업주행거리(km)	운행시간(Hr)
2	501	2006-01-01	472.8	12.1	15.0123839
3	501	2006-01-02	90.6	2.4	2.879256966
4	501	2006-01-04	280.6	26.3	9.501547988
5	501	2006-01-05	362.4	2.4	11.29380805
6	501	2006-01-06	306.5	18.1	10.0495356
7	501	2006-01-07	531.3	10.9	16.78606811
8	501	2006-01-09	92.8	12.1	3.247368421
9	501	2006-01-13	362.4	2.4	11.29380805
10	501	2006-01-14	479.8	7.2	15.07739938

그림 3.1.16 운행이력정보 표준 템플릿

- 정비이력 표준 템플릿

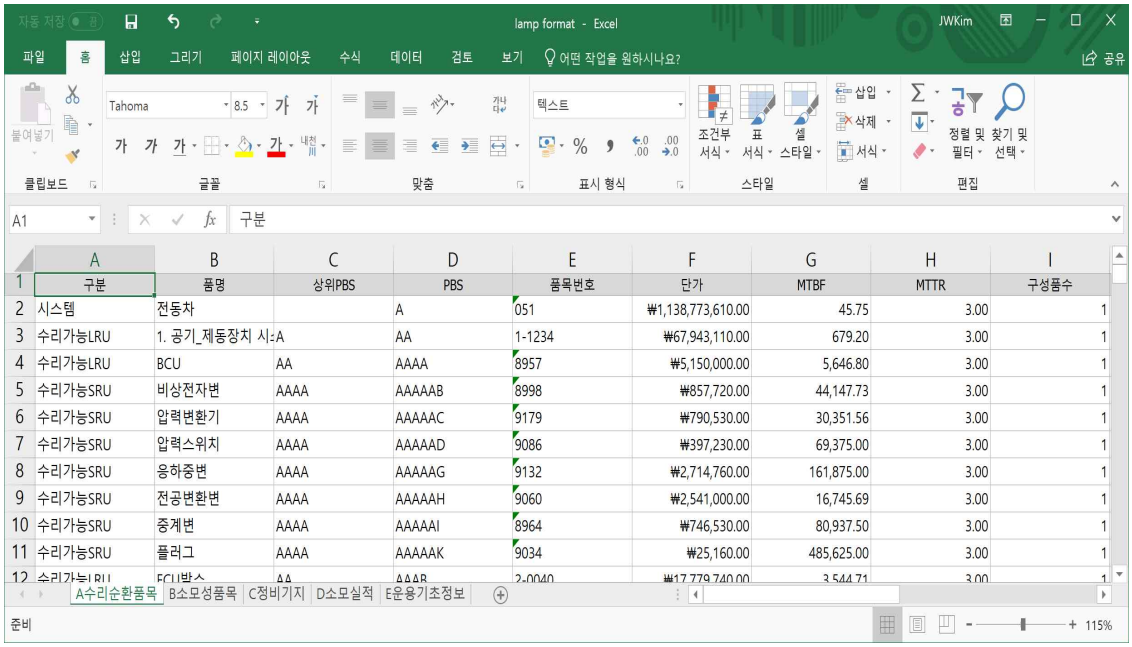


	A	B	C	D	E	F
1	편성번호	정비일자				
2	501	1997-08-26				
3	501	2000-05-15				
4	501	2003-08-20				
5	501	2007-02-14				
6	501	2010-12-03				
7	502	1997-11-06				
8	502	2000-02-10				

그림 3.1.17 정비이력 표준 템플릿

■ 유지보수 자원 소요량 적정성 평가 시스템 표준 템플릿

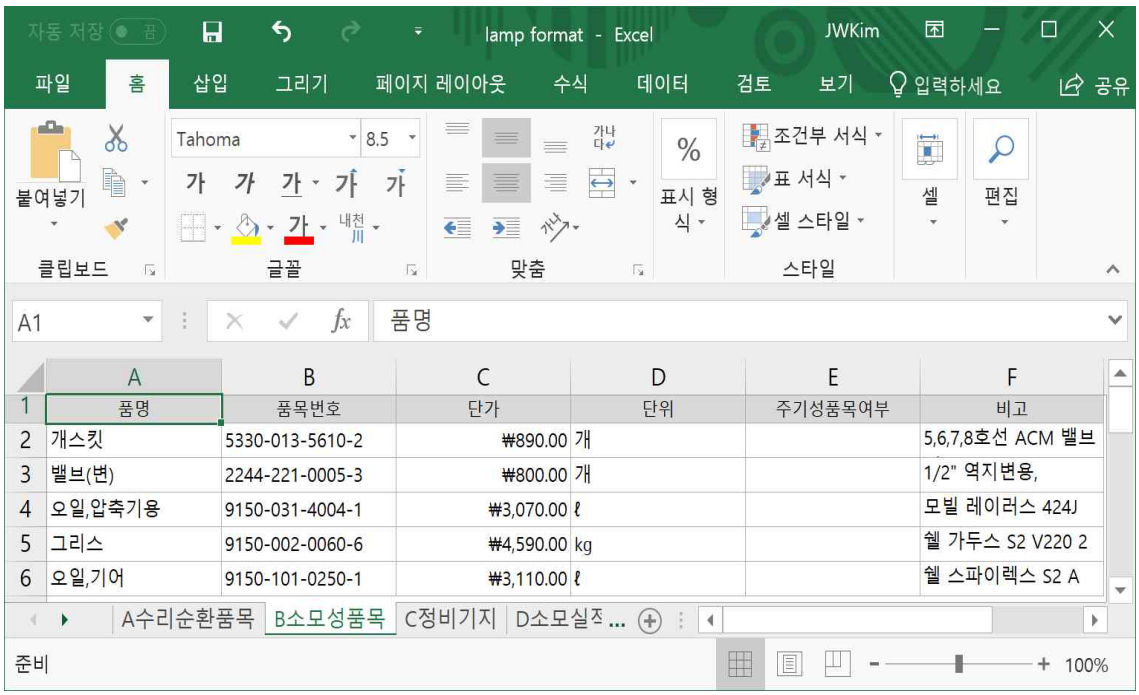
- 수리순환품목 표준 템플릿



구분	품명	상위PBS	PBS	품목번호	단가	MTBF	MTTR	구성품수
시스템	전동차		A	051	₩1,138,773,610.00	45.75	3.00	1
수리가능LRU	1. 공기_제동장치 시스	A	AA	1-1234	₩67,943,110.00	679.20	3.00	1
수리가능LRU	BCU	AA	AAAA	8957	₩5,150,000.00	5,646.80	3.00	1
수리가능SRU	비상전자변	AAAA	AAAAAB	8998	₩857,720.00	44,147.73	3.00	1
수리가능SRU	압력변환기	AAAA	AAAAAC	9179	₩790,530.00	30,351.56	3.00	1
수리가능SRU	압력스위치	AAAA	AAAAAD	9086	₩397,230.00	69,375.00	3.00	1
수리가능SRU	응하중변	AAAA	AAAAAG	9132	₩2,714,760.00	161,875.00	3.00	1
수리가능SRU	전공변환변	AAAA	AAAAAH	9060	₩2,541,000.00	16,745.69	3.00	1
수리가능SRU	중계변	AAAA	AAAAAI	8964	₩746,530.00	80,937.50	3.00	1
수리가능SRU	플러그	AAAA	AAAAAK	9034	₩25,160.00	485,625.00	3.00	1
수리가능LRU	ECU박스	AA	AAAB	2-0040	₩17,779,740.00	3,544.71	3.00	1

그림 3.1.18 수리순환품목 표준 템플릿

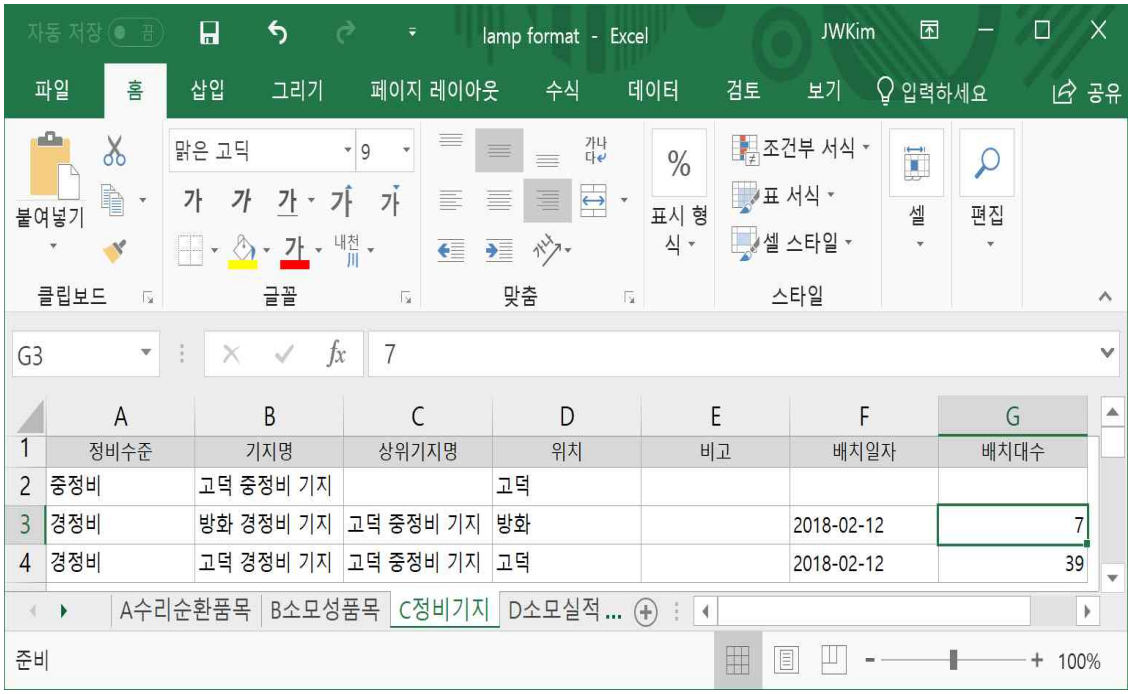
- 소모성품목 표준 템플릿



품명	품목번호	단가	단위	주기성품목여부	비고
개스킷	5330-013-5610-2	₩890.00	개		5,6,7,8호선 ACM 밸브
밸브(변)	2244-221-0005-3	₩800.00	개		1/2" 역지변용,
오일,압축기용	9150-031-4004-1	₩3,070.00	ℓ		모빌 레이러스 424J
그리스	9150-002-0060-6	₩4,590.00	kg		쉘 가두스 S2 V220 2
오일,기어	9150-101-0250-1	₩3,110.00	ℓ		쉘 스파이렉스 S2 A

그림 3.1.19 소모성품목 표준 템플릿

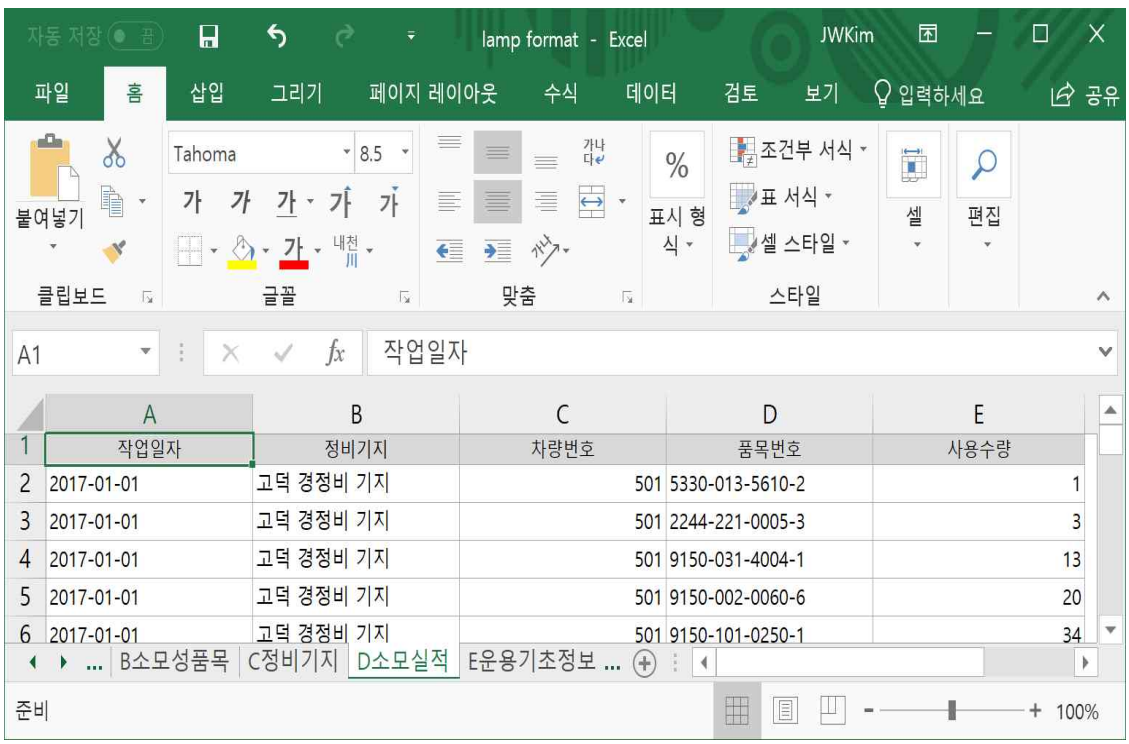
- 정비기지 표준 템플릿



	A	B	C	D	E	F	G
1	정비수준	기지명	상위기지명	위치	비고	배치일자	배치대수
2	중정비	고덕 중정비 기지		고덕			
3	경정비	방화 경정비 기지	고덕 중정비 기지	방화		2018-02-12	7
4	경정비	고덕 경정비 기지	고덕 중정비 기지	고덕		2018-02-12	39

그림 3.1.20 정비기지 표준 템플릿

- 소모실적 표준 템플릿



	A	B	C	D	E
1	작업일자	정비기지	차량번호	품목번호	사용수량
2	2017-01-01	고덕 경정비 기지	501	5330-013-5610-2	1
3	2017-01-01	고덕 경정비 기지	501	2244-221-0005-3	3
4	2017-01-01	고덕 경정비 기지	501	9150-031-4004-1	13
5	2017-01-01	고덕 경정비 기지	501	9150-002-0060-6	20
6	2017-01-01	고덕 경정비 기지	501	9150-101-0250-1	34

그림 3.1.21 소모실적 표준 템플릿

- 운용기초정보 표준 템플릿

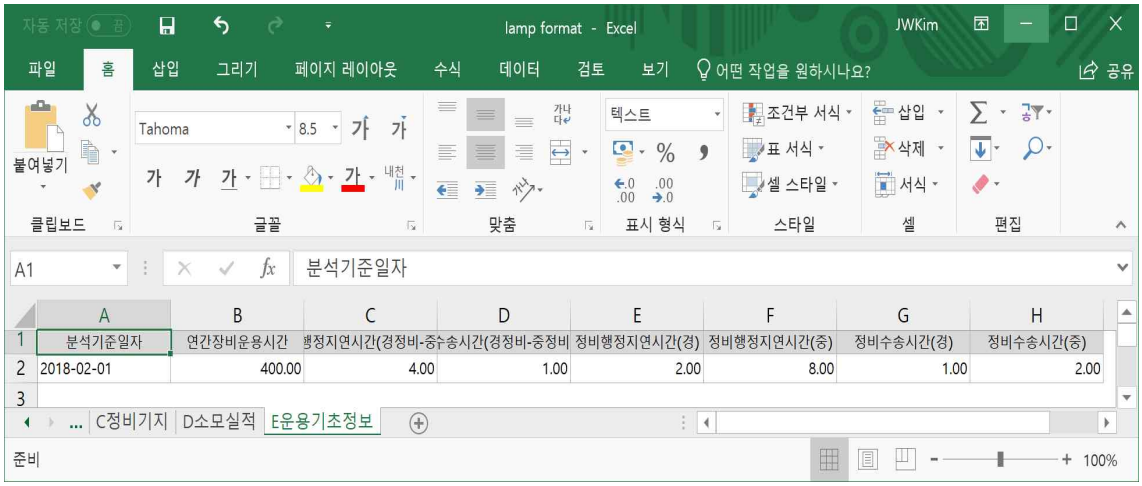
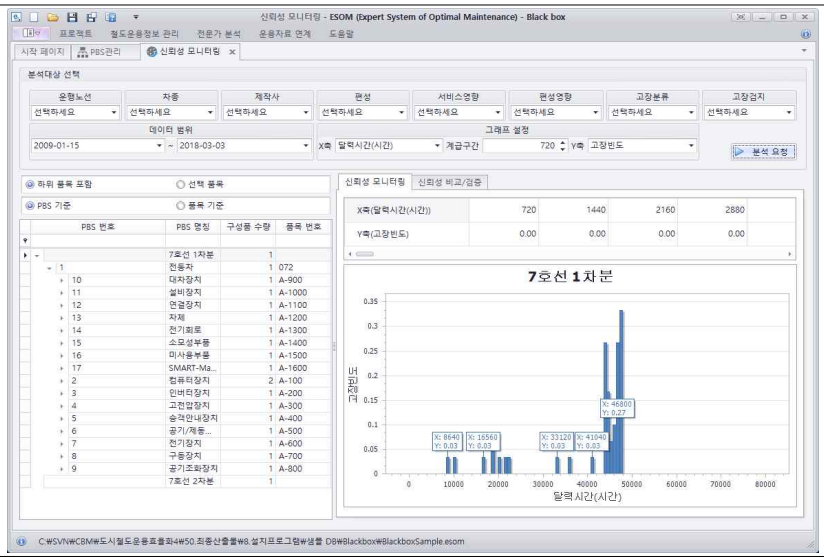


그림 3.1.22 운용기초정보 표준 템플릿

2. 빅데이터 기반 유지보수전문가 시스템 개발

가. 개요(연구목표)

목표 (정의)	아이템의 생산, 품질, 운영, 고장, 유지보수, 상태 등 고장 발생과 관련한 종합적인 빅데이터를 기반으로 고장 발생 리스크를 평가/모니터링하여 아이템 개별 또는 그룹별에 적합한 신뢰성 및 유지보수 활동을 도출 제시하는 S/W 시스템 - 수학적/통계적 방법에 의한 유지보수의사결정 S/W (Black Box) - 운영 및 유지보수 빅데이터를 활용한 유지보수의사결정 S/W (Gray Box)
관련 그림 / 사진 (예시)	
연구내용	- 고장 및 유지보수 이력 데이터의 통계적 처리를 통한 장치의 신뢰성 모니터링 S/W 개발 - 운영 또는 시험데이터를 이용하여 장치에 대한 유지보수 의사결정 S/W 개발 - 소프트웨어의 범용성 확보 및 운영기관별 커스터마이징을 위해 S/W 매뉴얼에 아래항목을 포함하여 제시 · 입력정보 정의 · 타 시스템과의 연계방법 · 출력정보의 정의 및 활용방안

나. 연구 성과

(1) 수학적/통계적 방법에 의한 유지보수의사결정 S/W (BLACK BOX)

(가) 시스템 특징 (BLACK BOX)

① 시스템 아키텍쳐

입력	처리로직	출력
- 차량정보 • 차종 • 제작사 - 운행이력 • 운행노선 • 운행거리(시간) - 고장이력 • 고장일시 • 서비스영향 • 편성영향 • 고장분류 • 고장검지 - 경/중정비 이력	- 비모수적 통계 처리 (특정 운영시간 부분 고장관측에 의한 운영 개시 시점이 다른 수리가능 아이템의 고장률 계산 방법)	- 달력시간, 운영시간, 운영거리 기준 신뢰성 변동 추이 

② 시스템 활용 용도

신뢰성 성능이 모니터링 되지 않으면 성능 감소가 서서히 커지고 쉽게 인지되지 않을 수 있다. (출처: DoD Guide for Achieving Reliability, Availability, and Main tainability)

■ 운영시간 기준의 신뢰성 변화 모니터링 (철도안전관리체계 기술기준 요구사항)
- 아이템의 노후화에 의한 신뢰성 감소 모니터링
- 기대수명의 적정성 평가 및 기대수명 도달 아이템 계속 사용 가능 여부 판단 : 철도안전관리체계 기술기준 별표 4 노후철도차량 관리 요구항목

■ 중정비 후 경과일 신뢰성 변화 모니터링
- 중정비의 품질 및 효과성 모니터링
- 중정비 주기 조정 필요성 판단

■ 차종 및 제작사별 신뢰성 차이 모니터링
- 아이템 제작사의 품질 관리의 근거로 활용

③ 시스템 활용 효과

■ 1개 노선 기준 분석 투입 소요 인력 절감 효과: 년 720 Man-Day/1개노선 절감
- 매월 신뢰성 모니터링 기준 수작업(엑셀 활용)시 720 Man-Day/년 소요
→ 실질적으로 수작업에 의한 신뢰성 모니터링 불가

(나) 수리 가능 아이템의 고장률 계산 방법

특정 운영시간 부분 고장관측에 의한 운영 개시 시점이 다른 수리가능 아이템의 고장률 계산의 구체적 방법은 다음과 같다.

단계1) 고장률을 산출한 기준 계급구간의 크기를 정의한다. (예: 90일)
- m : 계급구간의 크기

단계2) 고장 관측 시점 구간을 정의한다. 각 시점은 가장 먼저 운영 시작한 아이템의 시작시점 기준 경과시간으로 정의한다.
- smt: 고장 관측 시작 시점
- emt, 고장 관측 완료 시점

단계3) 각 아이템별 운영시작시점과 완료시점을 정의한다. 각 시점은 가장 먼저 운영 시작한 아이템의 시작시점 기준 경과시간으로 정의한다.
- sot(i): i번째 아이템의 운영 시작 시점
- eot(i), i번째 아이템의 운영 완료 시점,

단계4) 각 계급구간을 정의한다.
- n1: [Max{Min{smt - sot(i)}, 0}/m을 넘지 않는 최대 정수]
- n2: [emt/m을 넘지 않는 최대 정수]
- x 번째 계급구간: {(n1+x-1)×m, (n1+x)×m}, x=1, ..., n2+1

단계5) 각 아이템의 고장시간을 정의한다. 각 고장시간은 각 아이템의 운영 시작시점 기준 경과시간으로 정의한다.

- ft(i)(j): i번째 아이템의 j번째 고장시간

단계6) 각 계급구간에서의 총 고장회수를 구한다.
- fn(x): x번째 계급구간에서의 총 고장회수
  · 모든 i(아이템), j(고장) 에 대하여 ft(i)(j)가 {(n1+x-1)×m, (n1+x)×m}안에 있으면 fn(x)에 1을 더하고 없으면 0을 더함. fn(x) 초기값은 0

단계7) 각 계급구간에서의 총 운영시간을 구한다.
- ot(i)(x): i번째 아이템의 x번째 계급구간에서의 운영시간
- ot(i)(x)를 다음과 같이 구한다.
  · smt-sot(i)<(n1+x-1)×m 이고 eot(i)-sot(i)> (n1+x)×m 이면 ot(i)(x)는 m
  · smt-sot(i)<(n1+x-1)×m 이고 eot(i)-sot(i)< (n1+x)×m 이면 ot(i)(x)는 eot(i)-smt
  · (n1+x)×m>smt-sot(i)>(n1+x-1)×m 이고 eot(i)-sot(i)> (n1+x)×m 이면 (n1+x)×m-smt+sot(i)
  · (n1+x)×m>smt-sot(i)>(n1+x-1)×m 이고 eot(i)-sot(i)< (n1+x)×m 이면 eot(i)-smt
- ot(x): x번째 계급구간에서의 총 운영시간
- ot(x)는 모든 i에 대한 ot(i)(x)의 합으로 구한다.

단계8) 각 계급구간에서의 고장률은 fn(x)/ot(x)로 구한다.
- fn(x): x번째 계급구간에서의 총 고장회수
- ot(x): x번째 계급구간에서의 총 운영시간

(다) Black Box 모듈 현시 화면

① 프로그램 실행

다음은 Black Box 모듈을 실행하기 위한 진입 화면이다. 상단의 BlackBox 이미지를 클릭하면 Black Box 모듈이 실행된다.

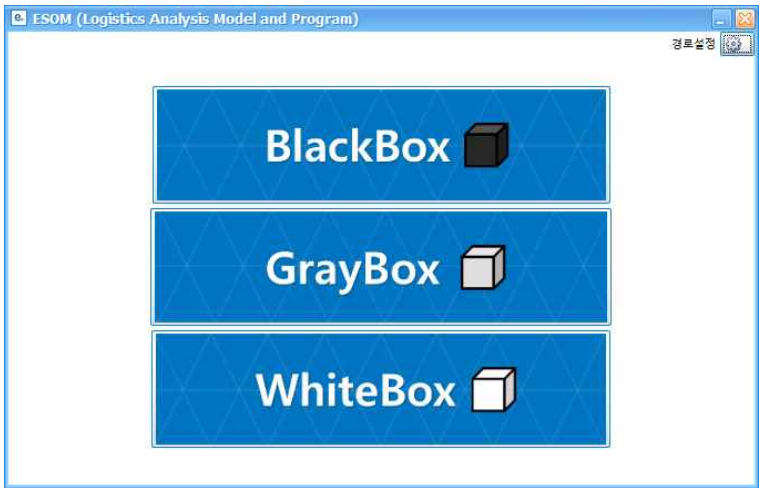


그림 3.2.1 프로그램 진입 화면

② 시스템 계층 구조(PBS) 관리

다음은 시스템의 물리적 계층 구조(PBS: Physical Breakdown Structure)을 입력하고 관리하는 화면이다.

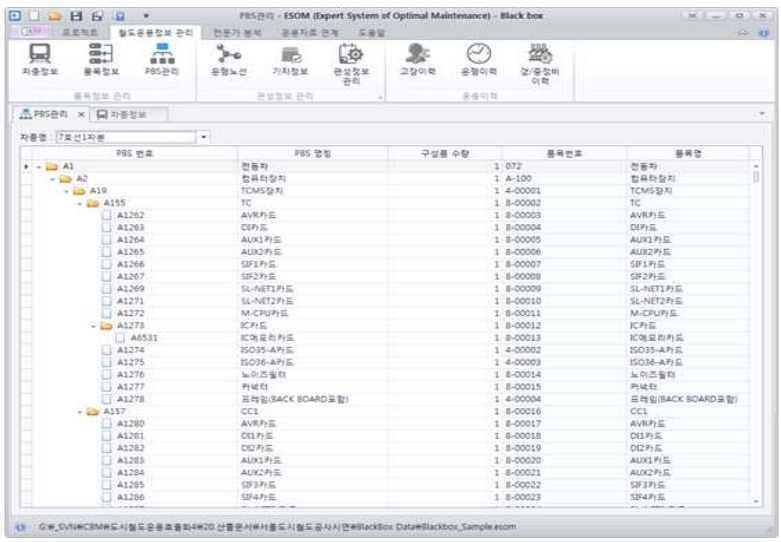


그림 3.2.2 시스템 계층 구조(PBS) 관리 화면

③ 차량 정보 관리 화면

다음은 차량의 편성번호, 노선, 차종, 운행 투입일을 관리하는 화면이다.

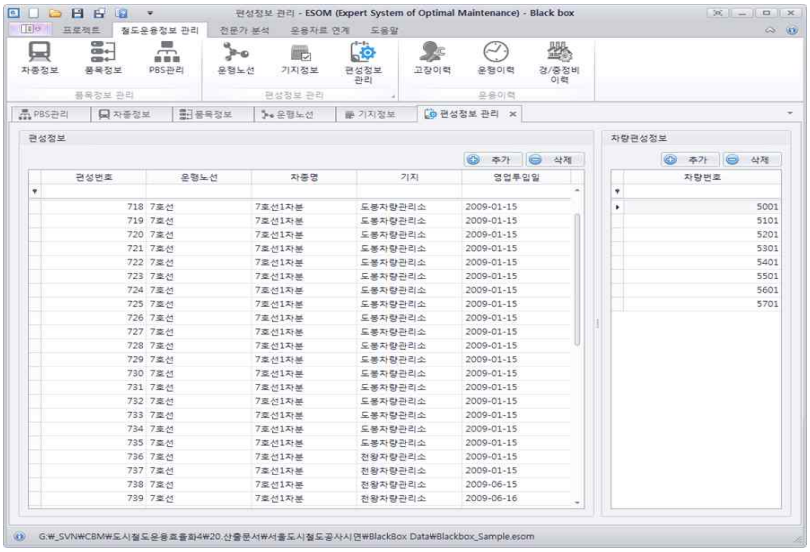


그림 3.2.3 차량 정보 관리 화면

④ 고장이력 관리 화면

다음은 고장이력을 입력/수정하는 화면이다.

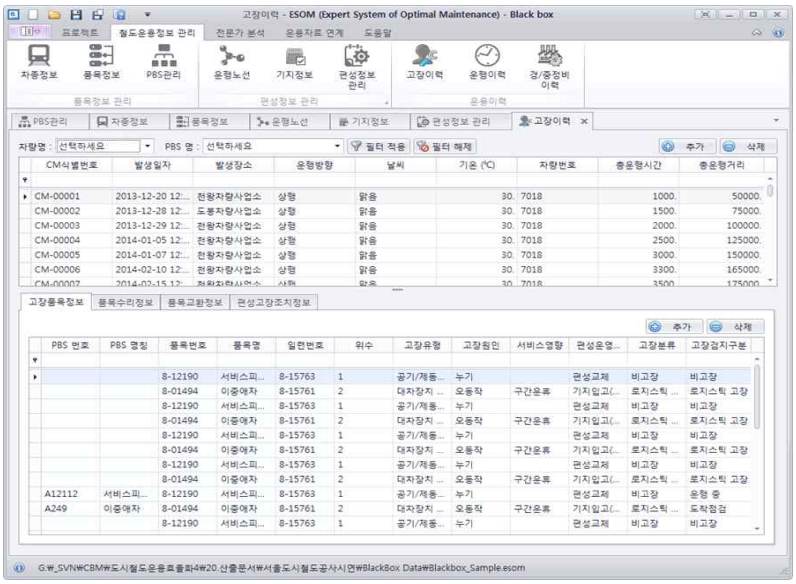


그림 3.2.4 고장이력 관리 화면

⑤ 신뢰성 모니터링 화면

다음은 분석 대상을 선택하고 (운행노선, 차종, 제작사, 편성, 서비스영향, 편성영향, 고장분류, 고장검지), 분석기준(달력시간, 운영시간/거리, 정비후경과일) 기준 신뢰성 변화를 모니터링 하는 화면이다.

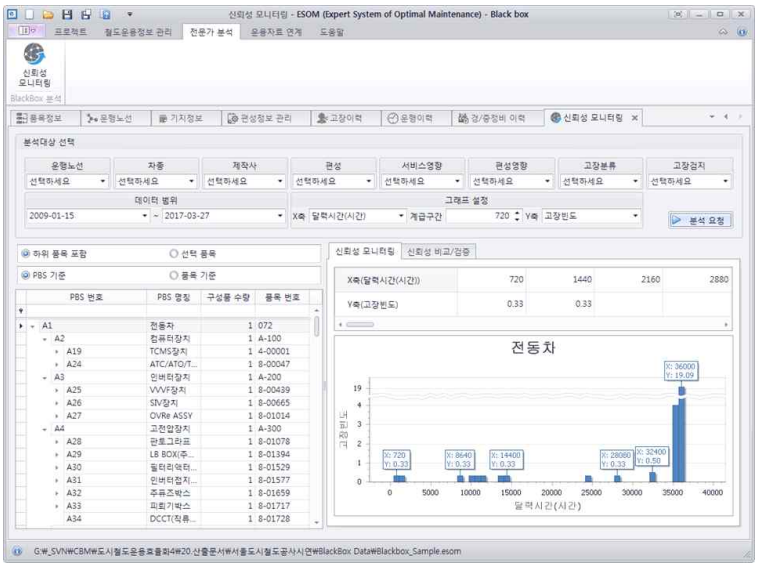


그림 3.2.5 신뢰성 모니터링 화면

⑥ 신뢰성 비교/검증 화면

다음은 분석 대상(운행노선, 차종, 제작사, 편성, 서비스영향, 편성영향, 고장분류, 고장검지)에 대해 두 개 이상의 속성에 대한 신뢰성 차이를 비교 분석하는 화면이다.

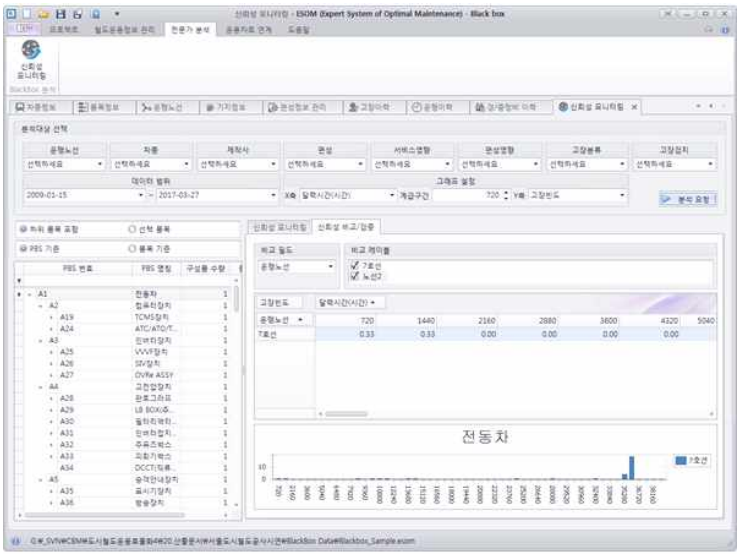
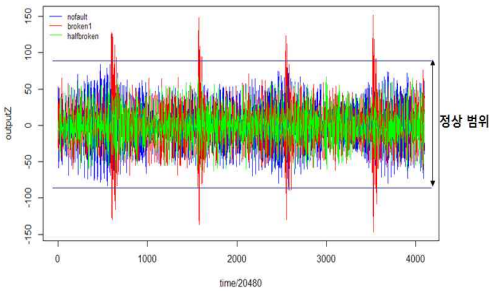
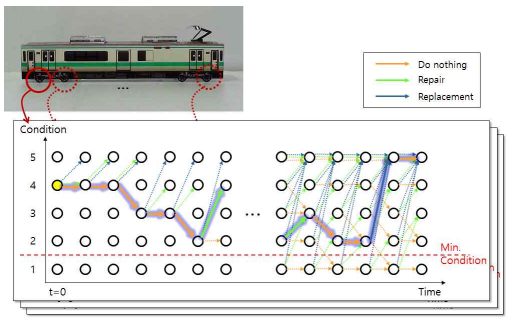


그림 3.2.6 신뢰성 비교/검증 화면

(2) 운영 및 유지보수 빅데이터를 활용한 유지보수의사결정 S/W (GRAY BOX)

(가) 시스템 특징 (GRAY BOX)

① 시스템 아키텍처

입력	처리로직	출력
- 상태데이터 (예: 감속기 진동 데이터) - 고장이력 - 유지보수 이력	① 인공지능 (ANN) ② 확률이론 ③ 신호처리 ④ 최적화 알고리즘 (동적계획법)	- 개별 아이템(예: 21편성 2호차량의 S/N 17번 감속기)의 이상 여부 (확률이론 및 머신러닝 사용)  - 최적 유지보수(교체, 점검 등) 시점 결정 (예: 차륜 삭정 및 교체 시점)  <전이확률에 의한 미래상태 예측>

② 시스템 활용 용도

장치의 이상 진단을 위해, 명확한 고장메커니즘 규명과 이를 통한 이상 진단 로직의 개발이 기술적/비용적/시간적 이유에 의해 어려울 때, 발생한 데이터(빅데이터)에 의해 인공지능 및 확률/통계적 방법에 의해 각 장치의 이상 진단 및 유지보수 판단에 활용 가능하다.

③ 시스템 활용 효과

다수의 아이템으로 적용 확장성이 높음: 특정 아이템(예: 감속기)에 개발된 알고리즘/로직을 다른 아이템(예:베어링)에 적용하고자 할 때, 상대적으로 적은 노력, 비용, 시간을 투입하여 개발 가능하다.

(나) 빅 데이터 기반 유지보수 추론 엔진

빅데이터를 활용한 유지보수 프로그램을 개발하였으며, 이는 유지보수 추론엔진 알고리즘 모듈들로 구성된다. 유지보수 프로그램 아키텍처 및 각 모듈들은 그림3.2.7과 같이 구성된다. 프로그램 아키텍처는 데이터의 흐름에 따라 데이터 수집, 데이터 업로드, 전처리, 데이터 저장, 구현, 결과 저장, 데이터 표출의 단계로 구성된다.

- ■ 데이터 분석 및 전처리를 위한 단계 : 원시데이터를 정제하여 데이터 종류별로 구분하여 저장하는 절차로 M1 모듈에서 수행. 데이터 분석 모듈 구분에 따라 상태 데이터(단기 데이터)와 이벤트 데이터(장기 데이터)로 나누어 저장한다.
  - 상태 데이터 및 단기 데이터는 각종 센서로 부터 얻을 수 있는 데이터로, 데이터 수집 주기가 매우 짧으며 주기적으로 자동 수집된다. 철도차량 기어박스 진동 데이터와 같이 매우 짧은 시간에 수집되는 정량데이터가 이에 해당한다.
  - 이벤트 데이터 및 장기 데이터는 주기적, 간헐적으로 발생하는 사고, 유지보수행동 등의 기록데이터 및 일부 정량데이터를 포함하며, 데이터 수집 주기가 상대적으로 긴 데이터. 기존 ERP 시스템에도 존재하는 고장수리 이력 데이터가 이에 해당한다.
  - 단, 본 유지보수 전문가 시스템에서 분석을 위해 쓰이는 상태 데이터와 이벤트 데이터 모두 데이터의 상태(현재 상태, 사용 가능 상태)를 규정할 수 있어야 한다.
- ■ 상태 데이터를 기반으로 부품의 이상 여부와 부품의 상태를 진단하는 단계: M2 모듈과 M3 모듈에서 수행.
  - M2 모듈: 상태 데이터 기반 부품 이상 진단 모듈로 데이터의 분포 분석 및 머신러닝을 기반으로 부품의 정상 여부를 판단하는 모듈.
  - M3 모듈: 상태 데이터 기반 부품 상태 진단 모듈로 데이터의 패턴분석을 통해 부품의 상태를 진단하는 모듈.
- ■ 이벤트 데이터 기반의 의사결정 단계 : 부품의 상태 및 예산에 따른 시스템 최적의 유지보수를 결정하는 절차로서 M4 모듈 및 M5 모듈에서 수행.

- M4 모듈: 다양한 유지보수에 따른 부품 상태가 기록된 데이터를 활용하여 현재 상태에서 최적인 유지보수를 부품별로 판단하는 모듈.
- M5 모듈: M4 모듈에서의 부품 단위 최적화의 결과와 주어진 예산을 기준으로 각 부품별 유지보수를 시스템 단위로 최적화하는 모듈.

본 연구는 유지보수 의사결정을 위한 다양한 알고리즘들을 소프트웨어로 구현하고 이들을 SQL 서버에서 분석을 수행할 수 있도록 구성하였으며, 모든 알고리즘은 R 코딩을 기반으로 한다.

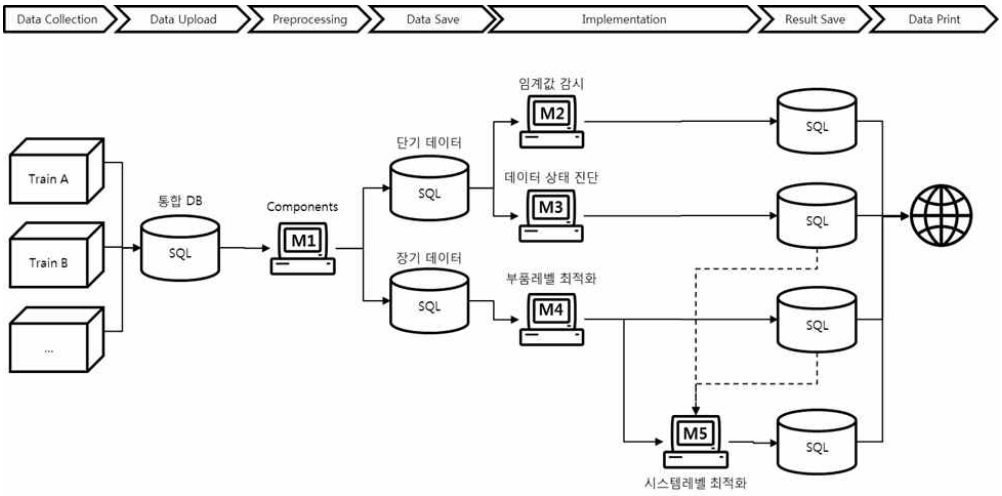


그림 3.2.7 유지보수 추론엔진 소프트웨어 아키텍처

1) 데이터 기반 부품 이상 진단: M2

데이터 기반 부품 이상 진단 모듈은 실시간 데이터 기반의 부품 이상 탐지를 위한 알고리즘이며, 예제로서 철도차량 감속기의 실험데이터를 사용하여 이상치의 범위를 규정하고 이상치에 해당하는 부품을 탐색하였다.

① 데이터 정보 및 데이터베이스 구성

감속기 실험데이터는 총 1,843,202개의 행으로 구성되고, 4가지의 상태로 구분한다.

- 상태 1은 한 곳에 금이 간 상태(Broken1)로 총 409,601개의 행으로 구성
- 상태 2는 두 곳에 금이 간 상태(Broken2)로 512,001개의 행으로 구성
- 상태 3은 반파 상태(Half broken)로 511,999개의 행으로 구성
- 상태 4는 금이 가지 않은 정상인 상태(No fault)로 409,601개의 행으로 구성

실시간으로 들어오는 새로운 데이터를 대신하기 위해 기존 실험 데이터 중 일부를 임의로 골라내어 새로운 데이터로 가정하여 부품 이상 진단 알고리즘에 적용할

수 있으며, SQL에 저장할 데이터 프레임워크는 아래의 열로 구성되며 데이터의 일부는 표 3.2.1에 표시하였다.

- 열차 편성 정보(OGR_NO)
- 열차 번호(PART_ID)
- 부품 번호(COMP_NO): 1~10
- 정보 획득 날짜(COLLECT_DATE) 및 정보 획득 시간 (COLLECT_TIME)
- 부품 상태 (PART_CONDITION): 1~4로 표현
- OUTPUT_Y 및 OUTPUT_Z: 진동 데이터의 결과값

표 3.2.1 감속기 실험데이터의 상태 데이터 예시

	ORG_NO	PART_ID	COMP_NO	TRAIN_POSTMILE	COLLECT_DATE	COLLECT_TIME	PART_CONDITION	OUTPUT_Y	OUTPUT_Z	OUTPUT_TACH
1	15 03	50 1	1	14223	20130 413	15132 6	1	86.000 06	11.443	31.14 798
2	15 03	50 1	1	14223	20130 413	15132 7	1	86.000 11	3.0145 75	17.58 825
3	15 03	50 1	1	14223	20130 413	15132 8	1	86.000 16	5.4535 98	16.97 847
4	15 03	50 1	1	14223	20130 413	15132 9	1	86.000 21	-6.79 1201	-1.11 235
5	15 03	50 1	1	14223	20130 413	15133 0	1	86.000 26	8.0516 05	-19.5 2994
6	15 03	50 1	1	14223	20130 413	15133 1	1	86.000 31	1.8932 81	-19.3 6947
7	15 03	50 1	1	14223	20130 413	15133 2	1	86.000 35	1.9299 7	-35.0 9992

② 데이터 이상치 탐색을 통한 부품 이상 진단 방법론

부품 이상을 진단하는 데에 이용된 데이터는 OUTPUT_Y와 OUTPUT_Z로 데이터의 시간에 따른 데이터 분포를 기준으로 부품 이상을 진단할 수 있으며 기존 데이터를 기반으로 한 부품 이상 진단 기준은 다음과 같다.

- 감속기 OUTPUT_Y와 OUTPUT_Z 데이터의 Peak Value와 Valley Value를 데이터 분석을 통해 추출하며 추출된 Peak Value와 Valley Value 각각에 대하여 표준편차의 3배에 해당하는 값을 이상치 기준으로 선정
- 해당 기준을 초과한 값에 대하여 정상범위를 넘어선다고 판단하여 이상 진단
- 이상 범위는 데이터의 특성과 전문가의 소견에 따라 상이할 수 있으므로 해당 데이터 전문가가 편리하게 수정할 수 있도록 알고리즘 구성

이상치의 기준은 Y축 데이터, Z축 데이터 각각의 최소값, 최대값으로 구분되어 총 4가지 기준으로 구성된다.

- upTHRE_Y:
  OUTPUT_Y 데이터의 Peak Value의 상위 표준편차 3배에 해당하는 값
- lowTHRE_Y:
  OUTPUT_Y 데이터의 Valley Value의 하위 표준편차 3배에 해당하는 값
- upTHRE_Z:
  OUTPUT_Z 데이터의 Peak Value의 하위 표준편차 3배에 해당하는 값
- lowTHRE_Z:
  OUTPUT_Z 데이터의 Valley Value의 하위 표준편차 3배에 해당하는 값

표 3.2.2 감속기 실험데이터의 이상치 기준 예시

	하위 기준	상위 기준
Y Threshold	86.00006	209.1924
Z Threshold	-78.0636	710.58666

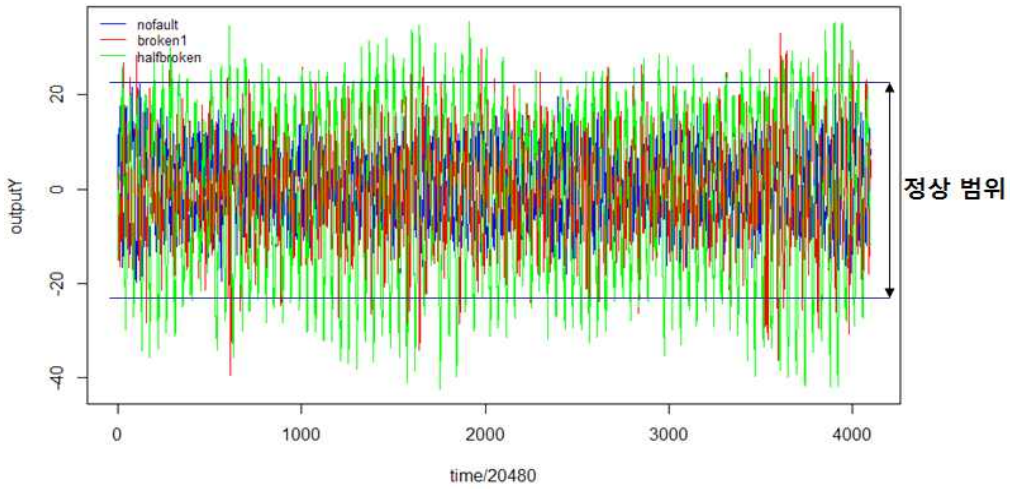


그림 3.2.8 Time-OutputY 진동 데이터 예시

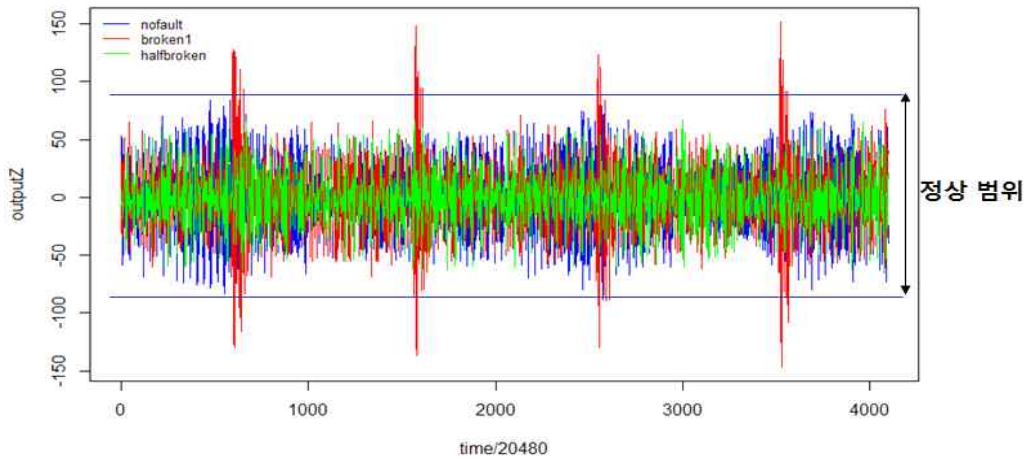


그림 3.2.9 Time-OutputZ 진동 데이터 예시

소프트웨어 검증을 위한 임의시험에서는 이상데이터 수가 전체 데이터 수의 1% 이상에 해당되는 부품을 정밀 검사가 필요한 부품으로 규정한다. 예를 들어, 표 3.2.3의 부품 10번의 경우에는 3.6%를 웃도는 비율로 이상치 데이터가 감지되었으므로 정상 범위를 상당히 벗어났음을 알 수 있다. 따라서 부품 10번 데이터는 본 임의시험에서 이상 부품으로 간주하여 이후 시스템 단위 최적화 과정에서 유지보수 행동에 우선순위를 둘 것을 추천 가능하다. 또한 본 진단기법의 모의시험에서 1프로 이상에 해당하는 부품을 이상 부품으로 규정하였을 때, 부품 1, 4, 6, 8, 10이 이상 부품에 해당한다.

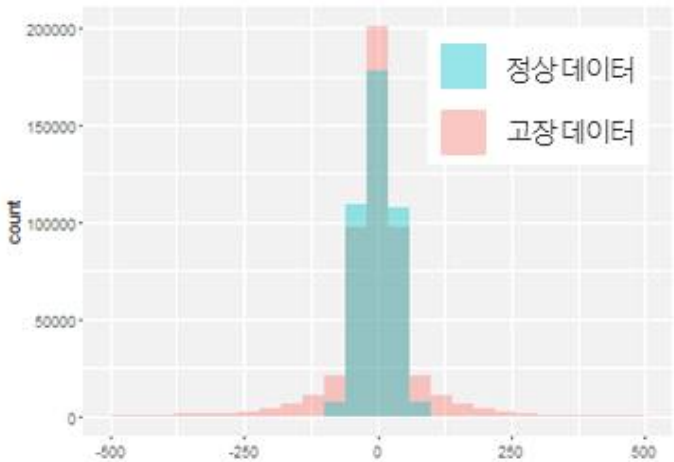
■ 이상 부품으로 분류하는 양적인 기준은 이상 기준을 정하는 부분과 마찬가지로 감속기 데이터 전문가의 판단을 요한다.

표 3.2.3 감속기 실험데이터의 이상치 부품 분포 예시

부품 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
전체 부품 개수	3988	3976	3978	3980	2768	1990	1990	1991	1989	1991
이상 부품 개수	52	0	2	60	0	29	0	28	8	73
이상 비율(%)	1.30	0	0.05	1.51	0	1.46	0	1.41	0.40	3.67

③ 머신 러닝 기반의 부품 이상 진단 방법론

데이터 이상치 탐색을 통한 부품 이상 진단 방법론에서 사용되었던 데이터 중 두 곳에서 금이 간 Broken2 데이터와 정상 부품 데이터인 No fault 데이터를 정상 데이터와 고장 데이터의 대표 데이터로 사용한다. 정상 데이터와 고장 데이터는 모두 20초 동안 기록된 데이터로 각각 약 50만개의 데이터로 구성되어 진다. 정상 데이터와 고장 데이터의 분포를 분석한 결과, 두 데이터의 분포는 상이하였으며, 분석된 데이터 분포 정보는 그림 3.2.10과 같다.



❖ 정상 데이터 정보

평균	-0.006588	최소값	-123.8123
분산	919.2543	최대값	113.7777

❖ 고장 데이터 정보

평균	-0.000682	최소값	-1677.38
분산	27535.4	최대값	1456.246

그림 3.2.10실험 데이터 분포

■ 본 모듈에서 사용한 알고리즘은 Multi-Layer Perceptron(MLP)이며, 머신 러닝 방법론 중에서도 가장 대표적인 알고리즘.

■ 50만개 연속 데이터 정보 중에 랜덤으로 20개 연속의 데이터를 정상 데이터와 고장 데이터에서 각각 1500번 골라서, MLP Layer 간에 존재하는 Neuron들 간의 계수를 learning 시킬 데이터 군을 구성.

■ 20개 연속 데이터의 평균, 분산, 최소값, 최대값을 input data set으로 구성 하여 MLP input neuron에 입력.

■ 전체 data set을 8:2로 나누어 2400개의 training data set과 600개의 test data set 으로 구분.

■ 그림 3.2.11은 MLP의 구성 및 입출력 정보 예시.

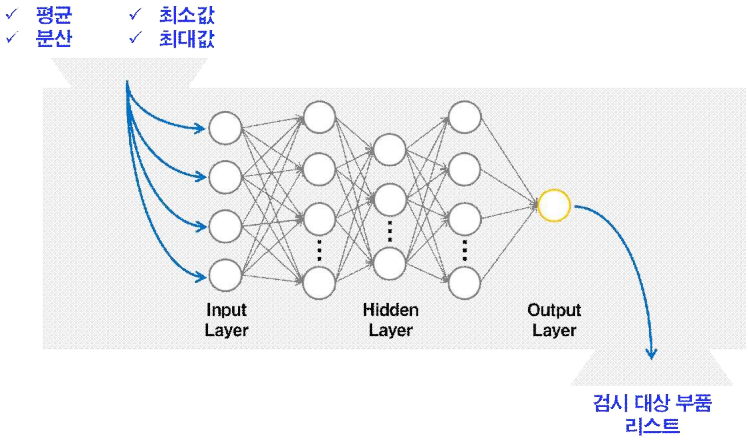


그림 3.2.11 MLP 구성 및 입출력 정보 예시

■ 그림 3.2.12는 learning rate를 0.1, 0.2, 0.3으로 설정하여 학습시켰을 때의 Mean-Square Error가 감소하는 것을 보여주는 그래프.

■ Epoch 5000번 기준으로 정확도 98.84%를 기록.

■

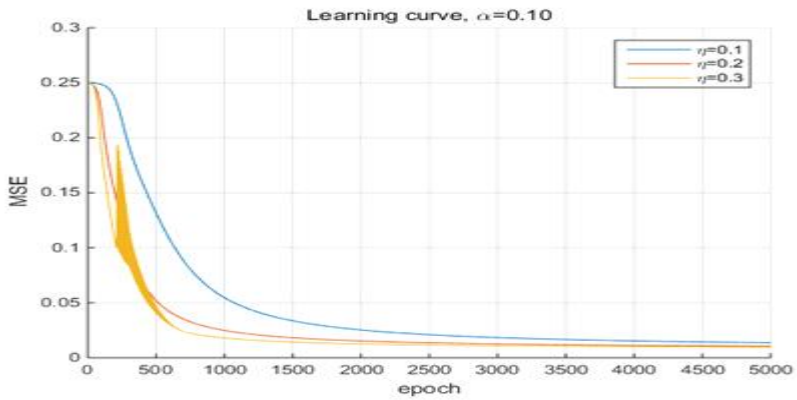


그림 3.2.12 Learning rate 변화에 따른 학습 수렴 그래프

표 3.2.4는 MLP 기반 검지 대상 부품 추출 알고리즘 정확도 분석 결과이다.

- 총 600개의 test data set으로 검증 단계를 거쳤으며, 이 중 308개가 이상 데이터, 292개가 정상 데이터로 구성됨
- 308개의 이상 데이터 중 301개 이상 데이터는 탐지하였으나 7개의 이상 데이터는 정상으로 판단
- 292개의 정상 데이터는 모두 정상으로 판단

표 3.2.4 고속 감속기 실험데이터의 이상치 부품 분포 예시

	Condition Positive	Condition Negative
Test Outcome Positive	TRUE POSITIVE:301	FALSE POSITIVE: 0
Test Outcome Negative	FALSE NEGATIVE:7	TRUE NEGATIVE: 292

④ 부품 이상 진단 결과

표 3.2.5는 감속기 실험데이터를 바탕으로 이상치 진단을 한 모의시험 결과이다. 이상 진단 결과는 Inspect_Result 열에 저장되며 이상이 있는 것으로 판단된 경우에는 1이, 이상이 없는 것으로 판단된 경우에는 0이 표시된다.

표 3.2.5 감속기 실험데이터 이상치 진단 결과 예시

	ORG_NO	PART_ID	COMP_NO	TRAIN_POSTMILE	INSPECTION_DATE	INSPECTION_TIME	upTHRE_Y	lowTHRE_Y	upTHRE_Z	lowTHRE_Z	INSPECT_RESULT	INS_DATE
1	1503	501	1	14223	20160411	90000	209.19	86.00	71.586	-78.063	1	20160411
2	1503	501	1	14223	20160411	90001	209.19	86.00	71.586	-78.063	1	20160411
3	1503	501	1	14223	20160411	90002	209.19	86.00	71.586	-78.063	1	20160411
4	1503	501	1	14223	20160411	90003	209.19	86.00	71.586	-78.063	1	20160411
5	1503	501	1	14223	20160411	90004	209.19	86.00	71.586	-78.063	1	20160411

6	1503	501	1	14223	20160411	90005	209.19	86.00	71.586	-78.063	1	20160411
7	1503	501	1	14223	20160411	90006	209.19	86.00	71.586	-78.063	1	20160411
8	1503	501	1	14223	20160411	90007	209.19	86.00	71.586	-78.063	1	20160411

2) 데이터 기반 부품 상태 진단: M3

데이터 기반 부품 상태 진단 모듈 개발에서는 실시간 데이터 기반의 부품 상태 판단을 위한 데이터 매칭 및 상태 진단 알고리즘에 대해 논의하였으며, 감속기 실험데이터를 사용하여 상태진단 정확도를 검증하고 모의분석을 수행하였다.

① 데이터 정보 및 데이터베이스 구성

M2인 데이터 기반 부품 이상 진단 모듈에서 사용한 데이터와 동일하므로 이하 설명 생략한다.

② 무빙 윈도우 기법 기반 부품 상태 진단 방법론

무빙윈도우 기법은 영상처리기법 등에서 여러 데이터 셋 간의 유사성을 파악하는 한편 연산 속도를 줄이기 위하여 필요한 일부 정보를 블록화하여 별도로 분석하는 기법으로. 본 연구에서 데이터 패턴매칭을 위해 이를 활용하였고 무빙윈도우 기법에서는 데이터베이스에서 타겟 데이터와 무빙윈도우 데이터를 각각 추출하고, 무빙윈도우 데이터를 기존데이터의 시작점부터 끝점에 이르기까지 슬라이딩하여 매 단위 움직일 때마다 아래 식과 같이 유사도를 계산하였다.

$$\text{유사도} = \sqrt{\frac{1}{w_Y}\left((Y_{t,1}-Y_{m,1})^2+\cdots+(Y_{t,n}-Y_{m,n})^2\right)+\frac{1}{w_Z}\left((Z_{t,1}-Z_{m,1})^2+\cdots+(Z_{t,n}-Z_{m,n})^2\right)}$$

여기서, AT,k: 타겟 데이터의 k번째 데이터
AM,k: 무빙윈도우 데이터의 k번째 데이터
wA: A차원 데이터에 대한 가중치
n: 무빙윈도우 데이터 개수

■ 유사도는 추출 데이터의 전체 차원에 대해 합산하며, 데이터의 단위를 삭제하기 위해 가중치(wA)를 부여

■ 두 개의 시계열 데이터가 유사할수록 유사도의 값은 작아지며, 수집 데이터의 도메인이 여러 개인 경우 도메인별 가중치를 두어 유사도를 함께 계산

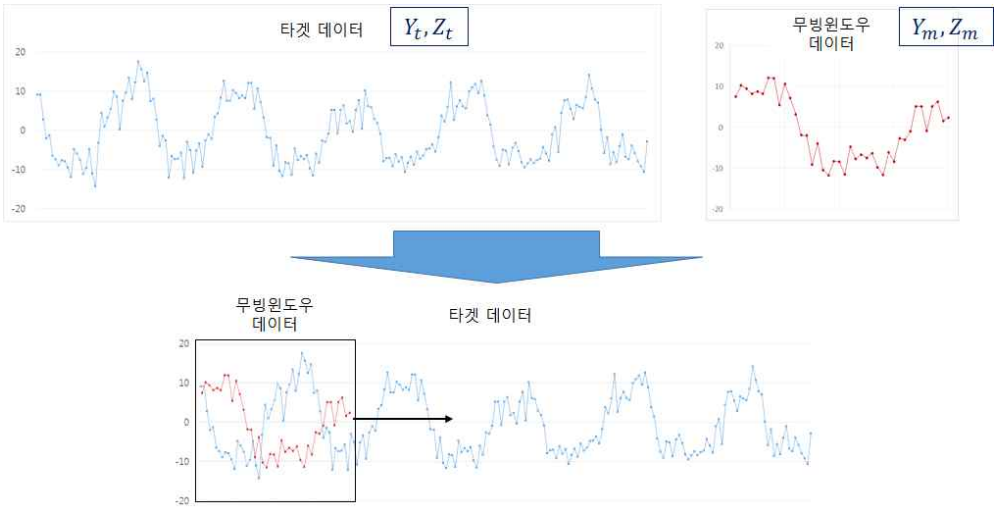


그림 3.2.13 무빙윈도우 기법

이미 상태를 알고 있는 여러 개의 데이터로부터 타겟 데이터를 추출하고, 상태를 알고자 하는 데이터를 무빙윈도우 데이터로서 추출하였고 그림 3.2.13과 같이 무빙윈도우 기법을 통해 패턴매칭을 하여 각 데이터와 무빙윈도우 간의 유사도를 각각 구하며, 이 때, 유사도가 가장 낮은 값을 가지는 타겟의 데이터 상태를 무빙윈도우 데이터의 상태로서 결정하였다.

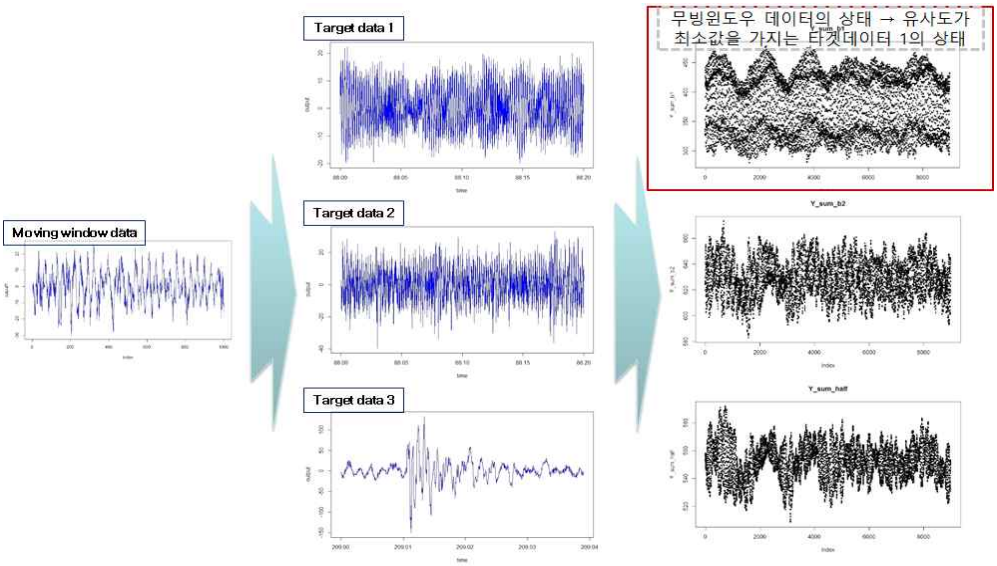


그림 3.2.14 무빙윈도우 데이터 상태 결정

패턴매칭의 계산 시간을 감소시키기 위해, 무빙윈도우 데이터와 타겟 데이터 각각에 대하여 샘플링을 수행하여 유사도를 계산하고 계산시간을 감소시킬 필요가 있을 경우, 데이터 샘플링, 샘플 데이터 매칭, 샘플 유사도 계산, 샘플 유사도를 통한 매칭 구간 결정, 로컬 데이터 매칭, 구간 유사도 계산의 과정을 수행한다.

원본데이터를 시계열단위 10개마다 1개단위로 샘플데이터를 추출하고 최소 유사도 지점을 구하고 해당 시점 전후 구간에서 원본 타겟 데이터와 무빙윈도우 데이터를 패턴 매칭하여 구간 유사도를 계산한다

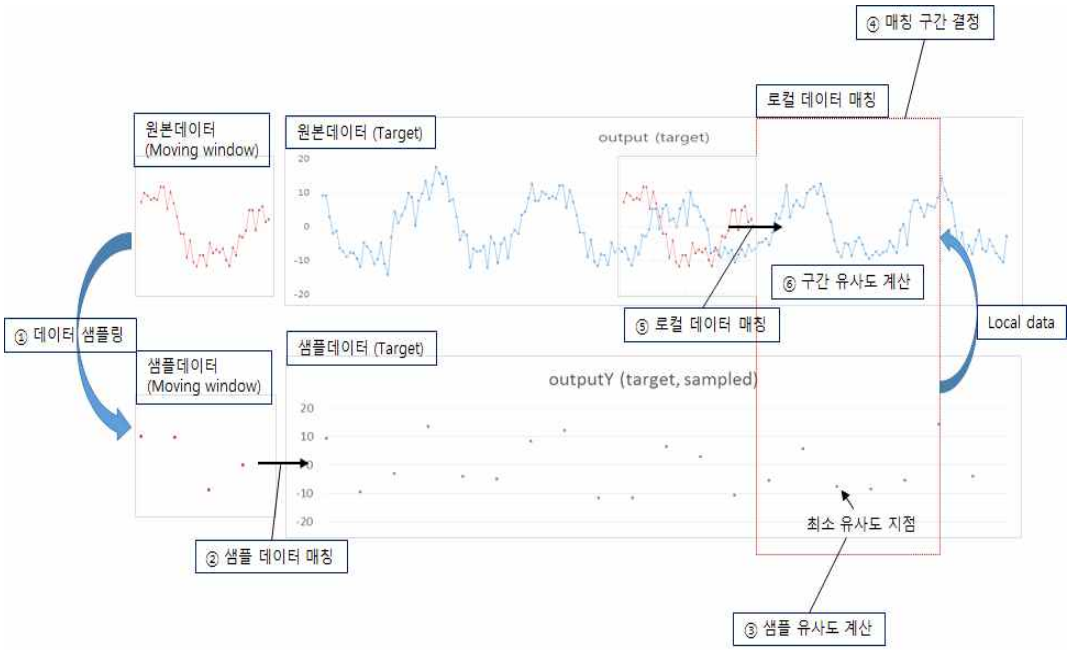


그림 3.2.15 데이터 샘플링을 통한 유사도 계산 세부 과정

③ 머신 러닝 기반의 부품 상태 진단 방법론

본 모듈에서 사용한 알고리즘도 M2와 동일한 Multi-Layer Perceptron(MLP)이다. 전체 데이터를 연속하는 데이터 셋으로 구분하여 각 데이터 셋에 속하는 데이터 값을 MLP input node에 입력하여 MLP Layer 간에 존재하는 Neuron들 간의 계수를 learning 시킬 데이터 군을 구성하였다.

- 현 모듈에서 적용한 Input node 개수는 500개, Hidden layer 수는 100개, output node 개수는 판별하고자 하는 클래스 수에 따라 자유롭게 조절 가능.
- 전체 데이터를 모두 연속하는 500개 데이터 셋으로 나누어 각 데이터 셋을 100번씩 MLP input node에 입력하여 MLP parameter 학습.
- 그림 3.2.16은 MLP의 구성 및 입출력 정보 예시.
- 그림 3.2.17은 MLP 상태 판별 알고리즘 학습 수렴 그래프 예시.

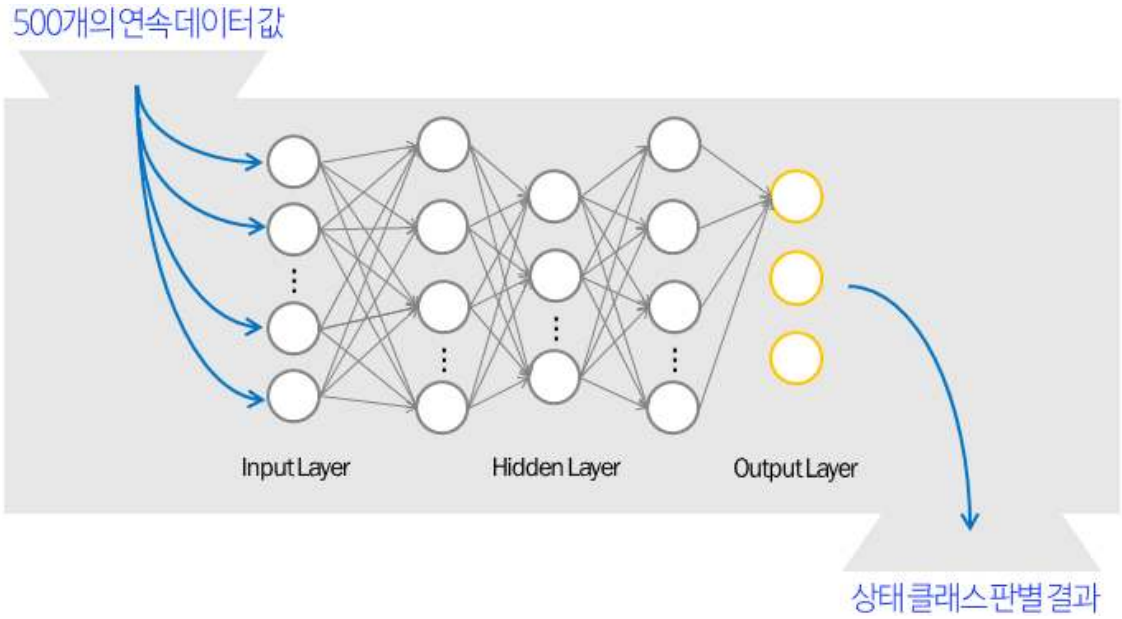


그림 3.2.16 MLP 구성 및 입출력 정보 예시

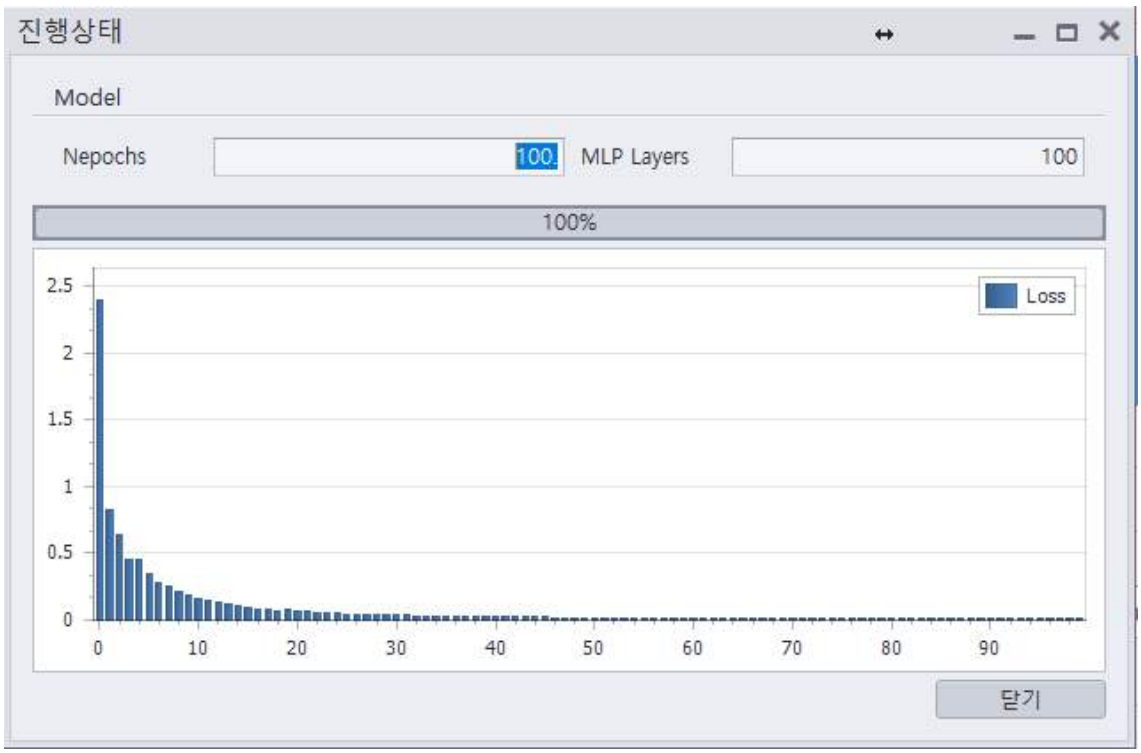


그림 3.2.17 MLP 상태 판별 알고리즘 학습 수렴 그래프

표 3.2.6은 MLP 기반 검지 대상 부품 추출 알고리즘 정확도 분석 결과이다.

■ 총 400개의 test data set으로 검증 단계를 거쳤으며, 이 중 334개가 정상 데이터, 66개가 이상 데이터로 구성됨

■ 334개의 정상 데이터는 모두 정상으로 판단
■ 66개의 이상 데이터 중 62개는 이상을 탐지하였으나 4개의 데이터는 정상으로 판단
■ 정확도 99.00% 기록

표 3.2.6 감속기 실험데이터의 이상치 부품 분포 예시

	Condition Positive	Condition Negative
Test Outcome Positive	TRUE POSITIVE: 334	FALSE POSITIVE: 4
Test Outcome Negative	FALSE NEGATIVE:0	TRUE NEGATIVE: 62

④ 부품 상태 진단 결과

데이터 기반 부품진단 방법론의 검증을 위해 추출한 데이터의 길이는 타겟 데이터 5,000개, 무빙윈도우 데이터 200개이며, 유사도의 가중치로는 각 축 데이터의 90% percentile 값을 사용한다. 본 임의실험에서는 4가지 상태의 데이터 마다 1,000회씩 검증을 수행하였고, 표 3.2.7은 네 가지 상태별로 무빙윈도우 데이터와 타겟 데이터를 임의 추출하여 패턴 매칭한 결과를 요약한 결과이다. 그리고 모의실험 결과는 다음과 같이 요약하였다.

■ 정상 상태의 경우 1,000건 중 988건을 올바르게 진단하고 12건을 1개 파손으로 오진
■ 1개 파손의 경우 1,000건 중 963건을 올바르게 진단하고, 26건을 정상으로 오진하고 11건을 2개 파손으로 오진
■ 2개 파손의 경우 959개를 정확하게 진단한 반면, 41개를 반파로 잘못 판단
■ 반파의 경우 모두 올바르게 진단

표 3.2.7 데이터 패턴매칭 결과

		타겟데이터 (상태진단수/총수행회수)			
		정상	1개 파손	2개 파손	반파
무빙윈도우 데이터	정상	988/1000	12/1000	0/1000	0/1000
	1개 파손	26/1000	963/1000	11/1000	0/1000
	2개 파손	0/1000	0/1000	959/1000	41/1000
	반파	0/1000	0/1000	0/1000	1000/1000

위의 전체 알고리즘을 프로그램으로 구현하면서 사용자가 원하는 조건(시간, 기차정보, 부품번호 등)을 만족하는 데이터를 선별하여 실험할 수 있게 구성하였으며, 그에 맞게 저장하는 공간을 만들기 위해 기본 상태진단 결과를 표 3.2.8과 같이 표출하였다. 표 3.2.8의 정보는 다음과 같다.

- START_TIME, END_TIME: 해당 데이터 수집을 시작한 시간과 종료한 시간
- DISSIMILARITY_1~DISSIMILARITY_4: 각 상태와의 유사도를 계산한 값
- INSPECT_RESULT: 4가지 상태 중 가장 유사도가 높은 상태로, 본 알고리즘이 주어진 부품을 진단한 결과
- INS_DATE: 결과를 진단한 날짜

표 3.2.8 감속기 실험데이터 상태 진단 결과 예시

	ORG_NO	PART_ID	COMP_NO	TRAIN_POSTMILE	INSPECT_DATE	COLLECT_TIME	START_TIME	END_TIME	DISSIMILARITY_1	DISSIMILARITY_2	DISSIMILARITY_3	DISSIMILARITY_4	INSPECT_RESULT	INS_DATE
1	1503	501	4	14224	20140413	151400	151400	151500	241.94	146.62	134.31	146.67	3	20160413
2	1503	501	4	14224	20140413	151401	151400	151500	241.94	146.62	134.31	146.67	3	20160413
3	1503	501	4	14224	20140413	151402	151400	151500	241.94	146.62	134.31	146.67	3	20160413
4	1503	501	4	14224	20140413	151403	151400	151500	241.94	146.62	134.31	146.67	3	20160413
5	1503	501	4	14224	20140413	151404	151400	151500	241.94	146.62	134.31	146.67	3	20160413
6	1503	501	4	14224	20140413	151405	151400	151500	241.94	146.62	134.31	146.67	3	20160413
7	1503	501	4	14224	20140413	151406	151400	151500	241.94	146.62	134.31	146.67	3	20160411
8	1503	501	4	14224	20140413	151407	151400	151500	241.94	146.62	134.31	146.67	3	20160411

3) 데이터 기반 유지보수 의사결정: M4, M5

상태기반 유지보수에 있어 필수적인 유지보수 최적화 기법을 개발하였으며, 철도차량 차륜 데이터를 사용하여 전이행렬을 도출하여 전이행렬을 가상의 데이터로 보완하고 동적계획법을 수행하여 최적화 결과를 얻어내는 모의실험을 수행하였다.

① 데이터 정보 및 데이터베이스 구성

서울도시철도공사로부터 제공받은 철도 차륜 삭정데이터를 통해 사례연구 및 모의실험을 수행하였으며, 철도 차륜데이터의 기본 정보는 다음과 같다.

- 연구에 활용한 철도 차륜 데이터는 지속적인 점검 및 삭정, 교환 작업을 수행하여 열화곡선을 도출해낼 수 있는 데이터의 일종
- 철도차량 안전기준에 관한 규칙에 의하면, 플랜지의 두께는 23 밀리미터 이상, 34 밀리미터 이하로 규정
- 1개 편성에 대하여 8개 차량별 각 8위수의 차륜 직경, 플랜지 높이, 플랜지 두께 데이터를 취득하였으며, 데이터 수집 기간은 2011년 4월부터 2014년 2월까지이며, 측정 간격은 1~2개월

제공받은 데이터를 기초로 본 연구에서 재구성한 데이터베이스 구성은 다음과 같으며 표 3.2.9는 데이터 일부를 표현하였다.

- 열차 편성 정보(OGR_NO)
- 열차 번호(PART_ID)
- 정보 획득 날짜(COLLECT_DATE) 및 시간(COLLECT_TIME)
- 부품 위치 및 ID (COMP_NO 및 WHEEL_POSITION)
- 차륜삭정 데이터 (WHEEL_DIAMETER, WHEEL_HEIGHT, WHEEL_THICKNESS)
- 차륜삭정 데이터 기반의 상태 (WHEEL_STATE)
- 선행된 유지보수 종류 (PERFORMED_MAINTENANCE)

표 3.2.9 차륜 삭정데이터 예시

	ORG_NO	VEH_NO	COMP_NO	WHEEL_POSITION	TRAIN_POSTMILE	COLLECT_DATE	COLLECT_TIME	WHEEL_DIAMETER	WHEEL_HEIGHT	WHEEL_THICKNESS	WHEEL_STATE	PERFORMED_MAINTAINANCE
1	501	5001	7	7	14223	20110419	110000	810	25	29	5	3

2	501	5001	6	6	14223	20110419	110001	810	25	31.5	7	2
3	501	5001	5	5	14223	20110419	110002	810	25	33	9	3
4	501	5001	4	4	14223	20110419	110003	810	25	31	7	3
5	501	5001	3	3	14223	20110419	110004	810	25	30	6	2
6	501	5001	2	2	14223	20110419	110005	810	25	30.5	6	3
7	501	5001	1	1	14223	20110419	110006	810	25	30	6	3

② 전이행렬 도출

빈도행렬이란 부품의 전후 시점 상태변화 빈도를 기록한 것이며, 빈도함수란 이를 각 행별로 확률화한 것이다. 그리고 빈도함수를 토대로 전후 상태를 누적하여 비율로 나타낸 것으로 다양한 유지보수를 부품에 적용하였을 시에 부품의 각 상태가 해당 유지보수 적용 후에 어떤 상태로 얼마의 확률로 변할 것인 지를 나타낸 행렬이다. 본 연구에서는 차륜 삭정 데이터를 이용하여 전이 행렬을 도출하였으며, 본 데이터는 시간에 따른 상태변화 및 각 시점별 유지보수 대응이 포함되어 연구 목적과 방법론에 적합하다. 전이행렬 도출 과정은 부품 열화 및 점검데이터 추출, 가정 설정, 빈도행렬 도출, 전이행렬 도출로 이루어지며, 그림 3.2.18에 표현하였다.

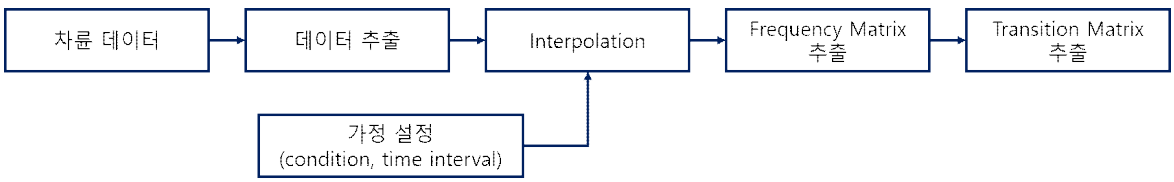


그림 3.2.18 전이행렬 도출 과정

그림 3.2.19은 차륜 삭정데이터 중 플랜지 두께 데이터의 예시로, 대상 기간 동안 해당 데이터에서는 두 차례의 삭정과 한 차례의 차륜 교환이 이루어진 것을 확인할 수 있다.

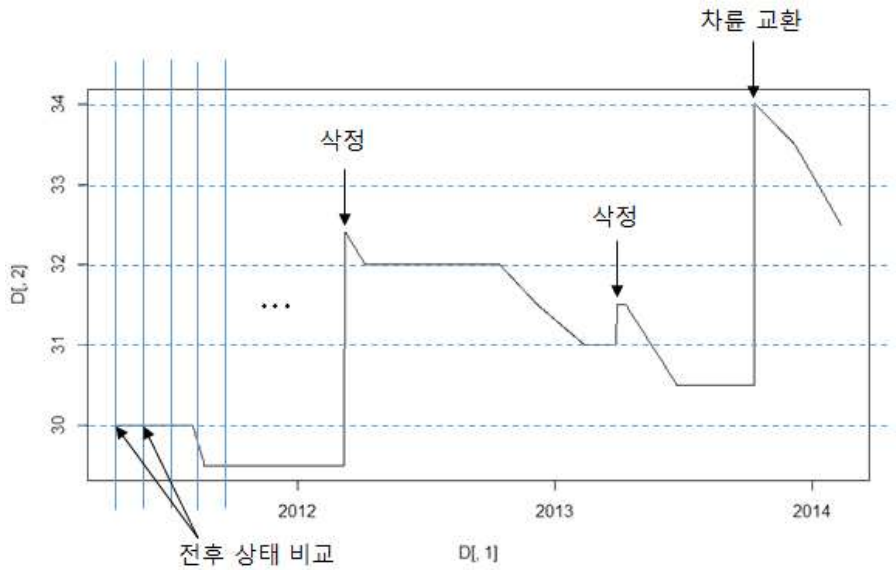


그림 3.2.19 플랜지 두께 데이터 예시

해당 데이터의 플랜지 두께 데이터 각각에 대하여 전후 상태를 비교하고 편성 전체 차륜에 대하여 종합하여 빈도행렬 및 전이행렬을 도출하고 계산은 다음과 같은 방법으로 한다

.

- t=0 시점과 t=1 시점의 전후 상태를 비교하며 상태가 A에서 B로 전이되었을 때 요소 (A,B)에 1을 더함
- 빈도행렬이 완성된 이후 각 행별로 총합 대비 요소의 비율을 계산하여 전이행렬을 도출
- 전이행렬을 도출하기 위해서 두께 데이터를 상태로 치환할 필요가 있으며, 편의상 안전기준인 23~34밀리미터를 10단계(34mm~33mm: 1단계, 33mm~32mm: 9단계, …, 25mm~: 10단계)로 구분
- 전이행렬은 전후상태를 비교하여 행렬 요소별로 빈도수를 기록한 빈도행렬을 생성한 뒤, 이를 현재 상태(행)의 전체 빈도수 합으로 나눈 값을 전이행렬의 요소 값으로서 기록
- 전후상태는 28일을 기준으로 하여 기록하였으며, 차륜 데이터는 매일 측정하는 데이터가 아니므로 비어있는 데이터는 보간법으로 추정
- 단, 본 연구에서는 차륜마다 삭정 후 두께 회복량이 일정하지 않아 삭정 시의 회복량은 매 삭정시의 수치를 합산하여 전체 평균을 적용

다양한 보수 활동이 존재하지만 주어진 철도 차륜 데이터에는 각 보수 활동 전과 후의 차륜 상태에 대한 데이터가 존재하지 않으므로 보수 활동 없이 유지한 무대응 경우의 전이행렬을 구하였으며 이는 표 3.2.10와 같다.

표 3.2.10 차륜 삭정데이터 전이행렬(무대응)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.9983	0.0017	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0.9978	0.0022	0	0	0	0	0	0	0
3	0.0012	0.0005	0.0008	0.9914	0.0061	0	0	0	0	0
4	0.0014	0.0005	0.0005	0.0009	0.9938	0.0030	0	0	0	0
5	0.0014	0.0005	0.0005	0.0009	0.9938	0.0030	0	0	0	0
6	0.0021	0	0.0004	0.0007	0.0008	0.9915	0.0045	0	0	0
7	0.0011	0	0.0004	0.0009	0.0005	0.0009	0.9946	0.0016	0	0
8	0.0007	0	0	0	0.0024	0.0007	0.0003	0.9952	0.0007	0
9	0.0029	0	0	0	0	0.0029	0	0	0.9943	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

③ 부품 단위 최적화

유지보수 활동을 결정하기 위해서는 계획대상기간의 종료시점부터 각 유지보수 활동에 따른 최소 기대비용을 추적해 나가며, 기대비용 계산은 아래와 같은 수식을 적용하였다.

$$V(i,t) = \min_{a}\{C(a,i) + \alpha \sum_{j=1}^{10} V(j,t+1) P_a(i,j)\}$$

여기서,

a: 유지보수활동 (1=미대응, 2=수리, 3=교환)

α: 할인율 (= 1/(1+r), r: 금리)

i: 현재 시점의 부품 상태

j: 다음 시점의 부품 상태

Pa(*i*,*j*): 부품이 유지보수활동 a에 의해 상태 *i*에서 *j*로 전이할 확률

C(*a*,*i*): 상태 *i*에서 유지보수활동 *a*를 수행하였을 때의 행동비용

V(*i*,*t*): 상태 *i*일 때, *t*시점부터 계획대상기간 T까지의 최소 기대비용

계산 시점의 활동에 따른 비용과 활동 선택에 따른 다음 시점의 기대비용을 고려하며, 종료시점부터 역으로 매 단계마다 계산을 수행하는 동적계획법이 적용하고

그림 3.2.20과 같이 매 시점마다 기대비용이 가장 적은 유지보수 활동을 결정해 나가면, 시작 시점의 상태에서의 최적의 유지보수 활동이 결정되고 이를 의사결정 지원에 활용한다.

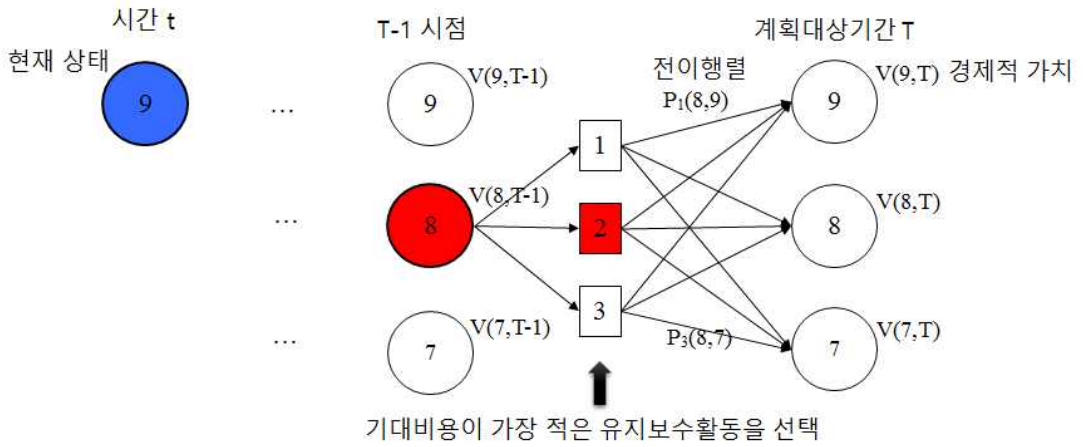


그림 3.2.20 최적 유지보수활동 결정

그림 3.2.21은 열화모델 추론을 통해 미래상태를 예측하는 과정을 그림으로 나타낸 것으로, 미리 구한 전이행렬을 통해 각 부품별 열화곡선을 확률적으로 표현한다. 부품의 현재 상태는 노란 색으로 표현되어 있으며(t=0 시점에서 상태 4), 부품의 운용 가능한 최소 한계도 설정되고 계획대상기간 T 시점으로부터 행동 이후의 경제적 가치와 행동에 따른 확률 및 기대비용을 계산하여 이전 시점에서 어떠한 유지보수활동이 가장 효율적인지 판단할 수 있다. 단, 현 시점의 열화모델 예측은 다음 시점에서 변할 수 있으므로, 다음 시점에서의 열화 모델 예측은 새로이 수행함을 전제된다.

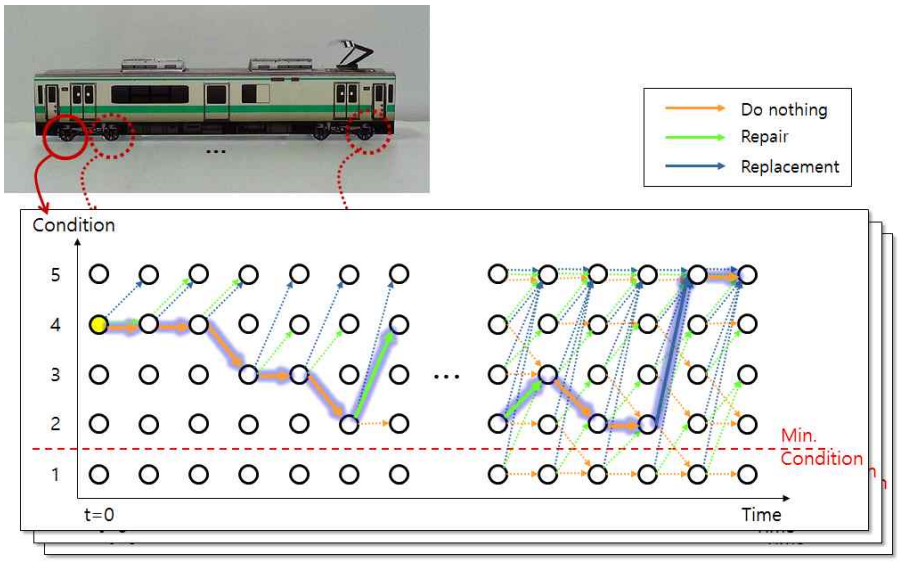


그림 3.2.21 전이행렬을 도입한 미래상태 예측

그림 3.2.22은 부품 단위 최적화 과정의 전체 알고리즘을 나타내었다.

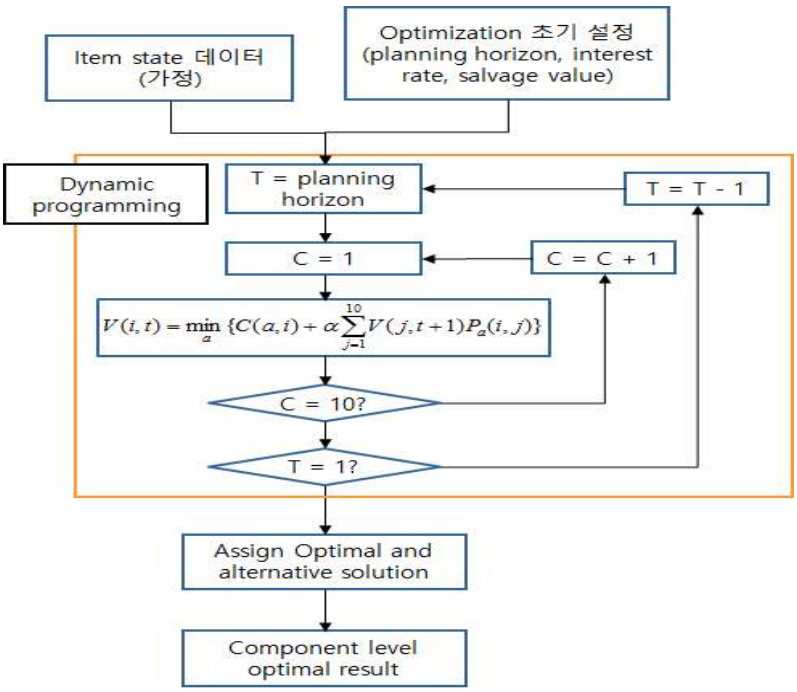


그림 3.2.22 부품 단위 최적화 전체 알고리즘

④ 부품 단위 최적화 결과

표 3.2.11은 부품 단위 최적화 알고리즘의 결과 예시로, SQL에 저장되는 형태를 표현한 것이다. 표를 구성하는 정보는 다음과 같다.

- CURRENT_CONDITION: 현재 해당 차륜의 상태에 문제가 있는 경우에는 1, 양호한 상태인 경우에는 0을 표출
- CURRENT_CONDITION_N: 현재 해당 차륜의 상태
- MIN_CONDITION_N: 최저 허용 상태
- ACTION_FIRST, ACTION_SECOND, ACTION_THIRD: 가장 최적인 유지보수활동부터 3위까지 열거한 결과
- V_FIRST, V_SECOND, V_THIRD: 각 유지보수활동의 생애주기비용
- AC_FIRST, AC_SECOND, AC_THIRD: 각 유지보수활동의 올해 드는 비용으로 부품 최적화 이후에 시스템 최적화 단계에서 주어진 예산 배분을 위해 쓰일 데이터
- UPD_DATE: 부품 최적화를 실시한 날짜
- INS_DATE:는 결과 테이블의 최종 수정일

표 3.2.11 부품 단위 최적화 결과 예시

	ORG_NO	VEH_NO	COMP_NO	TRAIN_POSTMILE	CURRENT_CONDITION	CURRENT_CONDITION_N	MIN_CONDITION_N	ACTION_FIRST	ACTION_SECOND
1	501	5001	8	14244	0	5	3	1	2
2	501	5001	7	14244	0	4	3	1	2
3	501	5001	6	14244	0	6	3	1	2
4	501	5001	5	14244	0	6	3	1	2
5	501	5001	4	14244	0	6	3	1	2
6	501	5001	3	14244	0	4	3	1	2
7	501	5001	2	14244	0	5	3	1	2

	ACTION_THIRD	V_FIRST	V_SECOND	V_THIRD	AC_FIRST	AC_SECOND	AC_THIRD	UPD_DATE	INS_DATE
1	2	3	4	2	1	1	2	20120119	20160411
2	2	3	4	2	1	1	2	20120119	20160411
3	2	1	2	2	1	1	2	20120119	20160411
4	2	1	2	2	1	1	2	20120119	20160411
5	2	2	3	2	1	1	2	20120119	20160411
6	2	3	4	2	1	1	2	20120119	20160411
7	2	1	2	2	1	1	2	20120119	20160411

⑤ 시스템 단위 최적화

시스템 단위 최적화는 부품 단위 최적화 결과를 토대로 주어진 예산에 맞게 유지보수활동을 재조정하는 단계로 현재 소요되는 비용을 조정하면서도, 생애주기비용을 최소화하는 과정이다. 최적화 과정에서는 유지보수 비용 제약, 부품간의 연계성 등의 제약조건을 파악하여 각 부품의 조합을 고려한 시스템 전체 최적해를 선

정하며 그림 3.2.23에서 설명하였다. 시스템 단위 최적화의 방법론 및 순서는 다음과 같다.

- 우선 현재의 시점 및 유지보수 예산 등의 제약조건을 입력받아 각각의 부품에 대해 부품 레벨 최적화 알고리즘을 수행하여 각 부품별 유지보수 대응 최적해 및 대안해를 도출
- 이후, 메타휴리스틱 최적화 알고리즘인 진화알고리즘을 바탕으로 시스템 레벨 최적해를 도출하기 위해 개체 수, 선택 방법, 교차 방법, 돌연변이의 정도를 결정
- 이어 초기해 집단 및 유전자 연산을 통한 새로운 해 집합을 구성한 후, 적합도 검정을 통해 새로운 해를 평가
- 반복적인 연산과정을 통해 만족스러운 해를 얻을 때까지 유전자 연산을 반복 수행하고, 이와 같은 경험적 방법을 통해 얻은 각 부품별 유지보수 대응 기법을 시스템 레벨 최적해로 결정

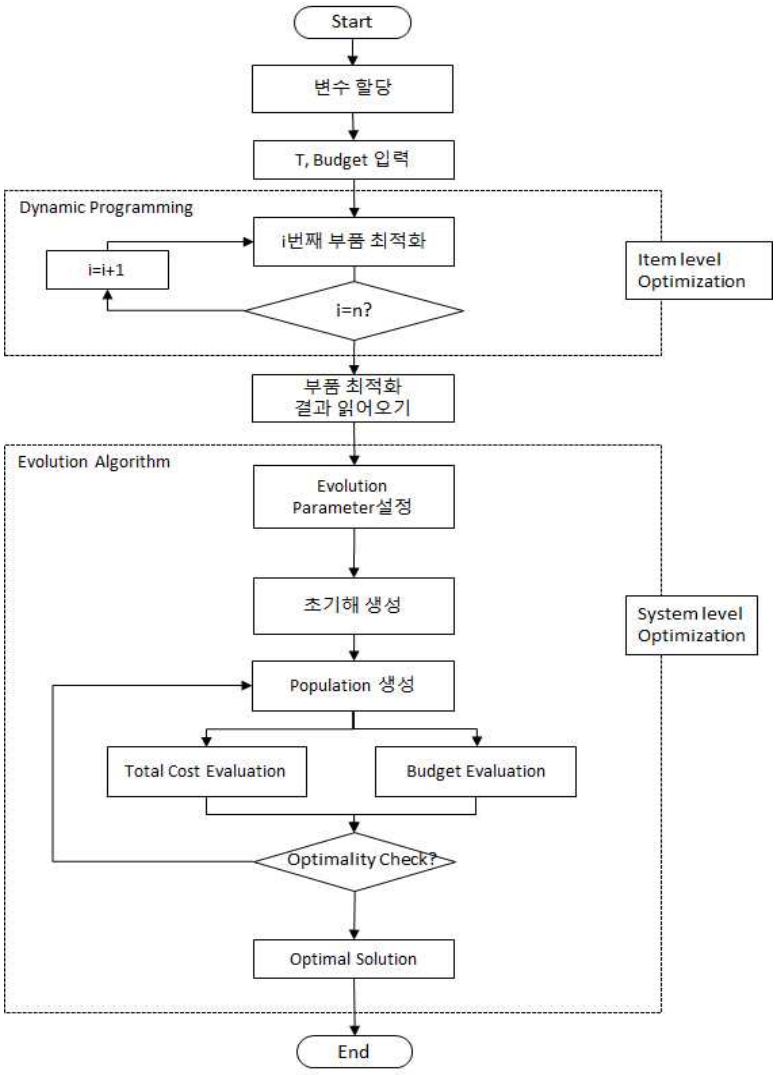


그림 3.2.23 시스템 단위 최적화 알고리즘

⑥ 시스템 단위 최적화 결과

표 3..2.12는 부품 단위 최적화와 시스템 단위 최적화 결과를 비교하여 보여주는 시스템 단위 최적화를 통해 도출된 결과로 현재 주어진 예산, 그리고 시스템 최적화로 책정된 유지보수 비용과, 생애주기 비용이 결과로 표출하였다. 그리고 시스템 단위 최적화 알고리즘 결과 표는 사용자가 원하는 조건(시간, 기차정보, 부품번호 등)을 만족하는 데이터를 선별하여 실험하고, 그에 맞게 저장하는 공간을 만들기 위해 다음의 정보를 결과로서 표출한다.

- ACTION_FIRST: 부품 단위 최적화에서의 최적 유지보수 활동
- ACTION_OPTIMAL: 시스템 단위 최적화의 최적 유지보수 활동
- SYSTEM_BUDGET: 현 시스템 유지보수에 책정된 예산
- SYSTEM_ACT_COST: 책정된 예산을 토대로 최적화된 ACTION_OPTIMAL의 유지보수 비용
- SYSTEM_LC_COST: 각 부품의 생애주기비용

표 3.2.12 시스템 단위 최적화 결과 예시

	ORG_NO	VEH_NO	COMP_NO	TRAIN_POSTMILE	CURRENT_CONDITION	CURRENT_CONDITION_N	MIN_CONDITION_N	ACTION_FIRST	ACTION_OPTIMAL	SYSTEM_BUDGET	SYSTEM_ACT_COST	SYSTEM_LC_COST	UPD_DATE	INS_DATE
1	501	5001	8	14244	0	5	3	1	1	70	67	129	20120119	20160411
2	501	5001	7	14244	0	4	3	1	1	70	67	129	20120119	20160411
3	501	5001	6	14244	0	6	3	1	1	70	67	129	20120119	20160411
4	501	5001	5	14244	0	6	3	1	1	70	67	129	20120119	20160411

5	501	5001	4	14244	0	6	3	1	1	70	67	129	201201 19	201604 11
6	501	5001	3	14244	0	4	3	1	1	70	67	129	201201 19	201604 11
7	501	5001	2	14244	0	5	3	1	1	70	67	129	201201 19	201604 11

⑦ Condition-based Maintenance 생애주기 비용 절감 효과 분석

CBM 알고리즘을 적용함으로서 목표 시스템의 전체 생애주기비용의 감소를 정량적으로 분석하기 위해 본 CBM 시스템을 Time-based Maintenance(TBM)과 비교하였다. 비교를 위한 차륜삭정 데이터로서 추출한 전이행렬이 무대응 전이행렬에 제한된 이유로, 보다 현실적인 실험을 위하여 제공받은 무대응, 부분보수, 전체보수 전이행렬을 이용하여 실험 진행하였고 P1(무대응), P2(부분보수)의 전이행렬은 표 3..2.13와 표 3.2.14와 같다. CBM과 TBM의 시스템 성능 비교를 위해 다음과 같은 전제가 존재한다.

- CBM은 지속적으로 inspection 과정을 거쳐 그 때마다 최적의 유지보수를 결정하여 목표 시스템의 상태에 따라 다른 유지보수 가격을 책정
- TBM은 사전에 각 유지보수의 최적의 주기를 결정하고, 이 후 결정된 주기에 맞추어 목표 시스템 상태와 무관하게 정해진 가격으로 유지보수 실행

표 3.2.13 무대응 전이행렬

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10	0.68	0.32								
9		0.78	0.22							
8			0.75	0.25						
7				0.67	0.33					
6					0.66	0.34				
5						0.68	0.32			
4							0.50	0.50		
3								0.55	0.45	
2									0.49	0.51
1										1.00

표 3.2.14 부분보수 전이행렬

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
10	0.80	0.20								
9	0.68	0.32								
8		0.78	0.32							
7			0.75	0.25						
6				0.67	0.33					
5					0.66	0.34				
4						0.68	0.32			
3							0.50	0.50		
2								0.55	0.45	
1									0.49	0.51

모의 실험을 위해 결정한 CBM과 TBM의 유지보수 가격과, 사태에 따른 penalty, 그리고 잔여 가치를 다음과 같이 산정하였다.

표 3.2.15 Penalty cost

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Cost	0	0	0	40	80	100	210	350	800	1500

표 3.2.16 잔여 가치

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Cost	-8000	-7000	-5000	-2000	-1500	-1200	-1000	-80	-50	-30

표 3.2.17 CBM 유지보수 비용 (상태에 따라 다르게 책정)

	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
무대응	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
부분보수	30	70	110	150	190	230	270	310	350	390
전체보수	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
inspection	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

표 3.2.18 TBM 유지보수 비용 (시스템 상태에 무관하게 책정)

무대응	0
부분보수	190
전체보수	500
inspection	5

위의 비용을 전제로 총 40년을 생애주기로 설정하고, 매년 interest rate을 0.05%로 책정하여 두 가지 기준에 따라 100번의 모의실험 진행 후 CBM 과 TBM 비교하였다. 그림 3.2.24와 그림 3.2.25는 각각 CBM과 TBM을 위의 목표 시스템에 적용하였을 때 40년 생애 주기 동안의 목표 시스템 상태의 변화를 보인다. CBM을 시스템에 적용 시, 매번 inspection을 통해 상태를 점검하고 최적의 유지보수를 적용시키기 때문에 목표 시스템의 상태는 최적으로 안정적으로 유지되는 것을 관찰 가능하다. TBM의 경우, 결정된 주기가 아닐 경우에는 시스템을 inspection하지 않으므로 시스템 상태가 안 좋아질 경우에 즉각적으로 대응을 하지 못하기 때문에 시스템 상태가 시간이 지날수록 4이하로 떨어지는 것을 관찰 가능하였다. 이 때 CBM의 failure rate = 0%로, reliability = 1-failure rate = 100%로 분석되며 TBM의 failure rate = 0.825%로, reliability = 99.175%로 분석된다.

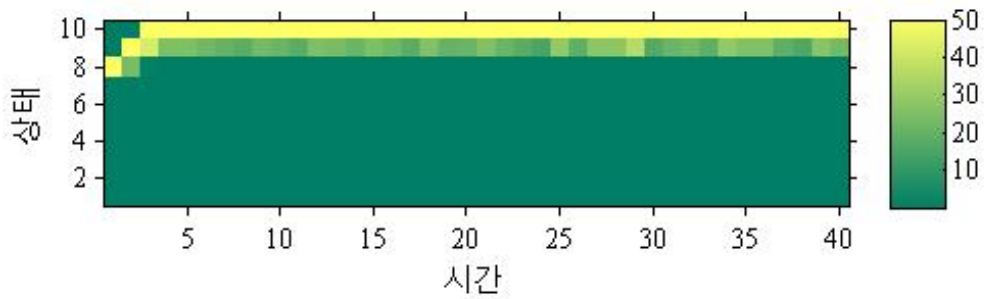


그림 3.2.24 CBM 적용 시 상태 변화

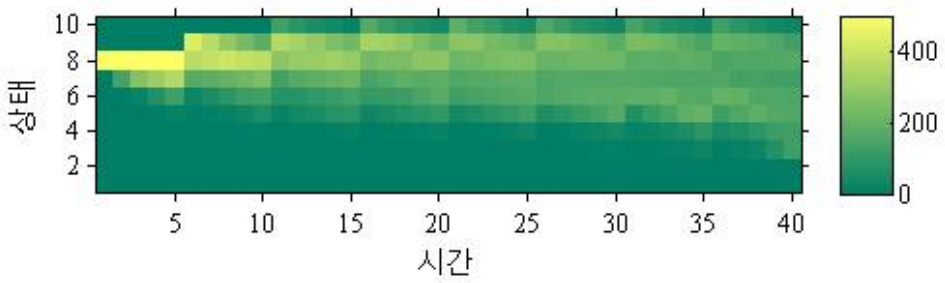


그림 3.2.25 TBM 적용 시 상태 변화

그림 3.2.24과 그림 3.2.25에서 보여진 것처럼 CBM이 시스템의 상태를 최적으로 유지시키는 대신, 생애주기비용이 TBM에 비해 크다면 CBM이 TBM에 비해 적절한 시스템이라고 말하기 어렵다. 따라서 두 유지보수 시스템을 비교할 경우 생애주기비용의 비교가 필요하다. 그림 3.2.26은 100번의 모의실험을 통해 얻은 두 시스템의 생애주기비용의 분포를 히스토그램으로 표현한 결과이다.

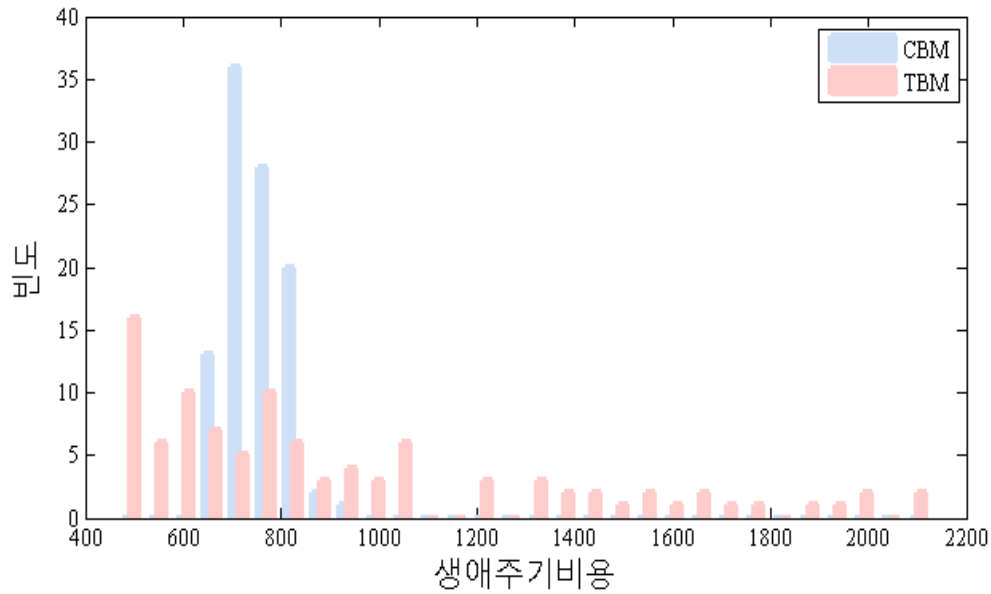


그림 3.2.26 CBM과 TBM 모의실험 100번의 생애주기비용 분포

표 3.2.19는 CBM과 TBM의 생애주기비용 분포의 정보를 요약한 결과이다. CBM의 생애주기비용 분포의 Median과 Mean 값이 TBM 보다 낮게 산정되었으며 이의 분산도 TBM에 비해 상대적으로 낮은 것을 알 수 있다. 그리고 TBM을 시스템에 적용할 경우, 평균 생애주기비용이 CBM보다 높다는 것 보다 큰 분산으로 인해 생애주기비용을 대략적으로 산정할 수 없다는 것이 TBM의 가장 큰 약점이다. TBM

의 생애주기비용이 이렇듯 높게 산정되는 경우가 생기는 이유는 TBM이 0.825%의 확률로 시스템을 failure 하는 것을 막을 수 없기 때문에 이에 따른 penalty값이 발생한 것으로 분석되어진다.

표 3.2.19 생애주기비용 분포

	Min.	1st Qu.	Median	Mean	3rd Qu.	Max.	Var.
TBM	464.2	580.2	788.1	938.9	1222.0	2984.0	194399.9
CBM	638.2	713.1	743.6	750.3	788.4	932.6	3304.6

CBM과 TBM의 생애주기비용은 고정된 값이 아닌, 시스템 설계와 기술력을 반영하는 inspection cost와 유지보수비용의 변화에 따라 크게 변할 수 있으며 이를 그림 3.2.27을 통해 보다 정량적으로 알 수 있다. 위에서 가정한 시스템 환경에서는 inspection cost가 부분보수비용의 0.1617을 넘어설 경우 CBM의 생애주기 비용의 평균이 TBM에 비해 커지며, 0.1617 이하를 유지할 경우 CBM의 생애주기 비용의 평균이 TBM 보다 적어질 것을 시사한다.

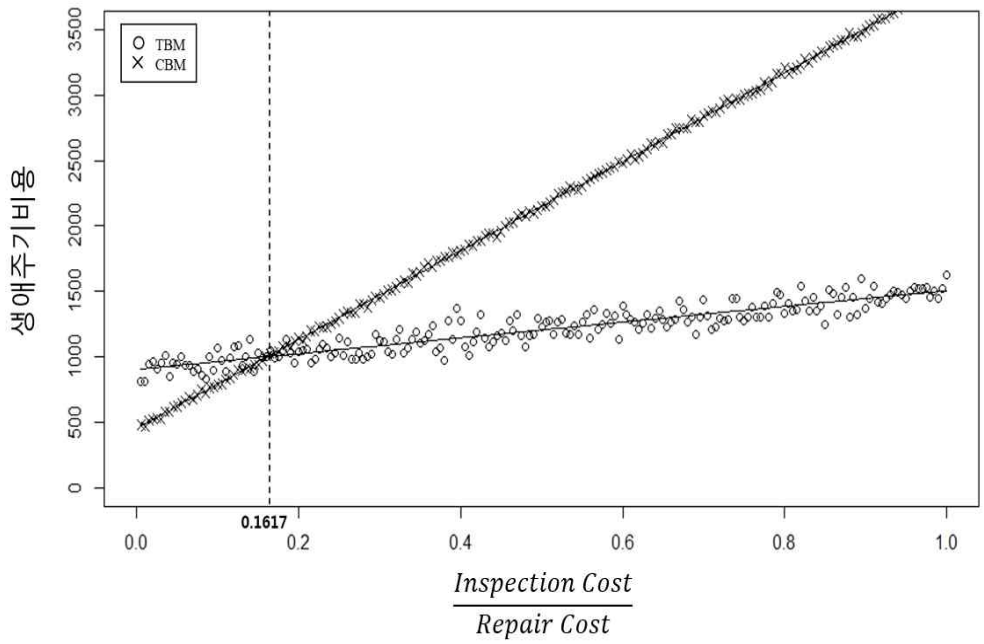


그림 3.2.27 Inspection cost와 유지비용 변화에 따른 CBM과 TBM 적용시의 생애주기비용 변화

(다) Gray Box 모듈 현시 화면

① 프로그램 실행

다음은 Gray Box 모듈을 실행하기 위한 진입 화면이다. 중간의 GrayBox 이미지를 클릭하면 Gray Box 모듈이 실행된다.

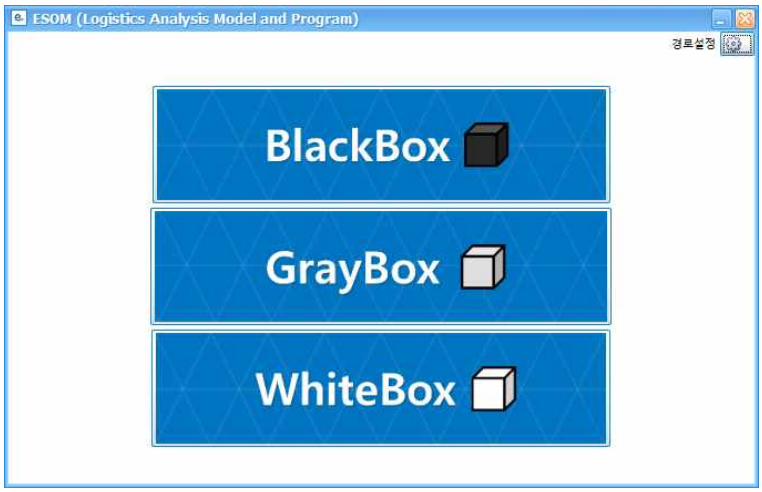


그림 3.2.28 프로그램 진입 화면

② 상태 학습

다음은 상태 진단을 위해 가속도, 온도 등 물리량에 대한 레퍼런스를 학습하는 화면이다.

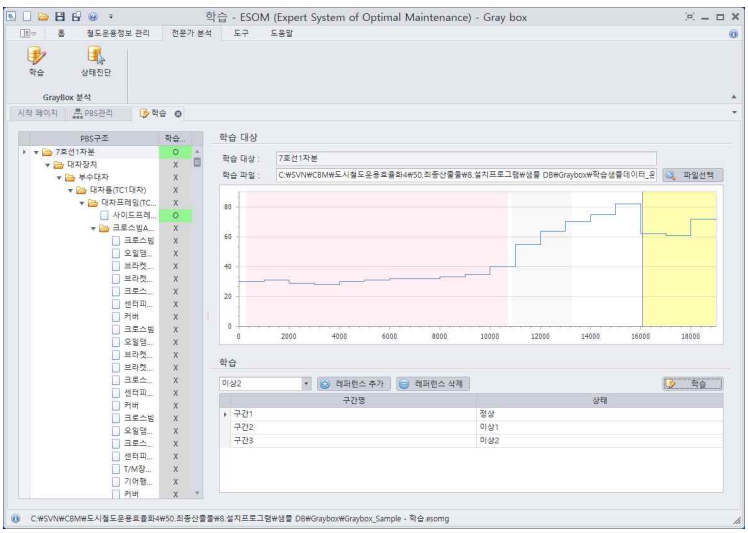


그림 3.2.29 상태 학습 화면

③ 상태 진단

다음은 가속도, 온도 등 물리량에 대해 학습한 레퍼런스를 기반으로 상태를 진단하는 화면이다.

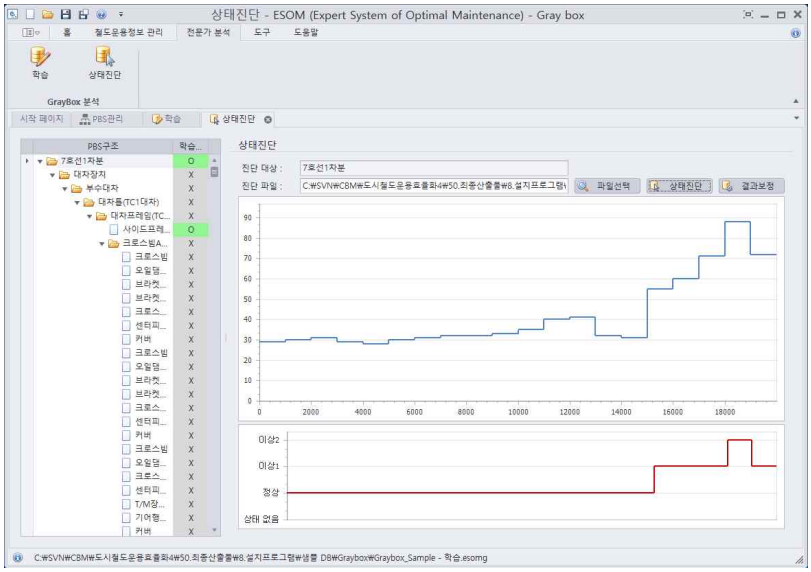


그림 3.2.30 상태 진단 화면

(4) GrayBox 신뢰성 분석 검증

GrayBox S/W가 유지보수 시스템의 신뢰도 향상에 끼치는 영향을 분석하였고 수집된 빅데이터를 기반으로 목표 시스템의 안전과 유지보수 비용을 모두 고려한 CBM 시스템과 일정한 시기에 유지보수를 시행하는 TBM 시스템의 효과 분석을 통해 CBM 기반의 본 S/W의 신뢰도를 분석하였다.

- 최소 허용 상태 이하로 상태가 안 좋아지는 경우를 Failure로 정의하여 100번의 시뮬레이션과 40년 생애주기 동안의 failure 이벤트 개수를 기준으로 신뢰도를 산정
- CBM을 시스템에 적용 시 시뮬레이션 테스트 결과로는, 총 4000번의 상태 판단 횟수에서 시스템의 failure 이벤트 개수는 0번 발생하여 아래와 같은 failure rate과 reliability가 산정됨
  - Failure rate = 0/4000 = 0%
  - Reliability = 1-failure rate = 100%
- 또한 매년 평균 상태는 그림 3.2.31에서 보여주듯이 수치화 하였으며, 평균 상태는 9.69775로 산정됨

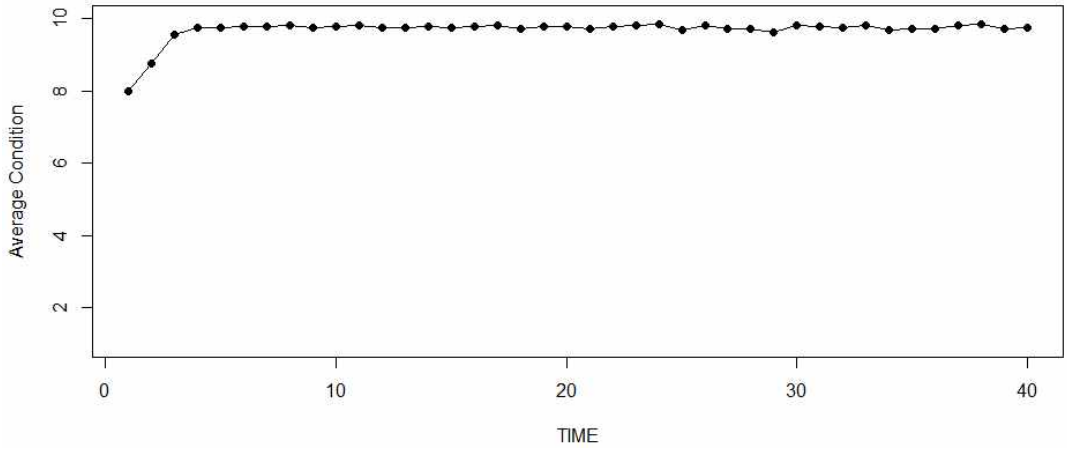


그림 3.2.31 CBM 적용시 생애주기 동안의 시스템 평균 상태 변화

■ TBM을 시스템에 적용 시 시뮬레이션 테스트 결과로는, 총 4000번의 상태 판단 횟수에서 시스템의 failure 이벤트 개수는 33번 발생하여 아래와 같은 failure rate과 reliability가 산정됨

- Failure rate = 33/4000 = 0.825%
- Reliability = 1-failure rate = 99.175%

■ 또한 해마다의 평균 상태는 그림 3.2.32에서 보여주듯이 수치화 하였으며, 평균 상태는 7.535로 산정됨

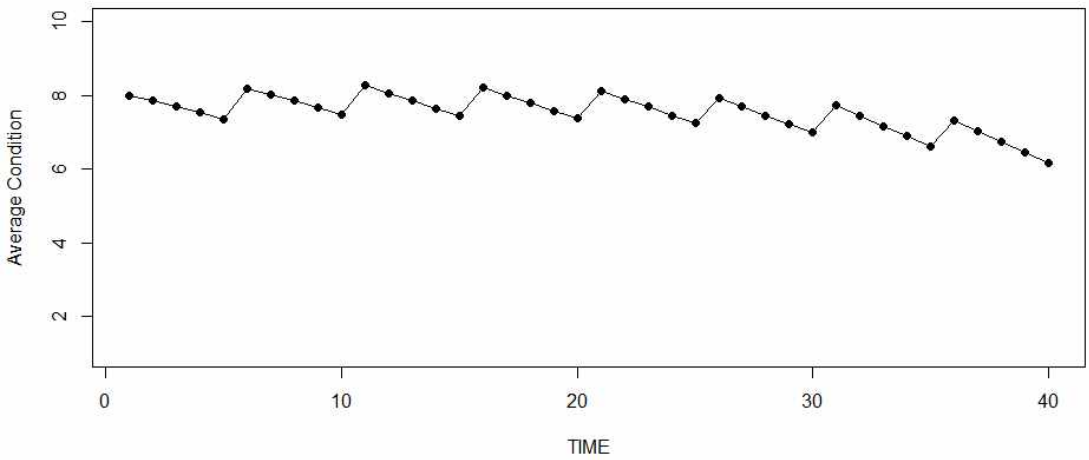


그림 3.2.32 TBM 적용 시 생애주기 동안의 시스템 평균 상태 변화

본 연구에서 개발한 Grey Box S/W를 적용 시에 Reliability를 최대치인 100%로 끌어올릴 수 있음이 본 시뮬레이션 실험 결과를 통해 도출되었으므로, 신뢰도 향상 목표를 달성하였다.

(3) 유지보수의사결정 S/W 통합 및 정보관리 인터페이스

(가) 개요 및 특징

유지보수 의사결정 통합 S/W는 철도 운영사의 운영 데이터를 연계하여 Black Box, Gray Box, White Box의 분석 결과를 종합 관리하는 시스템이다.

- 분석 모듈에서 필요로 하는 데이터를 수집하기 위하여 운영사 데이터 연계 템플릿을 제공
- 분석 모듈의 분석 결과를 종합하고 모니터링할 수 있는 사용자 인터페이스를 제공

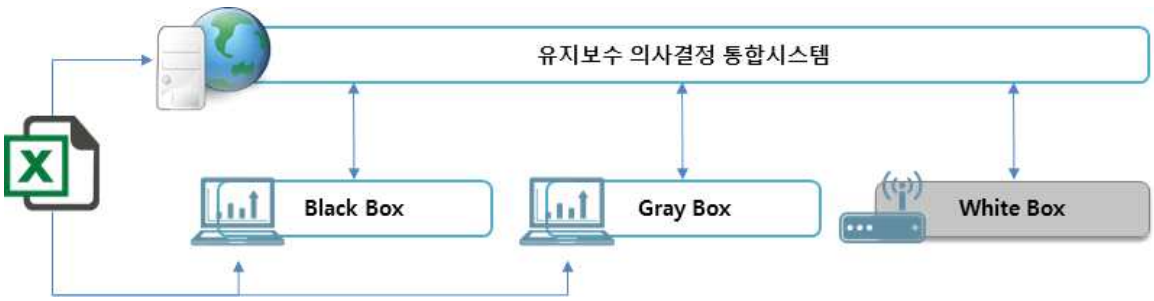


그림 3.2.33 유지보수 의사결정 통합시스템 구성

통합 S/W의 프레임워크는 White Box 모델의 확장성을 고려하여 표준 프레임워크를 적용하였다.

표준 프레임워크는 컴포넌트 기반 개발 방법에 최적화되어 있는 오픈 프레임워크로 확장성 및 범용성 확보에 유연한 대응이 가능한 프레임워크임.

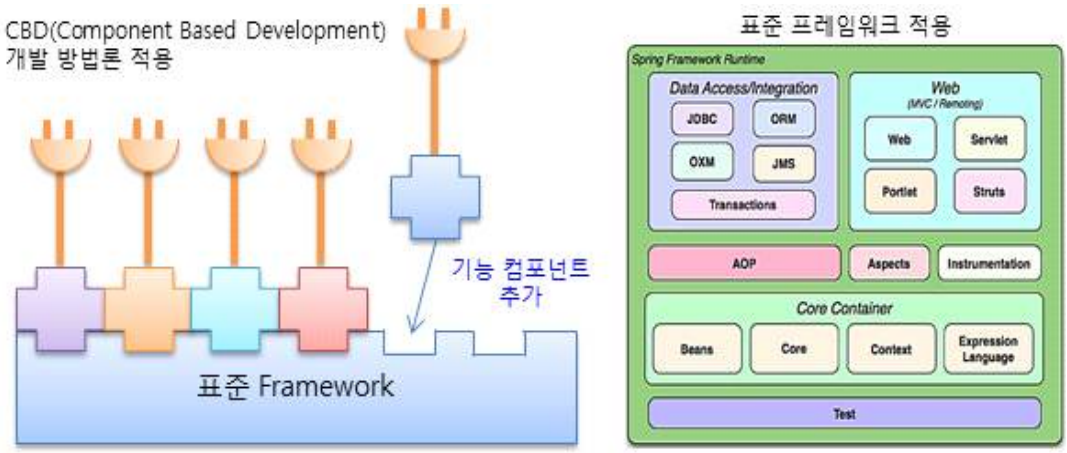


그림 3.2.34 표준 프레임워크 적용

운영사 데이터 연계 템플릿은 기지정보, 편성정보 등의 기준정보와 고장이력, 정비이력 등의 이력정보로 구분하고 있으며 각 템플릿별 항목은 표 3.2.20, 표 3.2.21과 같이 정의하였다.

표 3.2.20 기준 정보 템플릿 항목

구분	항목	설명
노선정보	운행노선	운행노선의 명칭
	첫차출발시간	노선의 첫차 출발시간
	막차출발시간	노선의 마지막차 출발시간
	일평균운행시간(Hr)	노선의 일일 평균운행시간
	일평균운행거리(Km)	노선의 일일 평균운행거리
	일평균운행횟수	노선의 일일 평균운행횟수
기지정보	기지명	기지의 명칭
	기지유형	정비기지, 보급기지의 구분
	정비수준	중정비, 경정비인 정비수준
	상위기지이동시간분포	상위기지로 이동하는 시간의에 대한 분포
	상위기지이동시간분포모수1	상위기지로 이동하는 시간의에 대한 분포모수
	상위기지이동시간분포모수2	상위기지로 이동하는 시간의에 대한 분포모수2
	관련정비/보급기지명	정비 및 보급기지명
	담당기지이동시간분포	담당기지로 이동하는 시간의에 대한 분포
	담당기지이동시간분포모수1	담당기지로 이동하는 시간의에 대한 분포모수
	담당기지이동시간분포모수2	담당기지로 이동하는 시간의에 대한 분포모수
편성정보	편성번호	편성 번호
	편성소속기지	편성이 소속된 기지명
	영업투입일	실제로 영업에 투입된 시작일
차량편성	차량번호	차량 번호
품목정보	품목번호	품목의 번호
	품목명	품목의 명칭
	제작사	품목을 제작한 제작사의 명칭
	단가(원)	품목의 단가 (원)
	연간재고유지비용(원)	품목1개 기준으로 연간 재고로 유지하는데 소요되는 비용 (원)

구분	항목	설명
	폐기비용(원)	품목1개 기준으로 해당 품목을 폐기하는데 소요되는 비용 (원)
	조달시간분포	조달시 소요되는 시간의 분포
	조달시간분포모수1	조달시 소요되는 시간의 분포 모수
	조달시간분포모수2	조달시 소요되는 시간의 분포 모수
	소모성여부	품목의 고장 시 수리하는지 폐기하는지의 구분
	수리가능비율	품목의 고장 시 얼만큼의 확률로 수리가 가능한지의 비율
	수리계단	고장이 발생했을 때 수리하는 정비수준 (경정비, 중정비)
	수리시간분포	수리시 소요되는 시간의 분포
	수리시간분포모수1	수리시 소요되는 시간의 분포 모수
	수리시간분포모수2	수리시 소요되는 시간의 분포 모수
	MTTR(Hr)	평균수리시간
품목일련번호	일련번호	품목의 일련번호
	입고일자	품목의 입고 일자
	폐기(예정)일자	품목의 폐기(예정) 일자
	품질수치	목의 품질 수치
PBS정보	PBS명	PBS 명칭
	구성수량	PBS를 구성하고 있는 수량
	품목구분	PBS을 구분하는 정보 (SYSTEM, LRU, SRU)
	LCN	PBS의 상하관계를 나타내는 정보
	고장발생시간분포	고장이 발생되는 시간의 분포
	고장발생시간분포모수1	고장이 발생되는 시간의 분포 모수
	고장발생시간분포모수2	고장이 발생되는 시간의 분포 모수
	교환수준	교환하는 정비수준(경정비, 중정비)
	교환시간분포	교환시 소요되는 시간의 분포
	교환시간분포모수1	교환시 소요되는 시간의 분포 모수
	교환시간분포모수2	교환시 소요되는 시간의 분포 모수
	MTBF(Hr	고장간 평균시간

구분	항목	설명
	직병렬 여부	PBS 상/하간 직병렬 여부
	KOutOfN의 K값	PBS를 구성하는 수량 중 몇 개 까지 고장이 발생해도 운용할 수 있는 K값
	교체수량	품목이 교체될 때 교체되는 수량
재고정책	품목번호	품목의 번호
	최대재고수준	기지내에서 해당 품목이 최대 재고로 보유해야 하는 수량
	재주문점	기지내에서 해당 품목의 대한 재주문 수량
	보유수량	기지내에서 해당 품목의 현재 보유수량
정비자원 보유현황	정비자원명	기지내에서 보유하고 있는 정비자원(인력/장비) 명칭
	보유수량	기지내에서 보유하고 있는 정비자원(인력/장비) 수량
주기 점검 정보	주기점검명	차종의 주기점검명
	정비수준	차종의 정비수준(경정비, 중정비)
	수행시간분포	점검 수행시 소요되는 시간의 분포
	수행시간분포모수1	점검 수행시 소요되는 시간의 분포 모수
	수행시간분포모수2	점검 수행시 소요되는 시간의 분포 모수
주기 교환 정보	주기기준	PBS의 교환 주기 기준(달력시간, 운용시간, 운용거리)
	주기	PBS의 교환 주기 값
	주기단위	PBS의 교환 주기 단위
품목교환 소요자원	정비자원명	PBS의 교환시 소요되는 자원명(인력,장비)
	소요비율	PBS의 교환시 소요되는 자원의 비율
품목수리 소요자원	정비자원명	품목의 수리시 소요되는 자원명(인력,장비)
	소요비율	품목의 수리시 소요되는 자원의 비율

표 3.2.21 이력 정보 템플릿 항목

구분	항목	설명
소모실정	정비수준	정비수준(경정비, 중정비)
	편성번호	편성 번호
	차량번호	차량 번호
	작업일자	정비 작업일자
	검종구분	정비의 점검 주기
	품목명	소모된 품목명
	일련번호	소모된 품목의 일련번호
	사용수량	소모된 품목의 사용수량
	단위	소모된 품목의 사용수량 단위
고장 정비 이력	CM식별번호	고장이력 식별번호
	발생일자	고장이 발생한 일자
	발생장소	고장이 발생한 장소
	운행방향	고장이 발생했을 때의 운행방향
	차량번호	고장이 발생했을 때의 차량번호
	날씨	고장이 발생했을 때의 날씨
	기온(℃)	고장이 발생했을 때의 온도
	총운행시간(Hr)	고장이 발생했을 때의 총운행시간
	총운행거리(Km)	고장이 발생했을 때의 총운행거리
고장 품목 정보	PBS명	고장이 발생했을 때의 고장 PBS명
	품목명	고장이 발생했을 때의 고장 품목명
	일련번호	고장이 발생했을 때의 고장 품목의 일련번호
	위수	고장이 발생했을 때의 고장 PBS의 위수
	고장유형	고장이 발생했을 때의 고장 유형
	고장원인	고장이 발생했을 때의 고장 원인
	서비스 영향	고장이 발생했을 때의 서비스에 미치는 영향
	편성운영영향	고장이 발생했을 때의 편성 운영 영향
	고장분류	고장이 발생했을 때의 고장분류
	고장검지구분	고장이 발생했을 때의 고장검지구분
부품 수리 정보	품목명	고장이 발생했을 때의 수리대상 품목
	일련번호	고장이 발생했을 때의 수리대상 품목의 일련번호

구분	항목	설명
	수리여부	고장이 발생했을 때의 수리대상 품목의 수리여부
	수리일자	고장이 발생했을 때의 수리대상 품목의 수리일자
	작업담당	고장이 발생했을 때의 수리 작업담당자
	수리기지	고장이 발생했을 때의 수리기지
	수리소요시간(Hr)	고장이 발생했을 때의 수리소요시간
부품교환 정보	PBS명	고장이 발생했을 때의 교환 부품의 PBS
	교환수량	고장이 발생했을 때의 교환 부품의 교환 수량
	취거부품명	고장이 발생했을 때의 교환 부품의 탈거 부품명
	취거부품 일련번호	고장이 발생했을 때의 교환 부품의 탈거 부품의 일련번호
	취부부품명	고장이 발생했을 때의 교환 부품의 탈착 부품명
	취부부품 일련번호	고장이 발생했을 때의 교환 부품의 탈착 부품의 일련번호
편성고장 조치정보	기지명	고장이 발생했을 때의 정비기지
	조치내역	고장이 발생했을 때의 정비기지에서 조치한 내역
	조치일자	고장이 발생했을 때의 정비기지에서 조치한 일자
	조치담당자	고장이 발생했을 때의 정비기지에서 조치한 담당자
	고장복구시간(Hr)	고장이 발생했을 때의 정비기지에서 고장복구에 소요된 시간
운행이력	편성번호	편성 번호
	운행일자	편성의 운행일자
	영업주행거리	편성의 운영시 주행거리
	총주행거리	편성의 운영시 총누적 주행거리
	운행시간	편성의 운영시 운행시간

유지보수 의사결정 통합 S/W의 시스템 명칭은 Expert System of Optimal Maintenance의 약어인 ESOM으로 명명하였고 기능 구성은 다음과 같다.

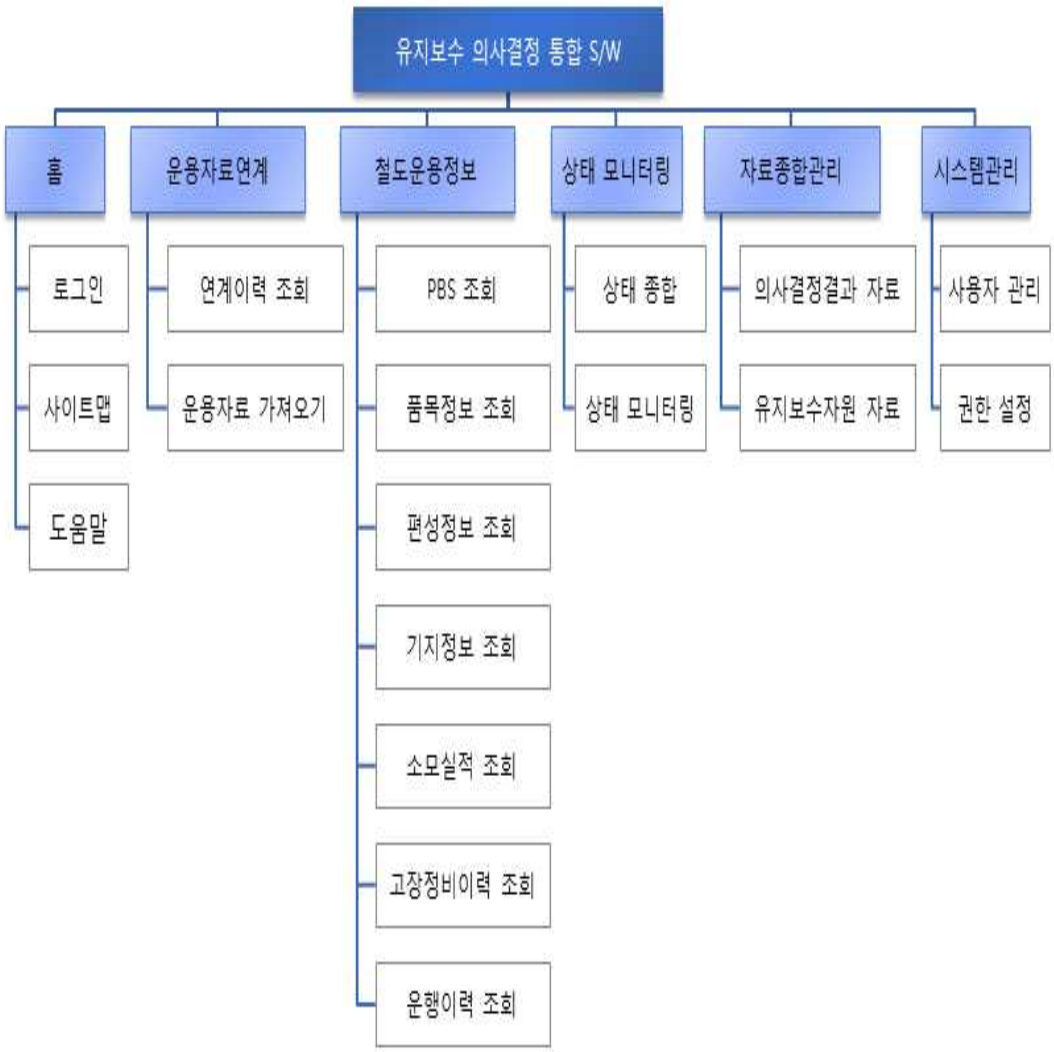


그림 3.2.35 유지보수 의사결정 통합 S/W 기능 구성

(나) 유지보수의사결정 S/W 통합 및 정보관리 인터페이스 현시 화면

① 연계이력 조회 화면

좌측에 연계를 수행한 목록과 우측에는 연계항목별 연계 건수 등을 표시

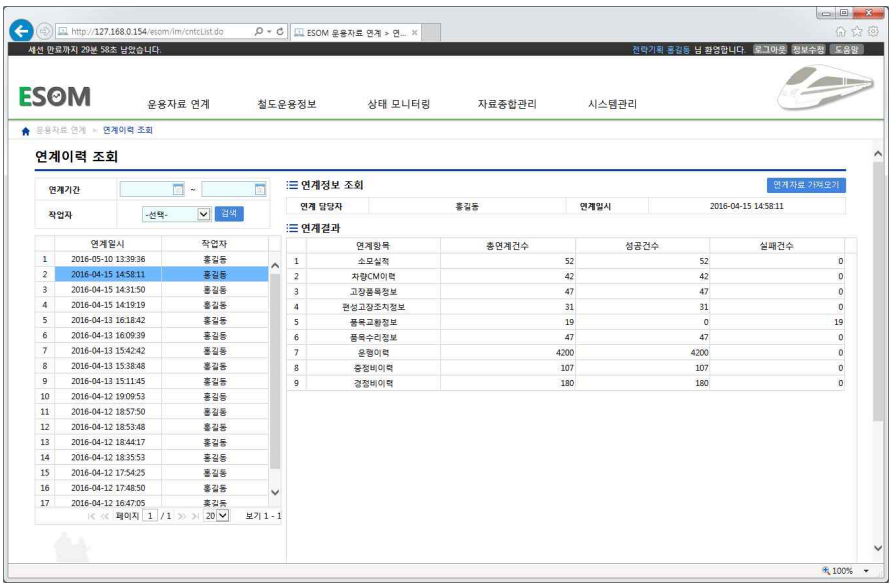


그림 3.2.36 연계이력 조회 화면

② 시스템 계층 구조(PBS) 관리 화면



그림 3.2.37 시스템 계층 구조(PBS) 관리 화면

③ 상태 모니터링 종합 화면

White Box, Gray Box, Black Box 순의 우선순위로 상태 모니터링 분석 결과를 종합 표시하였다.

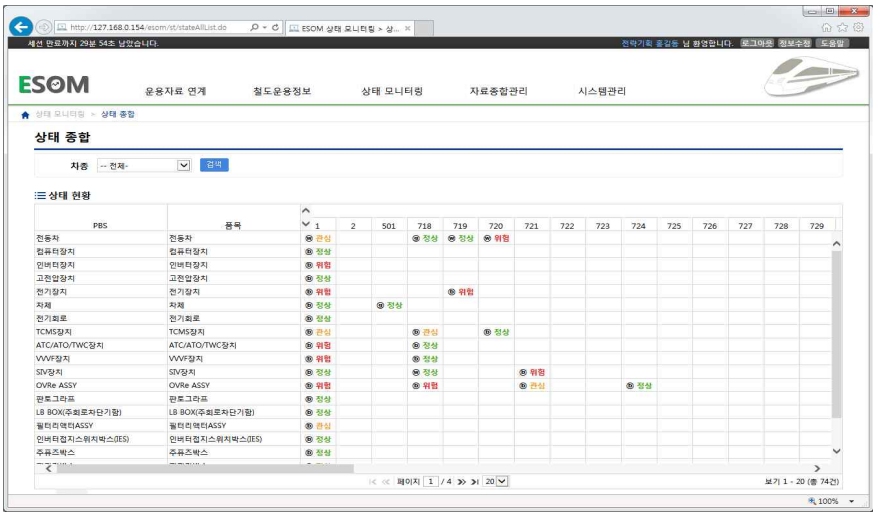


그림 3.2.38 상태 모니터링 종합 화면

④ 상태 모니터링 화면

차종별 PBS별 White Box, Gray Box, Black Box의 분석 결과를 표시하고 유지보수에 반영할 사항은 목록의 체크박스를 선택하여 관리

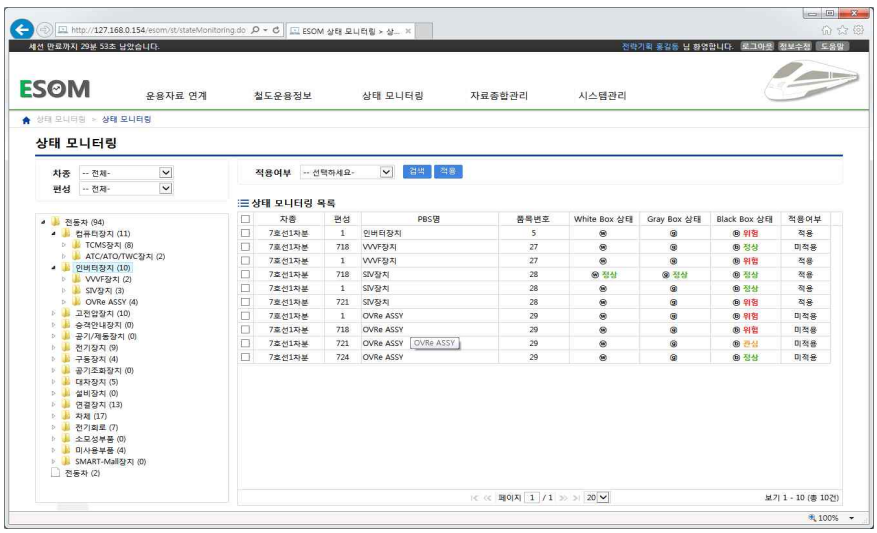


그림 3.2.39 상태 모니터링 화면

(4) 유지보수전문가시스템 신뢰성 검증

(가) 검증 결과 요약

Black-box 모듈은 3차에 걸쳐 검증을 수행하였으며, Gray-box 모듈은 2차에 걸쳐 검증을 수행하였다. 1차 검증 후 수정/보완, 2차 검증 후 수정/보완, 3차 검증 후 수정/보완 단계를 통해 S/W의 신뢰성을 높였다.

검증에서 사용한 데이터는 모든 데이터를 그대로 적용하기에는 프로그램 수행시간이 길어 다양한 검증을 할 수 없어 데이터의 양을 많이 축소하여 검증에 활용하였다.

검증 결과 모듈 별 발생한 오류 건수와 잔존 오류 건수는 아래의 표와 같다. 즉 총 37개의 오류를 발견하였으며, 모든 오류는 수정되었음이 확인되었다.

표 3.2.22 총 오류 및 개선 필요 건수

모듈	차수	기능 오류 건수	검증 오류 건수	잔존 오류 건수
Black-box	1차	7	4	0
	2차	1	0	0
	3차	6	3	0
	소계	14	7	0
Gray-Box	1차	12	1	0
	2차	3	0	0
	소계	15	1	0
합계		29	8	0

(나) Black-box 모듈

Black-box 모듈에서는 특정 운영사의 실제 데이터의 수치를 일부 변경하여 사용하였으며 수행 속도로 인해 특정 장치 1개의 일부 데이터만을 대상으로 하였다.

Black-box 모듈을 3차에 걸쳐 검증한 결과를 아래 종합 표에 포함하였으며 상세 내용은 [상세 검증 결과]에 기술하였다.

표 3.2.23 Black-box 검증 결과 종합

검증 시기	번호	구분	내용	보완 여부
1차	B001	기능 오류	엑셀 데이터 가져오기 시 “Database is not open” 관련 오류	완료
	B002	기능 오류	엑셀 데이터 가져오기 시 [차종>을(를) PBS_ID 열에 저장할 수 없습니다.]관련 오류	완료
	B003	기능 오류	엑셀 데이터 가져오기 시 [정비날짜’열은 중정비이력 테이블에 속하지 않습니다.관련 오류	완료
	B004	기능 오류	엑셀 데이터 가져오기 시 [중정비 이력 체크] 관련 오류	완료
	B005	기능 오류	엑셀 데이터 가져오기 시 교환 수량 누락 오류	완료
	B006	논리 오류	달력 시간 기준 분석 시 결과값 누락 (운행 이력이 없는 경우)	완료
	B007	논리 오류	달력 시간 기준 분석 시 마지막 부분 결과값 누락	완료
	B008	논리 오류	달력 시간 기준 분석 시 잘못된 결과값 산출	완료
	B009	논리 오류	운영 거리 기준 분석 시 결과값이 정수만으로 산출	완료
	B010	기능 오류	엑셀데이터 가져오기 및 분석 수행 시간이 너무 오래 걸림	완료
	B011	기능 오류	도움말의 내용 보완	완료
2차	B012	기능 오류	엑셀 데이터 가져오기 시 작동 중지됨	완료
3차	B013	기능 오류	ESOM 메인 이름 표기 오류	완료
	B014	기능 오류	운용자료 연계, 엑셀 데이터 가져오기 소요시간 개선	완료
	B015	기능 오류	고장이력의 발생일자 및 시간 입력 오류	완료
	B016	기능 오류	달력시간(시간) 기준 신뢰성 모니터링 결과 표현 오류	완료
	B017	논리 오류	달력시간(시간) 기준 분석 결과 오류	완료
	B018	논리 오류	운영시간(시간) 기준 분석 결과 오류	완료
	B019	논리 오류	운영거리 기준 분석 결과 오류	완료
	B020	기능 오류	작동 중지 발생 후 재실행 불가	완료
	B021	기능 오류	도움말	완료

① 검증 방법

■ 분석 대상

- 차종 : 1개 차종
- 품목 정보 : 총 87개 품목
- PBS: 5레벨, 125개 항목
- 운행노선 : 1개 노선
- 기지정보 : 2개소
- 편성정보 : 76 편성
- 고장이력: 1,030건
- 운행이력 : 212,094 건
- 중정비이력 : 380건
- 경정비이력 : 없음

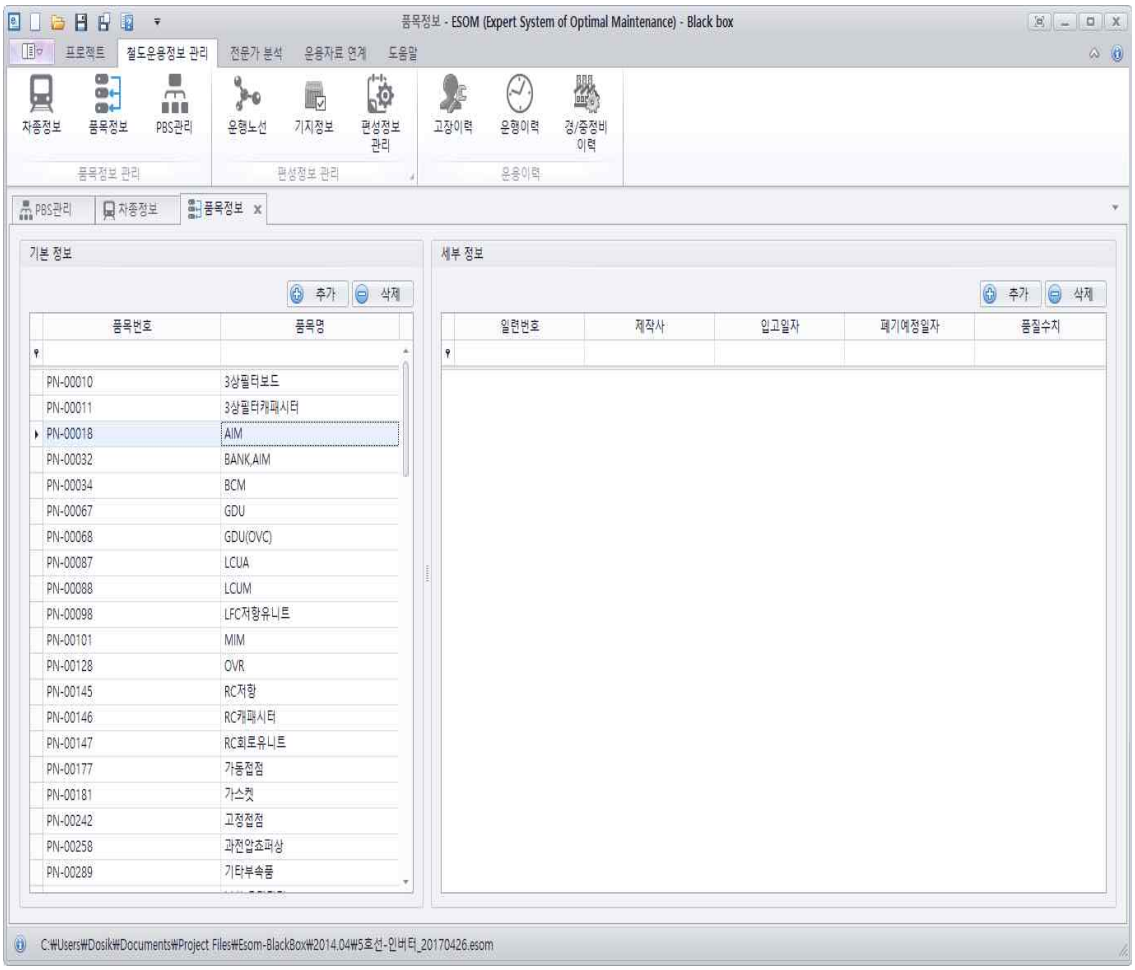


그림 3.2.40 Black-box 품목 입력 정보

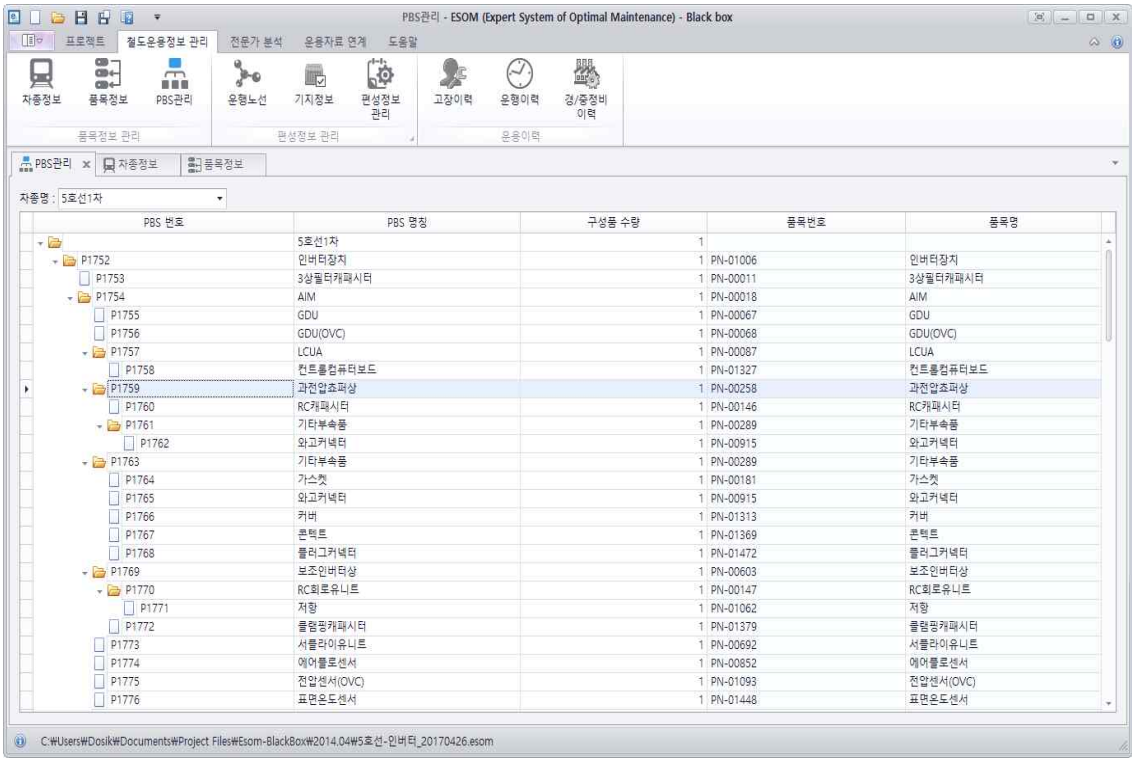


그림 3.2.41 Black-box PBS 입력 정보

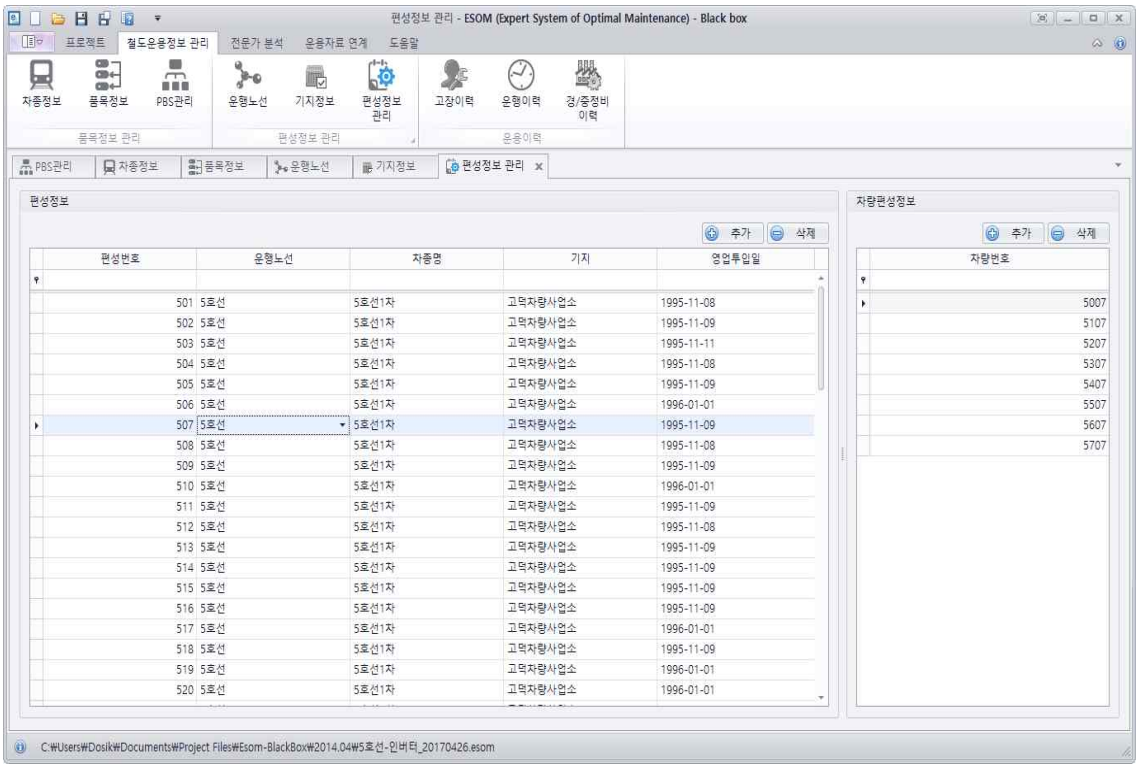


그림 3.2.42 Black-box 편성 입력 정보

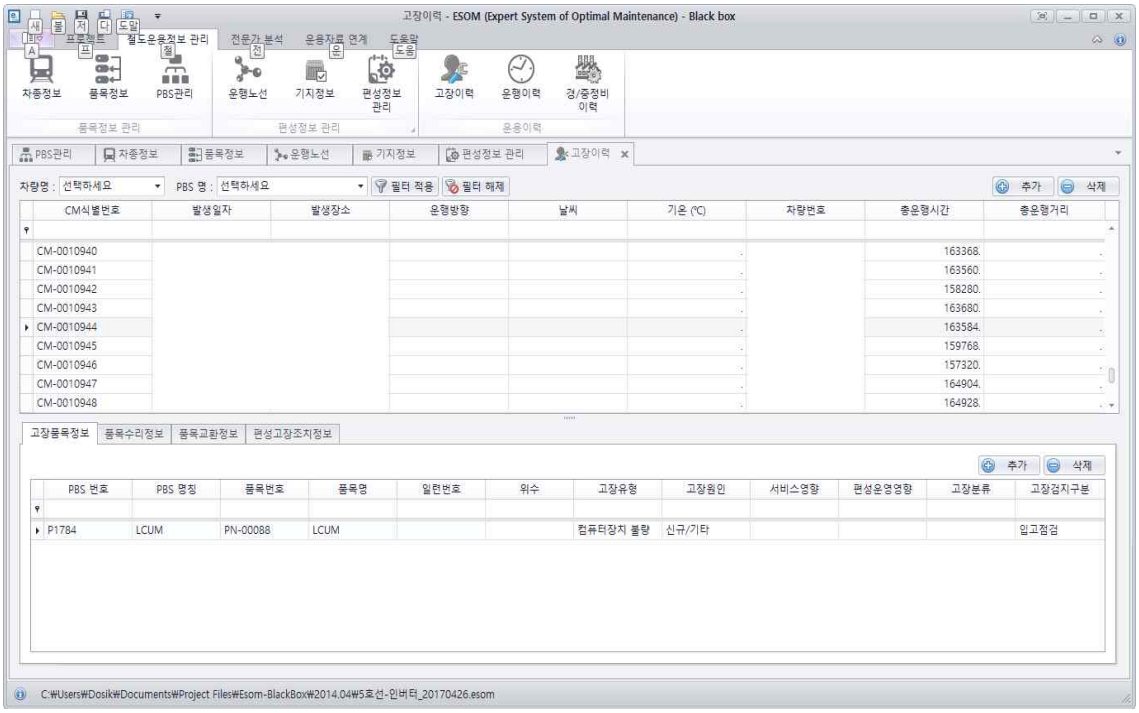


그림 3.2.43 Black-box 고장 이력 입력 정보

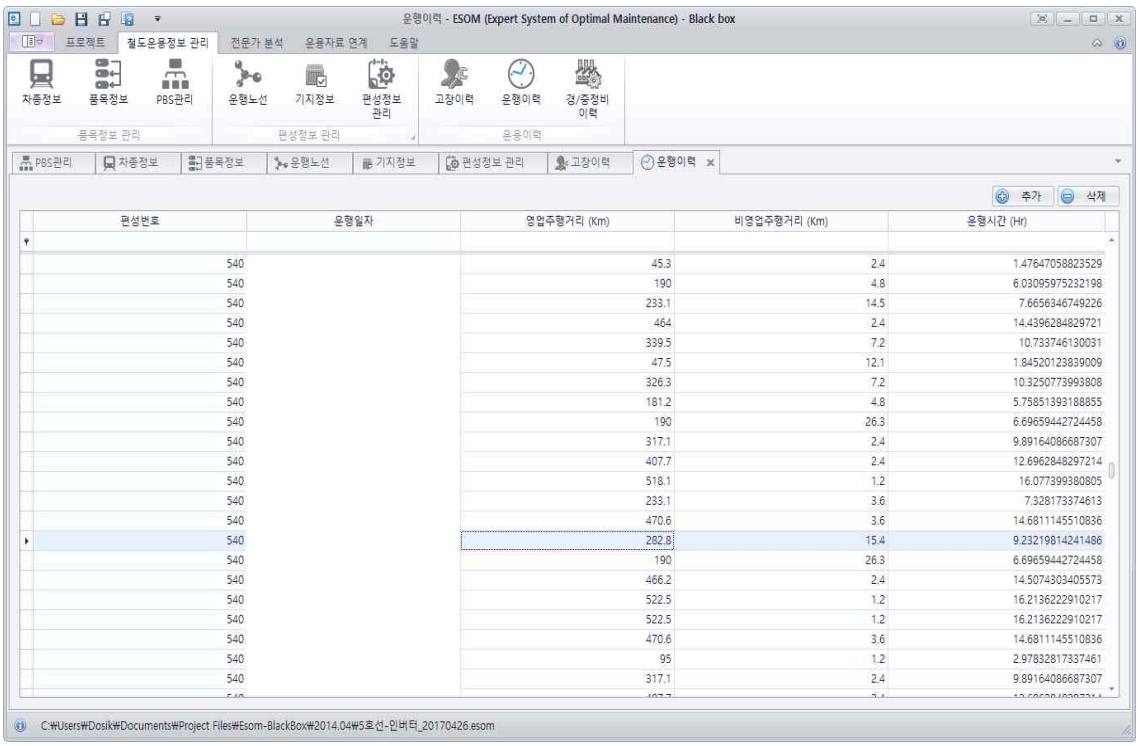


그림 3.2.44 Black-box 운행 이력 입력 정보

■ 샘플 데이터

- 편성 정보

표 3.2.24 Black-box 편성 정보

운행노선	편성번호	차종명	제작사	편성소속기지	신조일	영업투입일
X호선	X01	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1995-11-08
X호선	X02	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1995-11-09
X호선	X03	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1995-11-11
X호선	X04	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1995-11-08
X호선	X05	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1995-11-09
X호선	X06	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1996-01-01
X호선	X07	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1995-11-09
X호선	X08	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1995-11-08
X호선	X09	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1995-11-09
X호선	X10	X호선1차	Rotem	XX차량사업소	1995-01-01	1996-01-01
~						

- 차량 편성 정보

표 3.2.25 Black-box 차량 편성 정보

운행노선	편성번호
X호선	X01
X호선	X02
X호선	X03
X호선	X04
X호선	X05
X호선	X06
X호선	X07
X호선	X08
X호선	X09
X호선	X10
~	

- 품목 정보

표 3.2.26 Black-box 품목 정보

품목번호	품목명	일련번호	제작사
XN-00010	3상필터보드	1	Rotem
XN-00011	3상필터캐패시터	1	Rotem
XN-00018	AIM	1	Rotem
XN-00032	BANK,AIM	1	Rotem
XN-00034	BCM	1	Rotem
XN-00067	GDU	1	Rotem
XN-00068	GDU(OVC)	1	Rotem
XN-00087	LCUA	1	Rotem
XN-00088	LCUM	1	Rotem
~			

- PBS 정보

표 3.2.27 Black-box PBS 정보

차종명	PBS번호	PBS명	상위PBS번호	품목번호	품목명	수량
X호선1차	X1752	인버터장치		XN-01006	인버터장치	1
X호선1차	X1753	3상필터캐패시터	X1752	XN-00011	3상필터캐패시터	1
X호선1차	X1754	AIM	X1752	XN-00018	AIM	1
X호선1차	X1755	GDU	X1754	XN-00067	GDU	1
X호선1차	X1756	GDU(OVC)	X1754	XN-00068	GDU(OVC)	1
X호선1차	X1757	LCUA	X1754	XN-00087	LCUA	1
X호선1차	X1758	컨트롤컴퓨터보드	X1757	XN-01327	컨트롤컴퓨터보드	1
X호선1차	X1759	과전압쵸퍼상	X1754	XN-00258	과전압쵸퍼상	1
X호선1차	X1760	RC캐패시터	X1759	XN-00146	RC캐패시터	1
X호선1차	X1761	기타부속품	X1759	XN-00289	기타부속품	1
~						

- 차량 CM 이력

표 3.2.28 Black-box 차량 CM 이력 정보

CM식별번호	환경정보		차량정보			
	발생일자	발생시간	편성번호	차량번호	총운행시간	총운행거리
CM-0000001	2006-01-01	00:00:00	X01	X101	88968	0
CM-0000002	2006-01-01	00:00:00	X29	X329	87672	0
CM-0000003	2006-01-02	00:00:00	X10	X610	87696	0
CM-0000004	2006-01-02	00:00:00	X22	X222	88968	0
CM-0000005	2006-01-02	00:00:00	X33	X633	88296	0
CM-0000006	2006-01-02	00:00:00	X60	X660	83424	0
CM-0000007	2006-01-02	00:00:00	X66	X766	82920	0
CM-0000008	2006-01-03	00:00:00	X04	X604	89016	0
CM-0000009	2006-01-03	00:00:00	X34	X334	87720	0
CM-0000010	2006-01-03	00:00:00	X41	X141	87816	0
~						

- 고장 품목 정보

표 3.2.29 Black-box 고장 품목 정보

CM 식별번호	품목정보				고장유형 및 영향					
	PBS 번호	품목 번호	일련 번호	위수	고장유형	고장 원인	서비스 영향	편성 운영 영향	고장 분류	고장 검지 구분
CM-0000001	X1752	XN-01006			인버터장치 불량	오동작				도착 점검
CM-0000002	X1762	XN-00915		MIM1	구동장치 불량	감도 부족				도착 점검
CM-0000003	X1784	XN-00088		MIM1	인버터장치 불량	접촉 불량				임시 점검
CM-0000004	X1784	XN-00088		MIM1	인버터장치 불량	감도 부족				3일검사
CM-0000005	X1784	XN-00088		MIM1	구동장치 불량	감도 부족				3일검사
CM-0000006	X1846	XN-00516			보조전원장치 불량	오동작	지연 운행		서비스 고장	도착 점검
CM-0000007	X1805	XN-00517		MIM2-U	인버터장치 불량	하드웨어 불량				도착 점검
CM-0000008	X1762	XN-00915		MIM1	인버터장치 불량	접촉 불량				3일검사
CM-0000009	X1762	XN-00915		MIM2	구동장치 불량	감도 부족				도착 점검
CM-0000010	X1752	XN-01006			인버터장치 불량	오동작				도착 점검
~										

- 편성 고장 조치 정보

표 3.2.30 Black-box 편성 고장 조치 정보

CM식별번호	조치내역	조치일자	조치담당	편성소속기지	고장 복구 시간
CM-0000001	분해청소	2006-01-01		XX차량사업소	1
CM-0000002	교환	2006-01-01		XX차량사업소	1
CM-0000003	수리 취부	2006-01-02		XX차량사업소	1
CM-0000004	재접속	2006-01-02		XX차량사업소	1
CM-0000005	교정	2006-01-02		XX차량사업소	1
CM-0000006	재조임	2006-01-02		XX차량사업소	1
CM-0000007	교환	2006-01-02		XX차량사업소	1
CM-0000008	재접속	2006-01-03		XX차량사업소	1
CM-0000009	세척	2006-01-03		XX차량사업소	1
CM-0000010	분해청소	2006-01-03		XX차량사업소	1
~					

- 품목 교환 정보

표 3.2.31 Black-box 품목 교환 정보

CM식별번호	교환 아이템 PBS 번호	교환 아이템 PBS 명칭	품목번호	품목명	교환수량	취거 품목			취부 품목		
						품목번호	품목명	일련번호	품목번호	품목명	일련번호
CM-0000001	X1752	인버터 장치	XN-01006	인버터 장치	1	XN-01006	인버터 장치		XN-01006	인버터 장치	
CM-0000002	X1753	와고 커넥터	XN-00915	와고 커넥터	1	XN-00915	와고 커넥터		XN-00915	와고 커넥터	
CM-0000003	X1754	LCUM	XN-00088	LCUM	1	XN-00088	LCUM		XN-00088	LCUM	
CM-0000004	X1755	LCUM	XN-00088	LCUM	1	XN-00088	LCUM		XN-00088	LCUM	
CM-0000005	X1756	LCUM	XN-00088	LCUM	1	XN-00088	LCUM		XN-00088	LCUM	
CM-0000006	X1757	모터보호 회로 차단기	XN-00516	모터보호회로 차단기	1	XN-00516	모터보호 회로 차단기		XN-00516	모터보호 회로 차단기	
CM-0000007	X1758	모터 인버터상	XN-00517	모터 인버터상	1	XN-00517	모터 인버터상	9446 xxxx	XN-00517	모터 인버터상	9507 xxxx
CM-0000008	X1759	와고 커넥터	XN-00915	와고 커넥터	1	XN-00915	와고 커넥터		XN-00915	와고 커넥터	
CM-0000009	X1760	와고 커넥터	XN-00915	와고 커넥터	1	XN-00915	와고 커넥터		XN-00915	와고 커넥터	
CM-0000010	X1761	인버터 장치	XN-01006	인버터 장치	1	XN-01006	인버터 장치		XN-01006	인버터 장치	
~											

- 운행이력 정보

표 3.2.32 Black-box 운행이력 정보

편성번호	운행일자	영업주행거리(Km)	비영업주행거리(km)	운행시간(Hr)
X01	2006-01-01	472.8000	12.1000	15.0124
X01	2006-01-02	90.6000	2.4000	2.8793
X01	2006-01-04	280.6000	26.3000	9.5015
X01	2006-01-05	362.4000	2.4000	11.2938
X01	2006-01-06	306.5000	18.1000	10.0495
X01	2006-01-07	531.3000	10.9000	16.7861
X01	2006-01-09	92.8000	12.1000	3.2474
X01	2006-01-13	362.4000	2.4000	11.2938
X01	2006-01-14	479.8000	7.2000	15.0774
X01	2006-01-15	192.6000	19.0000	6.5511
~				

- 중정비 이력 정보

표 3.2.33 Black-box 중정비 정보

편성번호	정비일자
X01	1997-08-26
X01	2000-05-15
X01	2003-08-20
X01	2007-02-14
X01	2010-12-03
X02	1997-11-06
X02	2000-02-10
X02	2003-03-21
X02	2007-02-21
X02	2010-12-30
~	

② 검증 상세 내용(결과)

상세한 검증 수행 내용과 검증 시 발견된 오류 및 보완 사항 중 3차 검증 내용은 다음과 같다.

■ [B014] ESOM 메인 이름 표기 개선

- 내용

Black-box, Gray-box, White-box 실행을 위해 ESOM을 실행하면 초기 화면에 ESOM의 전체 이름인 “Expert System of Optimal Maintenance” 대신 “Logistics Analysis Model & Program”으로 표기 되어 있으므로 수정이 필요하다.

- 관련 화면



그림 3.2.45 Black-box B014 관련 화면 - ESOM 표기 오류

■ [B015] 운용자료 연계, 엑셀 데이터 가져오기 소요시간 개선

- 내용

엑셀데이터 가져오기의 수행시간 및 분석 시간이 상당히 오래 걸려 사용상의 문제가 있으므로 보완이 필요하다고 판단된다. 이 문제는 1차, 2차 검증 때에도 지적한 내용이나 현재까지 보완이 되지 않은 것으로 보인다. 엑셀 데이터 가져오기 기능이 품목 수나 고장 건수에 대비하여 데이터 검사시간 및 가져오기 시간이 상당히 늘어나는 현상을 보이며, 1회 분석 시간 또한 상당한 시간을 요구하므로 분석에 많은 불편함이 있으므로 반드시 개선이 필요한 부분으로 판단된다.

표 3.2.34 Black-box 모듈 수행 시간

구분		전체 장치	1개 장치
입력 데이터 건수	차종	1종	1종
	고장 데이터	약 150,000건	약 12,000건
	품목	약 1,500개	약 90개
	PBS	5레벨, 약 2,600개	5레벨, 약 120개
	운행이력	약 210,000건	약 210,000건
수행 시간	엑셀 가져오기 (검사 시간)	약 2시간 이상	약 5분
	엑셀 가져오기 (가져오기 시간)	약 4시간 이상	약 1분 이하
	총 가져오기 시간	약 6시간 이상	약 2분 이하

- 관련 화면

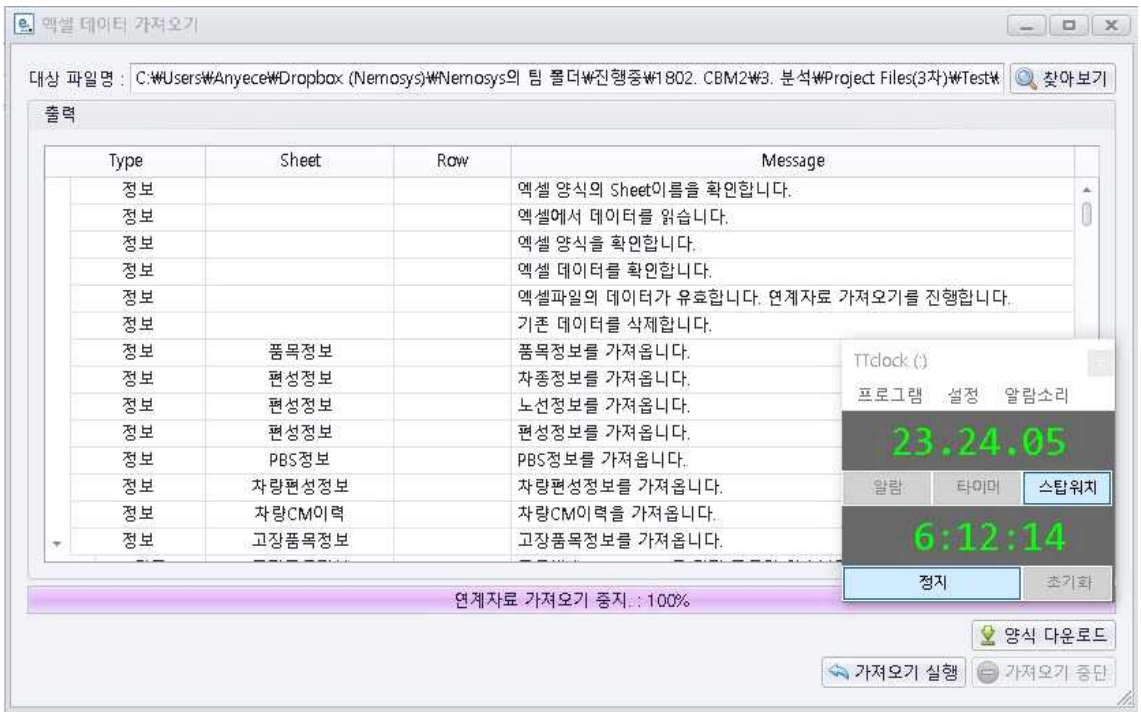


그림 3.2.46 Black-box B015 관련 화면 - 엑셀 데이터 가져오기

■ [B016] 고장이력의 발생일자 및 시간 입력 개선

- 내용

고장이력의 발생일자 및 시간을 입력할 때 시간의 입력 형태가 00:00:00(24h)으로 설정되어 있으나, 오후 시간이 입력되지 않는다. 예를 들어, 오후 1시에 발생한 고장 이력을 입력할 경우 시간 칸에 13을 입력하면 03으로 자동 변환되어 13:00:00으로 표현이 되지 않는다. 오후 시간을 입력할 수 있도록 시간이 입력되는 조건을 수정할 필요가 있다.

- 관련 화면



그림 3.2.47 Black-box B015 관련 화면 - 고장이력

■ [B017] 달력시간(시간) 기준 신뢰성 모니터링 결과 표현 개선

- 내용

X축을 달력시간(시간) 기준으로 신뢰성 모니터링을 실행하였을 때 아래 그림 3.2.48, 그림 3.2.49과 같이 X축이 해당 년, 월과 같은 달력시간(시간)으로 표현되지 않고, 그림 3.2.50과 같이 누적 경과시간 값으로 표현된다.

계급구간을 설정하는 것을 월 단위 또는 년 단위로 설정하는 방법 등을 통해 사용자가 원하는 구간 동안의 월 또는 년 별 고장빈도를 파악할 수 있도록 그래프가 수정되어야 할 필요가 있다.

- 관련 화면

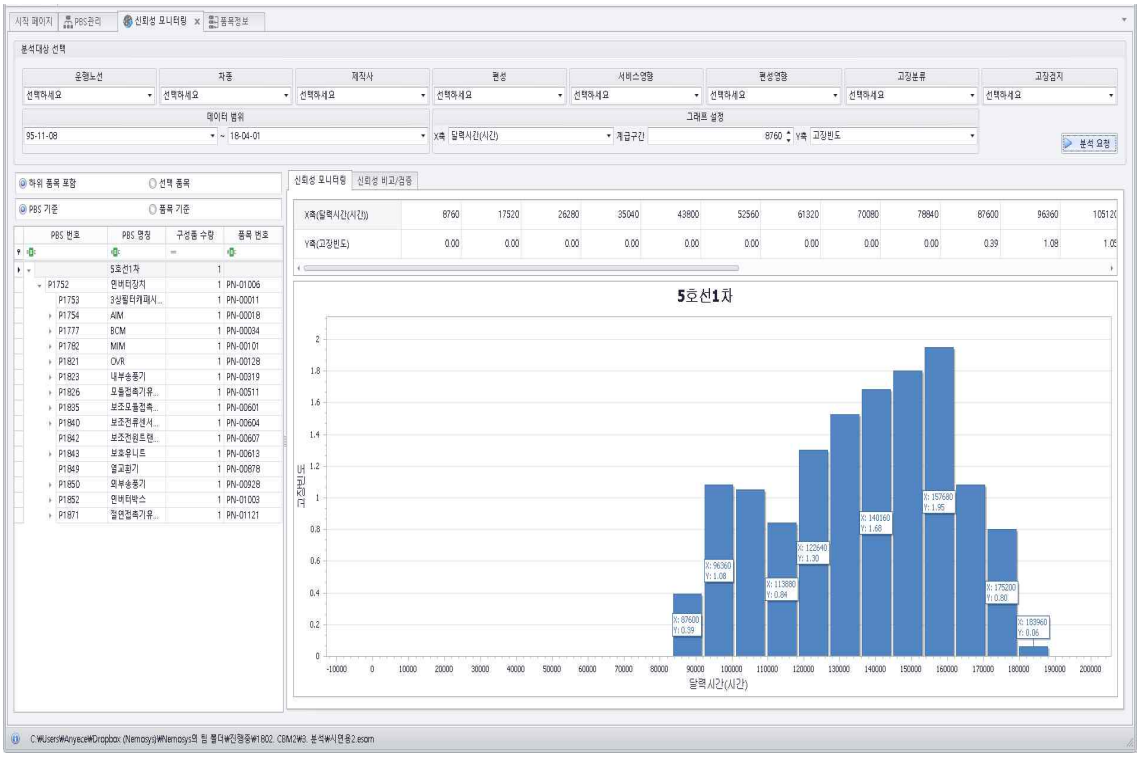


그림 3.2.48 Black-box B016 관련 화면 - 달력시간(시간) 기준 신뢰성 모니터링

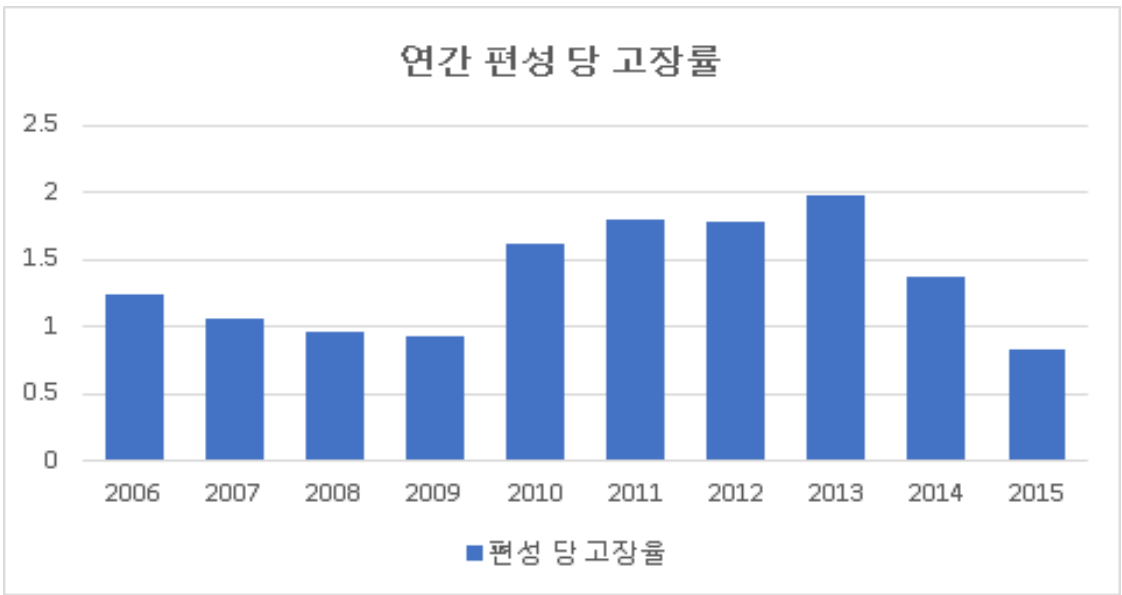


그림 3.2.49 달력시간(시간) 기준 신뢰성 모니터링 결과 화면의 예 (1)



그림 3.2.50 달력시간(시간) 기준 신뢰성 모니터링 결과 화면의 예 (2)

■ [B018] 달력시간(시간) 기준 분석 결과 개선

- 내용

“[B017] 달력시간(시간) 기준 신뢰성 모니터링 결과 표현 오류”와 더불어 Black-box의 분석 논리의 오류가 추정된다. X축을 달력시간(시간), 계급구간을 8,760시간으로 설정하여 분석하면 그림 3.2.51과 같이 결과가 표현된다. 이 결과는 X축을 달력시간(시간)이 아니라 경과시간으로 나타낸 것으로 보이며, 표 3.2.35와 같이 각 계급구간별 편성 수를 모두 76으로 동일하게 고려하였을 때 나타나는 값으로, 계급구간별 해당 편성 수를 고려하지 않은 것으로 판단된다. 해당 계급구간의 기간에 운영되었던 편성 수를 고려하여 표 3.2.36와 같이 편성수가 반영되어 고장빈도가 산출되어야 한다.

- 관련 화면

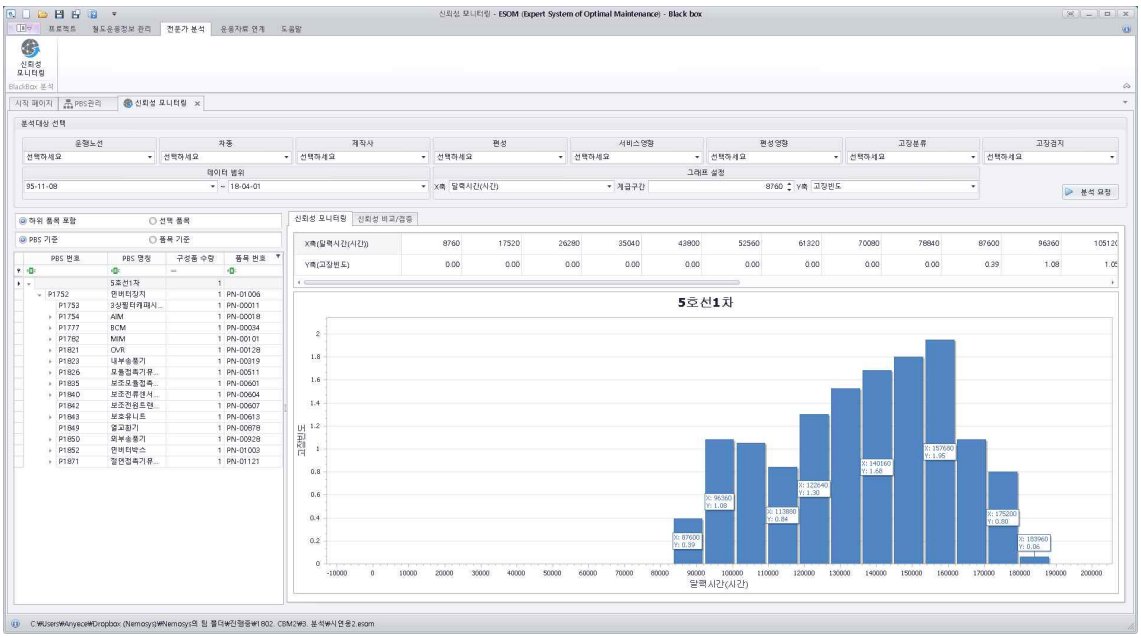


그림 3.2.51 Black-box B018 관련 화면 - 달력시간(시간) 기준 분석 결과

표 3.2.35 달력시간(시간) 기준 분석 데이터(계급구간별 동일 편성 수 고려)

계급구간: 8,760	엑셀 계산 고장발생 (건)	편성 수	엑셀 계산 편성당고장율	Black box 고장빈도	차이
0-8,759	-	-	-	-	0.00
8,760-17,519	-	-	-	-	0.00
17,520-26,279	-	-	-	-	0.00
26,280-35,039	-	-	-	-	0.00
35,040-43,799	-	-	-	-	0.00
43,800-52,559	-	-	-	-	0.00
52,560-61,319	-	-	-	-	0.00
61,320-70,079	-	-	-	-	0.00
70,080-78,839	-	-	-	-	0.00
78,840-87,599	30	76.00	0.39	0.39	0.00
87,600-96,359	82	76.00	1.08	1.08	0.00
96,360-105,119	80	76.00	1.05	1.05	0.00
105,120-113,879	64	76.00	0.84	0.84	0.00
113,880-122,639	99	76.00	1.30	1.30	0.00
122,640-131,399	116	76.00	1.53	1.53	0.00
131,400-140,159	128	76.00	1.68	1.68	0.00
140,160-148,919	137	76.00	1.80	1.80	0.00
148,920-157,679	148	76.00	1.95	1.95	0.00
157,680-166,439	82	76.00	1.08	1.08	0.00
166,440-175,199	61	76.00	0.80	0.80	0.00
175,200-183,959	3	76.00	0.04	0.06	-0.02

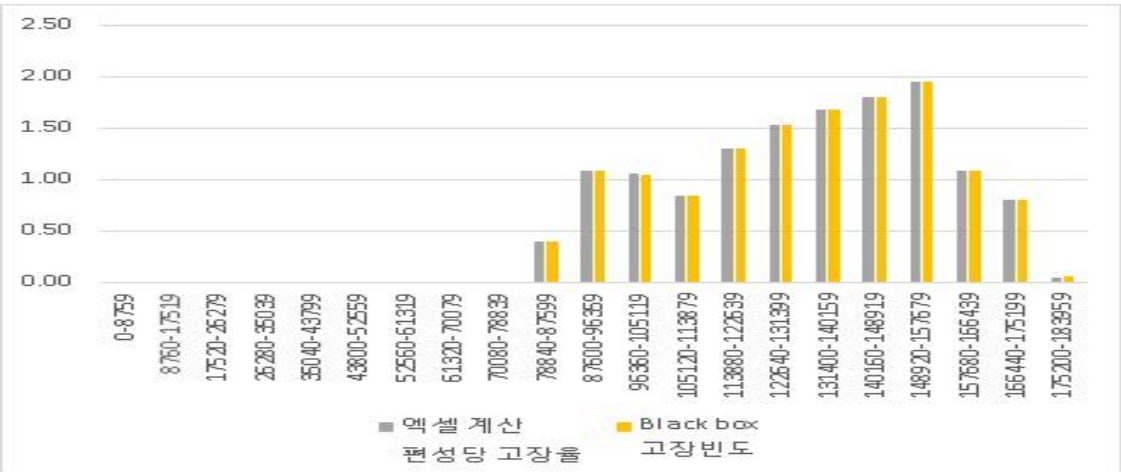


그림 3.2.52 달력시간(시간) 기준 분석 데이터(계급구간별 동일 편성 수 고려)

표 3.2.36 달력시간(시간) 기준 분석 데이터(계급구간별 해당 편성 수 고려)

계급구간: 8,760	엑셀 계산 고장발생 (건)	편성수	엑셀 계산 편성당고장율	Black box 고장빈도	차이
0-8,759	-	-	-	-	0.00
8,760-17,519	-	-	-	-	0.00
17,520-26,279	-	-	-	-	0.00
26,280-35,039	-	-	-	-	0.00
35,040-43,799	-	-	-	-	0.00
43,800-52,559	-	-	-	-	0.00
52,560-61,319	-	-	-	-	0.00
61,320-70,079	-	-	-	-	0.00
70,080-78,839	-	-	-	-	0.00
78,840-87,599	30	15.70	1.91	0.39	1.52
87,600-96,359	82	72.32	1.13	1.08	0.05
96,360-105,119	80	76.00	1.05	1.05	0.00
105,120-113,879	64	76.00	0.84	0.84	0.00
113,880-122,639	99	76.00	1.30	1.30	0.00
122,640-131,399	116	76.00	1.53	1.53	0.00
131,400-140,159	128	76.00	1.68	1.68	0.00
140,160-148,919	137	76.00	1.80	1.80	0.00
148,920-157,679	148	76.00	1.95	1.95	0.00
157,680-166,439	82	76.00	1.08	1.08	0.00
166,440-175,199	61	60.39	1.01	0.80	0.21
175,200-183,959	3	3.81	0.79	0.06	0.73

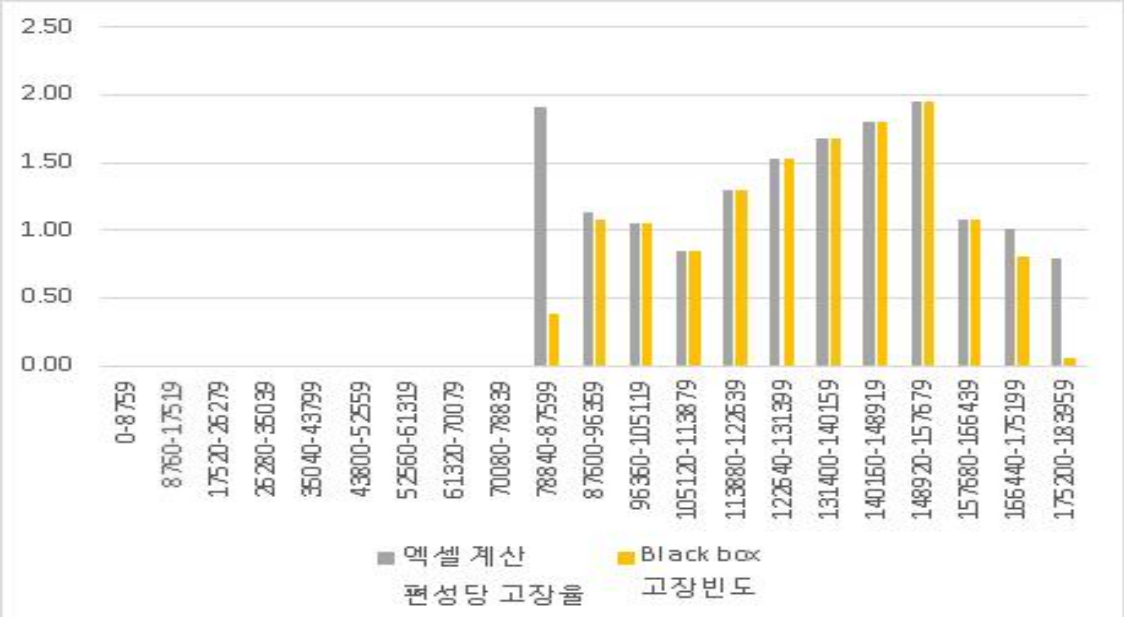


그림 3.2.53 달력시간(시간) 기준 분석 데이터(계급구간별 해당 편성 수 고려)

■ [B019] 운영시간(시간) 기준 분석 결과 개선

- 내용

X축을 운영시간(시간), 계급구간을 8,760시간으로 설정하여 분석하면 운영이력 데이터(하루 24시간 중 실제 운영 시간)를 기반으로 그림 3.2.52와 같은 결과가 나타난다. 이 결과 그래프에 따르면 운영시간이 길수록 고장빈도가 증가하는 것처럼 보인다. 동일한 데이터로 엑셀을 통해 고장발생(건)과 계급구간별 편성수를 계산하여 분석해보면 그림 3.2.53와 유사한 형태의 결과가 나타난다.

위의 다른 검증 내용과 마찬가지로 각 계급구간에 해당되는 편성 수를 고려하지 않은 것으로 판단되며, 이 소프트웨어의 계급구간별 해당 편성 수를 산출하는 방법에 대해 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다.

- 관련 화면

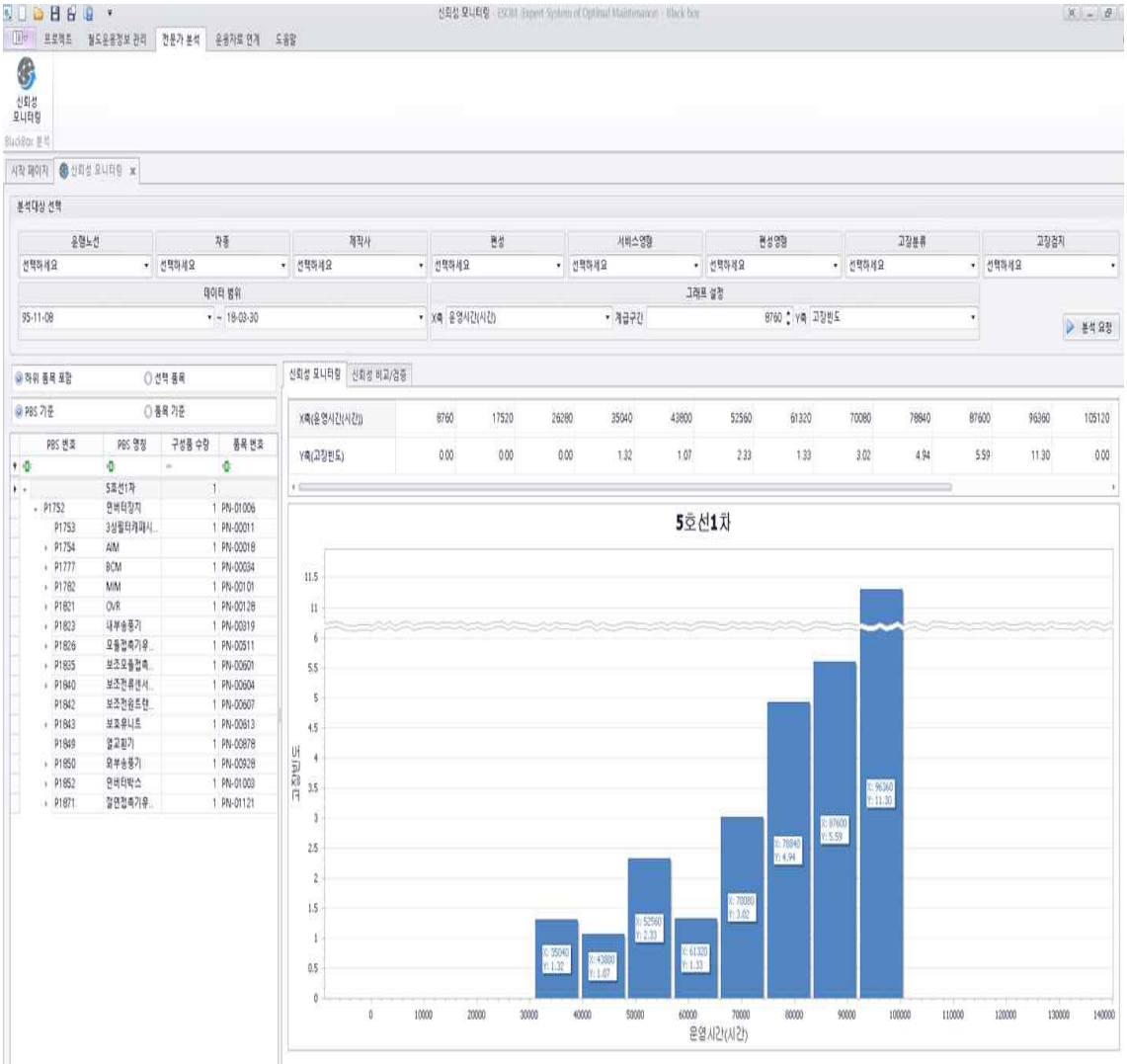


그림 3.2.54 Black-box B019 관련 화면 - 운영시간(시간) 기준 분석 결과

표 3.2.37 운영시간(시간) 기준 분석 데이터(계급구간별 동일 편성 수 고려)

계급구간: 8,760	엑셀 계산 고장발생 (건)	편성수	엑셀 계산 편성당고장율	Black box 고장빈도	차이
0-8,760	-	76	0.00	-	0.00
8,760-17,520	-	76	0.00	-	0.00
17,520-26,280	-	76	0.00	-	0.00
26,280-35,040	100	76	1.32	1.32	0.00
35,040-43,800	81	76	1.07	1.07	0.00
43,800-52,560	177	76	2.33	2.33	0.00
52,560-61,320	97	76	1.28	1.33	-0.05
61,320-70,080	142	76	1.87	3.02	-1.15
70,080-78,840	232	76	3.05	4.94	-1.89
78,840-87,600	178	76	2.34	5.59	-3.25
87,600-96,360	23	76	0.30	11.30	-11.00

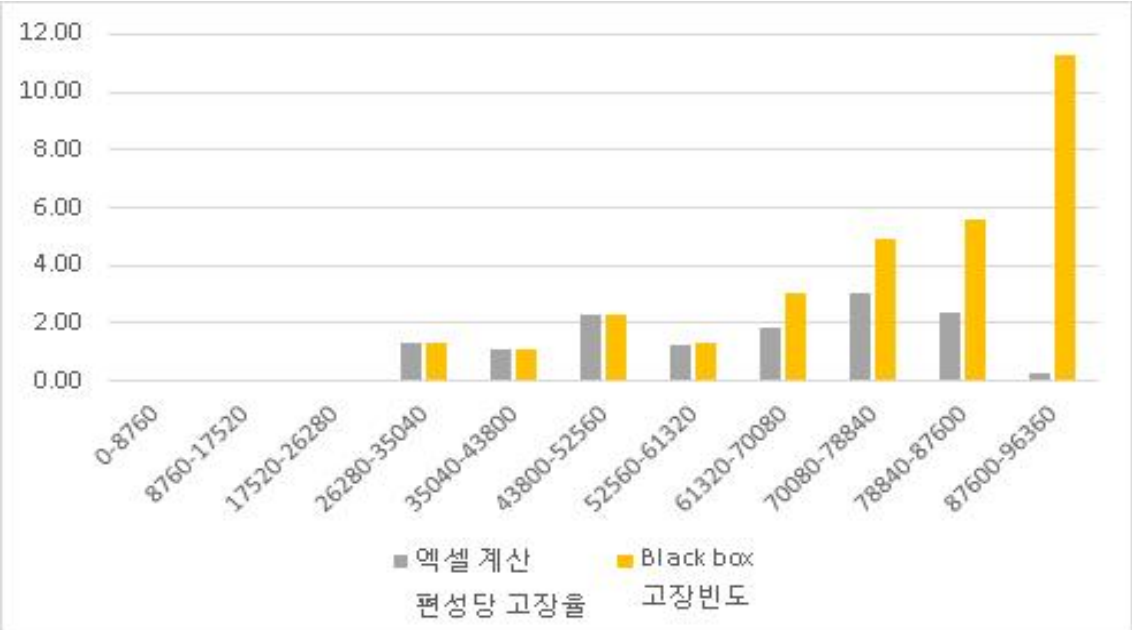


그림 3.2.55 운영시간(시간) 기준 분석 데이터(계급구간별 동일 편성 수 고려)

표 3.2.38 운영시간(시간) 기준 분석 데이터(계급구간별 해당 편성 수 고려)

계급구간: 8,760	엑셀 계산 고장발생 (건)	편성수	엑셀 계산 편성당고장율	Black box 고장빈도	차이
0-8,760	-	-	-	-	0.00
8,760-17,520	-	-	-	-	0.00
17,520-26,280	-	-	-	-	0.00
26,280-35,040	100	52.67	1.90	1.32	0.58
35,040-43,800	81	52.67	1.54	1.07	0.47
43,800-52,560	177	76.00	2.33	2.33	0.00
52,560-61,320	97	67.46	1.44	1.33	0.11
61,320-70,080	142	47.00	3.02	3.02	0.00
70,080-78,840	232	47.00	4.94	4.94	0.00
78,840-87,600	178	43.90	4.06	5.59	-1.53
87,600-96,360	23	6.08	3.78	11.30	-7.52

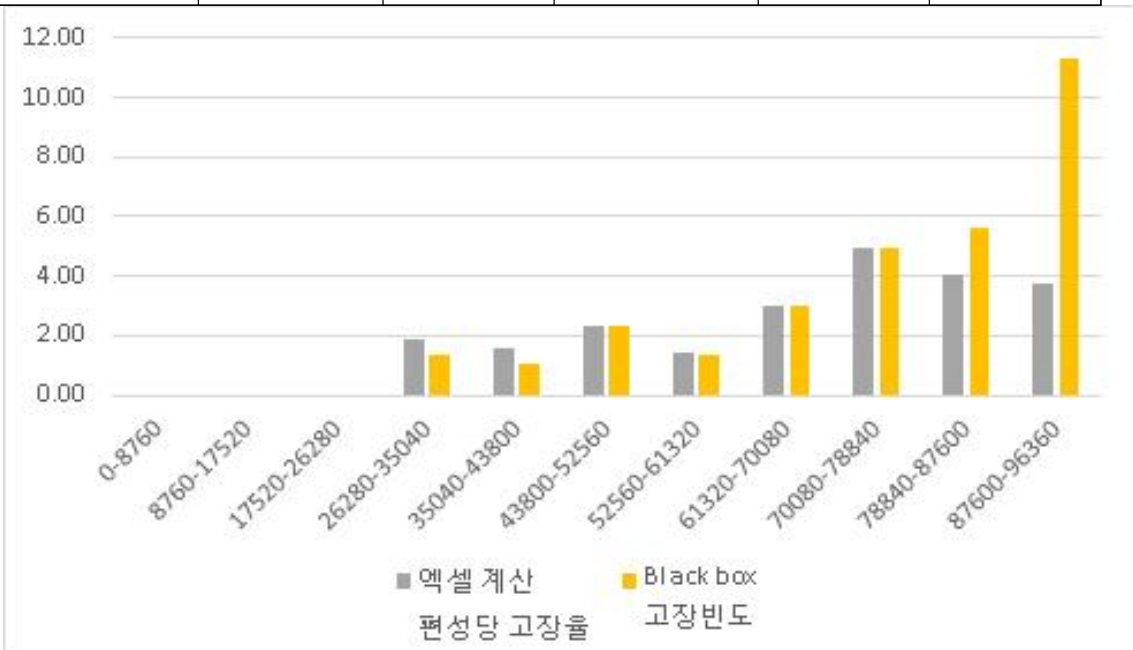


그림 3.2.56 운영시간(시간) 기준 분석 데이터(계급구간별 해당 편성 수 고려)

■ [B020] 운영거리 기준 분석 결과 개선

- 내용

X축을 운영거리, 계급구간을 100,000으로 설정하여 분석하면 운행거리 데이터를 기반으로 그림 3.2.57와 같이 분석된다. 이 결과는 엑셀로 계산했을 때와 비슷한 추세를 보이나 원 데이터가 총 2,900,000km 이상 운행된 이력이 없음에도 불구하고 2,900,000 ~ 3,000,000km 구간의 값이 산출되는 것은 오류로 추정되므로 수정이 필요하다.

- 관련 화면

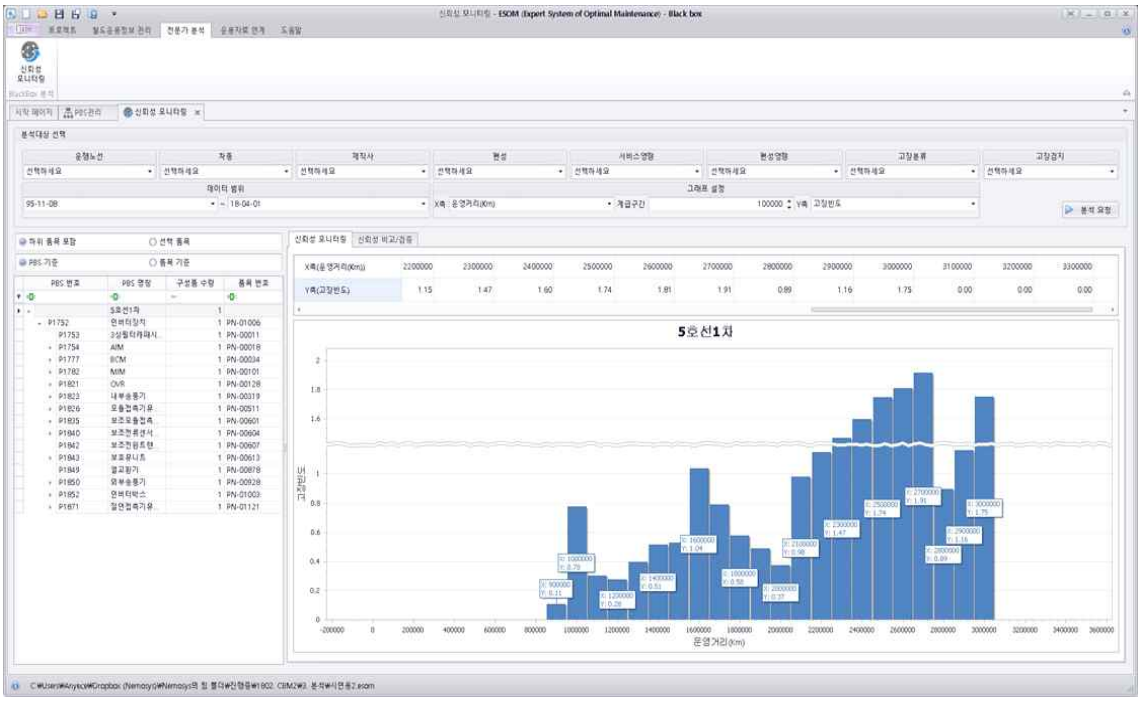


그림 3.2.57 Black-box B020 관련 화면 - 운영거리(km) 기준 분석 결과

표 3.2.39 운영거리(km) 기준 분석 데이터(계급구간별 동일 편성 수 고려)

계급구간: 10,000	엑셀 계산 고장발생 (건)	편성수	엑셀 계산 편성당고장율	Black box 고장빈도	차이
0-100,000		76.00	0.00		0.00
100,000-200,000		76.00	0.00		0.00
200,000-300,000		76.00	0.00		0.00
300,000-400,000		76.00	0.00		0.00
400,000-500,000		76.00	0.00		0.00

계급구간: 10,000	엑셀 계산 고장발생 (건)	편성수	엑셀 계산 편성당고장율	Black box 고장빈도	차이
500,000-600,000		76.00	0.00		0.00
600,000-700,000		76.00	0.00		0.00
700,000-800,000		76.00	0.00		0.00
800,000-900,000	31	76.00	0.41	0.11	0.30
900,000-1,000,000	44	76.00	0.58	0.78	-0.20
1,000,000-1,100,000	25	76.00	0.33	0.30	0.03
1,100,000-1,200,000	22	76.00	0.29	0.28	0.01
1,200,000-1,300,000	28	76.00	0.37	0.39	-0.02
1,300,000-1,400,000	42	76.00	0.55	0.51	0.04
1,400,000-1,500,000	56	76.00	0.74	0.53	0.21
1,500,000-1,600,000	74	76.00	0.97	1.04	-0.07
1,600,000-1,700,000	56	76.00	0.74	0.79	-0.05
1,700,000-1,800,000	44	76.00	0.58	0.58	0.00
1,800,000-1,900,000	19	76.00	0.25	0.49	-0.24
1,900,000-2,000,000	25	76.00	0.33	0.37	-0.04
2,000,000-2,100,000	62	76.00	0.82	0.98	-0.16
2,100,000-2,200,000	50	76.00	0.66	1.15	-0.49
2,200,000-2,300,000	71	76.00	0.93	1.47	-0.54
2,300,000-2,400,000	82	76.00	1.08	1.60	-0.52
2,400,000-2,500,000	88	76.00	1.16	1.74	-0.58
2,500,000-2,600,000	84	76.00	1.11	1.81	-0.70
2,600,000-2,700,000	76	76.00	1.00	1.91	-0.91
2,700,000-2,800,000	34	76.00	0.45	0.89	-0.44
2,800,000-2,900,000	17	76.00	0.22	1.16	-0.94
2,900,000-3,000,000		76.00	0.00	1.75	-1.75

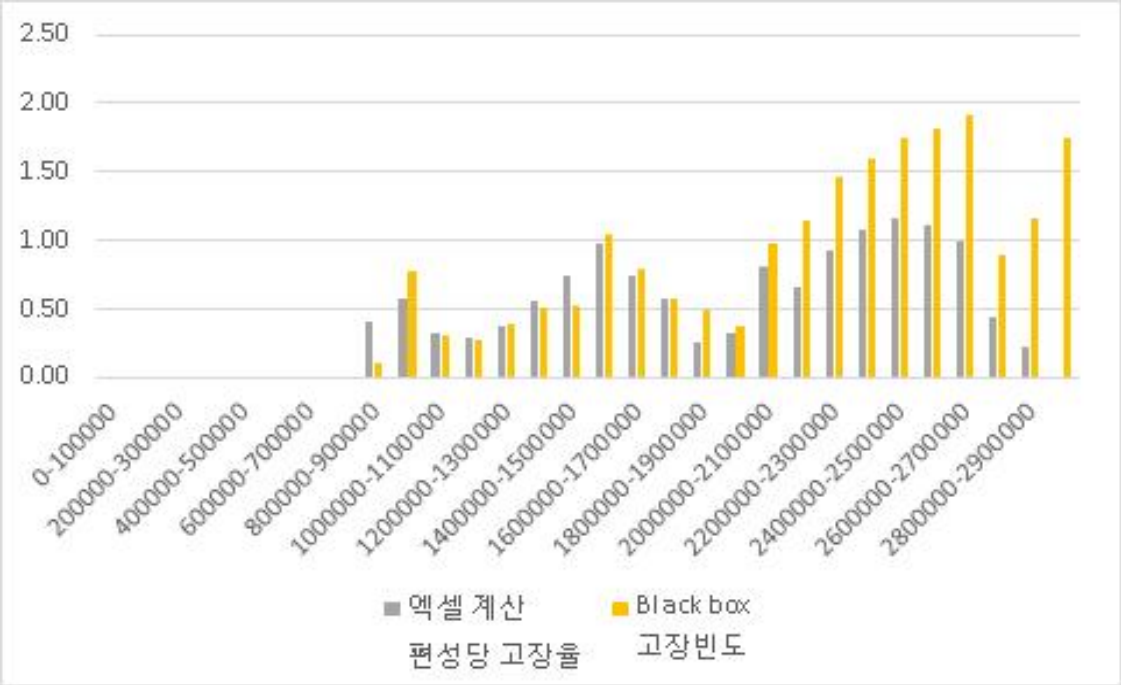


그림 3.2.58 운영거리(km) 기준 분석 데이터(계급구간별 동일 편성 수 고려)

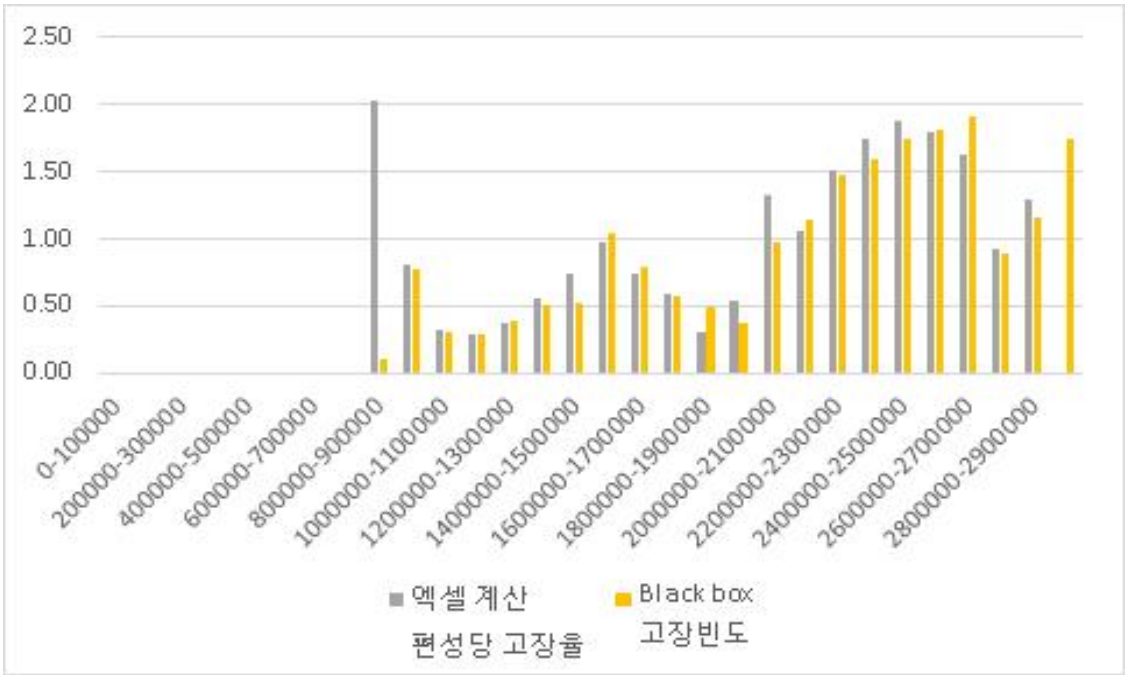


그림 3.2.59 운영거리(km) 기준 분석 데이터(계급구간별 해당 편성 수 고려)

표 3.2.40 운영거리(km) 기준 분석 데이터(계급구간별 해당 편성 수 고려)

계급구간: 10,000	엑셀 계산 고장발생 (건)	편성수	엑셀 계산 편성당고장율	Black box 고장빈도	차이
0-100,000					0.00
100,000-200,000					0.00
200,000-300,000					0.00
300,000-400,000					0.00
400,000-500,000					0.00
500,000-600,000					0.00
600,000-700,000					0.00
700,000-800,000					0.00
800,000-900,000	31	15.22	2.04	0.11	1.93
900,000-1,000,000	44	53.99	0.82	0.78	0.04
1,000,000-1,100,000	25	76.00	0.33	0.30	0.03
1,100,000-1,200,000	22	76.00	0.29	0.28	0.01
1,200,000-1,300,000	28	76.00	0.37	0.39	-0.02
1,300,000-1,400,000	42	76.00	0.55	0.51	0.04
1,400,000-1,500,000	56	76.00	0.74	0.53	0.21
1,500,000-1,600,000	74	76.00	0.97	1.04	-0.07
1,600,000-1,700,000	56	75.25	0.74	0.79	-0.05
1,700,000-1,800,000	44	74.38	0.59	0.58	0.01
1,800,000-1,900,000	19	62.45	0.30	0.49	-0.19
1,900,000-2,000,000	25	47.05	0.53	0.37	0.16
2,000,000-2,100,000	62	47.00	1.32	0.98	0.34
2,100,000-2,200,000	50	47.00	1.06	1.15	-0.09
2,200,000-2,300,000	71	47.00	1.51	1.47	0.04
2,300,000-2,400,000	82	47.00	1.74	1.60	0.14
2,400,000-2,500,000	88	47.00	1.87	1.74	0.13
2,500,000-2,600,000	84	47.00	1.79	1.81	-0.02
2,600,000-2,700,000	76	46.93	1.62	1.91	-0.29
2,700,000-2,800,000	34	36.85	0.92	0.89	0.03
2,800,000-2,900,000	17	13.13	1.29	1.16	0.13
2,900,000-3,000,000		0.98	0.00	1.75	-1.75

■ [B021] 작동 중지 발생 후 재실행 개선

- 내용

데이터 가져오기 실행 중 작동이 정지 된 이후 Black-box 재실행을 위해 버튼을 클릭하여도 재실행이 되지 않는다. 컴퓨터 전원을 재시작 해야만 다시 프로그램 실행을 할 수 있다. 원인은 파악 할 수 없으며 조치가 필요하다.

- 관련 화면



그림 3.2.60 Black-box B021 관련 화면 - 작동중지

■ [B022] 도움말 개선

- 내용

도움말에 사용법은 존재하나 각 데이터 항목에 대한 설명이 없어 사용자가 항목에 대한 의미와 산출 방안을 파악 할 수 없어 결과의 활용도가 떨어진다.

예를 들면, 신뢰성 모니터링의 분석 결과 화면의 그래프에서 Y축이 “고장빈도”로 되어 있는데 의미와 산출 수식을 알 수 있는 방법이 없음. 각 분석 항목에 대한 설명과 산출 방법이 보완될 필요가 있다고 판단됨.

- 관련 화면

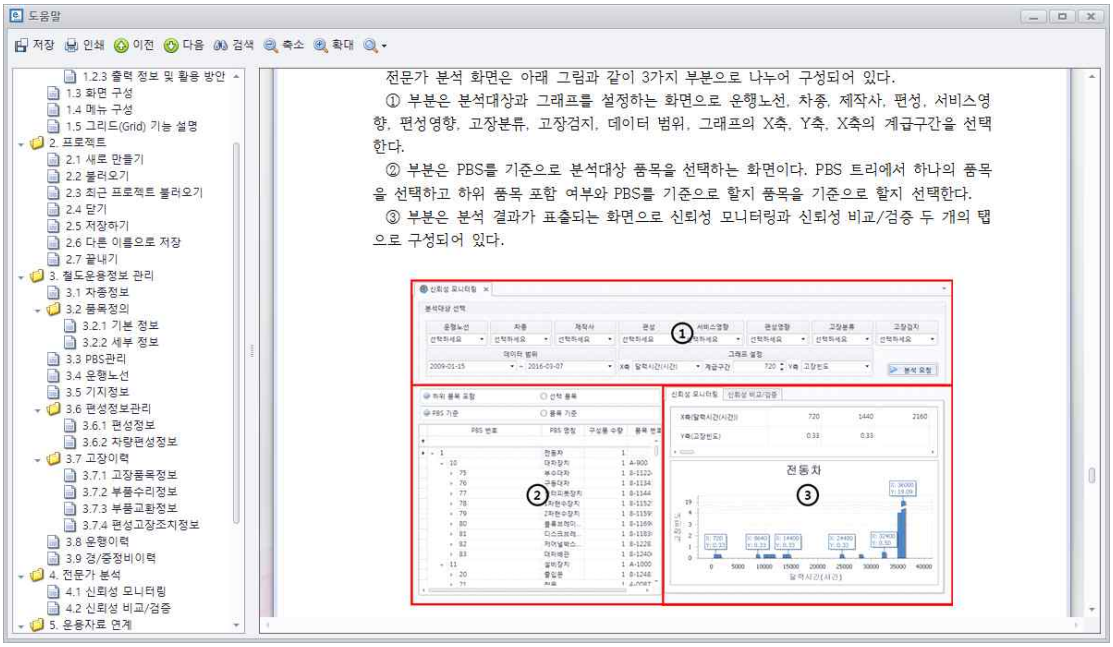


그림 3.2.61 Black-box B022 관련 화면 - 도움말

(다) Gray-box 모듈

Gray-box 모듈은 2차에 걸쳐 검증을 수행하였으며, 총 10건의 오류 사항을 발견하였고, 10건의 오류 사항은 수정/보완 완료되었다.

Gray-box 모듈 검증 결과를 아래 종합 표에 정리하였으며, 상세 내용은 [상세 검증 결과]에 기술하였다.

표 3.2.41 Gray-box 검증 결과 종합

검증 시기	번호	구분	내용	보완 여부
1차	G001	기능 오류	데이터 기반 부품 이상 진단 기능 시스템 에러	완료
	G002	개선 필요	엑셀데이터 가져오기 및 분석 수행 시간이 너무 오래 걸림	완료
	G003	개선 필요	데이터 기반 부품 이상 진단 최종 결과 확인 화면 없음	완료
	G004	기능 오류	데이터 기반 부품 이상 진단 결과와 차종 및 편성과 PBS와의 연계성 무관	완료
	G005	논리 오류	데이터 기반 부품 상태 진단 결과 오류(동일한 데이터로 모두 다른 결과가 나옴)	완료
	G006	논리 오류	데이터 기반 부품 상태 진단 결과와 차종 및 편성과 PBS와의 연계성 무관	완료
	G007	논리 오류	데이터 기반 유지보수 의사결정 결과와 차종 및 편성과 PBS와의 연계성 무관	완료
2차	G008	기능 오류	엑셀 데이터 가져오기 > 양식 다운로드 오류	완료
	G009	기능 오류	레퍼런스 구간 중복 설정 및 알람 기능	완료
	G010	기능 오류	최소 학습 구간 설정 오류	완료

① 검증 방법

■ 분석 대상

Gray-box 검증을 위해 견인전동기의 가속도 데이터, 차압밸브의 온도 데이터를 활용하였다.

■ 샘플 데이터

- 품목 정보

표 3.2.42 Gray-box 품목 정보

품목번호	품목명	일련번호	운행노선명	차종명	편성번호	차량번호	위수
8-10315	기어박스	8-10315-001	5호선	5호선1차분	718	5001	4
8-10315	기어박스	8-10315-002	6호선	6호선1차분	719	5101	5
8-10315	기어박스	8-10315-003	7호선	7호선1차분	720	5201	3
8-10315	기어박스	8-10315-004	8호선	8호선1차분	721	5301	7
8-11420	견인전동기	8-11420-001	7호선	7호선1차분	720	5201	10
8-11420	견인전동기	8-11420-002	8호선	8호선1차분	721	5301	18
8-11653	차압밸브	8-11653-001	5호선	5호선1차분	718	5001	8
8-11653	차압밸브	8-11653-002	5호선	5호선2차분	717	5002	6
8-11653	차압밸브	8-11653-003	5호선	5호선3차분	716	5003	8
8-12484	객실출입문장치	8-12484-001	7호선	7호선1차분	720	5201	1
8-12484	객실출입문장치	8-12484-002	7호선	7호선1차분	720	5201	2
8-12484	객실출입문장치	8-12484-003	7호선	7호선1차분	720	5201	3
8-12484	객실출입문장치	8-12484-004	7호선	7호선1차분	720	5201	4
8-12484	객실출입문장치	8-12484-005	7호선	7호선1차분	720	5201	5
8-12484	객실출입문장치	8-12484-006	7호선	7호선1차분	720	5201	6
8-12484	객실출입문장치	8-12484-007	7호선	7호선1차분	720	5201	7
8-12484	객실출입문장치	8-12484-008	7호선	7호선1차분	720	5201	8
8-12484	객실출입문장치	8-12484-009	7호선	7호선1차분	720	5201	9
8-12484	객실출입문장치	8-12484-010	7호선	7호선1차분	720	5201	10
8-12484	객실출입문장치	8-12484-011	7호선	7호선1차분	720	5201	11
8-12484	객실출입문장치	8-12484-012	7호선	7호선1차분	720	5201	12
8-12484	객실출입문장치	8-12484-013	7호선	7호선1차분	720	5201	13
8-12484	객실출입문장치	8-12484-014	7호선	7호선1차분	720	5201	14
8-12484	객실출입문장치	8-12484-015	7호선	7호선1차분	720	5201	15
8-12484	객실출입문장치	8-12484-016	7호선	7호선1차분	720	5201	16
8-12484	객실출입문장치	8-12484-017	7호선	7호선1차분	720	5201	17
8-12484	객실출입문장치	8-12484-018	7호선	7호선1차분	720	5201	18
8-12484	객실출입문장치	8-12484-019	7호선	7호선1차분	720	5201	19
8-12484	객실출입문장치	8-12484-020	7호선	7호선1차분	720	5201	20

- 견인전동기의 가속도(정상) 데이터(약 3,000개)

-

표 3.2.43 견인전동기의 가속도(정상)데이터

DATA			
98.7348	72.8191	99.6090	186.5984
58.9983	87.1168	96.7098	24.9110
-31.0085	-31.0517	-30.8497	67.0146
-95.6974	-95.7062	-33.1136	45.1928
-174.3775	-38.1778	-81.5015	-81.5383
0.0000	0.0000	89.6464	0.0000
81.5343	167.9306	81.3959	81.2472
96.0434	95.5704	94.3697	99.9915
30.8983	3.4935	93.5928	60.9420
-84.9371	-73.0250	-31.9428	-58.8200
-99.9901	-99.9758	-179.7814	-176.6863
28.9497	79.5318	26.3393	-58.3179
31.2104	30.8543	120.1833	-15.5912
95.7509	60.4129	95.0050	48.7210
-18.1390	81.6386	68.0100	73.6007
-23.4656	38.3163	47.5215	171.0063
-80.6112	-145.8369	-80.6430	77.5584
54.1374	-149.6180	-97.7227	-34.7095
-51.9950	-30.4015	-30.8540	67.8051
88.7830	46.1690	99.9457	59.9539
~			
12.0459	99.4963	-11.6505	-98.6341
35.0357	111.8602	81.5379	-59.4849
38.3849	-30.6180	-31.2258	30.6214
-67.7885	18.9664	-94.5445	95.8925
-17.9639	-80.7611	53.1487	81.3196
0.0000	0.0000	89.5032	0.0000
-28.0076	110.3804	81.3652	91.1221
93.4345	155.9675	83.8013	-94.6824
10.4290	30.8723	77.4823	0.9895
25.8186	0.3810	14.2112	58.7689

- 견인전동기의 가속도(주의) 데이터

표 3.2.44 견인전동기의 가속도(주의)데이터

DATA			
98.7348	72.8191	99.6090	186.5984
58.9983	87.1168	96.7098	24.9110
-31.0085	-31.0517	-30.8497	67.0146
-95.6974	-95.7062	-33.1136	45.1928
-174.3775	-38.1778	-81.5015	-81.5383
0.0000	0.0000	89.6464	0.0000
81.5343	167.9306	81.3959	81.2472
96.0434	95.5704	94.3697	99.9915
30.8983	3.4935	93.5928	60.9420
-84.9371	-73.0250	-31.9428	-58.8200
-99.9901	-99.9758	-179.7814	-176.6863
28.9497	79.5318	26.3393	-58.3179
31.2104	30.8543	120.1833	-15.5912
95.7509	60.4129	95.0050	48.7210
-18.1390	81.6386	68.0100	73.6007
-23.4656	38.3163	47.5215	171.0063
-80.6112	-145.8369	-80.6430	77.5584
54.1374	-149.6180	-97.7227	-34.7095
-51.9950	-30.4015	-30.8540	67.8051
88.7830	46.1690	99.9457	59.9539
~			
12.0459	-98.6341	99.4963	-61.1114
35.0357	-59.4849	111.8602	-59.1659
38.3849	30.6214	-30.6180	8.1318
-67.7885	95.8925	18.9664	96.2048
-17.9639	81.3196	-80.7611	21.6913
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
-28.0076	91.1221	110.3804	58.5890
93.4345	-94.6824	155.9675	-96.6809
10.4290	0.9895	30.8723	40.3910
25.8186	58.7689	0.3810	55.6168

- 차압밸브의 온도(경고 1) 데이터

표 3.2.45 차압밸브의 가속도(경고 1)데이터

DATA			
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
~			
72	72	72	72
72	72	72	72
72	72	72	72
72	72	72	72
72	72	72	72
72	72	72	72
72	72	72	72
72	72	72	72
72	72	72	72
72	72	72	72

- 차압밸브의 온도(경고 2) 데이터

표 3.2.46 차압밸브의 가속도(경고 2)데이터

DATA			
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
29	29	29	29
~			
31	31	31	31
31	31	31	31
31	31	31	31
31	31	31	31
31	31	31	31
31	31	31	31
31	31	31	31
31	31	31	31
31	31	31	31
31	31	31	31

② 검증 상세 내용(결과)

■ [G008] 엑셀 데이터 가져오기 > 양식 다운로드 개선

- 내용

Gray-box 모듈의 엑셀 데이터 가져오기에서 양식 다운로드를 클릭하면 “파일이 존재하지 않습니다.” 라는 팝업창이 뜬 다음, 확인 버튼을 누르면 “양식 파일이 다운로드 완료 되었습니다.” 라고 뜨지만 실제로 저장되지는 않는다. 양식은 외부 데이터를 Gray-box에 사용자가 편리하게 입력하기 위해 필요한 기능이므로 개선되어야 할 것으로 판단된다.

- 관련 화면

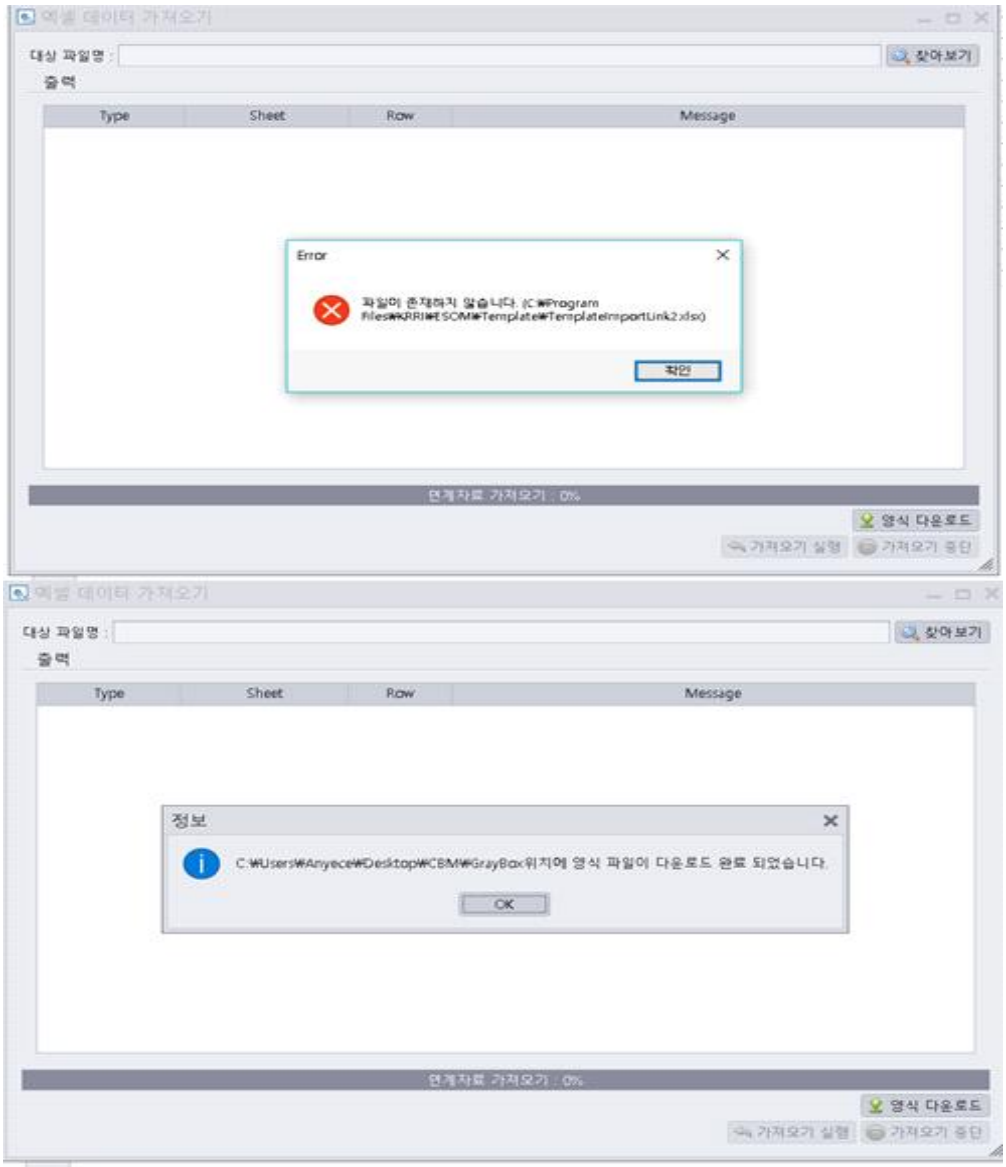


그림 3.2.62 Gray-box G008 관련 화면 - 엑셀 데이터 가져오기

■ [G009] 레퍼런스 구간 중복 설정 및 알람 기능 개선

- 내용

학습 중 레퍼런스 구간을 중복으로 설정할 경우 “선택한 구간이 이미 레퍼런스 설정이 되어 있습니다. 이전에 설정한 레퍼런스 구간과 겹치는 부분을 제외해주세요.” 라는 팝업창이 뜬다. 하지만 경우에 따라 한 번만 팝업이 뜨는 경우가 있으며, 또는 아예 팝업창이 뜨지 않는 경우도 있다. 또 이런 알람 팝업은 한 번 발생한 이후 몇 번이나 반복해서 뜨기도 하며, 아예 프로그램을 재실행하여야 하는 경우도 있다. 그리고 레퍼런스 구간이 겹쳐지더라도 학습이 실행되므로 기능 확인 및 개선이 필요하다.

- 관련 화면

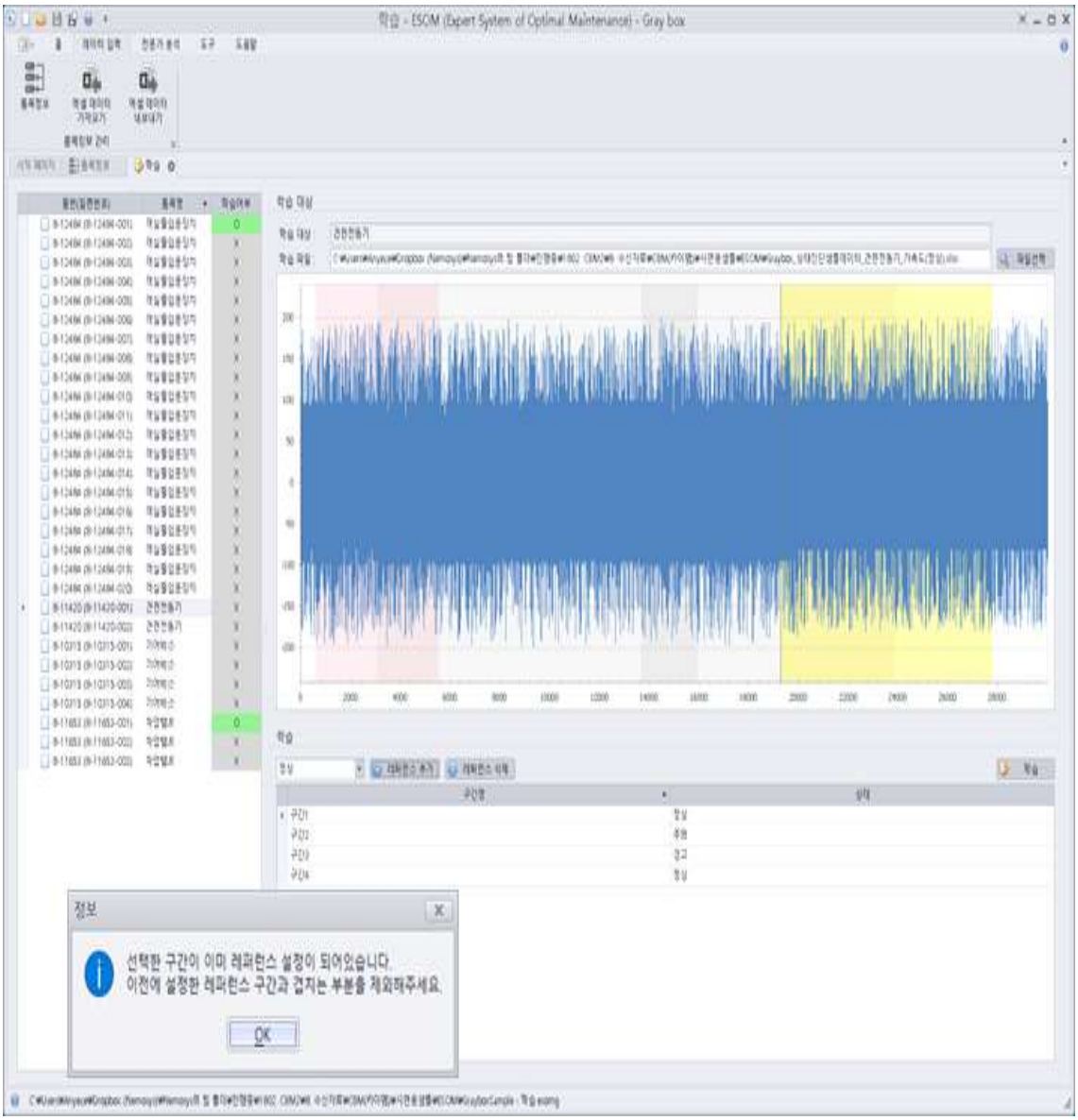


그림 3.2.63 Gray-box G009 관련 화면 - 학습

■ [G010] 최소 학습 구간 설정 개선

- 내용

학습 중 레퍼런스 구간을 설정할 때 두 번째 구간의 폭을 첫 번째 구간의 폭보다 넓게 지정했음에도 불구하고 “선택한 구간이 최소학습구간보다 적습니다. 구간을 더 넓게 지정해주세요.” 라는 팝업이 뜨는 경우가 있다. 이런 알람 팝업은 한 번 발생한 이후 몇 번이나 반복해서 뜨기도 하며, 아예 프로그램을 재실행하여야 하는 경우도 있다. 그리고 최소 구간에 대한 정의가 도움말과 같이 프로그램 내 설명이 된 곳이 없으므로 최소 구간에 대한 정의와 기능에 대한 확인 및 개선이 필요하다.

- 관련 화면

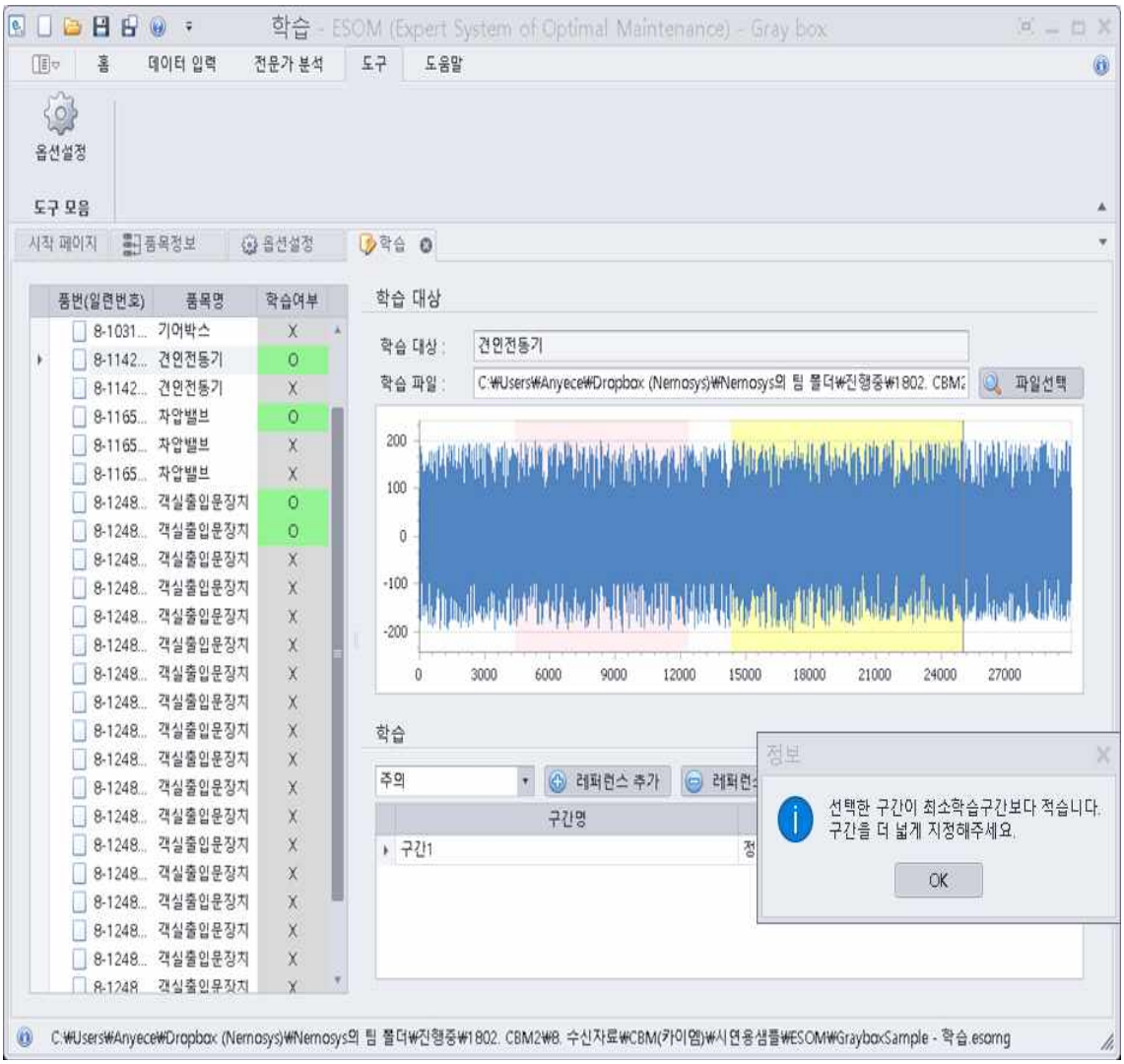
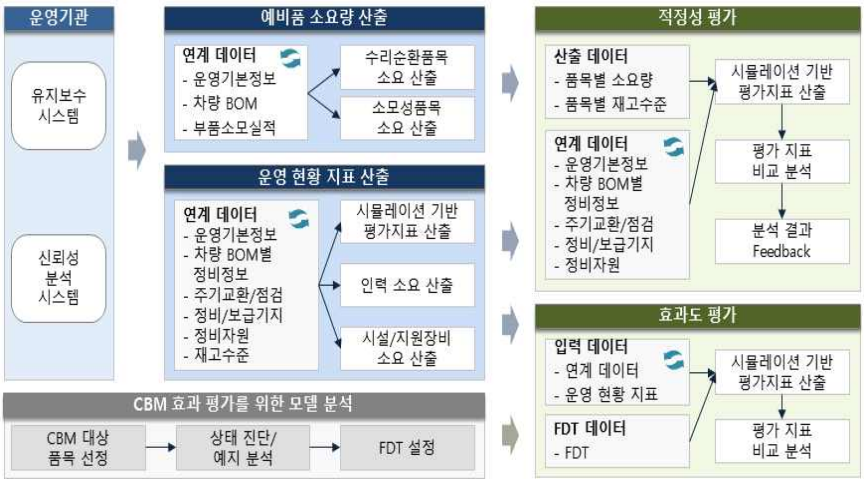
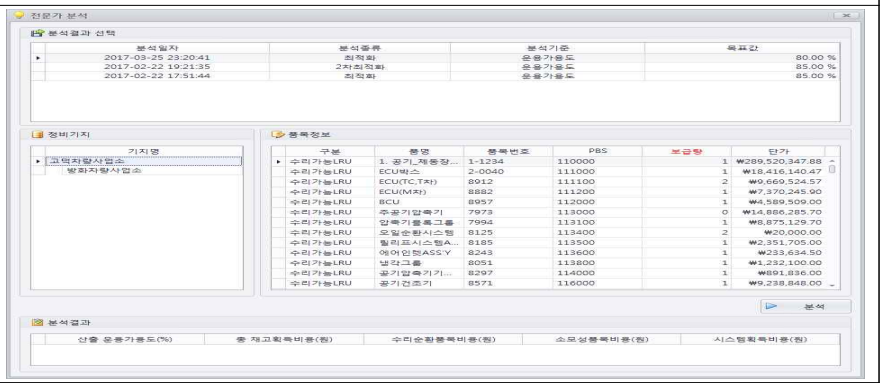


그림 3.2.64 Gray-box G010 관련 화면 - 학습

3. 유지보수자원에 대한 로지스틱스(LOGISTICS) 시스템 개발

가. 개요(연구목표)

목표 (정의)	도시철도차량의 운행 및 유지보수 요소에 따라 예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량을 산출하고, 보유 자원의 적성성과 CBM 효과도를 평가하는 S/W 시스템 - 예비품에 대한 최적 소요량 산출 S/W - 예비품에 대한 적정성 평가 S/W 
관련그림 / 사진 (예시)	
연구내용	- 기관 또는 기지별(노선별) 예비품 최적 소요량 산정 S/W 개발 - 기관 또는 기지(노선)에서 보유하고 있는 예비품에 대한 적정성 분석 S/W 개발 - 소프트웨어의 범용성 확보 및 운영기관별 커스터마이징을 위해 S/W 매뉴얼에 아래항목을 포함하여 제시 · 입력정보 정의 · 타 시스템과의 연계방법 · 출력정보의 정의 및 활용방안

나. 연구 성과

(1) 예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 S/W

수리부속 소요가 과소 책정되면 수요품목이 누락되고 재고가 부족하게 되며, 반대로 과다 책정하게 되면 재고 과다로 인하여 예산낭비를 초래한다. 따라서 가용한 예산 범위 내에서 운용가용성을 보장하고 품목의 특성을 고려한 효율적인 유지관리를 위한 적정 수준의 수리부속 소요량 예측이 필요하다. 소요량 산출 업무는 부품 특성별 산출 방법을 구분하여 철도차량 목표 수준의 운용가용도를 충족시키면서 운용유지비가 최소화 될 수 있도록 최적의 소요량을 결정한다.

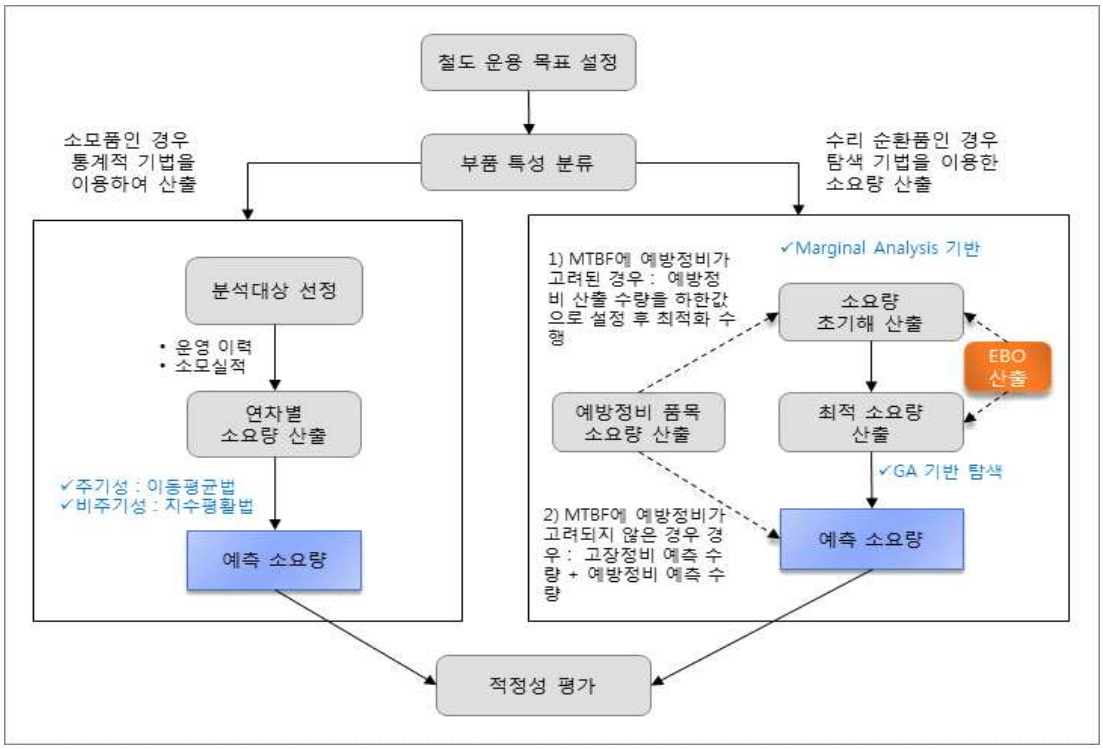


그림 3.3.1 소요량 산출 운용 개념

표 3.3.1 부품 특성별 소요량 산출 방법

부품 특성		산출 방법
수리가능품목		(메타) 휴리스틱 방법을 이용한 최적 수량 산출
소모품	주기성	시계열 분석 중 단순이동평균법(MA)을 이용한 산출
	비주기성	시계열 분석 중 지수평활법(ES)을 이용한 산출

소요량 산출 업무는 단계별로 다음과 같이 정의하였다.

표 3.3.2 소요량 산출 업무 설명

산출 업무		업무 설명
철도 운용 목표 설정		철도 운용 기본 목표를 정의한다. (가용도/비용, 재고 수량 범위 등)
품목 특성 분류		품목 기본 정보를 이용하여 수리 특성을 분류한다. 소모성 품목인 경우 통계적 기법을 이용한 소요량 산출을, 수리 순환품인 경우 탐색 기법을 이용한 소요량 산출 업무를 수행한다.
통계적 기법의 소요량 산출	분석 대상 선정	통계 산출에 적용할 소모실적 범위를 결정한다.
	연차별 소요량 산출	연차별 소요량을 집계한 뒤 주기성 품목인 경우 이동평균법을, 비주기성 품목인 경우 지수 평활법을 이용하여 예측 소요량을 산출한다.
탐색 기법을 이용한 소요량 산출	예방정비 품목 소요량 산출	예방정비 대상 품목에 대해서 예방정비 주기를 고려하여 적정 소요량을 산출한다.
	소요량 초기해 산출	수량을 증가함에 따라 가용도 대비 비용효과가 가장 좋은 해를 찾아나가는 방식의 Maginal Analysis 기법을 통해 초기해를 결정한다. 단, 품목이 예방정비 대상 품목이며, 품목의 MTBF가 고려되었다면 예방정비 예측 소요량을 수량범위의 하한값을 두고 초기해를 결정한다.
	최적 소요량 산출	Maginal Analysis 기법을 통해 결정된 초기해를 기반으로 전역 탐색 기법인 GA(유전자 알고리즘)를 이용하여 좀 더 세밀한 가능해를 찾아 가용도 대비 비용효과가 가장 좋은 최적해를 결정한다.
적성성 평가		통계적 기법과 탐색 기법을 통해 결정된 최적 소요량의 적정성을 평가한다.

예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 S/W의 입력 자료는 “유지보수 의사결정 통합 S/W”의 자료를 연계하거나 엑셀 형태의 템플릿으로 등록할 수 있고 입력 항목은 다음 표와 같이 정의하였다.

표 3.3.3 소요량 산출 업무 설명

구분	명칭	설명
수리순환 품목	구분	품목의 구분 (시스템/LRU/SRU)
	품명	품목의 명칭
	상위 PBS	상위 품목의 PBS번호
	PBS	PBS번호
	품목번호	품목의 번호
	단가	품목의 단가
	MTBF	평균 고장간 간격
	MTTR	평균 교환 정비 소요시간
	구성품수	구성된 품목 수
	중복여부	병렬 조립 여부
	K	K-out-of-N 의 K 값
	N	K-out-of-N 의 N 값 (구성품 수와 동일)
	폐기율	품목이 수리가 불가능 하여 폐기되는 비율
	RTD(경)	경정비 계단에서 교환이 발생되는 비율
	RTD(중)	중정비 계단에서 교환이 발생되는 비율
	MTD(경)	경정비 계단에서 수리가 발생되는 비율
	MTD(중)	중정비 계단에서 수리가 발생되는 비율
	비고	품목의 참고정보
소모성 품목	품명	품목의 명칭
	품목번호	품목의 번호
	단가	품목의 단가
	단위	품목의 수량 단위 (개/리터/Kg)
	주기성품목여부	해당 품목이 주기성품목인지 여부
	비고	품목의 참고정보
정비기지	정비수준	정비기지의 정비수준 (경정비/중정비)
	기지명	정비기지의 명칭

구분	명칭	설명
	상위기지명	상위 정비기지의 명칭
	위치	정비기지의 위치 또는 주소
	비고	정비기지의 참고정보
	배치일자	정비기지에서 관리하는 운용시스템의 배치일자 (경정비 기지만 입력)
	배치대수	정비기지에서 관리하는 운용시스템의 수량 (경정비 기지만 입력)
소모실적	작업일자	정비를 수행한 작업일자
	정비기지	정비를 수행한 정비기지 명칭
	차량번호	품목을 교환한 차량번호
	품목번호	교환대상 품목번호
	사용수량	1회 교환 시 교환한 품목 수량
운용 기초정보	분석기준일자	분석 실시 일자
	연간장비운용시간	평균 연간(8760시간 기준) 장비운용시간
	보급행정지연시간(경정비-중정비)	중정비기지에서 경정비기지로 재고 보급 시 평균소요되는 행정적 지연시간
	수송시간(경정비-중정비)	중정비기지에서 경정비기지로 재고 보급시 소요되는 운송시간
	정비행정지연시간(경)	정비소요로인해 경정비기지에서 정비를 수행하기 위해 소요하는 평균 행정적 지연시간
	정비행정지연시간(중)	중정비기지에서 정비를 수행하기 위해 소요하는 평균 행정적 지연시간
	정비수송시간(경)	정비소요로인해 경정비기지로 이동할 때 평균 소요되는 수송시간
	정비수송시간(중)	경정비기지에서 중정비기지로 정비소요로 이동 시 소요되는 평균 수송시간

예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 S/W의 시스템 명칭은 Logistics Analysis Model and Program의 약어인 LAMP로 명명하였다. LAMP에서 제공하는 정보는 목표하는 운용가용도를 만족하면서 재고비용을 최소화 하는 정비기지별 (S, S-1)정책의 최대 재고수준을 산출한다.

표 3.3.4 유지보수자원 최적 소요량 산출 출력 자료

구분	명칭	설명
수리순환 품목	품명	품목의 명칭
	품목번호	품목의 번호
	정비기지	재고를 보유하는 정비기지 명칭
	보급량	최대 재고수준
	총구매비용	최대 재고수준 구매비용 (재고 유지비용을 품목 구매비의 비율로 산정한다고 가정)
소모성 품목	품명	품목의 명칭
	품목번호	품목의 번호
	정비기지	재고를 보유하는 정비기지 명칭
	보급량	최대 재고수준
	총구매비용	최대 재고수준 구매비용 (재고 유지비용을 품목 구매비의 비율로 산정한다고 가정)

다음은 LAMP 모듈을 실행하기 위한 진입 화면이다. 상단의 소요량 산출 이미지를 클릭하면 LAMP 모듈이 실행된다.

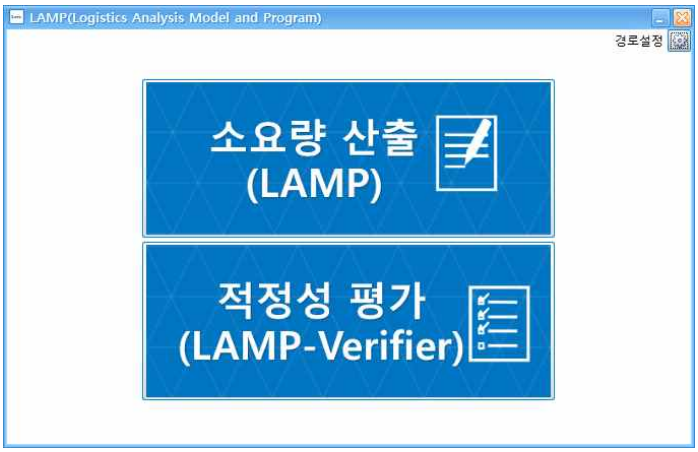


그림 3.3.2 프로그램 진입 화면

LAMP는 분석용 S/W이므로 윈도우 응용 프로그램으로 개발되었고 메뉴는 홈, 철도운용정보관리, 분석, 분석결과, 운용자료 연계, 도구, 도움말로 구성되어 있다.

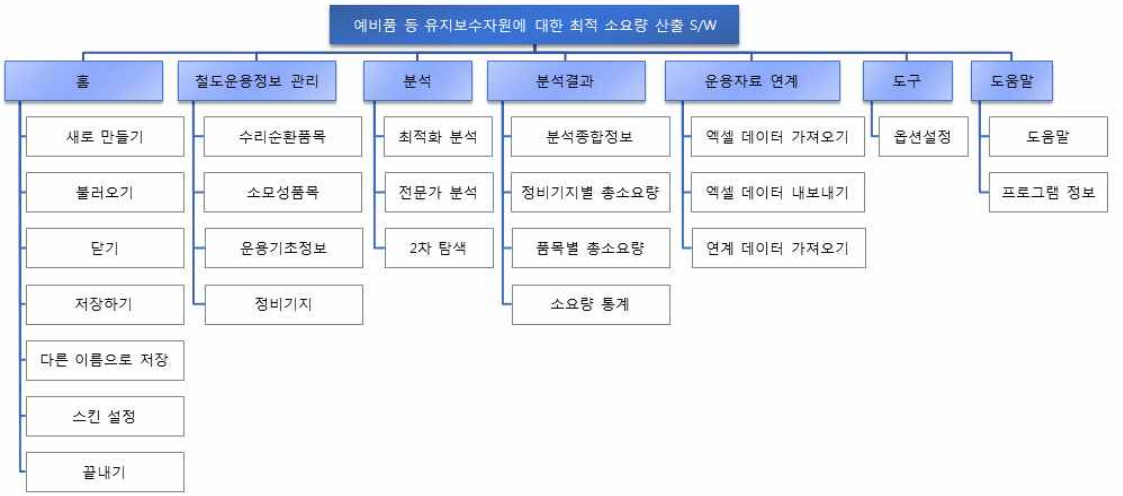


그림 3.3.3 예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 S/W 기능 구성도

철도운용정보 관리의 서브 메뉴인 수리순환품목 메뉴를 클릭하면 아래의 화면이 표시된다. 좌측은 BOM 계층구조가 표시되고 우측에는 BOM 구조에서 선택된 항목에 대한 품목정보가 표시된다. 품목정보는 시스템, LRU, SRU의 구분 및 수리가능 여부에 따라 구분하여 관리한다.

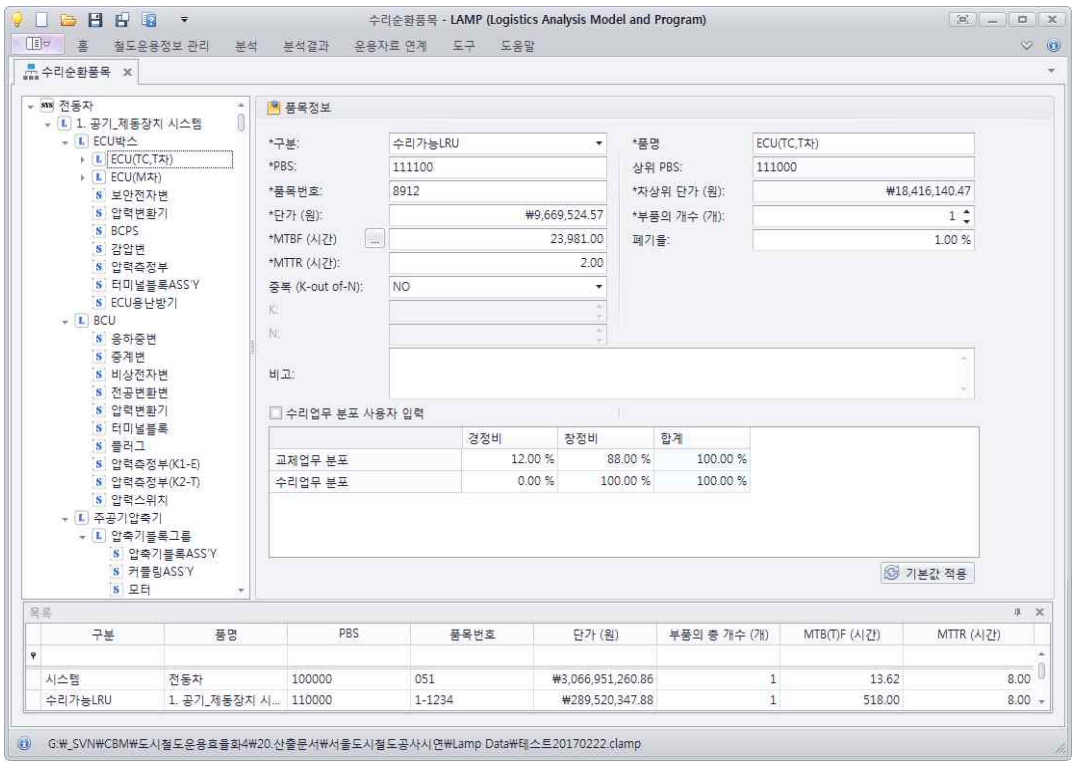


그림 3.3.4 수리순환품목 관리 화면

분석 메뉴의 서브 메뉴인 최적화 분석 메뉴를 클릭하면 다음의 화면이 표시된다. 운용가용도 또는 비용 제약으로 분석을 수행할 수 있다. 분석 결과, 탐색 진행상황 및 탐색하는 상황에 대한 도식화를 위한 그래프 표시 기능을 제공한다. 분석 결과에 대해서는 전문가 분석 또는 2차 탐색을 수행할 수 있다.

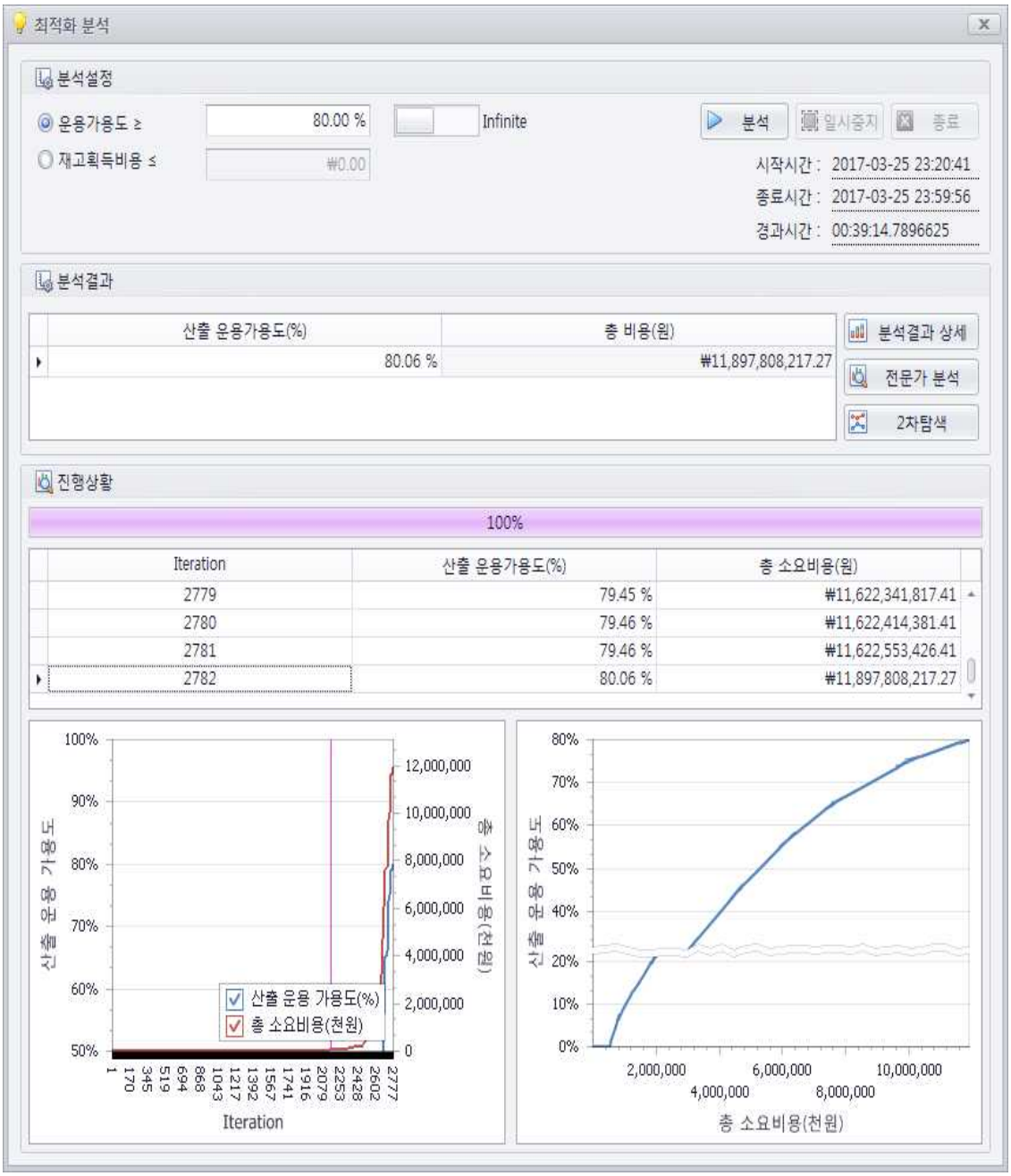


그림 3.3.5 최적화 분석 화면

분석 메뉴의 서브 메뉴인 전문가 분석 메뉴를 클릭하면 다음의 화면이 표시된다. 전문가 분석은 최적화 분석 결과로 산출된 재고량을 분석자의 경험에 따라 보급량을 조정하였을 경우에 대한 운용가용도와 비용에 대한 결과를 확인할 수 있는 기능이다.



그림 3.3.6 전문가 분석 화면

분석 메뉴의 서브 메뉴인 2차 탐색 메뉴를 클릭하면 다음의 화면이 표시된다. 2차 탐색은 1차 최적해 분석한 결과를 초기해로 하여 탐색을 시작하며 보다 좋은 해를 찾지 못하면 초기해를 최종 해로 결정한다. 2차 탐색의 목표값은 복수로 설정할 수 있으며 이 경우 목표값 별 가중치로 가중 평균하여 탐색해에 대해 평가를 수행한다.

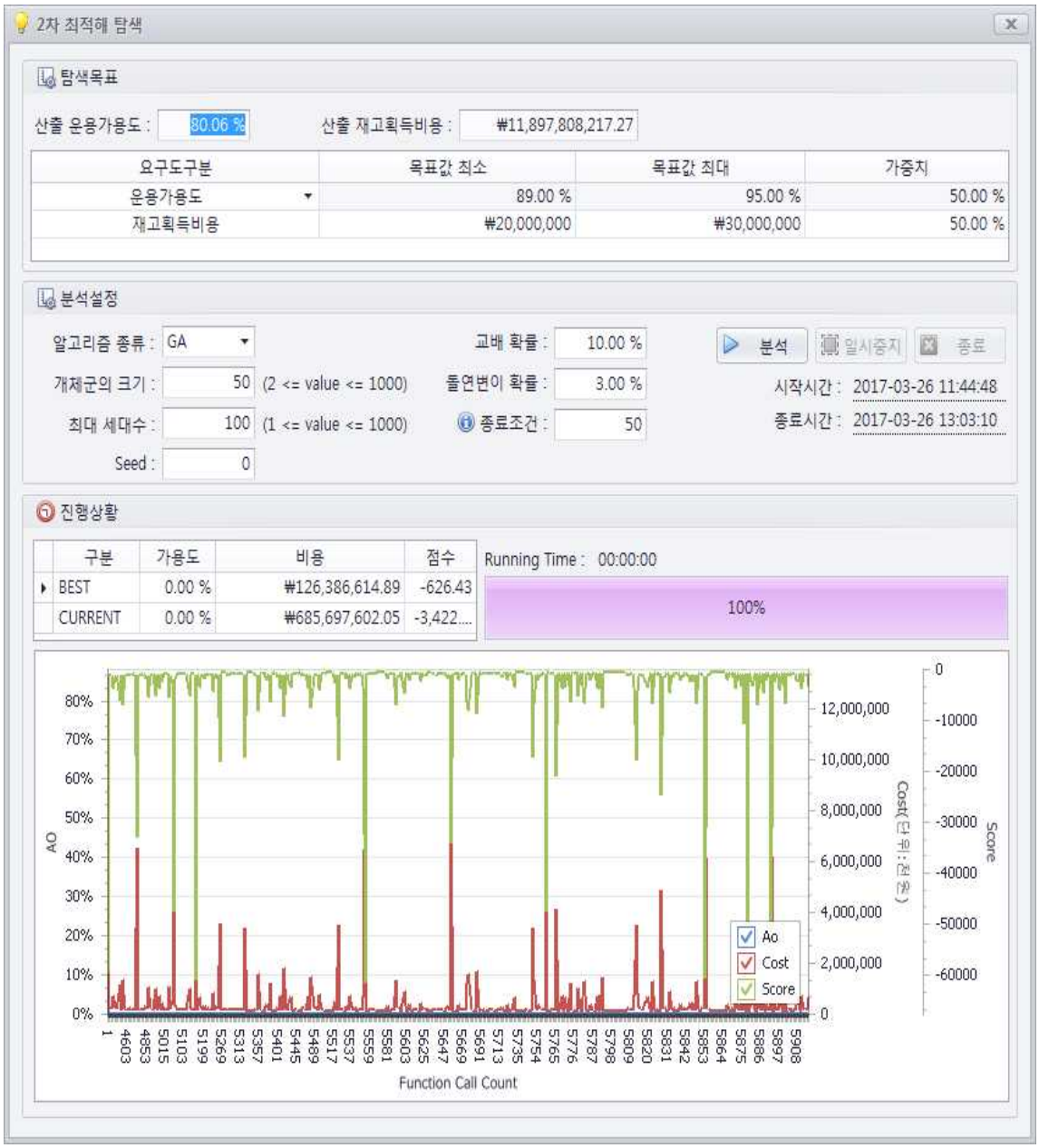


그림 3.3.7 2차 최적해 탐색 화면

분석결과 서브 메뉴인 분석종합정보 메뉴를 클릭하면 다음의 화면이 표시된다. 분석종합정보 화면은 분석 결과를 요약하여 보여주는 화면이다. LAMP는 분석 결과를 이력으로 관리하여 목표값 또는 기초정보를 여러 형태로 변경하여 분석 작업을 수행하고 이력 중에서 최종 안을 선택하여 이를 재고정책 결정에 활용할 수 있다.

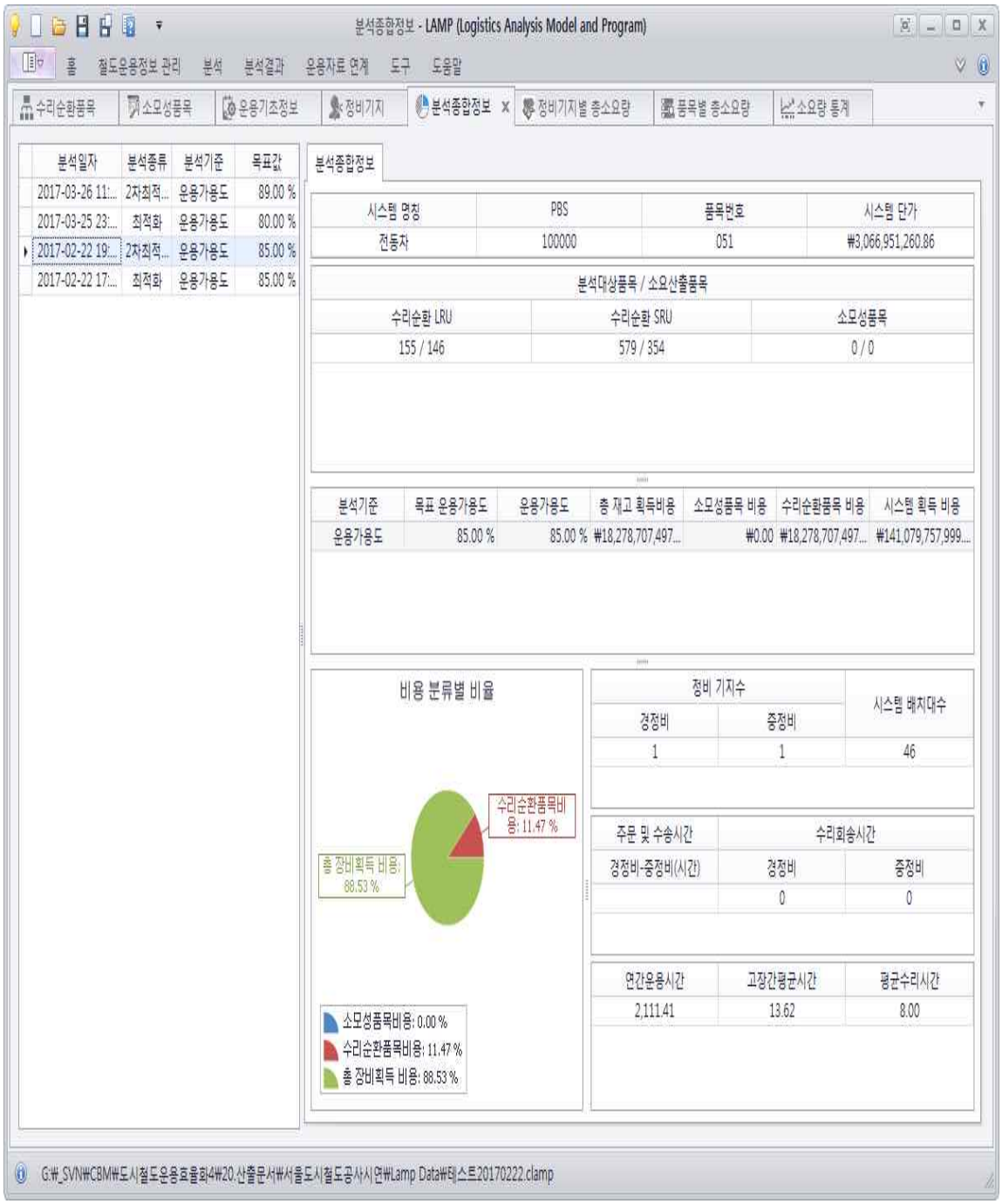


그림 3.3.8 분석종합정보 화면

(2) 유지보수자원에 대한 적정성 평가 S/W

유지보수자원에 대한 적정성 평가는 기존 철도 운용 환경에 적합한지를 판단하는 것이다. 이를 위해 철도 운용 상황에 대해 모의 논리를 정의하여 현실성 있는 판단을 위해 이산사건 시뮬레이션을 수행하고 평가 지표를 비교 분석함으로써 유지보수자원에 대한 적정성을 평가한다. 예비품 소요량에 대한 적정성 평가는 기존 재고수준과 산출된 최적 소요량에 대해 각각 시뮬레이션을 수행 한 뒤 산출된 지표를 비교하는 방식으로 진행된다.

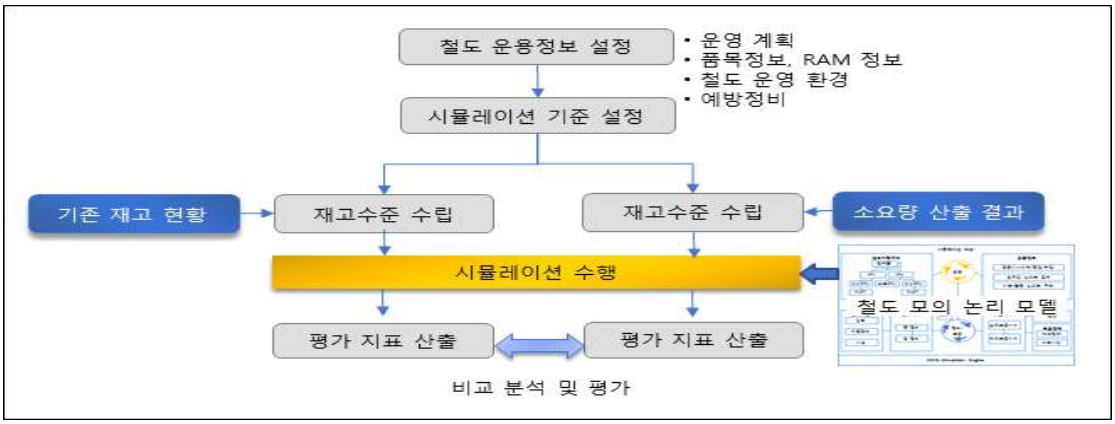


그림 3.3.9 적정성 평가 운용 개념

표 3.3.5 적정성 평가 업무 설명

운용 업무	업무 설명
철도 운용정보 설정	기존 운용사로부터 연계된 운용 자료를 활용하여 시뮬레이션 모의논리 대상 정보(운용/고장/정비/보급)를 설정한다.
시뮬레이션 기준 설정	시뮬레이션 수행을 위한 기준정보를 설정한다. 특히, 몬테카를로 시뮬레이션 수행 시 발생할 수 있는 분산을 감소하기 위한 시뮬레이션 반복 수행 횟수를 정의한다.
기존 재고 수준 수립	운용사 연계자료의 재고 정책을 정의한다. (최대 재고 수량, 재주문 시점)
최적 소요량 재고 수준 수립	소요량 산출을 통해 예측된 최적 소요량 기준의 재고 수준을 산출한다. (철도 운용사의 재고 정책 준수)
시뮬레이션 수행	시뮬레이션 엔진을 통해 정의된 모의논리를 수행한다. 이때, 기존 재고 수준을 이용한 시뮬레이션과 최적 소요량 재고수준을 이용한 시뮬레이션을 각각 수행한다.
평가 지표 생성	시뮬레이션 수행 이력을 이용하여 평가 지표를 생성한 뒤 비교분석한다. 평가 지표는 가용도, 비용, 서비스 준수도, 수리부속 평균 재고량, 자원 가동율, 보급 충족도를 정의한다.

CBM 효과도 분석을 위해 FDT (Failure Detection Threshold) 개념을 적용한 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션은 특정 부품이 FDT 수준에서 상태 진단이 가능하다고 판단하여 교체 또는 수리 행위를 한다고 가정하여 이벤트를 처리한다. 신뢰도 분포의 확률적 결과를 사용하므로 결과의 편차를 줄이기 위하여 분산감소기법을 적용하며 시뮬레이션 모델 정의는 DEVS 형식론을 적용하였다. 유지보수자원은 정비를 수행하기 위해 소요되는 인력, 시설, 수리부속, 지원장비(일반/특수 공구, 일반/특수 시험 장비)를 모두 포함한다. CBM 효과 분석을 위해 평가지표를 대안별로 산출하여 비교하고 그 차이를 분석함으로써 품목별 CBM 효과를 분석한다.

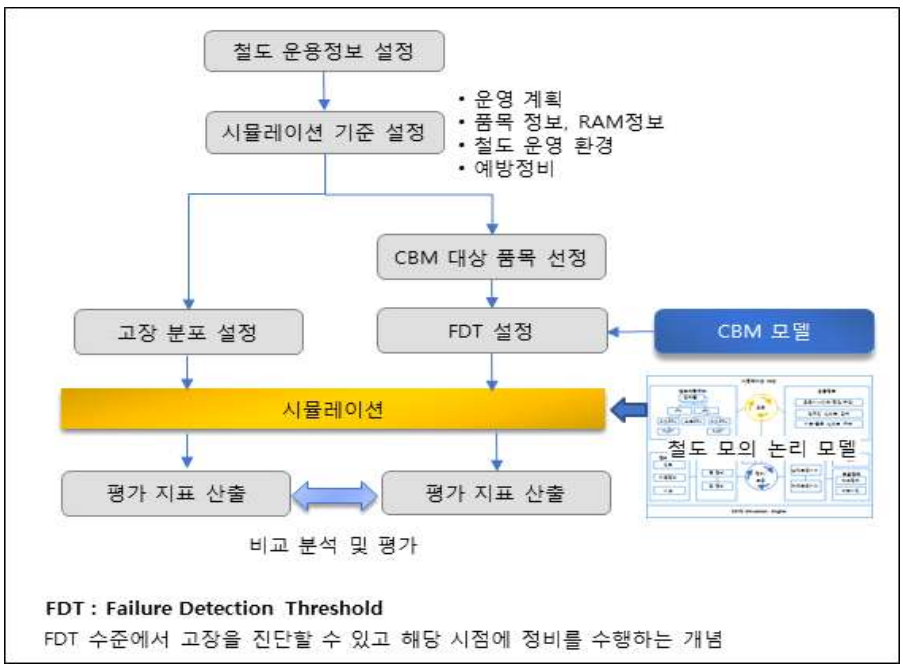


그림 3.3.10 효과도 평가운용 개념

표 3.3.6 효과도 평가 업무 설명

운용 업무	업무 설명
철도 운용정보 설정	기존 운용사로부터 연계된 운용 자료를 활용하여 시뮬레이션 모의논리 대상 정보(운용/고장/정비/보급)를 설정한다.
시뮬레이션 기준 설정	시뮬레이션 수행을 위한 기준정보를 설정한다. 특히, 몬테카를로 시뮬레이션 수행 시 발생할 수 있는 분산을 감소하기 위한 시뮬레이션 반복 수행 횟수를 정의한다.
CBM 대상 선정	기존 운용사로부터 연계된 운용 자료 중 CBM 대상 품목을 정의한다.

운용 업무	업무 설명
고장 분포 설정	품목별 고장 분포 (MTBF)를 설정한다.
FDT 설정	CBM 대상 품목에 대해서는 FDT 수준을 설정한다.
시뮬레이션 수행	시뮬레이션 엔진을 통해 정의된 모의논리를 수행한다. 이때, 전 품목을 고장 분포 기반의 시뮬레이션과 FDT 수준에 따른 시뮬레이션을 각각 수행한다.
평가 지표 생성	시뮬레이션 수행 이력을 이용하여 평가 지표를 생성한 뒤 비교 분석한다. 평가 지표는 가용도, 비용, 서비스 준수도, 수리부속 평균 재고량, 자원 가동율, 보급충족도, 예방정비 횟수, 고장정비 횟수, 평균 재고 보유량을 정의한다.

유지보수자원에 대한 적정성 평가 및 CBM 효과도 분석 S/W의 입력자료는 LAMP의 자료를 활용하거나 “유지보수 의사결정 통합 S/W”의 자료를 연계하거나 엑셀 형태의 템플릿으로 등록할 수 있고 입력 항목은 다음 표와 같이 정의하였다.

표 3.3.7 유지보수자원 적정성 평가 및 CBM 효과도 분석 S/W 입력 자료

구분	항목 명칭	항목 설명
차종정보	차종명	차종의 명칭
	제작사	차량을 제작한 제작사의 명칭
	신조일	차량을 제작한 날짜
	차종설명	차종의 설명
품목정보	품명	품목의 명칭
	품목번호	품목의 번호
	단가	품목의 단가 (원)
	연간재고유지비용	품목1개 기준으로 연간 재고로 유지하는데 소요되는 비용 (원)
	폐기비용(원)	품목1개 기준으로 해당 품목을 폐기하는데 소요되는 비용 (원)
	수리가능비율	품목의 고장 시 얼만큼의 확률로 수리가 가능한지의 비율
	수리계단	품목을 수리가능한 최소 정비계단
	소모성여부	품목의 고장 시 수리하는지 폐기하는지의 구분
	조달시간	품목이 조달되는데 걸리는 시간
	수리시간	품목을 수리하는데 덜리는 시간
	수리 자원 정보	품목을 수리하는데 필요한 정비자원
PBS정보	차종명	차종의 명칭

구분	항목 명칭	항목 설명
	PBS명	PBS 명칭
	상위PBS번호	PBS 구조를 표현하기 위한 상위 PBS 번호
	PBS번호	PBS 번호
	LCN	군수지원분석 관리 번호
	품명	PBS에 대한 품목의 명칭
	품목번호	PBS에 대한 품목의 번호
	구분	PBS 구조 구분 (체계, LRU, SRU)
	수량	PBS를 구성하고 있는 수량
	병렬 여부	병렬로 구성되었는지 여부
	K (K-out-of-N)	K-out-of-N에서의 K값
	CBM 대상 여부	시뮬레이션 수행시 CBM 적용을 선택했을 때 CBM을 적용하는 대상 품목인지 여부
	고장시간 (Hr)	PBS가 고장나기까지의 운용시간
	교환시간 (Hr)	PBS를 교환하는데 걸리는 시간
	교환계단	PBS를 교환가능한 최소 정비계단
	정비원	PBS를 교환하는데 필요한 정비원
	정비장비	PBS를 교환하는데 필요한 정비원
	주기교환 정보	PBS의 주기교환 정보
주기점검	차종명	차종의 명칭
	점검 명칭	주기점검의 명칭
	점검 정비계단	주기점검을 수행하기 위한 최소 정비계단
	점검 시간	주기점검을 수행하는데 걸리는 시간
	점검 기준	주기점검을 수행하는 기준
	점검 대상 품목	주기점검의 점검 대상 품목
	필요자원	주기점검을 수행하는데 필요한 정비자원
운행노선	운행노선명	운행노선의 명칭
	첫차출발시간	운행노선의 첫차 출발시간
	막차출발시간	운행노선의 막차 출발시간
	일평균운행시간(Hr)	운행노선의 일 평균 운행시간
	일평균운행거리(Km)	운행노선의 일 평균 운행거리
	비고	운행노선의 비고
정비자원	명칭	정비자원의 명칭
	단가 (원)	정비자원의 단가 (원)
	설치비용 (원)	정비자원의 설치 비용 (원)

구분	항목 명칭	항목 설명
	연간운용유지비(원)	정비자원의 연간 운용 유지비 (원)
	수명 (년)	정비자원의 수명 (년)
	연간운용가능시간 (Hr)	정비자원의 연간 운용 가능시간 (Hr)
보급기지	기지명	보급기지의 명칭
	상위 기지명	보급기지 구조를 표현하기 위한 상위 보급기지 명칭
	보급계단	보급기지의 보급계단
	상위 기지 - 이동시간 (Hr)	보급기지에서 상위 기지로의 이동시간 (Hr)
	기준 재고정책	보급기지의 기준 재고정책 (시뮬레이션 옵션 중 정비 수리부속품 변경이 아닌 경우 적용)
	분석 재고정책	보급기지의 분석 재고정책 (시뮬레이션 옵션 중 정비 수리부속품 변경인 경우 적용, LAMP DB 가져오기로 입력)
정비기지	기지명	정비기지의 명칭
	상위 기지명	정비기지 구조를 표현하기 위한 상위 정비기지 명칭
	정비계단	정비기지의 정비계단
	상위 기지 - 이동시간 (Hr)	정비기지에서 상위 기지로의 이동시간 (Hr)
	담당 보급 기지 - 보급기지	정비기지의 담당 보급기지
	담당 보급 기지 - 이동시간 (Hr)	정비기지에서 담당 보급기지로의 이동시간 (Hr)
	편성 현황	정비기지에서 담당하는 편성 현황
	기준 보유 자원 - 정비원	정비기지의 기준 보유 정비원 (시뮬레이션 옵션 중 정비인력 변경이 아닌 경우 적용)
	기준 보유 자원 - 정비장비	정비기지의 기준 보유 정비장비 (시뮬레이션 옵션 중 정비 지원장비 변경이 아닌 경우 적용)
	분석 보유 자원 - 정비원	정비기지의 분석 보유 정비원 (시뮬레이션 옵션 중 정비인력 변경인 경우 적용)
	분석 보유 자원 - 정비장비	정비기지의 분석 보유 정비장비 (시뮬레이션 옵션 중 정비 지원장비 변경인 경우 적용)
편성정보	편성번호	편성 번호

구분	항목 명칭	항목 설명
관리	운행노선	운행노선의 명칭
	차종명	차종의 명칭
	기지	편성이 소속된 기지의 명칭
	영업투입일	편성이 영업에 투입된 날짜

유지보수자원에 대한 적정성 평가 및 CBM 효과도 분석 S/W의 시스템 명칭은 LAMP에서 산출한 값을 검증하는 목적이므로 LAMP-Verifier로 명명하였다. LAMP-Verifier는 시간별 재고량, 시간별 정비자원 잔여 수량, 시간별 고장발생수, 시간별 정비수, 품목별 RAM 지표, 품목별 소요량 등을 결과로 산출하며 시뮬레이션 결과를 이용하여 정비자원(인력/정비장비)에 대한 소요량 의사결정을 지원한다.

표 3.3.8 유지보수자원 적정성 평가 및 CBM 효과도 분석 S/W 출력 자료

구분	명칭	설명
공통	순번	결과 등록 순번
	결과 구분	시뮬레이션 옵션 결과 구분
	결과 명칭	시뮬레이션 결과 명칭
	수행일자	시뮬레이션 수행일자
결과요약	총 도입 비용	시뮬레이션 분석 기간동안의 총 도입 비용
	총 구매 비용	시뮬레이션 분석 기간동안의 총 구매 비용
	총 정비추정 비용	시뮬레이션 분석 기간동안의 총 정비추정 비용
	비고	시뮬레이면 결과의 비고
	시스템 명칭	시스템의 명칭
	총 수량	해당 시스템의 시스템의 총 수량
	고장횟수 평균	해당 시스템의 고장횟수 평균
	고장횟수 표준편차	해당 시스템의 고장횟수 표준편차
	MTBF 평균	해당 시스템의 MTBF 평균
	MTBF 표준편차	해당 시스템의 MTBF 표준편차
	운용가용도 평균	해당 시스템의 운용가용도 평균
	운용가용도 표준편차	해당 시스템의 운용가용도 표준편차
	고장정비횟수 평균	해당 시스템의 고장정비횟수 평균
	고장정비횟수 표준편차	해당 시스템의 고장정비횟수 표준편차
	고장정비시간 평균	해당 시스템의 고장정비시간 평균
	고장정비시간 표준편차	해당 시스템의 고장정비시간 표준편차
	예방정비횟수 평균	해당 시스템의 예방정비횟수 평균
	예방정비횟수 표준편차	해당 시스템의 예방정비횟수 표준편차
	예방정비시간 평균	해당 시스템의 예방정비시간 평균

구분	명칭	설명
	예방정비시간 표준편차	해당 시스템의 예방정비시간 표준편차
재고	기지 명칭	기지 명칭
	품목 명칭	품목 명칭
	재고량	단위 시간별 재고량
정비자원	정비자원 명칭	정비자원 명칭
	기지 명칭	기지 명칭
	잔여수량	단위 시간별 잔여수량
고장	품목 명칭	품목 명칭
	고장발생 횟수	단위 시간별 고장발생 횟수
정비	정비구분	정비구분 (고장교환, 고장수리, 주기점검, 주기교환)
	기지 명칭	기지 명칭
	품목 명칭	품목 명칭
	정비횟수	단위 시간별 정비횟수
RAM	품목 명칭	품목명칭
	운용시간	해당 품목의 총 운용시간
	고장 중 운용시간	해당 품목의 총 고장 중 운용시간
	대기시간	해당 품목의 총 대기시간
	고장 중 대기시간	해당 품목의 총 고장 중 대기시간
	예방정비횟수	해당 품목의 총 예방정비횟수
	예방정비시간	해당 품목의 총 예방정비시간
	고장횟수	해당 품목의 총 고장횟수
	고장정비횟수	해당 품목의 총 고장정비횟수
	정비시간	해당 품목의 총 정비시간
	정비이동시간	해당 품목의 총 정비이동시간
	정비지연시간	해당 품목의 총 정비지연시간
	보급시간	해당 품목의 총 보급시간
	평균고장간시간	해당 품목의 총 평균고장간시간
	평균정비시간	해당 품목의 총 평균정비시간
	운용가용도	해당 품목의 총 운용가용도
소요량	품명	품목의 명칭
	총 고장 횟수	총 고장 횟수
	구매횟수	구매 횟수
	단가 (원)	단가 (원)

다음은 LAMP Verifier 모듈을 실행하기 위한 진입 화면이다. 하단의 적정성 평가 이미지를 클릭하면 LAMP Verifier 모듈이 실행된다.

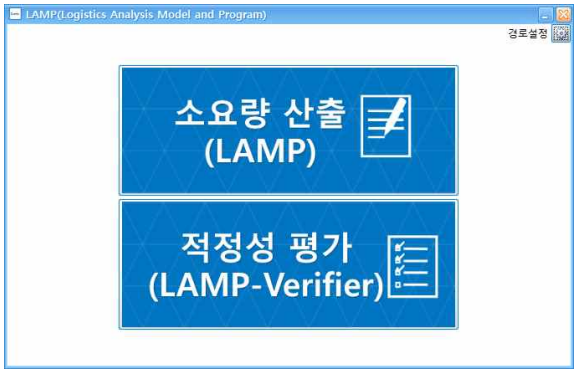


그림 3.3.11 프로그램 진입 화면

LAMP-Verifier는 분석용 S/W이므로 윈도우 응용 프로그램으로 개발되었고 메뉴는 홈, 철도운용정보관리, 시뮬레이션, 운용자료 연계, 도구, 도움말로 구성되어 있다.



그림 3.3.12 유지보수자원 적정성 평가 및 CBM 효과도 분석 S/W 기능 구성도

철도운용정보 관리 서브 메뉴인 PBS 관리를 클릭하면 다음의 화면이 표시된다. 좌측에는 PBS 트리가 우측에는 PBS 트리에 선택된 품목의 PBS 정보로 구성되어 있다. 또한 좌측 상단의 콤보박스에서 차종을 변경할 수 있다.

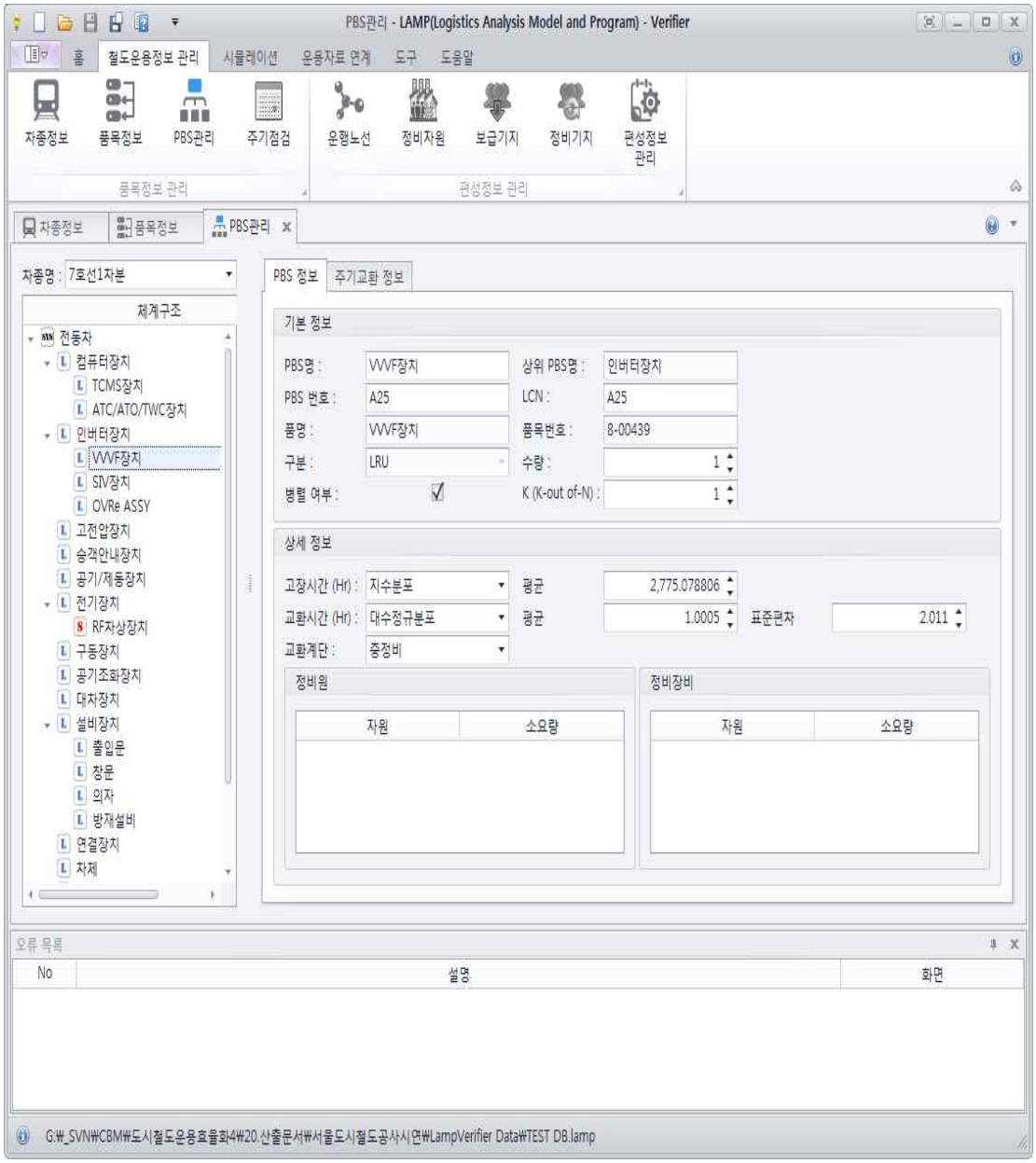


그림 3.3.13 PBS 정보 관리 화면

철도운용정보 관리의 서브 메뉴인 보급기지를 클릭하면 다음의 화면이 표시된다. 좌측 보급기지 구조에서 선택된 보급기지의 상세 정보 화면은 우측에 표시되며 기지명, 상위 기지 이동시간, 분석 재고정책, 기준 재고정책을 정의한다. 분석 재고정책은 LAMP DB에서 재고 정책을 가져온 후에 활성화되고 시뮬레이션 실행시 옵션으로 정비 수리부속품 변경을 선택했을 경우 적용되며 기준 재고정책은 그 외의 옵션을 선택했을 경우 적용된다.

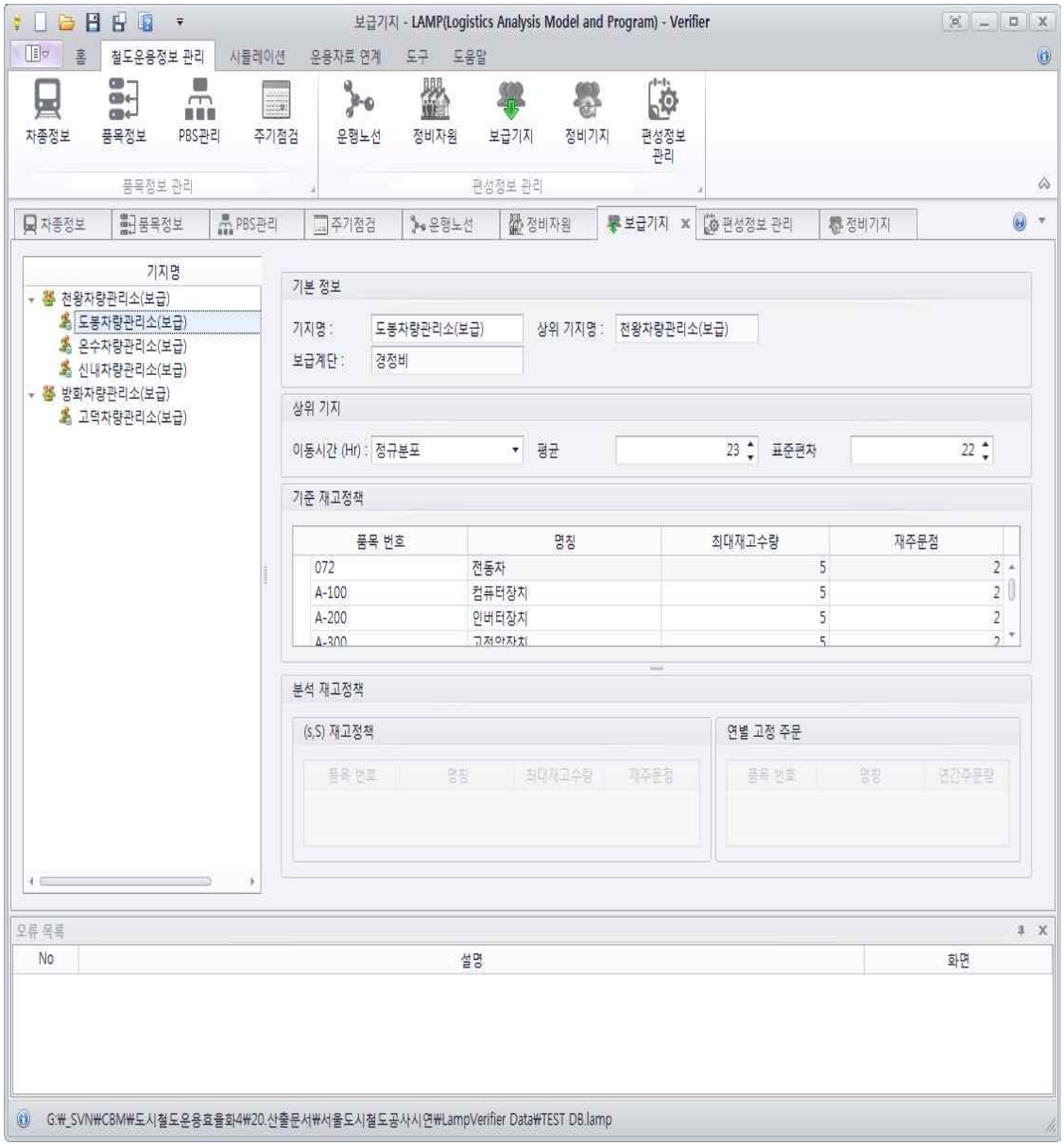


그림 3.3.14 보급기지 관리 화면

시뮬레이션 메뉴를 클릭하면 다음의 화면이 표시된다. 시뮬레이션을 제어하기 위하여 시뮬레이션 기간, Seed No, 단위시간 기록 수를 정의할 수 있고 시뮬레이션 옵션에 있는 기준 데이터, 정비인력 변경, CBM 적용 여부를 선택하면 시뮬레이션 수행시 반영된다. 시뮬레이션 종료 조건은 반복횟수, 가용도의 허용 범위로 제한할 수 있다. 시뮬레이션 진행상황에 대해 경과시간, 남은시간, 메모리 사용량, 현재 반복횟수 등을 표시하며 가용시스템 비율, 반복 횟수별 평균 운용가용도, 시스템 MTBF, 시스템 MTTR를 그래프로 표시한다.



그림 3.3.15 시뮬레이션 실행 화면

시뮬레이션 결과 메뉴를 클릭하면 수행 결과별 결과 요약, 재고, 정비자원, 고장, 정비, RAM, 소모량 등을 구분하여 탭으로 표시한다.

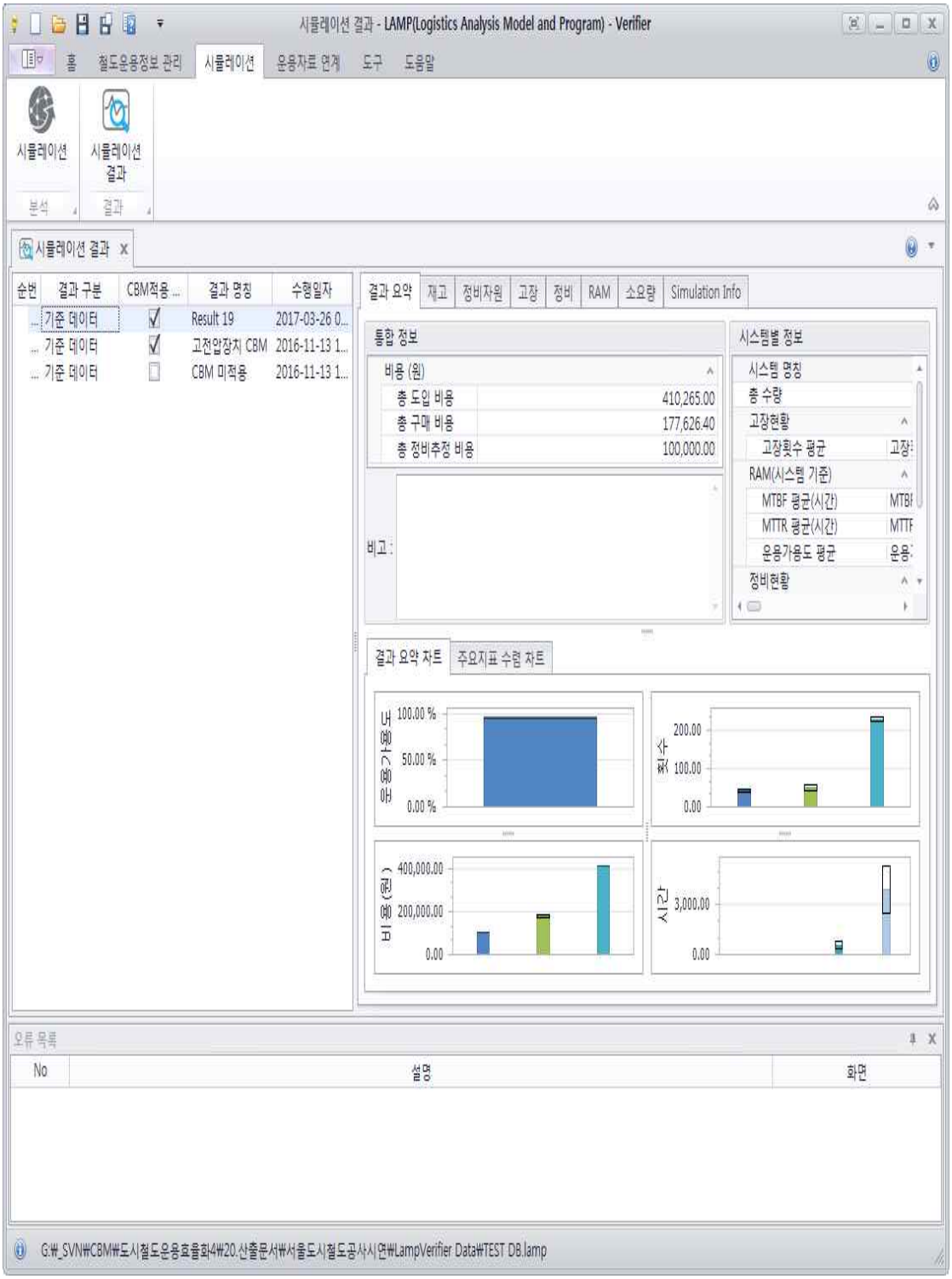


그림 3.3.16 시뮬레이션 결과 요약 화면

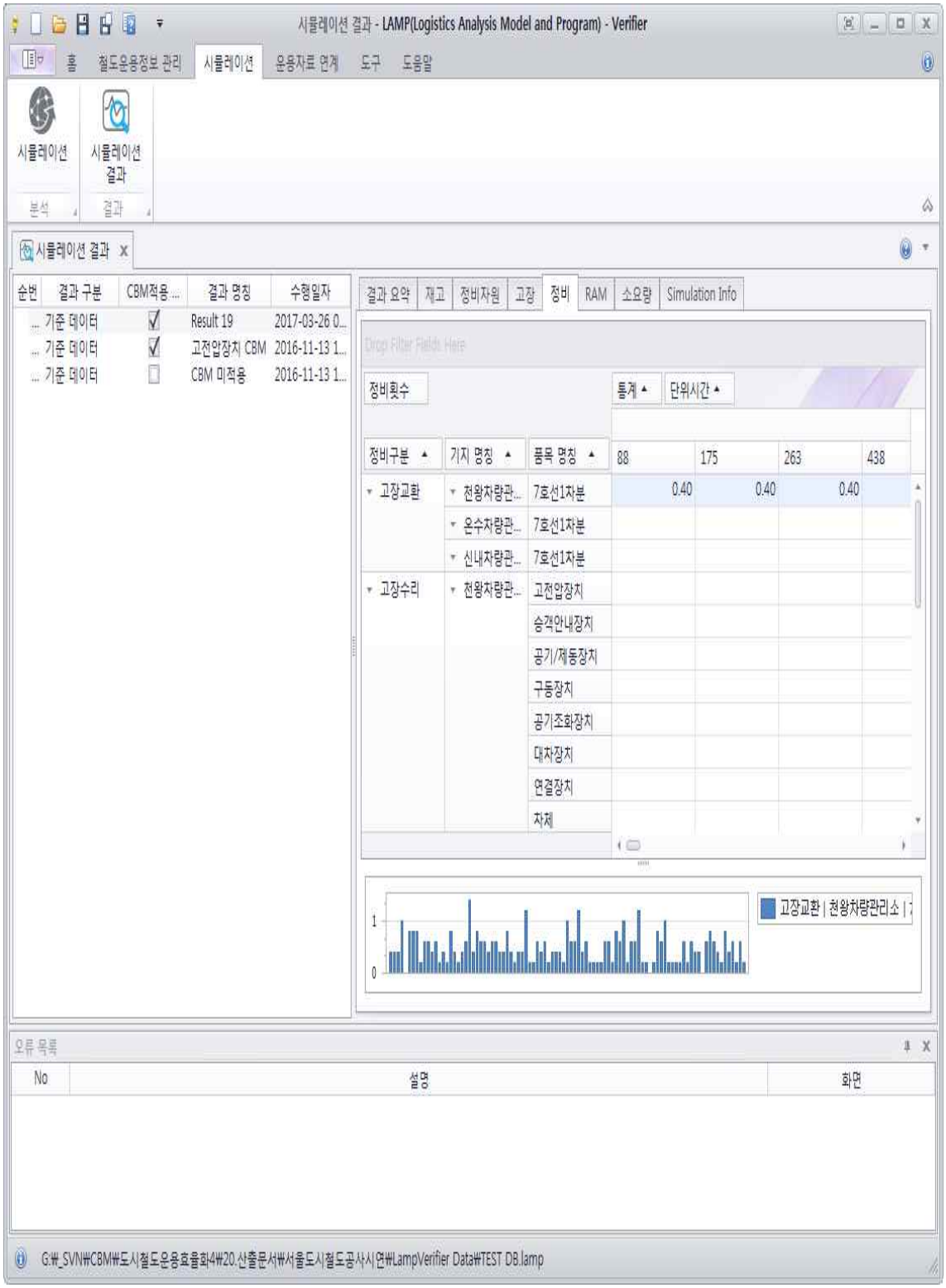


그림 3.3.17 시뮬레이션 정비 결과 화면

(3) 유지보수자원 로지스틱스 시스템 신뢰성 검증

(가) 검증 결과 요약

총 3차에 걸쳐 검증을 수행하였다. 1차 검증 후 수정/보완, 2차 검증 후 수정/보완, 3차 검증 후 수정/보완 단계를 통해 S/W의 신뢰성을 높였다.

검증에서 사용한 데이터는 실제 데이터를 그대로 적용하기에는 프로그램 수행시간이 길어 다양한 검증을 할 수 없어 데이터의 양을 많이 축소하여 검증에 활용하였다.

검증 결과 모듈 별 발생한 오류 건수와 잔존 오류 건수는 아래의 표와 같다. 즉 총 24개의 오류를 발견하였으며, 모든 오류는 수정되었음이 확인되었다.

표 3.3.9 총 오류 및 개선 필요 건수

모듈	차수	기능 오류 건수	검증 오류 건수	잔존 오류 건수
LAMP	1차	3	1	0
	2차	3	5	0
	3차	0	3	0
	소계	6	9	0
LAMP-Verifier	1차	4	0	0
	2차	2	0	0
	3차	3	0	0
	소계	9	0	0
합계		15	9	0

(나) LAMP 모듈

LAMP 모듈의 1차 검증에서는 실제 데이터와 유사한 1개 장비를 대상으로 기본적인 사항을 검증하였고 2차 검증에서는 가상의 데이터를 이용하여 여러 가지 입력값을 변화해 가면서 결과를 분석하였다. 3차 검증에서는 2차 검증에서 확인 및 보완이 필요했던 내용을 재검증 하였다.

LAMP 모듈을 검증한 결과를 아래 표에 종합하였으며 상세내용은 [상세 검증 결과]에 기술하였다.

표 3.3.10 LAMP 검증 결과 종합

검증 시기	번호	구분	내용	보완 여부
1차	L001	기능 오류	엑셀 데이터 가져오기 수행 시 RTD, MTD 관련 오류	완료
	L002	기능 오류	최적화 분석 시 S/W 작동 중단 오류	완료
2차	L003	기능 오류	진행 상태 표시 오류	완료
	L004	논리 오류	결과 산출 불가 및 소요 시간	완료
	L005	기능 오류	정비기지 수정 시 수정된 내용이 초기화되는 오류	완료
	L006	검증 결과	시스템 배치 대수에 따른 수리순환품목 수량 변화	완료
	L007	검증 결과	수리순환품목의 MTTR 변화 따른 수리순환품목 수량 변화	완료
	L008	검증 결과	품목 단가의 변화에 따른 수리순환품목 수량 변화	완료
	L009	검증 결과	품목의 폐기율 변화에 따른 수리순환품목 수량 변화	완료
	L010	검증 결과	품목의 개수 변화에 따른 수리순환품목 수량 변화	완료
	L011	검증 결과	중복 구조 변화에 따른 수리순환품목 수량 변화	완료
	L012	검증 결과	중정비 계단의 수리 업무 비율의 변화에 따른 수리순환품목 수량 변화	완료
3차	L013	검증 결과	품목 단가의 변화에 따른 수리순환품목 수량 변화	완료
	L014	검증 결과	품목의 폐기율 변화에 따른 수리순환품목 수량 변화	완료
	L015	검증 결과	품목의 개수 변화에 따른 수리순환품목 수량 변화	완료

① 검증 방법

최종 검증(3차)의 검증 방법은 다음과 같다.

■ 분석 대상

- 수리순환품목 : 3개 품목

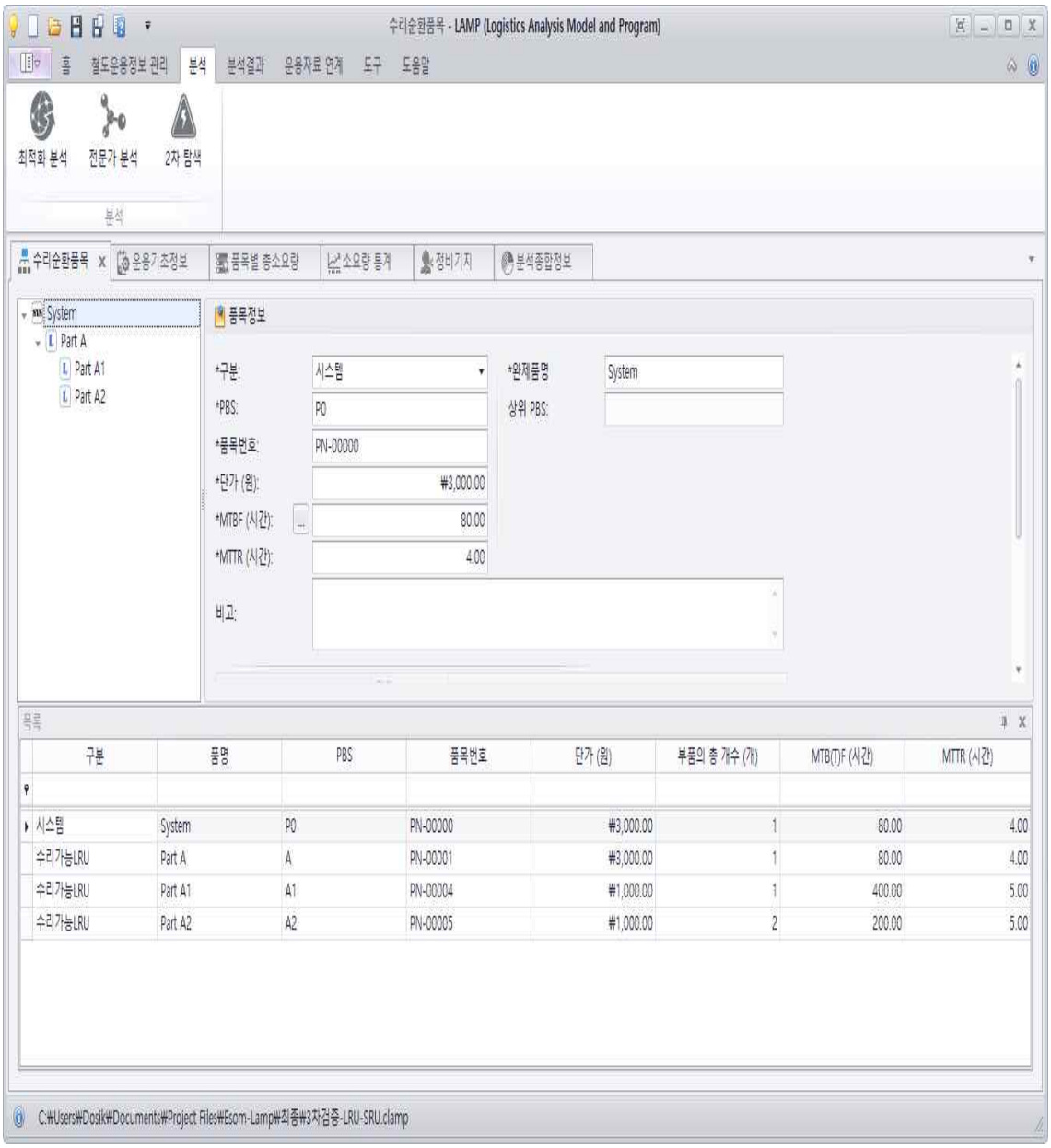


그림 3.3.18 모듈 수리순환품목 입력 화면

- 소모성품목 : 없음

- 운용기초정보

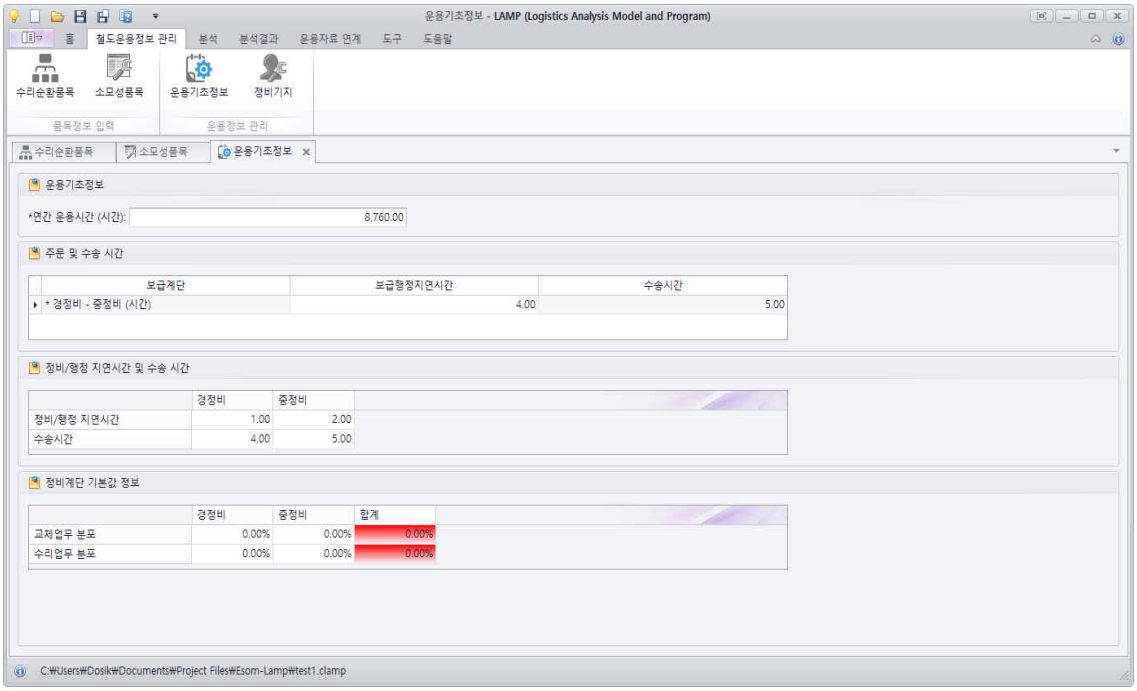


그림 3.3.19 모듈 운용기초정보 입력 화면

- 정비기지 : 중정비 2개소, 경정비 4개소

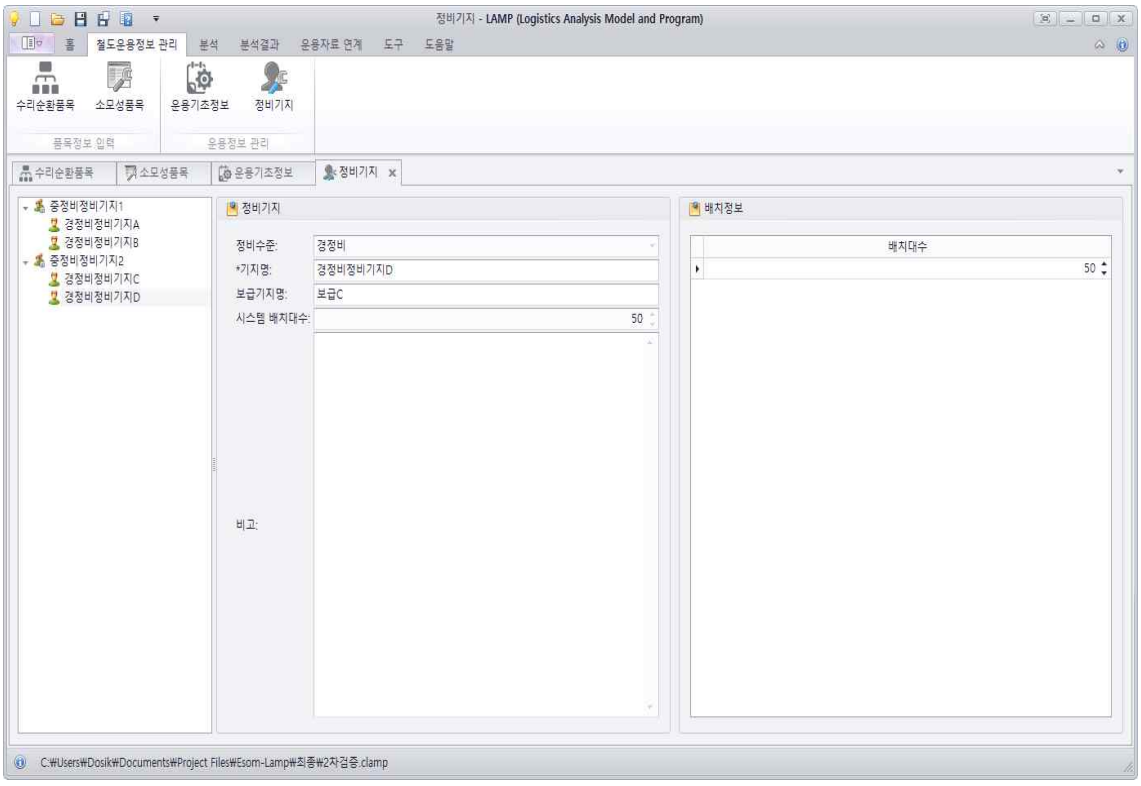


그림 3.3.20 모듈 정비기지 입력 화면

② 검증 상세 내용(결과)

최종 검증(3차)의 상세 검증 내용은 다음과 같다.

■ [L013] 품목 단가의 변화에 따른 결과 비교

- 내용

수리순환품목의 단가를 변화해 가면서 수리순환품목의 수량의 변화를 검증하였다. 두 품목의 다른 조건은 모두 동일하고 단가만 Part A1은 1원, 1,000,000원 그리고 10,000,000,000원, Part A2는 1,000원, 1,000,000원 그리고 다시 1,000원으로 변화를 주었으며 품목 단가 변화에 따라 산출된 수량은 아래 표 2.21과 같다.

- 분석

두 품목의 단가가 1,000원인 CASE 2를 기준으로, CASE 1처럼 Part A1 품목의 단가가 1원으로 낮아지면 Part A1 품목보다 상대적으로 단가가 높은 Part A2를 더 적게 보유하는 것이 일반적이지만, 결과는 Part A1을 더 많이 보유 하는 것으로 나타났다. 그리고 Part A1의 단가가 Part A2의 단가보다 많이 증가한 CASE 3의 경우 또한 마찬가지로 Part A1, Part A2의 보유 수량은 기준 수량과 거의 동일하게 결과가 나타났다.

따라서 이 부분은 1차, 2차 검증 때에 보완이 필요한 내용으로 분석되었던 것이며 향후 보완이 이루어지지 않은 부분으로 보인다. 다시 한 번 로직을 확인 후 보완이 필요하다고 판단된다.

표 3.3.11 LAMP 품목 단가 변화에 따른 결과 비교

조건	산출 결과						
단가	수리순환 품목	중정비1	중정비2	경정비A	경정비B	경정비C	경정비D
CASE 1 Part A1: 1원 Part A2: 1,000원	Part A			11	11	13	15
	Part A1			10	10	11	13
	Part A2			9	9	11	12
CASE 2 Part A1: 1,000원 Part A2: 1,000원	Part A			14	14	13	15
	Part A1			9	9	11	12
	Part A2			9	9	11	12
CASE 3 Part A1: 10,000,000,000원 Part A2: 1,000원	Part A			11	11	13	15
	Part A1			9	9	11	12
	Part A2			10	10	11	13

- 관련 화면

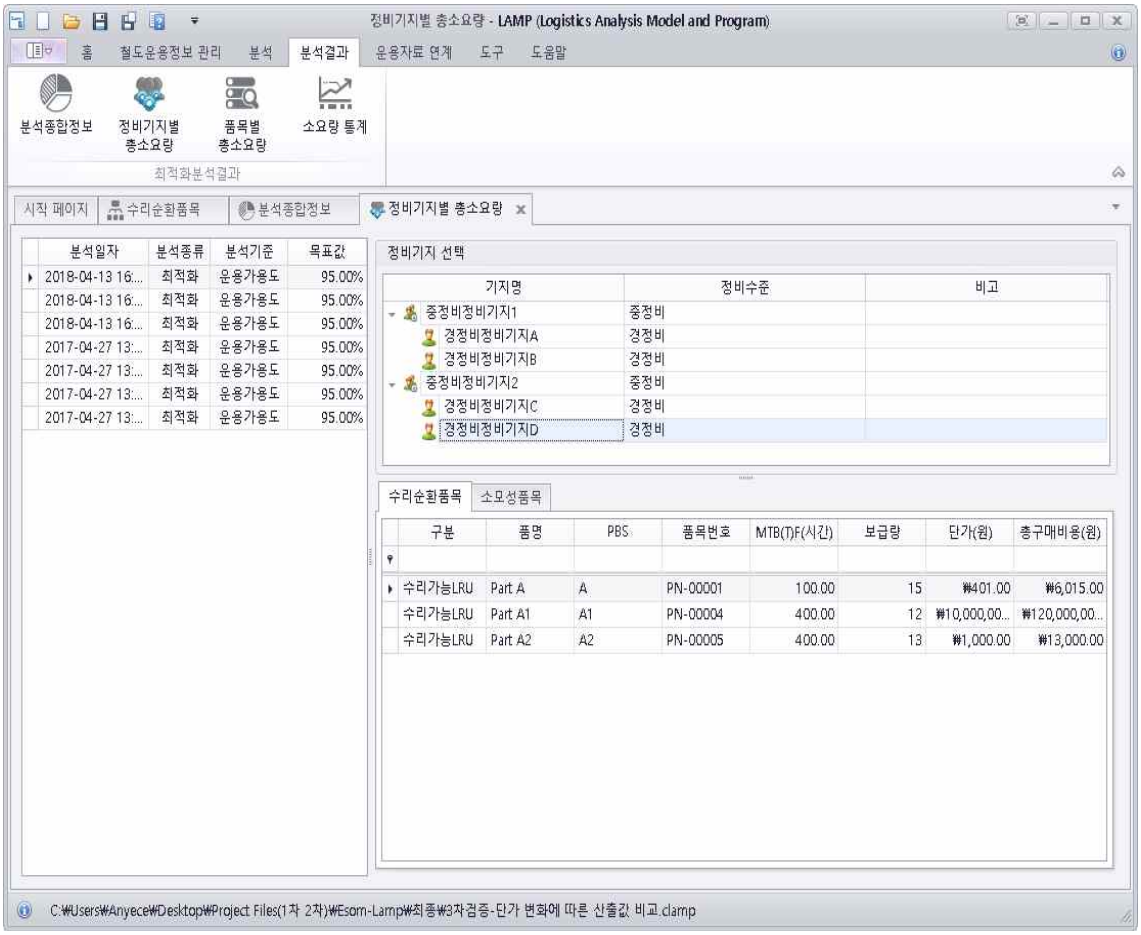


그림 3.3.21 LAMP L013 관련 화면 - 품목 단가 변화에 따른 결과 비교

■ [L014] 품목의 폐기율 변화에 따른 결과 비교

- 내용

수리순환품목의 폐기율을 변화해 가면서 수리순환품목의 수량의 변화를 검증하였다.

Part A1과 Part A2의 정비지연시간, 수송시간 등을 0으로 모두 동일하게 설정하고, Part A2 품목의 폐기율에만 변화를 주었으며 산출된 수량은 아래 표 2.22와 같다.

- 분석

주문 및 수송시간, 정비/행정 지연시간 및 수송시간이 모두 0으로 설정되었으므로 폐기율의 변화가 결과에 주는 영향이 없어야 한다고 판단된다.

그러나 폐기율이 증가할수록 수리순환품목의 수량이 증가하였다. 따라서 산출 결과가 잘못된 것이라고 판단되며, 이 내용은 1차, 2차 검증 이후로 검토 및 수정이 진행되지 않은 것으로 보인다.

표 3.3.12 LAMP 품목 폐기율 변화에 따른 결과 비교

조건	산출 결과						
폐기율	수리순환품목	중정비1	중정비2	경정비A	경정비B	경정비C	경정비D
Part A2: 0%	Part A2			9	9	11	12
Part A2: 10%	Part A2	48	90	1	1	12	18
Part A2: 50%	Part A2	147	222	47	47	147	217
Part A2: 100%	Part A2	215	309	129	129	340	505

- 관련 화면

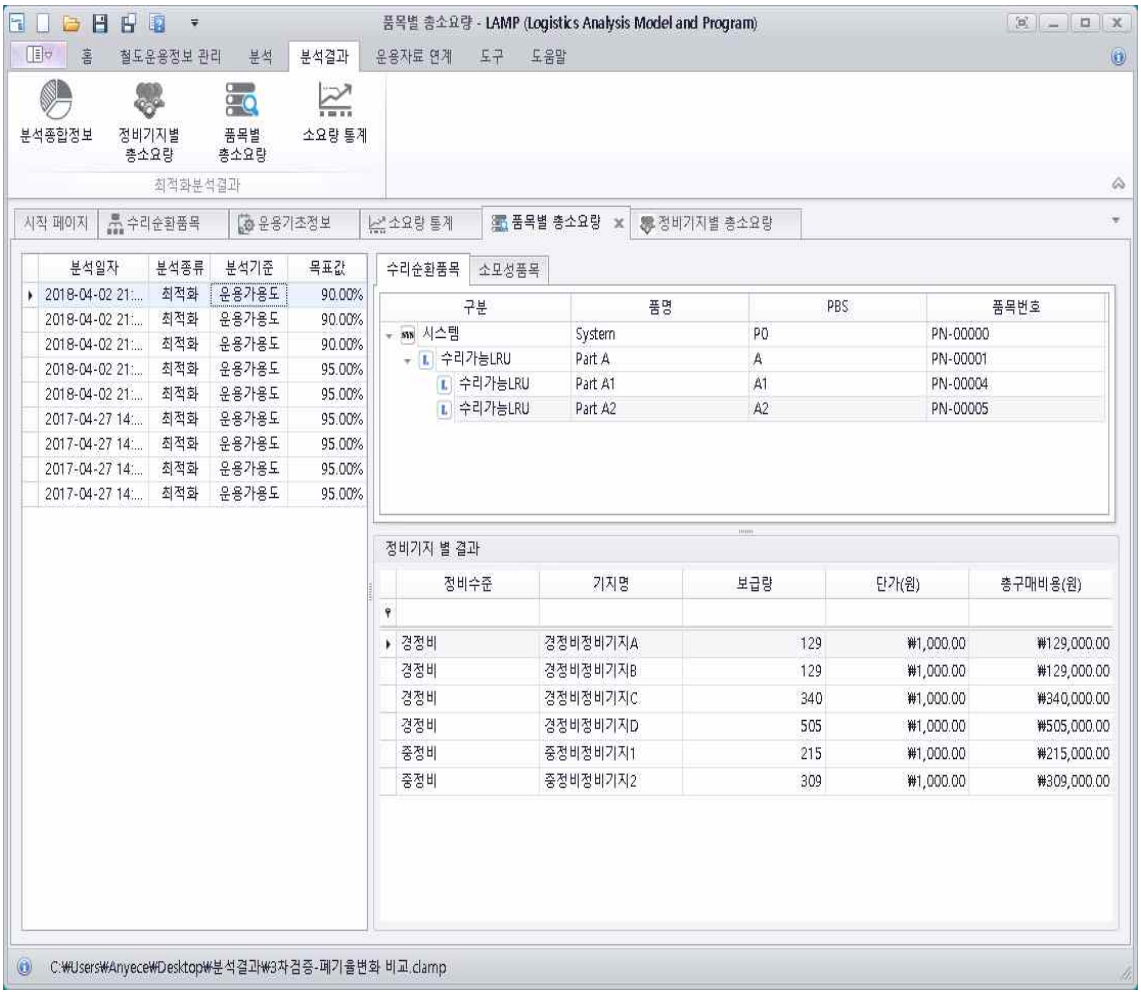


그림 3.3.22 LAMP L014 관련 화면 - 품목 폐기율 변화에 따른 결과 비교

■ [L015] 품목의 개수 변화에 따른 결과 비교

- 내용

수리순환품목의 개수를 변화해 가면서 수리순환품목의 수량의 변화를 검증하였다. Part A1과 Part A2의 다른 모든 값은 동일하고 Part A2 품목의 수량만 변화를 주었으며 산출된 수량은 아래 표와 같다.

- 분석

Part A2 품목의 수량의 변화 추세를 보면 품목이 증가할수록 증가하여 정상적으로 판단된다. 하지만 CASE 4에서 Part A 품목의 수량을 보면 급격히 감소되었음을 확인할 수 있으며 비정상적인 경우로 판단된다. 이 산출 관련 로직을 확인할 필요가 있다고 판단되며, 지난 1차, 2차 검증 이후로 검토 및 수정이 진행되지 않은 것으로 보인다.

표 3.3.13 LAMP 품목 개수 변화에 따른 결과 비교

조건	산출 결과						
부품의 개수	수리순환품목	중정비1	중정비2	경정비A	경정비B	경정비C	경정비D
CASE 1 Part A2: 1개	Part A			12	11	14	16
	Part A1			9	9	11	12
	Part A2			9	9	11	12
CASE 2 Part A2: 2개	Part A			10	10	12	14
	Part A1			9	9	11	12
	Part A2			11	11	14	15
CASE 3 Part A2: 3개	Part A			9	8	10	11
	Part A1			9	9	11	12
	Part A2			12	12	15	17
CASE 4 Part A2: 4개	Part A			2	2	2	2
	Part A1			9	9	11	12
	Part A2			13	13	16	19

- 관련 화면

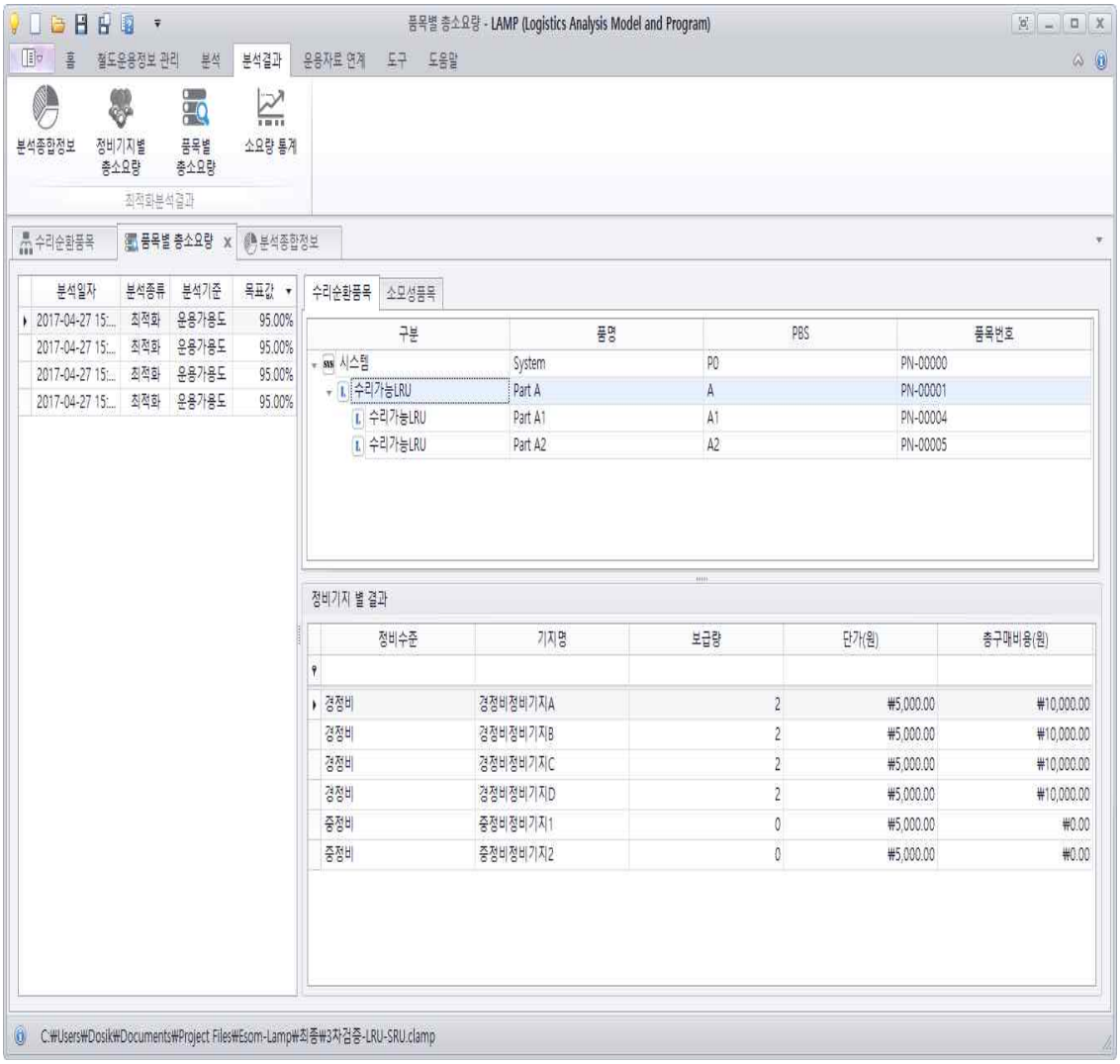


그림 3.3.23 LAMP L015 관련 화면 - 품목 개수 변화에 따른 결과 비교

■ [L016] 중복 구조 변화에 따른 결과 비교

- 내용

수리순환품목의 중복 구조 개수를 변화해 가면서 수리순환품목 수량의 변화를 검증하였다. 모든 다른 값은 동일하고 Part A2 품목의 개수가 4개인 상황에서 중복구조의 N은 4로 고정, K값만 1, 2, 3 으로 변화를 주었으며 여기서 K값은 시스템의 작동을 위해 필요한 최소 수량을 의미한다.

- 분석

Part A2 품목의 K값만 변화하여 적용하는 경우, K값이 증가함에 따라 Part A2 품목의 개수가 증가하는 것을 확인할 수 있으며 정상적인 추세라 판단된다.

- 관련 화면

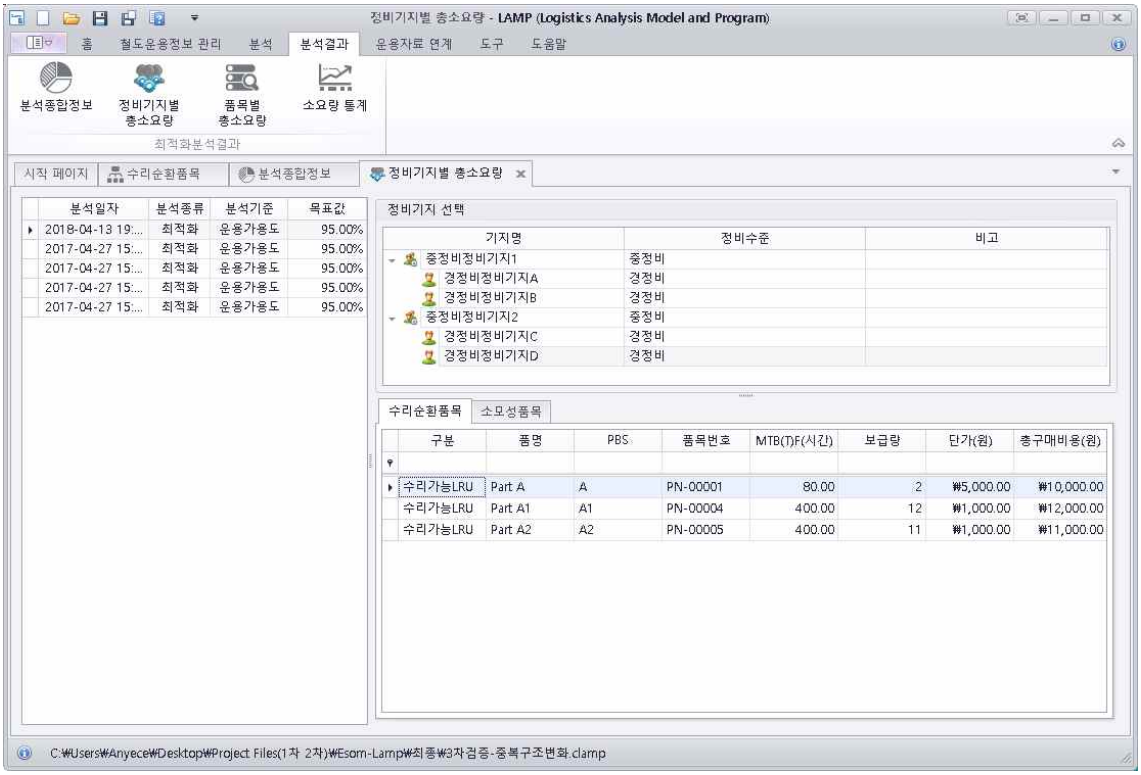


그림 3.3.24 LAMP L016 관련 화면 - 품목 중복구조 변화에 따른 결과 비교

■ [L017] 수리 업무 비율의 변화에 따른 결과 비교

- 내용

중정비 계단의 수리업무 분포를 변화해 가면서 수리순환품목의 수량의 변화를 검증하였다. 아래 표 2.25와 같이 CASE 1은 Part A의 교체업무 분포는 경정비 100%, 중정비 0% 이고, 수리업무 분포는 경정비 0%, 중정비 100%로 설정하고, Part A1과 Part A2는 교체업무 분포와 수리업무 분포 모두 경정비 100%, 중정비 0%로 설정하였다. 그리고 CASE 2는 품목 Part A2의 교체업무 분포를 경정비 90%, 중정비 10%로 설정하고, 수리업무 분포를 경정비 10%, 중정비 90%로 변경하여 비교분석 하였다.

표 3.3.14 수리 업무 비율 변화

구분		Part A		Part A1		Part A2	
		경정비	중정비	경정비	중정비	경정비	중정비
CASE 1	교체업무분포	100%	0%	100%	0%	100%	0%
	수리업무분포	0%	100%	100%	0%	100%	0%
CASE 2	교체업무분포	100%	0%	100%	0%	90%	10%
	수리업무분포	0%	100%	100%	0%	10%	90%

- 분석

Part A2의 중정비 계단의 보유 수량이 증가하고, 경정비 계단의 보유 수량이 감소하는 추세로 보아 정상적인 추세가 나타나는 것으로 보인다.

표 3.3.15 LAMP 수리업무 비율 변화에 따른 결과 비교

조건	산출 결과						
부품의 개수	수리순환품목	중정비1	중정비2	경정비A	경정비B	경정비C	경정비D
CASE1 교체/수리업무 경정비 100%	Part A	2	2				
	Part A1			9	9	11	12
	Part A2			13	13	16	19
CASE2 교체/수리업무 비율 변화	Part A	2	2				
	Part A1			9	9	11	12
	Part A2	15	21	7	7	9	9

- 관련 화면

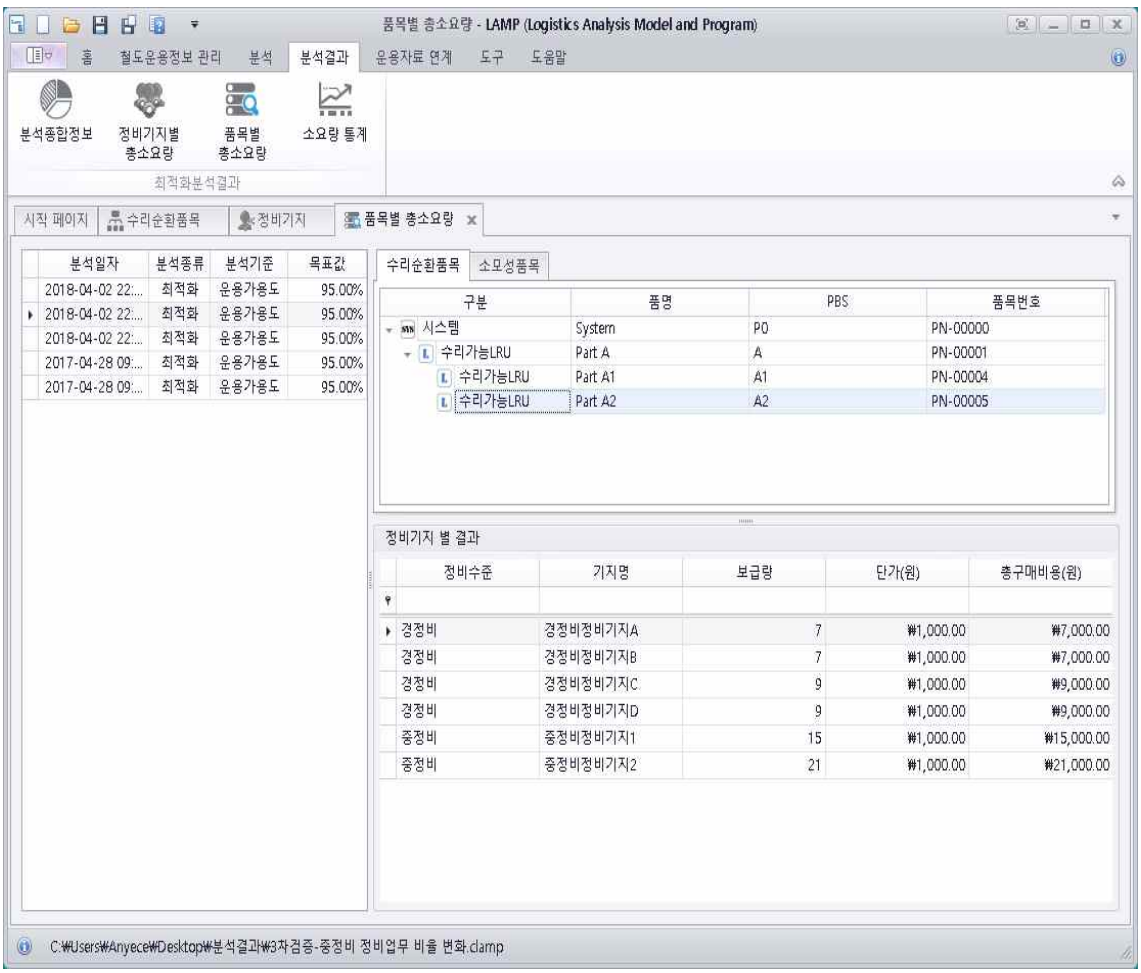


그림 3.3.25 LAMP L017 관련 화면 - 수리업무 비율 변화에 따른 결과 비교

(다) LAMP-Verifier 모듈

LAMP-Verifier 모듈에서 사용된 데이터는 특정 운영사의 실제 데이터의 수치를 기반으로 일부 변경한 데이터이다.

LAMP-Verifier 모듈을 검증한 결과를 아래 표에 종합하였으며 상세내용은 [상세 검증 결과]에 기술하였다.

표 3.3.16 LAMP-Verifier 검증 결과 종합

검증 시기	번호	구분	내용	보완 여부
1차	V001	개선 필요	도움말 개선 필요	완료
	V002	개선 필요	LAMP DB 가져오기	완료
	V003	개선 필요	엑셀 데이터 가져오기	완료
	V004	기능 오류	시뮬레이션 수행 오류	완료
2차	V005	분석 결과	MTBF 변화에 따른 결과 비교	-
	V006	분석 결과	정비기지의 정비자원 보유 수량 변화에 따른 결과 비교	-
	V007	기능 오류	LAMP DB 가져오기 오류	완료
	V008	기능 오류	LAMP DB 가져오기 오류	완료
3차	V009	개선 필요	연계 데이터 가져오기 오류	완료
	V010	기능 오류	LAMP DB 가져오기 오류	완료
	V011	기능 오류	LAMP DB 가져오기 오류	완료

① 검증 방법

최종 검증(3차)은 다음의 방법으로 수행되었다.

■ 분석 대상

- 차종 정보 : 1개 차종
- 품목 및 PBS : 1개 품목
- 주기점검 : 월 1회
- 운행노선 : 2개 노선
- 정비자원 : 2종류 정비원, 1종류 정비장비
- 보급기지 : 1개 중정비 보급기지, 2개 경정비 보급기지
- 정비기지 : 2개 중정비 보급기지, 4개 경정비 보급기지
- 편성 : 30편성

② 검증 상세 내용(결과)

최종 검증(3차)의 결과의 상세 내용은 다음과 같다.

■ [V009] 연계 데이터 가져오기 개선

- 내용

LAMP에서 사용한 정보를 LAMP Verifier로 연계 데이터 가져오기를 수행하면 아래 그림 2.31과 같이 로그인 팝업 창이 뜬다. 로그인을 해야 연계 데이터 가져오기가 진행이 되는 것으로 보이나 사용자 아이디 혹은 계정을 등록하기 위한 메뉴나 또는 도움말에서 관련 내용을 찾을 수가 없다. 연계 데이터 가져오기 수행을 위해 사용자 로그인이 필요한 이유가 명확하지 않으므로 이 기능은 수정되거나 도움말 등에 로그인을 위한 설명이 추가 되어야 할 것으로 보인다.

- 관련 화면

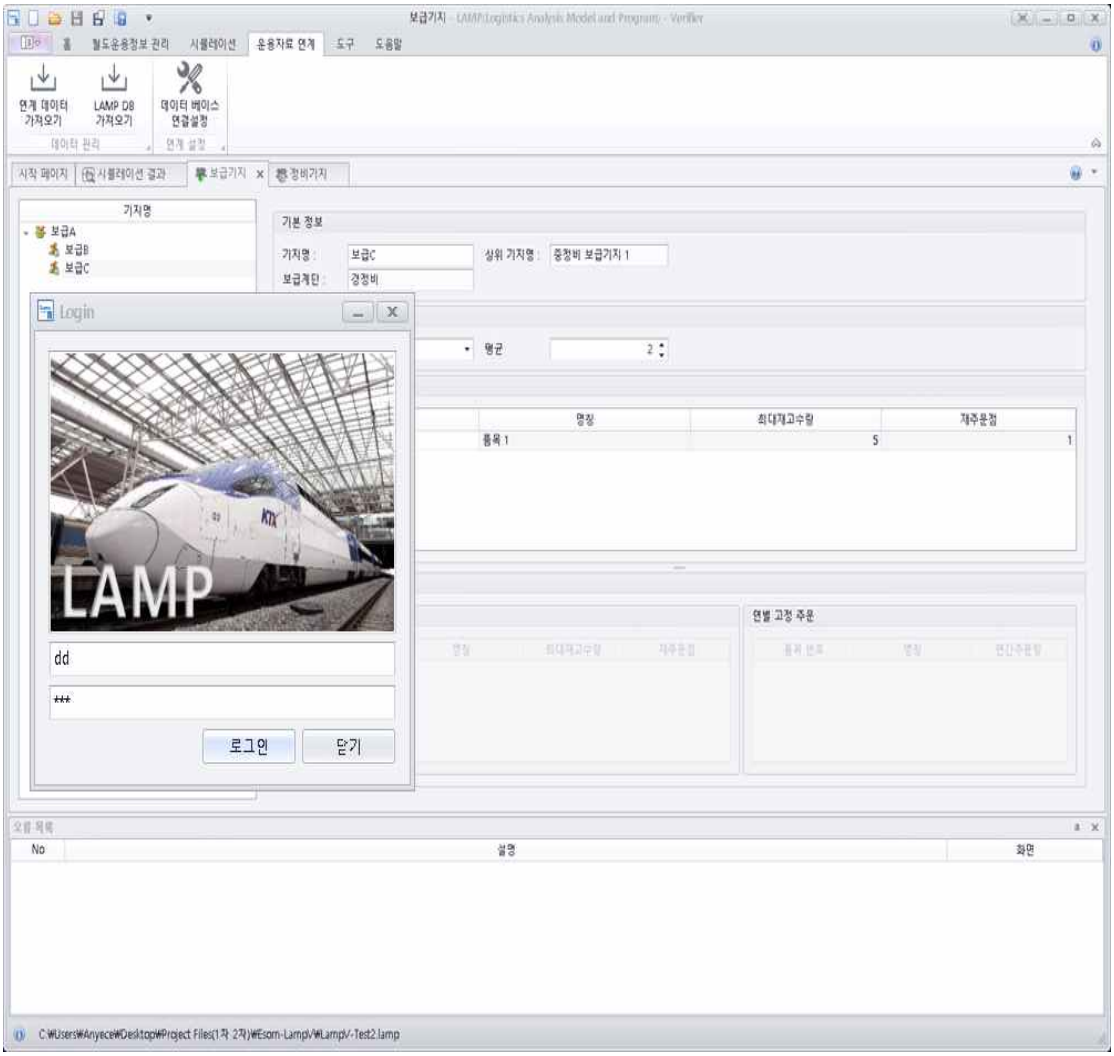


그림 3.3.26 LAMP-Verifier V009 관련 화면 - 연계 데이터 가져오기 오류

■ [V010] LAMP DB 가져오기 개선

- 내용

LAMP에서 사용한 모든 품목과 정비기지를 LAMP-Verifier에서 등록한 후 가져오기를 수행하면 아래 그림과 같은 오류가 발생하여 가져오기가 불가능하다.

- 관련화면

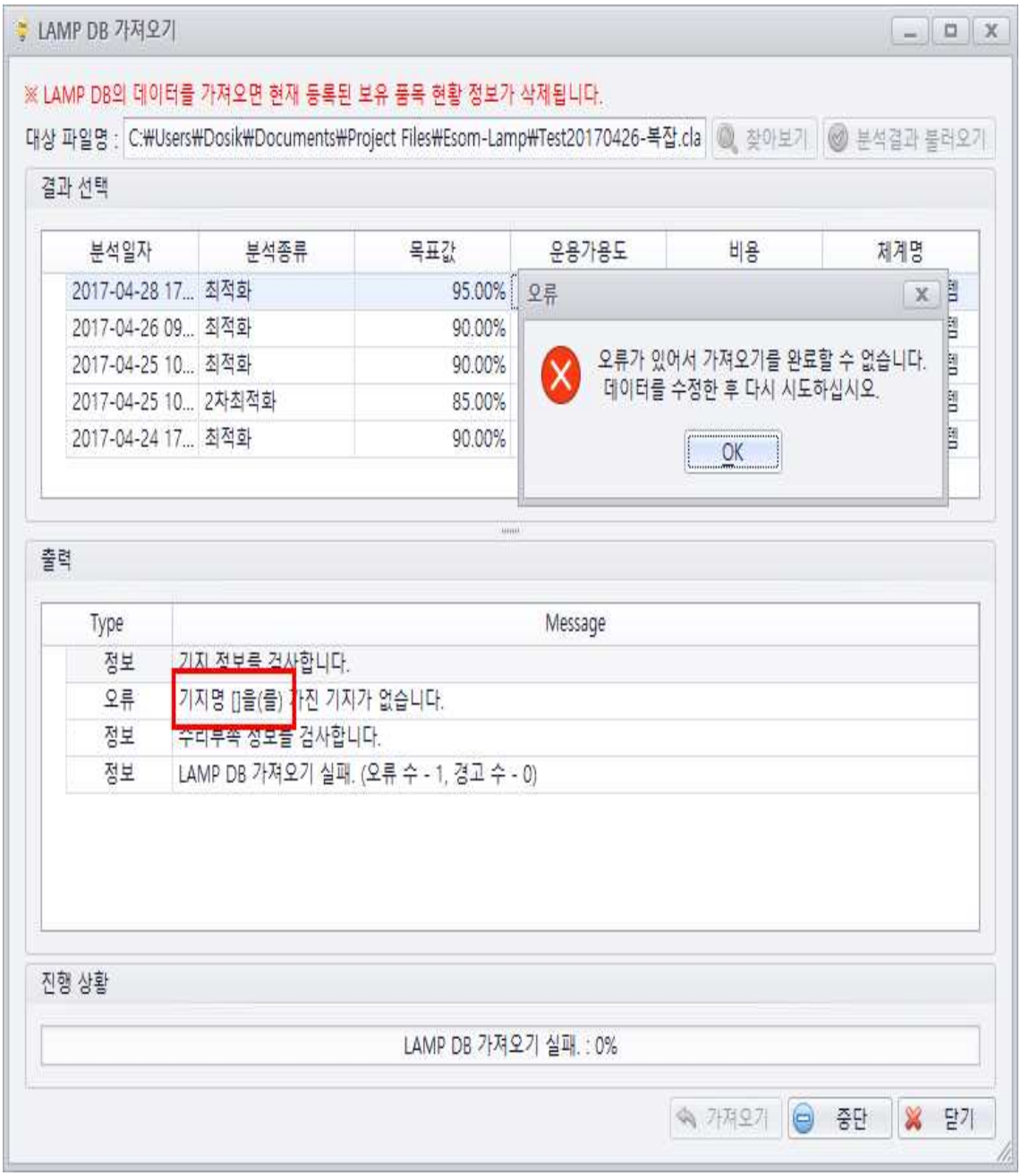


그림 3.3.27 LAMP-Verifier V010 관련 화면 - LAMP DB 가져오기 오류

■ [V011] LAMP DB 가져오기 개선

- 내용

LAMP DB 가져오기를 수행하면 아래 그림과 같은 오류가 발생하여 가져오기가 불가능하다.

- 관련 화면

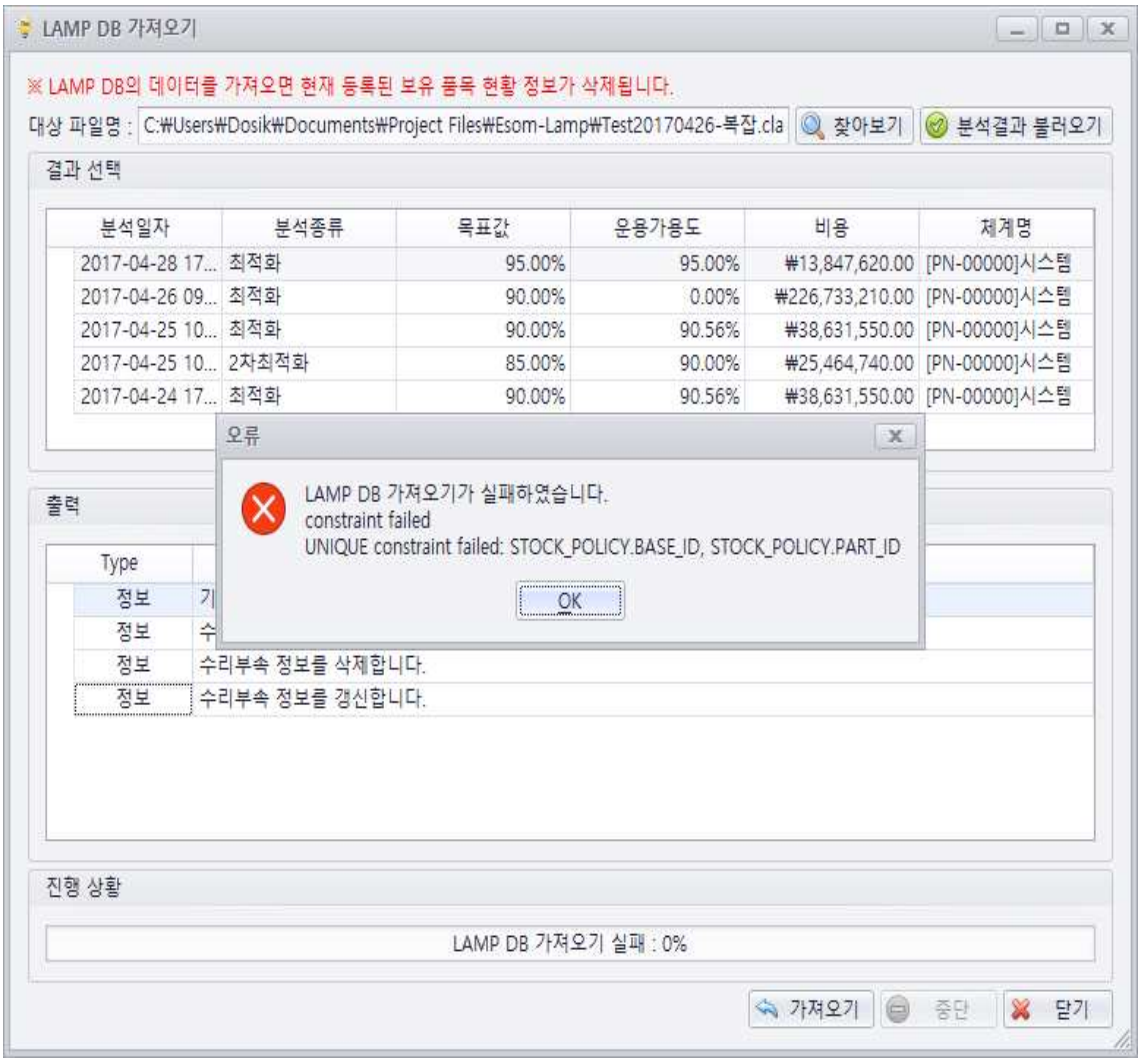
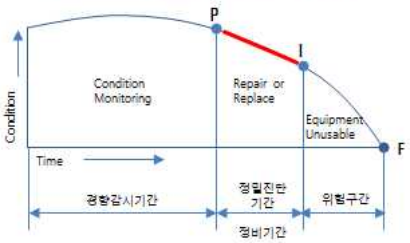


그림 3.3.28 LAMP-Verifier V011 관련 화면 - LAMP DB 가져오기 오류

4. 도시철도차량 동력전달계통 상태기반유지보수(CBM) 모델연구

가. 개요(연구목표)

목표 (정의)	도시철도차량 동력전달계통 주요 장치(동력전달장치, 제동장치, 추진제어장치, 고전압장치)에 대한 FMECA와 부품의 고장 메카니즘 분석을 수행하고, TCMS 데이터 또는 센서 데이터를 이용하여 초기 고장 및 Threshold 모델을 연구 - 동력전달장치 : 차축베어링, 기어박스, 차륜찰상 - 제동장치 : 상용제동 전자 솔레노이드 밸브 - 추진제어장치 : 견인전동기 - 고전압장치 : 고속도차단기 - 실시간 데이터 모니터링장치 시제품 제작
관련 그림 / 사진 (예시)	CBM 모델(초기 고장 및 Threshold)  실시간 데이터 분석장치 
연구내용	- 동력전달계통 주요 장치 상태진단 기법 연구 - 동력전달계통 주요 장치에 대한 고장 메카니즘 분석 - 동력전달계통 주요 장치에 대한 TCMS 및 계측센서 데이터에 의한 CBM 모델 연구 - 실시간 CBM 데이터모니터링 시작품 제작 • 24ch 3Khz이상 샘플링 • 진동신호 측정 및 신호분석 기술 적용 - 장치의 정상상태 데이터베이스 구축을 위한 서울도시철도공사 7호선 도시철도차량을 이용한 현차시험 - 축소형 실험장치 또는 실대형 시뮬레이터를 이용한 CBM 연구

나. 연구 성과

(1) 차축베어링 CBM 모델

(가) 차축베어링 고장모드 분석

베어링 손상 발생은 크게 사용 중 발생하는 하중조건 및 윤활조건에 따라 패턴이 달라진다. 장착이 잘못되는 것도 결국에는 국부적인 과도한 하중조건이 발생하는 것으로 귀착되기 때문이다. 반면 윤활조건은 표면가공조건에 크게 좌우된다. 그리고 회전수와 하중의 크기에 따른 유막의 형성 여부가 매우 중요한 인자가 된다. 초기 베어링의 설계 사이즈가 충분히 잘 결정된 경우의 손상 발생의 원인이 되는 조건을 정리하면 다음과 같다.

■ 작용하중의 과다요인
- Misalignment
- 과도한 예압(Pre-load)
- 과도한 사용하중
- 회전 부품의 Un-balancing

■ Tribology 측면의 불량
- 가공표면의 거칠기(Roughness)가 큼
- 지나친 저속 회전운전
- 국부 하중에 의한 유막형성 불량

베어링의 손상 패턴은 일반적으로 Tribology가 정상적이라면, 사용하중 조건에서 표면의 바로 아래 부분에서 전단응력에 의한 크랙이 발생하여 외부로 진전하는 것이 전형적이 피로파괴의 양상이다. 그러나 Tribology가 불량이 심하면 표면에서 크랙이 발생하여 내부로 발전하는 경우도 있다. 또한 이 두 가지 현상이 동시에 발생하기도 한다. 이와 같은 손상발생 패턴을 정리하면 그림 3.4.1과 같이 정리할 수 있다.

이러한 크랙의 발생이 진전하면 베어링의 내륜, 외륜, 롤러 및 케이스 등에 그림 3.4.2와 같은 스폴링이 발생하게 된다. 스폴링의 크기는 처음에는 작지만 지속적인 사용에 의해 그 크기가 커지게 된다. 진동측정에 의한 진단방법은 미소한 스폴링이 발생하는 초기의 진동 값의 변화를 찾아내는 것이 기본적인 개념이 된다.

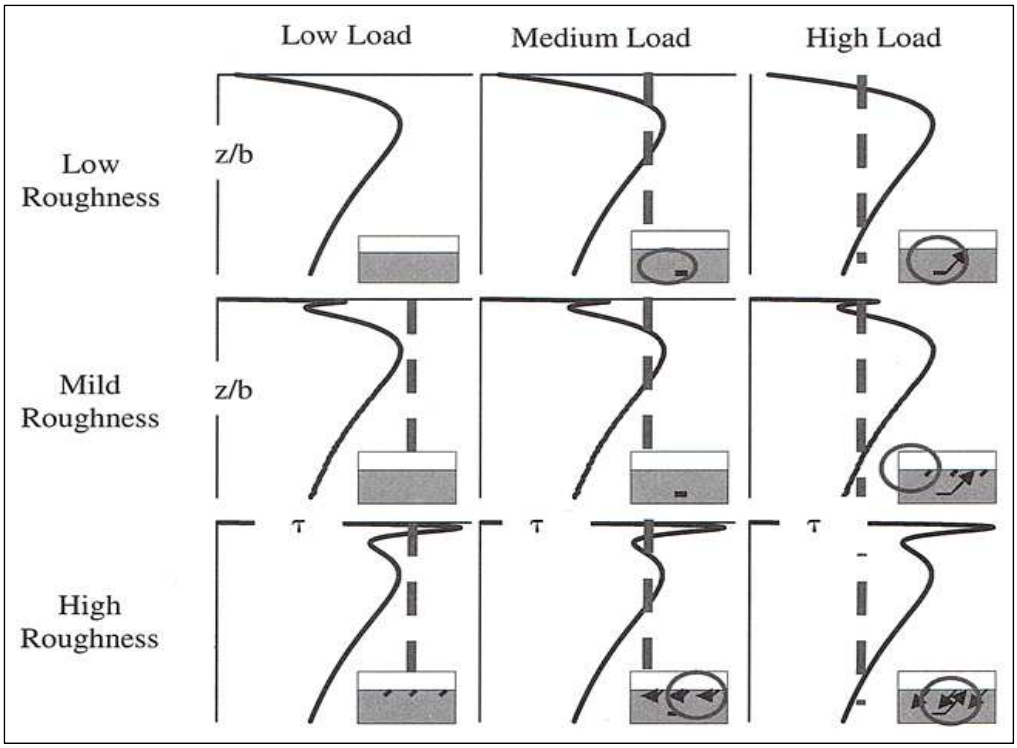


그림 3.4.1 베어링 사용하중 및 Tribology 상태에 따른 크랙 발생 패턴



그림 3.4.2 정상 및 결함 베어링

(나) 실차 및 상사 시험기 신호 계측

차축 베어링 결함의 신호 특성을 분석하기 위해서는 베어링에 가해지는 외력의 크기, 실제 차량의 회전속도(RPS)의 파악이 우선적으로 이루어져야 된다. 이에따라 TCMS를 통하여 획득한 데이터를 기준으로 작성한 상사시험기 시험 사양은 표 3.4.1 과 같다.

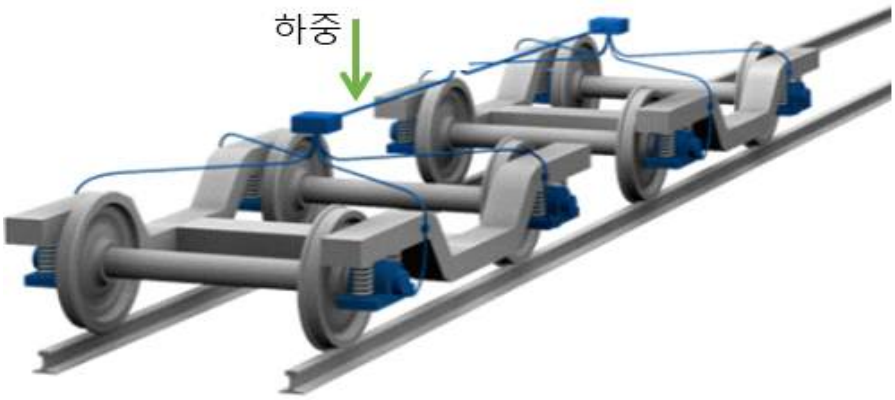


그림 3.4.3 시험 대차 모델링 및 수직하중

표 3.4.1 상사 시험기 시험 사양

	대차	베어링	회전 속도
차량 무게	36KN	4KN	0~10RPS
만차 무게	64KN	8KN	

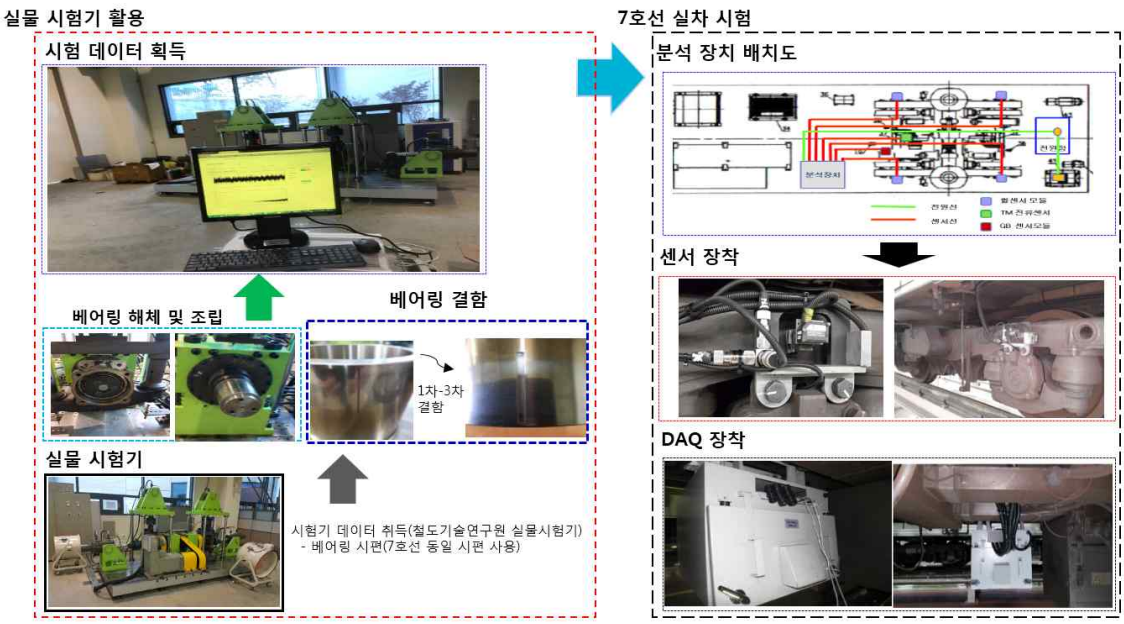


그림 3.4.4 실물 시험기 시험 및 실차 시험 구성도

실차시험을 준비하기 위하여 도시철도 7호선에 DAQ 및 센서를 장착하여 약 1년간 정상 베어링 실차 진동 데이터를 수집하였다. 또한 실제 사용된 정상베어링에 인위적인 결함(Spalling)을 주어 실대형 베어링 시험기를 통해 베어링 진동데이터를 계측하였다.

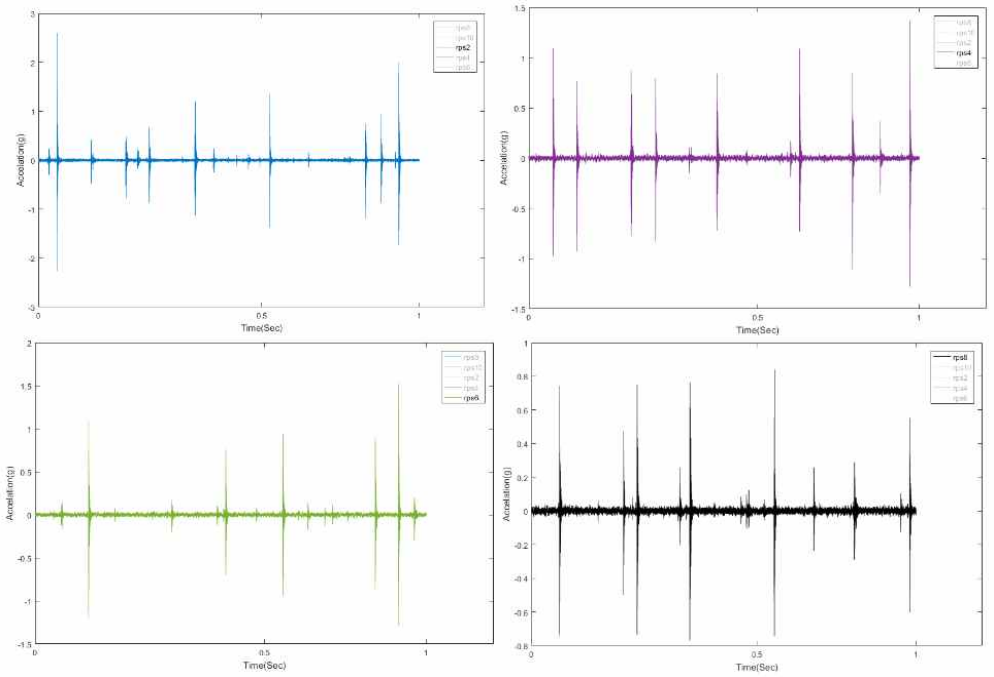


그림 3.4.5 베어링 시험기 진동 데이터(2~8RPS, 4KN)

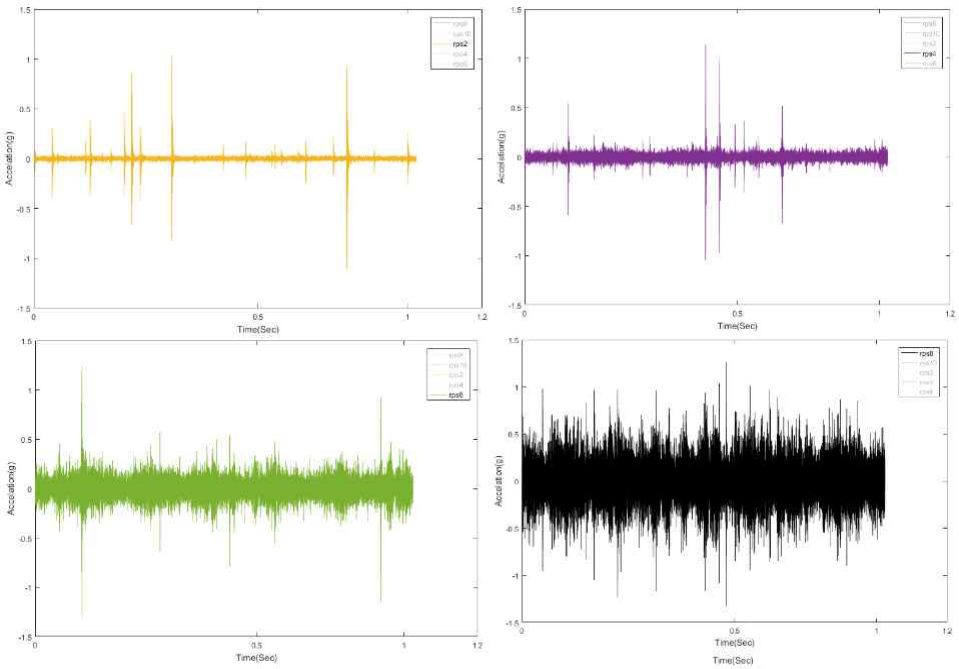


그림 3.4.6 베어링 시험기 진동 데이터(2~8RPS, 8KN)

그림 3.4.5, 그림 3.4.6은 실대형 베어링 시험기에서 시험한 베어링 진동 신호 데이터를 보여준다. 수직하중이 8KN으로 주었을때 RPS의 증가에 따라 평균적인 진동값이 증가하는 보여주고 있다.

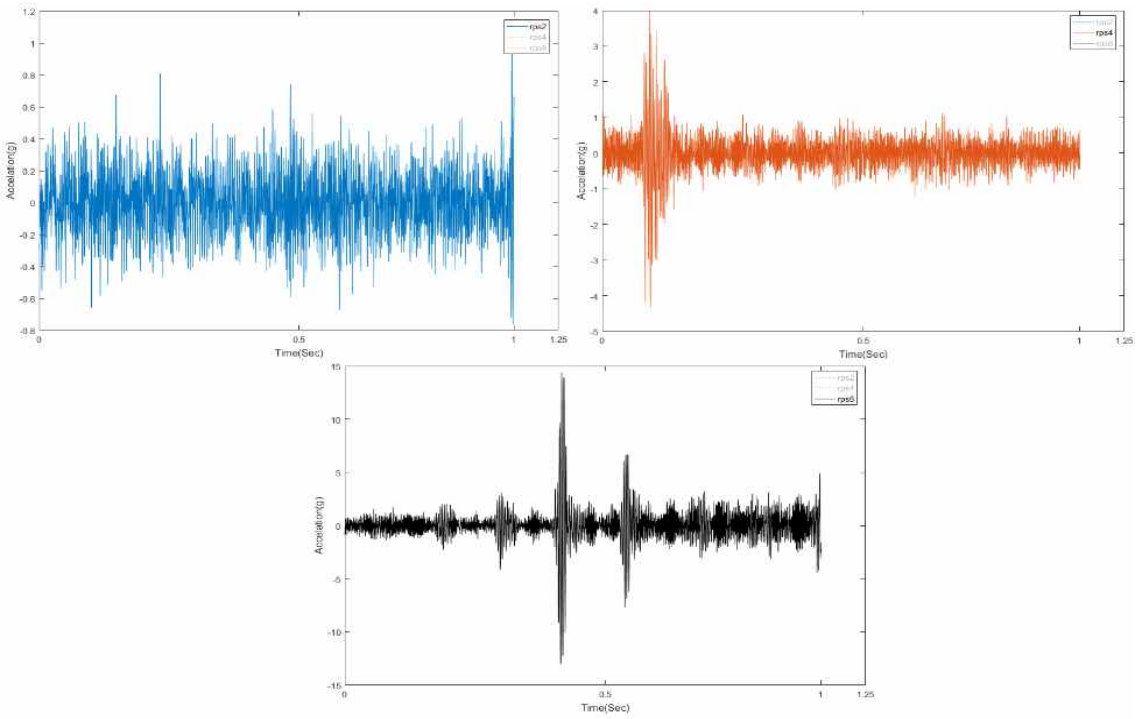


그림 3.4.7 사계절 실차 베어링 진동 데이터(봄, 2~6RPS)

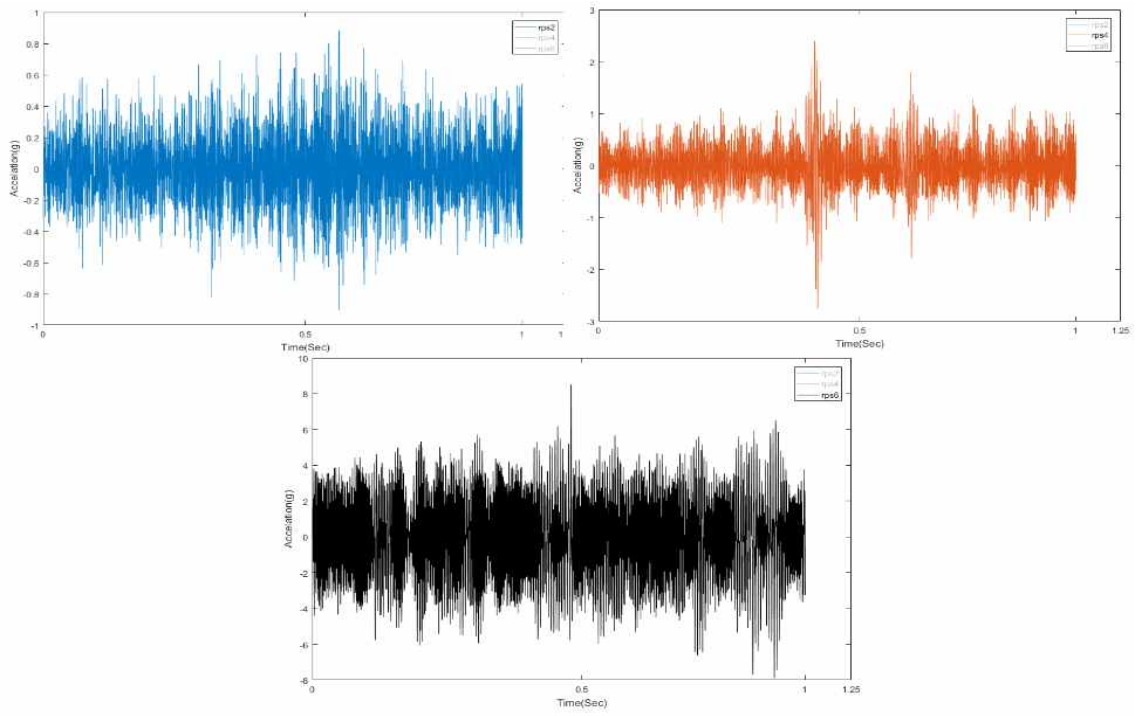


그림 3.4.8 사계절 실차 베어링 진동 데이터(여름, 2~6RPS)

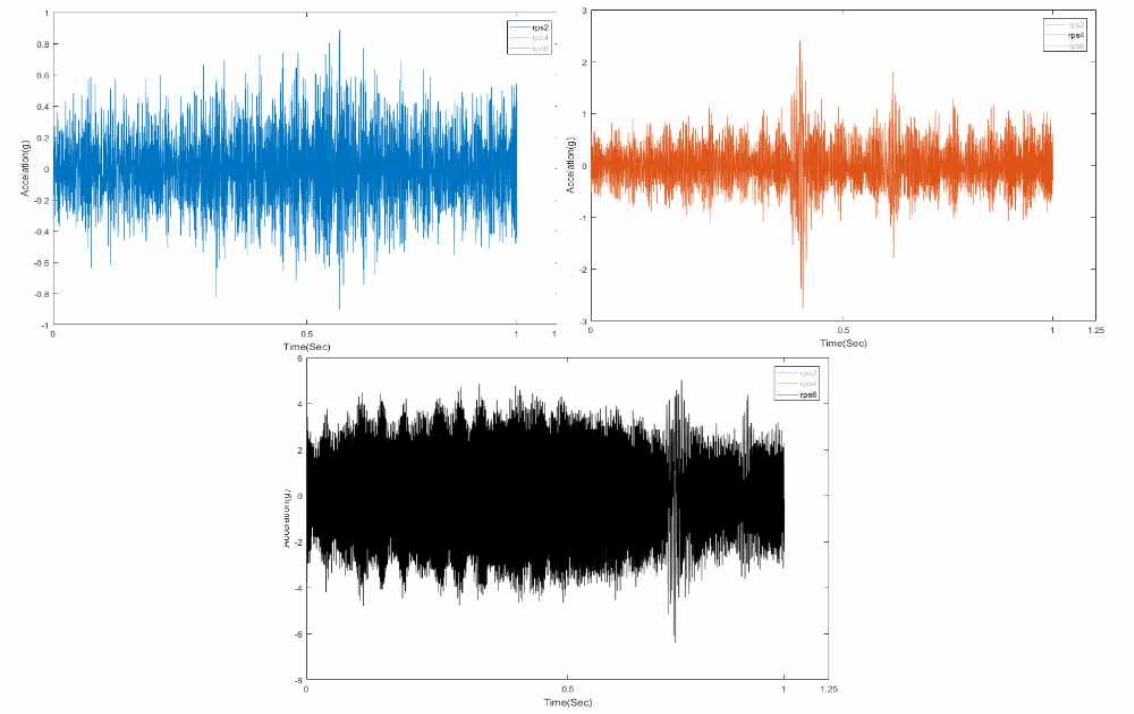


그림 3.4.9 사계절 실차 베어링 진동 데이터(가을, 2~6RPS)

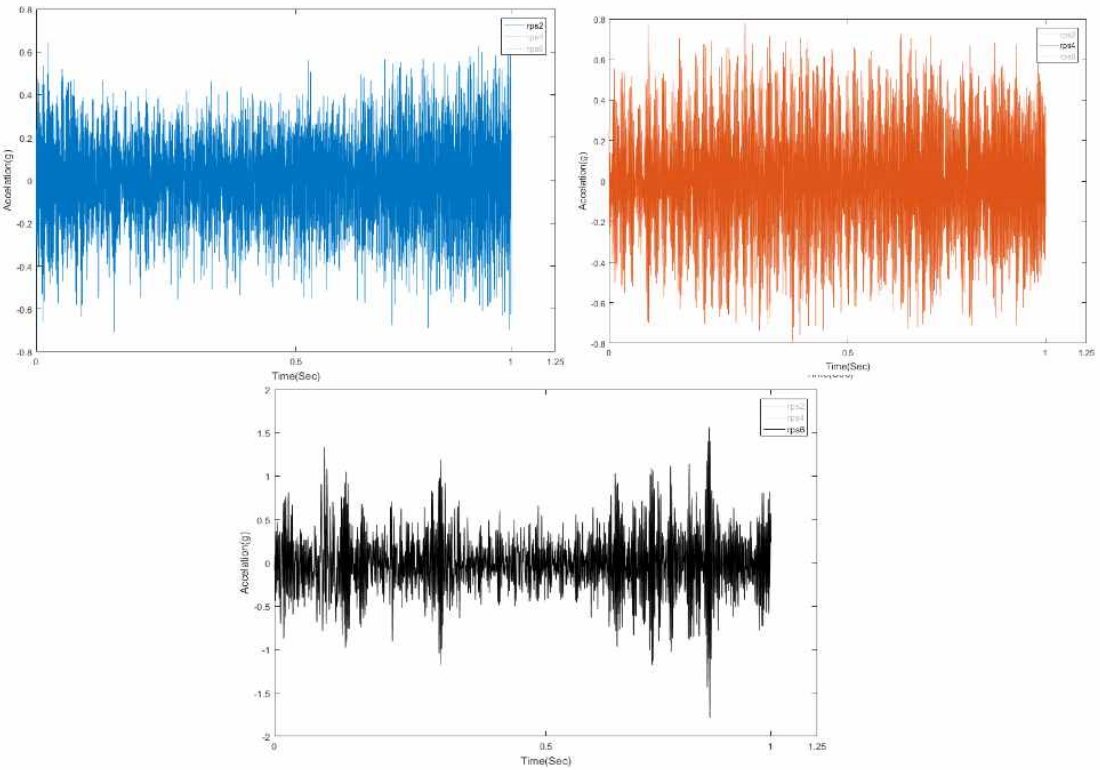


그림 3.4.10 사계절 실차 베어링 진동 데이터(겨울, 2~6RPS)

그림 3.4.7~3.4.10은 차축베어링에 대해 7호선 현차시험에서 취득한 4계절 진동 데이터를 표시한다.

(다) 취득 데이터 신호 처리

4계절 데이터의 비교결과 진동값이 크게 변화하지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 철도차량 주행 시 베어링의 건강 상태 감시를 목적으로 취득되는 진동 데이터는 비정형 동작 조건에서 운용되는 것을 고려할 때 많은 잡음들이 포함된다. (이음매, 교량, 운행의 증감속 등) 따라서, 실차 데이터를 분석하기 위해서는 잡음 제거 알고리즘 개발이 필수적인 요소이다.

본 연구에서는 그림 3.4.11과 같이 자기적응적(Self-Adapive) 신호 분해 방법인 경험모드 분해(EMD: empirical mode decomposition) 기술을 이용하여 잡음 제거 알고리즘을 개발 하였다.

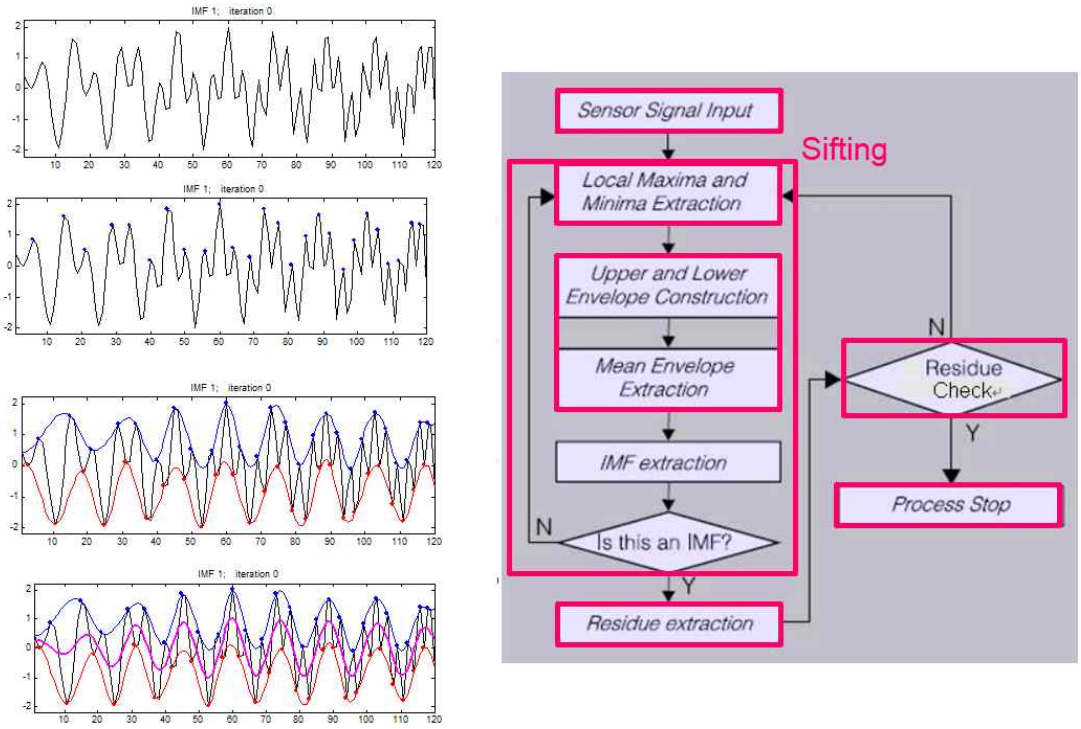


그림 3.4.11 EMD 기반 잡음 제거 알고리즘

이것은 수집된 가속도 신호(Sensor Signal Input)에 EMD를 적용하여 여러 고유함수 (IMF: intrinsic mode function)로 분해한 후, 주어진 가속도 신호의 확률 밀도 함수와 유사도를 측정하여 노이즈가 없는 신호를 추정하는 제거 알고리즘이다.

아울러 x(t)에 EMD 적용 후 얻어지는 여러 고유 모드 함수(IMF)를 noise-free IMF와 noise-dominant IMF 두 그룹으로 분할함에 있어, 유사도를 기반으로 퍼지 군집화(fuzzy c-means

clustering) 알고리즘을 활용하였다. noise-dominant IMF에 대해서는 아래 [식]과 같이 soft-thresholding 기법을 적용하여 고주파 성분인 잡음을 제거하였다.

$$De-noised\,IMF(t)=\begin{cases} IMF(t)-sgn(IMF(t))\bullet\lambda & \text{if } |IMF(t)|\geq\lambda \\ 0 & \text{if } |IMF(t)|<\lambda \end{cases}$$

여기서 사용자에 의해 정의되는 잡음 제거를 위한 임계값을, sgn( )은 부호 함수를 각각 의미한다.

본 연구에서는 $\lambda=\sqrt{2\ln N}$으로 정의하였으며, N은 대상 IMF의 총 샘플 수이다. noise-dominant IMF를 대상으로 soft-thresholding 기법을 적용, 고주파 성분인 잡음을 제거 한 후에는 아래 [식]을 이용하여 잡음이 제거된 가속도 신호를 재구성(reconstruction) 하였다.

$$\tilde{x}(t)=\sum_{j\in\Omega_1}\overline{IMF_j(t)}+\sum_{k\in\Omega_2}IMF_k(t)+r(t)$$

여기서 $\tilde{x}(t)$는 잡음이 제거된 가속도 신호를, $\overline{IMF_j(t)}$는 퍼지 군집화 알고리즘에 의해 noise-dominant IMF 그룹으로 분류된 IMF 집합 Ω_1에서 soft-thresholding 기법으로 잡음을 제거한 j번째 IMF를, $IMF_k(t)$는 noise-free IMF 그룹으로 분류된 IMF 집합 Ω_2에서 k번째 IMF를, 그리고 $r(t)$는 EMD를 이용하여 가속도 신호를 여러 IMF로 분할 한 뒤 발생하는 잔여 신호를 각각 의미한다.

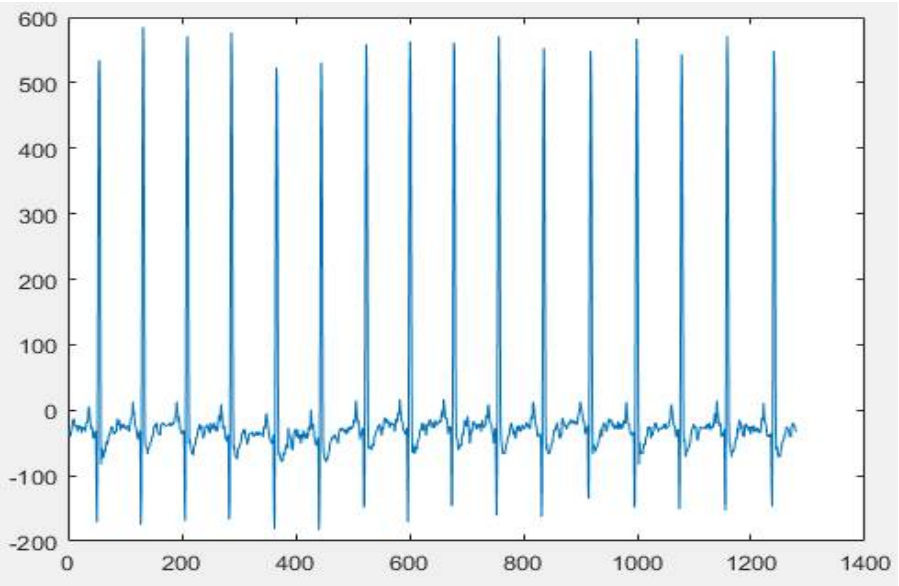


그림 3.4.12 노이즈 신호원

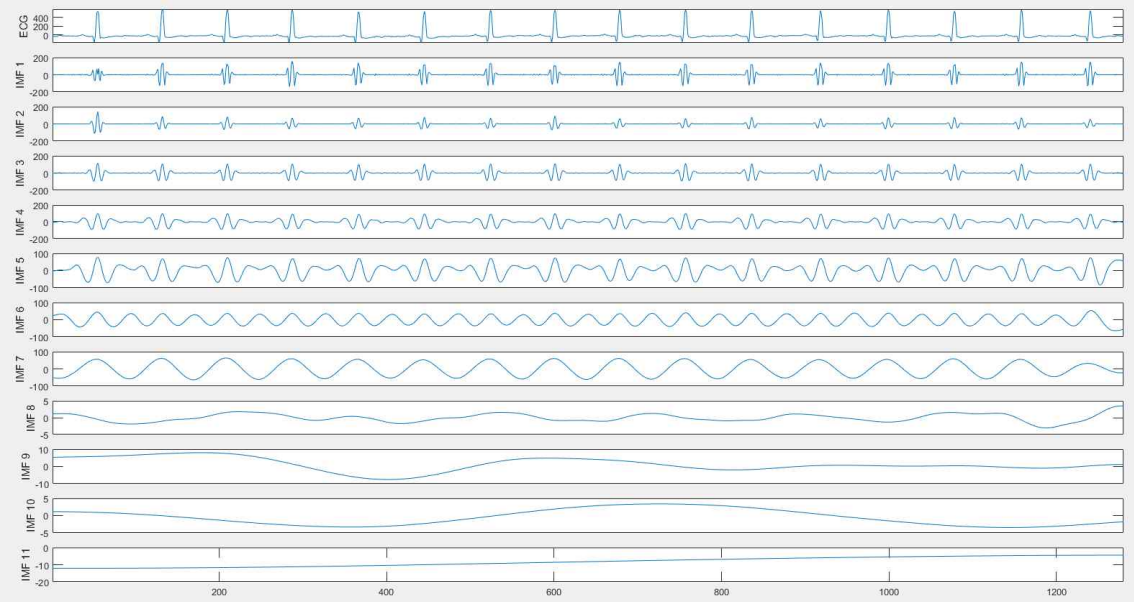


그림 3.4.13 EMD 기반 잡음 제거 알고리즘 성능 평가

신호 처리 된 후 잡음이 들어간 데이터와 개발된 잡음 제거 알고리즘 적용 후 그래프 파형의 비교는 아래와 같다.

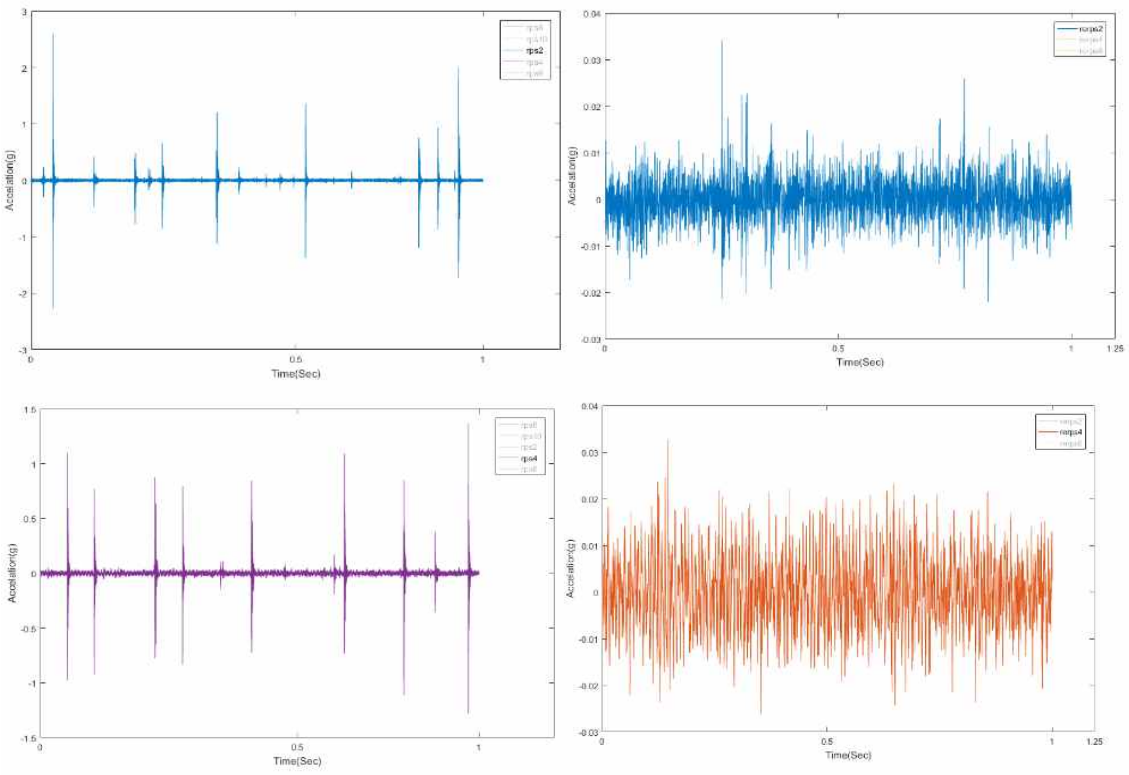


그림 3.4.14 잡음 제거 알고리즘 적용 후 신호 데이터 비교

(라) 취득 진동 신호 데이터 평가

철도 차량의 차축 베어링의 CBM 모델은 정상 상태의 베어링 신호에서 수집된 데이터 표본과 구분이 되는 이상데이터 표본의 관측이 필수적인 요소이다. 그러나 결함이 되는 시료를 운행 중인 철도차량에 장착하여 시험을 하는 것에 안전 문제의 한계가 따르므로 실대형 베어링 시험기 데이터를 활용하여 이상데이터 표본이 발생하는 시점을 적절히 파악해야 한다.

현재까지 발표된 많은 문헌과 상용화된 선진제품을 검토할 때 가장 많이 채택되는 Index는 차축베어링의 하우징에서 측정되는 베어링 진동가속도의 RMS(진동값의 평균)값을 들 수 있다.

순간적인 외란의 경우 반복 재현성을 통해 필터링이 가능하다. 주파수 분석을 통한 Feature로는 Enveloping해석을 통한 결함주파수에서의 CBM모델을 만들 수 있다.

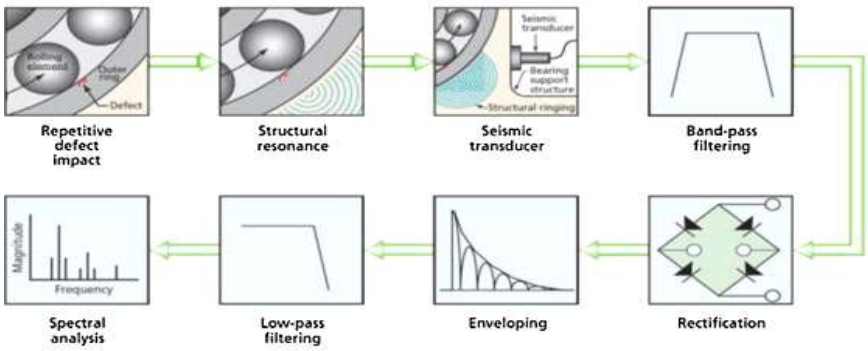


그림 3.4.15 차축베어링 Envelope 분석 과정

운행 중인 철도차량의 경우 이음매, 교량, 터널 등 외부적인 요인에 의해 진동값이 바뀌게 된다. 이에 Kortusis, Peak to Peak 등의 첨두치에 대한 특성함수 보다는 베어링의 평균치를 나타내는 RMS가 더 효율 적이라는 것으로 판단할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 베어링의 노화에 따른 패턴은 시간의 특성함수를 고려한 Time Domain 함수의 RMS를 적용하고자 한다. Time Domain에 따른 특성함수와 관련된 수식은 아래와 같다.

- Time Domain Signal Process

1) Average

$$\overline{x}=\sum_{i=1}^{N}x(i)/n$$

2) Peak

$$\frac{1}{2}\{\max(x(t))-\min(x(t))\}$$

3) RMS

$$\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x(i)-\overline{x})^2}$$

4) Crest Factor

$$\frac{Peak}{RMS}$$

5) Skewness

$$\frac{\sum_{i=1}^{N}(x(i)-\overline{x})^3}{N(RMS)^3}$$

6) Kurtosis

$$\frac{\sum_{i=1}^{N}(x(i)-\overline{x})^4}{N(RMS)^4}$$

7) Clearance Factor

$$\frac{Peak}{\frac{1}{N}\left(\sum_{i=1}^{N}\sqrt{|x(i)|}\right)^2}$$

8) Impulse Factor

$$\frac{Peak}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|x(i)|}$$

9) Shape Factor

$$\frac{RMS}{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|x(i)|}$$

TimeDomain의 특성 함수(RMS, Kurotosis, Skewness)를 적용한 결함에 따른 진

동 신호 데이터는 아래 그림과 같다.

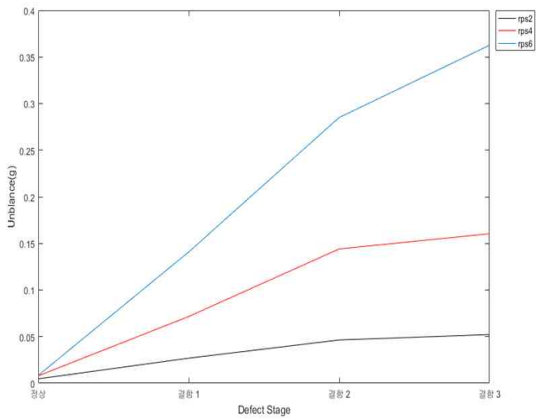


그림 3.4.16 결함 과정에 따른 RMS 진동데이터

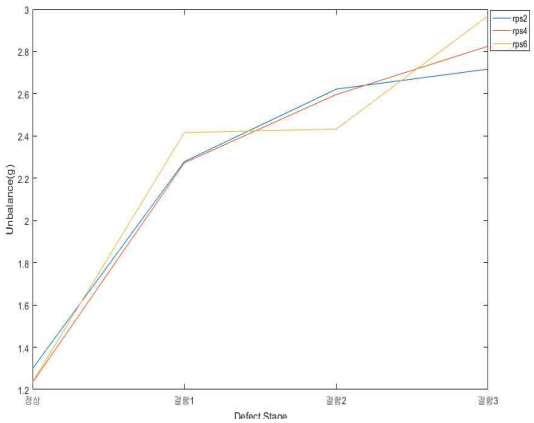


그림 3.4.17 결함 과정에 따른 Skewness 진동데이터

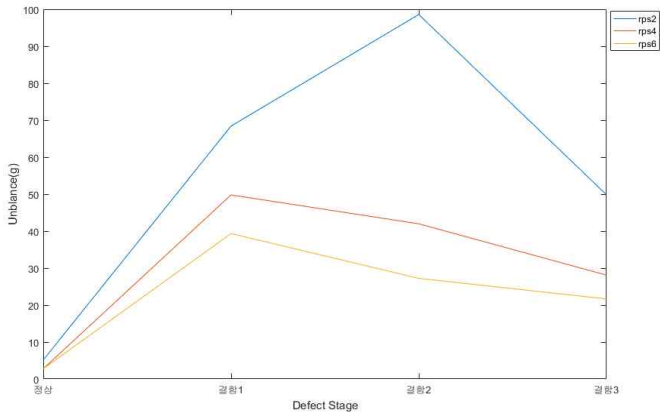


그림 3.4.18 결함 과정에 따른 Kurotosis 진동데이터

Time Domain의 특성함수 적용 결과 Kourtosis의 경우 외부적인 요인(이음매, 기타 노이즈의 경향)에 의해 Peak 치를 잡아 주요 진동 특성에 반영하여 그림 3.4.18과 같이 이상 peak 및 외부적인 상황이 발생하게 된다. 이는 운행 변수가 많은 철도차량에 해당 Index를 적용할 때 한계가 있음을 나타내고 있다.

아래 그림은 Spectrum을 기준으로 개발한 베어링 이상검출 알고리즘의 체계를 보여주고 있다.

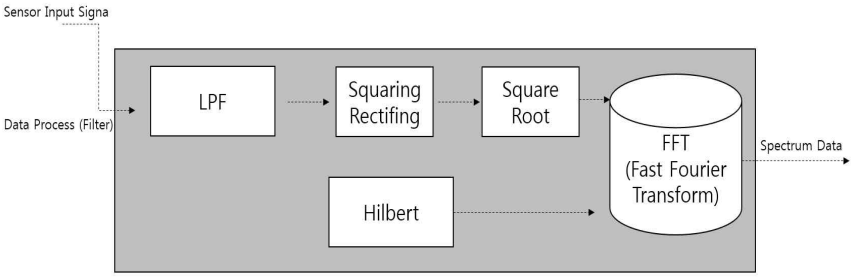


그림 3.4.19 Spectrum 기반 이상 검출 알고리즘 체계

베어링에서의 가속도 신호 Spectrum분석은 FFT(fast Fourier transform)을 통하여 분석이 가능하다. 베어링 신호(임펄스 파형)를 FFT하면 정상베어링 대비 결함 베어링의 주파수 대역에서 신호크기가 크고 결함으로 인한 결함 주파수(Defect Frequency)의 주파수 피크가 발생하는 것으로 파악되었다.

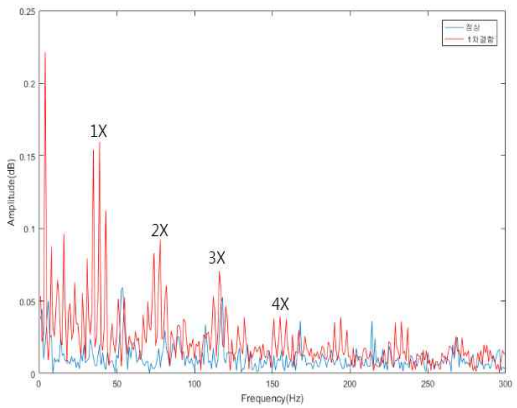


그림 3.4.20 베어링 결함 주파수 비교(정상, 결함1)

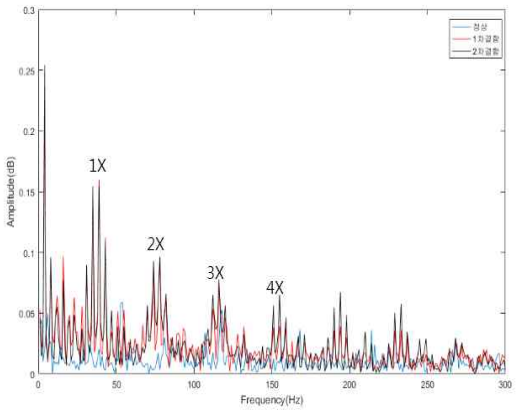


그림 3.4.21 베어링 결함 주파수 비교(정상, 결함1, 결함2)

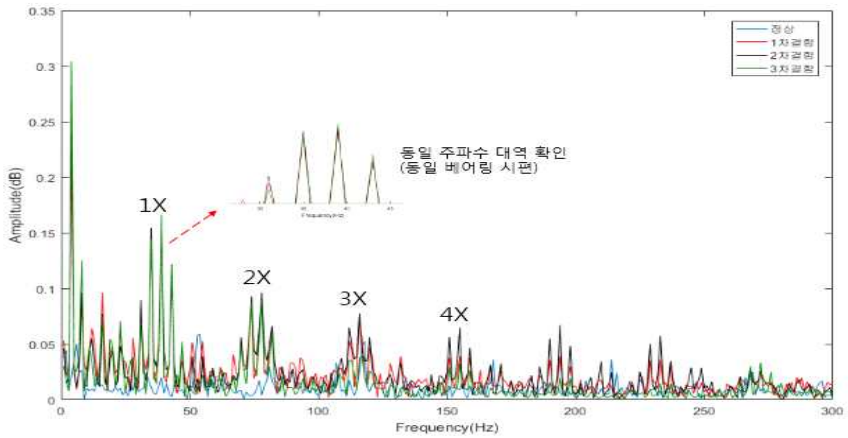


그림 3.4.22 베어링 결함 주파수 비교(정상, 결함1-3)

베어링의 CBM 모델 평가 지표로서 주파수(Spectrum)에서 발생하는 결함 주파수 대역에서 얻어지는 파워 스펙트럼의 누적값을 가지고 CBM 모델을 개발하는 것이 적합하다 사료된다. 이는 Time Domain에서 분석할 때 외부적인 노이즈에 의해 측정되는 진동값의 차이에 의해 모델의 정확한 평가가 이루어 지지 않기 때문이다. 따라서 본 연구서는 결함율의 증가(1-3차 증가)에 따라 측정되는 파워 스펙트럼의 누적값을 가지고 CBM 모델을 개발하고자 한다.

(마) 차축 베어링 CBM 모델

차축 베어링의 결함이 증가되는 영역은 시간영역에서 측정되는 베어링 진동데이터를 주파수영역으로 변경 후 개발된 이상검출 알고리즘을 적용하면 결함 데이터의 평가가 가능하다는 것을 확인 하였다. 기본적으로 베어링의 주기적 평가는 140만 Km 주행 시 해당 대차의 베어링을 점검하고 있다. 또한 베어링의 표면에 스폴링이 발생하면 소음이 발생되고, 이에 따라 베어링을 해체한 후 육안 검사를 진행한다. 실대형 베어링 시험기를 이용한 시험과정에서 베어링의 결함에 대해 2차 결함을 주었을 때 베어링에서 소음이 발생하였으며 이를 기준으로 이상 발생을 추정하였다. 차축베어링의 CBM 모델은 앞 절에서 평가한 지표를 가지고 모델을 개발하여야 한다. 이에 본 연구에서는 이상 검출 알고리즘을 적용한 Index를 적용하여 Curve 모델을 개발하였다.

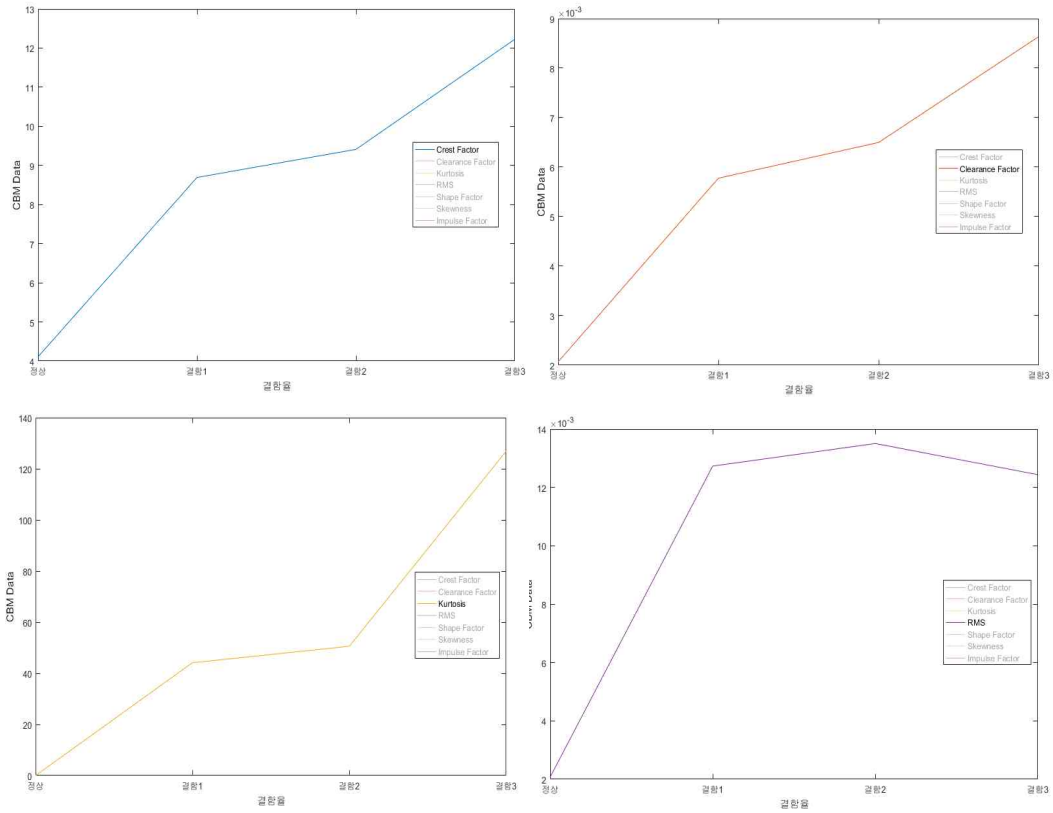


그림 3.4.23 검출 Index를 활용한 통계특성함수 Curve 모델(1)

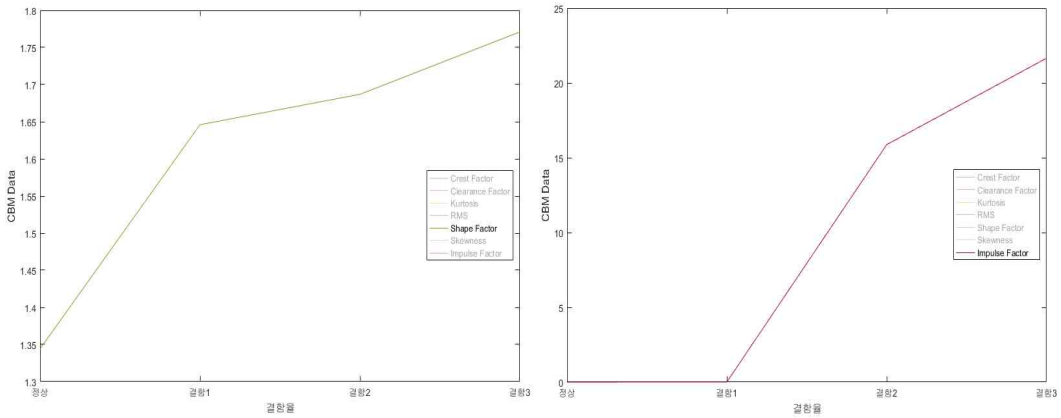


그림 3.4.24 검출 Index 활용한 통계특성함수 Curve 모델(2)

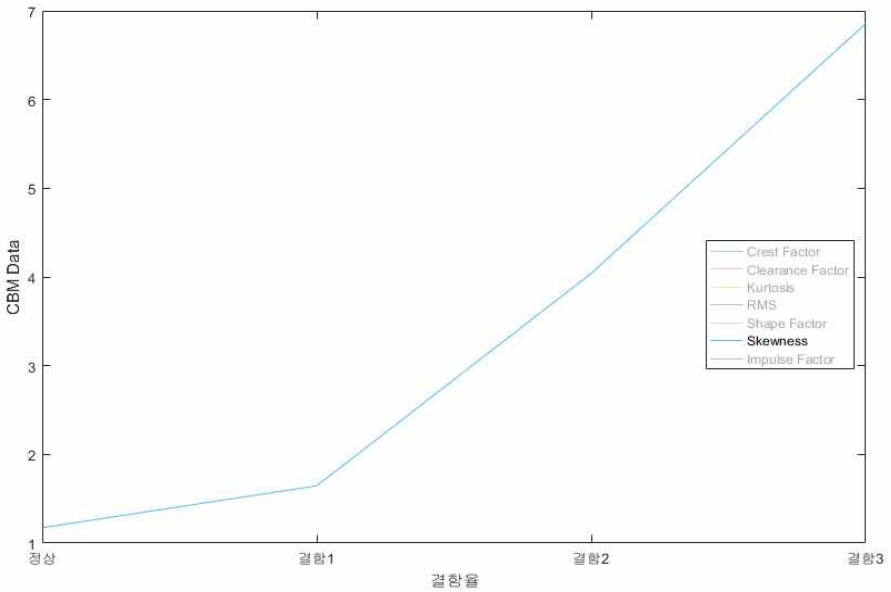


그림 3.4.25 검출 Index 활용한 선정된 통계특성함수 Curve 모델

선정된 Index를 적용하여 결함에 따른 CBM 모델의 개발을 위해서는 Curve 및 육안으로 결함에 대한 평가가 이루어져야 한다. 이에 FFT 후 처리된 데이터를 7개의 특성함수를 적용한 결과 Skewness 모델이 가장 적합하다는 것을 확인 할 수 있었다. 베어링 고장 시편 시험 시 베어링에서 소음이 발생하기 시작한 시점인 결함 2를 고장 발생으로 평가를 적용하고 이에 따른 최종 CBM 모델은 그림 3.4.26과 같다.

베어링 CBM 모델 평가는 고유 주파수 대역에서 얻어지는 파워 스펙트럼(power spectrum) 크기(magnitude)의 누적 값으로 나타낸다. 이는 시간이 흘러감에 따라 베어링이 지속적으로 받아온 부하에 의해 스폴링의 정도가 증가하였다는 것을 가정한다. 제안한 CBM 모델의 Curve Fuction은 아래 수식과 같다.

$$Y = -0.026X^5 + 0.14X^4 + 0.29X^2 + 1.3$$

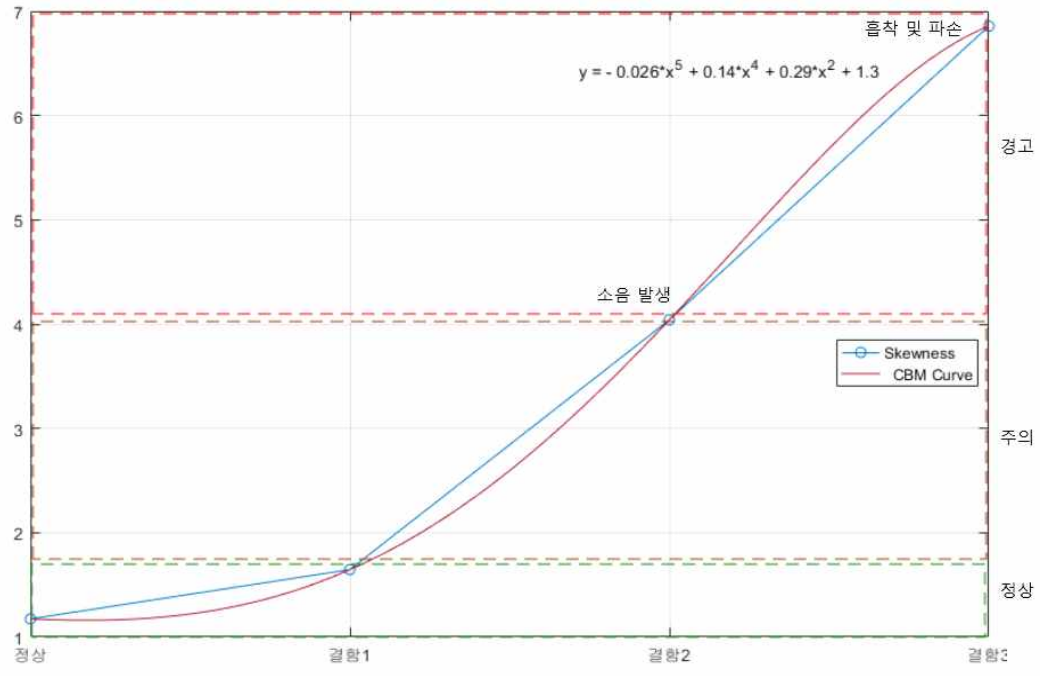


그림 3.4.26 베어링 CBM 모델

(2) 기어박스 CBM 모델

(가) 기어박스 고장 모드 분석

철도차량에 사용되는 기어치차는 베어링에 비해 역학적인 분석이 비교적 용이한 구조이다. 그림 3.4.27은 치차의 대표적인 응력 분포도를 나타낸다. 기어는 이 뿌리에 작용되는 밴딩 응력에 의한 피로손상이 대표적인 기어의 고장패턴이고 그림 3.4.28은 고장 메커니즘과 실제 철도차량 기어에 고장사례를 보여주고 있다.



그림 3.4.27 기어치차 응력 분포도

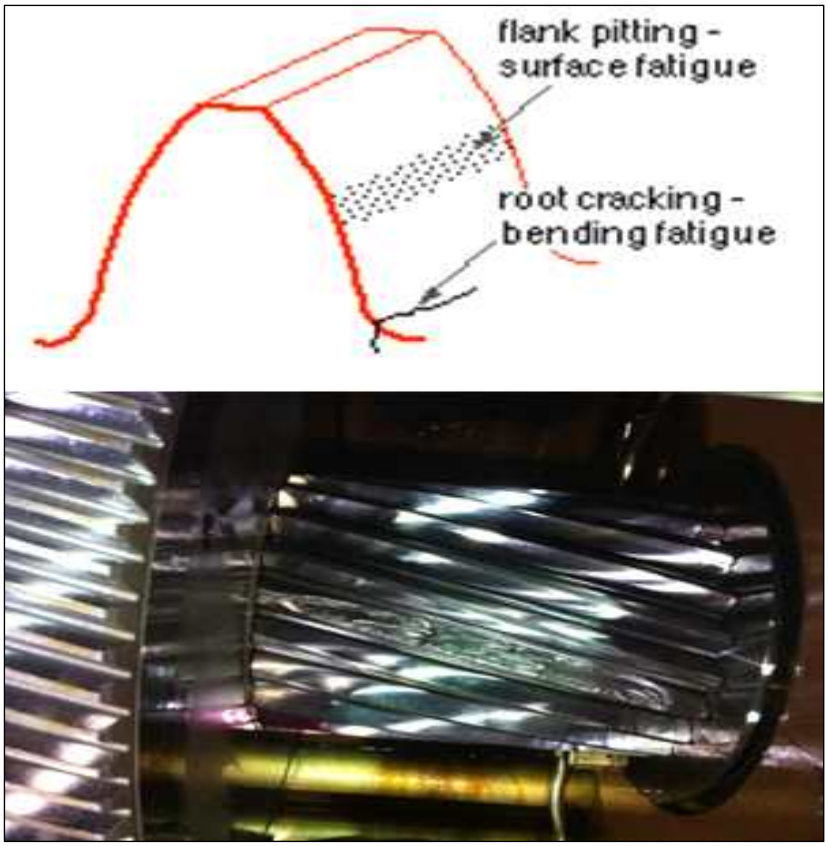


그림 3.4.28 고장메터커니즘과 철도차량 기어 손상사례

(나) 실차 및 상사 시험기 신호 계측

기어박스 결함의 신호 특성을 분석하기 위한 가장 이상적인 방법은 그림 3.4.29와 같은 실대형 기어박스 시험기에서 정상시료를 활용한 정상데이터, 결함시료를 활용한 결함데이터를 확보하여 최적 특성함수를 추정하는 것이다.



그림 3.4.29 실대형 기어박스 시험기

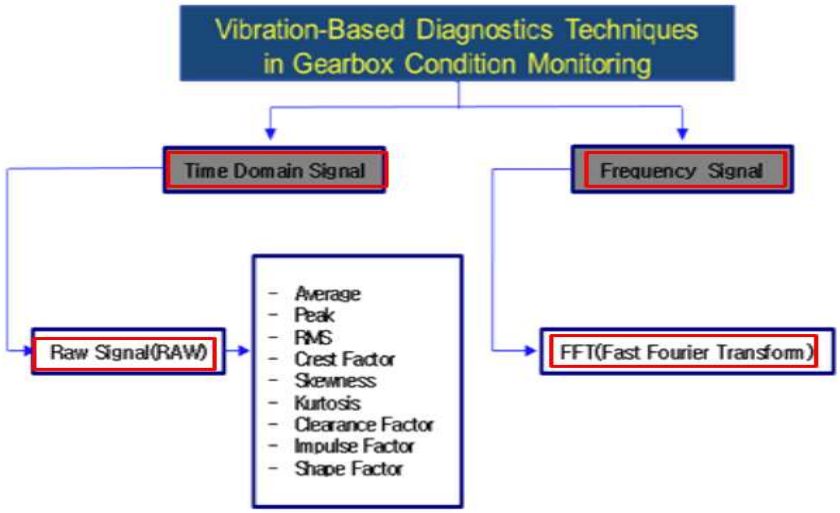


그림 3.4.30 진동 특성 분석 블록도

정상적인 기어박스의 진동데이터는 도시철도 7호선에 DAQ 및 센서를 장착하여 약 1년간 베어링 실차 진동 데이터로부터 계측되었고, 결함 기어박스의 진동데이터는 실제 사용되고 있는 정상기어에 인위적인 결함(Spalling)을 주어 실대형 기어박스 시험기에서 기어박스진동 데이터로부터 계측되었다.

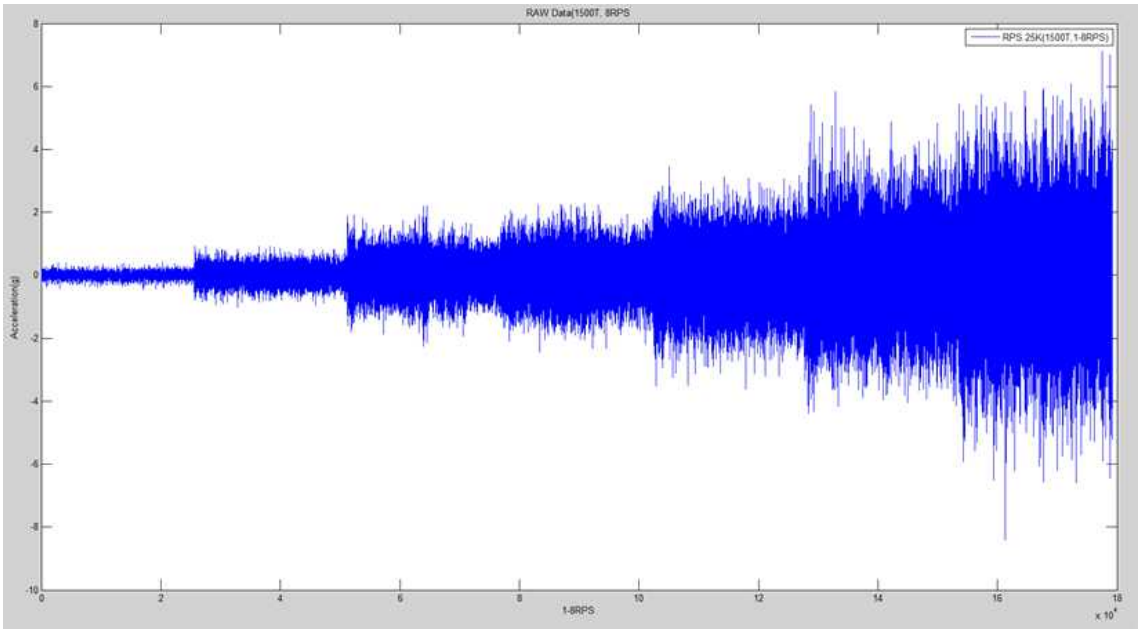


그림 3.4.31 속도에 따른 기어 진동데이터 변화

그림 3.4.31은 실대형 기어박스 시험기에서 시험한 기어 진동 신호 데이터를 보여준다. RPS의 증가에 따라 기어 진동폭이 비례하여 커지고 있다.

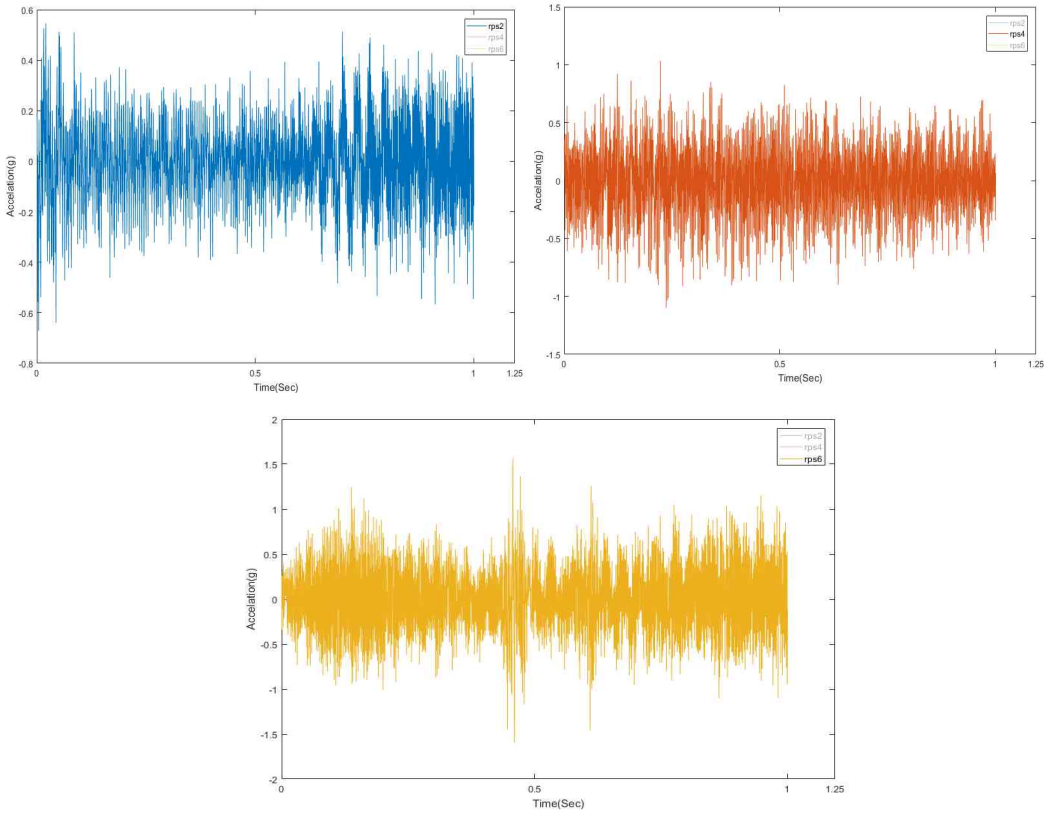


그림 3.4.32 사계절 실차 기어박스 진동 데이터(봄, 2~6RPS)

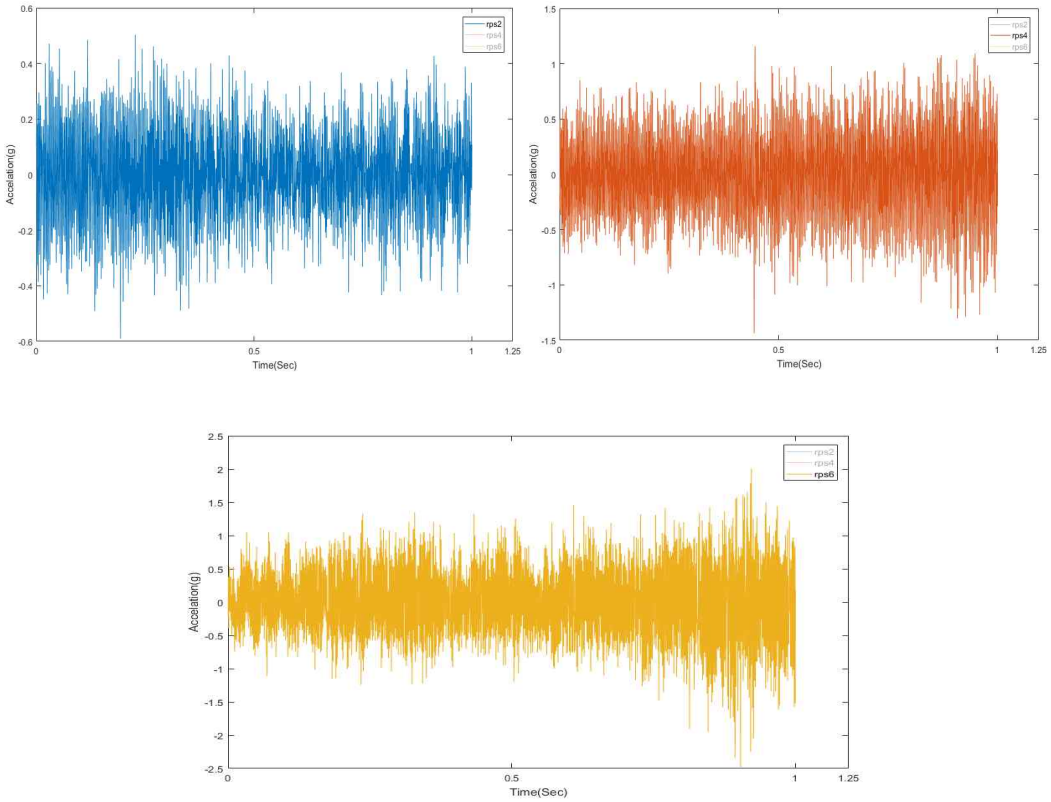


그림 3.4.33 사계절 실차 기어박스 진동 데이터(여름, 2~6RPS)

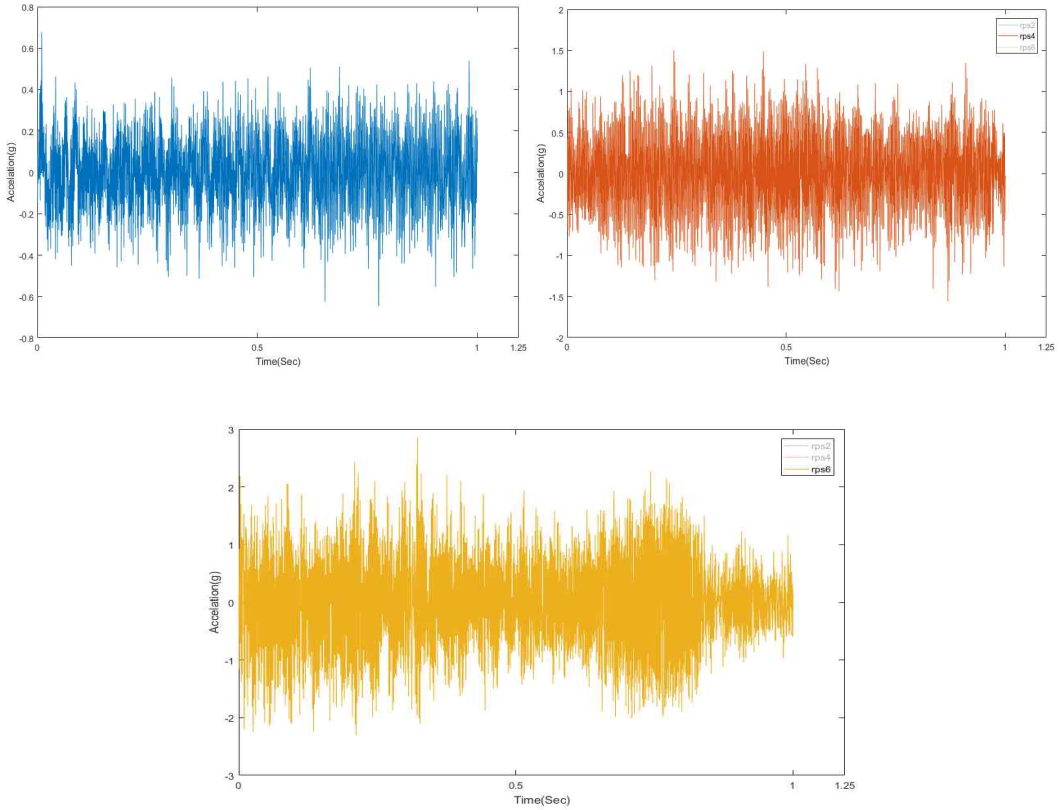


그림 3.4.34 사계절 실차 기어박스 진동 데이터(가을, 2~6RPS)

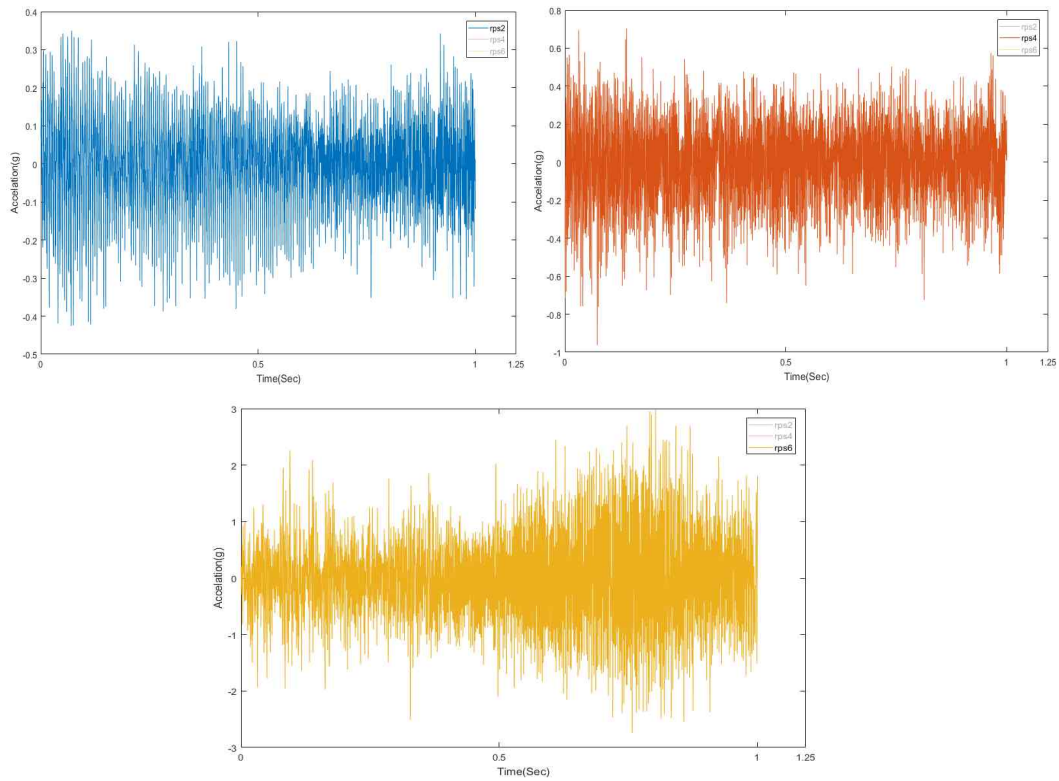


그림 3.4.35 사계절 실차 기어박스 진동 데이터(겨울, 2~6RPS)

그림 3.4.32 ~ 3.4.35는 7호선에서 운행하는 전동차에서 4계절에 걸쳐 획득한 진동데이터를 나타낸다. 4계절의 진동데이터는 큰 변화를 보이지 않았다. 또한 철도차량 주행 시 기어박스의 건강 상태 감시를 목적으로 취득되는 진동 데이터는 비정형 동작 조건에서 운용되는 것을 고려할 때 많은 잡음들이 포함된다. (이음매, 교량, 운행의 증감속) 따라서, 실차 데이터를 분석 할때 본 잡음을 회피할 수 있는 알고리즘 개발이 필수적 요소이다.

(다) 취득 진동 신호 데이터 평가

기어박스의 진동 신호 데이터 평가는 주파수 진동 분석을 통해 기어 맞물림 주파수를 파악한 후 각 시간을 고려한 진동특성함수 9개의 데이터를 약 2분 씩 120개의 DB를 획득함으로써 수행되었다. 획득된 데이터는 결함 시편과 비교 분석을 진행한 후 초기 결함을 나타내는 최적 진동특성함수를 기어 CBM 모델로 선정하였다. 최종적으로 정상 시료, 결함 시료를 분석한 결과 CBM모델에 적용 가능한 최적 속도로 4RPS를 선정하였다

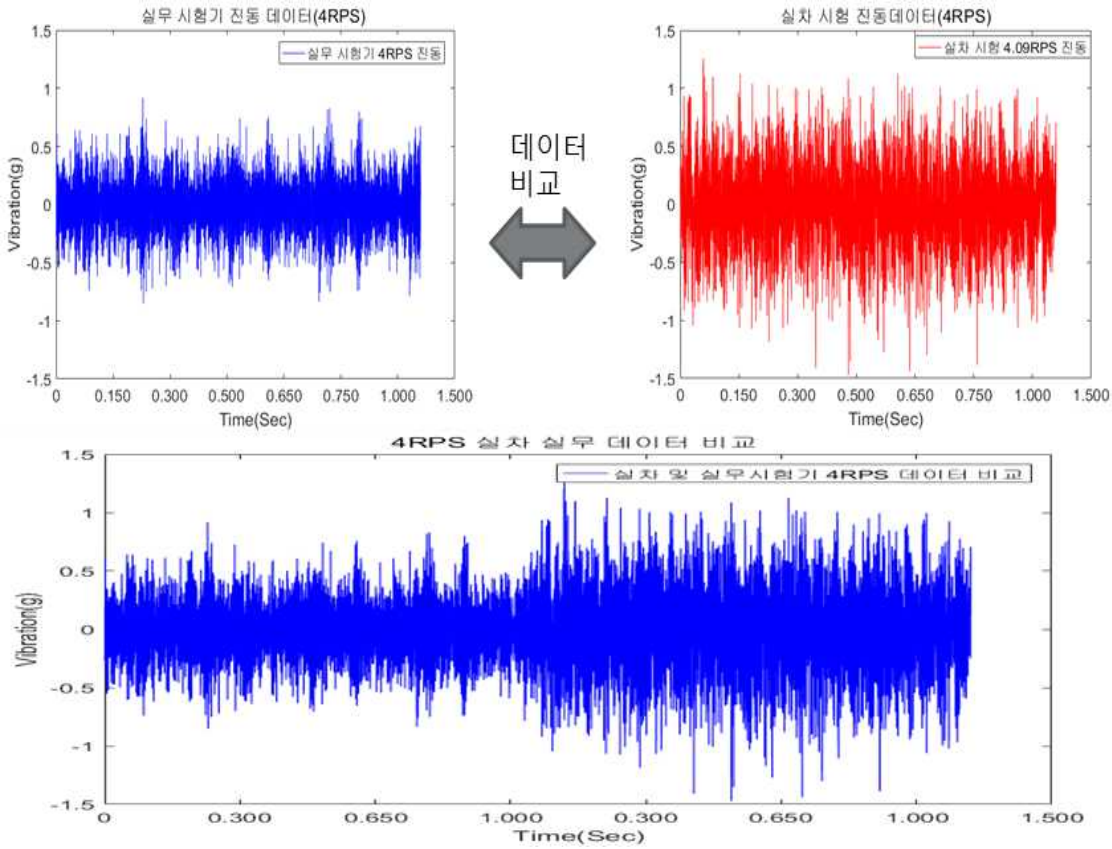


그림 3.4.36 운행중인 철도차량, 실대형 기어박스 시험기 데이터 비교(시간영역)

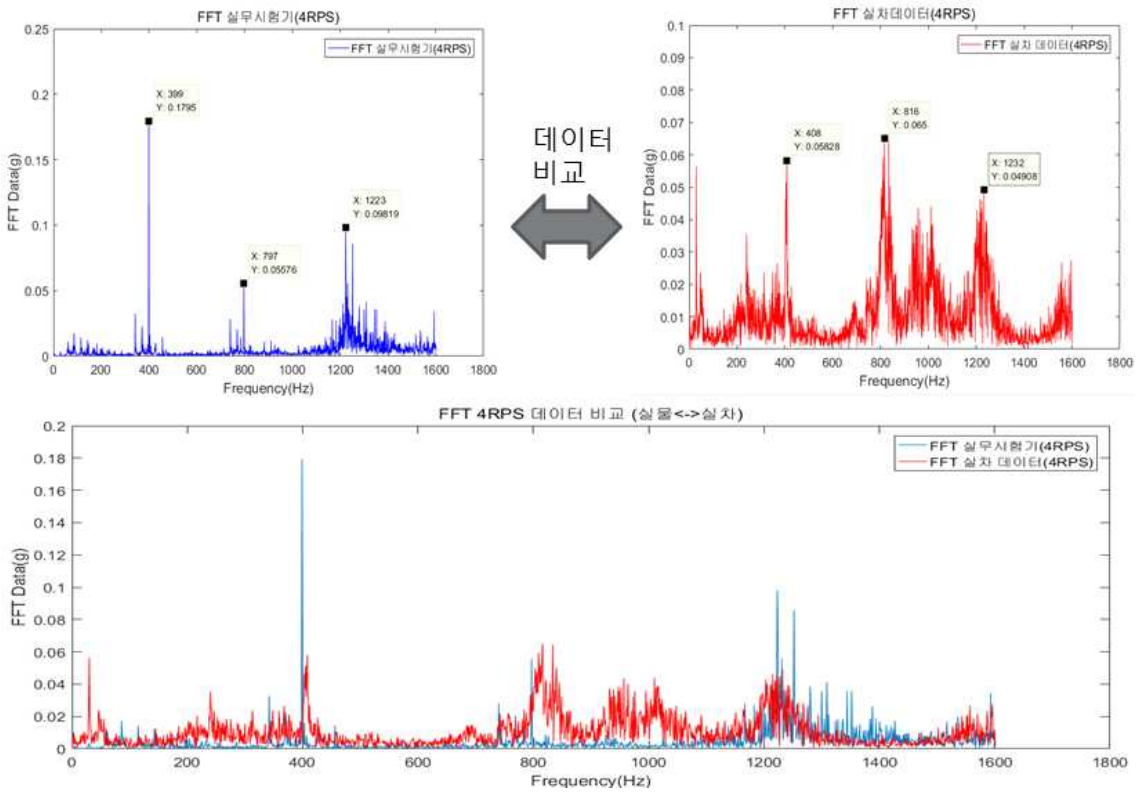


그림 3.4.37 운행중인 철도차량, 실대형 기어박스 시험기 데이터 비교(주파수영역)

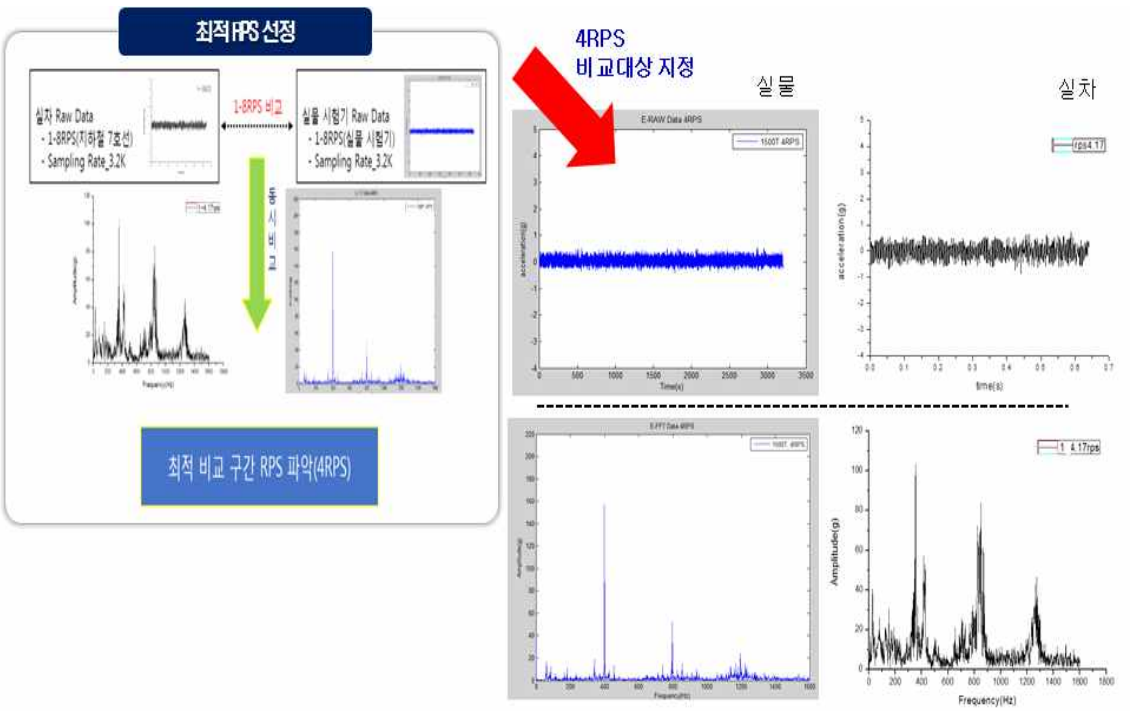


그림 3.4.38 기어박스 CBM 모델에 적용될 구간 최적 속도 선정(4RPS)

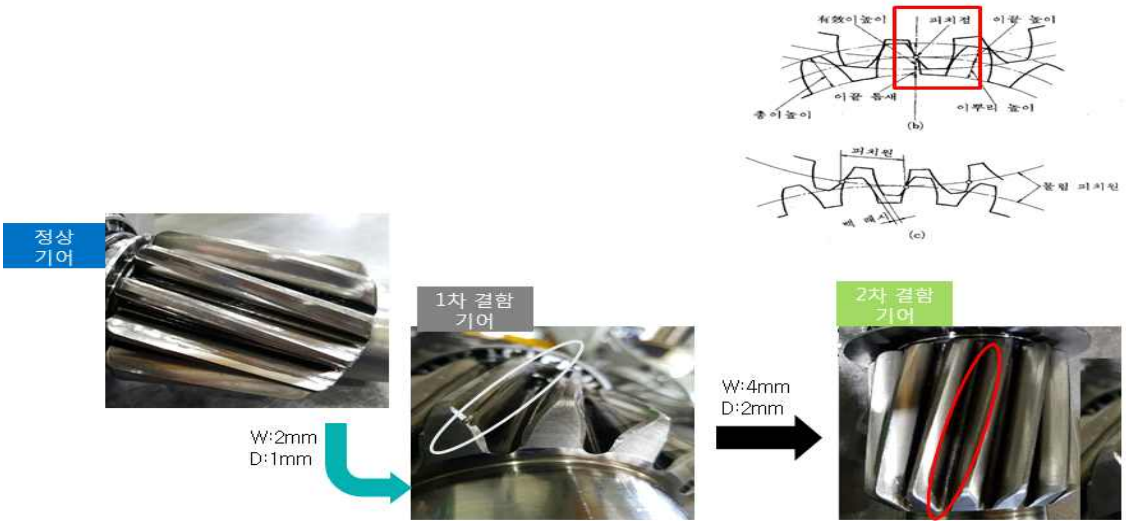


그림 3.4.39 고장 모드 분석에 따른 기어 시편 결함 단계

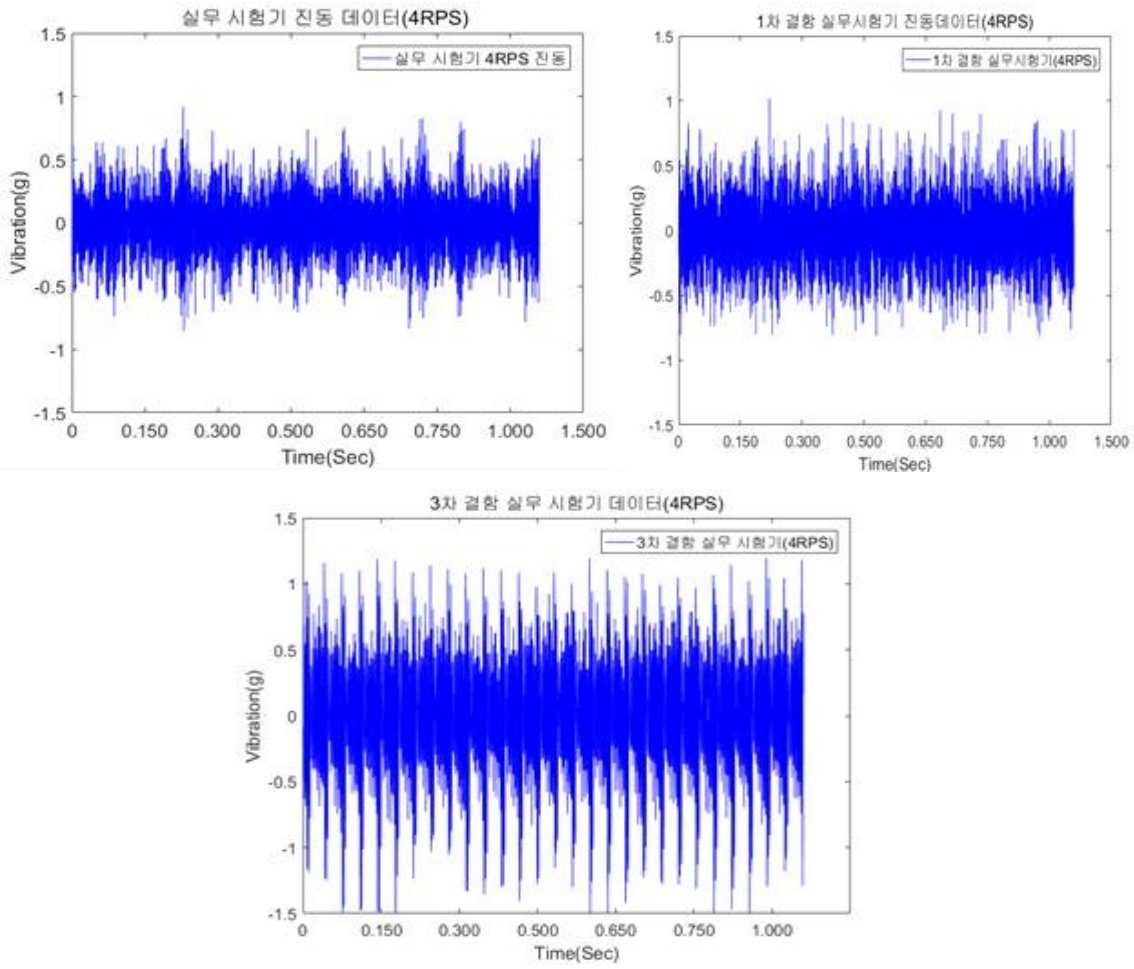


그림 3.4.40 결함과정에 따른 실대형 기어박스 시험기 진동데이터(시간영역)

표 3.4.2 기어박스 결함에 따른 특성함수 결과 값(10분 데이터 비교)

구분(특성함수)	정상	1차 결함	2차 결함	3차 결함
RMS	0.2603	0.3066	0.3261	0.4558
Kurtosis	2.9857	2.7097	2.2827	3.2100
Crest factor	3.4014	2.9906	2.6972	3.0999

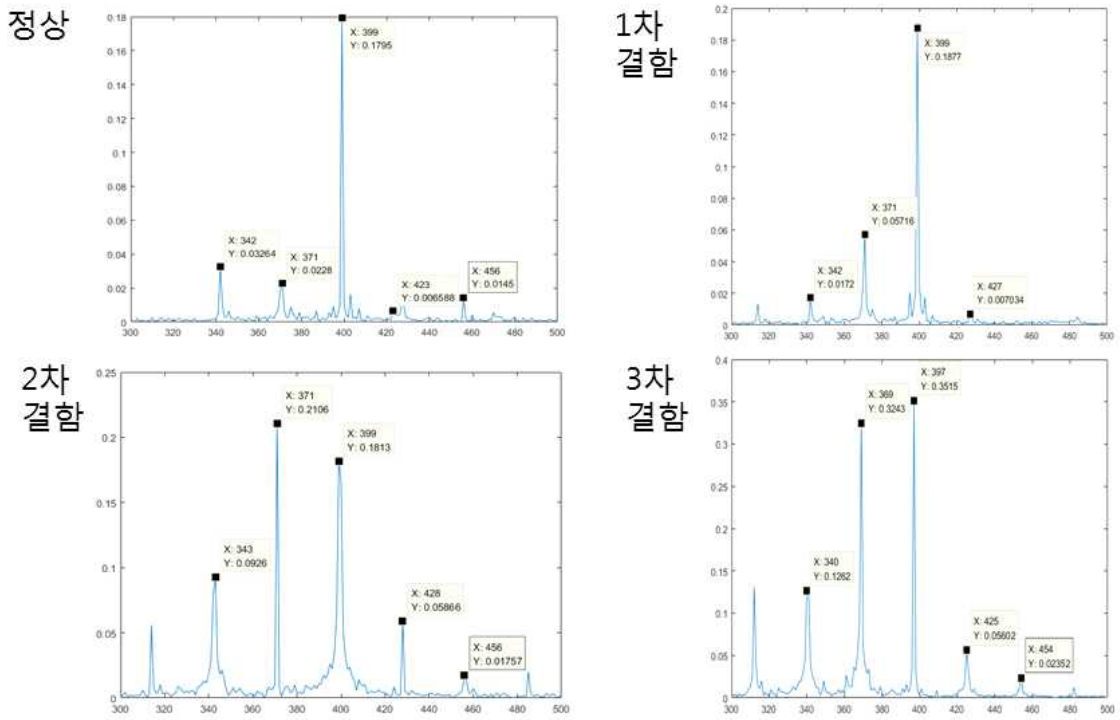


그림 3.4.41 결함과정에 따른 기어박스 진동데이터 비교(주파수 영역)

Time Domain의 특성함수 적용 결과 결함에 따른 특성이 가장 잘 나타나는 영역이 RMS로 파악되었다. 또한 주파수 영역의 결과 기어동작주파수(Gear Mesh Frequency)의 Side Band의 결과 값이 결함의 단계에 따라 증가 및 그 크기가 커지는 점을 파악하였다. 이에 따라 기어박스의 CBM 모델에 사용되는 Index는 RMS와 FFT의 결과의 합으로 구현하고자 한다.

(라) 기어박스 CBM 모델

앞 절에서 평가한 결과에 따르면 기어박스의 결함이 증가되는 영역은 시간영역에서 측정되는 RMS와 주파수 영역에서 나타내는 기어동작주파수(Gear Mesh Frequency)의 Side Band 결과값을 합치는 것이 적합하다는 것을 확인하였다. 이에 따라 본 연구에서는 이상 검출알고리즘을 적용한 Index를 적용하여 시간영역과 주

파수 영역인 두개의 CBM 모델을 개발하였다. 개발된 CBM 모델은 아래 그림과 같다.



그림 3.4.42 기어박스 시간 영역 CBM 모델 제안(4RPS)

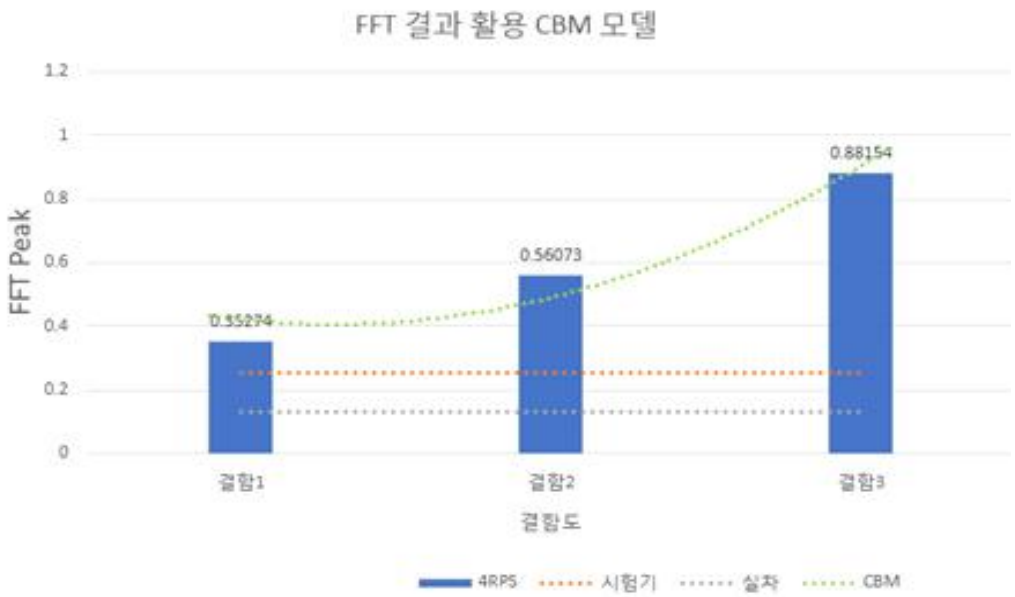


그림 3.4.43 기어박스 주파수 영역 CBM 모델 제안(4RPS)

(3) 차륜 찰상 CBM 모델

(가) 차륜 찰상 시뮬레이션 및 정상상태 신호계측

차륜에 결함이 발생하는 원인은 구름접촉피로(rolling contact fatigue, RCF)와 제동 시 발생하는 마찰력에 의한 열응력(thermal stress)으로 인하여 찰상, 그루빙, 마모, 박리, 수직마모 등이 발생한다. 서울도시철도공사 동력전달장치 유지보수자료를 참고하여 5,6,7,8호선에서 발생한 차륜결함으로 찰상이 43%로 가장 많이 발생하는 것을 알 수 있었으며, 차륜결함의 신호전달 특성 분석을 위한 결함의 종류를 찰상으로 선정하였다.

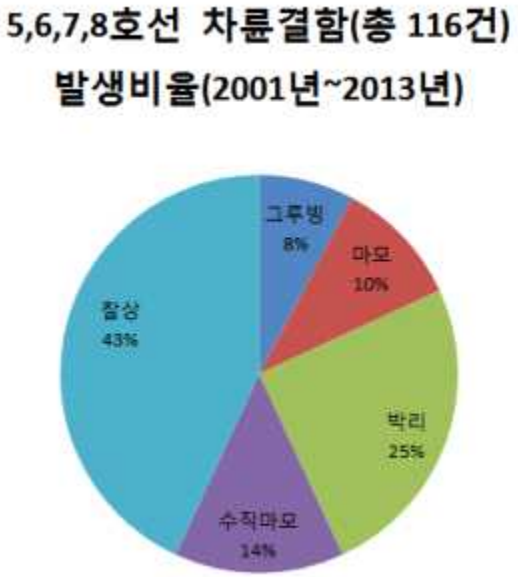


그림 3.4.44 2001년~2013년 차륜결함 발생비율

차륜결함의 신호전달 특성을 분석하기 위하여 Function Bay社의 다물체 동역학 시뮬레이션 Recurdyn을 이용하여 대차 모델링을 하였으며, Wheel A : FL 위치에 찰상차륜이 위치하도록 한다. 서울도시철도공사에서 제공한 도면을 바탕으로 Bushing Force로 1차, 2차 현가장치까지 모사하였으며, 해석 초기 중력에 의한 처짐을 해결하기 위해 preload를 입력하였다. 모델링이 완료된 찰상 차륜은 대차의 왼쪽 앞부분(FL)에 위치하며, 저널박스 각각의 프론트 커버 중심에 신호분석에 필요한 가속도계 총 4개를 모델링하여 대차의 각 위치에서 신호를 분석하였다.

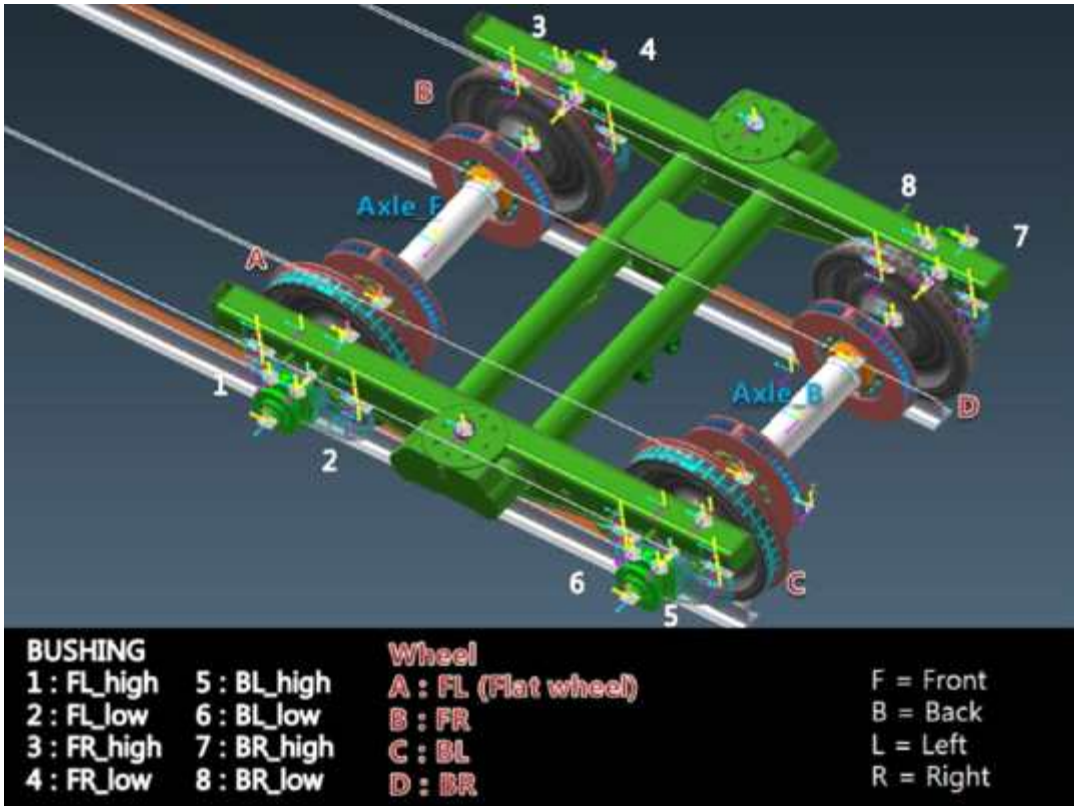


그림 3.4.45 대차 모델링 및 위치정보

표 3.4.3 질량 및 강성 조건(7호선 2차분 도면 참고)

	Kx	Ky	Kz	차량중량 1/2
1차 현가 (고무스프링)	3333 N/mm		약 750N/mm (비선형)	- 휠셋: 2224kg - 대차프레임: 3946kg - 차체: 21550kg (만차조건) - 접촉강성: 2MN/mm
2차 현가 (에어스프링)	128 N/mm	177 N/mm	471 N/mm	

찰상신호 영향인자를 통하여 찰상 부위의 신호파형을 정확히 분석하였고, 시간, 샘플링 수, 차량무게, 찰상크기, 열차주행속도 등 여러 가지 유형의 해석결과를 비교하였다. 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙에 따라서 차륜의 바깥지름의 삭정한도는 780mm로 하며, 차륜의 바깥지름이 774mm에 도달하면 교환이 이루어진다. 차륜이 궤도면과 수직으로 접촉하는 면이 편편하게 마모된 부분은 길이로 측정하고, 차륜당 마모된 부분이 다음 각목의 1에 해당되는 경우에는 삭정한다.

■ 75밀리미터 이상인 부분이 1개소 이상
■ 50밀리미터 이상 75밀리미터 미만인 부분이 2개소 이상
■ 25밀리미터 이상 50밀리미터 미만인 부분이 4개소 이상

차륜의 삭정기준인 75밀리미터 1개소의 찰상을 모델링 하였으며, 도시철도차량의 평균운행속도 40km/h 기준으로 차륜 직경이 0.43m일때 각속도는 25.84rad/s가 된다. 앞서 모델링 된 75밀리미터의 찰상에 해당하는 크기는 10°= 0.174rad이며, 샘플링 레이트가 1485Hz일 때 0.0174rad/s 이다. 따라서 한 바퀴 회전 시 찰상부위에서 얻을 수 있는 샘플링의 수는 10개로 모델링하였다.

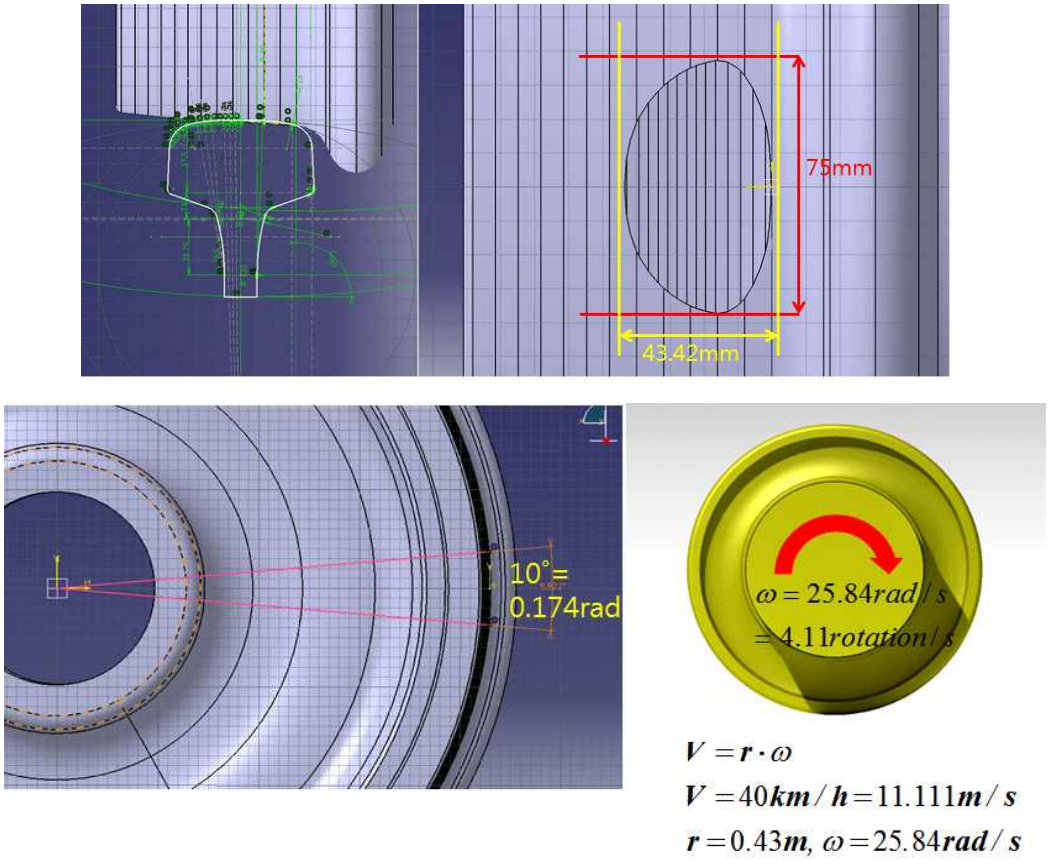


그림 3.4.46 찰상 모델링

실차시험은 서울도시철도 7호선 2차분 전동차에서 시행하였다. 지그제작, 채널구성, 센서 구입 및 장착 등 철도차량의 운행안전에 영향을 주지 않도록 서울도시철도공사와 함께 지속적으로 점검하였다. 계측장비는 (주)글로비즈社의 CMS 장비로 Sampling rate는 3.2kHz, 채널 리스트 20ch로 구성되어 있으며, CMS 케이스를 객차 하부에 설치되었다.

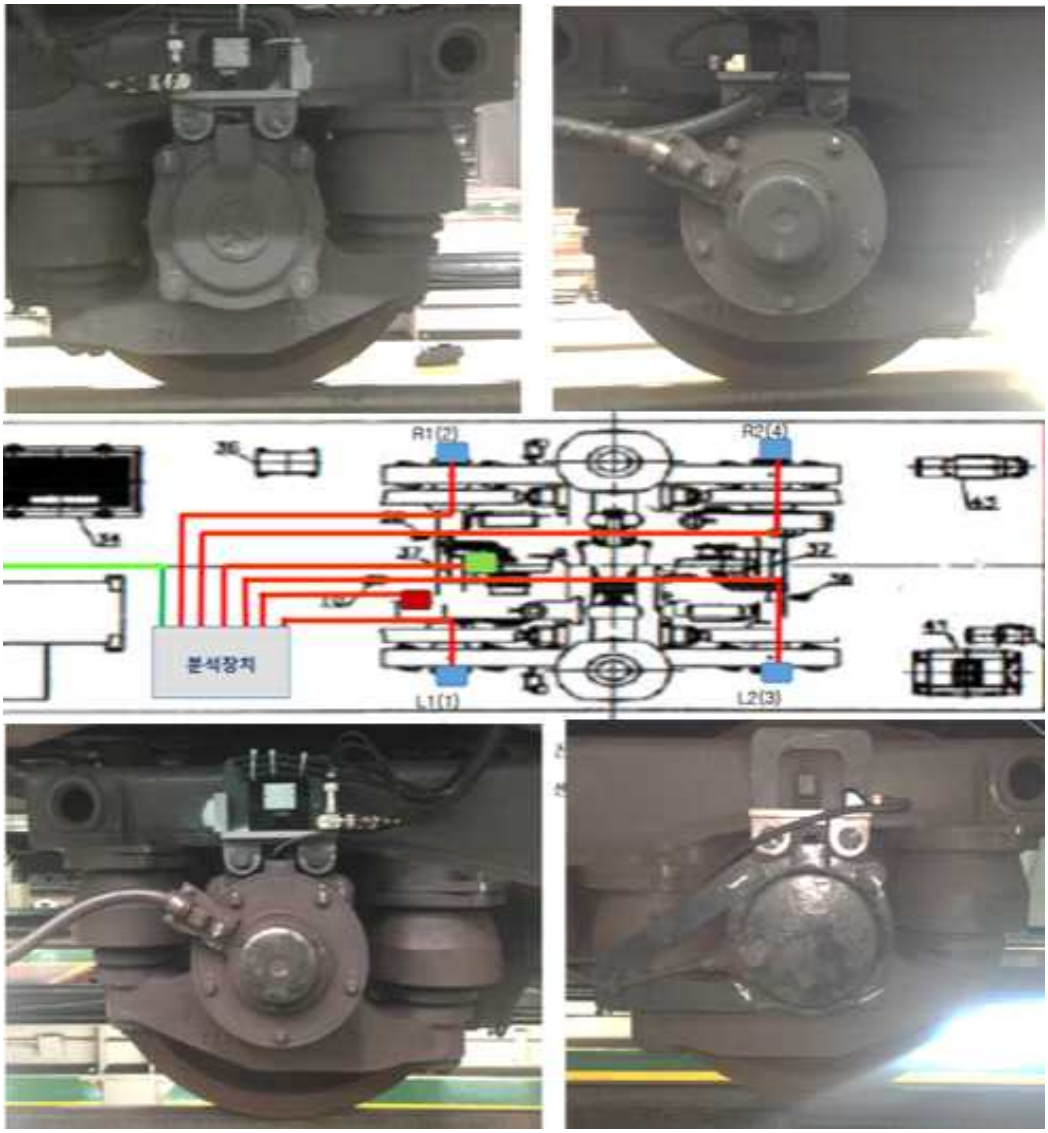
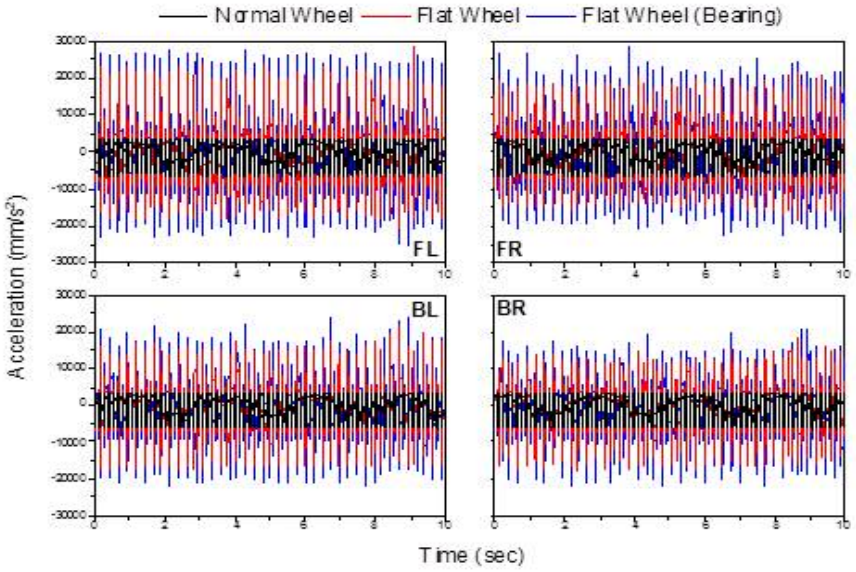


그림 3.4.47 센서 및 분석장치 구성

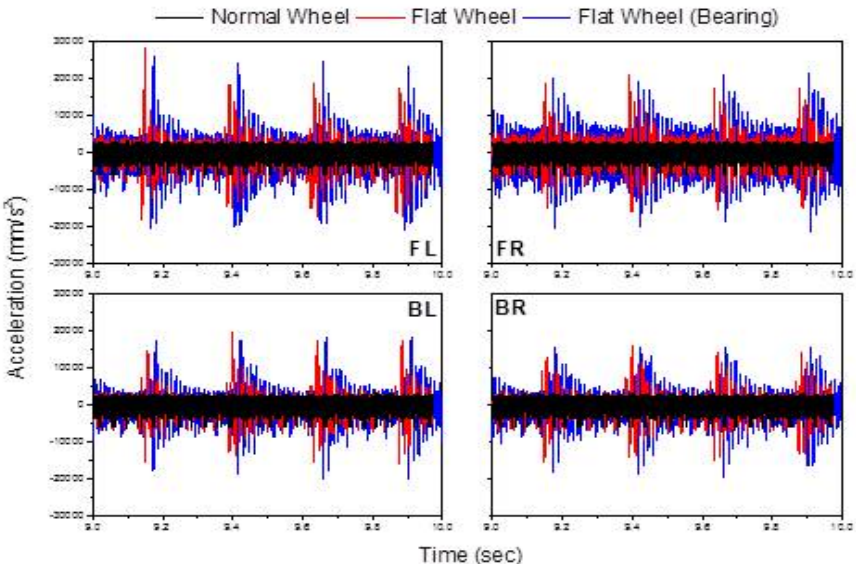
계측구간은 7호선 도봉차량기지~부평구청역까지 총 54개역으로 TCMS 데이터를 분석하여 실차시험 차량의 감가속, 등속구간을 확인하였다.

(나) 신호처리

찰상차륜(FL)에서 찰상에 의한 차륜의 회전주파수 4.1Hz와 같은 주기적인 신호가 발생하였으며, 다른 FR, BL, BR차륜에서도 동일한 찰상 신호가 발생하였다. 이와 같이 동일 대차 내 다른 차륜에도 찰상의 영향이 미치는 것을 확인할 수 있었다. 이는 강체 모델의 시뮬레이션 결과로 실제 탄성체를 고려한다면 찰상신호의 감쇄가 이보다 클 것이지만, 찰상차륜이 다른 차륜에 영향을 미치는 것으로 판단된다.



(a) 0 ~ 10 sec



(b) 9 ~ 10 sec

그림 3.4.48 측정위치별 가속도

차륜에서의 가속도 신호를 FFT(fast Fourier transform)을 통하여 분석하였으며, 찰상 가속도 신호(임펄스 파형)를 FFT하면 정상차륜 대비 전 주파수 대역에서 신호크기가 크므로 FFT 만으로 결함을 검출하기 어려움이 있다. 또한 찰상차륜이 정상차륜보다 모든 대역에서 큰 값을 보이고 있으며, 특히 차륜의 회전주파수 4.1Hz의 2배, 3배, 4배 등 배수의 조화성분의 주파수에서 주기적으로 피크가 발생하였다.

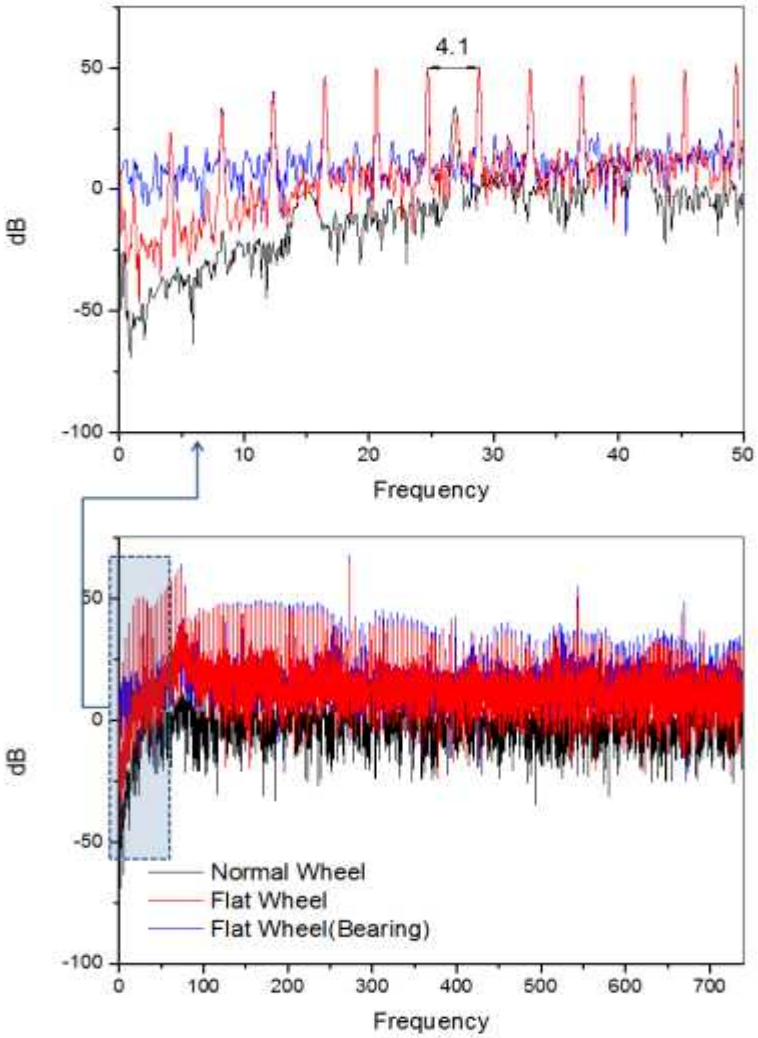


그림 3.4.49 차륜의 가속도 신호 FFT

찰상의 반복적인 신호특성을 고려하여 Frequency domain의 Cepstrum을 선정하였다. Cepstrum 분석법은 취득한 가속도 신호를 푸리에 변화(Fourier trasform)하고 log를 취한 후, 역 푸리에 변화(inverse Fourier transform)을 한 Quefrency analysis 방법으로 일반적으로 불균일한 주기신호가 많이 발생하는 베어링의 결함검출에 많이 사용되고 있고, 효과적으로 분석이 가능하다. 분석하고자 하는 찰상신호는 크기, 개수, 위치 등에 따라 불균일하게 발생하지만, 속도에 따라서는 주기적으로 발생하므로 cepstrum 분석법이 효과적일 것으로 판단된다. 실제 계측신호 분석시에도 다양한 노이즈 성분이 발생하여도 찰상신호의 주기에 큰 영향을 미치지 않는다면, cepstrum 분석법은 효과적일 것으로 판단된다. 그러나 도시철도차량과 같이 역간 거리가 짧아 등속구간이 짧은 경우 가속 및 감속 구간에서도 신호분석이 가능한 Order analysis가 필요하다.

표 3.4.4 신호처리 분석방법 비교

신호분석 종류	장점	단점	특징
Time domain analysis	제일 간단함	주파수 분류 불가능 노이즈에 취약	
Envelop analysis	회전체 결함의 고주파신호를 저주파신호로 변경 가능	노이즈에 취약	
Frequency analysis	주파수대역별 분류가능	주기적인 주파수 피크값 고려 불가능	등속조건
Time-Frequency analysis	시간에 따른 주파수 분석 가능	3차원 데이터로 분석 데이터가 많음	가속조건
Order analysis	회전수 기준으로 분석 가능	회전속도센서 필요	가속조건
Quefrency analysis	주파수의 주기성분 검출 가능	노이즈에 약간 취약	등속조건

Cepstrum은 대표적으로 Complex Cepstrum(C_c)과 Power Cepstrum(C_p)이 있으며, 다음 식과 같이 정의된다.

$$C_c(\tau) = F^{-1}[\ln(X(f))] = F^{-1}[\ln(A(f)) + j\phi(f)]$$

$$C_p(\tau) = F^{-1}[\ln(|X(f)^2|)] = F^{-1}[\ln(A^2(f))] = F^{-1}[2\ln(A(f))]$$

$$X(f) = F[x(t)] = A(f)\exp(j\phi(f))$$

여기서 F는 푸리에 변환, $x(t)$는 가속도 신호, $X(f)$는 가속도 신호를 푸리에 변환한 결과이며 신호의 크기 $A(f)$와 위상 $\phi(f)$ 정보를 의미한다.

그림 3.4.50 Complex Cepstrum

그림 3.4.51 Power Cepstrum

(다) 상태 모니터링

찰상 차륜/레일 접촉 시뮬레이션을 수행하였고 윤축의 저널박스에서 추출한 찰상 차륜의 수직 진동 가속도와 Cepstrum 결과를 Sampling rate 800Hz, 1600Hz, 3200 Hz로 3가지로 분석하였다.

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.52 Sampling rate 800Hz

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.53 Sampling rate 1600Hz

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.54 Sampling rate 3200Hz

신호의 길이에따른 Cepstrum 분석을 하였으며 각각 찰상차륜의 (a) 수직 진동 가속도와 (b) 1초, (c) 3초, (d) 5초 동안의 찰상신호를 Power Cepstrum 분석하였다.

(a) 수직 진동 가속도

(b) Cepstrum 분석 결과 (1sec)

(c) Cepstrum 분석 결과

(d) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.55 신호 길이에 따른 Cepstrum 결과

찰상의 크기에 따른 Cepstrum 분석을 하였으며 각각 찰상 크기 75mm, 50m, 25 mm에서 수직 진동 가속도와 5초 동안의 찰상신호를 Power Cepstrum 분석하였다.

(a) 수직 진동 가속도

(b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.56 찰상 크기 75mm

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.57 촬상 크기 50mm

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.58 촬상 크기 25mm

차량의 무게에 따른 Cepstrum 분석을 하였으며 각각 공차중량과 만차중량에서 수직 진동 가속도와 촬상신호를 Power Cepstrum 분석하였다.

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석

그림 3.4.59 공차중량

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.60 만차중량

열차 속도에 따른 Cepstrum 분석을 하였으며, 열차속도 20km/h, 열차속도 40km /h에서의 수직 진동 가속도와 찰상신호를 Power Cepstrum 분석하였다.

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.61 열차속도 20km/h

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.62 열차속도 40km/h

등속조건과 가속조건에서의 Cepstrum 분석을 하였으며 등속조건(40km/h), 가속조건 1km/h/s, 2km/h/s에서의 수직 진동 가속도와 찰상신호를 Power Cepstrum 분석하였다.

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.63 등속조건(40km/h)

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.64 가속조건(1km/h/s)

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석 결과

그림 3.4.65 가속조건(2km/h/s)

가속조건에서 Cepstrum 분석을 하기 위한 절차로 기존의 Quefrency analysis에 Oder analysis를 추가하여 새로운 Cepstrum 분석 방법을 제안하였다.

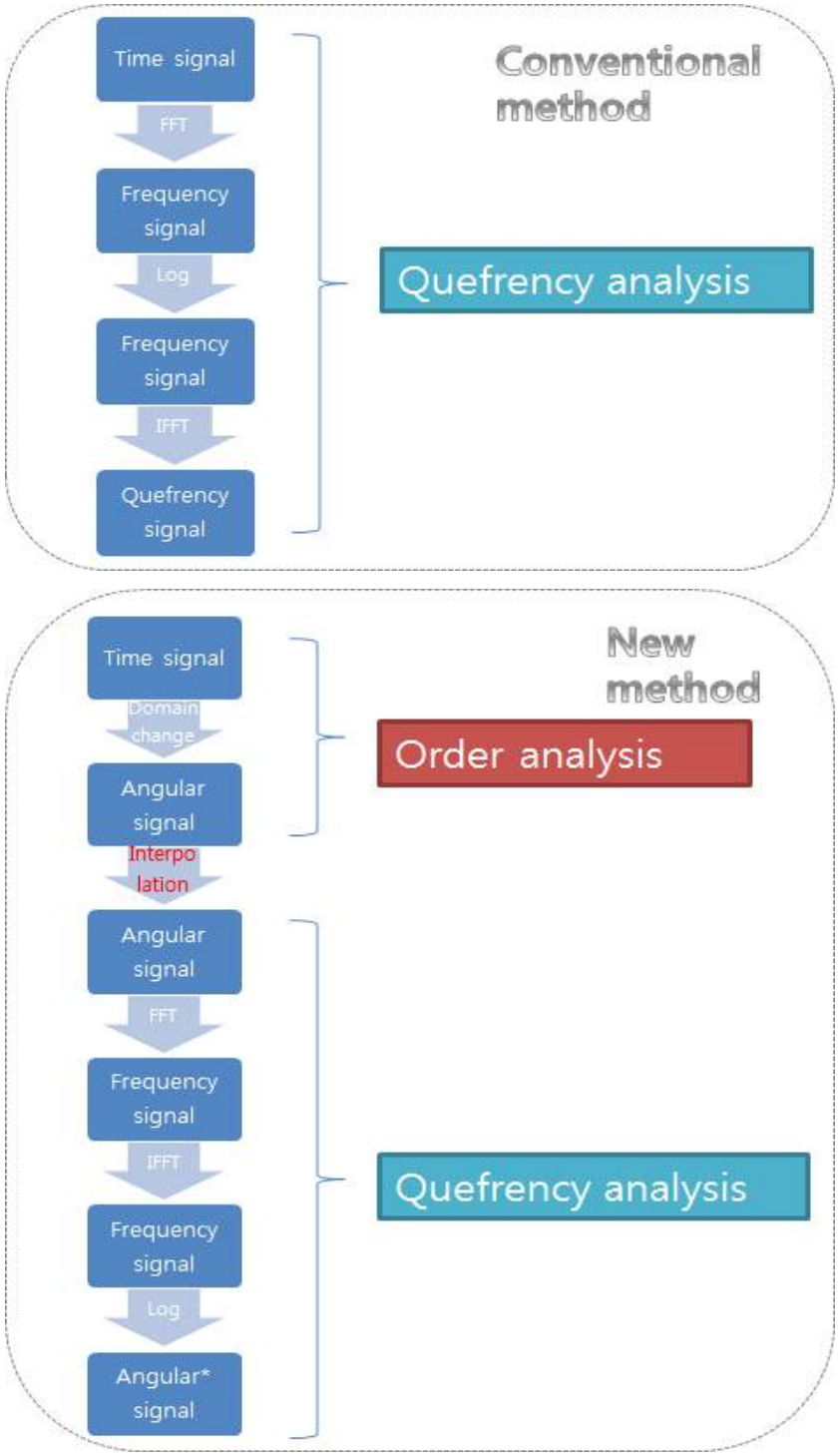
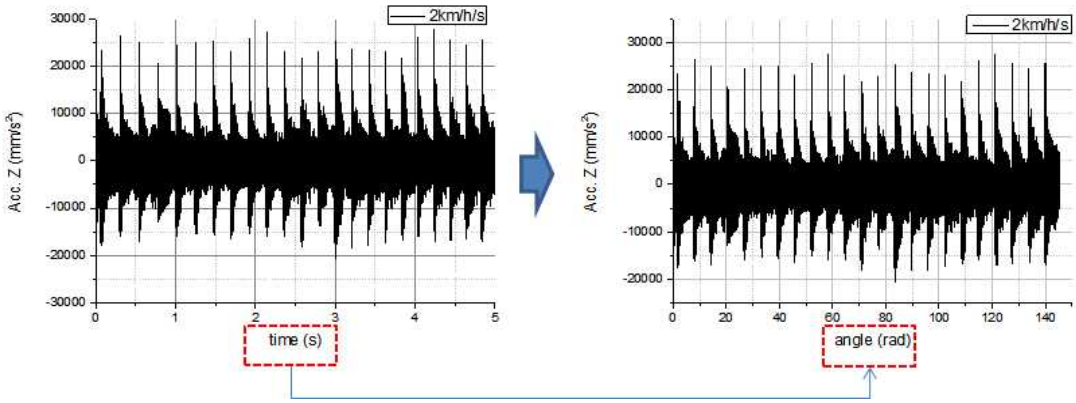


그림 3.4.66 기존방식과 새로운 Cepstrum 분석 절차 비교

시간 도메인을 차륜의 회전각도 도메인으로 변경한 후 Cepstrum 분석하면 차륜 회전주기인 2π(약 6.28) radian에서 찰상신호로 인한 피크값이 발생한다. 이 때 시간 도메인을 차륜 회전각도 도메인으로 변경하게 되면 각도 간격이 균등하지 않으므로 FFT가 불가능하다. 따라서 도메인 변경 후 보간법(interpolation)을 적용하여 각도 간격을 균등하게 해주어야 한다.

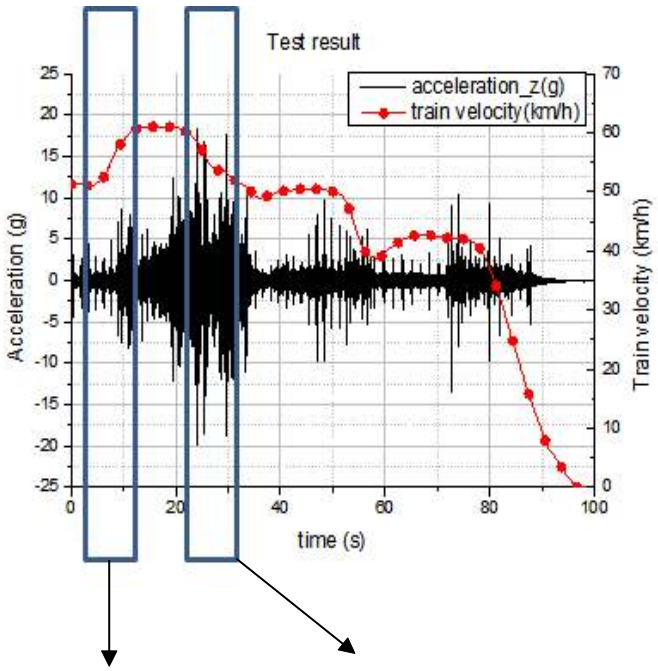


(a) Time domain (b) Angle domain

그림 3.4.67 Time domain → Angle domain

그림 3.4.68 보간법 적용 시 샘플링에 따른 추종성

실제 운행 시 발생하는 레일결함 및 차축베어링, 감속기 등 차량의 각종 주행에 진동(외란)이 존재하는 상태에서도 Cepstrum 분석법이 효과적인지 확인하기 위하여 서울도시철도 7호선 운영구간에서 정상차륜 상태의 진동(외란)을 계측하였다.



(a) 진동이 약한 구간 (b) 진동이 큰 구간

그림 3.4.69 온수→천왕구간 계측신호

실차시험을 통하여 계측 한 수직방향 진동신호와 차륜의 회전속도로부터 구해진 열차 주행속도로 (a)는 진동의 RMS 평균값이 0.468g로 상대적으로 외란이 적은 5초~10초 구간이며, (b)는 진동의 RMS 평균값이 2.568g로 외란이 가장 심한 20초~25초 구간이다. 실차시험에서 계측된 온수→천왕구간에서의 진동크기가 큰 구간과 작은 구간의 Cepstrum을 분석함. 차륜 회전주기인 2π(6.24)rad와 하모닉 주기에서 피크값이 발생하지 않았다.

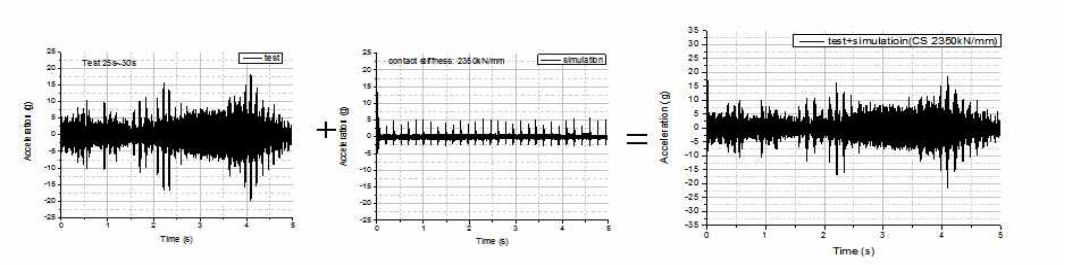
(a) 수직 진동 (b) Cepstrum 분석

그림 3.4.70 온수→천왕구간 진동이 가장 큰 구간

(a) 수직 진동 가속도 (b) Cepstrum 분석

그림 3.4.71 온수→천왕구간 진동이 가장 약한 구간

실차시험에서 계측된 온수→천왕구간에서 외란(RMS:2.568)이 가장 크게 발생하는 구간과 외란(RMS:0.468)이 가장 작게 발생하는 구간을 정상차륜 진동신호와 찰상사륜의 진동신호(시뮬레이션)를 중첩한 신동신호를 Cepstrum 분석하였다. 찰상신호를 중첩한 신호에서 정상차륜대비 Cepstrum의 peak/mean값이 약 20% 증가하였고 차륜회전주기의 조화성분에서 피크값이 검출되었다. 외란성분의 크기가 찰상신호보다 5배 이상으로 크게 발생해도 찰상신호가 검출되는 것을 확인하였다. 상대적으로 외란이 작은 구간을 중첩한 신호의 결과 중첩신호는 정상차륜의 진동신호 대비 Cepstrum의 peak/mean 값이 200% 증가하였다.



(a) 정상차륜 (RMS: (b) 찰상차륜 (c) 중첩한 진동신호

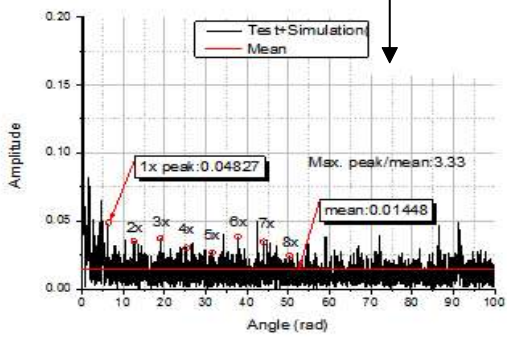
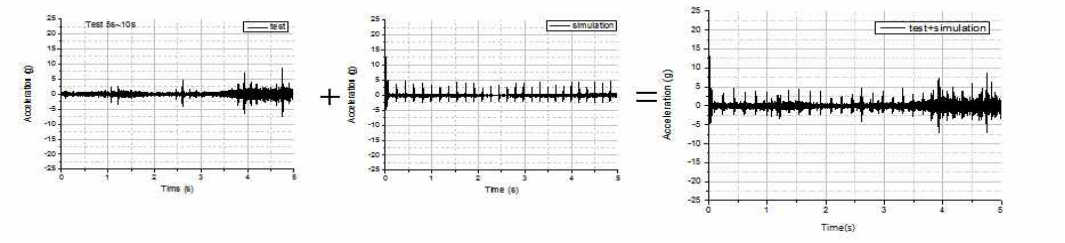


그림 3.4.72 외란(RMS:2.568)일 때 Cepstrum 결과



(a) 정상차륜 (RMS: (b) 찰상차륜 (c) 중첩한 진동신호

그림 3.4.73 외란(RMS:0.468)일 때 Cepstrum 결과

Cepstrum 진단 알고리즘 검증을 위하여 한국철도기술연구원의 실대형 탈선시험기를 이용하여 차륜 답면부에 인위적인 찰상을 생성하였으며, 3축 가속도계를 양쪽 저널박스에 설치하여 속도에 따른 찰상 차륜의 진동 신호 데이터를 계측하고 분석하였다.

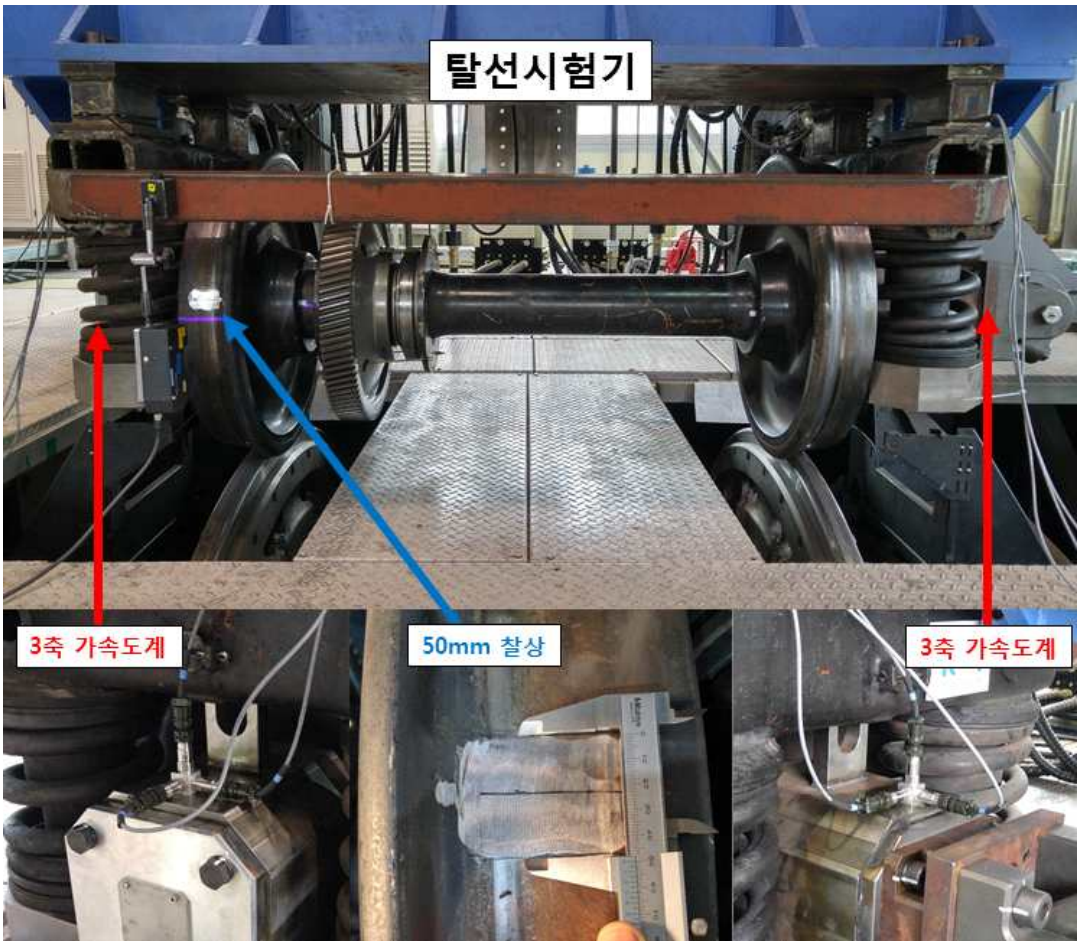


그림 3.4.74 50mm 찰상 차륜 진동 계측 시험

시험 속도는 1km/h로 시작하여 60km/h까지 속도를 10km/h씩 구간을 나누어 시험하였으며, 본 분석에서는 동역학 시뮬레이션과 비교하기 위하여 50mm찰상이 20km/h 등속일 때의 진동 신호를 분석하였다.

가장 큰 진동 신호가 계측되는 곳은 찰상을 생성한 왼쪽 차륜의 수직 가속도로 peak to peak 약 48g의 진동 신호가 발생하였으며, 주기적인 조화성분에서 피크가 발생하였다.

또한 찰상이 없는 오른쪽 차륜에서도 동역학 시뮬레이션에서 같이 주기적인 찰상 신호가 발생하는 것을 확인 할 수 있었다.

그림 3.4.75 50mm 찰상 차륜의 20km/h 속도에서의 진동 신호

유럽의 경우 철도차량 차체 가속도를 평가할 경우 통상 40Hz Low Pass Filter를 사용하고 미국의 철도차량 평가의 경우 SAE60 필터의 Butterworth 필터를 사용한다. SAE60 필터의 Butterworth 필터는 100Hz Low Pass Filter와 유사하다.

본 연구에서는 진동 신호가 가장 크게 발생한 찰상차륜의 수직방향의 진동 가속도를 OriginPro를 사용하여 100Hz Low Pass 필터를 적용하였으며, 동역학 시뮬레이션과 비교하였다.

그림 3.4.76 찰상차륜의 수직가속도(100Hz LowPass)

탈선시험기에서 취득한 찰상 진동 신호는 동역학 시뮬레이션과 동일한 0.484s 주기의 찰상 신호를 확인 할 수 있었다.

그림 3.4.77 시뮬레이션&탈선시험기 가속도 비교

또한 Cepstrum 분석을 통하여 차륜의 회전속도 20km/h의 찰상 차륜 하모닉 주기성분인 0.484s에서 피크값이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 본 시험을 통하여 Cepstrum이 찰상 신호 분석에 적합한 분석방법임을 검증하였다.

그림 3.4.78 시뮬레이션&탈선시험기 Cepstrum 분석 비교

(라) 건전성 평가

켑스트럼 분석은 찰상신호의 크기, 폭에 의한 영향은 크지 않으며 주기 특성만을 검출하는데 효과적으로 활용가능 하지만, 찰상 크기 및 개수에 따른 진단을 위해서는 추가적인 진동신호 처리기법이 필요하다. 찰상크기에 따른 진동신호 크기가 비례하지 않으며, 아래 그림에서와 같이 찰상크기를 구별하는데 어려움이 있다. 찰상크기에 따라 민감도가 크고 선형성이 있는 결과를 나타낼 수 있는 신호처리기법 중에서 진동신호의 면적을 계산하는 콘볼루션과 크로스 코릴레이션 기법을 이용하여 분석하였다.

하나의 신호가 시간축으로 이동하면서 겹치는 면적을 계산하는 점은 동일하나 콘볼루션의 경우 g함수를 반전시킨 후 적용하는 것에 차이가 있다. 찰상신호 파형은 시작과 끝이 대칭성이 없는 신호이므로 겹쳐지는 면적을 최대화하기 위해서는 콘볼루션보다는 코릴레이션 기법이 찰상크기 진단에 더 효과적이다.

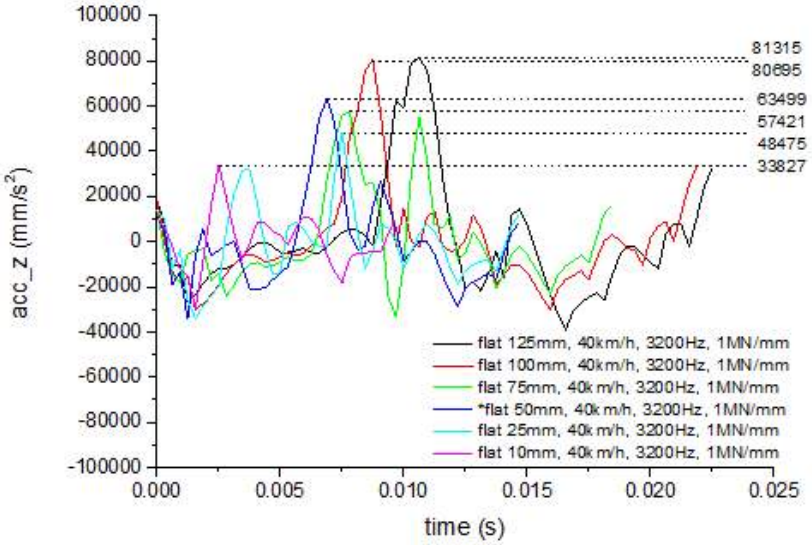


그림 3.4.79 찰상크기별 진동신호 크기

가속도 크기(Acc.), 찰상신호 면적(Integral), 켑스트럼(Cepstrum), 코릴레이션(Correlation) 등 각각의 분석 결과를 찰상크기 10mm로 나누어 정규화한 값으로 비교 분석하였다.

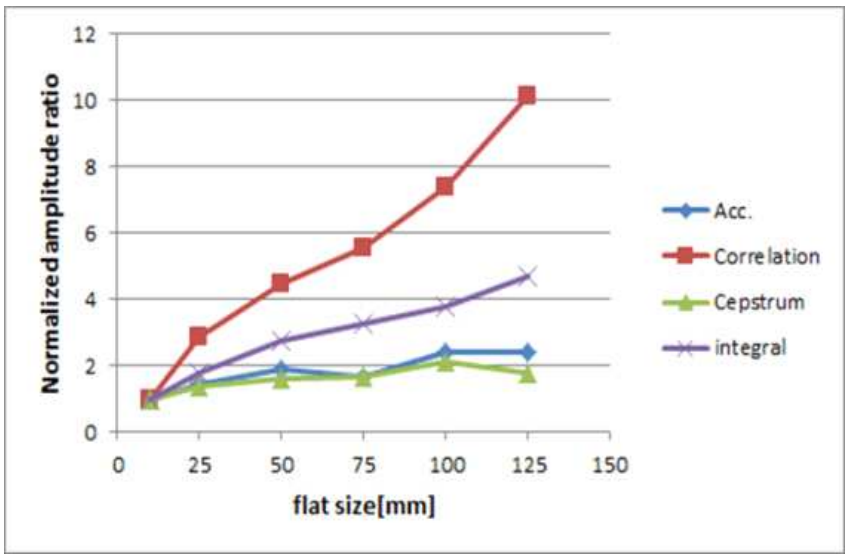


그림 3.4.80 찰상크기별 진동신호 분석결과

진동신호 크기와 켑스트럼의 민감도 값은 선형성을 가지지 못하고 있고, 찰상크기 차이가 비교적 작으며, 코릴레이션 결과는 선형성이 우수하고 10 mm 찰상대비 75 mm 찰상의 결과가 5배 이상으로 찰상 크기의 상태진단에 효과적이다.

(마) 차륜 CBM 모델 제안

켑스트럼 분석은 등속 구간에서 발생하는 주기적인 결함 신호를 검출하는데 유용하였지만, 시간영역을 차륜회전각도 영역으로 변경한 후 켑스트럼 분석을 적용하면 감가속이 많은 도시철도에서도 찰상의 결함검출이 가능함을 확인하였다.

찰상신호보다 외란이 크게 발생하여도 켑스트럼 분석을 통하여 차륜 결함을 효과적으로 검출할 수 있으며, 찰상 검출 민감도 분석을 통하여 실시간 계측/분석/진단 과정에서 최적화 할 수 있는 기준을 제시하였다.



그림 3.4.81 찰상 검출 성능의 민감도 분석

동역학 해석 및 실차 데이터를 기반으로 분석한 찰상발생 진단 CBM 모델과 찰상크기 진단 CBM 모델은 아래 그림과 같다.

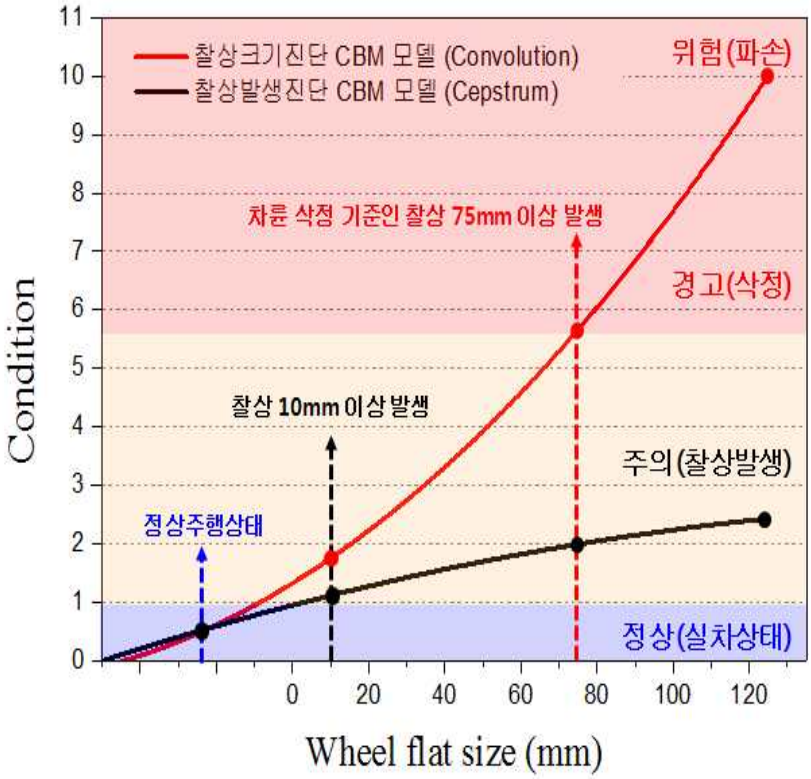


그림 3.4.82 차륜 CBM 모델 제안

(4) 상용제동 전자 솔레노이드밸브 CBM 모델

(가) 솔레노이드 코일 소손 고장진단

솔레노이드 밸브 코일의 소손을 진단하기 위해서 등가회로 모델을 개발하였다. 일반적으로 솔레노이드 전압 방정식은 식 (1)과 같다.

$$V_d = I(t)(R_{EXT} + R_{\int}) + L(x,I)\frac{dI}{dt} + E(x,I)\frac{dx}{dt} \quad (1)$$

여기서 V_d와 $I(t)$는 회로 전체 전압과 전류, R_{EXT}와 $R_{\int}$는 각각 외부저항과 솔레노이드 내부저항을 나타낸다. $L(x,I)$는 증분 인덕턴스(Incremental inductance), $E(x,I)$는 동기 기전력(Motional electromotive force)을 나타내는데, 동기 기전력은 전체 전압의 최대 2%만 차지하므로 무시 가능하다. 증분 인덕턴스 누설 인덕턴스와 전류에 대한 쇄교 자속(Flux linkage)의 변화량의 합으로 나타낼 수 있는데 일정 시간동안 플런저가 같은 위치를 유지한다고 가정하면 증분 인덕턴스는 일정한 상수가 된다. 이 경우 솔레노이드 전압 방정식은 식 (2)와 같고, 솔레노이드 회로도는 그림 3.4.83처럼 나타낼 수 있다.

$$V_d = I(t)(R_{EXT} + R_{\int}) + L\frac{dI}{dt} \quad (2)$$

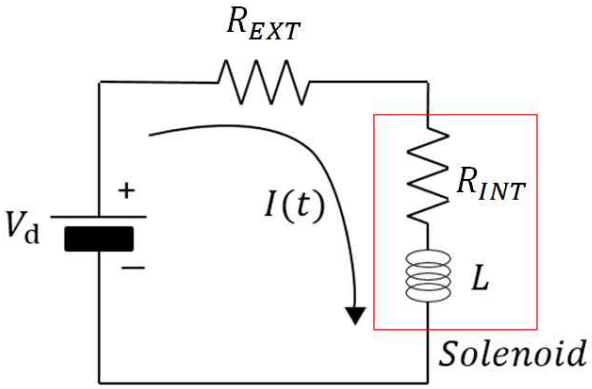


그림 3.4.83 솔레노이드 회로도

위의 식을 라플라스 변환을 취한 후, 전류 항에 대해 정리하면 다음과 같다.

$$I(s) = \frac{V_d}{R_{EXT} + R_{\int}}\left[\frac{1}{s} - \frac{1}{s + \dfrac{R_{EXT} + R_{\int}}{L}}\right] \quad (3)$$

식 (3)에 라플라스 역변환을 취해서 다시 시간 영역에서의 전류 모델을 구하면 다음과 같다.

$$I(t) = \frac{V_d}{R_{EXT} + R_{\int}} \left[1 - e^{-\frac{R_{EXT} + R_{\int}}{L} t} \right] \tag{4}$$

식 (4)에서 인덕턴스가 포함된 항은 보통 저항이 인덕턴스보다 큰 값을 가지기 때문에 짧은 시간 안에 0으로 수렴한다. 따라서 솔레노이드 전류 모델은 식(5)로 근사할 수 있다.

$$I(t) = \frac{V_d}{R_{EXT} + R_{\int}} \tag{5}$$

솔레노이드 코일에 국부적으로 합선이 발생하여 소손이 일어나면, 명시 저항 및 임피던스 값이 감소한다. 따라서 식 (5)에 의해 같은 전압을 인가했을 때 고장 밸브는 정상 밸브보다 더 높은 전류가 흐르게 된다. 이 점을 착안하여 공급전류를 건전성 인자로 선정하였다. 여기서 공급전류는 출력압력이 10% 증가 했을 때 인가된 전류의 크기로 정의하였다. 이는 출력압력이 10% 증가했을 때 코일 내부 플런저의 운동이 끝나기 때문이다.

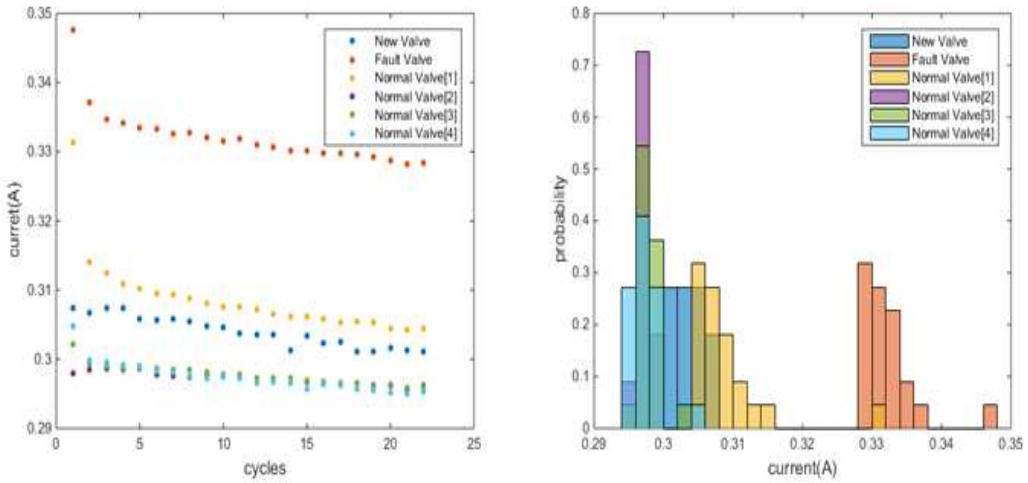


그림 3.4.84 정상 및 고장 밸브의 공급전류 분포

그림 3.4.84에 실험 결과를 나타냈으며 실제로 고장 밸브의 공급전류가 정상 밸브보다 높게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 가동시간이 증가함에 따라 전류의 크기가 감소하는 현상이 나타났는데, 이 현상이 지속되면 오랜 시간 가동한 고장 밸브를 정상 밸브와 구분하기 어렵다.

이 현상은 가동시간에 따라 솔레노이드 코일의 온도가 증가하기 때문에 발생한다. 솔레노이드 내부저항은 온도에 민감한데 내부저항이 변하면 식 (5)에 의해 회로에 흐르는 전류의 크기도 변한다. $R_{\int,0}$를 솔레노이드 초기 내부저항, α를 온도계수라고 두면 저항과 온도는 식 (6)과 같이 온도계수 α를 계수로 가지는 1차 선형비례관계를 가진다.

$$\triangle R = \alpha R_{\int,0} \triangle T \tag{6}$$

이에 상응하는 전류 변화 값은 식 (7)로 표현할 수 있다.

$$\triangle I = \frac{V_d}{R_{\int,0} + \triangle R} - \frac{V_d}{R_{\int,0}} \tag{7}$$

위의 식을 이용하여 공급전류를 보정해준 결과, 그림 3.4.85과 같이 온도의 영향이 제거되어 결과적으로, 밸브의 가동시간에 상관없이 고장과 정상 밸브의 구분이 가능하였다.

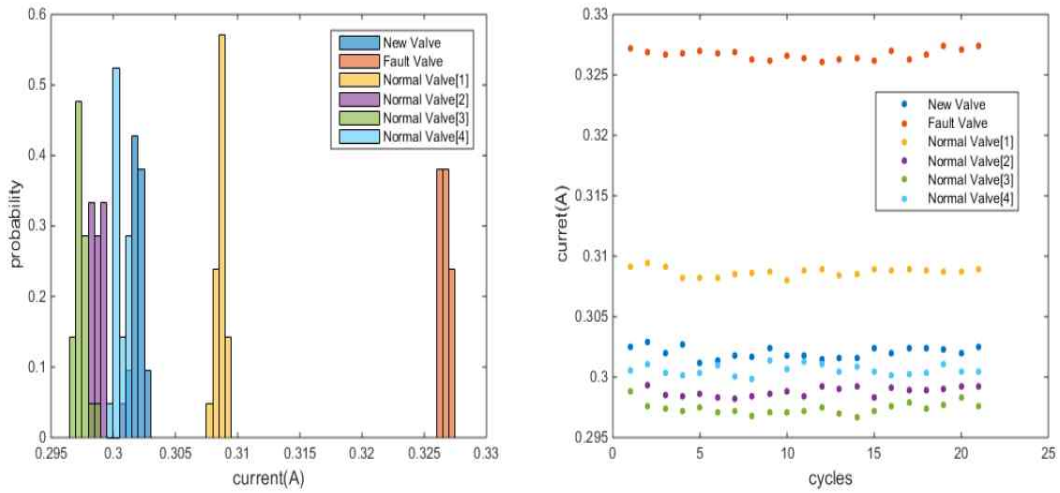


그림 3.4.85 정상 및 고장 밸브의 공급전류 분포(온도 보정 후)

(나). 이물질 적재 고장진단

솔레노이드 밸브의 밸브 변 상단에 이물질이 쌓이게 되면 그림 3.4.86과 같이 밸브 봉과 밸브 변 사이에 유격이 발생하여 누기가 일어난다. 본 연구에서는 이물질 크기가 커질수록 누기 정도가 심각해질 것으로 예상하고, 이물질 크기와 출력 압력

감소간의 관계를 도출하고자 한다.

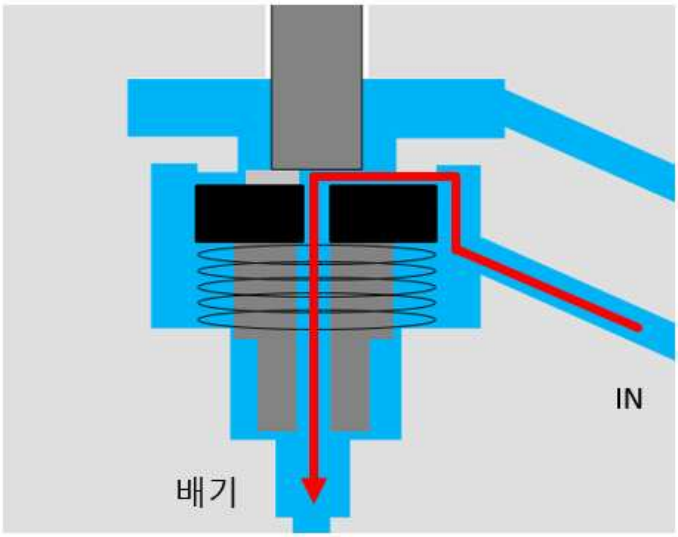


그림 3.4.86 이물질에 의한 밸브 누기

이물질은 밸브의 조립 및 해체 과정에서 누락되기 쉽고 그 양을 정량적으로 측정하기 어렵기 때문에 현장에서 고장시료를 직접 얻기 힘들다. 따라서 정확한 사이즈를 알고 있는 이물질을 밸브 변 상단에 부착하여 인위적으로 고장을 인가한 시료를 이용해서 실험을 하였다. 이물질은 두께가 각기 다른 2×2mm 스틸 심플레이트를 사용했다. 그림 3.4.87과 같이 심플레이트를 부착하였으며, 두께는 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0mm 총 8가지로 설정하였다.

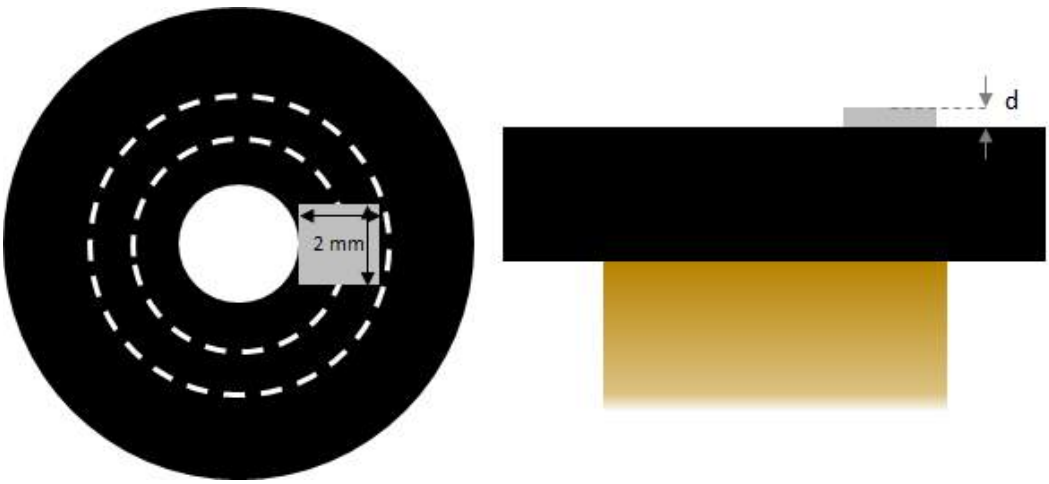


그림 3.4.87 밸브 변 이물질 부착 방식

각 이물질 두께 별 21 사이클씩 반복 실험했으며 그 결과는 그림 3.4.88과 같다. 이물질의 두께가 증가할수록 누기가 잘 일어남을 확인할 수 있으며 각 사이클 별 최대 출력 압력을 추출하여 그림 3.4.89와 같이 플롯하였다.

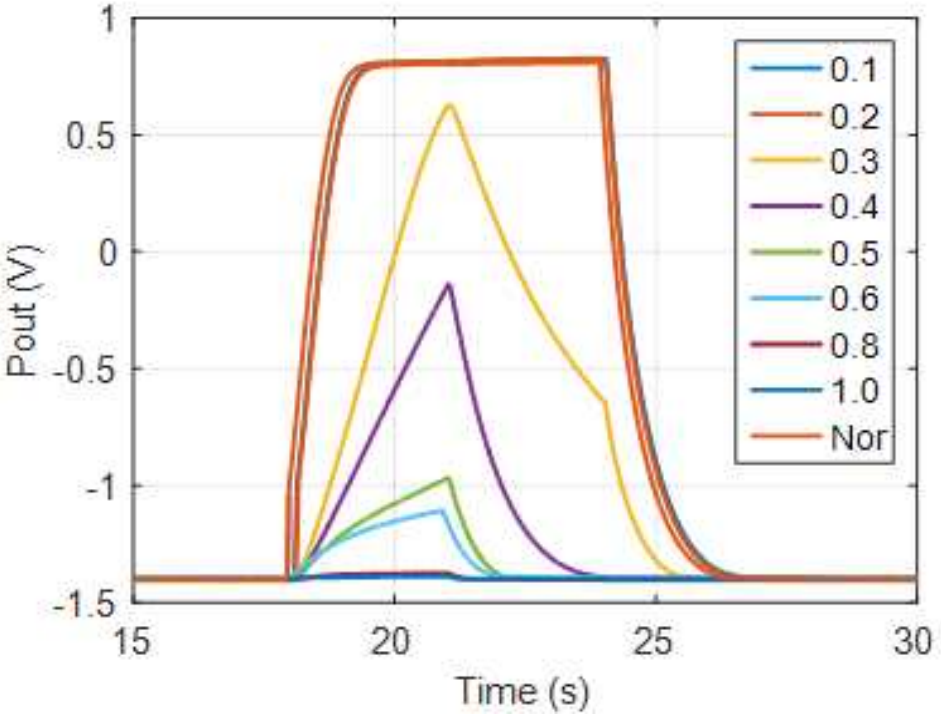


그림 3.4.88 이물질 두께에 따른 출력 압력

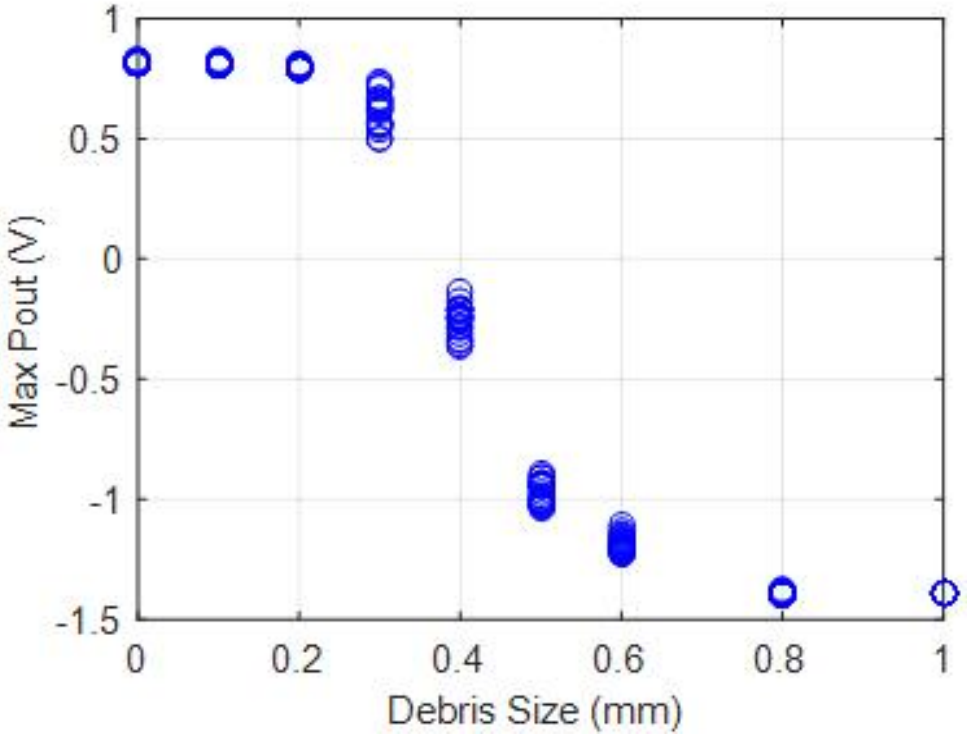


그림 3.4.89 이물질 두께에 따른 최대 출력 압력

위의 결과로부터 이물질 두께와 최대 출력 압력간의 관계를 도출하기 위해 회귀 모델(Regression model)을 개발하였다. 회귀분석은 독립변수와 종속변수의 상관관계를 통계적인 방법을 이용하여 분석할 때 사용된다. 데이터의 분포에 따라 다양한 방법으로 회귀분석을 할 수 있는데, 본 연구에서는 대표적으로 3가지 방법으로 회귀모델을 구하였다. Polynomial Regression, Piecewise Cubic Hermite Interpolation 그리고 Sigmoidal Regression 방법을 시도했으며, 표 3.4.5에 각 방법에 대해 간단히 정리하였다.

표 3.4.5 회귀분석 방법 및 장단점

Regression Model	내 용
Polynomial Regression	독립변수와 종속변수의 상관관계를 n차 다항식으로 모델링 $y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + \cdots + a_n x^n + \epsilon$ 하나의 다항식만으로 상관관계를 온전히 반영하기 어려움
Piecewise Cubic Hermite Interpolation	Polynomial Regression의 단점을 보완하기 위해 데이터의 부분구간을 나눠 각 부분구간에 대해 3차 다항식으로 모델링 각 부분구간과 1차 미분값은 연속 부분구간 $[X_L, X_R]$에서, 3차 다항식: $g(x) = a_0 + a_1(x - X_L) + a_2(x - X_L)^2 + a_3(x - X_L)^2(x - X_R)$ ($g(X_L) = f(X_L), g(X_R) = f(X_R), g'(X_L) = f'(X_L), g'(X_R) = f'(X_R)$을 만족함)
Sigmoidal Regression	독립변수와 종속변수의 상관관계를 시그모이달 함수로 모델링 $y = a_0 + \frac{a_1}{a_2 + e^{a_3 x + a_4}} + \epsilon$ 독립변수가 양과 음의 무한대로 갈 때 각각 수렴하는 상한선과 하한선이 존재하는 데이터에 대해 적합함

위의 회귀분석 방법을 통해 회귀모델을 구한 결과를 그림 3.4.90에 나타내었다. 왼쪽부터 차례로 Polynomial Regression, Piecewise Cubic Hermite Interpolation, Sigmoidal Regression을 통해 얻은 결과다. Polynomial Regression의 경우 3차 다항식으로 회귀분석을 했는데 R^2이 0.9609로 다른 모델들에 비해 정확도가 낮은 편

이며, 이물질 두께가 무한대로 증가할 때 출력 압력이 무한대로 증가하게 된다. 이는 실제 밸브 거동에 위반되는 결과로 알맞지 않다. 다음으로, Piecewise Cubic Hermite Interpolation의 경우 R^2이 1로 가장 정확도가 높으나, 이는 과적합(overfitting)의 오류를 범할 수 있다. 또한 이 방법은 부분구간에 대해 근사하는 방식이기 때문에 이물질 두께가 1mm 이상인 경우에 대해서는 예측하기 어렵다는 단점이 있다. 마지막으로 Sigmoidal Regression은 R^2이 0.9972로 정확도가 매우 높은 편이다. 시그모이드 함수 특성 상, 독립변수가 양 또는 음의 무한대 값을 지닐 때 일정한 값으로 수렴하게 되어서 항상 상한값과 하한값을 지닌다. 이는 실험 결과 및 밸브 거동 메커니즘과 일치한다. 따라서 Sigmoidal Regression이 가장 적합한 회귀모델이다. 본 연구에서 구해진 Sigmoidal Regression 함수는 식 (8)과 같다

.

$$g_s(x) = \frac{12.31}{5.616 + e^{17.46x - 5.359}} - 1.347 \qquad (8)$$

위의 식으로부터 압력 저하에 따른 이물질 두께를 추정할 수 있으며 이물질 두께가 사용자가 설정한 허용치를 초과할 경우 이물질을 제거할 수 있다.

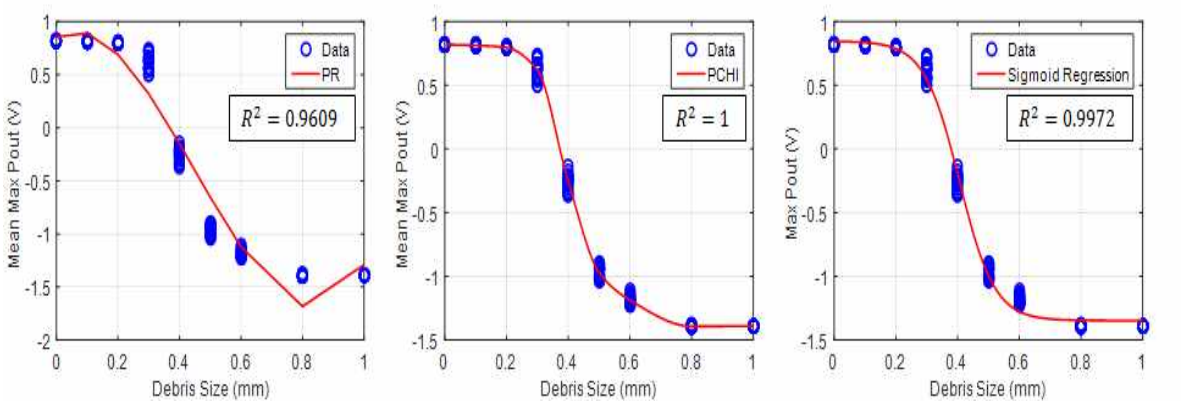


그림 3.4.90 이물질 두께-출력 압력 회귀모델(왼쪽부터 Polynomial Regression, Piecewise Cubic Hermite Interpolation, Sigmoidal Regression 순)

(다) 밸브 변 고무 손상 고장 진단

솔레노이드 밸브를 실험하기에 앞서 밸브 변 고무 손상의 여부에 대한 파악을 먼저 하였다. 실제 산업현장에서는 밸브 봉의 반복적인 거동으로 밸브 봉과 밸브 변이 부딪히게 된다. 이러한 과정으로 인해 밸브 변에 주기적으로 충격이 인가된다. 밸브 변의 재질은 고무로 되어 있기 때문에 잦은 충격으로 밸브 변 상단에 밸브 봉의 형태를 따라 찍히는 현상이 발생한다.

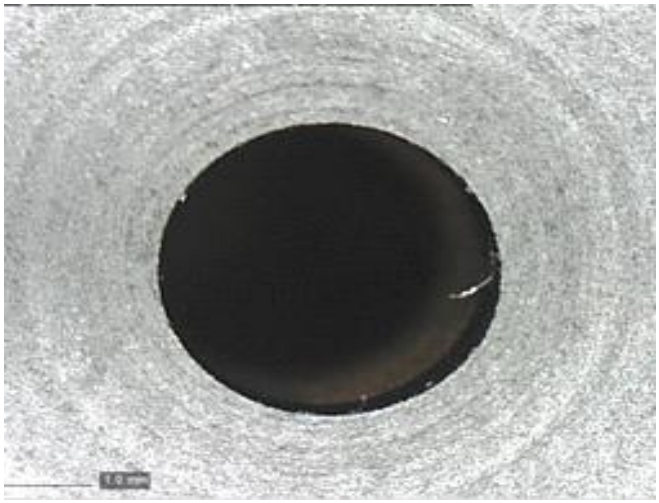


그림 3.4.91 정상 밸브 변 저면

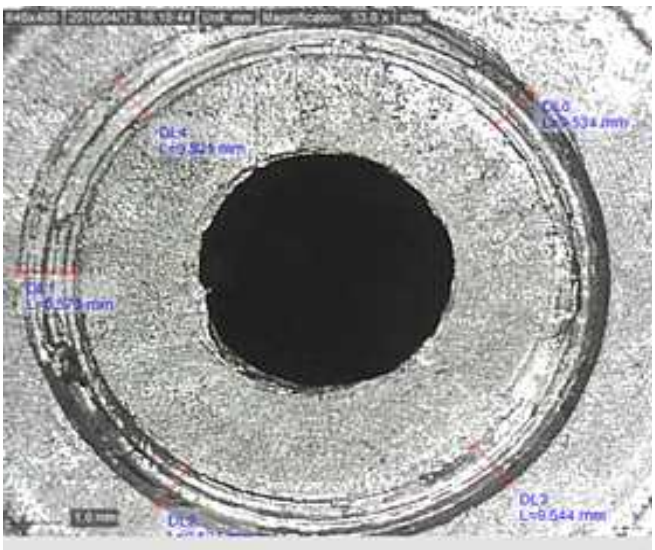


그림 3.4.92 손상 밸브 변 저면

서울도시철도공사로부터 다량의 밸브 변을 제공받았으며 실제 산업현장에는 고장이 나서 버리는 경우보다는 일정 교체주기가 되어 폐기하는 경우가 더 빈번하게 일어나기 때문에 밸브 변의 끼인 정도를 주관적으로 파악하여 상/중/하의 단계로 구분을 하였다. 그림 3.4.91의 정상 밸브 변과 그림3.4.92의 손상 밸브 변을 비교해 보면 밸브 봉의 형태를 따라 찍히는 현상이 생기며, 이러한 여부를 모르는 상태에서 계속 운행할 시 공급전류 상태일 때 밸브 봉이 홈을 따라 끼이게 된다.

반복되는 밸브 봉의 운동으로 밸브 변에 찍히는 현상이 발생을 하게 되면 밸브 변의 홈과 밸브 봉 표면 사이에 순간적인 마찰력이 작용을 하게 된다. 공급 대기 상태에서 배기 상태로 바꿀 때 마찰력이 생기기 때문에 밸브 봉은 중력 방향으로, 밸브 변은 반중력 방향으로 힘을 받게 된다. 이 때 밸브 변에 작용하는 마찰력과

탄성력 사이의 힘 평형 관계를 이루는 과정 속에서 미세하게 떨리는 과정이 일어나게 된다. 이러한 떨림으로 밸브지지대와 밸브 변 사이의 여백 공간이 생기면서 누기가 발생한다.

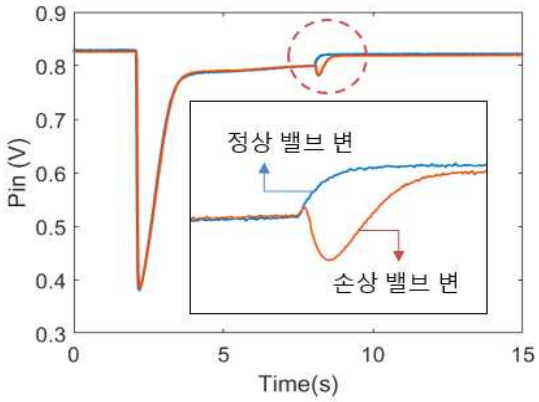


그림 3.4.93 고장 밸브 입력 압력 신호

그림 3.4.93에 첫 번째 사이클에서의 고장 밸브의 입력 압력에 대한 실험 결과를 나타냈으며 실험결과로 손상 밸브 변은 배기 상태로 진입할 때 정상 밸브 변에 비해 순간적으로 입력 압력이 떨어지는 것을 확인 할 수 있었다.

밸브 변 고무 손상의 건전성 인자 요소로 공급 시 입력 압력과 배기 시 감소하는 입력 압력으로 선정을 하였다. 그림 3.4.94에서 확인할 수 있듯 밸브 변의 고무 손상으로 인해 입력 압력의 값이 순간적으로 감소하는 모습을 보여주었기에 이 때 감소하는 입력 압력의 값을 하나의 건전성 인자 결정 요소로 선택하였다. 이에 대해 대비하는 값으로서 감소하기 직전의 압력을 기준으로 삼았다. 하지만 실험적인 경우 21번의 사이클로 진행이 되며 산업현장에 대해서는 각기 다른 밸브에 대해 고장진단을 적용하기 때문에 평균적인 개념을 도입하였다.

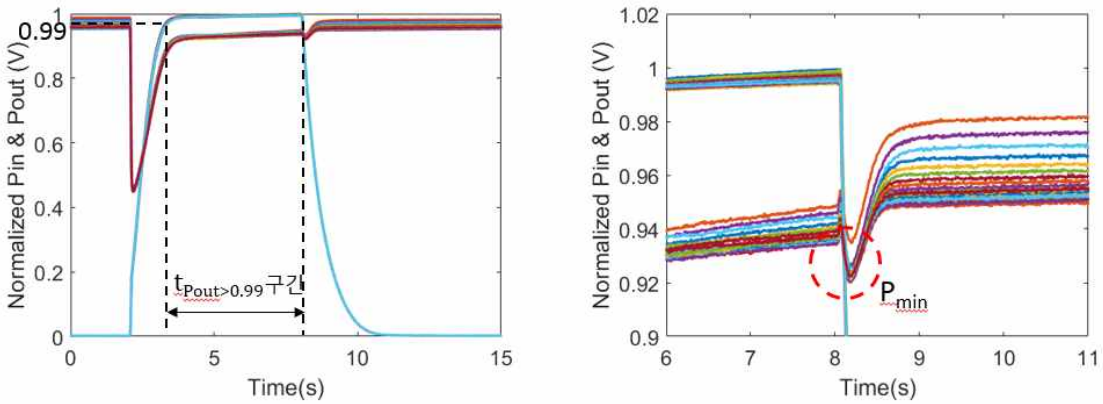


그림 3.4.94 정규화된 고장 밸브 입력/출력 압력 신호

전류를 인가했을 때, 밸브 봉의 거동에 따른 입력과 출력압력 결과를 정규화시켜

그림 3.4.95와 같이 표현을 하였다. 입력압력에서 초기의 압력이 넓은 분포로 가지고 있는 것으로 볼 수 있는데, 이것은 압력용기의 인가 압력과 관련이 있다. 200L 용량의 공기통은 공기 압축기와 연결이 되어 있으며, 공기 압축기가 실시간으로 작용하는 것이 아닌 일정 값 이하로 압력이 떨어졌을 때 재압축하여 다시 압력을 상승시키는 구조로 이루어져 있다. 따라서 사이클이 거듭될수록 공기가 유출이 되기 때문에 점진적으로 압력이 떨어지며 후에 압축기로 다시 공기압축도를 높인 후에 입력 압력이 재차 증가한다.

밸브변의 손상 여부와 무관하게 출력 압력은 일정한 값의 개형을 보여 주기 때문에 이때의 시간을 기준으로 출력 압력을 선정하였다. 정규화된 출력압력이 0.99 이상의 값에 해당하는 기간에서의 입력 압력들의 평균과 배기 상태에서의 입력 압력의 최소값을 최종 건전성 인자 결정 요소로 선정하였고 각각에 대해 다음과 같이 정의하였다.

tPout>0.99: 정규화된 출력 압력이 0.99이상의 값을 가지는 구간

P0.99: tPout>0.99에서의 입력 압력의 평균값

Pmin: 배기 상태에서의 최소 압력

이러한 요소들을 바탕으로 Pmin과 P0.99를 데시벨 형식으로 표현한 10log(Pmin/P0.99)을 밸브 변 고무 손상 건전성 인자로 선정하였다.

그림 3.4.95에서 보여지듯 정상 밸브 변은 Pmin이 P0.99의 값보다 작은 값을 가지는 반면, 손상 밸브 변은 Pmin이 P0.99보다 큰 값을 가진다. 이러한 결과를 토대로 건전성 인자가 양수이면 정상 밸브 변, 음수이면 손상 밸브 변으로 판별이 가능하다. 알고리즘 형식으로 표기하면 다음의 그림 3.4.96이며 이 알고리즘을 적용하여 실제 실험한 데이터를 기반으로 고장 밸브 변과 손상 밸브 변을 판별하면 그림 3.4.96과 같은 결과를 얻을 수 있다.

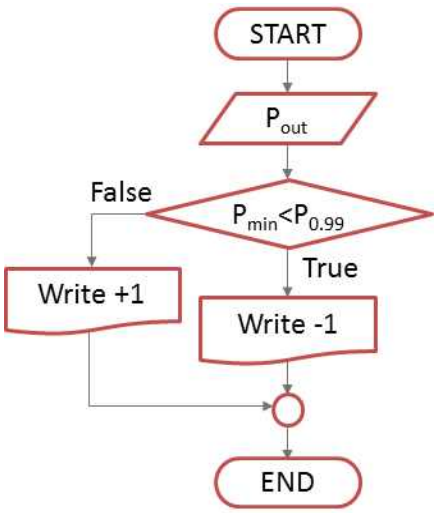


그림 3.4.95 알고리즘 순서도

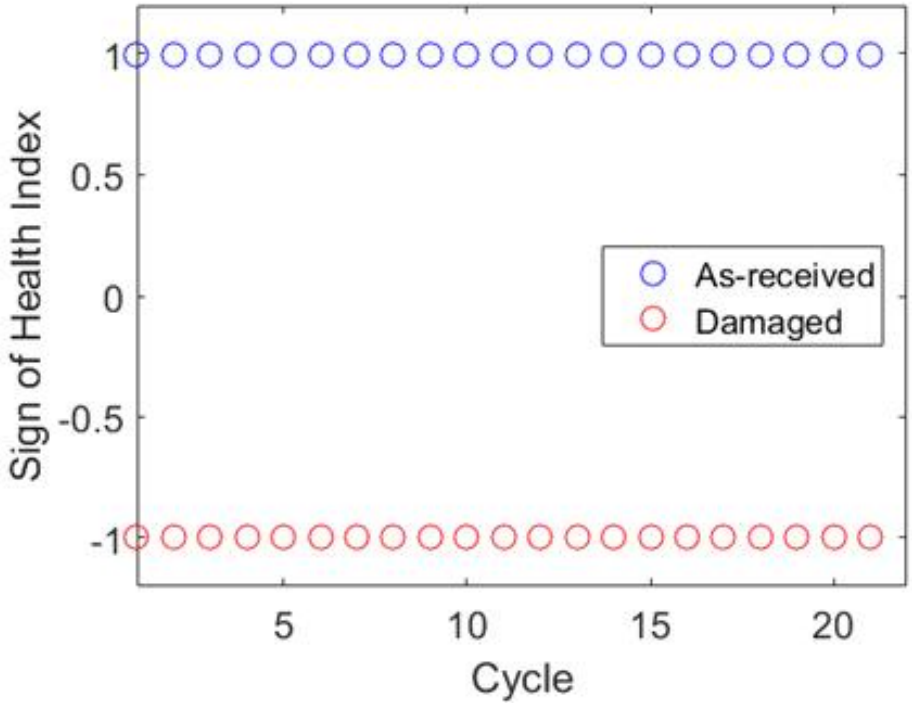


그림 3.4.96 고무 손상 판별

서울도시철도공사로부터 받은 밸브 변 건전성 인자를 이용하여 그림 3.4.96과 같이 고무 손상 판별 여부를 확인하였다. 실험 결과 모든 사이클에 대해서 확연하게 정상 밸브 변과 고장 밸브 변을 구별할 수 있는 것으로 신뢰성 높은 건전성 데이터로 이용할 수 있을 것이다.

(라) 다양한 온습도 환경에서 개발한 고장진단법 유효성 검증

① 테스트베드 환경 구축

주위 운행 환경에 따라 솔레노이드 밸브의 전류값이나 압력값이 변할 수 있기 때문에 운행 환경(온도)이 미치는 영향에 대해서 연구하였다. 주위 운행 환경의 기준을 찾기 위해 국내 및 국외 표준을 조사하였고 철도의 운행환경과 밸브의 시험 방법에 대한 표준을 바탕으로 연구를 진행하였다. 참고한 국제 표준은 IEC 62498-1으로 철도 차량의 운행 환경에 관한 내용이다. 그리고 철도차량 내부 부품의 시험 방법에 대한 국내 표준 KS R9156을 기준으로 실험을 진행하였다.

표 3.4.6 Railway applications- Environmental conditions for equipment

Classes (Typical application area)	(1) Air temperature external to vehicle °C		(2) Inside vehicle compartment temperature °C		(3) Inside cubicle temperature °C	
T1 (ex. middle Europe)	−25	+40	−25	+50	−25	+70
T2 (ex. northern Europe)	−40	+35	−40	+45	−40	+65
T3 (ex. southern Europe)	−25	+45	−25	+55	−25	+70
T4 (mild climate area in mid-latitude)	−10	+40	−10	+50	−10	+70
T5 (tropical area except desert)	+5	+45	+5	+55	+5	+70
T6 (tropical area in desert)	−20	+55	−20	+65	−20	+75
TX	−40	+50	−40	+60	−40	+75

표 3.4.7 철도차량용 전자기기의 시험 통칙

단위:℃

시험 등급		저온 시험		고온 시험 및 고온 고습 시험		온도 사이클 시험
		동작 보증 온도	성능 보증 온도	동작 보증 온도	성능 보증 온도	보존 온도
제1종	A종	0	5	55	40	-10~70
	B종	-10	-10			
	C종			60	55	
제2종	A종	-20	5	55	40	-25~70
	B종		-10			
	C종			60	55	

■ 비고1 제1종은 전자 기기 보존 온도의 최저값이 -10 ℃에 적용, 제2종은 -25 ℃에 적용

■ 비고2 A종 : 실내 기기 , B종 : 실외 기기 , C종 : 다른 장치 내에 수납되는 실외 기기

■ 비고3 동작 보증 온도: 전자 기기의 동작을 보증할 수 있는 주위 온도.

■ 비고4 성능 보증 온도: 전자 기기의 성능을 보증할 수 있는 주위 온도

■ 비고5 보존 온도 : 무통전 상태에서 전자 기기를 보존할 수 있는 주위 온도의 허용 범위

② 실험 조건 및 방법

솔레노이드 밸브의 진단에 온도가 미치는 영향을 알아보기 위해 표 3.4.6과 같은 방법으로 실험을 진행하였다. 상온, 저온, 고온 그리고 온도사이클의 순서로 실험을 진행하였다. 표3.4.6의 T4 class를 고려하여 솔레노이드 밸브를 표3.4.7의 제1종 C종으로 분류하였다. 실험 시편은 정상밸브 5개, 고장밸브 1개로 총 6개의 솔레노이드 밸브에 대해서 실험을 하였다. 각각의 온도 조건에 대해서 총 70사이클 반복 실험을 진행하였다.

표 3.4.8 실험 종류 및 방법

종류	방법
저온 시험	무통전 상태에서 주위 온도를 상온으로부터 표 2에 규정하는 동작 보증 온도의 최저값까지 서서히 저하시켜 이 온도의 ±3℃범위로 유지시켜, 각 부의 온도가 평형이 된 후 통전하여 1시간 지속한다. 다음에 이 시험을 무통전 상태로 하여 주위 온도를 표1에 규정하는 성능 보증 온도의 최저값까지 서서히 상승시켜 이 온도의 ±3℃ 범위로 유지시켜 각 부의 온도가 평형이 된 후, 신속하게 1에 규정하는 성능 시험을 한다.
고온 시험	통전 상태에서 주위 온도를 상온으로부터 표2에 규정하는 동작 보증 온도의 최고값까지 서서히 상승시켜, 이 온도의 ±3℃ 범위로 유지시켜 1시간 지속한다. 다음에 주위 온도를 표1에 규정하는 성능 보증 온도의 최고값까지 서서히 하강시켜 이 온도의 ±3℃ 범위로 유지시켜 1시간 지속하고, 그 후 신속하게 1에 규정하는 성능 시험을 한다.
온도사이클 시험	무통전 상태에서 주위 온도를 표2에 규정하는 보존 온도의 최고값으로 0.5시간 이상 유지하고, 다음에 최저값으로 0.5시간 이상 유지한다. 이것을 5사이클 반복한다. 그 후, 상온으로 되돌려 신속하게 1에 규정하는 성능 시험을 한다.

③ 실험 결과

각각의 실험조건에서 솔레노이드 밸브를 구동시켰을 때 세가지 고장모드의 건전성 인자 중에 전류 값만 온도의 영향을 받는 것을 확인하였고 전류에 대한 온도의 영향에 대해 분석을 수행하였다.

㉮ 상온 실험 결과

솔레노이드 밸브 코일의 열화 소손 발생시 코일 내의 국부적인 합선으로 저항이 감소하는 현상이 발생한다. 그림 3.4.97을 보면 열화 소손된 솔레노이드 밸브의 전류값이 정상 밸브보다 높게 나타남을 알 수 있다. 또한 사이클이 반복됨에 따라 코일의 온도가 상승하여 전류값이 감소하게 된다. 그림 3.4.98을 보면 온도와 전류는 선형적인 관계를 가지고 있고 그림 3.4.99 처럼 온도에 따라 감소하는 전류를 보정하면 고장 밸브와 정상 밸브의 전류값 차이가 확연함을 볼 수 있다.

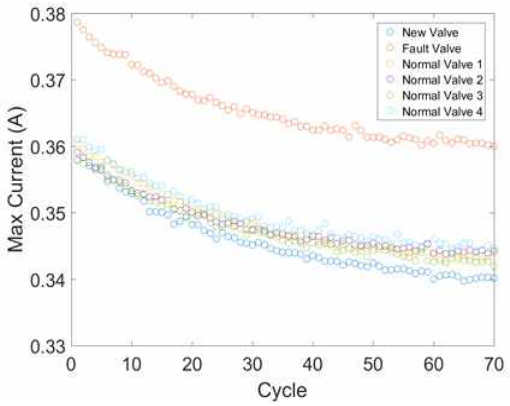


그림 3.4.97 사이클 별 Max 전류값

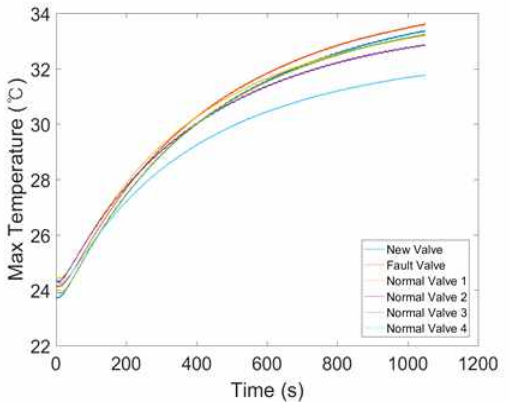


그림 3.4.98 솔레노이드 코일 온도

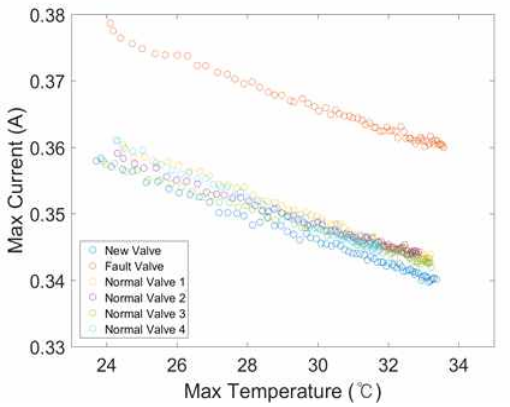


그림 3.4.99 전류와 온도의 관계

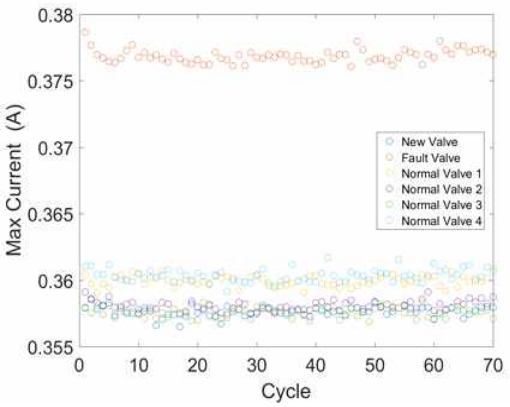


그림 3.4.100 보정 후 Max 전류값

㉯ 저온 실험 결과

그림 3.4.101을 보면 저온 상태에서 전류값이 상온보다 더 높은 현상이 나타난다. 이는 온도가 낮아지면 저항 값이 감소하기 때문에 전류값이 상온보다 증가한 것이다. 상온 실험과 마찬가지로 고장밸브의 코일 소손으로 인해 저항값이 감소하고 인가되는 전류값이 증가됨을 알 수 있다. 또한 사이클이 증가할수록 코일의 온도가 상승하여 전류값이 점점 감소함을 볼 수 있다. 그림 3.4.102에서 저온에서도 전류값과 온도는 선형적인 관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 그림 3.4.103에서 볼 수 있듯이 전류값을 보정하면 고장밸브와 정상밸브의 명확히 구분 가능하다.

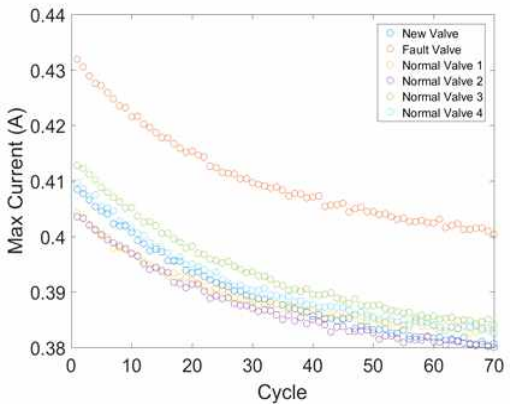


그림 3.4.101 사이클 별 Max 전류값

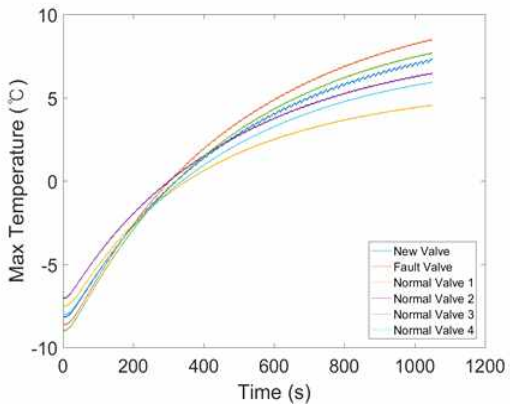


그림 3.4.102 솔레노이드 코일 온도

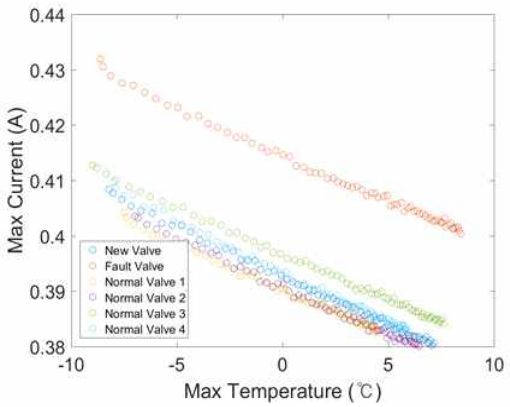


그림 3.4.103 전류와 온도의 관계

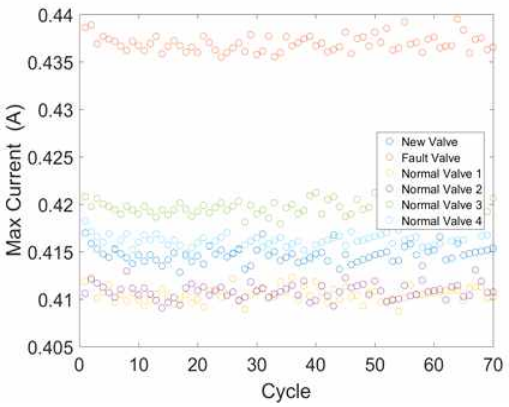


그림 3.4.104 보정 후 Max 전류값

㉰ 고온 실험 결과

그림 3.4.105에서 고온 상태에서 전류값이 상온과 저온보다 더 낮음을 알 수 있다. 이는 온도가 높아져 저항 값이 증가하기 때문에 전류값이 증가한 것이다. 상온, 저온 결과와 마찬가지로 고장밸브에 더 높은 전류가 인가되고 사이클이 증가할수록 코일의 온도가 상승하여 전류값이 감소함을 알 수 있다. 그림 3.4.106을 보면 고온에서도 전류값과 온도는 선형적인 관계를 가지고 있음을 알 수 있고 그림 3.4.107을 보면 온도에 따른 전류값 보정을 통해 고장밸브와 정상밸브의 구분이 명확함을 볼 수 있다.

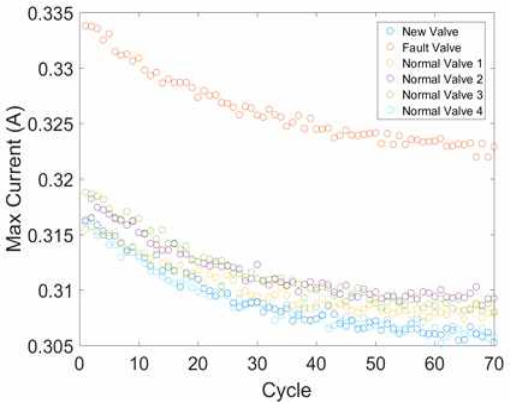


그림 3.4.105 사이클 별 Max 전류값

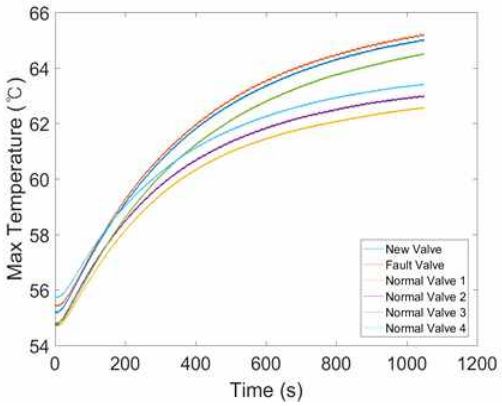


그림 3.4.106 솔레노이드 코일 온도

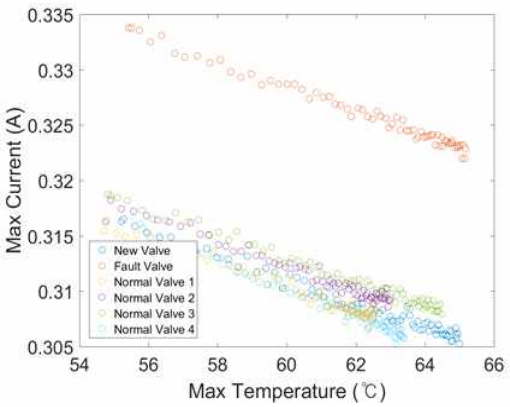


그림 3.4.107 전류와 온도의 관계

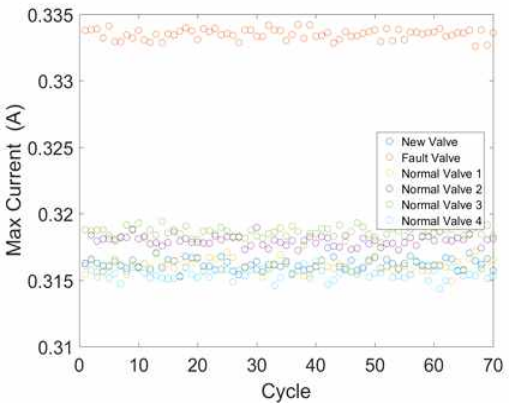


그림 3.4.108 보정 후 Max 전류값

㉮ 온도 사이클 실험

다른 실험과 마찬가지로 온도사이클 실험에서도 고장밸브에 더 높은 전류가 인가되고 싸이클이 반복됨에 따라 전류값이 감소한다. 그림 3.4.112에서 볼 수 있듯이 온도에 따른 전류값 보정을 통해 고장밸브와 정상밸브의 명확한 구분이 가능함을 알 수 있다.

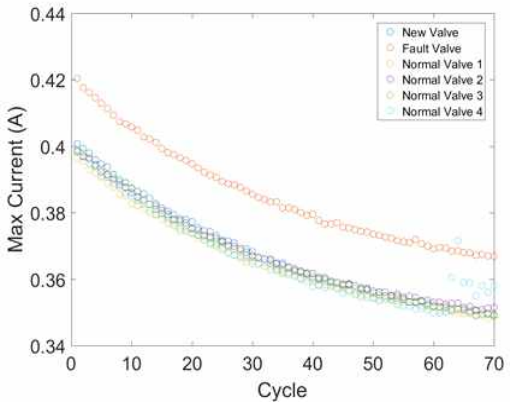


그림 3.4.109 사이클 별 Max 전류값

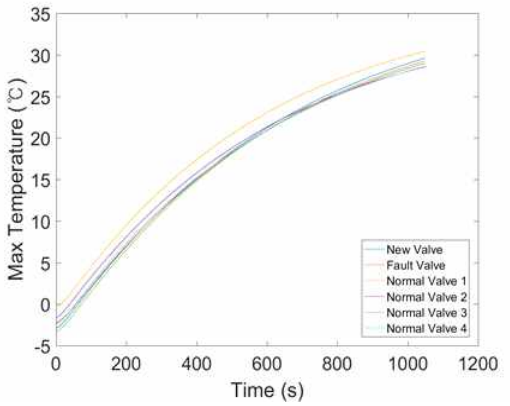


그림 3.4.110 솔레노이드 코일 온도

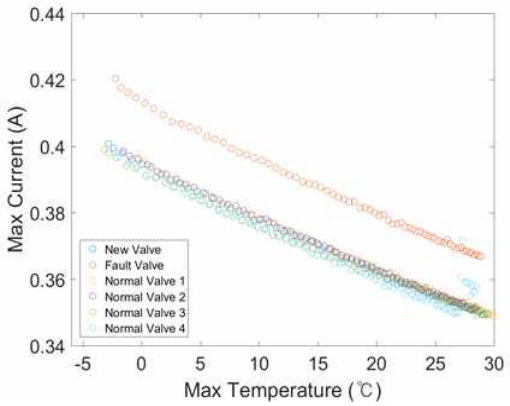


그림 3.4.111 전류와 온도의 관계

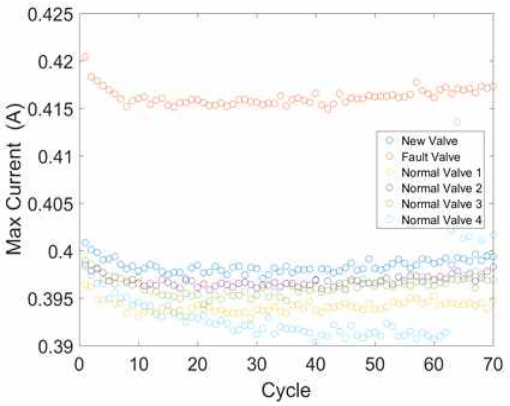
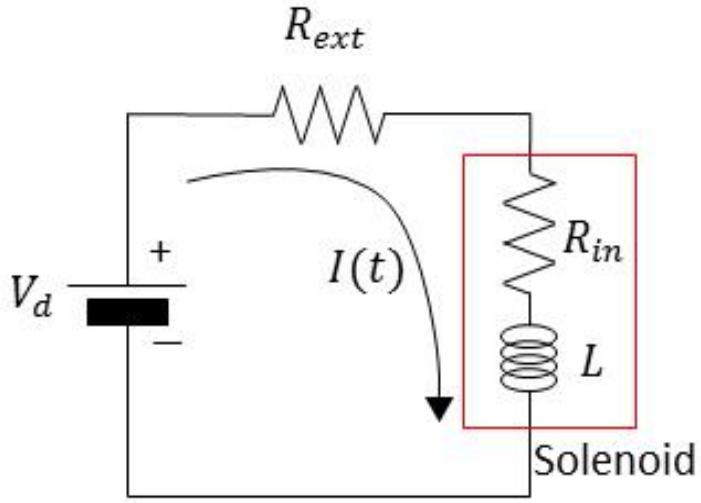


그림 3.4.112 보정 후 Max 전류값

④ 주위 환경(온도)에 무관한 회귀 모델 개발

특정 온도 조건에서 부분적인 전류값 보정을 통해 고장밸브와 정상밸브의 구분이 가능함을 보였지만 임의의 온도에서도 적용이 가능함을 보일 필요성이 있다. 따라서 획득한 실험 데이터를 바탕으로 회귀분석을 통해 온도에 무관한 고장진단이 가능함을 보이고자 하였다. 앞서 개발한 솔레노이드 밸브 회로도 및 전류 - 온도 관계식을 이용하여 물리적인 근거를 갖춘 회귀 분석을 진행하였다.



<솔레노이드 회로도>

그림 3.4.113 솔레노이드 회로도

유도된 식에서 알 수 있듯이 솔레노이드 밸브 코일의 전류에 대한 식은 분수함수 꼴로 나타낼 수 있다. 이론적인 수식을 확인하기 위해 1차 함수, 1차 분수함수, 지수함수, 총 세가지 함수 꼴에 대해서 회귀 분석을 진행하였다. 주어진 실험 데이터를 세가지 모델로 회귀 분석한 결과는 표 3.4.9와 같다. 세가지 경우 모두 알스퀘어 값이나 RMS 값의 차이가 거의 없으나 이론적인 근거를 바탕으로 분수함수로 함수를 선정하였다.

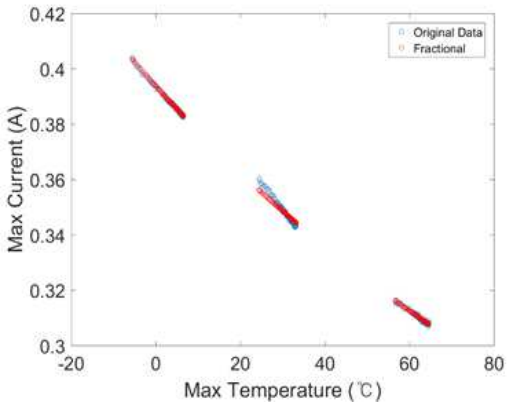


그림 3.4.114 1차 분수 함수

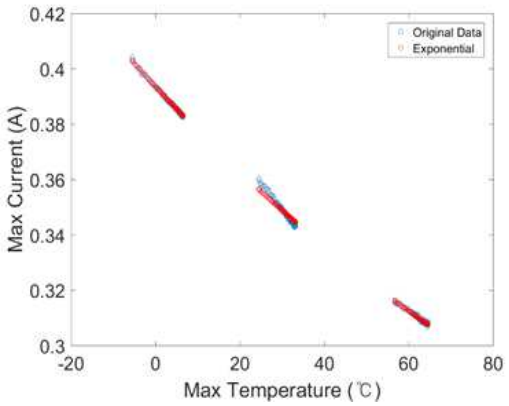


그림 3.4.115 지수 함수

표 3.4.9 함수별 통계값 비교

	1차 선형 곡선	1차 분수 함수 곡선	지수 함수 곡선
함수 형태	$y = -0.001328x + 0.3914$	$y = -0.006644 + \frac{37.31}{101.2(1 + 0.0039(x - 20.32))}$	$y = 0.1741e^{-0.006792x+0.3303} + 0.1513$
R^2	0.9953	0.9991	0.9991
RMS	1.0e-3	2.2e-4	9.7e-4
SSE	1.0e-3	1.9e-4	2.0e-4

그림 3.4.116은 저온상태에서 실험한 결과값을 회귀 모델을 바탕으로 온도에 따른 전류값을 보정한 결과이다. 그림 3.4.117은 상온상태에서 실험한 결과를 보정한 결과, 그림 3.4.118은 고온상태에서 실험한 결과를 보정한 결과이다. 회귀 모델을 바탕으로 한 전류값 보정을 통해 운행 환경(온도)에 무관하게 정상밸브와 고장밸브를 판단할 수 있음을 알 수 있다. 실제 철도차량에 적용하기 위하여 솔레노이드 밸브에 온도 센서를 어떻게 부착할 것인가에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 생각된다.

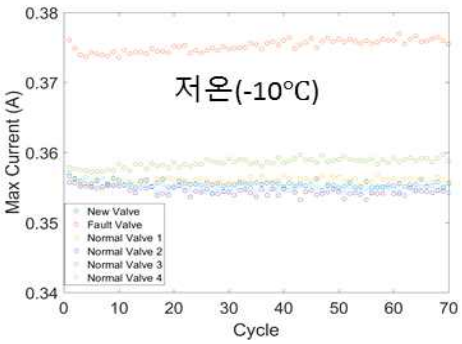


그림 3.4.116 회귀 모델을 통한 보정(저온값)

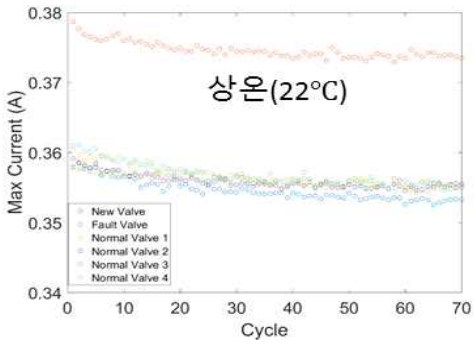


그림 3.4.117 회귀 모델을 통한 보정(상온값)

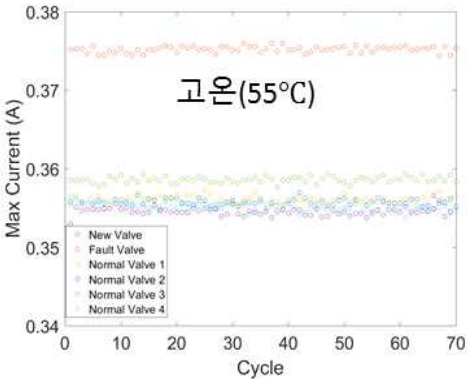


그림 3.4.118 회귀 모델을 통한 보정(고온값)

(마)솔레노이드 밸브 CBM모델 제안

도시철도차량 제동장치는 고객의 안전과 직결되는 장치이므로 신뢰성 확보가 최우선으로 대두되어야 한다. 본 연구에서는, 서울도시철도공사 차량 제동장치의 부품 중 최다 고장 빈도를 차지하는 솔레노이드 밸브를 대상으로 진행하였다. 산업현장에서 쓰이는 제동장치를 모사하는 테스트베드를 구축하며, 실시간으로 모니터링하고자 입력 압력, 출력 압력 그리고 전류 신호를 분석하였다.

솔레노이드 코일의 소손의 경우 입력 전류 신호를 기반으로 고장진단을 하였다. 코일이 소손이 되면 저항값과 인덕턴스의 값이 모두 감소하기에 인가하는 전류의 값이 정상 코일에 비해 증가한다. 이러한 물리적인 배경을 바탕으로 최대 공급 전류를 건전성 인자로 선정하여 대소 비교를 통해 제동장치의 상태 진단이 가능할 수 있음을 파악하였다.

밸브 변 이물질 적재의 경우 출력 압력 신호를 기반으로 고장진단을 하였다. 정량적으로 이물질 두께를 제어함으로써 이물질 두께 증가에 따라 누기로 인한 출력 압력이 감소의 정도를 시그모이달 회귀분석을 따라 회귀모델로 개발하였다. 회귀모델을 통해 압력 저하 정도에 따른 이물질 두께를 추정하여 실제 산업에서 고장을 유발하지 않는 허용치를 바탕으로 이물질 적재에 대한 상태 진단이 가능함을 파악하였다. 밸브 변 고무 손상의 경우 입력 압력 신호를 기반으로 고장진단을 하였다. 밸브 봉과 밸브 사이의 마찰력으로 발생하는 밸브 변의 진동에 의한 누기로 입력 압력의 감소한다. 이 때 감소한 압력 값과 감소하기 전의 압력 값의 비교를 이용한 건전성 인자를 통해 정상과 비정상의 건전성 인자 부호가 반대임을 통해 밸브 변의 고무 손상 여부를 판별할 수 있다.

고장모드	솔레노이드 코일 소손	밸브 변 이물질 적재	밸브 변 고무 손상
모니터링 신호	입력 전류	출력 압력	입력 압력
건전성 인자	$HI_C = Max(I_S)$	$HI_D = Max(P_{out})$	$HI_S: 10log(P_{min}/P_{0.99})$
고장진단 방법	정상: $HI_C \le I_{SN}$ 고장: $HI_C > I_{SN}$ (I_{SN}: 정상 최대 공급 전류)	정상: $g_s^{-1}(HI_D) \le d_N$ 고장: $g_s^{-1}(HI_D) > d_N$ (d_N: 이물질 허용 두께)	정상: $sign(HI_S)=+1$ 고장: $sign(HI_S)=-1$

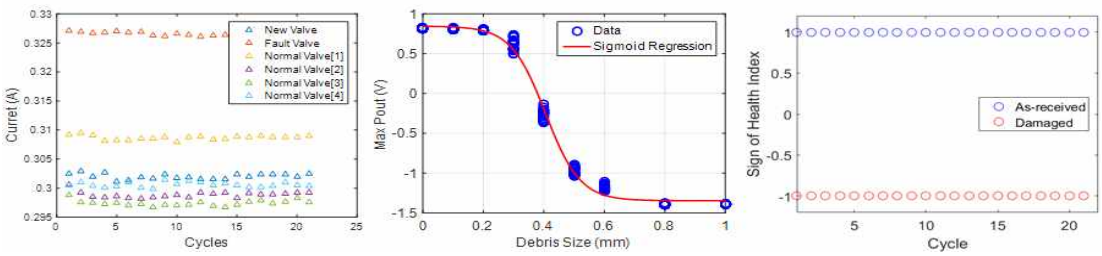


그림 3.4.119 솔레노이드 밸브 CBM 모델

(5) 견인전동기 CBM 모델

(가) 견인전동기 고장 모드

견인전동기 고장은 베어링, 권선, 회전자 바, 축, 커플링 순으로 고장발생빈도가 높게 나타나고 있다. 본 연구에서는 견인전동기의 기계적 거동에 큰 영향을 미치는 베어링과 회전자 바의 고장에 대한 고장진단 기법을 제시한다.

(나) 회전자 바 고장 CBM모델

① 고장 진단 알고리즘

회전자 바에 고장이 발생하면, 그림 3.4.120에 보이는 것처럼, 회전자에 흐르는 전류에 sf^s주파수 성분뿐만 아니라 $-sf^s$ 주파수를 갖는 역상분 전류가
나타나게 된다. 이때, 고정자 전류에 발생하는 주파수 성분은

$$f_m = f^s - sf^s = (1-s)f^s$$

여기서, f_m은 견인전동기 회전 주파수를 나타낸다. 또한, 역상분 전류와 견인전동기의 회전 주파수 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$f_m = f^s_{fault} - (-sf^s)$$

여기서, f^s_{fault}는 회전자 바 고장시 고정자 전류에 나타나는 전류 주파수 성분으로, 다음과 같이 $(1-2s)f^s$의 주파수를 갖는 성분이 포함된다.

$$\begin{aligned} f^s_{fault} &= f_m - sf^s \\ &= (1-s)f^s - sf^s = (1-2s)f^s \end{aligned}$$

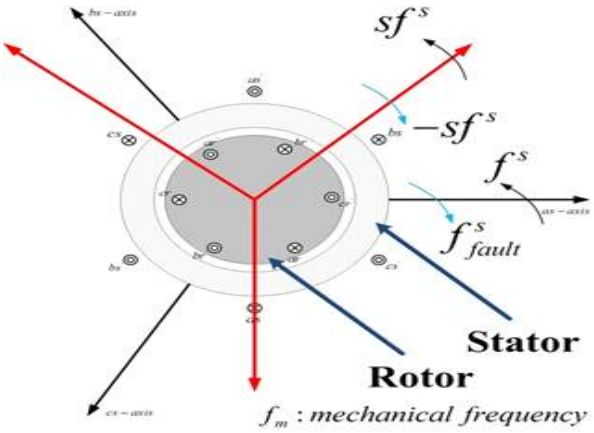


그림 3.4.120 고장시 견인전동기 전류

② 회전자 바 고장 개수 추정

고장시 회전자 저항은 다음 식과 같으므로

$$R_{r,faulty} = \frac{(2N_s)^2}{(N/2-n)}\left(R_b + \frac{R_e/N}{2\sin^2\alpha/s}\right)$$

고정자 전류로부터 고장난 회전자 바의 수자를 다음과 같이 산출하였다.

$$n = \frac{I_{ns}}{I_{ps} - I_0}N$$

여기서, I_0 : 무부하 전류, I_{ns} : 역상분 고정자 전류,
I_{ps} : 정상분 고정자 전류

③ 고장진단 모델 검증

제안한 고장진단 모델에 대하여 Matlab을 이용한 시뮬레이션과 축소형 시뮬레이터를 이용하여 검증을 수행하였다. 그림 3.4.121, 3.4.122의 축소형 시뮬레이터에서, 회전자 바 3개 균열이 발생한 상태를 모의하여 시험한 결과 고정자 전류파형과 FFT 분석결과를 그림 3.4.123, 그림 3.4.124에 보인다. 분석 결과 역상분 성분이 있는 것을 확인할 수 있고, 다음과 같이 3개의 로터바가 균열이 발생했다고 산출되었다.

$$n = \frac{I_{ns}}{I_{ps} - I_o}N = \frac{0.15}{2.1-0.65} \cdot 28 = 2.897$$

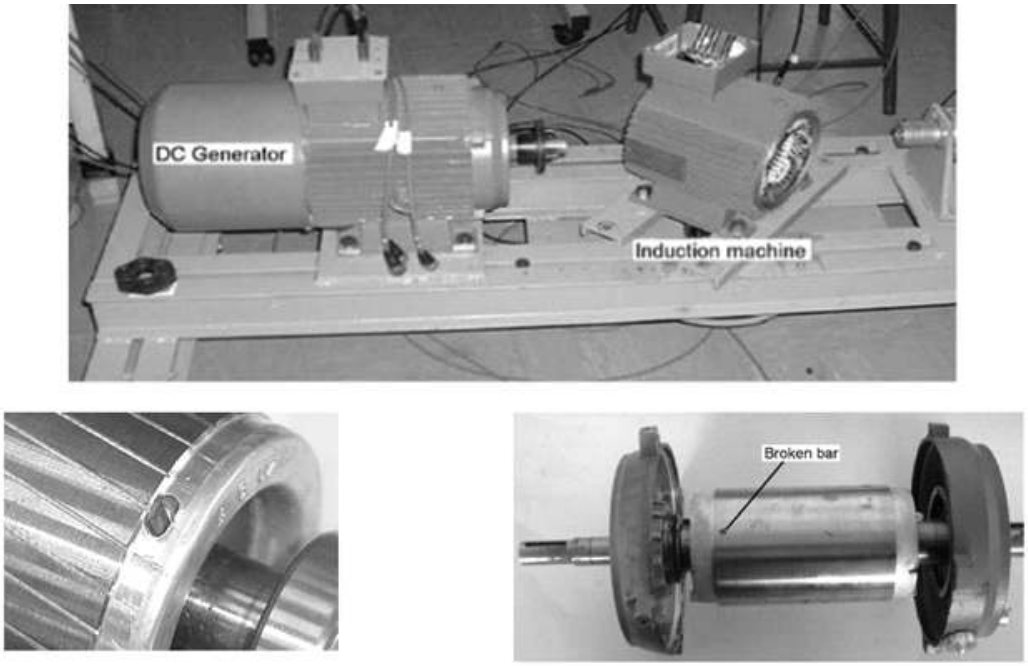


그림 3.4.121 견인전동기 회전자 바 고장 모의



그림 3.4.122 축소형 시뮬레이터

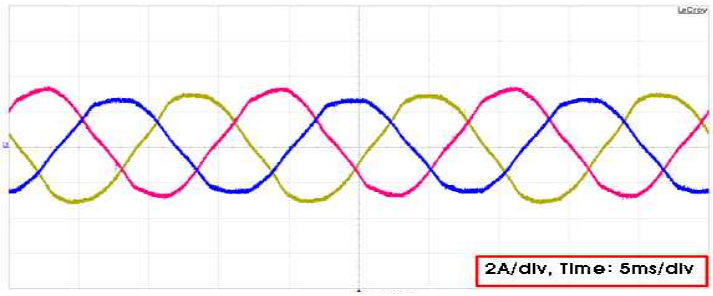


그림 3.4.123 고장시 고정자 전류파형 측정

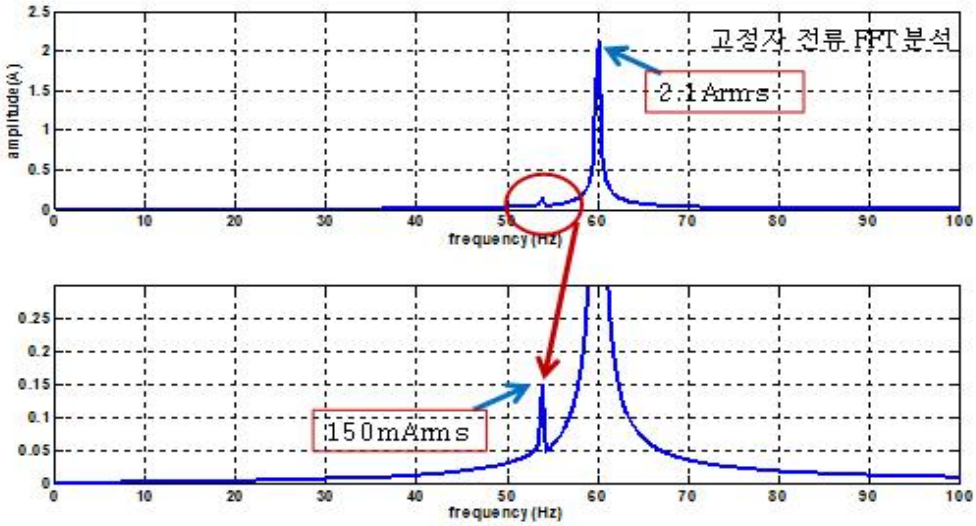


그림 3.4.124 고장시 고정자 전류 FFT 분석 결과

④ 현차 적용을 위한 측정 오차 감소 대책

견인전동기 고정자 전류 측정을 통한 회전자 바 고장진단은, 정상분 주파수 성분과 고장주파수 성분이 근접하여 고장주파수 성분을 분리 검출하기가 곤란하다는 문제점이 있다. 이에 따라, 인버터 입력 전류를 측정하여 회전자 바 고장을 진단하는 기법을 개발하였다.

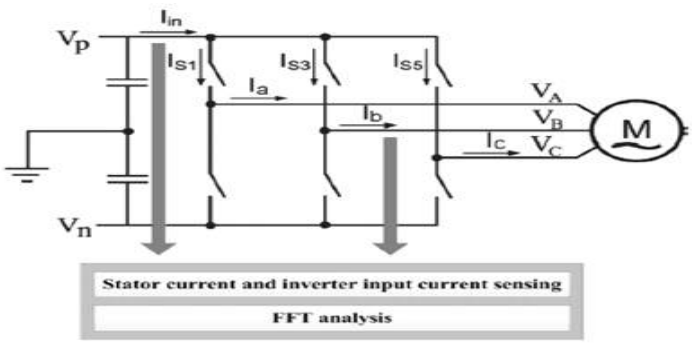


그림 3.4.125 인버터 입력전류

인버터 입력전류는 DC전류로써, 그림 3.4.126에 보이는 것처럼, 정상분 전류 주파수는 “0”, 고장성분 주파수는 $2(1-s)f_s$로 주파수가 변동되어 나타나므로 정상분과 고장성분 주파수 사이의 간격이 벌어져서 고장성분 주파수 검출이 용이하게 된다.

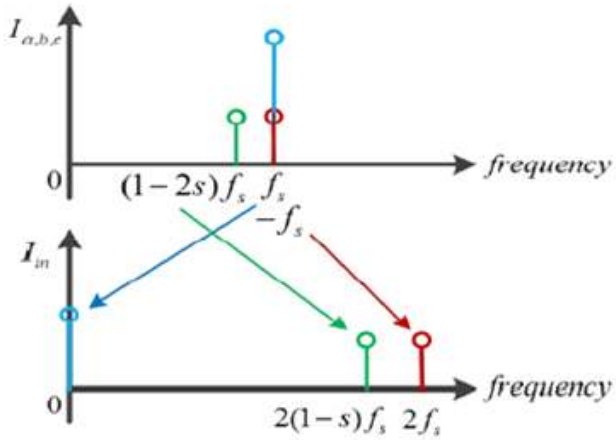
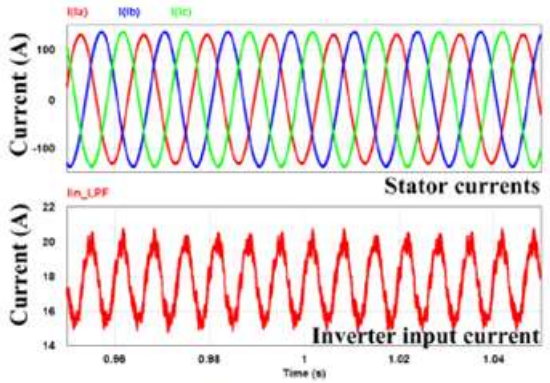
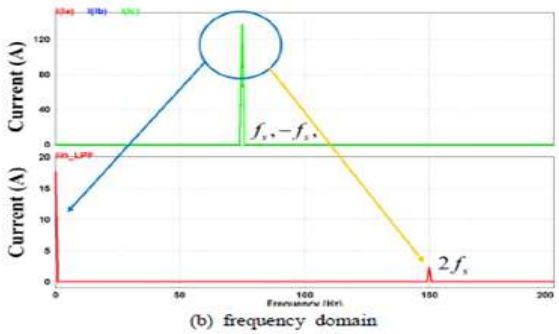


그림 3.4.126 인버터 입력전류에서의 고장 주파수성분

축소형 시뮬레이터에서 측정한 인버터 입력전류의 파형과 FFT분석결과를 그림 3.4.127에 보인다. 고장성분 주파수가 정상성분(DC성분)과 분리되어 용이하게 검출되는 것을 알 수 있다.



(a) time domain



(b) frequency domain

그림 3.4.127 회전자 바 고정시의 인버터 입력전류 측정

(다) 견인전동기 베어링 CBM모델

① 견인전동기 베어링 고장 모드

견인전동기는 기어장치에 연결되어 구동력을 전달하는 방향에 롤러베어링이 설치되며, 반대 방향에는 볼베어링이 설치되어 있는데, 주로 볼베어링이 파손되는 현상이 발생하고 있다.



그림 3.4.128 견인전동기 베어링

볼베어링의 구조는 다음 그림과 같으며, 주로 Outer raceway와 Inner raceway, Ball에서 고장이 발생하며, 결함의 종류는 작은 구멍, 패인 자국, 재질 결함 등이다.

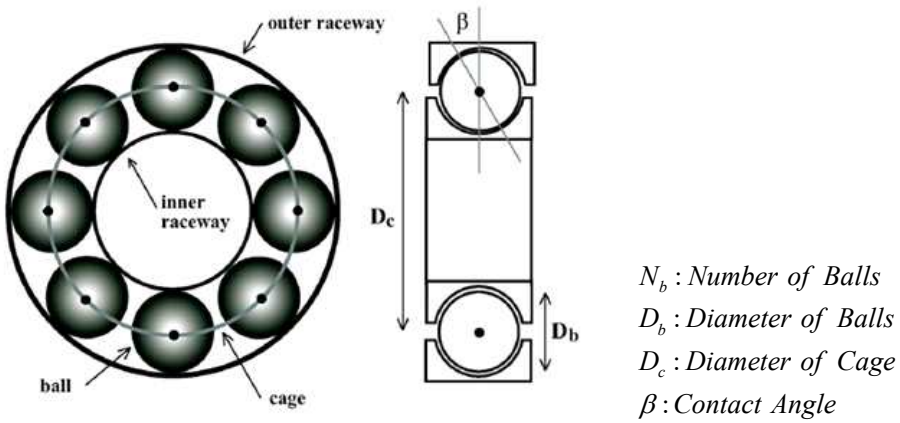
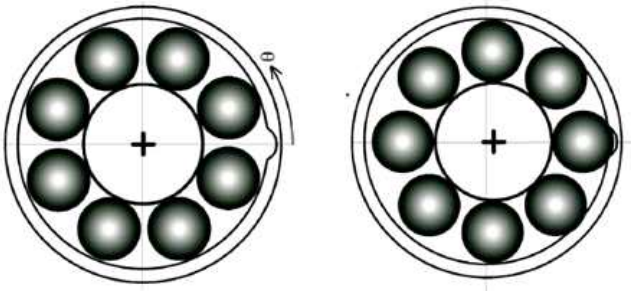


그림 3.4.129 베어링 구조

회전자가 축방향으로 움직임이 발생하며, 이에 따라 편심(eccentricity)이 발생한다. 이에 따라, 회전자에 기계적 특정주파수 성분이 발생한다.



(가)회전자 중심이 일치하는 경우 (나)회전자 중심이 이동한 경우

그림 3.4.130 결함이 있을 때의 회전자 움직임

회전자 고장에 의한 기계적 고장특성주파수는 결함 개소에 따라 다음과 같이 나타난다.

$$\textit{Outer racewa 결함} : f_o = \frac{N_b}{2} f_r (1 - \frac{D_b}{D_c} \cos\beta)$$

$$\textit{Inner raceway 결함} : f_i = \frac{N_b}{2} f_r (1 + \frac{D_b}{D_c} \cos\beta)$$

$$\textit{Ball 결함} : f_b = \frac{D_c}{D_b} f_r (1 - \frac{D_b^2}{D_c^2} \cos^2\beta)$$

여기서,

$f_r : Mechanical\ Rotor\ Frequency$ $D_b : Diameter\ of\ Balls$

$N_b : Number\ of\ Balls$ $D_c : Diameter\ of\ Cage$

회전자의 기계적 고장특성주파수로 인하여 공극의 회전자계에 주기적 변동이 발생하면, 전동기의 인덕턴스가 변동하게 되어, 고정자 전류에 다음과 같은 특성주파수 성분이 발생한다.

$$f_{bf} = |f_s \pm k f_c|$$

여기서,

f_s : 고정자 공급주파수

f_c : 고장특성주파수(f_o, f_i, f_b)

$k = 1, 2, 3, ...$

이상으로부터, 견인전동기 베어링의 고장진단에도 MCSA기법을 도입하여 고정자 전류를 측정하고, FFT분석을 통해 특정주파수성분을 검출하여 고장을 진단한다.

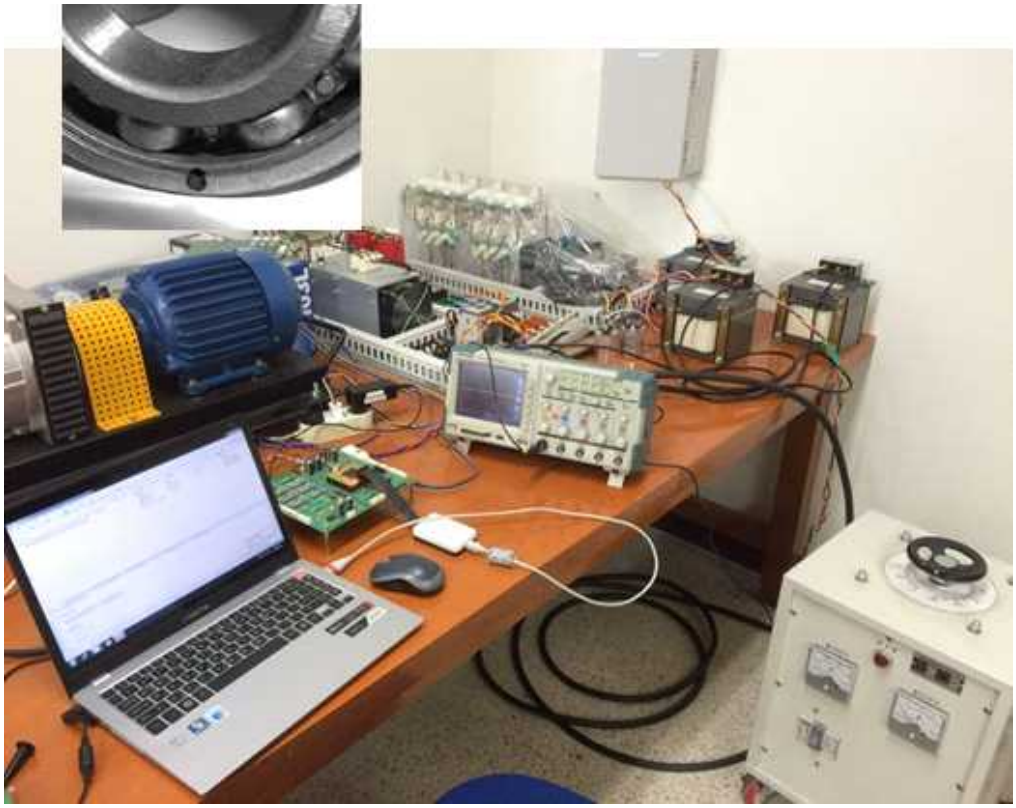


그림 3.4.131 축소형 시뮬레이터에 의한 베어링 진단 모델 검증

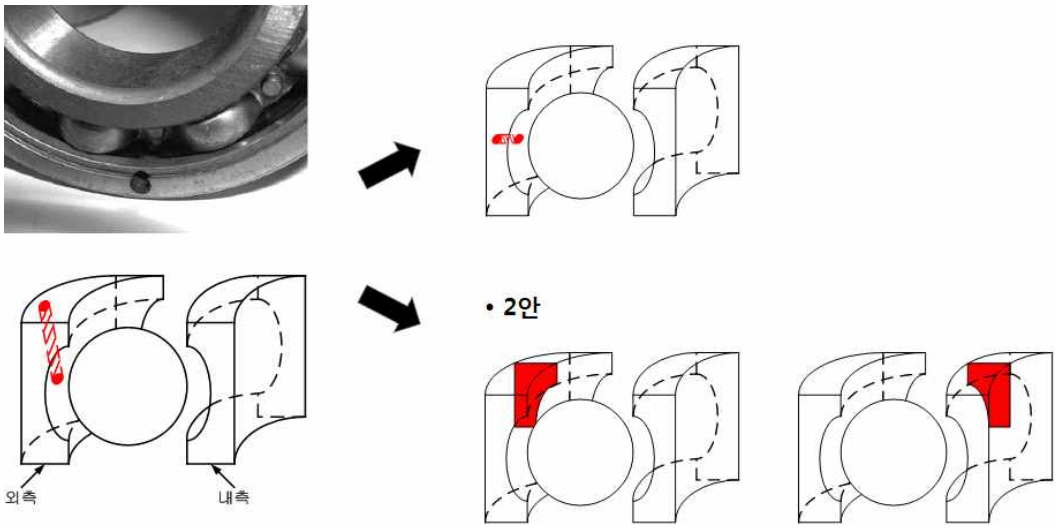


그림 3.4.132 베어링 결함 모의

(라) 견인전동기 CBM 모델

① precursor 파라메터

견인전동기 CBM모델의 precursor파라메터는 견인전동기 입력전류에 포함된 고조파 성분으로서, 운전 중인 견인전동기의 전류 신호를 간단하게 측정하여 견인전동기 고장 상태를 진단하는 MCSA(motor current signature analysis) 기법을 적용한다. MCSA기법에서는 전류 신호의 주파수 스펙트럼 분석을 통해 고장 주파수의 진폭 크기를 비교하여 견인전동기의 각종 고장을 진단한다.

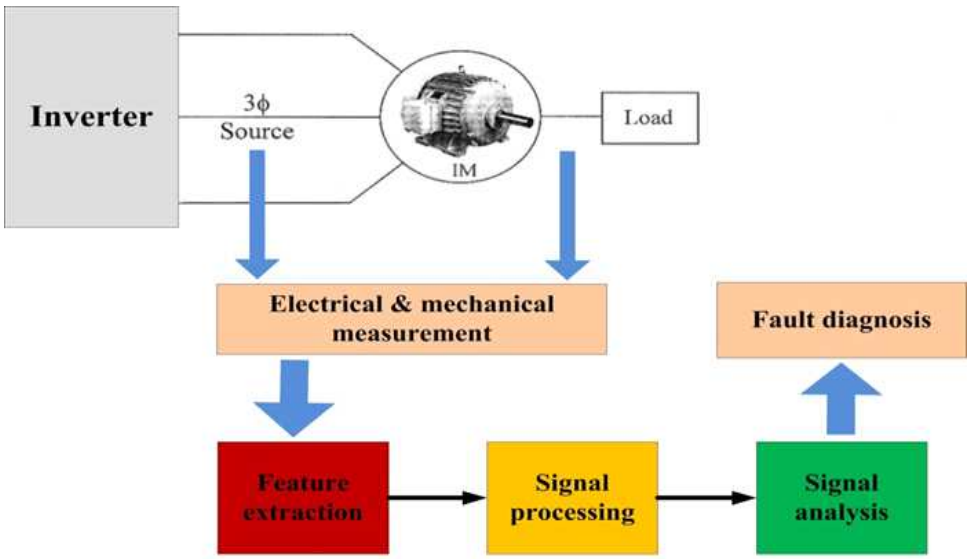


그림 3.4.133 MCSA기법에 의한 견인전동기 고장진단

② 고장 판별기준치

견인전동기 회전자 바의 CBM 적용을 위한 고장 판별기준은 견인전동기 입력전류 측정치로부터 다음 식을 적용한다. 즉, 회전자 바 개수를 n 이라 하면,

$$n = \frac{I_{ns}}{I_{ps} - I_0} N$$

여기서, I_0 : 무부하 전류,

I_{ps} : 정상분 고정자 전류로서, 주파수 성분 $(1-s)f^s$ 전류치

I_{ns} : 역상분 고정자 전류로서,회전자 바 고장시 발생하는 주파수 $(1-2s)f^s$ 의 전류치

f^s : 회전자 슬립 주파수

예) 정상분 고정자 전류가 2.1[A], 역상분 전류가 0.15[A], 부무하전류가 0.65[A]일 때, 고장난 회전자 바 개수는 3개가 된다.

$$n = \frac{I_{ns}}{I_{ps} - I_o} N = \frac{0.15}{2.1 - 0.65} \cdot 28 = 2.897$$

견인전동기 베어링의 CBM 적용을 위한 베어링 외함(outer raceway) 고장 판별 기준은 견인전동기 입력전류 측정치로부터 다음 식을 적용한다.

$$20\log_{10}(I_{f_s}) - 20\log_{10}(I_{f_0}) < 20[dB]$$

여기서, I_{f_s} : 고정자 공급 주파수 전류치

I_{f_0} : 고장특성주파수 전류치

$$f_0 = f_s - N_b f_r (1 - \frac{D_b}{D_c}\cos\beta)$$

여기서, f_r : 기계적인 회전 주파수

N_b : 볼 개수

D_b : 볼 직경

D_c : 베어링 케이지(cage) 직경

(마) 현차 시험 분석결과

도시철도 7호선 전동차에 견인전동기 전류 측정센서 및 데이터 수집장치(DAQ)를 설치하고 전동차를 운행하면서 전류를 측정하였다.

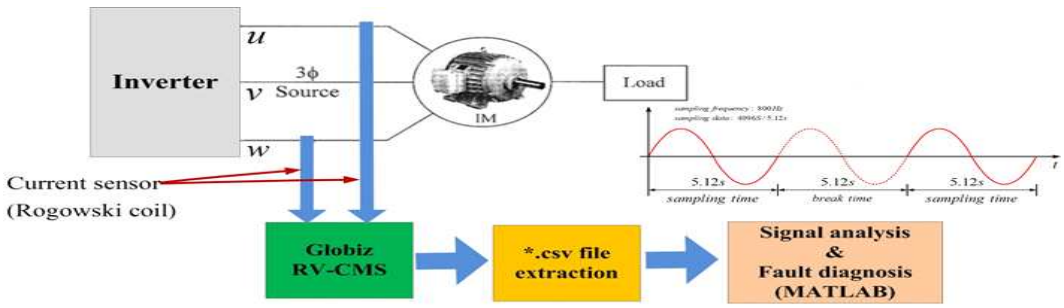


그림 3.4.134 현차시험 수행 절차

열차를 정상적으로 영업운행하면서 3개월 동안 전류를 측정하고 FFT분석을 수행한 결과, 정토크 구간 및 정전력 구간 아디에서도 고장특성주파수의 역상분 전류는 검출되지 않았다.

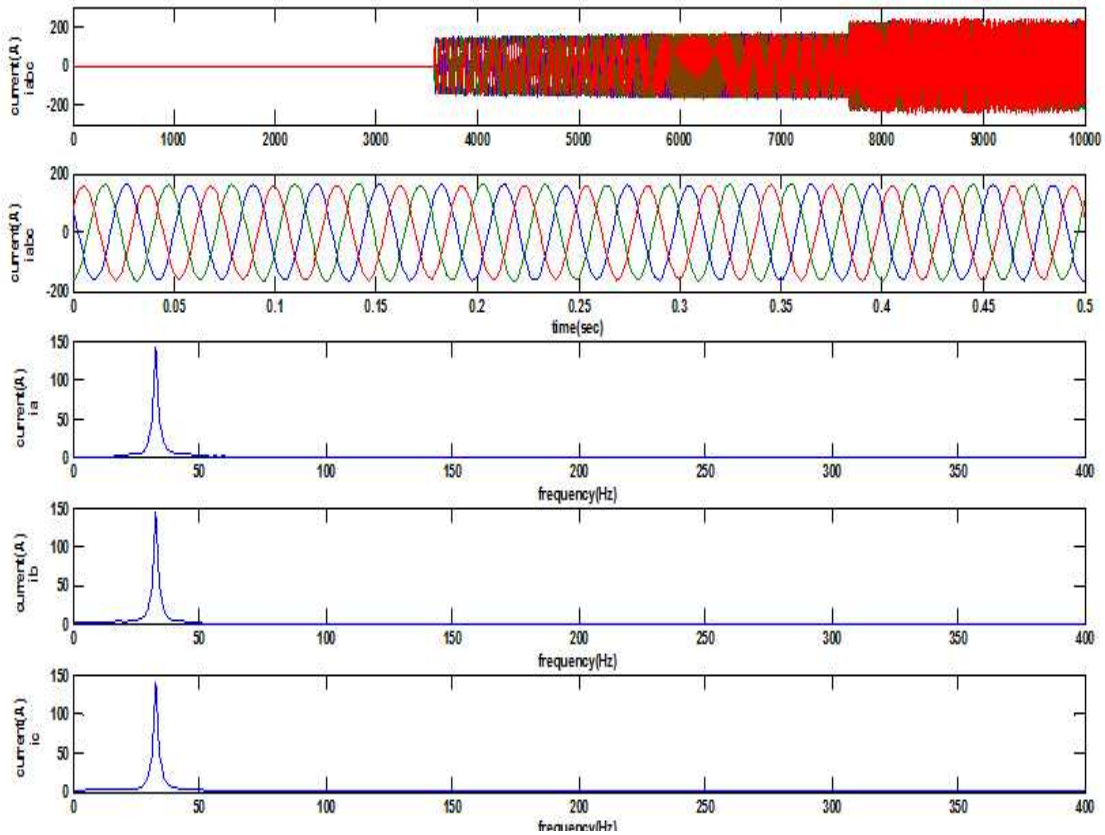


그림 3.4.135 현차시험 측정결과

(바) 견인전동기 CBM모델 제안

① precursor 파라메터 측정

견인전동기 회전자 고장진단을 위한 precursor 파라메터는 전동기 고정자 전류의 정상분(I_{ps}), 역상분(I_{ns}) 및 무부하전류(I_0), 회전자 바의 개수(N)로부터 산출되는 다음 지수를 적용한다.

$$n = \frac{I_{ns}}{I_{ps} - I_0} N$$

견인전동기 전류 측정 방법은, 그림 3.4.136, 3.4.137에 보이는 것처럼, 오픈형 로

고스키 코일을 이용하여 전선을 절단하지 않고 전류를 측정하는 방식을 적용한다. 열차 운행중에 로고스키 코일을 통해 실시간으로 측정된 데이터는 데이터 수집장치로 전송하여 데이터베이스를 구축하고, 마이크로프로세서 장치를 이용하여 신호처리 등의 과정을 거쳐 제안한 고장진단 알고리즘을 적용하여 고장을 진단한다.



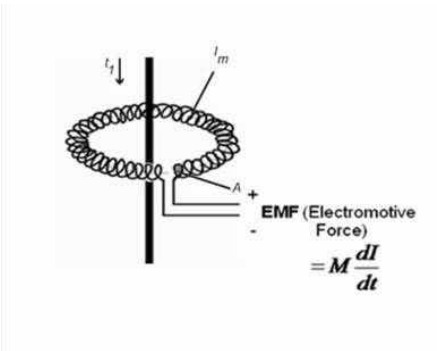


그림 3.4.136 오픈형 로고스키 코일





그림 3.4.137 CBM 모델현차 적용 방안

② CBM 적용 기준

견인전동기 회전자에 대한 CBM 적용 기준은 그림 3.4.138 에 보이는 것처럼, precursor 파라미터 n 값이 0.1 이상으로 나타난 경우에는 우선적으로 유지보수를 실시하는 것으로 한다. precursor 파라미터 n 값이 작은 값이라도 측정될 경우에는 회전자 바에 이상이 있는 경우로써 견인전동기에 치명적 손상을 가할 수 있기 때문에 즉시 유지보수를 실시할 필요가 있다.

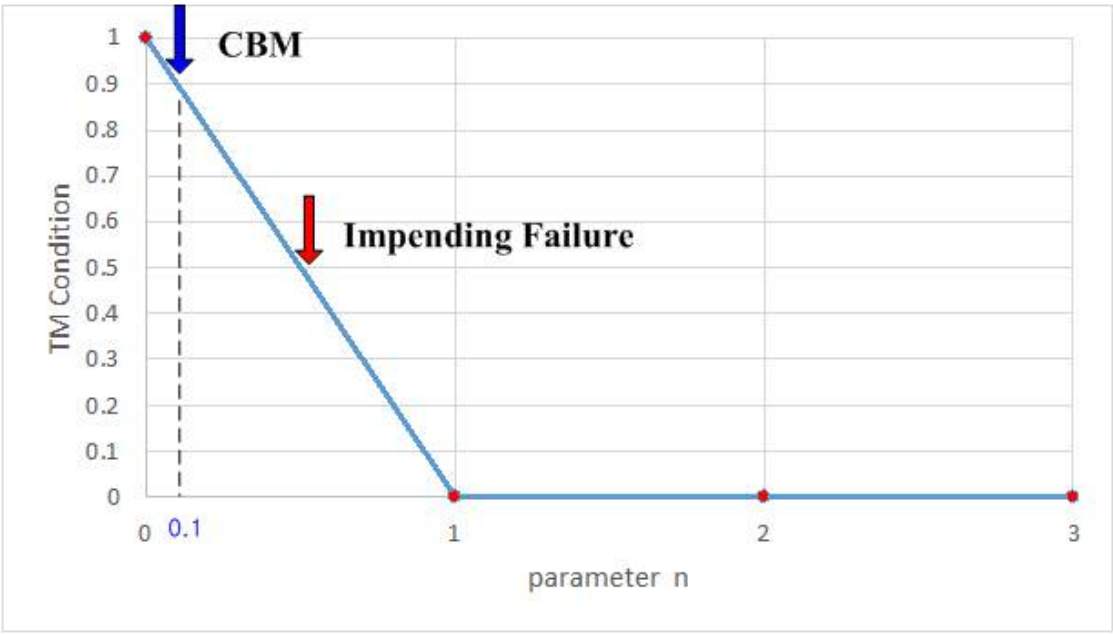


그림 3.4.138 견인전동기 CBM 적용 조건

(6) 고속도차단기 CBM 모델

(가) 고속도차단기 고장모드

고속도차단기는 양쪽 방향 전류가 동작하는 TRIP FREE 방식이며 전자흡인용 로울러 차단 기구를 갖춘 고속도 차단기이다. 주회로에 과전류가 흘렀을 때 자신의 차단기로 주접촉부를 개방한다. 또, 과전류 계전기가 동작하였을 경우에는 주접촉부를 개로한다. 고속도차단기의 구성은 그림 3.4.139와 같다.

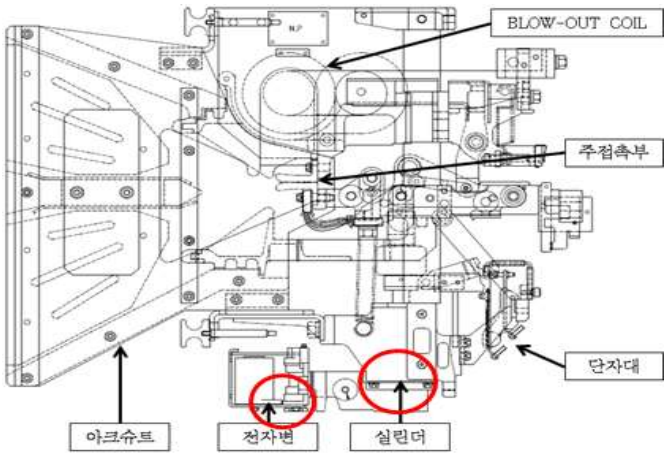


그림 3.4.139 고속도차단기 구조

운영 중에 발생한 고장발생내역을 분석한 결과, 총 고장건수는 179건으로서, 전자변 고장이 95건으로 전체고장건수의 53.1%로 가장 많으며, 실린더가 66건으로 전체고장건수의 36.9%, LB Box는 8건으로 4.4%, 아크슈트는 10건으로 5.6%를 차지하는 것으로 나타났다. 고속도차단기의 경우, 이상의 4가지 고장이 전체고장의 대부분을 차지하고 있어 주요 고장요인으로 작용하고 있다. 고속도차단기의 고장분석 결과에 따르면 전자변 및 실린더의 누기가 전체 고장의 57 %로 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 고속도차단기의 동작이 전자변의 압축공기 제어와 실린더의 압축공기 유입 및 배기에 의해 이루어지므로 이 구성품들에서 압축공기의 누기가 발생하여 점차 누설량이 많아지면 고속도차단기 동작에 지장을 초래할 수 있다. 전자변 및 실린더에서의 누기는 지속적인 진동 및 충격이 가해짐에 따라 볼트나 너트가 이완되거나, 아래와 같이 공기가 누설되는 것을 차폐하기 위해 삽입되는 고무 패킹이 열화되거나 손상 또는 형태가 변형되어 발생하는 것으로 분석되었다. 그림 3.4.140은 각각 전자변 및 실린더의 패킹 취부상태를 보이며, 그림 3.4.141과 그림 3.4.142는 전자변 및 실린더 패킹 사용 전의 신품상태와 사용 후 열화된 상태를 보인다.

	
전자변 패킹	실린더 패킹

그림 3.4.140 전자변 및 실린더 부 패킹 취부 상태

	
전자변 패킹 신품	전자변 패킹 사용완료품(4Y시 취거)

그림 3.4.141 전자변 패킹 사용 전 · 후 비교

	
실린더 패킹 신품	실린더 패킹 사용완료품(4Y시 취거)

그림 3.4.142 실린더 패킹 사용 전 · 후 비교

(나) 고속도차단기 고장 진단 기법

고속도차단기의 전자변과 실린더에서 발생하는 누기현상을 진단하기 위한 기법으로서, 다음과 같은 기법을 검토하였다.

① 적외선 열화상 촬영에 의한 고장 진단

고온고압의 플랜트 설비의 경우 압축공기 또는 주요 가스의 누기로 인한 손실을 줄이기 위하여 누기 시 대기와의 온도차이로 인한 열 변화를 감지하여 누기를 진단하는 기법이 사용되고 있어, 고속도차단기의 누기 예상부위를 적외선 열화상 카메라로 촬영하여 누설공기와 대기의 온도 차이를 검지하여 누기여부를 판단하기 위한 실험을 시행하였다



열화상 카메라 모니터

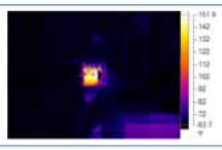
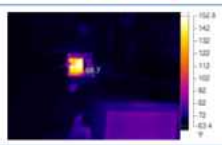


측면 사진

그림 3.4.143 적외선 열화상카메라(Ti400, FLUKE)

고속도차단기의 압축공기 누설 시에 누기 부위에서 온도의 변화가 발생하는 여부를 실험하기 위하여 고속도차단기에 압축공기를 가압하고 전자변 코일을 온도 포화 후 취부용 볼트를 이완시켜 전자변 패킹의 하부로 누기가 발생하도록 조정한 뒤 누기의 정도를 변화시키며 온도가 가장 높은 전자변 코일과 실제 누기부위인 전자변 패킹 및 압축공기의 유입경로이며 누기 부위와 근접한 실린더 인입부를 적외선 열화상카메라로 촬영하여 온도의 차이를 비교하였다. 측정결과를 표 3.4.10에 보이며, 누기가 발생하지 않은 정상상태에서 전자변 코일부의 온도는 66.9 ℃, 전자변 패킹부위의 온도는 20.7 ℃, 실린더 인입부는 17.7 ℃로 나타났으며, 전자변 패킹 하부로 누기가 발생한 상태에서 전자변 코일부의 온도는 66.4 ℃, 전자변 패킹부위는 20.4 ℃, 실린더 인입부는 19.4 ℃로 나타났다. 이상과 같이, 열화상카메라 측정결과는 누기 상태별 동일 부위의 온도가 유의미한 차이를 나타내지 않아 적외선 열화상 촬영을 통하여 고속도차단기의 누기를 진단하는 것은 적정하지 않다고 판단되었다.

표 3.4.10 적외선 열화상 측정결과

구분	정상상태		누기상태	
	적외선 이미지	온도 (℉)	적외선 이미지	온도 (℉)
전자변 코일		152.5		151.6
전자변 패킹		69.3		68.7
실린더 인입부		63.8		66.9

② 가청소음 측정에 의한 고장 진단

가청소음 측정을 통하여 전자변 및 실린더에서 발생하는 누기현상을 측정한 결과를 표 3.4.11에 보인다. 실험 결과를 살펴보면 실험 형태별 주파수와 음압 특성이 일부 나타났으나 본 실험이 전용 시험기를 이용하여 실내 공간에서 고속도차단기 단품만을 동작시키며 이루어졌음에도 시험기에서 발생하는 자체소음이나 공기압축기 소음 등 주변 소음의 영향에 민감하게 반응하였다.

표 3.4.11 가청소음 Peak 주파수와 음압

구분	차단동작 시	차단동작 전	차단동작 후	비고
정상상태	6.3 kHz 99.9 dB	125 Hz 66.8 dB	125 Hz 64.7 dB	
실린더 패킹 고정부 경 손상	6.3 kHz 97.4 dB	125 Hz 64.3 dB	125 Hz 64.2 dB	
실린더 패킹 고정부 중 손상	8 kHz 98.9 dB	25 Hz 66.8 dB	실험불가	
전자변 패킹 인입구 경 손상	10 kHz 99.9 dB	25 Hz 70.8 dB	10 kHz 67.9 dB	
전자변 패킹 인입구 중 손상	6.3 kHz 99.4 dB	125 Hz 63.2 dB	12.5 Hz 65.3 dB	
실린더 커버 고정 볼트 이완	6.3 kHz 99.6 dB	12.5 kHz 81.6 dB	12.5 Hz 68.1 dB	

고속도차단기가 전용함 내에 설치되나 함이 개방된 구조로 전동차의 차체 하부

에 장착되어 있기 때문에, 전동차 운행 시 발생하는 스킬소음과 주변기기의 동작소음 등 다양한 소음들에 노출되는 환경으로 주변 소음의 영향을 차단할 수 없어 가청소음 측정을 통해 누기 고장의 형태를 특정하기 어려울 것으로 판단하였다.

③ 초음파 측정에 의한 고장 진단

고속도차단기의 누기 고장 시 발생하는 초음파를 검출하고 시간 영역과 주파수 영역의 평균 전력을 산출하여 유효한 고장 진단 기법을 제시하기 위한 실험 및 분석을 시행하였다. 초음파는 지향성이 높고, 파장이 짧아서 공기 중에서의 감쇠도가 높아 외부 요인에 대한 간섭이 적다는 장점이 있다. 측정에 사용된 초음파측정기 및 고속도차단기 시험기를 이용한 초음파 측정과정을 그림 3.4.145에 보인다.



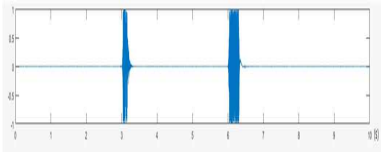
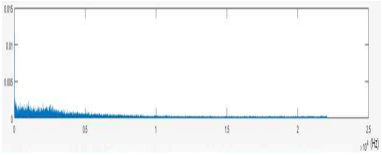
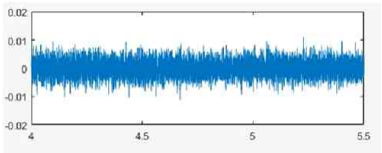
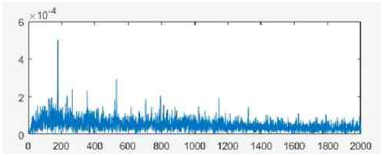
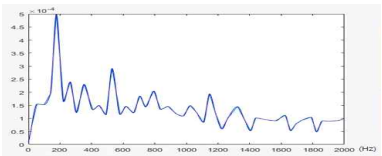
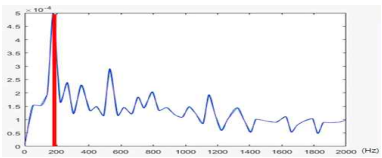
검측장치	분석장치

그림 3.4.144 초음파 검출기(휘성, ONDAS 1A)



그림 3.4.145 초음파 측정 과정

표 3.4.12 초음파 검출 및 분석 절차

순서	내용	자료	비고
1	초음파 검출		10 초
2	FFT분석		10 초 전체
3	신호 추출		4.0 ~ 5.5 초 (1.5 초 범위)
4	추출신호 유효주파수 대역 FFT		0 ~ 2 ㎑ 대역 (41 ~ 39 ㎑)
5	추출신호 유효주파수 대역 형상화		0 ~ 2 ㎑ 대역 (41 ~ 39 ㎑)
6	Peak 주파수 검토		0 ~ 2 ㎑ 대역 (41 ~ 39 ㎑) Peak 주파수 및 전력
7	평균 전력 산출	1) 1.5 초 추출신호의 시간 영역 2) 1.5 초 추출신호의 유효주파수 대역의 주파수 영역	1) 전체주파수 2) 0 ~ 2 ㎑ 대역 (41 ~ 39 ㎑)

(라) 고속도차단기 신호 계측

고속도차단기 고장진단 모델을 구축하기 위한 누기형태는 표 3.4.13과 같이 구분하였다. 누기 형태에 대한 재확인 결과에 따라 누기의 형태는 진동이나 충격에 의한 이완과 각각의 패킹 열화에 따른 손상으로 구분하였다. 고장 모드별 초음파 측정결과는 그림 3.4.146~3.4.151과 같으며, 측정데이터를 분석, 정리한 결과를 표 3.4.14에 보인다.

표 3.4.13 고장 진단 모델을 위한 누기 형태

원인	종류	비고
이완	전자변 취부볼트 이완	
	실린더 커버 취부볼트 이완	
고무패킹 열화	전자변 패킹 인입구 경 손상	
	실린더 패킹 고정부 경 손상	
	실린더 패킹 고정부 중 손상	
	실린더 패킹 측면부 손상(5 ㎜)	

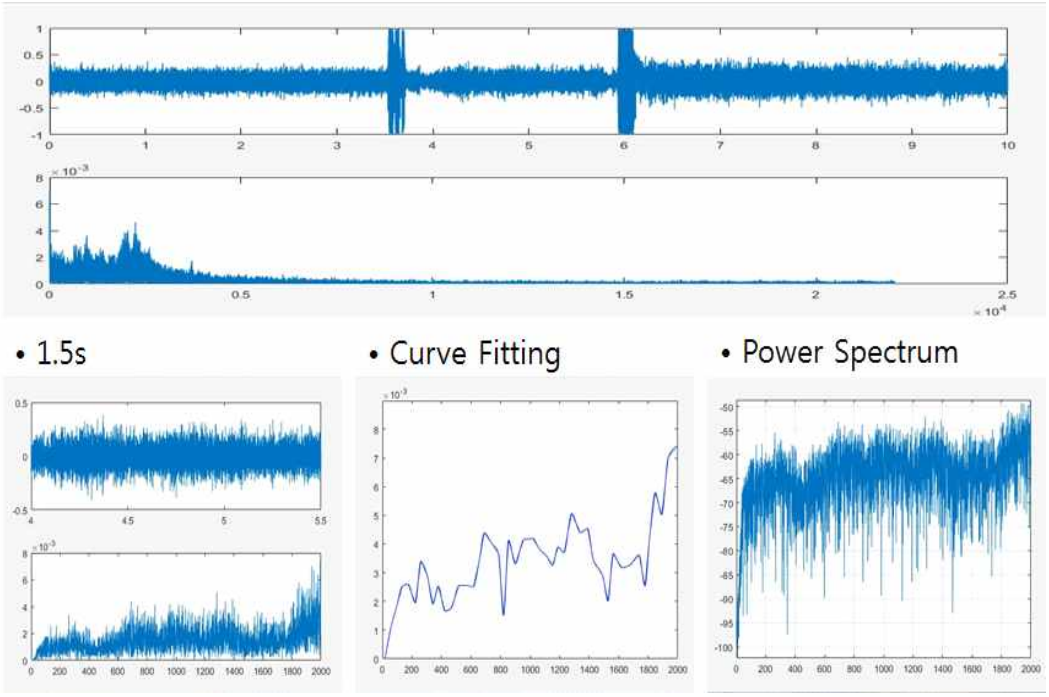


그림 3.4.146 전자변 취부볼트 이완 상태

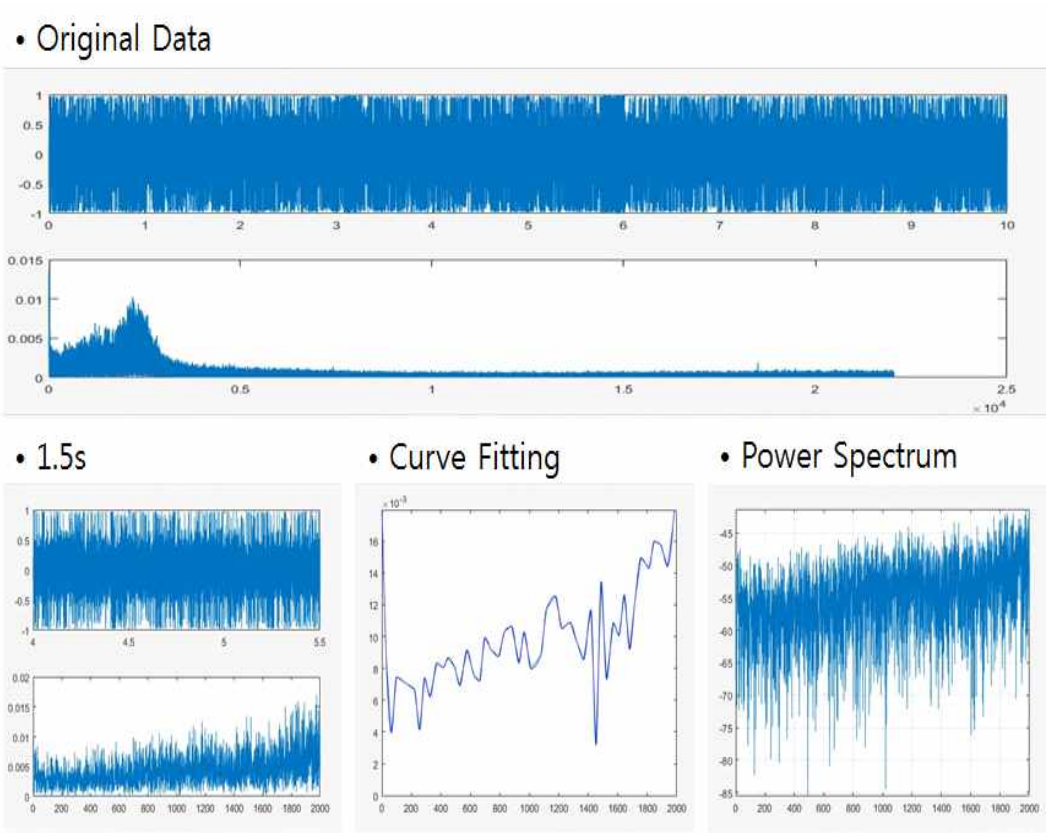


그림 3.4.147 전자변 패킹 손상

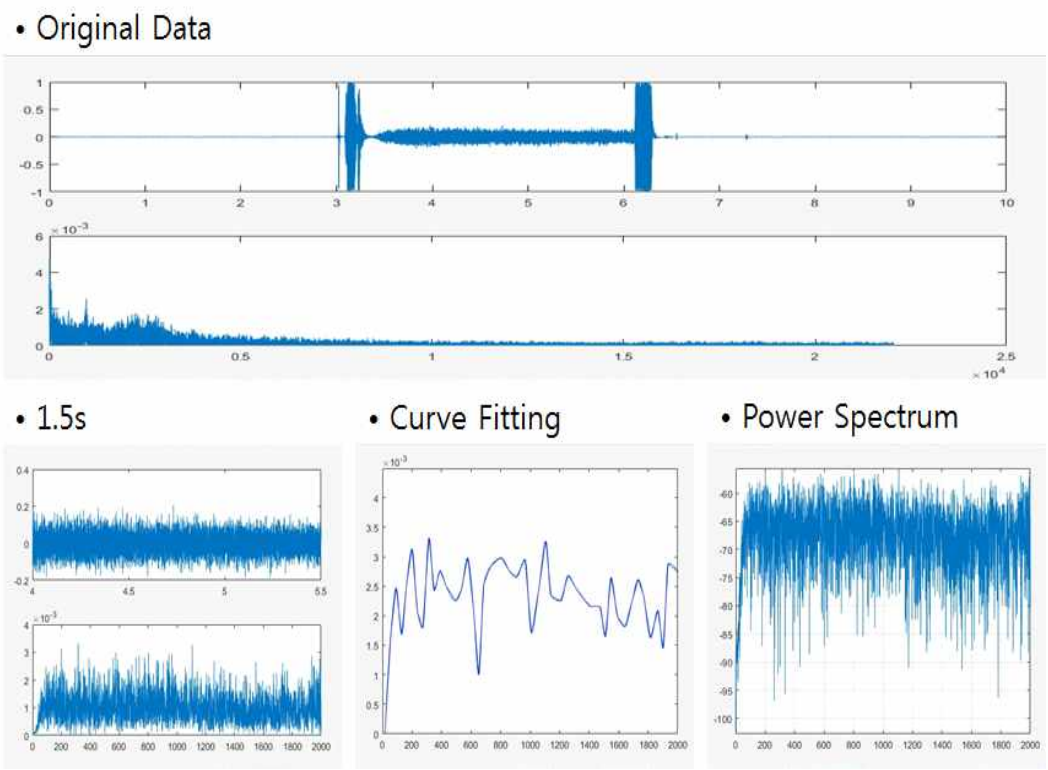


그림 3.4.148 실린더 커버 취부볼트 이완

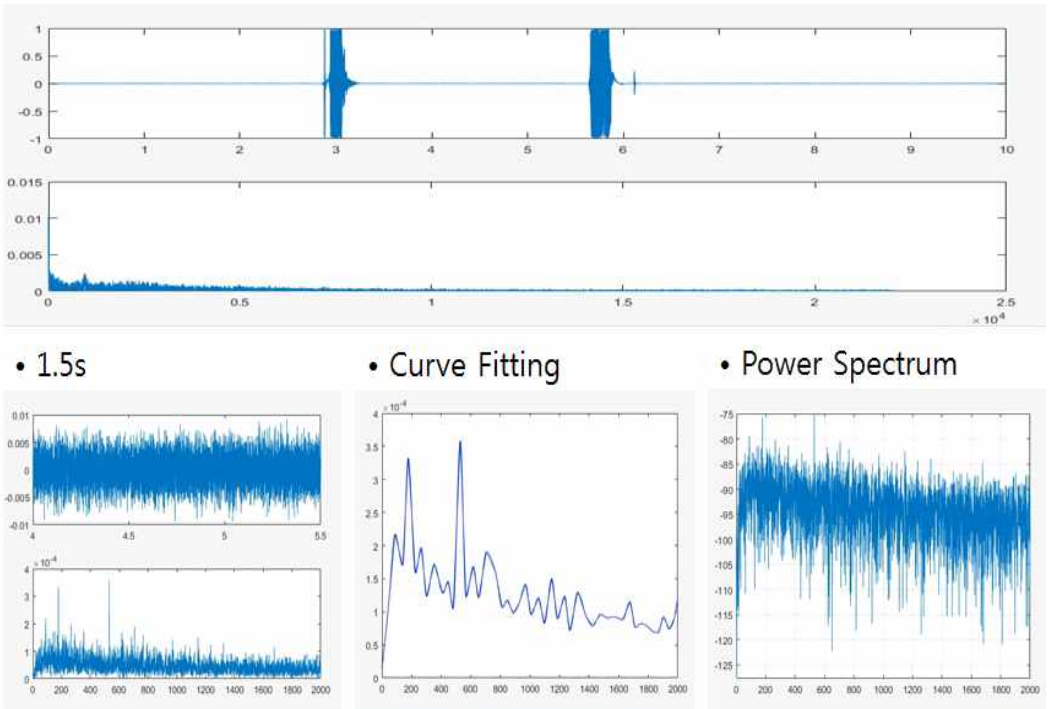


그림 3.4.149 실린더 패킹 고정부 경미 손상

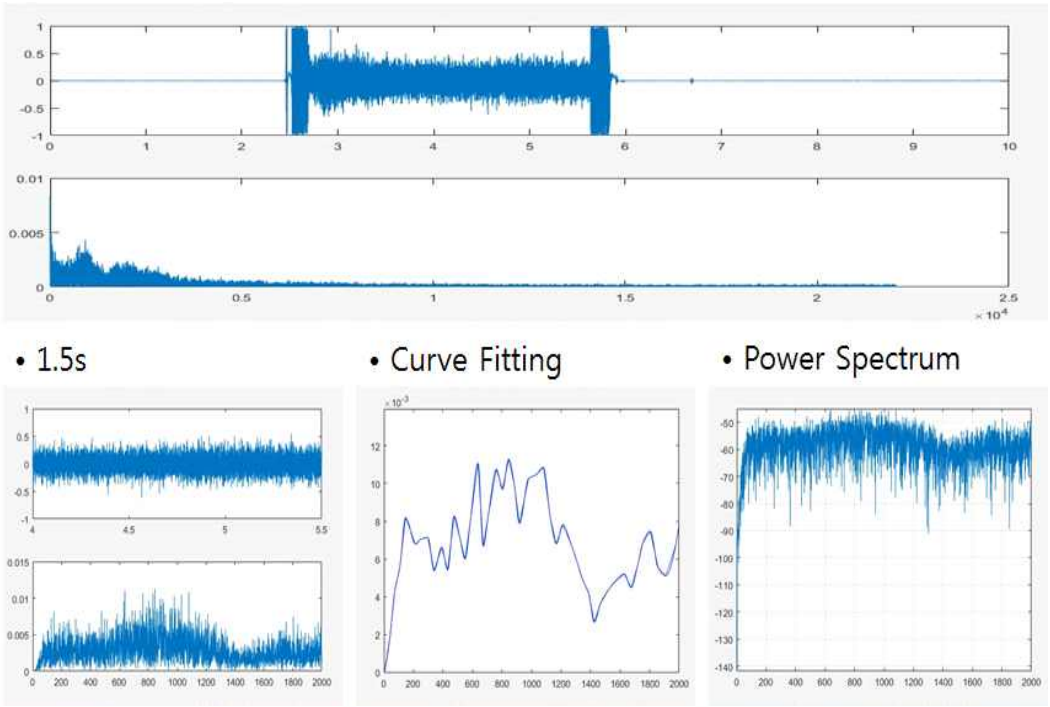


그림 3.4.150 실린더 패킹 고정부 심화 손상

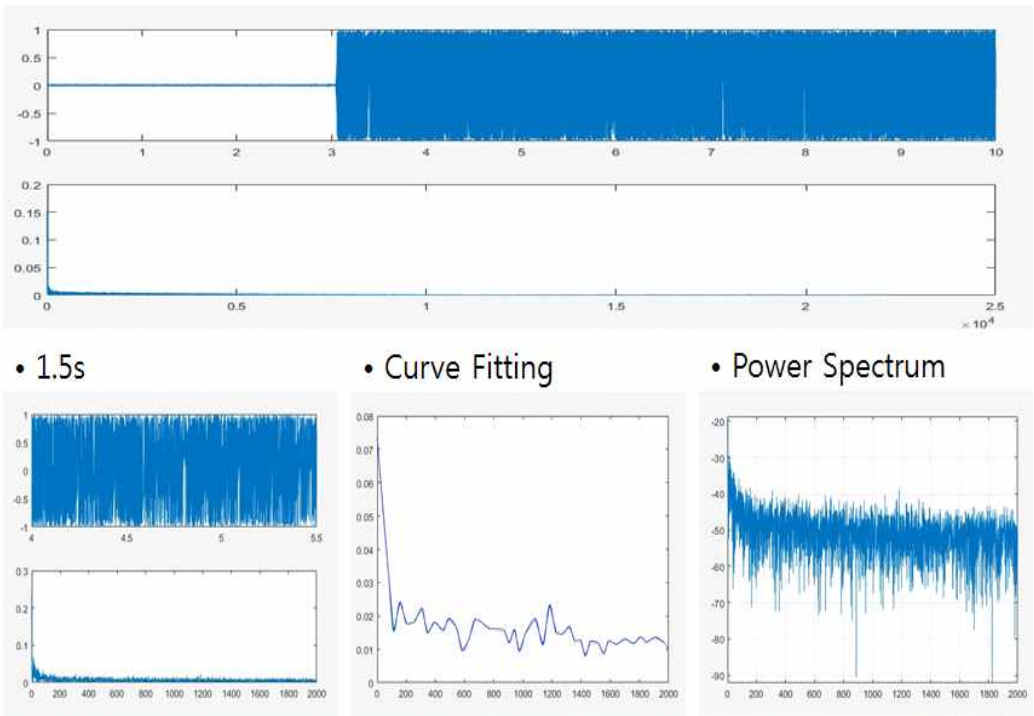


그림 3.4.151 실린더 패킹 측면 손상

표 3.4.14 초음파 측정 분석결과

	Peak 주파수 특성			시간영역 평균전력 (dBW)	주파수영역 평균전력 (dBW)	누기 여부
	주파수 (kHz)	강도 (V)	파워 스펙트럼 (dBW)			
정상 상태	40.8	5×10^{-4}	**-69.0**	**-51.8**	**-52.8**	**미발생**
전자변 취부볼트 이완	39.0	74×10^{-4}	-45.6	-20.8	-23.3	발생
전자변 패킹 손상	39.0	170×10^{-4}	-38.4	-10.3	-14.2	발생
실린더 커버 취부볼트 이완	40.7	33×10^{-4}	**-52.6**	**-25.9**	**-27.2**	발생
실린더 패킹 고정부 경미 손상	40.5	3.6×10^{-4}	-71.9	-52.3	-53.4	**미발생**
실린더 패킹 고정부 심화 손상	40.2	110×10^{-4}	-42.0	-17.0	-17.8	발생
실린더 패킹 측면 손상(5mm)	41.0	2300×10^{-4}	-15.7	-5.7	-8.6	발생

이상의 실험결과로부터, 고속도차단기의 누기현상을 정상, 초기누기, 심화누기의 3단계로 구분하여, 표 3.4.15와 같이 진단할 수 있다는 것을 확인하였다. 실험 결과 실린더 및 전자변 고정 볼트 이완이나 전자변 패킹 인입구 경 손상과 같이 누기가 발생하는 초기 단계에서도 명확한 진단이 가능하다는 것을 확인하였고, 초음파 검출 후 시간 영역 또는 주파수 영역의 평균 전력을 산출하여 비교하는 방법이 고속도차단기 누기 고장 진단에 유효한 도구가 됨을 증명하였다.

표 3.4.15 고장 진단 기준

	시간영역 평균전력 (dBW)	정상상태 대비 차이 (dbW)	정상상태 대비 증가율 (배)	주파수영역 평균전력 (dBW)	정상상태 대비 차이 (dbW)	정상상태 대비 증가율 (배)	비고
정상 상태	-51.8	0	1	-52.8	0	1	누기 없음
실린더 커버 취부볼트 이완	-25.9	-25.9	397	-27.2	25.6	371	초기누기
전자변 취부볼트 이완	-20.8	31	1,290	-23.3	29.5	912	초기누기
실린더 패킹 고정부 심화 손상	-17.0	34.8	3,104	-17.8	35	3,251	심화누기
전자변 패킹 손상	-10.3	41.5	14,596	-14.2	38.6	7,469	심화누기

(마) 고속도차단기 CBM 모델제안

① precursor 파라메터

고속도차단기 CBM모델의 precursor파라메터는 고속도차단기로부터 방출되는 초음파 성분으로서, 운전 중인 고속도차단기 함체내부에서 초음파측정기를 통하여 초음파를 측정하여 고속도차단기 고장 상태를 진단한다.

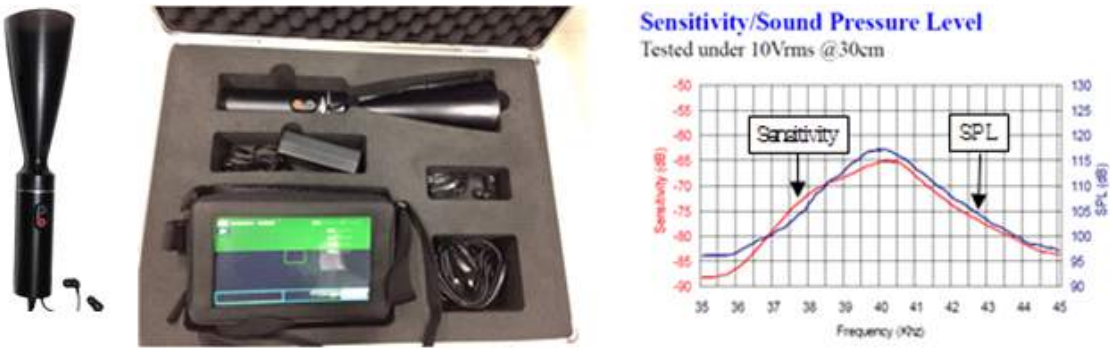


그림 3.4.152 초음파 측정기

② 상태 기반 유지보수 기준

고속도차단기 전자변 및 실린더에의 CBM 적용을 위한 유지보수 기준은 precursor 파라미터로 선정한 고속도차단기 함체내부의 초음파 측정치로부터 다음 식을 적용한다.

■ 초기 고장 : 전자변 및 실린더 밸브 누기 발생 초기 단계

$$-20\,[dBW] \geq A_f \geq -30\,[dBW]$$

■ 심화 고장 : 전자변 및 실린더 밸브 누기발생이 진척된 상태

$$A_f \geq -20\,[dBW]$$

여기서, A_f : 초음파 측정 레벨$[dBW]$, 시간/측정 주파수 영역에서의 평균 전력

평균전력은 다음 식과 산출한다.

$$X(\mathrm{dB}\,W) = 10\log[(\sum_{i=1}^{n} V_i^2)/n]$$

여기서, V_i: 각 전압 성분의 최대값, n: 전압 성분의 총 수

이상의 결과를 종합하여, 고속도차단기의 CBM 조건은 그림 3.4.153에 보이는 것처럼, 초음파 측정치 $-30(dBW)$ 에서 임박한 파손고장으로 예측되는 것을 감안하여, 초음파 측정치가 $-45(dBW)$를 초과할 때 유지보수를 실시하는 것이 바람직하다. 고속도 차단기는 금속함체 내에 장착되어 외부 노이즈로부터 차폐되므로, 초음파가 적은 레벨이라도 지속적으로 측정되면 즉시 유지보수를 실시하는 것이 바람직하다.

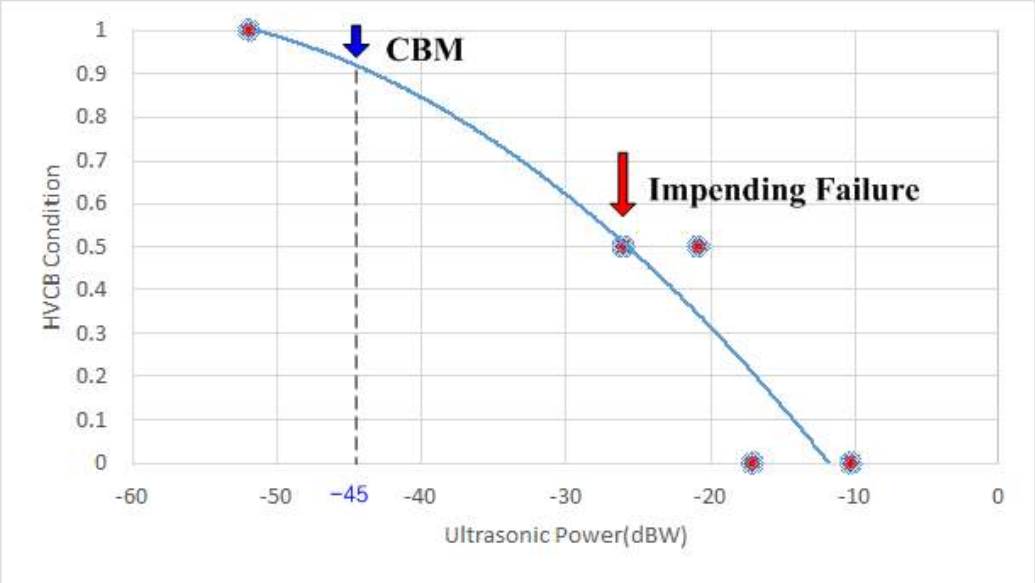


그림 3.4.153 고속도차단기 CBM 적용 조건

(바) CBM모델 현차 적용 방안

고속도차단기는 그림 3.4.154에 보이는 것처럼, 차체 하부의 대차 옆에 설치된 함체내의 주회로차단기함에 수용되어 있다. 이에 따라 초음파 측정센서를 주회로차단기 함 내에 설치하여 외부 소음의 영향을 받지 않도록 할 수 있다. 열차운행중에 실시간으로 측정된 초음파 측정데이터는 통신선을 통해 데이터 수집장치에 전송하여 데이터베이스를 구축하고, 마이크로프로세서장치를 이용하여 고장 진단을 분석하도록 한다.

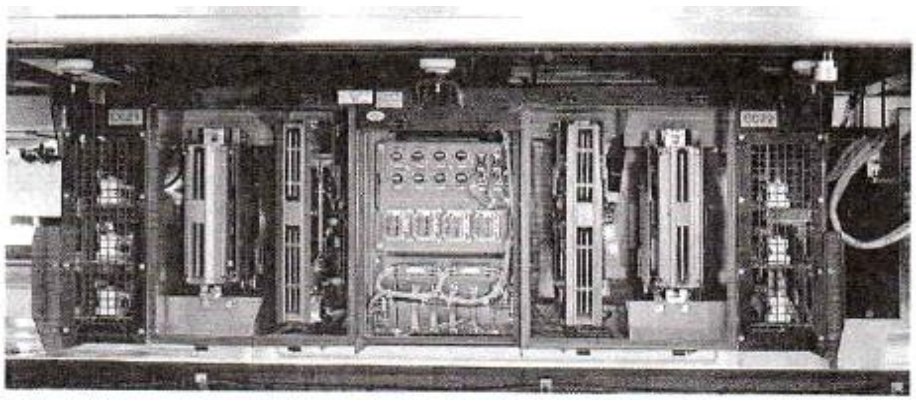


그림 3.4.154 전동차 주회로 차단기함

(7) 실시간 데이터 모니터링시스템 시제품

(가) 실시간 데이터 모니터링 시스템 구성

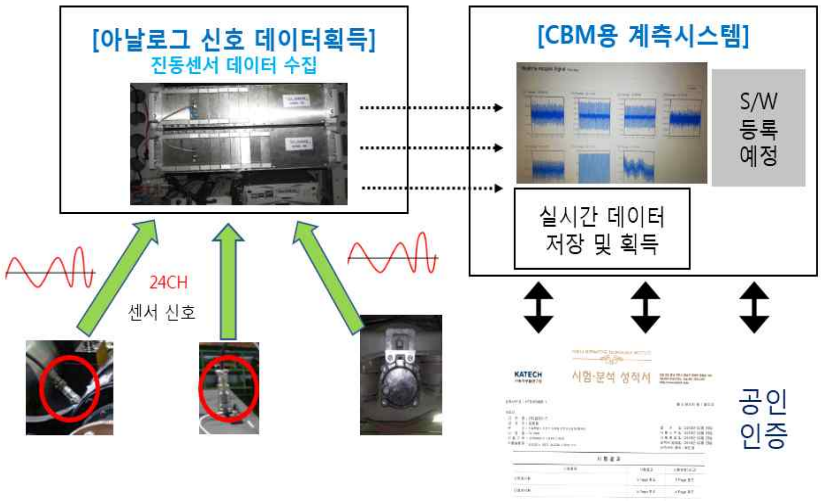


그림 3.4.155 시제품 제작 시스템 구성도

실시간 데이터 모니터링 시스템 구성도는 그림 3.4.155와 같다. 실시간 데이터 모니터링 시스템 시제품은 한번 장착이 되면 장시간 운영되어야 하며, 4개절을 지나 여러 주행 환경이 고려되어야 한다. 실시간 데이터 모니터링 시제품은 각 센서(아날로그 신호)를 입력받아 주 연산처리 장치(CPU)보드에서 주요 연산 후 디지털 데이터를 서버 PC로 신호를 통신한다. 수요자는 서버 PC를 통해 각 데이터 별 파형 스펙트럼을 육안으로 볼 수 있으며 실시간 데이터는 서버 PC에 자동 저장이 가능하다.

(나) 실시간 데이터 모니터링 시스템 사양

① 실시간 데이터 모니터링 시스템 하드웨어 사양

센서로부터 들어오는 신호는 아날로그 신호(Analog signal)이므로 주요 보드의 A/D 보드에 A/D 커넥터를 통해 아날로그 데이터를 입력받는다. 입력된 아날로그 신호 데이터는 A/D 보드를 통하여 디지털 데이터로 연산 후 주 연산 처리 장치(CPU)보드에서 서버 PC 로 데이터를 통신한다. 그림 3.4.156은 주요 보드 제작 구성도이다.

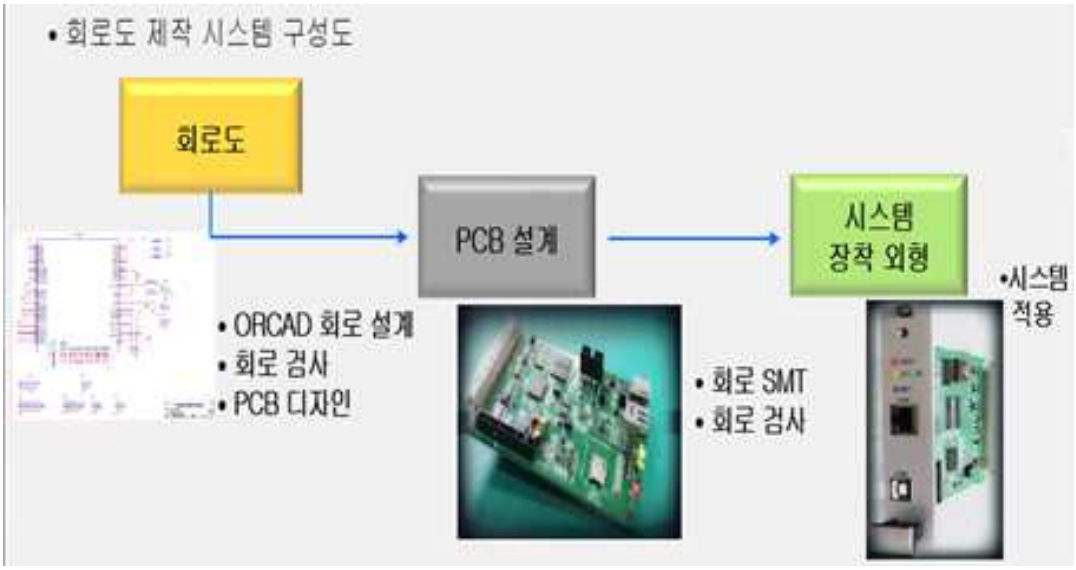


그림 3.4.156 실시간 데이터 모니터링 시스템 주요 보드 제작 과정

실시간 데이터 모니터링 시스템 주요 보드는 그림 3.4.156과 같이 회로도 제작, PCB 설계 시스템 장착 외형 설계(서버렉 설계)로 개발되었다. 주요 보드에 대한 사양은 표 3.4.17과 같다.

표 3.4.17 실시간 데이터 모니터링 시스템 하드웨어 사양

품목	주요 사양
실시간 데이터 모니터링 시스템 하드웨어 사양	- Sampling : 24ch, 3 kHz 이상 -SDRAM 32M Byte -NAND FLASH 32MBYTE, Max- 1G BYTE -외부 확장 I/O영역(16Bit Address, 16 Data) -10/100 Ethernet Phy 칩 -Serial Nor Flash (8M Byte_Boot) -MDDR Area (256M Byte data Save) -TFT-LCD Connector(LCD 지원) -Power Supply(5V 전압 처리, 전류 측정기능) -USB, I2C PORT, RS-232 변환장치, SD Card

실시간 데이터 모니터링의 주요보드는 주연산처리장치(CPU)보드, 각 보드에 DC 전원을 공급하는 POWER보드, 마지막으로 센서로부터 들어오는 신호를 A/D Converter하는 A/D 보드로 구성되어져 있다. 주 연산처리장치 보드는 TCP/IP 통신을 통해 서버로 디지털데이터 통신 및 실시간 연산 기능을 수행한다.

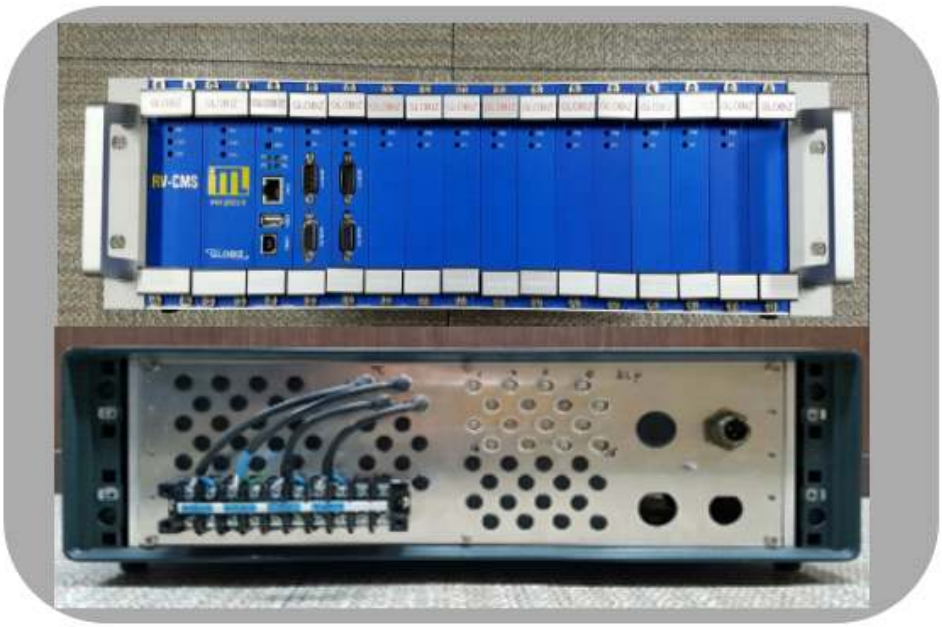


그림 3.4.157 실시간 데이터 모니터링 시스템 하드웨어

그림 3.4.157은 실시간 데이터 모니터링 시스템 하드웨어의 앞면과 뒷면을 보여준다. 하드웨어는 개발된 보드를 백플레인(센서 및 보드 연결커넥터)에 연결되어 그림 3.4.157과 같은 표준형 19인치 서브렉에 설치된다.

② 실시간 데이터 모니터링 시스템 소프트웨어 구성

실시간 데이터 모니터링 시스템은 거시적인 관점에서 CMS(실시간 데이터 모니터링 시스템 하드웨어), 서버 PC, Clinet 로 구성되어 있다. CMS에서 서버 PC로 데이터를 송신하면 서버 PC 내의 CMS Client에서 해당 데이터를 수신하고, 최종적으로 Web Socket을 통하여 Client에 데이터를 송신한다. 그리고 Client는 해당 데이터를 수신하여 차트화 한다. 그림 3.4.158은 실시간 데이터 모니터링 시스템의 데이터 흐름을 보여주고 있다. 모든 데이터의 흐름은 실시간으로 처리되고 모니터링 할 수 있다. 실시간 데이터 모니터링은 시스템 소프트웨어는 데이터를 저장할 때, 그림 3.4.159와 같이 CSV Format 파일로 저장한다. 첫 번째 행의 데이터는 해당 데이터의 타임태그 값이고, 두 번째 행의 데이터는 연도, 월, 일, 시간 값이다. 타임태그가 동일한 데이터는 다음 타임태그 전까지 첫 번째, 두 번째 행에 값이 저장되지 않는다. 세 번째 행의 데이터부터는 실제 신호 값을 의미하는데 좌측부터 순서대로 1채널, 2채널, 3채널 … 에서 측정한 신호 값이다.

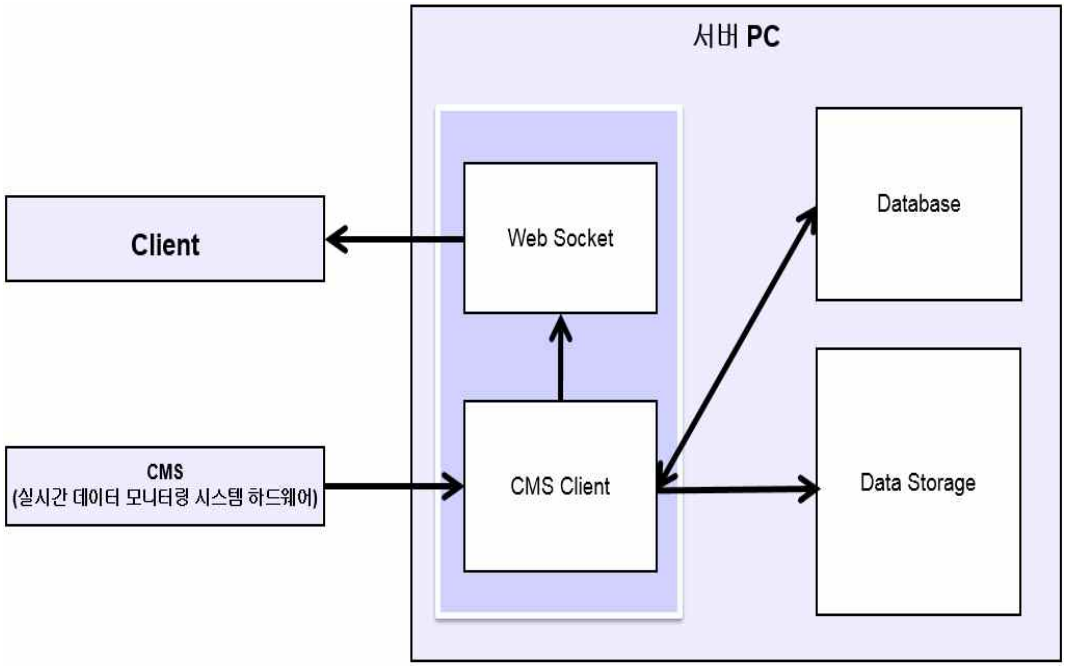


그림 3.4.158 실시간 데이터 모니터링 시스템 데이터 흐름도

```
1489539930054.039,2017-03-15 10:05:30.54,25.04061842994,24.8819770542,24.933810767799997,83886
,,25.04061842994,24.8819770542,24.933810767799997,8388607,8388607,0,0
,,25.04061842994,24.8819770542,24.933810767799997,8388607,8388607,0,0
,,25.04061842994,24.8819770542,24.933810767799997,8388607,8388607,0,0
,,25.04061842994,24.8819770542,24.933810767799997,8388607,8388607,0,0
```

그림 3.4.159 실시간 데이터 저장 형식

측정데이터 자동 저장 프로그램은 서버 PC 내의 CMS Client에서는 수신한 데이터를 Database와 Data Storage에 자동으로 저장한다. Database에 저장된 데이터는 mysql을 통해 접근이 가능하고, 또한 소프트웨어적으로 지정되어 있는 폴더(Data Storage)에 CSV Format 파일로 저장되므로 SpreadSheet 프로그램을 이용하여 사용자가 손쉽게 데이터를 확인할 수 있다.

차량 전원 공급시 자동 부팅 설정에는 실시간 데이터 모니터링 시스템의 서버 PC는 American Megatrends 사의 CPU를 사용하는데 해당 CPU의 BIOS SETUP UTILITY 설정에서 Restore on AC Power Loss 항목을 Power On 으로 선택하여 서버 PC에 전원이 공급되었을 때 자동으로 서버 PC가 부팅되도록 설정하였다.

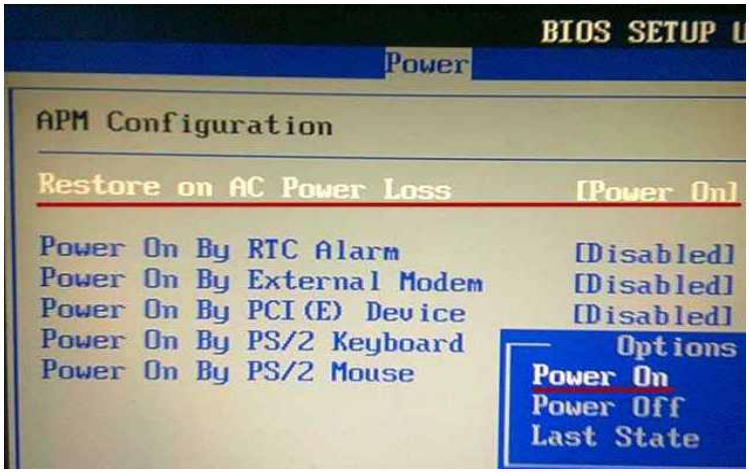


그림 3.4.160 차량전원 공급시 서버 PC 자동부팅 설정

실시간 데이터 모니터링 시스템의 서버 PC는 XAMPP 프로그램을 사용하는데, 윈도우의 시작프로그램 항목에 XAMPP Control Panel 바로가기를 추가하여 서버 PC가 부팅되었을 때 XAMPP Control Panel이 자동으로 실행되도록 설정하였다. XAMPP Control Panel의 Control Panel 설정에서 Autostart of modules 항목에 Apache와 MySQL을 선택하여 XAMPP Control Panel이 실행되었을 때 서버가 자동으로 실행되도록 설정하였다. Web Socket을 통하여 Client에 데이터를 송신하는 프로그램과 Client가 해당 데이터를 수신하여 그래프화 하는 프로그램은 노드프로그램을 작성하였다. 해당 노드프로그램을 실행시키는 배치파일을 윈도우의 시작프로그램 항목에 추가하여 서버 PC가 부팅되었을 때 Web Socket-Client간 데이터 송수신 및 차트 프로그램이 자동으로 실행되도록 설정하였다.

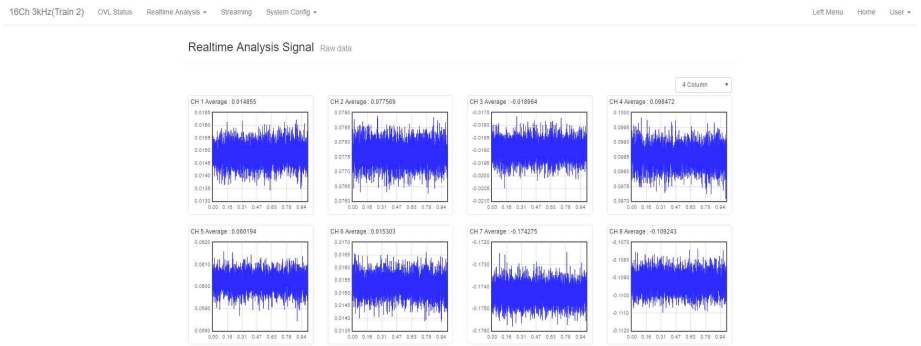


그림 3.4.161 Client 차트 프로그램 화면

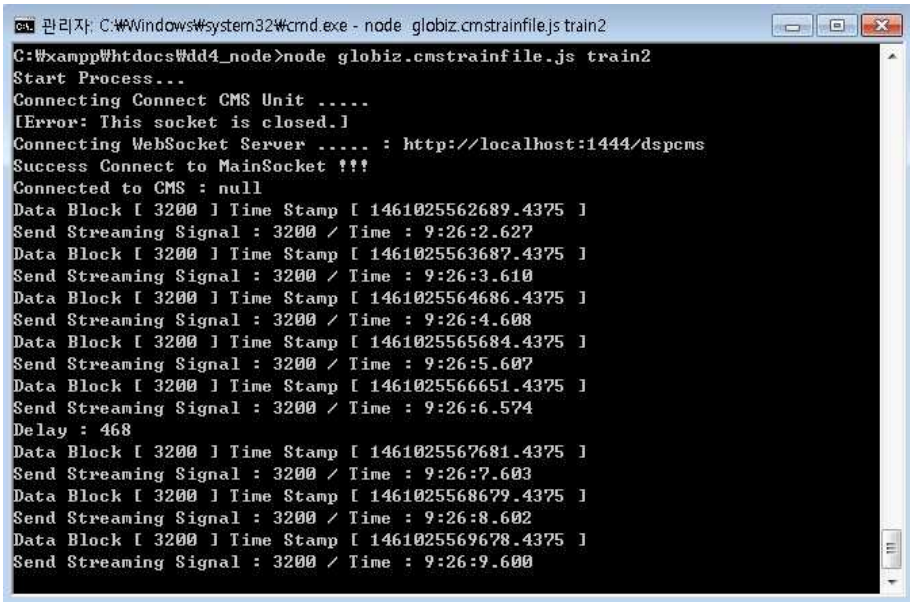


그림 3.4.162 Web Socket-Client간 데이터 송수신 및 차트 프로그램 콘솔 화면



그림 3.4.163 서버 PC 부팅시 XAMPP Control Panel 자동 실행 설정

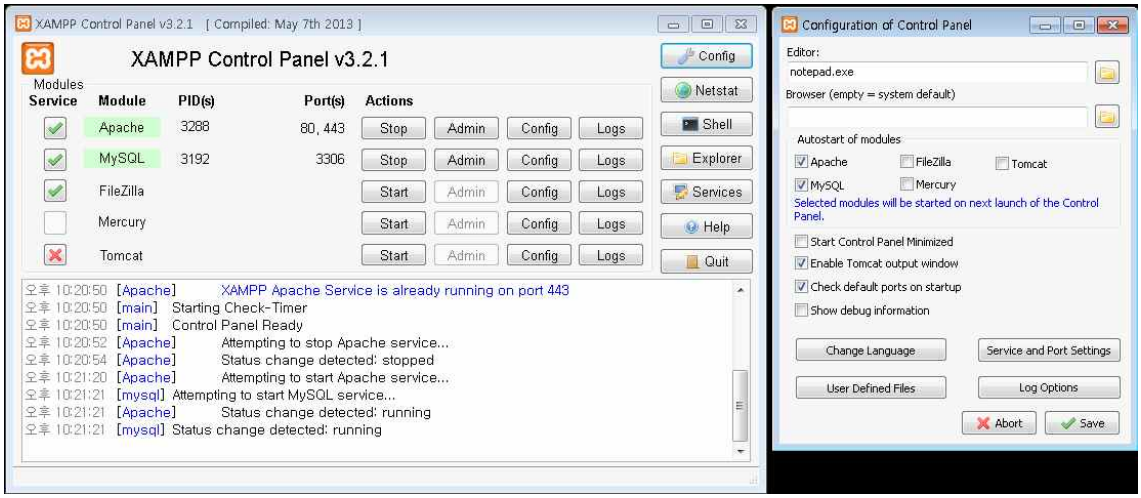


그림 3.4.164 XAMPP 프로그램 Control Panel 동작 화면과 Control Panel 설정 화면

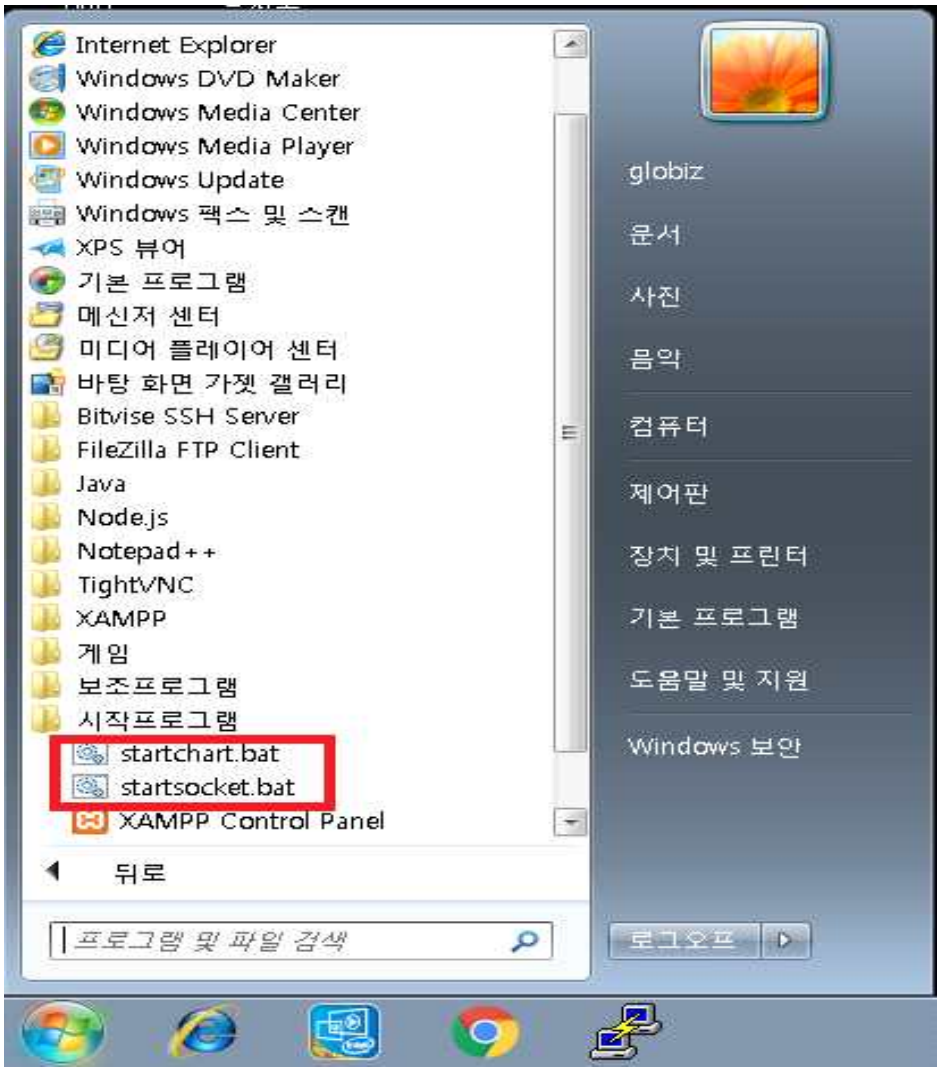


그림 3.4.165 Web Socket-Client간 데이터 송수신 및 차트 프로그램 자동 설정

(다) 시제품 신뢰성 획득

- IEC-60068(내진동), IEC-60068(내고온, 내저온)
- KS C 0200(내고온, 내저온), KTS160898(전자파)

시제품의 신뢰성을 얻기 위해 자동차부품연구원에서 제품에 대한 신뢰성 인증 시험을 진행하였다. 실시간 데이터 모니터링 시스템 시제품은 내진동, 내고온, 내저온, 전자파 인증을 모두 통과 하였으며 그림 3.4.166은 각 성적서의 전면이다.



그림 3.4.166 신뢰성 공인인증 시험 성적서

(8) 현차시험 데이터베이스 구축

(가) 실시간 데이터 모니터링 시스템 설치 및 데이터 획득

① 실시간 데이터 모니터링 시스템 설치

그림 3.4.167과 같이 데이터 획득 장치와 센서 및 모듈은 도시철도차량 하단에 설치하였다. 휠 센서 모듈은 철도 양쪽에 설치되었고, TM 전류 센서는 철도 하단 가운데에 설치되었다. 아래 그림 3.4.168는 데이터 획득 장치 및 센서 장착 방안을 확대한 그림이다. 4개의 휠베어링 하우징에 가속도센서와 변위센서를 장착하였고, 기어박스에는 대치차와 소치차 부근에 2개의 가속도센서를 부축하였다. 그리고 견인모터에는 2개의 전류센서를 장착하였다. 차량의 전원부에서 220V AC 전원을 입력전원으로 사용하였다.

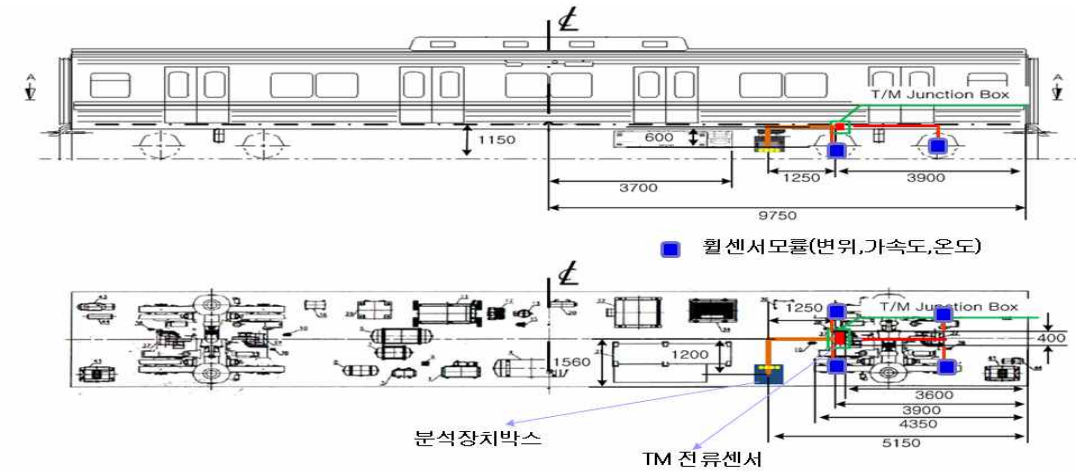


그림 3.4.167 센서 및 모듈 철도 내 설치 안

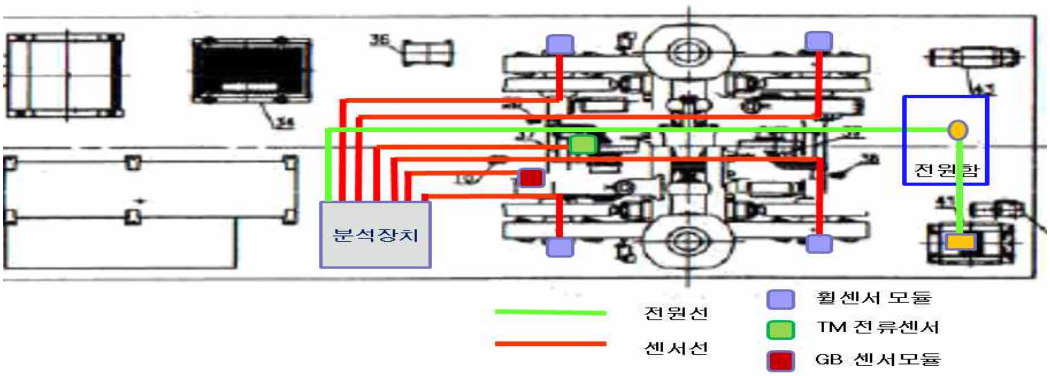


그림 3.4.168 동력전달계통 주요장치 및 센서 설치 안 확대

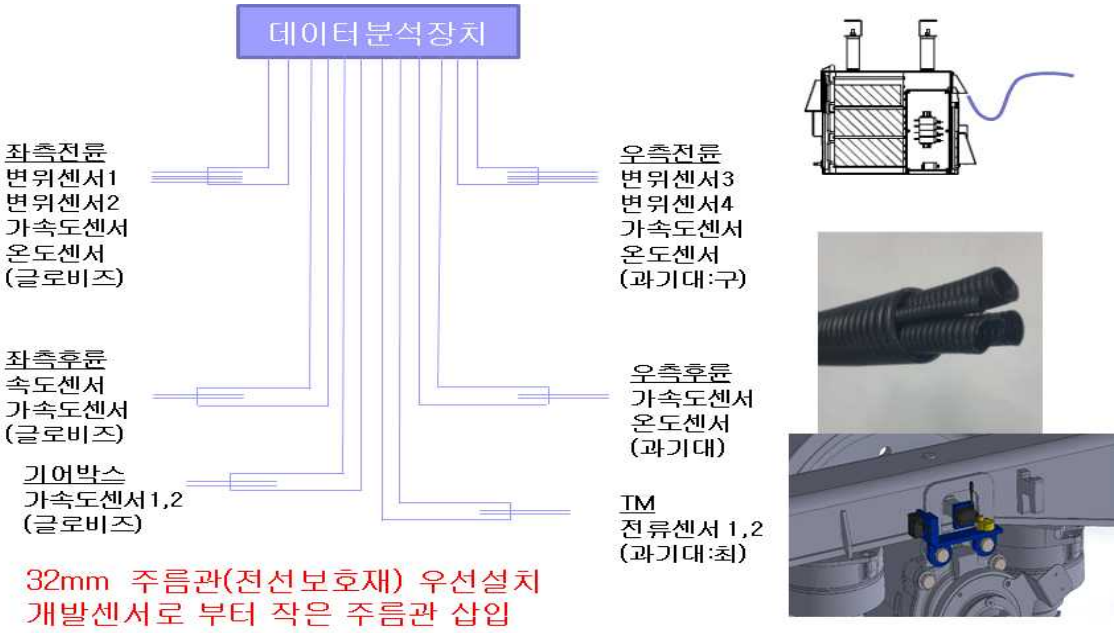


그림 3.4.169 동력전달계통 주요장치와 센서 간 연결 방안

그림 3.4.169은 데이터 획득 장치와 각 센서 간 연결 방안을 구체화하여 나타낸 것이다. 좌측 후륜에 속도센서가 달려있고 차체 가운데 기어박스 가속도 센서와 TM 전류센서를 2개 채널 씩 설치하였다.

데이터 획득 장치는 도시철도 7호선 32열차 3호차에 설치되었다. 그림 3.4.170은 최종 설치 완료 후 사진이다.



그림 3.4.170 동력전달계통 주요장치 함 설치

② 동력전달계통 주요장치 데이터 획득

데이터 획득 장치를 통해 계측 된 데이터를 파일로 저장 한 뒤 백업 받은 데이터를 차트로 그려보았다. 계측 날짜 및 시간은 2016년 1월 8일 08:00 이다. 100초간의 데이터가 한 개의 파일에 저장되므로 차트에 보여 지는 데이터는 100초간의 데이터이다. CMS1번에서 20채널, CMS2번에서 2채널의 데이터를 획득하였다. 각 센서 채널 정보는 아래 표 3.4.18, 3.4.19와 같다.

표 3.4.18동력전달계통 주요장치 시스템 CMS1 채널안

Ch No.	Description
1	L1 3축 가속도계 (X축)
2	L1 3축 가속도계 (Y축)
3	L1 3축 가속도계 (Z축)
4	R1 3축 가속도계 (X축)
5	R1 3축 가속도계 (X축)
6	R1 3축 가속도계 (X축)
7	L2 1축 가속도계
8	R2 1축 가속도계
9	기어박스 1축
10	기어박스 1축
11	속도센서
12	미사용 (RPS값 표기)
13	L1 변위센서 Y축
14	L1 변위센서 Z축
15	R1 변위센서 Y축
16	R1 변위센서 Z축
17	L1 온도센서
18	R1 온도센서
19	획득 장치 내부 온도센서
20	L2 온도센서

표 3.4.19 동력전달계통 주요장치 시스템 CMS2 채널안

Ch No.	Description
1	TM 전류센서
2	

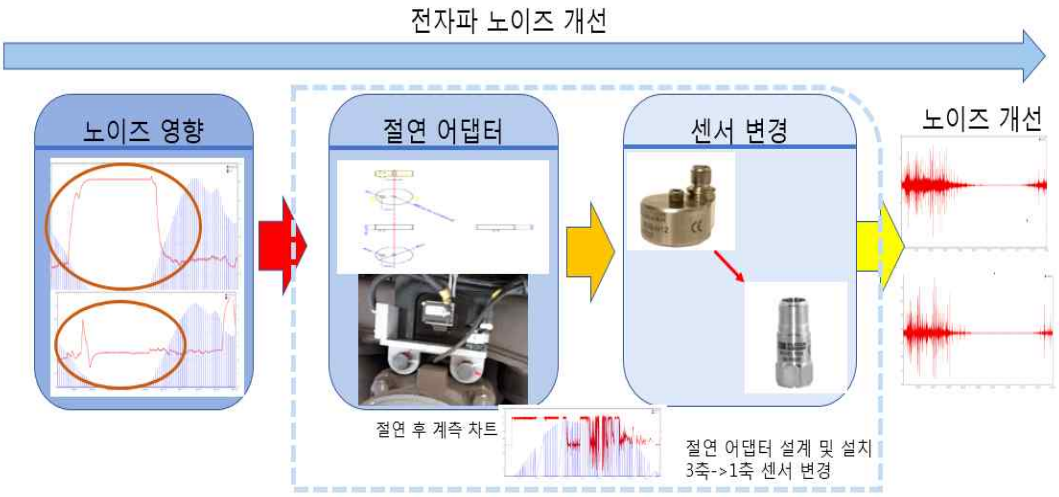


그림 3.4.171 동력전달계통 주요장치 전자파 노이즈 개선과정

그림 3.4.171의 차트 모양을 보면 데이터가 전자파 노이즈에 심하게 영향을 받는 것을 볼 수 있다. 속도가 0인 구간에서는 데이터가 노이즈 없이 계측 되지만 운행이 시자가 되면 큰 노이즈와 함께 데이터가 계측되고 있다. 이 노이즈 문제를 해결하기 위해서 가속도 센서와 차체 사이에 절연 어댑터를 적용 설계하였다. 절연 어댑터의 장착으로 전자파 노이즈의 감소를 예상하였지만, 절연 어댑터 장착 후 데이터도 마찬 가지로 전자파 노이즈가 발생하는 것으로 확인되었다. 최대범위가 100g인 1축 가속도계로 교체 후 동력전달계통 주요장치 시스템의 신호에서 발생되는 전자파 노이즈를 개선하였다.

㉮ TCMS 데이터 비교 통한 데이터 획득장치 신뢰성 획득

데이터의 신뢰성을 검증하기 위해 도시철도의 운행 정보를 기록하는 TCMS 데이터의 속도 데이터와 글로비즈 데이터 획득 장치를 통해 계측된 rps 데이터를 그림 3.4.172과 같이 비교해 보았다.

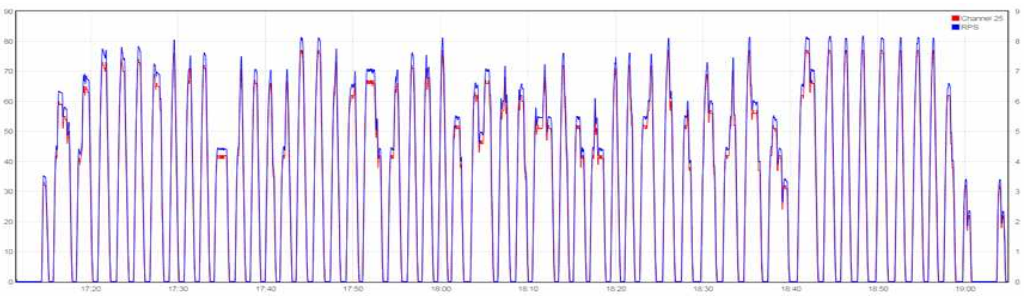


그림 3.4.172 TCMS와 동력전달계통 주요장치 시스템 전구간 RPS 비교

데이터 계측 날짜 및 시간은 2016년 1월 8일 17시 15분부터 19시 6분까지 이다. 철도는 17:15분 도봉산역을 출발하여 18:59분 부평구청 역에 도착하는 편도 노선을 운행 하였다.

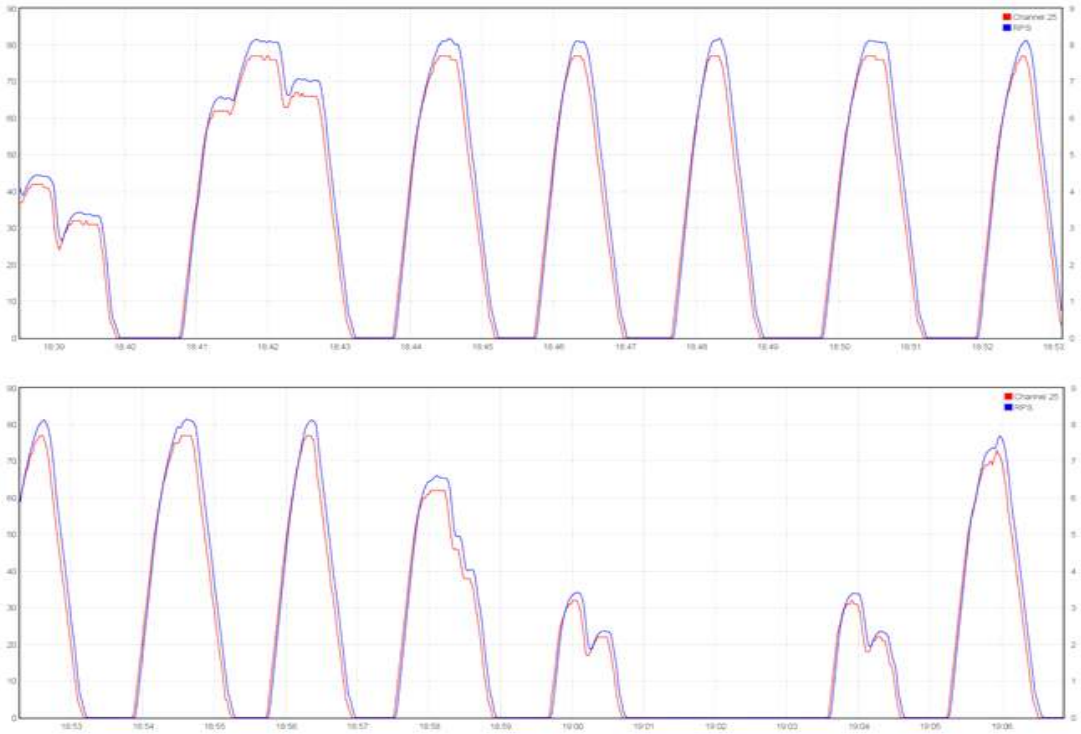


그림 3.4.173 TCMS와 동력전달계통 주요장치 시스템 RPS 단시간 차트 비교

그림 3.4.173을 보면 각 시간별 TCMS 속도 데이터와 계측된 rps값이 단위는 다르지만 패턴이 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이는 데이터의 값을 교정하면 실제 TCMS 속도데이터와 계측된 데이터의 값이 동일하다는 것을 나타내고 있다. 값이 0인 부분은 열차가 정차한 상태이고 가속 지점과 감속 지점을 한눈에 알아 볼 수 있다.

㉰ 실차 데이터 RMS, RPS 비교분석

RMS값 이란 Root Mean Square의 약자로 실효 출력 값을 나타내는 값이다. 계측된 Raw 데이터를 계산하여 얻은 RMS값과 rps값을 동시에 차트로 그려보았다. 아래 그림은 베어링 가속도계 채널 중 1번 채널(1축가속도계 X축)이다. 다른 베어링 가속도계 채널(2~8번 채널)들도 비슷한 경향을 보인다.

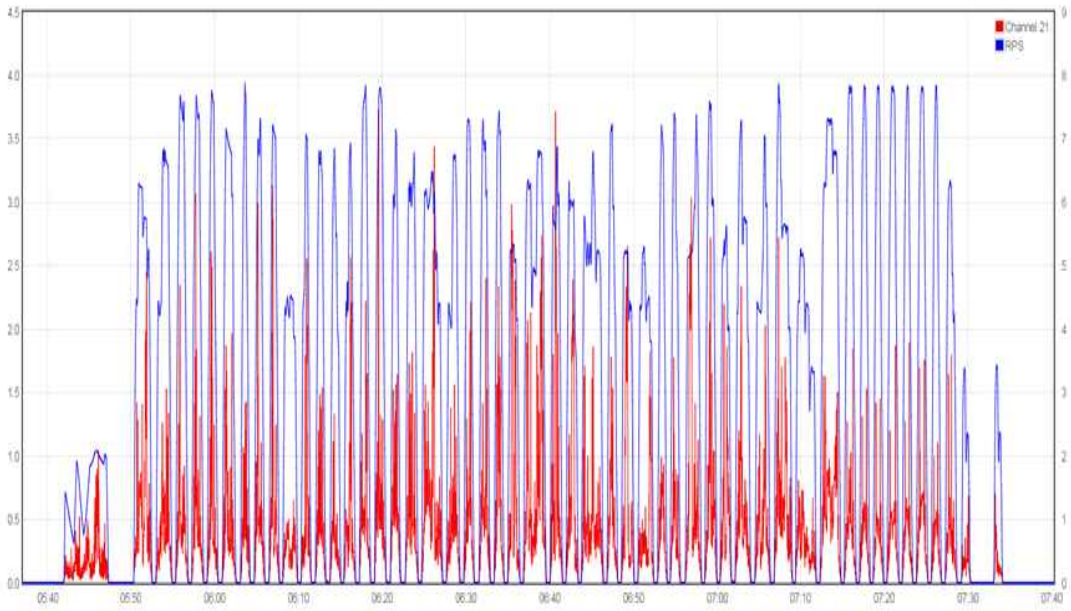


그림 3.4.174 도봉산-부평구청 구간 RMS 와 rps 비교 데이터
(1번 채널 - 1축가속도계 X축)

그림 3.4.174은 편도구간 전체를 한 화면에 표시한 차트이다. 좀 더 자세한 비교를 위해 시간으로 구간을 나눠 다시 차트를 그려보았다. 각 차트별 시간과 정류장 정보는 표 3.4.20와 같다.

표 3.4.20 시간별 운행 데이터 차트 안내

Chart No.	Time	Station
1	05:50 ~ 06:02	도봉산 ~ 하계
2	06:02 ~ 06:13	공릉 ~ 사가정
3	06:14 ~ 06:23	용마산 ~ 청담
4	06:25 ~ 06:37	청담 ~ 내방
5	06:37 ~ 06:49	총신대입구 ~ 신풍
6	06:49 ~ 07:00	신풍 ~ 천왕
7	07:02 ~ 07:17	천왕 ~ 부천시장
8	07:18 ~ 07:29	상동 ~ 부평구청

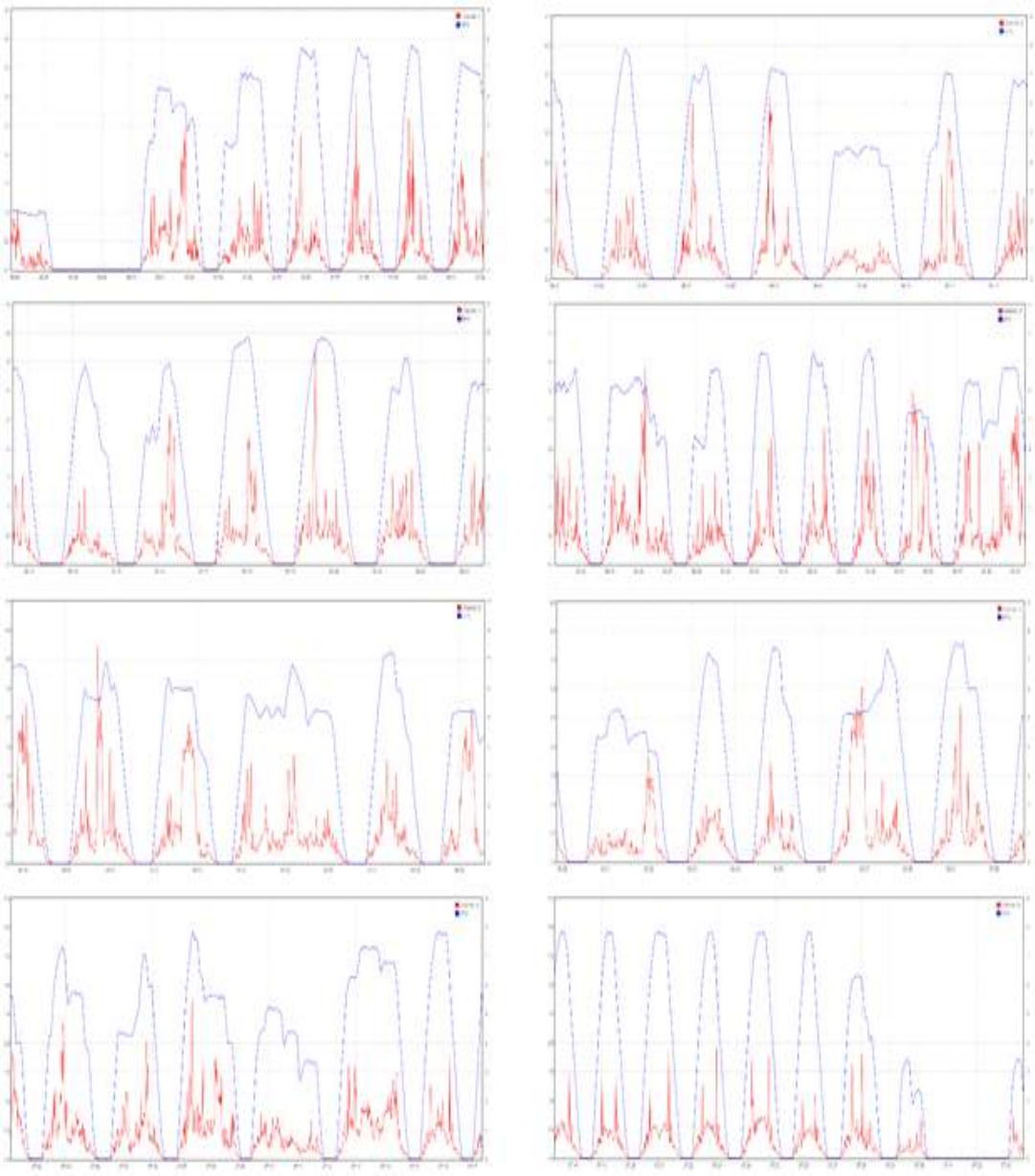


그림 3.4.175 도봉산 - 부평구청 구간 RMS 와 rps 비교 데이터 확대
(1번 채널 - 1축가속도계 X축)

그림 3.4.175는 매 초당 RMSA값을 rps값 과 동기화 시켜 그려본 차트이다. 대체로 rps값이 높은 구간에서 RMS값도 높게 나타나고 있지만 rps 최고점이 RMSA 최고점을 뜻하진 않는다. 특정 속도에서 RMSA값이 크게 튀는 것을 확인할 수 있다.

그림 3.4.176는 기어박스 가속도계 채널 중 9번 채널(기어박스)이다. 다른 기어박스 가속도계 채널(10번 채널)도 비슷한 경향을 보인다. 그림 3.4.177은 채널 9번과 10번을 시간별 구간으로 각각 확대한 것이다.

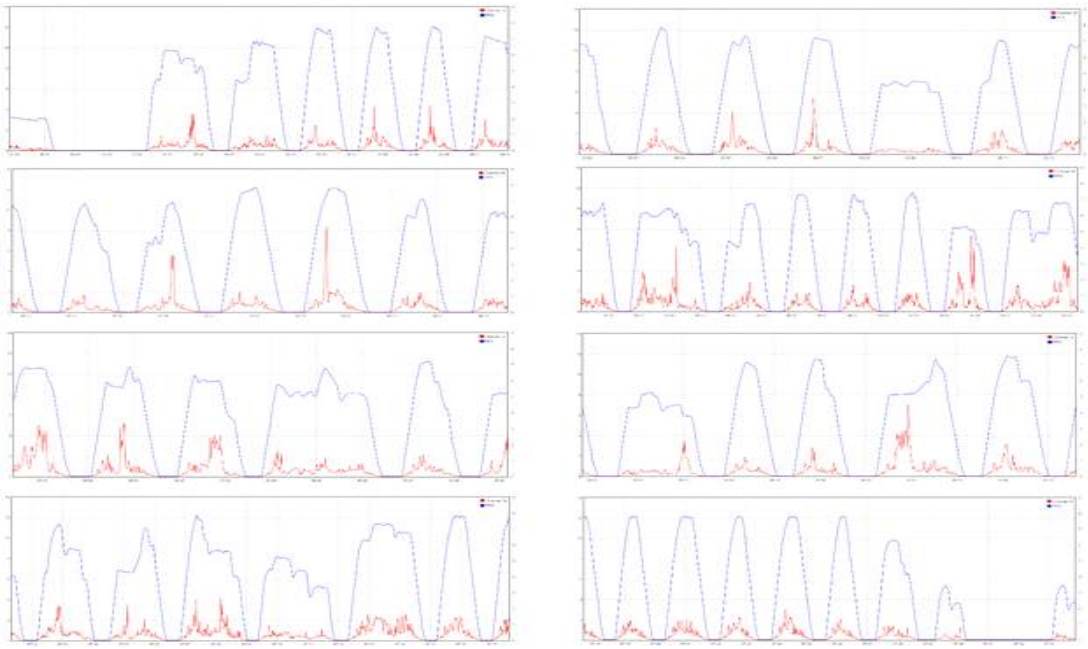


그림 3.4.176 도봉산-부평구청 구간 RMS 와 rps 비교 데이터
(9번 채널 - 1축가속도계 기어박스)

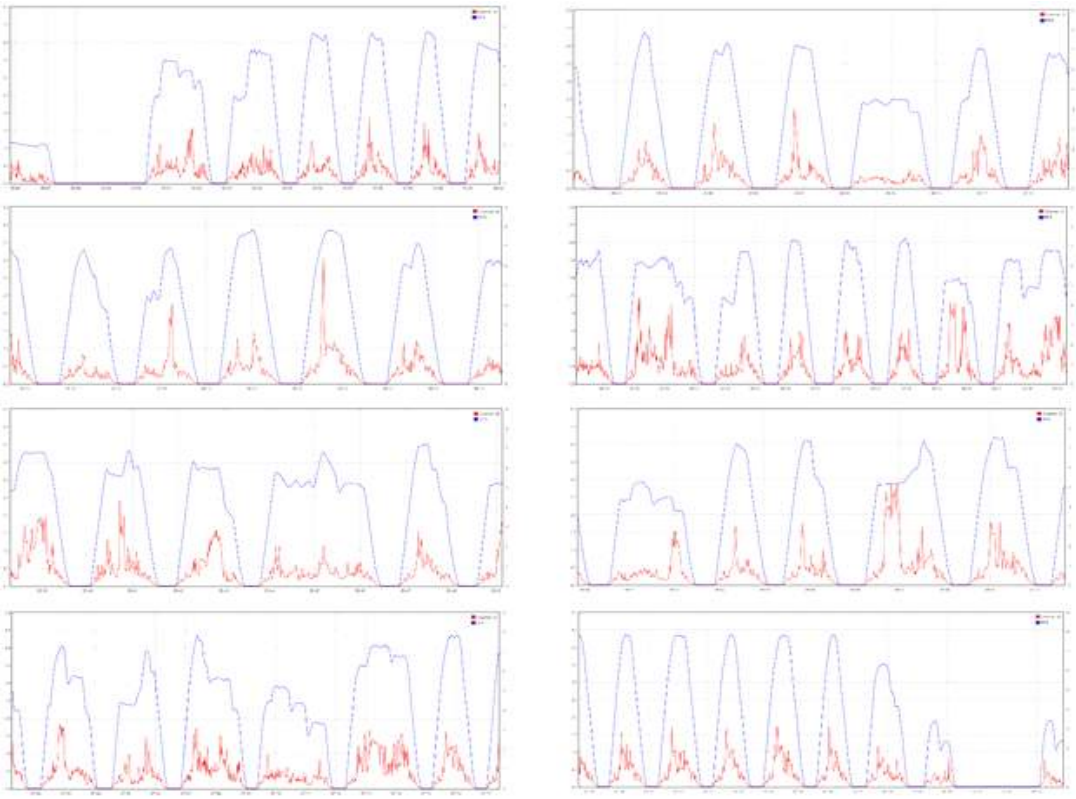


그림 3.4.177 도봉산 - 부평구청 구간 RMS 와 rps 비교 데이터 확대
(9번 10번 채널 - 1축가속도계 기어박스)

데이터 획득 장치를 통해 계측 된 데이터를 파일로 저장 한 뒤 백업 데이터를 저장한다. 총 시험일은 2015.11월부터 2017.04월 약 18개월간 현차시험을 진행하였으며 저장된 총 데이터의 크기는 15TB이다. 아래 표 3.4.21은 데이터 획득 장치를 통해 현재까지의 데이터 구축한 내용을 보여준다.

표 3.4.21 데이터 구축요약

구분	내용
시험일	2015.11월 (시험시작일)~2017.4월(현재)-약 18개월
DB 크기	15테라바이트(TB)

(나) 현차 시험 4계절 데이터 구축 (예시)

구축된 4계절의 기어박스, 액슬박스에 대한 대표적 파형은 아래 그림과 같다.

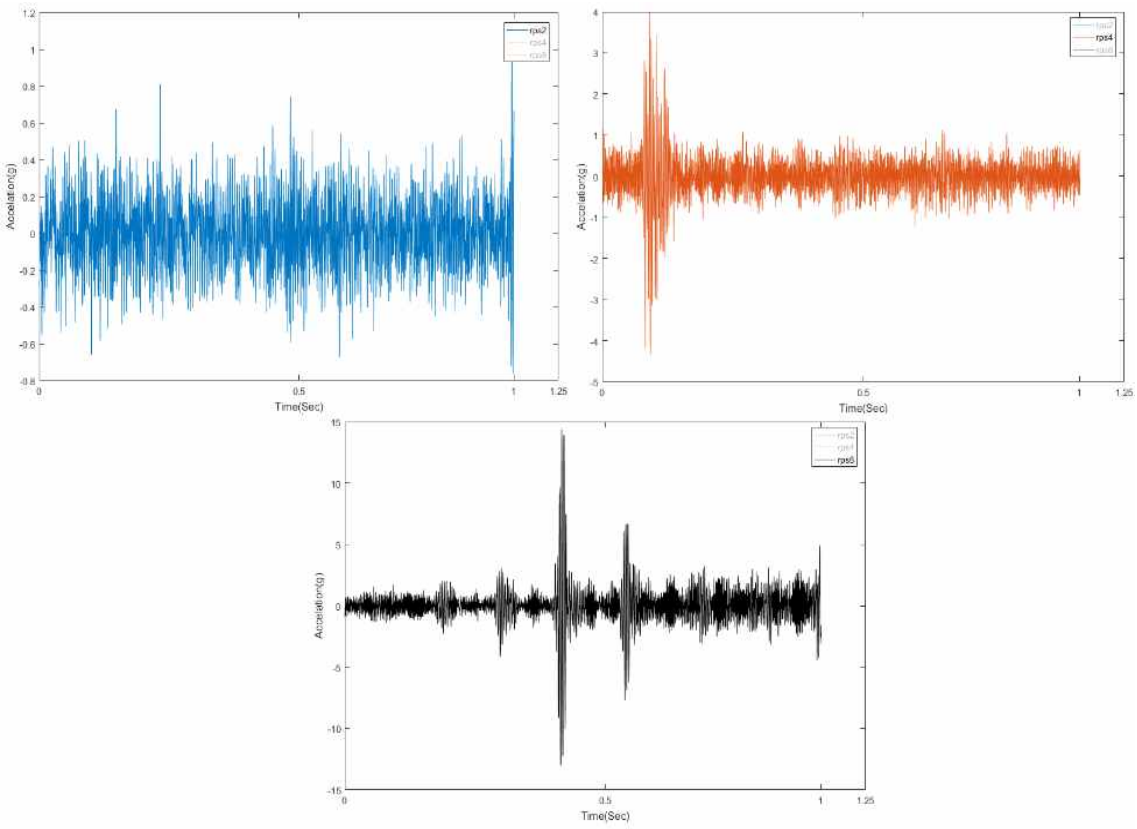


그림 3.4.178 사계절 실차 베어링 진동 데이터(봄, 2~6RPS)

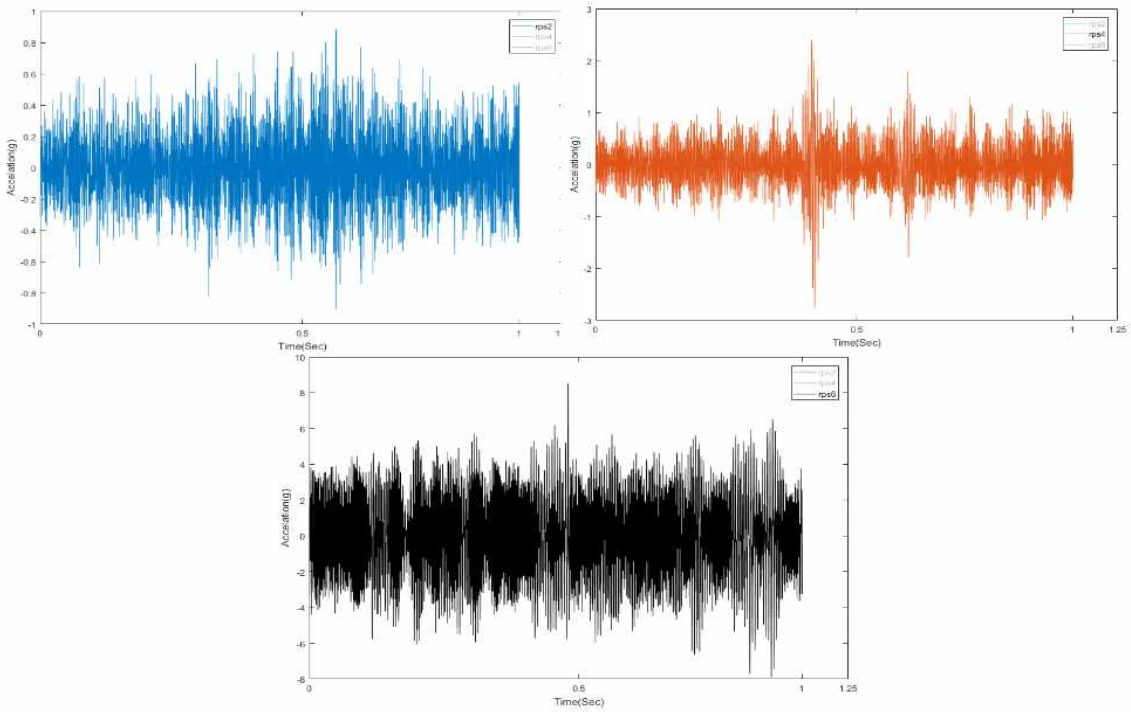


그림 3.4.179 사계절 실차 베어링 진동 데이터(여름, 2~6RPS)

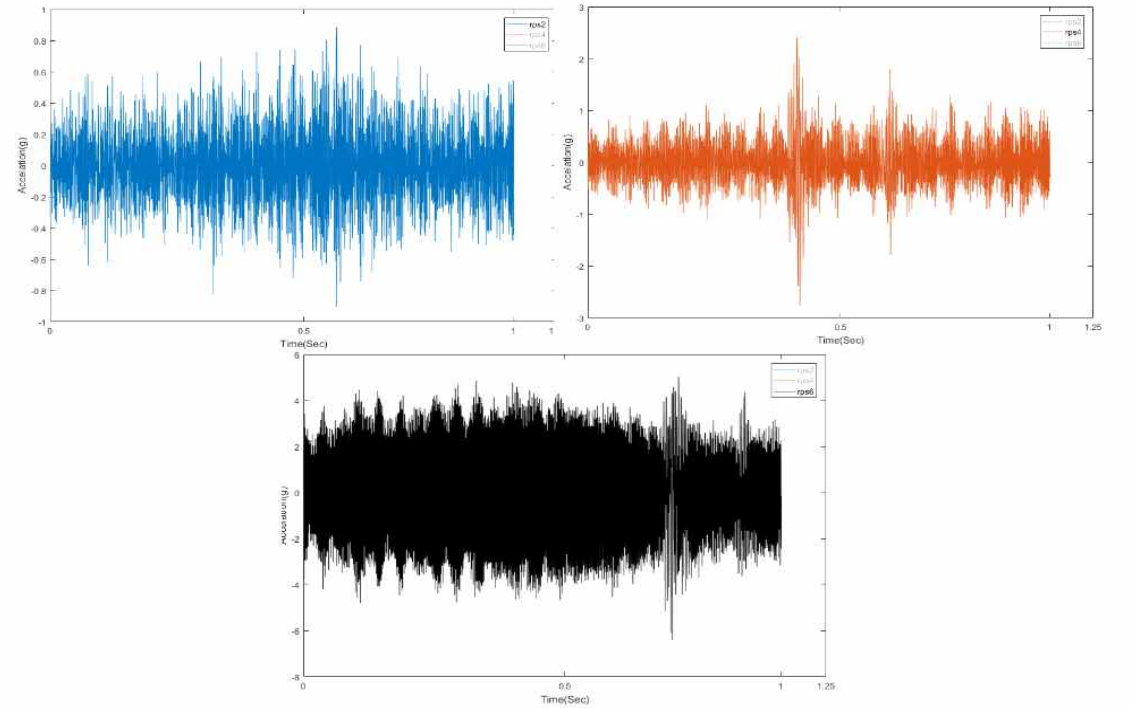


그림 3.4.180 사계절 실차 베어링 진동 데이터(가을, 2~6RPS)

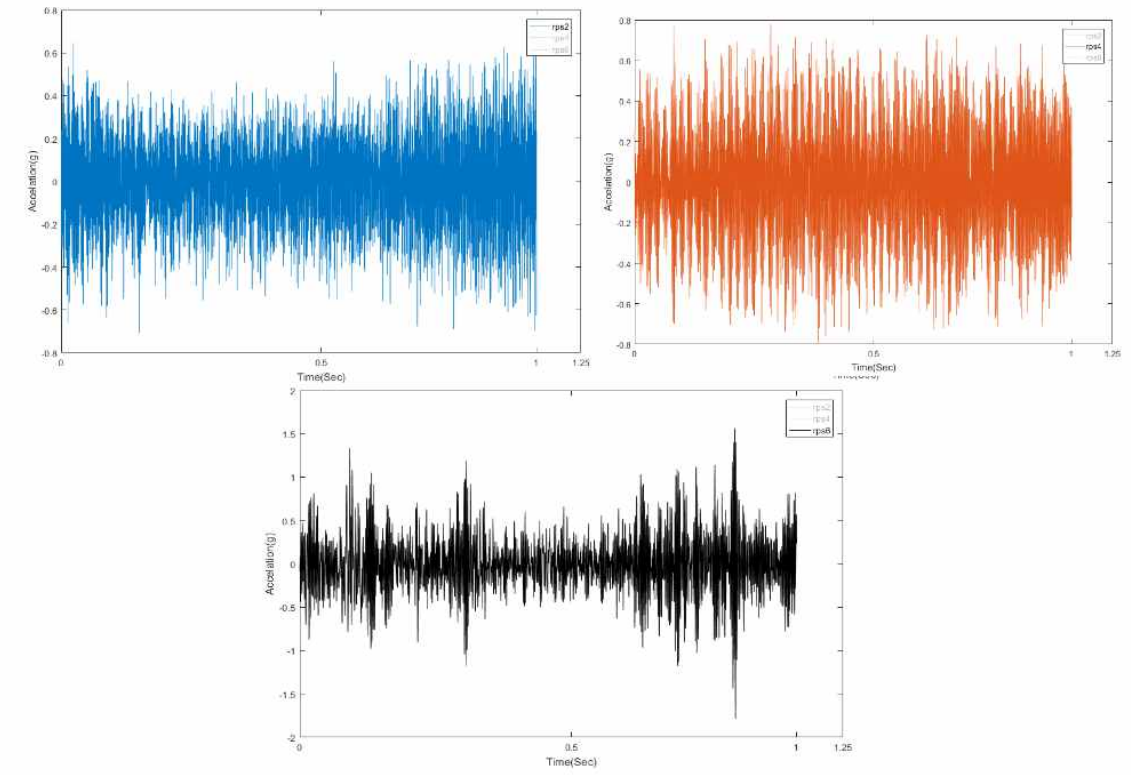


그림 3.4.181 사계절 실차 베어링 진동 데이터(겨울, 2~6RPS)

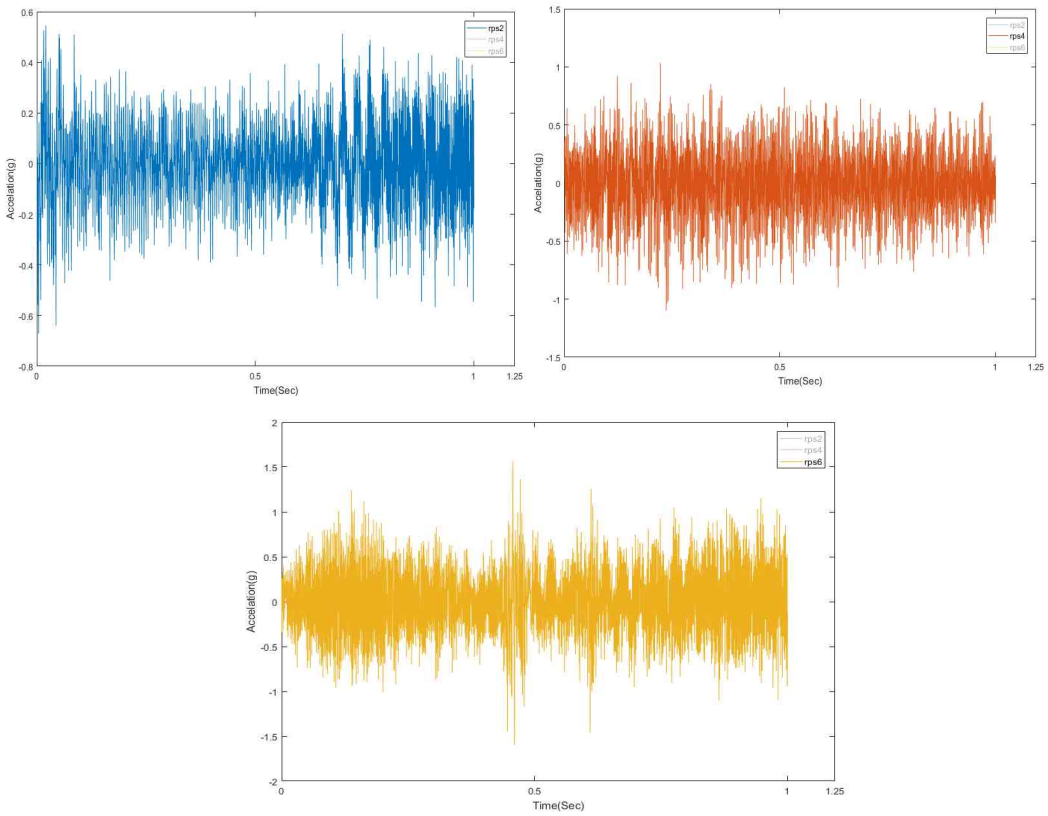


그림 3.4.182 사계절 실차 기어박스 진동 데이터(봄, 2~6RPS)

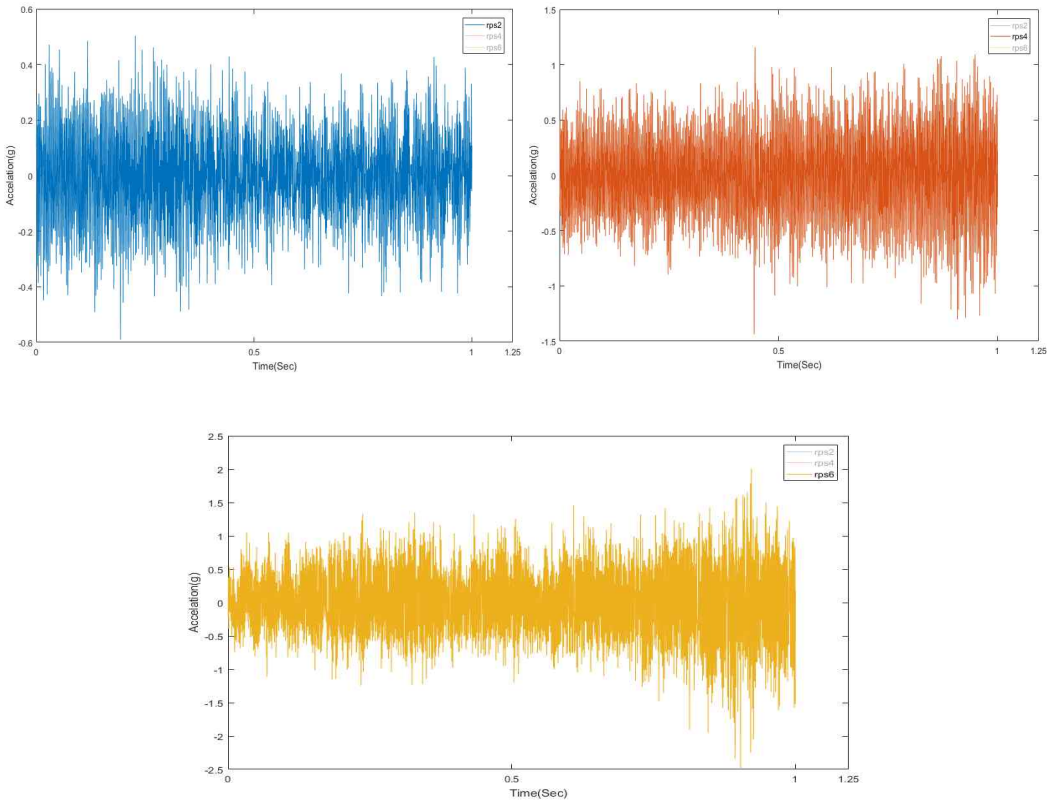


그림 3.4.183 사계절 실차 기머박스 진동 데이터(여름, 2~6RPS)

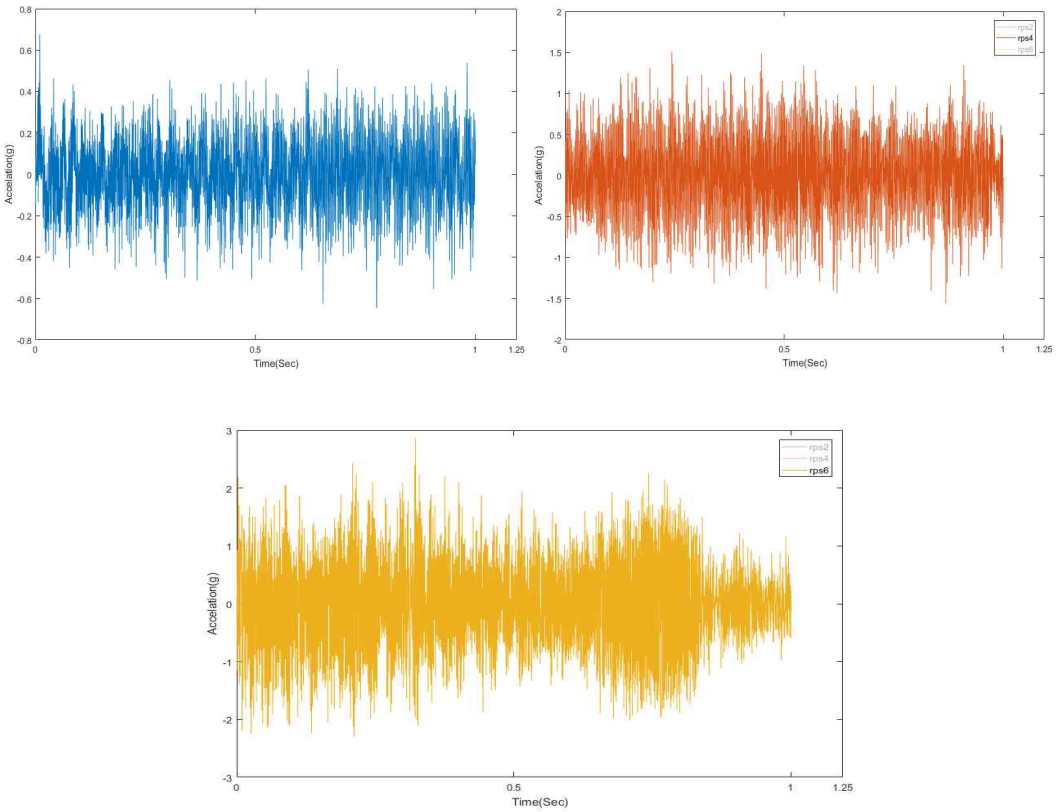


그림 3.4.184 사계절 실차 기머박스 진동 데이터(가을, 2~6RPS)

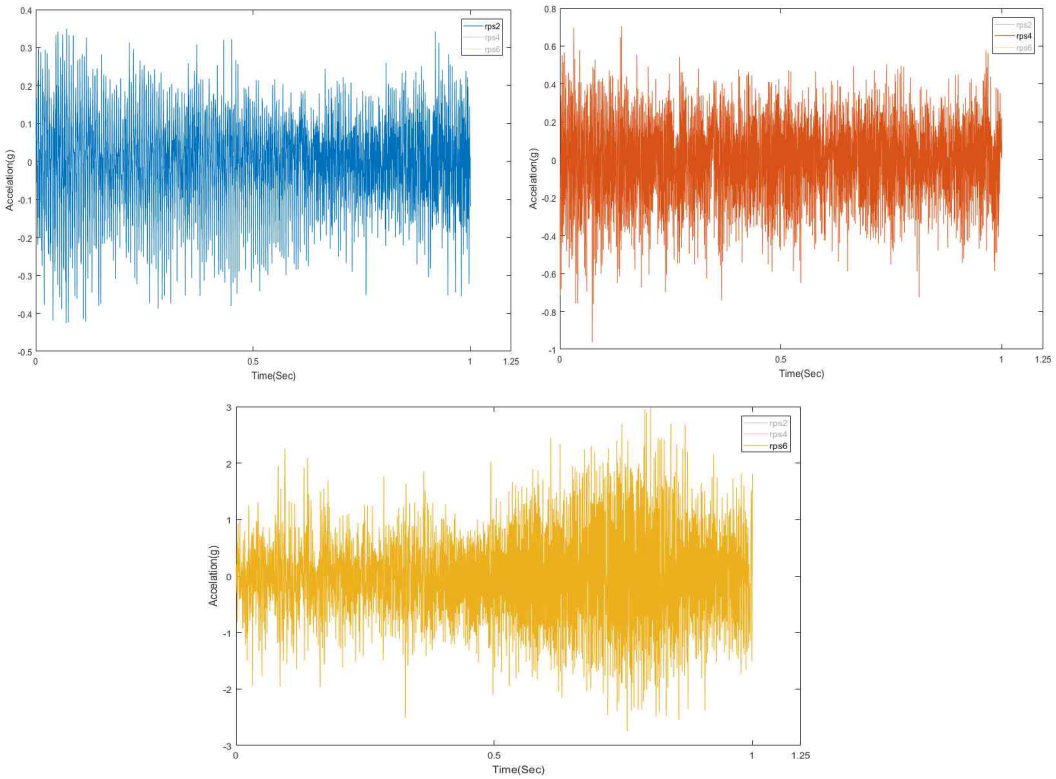


그림 3.4.185 사계절 실차 기어박스 진동 데이터(겨울, 2~6RPS)

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

가. RFP 대비 성과 달성도

세부분야	RFP	연구 성과	달성도 (%)
상태기반 유지보수체계 실행방안 연구	- 기존 유지보수체계와 CBM의 연계기술 개발	- 기존 유지보수체계와 CBM의 연계 기술 - 철도차량의 상태기반 유지보수 일반적 지침(안) - 입출력 데이터 표준화(안)	100
빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 개발	- 수학적/통계적 모델링을 통한 유지보수 최적화 알고리즘 개발 - 축적된 경험, 운영/고장/유지보수 빅데이터를 활용한 유지보수 최적화 추론 엔진 개발 - 스마트 유지보수 정보관리 및 의사결정시스템 개발(기존 유지보수시스템과의 정보 인터페이스)	- 수학적/통계적 방법에 의한 유지보수의사결정 S/W : ESOM(Expert System of Optimal Mmaintenance) - Black Box - 운영 및 유지보수 빅데이터를 활용한 유지보수의사결정 S/W : ESOM - Gray Box - S/W 통합 및 정보관리 인터페이스	100
유지보수자원에 대한 로지스틱스 시스템 개발	- 예비품 등 유지보수 자원에 대한 최적 소요량 산출 알고리즘 및 시스템 개발 - 예비품 등 유지보수 자원에 대한 적정성 평가시스템 개발 (CBM 효과도/가용도 평가용 시뮬레이션 포함)	- 예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 S/W : LAMP (Logistics Analysis Model and Program) - 유지보수자원에 대한 적정성 평가 S/W : LAMP-Verifier	100
동력전달계통 주요장치에 대한 CBM모델 연구	- 도시철도차량 동력전달계통 주요장치(동력전달장치, 제동장치, 추진제어장치, 고전압장치)에 대해 운영/고장/정비 이력 및 계측데이터 등를 이용한	- 동력전달장치 : · 차축베어링 CBM 모델 · 기어박스 CBM 모델 · 차륜찰상 CBM 모델 - 제동장치 : · 상용제동 솔레노이드밸브	100

	CBM모델 연구	CBM 모델 - 추진제어장치 : · 견인전동기 CBM 모델 - 고전압장치 : · 고속도차단기 CBM 모델 - 실시간 데이터 모니터링시스템 시제품 및 도시철도 현차시험 데이터베이스 : · 24ch, 3Khz이상, 15 TB 데이터	

나. 연구성과물의 기술적 적절성

연구 성과물	기존 시스템의 기술적 특성 (철도분야)	연구성과물의 기술적 특성 (차별성)	연구 성과물의 신뢰성 수준	연구 성과물의 기술진행 단계
상태기반 유지보수 체계 실행 일반지침	• 주기적으로 부품을 교체하거나 수리하는 유지보수체계	• 주기적으로 부품을 교체하거나 수리하지 않고 부품의 상태에 따라서 최적의 교체시기를 결정하고, 부품의 수명예측을 통해 고장이 발생하기 이전에 부품을 교환/수리하는 효율적인 스마트 유지보수체계	• 해외 사례와 미국 국방성의 사례 등을 벤치마킹	• 선행연구 단계
빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 (ESOM)-BlackBox	• 기존 기술(RIMS) 시스템은 달력시간 기준의 고장빈도 분석에 초점을 맞추어 짐. • 기존 기술은 도입(설치)일자가 다양한 시스템에 대해 시스템의 신뢰성 변동을	• 도입(설치)일자가 다양한 시스템에 대해 다양한 조건 (달력시간, 운영경과시간, 정비후경과시간 등)에서 신뢰성 변동을 모니터링 할 수 있어, 시스템의 상태를 1차적으로	• 사용자 검증 완료 • 외부 전문 기관을 통한 검증 완료 : 신뢰도 95% 이상	• 실험실 수준에서의 기술 검증 완료 : 상용화 직전 단계 • 외부 전문기관 : ㈜ 네모시

	모니터링 할 수 없음	모니터링 할 수 있음.		스 • 대상품목 : ESOM
빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 (ESOM)- Gray Box	• 빅데이터 기술 기반 S/W는 없음	• 유지보수 의사결정에 인공지능(딥러닝)을 최초로 적용한 S/W • 로직의 일부 Calibration을 통해 다양한 장치에 적용 가능 - 범용성 높음, 시간과 비용 측면에서 효과적임.	• 사용자 검증 완료 • 외부 전문 기관을 통한 검증 완료 : 신뢰도 95% 이상	• 실험실 수준에서의 기술검증 완료 : 상용화 직전 단계 • 외부전문기관 : ㈜ 네모시스 • 대상품목 : ESOM
유지보수 자원에 대한 로지스틱스 시스템 (LAMP)	• 기존 기술은 품목별 필요 소요량을 산출하는데 초점을 맞추어짐. • 철도 운영사는 3년 또는 5년간 예비품 평균 소모실적을 기반으로 차년도의 소요량을 계획	• 개발 기술은 품목별 필요 소요량을 시스템의 가용도와 비용 관점에서 최적임. • 수리순환 예비품의 경우 교체품이 다시 재고로 사용되는 것을 모델링하여 적정 재고 산출	• 사용자 검증 완료 • 외부 전문 기관을 통한 검증 완료: 신뢰도 95% 이상	• 실험실 수준에서의 기술검증 완료 : 상용화 직전 단계 • 외부전문기관 : ㈜ 네모시스 • 대상품목 : LAMP
유지보수 자원에 대한 로지스틱스 시스템 (LAMP)- Verifier	• 일반적인 상황에서의 철도 RAMS 특성을 시뮬레이션하는 기술 존재 • 소요 예측에 대한 검증 기능 부재	• 개발 기술은 LAMP와 인터페이스하여 상태기반유지보수의 효과 및 유지보수 자원의 적정성을 시뮬레이션으로 평가함.	• 사용자 검증 완료 • 외부 전문 기관을 통한 검증 완료 : 신뢰도 95%	• 실험실 수준에서의 기술검증 완료 : 상용화 직전 단계 • 외부전

		• 예비품 적정 재고 산출 결과를 가용성 및 비용 측면에서 검증 가능	이상	문기관 : ㈜ 네모시스 • 대상품목 : LAMP
CBM 모델	• 국내 철도분야에서 CBM 모델 없음.	• 도시철도 7호선에서 검측된 정상데이터를 기반으로 실제 차량에서 활용되는 동일한 환경에서 실대형 모의 시험을 통해 CBM 모델을 개발 • 실차에서 사용되는 장치를 결함률의 증가에 따른 패턴을 유도하여 고장의 단계에 따라 각 모델별 Threshold 도출	• 현차 및 실대형 시험을 통해 개발되었으므로 높은 신뢰성 보유	• 현재 연구결과는 선행연구 단계임 • 사업화 후 CBM모델에 대한 시험검증 방안: - 시험샘플 : 6개 이상 - 신뢰성 검증 시험 방법 : 가속시험 - 분석방법 : 다꾸치 직교배열법
실시간 데이터 모니터링 시스템	• 현차 주요 검측 대상에 대한 센서 장착 및 장시간 모니터링 시스템이 구현되어 있지 않음	• 현차에서 받는 진동, 사계절 온도 및 습도 변화 환경에 대한 시스템 신뢰성이 확보됨. 동일한 모니터링 시스템은 국내에서 운용되고 있지 않은 새로운 것임.	• 기존 TCMS 의 RPS 데이터와 비교시 97%일치	• 현차에서 기술검증 완료 : 상용화 단계 • 외부전문기관 : 자동차부품연구원

다. 연구성과물과 RIMS와의 차이점

연구성과물	RIMS의 유사기능	RIMS와의 차이점
빅데이터 기반 유지보수전문가 시스템(ESOM)-BlackBox	• 도시철도표준화 2단계 연구의 "도시철도차량 신뢰도 가용도 관리시스템"의 신뢰도 분석 기능	• 기존 기술(RIMS) 시스템은 달력시간 기준의 고장빈도 분석에 초점을 맞추어짐. • 기존 기술은 도입(설치)일자가 다양한 시스템에 대해 시스템의 신뢰성 변동을 모니터링 할 수 없음 • 개발기술(ESOM-Black Box)은 도입(설치)일자가 다양한 시스템에 대해 다양한 조건 (달력시간, 운영경과시간, 정비후경과시간 등)에서 신뢰성 변동을 모니터링 할 수 있어, 시스템의 상태를 1차적으로 모니터링에 적용 가능함.
빅데이터 기반 유지보수전문가 시스템(ESOM)-Gray Box	• 기능 없음.	• 유지보수 의사결정에 인공지능(딥러닝)을 최초로 적용한 S/W
유지보수자원에 대한 로지스틱스 시스템(LAMP)	• 도시철도표준화 2단계 연구의 "도시철도차량 신뢰도 가용도 관리시스템"의 재고량 산출 기능	• 기존 기술은 품목별 필요 소요량을 산출하는데 초점을 맞추어짐. • 개발 기술(LAMP)은 품목별 필요 소요량을 시스템의 가용도와 비용 관점에서 최적함. • 교체 소요기반 적정 예비품 수량을 산출
유지보수자원에 대한 로지스틱스 시스템(LAMP)-Verifier	• 기능 없음.	• 개발 기술은 LAMP 와 인터페이스하여 상태기반유지보수의 효과 및 유지보수 자원의 적정성을 시뮬레이션으로 평가함.

2. 관련 분야 기여도

연구성과물	기여도(기대효과)
상태기반 유지보수체계 실행 일반지침	- CBM을 유지보수에 적용하고자 하는 운영기관이 계획, 실행, 운용의 전 순기에 걸쳐 지침서로 활용 - 상태기반유지보수(CBM)을 적용할 경우 기존 유지보수체계 대비 유지보수비 10% 이상 절감 (동일본 사례: 약 35% 유지보수 비용 절감 효과) · 철도의 LCC(Life Cycle Cost)에서 유지보수가 차지하는 비중은 30%로 보고되고 있으며(출처 : Oliver Wyman),국내의 경우는 32.6%로 추정됨. 2012년도 국내 도시철도차량(총 보유 : 7661량)에 대한 유지보수비용은 6017억원으로서 추정되며, 총 영업비용의 14.3%를 점유하고 있는 바, 상태기반 유지보수체계의 도입으로 유지보수비의 10%를 절감할 수 있을 경우 년간 600억원 이상의 예산절감 효과 - 철도차량 가용성 및 정시성 10% 이상 향상
빅데이터 기반 유지보수전문가 시스템 (ESOM)	- 유사한 유지보수 전문가시스템을 해외에서 도입할 경우 수입대체효과 : 180억원 · 도입비 : 3억 x 20개 기관 = 60억원 · S/W Upgrade 비 : 60억 x 10%(년간) x 20년 = 120억원 - 유비보수 및 운영 데이터를 활용하여 유지보수주기 재산정
예비품 등 유지보수자원에 대한 로지스틱스) 시스템 (LAMP)	- 시스템을 해외에서 도입할경우 수 입대체효과 : 120억원 · 도입비 : 2억 x 20개 기관 = 40억원 · S/W Upgrade 비 : 40억 x 10%(년간) x 20년 = 80억원 - 철도 운영기관 예비품 산출 모델로 활용 및 예비품 비용 5~10% 절감 효과 · 근거 : 운영 데이터를 기반으로 예비품 비용 절감에 관한 사례 연구 (한국철도학회)
동력전달계통 주요장치에 대한 CBM모델	- 도시철도차량에 대해 사계절 장기간 데이터 획득을 통한 동력전달계통 주요장치 정상상태 데이터 확보 - CBM 모델 및 데이터분석장치의 선도적 원천기술개발로 세계 철도차량 지능형 모니터링 시장 선점 • 세계 도시철도차량 년간 평균 정비비(량당) : 30만유로(4.5억)

	* 출처 : Rail Vehicle Maintenance-Global trends in the After-sales Market(SCI/Verkehr Gmb H, Berlin 2014) - 6개부품에 대한 유지보수주기 최적화로 비용 절감 및 고장전 부품교체로 인한 안전성 향상 - 지능형 상태모니터링 장치가 부착된 Smart 유지보수가 가능한 철도차량 개발로 국내철도차량의 대외 수출 - 빅데이터 및 상태기반 유지보수 기술이 고장의 리스크가 큰 부품에 대해서만 선별적으로 유지보수 할 수 있게 함으로써 철도차량의 신뢰성을 높이는 동시에 예방정비 비용 절감 - 이상상태 조기감지/예방정비를 통하여 운행장애 예방으로 연 360억원의 손실비용 저감 (근거: 도시철도운영효율화 방안 연구 기획보고서)

제5장. 연구개발성과의 활용계획

세부분야	활용계획
상태기반 유지보수체계 시행방안 연구	- 철도운영자가 신형/노후 도시철도차량에 대해 CBM을 적용하고자 할 때 지침서로 활용 ※ <철도안전법> 제7조제5항에 따라 제정·고시된 "철도안전관리체계 기술기준(국토교통부고시 제2014-132호, 2014. 5. 26.)의 「12.1.1. 유지관리 프로그램의 수립」 시행에 활용
빅데이터 기반 유지보수전문가 시스템 개발	- <철도안전법> 제7조제5항에 따라 제정·고시된 "철도안전관리체계 기술기준(국토교통부고시 제2014-132호, 2014. 5. 26.)의 「12.5.2. 유지관리 결과의 활용」 시행에 활용 - 참여기업(카이엠)과 기술이전계약을 통한 국내외 철도 유지보수 시장 및 국방 등 타 산업 유지보수 분야 진출
예비품 등 유지보수자원에 대한 로지스틱스(LOGISTICS) 시스템 개발	- <철도안전법> 제7조제5항에 따라 제정·고시된 "철도안전관리체계 기술기준(국토교통부고시 제2014-132호, 2014. 5. 26.)의 「12.7.1. 유지관리 부품의 확보」, 「12.6.1. 설비 및 장비의 확보」, 「12.6.3. 교체 계획」 시행에 활용 - 참여기업(카이엠)과 기술이전계약을 통한 국내외 철도 유지보수 시장 및 국방 등 타 산업 유지보수 분야 진출
동력전달계통 주요장치에 대한 CBM모델 연구	- 6개 장치에 대한 상태진단의 기준값으로 활용하여 기존 유지보수 주기 개선 - 운영기관의 신형 차량에 Embedded sensor를 설치한 주요장치 실용화 시제품 개발에 활용 - <철도안전법> 제7조제5항에 따라 제정·고시된 "철도안전관리체계 기술기준(국토교통부고시 제2014-132호, 2014. 5. 26.)의 「12.7.2. 유지관리 부품의 품질확보」 시행에 활용 - 참여기업(글로비즈)과 기술이전계약을 통한 국내외 철도 모니터링 시장 및 타 산업 진단분야 진출

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1. Condition-based Maintenance and Machine Diagnostics, J.H. Wiliams, Kluwer Academic Publishers, 1994

2. 상태기반의 유지보수시스템 체계 구조, 중화인민공화국 국가표준 GB/T 26221 - 2010, 2011.5

3. Use of Vibrations Analysis Technique for Condition-based Maintenance, Syed Tafazzul Mahmood, Lambert Academic Publishing, 2011

4. Stochastic RFenewal Process Model for Condition Based Maintenance, Pradeep Ramchandani, Verlan Dr. Muller, 2009

5. Vibration Analysis Processes in Noisy Environments for the Purposes of Condition Based Maintenance and the Significance of Regime Recognition, Travor Roevuck, UMI Dissertation Pubsishing, 2011

6. Condition Based Maintenance Plus DoD Guidebook, Departmment of Defense USA, May 2008

7. Structural Health Monitoring 2011 : Condition-Based maintenance and Intelligent Structures : Proceedings of the Eighth International Workshop on Structural Health Monitoring, 2011

8. ISO 29821-1 : 2011

9. ISO 18436-1 : 2012

10. ISO 18436-2 : 2014

11. ISO 18436-3 : 2012

12. ISO 18436-4 : 2014

13. ISO 18436-5 : 2012

14. ISO 18436-6 : 2014

15. ISO 18436-7 : 2014

16. ISO 18436-8 : 2013

17. ISO 13374-2 : 2007

18. ISO 13374-3 : 2012

19. ISO 13374-4

20. ISO 13373-9 : 2007

21. ISO 13379-2

22. ISO 20958 : 2013

23. ISO 16587 : 2004

24. ISO 26221 : 2010

25. ASTM D7973:14 (active)

26. ASTM E2412:10 (active)

제7장. 연구개발성과의 보안등급

해당 없음

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

해당 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

○ 주관기관 (한국철도기술연구원) : 연구원 자체 규정 “안전보건관리규정”에 의거 이행

○ 공동연구기관 (카이엠, 글로비즈) : 산업체 안전관리규정에 의거 이행

○ 공동연구기관 (서울과기대, 한국과학기술원) : 국립대학 실험실 안전규정에 의거 이행

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분(논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속기관명	역할	논문 게재지/특허 등록국가	영향력 지수	논문 게재일/특허 등록일	사사 여부 (단독사사 또는 중복사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	Comparative Study of Time-Based Maintenance and Condition-Based Maintenance for Optimal Choice of Maintenance Policy	KAIST	공동	Structure and Infrastructure Engineering	2.5	2016.2.29	단독	SCI
2	논문	인버터 입력 전류 분석을 이용한 유도전동기 고장진단	서울과기대	공동	한국산학기술학회		2016.7.31	단독	국내학술지
3	논문	차륜의 찰상 결함 진단을 위한 켑스트럼 분석 방법 연구	서울과기대	공동	한국안전학회지		2016.6.30	단독	국내학술지
4	논문	전동차 고속차단기 고장분석을 위한 FMECA 기법	서울과기대	공동	한국산학기술학회		2015.5.10	단독	국내학술지
5	논문	풍력발전기 유성기어박	서울대	위탁	대한기계학회		2015.4.20	단독	국내학술지

		스의 진동변조 특성을 고려한 진동기반 고장진단기법 개발							
6	논문	도시철도차량 제동장치의 솔레노이드 밸브에 대한 전류기반 고장진단기법 개발	서울대	위탁	대학기계학회		2016.6.30	단독	국내학술지
7	논문	A study on strategy of condition based maintenance for Korea metro rolling stocks	철도연	주관	Railway Condition Monitoring		2016.9.27	단독	해외발표
8	논문	A study on condition based maintenance for urban rail vehicles in Korea	철도연	주관	World Congress on Railway Research		2016.6.1	단독	해외발표
9	논문	Development of fault diagnostic technique for solonoid valve used in urban railwa braking system	서울대	위탁	I.C. on Material and Reliability		2015.11.23	단독	해외발표
10	논문	Post-fault Operation of Open-circ	철도연	주관	IEEE		2014.8.20	단독	해외발표

		uit Fault in Three-phase PWM Comverter							
11	논문	철도차량 상태기반유지보수(CBM) 연구	철도연	주관	한국철도학회		2016.10.20	단독	국내발표
12	논문	도시철도차량 CBM전용 데이터 분석시스템용 모니처링 장치 개발 및 적용	글로비즈	공동	한국철도학회		2016.5.25	단독	국내발표
13	논문	다단계 다계층 재고모형에서 목표운용가용도를 만족시키는 최적재고정책 결정방법 연구	카이엠	공동	한국철도학회		2016.5.25	단독	국내발표
14	논문	CBM 적용대상 부품에 관한 상태데이터 계측 및 현차적용에 대한 사전연구	서울도철	위탁	한국철도학회		2016.5.25	단독	국내발표
15	논문	다단계 다계층 재고모형에서 목표운용가용도를 만족시키는 최적재고정책 결정	카이엠	공동	한국철도학회		2017.5.18	단독	국내발표
16	논문	수리부속 수	카이	공동	대한기		2015.4.3	단독	국내발표

		요예측을 위한 시뮬레이션 기반 업무분포 산출 연구	엠		계학회				
17	논문	철도 차륜 데이터를 활용한 열화모델 추론 연구	KAIST	공동	도시철도학회		2015.4.24	단독	국내발표
18	논문	도시철도차량 상태기반 스마트 유지보수체계의 단계별 활동 요건 분석	철도연	주관	대한기계학회		2015.2.27	단독	국내발표
19	논문	전동차 추진제어장치 상태감시를 위한 Precursor Parameter 검토	서울과기대	공동	한국철도학회		2015.5.21	단독	국내발표
20	논문	빅데이터 기반 도시철도차량 유지보수 전문가시스템 개념설계	철도연	주관	한국철도학회		2015.5.21	단독	국내발표
21	논문	철도차량 윤축베어링 피로결함 모델기반 조기감지기술 개발	글로비즈	공동	한국철도학회		2015.5.21	단독	국내발표
22	논문	데이터 기반 패턴매칭 기법을 활용한 철도 부품	KAIST	공동	한국철도학회		2015.5.21	단독	국내발표

		상태진단							
23	논문	철도차량 유지보수자원 최적화 산출 기법 연구	카이엠	공동	한국철도학회		2015.5.21	단독	국내발표
24	논문	철도차량 상태기반 유지보수체계 추진전략	철도연	주관	한국철도학회		2015.5.21	단독	국내발표
25	논문	상태기반 유지보수체계 적용을 위한 전동차 주요 부품의 신뢰성 분석	서울도철	위탁	한국철도학회		2015.5.21	단독	국내발표
26	논문	차륜의 상태기반 결함감지 기법 연구	서울과기대	공동	한국철도학회		2015.5.21	단독	국내발표
27	논문	철도차량 제동장치의 주요 부품 고장진단을 위한 테스트베드 구축	서울대	위탁	한국철도학회		2015.5.21	단독	국내발표
28	논문	전동차 고장유지보수 데이터 분석을 통한 상태기반 유지보수 대상 부품 선정 연구	서울도철	위탁	한국도시철도학회		2015.4.23	단독	국내발표
29	논문	도시철도차량 상태기반 유지보수체계 구현방안 연구	철도연	주관	대한기계학회		2014.2.20	단독	국내발표
30	논문	도시철도차	서울	위탁	한국신		2014.5.20	단독	국내발표

		량 유지관리 패러다임의 병화와 대응 방안	도철		뢰성학회				
31	특허	난수의 분산 제어 방법 및 장치 그리고 난수의 분산제어를 통한 시뮬레이션 방법 및 장치	카이엠	공동	한국		2018.3.13	단독	등록
32	특허	철도차량의 수리가능 품목의 오버홀 과정 시뮬레이션 방법	철도연	주관	한국		2016.9.19	단독	등록
33	특허	예비부품 관리방법 및 예비부품 관리장치	카이엠	공동	한국		2016.9.27	단독	등록
34	특허	모니터링 방법 및 시스템	글로비즈	공동	한국		2016.4.21	단독	등록
35	특허	동력전달계 시험시스템	글로비즈	공동	한국		2015.9.4	단독	등록
36	특허	차량 제동용 밸브의 고장 판별 방법	서울대	위탁	한국		2018.02.21	단독	등록
36	특허	SIGNAL MEASUREMENT/DIAGNOSING SYSTEM AND METHOD FOR APPLYING THE SAM	글로비즈	공동	미국		2015.12.9	단독	출원

		E AND IN DIVIDUAL DEVICES							
37	특허	수리부속 수량 결정방법 및 수리부속 수량 결정장치	카이엠	공동	한국		2016.6.1	단독	출원
38	특허	난수의 분산 제어 방법 및 장치 그리고 난수의 분산제어를 통한 시뮬레이션 방법 및 장치	카이엠	공동	한국		2016.2.29	단독	출원
39	특허	예비부품 관리방법 및 예비부품 관리장치	카이엠	공동	한국		2015.5.10	단독	출원
40	특허	이력 데이터 군집화 기반 철도부품 상태예측 방법 및 장치	KAIST	공동	한국		2015.4.20	단독	출원
41	특허	모니터링방법 및 시스템	글로비즈	공동	한국		2014.12.10	단독	출원

42	특허	신호계측진단모니터링시스템과 그 방법 및 이를 개별장치에 적용한 방법 및 시스템	글로비즈	공동	PCT		2014.12.20	단독	출원
43	프로그램	유지보수 의사결정 전문가시스템 ESOM	철도연	주관	한국		2017.1.10	단독	
44	프로그램	유지보수의사결정시스템(추론엔진) - Gray Box	철도연	주관	한국		2016.5.26	단독	
45	프로그램	유지보수의사결정시스템 - Black Box	철도연	주관	한국		2016.5.26	단독	
46	프로그램	유지보수자원 소요량 산출시스템 - LAMP	철도연	주관	한국		2016.05.26	단독	
47	프로그램	유지보수자원 적정성 평가시스템 - LAMP Verifier	철도연	주관	한국		2016.5.26	단독	
48	프로그램	도시철도차량 상태기반 유지보수용 데이터로거 펌웨어	글로비즈	공동	한국		2016.4.20	단독	
49	시제품	실시간 상태데이터 모니터링장치	글로비즈	공동	한국		2017.4.4	단독	성능인증

제11장. 기타 사항

1. 빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 S/W (ESOM - Expert System of Optimal Maintenance) : ㈜카이엠이 철도연과
   기술실시 계약 예정
2. 예비품 등 유지보수자원에 대한 로지스틱스(Logistics) 시스템 S/W (LAMP - Logistics Analysis Modes & Program) : ㈜카이엠이 철도연과 기술 실시 계약 예정
3. 도시철도차량 동력전달계통 6개 장치에 대한 CBM 모델 및 실시간 데이터 모니터링시스템 : ㈜글로비즈가 진흥원과 기술실시 계약 예정

제12장. 참고 문헌

[1] Tedric Harris (2001), Rolling bearing Analysis, 4thEdition,Wiley-Interscience

[2] Ahmed Alwordai, Tie Wang, Zhi Chen, Fenshou Gu, Robert Cattley and Anndrew ball (2103) A Study of Motor Bearing Fault Diagnosis using Modulation Signal Bispectrum Analysis of Motor Current Signals, Journal of Signal and Information Processing, 4, pp.72-79

[3] Muhammet Unal, Mustfa DEmetgul, Mustafa Onat and Haluk Kucuk (2013) Fault Diagnosis of Rolling Bearing Based on Feature Extration and Neural Network Algorithm, Recent Avvances in Telecommunications, Signals and Systems, pp.179-185

[4] Arnaz Malhi and Robert X. Gao (2004) PCA-Based Feature Selection Scheme for Machine Defect Classification, IEEE TRANSACTION ON INSTRUMEMTATION AND MEASUREMENT, VOL.53, NO.6, pp.1517-1525

[5] Bechir Badri, Marc Thomas and Sadok Sassi (2011) A shock filter for bearing slipping detection and multiple damage diagnosis, INTERNATIONAL JOURNAL OF MECHANICS, Issu4, Volume 5, pp.318-326

[6] Jung, D. W., Lee, Y. Y., and Kim, E. S., “A study of maintenance measures of the KTX decelerator,” Proc. of The Korean Society for Railway Annual

Spring Conference, pp. 1191-1197, 2009.

[7] Park, K. H., Kim, J. H., Kim, S. K., and Lee, J. M., "Automatic diagnosis of defects in roller element bearings," Journal of Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 5, No. 3, pp. 353-360, 1995.

[8] Park, K. H., Jung, S. J., Wee, H., Lee, K. S., and Cho, S. H., "A study on the fault detection of autotransmission using the vibration characteristics of roller bearings," Journal of Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 3, pp. 268-273, 2009

[9] Toyota, T., "Diagnosis method of rotating machinery," Japan Plant Maintenance Society, pp. 48-49, 1991.

[10] Yang, B. S., "Condition monitoring & Diagnostics,"Inter Vision, pp. 128-130, 356-364, 2006.

[11] C.B.Kliman, R.A.Koegl,"Noninvasive Detection of Broken Rotor Bars in Operating Induction Motors", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.3, No.4, 1988

[12] M.Blodt, B.Raison, "Models for Bearing Damage Detection in Induction Motors using Stator Current Monitoring", IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.55, No.4, 2008

별첨 1. 도시철도차량 CBM 적용 주요부품 선정방법

1. 아이템별 CBM 적용 대상 선정을 위한 중요도 평가 기준

○ 위험요인별 연구개발 대상 적합성은 안전/서비스 중요도, 개발효과, 개발가능성 기준으로 중요도를 평가하였으며, 세부 항목별 평가 기준은 다음과 같음.

○ 아이템별 연구개발 중요도는 5점 만점으로 평가할 예정이며, 안전(기술) 중요도, 개발효과, 개발가능성에 대해 가중치를 40%, 30%, 30%를 부여하여 평가함.

2. 안전/서비스 중요도 평가 기준

○ 아이템별 안전/서비스 중요도 평가에 사용된 기준은 CLC-TR 50126-2의 기준에 심각도 측면에서 서비스 항목을 추가하여 사용하였음.

○ 발생빈도 평가 기준은 다음과 같음.

등 급	발생빈도 범위	중간값 추정 빈도	연간 발생빈도
6	1건/20일 - 1건/3달	1건/2달	6.25건
5	1건/3달 - 1건/1.25년	1건/9달	1.25건
4	1건/1.25년 - 1건/7년	1건/4년	0.25건
3	1건/7년 - 1건/35년	1건/20년	0.05건
2	1건/35년 - 1건/175년	1건/100년	0.01건
1	< 1건/175년	1건/500년	0.002건

○ 심각도 평가 기준은 다음과 같음.

순 위	범 주
6	다수의 사상자(6 to 25 equivalent fatalities)
5	다수의 사상자 (2 to 5 equivalent fatalities)
4	1인 사망 또는 주요한 서비스 중단
3	주요한 상해 또는 주요한 서비스 지연
2	다소 심각한 상해 또는 주요한 서비스 장애
1	경미한 상해 또는 경미한 서비스 장애

○ 안전/서비스 리스크는 발생빈도와 심각도에 따라 1에서 12까지 분류하며 평가 기준은 다음과 같음.

○ 안전/서비스 중요도: 아이템별 안전/서비스에 미치는 영향도로 위에서 평가한 리스크 값을 5점을 최고점으로 환산하여 사용

	심 각 도					
빈 도	1	2	3	4	5	6
6	7	8	9	10	11	12
5	6	7	8	9	10	11
4	5	6	7	8	9	10
3	4	5	6	7	8	9
2	3	4	5	6	7	8
1	2	3	4	5	6	7

○ 안전/ 중요도: 각 위험요인별 안전성에 미치는 영향도 (앞에서 평가한 위험도 값을 5점을 최고점으로 환산하여 사용)

○ 개발 효과: 안전성 향상 및 산업적 측면에서 효과도

○ 안전성 향상 측면의 효과 점수와 산업적 파급효과 측면의 점수의 평균으로 개발 효과를 평가함.

3. 개발 효과 평가 기준

○ 개발 효과: 안전성/서비스 향상 및 산업적 측면에서 효과도

○ 안전성/서비스의 경우에는 해당 위험요인으로 인한 사고사건 발생 리스크 기준으로 아래의 표와 같은 등급으로 구분.

등급	안전성/서비스 측면	설 명
5	30% 이상	- 해당 기술개발로 인하여 안전성/서비스 에 대한 리스크 감소 비율
4	20% 이상 ~ 30% 미만	
3	10% 이상 ~ 20% 미만	
2	5% 이상 ~ 00% 미만	
1	0% ~ 5% 미만	

○ 산업적 측면의 경우 기술의 수출 및 특허 등으로 인한 경제적인 기대효과를 기준으로 아래의 표와 같은 등급으로 구분

등급	산업적 측면
5	세계 최초의 기술로서 기술이 개발되었을 때 경제적 효과가 매우 큰 경우
4	국내 독자적 기술이 개발되었을 때 철도 해외시장 진출이 가능하며 경제적 효과가 큰 경우
3	국내 독자적 기술이 개발되었을 때 철도 해외시장 진출은 어렵지만 수입대체 등으로 인해 경제적 효과가 큰 경우
2	국내외 유사기술이 존재하지만 새로운 기술이 개발되었을 때 경제적 효과가 어느 정도 있는 경우
1	국내외 유사기술이 존재하며 경제적 효과가 거의 없는 경우

4. 개발 가능성 평가 기준

○ 개발 가능성: 상태기반 유지보수 기술 개발 가능성

○ 개발 가능성을 아래 표와 같은 등급으로 구분

등급	가능성	설 명
5	확실	국내 유사기술 및 개발경험을 보유하여 기술개발이 확실한 경우
4	거의 확실	국내 기반기술 및 개발경험을 통해 기술개발 성공이 거의 확실한 경우
3	유력	국내 기반기술 및 개발경험을 통해 기술개발 성공이 유력한 경우
2	불투명	국내 기반기술이 취약하여 기술개발 성공 여부가 불투명한 경우
1	어려움	국내 기반기술이 취약하여 기술개발 성공이 어려울 것으로 예상되는 경우

5. 아이템별 CBM 적용 대상 선정을 위한 중요도 평가 기준

○ IEC CLC/TR 50126-3의 철도차량의 계층구조도의 3레벨 아이템에 대해 연구개발 중요도를 평가하였으며, 그 계층구조는 다음과 같음.

Carbody	1.1	Heat insulation
	1.2	Front panel
	1.3	Side window, passenger room
	1.4	Side window, driver's cab

	1.5	Floor
	1.6	Side wall, panelling
	1.7	Roof
	1.8	Nose cover
	1.9	Obstacle deflector
	1.10	Energy absorbtion elements
	1.11	Aerodynamic front nose
	1.12	Underframe
Motor bogie	2.1	Bogie frame
	2.2	Carrier
	2.3	Primary suspension
	2.4	Secondary suspension
	2.5	Bearing assembly
	2.6	Wheel set
	2.7	Axle gearbox
	2.8	Axle box temperature device
	2.9	INDUSI-magnet
	2.10	Mechanical interface with bodyshell (set)
	2.11	Pneumatic equipment on bogie (set)
	2.12	Speed sensor
	2.13	Brake equipment on the bogie (set)
	2.14	Earthing contacts
Trailer bogie	3.1	Bogie frame
	3.2	Carrier
	3.3	Primary suspension
	3.4	Secondary suspension
	3.5	Bearing assembly
	3.6	Wheel set
	3.7	Axle box temperature device
	3.8	Mechanical interface with bodyshell (set)
	3.9	Pneumatic equipment on bogie (set)
	3.10	Speed sensor
	3.11	Brake equipment on the bogie (set)
	3.12	Earthing contacts
Auxiliary elements on the bogie	4.1	Sanding device
	4.2	Wheel flange lubrication
Door	5.1	Passenger door
	5.2	Internal door
	5.3	External cab door
	5.4	Sliding door driver's cab
Draw and buffer gear	6.1	Automatic coupler
	6.2	Coupling link
Articulation	7.1	Articulated damper, rolling

	7.2	Articulated damper, pitching
	7.3	Articulated damper, yawing
	7.4	Intercommunication gangway
Electrical equipment	8.1	Propousion Inverter
	8.2	Electric traction motor
	8.3	Speed sensor for traction motor
	8.4	Traction control unit
	8.2	Auxiliary electrical energy
Pneumatic and braking system	9.1	Brake control device
	9.2	Direct brake control device
	9.3	Electronic control unit
	9.4	Signalling repetition plate
	9.5	Antiskid redounded (1 per axe)
	9.6	Pneumatic group
	9.7	Brake devices group
	9.8	Motor bogie secondary suspension reservoir
	9.9	Trailer bogie secondary suspension reservoir
	9.10	passenger alarm brake
Lighting system	10.1	Compartment lights
	10.2	Driving cab lights
	10.3	External lights
Fittings	11.1	Compartment fittings
	11.2	Driving cab fittings
Driving cab air conditioning	12.1	Ventilation
	12.2	Cooling
	12.3	Heating
Compart air conditioning	13.1	Ventilation
	13.2	Cooling
	13.3	heating
	13.4	Heaters
Driver's desk	14.1	Light rack
	14.2	Instruments rack
	14.3	Video surveillance monitor
	14.4	Console
	14.5	Radio equipment
	14.6	ATP equipment
Service functions	15.1	Passenger information system
	15.2	Video surveillance system

○ 위의 아이템에 대한 연구개발 중요도 평가 결과는 아래와 같다.

번호	아이템명	안전(기술) 중요도 0.4			개발 효과 0.3			개발가능성 0.3	연구개발 중요도
		빈도	심각도	중요도	리스크 측면	산업적 측면	중요도	중요도	
1.1	Heat insulation	3	2	2.1	1	1	1	2	1.733
1.2	Front panel	3	2	2.1	1	1	1	2	1.733
1.3	Side window, passenger room	5	2	2.9	1	1	1	2	2.067
1.4	Side window, driver's cab	5	2	2.9	1	1	1	2	2.067
1.5	Floor	3	2	2.1	1	1	1	2	1.733
1.6	Side wall, panelling	3	2	2.1	1	1	1	2	1.733
1.7	Roof	3	2	2.1	1	1	1	2	1.733
1.8	Nose cover	3	2	2.1	1	1	1	2	1.733
1.9	Obstacle deflector	3	2	2.1	1	1	1	2	1.733
1.10	Energy absorbtion elements	1	6	2.9	1	1	1	2	2.067
1.11	Aerodynamic front nose	1	5	2.5	1	1	1	2	1.900
1.12	Underframe	1	6	2.9	1	1	1	2	2.067
2.1	Bogie frame	2	4	2.5	1	1	1	2	1.900
2.2	Carrier	2	3	2.1	1	1	1	2	1.733
2.3	Primary suspension	5	1	2.5	1	1	1	2	1.900
2.4	Secondary suspension	5	1	2.5	1	1	1	2	1.900
2.5	Bearing assembly	5	2	2.9	3	3	3	4	3.267

2.6	Wheel set	4	6	4.2	4	4	4	4	4.067
2.7	Axle gearbox	3	6	3.8	4	4	4	4	3.900
2.8	Axle box temperature device	1	1	0.8	1	1	1	2	1.233
2.9	INDUSI-magnet	1	1	0.8	1	1	1	2	1.233
2.10	Mechanical interface with bodyshell (set)	1	4	2.1	1	1	1	2	1.733
2.11	Pneumatic equipment on bogie (set)	4	4	3.3	2	2	2	2	2.533
2.12	Speed sensor	2	6	3.3	1	1	1	1	1.933
2.13	Brake equipment on the bogie (set)	5	5	4.2	1	1	1	2	2.567
2.14	Earthing contacts	1	2	1.3	1	1	1	2	1.400
3.1	Bogie frame	2	4	2.5	1	1	1	2	1.900
3.2	Carrier	2	3	2.1	1	1	1	2	1.733
3.3	Primary suspension	5	1	2.5	1	1	1	2	1.900
3.4	Secondary suspension	5	1	2.5	1	1	1	2	1.900
3.5	Bearing assembly	5	2	2.9	3	3	3	4	3.267
3.6	Wheel set	4	6	4.2	4	4	4	4	4.067
3.7	Axle box temperature device	1	1	0.8	1	1	1	2	1.233
3.8	Mechanical interface with bodyshell (set)	1	4	2.1	1	1	1	2	1.733
3.9	Pneumatic equipment on bogie (set)	4	4	3.3	2	2	2	2	2.533
3.10	Speed sensor	2	6	3.3	1	1	1	1	1.933
3.11	Brake equipment on the bogie (set)	5	5	4.2	1	1	1	2	2.567

3.12	Earthing contacts	1	2	1.3	1	1	1	2	1.400
4.1	Sanding device	4	2	2.5	1	1	1	2	1.900
4.2	Wheel flange lubrication	4	2	2.5	1	1	1	2	1.900
5.1	Passenger door	5	3	3.3	3	4	3.5	2	2.983
5.2	Internal door	4	3	2.9	2	2	2	2	2.367
5.3	External cab door	3	3	2.5	2	2	2	2	2.200
5.4	Sliding door driver's cab	3	3	2.5	2	2	2	2	2.200
6.1	Automatic coupler	2	5	2.9	3	3	3	1	2.367
6.2	Coupling link	2	5	2.9	3	3	3	1	2.367
7.1	Articulated damper, rolling	3	2	2.1	2	2	2	2	2.033
7.2	Articulated damper, pitching	3	2	2.1	2	2	2	2	2.033
7.3	Articulated damper, yawing	3	2	2.1	2	2	2	2	2.033
7.4	Intercommunication gangway	2	1	1.3	2	3	2.5	3	2.150
8.1	Propulsion Inverter	4	4	3.3	4	4	4	4	3.733
8.2	Electric traction motor	4	4	3.3	4	4	4	4	3.733
8.3	Speed sensor for traction motor	2	5	2.9	3	3	3	2	2.667
8.4	Traction control unit	2	4	2.5	3	3	3	2	2.500
8.5	Auxiliary electrical energy	2	2	1.7	3	3	3	2	2.167

9.1	Brake control device	3	4	2.9	3	3	3	2	2.667
9.2	Direct brake control device	3	4	2.9	3	3	3	2	2.667
9.3	Electronic control unit	2	4	2.5	3	3	3	2	2.500
9.4	Signalling repetition plate	2	4	2.5	3	3	3	2	2.500
9.5	Antiskid redounded (1 per axe)	2	4	2.5	3	3	3	2	2.500
9.6	Pneumatic group	4	4	3.3	3	3	3	4	3.433
9.7	Brake devices group	4	4	3.3	3	3	3	4	3.433
9.8	Motor bogie secondary suspension reservoir	2	4	2.5	3	3	3	2	2.500
9.9	Trailer bogie secondary suspension reservoir	2	4	2.5	3	3	3	2	2.500
9.1	passenger alarm brake	2	3	2.1	3	3	3	2	2.333
10.1	Compartment lights	4	1	2.1	1	1	1	2	1.733
10.2	Driving cab lights	4	1	2.1	1	1	1	2	1.733
10.3	External lights	4	1	2.1	1	1	1	2	1.733
11.1	Compartment fittings	3	1	1.7	2	2	2	2	1.867
11.2	Driving cab fittings	3	1	1.7	2	2	2	2	1.867
12.1	Ventilation	3	2	2.1	2	2	2	2	2.033
12.2	Cooling	3	2	2.1	2	2	2	2	2.033
12.3	Heating	3	2	2.1	2	2	2	2	2.033
13.1	Ventilation	4	2	2.5	3	3	3	2	2.500
13.2	Cooling	4	2	2.5	3	3	3	2	2.500
13.3	heating	4	2	2.5	3	3	3	2	2.500

13.4	Heaters	4	2	2.5	3	3	3	2	2.500
14.1	Light rack	1	1	0.8	1	1	1	1	0.933
14.2	Instruments rack	1	1	0.8	1	1	1	1	0.933
14.3	Video surveillance monitor	2	3	2.1	3	3	3	1	2.033
14.4	Console	1	1	0.8	1	1	1	1	0.933
14.5	Radio equipment	2	3	2.1	2	2	2	1	1.733
14.6	ATP equipment	2	6	3.3	3	3	3	1	2.533
15.1	Passenger information system	3	2	2.1	2	2	2	2	2.033
15.2	Video surveillance system	3	2	2.1	2	2	2	2	2.033

6. CBM 적용 대상 주요부품 선정

○ 상기 평가결과에 대해 연구개발 중요도 상위 5개 아이템은 다음과 같다

번호	아이템명	안전(기술) 중요도 0.4			개발 효과 0.3			가능성 0.3	연구개발 중요도
		빈도	심각도	중요도	리스크	산업적	중요도	중요도	
1	Wheel set	4	6	4.2	4	4	4	4	4.067
2	Axle gearbox	3	6	3.8	4	4	4	4	3.900
3	Electric traction motor	4	4	3.3	4	4	4	4	3.733
4	Pneumatic group (Brake)	4	4	3.3	3	3	3	4	3.433
5	Bearing assembly	5	2	2.9	3	3	3	4	3.267

○ 상기 5개 아이템에 추가하여 고전압장치에 대해 서울지하철 7호선 전동차를 대상으로 고장데이터를 기반으로 위험도 분석을 하여 대상부품을 선정하였다.

- 고장데이터 수집기간 : 2001. 1. 1 ~ 2011. 12. 31(11년간)

- 주행거리

구 분	계	7호선	8호선
총 주행거리(km)	34,709,808	19,051,760	15,658,048
편성당 총 주행거리(km)	1,084,681	1,120,692	1,043,870
년간 편성당 총 주행거리(km)	98,607	101,881	94,897
일평균 주행거리(km)	270.16	279.13	259.99
일평균 주행시간(h)	8	7.98	7.43

- 고전압장치 고장 우선순위

순위	행 레이블	발생빈도	심각도	위험도	비 고
1	HSCB ASSY	F5	C1	B	전자변 에어누기
2	습판체	F5	C1	B	습판체 변형
3	CCK	F4	C1	B	전자변 에어누기
4	벨로우즈	F4	C1	B	벨루우즈 파손
5	CCK(ATP접촉기)	F4	C1	B	접촉기 파손
6	판토그라프지지애자	F4	C1	B	애자 파손
7	압력변환기	F4	C1	B	공기 누기
8	편동선ASSY	F4	C1	B	편동선 절손
9	주스프링ASSY	F4	C1	B	스프링 압력 불량
10	직류피뢰기	F4	C1	B	저항 불량

○ 상기 결과를 바탕으로 본 연구에서 CBM모델 대상으로 선정한 6개 부품은 아래와 같다.

순번	장치	대상 부품
1	고전압장치	고속도차단기(HSCB)
2	동력전달장치	기어박스
3	동력전달장치	차륜
4	동력전달장치	차축 베어링
5	추진제어장치	견인전동기
6	제동장치	상용제동 솔레노이드 밸브

별첨 2. 연구개발성과 활용계획서

A. 과제 일반정보

사 업 명	철도기술연구사업	과학기술표준분류	P0606
과 제 유 형	□기초 ■응용 □개발	실용화대상여부	■실용화 □비실용화
연구과제명	도시철도 역사 운영효율화 및 상태기반 유지보수 기술개발	과 제 구 분	□일 반 ■연구단 □사업단
주관연구기관	한국교통연구원	연구책임자	김연규
세부과제명	상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 개발		
협동연구기관	한국철도기술연구원	연구책임자	이관섭
총 연구기간	2013년 12월 27일 ~ 2018년 4월 26일 (52개월)		
총 연구개발비 (단위 : 천원)	정부출연금	민간부담금	합계
	3,457,649	1,240,000	4,697,649
공동연구기관	카이엠, 글로비즈, 한국과학기술원, 서울과학기술대학교		
참 여 기 업	카이엠, 글로비즈		

구 분	성과활용책임자	성과활용실무자
성 명	이관섭	김재훈
소속기관/부서	한국철도기술연구원 /신교통혁신연구소	한국철도기술연구원 /차량핵심기술연구팀
E-mail	kslee@krri.re.kr	lapin95@krri.re.kr
연락처	031-460-5203	031-460-5248

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제35조(연구개발성과의 보고) 제2항에 의거 연구개발성과 활용계획서를 제출합니다.

붙임 1. 성과총람 원고 1부.

2. 기술소개자료 각 1부(기술별).

2018년 6월 22일

주관(협동) 연구기관장 : 한국철도기술연구원장

B. 요소기술 정보

□ 요소기술 총괄

과제명 (세부과제명)	해당 기관명	핵심연구 성과	요소기술*	정부출연금 (백만원)	기술실시계약 대상여부**	비고
3세부 : 상태기반 스마트 유지보수 핵심기술개발	협동 : 한국철도기술연구원	상태기반 스마트 유지보수체계의 실행방안	1.도시철도차량의 상태기반유지보수 일반적 지침	400	비대상	
	공동 : 철도연, 카이엠, 한국과학기술원	빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템	2.빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 S/W	1,000	대상	
	공동 : 카이엠	유지보수 자원로지스틱스 시스템	3.예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 시스템 S/W	700	대상	
	공동 : 글로비즈, 서울과기대	동력전달계통 주요장치에 대한 CBM 모델	4.동력전달계통 주요 장치에 대한 CBM 모델	1,357	비대상	
소 계				3,457		
연구단 운영비						
합 계						

▪ 귀 기관의 R&D를 통해 창출된 주요 요소기술 정보를 작성해 주십시오.
▪ 요소기술이 2개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(요소기술 수만큼 기재)
▪ 요소기술: R&D 성과물을 구성하는 단위기술로서, 기술이전이나 활용의 대상이 되는 단위 성과물

구 분	1
요소기술명	도시철도차량의 상태기반유지보수 일반적 지침
기술개요	- 도시철도차량에 CBM 적용시 필요한 일반적 지침 - 기존 유지보수체계와 CBM의 연계방안
관련 키워드	상태기반
기술 분류	기준지침(안)
성과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 ■기준/지침 □기타
기술수명주기**	■기술도입기 □기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	2
요소기술명	빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 S/W
기술개요	아이템의 생산, 품질, 운영, 고장, 유지보수, 상태 등 고장 발생과 관련한 종합적인 빅데이터를 기반으로 고장 발생 리스크를 평가/모니터링하여 아이템 개별 또는 그룹별에 적합한 신뢰성 및 유지보수 활동을 도출 제시하는 S/W
관련 키워드	빅데이터, 유지보수 의사결정
기술 분류	EE0202. S/W 솔루션
성과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ■SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	3
요소기술명	예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 시스템 S/W
기술개요	철도차량의 운행 및 유지보수 요소에 따라 예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량을 산출하고, 보유 자원의 적성성과 CBM 효과도를 평가하는 S/W 시스템
관련 키워드	유지보수자원, 예비품 소요량
기술 분류	EE0202. S/W 솔루션
성과물 유형*	□공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 ■SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	□기술도입기 ■기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

구 분	4
요소기술명	동력전달계통 주요 장치에 대한 CBM 모델
기술개요	도시철도차량 동력전달계통 주요 장치(고전압장치, 추진제어장치, 동력전달장치, 제동장치)에 대해 기존 TCMS 데이터 또는 계측센서 데이터를 이용하여 초기 고장 및 Threshold 모델
관련 키워드	CBM 모델, 동력전달계통
기술 분류	*공법/기법*
성과물 유형*	■공법/기법 □장비/장치 □재료/자재 □SW □시스템 □기준/지침 □기타
기술수명주기**	■기술도입기 □기술성장기 □기술성숙기 □기술쇠퇴기

* 본 보고서는 R&D 성과물의 유형을 아래와 같이 분류하고 있습니다. 내용을 충분히 숙지하시고 귀 기관이 수행한 R&D 과제의 성과물에 해당하는 것을 선택해 주십시오.

번호	구분	내용	예시
1	공법/기법	기존 장비와 자재 등을 활용하되, 새로운 절차 및 방법을 제시	시공방법, 설계기법, 분석/평가기법
2	장비/장치	새로운 기계적 구조나 작동원리를 활용하여 기존 창치와 설비를 대체	기계, 로봇, 부품, 측정장치
3	재료/자재	새로운 원료, 재료를 활용하여 기존의 것을 대체	FRP, 강화 콘크리트, 철강재료
4	S/W	새로운 Data Base, 해석 및 설계 방법을 적용한 컴퓨터 프로그램	설계 프로그램, 사업관리시스템, 데이터베이스
5	시스템	다양한 장치와 S/W가 결합하여 일체로 활용되는 유형	고속철도, 경량전철, 공조시스템
6	기준/지침(안)	각종 법령, 건설공사기준, 지침 등	건설교통 법령, 설계기준, 시공기준 안전기준, 표준
7	기 타	(_____)	인프라구축, 정책기획 등

** 아래 기술수명주기 분류를 참조하시어 해당되는 단계를 선택해 주십시오.

번호	구분	내용
1	기술도입기	기술의 잠재적 가능성만 있는 단계
2	기술성장기	기술개발국 및 일부 선진국에서 활용되고 있는 단계
3	기술성숙기	선진국 사이에서 활발한 기술이전이 일어나며, 기술의 표준화가 되어가는 단계
4	기술쇠퇴기	선진국에서 개도국으로 기술이전이 활발하게 일어나고, 선진국에서는 기술의 가치가 저하되나, 개도국에서는 아직 시장의 가치가 높은 기술

C. 성과활용 네트워크 정보

▪ 귀 기관의 R&D를 통해 개발된 기술을 활용하기 위해 필요한 시험·검증, 현장적용 및 수요기업 정보를 작성해 주십시오.
▪ 요소기술이 2개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(요소기술 수만큼 기재)

요소기술 구분	1	요소기술명	도시철도차량의 상태기반유지보수 일반적 지침
구 분		주체명	
연구개발성과 시험·검증기관		도시철도차량 운영유지 관련 전문가 그룹 (자문위원회)	
연구개발성과 수요기업		해당없음	
연구개발성과 현장적용 기관·업체		도시철도차량 운영기관	
연구개발성과 추가 R&D (사업비) 투자·자문 기관		도시철도차량 운영기관	

요소기술 구분	2	요소기술명	빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 S/W
구 분		주체명	
연구개발성과 시험·검증기관		㈜네모시스	
연구개발성과 수요기업		㈜카이엠	
연구개발성과 현장적용 기관·업체		도시철도차량 운영기관	
연구개발성과 추가 R&D (사업비) 투자·자문 기관		㈜카이엠	

요소기술 구분	3	요소기술명	예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 시스템 S/W
구 분		주체명	
연구개발성과 시험·검증기관		㈜네모시스	
연구개발성과 수요기업		㈜카이엠	
연구개발성과 현장적용 기관·업체		도시철도차량 운영기관	
연구개발성과 추가 R&D (사업비) 투자·자문 기관		㈜카이엠	

요소기술 구분	4	요소기술명	동력전달계통 주요 장치에 대한 CBM 모델
구 분		주체명	
연구개발성과 시험·검증기관		도시철도차량 운영유지 관련 전문가 그룹 (자문위원회)	
연구개발성과 수요기업		㈜글로비즈	
연구개발성과 현장적용 기관·업체		도시철도차량 운영기관	
연구개발성과 추가 R&D (사업비) 투자·자문 기관		㈜글로비즈	

D. 성과 정보

- 귀 기관의 성과 정보에 대한 자료 수집을 위한 것입니다.
- 본 과제를 통해 발생한 성과를 기재해 주십시오.

1. 특허등록

No.	요소 기술 구분	특허명칭	등록번호	등록 일	출원인 (등록권리자)
A-1	2	철도차량의 수리가능 품목의 오버홀 과정 시뮬레이션 방법	10-1659509	16.9.19	김종운 (한국철도기술연구원)
A-2	3	예비부품 관리방법 및 예비부품 관리장치	제10-1660781호	20160927	김중현 (카이엠)
A-3	3	난수의 분산제어 방법 및 장치 그리고 난수의 분산제어를 통한 시뮬레이션 방법 및 장치	제1839753호	20180313	정운찬 (카이엠)
A-4	4	동력전달계 시험시스템	10-1552299	2015.09.04	㈜글로비즈
A-5	4	모니터링 방법 및 시스템	10-1616072	2016.04.21	㈜글로비즈
A-6	4	차량 제동용 밸브의 고장판별 방법	10-2018-0017760	2018.2.21	서울대

1. 학술지 게재

No.	요소기술 구분	SCI/일반	논문명	학술지명	ISBN ISSN	주저자명	Vol.(No)	시작페이지	끝페이지	게재일자
B-1	2	SCI	A comparative study of time-based maintenance and condition-based maintenance for optimal choice of maintenance policy	Structure and Infrastructure Engineering	1573-2479 1744-8980	Kim, Jeongyun	Online	http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2016.1149871		2016.2.29
B-2	4	일반	전동차 고속차단기 고장 분석을 위한 FMECA 기법	한국산학기술학회논문지	1975-4701 2288-4688	김성렬	16권 5호			2015.5.31
B-3	4	일반	풍력발전기 유성기어박스의 진동변조 특성을 고려한 진동기반 고장진단기법 개발	대한기계학회지		하종문	특집논문			2015.4.20
B-4	4	일반	도시철도차량 제동장치의 솔레노이드 밸브에 대한 전류기반 고장진단기법 개발	대한기계학회지		서보성				2016.6.30
B-5	4	일반	차륜의 찰상결함 진단을 위한 켑스트럼 분석 방법 연구	한국안전학회지		김거영				2016.6.30
B-6	4	일반	인버터 입력전류 분석을 이용한 유도전동기 고장진단	한국산학기술학회논문지		조정길				2016.7.31

1. 소프트웨어 등록

No.	요소기술 구분	SW명칭	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명
E-1	2	유지보수 의사결정 전문가시스템 ESOM	17.1.2	이관섭	17.1.5	C-2017-000455	한국철도기술연구원
E-2	2	유지보수의사결정시스템(추론엔진) - GrayBox	16.5.20	이관섭	16.5.26	C-2016-013257	한국철도기술연구원
E-3	2	유지보수의사결정시스템 - BlackBox	16.5.20	이관섭	16.5.26	C-2016-013255	한국철도기술연구원
E-4	3	유지보수자원 소요량 산출시스템 - LAMP	16.5.20	이관섭	16.5.26	C-2016-013254	한국철도기술연구원
E-5	3	유지보수자원 적정성 평가시스템 - LAMP Verifier	16.5.20	이관섭	16.5.26	C-2016-013256	한국철도기술연구원
E-6	4	도시철도차량 상태기반 유지보수용 데이터로거 펌웨어	17.2.1	임종순	17.3.1	C-2017-006378	글로비즈

1. 신기술 지정

No.	요소기술 구분	명칭	출원일	고시일	보호기간	지정번호
F-1	1-가					
F-2	1-나					

1. 시제품 제작

No.	요소 기술 구분	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야
C-1	4	실시간 CBM 데이터 모니터링 장치	2017.4.4	글로비즈	글로비즈	전동차 시험용
C-2						

6. 현장시험*

No.	요소 기술 구분	현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
D-1	4	실시간 CBM 데이터 모니터링 장치의 전동차 현차시험	2015.11.26. ~ 2017.4.4	서울도시철도공사 도봉기지 (7호선 전동차)	7호선 전동차에 데이터 모니터링 장치를 장착하여 동력전달계통 주요장치의 CBM 데이터 획득

* 현장시험: 개발기술의 보완이나 검증을 위하여 실험현장에 최초로 시험·적용하는 행위

7. 표준/인증

No.	요소 기술 구분	인증번호 (규격번호)	인증명	취득일	취득기관	관리기관
K-1						
K-2						

8. 정책채택

No.	요소 기술 구분	구분	정책명	관련기관 (담당부서)	시행일시	채택내용
L-1	1-가					
L-2	1-나					

9. 법령반영

No.	요소기술 구분	구분	활용구분 (신규/개선)	명 칭	해당조항	시행 일시	관리부처	제정/ 개선내용
M-1	1-가							
M-2	1-나							

10. 설계기준, 시방서, 지침에 반영

No.	요소기술 구분	구 분 (설계기준/시방서/ 지침)	활용구분 (신규/ 개선)	설계기준/시방서/ 지침 명칭	반영일시	반영내용
J-1	1-가					
J-2	1-나					

11. 기술실시계약

No.	요소기술 구분	계약명	실시기업명	계약체결일	기술사용 시작일	기술사용 종료일	징수일자	징수금액 (천 원)	계약 유형
G-1	2	유지보수전문가시스템S/W 기술실시계약	카이엠	예정					
G-2	3	유지보수자원 최적산출시스템S/W 기술실시계약	카이엠	예정					
G-3	4	실시간 모니터링 장치 및 동력전달 CBM모델 기술실시 계약	글로비즈	예정					

12. 사업화/제품화

No.	요소기술 구분	사업화명	사업화내용	업체명	사업자 등록번호	매출액 (천원)	매출발생 년도	고용실적 (명)
H-1	1-가							
H-2	1-나							

13. 현장적용(시공)**

No.	요소기술 구분	발주기관명	시공업체명	적용현장명	공사시작일	공사종료일	공사금액(천원)***
I-1	1-가						
I-2	1-나						

** 현장적용(시공): 사업화주체(기업)가 개발기술을 실제 공사현장(수주)에 적용하여 매출이 발생하는 경우

***공사금액: 당해 기술이 적용된 공사의 총공사금액

E. 성과활용 정보

▪ 귀 기관의 성과활용 정보에 대한 자료 수집을 위한 것입니다.
▪ 요소기술이 1개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(요소기술 수만큼 기재)

구분	1	요소기술명	도시철도차량의 상태기반유지보수 일반적 지침

※ 본 보고서에서 사용하는 “성과의 활용”이란 용어는 아래와 같은 의미를 가지고 있습니다.

“국토교통 R&D 성과의 활용“ 이란?

국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단합니다. 본 조사에서는 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류하고 있습니다. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류합니다.

1. 위 내용을 고려하였을 때 현재시점(R&D 종료)에서 귀 기관의 R&D 성과물은 그 성과가 활용되었습니까? (2)

1. 예, 활용되었습니다. 2. 아니오, 활용되지 않았습니다.

2. 귀 기관이 수행한 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 성과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 프로세스를 <보기>와 같은 단계로 정의하였습니다. 귀 기관의 R&D 성과물의 활용프로세스 상 현재 단계를 표시하여 주십시오.

<보기> R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계

	단 계 명(R&D 종료시점)	단 계 정 의
	기술 개발 단계	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계
	■완료	
	기술 검증·보완 단계	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계
	□준비 □진행중 □완료	
	실용화 추진 단계(마케팅)	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계
	□준비 □진행중	
	시장수용 단계	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계
	□초기발생 □지속발생	

3. 위 2에서 Ⅰ~Ⅲ단계라고 응답한 경우, R&D 성과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행하실 예정

입니까?(1)

1. 예, 계속 활용을 추진할 예정입니다. 2. 아니오, 활용추진을 중단하였습니다.

4. 귀 기관이 위 2번에서 응답한 단계까지 수행한 주요 활동내용을 구체적으로 설명해 주십시오.

※ 만약 귀 기관이 위 2번에서 Ⅲ단계라고 응답한 경우, Ⅰ단계, Ⅱ단계, Ⅲ단계의 주요 활동내용(주체, 시기, 산출물이나 공사명 등을 구체적으로 기입)을 작성해 주십시오.

※ 수행한 주요 활동내용을 기재하시고 B. 성과 및 활용정보에서 기재한 활용성과 번호를 함께 기재해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용
Ⅰ	기술 개발 단계	연구개발 목표 달성
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	
Ⅲ	실용화 추진 단계	
Ⅳ	시장 수용 단계	

구분	2	요소기술명	빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 S/W

※ 본 보고서에서 사용하는 “성과의 활용”이란 용어는 아래와 같은 의미를 가지고 있습니다.

“국토교통 R&D 성과의 활용“ 이란?

국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단합니다. 본 조사에서는 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류하고 있습니다. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류합니다.

1. 위 내용을 고려하였을 때 현재시점(R&D 종료)에서 귀 기관의 R&D 성과물은 그 성과가 활용되었습니까?(2)

1. 예, 활용되었습니다. 2. 아니오, 활용되지 않았습니다.

2. 귀 기관이 수행한 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 성과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 프로세스를 <보기>와 같은 단계로 정의하였습니다. 귀 기관의 R&D 성과물의 활용프로세스 상 현재 단계를 표시하여 주십시오.

<보기> R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계

단 계 명(R&D 종료시점)	단 계 정 의
기술 개발 단계 ■완료	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계
기술 검증·보완 단계 □준비 □진행중 □완료	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계
실용화 추진 단계(마케팅) □준비 □진행중	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계
시장수용 단계 □초기발생 □지속발생	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계

3. 위 2에서 Ⅰ~Ⅲ단계라고 응답한 경우, R&D 성과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행하실 예정입니까?(1)

1. 예, 계속 활용을 추진할 예정입니다. 2. 아니오, 활용추진을 중단하였습니다.

4. 귀 기관이 위 2번에서 응답한 단계까지 수행한 주요 활동내용을 구체적으로 설명해 주십시오.

※ 만약 귀 기관이 위 2번에서 Ⅲ단계라고 응답한 경우, Ⅰ단계, Ⅱ단계, Ⅲ단계의 주요 활동내용(주체, 시기, 산출물이나 공사명 등을 구체적으로 기입)을 작성해 주십시오.

※ 수행한 주요 활동내용을 기재하시고 B. 성과 및 활용정보에서 기재한 활용성과 번호를 함께 기재해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용
Ⅰ	기술 개발 단계	연구개발 목표 달성
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	
Ⅲ	실용화 추진 단계	
Ⅳ	시장 수용 단계	

구분	3	요소기술명	예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 시스템 S/W

※ 본 보고서에서 사용하는 “성과의 활용”이란 용어는 아래와 같은 의미를 가지고 있습니다.

“국토교통 R&D 성과의 활용“ 이란?

국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단합니다. 본 조사에서는 사업화/기업화에 의한 제품의 매출발생, 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류하고 있습니다. 다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류합니다.

1. 위 내용을 고려하였을 때 현재시점(R&D 종료)에서 귀 기관의 R&D 성과물은 그 성과가 활용되었습니까? (2)

1. 예, 활용되었습니다. 2. 아니오, 활용되지 않았습니다.

2. 귀 기관이 수행한 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 성과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 프로세스를 <보기>와 같은 단계로 정의하였습니다. 귀 기관의 R&D 성과물의 활용프로세스 상 현재 단계를 표시하여 주십시오.

<보기> R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계

	단 계 명(R&D 종료시점)	단 계 정 의
	기술 개발 단계	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계
	■완료	
	기술 검증·보완 단계	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완도를 높이는 단계
	□준비 □진행중 □완료	
	실용화 추진 단계(마케팅)	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계
	□준비 □진행중	
	시장수용 단계	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계
	□ 초 기 발 생 □지속발생	

3. 위 2에서 Ⅰ~Ⅲ단계라고 응답한 경우, R&D 성과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행하실 예정입니까?(1)

1. 예, 계속 활용을 추진할 예정입니다. 2. 아니오, 활용추진을 중단하였습니다.

4. 귀 기관이 위 2번에서 응답한 단계까지 수행한 주요 활동내용을 구체적으로 설명해 주십시오.

※ 만약 귀 기관이 위 2번에서 Ⅲ단계라고 응답한 경우, Ⅰ단계, Ⅱ단계, Ⅲ단계의 주요 활동내용(주체, 시기, 산출물이나 공사명 등을 구체적으로 기입)을 작성해 주십시오.

※ 수행한 주요 활동내용을 기재하시고 B. 성과 및 활용정보에서 기재한 활용성과 번호를 함께 기재해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용
Ⅰ	기술 개발 단계	연구개발 목표 달성
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	
Ⅲ	실용화 추진 단계	
Ⅳ	시장 수용 단계	

구분	4	요소기술명	동력전달계통 주요 장치에 대한 CBM 모델

※ 본 보고서에서 사용하는 “성과의 활용”이란 용어는 아래와 같은 의미를 가지고 있습니다.

“국토교통 R&D 성과의 활용“ 이란?

국토교통 R&D 성과가 산업적 활용을 통해 부가가치를 창출하거나 공공적 활용을 통해 공익에 기여하는 경우에 대해 <활용되었다>고 판단합니다. 본 조사에서는 사업화/기업화에 의한 제품의 입찰 및 발주 절차를 거친 공법 등의 실제 공사 현장적용을 성과 활용으로 분류하고 있습니다.
다만 R&D의 목적이 법/기준/지침 마련인 경우, 법/기준/지침의 반영을 성과 활용으로 분류합니다.

1. 위 내용을 고려하였을 때 현재시점(R&D 종료)에서 귀 기관의 R&D 성과물은 그 성과가 활용되었습니까? (2)

1. 예, 활용되었습니다. 2. 아니오, 활용되지 않았습니다.

2. 귀 기관이 수행한 건설교통 R&D 사업의 종료 후, 성과물이 활용되기까지 거쳐야 하는 프로세스를 <보기>와 같은 단계로 정의하였습니다. 귀 기관의 R&D 성과물의 활용프로세스 상 현재 단계를 표시하여 주십시오.

<보기> R&D사업 종료 후 성과 활용에 이르는 단계

	단 계 명(R&D 종료시점)	단 계 정 의

	기술 개발 단계 ■완료	국가 R&D 사업을 통해 연구개발이 완료된 단계
	기술 검증·보완 단계 □준비 □진행중 □완료	시제품 제작, 현장시험적용 등을 통해 기술을 검증하고 보완하여 기술적 완성도를 높이는 단계
	실용화 추진 단계(마케팅) □준비 □진행중	제품판매 및 공사수주를 위한 마케팅(제안·홍보·입찰 등) 단계
	시장수용 단계 □초기발생 □지속발생	제품 판매나 공사 수주를 통해 실제 매출이 발생하는 단계

3. 위 2에서 Ⅰ~Ⅲ단계라고 응답한 경우, R&D 성과물을 활용하기 위해 지속적인 활동을 진행하실 예정입니까?(1)

1. 예, 계속 활용을 추진할 예정입니다. 2. 아니오, 활용추진을 중단하였습니다.

4. 귀 기관이 위 2번에서 응답한 단계까지 수행한 주요 활동내용을 구체적으로 설명해 주십시오.

※ 만약 귀 기관이 위 2번에서 Ⅲ단계라고 응답한 경우, Ⅰ단계, Ⅱ단계, Ⅲ단계의 주요 활동내용(주체, 시기, 산출물이나 공사명 등을 구체적으로 기입)을 작성해 주십시오.

※ 수행한 주요 활동내용을 기재하시고 B. 성과 및 활용정보에서 기재한 활용성과 번호를 함께 기재해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용
Ⅰ	기술 개발 단계	연구개발 목표 달성
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	
Ⅲ	실용화 추진 단계	
Ⅳ	시장 수용 단계	

F. 성과활용 계획

- 귀 기관의 성과활용 계획에 대한 자료 수집을 위한 것입니다.
- 요소기술이 1개 이상인 경우, 해당 양식을 추가하여 작성해 주십시오.(요소기술 수만큼 기재)

구분	1	요소기술 명	도시철도차량의 상태기반유지보수 일반적 지침

1. 동 연구개발성과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료	■ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계	-	-	R&D 종 료 시점	R&D 기간 내 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계				
Ⅲ	실용화 추진 단계				
Ⅳ	시장 수용 단계				

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 성과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	2	요소기술명	빅데이터 기반 유지보수 전문가 시스템 S/W

1. 동 연구개발성과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2년	종료 후 3년	종료 후 4년	종료 후 5년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	■ 준비 □ 진행중	□ 준비 ■ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	■ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체 *	성과물**/ 개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계				
Ⅱ	기술 검증·보완 단계				
Ⅲ	실용화 추진 단계	카이 엠	사업화·제품화/1개	~종료 후 2년	연구개발성과 기술이전
Ⅳ	시장 수용 단계	카이 엠	제품판매	~종료 후 3년	제품 상용화

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 성과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/ 지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

구분	3	요소기술 명	예비품 등 유지보수자원에 대한 최적 소요량 산출 시스템 S/W

1. 동 연구개발성과의 향후 5년간(활용보고서 제출 기간) 성과활용 목표·계획을 표기해 주십시오.

단계	종료 후 1년	종료 후 2 년	종료 후 3 년	종료 후 4년	종료 후 5 년
Ⅰ	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계	기술 개발 단계
	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료	□ 완료
Ⅱ	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계	기술 검증·보완 단계
	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료	□ 준비 □ 진행중 □ 완료
Ⅲ	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)	실용화 추진 단계 (마케팅)
	■ 준비 □ 진행중	□ 준비 ■ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중	□ 준비 □ 진행중
Ⅳ	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계	시장수용 단계
	□ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 □ 지속발생	■ 초기발생 □ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생	□ 초기발생 ■ 지속발생

2. 귀 기관이 위 1번에서 응답한 활용계획의 주요 활동내용(예정/기획)을 구체적으로 설명해 주십시오.

단계	단계명	주요 활동내용			
		주체*	성과물**/개수	시기	내용
Ⅰ	기술 개발 단계				
Ⅱ	기술 검증·보완 단계				
Ⅲ	실용화 추진 단계	카이엠	사업화·제품화/1개	~종료후 2년	연구개발성과 기술이전
Ⅳ	시장 수용 단계	카이엠	제품판매	~종료후 3년	제품 상용화

* 주체: 연구주관기관(연구책임자)과 함께 Co-Work을 진행하는 기업/기관명
** 성과물: 각 단계별 성과활용 과정에서 발생한 성과물(예: 시험적용, 시제품, 현장적용 등)

3. 귀 기관의 R&D 성과물을 활용하기 위해서는 기준이나 지침의 제·개정이 필요합니까? (2)
1, 예, 필요합니다. 2. 아니오, 필요하지 않습니다.

4. 위 3에서 1번이라고 응답한 경우, 향후 기준/지침 채택을 위한 세부적인 활동 계획을 설명해 주십시오.

구 분 (설계기준/시방서/지침)	활용구분 (신규/개선)	내용

별첨 3. 연구성과물에 대한 운영사의 의견

□ 연구성과물에 대한 설명, 시연 후 성과물 활용을 위한 운영사 자문회의

□ 날짜/장소 : 2018.4.17. / 철도연 해무홀

□ 참석 운영기관 : 코레일, 서울교통공사, 부산교통공사, 대구도시철도공사, 인천교통공사, 광주도시철도공사, 대전도시철도공사, 메인트란스, 메인트란스, 네오트랜스, 용인경량전철, 부산김해경전철

□ 운영사의 의견

● 연구성과물 : 철도차량 상태기반유지보수 시행지침서

운영사	귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?	활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천
코레일 공항철도	유지보수지침 가이드라인으로 활용	
서울교통공사	제작사 및 운영기관 모두 가능하나 기존 전동차의 경우 철도안전관리체계 변경 승인 등을 고려할 때 신규 전동차부터 적용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.	
부산교통공사	현재 운용중인 기존 전동차 유지보수체계 변경은 어려우며 신국노선, 전동차에 적용하여 시행하면 적용가능 할 것으로 보여지며, 점진적으로 재도(관련 법령) 개선도 필요하다.	
대구도시철도공사	기존 제작된 전동차에 사용은 가성비 등 적용 어려움이 예상된다. 다만 처음 제작되는 전당차 차량은 좋은 안건이 많아 적극 적용하기 바란다.	
인천교통공사	● 철도안전관리체계 및 기술기준	국토교통부

	과의 연계가 선행조건이라고 생각함	교통안전공단
광주도시철도공사	● 철도안전관리체계와 연계 - 철도차량유지보수 규정에 추가 반영 → 기존유지보수규정(점검 매뉴얼) 변화가 필요하다.	
대전도시철도공사	기존 시스템에 대한 RCM, RAMS DATA 수립과 분석을 연계하여 노후철도차량관리 지침 계정 또는 신규전동차에 대한 유지관리 지침 계정이 활용 가능하다.	신규전동차를 발주하는 운영기관
메인트란스	향후 유지보수 방향 및 정책을 수립하는데에 활용 가능할 것으로 판단된다.	
우이신설경전철	유지보수계획 및 철도안전관리체계 등에 계정을 통해 운영관리 현행화를 시행할 수 있을 것으로 판단된다.(차량분야)	
네오트랜스	철도차량유지관리에 CBM기법을 반영하여 획기적인 효율성 개선이 될것으로 보인다.	
한국철도공사	모든 철도차량에서 활용 가능할 것으로 판단되나 각 차종에 최적화 되도록 튜닝이 필요하다. 상태기반 기준 유지보수를 적용하기 위해서는 설계시 차량과 그 부품의 획일성(동일성)과 유지해야 하는 상황이나 현실적으로는 우리나라의 철도차량생산시 전혀 고려되지 않고 있는 상황으로 이 연구를 바탕으로 향후에는 적용이 필요하며, 기존 철도차량의 경우에는 현재 생산된 자료를 바탕으로 최적화 할 수 있다면 활용이 가능할 것으로 사료되며 운영사에서 선정하여 운영토록 하면 가능할 것으로 사료된다. 기존차량은 안전법	- 국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다. - 신로차에서 적용하되 국토부의 사전승인이 필요하다.

	위반에 대한 문제 검토가 필요하다.	
부산김해경전철	신규 차량 도입시 적용 검토 하겠다(초기 고장 모델, 알고리즘 구축 필요), (상태판단 기준 등 제작사 요구, 결정필요)	

● 연구성과물 : 빅데이터 기반 유지보수 전문가 S/W(Black Box)

운영사	귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?	활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천
코레일 공항철도	- 최적 유지보스 방안을 선정하는데 활용 - 유지보수 주기, 항목 적정성 평가에 활용	
서울교통공사	체계적 유지보수 분류 및 분석 방법에 대한 것은 적정하다고 판단되며 모든 철도분야에 적용이 가능하다. 특히 유지보수와는 별도 통신, 전동 등 지속적인 데이터 있는 모든 장치에 적용가능하다.	
부산교통공사	1호선 전동차 운행 data를 차량기지에서 자동 수집한 빅데이터(장치별 경고장 등)를 활용하여 예방장비가 가능한 부분을 나타낼 수 있을 것 같다.	
대구도시철도공사		
인천교통공사	RAMS 프로그램과 연계한다면 전 도시철도운영기관 사용가능 할 것으로 판단됨.	
광주도시철도공사	● 전동차 유지관리 시스템과 신뢰성 분석시스템(RAMS)을 사용한 전동차 정비 시행중이다	

	→ 전장품류(PCB 등), 출입문장치 등 구체적인(필요한) 데이터분석결과 도출시 사전 예방점검 및 특별점검 적용 가능할 것으로 판단된다.	
대전도시철도공사	운영기관에서 시행하고 있는 12cm RAMS 고장 및 물품 정보 데이터와 연계가 가능하다.	국가 연구개발 과제 RAMS와 연계할 수 있는 방안 검토
메인트란스	검수정보시스템과 연계하여 차량의 신뢰성 모니터링에 활용 가능할 것으로 판단된다.	
우이신설경전철	검수 업무 전산화 시스템 내 LCC 및 RAMS와 병행(검토분석)하여 사용후 시스템 개선(일원화) 수행이 가능 할 것으로 판단된다.(차량 분야 등)	
네오트랜스	용인 및 신분당선 차량관리와 신분당선의 스크린도어 관리에 적용가능하다.	역사특성에 따른 스크린 도어 관리
한국철도공사	모든 철도차량에서 활용이 가능할 것으로 판단되나 각 차종에 최적화, 실용화가 필요하다. 빅데이터는 현재도 일부 만들어지고(신뢰성 관리) 있으나 IoT가 바탕(주된 항목들인 아날로그 부분 자료)이 되어야 하는 상황이며, 현재 운영되거나 제작 예정인 차량에도 그 부분을 활용하기 위한 투자(주된 항목들인 아날로그 부분 자료 확대)는 반영되지 않고 있으며, 차량제작사에서도 철도 차량 생산시 전혀 고려되지 않고 있는 상황으로 본 연구 성과가 좋을 경우 반영한다면 좋은 결과가 기대된다. 철도 운영사의 신뢰성관리 수준에서 관리 필요성이 있으며 IoT에 기반한 자료 확대가 필요하다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.
부산김해경전철	안전관련 주요장치 중 노후화에	

	따른 누리품목(공기제동장치) 등에 대한 고장 분석 및 유지보수 의사결정에 사용할 수 있다.	

● 연구성과물 : 빅데이터 기반 유지보수 전문가 S/W(Gray Box)

운영사	귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?	활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천
코레일 공항철도	부품 및 장치의 수명예측 및 TBO산정에 활용	
서울교통공사	체계적 유지보수 분류 및 분석 방법에 대한 것은 적정하다고 판단되며 모든 철도분야에 적용이 가능하다. 특히 유지보수와는 별도 통신, 전동 등 지속적인 데이터 있는 모든 장치에 적용가능하다.	
부산교통공사	부산 4호선 경전철 고무타이어 주행로의 진동센서에 의한 data를 수집, 입력하여 진동이상 상태로 보수가 필요한 주행로를 선정(선택)하여 적기에 보수가 가능할 것 같다.	
대구도시철도공사		
인천교통공사	RAMS 프로그램과 연계한다면 전 도시철도운영기관 사용가능 할 것으로 판단됨.	
광주도시철도공사	● 전동차 유지관리 시스템과 신뢰성 분석시스템(RAMS)을 사용한 전동차 정비 시행중이다 → 전장품류(PCB 등), 출입문장치 등 구체적인(필요한) 데이터분석결과 도출시 사전 예방점검 및 특별점검 적용 가능할 것으로 판단된다.	
대전도시철도공사	DATA기반 의사결정이 가능하고 차량운영 및 유지보수, 상태 데이터를 활용하여 정기, 비정기 교	RAM와 연계

	환품과 수선 순환품 관리가 적용 가능	
메인트란스	TCMS의 데이터를 활용하여 이상 모니터링에 활용 가능할 것으로 판단된다. (충분한 검증이 필요할 것으로 생각된다)	
우이신설경전철	빅데이터 기반 유지보수 전문가 S/W(Black Box) 의견 동일	
네오트랜스	신분당선 차상신호(VOBC)의 IRUC인터페이스 릴레이 유닛관리에 적용가능하다.	지하구간 배수펌프가동 등 집수정관리에 적용가능
한국철도공사	모든 철도차량에서 활용이 가능할 것으로 판단되나 각 차종에 최적화, 실용화가 필요하다. 빅데이터는 현재도 일부 만들어지고(신뢰성 관리) 있으나 IoT가 바탕(주된 항목들인 아날로그 부분 자료)이 되어야 하는 상황이며, 현재 운영되거나 제작 예정인 차량에도 그 부분을 활용하기 위한 투자(주된 항목들인 아날로그 부분 자료 확대)는 반영되지 않고 있으며, 차량제작사에서도 철도 차량 생산시 전혀 고려되지 않고 있는 상황으로 본 연구 성과가 좋을 경우 반영한다면 좋은 결과가 기대된다. 철도 운영사의 신뢰성관리 수준에서 관리 필요성이 있으며 IoT에 기반한 자료 확대가 필요하다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용가능할 것으로 판단된다.
부산김해경전철	안전관련 주요장치 중 신뢰성 특성 모니터링으로 고장 분석 및 유지보수 의사결정이 곤란한 품목(제작사 권고 수명 미도래 품목 : 차장신호장치 등)등에 대한 의사결정에 사용할 수 있겠다.	

● 연구성과물 : 예비품 최적 소요량 산출 S/W

운영사	귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?	활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천
코레일 공항철도	- 주요장치에 대한 모니터링 개소에 활용 가능하다. - 현재 운행차량과 신규제작 차량을 구분하여 활용방안 수립필요하다.	
서울교통공사	TCMS에 전달되지 않는 제동제어장치, 인버터 장치 등에 대한 실시간 통신장애 등 데이터 수집이 가능하며 빅데이터 기반 유지보수와 연계하며 활용도가 높을 것으로 판단된다.	
부산교통공사	베어링 교체주기를 상태 평가 기준으로 시행한다면 교체주기가 많이 늘어날 것이다. 기존 차량에 축상, 기어유니트마다 센서 취부로 적용하기에는 비용 등 어려움이 있으므로, 신차 제작시 적용하는 방안이 적절할 것이다.	
대구도시철도공사	초기제작 전동차 사용 적극 적용 가능하다.	향후 도시철도 등, 고속철도는 반드시 필요하다고 사료된다.
인천교통공사	● 차량의 노후화(반입일 기준 18~19년)에 따른 현차 실시간 상태모니터링에 의한 CBM적용은 필요하다고 봄. ● 다만 기반특성상 좀 더 상세한 접근이 필요함(가격대비 효율성 등 판단)	
광주도시철도공사	● 실시간 상태 모니터링 장치는 향후 센서 및 분석 장치의 신뢰성이 향상된다면 충분한 활용가치는 있는 것으로 판단된다. - 다만 초기 투자비용 과다로 기존 차량에 당장 적용은 많은 어려	

	움이 있다. - 신규 제작 시 적용이 필요하다.	
대전도시철도공사	대차 및 주행장치에 대한 고장원인 추적 또는 안전성 향상을 위하여 제4차산업혁명 추진과제로 발전시켜 운영기관에서 추진할 수 있을 것으로 판단된다.	운영기관, 차량제작사
메인트란스		
우이신설경전철	현시스템 구축은 연구 목적으로 시행한 것으로 판단되며, 기관 적용은 향후 진행사항 등을 면밀히 확인하여 적용하는 것을 검토 하겠다(향후 차량분야)	운영기관 연구소 및 현임 담당자 의견 수렴 필요
네오트랜스	차량제작 설계에 반영하면 차량 관리에 효과적일 것이다.	
한국철도공사	현재 초급수준으로 KTX, 전기동차에서 일부 사용되고 있으나 디지털 포인트에 집중되고 있고 센서를 다수 적용한 보다 고도화된 자료 생성이 된다면 아주 유용한 장치가 될 것으로 판단된다. 실시간으로 철도차량의 상태를 판단할 수 있어야 각종 Event발생 시 적절하게 조치 또는 비상상황에 대처하는 효율성이 높아질 수 있으므로 LTE-R을 활용할 수 있도록 확대가 필요하다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.
부산김해경전철	신규차량 도입시 기어박스, 차축 베어링 상태 모니터링에 사용하여 점검주기 및 주요 부품 교체 시기 결정 할 수 있다.	

● 연구성과물 : 실시간 상태모니터링 장치

운영사	귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?	활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천
코레일 공항철도	정기 교환 부품 소요량 산출에 활용	
서울교통공사	현재 모든 운영기관에서 사람이 산출하는 방식을 다양한 자료를 입력하여 산출하는 S/W로 유지보수를 하는 모든 산업체에 적용이 가능하다.	
부산교통공사	순환예비품, 주기교환품의 보유수량을 판단하는데 적용가능하다. (부품 관리 프로그램과 data변환 프로그램 필요)	
대구도시철도공사	수리 순환 부품 관리에는 적용가능하며, 특히 재고 부품 관리에는 유용할 것으로 생각된다. 내년도 예산 조정시 주먹 구구식이 아닌 data관리로 예산편성 용이하다.	
인천교통공사	● 기존 소요량 산출 방법과 상세비교 분석이 필요. ● 매년 물품수급계획 수령에 있어 실제 예산착오와 관련한 해당 S/W의 적정성 필요. ● 상세 2가지가 해결되면 사용가능	
광주도시철도공사	● 매년 전동차 예비품 구매량 산출시 사용가능 - 수급기간(내.외자), 비용, 단종여부 등 세부적인 조건 데이터 값을 추가해야 합리적인(신뢰성 있는) 산출자료 도출될 것이다.	
대전도시철도공사	주기성, 비주기성 철도차량 주요저장품 확정 예비율 산정시 적용가능하다. 추가적으로 고장율, 안전에 미치는 영향, 단종, 외자에 대한 가중치를 적용할 수 있게 운영기관에서 검토	국가 연구개발과제 RAMS와 연계할 수 있는 방안 검토
메인트란스	정비를 위한 보유 예비품 수량	

	의 적정량 평가에 활용 가능할 것으로 판단된다.	
우이신설경전철	적정유지보수를 위한 소요량 산출 및 적정성 평가가 구연됨에 따라 연간 운영 및 유지보수체계(보고서)에 적용이 가능한 것으로 판단된다.(차량 분양 등)	
네오트랜스	산출 S/W를 활용하여 추가 차량 구매시 예비율 산정과 하자기간 산정에 활용 가능하다.	에스컬레이터, 엘리베이터 관리에 적용 가능
한국철도공사	아마존의 판매와 같이 고도의 다수 사례가 반영되어야 신뢰성이 향상될 것으로 보인다. 다만 기 운영중인 철도 차량에서는 그동안 축적된 자료를 기반으로 한다면 사용 가능할 것으로 판단된다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다
부산김해경전철	안전관련 주요 품목 중 고가에 해당되거나 장납기 자재에 해당되는 품목인 차장신호장치, 제동장치, 추진데어장치 예비품 소요량 산출에 적용할 수 있다.	

● 연구성과물 : 엑슬베어링 CBM 모델

운영사	귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?	활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천
코레일 공항철도	- 적용성이 가장 시급하고 활용도가 높을 것 으로 판단된다. - 상태측정을 위한 다양한 센싱 기술이 도입되 면 데이터 정밀도가 높을 것이다. - 무선기반 센싱기술, 데이터 수장, 전송기술 필요	
서울교통공사	각종 베어링 사용장치 등에 적용가능하다.	
부산교통공사	실시간 상태 모니터링 장치는 각 차량마다 설치는 비용상승 등	

	의 어려움이 있으므로 신차 제작시 TCMS의 CC에 기능을 포함하는 방식이나, 무선으로 data를 전송하여 모니터링 수집장치의 설치 개수를 줄이는 방안으로 추진이 필요하다. LTE-R기반 열차무선으로 수집 data를 실시간으로 지상으로 전송하는 방안도 검토가 필요하다.	
대구도시철도공사	베어링 사용등 새로운 사용기준 마련되어야 한다. 기존 차량은 곤란하다.	
인천교통공사	● 실시간 철도안전관리체계 안전성진단과 연계한 시험의 당위성은 확보할 필요가 있음.	
광주도시철도공사	열차의 주요장치로서 육안으로 확인 어려운 장치 및 운행조건에서 실시간으로 상태감시(모니터링)가 필요한 장치(차륜찰상, 엑슬베어링, 기어박스, 견인전동기 등)에 활용 가능성이 있을것으로 판단된다.	
대전도시철도공사	- 신규차량 제작시 적용 가능 - 차축 온도 상승 등 기론 철도차량 고장원인 추적 - 제4차산업혁명 시범 적용(1량)	국가 연구개발과제 RAMS와 연계할 수 있는 방안 검토
메인트란스		차량 또는 하위장치의 부품 제작사에서 활용되어 운영기관에 공급되어야할 것으로 생각된다.
우이신설경전철	실시간 상태 모니터링 장치 의견과 동일	운영기관 연구소 및 현임 담당자 의견 수렴 필요
네오트랜스	추후 차량구매 발주시 상태 모니터링 장치와 CBM모델을 반영하여 차량관리할 수 있도록 요구 하	

	겠다.	
한국철도공사	- 철도의 특성상 정시운전이 절대적으로 필요하고 다수의 승객을 안전하게 수송하는 절대성이 있으므로 철도차량의 모든 부품(베어링 등)은 고도의 안정성 확보가 실시간으로 필요하므로 실시간으로 부품의 상태가 판단하고 예방적 유지보수를 시행할 수 있다면 가동을 향상 및 안전성 확보를 할 수 있을 것이다. 다만 현재 수준(대다수 아날로그 자료로 구성)은 전무한 상황이며, 특히 고속 및 준고속의 경우는 절대적으로 필요하다고 판단, R&D로 해당 부품들을 개발시 협업으로 진행한다면 더 좋은 결과가 기대된다. - 차륜찰상의 경우는 비용이 절감될 수 있는 대안도 검토가 필요하다. - 운영시간의 차이에 따른 최적화가 필요하다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.
부산김해경전철	신규차량 도입시 적용할 수 있다. (차축베어링 상태 모니터링 후 이상 징후 발견시 중성비 점검 시행)	

● 연구성과물 : 기어박스 CBM 모델

운영사	귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?	활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천
코레일 공항철도	- 적용성이 가장 시급하고 활용도가 높을 것 으로 판단된다. - 상태측정을 위한 다양한 센싱 기술이 도입되 면 데이터 정밀도가 높을 것이다. - 무선기반 센싱기술, 데이터 수	

	장, 전송기술 필요	
서울교통공사	기어장치와 규칙적 반목 운동하는 장치 등에 적용가능하다.	
부산교통공사	실시간 상태 모니터링 장치는 각 차량마다 설치는 비용상승 등의 어려움이 있으므로 신차 제작시 TCMS의 CC에 기능을 포함하는 방식이나, 무선으로 data를 전송하여 모니터링 수집장치의 설치 개수를 줄이는 방안으로 추진이 필요하다. LTE-R기반 열차무선으로 수집 data를 실시간으로 지상으로 전송하는 방안도 검토가 필요하다.	
대구도시철도공사		
인천교통공사	● 실시간 철도안전관리체계 안전성진단과 연계한 시험의 당위성은 확보할 필요가 있음.	
광주도시철도공사	열차의 주요장치로서 육안으로 확인 어려운 장치 및 운행조건에서 실시간으로 상태감시(모니터링)가 필요한 장치(차륜찰상, 엑슬베어링, 기어박스, 견인전동기 등)에 활용 가능성이 있을것으로 판단된다.	
대전도시철도공사	- 신규차량 제작시 적용가능 - 제4차산업혁명 시범 적용(1량)	국가연구개발 과제 RAMS와 연계할 수 있는 방안 검토
메인트란스		차량 또는 하위 장치의 부품 제작사에서 활용되어 운영기관에 공급되어야할 것으로 생각된다.
우이신설경전철	실시간 상태 모니터링 장리 의견과 동일(다만, 코레일 테스트베드 확인 필요)	운영기관 연구소 및 현임 담당자 의견 수렴 필요
네오트랜스	추후 차량구매 발주시 상태 모	

	니터링 장치와 CBM모델을 반영하여 차량관리할 수 있도록 요구 하겠다.	
한국철도공사	- 철도의 특성상 정시운전이 절대적으로 필요하고 다수의 승객을 안전하게 수송하는 절대성이 있으므로 철도차량의 모든 부품(베어링 등)은 고도의 안정성 확보가 실시간으로 필요하므로 실시간으로 부품의 상태가 판단하고 예방적 유지보수를 시행할 수 있다면 가동을 향상 및 안전성 확보를 할 수 있을 것이다. 다만 현재 수준(대다수 아날로그 자료로 구성)은 전무한 상황이며, 특히 고속 및 준고속의 경우는 절대적으로 필요하다고 판단, R&D로 해당 부품들을 개발시 협업으로 진행한다면 더 좋은 결과가 기대된다. - 차륜찰상의 경우는 비용이 절감될 수 있는 대안도 검토가 필요하다. - 운영시간의 차이에 따른 최적화가 필요하다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.
부산김해경전철	신규차량 도입시 적용할 수 있다. (기어박스 상태 모니터링 후 이상징후 발견시 중정비 시행)	

● 연구성과물 : 견인전동기 CBM 모델

운영사	귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?	활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천
코레일 공항철도	- 고장상태 진단에 활용 가능하다. - 신차 제작시 기존 제어기의 고장 검출기능으로 포함되면 유지	

	보수에 효율적이다.	
서울교통공사	개발장치에 대한 CBM모델로 각 특성과 적정 분석 툴을 활용하여 모델링에 대한 신뢰도는 높은 것으로 판단된다. 이번 모델링으로 분석툴의 특징에 맞는 장치들에 대한 확대 적용도 가능하다.	
부산교통공사	견인전동기 로터바 균열은 운용중 발생 사례가 없고 주로 절연손상에 의한 견인전동기 소손이 발생하고 있다. 인버터 제작시 입출력 전류센서 검지 기능을 추가하면 좋을 것 같다.	
대구도시철도공사	전체 적용은 어려우나 중정비 검수 시험시 사용(적용) 가능하다고 사료된다.	
인천교통공사	● 실시간 견인전동기 고장유형 중 노후화에 따른 고정자권선소손에 대한 접근이 필요하다고 봄.	
광주도시철도공사	견인전동기 내부코일 문제를 실시간 파악 가능하다면 사전예방정비 가능할 것으로 판단된다.	
대전도시철도공사	- 전동차 신규제작시 적용가능 - 견인전동기 고장원인 추적 및 제4차산업혁명 추진 과제	운영기관, 차량제작사
메인트란스		차량 또는 하위 장치의 부품 제작사에서 활용되어 운영기관에 공급되어야할 것으로 생각된다.
우이신설경전철	현 파라미터 대업 정상분, 역상분 전룻 계단시 이론과 실험식 값이 일리한 것으로 확인 된 바, 견인전동기 전룻 대신에 인버터 입력 전룻을 측정하여 고장 진단 판단이 가능하므로 예방적용이 가능한 것으로 판단된다.(차량 분야)	전 운영기관

네오트랜스	차량구매 발주시 CBM모델을 적용할 수 있도록 검토하겠다.	
한국철도공사	- 철도의 특성상 정시운전이 절대적으로 필요하고 다수의 승객을 안전하게 수송하는 절대성이 있으므로 철도차량의 모든 부품(베어링 등)은 고도의 안정성 확보가 실시간으로 필요하므로 실시간으로 부품의 상태가 판단하고 예방적 유지보수를 시행할 수 있다면 가동을 향상 및 안전성 확보를 할 수 있을 것이다. 다만 현재 수준(대다수 아날로그 자료로 구성)은 전무한 상황이며, 특히 고속 및 준고속의 경우는 절대적으로 필요하다고 판단, R&D로 해당 부품들을 개발시 협업으로 진행한다면 더 좋은 결과가 기대된다. - 차륜찰상의 경우는 비용이 절감될 수 있는 대안도 검토가 필요하다. - 운영시간의 차이에 따른 최적화가 필요하다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.
부산김해경전철	신규차량 도입시 적용할 수 있다. (견인전동기 상태 모니터링 후 이상징후 발견시 중정비 시행)	

● 연구성과물 : 고속도 차단기 CBM 모델

운영사	**귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?**	**활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천**
코레일 공항철도	다른 전기식 타입의 고속도 차단기가 전동차에 적용되어 있어 당사 전동차에 바로 적용할 수 없다.	동일 방식의 고속도 차단기가 적용된 전동차에 적용 가능할 것으로 판단된다.

서울교통공사	개발장치에 대한 CBM모델로 각 특성과 적정 분석 툴을 활용하여 모델링에 대한 신뢰도는 높은 것으로 판단된다. 이번 모델링으로 분석툴의 특징에 맞는 장치들에 대한 확대 적용도 가능하다.	
부산교통공사	고속도 차단기 CBM모델은 부산 1호선 공기식 차단기에 적용가능한 것으로 보여지며, 검지된 고장정보가 실시간으로 기관사나 차량정비 분야로 전달하는 방안이 필요해 보인다.	
대구도시철도공사	● 공기압 사용시는 고려되나 공기압 사용 않는 전자변 이용. 차단기 사용은 적용 어렵다. ● 초음파 노이즈 측정 개발은 상당히 좋은 측정법이라 사료된다.	
인천교통공사		
광주도시철도공사	견인전동기 내부코일 문제를 실시간 파악 가능하다면 사전예방정비 가능할 것으로 판단된다.	
대전도시철도공사	공기식 고속도 차단기 사용중인 운영기관 또는 정밀안건 진단 개선 권고시 적용이 가능할 것으로 판단된다.	운영기관, 차량제작사
메인트란스		차량 또는 하부장치의 부품 제작사에서 활용되어 운영기관에 공급되어야할 것으로 생각된다.
우이신설경전철	고속차단기 장애원인이 주는 누기로 인한 빈도 및 위험도가 나타내는 것으로 부이며, 이로인한 규명은 초음파 노이즈 측정으로 구분이 용이한바. 예방 적용이 가능한 것으로 판단된다.(차량 분야)	전 운영기관
네오트랜스	차량구매 발주시 CBM모델을 적	

	용할 수 있도록 검토하겠다.	
한국철도공사	- 철도의 특성상 정시운전이 절대적으로 필요하고 다수의 승객을 안전하게 수송하는 절대성이 있으므로 철도차량의 모든 부품(베어링 등)은 고도의 안정성 확보가 실시간으로 필요하므로 실시간으로 부품의 상태가 판단하고 예방적 유지보수를 시행할 수 있다면 가동을 향상 및 안전성 확보를 할 수 있을 것이다. 다만 현재 수준(대다수 아날로그 자료로 구성)은 전무한 상황이며, 특히 고속 및 준고속의 경우는 절대적으로 필요하다고 판단, R&D로 해당 부품들을 개발시 협업으로 진행한다면 더 좋은 결과가 기대된다. - 차륜찰상의 경우는 비용이 절감될 수 있는 대안도 검토가 필요하다. - 운영시간의 차이에 따른 최적화가 필요하다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.
부산김해경전철	다른 전기식 타입의 고속도 차단기가 전동차에 적용되어 있어 당사 전동차에 바로 적용할 수 없다.	동일 방식의 고속도 차단기가 적용된 전동차에 적용 가능할 것으로 판단된다.

● 연구성과물 : 차륜찰상 CBM 모델

운영사	귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?	활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천
코레일 공항철도	승차감 저하 및 소음발생 원인이 되는 비정상 차륜 판정에 활용 가능하다.	
서울교통공사	개발장치에 대한 CBM모델로 각 특성과 적정 분석 툴을 활용하여	

	모델링에 대한 신뢰도는 높은 것으로 판단된다. 이번 모델링으로 분석툴의 특징에 맞는 장치들에 대한 확대 적용도 가능하다.	
부산교통공사	차륜의 찰상 정보를 TCMS로 전송하여 실시간으로 기관사나 차량정비 분야에서 확인이 가능하면 열차 안전운행에 많은 도움이 될 것이다.	
대구도시철도공사	찰상신호 계측 및 Cepstrum 분석 등 노력은 많았으나 현차 적용은 좀 더 시간이 필요하다고 사료된다.	
인천교통공사		
광주도시철도공사	운행 중 실시간으로 차륜소음상태 모니터링 가능하므로 즉각적인 차륜삭정 등 원인제거를 통한 차륜소음감소 및 고객 만족도(서비스)관리 활용 가능하다.	
대전도시철도공사	차륜찰상을 일으키는 제동관련 압력센서, 덤프밸브, 제동전자 제어시스템을 제작하는 제작사에서 시스템 향상(찰상 예방)을 위한 연구개발에 적용 가능하다.	제동관련 제작사
메인트란스		차량 또는 하부장치의 부품 제작사에서 활용되어 운영기관에 공급되어야할 것으로 생각된다.
우이신설경전철	주행속도, 제동력, 제동시간 등을 검토하여 차륜찰상을 당 사에서도 검토중에 있으며, 이와 관련 사항을 서로 팀업하여 지속적 검토를 진행하고자 한다.(차량 분야)	경량전철 운영기관 (역간거리 최소화로 인한 차륜찰상 다수 발생)
네오트랜스		고무타이어 적용 노선 (부산4, 의정부경전철)의 타이어

		마모 및 편마모 검출 적용이 가능하다고 본다.
한국철도공사	- 철도의 특성상 정시운전이 절대적으로 필요하고 다수의 승객을 안전하게 수송하는 절대성이 있으므로 철도차량의 모든 부품(베어링 등)은 고도의 안정성 확보가 실시간으로 필요하므로 실시간으로 부품의 상태가 판단하고 예방적 유지보수를 시행할 수 있다면 가동을 향상 및 안전성 확보를 할 수 있을 것이다. 다만 현재 수준(대다수 아날로그 자료로 구성)은 전무한 상황이며, 특히 고속 및 준고속의 경우는 절대적으로 필요하다고 판단, R&D로 해당 부품들을 개발시 협업으로 진행한다면 더 좋은 결과가 기대된다. - 차륜찰상의 경우는 비용이 절감될 수 있는 대안도 검토가 필요하다. - 운영시간의 차이에 따른 최적화가 필요하다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.
부산김해경전철	시험기에서는 성능검증이 되었으나 현차에서 검증이 완료되지 않아 향후 알고리즘 추가 보완하여 현차에서 최종 검증 후 적용가능하다.	

● 연구성과물 : 제동 솔레노이드밸브 CBM 모델

운영사	**귀 기관에서 활용한다면 구체적으로 어디에 사용할 수 있겠습니까?**	**활용이 가능한 또 다른 기관이나 분야 추천**
코레일 공항철도	고장/상태진단에 효과적으로 활용 가능하다.	
서울교통공사	개발장치에 대한 CBM모델로 각	

	특성과 적정 분석 툴을 활용하여 모델링에 대한 신뢰도는 높은 것으로 판단된다. 이번 모델링으로 분석툴의 특징에 맞는 장치들에 대한 확대 적용도 가능하다.	
부산교통공사	제동제어장치 설계 및 제작시 밸브의 전류, 온도값을 측정하여 고장유무를 판단하고, 고장정보를 운영자에게 전달한다면 예방정비에 많은 도움이 될 것이다. LTE-R기반 열차무선으로 수집 data를 실시간으로 지상으로 전송하는 방안도 검토가 필요하다.	
대구도시철도공사	외부 환경에 의한 시험 등 노력 많았으나 적용하기에 빈도(장애)등 낮아 어렵다.	
인천교통공사	●인천1호선 진공전환중계 밸브에 적용가능하다고 봄. ● 다만 고장품목에 대한 항목접근이 필요	제동부품 제작업체
광주도시철도공사	본선 운행 중 제동장치 밸브의 정상작동여부, 고장상태 판단이 가능하다면 고장발생 이전 유지보수가 가능할 것으로 판단된다.(사전예방정비)	
대전도시철도공사	- 전동차 신규 제작시 적용가능 - 제동전자밸브 고량증가 또는 정밀안전진단개선 권고시 적용	운영기관, 차량제작사
메인트란스		차량 또는 하부장치의 부품 제작사에서 활용되어 운영기관에 공급되어야할 것으로 생각된다.
우이신설경전철	제동솔레노이드 밸브 고장의 확인은 입력센서 육안 현시가 가능하므로 이에대한 예방 적용이 가	경량전철 운영기관

	능할 것으로 판단된다.(차량 분야)	
네오트랜스		
한국철도공사	- 철도의 특성상 정시운전이 절대적으로 필요하고 다수의 승객을 안전하게 수송하는 절대성이 있으므로 철도차량의 모든 부품(베어링 등)은 고도의 안정성 확보가 실시간으로 필요하므로 실시간으로 부품의 상태가 판단하고 예방적 유지보수를 시행할 수 있다면 가동을 향상 및 안전성 확보를 할 수 있을 것이다. 다만 현재 수준(대다수 아날로그 자료로 구성)은 전무한 상황이며, 특히 고속 및 준고속의 경우는 절대적으로 필요하다고 판단, R&D로 해당 부품들을 개발시 협업으로 진행한다면 더 좋은 결과가 기대된다. - 차륜찰상의 경우는 비용이 절감될 수 있는 대안도 검토가 필요하다. - 운영시간의 차이에 따른 최적화가 필요하다.	국내 및 국외 철도차량 등에 적용 가능할 것으로 판단된다.
부산김해경전철	상이한 방식의 제동솔레노이드 밸브가 전동차에 적용되어 있어 당사 전동차에 적용하기가 어렵다.	동일 방식의 제동솔레노이드밸브가 적용된 전동차에 적용 가능할 것으로 판단된다.

● 기타 전반적인 철도차량의 유지보수체계 개선에 대한 의견

운영사	의견
코레일 공항철도	.상태 측정을 위한 다양한 지능형 센싱 기술 도입 필요하다. -레이져 스캐닝, 적외선 감지, 진동/소음 등 센싱 기술 .무선기반 센싱 기술, 데이터 수집, 전송기술이 도입되면 활용도가 높 을 것이다. .지침서는 신규차량 제작시 적용되도록 유도

서울교통공사	자산관리 및 유지보수 시스템 등 다양한 시스템의 데이터 표준화 및 확장에 대한 추가 연구와 보다 다양한 CBM모델 알고리즘 개발이 지속적으로 필요하다. 다만 유지보수에 보다 많이 발생하는 장치부터 우선 개발이 적정하다.
부산교통공사	
대구도시철도공사	중국에 밀려 고속철도 수출 물량은 없으나 일반철도 부문 등 철도 운영시 효율성 향상으로 수출경쟁력 제고에 노력 부탁드리며 가성비 때문에 기존 차량에 적용은 곤란하나 신조차량 제작시 좋은 안건 많이 적용하여 안전하고 좋은 차량 제작에 노력 부탁 드립니다. CBM 제작 적용에 많은 노력에 감사합니다.
인천교통공사	
광주도시철도공사	전동차 각종 전기,전자 부품(전장품)의 각종 PCB 보드류 에 대한 적정교체주기에 대한 연구 및 표준모델 제시 필요하다.
대전도시철도공사	현재 운영기관에서는 점검(주기)의 차이가 있을뿐 대동소이하게 TBM방식의 철도차량유지보수를 시행하고 있는 실험이다. 이는 운영기관 차량과 운행환경 또는 안전수준에 따라 유지보수가 이루어지고 있지만 개선의 필요성이 있어 보인다. 차량노후화로 인한 유지보수 비용증가 안전성 저하로 인한 대형철도사고 발생 가능성, 작업자의 인력오류증가의 문제가 발생하고 있다. 이러한 문제점을 개선, 보완하는 방법으로 CBM이 적용된다면, 안전성과 신뢰성, 가능성을 증가시키고 유지보수 비용도 감소시킬수 있을 것으로 판단된다.
메인트란스	철도차량의 부품의 적정 기대수명을 결정하는 연수가 필요할 것으로 생각되며 이와 연계하여 상태기반 유지보수도 적용될 수 있도록 하는 것이 필요할 것으로 생각된다.
우이신설경전철	철도차량 상태기관유지보수 시행지침서(안)을 배포(국토교통부, 지자체, 운영기관, 공사 시행 중인 기관)하여, 업무의 일원화를 통해 효율적인 유지관리(보수)체계를 조속히 수행하였으면 한다. 아울러, 철도운영기관 발주시 시행지침서를 활용한 제안서 유도 필요하다.
네오트랜스	철도차량유지관리에 필요한 연구결과이다. 현 시점 즉시 반영하기 어려움이 있으나 추후 구매 발주시 현 연구결과가 반영될 수 있도록 검토가 필요하며, 지속적인 연

	구홍보가 필요하다.
한국철도공사	◦CBM관련 플랫폼을 개발하여 확대 적용할 수 있다면 CBM기반 유지보수 확대 보급에 많은 도움이 될 것이며, ◦실시간 상태모니터링과 관련하여 정책적으로 추진하는 방향이 필요하고, ◦유지보수에 대한 부분은 운영사에 자율적으로 진행(국가의 강제는 배제)할 수 있어야 하며, ◦유지보수를 담당하는 인력의 기술 고도화도 필요하다. ◦CBM적용을 위한 비용증가요인으로 인한 차량가격 상승분은 문제점으로 작용
부산김해경전철	현재의 정해진 시기에 일률적으로 부품을 교체하는 방식에서 향후 부품의 상태에 따라 부품을 교환하는 상태기반 유지보수로 전환하여 유지보수업무를 효율화할 필요가 있을 것으로 판단된다.

별첨 4. CBM모델의 기술적용 조건

본 연구에서 개발한 6개의 CBM 모델을 활용하기 위한 기술제한 조건은 다음과 같다.

1. 차축베어링 CBM 모델

○ 차축베어링의 진동가속도 측정위치 : 엑슬박스 상부, 1축 가속도계 3개(3축)
○ 1축 가속도계 사양
- sensitivity : 100 mV/g
- acceleration range : 80g peak
- frequency response : 0.4 - 14000Hz (±3 dB)
○ 실차시험 조건(정상상태 데이터 획득)
- 평탄선로
- 주행속도 : 40 - 80 Km/h
- 데이터획득장치 : 샘플링 주파수 3.2 kHz
○ 상사 시험기 시험 조건 (spalling 결함에 의한 상태데이터 획득)
- 공차 수직 하중 : 4 KN
- 만차 수직 하중 : 8 KN
- 시험기 회전속도 : 0-10 rps
○ 획득 데이터 신호처리
- 잡음제거 : 자기적응적(Self- Adaptive) 신호분해 방법인 경험 모드 분해 (EMD : Empirical Mode Decomposition) 기술을 이용하여 잡음을 제거하였으며, 이것은 수집된 가속도 신호(Sensor Signal Input)에 EMD를 적용하여 여러 고유함수 (IMF: intrinsic mode function)로 분해한 후, 주어진 가속도 신호의 확률 밀도 함수와 유사도를 측정하여 노이즈가 없는 신호를 추정하는 제거 알고리즘임.
- 데이터 분석(Index) : time domain data 를 FFT 후 처리된 데이터를 특성함수 Skewness 모델에 적용

2. 기어박스 CBM 모델

○ 기어박스의 진동가속도 측정위치 : 기어박스 상부, 1축 가속도계 2개(2축)

○ 1축 가속도계 사양

- sensitivity : 100 mV/g
- acceleration range : 80g peak
- frequency response : 0.4 - 14000Hz (±3 dB)

○ 실차시험 조건(정상상태 데이터 획득)

- 평탄선로
- 주행속도 : 20 - 60 Km/h
- 데이터획득장치 : 샘플링 주파수 3.2 kHz

○ 상사 시험기 시험 조건 (치차 결함에 의한 상태데이터 획득)

- 공차 수직 하중 : 36 KN
- 만차 수직 하중 : 64 KN
- 시험기 회전속도 : 4 rps

○ 획득 데이터 신호처리

- 잡음제거 : 자기적응적(Self- Adaptive) 신호분해 방법인 경험 모드 분해 (EMD : Empirical Mode Decomposition) 기술을 이용하여 잡음을 제거하였으며, 이것은 수집된 가속도 신호(Sensor Signal Input)에 EMD를 적용하여 여러 고유함수 (IMF: intrinsic mode function)로 분해한 후, 주어진 가속도 신호의 확률 밀도 함수와 유사도를 측정하여 노이즈가 없는 신호를 추정하는 제거 알고리즘임.
- 데이터 분석(Index) : time domain 의 특성함수 RMS, 시간영역 data 의 FFT peak를 동시에 적용

3. 차륜 찰상 CBM 모델

○ 차륜의 진동가속도 측정위치 : 엑슬박스 상부, 1축 가속도계

○ 1축 가속도계 사양

- sensitivity : 100 mV/g
- acceleration range : 80g peak
- frequency response : 0.4 - 14000Hz (±3 dB)

○ 실차시험 조건(정상상태 데이터 획득)

- 평탄선로
- 주행속도 : 20 Km/h
- 데이터획득장치 : 샘플링 주파수 3.2 kHz

○ 상사 시험기 시험 조건 (차륜찰상에 의한 상태데이터 획득)

- 공차 수직 하중 : 36 KN
- 만차 수직 하중 : 64 KN
- 차륜 찰상 크기 : 20-75mm, 1-3개소

○ 획득 데이터 신호처리

- 잡음제거 : 자기적응적(Self- Adaptive) 신호분해 방법인 경험 모드 분해 (EMD : Empirical Mode Decomposition) 기술을 이용하여 잡음을 제거하였으며, 이것은 수집된 가속도 신호(Sensor Signal Input)에 EMD를 적용하여 여러 고유함수 (IMF: intrinsic mode function)로 분해한 후, 주어진 가속도 신호의 확률 밀도 함수와 유사도를 측정하여 노이즈가 없는 신호를 추정하는 제거 알고리즘임.
- 데이터 분석(Index) : time domain data 의 FFT 처리 후 Convolution(찰상 크기진단), Cepstrum(찰상발생진단) 분석 기법 적용

4. 상용제동 전자 솔레노이드 밸브 CBM 모델

○ 솔레노이드 밸브 고장모드
- 솔레노이드 코일 소손
- 밸브변 상단 이물질 적재
- 밸브 변 고무 손상

○ 솔레노이드 밸브 테스트 베드 (정상 및 고장모드에 따른 상태데이터 획득)
- 공기통 : 200리터
- 전원공급장치 : 최대 1A(조절 가능 간격 : 10mA)
- 제동통 : 0.5 리터
- 공기압축기 : 도시철도 7호선 전동차용
- 솔레노이드 밸브 및 압력센서 : 도시철도 7호선 전동차용
- 데이터획득장치 : 샘플링 주파수 10 kHz

○ 획득 데이터 신호처리
- 솔레노이드 코일 소손 고장모드 데이터 분석(Index) : 솔레노이드 코일에 공급되는 전류(A)
- 밸브변 상단 이물질 적재 고장모드 데이터 분석(Index) : 솔레노이드 밸브 출력측 압력센서(V)의 측정치를 회귀모델 Sigmoidal Regression로 적용
- 밸브 변 고무 손상 고장모드 데이터 분석(Index) : 솔레노이드 밸브 입력, 출력측 압력센서(V)의 측정치를 데시벨 형식으로 적용

5. 견인전동기 CBM 모델

○ 실차시험 조건(정상상태 데이터 획득)
- 평탄선로
- 주행속도 : 20-80 Km/h
- 전류측정 : 로고스키 코일을 이용하여 인버터 출력단과 견인전동기 입력단에서 측정. MCSA(Moter Curent Signature Analysis) 기법을 적용하여 회전바 고장모드 진단
- 로고스키 코일 사양
  · 주파수 : 10-500KHz
  · 측정전류범위 : 1A-100KA
  · 2차 출력값 : AC 0.1mA-30V
  · 선형성 : ±1%
- 데이터획득장치 : 샘플링 주파수 0.8 kHz

○ 견인전동기 축소형 시뮬레이터 (고장모드에 따른 상태데이터 획득)
- MG 세트 : Motor-Generator 50kW
- 오실로스코프 : 산업용 1MHz
- 전류프로브 : 저젼력용

○ 획득 데이터 신호처리
- 회전바 고장모드 데이터 분석(Index) : 회전자 바가 균열이 된 상태를 모의하여 고정자 전류파형의 FFT 분석

6. 고속도차단기 CBM 모델

○ 고속도차단기 테스트베드 (정상 및 고장모드에 따른 상태데이터 획득)
- 초음파 검출기 : 휘성, ONDAS 1A
- 검출시간 : 10초

○ 획득 데이터 신호처리
- 시간영역 데이터의 FFT분석 : 10초
- 신호 추출 : 1.0-5.5초
- 추출신호 유효주파수 대역 FFT : 0-2KHz 대역
- 추출신호 유효주파수 대역 형상화 : 0-2KHz 대역
- Peak 주파수 검색 : 0-2KHz 대역
- 평균전력 산출 : 전체 주파수