[최종보고서 전체 목차]

1. 총괄과제

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· I권-1

제 1 절 연구개발의 목적 ····· 1
제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 1
제 3 절 연구개발의 범위 ····· 1

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· 1권-3

제 1 절 국내·외 기술 개발의 환경 변화 ····· 3

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· I권-21

제 1 절 연구목표 및 연구내용 ····· 21
제 2 절 연구내용 및 연구결과 ····· 27
제 3 절 연차별 세부연구내용 ····· 39
[1차년도 세부연구내용] ····· 39
[2차년도 세부연구내용] ····· 63
[3차년도 세부연구내용] ····· 83
[4차년도 세부연구내용] ····· 102
[5차년도 세부연구내용] ····· 152
[6차년도 세부연구내용] ····· 235
[7차년도 세부연구내용] ····· 317
[7차년도(추가세부과제) 세부연구내용] ····· 501
가. 자기부상철도 선로시설물 자동화 점검시스템 개발에 관한 연구 ····· 501
나. 인천공항 자기부상철도 선로구조물 성능평가 ····· II권-681
다. 도시형자기부상열차 추진시스템 성능향상 및 고속화 설계 개발 ····· 857

라. 도시형자기부상열차 글로벌 비즈니스 추진 체계 구축 ····· 1167
마. 자기부상철도등특수철도의합리적운영을위한법제도마련 ···· III권-1653

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련 분야의 기여도 ····· III권-2185

제 1 절 연구개발 목표의 달성도 ····· 2185
제 2 절 관련 분야 기여도 ····· 2190

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· III권-2191

제 1 절 연구성과의 활용방안 ····· 2191
제 2 절 연구성과의 기대효과 ····· 2196

2. 1핵심과제

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· Ⅳ권-1

제 1 절 연구개발의 목적 ····· 1
제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 4

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· Ⅳ권-7

제 1 절 국내·외 기술 개발의 환경 변화 ····· 7

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· Ⅳ권-21

제 1 절 연구목표 및 연구내용 ····· 21
제 2 절 단계별 세부연구내용 ····· 32
1. 1단계 세부연구내용 ····· 32
[1-0과제] ····· 32
[1-1과제] ····· 58
[1-2과제] ····· 137
[1-3과제] ····· 757
[1-4과제] ····· 813
2. 2단계 세부연구내용 ····· Ⅴ권-967
[1-0과제] ····· 967
[1-1과제] ····· 1239
[1-2과제] ····· 1320
[1-3과제] ····· 1389
[1-4과제] ····· 1434
3. 3단계 세부연구내용 ····· 1477
[1-0과제] ····· 1477

[1-1과제] ····· 1531
[1-2과제] ····· 1567
[1-4과제] ····· 1733

제 4 장 연구개발목표 달성도 ····· V권-1805

제 1 절 연구개발 목표의 달성도 ····· 1805

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· V권-1815

제 1 절 연구성과의 활용방안 ····· 1815
제 2 절 연구성과의 기대효과 ····· 1818

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· V권-1825

제 7 장 참고문헌 ····· V권-1859

3. 2핵심과제

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· VI권-1

제 1 절 연구개발의 목적 ····· 1
제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 3
제 3 절 연구개발의 범위 ····· 6

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· VI권-15

제 1 절 국내·외 기술 개발의 환경 변화 ····· 15

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· VI권-31

제 1 절 연구목표 및 연구내용 ····· 31
제 2 절 단계별 세부연구내용 ····· 36
1. 1단계 세부연구내용 ····· 36
[2-0과제] ····· 36
[2-1과제] ····· 66
[2-2과제] ····· 377
[2-3과제] ····· VII권-594
2. 2단계 세부연구내용 ····· 736
[2-0과제] ····· 736
[2-1과제] ····· 759
[2-3과제] ····· 961
3. 3단계 세부연구내용 ····· 986
[2-1과제] ····· 986

제 4 장 연구개발목표 달성도 ····· VII권-1051

제 1 절 연구개발 목표의 달성도 ····· 1051

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· VII권-1069

제 1 절 연구성과의 활용방안 ····· 1069
제 2 절 연구성과의 기대효과 ····· 1073

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· VII권-1079

제 7 장 참고문헌 ····· VII권-1099

4. 3핵심과제

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· VIII권-1

제 1 절 연구개발의 목적 ····· 1
제 2 절 연구개발의 범위 ····· 5

제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ····· VIII권-11

제 1 절 국내·외 기술 개발의 환경 변화 ····· 11

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· VIII권-35

제 1 절 연구목표 및 연구내용 ····· 35
제 2 절 단계별 세부연구내용 ····· 42
1. 1단계 세부연구내용 ····· 42
[3-0과제] ····· 42
[3-1과제] ····· 513
[3-2과제] ····· IX권-1184
2. 2단계 세부연구내용 ····· 1482
[3-0과제] ····· 1482
[3-2과제] ····· 1659
3. 3단계 세부연구내용 ····· X권-1944
[3-0과제] ····· 1944
[3-2과제] ····· 2223

제 4 장 연구개발목표 달성도 ····· X권-2549

제 1 절 연구개발 목표의 달성도 ····· 2549

제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· X권-2563

제 1 절 연구성과의 활용방안 ····· 2563

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· X권-2565

제 7 장 참고문헌 ····· X권-2575

1핵심과제 목차

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적 ····· 1
제 2 절 연구개발의 필요성 ····· 4

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 기술 개발의 환경 변화 ····· 7

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구목표 및 연구내용 ····· 21
제 2 절 단계별 세부연구내용 ····· 32
1. 1단계 세부연구내용 ····· 32
[1-0과제] ····· 32
[1-1과제] ····· 58
[1-2과제] ····· 137
[1-3과제] ····· 757
[1-4과제] ····· 813
2. 2단계 세부연구내용 ····· 967
[1-0과제] ····· 967
[1-1과제] ····· 1239
[1-2과제] ····· 1320
[1-3과제] ····· 1389
[1-4과제] ····· 1434
3. 3단계 세부연구내용 ····· 1477

[1-0과제] ····· 1477
[1-1과제] ····· 1531
[1-2과제] ····· 1567
[1-4과제] ····· 1733

제 4 장 연구개발목표 달성도

제 1 절 연구개발 목표의 달성도 ····· 1805

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구성과의 활용방안 ····· 1815
제 2 절 연구성과의 기대효과 ····· 1818

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 1825

제 7 장 참고문헌 ····· 1859

<표 목차>

[표 1] 시제차량 주요 시험결과 ····· 9
[표 2] 고가궤도식 경전철 건설비 비교 ····· 12
[표 3] 종합시험운행 마스터 스케쥴 ····· 13
[표 4] 시범노선 시설물 검증시험 항목 ····· 14
[표 5] 중저속형 자기부상 열차의 주요 사양 ····· 16
[표 6] 당산 시험선의 주요 사양 ····· 18
[표 7]운영 시나리오 예 - O.C.20 역사 내 화재 식별 ····· 87
[표 8]상세설계검토 후속조치 현황 ····· 101
[표 9]상세설계검토 결과 후속조치 사례 ····· 101
[표 10]사용자 관점의 요구사항 분석 예 ····· 102
[표 11]분야별 규격서 최종 검토 관련 진행 현안 ····· 103
[표 12]검증 요구사항 항목 ····· 105
[표 13]시범노선 열차운행계획 ····· 169
[표 14]리스크 수용기준 ····· 197
[표 15]결과의 심각도 등급 ····· 198
[표 16]전반적 리스크 요구조건 ····· 199
[표 17]리스크 매트릭스 (정성적) ····· 201
[표 18]ALARP를 적용한 리스크 매트릭스 ····· 201
[표 19]안전성 등급 ····· 202
[표 20]서비스 가용도 목표 ····· 213
[표 21]위험한 이벤트의 발생빈도 ····· 216
[표 22]해저드 결과의 분류 ····· 217
[표 23]리스크 매트릭스 ····· 218
[표 24]리스크 수용성 수준 ····· 219
[표 25]1단계 역사간 거리 ····· 221
[표 26]상위수준 시스템 분류 ····· 224
[표 27]1단계 역사간 거리 ····· 238
[표 28]상위수준 시스템 분류 ····· 241
[표 29]해저드 발생빈도 분류 ····· 250
[표 30]해저드 발생결과의 심각도 분류 ····· 251
[표 31]리스크 매트릭스 ····· 251
[표 32]리스크 수준별 관리절차 ····· 252
[표 33]해저드 발생빈도 ····· 266
[표 34]해저드 결과 심각도 ····· 267

[표 35]리스크 등급 ····· 268
[표 36]리스크 평가 ····· 268
[표 37]자기부상 기능시스템 분석 ····· 287
[표 38]열차운행 스케쥴 ····· 293
[표 39]MD횟수(2032년) ····· 293
[표 40]시스템 목표 고장율 ····· 293
[표 41]정량적 요구조건(차량) ····· 296
[표 42]정량적 요구조건(신호) ····· 296
[표 43]정량적 요구조건(분기기) ····· 296
[표 44]정량적 요구조건(전력: 급전 및 제3궤조) ····· 297
[표 45]정량적 요구조건(전력: SCADA) ····· 297
[표 46]정량적 요구조건(전력) ····· 298
[표 47]정량적 요구조건(통신) ····· 299
[표 48]정량적 요구조건(기계:PSD) ····· 300
[표 49]정량적 요구조건(정거장:기계설비류) ····· 300
[표 50]정량적 요구조건(검수설비) ····· 301
[표 51]해저드 목록 ····· 332
[표 52]적용되지 않는 해저드 목록 ····· 334
[표 53]해저드 평가 ····· 336
[표 54]철도시스템 수명주기 단계와 프로젝트 수행 단계 ····· 347
[표 55]수명주기 단계를 반영한 실용화사업 수행단계 ····· 368
[표 56]해저드 발생빈도 분류 ····· 389
[표 57]해저드 발생결과의 심각도 분류 ····· 390
[표 58]리스크 매트릭스 ····· 390
[표 59]리스크 수준별 관리절차 ····· 391
[표 60]시스템과 자기부상시스템 사양비교 ····· 501
[표 61]운행특성 비교 ····· 502
[표 62]운행시나리오에 따른 에너지 소모량 ····· 503
[표 63]초기투자비용 구성 ····· 504
[표 64]자기부상시스템 구성요소의 단위비용 ····· 511
[표 65]총자본비용 ····· 511
[표 66]연간운영비용 ····· 512
[표 67]시스템 유지보수 시나리오 ····· 513
[표 68]시스템 관리에 필요한 소요인원 ····· 515
[표 69]시스템 관리에 요구되는 인건비 ····· 515
[표 70]시스템 운영에 필요한 소요인원 ····· 516

[표 71]시스템 운영에 요구되는 인건비 ····· 516
[표 72]역사운영을 위한 소요인원 ····· 517
[표 73]역사운영에 요구되는 인건비 ····· 517
[표 74]유지보수인력 소요인원 ····· 518
[표 75]유지보수를 위한 인건비 ····· 519
[표 76]매개변수 비용예측 방법의 강약점 ····· 553
[표 77]공학적 산정방법의 강약점 ····· 555
[표 78]유사시스템 산정방법의 강약점 ····· 556
[표 79]공급업자 견적/ROM 방법의 강약점 ····· 556
[표 80]3가지 범주의 주요 데이터 형태 ····· 558
[표 81]차량시스템 Product Based Structure ····· 579
[표 82]중정비용 소요 검수설비 ····· 587
[표 83]주요 검수종류 및 주기 ····· 591
[표 84]국내 전동차의 주요 검수내용 및 방법 ····· 592
[표 85]일상검사항목 ····· 593
[표 86]월상검사 세부항목 ····· 593
[표 87]중간검사 세부항목 ····· 594
[표 88]전반검사 세부항목 ····· 595
[표 89]검사에 사용된 주요 설비 기계, 기구 시험기 등의 능력 및 사양 623
[표 90]검사의 종류와 검사주기 ····· 625
[표 91]일상검사의 일정 계획 ····· 628
[표 92]검사 요원 ····· 628
[표 93]EN50126-3 EMU vehicle tree breakdown chart ····· 634
[표 94]표준전동차 차량시스템 tree breakdown chart ····· 640
[표 95]한국형 경량전철 tree breakdown chart ····· 643
[표 96]PBS 구조의 예 ····· 646
[표 97]EN 50126-1 예방정비정보 DB 구조 항목 및 정의내용 ····· 658
[표 98]EN 50126-1 보수정비정보 DB 구조 항목 및 정의내용 ····· 660
[표 99]UNIFE LCC 글로벌 데이터 항목 및 정의내용 ····· 661
[표 100]UNIFE 예방정비정보 DB 항목 및 정의내용 ····· 663
[표 101]UNIFE 보수정비정보 DB 항목 및 정의내용 ····· 664
[표 102]예방정비작업을 위한 RAM 테이블 ····· 669
[표 103]전동차 3년 검수 세부항목(예) ····· 671
[표 104]전동차 6년 검수 세부항목 ····· 675
[표 105]도시철도 전동차 검수종류 및 주기(예) ····· 675
[표 106]차량사무소 작업별 소요인공 분석, 3Y기준 (예) ····· 676

[표 107]차량사무소 작업별 소요인공 분석, 6Y기준 (예) ····· 677
[표 108]Tc차량의 공정별 소요직종 및 소요시간 분석 예 ····· 678
[표 109]중정비 소요 직종별 시중노임단가(2007.9월 기준) ····· 679
[표 110]보수정비작업을 위한 RAM 테이블 ····· 681
[표 111]검수주기에 따른 수행간주규정[1.5] ····· 683
[표 112]글로벌 데이터 항목 및 조사 내용 ····· 694
[표 113]자기부상열차 완성차 유지보수 비용 계산 결과 ····· 694
[표 114]성능시험 구분에 따른 시험항목 ····· 757
[표 115]철도차량 성능시험인증 및 제작검사 수행절차(안) ····· 769
[표 116]구성품 시험항목코드 및 문서번호 ····· 780
[표 117]시험선 시험항목코드 및 문서번호 ····· 794
[표 118]통합계측시스템의 주요 구성 요소 ····· 803
[표 119]주행시험 ····· 804
[표 120]집전시험 ····· 806
[표 121]유도장애시험 ····· 806
[표 122]보호장치 동작확인시험 ····· 807
[표 123]소음/진동시험 ····· 807
[표 124]지상설비 연계동작시험 ····· 810
[표 125]주요기기 온도 및 상태 측정시험 ····· 810
[표 126]차내외 누설 자속 측정시험 ····· 811
[표 127]소비전력 측정시험 ····· 811
[표 128]비상주행 안전확인시험 ····· 812
[표 129]자기부상열차와 일반철도차량의 구조 비교 ····· 815
[표 130]자기부상열차와 일반철도차량의 성능, 기능 비교 ····· 816
[표 131]경량전철시스템의 관련법령 제·개정방향 ····· 820
[표 132]실용화사업 목표사양 (타당성조사 보고서 기준) ····· 871
[표 133]도시형자기부상철도 건설규칙 적용 시설물 검토 ····· 871
[표 134]국내 철도 유형별 건설관련 법체계 ····· 875
[표 135]국내 철도 관련 건설규칙 적용 시설물 ····· 875
[표 136]도시철도 건설규칙 중 시도지사 위임사항 ····· 876
[표 137]경량전철 시스템 기술개발사업 선로구축물 설계기준 검토사항 · 876
[표 138]철도 차량 안전기준관련 규칙 비교(차량장치) ····· 883
[표 139]철도 차량 안전기준관련 규칙 비교(구조) ····· 884
[표 140]시설안전기준관련 규정 비교 ····· 884
[표 141]도시철도시설안전기준(안) 주요 사항 ····· 885
[표 142]경량전철 성능시험 주요 사항 ····· 893

[표 143]차량 성능시험 항목 ····· 893
[표 144]정부의 도시철도 시설분야 법제화 방향 및 주요 내용 ····· 898
[표 145]도시철도 시설/차량표준 규격 주요 내용 ····· 910
[표 146]철도 용품의 분류 ····· 911
[표 147]일본 AGT 경전철 시설분야 표준규격 항목 ····· 911
[표 148]일본 AGT 경전철 건축한계 표준규격 설정 시 고려 항목 ····· 912
[표 149]일본 AGT 경전철 안내면 치수 표준규격 설정 시 고려 항목 ···· 912
[표 150]선로시설 표준규격 항목 ····· 912
[표 151]도시형 자기부상철도 건설규칙 구성 ····· 915
[표 152]도시형 자기부상철도 건설규칙 중 지방자치단체장 결정 위임항목 ···· 915
[표 153]도시형자기부상철도 선로시설 선형설계 관련 표준규격 요구조건 ····· 918
[표 154]도시형자기부상철도 궤도 관련 표준규격 요구조건 ····· 918
[표 155]도시형자기부상철도 분기기 관련 표준규격 요구조건 ····· 920
[표 156]도시형자기부상열차 주요 구성품 표준규격 요구조건 ····· 923
[표 157]정부의 도시철도 시설분야 법제화 방향 및 주요 내용 ····· 925
[표 158]현행 법체계에서 도시철도 시설분야 구분 ····· 928
[표 159]품질인증요령 대상 용품 ····· 954
[표 160]서브시스템 중 RAMS 수행 대상 ····· 1321
[표 161]서브시스템 RAMS 요구조건 문서 ····· 1321
[표 162]시스템 RAM 시연 단계에서 기관별 역할 ····· 1333
[표 163]열차 해저드 로그 요약 ····· 1337
[표 164]글로벌 데이터 항목 및 조사 내용 ····· 1340
[표 165]시스템의 서비스가용성 목표 ····· 1375
[표 166]시스템 RAM 시연 단계에서 기관별 역할 ····· 1375
[표 167]가이드웨이별 재질과 구조 ····· 1399
[표 168]구간별 주요 주파수 ····· 1404
[표 169]진동모드 계측 결과 ····· 1405
[표 170]진동모드 계측 결과 ····· 1406
[표 171]진동모드 계측 결과 ····· 1409
[표 172]주요 주파수와 감쇠비 ····· 1411
[표 173]Type 별 주요 주파수 ····· 1412
[표 174]품질인증요령(안) 개발 WBS ····· 1436
[표 175]품질인증요령(안) 개발의 연구내용별 달성도 ····· 1437
[표 176]전장품 적용 국내외 표준 ····· 1439
[표 177]자기부상열차의 주요 특징과 반영이 필요한 성능시험 항목 ····· 1446
[표 178]성능시험기준(안) 개발 WBS ····· 1446

[표 179]품질인증요령(안) 개발의 연구내용 및 달성도 ····· 1447
[표 180]1단계 연구성과 반영을 통한 성능시험기준 수정·보완 내용 요약 · 1448
[표 181]운전규칙(안) 개발 WBS ····· 1458
[표 182]운전규칙(안) 개발의 연구내용 및 달성도 ····· 1459
[표 183]운전규칙 개발 관련 수집 및 분석 자료 목록 ····· 1460
[표 184]운전규칙(안) 주요 내용 ····· 1463
[표 185]정밀진단지침(안) 개발 WBS ····· 1467
[표 186]정밀진단지침(안) 개발의 연구내용 및 달성도 ····· 1468
[표 187]도시철도차량 정밀진단지침 주요 개정 내용 및 반영사항 ····· 1470
[표 188]도시형자기부상열차 TPM 관리항목 ····· 1536
[표 189]설계검토 반영 결과 ····· 1540
[표 190]시험선시험 반영 결과 ····· 1540
[표 191]시설물시험 반영 결과 ····· 1541
[표 192]검증요구사항 검토보고서 작성 실적 ····· 1542
[표 193]시험평가 결과 접수 및 DB 반영 결과 ····· 1552
[표 194]사용자 요구사항 분석 결과 ····· 1554
[표 195]사용자별 관심기능 및 기능시나리오 ····· 1554
[표 196]시나리오 카테고라이징(Categorizing) ····· 1556
[표 197]시나리오 실현요건 분석 ····· 1556
[표 198]해저드 주체에 따른 분류 ····· 1570
[표 199]해저드 식별 결과 종합 ····· 1571
[표 200]FMECA 분석 종합 ····· 1572
[표 201]글로벌 데이터 항목 및 조사 내용 ····· 1577
[표 202]차량시스템 장치 별 알람 건수 ····· 1583
[표 203]차량시스템의 고장영향 분석 ····· 1584
[표 204]품질인증요령(안) 개발 WBS ····· 1735
[표 205]품질인증요령(안) 개발의 연구내용별 달성도 ····· 1735
[표 206]자기부상열차 품질인증기준 양산편성 적용 품목 반영 및 주요 검토사항 1738
[표 207]부품의 모듈화에 대한 대상 용품 및 주요 검토사항 ····· 1739
[표 208]고유·신규·일반 용품 장치의 재분류 주요 검토사항 ····· 1740
[표 209]타 시스템 및 일반전동차 적용 가능 용품 검토, 반영 ····· 1742
[표 210]자기부상열차 고유용품에 대한 주요검토 및 반영 내용 ····· 1746
[표 211]품질인증요령 품질시험기준의 자문 대상 기관 ····· 1750
[표 212]자기부상열차 표준규격 주요 검토의견 및 반영 결과 ····· 1754
[표 213]자기부상열차 표준규격 주요 검토의견 및 반영 결과 ····· 1756
[표 214]자기부상철도 시설표준규격 주요 검토의견 및 반영 결과 ····· 1758

[표 215]자기부상열차 운전규칙 주요 검토의견 및 반영 결과 ····· 1759
[표 216]자기부상열차 운전규칙 주요 검토의견 및 반영 결과 ····· 1761
[표 217]자기부상열차용품 품질인증요령 품질시험기준 검토의견 및 반영 결과 ····· 1762
[표 218]합동추진반 추진에 따른 전문가 자문 실시 ····· 1764
[표 219]합동추진반 주요 추진 경과 및 내용 ····· 1767
[표 220]자기부상열차 표준규격 및 품질시험기준 철도기술실무위원회 수검 1770
[표 221]자기부상열차 운전규칙 주요 검토의견 및 반영 결과 ····· 1771
[표 222]자기부상열차 운전규칙 주요 검토의견 및 반영 결과 ····· 1773
[표 223]정밀진단지침(안) 개발 WBS ····· 1778
[표 224]정밀진단지침(안) 개발의 연구내용 및 달성도 ····· 1779
[표 225]자기부상열차 통합지침서 개발 추진 현황 ····· 1781
[표 226]자기부상열차 규정 및 통합지침서 심의·자문 기관 ····· 1783
[표 227]자기부상열차 통합지침서 전문가 자문 검토의견 및 반영결과 · 1783
[표 228]국외 철도용품 관련규격 현황 ····· 1795
[표 229]철도용품 형식승인 용품 대상(군) ····· 1797
[표 230]철도용품 형식승인 대상 ····· 1797
[표 231]차량분야 형식승인 대상 용품 ····· 1800
[표 232]자기부상열차 차량 고유용품 형식승인 대상 용품 ····· 1801
[표 233]궤도분야 형식승인 대상 용품 ····· 1801
[표 234]자기부상철도 궤도분야 고유용품 형식승인 대상 용품 ····· 1802
[표 235]전차선/전력분야 형식승인 대상 용품 ····· 1802
[표 236]자기부상철도 전차선/전력분야 형식승인 대상 용품 ····· 1803
[표 237]신호통신분야 형식승인 대상 용품 ····· 1803

<그림 목차>

[그림 1]도시형자기부상열차 시제차량 제작과정 ····· 7
[그림 2]도시형자기부상열차 대차단위 정지부상 시험 ····· 8
[그림 3]시험선 시험중인 도시형자기부상열차 시제차량 ····· 8
[그림 4]시범노선 차량 입고 사진 ····· 9
[그림 5]시범노선 종합시험운행 및 차량성능시험 ····· 10
[그림 6]시범노선 조감도 ····· 11
[그림 7]시범노선 역사 조감도 ····· 11
[그림 8]도시형자기부상열차 시범노선 선로구조물 특징 ····· 12
[그림 9]도시형자기부상열차 시범노선 선로구조물 비교 ····· 12
[그림 10]시범노선 완공 사진 ····· 13
[그림 11]북경 도시형 자기부상열차 S1 노선 기공식 ····· 15
[그림 12]북경 도시형 자기부상열차 S1 노선 노선도 ····· 15
[그림 13]북경 도시형 자기부상열차 S1 노선 추정 차량 ····· 16
[그림 14]중국 Tanshang(당산) 도시형 자기부상열차 시험선(1.547km) ···· 18
[그림 15]Cradle Web ····· 40
[그림 16]Dennis M. Buede의 Vee 모델 ····· 59
[그림 17]실용화사업 전주기(7차년도)에서의 '규격추적관리' 활동 ····· 60
[그림 18]요구사항과 규격의 관계 정의 ····· 61
[그림 19]규격의 추적성 관리에 대한 계층적/재귀적 접근방법 ····· 62
[그림 20]본 과제와 타 과제 업무의 협조 체계 ····· 62
[그림 21]본 과제와 타 과제업무의 협조 체계 ····· 63
[그림 22]시스템 요구사항 수립 과정 ····· 64
[그림 23]초기 요구사항 수립을 위한 양방향적 접근 개념 ····· 65
[그림 24]시스템/서브시스템 요구사항 도출 과정 ····· 66
[그림 25]초기 수집된 시스템 요구사항 (요구사항 수집 템플릿) ····· 71
[그림 26]기존 기술문서를 통해 역도출된 시스템 요구사항 사례 ····· 71
[그림 27]요구사항의 계층화 ····· 73
[그림 28]시스템 계층별 요구사항/규격 정의 역할 분담 ····· 74
[그림 29]시스템 요구사항 공청회 후속조치 ····· 78
[그림 30]서브시스템 요구사항 보완 내용 ····· 82
[그림 31]운영개념서 양식 및 작성 방법 ····· 85
[그림 32]ANSI_AIAA G_043_1992 목차 및 내용 ····· 86
[그림 33]통합관제실 관점 운영시나리오(O.C.) ····· 86
[그림 34]고장(실패) 모드 영향 분석 사례 ····· 87

[그림 35]도시형 자기부상열차 실용화사업 운영개념서 ····· 88
[그림 36]시스템/서브시스템 규격서와 각 핵심과제 감리 역할분담 ····· 90
[그림 37]규격서 작성 관련 주요 업무수행 내용 ····· 90
[그림 38]실용화사업의 규격서 체계 구성 ····· 91
[그림 39]상위수준의 시스템 PBS 구축 및 보완/조정 업무 흐름도 ····· 92
[그림 40]PBS 수정・보완 사례 ····· 93
[그림 41]시스템 요구사항에 대한 시범노선 설계기준 검토 사례 ····· 96
[그림 42]실시설계검토 결과 분석 사례 ····· 97
[그림 43]핵심과제 간 협조체계를 통한 서브시스템 규격 수집/모니터링 ·· 97
[그림 44]기능분석 사례-회차 기능 ····· 106
[그림 45]기능흐름도(EFFBD) 사례 - 운행준비(시스템 기동) ····· 107
[그림 46]N2 Diagram 사례 - 운행준비(시스템 기동) ····· 108
[그림 47]기능분석 결과에 의한 규격 추적성 보완 ····· 108
[그림 48]시스템 인터페이스 관리서 작성 개념 ····· 109
[그림 49]요구사항-규격간 추적성 관리시트 ····· 110
[그림 50]상세설계검토(CDR)을 통한 요구사항/규격 보완 개요 ····· 111
[그림 51]“시스템엔지니어링 동향보고서”의 역할 ····· 112
[그림 52]데이터베이스의 설계 쟁점사항 관련 추적검토자료 제공 ····· 122
[그림 53]SEMP에 명시된 리스크 관리 관련 1-1세부과제 역할 ····· 123
[그림 54]2차년도 성과물로 제시된 리스크 식별 및 평가 템플릿 ····· 124
[그림 55]리스크 자료구조 정의 ····· 124
[그림 56]리스크 조회 기능 구현 ····· 125
[그림 57]실용화사업 적용 스키마 ····· 127
[그림 58]요구사항 및 규격 DB에 입력 ····· 128
[그림 59]요구사항 변경내용 입력 화면 ····· 128
[그림 60]Cradle Web Access를 활용한 사용자 인터페이스 환경 제공 ··· 131
[그림 61]규격추적관리 데이터베이스 로그인 화면 ····· 131
[그림 62]데이터베이스 초기 화면 ····· 132
[그림 63]시스템 요구사항 조회 과정 ····· 133
[그림 64]서브시스템 분야별 규격 조회 ····· 133
[그림 65]데이터베이스 내 요구사항 및 규격의 변경이력 조회 화면 ····· 134
[그림 66]각 데이터의 세부사항 확인창을 통해 추적성 조회 ····· 135
[그림 67]List 구조를 통한 추적성 조회 ····· 135
[그림 68]크래들의 문서 자동 출력 개념도 ····· 136
[그림 69]EN50126 Annex B 권고사항 ····· 137
[그림 70]RAMS 관리 조직 ····· 138

[그림 71]RAM 관리 업무 흐름도 ····· 141
[그림 72]Safety 관리 업무 흐름도 ····· 141
[그림 73]시스템 및 서브시스템 RAMS 수명주기 관계 ····· 142
[그림 74]서브시스템 및 컴포넌트 RAMS 수명주기 관계 ····· 144
[그림 75]타당성조사 및 기본계획단계 RAMS 활동 ····· 146
[그림 76]기본/실시설계단계 RAMS 활동 ····· 148
[그림 77]제작단계 RAMS 활동 ····· 152
[그림 78]설치단계 RAMS 활동 ····· 157
[그림 79]시운전단계 RAMS 활동 ····· 159
[그림 80]자기부상 실용화사업 시범노선 ····· 168
[그림 81]시범노선 배선계획 ····· 169
[그림 82]안전성 요구조건에 영향을 미치는 요소 ····· 193
[그림 83]시스템 수명주기 ····· 225
[그림 84]실용화사업 RAM 관리 조직도 ····· 226
[그림 85]시스템 수명주기 ····· 243
[그림 86]실용화사업 안전성 관리 조직도 ····· 244
[그림 87]목표할당 절차 ····· 269
[그림 88]수송계획 분석 ····· 270
[그림 89]고장등급별 열차출발 실패횟수 ····· 291
[그림 90]RAMS 수명주기 ····· 327
[그림 91]단계별 RAM 성과물 및 주체 ····· 329
[그림 92]시스템 수명주기 ····· 361
[그림 93]실용화사업 RAM 관리 조직도 ····· 362
[그림 94]실용화사업 안전성 관리 조직도 ····· 383
[그림 95]PSD 서브시스템 주요구성 ····· 423
[그림 96]PSD 도어 엔진 외관 ····· 425
[그림 97]역 제어 조작 판넬 외관 ····· 425
[그림 98]PSD 1개 유닛의 설치 조감도 ····· 425
[그림 99]비상시 승객대피 ····· 426
[그림 100]안전바 열림키 ····· 426
[그림 101]신뢰도 및 안전성 분석 조직도 ····· 434
[그림 102]RAMS 관리 절차 ····· 436
[그림 103]RAM 관리절차 ····· 437
[그림 104]데이터 베이스화 관리항목 ····· 488
[그림 105]수명주기비용모델의 비용구성요소 ····· 501
[그림 106]도시간 열차운행곡선 ····· 503

[그림 107]열차운행에 필요한 인원 ····· 505
[그림 108]주요시스템 유지보수비용 ····· 505
[그림 109]열차운행비용 ····· 506
[그림 110]연간소요비용 ····· 506
[그림 111]누적수명주기 비교 ····· 507
[그림 112]UNIFE LCC 그룹 내 워킹 그룹 ····· 520
[그림 113]LCC 모델을 사용하는 데 있어 고려할 수 있는 다양한 시점 · 526
[그림 114]UNILIFE 및 UNIDATA의 사용과 사용자 그룹 정의 ····· 529
[그림 115]UNILIFE LCC 모델 구조 ····· 531
[그림 116]일반적인 LCC 예측 프로세스 ····· 542
[그림 117]비용예측 방법론 선택을 위한 4가지 요소 ····· 547
[그림 118]NASA의 비용예측 과정의 개요 ····· 548
[그림 119]RELEX-LCC 비용계층구조 탭(tab) ····· 566
[그림 120]RELEX-LCC 수식에디터탭(tab) ····· 567
[그림 121]RELEX LCC Variable tab ····· 569
[그림 122]RELEX-LCC 변수의 대안탭 ····· 570
[그림 123]RELEX-LCC 변수의 대안값 입력 창 ····· 570
[그림 124]RELEX-LCC 변수의 Time Intervals tab ····· 570
[그림 125]투자비용의 CBS와 계산식 ····· 571
[그림 126]RELEX-LCC 계산옵션선택화면 ····· 573
[그림 127]RELEX-LCC 계산과정 ····· 573
[그림 128]RELEX-LCC 계산결과 ····· 574
[그림 129]투자비 및 연간운영비에 대한 ELEX-LCC 계산결과 ····· 574
[그림 130]자기부상시스템 구성요소 ····· 576
[그림 131]경정비 작업 흐름도 ····· 586
[그림 132]중정비 작업 흐름도 ····· 587
[그림 133]도시철도차량 유지보수체계 정보화시스템 구성도 ····· 602
[그림 134]도시철도 시설물 유지보수체계 정보화시스템 구성도 ····· 608
[그림 135]차량 유지보수 근대화 계획 ····· 611
[그림 136]신보전 체계 ····· 613
[그림 137]차량 관리 시스템 ····· 615
[그림 138]검수장의 개요도 ····· 620
[그림 139]효과적인 보수정비 체계(J.W. Langford) ····· 630
[그림 140]EN50126-3 EMU vehicle 기능 블록도 ····· 633
[그림 141]표준전동차 시스템 기능 블록도 ····· 639
[그림 142]한국형 경량전철 시스템 기능 블록도 ····· 642

[그림 143]Transrapid 자기부상열차 시스템의 PBS 구조 ····· 647
[그림 144]시험궤도 상의 TR08 ····· 648
[그림 145]차량 시스템 PBS 구조 ····· 649
[그림 146]차체 시스템 구조 ····· 650
[그림 147]자기 착륙장치 시스템 구조 ····· 650
[그림 148]와류 제동기 시스템 구조 ····· 650
[그림 149]차체 에너지 공급 시스템 구조 ····· 651
[그림 150]차체조종과 차량진단 시스템 구조 ····· 651
[그림 151]차량 내 운행기술 시스템 구조 ····· 651
[그림 152]RAM과 LCC의 연계성(IEC 60300-3-3[1.2]) ····· 654
[그림 153]철도운영사 차량기지 운영 예 ····· 655
[그림 154]예방정비를 위한 유지보수 시나리오 예 ····· 656
[그림 155]보수정비를 위한 유지보수 시나리오 예 ····· 657
[그림 156]EN50126-1에서 제안한 예방정비 정보 DB 구조 ····· 657
[그림 157]EN50126-1 보수정비정보 DB 구조 ····· 659
[그림 158]UNIFE 예방정비 정보 DB 템플릿 ····· 662
[그림 159]UNIFE 보수정비 정보 DB 템플릿 ····· 662
[그림 160]도시철도차량 중정비업무 공정흐름도 (예) ····· 670
[그림 161]RAM 시트와 연계한 예방정비활동 인건비 계산을 위한 CBS 구축 · 683
[그림 162]RAM 시트와 연계한 예방정비활동 재료비 계산을 위한 CBS 구축 · 684
[그림 163]RAM 시트와 연계한 보수정비활동 인건비 계산을 위한 CBS 구축 · 686
[그림 164]RAM 시트와 연계한 보수정비활동 재료비 계산을 위한 CBS 구축 · 687
[그림 165]예방정비정보 DB 템플릿(안) ····· 689
[그림 166]보수정비정보 DB 템플릿(안) ····· 691
[그림 167]자기부상열차 완성차 유지보수 비용 분포 ····· 695
[그림 168]자기부상열차 완성차 각 장치별 유지보수 비용 분포 ····· 696
[그림 169]수명주기비용 예측 소프트웨어 흐름도 ····· 699
[그림 170]수명주기비용 예측 소프트웨어 기능블럭도 ····· 700
[그림 171]차량시스템을 위한 데이터베이스 테이블 연결관계 구성도 ····· 701
[그림 172]MDI 환경에서의 DB 관리 ····· 702
[그림 173]시스템 DB를 위한 필드연계관계 ····· 703
[그림 174]사용자 DB를 위한 필드연계관계 ····· 704
[그림 175]해석정보 입력화면(안) ····· 705
[그림 176]시스템정보 입력화면(안) ····· 706
[그림 177]운영시나리오 입력화면(안) ····· 707
[그림 178]비용계층구조 관리 프로세스 ····· 708

[그림 179]비용계층구조 ····· 708
[그림 180]비용계층구조 선택을 위한 다이얼로그 박스 ····· 709
[그림 181]예비품 수량 예측을 위한 다이얼로그 박스 ····· 710
[그림 182]장비구입비용 예측을 위한 다이얼로그 박스 ····· 711
[그림 183]예방정비비용 예측을 위한 다이얼로그 박스 ····· 714
[그림 184]고장정비비용 예측을 위한 다이얼로그 박스 ····· 718
[그림 185]예방정비비용 계산 프로세스 ····· 720
[그림 186]고장정비비용 계산 프로세스 ····· 721
[그림 187]화면메뉴 구성도 ····· 724
[그림 188]소프트웨어 개발 과정 ····· 765
[그림 189]도시형 자기부상열차실용화 사업의 시험평가・인증 ····· 768
[그림 190]도시형 자기부상열차 기관별 업무 및 시험평가/인증체계도 ···· 770
[그림 191]유럽 철도분야 규격 수명 주기 모델 ····· 773
[그림 192]일반적인 시스템 개발 수명주기 ····· 773
[그림 193]제3자 안전성 평가 단계 ····· 775
[그림 194]한국의 자기부상열차 프로젝트 Life cycle 모델 및 단계별 과정 ····· 777
[그림 195]안전성 평가 접근법 ····· 777
[그림 196]평가의 주요 관점 ····· 778
[그림 197]안전성 평가법 ····· 779
[그림 198]차체 지지방법(4대차 방식) ····· 781
[그림 199]시험하중 부하방법 ····· 781
[그림 200]수직하중시험 ····· 782
[그림 201]전후하중시험 ····· 783
[그림 202]좌우하중시험 ····· 783
[그림 203]추진전동기하중시험 ····· 783
[그림 204]제동하중시험 ····· 784
[그림 205]좌우동스톱퍼하중시험 ····· 784
[그림 206]낙하하중시험 ····· 784
[그림 207]흡착하중시험 ····· 785
[그림 208]시험선로 노선도 ····· 794
[그림 209]상하/횡방향 계측점 ····· 797
[그림 210]문서의 개념적 구조 ····· 799
[그림 211]통합계측시스템 구성도 ····· 812
[그림 212]자기부상열차 관련법령 법제화 연구추진도 ····· 813
[그림 213]자기부상열차와 일반열차의 비교 ····· 814
[그림 214]자기부상열차 법제화를 위한 개정부분 ····· 816

[그림 215]자기부상열차의 부상/추진시스템 구성도 ····· 817
[그림 216]리니어 모터에 의한 추진 ····· 817
[그림 217]자기부상열차의 주행대차 ····· 818
[그림 218]가선시스템 ····· 819
[그림 219]가이드레일 ····· 819
[그림 220]차량운행속도별 자기부상열차의 실용화 ····· 819
[그림 221]국내 철도의 분류와 관련법 ····· 820
[그림 222]일본 철도의 분류와 관련법 ····· 821
[그림 223]독일 철도의 분류와 관련법 ····· 822
[그림 224]자기부상열차 관련법령 분류방안 ····· 823
[그림 225]자기부상열차(좌)와 일반 차륜식 철도차량(우) 비교 ····· 872
[그림 226]건설규칙의 구조 및 세부조항구성 ····· 878
[그림 227]건설규칙 법안의 구성 ····· 880
[그림 228]안전기준의 구조 및 세부조항구성 ····· 887
[그림 229]안전기준 법안의 구성 ····· 890
[그림 230]성능시험기준의 구성 및 세부시험 항목 ····· 900
[그림 231]구성품 시험의 구성 ····· 901
[그림 232]차체시험 항목 ····· 902
[그림 233]대차시험 항목 ····· 903
[그림 234]추진장치시험 항목 ····· 904
[그림 235]부상장치시험 항목 ····· 905
[그림 236]보조전원장치시험 항목 ····· 906
[그림 237]신호보안장치시험 항목 ····· 907
[그림 238]종합제어장치시험 항목 ····· 907
[그림 239]완성차 시험의 구성 ····· 908
[그림 240]본선시운전 시험의 구성 ····· 909
[그림 241]표준규격의 구성 및 주요항목 ····· 930
[그림 242]차량분야 표준규격의 주요 항목 구성 ····· 931
[그림 243]선로시설 표준규격의 주요 항목 구성 ····· 934
[그림 244]신호 및 열차제어설비 표준규격의 주요 항목 구성 ····· 935
[그림 245]전력시설 표준규격의 주요 항목 구성 ····· 938
[그림 246]법령 및 기준의 적용 시기와 강제성 ····· 941
[그림 247]상세설계검토(CDR) 템플릿 ····· 1264
[그림 248]도시형자기부상열차 상세설계검토(CDR) Process ····· 1265
[그림 249]도시형 자기부상열차 실용화사업 시험평가 ····· 1390
[그림 250]통합계측시스템 전체 구성도 ····· 1397

[그림 251]5종 가이드웨이 위치 ····· 1399
[그림 252]측정 장치의 구성 ····· 1400
[그림 253]측정 모습 ····· 1400
[그림 254]#1 3-1과제 거더의 처짐 및 온도 측정값 ····· 1400
[그림 255]#2 기존 PC 거더의 처짐 및 온도 측정값 ····· 1401
[그림 256]#3 기존 Steel 거더의 처짐 및 온도 측정값 ····· 1401
[그림 257]온도증가 시 변형 모습 ····· 1402
[그림 258]측정 모습 ····· 1402
[그림 259]측정 경간의 위치 ····· 1403
[그림 260]해당구간 레일의 삽입체 ····· 1403
[그림 261]레일의 구간별 위치선정과 측정 전구간의 주파수 별 응답 ··· 1404
[그림 262]기계연 설치 이전 분기기 모습 ····· 1405
[그림 263]기계연에 설치된 분기기 모습 ····· 1406
[그림 264]측정대상 유간장치 구간 위치 ····· 1410
[그림 265]5종 가이드웨이 위치 ····· 1411
[그림 266]시험 방법 및 센서의 위치 ····· 1411
[그림 267]시험결과 비교 ····· 1413
[그림 268]품질인증 대상 선정(안) ····· 1438
[그림 269]자기부상열차 성능시험기준 항목 구성도 ····· 1445
[그림 270]자기부상철도 운전규칙의 구성과 신규 내용 ····· 1457
[그림 271]자기부상열차 정밀진단지침과 신규 내용 ····· 1467
[그림 272]검증요구사항 검증현황 관리체계 ····· 1532
[그림 273]검증결과 수집/관리/보고체계 ····· 1533
[그림 274]인터페이스 관리항목 검증체계 ····· 1535
[그림 275]TPM 관리항목에 대한 각 기관별 역할 ····· 1537
[그림 276]TPM 관리항목 검증체계 ····· 1538
[그림 277]검증요구사항 검증현황보고서 예시 ····· 1540
[그림 278]시스템요구사항 관리체계 추적성 검증결과 ····· 1544
[그림 279]시스템요구사항 달성도 검증결과 ····· 1545
[그림 280]시스템요구사항 추적관리 보고서 작성 목록 ····· 1546
[그림 281]도시형자기부상열차 요구사항 관리DB 구축 이력 ····· 1549
[그림 282]요구사항 관리 DB 추적성 수정 예시 ····· 1553
[그림 283]사용자 중심의 DB 설계 프로세스 ····· 1558
[그림 284]사용자 중심의 DB 설계(안) ····· 1559
[그림 285]mysql을 이용한 DB 구성 ····· 1560
[그림 286]DB 구현결과 1 ····· 1560

[그림 287]DB 구현결과 2 ····· 1561
[그림 288]DB 구현결과 3 ····· 1561
[그림 289]DB 구현결과 4 ····· 1562
[그림 290]DB 구현결과 5 ····· 1562
[그림 291]DB 구현결과 6 ····· 1563
[그림 292]DB 구현결과 7 ····· 1563
[그림 293]DB 구현결과 8 ····· 1564
[그림 294]SE 활동결과 및 관련자료 추적성 구축현황 ····· 1565
[그림 295]PSD 해저드 ····· 1569
[그림 296]양방향 무선 통신 ····· 1570
[그림 297]시저스 분기기 ····· 1570
[그림 298]Global data (초기 구입비용) ····· 1575
[그림 299]예방보수 data ····· 1575
[그림 300]LCC 계산 결과 (10년 추이, 침목 연간정비횟수 0.05) ····· 1576
[그림 301]LCC 계산 결과 (10년 추이, 침목 연간정비횟수 0.1) ····· 1576
[그림 302]연간유지보수비용 예 ····· 1580
[그림 303]각 시스템별 유지보수비용 비교 ····· 1581
[그림 304]화면 설계 1 ····· 1586
[그림 305]화면 설계 2 ····· 1586
[그림 306]개념도 ····· 1587
[그림 307]기능 구성도 ····· 1587
[그림 308]LCC S/W 프로세스 흐름도 ····· 1697
[그림 309]소프트웨어 기능블럭도 ····· 1698
[그림 310]총수명주기비용 구성도 ····· 1699
[그림 311]LCC 소프트웨어 주요 모듈 구성도 ····· 1704
[그림 312]자기부상열차 품질인증요령 대상 용품 선정 ····· 1737
[그림 313]자기부상열차 법제화 추진 내용 및 자기부상열차 통합지침서 개발 계획 1780
[그림 314]자기부상열차 통합지침서 구성 ····· 1780
[그림 315]개정 전 철도안전법 체계 ····· 1789
[그림 316]개정 전 도시철도법 체계 ····· 1789
[그림 317]개정 후 철도안전법 체계 ····· 1790
[그림 318]철도기술기준의 체계(안) ····· 1793
[그림 319]범유럽 정부주도 인증체계 개념 및 궤도 분야 EN 규격의 예1794
[그림 320]일본의 철도시스템 성능검증 체계 ····· 1795
[그림 321]국외 철도용품 성능인증 수행주체 및 역할 분담 ····· 1796
[그림 322]철도안전법 형식승인제도 관련 현재 추진 중인 연구 내용 ··· 1799

제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

제2절 연구개발의 필요성



제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발의 목적

[1-0과제]

본 과제는 대형국가연구개발 실용화사업으로 추진하는 도시형 자기부상열차 실용화사업으로 “시스템통합(1핵심)”, “차량개발(2핵심)”, “시범노선 구축(3핵심)”의 3대 핵심과제로 구성되어 있다.

1핵심과제인 “도시형 자기부상열차 실용화사업 시스템 통합” 에서는 실용화사업 전체를 대상으로 시스템엔지니어링(SE) 체계를 구축하기위하여, 실용화사업의 최상위 문서(시스템요구사항서, 시스템규격서, 시스템엔지니어링 관리계획 등)를 개발/적용하여 실용화사업이 체계적으로 수행되도록 지원하는 매우 중요한 역할을 수행한다.

도시형자기부상열차의 다년간 개발 경험과 결과(성과물)를 최단기간 내에 실용화수준 및 국제경쟁력 있는 수준으로 끌어올리고, 시범노선 구축을 추진하기 위한 시스템 통합 연구는 도시형자기부상열차실용화사업에 필수적 역할을 수행한다.

차량개발과 시범노선 구축분야의 시스템엔지니어링 및 총괄관리는 설계, 발주, 제작&시공, 시험평가를 망라한 각 분야에 대한 전문 인력과 기술력을 보유한 2핵심과제(현대로템)와 3핵심과제(한국철도시설공단)에서 별도로 수행한다.

[1-1과제]

국가연구개발사업을 통해 수행된 도시형자기부상열차실용화사업은 중저속 자기부상열차 시스템 개발기술을 확보하고 시범노선 구축 및 시험운행을 통해 상용화를 목적으로 자기부상열차로서 국내에서는 최초의 상용화이며 완전무인운전시스템 구현을 목표하고 있다. 사업의 구성은 차량제작분야(2핵심 과제)와 시범노선건설분야(3핵심 과제) 그리고 시스템엔지니어링 분야(1핵심 과제)로 구성되었다. 본 과제는 시스템엔지니어링 활동의 핵심이라고 할 수 있는 도시형자기부상열차 시스템요구사항을 개발하고 사업 전주기에 걸쳐 추적관리하여 시스템의 고객만족도를 높이는데 기여하는 것이다.

[1-2과제]

유럽, 북미, 아시아, 남미, 중동, 오세아니아, 구소련 연방 등 거의 대부분의 국가에서 도시철도 노선의 신규건설 또는 개보수 시 EN50126, IEC62278 같은 국제규격에 따른 RAMS 성능을 만족시키는 철도시스템을 요구하고 있다. 그러나 국내에서는 전자/자동차 산업에서 부품, 단위제품에 대한 RAMS 기술은 산,학,연을 중심으로 어느 정도 개발하였지만, 전체 철도시스템 측면에서 국제 규격에 맞는 RAMS/LCC 기술 확보는 전무한 상태이며 현재 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성, 경제성이 확보된 도시철도 건설을 위해서 필수적인 RAMS/LCC 분석기술, 수행절차 도입을 위해 다양한 노력들을 하고 있다.

도시형자기부상열차실용화사업의 목표는 안전하고, 고성능이며 경제적이고, 유지보수비용이 적게 드는 친환경 그린교통시스템을 상용화하여 세계시장에 진출, 국가경제에 이바지 하고자 국토해양부, 건설교통기술평가원의 재정 지원으로 진행하고 있다. 이런 실용화사업 목표를 달성하기 위해서 자기부상시스템 및 서브시스템 수준에서 EN50126에 따른 RAMS 분석기술과, 수행체계 및 활동에 적용하여 자기부상시스템의 RAMS 성능을 해외 선진 수준으로 분석, 관리, 유지하기 위한 분석 기술을 확보 하고자 하며, 또한 UNIFE LCC, REMAIN LCC 등 세계수준에 준하는 KRRI(철도기술연구원) LCC 모델을 구축하여 실측 데이터를 기반으로 한 LCC 성능의 예측과 데이터의 DB를 구축하는 활동을 수행하고, RAMS 성능과 연계된 시범노선용 LCC 분석 Software를 개발함으로써 경쟁력 있는 도시형 자기부상시스템 시범노선 운영에 기여 하고자 한다.

[1-3과제]

본 과제는 “도시형 자기부상열차 시험평가・인증” 과제로서 약 2년간의 차량개발, 제작 및 약 3년간의 인프라가 구축되어 2010년부터 3년간에 걸쳐 시험선 및 본선 시운전 시험을 거쳐 2013년 중반에 영업운전을 위한 차량의 성능 시험평가를 실시하고, 이를 바탕으로 최종적으로는 공인기관 인증을 획득하도록 지원하는데 있다.

[1-4과제]

도시형 자기부상열차 실용화 사업에서 개발되는 자기부상열차시스템은 객관적이고 신뢰성 있는 평가를 받아야 하며 국내외 인증을 획득함으로서 국산 자기부상열차의 수출시장개척으로도 이어질 수 있어야 한다. 이와 같은 전체 사업목표에

부흥하여 본 연구에서는 안전, 설계, 건설, 운영에 필요한 규칙과 시험평가 및 적합성 인증에 필요한 기준들을 정형화하고 규정화하여 최종 법제화하는 것을 목적으로 하며, 연구진행과정에서 전문가 협의 및 공청회 등을 통하여 충분한 의견을 수렴하여 국가 기준 및 세부 법령 혹은 국토해양부 고시로 공포될 수 있도록 한다. 또한 본 사업기간 동안 신뢰성과 객관성, 타당성 등을 확보하여 본 사업 뿐 아니라 향후 도시형 자기부상열차의 상용화에 필요한 기준으로 활용될 수 있도록 체계적이고 확장성 있는 법제화가 이루어지도록 한다.

제 2 절 연구개발의 필요성

[1-0과제]

본 과제는 대형국가연구개발 실용화사업으로 추진하는 도시형 자기부상열차 실용화사업의 3대 핵심과제중 하나인 “도시형 자기부상열차 실용화사업 시스템 통합” 핵심과제로서 실용화사업 전체를 체계적으로 관리하면서 사업단총괄과제와 밀접한 연계를 가져야 하는 매우 중요한 역할을 수행하는 과제이다. 본 시스템통합 핵심과제에서의 시스템엔지니어링(SE)은 여타 SE업무와는 달리, 지금까지의 연구개발실적 통합 및 체계화를 위한 단기간 내 사전 시스템통합(pre SE)활동이 매우 중요하며, 이어서 사업추진과정을 체계적으로 관리하기 위한 후속 시스템통합(post SE)활동이 충실히 이루어져야 한다. 즉 본 과제에서의 SE 활동 상기 2가지의 커다란 축을 형성하게 되며 주관기관은 당연히 이러한 경험(도시형자기부상열차개발의 총괄주관 및 참여 경험 17년)과 역량(시스템엔지니어링 연구본부 구축 운영 중)을 갖추고 있어야 하고, 이러한 바탕 위에 특화된 전문기관간 협력체제가 이루어짐으로서 실용화사업 전체의 성공적 추진을 위한 기본 바탕이 형성될 수 있다.

[1-1과제]

요구사항의 속성이나 관점에 대한 접근방식이 바뀜에 따라 요구사항을 만들어내고 이를 효과적으로 관리하기위한 방법이나 사회가 보호해야할 가치에도 변화가 생긴다. 경제·문화·산업의 발전은 철도시스템의 기능 및 성능적 요구뿐만 아니라 환경, 안전, 소외계층 등에도 눈을 돌릴 수 있게 해주었다. 또한 사회의 각계각층의 요구를 수용하는 복합시스템으로써 운용상의 안전성, 편의성, 쾌적성, 친환경성 등을 더욱 높여 나가고 있다. 이제 철도시스템은 단순히 하나의 운송수단이 아닌, 운송문화서의 역할을 수행하고 있는 것이다.

철도산업은 자동차/조선 산업과 같이 토목, 건축, 신호, 통신, 기계, 설비, 차량, 전기, 운영 등 여러 산업분야가 복합되어 개개의 분야가 발전되어야 전체 산업이 발전하는 네트워크 산업이다.[1] 따라서 시스템을 구성하는 모든 요소의 기술적, 문화적, 사회적 요구를 수용하고 통합, 조율하기 위한 장치인 시스템엔지니어링(SE) 분야의 수요는 시스템 복잡성의 증가와 함께 발전해 왔다.

SE 활동의 목적은 가용한 자원 내에서 최적의 결과를 얻기 위해 개발초기부터 이루어지는 총체적 관리활동으로 그 기법의 적용은 시스템의 복잡성 증가와 함께

1) 철도차량 부품 기술개발 방향에 대한 소고_한국철도학회(2012)

점차 확산되는 추세이며 특히 선박이나 항공, 자동차와 같이 방대한 요구사항을 관리해야 하는 대규모 복잡계 시스템 분야에서 조직적이고, 체계적인 요구사항 관리활동은 절대적으로 필요한 요소가 되었다.

[1-2과제]

RAMS/LCC 분석 과제는 시스템 통합의 한 분야로서 1-0“시스템 통합”, 1-1“시스템엔지니어링 체계구축 및 사양추적관리”, 1-2“RAMS 및 LCC 분석”, 및 1-3“시험평가 및 인증”과, 2-0“차량개발” 및 3-0“시범노선 구축” 등의 분과와 연계하여 산/연 합동으로 각 단계별 RAMS/LCC 분석 절차를 수행함으로써 서비스품질 확보 기반의 구축과, 각 핵심/세부 연구원들이 여기에서 얻은 경험을 국내 철도 프로젝트에 적용하여 신뢰성, 경제성 있는 대중교통수단을 제공하는데 기여하고자 한다.

[1-3과제]

자기부상열차 기술개발은 1990년 과학기술부 지원 하에 기초연구를 시작하여 1998년에 이르러 시험용 차량을 완성차였고 2003년 산업자원부의 지원으로 “도시형 자기부상열차 실용화 모델 기술개발”과제를 시작, 2006년에 1단계사업을 마무리하고 2008년에 종료되었다. 과학기술부 지원과제의 성과는 자기부상열차의 기본기술을 완성한 단계이며, 산업자원부 지원과제는 자기부상열차의 실용화 직전 단계로서 자기부상열차의 실용화에 대한 기술을 확보하였다.

이러한 일련의 자기부상열차 기술개발 과제는 수행되고 있으나 객관적인 공식적 시험평가・인증의 사례는 없으며, 성능시험기준이나 안전기준 등의 수립도 연구수행기관 자체적으로 상호개발 및 평가한 상태이다. 중기거점기술개발사업 2단계 사업으로 5,000km이상의 연속 주행시험과 시운전이 추진될 예정으로 차량 및 신호, 전력, 선로, 신호시스템 중심으로 시험절차서 등이 개발되고 있다. 따라서 실용화사업을 통하여 시험평가 및 인증체계를 구축함과 동시에 종합인터페이스시험 등을 위한 시험전용의 계측설비도 구축되어야 한다.

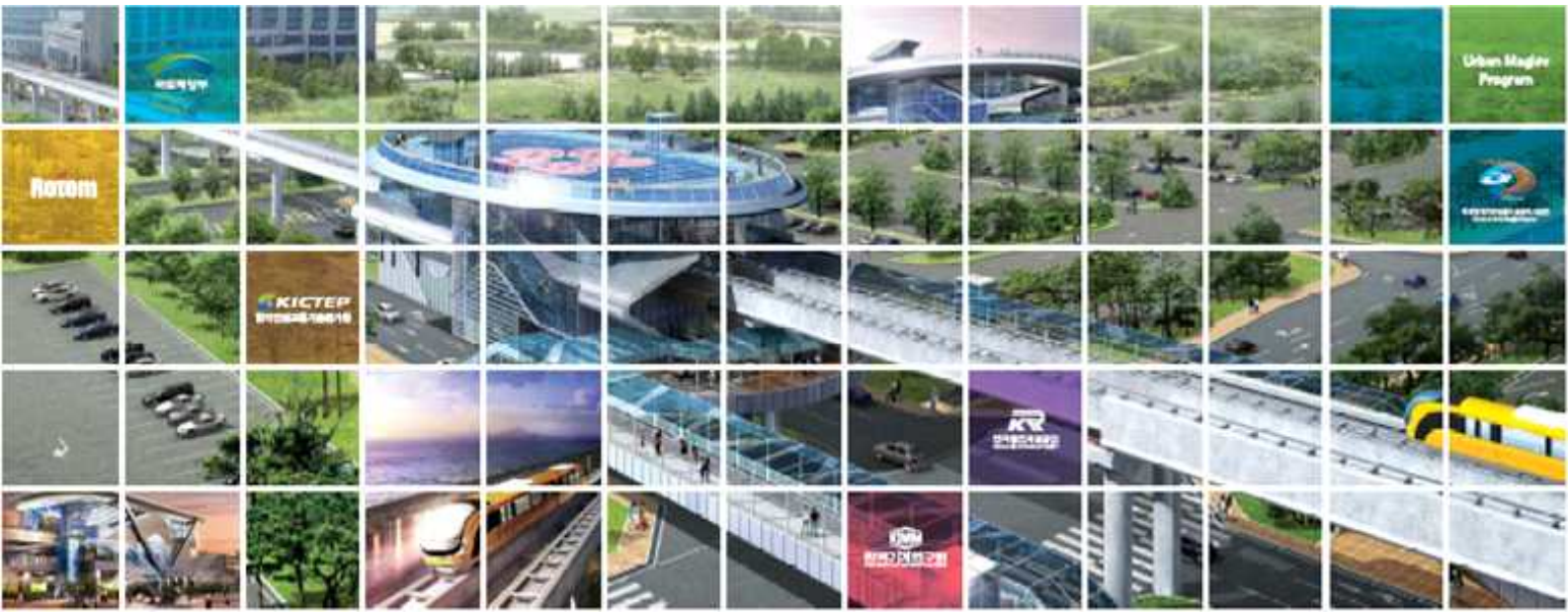
자기부상열차는 시험평가・인증과 관련하여 공식 규정이 없는 관계로 공식적인 평가・인증은 이루어진 적이 없다. 따라서 실용화사업의 일환으로 추진되는 제반 법령 및 규정개선과 더불어 체계적인 시험평가 및 인증체계를 구축하고 국제 공인기관의 인증획득을 함으로서 국내시장은 물론이고 세계시장진출에 대비하여야 한다.

[1-4과제]

자기부상열차를 실용화하기 위해서는 계획부터 차량 및 노선 설계 및 제작, 건설, 시험인증 및 운영에 이르기까지 시스템 특성에 맞는 법령 체계를 정립하고 지원해야 할 필요성이 있다.

제2장 국내·외 기술개발 현황

제1절 국내·외 관련분야의 환경변화



제 2 장 국내·외 기술개발 현황

제 1 절 국내·외 관련 분야의 환경변화

1. 자기부상열차 국내외 동향

가. 국내

(1) 도시형자기부상열차 차량 개발

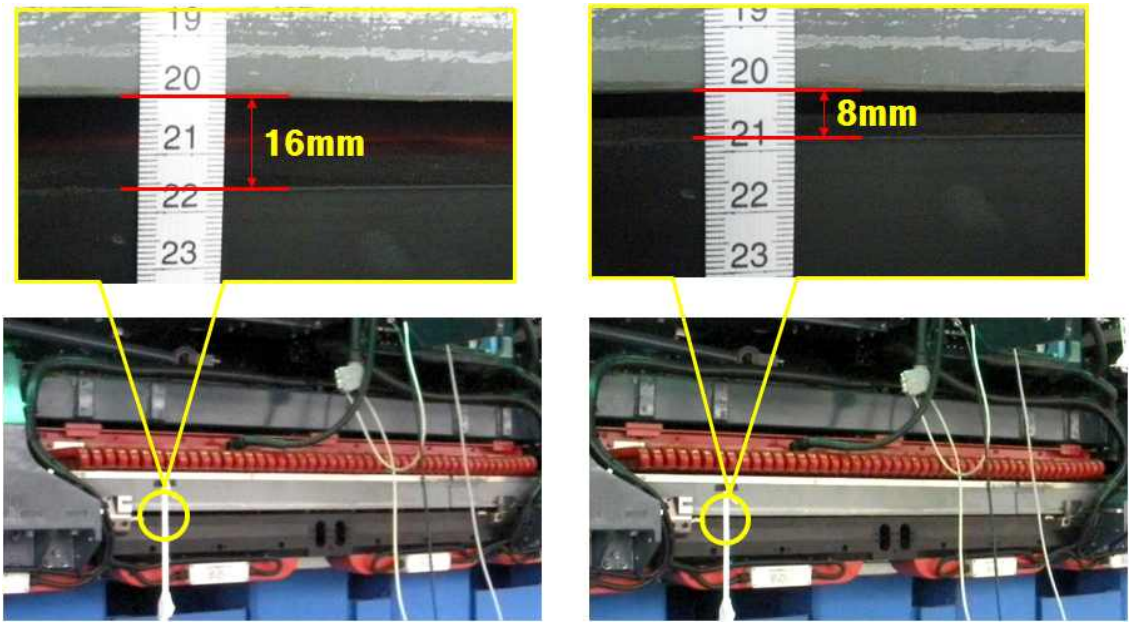
○ 도시형자기부상열차 시제차량 1편성 제작 완료 및 시험선 시험 착수

- 도시형자기부상열차 시제차량 1편성 제작 완료 (2009.12)



[그림 1]도시형자기부상열차 시제차량 제작과정

- 도시형자기부상열차 시제차량 시험선 시험 완료



[대차 부상 전(착지상태)] [대차 부상 후]

[그림 2]도시형자기부상열차 대차단위 정지부상 시험



[그림 3]시험선 시험중인 도시형자기부상열차 시제차량

- 도시형자기부상열차 시제차량 시험선 시험(자체시험) 결과

· 도시철도 성능시험기준(안)을 적용하여 '시험선시험(완성차 시험)절차서'에 따라 '10. 3부터 수행하여 추진제어장치시험 등 26개 항목 중 22개시

험(만차기준) 완료하였으며, 모든 항목에서 제시된 RFP 규격을 만족하며 우수한 성능을 확인하였고, 특히 부상시스템의 내고장성과 신뢰성이 획기적으로 개선되어 설계 요구조건 만족을 입증함

[표 1]시제차량 주요 시험결과

시험항목	시험내용	시험결과
소음	실내, 실외(7.5미터 이격거리)	- 실내 64.6dB(A), 실외 64.5dB(A)
부상안정성	주행시 부상공극 변동 측정	- 최대 55 km/h에서 ±1.5mm 이내
추진/제동성능	추진 및 제동 성능과 각 서브시스템간 인터페이스 확인	- 최대 76 km/h 달성 ('10.06.16) - 모든 서브시스템 정상 동작
승차감	주행시 객실 승차감 측정	- UIC 승차감지수 0.55 (RFP 목표: UIC 2.0)
비상축전지	전자석 전원 차단시 부상상태 유지 기능 확인	- 최대 55 km/h에서 전자석 전원 차단시 비상배터리로 부상상태 유지 확인

· 시험결과 보완이 필요한 사항들을 도출하여 양산차량 설계에 반영(급전선 및 집전판 형상, 차량 공조설비(에어콘), 제동슈 재질 등 변경 및 차간댐퍼 등을 추가)

· 시제차량의 장기간 운용시 당초 설계한 기능 및 성능을 확인하고 신뢰성과 안정성을 확인하기 위한 목적으로 기계연 시험선에서 시제차량을 이용한 연속주행시험수행(8,000km) 수행

※ '연속주행시험계획'에 따라 '11. 3부터 '12. 12까지 수행

· 시험선 시험기간(2년) 동안 계절별 특성까지 반영된 시험결과를 바탕으로 개선사항 도출, 양산차량 설계에 반영

- 인천공항 시범노선 차량투입

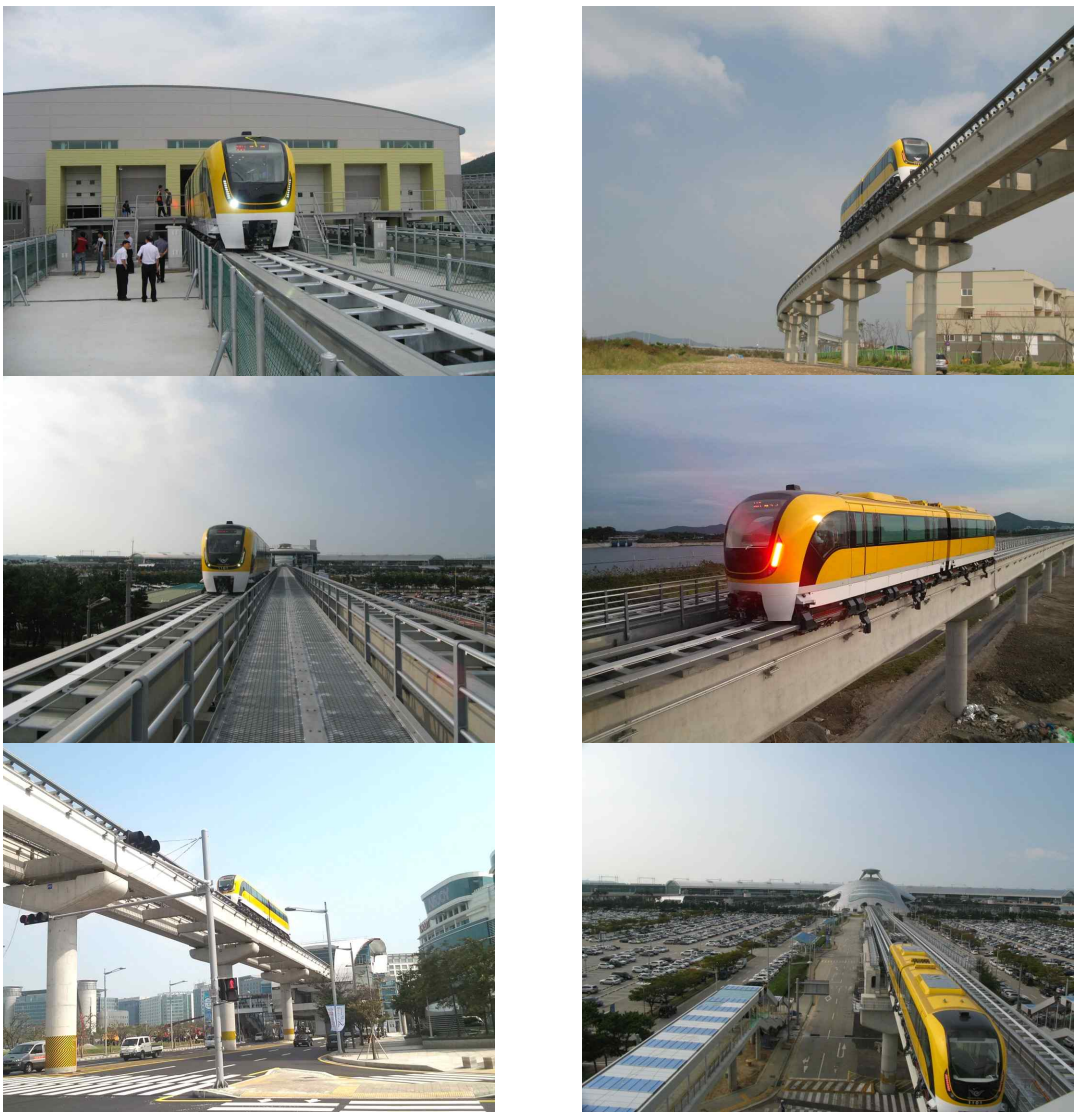
· 양산차량 1편성 차량기지 입고('12.7.21) 및 차량 시험 실시



[그림 4]시범노선 차량 입고 사진

· 양산차량 2~4편성 '12.9.30까지 차량기지 입고 완료

· 종합시험운행 수행 및 법에 따른 성능시험 수행



[그림 5]시범노선 종합시험운행 및 차량성능시험

- 차량 성능시험 수행

· 양산차량 성능시험 (성능시험기관 시험)

* 도시철도법 성능시험기준에 따라 양산차량(3편성)을 대상으로 구성품시험, 완성차시험, 본선시운전의 3단계로 수행

· 종합시운전

* 철도안전법 철도종합시험운행 시행지침에 따라 시범노선에서 시설물검증시험 및 영업시운전의 2단계로 수행

※ 시설물검증시험: 각 분야별 시설물 준공 후 차량과 시설물간의 종합 인

터페이스 확인 시험 수행

(2) 도시형 자기부상열차 시범노선 건설

○ 도시형자기부상열차 시범노선 대안설계 완료 및 공사착공

- 세계 2번째 도시형 자기부상열차 시범노선 부지로 인천시 인천국제공항이 선정
- 시범노선은 교통센터 ~ 인천공항 제2 여객터미널(계획) ~ 국제업무지역 ~ 용유역을 연결하는 6.113 ㎞ 구간(정거장 6개소, 차량기지 1개소)으로 2011년까지 건설한 뒤 2012년 시험운행을 거쳐 개통
- 3편성(1편성은 객차 2량)이 최고 시속 110㎞로 공항교통센터(101 역)에서 인천 용유역(106 역)까지 운행



[그림 6]시범노선 조감도



[그림 7]시범노선 역사 조감도

○ 도시형자기부상열차 시범노선 선로구조물 특징

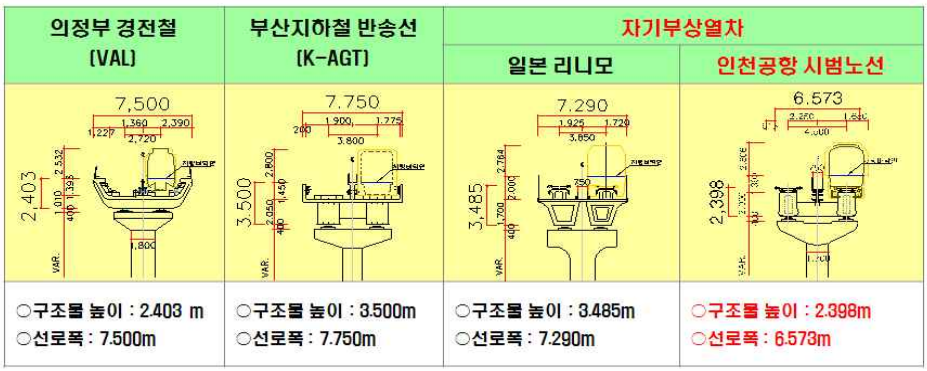
- 타 경전철 대비 노선건설비 경제성 확보
- 슬라브(바닥판) 배제로 건설비 저감 및 공사기간 단축
- 구조물 높이가 낮으므로 교량 전체 높이 축소 가능

- 양쪽 거더 사이에 대피로 설치



[그림 8]도시형자기부상열차 시범노선 선로구조물 특징

- 타 경전철 선로구조물 대비 우수한 경관성 확보



[그림 9]도시형자기부상열차 시범노선 선로구조물 비교

[표 2]고가궤도식 경전철 건설비 비교

구 분	차량 시스템	연장(km)	총건설비	Km당 건설비(제안가격)		비고
				제안당시 불변가격	2008년 환산*	
부산-김해 경전철	철제차륜	23.9	6,499	271.9	456.8	협상가격 (2000년)
용인 경전철	철제차륜 LIM	18.1	6,300	348.1	531.1	협상가격 (2002년)
의정부 경전철	고무차륜 AGT	11.1	3,427	308.7	400.6	사업승인 가격 (2004년)
대구 3호선	모노레일	23.9	10,425	436.2	523.5	대안설계 가격 (2007년)
평 균		**19.3**		**341.2**	**478.0**	
인천공항 시범노선	자기부상	6.1	2,604		395.3 *	대안설계 가격 (2009년)

* 시범노선 건설 특수성(깊은 연약지반 등)에 따른 비용(31.6 억/km)을 감안하여 일반 도심지 적용으로 환산한 비용

○ 도시형자기부상열차 시범노선 완공 및 종합시운전 수행



[그림 10]시범노선 완공 사진

- 종합시험운행 마스터 스케쥴

[표 3]종합시험운행 마스터 스케쥴

구 분			2012년								2013년											
			5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
차량시험	차량 조립 및 조정시험				―	―	―	―														
	타시스템간 I/F 확인					―	―	―	―	―	―											
	전체편성 시험/시운전						―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―		
공종별시험			―	―	―	―																
사전점검						―																
종합시험운행	시설물검증시험	차량기지시험					―	―	―	―												
		본선차량투입전시험					―															
		본선차량투입후시험						―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―	―		
	영업시운전																			―	―	

- 시범노선 완공 후 시설물검증시험(종합시운전) 수행

[표 4]시범노선 시설물 검증시험 항목

구분	점 검 항 목
○ 선로구조물분야	건축한계측정 궤도검측시험 교량검측시험 관절형 분기기시험
○ 변전전력분야	SCADA 실증시험 전력품질시험 연장급전시험
○ 전철전력분야	제3궤조/집전판 습동 모니터링시험 아크측정시험 동적특성 점검(열차투입집전시험)
○ 신호분야	자동열차감시장치(ATS) 인터페이스시험 연동장치 기능시험 자동열차제어장치 기능시험(ATP/TD/VEL)
○ 정보통신분야	교환설비 기능시험 광전송설비 기능시험 열차무선시스템 기능시험 여객안내설비 기능시험 종합영상설비 기능시험 양방향무선데이터통신설비시험 공항시스템 연계시험
○ 차량과의 연계성	차량과 가이드웨이간의 공진 확인 시험 곡선에서 정차 시 측면접촉 확인 시험 비상 낙하 시 가이드웨이 안전성 검증 시험 곡선구간 제한속도 적합성 확인 시험 열차 교행 시 안전성 검증 시험 가이드웨이 처짐한계 검증 시험
○ 종합인터페이스	통합시스템 성능시험 ATP/ATO 종합기능시험 무인운전 검증시험 관절형 분기기 종합기능시험

나. 국외

(1) 중국

○ 중국은 교통대학, 국방대학에서 중저속 도시형 자기부상열차 개발을 지속적으로 추진하고 있으며, 최근에는 북경자기부상공사에서 실용화를 목표로 개량형 자기부상열차 개발하여 시험 수행

- 국방대학에서 CMS-03차량 개발하여 204m 길이의 창사(長沙) 시험선에서 20,000회 이상의 주행시험 및 7,000km이상 거리 주행시험
- 개량형 차량 (엔지니어링 모델 차량) 개발

* 길이: 15.5m, 폭: 3m, 높이: 3.83m, 중량: 21ton
* 최대속도: 150 km/h, 운영가속도: 1.1m/s2, 최소 회전반경: 75m, 최대구배: 7%

- 1.6km 길이의 당산 시험선에서 시험

○ 2011년 2월 북경 서쪽 근교 Mentougou 지역에 자기부상열차 노선(S1 노선) 착공

- 도시형 자기부상열차 S1 노선
  * 노선길이 : 10.236 km (북경 서쪽 근교 Mentougou 지역)
  * 역사 : 8개 역사 (Pingguoyuan 역에서 지하철 1호선 환승)
  * 예상 건설비 : 3억위안/km (528억원/km)
  * 국제입찰을 통한 시스템선정 예정



[그림 11]북경 도시형 자기부상열차 S1 노선 기공식



[그림 12]북경 도시형 자기부상열차 S1 노선 노선도




[그림 13]북경 도시형 자기부상열차 S1 노선 추정 차량

[표 5]중저속형 자기부상 열차의 주요 사양

구분	사양
차량무게(전두차량/중간차량)/량	21t/20t
하중(전두차량/중간차량)/량	9t/10t
최대적재량(전두차량/중간차량)/량	15t/16t
길이(전두차량/중간차량)/량	15.5m/14m
폭(전두차량/중간차량)/량	3.0m
높이	지붕에서 선로면 3.83m, 선로면에서 열차내부 바닥 0.987m
출입문의 폭과 개수	1.3m×2×2/량
출입문의 유형	사이드 슬라이딩 도어, 전두차량에 여닫이 비상 대피문 설치
최소곡선반경	100m
최소종곡선반경	1000m
최대구배	70‰
설계최고속도	150km/h
최대 차량 편성수	8량
주행가속도	1.1m/s^2
감속도	상용 : 1.1m/s^2, 긴급 : 1.3m/s^2
긴급 제동 거리	≤120m (60km/h)

○ 베이징 지주 자기부상 기술발전 유한공사(北京 控股 磁懸浮 技術發展 有限公司, 이하 '베이징 자기부상공사')는 베이징 지주 집단(北京 控股 集團, Beijing Enterprises Group Company Limited) 소속 자회사로써 1999년부터 중국인민해방군 국방과학기술대학과 협력하여 중저속 자기부상교통의 엔지니어링 연구개발을 진행하고 있음

○ 베이징자기부상공사 연혁

- 1999년 1월 12일 베이징지주유한공사와 국방과학기술대학 공동으로 중저속 자기부상열차의 엔지니어링 연구 시작
- 2001년 4월 11일 창사 국방과학기술대학에서 중국 최초의 중저속 자기부상열차 시험노선 건설
- 2001년 7월 15일 창저우장강객차그룹에서 중국 최초의 실물크기 자기부상 시험열차 조립 완료
- 2001년 8월 15일 창사 시험노선에서 자기부상시험열차의 운행시험 공식 시작
- 2001년 11월 12일 베이징시 과학위원회에서 '중저속 자기부상열차 궤도교통기술 엔지니어링연구개발 프로젝트'입안
- 2004년 3월 1일 중저속 자기부상열차 5,000km 안전운행, 중저속 자기부상 엔지니어링 모델열차 연구제작 시작
- 2005년 9월 19일 베이징시 과학위원회에서 '중저속 자기부상열차 시험시범노선시스템 사전엔지니어링 연구' 입안
- 2005년 12월 28일 엔지니어링모델열차 시운행 시험 성공
- 2006년 7월 1일 베이징지주 중저속자기부상열차 탕산 시험노선 착공
- 2007년 11월 9일 라이우강철집단유한공사에서 중저속 자기부상교통에서 통용되는 'F형강' 압연시험 성공.
- 2008년 4월 1일, 2008년 5월 18일 베이징자기부상의 중저속 자기부상교통 엔지니어링시스템 기업표준 '중저속 자기부상교통 설계규범'및 '중저속 자기부상교통 차량'공식 발표 및 적용.
- 2008년 5월 7일 '베이징지주 중저속 자기부상 (탕산) 엔지니어링시험 시범노선시스템'엔지니어링 운행시험 시작.
- 2008년 12월 25일 '선전시 궈도교통 8호선 기술방안 연구 발대식'개최, 선전시 궤도교통 8호선 중저속 자기부상교통 기술방안 연구 시작.
- 2009년 1월 9일 베이징자기부상공사가 수행하고 있는 베이징시 과학위원회 베이징응용기초연구 및 전략적 첨단기술 주제 중대프로젝트 '중저속 자기부상열차 궤도교통기술시스템 엔지니어링연구개발'의 중점과제인 '중저속 자기부상열차시험노선, 전력공급, 열차전기 및 분기시스템 기술엔지니어링 연구'과제가 베이징시 과학위원회 전문가 심사 통과

○ 당산 시험선 현황

[표 6]당산 시험선의 주요 사양

구분	사양
궤간	2000mm
선로 수	단선
구배	구간선로 ≤70‰, 역, 차간 ≤2.5‰
곡선반경	50mR 1개소, 100mR 1개소
종곡선반경	≥1000m
궤도	F형, 127kg/m
분기기	1곳, 단개형
주행제어	MATC 제어시스템
본선열차 최고주행속도	≥100km/h
전원공급방식	DC1500V/DC750V 3, 4량의 하단에서 전원공급



[그림 14]중국 Tanshang(당산) 도시형 자기부상열차 시험선(1.547km)

○ 장가계 자기부상열차

- 중국 Tanshang(당산) 도시형 자기부상열차 시험선(1.547km)2011년 4월 1일 중국 유명 관광지인 장가계에 자기부상열차 노선을 건설하기 위한 의향서가 2011년 4월 1일에 장가계 시정부를 포함한 4자간(Zhangjiajie Municipal People's Government, CSR Corporation Limited, China Railway Group Limited CREC and Hunan Provincial Railway Investment Group Co., Ltd.)에 체결되었음.
- 장가계 시에서 Wulingyuan 관광단지까지 교통량이 증가하면서 환경공해가 심각해지고 있어서 이의 해결방안으로 친환경 자기부상열차를 빠르면

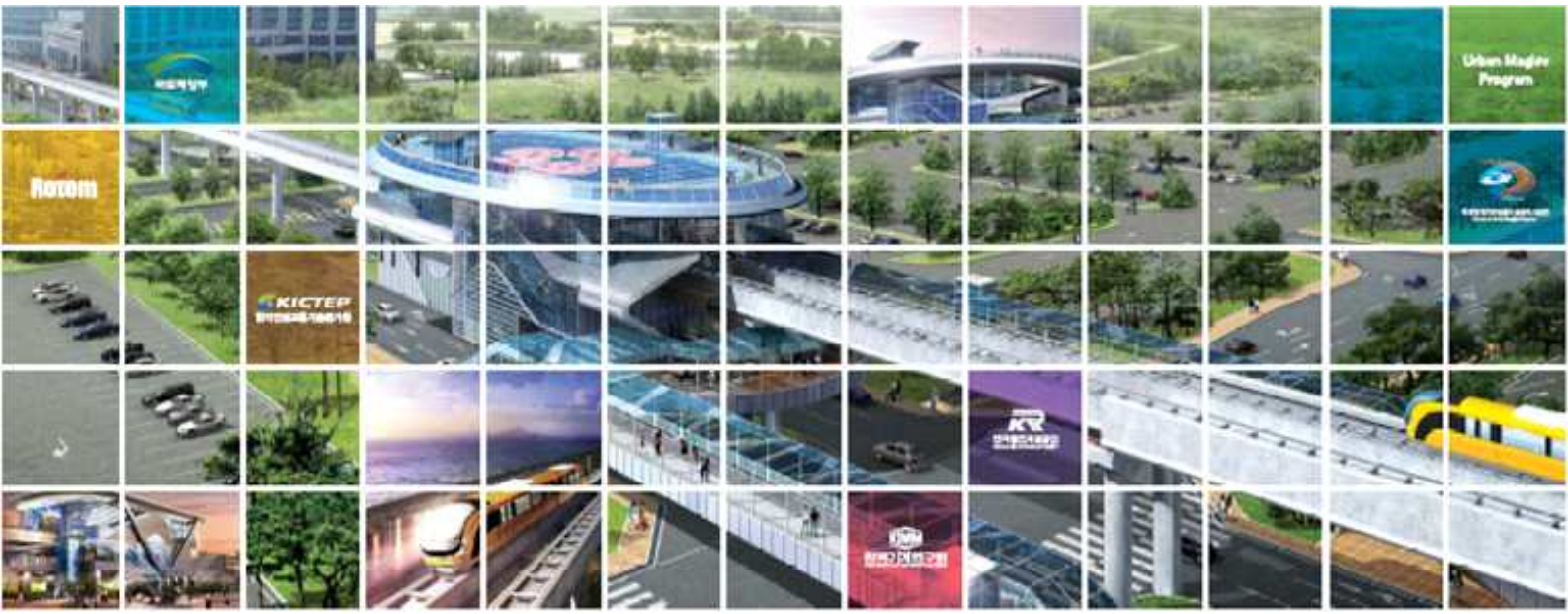
2012년 말까지 건설할 계획

- 이를 위해 상기 4개 기관이 약 20 ~ 28 억 위안을 투자해서 건설과 운영을 담당할 조인트 벤쳐를 설립할 계획

제3장 연구개발수행내용 및 결과

제1절 연구목표 및 연구내용

제2절 단계별 세부연구내용



제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1 절 연구목표 및 연구내용

[1-0과제]

단계	연도	연구개발목표	주요 연구내용
1단계	1차 연도	-실용화사업 총괄업무 지원 -과제별 인터페이스 협조체계 구축 -시범노선 선정 지원	-엔지니어링 관리계획을 통해 사업단장의 총괄 관리업무 및 통합업무 지원 -사업단장의 실용화 사업상 기술적 프로세스 및 관리 프로세스를 지원 -S/E 절차에 기반한 인터페이스 조정 체계 구축 -조정 필요사항의 조기 발굴 및 대책 수립, 조정 및 관리 -사업단장 지원 -핵심과제/세부과제 지원체제 구축 협조
	2차 연도	-실용화사업 총괄업무 지원 -과제별 인터페이스 관리 -실용화사업 기술총괄 및 시스템 통합	-사업단장의 총괄 관리업무 및 통합업무 지원 -인터페이스 관리 문서체제 구축 -기술적 및 기능적 인터페이스 협의, 조정, 관리 -설계검토(DR)계획 작성 -설계기준 검토 및 적합여부 판정 -각 핵심과제와 정기 기술적 연계 및 통합관련 회의
	3차 연도	-실용화사업 총괄업무 지원 -과제별 인터페이스 관리 -시범노선 건설 지원	-사업단장의 총괄 관리업무 및 통합업무 지원 -기술적 및 기능적 인터페이스 협의, 조정, 관리 -설계기준 검토 및 적합성 판정
2단계	4차 연도	-실용화사업 총괄 관리 업무 지원 -실용화사업 시스템 통합 -시험선 시험평가 총괄 -시범노선 구축 지원	-인터페이스 관리를 통한 실용화사업 총괄 및 시스템 통합 지원 -SEMP에 따른 리스크관리계획 작성 및 관리 -하위세부과제 관리 -시험선 시험평가 총괄 -시범노선 건설 지원(설계변경 등에 따른 타 핵심 인터페이스 등)
	5차 연도	-실용화사업 총괄관리업무 지원 및 시스템통합	-실용화사업 연구수행 총괄관리(일정/인터페이스/리스크/연구산출물 등) 및 시스템 통합 -하위세부과제관리

3단계	6차 연도	-실용화사업 총괄관리업무 지원 및 시스템통합	-실용화사업 연구수행 총괄관리(일정/인터페이스/리스크(TPM관리)/연구산출물 등) 및 시스템 통합 -하위세부과제관리 -시범노선 시운전 시험평가 지원
	7차 연도	-실용화사업 총괄관리업무 지원 및 시스템통합	-실용화사업 연구수행 총괄관리(일정/인터페이스/리스크(TPM관리)/연구산출물 등) 및 시스템 통합 -하위세부과제관리 및 종합 -시범노선 종합시운전 시험평가 지원

[1-1과제]

단계	연도	연구개발목표	주요 연구내용
1단계	1차 연도	- 초기 요구사항 분석 및 시스템 규격서 작성	- 이해관계자 요구사항 수집 - 요구사항 논증(validation) - 운영개념 분석 - 요구사항 도구 선정 및 schema 개발 - 시스템 규격서 작성 - 차량분야 규격서 작성
	2차 연도	- 차량시스템 제작규격 및 시범노선 분야 개발규격 작성	- 시스템 요구사항 보완 - 차량분야 하부수준 기능 분석 - 규격서 작성 - 인터페이스 관리 문서 작성 - 검증 요구사항서 작성
	3차 연도	- 차량 및 시범노선 상세규격 보완 - 요구사항 추적관리	- 상세설계 진행에 따른 규격 수집/모니터링 - 서브시스템 개발규격 보완 - 시스템 운영개념 보완 (시범노선 운영 시나리오 보완) - 요구사항에 대한 규격 검증 - 요구사항/규격 변경관리 - 요구사항/규격 간 추적관리 서비스
2단계	4차 연도	- 전기 분야(신호, 통신, 전력시스템) 규격서 작성 및 차량 제작에 대한 규격 추적관리	- 전기 분야(신호, 통신, 전력) 상세 규격서 작성 및 확정 - 도시형 자기부상열차 시스템 요구사항 및 규격의 추적관리 - 차량시스템의 공장 내 시험 결과를 요구사항 DB에 반영 - 시험선 시험평가 결과를 요구사항 DB에 반영
	5차 연도	- 시험선 시험결과와 시범노선 구축에 대한 규격 추적관리	- 시험선 시험평가 결과 및 시범노선 시설분야에 대한 규격추적관리(변경관리)
3단계	6차 연도	시범노선 전기분야에 대한 규격추적관리(변경관리)	시범노선 전기분야에 대한 규격추적관리(변경관리)
	7차 연도	- 요구사항/규격 추적관리 결과 종합 및 시스템 통합 지원	- 검증요구사항 검증현황 관리 - 도시형자기부상열차 시스템 요구사항/규격 최종 종합 - 기술자료/개발 경험 문서화 및 차기사업을 위한 개선된 개발 프로세스 수립 - 시범노선 종합시운전시험 결과 요구사항/규격 DB에 반영 -시범노선 시험평가에 따른 규격추적관리(변경관리)

[1-2과제]

단계	연도	연구목표	주요연구내용
1 단 계	1차년도	1.기술 자료 수집	▪ 유사철도시스템 RAMS 자료
		2.RAMS 관리체계 구축	▪ RAMS 라이프 사이클 단계별 Mission 정의 ▪ 각 단계별 기준 또는 표준 양식 산출물 개발 (입력문서 ,출력문서, 표준양식)
		3.자기부상열차 전체시스템레벨에서의 RAMS성능 예측 모델링	▪ 자기부상열차 시스템 가용성, 정시성 목표치 설정 및 타당성 예비 평가 ▪ 가용성, 정시성 판단을 위한 Failure 기준 정의
		4.기존 도시철도 시스템의 검수체계 분석	▪ 국내외 도시철도 검수체계 분석 보고서 작성
		5.자기부상열차 수명주기비용 분석모델 수립	▪ LCC 분석 요구사항 정의 ▪ 유사 시스템의 LCC 모델 자료 분석 ▪ 자기부상열차 LCC 예측 절차, 모델, 방법 구축
	2차년도	1.차량 주요장치 RAMS 설계특성 비교	▪ 차량 신뢰도 및 안전성 분석
		2.차량 주요장치 RAMS 분석결과 데이터베이스화	▪ 차량 신뢰도 분석 및 Hazard Log 데이터베이스화
		3.차량주요장치 계층모형구축	▪ PBS 분석 및 CBS 구축
		4.차량 주요장치 수명주기 예측 및 분석	▪ 장치별 실 데이터 수집 및 수명주기간 LCC 비용 예측
		5.차량 주요장치 LCC 분석결과 데이터베이스화	▪ 주요장치별 LCC 계산모델 및 분석결과 DB화
		6.서브시스템 RAMS 요구조건 정의	
		(1)자기부상열차 시스템레벨 초기 위험원 분석	▪ 전체 시스템에 대한 위험원 도출
		(2)자기부상열차 각 분야별 서브시스템 레벨에서의 RAM 성능 예측 모델링	▪ 자기부상열차 전체 시스템의 서비스 가용성 목표치를 달성하기 위한 각 서브시스템 분야별 RAM 목표치를 할당하기 위한 예측 모델링

단계	연도	연구목표	주요연구내용
		(3) 서브시스템 분야별 RAM 요구조건 정의	▪ 실시설계 및 시범노선 구축관련 서브시스템 분야별 RAM 요구조건 정의
		7.시범노선 구축 대비 예비업무수행	▪ RAM Plan, Safety Plan 개발
	3차년도	1.완성차 RAMS 분석	▪ 완성차 RAMS 관리 체계에 따른 분석
		2.완성차 수명주기비용 분석	▪ 완성차 LCC 모델 구축 ▪ 완성차 LCC 예측 및 분석 ▪ 완성차 주요 비용변수에 대한 민감도 분석
		3.완성차 RAMS 분석결과 데이터베이스화	▪ 완성차 RAMS 관리 체계에 따른 분석 결과 데이터베이스화
		4.완성차 LCC 분석결과 데이터베이스화	▪ 완성차 LCC 분석 결과 데이터베이스화
		5.시범노선구축 대비 예비 업무 수행	
		(1)설계단계 시스템 수준의 RAMS 분석	▪ 설계단계에서 시스템 수준의 RAMS분석 • Preliminary System FME(C)A • Preliminary Hazard Analysis
		(2)서브시스템 RAMS 요구사항 개정	▪ 설계 진행사항을 반영하여 서브시스템별 RAMS 요구사항 개정 (차량, 신호, 통신, 전기, 분기기)
		(3)RAM Management Plan 및 Safety Management Plan 개정	▪ 설계 진행사항을 반영하여 RAM Management Plan 및 Safety Management Plan 개정
2 단계	4차년도	1.시험선 시험평가를 통한 RAMS / LCC 분석 및 검증	▪ 차량외 서브시스템 설계단계에서 시스템 수준의 RAMS관리 - Preliminary System FME(C)A 개정 - System Hazard Log 개정[SHA, IHA, O&SHA] - RAM Analysis 보고서 ▪ RAM 입증 계획(RAM Demonstration Plan)

단계	연도	연구목표	주요연구내용
			수립 ▪ FRACAS 절차서 구축 ▪ 시험선 완성차 시험을 통한 안전성 확인 ▪ 시험선 운행 환경을 반영한 완성차량의 LCC 데이터 및 분석결과 Update
		2.차량 외 시스템 LCC 분석 및 DB반영	▪ 데이터 지원이 가능한 차량외 시스템 LCC 모델 구축 ▪ 차량외 시스템 LCC 예측 및 분석 ▪ 차량외 시스템 주요 비용 변수에 대한 민감도 분석 ▪ 차량외 시스템 LCC 분석결과 DB 구축 ▪ 3차년도 연구결과를 반영한 완성차량 LCC 분석 S/W 1차 버전 개발 - 완성차 주요장치별 LCC 계산 모델 반영 - 사용자 GUI 환경 구축 완료 - 완성차량 DB 체계 구축 완료
	5차년도	1.도시형 자기부상철도시스템 RAMS분석	▪ 차량외 서브시스템 제작/설치단계에서 시스템 수준의 RAMS관리 - Preliminary System FME(C)A 개정 - System Hazard Log 개정 [SHA, IHA, O&SHA] ▪ 시험선 FRACAS 수행 ▪ FRACAS 절차서 개정
		2.도시형 자기부상철도 시스템 LCC분석	▪ 서브시스템별 실측 비용정보 갱신 및 예측 모델 보완 ▪ 자기부상철도 시스템 LCC 예측 및 분석 ▪ 자기부상철도 시스템 LCC 분석결과 DB화 ▪ 4차년도 연구결과를 반영한 차량외 시스템 LCC 분석 S/W 2차 버전 개발 - 차량외 시스템 주요장치별 LCC 계산 모델 반영 - 사용자 GUI 환경 구축 완료 - 차량외 시스템 DB 체계 구축 완료
		3. 시험선 시험평가를 통한 RAMS/LCC 분석	▪ 시험선 운행환경을 반영한 차량외 시스템의 LCC 데이터 및 분석결과 Update(2)
3 단계	6차년도	1.도시형자기부상철도시스템 RAMS 추적관리	▪ 시험선 시험 단계에서 시스템 수준의 RAMS관리 - RAM 시연(DEMO) 계획 개정 - Hazard Log 개정 - 시스템 FMECA 개정
		2.도시형자기부상철도시스템 LCC분석	▪ 서브시스템별 비용정보 갱신 및 예측 모델 보완
		3.시험선 시험평가를 통한 RAMS/LCC 분석	▪ 시험선 FRACAS 수행 ▪ 시스템 FRACAS 절차서 개정

단계	연도	연구목표	주요연구내용
			▪ 시험선 LCC 데이터 수집 및 분석결과 Update(3)
		4.LCC 모델 상세수준 구현	▪ 현장 데이터 수준을 반영한 LCC 분석 S/W 개발
	7차년도	1.도시형 자기부상철도 시스템 RAMS 성능입증 및 추적관리	▪ 종합시운전 단계에서 시스템 수준의 RAMS 관리 - Hazard Log 개정 - 고장 데이터 수집 S/W 개발
		2.도시형 자기부상철도 시스템 LCC 분석	▪ 서브시스템별 비용정보 갱신 및 예측모델 보완
		3.도시형 자기부상철도 시스템RAMS/LCC 분석결과 종합	▪ RAMS 분석 최종보고서 작성 (초안) ▪ LCC 분석 최종보고서 작성
		4.LCC 모델 상세수준 구현 및 검증	▪ 자기부상열차 LCC 분석 S/W 구현 및 검증

[1-3과제]

단계	연차	연구목표	주요 연구내용
1단계	1차년도	▪ 도시형 자기부상열차의 시험항목, 세부시험계획, 평가기준 및 인증체계 구축방안 수립	▪ 도시형 자기부상열차 인증체계 구축방안 수립 ▪ 시험평가 종합계획(TEMP) 개발
		▪ 구성품 시험계획서/절차서 개발	▪ 구성품 시험계획서/절차서 초안 작성
			▪ 해외 자기부상열차 시험평가 및 인증체계 조사(I)
	2차년도		▪ 구성품 시험계획서/절차서 수정 보완
		▪ 완성차 시험계획서/절차서 개발	▪ 완성차 시험계획서/절차서 초안 작성
			▪ 해외 자기부상열차 시험평가 및 인증체계 조사(II)
	3차년도	▪ 구성품시험 지원 및 관리	▪ 구성품시험 지원 및 관리
			▪ 완성차 시험계획서/절차서 수정 보완
		▪ 시범노선 시운전 시험 계측시스템 설계	▪ 시범노선 시운전 시험 계측시스템 기본설계
2단계	4차년도	▪ 구성품 및 완성차시험(시험선시험) 지원 및 관리	▪ 구성품시험/완성차시험(시험선시험) 지원 및 관리
		▪ 시범노선 시운전 시험 계측시스템 구축	▪ 시범노선 시운전시험 계측시스템 상세설계 및 제작
			▪ 시험선 상부구조 계측 및 분석
	5차년도	▪ 완성차시험(시험선시험) 지원 및 관리(계속), 본선시운전 시험계획서/절차서 개발	▪ 완성차시험(시험선시험) 지원 및 관리 ▪ 본선 시운전 시험계획서/절차서 개발
		▪ 계측시스템 구축 및 보완 (제작/임차)	▪ 시범노선 시운전 시험 계측시스템 제작 및 임차를 통한 구축
			▪ 시범노선 시설분야 시험평가 지원
			▪ 시험선 상부구조 계측 및 분석
			▪ Design Review 항목의 시험을 통한 검증
			▪ 시험선 최고속도 증속(50→70km/h)을 위한 시험설비(회생제동기) 증설

[1-4과제]

단계	연도	연구개발목표	주요 연구내용
1단계	1차 연도	-자기부상열차 법제화 정비방안 도출	-국내외 철도차량 및 자기부상열차 관련 법령 및 기준 조사, 분석 -도시형 자기부상열차 법제화 정비방안 도출
		-자기부상철도 건설규칙 초안 개발	-기존 도시철도 건설규칙 분석 -건설규칙 관련 기준의 제·개정안 검토 -자기부상철도 건설규칙 초안 개발
		-자기부상열차 안전기준 초안 개발	-기존 도시철도 안전기준 분석 -안전기준 관련 기준의 제·개정안 검토 -자기부상열차 안전기준 초안 개발
	2차 연도	-건설규칙/안전기준(안) 확정	-사업단과제의 연구성과물의 내용 반영 -건설규칙/안전기준 초안에 대한 수정, 보완 -사업단 내외부 전문가 검토 및 의견수렴 -건설규칙/안전기준 최종안 개발
		-자기부상열차 차량/시설 표준규격 초안 개발	-국내외 자기부상열차시스템 사양 조사 및 분석 -구성내용 분석 및 시스템 분류체계 확립 -자기부상열차시스템 세부 기술사양 비교 검토 -자기부상열차 차량/시설 표준규격 초안 개발
		-자기부상열차 초안 성능시험기준 개발	-해외 자기부상열차 관련 시험, 인증 분석 -성능평가 항목 및 기준 조사, 분석 -자기부상열차 성능시험기준 초안 개발
	3차 연도	-표준규격/성능시험기준(구성품시험)(안) 확정	-사업단과제의 연구성과물의 내용 반영 등 표준규격/성능시험기준 초안에 대한 수정, 보완 -사업단 내외부 전문가 검토 및 의견수렴 -표준규격/성능시험기준(구성품) 최종안 개발
		-자기부상열차 품질인증요령(기계용품) 초안 개발	-현행 도시철도용품 품질인증체계 분석 -열차 주요용품(기계용품)의 품질요구조건 분석 -자기부상열차 품질인증요령(기계용품) 초안개발
		-자기부상열차 정밀진단지침 초안 개발	-현행 도시철도차량 정밀진단 대상 및 방법 분석 -주요 구성품의 정밀진단항목 및 세부기술 분류 -자기부상열차 정밀진단기준 초안 개발
2단계	4차 연도	-자기부상열차 정밀진단지침/성능시험기준(완성차시험)(안) 개발	-사업단과제의 연구성과물의 내용 반영 등 정밀진단지침/성능시험기준(완성차시험) 초안에 대한 수정, 보완 -사업단 내외부 전문가 검토 및 의견수렴 -정밀진단지침/성능시험기준(완성차시험) 최종 기준 확정
		-자기부상철도 운전규칙 초안 개발	-운전시나리오 등 조사, 분석 및 비교 검토 -세부 운전규칙 분석 및 기술 타당성 검토 -자기부상철도 운전규칙 초안 개발
		-자기부상열차 품질인증요령(전장품) 초안 개발	-열차 주요용품(전장품)의 품질요구조건 분석 -자기부상열차 품질인증요령(전장품) 초안 개발
		-개발된 규정(안) 고시지원	-자기부상철도 건설규칙(안)을 반영한 도시철도 건설규칙 개정안 개발 -도시철도 건설규칙 개정안 상정 및 고시지원 -자기부상열차 안전기준(안)을 반영한 도시철도 안전기준에 관한 규칙 개정안 개발 -도시철도차량 안전기준 개정안 상정 및

			고시지원
	5차 연도	-자기부상열차 품질인증요령(안) 개발	-부품제작사양서 등 사업단과제의 연구성과물의 내용을 반영하여 품질인증요령 초안의 수정, 보완 -사업단 내외부 전문가 검토 및 의견수렴 -품질인증요령 최종안 개발
		-성능시험기준(본선시운전시험)(안) 개발	-성능시험절차서 등 사업단과제의 연구성과물의 내용을 반영하여 성능시험기준(본선시운전시험) 초안의 수정, 보완 -사업단 내외부 전문가 검토 및 의견수렴 -성능시험기준 최종안 개발
		-자기부상철도 운전규칙(안) 개발	-사업단과제의 연구성과물 등을 반영한 운전규칙(안) 수정, 보완 -도시철도 운전규칙 개정 내용 검토를 통한 자기부상열차 운전규칙 최종안 개발 -자기부상철도 운전규칙(안)을 반영한 도시철도 운전규칙 개정안 개발
		-개발된 규정(안) 고시지원	-도시철도 건설규칙 개정안 고시 지원 -도시철도차량 안전기준에 관한 규칙 개정안 고시지원 -자기부상열차 성능시험기준(안)을 반영한 도시철도차량 성능시험기준 개정안 개발 -국토부/사업단 요청에 대응하는 제·개정지원
3단계	6차 연도	-(양산편성) 자기부상열차 품질인증요령(안) 개발	-양산차량 부품제작사양서 취합 -양산차량의 개선·보완 사항을 반영한 품질인증요령 수정안 개발 -전문가 검토 및 의견수렴 -품질인증요령(안) 개발
		-개발된 규정(안) 보완	-시험선시험/성능시험/시범노선 제작, 설치 결과 등에 따른 개정요구사항 취합 -기 개발 규정(안) 반영을 위한 공개토론회 등 개최 -자기부상열차 관련 개발 법안의 수정·보완
		-개발된 규정(안) 고시지원	-표준규격/품질인증 관련 도시철도기술실무위원회 상정 -운전규칙 관련 부처 제·개정 요청 및 고시지원 -국토부/사업단 요청에 대응하는 제·개정 지원
	7차 연도	-도시형 자기부상열차 관련 규정 통합	-도시형 자기부상열차 세부 기술기준의 법제화 방향 결정 -자기부상열차 관련 세부 개발 법안의 통합 연구 및 재구성 -세부 법안 및 기술기준의 통합 제정 -외부 전문가 검토 및 의견수렴을 통한 규정(안) 개발 -통합 지침서 고시(배포) 지원
		-개발된 규정(안) 보완	-종합시험/시범노선 제작 설치 결과 등에 따른 개정요구사항 취합 및 보완 사항 도출 -기 개발 규정(안)에 반영을 위한 공개토론회 등 개최 -자기부상열차 관련 개발 규정(안)의 수정·보완
		-개발된 규정(안) 고시지원	-표준규격/품질인증 관련 도시철도기술실무위원회 심의 수검

			-열차/시설분야 표준규격 제정안 고시지원 -도시철도차량용품의 품질인증요령 개정안 고시지원 -도시철도 운전규칙 개정안 고시지원 -도시철도차량의 정밀진단지침 개정안 개발 및 고시지원

제 2 절 단계별 세부연구내용

1. 1단계 세부연구내용

[1-0과제]

가. 실용화사업 총괄업무 지원

본 핵심과제에서는 실용화 사업단의 총괄업무를 지원하기 위하여 사업단-1핵심 과제간 정기적인 회의를 가졌으며, 이를 통해 다양한 사업현안 및 설계방안을 도출하고 관련한 기술검토 및 민감도 분석 등을 수행하였다. 최근의 대표적인 사업현안으로서는 성능시험자 선정절차, CDR 시행 방안, 리스크 관리 방안, RAMS 수행방안, 시범노선 운영시나리오 도출 등이 있었으며, 주요 기술검토 항목으로는 타핵심과제가 제시한 성과 중 차량 한계도, 차량시스템규격서, 제작 검사, 궤도/노반분야 설계도, 궤도분야 공사 및 자재 시방서, 선로 설계 기준, 시범노선 건설, 대피로 설치에 대한 비용효과도 분석 등이 있었다.

(1) 사업단-1핵심 회의('08.9.29일부터 시행 결정)를 통한 현안 토의 및 지원

(가) 도시형자기부상열차 성능시험을 위한 성능시험자 지정(자격취득)관련 협의

- 한국기계연구원이 현행 도시철도법에 기준한 성능시험자 자격을 취득하되 행정절차는 1-3세부과제 주관으로 시행
- 현재('09.4.29) 국토부에서 성능시험자 지정을 위한 적합성 검토 중

(나) CDR 시행 방안(일정 계획 포함) 협의

- 차량분야 상세설계 및 시범노선구축분야 실시설계 완료 시점인 '08.11월까지 완료하는 일정으로 시행
- 설계 성과물에 대한 시스템요구사항, 서브시스템요구사항, RAMS 요구사항, 인터페이스요구사항, 건설규칙, 안전기준 및 토목구조물 설계기준 준수 여부를 확인
- '09.11.30일 각 과제에서 CDR용 VM sheet를 완성
- '09.12.3일 1핵심 주관(사업단 주관 인터페이스 조정회의 중)의 워크샵을 통해 합동 검토 및 이견 조정 수행
- '09.2월 VM sheet 완성(1-1세부과제)
- 현재('09.4.29) 사업단 승인을 위해 3핵심의 최종 검토는 완료한 상태이

며, 2핵심의 최종 검토 결과 확인 중

- 전력/신호/통신분야는 실시설계가 '09.11월로 기간 연장됨에 따라 실시설계 완료 시점에 맞추어 CDR 별도 추진 예정

(다) 리스크 관리 방안 협의

- 리스크 관리에 대한 타 사업 사례조사
  · 철도관련 타 사업에서는 리스크 관리 실적 등 우리 사업에 참고할 수준의 자료는 없었음
  · 시스템체계공학원 민성기박사 방문 자문 실시('08.10월)
  · 우리사업의 리스크관리방안 관련 김인근박사 주제 세미나 실시('09.3월)
- 1핵심/사업단 공동으로 우리사업의 리스크 항목 도출
- 리스크 관리계획 초안 개발('09.4월)
- 리스크항목에 대한 리스크 경감대책 및 발생시 대처방안 의견 수렴(3핵심 의견 수렴 완료, 2핵심 검토 중)
- 2단계 연구개발업무 개시 전 우리사업 전반에 대한 시스템 엔지니어링 관점에서 고려필수사항 및 2단계 우리사업의 리스크관리 방향에 대해 시스템 체계공학원의 민성기 박사 주제 세미나 개최 예정(5월 말 예정)

(라) 최종 개발 법안에 대한 사업단 승인 방안 협의

- 개발 법안의 국토부 고시 전, 우리 사업에 적용을 위한 사업단 차원의 승인 필요
- 승인 절차로 관련과제(2핵심 및 3핵심)의 최종 검토 내용을 1핵심에서 확인 후 사업단 승인 요청
- 건설규칙 및 안전기준 '08.10.10일 사업단 조건부 승인 완료

(마) 시범노선 인근 헬기장 관련

- 시범노선 인근 헬기장에 의한 간섭 가능성 검토 필요성 협의
- 국내 등록 헬기 현황 및 정지비행 로터에 대한 유속해석 자료를 인천국제공항공사에 제공('08.10월)하여 인천국제공항공사에서 간섭 해소키로 결정(사업단 주관)

(바) RAMS 수행방안 협의

- 1-2과제 수행 중 시범노선 구축분야에 대한 RAMS 수행범위 및 국내철도산업 인프라를 고려한 수행 관련 3핵심과의 이견 사항 발생
- 1-0핵심과제 주관으로 1차 조정 회의 실시('09.4.6)
- 3핵심과의 회의결과 보고 및 사업단 판단 필요사항 질의('09.4.16)
- 사업단장-핵심과제책임자회의에서 협의/결정 예정

(사) 인터페이스관리 관련 협의

- 1핵심에서 관리하는 과제간 인터페이스 관리 실적 부진을 사업단이 지적
- 지금(1, 2, 3차년도)까지의 인터페이스 관리는 주기적인 현황 모니터링 수준으로 소극적으로 수행되었으나,
- 2단계부터는 과제간 인터페이스 회의 참석 등으로 실질적인 인터페이스 현황 파악 및 필요시 조정역할 수행 예정

(아) 시범노선 운영시나리오 관련 협의

- 2차년도 개발된 초안에 대한 2, 3핵심 검토결과 반영 필요
- 시범노선 구축분야 실시설계 진행 및 차량분야 상세설계 진행에 따라 운영시나리오 검토/보완 필요
- 개정안 작성하여 사업단 승인을 위해 2, 3핵심의 최종 검토('09.3.31) 요청 중

(2) 타 핵심과제 성과에 대한 기술검토

(가) 차량개발 과제 성과물 기술검토

- 차량 한계도에 대한 검토(08.07.01)
  · 차량과 궤도 간 인터페이스 조정을 위한 기술검토
  · 기술검토결과 2, 3핵심 설계에 반영
- 차량시스템규격서 검토(08.06.19)
  · 차량시스템규격서 기술사항에 대한 검토
  · 기술검토결과 1-1세부,2핵심 규격에 반영
- 제작 검사에 대한 검토(09.04.03)

· 철도안전법에만 규정된 차량 제작검사의 우리 실용화사업 적용여부 검토
· 사업단장-핵심과제책임자회의 시에 차량제작검사 2핵심 주관 시행으로 확정('09.4.3)

(나) 시범노선 구축 과제 성과물 기술검토

- 3핵심과제 기본설계에 대한 검토(08.07.08)
· 궤도분야 설계기준서 검토(최소수직곡선반경, 최소수평곡선반경, 완화곡선의 종류, 완화곡선의 길이와 캔트체감, 승강장 연단의 높이, 분기기간 이격거리 등 검토)
· 궤도분야 설계도 검토(차량한계 및 건축한계, 차량기지 입출고선 배선도, 선로 종·평면도, 표준단면도(하로판형교 단선구간, PSC Box Girder 구간, 정거장구간, 입출고선 및 차량기지구간, 강상형 Box Girder), 침목배치도(부상추진레일, 침목, 앵커볼트), 추진레일 천공도면, 부상 및 추진레일, 부상레일 이음매, Mono Block 침목 및 체결받침, Twin Block 조립도(단면도, 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 치수, 침목받침 상세 등 검토)
· 노반분야 설계도 검토(프리캐스트 바닥판을 적용하는 강교 슬래브 일반도,프리캐스트 바닥판을 적용하는 강상형 일반도 중 단면도, 프리캐스트 바닥판 상세도, Mono Block 강상형 상세도, 교각일반도, PSC Box형 거더교 일반도 등 검토)
· 궤도분야 공사 및 자재 시방서 검토(가이드레일, 궤도재료 설계변경 조건, 시공상세도, 궤도구조기준 및 주요 궤도재료 규격, 시공흐름도, 일반구간(궤광거치대 설치, 궤광거치, 최종 궤도 정정), 급속시공구간(궤광조립, 궤광조립대 거치, 궤광 거치), 궤도부설공사 등 검토)
· 검토결과 해당분야 기본설계에 반영

- 선로 설계 기준에 대한 검토(08.07.15)
· 검토결과 설계기준에 반영

- 시범노선 건설에 대한 검토(08.07.25)
· 거더빔에 대한 검토(거더지지용 탄성교좌장치, 거더빔의 제작, 급전레일

의 설치 및 차량용 판토그래프와의 상관관계 등 검토)

· 선로에 대한 검토(종단선형, 평면선형, 상세설계와 shop drawing 및 침목배치와 앵커플랜의 설계 관련 검토, 부상추진레일, 침목, 부상추진레일의 가공, 부상추진레일의 벤딩가공, 상부궤도부의 지상조립, 사상작업, 블라스팅과 페인팅작업 등 제작 관련 검토, 부상추진레일조립품, 연결대, Al reaction plate, 앵커 볼트의 매설, 속도검지를 위한 도플러센서 대향면 마련 방안, 무수축패드 등 설치 관련 검토)

· 전력급전레일에 대한 검토(급전레일, 급전레일 베이스, 애자와 금구류, 애자취부 브라켓, 안전장치, 차량 판토프래프 관련 검토)

· 검토결과 해당분야 실시설계에 반영

- 3핵심과제 실시설계에 대한 검토

· 검수분야 실시설계도서 검토(08.11.24)(연도별 소요 차량수, 주요구성품, 기지 배선도, 검수량 및 청소량 계산, 이동식 부상전원공급장치의 접속위치, 구원운전, 차량곡급사 제공품, 검수시설 운영방안, 시운전선, 원격리셋, 시험&시운전 계획, RAMS 요구조건, 용어 등 검토)

· 신호분야 CDR 자료 검토(08.11.28)(근거자료, 결함허용구조, 차량관리기능, 기지 입환기능, 인터페이스 계전기, 신호기능, 콘솔기능, 끌림검지기능 등 검토)

· 통신분야 CDR 자료 검토(08.11.28)(AFC기능, CCTV기능, 역사내 사고발생 연락기능, 중안전산기능, 발권기능, 음성통신기능, RAMS 요구조건 등 검토)

· 건축분야 실시설계도서 검토(08.12.01)(승강장인원 및 승강장 규모, 기능실 면적, 장비 반입구, UPS 실, 자전거 보관소 위치, 발매기실, Main Title, 안내 사인, 엘리베이터 대수, RAMS 요구조건, 용어 등 검토)

· 노반분야 실시설계도서 검토(09.01.10)(부상/추진 기준, 정거장 중심점 위치의 일관성, 검수분야와의 검수선 명칭 일관성, 만차인원 등 타 분야와의 일관성 검토)

· 궤도분야 실시설계도서 검토(09.01.10)(곡선반경에 따른 속도제한, 운전속도관련 타분야와의 일관성, 기기 시험선 오류, 검수고내 선 명칭 일관성, 정거장 중심점 위치 등 검토)

· 건축분야 실시설계도서 검토(09.01.10)(첨두시 이용수요의 단위, 에스컬

레이터 대수, 기능실 명칭, 승강장 폭원, 자전거 보관대 등 검토)

· 검수분야 실시설계도서 검토(09.01.12)(차량기지 면적 및 본선과의 거리, 구원운전, 장비 유치선의 운전 모드, 사고복구 및 유지보수장비 계획, 검수고내 운전 방식 등 검토)

· 검토결과 해당분야 실시설계에 반영

- 열차제어시스템에 대한 사전규격 검토(08.11.10, 08.11.19)(성능요구사항, RAMS 요구사항, 이중계, 원격제어, 차량 성능시험기준 준수, 신호용 전용 주파수, 실적증명서의 채점 방안, 차상설비 설치를 위한 기술지원, 안전설비, PDT 기능, ACI 기능 등 검토)

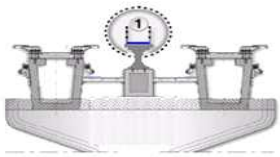
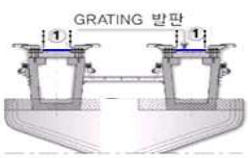
· 검토결과 열차제어시스템 구매/설치 RFP에 반영

- 열차제어시스템 기술협상 지원('09.4.7~9일)(열차제어시스템 기술협상 반에 참가하여 열차제어시스템의 우리사업과의 연계성 및 타 분야 사전 인터페이스 문제 점검 실시)

(3) 설계방안에 대한 민감도 분석

(가) 대피로 설치에 대한 비용효과도 분석 실시

- 분석 대상 : 대피로 설치 방안

방안	1 안 별도의 대피로 설치	2 안 기존 선로 이용	3 안 거더간 가로보 이용
기본안	별도의 대피로 이용 대피 거더사이에 대피소 추가	기존 선로 이용 대피 선로상에 타공판 추가	거더간 가로보 이용 대피 가로보위 타공판 추가
옵션		접이식 안전난간 추가	안전난간 추가(필요시)
도해			

- 분석 결과

· 효과도 : 3안 > 2안 > 1안

· 비용 : 3안 < 2안 < 1안

· 비용 대 효과도 : 3안 > 2안 > 1안

No.	Evaluation Criteria	WT	Alt. #1		Alt. #2		Alt. #3	
			RS	WS	RS	WS	RS	WS
1	대피안전성	9	3	27	3	27	3	27
2	승객대피속도	6	5	30	5	30	3	18
3	선로유지보수편의성	7	1	7	3	21	5	35
4	도시미관	5	3	15	5	25	5	25
5	구조물 슬림화	6	1	6	5	30	5	30
6	차량중량 증가도	5	5	25	1	5	1	5
6	법규준수여부	7	3	21	3	21	3	21
Total Effectiveness				131		159		161
Cost (억₩)			64.62		63.57		56.24	
Effectiveness / Cost			2.03		2.50		2.86	

- 대피로 설치 관련 사항은 2핵심-3핵심의 인터페이스회의 및 사업단 주관의 VR(가상현실) 시뮬레이션 시연을 통해 1안과 같이 별도 대피로 설치로 결정되어 시범노선 선로분야 실시설계에 반영됨

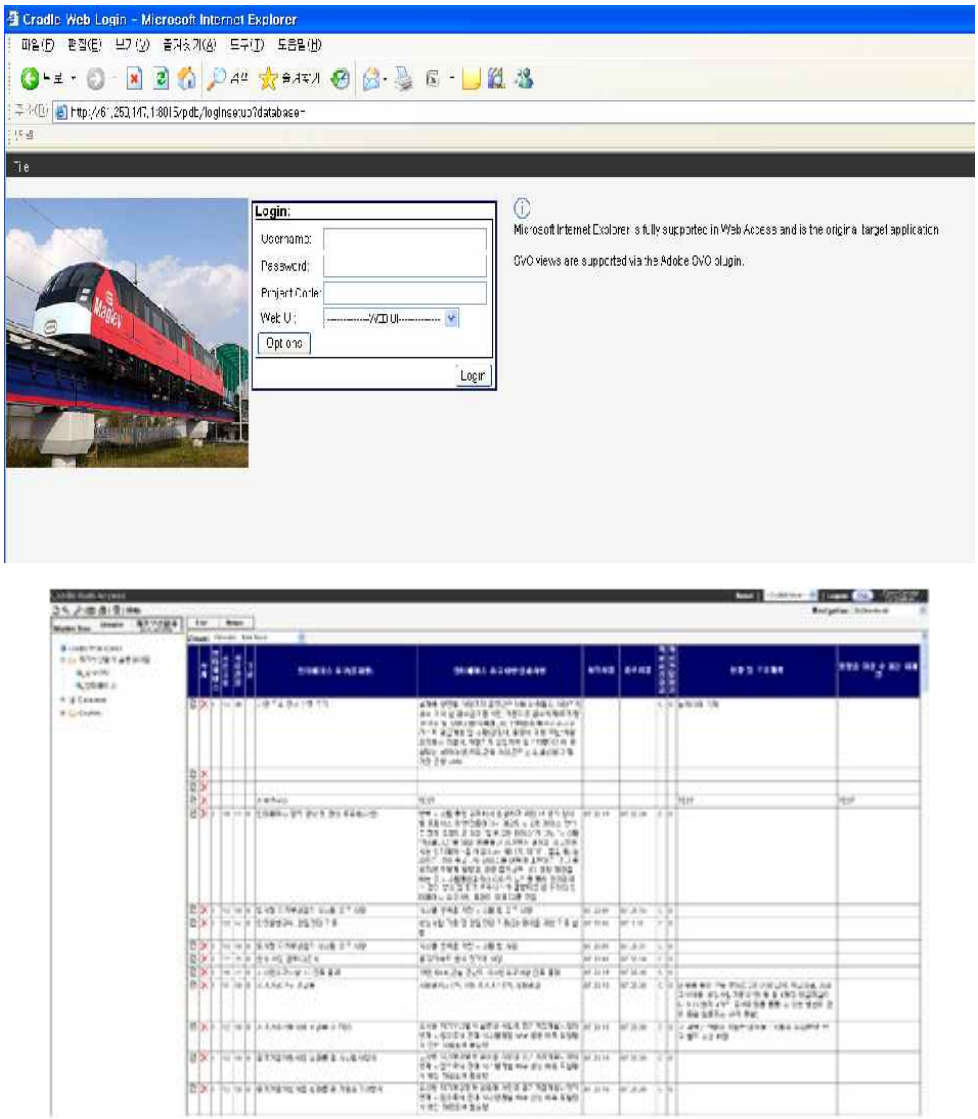
나. 과제별 인터페이스 협조체계 구축

본 사업은 다양한 시스템개발 주체의 협업이 필요하며 따라서 이들 협업과정에 나타나는 인터페이스 관리가 사업성공을 위한 필수조건이다. 효과적인 인터페이스 관리를 위하여 Cradle Web 기반의 관리체계를 구축하였으며 이의 활용성을 제고하였다. 인터페이스 관리과정에 나타나는 쟁점사항을 효과적으로 조정하기 위하여 계층별, 형태별 조정절차를 수립하였으며 이 절차에 따라 해결여부를 관리 조정하였다.

(1) Cradle Web을 통한 인터페이스 관리 체제 구축

과제 간 발생되는 인터페이스 항목에 대한 정보공유 및 원활한 인터페이스 현황 모니터링 및 차후 진행될 사업에 적용될 수 있는 인터페이스 DB 구축을 위한 인터페이스 관리 툴인 Cradle Web에 대한 검토. 선정을 통해 인터페이스 관리체계를 다음과 같은 일정계획으로 구축하였다.

일 시	내 역
2007. 02.13 ~ 2007.02.14	인터페이스 조정회의
2007.03	인터페이스 시행 및 월간보고를 통한 현황보고
2007.04	인터페이스 관리도구(Cradle) 시운전 및 검토
2007.05	Cradle 프로그램의 유용성에 대한 재검토
2007.06	Cradle 채택 결정 및 인터페이스 관리체계 구축작업
2007.08	인터페이스 관리방안 정리
2007.08.30	인터페이스 관리방안에 대한 사업단 검토
2007.09.10	인터페이스 관리방안 시행에 대한협의(사업단, 1핵심) - 1핵심에서 정리한 관리방안대로 시행키로 함.
2007.10 ~	지속적인 모니터링을 통한 현황 파악 월간 보고를 통한 미완료 인터페이스 현황 사업단 보고



[그림 15]Cradle Web

(2) 인터페이스 쟁점사항 조정 방안 수립

도시형자기부상열차실용화사업의 각 과제간 발생하는 모든 인터페이스 사항은 인터페이스 관리툴인 Cradle Web에 등록하고, 인터페이스 관계자 상호간에 해결을 원칙으로하며, 과제 간 미결 인터페이스 발생 시의 인터페이스 조정절차는 다음과 같이 정립하여 본과제에서 개발한 시스템엔지니어링관리계획에 포함하였다.

(가) 1차 조정 (핵심과제 내부 또는 핵심과제 간)

- 쟁점이 발생된 핵심과제 책임자 간 인터페이스 회의를 통해 쟁점사항 조

정

- 해결된 쟁점은 DB 관리를 위해 Cradle Interface Server에 합의되었음을 기록하고 조정된 자료를 Cradle Interface Server에 첨부
- 1차 조정이 이루어 지지 않을 경우 쟁점을 발생한 핵심과제 책임자는 조정을 하지 못한 사유를 이메일로 2차 조정기관(1핵심)에 통보하고 Cradle Interface Server에 이를 기록

(나) 2차 조정 (1핵심 주재 조정)

- 1핵심과제 책임자를 조정자로 하는 인터페이스 회의를 통해 쟁점사항 조정
- 해결된 쟁점은 DB 관리를 위해 Cradle Interface Server에 합의되었음을 기록하고 조정된 자료를 Cradle Interface Server에 첨부
- 2차 조정이 이루어 지지 않을 경우 1핵심과제 책임자는 조정을 하지 못한 사유를 이메일로 3차 조정기관(사업단)에 통보하고 Cradle Interface Server에 이를 기록

(다) 3차 조정(사업단장 주재 조정)

- 사업단장을 조정자로 하는 인터페이스 회의를 통해 쟁점사항 조정
- 해결된 쟁점은 DB 관리를 위해 Cradle Interface Server에 합의 되었음을 기록하고 조정된 자료를 Cradle Interface Server에 첨부

다. 실용화사업 시스템 통합

본 과제에서는 시스템 통합을 효과적으로 수행하기 위하여 시스템엔지니어링 관리계획(SEMP)를 사업수행 초기에 수립하여 통합업무의 기본계획으로 활용하였다. SEMP내에서 시스템요구사항, 규격서, 리스크, 기술적성과, 설계검토 및 변경, 문서관리 등에 관한 수행절차, 일정계획, 관리방법 등이 기술되어 있다. 이중에서도 1단계에서는 시스템요구사항 설정, DR(Design Review) 수행 (PDR , CDR 수행) 및 이의 관리가 중점적으로 이루어 졌다. SEMP에 규정된 설계검토/변경, 규격서, 리스크, 문서관리 이외에도 시범노선 운영시나리오 작성, 도시철도 관련 법규 제/개정 방향 검토, 시범노선이전의 시험선에 대한 개보수 지원 등이 시스템 통합의 차원으로 본 연구에서 수행되었다.

(1) 시스템엔지니어링 관리계획(SEMP) 수립

(가) SEMP의 역할

- 사업의 총괄관리업무 및 시스템엔지니어링 통합업무를 관리하기 위한 기본문서
- 사업단, 각 핵심, 세부, 협동과제들의 업무수행 지침서

(나) SEMP의 목적

- 업무프로세스의 문서화
- 시스템엔지니어링 관리 기법의 적용

(다) 주요 개발 일정

일 시	내 역
2007.11.01 ~ 2008.02.22	도시형 자기부상열차 시스템엔지니어링 관리계획 1차 초안 작성 - 유사 프로젝트 SEMP 비교검토 : 용인경전철, 부산/김해 경전철, 동력분산형 고속철도 - 자문기관 자문(시스템체계공학원)
2008.03.01 ~ 2008.03.31	시스템엔지니어링 관리계획 수정을 위한 타 과제 검토 1차 요청 및 수정/보완
2008.03.25	부산-김해 경전철 시스템엔지니어 실무자와 SEMP 관련 자문

2008.04.01	도시형 자기부상열차 시스템엔지니어링 관리계획 2차 초안 작성
2008.04.02	시스템엔지니어링 관리계획 추진을 위한 설명회 개최(기계연)
2008.04.03 ~ 2008.04.30	시스템엔지니어링 관리계획 수정을 위한 타 과제 검토 2차 요청 및 수정/보완
2008.04.25	2,3핵심 방문 SEMP관련 협의 진행
2008.05.02	시스템엔지니어링 관리계획 3차 초안 작성 및 승인 요청
2008.05.09	사업단 조건부 승인
2008.05.09 ~	시스템엔지니어링 관리계획에 따른 SE 관리 및 SEMP 보완

(라) SEMP의 구성

시스템엔지니어링 관리계획(SEMP) 구성	
개요	제6장 기술적 성과 측정 관리(TPM)
제1장 서론	제7장 설계검토(Design Review)
제2장 조직 및 책임	제8장 설계변경관리
제3장 시스템요구사항 관리계획	제9장 인터페이스 관리
제4장 규격서	제10장 문서 관리
제5장 리스크 관리	제11장 전문 공학분야 통합

(2) DR(Design Review) 수행

(가) PDR 수행

- 기본설계가 끝나는 시점에서 설계 및 개발 법안에 대한 시스템요구사항(SR) 반영의 적합성 검증 수행
- 검증 분야 및 적용분야

검증 분야	적용 분야	
시스템요구사항 (SR)	개발 법안	건설 규칙
		차량 안전기준에 관한 규칙
		표준 규격
	시범노선 기본 설계	노반 분야 기본설계
		궤도 분야 기본설계
		건축 분야 기본설계
		신호 분야 기본설계

		통신 분야 기본설계
		전력 분야 기본설계
		검수 분야 기본설계

- 후속 조치

: 작성된 VM에 대한 검토 후 검토의견이 기본설계 및 법안에 반영되도록 조치

(나) CDR 수행

- 차량 개발분야 상세설계 및 시범노선 구축분야 실시설계가 마무리되는 시점에서 설계 성과물에 대한 시스템요구사항, 건설규칙 및 안전기준, RAMS요구조건, 토목설계기준 반영의 적합성 검증 실시
- 검증 분야 및 적용분야

검증 분야	적용 분야
시스템요구사항 (SR)	차량 분야 상세설계
	신호 분야 기본설계
	통신 분야 기본설계
	전력 분야 기본설계
	선로구축물 분야 실시설계
	역사 분야 실시설계
	차량기지 분야 실시설계
건설 & 안전 기준	차량 분야 상세설계
	신호 분야 기본설계
	통신 분야 기본설계
	전력 분야 기본설계
	선로구축물 분야 실시설계
	역사 분야 실시설계
	차량기지 분야 실시설계
RAMS 요구조건	차량 분야 상세설계
토목설계기준	차량 분야 상세설계
	신호 분야 기본설계
	통신 분야 기본설계
	전력 분야 기본설계
	선로구축물 분야 실시설계
	역사 분야 실시설계
	차량기지 분야 실시설계

- 후속 조치

·'09.12.3일 1핵심 주관(사업단 주관 인터페이스 조정회의 중)의 워크샵을 통해 합동 검토 및 이견 조정 수행

·'09.2월 VM sheet 완성(1-1세부과제)

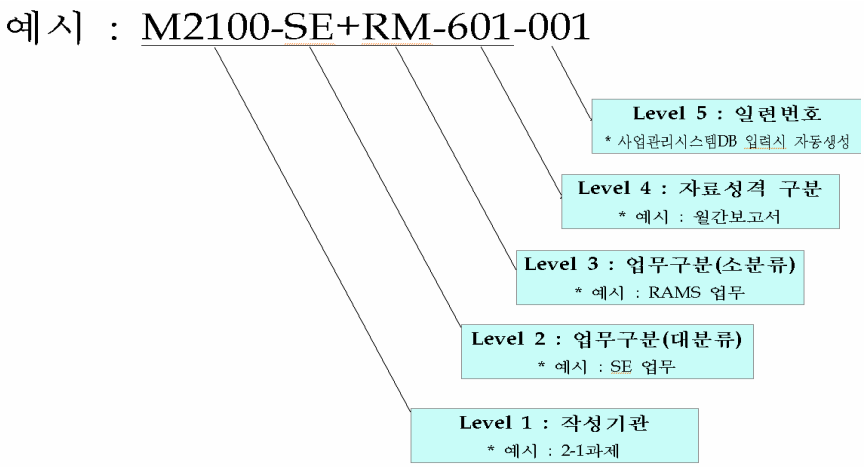
·CDR을 통해 수집된 설계 내용을 반영한 규격서 보완(1-1세부과제)

·현재('09.4.29) 사업단 승인을 위해 3핵심의 최종 검토는 완료한 상태이며, 2핵심의 최종 검토 결과 확인 중

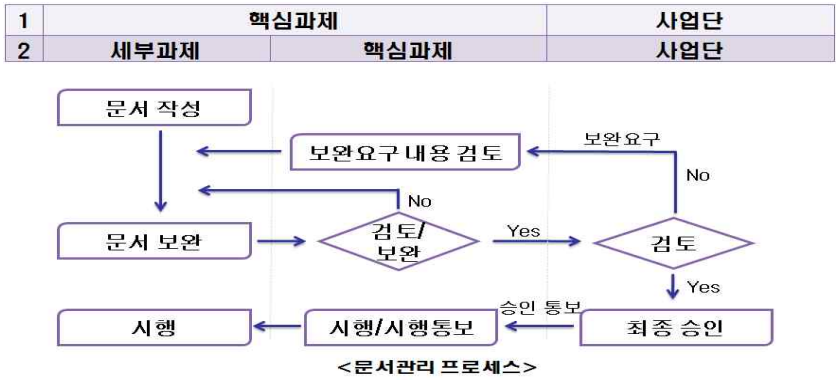
(3) 문서관리 체계 확립

도시형자기부상열차실용화사업에서 발생하는 문서를 관리하기 위하여 문서관리체계를 확립하여, 사업참여 전체 과제에서 적용하고 있으며, 개발된 문서관리체계는 다음과 같다.

(가) 문서 분류체계

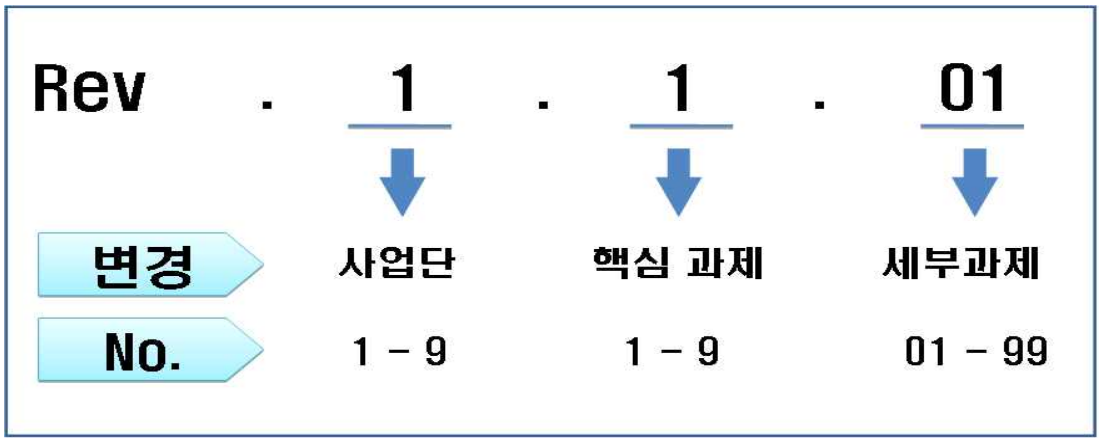


(나) 문서 검토 및 승인 절차



<문서관리 프로세스>

(다) Rev. 관리 체계



(4) 리스크 관리계획 수립

(가) 리스크 관리의 목표

리스크를 식별하고 (Risk Identification), 리스크의 수준과 리스크의 타당성을 분석하고 (Risk Analysis/Assessment), 리스크의 원인을 제거하기 위하여 적절한 조처를 취하고, 리스크가 일어날지도 모르는 가능성을 줄이고 리스크가 실제로 일어날 경우, 그 결과와 영향을 최소화 한다.

(나) 과제별 역할 분담

구 분	업 무	담당과제
리스크 관리 일정계획 수립	리스크 관리계획서 작성을 위한 일정계획 수립	1핵심
리스크 항목(초안) 선정 및 배포	리스크 관리 항목 초안 선정 및 배포	1핵심 사업단
리스크 관리 템플릿 작성	리스크 관리 항목에 대한 검토 및 경감방안/발생 후 조처방안 작성	사업단 2,3핵심
리스크 관리 계획서 작성	리스크 관리 항목 확정 및 평가방안 등을 보완한 관리계획서 작성	1-1과제 1핵심
리스크 관리 계획서 검토 및 승인	작성된 리스크 관리계획서 검토 및 승인	2,3핵심 사업단
지속적인 모니터링 및 관리	사업 종료까지의 지속적인 모니터링 및 리스크 관리	1-1과제 1핵심

(다) 리스크 관리계획서 초안 작성

- 리스크 관리에 대한 타 사업 사례조사
  · 철도관련 타 사업에서는 리스크 관리 실적 등 우리 사업에 참고할 수준의 자료는 없었음
- 리스크관리계획 개발을 위한 전문가 자문 실시
  · 시스템체계공학원 민성기박사 방문 자문 실시('08.10월)
  · 우리사업의 리스크관리 방안 관련 김인근박사 주제 세미나 실시 ('09.3월)
- 리스크 항목 도출, 리스크 경감방안 및 발생 시 대처방안을 포함한 리스크 관리계획서 초안 개발
- 구성

리스크 관리계획서 구성	
1.0 서론	4.0 위기관리의 범위 및 한계
2.0 위기관리의 원칙	5.0 위기관리와 Project Management의 관계
3.0 위기관리의 과정	

(라) 리스크 관리 항목 도출

구 분	항 목
부상계	자기부상열차 운행 중 부상계의 일부가 고장이 발생함. 그러나 부상계가 고장 났다는 것을 알 뿐 부상계의 전부 또는 일부 , 부상계 어느 차량, 몇 번 대차, 몇 번 코너, 어느 부품 (예: gap 또는 가속도 센서, chopper, 부상제어기 , 신호선, 전자석)에서 문제가 있는지 즉각적으로 파악이 필요. monitoring 이 필요.
	운행 중 부상제어기 /chopper / Sensor 고장 .
	운행 중 dc/dc 고장.
	운행 중 과도한 궤도수직단차로 (3 mm 이상) 인한 부상제어의 불안정 발생
	과부하 (너무 많은 탑승인원) 으로 인한 부상제어 실패
	계속된 과부하 운행으로 인한 전자석 절연파괴
	정지부상 또는 운행 중 궤도 진동 발생
추진계	운행 중 vvvf 1 대 고장발생
	운행 중 vvvf 2 대 모두 고장발생
	겨울철 Reaction plate 상 결빙으로 인하여 추진이 불가능.
	추진계 고장 시 추진계를 구성하는 부품 중 어디에서 (예 : 주회로 차단기, IGBT, Gate driver 등) 문제가 발생하였는지 즉각 파악이 안됨. 추진계 monitoring system 필요.

구 분	항 목
차량계	자동운행실패 또는 응답시간 지연으로 인한 제동거리 내 정차 또는 감속 실패, 인접차량과 충돌
	운행 중 door system 오동작으로 인하여 승객이 선로에 떨어짐
	운행 중 차내 화재 발생 시 차량이 급정차 및 출입구가 즉시 개방되어 승객이 안전하게 대피할 수 있어야 하는데 본 시스템이 hareware/software 적으로 준비가 안되던지 또는 작동실패하여 승객이 위험에 처함.
	승하차시 차 정전기로 인한 승객 감전사고 발생
	제어불안정으로 인하여 고속운행 중 차가 선로위에 떨어짐 또는 전자석이 선로에 흡착됨. 큰 Jerk 로 승객이 차 기물에 충돌사고 발생
	운행 중 부상계 고장발생시 차량의 감속 - 정지 기능이 원활히 작동되지 않아 결국 선로에 충돌사고 발생
신호통신계	차량과 운영센터와의 신호/통신 두절 /오작동 발생
	분기기와 차량진행방향과의 신호 오동작으로 인하여 차량이 분기기 구조물과 충돌사고 발생
	차량과 승객과의 통신두절 /오작동 발생
전원공급계	운행 중 정전사고 발생
	어떤 외부적인 요인에 의하여 전원이 심하게 흔들려 차내 부상/추진에 좋지 않은 영향을 미침
궤도계	계절 및 온도 변화에 의하여 선로의 선형에 문제 (과도한 수직/수평단차, 길이방향의 굴곡발생) 발생
	분기기 정전사고 발생
	차량운행 중 분기기 고장
	정차역 platform에서 승객이 선로 아래로 떨어지는 사고 발생
	계절 및 온도변화로 인한 집전선이 뒤틀리는 사고 발생
	지반침하로 운행이 불가능할 정도로 선로의 선형이 망가짐
	운행 중 부상/추진 실패로 인하여 승객이 비상대피로로 탈출할 경우 승객이 지상으로 대피할 수 있는 비상계단 유무.
	시범선로는 바닷가에 설치됨. 염분이 많은 바닷바람에 의하여 선로(guideway 및 거더) 의 부식이 빨리 진행될 것으로 예측됨.
	세월이 지남에 따라 Reaction plate 가 Back iron 으로부터 유리되는 - 뜨는 - 현상이 발생할 가능성이 있음.
시스템운영	차량충돌, 화재 등 critical 한 사고발생시 사고대책 시나리오가 마련되어야함
	시스템 고장 시 고장운행절차를 관리하기 위한 운영 및 유지보수지침이 마련되어야함
	고장정비가 완료될 때 까지 승객안정성이 확보되는 열차운행절차가 마련되어

구 분	항 목
	야함.
	운행 중 직선 또는 곡선에서 부상계/추진계 고장으로 인하여 부득이 차량을 견인해야 하는 경우가 발생할 것이다. 견인장치는 마련되어야함.

(마) 후속조치

- 리스크항목에 대한 리스크 경감대책 및 발생시 대처방안 의견 수렴(3핵심 의견 수렴 완료, 2핵심 검토 중)
- 2단계 연구개발업무 개시 전 우리사업 전반에 대한 시스템 엔지니어링 관점에서 고려필수사항 및 2단계 우리사업의 리스크관리 방향에 대해 시스템 체계공학원의 민성기 박사 주제 세미나 개최 예정

(5) 시범노선 운영시나리오 작성

(가) 필요성

- 신교통 시스템으로 개발되는 자기부상열차의 대중교통시스템으로서의 안전성과 신뢰성 확보
- 시범노선에서 안전하고 효과적이고 신뢰성 높은 열차서비스를 제공하기 위한 운영개념 정립
- 차량, 전력, 신호, 통신, 기계, 검수, 건축 등 시범노선 각 하부시스템 설계의 기준 정립
- 자기부상열차 시스템의 안전성 확보와 저비용 고효율의 서비스 제공
- 향후 운영기관이 작성할 시범노선 운영 및 유지보수 지침/규정의 기본개념 정립

(나) 구성

시범노선 운영시나리오 구성	
제1장 정상모드 운영	제3장 성능저하모드 운영 (차량기지)
제2장 성능저하모드 운영(본선)	제4장 비상모드 운영

(다) 개발 일정

일 시	내 역
2008. 04.05	시범노선 운영시나리오 초안 작성
2008. 04.05 ~ 2008.05.08	내부 검토 및 보완
2008.05.09	시범노선 운영시나리오 1차 검토 요청
2008. 05.10 ~ 2008.05.26	검토의견 취합 및 수정
2009.03.31	시범노선 운영시나리오 개정 - 초안에 대한 2, 3핵심 검토결과 반영 필요 - 시범노선 구축분야 실시설계 진행 및 차량분야 상세설계 진행에 따라 운영시나리오 검토/보완 필요
2009.03.31	사업단 승인을 위해 2, 3핵심 최종 검토 요청

(6) 도시철도 관련 법규 제/개정 방향 검토

도시철도 관련 법규 제/개정 방향을 검토/확인하여, 도시형자기부상열차실용화사업의 법규(안) 개발의 상호 연계성을 유지하기위하여, 제4세부과제 및 사업단과 공동 검토하여 도시철도 관련 법규 제/개정 사업 관련기관에 검토의견을 다음과 같이 개진하였다.

- 도시철도차량 제개정 관련 검토(08.02.29)
- 도시철도차량 안전기준 검토(09.01.29)
- 도시철도운전규칙 개정(안) 검토(09.04.20)

(7) 시험선 개보수 지원

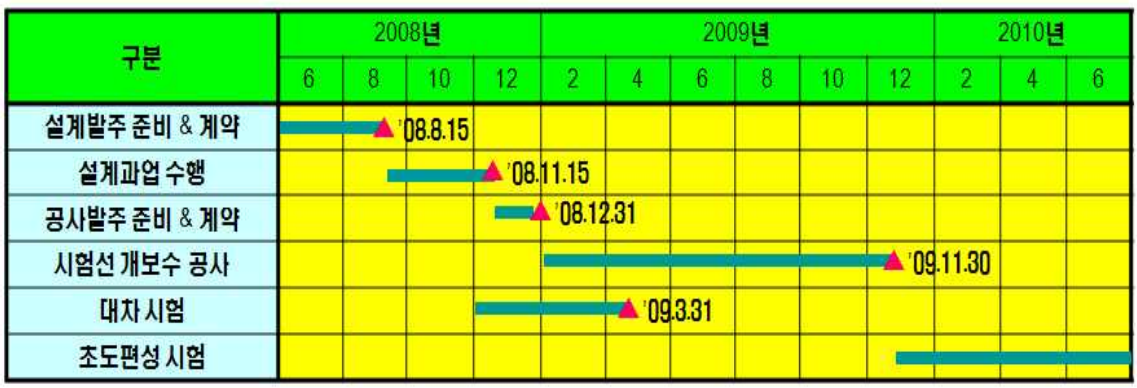
(가) 목적

- 도시형자기부상열차 실용화 차량이 시범노선에서 운행되기 전 대차 시험 및 완성차시험을 진행하기 위한 시험선 개보수 지원
- 3핵심 연구성과물인 제3궤조, 레일, 분기기 등을 시범노선에 적용하기 전 시험선에 설치하여 신뢰성 및 안전성 확보

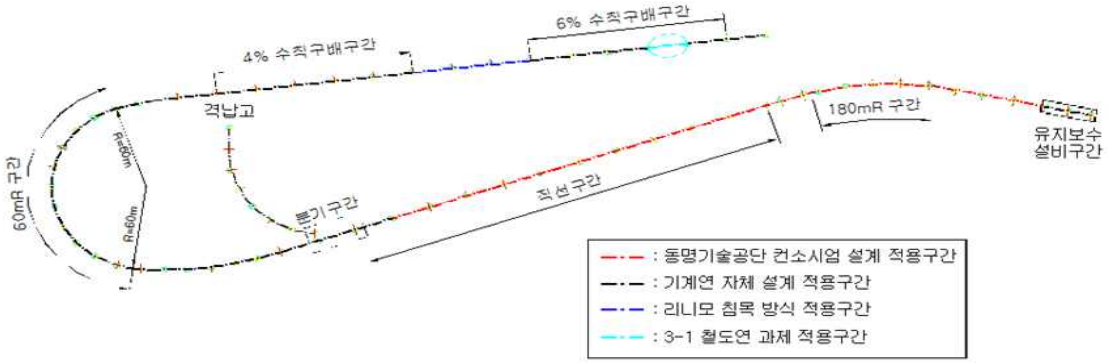
(나) 주요 일정 및 내용

일 시	내 용
2008.12.26	4대차시험 관련 지원 요청 사항 협의/검토 - 4대차 대차시험 구간 및 일정 협의 - 2핵심 요청사항 협의
2009.01.08	실용화사업 시험용 대차 시험지원 방안 협의 - 대차시험 지원 방안 협의 - 시험일정 검토
2009.01.16	실용화사업 시험용 대차 시험일정 협의 - 시험일정 검토 및 궤도검측시스템의 활용방안 협의
2009.02.03	시험선 상부궤도 개보수 시 3-1 연구 성과물 적용방안 회의 - 3-1과제 성과물의 적용 위치 점검 및 현황 파악 - U형 거더와 바닥판, 트윈블럭 침목 적용 가능성 협의 - 3-1과제 성과물 적용 시 소요경비에 대한 견적 범위 협의 - 3-1과제 성과물 적용에 따른 향후 추진일정 협의
2009.02.17	시스템 상부궤도 개보수사업 공정표 검토 및 일정 협의 - 시험선 상부궤도 개보수 공정 및 일정 협의 - 부상레일과 곡가공제품, 추진레일 등의 관급자재 제작에 따른 인수 방안 협의
2009.03.05	시험선에 3-1과제 성과물 적용을 위한 견적초안 검토 및 향후 일정 협의 - 시험선에 3-1과제 성과물 적용을 위한 견적초안 검토 - 시험선 3-1과제 성과물 적용 향후 일정 협의
2009.04.23	UTM-01 해체 및 하역작업과 상부궤도 철거작업 일정 협의 - UTM-01 해체 및 하역방법과 일정 협의 - 상부궤도 철거작업 재개에 따른 철거일정 협의 - 유지보수설비구간 내 콘크리트 구조물 철거방법 협의

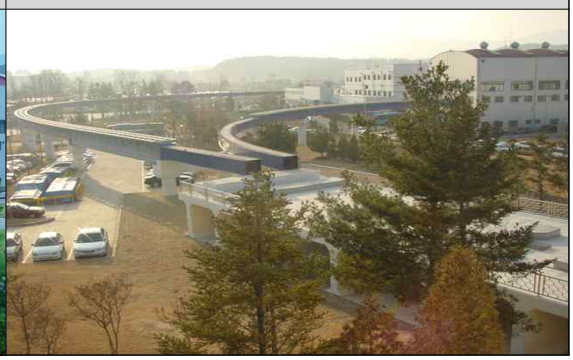
(다) 시험선 개보수 일정



(라) 시험선 노선도



(마) 분기기 구간 공사현황

개보수 전	개보수 후(현재)
	

(바) 대차 시험 지원



- 2핵심에서 진행한 대차에 대한 주행시험, 부상시험, 곡선 추종성시험, 승차감 시험 등 지원
- 대차시험기간 : 2008.11월 ~ 2009년 4월

라. 인터페이스 관리

자기부상열차시스템은 Sub System 별로 (i) 차량 (ii) 궤도 (iii) 지상전원공급장치 (iv) 자기부상시스템 중앙제어실 (C.C.R ; Central Control Room) (v) 신호통신시스템으로 구성된다. 본 실용화사업에서는 (주)현대로템에서 차량개발을 담당하고 한국철도시설공단에서 차량을 제외한 궤도, CCR, 신호통신시스템 개발을 담당한다. 한편 본 실용화사업단 및 시스템통합은 한국기계연구원에서 담당한다. 본과제 “자기부상열차시스템통합”의 주요 업무중 하나는 과제제목에서 명시하고 있는 바, 실용화사업에 참여하고 있는 여러 기관에서 개발된 기술들을 유기적으로 통합 (System Interface) 관리하는 것이다. 이를 위하여 다음과 같은 업무를 수행하였다.

- 사업단 주관의 인터페이스 조정회의 지원
- 핵심과제간 인터페이스 관리
- 인터페이스 조정에 의한 통합 공정표 수정/보완
- 1 핵심 세부과제내 공정관리 및 I/F 조정

(1) 인터페이스 조정회의 실시(사업단 주관, 1핵심 지원)

(가) 1,2,3차년도 인터페이스 조정회의 실시

- 차년도 신규 인터페이스 항목에 대한 검토 및 조정
- 미완료 인터페이스 현안들의 점검 및 조치결과 검토 및 조정

(2) 핵심과제 간 인터페이스 관리

(가) 2핵심-3핵심 간 인터페이스 조정 지원

- 지금(1, 2, 3차년도)까지의 인터페이스 관리는 주기적인 현황 모니터링 수준으로 소극적으로 수행되었으나,
- 2단계부터는 과제간 인터페이스 회의 참석 및 필요시 인터페이스 회의 주관을 통한 실질적인 인터페이스 현황 파악 및 조정역할 수행 예정

(나) 성능시험자 선정 관련 2핵심-1-3과제 간 협의 지원

- 도시철도법에 근거한 기존 성능시험자에 의한 성능시험은 우리사업의 특수성(연구개발과 실용화가 동시에 추진, 자기부상열차 고유의 특성 등)에 적합하지 않을 수 있는 점 등을 고려하여,
- 한국기계연구원이 현행 도시철도법에 기준한 성능시험자 자격을 취득하되 행정절차는 1-3세부과제 주관으로 시행하여,
- 도시형자기부상열차의 성능시험은 우리사업의 특수성을 반영하여 시행예정
- 현재('09.4.29) 국토부에서 성능시험자 지정을 위한 적합성 검토 중

(다) 시범노선 분야 RAMS 수행을 위한 3핵심-1-2과제 간 협의 지원

- 1-2과제 RAMS 수행 중 시범노선 구축분야에 대한 RAMS 수행범위 및 국내철도산업 인프라를 고려한 수행 관련 3핵심과의 이견 사항 발생
- 1-0핵심과제 주관으로 1차 조정 회의 실시('09.4.6)
- 3핵심과의 회의결과 보고 및 사업단 판단 필요사항 질의('09.4.16)
- 사업단장-핵심과제책임자회의에서 협의/결정 예정

(라) 시스템엔지니어링 동향보고서(1-1세부과제 작성) 배포/관리를 통한 인터페이스 현황 파악 및 관리

- 3차년도 중반기부터 1-1세부과제에서 작성하는 시스템 엔지니어링 동향보고서를 검토 및 관련과제에 배포하고,
- 격주 단위로 점검되는 과제간 인터페이스 혐황을 배포하여,
- 지속적으로 지연되는 과제간의 인터페이스 현안 사항을 과제간 공유하여
- 인터페이스 지연 최소화 관리 추진 예정

(3) 인터페이스 조정에 의한 통합 공정표 수정/보완

- 인터페이스 조정에 의한 통합 공정표 수정/보완
- 인터페이스 조정에 의한 1핵심 공정표 수정/보완

(4) 1핵심 세부과제 공정관리 및 I/F 조정

- 공정회의를 통한 세부과제 공정관리

마. 하위 세부과제 관리

자기부상열차를 실용화하기 위해서는 차량, 궤도, 신호/통신, 전력공급 등의 Hardware 기술개발 및 시스템 인터페이스 외에 자기부상열차 관련 법제화, 시스템요구사항(System Requirement) 및 규격(System Standards) 제정, 자기부상열차 RAMS 및 LCC 분석, 구성품 및 시스템 종합 시험평가 등 Software 관련 기술개발이 필요하다. 본 " 시스템통합 " 과제에서는 이를 위해 다음 4개의 세부과제를 지원/관리한다.

- 자기부상열차 시스템엔지니어링 체계구축 및 규격 추적관리
- 자기부상열차 RAMS 및 LCC 분석
- 자기부상열차 시험평가. 인증
- 도시형자기부상열차 관련 규칙 및 기준 법제화

(1) 시스템엔지니어링 체계 구축 및 규격 추적관리 지원

(가) 시스템요구사항(SR) 작성 지원

- 인천공항공사 및 타 핵심 검토 연계 지원
- 미해결 쟁점 사항 협의 지원
- 사업단 승인 업무 지원
- 시스템요구사항 주요 쟁점에 대한 협의 지원

: 최대강우강도, 최대강설강도, 결빙, 추락방지시설에 대한 기술검토 지원

(나) 차량 및 시범노선 규격 상세화 검토

- CDR을 통한 기본설계 및 실시설계 관련 자료 제공
- 시스템 규격서 검토 연계 지원
- 시스템 규격서 관련 3핵심과제와의 실무회의 지원
  (선로구축물, 역사, 차량기지, 신호, 통신, 전력분야)
- 개발된 상세 규격의 우리 사업 적용을 위해 2, 3핵심의 최종 기술 검토 과정을 거쳐 사업단 승인을 2단계 종료전 득하여 우리 사업 관련과제의 적용 근거 확보 예정

(2) RAMS 및 LCC 분석 지원

(가) RAMS 성능 목표치 설정 및 승인 지원

- RAMS 성능 모델 및 목표치 검토
- RAMS 성능 모델 및 목표치 설정을 위한 설명회 개최 지원(08.04.17)
- 사업단 조건부 승인 (08.05.23)

(나) RAMS 관련 교육 지원

교육명	도시형자기부상열차실용화사업 RAMS 교육
목적	RAMS 분야기술에 대한 교육으로 연구 성과의 완성도 향상
일시	2008년 7월 14일 ~ 2008년 7월 18일(5일간)
장소	한국기계연구원 본관 2층 세미나실
주관	현대로템(1-2세부과제), 한국기계연구원(1핵심과제)
주요내용	- 안전성 분석기법 및 위험도 평가 - RAMS 관리전반 - 세부내용 첨부참조

(다) 서브시스템 RAMS 요구조건 배포 및 적용 지원

- 2,3핵심 설계에 반영 조치
- 신호분야 발주 시 서브시스템 RAMS 요구조건 포함 발주
- 개발된 서브시스템 RAMS 요구조건의 우리 사업 적용을 위해 2, 3핵심의 최종 기술 검토 과정을 거쳐 사업단 승인을 2단계 종료전 득하여 우리 사업 관련과제의 적용 근거 확보 예정

(라) RAMS 수행방안에 대한 검토

- RAMS 수행범위와 방안에 대한 검토
- 시범노선 구축분야의 RAMS 수행범위 및 수행방안은 3핵심과의 이견사항 발생으로 사업단장-핵심과제책임자회의를 통한 조정 예정

(3) 시험평가·인증 지원

(가) 시험평가 종합계획(TEMP) 승인 지원

- 시험평가 종합계획(안) 검토
- 시험평가 종합계회(TEMP) 설명회 개최 지원
- 사업단 조건부 승인(08.06.19)

(나) 성능시험자 선정 지원

- 도시형자기부상열차의 고유특성을 반영한 성능시험수행을 위해, 한국기계연구원이 현행 도시철도법에 기준한 성능시험자 자격을 취득하되 행정절차는 1-3세부과제 주관으로 시행
- 현재('09.4.29) 국토부에서 성능시험자 지정을 위한 적합성 검토 중

(4) 도시형자기부상열차 관련 규칙 및 기준 법제화 지원

(가) 자기부상열차 표준규격 검토 및 협의 지원

- 표준규격(안)에 대한 검토
- 도시형자기부상열차 실용화를 위한 관련 법령 공청회 개최 지원 (08.07.16)
- 법안개발 현안 사항에 대한 협의 지원(2008.11.18)
- 도시형 자기부상열차 표준규격(안) 주요 규격 결정을 위한 공개토론회 개최 지원(08.03.26)

(나) 자기부상열차 안전기준 검토 및 협의 지원

- 안전기준(안)에 대한 검토
- 안전기준 관련 2핵심과의 협의 지원(2008.07.09)
- 도시형자기부상열차 실용화를 위한 관련 법령 공청회 개최 지원 (08.07.16)
- 법안개발 현안 사항에 대한 협의 지원(2008.11.18)

(다) 자기부상열차 성능시험 기준 검토 및 협의 지원

- 자기부상열차 성능시험기준에 관한 검토
- 도시형자기부상열차 실용화를 위한 관련 법령 공청회 개최 지원 (08.07.16)
- 법안개발 현안 사항에 대한 협의 지원(2008.11.18)

[1-1과제]

가. 요구사항 관리 체계 및 프로세스 연구

‘요구사항 관리’ 또는 ‘규격추적관리’ 등의 용어는 시스템엔지니어링에서 필수요소로 등장하지만 철도기술개발사업에서는 본격적으로 수행된 사례는 부족하다. 따라서 과제목표를 정확히 달성하기 위해서는 시스템엔지니어링에서 개념적으로 서술하고 있는 ‘요구사항 관리’ 또는 ‘규격추적관리’ 활동[1]을 도시형 자기부상열차 실용화사업에서 수행하기 위해 구체적인 접근개념과 방법을 정의할 필요가 있다. 먼저 실용화사업에 대한 본 과제의 임무 및 주요 업무를 정의하고, 타 과제와의 역할 분담을 정의하였다.

(1) 실용화사업에 대한 본 과제의 임무 정의

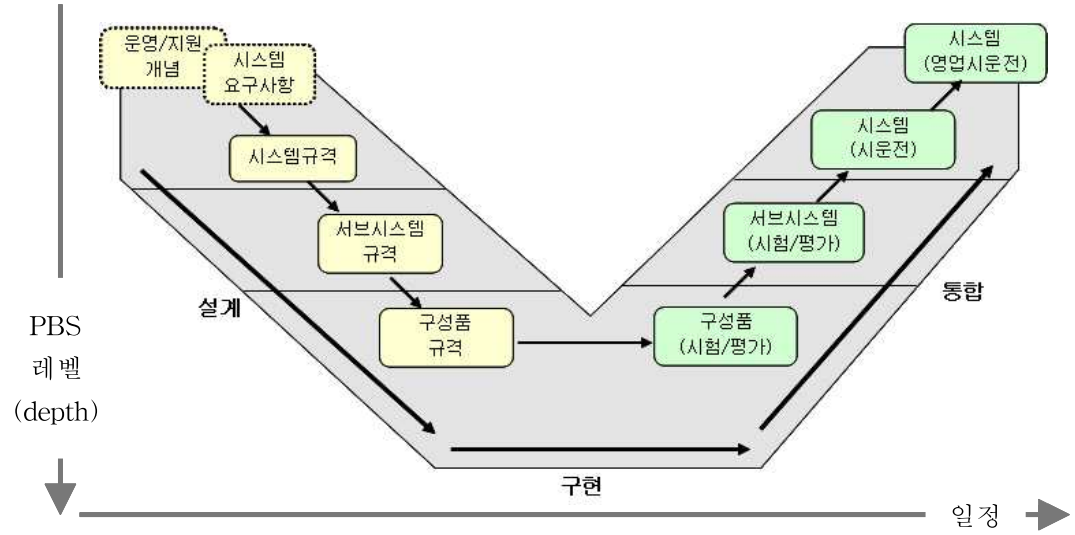
본 과제의 연구목표는 요구사항 데이터베이스와 관리 체계를 구축하고 이를 추적관리 하는 것에 핵심을 두고 있으며, 이를 위해 요구사항 분석, 운영개념 분석, 규격서[2] 작성 등의 업무를 주요 내용으로 하고 있다. 시스템엔지니어링에서 이는 크게 ‘요구사항 관리(Requirement Management)′ 활동으로 간주될 수 있다. ’요구사항 관리‘ 활동의 역할을 살펴보면 다음과 같다.

아래 그림은 일반적인 시스템엔지니어링 프로세스를 설명하는데 자주 사용되는 도식 중 하나인 Dennis M. Buede의 Vee 모델이다. 이것은 시스템의 설계와 통합이 이루어지는 과정을 거시적으로 나타낸다. Vee 모델에서는 가로 방향은 시간의 흐름을 나타내며, 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 프로젝트가 진행됨을 의미한다. 세로 방향은 시스템의 수준(depth)을 나타내며, 하단으로 갈수록 세부 구성품을 의미한다.

---

1) 일반적인 시스템엔지니어링 관련 자료에서 “Requirements Management″라는 용어로 대표된다.

2) 본 보고서에서는 사업단 지침에 의거 사양서의 용어 표기를 ‘규격서’로 통일하였다.



[그림 16]Dennis M. Buede의 Vee 모델

Vee 모델의 왼쪽 대각선은 시스템의 설계가 Top-down 방향으로 진행되는 것을 의미하고 하단은 시스템 설계에서 통합으로 넘어가는 과정으로 세부수준까지 설계된 부품이나 구성품을 제작하거나 외주구매를 통해 구현하는 과정이다. Vee 모델의 오른쪽 대각선은 시스템 통합이 Bottom-up 방향으로 진행되는 것을 의미한다. Vee 모델은 시스템을 큰 수준에서 작은 수준으로 분해해가며 문제를 해결(설계)하고, 반대로 작은 수준에서 큰 수준으로 시스템 통합을 이루어가는 시스템엔지니어링의 특징을 잘 보여준다.

본 과제의 역할에는 요구사항 수집, 운영개념 분석, 규격서 작성 등 여러 가지 내용이 포함되어 있으나, 거시적으로 볼 때 가장 핵심이 되는 것은 '요구사항 관리(Requirements Management)'를 수행하는 것으로 볼 수 있다.

시스템엔지니어링에서 '요구사항 관리'는 결국 사업에 대한 초기 요구사항을 설정하고 모든 요구사항들이 설계규격에 반영되고, 최종적으로 모든 규격들이 잘 구현되었는지를 구현되는 일련의 과정에 대한 관리활동이라고 볼 수 있다. 따라서, 본 과제에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업의 Vee 모델에서 왼쪽 대각선에 위치한 '시스템 설계'에서 정의된 요구사항이나 상세규격이 오른쪽 대각선에 위치한 '시스템 통합'에서 시험평가 및 기타 각종 검사활동에서 모두 검증되는지를 추적·관리하는 것을 '규격추적관리' 활동으로 정의하였다.



[그림 17]실용화사업 전주기(7차년도)에서의 '규격추적관리' 활동

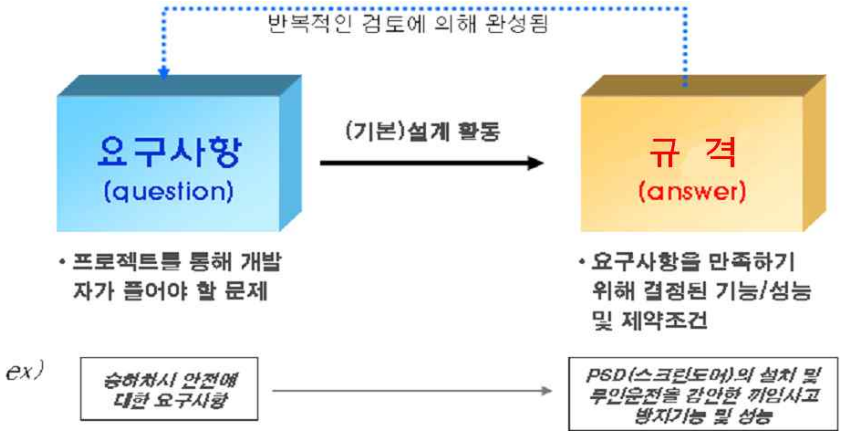
(2) 요구사항 및 규격 정의

○ 요구사항(requirements) : 이해관계자에 의해 시스템에 요구되는 모든 속성

○ 규격(specification) : 시스템을 제작하거나 시공하기 위해 규정되어야 할 기술적인 내용 중 도면으로 나타내기 어려운 사항을 문서화한 것

개발자의 입장에서 요구사항은 시스템이 만족해야 할 내용을 정의하는 문제 제시의 성격이 있는 반면, 규격은 요구사항을 만족하도록 설계활동을 통해 도출된 시스템의 기술적 속성들을 의미한다.

본 과제에서는 실용화사업의 전 영역에 걸쳐 요구사항을 정의하고 각 개발과제에서 도출되는 규격을 규격 추적 관리 데이터베이스에 반영하며 이에 대한 반복적인 검토를 수행함에 있어 사업의 진행 방향과 진척도를 가시화하는 것으로 요구사항 관리 개념을 정의하였다.



[그림 18]요구사항과 규격의 관계 정의

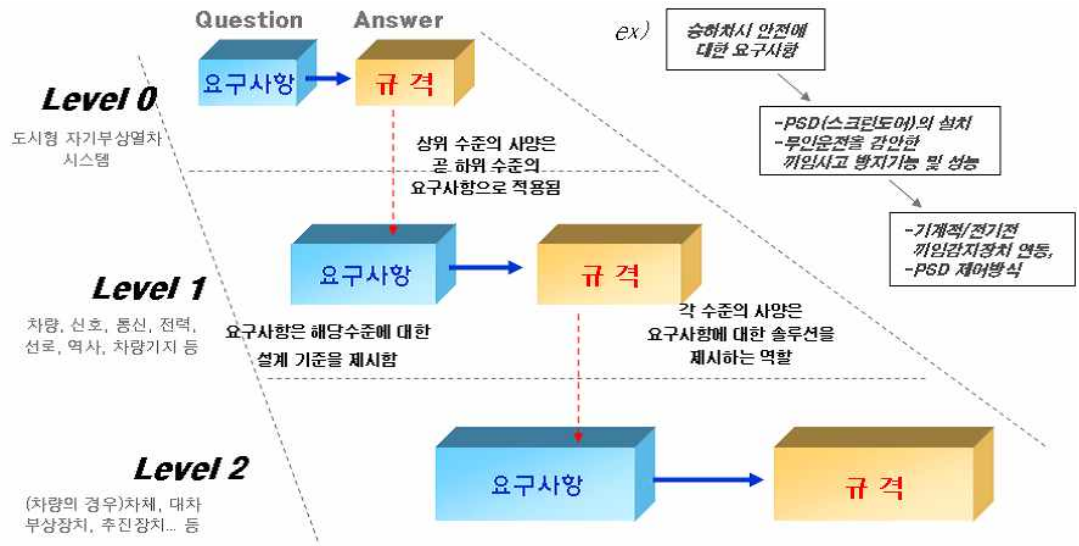
(3) 계층화 및 추적성 개념 정의

시스템엔지니어링은 규모가 크고, 다양한 학제분야가 관여하는 대형복합시스템에 대한 개발방법론이기 때문에 대상 시스템을 층별화하여 단계적으로 문제를 정의하고 해결하는 접근법을 취하고 있다. 요구사항은 개발활동에 부여되는 내용이며 규격은 개발활동에 의해 도출된 내용이라는 기본 개념은 시스템의 각 계층수준에서 재귀적으로 적용된다.

본 과제에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업에 포함되는 차량, 신호, 통신, 전력, 선로, 역사, 차량기지 등을 포함한 전체 개발대상을 최상위 시스템(Level 0)으로 간주하여 PBS(Product Breakdown Structure)를 구축하였다.

요구사항과 규격은 각 계층수준에서의 정의된 규격이 다음 수준의 요구사항으로 작용하는 재귀적인 특성을 가지고 있다. 예를 들어 도시형 자기부상열차 실용화사업의 최상위 수준에서 정의된 “승하차시 안전에 대한 요구사항”을 만족하기 위해 “PSD(스크린도어)의 설치” 및 “끼임방지 기능 및 성능”이라는 시스템 수준의 규격이 도출되었다면 이는 서브시스템인 차량 및 역사분야에 요구사항으로 전달되고 차량 및 역사수준에서는 이를 만족하기 위한 서브시스템 수준의 규격을 도출하는 것이다.

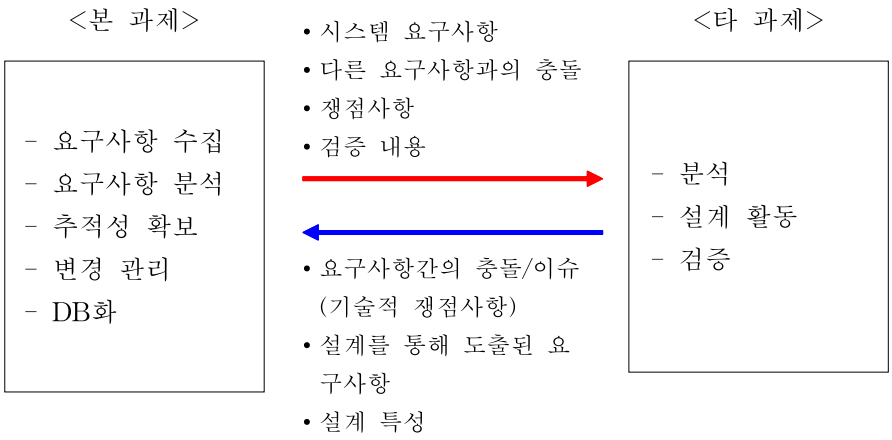
이와 같이 상·하위 수준의 요구사항 및 규격과의 기술적 상관관계를 규정하는 것을 추적성으로 정의하였다.



[그림 19]규격의 추적성 관리에 대한 계층적/재귀적 접근방법

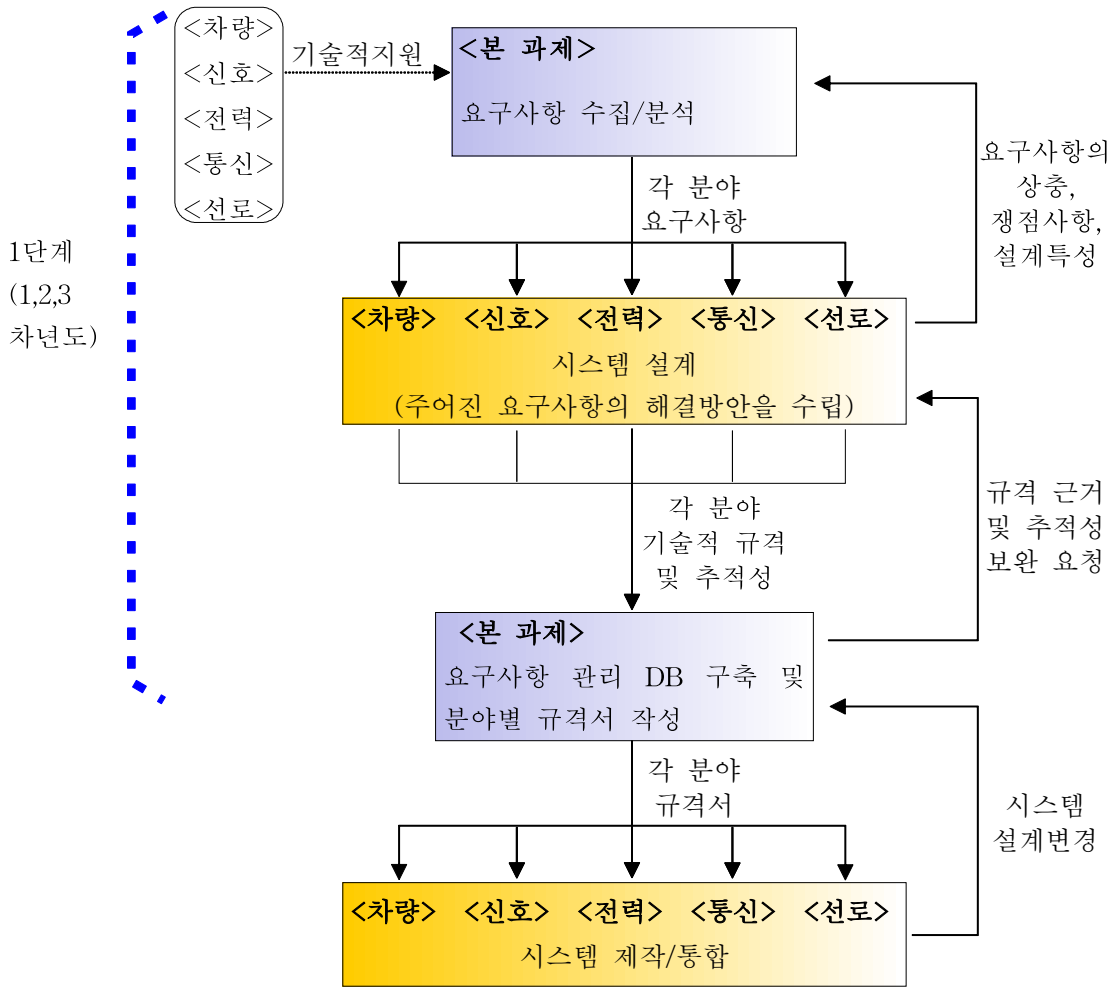
(4) 타 과제와의 역할분담 정의

본 과제는 도시형 자기부상열차 실용화사업 전반의 규격추적관리를 수행하기 때문에 실용화사업의 모든 개발 및 구축 분야와의 긴밀한 정보 공유 및 협의 체제가 중요하다. 실용화사업에 대한 다양한 요구사항을 수집·분석하여 시스템 요구사항을 수립하고 이를 실용화사업의 차량개발 과제와 시범노선구축 과제에 제시한다. 물론 기술, 일정, 자원 등과 같은 개발자 입장에서의 제약사항 역시 반영되어야 하기 때문에, 타 과제에서는 기술적 쟁점사항 등을 제안하고 협의할 수 있다.



[그림 20]본 과제와 타 과제 업무의 협조 체계

본 과제의 기본적인 연구개발 추진체계는 요구사항 수집/분석에 관한 활동을 수행하며 시스템 요구사항을 수립하여 타 과제 영역으로 분배하고 타 과제의 개발 및 분석활동에 의해 도출된 상세한 요구사항을 다시 요구사항 데이터베이스에 반영하는 형태로 진행된다. 구축된 요구사항 데이터베이스에서는 자동문서 출력기능을 개발하여 필요한 데이터를 선택하여 요구되는 결과문서를 생성하게 된다. 시스템 요구사항 및 기술적 규격을 구축에 관련된 실용화 사업 추진체계는 아래 그림과 같다.



[그림 21]본 과제와 타 과제업무의 협조 체계

현재는 1단계 종료상태이며, 2·3단계의 시스템 제작/통합에 대비한 요구사항 관리 DB가 구축되고, 사업단 승인을 위해 분야별 규격서가 핵심과제간 최종 검토 중이다.

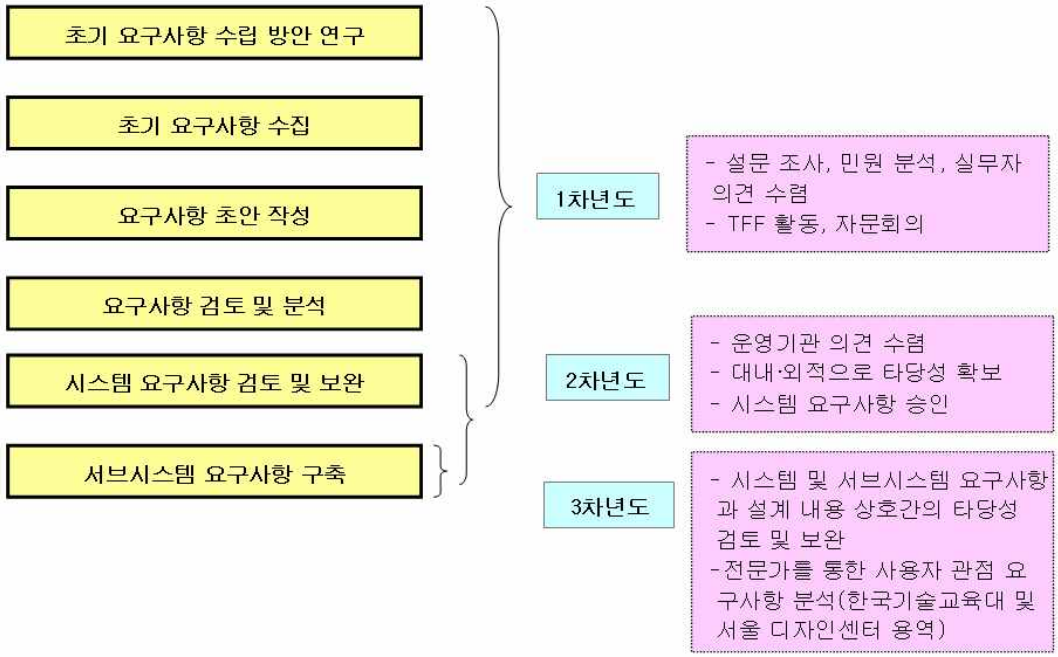
나. 시스템 요구사항 수립

(1) 목표

본 과업의 목표는 도시형 자기부상열차 실용화사업 전 영역에 걸쳐 요구사항을 정의하고, 대내·외적으로 요구사항에 대한 객관성과 전문성을 확보하는 것이다. 또한, 차량시스템 및 시범노선 설계를 위한 요구 조건의 역할을 통해 추적관리 체계 구축을 위한 기반 자료를 제공한다.

(2) 수행내용

본 과업의 주요 수행내용 및 연차별 수행내역은 다음과 같다.



[그림 22]시스템 요구사항 수립 과정

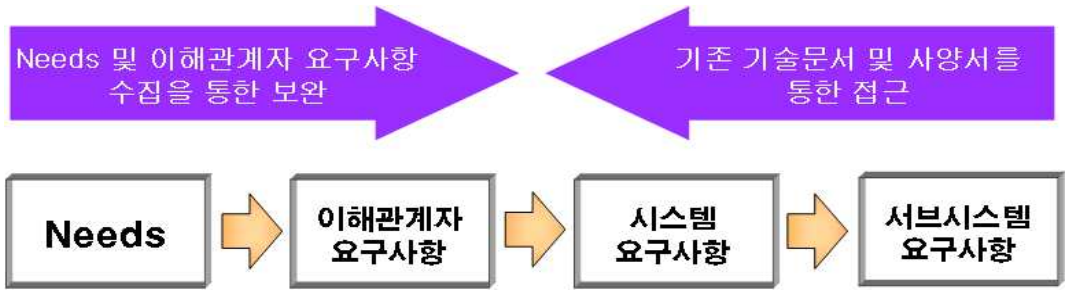
(3) 초기 요구사항 수립 방안 연구

기술 보완 등이 반드시 반영되어야 하는 본 실용화사업의 특성상 요구사항 작성 과정이 일반적인 발주사업과는 달리, 일방적인 top-down 방식으로 이루어질 수 없고, 대내·외 유관 기관별 협의를 통해 결정될 필요가 있다.

도시형 자기부상열차의 경우 기개발된 기술(중기거점기술개발사업)과 경쟁 시스템(일본의 리니모 노선)이 존재하며 기술적 측면에서 무인 경전철 시스

템과 유사한 점이 다수 존재하기 때문에 기존 기술문서 및 규격서를 검토하여 요구사항을 도출하는 리버스 엔지니어링(reverse engineering) 접근법을 활용하였다.

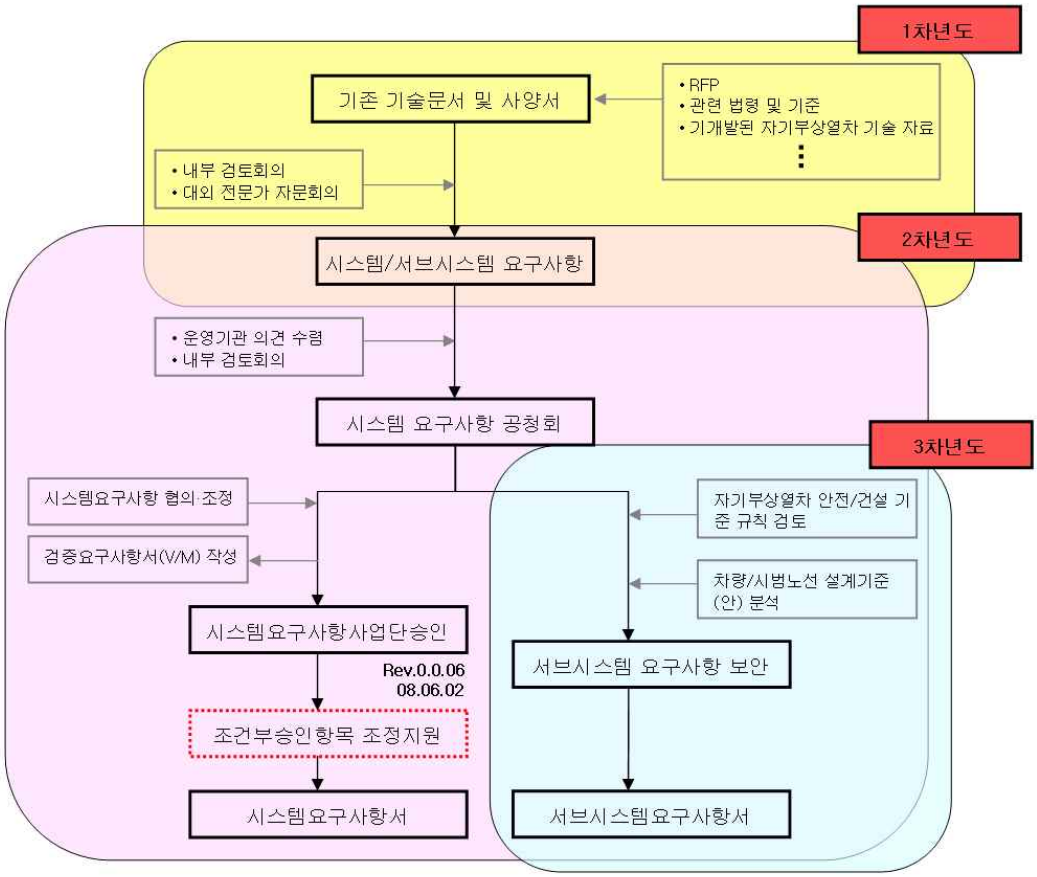
따라서 본 과제에서는 기존 기술 문서 및 규격서에서 초기 요구사항 초안을 도출하여 차량 및 시범노선 개발과제의 검토를 수행하고 사용자 관점의 요구사항을 보완하기 위해 승객 설문조사, 기존 도시철도 운영기관의 민원분석 및 한국기술교육대 디자인 공학과 등을 통해 사용자 관점 요구사항을 보완하는 등 양방향적 접근방법 활용하였다.



[그림 23]초기 요구사항 수립을 위한 양방향적 접근 개념

초기 요구사항 수집 및 보완에 관하여 연도별로 수행된 주요 업무는 다음과 같다.

- 1차년도는 운영기관 선정 이전 단계로 RFP, 관련 법령 및 기준, 기개발된 자기부상열차 기술 자료를 토대로 시스템 요구사항의 초안을 작성하고, 내부 검토회의 및 대외 전문가 자문을 거쳐 시스템 요구사항을 수립하였음.
- 2차년도에는 운영기관의 의견 수렴 및 대내·외적인 회의를 통해 시스템 요구사항에 대한 객관성과 전문성을 확보함. 보완된 시스템 요구사항은 사업단을 통해 승인.
- 3차년도에는 시스템 및 서브시스템 요구사항과 차량시스템/시범노선 분야 설계 내용 간의 타당성 검토를 통해 규격을 검증하고, 데이터베이스에 반영하여 요구사항/규격 추적관리가 가능하도록 함.



[그림 24]시스템/서브시스템 요구사항 도출 과정

(4) 초기 요구사항 수집

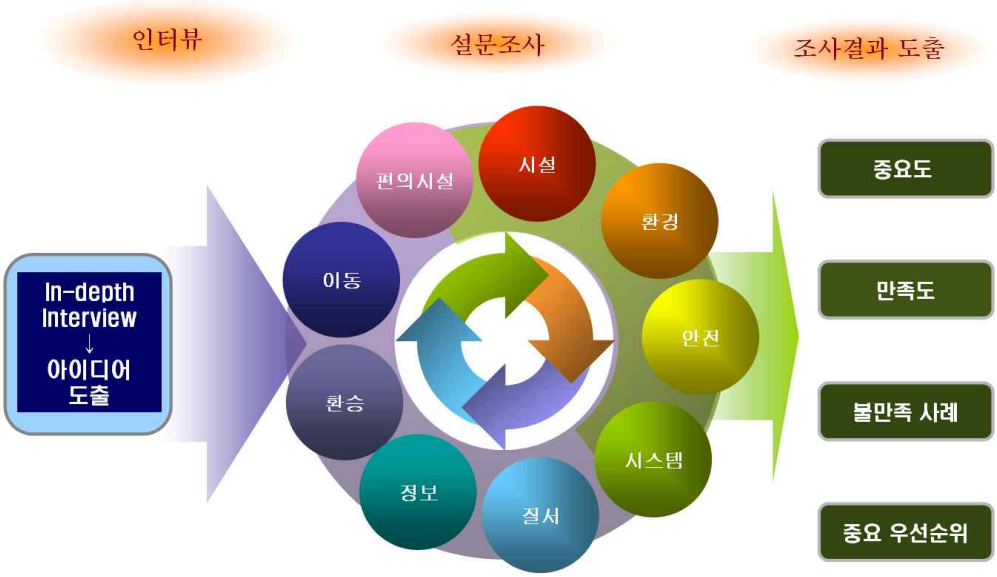
(가) 사용자 관점 요구사항 수집(Top-down 접근)

본 실용화사업 결과물의 대외 경쟁력을 확보하기 위한 방안의 일환으로 시스템의 엔드유저(End User)라고 볼 수 있는 승객이 도시형 자기부상열차를 사용하는 관점에서 발생 가능한 요구사항을 분석하여 시스템 요구사항에 반영하는 업무를 수행하였으며 주요 내용은 다음과 같다.

1) 승객 설문조사

설문조사 전문기관인 (주)제이리서치를 통해 도시철도 사용자의 불편사항, 개선사항 등의 요구사항을 수집하고 분석함.

가) 조사개요



나) 조사설계

○ 10명 인딥스 인터뷰 실시 후 설문 문항 작성, 설문조사 실시

○ 조사 지역 : 서울 특별시 지하철 1호선 ~ 8호선 구간

○ 조사 대상자 : 지하철을 이용자

○ 표본수 : 유효 표본 284명

인터뷰 대상자

조사 대상	서울 지하철 1호선~8호선 이용자
유효 샘플	총 10 sample
표본 추출	지하철 1호선당 1인(환승 포함) 이상 (출퇴근 시 주요 교통수단이 지하철)
조사 방법	가이드라인을 통한 1:1 심층 인터뷰
결과 분석	인터뷰 내용 스크립트 -> 키워드를 추출 -> 설문문항 작성

설문조사 대상자

조사 대상	서울 지하철 1호선~8호선 이용자
유효 샘플	총 240 sample
표본 추출	지하철 한 호선당 최소 30표본 이상 표본조사
조사 방법	구조화된 설문지를 통한 개별 면접조사
측정 척도	Likert 5(7) point scaling(추후 협의)

다) 조사 결과

○ 지하철 이용자를 대상으로 시설, 환경, 안전, 시스템, 질서, 이동, 편의시설, 환승, 정보 등 9개 범주에 대해 중요도 및 만족도 조사를 실시 결과 우선순위가 안전, 이동, 환경 순으로 조사됨.

○ 개선 요망 항목 11개를 선정하여 요구사항에 반영하였으며, 주요 내용은 다음과 같음.

- 안전한 지하철 이용을 위한 스크린 도어의 확대 등 인명사고를 최소화 할 수 있는 시설물 설치 및 시스템 확대가 필요
- 지하철 이용자의 주 이동 동선을 충분히 파악하고 분석함과 동시에 유동 인구를 분산하여 이동 통로의 밀도 완화
- 지하철의 모든 요소들이 단순히 이동 수단이 아닌 하나의 문화공간으로 탈바꿈할 수 있도록 다양한 아이템 개발을 통해 지하철에 대한 일부 부정적인 인식을 긍정적으로 전환시킬 수 있는 시도가 필요

라) 승객 요구사항 수집 관련 자문회의 실시

2) 민원분석

○ 서울메트로, 도시철도공사 등 운영 중인 도시철도 관련 홈페이지에 등록된 민원을 중심으로 조사

○ 매표, 안내 등에 관한 불친철이 가장 높았으며(42%), 운행시간 지연으로 인한 불만(33%), 차내 온도 조절에 대한 불만(21%)의 순으로 조사됨

3) 철도 운영 실무자 의견 수렴

○ 시범노선 선정 전 일반 도시철도 현장에서 근무하는 인력을 대상으로 하여 심층 인터뷰 형태로 수행

○ 운영지침의 확보, 안전, 소모품 수급, 정비소요 축소 등의 의견이 수렴되었으며, 주요 내용은 다음과 같음

주요 항목	내용	사례
시스템 구성의 효율성	- 승객 사용성을 고려한 개발이 되어야 함. - 각 지역 노선 상황에 따라 차	- 일본의 경전철의 경우 환승이 매우 편하게 역사가 구성되어 있음.

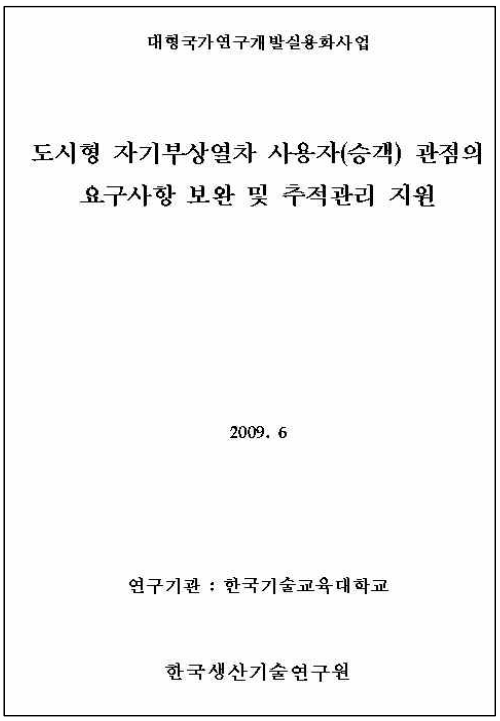
주요 항목	내용	사례
	량 구성을 최적화시킬 수 있는 시스템이 되어야 함.	- 수요가 적은 노선은 2량만 다니고 수요가 많은 노선은 3량 이상의 차가 운행됨.
시스템 모니터링의 중요성	- 차내, 역사, 선로, 승강장 등에 대한 모니터링이 중요함.	- 고등학생들이 장난으로 KTX 선로에 이물질을 올려놓아 사고가 발생할 뻔한 적이 있었음.
원활한 부품 수급	- 정비 분야의 가장 큰 관심은 원활한 부품 수급임. - 전동차량은 사용 연한이 길지만 새로운 기술이 적용됨에 따라 기존 부품에 대한 수급이 어려워지는 사례가 많음.	- VVVF 인버터의 경우 기존에 GTO 방식을 사용했으나, IGBT 방식이 나오면서 부품 수급 중단으로 IGBT 방식으로 교체해야 하는 상황임.
고장진단기능의 확보	- 전기/전자 부품은 기계부품에 비해 육안 점검이 곤란하기 때문에 고장 원인을 파악하기 어려움.	- VVVF의 경우 고정을 도저히 찾을 수 없어 VVVF를 구성하는 모든 기판을 정상적인 열차에 각각 분산/설치하고 열차들을 직접 구동하여 불량기판을 찾은 경우도 있음.

4) 전문가를 통한 사용자 관점 요구사항 보완 연구

○ 3차년도에는 사용자 관점에서 요구사항을 분석하는데 전문성을 지닌 한국기술교육대 디자인공학과와의 공동연구 수행

○ 1차적으로 서브시스템 중 승객의 편의에 직접적인 영향을 미치는 차량 및 역사분야 규격에 대한 사용자 관점 요구사항 보완 연구를 수행하여, 연구내용 중 규격서에 10개 항목을 보완

○ 향후 전체 시스템 영역으로 확장하여 지속적인 공동연구 수행 예정



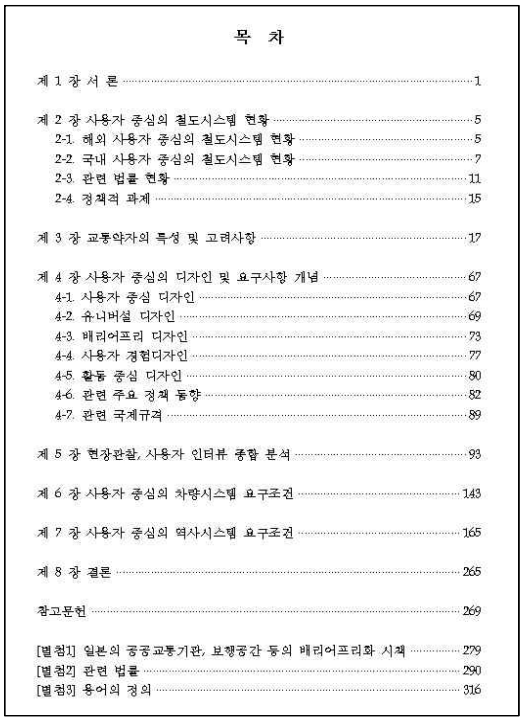
대형국가연구개발실용화사업

도시형 자기부상열차 사용자(승객) 관점의 요구사항 보완 및 추적관리 지원

2009. 6

연구기관 : 한국기술교육대학교

한국생산기술연구원



목 차

제 1 장 서 론 1

제 2 장 사용자 중심의 철도시스템 현황 5
2-1. 해외 사용자 중심의 철도시스템 현황 5
2-2. 국내 사용자 중심의 철도시스템 현황 7
2-3. 관련 법률 현황 11
2-4. 정책적 과제 15

제 3 장 교통약자의 특성 및 고려사항 17

제 4 장 사용자 중심의 디자인 및 요구사항 개념 67
4-1. 사용자 중심 디자인 67
4-2. 유니버설 디자인 69
4-3. 배리어프리 디자인 73
4-4. 사용자 경험디자인 77
4-5. 활동 중심 디자인 80
4-6. 관련 주요 정책 동향 82
4-7. 관련 국제규격 89

제 5 장 현장관찰, 사용자 인터뷰 종합 분석 93

제 6 장 사용자 중심의 차량시스템 요구조건 143

제 7 장 사용자 중심의 역사시스템 요구조건 165

제 8 장 결론 265

참고문헌 269

[별첨1] 일본의 공공교통기관, 보행공간 등의 배리어프리화 시책 279
[별첨2] 관련 법률 290
[별첨3] 용어의 정의 316

(나) 기존 기술문서를 통한 초기 요구사항 도출(Bottom-up 접근)

도시형 자기부상열차 실용화사업이 타 경전철 시스템 및 해외 유사시스템과의 경쟁력을 확보하기 위해 사용자 관점의 요구사항이 중요한 의미를 가지고 있겠으나, 시스템의 모든 분야에 대한 면밀한 요구사항을 제시하지는 않는다. 따라서 본 과제는 기존 자기부상열차 개발 및 국내외 경전철 시스템의 기술문서를 토대로 도시형 자기부상열차 실용화사업에서 고려되어야 할 시스템 요구사항을 역으로 도출하는 업무(Reverse Engineering)를 수행하였다.

이에 따라 본 과제에서는 자기부상열차 개발 사업의 각 제안서로부터 요구사항을 도출하고, 자기부상열차 시스템과 유사한 시스템(틸팅 열차, 고속열차 시스템) 개발 사업의 결과문서들로부터 요구사항을 도출하였다.

요구사항 도출에 참조된 자료는 다음과 같다.

- 로템, 기계연, 한국철도시설공단의 제안서
- 로템 “차량 규격서”
- 중기거점기술개발사업 보고서
- CHSST Maglev 평가서

- 경량전철 사업 보고서
- 기존선 사업 보고서

이러한 문서들을 참조하여 아래 그림과 같은 요구사항 수집 템플릿을 사용하여 요구사항을 도출하여 작성하였다. 이렇게 수집된 요구사항은 다음 그림과 같이 다시 엑셀 문서를 이용하여 시스템 규격서 양식에 맞게 재정리 하였다.

시스템	이름	설명	레벨	카테고리
1. 자기부상열차시스템	강우량	자기부상열차시스템은 강우량 500mm/일 이상의 조건에서도 운행가능해야 한다.	1	3.1.9 환경조건
	경보	자기부상열차시스템은 실시간으로 시스템의 고장 및 오작동에 대한 경보를 제공해야 한다.	1	3.1.4 엔티티 능력 요구사항
	과부하 보호	자기부상열차시스템은 전기 과부하로부터 보호할 수 있어야 한다.	1	3.1.16 안전성
	국내환경	자기부상열차시스템은 국내 환경에 적합하도록 설계되어야 한다.	1	3.1.9 환경조건
	낙뢰	자기부상열차시스템은 낙뢰로부터 보호 받을 수 있어야 한다	1	3.1.9 환경조건
	내진	자기부상열차시스템은 최대 리히터 규모 5.5의 지진에 대한 내진 설계가 되어야 한다.	1	3.1.9 환경조건
	무인화	자기부상열차시스템은 무인으로 운행될 수 있어야 한다.	1	3.1.4 엔티티 능력 요구사항
	사고, 고장 이력 관리	자기부상열차시스템은 사고, 고장 이력을 구축, 관리할 수 있어야 한다.	1	3.1.4 엔티티 능력 요구사항
	상황모니터링	자기부상열차시스템은 운행중 모든 상황을 모니터링 할수 있어야 한다.	1	3.1.4 엔티티 능력 요구사항

[그림 25]초기 수집된 시스템 요구사항 (요구사항 수집 템플릿)

번호	레벨	제목	내용	PBS	출처	Cross reference	비고
3	요구사항						
3.2	차량 시스템 요구사항						
3.2.1	기능 및 성능 요구사항						
3.2.1.1	임무						
F.T.1	1	차량 목적	차량시스템은 승객을 안전하게 목적하는 승강장으로 운송할 수 있어야 한다.	차량시스템	-	OR.1	
3.2.1.2	상태 및 모드						
F.T.2	1	차량운행모드	차량시스템은 자동차량 운행모드,ATO 자고모드, 자동차량 보호모드 ATP자고모드, CBTC 우회모드 중 택일하여 운행되어야 한다.	차량시스템	경량전철	OR.2	
	3	냉난방/환기장치모드	냉난방/환기장치는 환기, 반냉난방, 전냉난방 모드로 제어되어야 한다.	냉난방환기장치		OR.2	
3.2.1.3	기능 및 성능						
F.T.3	1	자량형식	차량시스템은 상전도 흡인식으로 한다.	차량시스템	철도연		spec
F.T.4	1	차량길이	차량시스템의 길이는 12(L) x 2.7(W) x 3.45(H)m로 (2차량 편성시 총 길이 24.5m)로 한다.	차량시스템	철도연		spec
F.T.5	2	운전및제어기능	차량시스템은 자동 및 수동으로 운전 및 제어할 수 있어야 한다.	운전및제어부		OR.2	
	spec	제어회로 전압	운전 및 제어부의 전압은 DC 100V로 한다.	운전및제어부	로템		spec
	PI	추진제어방식	추진제어장치는 하나의 인버터 장치가 선형 유도전동기 6대를 일괄 제어하는 방식으로 한다.	동합제어장치	로템		spec
	PI	승무원의자	승무원의자는 운전실에 설치하며 사용하지 않을 시 접을 수 있도록 해야 한다.	의자및 손잡이	로템		
	4	모니터링 기능	보조전원장치는 자기진단 기능 및 고장 감시등을 위한 모니터링 기능을 가져야 한다.	보조전원장치	로템		
	3	집전기능	전원부는 노선에 설치된 강체가선으로부터 전원을 집전하여야 한다.	집전장치	로템		
	PI	축전지형식	니켈-카드뮴 알칼리 축전지에 의해 작류전원을 공급한다.	축전지	로템		spec
F.T.8	2	탑승기능	차량시스템은 승객이 안전하게 이동할 수 있는 탑승공간을 제공하여야 한다.	객실부		OR.3	
	PI	미끄럼방지	객실부는 승객이 미끄러짐으로 인한 부상이 없도록 내부 바닥을 미끄럽지 않게 제작한다.	객실부	로템		
	PI	승객탑승인원	차량시스템은 최대 한량당 (좌석 28명/량 을 포함하여)93명의 승객을 수송할 수 있어야 한다.	객실부	로템,기계연	OR.3	
3.2.2	품질요구사항						
3.2.2.1	환경조건						
C.T.1	1	내진	차량시스템은 최대 리히터 규모○.○의 지진에서도 정상적인 운행이 가능하도록 하여야 한다.	차량시스템	경량전철	OR.13	
C.T.2	1	습도	차량시스템은 습도 RH ○~○○(at 30deg) 조건에서 정상적인 운행이 가능하여야 한다.	차량시스템	경량전철	OR.14	
C.T.3	1	낙뢰	차량시스템은 피뢰기를 구비하여 차량으로 직격되는 낙뢰로부터 보호될 수 있어야 한다.	차량시스템		OR.15	
C.T.5	1	전기장	차량시스템은 전기장 제한을 표준○○을 준수해야한다.	차량시스템	CHSST	OR.20	
C.T.6	1	태양열 복하	차량시스템은 최대 태양열 복사 ○○○○W/m2에서 운행이 가능하여야 한다.	차량시스템	경량전철	OR.16	
	4	관측조건	전면창은 눈, 비, 활사와 같은 환경조건에서도 전방관측이 가능하도록 하여야 한다.	전면창	로템,기계연		
3.2.2.2	안전성						
C.T.7	1	화재 안전성	차량시스템은 화재 방지를 위하여 사용되는 모든 재료는 KSM 3015A의 요구조건을 만족해야 한	차량시스템	경량전철	OR.37	
C.T.8	1	전문가시스템 (expert system)	차량시스템은 고장대처 이력을 DB로 구축하여 활용할 수 있도록 해야 한다.	차량시스템	로템, 기계연	OR.26	
C.T.10	1	승객 탈출/구조	차량시스템은 원급상황 발생시 승객을 안전하게 탈출시킬 수 있어야 한다.(수동 출입문 개방, 경고음 발생 등)	차량시스템	CHSST	OR.28	
C.T.11	1	예비 전력	차량시스템은 주전원 공급이 차단되었을 경우 안전하게 정지하기 위해서 백업 전원으로 30초 동안 운행될 수 있어야 한다.	차량시스템	CHSST	OR.12	
	4	전면창소재	전면창의 소재는 안전유리를 사용한다.	전면창	로템		
3.2.2.3	신뢰성						
C.T.13	1	신뢰성(MKBSF)	차량시스템은 평균고장거리가 ○○이어야 한다.	차량시스템	기존선	OR.29	
C.T.14	1	자기 진단	차량시스템은 무인자동 운행방식의 신뢰성을 보장할 수 있는 자기진단(self diagnosis)이 가능하여야 한다.	차량시스템	로템,기계연	OR.24	
C.T.15	1	차량시스템 수명	차량시스템은 서비스 수명이 최소 20년이상이 되어야 한다. (이 요구사항을 만족하도록 차량 몸체 및 구성품들의 피로 및 부식 고려)	차량시스템	CHSST	OR.30	
3.2.2.4	유지보수성						
C.T.16	1	(차량)MTTR	차량시스템은 MTTR(Mean Time to Repair)가 ○○이어야 한다.	차량시스템	기존선	OR.31	
3.2.2.5	장비성						

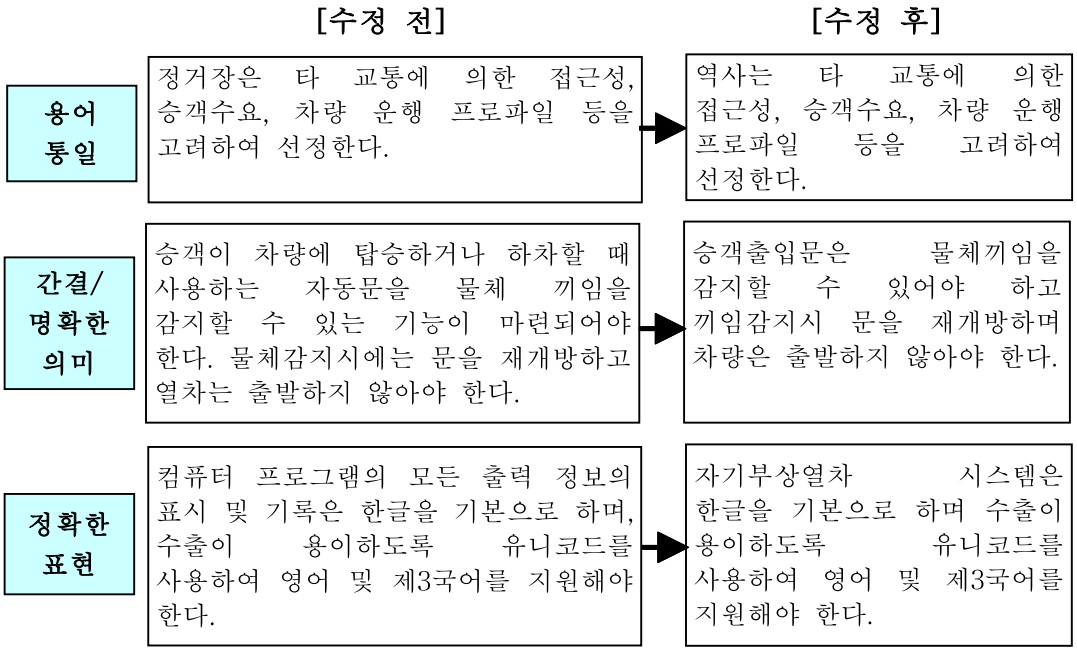
[그림 26]기존 기술문서를 통해 역도출된 시스템 요구사항 사례

(5) 요구사항 초안 작성

초기 요구사항은 다양한 분야에서 수집되었으므로 용어의 표현, 상세성, 범위, 수준(depth) 등에서 다양한 양상을 나타낸다. 시스템엔지니어링 프로세스 표준인 ANSI/EIA-632에서는 요구사항이 갖추어야 할 속성을 제시하고 있는데, 이에 의거하여 요구사항을 논증하고 도시형 자기부상열차 실용화사업에 적합한 시스템 구성체계(Product Breakdown Structure)를 구축하여 각 수준에 맞는 요구사항을 분류/정리하였다.

(가) 요구사항 논증(validation)

- EIA-632에서 제시된 논증 항목을 기준으로 실용화사업에 적합한 논증 항목과 기준 수립
- 요구사항 표현의 일관성 및 명확성 등 확보(statement validation)



- 중복 또는 상충되는 요구사항 제거(set validation)

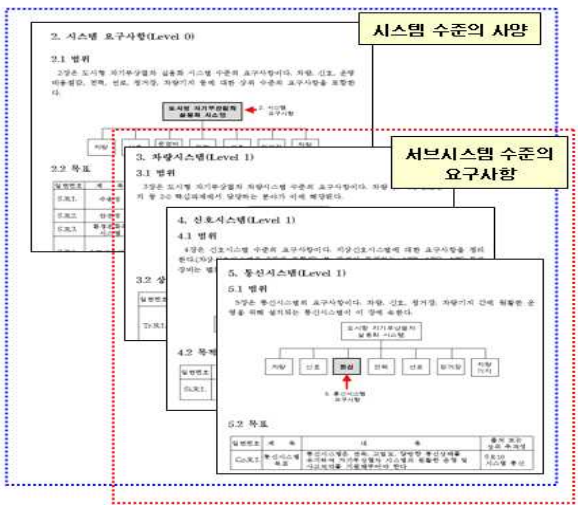


(나) 요구사항 계층화

- 시스템 구성 체계(PBS) 초안 작성
- 2핵심 및 3핵심 과제 검토 후 시스템 구성 체계(PBS) 최종안 확정
- 시스템 구성 체계(PBS)에 맞추어 요구사항의 수준을 식별/분류

◆ **Level 0**
도시형 자기부상열차 시스템
(실용화사업의 전체 영역을 포함)

◆ **Level 1**
서브시스템
(차량, 신호, 통신, 전력, 선로구축물, 역사, 차량기지 – 총 7개 영역)

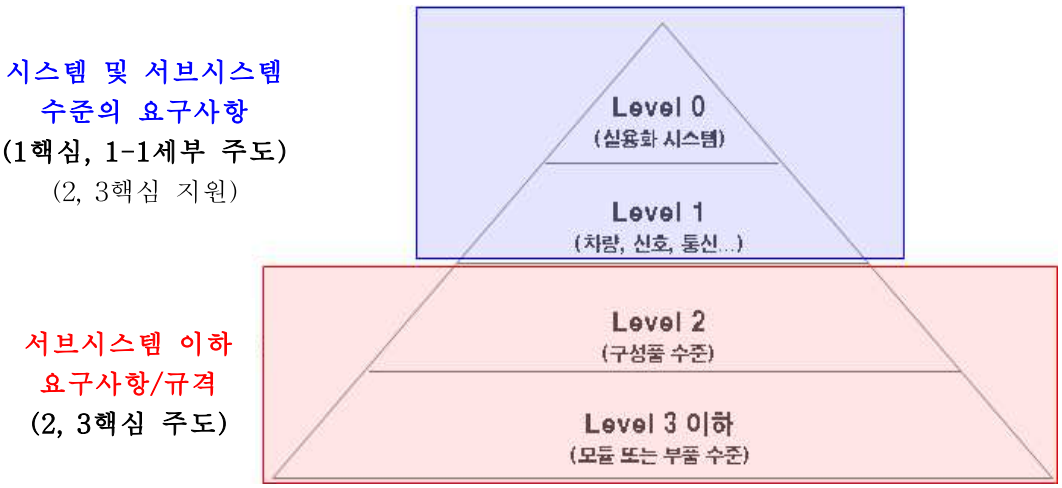


[그림 27]요구사항의 계층화

(6) 시스템 요구사항 검토 및 보완

(가) 시스템 요구사항 검토에 대한 과제별 역할 분담

본 과제에서는 시스템 수준(Level 0) 및 서브시스템 수준(Level 1)의 요구사항 및 규격을 중점적으로 정리하고, Level 2 이하의 상세규격은 해당 분야의 전문 영역으로 각 과제의 설계활동을 통해 도출되어야 한다. 본 과제는 도출된 상세 규격의 추적 관리에 중점을 두고 과업을 추진하였다.



[그림 28]시스템 계층별 요구사항/규격 정의 역할 분담

(나) 요구사항 선별기준(요구사항과 규격의 구분 기준)

요구사항은 해당시스템의 설계와 구현에 반영되어야할 기능, 성능, 제약사항을 의미한다. 각 개발과제의 설계 및 분석을 통해 도출되어야 하는 제원은 초기 요구사항에서 일단 제외하였으며, 이는 2차년도 이후 설계를 통해 분야별 규격서로 정리하였다.

[예] 차량의 최고설계속도는 110km/h이어야 한다(차량에 대한 요구사항).

[예] 추진장치의 출력, 크기, 중량, 설치수량 등(차량에 대한 규격)

각 개발과제 내부적으로 결정되어야 하는 과업 진행 방법, 기본 방침 등은 요구사항에서 제외하였다.

[예] 계획부지에 대한 지질조사를 실시하여야 한다(계획/기본방침).

(다) 시스템 요구사항 검토 및 보완

1) 개발과제 검토 및 보완

사업단 내부적으로 2, 3핵심 등 차량 및 시범노선 개발과제가 참여한 TFT(Task Force Team)를 구성하여 시스템 요구사항의 내용 및 구성에 대한 검토(안) 수렴 및 협의를 진행하였다.

구분	일련번호	관련 내용	검토 결과
운행관제기능	S.R.12 (무인운전기능)	자기부상열차 시스템은 검수구간을 제외한 모든 선로에서 인력에 의지하지 않는 자동운전이 가능해야 한다. 여기에는 본선에서의 운행뿐만 아니라 차량기지 내에서의 이동 및 구원운전 등도 포함된다.	- “자기부상열차 시스템은 차량기지 건물 내부를 제외한 모든 선로에서 인력에 의지하지 않는 자동운전이 가능해야 한다.” 로 **수정**
수송기능	S.R.26 운행속도	차량의 최고 운행속도는 100 ㎞/h 이상으로 하며, 구간별 운전속도계획은 운행할 노선의 운전규정에 따른다.	- “차량의 최고 운행속도는 구간별 운전속도계획에 따른다.” 로 **수정**
수송기능	S.R.27 (예비시간 및 정차시간)	차량 왕복운행시간은 Km당 3초의 예비시간과 각 정차역당 최소 20초의 정차시간을 갖도록 하며, 이 시간은 차상의 신호장치에 의해 가변될 수 있도록 한다.	- “역사 정차시간은 10~60초 사이에서 가변적으로 조작 가능해야 한다.” 로 **수정**
안전성	S.R.55 (차량 출입문 및 스크린도어의 물체 끼임 방지)	차량의 출입문 및 승강장의 스크린도어는 3mm 이하의 물체가 끼인 상태도 감지할 수 있어야 하며 끼임을 감지하는 장치의 정상작동 여부를 자동으로 감시할 수 있는 안전체계가 도입되어야 한다. 또한 차량의 출입문과 스크린도어 사이에 존재하는 물체를 식별할 수 있어야 한다.	- 출입문 및 스크린도어 요구사항 **분리** - 출입문 측 요구사항은 “10mm 이상”으로 **수정**(용인경전철 사양 근거) - 스크린도어 측 요구사항은 3-0핵심에서 “5mm 이상”으로 **수정**(3-0검토의견) - “감지 후 재개방 및 열차 출발 금지”에 대해 **명기**할 것
정비성	S.R.67 (정비용이성)	자기부상열차 시스템은 특수한 장비 및 기구없이 손쉽게 정비가 가능해야 한다.	- “자기부상열차 시스템은 유지보수가 용이해야 한다.”로 **수정**

2) 시스템 요구사항 검토 자문회의 개최

도시형 자기부상열차 실용화사업의 시스템 요구사항에 대한 객관성과 전

문성 확보를 위해 산・학・연・관으로 구성된 관련 전문가를 자문위원으로 위촉하여 시스템 요구사항의 수립 방향, 구성, 기술적 내용을 검토하고 향후 진행방향을 점검하였다.

시스템 요구사항 검토 자문회의			
회의일시	2007.09.05(14:00~17:00)	회의장소	기계연구원 본관 211호
참석자	사업단 : 신병천(사업단장), 백수현 1핵심 : 김동성, 조흥제, 정경렬, 박철호, 송선호, 김상헌, 김법수 3핵심 : 설석균, 김형민 자문위원 : (주) 대우엔지니어링 김문기 한국기술교육대학교 위상봉 서울산업대학교 이종우 한국건설기술연구원 김병석 한국철도기술연구원 이관섭 한국해양연구원 미종갑		

회의내용 (*안건[붙임체]* / 토의내용)

1. 요구사항/사양 정의/관리 체계 관련

<자문위원>

- 계층적 접근방법과 추적관리 체계는 실용화사업의 특성에 적합하게 정의됨
- 하위레벨에 대한 요구사항 조정, 사양결정 등에 대한 데이터베이스 구축을 어느 정도까지 할 것인지 정의/검토 필요

<사업참여과제>

- Level 2수준까지는 시스템엔지니어링 과제(1-0 및 1-1)에서 요구사항의 초안구축, 조정, 합의를 유도하며
- 그 이하의 하부수준은 분야별 전문성과 독자성이 높아지므로 개별과제에서 주도적으로 관리되어야 할 것으로 보임.

2. 운영개념 정립 및 이해관계자 참여 관련

<자문위원>

- 운전운영 시나리오를 검토하여 요구사항에 반영되어야 하며 이에 대한 운영기관, 지자체의 참여가 있어야 함
- 지자체와 협의가 된 운영개념(무인운전방법, 운영인프라/시나리오)을 기반으로 시스템 수준의 요구사항 조정/보완되어야 할 것임

<사업참여과제>

- 시범노선 선정이 8월(시스템 요구사항의 논의/조정 중)에 이루어져 운영개념, 인프라 등에 대한 지자체와의 협의가 미흡함
- 가능한 지자체와 독립적인 내용에 대한 정리가 이루어졌으며, 향후 지자체와의 협의를 통해 운영개념을 보완해 나갈 예정

3. 적설 및 궤도 결빙에 대한 고려

<자문위원>

- 자기부상열차 특성상 궤도 위의 눈이 쌓이거나 결빙되었을 때에 대한 검토 필요
- 적설 30cm 및 궤도결빙의 고려에 대한 문구가 있으나 이에 대한 해결방안이 도출되지 않음 (이에 대한 해결방안을 협의 후 Level 1 "차량", "궤도" 등에 적절히 분배가 필요함)
- 특정 수준 이상의 결빙시 운행을 제한하는 조치가 있을 수 있으나 잦은 운행제한은 자기부상열차 시스템의 경쟁력을 떨어뜨릴 것임을 감안하여 해결방안이 검토되어야 할 것

<사업참여과제>

- 관련 내용을 쟁점화하여 지자체 및 참여과제들과 협의하겠음

4. RAMS 관련

<자문위원>

- 현재 RAMS 관련 사항이 모두 T.B.D(to be determined) 상태인데 일반적인 도시철도 사양을 고려하여 관련 RAMS 목표를 설정해야 할 것으로 판단됨
- 시스템 안전을 위해 위험관리 계획(system safety management plan) 수립 및 관리하는 활동이 추천됨. 관련 내용 검토해볼 것

<사업참여과제>

- 1-2 RAMS 과제에서 본 사업에 적절한 RAMS 모델을 검토 중에 있으며 11월 중에 정량적 목표를 제시할 예정

3) 운영기관 의견 수렴

- 사업단 내부 TFT 회의 및 자문회의 등을 통해 도출된 시스템 요구사항 및 운영개념에 대한 운영기관 검토
- 운영기관의 검토 의견 협의 및 반영
- 시스템 요구사항 주요 협의 이력 및 내용

검토 과정	시기	주요 논의 내용
운영기관 측에 최초 SR 자료 제공	07.9.19	운영기관 측의 자료 요청에 의한 시스템 요구사항/운영개념, SR 자문회의록 등 송부
운영기관과의 SR 검토회의	07.11.22	- Sub-OCC의 별도 설치 여부 별도의 Sub-OCC를 설치하거나 연동역 또는 관리역을 선정하여 Sub-OCC 기능을 부여하는 대안 - 무인역사 및 관리역사의 도입 여부 협의 - 역사 상황실 유무 - 무인운전 구간 및 안전요원 탑승 관련 논의

검토 과정	시기	주요 논의 내용
		- 비상문 및 출입문 원격 개방 관련 - 적설 및 결빙 대책 [운영기관 측 의견] 사업단 및 관련 전문가에 의해 도출된 최적의 대안 중용
SR 및 OC 주요 검토항목 송부	08.1.24	- 1차년도 시스템 요구사항 Issue 사항 포함 - 열차운행, 배차, 역사 및 통합관제실 운영 등 운영개념 중 주요 검토 필요항목 정리/송부
SR 관련 인천공항 검토의견 수렴	08.2.20	[환경조건 추가] - 일부 내용(ex. Tr.R 냉방장치) 해안지역임을 고려하여 습도 조정(75%->95%) - 선형유도전동기 설계시 염해대책 고려 - 해안의 풍속 고려 (기상청 자료 조사결과 RFP에 정의된 26m/s보다 강한 풍속이 다수 관측된 바 있는 것으로 나타남) [인천공항공사 인터페이스 추가] - 국가통합지휘통신망은 인천공항공사 TRS 시스템과 연계 - 자기부상열차의 SCADA 시스템은 공항 SCADA 시스템과 연계 필요하며, 따라서 통신 프로토콜에 대하여 공항 측의 관련 기술진과 협의 필요함. - 전력에 대한 원격검침정보는 공항 주변의 전력정보시스템(APIS)와 연계되어야 함. [기타] - "시운전계획", "운영자교육", "항공기 운항을 고려한 전자기파 영향 분석" 등

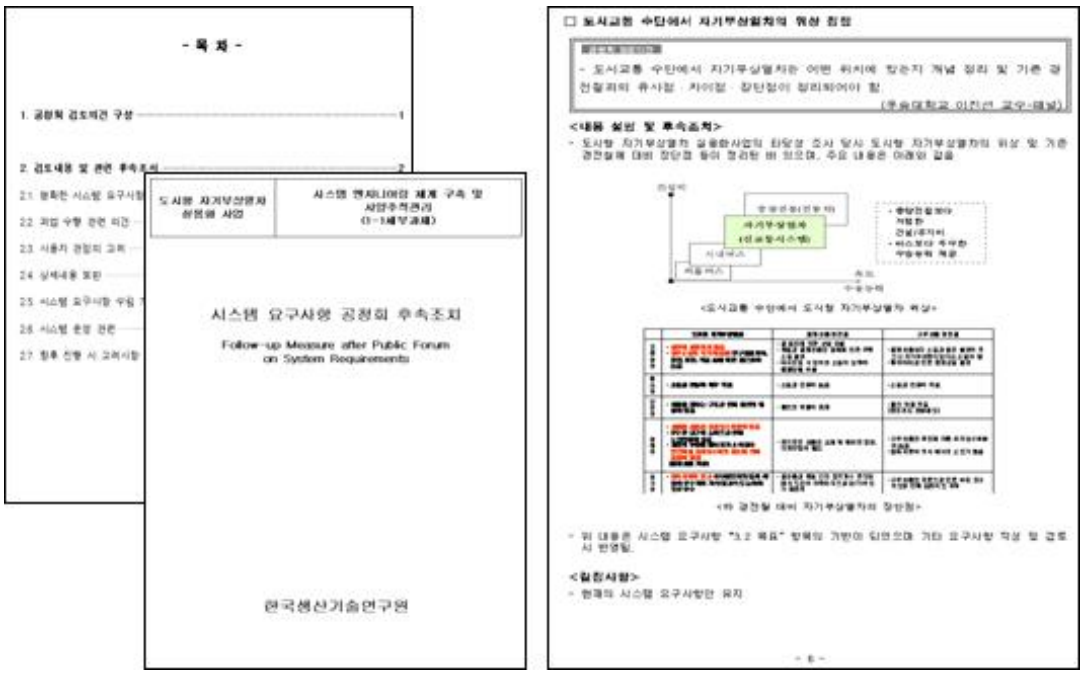
4) 시스템 요구사항 검토를 위한 공청회 개최

- 사업단 내부검토, 전문가 자문회의, 운영기관 검토를 통해 도출된 시스템 요구사항(안)에 대해 외부 전문가, 이해집단을 대상으로 공청회 실시
- 사용자 관점, 운영 측면 등을 중심으로 30여 개 검토의견이 제안됨.

검토과정	시기	대상	주요 논의 내용
SR 공청회 실시 및	08.3. 18	한국교통 시민협회 김기홍	• 명확한 시스템 요구사항 수립 - 'SR.7 시스템 구축' 관련 등 2건 • 과업 수행 관련 의견

검토과정	시기	대상	주요 논의 내용
후속조치		대표 외 6명	- 도시교통 수단에서 자기부상열차의 위상 정립 등 3건 • 사용자 관점의 고려 - 사용자 중심의 요구사항 개선 등 2건 • 상세내용 보완 - '도시철도 표준안' 연계 등 13건 • 시스템 요구사항 수립 개념 관련 - 시스템 요구사항에 대한 기준 마련 등 • 시스템 운영 관련 - 유지보수 인력 양성의 필요성 - 무인운전을 고려한 사고 시나리오 분석 등 7건 • 향후 진행 시 고려사항 - 인프라 구축 등 7건

제안된 의견에 대한 후속조치(SR 수정안 도출) 협의·조정하여 반영함.



[그림 29]시스템 요구사항 공청회 후속조치

5) 도시형 자기부상열차 안전/건설 기준 규칙 검토

검토과정	시기	대상	주요 논의 내용
자기부상철도 관련 법안 검토/반영	08.4. 11	1-4 세부과제	- 법안의 시설물 분류와 SR의 PBS 체계 조정 - 안전기준의 "화재대피구조" 중 '비상연락장치' 문구 조정 제안 ('운전자' => '통합관제실') - SR "내진" 항목의 지진가속도계수 오류 수정

6) 시스템 요구사항 최종 조정 및 사업단 승인

- 공청회 후속조치(안)이 보완된 시스템 요구사항에 대한 사업단 내부 검토 및 조정
- 시스템 요구사항 사업단 승인

검토과정	시기	대상	주요 논의 내용
핵심과제 검토	08.4.14	1, 2, 3 핵심과제	- RFP에 제시된 풍속조건 최대 26m/s보다 높은 순간풍속에 대한 안전지침 작성 - 기타 환경 조건에 "황사" 추가 - 화재 초기지압 대책에 "소방관련법령 및 철도차량 안전기준" 명시 - RAMS 목표에 대한 현실성 제고 (T.B.D.처리 후 해당 과제의 연구진행 결과를 반영) - "점검의 자동화" 항목의 '시작시 점검활동'을 '상시 감시/관리'로 변경하고 관련 내용 조정 - "공기질" 항목 내용 보완 => '다중이용시설의 실내 공기질관리법(법률 8654호) 및 관련 시행령, 시행규칙 준수' - "교통약자 이동편의 증진" 항목 내용 보완 => '교통약자이동편의증진법(법률 9071호) 및 관련 시행령, 시행규칙 준수'

(라) 서브시스템 요구사항 구축

도시형 자기부상철도 안전/건설 기준 규칙, 차량 및 시범노선 설계기준(안)이 제시되면서 하위 수준 시스템 요구사항과의 I/F를 확보하여 추적관리체계 구축에 기반 자료로 활용하기 위해 서브시스템 요구사항을 보완하였다.

1) “도시형 자기부상철도 안전/건설기준 규칙”을 검토・반영

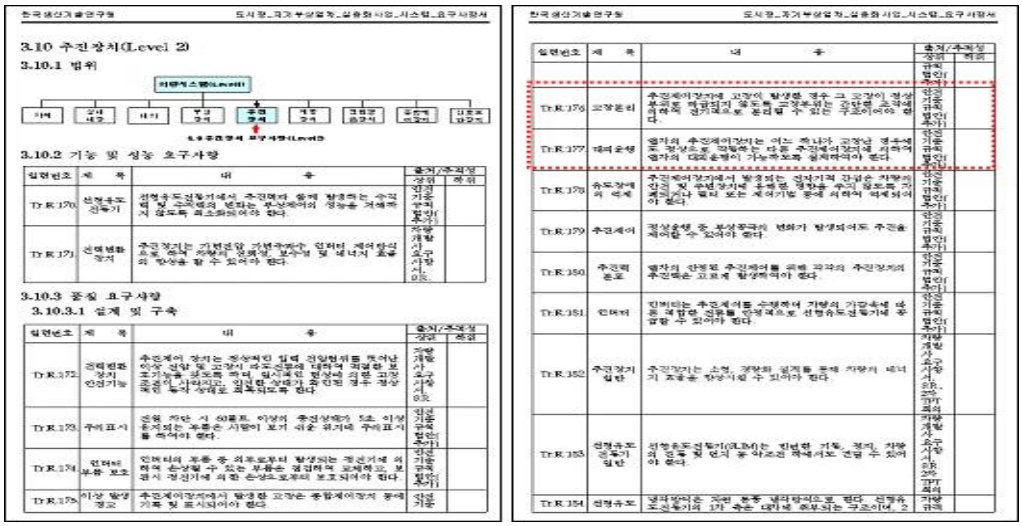
약 50여개의 서브시스템 요구사항 추가 및 보완함.

- 안전기준 규칙 주요 검토 내용

안전기준 규칙 법안	요구사항 추가 및 보완 사항
'자기부상열차 안전기준 규칙' 제 15조(화재 대피를 위한 구조) 차량의 출입문 및 비상문은 화재발생 등 비상시에 승객이 쉽게 대피할수 있도록 수동으로 열 수 있는 구조이어야 한다.	Tr.R.60 개방의 용이성 비상출입문은 한 사람이 충분히 개방할 수 있는 구조이어야 한다. => ‘차량의 출입문 및 비상출입문은 화재발생 등 비상시에 한 사람이 충분히 개방할 수 있는 구조이어야 한다.’로 내용 수정
‘자기부상열차 안전기준 규칙’ 제 46조(차체의 접지설비) 차체에는 선로측에 설치되어 있는 차체 접지설비와 적합한 접지장치를 설치하여야 한다.	3.5 차체(Level2) 품질요구사항 안전성 항목에 추가 Tr.R.XX 차체 접지 차체에는 선로측에 설치되어 있는 차체 접지설비와 적합한 접지장치를 설치하여야 한다.
‘자기부상열차 안전기준 규칙’ 제55조(부상용센서) 부상공극을 제어하기 위해 사용되는 부상용 센서는 전자기적 내성을 지녀야 하며, 제 28조 제 1항의 환경조건에서와 운행에 의해 가열되어도 충분한 기능을 발휘할 수 있어야 한다.	3.8 비상장치(Level2) 기능 및 성능 요구사항에 추가 Tr.R.XX 부상용센서 공극(Gap)센서와 가속도센서는 차량 전체의 부상 높이와 그 변화율을 측정할 수 있는 것이어야 하며, 전자기적 내성을 충분히 갖아야 한다.
‘자기부상열차 안전기준 규칙’ 제62조(유도장애의 억제) 추진제어장치에서 발생되는 전자기적 간섭은 차량의 안전 및 주변장치에 유해한 영향을 주지 않도록 차폐되거나 필터 또는 제어기법 등에 의하여 억제되어야 한다.	3.9 추진장치(Level2) 품질요구사항 안전성에 추가 Tr.R.XX 유도장애의 억제 추진제어장치에서 발생되는 전자기적 간섭은 차량의 안전 및 주변장치에 유해한 영향을 주지 않도록 차폐되거나 필터 또는 제어기법 등에 의하여 억제되어야 한다.
‘자기부상열차 안전기준 규칙’ 제82조(연장급전) 1. 보조전원장치에 고장이 발생한 경우 해당 보조전원장치는 전기적으로 분리되고 정상으로 작동하는 보조전원장치로부터 연장급전이 가능하여야 한다.	3.10 전원장치(Level2) 기능 및 성능요구사항에 추가 Tr.R.XX 보조전원장치 연장급전 보조전원장치에 고장이 발생한 경우 해당 보조전원장치는 전기적으로 분리되고 정상으로 작동하는 보조전원장치로부터 연장급전이 가능하여야 한다.

- 건설기준 규칙 주요 검토 내용

건설기준 규칙 법안	요구사항 추가 및 보완 사항
‘자기부상열차 건설 규칙’ 제19조(직선 궤도의 중심 간격) 1. 열차가 상호 반대방향으로 운행되는 본선 궤도의 경우에는 주행 차량의 안전과 승객 등의 안전을 위하여 궤도 간의 간격은 충분한 거리를 두고 설치하여야 한다.	7. 선로구축물(Level1) 품질요구사항에 추가 Ra.R.XX 직선 궤도 중심간격 열차가 상호 반대방향으로 운행되는 본선 궤도의 경우에는 주행 차량의 안전과 승객 등의 안전을 위하여 궤도 간의 간격은 충분한 거리를 두고 설치하여야 한다.
‘자기부상열차 건설 규칙’ 제31조(승강장의 안전시설) 2. 스크린도어는 다음 각 호의 기준에 적합하게 설치하여야 한다. 2-2. 승객이 전동차와 스크린도어 사이에 끼었을 경우 이를 감지하여 승무원, 역무원 및 통합관제실에 알릴 수 있는 경보장치를 설치할 것. 2-6. 개폐는 시각적·청각적으로 인지할 수 있어야 할 것. 3. 차량과 승강장 연단의 간격이 10센티미터가 넘는 부분에는 안전발판 등 승객의 실족을 방지하는 설비를 설치하여야 한다. 4. 차량이 정거장에 정차 중에 승객안전을 위해 차체의 전위차를 관리할 수 있는 접지시설을 갖추어야 한다.	8.5 여객시설(Level2) 품질요구사항에 추가 St.R.XX 경보장치 승객이 열차와 스크린도어 사이에 끼었을 경우 이를 감지하여 안전요원 및 통합관제실에 알릴 수 있는 경보장치가 설치되어야 한다.
	8.5 여객시설(Level2) 품질요구사항에 추가 St.R.XX 스크린도어 개폐 스크린도어는 시각장애인 등이 시·청각적으로 개폐를 확인할 수 있어야 한다.
	8.5 여객시설(Level2) 품질요구사항에 추가 St.R.XX 안전발판 차량과 플랫폼 간격이 OOmm를 넘는 부분에는 안전발판 등 승객의 실족을 방지하는 설비를 설치하여야 한다.
	8 역사(Level1) 품질요구사항에 추가 St.R.XX 접지시설 차량이 역사에 정차 중에 승객안전을 위해 차체의 전위차를 관리할 수 있는 접지시설을 갖추어야 한다.



[그림 30]서브시스템 요구사항 보완 내용

2) 차량 및 시범노선 분야 실시설계 내용 반영

검토과정	주요 반영 내용
화재안전기준 수정	‘도시철도법’=> ‘도시철도차량안전기준에관한 규칙’ 현 도시철도법 조항은 차량에 적용할 수 있는 적절한 화재안전기준을 명시하고 있지 않으며, 관련 항목은 ‘도시철도차량안전기준에관한규칙’에 명시되어 있음
전자파 규제 항목 보완	IEC62236의 전자파 규제 항목 인용 - 기존의 서브시스템 요구사항은 전자파 관련 기준을 명확히 제시하지 않고 있으나 IEC62236의 전자파 규제 항목을 인용하는 것으로 보완함. - 철도차량의 EMC 규격으로는 1994년 제정된 EN50121이 있으며, 이를 기반으로 작성된 국제규격인 IEC62236을 국제 경쟁력 있는 전자파 규제 기준으로 제시함.
차량시스템 I/F 추가	차량시스템 요구사항에 대해 검수고 전원공급장치(스팅커) 설비에 대한 인터페이스 추가(시범노선 분야 검수설비 실무담당자 의견 반영)
비상출입문 관련 조항 수정	대피로 구축에 대한 논의가 진행됨에 따라 비상출입문의 설치 문제는 차량시스템 요구사항에서 규제하는 것이 적절치 않으므로 조정되어 승객 탈출에 대한 요구사항으로 수정
출입문 장애물 검지 조항 보완	기존에는 출입문에 끼는 장애물을 10mm까지 검지하여 재개방 및 열차 출발금지 기능을 명시하였으나, 무인운전상황을

검토과정	주요 반영 내용
	고려할 경우 보다 우수한 출입문 장애물 검지 기능이 필요함. 해외 무인운전차량에서 적용되고 있는 Push Back 기능의 포함을 권장하는 내용으로 보완

(마) 차량 및 시범노선 분야 상세설계 내용 반영

도시형자기부상열차 실용화사업은 상세설계검토(CDR)을 통해 초기 의도한 본래의 목적과 방향에 부합되도록 설계가 진행되고 있는지 확인함. 상세설계검토 내역 및 요구사항 주요 변경 내용은 아래와 같음.

- 요구사항의 내용 중 적당하지 않거나 자기부상열차에 적용되지 않는 항목 조정
- 요구사항 항목 중 시범노선에 적용하지 않는 항목은 요구사항은 유지하되 설계 항목에서 제외
- RFP에 제시된 목표 규격 중 실제 시범노선을 고려하여 조정
- TBD 항목 작성

일련번호	요구사항 내용(변경 전)	요구사항 내용(변경 후)	비고
Tr.R.18 최대 등판능력	차량시스템은 최대 70%의 경사가 포함된 노선에서 정지/재출발이 가능해야 한다.	차량시스템은 70%의 경사가 포함된 노선에서 운행이 가능해야 한다.	안전기준 검토시(08.11.18) 협의
Tr.R.20 최소수직 곡선반경	차량시스템은 1000mR의 최소 수직 곡선 반경(상구배, 하구배 포함)이 포함된 노선에서 정상적인 운행이 가능해야 한다.	차량시스템은 1500mR의 최소 수직 곡선 반경(상구배, 하구배 포함)이 포함된 노선에서 정상적인 운행이 가능해야 한다.	RFP에는 종곡선 반경이 1000mR이나, 건설규칙 및 사업단, 3핵심과 협의 하에 실제 노선 조건은 1500mR 이상으로 함
Tr.R.55 차체 처짐량 제한	최대 하중시 차체의 처짐량은 다음 식에 의해 정해지는 최대값이어야 하며, 최대 처짐 상태에서도 각 측 출입문의 동작이 원활하여야 한다.	삭제	자기부상열차에 적합하지 않은 요구사항

일련번호	요구사항 내용(변경 전)	요구사항 내용(변경 후)	비고
	F=A/1000[mm] A : 대차간 중심거리[mm]		
Tr.R.74 실내천정 및 벽면설치기기	실내 천정에는 형광등, 비상등, 환기 및 냉방을 위한 공기덕트, 방송용 스피커 등을 설치하여야 한다.	실내 천정에는 주조명등, 비상등, 환기 및 냉방을 위한 공기덕트, 방송용 스피커 등을 설치하여야 한다.	자기부상열차에는 형광등을 적용하지 않으므로 요구사항 내용 수정
Tr.R.156 댐퍼설치	차체 유동을 완화하기 위해 댐퍼 등이 설치되어야 한다.	삭제	자기부상열차에는 댐퍼를 설치하지 않으므로 요구사항 삭제
Tr.R.222 축전지 직류전원공급	축전지 ~~및 정류기~~는 견인제어회로, 보조전원장치, 제어회로, 제동제어회로, 출입문 제어회로, 방송장치, ATP/ATO 회로, 종합제어장치, ~~공기압축기~~ 비상등 등에 직류전원을 공급할 수 있어야 한다.	축전지는 견인제어회로, 보조전원장치, 제어회로, 제동제어회로, 출입문 제어회로, 방송장치, ATP/ATO 회로, 종합제어장치, 비상등 등에 직류전원을 공급할 수 있어야 한다.	요구사항 내용 부적합으로 수정
Si.R.55 구원운전	TBD	차량 고장 등으로 인해 자체 거동이 불가능한 차량이 발생한 경우 구원운전이 가능해야 한다.	요구사항 내용 작성

다. 시스템 운영개념 분석

(1) 목표

본 과업은 운영적인 관점으로부터 시스템 특성을 기술함으로써, 모든 이해관계자들이 시스템의 목적이 무엇인지를 이해하고, 장기 운영 계획에 대한 기초를 수립함과 동시에 시스템 규격서, 인터페이스 문서 등과 같은 시스템 정의 문서를 개발하는데 있어서 가이드를 제공하고자 수행되었다.

시스템 운영개념은 실용화사업의 결과물의 범위와 목적을 정의하고, 도시형 자기부상열차의 운영환경 및 시나리오를 검토하여, 분야별로 누락되거나 불일치되는 항목이 있는지를 점검하였다. 시스템 운영개념서는 시범노선의 설계에 따라 상세 내용이 지속 보완될 내용이다.

(2) 시스템 운영개념 표준 연구

- 시스템 운영개념 작성 표준(ANSI/AIAA G-043-1992) 및 해외 운영개념서 작성 사례 연구 등을 통해 운영개념서의 양식 및 작성 방법을 결정함.
- 실용화사업의 범위 및 무인운전 개념에 기반하여 시스템 운영개념서 초안 작성



[그림 31]운영개념서 양식 및 작성 방법

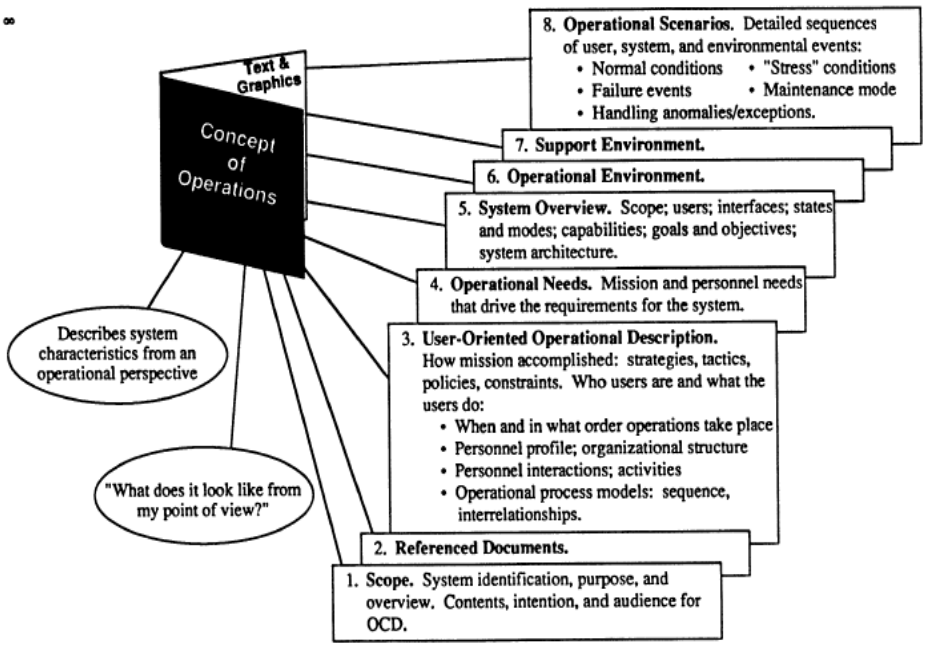
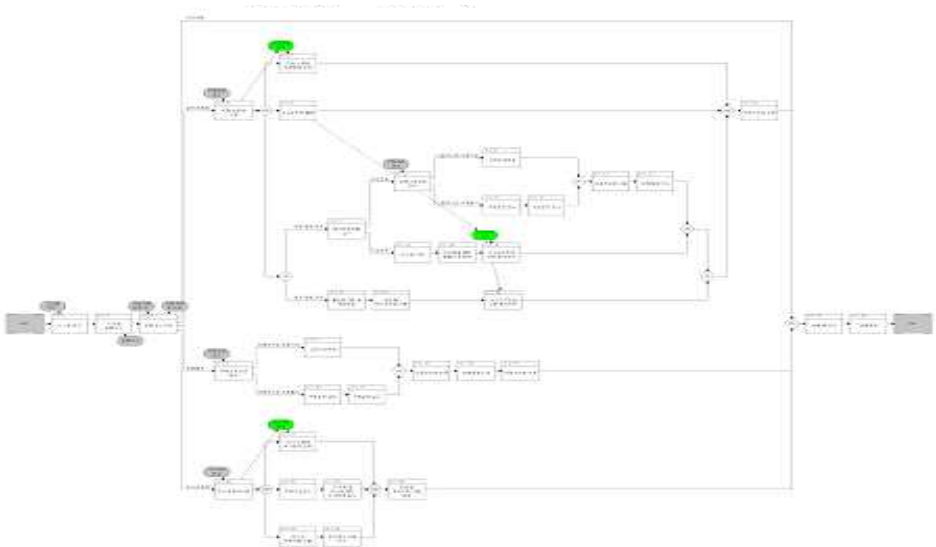


Figure 3. Outline For Operations Concept Document

[그림 32]ANSI_AIAA G_043_1992 목차 및 내용

(3) 시스템 운영 시나리오 작성

- 사령실, 역사, 승객 관점의 시나리오 초안 작성
- 운행불능상황, 열차 및 역사의 화재 사고 등의 상황을 반영



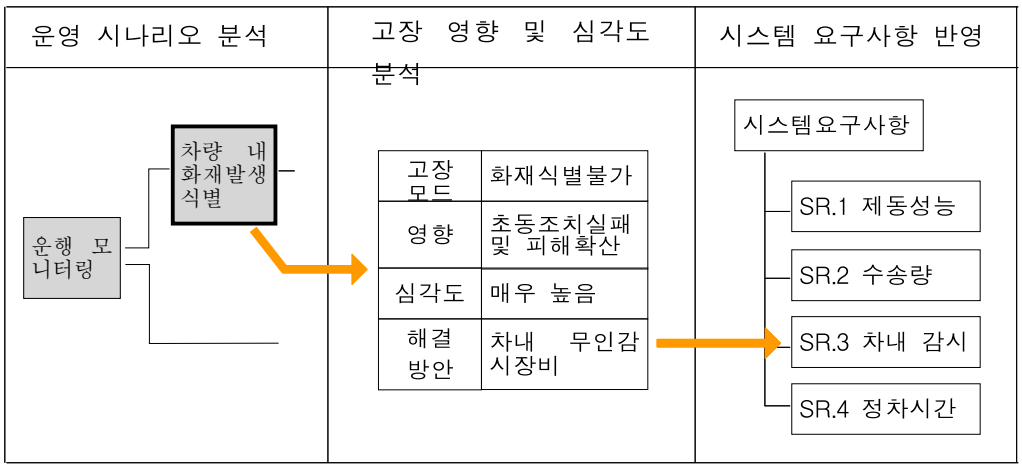
[그림 33]통합관제실 관점 운영시나리오(O.C.)

[표 7]운영 시나리오 예 - O.C.20 역사 내 화재 식별

Description	역사 내 이동 또는 대기 중 화재가 발생하였을 경우 화재지점 인근 승객이 초기 진압을 시도한다.
Input/Output	· / ·
Failure Mode	소화장비를 찾지 못하거나 사용법 미숙으로 인해 초기진압에 실패한다.
Effect	초기진압에 실패할 경우 역사 내 승객 및 역무원은 대피해야 하며 상당한 재산 피해가 예상된다. 또한 인명피해의 가능성이 있다.
Criticality	매우 높음
Solution	역사 내 주요지점에 소화기 또는 소화전을 배치한다. 평시 소화장비 사용방법을 지속적으로 홍보한다.
Related Req.	S.R.52 화재 초기진압 대책

(4) 고장(실패) 모드 영향 분석(FMECA[3])

- 작성된 시나리오의 고장(실패)모드를 가정하여 영향 및 심각도 분석 수행하여 시스템에 대한 요구사항을 도출하고 시스템 요구사항에 반영



[그림 34]고장(실패) 모드 영향 분석 사례

(5) 시스템 운영개념 보완

1차년도에 작성된 시스템 운영개념은 사업단 내부검토를 거쳤으며, 2차년도에는 운영기관인 인천공항공사의 검토가 수행되었다. 3차년도에는 시범노선 설계과정 동안 신호, 통신, 전력 등에 대한 설계기준이 정립되었기 때문

3) Failure Mode Effects & Criticality Analysis

에, 이 기준들을 반영하여 시스템 운영개념을 보완하였다. 시스템 운영개념의 보완을 통해, 분야별로 누락하거나 불일치되는 운영환경이나 시나리오의 설정이 있는지 확인하였다.

- 선로 선형 및 역사 변경안 반영
- 차량 검수/운영 분야 주요 보완 내역(검수분야 실시설계 내용 반영)
- 기존 운영시나리오에 차량 정보 시나리오 추가
- 차량 검수부문 운영조직 및 근무체계 추가
- 사고복구 및 유지보수 장비 추가
- 사고복구절차 보완
- 시험 및 시운전 절차 추가
- 검수정보시스템 추가

신호/통신/전력분야는 실시설계가 현재 진행 중이며, 2009년 하반기까지 진행될 예정이므로 운영개념 보완 작업은 4차년도 초반까지 이어질 예정이다.



도시형 자기부상열차 실용화 사업	시스템 엔지니어링 체계 구축 및 사양추적관리 (1-1세부과제)

도시형 자기부상열차 실용화사업
운영개념서

Concept of Operations
for Urban MAGLEV Program

개정번호	개정내용	연구책임자	서명(인)	날짜

	과제(기관)/담당	성명	서명(인)	날짜
작성자	1-1세부과제 책임자	정경렬		
검토자	1 핵심과제 책임자	김동성		
	2 핵심과제 책임자	김국진		
	3 핵심과제 책임자	류승균		
승인자	사업단장	신병천		

KITECH 한국생산기술연구원

도시형 자기부상열차 실용화사업 운영개념서	문서번호	M1100-8E+8E-600
	제정일자	2007.12.
	개정일자	-
	개정번호	Rev.0.0.01
	페 이 지	목차

- 목 차 -

1. 개요 1
1.1 문서개요 1
1.2 사업 개요 2
1.3 시스템의 특징 및 경쟁력 3
2. 운영 요건(Operational Needs) 5
3. 도시형 자기부상열차 시스템 개요 8
3.1 운전/운영의 무인 · 자동화 8
3.2 시스템 인터페이스(인천공항 자료 참고 보완 계획) 11
3.3 차량시스템 주요제원 13
3.4 노선현황 14
4. 시범노선 운영계획 15
5. 운전계획 25
6. 비상대처계획 38
7. 운영 시나리오(Operational Scenarios) 44
7.1 상황별 대처 절차 44
7.2 시스템 운영 시나리오 분석 48
8. 참고문헌(Referenced Documents) 82

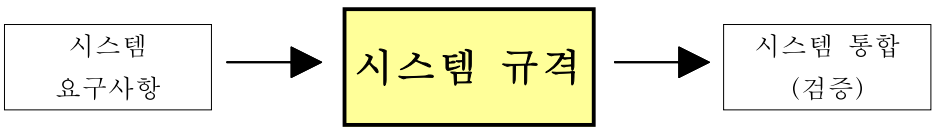
도시형 자기부상열차 실용화사업 1-1 시스템 엔지니어링 체계 구축 및 사양추적관리

[그림 35]도시형 자기부상열차 실용화사업 운영개념서

라. 시스템 및 서브시스템 규격 작성

(1) 목표

시스템 및 서브시스템 규격서는 도시형 자기부상열차 실용화사업의 차량 및 시범노선을 어떻게 제작/구축하는지를 정의한 문서라고 할 수 있으며, 이를 정리하고 승인하는 과정은 사실상 본 과제의 주요 업무인 '규격추적관리'가 이루어지는 기준을 정의하는 핵심적인 업무로 볼 수 있다. 규격서를 통해 분야별 설계 및 제작이 초기 목표대로 진행되고 있는지 설계변경이 있을 경우, 타 분야에 어떻게 검토되어야 하는지를 판단하게 될 것이다.



(2) 규격서 작성

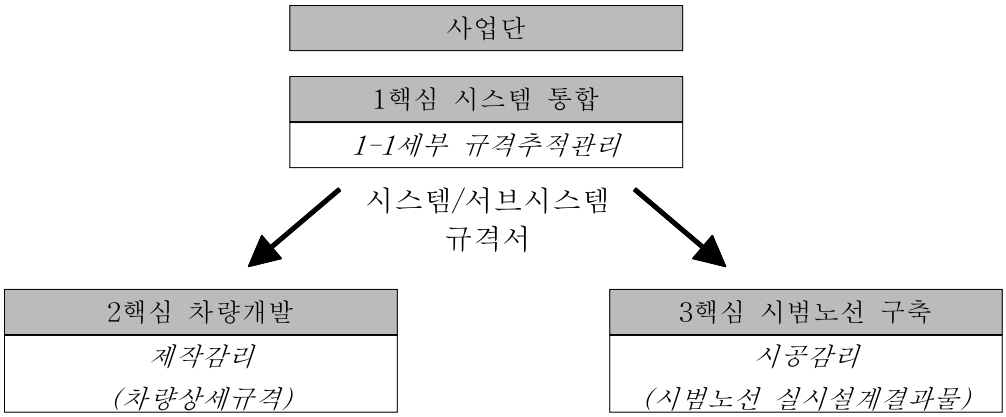
규격서의 주요 내용을 이루는 기술적인 사항들은 2, 3핵심과제의 기본 및 실시설계를 통해 결정되며, 본 과제는 모든 설계규격이 시스템 요구사항을 만족하는지를 확인하고 이를 통합하여 일관된 포맷의 서브시스템 규격을 작성하였다.

과제초기에는 규격서를 TYPE A, B, C, D, E등으로 구분하여 작성하고자 하였다. 이는 일반적인 해외 시스템엔지니어링 자료에서 제시되는 규격서 분류 방법으로 미국방표준인 MIL-STD-490 "specification practice"에 제시된 분류 방법이다.

- Type A : 시스템 규격서(System Spec)
- Type B : 개발 규격서(Development Spec)
- Type C : 제작 규격서(Product Spec)
- Type D : 공정 규격서(Process Spec)
- Type E : 재료 규격서(Material Spec)

그러나, 철도시스템은 순수 R&D 성향이 높은 국방체계와 달리 오랜 운영기간 동안 정립된 시스템의 기본기술과 틀이 공고하고, 기존의 기술과 개발체계를 활용하는 경향이 높다. 일반적인 철도시스템의 개발 또는 노선 구축

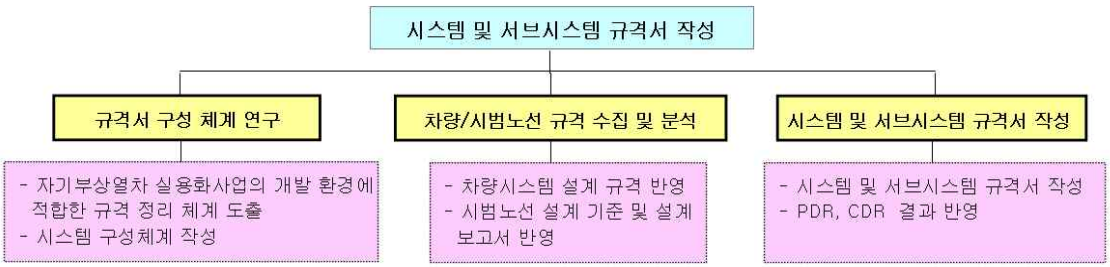
사업은 서브시스템의 개발 또는 발주 내역별로 규격서를 작성하며, MIL-STD-490과 같이 규격서의 Type별로 구분하지 않고 통합하여 작성되는 경우가 대부분이다. 따라서 본 과제는 MIL-STD-490의 분류를 따르기보다, 실용화사업의 정황에 적합하도록(SE tailoring) 실용화사업의 시스템 구성체계에 따라 시스템 규격서와 서브시스템 규격서(차량, 신호, 통신, 전력, 선로, 역사, 기지)로 분류하여 작성하였다.



[그림 36]시스템/서브시스템 규격서와 각 핵심과제 감리 역할분담

(3) 주요 수행 내용

규격서 구성체계를 연구하고 분야별 설계결과를 수집하여 규격서를 작성하였다.

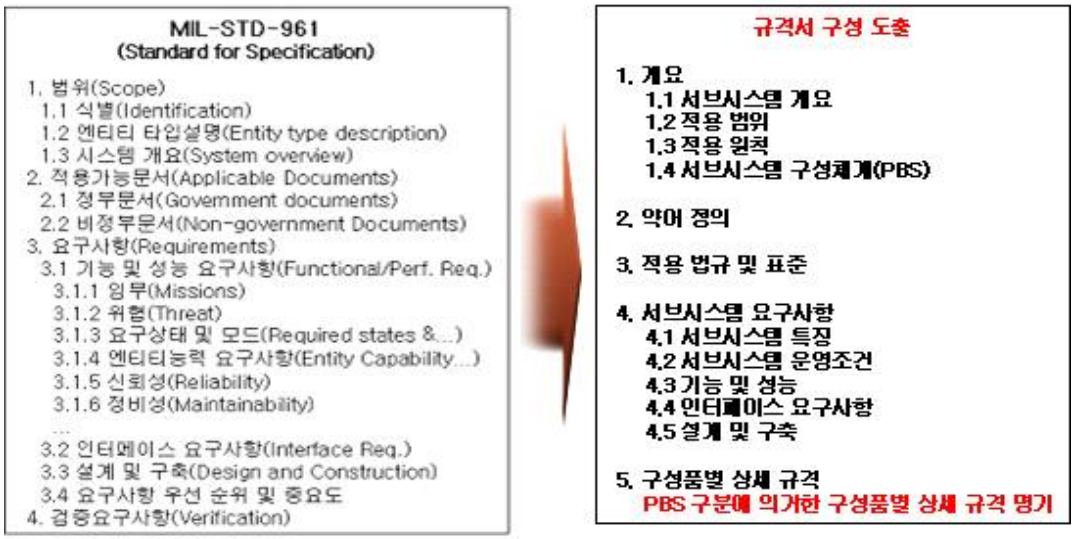


[그림 37]규격서 작성 관련 주요 업무수행 내용

(4) 규격서 구성체계 연구

(가) 규격서 정리체계 연구

본 과제에서는 전 세계적으로 시스템엔지니어링 활동에 참고가 되고 있는 미국방(MIL-STD) 규격을 검토하였다. 미국방 표준은 미국 국방부에서 소요되는 모든 시스템 획득에 관련된 표준을 제시하기 때문에 무기체계에 대한 내용만이 아닌 범용적으로 활용할 수 있는 내용으로 구성되어 있다. 본 과업에서는 범용 시스템에 대한 규격서 구성을 제안하고 있는 MIL-STD-961 표준을 기본 Reference로 하고, 여기에 자기부상열차 실용화 사업이 대형복합시스템임을 고려하여 차량, 신호, 통신, 전력, 선로, 역사, 기지 등 서브시스템의 특성을 동시에 반영할 수 있는 규격서 구성을 아래 그림과 같이 도출하였다.



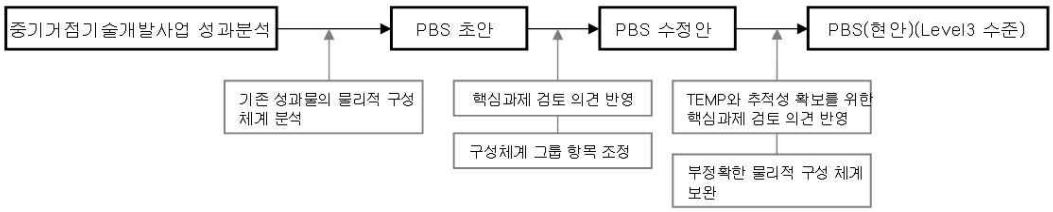
[그림 38]실용화사업의 규격서 체계 구성

(나) 시스템 구성체계(Product Breakdown Structure) 분석

통상 PBS로 표기되는 Product Breakdown Structure는 규격서를 정리하기 전에 정의되어야 한다. PBS의 국문 표기는 '제품분해구조', '물리구성체계' 등 다양하지만 실용화사업에서는 시스템 구성체계로 통일하였다.

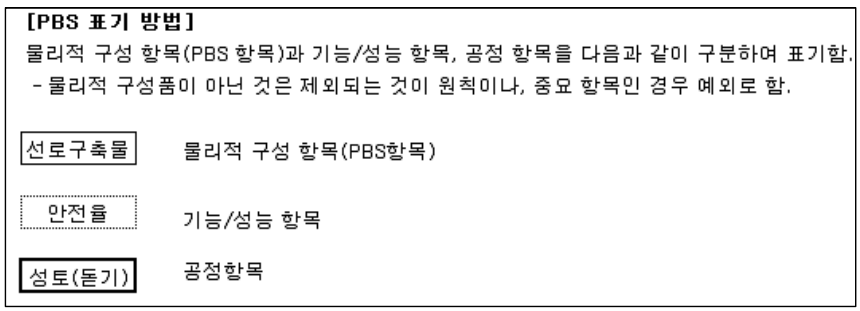
도시형 자기부상열차 실용화사업의 PBS는 중기거점기술개발사업의 기술문서를 토대로 초안을 구성하였다. PBS는 규격을 정리하는 체계의 기준이 되기 때문에 매우 중요하다. 자기부상열차의 구성품을 규격체계에 적합하도

록 기능분류에 맞추어 정리하고, 중기거점기술개발사업에서 고려되지 않은 인프라를 추가하였다.



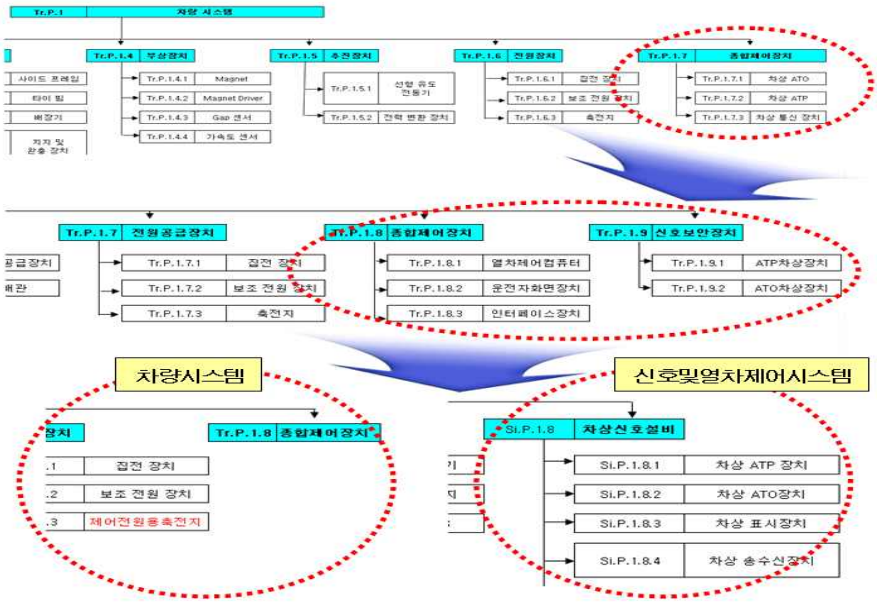
[그림 39]상위수준의 시스템 PBS 구축 및 보완/조정 업무 흐름도

PBS는 시스템의 물리적 구성체계를 정의한 것이기 때문에 물리적인 항목만으로 구성되는 것이 적합하다. 그러나 일부 분야에서는 특정 공정이라 기능/성능 항목이 물리적 구성품보다 중요한 의의가 있어 제외가 곤란하다. 예를 들어 시범노선 건설에서는 노반분야의 깍기, 절토 등과 같은 공정에 상당한 규격이 반영된다. 본 과업의 기본목표는 분야별 규격서를 정리하는 기준체계를 정립하는데 있으므로 이와 관련된 3핵심과제 측의 의견을 수렴하여, 규격에 중요한 의미를 갖는 특정 공정이나 업무 프로세스를 포함하되, 물리적 구성항목과 구별하여 반영하였으며 이와 관련된 PBS 표기방안은 아래 그림과 같다.



시스템 구성체계(PBS)는 2, 3차년도에도 관련 과제의 검토의견에 따라 과제 간 합의를 통해 지속적으로 수정・보완되었다. 다음은 3차년도에 있었던 PBS 수정・보완 사례이다.

ex) 서브시스템(차량 및 신호분야) 범위 재설정
종합제어장치에서 신호보안장치를 분리 구성하고, 시스템 구성 영역에 따라 신호보완장치를 차상신호설비로 하여 신호 및 열차제어시스템으로 이동함.



[그림 40]PBS 수정・보완 사례

- PBS 초안에 대해 핵심과제 검토 및 조치내역

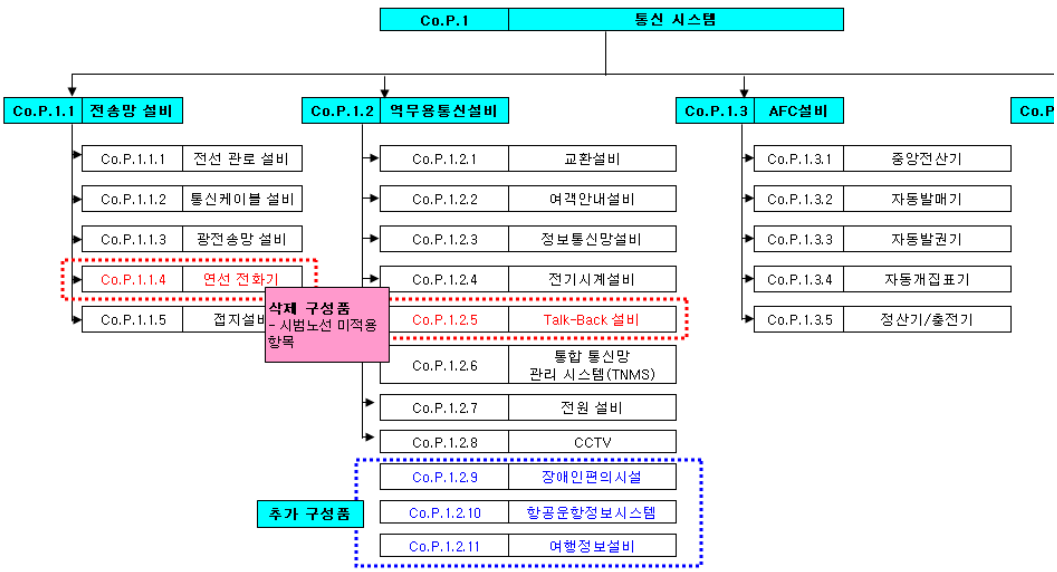
PBS내용 (당초안)	Issue(3핵심)	1-1 세부과제 검토 내용	조치결과
Si.P.1.2.1 자동속도제어	Si.P.1.2.1 자동속도제어장치로 수정.	ATO 하부에 “자동속도제어장치” 가 별도의 물리적 구성품으로 존재 하지 않고, ATO의 기능으로 존재 하므로, 하위 PBS 구성으로 간주하기 어려움. 따라서, “자동속도제어”를 ATO의 하위 PBS 구성이 아닌 ATO의 기능 으로 표기하는 방안을 제안.	Si.P.1.2.1 자동속도제어를 기능/성능 항목으로 구분 표기
Si.P.1.2.3 열차출입문개폐	Si.P.1.2.3 열차출입문개폐장치로 수정	ATO 하부에 “열차출입문개폐장치”가 별도의 물리적 구성품으로 존재하지 않고 ATO의 기능으로 존재하므로 하위 PBS 구성으로 간주하기 어려움. 기능 항목으로 표기하는 방안을 제안.	Si.P.1.2.3 열차출입문개폐를 기능/성능 항목으로 구분 표기

PBS내용 (당초안)	Issue(3핵심)	1-1 세부과제 검토 내용	조치결과
Pw.P.1.2.6 회수설비	Pw.P.1.2.6 회생전력이용로 수정	'회생전력이용' 표기가 물리적 구성품으로 적절치 않아 용어 변경을 제안함. "-장치"나 "-설비" 등 구성품을 의미하는 용어로 변경 제안.	Pw.P.1.2.6 회생전력이용설비 로 수정
없음	Pw.P.1.3.X 안전율 추가	"안전율"은 물리적 구성품으로 보기 어려운 점이 있으므로 "급전설비"의 하위 PBS 구성으로 분류하기 어려움. "급전설비"의 성능 항목으로 정리하는 방안을 제안.	Pw.P.1.3.7 안전율 항목 추가 및 기능/성능 항목으로 표기
Ra.P.1.1.1 침목	Ra.P.1.1.1 cross arm 으로 수정	한글 또는 영문 표기 방법이 다를 뿐 내용상 동일함. 3핵심 의견으로 표기되어도 무방함.	Ra.P.1.1.1 cross arm 으로 수정
De.P.1.4.1 공기조화(냉난방포함) 및 환기설비	De.P.1.4.1 공기조화 및 환기설비로 수정	의견 반영	De.P.1.4.1 공기조화 및 환기설비로 수정

- 차량시스템 및 시범노선 분야 설계 진행에 따라 기존 기술 문서에는 있으나 시범노선에는 적용하지 않거나 추가해야 하는 구성품, 표기가 변경된 구성품에 대한 검토 결과 반영

PBS내용(당초안)	PBS내용(수정안)	검토 내용
Ra.P.1.3 토공구조물	삭제	"Ra.P.1.3 토공구조물" 항목은 시범노선에 적용되지 않으므로 삭제함(3핵심 규격서 검토 의견 반영)
없음	Ra.P.1.3.8 스토퍼(Stopper)	시범노선에 적용된 설계 내용을 검토하여 반영함.
St.P.1.2.4 공기조화설비	St.P.1.2.4 환기설비	시범노선에 적용된 표현과 통일하기 위해 수정함.
St.P.1.4.1. 자동제어설비	St.P.1.2.6 자동제어설비	"St.P.1.4 제어 및 통신설비"에서 "St.P.1.2 건축기계설비"로 이동하여 작성함.
St.P.1.3.4 소화설비	St.P.1.3.4 소방기계설비	시범노선에 적용된 표현과 통일하기 위해 수정함.

PBS내용(당초안)	PBS내용(수정안)	검토 내용
De.P.1.2.4 종합또는운전사령실	De.P.1.14 통합관제실	시범노선에 적용된 표현과 통일하기 위해 수정함.
없음	De.P.1.2.1 자동일상검사장치	시범노선에 적용된 설계 내용을 검토하여 반영함.
없음	De.P.1.2.2 검수안전설비	시범노선에 적용된 설계 내용을 검토하여 반영함.
없음	De.P.1.2.6 천정크레인	시범노선에 적용된 설계 내용을 검토하여 반영함.
없음	De.P.1.2.7 대차모듈착탈장치	시범노선에 적용된 설계 내용을 검토하여 반영함.
없음	De.P.1.2.8 스팅거 설비	시범노선에 적용된 설계 내용을 검토하여 반영함.
없음	De.P.1.2.9 차량하부기취장치	시범노선에 적용된 설계 내용을 검토하여 반영함.
없음	De.P.1.2.10 자기부상열차 안전진단장치	시범노선에 적용된 설계 내용을 검토하여 반영함.



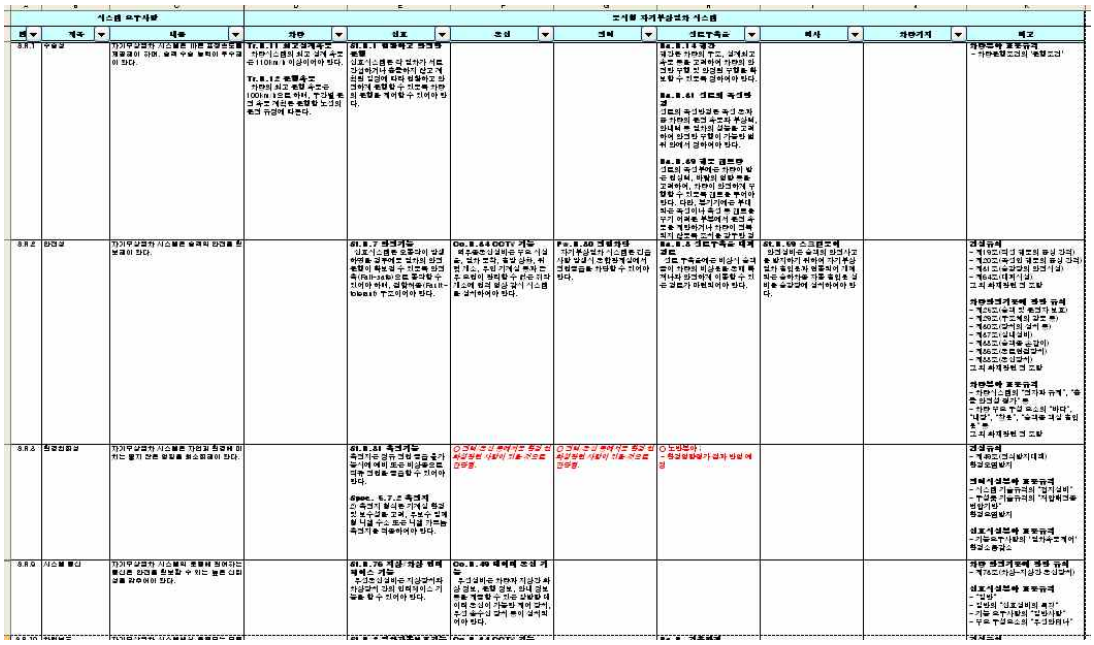
(2) 차량/시범노선 상세규격 수집 및 분석

(가) 중기거점기술개발사업 성과 및 차량시스템 규격서 분석

중기거점기술개발사업을 통해 무인운전이 가능한 신호 및 종합관제시스템의 개발 및 시험평가 등이 이루어졌다. 본 과업에서는 중기거점기술개발사업 결과물에 대한 분석을 통해 실용화사업의 차량 및 신호분야 규격의 기본 골격을 도출하였다. 또한 차량규격서 및 시범노선 설계기준(안)에 대해 시스템요구사항 및 관련 법안과의 I/F를 분석하고 이 과정에서 도출된 사항은 조정회의를 거쳐 조율하고 규격서에 반영하여 추적성을 확보하였다.

(나) 시범노선 설계기준(안) 분석

시스템 요구사항을 설계에 반영하고, 타당성을 확인하기 위해 시범노선 관계자와 검토를 진행함. 그 결과로서 각 요구사항에 대한 관련 시스템 및 설계 반영 내용 등이 분석되고, 결과를 규격과의 추적성을 확보하기 위해 활용하였다.



[그림 41]시스템 요구사항에 대한 시범노선 설계기준 검토 사례

(다) 실시설계검토 결과 분석

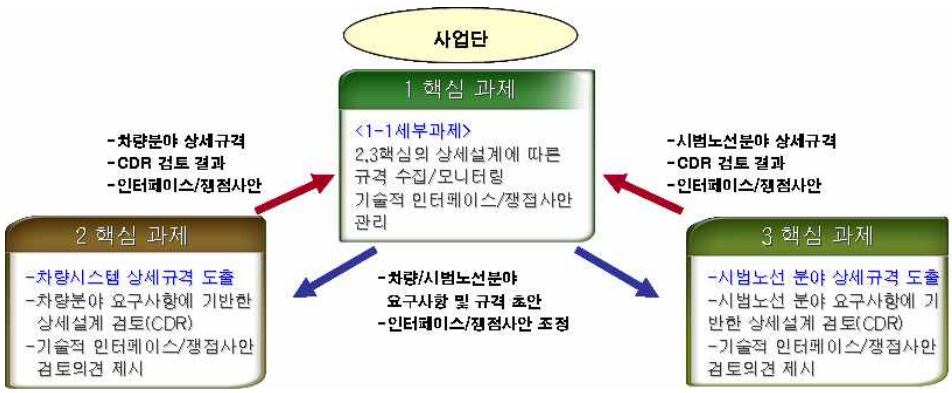
차량 및 시범노선 실시설계 진행에 따라 시스템 요구사항과 설계 내용 간의 타당성을 검토하여, 상세설계 단계로 진행할 수 있도록 하고, 서브시스템 요구사항 분석을 위한 상위 요건으로 활용하였다.

번호	이름	내용	검증내용 진행상황					
			번호	검증요구사항 이름	진행현황	검증유형	검증조건	검증결과
Co.R.1	통신시스템	통신시스템은 연속, 고밀도, 양방향 통신상태를 유지하여 자기부상열차 시스템의 원활한 운영 및 사고처리를 지원해주어야 한다.	VR.1	차체하중 검증	검증준비	시험	T.B.D	
S.R.1	수송성	자기부상열차 시스템은 빠른 표정속도를 제공해야 하며, 승객 수송 능력이 우수해야 한다.	vr.28	노반분야			T.B.D	* 최고속도 110km/h 구간(L= 2.3km 이상)확보 및 곡선반경을 125m 이상 확보하여 속도제한 최소화. * 표정속도 산출 예정(TPS 결과반영) (101~106 정거장)
			vr.29	궤도분야			T.B.D	* 노반 선형계획에 따른 곡선반경별 최적의 설정캔트 적용
S.R.2	안전성	자기부상열차 시스템은 승객의 안전을 확보해야 한다.	vr.30	노반분야			T.B.D	비상시 승객이 안전하게 대피할 수 있도록 피난통로 설치
			vr.31	건축분야			T.B.D	* 스크린도어 설치 * 역사 승강장에서 추락 방지
			vr.32	전력분야			T.B.D	* BLS 시스템 구축 * 역사 내 승객 추락사고 발생 시 자동 전원차단으로 승객보호
			vr.33	신호분야			T.B.D	시스템 오동작 시 안전측(Fail safe)으로 동작
			vr.34	통신분야			T.B.D	*CCTV 설비 구축 주요시설물, 승강장, 기타 취약개소에 감시카메라 설치
S.R.3	환경친화성	자기부상열차 시스템은 자연과 환경에 미치는 좋지 않은 영향을 최소화해야 한다.	vr.35	노반분야			T.B.D	환경영향평가 결과 반영 예정
			vr.36	신호분야			T.B.D	* 축전지를 니켈 수소(환경친화용)로 적용
S.R.4	운영비용	자기부상열차 시스템은	vr.37	노반분야			T.B.D	*구조형식 및 공법 선정시 경제성 고려

[그림 42]실시설계검토 결과 분석 사례

(라) 상세설계검토(CDR) 결과 분석

시스템별로 수립된 서브시스템 요구사항이 설계에 반영되었는지를 확인하기 위해, 사업단 차원에서 실용화사업 전 분야에 걸쳐 수행된 상세설계검토(CDR) 결과를 분석·반영하였다.

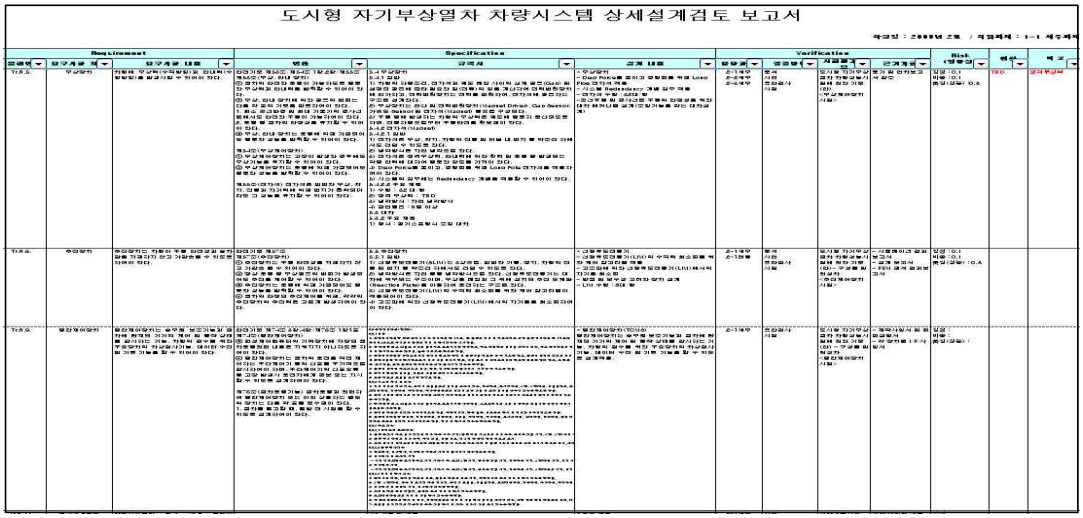


[그림 43]핵심과제 간 협조체계를 통한 서브시스템 규격 수집/모니터링

- 설계 자료 수집/모니터링
- 차량시스템 설계 자료 : 도시형자기부상열차 표준규격(안) 및 대조표/검토의견
- 차량기지 및 검수 분야 설계 자료 : 기본/실시 설계 자문회의 및 심사결과
- 규격 관련 핵심과제 실무자 검토 의견 모니터링
- 시범노선 설계 및 차량 간 인터페이스 협의 회의
- 규격서 실무자 검토 의견 회의
- 시설규격 표준(안) 주요 규격 결정을 위한 공개 토론회
- 상세설계 진행에 따라 도출되거나 보완되는 분야별 구체적인 규격을 수집/정리하여 데이터베이스화하고, 서브시스템별 요구사항 및 기술적 인터페이스를 토대로 누락되었거나 추가 협의가 필요한 규격 항목을 모니터링하고 관련 과제에 통보하여, 완전한 상세설계가 진행될 수 있도록 지원하는 역할을 수행
- 상세설계검토 진행 현황

진행 일정	주요 내용
2008.10.09	CDR 검토 양식(Verification Matrix) 초안을 1핵심으로 송부(1-1세부)
2008.10.16	CDR 일정 계획 배포(1핵심)
2008.10.17	CDR 검토 양식 보완 및 수행지침 1핵심으로 송부(1-1pqn) 및 전 과제 배포(1핵심)
2008.11.19	차량시스템 CDR 설계검토 내용 협의
2008.11.26	시범노선 분야 CDR 최종본 송부
2008.11.27	차량시스템 CDR 최종본 송부
2008.12.03	3차년도 인터페이스 조정 회의시 CDR 최종본에 대한 2, 3핵심 설명회 개최

차량시스템 외 6개의 시스템에 대한 상세설계검토 보고서가 작성됨



(2) 시스템 및 서브시스템 규격서 작성

(가) 시스템 규격서 및 서브시스템 규격서 작성

1) 시스템 규격서 작성

- 시스템 수준의 요구사항 및 실용화사업의 목표 규격을 정리하고 차량, 신호 등의 서브시스템 수준의 최상위 요구사항을 작성함.



2) 서브시스템 규격서 작성

- 서브시스템 요구사항을 기준으로 하여 각 핵심과제의 설계 진행 과정에

방향을 제시하고자 함.

- PBS 구성체계에 의거하여 구성품의 규격 항목을 구성하였으며, Level3 수준(언더프레임, 전자석, 부상레일 등)으로 작성함.



(나) 서브시스템 규격서 보완

1) 상세설계검토 이후 후속조치 반영

서브시스템 요구사항 743개 중 설계 검토 대상이 되는 661개의 요구사항을 기준으로 상세설계검토를 실시하였다.

[표 8]상세설계검토 후속조치 현황

시스템	요구사항 항목	CDR 대상 항목	주요 검토 내용
차량시스템	267	184	- 차상신호장치 관련 요구사항 신호 및 열차제어 시스템으로 이동
신호 및 열차제어 시스템	82	102	- 차상신호장치 관련 요구사항 차량시스템에서 이동 - 끌림검지기능 설계에 반영하지 않음
통신시스템	50	48	- 동케이블, 정산기/충전기, FM재방송 기능 설계에 반영하지 않음

시스템	요구사항 항목	CDR 대상 항목	주요 검토 내용
전력시스템	87	88	- 회생제동으로 발생하는 전력 활용 방안 검토 - 전차선 높이 TBD - 'De.R.92 전차선의 설비' 요구사항 이동
선로구축물	74	77	- 부상레일, 추진레일 재질 결정 - 궤도허용공차 - 추락방지시설 설계에 반영하지 않음
역사시스템	69	62	- St.R.32 ~ St.R.37 요구사항 St.R.31 역무자동화에 통합
차량기지	114	100	- 2핵심, 3핵심 간 설계 자료 공유

[표 9]상세설계검토 결과 후속조치 사례

차량시스템	비고
5.2.14 실내 천정 및 벽면 설치기기 1) 실내천정에는 실내 주조명, 비상등, 환기 및 냉방을 위한 공기덕트, 방송용 스피커 등이 설치되어야 한다. 2) 방송용 스피커는 음량이 균일하게 배분되는 위치에 설치한다. 3) 비상인터폰은 각 차량의 지정위치에 설치한다.	자기부상열차에는 형광등을 적용하지 않으므로 규격서 내용에서 삭제
5.6.4 압축공기 공급장치 5.6.4.2.2 주요제원 1) 공기 압축기 일반 - 상용토출 공기압 : 9㎏f/㎠ - 자유공기 토출량 : 345ℓ/min±7% - 압축방식 : 스코롤 2) 전동기 : 3상, AC 380V, 60Hz 유도전동기	상용토출 공기압, 자유공기 토출량, 압축방식 설계 내용 반영

2) 사용자 관점 요구사항 분석

사용자 관점의 요구사항 반영 여부에 대한 검토를 강화하기 위해 한국기술교육대학교 디자인공학과와 협력하였다. 자기부상열차 시스템 사용자의 만족도를 극대화하고 불편요소를 최소화하기 위해 사용자가 자기부상열차 시스템을 이용하면서 접하는 모든 시설, 환경, 차량 등에 대한 사용자 관점의 요구사항을 도출하였다.

- 사용자 조사 및 분석
- 디자인 컨텍스트 조사 및 분석
- 사용자 중심의 요구사항 분석

[표 10]사용자 관점의 요구사항 분석 예

시스템	사용자 관점이 보완된 규격서
차량시스템	5.2 실내 내장 5.2.4 출입문(Passenger Door) 3) 출입문은 휠체어 사용자 등의 교통 약자가 통과하기에 적합한 유효폭을 확보하여야 한다. 4) 휠체어 사용자의 탑승이 가능한 승강설비를 갖춘 차량의 경우 휠체어 사용자의 이동에 불편함을 주지 않도록 출입문의 유효폭을 확보하여야 한다. 5) 출입문의 손잡이 형태 및 설치 높이는 교통약자 등의 이용자가 손잡이를 잡고 문을 여는데 어려움이 없어야 한다.
차량시스템	5.2 실내 내장 5.2.6 객실 손잡이 4) 객실손잡이는 힘이 약한 장애인 등 다양한 이용자가 손잡이에 지탱하여 이동하거나 시각장애인이 손잡이를 잡고 이동할 수 있도록 적절한 높이 및 형태로 설치되어야 한다.
역사	5.1 여객시설 5.1.1 승강장 4) 승강장은 휠체어 사용자 및 교통약자 등이 이용하는데 어려움이 없도록 완만하고 미끄럽지 않아야 한다. 5) 승강장에는 시각장애인 및 노인 등 시력에 어려움을 겪는 사용자들의 안전을 위하여 승강장의 가장자리에 점형블록을 설치하여 추락 및 사고를 예방하여야 한다.
역사	5.3.3 대피유도시설 7) 경보 및 피난설비의 시각·청각장애인 설비를 평가하여 비상시 시각·청각장애인이 대피할 수 있도록 비상벨 또는 음성안내 등의 청각경보시스템 및 경광등 또는 문자 안내 등의 시각경보시스템이 연속적으로 설치되도록 하여야 한다.
역사	5.3.4 소화설비 6) 소화기 보관함, 소화전 주변에 광고, 자판기 등을 설치하지 말아야 한다. 또한, 보관함 주변에는 스티커형 광고물을 부착하지 않도록 철저한 유지관리가 이루어져야 한다. 7) 시인성 확보를 위하여 붉은색 픽토그램(발광소재)을 사용해야 한다.

시스템	사용자 관점이 보완된 규격서
	단, 적용시 전 역사에 동일하게 적용하도록 하여야 한다. 8) 소화기 보관함 및 소화전은 이중벽 공간을 활용, 매입하는 것을 원칙으로 하되, 불가능한 경우 벽면, 기둥 등에 인접하여 설치해야 한다. 단, 매입형의 경우 벽면 모듈에 맞추어 계획해야하며, 유사시 사용하기 쉬운 위치로 하여야 한다.

3) 시스템 및 서브시스템 규격서 핵심과제 최종 검토

현재 시스템 및 서브시스템 규격서는 2, 3단계사업을 대비해 사업단 승인을 준비 중이며, 아직 설계 관련 쟁점이 종료되지 않은 상황이기 때문에 핵심과제의 최종검토는 진행 중이다. 현재까지 진행 중인 주요 검토내역은 아래 표와 같다.

[표 11]분야별 규격서 최종 검토 관련 진행 현안

시스템	시스템 규격서 항목	공단 검토 의견	회의 결과
신호 및 열차제어 시스템	* 신호시스템 규격서	* 신호시스템 규격서 명칭을 신호 및 열차제어시스템(signal & train control system)으로 수정 요망 - 도시철도시설 표준규격 등 관련 법규에 따름	* 신호시스템을 신호 및 열차제어 시스템으로 수정.
통신시스템	그림 1. 통신시스템 구성체계(PBS)	* 본 사업에 미적용 설비 삭제 및 누락 설비 추가 - 삭제 : 연선전화기, Talk-Back 설비, FM 재방송설비 - 추가 : 장애인편의시설, 항공운항정보시스템, 여행정보설비 등	* PBS Revision 및 삭제 및 누락 설비 보완 작성
통신시스템	3. 적용 법규 및 표준	* 통신분야와 무관한 전철전력시설지침 등을 삭제하고 아래 표준을 추가 바람. -국제전기통신위원회(ITU-T) 권고 -미국전기전자기술협회(IEEE) 규격 -미국공업표준기구(ANSI)규격 -국제표준화기구(ISO)규격 -IETF규격 -한국정보통신기술협회(TTA)표준	* 적용 법규 및 표준 보완
선로구축물	4.3.1 주요 제원	* 최대 구배 -> 최대 기울기 * 최소 수평곡선 반경 : 60mR -> 곡선반경(R) : 60m	* 종곡선반경(R) : 3,000m 이

시스템	시스템 규격서 항목	공단 검토 의견	회의 결과
		* 최소수직 곡선 반경 : 1000mR -> 종곡선반경(R) : 1000m(적용 근거 확인) * 차량 한계도 : TBD 건축한계, 차량한계 도면이 나왔으므로 명확히 표기 * 캔트는 mm수치로 변경(차량기준 표기이며 시설기준에서는 mm로 하는 것이 바람직함) * 완화곡선 - 곡선설치 : ... R=1200 -> R=1200 이하로 수정 * 건축한계 차량의 흔들림이나 ... 하여야 한다 -> Wc(내폭확폭량) : 8,200/R, W_o(외폭확폭량) : 11,000/R(캔트에 대하여 경사)로 변경	상(부득이한 경우 : R=1,500m 이상) * 차량한계도 : 2,760mm X 3,670mm * 캔트값 mm 수치 필요

(나) 검증 요구사항 보완

검증 요구사항 수립을 통해 요구사항 및 규격 추적 관리 데이터베이스에 시스템 검증/평가 활동을 반영하고자 한다. 검증 요구사항은 시스템 규격의 검증방법/내용/환경 등을 정의한 내용으로 규격이 만족되었는지를 판단하는 기준이며, 규격서에 포함되는 필수 항목이다.

- 검증 요구사항(Verification Requirement)은 모든 규격 항목과 일대일 대응되어 규격 항목이 검증되는 방법과 사항 등을 규정함. 또한, 요구사항 및 규격을 만족하면서, 시험평가계획서 및 시험절차 간의 추적성 및 타당성을 가질 수 있어야 함.
- 일반적인 시스템 규격서 표준으로 참조되는 미국방 표준 MIL-STD-961E에서 제시된 규격서 양식을 참조하여 시스템 및 서브시스템 전 규격서에 “시스템 검증” 항목 보완
- 실용화사업의 개발 및 구매 결과물이 규격을 만족하는지 확인하기 위해 검증이 필요한 항목에 대해 규정

[표 12]검증 요구사항 항목

규격서 종류	검증 요구사항 보완
시스템 규격서	시험평가 연구과제(1-3세부)의 결과물인 '시험평가관리계획서(Test and Evaluation Management Plan)'에 의거하여 시스템을 검증하도록 규정
차량시스템 규격서	시험평가 연구과제(1-3세부)의 결과물인 '구성품 시험절차서'에 의거하여 '차체시험', '대차시험', '부상장치시험', '추진장치시험', '보조전원장치시험'에 대한 검증 요구사항 보완
신호시스템 규격서 통신시스템 규격서 전력시스템 규격서	온도, 습도, 태양열 부하 등 전기/전자장치와 밀접한 영향을 갖는 환경조건에 대한 검증요건 보완 각 장치별 규격에 대한 검증필요내역 보완
선로구축물 규격서 역사시스템 규격서 차량기지 규격서	일사량, 기후조건과 같이 실험을 통한 검증이 어려운 항목은 분석 및 시뮬레이션, 계산 등을 통해 공학적으로 올바른 설계반영이 되었는지를 확인할 수 있는 자료를 확보하도록 보완 선로의 경우 차량과 인터페이스 되는 단차 등의 품질 검증에 대한 내용 위주 보완

마. 시스템 및 서브시스템 규격추적관리

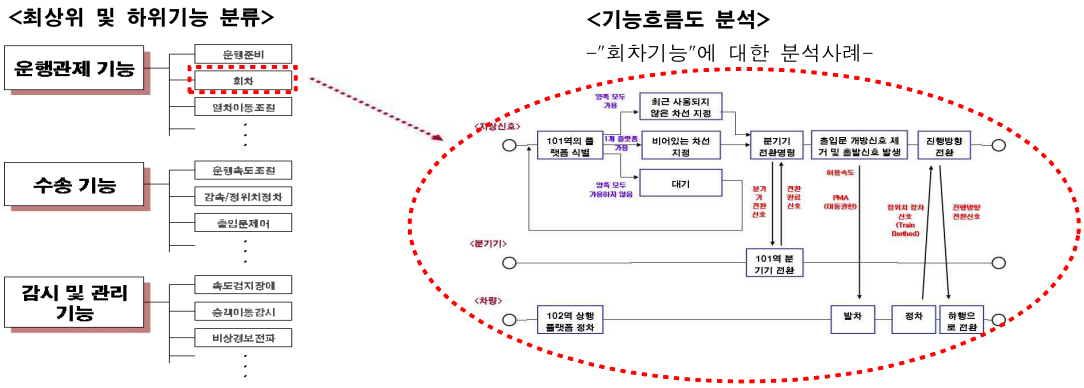
시스템 및 서브시스템에 대한 규격을 정리하는 활동과 함께 중요한 것은 규격추적관리 활동이다. 시스템 및 서브시스템 규격을 추적·관리하기 위해서는 요구사항과 규격간의 추적성이나 시스템 구성요소간의 추적성을 식별하는 업무가 선행되어야 한다. 요구사항과 규격간의 추적성은 앞서 언급된 각종 검토·보완 업무를 통해 식별·관리해왔으며, 시스템 구성요소간의 추적성을 식별하기 위해 실무자의 검토의견 외에도 기능 분석 및 인터페이스 분석을 수행하였다.

요구사항 및 규격에 대해 식별된 모든 추적성은 시스템엔지니어링 전산지원도구인 Cradle®을 통해 통합관리 되고 있으며, 관리현황은 “시스템엔지니어링 주간동향보고서”로 작성되어 정기적으로 사업단 참여기관에게 배포하고 있다.

(1) 기능분석을 통한 추적성 도출

(가) 기능분석

- 시스템 요구사항에 기초하여 최상위 기능을 분류하고, 차량 운행 시나리오를 참조하여 최상위 기능을 수행하기 위한 하위 기능 도출함.
- 시스템 요구사항에 명기된 시스템 목표를 기준으로 도시형 자기부상열차 시스템의 최상위 기능을 ‘수송기능’, ‘운행관제기능’, ‘감시 및 대응기능’, ‘검수기능’ 등 4가지 항목으로 정의하고, 서브시스템 간 상호작용 및 입출력 아이템을 분석하여 기능흐름도[4] 작성함.



[그림 44]기능분석 사례-회차 기능

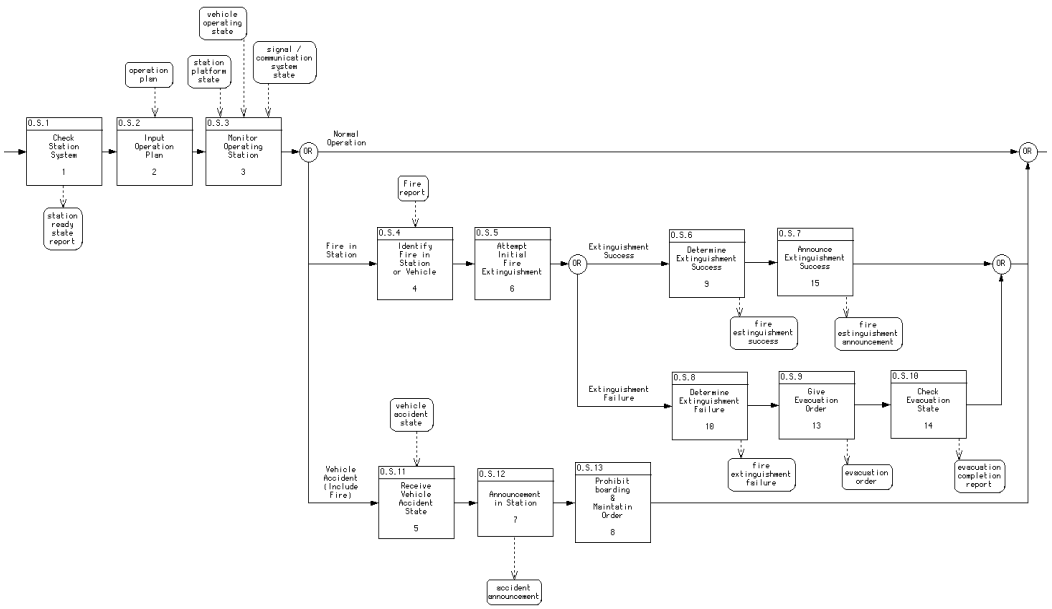
4) 기능흐름도 : Functional Flow Block Diagram

※ 기능분석의 목적은 서브시스템 간의 인터페이스 및 추적성을 정리하기 위한 것으로, 서브시스템 예하 상세수준보다 타 서브시스템과의 상호작용의 식별 위주로 진행함.

(나) 기능 아키텍처 작성(위탁과제-DB 구축)

1) 기능흐름도(EFFBD) 작성

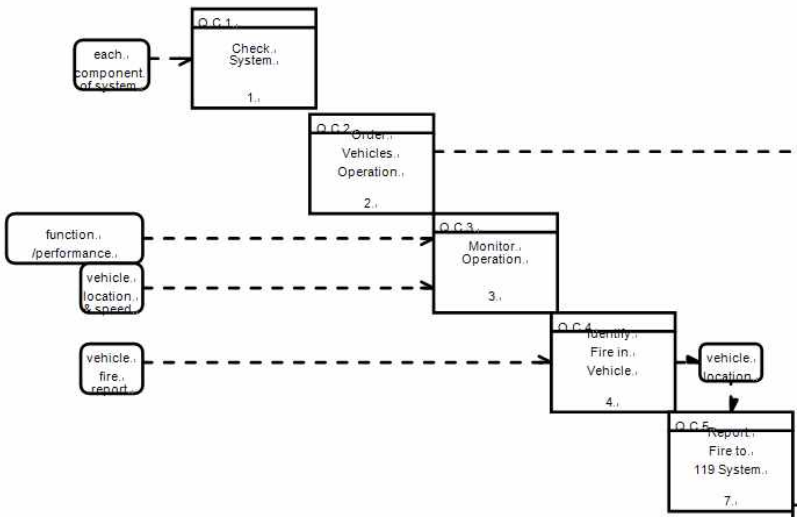
시스템 기능분석 내용에 따라 시간 흐름에 따른 시스템 거동(기능)을 도시화하여 수행 순서들을 파악하고 기능 간 또는 시스템 간의 주고 받는 정보를 명기함.



[그림 45]기능흐름도(EFFBD) 사례 - 운행준비(시스템 기동)

2) N2 Diagram 및 데이터흐름도(DFD) 작성

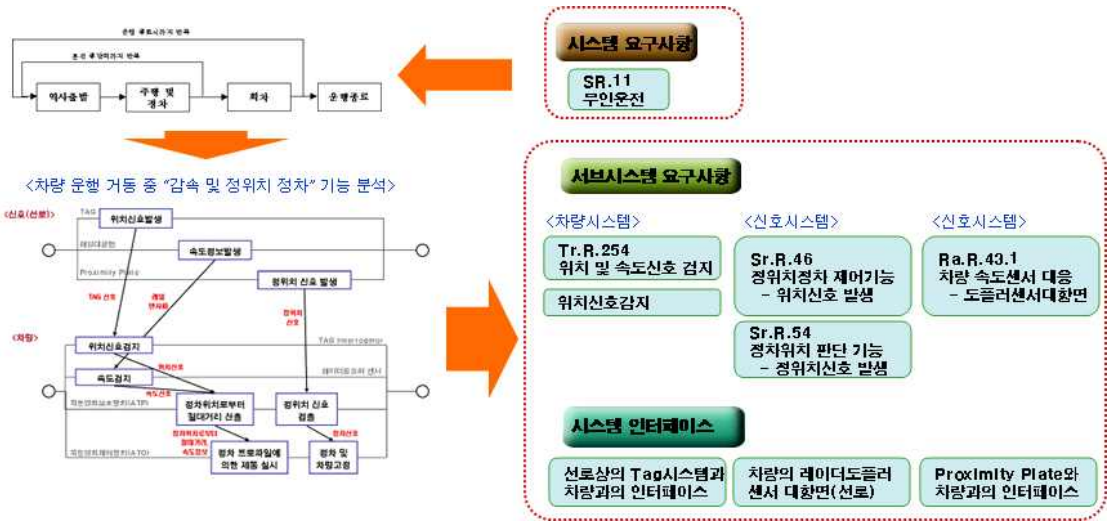
- 데이터흐름도(DFD) : 기능 간 또는 시스템 간의 주고 받는 정보 파악 용이
- N2 Diagram : 기능수행 절차 파악 용이



[그림 46]N2 Diagram 사례 - 운행준비(시스템 기동)

3) 규격 및 추적성 보완

차량분야 기능 아키텍처 작성을 통해 규격과 요구사항서 간의 추적성을 확보.



[그림 47]기능분석 결과에 의한 규격 추적성 보완

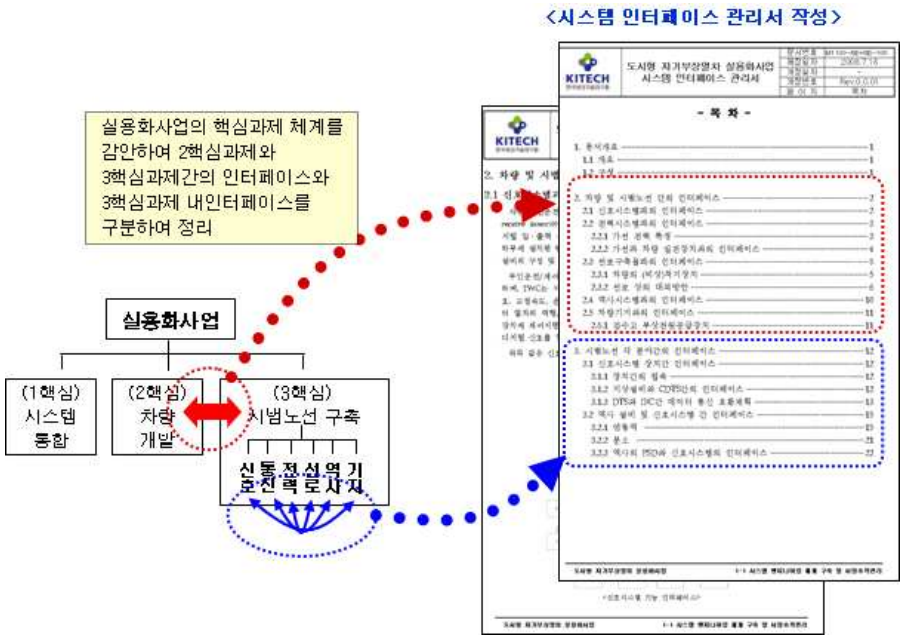
(2) 시스템 인터페이스 관리체계 구축 및 인터페이스 식별/분석

(가) 시스템 인터페이스 관리 문서(Interface Control Document) 구성방안 연구

NASA 932 C9B Interface Control Document, August 2005 외 다수의 해외 시스템 인터페이스 관리 문서(Interface Control Document)를 수집·분석하였다. 그 결과 인터페이스 관리 문서(ICD)는 기본적으로 시스템 구성체계(PBS)를 기반으로 시스템의 주요한 인터페이스 관련 기술사항을 정리하는 것으로 과업 추진 방향을 수립하였다.

(나) 시스템 인터페이스 관리 문서(안) 작성

도시형 자기부상열차 실용화사업의 서브시스템 개발과제는 차량개발과제인 2핵심 및 시범노선 구축과제인 3핵심으로 구성되어 있다. 시범노선을 구성하는 서브시스템인 신호, 통신, 전력, 선로, 역사, 기지 등은 동일한 핵심과제 내에서 수행되므로 내부적인 인터페이스 관리가 이루어지고 있다. 이와 같은 실용화사업의 특성을 고려하여, 본 과업에서는 주로 차량과 나머지 서브시스템 간의 인터페이스가 주로 관리되었다.

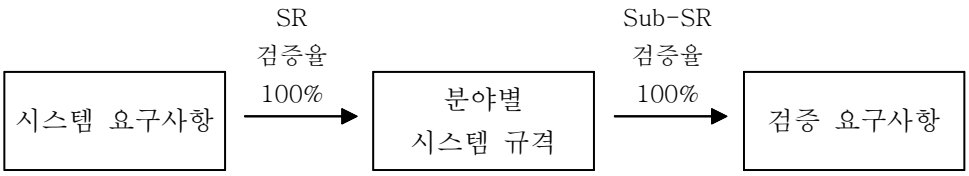


[그림 48]시스템 인터페이스 관리서 작성 개념

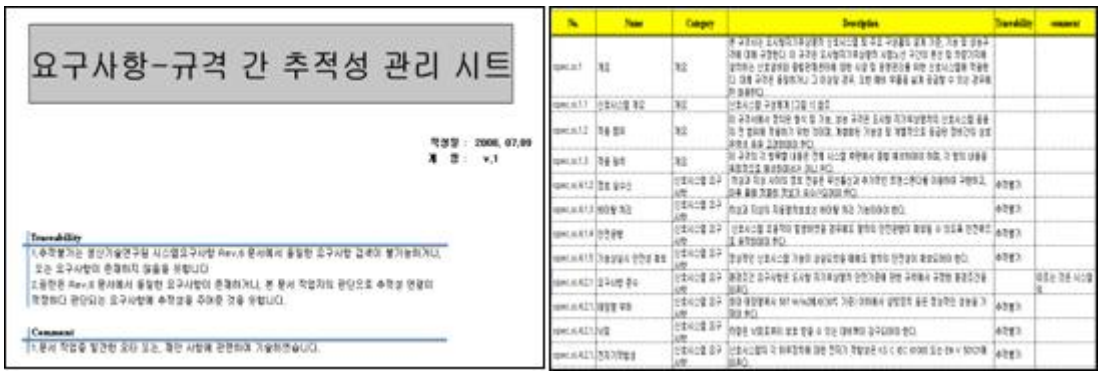
2핵심과제와 3핵심과제의 인터페이스인 “차량-시범노선 간 인터페이스”를 중심으로 기술한 다음. 3핵심과제 내 각 분야 간에 식별되는 인터페이스를 정리하였다.

(2) 요구사항-규격 간 추적성 검토 및 검증여부 평가

요구사항에 대한 규격 간 추적성 검토 및 검증여부를 평가하는 것은 모든 시스템 요구사항이 모든 분야별 시스템 규격에 반영되어 있으며, 또한 모든 시스템 규격에 대한 검증 요구사항이 준비되어 있는지를 분석하는 활동이다. 또한 본 과제에서 관리하는 검증 요구사항 중 시험평가에 의해 검증되는 항목은 1-3세부과제의 시험절차서에 반영되어 있는지 추적관리 될 예정이다. 1-3세부과제의 시험절차서는 현재 최종 검토 중에 있다.



요구사항-규격간의 추적성은 2차년도 동안 추적성 관리 시트를 통해 관리되었으며, 3차년도에는 시스템엔지니어링 전산지원도구인 Cradle® 데이터베이스를 통해 관리되고 있다. 요구사항-규격간 추적성 내역은 2차년도의 예비설계검토(PDR) 및 3차년도의 상세설계검토(CDR)을 통해 지속적으로 검토 보완되고 있다.



[그림 49]요구사항-규격간 추적성 관리시트

시스템 또는 서브시스템 요구사항이 실용화사업이 가장 기본적인(궁극적인) 목적을 만족하기 위해 보완될 필요성이 대두되는 경우 요구사항에 대한 보완안을 제시하고, 각 핵심과제의 검토·협의 과정을 수행하였다.

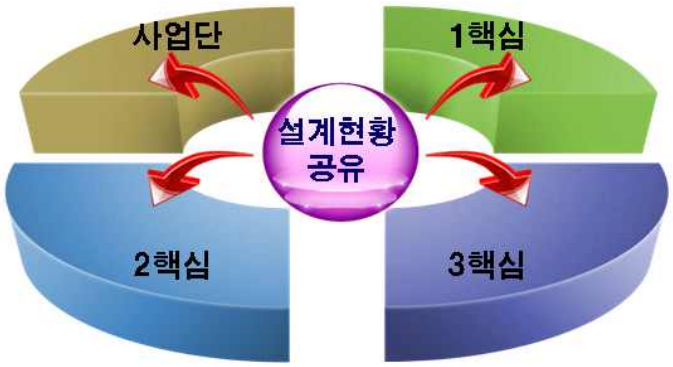


[그림 50]상세설계검토(CDR)을 통한 요구사항/규격 보완 개요

(3) 요구사항 /규격 변경관리

(가) “시스템엔지니어링 동향보고서” 배포

도시형 자기부상열차 실용화사업은 개발범위가 넓고 각종 다양한 설계 관련 쟁점사항이 동시다발적으로 발생·진행되기 때문에 피동적인 규격관리 활동으로는 효율적인 업무수행에 한계가 있다. 규격추적관리 활동과 각 개발과제의 설계보완을 효과적이고 신속하게 수행하기 위해 정기적인 정보전달 및 설계쟁점논의현황의 공유가 필요하다. 이와 같은 필요성에 의거하여 본 과제에서는 도시형 자기부상열차 실용화사업의 사업 진행 현황을 공유하여 각 과제의 원활한 업무에 도움이 되고자 요구사항 및 규격현황 및 각종 설계쟁점, 인터페이스 사항의 진행상황을 정리한 “시스템엔지니어링 동향보고서” 배포 시행하고 있다.



[그림 51]“시스템엔지니어링 동향보고서”의 역할

(나) “시스템엔지니어링 동향보고서” 내용

① 요구사항 관리 현황

- 시스템 수준의 요구사항 98개 항목을 기준으로 파생된 서브시스템(7개 분야) 요구사항에 대한 관리 현황임
- 해당 주간 발생한 요구사항의 변동(조정, 추가, 삭제) 현황을 총괄적으로 설명

② 시스템 인터페이스 관리 현황

- 시스템 인터페이스 항목은 2차년도 기간 중 각종 설계검토회의에서 언급된 주요 핵심과제 간 논의 내용을 중심으로 1-1세부과제에서 초안을 설정하여 상세설계 검토 템플릿(VM)에 반영하고 기술검토의견 및 설계반영여부를 확인하였으며, 향후에도 지속적인 식별/관리 예정

③ 주요 쟁점사항(Issue)

- 시스템 요구사항, 규격, 인터페이스 항목 중 변경 및 검토 필요성이 제기되는 내용을 정리한 항목이며, 본 초안은 3차년도 인터페이스 조정회의 중 상세설계검토(CDR) 결과 발표 및 논의내용에 의거하여 작성되었음.
- 각종 설계검토 회의 및 실무논의 중에서 제기된 내용을 토대로 본 과제의 규격추적관리 측면에서 수집·관리하고 있음.

“시스템엔지니어링 동향보고서”는 격주로 배포하고 있으며 2008년 12월 2주차부터 현재까지 총 6회 배포하였다.

- 1회 2008. 12. 2주차 : 초안작성, 구성설명 수록 및 검토의견 수렴
- 2회 2008. 12. 4주차 : The 20th MAGLEV08 기술동향 자료 수록
- 3회 2009. 1. 4주차 : CDR 당시 수집된 Issue의 후속조치 사항 반영
- 4회 2009. 2. 2주차 : 끌림검지, 속도감지 기능 등에 대한 Issue 조정
- 5회 2009. 2. 4주차 : 실용화사업 리스크 분석 및 관리방안 제시

· 6회 2009. 3. 4주차 : 시범노선 분야 규격서 실무자 검토회의 결과 및 조치내역

(다) 주요 쟁점사항 수집/관리 현황

1) 시스템 요구사항 환경조건 중 T.B.D. 항목 : 기후강도조건

① 제안 배경

- 1-1세부과제에서 수행한 시스템 요구사항 전문가 자문회의(07.09.05) 및 공청회(08.03.18) 등을 통해 강우량 및 강설량은 일(day)단위보다 시간(hour) 단위로 규제하는 것이 현실적이며, 자기부상열차의 특성을 고려하여 선로 결빙에 대한 대책이 있어야 한다는 의견이 제시됨.

② 쟁점내용

- 자문위원으로부터 제시된 검토의견이 타당한 것으로 판단하여 1-1세부과제에서 이에 대한 후속조치 차원으로 강우/강설강도기준 및 결빙 등에 대한 환경요구사항 추가보완을 사업단에 제안
- 국내 관련 규정이 없는 상황에서 최대강우강도, 최대강설강도, 결빙에 대해 운행한계를 규제하는 것은 무리가 있지만 자기부상열차의 안전운행과 그 신뢰성을 확보하기 위해 본 항목을 추가함.

  1. 결빙 : 차량운행에 미치는 영향에 대해 검토 필요
  2. 최대강우강도/최대강설강도 : 신호시스템의 무선통신장치의 전자파 감쇄 가능성에 대해 검토 필요

일련번호	제목	내용	비고
S.R.30	최대강우	자기부상열차 시스템은 최대 강우량 500mm/day의 조건에서도 안전하게 운행 가능하여야 한다.	기존 요구사항
S.R.31	최대강우강도	T.B.D.	추가
S.R.32	최대강설량	30cm의 적설(積雪)환경에서도 정상적인 운행이 가능해야 한다.	기존 요구사항
S.R.33	최대강설강도	T.B.D.	추가
S.R.34	결빙	T.B.D.	추가

③ 협의진행과정

일자	내용	수행과제
07. 9. 5	시스템 요구사항 전문가 자문회의를 통해 기후강도 및 결빙조건 필요성 제안	1-1세부
08. 4. 14	SR 후속조치 사항 및 최종안에 대한 2, 3핵심 검토 요청	1-1세부
08. 4. 22	3핵심 검토의견은 최종 조정 완료하였으나 2핵심 측은 협의되지 않음.	2, 3핵심
08. 6. 2	관련 요구사항 항목 T.B.D. 사항인 상태로 사업단 조건부 승인	사업단, 1-1세부
09. 3. 4	시스템 요구사항 쟁점사항 협의 (재)요청	1핵심, 1-1세부
~ 현재	협의 진행 중	1핵심, 2핵심, 1-1세부

④ 관련 과제 입장

- [2핵심] 국내 관련 규정이 없고, RFP에서 기술된 사항이 아니므로 상호 충분한 협의 하에 신중히 결정되어야 할 사항임. 국내 타 철도프로젝트에서 적용된 규정 및 공고규격 등에 명시된 내용이면 수용 가능.
- [3핵심] 자기부상열차의 특성상(부상하여 추진) 기존의 차륜식 열차에 비하여 지진 및 기상조건(강우, 강설, 강풍)에 민감할 것으로 판단되므로 차량 특성 및 시범노선 구간 현지 조건을 고려하여 안전설비를 구축할 필요가 있음. 시범노선 신호분야 설계에서 지진, 강우, 강설, 강풍 등 안전설비에 대하여 반영하였음.

⑤ 협의결과

- 최대강우강도는 국내 타 철도 프로젝트의 사례가 있는 것으로 조사되어 이를 바탕으로 협의 예정
- 최대강설강도는 인천공항의 강설이 적고, 상부궤도를 주행하는 자기부상열차 시스템에서는 기술적 리스크가 낮은 것으로 판단되어 폭설에 대응하는 정성적인 요구사항으로 조정하고, 제설작업이나 제설차 운행과 같은 운영방식에 대한 규정으로 협의 예정
- 선로 결빙에 대한 측정이 어렵고, 전 구간 불균일 결빙과 같은 실제 상황에 대한 기준 제시가 어렵다는 2핵심과제의 의견에 의거 최대강설강도와 통합하여 협의 예정

2) 차량 냉난방장치 외기 조건

① 제안 배경

- 운영기관 의견 수렴(2008.02) 과정에서 차량 냉난방장치 하절기 습도를 75%에서 95%로 상향 조정을 요청함.

② 쟁점내용

- 현재 요구사항의 외기조건 기준 중 하절기 습도가 75%이나, 시범노선의 해안 기후 및 하절기 습도를 고려하여 95%로 조정하는 것을 검토.

③ 협의진행과정

일자	내용	수행과제
08. 2. 4	시스템 요구사항에 대한 운영기관 검토의견 수렴 시 상기 쟁점사항 제안	1-1세부, 운영기관
08. 12. 5	상세설계검토(CDR) 당시 설계 미반영 확인됨	1핵심, 1-1세부
09. 2. 17	SE 동향보고서(2월 4주차)에 대한 검토의견을 통해 협의 완료	1핵심, 2핵심, 1-1세부

④ 관련 과제 입장

[2핵심]

- 차량개발사에서는 운영기관에서 요구하는 95%는 기술적 근거가 미흡하고, 이를 검증하기 위한 시험기준 규정 및 시간/비용의 추가 소요가 필요하다는 점에서 부담이 있음.
- 기존 도시철도차량의 제작, 운영 상황을 미루어 볼 때, 차량제작사가 공조장치 제작업체에게 제시하는 75%는 통상적인 수치이며, 공조장치 제작시는 실제 기후를 감안하여 제작되고, 실제로 차량제작사에서 제작한 수백 량의 차량들이 다습한 장마철 환경에서 문제없이 운영되고 있어 이미 검증된 성능으로 판단할 수 있음.

⑤ 협의결과

- 전동차의 냉난방장치는 이미 타 시스템에서 적용하고 있는 검증된 기술이므로 현재의 규격으로도 장마철 등 습도가 높은 기후에서도 시스템의 운영에 문제가 없을 것으로 판단됨
- 따라서, 요구사항에는 일반 도시철도차량 제작시 통용되는 요구사항(75%)을 존중하되, 하절기 장마철 등 고온 다습 환경에서 작동이 원활

해야 함을 단서 조항으로 명기하는 방안으로 협의

3) 사고복구장비 준비 대책

① 제안 배경

- 운영기관 측에서 상세설계검토(CDR) 수행시 "De.R.52 사고복구장비" 관련하여 책임 주체에 대한 확인을 요청함.

② 쟁점내용

- 시범노선 구축 과제에서 사고복구장비 종류, 수량, 운영계획 등을 제시하고, 운영기관에서 도입/활용하도록 함.

③ 협의진행과정

일자	내용	수행과제
08. 12. 5	상세설계검토(CDR) 당시 운영기관에 의해 쟁점사항 제기	1핵심, 1-1세부
09. 2. 17	SE 동향보고서(1월 2주차)에 대한 검토의견을 통해 협의 완료	1핵심, 2핵심, 1-1세부

④ 관련 과제 입장

- [3핵심] 초기에는 시범노선 구축 과제에서 사고복구 장비에 대해 계획하였으나, 협약시 운영기관에서 적용하기로 하여 배제함.
- [운영기관] 사고복구장비는 운영기관에서 도입하되, 장비의 종류, 수량, 운영 등에 대한 계획을 제시해 주기를 요청함.

⑤ 협의결과

- 시범노선 구축 과제에서 사고복구장비에 대한 계획을 제시하고, 운영기관에서 반영하는 것으로 합의함.

4) 레일단차 허용 범위

① 제안 배경

- 상세설계검토(CDR) 수행시 "Ra.R.38 레일 단차 허용범위" 관련하여 설계사에서 시공 완료 후 궤도틀림 허용공차를 일본 HSST 기준으로 완화하여 줄 것을 요청함.

② 쟁점내용

- 설계사에서 요구하는 기준은 다음과 같음.

항목	조정 전	조정 요구 기준
궤간틀림	±2mm	3mm
수평틀림	±2mm	3mm
수직틀림	±2mm	3mm
이음매단차	(수직)± 1mm, (수평)± 0.5mm	(수직)1mm, (수평)1mm
횡방향틀림	±1mm	3mm

③ 협의진행과정

일자	내용	수행과제
08. 2.	2핵심에서 “선로구축물 요구사항” 작성.	2핵심
08. 12. 5	상세설계검토(CDR) 당시 2, 3핵심간 인터페이스 조정과정에서 쟁점사항 발생	2, 3핵심
08. 12.	12월 사업단-핵심과제 회의시 협의 완료	1핵심, 2핵심, 1-1세부

④ 관련 과제 입장

- [2핵심] 3핵심의 상세설계검토에서 제시된 레일단차 허용범위가 2핵심에서 제시한 상부궤도 요구사항과 다름.
- [3핵심] 2핵심과제에서 요구하는 선로품질은 매우 높은 고정밀 수준으로 기술적으로 달성하기 쉽지 않은 목표임. 일본의 리니모 시험선 수준으로 완화 요망

⑤ 협의결과

- “경쟁력 확보 차원에서 설계기준은 3mm로 하고, 시범노선 구축시에는 2mm를 달성하도록 노력”으로 협의함(2008.12 사업단-핵심과제 회의).

5) 추락방지시설의 적용

① 제안 배경

- 상세설계검토(CDR) 수행시 “Ra.R.52 추락 방지 시설” 관련하여 시범노선 구간은 구조물 슬림화에 따라 별도 낙하 방지장치를 미설치하고 있으나, 필요성이 제기됨.

② 쟁점내용

- 슬라브가 없는 현 선로 설계 특성상 추락방지시설의 적용은 시범노선 재설계 뿐 아니라 건설규칙, 설계기준 등 전반적인 규격 변화를 유발하므로 실용화사업 완료 시기 등을 감안할 때 적용이 어려움.

③ 협의진행과정

- 차량 주행 시 발생할 수 있는 낙하물에 대해 지상의 인원 및 시설을 보호하는 시설의 필요성에 대한 요구사항임.
- 현 단계에서 추락방지시설 설치를 거론하는 것은 리니모 노선과 동일(슬래브 주행지지대 설치)하게 하는 등 시범노선 재설계 뿐 아니라 건설규칙, 설계기준을 포함한 각종 규격 변화 등 전반적인 변화가 필요한 사항으로 실용화사업 완료시기 등을 감안하여 대승적인 차원에서 결정 필요(3핵심 과제 검토 의견).
- 독일 Transrapid의 경우 역시 추락방지시설이 존재하지 않음.

④ 협의결과

- 추락방지시설은 별도 설치하지 않음.

6) 태양열 및 지열에 의한 온도차 고려

① 제안 배경

- “최고속도 시험구간 궤도 처짐” 검토 회의 시 독일 전문가에 의해 온도 변화에 따른 궤도 상향, 하향 공차 발생을 고려해야 한다는 제안을 받음(시범노선 실시설계 현안 협의).

② 쟁점내용

- 궤도 상·하부 온도차에 의한 선로 변형 범위를 계산하여 설계에 반영해야 함.

③ 협의진행과정

- 독일의 경우 온도 변화에 의해 낮에는 상향 4mm, 밤에는 하향 2mm로 합이 6mm의 공차 발생 요인이 있다는 독일 전문가의 설명.
- 독일 시험선의 경우 온도변화에 따른 가이드웨이 수축/팽창을 고려하지 않아 승차감이 나쁜 결과를 초래하였고, 변형이 작은 시간에 승객을 태움.

- 상하이 노선에서는 온도 변화에 대응하기 위해서 거도의 상부 단면적 대비 하부 단면적을 크게 하고 역캠버 형상에 온도 영향을 반영함.
- 국내 유사 설계 기준 적용 결과(상·하부 온도 편차 5℃ 기준)
- 경간장 L=30m 일 때 상향 2.8mm 솟음 발생
- 경간장 L=25m 일 때 상향 2.1mm 솟음 발생

④ 협의결과

- 밤과 낮의 일교차에 따른 선로 처짐 변화를 선로 설계에 반영

(나) 시스템 인터페이스 보완/관리

1) 차량-신호 인터페이스

인터페이스 관리 현황 : 4개 항목 중 4개 진행 중

일련번호	제목	주요 기술 쟁점	현황
IF.Tr-Si.1	속도감지 기능 관련 인터페이스	* 도플러센서 위치 - 직선구간: 거더 측면에 도플러센서 대향면 설계 - 곡선구간: Plinth 높이에 따라 거더 측면이 대향면으로 불가능하여 대향면 형성을 위한 L형강 부착	* 궤도 설계 결과물 확인 중
IF.Tr-Si.2	열차위치 감지 기능 관련 인터페이스	* 신호시스템 선정 후 협의 사항임	* 설계진행 중
IF.Tr-Si.3	정위치 정차 기능 관련 인터페이스	* 신호시스템 선정 후 협의 사항임	* 설계진행 중
IF.Tr-Si.4	차상 및 지상 신호장치 간의 상호작용	* 신호시스템 선정 후 협의 사항임	* 설계진행 중

2) 차량-통신 인터페이스

인터페이스 관리 현황 : 1개 항목 중 1개 진행 중

일련번호	제목	주요 기술 쟁점	현황
IF.Tr-Co.1	차상 및 지상 통신장치 간의 상호작용	* 현재 열차무선장치에 대한 음성통신 및 CCTV 동영상 데이터만 지상 송수신이 가능하며, 기타 데이터 송수신	* 영상전송용 주파수 대역은 방통위 고시

일련번호	제목	주요 기술 쟁점	현황
		방안은 미확정 상태임. * 하기 내용 인터페이스 협의 필요 - 기타 데이터 송수신 방안 (차량과 통합관제실간) - 무선송신장치 적용여부(차량과 통합관제실 간에 불가능할 경우, 검수고에서 차량 운행 및 유지보수 관련 데이터 전송용으로 필수 항목임)	제02008-136호 대한민국주파수 분배표에 의거하여 18GHz 대역으로 결정하였으며, 상기주파수 대역에서는 영상전송 외에 데이터 전송이 불가함

3) 차량-전력 인터페이스

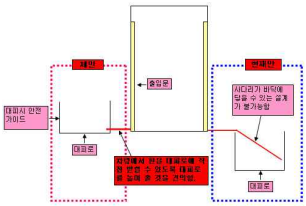
인터페이스 관리 현황 : 4개 항목 중 2개 진행 중

일련번호	제목	주요 기술 쟁점	현황
IF.Tr-Pw.1	차량 집전장치와 선로 가선과의 인터페이스	* 추진시스템 효율/ 집전장치 규격 및 도면/집전판 규격 및 도면 제공(2핵심) - 가선의 공차(설치 및 유지/보수 공차, 상하, 좌우 5 mm) - 가선 설치 및 유지/보수 공차, 전차선 단면적, 낙하 방지 설계안, 무가압 구간의 dead section 길이 및 형태(가선 + 극에만 Dead section 있는 지 확인)에 대한 협의 필요	* 궤도 설계 결과물 확인 중
IF.Tr-Pw.4	회생전력 활용 기능에 따른 인터페이스	* 회생제동으로 발생하는 전력을 활용하는 방안 마련	* 활용 방안 검토 중

4) 차량-선로구축물 인터페이스

인터페이스 관리 현황 : 9개 항목 중 1개 진행 중

일련번호	제목	주요 기술 쟁점	현황
IF.Tr-Ra.2	선로상 비상탈출 방안	* 설치위치 및 규모 : 선로의 중앙부에 대피통로(B=75cm)를 설치 * 104-105정거장 간 선로는 역사까지의 거리가 멀기 때문에 중간에	* 로템에서 제안한 대피통로 높이를 높히

일련번호	제목	주요 기술 쟁점	현황
		선로에서 탈출할 수 있도록 설계 - 현재 대피로 구조물에 적용 가능한 비상사다리 설계는 어려움 - 비상사다리 대신 발판을 이용하는 방안 제안(하기 그림 참고) 	는 안은 선로 유지보수가 어려움으로 비상사다리가 적용되어야 함.

5) 차량-역사 인터페이스

인터페이스 관리 현황 : 2개 항목 중 0개 진행 중

6) 차량-차량기지 인터페이스

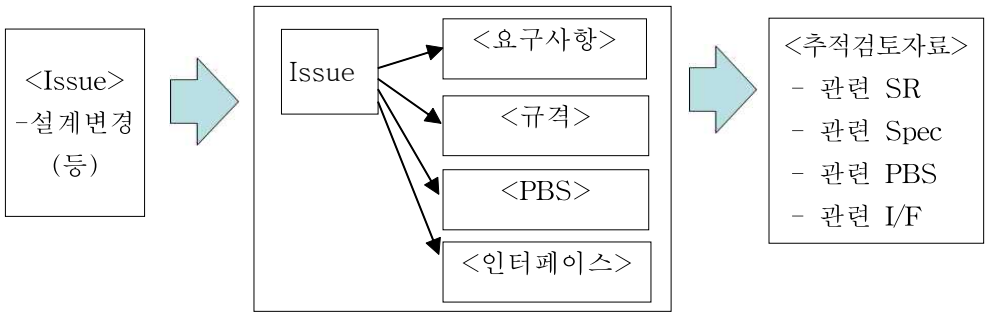
인터페이스 관리 현황 : 6개 항목 중 4개 진행 중

일련번호	제목	주요 기술 쟁점	현황
IF.Tr-De.1	스팅어 설비 관련	- 검수고내 외부수전과 관련된 세부규격 협의 필요 - 플러그 규격 및 위치는 2핵심에서 제공 예정	* 추가협의 (로템 선행차량 08-339/'08.12.11)
IF.Tr-De.2	기지내 대차 탈거 설비	- 대차 취부 장치 검수 및 탈착 (센서, Lateral skid, 제동슈 등) 을 위한 검수고의 레일 형상 (모서리 절단 여부 등) 및 위치에 대한 협의 필요	
IF.Tr-De.3	가선의 지락사고 방지 대책	- 시범노선 접지 검토 필요 (역사, 검수고) - 거더 측면에는 도플러 센서가 장착되므로 궤도 위에 접지 설비를 설치하는 방안을 검토 진행	* 협의 진행 중 (2009.02.11 I/F 회의)
IF.Tr-De.4	정비, 검수, 시험 설비	* 타 사례를 참조하여 진행 중이나 2핵심, 3핵심간의 자료 제공 및 협의가 필요 <참고> De.R.1 정비시간 준수 - 차량 유지보수체계	* 3핵심 검토 자료 제공 필요

일련번호	제목	주요 기술 쟁점	현황
		- 검수 작업 공정/방법 De.R.4검수설비 / De.R.23시험기 - 차량 설계 최종 자료 - 구성품 시험 및 검사자료	

(나) 설계 쟁점사항 관련 추적 검토 자료 제공

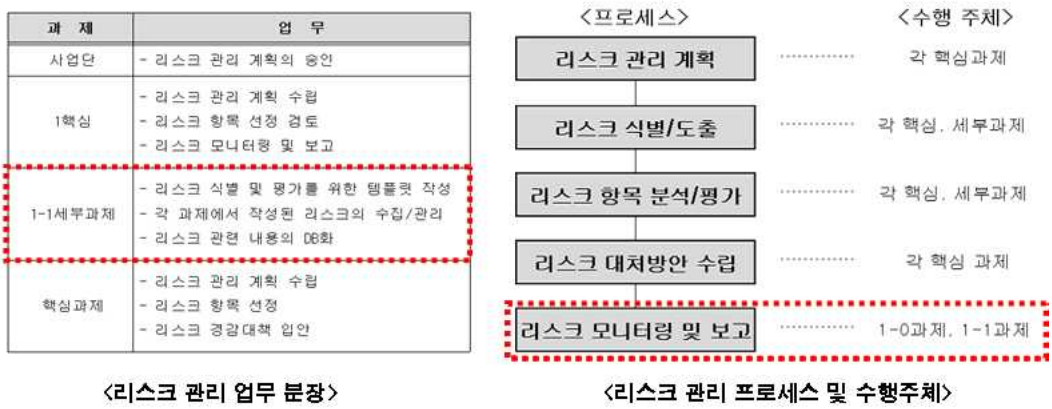
설계 쟁점사항 발생시 요구사항/규격추적관리 DB에서 기 구축된 추적성을 활용하여 설계 쟁점사항과 관련된 요구사항, 설계, 시험자료를 추출하여 실무자 검토 자료를 생성 기능 구축 중이다.



[그림 52]데이터베이스의 설계 쟁점사항 관련 추적검토자료 제공

(2) 리스크(Risk) 수집/관리

본 과업은 RFP에 명시되어 있지 않지만 효과적인 과업 수행을 위해 추가 수행되는 업무이다. 1핵심과제에서 작성되어 현재 적용 중인 시스템엔지니어링 관리계획(SEMP) 중 '리스크 관리(Risk Management)' 항목에 명시된 1-1세부과제의 역할을 수행한다. '리스크 관리(Risk Management)' 업무 중 1-1세부과제의 역할은 다음과 같다.



〈리스크 관리 업무 분장〉 〈리스크 관리 프로세스 및 수행주체〉

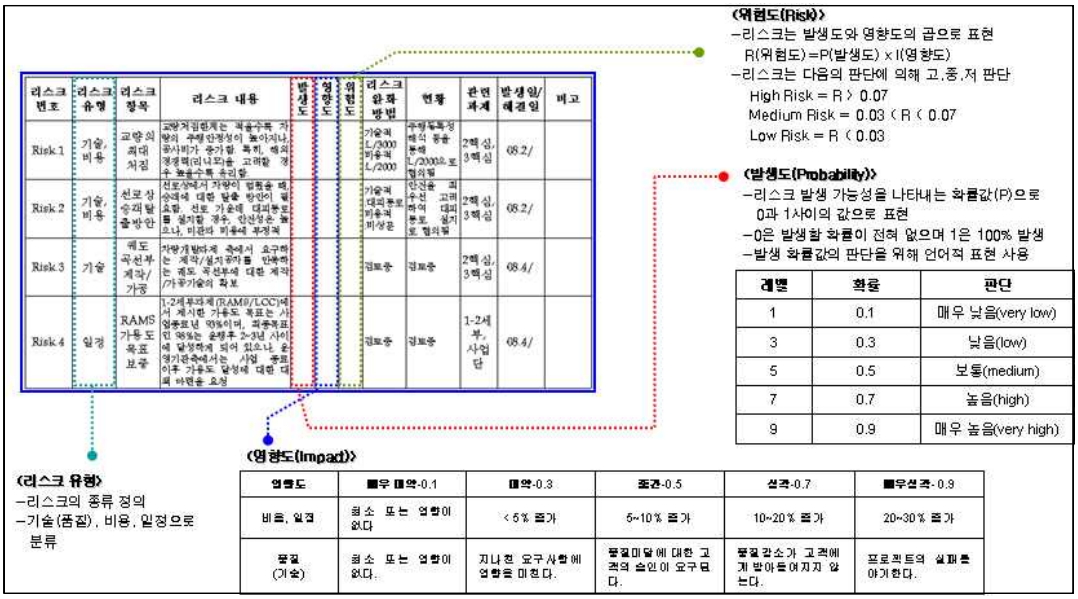
[그림 53]SEMP에 명시된 리스크 관리 관련 1-1세부과제 역할

리스크 관리(Risk Management) 관련 본 과제에서 수행하는 업무는 다음과 같다.

- 리스크 항목 식별 및 평가를 위한 템플릿 작성
- 각 과제에서 작성된 리스크의 관리
- 수집된 리스크의 DB화 및 모니터링/보고

(가) 리스크 항목 식별 및 평가를 위한 템플릿 작성

리스크 관리의 가장 큰 목적은 사업에 부정적인 결과를 초래할 수 있는 잠재적인 비용, 일정, 성능/기술상의 리스크를 차단/회피하며, 정황 속에 숨어있는 잠재적인 기회를 식별하기 위한 것이다. 리스크에서 중요한 항목은 문제가 발생할 확률이 얼마나 높은가?(발생도, Probability) 문제가 발생할 경우 미치는 영향은 어느 정도인가?(영향도, Impact) 이다. 체계적인 리스크 관리의 경우 발생도와 위험도 항목을 연계하여 관리한다. 이를 고려한 리스크 관리 템플릿 및 관리방안을 수립하여 리스크 관리 업무를 담당하고 있는 1핵심과제에 제시하였다.

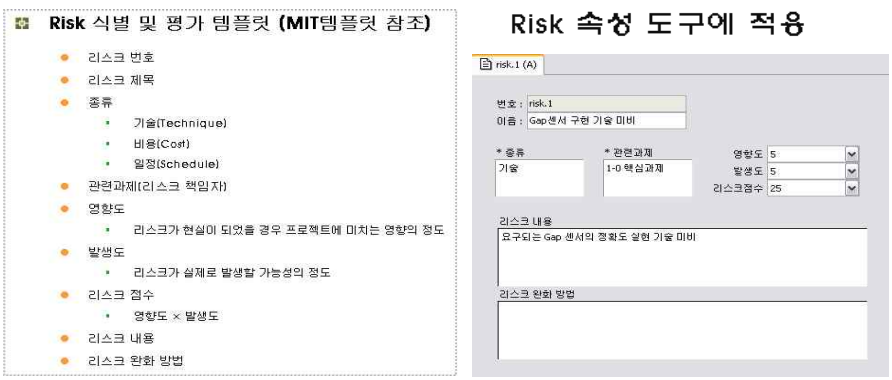


[그림 54]2차년도 성과물로 제시된 리스크 식별 및 평가 템플릿

(나) 리스크 데이터베이스 관리

본 과업은 1핵심과제에서 수집한 리스크 항목을 데이터베이스화 하고 관리현황을 보고하는 업무이며, 1핵심과제에서 리스크 항목 수집업무가 진행중에 있어 본격적으로 수행되고 있지는 않다. 본 과제에서는 현재 리스크 자료구조(속성 및 템플릿)를 Cradle 데이터베이스에 반영하여 리스크 관리를 위한 준비 작업을 완료하였다.

1) 리스크 자료구조(속성 및 템플릿) 정의



[그림 55]리스크 자료구조 정의

2) 리스크 관련 정보 표시



[그림 56]리스크 조회 기능 구현

바. 규격추적관리 도구 선정 및 데이터베이스 구축

(1) 목표

본 과업은 도시형 자기부상열차 시스템에 대한 요구사항들을 체계적으로 관리할 수 있도록 데이터베이스를 구축하고, 구축된 데이터베이스를 활용하여 시스템의 개발 과정을 관리할 수 있는 각종 관련 문서를 자동 출력 및 서비스하는 것이다.

(2) 규격추적관리 도구의 역할

- 각 계층별 요구사항 및 규격의 내용과 추적성, 변경기록 등에 전산화
- 복잡도가 높은 자료를 체계적으로 관리하고 이를 데이터베이스화하여 관련 문건을 자동 출력 할 수 있는 체계를 구축

(3) 규격추적관리 도구 대안 검토

국내에서 판매되고 있는 Telelogic의 DOORS, Vitech의 CORE, 3SL의 Cradle, Ascent Logic의 RDD 등 4가지 대안 검토하였다. 여기에는 국제시스템엔지니어링협회(INCOSE)의 Tools Database Working Group에서 2004~2005년 동안 전세계에서 사용되는 시스템엔지니어링 도구에 대한 비교조사결과가 참조되었다. 주로 요구사항 관리 기능과 시스템 아키텍팅 기능을 위주로 비교된 이 조사는 80여 가지에 이르는 구체적인 기능에 대한 도구의 지원여부를 메이커별로 한눈에 비교해 볼 수 있게 정리되어 있어 시스템 도구 선정에 중요한 지침을 제공하고 있다. 이 비교조사에서 Cradle®은 문서자료로부터 직접적인 요구사항 캡처 및 전개, 추적성 분석형상관리 등 총 68개 검토항목 중 사용자 그룹 지원 부분만 “부분적인 지원” 평가를 받고 나머지 모든 항목에서 완벽한 것으로 평가되었다.

또한 도입비용이 저렴하여 같은 예산으로 충분한 수의 라이센스를 확보할 수 있다는 것도 도시형 자기부상열차 실용화사업의 규격추적관리를 위한 전산지원도구로 선정된 중요 사유 중 하나이다. 시스템엔지니어링 전산지원도구는 모든 참여기관이 모두 접속하여 활용할 수 있는 체계를 갖출 수 있을 만큼의 라이센스 확보가 필요하다.

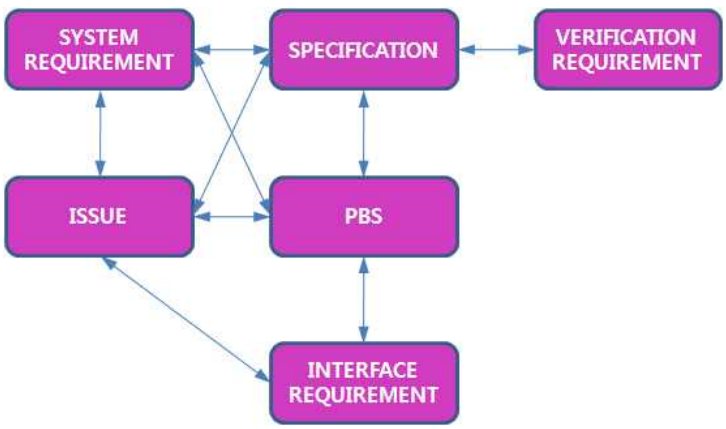
Cradle®의 선정에는 소프트웨어 발전가능성 및 해외 동향, 기능, 호환성 등의 기타항목이 검토되었다.

(4) 데이터베이스 스키마 개발

데이터베이스 스키마는 실용화사업을 통해 규격추적관리 데이터베이스에 구축되는 모든 데이터의 종류 및 속성, 자료간의 상관관계가 고려되어야 한다. 데이터베이스 스키마 구축 시 고려된 사항은 다음과 같다.

- 기능, 성능, 제약사항의 분류
- 내·외부적 요인으로 발생할 수 있는 쟁점사항(Issue) 클래스 반영
- 시스템 인터페이스 관리 방안 구상 및 반영
- 향후 시험/평가 분야의 요구사항 검증 여부를 확인할 수 있는 구조 제안

데이터베이스 스키마는 1차년도 초안이 구축된 이후 실용화사업의 실정 및 진행방향에 적합하게 지속적으로 보완되었으며, 현재 Cradle®에 적용된 최종 스키마 개요는 아래 그림과 같다.

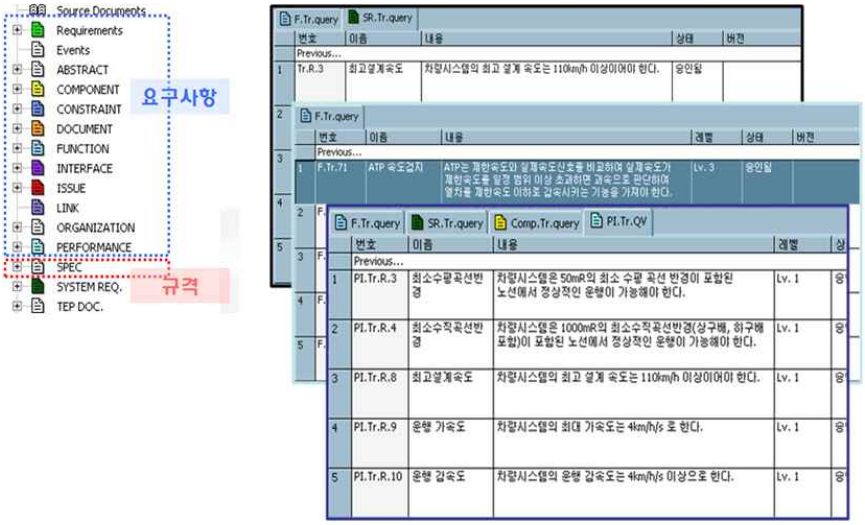


[그림 57]실용화사업 적용 스키마

(5) 규격 추적관리 DB구축

(가) 상세 수준의 기능/성능/제약사항 DB화

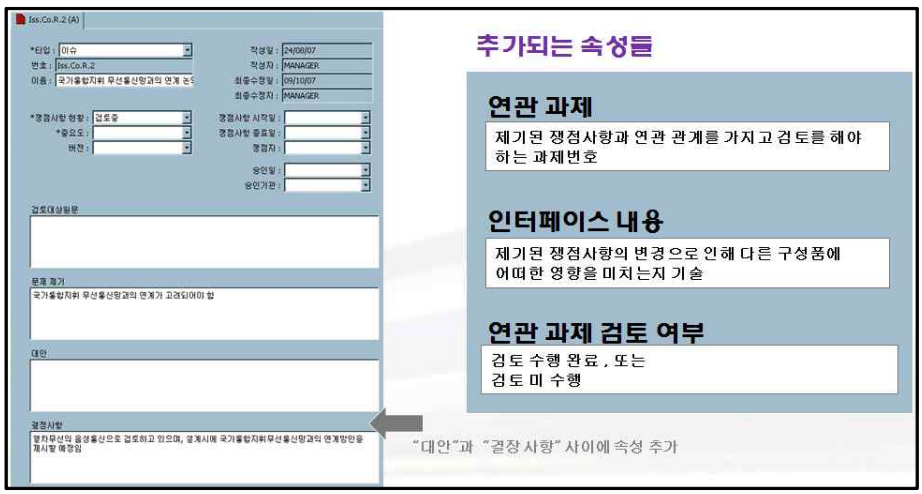
- Level 3 수준까지의 기능 및 성능 요구사항 DB화
- 자기부상열차 시스템의 PBS와 비교하여 누락된 기능 및 성능 요구사항 보완



[그림 58]요구사항 및 규격 DB에 입력

(나) 요구사항 및 규격 변경시 관련 이력 구축

시스템 및 서브시스템 요구사항 및 규격의 변경사항이 발생할 경우 누가 어떤 사유에 의해 무엇을 변경하였는지 변경이력을 데이터베이스화 하였으며, 향후 특정 요구사항 및 규격을 선택하여 변경이력을 조회할 수 있도록 하였다. 변경이력은 입력된 후 자동으로 관리되며, 이는 Cradle의 기본기능 중 하나이다.



[그림 59]요구사항 변경내용 입력 화면

(다) 추적성 검토

규격추적관리체계 사용자(각 핵심과제 실무자)가 쟁점사항(Issue) 확인시 관련 구성품 및 시스템 인터페이스 사항을 표시하여, 제안자 및 검토자에게 어떤 구성품과 어떤 영향을 갖는지를 확인할 수 있도록 구현되었다.



(2) 규격추적관리 데이터베이스 활용체계 구축

(가) Web Access를 이용한 활용체계 구축의 필요성

Web Access는 Cradle을 구성하는 10개 모듈 중 하나이다. 실용화사업 참여과제에서 규격추적관리체계를 활용하기 위해서는 데이터베이스로의 접속이 필요하며 가장 간단한 방법은 Cradle 데이터베이스에 직접 접속하는 것이다. 그러나 사용자가 Cradle 데이터베이스에 직접 접속할 경우 다음과 같은 제약사항이 발생한다.

첫째, Cradle® 의 WorkBench는 서버 접속시 테이블을 열람할 때마다 서버에서 클라이언트로 모든 데이터를 전송하는 방식으로, 데이터를 주고 받으므로 일반적인 네트워크 환경에서는 작업속도가 매우 느려진다. 특히 데이터 간의 링크가 복잡하게 얽혀있는 경우 이러한 현상이 심해지는데, 이는 정상적인 시스템엔지니어링 업무를 활용하기에 지장을 받을 수 있다. 같은 네트워크로 연결된 기관내에서는 이와 같은 문제가 발생하지 않으나, 기관대 기관을 통해 서버 접속하는 경우 일반 인터넷을 경유하기 때문에 작업속도가 느려지는 현상이 발생하는 것으로 추측된다.

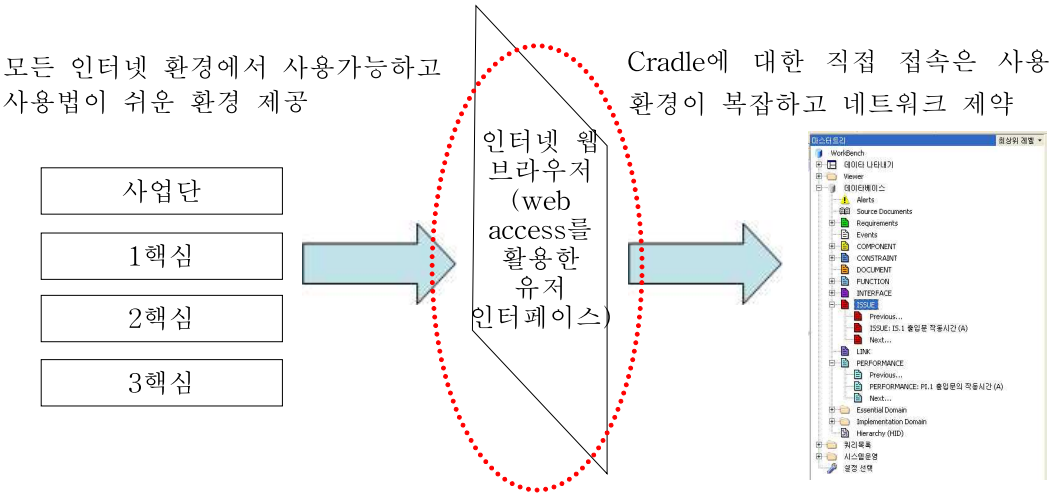
둘째, WorkBench가 네트워크 상에서 서버와 통신할 때 13가지의 별도의 통신포트를 사용한다. 그런데 일반적으로 연구원 또는 기업에서는 통신보안 정책상 인터넷에 주로 사용되는 일부 통신포트를 제외하고 대부분의 포트를 차단하게 된다. 따라서 Cradle® 서버를 설치하는 기관과 서버에 접속하고

자 하는 기관은 모두 WorkBench가 사용하는 통신포트를 개방해야 한다. 그러나 근래 연구원 및 기업 보안이 강화되어 일부 프로젝트 때문에 사내 통신보안정책을 수정하는 것을 기피하는 추세이다. 따라서 도시형 자기부상열차 실용화사업에 참여하는 모든 기관의 네트워크 환경을 WorkBench에 맞게 수정하는 것은 매우 큰 저항에 직면하게 된다.

셋째, Cradle® 사용자 인터페이스는 일반 오피스 프로그램처럼 대중화되어 있지 않기 때문에 일반 엔지니어들에게는 익숙하지 않으며, 따라서 사용법에 대한 별도의 교육이 필요하다. 그러나 급박한 프로젝트 추진 환경 속에서 일반 엔지니어들에게 Cradle® 에 대한 사용법을 별도로 교육하는 것은 쉽지 않은 일이며, 또한 단시간의 교육을 통해 사업에 참여하는 모든 엔지니어의 적극적인 참여를 유도하는 것은 더욱 어렵다. 따라서 보다 직관적이고 편리한 인터페이스를 제공할 필요가 있다.

위와 같은 제약사항을 극복하기 위해 본 과제에서는 Cradle® 의 Web Access 모듈을 이용하여 원격 사용자가 별도의 Cradle® 소프트웨어를 사용하지 않고, 인터넷 익스플로러나 넷스케이프와 같은 일반 웹 브라우저를 이용하여 서버에 접근하고, 규격추적관리 데이터베이스를 활용하는 환경을 구축하였다. Web Access 를 사용할 경우, 일반 인터넷 웹 브라우저를 이용하게 되기 때문에 별도의 클라이언트 소프트웨어를 설치할 필요가 없고, 통신포트의 제약도 받지 않게 된다. 또한 각종 메뉴나 화면구성을 수정할 수 있기 때문에 사용자 인터페이스를 보다 편리하게 구성할 수 있다.

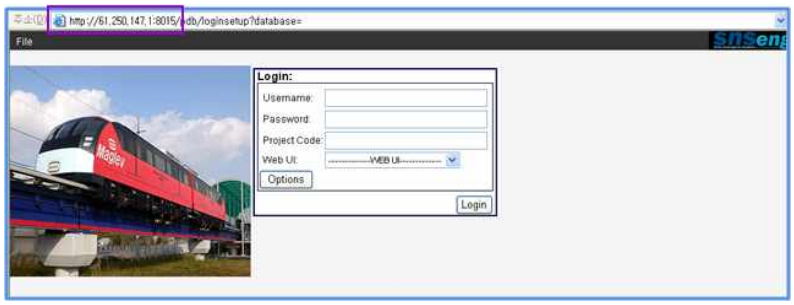
본 절에서는 Cradle® 의 Web Access 모듈을 활용하여 도시형 자기부상열차 실용화사업에 대해 구축한 규격추적관리 환경을 설명한다.



[그림 60]Cradle Web Access를 활용한 사용자 인터페이스 환경 제공

(나) 데이터베이스 접속

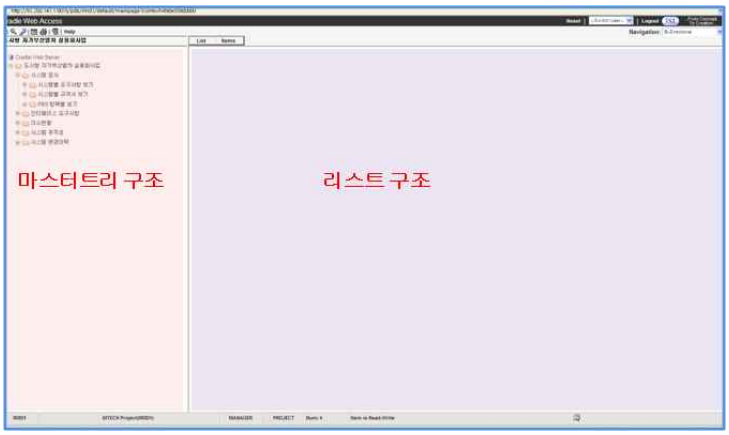
일반 웹 브라우저 주소창에 본 도시형 자기부상열차 실용화사업의 인터넷 주소를 입력하면 아래와 같이 데이터베이스 로그인 화면이 뜨며, 각 과제에 할당된 아이디와 패스워드를 입력하면 데이터베이스에 접속 가능하다.



[그림 61]규격추적관리 데이터베이스 로그인 화면

데이터베이스를 관리하는 과제가 아닌 일반 과제는 접속시 데이터의 열람만 가능하고, 변경, 삭제, 생성 등은 불가능하다. 단 현 데이터에 대한 이의제기나 검토의견 등은 “쟁점사항(Issue)”의 형태로 등록 가능하며, 등록된 “쟁점사항(Issue)”은 주어진 처리 절차에 따라 검토된다.

(다) 데이터베이스 초기 화면



[그림 62]데이터베이스 초기 화면

데이터베이스에 접속 후 나타나는 초기 화면은 위 그림과 같이 마스터트리 구조와 리스트 구조로 구성되어 있다. 마스터 트리 구조의 최상위 단계는 현 과제 사업의 명칭을 이용하여 “도시형 자기부상열차 실용화 사업”으로 작성하였다.

마스터트리 구조의 “도시형 자기부상열차 실용화 사업”이란 제목 아래로 각 시스템 및 서브시스템 문서(총 8개의 시스템, 차량시스템, 선로시스템, 역사시스템, 신호시스템, 통신시스템, 전력시스템, 차량기지 시스템)들을 활용 구조로 분류하여 조회가 가능하도록 구성하였으며, List 구조에는 각 시스템 및 서브시스템의 상세항목을 볼 수 있도록 구성하였다.

(라) 시스템 요구사항 조회

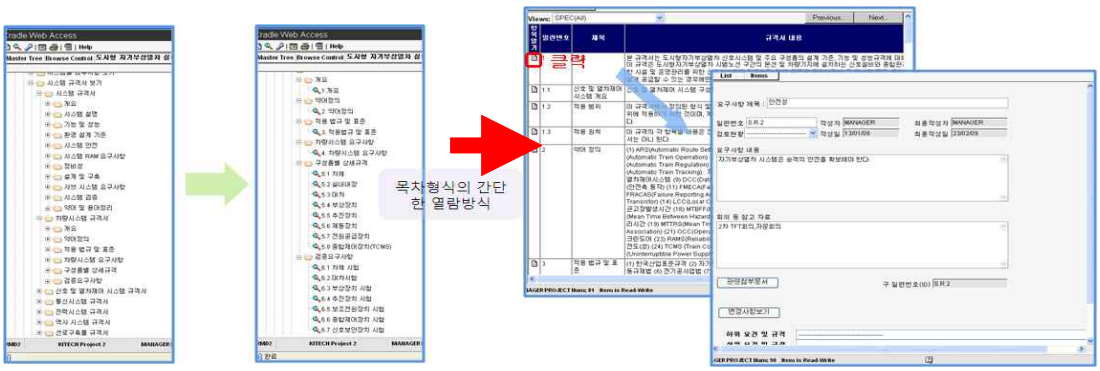
서브시스템별로 분류되어 있는 요구사항의 내용은 각 아이템을 선택하여 열람이 가능하며, 최대한 CDR과 근접한 구성을 갖도록 하여 사용자의 환경에 편리성을 갖추도록 하였다. 그림 45는 시스템 요구사항 조회를 할 수 있도록 트리구조로 구성된 Web 화면이며 최종 한가지의 아이템을 선택하는 과정을 나타내고 있다.



[그림 63]시스템 요구사항 조회 과정

(마) 서브시스템 분야별 규격서 조회

규격서는 각 요구사항간의 계층적 구조를 식별할 수 있도록 요구사항과는 차별화된 형식으로 작성되고 또한 이용자가 계층적 구조를 쉽게 이용할 수 있는 환경이 되어야 한다. 이에 따라 규격서는 목차 형식의 문서구조와 최대한 근접한 환경이 되도록 작성하였으며 특히 구성품별 상세 규격을 세분화하여 사용자의 접근 및 열람이 쉽도록 구성하였다.



[그림 64]서브시스템 분야별 규격 조회

규격서의 열람방식은 위의 요구사항과 마찬가지 경로를 통하여 문서를 확인할 수 있다. 다만, 요구사항이 하나의 서브시스템에 통합된 단순 보기 형식이라면 규격서는 그 목차가 좀 더 세분화 된 트리 구조를 갖추고 있기 때문에 사용자가 원하는 규격을 확인하기가 쉽다.

(바) 변경이력 조회

변경이력(History)은 각 문서 요소들의 생성/추가/변경을 모두 관리할 수 있어야 한다. 이는 작성자나 사용자의 임의의 변경에 의한 사항이라 할지라도 변경사유가 타당한 것인지 아닌지 판단되어야 하고 어떤 원인에 의해서 그 항목이나 속성들이 변경되었는지 기록할 수 있어야 한다. 따라서 변경되는 사유들에 관한 타당한 관리가 필요하기 때문에 변경이력 관리는 데이터베이스에서 아주 중요한 구성요소라 볼 수 있다.



[그림 65]데이터베이스 내 요구사항 및 규격의 변경이력 조회 화면

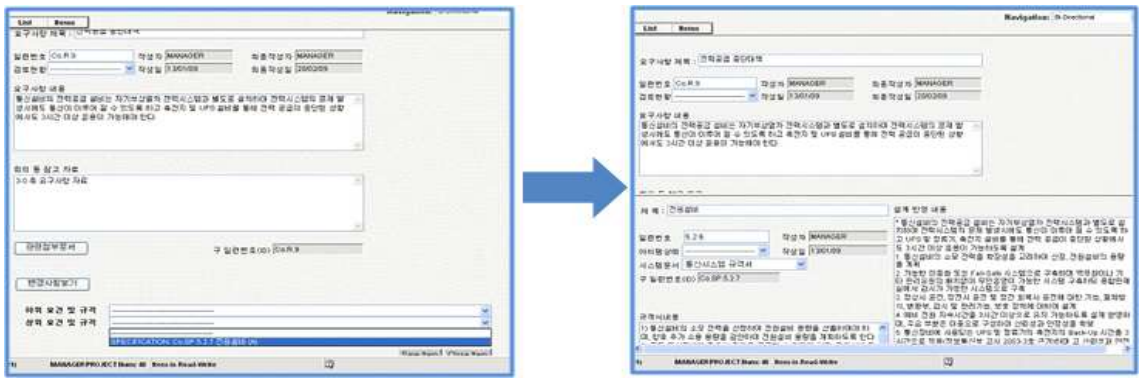
Cradle® 데이터베이스에서 변경이력에 대한 관리는 Default로 구성되어진다. 이는 변경이력 관리는 문서의 자동 저장기능으로 생각할 수 있다. 변경이력 저장기능은 요구사항인 규격 뿐만 아니라 Cradle® 데이터베이스 내의 모든 데이터에 적용된다. 변경이력을 조회하기 위해서는 해당 구성 요소의 상세설명화면 하단에 있는 변경사항 보기 버튼을 선택하여 그 해당 아이템에 대한 변경이력을 볼 수 있다. 변경사항의 속성은 그림 48과 같이 보여진다.

(사) 추적성 조회

추적성은 문서 각각의 요소들에 대한 연관성이며 DB 작성의 가장 중요한 부분이라고 볼 수 있다. 각 문서들의 일련번호를 기준으로 한 방식으로 문서마다 서로 다른 관련 문서들을 연결하였다. 이는 일련번호를 계속 동일하게 사용한다면 내용이나 구성요건 등이 변경이 된다 하더라도 추적성에는 변경이 없음을 나타내기 위함이다.

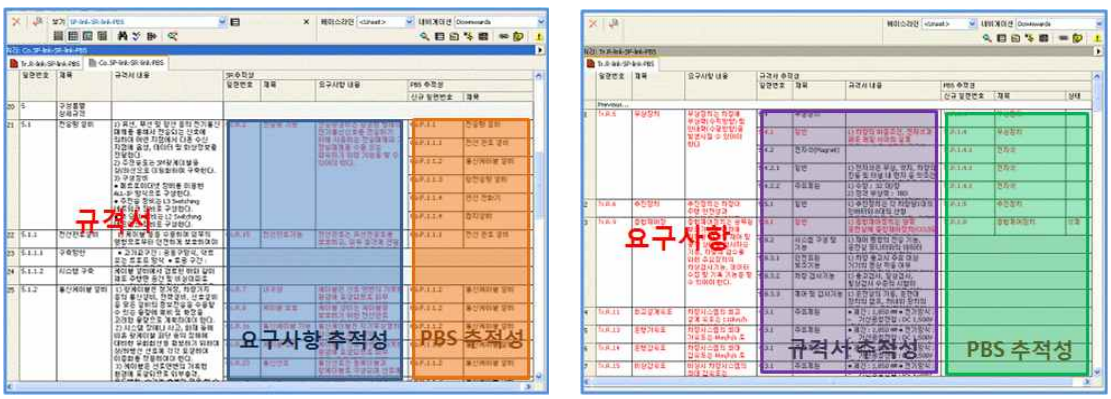
추적성 조회 방식은 다음과 같은 두 가지의 방식으로 조회가 가능하다.

첫 번째 방식은 해당 아이템 세부내용으로 들어가게 되면 하단의 하위요건 및 규격/상위요건 및 규격을 통하여 조회를 하는 방식이다. 하나의 항목을 선택하여 세부사항 확인창을 통하여 조회할 수 있도록 하였으며, 해당 내용 중 가장 아래에 있는 하위요건 및 규격/상위 요건 및 규격을 통하여 추적성을 확인할 수 있고 그 항목을 선택하게 되면 연결된 항목의 세부내역도 확인이 가능하여 그 내용을 각각 비교하여 볼 수도 있다.



[그림 66]각 데이터의 세부사항 확인창을 통해 추적성 조회

두 번째 확인방법은 List 구조에서 확인하는 것이다. 이 방식은 하나의 서브시스템에 관련된 추적성을 전반적으로 확인할 수 있다는 장점이 있다. 아래 그림은 List 구조로 구축되어 있는 추적성을 확인하는 방법을 캡처한 화면이다. 요구사항 혹은 규격서 등의 한 시스템 문서를 기준으로 볼 수 있으며 각 서브시스템은 미리 연결되어진 항목을 List 형식으로 볼 수 있다.

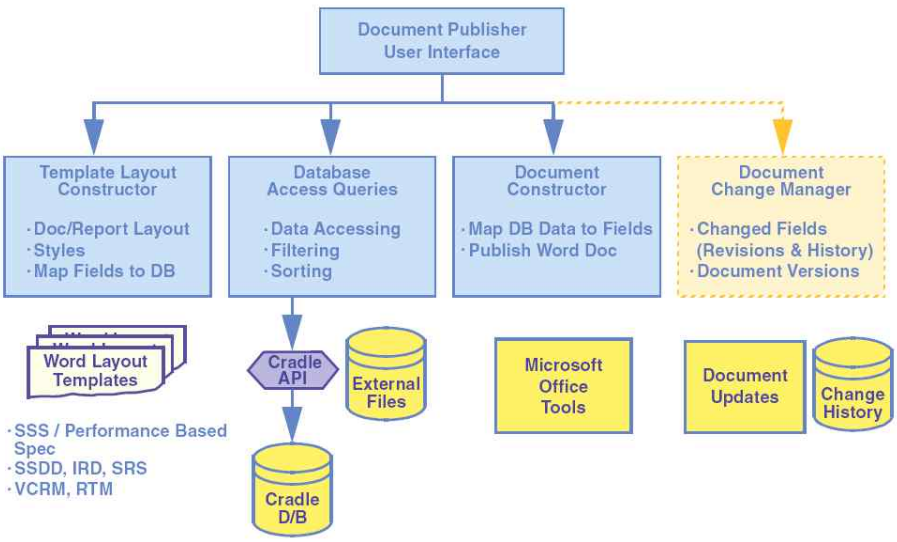


[그림 67]List 구조를 통한 추적성 조회

(2) 문서 자동 출력 방안 연구

크래들은 복잡한 스크립트 언어의 작성 또는 그래픽 도구의 사용 없이도 데이터베이스(Cradle systems engineering technical database)의 자료를 자동으로 문서화하는 기능을 제공한다. 이러한 기능은 크래들의 Document Publisher® Module를 중심으로 제공된다.

Document Publisher는 Microsoft Word®를 사용하여 방대하거나 복잡한 문서를 자동으로 구성할 수 있도록 돕는다. 이러한 문서 출력은 사용자가 사전에 정의한 워드 템플릿(Word template)에 따라서 데이터베이스의 정보가 출력되는 방식으로 사용된다. 각각의 템플릿은 크래들 데이터베이스로부터 자료 검색을 정의하고 순서를 조절하는 태그(tag)가 기록된 워드 문서이다.



[그림 68]크래들의 문서 자동 출력 개념도

[1-2과제]

가. RAMS 관리체계 구축

(1) 적용 배경

EN 50126에서 제시된 시스템 수명주기는 개념 단계부터 폐기단계까지 14단계로 구분되어 진다.

그러나 이 구분은 현재 우리나라에서 수행되는 프로젝트 수명주기와는 서로 상이한 부분이 있으며, 특히 도시형 자기부상열차 실용화 사업관련 시범노선 구축 사업과 관련한 프로젝트 단계와도 상이함을 보인다.

이에 따라 EN 50126에서 제안하는 수명주기별 단계를 시범노선 구축 프로젝트의 단계에 맞추어 조정해야 할 필요가 있다. 또한, 이러한 조정 작업은 아래 그림과 같이 EN50126 Annex B에서 권고되고 있다.

EN50126 Annex B RAMS programme B3. Procedure

1. Define the appropriate life cycle which is in line with the company's business process.

Result : The company's life cycle or project phases are established.

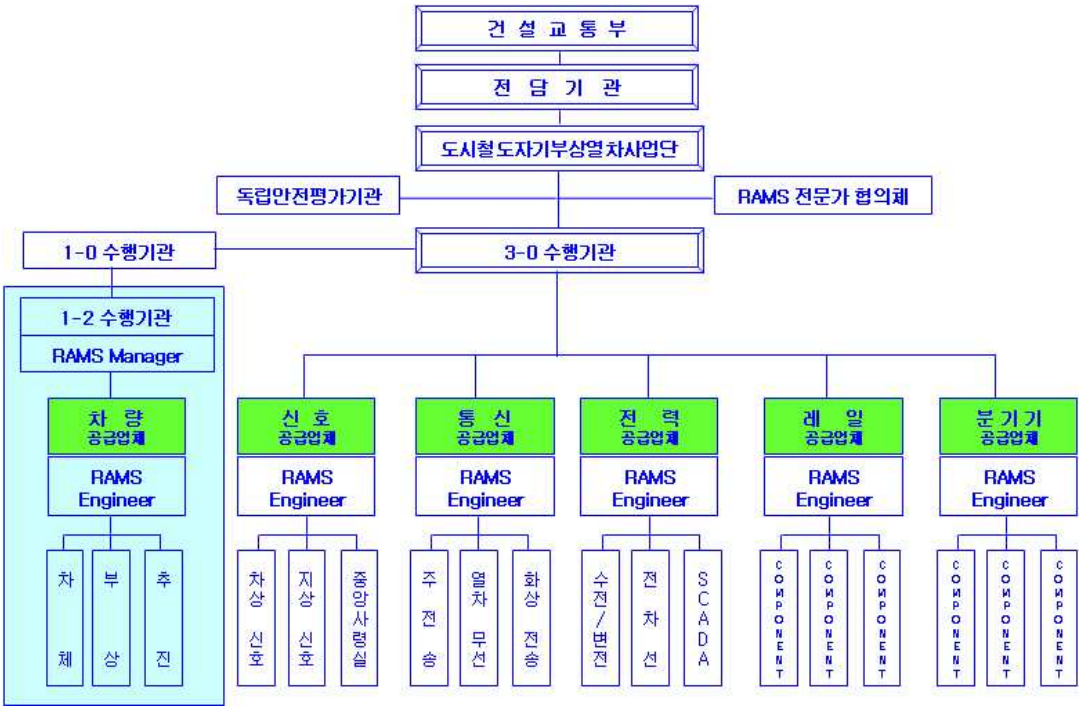
2. Assign to each project phase the phase related RAM and safety tasks which are necessary to confidently meet the project and system specific requirements

Result : All necessary RAMS tasks in the life cycle are identified

[그림 69]EN50126 Annex B 권고사항

본 RAMS 관리 체계는 자기부상 실용화 사업에 적용하고자 하는 案이며, RAMS 관련 업무의 최상위 문서로 본 案을 기본으로 하여 2차년도에 산출될 연구 성과물인 System RAM Plan 및 System Safety Plan에서 상세하게 정의 될 것이다.

(2) RAMS 관리 조직구성 및 책임



[그림 70]RAMS 관리 조직

(가) 사업단

1) RAMS 전문가 협의체를 구성하여 아래와 같은 업무를 수행한다.

- 자기부상열차 시스템 수준의 서비스 가용성 목표치 건설교통부 승인요청
- 자기부상열차 시스템 수준의 Safety 관리를 위한 Risk 수용기준 건설교통부 보고
- 1-2 과제 수행기관에서 작성한 RAM 관리계획 및 Safety 관리계획 승인
- RAMS 전문가 협의체 구성/운영

2) 사업단 산하에 독립적인 안전 기관을 선정하여 아래와 같은 업무를 수행한다.

- 안전 평가 결과에 대한 건설교통부 보고 후 안전인증요청

(나) RAMS 전문가 협의체

1) 구성조직

- 사업단
- 운영 지자체
- 1-0 과제 수행기관
- 1-2 과제 수행기관
- 2-0 과제 수행기관
- 3-0 과제 수행기관

2) 업무

- 자기부상열차 시스템의 서비스 가용도 목표 심의 및 검토의견 제시
- 자기부상열차 시스템의 리스크 수용기준 심의 및 검토의견 제시
- RAMS 관련 현안사항 협의

(다) 독립 안전 평가기관

1) 구성원

- 1-2 과제 수행기관과 독립된 별도의 안전 평가기관
  (공신력 있는 해외 Consulting社)

2) 업무

- 안전평가 기준 작성
- 1-2 과제에서 수행한 안전 관리업무에 대한 평가
- 안전평가 보고서 발행

(라) 1-2 수행기관

- 자기부상열차 시스템 수준의 서비스 가용성 목표치 작성
- 서비스 가용도/성 목표치 달성을 위한 서브시스템별 RAM 목표치 산정
- 자기부상열차 시스템 수준의 Safety 관리를 위한 Risk 수용기준 작성
- 서브시스템 공급업체별로 적용해야 하는 RAMS 요구사항 개발
- 서브시스템 공급업체들이 적용할 RAMS 분석 양식 및 지침서 작성/배포
- 자기부상열차 시스템 수준의 RAM 관리 계획 및 Safety 관리계획

작성

- 서브시스템 공급업체별 RAM 관리계획 및 Safety 관리계획 검토/승인
- 서브시스템 공급업체별로 수행하는 RAMS 활동들의 관리
- 서브시스템에서 수행한 RAMS 분석 및 검증활동 결과 승인
- 자기부상열차 시스템 수준의 RAM 관리 활동 및 Safety 관리 활동 수행
- 자기부상열차 시스템 수준의 RAMS 분석 및 검증 활동 수행
- 자기부상열차 시스템 수준의 RAM Demonstration 및 Safety Test를 수행하여 서비스 가용성 및 RAMS 요구사항 달성 평가
- 독립안전 평가자의 권고에 따른 자기부상열차 시스템 수준의 Safety 활동 수행
- RAMS와 관련한 인터페이스 회의체 운영

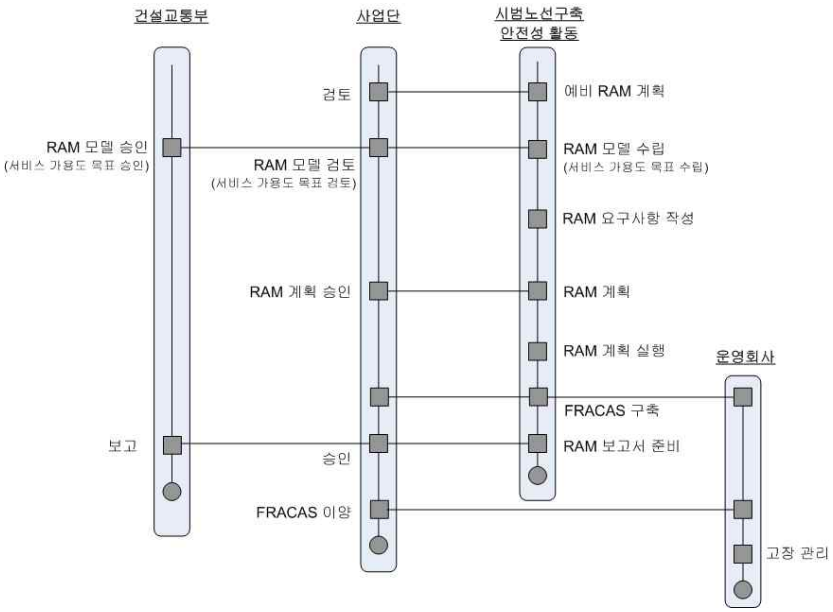
(마) 3-0 수행기관

- 서브시스템 공급업체 계약시 1-2과제 수행기관에서 작성한 RAMS 요구조건을 계약서에 반영
- 서브시스템 공급업체의 RAMS 업무를 통제할 수 있도록 계약서에 1-2 과제 수행기관 권한 명기
- RAMS와 관련한 인터페이스 회의체 참석

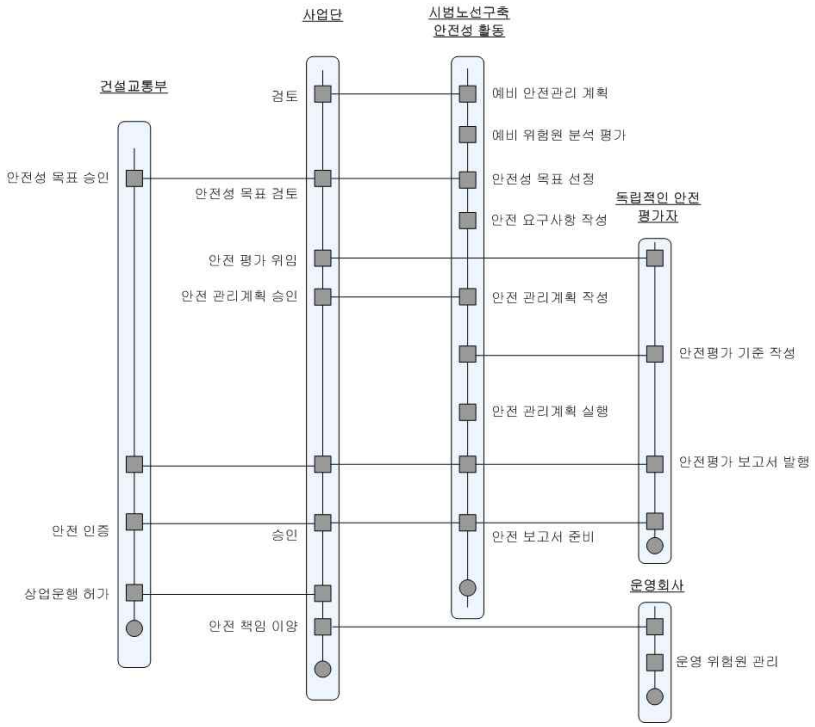
(바) 공급업체 RAMS Engineer

- 서브시스템별 RAM 관리 계획 및 안전 관리계획 작성
- 서브시스템 RAM 목표치 할당
- 서브시스템별 RAM 목표치를 달성 할 수 있는 서브시스템 구성도 및 컴포넌트 설계
- 서브시스템별 RAMS 요구사항들을 서브시스템 및 컴포넌트 설계에 반영
- 서브시스템 수준의 RAM 분석활동 및 Safety 분석활동 수행
- 컴포넌트 공급업체별로 수행하는 RAMS 활동들의 관리

(3) 업무 흐름도



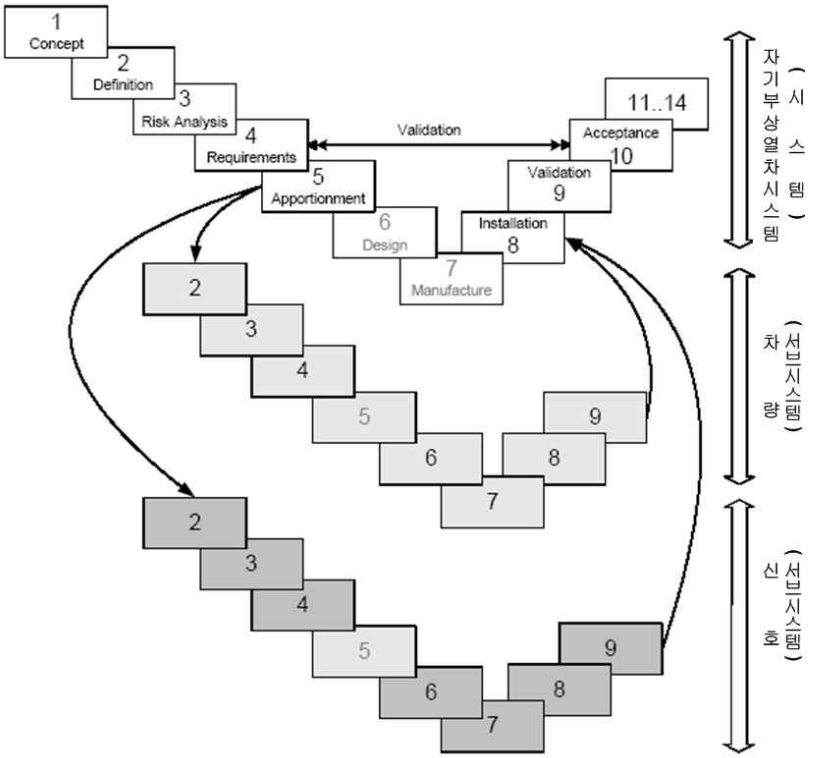
[그림 71]RAM 관리 업무 흐름도



[그림 72]Safety 관리 업무 흐름도

(4) 시스템 /서브시스템/컴포넌트 RAMS 수명주기 업무 관계

(가) 시스템레벨 업무



[그림 73]시스템 및 서브시스템 RAMS 수명주기 관계

1) 시스템 레벨에서 수행하는 RAMS 활동들은 자기부상열차 실용화 사업의 개념정립 단계에서부터 수락 단계까지 1-2과제에서 수행 한다.

2) 시스템 RAMS 수명주기의 1단계부터 4단계 동안 자기부상열차 시스템 수준에서

- 자기부상열차 시스템의 정의
- 안전정책의 수립
- 자기부상열차 RAM 모델 개발
- 서비스 성능목표 설정
- 위험요인 및 위험도 평가기준 개발
- 시스템 기능의 고장영향 분석
- 예비 위험분석 등의 시스템 요구사항들을 개발 또는 정의 한다

3) 4단계까지 개발된 시스템 요구사항들은 RAMS 수명주기 5단계에서 각 서브시스템의 기여도에 따라서 서브시스템 별로 할당된다. 할당된 요구사항들을 기반으로 서브시스템의 설계업체들 또는 공급업체들 수준에서 서브시스템의 RAMS 수명주기 2단계에서 9단계(그림 5 참조)까지 활동들이 수행 된다.

4) 개발된 시스템 및 서브시스템 RAMS 요구사항들은 RAMS 수명주기 6단계 실시설계 단계에서 실시설계 업체들에 의해 시스템 및 서브시스템 실시설계 사양들에 반영 된다.

5) 시스템 실시설계 사양 및 시스템 RAMS 요구사항들은 서브시스템 시공/공급계약 내용에 할당되어 반영되고 시스템 RAMS 수명주기 7단계 제작(제작설계)기간 동안 각종 RAMS 분석도구들에 의해 분석되어 시스템 RAMS 목표 및 요구사항 달성여부가 확인(Verification) 된다.

6) 또한 시스템 RAMS 수명주기 8단계에서 10단계까지 자기부상열차 시스템 설치/시운전기간 중에 시스템 실시설계 사양들 및 시스템 RAMS 목표/요구사항들의 달성이 검증(Validation) 되고, RAMS 수명주기 10단계에서 1-2과제로부터 자기부상열차 시스템 운영 지자체에 잔존 위험요인이 이관되어 시스템 폐기시까지 운영 지자체에 의해 RAMS 활동이 수행 된다.

(나) 서브시스템 레벨 업무

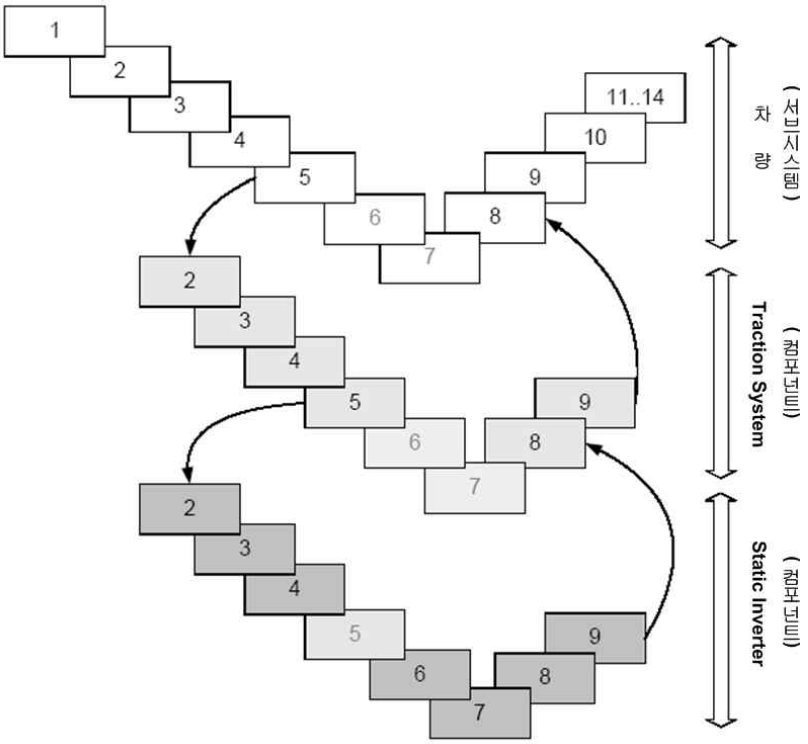
1) 1-2과제에서 시스템 수준 RAMS 수명주기 5단계 중 각 서브시스템의 기여도에 따라서 서브시스템 별로 RAMS 요구사항들이 할당되면, 할당된 요구사항들을 서브시스템 설계사양의 반영하기 위한 서브시스템 수준의 RAMS 수명주기 2단계에서 9단계까지 활동들이 실시설계 업체들 및 서브시스템 공급업체들에 의해 시작된다

2) 서브시스템 RAMS 수명주기의 2단계부터 4단계 동안 서브시스템 수준에서

- 서브시스템의 세부 정의
- 서브시스템 기능들 및 고장이 자기부상열차 운행서비스에 미치는

영향의 세부분석

- 서브시스템 구성 컴포넌트의 신뢰성, 정비성, 가용성 세부분석
- 위험요인 세부분석 및 완화대책 개발
- 서브시스템 요구사항들을 컴포넌트 기여도에 따라 컴포넌트 별 RAMS 요구사항을 할당한다.



[그림 74]서브시스템 및 컴포넌트 RAMS 수명주기 관계

3) 할당된 컴포넌트 별 요구사항들을 기반으로 컴포넌트 공급업체들 수준에서 컴포넌트 RAMS 수명주기 2단계에서 9단계까지 활동들이 수행된다
4) 할당된 서브시스템 RAMS 요구사항들은 서브시스템 RAMS 수명주기 6단계 제작설계 단계에서 공급업체들에 의해 서브시스템 제작설계 사양들에 반영된다.
5) 서브시스템 제작설계 사양 및 컴포넌트 별 RAMS 요구사항들은 컴포넌트 공급계약 내용에 반영되어 서브시스템 RAMS 수명주기 7단계 제작(제작설계)기간 동안 각종 RAMS 분석도구들에 의해 분석

되어 서브시스템 수준의 목표 및 요구사항 달성여부가 확인(Verification)된다

6) 또한 서브시스템 RAMS 수명주기 8단계에서 9단계까지 서브시스템 납품/설치기간 중에 서브시스템 제작설계 사양들 및 서브시스템 RAMS 목표/요구사항들의 달성이 검증(Validation) 된다. 일부 RAMS 요구사항 항목들은 시스템 시운전기간 중에 검증(Validation) 된다.

(다) 컴포넌트 레벨 업무

1) 서브시스템 수준 RAMS 수명주기 5단계에서 각 컴포넌트의 기여도에 따라서 컴포넌트 별로 RAMS 요구사항들이 할당되면, 할당된 요구사항들을 컴포넌트 제작사양에 반영하기 위한 컴포넌트 수준의 RAMS 수명주기 2단계에서 9단계까지 활동들이 컴포넌트 공급업체들에 의해 수행 된다.

2) 컴포넌트 RAMS 수명주기의 2단계부터 6단계 동안 컴포넌트 수준에서

- 컴포넌트 고장이 서브시스템 운영에 미치는 영향의 세부분석
- 컴포넌트 구성부품의 신뢰성, 정비성, 가용성 세부분석
- 위험요인 완화대책의 반영
- 컴포넌트 별 RAMS 요구사항이 달성 가능한 부품선정/구매 등의 업무를 수행 한다.

3) 컴포넌트 납품사양들 및 컴포넌트 별 RAMS 요구사항들은 컴포넌트 납품계약 내용에 반영되어 컴포넌트 RAMS 수명주기 6단계에 7단계 제작(제작설계)기간 동안 각종 RAMS 분석도구들에 의해 분석되어 컴포넌트 수준의 목표 및 요구사항 달성여부가 검증(Verification) 된다.

4) 또한 컴포넌트 RAMS 수명주기 8단계에서 9단계까지 컴포넌트 납품/서브시스템이 조립기간 중에 컴포넌트 납품사양들 및 RAMS 목표/요구사항들의 달성이 검증(Validation) 된다. 일부 RAMS 요구사항 항목들은 시스템 시운전기간 중에 검증(Validation) 된다.

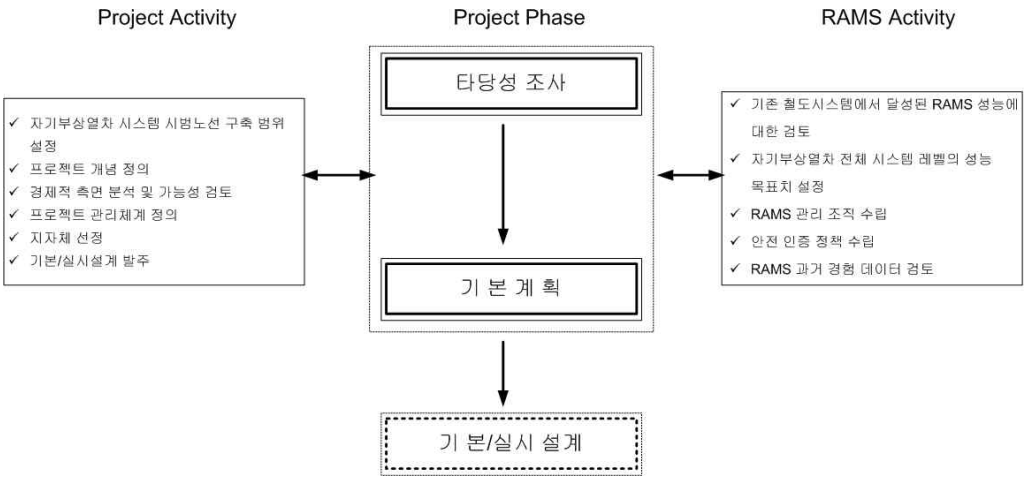
(5) 시범노선 단계별 RAMS 관리 활동

(가) 타당성조사 및 기본계획단계

1) EN50126의 해당 단계

- Concept Phase

2) 단계별 RAMS 활동



[그림 75]타당성조사 및 기본계획단계 RAMS 활동

3) RAMS 수행 업무

가) 기존 철도시스템에서 달성된 RAMS 성능에 대한 검토

① 기본적으로 기존 도시형 자기부상열차 시스템에서 달성된 RAMS 성능에 대해서 검토를 실시해야 하나 자료 입수의 한계가 있기 때문에 유사 시스템에 대해서 검토한다.

② RAM을 위한 과거 경험 데이터 평가

- RAMS 관리 조직
- RAM 성능 목표치 설정 및 설정 조건
- 안전 관리 기준 수립
- 성능 목표치 관리 활동
- 운행 실적 자료 분석

③ 입력문서 및 자료

- 유사 시스템 서비스 성능지수 및 설정 기준

• 유사 시스템 RAM 관리 활동 자료
• 유사 시스템 RAM 성능 목표치 및 평가 기준
• 안전관리 기준

4) 자기부상열차 시스템레벨의 성능 목표치 설정

① 전체 시스템 레벨에서 관리해야할 RAM 성능 목표치 설정

② RAM 성능 목표치 설정에 대한 타당성 제시

③ 전체 시스템 레벨에서 관리해야 할 정성적인 안전 관리 기준 제시

④ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	자기부상열차 성능목표 선정보고서	1-2 수행 기관	

5) RAMS 관리 조직 수립

① 시범노선 구축 시 RAMS 관리를 위한 조직을 수립
• 전체 시스템 레벨 RAMS 관리 조직(1-2 과제 수행기관)
• 서브시스템 레벨 RAMS 관리 조직(서브시스템 공급업체)
• 독립적인 안전 평가자(IV&V 수행기관)

② 조직간 책임 정의

③ 업무 및 의사소통 관리 정의

④ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	자기부상열차 RAMS 관리체계(案)	1-2 수행 기관	

6) 안전 인증 정책 수립

① 자기부상열차에 대한 안전 평가 수행 기관 선정
(독립적인 안전 평가 기관 선정)

② 독립적인 안전 평가 기관은 사업단 소속으로 1-2 과제 수행기관의 RAMS 관리 활동을 평가 한다.

③ 독립적인 안전평가기관은 1-2과제로부터 조직적 및 비용적으로

독립성이 보장되어야 한다.

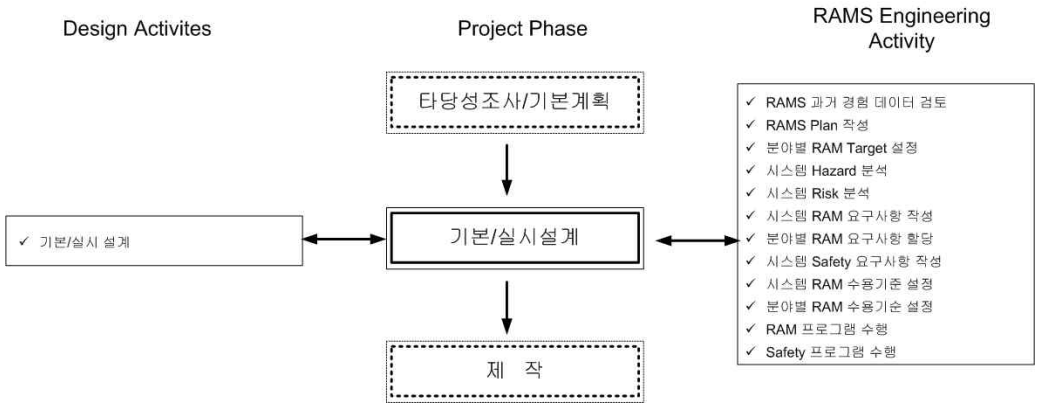
④ 독립적인 안전평가기관 선정은 1-3 과제로 수행중인 “시험평가 인증”과제와 연관하여 추진한다.

(나) 기본설계 및 실시설계 단계

1) EN50126의 해당 단계

- System Definition and Application Conditions
- Risk Analysis
- System Requirement
- Apportionment of System Requirement
- Design and Implementation

2) 단계별 RAMS 활동



[그림 76]기본/실시설계단계 RAMS 활동

3) RAMS 활동 내용

가) System RAM Plan 수립

① RAM 관리 업무 범위 정의

② RAM 관리 대상 서브시스템 정의

③ 전체 시스템 성능 예측 모델링에 따라 본 프로젝트에 적용 할 RAM 성능 목표치 설정

④ 서브시스템 레벨의 RAM 성능 목표치 설정

⑤ 본 프로젝트 전체 시스템과 분야별 서브시스템 레벨의 RAM 성

능 목표치 달성을 위한 전반적인 RAMS 관리 활동을 정의

⑥ RAMS 관리활동을 위한 조직 정의

⑦ 본 프로젝트 수행 시 전체 시스템 레벨에서의 RAM Manager와 서브시스템 레벨의 RAM Manager의 활동 범위, 책임, 업무 인터페이스 정의

⑧ 기본설계/실시설계/제작/설치/시운전 단계별 실제 수행 가능한 RAM 관리 활동 정의

⑨ RAMS 예측/분석 활동 방법론을 결정하고 이에 따른 산출물을 정의

⑩ 서브시스템(공급업체) RAM 관리 계획 수립

⑪ 입력문서 및 자료(타분야 작성자료)

- 본 프로젝트 전체 공정표
- 운전계획
- 열차운행 시나리오
- 운영 계획
- PBS(Product Breakdown Structure)
- 시스템 사양서

⑫ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	System RAM Plan	1-2 수행 기관	

주) RAM Plan은 기본/실시 설계 단계에서 작성되어 배포되고 시운전 단계까지 업데이트 되어 관리된다.

나) Safety Plan 수립

① 안전성 관리 업무 범위 정의

② 안전성 관리 대상 서브시스템 정의

③ 본 프로젝트에 적용 할 안전 기준 정의

④ 안전성 관리조직 정의

⑤ 안전성 요구조건

⑥ 안전성 승인 절차

⑦ 기본설계/실시설계/제작/설치/시운전 단계별 실제 수행 가능한 안전성 관리 활동 정의

⑧ 안전성 분석 방법론을 결정하고 이에 따른 산출물을 정의

⑨ 입력문서 및 자료(타분야 작성자료)

- 본 프로젝트 전체 공정표
- 운전계획
- 열차운행 시나리오
- 운영 계획
- PBS(Product Breakdown Structure)
- 시스템 사양서

⑩ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	System Safety Plan	1-2 수행 기관	

주) RAM Plan은 기본/실시 설계 단계에서 작성되어 배포되고 시운전 단계까지 업데이트 되어 관리된다.

다) 시스템 및 서브시스템 RAMS Requirement 작성

① 설계에 반영할 RAMS Requirement를 개발한다.

② 서브시스템 공급업체에 반영할 RAMS Requirement를 개발한다.

③ 입력문서 및 자료

- 운전계획
- 열차운행 시나리오
- 운영 계획
- PBS(Product Breakdown Structure)
- 시스템 사양서

④ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	RAMS Requirement for System and Subsystem	1-2 수행 기관	
2	Preliminary System FMECA	1-2 수행 기관	

라) 서브시스템 RAM 성능목표치 설정

① 전체 시스템 성능 예측 모델링에 따라 본 프로젝트에서 설정한 성능 목표치를 달성하기 위해 각 분야별 서브시스템에 대한 RAM 성능 목표치 할당

② 각 분야별 서브시스템의 RAM 성능 목표치는 정량적 수치로 할당

③ 각 분야별 서브시스템의 RAM 성능 목표치는 각 공급업체의 시공/공급 계약서에 반영, 각 공급업체 RAM Manger는 그 성능 목표치를 달성하기 위한 해당 서브시스템에 대한 RAM Plan을 1-2 과제 수행기관 RAM Manager에게 제출하여 검토/승인을 받는다.

④ 입력문서 및 자료

- 자기부상열차 성능 목표 선정 보고서
- 유사시스템 RAM 자료
- PBS (Product Breakdown Structure)
- 시스템 사양서

⑤ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Subsystem RAM Targets	1-2 수행 기관	

마) 예비 Hazard 분석 및 시스템 Risk 분석

① 본 프로젝트 전체시스템의 기능적인 측면을 대상으로 주요 사고 및 위험원을 식별한다.

② 식별된 위험원으로 인한 사고의 리스크수준을 평가하고 리스크 완화를 위한 권고사항을 개발한다.

③ 예비 시스템 Hazard 분석은 전체시스템의 개략적인 기능요구사항을 토대로 작성되므로 상세설계 단계의 정보를 요구하지는 않는다.

④ 즉, 예비 Hazard 분석은 분야별 서브시스템의 기능요구사항 및 안전요구 사항 작성 시 참조 반영해야만 한다. 또한 어느 부분

에 대해서 정량적인 분석이 필요한지를 판단하는 근거가 된다.

⑤ 예비 Hazard 분석을 기본으로 시스템의 Risk를 분석하며 EN50126에서 언급된 바와 같이 RAMS 수명주기 3단계인 "Risk Analysis"는 3단계에서의 분석 작업으로 종료하지 않고 Risk 관리를 진행하기 위한 계획을 세워 수명주기 의 여러 단계에서 수행된다.

⑥ 시스템 Risk분석은 본 프로젝트 수행 시 전체 시스템과 관련된 위험상태를 규명하고, 그 위험상태를 유도하는 사건을 규명하며, 위험상태와 관련된 Risk(위험도)를 결정한다.

⑦ 입력문서 및 자료

- 시스템 기능요구 사양서
- 운전계획
- 열차운행 시나리오
- 운영 계획
- 유사 시스템 사고 리스트

⑧ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Preliminary Hazard List	1-2 수행 기관	시스템레벨
2	Preliminary Hazard Analysis	1-2 수행 기관	시스템레벨

(다) 제작 단계(제작설계 포함)

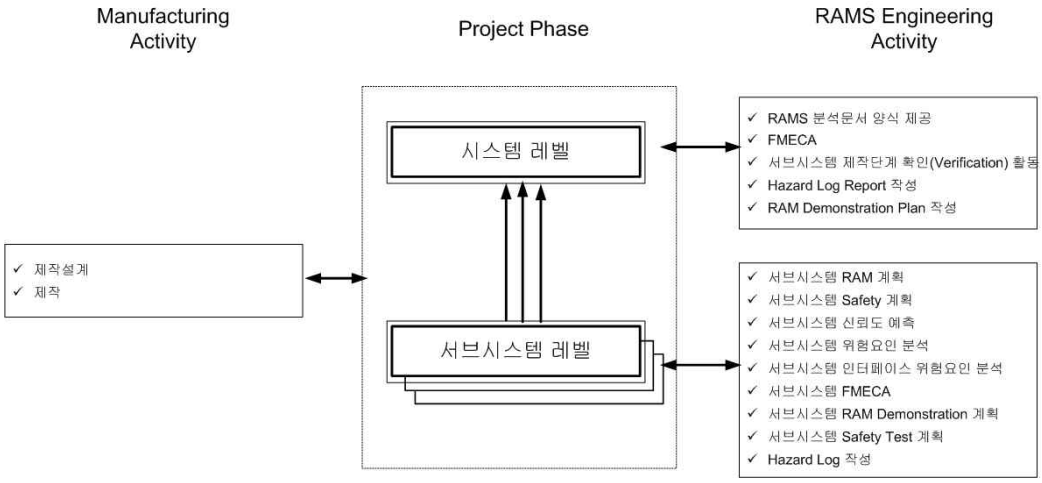
1) EN50126의 해당 단계

- Manufacture

2) 단계별 RAMS 활동

3) RAMS 활동 내용

가) 시스템 레벨



[그림 77]제작단계 RAMS 활동

① 제작단계에서는 서브시스템 및 컴포넌트의 구성품/부품이 결정된 단계로써 실제 고장률 데이터를 통해 서브시스템 공급업체의 RAM 분석활동을 관리한다.

② 이를 위해서, 각 서브시스템에 동일한 RAMS 분석 양식을 제공하여 각 서브시스템으로부터 RAM 분석 자료를 취합하고, 이를 시스템 레벨에서 검토한다. 이때 제공되는 양식은 EXCEL Sheet나 상용 RAMS 소프트웨어를 사용 할 수 있다.

③ 설계단계에서 고장분석을 위해 수행한 Preliminary System FMECA를 기본으로 하여 서브시스템에서 작성되는 Subsystem FMECA를 취합/검토하고 Final System FMECA를 작성한다.

④ 시스템 레벨에서는 서브시스템 제작설계 시 서브시스템 RAM 요구사항이 설계내용에 반영되었는지 확인(Verification)하며, 서브시스템에서 작성한 RAM 분석 문서의 적정성을 평가한다.

⑤ 서브시스템의 제작 공정시 실시되는 모듈 및 컴포넌트 시험에 입회하여 서브시스템 RAM 요구사항 및 Safety 요구사항을 충족하는지 확인(Verification)하며, 서브시스템에서 작성한 RAM 분석 문서의 적정성을 평가한다.

⑥ 서브시스템의 제작설계 및 제작단계에서 수행한 RAM 분석을 통해 RAM Final Report를 작성한다.

⑦ 설계 단계에서 작성한 시스템 레벨의

• Preliminary Hazard List

• Preliminary Hazard Analysis

내용을 반영하여 서브시스템 공급업체는 서브시스템의

• Subsystem Hazard Analysis

• Interface Hazard Analysis

• Operating and Support Hazard Analysis

를 작성한다.

또한, 서브시스템에서 작성된 Hazard 분석을 통해 시스템 레벨의

• System Hazard Analysis

• Interface Hazard Analysis

• Operating and Support Hazard Analysis

를 작성하고, 위험요인의 저감/제거를 확인(Verification)/추적하여 제작단계의 Hazard Log Report를 작성한다.

⑧ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Final System FMECA	1-2 수행 기관	시스템 레벨
2	RAM Analysis	1-2 수행 기관	시스템 레벨
3	RAM Final Report	1-2 수행 기관	시스템 레벨
4	System Hazard Analysis	1-2 수행 기관	시스템 레벨
5	Interface Hazard Analysis	1-2 수행 기관	시스템 레벨
6	Operating and Support Hazard Analysis	1-2 수행 기관	시스템 레벨
7	Hazard Log Report [Manufacturing]	1-2 수행 기관	시스템 레벨

나) 서브시스템 레벨

① 제작 설계단계에서 서브시스템 공급업체는 서브시스템 레벨의 RAM 및 Safety 요구사항을 달성 할 수 있는 Subsystem RAM

Plan과 Subsystem Safety Plan을 수립하고 서브시스템 RAMS 수명주기에 따라 RAMS 관리활동을 수행해야하며 컴포넌트 레벨의 RAMS 관리 활동도 책임져야 한다.

② 서브시스템의 RAM 분석을 위해서는 구성품/부품의 실제 고장률 데이터를 사용해야하며 그 근거를 제시해야 하며, 서브시스템 예상되는 고장분석을 위해 Subsystem FMECA를 작성해야 한다.

③ 서브시스템 레벨에서의 위험요인 분석을 위해서는 Preliminary Subsystem Hazard Analysis를 작성한다.

④ 작성된 Preliminary Subsystem Hazard Analysis를 기본으로 하여

- 서브시스템 레벨에서 잠재해 있는 Subsystem Hazard Analysis를 수행해야 한다.
- 서브시스템을 구성하는 컴포넌트간의 인터페이스에서 발생될 수 있는 위험요인을 식별/분석/제거하기 위한 Interface Hazard Analysis를 수행해야 한다.
- 서브시스템을 운용하는데 발생 할 수 있는 인적/전기적/기계적 측면에서 발생 될 수 있는 위험요인을 식별/분석/제거하기 위한 Operating and Support Hazard Analysis를 수행해야 한다.

⑤ 상기 (4)항에서 분석된 Hazard는 Hazard Log를 통해 제작설계 및 제작단계에서 해당 Hazard를 어떻게 저감 또는 제거를 시켰는지 상세 기록되어야 한다.

⑥ 제작단계에서 서브시스템 공급업체는 시운전시 RAM 요구사항 달성을 검증하기 위한 Subsystem RAM Demonstration Plan를 작성하고, Hazard Log에서 저감 또는 제거 시킨 위험요소에 대해서 어떻게 검증 할 것인지 Subsystem Safety Test Plan을 제시/작성해야 한다.

⑦ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Subsystem RAM Plan	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
2	Subsystem Safety Plan	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
3	Subsystem RAM Analysis	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
4	Preliminary Subsystem Hazard Analysis	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
5	Subsystem FMECA	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
6	Subsystem Hazard Analysis	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
7	Interface Hazard Analysis	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
8	Operation and Support Hazard Analysis	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
9	Subsystem RAM Demonstration Plan	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
10	Subsystem Safety Test Plan	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨
11	Hazard Log [Manufacturing]	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨

다) RAM Demonstration 계획

① RAM Demonstration 계획 수립시 하기와 같은 내용을 포함해야 한다.

- RAM 성능 목표치
- RAM Demo. 기간
- RAM Demo 조직 및 구성
- RAM Acceptance Criteria
- FRACAS 절차
- RAM 성능 목표치 미달성시 계획안

② 입력문서 및 자료

- System RAM Plan

• System RAM Requirement

③ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Preliminary System RAM Demonstration Plan	1-2 수행 기관	시스템레벨
2	Subsystem RAM Demonstration Plan	서브시스템 공급업체	서브시스템레벨

라) Safety Test 계획

① Safety Test 계획 수립 시 하기와 같은 내용을 포함해야 한다.

• 안전성 타당성 검사 프로세스(Validation Process)

• 안전성 분석 활동 자료

• 안전성 기준 수립

• 안전성 활동

② 입력문서 및 자료

• System Safety Plan

• System & Subsystem RAMS Requirement

③ 산출물

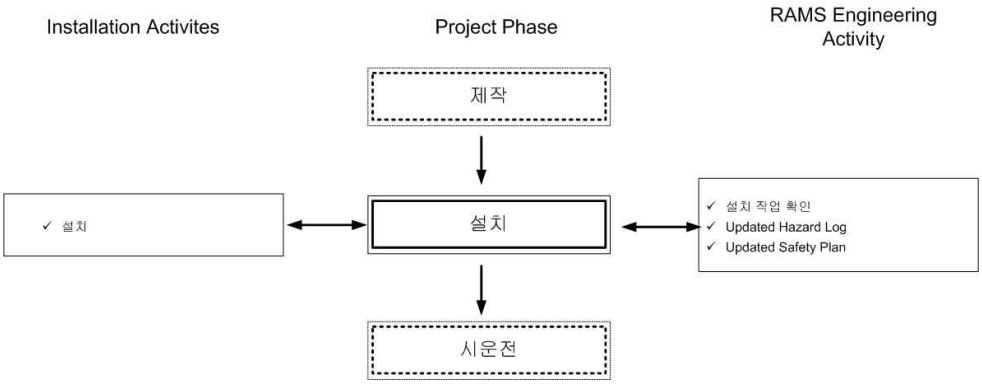
No	문서명	작성주체	비고
1	Preliminary System Safety Test Plan	1-2 수행 기관	시스템레벨
2	Subsystem Safety Test Plan	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨

(라) 설치 단계

1) EN50126의 해당 단계

- Installation

2) 단계별 RAMS 활동



[그림 78]설치단계 RAMS 활동

3) RAMS 활동 내용

가) 설치계획 확인

① 제작 단계에서 작성된 설치계획을 검토한다.

② 설치 작업이 설치계획과 일치하도록 수행되었는지를 확인한다.

나) Hazard Log 개정

① 설치단계에서 서브시스템 레벨에서 수행된 RAMS 검증 활동에 대한 기록을 유지한한다.

② 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Hazard Log Report [Installation]	1-2 수행 기관	시스템 레벨
1	Update Hazard Log [Installation]	서브시스템 공급업체	서브시스템레벨

다) Safety Plan 개정

① 후속 수명주기 단계에서 RAMS 활동 보장을 위해 Safety Plan 을 개정한다.

② 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Updated Safety Plan	1-2 수행 기관	시스템 레벨
1	Updated Subsystem Safety Plan	서브시스템 공급업체	서브시스템 레벨

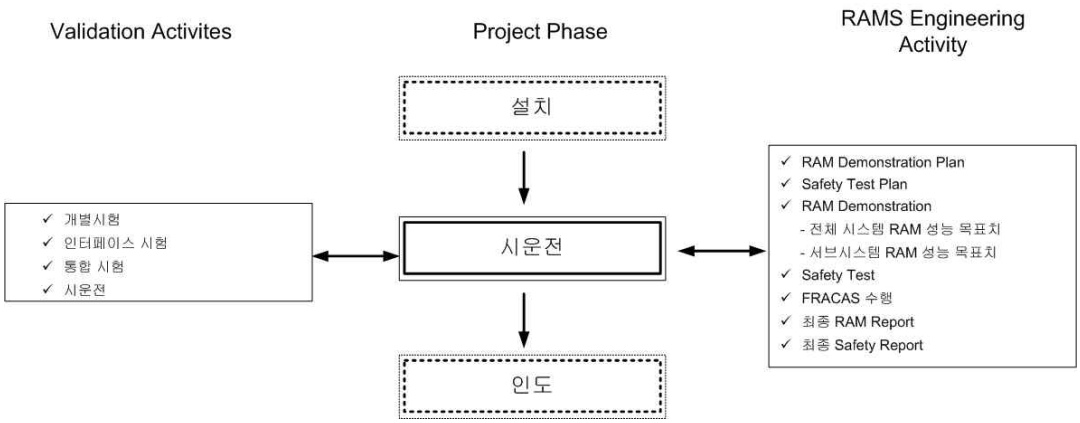
(마) 시운전 단계

1) EN50126의 해당 단계

- System Validation
- System Acceptance

주) 본 프로젝트에서는 6차년도 시운전 단계 종료이므로 EN50126의 System Validation 단계 이후 수행해야 할 활동 중 필요한 작업은 이 단계에서 수행해야 할것으로 판단된다.

2) 단계별 RAMS 활동



[그림 79]시운전단계 RAMS 활동

3) RAMS 활동 내용

가) RAM Demonstration 및 Safety Test

① 시스템 레벨에서는 제작단계 시 서브시스템 공급업체에서 작성한 Subsystem RAM Demonstration Plan을 기본으로 전체 시스템 레벨의 성능 목표치 달성 여부와 서브시스템 RAM 요구사항을 검증 할 수 있는 최종 RAM Demonstration Plan을 확정한다.

② 시스템 레벨에서는 제작단계 시 서브시스템 공급업체에서 작성한 Subsystem Safety Plan을 기본으로 위험요소 감소/제거 활동을 검증 할 수 있는 최종 Safety Test Plan을 확정한다.

③ RAM Demonstration시

• 전체 시스템 레벨 성능 목표치 달성여부 평가

• 각 서브시스템 RAM 요구사항 달성 여부 평가

를 서브시스템 공급업체와 공동으로 시스템 레벨에서 정량적으로 측정한다.

④ RAM Demonstration 수행 시 서브시스템 공급업체는 Subsystem RAM Test Report를 작성하고 시스템 레벨에서 이를 취합하여 RAM Demonstration Report를 작성한다.

⑤ Safety Test시

• 위험요인 분석에 따른 시스템레벨의 위험요인

• 시스템간 인터페이스 위험요인

• 서브시스템에서 운용시 발생 할 수 있는 인적/전기/기계적 위험요인

저감 및 제거되었는지 서브시스템 공급업체와 공동으로 시스템 레벨에서 정량/정성적으로 검증한다.

⑥ Safety Test 수행 시 서브시스템 공급업체는 Subsystem Safety Test Report를 작성하고 시스템 레벨에서 이를 취합하여 Safety Test Report를 작성한다.

⑦ 입력문서 및 자료

• 시스템관련 기능/성능 관련 문서

• 시운전 이전 단계의 RAMS 관련 모든 문서

• 시운전 이전 단계의 RAMS 관련 모든 문서

⑧ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Final RAM Demonstration Plan	1-2 수행 기관	
2	Final Safety Test Plan	1-2 수행 기관	
3	RAM Demonstration Report	1-2 수행 기관	
4	Safety Test Report	1-2 수행 기관	
5	Subsystem RAM Test Report	서브시스템 공급업체	
6	Subsystem Safety Test Report	서브시스템 공급업체	

주) RAM Demonstration은 상업운전시 실시하나 본 프로젝트는 6차년도 시운전으로 프로젝트가 종료되므로 시운전시 실시한다.

나) 고장정보, 분석 및 교정 활동(FRACAS)

① 시운전시 발생한 고장을 기록하고 분석한다. 이 분석 데이터는 본 프로젝트 설계단계시 전체 시스템 레벨의 성능 목표치와 각 서브시스템별로 할당된 성능 목표치 달성여부를 판단하는 자료가 된다.

② 각 서브시스템 공급업체는 시운전 기간 중 발생되는 고장에 대해

- FRACAS에 등록
- 고장 원인 분석
- 고장 개선조치
- 고장 보고서 작성를 작성한다.

③ 시스템레벨에서는 해당 고장 발생 후 개선 조치된 내용을 확인한다.

④ FRACAS를 이용하여 시운전과 시스템 인도 후 상업 운전 기간 중에 운영 지자체에서 지속적으로 RAM 및 안전 성능을 관리한다.

⑤ 입력문서 및 자료

- 현장 시운전 데이터(고장데이타)
- RAMS 분석 데이터

⑥ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	FRACAS	서브시스템 공급업체	

다) Final RAM Report

① 시운전 종료 후 최종 RAM 평가를 위해

- System RAM Plan 사항

• System and Subsystem RAM Requirement 사항
• 시스템 및 서브시스템 RAM 관리활동 과정
• 시운전 중 RAM Demonstration을 통한 RAM 목표치 달성 여부에 대한 평가
• RAM관련 시스템 및 서브시스템 레벨에서 작성된 RAM 관련 산출물을 내용으로 작성한다.

② 작성된 Final RAM Report는 사업단에 최종 승인을 요청한다.

③ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Final RAM Report	1-2 수행기관	

라) Final Safety Report

① 시운전 종료 후 최종 Safety 평가를 위해
• System Safety Plan
• System and Subsystem Safety Requirement 사항
• 시스템 및 서브시스템 Safety 관리활동 과정
• 시운전 중 Safety Test를 통한 위험요인의 저감/제거 활동에 대한 평가
• Safety관련 시스템 및 서브시스템 레벨에서 작성된 Safety 관련 산출물을 내용으로 작성한다.

② Final Safety Report는 독립안전평가기관에서 발행하는 안전평가보고서와 함께 사업단에 제출하여 사업단의 승인을 요청한다.

③ 산출물

No	문서명	작성주체	비고
1	Final Safety Report	1-2 수행기관	

(6) RAMS 분석 도구

(가) 고장유형, 결과 및 치명도 분석

1) 고장 유형, 결과 및 치명도 분석(FMECA: Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)의 목적은 단품, 컴퍼넌트 및 소프트웨어 고장이 시스템의 전체 기능 및 자기부상열차 운행성능에 어떠한 영향을 가져오는지 식별하는 것이다.

2) 고장 유형, 결과 및 치명도 분석은 신뢰성 목표값이 할당되어 있는 서브시스템에서 LRU까지 실시된다. 단품 고장 유형의 고장 효과는 컴퍼넌트까지 확산되어, 시스템 기능에 미치는 영향 까지 분석되며, 고장의 결과로 인한 위험도는 분류체계에 따라 구분 한다.

(나) 고장계통분석(Fault Tree Analysis)

1) 고장계통분석(FTA)의 목적은 시스템 수준의 고장을 발생시키는 사건(event)과 그 원인과의 인과관계를 논리기호를 사용하여 나뭇가지 모양의 형태로 계통구조를 만들고, 이에 의거 시스템의 고장확률을 구함으로서 문제가 되는 부분을 찾아내어 시스템의 신뢰성을 개선하는 고장해석 방법이다.

2) FTA는 시스템고장을 발생시키는 원인들과의 관계를 논리적으로 사용하여 나뭇가지 모양의 그림(Tree)으로 나타낸 FT(Fault Tree)를 만들고 이에 의거하여 시스템의 고장확률을 구함으로서 취약 부분을 찾아내어 시스템의 신뢰도를 개선하는 정량적 고장해석 및 신뢰성 평가 방법이다.

3) FTA의 가장 큰 특징은 AND와 OR인 두 종류의 논리게이트 조합에 의해 대상 설비 또는 운영절차의 위험성을 트리구조에 의해 표현하므로, 시각적으로 파악하는 우수한 수단이며 여러 가지 전문 기술분야에 걸친 정보를 망라할 수 있는 유연성이 풍부한 방법이라고 할 수 있다.

4) 또한 분석대상의 위험성에 대한 확률론적인 정량평가가 가능하게 하여 기본사건(Basic Event) 발생률로써 중간 및 정상 사건에 대한 확률을 차례로 계산할 수 있게 함으로서 기존의 감각적, 경험적 사

고로부터 탈피하여 논리적이고 확률론적인 정량적 결과를 도출할 수 있게 하였다.

(다) 예비위험분석 (Preliminary Hazard Analysis)

1) 예비 위험요인을 분석하기 위해서는 기본설계단계에서 시스템과 관련된 예비 위험요인을 목록화 할 필요가 있다.
2) 시스템을 기본설계 단계에서 위험요인을 도출하는 행위이기 때문에, 해당 시스템에 관련된 구체적인 목록 작성은 일반적으로 충분치 않다.
3) 유사 시스템의 경험을 참조하여 승객, 제3자, 직원에 사고 등 인명피해를 야기할 수 있는 위험에 대해서 조사를 행한다.
4) 예비 위험요인 목록을 기반으로 해당 위험요인의 잠재적 원인과 그에 대한 관련 위험요인의 결과가 초래할 수 있는 영향을 분석한다.

(라) 시스템 위험분석 (SHA : System Hazard Analysis)

1) 서브시스템 인터페이스 또는 기능고장과 관련이 있는 위험요인을 포함하여 시스템 수준에서 위험성을 분석한다.
2) 시스템 위험요인 분석은 위험도(Risk)를 평가하여 최종적으로 이러한 위험요인을 제거하거나 허용가능 수준으로 위험도 (Risk)를 저감시키기 위하여, 필요한 저감책을 발굴하기 위한 활동 및 결과를 정리한다.
3) 특히, 시스템 위험요인 분석은 또는 시스템의 안전성(Safety)에 영향을 미칠 수 있는 고장 형태에 중점을 둔다.

(마) 서브시스템 위험분석 (SSHA : Sub-system Hazard Analysis)

1) 서브시스템 위험요인 분석은 서브시스템이안전성(Safety) 요구사항을 만족함을 입증하기 위하여 실시한다. 즉, 각 서브시스템을 구성하는 고장형태, 인적 오류, 구성품 간의 기능적 연결 관계에 의해 야기되는 위험요인등 서브시스템의 설계와 관련된 위험요인을 식별하여, 이러한 위험요인을 제거하거나 허용 가능한 수준으로 위험도

(Risk)를 저감시키기 위해 필요한 방안을 찾는데 그 목적이 있다.

2) 설계가 진행됨에 따라 각 공급업체는 위험을 야기하거나 계약상의 안전성(Safety) 요구사항을 만족시키지 못할 가능성이 있는 구성품을 식별하기 위해 서브시스템 위험요인 분석을 수행한다. 성능, 열화, 기능 고장, 설계 오류 및 결함, 우발적으로 발생되는 고장영향 등을 빠짐없이 고려해야 한다.

3) 컴퍼넌트 위험요인 분석은 해당 구성품의 고장 또는 시스템에 영향을 미치는 고장에 중점을 둔다.

(바) 인터페이스 위험분석 (IHA : Interface Hazard Analysis)

1) 서브시스템간 인터페이스에 있어서 안전성(Safety) 또는 운영에 영향을 미칠 수 있는 현존하거나 잠재되어 있는 위험성을 식별하고 평가하기 위한 목적으로 실시한다.

2) 해당 서브시스템(해당장치)과 타 서브시스템 간의 인터페이스 위험요인 및 해당 서브시스템의 동작(operation)시 야기되는 인터페이스 위험요인을 분석한다.

(사) 운영 및 지원 위험분석
(O&SHA : Operating & Supporting Hazard Analysis)

1) 운영 및 지원 위험요인 분석은 운영 혹은 지원 절차에 의해 시스템의 안전성(Safety)에 영향을 미치는 인적 오류(human error)로 인한 위험요인을 분석하고, 이 위험요인을 제거 또는 저감하기 위해 사용되는 운영지원 및 유지보수 절차의 타당성을 평가하기 위해 수행된다.

2) 운영 및 지원 위험요인 분석은 식별된 위험요인을 제거하거나 통제하기 위해, 또는 위험도 (Risk)를 안전성(Safety) 요구사항 이하의 수용 가능한 수준까지 낮추기 위해 필요한 안전성(Safety) 요구사항을 식별한다. 이 분석을 수행하는 동안 인적 오류는 시스템의 일부로 간주한다.

(아) 위험분석 기록서 (Hazard Log)

1) 시스템 자체의 위험요소 및 승객/운영자의 보편화된 오 사용조건을 검토함으로써 시스템에 잠재되어 있는 위험요소를 분석하고, 시스템의 수명주기를 통해 위험도를 저감시켜가는 일련의 과정을 관리함으로써 시스템의 안전을 확보한다.
2) 기본설계 단계에서 위험요소를 도출하기 위하여 기존의 유사시스템의 경험으로부터 시스템 수준의 위험요소의 유형 및 사례를 추출한다.
3) 추출된 예비위험요소를 기반으로 서브시스템(차량, 신호, 전력 등)의 위험도를 예비적으로 평가하고, 그 결과는 서브시스템의 잠재적 위험요소와 컴퍼넌트의 기능적 결함을 분석하는 출발점으로 사용한다.
4) 설계 단계에서는 예비 위험요소 분석자료를 기반으로 서브시스템 위험요소분석, 컴퍼넌트 위험요소분석, 인터페이스 위험요소 분석, 운영&지원간 위험요소 분석등 상세한 위험분석 및 평가를 수행한다.
5) 분석한 위험의 심각성 및 발생빈도를 기반으로 위험도(RISK)를 평가하고 개선대책을 수립 / 실행한다.
6) 시스템의 안전관리자는 다양한 위험요소 분석 및 활동의 결과를 Hazard Log에 종합하여 RAMS활동 결과를 추적관리 하는데 활용한다.

나. 자기부상열차 전체시스템레벨의 RAMS성능예측 모델링

(1) 개요

(가) 업무개요

자기부상 전체 시스템 수준의 RAMS 목표설정을 위해서는 운행노선, 운영계획 및 기전시스템의 기술사양에 대한 검토가 필요하나, 이는 본 사업의 기본/실시설계 완료되는 2008년 12월에 가능하다. 따라서 현 단계에서 부족한 기술사양 및 운영계획 등은 최신의 무인경전철 시스템과 동등하다는 가정하에 필요 내용을 추정하여 RAMS 목표설정을 위한 업무를 진행하였으며, 본 문서

- 전체 시스템 수준의 RAM 성능 예측 모델을 선정하고,
- 전체 시스템 수준의 RAM 성능 목표치들을 설정하며,
- 전체 시스템 수준의 안전성 목표를 설정하였다.

(나) 시범노선 개요

자기부상 실용화사업 시범노선은 인천시 영종도의 인천국제공항 지역에 1단계 사업으로서 다음과 같이 건설될 예정이며, 향후 이 노선은 2,3단계에 걸쳐 확장될 예정이다.

- 교통수요: 교통센터 내 101 정거장 (2015년 일일 승차 11,925명, 하차 11,925명)
- 노선길이: 1단계 6.1 km
- 차　　량: 7편성 14량
- 차량기지: 1개 차량기지 (23,825 m^2)
- 정 거 장: 6개 정거장 [교통센터(101정거장), 제2 여객터미널(102정거장), 국제업무지역-1(103정거장, 104정거장), 워터파크(105정거장) 및 용유역(106정거장)]



[그림 80]자기부상 실용화사업 시범노선

(다) 사업일정계획

- 실용화사업착수: 2006년12월
- 시범사업 노선선정: 2007년 7월
- 차량 기본설계: 2007년4월~2007년12월
- 노선 기본 및 실시설계: 2007년9월~2008년12월
- 차량 제작설계 및 부품제작: 2008년1월~2008년12월
- 차량제작: 2008년9월~2009년12월
- 시험선 초도편성 시험/평가: 2010년1월~2011년 9월
- 차량납품: 2011년7월~2011년12월
- 인터페이스 시험: 2010년9월~2012년 3월
- 시험 및 시운전: 2012년1월~2012년12월
- 영업시운전: 2013년1월~2013년 3월

(라) 시범노선 운영개요

1) 수송계획

- 운행 편성수: 왕복운행시간 / 배차시간 x 112% (예비율 12%)
- 영업운전 구간: 교통센터↔용유역 (6개 정거장, 1개 차량기지)
- 영업시간: 05:00~23:00

• 운전모드: 무인운전차량(안전요원 탑승), 무인운영역사(순회점검요원 배치)

• 종합시운전 시(2012년) 3편성(6량) 운행

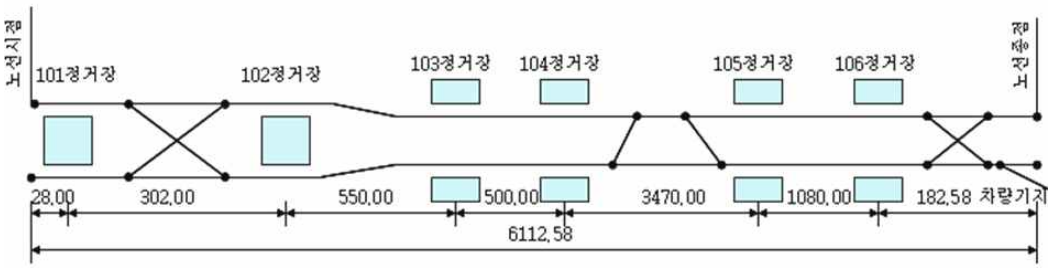
2) 운전계획

• 표정속도: 36.8 km/h

• 회차시간: 3분

• 운영 초기년도 운전시격: 7.2 분

3) 배선계획



[그림 81]시범노선 배선계획

4) 열차운행계획

년도	첨 두			준 첨 두			비 첨 두			일일 소계
	시간 당 운행횟수	시간길이 (hr)	운행 횟수	시간 당 운행횟수	시간길이 (hr)	운행 횟수	시간 당 운행횟수	시간길이 (hr)	운행 횟수	
2013년	9	4	36	4	10	40	3	4	12	88
2015년	11	4	44	5	10	50	4	4	16	110
2022년	12	4	48	6	10	60	4	4	16	124
2032년	16	4	64	8	10	80	6	4	24	168

[표 13]시범노선 열차운행계획

(마) 차량시스템

궤간	• 1,850mm 이하
열차길이	• 12(L) x 2.7(W) x 3.45(H) m per car • 24.5m (2량 편성)
공차중량	• 20 ton per car, 40 ton (2량 편성)
경사도	• 70‰ 이상
최소 수직 곡선반경	• 1000mR (for vehicle)
최소 수평 곡선반경	• 50mR 이상
승차인원	• 93 persons per car
최대 설계속도	• 110km/h 이상
가속도	• 4.0km/h/s 이상
감속도	• 상용제동 4.0km/h/s 이상 • 비상제동 4.5km/h/s 이상
부상간격	• 수평궤도에서 차량속도 110km/h 일 때 8mm ±3.0mm
운영환경	• 진도: Richter scale 5.5 degrees • 폭우: 500mm per day • 풍속: 26m/s • 온도: -20~40℃
내부소음	• 65dB 이하
승차감	• Jerk Limit UIC 2.0
급전전력	• 1,500vdc, 3rd Rail
설계 운전시격	• 90 seconds
정위치정차 오차	• ± 30 cm
운전 모드	• ATO (Driverless Operation)
분기기 전환시간	• 25 seconds
거더의 수직 처짐	• δ ≤ L/1500~L/2000 (slab girder)

(바) 기전시스템

차량을 제외한 토건분야 및 기타 E&M 시스템의 기술사양들은 아래와 같이 최신의 무인운전 경전철 시스템과 유사할 것으로 추정된다. 서브시스템 별 세부 사양은 기본/실시설계 기간인 2008년 중 결정될 것이

다.

토목	• Pillar, Girder, Bridge • 콘크리트 구조물에 전식방지용 iron-bar-mesh 설치
건축	• Station Buildings, Platforms, Depot Buildings
신호	• Signaling system onboard(ATP, ATO), wayside(ATP, ATO), and OCC (ATS including scheduler) • DTS및 전용 광 네트웍(현장↔종합사령실) 통한 정보 전송 • 무선통신 시스템(차량↔지상신호) • UPS
궤도	• Track, Switching Machine (25 초 전환시간)
전기	• 한전으로부터 이중화 수전변전소 (22.9kV) • 이중화 급전변전소 (AC 22.9kV→DC 1500V) • 3rd Rail까지 이중화 급전라인(DC 1500V) • 이중화 일반 변전소(AC 22.9kV→AC 380V/AC 220V) • 정거장/차량기지 접지(고압/피뢰, 저압, 정차중 차량/PSD) • 전식방지 설계 • 이중화 SCADA (역사에 RTU) • 정거장, 차량기지 조명제어 • 정상조명 및 비상조명 • 정거장 및 차량기지 UPS • 정거장 및 차량기지 화재 수신반, 종합사령실 자탐설비
통신	• Digital Transmission System • NMS (Network Management System) • TRS (Trunked Radio System) • Public Address System(onboard, depot and station) • Passenger Information System (onboard and station) • CCTV system • (emergency) telephones • Door Control System(정거장 주 출입구, 기능실, 플랫폼에서 본선 출입구 제어) • Electric Clock • MIS(Management Information System) • UPS

AFC	• Gate Machine, Ticket Issuing Machine, Fixed Value Ticket Issuing Machine, Fare Adjustment Machine, Central Computer for AFC, etc • UPS
기계	• PSD • Escalator, Elevator • BAS(Building Automation System) • Fire Fighting System (sprinkler, powder fire extinguisher) • Water Pumps, Air Ventilation Fans, GAS supply, Heating System etc • UPS
검수	• Workshop Facilities • CMMS(Computerized Maintenance Management System)
종합사령실에서 제어	• ATS 운영자가 열차운행 및 플랫폼 CCTV 영상감시 • SCADA 운영자가 자탐설비 감시 • 통신(NMS) 운영자가 승객의 비상인터폰 관련 CCTV 감시 • 기계(BAS) 운영자가 기타 정거장의 CCTV 화면 감시 • UPS 및 이중화 LAN
종합사령실 외 지역에서 제어	• 관리역에서 정거장 대합실, Gate Machine, 발매기, Escalator 입구, Elevator 입구, 주 출입구, 화장실 입구, 기능실 출입구 CCTV 감시 • MIS/AFC는 종합사령실 건물내 별도의 제어실 이용 • 검수고에 CMMS(Computerized Maintenance Management System)

(2) 전체 시스템 수준 성능 모델링

관례적으로 “프로젝트 기본설계” 단계에서 철도 시스템 성능을 평가하는 RAM 모델을 정한다.

전체 시스템 수준의 RAM 성능은 다양한 종류의 매개변수를 이용해 측정 및 추정이 가능하며, 이 각각의 매개변수는 도시철도 프로젝트가 갖고 있는 각각 특성에 초점을 맞추고 있다. 따라서 RAM 모델을 선정할 시에는 보다 중요하다고 여겨지는 특성에 기반 하는 매개변수들을 선택한다 (예, 설비의 기술측면, 승객서비스의 품질, 등등).

보통 전체 시스템 수준의 RAM 성능을 정확하게 측정하기 위해 일련의 매개변수들을 정의하며, 각각의 매개변수에 목표치를 설정하는데, 이는 “시스템 사양서”에서 설계 요구사항 및 운영&유지보수 조직의 요구사항으로 표현된다.

다음은 해외 “도시철도 건설 프로젝트”에서 RAM 성능 측정에 자주 적용되는 매개 변수들이다.

- 서비스 가용성 (SA): 정상 서비스와 실제 달성한 서비스 효율의 편차를 측정한다. 이는 정상 서비스 수준의 백분율로 표현하며, 해당 성능지표 또는 매개변수의 ”계획수치 대비 달성수치“의 비율로 나타낸다. 서비스 가용성(SA) 모델을 적용하기 위해서는 먼저 서비스의 비가용성 상태를 결정하는 조건들을 명확하게 정의해야 한다.
- 열차 정시성 (TP) : 승객에게 제공되는 열차운행 서비스의 품질을 측정하며, 열차 운전시격의 규칙성에 초점을 맞추고 있다. 보통 서비스 가용성은 주요한 열차운행 서비스 장애와 관련되며 열차 정시성은 미미한 열차 운행서비스 장애와 관련된다.
- 신뢰성 & 정비성 : 이 매개변수들은 승객들이 인지하는 서비스 수준보다는 시스템의 갖고 있는 고유의 RAM 성능에 깊게 연관되어 있다.

상기의 매개변수들은 철도 시스템 RAM 성능의 각각 다른 방식들의 측정기준이지만, 각 매개변수 상호간에 깊은 연관성이 있다.

도시철도 프로젝트의 전체 시스템 수준의 성능을 적절하게 평가하기 위해서 상기 매개변수들이 각기 다른 기준에 따라 조합되고 분석될 수 있다. 그러나 시스템 고장결과의 상호배제 원칙만은 항상 지켜져야 한다. 다시 말해 어떤 시스템 고장결과가 하나의 매개변수에서 이미 계산된 경우 중복 계산을 방지하기 위해 다른 매개변수에 그 고장결과를 포함시키지 않는다. 적용하는 RAM 모델에 따라 하나의 시스템 고장결과가 서비스 가용성과 열차정시성에 기여하는 정도에 따라 분류할 수 있으며, 이에 따라 시스템 고장상태 및 서비스 장애에 대한 각각 다른 매개변수들의 적용조건들을 명확하게 정의해야 한다.

본 절에서는 도시철도 건설 프로젝트에 적용되는 전체 시스템 수준의 RAM 성능을 측정하기 위해 가장 일반적으로 적용되는 매개변수들을 기술하였으며, 기술된 각 매개변수들에 대한 장단점을 비교 하였다.

가. 서비스 가용성 모델 연구

아래 항에서는 철도시스템에 적용되는 서비스 가용성 모델들에 대한 그 장점과 단점을 포함하여 설명한다. 각각 서비스 가용성 모델은 도시철도 시스템 비가용성 조건들의 명확한 정의에 따라 특성 지어지나, 일반적으로 계획된 열차운행 서비스와 달성한 열차운행 서비스에 대한 백분율로 표현 한다. 주로 운행시간 또는 열차운행 횟수 등이 열차운행 서비스의 매개변수로서 사용한다.

1) 서비스 가용성 모델 #1

본 모델은 열차운행 서비스의 가용성과 규칙성의 양 측면에서 도시철도 시스템 RAM 성능을 평가한다. 중요 승강장(예, 종착역)에서 열차운행 지연은 열차운행계획 보다 정해진 시간을 초과하여 도착하는 경우로서 도착지연시간이 시스템의 비가용성 상태를 초래하며, 열차

정시성 성능의 특성 또한 이 서비스 가용성 계산모델에 포함되어 있다.

본 모델에서 서비스 가용성은 측정기간 동안 도시철도 시스템에 누적된 지연의 함수로 표현되어 아래의 서비스 가용성 계산공식이 적용된다.

$$SA = 1 - \frac{DEL}{TOP}$$

여기에서

- DEL은 서비스 가용성 측정기간 동안 시스템의 고장으로 인해 발생하는 열차지연시간의 합계이다. 각각의 지연시간은 시스템 고장과 관련된 중요 역사(예; 종착역)에서 계획된 열차도착시간과 실제 열차도착시간의 차이로 정의된다. 각 지연시간은 시스템의 동일 고장으로 인해 지연된 열차들 중 가장 지연된 열차를 대상으로 측정한다.

또한 하나 또는 그 이상의 역사를 폐쇄해야 하는 시스템 고장이 발생한 경우의 서비스 가용성은 해당 역사에서 마지막으로 출발한 열차와 열차운행 서비스가 복구된 이후에 최초로 출발한 열차간의 시간 차이로서 계산한다.

- TOP는 해당 기간 동안의 열차운행 시간의 합계이다.

2) 서비스 가용성 모델 #2

서비스 가용성 모델 #2에서는 서비스 가용성 모델 #1에서 사용된 각각의 지연(DEL)을 그에 상응하는 각각의 승강장에서“열차 출발실패 횟수(MD)”로서, 그리고 열차운행시간(TOP)은 그에 상응하는 각각의 승강장에서 “계획된 열차출발 횟수(PD)”로 변경될 수 있다.

이는 열차운영 계획에 있는 “계획된 열차출발 횟수(PD)”에 대비하여 각각 승강장에서의 “실제 열차출발 횟수(AD)″비율로서도 고려할 수 있다.

다음은 서비스 가용성 계산 공식이다.

$$SA = 1 - \frac{Missed\ \ Depatures}{Planned\ \ Departures}$$

MD는 정해진 시간동안 각각의 승강장에서 시스템 고장으로 인한 운행열차 지연의 결과로서 나타난다. 각각의 승강장에서 발생하는 열차 운행지연 시간이 현재 운전시격보다 길 경우 MD가 성립된다. 따라서 열차 운행지연으로 구성되는 MD 횟수는 지연시간의 길이, 영향을 받는 노선연장, 현재 운전시격에 따라 결정된다.

본 서비스 가용성 모델은 각각의 역사에서 PD 누적 횟수를 AD 누적 횟수와 순차적인 시간슬롯 별로 비교하여 계산한다. 이를 위해 각각 시간슬롯에서 다소 복잡한 MD 횟수 계산 절차가 적용된다.

PDd는 승인된 열차운행 계획에 따라 하루 동안 계획된 열차출발 횟수라고 한다. 그리고 각 역사에서 열차운행 방향마다, 1일 열차 운행 서비스 시간 동안의 PD 횟수와 AD 횟수를 연속적 시간슬롯 단위로 계산한다. 각각 시간슬롯이 끝날 때 마다 승인된 열차 운행계획에 의한 각 역사, 각 열차운행 방향마다의 누적 AD 횟수(AAD)를 누적 PD 횟수(APD)와 비교한다.

AAD-APD < -1의 경우에 2개의 연속적인 시간슬롯들 끝에서 MD 횟수를 계산한다. 만약 AAD-APD < -1이 참이면, 누적 MD 횟수는 다음과 같이 증가한다.

$$MD_{i+1} = MD_i + (APD_{i+1} - AAD_{i+1})$$

동시에 전산 프로그램에서 계산을 위하여 AAD 역시 동일한 양만큼 인위적으로 증가한다.

$$AAD_{i+1} = AAD_i + (APD_{i+1} - AAD_{i+1})$$

다른 역사에 대해서도 동일한 계산을 수행하며, 각 역사의 중요도에 따라 다양한 증가계수 (페널티)를 추가하여 본 RAM 모델을 교정할 수도 있다. 예를 들어, 인구밀도가 가장 높은 중심역사에서 혼잡 시간대에 발생한 1회의 MD는 1.5 혹은 2회의 MD로 간주할 수 있다.

본 모델의 서비스 가용성 정의에는 예비열차 운행(UD) 같은 또 다른 요소를 추가할 수도 있다. 이 UD를 증가시키는 방법은 이론적으로는 MD를 증가시키는데 사용하는 방법과 동일하다.

AAD-APD > 1의 경우에 2개의 연속적인 시간슬롯들 끝에서 UD 횟수를 계산한다. 만약 AAD-APD > 1이 참이면, 누적 UD 횟수는 다음과 같이 증가 한다.

$$UD_{i+1} = UD_i + (AAD_{i+1} - APD_{i+1})$$

동시에 전산 프로그램에서 계산을 위하여 AAD 역시 동일한 양만큼 인위적으로 증가한다.

$$AAD_{i+1} = AAD_i + (AAD_{i+1} - APD_{i+1})$$

각각 역사에서 동일한 작업을 수행하며, UDd는 일일 동안에 누적 MD 횟수이다
일일 열차운행의 마지막에, 다음과 같이 서비스 가용성을 계산한다.

$$SA_d = \frac{(PD_d - MD_d + 1/2 UD_d)}{PD_d}$$

1개월 이상의 기간(예; 이동3개월, 또는 이동 6개월) 단위에는 다음의 공식을 적용 시킨다.

$$SA = \frac{(PD - MD + 1/2 UD)}{PD}$$

여기에서,

- PD = 1개월 이상의 기간 동안의 ΣPDd
- MD = 1개월 이상의 기간 동안의 ΣMDd
- UD = 1개월 이상의 기간 동안의 ΣUDd

여기서 중요한 점은, 본 서비스 가용성 모델은 운전시격이 빠른 시간 안에 복구된다면, 소수의 MD만이 발생할 것이라는 개념을 바탕으로 한다. 다시 말해, 서비스에 영향을 미치는 고장의 정의를 좌우하는 원칙은 “운전시격”에 기초 하며, 이 경우 운전시격이 길 경우에 열차 운행 지연의 복구가 용이하다. 동일하게 자동 운전시격 복구기능을 감안하여 설계/제작된 무인운전 열차운행 시스템에서는 MD 발생 수가 상대적으로 줄어들 수 있다.

3) 서비스 가용성 모델 #3

본 모델은 또 다른 형태의 서비스 가용성 계산 모델로써, 열차운행 서비스가 가능한 시간 즉 “가동시간(UP)″이 “계획된 운영시간(POT)″에서 차지하는 백분율을 측정하는 것이다.

다음은 서비스 가용성의 기초 계산공식이다.

$$SA = \frac{TUT}{POT}$$

TUT는 시간슬롯에서 열차운행 서비스가 가능한 시간들의 합으로써 “가동시간의 합”을 말한다.

POT는 동일한 시간슬롯에서 열차운행이 계획된 운영시간의 합을 말한다.
TUT는 비 가동시간(TDT)의 함수로 표현할 수도 있다.

$$TUT = POT - TDT$$

따라서 이는 다음 공식으로 이어진다.

$$SA = 1 - \frac{TDT}{POT}$$

TDT는 서비스 가용성 측정기간 동안 도시철도 시스템에서 발생하여 서비스 비가용성으로 이어지는 각 시스템의 고장의 열차운행 서비스 복구시간 합계와 관련된다.

SFi를 서비스 가용성 측정기간 동안 시스템에서 발생하는 i번째 고장이라고 하고, DTi를 이 고장발생 이후 열차운행 서비스를 복구하는데 필요한 시간 (TTRS)으로 표현되는 열차운행 서비스 정지시간(DT)이라고 한다.

각 SF는 열차운행 서비스 비 가용성 DT를 유발하며, 따라서 TDT = ∑ SFi*DTi이고 서비스 가용성은 SF 횟수의 함수로써 계산 된다.

$$SA = 1 - \frac{(\sum SF_i * DT_i)}{POT}$$

본 접근법에 따라, DT가 열차운행 서비스 고장 발생 이후 열차운행 서비스 복구시간(TTRS)과 동일하고, UP는 열차운행 서비스 고장 간 열차운행시간이라고 하면 서비스 가용성을 신뢰성 및 정비성 데이터의 함수로 계산할 수도 있다. 그리고 POT는 서비스 가용성 측정기간 동안 발생하는 열차운행 서비스 고장의 기준에 따라 계산한 시스템의 TDT와 TUT의 합으로 표시할 수 있다.

그러면 서비스 가용성을 다음 공식으로 표현할 수 있다.

$$SA = \frac{MTBSF}{(MTBSF + MTTRS)}$$

여기에서,

- MTBSF는 “평균서비스 고장간격”으로 TUT와 서비스 가용성 측정기간 동안 기록된 열차운행 서비스에 영향을 미치는 시스템 고장횟수의 총합의 비율로 계산 한다.

$$MTBSF = \frac{TUT}{\sum SF_i}$$

- MTTRS는 “평균서비스 복구시간”으로 TDT와 서비스 가용성 측정기간 동안 기록된 서비스에 영향을 미치는 서비스 고장횟수의 총합의 비율로 계산 한다.

$$MTTRS = \frac{TDT}{\sum SF_i} \quad .$$

본 모델을 적용하려면, 먼저 시스템 비가용성의 조건을 명확하게 정의해야 한다. 여기에서 주의해야 할 점은, 흔히 시스템 고장이 열차운행을 완전히 불가능하게 하기 보다는 고장운행 모드나 제약된 열차운행 모드로 열차운행 서비스를 지속 하게 하는 것에 비하여, 본

RAM 모델의 계산식에 고장운행 모드 등을 반영하기가 매우 어렵다는 것이다.

또한 최상위 기준인 “서비스 비가용성”의 정의가 본 RAM 모델의 적용 프로젝트 및 모델의 민감도에 영향을 미친다.

가) 아래에서 제안하는 접근 방법에 따라 서비스 장애의 확장 및 승객의 인지 정도에 따라 서비스 비가용성을 여러 수준으로 정의한다. 예를 들어, 아래 조건에 따라 서비스 비가용성을 정의할 수도 있다.

① 일정시간 동안 전체 노선의 운행열차 순환이 완전히 정지될 경우 DT는 100%로 계산한다.

② 다음은 열차운행 서비스가 부분적으로 비가용한 경우이다.

- 하나 또는 그 이상의 역사 폐쇄,
- 노선 일부구간에서 열차운행의 중단되고 나머지 구간에서는 제한적 열차운행 서비스 진행,
- 하나 또는 그 이상의 승강장에서 열차지연으로 인해 운전시격이 정해진 시간을 초과하여 열차운행 서비스가 부분적으로 비가용

따라서 승객이 서비스 장애를 인지하는 승강장 수와 비례하여 DT를 계산하는 부분적 서비스 비가용성을 반영해야 한다. 이러한 접근방법을 적용함으로써 서비스 가용성 계산 공식을 고장운행모드 또는 부분적 열차운행 서비스 모드에도 적용할 수 있다.

기술적 문제로 인해 열차운행 서비스에 잠재적으로 영향을 미치는 다른 모든 사소한 서비스 장애들도 서비스 가용성 매개변수의 정의 시 고려되어야 한다.

나) 고장에 따른 거시적 이벤트의 제한 횟수를 정함으로써 비가용성 상태를 정의한다.그럼으로써 특정 고장 이벤트의 발생으로 인한 DT에 한해서만 서비스 가용성을 계산하게 된다.

예를 들어, 아래 목록에 있는 이벤트만이 서비스 가용성 평가에 고려 된다.

- 한 역사의 모든 에스컬레이터들 및 엘리베이터들 가동중단
- 한 역사의 정상 및 비상 전력공급 중단
- 한 역사의 화재방재 및 화재검지 기능의 손실
- 노선의 일부 구간에서 승객 통신 기능의 완전한 손실
- 차량의 기술적 문제로 인해 본선의 역사들 사이에서 정차된 열차
- 본선의 일부 구간에서 급전전력 공급중단

상기 목록에 포함되지 않은 다른 기술적 문제들은 열차운행 서비스 장애를 초래하더라도 서비스 가용성 계산에서 제외된다.

상기 목록은 시스템 비가용성 정의방법의 대략적인 예시일 뿐이다. 따라서 고유한 기술을 적용하는 자기부상 시스템을 위한 고장 이벤트들의 집합을 정의해야 할 것이다.

이와 같이 서비스 비가용성을 명확히 정의하기 위해 고려해야 하는 이벤트들의 선정은 요구되는 성능수준과 적용되는 기술 및 안전성 조건들, 열차운행 서비스 규칙성, 승객서비스의 품질 등 시스템 성능목표에 중요하다고 판단하는 특성에 따라 달라진다.

4) 서비스 가용성 모델 #4

본 서비스 가용성 모델은 열차운행 계획에 따라 일정한 기간 동안 운행차량의 계획된 운행 마일리지(km)와 실제 운행차량의 마일리지(km)의 비율로 계산한다.

본선에서 열차 순환운행과 직접적으로 연관된 각각의 열차운행 서비스 장애는 정상운행계획을 기초로 계획된 열차 마일리지(km)와 관련된 실패한 마일리지(km)로 측정된다.

다음은 서비스 가용성 계산공식이다.

$$SA = \frac{Total\ \ Actual\ \ Kilometres}{Total\ \ Planned\ \ Kilometres}$$

본 서비스 가용성 모델은 적용하기는 쉽지만, 도시철도 시스템의 전체적인 성능 보다는 주로 열차 주행 성능에 깊게 연관된 성능지표이다. 이 서비스 가용성 모델은 열차 정시성과 열차운행의 규칙성 등의 승객 서비스 품질과 관련하여 민감도가 낮은 특징이 있어 역사폐쇄, 사소한 열차 도착지연 등 승객 서비스에 영향을 미치는 다수의 이벤트들이 RAM 성능평가에서 제외 된다.

5) 서비스 가용성 모델 #5

본 서비스 가용성 모델은 열차운행 계획에 따라 일정기간 동안의 계획된 열차운행 횟수 대비 실적 열차운행 횟수의 비율로 정의한다.

다음은 서비스 가용성 계산공식이다.

$$SA = \frac{\sum Actual\ Train\ \ Trips}{\sum Planned\ \ Train\ \ Trips} = 1 - \frac{\sum Missed\ \ Train\ \ Trips}{\sum Planned\ \ Train\ \ Trips}$$

여기에서,

- 실적 열차운행 횟수는 정해진 기간 동안 영업운행 서비스로서 수행된 열차운행의 실적 횟수를 말한다.
- 계획된 열차운행 횟수는 동일한 기간 동안 열차운행계획에 있는

계획된 열차운행 횟수를 말한다.

- 열차 운행은 열차운행계획에 따라 하나의 종착역에서 또 다른 종착역으로 주행하는 열차의 편도 운행을 말한다.

본 RAM 모델에서는 현재 운전시격을 초과하여 종착역에 도착 지연된 각 열차운행 서비스는 수행되지 않은 것으로 간주한다.

(나) 열차 정시성 모델 연구

보통 열차정시성으로 표현되는 운전시격이나 열차 운행계획 규칙성을 표시하는 매개변수로서 승객에게 제공하는 열차운행 서비스의 품질을 측정한다.

본 도시철도 시스템의 성능지표는 서비스 가용성에 직접적인 영향을 미치지 않는 사소한 기술적 고장으로 발생한 운행열차의 지연에 초점을 맞춘다. 또한 서비스 가용성 매개변수에 추가하여 열차 정시성을 적용함으로써 규칙적 열차운행 서비스 또는 주요 열차운행 서비스 장애로 부터 사소한 열차운행 장애를 구별한다.

열차 정시성 모델을 정의하기 위해서는, 시간 편차와 측정방법의 형태로 운행열차 지연을 명확하게 정의해야 한다. 따라서 운행열차 지연의 정의가 열차 정시성 모델의 정의에 영향을 준다. 이어지는 내용은 열차 정시성을 측정하는 다양한 RAM 모델에 대한 상세한 설명이다.

(1) 열차정시성 모델 #1

열차 정시성 모델1은 정해진 기간 동안 시행된 실적 열차운행 횟수에서 지연된 열차운행 횟수가 차지하는 백분율로 계산된다.

$$TP = \frac{\sum On\ Time\ Trips}{\sum Actual\ Trips} = 1 - \frac{\sum Delayed\ Trips}{\sum Actual\ Trips}$$

여기에서

- 지연된 열차운행은 열차의 종착역 도착시간이 시스템 요구 성능에 따라 정해진 Δt의 운전시격을 초과할 경우이다. 보통의 경우 Δt 는 열차 운행계획에 있는 최소 운전시격이다. 예를 들어, 만약 최소 운전시격이 120초일 경우 종착역에 도착하는 운행열차의 지연시간이 120초를 초과하면 해당 열차운행을 지연된 열차운행으로 계산한다.
- 실적 열차운행 횟수는 정해진 기간 동안 실제로 운행된 열차운행의 횟수를 말한다.

본 모델은 운행열차 지연시간 길이 보다는 지연된 열차운행 횟수에 초점을 맞추고 있다. 따라서 본 모델은 도시철도 서비스 장애의 지속시간을 측정하는 서비스 가용성 모델과 혼용하여 사용한다.

가) 열차정시성 모델 #2

본 열차 정시성 모델은 서비스 가용성 모델에서 이미 계산된 시스템 비가용성으로 인해 실패한 열차운행 횟수는 무시하고, 계획된 열차운행 횟수와 실적 열차운행 횟수의 비율로서 측정된다. 따라서 본 모델도 시스템 가용성 모델과 혼용하여 사용한다.

다음은 열차 정시성 계산공식이다.

$$TP = \frac{\sum Actual\ \ Trips}{\sum (Scheduled\ \ Trips - Missed\ \ Trips\ \ due\ \ to\ \ system\ \ unavailability)}$$

실적 열차운행 횟수는 열차 지연으로 인해 계획된 열차운행 횟수와 실패한 열차운행 횟수의 차이로 계산된다.

$$TP = 1 - \frac{\sum Missed\ \ Trips}{\sum (Scheduled\ \ Trips - Missed\ \ Trips\ \ due\ \ to\ \ system\ \ unavailability)}$$

실패한 열차운행 횟수는 종착역에서 운행 지연이 기록될 경우 발생

한다. 열차 운행지연은 종착역에 다음과 같이 조건을 적용함으로써 정의된다.

“측정된 운전시격” > “현재 운전시격”+Δt

여기에서 Δt는 사전에 정의된 시간 값이다. 보통 Δt는 열차운행 계획에서 최소 운전시격과 동일하게 정한다.

이러한 조건 하에서, “실패한 열차운행 계산”에 대한 운행열차 지연의 기여도는 다음과 같이 계산 한다.

$$Missed\ \ Trips = \frac{Measured\ \ Headway}{(Current\ \ Headway + \Delta t)}$$

본 열차 정시성 모델은 허용이 될 경우 혼잡시간대(peak hour)의 열차운행계획표를 연장하여 복구한 열차운행 횟수도 함께 계산한다. 이 때, “실적 열차운행 횟수”는 다음과 같이 계산 한다.

$$Actual\ \ Trips = Planned\ \ Trips - Missed\ \ Trips + \mathrm{Re\,cov}ered\ \ Trips$$

나) 열차정시성 모델 #3

본 열차 정시성 모델은 열차운행 계획 차질에 대한 운행열차 지연의 기여도를 “지연 열차운행”과 “실패 열차운행”의 2가지로 구분한다. 지연은 다음과 같이 정의된다.

DEL= (i번째 운행열차의 실제 종착역 도착시간) - (i번째 운행열차의 계획된 도착시간) > Δt

여기에서 Δt는 요구된 성능수준에 따라 사전에 정의하는 값으로, 무시해도 좋은 운행열차 지연을 나타낸다.

운행열차 지연 발생 시 다음 계산식이 적용된다.

- “실패 열차운행”에 대한 기여도
  MTi = (DELi / 현재 운전시격)의 정수형
- “열차운행 계획의 차질”에 대한 기여도
  Devi = (DELi / 현재 운전시격) - (DELi / 현재 운전시격)의 반내림 > △t.

이 경우 i 번째 열차운행은 i+ (DELi / 현재 운전시격)의 정수형으로 그 값이 바뀌게 된다.

다음은 위의 조건에 따른 본 열차 정시성 모델은 다음 공식을 적용한다.

$$TP = 1 - \frac{(\sum Dev_i + \sum MT_i * Scheduled\ \ Trip\ \ Time)}{(Total\ \ Planned\ \ Trips * Scheduled\ \ Trip\ \ Time)}$$

여기에서 주의해야 할 점은, 본 열차 정시성 모델은 열차운행계획으로부터 벗어나는 모든 열차운행 서비스 편차를 추정한다는 것이다.

만일 이 모델을 서비스 가용성 모델과 혼용하여 사용한다면, 시스템 고장의 영향을 이중계산하는 것을 방지하기 위해 하나의 매개변수에 대해서만 고장의 영향을 반영하여야 한다. 이것이 어려울 때는 적어도 시스템 고장이 열차 정시성에 미치는 영향으로써 서비스 가용성에 대한 기여도를 구분할 수 있게 고장의 영향을 분류해야 한다.

(다) 신뢰성 모델 연구

기본적인 RAM 매개변수인 MTBF와 MTTR로서 시스템 성능을 측정할 수 있다. 본 접근방법은 보통 열차운행 서비스 장애보다는 주로 시스템 고유의 기술적 측면에 초점을 맞추고 있다.

시스템은 시스템의 임무(mission, 열차운행에 의한 승객수송)를 완수하는데 중요한 일련의 서브시스템들로 구성된다고 모델링 함으로써 도시철도 시스템 수준에서 전체적인 MTBF 값을 정의할 수 있다.

본 접근방법을 적용하기 위해서는 시스템 임무에 모든 중요기능들과 그 기능들을 수행하는 모든 서브시스템 또는 장치를 식별해야 한다.

도시철도 시스템의 MTBF는 정해진 측정기간 동안 계획된 시스템 운영시간과 그 시스템의 고장을 유발하는 총 고장횟수 (SF)"의 비율로 계산 된다.

$$MTBF = \frac{TotalOperatingTime}{SF}$$

동시에 도시철도 시스템 수준의 MTTR도 정의할 수 있다. 도시철도 시스템의 MTTR은 동일한 측정기간 동안 시스템의 복구시간인 고장상태에서의 시스템 운영시간과 그 시스템의 고장을 유발한 총 고장횟수 (SF)"의 비율로 계산 된다.

$$MTTR = \frac{TotalTimeTo\,\mathrm{Re}\,store}{SF}$$

그런 후에 MTBF와 MTTR을 혼용하면 시스템의 기술적 가용성을 평가할 수 있다.

$$TechSysA = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)}$$

또한 요구사항들은 핵심 서브시스템들에 직접 할당할 수 있다. 이 경우 서브시스템들의 RAM 요구 성능들을 결합하여 도시철도 시스템 수

준의 MTBF, MTTR 및 기술적 시스템 가용성을 도출해낼 수 있다. 이 때 도시철도 시스템 수준의 성능 값들을 계산하는데 다음의 공식이 사용 된다.

$$MTBF = \frac{1}{\sum \frac{1}{MTBF_i}}$$

$$MTTR = \frac{\sum MTTR_i \times SF_i}{\sum SF_i}$$

$$TechSysA = \prod A_i$$

여기에서,

- MTBFi는 i번째 서브시스템의 MTBF이다.
- MTTRi는 i번째 서브시스템의 MTTR이다.
- SFi는 i번째 서브시스템의 열차운행 서비스 고장(SF) 횟수이다.
- Ai는 i번째 서브시스템의 가용성이다.

아울러 또한 서브시스템 고장이 열차운행 서비스 품질에 잠재적으로 미치는 영향에 대해서도 고려할 수 있다. 앞서 언급했듯이, 본 접근방법은 제공하는 열차운행 서비스의 품질보다는 서브시스템들 및 장치들의 기술적 RAM 성능과 깊이 연관되어 있으며, 이는 이 2가지 측면이 상호의존적이라고 해도 변하지 않는다.

(라) 전체 시스템 성능모델 간 비교

이전 장에서는, 도시철도 시스템의 성능을 평가하는 다양한 매개변수들 및 계산 모델들을 그 각각의 장단점에 대한 간단한 분석과 함께 제시하였다.

다음 표에서는 그 각각 모델들에 대한 프로젝트 적용의 분석결과를 요

약하였다.

모델명	주요 특성	장점	단점
SA 1	시스템 비가용성이 특정 승강장에서의 최장 지연시간을 기반으로 누적지연에 부합한다.	- 적용이 용이 - 지연과 비가용성을 구별할 필요가 없음. - 운전시격에 기반. - 서비스의 규칙성을 추정	- 지연의 정의가 명확해야 함. - 고장운행 모드에 적용하기 어렵다 - 특정 장소에서의 지연만 측정 - 서비스 가용성 산정을 위한 전용 소프트웨어 사용권장
SA 2	노선의 각 승강장에서 발생한 “열차 출발 실패”로서 시스템 비가용성”을 정의한다.	- 시스템 RAM 성능 및 운전운영 성능에 대해 완벽하고 철저하게 측정함 - 모든 승강장에서 RAM 성능을 측정 - 고장운행 모드에 적용이 용이 - 열차운행 서비스 규칙성을 매우 정확히 추정 - 승객 중심 - 운전시격에 기반	- 복잡한 계산방식 - 서비스 가용성 산정을 위한 전용 소프트웨어 필요
SA 3	시스템 비가용성이 시스템 비 가동시간에 부합한다.	- 적용이 용이 - 주요 열차운행 서비스 장애에 대한 좋은 지표	- 시스템 비가용성 조건 및 비가동시간에 대한 상세한 정의가 필요함. - 고장운행모드(셔틀모드, 루프모드)에 대한 가용성 산정곤란 - 열차 정시성 모델과 혼용하여 사용하는 추세 - 서비스 가용성 산정을 위한 전용 소프트웨어 사용권장
SA 4	시스템 비가용성이 운행열차의 미주행 마일리지에 부합한다	- 적용이 용이 - 열차의 TCMS 데이터로 확인이 가능하여 서비스 가용성 산정을 위한 전용 소프트웨어 불필요 - 시스템의 기술적 성능중	- 열차운행 서비스 품질에 대한 개략적인 추정 - 승객 서비스 중심이 아님. - 열차 정시성 모델과 혼용으로 사용

		심	
SA 5	시스템 비가용성이 실패한 열차운행 횟수에 부합한다	- 승객 수송용량 중심 - 운전시격에 기반 - 열차운행 서비스의 규칙성을 추정	- 복잡한 계산 접근법 - 고장운행모드(셔틀모드, 루프모드)에 대한 가용성 산정곤란 - 서비스 가용성 산정을 위한 전용 소프트웨어 사용권장
TP 1	운행지연 열차 수에 따라 열차운행 서비스 규칙성을 추정한다.	- 승객 중심	- 운행지연 지속시간에 대한 민감도가 떨어짐 - 고장운행모드(셔틀모드, 루프모드)에 대한 열차 정시성 산정곤란 - 프로젝트 적용조건에 대한 상세한 정의가 필요함. - 열차 정시성 산정을 위한 전용 소프트웨어 사용권장
TP 2	운행지연으로 인한 실패한 열차운행을 기반으로 열차운행 서비스 규칙성을 추정한다.	- 측정이 용이 - 운전시격에 기반	- 서비스 가용성 모델과 혼용하여 사용하는 추세. - 종착역에서 정시성을 측정하여 중간역사에서 지연은 미반영. - 열차 정시성 산정을 위한 전용 소프트웨어 사용권장
TP 3	실패한 열차운행 및 열차 운행지연의 기여도를 합산하여 열차운행 서비스 규칙성을 추정한다.	- 시스템의 RAM 성능의 철저한 추정 - 다양한 열차운행 서비스 장애들에 적용.	- 복잡한 열차 정시성 계산방식 - 프로젝트 적용에는 잠재적인 제한이 있음 - 고장운행모드(셔틀모드, 루프모드)에 대한 열차 정시성 산정곤란 - 열차 정시성 산정을 위한 전용 소프트웨어 사용권장
신뢰성 모델	일반인에게 익숙한 용어인 MTBF 및 MTTR을 사용하여 RAM 성능을 추정한다.	- 시스템의 기술적 RAM 성능 중심 - 적용이 용이	- 열차운행 서비스 품질 수준에 대한 민감도가 떨어짐 - 운전-운영 조직의 활동이 신뢰성 모델에 미치는 영향이 상대적으로 적음

			- 신뢰성 산정을 위한 전용 소프트웨어 사용권장

(3) 전체 시스템 수준 안전성 모델링

도시형 교통체계는 사회, 경제, 정치적 환경을 기반으로 운영되며 도시형 교통체계가 건설될 경우 설계·시공·운영측면 뿐만이 아니라 승객·운영자의 사용자 측면에서도 고려해야한다. 즉, 도시철도 시스템에 관련된 모든 안전관련 문제에 있어서도 건설시 환경 조건은 물론, 현재 안전수준과 사회적으로 허용 할 수 있는 안전수준을 함께 고려한다.

사회 경제적/정치적 체제 내에서 도시철도 시스템을 관할하는 교통당국은 철도시스템 공급가능성과 안전성 간에 균형을 맞춰야 할 책임이 있으며, 또한 공급될 도시철도 시스템의 허용 가능한 위험수준를 통해 안전요구조건과 안전성 목표를 규정할 수 있다.

EN 50126 표준에서는 하나의 시스템과 그 환경 간에 모든 상호작용을 고려하였을 때, “수용 할 수 없는 위험으로부터 안전한 상태”를 안전성으로 정의하고 있다. 이 정의는 기능적 안전·기술적 안전·안전보건 문제 및 인적요인의 영향을 포함하는 모든 측면에 대한 안전성을 의미한다.

도시철도 시스템 공급을 위한 조직 및 관리 구조에 따라 여러 기관들은 시스템수명주기의 각 단계에 관련 될 수 있으며, EN 50126-1 표준에서는 아래와 같이 3가지 기관으로 분류한다.

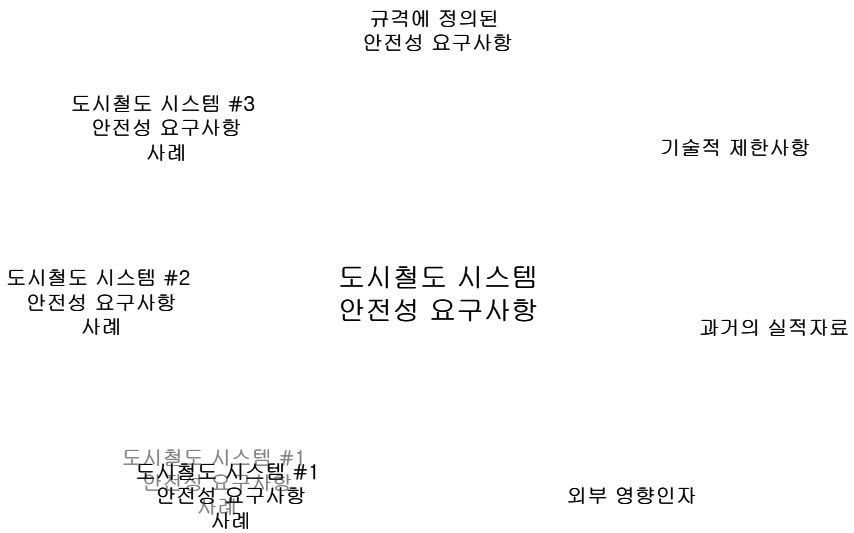
- RA (Railway Authority)
  : 발주처, 도시철도 운영회사
- RSA (Railway Safety Authority)
  : 안전당국
- RSI (Railway System Installer/supplier)

: 시스템 제조/공급/설치 업체들)

상기 기관들의 업무 역할 및 책임은 다양하고 다음과 같은 사유로 각 기관들은 하도급 계약을 체결 할 수 있다.

- 사회적, 정치적, 또는 법적 제한
- 시스템 및 서브시스템 들의 규모와 복잡성
- 경제적, 조직적, 또는 사업관리 측면

그러므로 도시철도 시스템 건설에 관련된 기관들을 정의하여, 시스템 및 서브시스템의 안전성 관련 수명주기 동안 각 기관들의 역할과 책임을 설명하고 어떻게 이를 조직내에서 그리고 조직간에 분할하고, 위임하는지 문서화해야 한다.



[그림 82]안전성 요구조건에 영향을 미치는 요소

위의 간단한 도표에서는 시스템 안전성 요구조건에 영향을 미치는 요소들을 보여주고 있다.

“안전성 요구조건”의 목표는 도시철도시스템의 건설·운영 시 각 수명주기 단계에 필요한 안전성을 달성하는데 있으며, 각 수명주기 단계에서 안전성 요구조건이 달성될 때 도시철도 시스템의 리스크를 수용 가능한 수준 이하로 유지 관리할 수 있다.

EN 50126 표준에서 리스크는 사고 및 사건의 발생확률과 그 결과의 심각도를 조합하여 그 수준으로 정의하고 있다. 여기에서 말하는 “결과”란 아래사항을 의미 한다.

- 인적 피해 (부상, 사망)
- 환경적 위험 (재산의 손상, 독성물질의 누출, 다른 환경피해)
- 경제적 위험 (신용 및 재산의 손실).

리스크를 용인하는 정도는 리스크에 대해 어떻게 인식하느냐에 따라 사람들 사이에서 큰 차이를 보인다. 그 이유는 사회·문화적 환경, 심리·신체적 요인은 물론, 해당 리스크가 자의에 의한 것인지 타의에 의한 것인지, 리스크로 인해 공포스러운 광대한 결과가 초래되는가에 따라 다르기 때문이다. 예를 들어, 자의적 리스크는 일반적으로 리스크에 노출되는 사람이 해당 리스크을 통제하지 못하는 비자의적 리스크보다는 적극적인 수용이 가능하다. 따라서 리스크 용인 기준을 수립할 때는 상기의 모든 요인들을 고려해야 한다

도시철도 시스템에 있어서는, 안전당국이 사고 및 사건 발생결과를 리스크에 노출되는 사람에 따라 승객, 운영/유지보수 (하도급) 직원, 그리고 일반대중의 3가지 그룹으로 분류할 수 있다. 이 그룹들은 도시철도 시스템에 각기 다른 개입 수준과 능력범위를 가지므로 리스크의 인식에 있어서도 다를 수 있다. 따라서 이 3개 그룹에 대한 리스크 수용기준 역시 달라 질 수 있다.

리스크에 일반화의 개념을 적용함으로써 안전성 데이터의 단위 및 기초수치의 일관성을 보장하여 의사소통 및 상호비교가 가능하게 한다. 예를

들면, 위험 발생확률은 유지보수 인원 수, 작업시간, 등 영향권 안에 있는 인원수, 열차운행 밀도, 열차 주행거리(train-km), 승객 마일리지(passenger-km), 열차운행시간/승객이용시간, 운행횟수, 운행 열차 편성수, 터널, 교량, 건널목 등 지형에 따라 다르지만 도시철도 전반적 리스크를 일반화 하고 개별 리스크 수준을 정하고자 이용하는 매개변수로서 "수송능력"을 "백만 승객마일리지(passenger*km)" 기준으로서 정량화 한다.

리스크 정량화 모델에 기반 하여 전체 시스템의 안전성 목표를 정의할 수 있으며 다음 4.1항, 4.2항, 및 4.3항에서는 자주 이용되는 모델들을 설명하며 4.4항에서 각 모델들을 비교 설명하였다.

(가) 시스템 리스크 연구(모델 #1)

도시철도 시스템의 전반적 리스크 수준에 대한 안전성 목표를 다음 정량화 모델들을 이용하여 설정 한다.

1) 발주자(RA)의 요구조건

보통 리스크수준 목표를 용인되는 연간 사망자 수로서 정의한다. 이 목표치는 다음과 같이 다른 유사한 철도시스템에서 취득한 경험 데이터를 기초로 하여 결정한다.

- 경험 데이터
- 리스크 수준

리스크 개념 일반화에 따라 통계자료를 적용하거나 유사 철도 시스템과의 비교를 한다. 그러므로 다음과 같이 개별 리스크를 획득하기 위해서는, 해당 철도 시스템의 지난 수년간 운영기간 중 발생한 사망자 수를 수송 능력에 따라 정량화 한다.

$$\frac{fatalities/year}{passengers*km/year} = \frac{fatalities}{passengers*km}$$

그리고 이렇게 얻은 개별 리스크를 신규 도시철도 시스템의 수송능력에 곱하면 전반적인 리스크를 산출할 수 있다. GAMAB 원칙을 따르는 것과 같이 타 도시철도 시스템과 전반적인 리스크 수준을 비교할 때 동일한 방법론을 적용할 수 있으며, 이에 대한 보다 상세한 설명은 본문서“4.1.4장”에서 다루고 있다.

과거 경험 데이터에 기초하여 도시철도 시스템의 전반적인 안전성 목표를 정의하는 사례를 설명 한다. 유사 경전철시스템의 다음 자료들이 덴마크에 신규로 건설될 무인운전 경전철의 안전성 목표로서 1996년에 설정되었다.

- 시스템 1 (지상 구간) : 8년간의 영업운행 서비스 기간 동안 3.75 명의 사망자 발생.

  약 1500 백만 승객 *km 수송 능력.
- 시스템 2 (지하 구간) : 8년 동안 사망자 없음.

  약 1500 백만 승객 *km 수송 능력.

상기 2개의 시스템들의 전반적인 리스크의 정량화 결과는 다음과 같다.

- 시스템 1: 2.5 10^{-4} 사망자 / 백만 승객 *km
- 시스템 2: 0 사상자 / 백만 승객 *km

연간 용인 가능한 최대 사망자 수로 나타낸 전반적 리스크 결과는 “0.0518 사망자 / 1년”으로, 다음이 그 계산식이다.

(2.5 10^{-4} 사망자 / 백만 여객 *km)*(207 승객*km/year)

상기의 값을 이용하여 4가지 결과 등급 (1, 10, 100, 1000 사망자)에

따라 Fn-곡선 (사망자 수 vs 빈도)을 얻을 수 있다. 다음은 이를 통해 최종적으로 얻게 되는 리스크의 수용기준이다.

[표 14]리스크 수용기준

사망자 수	허용 가능한 누적 건수 (사건/년)
1	$4\ 10^{-2}$
10	$1.3\ 10^{-3}$
100	$4\ 10^{-5}$
1000	$1.3\ 10^{-6}$

아울러 상기 정량적 안전성의 목표달성을 입증하는 것이 바로 시스템 공급업체에서 개발하는 “안전성 분석”, “위험원 분석” 및 “위험도 평가” 활동의 최종 목표이다.

2) PHI&A의 요구조건

리스크 평가 활동은 주로 해저드 식별, 리스크 분석, 및 리스크 용인 기준의 판단으로 구분할 수 있다.반-정량적 접근법에 따른 리스크 평가는 시스템적이고 체계적인 다음의 절차에 따라 수행한다.

- 시스템 정의

: 건설될 도시철도 시스템에 대해 정의하고, 시스템 내부 및 외부 운영환경등 물리적과 논리적 범위를 정의 한다. 시스템과 운영환경 한계를 이해하는 것이 시스템이 사고에 미치는 영향을 이해하는데 필요 하다.

- 해저드 식별

: 사고를 초래할 수 있는 컴포넌트·서브시스템· 시스템의 고장, 물리적 영향, 인적 에러 및 운영조건들을 식별한다.

- 해저드와 사고의 발생빈도 추정

: 보통 반-정량적 평가를 적용하여 빈도범위에서 적정빈도의 등급

을 결정한다.

- 사고발생의 결과에 대한 심각도 정의
  : 동일 사고에 의해 초래할 수 있 각기 다른 결과 들을 부상자 수 및 사망자 수로서 추정 한다. 결과의 심각도 등급은 사전에 정의되어야 하며, 다음 사례는 유럽규격 EN50126 에 따른 심각도 등급이다.

[표 15]결과의 심각도 등급

해저드 심각도 등급	설 명	결과 (사망자 수)
1	Catastrophic	>1 (다수사망)
2	Critical	1 (1명 사망 또는 다수중상)
3	Marginal	- (다수 경상)
4	Insignificant	- (경미한 경상)

- 안전당국에서 수용 가능한 수준으로 리스크를 저감시키기 위한 추가 대책을 식별한다.
- 리스크 평가를 수행하기 위한 방법론, 가설 사항, 데이터, 판단 및 해석에 대한 명확하고 종합적인 문서자료를 증빙으로 제공한다.

예비 해저드 식별 및 분석이 완료되면, Fn-곡선 (사망자 vs 빈도)과 같은 리스크 프로필 작성되며 도시철도 시스템 수준의 안전성 요구조건도 설정된다. 안전성 데모 과정에서 여러 프로젝트 수행단계 중 적절한 안전성 분석을 통해 전반적 안전성 목표가 달성되었음을 입증하는 증빙을 제공한다.

3) ALARP의 요구조건

ALARP이란 리스크 평가를 수행할 때 “As Low As Reasonably

Practicable"의 약어로서, 이는 리스크가 "합리적으로 실행 가능한 최저 수준"으로 감소 되었다는 것을 증명하는 리스크 평가원칙 중 하나이다. 즉, Fn-곡선에서 지정하는 한계선에 더해 2번째 한계선을 정의하여, 리스크 영역을 3가지 하위 영역으로 분류한다.

- 상위 리스크 영역 : 반드시 리스크 저감조치를 수행해야 한다.
- 중간 리스크 영역 : "비용 대 편익 분석"으로 리스크 저감조치를 평가 한다
- 하위 위험도 영역 : 추가적 조치 없이 리스크가 수용가능 하다.

따라서 ALARP 원칙을 이용하여 수행해야 하는 가장 중요한 활동은 2가지 경계, 즉, 각 결과 등급의 상위 및 하위 ALARP 경계 (빈도)를 정의하는 것이다

이전 안전성 모델들과 마찬가지로 안전성 데모에서 안전성 분석 등을 통해 리스크가 상위 제한선 이하로 유지 되고 있는 것에 대한 증빙을 제시한다. 아울러 리스크 등급이 ALARP 영역(중간위험도영역) 안에 속할 경우에는, 추가 분석을 통해 해당 리스크가 최하위 영역으로 저감시킬만한 기술 해결방안이 없음 (또는 비용 대 편익 분석의 측면에서 타당하지 않음을)을 데모 한다.

신규 철도시스템"의 경우에도 ALARP 영역을 정의하였다. 다음은 전반적 리스크 요구조건을 나타내는 표이다.

[표 16]전반적 리스크 요구조건

사망자 수	상위 허용 가능한 누적 빈도 (사건/년)	ALARP 영역의 하위 한계선 (사건/년)
1	$4*10^{-2}$	$4*10^{-5}$
10	$1.3*10^{-3}$	$1.3*10^{-6}$
100	$4*10^{-5}$	$4*10^{-8}$
1000	$1.3*10^{-6}$	$1.3*10^{-9}$

4) GAMAB의 요구조건

GAMAB (Globalement Au Moins Aussi Bon) 원칙은 프랑스에서 도입한 리스크 수용 원칙이다. GAMAB 원칙에서는 신규 철도시스템이 전반적으로 최소한 현재 시스템만큼은 양호해야 하며, 아울러 지속적인 개선이 있어야 한다고 정의한다. 프랑스 안전기관에서는 GAMAB과 매우 유사하지만 지속적인 개선 측면에 있어서는 덜 강요적인 GAME (Globalement Au Moins Equivalent) 원칙을 법적으로 적용하고 있다.

GAME을 적용하는 데는 필요한 주요 전제조건들은 다음과 같다.
운영에 있어서 해당 시스템과 비교할만한 동등하거나 유사한 시스템이 있다.
해당 시스템과 비교대상 시스템의 경계를 명확히 정의할 수 있다.
고려 대상인 리스크와 관계된 두 시스템들의 특성들을 이해하고 있다.
안전성 목표 설정이나 적합성 데모 시, 두 시스템간 특성차이는 보완되어야 한다.

안전성 지표에 영향을 미치는 다양한 요인들을 보완할 수 있어야 한다. 비교 시스템의 리스크 수준에 영향을 미칠 수 있는 요인들로는, 이용승객 수, 열차운행 시간, 영업운전 속도 등이 있다.

리스크를 일반화시켜 상호비교를 할 수 있다. GAMAB 원칙을 이용하여 승객 수송능력의 차이를 극복하고 신규 경전철시스템과 운영중인 오래된 경전철시스템을 비교하였다. 이는 두 철도시스템들이 동일한 건축구조와 기술(특히 동일한 신호시스템)에 기반 하여 건설 되었기에 가능한 일이었다.

5) 해저드 리스크 연구(모델 #2)

본 안전성 모델은 앞에서 설명하고 있는 “예비 해저드 인식 및 평가”의 단계들을 내포하고 있지만, 결국 리스크 평가는 개별 해저드별

로 진행되기 때문에 여전히 개개 해저드의 리스크 수용기준에 대한 문제가 있다.

발생빈도 범위와 결과의 심각도 등급이 정의되면, 이를 통해 리스크 매트릭스를 작성하며, 각각의 식별된 해저드의 발생빈도와 결과의 심각도를 조합하여 다음 표와 같이 그에 상응하는 리스크 등급에 따른 수용 기준을 정할 수 있다.

[표 17]리스크 매트릭스 (정성적)

발생빈도	리스크 수준			
Frequent (A)	Acceptable	Unacceptable	Unacceptable	Unacceptable
Probable (B)	Acceptable	Acceptable	Unacceptable	Unacceptable
Occasional (C)	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Unacceptable
Remote (D)	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Unacceptable
Improbable (E)	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Incredible (F)	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
	Insignificant(4)	*Marginal(3)*	*Critical(2)*	*Catastrophic(1)*
	결과의 심각도			

ALARP 원칙 역시 해저드의 리스크 평가에 적용시킬 수 있으며 이 경우, 위의 정성적 매트릭스는 다음과 같이 3가지 영역으로 변경될 수 있다.

[표 18]ALARP를 적용한 리스크 매트릭스

발생빈도	리스크 수준			
Frequent (A)	Tolerable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Probable (B)	Tolerable	Tolerable	Intolerable	Intolerable
Occasional (C)	Negligible	Tolerable	Tolerable	Intolerable
Remote (D)	Negligible	Tolerable	Tolerable	Intolerable
Improbable (E)	Negligible	Negligible	Tolerable	Tolerable
Incredible (F)	Negligible	Negligible	Negligible	Tolerable
	Insignificant (4)	*Marginal (3)*	*Critical (2)*	*Catastrophic (1)*
	결과의 심각도			

6) 안전성 등급(SIL) 연구 (모델 #3)

보통 안전성 등급(SIL)은 시스템의 기능수준에 할당되며 이 사유로 본 안전성 모델 목표설정의 제1단계가 안전관련 기능을 식별하는 것이다. 철도시스템의 근본인 다음 기능들이 전형적인 안전관련 기능들이다.

- 역사 내 (다양한 사유), 그리고 승강장에서 승객의 이동
- 역사 승강장과 열차간 승객의 이동
- 열차 내 승객을 위한 서비스 및 설비
- 열차 이동

각각의 SIL은 아래 표에서와 같이 안전관련기능의 비가용도 빈도와 관련된다.

[표 19]안전성 등급

SIL	빈도 (이벤트/시간)
4	$f<1*10^{-9}$
	$1*10^{-9} \leq f<1*10^{-8}$
3	$1*10^{-8} \leq f<1*10^{-7}$
2	$1*10^{-7} \leq f<1*10^{-6}$
1	$1*10^{-6} \leq f<1*10^{-5}$
0	$f \geq 1*10^{-5}$

SIL은 각 안전 관련 기능과 연관이 있으며, 그와 관련된 위험요인의 빈도 (개별적으로 완화)를 기준으로 수립한다.

7) 안전성 모델들 간 비교

앞서 각 장에서 각기 다른 시스템 안전성 모델들에 대해 살펴보았다.

결국 도시철도 시스템의 안전성은 아래 중 한 가지 방법론으로 확보된다.

- 전체 시스템 리스크 수준
  :도시철도 노선에서 년간 용인되는 사망자 수의 목표설정 및 달성검증
- 해저드의 리스크 수준
  :모든 해저드를 식별하고 개개 해저드의 리스크 수준을 허용 가능한 수준으로 낮춤
- 안전성 등급(SIL)
  :사망사고와 관련된 시스템 기능에 대한 안전성 등급(SIL) 관리

가) 전체 시스템의 리스크 수준

년간 용인되는 사망자 수로 표현되는 정량적 안전성 목표는 2개의 서로 다른 도시철도 노선의 안전성을 상호 비교할 때 유효한 근거를 제시해 준다. 그러나 설정된 목표치의 적정성에 대한 입증이 곤란하고 안전성 데모 과정에서 많은 전문 인력의 투입이 필요하다. 또한 안전성 목표 데모 과정에서 사용되는 수 많은 가설들과 개념적인 계산식들 및 수치들로 제시된 달성실적은(예; 1년간 용인되는 사망자 3.6명) 측정이 불가하며 따라서 관련 조직들 간에 사용된 가설들과 계산방식들에 대해 상호 검토/협의/공통적 인식이 곤란하다. 이에 따라 수행에 필요한 인적 자원에 반하여 안전성 데모 업무의 실제적 수행이 곤란한 점을 감안하여 많은 프로젝트들에서 정량적 안전성 목표를 설정하지 않는 경향이 있다.

나) 해저드 리스크 수준

전체 시스템 리스크 수준의 방법론에 반하여 해저드 리스크 수준을 이용한 정성적 안전성 목표는 도시철도 시스템 관련 모든 해저드를 인식하고, 인식된 각 해저드의 리스크를 수용 가능한 수준으로 낮추어 결국 도시철도 시스템의 전반적인 안전성을 확보한다. 안전성 데모과정에서 세부 해저드에 대한 검토로 인하여 발주처, 기전시스

템 공급자, 및 서브시스템 공급자들 상호간에 많은 전문 인력 투입이 필요하나 관련 조직 상호간에 각 안전성 이슈에 대해 검토/협의/공통적 인식이 상대적으로 용이하여 도시철도 시스템 안전성 관리에 적용되는 대표적인 방법론으로 볼 수 있다.

다) 안전성 등급(SIL)

안전성 등급(SIL)은 안전관련 기능의 시스템적 고장을 관리하기 위한 방법론으로 “해저드 리스크 수준”에 추가하여 적용할 수 있으며 해당 안전기능 또는 시스템의 안전성 수준을 SIL0, SIL1, SIL2, SIL3, SIL4의 5가지 등급으로 분류 한다. SIL0 은 안전성과 관련 없는 기능을 나타내고, SIL1/SIL2는 안전성과 관련된 기능을 나타내며, SIL3/SIL4는 안전성 중요 기능을 표현 한다. 유럽규격 EN50128 및 EN50129에서 안전성 등급에 따라 요구되는 기술문서들을 상세히 정의하고 있다.

(4) 시범노선의 RAM 성능목표 설정

기술적 품질 및 운영 서비스 품질의 관점에서 자기부상 실용화 사업의 전체시스템 수준의 RAM 성능 모델은 서비스 가용성 모델 #2 ($SA = \frac{(PD - MD + 1/2\,UD)}{PD}$) 로 제안하며, 동 모델#2의 주요 장점과 적용을 위한 전제조건은 다음과 같다.

(가) 선정 성능모델의 장점과 전제조건

1) 선정 성능모델의 장점

가) 자기부상 시스템 구성에 대한 유연성

예를 들면 타 RAM 모델들의 기준인 운영시간은 자기부상 실용화 노선이 연장될 때는 동일하게 적용할 수 없는 문제가 발생할 수 있지만 이 모델은 노선의 연장에 민감하지 않기 때문에 서비스 가용성 목표치가 노선이 2단계 및 3단계로 연장될 때에도 추가적인 정의나 변경 없이 쉽게 적용될 수 있다.

서비스 가용성 모델 #2는 노선의 연장, 정차역사 수 변경, 또는 열차 운행계획 변경에 따라서 계획 출발열차 수(PD)와 실패한 출발열차 수(MD)가 동등하게 변경되며 이에 따라 서비스 가용성 비율을 일정하게 유지하기 때문에 RAM 목표치는 일정하게 유지하게 된다.

이에 반하여 열차운행계획시간에 기초한 서비스 가용성 모델의 목표치는 노선연장의 변경 또는 열차운행 횟수의 변화에 따라 수정되어야 한다. 왜냐하면 일반적으로 열차 운행시간 (예 일일 19시간, 1년 365일 운행)은 노선연장의 변경에 관계없이 일정하나 서비스 장애가 발생할 가능성은 노선연장의 증가 또는 운행열차 수의 증가에 따라 증가하기 때문이다. 따라서 운행계획시간과 비 운행시간의 비율이 변경되면 동일하게 서비스 가용성 목표치도 변경 되어야 한다.

나) 시스템 성능측정에 대한 높은 정밀도.

이 모델에서는 측정을 위한 추정치나 가설 없이 각각 열차 운행지연을 항상 각각 승강장에서 측정한다. 실제로 운행열차의 통과 빈도는 각각 역사에서 측정된다.

이에 반하여 다른 서비스 가용성 모델에서는 운행지연 열차 중 최장의 지연만을 감안하거나 종착역에서만 운행지연 열차만을 측정하는 등 서비스 장애의 계산을 단순화 하거나 열차 운행지연이 시스템 고장발생 장소 이외로 확산되어 주는 2차적 영향을 무시한다

다) 모델의 완전성.

추가적인 매개변수들의 정의 없이 승객이 느끼는 서비스 품질도 동시에 평가하며 주요 및 미미한 시스템 고장들 모두 열차운행 서비스에 미치는 영향 정도에 따라 계산에 포함된다.

라) 실적측정의 용이성.

전용 소프트웨어가 열차운행 시스템(ATS)에 있는 운행실적을 연결하여 서비스 가용성을 쉽고 정확하게 산정한다. 이 소프트웨어는 일일 열차운행계획에 있는 열차 출발계획(PD)과 ATS에 있는 실제 열차출발(AD)을 단순하게 비교함으로써 지속적으로 서비스 가용성을 측정한다.

2) 성능모델 선정에 따른 전제조건

가) 서비스 가용성 달성 데모 관련

어떤 서비스 가용성 모델을 적용해도 E&M 시스템에 적용된 계약적 서비스 가용성 목표치 달성을 데모할 때에는 서비스 장애가 시스템 고장에 의한 것인지 여부에 대한 판별을 운영회사의 RAM 엔지니어가 수행하며 E&M 시스템 공급자의 계약책임 범위 이외에서 발생한 서비스 장애는 서비스 가용성 계산에서 제외된다.

나) 목표 미 달성 책임의 할당 관련

서비스 가용성 목표치를 미 달성하여 각각의 책임을 관련 조직에 할당하기 위해서는 시스템 고장 책임에 대한 판별을 하여야 한다. 이 고장책임 판별은 ATS, SCADA, 차량 검수정보 시스템, 자동제어, NMS등으로부터 자동으로 수집한 시스템 고장 및 복구 데이터, FRACAS 데이터, 및 운영자 또는 유지보수자가 작성한 고장보고서를 운영회사 및 기전시스템 공급회사의 RAM 전문가들이 상호 비교검토 함으로써 진행한 고장분석 결과에 따른다.

다) 시스템 고장/서비스 복구 정보수집 관련

시스템 고장분석을 효과적으로 수행하기 위해서 각 서브시스템들은 서비스 가용성 산정 전용 소프트웨어에 해당 서브시스템 관련 고장정보 (고장코드, 고장등급, 고장장치, 발생장소, 발생시간 등) 및 열차운행 서비스 복구정보를 제공하며, 전용 소프트웨어는 관련 고장정보 및 열차운행 서비스 복구정보를 서브시스템들로부터 수집 한

다.

라) 성능측정 소프트웨어 개발

본 모델의 적용에 있어 가장 중요한 사항은 성능측정을 위한 전용 소프트웨어가 필요하다는 점이다. 따라서 자기부상열차 실용화사업 기간 중 기전시스템 공급업체 책임 하에 성능측정 전용 소프트웨어가 개발되어 공급되어야 한다. 이 전용 소프트웨어는 서비스 가용성을 일정주기로 자동으로 계산하며 시스템 고장정보/서비스 복구정보를 일정주기(예; 5분 또는 10분)로 서브시스템들로부터 수집한다.

(나) 선정 성능모델의 적용대상

선정된 서비스 가용성 모델 #2는 전체 기전시스템 수준에서 적용, 관리되어야 하며 이에 따라 기전시스템 턴키 공급계약서에는 시스템 설계 단계에서부터 영업운전 중 시스템 RAM 성능 데모기간까지 수행할 RAM 데모 프로그램을 명확하게 명시한다. 이 프로그램에 데모시기, 조건들 및 RAM 목표치들을 명시한다.

고장분포곡선에 따라 시스템이 최고수준의 성능을 달성하기 위해서 각각 시스템은 일정기간의 튜닝시간이 필요하기 때문에 RAM 데모 프로그램에서 각각 단계별로 서로 다른 RAM 목표치를 적용할 수 있다.

이 튜닝 기간 동안 잠재적인 고장을 인식하고 교정조치를 하기 위하여 시스템은 감시되고 데이터가 수집된다. 종합시운전, 영업시운전, 또는 시스템의 운영초기 등 초기단계에서의 정량적 RAM 목표치를 설정할 때에는 RAM 데모의 최종단계 때 보다 낮은 목표치를 설정한다.

EN 50126 같은 국제규격에 따른 시스템 RAM 프로그램의 개발에는 발주처, 운영기관, 및 기전시스템 공급자가 관련되며, 개개 수명주기 단계별로 프로그램 적용조건들의 개발 및RAM 활동들을 수행할 때 하

나 또는 그 이상의 조직이 참여한다.

기본/실시설계 단계에서 자기부상열차 실용화사업 발주자는 기전시스템 계약서와 기술사양서에 반영할 RAM 요구사항들을 개발한다. RAM 요구사항들은 정성적 및 정량적인 요구사항들로 표현된다.

정성적의 의미는 기전시스템 공급자가 프로젝트 기간 동안 반영할 적용규격들 및 규정들 등 RAM 프로그램에 따른 주요 시스템 기능들과 적용기술들과 관련된다. 발주자가 결정하는 기전시스템 공급계약서에 반영될 정성적 요구사항들은 보통 적용할 참조규격들 및 지침들로 제한되어 상세한 RAM 프로그램은 기전시스템 공급자가 개발토록 한다.

그렇지 않을 경우에는 수행일정, 업무들, RAM 달성실적 측정의 부수조항들, 계산모델, 개개 조직의 책임들, RAM 목표치, 및 수락기준 등 시스템 성능 데모의 세부 프로그램을 기전시스템 공급계약서에 반영한다.

정량적 RAM 목표치들은 특정 RAM 매개변수들로 구성되어 기전시스템 공급계약서에 명시된다. 목표치는 보통 시스템의 수용기준 형태로 표현되며 승인된 RAM 프로그램 및 RAM 데모계획에 따라 기전시스템 공급자에 의하여 그 달성이 데모된다.

RAM 목표치의 달성은 장치의 신뢰성 및 정비성, 계약사항에 포함시에 유지보수 인원들에 대한 공급자의 지원사항, 시스템 보증내용 및 보증기간 등 해당 공급계약 범위 내 기전시스템 공급자의 책임사항들과 그리고 예방정비 및 교정정비 업무들과 시스템 고장 관리기준 및 서비스 장애들 관리전략들과 같은 운전&운영 조직에 책임이 있는 운영자의 책임사항들 모두에 관련이 있다.

또한 운영자는 기전시스템 공급계약사항에 포함된 경우 기전시스템 공

급자의 지원을 받아 시스템 RAM 성능감시, FRACAS 수행, 시스템 고장 데이터 수집, 유지보수자 고장보고서 작성, 시스템 고장분석 및 RAM 매개변수들의 계산의 책임을 진다.

기전시스템 공급 계약사항에 의해 기전시스템 공급자가 시스템 성능 데모의 책임을 지는 경우에도 운영자는 최소한 시스템 고장 데이터 및 서비스 복구 데이터 기록사항들, 고장보고서들 및 기타 필요한 자료들을 기전시스템 공급자에게 제공하여 기전시스템 공급자가 데모관련 업무를 수행할 수 있도록 지원한다.

(다) 시범노선의 RAM 성능 목표치 선정 근거

시범노선의 기전시스템 공급계약서에 명시될 정량적 RAM 목표치는 다음 사항을 고려하여 결정한다.

1) 자기부상시스템 사례

일반적으로 서비스 가용성의 목표치 또는 RAM 매개변수들은 영업운영 중에 있는 유사 시스템의 RAM 데이터 또는 성능평가 내용을 분석하여 발주자가 결정하여 기전시스템 공급자와 협의한다. 서브시스템 수준에서 신기술이 적용된 경우에 서비스 성능 수준은 최소한 기존 서브시스템에서 달성된 수준과 동등이상으로 요구하는 것이 일반적이다.

RAM 성능의 관점에서 자기부상열차 실용화 사업은 신기술 적용에 따른 몇 가지 사항들이 고려되어야 한다. 자기부상 기술은 철도시스템에 최근에 적용되고 현재도 개발단계에 있다. 또한, 세계적으로 2개 노선만이 최근에 운영 중에 있으며 대부분은 현재까지 시험 단계라고 볼 수 있다.

이러한 사유로 현재까지 충분한 정확도를 갖는 자기부상 시스템의 의미 있고 신뢰할 수 있는 RAM 데이터 및 서비스 성능 실적은 입

수가 곤란하기에 자기부상 실용화 사업의 RAM 특성은 실험적인 프로젝트로 고려되어야 한다.

따라서 자기부상 실용화 사업의 기전시스템 공급계약에 적용할 RAM 목표치는 신기술이 적용된 경우에 서비스 성능 수준은 “최신의 도시철도 시스템이라 할 수 있는 무인운전 경전철에서 달성한 성능 수준과 동등이상“으로 요구 할 수 있다.

가) 최신의 무인운전경전철 사례

①코펜하겐 경전철의 의의

코펜하겐 경전철은 완전 무인운전차량 및 무인운영역사로 운영되며, CENELEC EN 규격이 제정된 후 전체 경전철시스템에 적용된 최초의 사례이다. 또한, EN50126 규격의 적용 지침인 PD CLC/TR 50126-2:2007 지침서에서 코펜하겐 경전철의 RAMS 실적을 아래와 같이 ALARP 사례로서 표현하고 있다. 따라서, 코펜하겐 경전철은 CENELEC EN규격에 따라 RAMS 활동을 수행하는 프로젝트의 모범사례로 볼 수 있다.

G.2 Copenhagen Metro

The example in Table G.1 is from the Copenhagen Metro where a comparison and scaling of the Skytrain system in Vancouver, Canada and the VAL system in Lille, France was performed.

The figures in Table G.1 were chosen by starting with defining the upper and lower limits of the first consequence class (1 - 2 fatalities) based on data from Lille and Vancouver. Then the slope of 1½ decade by decade on a double logarithmic scale was used to define the ALARP band. This slope was determined based on an evaluation of acceptance criteria from the Øresund Link to Sweden and from British Rail (the Channel Tunnel Safety Case).

Table G.1 – Upper and lower ALARP limits

Consequence class (fatalities)	Characteristic no. of fatalities	Max acceptable frequency pr. year	Lower delimitation of ALARP domain (pr. year)
1 – 2	1	4,0 E-2	4,0 E-5
3 – 30	10	1,3 E-3	1,3 E-6
31 – 300	100	4,0 E-5	4,0 E-8
> 300	1 000	1,3 E-6	1,3 E-9

NOTE The example and figures are specific to Copenhagen Metro. These figures are not directly transferable to other systems. Care must be taken when applying the method to other projects. Whilst the method could be applicable, the figures to be used must be derived from the risk assessment of the particular system.

② 두 건설사업간의 유사성 비교

최신의 무인운전 경전철인 코펜하겐 경전철(2002.10월- 1단계 개

통)과 자기부상 실용화사업을 비교한 결과 3단계에 걸친 노선건설사업과 상업운전 실적이 없는 차량시스템 및 신호시스템 적용 등의 유사성으로 자기부상열차 실용화사업의 참조사례로서 적절하다고 할 수 있다. 아래 표에서 두 노선간의 유사성을 세부적으로 비교한다.

비교 항목	자기부상열차 실용화사업	코펜하겐 무인운전 경전철
노선건설	3단계로 노선건설 개통 2013년	3단계로 노선건설 개통 2002.10월(1단계)
노선연장	3단계에 걸쳐 건설 총 37.4 km (1, 2단계15.8 km)	3단계에 걸쳐 건설 총 21 km (1,2a 단계16.5km)
역사 수	3단계에 걸쳐 건설 27개 역 (1, 2단계 11역)	3단계에 걸쳐 건설 22개 역 (1,2a 단계 17역)
편성열차 수	7편성	3단계에 걸쳐 34편성
최고속도	110 km/h	80 km/h
경사도	7 %	4 %
표정속도	37 km/h	39 km/h
최소 운전시격	4 분(2032년)	3 분
운전시간	05:00~23:00 (18시간)	일일 24시간
운전모드	무인운전열차 (안전요원 탑승 추정)	무인운전열차 (안전요원 탑승)
역사운영	무인운영역사 (순회점검요원 배치 추정)	무인운영역사 (순회점검요원 역사배치)
차량	상업운전실적 없는 무인운전차량 (로템)	상업운전실적 없는 무인운전차량 (안살도 차량)
신호	상업운전실적 없는 무인운전시스템	상업운전실적 없는 무인운전시스템 (안살도 계열사 US&S)
기전시스템	미정	초기 5년간 운영 포함하여 기전시스템 턴키 공급 (안살도)
RAM 성능목표	미정	98%달성시 보너스지급 / 미달 시 페널티 부과

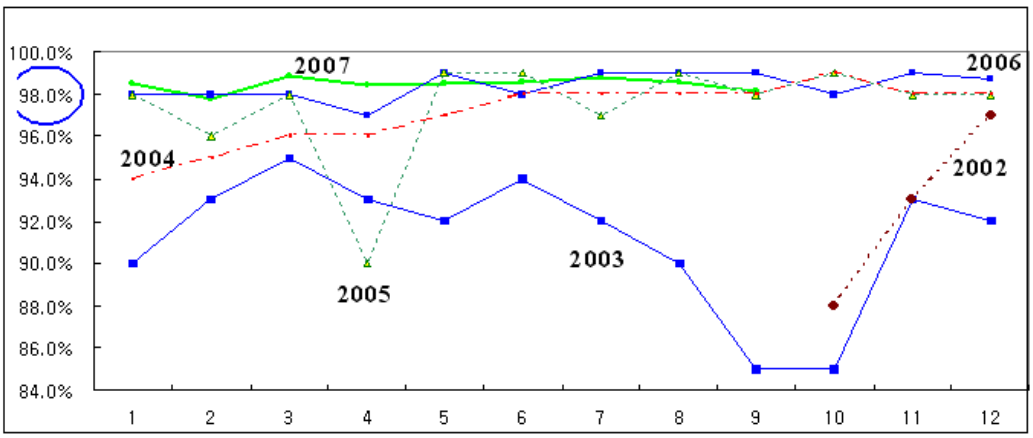
• RAM 성능측정 모델

두 노선의 열차운행서비스 고장은 현재의 운전시격 이상 지연출발열차로서 동일하며, RAM 성능측정 모델은 아래와 같이 동일하다.

$$(SA = \frac{(PD - MD + 1/2\,UD)}{PD})$$

• 코펜하겐 경전철 RAM성능 달성실적

2002년 10월 개통 후 코펜하겐 경전철의 RAM 성능을 이동6개월 평균으로 측정결과 60개월의 58.3%인 35개월 동안 목표치 98%이상을 아래와 같이 달성하고 있다



년	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	년평균
2007년	98.5%	97.8%	98.9%	98.4%	98.5%	98.6%	98.8%	98.6%	98.1%				98.5%
2006년	98%	98%	98%	97%	99%	98%	99%	99%	99%	98%	99%	98.7%	98.4%
2005년	98%	96%	98%	90%	99%	99%	97%	99%	98%	99%	98%	98%	97.4%
2004년	94%	95%	96%	96%	97%	98%	98%	98%	98%	99%	98%	98%	97.1%
2003년	90%	93%	95%	93%	92%	94%	92%	90%	85%	85%	93%	92%	91.2%
2002년										88%	93%	97%	92.7%

(라) 자기부상 실용화 사업의 서비스 가용성 목표

신기술이 적용된 자기부상 실용화 사업의 기전시스템 턴키공급계약에 적용할 RAM 목표치는 최신의 시스템인 코펜하겐 경전철의 목표와 동등이상으로 요구되어 아래와 같이 그 목표를 제시한다.

$$(SA = \frac{(PD - MD + 1/2UD)}{PD})$$

(마) 서비스 가용성 목표달성의 평가

앞에 있는 자기부상 실용화 사업의 서비스 가용성 목표치 98%는 일정기간의 영업운행 후에 시스템 고장분포 곡선에 따라 초기 고장들이 분석되고 해결되어 자기부상 시스템이 안정적인 RAM 성능 조건에 따라 운영될 때 달성할 수 있는 최종 목표치임을 강조한다.

이러한 특성은 최고 수준의 서비스 성능을 달성하기 위해서 실험, 감시, 시험, 검증이 완료 되어야 하는 신기술을 적용한 시스템에서 특히 중요하며, 이는 제5.3.2항의 코펜하겐 경전철 RAM 달성실적에서도 확인할 수 있다. 따라서, 이러한 사항은 자기부상 실용화 사업의 RAM 프로그램과 RAM 데모 계획에 적절하게 반영되어야 하며, RAM 프로그램의 최종 목표치 보다 낮은 목표치를 각 데모단계별로 제시하였다. 자기부상 실용화 사업의 각 데모단계별 기전시스템의 서비스 가용성 목표치는 아래와 같다.

[표 20]서비스 가용도 목표

RAM 데모 단계	서비스가용성 (SA) 목표	비 고
영업 시운전	93%	월 단위로 측정하여 서비스 가용성(SA)이 0.93 이상일 때 목표는 달성된다.
영업운행 1차년도	96%	월 단위로 측정하나 서비스 가용성(SA)이 최종 3개월 이동평균으로 0.96 이상일 때 목표는 달성된다.
영업운행 2~3차년도	98%	월 단위로 측정하나 서비스 가용성(SA)이 최종 6개월 이동평균으로 0.98 이상일 때 목표는 달성된다.

(바) 서비스 가용성 실적측정의 예외사항

앞에서 제시된 목표 값들은 계약적으로 기전시스템에만 적용가능하며 기전 시스템의 계약적 요구사항 검증 시 서비스 가용성 계산에는 기전 시스템 공급자의 공급범위 내에 있는 시스템의 책임범위 내에서 직접적으로 발생한 기술적 고장으로 초래된 "실패한 출발(MD)"만을 반영한다.

이러한 조건하에서 서비스 장애들 중 기전시스템의 기술적 고장으로 발생하지 않은 모든 이벤트들은 서비스 가용성 계산에서 제외된다.

추가하여 서비스 가용성 목표치 달성에 대한 운영-유지보수 조직 및 유지보수 인원의 책임들도 유지보수 결함을 포함하여 적절하게 정의되어야 한다. 제시된 서비스 가용성 목표는 아래 내용을 그 전제로 한다

- 고장발생 시 운영자는 고장발생 현장에서는 직원이 그리고 종합 사령실에서는 운영 인원이 즉각적인 조치를 취하는 것을 보장한다.
- 운영자는 열차 비운행시간 중 및 운행시간 중에는 예비품목과 검수고에서의 예방정비 계획을 수립하고 수행 한다.
- 운영자는 기전시스템 서브시스템 공급자들이 제공한 유지보수 기술사양 및 요구사항에 따라 자격 있는 인원으로 적절한 공구를 사용하여 예방정비를 수행한다.
- 기전시스템 공급자는 운전-운영 절차들, 전략들, 및 순서들이 서비스 가용성 목표치 달성을 위해 적절한지 여부를 검토할 권한을 갖는다

이러한 적용조건들 아래에서 최소한 다음의 이벤트들로 인해 초래된 "실패한 열차출발(MD)"는 서비스 가용성 계산에서 제외된다.

- 기전시스템 공급자의 공급범위 이외의 컴포넌트의 고장 또는 장애
- 승객 또는 제3자의 활동에 의해 발생한 열차운행 서비스 장애
- 극단적이거나 예측되지 않는 자연적인 사건

• 부적절한 운전-운영 또는 유지보수

(사) 시범노선의 안전성 목표 설정

세계적으로 도시철도에 대한 자기부상 기술의 적용은 현재까지 제한되어 있으며 최신 기술로 분류 된다. 이러한 관점에서 기 운영중인 자기부상 시스템 자료나 사고사례 실적을 기반으로 안전성 평가모델을 선정하는 것은 어렵다.

이러한 기준에서 “해저드 리스크 수준”평가 모델을(본 문서 4.2절 참조) 자기부상 실용화 사업에 적용하는 안전성 평가모델로 제안한다. 개개 해저드에 대해 ALARP 원리를 적용하여 그 리스크를 평가한다. 이 모델로서는 시범노선 전체 시스템 수준의 리스크를 기존 도시철도 노선의 리스크와 직접적으로 비교할 수는 없지만 문헌자료에 있는 개개의 위험한 이벤트들의 통계적 데이터를 시범노선 해저드 평가에 이용하는 이점이 있다.

(아) 해저드 리스크 수준

이 시스템 안전성 모델은 다음의 방법론적 절차에 따라 수행된다.

- 자기부상 시스템의 운영-유지보수와 연결된 해저드들의 식별
- 반-정량적 평가 원리에 따라 각각 해저드의 발생빈도를 산정
- 반-정량적 평가 원리에 따라 각각 해저드의 발생결과의 심각도를 산정
- 초기 리스크 형태로 모든 해저드의 리스크를 평가하고, 적절한 방지대책의 식별하며 필요에 따라 저감대책을 시스템 사양에 반영한다. 일반적으로 방지대책은 해저드 발생빈도를 축소하며 저감대책은 해저드 발생결과의 심각도 수준을 완화한다.

이 절차들을 수행한 후에 모든 해저드의 리스크 수준은 본 문서 6.1.4항 기준에 적합해야 한다.

(자) 해저드 식별

자기부상 시스템의 정상 또는 고장운행 기간 동안 안전성을 악화시킬 수 있는 모든 상황들을 고려하여 해저드들을 식별한다.

이런 목적으로 자기부상 실용화 사업과 유사한 승객 수송능력과 열차 운행 서비스를 제공하는 무인경전철 프로젝트에서 개발된 상위 수준의 해저드들을 고려한다. 그 후에 다음의 분석절차들을 수행한다.

자기부상 시스템에 적용되지 않는 모든 해저드들은 삭제한다. 이 해저드들은 일반적으로 레일, 차륜, 보기, 차축, 기계적 제동장치 등과 같이 자기부상 시스템과 관련 없는 장치들의 고장과 관련된 해저드들이다. 부상장치, 회생제동, 분기기 등 자기부상 기술로부터 초래한 누락 해저드들을 추가한다. 다양한 서브시스템들의 기술 사양 및 자료들이 정해질 때 해저드 인식 및 분석은 개정되고 확장되어야 한다. 그리하여 해저드 분석은 시스템 안전성 요구사항들의 초기 지표에 대한 모델이 정해진 후부터 반복적으로 수행되는 절차이며, 자기부상시스템 설계진척에 따라 서브시스템 요구사항들을 더욱 상세하게 정해가기 위해 갱신, 검토, 및 사용된다

(차) 해저드 발생빈도

각각 해저드에 대한 발생빈도의 예비평가가 다음표와 같이 발생 빈도를 결정하기 위하여 반-정량적 평가가 수행된다.

[표 21]위험한 이벤트의 발생빈도

해저드 분류	내 용	빈도(횟수/시간)
A	빈번한 Frequent	$f \geq 1*10^{-5}$
B	가능성 있는 Probable	$1*10^{-6} \leq f < 1*10^{-5}$
C	가끔 Occasional	$1*10^{-7} \leq f < 1*10^{-6}$
D	이따금 Remote	$1*10^{-8} \leq f < 1*10^{-7}$
E	희박한 Improbable	$1*10^{-9} \leq f < 1*10^{-8}$
F	가능성 없는 Incredible	$f<1*10^{-9}$

설계검토 및 기술자료들로부터 도출된 자기부상 시스템에 대한 엔지니어링 지식을 기초로 해저드 빈도를 분석한다.

적절한 유사 철도시스템들 또는 서브시스템들과 관련된 통계적 또는 경험적 데이터를 이용하여 확보된 자기부상 시스템의 컴포넌트들의 시스템 고장율들을 계산된다.

해저드의 발생 가능성을 축소하기 위하여 대부분의 경우에 하나 또는 그 이상의 안전장치 또는 보호장치가 시스템 설계의 일부로서 반영된다. 이러한 안전장치들에는 이중화, 해당기능 수행을 위한 컴포넌트의 다양화, 및 해저드 발생예방 또는 운영절차 규정 등을 포함한 고유의 설계방식들이 있다. 해저드의 발생빈도 평가에는 식별된 완화대책이 감안된다.

(카) 발생결과의 심각도

각각 해저드는 다음표에 있는 것처럼 EN 50126의 최신 버전에서 요구하는 예상 사망자 수를 포함하여 가능한 결과의 분류로서 평가한다.

[표 22]해저드 결과의 분류

해저드 결과 수준	내 용	결과(사망자 수)
1	Catastrophic 치명적	>1 (다수 사망)
2	Critical 중대한	1 (1명 사망 또는 다수 중상)
3	Marginal 제한적	- (다수 경상)
4	Insignificant 경미한	- (경미한 경상)

해저드가 발생할 때 가능한 결과들 중 가장 심각한 결과의 비관적 판

단에 기초하여 해저드 결과를 평가한다. 예를 들면, 열차추돌의 경우 부상자 들만이 발생할 수 있지만 최악의 상황에서는 사망자들이 발생할 수 있기 때문에 열차추돌의 결과는 해저드 결과 수준 1인 치명적(Catastrophic)으로 한다.

해저드 결과 평가와 안전장치의 가용성은 추정된다는 점이 중요하다. 안전대책은 비상조명 및 차량도어 비상 열림 장치 등의 안전장치가 포함되며 기타 안전대책에는 엔지니어링 설계특성, 운영/유지보수 절차, 또는 비상/재난 대책 등이 있다.

(타) 리스크 등급

각각의 식별된 해저드의 리스크 수준은 결과의 심각도와 발생빈도의 조합으로서 결정된다.

[표 23]리스크 매트릭스

발생빈도	리스크 수준			
Frequent (A) *빈번한*	Undesirable	Intolerable	Intolerable	Intolerable
Probable (B) *가능성 있는*	Tolerable	Undesirable	Intolerable	Intolerable
Occasional (C) *가끔*	Tolerable	Undesirable	Undesirable	Undesirable
Remote (D) *이따금*	Negligible	Tolerable	Undesirable	Undesirable
Improbable (E) *희박한*	Negligible	Negligible	Tolerable	Tolerable
Incredible (F) *가능성 없는*	Negligible	Negligible	Negligible	Negligible
	Insignificant (4) *경미한*	*Marginal (3)* *제한적*	*Critical (2)* *중대한*	*Catastrophic (1)* *치명적*
	SEVERITY LEVEL 결과의 심각도			

상기표에서 ALARP 영역에 대한 리스크 메트릭스와 수용성 기준을 설명한다. 각각 해저드는 대응되는 리스크를 정하기 위해 상기의 리스크 매트릭스를 기준으로 평가한다.

[표 24]리스크 수용성 수준

Intolerable **용인불가**	반듯이 제거되어야 함
Undesirable **바람직하지 않음**	리스크 수준을 낮추는 것이 곤란하고 발주자의 동의에 따라 허용가능
Tolerable **용인가능**	적절한 통제와 발주자의 동의에 따라 허용가능
Negligible **무시가능**	발주자의 동의 없이 허용가능

해저드 리스크 수준 모델에 따라 안전성 목표달성의 데모는 모든 해저드의 리스크 수준을 "바람직하지 않음(Undesirable)" 이하로 유지하는 것으로서 수행된다.

다. RAM 관리 계획서

(1) 개요

본 문서는 자기부상 시범노선에 건설될 E&M 시스템 RAM 요구조건 달성을 보장하기 위한 활동들을 계획하고 RAM 수행 조직을 구성하는데 그 목적이 있으며 “시스템 RAM 계획” 또는 “시스템 RAM 관리계획”으로 명명된다.

시스템 RAM 관리계획은 RAM 활동과 관련된 시스템 엔지니어링의 설계검증 절차를 구축하고 유지하며 이 절차들의 체계적인 통제가 가능하도록 하는데 그 목적이 있기 때문에 다음과 같은 검증 도구들을 기술한다.

- RAMS 활동들의 준비를 위한 계획문서를 제시
- 적절한 시기에 비용 효과가 높은 방법으로 RAM 원리들이 서브시스템 설계에 반영되도록 감시
- 각 E&M 서브시스템에서 발생 가능한 고장을 인식, 추적, 및 평가하며 현실적으로 가능할 경우 고장요인을 제거하거나 완화
- RAM 문서들 관리를 위한 절차나 참조 사항을 기술

서브시스템 설계, 시스템/장치 구성, 또는 운영기능 요구사항과 관련된 변경사항이 RAM 요구조건을 충족하는지 여부를 확인하며. 본 실용화사업 연구기간 전 단계에 걸친 신뢰성, 가용성, 유지 보수성에 대한 중요한 데이터와 결과/경험을 수집하고 문서화 한다.

시범노선 건설 각 단계마다 시스템 RAM 관리계획이 갱신되어 E&M 시스템 수준에서 신뢰성, 유지보수성 엔지니어링을 수행하는데 필요한 절차들과 일정들을 점차 상세화 한다.

시스템 RAM 보증절차를 구축하며 모든 E&M 서브 시스템에서 수행하는 RAM 요구사항 달성 검증방안을 표준화 시킨다.

시스템 RAM 관리계획에서는 본 실용화사업 E&M 시스템의 고 신뢰성을 보장하고 열차 운행서비스 중단을 최소화 하기 위한 신뢰성, 가용성, 유지 보수성 엔지니어링 활동을 기술한다.

(2) 시스템 설명

인천국제공항은 공항교통센터로부터 공항철도(AREX)에서 운행하는 용유역까지 운행될 도시형 자기부상열차 시범노선을 구축하기 위해 한국건설기술 평가원과 계약을 체결했다. 동 프로젝트는 3단계로 구분되어 완공된 최종 노선연장은 53.2km이나, 1 단계 시범노선의 길이는 6.1km 이다.

1단계 시범노선은 6개의 역사와 1개의 차량 기지로 구성되어 있으며 아래 표는 역사간의 거리를 나타낸다.

[표 25]1단계 역사간 거리

위치	역사 명	거리	비고
공항교통센터	101 역사	28m	섬식 승강장
공항 터미널 2	102 역사	330m	섬식 승강장
에어시티 파크	103 역사	880m	상대식 승강장
패션 아일랜드	104 역사	1380m	상대식 승강장
워터 파크	105 역사	4850m	상대식 승강장
공항철도 영유역사	106 역사	5930m	상대식 승강장
노선 종점	-	6113m	-

도시형자기부상 시범노선은 완전무인운전시스템으로 상전도 흡인식자기부상(EMS)과 선형유도전동기 (SLIM)와 같은 최신기술을 적용하며, 뒤따르는 세부시스템 설명 내용은 연구개발 및 서브시스템 설계과정에서 변경될 수 있다.

자기부상시스템은 제 3궤조로 공급되는 1500VDC전력으로 운행되며 차량은 최대 운영속도(100km/h)를 달성할 수 있는 SLIM으로 추진된다.

SLIM 추진시스템은 제동 시 전력공급시스템에 회생전력을 공급하여 열차운행에 따른 전체 소비전력을 감소한다.

열차는 부상상태에서 출발하고 주행하며 정차한다. 보기에 장착된 부상용 자석에 의해 생성된 전자기력이 철재 궤도를 끌어 당기고 동시에 그 흡인력은 차량을 부상시킨다.

부상전자석의 윗면과 궤도 밑면 사이의 간격은 8mm로 제어되며 이에 따라 선형 모터의 밑면과 리액션 판의 윗면 간격을 11mm로 유지시키게 된다.

부상용전자석의 고장에 대비하여 선형모터 근처에 랜딩 스키드와 랜딩 롤러를 설치한다. 부상 전자석으로 생성된 전자기력은 철재 궤도를 끌어 당기고 부상전자석의 중심을 궤도(레일) 중심으로 이동시켜 열차의 측면 유동 또한 부상전자석으로 생성된 전자기력으로 제어되게 한다.

곡선 궤도에서 열차의 측면유동을 제한하기 위해 대차 측면에 횡 변위 스키드를 장착하여 정상운행조건에서는 궤도로부터 10~15mm의 간격을 유지하게 한다.

선로구조와 차량을 제외한 타 기전 서브시스템은 완전무인 경전철시스템과 유사하다고 추정된다. 특히, 신호시스템의 다음과 같은 독립된 컴포넌트로 구성된다.

- 차상 신호시스템(ATP, ATO)
- 지상 신호시스템(ATP, ATO)
- 종합사령시스템(ATS, 스케줄러)

ATP는 연속되는 인접 폐색구간으로 운영되어 ATP 내부 제어기능으로 열차의 운행 안전성을 보장한다.

시스템의 안전성이 열차운행에 있어 가장 중요하기 때문에, ATP 시스템은 다른 서브시스템과 완전히 독립되며 열차운행에 있어서 모든 서브시스템들 중에서 가장 우선권을 갖는다.

ATP 시스템에는 장 시간에 걸친 입증된 설계와 생산이 적용되며 ATP 장치는 페일세이프(fail-safe)와 이중화(checked-redundancy) 원리에 따라 설계한다. 또한 ATP 시스템은 폐쇄시스템으로 구축되어 안전성과 신뢰성이 다른 서브시스템의 영향을 받지 않는다.

ATP 시스템은 선행열차 위치와 궤도조건에 따라 미리 규정된 ATP 신호를 지속적으로 전송한다. 이 신호는 ATP 신호를 식별하는 차상 안테나로 수신한다.

신호시스템은 중앙 및 지역 데이터전송시스템, 무선통신시스템, 주요 장치에 비상전원을 공급하는 UPS로 구성된 운영사령실과 역사간에 전용 광케이블 네트워크를 구성한다.

아래 표는 도시형 자기부상열차시스템을 상위수준에서 예비적으로 분류한 결과를 나타내며 전체시스템의 RAM 목표를 서브시스템에 할당 시 참조된다.

[표 26]상위수준 시스템 분류

차량 (VEI)	차체
	대차 (부상시스템 포함)
	추진시스템
	도어
	보조전원장치 (차상 전력회로 포함)
	제동시스템
신호 시스템(SIG)	지상신호 장치
	차상신호 장치
	종합사령실 신호장치
전력 공급	급전전력
	제3궤조
	일반전력
	SCADA
	조명(역사와 차량 기지)
	화재감지
통신 (TLC)	디지털 전송시스템
	열차무선 시스템
	방송 및 승객정보
	전화(비상전화 포함)
	CCTV 시스템
	침입감지(도어 컨트롤)
	네트워크 관리 시스템
	전기시계
	역무자동화
궤도	궤도
	선로 전환기
정거장 기계설비	PSD
	에스컬레이터 및 엘리베이터
	자동제어 시스템
	소방설비
	공조시스템
	기타 E&M 장치 (용수 펌프, 가스 공급 등)
검수	검수 설비
	검수 정보 시스템

(3) RAM 관리절차

철도시스템의 RAMS 요소를 통제할 수 있게 하는 시스템 수명주기를 기초로 유럽규격 EN50126은 아래와 같은 RAM 관리절차를 다음과 같은 단계로 구성하여 추적할 수 있도록 한다.

- RAM 요구조건의 정의
- RAM 성능에 영향을 미치는 요인들의 평가 및 통제
- RAM 요구조건의 달성
- 시스템 수명주기 동안 지속되는 감시활동

시스템수명주기는 초기 계획단계에서 시스템폐기 단계까지 시스템의 전체 수명 주기에 걸친 각 단계별 업무의 연속이다. 다음 그림1의 시스템 수명주기는 단계별로 RAM을 포함한 시스템의 형상을 계획, 관리 및 통제의 구조로 정리하였다.

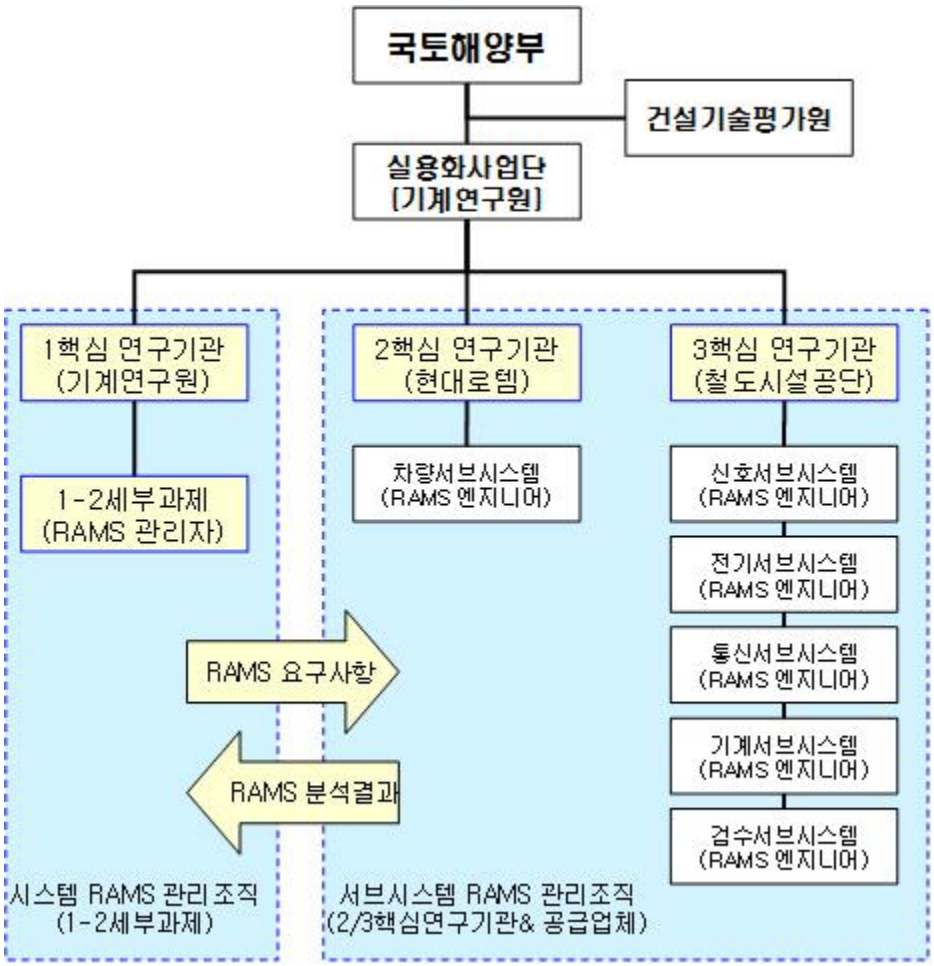
[그림 83]시스템 수명주기

(4) RAM 관리시스템

RAM 관련 사항들은 본 장에서 기술하는 RAM 관리조직에 의해 관리된다.

(가) RAM 관리조직

실용화사업 RAM 관리조직은 시범노선 구축조직인 2/3핵심과 공동으로 RAM 관리활동을 수행한다. RAM 관리조직은 아래와 같다.



[그림 84]실용화사업 RAM 관리 조직도

1) 국토해양부

국토해양부는 도시형 자기부상 실용화사업의 관리 및 평가를 건설기술 평가원에 위임하였으며 본 실용화사업의 총괄적인 책임이 있다.

2) 건설기술평가원

건설기술평가원은 국토해양부로부터 위임 받은 도시형 자기부상 실용화사업의 실적관리 및 평가를 진행한다.

3) 실용화 사업단

한국기계연구원에 구성된 사업단은 도시형자기부상열차 실용화사업의 기술 및 행정관련 총괄적인 책임이 있다.

4) 시스템 통합(1핵심연구기관)

한국기계연구원에 구성된 1핵심연구기관은 실용화사업 시스템통합에 대한 총괄적인 책임이 있으며 사업단, 2핵심(차량개발) 및 3핵심(시범노선구축)과의 RAMS 관련 인터페이스 관리에 대한 책임이 있다.

5) RAM 관리자(1-2세부과제)

RAMS 관리자는 본 실용화사업의 시스템 수준 RAMS 관리에 총괄적인 책임이 있으며 서비스가용성 목표 98%를 달성할 수 있도록 서부시스템에 대한 RAM 목표를 할당하고 서브시스템 RAM 요구사항을 준비한다. 또한 유럽표준 EN 50126 에 따라 시스템 수준의 RAM 문서를 준비하며 서브시스템의 RAM 문서를 검토한다. 서브시스템 공급업체에서 제출하는 서브시스템 RAM분석자료는 시스템 수준 RAM 업무 수행에 대한 주요 입력자료가 된다.

6) 차량개발 및 시범노선구축(2/3핵심 연구기관)

실용화사업 2핵심 연구기관은 자기부상 차량 개발에 총괄적인 책임이 있으며 차량 수준의 RAM업무에 총괄적인 책임이 있는 RAMS 엔지니어를 지명하고, 동 엔지니어가 서브시스템 수준의 RAM 활동을 유럽표준 EN50126에 따라 수행하게 한다. 실용화사업 3핵심 연구기관은 시범노선구축에 총괄적인 책임이 있으며 차량외 서브시스템별 RAM업무에 각각 책임이 있는 RAMS 엔지니어를 서브시스템별로 지명하고, 동 RAMS 엔지니어들이 서브시스템 수준의 RAM 활동

을 유럽표준 EN50126에 따라 수행하게 한다.

7) 서브시스템 RAM 엔지니어

서브시스템 RAM 엔지니어는 2/3핵심 연구기관을 경유하여 각각 서브시스템 공급업체에서 지명하며 서브시스템 수준의 RAMS 관리 조직을 구성하여 RAMS 관리자와 함께 서브시스템에 요구되는 RAMS 수행기능을 담당한다. 서브시스템 RAMS 엔지니어는;

- 서브시스템 공급업체에게 속하며 RAMS 관리조직의 기능을 담당한다.
- 서브시스템 공급범위에 대한 RAM 활동 수행의 책임이 있으며 관련 타 공급업체와의 적절한 인터페이스를 수행 한다.

공급범위의 서브시스템에 대한 RAM 문서를 작성하고 시스템 RAMS 관리자의 검토를 경유하여 발주처의(2핵심, 3핵심) 검토/승인을 득한다.

(나) 시스템 RAM 프로그램의 관리 및 통제

RAMS관리 조직은 시스템과 서브시스템 수준에서 본 문서에 기술된 RAM 프로그램 의 수행을 관리하고 통제한다.

- 서브시스템 RAM 관리계획 검토
- 서브시스템 RAM 분석 및 보고서의 검토
- RAM 활동의 감사 및/또는 RAM 문서의 검토
- 시스템과 서브시스템 수준에서 작성한 기타 기술문서의 검토
- RAM 프로그램에 참여하는 각 당사자들이 정기적으로 발행하는 진행 보고서를 통한 RAMS 활동의 모니터
- 특정 RAM 관리를 위한 절차의 정의
- 쟁점 사항의 인식과 해결책 준비 - 시스템 RAMS 활동에서 유래된 서브시스템 RAM 요구조건, 유지보수성 요구조건, 및/또는 안전성 요구조건 간의 쟁점

서브시스템 수준의 RAM 프로그램의 적용을 확인하기 위해 주기적인

감사를 실시할 수 있다. 이러한 감사 결과는 RAMS관리자가 적절하게 문서화하며 RAM 관련 문서의 일 부분이 된다.

제작설계 승인단계와 시운전완료 단계에 RAM 검토가 완료되며 시스템/서브시스템 RAM 요구조건 달성 여부를 검증(verify) 한다.

(다) 시스템 RAM 프로그램의 개정

시스템 RAM 프로그램은 관련 당사자들의 협의 하에 RAMS 관리자의 주관으로 개정될 것이다. 시스템 RAM 관리계획은 아래와 같이 갱신된다.

- 시범노선의 제작설계, 제작, 및 설치/시운전이 완료될 때
- 하나 또는 그 이상의 당사자에 의해 RAM 프로그램에 중요한 변화가 발생될 때
- 서브시스템 설계에 큰 변화가 있어 이를 RAM 활동에 반영할 때

(라) 서브시스템 공급업체의 관리, 감시 및 통제

서브시스템 공급업체들이 수행하는 RAM 활동을 다음을 통하여 감시하고 통제한다.

- 서브시스템 RAM 관리계획
- 공급업체의 RAM 관련 활동에 대한 특정 검토사항
- 주기적으로 발행되는 RAM 문서의 검토/심사
- 공급업체를 방문하고 회의 진행
- 공급업체의 제작설계 검토에(PDR, FDR) 참여

(5) 시스템 RAM 요구사항

2/3핵심 연구기관은 시스템 레벨의 RAM 요구사항을 충족시킬 수 있게 E&M 서브시스템을 설계한다. 정량적RAM 목표는 서비스 가용성(SA)으로 전체 E&M 시스템에 적용되며 그 목표는 계획열차출발을 열차출발실패와 비교하는 것을 기초로 아래와 같이 산출한다.

$$SA = \frac{PlannedDepartures - MissedDepartures + \frac{1}{2}UnplannedDepartures}{PlannedDepartures}$$

열차출발실패(MD)는 정해진 시간 동안 각각의 승강장에서 시스템 고장으로 인한 운행열차 지연의 결과로서 나타난다. 각각의 승강장에서 발생하는 열차운행지연 시간이 현재 운전시격 보다 길 경우 MD로 산출된다.

따라서 열차운행 지연으로 발생하는 MD 횟수는 지연시간, 고장영향 범위 및 현재의 운전시격에 따라 다르다. UD(예비열차출발)는 운영자의 열차운행지연 회복계획에 따라 다르기 때문에 서브시스템의 RAM 목표를 설정할 때 UD를 고려하지 않는다.

본 서비스 가용성 모델은 각각의 역사에서 계획출발횟수 누적과 실적출발횟수 누적을 연속적 타임 슬롯 단위로 비교하는 원리를 그 바탕으로 한다. 이 원리는 각각 타임 슬롯 단위로 다소 복잡한 열차 출발실패 횟수(MD)의 계산 절차로 실행된다.

PDd 는 승인된 열차운행 계획(DIA)에 따라 하루 동안 계획된 열차출발횟수라고 한다. 그리고, 각 역사와 방향 마다, 일일 열차운행 서비스 시간 동안 PD 횟수와 실제 열차출발 (AD) 횟수를 연속적인 일정시간 단위로 계산한다. 각각의 타임 슬롯이 끝날 때 마다, 승인된 열차 운행계획에 따라 각 역사의 각 방향마다 실적 열차출발횟수 누적을 계획 열차출발횟수 누적과 비교한다. 따라서 MDd 는 일일 동안 발생된 열차출발 실패횟수의 누적을 나타낸다.

이 서비스 가용성 모델에서는 운전시격이 신속하게 복구될 수 있게 시스템/서브시스템이 설계/제작될 경우에 보다 소수의 MD 만이 발생하는 개념에 기초한다는 점이 중요하다. 출퇴근(첨두시) 시간대의 승객이 일반 시간대 (비첨두시)의 승객에 비하여 열차지연시간에 보다 민감한 경향이

있기 때문에 이를 반영 하여 운전시격을 기준으로 MD를 산출하는 것에 의의가 있다. 또한 동일한 지연시간일 경우 운전시격이 길 경우에 열차운행 서비스 복구가 상대적으로 용이하기 때문에 열차운행 서비스에 영향을 미치는 시스템의 고장 정의는 “운전시격”을 기초로 한다.

E&M 시스템 수준의 서비스가용성 목표는 아래와 같이 98% 이상을 달성한다.

$SA \geq 98\%$

서비스가용성 목표는 각 서브시스템에 허용 고장율과 최대고장복구 시간으로 할당되어 각 서브시스템이 요구사항을 달성하면 E&M 시스템 수준의 서비스가용성 목표달성 하게한다. 정성적 RAM요구조건은 높은 수준의 RAM 성능을 보장하기 위해 장치의 RAM 성능을 향상시킬 수 있는 신뢰성 설계원칙들도 서브시스템 요구사항으로 할당하였다. 요구사항 관련 상세한 내용은 2차년도 성과물인 “서브시스템 RAMS 요구조건” 문서를 참조할 수 있다.

(6) 시스템 RAM 프로그램

본 장에서 RAM 활동들과 각 서브시스템 공급업체가 제출/승인 받아야 하는 RAM 성과물들에 대해 개략적으로 설명한다. 유럽규격 EN50126의 한 RAM 프로그램에는 제작설계 단계에서 RAM 중요(critical) 기능인식, 서브시스템 설계에 RAM 설계원칙 반영을 위한 설계팀 지원, 요구되는 신뢰성 성능달성 및 RAM 목표달성에 대한 검증을 위한 활동들이 있다.

각 서브시스템 공급회사는 유럽규격 EN50126을 준수하며, 서브시스템 RAMS 요구사항들을 달성하기 위해 동 규격에서 제시하는 활동들을 수행하고 완료하여야 한다. RAM 관점에서 최소한 실시설계, 제작설계, 설치 및 시운전의 4개 마일스톤들을 아래와 같이 설정 한다.

• 기본/실시설계 완료: 발주처에 의한 기본/실시설계 인수

• 제작설계 완료: 발주처에 의한 제작설계 인수
• 서브시스템 설치/개별시험 완료: 발주처에 의한 서브시스템 설치 및 개별시험 인수
• 시스템성능시험 완료: 발주처에 의한 시스템성능시험 인수

각 마일스톤마다 서브시스템 RAM 엔지니어는 자신의 공급범위 내에서 본 실용화사업 시범노선 수행 단계에 해당하는 모든 RAM 활동들을 수행하고 모든 RAM 요구사항들을 달성했다는 문서적 증빙을 제출한다. 이러한 증빙을 설명하는 성과물 및 설계내역들은 발주처에 제출하여 1-2세부과제의 기술적 검토 후 발주처의 검토/승인을 득해야 한다.

다음 표에서 본 실용화사업 수행단계와 일치하는 RAMS 수명주기와 각 단계 별로 제출해야 하는 RAM 성과물들과 각 성과물 작성, 후속활동 수행주체, 검토 및 승인주체를 설명한다. 여기에는 실용화사업의 실시설계 업무범위 및 실시설계 업체와 서브시스템 공급업체가 서로 다른 점 등 본 실용화사업의 특성을 반영하였다.

수명주기 단계	실용화사업 수행단계	활동/성과물	책임주체 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			1-2과제	공급회사	
1. 개념설계	기본설계, 실시설계	시스템 RAM 관리계획	D	F	-
2. 시스템 정의 및 적용조건		서브시스템 RAM 요구사항	D	F	-
3. 리스크 분석		서브시스템 RAM 관리계획	F	D	1-2과제/발주처
4. 시스템 요구사항		PBS 및 예비 기능분석	F	D	1-2과제/발주처
5. 시스템 요구사항 할당		예비 RAM 분석	F	D	1-2과제/발주처
6. 설계 및 실행	제작설계	시스템 RAM 관리계획 개정	D	F	-
		서비스가용성 계산 (서브시스템 RAM 분석을 근거로 산출)	D	F	-
		서브시스템 RAM	F	D	1-2과제/발주

수명주기 단계	실용화사업 수행단계	활동/성과물	책임주체 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			1-2과제	공급회사	
		관리계획 개정			처
		서브시스템 RAM 분석 (RAM 요구사항 달성검증 포함)	F	D	1-2과제/발주처
		FMECA	F	D	1-2과제/발주처
		유지보수성 분석(예방정비, 고장정비)	F	D	1-2과제/발주처
7. 제작	제작 및 설치	시스템/서브시스템 RAM 데모 계획	D	D	1-2과제/발주처
8. 설치		FRACAS 절차	D	D	1-2과제/발주처
		유지보수성 시험규격	F	D	1-2과제/발주처
9. 시스템 검증 (Validation)	개별시험 및 종합시운전	시험 절차서	F	D	1-2과제/발주처
10. 시스템 인수	시스템 RAM 데모 (영업 시운전)	FRACAS 보고서	D	D	1-2과제/발주처

수명주기 단계를 반영한 실용화사업 수행단계

주) 발주처는 차량개발 및 시범노선구축에 총괄책임이 있는2/3핵심연구기관을 의미한다

(7) RAM 성과물 개요

(가) 시스템 RAM 성과물

1) 시스템 RAM 관리계획

시스템 RAM 관리계획에서 도시형자기부상 실용화사업의 RAM 요구사항의 달성을 확인 하는데 필요한 활동, 기술 및 관리 영역을 인식하고 감시하며 통제하는 내용을 기술한다.

시스템 RAM 관리계획은 실시설계 단계에서 작성되며 제작설계 단계에서 시범노선 구축의 진척에 따라 개정될 것이다.

2) 서브시스템 RAM 요구조건

서브시스템RAM요구조건에서 서비스가용성 목표 98%를 분석하여 각 서브시스템에 정량적 및 정성적 RAM 요구사항을 할당하는 목적으로 작성된다. 상세한 내용은 2차년도 성과물인 “서브시스템 RAMS 요구조건” 문서를 참조할 수 있다.

3) FMECA(RAM 분석 포함)

FMECA 분석을 통하여 E&M시스템의 RAM중요장치, 고장모드와 고장결과를 분석 한다. 초기단계 예비FMECA는2차년도 성과물인 “서브시스템 RAMS 요구조건” 문서에 포함되어 있다. 동 내용은 실시설계 단계에서 입수 가능한 기술자료를 기반으로 1차 개정되며 제작설계 단계에서 서브시스템 공급업체가 작성한 예비 FMECA를 반영하여 시스템 수준의 예비 FMECA로서 개정된다.

4) 시스템 서비스가용성 산출

본 문서에서 서브시스템에서 제출한 RAM 분석 데이터를 기반으로 서비스가용성 목표달성 여부를 확인한다. 제작설계 초기단계에서 이러한 데이터를 일부 공급업체에서 제공하지 못할 경우, 서브시스템 RAM 요구조건을 활용하여 서비스가용성 목표달성 여부를 확인한다. E&M 시스템의 시스템서비스가용성 산출 문서는 제작설계 단계에서 발행된다.

5) 시스템 RAM 데모 계획

시스템 RAM 데모계획에서 각 서브시스템 RAM 성능검증을 위한 시험활동들의 완료를 보장하기 위한 절차에 대해 기술한다. 시스템 데모계획은 제작단계에서 발행되어 RAM 관련 단체들의 검토를 거쳐 시스템 검증단계에서 최종 갱신되어 적용한다.

6) FRACAS 절차

FRACAS(Failure Reporting Analysis and Corrective Action System, 고장보고, 분석 및 교정조치 시스템)은 고장발생을 기록, 분류 및 분석하기 위한 도구로서 이를 활용하여 시험, 기술시운전, 영업시운전 및 영업운전 단계에서 서브시스템 또는 컴포넌트 수준에서 할당□예측된 신뢰성을 검증할 수 있다. FRACAS 절차는 시범노선 기술시운전 및 영업시운전 단계에서 시스템 RAM 데모 활동을 지원할 것이다.

7) 서브시스템 RAM 성과물

각 성과물의 주요내용에 대한 간략한 설명은 다음과 같다. 서브시스템 공급업체에서 작성할 성과물의 양식 및 활동에 대한 세부 내용은 “RAMS 분석 데이터 양식 및 지침서”에서 보다 상세하게 기술한다.

8) 서브시스템 RAM 관리계획

각 서브시스템 공급업체가 수행하는 RAM 활동들은 “서브시스템 RAM 관리계획”에서 계획되고 상세하게 기술하며, 또한 RAM 조직도 및 실용화사업 수행조직 내에서의 각 역할과 책임에 대해서도 기술한다.

“서브시스템 RAM 관리계획” 문서는 제작설계 초기 단계에 각 공급업체가 제출하며 시범노선 구축사업 진척에 따라 적절히 갱신된다. 본 계획서에는 시범노선 구축사업 기간 동안 수행될 서브시스템 수준의 모든 RAM 활동들을 계획하고, 활동의 결과인 성과물에 대하여

기술한다. 각 서브시스템 공급업체는 RAM 활동의 결과물로 최소한 다음 성과물을 제출하여 1-2과제의 검토를 거쳐 발주처의 검토/승인을 득한다

9) PBS 및 예비기능분석

PBS(시스템구조분석) 및 예비기능분석에서는 서브시스템의 최상위 수준부터 최하위 LRU(현장교체품목)까지 서브시스템의 구성을 하향식으로 기술한다. 서브 시스템의 각각 구성품목은 시범노선구축 품질(문서)관리 표준에 따라 코드화 되며 각 코드는 중복되지 않는다.

서브시스템 구성을 바탕으로 하는 기능분석에서 서브시스템의 수행역할, 각 구성품의 기능적 역할분석 및 타 서브시스템과의 기능적 인터페이스를 분석 한다. 이 기능분석은 기능 구성도를 포함한 기능블록다이어그램을(Functional Block Diagram) 활용하여 수행한다.

10) 예비 RAM분석

예비 RAM분석은 각각 서브시스템 공급업체의 책임으로 공급범위의 서브시스템에 대한 RAM 예비 분석을 수행한다. RAM 분석에서 각 LRU에 대한 신뢰성 데이터를 제공하며 RAM 중요장치들의 요구조건 달성을 검증하기 위해 고장계통분석(FTA) 기법을 적용하여 서비스 가용성과 관련된 상위 수준의 이벤트들을 개발한다.

11) 서브시스템 FMECA

FMECA를 통해 서브시스템에서의 RAM 중요장치들의 인식하고 고장모드와 고장 결과들을 인식하기 위한 목적으로 수행한다

12) 유지보수성 분석(고장정비 및 예방정비)

고장정비 및 예방정비 활동들에 대한 유지보수성 분석에는 유지보수 유형, 유지 보수에 필요한 자원 및 공구, 유지보수 수행간격 및 정비시간 길이가 포함된다.

상기의 모든 성과물들은 본 실용화사업 각 수행단계에서 작성 및 갱

신되어 서브시스템 설계에 반영해야 하는 RAM 원칙에 대한 정보와 지침을 설계자에게 제공함으로써 서브시스템 RAM 목표를 달성하게 한다.

13) 유지보수성 시험 계획

유지보수성 시험은 유지보수성 분석결과에 따라 주요 유지보수 작업에 필요한 시간을 검증하기 위해 실시한다. 본 시험계획 및 사양서에 시험을 수행하기 위한 문서양식을 포함한 시험의 절차를 기술한다.

라. Safety 관리 계획서

(1) 개요

본 문서는 도시형자기부상 시범노선의 수명주기 동안 수행되는 관리적• 기술적 안전성 활동의 포괄적인 개요를 제시함으로써 시범노선 건설기간 동안 안전성 문제들을 관리하고 안전성 관련 시스템들이 요구되는 안전성 특성들을 달성하게 한다.

시스템 안전성 관리구조 및 방법론들은 안전성 활동들과 요구되는 문서들로 종합하여 기술한다

(2) 시스템 설명

인천국제공항은 공항교통센터로부터 공항철도(AREX)에서 운행하는 용유역까지 운행될 도시형 자기부상열차 시범노선을 구축하기 위해 한국건설기술 평가원과 계약을 체결했다. 동 프로젝트는 3단계로 구분되어 완공된 최종 노선연장은 53.2km이나, 1 단계 시범노선의 길이는 6.1km 이다.

1단계 시범노선은 6개의 역사와 1개의 차량 기지로 구성되어 있으며 표 1은 역사간의 거리를 나타낸다.

[표 27]1단계 역사간 거리

위치	역사 명	거리	비고
공항교통센터	101 역사	28m	섬식장승강
공항 터미널 2	102 역사	330m	섬식장승강
에어시티 파크	103 역사	880m	상대식 승강장
패션 아일랜드	104 역사	1380m	상대식 승강장
워터 파크	105 역사	4850m	상대식 승강장
공항철짜 영유역	106 역사	5930m	상대식 승강장
노선 종점	-	6113m	-

도시형자기부상 시범노선은 완전무인운전시스템으로 상전도 흡인식자기부상(EMS)과 선형유도전동기 (SLIM)와 같은 최신기술을 적용하며, 뒤따르는 세부시스템 설명 내용은 연구개발 및 서브시스템 설계과정에서 변경될 수 있다.

자기부상시스템은 제 3궤조로 공급되는 1500VDC전력으로 운행되며 차량은 최대 운영속도(100km/h)를 달성할 수 있는 SLIM으로 추진된다.

SLIM 추진시스템은 제동 시 전력공급시스템에 회생전력을 공급하여 열차운행에 따른 전체 소비전력을 감소한다.

열차는 부상상태에서 출발하고 주행하며 정차한다. 보기에 장착된 부상용 자석에 의해 생성된 전자기력이 철재 궤도를 끌어 당기고 동시에 그 흡인력은 차량을 부상시킨다.

부상전자석의 윗면과 궤도 밑면 사이의 간격은 8mm로 제어되며 이에 따라 선형 모터의 밑면과 리액션 판의 윗면 간격을 11mm로 유지시키게 된다.

부상용전자석의 고장에 대비하여 선형모터 근처에 랜딩 스키드와 랜딩 롤러를 설치한다. 부상 전자석으로 생성된 전자기력은 철재 궤도를 끌어 당기고 부상전자석의 중심을 궤도(레일) 중심으로 이동시켜 열차의 측면 유동 또한 부상전자석으로 생성된 전자기력으로 제어되게 한다.

곡선 궤도에서 열차의 측면유동을 제한하기 위해 대차 측면에 횡 변위 스키드를 장착하여 정상운행조건에서는 궤도로부터 10~15mm의 간격을 유지하게 한다.

선로구조와 차량을 제외한 타 기전 서브시스템은 완전무인 경전철시스템과 유사하다고 추정된다. 특히, 신호시스템의 다음과 같은 독립된 컴포넌

트로 구성된다.

- 차상 신호시스템(ATP, ATO)
- 지상 신호시스템(ATP, ATO)
- 종합사령시스템(ATS, 스케줄러)

ATP는 연속되는 인접 폐색구간으로 운영되어 ATP 내부 제어기능으로 열차의 운행 안전성을 보장한다.

시스템의 안전성이 열차운행에 있어 가장 중요하기 때문에, ATP 시스템은 다른 서브시스템과 완전히 독립되며 열차운행에 있어서 모든 서브시스템들 중에서 가장 우선권을 갖는다.

ATP 시스템에는 장 시간에 걸친 입증된 설계와 생산이 적용되며 ATP 장치는 페일세이프(fail-safe)와 이중화(checked-redundancy) 원리에 따라 설계한다. 또한 ATP 시스템은 폐쇄시스템으로 구축되어 안전성과 신뢰성이 다른 서브시스템의 영향을 받지 않는다.

ATP 시스템은 선행열차 위치와 궤도조건에 따라 미리 규정된 ATP 신호를 지속적으로 전송한다. 이 신호는 ATP 신호를 식별하는 차상 안테나로 수신한다.

신호시스템은 중앙 및 지역 데이터전송시스템, 무선통신시스템, 주요 장치에 비상전원을 공급하는 UPS로 구성된 운영사령실과 역사간에 전용 광케이블 네트워크를 구성한다.

아래 표는 도시형 자기부상열차시스템을 상위수준에서 예비적으로 분류한 결과를 나타내며 전체시스템의 RAM 목표를 서브시스템에 할당 시 참조된다.

[표 28]상위수준 시스템 분류

차량 (VEI)	차체
	대차 (부상시스템 포함)
	추진시스템
	도어
	보조전원장치 (차상 전력회로 포함)
	제동시스템
신호 시스템(SIG)	지상신호 장치
	차상신호 장치
	종합사령실 신호장치
전력 공급	급전전력
	제3궤조
	일반전력
	SCADA
	조명(역사와 차량 기지)
	화재감지
통신 (TLC)	디지털 전송시스템
	열차무선 시스템
	방송 및 승객정보
	전화(비상전화 포함)
	CCTV 시스템
	침입감지(도어 컨트롤)
	네트워크 관리 시스템
	전기시계
	역무자동화
궤도	궤도
	선로 전환기
정거장 기계설비	PSD
	에스컬레이터 및 엘리베이터
	자동제어 시스템
	소방설비
	공조시스템
	기타 E&M 장치 (용수 펌프, 가스 공급
검수	검수 설비
	검수 정보 시스템

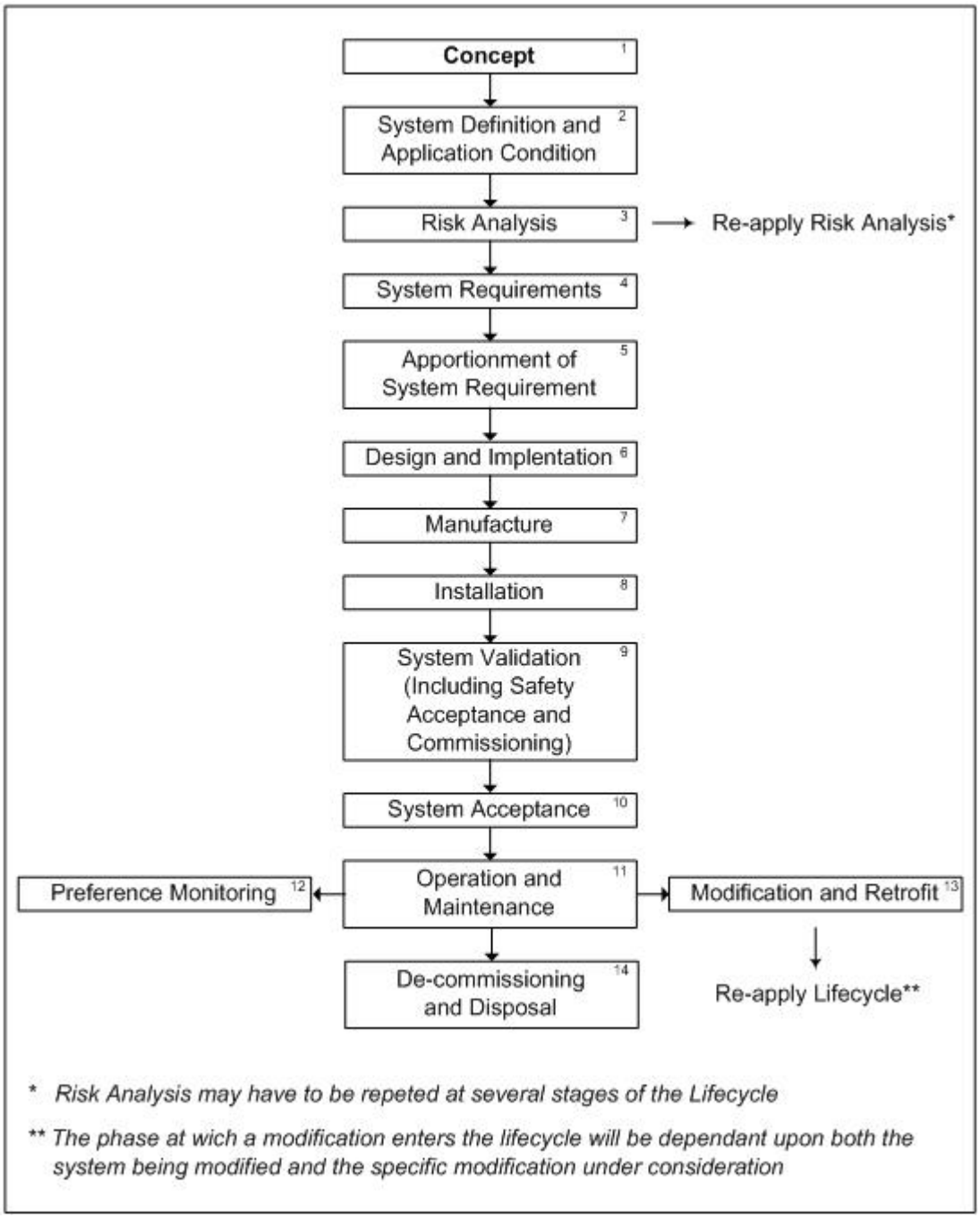
(3) 안전성 관리절차

유럽표준EN 50126은 시스템 수명주기 동안 철도시스템을 위한 RAM 요소들을 통제하게 하는 관리절차들을 추적할 수 있게 한다. 유럽표준EN 50126에 의한 안전성 관리활동들은 다음의 단계로 구성된다.

- 안전성 요구조건들의 정의
- 안전성 위협요인들의 평가 및 통제
- 안전성 요구조건들의 달성
- RAMS 수명주기 동안 지속되는 감시

유럽규격 EN50126을 기준으로 시스템의 용인 가능한 리스크 수준은 안전성기관 (Safety Authority) 또는 안전성 기관의 동의아래 철도기관(Railway Authority)에서 규정한 안전성 기준(표준)을 따라야 하며, 몇몇 국가에서는 시스템 안전의 적합성 검증(demonstrate)에 대한 증빙들을 형식에 따라 제출토록 요구하고 있으나, 본 실용화사업에서는 국내규격 및 절차의 법제화가 미비하여 동 법제화가 완료되어 별도의 기준(표준)이 정해질 때까지 본 문서 6.2장 해저드 인식 및 평가 기준에 따라야 하는 현실적인 제약이 있다.

시스템 수명주기는 각각의 수행업무들을 포함하는 연속되는 단계로 구성되며 이 단계들은 철도시스템 개념설계에서부터 폐기 단계까지 논하고 있다. 그림1에 있는 시스템 수명주기는 철도건설사업이 진척될 때 각 단계마다 안전성을 포함한 시스템의 모든 형상을 계획하고 관리하며 통제하기 위한 구조를 요약하여 보여준다.



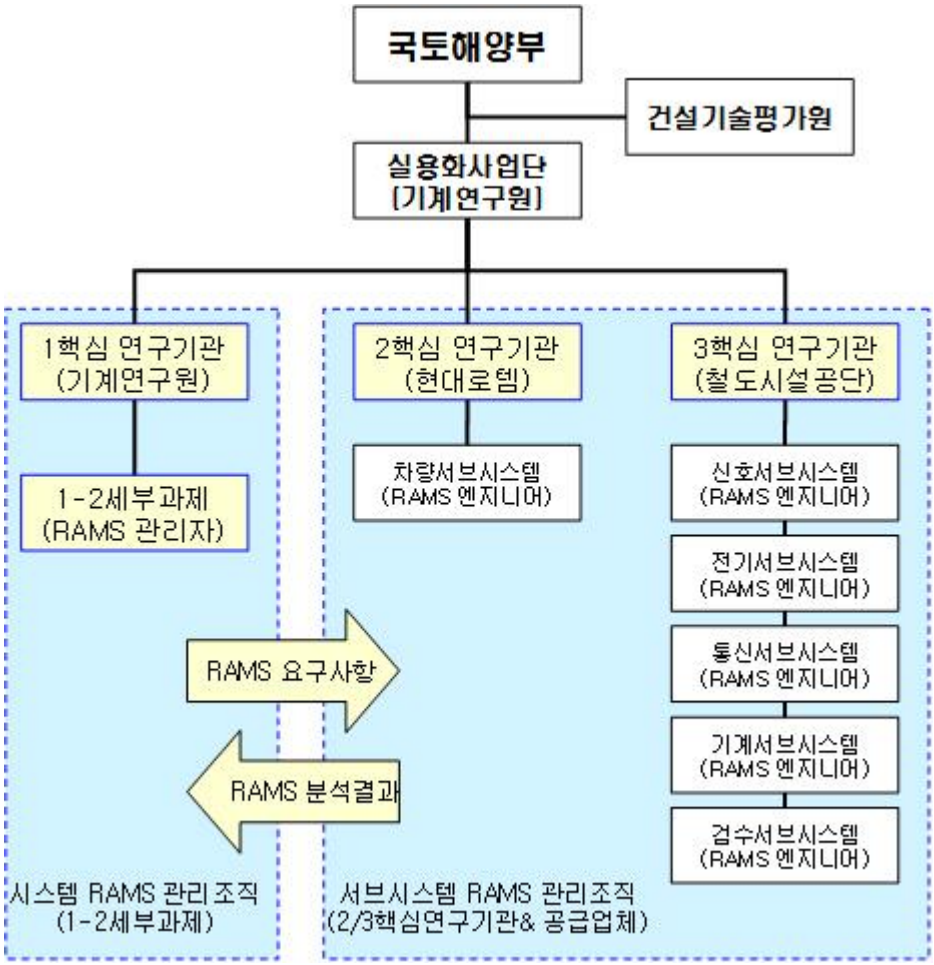
[그림 85]시스템 수명주기

(4) 안전성 관리체계

안전성 관련 사항들은 본 장에서 기술하는 RAMS 관리조직에 의해 관리되며, 이는 1-2과제에서 제출한 시스템 RAM 관리계획(M1200-SE+RM-101-0017)을 참조할 수 있다.

(가) 안전성 관리조직

실용화사업 안전성 관리조직은 시범노선 구축조직인 2/3핵심과 공동으로 안전성 관리활동을 수행한다. 안전성 관리조직은 아래와 같다.



[그림 86]실용화사업 안전성 관리 조직도

1) 국토해양부

국토해양부는 도시형 자기부상 실용화사업의 관리 및 평가를 건설기술 평가원에 위임 하였으며 본 실용화사업의 총괄적인 책임이 있고 본 실용화사업의 안전성기관(Safety Authority) 역할을 한다.

2) 건설기술평가원

건설기술평가원은 국토해양부로부터 위임 받은 도시형 자기부상 실

용화사업의 실적관리 및 평가를 진행하며 국토해양부로부터 위임 받은 권한에 의해 본 실용화사업의 안전성기관(Safety Authority) 역할을 할 수 있다. 국토해양부 권한 위임사항은 양 기관간의 협의에 따라 향후 결정될 예정이다.

3) 실용화 사업단

한국기계연구원에 구성된 사업단은 도시형자기부상열차 실용화사업의 기술 및 행정관련 총괄적인 책임이 있고 국토해양부로부터 위임받은 권한에 의해 본 실용화사업의 안전성기관(Safety Authority) 역할을 할 수 있으며 안전성 사항을 감독하고 시범노선 준공시 시범노선 영업운전 관련 최종적 승인을 국토해양부에 요청한다. 국토해양부 권한 위임사항은 양 기관간의 협의에 따라 향후 결정될 예정이다.

4) 시스템통합(제1핵심연구기관)

한국기계연구원에 구성된 1핵심연구기관은 실용화사업 시스템통합에 대한 총괄적인 책임이 있으며 사업단, 2핵심(차량개발) 및 3핵심(시범노선구축)과의 RAMS 관련 인터페이스 관리에 대한 책임이 있다.

5) RAMS 관리자(1-2 세부기관)

RAMS 관리자는 본 실용화사업의 시스템 수준 RAMS 관리에 총괄적인 책임이 있으며 리스크 평가 기준과 서부시스템에 대한 안전성 요구사항을 준비한다. 또한 유럽표준 EN 50126 에 따라 시스템 수준의 안전성 문서를 준비하며 서브시스템의 안전성 문서를 검토한다. 서브시스템 공급업체에서 제출하는 서브시스템 안전성 분석자료는 시스템 수준 안전성 업무 수행에 대한 주요 입력자료가 된다.

6) 차량개발 및 시범노선구축(2/3핵심 연구기관)

실용화사업 2핵심 연구기관은 자기부상 차량 개발에 총괄적인 책임이 있으며 차량 수준의 안전성 업무에 총괄적인 책임이 있는 RAMS 엔지니어를 지명하고, 동 엔지니어가 서브시스템 수준의 안전성 활동

을 유럽표준 EN50126에 따라 수행하게 한다. 실용화사업 3핵심 연구기관은 시범노선구축에 총괄적인 책임이 있으며 차량외 서브시스템별 안전성 업무에 각각 책임이 있는 RAMS 엔지니어를 서브시스템별로 지명하고, 동 RAMS 엔지니어들이 서브시스템 수준의 안전성 활동을 유럽표준 EN50126에 따라 수행하게 한다.

7) 서브시스템 RAMS 엔지니어

서브시스템 안전성 엔지니어는 2/3핵심 연구기관을 경유하여 각각 서브시스템 공급업체에서 지명하며 시스템 수준의 RAMS 관리 조직을 구성하여 RAMS 관리자와 함께 서브시스템에 요구되는 RAMS 수행기능을 담당함.

서브시스템 RAMS 엔지니어는;

- 서브시스템 공급업체에게 속하며 RAMS 관리조직의 기능을 담당한다.
- 서브시스템 공급범위에 대한 안전성 활동 수행의 책임이 있으며 관련 타 공급업체와의 적절한 인터페이스를 수행 한다.
- 공급범위의 서브시스템에 대한 안전성 문서를 작성하고 시스템 RAMS 관리자의 검토를 경유하여 발주처의(2핵심, 3핵심) 검토/승인을 득한다.

(나) 안전성 프로그램의 관리 및 통제

시스템 안전성 관리를 수행하는 시스템 RAMS 팀은 시스템 및 서브시스템 수준에서 본 문서에 기술된 안전성 프로그램을 아래의 업무를 통하여 관리하고 통제하며 실행한다.

- 서브시스템 안전성 관리계획 검토
- 서브시스템 안전성 분석 및 보고서 검토
- 안전성 감사 및/또는 안전성 검토
- 안전성 분석
- 시스템 및 서브시스템 수준에서 작성되는 기타 기술문서를 검토
- 안전성 활동에 관련된 각 당사자들이 제출하는 정기 진척 보고서를

통해 안전성 관리활동 진척을 감시

- 안전성 관련 성과물 계획의 개발 및 통제
- 특이 상황을 통제하기 위한 특별 안전성 관리절차 수립
- 안전성 관리 회의 참석

시스템 안전성 프로그램의 실행은 안전성 감사를 통해 수행된다. 이러한 감사활동의 결과는 RAMS 관리자를 통해 문서화 되고 검토되어 안전성 문서의 일부를 이룬다. 안전성 검토는 안전성 요구조건들을 따르는지 확인하고 안전성 분석을 검토하기 위해 본 시범노선 건설 주요 단계에서 실시된다.

(다) 시스템 안전성 프로그램의 개정

시스템 안전성 프로그램은 모든 관련 당사자들의 협의에 따라 아래와 같이 RAMS 관리자의 주관으로 개정될 수 있다.

- 필요한 경우, 시범노선 제작설계, 생산, 및 설치 단계의 종결
- 안전성 프로그램에 주요 변경사항이 한 당사자 이상에게 발생할 경우
- 서브시스템 설계의 주요 변경사항이 안전성 활동절차에 반영 되어야 하는 경우

(라) 서브시스템 공급업체의 관리, 감시 및 통제

국내 철도산업 분야의 RAMS 경험 및 기술이 거의 축적되지 않은 상태에서 진행하는 도시형자기부상 실용화사업의 RAMS 활동은 능력 있는 RAMS 엔지니어 들의 커다란 공헌을 필요한 엔지니어링 활동이다.

각 서브시스템 공급업체는 안전성 관리계획, 안전성 분석, 및 안전성 문서작성을 포함하여 서브시스템의 공급범위에 해당하는 안전성 문서를 작성을 관리하는 자체 안전성 관리조직을 구성하며 각각 서브시스템 공급업체가 수행하는 안전성 활동은 아래와 같이 감시되고 통제된다.

- 안전성의 적절한 검토

• 정기적으로 제출되는 안전성 문서의 검사
• 서브시스템 공급업체를 방문하여 회의진행
• 서브시스템 공급업체의 설계검토 작업에 참여
• 서브시스템 공급회사의 안전성 활동 감사

(마) 문서화

시스템 안전성 관리조직에서 데이터를 기록하고 활동들을 정리하여 시스템 및 서브시스템 수준의 안전성 관련 문서들의 추적이 가능하도록 한다. 이러한 추적을 통하여 활동들, 연구들, 분석들, 보고서들 및 회의록들은 RAMS 관리조직에 소속된 인원들이 접근할 수 있도록 한다.

안전성 문서들은 적절하고 인식 가능한 양식으로 체계를 갖추며 안전성 문서의 공식 제출은 안전성 프로그램 계획, 공급 계약서 및 관련 수행업무들에 따라서 진행된다.

(바) 서브시스템 안전성 감사

각각 서브시스템 공급업체의 안전성 프로그램의 효율성과 수행을 검증하기 위해 주기적인 안전성 감사가 진행된다. 이러한 안전성 감사는 안전성 관리조직이 1핵심 연구기관 책임자와 협조하여 실시 하며 가능할 경우에 2/3핵심 연구기관인 발주자의 참관 하에 진행된다.

(5) 안전성 요구조건

안전성 요구조건은 시스템과 서브시스템 수준에서 포괄적으로 다뤄진다. 본 시스템 안전성 관리계획에는 모든 안전성 요구조건들이 충족되었는지 여부를 데모 (검증)하기 위한 포괄적인 안전성 절차를 구축하는데 필요한 기본 요소들을 기술한다. 2차년도 성과물인 “서브시스템의 RAMS 요구조건(2008.07)”에는 안전성 요구 조건들의 폭넓은 사양이 기술되어 있다.

제3자 및 승객의 안전과 관련된 안전성은 시스템과 그 운영환경으로부터

승객과 사람들을 보호하기 위한 것이며 시설보안(침입방지) 및 안전•보건 관련 사항들은 본 문서의 영역에 해당되지 않는다.

안전성 요구조건들은 시스템, 서브시스템 등 각기 다른 수준으로 정의되고 반정량적, 정성적 등 다른 용어로 표현할 수 있다. E&M 시스템에 대한 정량적 리스크 허용기준 같은 계량화된 목표는 없으나 전체 E&M 시스템 수준에서 ALARP(As Low As Reasonable Practicable) 원리를 적용한다.
유럽규격 EN50126은 보통 철도시스템에 적용하는 상위수준의 규격이며 각 수명주기 단계에서 권장되는 RAMS 활동들을 규정하고 있다. 따라서 EN50126의 절차는 모든 E&M 서브시스템에 적용할 것이다.

가. 안전성 요구조건

안전성 요구조건들은 다음과 같은 형태로 정의되며 “서브시스템 RAM 요구조건(2008.07)” 문서에서 상세하게 서술하였다.

- 해저드 인식과 분석절차의 적용
- 리스크 평가절차의 적용

(나) 해저드 인식 및 평가

E&M 서브시스템에 적용할 해저드 인식 및 평가절차는 아래와 같다.

- 서브시스템 또는 운영환경에 의해 발생 가능한 모든 해저드를 인식
- 반•정량적 기준에 따라 해저드 발생빈도를 정의
- 반•정량적 기준에 따라 발생결과의 심각성을 정의
- 시스템 및 운영환경에서 발생 가능한 모든 해저드들은 초기 위험도(리스크), 예방조치 및/또는 경감조치가 제시되고 서브시스템 설계에 반영된다. 예방 조치는 해저드 발생빈도를 완화하고 경감조치는 해저드 발생결과의 심각도를 낮추게 된다.
- 본 해저드 인식 및 평가절차의 마지막에 모든 해저드의 잔존 리스크는 다음과 같은 정의와 기준에 따라 허용가능 해야 한다.

본 실용화사업에 적용할 해저드 발생빈도의 분류는(유럽규격 EN 50126 참조) 아래 표와 같다.

[표 29]해저드 발생빈도 분류

Frequent 자주발생	f ≥ 100/년	Likely to occur frequently. The hazard will be continually experienced. 자주 발생할 듯, 해저드는 지속적으로 발생할 것임
Probable 발생가능	1/년≤ f < 100/년	Will occur several times. The hazard can be expected to occur often. 수 차례 발생. 자주 발생할 것으로 예측
Occasional 우발적	1*10-2/년≤ f < 1/년	Likely to occur several times during the system life time. 시스템 수명주기 동안 수 차례 발생할 듯
Remote 낮음	1*10-4/년≤ f < 1*10-2/년	Likely to occur some times during the system life time. The hazard can reasonable be expected to occur. 시스템 수명 주기 동안 몇 차례 발생할 듯, 해저드 발생을 근거있게 예상 가능
Improbable 매우낮음	1*10-6/년≤ f < 1*10-4/년	Unlikely to occur but possible. It can be assumed that the hazards may exceptionally occur. 가능하나 발생하지 않을 듯. 예외적으로 발생할 듯
Incredible 불가능	f<1*10-6	Extremely unlikely to occur. It can be assumed that the hazard may not occur. 극히 발생하지 않을 듯. 해저드 발생 가능성이 없다고 간주

주) 1. 상기 해저드 발생빈도의 분류는 EN50126에 의한 기준으로 “서브시스템 RAMS 요구사항(2008.07) 성과물(EN50129 기준)과 차이가 있음
2. 상기 해저드 발생빈도 분류는 변경제안 사항으로 3차년도 연구기간 중 2/3핵심과 협의하여 결정예정
3. 해저드의 발생빈도는 최악의 경우의 실현 가능성과 가장 가능성이 있는 경우의 리스크를 반영하나 리스크 자체의 실현 가능성을 무시한다.

본 실용화사업에 적용할 해저드 발생결과의 심각도 분류는(유럽규격 EN 50126 참조) 아래 표와 같다.

[표 30]해저드 발생결과의 심각도 분류

심각도 분류	해저드 결과의 심각도 설명	해저드 발생결과	
		사망자	설 명
1	치명적 수준 Catastrophic	>1	multiple fatalities 다수 사망
2	중대한 수준 Critical	1	single fatality or/and multiple major injuries 단일 사망 또는/및 다수 중상
3	제한적 수준 Marginal	-	single major injury 단일 중상
4	경미한 수준 Insignificant	-	multiple minor injuries 다수 경상

각 인식된 해저드의 리스크 수준은 해저드 발생빈도와 결과의 심각도의 반정량적 평가를 조합한다. 아래 표의 리스크 매트릭스는 유럽규격 EN50126에 따라 정의하였다.

[표 31]리스크 매트릭스

해저드의 발생빈도	리스크 수준			
Frequent (A) *빈번함*	Undesirable 바람직하지 않음	Intolerable 용인 불가	Intolerable 용인 불가	Intolerable 용인 불가
Probable (B) *가능성 있는*	Tolerable 용인 가능	Undesirable 바람직하지 않음	Intolerable 용인 불가	Intolerable 용인 불가
Occasional (C) *가끔 발생*	Tolerable 용인 가능	Undesirable 바람직하지 않음	Undesirable 바람직하지 않음	Undesirable 바람직하지 않음
Remote (D) *이따금*	Negligible 무시가능	Tolerable 용인 가능	Undesirable 바람직하지 않음	Undesirable 바람직하지 않음
Improbable (E) *희박한*	Negligible 무시가능	Negligible 무시가능	Tolerable 용인 가능	Tolerable 용인 가능
Incredible (F) *가능성 없는*	Negligible 무시가능	Negligible 무시가능	Negligible 무시가능	Negligible 무시가능
	경미한 수준 *Insignificant*	*제한적 수준* *Marginal*	*중대한 수준* *Critical*	*치명적 수준* *Catastrophic*
	해저드 결과의 심각도			

각 해저드의 리스크 수준의 평가는 리스크 매트릭스에 따라 평가한다. 각 리스크 수준별 관리절차는 아래의 표에 정의한다.

[표 32]리스크 수준별 관리절차

Intolerable 용인불가(In)	반드시 제거 되어야 함
Undesirable 바람직하지 않음(Un)	위험 감소가 비 현실적이고 발주처(2/3핵심연구기관)의 동의에 따라 허용 가능
Tolerable 용인가능(To)	적절한 통제와 1-2세부과제의 동의에 따라 허용 가능
Negligible 무시가능(Ne)	어떠한 동의가 없어도 허용가능

서브시스템 해저드 분석이 진행됨에 따라 안전성 관련 인터페이스도 식별된다. 모든 E&M 서브시스템의 안전성 요구조건에 따른 할당과 데모는 EN50126에서 권고하는 절차를 따른다.

(6) 안전성 프로그램

본 장에서 안전성 활동들 및 각 서브시스템 공급업체가 발주처에 제출하여 1-2세부과제의 검토를 거쳐 발주처의 승인을 득해야 하는 안전성 성과물들에 대해 개략적으로 설명한다.

유럽규격 EN50126의한 안전성 프로그램에는 각 설계단계에서 안전성 중요기능 인식, 서브시스템 설계에 안전성 설계원칙 적용을 위한 설계팀 지원, 요구되는 신뢰성 성능달성 및 안전성 목표달성에 대한 검증을 위한 활동들이 있다. 본 장에서 다음과 같이 관련 주요 마일스톤들을 포함하는 안전성 승인 프로그램을 제시한다.

본 실용화사업에서 각 서브시스템 안전성 엔지니어는 각 마일스톤 마다 각자의 서브시스템 공급범위에 대해 본 실용화사업 수행 단계에서 요구되는 모든 안전성활동들을 완료하고 관련 안전성 요구조건들이 충족 되었다는 것을 입증하는 문서적 증거를 발주처에 제출해야 한다.

(가) 안전성 문서제출

시스템 수준에서의 안전성 관리 및 엔지니어링 활동은 표7에 요약된 것과 같이 시범노선 건설의 각 단계와 관련된 일련의 안전성 성과물로 표현되며 서브시스템의 안전성활동 성과들도 일련의 서브시스템 안전성 문서들로서 정리된다.

이러한 문서적 증거들을 기록한 성과물들은1-2세부과제의 검토를 거쳐 발주처의 승인을 득해야 한다. 다음 표는 철도시스템 수명주기 단계와 시범노선 수행 단계간의 관계를 설명하며 관련 주요 단계별 성과물과 작성, 검토, 및 승인 주체를 나타낸다. 여기에는 실용화사업의 실시설계 업무범위 및 실시설계 업체와 서브시스템 공급업체가 서로 다른 점 등 본 실용화사업의 특성을 반영하였다.

수명주기 단계	실용화사업 수행단계	활동/성과물	책임주체 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			1-2과제	공급회사	
1. 개념설계	기본설계, 실시설계	시스템 RAM 관리계획	D	F	-
2. 시스템 정의 및 적용조건		서브시스템 RAM 요구사항	D	F	-
3. 리스크 분석		서브시스템 RAM 관리계획	F	D	1-2과제/발주처
4. 시스템 요구사항		PBS 및 예비 기능분석	F	D	1-2과제/발주처
5. 시스템 요구사항 할당		예비 RAM 분석	F	D	1-2과제/발주처
6. 설계 및 실행	제작설계	시스템 RAM 관리계획 개정	D	F	-
		서비스가용성 계산 (서브시스템 RAM 분석을 근거로 산출)	D	F	-
		서브시스템 RAM 관리계획 개정	F	D	1-2과제/발주처
		서브시스템 RAM 분석 (RAM 요구사항 달성검증 포함)	F	D	1-2과제/발주처

수명주기 단계	실용화사업 수행단계	활동/성과물	책임주체 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			1-2과제	공급회사	
		FMECA	F	D	1-2과제/발주처
		유지보수성 분석(예방정비, 고장정비)	F	D	1-2과제/발주처
7. 제작	제작 및 설치	시스템/서브시스템 RAM 데모 계획	D	D	1-2과제/발주처
8. 설치		FRACAS 절차	D	D	1-2과제/발주처
		유지보수성 시험규격	F	D	1-2과제/발주처
9. 시스템 검증 (Validation)	개별시험 및 종합시운전	시험 절차서	F	D	1-2과제/발주처
10. 시스템 인수	시스템 RAM 데모 (영업 시운전)	FRACAS 보고서	D	D	1-2과제/발주처

각각 성과물의 내용에 대한 간략한 설명은 다음 장에서 기술한다.

1) 시스템 안전성 성과물

가) 시스템 안전성 관리 계획

본 문서의 목적은 도시형 자기부상 시범노선의 E&M시스템이 요구되는 안전성 수준 및 특성을 달성했는지 여부를 확인하는데 필요한 모든 활동들, 기술들 및 관리활동들을 인식하고 감시하며 통제하는데 있다.

시스템 안전성 관리계획은 시범노선 실시설계 단계에서 발행되며 필요할 경우 제작설계 및 설치/시운전 단계에서 갱신된다.

나) 예비 해저드 인식 및 분석

본 문서는 잠재적인 사고 또는 사고를 초래할 수 있는 모든 상태들을 식별하기 위한 것이다. 이런 상태인 해저드는 장치의 사용, 운영, 유지보수 및 서브시스템 인터페이스와 관련이 된다.

예비 해저드 인식 및 분석은 예비로 실시설계 단계에서 1-2과제에 의해 발행되며 제작설계 초기 단계에서 각 서브시스템 공급업체의 예비 분석 내용을 반영하여 예비 해저드 분석(PHA)으로 갱신될 수 있다.

다) 시스템 및 서브시스템 안전성 요구조건

본 문서의 목적은 E&M 시스템 및 서브시스템에 대한 안전성 요구조건들을 정의하여 각 서브시스템들이 각각 안전성 요구조건들을 달성하면 E&M 시스템의 안전성도 달성될 수 있게 하는데 있다. 상세한 내용은 2차년도 연구개발 성과물인 서브시스템 RAMS 요구문서(2008.07)를 참조할 수 있다.

라) 해저드 추적 및 리스크 해결 프로그램

본 문서의 목적은 시범노선 건설 단계에서 식별되는 잠재적인 해저드를 식별하고 수집하며 분석하고 모든 당사자들이 따라야 하는 해저드의 관리절차들을 규정 하는데 있다.

해저드 추적성을 위한 도구로 사용되는 해저드 로그는 각 리스크 수준을 경감시키기 위한 권장활동들이 기록되며 해저드 관련 중앙 전산기록으로서 안전성 관리의 중요한 도구가 된다.

해저드 로그의 양식은 본 실용화사업에 참여하는 모든 안전성 관리 조직에서 동일한 문서양식을 사용하며 이 문서양식은 시스템 RAMS 관리자가 규정한다. 해저드 로그는 시범노선 건설기간 동안 모든 서브시스템 공급업체별로 각각 공급범위의 해저드 관련 내용을 관리하고 갱신한다. 1-2세부과제에서는 서브시스템 해저드 로그들을 반영하여 E&M 시스템 수준의 해저드 로그를 관리하고 갱신한다.

해저드 로그는 시스템 및 서브시스템에서 달성한 안전성 수준을 평가하는 주요 수단이며 시스템 안전성 관리절차를 따른다. 따라서 “해저드 추적 및 리스크 해결 프로그램”은 본 문서 제7.1.1.7장 해저드 로그와 깊이 관련되며 제작설계(또는 실시설계) 단계에서 발

행되어 안전성 문서에 포함된다.

마) 운영 및 지원 해저드 분석

본 문서에서 시범노선 운영단계에서의 운영환경, 사람, 업무절차, 장치등과 관련된 안전성 특성을 평가하기 위하여 해저드를 인식하고 분석한다. 운영 및 지원 해저드 분석은 제작설계 단계에 계획되어 있으나 운전□운영 규정/조직 등에 깊이 연관되어 제품설치 전후인 운영계획 및 운영관련규정이 발행된 후에 수행이 가능할 수도 있다.

바) 인터페이스 해저드 분석

본 문서는 물리적, 전기적 및 기능적 인터페이스와 관련된 해저드를 인식하고 분석하기 위한 것이다. 인터페이스 해저드 분석은 제작설계 단계에 수행된다.

사) 해저드 로그

해저드 로그 데이터베이스는 시범노선 건설 단계에서 인식되는 잠재적인 해저드를 기록하며 리스크 평가, 해저드 진행상태 및 권장활동들의 진행상태를 기록하기 위한 도구이다.

해저드 로그는 제작설계 단계에서 발행하여 해저드 추적 및 리스크 해결 프로그램에 따라 해저드를 관리한다. 이후 해저드 로그는 시범노선 준공 시까지 관리 유지된다.

(아) 안전성 시험규격

시험 및 시운전 절차에서 안전성 관련 시험 활동들을 별도로 구분한다. 필요한 경우, 시스템 또는 서브시스템의 안전성 관련 기능을 검증하기 위해 추가 시험이 제안될 것이다. 안전성 시험활동의 결과는 “안전성종합보고서”의 주요 입력자료가 된다

자) 시스템 안전성 종합보고

본 문서는 E&M 시스템의 모든 해저드가 평가기준에 따라 수용 가능한 수준이 되어 시스템 수준의 안전성 요구조건이 달성되었다는 것을 기술하고 관련 증빙을 제시한다. 시스템 안전성 종합보고는 제작설계 단계에서 계획을 수립하고 시범노선 준공단계에 안전성 활동을 종합하여 기술한다.

2) 서브 시스템 안전성 성과물

서브시스템 공급업체가 수행하는 안전성 분석은 상기에서 기술한 바와 같이 시스템 안전성 성과물을 작성하는데 필요한 중요한 입력자료가 된다.

각 문서 내용에 대한 간략한 설명은 다음과 같으며 대부분의 문서는 시스템 수준의 문서와 비슷한 내용과 형식으로 작성된다.

(가) 서브시스템 안전성 관리계획 및 안전성 종합보고 계획

서브시스템 공급업체들은 기전 시스템의 안전성 프로그램과 안전성 관리계획을 바탕으로 본 실용화사업 수명주기에 따라 수행할 안전성 활동들에 대한 계획을 수립한다. 그 계획에는 아래 사항들이 포함된다.

- 서브시스템 안전성관리 조직, 역할 및 책임
- 본 실용화사업 수행 단계별로 수행할 안전성 활동
- 안전성 프로그램의 수행완료 및 안전성 요구사항들 데모를 위한 업무절차와 적용 방법론에 대한 지침들
- 안전성 관리 절차의 수행 및 안전성 목표달성 데모의 증빙으로서 제출될 산출물

안전성 목표달성에 대한 데모 프로그램을 공식화 하기 위해 각 서브시스템 공급업체는 안전성 종합보고 계획을 수립하고 1-2세부과제 검토를 거쳐 발주처의 승인을 득한다.

나) 서브시스템 해저드 분석 (SSHA)

각 서브시스템의 예비 해저드 분석을(PHA) 기초로, 공급범위에 포

함되는 해저드를 각 서브시스템 공급회사의 책임으로 상세하게 분석하여 발주처에 제출하여야 한다. SSHA는 서브시스템 안전성 관리계획에 기술된 접근방법에 따라 분석하여야 한다.

SSHA 분석영역은 서브시스템 운영 시 발생 가능한 모든 해저드를 식별하고 모든 해저드의 “수용가능 (Acceptable)” 여부를 리스크 평가절차를 통해 검증하는 것이다. 안전성 중요(critical) 해저드가 Un(Undesirable) 또는 In(Intolerable)로 평가될 경우, 리스크를 수용 가능한 수준으로 감소시킬 수 있도록 설계 솔루션 및/또는 서브시스템 외부 대책방안을 제시하고 논의한다.

고장계통분석(FTA, Fault Tree Analysis)은 바람직하지 않은 이벤트의 발생 가능성을 평가하는데 유용하게 쓰인다. 리스크 경감조치와 경감조치의 효과를 인식하는 FTA를 통해 시스템/서브시스템에서 안전성 중요(critical) 포인트들이 강조된다.

다) 서브시스템 안전성 종합보고

서브시스템 안전성 종합보고에는 공급될 서브시스템이 안전하다는 것을 선언하기 위해 필요한 안전성 활동과 그 결과를 종합하여 기술한다. 본 안전성 종합보고에는 아래와 같은 내용들이 포함되나 이에 한정되지는 않는다.

① 서브시스템 정의: 서브시스템을 명확하게 정의하고 모든 요구사항, 설계문서 및 적용 규격의 변경 상태와 갱신 번호를 기술하며 최종적으로 적용 및 달성된 내용을 정리한다.

② 서브시스템 안전성 관리: 본 실용화사업 수행 단계에서 안전성 관리에 적용하거나 할 예정인 관리 및 통제 절차를 기술하며 최소한 아래의 내용들을 포함하여야 한다.

- 각 서브시스템 별 안전성 관리조직
- 서브시스템 안전성 관리계획(갱신)

- 서브시스템 안전성 관리계획이 시스템 안전성 관리계획과의 일치 여부와 적절한 통제 절차를 수행하는지 여부에 대한 평가내용
- 서브시스템 안전성 요구사항들의 달성에 대한 검토, 확인, 검증 사항들

③ 서브시스템 해저드 로그(갱신) 및 시스템 해저드 로그와의 인터페이스 조정사항

④ 기술적 안전성 보고: 서브시스템 안전성 요구사항을 만족하도록 하는 서브시스템 설계 규격, 설계기준, 시험규격, 시험결과, 안전성 분석내용과 이들을 반영한 설계사항을 정리하여 기술한다.

⑤ 서브시스템 설계에 적용한 안전성 규격 내용을 기술한다.

⑥ 서브시스템을 정상상태에서 올바르게 운영하기 위해 필요한 아래 사항들을 기술한다.

- 서브시스템 아키텍쳐 설명
- 인터페이스 정의
- 서브시스템 요구사항의 달성 여부
- 안전성 요구사항의 달성 여부
- 올바른 하드웨어의 기능 설명
- 설치현장 환경조건의 적합성 여부
- 올바른 소프트웨어 기능 설명

⑦ 안전성 기능사양에 따라 외부 영향을 받는 경우에 대한 설계검증 내용을 기술한다.

⑧ 서브시스템운영 시 고려해야 하는 안전성관련 법규, 적용조건 및 제한사항을 기술한다.

⑨ 서브시스템의 안전성 시험결과를 기술한다.

모든 안전성 분석내용 예를 들면 시스템 해저드 분석, 서브시스템 해저드 분석, 운영 및 지원 해저드 분석, 인터페이스 해저드 분석 등이 언급되고 참조 된다. 또한, 타 무인운전 경량전철의 적용사례

를 반영하여 서브시스템을 설계한 경우 타 무인운전 경량전철에 적용했던 사례에 대해 기술한다.

(7) 안전성 승인절차

본 장은 유럽표준 EN50126를 기준으로 도시형자기부상 시스템의 안전성 승인에 필요한 절차들을 제시하기 위한 것이며 동 절차들은 시범노선의 영업운행 이전에 완료한다.

유럽표준EN50129에는 안전성 승인의 주요 원칙은 다음과 같이 기술하고 있으며 본문서 “서브시스템 안전성 종합보고”에 따른 안전성 승인을 위한 안전성 종합보고 문서의 주요 구성은 아래와 같다.

- 안전성 요구조건
- 안전성 종합보고
- 독립안전성평가자(ISA)에 의한 안전성 평가보고

상기의 독립안전성평가자(ISA)는 1핵심연구기관(또는 사업단)에서 1/2차년도 연구개발기간 중에 고용하지 않았으며 3차년도 연구개발 기간에도 구체적인 계획이 없는 것으로 추정되어 결국 안전성 승인을 위한 문서는 아래와 같이 구성될 것이다.

- 안전성 요구조건
- 안전성 종합보고

안전성 종합보고에 기술할 예정인 해저드의 리스크에 대한 수용의 모든 조건이 충족되었다는 것을 전제로 할 때 E&M 시스템 및 서브시스템은 안전성 기관(Safety Authority)으로부터 안전성 승인을 받을 수 있고, 동 승인을 근거로 E&M 시스템 및 서브시스템은 유럽표준 EN50126에 따라 해외 철도시장에서도 수용이 가능해야 한다.

그러나 국내법규/절차에 따른 안전성 기관(Safety Authority) 근거가 미비하고 유럽 등 국제적으로 인정되는 ISA 활동이 가능한 단체 및 엔지니어가 부재하며 국내법규/절차에 따른 안전성 승인절차가 불명확하여

현 단계에서 이에 대한 본 실용화사업의 계획수립은 불가하다. 따라서 시범노선 안전성 승인절차는 본 문서 “제5.1절 안전성 관리조직”의 업무 분장을 따른다.

“E&M 시스템의 안전성 종합보고”는 각 서브시스템/장치의 안전성 종합보고를 입력 자료로서 작성한다. 따라서 E&M 시스템의 안전성 승인은 서브시스템/장치의 안전성 승인 후에 진행된다.

마. 서브시스템 RAMS 요구조건 정의

(1) 개요

본 절에서 언급하고자 하는 내용은

- 각 서브시스템 레벨 RAM 성능 예측 모델링
- 각 서브시스템 분야별 RAMS 요구조건 정의
- 전체시스템 레벨 예비 해저드 분석으로 구성된다.

(2) 전체시스템 레벨 RAM 성능 목표

본 실용화사업에 적용되는 RAM 모델은 계획된 열차출발 횟수와 실적 열차출발 횟수 비교를 바탕으로 한 열차운행 서비스 가용성 모델로서 기술적 및 서비스 품질 관점에서 시스템 성능을 보다 더 효율적으로 평가하기 위한 것이며, 서비스 가용성 산출 공식은 아래와 같다.

$$SA = \frac{PlanedDepartures - MissedDepartures + \frac{1}{2} UnplanedDepartures}{PlandDepartures}$$

열차출발실패(MD)는 정해진 시간 동안 각 승강장에서 시스템 고장으로 인한 운행열차지연의 결과로서 나타난다. 각 승강장에서 발생하는 열차운행지연 시간이 현재 운전시격 보다 길 경우 MD로 산출된다.

따라서 열차운행지연으로 발생하는 MD 횟수는 지연시간, 고장영향범위 및 현재의 운전시격에 따라 다르다. UD(예비 열차 출발)는 운영자의 열차운행지연 회복계획에 따라 다르기 때문에 서브시스템의 RAM 목표를 설정할 때 UD를 고려하지 않는다.

본 서비스 가용성 모델은 각각의 역사에서 계획된 출발횟수 누적과 실적 출발횟수 누적을 연속적 타임 슬롯 단위로 비교하는 원리를 그 바탕으로 한다. 이 원리는 각각 타임 슬롯 단위로 다소 복잡한 열차 출발실패 횟수(MD)의 계산 절차로 실행된다.

PDd는 승인된 열차운행 계획(DIA)에 따라 하루 동안 계획된 열차출발 횟수라고 한다. 그리고, 각 역사와 방향 마다, 일일 열차운행서비스 시간 동안 PD 횟수와 실제 열차출발 (AD) 횟수를 연속적인 일정시간 단위로 계산한다. 각각의 타임 슬롯이 끝날 때 마다, 승인된 열차 운행계획에 따

라 각 역사의 각 방향마다 실적 열차출발횟수 누적을 계획 열차출발횟수 누적과 비교한다.
MDd는 하루 동안 발생된 열차출발 실패횟수의 누적을 나타낸다.

이 서비스 가용성 모델에서는 운전시격이 신속하게 복구될 경우에 소수의 MD 만이 발생하는 개념에 기초하여 서브시스템들의 설계 및 제작에서 신속한 고장복구방안의 구현이 중요하다. 또한, 동일한 지연시간 조건에서 운전시격이 길 경우에 열차운행서비스 복구가 상대적으로 용이하여 열차운행서비스에 영향을 미치는 시스템 고장을 정의하는 원칙은 “운전시격”을 기준으로 한다.
본 실용화사업의 기전시스템 데모 프로그램에서는 아래 표와 같이 기간별 서비스가용성목표에 따른다.

시스템 데모 절차	서비스 가용성(SA) 최소 값	참고
영업시운전 중	0.93	월별로 계산, 월 서비스가용성 실적이 0.93 이상일 때 목표달성
상업운행의 1년차	0.96	월별로 계산, 이동 3개월 서비스가용성 실적이 0.96 이상일 때 목표달성
상업운행의 2~3년차	0.98	월별로 계산, 이동 6개월 서비스가용성 실적이 0.98 이상일 때 목표달성

[서비스 가용성 목표]

상기의 서비스가용성 목표는 기전시스템 공급계약에만 적용하며 기전시스템의 계약요구조건 달성 데모를 위한 서비스가용성 측정할 때 기전시스템 공급계약 범위 내에 있는 서브시스템 또는 장치의 기술적 고장으로 인해 직접적으로 초래되는 열차출발실패 횟수만을 계산한다.

그리하여 기전시스템의 기술적 고장에 직접적으로 기인하지 않으나 열차출발실패를 일으키는 모든 이벤트들은 서비스 가용성 산출에 반영하지 않는다. 즉 서비스 가용성 계산은 기록된 모든 열차운행 서비스장애 중에서 기전시스템의 기술적 고장에 기인한 결과만을 고려한다.

또한, 계약적 서비스가용성 목표달성에 대한 운영 및 유지보수 조직과 직원의 책임에 대해 명확하게 정의함으로써 기전시스템 공급자의 책임이 아닌 유지보수 문제를 제외하게 한다.

세부적으로 서비스가용성 목표는 아래사항들을 전제로 제시되었다.

- 운영자는 고장 발생시에 고장발생 현장에서 직접 또는 OCC에서 원격으로 신속하게 조치를 취하는 것을 보장해야 한다. 유지보수 인원의 평균 현장도착 시간인 “물류시간”의 요구사항은 본 실용화사업단과 운영기관 간에 협의 결정해야 한다. 세부적으로 운영기관은 본선에서 운행중인 모든 열차에 안전요원을 배치하고 모든 역사에 순회점검 요원을 배치하여 신속한 현장 유지보수 조치를 보장한다. 배치된 안전요원 또는 순회점검요인이 열차운행을 복구시킬 수 없는 고장이 발생될 경우, 운영기관은 고장발생 시점으로부터 평균 20분 이내로 고장발생현장에 적합한 유지보수 직원을 도착시킨다. 따라서 열차에 탑승한 안전요원의 물류시간은 0.5분이고 역사에 있는 순회점검요원의 물류시간은 2분이며, 유지보수 직원의 물류시간은 20분으로 추정한다.
- 운영자는 경정비 또는 중정비 공장에서 열차를 운행하지 않는 시간 또는 운행시간 중에는 예비열차를 이용하여 예방정비 및 고장정비를 계획하고 수행할 수 있다.

- 기전시스템 공급계약자는 운영 및 유지보수 순서, 전략, 절차를 검토하여 이 사항들이 서비스가용성 목표달성을 위해 적절한지 여부를 확인할 권한이 있다.

상기의 적용조건들을 기초로 다음 이벤트로 초래된 열차출발실패 횟수들은 서비스가용성을 산출할 때 제외된다.

- 기전시스템 공급범위에 포함되지 않은 장치 또는 컴포넌트의 고장 또는 기능장애
- 승객 또는 제3자의 행동으로 인한 열차운행 서비스 중단
- 극심하고 예측 불가능한 자연환경 변화

• 유지보수 결함 (상기 내용 참조)

(3) 전체시스템 레벨 안전성 관리 목표

안전성 개념을 고려하여 본 실용화사업에 적용한 리스크 평가기준은 ALARP 원칙을 포함한 “해저드 리스크 수준” 모델로 한다.

(가) 해저드 리스크 레벨 모델

본 안전성 목표모델은 다음 방법론적인 절차를 포함한다.

- 자기부상 시스템의 운영 및 유지보수에 관련된 해저드들을 인식하고
- 반 정량적 기준에 따라 각 해저드의 발생빈도를 평가하고
- 반 정량적 기준에 따른 각 해저드 결과의 심각성을 평가하며
- 초기위험 형태로 각 해저드의 리스크 평가하고 적절한 예방 및/또는 경감을 위한 실행조치 인식한다. 즉 고장발생빈도를 감소시키기 위한 예방조치와 고장결과의 심각성을 감소시키기 위한 경감조치를 인식한다.
- 본 수행절차의 마지막에 각각 해저드에 할당된 리스크 수준은 본 문서에 제시된 기준에 따라 허용 가능한 수준 이여야 한다.

1) 해저드 인식

자기부상 시스템의 정상 또는 고장운행 중 안전성에 지장을 초래할 수 있는 모든 시스템 운영상황을 감안하여 해저드들을 인식한다.

이러한 목적에 따라, 본 실용화사업의 시범노선과 수송용량 및 제공 서비스 형태가 유사한 무인운전 경량전철 시스템에서 개발된 상위수준 해저드들을 고려한다.

그 다음, 분석 단계는 다음과 같이 진행된다.

- 자기부상 시스템에 적용 불가능한 모든 해저드들은 제외된다. 일반적으로 이런 해저드들은 궤도/차륜, 대차 축, 및 기계적 제동 등 관련 장치의 고장에 관련된 해저드이다.
- 부상시스템, 자기력 제동, 및 분기기 동작 등 자기부상시스템 기술

에서 초래되는 해저드들이 추가된다.

다양한 서브시스템들에 대한 기술 데이터가 작성될 때에 해저드 인식 및 분석을 갱신하고 확장하는 것이 필요하다. 이러한 관점에서 예비 해저드 분석은 시스템 안전성 요구사항들의 초기표현 모델을 제시하고 해저드 분석은 반복하여 수행하는 절차이며 서브시스템 설계가 진행됨에 따라 서브시스템 요구사항들을 더욱 상세하게 정의하기 위하여 갱신, 점검 및 사용된다.

2) 해저드 발생빈도

각각 해저드의 발생빈도를 예비분석 한다. 아래 표에서와 같이 발생빈도 범주의 등급으로서 발생빈도를 결정하기 위해 반정량적으로 평가한다.

[표 33]해저드 발생빈도

해저드 발생 빈도	설명	발생빈도 (이벤트/시간)
A	자주 발생 Frequent (A)	$f \geq 1*10^{-5}$
B	발생 가능 Probable (B)	$1*10^{-6} \leq f < 1*10^{-5}$
C	우발 Occasional (C)	$1*10^{-7} \leq f < 1*10^{-6}$
D	낮음 Remote (D)	$1*10^{-8} \leq f < 1*10^{-7}$
E	매우 낮음 Improbable (E)	$1*10^{-9} \leq f < 1*10^{-8}$
F	불가능 Incredible (F)	$f < 1*10^{-9}$

서브시스템 설계검토와 그 시점까지 이용 가능한 서브시스템 기술문서에서 도출된 시스템에 대한 이해를 기반으로 발생빈도를 분석한다. 가능할 경우 자기부상 서브시스템의 컴포넌트 고장율을 사용할 것이나 데이터가 없을 경우에는 적합한 유사 철도시스템 또는 서브시스

템과 관련된 통계 또는 실적 데이터를 사용하여 분석을 완료한다.
대부분의 경우, 해저드 발생빈도를 감소시키는 한 가지 또는 그 이상의 안전장치 또는 보호 기능이 설계의 일부분으로 존재한다. 이러한 안전장치에는 예를 들어 시스템 이중화, 다양한 시스템 적용, 해저드를 방지하는 특정 설계형태, 운영절차 등이 포함된다.
해저드의 발생빈도는 경감조치를 감안하여 평가한다.

3) 해저드 결과 심각도

각 해저드는 유럽표준 EN 50126의 최신 버전에서 요구하고 있는 사망자수를 포함한 발생 가능한 결과의 분류에 따라 평가한다.

[표 34]해저드 결과 심각도

해저드 결과 심각도 수준	해저드 심각도 설명	결과	
		사망자 수	설명
1	치명적 수준 Catastrophic	>1	다수 사망
2	중대한 수준 Critical	1	1명 사망 및/또는 다수 중상
3	제한적 수준 Marginal	-	1명 중상
4	경미한 수준 Insignificant	-	다수 경상

결과평가는 해저드 발생으로 초래될 수 있는 최악 상황의 비관적인 판단을 기반으로 한다. 예를 들면, 열차충돌 시에 경미한 부상자들만 발생할 수 있지만 최악의 경우 다수의 사망자들이 발생할 수 있기 때문에 열차충돌 결과는 심각도 수준 1이 된다.
해저드 결과를 분석할 때 경감 안전장치의 가용성을 추정한다. 이러한 안전장치에는 비상등과 차량 비상도어 오픈 메커니즘과 같은 안전시스템이 포함된다. 다른 경감 조치로는 엔지니어링 설계특성, 운영절차, 유지보수 절차, 비상 또는 사고 대책등과 같은 형태가 있다.

4) 리스크 등급

각 인식된 해저드에 상응하는 리스크 등급은 해저드 결과의 심각성과 발생빈도의 조합으로 결정한다.

[표 35]리스크 등급

발생 빈도	위험 수준			
자주 발생 *Frequent (A)*	바람직하지 않음 Undesirable	용인 불가 Intolerable	용인 불가 Intolerable	용인 불가 Intolerable
발생 가능 *Probable (B)*	용인 가능 Tolerable	바람직하지 않음 Undesirable	용인 불가 Intolerable	용인 불가 Intolerable
우발 *Occasional (C)*	용인 가능 Tolerable	바람직하지 않음 Undesirable	바람직하지 않음 Undesirable	바람직하지 않음 Undesirable
낮음 *Remote (D)*	무시 가능 Negligible	용인 가능 Tolerable	바람직하지 않음 Undesirable	바람직하지 않음 Undesirable
매우 낮음 *Improbable (E)*	무시 가능 Negligible	무시 가능 Negligible	용인 가능 Tolerable	용인 가능 Tolerable
불가능 *Incredible (F)*	무시 가능 Negligible	무시 가능 Negligible	무시 가능 Negligible	무시 가능 Negligible
	경미한 수준 *Insignificant*	*제한적 수준* *Marginal*	*중대한 수준* *Critical*	*치명적 수준* *Catastrophic*
	결과 심각도			

아래표는 ALARP 영역을 포함하여 리스크 매트릭스와 그 수용기준을 나타낸다. 각 해저드는 상기의 리스크 매트릭스를 기준으로 상응하는 리스크를 평가한다.

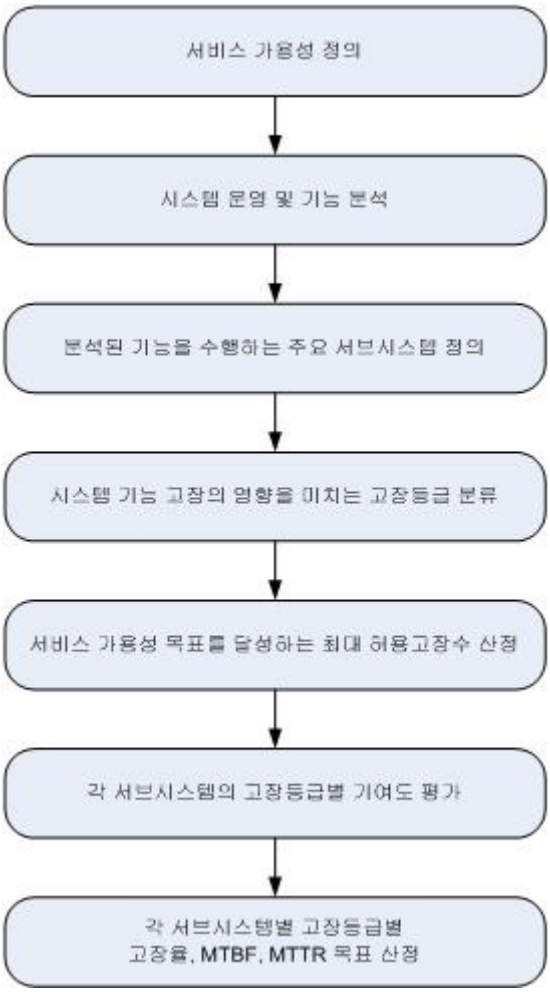
[표 36]리스크 평가

용인 불가 Intolerable	반드시 제거 되어야 함
바람직하지 않음 Undesirable	위험 감소가 비 현실적이고 사업단 또는 1핵심 연구기관의 동의에 따라 허용 가능
용인 가능 Tolerable	적절한 통제와 1-2세부과제의 동의에 따라 허용 가능
무시 가능 Negligible	어떠한 동의 없이도 허용가능

해저드 리스크 등급 모델에 따르면 안전성 목표의 달성 데모는 각 해저드를 “용인불가 (Intolerable)” 아래의 리스크 등급으로 엄격히 유지하는 방법에 의하여 진행된다.

(4) 각 서브시스템 레벨 RAM 성능 예측 모델링

(가) 목표할당 절차



[그림 87]목표할당 절차

(나) 서비스 가용성 정의

“전체시스템 레벨 RAM 성능 목표” 참조

(다) 시스템 운영분석

1) 수송계획 분석

가) 운행 편성수

왕복운행시간/배차시간 x 112% (예비율 12%) 적용

나) 영업운영 조건

• 영업구간

교통센터 ↔ 용유역 (6개 정거장/1개 차량기지)

• 영업시간

05:00 ~ 23:00

(공항셔틀버스 운영 시간 및 공항운영 시간을 고려한 영업시간

다) 종합시운전시(2012년)는 2량 1편성 총 3편성을 운행하고 년차별 열차 소요편성수 산정에 따라 추가 구입하여 운영

구분	2013년~2014년	2015년~2021년	2022년~2031년	2032년~2042년
1일 수송수요(명)	24,055	34,045	36,854	48,205
운행시간	05:00~23:00	05:00~23:00	05:00~23:00	05:00~23:00
첨두시운전시격(분)	7.2	5.8	5.3	4.0
운행차량	2량4편성(8량)	2량5편성(10량)	2량5편성(10량)	2량7편성(14량)
1일주행거리(Km)	538	672	758	1,027
1일 주행횟수(회)	84	110	124	168

[그림 88]수송계획 분석

2) 시스템 운영

본 실용화사업의 시범노선은 승객에게 빠르고, 안전하며, 편리한 교통시스템을 제공한다. 이러한 운송서비스 제공을 보장하기 위해서는 열차의 운행단계들이 통합되어야 하며 서비스 가용도 목표달성을 위해서는 각 운영기능들 공동의 가용도 달성이 필요하게 된다.

본선에서 열차운행은 다음과 같은 단계들로 나눌 수 있다.

• 본선에서 열차운행

• 열차의 역사접근 및 정차

- 승객 승차 및 하차
- 역사에서 열차출발
- 종착역에서 열차회차

승객을 위한 역사운영: 역사에서 승객의 안전한 이동, 승객의 승강장 접근, 및 여객정보 제공과 관련된 기능들이 있다

[표 37]자기부상 기능시스템 분석

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
1. 본선에서 차량 운행	열차의 진행방향 제한과 주행안내	전자기형 부상시스템을 통한 차량의 지지와 주행안내	차량 대차, 부상장치, 차상 부상회로, 부상 시스템 배터리, 랜딩 롤러, 차량의 집전 슈 레일 레일 전력 제3궤조	기존 시스템에서는 이 기능은 열차차륜들과 궤도의 기계적인 마찰로서 수행된다. 또한 열차차륜의 외형은 차량의 진행방향을 제한하는 형태이다. 자기부상 시스템에서는 차량이 대차에 장착된 전자석과 철제 레일간의 자기력에 의한 인력으로 지지된다. 대차는 선로를 감싸는 “ㄷ” 형태로서 전자석이 설치되어 전원을 가하면 자기력을 발생시켜 레일에 인력으로 작용하고 차량을 지지하며 주행안내를 한다. 또한 차량의 진행방향 제한은 대차에 설치된 전자석에 의해 수행된다. 부상장치는 보통 제3궤조를 통해 전력을 공급받고 전력은 절연된 별개의 제3궤조로 귀선한다. 한 개 이상의 부상제어장치의 고장으로 부상력이 상실되거나 감소하면 대차에 위치

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
				한 랜딩롤러들이 차량을 지지하여 다음역사 또는 지정된 대피선까지 25Km/h(TBD)의 제한속도로 열차의 주행이 가능하게 한다. 또한 선로에 대한 하중조건의 차이가 있다. 차륜시스템의 선로는 대차의 차륜을 통해 집중하중을 받으나 자기부상시스템의 선로는 부상 전자석을 통해 분포하중을 받는다.
	B ATP / ATO / ATS	ATP : 차량특성, 속도 프로파일로 결정되는 열차의 안전한 운행간격 유지, 진로간섭 예방, 안전속도를 강제, 안전한 승객 승 하차, 연동장치를 제어 등을 한다		따라서 자기부상시스템은 높은 기계적 스트레스의 영향을 받지 않으나 레일 밑면과 부상 전자석 상면간 간격과 레일상면과 SLIM 밑면간 간격이 작기 때문에 선로의 정밀시공과 적은 선로변형이 중요하다. 분기기는 자체중량과 텅(tongue)이동에 필요한 기계적 강성으로 RAMS 측면에서 중요한 장치가 된다. 자기부상시스템의 신호시스템은 CBTC 기반 로직블럭 시스템(TBD)이다.
		ATO: 가/감속 제어, 열차성능 변경, 계획된 역사정차, 진로선택, 역사출발 시험 및 진단, 도어 열림/정차시간 제어 및 승객정보를 제공한다.	차상신호: 바이탈 ATP, ATO, 열차무선, 트랜스폰더 검지, 및 트랜스폰더 검지용 안테나, 레이더 속도센서, 가속도계, 타 서브시스템과 인터페이스	

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
		ATS: 자동 진로설정 및 정차위치 설정, 운행 스케줄 조정, 운행 스케줄/운행성능 모순 해결방안, 역사 정차시간 조정, 휴먼 인터페이스, 열차 상태정보 기록, 이벤트 기록, 경보 및 승객정보를 관리한다.	지상신호: DCS(통신설비), WCU(지상제어장치), AP(선로변 무선통신장치), PDCI(PSD 제어기 인터페이스), 분기기 제어기, 트랜스폰더 태그, 정위치정차판	비록 신호시스템이 최신세대의 신호기술 이지만, 자기부상시스템과 경량전철에 동등하게 적용되기 때문에 기존 시스템으로 간주한다. 신호시스템에 있어서 유일한 차이점은 자기부상시스템은 차량의 속도 감지기가 레이더 기술을 기반으로 한다는 것이다.
			OCC: ATC 서버 및 워크 스테이션, 중앙 비상 정지버튼, 이중화 LAN, NMS, 통신 프로세서 및 브리지, DTS 인터페이스, 모니터	
		이러한 기능들의 가용성이 본선 및 차량 기지에서의 열차운행에 요구된다.		
	C 급전시스템 (지상)	제3궤조로 열차운행에 필요한 급전전력을 공급한다.	급전시스템: 22.9kV 수전변전소, 22.9kV 링, 급전변전소, 1500Vdc와 저압 배전반, DC 차단기, 3궤조 및 제3궤조 귀선선로	급전시스템과 급전선로는 기존 시스템에 비해 큰 변경이 없으나, 제3궤조를 귀선선로 이용하여 기존 시스템에 비해 보다 적은 전력부식이 기대된다. 그러나 제3궤조의 설치장소와 고가 선로구

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
				조로 고장발생시 열차운행 복구를 위한 고장정비에 더 많은 시간이 소요될 수도 있다는 점을 강조한다. 이러한 고려사항은 모든 선로변 시설물들에 일반적으로 적용 가능하다.
	D 급전시스템 (차상)	제3궤조로부터 전력을 수전하고 변환하여 부상시스템, 추진 시스템과 SIV에 공급한다.	차량 급전 콜렉터 슈, 인버터, TCU, 전력변환, 서지 어레스터, SLIM	차상 급전회로는 부상장치로 인해 기존 무인운전 경전철의 차상 급전회로에 비해 더욱 복잡한 체계가 된다.
	E 차상 및 지상 신호 장치간의 무선통신	차상 ATC와 지상 WCU간에 바이탈 또는 난 바이탈 데이터를 양방향으로 전송한다.	신호 차상신호 : VOBC 지상신호: DCS(통신설비); WCU(지상제어기), AP(선로변 무선설비), PDCI(PSD 제어기 인터페이스), 분기기 제어기, 트렌스폰더 태그, 정위치정차판	차상 및 지상 신호장치간의 무선통신은 기존 무인운전경량전철에 적용된 기술과 동일하다.
	F 차상과 OCC간 무선 통신(차내	열차무선 및 디지털 전송 설비를 이용하여 차량과 OCC	차량 CCU, TRS	차량 로직제어와 기능 관리는 기존 무인운전 경량전철 차량에 비해 실제적 차이는 없

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
	방송 포함)	간 음성 및 데이터를 양방향으로 전송한다.		으나 차량제어 로직 인터페이스에 부상시스템 같은 추가 기능들이 있다.
		F.1 차량의 CCU가 수집한 자가진단 정보를 OCC에 전송한다.		
		F.2 승객에게 필요한 음성정보를 전송한다.	열차 무선 (COMM)	열차무선은 경량전철에 일반적으로 적용하는 테트라(TETRA)로 한다.
		F.3 OCC에서 필요한 녹화 또는 생 방송을 한다.	차상통신: OBS (차상 시스템), 무선 터미널, 안테나, 인터폰	
			지상: TETRA 기지국, 무선송출 케이블, 증폭기/중계기, 안테나	
			OCC: 워크 스테이션, 안테나, 이중화 LAN	
			디지털 전송시스템(COMM)	안내방송, 승객정보와 같이 디지털 전송시스템과 타 통신 시스템에 최신기술을 적
			지상: ADM, 단일 모드 멀티플렉스, 광 케이블, OTDF	

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
			OCC: 워크 스테이션, 이중화 LAN, ADM 및 광 터미널 PA (COMM) OCC 워크 스테이션과 서버, 스피커, 이중화 LAN, 사령설비	용하는데 기존시스템과 별다른 차이가 없다.
	G 전력공급시스템의 자가진단	전력공급요구 유무 확인, 전력공급시스템 고장 수리 수행, 유지보수 인원 파견, 사령요원 알림 등을 위한 차량, 본선, 역사, 차량기지, 및 OCC의 전력설비를 제어하고 모니터링 한다.	SCADA (역사내 RTU를 제외하고 이중화) 서버, 워크스테이션, 역사 및 변전소 RTU.	SCADA 시스템은 기존 기술을 기반으로 한다.
	H 저압 전력공급	선로, 차량기지, OCC 및 역사장비에 전력공급하며 정전시 UPS 전력을 공급한다. 각 서브시스템(디지털 전송설비, 무선통신, SCADA, 표시장치, CCTV 등)은 필요한	전력공급시스템: 저압 변전소, 저압 배전반, 차단기, 변압기, 인버터, 정류기, 백업 배터리	전력공급시스템은 기존 무인운전 경량전철에서와 유사하다.

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
		전압의 전력을 공급받기 위해서 자체 트랜스포머를 갖고 있다.		
	I 차량	시범노선 승객들에게 편안하고, 안전하며 빠른 교통수단을 제공한다.	차량 조명, 냉난방설비, 화재감지, 1차 및 2차 현가장치, 보조장치, 차체 및 대차, 실내 인테리어, 부상시스템	기존시스템에 비하여 차량설계에서의 중요한 변동사항은: - 진동과 열차탈선의 위험을 줄이면서 승객의 편안한 승차감과 안전을 증가시키는 부상시스템 적용 - 기계적인 스트레스가 없는 선형유도전동기 적용 - 보조장치와 현가장치는 기존차량과의 차이가 없다.
2. 역사 접근 및 정차	A 차량의 속도제어	열차를 정위치에 정차 시키기 위해 추진 및 제동 시스템을 제어하고 차/지상 ATC 간에 상호작용을 하며 ATP는 안전제동거리 모델에 따라 과속 제어를 한다.	신호 차상신호: VOBC, 트랜스폰더 리더, 트랜스폰더 리더 안테나; 열차무선; 정위치정차판 리더; 레이더 속도감지기 지상신호: WCU, AP, 트랜스폰더 태그; 정위치정차판	속도는 레이더 기술을 사용하는 센서로 측정한다. 신호 시스템의 타 장치는 기존시스템에서 큰 설계변경이 없다.
			차량	기존시스템에서와 같이 제동제어는 전자장

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
			CCU, TCU, BCU, 인통선, 제동장치	치인 BCU가 수행한다. 제동기능은 주로 인버터에 작용하는 전기제동 시스템으로 실행되며 기계적 제동은 저속에서 작동하는 것으로 제한된다.
	B 차량의 추진 및 제동	ATO가 제어하는 견인 전동기 및 제동시스템이 차량의 운행속도를 유지한다.	차량 CCU, TCU, BCU, 인통선, SLIM, 제동장치	기존 무인운전 경량전철에서와 같이 추진 및 제동 장치는 전기제어 장치로 제어하고 명령한다. 견인전동기는 선형유도 전동기로서 움직이는 부품이 없고 차상에 설치된 고정자와 선로에 설치된 리액션 플레이트인 회전자의 전자기 상호작용을 통해 추진력을 얻는다. 이 기술은 마찰력과 기계적인 스트레스를 현저하게 감소시킨다. 제동장치에서도 동일하게 주요 제동력은 전동기 내에서 회생전력으로 발생하며 기계적인 제동력은 저속에 제한되어 발생한다.
			신호 ATO 컴포넌트	열차속도는 차상 ATO가 열차제어장치에 명령을 전송하여 제어한다. 기존 무인운전 경량전철시스템에서도 동일한 방식으로 열

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
				차속도를 제어한다.
	C 선로감시	역사 승강장의 PSD가 물건이나 승객이 선로로 떨어지지 않도록 보호하며 PSD에 이상이 감지되면 신호시스템으로 경보가 전달되어 역사에 접근하는 열차를 역사진입 전에 정차하게 한다.	PSD 장치 도어 스위치, 제어판넬	PSD는 기존 경량전철에서와 동일하게 운영한다.
			신호 지상신호 장치	PSD 상태와 운전 감시는 기존 경량전철에서와 동일한 원리와 설계 솔루션으로 신호시스템의 제어 아래 진행된다.
3. 승객의 승/하차	A. 차량이 역사 승강장의 정위치에 정차	ATO가 역사에서 정확한 정위치 정차를 제어한다.	신호 지상신호: WCU, 정위치정차판 차상신호: 정위치정차판 리더, ATO 부품	이 기능의 설계는 기존 무인운전 경량전철 시스템과 동일하다.
	B. PSD와 동기화하는 열차도어 작동	ATP는 열차도어 개폐와 관련된 바이탈 기능을 제어 한다. 즉, ATO의 도어개폐 및 닫힘 요청을 승인하며 도어의 잠금 상태를 확인한다.	신호 지상신호: ATO/ATP, PDCI 차상신호: VOBC	PSD 운전관리, 열차 도어와의 동기화, 및 도어의 작동승인은 기존 무인운전 경량전철시스템에서와 동일하게 설계된 신호시스템이 제어한다.

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
		ATO는 차량의 도어 열림 요청, PSD의 도어 열림 제어, 및 열차의 역사정차시간의 조절 등 난바이탈 기능을 수행한다. , 정차시간 끝에 ATO는 도어를 닫기 위해 동일한 절차를 반복한다. 도어개폐와 닫힘 시 신호음이 동시에 울린다.		
			차량 도어, 인통선	열차의 도어 제어는 기존 경량전철 시스템과 동일하다.
			PSD 도어, 유지보수 인터페이스 판넬; 주 제어판	PSD 설계에 기존 경량전철의 솔루션을 반영한다.
	C 승객정보	승객정보 시스템은 승객에게 진입하는 열차에 대한 세부정보를 제공한다. 메시지는 스피커로 방송하고 표시장치에 현시된다.	여객안내방송 역사의 LSE 제어기, 표시기, NMS, 워크스테이션 및 서버	디지털 전송 시스템은 경량전철에 보통 적용하는 원리, 설계 및 기술에 기초 한다.
			디지털 전송 시스템(COMM) 지상: ADM, 단일모드 멀티플렉스, 광케이블, OTDF	
			OCC: 워크스테이션, 이중화 LAN, ADM 및 광케이블	
			신호 OCC: ATS, ATC 서버 및 워크스테이션, 다른 OCC LAN으	열차운행 관리의 사령 시스템은 디지털전송 시스템과 인터페이스 하여 진입하는 열차에

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
			로 통신프로세서 및 브리지, DTS 인터페이스	게 실시간 정보를 제공한다. 적용된 기술들과 기능들은 기존 무인운전 경량전철에서와 동일하다.
	D 승객 안전보호 (보안)	OCC 및 관리역 운영자는 승강장에서 승객이동 및 승/하차를 CCTV를 통해 통제한다. 비상 통신은 PA/PIS 및 비상전화들에 의해 처리된다.	CCTV	CCTV는 기존 무인운전 경량전철과 동일한 시스템을 사용한다.
			역사에 CCTV, 비디오 멀티플렉서/ 디 멀티플렉서, 비디오 재생기, 비디오 매트릭스, NMS, 워크 스테이션과 서버 CCTV (fixed and PTZ)	
			PA	안내방송은 기존 무인운전 경량전철과 동일한 시스템을 사용한다.
			스피커, 역사장치, OCC 사령설비, NMS, 워크스테이션 및 서버, DTS, LAN, 차상장치	
		비상대피 시 차상승객이 차량 도어를 열수 있도록 비상 핸들이 있으며, 긴급한 위험 발생 시 차량의 비상정지를 요청하는 비상 정지버튼	RADIO	
			차상 열차무선설비; 인터폰, 지상 무선기지국, 휴대용 무전기, OCC 사령장치	TETRA 기존 무인운전 경량전철과 동일한 시스템을 사용한다.

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
		을 차상승객이 사용 가능하다.		
			차량	이 기능은 기존 무인운전 경량전철 시스템과 동일하게 실행된다.
			비상 도어열림 핸들, 비상정지 버튼	
4 열차의 역 출발	A 차상설비와 지상설비간 통신 .	지상 ATO와 차상 ATO는 열차무선을 통해 난바이탈 정보를 교환한다. 역사정차 시간이 종료될 때 ATP 승인을 통해 열차출발이 가능하다.	신호	신호 시스템은 기존 무인운전 경량전철에서와 동일하다.
			지상신호: WCU, AP	
			차상신호: ATC/ATP, 차상 무선장치	
			OCC: 서버, 워크스테이션, ATS	
	B 인근 지상 신호장치 간 통신	인근 역사의 신호장치 간에 통신을 하여 열차진로설정 및 안전한 열차간격 유지, 및 속도프로파일 연속성 관리에 필요한 데이터를 교환 한다.	신호	기존 무인운전 경량전철 설계 방안과 동일하다.
			지상설비: WCU	
			통신	
			지상신호: 광케이블, DCS	

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
5. 열차 회차	A 열차의 진로 설정	지상 신호시스템의 제어를 받는 분기기는 열차의 물리적 진로를 만들기 위해 스위칭을 한다.	신호	기존 무인운전 경량전철시스템과 같이 분기기 상태제어와 동작명령제어는 신호 시스템에 책임이 있다.
			지상신호: WCU, 분기기 제어함; ATP 진로와 분기기 연동	
			레일	이동거더는 모터에 의해 굴절 및 이동 된다. 분기기의 이동거더의 굴절각도는 기존 전기 전철기보다더크고, 이동할 거더의 무게도 대형 중량물이다.
			분기기	
	B ATP (자동열차보호)	지상 ATP는 회차실행에 필요한 모든 조건이 충족되었는지 확인하며 분기기 이동거더의 위치전환, 인통선 방향전환, 및 통신장치 데이터 전송방향 전환을 명령한다.	신호	기존 무인운전 경량전철 시스템과 동일하다.
			지상신호: WCU; 분기기 및 분기기 제어함	
			차상신호: VOBC; 안테나	
			차량	기존 무인운전 경량전철 시스템과 동일하다.
			인통선	
	C 열차추진 및	차상 ATC의 제어를 받는 견	차량	

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
	제동	인모터 및 제동장치는 열차가 적합한 궤도구간에 정차한 것을 확인하고 열차무선 전송방향이 전환되면 열차를 다시 출발시킨다.	열차제어장치(TCMS), 선형유도전동기, 인버터, 제동장치, BCU, 인통선	
각 단계: 역사운영	A 승객정보	접근하는 열차의 도착시간과 목적지 정보를 승객에게 제공한다.	PA&PIS 스피커, 승객정보표시기, 역사 제어기, OCC 제어기, OCC 워크스테이션 및 서버	모든 역사의 기전시스템 장치와 역사 서비스는 기존 무인운전 경량전철 시스템과 동일하게 설계하고 운영한다.
	B 승객 안전보호 (보안)	승강장 및 역사내의 승객이동을 감시하며, 승객에게 안내정보를 제공한다.	PIS&PA 및 CCTV CCTV, 역사 OVID, 비디오 멀티플렉서/ 디멀티플렉서, 비디오 매트릭스, OCC 워크스테이션과 서버, OCC의 제어장치, 스피커, 증폭기	
	C 엘리베이터와 에스컬레이터	역사 승강장 진입구 및 진출구에 승객을 위한 이동설비를 제공한다.	기계 엘리베이터, 에스컬레이터	
	D 화재감지 /	역사 대합실, 기능실, 승강장	역사전기	

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
	소방설비	및 차량에 화재감지장치 및 소방설비를 시설한다.	화재감지장치, 연기감지장치 (제어구간에 따라 각각 적용), OCC 모니터 기계 소방설비, 제연벽, 살수설비	
	E 조명	승강장 및 역사의 모든 지역에 충분한 조명설비를 시설한다	역사 전기 일반조명 및 비상등	
	F 환기	역사의 정상운영 시 필요한 환기를 제공하고, 비상시 연기를 제거하거나 연기밀도를 완화한다	기계 환풍기, 고압/저압 배전반	
	G 침입감지	제한구역, 궤도, 기능실,또는 터널에 대한 접근을 통제한다	보안장치(통신) 침입감지장치, 도어컨트롤 PSD 도어 스위치	
	H 전력공급	역사설비에 전기를 제공하고 및 정전시 백업 전력을 제공	전력공급 저압 공급망, 저압 변전소, 역	

운영단계	필요기능	기능설명	대상 장치/ 부속품	최신 무인운전 경량전철과 비교분석
		한다.	사 배전반, 백업 배터리	
	I 역사 주 출입문 열림, 닫음	무인역사운영을 위해 원격제어 되는 자동문과 원격감시로 구성된 역사의 주 출입문을 자동으로 열고 닫는 기능을 제공한다.	건축, 통신 무인역사운영을 위해 자동문으로 된 주 출입구, 출입구 지역의 승객감시가 가능한 CCTV, 및 OCC로 연결되는 승객용 전화기를 설치한다.	모든 역사설비와 역사 서비스는 무인역사 운영과 같이 설계하고 운영한다.

(라) 고장 카테고리 정의

관행적으로 시스템의 고장은 고장이 발생했을 때 서비스에 미치는 예상결과를 토대로 분류한다. 이에 따라 시스템 고장분류는 열차운행서비스에 미치는 잠재적인 영향을 고려하여 정의한다. 본 실용화사업 시범노선에서는 유지보수 직원의 고장발생현장 도착예상시간은 기존 무인운전 경량전철 보다 더 길게 시간이 소요되며 그 원인은 다음과 같다

- 선로변 장치로의 접근을 어렵게 만드는 선로 및 고가 구조물
- 유지보수 직원의 훈련에 보다 장기간이 소요되는 신기술 적용
- 시범노선 3단계 확장으로 보통의 무인운전경량전철 대비 약2배의(약 54km) 선로길이
- 보통 무인운전경량전철 대비 약3배의 역사간 거리(최고속도 측정구간)

상기 사항을 배경으로 필요기능을 상실하게 하는 동일한 고장발생 시 자기부상시스템에서 기존 무인운전 경량전철에 비하여 더 긴 복구시간이 소요될 것이라는 보수적인 판단은 매우 현실적이다. 서비스 가용성으로 표현되는 서비스성능목표 달성을 위해 운영회사는 유지보수조직을 구성하여 고장발생현장에 유지보수 직원을 도착시키는데 소요되는 물류시간을 최소화하며 즉각적인 고장정비를 보장해야 한다.
도시형 자기부상시스템의 유지보수 조직은 다음과 같은 요구조건을 충족시켜야 한다.

- OCC 운영자는 소프트웨어 또는 자동화된 절차를 통해 현장장치를 원격 운영할 수 있어야 한다.
- 운행중인 각 열차내의 안전요원은 차상장치를 초기화 할 수 있어야 한다.
- 각 역사에 배치된 순회점검요원은 역사장치를 초기화 시키거나 1단계 고장정비조치를 취할 수 있어야 한다.
- 유지보수 인원은 차량기지 및 (각) 관리역사에 배치되어야 한다.

상기의 고려사항들을 기준으로 기존 무인운전 경량전철에서의 고장관리절차와 고장분류의 경험을 반영하여 유지보수 직원의 평균물류간은 다음과 같이 산정한다.

- OCC 운영자의 개입 시 : 0분
- 차상 안전요원의 개입 시 : 0.5분
- 역사 순회점검요원의 개입 시 : 2분
- 유지보수 직원의 개입 시 : 20분

이러한 가설에 따라 고장결과를 다음과 같이 분류한다

- 중대 고장(SG): 열차운행서비스에 영향을 미치며 열차운행 복구시간이 30분을 초과로 정의된다. 전형적인 SG 고장은 유지보수 직원의 개입이 필요하거나, 열차가 본선에서 고장 정차하여 이동하지 못하거나 다수의 열차들의 차량기지 회송이 필요한 경우이다.
- 주요 고장(MJ): 열차운행서비스에 영향을 미치며 열차운행 복구시간은 4분 초과 30분 이하로 정의된다. 전형적인 MJ 고장은 운행중인 열차에서 승객을 대피시킨 후 열차를 회송시키나 복구시간은 30분 이하가 소요되는 고장이다. 단 시간 내에 열차운행 복구를 하기 위해서는 현장인원(차상 안전요원, 역사 순회점검요원)의 개입으로 고장을 해결되거나 고장장치를 초기화 하는 경우이다.
- 경미한 고장(Mi):열차운행서비스에 잠재적인 영향을 미치며 열차운행 복구시간이 90초 초과 4분 이하로 정의된다. 전형적인 Mi 고장은 차상 안전요원이나 역사 순회점검요원을 통해 해결되거나 OCC 운영요원에 의해 소프트웨어나 자동절차를 통해 원격으로 복구 가능한 고장이다.

• 무시가능(Ne): 무시가능 고장은 열차운행 서비스에 직접적인 영향을 미치지 않거나, 복구시간이 90초 이하가 소요되나 고장 정비가 필요할 수도 있다. 전형적인 Ne 고장은 소프트웨어나 자동절차를 통해 OCC에서 원격으로 복구될 수 있다.

자기부상시스템의 요구조건이 유일한 RAM 목표로서 본 실용화사업 시범노선의 상업운행 시작 후 3년 이내에 서비스 가용성은 98% 이상 달성한다.

각 고장결과 등급에 따른 열차출발 실패횟수를 평가하기 위해 다음과 같이 가정한다.

• 시스템 고장으로 인한 열차출발지연은 각 역사 승강장에서 발생한다.

• 각 고장결과 등급은 기준 열차지연 시간으로 구성되며 MJ, Mi, 및 Ne 등급의 기준 복구시간은 고장등급별 상한치로 하며 SG 등급의 기준 복구시간은 60분으로 한다.

• 고장등급 분류는 영종도 신공항노선의 노선연장 전 단계에 적용 가능하며, 2, 3단계 연장노선에서 적용할 열차운영 개념에도 큰 영향을 받지 않게 한다. 따라서 열차출발실패 횟수에는 영종도에 구축될 2단계와 3단계 노선 확장운영을 고려한다.

• 현재 운영개념, 운영시나리오 등 운전/운영관련 기술자료가 부족하여, 2032년 계획된 최소 운전시격인 4분을 기준으로 열차출발실패 횟수를 산출한다.

• 주의할 사항은 시범노선의 최소 운전시격은 240초로써 Mi급 고장의 최장 고장복구시간이 4분과 일치한다는 점이다. 이는 모든 Mi급 고

장이 열차출발 실패를 초래하지 않으며 최소 운전시격 이내에 고장 복구가 가능할 수도 있다는 의미이다. 그러나 사전 예방조치 차원에서, 요구조건할당 시 Mi 등급고장은 4분에 해당하는 열차 출발실패 횟수를 초래한다고 추정하고 그 비율은 허용 가능한 범위에서 포함시킨다.

- 시범노선의 최종 승강장 수에 대한 운영개념 기술자료가 없어 역사는 노선길이 54.2Km를 기준으로 하고 시발역 및 종착역을 포함하여 50개 역사와 98개의 승강장 설치까지 확장 된다고 가정한다.

- 열차운행서비스 중단을 최소화 하기 위해 운영회사는 상기에서 설명한 바에 따라 유지보수 조직을 구성하고 신속한 고장현장 조치를 보장한다. 고장현장에서 직원의 신속한 개입을 보장하기 위해 본선에서 운행중인 열차에 안전요원을 배치하고 각 역사에 순회점검요원을 배치한다. 해당된 안전요원 또는 순회점검요원이 고장을 복구시킬 수 없을 경우, 운영회사는 고장발생 시각으로부터 20분 안에 유지보수 인원을 고장발생 현장으로 도착시킨다.

이러한 분석을 기준으로 각 고장등급에 해당하는 평균 열차출발실패 횟수는 다음과 같이 산출한다.

고장등급	고장복구시간	관련 MD 수
SG	60 min	1470
MJ	30 min	735
Mi	4 min	98
Ne	90 sec	0

[그림 89]고장등급별 열차출발 실패횟수

$$SG = \frac{60\text{min} \times 98 platforms}{4\text{min}} = 1470 MissedDepartures$$
$$MJ = \frac{30\text{min} \times 98 platforms}{4\text{min}} = 735 MissedDepartures$$
$$Mi = \frac{4\text{min} \times 98 platforms}{4\text{min}} = 98 MissedDepartures$$

요구조건할당 절차에 적용되는 복구시간 기준은 열차운행중단 시간을 나타낸다.

소요되는 운행복구시간은 다음의 두 가지 조건들로 종합할 수 있다.

- 물류시간은 유지보수 직원이 고장발생현장에 도착하여 고장정비작업을 준비하는데 소요되는 이동시간이다. 따라서 물류시간은 운영회사 및 유지보수조직의 책임하에 있으며 고장을 복구하는 유지보수 직원에게 달려있다.
- 고장정비시간은 고장을 수리하고 시스템의 기능을 복구시키는데 소요되는 시간이다. 따라서 실제 정비시간은 공급업체의 책임하에 있으며 시스템 설계 솔루션으로 채택한 유지보수성에 달려있다.

(마) 자기부상열차 시스템의 신뢰도 목표

서울시 9호선, 최신 경전철 시스템인 부산김해 경전철 수행 경험과 자기부상 시스템의 신기술을 적용에 따른 고장율 반영을 감안하여, 열차출발실패 횟수를 각 고장등급의 가중치를 다음과 같이 백분율로 추정한다.

- SG 고장으로 인한 MD (MDSG) = 5.9%
- MJ 고장으로 인한 MD (MDMJ) = 36.6%
- MI 고장으로 인한 MD (MDMi) =57.5%

분석대상 시스템은 2023년의 50개 역사에 대한 열차운영계획을 고려한 것으로, 계획 열차출발 횟수는 년간 6,009,360회이고, 허용 가능한 열차출발실패 횟수는 년간 120,187회 이다. 각 고장 등급의 기여도와 허용가능한 열차출발실패 횟수를 조합하여 고장등급별 열차출발실패 횟수를 다음과 같이 산정한다.

1) 열차운행스케쥴

구분		2013년	2015년	2022년	2032년
첨두	1시간당 운행횟수	9	11	12	16
	시간(시)	4	4	4	4
	운행횟수	36	44	48	64
준첨두	1시간당 운행횟수	4	4	6	8
	시간(시)	10	10	10	10
	운행횟수	40	40	60	80
비첨두	1시간당 운행횟수	3	4	4	6
	시간(시)	4	4	4	4
	운행횟수	12	16	16	24
일일 운행시간		18	18	18	18
일일 운행횟수		88	100	124	168

[표 38]열차운행 스케쥴

2) 2032년 50개 역사에 발생하는 MD 횟수

구분	50 역사
일일 열차운행 회수	168
년간 열차운행 일	365
년간 열차운행 회수	61,320
승강장 수	98
년간 열차출발 횟수	6,009,360
년간 허용가능 MD	120.187

[표 39]MD횟수(2032년)

3) 시스템 고장율 목표

고장등급	허용가능 MD	허용가능 고장율(년간)
SG	7,091	4.82
MJ	43,988	59.85
Mi	69,107	705.17

[표 40]시스템 목표 고장율

예비열차 투입은 향후 운영회사가 적용하는 비상운영절차에 따라 다르기 때문에 RAM 요구조건 할당 모델에서 서비스 가용성에는 DIA상 계획되지 않은 예비열차투입에 따른 기여를 고려하지 않는다. 따라서 예비열차투입은 서비스 가용성 목표달성을 위한 미래의 마진이 된다. 각 고장등급마다 허용 가능한 고장율은 각 고장등급의 기준 열차출발실패 횟수에 대한 각 고장등급의 열차출발실패 횟수 비율로서 다음과 같이 산출한다.

$$SG(1/yr) = \frac{0.059 \times 120{,}187}{1470} = 4.82$$
$$MJ(1/yr) = \frac{0.366 \times 120{,}187}{735} = 59.85$$
$$Mi(1/yr) = \frac{0.575 \times 120{,}187}{98} = 705.17$$

(바) 서브시스템의 정량적 요구조건

시스템 수준에서 산출한 고장등급별 고장율을 서브시스템에 할당한다. 고장율 할당 절차는 다음과 같다

- 최신 무인운전 경량전철의 신뢰도 데이터를 바탕으로 자기부상시스템의 전체 고장빈도 목표에 대한 각 서브시스템의 기여도를 고장등급별로 산출한다.
- 자기부상시스템과 기존 무인운전 경량전철의 기술들을 비교 분석하고 각 기술이 RAM 성능에 미치는 잠재적인 영향을 추정하여 각 고장등급별 고장율의 백분율 형태로 각 서브시스템의 기여도를 재 산출한다.
- 각 서브시스템 별 고장율은 각 고장등급별 고장빈도 목표로부터 상기 기여도에 따라 산출한다.
- 시범노선 1단계 열차운행을 기준으로 하향식 접근방법을 통해 서비스가용성 목표 검증을 수행한다.

다음의 사항들을 반영한 비교분석에 의해 최신 무인운전 경량전철의 신뢰도 데이터를 분석하여 자기부상시스템에 적합하게 맞춘다.

• 시스템 장치간의 일치/조화; 운영노선 연장; 운전/운영 매개변수
• 시스템 기능에 신기술 적용과 이것이 신뢰도에 미치는 관련 영향

본 실용화사업 시범노선의 전체 고장율을 서브시스템의 기여도에 따라 배분한 결과와 이 앞장에서 자기부상시스템에 대해 정의한 고장빈도 목표로부터 산출된 서브시스템 고장빈도를 뒤에서 보여준다. 또한 평균 고장복구시간과 관련 기술적 가용성도 서브시스템 별로 나타낸다.

아래의 가설을 바탕으로 기술적 MTTR은 물류시간을 제외한 각 고장 등급별 MTTRs의 가중 평균으로 산출한다.

• SG 고장은 유지보수 직원이 투입되고, 물류시간은 20분이 소요된다.
• MJ 고장은 고장현장 근처에 있는 차상 안전요원 또는 역사 순회점검요인의 1단계 고장정비가 필요하며 물류시간은 2분이 소요된다.
• Mi 고장은 보통 물류시간이 없으며 OCC 운영자에 의해 원격 자동절차 또는 소프트웨어 절차를 통해 복구된다.

서브시스템의 기술적 가용성은 다음 공식에 따라 산출한다.

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

여기서, $MTBF = \frac{1}{\sum_i \lambda i}$ $\lambda i = i$번째 고장의 고장률

MTTR은 물류시간을 제외한 기술적 복구시간의 가중 평균치에서 산출한다.

최종적으로 각 서브시스템에 할당된 연간 열차출발실패 목표를 각각 표시하여 자기부상시스템의 서비스가용성에 대한 각 서브시스템의 기여도를 표현한다.

[표 41]정량적 요구조건(차량)

항 목		목표치	비 고
고장율(1/hr)	SG 등급	1.806E-05 /hr	
	MJ 등급	6.005E-04 /hr	
	Mi 등급	4.775E-03 /hr	
MTBF	SG 등급	55384 hr	
	MJ 등급	1665 hr	
	Mi 등급	209 hr	
MTTR(hr)		0.113 hr	
기술적 가용도		99.94%	
열차출발 실패 허용치(yr)		6149 건/년	2032년 운영기준

[표 42]정량적 요구조건(신호)

항 목		목표치	비 고
고장율(1/hr)	SG 등급	4.07E-05	
	MJ 등급	5.58E-05	
	Mi 등급	2.66E-03	
MTBF	SG 등급	24581 hr	
	MJ 등급	17930 hr	
	Mi 등급	376hr	
MTTR(hr)		0.084 hr	
기술적 가용도		99.98%	
열차출발 실패 허용치(yr)		2376	2032년 운영기준

[표 43]정량적 요구조건(분기기)

항 목		목표치	비 고
고장율(1/hr)	SG 등급	9.74E-07	
	MJ 등급	5.21E-05	
	Mi 등급	5.26E-04	
MTBF	SG 등급	1026728 hr	
	MJ 등급	19211 hr	
	Mi 등급	1902hr	
MTTR(hr)		0.104 hr	
기술적 가용도		99.99%	
열차출발 실패 허용치(yr)		599	2032년 운영기준

[표 44]정량적 요구조건(전력: 급전 및 제3궤조)

항 목			목표치	비 고
급전 시스템	고장율 (1/hr)	SG 등급	1.25E-05	
		MJ 등급	1.99E-05	
		Mi 등급	7.85E-05	
	MTBF	SG 등급	80285 hr	
		MJ 등급	50225 hr	
		Mi 등급	12737 hr	
	MTTR(hr)		0.206 hr	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		267	2032년 운영기준
제3궤조	고장율 (1/hr)	SG 등급	6.56E-07	
		MJ 등급	1.33E-05	
		Mi 등급	7.85E-05	
	MTBF	SG 등급	1525424	
		MJ 등급	75338	
		Mi 등급	12737	
	MTTR(hr)		0.128	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		121	2032년 운영기준

[표 45]정량적 요구조건(전력: SCADA)

항 목			목표치	비 고
SCADA	고장율 (1/hr)	SG 등급	-	
		MJ 등급	1.66E-05	
		Mi 등급	2.85E-04	
	MTBF	SG 등급	-	
		MJ 등급	60102	
		Mi 등급	3512	
	MTTR(hr)		0.089	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		264	2032년 운영기준

[표 46]정량적 요구조건(전력)

항 목			목표치	비 고
역사 전기	고장율 (1/hr)	SG 등급	-	
		MJ 등급	1.79E-05	
		Mi 등급	1.70E-04	
	MTBF	SG 등급	-	
		MJ 등급	55742	
		Mi 등급	5891	
	MTTR(hr)		0.105	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		196	2032년 운영기준
조명(역사및 차량 기지)	고장율 (1/hr)	SG 등급	-	
		MJ 등급	4.46E-06	
		Mi 등급	1.75E-05	
	MTBF	SG 등급	-	
		MJ 등급	224129	
		Mi 등급	57065	
	MTTR(hr)		0.148	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		33	2032년 운영기준
화재 감지 시스템	고장율 (1/hr)	SG 등급	-	
		MJ 등급	4.46E-06	
		Mi 등급	1.75E-05	
	MTBF	SG 등급	-	
		MJ 등급	224129	
		Mi 등급	57065	
	MTTR(hr)		0.148	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		33	2032년 운영기준

[표 47]정량적 요구조건(통신)

항 목			목표치	비 고
디지털 전송시스템	고장율 (1/hr)	SG 등급	1.87E-07	
		MJ 등급	1.67E-06	
		Mi 등급	7.85E-05	
	MTBF	SG 등급	5338983	
		MJ 등급	597678	
		Mi 등급	12737	
	MTTR(hr)		0.076	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		60	2032년 운영기준
열차 무선시스템	고장율 (1/hr)	SG 등급	-	
		MJ 등급	4.18E-06	
		Mi 등급	7.85E-05	
	MTBF	SG 등급	-	
		MJ 등급	239071	
		Mi 등급	12737	
	MTTR(hr)		0.087	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		71	2032년 운영기준
승객 설비 (PA, PIS, CCTV)	고장율 (1/hr)	SG 등급	-	
		MJ 등급	2.19E-05	
		Mi 등급	1.36E-03	
	MTBF	SG 등급	-	
		MJ 등급	45586	
		Mi 등급	736	
	MTTR(hr)		0.073	
	기술적 가용도		99.99%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		981	2032년 운영기준
전화 (비상전화)	고장율 (1/hr)	SG 등급	1.87E-07	
		MJ 등급	1.66E-06	
		Mi 등급	7.85E-05	
	MTBF	SG 등급	5338983	
		MJ 등급	602427	
		Mi 등급	12737	
	MTTR(hr)		0.076	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		60	2032년 운영기준
네트워크 관리시스템	고장율 (1/hr)	SG 등급	-	
		MJ 등급	3.35E-06	
		Mi 등급	1.70E-05	
	MTBF	SG 등급	-	
		MJ 등급	298839	
		Mi 등급	58862	
	MTTR(hr)		0.132	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		27	2032년 운영기준

[표 48]정량적 요구조건(기계:PSD)

항 목			목표치	비 고
승강장 스크린 도어	고장율 (1/hr)	SG 등급	2.25E-08	
		MJ 등급	7.44E-07	
		Mi 등급	3.59E-05	
	MTBF	SG 등급	44491525	
		MJ 등급	1344775	
		Mi 등급	27885	
	MTTR(hr)		0.075	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		27	2032년 운영기준

[표 49]정량적 요구조건(정거장:기계설비류)

항 목			목표치	비 고
에스컬레이터/엘리베이터/ 기계자동설비/	고장율 (1/hr)	SG 등급	1.70E-06	
소방설비시스템/		MJ 등급	8.98E-05	
출입감지장치(스위치)/		Mi 등급	5.86E-04	
환기 시스템/	MTBF	SG 등급	587994	
기타기전장치 (급수펌프, 가스공급등)		MJ 등급	11137	
		Mi 등급	1706	
	MTTR(hr)		0.121	
	기술적 가용도		99.99%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		827	2032년 운영기준

[표 50]정량적 요구조건(검수설비)

항 목			목표치	비 고
검수 설비	고장율 (1/hr)	SG 등급	-	
		MJ 등급	1.52E-05	
		Mi 등급	5.48E-05	
	MTBF	SG 등급	-	
		MJ 등급	65599	
		Mi 등급	18261	
	MTTR(hr)		0.154	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		109	2032년 운영기준
컴퓨터 검수 정보 시스템 (CMMS)	고장율 (1/hr)	SG 등급	-	
		MJ 등급	5.95E-06	
		Mi 등급	5.48E-05	
	MTBF	SG 등급	-	
		MJ 등급	168097	
		Mi 등급	18261	
	MTTR(hr)		0.106	
	기술적 가용도		100.00%	
	열차출발 실패 허용치(yr)		64	2032년 운영기준

(사) 예비 시스템 FMEA

본 장에서 시스템의 잠재적 고장을 예비분석하고 고장이 열차운행에 미치는 영향을 설명한다.

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
급전시스템							
	제3궤조에 급전전력공급	인접한 두 급전변전소의 동시 고장	제3궤조 한 개 구간의 급전 전력 공급중단	관련 선로구간에 있는 열차의 이동 중단	1개의 급전변전소가 고장 시에도 정상운행 성능을 보장하도록 급전시스템을 설계	SG	부하변동에 따른 급전회로 스위칭 구현방안 조사필요
		2개의 초고압 수전변전소 동시 고장	모든 22.9 kV링에 의한 급전변전소 전력공급중단	관련 선로구간에 있는 열차의 이동중단	수전선로의이중화	SG	
		제3궤조 고장	한 개 선로구간에 급전전력 공급중단	관련 선로구간에 있는 열차의 이동중단	□ 제3궤조의정기점검 □ 부분적인 열차운행을 하도록 급전선로를 재구성하기 위해 회로 차단기를 원격제어	SG	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
		비상 급전차단 회로의 잘못된 작동	선로에 있는 모든 회로 차단기 개방	전체선로의 급전전력 공급 일시 중단, 경보가 발해진 선로구간에서 열차이동 중단	비상급전 차단 버튼을 임시적으로 무시하는 제어 기능을 SCADA에 반영검토	MJ	SCADA를 통해 차단 버튼이 눌러진 지역을 제외하고 급전전력 자동 재공급
		귀선회로의 절연 상실	선로 보호기능 작동	관련 선로구간에 있는 열차의 이동중단	제3궤조의 정기 점검	SG	
역사전기							
	저압 설비에 전력 공급	저압 배전반과 UPS를 연결하는 케이블/ 차단기 고장	역사의 주요 부하에 저압 전력 공급중단	ATC, 디지털 전송 및 기타 주요설비 기능 상실로 열차운행 중단	모든 주요 부하에 UPS 전력공급	MJ	역사의 저압 전력공급이 중단될 경우, 주요 및 비상 부하는 UPS 전력을 공급받아 역사서비스의 지속적 제공이 가능하다. 이 내용은 유지보수

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
							절차와 함께 검증한다.
	역사 설비에 조명 제공	역사조명고장	야간에 불충분한 조명	비상등이 없을 때 야간시간 대 역사 폐쇄	야간 시간대에 가시성을 안전한 수준으로 보장하는 비상등	MJ	
차량							
	SLIM과 부상장치에 공급할 급전전력 수전	이중화 집전슈고장	SLIM과 부상 시스템으로의 전력 공급중단	운행할수없는열차들이본선선로에정차	차량은두개의 집전슈 장애에도 열차운행이 가능해야 한다.	SG	승객대피 후 열차는 구원 절차에 따라 본선에서 회송된다.
	SLIM에 급전전력 공급	열차 1량의 VVV 인버터가 고장 나거나 TCU가 고장	열차 1량의 SLIMs에 공급되는 급전전력 공급중단	열차 1량의 SLIMs에서 발생하는 추진력 상실	잔여 1량에서 생성되는 추진력으로 주행	SG	열차를 다음 역사까지 제한 속도 25km/h로(TBD) 운행하여 승객을 대피시킨 후 회송시킨다.
	SLIM의 급전 전력 공급	열차의 2량의 VVV인버터들	열차 2량의 SLIMs에 공급	열차가 본선에 정차하여 이동	열차는 가능한 범위에서 다음 역사 가까이	SG	승객 대피. 열차는

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
		이 고 장 나 거 나 TCU들이 고장	되는 전력 공급 중단, 추진력 제어 상실	불가	까지 타행운전으로 진행		구원운전으로 본선에서 회송되어야 함.
	부상시스템에 급전 전력공급	차상일부 부상회로 기능상실	고장회로와 연결된 부상마그넷에 전력공급 중단	불충분한 부상력	□각 부상시스템은 자체 부상회로를 가진다. □ 열차는 터미널까지 속도제한 40km/h (TBD)로 운행된다. □ 차량은 대차4개 중 3개만으로도 충분한 부상력을 얻는다.	MJ	열차는 해당운행 종료후 차량기지로 회송된다. 참고: 고무차륜 시스템의 타이어 펑크인 경우, 속도는 40km/h로 제한된다.
	부상 시스템에 급전 전력 공급	차상의 모든 부상회로 기능상실	부상력 상실	랜딩 롤러가 열차지지	□선로변의 대피선/인상선에 열차대피가능 □열차는 다음역까지 속도제한 25km/h (TBD)로 운행하고	SG	유지보수절차는 열차운행에 미치는 영향을 감소시키는 방향으로 정한다.

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
					승객을 하차시킨후 회송된다.		
	차체 및 궤도 인터페이스를 위한 물리적인 지지	주요기계적결함 (대차구조결함, 전자석 탈락)	차량의 구조 안전성 상실	선로변에열차정차	□ 대피선/ 인상선에 대기하는 예비열차 투입 □ 대피선/인상선에장 열차대피	SG	승객대피/ 열차구원
	저압부하(ATC, 조명, 도어 등)에 전력공급	배터리 고장 저압 배전반 고장	저압 전력공급 중단 시 필수 부하 및 보조장치에 전력공급 중단	저압용 차상 주요 장치들 기능 상실 .	열차이동불가	MJ	가능 시 대피선으로 고장열차 수동운전 대피 및 예비열차 투입
		열차의SIV인버터동시고장	UPS에서 30분(TBD) 보조장치 및 주요 부하에 전원공급	차량은다음역에서회송되며최단시간에예비열차 투입	SIV 인버터 이중화	MJ	가능 시 대피선으로 고장열차 수동운전 대피 및 예비열차 투입
	차량속도 감속	전기제동시스템의고장	□ 기계제동 체결	열차지연	기계제동은전기제동을 대체가능해야함	Mi	가능한빠르게열차회송

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
			□ 제동성능 저하				
		기계제동시스템 의고장	제동성능저하	□ 정위치 정차실패로 열차 지연 □ 열차를 다음역사에서 회송시켜야 한다.		MJ	차량은 다음 역에서 회송시킨 후 가능 시 예비열차 투입
		BCU 고장	□ 제동제어 고장 □ 비상제동 작동	□ 정위치정차 실패로열차지연 □ 열차를 다음역사에 서회송시켜야한다.	BCU는 설계단계에서 이중화 시킨다.	MJ	차량은 다음 역에서 회송시킨 후 가능 시 예비열차 투입
		공기압축시스템 고장	□ 기계제동 시스템에압축공기공급중단 □ 제동성능 저하	□ 정위치 정차실패로열차지연 □ 열차를 다음역사에서 회송시켜야한다		MJ	□ 차량은 다음역에 서회송시킨후 가능시 예비열차투입 □ 현가장치에도

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
							추가로 영향을미친다.
	승객의 열차 승차 허용, 열차이동 중 승객추락 방지 승객에게 편안한 승차감제공	열차도어 1대 고장	1. 운행계획에 없는 열차도어 열림	1. 안전요원이 고장도어를수동으로리셋또는잠글때까지열차는 현위치에정차하여대기	안전요원이 고장 도어를 수동으로 닫고 기능분리 후 열차운행 재개 가능	Mi	열차의 한 방향에서 1개 도어가 기능분리 된 경우 혼잡시간대까지만 고장열차의 정상운행 가능
			2. 필요시 열차도어가 적절히닫히지 않음	2. 안전요원이 고장도어를 수동으로 리셋혹은 잠금때까지 열차는 승강장에 정차하여 대기			
		열차의 같은 방향에서 2대 이상의 도어들이 동시에 고장	열차 기능 저하	□ 터미널에서 고장열차회송 및 예비열차투입	차상 안전요원은 도어를 수동으로 리셋할 수 있다	MJ	혼잡시간대에 만고장열차운행을 허용하고 운영편의에

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
		2차 현가장치 고장		□ 역정차시간 증가로잠재적인 열차지연 □ 열차승차감 저하 □ 터미널에서 고장차량을 회송			따른 교체시점을 평가하기 위한 특별운영절차를 운영회사가 수립한다.
			2차 현가장치 기능상실		1차 현가장치는 탄성 소재로 제작	Mi	열차는 당해 운행을 완료하고 터미널에서 예비열차와 교체투입 가능하다
		냉난방 및 환기 시스템 고장	온도조절 및 공기순환 불가	기후조건에 따라 터미널 역에서 열차회송 가능하나 열차운행에 직접적인 영향은 없음		Mi	이런 유형의 고장영향은 운영 및 유지보수 절차에 따라 열차운행서비스 영향이 결정된다
		차량내부 일반	차량내부 조명	□ 열차운행에	야간 시간대를 위한	Mi	이런 유형의

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
		조명 시스템 고장	기능 저하	직접적영향은없음 □ 운영편의에 따라빠른시간내에고장열차운행중단	비상 조명		고장영향은 운영 및 유지보수 절차에 따라 열차운행서비스 영향이 결정된다
	승객 안전보호(보안)	비상 도어 열림 핸들 또는 비상정지 버튼의 비정상적 작동	□ ATC로경보전달 □ 비상제동장치작동	□ 비상제동체결 □ 안전요원이 현장확인후수동으로리셋	차상 안전요원의 개입	Mi	
	차량제어로직을수행하고차상장치간의 난바이탈 통신을 허용	작동중인TCMS 고장	난바이탈 소프트웨어 제어 기능의 일시적 상실	대기 중 이중화 TCMS로 스위칭	차량내 TCMS 이중화 설치	Mi	차량은운영편의에따라가능한빨리회송하고예비열차를투입
		이중화TCMS의 동시고장	감시와 제어기능 상실	선로변에 열차정차	□ 본선에대피선및인상선설치 □ 몇개의예비열차투입지점건설을검토	SG	가능시 차량은 다음 역에서 수동으로 회송

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
	차상장치로바이탈 데이터와신호전송	인통선 고장 또는 차/지상 ATC들간 인터페이스 고장	바이탈 데이터 손실 또는 바이탈 장치의 부적절한 경보	□ 차량은선로변에정차후진행할수없다. □ 수동운전모드로대피선/유치선으로차량을대피한다	□ 본선에대피선및인상선설치 □ 몇개의예비열차투입지점건설을검토	SG	열차는 다음 역까지 이동하여 승객을 대피시킨 후 제한속도로 수동운행
	화재감지	화재감지 장치 고장	차상 화재감지 기능 상실	□ 감지되지않은화재가확산가능 □ 종착역에서 고장열차 회송	종착역에서열차회송및 예비열차투입이가능해야함.	Mi	
ATC							
	지상에서 열차로 연동제어 관련 바이탈 데이터 전송 제어	열차와 지상장치 간 열차무선장애 (이중화 AP, DCS)	열차의 바이탈 데이터 상실	고장발생 구간에 열차정차	AP의 이중화	SG	□ 수동운전으로고장열차대피, □ 운영및유지보수절차수립
		지상바이탈장치 고장(WCU;연동장치)	연동제어 및 안전기능 상실	고장구간의 열차운행 중단	바이탈 장치 이중화	SG	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
		분기기 제어기능 상실	분기기 상태정보 및 제어기능 상실	□ 고장구간의 열차운행중단. □ 열차는제한속도로수동운행	고장구간 내 정차열차의 수동운전 가능	SG	운영 및 유지보수 절차를 통해 분기기 진로를 직원이 확인하고 수동으로 열차진행을 OCC에서 허가. 고장구간에 정차한 열차는 가까운 역사로 수동운전으로 이동 후 승객대피 고장구간에 정차한 열차는 가까운 역사로 수동운전으로 이동 후 승객대피
	열차이동의바이탈 제어	두 개의 연속된 트랜스폰더 읽기 실패	열차의 현재위치 상실	제어구간내의모든열차의일시적인정차	이중화 트랜스폰더 리더기	MJ	
		차상 ATP 랙 고장	차상 ATP 기능 상실	제어되는 선로구간 내에 모든 열차 일시 정차	열차당 이중화 ATP 랙 설치	Mi	
		이중화된차상 ATP 장치 동시 고장	차상 ATP 기능 상실	열차가 선로에서 정차하여 자력으로 이동하지 못하며 비상수동운전 필요		SG	
		ATO랙 고장	차상ATO기능 상실	대기 중 ATO로 제어기능 절체를 위해 고장열차 일시 정차	열차당 ATO 이중화	Mi	
		이중화 ATO랙 동시 고장	차상 ATO 기능 상실	□ 열차가선로에서정차하여자력으로이동하지		MJ	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
				못하며비상수동운전필요 □ MJ(주요)급 열차지연			승객대피후열차는비상수동운전모드로회송 운영자는백업절차를개발하여비상운영모드로열차운행을관리한다. 변전소 배전반에서 또는 블루라이트 스테이션으로 급전계통 변경 가능 변전소 배전반에서 또는 블루라이트
		속도센서 고장	바이탈 주행방향 및 속도정보 상실	대기 중 속도센서로 제어기능 절체를 위해 차량의 일시 정차	열차당 2쌍의 속도센서를 설치하여 1쌍씩 각 이중화 ATP랙과 연결	Mi	
	역사 승강장에 열차의정위치 정차	정위치 정차판 고장	정위치 정차판 고장으로 열차의 정차위치 상실	□ 정위치정차 불가 □ 열차지연초래	정위치정차판은철제후판구조로파손외의고장이발생되지않는다.	Mi	
		차량에 장착된 정위치 정차판리더기 고장	정위치정차위치 정보상실	정위치 정차실패로 인한 열차지연	정위치정차판리더기이중화	Mi	
	열차 투입, 진로 및 스케쥴 변경	OCC의 이중화 LAN 및 서버 고장	OCC의 ATS 기능 상실	□ 정상운영상태에서발생되지않으나열차스케줄이변경중잠재적으로발생가능	OCC의 주요 장치와 서버의 이중화	Mi	
	OCC와 지상장치간 광케이블에	이중화 광케이블 고장 또는	지상신호에 대한 OCC 제어기	열차진로 원격재설정, 열차 스	ATC 통신 연결장치의 이중화	MJ	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
	의한 ATC 통신	이중화 LAN과의 인터페이스 고장	능 상실	케쥴 변경, 및 사고발생에 대응한 열차운행 불가. □ 열차로부터 데이터수신불가. □ 전노선을따라열차운행 중단.			스테이션으로 급전계통 변경 가능 차상안전요원 및 역사 순회안전요원은 신속한 고장 조치를 보장해야 함
SCADA							
	전력공급시스템에 대한 감시 및 원격 제어	SCADA 기능상실 (이중화 LAN, 서버, 이더넷 멀티 스위치)	SCADA 기능 상실	□ 지역장치들의원격제어가불가 □ 원격개입이 필요한급전계통의동시고장발생시열차운행서비스에중대영향을끼칠수있다.	□ SCADA서버와 LAN이중화. □ 비상회로차단기를 가동하여수동으로급전 전력차단이가능하다.	Mi	□ 한대의앰프로도 기능저하된열차 내안내방송가능 □ MC-Car-A의스
		RTU 고장	관련 역사 또는 급전변전소의 감시 및 제어기	관련급전장치의 동시고장발생시 원격제어/운영		Mi	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
			능 상실	가불가한지역적 영향			피커중반은MC-Car-A의앰프에 연결되고나머지 반은MC-Car-B 앰프에교차연결 한다. □ MC-Car-B에있는스피커들또한 MC-Car-A와동일방식으로연결된다.결국MC-Car-a/b에서발생한1개앰프의고장이차량내에있는모든스피커에 영향을미치지않는다. 현장요원과 무선단말기를 통해 연결하여
PSD							
	승객의 열차승차 허용 및 승강장에서 추락사고 방지 기능 제공	PSD 고장	1. 운행계획에 없는PSD도어열림	1. 직원이 안전을 확인 하고 고장 도어를 잠글 때 까지 급전 전력은 차단되고 열차는 진입금지됨	일시적인 고장해결을 위해 OCC 에서 도어를 강제로 닫을 수 있어야 함.	MJ	
			2. 필요시 PSD도어가닫히지않음	2. 역사에 정차중인 열차는 안전요원 또는 순회점검요원이 수동 으로 도어 리셋 또는 잠금을 할 때까지 역사에 대기			
		동일방향 승강장에서 2개 PSD가 동시에 고장	역사의 승/하차 기능상실	ATC에서 열차가 역사를 통과하도록 지시		MJ	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
		PSD 제어기 또는 ATC의 인터페이스 기능 상실	PDS 기능 상실	ATC에서 열차가 역사를 통과하도록 지시		MJ	현장에서 비상운영 관리 신호시스템은 전용 주 전송시스템 구성필요 운영 및 유지보수 백업절차 개발 □ 비상운영절차개발 □ 순회점검요원역사배치
PA							
	OCC에서 전송한 녹음 메시지 또는 라이브 음성 메시지의 방송	열차 내 방송용 앰프들의 동시 고장	차상에서 안내 방송 불가	열차는 터미널에서 회송 .	□ 차상앰프의이중화 □ 열차무선은안전요원과OCC간의음성통신기능을제공 (무전기등)	Mi	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
	열차 내 안전요원 또는 승객에 대한 방송기능 관리	OCC의 방송장치 고장(PA 유닛, PA 랙, LS 제어기)	운행중인 모든 열차에 안내방송 불가	□ 비상시OCC로부터승객에게 안내방송불가 □ 무선단말기를통하여안전요원및/또는순회점검요원과음성통화가능 □ 관리역또는역사방송설비로 안내방송가능	□ OCC의방송사령설비이중화 □ 무선단말기를통한 열차내음성통신기능제공 □ 관리역또는역사에 방송설비로설치	Mi	운영회사가 개발하는 비상운영절차에서는 차상 안전요원이 휴대한 무전기를 통해 OCC와 백업 통신하는 것을 설명한다.
PIS							
	승객에게 열차 도착, 목적지, 열차 지연에 대한 문자 정보 제공	OCC의 승객정보장치 (PIS) 고장	전 역사 및 운행열차에 문자 메시지 전송불가	□ 승객에게문자정보제공기능상실 □ 만약의경우 역사직원이승객을지원	OCC의 PIS 사령설비 이중화	Mi	
통신							
	승객이OCC에게 비상통신	1개 구간의 모든 비상전화 기능 상실	비상시 OCC와 통신 불가	□ 승객의안전조건저하 □ 비상전화기능이완전히상실	□ 주요비상전화장치 이중화. □ 운영자가백업절차 개발(주요지점들에무	Mi	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
				되었을경우역사를폐쇄	전기를휴대한직원배치)		
CCTV							
	서로다른지역의 CCTV영상관리및 모니터에 재생	OCC의 주요 CCTV 사령설비 고장	OCC에서 CCTV 영상을 통한 역사 감시 기능 상실	□ OCC에서모든역사에있는승객의이동통제기능상실 □ 무선장치를휴대한직원을모든승강장에배치	관리역에서 통제 구간별로 성능 저하된 CCTV 영상을 통해 승객을 감시토록 이중화 구성	Mi	
TLC							
	광통신링과역사통신장치간의인터페이스	해당역사의디지털 전송기능 상실	OCC와 고장 역사간 데이터 전송기능 상실	OCC와 역사 설비 간 데이터 교환기능 상실	역사 디지털 전송용 통신장치 이중화	Mi	
	서브시스템 간 데이터 전송	광 케이블 네트워크 상 2개 장소에서 동시에 이중화 광케이블 고장	광케이블링의 2개의 장소간에 통신기능 상실	지역 장치와 통신 불가능 으로 운행열차 이동 중지	□ 광케이블링의이중화 □ 대기중인통신링으로절체하여광케이블1계고장은자동관리	SG	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
	OCC와 현장장치 간의 통신 관리	디지털 전송 네트워크 관리 시스템의 중대고장	OCC 운영자의 디지털 전송 연결 관리와 통신 관리 불가	□ 몇몇현장장치들과통신불가. □ 열차운행중단.	모든 OCC 장치들은 설계단계에서 이중화 한다	SG	
	선로로의 사람 진입 통제-출입문 제어장치	1개 출입문을 통해 선로로 사람 진입에 대한 오 경보	OCC 운영자에게 전달된 오 경보	□ 비상운영절차작동 □ 현장직원이 경보를 검증하고 출입문 제어장치를 리셋하기전까지 ATC가 해당 지역에서 열차이동을 자동으로 금지	□ 경보관리를위해 운영자가 비상운영절차 구축 □ 순회점검요원이 현장을 확인한 후 해당출입문 제어장치 를 리셋하거나OCC운영자가 원격 리셋한다.	Mi	
RADIO							
	열차무선 데이터의 신호 증폭 및 반복전송	선로변RBS(무선안테나)고장	선로상일정구간에서열차와OCC간무선통신기능 상실또는빈약한 무선 통신	고장지역과 인접한 구간에 있는 열차와의 열차무선 고장	□ 이중화RBS(무선안테나)고려 □ 각RBS는인접RBS와통신영역이부분적으로겹치게설계한다.	MJ	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
					열차 경보는 ATC를 통해 OCC로 전송된다		
		인접한2개RBS가 동시에 고장	선로상 일정구간에서 열차와 OCC 간 무선통신 기능상실	□ 관련선로구간에서모든열차및휴대용무선장치들의통신기능상실 □ 해당구간에서열차운행중단		SG	
	OCC와 차상 안전요원 (및 열차)간 메시지 및 데이터 전송	OCC의 중앙 제어 및 통제 기능 상실	열차무선 기능 상실	전체 시스템의 모든 장소의 서브시스템과의 통신 및 다른 서브시스템과 인터페이스 가 불가	OCC의 사령장치 이중화	SG	
	차량과 OCC 간의 통신	차상 이중화 열차무선 장치 고장	차상 열차무선 기능 상실	□비상시에도열차의무선통신불가하여종착역에서고장차량회송	□설계단계에서차상열차무선장치(OBS)는이중화한다. □OBS가고장일경우	Mi	

서브시스템	기능	고장유형 및 원인	지역적영향	전체시스템에 미치는 영향	예방/경감 조치	고장등급	비고
				□비상시에는안전요원이휴대한무전기로OCC와일시적통화가능	대기중인이중화장치로자동절체된다.		
					차상안테나이중화		
기계설비							
	역사시설관리	자동제어시스템(BAS) 고장	역사설비의원격모니터및원격제어기능상실	잠재적인열차운행지연	지역제어판넬로도역사설비의제어및모니터가가능하게한다.	MJ	

(5) 서브시스템 RAM 정성적 요구조건 정의

서브시스템의 고장빈도, 고장결과 및 관련된 비용을 최소화시킬 수 있는 기본적인 신뢰성 원칙들을 설계에 적용함으로써 본 실용화사업 시범노선의 서비스 가용성과 신뢰성을 증가시킬 수 있다.

본 실용화사업 시범노선의 신뢰성 설계원칙들은 기존 무인운전 경량전철 건설사업에서 보통 요구되는 일반 설계원칙들과 유사하다. 예를 들면 설계자는 이중화, 컴포넌트의 실시간 모니터, 운영환경 통제를 통해 장치의 고장운영을 설계하는 것과 같이 이미 잘 알려진 신뢰성 설계 원칙들을 준수해야 한다.

(가) 고장운영 설계기준

설계/공급회사는 열차운행에 중요한 서브시스템들을 이중화하거나 다른 추가 기능을 반영하여 비록 서브시스템의 일부가 운영되지 못할 때에도 열차운행은 전체적 또는 제한적으로 지속 가능하도록 다음의 대책들이 설계에 반영하여야 한다. 열차운행에 중요한 서브시스템들은 아래의 서브시스템들을 포함하나 이것들로 제한되지는 않는다.

- 신호시스템 (지상, 차상, OCC)
- 급전전력공급
- 차량 추진장치
- 차량 제동장치
- 차량 부상장치
- 차량 도어
- 기계설비(주로 PSD)

이러한 서브시스템들을 위한 설계 가이드라인은 앞의 표에서 제시한 바와 같이 주요 열차운행장애를 일으키는 고장빈도를 감소하기 위한 설계 솔루션으로써 1개 기능을 수행하는 장치를 이중화하거나 다른 장치를 이용하여 해당 기능을 이중화 수행하는 것을 고려할 수 있다. 또한 발생한 고장이 열차운행 장애에 미치는 영향을 최소화하기 위해;

- 고장 시 경보발생 및 실시간 고장감시 기능반영,

- 고장운행절차를 관리하기 위한 운영 및 유지보수 절차수립,
- 고장현장에 신속하게 직원을 도착시킬 수 있는 운영 및 유지보수 조직구성
- 고장정비가 완료될 때 까지 승객 안전성이 유지되는 열차운행절차 수립

등을 솔루션으로서 서브시스템 설계에 반영한다.

(나) 자기진단을 갖는 고장감시 설계기준

설계/공급회사는 SCADA나 차량의 TCMS 같은 자가진단 기능을 통해 열차운행서비스에 즉각적이거나 더 나중에 영향을 미칠 수 있는 장치 고장이나 이상상태를 운영사령실(OCC)에 실시간으로 통보하여 서브시스템 신뢰성을 향상시키는 대책을 설계에 반영해야 한다.
이러한 자가진단 기능을 위해서 정상기능 상태로부터 어떠한 해로운 차이라도 조기에 감지하기 위하여 각 서브시스템 및 컴포넌트에 적절한 테스트 포인트들이나 파라메타들을 설정하고 이들을 연속적 또는 비연속적으로 감시해야 한다.

이상상태로 발생된 고장경보는 열차운행에 미치는 영향에 따라 4가지 고장등급으로 분류해야 한다. 또한 분류한 각 등급의 고장경보들에 대한 처리절차를 운영/유지보수 매뉴얼에 상세하게 기록하여야 한다. 고장경보의 신속한 처리와 열차운행에 미치는 영향을 최소화 시키기 위한 자동 고장경보처리기능들은 고장검지기능과 연동하여 어떠한 경우라도 승객이나 직원의 안전성을 악화하지 않아야 한다
모든 제어 또는 감시 컴포넌트와 엘리먼트는 고장코드/ 고장장치 이름(LRU단위)/ 고장발생시간/ 고장발생장소/ 열차운행복구시간 등의 자체의 고장정보에 대하여 실시간으로 운영사령실의 제어시스템에 보고하도록 설계되어야 한다.

운영사령실의 제어시스템은 자신이 제어 또는 감시하고 있는 서브시스템, 컴포넌트, 및 엘리먼트로부터 고장정보를 수집, 취합, 및 DB화하여

이를 FRACAS시스템에 자동으로 통보한다. 모든 고장코드는 열차출발 실패 발생건수에 기초한 열차운행서비스에 미치는 영향을 고려하여 SG, MJ, Mi, Ne 4가지의 고장등급으로 분류하여야 한다.

(다) 운영환경 통제에 대한 대책

현대의 복잡한 설비는 적합한 환경에 설치될 경우 높은 운영신뢰성을 유지 할 수 있으며 모든 전기, 전자, 기계 구성품목들의 설계에는 적합한 운영환경조건을 반영해야 한다. 구성품목이 적절한 운영환경에 설치되지 못할 경우 구성품목의 기능수행을 확인하기 위해 엄격한 환경시험을 실시해야 한다.

(라) 신속한 열차운행 서비스 복구에 대한 대책

고장발생 이후 빠른 서비스 복구가 보장된다면 높은 열차운행서비스 신뢰성이 달성된다. 자기고장진단 기능, 고장장치분리 기능 및 현장교체품목(LRU) 적용은 열차운행서비스 중단을 최소화하기 위한 기초가 된다.

앞에서 설명한 고장감시 기능은 필요정보를 요약하여 OCC에 제공함으로써 적절한 때에 고장장치를 분리할 수 있도록 하는 효과적 방안을 제공한다. 온라인 고장감지기능 적용이 부적합한 경우에는 구성품목이 조립되어 있는 상태에서도 접속 가능한 적절한 장치 또는 테스트 포인트들을 설치하여 고장위치 파악과 고장부품교체 후 정상가동 여부확인에 외부 시험기기나 장치가 사용될 수 있게 한다.

고장장치분리 이후 LRU 개념 적용은 빠른 고장복구와 수리된 고장장치를 또 다른 고장정비에 사용할 수 있게 한다. 따라서, 고장발생 후 현장조치에서는 고장부품의 수리 보다는 해당 서브시스템의 고장부품을 정상부품과 교체하는 것이 일반적이다.

모든 서브시스템들과 구성품목들은 고장 시 열차운행이 안전한 상태가 되도록 설계되어야 하며, 고장복구절차에서도 본 실용화사업 시범노선을 안전한 상태로 유지하면서 승객 불편을 최소화 하도록 하여야 한다.

차상 안전요원 및 역사 순회점검요원 같은 직원이 고장발생현장 주변에 있는 경우 이들이 언제든지 간단한 고장조치 및 열차운행서비스 복구절차를 수행하도록 한다.

(마) 유지보수 요구사항

- 접근성

서브시스템의 장치는 공구의 크기를 고려하여 검사, 고장수리, 보정, 및 대체품 사용이 용이하도록 설계해야 한다. 이를 위해 보호커버 및 억세스 판넬은 신속히 제거할 수 있으나 권한이 없는 일반인의 접근을 방지할 수 있도록 설계되어야 하며, 억세스 판넬 제거에는 한 개의 표준 공구만이 필요 하도록 한다.

- 세척용이성

모든 장치는 청소가 용이하도록 설계되어야 한다. 공중설비인 경우 청소 및 수리를 쉽게 하도록 설계 및 자재선정을 고려해야 한다.

- 분리용이성

조립품목 혹은 서브 조립품목을 분리/제거하기 위해 다른 조립품목을 제거, 교체, 또는 분리시킬 필요가 없게 설계되어야 한다. 분리 용이성의 평가에는 장치에서 분리될 부품과 부품분리에 사용될 표준공구 절감 수량을 고려해야 한다.

- 취급성

분리된 각 장치의 중량은 1인 운반시 25kg, 2인 운반시 50kg을 넘지 않아야 한다. 운반되는 부품에는 운반에 사용될 지지대 또는 앵커볼트용 지지대를 설치 한다.

- 모듈화

서브시스템의 확장이 가능하도록 조립품목은 모듈화를 강화하는 설계가 되어야 한다.

• 설치용이성

부품이 부적절하게 조립될 가능성을 방지하는 조립방안을 수립한다. 이를 위해 키, 비대칭 조립 브라킷, 못, 스터드 또는 위치고정 핀 등의 사용을 고려해야 한다.

• 표준화

특별히 기술적으로 필요하지 않는 경우 조립부품의 설계 및 제작에는 표준규격부품을 사용해야 한다.

• 와이어 결선

부품 또는 조립품목 분해 시 와이어 결선을 느슨하게 할 필요가 없도록 한다.

• 작업공간

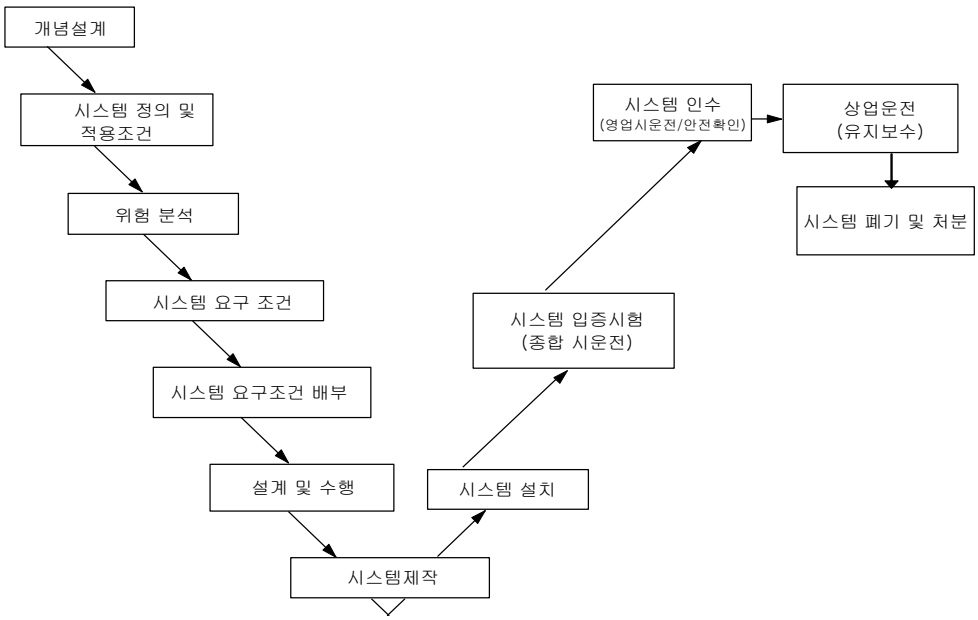
고장정비작업 시 주변 부품이나 와이어 선을 옆으로 치우지 않아도 되도록 고장품목 수리에 충분한 공간이 제공되어야 한다. 유지보수직원이 고장정비작업 중 운동부품(예; 회전운동), 60V 이상의 전압, 독성물질, 과열, 좁은 공간에 갇힘 등 관련 해저드에 노출되지 않도록 설계되어야 한다.

(바) RAM 프로그램

다음은 RAM 활동들과 각 서브시스템 공급업체가 제출/승인 받아야 하는 RAM 성과물들에 대해 개략적으로 설명한다. 유럽규격 EN50126 의한 RAM 프로그램에는 각 설계단계에서 RAM 중요(critical) 기능 인식, 서브시스템 설계에 RAM 설계원칙 적용을 위한 설계팀 지원, 요구되는 신뢰성 성능달성 및 RAM 목표달성에 대한 검증을 위한 활동들이 있다.

각 서브시스템 공급회사는 유럽규격 EN50126을 준수하며, 서브시스템 RAMS 요구사항들을 달성하기 위해 동 규격에서 제시하는 활동들을 수행하고 완료하여야 한다. 또한 서브시스템 수준에서 작성되는 관련 성과물들은 발주처에 제출하여 1-2세부과제의 기술적 검토 후 발주처의 승인을 득해야 한다. 이러한 관점에서 각 서브시스템 공급회사는 각자의 공급범위에 관련된 RAMS 업무를 수행할 자격 있는 RAMS 엔지니어를 선정해야 한다

또한 서브시스템 RAM 프로그램에는 본 실용화사업 시범노선의 주요 단계들에 해당하는 마일스톤들을 정해야 하며 이 마일스톤들은 발주처의 동의에 따라 계약사항에 포함시켜야 한다. RAM 승인 프로그램과 관련 마일스톤들은 아래와 같이 고려할 수 있다.



[그림 90]RAMS 수명주기

RAM 관점에서 최소한 설계승인, 설치, 서브시스템 및 시스템 시운전의 4개 마일스톤 들을 아래와 같이 설정 한다.

• 기본/실시설계 완료: 발주처에 의한 기본/실시설계 인수

- 제작설계 완료: 발주처에 의한 제작설계 인수
- 시스템 설치/개별시험 완료: 발주처에 의한 시스템/서브시스템 설치 및 개별시험 인수
- 시스템성능시험 완료: 발주처에 의한 시스템성능시험 인수

각 마일스톤마다 서브시스템 RAM 엔지니어는 자신의 공급범위 내에서 본 실용화사업 시범노선 수행 단계에 해당하는 모든 RAM 활동들을 수행하고 모든 RAM 요구사항들을 달성했다는 문서적 증빙을 제출한다. 이러한 증빙을 설명하는 성과물 및 설계내역들은 발주처에 제출하여 1-2세부과제의 기술적 검토 후 발주처의 승인을 득해야 한다.

아래표에서 본 실용화사업 수행단계와 일치하는 RAMS 수명주기와 각 단계 별로 제출해야 하는 RAM 성과물들과 각 성과물 작성, 후속활동 수행주체, 검토, 및 승인 주체를 설명한다.
본 문서에서 제시한 승인 프로그램은 제안사항이기 때문에 절대적인 사항은 아니며 본 실용화사업의 진척에 따라 발주처와 협의하여 수정, 보완 및 일정변경이 가능 하다. 그러나 어떠한 경우에도 RAM 승인 프로그램은 서브시스템 공급계약서에 포함되고 서브시스템 RAM 관리계획에서 상세하게 설명하여야 한다.

수명주기 단계	프로젝트 수행 단계	활동/성과물	책임주체 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			1-2세부과제	공급회사	
1. 개념설계	시스템 기본설계	시스템 RAM 관리계획	D	F	-
2. 시스템 정의 및 적용조건		서브시스템 RAM 요구사항	D	F	-
3. 리스크 분석	서브시스템 기본설계	서브시스템 RAM 관리계획	F	D	1-2세부과제/발주처
4. 시스템 요구사항		PBS 및 예비 기능분석	F	D	1-2세부과제/발주처
5. 시스템 요구사항 배부		예비 RAM 분석	F	D	1-2세부과제/발주처
기본설계 완료- 2008 6월(추정)					
6. 설계 및 실행	시스템 제작설계	시스템 RAM 관리계획 개정	D	F	-
		서비스가용성 계산 (서브시스템 RAM 분석을 근거로 산출)	D	F	-
	서브시스템 제작설계	서브시스템 RAM 관리계획 개정	F	D	1-2세부과제/발주처
		서브시스템 RAM 분석 (RAM 요구사항 달성검증 포함)	F	D	1-2세부과제/발주처
		FMECA	F	D	1-2세부과제/발주처

수명주기 단계	프로젝트 수행 단계	활동/성과물	책임주체 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			1-2세부과제	공급회사	
		유지보수성 분석(예방정비, 고장정비)	F	D	1-2세부과제/발주처
제작설계 완료 -2009년 6월(추정)					
7. 제작	제작 및 설치	시스템 데모 계획	D	D	1-2세부과제/발주처 (공급회사)
8. 설치		FRACAS 절차	D	D	1-2세부과제/발주처 (공급회사)
		유지보수성 시험규격	F	D	1-2세부과제/발주처
9. 시스템 검증 (Validation)	개별시험 및 종합시운전	시험 절차서	F	D	1-2세부과제/발주처
종합 시운전 완료-2012년 12월(추정)					
10. 시스템 인수	시스템 RAM 데모 (영업 시운전)	FRACAS 보고서	D	D	1-2세부과제/발주처 (공급회사)
자기부상시범사업 준공 - 2015년 말(추정)					

[그림 91]단계별 RAM 성과물 및 주체

1) 서브시스템 RAM 성과물 개요

아래에서 서브시스템 공급회사에서 발주처에 제출하여 1-2세부과제의 기술적 검토 후 발주처의 승인을 득해야 하는 성과물에 대해 간략하게 설명한다. 서브시스템 성과물의 세부양식, 세부내용 및 부속활동들에 대해서는 시스템 RAM 계획서에서 보다 자세하게 설명할 예정이다

가) 서브시스템 RAM 관리계획

각 서브시스템 공급업체가 수행하여야 하는 RAM 활동들은 서브시스템 RAM 계획서에서 계획되고 상세하게 기술하며, 또한 RAM 조직도 및 프로젝트 팀 내에서 각각의 책임 역할에 대해서도 기술한다. 서브시스템 RAM 계획서는 제작설계 단계에서 각 서브시스템 공급업체가 작성하며 다음 프로젝트 수행단계에서 필요 시 수정 또는 갱신한다.

서브시스템 RAM 계획에서 프로젝트 수행 단계별 RAM 활동 계획들 및 작성문서 들이 설명해야 한다. 각각 서브시스템 공급업체는 RAM 활동들을 수행하고 그 결과로서 다음 문서들을 제출하여야 한다.

나) 세부 서브시스템 구성(PBS) 및 기능분석

이 자료에서는 서브시스템 최상위 레벨에서부터 최하위 LRU(현장교체품목)까지 서브시스템의 구성을 하향식으로 기술한다. 서브시스템의 각각 구성품목은 프로젝트 표준에 따라 코드화 되며 각 코드는 중복되지 않는다. 서브시스템 구성을 바탕으로 하는 기능분석에서 서브시스템의 수행역활, 각 구성품의 기능적 역할분석 및 타 서브시스템과의 기능적 인터페이스 분석을 한다. 이 기능분석은 기능 구성도를 포함한 기능 블록다이어그램을(Functional Block Diagram) 활용하여 수행한다.

다) RAM 분석

각각 서브시스템 공급업체의 책임으로 서브시스템 RAM 분석을 수행한다. RAM 분석을 통해 각 LRU에 대한 신뢰성 데이터를 제공하며 RAM 중요 아이템들의 요구조건 달성을 검증하기 위해 고장계통분석(FTA) 기법을 적용하여 서비스 가용성과 관련된 상위 수준의 이벤트들을 개발한다.

라) FMECA 분석

FMECA를 통하여 서브시스템에서의 RAM 중요 아이템들을 인식하고, 고장모드들과 고장 결과들을 인식하기 위한 목적으로 수행한다.

마) 유지보수성 분석

고장정비 및 예방정비 활동들에 대한 유지보수성 분석에는 유지보수 유형, 유지 보수에 필요한 자원 및 공구, 유지보수 수행간격 및 정비시간 길이가 포함된다.

상기의 모든 성과물들은 본 실용화사업 각 수행단계에서 작성 및 갱신되어 서브시스템 설계에 반영해야 하는 RAM 원칙에 대한 정보와 지침을 설계자에게 제공함으로써 RAM 목표를 달성하게 한다.

각 성과물의 형식 및 코드는 발주처에서 적용하는 품질관리계획에 따라 표준화 한다

(6) 전체 시스템 레벨 예비 해저드 분석

전체 시스템 레벨에서 예비 해저드 분석은 기전시스템 및 서브시스템의 안전성 요구조건들을 정의하기 위하여 기존 철도시스템 및 무인운전 경량전철시스템에서 적용했던 안전성 요구사항들의 적용범위를 확장하였다. 특히, 본 실용화사업 시범노선의 서브시스템 안전성 목표는 1차년도에 개발한 해저드 리스크 레벨에 명시된 리스크 정량화 모델을 기본으로 한다.

(가) 예비 해저드 식별

본 실용화사업 시범노선이 정상 또는 고장운행 모드로 열차운행을 하는 동안 승객의 안전에 부정적 영향을 미치는 상황을 식별한다.

위험한 상황은 서브시스템 또는 장치의 고장 또는 자연적 재해와 같은 외부적인 요인으로 인해서 발생될 수 있다. 또한, 각각의 해저드를 발생 시킬 수 있는 가능한 원인들의 목록도 명백히 인식되어야 한다.

해저드가 발생했다고 가정하고 해저드로 인해 일어날 수 있는 사고와 부상 등의 결과를 식별하는 식으로 분석을 진행한다.
본 실용화사업의 해저드 식별은 유사 경량전철에서 수행했던 해저드 분석과 운영중인 철도시스템에서 발생된 사고기록을 바탕으로 한다.
본 실용화사업의 기본/실시설계 단계에서는 전형적인 무인운전 경량전철의 예비 해저드 식별 결과를 사용하여 뒤따르는 분석절차가 진행될 것이다. 이러한 관점에서, 본 보고서에 있는 해저드 목록은 일반적 형태이며 시범노선건설 공정진척에 따라 노선(지상, 지하, 고가) 및 기전시스템(차량, 신호, 전기 등)의 기술사항들을 반영하여 수정/추가/보완되어야 한다.

(나) 해저드 목록

[표 51]해저드 목록

해저드 설명
열차 충돌
열차간의 충돌
열차와 장애물 간의 충돌
열차탈선
분기기 고장으로 발생된 열차탈선
승객 추락/넘어짐
열차 내에서의 승객 넘어짐
주행중인 열차에서 승객 추락

해저드 설명
승객승□하차시추락또는부상
잘못된 방향의 열차의 도어 열림으로 인한 승객 추락
역사에서 승객이 미끄러지거나, 비틀거리거나, 넘어짐
운영&유지보수 직원이 열차에서 넘어짐
운영&유지보수 직원이 주행중인 열차에서 추락
운영&유지보수 직원이 건축, 시설물에서 미끄러지거나, 비틀거리거나, 넘어짐
물체 낙하
열차 내부에서 물체 낙하
역사에서 물체 낙하
열차와 부딪침
승객이 선로에서 주행열차와 부딪침
운영&유지보수 직원이 주행열차와 부딪침
열차 외부에 승객이 매달림
승강장 혼잡으로 역사 승객이 주행열차와 부딪침
속박/갇힘
열차 출입문 사이에 승객이 끼임
승강장 스크린 도어 사이에 승객이 끼임
비상시 열차에 승객이 갇힘
승객이 역사에서 엘리베이터, 에스컬레이터 등에 끼임
운영&유지보수 직원이 갇힘
발화
운영&유지보수 직원의 화상
위험 물질
위험 물질에 열차 승객이 노출
위험 물질에 운영&유지보수 직원이 노출
감전
차내 승객의 감전
지상 설비에 승객 및/또는 운영&유지보수 직원이 감전
열차승□하차시승객감전
운영&유지보수 직원의 감전
화재/폭발
열차에서 화재발생
역사의 승객이용 지역에서 화재
역사의 기능실에서 화재
폭발
폭탄테러 및 테러리스트의 테러

해저드 설명
직원의 지원 없이 승객 대피
역사간에 정차한 열차에서 선로변으로 승객 대피
역사에서 승객 대피
역사 기능실에서 대피
주변환경
차내 위험한 환경
역사에 있는 승객에게 위험한 환경
운영&유지보수 직원에게 위험한 환경
자연 재해
지진
지형의 변형 (강/바다 수위 변화, 근처 빌딩의 침하)
날씨 조건(레일상면의 적설량 제한 또는 얼음두께 제한)
EMI/EMC
차상 장치

자기부상 기술의 특성을 고려하여 아래표에 있는 해저드는 무시한다.

[표 52]적용되지 않는 해저드 목록

해저드 정의
열차 충돌
열차와구조물간의충돌
열차탈선
선로에서 탈선
화재/폭발
터널 화재
주변환경
과도한 진동/소음
자연 재해
홍수
폭풍
기후조건 (고온 등) 제한사항
구조물 붕괴
터널

본 실용화사업의 기본/실시설계 단계에서 자기부상시스템의 운영에 잠재적으로 관련있는 해저드들 만을 선정한다. 이런 관점에서 자기부상 기술과 관련 없는 해저드 분석은 본 과제의 연구범위에 포함되지 않으며 현 단계에서는 고려하지 않는다. 결과적으로 아래표에 있는 해저드들 만을 다음 장에서 분석한다.

해저드 설명
열차 충돌
열차간의 충돌
열차 및 장애물 간의 충돌
열차탈선
분기기 고장으로 열차 탈선
승객 추락/넘어짐
열차 내에서 승객 넘어짐
주행중인 열차에서 승객 추락
잘못된 방향의 열차의 도어 열림으로 인한 승객 추락
물체 낙하
열차 내부에서 물체 낙하
속박/갇힘
비상시 열차에 승객이 갇힘
감전
차내 승객의 감전
열차승 하차시승객감전
화재/폭발
열차에서 화재 발생
직원의 지원 없이 승객 대피
역사간에 정차한 열차에서 선로변으로 승객 대피
주변환경
차내 위험한 환경
자연 재해
지진
지형의 변형 (강/바다 수위변화, 근처 빌딩의 침하)
날씨 조건 (레일상면의 적설량 한계 또는 얼음 두께 한계)
EMI/EMC

차상 장치
지상 장치
전기 부식
전력 공급 부족
제3궤조에 전력 공급 부족
구조물 붕괴
고가 구조물 붕괴

(다) 해저드 분석 및 위험도 평가

[표 53]해저드 평가

해저드 설명	심각도	발생빈도	위험도
열차충돌			
열차간의 충돌	1	E	용인가능 Tolerable
열차와 장애물 간의 충돌	2	E	용인가능 Tolerable
열차탈선			
분기기 고장으로 열차탈선	1	E	용인가능 Tolerable
승객 추락/넘어짐			
열차내에서승객넘어짐	3	C	용인가능 Tolerable
주행중인 열차에서 승객 추락	2	E	용인가능 Tolerable
잘못된 방향의 열차 도어 열림으로 인한 승객 추락	2	E	용인가능 Tolerable
물체낙하			
열차 내부에서 물체 낙하	2	E	용인가능 Tolerable
속박/갇힘			
비상시 열차에 승객이 갇힘	1	E	용인가능 Tolerable
감전			
차내 승객의 감전	2	E	용인가능 Tolerable

해저드 설명	심각도	발생빈도	위험도
열차승□하차시승객감전	2	E	용인가능 Tolerable
화재/폭발			
열차에서 화재발생	1	E	용인가능 Tolerable
직원의지원없이승객대피			
역사간에 정차한 열차에서 선로변으로 승객대피	2	E	용인가능 Tolerable
주변환경			
차내 위험한 환경	3	E	무시가능 Negligible
자연재해			
지진	1	E	용인가능 Tolerable
지형의 변형(강/바다 수위변화, 근처 빌딩의 침하)	1	E	용인가능 Tolerable
날씨조건(레일상면의 적설량 한계 또는 얼음두께 한계)	3	D	용인가능 Tolerable
EMI/EMC			
차상 장치	1	E	용인가능 Tolerable
지상 장치	1	E	용인가능 Tolerable
전기부식	2	E	용인가능 Tolerable
전력공급부족			
제3궤조에 전력공급 부족	2	E	용인가능 Tolerable
구조물 붕괴			
고가 구조물 붕괴	1	F	무시가능 Negligible

(라) 해저드 발생원인 및 완화대책

1) 열차간 충돌

아래의 서브시스템 또는 설비의 고장 또는 기능장애로 열차간의 충돌이 초래될 수 있다.

- 신호 장치
- 분기기
- 차량 (주로 제동장치)

열차충돌 사고의 원인은 기존 철도시스템과 동일하여 본 실용화사업에서도 이러한 원인의 적용이 가능하기 때문에 아래와 같이 분석할 수 있다.

- 본 실용화사업의 신호시스템은 타 경량전철과 유사한 지상설비(트랜스폰더, 연동장치), 차상 설비(차량의 전두부/후두부의 무선통신 안테나) 및 운영사령실 설비로 자동열차 보호(ATP) 및 자동열차 운행(ATO)의 주요 기능들을 수행 할 것이다. 그러므로 타 경량전철의 신호 시스템에서와 유사한 고장모드와 고장발생 빈도로 추정하는 것이 가능하다.
- 신호시스템 측면에서 분기기의 전환 로직은 기존 경량전철시스템과 동일하다. 그러나 운영분석 시 분기기의 진로전환 시간(25초)과 구동모터의 고장율이 해저드 빈도에 영향을 줄 수 있다는 점에 주의해야 한다.
- 차량 제동장치는 높은 신뢰도를 가지고 있으며, 기존 차륜시스템의 약점인 기계적 마찰력의 영향을 받지 않는다. 전기제동장치 고장발생시 기존 제어방식인 페일-세이프 로직에 따라 공압식 비상제동이 체결된다. 따라서 전체 제동시스템의 고장율은 기존 시스템과 동일하다고 보수적으로 추정할 수 있다.

상기의 분석내용을 바탕으로, 본 실용화사업의 기본/실시설계 단계에서는 기존 무인운전 경량전철과 상응하는 열차충돌사고 관련 신뢰도 수준을 달성할 것으로 추정한다. 추후 상세설계자료를 기초로 보다 구체적인 분석이 수행될 수 있다.

화재발생 같은 최악의 사고시나리오를 포함하여 열차간 충돌의 해저드 발생결과는 기존 무인운전 경량전철에서와 동일할 것으로 추정한다.

다음 경감조치들을 본 실용화사업의 수행 단계에서 적용한다

- 신호시스템을 적절하게 설계(예; 매 300msec(TBD) 마다 열차위치 보고), 설치 및 시험한다.
- 분기기를 적절하게 설계(모터는 안전성에 중요한 장치), 설치 및 시험한다.
- 차량을 적절하게 설계, 제작 및 시험한다.
- 분기기 운영에 대한 적절한 규정을 제정한다.

2) 열차와 장애물간의 충돌

이 해저드는 레일상의 궤도근처나 차량한계(KE) 이내에 장애물이 있거나 차량에서 떨어진 품목 또는 유지보수직원이 레일 위에 남겨둔 공구로 인해 발생되기도 한다.

다음과 같은 사유로 본 실용화사업의 해저드 발생빈도가 기존 경량전철시스템에서와 동일하다는 추정은 극히 보수적이라고 할 수 있다.

- 본 실용화사업의 선로는 고가 위에 설치되므로 지상노선(선로와 주변공간의 격리 이슈) 및 터널(선로에 천정부착 장치의 낙하 또는 구조물 일부의 붕괴낙하)에 설치된 선로와 비교했을 때 이러한 해저드가 쉽게 발생되지 않는다.
- 대차구조 등 자기부상차량은 기존 경량전철차량의 구조보다 덜 복잡하게 설계되었기 때문에 장치나 구성품목이 차량으로부터 떨어질 가능성은 기존 차량시스템 보다 낮다.
- 그러나 차량 대차가 선로를 감싸는 구조에서 선로와 차량간에 작은 공극(틈)으로 인하여 선로에 얼음이 쌓일 경우 열차와 얼음간의 간섭이 발생 할 수 있다.

비록 본 해저드의 발생결과는 기존 경량전철시스템에서 보다 덜 심각한 것으로 추정되나, 다수 사망자가 발생 가능한 열차탈선의 가능성도 리스크 분석단계에서 적절하게 고려해야 한다. 그러나 자기부상차량의 가장 중요한 기술적 특징은 대차가 선로를 감싸는 구조로 설계되었다는 점에서 자기부상시스템은 "탈선의 위험이 없는" 것으로 분석 된다.

일반적으로 해저드의 조치 가능한 경감방안은 다음과 같다.

- 차량을 적절하게 설계한다
- 주요지역(장애물 낙하 가능성이 높은) 선로에는 보호조치(차단펜스)를 한다.
- 일일 열차운행시작 전 노선점검 등 적절한 운영절차를 수립한다.
- 유지보수 직원은 유지보수 절차를 엄격하게 엄수해야 한다. 참고로 2006년 9월 독일 Transrapid 시험선로에서 발생된 차량과 모터카의 충돌사고는 운영 및 유지보수 절차를 준수하지 않아서 발생했음.

3) 분기기 고장으로 인한 탈선

본 실용화사업은 보통 "열차 탈선의 위험이 없는" 것으로 간주되지만, 분기기 고장에 따른 열차탈선의 잠재적 해저드는 리스크 분석에 포함시켜야 한다.

정상적인 운영조건에서 신호 시스템이 분기기 전환과 쇄정을 자동제어 한다. 분기기 제어기는 지상 ATP와 연동하여 분기기 이동거더와 고정거더 간의 밀착상태를 보증해야 한다. 분기기 장애 시(예; 구동모터고장) 신호 시스템은 분기기가 올바른 위치에 있지 않음을 검지하고 열차 접근을 금지시킨다.

상기 사항을 기초로, 분기기 장애로 인한 열차탈선은 원칙적으로 ATP 중대 고장일 경우에만 발생할 수 있으나, 이러한 상황은 거의 발생하지(remote) 않는다.

일반적으로 열차탈선 해저드의 경감방안은 다음과 같다.

- ATP를 적절하게 설계하고 설치하며 시험한다.
- 분기기는 적절하게 설계하고(구동모터는 안전성 중요 품목) 설치하며 시험한다.
- 분기기 운영에 대한 적절한 운영규정을 제정한다.

4) 열차 내에서의 승객 넘어짐

본 해저드는 차량의 비정상적인 움직임에(Jerk) 의해 발생된다. 자기부상기술에서 하나의 중요 특성은 열차와 궤도 사이에 마찰력이 없고 높은 추진효율 때문에 짧은 시간 내에 높은 운행속도에 도달하는 차량성능에 있다.

차량의 비정상적인 움직임(Jerk)이 발생할 수 있는 주요 조건은 다음과 같다.

- 신호 장치의 고장 또는 오동작
- 추진 또는 제동 제어장치의 고장으로써 설계단계에서 이 추진 및 제동기능에 특별한 주의를 하여야 한다.

5) 차상에서 승객 추락

본 해저드는 승객의 적절하지 못한 행동이나 차량의 도어 고장으로 발생된다. 예를 들면 열차 주행 중 도어가 열리거나 도어가 열린 상태로 열차가 역사에서 출발하거나 차제구조의 결함이다.

해저드 분석과 리스크 평가에서 기존 경량전철시스템과 차이는 없으며 도어의 설계, 생산, 설치 단계에서 발생 가능한 차이점은 추가로 조사할 것이다. 도어의 적절한 설계, 제작, 및 시험을 일반적인 경감조치로서 제안한다.

6) 잘못된 방향의 차량 도어 열림으로 인한 승객 추락

본 해저드는 차량 도어나 ATP 고장 시 발생된다.

위에서와 같이 해저드 분석과 리스크 평가에서 기존 경량전철시스템과 차이는 없으며 도어의 설계, 생산, 설치 단계에서 발생 가능한 차이점은 추가로 조사할 것이다. 도어의 적절한 설계, 제작, 및 시험을

일반적인 경감조치로서 제안한다.

7) 열차로부터 물체 추락

본 해저드는 열차에 설치된 장치가 분리되거나 파손되었을 때 발생될 수 있으며 차상 장치와 차량의 올바른 유지보수로 해저드를 경감시킬 수 있다. 해저드 분석과 리스크 평가에서 기존 경량전철시스템과 차이는 없다.

8) 비상시 열차에 승객 갇힘

본 해저드는 차량 도어시스템의 고장 또는 부적절한 승객 행동으로 발생할 수 있다. 비상시 차량 도어시스템에 고장이 발생하면 도어의 수동개방이 가능해야 한다. 해저드 분석과 리스크 평가에서 기존 경량전철시스템과 차이는 없다. 도어의 설계, 생산, 설치 단계에서 발생가능한 차이점은 추가로 조사할 것이다. 도어의 적절한 설계, 제작, 및 시험을 일반적인 경감조치로서 제안한다.

9) 차내 승객의 감전

본 해저드는 전기누전이나 열차승객이 전기장치에 접촉하여 발생 될 수 있다. 가능한 경감조치는 승객과 전기장치간에 적절한 경계를 설치하고 누전차단기를 사용하는 것이다. 해저드 분석과 리스크 평가에서 기존 경량전철시스템과 차이는 없다.

10) 열차 화재

열차화재는 열차 내부 또는 외부에서 발생될 수 있으며 열차내부 화재 발생빈도가 더 높다. 열차 내부 화재는 열차 탑승자의 실수나 부주의로 발생 할 수 있다. 열차외부 화재는 전기누전을 제어하지 않거나 전력 과부하 등 주로 전력공급 장치의 고장으로 인해 발생된다.

본 해저드의 발생빈도는 기존 경량전철시스템과 동일한 것으로 평가한다. 그럼에도 불구하고 자기부상시스템에서는 휠과 레일간 마찰이 없기 때문에 제동장치 같은 기계장치의 과열로 인한 열차외부 화재

발생의 가능성 감소되어 이러한 평가는 보수적인 추정이다. 이에 대한 경감대책은 다음과 같다.

- 화재에 대비하여 열차를 적절하게 설계한다. 예를 들면 원재료의 선정은 화재특성에 따르는 것과 같이 화재부하(fire load)를 제한한다.
- 화재 감지시스템 및 소방설비를 열차 내에 설치한다.
- 운영자가 CCTV를 통해 원격으로 감시하거나 안전요원이 차량에 탑승하여 감시한다.

해저드 분석과 리스크 평가에서 기존 경량전철시스템과 차이는 없다.

11) 직원의 지원이 없는 승객의 선로변 대피

본 해저드는 선로변에 열차정차를 초래하는 모든 서브시스템의 고장들로 발생될 수 있으며 본 해저드와 관련된 주요 서브시스템들은 다음과 같다.

- 차량 :기존 철도시스템에서 발생 가능한 대차의 모든 기계적인 고장은 자기부상 시스템에서는 무시되기 때문에 이러한 관점은 해저드 발생빈도 등급의 평가에서 개선된 요인이 된다.
- 신호 :앞에서 언급한 해저드 사례들에서와 같이 고장모드와 고장발생빈도는 기존 경량전철에서와 유사한 것으로 추정한다.
- 급전 :고장모드와 고장발생빈도는 기존 경량전철에서와 유사한 것으로 추정한다.

본 해저드를 경감시키기 위해 상기의 모든 서브시스템들을 적절하게 설계하고, 설치하며 시험 하여야 한다.

본 해저드 분석은 직원의 도움 없이 승객들이 선로변으로 대피해야 하는 상황의 필요성에 달려있다는 점에 주의해야 한다. 이러한 심각한 이벤트는 다음의 운영원칙에 따라 항상 예방해야 한다.

- 열차는 가능할 경우 항상 다음 역까지 진행하여야 한다. 열차의 부상력을 상실했을 경우에도 리니어 모터 주변에 설치된 랜딩롤러들 때문에 주행 관성력을 사용하여 열차는 계속 진행할 수 있다.
- 차량 화재가 발생한 경우와 같이 승객 대피가 즉각적으로 필요한

경우가 아니라면 승객이 열차에 탑승한 상태로 구원운전 하여야 한다. 급전전력 차단 시에도 UPS의 배터리에서 중요한 전력부하(ATC, CCU, 비상전화 등)에 전력을 공급하여 열차내의 정상환경이 확보되는 점을 감안하여야 한다.

직원의 도움 없는 승객대피의 경우, 비상 대피로를 사용하는 것이 안전상 최선책이라고 할 수 있다. 비상 대피로가 없는 경우 적어도 다음 해결방안 중 한 가지를 검토한다.

- 열차의 전두부 및 후두부의 비상문을 통해 대기 열차로의 승객 대피
- 반대편 선로에 정차한 대기 열차로의 승객의 측면 대피
- 고가교의 높이가 적절할 경우 비상탈출용 도어에 설치된 항공기 형식의 공기팽창 식 비상대피 슬라이드를 사용한 승객 대피

소방구급대가 사고현장에 도착한 경우 사다리 차량을 이용한 승객 대피방법을 권고한다.

"차량화재로 열차가 본선에 정차한" 상황에 대해 고가교 선로구조를 사용하는 자기부상시스템의 대처능력이 낮기 때문에 관련 서브시스템들은 높은 신뢰도 값을 갖고 있어야 한다. 특히 차량은 최고의 화재방지(원재료 화재특성 등에서) 수준 및 소화기가 필요하다.

12) 위험한 차내 환경

본 해저드의 가능한 원인들은 주로 공기조화시스템의 고장과 관련된다. 경감조치들은 열차 공기조화시스템을 적절하게 설계하고, 설치하며 시험하는 것이다

13) 자연재해(지진 및 기상 피해)

강풍과 같은 비정상적인 날씨로 인해 초래되는 대부분의 해저드들은 차륜을 사용하지 않는 자기부상 시스템에 적용되지 않는다. 하지만, 선로상에 두꺼운 얼음이 끼는 것과 같은 극심한 기후에서는 비정상 상황이 발생할 수 있기 때문에 특별한 선로 검사를 해야 한다.

지진과 지반침하 같은 해저드에 대해서는 다음과 같은 경감조치를

취할 수 있다.

- 국가 건축법에 근거한 토목 설계의 검증(verification) 및 확인(validation)
- 정상 하중조건에 대한 적절한 구조 안전율 정의
- 계절별 기후 변화와 관련하여 구조물의 주요지점을 정기적으로 검사

14) EMI/EMC(차상 및 주요 지상장치, 누설전류)

본 실용화사업은 기본/실시설계 단계로 자기부상 서브시스템 상호간에 성능을 저하시킬 수 있는 전자파 장애(EMI/EMC) 기술자료가 현재까지 작성되지 않았다.

EMI/EMC 해저드는 부상장치와 추진장치의 전자계와 차상장치인 간격센서와(Gap Sensor) 신호장치간의 상호 간섭에 관련된 내용이다. 자기장 간섭은 여러 경로를 통해 운영시스템과 전기전자장치에 전기적 노이즈를 일으킬 수 있다.

일반적으로는 잠재적 EMI 영향은 시스템 안전성관련 사항이고, 철도노선 현장의 전자기 환경 특성을 충분히 평가해야 한다. 전자기 필드와 방출량은 자기부상차량과 선로에서 멀어질수록 급격하게 감소하기 때문에 자기부상시스템이 차내승객의 전자장치 휴대품과 노선주변 시설물 및 노선을 따라 설치된 서브시스템들에 미치는 안전성 영향은 미미하거나 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

기존 철도시스템에서의 경감조치들은 모든 서브시스템들은 EN50121 또는 IEC 61000에 따라 데모하는 것과 같이 EMI/EMC 국제규격을 준수하는 것으로 표현된다.

15) 제 3궤조에 전력 공급 부족

본 해저드는 제3궤조에 급전전력이 공급되지 않는 구간에서 발생 할 수 있다. 본 해저드는 급전 전력 공급시스템을 이중화하여 경감시킬 수 있으며 차량은 주요 컴포넌트들에 백업전력을 공급할 수 있는 배터리를 설치한다

16) 고가 구간의 붕괴 사고

본 실용화사업의 시범노선에는 복선의 고가 선로가 설치된다. 이러한 고가구간의 붕괴사고는 예상하지 못한 하중조건 또는 설계 오류로 발생된다.

다음과 같은 경감 조치를 취할 수 있다.

- 국가 건축법에(예; 리터6의 지진) 준수하는 토목설계의 검증 (verification) 및 확인이 (validation) 필요
- 정상 하중조건에 대한 적절한 안전율 정의
- 구조물의 주요 지역을 정기적으로 검사

(마) 안전성프로그램

본 장에서 안전성 활동들 및 각 서브시스템 공급업체가 발주처에 제출하여 1-2세부과제의 검토를 거쳐 발주처의 승인을 득해야 하는 안전성 성과물들에 대해 개략적으로 설명한다. 유럽규격 EN50126의한 안전성 프로그램에는 각 설계단계 에서 안전성 중요기능 인식, 서브시스템 설계에 안전성 설계원칙 적용을 위한 설계팀 지원, 요구되는 신뢰성 성능달성 및 안전성 목표달성에 대한 검증을 위한 활동들이 있다.

다음과 같이 관련 주요 마일스톤들을 포함하는 안전성 승인 프로그램을 제시한다.

본 실용화사업에서 각 서브시스템 안전성 엔지니어는 각 마일스톤 마다 각자의 서브시스템 공급범위에 대해 본 실용화사업 수행 단계에서 요구되는 모든 안전성활동들을 완료하고 관련 안전성 요구조건들이 충족 되었다는 것을 입증하는 문서적 증거를 발주처에 제출해야 한다.

이러한 문서적 증거들을 기록한 성과물들은1-2세부과제의 검토를 거쳐 발주처의 승인을 득해야 한다.

다음 표에서 본 실용화사업 수행단계와 일치하는 RAMS 수명주기 단

계와 각 단계 별로 제출해야 하는 안전성 성과물들과 각 성과물 작성, 후속활동 수행주체, 검토, 및 승인 주체를 설명한다.

본 장에서 제시한 안전성 승인 프로그램은 제안사항이기 때문에 절대적인 사항은 아니며 본 실용화사업의 진척에 따라 발주처와 협의하여 수정, 보완 및 일정변경이 가능 하다. 그러나 어떠한 경우에도 안전성 승인 프로그램은 서브시스템 공급계약서 내용에 포함되고 서브시스템 안전성 관리계획에서 상세하게 설명하여야 한다.

[표 54]철도시스템 수명주기 단계와 프로젝트 수행 단계

수명주기 단계	시범노선 수행단계	활동/성과물	책임 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			기전시스템	서브시스템	
1. 개념설계	기본설계 실시설계	시스템 안전성 관리계획	D	F	-
2. 시스템 정의 및 적용조건		시스템 및 서브시스템 안전성 요구사항	D	F	-
3. 리스크 분석		서브시스템 안전성 관리계획	F	D	1-2세부과제/발주처
4. 시스템 요구사항		예비 해저드 인식 및 분석	D	D	1-2세부과제/발주처
5. 시스템 요구사항 배부		해저드 추적 및 리스크 해결 프로그램	D	D	1-2세부과제/발주처
6. 설계/실행	제작설계	시스템 안전성 관리계획 개정	D	F	-
		서브시스템 안전성 관리계획 개정	F	D	1-2세부과제
		서브시스템 해저드 분석(SSHA)	F	D	1-2세부과제/발주처
		운영 및 지원 해저드 분석(O&SHA, 일정변경 가능)	D	D	1-2세부과제/발주처 (수행일정 변경가능)
		인터페이스 해저드 분석(IHA)	D	D	1-2세부과제/발주처
		해저드 로그(HL)	D	D	1-2세부과제/발주처
		시스템 안전성 종합보고 계획	D	F	-
		서브시스템 안전성 종합보고 계획	F	D	1-2세부과제/발주처

수명주기 단계	시범노선 수행단계	활동/성과물	책임 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			기전시스템	서브시스템	
7. 제작	제 작 / 설 치	시스템 안전관리 계획 개정	D	F	-
8. 설치		시스템 안전성 종합 보고계획 개정	D	F	-
		서브시스템 안전성 종합보고 계획 개정	F	D	1-2세부과제 /발주처
9. 시스템 검증 (안전성 수용 및 시운전 포함)	기술 시운전	안전성 시험 규격	F	D	1-2세부과제 /발주처
10. 시스템 수용	영업 시운전	서브시스템 안전성 종합보고 / 시스템 안전성종합보고	D	D	1-2세부과제 /발주처

1) 서브시스템 안전성 성과물의 간략한 검토

서브시스템 공급업체들이 작성해야 하는 각 문서의 내용을 아래와 같이 간략하게 설명한다. 보다 상세한 내용인 서브시스템 수준에서의 작성양식, 성과물의 주요내용, 및 추가적인 안전성 활동 내용은 시스템 안전성 관리계획에서 더욱 상세하게 명시한다.

가) 서브시스템 안전성 관리계획 및 안전성 종합보고 계획

서브시스템 공급업체들은 기전시스템의 안전성 프로그램과 안전성 관리계획을 바탕으로 본 실용화사업 수명주기에 따라 수행할 안전성 활동들에 대한 계획을 수립한다. 그 계획에는 아래 사항들이 포함된다.

- 서브시스템 안전성관리 조직, 역할 및 책임
- 본 실용화사업 수행 단계별로 수행할 안전성 활동
- 안전성 프로그램의 수행완료 및 안전성 요구사항들 데모를 위한 업무절차와 적용 방법론에 대한 지침들
- 안전성 관리 절차의 수행 및 안전성 목표달성 데모의 증빙으로서 제출될 산출물 들

나) 서브시스템 해저드 분석 (SSHA)

예비 해저드 분석을(PHA) 기초로, 각 서브시스템 공급업체는 공급 범위에 포함되는 해저드를 공급 회사의 책임으로 상세하게 분석하여 발주처에 제출하여야 한다. SSHA는 서브시스템 안전성 관리계획에 기술된 접근방법에 따라 분석하여야 한다.

SSHA분석영역은 서브시스템 운영 시 발생 가능한 모든 해저드를 식별하고 모든 해저드의 “허용가능 (Acceptable)” 여부를 리스크 평가절차를 통해 검증하는 것이다. 주요(critical) 해저드가 Undesirable(바람 직하지 않음) 또는 Intolerable(용인불가)로 평가될 경우, 리스크를 acceptable (허용가능)한 수준으로 감소시킬 수 있도록 설계 솔루션 및/또는 서브시스템 외부적 대책 방안을 제시하고 논의한다.

고장계통분석(Fault Tree Analysis)은 바람직 하지 않은 이벤트의 발생 가능성을 평가하는데 유용하게 쓰인다. 리스크 경감조치와 경감조치의 효과를 인식하는 FTA를 통해 시스템에서 안전성 중요(critical) 포인트들이 강조된다.

다) 서브시스템 안전성 종합보고

서브시스템 안전성 종합보고에는 공급될 서브시스템이 안전하다는 것을 선언하기 위해 필요한 서브시스템 안전성 활동과 그 결과를 종합하여 기술한다. 본 보고서에는 아래와 같은 내용들이 포함되나 이에 한정되지는 않는다.

① 서브시스템 정의: 서브시스템을 명확하게 정의하고 모든 요구사항, 설계문서 및 적용 규격의 변경 상태와 갱신 번호를 기술하며 최종적으로 적용 및 달성된 내용을 정리한다.

② 서브시스템 안전성 관리: 본 실용화사업 수행 단계에서 안전성 관리에 적용하거나 할 예정인 관리 및 통제 절차를 기술하며 최소한 아래의 내용들을 포함하여야 한다.

- 안전성 관리조직

- 서브시스템 안전성 관리계획(갱신)
- 서브시스템안전성 관리계획이 시스템안전성 관리계획과의 일치 여부와 적절한 통제 절차를 수행하는지 여부에 대한 평가내용
- 서브시스템 안전성 요구사항들의 달성에 대한 검토, 확인, 검증 사항들

③ 서브시스템 해저드 로그(갱신) 및 시스템 해저드 로그와의 인터페이스 조정사항

④ 기술적 안전성 보고: 서브시스템 안전성 요구사항을 만족하도록 하는 서브시스템 설계 규격, 설계기준, 시험규격, 시험결과, 안전성 분석내용과 이들을 반영한 설계사항을 정리하여 기술한다.

⑤ 서브시스템 설계에 적용한 안전성 규격 내용을 기술한다.

⑥ 서브시스템을 정상상태에서 올바르게 운영하기 위해 필요한 아래 사항들을 기술한다.

- 서브시스템 아키텍쳐 설명
- 인터페이스 정의
- 서브시스템 요구사항의 달성 여부
- 안전성 요구사항의 달성 여부
- 올바른 하드웨어의 기능 설명
- 설치현장 환경조건의 적합성 여부
- 올바른 소프트웨어 기능 설명

⑦ 안전성 기능사양에 따라 외부 영향을 받는 경우에 대한 설계검증 내용을 기술한다.

⑧ 서브시스템운영 시 고려해야 하는 안전성관련 법규, 적용조건 및 제한사항을 기술한다.

⑨ 서브시스템의 안전성 시험결과를 기술한다.

⑩ 모든 안전성 분석내용 예를 들면 시스템 해저드 분석, 서브시스템 해저드 분석, 운영 및 지원 해저드 분석, 인터페이스 해저드 분석 등이 언급되고 참조 된다. 또한, 타 무인운전 경량전철의 적용사례를 반영하여 서브시스템을 설계한 경우 타 무인운전 경량전철에 적용했던 사례에 대해 기술한다.

바. RAM 관리 계획서(설계단계)

(1) 개요

본 문서는 2차년도 작성한 RAM 관리계획서의 개정본으로써 자기부상 시범노선에 건설될 E&M 시스템 RAM 요구조건 달성을 보장하기 위한 활동들을 계획하고 RAM 수행 조직을 구성하는데 그 목적이 있다.

개정되는 주요 내용은

- 설계 성과물을 바탕으로 시스템 정의
- RAMS 관리조직
- RAMS 관리 대상분야 (사업단-I핵심-III핵심 협의 중)

시스템 RAM 관리계획은 RAM 활동과 관련된 시스템 엔지니어링의 설계검증 절차를 구축하고 유지하며 이 절차들의 체계적인 통제가 가능하도록 하는데 그 목적이 있기 때문에 다음과 같은 검증 도구들을 기술한다.

- RAMS 활동들의 준비를 위한 계획문서를 제시
- 적절한 시기에 비용 효과가 높은 방법으로 RAM 원리들이 서브시스템 설계에 반영되도록 감시
- 각 E&M 서브시스템에서 발생 가능한 고장을 인식, 추적, 및 평가하며 현실적으로 가능할 경우 고장요인을 제거하거나 완화
- RAM 문서들 관리를 위한 절차나 참조 사항을 기술

서브시스템 설계, 시스템/장치 구성, 또는 운영기능 요구사항과 관련된 변경사항이 RAM 요구조건을 충족하는지 여부를 확인하며. 본 실용화사업 연구기간 전 단계에 걸친 신뢰성, 가용성, 유지 보수성에 대한 중요한 데이터와 결과/경험을 수집하고 문서화 한다.

시범노선 건설 각 단계마다 시스템 RAM 관리계획이 갱신되어 E&M 시스템 수준에서 신뢰성, 유지보수성 엔지니어링을 수행하는데 필요한 절

차들과 일정들을 점차 상세화 한다.

시스템 RAM 보증절차를 구축하며 모든 E&M 서브 시스템에서 수행하는 RAM 요구사항 달성 검증방안을 표준화 시킨다.

시스템 RAM 관리계획에서는 본 실용화사업 E&M 시스템의 고 신뢰성을 보장하고 열차 운행서비스 중단을 최소화 하기 위한 신뢰성, 가용성, 유지 보수성 엔지니어링 활동을 기술한다.

(2) 시스템 정의

(가) 운영 개요

인천국제공항은 공항교통센터로부터 공항철도(AREX)에서 운행하는 용유역까지 운행될 도시형 자기부상열차 시범노선을 구축하기 위해 한국건설기술 평가원과 계약을 체결했다. 동 프로젝트는 3단계로 구분되어 완공된 최종 노선연장은 53.2km이나, 1 단계 시범노선의 길이는 6.1km 이다.

1단계 시범노선은 6개의 역사와 1개의 차량 기지로 구성되어 있으며 아래표는 역사간의 거리를 나타낸다.

위치	역사 명	거리	비고
공항교통센터	101 역사	28m	섬식 승강장
공항 터미널 2	102 역사	330m	섬식 승강장
에어시티 파크	103 역사	880m	상대식 승강장
패션 아일랜드	104 역사	1380m	상대식 승강장
워터 파크	105 역사	4850m	상대식 승강장
공항철도 영유역사	106 역사	5930m	상대식 승강장
노선 종점	-	6113m	-

(나) 차량 시스템

1) 일반사항

경량화된 금속구조체의 상전도 흡인식 자기부상열차는 비상 운전대가 있고 동력을 갖는 차량으로 구성되며, 열차의 편성은 2량 1편성(Mc1-Mc2)을 고정편성으로 운행

2) 구성 및 기능

가) 차체

- 차체구조는 불연성, 경량화 재질 사용을 원칙으로 하고, 구조 및 기능상 불연성으로 할 수 없는 경우 난연성의 화재방지 구조
- 차체의 구조는 언더프레임, 측구조, 지붕구조, 전두부 및 단부구조로 이루어지며, 차체는 경량 알루미늄 합금재로 제작된다.

나) 대차

- 대차는 전자석의 자기력을 이용한 부상상태에서 비접촉식 주행하며, 승차감이 좋고, 유지보수가 용이한 구조로 구성
- 자중 및 차체에 의해 작용하는 하중을 지지하고 견인력과 제동력을 전달함과 동시에 차량의 주행은 최고 속도를 만족하고, 이와 관련하여 안전성 유지, 곡선 통과 및 구배 등판을 원활히 할 수 있는 구조

다) 부상장치

- 차량의 하중조건, 전자석과 궤도 레일 사이의 실제 공극(Gap) 및 설정된 공극에 따라 필요한 힘(전류)의 양을 계산하여 전력변환장치에 인가하고, 전력변환장치는 전력을 변환하여 전자석에 공급하는 구조
- 부상장치는 연산 및 전력변환장치(Magnet Driver), Gap Sensor, 가속도 Sensor 및 전자석(Magnet) 등으로 구성

라) 추진장치

- 추진장치는 각 차량당1대의 인버터와 8대의 선형 유도전동기로 구성하며, 차량의 역행 및 전기제동을 수행
- 소형, 경량화 설계에 역점을 두며, 차량의 신뢰성, 보수성 및 에너지 효율의 향상등 본 시스템이 갖는 특성을 최대한 발휘할 수 있도록 한다

마) 집전장치

- 집전장치는 고가궤도로 된 girder beam의 양측면에 설치된 강체 가선으로부터 집전하며, 기계적으로 견고하고 특히 고속운전에도 양호한 추종성 및 집전성능
- 운행 중 발생할 수 있는 차량의 변위에 대하여 정상적으로 집전하도록 한다

바) 보조전원장치

- 보조전원장치는 차내 각종 전원을 공급하는 장치로써, 신뢰성, 보수성 및 경량화 등 시스템이 갖는 특성을 최대한 발휘할 수 있도록 한다
- 종합제어관리장치(TCMS)와 연계하여 차상 자기진단 기능 및 고장의 감시 등을 위한 모니터링 기능을 갖도록 한다

사) 제어전원용 축전지

- 축전지 용량은 가선의 전원중단, 보조전원장치의 고장 등 원인으로 차량이 운행될 수 없을 경우 구원에 필요한 시간, 승객의 안전과 비상시 차량운행에 필요한 비상조명, 방송, 기타 제어회로 등에 전원을 공급

아) 방송장치

- 차량의 방송장치는 차량의 안전운행 및 승객을 위한 자동 안내방송, 평상시의 공지사항 전달 및 비상시 안내방송 등을 행할 수 있는 것으로 한다
- 자동 안내방송은 차량의 종합제어장치와 연계하여 자동으로 안내방송이 될 수 있도록 하며, 항시 차량에서의 자체 운용이 가능하도록 한다

자) 출입문 개폐장치

- 출입문 개폐 장치는 무인 운전시를 포함한 모든 운전상황에서 개폐 조작이 가능하도록 구성하며, 비상운전대의 절환 스위치에 의해 용이하게 기능 선택을 할 수 있도록 제작
- 차량이 운행중에는 출입문 개폐장치를 조작하여도 출입문이 열리지 않고, 정차시에만 개폐가 가능하도록 정지 검지장치를 함께

설치

차) 표시기 장치

- 표시기 장치는 제어장치, 열차번호표시기, 행선표시기(정면), 승객안내표시기로 구성
- 제어장치는 종합제어장치와 연계

카) 종합제어장치(TCMS)

- 종합제어장치는 안전요원에게 운행에 필요한 운전 및 차량상태 정보를 알 수 있도록 하고, 차량에 탑재된 기기의 제어 및 동작 상태를 항상 감시함으로써 이상 상태 발생시 경보, 상태 표시 및 안전요원에게 필요한 처치를 하게 하고, 그 결과를 표시

타) 제동장치

- 기계제동장치는 회생제동을 위한 인버터 장치, ATP/ATO장치 및 종합제어장치와의 협조제어를 고려하고, 충격 없는 유연한 제동을 위하여 저크제한기능(Jerk Limitation)을 가지며, 승차감 향상을 위한 저소음, 저진동 구조

(다) 신호 시스템

1) 일반사항

신호시스템의 필수는 열차의 안전확보로

- 열차의 과속방지
- 열차간의 충돌방지
- 분기기에서의 안전한 열차운행 보장
- 동일 선로상에서 후속열차의 안전거리 유지 및 추돌방지
- 열차운행의 효율성 확보, 최소운전시격 및 표정속도 실현이다.

(2) 구성 및 기능

(가) 종합관제설비

- 열차운행 상황감시 제어
- 열차번호 관리 및 위치추적
- 열차운행스케쥴에 의한 자동진로제어 및 신호설비 상태감시 제어
- LAN Interface를 통한 정보 송수신

- 수신된 정보를 LAN을 통해 Control Console 등 각 주변기기로 전송
- 열차운행 계획/실적관리
- 현장설비 기본 데이터 관리
- S.O.P. 관리
- 열차운행실적관리 및 통계자료 생성
- TCC Back-up
- 현장제어 정보 전송
- 열차 운행 상황 표시
- 통계자료 조회

나) 전자연동장치/LCC
- 진로 설정/쇄정
- 분기기전환/쇄정/해정
- 열차검지
- 열차운행 제어 및 감시
- 인접연동역 제어 및 감시
- Replay

다) ATP 장치
- 논리블럭에 의한 열차검지
- 열차 주행의 결정과 관리
- 열차간격 조정
- 열차 출입문 제어 정보
- 선로운전제한 정보의 생성

라) ATO 장치
- 열차의 특성과 감시 및 제동성능을 근가능로 하는 계산된 속도 프로파일에 의한 속도제어

- ATP가 괄속을 검지하는 상태가 되지 않게 속도제어를 구현
- 정확하고 부드러운 정위치 정차
- 속도 감속 및 정지 신호 앞에서의 정차

(라) 통신 시스템

1) 일반사항

완전무인운전을 구현하기 위해서

- 관제사가 승객에게 정보를 제공하기 위하 원격방송 설비
- 관제사가 승객와 양방향 통신을 할 수 있는 비상인터폰
- 역구내/차내 승객의 안전확보를 위한 CCTV 설치 및 중앙관제실 감시기능이 필수적이다.

2) 구성 및 기능

가) 전송망설비

- 열차의 안전운행에 필요한 일반전화망, 종합관제실 데이터, 타분야 회선등으로 자동화, 무인화, 전화 등 고품질의 통신서비스

나) 열차무선설비

- 종합관제실과 본선에 운행 중인 열차 승무원과의 통화
- 비상시에는 관제사에서 차내 승객에게 인터폰 통화 및 방송기능
- 개별, 일제, 그룹, 비상통화, 단말기간 통화, 싱글사이트 기능, 무전기 우선 통화기능, 전이중방식 통화기능

다) 역무 자동화 설비

- 승차권 발매, 개/집표
- 회계 및 통계자료 생산
- 자동발권기, 자동발매기, 자동개집표기 제어

라) 역무용 통신설비

- 운영과 시설물의 유지관리를 위한 각 운영부서 상호간 음성과 화상 통화 기능
- CCTV설비를 통해 역사 및 기지, 변전소 등의 주요시설물, 열차 도착 및 출발상황 등 현장상황을 실시간 원격감시 및 승객 안전

확보

- 승객에게 열차운행 정보 제공
- 무인기능실 감시
- 토크백 기능

마) 양방향 무선데이터 통신설비

- 무인화에 따른 객실 내 CCTV 설치를 통해 객실내 상황 감시(승객안전확보)
- 공익광고/긴급메세지/공지사항 등 영상 및 문자로 제공

바) 차량기지설비

- 차량 유지/운영 및 유지보수를 위한 정보통신설비 구축
- 기지내 CCTV 설치를 통한 주요시설물, 검수고 및 차량 입환시 현장상황 실시간 원격 감시

(마) 전력 시스템

1) 일반사항

인천국제공항 변전소로부터 3상 22.9kV 2회선을 수전하여, 본선2개소 및 차량기지 1개소에서 변전 후 DC 1500V 전력급전레일 방식으로 집접 함.

2) 구성 및 기능

가) 수전설비

- 인천국제공항 변전소로부터 3상 22.9kV 2회선 수전
- 104정거장 변전소내 수전설비 구성
- 지중관로(2회선)구성

나) 변전설비

- 변전실은 본선 2개 정거장(104, 105정거장)과 차량기지에 건설
- 각 변전소간에 22.9kV 연락 배전선로를 설치하여 전력공급변전소 고장으로 전력을 공급받지 못할 시 상호 전력 공급

다) 원방전기설비

- 차량기지내에 종합관제실을 구성하여 감시/제어

라) 일반전기설비

- 정거장 및 차량기지의 조명, 동력, 신호, 통신, 소방설비에 전력 공급
- 전기실은 3개 정거장(102, 103, 106 정거장)과 차량기지에 설치
- 정거장 전기설비는 1, 2호계로 분리하여 일반부하, 상시부하, 이중부하, 비상부하로 구성

마) 전력급전레일설비

- 자기부상열차에 전력공급을 위한 전력급전레일로서 차량대차 하부에 설치된 Collector Shoe와 접촉되는 설비
- 집전방식은 전력급전레일 DC 1,500V
- 전력급전레일을 전기적, 기계적으로 안전적으로 고정하는 지지대 설치

(바) PSD

1) 일반사항

승객의 안전성 및 쾌적성 향상, 열차의 안전하고 신속한 운행보장

2) 구성

- PSD 종합제어반
- PSD 제어부
- 개별제어반
- PSD 모니터링 컴퓨터
- PSD Door

(사) 분기기

1) 일반사항

분기기의 구성은 분기기 양끝단에 본선과 연결하기위한 고정거더가 설치되고, 그사이에 장경간거더 1개, 단경간거더 2개로 구성된 분기기가 거더당 굴절각이 2.3°가 되도록 굴절시켜 본선과 지선을 연결할 수있는 구조

2) 구성 및 기능

가) 분기기 거더

- 시작부와 종단부는 이송대차 시스템을 설치하고 양단에 회전암 시스템을 두어 굴절각에 맞게 적정회전을 시키는 구조
- 장경간거더 길이는 끝단정렬 장치를 포함하고 열팽창 길이를 감안하여 선로가 간섭 받지않는 길이가 되도록 설계

나) 전기제어시스템

- 제어반은 이중화 구조로 설계하며 분기기에 설치된 센서도 이중화로 설계
- site 제어반에서는 중앙 제어반으로 동작회로가 전송 될수 있도록 통신회로를 케이블과 광통신으로 전송 할수 있는 회로를 구성
- 분기기 운전은 전기회로 프로그램 구성에 의해 장치들을 완전 자동운전 시스템으로 구성

다) 분기기 부상/추진레일

- 분기기용 부상추진 레일의 정밀도는 본선선로와는 다른 공차개념을 가져야 한다. 이곳 분기기 구간은 궤도 레벨의 기준이며 시작점이므로 레일의 단면 형상공차, 레일의 진직도 및 길이 등이 기계가공 수준이거나 기계가공으로 맞추어 주어야만 한다
- 레일의 제작공차는 설치공차 한계의 50%이상이 되어서는 안된다.

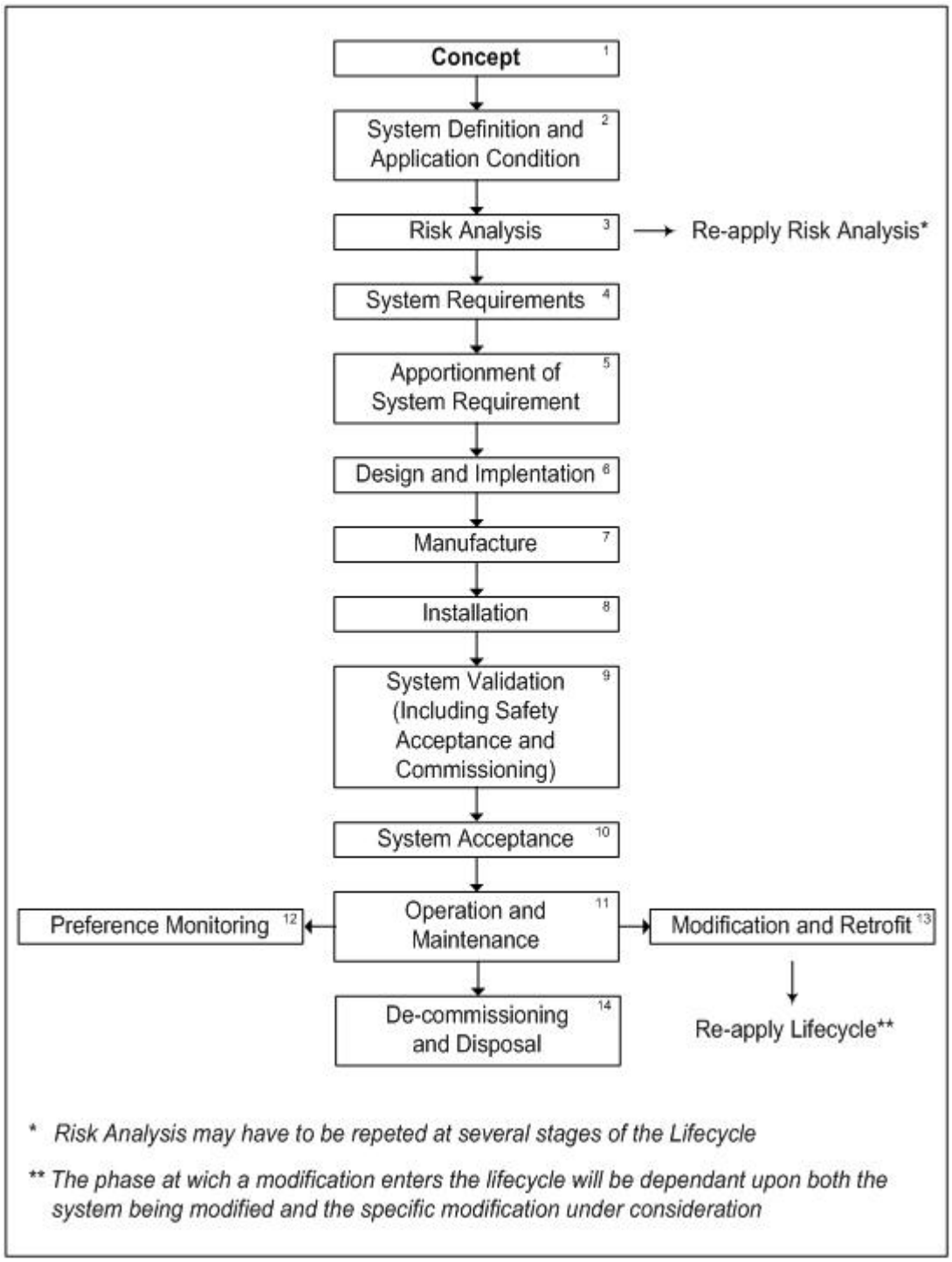
(3) RAM 관리절차

철도시스템의 RAMS 요소를 통제할 수 있게 하는 시스템 수명주기를 기초로 유럽규격 EN50126은 아래와 같은 RAM 관리절차를 다음과 같은 단계로 구성하여 추적할 수 있도록 한다.

- RAM 요구조건의 정의
- RAM 성능에 영향을 미치는 요인들의 평가 및 통제
- RAM 요구조건의 달성
- 시스템 수명주기 동안 지속되는 감시활동

시스템수명주기는 초기 계획단계에서 시스템폐기 단계까지 시스템의 전

체 수명 주기에 걸친 각 단계별 업무의 연속이다. 다음 그림의 시스템 수명주기는 단계별로 RAM을 포함한 시스템의 형상을 계획, 관리 및 통제의 구조로 정리하였다.



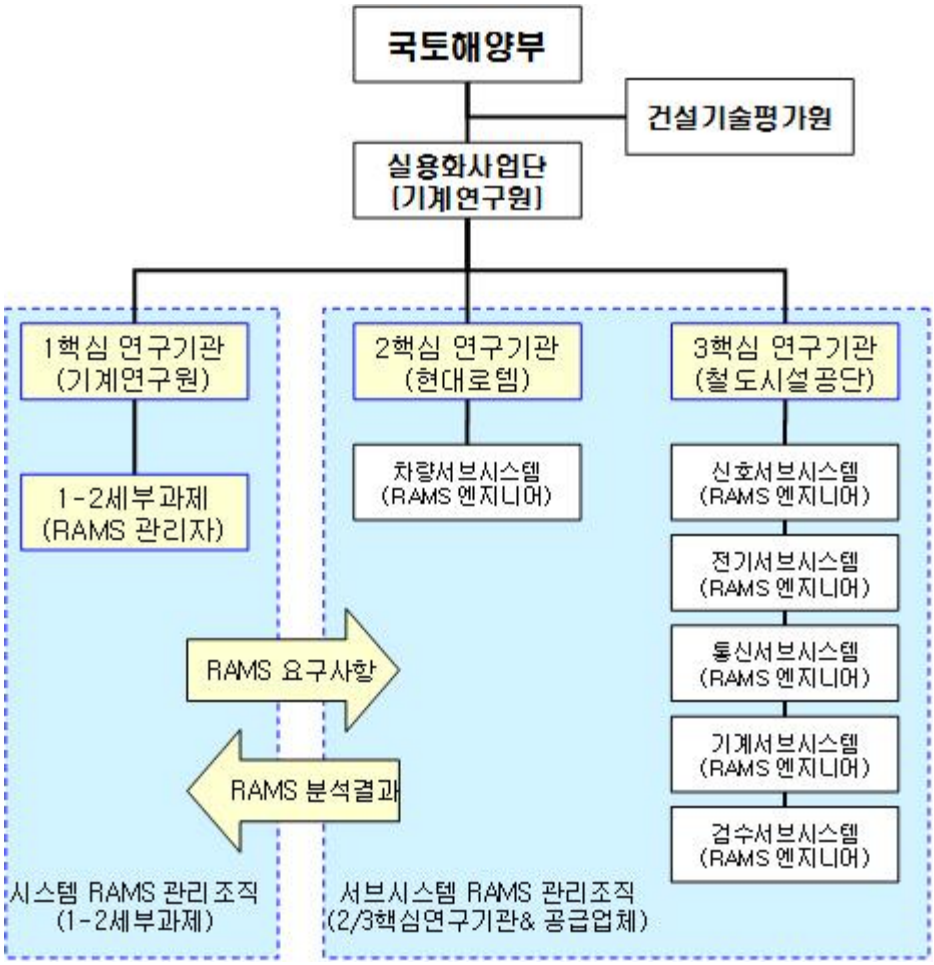
[그림 92]시스템 수명주기

(4) RAM 관리시스템

RAM 관련 사항들은 본 장에서 기술하는 RAM 관리조직에 의해 관리된다.

(가) RAM 관리조직

실용화사업 RAM 관리조직은 아래와 같이 시범노선 구축조직인 2/3 핵심과 공동으로 RAM 관리활동을 수행하며, RAMS수행대상 서브시스템 결정 후 시스템 수준의 RAM 관리조직 및 서브시스템 수준의 RAM관리조직 및 책임범위를 확정하여 개정할 예정이다.



[그림 93]실용화사업 RAM 관리 조직도

1) 국토해양부

국토해양부는 도시형 자기부상 실용화사업의 관리 및 평가를 건설기술 평가원에 위임하였으며 본 실용화사업의 총괄적인 책임이 있다.

2) 건설기술평가원

건설기술평가원은 국토해양부로부터 위임 받은 도시형 자기부상 실용화사업의 실적관리 및 평가를 진행한다.

3) 실용화 사업단

한국기계연구원에 구성된 사업단은 도시형자기부상열차 실용화사업의 기술 및 행정관련 총괄적인 책임이 있다.

4) 시스템 통합(1핵심연구기관)

한국기계연구원에 구성된 1핵심연구기관은 실용화사업 시스템통합에 대한 총괄적인 책임이 있으며 사업단, 2핵심(차량개발) 및 3핵심(시범노선구축)과의 RAMS 관련 인터페이스 관리에 대한 책임이 있다.

5) RAM 관리자(1-2세부과제)

RAMS 관리자는 본 실용화사업의 시스템 수준 RAMS 관리에 총괄적인 책임이 있으며 서비스가용성 목표 98%를 달성할 수 있도록 서부시스템에 대한 RAM 목표를 할당하고 서브시스템 RAM 요구사항을 준비한다. 또한 유럽표준 EN 50126 에 따라 시스템 수준의 RAM 문서를 준비하며 서브시스템의 RAM 문서를 검토한다. 서브시스템 공급업체에서 제출하는 서브시스템 RAM분석자료는 시스템 수준 RAM 업무 수행에 대한 주요 입력자료가 된다.

6) 차량개발 및 시범노선구축(2/3핵심 연구기관)

실용화사업 2핵심 연구기관은 자기부상 차량 개발에 총괄적인 책임이 있으며 차량 수준의 RAM업무에 총괄적인 책임이 있는 RAMS 엔지니어를 지명하고, 동 엔지니어가 서브시스템 수준의 RAM 활동을 유럽표준 EN50126에 따라 수행하게 한다. 실용화사업 3핵심 연구기관은 시범노선구축에 총괄적인 책임이 있으며 차량외 서브시스템별 RAM업무에 각각 책임이 있는 RAMS 엔지니어를 서브시스템별로 지명하고, 동 RAMS 엔지니어들이 서브시스템 수준의 RAM 활동

을 유럽표준 EN50126에 따라 수행하게 한다.

7) 서브시스템 RAM 엔지니어

서브시스템 RAM 엔지니어는 2/3핵심 연구기관을 경유하여 각각 서브시스템 공급업체에서 지명하며 서브시스템 수준의 RAMS 관리 조직을 구성하여 RAMS 관리자와 함께 서브시스템에 요구되는 RAMS 수행기능을 담당한다. 서브시스템 RAMS 엔지니어는;

- 서브시스템 공급업체에게 속하며 RAMS 관리조직의 기능을 담당한다.
- 서브시스템 공급범위에 대한 RAM 활동 수행의 책임이 있으며 관련 타 공급업체와의 적절한 인터페이스를 수행 한다.

공급범위의 서브시스템에 대한 RAM 문서를 작성하고 시스템 RAMS 관리자의 검토를 경유하여 발주처의(2핵심, 3핵심) 검토/승인을 득한다.

(나) 시스템 RAM 프로그램의 관리 및 통제

RAMS관리 조직은 시스템과 서브시스템 수준에서 본 문서에 기술된 RAM 프로그램 의 수행을 관리하고 통제한다.

- 서브시스템 RAM 관리계획 검토
- 서브시스템 RAM 분석 및 보고서의 검토
- RAM 활동의 감사 및/또는 RAM 문서의 검토
- 시스템과 서브시스템 수준에서 작성한 기타 기술문서의 검토
- RAM 프로그램에 참여하는 각 당사자들이 정기적으로 발행하는 진행 보고서를 통한 RAMS 활동의 모니터
- 특정 RAM 관리를 위한 절차의 정의
- 쟁점 사항의 인식과 해결책 준비 - 시스템 RAMS 활동에서 유래된 서브시스템 RAM 요구조건, 유지보수성 요구조건, 및/또는 안전성 요구조건 간의 쟁점

서브시스템 수준의 RAM 프로그램의 적용을 확인하기 위해 주기적인

감사를 실시할 수 있다. 이러한 감사 결과는 RAMS관리자가 적절하게 문서화하며 RAM 관련 문서의 일 부분이 된다.

제작설계 승인단계와 시운전완료 단계에 RAM 검토가 완료되며 시스템/서브시스템 RAM 요구조건 달성 여부를 검증(verify) 한다.

(다) 시스템 RAM 프로그램의 개정

시스템 RAM 프로그램은 관련 당사자들의 협의 하에 RAMS 관리자의 주관으로 개정될 것이다. 시스템 RAM 관리계획은 아래와 같이 갱신된다.

- 시범노선의 제작설계, 제작, 및 설치/시운전이 완료될 때
- 하나 또는 그 이상의 당사자에 의해 RAM 프로그램에 중요한 변화가 발생될 때
- 서브시스템 설계에 큰 변화가 있어 이를 RAM 활동에 반영할 때

(라) 서브시스템 공급업체의 관리, 감시 및 통제

서브시스템 공급업체들이 수행하는 RAM 활동을 다음을 통하여 감시하고 통제한다.

- 서브시스템 RAM 관리계획
- 공급업체의 RAM 관련 활동에 대한 특정 검토사항
- 주기적으로 발행되는 RAM 문서의 검토/심사
- 공급업체를 방문하고 회의 진행
- 공급업체의 제작설계 검토에(PDR, FDR) 참여

(5) 시스템 RAM 요구사항

2/3핵심 연구기관은 시스템 레벨의 RAM 요구사항을 충족시킬 수 있게 E&M 서브시스템을 설계한다. 정량적RAM 목표는 서비스 가용성(SA)으로 전체 E&M 시스템에 적용되며 그 목표는 계획열차출발을 열차출발실패와 비교하는 것을 기초로 아래와 같이 산출한다.

$$SA = \frac{PlannedDepartures - MissedDepartures + \frac{1}{2}UnplannedDepartures}{PlannedDepartures}$$

열차출발실패(MD)는 정해진 시간 동안 각각의 승강장에서 시스템 고장으로 인한 운행열차 지연의 결과로서 나타난다. 각각의 승강장에서 발생하는 열차운행지연 시간이 현재 운전시격 보다 길 경우 MD로 산출된다.

따라서 열차운행 지연으로 발생하는 MD 횟수는 지연시간, 고장영향 범위 및 현재의 운전시격에 따라 다르다. UD(예비열차출발)는 운영자의 열차운행지연 회복계획에 따라 다르기 때문에 서브시스템의 RAM 목표를 설정할 때 UD를 고려하지 않는다.

본 서비스 가용성 모델은 각각의 역사에서 계획출발횟수 누적과 실적출발횟수 누적을 연속적 타임 슬롯 단위로 비교하는 원리를 그 바탕으로 한다. 이 원리는 각각 타임 슬롯 단위로 다소 복잡한 열차 출발실패 횟수(MD)의 계산 절차로 실행된다.

PDd 는 승인된 열차운행 계획(DIA)에 따라 하루 동안 계획된 열차출발횟수라고 한다. 그리고, 각 역사와 방향 마다, 일일 열차운행 서비스 시간 동안 PD 횟수와 실제 열차출발 (AD) 횟수를 연속적인 일정시간 단위로 계산한다. 각각의 타임 슬롯이 끝날 때 마다, 승인된 열차 운행계획에 따라 각 역사의 각 방향마다 실적 열차출발횟수 누적을 계획 열차출발횟수 누적과 비교한다. 따라서 MDd 는 일일 동안 발생된 열차출발 실패횟수의 누적을 나타낸다.

이 서비스 가용성 모델에서는 운전시격이 신속하게 복구될 수 있게 시스템/서브시스템이 설계/제작될 경우에 보다 소수의 MD 만이 발생하는 개념에 기초한다는 점이 중요하다. 출퇴근(첨두시) 시간대의 승객이 일반 시간대 (비첨두시)의 승객에 비하여 열차지연시간에 보다 민감한 경향이

있기 때문에 이를 반영 하여 운전시격을 기준으로 MD를 산출하는 것에 의의가 있다. 또한 동일한 지연시간일 경우 운전시격이 길 경우에 열차 운행 서비스 복구가 상대적으로 용이하기 때문에 열차운행 서비스에 영향을 미치는 시스템의 고장 정의는 “운전시격”을 기초로 한다.

E&M 시스템 수준의 서비스가용성 목표는 아래와 같이 98% 이상을 달성한다.

$SA \geq 98\%$

서비스가용성 목표는 각 서브시스템에 허용 고장율과 최대고장복구 시간으로 할당되어 각 서브시스템이 요구사항을 달성하면 E&M 시스템 수준의 서비스가용성 목표달성 하게한다. 정성적 RAM요구조건은 높은 수준의 RAM 성능을 보장하기 위해 장치의 RAM 성능을 향상시킬 수 있는 신뢰성 설계원칙들도 서브시스템 요구사항으로 할당하였다. 요구사항 관련 상세한 내용은 2차년도 성과물인 “서브시스템 RAMS 요구조건” 문서를 참조할 수 있다.

6. 시스템 RAM 프로그램

본 장에서 RAM 활동들과 각 서브시스템 공급업체가 제출/승인 받아야 하는 RAM 성과물들에 대해 개략적으로 설명한다. 유럽규격 EN50126의 한 RAM 프로그램에는 제작설계 단계에서 RAM 중요(critical) 기능인식, 서브시스템 설계에 RAM 설계원칙 반영을 위한 설계팀 지원, 요구되는 신뢰성 성능달성 및 RAM 목표달성에 대한 검증을 위한 활동들이 있다.

각 서브시스템 공급회사는 유럽규격 EN50126을 준수하며, 서브시스템 RAMS 요구사항들을 달성하기 위해 동 규격에서 제시하는 활동들을 수행하고 완료하여야 한다. RAM 관점에서 최소한 실시설계, 제작설계, 설치 및 시운전의 4개 마일스톤들을 아래와 같이 설정 한다.

- 기본/실시설계 완료: 발주처에 의한 기본/실시설계 인수

- 제작설계 완료: 발주처에 의한 제작설계 인수
- 서브시스템 설치/개별시험 완료: 발주처에 의한 서브시스템 설치 및 개별시험 인수
- 시스템성능시험 완료: 발주처에 의한 시스템성능시험 인수

각 마일스톤마다 서브시스템 RAM 엔지니어는 자신의 공급범위 내에서 본 실용화사업 시범노선 수행 단계에 해당하는 모든 RAM 활동들을 수행하고 모든 RAM 요구사항들을 달성했다는 문서적 증빙을 제출한다. 이러한 증빙을 설명하는 성과물 및 설계내역들은 발주처에 제출하여 1-2세부과제의 기술적 검토 후 발주처의 검토/승인을 득해야 한다.

다음 표에서 본 실용화사업 수행단계와 일치하는 RAMS 수명주기와 각 단계 별로 제출해야 하는 RAM 성과물들과 각 성과물 작성, 후속활동 수행주체, 검토 및 승인주체를 설명한다. 여기에는 실용화사업의 실시설계 업무범위 및 실시설계 업체와 서브시스템 공급업체가 서로 다른 점 등 본 실용화사업의 특성을 반영하였다.

[표 55]수명주기 단계를 반영한 실용화사업 수행단계

수명주기 단계	실용화사업 수행단계	활동/성과물	책임주체 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			1-2과제	공급회사	
1. 개념설계	기본설계, 실시설계	시스템 RAM 관리계획	D	F	-
2. 시스템 정의 및 적용조건		서브시스템 RAM 요구사항	D	F	-
3. 리스크 분석		서브시스템 RAM 관리계획	F	D	1-2과제/발주처
4. 시스템 요구사항		PBS 및 예비 기능분석	F	D	1-2과제/발주처
5. 시스템 요구사항 할당		예비 RAM 분석	F	D	1-2과제/발주처
6. 설계 및 실행	제작설계	시스템 RAM 관리계획 개정	D	F	-
		서비스가용성 계산 (서브시스템 RAM 분석을 근거로 산출)	D	F	-

수명주기 단계	실용화사업 수행단계	활동/성과물	책임주체 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			1-2과제	공급회사	
		서브시스템 RAM 관리계획 개정	F	D	1-2과제/발주처
		서브시스템 RAM 분석 (RAM 요구사항 달성검증 포함)	F	D	1-2과제/발주처
		FMECA	F	D	1-2과제/발주처
		유지보수성 분석(예방정비, 고장정비)	F	D	1-2과제/발주처
7. 제작	제작 및 설치	시스템/서브시스템 RAM 데모 계획	D	D	1-2과제/발주처
8. 설치		FRACAS 절차	D	D	1-2과제/발주처
		유지보수성 시험규격	F	D	1-2과제/발주처
9. 시스템 검증 (Validation)	개별시험 및 종합시운전	시험 절차서	F	D	1-2과제/발주처
10. 시스템 인수	시스템 RAM 데모 (영업 시운전)	FRACAS 보고서	D	D	1-2과제/발주처

주) 발주처는 차량개발 및 시범노선구축에 총괄책임이 있는2/3핵심연구기관을 의미한다

(7) RAM 성과물 개요

(가) 시스템 RAM 성과물

1) 시스템 RAM 관리계획

시스템 RAM 관리계획에서 도시형자기부상 실용화사업의 RAM 요구사항의 달성을 확인 하는데 필요한 활동, 기술 및 관리 영역을 인식하고 감시하며 통제하는 내용을 기술한다.

시스템 RAM 관리계획은 실시설계 단계에서 작성되며 제작설계 단계에서 시범노선 구축의 진척에 따라 개정될 것이다.

2) 서브시스템 RAM 요구조건

서브시스템RAM요구조건에서 서비스가용성 목표 98%를 분석하여 각 서브시스템에 정량적 및 정성적 RAM 요구사항을 할당하는 목적으로 작성된다. 상세한 내용은 2차년도 성과물인 “서브시스템 RAMS 요구조건” 문서를 참조할 수 있다.

3) FMECA(RAM 분석 포함)

FMECA 분석을 통하여 E&M시스템의 RAM중요장치, 고장모드와 고장결과를 분석 한다. 초기단계 예비FMECA는2차년도 성과물인 “서브시스템 RAMS 요구조건” 문서에 포함되어 있다. 동 내용은 실시설계 단계에서 입수 가능한 기술자료를 기반으로 1차 개정되며 제작설계 단계에서 서브시스템 공급업체가 작성한 예비 FMECA를 반영하여 시스템 수준의 예비 FMECA로서 개정된다.

4) 시스템 서비스가용성 산출

본 문서에서 서브시스템에서 제출한 RAM 분석 데이터를 기반으로 서비스가용성 목표달성 여부를 확인한다. 제작설계 초기단계에서 이러한 데이터를 일부 공급업체에서 제공하지 못할 경우, 서브시스템 RAM 요구조건을 활용하여 서비스가용성 목표달성 여부를 확인한다. E&M 시스템의 시스템서비스가용성 산출 문서는 제작설계 단계에서 발행된다.

5) 시스템 RAM 데모 계획

시스템 RAM 데모계획에서 각 서브시스템 RAM 성능검증을 위한 시험활동들의 완료를 보장하기 위한 절차에 대해 기술한다. 시스템 데모계획은 제작단계에서 발행되어 RAM 관련 단체들의 검토를 거쳐 시스템 검증단계에서 최종 갱신되어 적용한다.

6) FRACAS 절차

FRACAS(Failure Reporting Analysis and Corrective Action System, 고장보고, 분석 및 교정조치 시스템)은 고장발생을 기록, 분류 및 분석하기 위한 도구로서 이를 활용하여 시험, 기술시운전, 영업시운전 및 영업운전 단계에서 서브시스템 또는 컴포넌트 수준에서

할당□예측된 신뢰성을 검증할 수 있다. FRACAS 절차는 시범노선 기술시운전 및 영업시운전 단계에서 시스템 RAM 데모 활동을 지원할 것이다.

7) 서브시스템 RAM 성과물

각 성과물의 주요내용에 대한 간략한 설명은 다음과 같다. 서브시스템 공급업체에서 작성할 성과물의 양식 및 활동에 대한 세부 내용은 “RAMS 분석 데이터 양식 및 지침서”에서 보다 상세하게 기술한다.

8) 서브시스템 RAM 관리계획

각 서브시스템 공급업체가 수행하는 RAM 활동들은 “서브시스템 RAM 관리계획”에서 계획되고 상세하게 기술하며, 또한 RAM 조직도 및 실용화사업 수행조직 내에서의 각 역할과 책임에 대해서도 기술한다.

“서브시스템 RAM 관리계획” 문서는 제작설계 초기 단계에 각 공급업체가 제출하며 시범노선 구축사업 진척에 따라 적절히 갱신된다. 본 계획서에는 시범노선 구축사업 기간 동안 수행될 서브시스템 수준의 모든 RAM 활동들을 계획하고, 활동의 결과인 성과물에 대하여 기술한다. 각 서브시스템 공급업체는 RAM 활동의 결과물로 최소한 다음 성과물을 제출하여 1-2과제의 검토를 거쳐 발주처의 검토/승인을 득한다

9) PBS 및 예비기능분석

PBS(시스템구조분석) 및 예비기능분석에서는 서브시스템의 최상위 수준부터 최하위 LRU(현장교체품목)까지 서브시스템의 구성을 하향식으로 기술한다. 서브 시스템의 각각 구성품목은 시범노선구축 품질(문서)관리 표준에 따라 코드화 되며 각 코드는 중복되지 않는다.

서브시스템 구성을 바탕으로 하는 기능분석에서 서브시스템의 수행역할, 각 구성품의 기능적 역할분석 및 타 서브시스템과의 기능적 인터페이스를 분석 한다. 이 기능분석은 기능 구성도를 포함한 기능블록다이어그램을(Functional Block Diagram) 활용하여 수행한다.

10) 예비 RAM분석

예비 RAM분석은 각각 서브시스템 공급업체의 책임으로 공급범위의 서브시스템에 대한 RAM 예비 분석을 수행한다. RAM 분석에서 각 LRU에 대한 신뢰성 데이터를 제공하며 RAM 중요장치들의 요구조건 달성을 검증하기 위해 고장계통분석(FTA) 기법을 적용하여 서비스 가용성과 관련된 상위 수준의 이벤트들을 개발한다.

11) 서브시스템 FMECA

FMECA를 통해 서브시스템에서의 RAM 중요장치들의 인식하고 고장모드와 고장 결과들을 인식하기 위한 목적으로 수행한다

12) 유지보수성 분석(고장정비 및 예방정비)

고장정비 및 예방정비 활동들에 대한 유지보수성 분석에는 유지보수 유형, 유지 보수에 필요한 자원 및 공구, 유지보수 수행간격 및 정비시간 길이가 포함된다.

상기의 모든 성과물들은 본 실용화사업 각 수행단계에서 작성 및 갱신되어 서브시스템 설계에 반영해야 하는 RAM 원칙에 대한 정보와 지침을 설계자에게 제공함으로써 서브시스템 RAM 목표를 달성하게 한다.

13) 유지보수성 시험 계획

유지보수성 시험은 유지보수성 분석결과에 따라 주요 유지보수 작업에 필요한 시간을 검증하기 위해 실시한다. 본 시험계획 및 사양서에 시험을 수행하기 위한 문서양식을 포함한 시험의 절차를 기술한다.

사. Safety 관리 계획서(개정본)

(1) 개요

본 문서는 도시형자기부상 시범노선의 수명주기 동안 수행되는 관리적• 기술적 안전성 활동의 포괄적인 개요를 제시함으로써 시범노선 건설기간 동안 안전성 문제들을 관리하고 안전성 관련 시스템들이 요구되는 안전성 특성들을 달성하게 한다.

시스템 안전성 관리구조 및 방법론들은 안전성 활동들과 요구되는 문서들로 종합하여 기술한다

(2) 시스템 설명

인천국제공항은 공항교통센터로부터 공항철도(AREX)에서 운행하는 용유역까지 운행될 도시형 자기부상열차 시범노선을 구축하기 위해 한국건설기술 평가원과 계약을 체결했다. 동 프로젝트는 3단계로 구분되어 완공된 최종 노선연장은 53.2km이나, 1 단계 시범노선의 길이는 6.1km 이다.

1단계 시범노선은 6개의 역사와 1개의 차량 기지로 구성되어 있으며 표 1은 역사간의 거리를 나타낸다.

위치	역사 명	거리	비고
공항교통센터	101 역사	28m	섬식 승강장
공항 터미널 2	102 역사	330m	섬식 승강장
에어시티 파크	103 역사	880m	상대식 승강장
패션 아일랜드	104 역사	1380m	상대식 승강장
워터 파크	105 역사	4850m	상대식 승강장
공항철도 영유역사	106 역사	5930m	상대식 승강장
노선 종점	-	6113m	-

[1단계 역사간 거리]

(가) 차량 시스템

1) 일반사항

경량화된 금속구조체의 상전도 흡인식 자기부상열차는 비상 운전대

가 있고 동력을 갖는 차량으로 구성되며, 열차의 편성은 2량 1편성(Mc1-Mc2)을 고정편성으로 운행

2) 구성 및 기능

가) 차체

- 차체구조는 불연성, 경량화 재질 사용을 원칙으로 하고, 구조 및 기능상 불연성으로 할 수 없는 경우 난연성의 화재방지 구조
- 차체의 구조는 언더프레임, 측구조, 지붕구조, 전두부 및 단부구조로 이루어지며, 차체는 경량 알루미늄 합금재로 제작된다.

나) 대차

- 대차는 전자석의 자기력을 이용한 부상상태에서 비접촉식 주행하며, 승차감이 좋고, 유지보수가 용이한 구조로 구성
- 자중 및 차체에 의해 작용하는 하중을 지지하고 견인력과 제동력을 전달함과 동시에 차량의 주행은 최고 속도를 만족하고, 이와 관련하여 안전성 유지, 곡선 통과 및 구배 등판을 원활히 할 수 있는 구조

다) 부상장치

- 차량의 하중조건, 전자석과 궤도 레일 사이의 실제 공극(Gap) 및 설정된 공극에 따라 필요한 힘(전류)의 양을 계산하여 전력변환장치에 인가하고, 전력변환장치는 전력을 변환하여 전자석에 공급하는 구조
- 부상장치는 연산 및 전력변환장치(Magnet Driver), Gap Sensor, 가속도 Sensor 및 전자석(Magnet) 등으로 구성

라) 추진장치

- 추진장치는 각 차량당1대의 인버터와 8대의 선형 유도전동기로 구성하며, 차량의 역행 및 전기제동을 수행
- 소형, 경량화 설계에 역점을 두며, 차량의 신뢰성, 보수성 및 에너지 효율의 향상등 본 시스템이 갖는 특성을 최대한 발휘할 수 있도록 한다

마) 집전장치

- 집전장치는 고가궤도로 된 girder beam의 양측면에 설치된 강체 가선으로부터 집전하며, 기계적으로 견고하고 특히 고속운전에도 양호한 추종성 및 집전성능
- 운행 중 발생할 수 있는 차량의 변위에 대하여 정상적으로 집전하도록 한다

바) 보조전원장치

- 보조전원장치는 차내 각종 전원을 공급하는 장치로써, 신뢰성, 보수성 및 경량화 등 시스템이 갖는 특성을 최대한 발휘할 수 있도록 한다
- 종합제어관리장치(TCMS)와 연계하여 차상 자기진단 기능 및 고장의 감시 등을 위한 모니터링 기능을 갖도록 한다

사) 제어전원용 축전지

- 축전지 용량은 가선의 전원중단, 보조전원장치의 고장 등 원인으로 차량이 운행될 수 없을 경우 구원에 필요한 시간, 승객의 안전과 비상시 차량운행에 필요한 비상조명, 방송, 기타 제어회로 등에 전원을 공급

아) 방송장치

- 차량의 방송장치는 차량의 안전운행 및 승객을 위한 자동 안내방송, 평상시의 공지사항 전달 및 비상시 안내방송 등을 행할 수 있는 것으로 한다
- 자동 안내방송은 차량의 종합제어장치와 연계하여 자동으로 안내방송이 될 수 있도록 하며, 항시 차량에서의 자체 운용이 가능하도록 한다

자) 출입문 개폐장치

- 출입문 개폐 장치는 무인 운전시를 포함한 모든 운전상황에서 개폐 조작이 가능하도록 구성하며, 비상운전대의 절환 스위치에 의해 용이하게 기능 선택을 할 수 있도록 제작
- 차량이 운행중에는 출입문 개폐장치를 조작하여도 출입문이 열리지 않고, 정차시에만 개폐가 가능하도록 정지 검지장치를 함께 설치

차) 표시기 장치

- 표시기 장치는 제어장치, 열차번호표시기, 행선표시기(정면), 승객안내표시기로 구성
- 제어장치는 종합제어장치와 연계

카) 종합제어장치(TCMS)

- 종합제어장치는 안전요원에게 운행에 필요한 운전 및 차량상태 정보를 알 수 있도록 하고, 차량에 탑재된 기기의 제어 및 동작 상태를 항상 감시함으로써 이상 상태 발생시 경보, 상태 표시 및 안전요원에게 필요한 처치를 하게 하고, 그 결과를 표시

타) 제동장치

- 기계제동장치는 회생제동을 위한 인버터 장치, ATP/ATO장치 및 종합제어장치와의 협조제어를 고려하고, 충격 없는 유연한 제동을 위하여 저크제한기능(Jerk Limitation)을 가지며, 승차감 향상을 위한 저소음, 저진동 구조

(나) 신호 시스템

1) 일반사항

신호시스템의 필수는 열차의 안전확보로

- 열차의 과속방지
- 열차간의 충돌방지
- 분기기에서의 안전한 열차운행 보장
- 동일 선로상에서 후속열차의 안전거리 유지 및 추돌방지
- 열차운행의 효율성 확보, 최소운전시격 및 표정속도 실현이다.

2) 구성 및 기능

가) 종합관제설비

- 열차운행 상황감시 제어
- 열차번호 관리 및 위치추적
- 열차운행스케쥴에 의한 자동진로제어 및 신호설비 상태감시 제어
- LAN Interface를 통한 정보 송수신
- 수신된 정보를 LAN을 통해 Control Console 등 각 주변기기로

전송

- 열차운행 계획/실적관리
- 현장설비 기본 데이터 관리
- S.O.P. 관리
- 열차운행실적관리 및 통계자료 생성
- TCC Back-up
- 현장제어 정보 전송
- 열차 운행 상황 표시
- 통계자료 조회

나) 전자연동장치/LCC

- 진로 설정/쇄정
- 분기기전환/쇄정/해정
- 열차검지
- 열차운행 제어 및 감시
- 인접연동역 제어 및 감시
- Replay

다) ATP 장치

- 논리블럭에 의한 열차검지
- 열차 주행의 결정과 관리
- 열차간격 조정
- 열차 출입문 제어 정보
- 선로운전제한 정보의 생성

라) ATO 장치

- 열차의 특성과 감시 및 제동성능을 근가능로 하는 계산된 속도 프로파일에 의한 속도제어
- ATP가 괄속을 검지하는 상태가 되지 않게 속도제어를 구현
- 정확하고 부드러운 정위치 정차
- 속도 감속 및 정지 신호 앞에서의 정차

(다) 통신 시스템

1) 일반사항

완전무인운전을 구현하기 위해서

- 관제사가 승객에게 정보를 제공하기 위하 원격방송 설비
- 관제사가 승객와 양방향 통신을 할 수 있는 비상인터폰
- 역구내/차내 승객의 안전확보를 위한 CCTV 설치 및 중앙관제실 감시기능이 필수적이다.

2) 구성 및 기능

가) 전송망설비

- 열차의 안전운행에 필요한 일반전화망, 종합관제실 데이터, 타분야 회선등으로 자동화, 무인화, 전화 등 고품질의 통신서비스

나) 열차무선설비

- 종합관제실과 본선에 운행 중인 열차 승무원과의 통화
- 비상시에는 관제사에서 차내 승객에게 인터폰 통화 및 방송기능
- 개별, 일제, 그룹, 비상통화, 단말기간 통화, 싱글사이트 기능, 무전기 우선 통화기능, 전이중방식 통화기능

다) 역무 자동화 설비

- 승차권 발매, 개/집표
- 회계 및 통계자료 생산
- 자동발권기, 자동발매기, 자동개집표기 제어

라) 역무용 통신설비

- 운영과 시설물의 유지관리를 위한 각 운영부서 상호간 음성과 화상 통화 기능
- CCTV설비를 통해 역사 및 기지, 변전소 등의 주요시설물, 열차 도착 및 출발상황 등 현장상황을 실시간 원격감시 및 승객 안전확보
- 승객에게 열차운행 정보 제공
- 무인기능실 감시
- 토크백 기능

마) 양방향 무선데이터 통신설비

- 무인화에 따른 객실 내 CCTV 설치를 통해 객실내 상황 감시(승객안전확보)
- 공익광고/긴급메세지/공지사항 등 영상 및 문자로 제공

바) 차량기지설비

- 차량 유지/운영 및 유지보수를 위한 정보통신설비 구축
- 기지내 CCTV 설치를 통한 주요시설물, 검수고 및 차량 입환시 현장상황 실시간 원격 감시

(라) 전력 시스템

1) 일반사항

인천국제공항 변전소로부터 3상 22.9kV 2회선을 수전하여, 본선2개소 및 차량기지 1개소에서 변전 후 DC 1500V 전력급전레일 방식으로 집접 함.

2) 구성 및 기능

가) 수전설비

- 인천국제공항 변전소로부터 3상 22.9kV 2회선 수전
- 104정거장 변전소내 수전설비 구성
- 지중관로(2회선)구성

나) 변전설비

- 변전실은 본선 2개 정거장(104, 105정거장)과 차량기지에 건설
- 각 변전소간에 22.9kV 연락 배전선로를 설치하여 전력공급변전소 고장으로 전력을 공급받지 못할 시 상호 전력 공급

다) 원방전기설비

- 차량기지내에 종합관제실을 구성하여 감시/제어

라) 일반전기설비

- 정거장 및 차량기지의 조명, 동력, 신호, 통신, 소방설비에 전력공급
- 전기실은 3개 정거장(102, 103, 106 정거장)과 차량기지에 설치

• 정거장 전기설비는 1, 2호계로 분리하여 일반부하, 상시부하, 이중부하, 비상부하로 구성

마) 전력급전레일설비

• 자기부상열차에 전력공급을 위한 전력급전레일로서 차량대차 하부에 설치된 Collector Shoe와 접촉되는 설비

• 집전방식은 전력급전레일 DC 1,500V

• 전력급전레일을 전기적, 기계적으로 안전적으로 고정하는 지지대 설치

(마) PSD

1) 일반사항

승객의 안전성 및 쾌적성 향상, 열차의 안전하고 신속한 운행보장

2) 구성

• PSD 종합제어반

• PSD 제어부

• 개별제어반

• PSD 모니터링 컴퓨터

• PSD Door

(바) 분기기

1) 일반사항

분기기의 구성은 분기기 양끝단에 본선과 연결하기위한 고정거더가 설치되고, 그사이에 장경간거더 1개, 단경간거더 2개로 구성된 분기기가 거더당 굴절각이 2.3°가 되도록 굴절시켜 본선과 지선을 연결할 수있는 구조

2) 구성 및 기능

가) 분기기 거더

• 시작부와 종단부는 이송대차 시스템을 설치하고 양단에 회전암

시스템을 두어 굴절각에 맞게 적정회전을 시키는 구조

- 장경간거더 길이는 끝단정렬 장치를 포함하고 열팽창 길이를 감안하여 선로가 간섭 받지않는 길이가 되도록 설계

나) 전기제어시스템

- 제어반은 이중화 구조로 설계하며 분기기에 설치된 센서도 이중화로 설계
- site 제어반에서는 중앙 제어반으로 동작회로가 전송 될수 있도록 통신회로를 케이블과 광통신으로 전송 할수 있는 회로를 구성
- 분기기 운전은 전기회로 프로그램 구성에 의해 장치들을 완전 자동운전 시스템으로 구성

다) 분기기 부상/추진레일

- 분기기용 부상추진 레일의 정밀도는 본선선로와는 다른 공차개념을 가져야 한다. 이곳 분기기 구간은 궤도 레벨의 기준이며 시작점이므로 레일의 단면 형상공차, 레일의 진직도 및 길이 등이 기계가공 수준이거나 기계가공으로 맞추어 주어야만 한다
- 레일의 제작공차는 설치공차 한계의 50%이상이 되어서는 안된다.

(3) 안전성 관리절차

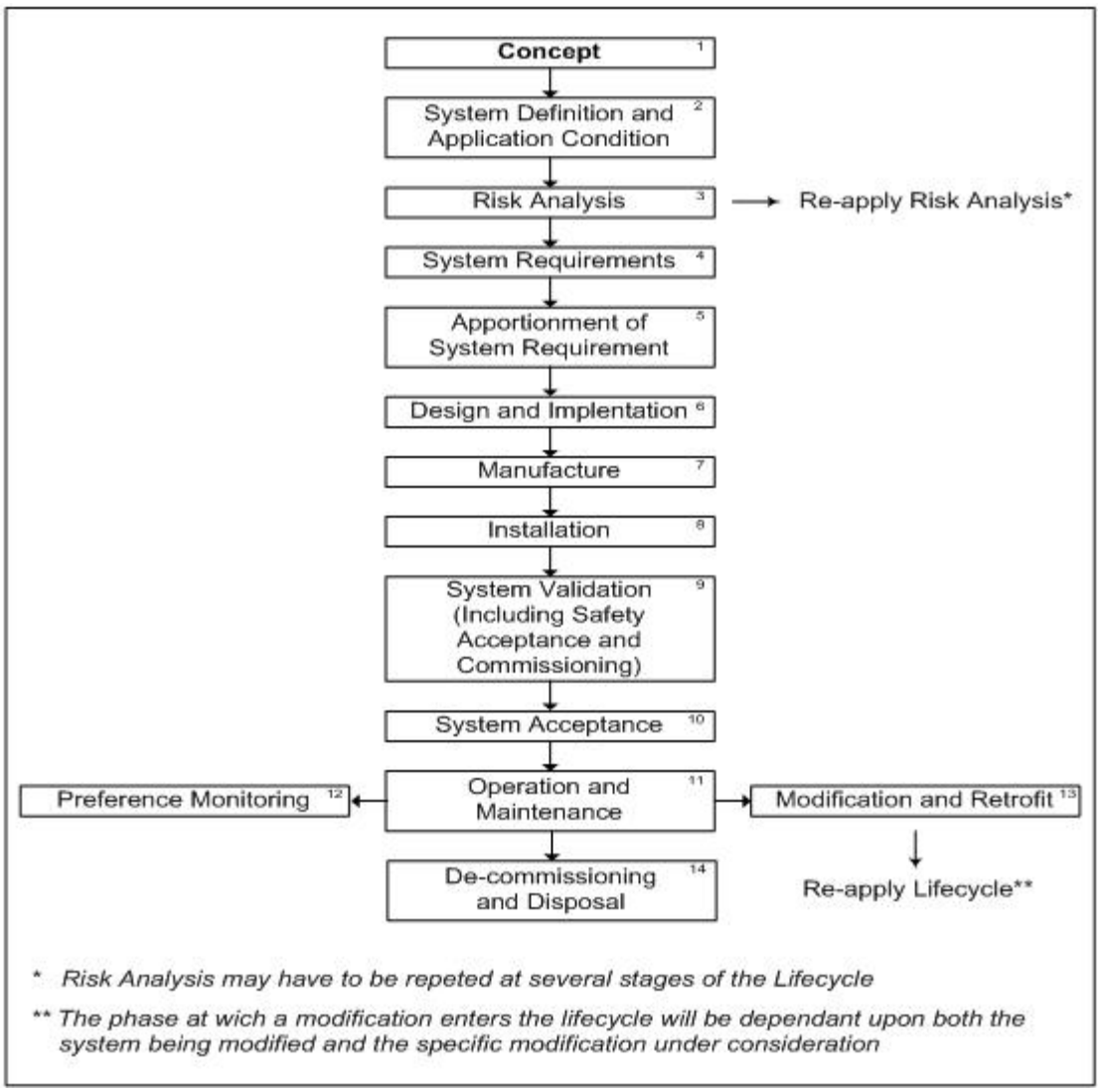
유럽표준EN 50126은 시스템 수명주기 동안 철도시스템을 위한 RAM 요소들을 통제하게 하는 관리절차들을 추적할 수 있게 한다. 유럽표준EN 50126에 의한 안전성 관리활동들은 다음의 단계로 구성된다.

- 안전성 요구조건들의 정의
- 안전성 위협요인들의 평가 및 통제
- 안전성 요구조건들의 달성
- RAMS 수명주기 동안 지속되는 감시

유럽규격 EN50126을 기준으로 시스템의 용인 가능한 리스크 수준은 안전성기관 (Safety Authority) 또는 안전성 기관의 동의아래 철도기관 (Railway Authority)에서 규정한 안전성 기준(표준)을 따라야 하며, 몇몇

국가에서는 시스템 안전의 적합성 검증(demonstrate)에 대한 증빙들을 형식에 따라 제출토록 요구하고 있으나, 본 실용화사업에서는 국내규격 및 절차의 법제화가 미비하여 동 법제화가 완료되어 별도의 기준(표준)이 정해질 때까지 본 문서 해저드 인식 및 평가 기준에 따라야 하는 현실적인 제약이 있다.

시스템 수명주기는 각각의 수행업무들을 포함하는 연속되는 단계로 구성되며 이 단계들은 철도시스템 개념설계에서부터 폐기 단계까지 논하고 있다. 그림1에 있는 시스템 수명주기는 철도건설사업이 진척될 때 각 단계마다 안전성을 포함한 시스템의 모든 형상을 계획하고 관리하며 통제하기 위한 구조를 요약하여 보여준다.



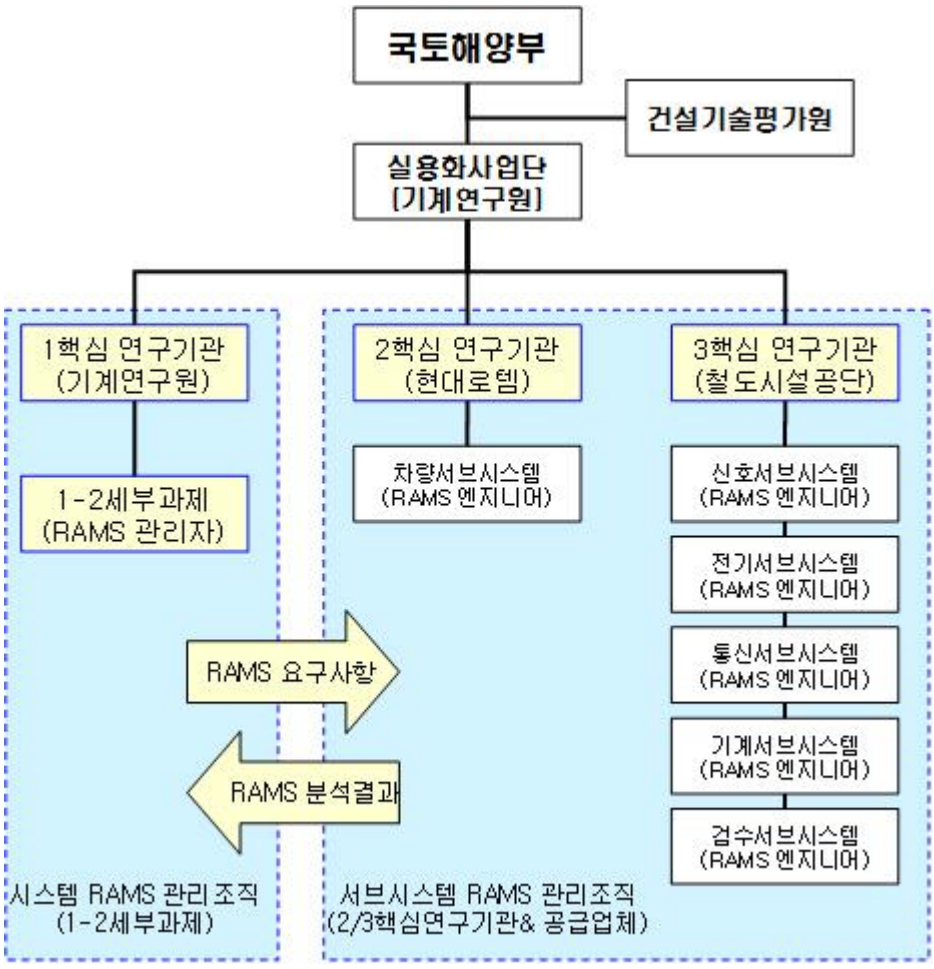
[시스템 수명주기]

(4) 안전성 관리체계

안전성 관련 사항들은 본 장에서 기술하는 RAMS 관리조직에 의해 관리되며, 이는 1-2과제의 시스템 RAM 관리계획(M1200-SE+RM-101-0017)을 참조할 수 있다.

(가) 안전성 관리조직

실용화사업 안전성 관리조직은 시범노선 구축조직인 2/3핵심과 공동으로 안전성 관리활동을 수행한다. 안전성 관리조직은 아래와 같다.



[그림 94]실용화사업 안전성 관리 조직도

1) 국토해양부

국토해양부는 도시형 자기부상 실용화사업의 관리 및 평가를 건설기술 평가원에 위임 하였으며 본 실용화사업의 총괄적인 책임이 있고 본 실용화사업의 안전성기관(Safety Authority) 역할을 한다.

2) 건설기술평가원

건설기술평가원은 국토해양부로부터 위임 받은 도시형 자기부상 실용화사업의 실적관리 및 평가를 진행하며 국토해양부로부터 위임 받은 권한에 의해 본 실용화사업의 안전성기관(Safety Authority) 역할을 할 수 있다. 국토해양부 권한 위임사항은 양 기관간의 협의에 따라 향후 결정될 예정이다.

3) 실용화 사업단

한국기계연구원에 구성된 사업단은 도시형자기부상열차 실용화사업의 기술 및 행정관련 총괄적인 책임이 있고 국토해양부로부터 위임 받은 권한에 의해 본 실용화사업의 안전성기관(Safety Authority) 역할을 할 수 있으며 안전성 사항을 감독하고 시범노선 준공시 시범노선 영업운전 관련 최종적 승인을 국토해양부에 요청한다. 국토해양부 권한 위임사항은 양 기관간의 협의에 따라 향후 결정될 예정이다.

4) 시스템통합(제1핵심연구기관)

한국기계연구원에 구성된 1핵심연구기관은 실용화사업 시스템통합에 대한 총괄적인 책임이 있으며 사업단, 2핵심(차량개발) 및 3핵심(시범노선구축)과의 RAMS 관련 인터페이스 관리에 대한 책임이 있다.

5) RAMS 관리자(1-2 세부기관)

RAMS 관리자는 본 실용화사업의 시스템 수준 RAMS 관리에 총괄적인 책임이 있으며 리스크 평가 기준과 서부시스템에 대한 안전성 요구사항을 준비한다. 또한 유럽표준 EN 50126 에 따라 시스템 수준의 안전성 문서를 준비하며 서브시스템의 안전성 문서를 검토한다.

서브시스템 공급업체에서 제출하는 서브시스템 안전성 분석자료는 시스템 수준 안전성 업무 수행에 대한 주요 입력자료가 된다.

6) 차량개발 및 시범노선구축(2/3핵심 연구기관)

실용화사업 2핵심 연구기관은 자기부상 차량 개발에 총괄적인 책임이 있으며 차량 수준의 안전성 업무에 총괄적인 책임이 있는 RAMS 엔지니어를 지명하고, 동 엔지니어가 서브시스템 수준의 안전성 활동을 유럽표준 EN50126에 따라 수행하게 한다. 실용화사업 3핵심 연구기관은 시범노선구축에 총괄적인 책임이 있으며 차량외 서브시스템별 안전성 업무에 각각 책임이 있는 RAMS 엔지니어를 서브시스템별로 지명하고, 동 RAMS 엔지니어들이 서브시스템 수준의 안전성 활동을 유럽표준 EN50126에 따라 수행하게 한다.

7) 서브시스템 RAMS 엔지니어

서브시스템 안전성 엔지니어는 2/3핵심 연구기관을 경유하여 각각 서브시스템 공급업체에서 지명하며 시스템 수준의 RAMS 관리 조직을 구성하여 RAMS 관리자와 함께 서브시스템에 요구되는 RAMS 수행기능을 담당한다.

서브시스템 RAMS 엔지니어는;

- 서브시스템 공급업체에게 속하며 RAMS 관리조직의 기능을 담당한다.
- 서브시스템 공급범위에 대한 안전성 활동 수행의 책임이 있으며 관련 타 공급업체와의 적절한 인터페이스를 수행 한다.
- 공급범위의 서브시스템에 대한 안전성 문서를 작성하고 시스템 RAMS 관리자의 검토를 경유하여 발주처의(2핵심, 3핵심) 검토/승인을 득한다.

(나) 안전성 프로그램의 관리 및 통제

시스템 안전성 관리를 수행하는 시스템 RAMS 팀은 시스템 및 서브시스템 수준에서 본 문서에 기술된 안전성 프로그램을 아래의 업무를 통

하여 관리하고 통제하며 실행한다.

- 서브시스템 안전성 관리계획 검토
- 서브시스템 안전성 분석 및 보고서 검토
- 안전성 감사 및/또는 안전성 검토
- 안전성 분석
- 시스템 및 서브시스템 수준에서 작성되는 기타 기술문서를 검토
- 안전성 활동에 관련된 각 당사자들이 제출하는 정기 진척 보고서를 통해 안전성 관리활동 진척을 감시
- 안전성 관련 성과물 계획의 개발 및 통제
- 특이 상황을 통제하기 위한 특별 안전성 관리절차 수립
- 안전성 관리 회의 참석

시스템 안전성 프로그램의 실행은 안전성 감사를 통해 수행된다. 이러한 감사활동의 결과는 RAMS 관리자를 통해 문서화 되고 검토되어 안전성 문서의 일부를 이룬다. 안전성 검토는 안전성 요구조건들을 따르는지 확인하고 안전성 분석을 검토하기 위해 본 시범노선 건설 주요 단계에서 실시된다.

(다) 시스템 안전성 프로그램의 개정

시스템 안전성 프로그램은 모든 관련 당사자들의 협의에 따라 아래와 같이 RAMS 관리자의 주관으로 개정될 수 있다.

- 필요한 경우, 시범노선 제작설계, 생산, 및 설치 단계의 종결
- 안전성 프로그램에 주요 변경사항이 한 당사자 이상에게 발생할 경우
- 서브시스템 설계의 주요 변경사항이 안전성 활동절차에 반영 되어야 하는 경우

(라) 서브시스템 공급업체의 관리, 감시 및 통제

국내 철도산업 분야의 RAMS 경험 및 기술이 거의 축적되지 않은 상태에서 진행하는 도시형자기부상 실용화사업의 RAMS 활동은 능력 있는 RAMS 엔지니어 들의 커다란 공헌을 필요한 엔지니어링 활동이다.

각 서브시스템 공급업체는 안전성 관리계획, 안전성 분석, 및 안전성 문서작성을 포함하여 서브시스템의 공급범위에 해당하는 안전성 문서를 작성을 관리하는 자체 안전성 관리조직을 구성하며 각각 서브시스템 공급업체가 수행하는 안전성 활동은 아래와 같이 감시되고 통제된다.

- 안전성의 적절한 검토
- 정기적으로 제출되는 안전성 문서의 검사
- 서브시스템 공급업체를 방문하여 회의진행
- 서브시스템 공급업체의 설계검토 작업에 참여
- 서브시스템 공급회사의 안전성 활동 감사

(마) 문서화

시스템 안전성 관리조직에서 데이터를 기록하고 활동들을 정리하여 시스템 및 서브시스템 수준의 안전성 관련 문서들의 추적이 가능하도록 한다. 이러한 추적을 통하여 활동들, 연구들, 분석들, 보고서들 및 회의록들은 RAMS 관리조직에 소속된 인원들이 접근할 수 있도록 한다.

안전성 문서들은 적절하고 인식 가능한 양식으로 체계를 갖추며 안전성 문서의 공식 제출은 안전성 프로그램 계획, 공급 계약서 및 관련 수행업무들에 따라서 진행된다.

(바) 서브시스템 안전성 감사

각각 서브시스템 공급업체의 안전성 프로그램의 효율성과 수행을 검증하기 위해 주기적인 안전성 감사가 진행된다. 이러한 안전성 감사는 안전성 관리조직이 1핵심 연구기관 책임자와 협조하여 실시 하며 가능할 경우에 2/3핵심 연구기관인 발주자의 참관 하에 진행된다.

(5) 안전성 요구조건

안전성 요구조건은 시스템과 서브시스템 수준에서 포괄적으로 다뤄진다.

본 시스템 안전성 관리계획에는 모든 안전성 요구조건들이 충족되었는지 여부를 데모 (검증)하기 위한 포괄적인 안전성 절차를 구축하는데 필요한 기본 요소들을 기술한다. 2차년도 성과물인 “서브시스템의 RAMS 요구조건(2008.07)”에는 안전성 요구 조건들의 폭넓은 사양이 기술되어 있다.

제3자 및 승객의 안전과 관련된 안전성은 시스템과 그 운영환경으로부터 승객과 사람들을 보호하기 위한 것이며 시설보안(침입방지) 및 안전•보건 관련 사항들은 본 문서의 영역에 해당되지 않는다.

안전성 요구조건들은 시스템, 서브시스템 등 각기 다른 수준으로 정의되고 반정량적, 정성적 등 다른 용어로 표현할 수 있다. E&M 시스템에 대한 정량적 리스크 허용기준 같은 계량화된 목표는 없으나 전체 E&M 시스템 수준에서 ALARP(As Low As Reasonable Practicable) 원리를 적용한다.
유럽규격 EN50126은 보통 철도시스템에 적용하는 상위수준의 규격이며 각 수명주기 단계에서 권장되는 RAMS 활동들을 규정하고 있다. 따라서 EN50126의 절차는 모든 E&M 서브시스템에 적용할 것이다.

(가) 안전성 요구조건

안전성 요구조건들은 다음과 같은 형태로 정의되며 “서브시스템 RAM 요구조건(2008.07)” 문서에서 상세하게 서술하였다.

- 해저드 인식과 분석절차의 적용
- 리스크 평가절차의 적용

(나) 해저드 인식 및 평가

E&M 서브시스템에 적용할 해저드 인식 및 평가절차는 아래와 같다.

- 서브시스템 또는 운영환경에 의해 발생 가능한 모든 해저드를 인식
- 반•정량적 기준에 따라 해저드 발생빈도를 정의
- 반•정량적 기준에 따라 발생결과의 심각성을 정의

- 시스템 및 운영환경에서 발생 가능한 모든 해저드들은 초기 위험도(리스크), 예방조치 및/또는 경감조치가 제시되고 서브시스템 설계에 반영된다. 예방 조치는 해저드 발생빈도를 완화하고 경감조치는 해저드 발생결과의 심각도를 낮추게 된다.
- 본 해저드 인식 및 평가절차의 마지막에 모든 해저드의 잔존 리스크는 다음과 같은 정의와 기준에 따라 허용가능 해야 한다.

본 실용화사업에 적용할 해저드 발생빈도의 분류는(유럽규격 EN 50126 참조) 아래 표와 같다.

[표 56]해저드 발생빈도 분류

Frequent 자주발생	f ≥ 100/년	Likely to occur frequently. The hazard will be continually experienced. 자주 발생할 듯, 해저드는 지속적으로 발생할 것임
Probable 발생가능	1/년≤ f < 100/년	Will occur several times. The hazard can be expected to occur often. 수 차례 발생. 자주 발생할 것으로 예측
Occasional 우발적	$1*10^{-2}$/년≤ f < 1/년	Likely to occur several times during the system life time. 시스템 수명주기 동안 수 차례 발생할 듯
Remote 낮음	$1*10^{-4}$/년≤ f < $1*10^{-2}$/년	Likely to occur some times during the system life time. The hazard can reasonable be expected to occur. 시스템 수명 주기 동안 몇 차례 발생할 듯, 해저드 발생을 근거있게 예상 가능
Improbable 매우낮음	$1*10^{-6}$/년≤ f < $1*10^{-4}$/년	Unlikely to occur but possible. It can be assumed that the hazards may exceptionally occur. 가능하나 발생하지 않을 듯. 예외적으로 발생할 듯
Incredible 불가능	f<$1*10^{-6}$	Extremely unlikely to occur. It can be assumed that the hazard may not occur. 극히 발생하지 않을 듯. 해저드 발생 가능성이 없다고 간주

주) 1. 상기 해저드 발생빈도의 분류는 EN50126에 의한 기준으로 “서브시스템 RAMS 요구사항(2008.07) 성과물(EN50129 기준)과 차이가 있음
2. 상기 해저드 발생빈도 분류는 변경제안 사항으로 3차년도 연구기간 중 2/3핵심과 협의하여 결정예정

3. 해저드의 발생빈도는 최악의 경우의 실현 가능성과 가장 가능성이 있는 경우의 리스크를 반영하나 리스크 자체의 실현 가능성을 무시한다.

본 실용화사업에 적용할 해저드 발생결과의 심각도 분류는(유럽규격 EN 50126 참조) 아래 표와 같다.

[표 57]해저드 발생결과의 심각도 분류

심각도 분류	해저드 결과의 심각도 설명	해저드 발생결과	
		사망자	설 명
1	치명적 수준 Catastrophic	>1	multiple fatalities 다수 사망
2	중대한 수준 Critical	1	single fatality or/and multiple major injuries 단일 사망 또는/및 다수 중상
3	제한적 수준 Marginal	-	single major injury 단일 중상
4	경미한 수준 Insignificant	-	multiple minor injuries 다수 경상

각 인식된 해저드의 리스크 수준은 해저드 발생빈도와 결과의 심각도의 반정량적 평가를 조합한다. 아래표의 리스크 매트릭스는 유럽규격 EN50126에 따라 정의하였다.

[표 58]리스크 매트릭스

해저드의 발생빈도	리스크 수준			
Frequent (A) *빈번함*	Undesirable 바람직하지 않음	Intolerable 용인 불가	Intolerable 용인 불가	Intolerable 용인 불가
Probable (B) *가능성 있는*	Tolerable 용인 가능	Undesirable 바람직하지 않음	Intolerable 용인 불가	Intolerable 용인 불가
Occasional (C) *가끔 발생*	Tolerable 용인 가능	Undesirable 바람직하지 않음	Undesirable 바람직하지 않음	Undesirable 바람직하지 않음
Remote (D) *이따금*	Negligible 무시가능	Tolerable 용인 가능	Undesirable 바람직하지 않음	Undesirable 바람직하지 않음
Improbable (E) *희박한*	Negligible 무시가능	Negligible 무시가능	Tolerable 용인 가능	Tolerable 용인 가능
Incredible (F) *가능성 없는*	Negligible 무시가능	Negligible 무시가능	Negligible 무시가능	Negligible 무시가능
	경미한 수준 *Insignificant*	*제한적 수준* *Marginal*	*중대한 수준* *Critical*	*치명적 수준* *Catastrophic*
	해저드 결과의 심각도			

각 해저드의 리스크 수준의 평가는 리스크 매트릭스에 따라 평가한다. 각 리스크 수준별 관리절차는 아래의 표에 정의한다.

[표 59]리스크 수준별 관리절차

Intolerable 용인불가(In)	반드시 제거 되어야 함
Undesirable 바람직하지 않음(Un)	위험 감소가 비 현실적이고 발주처(2/3핵심연구기관)의 동의에 따라 허용 가능
Tolerable 용인가능(To)	적절한 통제와 1-2세부과제의 동의에 따라 허용 가능
Negligible 무시가능(Ne)	어떠한 동의가 없어도 허용가능

서브시스템 해저드 분석이 진행됨에 따라 안전성 관련 인터페이스도 식별된다. 모든 E&M 서브시스템의 안전성 요구조건에 따른 할당과 데모는 EN50126에서 권고하는 절차를 따른다.

(6) 안전성 프로그램

본 장에서 안전성 활동들 및 각 서브시스템 공급업체가 발주처에 제출하여 1-2세부과제의 검토를 거쳐 발주처의 승인을 득해야 하는 안전성 성과물들에 대해 개략적으로 설명한다.

유럽규격 EN50126의한 안전성 프로그램에는 각 설계단계에서 안전성 중요기능 인식, 서브시스템 설계에 안전성 설계원칙 적용을 위한 설계팀 지원, 요구되는 신뢰성 성능달성 및 안전성 목표달성에 대한 검증을 위한 활동들이 있다. 본 장에서 다음과 같이 관련 주요 마일스톤들을 포함하는 안전성 승인 프로그램을 제시한다.

본 실용화사업에서 각 서브시스템 안전성 엔지니어는 각 마일스톤 마다 각자의 서브시스템 공급범위에 대해 본 실용화사업 수행 단계에서 요구되는 모든 안전성활동들을 완료하고 관련 안전성 요구조건들이 충족 되었다는 것을 입증하는 문서적 증거를 발주처에 제출해야 한다.

(가) 안전성 문서제출

시스템 수준에서의 안전성 관리 및 엔지니어링 활동은 표7에 요약된 것과 같이 시범노선 건설의 각 단계와 관련된 일련의 안전성 성과물로 표현되며 서브시스템의 안전성활동 성과들도 일련의 서브시스템 안전성 문서들로서 정리된다.

이러한 문서적 증거들을 기록한 성과물들은1-2세부과제의 검토를 거쳐 발주처의 승인을 득해야 한다. 다음 표7은 철도시스템 수명주기 단계와 시범노선 수행 단계간의 관계를 설명하며 관련 주요 단계별 성과물과 작성, 검토, 및 승인 주체를 나타낸다. 여기에는 실용화사업의 실시설계 업무범위 및 실시설계 업체와 서브시스템 공급업체가 서로 다른 점 등 본 실용화사업의 특성을 반영하였다.

수명주기 단계	시범노선 수행단계	활동/성과물	책임 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			기전시스템	서브시스템	
1. 개념설계	기본설계 실시설계	시스템 안전성 관리계획	D	F	-
2. 시스템 정의 및 적용조건		시스템 및 서브시스템 안전성 요구사항	D	F	-
3. 리스크 분석		서브시스템 안전성 관리계획	F	D	1-2세부과제/발주처
4. 시스템 요구사항		예비 해저드 인식 및 분석	D	D	1-2세부과제/발주처
5. 시스템 요구사항 배부		해저드 추적 및 리스크 해결 프로그램	D	D	1-2세부과제/발주처
6. 설계/실행	제작설계	시스템 안전성 관리계획 개정	D	F	-
		서브시스템 안전성 관리계획 개정	F	D	1-2세부과제
		서브시스템 해저드분석(SSHA)	F	D	1-2세부과제/발주처
		운영 및 지원 해저드 분석(O&SHA, 일정변경 가능)	D	D	1-2세부과제/발주처(수행일정 변경가능)
		인터페이스 해저드 분석(IHA)	D	D	1-2세부과제/발주처
		해저드 로그(HL)	D	D	1-2세부과제/발주처
		시스템 안전성 종합보고계획	D	F	-
		서브시스템 안전성 종합보고 계획	F	D	1-2세부과제/발주처

수명주기 단계	시범노선 수행단계	활동/성과물	책임 (D=작성, F=후속진행)		성과물 제출처 (검토/승인)
			기전시스템	서브시스템	
7. 제작	제작/설치	시스템 안전관리 계획 개정	D	F	-
8. 설치		시스템 안전성 종합보고 계획 개정	D	F	-
		서브시스템 안전성 종합보고 계획 개정	F	D	1-2세부과제/발주처
9. 시스템 검증 (안전성 수용 및 시운전 포함)	기술 시운전	안전성 시험 규격	F	D	1-2세부과제/발주처
10. 시스템 수용	영업 시운전	서브시스템 안전성 종합보고 / 시스템 안전성종합보고	D	D	1-2세부과제/발주처

각각 성과물의 내용에 대한 간략한 설명은 다음 장에서 기술한다.

1) 시스템 안전성 성과물

가) 시스템 안전성 관리 계획

본 문서의 목적은 도시형 자기부상 시범노선의 E&M시스템이 요구되는 안전성 수준 및 특성을 달성했는지 여부를 확인하는데 필요한 모든 활동들, 기술들 및 관리활동들을 인식하고 감시하며 통제하는데 있다.

시스템 안전성 관리계획은 시범노선 실시설계 단계에서 발행되며 필요할 경우 제작설계 및 설치/시운전 단계에서 갱신된다.

나) 예비 해저드 인식 및 분석

본 문서는 잠재적인 사고 또는 사고를 초래할 수 있는 모든 상태들을 식별하기 위한 것이다. 이런 상태인 해저드는 장치의 사용, 운영, 유지보수 및 서브시스템 인터페이스와 관련이 된다.

예비 해저드 인식 및 분석은 예비로 실시설계 단계에서 1-2과제에 의해 발행되며 제작설계 초기 단계에서 각 서브시스템 공급업체의 예비 분석 내용을 반영하여 예비 해저드 분석(PHA)으로 갱신될 수 있다.

다) 시스템 및 서브시스템 안전성 요구조건

본 문서의 목적은 E&M 시스템 및 서브시스템에 대한 안전성 요구조건들을 정의하여 각 서브시스템들이 각각 안전성 요구조건들을 달성하면 E&M 시스템의 안전성도 달성될 수 있게 하는데 있다. 상세한 내용은 2차년도 연구개발 성과물인 서브시스템 RAMS 요구문서(2008.07)를 참조할 수 있다.

라) 해저드 추적 및 리스크 해결 프로그램

본 문서의 목적은 시범노선 건설 단계에서 식별되는 잠재적인 해저드를 식별하고 수집하며 분석하고 모든 당사자들이 따라야 하는 해저드의 관리절차들을 규정 하는데 있다.

해저드 추적성을 위한 도구로 사용되는 해저드 로그는 각 리스크 수준을 경감시키기 위한 권장활동들이 기록되며 해저드 관련 중앙 전산기록으로서 안전성 관리의 중요한 도구가 된다.

해저드 로그의 양식은 본 실용화사업에 참여하는 모든 안전성 관리 조직에서 동일한 문서양식을 사용하며 이 문서양식은 시스템 RAMS 관리자가 규정한다. 해저드 로그는 시범노선 건설기간 동안 모든 서브시스템 공급업체별로 각각 공급범위의 해저드 관련 내용을 관리하고 갱신한다. 1-2세부과제에서는 서브시스템 해저드 로그들을 반영하여 E&M 시스템 수준의 해저드 로그를 관리하고 갱신한다.

해저드 로그는 시스템 및 서브시스템에서 달성한 안전성 수준을 평가하는 주요 수단이며 시스템 안전성 관리절차를 따른다. 따라서 “해저드 추적 및 리스크 해결 프로그램”은 본 문서 제7.1.1.7장 해저드 로그와 깊이 관련되며 제작설계(또는 실시설계) 단계에서 발행되어 안전성 문서에 포함된다.

마) 운영 및 지원 해저드 분석

본 문서에서 시범노선 운영단계에서의 운영환경, 사람, 업무절차, 장치등과 관련된 안전성 특성을 평가하기 위하여 해저드를 인식하

고 분석한다. 운영 및 지원 해저드 분석은 제작설계 단계에 계획되어 있으나 운전□운영 규정/조직 등에 깊이 연관되어 제품설치 전후인 운영계획 및 운영관련규정이 발행된 후에 수행이 가능할 수도 있다.

바) 인터페이스 해저드 분석

본 문서는 물리적, 전기적 및 기능적 인터페이스와 관련된 해저드를 인식하고 분석하기 위한 것이다. 인터페이스 해저드 분석은 제작설계 단계에 수행된다.

사) 해저드 로그

해저드 로그 데이터베이스는 시범노선 건설 단계에서 인식되는 잠재적인 해저드를 기록하며 리스크 평가, 해저드 진행상태 및 권장활동들의 진행상태를 기록하기 위한 도구이다.

해저드 로그는 제작설계 단계에서 발행하여 해저드 추적 및 리스크 해결 프로그램(본 문서 제7.1.1.4장)에 따라 해저드를 관리한다. 이후 해저드 로그는 시범노선 준공 시까지 관리 유지된다.

아) 안전성 시험규격

시험 및 시운전 절차에서 안전성 관련 시험 활동들을 별도로 구분한다. 필요한 경우, 시스템 또는 서브시스템의 안전성 관련 기능을 검증하기 위해 추가 시험이 제안될 것이다. 안전성 시험활동의 결과는 “안전성종합보고서”의 주요 입력자료가 된다

자) 시스템 안전성 종합보고

본 문서는 E&M 시스템의 모든 해저드가 평가기준에 따라 수용 가능한 수준이 되어 시스템 수준의 안전성 요구조건이 달성되었다는 것을 기술하고 관련 증빙을 제시한다. 시스템 안전성 종합보고는 제작설계 단계에서 계획을 수립하고 시범노선 준공단계에 안전성 활동을 종합하여 기술한다.

2) 서브 시스템 안전성 성과물

서브시스템 공급업체가 수행하는 안전성 분석은 상기에서 기술한 바와 같이 시스템 안전성 성과물을 작성하는데 필요한 중요한 입력자료가 된다.

각 문서 내용에 대한 간략한 설명은 다음과 같으며 대부분의 문서는 시스템 수준의 문서와 비슷한 내용과 형식으로 작성된다.

가) 서브시스템 안전성 관리계획 및 안전성 종합보고 계획

서브시스템 공급업체들은 기전 시스템의 안전성 프로그램과 안전성 관리계획을 바탕으로 본 실용화사업 수명주기에 따라 수행할 안전성 활동들에 대한 계획을 수립한다. 그 계획에는 아래 사항들이 포함된다.

- 서브시스템 안전성관리 조직, 역할 및 책임
- 본 실용화사업 수행 단계별로 수행할 안전성 활동
- 안전성 프로그램의 수행완료 및 안전성 요구사항들 데모를 위한 업무절차와 적용 방법론에 대한 지침들
- 안전성 관리 절차의 수행 및 안전성 목표달성 데모의 증빙으로서 제출될 산출물

안전성 목표달성에 대한 데모 프로그램을 공식화 하기 위해 각 서브시스템 공급업체는 안전성 종합보고 계획을 수립하고 1-2세부과제 검토를 거쳐 발주처의 승인을 득한다.

나) 서브시스템 해저드 분석 (SSHA)

각 서브시스템의 예비 해저드 분석을(PHA) 기초로, 공급범위에 포함되는 해저드를 각 서브시스템 공급회사의 책임으로 상세하게 분석하여 발주처에 제출하여야 한다. SSHA는 서브시스템 안전성 관리계획에 기술된 접근방법에 따라 분석하여야 한다.

SSHA 분석영역은 서브시스템 운영 시 발생 가능한 모든 해저드를 식별하고 모든 해저드의 “수용가능 (Acceptable)” 여부를 리스크 평가절차를 통해 검증하는 것이다. 안전성 중요(critical) 해저드가

Un(Undesirable) 또는 In(Intolerable)로 평가될 경우, 리스크를 수용 가능한 수준으로 감소시킬 수 있도록 설계 솔루션 및/또는 서브시스템 외부 대책방안을 제시하고 논의한다.

고장계통분석(FTA, Fault Tree Analysis)은 바람직하지 않은 이벤트의 발생 가능성을 평가하는데 유용하게 쓰인다. 리스크 경감조치와 경감조치의 효과를 인식하는 FTA를 통해 시스템/서브시스템에서 안전성 중요(critical) 포인트들이 강조된다.

다) 서브시스템 안전성 종합보고

서브시스템 안전성 종합보고에는 공급될 서브시스템이 안전하다는 것을 선언하기 위해 필요한 안전성 활동과 그 결과를 종합하여 기술한다. 본 안전성 종합보고에는 아래와 같은 내용들이 포함되나 이에 한정되지는 않는다.

① 서브시스템 정의: 서브시스템을 명확하게 정의하고 모든 요구사항, 설계문서 및 적용 규격의 변경 상태와 갱신 번호를 기술하며 최종적으로 적용 및 달성된 내용을 정리한다.

② 서브시스템 안전성 관리: 본 실용화사업 수행 단계에서 안전성 관리에 적용하거나 할 예정인 관리 및 통제 절차를 기술하며 최소한 아래의 내용들을 포함하여야 한다.

- 각 서브시스템 별 안전성 관리조직
- 서브시스템 안전성 관리계획(갱신)
- 서브시스템 안전성 관리계획이 시스템 안전성 관리계획과의 일치 여부와 적절한 통제 절차를 수행하는지 여부에 대한 평가내용
- 서브시스템 안전성 요구사항들의 달성에 대한 검토, 확인, 검증 사항들

③ 서브시스템 해저드 로그(갱신) 및 시스템 해저드 로그와의 인터

페이스 조정사항

④ 기술적 안전성 보고: 서브시스템 안전성 요구사항을 만족하도록 하는 서브시스템 설계 규격, 설계기준, 시험규격, 시험결과, 안전성 분석내용과 이들을 반영한 설계사항을 정리하여 기술한다.

⑤ 서브시스템 설계에 적용한 안전성 규격 내용을 기술한다.

⑥ 서브시스템을 정상상태에서 올바르게 운영하기 위해 필요한 아래 사항들을 기술한다.

- 서브시스템 아키텍쳐 설명
- 인터페이스 정의
- 서브시스템 요구사항의 달성 여부
- 안전성 요구사항의 달성 여부
- 올바른 하드웨어의 기능 설명
- 설치현장 환경조건의 적합성 여부
- 올바른 소프트웨어 기능 설명

⑦ 안전성 기능사양에 따라 외부 영향을 받는 경우에 대한 설계검증 내용을 기술한다.

⑧ 서브시스템운영 시 고려해야 하는 안전성관련 법규, 적용조건 및 제한사항을 기술한다.

⑨ 서브시스템의 안전성 시험결과를 기술한다.

모든 안전성 분석내용 예를 들면 시스템 해저드 분석, 서브시스템 해저드 분석, 운영 및 지원 해저드 분석, 인터페이스 해저드 분석 등이 언급되고 참조 된다. 또한, 타 무인운전 경량전철의 적용사례를 반영하여 서브시스템을 설계한 경우 타 무인운전 경량전철에 적용했던 사례에 대해 기술한다.

(7) 안전성 승인절차

본 장은 유럽표준 EN50126를 기준으로 도시형자기부상 시스템의 안전성 승인에 필요한 절차들을 제시하기 위한 것이며 동 절차들은 시범노선의 영업운행 이전에 완료한다.

유럽표준EN50129에는 안전성 승인의 주요 원칙은 다음과 같이 기술하고 있으며 본문서 제7.1.2.3절 “서브시스템 안전성 종합보고”에 따른 안전성 승인을 위한 안전성 종합보고 문서의 주요 구성은 아래와 같다.

- 안전성 요구조건
- 안전성 종합보고
- 독립안전성평가자(ISA)에 의한 안전성 평가보고

상기의 독립안전성평가자(ISA)는 1핵심연구기관(또는 사업단)에서 1/2차년도 연구개발기간 중에 고용하지 않았으며 3차년도 연구개발 기간에도 구체적인 계획이 없는 것으로 추정되어 결국 안전성 승인을 위한 문서는 아래와 같이 구성될 것이다.

- 안전성 요구조건
- 안전성 종합보고

안전성 종합보고에 기술할 예정인 해저드의 리스크에 대한 수용의 모든 조건이 충족되었다는 것을 전제로 할 때 E&M 시스템 및 서브시스템은 안전성 기관(Safety Authority)으로부터 안전성 승인을 받을 수 있고, 동 승인을 근거로 E&M 시스템 및 서브시스템은 유럽표준 EN50126에 따라 해외 철도시장에서도 수용이 가능해야 한다.

그러나 국내법규/절차에 따른 안전성 기관(Safety Authority) 근거가 미비하고 유럽 등 국제적으로 인정되는 ISA 활동이 가능한 단체 및 엔지니어가 부재하며 국내법규/절차에 따른 안전성 승인절차가 불명확하여 현 단계에서 이에 대한 본 실용화사업의 계획수립은 불가하다. 따라서 시범노선 안전성 승인절차는 본 문서 “제5.1절 안전성 관리조직”의 업무분장을 따른다.

“E&M 시스템의 안전성 종합보고”는 각 서브시스템/장치의 안전성 종합보고를 입력 자료로서 작성한다. 따라서 E&M 시스템의 안전성 승인은 서브시스템/장치의 안전성 승인 후에 진행된다.

Relex

FMEA
MIL-STD-1629 Task 101

System:
Indenture Level:
Ref Drawing:
Mission:

Date:
Sheet: 1 of 8
Compiled By:
Approved By:

ID No.	Function	Failure Mode	Trace ID	Local Effect	End Effect	Mitigation Provisions	Severity Class	Remarks
F_ROS_000001	차량속도감속	전기제동시스템의 고장	None	기계제동 제동성능저하	열차지연	기계제동은 전기제동을 대체 가능해야 함 가능한 빠르게 열차회송	Critical	
F_ROS_000002	SLIM에 급전전력 공급	열차 1량의 VVV 인버터가 고장 나거나 TCU가 고장	None	열차 1량의 SLIMs에 공급되는 급전전력 공급중단	열차 1량의 SLIMs에서 발생하는 추진력 상실	잔여 1량에서 생성되는 추진력으로 주행 열차를 다음 역사까지 제한 속도 25km/h로(TBD) 운행하여 승객을 대피시킨 후 회송시킨다	Catastrophic	
		열차의 2량의 VVV 인버터들이 고장 나거나 TCU들이 고장	None	열차 2량의 SLIMs에 공급되는 전력 공급중단, 추진력 제어 상실	열차가 본선에 정차하여 이동 불가	열차는 가능한 범위에서 다음 역사 가까이 까지 타행운전으로 진행 승객 대피. 열차는 구원운전으로 본선에서 회송 되어야 함.	Catastrophic	
F_ROS_000003	차량속도감속	공기압축시스템 고장	None	기계제동시스템에 압축공기공급 중단 제동성능저하	정위치정차 실패로 열차지연 열차를 다음 역사에서 회송시켜야 한다.	차량은 다음 역에서 회송시킨 후 가능 시 예비열차 투입 편가장치에도 추가로 영향을 미친다.	Critical	
F_ROS_000004		BCU 고장	None	제동제어 고장 비상제동 작동	정위치정차 실패로 열차지연 열차를 다음 역사에서 회송시켜야 한다.	BCU는 설계단계에서 이중화 시킨다. 차량은 다음 역에서 회송시킨 후 가능 시 예비열차 투입	Critical	
F_ROS_000005		기계제동시스템의 고장	None	제동성능 저하	정위치정차 실패로 열차지연 열차를 다음 역사에서 회송시켜야 한다.	차량은 다음 역에서 회송시킨 후 가능 시 예비열차 투입	Critical	
F_ROS_000006		전기제동시스템의 고장	None	기계제동 제동성능저하	열차지연	기계제동은 전기제동을 대체 가능해야 함 가능한 빠르게 열차회송	Critical	
F_ROS_000007	SLIM과 부상장치에 공급할 급전전력 수전	이중화 집전슈 고장	None	SLIM과 부상시스템으로의 전력 공급중단	운행할 수 없는 열차들이 본선 선로에 정차	차량은 두 개의 집전슈 장애에도 열차운행이 가능 해야 한다. 승객대피 후 열차는 구원 절차에 따라 본선에서 회송된다.	Catastrophic	
F_ROS_000008	차체 및 궤도 인터페이스를 위한 물리적인 지지	주요 기계적 결함(대차구조 결함, 전자석 탈락)	None	차량의 구조 안전성 상실	선로변에 열차정차	대피선/인상선에 대기하는 예비열차 투입 대피선/인상선에 고장열차 대피 승객대피 / 열차구원	Catastrophic	
F_ROS_000009	저압부하(ATC, 조명,도어 등)에 전력공급	배터리 고장 저압 배전반 고장	None	저압 전력공급중단 시 필수 부하 및 보조장치에 전력공급 중단	저압용 차상 주요 장치들 기능상실	대피선/인상선에 대기하는 예비열차 투입 대피선/인상선에 고장 열차 대피 승객대피 / 열차구원	Catastrophic	

Page #: 1

Print Date: 2009-04-17
Print Time: 오전 11:01

Relex

FMEA
MIL-STD-1629 Task 101

System:
Indenture Level:
Ref Drawing:
Mission:

Date:
Sheet: 2 **of** 8
Compiled By:
Approved By:

ID No.	Function	Failure Mode	Trace ID	Local Effect	End Effect	Mitigation Provisions	Severity Class	Remarks
		열차의 SIV 인버터 동시고장	None	UPS에서 30분(TBD) 보조장치 및 주요 부하에 전원공급	차량은 다음 역에서 회송되며 최단 시간에 예비열차 투입	SIV 인버터 이중화 가능 시 대피선으로 고장열차 수동운전 대피 및 예비열차 투입	Critical	
F_ROS_000010	부상시스템에 급전전력 공급	차상 일부 부상회로 기능상실	None	고장회로와 연결된 부상 마그넷에 전력공급 중단	불충분한 부상력	각 부상시스템은 자체 부상 회로를 가진다. 열차는 터미널까지 속도제한 40km/h(TBD)로 운행된다. 차량은 대차 4개중 3개만으로도 충분한 부상력을 얻는다. 열차는 해당 운행종료 후 차량기지로 회송된다. 참고: 고무차륜 시스템의 타이어펑크인 경우, 속도는 40km/h로 제한된다.	Critical	
		차상의 모든 부상회로 기능상실	None	부상력 상실	랜딩 롤러가 열차지지	선로변의 대피선/인상선에 열차대피 가능 열차는 다음 역까지 속도제한 25km/h(TBD)로 운행하고 승객을 하차시킨 후 회송된다. 유지보수절차는 열차운행에 미치는 영향을 감소시키는 방향으로 정한다.	Catastrophic	
F_ROS_000011	승객의 열차 승차허용,열차이동 중 승객추락 방지	열차도어 1대 고장	None	운행계획에 없는 열차도어 열림 필요 시 열차 도어가 적절히 닫히지 않음	안전요원이 고장도어를 수동으로 리셋 또는 잠글 때 까지 열차는 현 위치에정차하여 대기 안전요원이 고장도어를 수동으로 리셋 혹은 잠금 때까지 열차는 승강장에정차하여 대기	안전요원이 고장 도어를 수동으로 닫고 기능분리 후 열차운행 재개 가능 열차의 한 방향에서 1개 도어가 기능분리 된 경우 혼잡시간 대까지만 고장열차의 정상운행 가능	Marginal	
		열차의 같은 방향에서 2대 이상의 도어들이 동시에 고장	None	열차 기능 저하	터미널에서 고장열차 회송 및 예비열차 투입 역 정차시간 증가로 잠재적인 열차지연	차상 안전요원은 도어를 수동으로 리셋할 수 있다혼잡시간 대에만 고장열차운행을 허용하고 운영편의에 따른 교체시점을 평가하기 위한 특별 운영절차를 운영회사가 수립한다.	Critical	
F_ROS_000012	2차 현가장치 고장승객에게 편안한 승차감 제공	2차 현가장치 고장	None	2차 현가장치 기능상실	열차 승차감 저하 터미널에서 고장 차량을 회송	열차는 당해 운행을 완료하고 터미널에서 예비열차와 교체투입 가능하다	Marginal	
		냉난방 및 환기 시스템 고장	None	온도조절 및 공기순환 불가	기후조건에 따라 터미널역에서 열차회송 가능하나 열차운행에 직접적인 영향은 없음	이런 유형의 고장영향은 운영 및 유지보수 절차에 따라 열차운행서비스 영향이 결정된다	Marginal	

Print Date: 2009-04-17
Print Time: 오전 11:01

System:
Indenture Level:
Ref Drawing:
Mission:

Date:
Sheet: 3 of 8
Compiled By:
Approved By:

ID No.	Function	Failure Mode	Trace ID	Local Effect	End Effect	Mitigation Provisions	Severity Class	Remarks
		차량내부 일반조명 시스템	None	차량내부 조명기능 저하	열차운행에 직접적	야간 시간대를 위한 비상조명 이런 유형의 고장영향은 운영 및 유지보수 절차에 따라 열차운행서비스 영향이 결정된다	Marginal	
F_ROS_000013	승객 안전보호(보안)	비상 도어 열림 핸들 또는 비상정지 버튼의 비정상적 작동	None	ATC로 경보 전달 비상제동장치 작동	비상제동 체결 안전요원이 현장확인 후 수동으로 리셋	차상 안전요원의 개입	Marginal	
F_ROS_000014	차량 제어로직을 수행하고 차상 장치간의 난바이탈 통신을 허용	작동중인 TCMS 고장	None	난바이탈 소프트웨어 제어 기능의 일시적 상실	대기 중 이중화 TCMS로 스위칭	차량내 TCMS 이중화 설치 차량은 운영편의에 따라 가능한 빨리 회송하고 예비 열차를 투입차량은 운영편의에 따라 가능한 빨리 회송하고 예비 열차를 투입	Marginal	
		이중화 TCMS의 동시 고장	None	감시와 제어기능 상실	선로변에 열차 정차	본선에 대피선 및 인상선 설치 몇 개의 예비열차 투입지점 건설을 검토가능시 차량은 다음 역에서 수동으로 회송	Catastrophic	
F_ROS_000015	차상 장치로 바이탈 데이터와 신호 전송	인통선 고장 또는 차/지상 ATC들간 인터페이스 고장	None	바이탈 데이터 손실 또는 바이탈 장치의 부적절한 경보	차량은 선로변에 정차후 진행할 수 없다. 수동운전 모드로 대피선/ 유치선으로 차량을 대피한다	본선에 대피선 및 인상선 설치 몇 개의 예비열차 투입지점 건설을 검토 열차는 다음 역까지 이동하여 승객을 대피시킨 후 제한속도로 수동운행	Catastrophic	
F_ROS_000016	화재감지	화재감지 장치 고장	None	차상 화재감지기능 상실	감지되지 않은 화재가 확산 가능 종착역에서 고장열차 회송	종착역에서 열차회송 및	Marginal	
F_SIG_000001	지상에서 열차로 연동제어 관련 바이탈 데이터 전송 제어	열차와 지상장치 간 열차무선 장애 (이중화AP, DCS)	None	열차의 바이탈 데이터 상실	고장발생 구간에 열차정차	AP의 이중화 수동운전으로 고장열차 대피 운영 및 유지보수 절차 수립	Catastrophic	
		지상 바이탈 장치 고장(WCU; 연동장치)	None	연동제어 및 안전기능 상실	고장구간의 열차운행 중단	바이탈 장치 이중화	Catastrophic	
		분기기 제어기능 상실	None	분기기 상태정보 및 제어기능 상실	고장구간의 열차운행 중단. 열차는 제한속도로 수동운행	고장구간 내 정차열차의 수동운전 가능 운영 및 유지보수 절차를 통해 분기기 진로를 직원이 확인하고 수동으로 열차진행을 OCC에서 허가.	Catastrophic	
F_SIG_000002	열차 이동의 바이탈 제어	두 개의 연속된 트랜스폰더 읽기 실패	None	열차의 현재위치 상실	제어구간 내의 모든 열차의 일시적인 정차	이중화 트랜스폰더 리더기 고장구간에 정차한 열차는 가까운 역사로 수동운전으로 이동 후 승객대피	Critical	

ID No.	Function	Failure Mode	Trace ID	Local Effect	End Effect	Mitigation Provisions	Severity Class	Remarks
		차상 ATP 핵 고장	None	차상 ATP 기능 상실	제어되는 선로구간 내에 모든 열차 일시	열차당 이중화 ATP 핵 설치	Marginal	
		이중화된 차상 ATP 장치 동시 고장	None	차상 ATP 기능 상실	열차가 선로에서 정차하여 자력으로 이동하지 못하며 비상수동운전 필요	고장구간에 정차한 열차는 가까운 역사로 수동운전으로 이동 후 승객대피	Catastrophic	
		ATO핵 고장	None	차상 ATO 기능 상실	대기 중 ATO로 제어기능 정체를 위해 고장열차 일시 정차	열차당 ATO 이중화	Marginal	
		이중화 ATO핵 동시 고장	None	차상 ATO 기능 상실	열차가 선로에서 정차하여 자력으로 이동하지못하며 비상수동운전 필요 MJ(주요)급 열차지연	승객대피 후 열차는 비상수동 운전모드로 회송	Critical	
		속도센서 고장	None	바이탈 주행방향 및 속도	대기 중 속도센서로 제어기능 정체를 위해 차량의 일시 정차	열차당 2방의 속도센서를 설치하여 1방씩 각 이중화 ATP핵과 연결	Marginal	
F_SIG_000003	역사 승강장에 열차의 정위치 정차	정위치 정차판 고장	None	정위치 정차판 고장으로 열차의 정차위치 상실	정위치 정차 불가 열차 지연 초래	정위치정차판은 철제후판 구조로 파손 외의 고장이 발생되지 않는다.	Marginal	
		차량에 장착된 정위치	None	정위치정차위치 정보상실	정위치 정차실패로 인한 열차지연	정위치정차판 리더기 이중화	Marginal	
F_SIG_000004	열차 루입, 진로 및 스케줄 변경	OCC의 이중화 LAN 및 서버 고장	None	OCC의 ATS 기능 상실	정상 운영상태에서 발생되지 않으나 열차 스케줄이 변경 중 잠재적으로 발생가능	OCC의 주요 장치와 서버의 이중화	Marginal	
F_SIG_000005	OCC와 지상장치 간 광케이블에 의한 ATC 통신	이중화 광케이블 고장 또는 이중화 LAN과의 인터페이스 고장	None	지상신호에 대한 OCC 제어기능 상실	열차진로 원격 재설정, 열차 스케줄 변경, 및 사고 발생에 대응한 열차운행불가.열차로-부터 데이터 수신불가. 전 노선을 따라 열차운행 중단.	ATC 통신 연결장치의 이중화운영자는 백업절차를 개발하여 비상운영 모드로 열차 운행을 관리한다.	Critical	

System:
Indenture Level:
Ref Drawing:
Mission:

Date:
Sheet: 5 of 8
Compiled By:
Approved By:

ID No.	Function	Failure Mode	Trace ID	Local Effect	End Effect	Mitigation Provisions	Severity Class	Remarks
F_COM_000001	OCC에서 전송한 녹음	열차 내 방송용 앰프들의 동시 고장	None	차상에서 안내방송 불가	열차는 터미널에서 회송	차상 앰프의 이중화 열차무선은 안전요원과 OCC 간의 음성통신 기능을 제공(무전기 등) 한대의 앰프로도 기능 저하된 열차 내 안내방송 가능 MC-Car-A의 스피커중 반은 MC-Car-A의 앰프에 연결되고 나머지 반은 MC-Car-B 앰프에 교차 연결한다. MC-Car-B에 있는 스피커들 또한 MC-Car-A와 동일방식으로연결된다. 결국 MC-Car-a/b에서 발생한 1개 앰프의 고장이 차량 내에 있는 모든 스피커에 영향을 미치지 않	Marginal	
F_COM_000002	열차 내 안전요원 또는 승객에 대한 방송기능관리	OCC의 방송장치 고장(PA 유닛, PA 랙, LS제어기)	None	운행중인 모든 열차에 안내방송 불가	비상시 OCC로부터 승객에게 안내방송 불가 무선단말기를 통하여 안전요원 및/또는 승회점검요원과 음성통화 가능 관리역 또는 역사 방송설비로 안내방송 가능	OCC의 방송 사령설비이중화 무선단말기를 통한 열차내 음성통신 기능제공 관리역 또는 역사에 방송설비로 설치현장요원과 무선단말기를 통해 연결하여 현장에서 비상운영 관리	Marginal	
F_COM_000003	승객에게 열차 도착, 목적지, 열차지연에 대한 문자정보 제공	OCC의 승객정보장치(PIS) 고장	None	전 역사 및 운행열차에 문자메시지 전송불가	승객에게 문자정보 제공기능 상실 만약의 경우 역사 직원이 승객을 지원	OCC의 PIS 사령설비 이중화	Marginal	
F_COM_000004	승객이 OCC에게 비상통신	1개 구간의 모든 비상전화 기능 상실	None	비상시 OCC와 통신 불가	승객의 안전조건 저하 비상전화 기능이 완전히 상실되었을 경우 역사를 폐쇄	주요 비상전화 장치 이중화. 운영자가 백업절차 개발(주요 지점들에 무전기를 휴대한 직원 배치)	Marginal	
F_COM_000005	서로 다른 지역의 CTV 영상관리 및 모니터에 재생	OCC의 주요 CCTV 사령설비 고장	None	OCC에서 CCTV 영상을 통한 역사 감시기능 상실	OCC에서 모든 역사에 있는 승객의 이동통제 기능상실 무선장치를 휴대한 직원을 모든 승강장에 배치	관리역에서 통제 구간별로 성능 저하된 CCTV 영상을 통해 승객을 감시토록 이중화 구성	Marginal	
F_COM_000006	광통신 링과 역사 통신장치간의 인터페이스	해당 역사의 디지털 전송기능 상실	None	OCC와 고장 역사간 데이터 전송기능 상실	OCC와 역사설비 간 데이터 교환기능 상실	역사 디지털 전송용 통신 장치 이중화	Marginal	
F_COM_000007	서브시스템 간 데이터 전송	광 케이블 네트워크 상 2개 장소에서 동시에 이중화 광케이블 고장	None	광 케이블 링의 2개의 장소간에 통신기능 상실	지역 장치와 통신 불가능으로 운행열차 이동 중지	광 케이블 링의 이중화 대기중인 통신 링으로 절체하여 광 케이블 1계 고장은 자동관리	Catastrophic	

Relex

FMEA
MIL-STD-1629 Task 101

System:
Indenture Level:
Ref Drawing:
Mission:

Date:
Sheet: 6 **of** 8
Compiled By:
Approved By:

ID No.	Function	Failure Mode	Trace ID	Local Effect	End Effect	Mitigation Provisions	Severity Class	Remarks
			None			모든 OCC 장치들은 설계단계에서 이중화 한다 운영 및 유지보수 백업절차 개발		
F_COM_000009	선로로의 사람 진입 통제-출입문 제어장치	1개 출입문을 통해 선로로 사람 진입에 대한 오 경보	None	OCC 운영자에게 전달된 오 경보	비상 운영절차 작동 현장직원이 경보를 검증하고 출입문 제어장치를 리셋하기 전까지 ATC가 해당지역에서 열차 이동을 자동으로 금지	경보관리를 위해 운영자가 비상운영절차 구축 순회점검요원이 현장을 확인한 후 해당 출입문 제어장치를 리셋 하거나 OCC 운영자가 원격 리셋 한다. 비상운영절차 개발 순회점검요원 역사배치	Marginal	
F_COM_000010	열차무선 데이터의 신호 중복 및 반복전송	선로변 RBS(무선 안테나) 고장	None	선로상 일정구간에서 열차와 OCC 간 무선통신 기능상실 또는 빈약한 무선 통신	고장지역과 인접한 구간에 있는 열차와의 열차무선 고장	이중화 RBS (무선안나) 고려 각 RBS는 인접 RBS와통신영역이 부분적으로겹치게 설계한다. 열차 경보는 ATC를 통해 OCC로 전송된다	Critical	
		인접한 2개 RBS가 동시에 고장	None	선로상 일정구간에서 열차와 OCC 간 무선통신기능상실	관련 선로구간에서 모든 열차 및 휴대용 무선장치들의 통신기능 상실 해당 구간에서 열차운행 중단		Catastrophic	
F_COM_000011	OCC와 차상 안전요원(및 열차)간 메시지 및 데이터 전송	OCC의 중앙 제어 및 통제 기능 상실	None	열차무선 기능 상실	전체 시스템의 모든 장소의 서브시스템과의 통신 및 다른 서브시스템과 인터페이스가 불가	OCC의 사령장치 이중화	Catastrophic	
F_COM_000012	차량과 OCC 간의 통신	차상 이중화 열차무선장치 고장	None	차상 열차무선 기능 상실	비상시에도 열차의 무선통신 불가하여 종착역에서 고장차량 회송 비상시에는 안전요원이 휴대한 무전기로 OCC와 일시적 통화 가능	설계단계에서 차상 열차무선 장치(OBS)는 이중화 한다. OBS가 고장일 경우 대기 중인 이중화 장치로 자동 절체된다. 차상 안테나 이중화 운영회사가 개발하는 비상운영절차에서는 차상 안전요원이 휴대한 무전기를 통해 OCC와 백업 통신하는 것을 설명한다.	Marginal	
F_PWR_000001	제3궤조에 급전전력 공급	인접한 두 급전변전소인접한 두 급전변전소	None	제3궤조 한 개 구간의 급 전전력 공급중단	관련 선로구간에 있는 열 차의 이동 중단	1개의 급전변전소가 고장 시에도 정상운행성능을 보장하도록 급전시스템을 설계하변동에 따른 급전회로 스위칭 구현방안 조사필요	Catastrophic	

Print Date: 2009-04-17
Print Time: 오전 11:01

Relex

FMEA
MIL-STD-1629 Task 101

System:
Indenture Level:
Ref Drawing:
Mission:

Date:
Sheet: 7 of 8
Compiled By:
Approved By:

ID No.	Function	Failure Mode	Trace ID	Local Effect	End Effect	Mitigation Provisions	Severity Class	Remarks
		2개의 초고압 수전변전소	None	모든 22.9 kV링에 의한	관련 선로구간에 있는	수전 선로의 이중화	Catastrophic	
		제3궤조 고장	None	한 개 선로구간에 급전전력 공급중단	관련 선로구간에 있는 열차의 이동중단	제3궤조의 정기 점검 및 부분적인 열차운행을 하도록 급전선로를 재구성하기 위해 회로 차단기를 원격 제어	Catastrophic	
		비상 급전차단 회로의 잘못된 작동	None	선로에 있는 모든 회로 차단기 개방	전체선로의 급전전력 공급 일시 중단, 경보가 발해진 선로구간에서 열차이동 중단	비상급전 차단 버튼을 일시적으로 무시하는 제어 기능을 SCADA에 반영검토SCADA를 통해 차단 버튼이 눌러진 지역을 제외하고 급전전력 자동 재 공급	Critical	
		귀선회로의 절연 상실	None	선로 보호기능 작동	관련 선로구간에 있는 열차의 이동중단	제3궤조의 정기 점검	Catastrophic	
F_PWR_000002	저압 설비에 전력공급	저압 배전반과 UPS를 연결하는 케이블/ 차단기 고장	None	역사의 주요 부하에 저압 전력 공급중단	ATC, 디지털 전송 및 기타 주요설비 기능상실로 열차운행 중단	모든 주요 부하에 UPS 전력공급역사의 저압 전력공급이 중단될 경우, 주요 및 비상 부하는 UPS 전력을 공급받아 역사서비스의 지속적 제공이 가능하다. 이 내용은 유지보수 절차와 함께 검증한다.	Critical	
F_PWR_000003	역사 설비에 조명 제공	역사조명 고장	None	야간에 불충분한 조명	비상등이 없을 때 야간시간 대 역사 폐쇄	야간 시간대에 가시성을 안전한 수준으로 보장하는 비상등	Critical	
F_PWR_000004	전력공급시스템에 대한 감시 및 원격 제어	SCADA 기능상실 (이중화 LAN, 서버, 이더넷멀티 스위치)	None	SCADA 기능 상실	지역장치들의 원격제어가 불가 원격개입이 필요한 급전계통의 동시 고장발생시 열차운행 서비스에 중대 영향을 끼칠 수 있다.	SCADA 서버와 LAN 이중화. 비상 회로차단기를 가동하여 수동으로 급전전력차단이 가능하다.변전소 배전반에서 또는 블루라이트 스테이션으로 급전계통 변경가능	Marginal	
		RTU 고장	None	관련 역사 또는 급전변전소의 감시 및 제어기능 상실	관련 급전장치의 동시 고장 발생시 원격 제어/운영가 불가한 지역적 영향	변전소 배전반에서 또는 블루라이트 스테이션으로 급전계통 변경가능	Marginal	
F_PSD_000001	승객의 열차승차 허용 및 승강장에서 추락사고 방지기능 제공	PSD 고장	None	운행계획에 없는 PSD 도어 열림	직원이 안전을 확인하고 고장 도어를 잠글 때 까지 급전전력은 차단되고 열차는 진입금지됨	일시적인 고장해결을 위해 OCC 에서 도어를 강제로 닫을 수 있어야 함. 차상안전요원 및 역사 순회안전요원은 신속한 고장 조치를 보장해야 함	Critical	

Print Date: 2009-04-17
Print Time: 오전 11:01

Relex

FMEA
MIL-STD-1629 Task 101

System:
Indenture Level:
Ref Drawing:
Mission:

Date:
Sheet: 8 **of** 8
Compiled By:
Approved By:

ID No.	Function	Failure Mode	Trace ID	Local Effect	End Effect	Mitigation Provisions	Severity Class	Remarks
			None	필요 시 PSD 도어 닫히지 않음	역사에 정차중인 열차는 안전요원 또는 순회점검요원이	일시적인 고장해결을 위해 OCC 에서 도어를 강제로 닫을 수 있어야 함. 차상안전요원 및 역사 순회안전요원은 신속한 고장 조치를 보장하여야 함	Critical	
		동일방향 승강장에서 2개 PSD가 동시에 고장	None	역사의 승/하차 기능상실	ATC에서 열차가 역사를 통과하도록 지시		Critical	
		PSD 제어기 또는 ATC의 인터페이스 기능상실	None	PDS 기능 상실	ATC에서 열차가 역사를 통과하도록 지시		Critical	
F_MCH_000001	역사시설 관리	자동제어시스템(BAS)고장	None	역사설비의 원격 모니터 및 원격제어 기능 상실	잠재적인 열차운행지연	지역제어 판넬로도 역사설비의 제어 및 모니터가 가능하게 한다.	Critical	

Print Date: 2009-04-17
Print Time: 오전 11:01

자. 시스템 PHA

[PHA Pro-7 소프트웨어를 활용한 PHA]

- 신한도 분석
- 예방보도 계획
- 리스크 수준 평가

고장분류 화재도 시스템에 포함되는 이벤트의 예시 이벤트의 결과이다.
이 이벤트들을 모두 다음과 같이 정리하여 다음 6그룹으로 분류됩니다.

(1) 시스템 고장(FAL)
시스템 및 서브시스템의 정확을 미치고 화재도 상황을 생성시키는 모든 시스템 그것을 포함하는 이벤트(각종 열차 제어(ATC), 비상 시스템(Emergency System) 등)

(2) 구조적 통합성(STR)하의 구조적 통합성을 포함하는 이벤트 비록 시스템 수준에서 E&M 범위는 아니지만, 시스템 수준에서 화재도 통제를 개발하고 포함 시스템 안전성 요구조건을 검증하기 위해 모델의 구조적 통합성이 고려됨

(3) O&M 절차 고려 또는 인적 오류의 결과로 기인된 이벤트(O&M)
운용 절차가 적절하지 않거나 미기능 차량, 유지 보수, 승객 비상 대피와 같은 우발 사고에 대처할 수 있을 만큼 충분한 자격이 화재도의 원인이 될 수가 있음.
O&M 안의 시스템 오동작의 발생하는 이벤트(E&M 범위는 아니지만 관련도를 위해 포함됨)

(4) 운영자(HUM)의 역할(HUM)
요약적 활동, 즉 지 활동을 포함하는 이벤트

(5) 환경적 원인(ENV)
극한의 날씨 상태 및 외부 간섭(돌 충돌, 지하 등)과 같은 시스템 및 장치의 오작동이스로 인한 모든 사건을 포함하는 이벤트
기능 원인(MSC): 앞에서 기술한 그룹의 1개 이상에 속하는 원인들에 의해 야기될 수 있는 이벤트

Team Members

No.	Level	Name	Title	Company	Department	Expertise	Phone #	Extension	Fax #	E-Mail Address	Website Address	Comment
1	E&M	서동준	차장	현대로템	EMI기술영업팀	E&M RAMS	02-3464-7206					
2	E&M	양희갑	과장	현대로템	EMI기술영업팀	E&M RAMS	02-3464-7207					
3	E&M	고두봉	대리	현대로템	EMI기술영업팀	E&M RAMS	02-3464-7211					
4	차량	이창호	대리	현대로템	시스템기술팀	RAMS	031-596-9323					
5	신호	미정		대우엔지니어링								
6	통신	미정										
7	전력	미정										
8	PSD	미정										
9	분기기	미정										

Sessions

Date	Duration	Description	Leader	Scribe	Cost	Comment

Attendance

Team Members	???		Hours
	Attendance		
서동준			
양희갑			
고두봉			

이형모		
미정		
미정		
미정		
미정		
미정		

Drawings

Drawing	File Path	Place(s) Used	Comment

Revalidation History

Start Date	End Date	Comments

1. List "Nodes"

Nodes	Type	Equipment ID	Comment	Rev. #	Revision Date
1. 차량	Subsystem	ROS		1A	2009-01-28
2. 신호	Subsystem	SIG		1A	2009-01-28
3. 통신	Subsystem	COM	RAMS 수행범위에 따라 세분화 될 수 있음	1A	2009-01-28
4. 전력	Subsystem	PWR	RAMS 수행범위에 따라 세분화 될 수 있음	1A	2009-01-28
5. PSD	Subsystem	PSD	본 프로젝트에서는 건축분야에 포함	1A	2009-01-28
6. 분기기	Subsystem	PNT		1A	2009-01-28
7. 운영	Operation	OPR	도시형자기부상열차 시범노선 운영사	1A	2009-01-28
8. 토건/기계	Construction	CSR	토목/건축은 RAMS 수행범위에 해당되지 않으나 E&M 시스템과 인터페이스되는 부분의 해석되는 식별/분석 함.	1A	2009-01-28

2. List "Deviations"

Node: 1. 차량; 2. 신호; 3. 통신; 4. 전력; 5. PSD; 6. 분기기; 7. 운영; 8. 토건/기계
Type: Subsystem; Subsystem; Subsystem; Subsystem; Subsystem; Subsystem; Operation; Construction
Design Conditions/Parameters: ; ; ; ; ; ; ; ;

Drawings:
Equipment ID: ROS; SIG; COM; PWR; PSD; PNT; OPR; CSR

Node	ID1	ID2	Deviations	Guide Word	Parameter	Design Intent	Comment	Session	Rev. #	Revision Date
1. 차량	1. SYS	FAIL1	1. 주행중 또는 정차중인 열차에 다른 열차 접근	As well as						
	1. SYS	FAIL2	2. 선로상 장애물	As well as						
	1. SYS	FAIL4	3. 차량에 부적절한 동력	More						
	1. SYS	FAIL5	4. 열차의 도어가 열린채로 열차가 달리거나 역사를 출발	As well as						
	1. SYS	HUM1	5. 열차 승하차시 승객의 발(또는 신발 굽)이 차체 틈과 승강장 끝에 끼임	As well as						

	1. SYS	FAIL6	6. 잘못된 방향의 열차 도어 열림	Reverse/Misdirected						
	1. SYS	STR2	7. 열차 내부에서 물체 낙하	As well as						
	1. SYS	HUM3	8. 열차 도어에 승객 (물체) 끼임	As well as						
	1. SYS	FAIL7	9. 비상시 열차 도어 잠김	Reverse/Misdirected						
	1. SYS	FAIL8	10. 차상 승객 감전	As well as						
	1. SYS	FAIL10	11. 열차 승하차 시 승객의 감전	As well as						
	1. SYS	O&M4	12. 운영&유지보수 직원의 감전	As well as						
	1. SYS	FAIL11	13. 차내 화재	As well as						
	1. SYS	O&M5	14. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	As well as						
	1. SYS	ENV1	15. 차내 위험한 환경	As well as						
	1. SYS	ENV6	16. 날씨 조건 선로위에 쌓이는 눈 또는 얼음	As well as						
	1. SYS	FAIL12	17. EMI / EMC - 차상	As well as						
2. 신호	1. SYS	FAIL1	1. 주행중 또는 정차중인 열차에 다른 열차 접근	As well as						
	1. SYS	FAIL3	2. 잘못된 위치에 있는 분기기로 열차 접근	As well as						
	1. SYS	FAIL4	3. 차량에 부적절한 동력	As well as						
	1. SYS	FAIL5	4. 열차의 도어가 열린채로 열차가 달리거나 역사를 출발	As well as						
	1. SYS	FAIL6	5. 잘못된 방향의 열차 도어 열림	Reverse/Misdirected						
	1. SYS	FAIL7	6. 비상시 열차 도어 잠김	Reverse/Misdirected						
	1. SYS	MISC2	7. 설비 구역에 화재 발생	As well as						
	1. SYS	O&M5	8. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	As well as						
	1. SYS	FAIL12	9. EMI / EMC - 차상	As well as						
	1. SYS	FAIL13	10. EMI / EMC - 필수 지상 장치	As well as						
	1. SYS	FAIl14	11. 구조적 부식	As well as						
3. 통신	1. SYS	HUM2	1. 선로위의 승객	As well as						
	1. SYS	MISC2	2. 설비 구역에 화재 발생	As well as						
4. 전력	1. SYS	FAIL9	1. 고정 설비에서 승객/사람의 감전	As well as						
	1. SYS	FAIL10	2. 열차 승하차 시 승객의 감전	As well as						
	1. SYS	O&M4	3. 운영&유지보수 직원의 감전	As well as						
	1. SYS	MISC1	4. 역사의 공공장소에 화재 발생	As well as						
	1. SYS	MISC2	5. 설비 구역에 화재 발생	As well as						
	1. SYS	O&M5	6. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	As well as						
	1. SYS	FAIL15	7. 제 3궤조에 전력 공급 부족	Less						
5. PSD	1. SYS	HUM1	1. 열차 승하차시 승객의 발(또는 신발 굽)이 차체 틈과 승강장 끝에 끼임	As well as						
6. 분기기	1. SYS	FAIL1	1. 주행중 또는 정차중인 열차에 다른 열차 접근	As well as						
	1. SYS	FAIL3	2. 잘못된 위치에 있는 분기기로 열차 접근	As well as						
7. 운영	1. SYS	FAIL2	1. 선로상 장애물	As well as						
	1. SYS	STR1	2. 역사내에서 물체 낙하	As well as						
	1. SYS	HUM2	3. 선로위의 승객	As well as						
	1. SYS	HUM3	4. 열차 도어에 승객 (물체) 끼임	As well as						
	1. SYS	MISC1	5. 역사의 공공장소에 화재 발생	As well as						
	1. SYS	O&M1	6. 유지보수 인원 - 감염	As well as						
	1. SYS	O&M2	7. 운영 & 유지보수 인원 - 화상	As well as						
	1. SYS	O&M3	8. 운영&유지보수 인원이 위험한 물질에 노출	As well as						
	1. SYS	MISC2	9. 설비 구역에 화재 발생	As well as						
	1. SYS	MISC3	10. 시스템 내부에 폭발	As well as						
	1. SYS	HUM4	11. 폭탄 테러 및 테러 공격	As well as						
	1. SYS	O&M5	12. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	As well as						
	1. SYS	O&M6	13. 역사로 부터 도움 없는 대피	As well as						
	1. SYS	O&M7	14. 설비실에서 도움없는 대피	As well as						
	1. SYS	ENV4	15. 지진	As well as						

	1. SYS	ENV5	16. 지리적 제해	As well as						
	1. SYS	ENV6	17. 날씨 조건 선로위에 쌓이는 눈 또는 얼음	As well as						
	1. SYS	STR3	18. 역사의 구조적 붕괴	As well as						
	1. SYS	STR4	19. 고가 구간의 구조적 붕괴	As well as						
8. 토건/기계	1. SYS	HUM1	1. 열차 승하차시 승객의 발(또는 신발 굽)이 차체 틈과 승강장 끝에 끼임	As well as						
	1. SYS	STR1	2. 역사내에서 물체 낙하	As well as						
	1. SYS	HUM2	3. 선로위의 승객	As well as						
	1. SYS	MISC2	4. 설비 구역에 화재 발생	As well as						
	1. SYS	HUM4	5. 폭탄 테러 및 테러 공격	As well as						
	1. SYS	O&M6	6. 역사로 부터 도움 없는 대피	As well as						
	1. SYS	O&M7	7. 설비실에서 도움없는 대피	As well as						
	1. SYS	ENV2	8. 역사 승객에게 위험한 환경을 제공	As well as						
	1. SYS	ENV3	9. 운영&유지보수 직원에게 위험한 환경 제공	As well as						
	1. SYS	ENV4	10. 지진	As well as						
	1. SYS	ENV5	11. 지리적 제해	As well as						
	1. SYS	STR3	12. 역사의 구조적 붕괴	As well as						
	1. SYS	STR4	13. 고가 구간의 구조적 붕괴	As well as						

3. Develop HAZOP Worksheet

Type: Subsystem; Subsystem; Subsystem; Subsystem; Subsystem; Subsystem; Operation; Construction
Equipment ID: ROS; SIG; COM; PWR; PSD; PNT; OPR; CSR

Node: 1. 차량; 2. 신호; 3. 통신; 4. 전력; 5. PSD; 6. 분기기; 7. 운영; 8. 토건/기계

Node	ID1	ID2	Hazard	Causes	Consequences	Risk Matrix			Safeguards	Recommendations	Responsibility	Status
						L	S	RR				
1. 차량	1. SYS	FAIL1	1. 주행중 또는 정차중인 열차에 다른 열차 접근	1. 차량기능장애	1. 열차의 잠재적인 추돌[다수의 사망 및/또는 다수의 중상]	E	1	To		59. 차량 시스템 적절한 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL2	2. 선로상 장애물	1. 차량 부속물 분리	1. 열차와 장애물의 추돌[사망 및/또는 중상]	E	2	To		4. 차량 적절히 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL4	3. 차량에 부적절한 동력	1. 차량기능장애	1. 열차 내에서 승객 넘어짐	D	3	To		4. 차량 적절히 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL5	4. 열차의 도어가 열린채로 열차가 달리거나 역사를 출발	1. 차량기능장애	1. 열리는 열차에서 승객 추락[사망 및/또는 중상]	E	2	To		4. 차량 적절히 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	HUM1	5. 열차 승하차시 승객의 발(또는 신발 굽)이 차체 틈과 승강장 끝에 끼임	1. 차량과 승강장 사이의 과도한 거리	1. 열차 승하차시 승객이 부상	E	2	To		5. 열차 및 승강장간의 최소 간격 설계		
	1. SYS	FAIL6	6. 잘못된 방향의 열차 도어 열림	1. 차량도어고장	1. 열차에서 승객 추락 [사망 및/또는 심각한 부상]	E	2	To		4. 차량 적절히 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	STR2	7. 열차 내부에서 물체 낙하	1. 차량내부 장치 파손	1. 승객 중상	E	2	To		7. 차량의 적절한 유지보수		
	1. SYS	HUM3	8. 열차 도어에 승객 (물체) 끼임	1. 차량기능장애	1. 승객 지연 [경상]	D	3	To		4. 차량 적절히 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL7	9. 비상시 열차 도어 잠김	1. 차량도어고장	1. 열차에서 대피 불가 [다수 사망 및/또는 다수 중상]	E	1	To		12. 차량 적절히 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL8	10. 차상 승객 감전	1. 누전 / 전기 장치의 노출	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		13. 전력 회로 차단기 및 전력 기기와 승객의 적절한 격리		
	1. SYS	FAIL10	11. 열차 승하차 시 승객의 감전	1. 추진 및 부상 시스템으로 인한 차량의 정전기 발생	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		19. 전력 장치의 적절한 bounding		
	1. SYS	O&M4	12. 운영&유지보수 직원의 감전	1. 추진 장치의 부주의한 접촉	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		20. 전력 장치 상태를 확정하는 적절한 수단		
										21. 전력 장치의 원격제어 기능을 해지시키는 특정한 명령의 이용성		
										22. 동작중인 장치 주변이나 동작중인 장치의 작업에 대한 적절한 절차 수립		
	1. SYS	FAIL11	13. 차내 화재	1. 부적절한 승객 행동	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		23. 환자에 대비하여 적절하게 설계한 차량 (내연성 규격 수준)		
										24. 차상 설치된 화재 감지 / 소방 시스템		
										25. CCTV로 원격 조종을 통한 운영자의 적절한 감시		

											25. 차상 화재에 대비한 격결한 비상 절차		
											27. 접근/대피의 적절한 수단 검증		
	1. SYS	O&M5	14. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	1. 추진 / 전력 공급의 고장	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		12. 차량 격결히 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	ENV1	15. 차내 위험한 환경	1. 차량 (공조 시스템)	1. 승객에게 불편 초래 /경상	E	3	Ne		67. 열차 공조 시스템을 격결하게 설계, 설치 및 시험		
	1. SYS	ENV6	16. 날씨 조건 선로위에 쌓이는 눈 또는 얼음	1. 날씨	1. 날씨	E	1	To		78. 차량 스커트 설치		
	1. SYS	FAIL12	17. EMI / EMC - 차상	1. 부상, 추진 전자계, 간격 센서와 같은 차상 장비, 신호 설비간 간섭에 의해 허자드 발생	1. 잠재적인 탈선 가능성 /잠재적인 열차 충돌 가능성[다수 사망 및/또는 다수 중상]	E	1	To		80. 차상 설치된 모든 전자 장치에 대한 EMI/EMC 기준과 일치		
2. 신호	1. SYS	FAIL1	1. 주행중 또는 정차중인 열차에 다른 열차 접근	1. 신호기능장애	1. 열차의 잠재적인 추돌[다수의 사망 및/또는 다수의 중상]	E	1	To		1. 신호 시스템 격결한 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL3	2. 잘못된 위치에 있는 분기기로 열차 접근	1. 신호기능장애	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		1. 신호 시스템 격결한 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL4	3. 차량에 부적절한 동력	1. 신호기능장애	1. 열차 나에서 승객 넘어짐	D	3	To		1. 신호 시스템 격결한 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL5	4. 열차의 도어가 열린채로 열차가 달리거나 역사를 출발	1. 신호기능장애	1. 달리는 열차에서 승객 추락[사망 및/또는 중상]	E	2	To		1. 신호 시스템 격결한 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL6	5. 잘못된 방향의 열차 도어 열림	1. 신호기능장애	1. 열차에서 승객 추락 [사망 및/또는 심각한 부상]	E	2	To		1. 신호 시스템 격결한 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL7	6. 비상시 열차 도어 잠김	1. 신호 오동작	1. 열차에서 대피 불가 [다수 사망 및/또는 다수 중상]	E	1	To		1. 신호 시스템 격결한 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	MISC2	7. 설비 구역에 화재 발생	1. 장치의 부적결한 운영	1. 기술 구역이 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]	E	2	To		42. 기능실의 화재 감지 및 소방시스템을 격결히 설계, 설치, 시험		
										47. 다른 구역으로 화재 번짐을 어방하기 위해 기능실을 격결하게 분리		
	1. SYS	O&M5	8. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	1. 신호기능장애	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		1. 신호 시스템 격결한 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL12	9. EMI / EMC - 차상	1. 부상, 추진 전자계, 간격 센서와 같은 차상 장비, 신호 설비간 간섭에 의해 허자드 발생	1. 잠재적인 탈선 가능성 /잠재적인 열차 충돌 가능성[다수 사망 및/또는 다수 중상]	E	1	To		79. 차상 설치된 모든 전자 장치에 대한 EMI/EMC 기준과 일치		
	1. SYS	FAIL13	10. EMI / EMC - 필수 지상 장치	1. 부상, 추진 전자계 및 신호 장치간의 간섭에 의해 허자드 발생	1. 잠재적인 탈선 가능성 /잠재적인 열차 충돌 가능성[다수 사망 및/또는 다수 중상]	E	1	To		81. 차량에 설치된 모든 전자 장치에 대한 EMI/EMC 규격 준수		
	1. SYS	FAIl14	11. 구조적 부식	1. 구조물의 부적결한 접지/ EMI/EMC 누설 전류	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		82. 차상 설치된 모든 전자 장치에 대한 EMI/EMC 규격 준수		
3. 통신	1. SYS	HUM2	1. 선로위의 승객	1. 부적결한 승객 행동	1. 선로상의 열차에 치이거나 부상당하는 승객 [사망 및 / 또는 중상]	E	2	To		9. . "주요 지역"에 산로 (예 : CCTV)를 보호하기 위한 기술적인 수단		
	1. SYS	MISC2	2. 설비 구역에 화재 발생	1. 장치의 부적결한 운영	1. 기술 구역이 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]	E	2	To		46. 다른 구역으로 화재 번짐을 어방하기 위해 기능실을 격결하게 분리		
4. 전력	1. SYS	FAIL9	1. 고정 설비에서 승객/사람의 감전	1. 감전 접지 고장	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		14. 전력 장치를 격결히 설계, 설치, 시험		
				2. 전기적 보호장치 없는 전기 시스템에서의 결여 장치 결함	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		15. 위험 장치에 대하여 승객을 위한 경고 표시		
				3. 부적결한 설치	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		16. "중요" 장소를 물리적으로 보호하기 위한 적결한 수단		
				4. 접지 시키지 않은 장치의 부주의한 접촉	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		17. 감전 사고가 발생할 경우 차력할 격결한 비상 절차		
	1. SYS	FAIL10	2. 열차 승하차 시 승객의 감전	1. 추진 및 부상 시스템으로 인한 차량의 감전기 발생	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		18. 단락		
	1. SYS	O&M4	3. 운영&유지보수 직원의 감전	1. 단락	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		20. 전력 장치 상태를 증명하는 적결한 수단		
										21. 전력 장치의 원격제어 기능을 허자시키는 특정한 명령의 이용성		
										22. 동작중인 장치 주변이나 동작중인 장치의 작업에 대한 적결한 절차 수립		
	1. SYS	MISC1	4. 역사의 공공장소에 화재 발생	1. 역사에 설치된 전력 장치의 부적결한 이용	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		14. 전력 장치를 격결히 설계, 설치, 시험		
										28. 역사 및 설비실에 화재 감지 및 소방을 위한 적결한 수단		
										32. 소방 시스템을 격결하게 설치		
										34. 화재 번짐을 어방하기 위해 기술실을 격결하게 분리 시킴		
	1. SYS	MISC2	5. 설비 구역에 화재 발생	1. 장치의 부적결한 운영	1. 기술 구역이 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]	E	2	To		43. 급전 시스템을 격결히 설계, 설치, 시험		
										44. 화재 번짐을 막기 위해 격결하게 설계한 다른 전력 시스템		
										45. 기능실의 화재 감지 및 소방시스템을 격결히 설계, 설치, 시험		
										46. 다른 구역으로 화재 번짐을 어방하기 위해 기능실을 격결하게 분리		
	1. SYS	O&M5	6. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	1. 네트워크의 외부 저공자로부터 전력 상실	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		14. 전력 장치를 격결히 설계, 설치, 시험		
	1. SYS	FAIL15	7. 제 3궤조에 전력 공급 부족	1. 제 3궤조에 전력이 공급되지 않는 구간	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		83. 전력 시스템 이중화		
										84. 제어 장치에 백업 전력을 공급하기 위하여 차량에 배터리 설치		
5. PSD	1. SYS	HUM1	1. 열차 승하차시 승객의 발(또는 신발 굽)이 차체 틈과 승강장 끝에 끼임	1. 차량과 PSD사이의 과도한 거리	1. 열차 승하차시 승객이 부상	E	2	To		5. 열차 및 승강장간의 최소 간격 설계		

6. 분기기	1. SYS	FAIL1	1. 주행중 또는 정차중인 열차에 다른 열차 접근	1. 분기기장애	1. 열차의 잠재적인 추돌[다수의 사망 및/또는 다수의 중상]	E	1	To		2. 분기기 적절한 설계,설치,시험		
	1. SYS	FAIL3	2. 잘못된 위치에 있는 분기기로 열차 접근	1. 분기기장애	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		2. 분기기 적절한 설계,설치,시험		
7. 운영	1. SYS	FAIL2	1. 선로상 장애물	1. 유지보수 인원이 선로상 남겨둔 장치	1. 열차와 장애물의 추돌[사망 및/또는 중상]	E	2	To		3. 운영 절차 구축		
	1. SYS	STR1	2. 역사내에서 물체 낙하	1. 유지보수인원 오류	1. 낙하물에 의한 승객 부상	E	2	To		3. 운영 절차 구축		
	1. SYS	HUM2	3. 선로위의 승객	1. 부적절한 승객 행동	1. 선로상의 열차에 치이거나 부상당하는 승객 [사망 및 / 또는 중상]	E	2	To		8. 침입을 막기 위한 운영 절차 및 승객을 위한 적절한 정보와 규제		
	1. SYS	HUM3	4. 열차 도어에 승객 (물체) 끼임	1. 부적절한 승객 행동	1. 승객 끼임 [경상]	D	3	To		11. 승객에게 적절한 정보 전달		
	1. SYS	MISC1	5. 역사의 공공장소에 화재 발생	1. 역사 인원들의 오사용, 부주의	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		29. 비상시 승객이 취할 수 있는 적절한 수단		
										30. 화재 위험이 수반되는 적절한 유지보수 절차		
										31. 역사 및 기술실에 화재가 발생할 경우 취할 수 있는 적절한 비상 절차		
										33. 화재 위험 경감조치의 설계 기준과 상응하는 도록 (안전한 구역, 표시를 위한 접근 / 대피 경로		
	1. SYS	O&M1	6. 유지보수 인원 - 갇힘	1. 부적절한 작업 수행	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		35. . 위험한 장치를 운영하고 유지보수 하기 위한 적절한 운영&유지보수 절차		
				2. 경고 라벨이 없음	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		36. 위험한 장치에 대한 적절한 위험 경고 표시		
	1. SYS	O&M2	7. 운영 & 유지보수 인원 - 화상	1. 정상 또는 비정상 조건으로 인한 장치의 과열 발생	1. 사망 및/또는 중상	E	2	To		37. 그열이 발생하는 장치를 유지보수 작업 시 이에 적합한 작업 절차 마련		
										38. 위험한 장치에 적절한 위험 경고 표시		
	1. SYS	O&M3	8. 운영&유지보수 인원이 위험한 물질에 노출	1. 장비의 유지 보수 시 특성 물질 유출	1. 운영&유지보수 직원의 가스 중독 [사망 및/또는 중상]	E	2	To		39. 시스템 설계에서 위험 물질을 제거/제어		
										40. 위험한 물질/구성 요소로 작동하는 운영&유지보수 작원이 적택한 적절한 절차 수립		
										41. 시스템에서 위험한 물질이 발생시에 대한 비상절차 수립		
	1. SYS	MISC2	9. 설비 구역에 화재 발생	1. 장치의 부적절한 운영	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]	E	2	To		50. 화재 위험이 수반되는 적절한 유지보수 절차		
										51. 기능실에 화재 발생 시 적절한 비상 절차를 취함		
	1. SYS	MISC3	10. 시스템 내부에 폭발	1. 승객/다중의 의도적인 행위	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	F	1	Ne		53. 적절한 유지보수 절차 (예방 조치)		
				2. 유지보수 직원의 방임	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	F	1	Ne		52. 폭발성 물질의 제거/제어		
	1. SYS	HUM4	11. 폭탄 테러 및 테러 공격	1. 승객 / 다중의 의도적인 행위	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	F	1	Ne		54. 적절한 통지 절차 수립		
	1. SYS	O&M5	12. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	1. 승객의 의도적인 행위	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	2	To		56. 비상시 적절한 대피 절차		
										57. 의도적인 행위에 대하여 적절한 규율 강화		
										58. OCC 운영자가 CCTV 및 안내 방송 시스템을 통해 원격으로 상황을 통제		
	1. SYS	O&M6	13. 역사로 부터 도움 없는 대피	1. 공황 상태/- 혼잡 / 탈출할 수 있는 명확한 방법 없음	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	2	To		62. OCC 운영자는 CCTV 또는 안내 방송을 통하 원격으로 상황을 관리		
										63. 운영&유지보수 직원이 대피를 도움		
	1. SYS	O&M7	14. 설비실에서 도움없는 대피	1. 비상 사태(예 : 화재,감전 등) / 운영&유지보수 오류	1. 경상	E	3	Ne		66. 운영&유지보수 인원을 적절하게 훈련		
	1. SYS	ENV4	15. 지진	1. 자연 재해	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		72. 적절한 비상 절차		
	1. SYS	ENV5	16. 지리적 재해	1. 자연 재해	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		73. 적절한 비상 절차		
										75. 부하 조건에 대한 안전 여유치 정의		
										76. 계절별 날씨 조건과 관련하여 구조물의 주요지점을 주기적으로 조사		
	1. SYS	ENV6	17. 날씨 조건 선로위에 쌓이는 눈 또는 얼음	1. 날씨	1. 경상	E	1	To		77. 적절한 선로 검사 절차		
	1. SYS	STR3	18. 역사의 구조적 붕괴	1. 부적절한 설계 또는 예상치 못한 부하 조건에 의한 역사의 구조적 붕괴	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	F	1	Ne		87. 주요 구조물 부위의 주기적인 검사		
	1. SYS	STR4	19. 고가 구간의 구조적 붕괴	1. 부적절한 설계 또는 예상치 못한 부하 조건에 의한 역사의 구조적 붕괴	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	F	1	Ne		90. 주요 구조물 부위의 주기적인 검사		
8. 토건/기계	1. SYS	HUM1	1. 열차 승하차시 승객의 발(또는 신발 굽)이 차체 틈과 승강장 끝에 끼임	1. 차량과 승강장 사이의 과도한 거리	1. 열차 승하차시 승객이 부상	E	2	To		5. 열차 및 승강장간의 최소 간격 설계		
	1. SYS	STR1	2. 역사내에서 물체 낙하	1. 지지대 이탈	1. 낙하물에 의한 승객 부상	E	2	To		6. 역사내 낙하물로부터 승객보호		
	1. SYS	HUM2	3. 선로위의 승객	1. 부적절한 승객 행동	1. 선로상의 열차에 치이거나 부상당하는 승객 [사망 및 / 또는 중상]	E	2	To		10. "중요지역"의 선로를 보호하기 위한 물리적인 수단		
	1. SYS	MISC2	4. 설비 구역에 화재 발생	1. 장치의 부적절한 운영	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]	E	2	To		49. 화재 안전을 위한 도록 설계 기준 (예 : 안전 구간, 표시, 대피 경로)		

	1. SYS	HUM4	5. 폭탄 테러 및 테러 공격	1. 승객 / 다중의 의도적인 행위	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	F	1	Ne		55. 물체를 습득 수 있는 구역을 최소화 시키기 위한 역사의 설계		
	1. SYS	O&M6	6. 역사로 부터 도움 없는 대피	1. 발생할 수 있는 명확한 방법 없음	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	2	To		60. 역사 설계 시 발생이 용이한 수단을 설계		
										61. 비상 조명 시스템 설치		
	1. SYS	O&M7	7. 설비실에서 도움없는 대피	1. 어두운 조명	1. 경상	E	3	Ne		64. 기술 구역 설계 시 발생이 용이한 수단을 설계		
										65. 비상 조명 시스템 설치		
	1. SYS	ENV2	8. 역사 승객에게 위험한 환경을 제공	1. 환경적 요인 (예:높은 온도)/ 어수선 그장	1. 승객에게 불편 초래 /경상	E	3	Ne		68. 공기 조화 시스템을 적절하게 설계, 설치 및 시험		
	1. SYS	ENV3	9. 운영&유지보수 직원에게 위험한 환경 제공	1. 환경적 요인 (예:높은 온도)/ 어수선 그장	1. 경상	E	3	Ne		69. 어수선 시스템을 적절하게 설계, 설치 및 시험		
	1. SYS	ENV4	10. 지진	1. 자연 재해	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		70. 국가 건축 규정이 근거한 토목 설계의 검증 및 확인		
										71. 부하 조건에 대한 안전 여유치 정의		
	1. SYS	ENV5	11. 지리적 재해	1. 자연 재해	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	E	1	To		74. 국가 건축 규정이 근거한 토목 설계의 검증 및 확인		
	1. SYS	STR3	12. 역사의 구조적 붕괴	1. 부적절한 설계 또는 예상치 못한 부하 조건에 의한 역사의 구조적 붕괴	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	F	1	Ne		85. 국가 건축 규정이 근거한 토목 설계의 검증 및 확인 (진도 6 이상 내진)		
										86. 부하 조건에 대한 안전 여유치 정의		
	1. SYS	STR4	13. 고가 구간의 구조적 붕괴	1. 부적절한 설계 또는 예상치 못한 부하 조건에 의한 역사의 구조적 붕괴	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상	F	1	Ne		88. 국가 건축 규정이 근거한 토목 설계의 검증 및 확인 (진도 6 이상 내진)		
										89. 부하 조건에 대한 안전 여유치 정의		

4. Manage Recommendations

Recommendation	Place(s) Used	Causes / Recommendations / Reference Number	Causes / Consequences / Consequence	Responsibility	Status	%Comp	Priority	Est. Start Date	Est. End Date	Act. Start Date	Act. End Date	Cost of Implementation	Resolution	Drawings	Execution	Comment
1. 신호 시스템 적절한 설계, 설치, 시험	Causes: 2.1.1, 2.2.1, 2.3.1, 2.4.1, 2.5.1, 2.6.1, 2.8.1	2.1.1.1	1. 열차의 광재적인 추돌[다수의 사망 및/또는 다수의 중상]													
		2.2.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상													
		2.3.1.1	1. 열차 내에서 승객 넘어짐													
		2.4.1.1	1. 달리는 열차에서 승객 추락[사망 및/또는 중상]													
		2.5.1.1	1. 열차에서 승객 추락 [사망 및/또는 심각한 부상]													
		2.6.1.1	1. 열차에서 대피 불가 [다수 사망 및/또는 다수 중상]													
		2.8.1.1	1. 사망 및/또는 중상													
2. 분기기 적절한 설계,설치,시험	Causes: 6.1.1, 6.2.1	6.1.1.1	1. 열차의 광재적인 추돌[다수의 사망 및/또는 다수의 중상]													
		6.2.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상													
3. 운영 절차 구축	Causes: 7.1.1, 7.2.1	7.1.1.1	1. 열차와 장애물의 추돌[사망 및/또는 중상]													
		7.2.1.1	1. 낙하물에 의한 승객 부상													
4. 차량 적절히 설계, 설치, 시험	Causes: 1.2.1, 1.3.1, 1.4.1, 1.6.1, 1.8.1	1.2.1.1	1. 열차와 장애물의 추돌[사망 및/또는 중상]													
		1.3.1.1	1. 열차 내에서 승객 넘어짐													
		1.4.1.1	1. 달리는 열차에서 승객 추락[사망 및/또는 중상]													
		1.6.1.1	1. 열차에서 승객 추락 [사망 및/또는 심각한 부상]													
		1.8.1.1	1. 승객 끼임 [경상]													
5. 열차 및 승강장간의 최소 간격 설계	Causes: 1.5.1, 5.1.1, 8.1.1	1.5.1.1	1. 열차 승하차시 승객이 부상													
		5.1.1.1	1. 열차 승하차시 승객이 부상													
		8.1.1.1	1. 열차 승하차시 승객이 부상													
6. 역사내 낙하물로부터 승객보호	Causes: 8.2.1	8.2.1.1	1. 낙하물에 의한 승객 부상													
7. 차량의 적절한 유지보수	Causes: 1.7.1	1.7.1.1	1. 승객 중상													
8. 침입을 막기 위한 운영 절차 및 승객을 위한 적절한 정보와 규제	Causes: 7.3.1	7.3.1.1	1. 선로상의 열차에 치이거나 부상당하는 승객 [사망 및 / 또는 중상]													

9. . "주요 지역"에 선로 (예 : CCTV)를 보호하기 위한 기술적인 수단	Causes: 3.1.1	3.1.1.1	1. 선로상의 열차에 치이거나 부상당하는 승객 [사망 및 / 또는 중상]														
10. "중요지역"의 선로를 보호하기 위한 물리적인 수단	Causes: 8.3.1	8.3.1.1	1. 선로상의 열차에 치이거나 부상당하는 승객 [사망 및 / 또는 중상]														
11. 승객에게 적절한 정보 전달	Causes: 7.4.1	7.4.1.1	1. 승객 끼임 [경상]														
12. 차량 적절히 설계, 설치, 시험	Causes: 1.9.1, 1.14.1	1.9.1.1	1. 열차에서 대피 불가 [다수 사망 및/또는 다수 중상]														
		1.14.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
13. 전력 회로 차단기 및 전력 기기와 승객의 적절한 격리	Causes: 1.10.1	1.10.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
14. 전력 장치를 적절히 설계, 설치, 시험	Causes: 4.1.1, 4.4.1, 4.6.1	4.1.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
		4.4.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
		4.6.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
15. 위험 장치에 대하여 승객을 위한 경고 표시	Causes: 4.1.2	4.1.2.1	1. 사망 및/또는 중상														
16. "중요" 장소를 물리적으로 보호하기 위한 적절한 수단	Causes: 4.1.3	4.1.3.1	1. 사망 및/또는 중상														
17. 감전 사고가 발생할 경우 채택할 적절한 비상 절차	Causes: 4.1.4	4.1.4.1	1. 사망 및/또는 중상														
18. 단락	Causes: 4.2.1	4.2.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
19. 전력 장치의 적절한 bounding	Causes: 1.11.1	1.11.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
20. 전력 장치 상태를 증명하는 적절한 수단	Causes: 1.12.1, 4.3.1	1.12.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
		4.3.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
21. 전력 장치의 원격제어 기능을 해지시키는 특정한 명령의 이용성	Causes: 1.12.1, 4.3.1	1.12.1.2	1. 사망 및/또는 중상														
		4.3.1.2	1. 사망 및/또는 중상														
22. 동작중인 장치 주변이나 동작중인 장치의 작업에 대한 적절한 절차 수립	Causes: 1.12.1, 4.3.1	1.12.1.3	1. 사망 및/또는 중상														
		4.3.1.3	1. 사망 및/또는 중상														
23. 화재에 대비하여 적절하게 설계한 차량 (내연성 규격 수준)	Causes: 1.13.1	1.13.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
24. 차상 설치된 화재 감지 / 소방 시스템	Causes: 1.13.1	1.13.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
25. CCTV로 원격 조종을 통한 운영자의 적절한 감시	Causes: 1.13.1	1.13.1.3	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
26. 차상 화재에 대비한 적절한 비상 절차	Causes: 1.13.1	1.13.1.4	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
27. 경근/대피의 적절한 수단 검증	Causes: 1.13.1	1.13.1.5	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
28. 역사 및 설비실에 화재 감지 및 소방을 위한 적절한 수단	Causes: 4.4.1	4.4.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
29. 비상시 승객이 취할 수 있는 적절한 수단	Causes: 7.5.1	7.5.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
30. 화재 위험이 수반되는 적절한 유지보수 절차	Causes: 7.5.1	7.5.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
31. 역사 및 기술실에 화재가 발생할 경우 취할 수 있는 적절한 비상 절차	Causes: 7.5.1	7.5.1.3	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
32. 소방 시스템을 적절하게 설치	Causes: 4.4.1	4.4.1.3	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
33. 화재 위험 경감조치의 설계 기준과 상응하는 토목 (안전한 구역, 표시를 위한 경근 / 대피 경로	Causes: 7.5.1	7.5.1.4	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
34. 화재 번짐을 예방하기 위해 기술실을 적절하게 분리 시킴	Causes: 4.4.1	4.4.1.4	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
35. . 위험한 장치를 운영하고 유지보수 하기 위한 적절한 운영&유지보수 절차	Causes: 7.6.1	7.6.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
36. 위험한 장치에 대한 적절한 위험 경고 표시	Causes: 7.6.2	7.6.2.1	1. 사망 및/또는 중상														
37. 고열이 발생하는 장치를 유지보수 작업 시 이에 적합한 작업 절차 마련	Causes: 7.7.1	7.7.1.1	1. 사망 및/또는 중상														
38. 위험한 장치에 적절한 위험 경고 표시	Causes: 7.7.1	7.7.1.2	1. 사망 및/또는 중상														
39. 시스템 설계에서 위험 물질을 제거/제어	Causes: 7.8.1	7.8.1.1	1. 운영&유지보수 직원의 가스 중독 [사망 및/또는 중상]														
40. 위험한 물질/구성 요소로 작동하는 운영&유지보수 직원이 채택한 적절한 절차 수립	Causes: 7.8.1	7.8.1.2	1. 운영&유지보수 직원의 가스 중독 [사망 및/또는 중상]														
41. 시스템에서 위험한 물질이 발생시에 대한 비상절차 수립	Causes: 7.8.1	7.8.1.3	1. 운영&유지보수 직원의 가스 중독 [사망 및/또는 중상]														
42. 기능실의 화재 감지 및 소방시스템을 적절히 설계, 설치, 시험	Causes: 2.7.1	2.7.1.1	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														
43. 급전 시스템을 적절히 설계, 설치, 시험	Causes: 4.5.1	4.5.1.1	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														

44. 화재 번짐을 막기 위해 적절하게 설계한 다른 전력 시스템	Causes: 4.5.1	4.5.1.2	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														
45. 기능실의 화재 감지 및 소방시스템을 적절히 설계, 설치, 시험	Causes: 4.5.1	4.5.1.3	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														
46. 다른 구역으로 화재 번짐을 예방하기 위해 기능실을 적절하게 분리	Causes: 4.5.1	4.5.1.4	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														
47. 다른 구역으로 화재 번짐을 예방하기 위해 기능실을 적절하게 분리	Causes: 2.7.1	2.7.1.2	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														
48. 다른 구역으로 화재 번짐을 예방하기 위해 기능실을 적절하게 분리	Causes: 3.2.1	3.2.1.1	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														
49. 화재 안전을 위한 토목 설계 기준 (예 : 안전 구간, 표시, 대피 경로)	Causes: 8.4.1	8.4.1.1	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														
50. 화재 위험이 수반되는 적절한 유지보수 절차	Causes: 7.9.1	7.9.1.1	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														
51. 기능실에 화재 발생 시 적절한 비상 절차를 취함	Causes: 7.9.1	7.9.1.2	1. 기술 구역에 화재 및 연기 발생 [사망 및/또는 중상]														
52. 폭발성 물질의 제거/제어	Causes: 7.10.2	7.10.2.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
53. 적절한 유지보수 절차 (예방 조치)	Causes: 7.10.1	7.10.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
54. 적절한 통제 절차 수립	Causes: 7.11.1	7.11.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
55. 물체를 숨길 수 있는 구역을 최소화 시키기 위한 역사의 설계	Causes: 8.5.1	8.5.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
56. 비상시 적절한 대피 절차	Causes: 7.12.1	7.12.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
57. 의도적인 행위에 대하여 적절한 규율 강화	Causes: 7.12.1	7.12.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
58. OCC 운영자가 CCTV 및 안내 방송 시스템을 통해 원격으로 상황을 통제	Causes: 7.12.1	7.12.1.3	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
59. 차량 시스템 적절한 설계, 설치, 시험	Causes: 1.1.1	1.1.1.1	1. 열차의 광재적인 추돌[다수의 사망 및/또는 다수의 중상]														
60. 역사 설계 시 탈출에 용이한 수단을 설계	Causes: 8.6.1	8.6.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
61. 비상 조명 시스템 설치	Causes: 8.6.1	8.6.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
62. OCC 운영자는 CCTV 또는 안내 방송을 통해 원격으로 상황을 관리	Causes: 7.13.1	7.13.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
63. 운영&유지보수 직원이 대피를 도움	Causes: 7.13.1	7.13.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
64. 기술 구역 설계 시 탈출에 용이한 수단을 설계	Causes: 8.7.1	8.7.1.1	1. 경상														
65. 비상 조명 시스템 설치	Causes: 8.7.1	8.7.1.2	1. 경상														
66. 운영&유지보수 인원을 적절하게 훈련	Causes: 7.14.1	7.14.1.1	1. 경상														
67. 열차 공조 시스템을 적절하게 설계, 설치 및 시험	Causes: 1.15.1	1.15.1.1	1. 승객에게 불편 초래 /경상														
68. 공기 조화 시스템을 적절하게 설계, 설치 및 시험	Causes: 8.8.1	8.8.1.1	1. 승객에게 불편 초래 /경상														
69. 에어컨 시스템을 적절하게 설계, 설치 및 시험	Causes: 8.9.1	8.9.1.1	1. 경상														
70. 국가 건축 규정에 근거한 토목 설계의 검증 및 확인	Causes: 8.10.1	8.10.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
71. 부하 조건에 대한 안전 여유치 정의	Causes: 8.10.1	8.10.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
72. 적절한 비상 절차	Causes: 7.15.1	7.15.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
73. 적절한 비상 절차	Causes: 7.16.1	7.16.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
74. 국가 건축 규정에 근거한 토목 설계의 검증 및 확인	Causes: 8.11.1	8.11.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
75. 부하 조건에 대한 안전 여유치 정의	Causes: 7.16.1	7.16.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
76. 계절별 날씨 조건과 관련하여 구조물의 주요지점을 주기적으로 조사	Causes: 7.16.1	7.16.1.3	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
77. 적절한 선로 검사 절차	Causes: 7.17.1	7.17.1.1	1. 경상														
78. 차량 스커트 설치	Causes: 1.16.1	1.16.1.1	1. 날씨														
79. 차상 설치된 모든 전자 장치에 대한 EMI/EMC 기준과 일치	Causes: 2.9.1	2.9.1.1	1. 광재적인 탈선 가능성 /광재적인 열차 충돌 가능성[다수 사망 및/또는 다수 중상]														
80. 차상 설치된 모든 전자 장치에 대한 EMI/EMC 기준과 일치	Causes: 1.17.1	1.17.1.1	1. 광재적인 탈선 가능성 /광재적인 열차 충돌 가능성[다수 사망 및/또는 다수 중상]														
81. 차량에 설치된 모든 전자 장치에 대한 EMI/EMC 규격 준수	Causes: 2.10.1	2.10.1.1	1. 광재적인 탈선 가능성 /광재적인 열차 충돌 가능성[다수 사망 및/또는 다수 중상]														
82. 차상 설치된 모든 전자 장치에 대한 EMI/EMC 규격 준수	Causes: 2.11.1	2.11.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
83. 전력 시스템 이중화	Causes: 4.7.1	4.7.1.1	1. 사망 및/또는 중상														

84. 제어 장치에 백업 전력을 공급하기 위하여 차량에 배터리 설치	Causes: 4.7.1	4.7.1.2	1. 사망 및/또는 중상														
85. 국가 건축 규정에 근거한 토목 설계의 검증 및 확인 (진도 6 이상 내진)	Causes: 8.12.1	8.12.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
86. 부하 조건에 대한 안전 여유치 정의	Causes: 8.12.1	8.12.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
87. 주요 구조물 부위의 주기적인 검사	Causes: 7.18.1	7.18.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
88. 국가 건축 규정에 근거한 토목 설계의 검증 및 확인 (진도 6 이상 내진)	Causes: 8.13.1	8.13.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
89. 부하 조건에 대한 안전 여유치 정의	Causes: 8.13.1	8.13.1.2	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														
90. 주요 구조물 부위의 주기적인 검사	Causes: 7.19.1	7.19.1.1	1. 다수의 사망 및/또는 다수의 중상														

SmartMOC

If this PHA study is required as part of a Management of Change (MOC) procedure, we recommend that you upload this file to Dyadem's SmartMOC™ application to track the Recommendations / Action Items identified in this study. For more information, see the online help in SmartMOC.

SmartMOC is an enterprise-level project management system that streamlines your Management of Change (MOC) process and offers real-time information about the status of every MOC project. It enables your workforce to become more self-managed while parallel approvals and reviews reduce lead times on projects. SmartMOC supports multiple workflows and forms on a single installation and integrates seamlessly with PHA-Pro®. In essence, it provides you the dynamic ability to manage MOC projects end-to-end, resulting in a more responsive and efficient work process.

If you are not using SmartMOC and wish to learn more, go to
www.SmartMOC.com

To hide this sheet, right-click on the "SmartMOC" tab and choose Hide from the menu.

Overview

Number of Study Items
Nodes: 8
Deviations: 72
Causes: 77
Consequences: 77
Safeguards: 0
Recommendations: 90
Remarks: 0

Total Cost of Implementation:

Breakdown by Node

Node	Number of Study Items				
	Deviations	Causes	Consequences	Safeguards	Recommendations
1. 차량	17	17	17	0	23
2. 신호	11	11	11	0	12
3. 통신	2	2	2	0	2
4. 전력	7	10	10	0	19
5. PSD	1	1	1	0	1
6. 분기기	2	2	2	0	2
7. 운영	19	21	21	0	33
8. 토건/기계	13	13	13	0	18

Breakdown by Deviation

Node	Deviation	Number of Study Items			
		Causes	Consequences	Safeguards	Recommendations
1. 차량	1. 주행중 또는 정차중인 열차에 다른 열차 접근	1	1	0	1
	2. 선로상 장애물	1	1	0	1
	3. 차량에 부적절한 동력	1	1	0	1
	4. 열차의 도어가 열린채로 열차가 달리거나 역사를 출발	1	1	0	1
	5. 열차 승하차시 승객의 발(또는 신발 끝)이 차체 틈과 승강장 끝에 끼임	1	1	0	1
	6. 잘못된 방향의 열차 도어 열림	1	1	0	1
	7. 열차 내부에서 물체 낙하	1	1	0	1
	8. 열차 도어에 승객 (물체) 끼임	1	1	0	1
	9. 비상시 열차 도어 갇힘	1	1	0	1
	10. 차상 승객 감전	1	1	0	1
	11. 열차 승하차 시 승객의 감전	1	1	0	1
	12. 운영&유지보수 직원의 감전	1	1	0	3
	13. 차내 화재	1	1	0	6
	14. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	1	1	0	1
	15. 차내 위험한 환경	1	1	0	1
	16. 날씨 조건 선로위에 쌓이는 눈 또는 얼음	1	1	0	1
	17. EMI / EMC - 차상	1	1	0	1
2. 신호	1. 주행중 또는 정차중인 열차에 다른 열차 접근	1	1	0	1
	2. 잘못된 위치에 있는 분기기로 열차 접근	1	1	0	1
	3. 차량에 부적절한 동력	1	1	0	1
	4. 열차의 도어가 열린채로 열차가 달리거나 역사를 출발	1	1	0	1
	5. 잘못된 방향의 열차 도어 열림	1	1	0	1
	6. 비상시 열차 도어 갇힘	1	1	0	1
	7. 설비 구역에 화재 발생	1	1	0	2
	8. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	1	1	0	1
	9. EMI / EMC - 차상	1	1	0	1
	10. EMI / EMC - 필수 지상 장치	1	1	0	1
	11. 구조적 부식	1	1	0	1
3. 통신	1. 선로위의 승객	1	1	0	1
	2. 설비 구역에 화재 발생	1	1	0	1
4. 전력	1. 고정 설비에서 승객/사람의 감전	4	4	0	4
	2. 열차 승하차 시 승객의 감전	1	1	0	1

	3. 운영&유지보수 직원의 감전	1	1	0	3
	4. 역사의 공공장소에 화재 발생	1	1	0	4
	5. 설비 구역에 화재 발생	1	1	0	4
	6. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	1	1	0	1
	7. 제 3궤조에 전력 공급 부족	1	1	0	2
5. PSD	1. 열차 승하차시 승객의 발(또는 신발 굽)이 차체 틈과 승강장 끝에 끼임	1	1	0	1
6. 분기기	1. 주행중 또는 정차중인 열차에 다른 열차 접근	1	1	0	1
	2. 잘못된 위치에 있는 분기기로 열차 접근	1	1	0	1
7. 운영	1. 선로상 장애물	1	1	0	1
	2. 역사내에서 물체 낙하	1	1	0	1
	3. 선로위의 승객	1	1	0	1
	4. 열차 도어에 승객 (물체) 끼임	1	1	0	1
	5. 역사의 공공장소에 화재 발생	1	1	0	4
	6. 유지보수 인원 - 감전	2	2	0	2
	7. 운영 & 유지보수 인원 - 화상	1	1	0	2
	8. 운영&유지보수 인원이 위험한 물질에 노출	1	1	0	3
	9. 설비 구역에 화재 발생	1	1	0	2
	10. 시스템 내부에 폭발	2	2	0	2
	11. 폭탄 테러 및 테러 공격	1	1	0	1
	12. 선로에 정차한 열차에서 선로를 따라 직원 도움 없는 상태에서 승객들의 대피	1	1	0	3
	13. 역사로 부터 도움 없는 대피	1	1	0	2
	14. 설비실에서 도움없는 대피	1	1	0	1
	15. 지진	1	1	0	1
	16. 지리적 재해	1	1	0	3
	17. 날씨 조건 선로위에 쌓이는 눈 또는 얼음	1	1	0	1
	18. 역사의 구조적 붕괴	1	1	0	1
	19. 고가 구간의 구조적 붕괴	1	1	0	1
8. 토건/기계	1. 열차 승하차시 승객의 발(또는 신발 굽)이 차체 틈과 승강장 끝에 끼임	1	1	0	1
	2. 역사내에서 물체 낙하	1	1	0	1
	3. 선로위의 승객	1	1	0	1
	4. 설비 구역에 화재 발생	1	1	0	1
	5. 폭탄 테러 및 테러 공격	1	1	0	1
	6. 역사로 부터 도움 없는 대피	1	1	0	2
	7. 설비실에서 도움없는 대피	1	1	0	2
	8. 역사 승객에게 위험한 환경을 제공	1	1	0	1
	9. 운영&유지보수 직원에게 위험한 환경 제공	1	1	0	1
	10. 지진	1	1	0	2
	11. 지리적 재해	1	1	0	1
	12. 역사의 구조적 붕괴	1	1	0	2
	13. 고가 구간의 구조적 붕괴	1	1	0	2

L x S (Risk Matrix)

차. PSD RAMS 분석

(1) 서 론

(가) 범위와 목적

본 문서는 도시형자기부상열차실용화사업의 E&M 시스템을 구성하는 승강장 스크린 도어(PSD) 서브 시스템의 RAMS 분석 보고서로서 작성한다.

보통의 경우 PSD 서브 시스템 수준의 RAMS 분석보고서을 공급업체에서 제출하면 E&M 시스템 수준에서 이를 검토하나, 서브시스템 수준의 RAMS 분석보고서를 제출하지 않았다. 또한 PSD 의 상세기술자료가 작성되지 않은 관계로 유사한 경철전 프로젝트에서 서브시스템 공급업체가 작성한 기술자료를 자기부상실용화사업 입력자료로 가정하여 RAMS 분석을 진행한다. 따라서 본 보고서는 서브시스템 공급업체에게는 참조 사례가 될 수 있을 것이다.

(나) 문서구조

이 문서는 다음과 같이 구성된다.

- 1. 2장에서 자기부상열차실용화사업을 간단히 서술하고 승강장 스크린 도어 서브시스템을 전반적으로 기술한다.
- 3장에서 승강장 스크린 도어 서브시스템의RAM 요구사항을 다시 언급하고 FMECA, 신뢰성 예측, 예방정비 분석 및 고장정비 분석을 포함한 RAM분석을 설명한다.
- 4장에서 승강장 스크린도어 서브시스템에 대한 해저드 식별 및 분석(Hazard Identification and Analysis, HIA) 설명한다.

(2) 시스템 설명

본 프로젝트는 3단계로 구분되어 완공될 최종 노선연장은 53.2km이나, 1단계 시범노선의 길이는 6.1km 이고 6개소의 역사와 1개소의 차량기지로 구성된다.

역명	역명	거리 (m)
공항교통센터	국제 비즈니스 센터 1	302
국제비지니스센터 1	에어시티파크 1	550
에어시티파크 1	에어시티파크 2	500
에어시티파크 2	워터파크	3470
워터파크	용유도 거리	1080

도시형자기부상 시범노선은 완전 무인운전 시스템으로 상전도 흡인식자기부상 (EMS)과 선형 유도전동기 (SLIM)와 같은 최신기술을 토대로 만들어 진다.

자기부상시스템은 제 3궤조로 공급되는 1500VDC전력으로 운행되며 차량은 최대 운영속도(100km/h)를 달성할 수 있는 SLIM으로 추진된다.

열차는 부상상태에서 출발하고 주행하며 정차한다. 대차에 장착된 부상용 전자석에 의해 생성된 전자기력이 철재 궤도를 끌어 당기고 동시에 그 흡인력은 차량을 부상시킨다.

부상전자석의 윗면과 궤도 밑면 사이의 간격은 컨트롤러로 의해8mm로 제어되며 이에 따라 선형 리이어모터의 밑면과 리액션 판의 윗면 간격을 11mm로 유지하게 된다.

부상전자석 고장을 대비하여 리니어 모터 근처에 랜딩 스키드가 설치된다.

수평이동 또한 부상 전자석의 자력힘에 의해 조정된다. 부상 전자석에 의해 생성된 자기력은 철제 궤도를 흡인하고 동시에 부상전자석의 중심을 궤도 중심에 일치시킨다. 추가로 곡선구간에서 수평 이동의 한계를 제약하기 위해 수평이동 용 스키드가 설치된다. 수평이동 용 스키드는 보통 레일 측면과 10mm의 간격을 유지한다.

자기부상차량과 가이드웨이를 제외한 모든 E&M 시스템은 완전 무인운전 경전철 (LRT)과 유사하다.

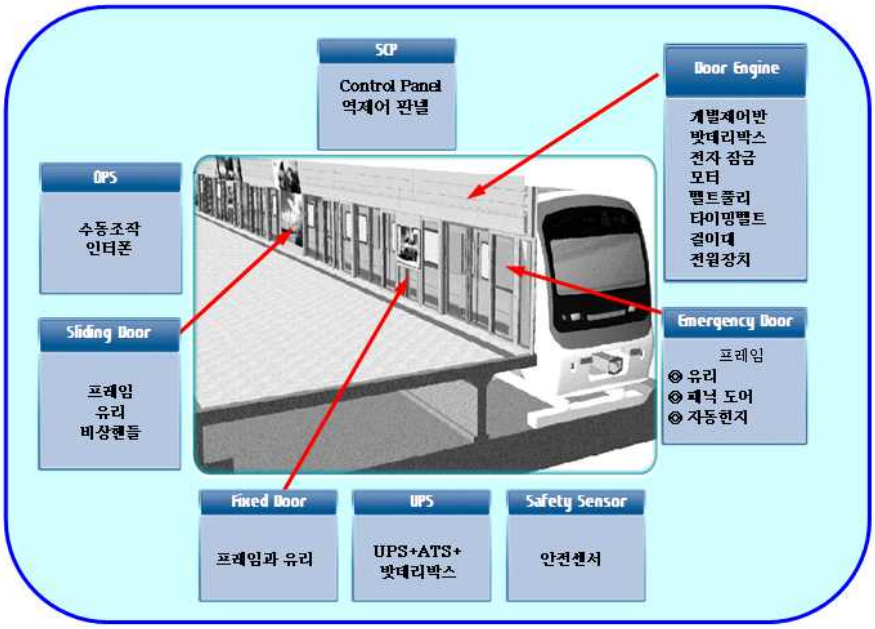
특히, 신호 시스템은 각각이 독립적인 다음의 시스템으로 구성된다.

• 차상 신호 시스템 (ATP, ATO)
• 지상 신호 시스템 (ATP, ATO)
• 종합사령실 시스템 (스케줄러를 포함한 ATS)

ATP의 운영은 인접한 블록 섹션을 기본으로 한다. ATP 시스템은 자체 제어기능을 통해 차량운행의 안전성을 확보한다.
시스템 안전성은 교통수단에서 가장 중요하기 때문에 ATP 시스템은 다른 서브시스템 으로부터 완전히 독립되어 있고, 열차운행 관련 서브시스템 중 가장 우선권을 갖는다.
ATP 시스템은 장기적으로 입증된 경험을 기본으로하여 설계되고 제작된다. ATP 장치는 Fail safe 및 이중화 시스템 개념에 의해 설계된다. ATP시스템은 폐회로 개념으로, 안전성 및 신뢰성이 다른 시스템에 의해 영향을 받지 않는다.
ATP 시스템에서는 미리 결정된 ATP 신호가 지속적으로 전달된다. (진행열차 위치 및 노선 상태를 기본으로) 이 신호는 차상 안테나에 의해 수신되어 ATP 신호를 식별한다.
신호시스템은 종합사령실과 역사설비간 전용 광통신망을 구성하며, 주요 장치를 위한 UPS, DTS, 무선통신 시스템 등으로 구성된다.

(가) PSD 서브시스템

승강장 스크린 도어는 승객과 선로 및 열차 간에 방벽을 형성한다. 열차가 역사에 접근하면 PSD 내부 시스템, 신호시스템 및 차량간에 상호 통신하여 자동으로 PSD 문을 연다. PSD 방벽은 승객과 운영자 모두에게 중요한 잇점을 제공한다. 승객이 선로에 접근하는 것을 방지하기 때문에 승객의 안전성 향상이 주요 잇점이며 역사의 환경을 더 깨끗하고 쾌적하게 만든다.

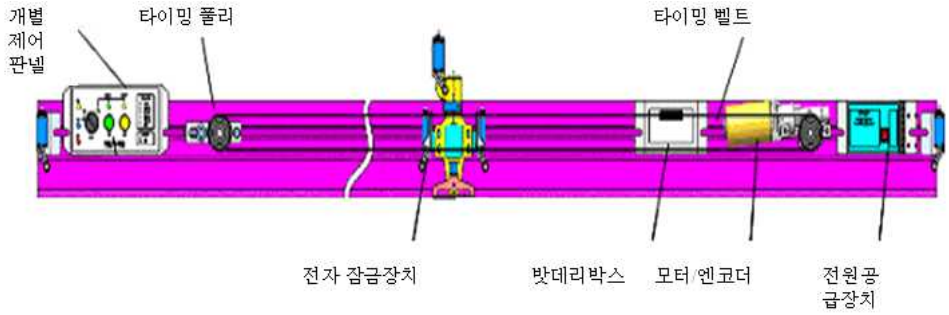


[그림 95]PSD 서브시스템 주요구성

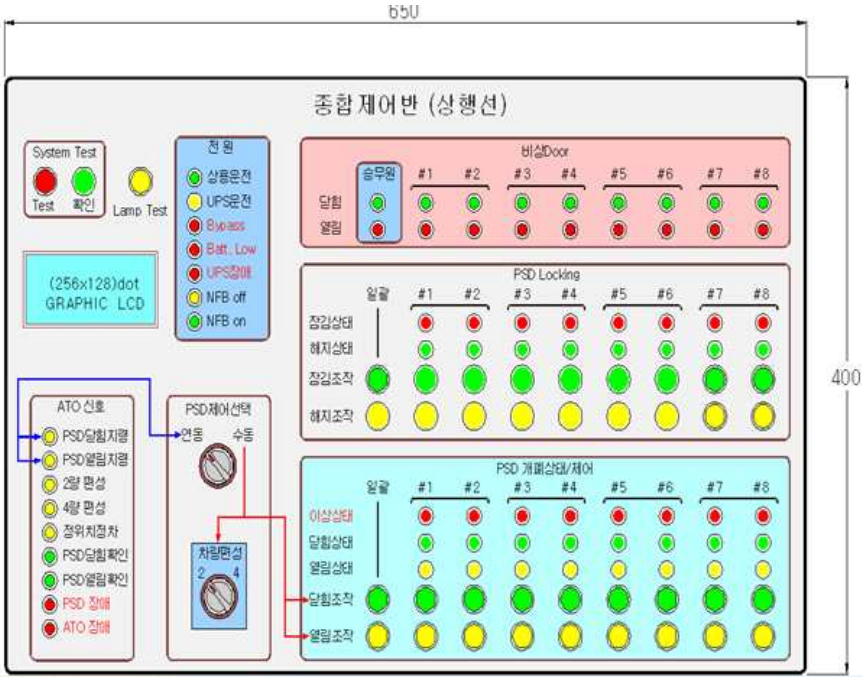
다음 표는 RAM 분석의 기준이 되는 PSD 서브시스템 주요구성을 보여준다.

장 치	구 성	기 능
역 제어 판넬	•PSD 제어유니트 •스위치 보드 •LCD 모니터 •인터폰 •데이터 저장장치 •전원장치	•ATO/ATC에서 운행신호 받음 •각 PSD 운행상태에 대해 현시/제어 •실시간으로 각 PSD와 ICP 감시 •열차와 PSD장치 간 상호 인터페이스 •제어회로와 통신회선을 통한 ICP 이중제어 •특이상황 시 수동 조작
역무원 조작판넬	•디스플래이 보드	•비 정상적인 상황에서 PSD수동 조작
도어 엔진	•개별제어 판넬 •베터리박스 •전자 잠금 •모터/엔코더 •타이밍 풀리 •타이밍벨트 •걸이대 •전원공급	•도어의 개폐, 정지 및 가속 제어 •도어의 개폐상태와 올바른 위치에 관한 정보의 송수신

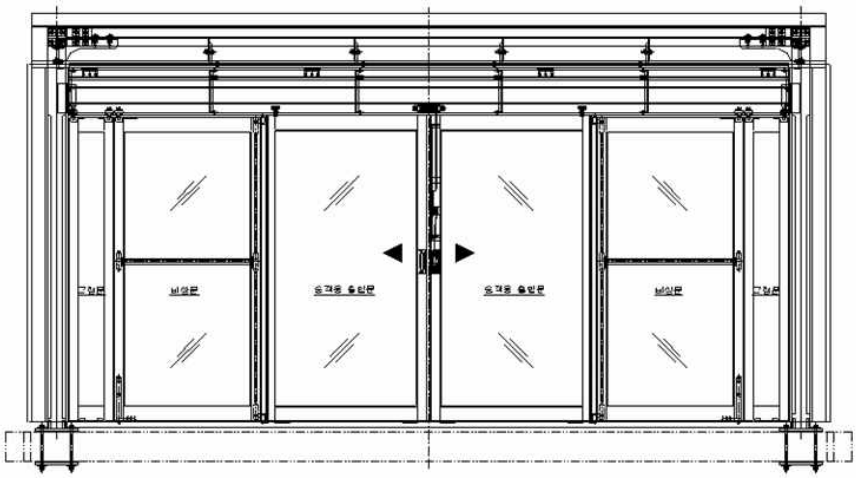
안전 센서	•안전 센서	•물체와 승객 감지 •안전 센서가 감지시 가동중지 및 ICP에게 알림
무정전 전원 공급장치	•디스플레이 보드 •전원 모듈	•SCP, OPS, PSD시스템에 전력공급 •정전시 30분간 전원 공급 •고장 또는 기능 장애 시 SCP로 에러 신호 송부
슬라이딩 도어	•프레임 •유리 •비상핸들 •고무 쿠션	•통상 승강장과 열차 사이의 승객이동 통로
비상문	•프레임 •유리 •패닉장치 •자동 힌지	•비상시 도어 수동 조작 •열차내부 승객들은 패닉장치를 이용하여 비상문을 열수 있음
고정문	•프레임 •유리	•고정설치, 조작 불가 •분리벽으로서 기능
보조문	•프레임 •유리 •비상핸들 •고무쿠션	•안전센서와 도어엔진을 제외하고 슬라이딩 도어와 동일 •부품 사용 •도어엔진과 안전센서가 설치되면 슬라이딩 도어와 동일역활
개별 조작 판넬		•PSD작동을 위해 SCP로부터의 제어 시그널과 파라미터를 송,수신 •PSD동작 상태를 관리하고 그 결과를 SCP와 OPS 송부 •PSD가 점검중 이거나 고장일 때 수동조작 •연동장치 차단 •비상 상황에서 조작자가 PSD 수동취급
릴레이 (입력)	•바이탈 릴레이	
릴레이 (출력)	•바이탈 릴레이	
역 승무원 조작 판넬	•조작 판넬 •인터폰	•비상 상황에서 조작자가 PSD 수동취급



[그림 96]PSD 도어 엔진 외관

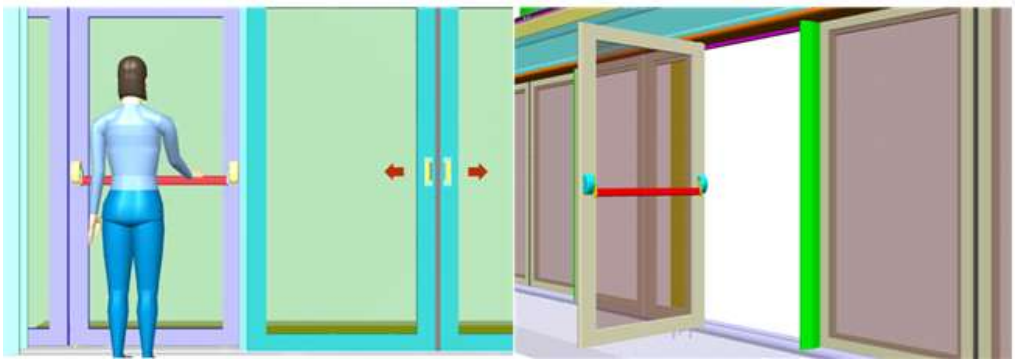


[그림 97]역 제어 조작 판넬 외관



[그림 98]PSD 1개 유닛의 설치 조감도

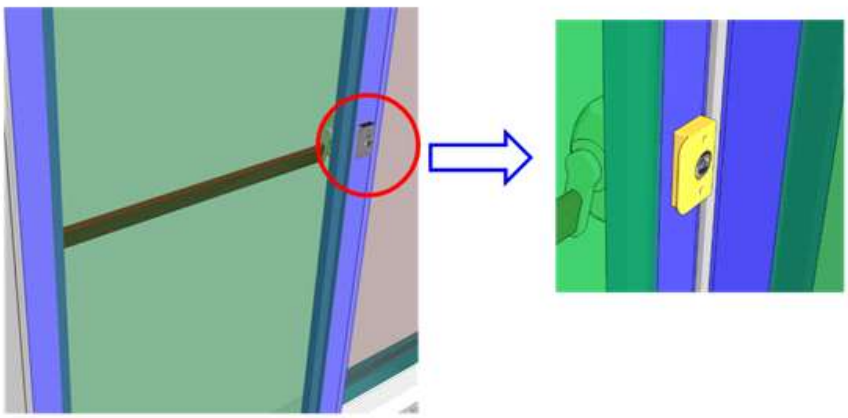
다음 그림과 같이 비상시에는 슬라이딩 도어 옆에 위치한 비상문을 통해 승객들이 안전하게 대피할 수 있게 하여 승객 안전성을 확보한다.



[그림 99]비상시 승객대피

비상시에 안전바를 누르면 도어는 열리게 되고, 자동복귀힌지로 비상문이 닫히게 된다.

안전바는 열차 통과시 발생되는 풍압에 의해 열리지 않게 설계되어 있다.



[그림 100]안전바 열림키

비상시 안전바의 열림키에 의해 열리게 되어 있고 승강장에 위치한 일반 승객은 사용할 수 없다.

(3) RAM 분석

본 장에서는 E&M시스템 수준에서 할당된(2~3차년도 연구개발 보고서 참조) PSD 서브시스템의 RAM 요구사항을 간략하게 언급하고, 유사한 경전철 프로젝트의 PSD 기술자료를 입력자료로서 RAM 분석을 한다.

특히 FMECA, 신뢰성 예측, 예방정비 분석 및 고장정비 분석은 다음 장

에서 설명된다. 본 RAM 분석 보고는 향후 서브시스템에 제공될 예정인 “RAM 분석 데이터 자료 및 지침”에 따라 작성한다.

(가) PSD RAM 요구사항

본 장은 “‘서브시스템 RAMS 요구사항(M1201-SE+RM-101-0008 Rev01, 2009.03 현대로템)’에 문서에 설명된 것과 같이 자기부상열차시스템의 서비스가용성 성능목표를 달성하기 위해 승강장 스크린 도어 서브시스템에 정량적 및 정성적 RAM 요구사항으로 할당된 요구사항을 환기시킨다.

E&M 시스템의 서비스 가용성 목표로부터 도출된 허용 고장율과 서비스 복구시간 형태로 RAM 요구사항이 각 서브시스템에 할당되었기에 각 서브시스템의 목표를 달성하면 E&M 시스템의 성능목표도 달성하게 된다.

일반적인 정성적 요구사항도 서브시스템 설계원칙의 형태로 제공되어 높은 수준의 RAM 성능을 보장하기 위해 프로젝트 수명주기에 따라 적용될 적절한 RAM 프로그램과 함께 장치의 RAM 성능을 개선하게 된다.

1) PSD 정량적인 요구사항

다음 표는 승강장 스크린 도어가 전체 고장 비율에 주는 영향과 서브시스템에 할당된 년간 열차출발실패 횟수를 보여주며, 이것이 자기부상열차시스템의 서비스 가용성에 미치는 영향을 표현한다.

승강장 스크린 도어	평균고장시간			고장비율 (1/hr)		
	SG	MJ	Mi	SG	MJ	Mi
	44491902	1344809	27891	2,248E-08	7,436E-07	3,586E-05
	서브시스템 출발실패 건수(MD)- 2013년			서브시스템 출발실패 건수(MD)- 2032년		
	14			27		

(2) PSD 정성적인 요구사항

승강장 스크린 도어 서브시스템에 RAM 관련 특별한 정성적 요구조건은 없으나 아래의 정성적 요구 조건의 달성이 확인되어야 한다;

- 서브시스템은 이중화 설계하거나 서브시스템의 일부 기능이 가동되지 않을때도 전체 자기부상열차 시스템의 운영은 정상적 또는 제한적으로 지속될수 있도록 다른 기능적인 대안을 설계에 반영하여야 한다.
- 신뢰성 있는 자기부상열차 시스템 운영에 즉시 또는 장래에 영향을 미치는 비정상 조건이나 고장을 통합사령실에 통보하는 등의 방법으로 자가진단 기능이 강화된 서브시스템 통하여 고장을 감시한다.
- 서브시스템은 빠른 열차운행 서비스 복구을 감안하여 설계되어야 한다. 고장의 자가진단, 고장의 분리 및 현장교체 부품은 열차운행 서비스 장애를 최소화가 보장되도록 한다.
- 작업자의 접근성, 청소의 용이성, 부품 분리의 용의성, 부품 취급의 용이성, 구성품 모듈화, 부품 오 취부방지, 표준화 부품적용, 정리된 와이어 결선 및 수리용 작업공간 확보는 유지보수성 요구조건이다.

(나) FMECA

본 장에서 도시형 자기부상열차실용화사업의 설계단계에서 PSD서브시스템의 FMECA (고장모드 영향 및 심각도 분석)을 한다.

FMECA는 컴포넌트나 장치에서 가능한 고장유형의 계통적 분석을 통해 서브시스템의 잠재적인 설계상 약점을 식별하기 위하여 수행된다

FMECA 수행하기 전에 다음의 분석 활동이 선행해서 수행한다.

- 제품계층구조(PBS)
- 기능블록 다이어그램
- 기능분석

다음 문장에서 각각의 분석활동을 간략하게 설명한다.

1) PSB(Product Structure Breakdown:제품계층구조)

PSD 서브시스템의 기술적 및 기능적 계층구조를 하부 장치와 부품

으로 순차적으로 분석한다. PBS(계층구조분석)은 고장발생 시 부품을 제거하거나 교체하여 정비하는 LRU 까지 진행된다. 도시형 자기부상 열차 실용화사업에서 사용된 PSD 서브시스템의 PBS는 Appendix A를 기준으로 한다.

2) FBD(Function Block Diagram:제품계층구조)

FBD(기능 블록 다이어그램)는 각각의 장치와 부품 간의 기계적, 전자적 그리고 통신적 연관 상태을 보여주며 FBD는 PBS를 기초로 작성한다.

도시형자기부상열차실용화사업에서 사용된 PSD 서브시스템의 FBD는 Appendix B를 기준으로 한다.

3) FA(Functional Analysis:기능분석)

기능분석은 PSD 서브시스템의 장치를 기준으로 수행한다. 기능분석에서 PSD장치의 기능과 LRU, 참조 문서번호 그리고 인터페이스에 대하여 분석한다.

도시형자기부상열차실용화사업에서 사용된 PSD 서브시스템의 기능분석은 Appendix C를 기준으로 한다.

4) FMECA(Failure Mode, Effect and Criticality Analysis:고장모드영향 및 심각도 분석)

FMECA는 서브시스템 설계업무의 하나이다. FMECA에서 사용된 서브시스템의 설명과 기술자료는 FMECA의 일부분으로써 기록되고 참조된다.

FMECA는 PSD장치의 개별 고장(single-point failures)이 열차운행 시스템과 서브 시스템에 미치는 지역적 영향(local effects)을 식별하고 고장감지와 고장예방 방법을 식별하고 고장의 심각도를 평가한다.

도시형자기부상열차실용화사업에서 사용된 PSD 서브시스템의 FMECA는 Appendix D를 기준으로 한다.

5) 결론

FMECA 결론은 신뢰성 중요품목(RCI, Reliability Critical Items)과 기타 품목의 두가지 경우로 분류하여 정리한다. 다음 리스트에서는 PSD 서브시스템에 관련된 신뢰성 중요 품목(RCI)을 보여준다.

고장식별				고장관리		추가측정품목번호
품목번호	품목명	기능	품목번호	품목명	기능	
1.01.1	개별 조작 판넬	- PSD 작동을 위해 SCP와 제어 시그널 과 파리메터를 송수신 PSD가 검사중이거나 고장일 때 연동를 해제하여 수동 조작 안전운전을 위해 센서에서 시그널 을 수신하고 전력공급 장치에서 전원을 수전 PSD 가동상태를 관리하고 그 결과를 SCP와 OPS로 송신	1.01.1	개별 조작 판넬	- PSD 작동을 위해 SCP와 시그널에서 컨트롤 시그널과 파리메터를 송수신 PSD가 검사중이거나 고장일 때 연동을 해제하여 수동 조작 안전운전을 위해 센서에서 시그널 을 수신하고 전력공급 장치에서 전원을 수전 PSD 가동상태 를 관리하고 그 결과를 SCP와 OPS로 송신	1.01.1
1.01.3	전자 잠금장치	도어잠금 기능	1.01.3	전자 잠금장치	도어잠금 기능	1.01.3

1.01.6	다이밍 벨트	- 모터의 회전력을 수평 운동력으로 변환	1.01.6	타이밍 벨트	- 모터의 회전력을 수평 운동력으로 변환	1.01.6
1.01.7	고장 장치	도어샤시를 레일에 고정하는 장치	1.01.7	고장 장치	도어샤시를 레일에 고정하는 장치	1.01.7
1.01.8	전원공급	UPS에서 전원을 공급받아 ICP, 모터 (엔코더 포함) 및 안전 센서에 공급.	1.01.8	전원공급	UPS에서 전원을 공급받아 ICP, 모터 (엔코더 포함) 및 안전 센서에 공급.	1.01.8

이하 TBD

카. 차량 주요장치 신뢰성 및 안전성 분석

(1) 개요

차량의 주요 장치는 추진장치, 보조전원장치, Train Monitoring Management System을 선정하여 신뢰도 예측, FMECA, 안전성 분석을 수행하였다. 안전성 분석은 서브시스템 위험분석 (Sub-System Hazard Analysis ; SSHA), 인터페이스 위험 분석 (Interface Hazard Analysis ; IHA), 운영 및 지원 위험 분석 (Operating & Support Hazard Analysis ; O&SHA)등을 수행하였으며 이 분석에는 차량에서 발생할 수 있는 위험판별, 위험도 평가, 저감 대책 등의 내용을 포함하고 있다. 이 결과는 Hazard Log에 기록되어 관리하였다. 또한, 신뢰도 예측 및 고장영향분석은 각 장치를 구성하고 있는 부품단위의 고장률을 이용하여 서브시스템의 신뢰도를 예측하였으며, 서브시스템의 구성부품의 고장모드로 인한 주요장치와 차량에 미치는 영향에 대하여 분석 하였다.

(2) 정의

(가) 약어

FMECA	Failure Mode Effects and Criticality Analysis
IHA	Interface Hazard Analysis
LRU	Line Replaceable Unit
MTBF	Mean Time To Failure
MTTR	Mean Time To Repair
O&SHA	Operating & Support Hazard Analysis
PHA	Preliminary Hazard Analysis
RAMS	Reliability Availability Maintainability Safety
SSHA	Sub-System Hazard Analysis

(나) 용어해설

Frequency (빈도수)	단위시간당 위험요소 빈도수
Failure Rate (고장률)	단위시간 또는 단위거리당 고장수로 표현되는 고장발생빈도, 평균고장간시간(거리)의 역수

Hazard (위험도)	손실 및 상해를 가져올 수 있는 잠재적인 물체나 상황
Loss (손실)	사람, 환경 혹은 사업적 손실의 정도
MTBF (평균고장간 시간)	한 아이템의 평균 고장 시간은 주어진 운행시간에서 고장 수를 나누는 것으로 정의한 아이템의 평균 고장간 시간
Reliability (신뢰성)	고장률이 일정하다고 가정시, 주어진 조건 및 기간 동안 요구되는 기능을 수행할 수 있는 확률로, 주로 평균 고장간 시간 또는 평균 고장간 거리로 표현
Failure (고장)	시스템 및 부품이 부여된 기능을 상실하거나 기능을 정상적으로 발휘하지 못하는 상태
Risk (위험)	손실의 원인이 되는 결과의 발생확률 또는 빈도
Safety (안전성)	허락 되지 않는 위험이나 상해로부터 자유로운 상태
System (시스템)	차량시스템, 전력공급시스템, 신호시스템, 통신시스템, 기계설비시스템 및 역무 자동화 시스템등으로 구성된 시스템

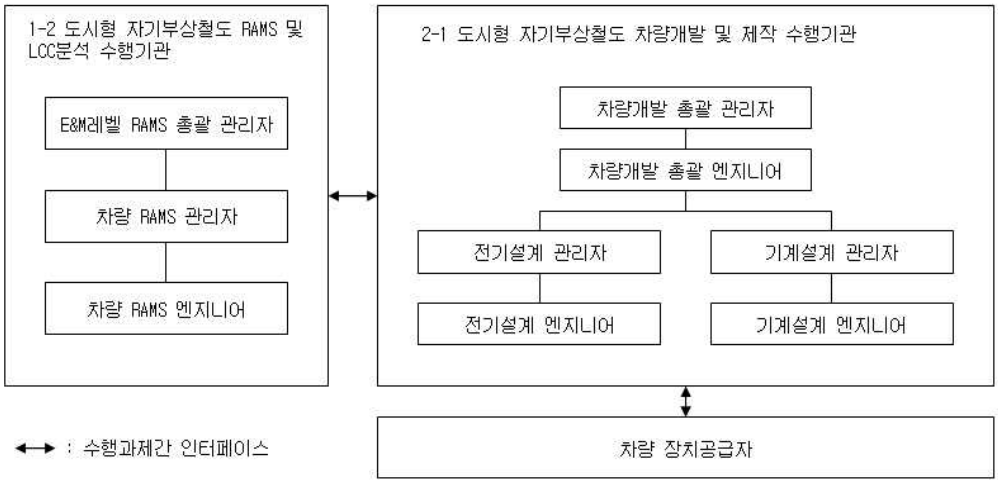
(3) 적용범위

본 절은 자기부상열차의 추진장치, 보조전원장치, TCMS에 대한 신뢰도 예측과 고장영향분석, 차량의 주요장치에서 발생할 수 있는 위험도 분석과 차량의 예비위험도 분석 결과에 대하여 설명한다.

(4) 차량 RAMS 분석 조직 및 역할

(가) RAMS 분석 조직

다음 그림은 효율적인 RAMS 분석을 수행하기 위한 분석 조직을 나타낸 것이다. 분석 조직에서는 구성원, 보고체계 및 활동과 관련된 관리의 흐름뿐만 아니라 부품공급업체 관리 흐름을 보여 주고 있다. 신뢰도 및 안전성 분석 조직은 관리자와 전문 엔지니어로 구성된다. 차량 시스템 분야 신뢰도 및 안전성 분석 조직 구성원의 업무와 개략적인 업무는 다음과 같다.



[그림 101]신뢰도 및 안전성 분석 조직도

(나) 역 할

신뢰도 및 안전성 분석 조직의 구성원은 RAMS 관리자와 전문 엔지니어로 구성된다. 차량시스템 분야 신뢰도 및 안전성 분석 수행 구성원들에 대한 역할은 다음과 같다.

1) 차량 개발 총괄 관리자

자기부상열차 신뢰도 및 안전성 관리를 포함한 차량 시스템의 설계 및 생산을 전반적으로 통제 또는 관리하는 책임 관리자.

2) 차량 개발 총괄 엔지니어

자기부상열차 설계 및 신뢰도 및 안전성 분석 활동을 포함한 시스템 엔지니어링을 관리 및 감독하는 엔지니어.

3) 전기, 기계설계 관리자

차량시스템 관련 설계 업무 및 설계 조직의 운영 및 관리에 대한 책임을 맡고 있는 관리자. RAMS 분석 관리자로부터 RAMS 분석 관련정보를 검토 후 전기, 기계설계 엔지니어에게 설계에 반영하도록 관리 감독을 하고 결과를 RAMS 분석 관리자에게 Feedback한다.

4) 전기, 기계설계 엔지니어

차량시스템의 전기, 기계설계를 수행하며 RAMS분석 관리자로부터 RAMS 분석관련 정보 및 차량의 위험도 관련사항을 받아 이에 대한 저감대책을 세우고 설계에 반영한다.

5) E&M RAMS 총괄 관리자

자기부상열차 시스템에 대한 RAMS 분석을 위한 조직의 운영 및 관리에 대한 책임을 지는 관리자. 차량 RAMS 관리자로부터 RAMS 분석과 관련된 요청내용을 차량개발 총괄 관리자와 인터페이스 역할을 수행한다.

6) RAMS 관리자

RAMS 관리자는 RAMS 분석과 관련된 전반적인 계획의 작성, 구현, 감시 및 보완 업무와 RAMS 분석 조직의 운영 및 관리에 대한 책임을 지는 관리자로 RAMS 분석 관련 분석 자료를 설계 관리자에게 Feedback한다.

7) RAMS 엔지니어

RAMS분석 조직의 구성원으로 RAMS자료 분석 및 관련 설계자와 협의를 수행하며, 그 결과를 RAMS 관리자에게 통보한다. RAMS 엔지니어의 주요업무로는 차량시스템 및 부품을 대상으로 하는 RAMS 분석, 고장정보의 수집 및 분석, 부품 공급업체의 차량시스템 RAMS 관리 지침 개발 및 감시 등이 있다.

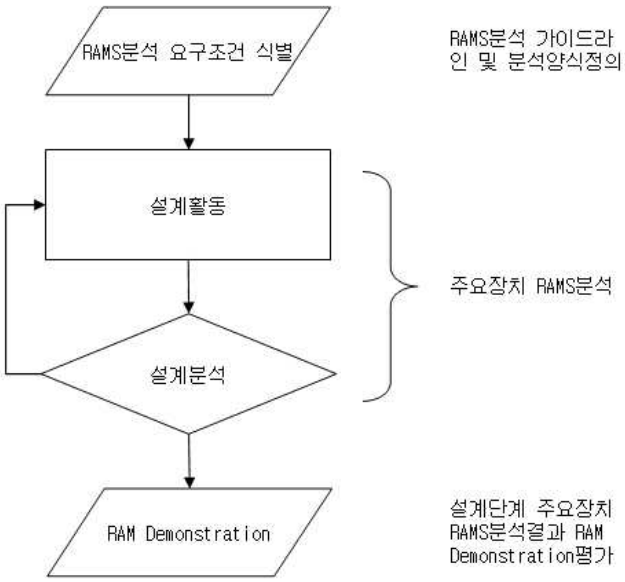
8) 차량 장치공급자

장치 공급업체는 별도의 RAMS 관리자를 임명하여, 제작사의 차량시스템 RAMS 관리 지침에 따라 각 해당 장치에 대한 RAMS분석업무를 수행한다.

(5) 차량 RAMS 관리

(가) RAMS 관리

다음 그림의 절차에 따라 자기부상열차의 RAMS 관리를 수행한다.

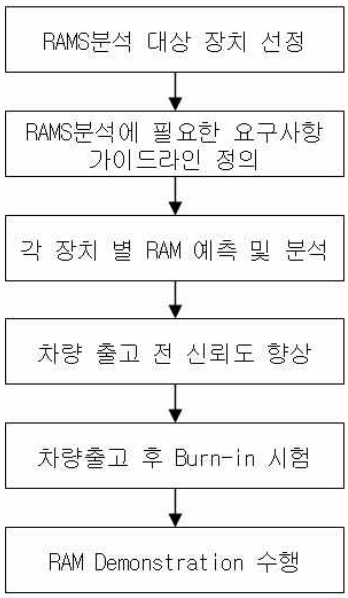


[그림 102]RAMS 관리 절차

개념 설계 단계에서 RAMS 분석을 위한 가이드라인과 분석 양식 등을 정의한다. 상세 설계 및 최종 설계 단계에서는 위험 분석 및 고장 유형, 결과 및 치명도 분석이 수행되어 그 결과를 설계에 반영하도록 하며, 위험요소나 고장으로 인한 Risk를 제거하거나 감소시키도록 한다. 그리고 차량의 시범 노선 시운전 후 영업운전에 투입 후 6개월 가량의 Burn-in기간을 거친 다음 RAM 데이터를 수집하여 설계단계동안 분석한 RAM분석결과를 RAM Demonstration을 수행한다. RAMS관리는 위험(Hazard Management)와 RAM 관리(RAM Management)로 구분되며, 상세사항은 다음과 같이 나타내었다.

1) RAM관리

RAM 절차는 정량적인 신뢰성 분석과 정비성 분석에 기초가 되는 자료를 개발한다. 절차는 다음과 같다.



[그림 103]RAM 관리절차

위 그림의 절차에 따른 구체적인 업무는 아래와 같다.

가) RAM 분석 대상 장치 선정

RAM 분석 대상 장치를 선정하여 중점 관리함으로써 전체 시스템의 성능을 높인다. 또한 설계진행 과정에서 발견된 고장 아이템을 RAM 중요 장치로 추가한다. 이는 Single Point Failure를 포함하게 된다.

나) RAM 분석 가이드라인 정의

RAM 분석 기초데이터를 작성하기 위한 RAM분석 작성방법 및 양식을 정의하여 각 장치 공급자에게 배포하여 RAM분석을 요구한다.

다) 각 장치 별 RAM 예측 및 분석

정의된 신뢰도 목표 값을 달성하기 위해 현재 시스템의 신뢰도 값

을 예측하고 분석하여 부족하다면 개선할 부분을 찾아 설계에 반영한다. 부품 수준의 신뢰도 예측은 각 시스템 공급자가 가용한 자원을 최대한 활용하여 예측하고 시스템 신뢰도 계산은 MIL 규격에 따라 Part Count Method를 사용한다.

라) 차량 출고 전 신뢰도 향상

완성된 차량에 대해 신뢰도 향상을 목적으로 시험 주행을 실시하고 설계 및 생산단계에서 발견하지 못한 문제점들을 수정하여 보다 향상된 신뢰성을 가질 수 있도록 한다.

마) 차량 출고 후 Burn-in 시험

완성된 차량을 출고 후 실제 주행하게 될 본선에서 Burn-in 시험을 거침으로써 차량외부 및 실제 사용 환경에서 나타날 수 있는 문제점들을 미리 조치함으로써 최종적인 신뢰도 향상에 기여한다. 이 기간은 약 6개월 이내에서 수행한다.

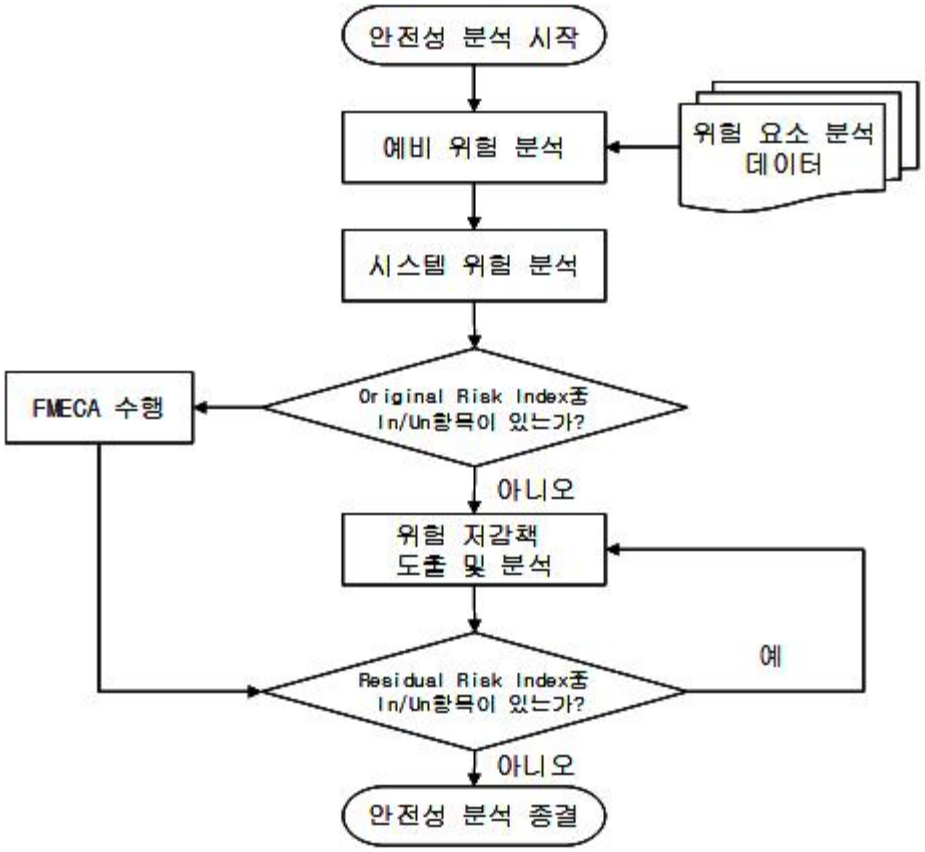
바) RAM demonstration 수행

Burn-in 시험완료 후 본선에서 발생하는 고장을 기록하고 조치하여 설계단계에서 분석된 RAM값을 비교하고 실제 고장데이터를 이용하여 차량 RAM성능을 최종 평가한다.

2) 안전성 관리

자기부상열차 운영 시 승객 및 운영/정비 요원에게 미칠 수 있는 위험요소를 판별하고 이를 허용한도(Tolerable 혹은 Negligible) 내에서 관리한다.

다음 그림은 안전성 관리를 위한 전체적인 프로세스를 나타낸다.



모든 서브시스템의 위험들은 다음의 위험도 평가 매트릭스(Risk Assessment Matrix)의 To혹은 Ne로 저감되어야 한다. 위험도 평가는 다음의 위험 빈도 분류표와 위험 심각도 분류표를 연계하여 수행한다.

가) 위험빈도

Category			Description
A	Frequent	Frequency ≥100 / year	Likely to occur frequently. The hazard will be continually experienced.
B	Probable	1/year≤ Frequency < 100/year	Will occur several times. The hazard can be expected to occur often.
C	Occasional	1e-2/year≤ Frequency < 1/year	Likely to occur several times. The hazard can be expected to occur several times.
D	Remote	1e-4/year≤ Frequency < 1e-2/year	Likely to occur sometime in the system

Category			Description
			life cycle. The hazard can be reasonably expected to occur.
E	Improbable	1e-6/year≤ Frequency < 1e-4/year	Unlikely to occur but possible. It can be assumed that the hazard may exceptionally occur.
F	Incredible	Frequency < 1e-6/year	Extremely unlikely to occur. It can be assumed that the hazard may not occur.

주석: 선택된 위험 사건 발생도는 최악의 경우의 실현 가능성과 가장 가능성 있는 경우의 위험 결과를 반영해야 한다. (위험 자체의 실현 가능성이 아님)

나) 심각도

Severity Level (Risk Level)		Consequence to Persons or Environment	Consequence to Service
I	Catastrophic	Fatalities and/or Multiple severe injuries and/or major damage to the environment	
II	Critical	Single fatality and/or severe injury and/or significant damage to the environment	Loss of a major system
III	Marginal	Minor injury and/or significant threat to the environment	Severe system(s) damage
IV	Insignificant	Possible minor injury	Minor system damage

주석: 이 표는 특정 위험의 현실화의 결과를 표시한다. 심각도는 맨 윗줄에 정의되어 있으며 만약 위험의 실현으로부터 두개 이상의 가능한 결과가 있다면 최악의 상황과 가장 가능성 있는 경우의 결과를 택해야 한다.

다) 위험도 평가표

위험도 지표는 위험빈도와 심각도의 조합으로 나타낸다. 그 결과는 다음의 평가표를 참고하여 평가한다.

		Risk Levels			
		I	II	III	IV
Frequency of occurrence of a hazards event	A	Intolerable(In)	Intolerable(In)	Intolerable(In)	Undesirable(Un)
	B	Intolerable(In)	Intolerable(In)	Undesirable(Un)	Tolerable(To)
	C	Intolerable(In)	Undesirable(Un)	Undesirable(Un)	Tolerable(To)
	D	Undesirable(Un)	Undesirable(Un)	Tolerable(To)	Negligible(Ne)
	E	Tolerable(To)	Tolerable(To)	Negligible(Ne)	Negligible(Ne)
	F	Negligible(Ne)	Negligible(Ne)	Negligible(Ne)	Negligible(Ne)

In : Intolerable (반드시 Risk가 감소되어야 함)

Un : Undesirable (반드시 Risk가 감소되어야 함)

To : Tolerable (원칙적으로는 Risk 감소가 필요 없으나, 필요에 따라, 관련 담당자와 협의필요)

Ne : Negligible (Risk 감소가 필요 없음)

예) 만약 위험요소가 1년에 2번 발생하면, 테이블 1에 따라, 빈도수는 "B"가 된다. 위험요소가 주요 시스템 장애가 초래하면, 심각도는 테이블 2에 따라 "II"가 된다. 따라서 Risk 색인, 즉, 빈도수와 심각도의 조합은 "In" 이 된다. 이 Risk 색인 (In)은 안전장치 반영 혹은 설계 변경으로 To 이나 Ne로 저감 되어야 한다.

라) 예비위험분석

예비위험분석은 차량 충돌, 화재, 승객의 추락, 끼임, 감전등 차량운행시 발생할 수 있는 상황을 분석하여 Hazard Log에 등록하여 평가하였다. 예비위험분석시 고려한 Generic Accidents는 다음과 같다.

[Generic Accidents Designation]

N	GENERIC ACCIDENTS DESIGNATION
1	Collision (충돌)
2	Fire, Asphyxia, Suffocation (화재, 질식, 호흡곤란등)
3	Evacuation of persons (승객피난)
4	Minor injury and/or significant treat to the environment or persons (가벼운 승객부상, 상처가 발생하거나 환경에 중대한 영향을 끼침)
5	Environmental Aggression (주위환경에 의한 침해)
6	Fall of a persons (추락)
7	Trapping of a persons (협착, 끼임)
8	Impact of a person by contact to a stationary or moving object (정지된 또는 움직이는 물체의 접촉으로 인한 충돌)
9	Burn or Electrocution of a person (화상 또는 감전)
10	Various Aggression (1~10 이외의 기타 다양한 침해)

(6) 차량 주요장치 신뢰도 예측 및 계산방법

신뢰도 예측 대상인 차량의 주요장치는 추진장치, 보조전원장치, TCMS의 경우 구성부품들이 대부분 전자부품으로 구성되어 있다. 따라서, 전자부품을 신뢰성 예측을 위한 가정을 세우고 이를 기반으로 분석을 실시하였다. 신뢰성 예측은 주요장치내 부품이나 모듈의 고장률을 예측하는 과정으로 분석에서는 MIL-HBDK-217F, NPRD-95, EPRD-97의 상용 데이터베이스의 자료를 적용하여 분석하였다. 또한, 신규 개발과제인 자기부상열차의 경우 부품정보에 대한 기준서나 상용 데이터베이스의 자료가

활용이 어려우므로 보완대책으로 기존 유사 시스템의 자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 신뢰도 예측 시 각 부품의 수명은 지수분포를 따르는 것으로 가정하여 예측하였다.

(가) 신뢰성 모델링

각 시스템은 n개의 부품으로 구성된다. 각 부품의 고장률이 λ_i인 지수분포를 따르고 부품들이 직렬로 연결되어 있는 경우, 이 모듈에 대한 고장률 λ_{System}, 평균수명 MTBF는 식 (1) ~ 식 (2)과 같다.

$$\lambda_{System} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \qquad (1)$$

(λ_i = 부품의 고장률, λ_{System} = 시스템 고장률)

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_{System}} \qquad (2)$$

각 부품에 대한 고장률이 λ_i인 지수분포를 따르고, 두 부품들이 병렬로 연결되어 있는 경우, 자기부상열차는 수리계 시스템이므로 Repair rate (μ)을 고려하였으며, 자기부상열차는 일일 18시간 운행하고 장치고장은 18시간 동안 특정시간대에 편중되지 않고 고장이 발생할 것이라고 가정한다. 따라서, 평균적으로 9시간의 고장수리기간을 갖는 다고 가정하여 다음의 수식을 적용하여 예측하였다. 이에 대한 고장률 λ, 평균수명 MTBF는 식 (3)~(4)를 적용하였다.

$$\lambda_{system} = \frac{2\lambda^2}{3\lambda + \mu} \qquad (3)$$

$$(\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 \, , \, \mu = Repair rate)$$

$$MTBF = \frac{3\lambda + \mu}{2\lambda^2} \qquad (4)$$

$$(\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 \, , \, \mu = Repair rate)$$

또한, 각 서브시스템이 차량의 서비스 운행에 영향을 미치는 사항으로 다음과 같은 고장 시나리오와 운행정보를 정의하였다.

- 연간 운행거리 : 49,093 km
- 연간 운행시간 : 6,570 hour

▣ 고장시나리오

- 중대 고장 (SG) : 열차운행서비스에 영향을 미치며 열차운행 복구시간이 30분을 초과로 정의된다. 전형적인 SG 고장은 유지보수 직원의 개입이 필요하거나, 열차가 본선에서 고장 정차하여 이동하지 못하거나 다수의 열차들의 차량기지 회송이 필요한 경우이다.
- 주요 고장 (MJ) : 열차운행서비스에 영향을 미치며 열차운행 복구시간은 4분 초과 30분 이하로 정의된다. 전형적인 MJ 고장은 운행중인 열차에서 승객을 대피시킨 후 열차를 회송시키나 복구시간은 30분 이하가 소요되는 고장이다. 단 시간 내에 열차운행을 복구 하기 위해서는 현장인원 (차상 안전요원, 역사 순회점검요원)의 개입으로 고장을 해결하거나 고장장치를 초기화 하는 경우이다.
- 경미한 고장 (Mi) : 열차운행서비스에 잠재적인 영향을 미치며 열차운행 복구시간이 90초 초과 4분 이하로 정의된다. 전형적인 Mi 고장은 차상 안전요원이나 역사 순회점검요원을 통해 해결되거나 OCC 운영요원에 의해 소프트웨어나 자동절차를 통해 원격으로 복구 가능한 고장이다.
- 무시가능 (Ne) : 무시가능 고장은 열차운행 서비스에 직접적인 영향을 미치지 않거나, 복구시간이 90초 이하가 소요되나 고장정비가 필요할 수 도 있다. 전형적인 Ne 고장은 소프트웨어나 자동절차를 통해 OCC에서 원격으로 복구될 수 있다.

위의 고장률 계산식과 고장시나리오를 고려하여 서브시스템의 서비스 운행에 영향을 미치는 고장률 계산식은 다음과 같은 수식을 사용하여 계산하였다.

$$\lambda = \lambda_{component} * N_{train} * F_{failure}$$

여기서, λ_i = 각 *component*의 고장률

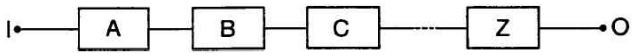
N_{train} = *Train*에 장착된 *component* 수량

$F_{failure}$ = 고장시나리오에 따른 고장발생비율

(나) 신뢰성 블록도

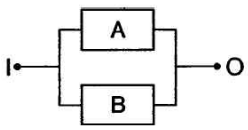
시스템의 모든 기능들의 연관성을 나타내기 위해 작동 순서에 따라 각 모듈을 직병렬 관계로 연결하여 신뢰성 블록도를 작성하고 각 부품에 대한 정량적인 신뢰성 척도를 산출한다. 서브 시스템내에 모듈들이 직렬로 연결되어 있는 경우는 구성된 모듈 중 하나라도 고장이 발생하면 가동이 되지 않는 구조이므로 각 모듈별 신뢰도가 $R_i, i = 1, 2, \ldots, n$ 일 때 이 시스템에 대한 신뢰도(R)는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdots R_n = \prod_{i=1}^{n} R_i$$



또한 서브 시스템내 모듈들이 병렬로 연결되어 있는 경우는 구성된 모든 모듈이 고장이 나면 가동하지 않는 구조로 이 시스템의 신뢰도 함수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \cdots (1 - R_n) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i)$$



만약 한 모듈이 고장률 λ_i인 지수분포를 따를 경우 t시간에 대한 신뢰도 함수는 $R_i = e^{-\lambda_i t}$ 이다.

본 보고서에는 신뢰도 예측 시 산출한 각 부품의 고장률을 기반으로 차량의 운행에 영향을 주는 factor를 고려하여 Reliability Block Diagram을 구성하였다.

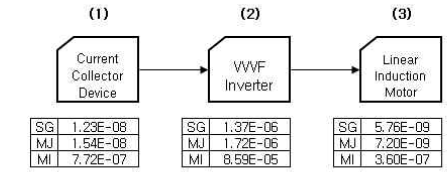
(7) 차량 주요장치 신뢰도 예측결과

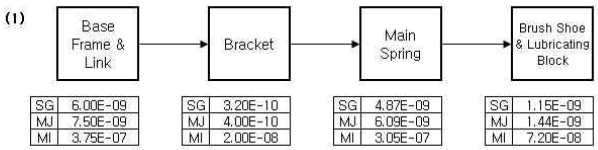
차량의 서비스 운행에 영향을 미치는 Service Failure를 고려한 주요장치 Reliability Block Diagram은 다음과 같다.

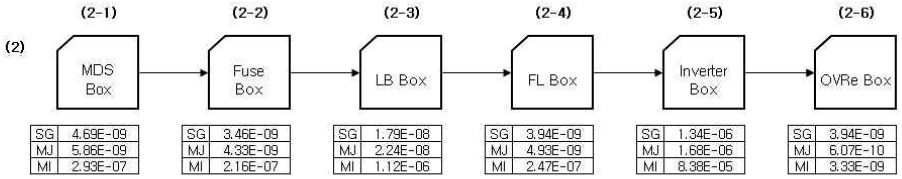
(가) 추진장치 (Traction System)

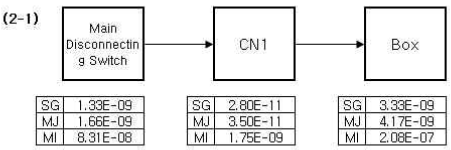
추진장치는 자기부상열차에 견인력을 전달하는 장치로써 추진장치 주

요 구성품은 Current Collector, VVVF Inverter, Liner Induction Motor로 구성되어 직렬로 연결되어 있으며 각 구성품이 하나라도 고장이 나면 서비스 운행에 영향을 미치는 구조이다. 다음은 추진장치 주요 구성품에 대해서 Reliability Block Diagram을 나타내었다.

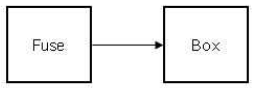








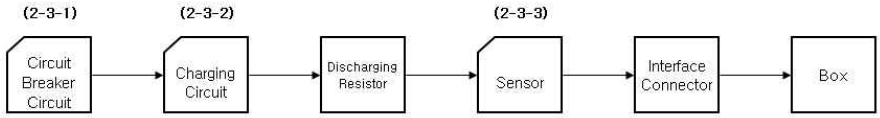
(2-2)



SG	1.28E-10
MJ	1.60E-10
MI	8.00E-09

SG	3.33E-09
MJ	4.17E-09
MI	2.08E-07

(2-3)



SG	3.25E-09
MJ	4.06E-09
MI	2.03E-07

SG	2.30E-09
MJ	2.87E-09
MI	1.44E-07

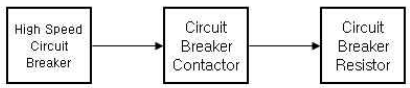
SG	1.82E-10
MJ	2.28E-10
MI	1.14E-08

SG	8.82E-09
MJ	1.10E-08
MI	5.51E-07

SG	2.80E-11
MJ	3.50E-11
MI	1.75E-09

SG	3.33E-09
MJ	4.17E-09
MI	2.08E-07

(2-3-1)

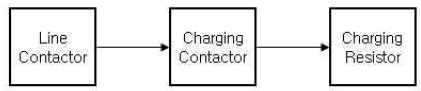


SG	1.07E-09
MJ	1.33E-09
MI	6.67E-08

SG	1.85E-12
MJ	2.32E-12
MI	1.16E-10

SG	2.18E-09
MJ	2.72E-09
MI	1.36E-07

(2-3-2)

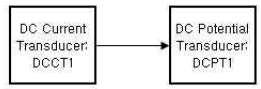


SG	3.56E-10
MJ	4.44E-10
MI	2.22E-08

SG	1.33E-09
MJ	1.67E-09
MI	8.33E-08

SG	6.07E-10
MJ	7.59E-10
MI	3.80E-08

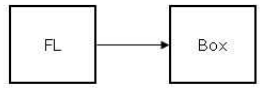
(2-3-3)



SG	4.76E-09
MJ	5.95E-09
MI	2.98E-07

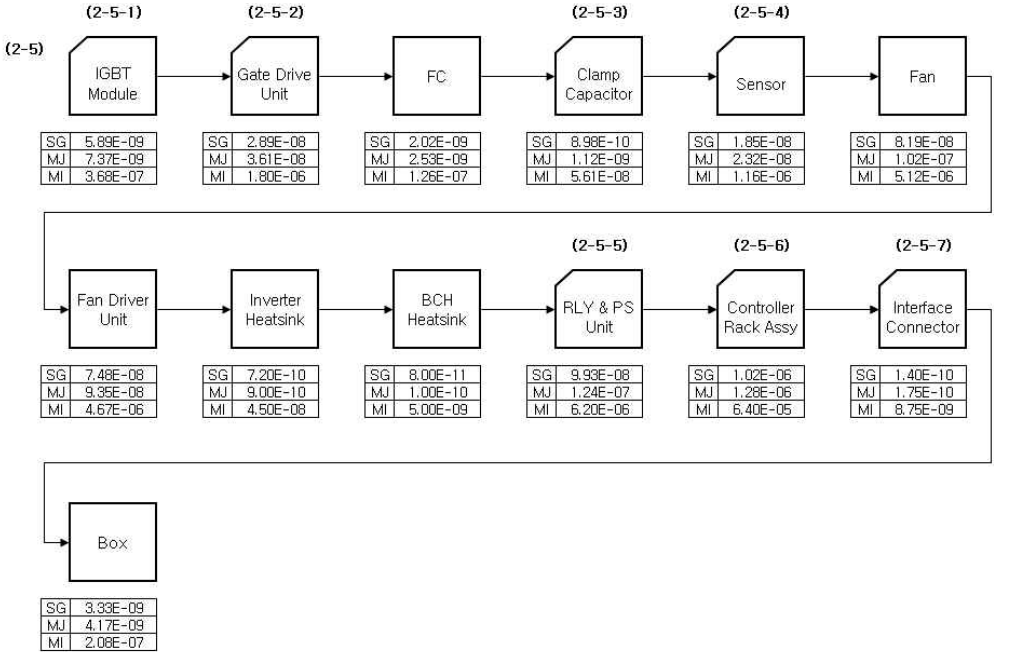
SG	4.06E-09
MJ	5.07E-09
MI	2.54E-07

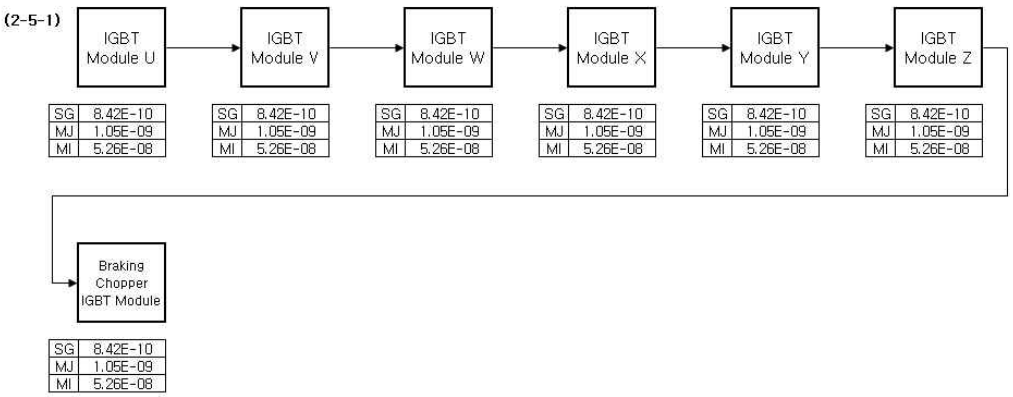
(2-4)

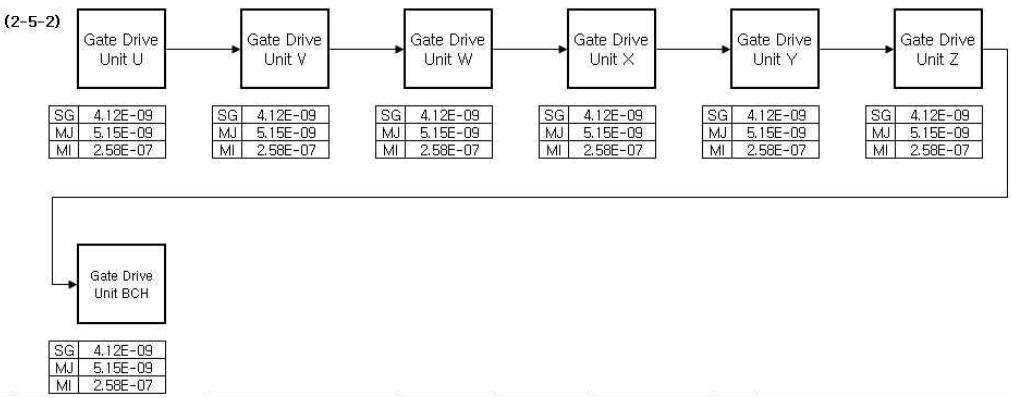


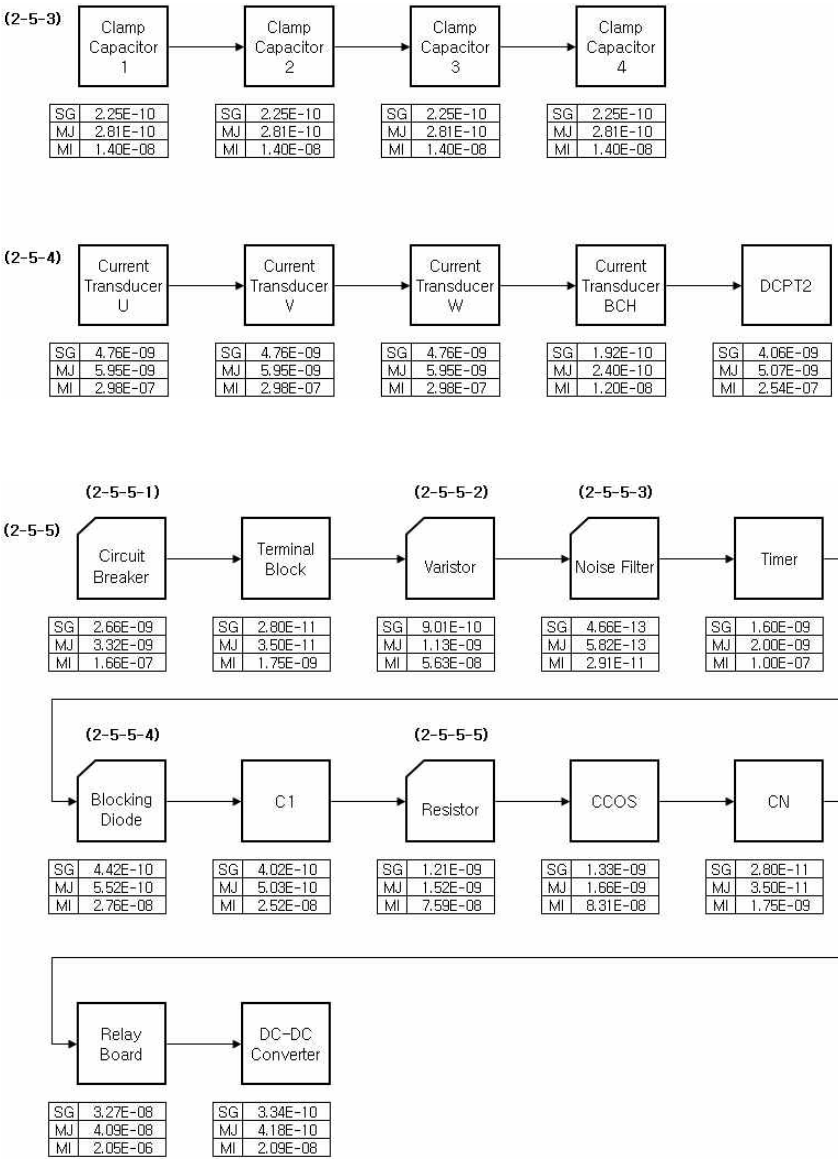
SG	6.12E-10
MJ	7.66E-10
MI	3.83E-08

SG	3.33E-09
MJ	4.17E-09
MI	2.08E-07

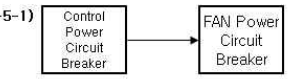

(2-5)
(2-5-1)
IGBT Module
SG 5.89E-09
MJ 7.37E-09
MI 3.68E-07
(2-5-2)
Gate Drive Unit
SG 2.89E-08
MJ 3.61E-08
MI 1.80E-06
FC
SG 2.02E-09
MJ 2.53E-09
MI 1.26E-07
(2-5-3)
Clamp Capacitor
SG 8.98E-10
MJ 1.12E-09
MI 5.61E-08
(2-5-4)
Sensor
SG 1.85E-08
MJ 2.32E-08
MI 1.16E-06
Fan
SG 8.19E-08
MJ 1.02E-07
MI 5.12E-06
Fan Driver Unit
SG 7.48E-08
MJ 9.35E-08
MI 4.67E-06
Inverter Heatsink
SG 7.20E-10
MJ 9.00E-10
MI 4.50E-08
BCH Heatsink
SG 8.00E-11
MJ 1.00E-10
MI 5.00E-09
(2-5-5)
RLY & PS Unit
SG 9.93E-08
MJ 1.24E-07
MI 6.20E-06
(2-5-6)
Controller Rack Assy
SG 1.02E-06
MJ 1.28E-06
MI 6.40E-05
(2-5-7)
Interface Connector
SG 1.40E-10
MJ 1.75E-10
MI 8.75E-09
Box
SG 3.33E-09
MJ 4.17E-09
MI 2.08E-07


(2-5-1)
IGBT Module U
SG 8.42E-10
MJ 1.05E-09
MI 5.26E-08
IGBT Module V
SG 8.42E-10
MJ 1.05E-09
MI 5.26E-08
IGBT Module W
SG 8.42E-10
MJ 1.05E-09
MI 5.26E-08
IGBT Module X
SG 8.42E-10
MJ 1.05E-09
MI 5.26E-08
IGBT Module Y
SG 8.42E-10
MJ 1.05E-09
MI 5.26E-08
IGBT Module Z
SG 8.42E-10
MJ 1.05E-09
MI 5.26E-08
Braking Chopper IGBT Module
SG 8.42E-10
MJ 1.05E-09
MI 5.26E-08


(2-5-2)
Gate Drive Unit U
SG 4.12E-09
MJ 5.15E-09
MI 2.58E-07
Gate Drive Unit V
SG 4.12E-09
MJ 5.15E-09
MI 2.58E-07
Gate Drive Unit W
SG 4.12E-09
MJ 5.15E-09
MI 2.58E-07
Gate Drive Unit X
SG 4.12E-09
MJ 5.15E-09
MI 2.58E-07
Gate Drive Unit Y
SG 4.12E-09
MJ 5.15E-09
MI 2.58E-07
Gate Drive Unit Z
SG 4.12E-09
MJ 5.15E-09
MI 2.58E-07
Gate Drive Unit BCH
SG 4.12E-09
MJ 5.15E-09
MI 2.58E-07


(2-5-3)
Clamp Capacitor 1
SG 2.25E-10
MJ 2.81E-10
MI 1.40E-08
Clamp Capacitor 2
SG 2.25E-10
MJ 2.81E-10
MI 1.40E-08
Clamp Capacitor 3
SG 2.25E-10
MJ 2.81E-10
MI 1.40E-08
Clamp Capacitor 4
SG 2.25E-10
MJ 2.81E-10
MI 1.40E-08
(2-5-4)
Current Transducer U
SG 4.76E-09
MJ 5.95E-09
MI 2.98E-07
Current Transducer V
SG 4.76E-09
MJ 5.95E-09
MI 2.98E-07
Current Transducer W
SG 4.76E-09
MJ 5.95E-09
MI 2.98E-07
Current Transducer BCH
SG 1.92E-10
MJ 2.40E-10
MI 1.20E-08
DCPT2
SG 4.06E-09
MJ 5.07E-09
MI 2.54E-07
(2-5-5)
(2-5-5-1)
Circuit Breaker
SG 2.66E-09
MJ 3.32E-09
MI 1.66E-07
Terminal Block
SG 2.80E-11
MJ 3.50E-11
MI 1.75E-09
(2-5-5-2)
Varistor
SG 9.01E-10
MJ 1.13E-09
MI 5.63E-08
(2-5-5-3)
Noise Filter
SG 4.66E-13
MJ 5.82E-13
MI 2.91E-11
Timer
SG 1.60E-09
MJ 2.00E-09
MI 1.00E-07
Contactor
SG 1.85E-12
MJ 2.32E-12
MI 1.16E-10
(2-5-5-4)
Blocking Diode
SG 4.42E-10
MJ 5.52E-10
MI 2.76E-08
C1
SG 4.02E-10
MJ 5.03E-10
MI 2.52E-08
(2-5-5-5)
Resistor
SG 1.21E-09
MJ 1.52E-09
MI 7.59E-08
CCOS
SG 1.33E-09
MJ 1.66E-09
MI 8.31E-08
CN
SG 2.80E-11
MJ 3.50E-11
MI 1.75E-09
Relay
SG 5.76E-08
MJ 7.20E-08
MI 3.60E-06
Relay Board
SG 3.27E-08
MJ 4.09E-08
MI 2.05E-06
DC-DC Converter
SG 3.34E-10
MJ 4.18E-10
MI 2.09E-08

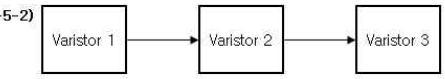
(2-5-5-1)



SG	1.33E-09
MJ	1.66E-09
MI	8.31E-08

SG	1.33E-09
MJ	1.66E-09
MI	8.31E-08

(2-5-5-2)

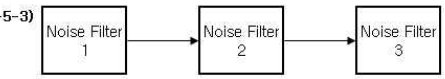


SG	3.00E-10
MJ	3.75E-10
MI	1.88E-08

SG	3.00E-10
MJ	3.75E-10
MI	1.88E-08

SG	3.00E-10
MJ	3.75E-10
MI	1.88E-08

(2-5-5-3)

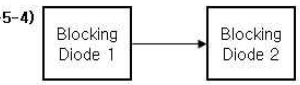


SG	1.55E-13
MJ	1.94E-13
MI	9.70E-12

SG	1.55E-13
MJ	1.94E-13
MI	9.70E-12

SG	1.55E-13
MJ	1.94E-13
MI	9.70E-12

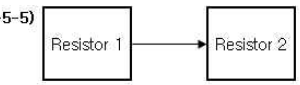
(2-5-5-4)



SG	2.21E-10
MJ	2.76E-10
MI	1.38E-08

SG	2.21E-10
MJ	2.76E-10
MI	1.38E-08

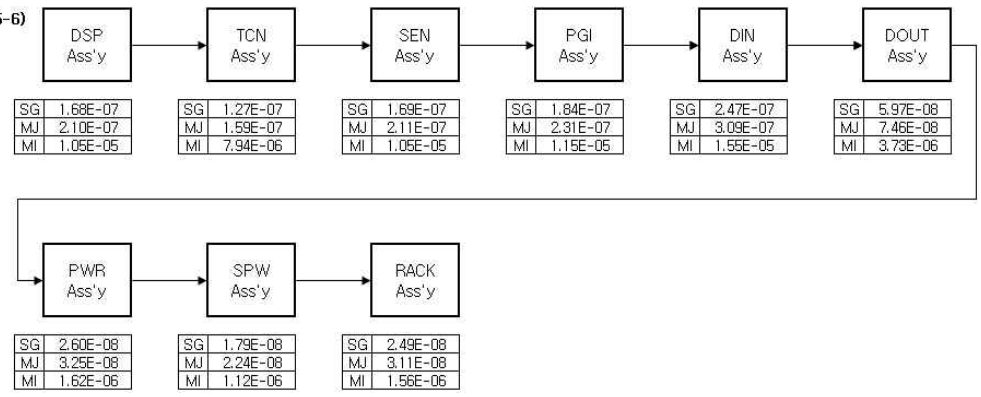
(2-5-5-5)



SG	6.07E-10
MJ	7.59E-10
MI	3.80E-08

SG	6.07E-10
MJ	7.59E-10
MI	3.80E-08

(2-5-6)



SG	1.68E-07
MJ	2.10E-07
MI	1.05E-05

SG	1.27E-07
MJ	1.59E-07
MI	7.94E-06

SG	1.69E-07
MJ	2.11E-07
MI	1.05E-05

SG	1.84E-07
MJ	2.31E-07
MI	1.15E-05

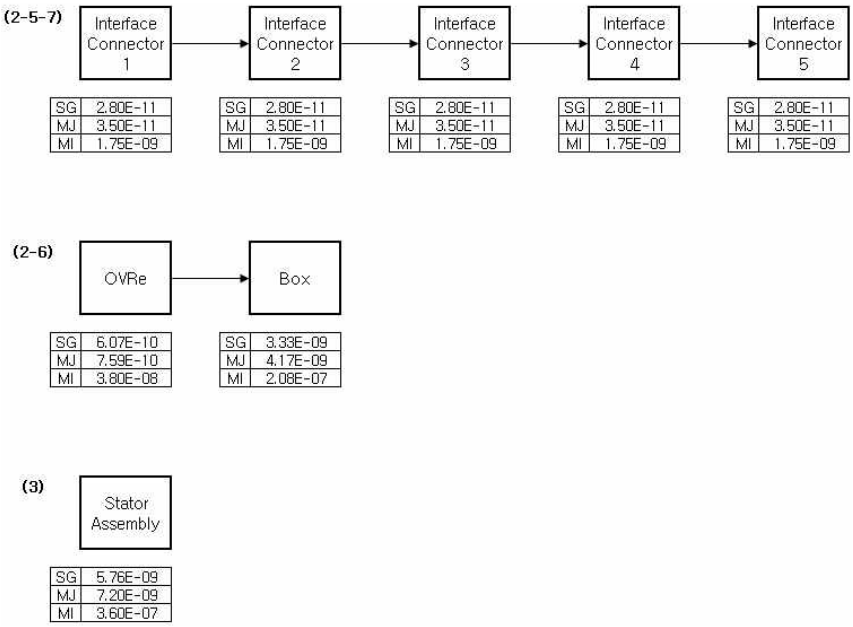
SG	2.47E-07
MJ	3.09E-07
MI	1.55E-05

SG	5.97E-08
MJ	7.46E-08
MI	3.73E-06

SG	2.60E-08
MJ	3.25E-08
MI	1.62E-06

SG	1.79E-08
MJ	2.24E-08
MI	1.12E-06

SG	2.49E-08
MJ	3.11E-08
MI	1.56E-06



▣ 추진장치 신뢰성 예측 계산결과

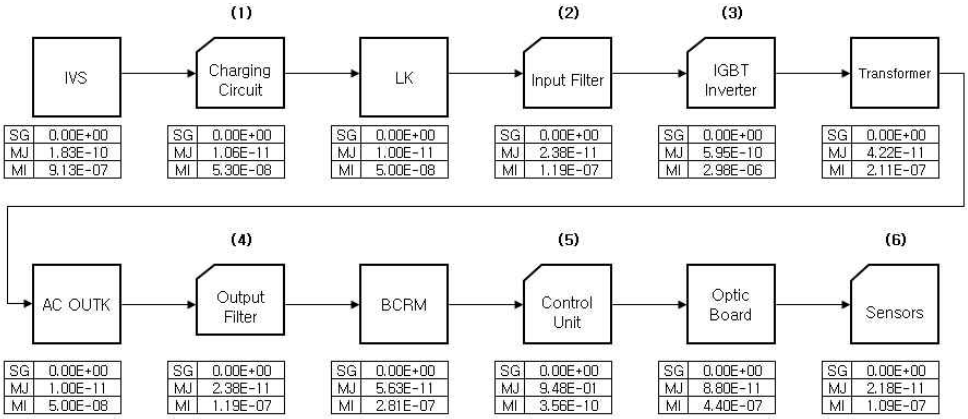
구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
추진장치	1.39E-06	1.74E-06	8.71E-05	1.65E-03

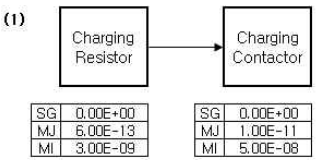
추진장치 신뢰성 예측에 사용된 데이터는 4절에 첨부되어있으며, 데이터 양식을 사용하여 데이터베이스화하고 있다.

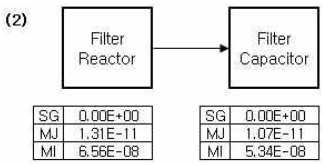
(나) 보조전원장치 (Auxiliary Power System)

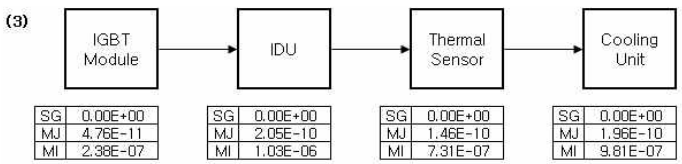
보조전원장치는 자기부상열차의 보조전원장치는 공기압축기, 조명, 냉난방장치, 표시기 장치, 열차의 제어전원 등의 보조전원에 사용되는 안정적이고 일정한 전압과 주파수를 출력하는 장치를 말하며, 차량의 종합제어장치와 연계하여 진단 및 고장의 감시기능 등을 공급하는 전원공급 장치이다.

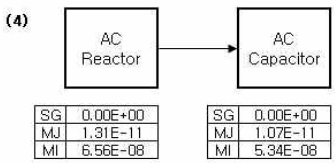
보조전원장치의 주요 구성품은 캐패시터 충전회로, 입력필터, IGBT 인버터, 출력필터, 제어유니트, 센서부등으로 구성되며, 주요 구성부품은 직렬로 연결되어 다음과 같이 신뢰성 블록 다이어그램을 나타내었다. 현재 보조전원장치는 2차년도 초기 설계단계의 설계사항에 따라 신뢰성 예측이 수행되었으며, 상세설계 이후 설계사항이 최종 확정된 후 보완 분석이 필요하다.

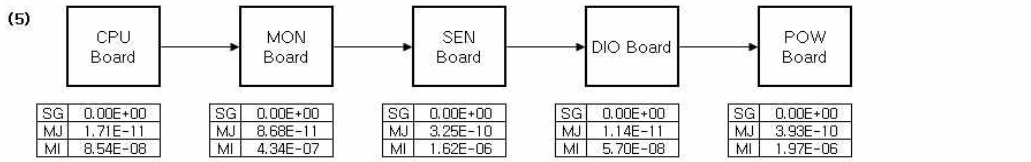

(1)
(2)
(3)
IVS
Charging Circuit
LK
Input Filter
IGBT Inverter
Transformer
SG 0.00E+00
MJ 1.83E-10
MI 9.13E-07
SG 0.00E+00
MJ 1.06E-11
MI 5.30E-08
SG 0.00E+00
MJ 1.00E-11
MI 5.00E-08
SG 0.00E+00
MJ 2.38E-11
MI 1.19E-07
SG 0.00E+00
MJ 5.95E-10
MI 2.98E-06
SG 0.00E+00
MJ 4.22E-11
MI 2.11E-07
(4)
(5)
(6)
AC OUTK
Output Filter
BCRM
Control Unit
Optic Board
Sensors
SG 0.00E+00
MJ 1.00E-11
MI 5.00E-08
SG 0.00E+00
MJ 2.38E-11
MI 1.19E-07
SG 0.00E+00
MJ 5.63E-11
MI 2.81E-07
SG 0.00E+00
MJ 9.48E-01
MI 3.56E-10
SG 0.00E+00
MJ 8.80E-11
MI 4.40E-07
SG 0.00E+00
MJ 2.18E-11
MI 1.09E-07

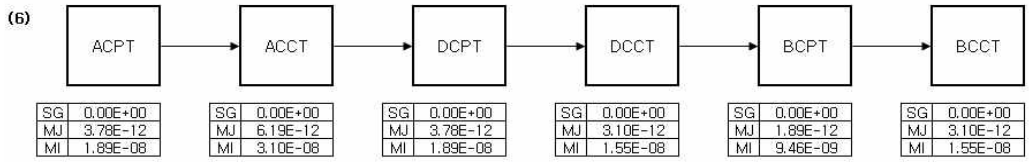

(1)
Charging Resistor
Charging Contactor
SG 0.00E+00
MJ 6.00E-13
MI 3.00E-09
SG 0.00E+00
MJ 1.00E-11
MI 5.00E-08


(2)
Filter Reactor
Filter Capacitor
SG 0.00E+00
MJ 1.31E-11
MI 6.56E-08
SG 0.00E+00
MJ 1.07E-11
MI 5.34E-08


(3)
IGBT Module
IDU
Thermal Sensor
Cooling Unit
SG 0.00E+00
MJ 4.76E-11
MI 2.38E-07
SG 0.00E+00
MJ 2.05E-10
MI 1.03E-06
SG 0.00E+00
MJ 1.46E-10
MI 7.31E-07
SG 0.00E+00
MJ 1.96E-10
MI 9.81E-07


(4)
AC Reactor
AC Capacitor
SG 0.00E+00
MJ 1.31E-11
MI 6.56E-08
SG 0.00E+00
MJ 1.07E-11
MI 5.34E-08





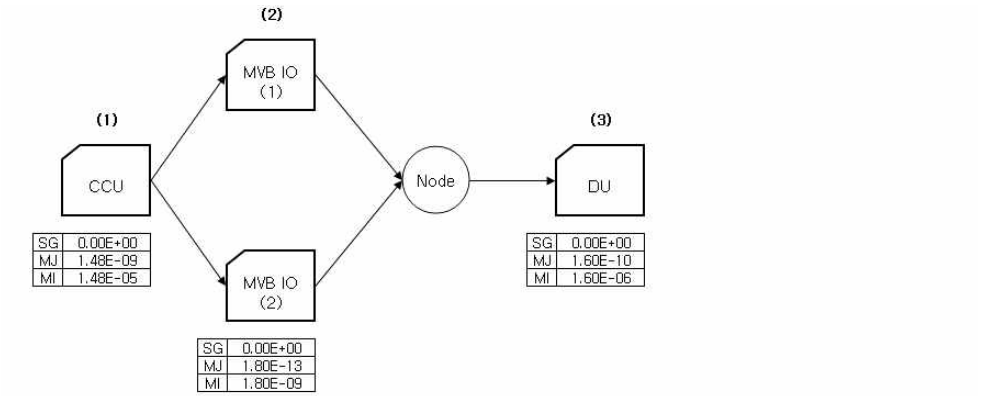
▣ 보조전원장치 신뢰성 예측 계산결과

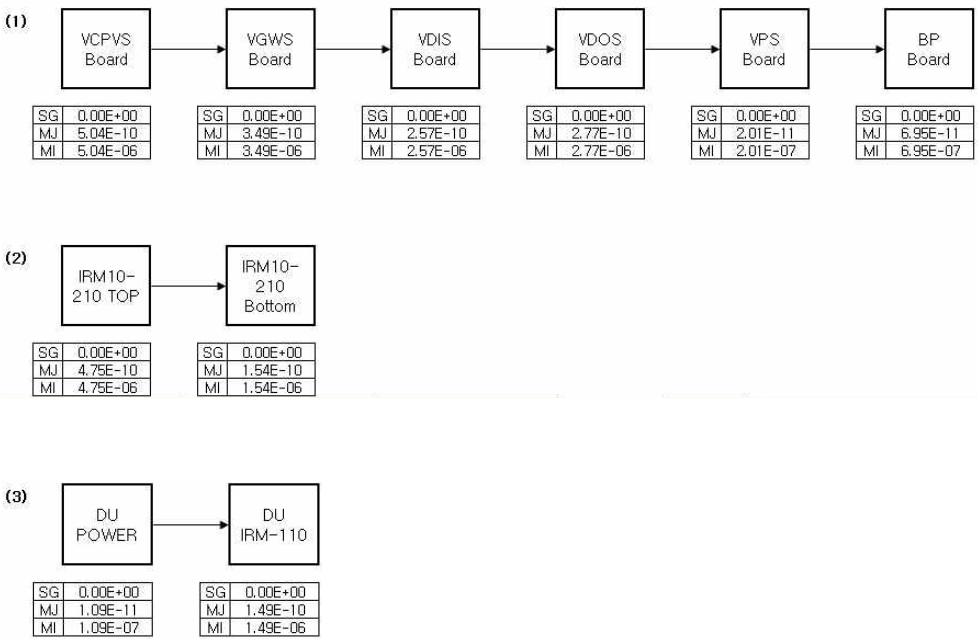
구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
보조전원장치	-	1.90E-09	9.49E-06	8.54E-05

보조전원장치 신뢰성 예측에 사용된 데이터는 4절에 첨부되어있으며, 데이터관리양식을 사용하여 데이터베이스화하고 있다.

(다) Train Control Management System

TCMS의 주요 구성품은 Car Computer Unit, MVB I/O, Display Unit 으로 크게 분류되며 주요 구성품은 직렬로 연결되어 있으나 MVB I/O 내에 IRMIO-210은 병렬로 구성되어 둘 중하나가 고장이 나면 나머지 하나가 백업받아 사용되는 리던던시 구조로 되어 있다. 다음과 같이 신뢰성 블록다이어그램을 나타내었다.





▣ TCMS 신뢰성 예측 계산결과

구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
TCMS	-	1.64E-09	1.64E-05	1.47E-04

TCMS 신뢰성 예측에 사용된 데이터는 4절에 첨부되어있으며, 데이터 관리양식을 사용하여 데이터베이스화하고 있다.

(8) 차량 주요장치 위험도 분석 결과

차량 주요장치 위험도 분석은 FMECA와 Hazard Analysis를 통하여 다음과 같이 분석하였다.

(가) 고장 유형, 결과 및 치명도 분석 (FMECA)

FMECA (고장 유형, 결과 및 치명도 분석)의 목적은 차량을 구성하고 있는 각 서브시스템의 고장이 서브시스템의 기능 및 차량 전체의 기능에 어떠한 영향을 미치는 지 분석함에 있다. 다음은 차량 주요장치에 대한 주요 부품과 고장유형이 요약되어 있으며, 4절의 첨부와 같이 주요장치를 구성하는 각 구성품의 상세 고장 유형 및 결과가 기술되어

있다.

장치명	고장 유형 수	주요 고장 유형
추진장치	110	· Graphite 파손 · 주접점 소손/트립 · 제어기에서 이상 전류 감지 · 인터페이스 불능 · 먼지 및 이물질 유입
보조전원장치	88	· Mechanical Failure · Electrical short · Electrical Overstress · Electrical open · Input/Output signal port failure · Wire Bond Failure
TCMS	38	· No Operation · Electrical short · Electrical Overstress · Electrical open · Wire Bond Failure

(나) 위험도 분석 (Hazard Analysis)

차량시스템 위험 관리 절차에 따라 주요 장치에 대한 위험 분석을 통해 차량의 주요 시스템에 잠재되어 있는 위험성을 판별하기 위하여 예비위험분석(PHA)을 실시하였으며, 식별된 위험 요소들은 모두 Hazard Log(위험 기록서)에 기록되었다. 또한 Hazard Log(위험 기록서)에 기록된 위험 요소들을 위험 요소의 빈도수와 심각도를 기준으로 위험도를 평가하였으며, 이에 대한 저감책을 발굴/실시하여 차량 운행시 예상되는 위험 요소를 평가하였다. 본 절에서는 차량의 주요 장치에 대한 위험도 분석 결과에 대해 서술하였으며 주요 장치 이외의 위험도 분석 결과는 완성차에 대한 위험도 분석결과에 현황이 기술되어 있으며 Hazard Log에 주요 장치를 포함한 차량 전체의 위험도 분석결과가 기

술되어 있다. 따라서, 차량의 주요 장치에 대한 위험도 분석결과는 Hazard Log(위험 기록서)에 기술되어 있으며 그 현황은 다음과 같다.

위 험 등 록 현 황											
시스템		최초위험도					잔존위험도				
		계	In	Un	To	Ne	계	In	Un	To	Ne
1	추진장치	16	0	10	6	0	16	0	0	10	6
2	보조전원시스템	5	0	1	2	2	5	0	0	1	4
3	TCMS	2	0	1	1	0	2	0	0	1	1

(9) 결 론

본 절에서는 2차년도에 수행한 차량의 주요 장치에 대한 RAMS분석결과를 바탕으로 추진장치, 보조전원장치, TCMS에 한해서 신뢰도 및 안전성평가 결과에 대해서 기술하였다. 주요 장치는 초기 개념설계 단계에서부터 상세설계까지 진행되면서 수정 사항이 발생하였을 경우 지속적으로 수정 보완을 하여 분석을 수행하였다. 현재 보조전원장치는 최종 설계가 확정되지 않아 2차년도의 차량의 개념설계시 수행한 자료를 바탕으로 분석결과가 기술되어 있으며 이는 향후에 수정보완되어야 할 것이다. 자기부상 차량시스템의 최종 목표인 완성차에 대한 RAMS 수행결과는 완성차 RAMS 분석에서 주요 장치를 포함하여 최종 분석결과가 기술될 것이다.

타. 차량 주요장치 RAMS 분석결과 데이터베이스화

차량 주요 장치인 추진장치, 보조전원장치, TCMS는 RAMS분석을 위해 개발한 양식에 의거하여 설계기간동안 분석되었고 데이터베이스화하여 RAMS 분석 기초 자료로 활용하였다. 다음은 차량의 RAMS 분석에 사용된 분석양식에 대하여 기술한다.

(1) 신뢰성 분석 양식

신뢰성 분석 양식은 각 서브시스템의 구성품에 대한 System Hierarchy를 구축하여 장치에 속해있는 구성품이 어떻게 구성되어있는지 파악하고 각 부품에 대한 고장률데이터를 포함하고 있다. 이 자료는 신뢰성 분석에 사용된다.

(가) 신뢰성 분석 양식 항목 설명

항 목		설 명
1	ID	해당 부품에 대한 식별번호
2	Item Description	구성부품 명칭
3	Q'ty in each Car	각 차량에 장착되어 있는 구성품 수량
4	Q'ty in Train	Train에 장착되어 있는 구성품 수량
5	Item Failure Rate	Item의 고장률
6	Item Failure Rate per Train	Train에 장착된 Item의 수량을 고려한 고장률
7	Failure Consequence Fraction [%]	고장시나리오에 따라 고장 발생가능 분포
8	No. of the predicted Type failure per Train per year	고장시나리오에 따라 연간 고장발생 수
9	MTTR	고장수리시 소요되는 평균수리시간
10	Maintenance Ratio	수리가 필요한 고장발생 비율

신뢰성 분석 양식은 다음과 같다.

Appendix I
Reliability information sheet

Train driving distance (km)	49,093
Train operating hours (hour)	6,570
Average speed (km/hour)	7.47

		Scope of Supply			Failure Data											
		Qty(no) in each car			Item	Train									MTTR (Hour)	Maintenance Ratio
		Car	Car	Qty(no) in Train	Failure Rate	Failure Rate	Failure Consequence Fractions				No. of the predicted Type failure per Train per year					
Reference ID	Item Description	Mc1	Mc2	2car	failure/hour	failure/hour	SG	MJ	Mi	Ne	SG	MJ	Mi	Ne		

(나) 고장 유형, 결과 및 치명도 분석 양식 항목 설명 (FMECA)

항 목		설 명
1	ID	해당 Item 식별번호
2	Item description	Item 명칭
3	Function	Item 기능
4	Failure Mode	고장유형
5	Cause(s) of Failure	고장발생원인
6	Subsystem (Local) Impact on concerned sub-subsystem	서브시스템에 미치는 영향
7	System (Overall) Impact on RS	열차에 미치는 영향
8	Component Failure Rate (case/hr)	Item의 고장률
9	No. of items per car	차량에 장착된 Item 수
10	No. of items per train	열차에 장착된 Item 수
11	Likelihood of failure	고장유형별 고장발생가능성
12	Failure of Occurrence of Effect Per train (case/yr)	연간 고장유형 발생 빈도수
13	Severity	심각도
14	Risk	위험지표
15	Diagnosis	고장탐지 방법
16	Preventive/Corrective Actions	고장발생 예방활동 및 방안

고장유형, 결과 및 치명도 분석 양식은 다음과 같다.

Appendix II

Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA)

Ref. ID	Item	Function	Failure Mode	Cause(s) of Failure	Failure Effects / Consequences		Component Failure Rate (case/hr)	No. of items per car	No. of items per train	Likelihood of failure	Criticality				Diagnosis	Preventive/Corrective Actions	Remarks
					Subsystem (Local) Impact on concerned sub-subsystem	System (Overall) Impact on RS					Failure of Occurrence of Effect Per train (case/yr)	Frequency	Severity	Risk			

(다) 위험도 분석 양식 설명 (Hazard Log)

항 목		설 명
1	Hazard ID	Hazard Log 일련번호
2	Hazard Category	Hazard 분류 (SSHA, PHA, O&SHA등)
3	Designation	Hazard와 관련된 System이나 정비Task 명칭
4	Hazard Description	위험 상황 설명
5	Hazard Causes	위험 발생 원인
6	Hazard Effects	위험 발생 결과
7	Operational Phase(s)	위험 발생 가능한 차량 운영조건
8	Potential Accident	위험이 발생할 수 있는 잠재적인 사고
9	Original Risk	초기 위험도
10	Mitigation Candidate	위험 저감대책
11	Residual Risk	잔존 위험도

위험도 분석 양식은 다음과 같다.

Appendix III
Hazard Analysis

Hazard ID	Hazard category	Designation (System, Sub-System, Interface system, Operating and Support task etc.)	Hazard Description	Potential Cause	Effects/ Consequences	Operational Phase(s)	Potential Accident											Original Risk			Mitigation Candidate	Residual Risk			Remark
							Collision 1	Derailment/Overturn 2	Fire/Asphyxia/Suffocation 3	Evacuation of persons 4	Minor injury of person 5	Environmental aggression 6	Fall of a person 7	Trapping of a person 8	Impact of a person by contact 9	Burn or electrocution of a person 10	Various aggression 11	Frequency	Severity	Risk		Frequency	Severity	Risk	

(2) 데이터 관리

위의 RAMS 분석 양식을 활용하여 차량에 대한 고장유형, 고장률, 위험도를 분석하여 데이터베이스화 하여 향후 수정사항 발생시 업데이트하며 차량 영업운전시 발생하는 고장데이터와 비교할 수 있도록 관리한다.

차량 주요 장치에 대한 RAMS자료는 RAMS분석 양식에 의거 하여 작성되어 데이터베이스화 하였다. 그 결과는 첨부에 각 장치별로 첨부하였다.

파. 완성차 RAMS 분석

완성차 RAMS분석은 주요 장치를 포함하여 주요 장치 이외 장치에 대해 부가적으로 RAMS분석을 수행하고 완성차의 RAMS 성능을 기술한다.

(1) 개 요

완성차 RAMS분석의 대상은 추진장치, 보조전원장치, TCMS, 대차등 차량을 운행에 직접적인 관련이 있는 장치를 대상으로 RAMS분석을 수행하였다. RAMS분석방법은 4절의 주요장치 RAMS분석에서 수행한 것과 같은 방법으로 분석하였으며 분석대상을 주요 장치에서 그 외 시스템을 포함한 완성차 단계로 확장하여 분석하였다.

(2) 범 위

완성차 RAMS분석 대상은 다음의 장치를 대상으로 분석하였으며 이들 장치의 데이터를 종합하여 자기부상열차에 대한 RAMS 성능을 평가하고자 한다.

- 완성차 분석 대상 장치 -

· 추진장치 (Propulsion System)
· 보조전원장치 (Auxiliary Power System)
· TCMS (Train Control Management System)
· 대차 (Bogie System)
· 부상장치 (Levitation System)
· HVAC (Heating Ventilation Air Conditioning System)
· 방송 및 표시기 장치 (Communication System)
· 제동 및 공기공급장치 (Brake & Air Supply System)
· 출입문장치 (Passenger Door System)
· 연결장치 (Coupler System)

(3) 완성차 신뢰도 예측 및 계산 방법

자기부상열차는 각종 전자부품과 기계부품으로 이루어져 있는 복합체이다. 따라서, 자기부상열차의 신뢰성 예측을 위해서는 신뢰성 예측을 위한

가정을 세우고 이를 기반으로 분석을 실시하였다. 신뢰성 예측은 주요장치내 부품이나 모듈의 고장률을 예측하는 과정으로 MIL-HBDK-217F, NPRD-95, EPRD-97의 상용 데이터베이스의 자료를 적용하여 분석하였다. 또한, 신규 개발과제인 자기부상열차의 경우 부품정보에 대한 기준서나 상용 데이터베이스의 자료가 활용이 어려울 경우 보완대책으로 기존 유사 시스템의 자료를 활용하여 분석을 수행하였다. 신뢰도 예측 시 각 부품의 수명은 지수분포를 따르는 것으로 가정하여 예측하였다.

완성차 신뢰도 예측 및 계산 방법은 주요 서브시스템을 구성하는 부품의 고장률을 기초로 하여 차량을 구성하는 서브시스템의 고장률을 산출한 후 이를 종합하여 완성차의 최종 고장률을 예측한다. 완성차 신뢰도 예측에서도 차량의 고장시나리오에 따라 차량 운행에 영향을 주는 인자를 고려하고 각 서브시스템의 구성을 파악하여 신뢰도 예측을 수행하게 된다. 신뢰성 모델링과 신뢰성 블록도는 주요 장치 분석결과와 동일한 방법으로 분석되었다.

(가) 신뢰성 모델링

각 시스템은 n개의 부품으로 구성된다. 각 부품의 고장률이 λ_i인 지수분포를 따르고 부품들이 직렬로 연결되어 있는 경우, 이 모듈에 대한 고장률 λ_{System}, 평균수명 MTBF는 식 (1) ~ 식 (2)과 같다.

$$\lambda_{System} = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i \qquad (1)$$

(λ_i = 부품의 고장률, λ_{System} = 시스템 고장률)

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_{System}} \qquad (2)$$

각 부품에 대한 고장률이 λ_i인 지수분포를 따르고, 두 부품들이 병렬로 연결되어 있는 경우, 자기부상열차는 수리계 시스템이므로 Repair rate (μ)을 고려하였으며, 자기부상열차는 일일 18시간 운행하고 장치고장은 18시간 동안 특정시간대에 편중되지 않고 고장이 발생할 것이라고 가정한다. 따라서, 평균적으로 9시간의 고장수리기간을 갖는 다고 가정하

여 다음의 수식을 적용하여 예측하였다. 이에 대한 고장률 λ, 평균수명 MTBF는 식 (3)~(4)를 적용하였다.

$$\lambda_{system} = \frac{2\lambda^2}{3\lambda+\mu} \quad (3)$$

$$(\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 , \mu = Repair rate)$$

$$MTBF = \frac{3\lambda+\mu}{2\lambda^2} \quad (4)$$

$$(\lambda = \lambda_1 = \lambda_2 , \mu = Repair rate)$$

또한, 각 서브시스템이 차량의 서비스 운행에 영향을 미치는 사항으로 다음과 같은 고장 시나리오와 운행정보를 정의하였다.

- 연간 운행거리 : 49,093 km
- 연간 운행시간 : 6,570 hour

▣ 고장시나리오

- 중대 고장 (SG) : 열차운행서비스에 영향을 미치며 열차운행 복구시간이 30분을 초과로 정의된다. 전형적인 SG 고장은 유지보수 직원의 개입이 필요하거나, 열차가 본선에서 고장 정차하여 이동하지 못하거나 다수의 열차들의 차량기지 회송이 필요한 경우이다.
- 주요 고장 (MJ) : 열차운행서비스에 영향을 미치며 열차운행 복구시간은 4분 초과 30분 이하로 정의된다. 전형적인 MJ 고장은 운행중인 열차에서 승객을 대피시킨 후 열차를 회송시키나 복구시간은 30분 이하가 소요되는 고장이다. 단 시간 내에 열차운행을 복구 하기 위해서는 현장인원 (차상 안전요원, 역사 순회점검요원)의 개입으로 고장을 해결하거나 고장장치를 초기화 하는 경우이다.
- 경미한 고장 (Mi) : 열차운행서비스에 잠재적인 영향을 미치며 열차운행 복구시간이 90초 초과 4분 이하로 정의된다. 전형적인 Mi 고장은 차상 안전요원이나 역사 순회점검요원을 통해 해결되거나 OCC 운영요원에 의해 소프트웨어나 자동절차를 통해 원격으로 복구 가능한 고장이다.
- 무시가능 (Ne) : 무시가능 고장은 열차운행 서비스에 직접적인 영향

을 미치지 않거나, 복구시간이 90초 이하가 소요되나 고장정비가 필요할 수 도 있다. 전형적인 Ne 고장은 소프트웨어나 자동절차를 통해 OCC에서 원격으로 복구될 수 있다.

위의 고장률 계산식과 고장시나리오를 고려하여 서브시스템의 서비스 운행에 영향을 미치는 고장률 계산식은 다음과 같은 수식을 사용하여 계산하였다.

$$\lambda = \lambda_{component} * N_{train} * F_{failure}$$

여기서, $\lambda_{component}$ = 각 *component*의 고장률

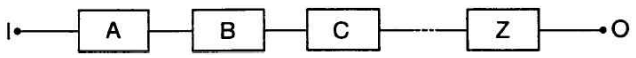
N_{train} = *Train*에 장착된 *component* 수량

$F_{failure}$ = 고장시나리오에 따른 고장발생비율

(나) 신뢰성 블록도

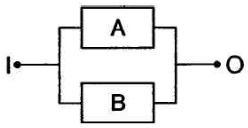
시스템의 모든 기능들의 연관성을 나타내기 위해 작동 순서에 따라 각 모듈을 직병렬 관계로 연결하여 신뢰성 블록도를 작성하고 각 부품에 대한 정량적인 신뢰성 척도를 산출한다. 서브 시스템내에 모듈들이 직렬로 연결되어 있는 경우는 구성된 모듈 중 하나라도 고장이 발생하면 가동이 되지 않는 구조이므로 각 모듈별 신뢰도가 $R_i, i = 1, 2, \ldots, n$ 일 때 이 시스템에 대한 신뢰도(R)는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$R = R_1 \cdot R_2 \cdots R_n = \prod_{i=1}^{n} R_i$$



또한 서브 시스템내 모듈들이 병렬로 연결되어 있는 경우는 구성된 모든 모듈이 고장이 나면 가동하지 않는 구조로 이 시스템의 신뢰도 함수는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) \cdots (1 - R_n) = 1 - \prod_{i=1}^{n} (1 - R_i)$$



만약 한 모듈이 고장률 λ_i인 지수분포를 따를 경우 t시간에 대한 신뢰도 함수는 $R_i = e^{-\lambda_i t}$ 이다.

본 보고서에는 신뢰도 예측 시 산출한 각 부품의 고장률을 기반으로 차량의 운행에 영향을 주는 factor를 고려하여 Reliability Block Diagram을 구성하였다.

4. 주요 구성장치 신뢰성 예측 결과

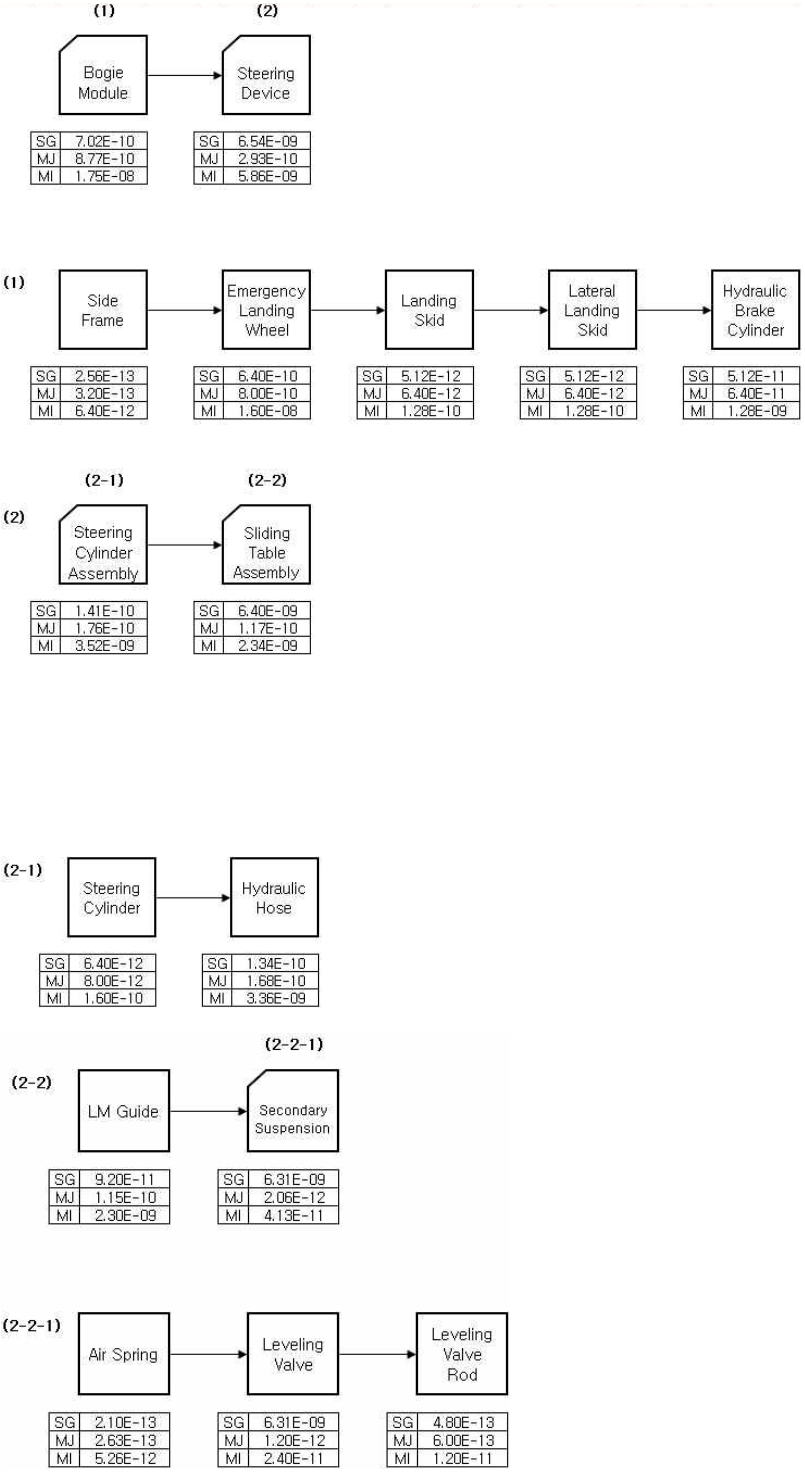
다음은 완성차 신뢰성 예측을 위해 추진장치, 보조전원장치, TCMS 이외의 서브시스템의 신뢰성 예측 결과를 나타내었다. 주요 구성장치 신뢰성 예측에 사용된 데이터는 6절에 첨부되어있으며, 데이터관리양식을 사용하여 데이터베이스화하고 있다.

차량의 서비스 운행에 영향을 미치는 Service Failure를 고려한 주요장치 외 서브시스템의 Reliability Block Diagram은 다음과 같다.

가. 대차 (Bogie System)

대차는 차량을 지지하고 선로상에서 차량을 이동가이드역할을 하는 장치로써

주요 구성 부품은 크게 Bogie Module과 Steering Device로 구성되어 있으며 각 장치는 직렬로 연결되어 있다. 다음은 대차의 Reliability Block Diagram을 나타내었다.

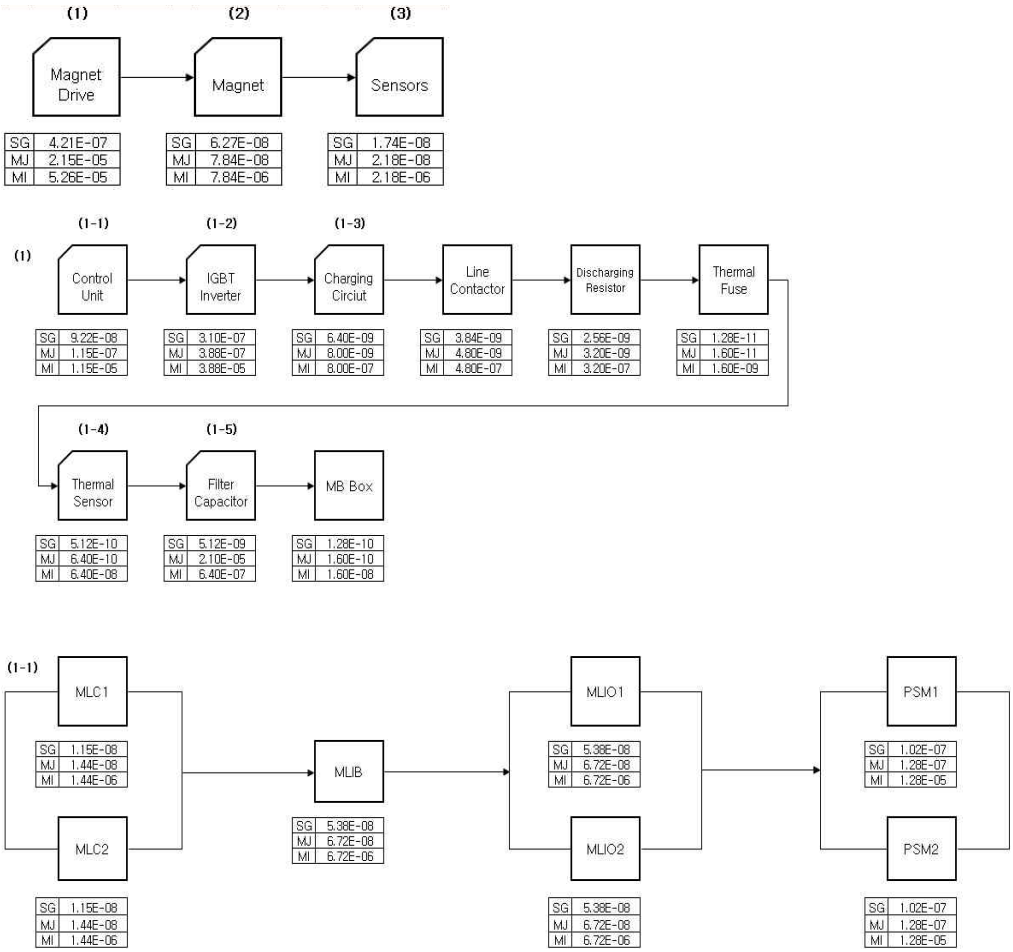


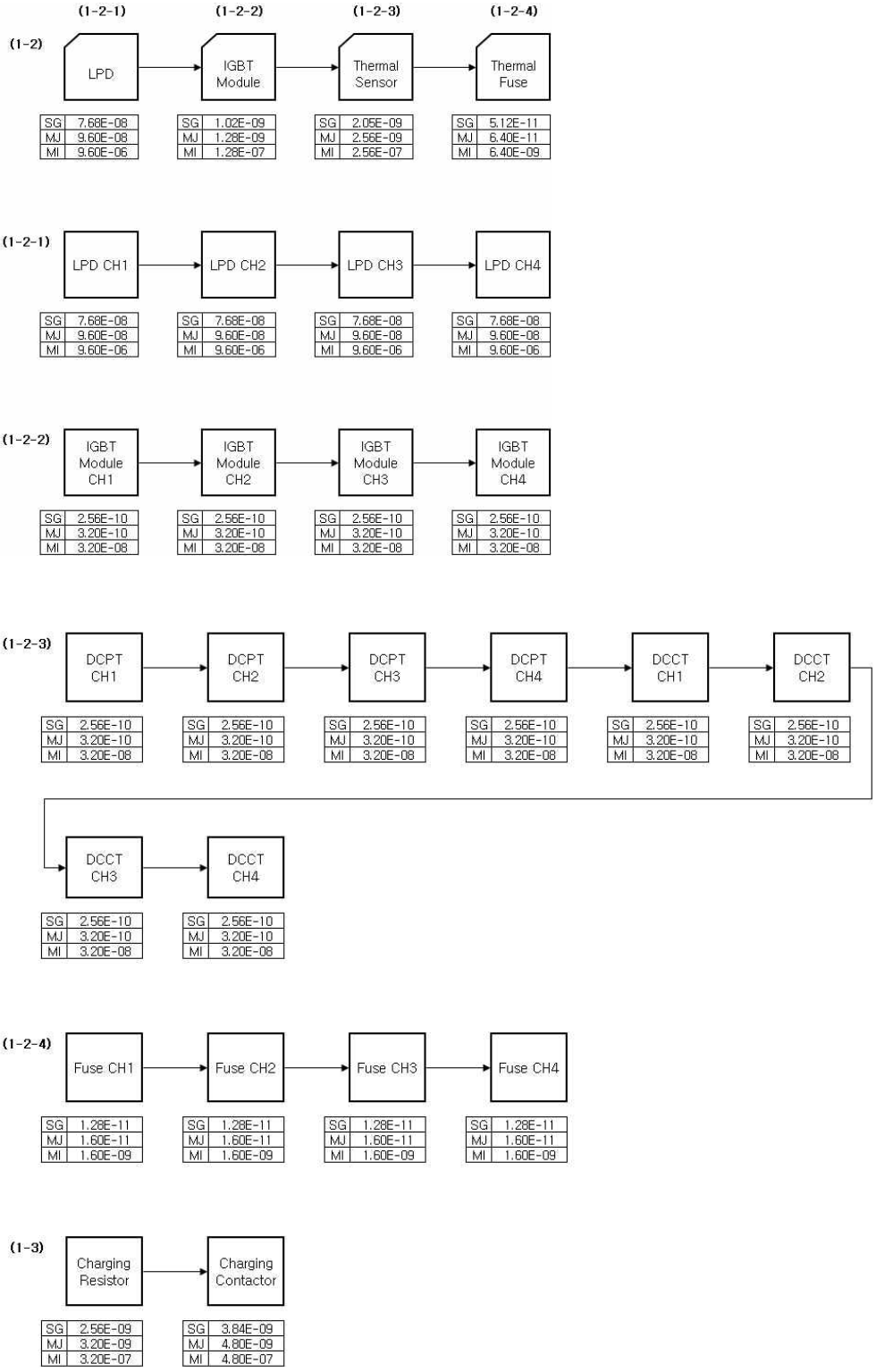
▣ Bogie System 신뢰성 예측 계산결과

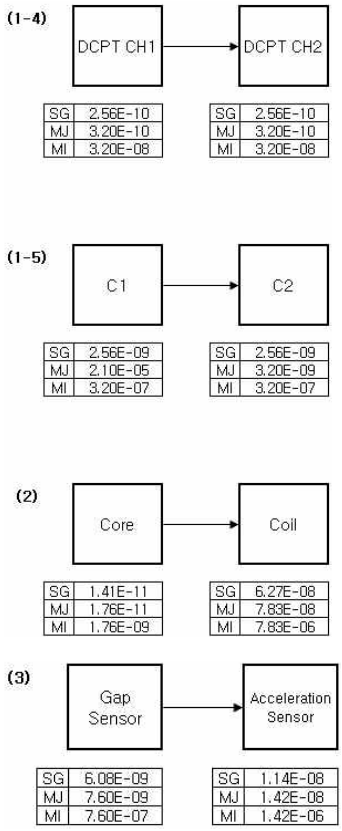
구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
Bogie System	7.24E-09	1.17E-09	2.34E-08	8.58E-07

(나) 부상장치 (Levitation System)

부상장치는 차량의 이동을 위해 부상력을 공급하는 장치로써 주요 구성품은 Magnet Drive, Magnet, Sensor 등으로 이루어져 있다. 이 주요 구성품은 직렬로 연력되어 있으나 Magnet Drive의 Control Unit의 내부 구조는 병렬로 연결되어 있어 구성 부품이 둘 중하나가 고장이 나면 나머지 하나가 백업받아 사용되는 리던던시 구조로 되어 있다. 다음은 부상장치의 Reliability Block Diagram을 나타낸다.




(1-2-1)
(1-2-2)
(1-2-3)
(1-2-4)
(1-2)
LPD
IGBT Module
Thermal Sensor
Thermal Fuse
SG 7.68E-08
MJ 9.60E-08
MI 9.60E-06
SG 1.02E-09
MJ 1.28E-09
MI 1.28E-07
SG 2.05E-09
MJ 2.56E-09
MI 2.56E-07
SG 5.12E-11
MJ 6.40E-11
MI 6.40E-09
(1-2-1)
LPD CH1
LPD CH2
LPD CH3
LPD CH4
SG 7.68E-08
MJ 9.60E-08
MI 9.60E-06
(1-2-2)
IGBT Module CH1
IGBT Module CH2
IGBT Module CH3
IGBT Module CH4
SG 2.56E-10
MJ 3.20E-10
MI 3.20E-08
(1-2-3)
DCPT CH1
DCPT CH2
DCPT CH3
DCPT CH4
DCCT CH1
DCCT CH2
DCCT CH3
DCCT CH4
SG 2.56E-10
MJ 3.20E-10
MI 3.20E-08
(1-2-4)
Fuse CH1
Fuse CH2
Fuse CH3
Fuse CH4
SG 1.28E-11
MJ 1.60E-11
MI 1.60E-09
(1-3)
Charging Resistor
Charging Contactor
SG 2.56E-09
MJ 3.20E-09
MI 3.20E-07
SG 3.84E-09
MJ 4.80E-09
MI 4.80E-07

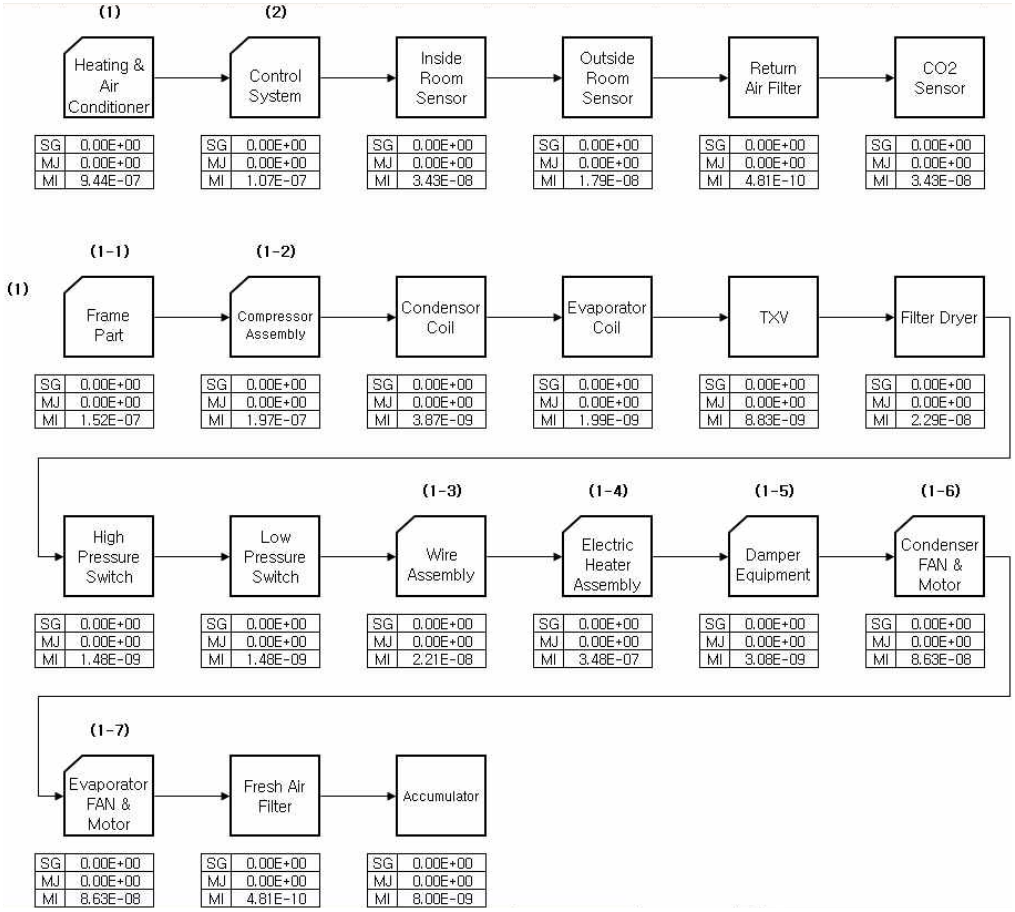


▣ Levitation System 신뢰성 예측 계산결과

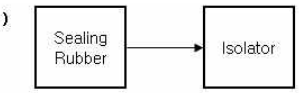
구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
Levitation System	5.01E-07	2.16E-05	6.27E-05	5.63E-04

(다) HVAC

HVAC는 냉방, 난방, 환기를 위한 공기조화장치로 차내에 쾌적한 환경을 제공하도록 환기, 반냉방, 전냉방의 3가지 모드로 제어되며 TCMS에 의해 일괄제어된다. 주요 구성품은 Heating & Air conditioner, Control System, Inside/Outside Sensor, $C0_2$ sensor등으로 구성되어 있다. 다음은 HVAC의 Reliability Block Diagram을 나타낸다.


(1)
Heating & Air Conditioner
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 9.44E-07
(2)
Control System
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.07E-07
Inside Room Sensor
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 3.43E-08
Outside Room Sensor
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.79E-08
Return Air Filter
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 4.81E-10
CO2 Sensor
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 3.43E-08
(1)
(1-1)
Frame Part
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.52E-07
(1-2)
Compressor Assembly
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.97E-07
Condensor Coil
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 3.87E-09
Evaporator Coil
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.99E-09
TXV
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 8.83E-09
Filter Dryer
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 2.29E-08
High Pressure Switch
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.48E-09
Low Pressure Switch
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.48E-09
(1-3)
Wire Assembly
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 2.21E-08
(1-4)
Electric Heater Assembly
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 3.48E-07
(1-5)
Damper Equipment
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 3.08E-09
(1-6)
Condenser FAN & Motor
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 8.63E-08
(1-7)
Evaporator FAN & Motor
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 8.63E-08
Fresh Air Filter
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 4.81E-10
Accumulator
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 8.00E-09

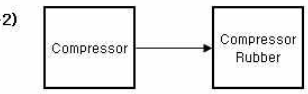
(1-1)



SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	7.68E-09

SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	1.45E-07

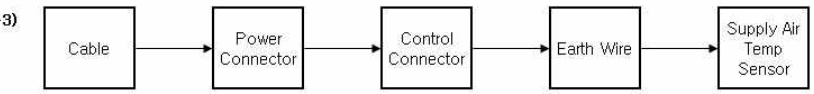
(1-2)



SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	4.44E-09

SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	1.93E-07

(1-3)



SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	2.00E-11

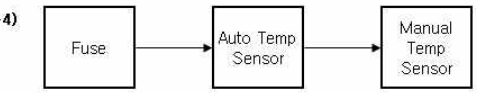
SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	2.60E-10

SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	2.02E-09

SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	2.64E-09

SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	1.72E-08

(1-4)

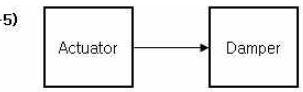


SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	8.02E-08

SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	1.34E-07

SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	1.34E-07

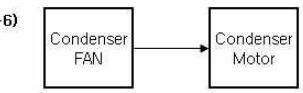
(1-5)



SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	2.40E-11

SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	3.06E-09

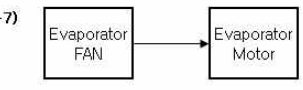
(1-6)



SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	2.24E-09

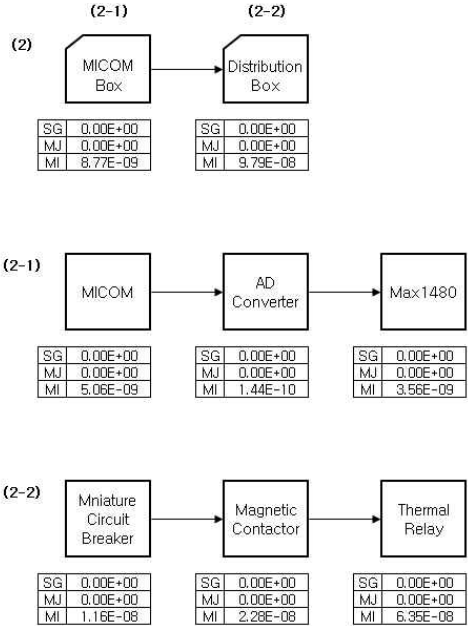
SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	8.40E-08

(1-7)



SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	2.24E-09

SG	0.00E+00
MJ	0.00E+00
MI	8.40E-08

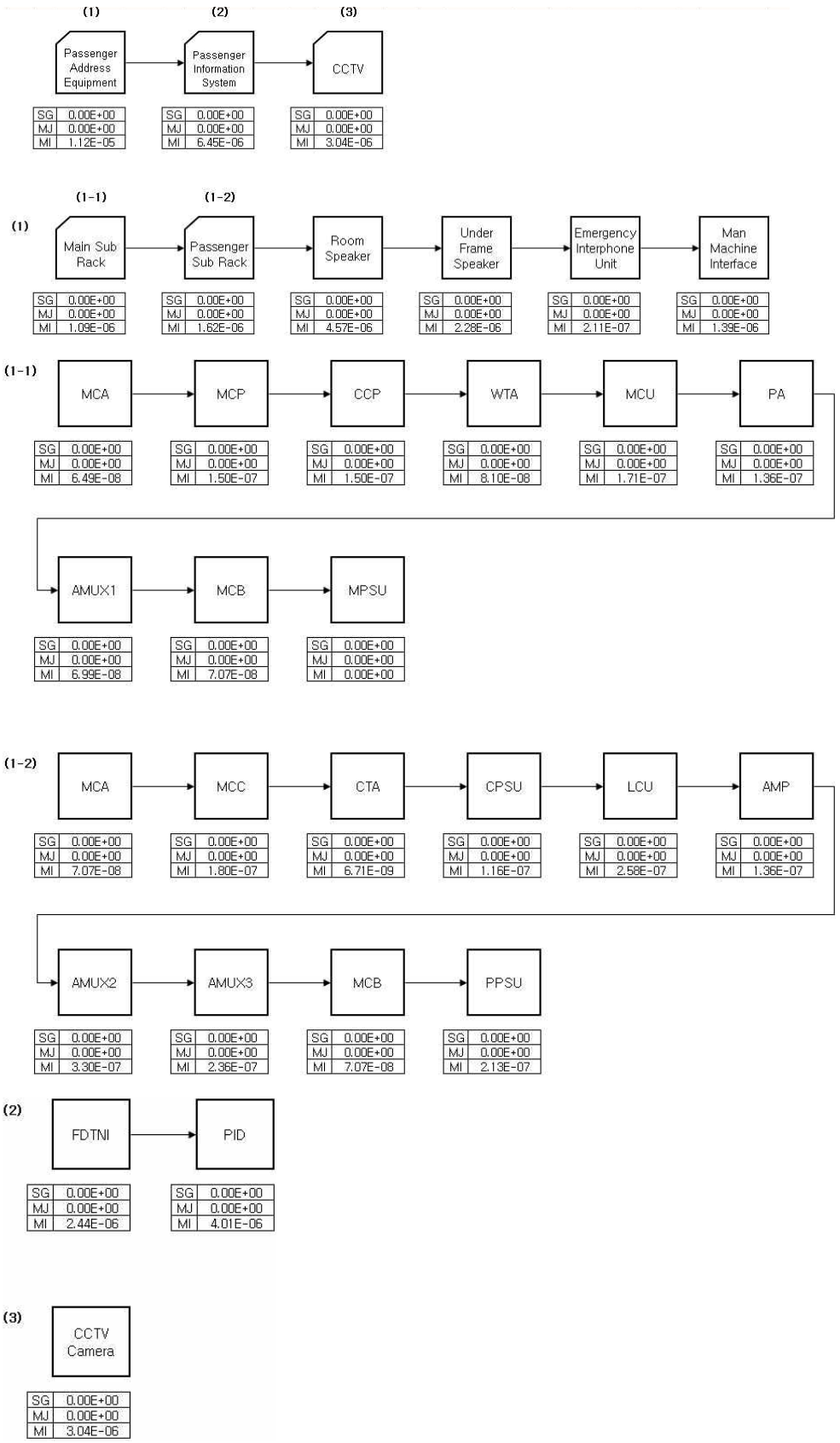


▣ HVAC System 신뢰성 예측 계산결과

구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
HVAC System	-	-	1.03E-06	8.61E-06

(라) 방송 및 표시기 장치 (Communication System)

차량의 방송 및 표시기장치는 차량의 안전운행 및 승객을 위한 자동 안내방송, 행선표시, 승객안내표시, 평상시의 공지사항 전달 및 비상시 안내방송 등을 행할 수 있는 장치이다. 자동 안내방송은 차량의 종합 제어장치와 연계하여 자동으로 안내방송이 될 수 있으며, 항시 차량에서의 자체 운용이 가능하다. 주요 구성장치는 Public Address Equipment, Passenger Information System, CCTV로 구성되며 직렬로 연결되어 있다. 다음은 방송 및 표시기 장치의 Reliability Block Diagram을 나타낸다.

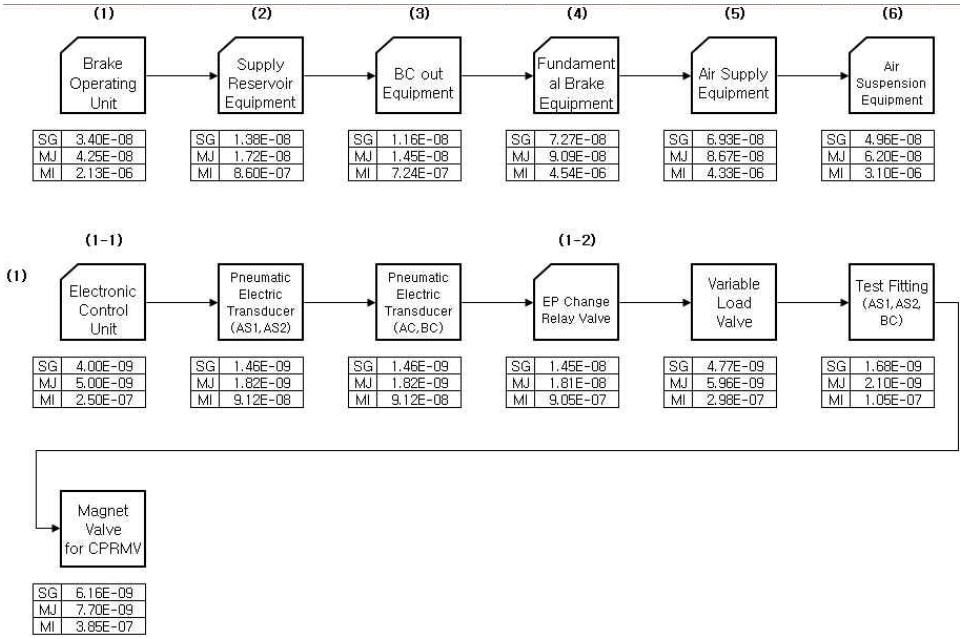

(1)
Passenger Address Equipment
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.12E-05
(2)
Passenger Information System
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 6.45E-06
(3)
CCTV
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 3.04E-06
(1)
(1-1)
Main Sub Rack
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.09E-06
(1-2)
Passenger Sub Rack
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.62E-06
Room Speaker
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 4.57E-06
Under Frame Speaker
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 2.28E-06
Emergency Interphone Unit
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 2.11E-07
Man Machine Interface
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.39E-06
(1-1)
MCA
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 6.49E-08
MCP
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.50E-07
CCP
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.50E-07
WTA
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 8.10E-08
MCU
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.71E-07
PA
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.36E-07
AMUX1
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 6.99E-08
MCB
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 7.07E-08
MPSU
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 0.00E+00
(1-2)
MCA
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 7.07E-08
MCC
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.80E-07
CTA
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 6.71E-09
CPSU
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.16E-07
LCU
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 2.58E-07
AMP
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 1.36E-07
AMUX2
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 3.30E-07
AMUX3
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 2.36E-07
MCB
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 7.07E-08
PPSU
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 2.13E-07
(2)
FDTNI
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 2.44E-06
PID
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 4.01E-06
(3)
CCTV Camera
SG 0.00E+00
MJ 0.00E+00
MI 3.04E-06

▣ 방송 및 표시기 신뢰성 예측 계산결과

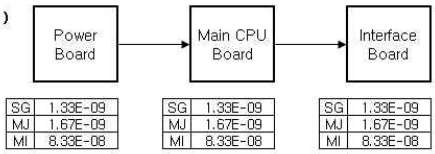
구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
방송 및 표시기	-	-	2.07E-05	3.92E-04

(마) 제동 및 공기공급장치 (Brake & Air Supply System)

제동장치는 전기적으로 제어되며, 전기제동(회생제동)이 주가 되고, 부족분을 기계제동이 보충하는 방식으로서, 회생제동 고장 또는 실패의 경우도 승무원의 추가조작이 필요없이 자동적으로 기계제동으로 전환되어 소요 제동력을 만족시킬 수 있는 장치이다. 공기공급장치는 전 차량에 압축공기로 제어되는 Air Spring 및 기타 장치를 작동시키는데 사용되는 장치이다. 제동 및 공기급장치의 주요 부품 구성은 Brake Operating Unit, Supply Reservoir Equipment, Fundamental Brake Equipment, Air Supply Unit, Air Suspension Unit으로 구성되어 있다. 다음은 제동 및 공기공급장치의 Reliability Block Diagram을 나타낸다.

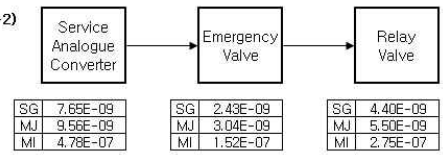


(1-1)



SG	1.33E-09	SG	1.33E-09	SG	1.33E-09
MJ	1.67E-09	MJ	1.67E-09	MJ	1.67E-09
MI	8.33E-08	MI	8.33E-08	MI	8.33E-08

(1-2)



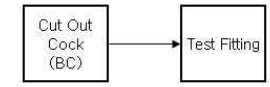
SG	7.65E-09	SG	2.43E-09	SG	4.40E-09
MJ	9.56E-09	MJ	3.04E-09	MJ	5.50E-09
MI	4.78E-07	MI	1.52E-07	MI	2.75E-07

(2)



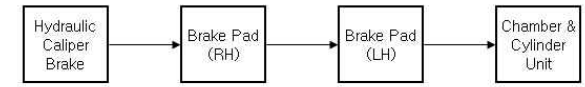
SG	1.38E-08
MJ	1.72E-08
MI	8.60E-07

(3)



SG	8.22E-09	SG	3.36E-09
MJ	1.03E-08	MJ	4.20E-09
MI	5.14E-07	MI	2.10E-07

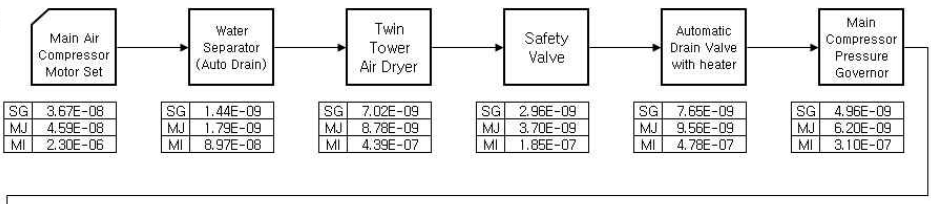
(4)



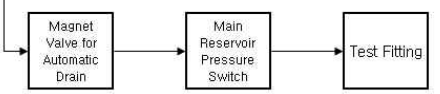
SG	5.04E-08	SG	6.72E-09	SG	6.72E-09	SG	8.90E-09
MJ	6.30E-08	MJ	8.40E-09	MJ	8.40E-09	MJ	1.11E-08
MI	3.15E-06	MI	4.20E-07	MI	4.20E-07	MI	5.56E-07

(5-1)

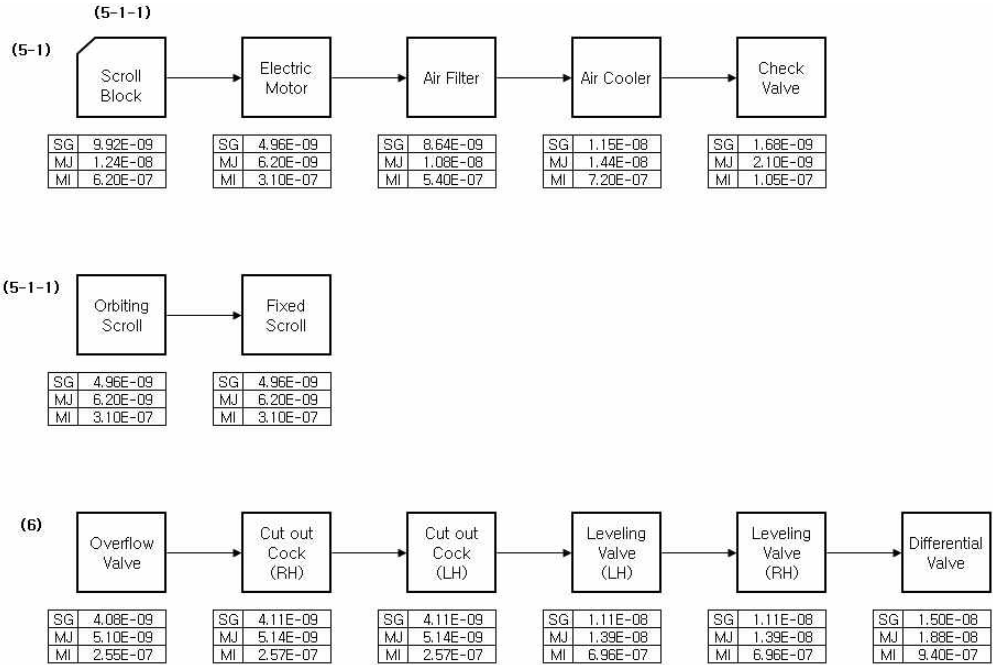
(5)



SG	3.67E-08	SG	1.44E-09	SG	7.02E-09	SG	2.96E-09	SG	7.65E-09	SG	4.96E-09
MJ	4.59E-08	MJ	1.79E-09	MJ	8.78E-09	MJ	3.70E-09	MJ	9.56E-09	MJ	6.20E-09
MI	2.30E-06	MI	8.97E-08	MI	4.39E-07	MI	1.85E-07	MI	4.78E-07	MI	3.10E-07



SG	4.96E-09	SG	1.95E-09	SG	1.68E-09
MJ	6.20E-09	MJ	2.44E-09	MJ	2.10E-09
MI	3.10E-07	MI	1.22E-07	MI	1.05E-07

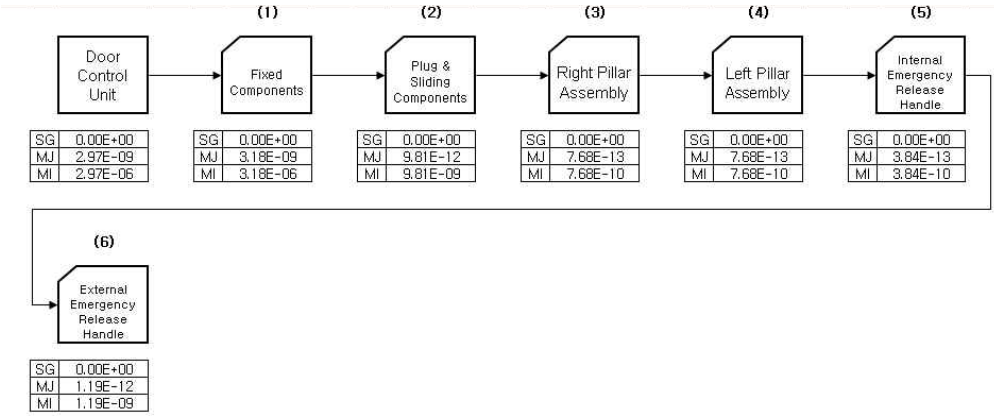


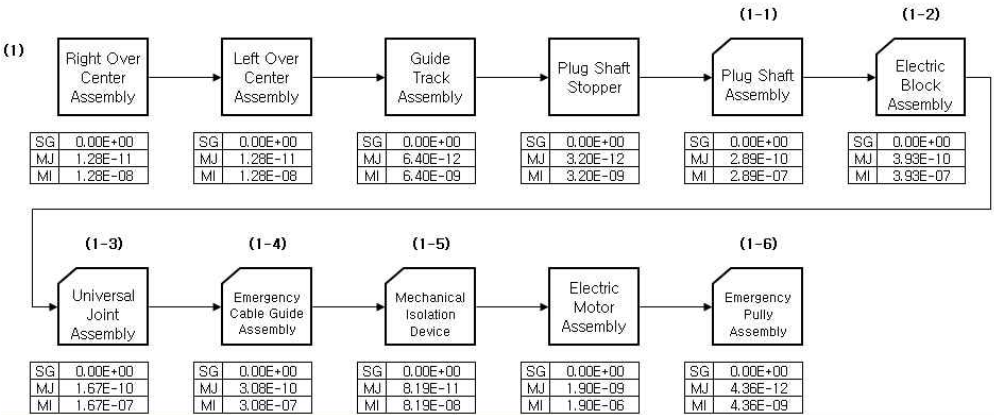
▣ 제동 및 공기공급장치 신뢰성 예측 계산결과

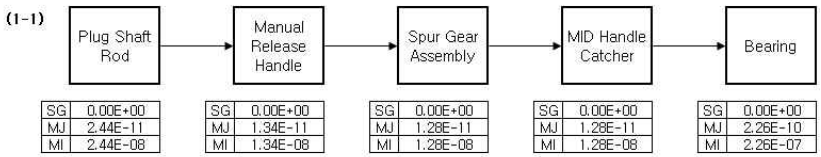
구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
제동 및 공기공급장치	2.51E-07	3.14E-07	1.57E-05	2.98E-04

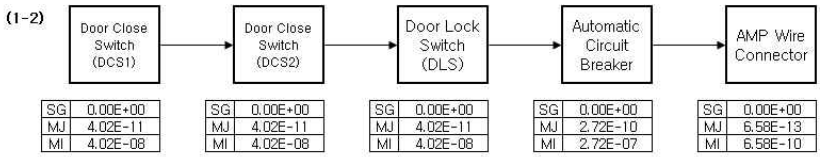
(바) 출입문장치 (Passenger Door System)

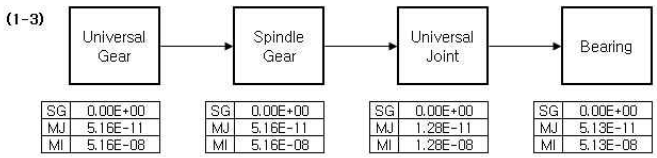
승객용 출입문은 차상신호장치나 스위치에 의해 전기적으로 제어되는 전기 작동식 도어엔진에 의해 개폐되고 도어엔진 내에 전기식과 기계식 잠금장치가 내장되어 무 전원시를 대비하여 수동으로 잠금장치의 개폐가 가능하다. 출입문은 완전 정차상태에서만 작동되고, 출입문 불완전 폐쇄시 차량운행이 불가능하도록 차량의 추진장치와 인터록킹 제어되도록 되어있다. 출입문은 각 장치간 직렬로 구성되어 있으며, 다음은 출입문장치의 Reliability Block Diagram을 나타낸다.

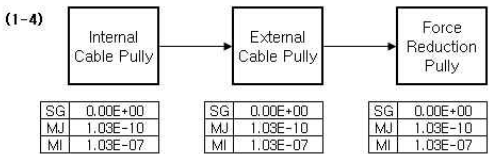

Door Control Unit
(1)
Fixed Components
(2)
Plug & Sliding Components
(3)
Right Pillar Assembly
(4)
Left Pillar Assembly
(5)
Internal Emergency Release Handle
(6)
External Emergency Release Handle
SG 0.00E+00
MJ 2.97E-09
MI 2.97E-06
SG 0.00E+00
MJ 3.18E-09
MI 3.18E-06
SG 0.00E+00
MJ 9.81E-12
MI 9.81E-09
SG 0.00E+00
MJ 7.68E-13
MI 7.68E-10
SG 0.00E+00
MJ 7.68E-13
MI 7.68E-10
SG 0.00E+00
MJ 3.84E-13
MI 3.84E-10
SG 0.00E+00
MJ 1.19E-12
MI 1.19E-09

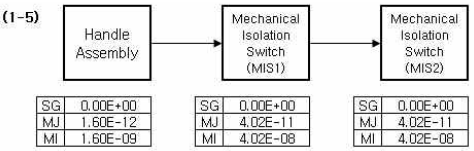

(1)
Right Over Center Assembly
Left Over Center Assembly
Guide Track Assembly
Plug Shaft Stopper
(1-1)
Plug Shaft Assembly
(1-2)
Electric Block Assembly
(1-3)
Universal Joint Assembly
(1-4)
Emergency Cable Guide Assembly
(1-5)
Mechanical Isolation Device
Electric Motor Assembly
(1-6)
Emergency Pully Assembly
SG 0.00E+00
MJ 1.28E-11
MI 1.28E-08
SG 0.00E+00
MJ 1.28E-11
MI 1.28E-08
SG 0.00E+00
MJ 6.40E-12
MI 6.40E-09
SG 0.00E+00
MJ 3.20E-12
MI 3.20E-09
SG 0.00E+00
MJ 2.89E-10
MI 2.89E-07
SG 0.00E+00
MJ 3.93E-10
MI 3.93E-07
SG 0.00E+00
MJ 1.67E-10
MI 1.67E-07
SG 0.00E+00
MJ 3.08E-10
MI 3.08E-07
SG 0.00E+00
MJ 8.19E-11
MI 8.19E-08
SG 0.00E+00
MJ 1.90E-09
MI 1.90E-06
SG 0.00E+00
MJ 4.36E-12
MI 4.36E-09

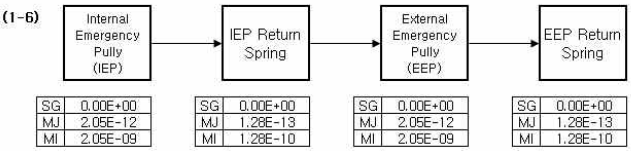

(1-1)
Plug Shaft Rod
Manual Release Handle
Spur Gear Assembly
MID Handle Catcher
Bearing
SG 0.00E+00
MJ 2.44E-11
MI 2.44E-08
SG 0.00E+00
MJ 1.34E-11
MI 1.34E-08
SG 0.00E+00
MJ 1.28E-11
MI 1.28E-08
SG 0.00E+00
MJ 1.28E-11
MI 1.28E-08
SG 0.00E+00
MJ 2.26E-10
MI 2.26E-07

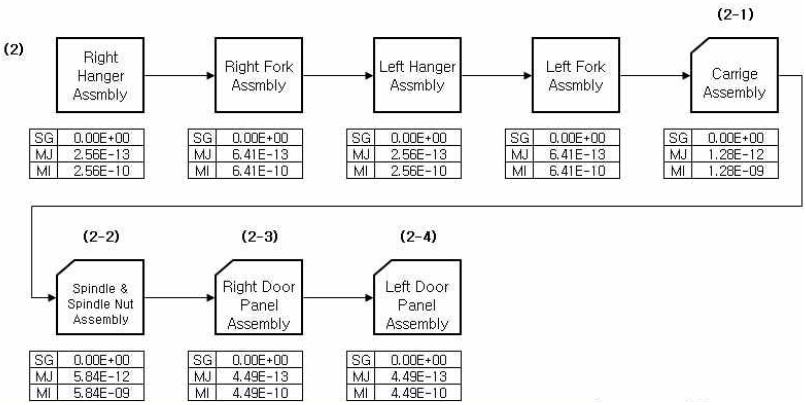

(1-2)
Door Close Switch (DCS1)
Door Close Switch (DCS2)
Door Lock Switch (DLS)
Automatic Circuit Breaker
AMP Wire Connector
SG 0.00E+00
MJ 4.02E-11
MI 4.02E-08
SG 0.00E+00
MJ 4.02E-11
MI 4.02E-08
SG 0.00E+00
MJ 4.02E-11
MI 4.02E-08
SG 0.00E+00
MJ 2.72E-10
MI 2.72E-07
SG 0.00E+00
MJ 6.58E-13
MI 6.58E-10

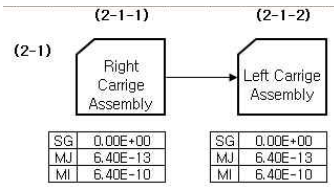

(1-3)
Universal Gear
Spindle Gear
Universal Joint
Bearing
SG 0.00E+00
MJ 5.16E-11
MI 5.16E-08
SG 0.00E+00
MJ 5.16E-11
MI 5.16E-08
SG 0.00E+00
MJ 1.28E-11
MI 1.28E-08
SG 0.00E+00
MJ 5.13E-11
MI 5.13E-08

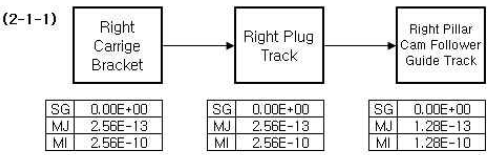

(1-4)
Internal Cable Pully
External Cable Pully
Force Reduction Pully
SG 0.00E+00
MJ 1.03E-10
MI 1.03E-07
SG 0.00E+00
MJ 1.03E-10
MI 1.03E-07
SG 0.00E+00
MJ 1.03E-10
MI 1.03E-07


(1-5)
Handle Assembly
Mechanical Isolation Switch (MIS1)
Mechanical Isolation Switch (MIS2)
SG 0.00E+00
MJ 1.60E-12
MI 1.60E-09
SG 0.00E+00
MJ 4.02E-11
MI 4.02E-08
SG 0.00E+00
MJ 4.02E-11
MI 4.02E-08

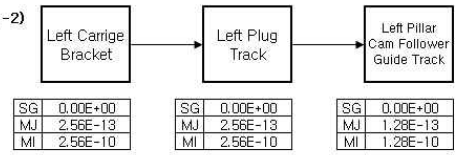

(1-6)
Internal Emergency Pully (IEP)
IEP Return Spring
External Emergency Pully (EEP)
EEP Return Spring
SG 0.00E+00
MJ 2.05E-12
MI 2.05E-09
SG 0.00E+00
MJ 1.28E-13
MI 1.28E-10
SG 0.00E+00
MJ 2.05E-12
MI 2.05E-09
SG 0.00E+00
MJ 1.28E-13
MI 1.28E-10


(2)
Right Hanger Assmbly
Right Fork Assmbly
Left Hanger Assmbly
Left Fork Assmbly
(2-1)
Carrige Assembly
SG 0.00E+00
MJ 2.56E-13
MI 2.56E-10
SG 0.00E+00
MJ 6.41E-13
MI 6.41E-10
SG 0.00E+00
MJ 2.56E-13
MI 2.56E-10
SG 0.00E+00
MJ 6.41E-13
MI 6.41E-10
SG 0.00E+00
MJ 1.28E-12
MI 1.28E-09
(2-2)
(2-3)
(2-4)
Spindle & Spindle Nut Assembly
Right Door Panel Assembly
Left Door Panel Assembly
SG 0.00E+00
MJ 5.84E-12
MI 5.84E-09
SG 0.00E+00
MJ 4.49E-13
MI 4.49E-10
SG 0.00E+00
MJ 4.49E-13
MI 4.49E-10


(2-1-1)
(2-1-2)
(2-1)
Right Carrige Assembly
Left Carrige Assembly
SG 0.00E+00
MJ 6.40E-13
MI 6.40E-10
SG 0.00E+00
MJ 6.40E-13
MI 6.40E-10


(2-1-1)
Right Carrige Bracket
Right Plug Track
Right Pillar Cam Follower Guide Track
SG 0.00E+00
MJ 2.56E-13
MI 2.56E-10
SG 0.00E+00
MJ 2.56E-13
MI 2.56E-10
SG 0.00E+00
MJ 1.28E-13
MI 1.28E-10

(2-1-2)

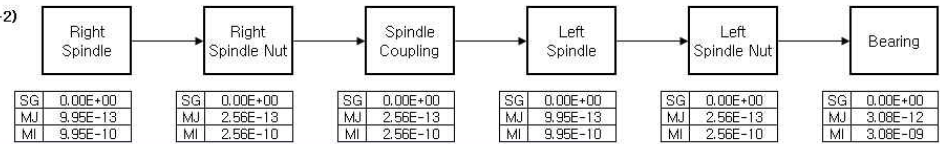


SG	0.00E+00
MJ	2.56E-13
MI	2.56E-10

SG	0.00E+00
MJ	2.56E-13
MI	2.56E-10

SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

(2-2)



SG	0.00E+00
MJ	9.95E-13
MI	9.95E-10

SG	0.00E+00
MJ	2.56E-13
MI	2.56E-10

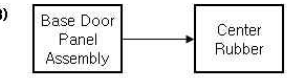
SG	0.00E+00
MJ	2.56E-13
MI	2.56E-10

SG	0.00E+00
MJ	9.95E-13
MI	9.95E-10

SG	0.00E+00
MJ	2.56E-13
MI	2.56E-10

SG	0.00E+00
MJ	3.08E-12
MI	3.08E-09

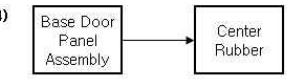
(2-3)



SG	0.00E+00
MJ	6.40E-14
MI	6.40E-11

SG	0.00E+00
MJ	3.85E-13
MI	3.85E-10

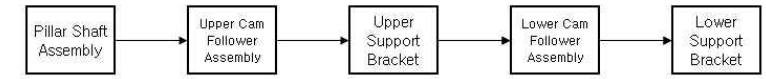
(2-4)



SG	0.00E+00
MJ	6.40E-14
MI	6.40E-11

SG	0.00E+00
MJ	3.85E-13
MI	3.85E-10

(3)



SG	0.00E+00
MJ	2.56E-13
MI	2.56E-10

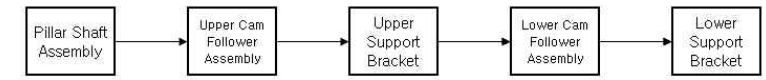
SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

(4)



SG	0.00E+00
MJ	2.56E-13
MI	2.56E-10

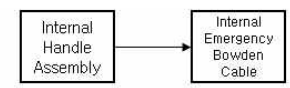
SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

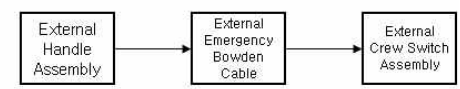
(5)



SG	0.00E+00
MJ	2.56E-13
MI	2.56E-10

SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

(6)



SG	0.00E+00
MJ	2.56E-13
MI	2.56E-10

SG	0.00E+00
MJ	1.28E-13
MI	1.28E-10

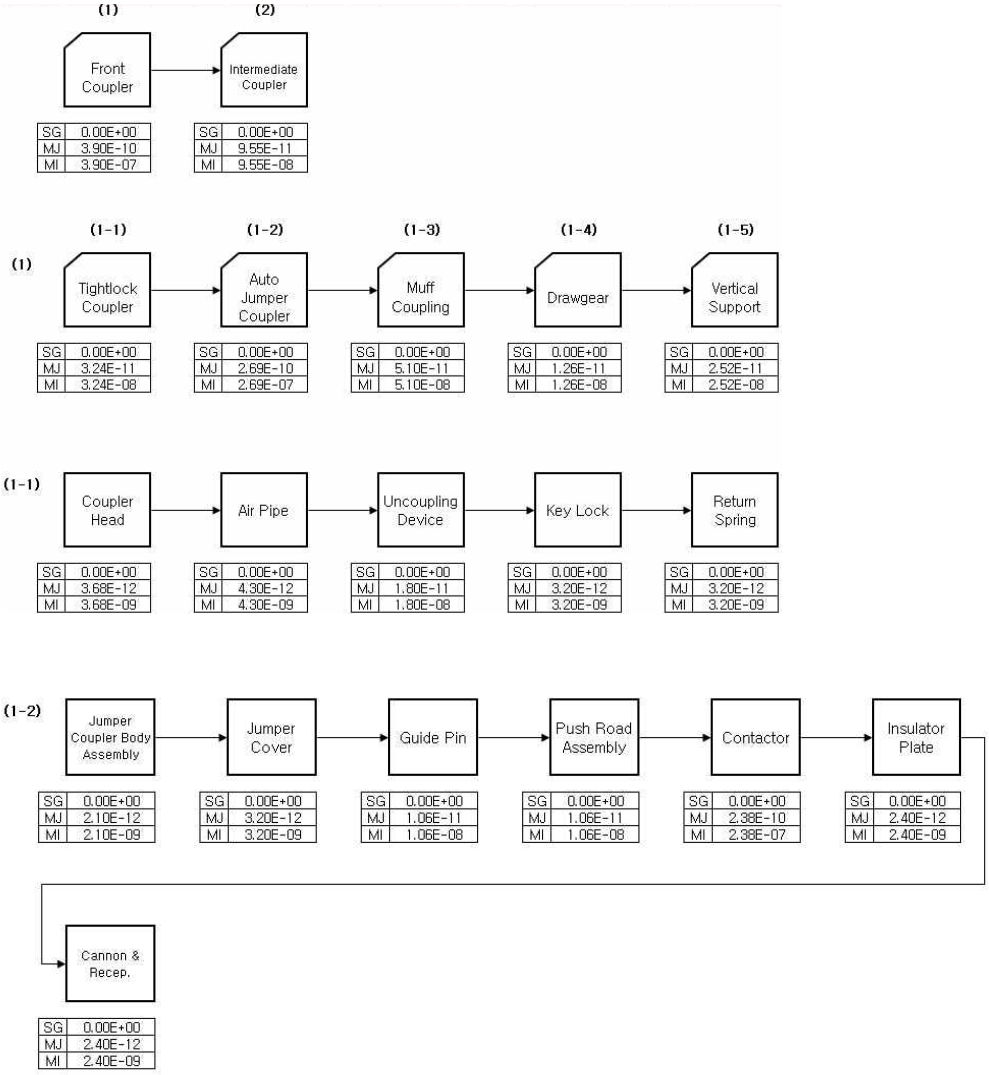
SG	0.00E+00
MJ	8.03E-13
MI	8.03E-10

▣ 출입문 장치 신뢰성 예측 계산결과

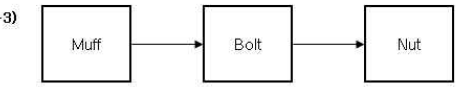
구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
출입문 장치	-	6.16E-09	6.16E-06	5.54E-05

(사) 연결장치 (Coupler System)

연결장치는 선로 최소곡선 통과 시에도 수직 및 수평방향으로 정상적인 작동이 되고, 차량간 상이한 견인력 및 제동력에 대한 강도를 가져며 충격을 흡수할 수 있는 구조된 장치이다. 연결장치의 주요 구성품은 Front Coupler, Intermediate Coupler 구성되어 있으며, 직렬 연결되어 있다. 다음은 연결장치의 Reliability Block Diagram을 나타낸다.

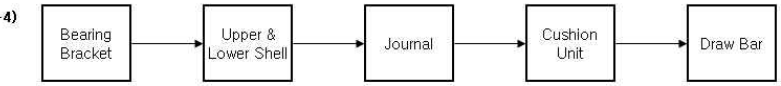


(1-3)



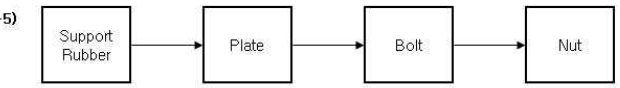
SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00
MJ	1.02E-11	MJ	2.04E-11	MJ	2.04E-11
MI	1.02E-08	MI	2.04E-08	MI	2.04E-08

(1-4)



SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00
MJ	3.40E-12	MJ	6.80E-12	MJ	6.80E-13	MJ	1.36E-12	MJ	3.40E-13
MI	3.40E-09	MI	6.80E-09	MI	6.80E-10	MI	1.36E-09	MI	3.40E-10

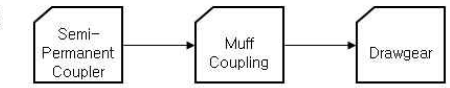
(1-5)



SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00
MJ	4.20E-12	MJ	4.20E-12	MJ	8.40E-12	MJ	8.40E-12
MI	4.20E-09	MI	4.20E-09	MI	8.40E-09	MI	8.40E-09

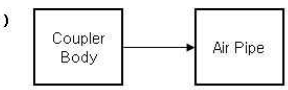
(2)

(2-1) (2-2) (2-3)



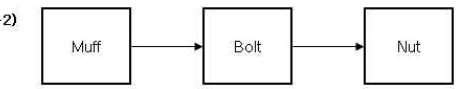
SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00
MJ	3.19E-11	MJ	5.10E-11	MJ	1.26E-11
MI	3.19E-08	MI	5.10E-08	MI	1.26E-08

(2-1)



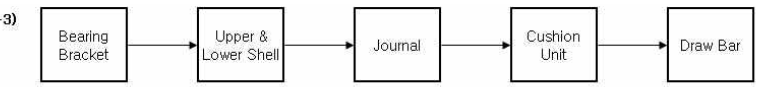
SG	0.00E+00	SG	0.00E+00
MJ	1.47E-11	MJ	1.72E-11
MI	1.47E-08	MI	1.72E-08

(2-2)



SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00
MJ	1.02E-11	MJ	2.04E-11	MJ	2.04E-11
MI	1.02E-08	MI	2.04E-08	MI	2.04E-08

(2-3)



SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00	SG	0.00E+00
MJ	3.40E-12	MJ	6.80E-12	MJ	6.80E-13	MJ	1.36E-12	MJ	3.40E-13
MI	3.40E-09	MI	6.80E-09	MI	6.80E-10	MI	1.36E-09	MI	3.40E-10

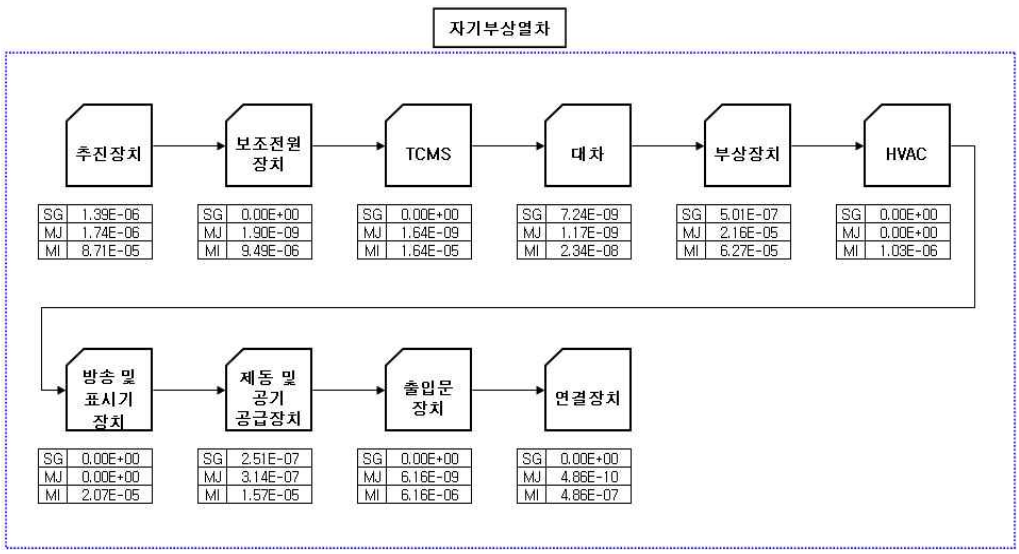
▣ 연결장치 신뢰성 예측 계산결과

구 분	년간고장건수			
	SG	MJ	Mi	Ne
연결장치	-	4.86E-10	4.86E-07	4.81E-05

(5) 완성차 신뢰성 예측결과

완성차는 각 서브시스템이 유기적으로 결합하여 차량의 성능을 발휘하는 종합적인 구조체이다. 자기부상열차는 전자부품과 기계부품으로 구성되어 있으며 전자부품이 주류를 이루고 있다. 따라서, 완성차 신뢰성 예측을 위해 각 부품의 수명은 지수분포를 따르는 것으로 가정하고 차량 운행시 발생될 수 있는 고장시나리오를 고려하여 차량을 구성하는 서브시스템의 예측결과를 바탕으로 완성차에 대한 신뢰성 예측을 수행하였다. 완성차를 구성하는 각 서브시스템이 고장이 발생하면 직간접적으로 서비스영업운전에 영향을 주며 직렬로 구성되어 있다. 차량의 각 서브시스템은 크기와 중량이 전자제품과는 다르게 규모가 크므로 리던던시 구현이 어렵고 각 서브시스템 중 차량 운행시 영향을 주는 서브시스템 내부적으로 리던던시 기능 또는 안전장치를 설계하여 차량의 안전성을 증대되도록 설계되어 있다.

다음은 완성차의 신뢰성 블록 다이어그램을 나타낸다.



▣ 완성차 신뢰성 예측 계산결과

구 분	고장건수/Hour		
	SG	MJ	MI
추진장치	1.39E-06	1.74E-06	8.71E-05
보조전원장치	0.00E+00	1.90E-09	9.49E-06
TCMS	0.00E+00	1.64E-09	1.64E-05
대차	7.24E-09	1.17E-09	2.34E-08
부상장치	5.01E-07	2.16E-05	6.27E-05
HVAC	0.00E+00	0.00E+00	1.03E-06
방송 및 표시기 장치	0.00E+00	0.00E+00	2.07E-05
제동 및 공기공급장치	2.51E-07	3.14E-07	1.57E-05
출입문 장치	0.00E+00	6.16E-09	6.16E-06
연결장치	0.00E+00	4.86E-10	4.86E-07
완성차 (1편성)	2.15E-06	2.37E-05	2.20E-04
Target (1편성)	2.58E-06	8.58E-05	6.82E-04

(6) 완성차 위험도 분석 결과

완성차 위험도 분석은 FMECA와 Hazard Analysis를 통하여 다음과 같이 분석하였다.

(가) 고장 유형, 결과 및 치명도 분석 (FMECA)

FMECA (고장 유형, 결과 및 치명도 분석)의 목적은 차량을 구성하고 있는 각 서브시스템의 고장이 서브시스템의 기능 및 차량 전체의 기능에 어떠한 영향을 미치는 지 분석함에 있다. 다음은 차량 주요장치를 포함한 완성차를 구성하고 있는 주요 부품과 고장유형이 요약되어 있으며, 7절의 첨부와 같이 완성차를 구성하는 각 구성품의 상세 고장유형 및 결과가 기술되어 있다.

장치명	고장 유형 수	주요 고장 유형
추진장치	110	· Graphite 파손 · 주접점 소손/트립 · 제어기에서 이상 전류 감지 · 인터페이스 불능 · 먼지 및 이물질 유입
보조전원장치	88	· Mechanical Failure · Electrical short · Electrical Overstress · Electrical open · Input/Output signal port failure · Wire Bond Failure
TCMS	38	· No Operation · Electrical short · Electrical Overstress · Electrical open · Wire Bond Failure
대차	13	· Fracture / Crack · Oil leakage · Air leakage
부상장치	68	· 내부 부품 소손 · Open · Short
HVAC	34	· 균열 및 누설 또는 이물질 막힘 · 전기부품 동작불량 · 부품소손 · 팬 회전불량
방송 및 표시기 장치	68	· 네트워크 연결 불량 · 보드기능불능

장치명	고장 유형 수	주요 고장 유형
		· 외부 장치와 통신연결 끊김
제동 및 공기공급장치	53	· 공기누설 · 공기 압축 실패 · 제동제어실패 · 유압누유
출입문장치	109	· 쇼트발생 · 접점불가 · 제어상실 · Snap Action 동작 지연 · Spring 고정부 이탈 · 동작지연
연결장치	50	· 공기누설 · 접촉 불량 · 연결기 회전불량 · 완충장치 손상

(나) 위험도 분석 (Hazard Analysis)

차량시스템 위험 관리 절차에 따라 주요 장치에 대한 위험 분석을 통해 차량에 잠재되어 있는 위험성을 판별하기 위하여 예비위험분석(PHA)을 실시하였으며, 식별된 위험 요소들은 모두 Hazard Log(위험 기록서)에 기록되었다. 또한 Hazard Log(위험 기록서)에 기록된 위험 요소들을 위험 요소의 빈도수와 심각도를 기준으로 위험도를 평가하였으며, 이에 대한 저감책을 발굴/실시하여 차량 운행시 예상되는 위험 요소를 평가하였다. 본 절에서는 차량의 주요 장치를 포함한 완성차에 대한 위험도 분석 결과에 대해 서술하였으며 완성차량에 대한 위험도 분석결과는 7절의 Hazard Log(위험 기록서)에 기술되어 있으며 그 현

황은 다음과 같다.

위 험 등 록 현 황											
시스템		최초위험도					잔존위험도				
		계	In	Un	To	Ne	계	In	Un	To	Ne
1	추진장치	16	0	10	6	0	16	0	0	10	6
2	보조전원시스템	5	0	1	2	2	5	0	0	1	4
3	TCMS	2	0	1	1	0	2	0	0	1	1
4	대차	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0
5	부상장치	7	0	0	7	0	7	0	0	0	7
6	HVAC	13	0	0	2	11	13	0	0	0	13
7	방송 및 표시기 장치	9	0	0	6	3	9	0	0	0	9
8	제동 및 공기 공급 장치	39	0	11	28	0	39	0	0	11	28
9	출입문 장치	7	0	7	0	0	7	0	0	7	0
10	연결 장치	15	0	0	3	12	15	0	0	0	15
11	Signaling Interface	2	0	2	0	0	2	0	0	2	0

(7) 완성차 정비성 분석 결과

완성차의 정비성은 차량 운행시 고장이 발생하였을 경우 이에 대한 고장 수리를 하는 보수정비에 대한 평균수리시간을 예측하여 분석하였다. 평균수리시간은 차량의 운행 중 고장 수리에 따른 평균 수리 시간이다. 수리 방법은 교체를 원칙으로 하며 최선의 방법으로 수리 했을 경우의 시간을 고려한다. 따라서 평균수리시간에는 물류지연, 관리지연, 오사용 및 오정비로 인한 지연을 포함하지 않는다. 설계단계에서 차량을 구성하는 서브시스템의 LRU단위의 고장에 따른 교체시간을 예상하여 이를 바탕으로 고장률과 연계하여 차량의 정비성을 예측하였다.

완성차 $MTTR_{system}$ 예측은 다음의 식을 사용하여 계산하였다.

$$MTTR_{system} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\lambda_i * Q_i * MTTR_i)}{\sum_{i=1}^{n}(\lambda_i * Q_i)}$$

여기서,

$MTTR_i$ = 각 LRU (Line Replaceable Unit)의 수리시간

Q_i = 차량에 장착된 LRU의 수량

λ_i = 각 LRU의 고장률

다음은 각 서브시스템과 완성차의 정비성 예측결과이다.

서브시스템	고장률/Train	Maintenance Ratio	MTTR (Hour)
추진장치	1.74E-03	6.03E-04	0.35
보조전원장치	9.49E-05	6.54E-05	0.69
TCMS	2.27E-04	1.87E-04	0.83
대차	1.17E-06	1.15E-06	0.98
부상장치	1.05E-03	5.81E-04	0.56
HVAC	1.14E-04	1.69E-04	1.49
방송 및 표시기	4.13E-04	2.07E-04	0.50
제동 및 공기공급장치	3.14E-04	3.77E-04	1.20
출입문장치	6.16E-05	2.53E-05	0.41
연결장치	4.86E-05	3.58E-05	0.74
완성차	4.06E-03	2.13E-03	0.53

(8) 결 론

자기부상열차의 신뢰성 예측결과 차량의 주요 장치에 대한 고장비율은 각 장치별로 유사하게 분석되었으나 추진장치와 부상장치가 자기부상열차 서비스 운행에 영향을 많이 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 보통 10량 1편성으로 구성된 다른 도시철도 차량은 추진장치가 1개가 고장이 나도 다른 차량의 추진장치가 백업받아 정상운행이 가능하나 자기부상열차는 2량1편성으로 구성되고 추진장치가 둘 중 1장치가 고장이 발생하면 반감운전을 해야 하는 경우가 발생하고 자기부상열차는 차륜으로 구동하는 방식이 아닌 전자석의 부상력을 이용하기 때문에 이 두 장치가 서비스 운행에 직접적인 영향을 주는 결과를 가져올 수 밖에 없다. 따라

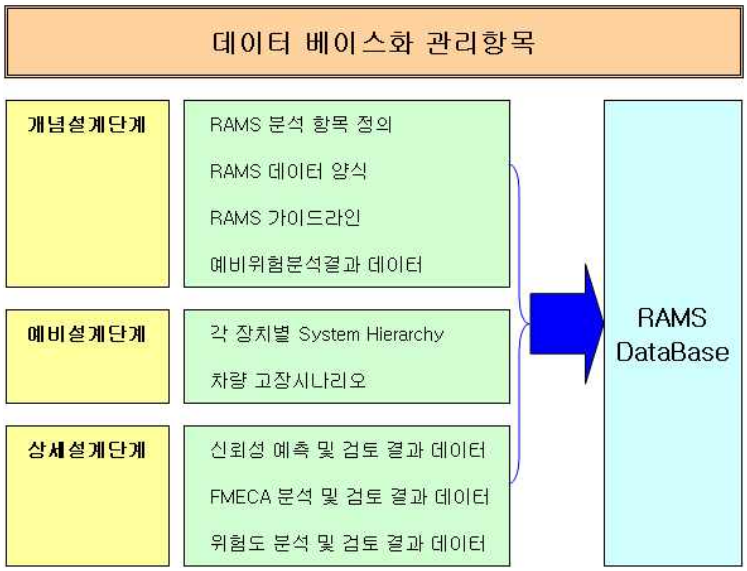
서, 추진장치와 부상장치에 대한 철저한 예방정비가 필요하며 운영처의 고장발생에 대한 고장대처 방안 시나리오를 수립하여 고장을 최소화 하는 방안을 구현해야 할 것으로 판단된다. 또한, 자기부상열차의 안전성 평가는 충돌, 화재, 감전등 차량 운행 또는 정비시 승객이나 기관사, 정비사등에 발생될 수 있는 상황을 정리하여 저감대책을 수립하였다.

현재까지 분석된 자기부상열차의 RAMS분석은 신규 개발 프로젝트로 차량에 대한 RAMS분석에 기초가 되는 데이터를 필드데이터가 아닌 부품의 고장데이터북 또는 상용데이터북을 사용을 하여 분석되었고 국내 운영환경에 부합하는 비교 가능한 모델이 없어 실제 자기부상열차의 RAMS 성능을 비교판단하기에는 어려움이 있다. RAMS 분석활동은 프로젝트를 진행하면서 수행 관리해야 할 활동을 기술하는 프로세스이므로 부품단위의 시험분석결과와 같이 정량적으로 값이 정해지는 것이 아니다. 이는 통계적인 개념이 RAMS분석에 적용되고 엔지니어의 경험등 human factor가 분석업무에 적용되므로 분석결과가 현실과 흡사하게 모사하기는 어렵다. 그러므로 자기부상열차 설계단계에서는 RAMS 활동에 따르는 이론적인 분석업무를 수행하고 자기부상열차가 상용화되어 차량 운행시 발생되는 고장데이터를 수집하여 설계단계에서 분석된 결과와 실제 고장데이터와의 관계를 비교 분석하는 것이 필요하다. 또한, 비교 분석된 결과를 자기부상열차 RAMS 데이터베이스를 활용하여 주기적으로 자료를 업데이트 하여야 할 것이다. 이러한 활동들이 누적 관리된 축적된 자료들은 향후 타 프로젝트 개발에 참고자료로 활용이 가능하며 차량 설계시 문제점에 대한 보완사항을 파악하는 데 도움이 될 것으로 기대된다.

하. 완성차 RAMS 분석결과 데이터베이스화

완성차 RAMS 분석결과는 주요 장치의 RAMS 분석을 위한 양식을 활용하여 분석되었으며 이 결과는 데이터베이스를 활용하여 설계기간동안 관리되었다.

RAMS데이터는 상세설계 완료까지 다음과 같은 관리항목을 선정하여 데이터베이스화 하였다. 향후 차량의 실제 운영시 발생되는 고장데이터를 수집하여 추가할 것이다.



[그림 104]데이터 베이스화 관리항목

완성차 RAMS 데이터베이스화 결과는 각 장치별로 RAMS분석양식에 데이터가 정리되어 있으며 이는 첨부에 나타내었다.

거. 유사시스템 LCC 모델 사례분석

(1) LCC 기본 개념

본 장에서는 수명주기비용(life cycle cost)에 대해서 규격 IEC 60300-3-3의 내용을 중심으로 정리하여 나타내었다.

(가) 수명주기비용(life cycle cost) 이란

1) 용어

- 수명주기비용(LCC, life cycle cost) : 제품의 개념에서 폐기까지 전 수명주기 동안의 비용의 합
- 수명주기비용 산정(life cycle costing) : 전수명주기 또는 일정기간 동안의 제품의 획득, 소유 및 폐기에 드는 총 비용을 산정하기 위한 경제적 분석 절차

2) 수명주기비용 산정

수명주기비용 산정의 기본 목적은 제품의 수명 주기의 일부 또는 모든 단계에서 의사결정을 위한 입력(자료) 제공이며, 수명주기비용(LCC) 모델을 준비하는 중요한 목적은 LCC에 주요한 영향을 끼치거나, 구체적 적용을 위해 특별히 관심되는 비용을 확인하는 것이다. 마찬가지로 아주 작은 영향을 끼치는 비용을 확인하는 것도 중요하다. 또한 수명주기비용 산정은 통합 로지스틱지원 분석(integrated logistic support analysis)을 위한 자료로 제공될 수 있다. 제품의 수명주기비용 산정 과정에서 의사결정을 위한 일반적인 입력들은 다음과 같다.

- 대안 디자인과 폐기를 위한 추가 기술들에 대한 평가와 비교
- 제품/프로젝트의 경제적 유효성에 대한 평가
- 비용 기여와 비용의 효과적인 개선에 대한 확인
- 제품 사용, 작동, 시험, 검사, 유지보수를 위한 대안 전략의 비교 평가
- 대체품, 재생(노후설비 연장 혹은 폐기)의 다른 접근에 대한 비교

와 평가

- 제품 개발/개선을 위한 경쟁적인 것들 중에 가능한 자금의 배치
- 검증시험을 통한 제품보증기준의 평가 및 타협(trade-off)
- 장기간의 재무 계획

수명주기비용 산정은 기본적으로 수명 주기와 이에 따른 각 단계별 기능 활동들을 이해해야 한다. 또한 이러한 단계별 활동과 제품의 기능 수행 사이에서 가지는 안전성, 신뢰성, 유지보수성 및 LCC에 영향을 미치는 기타 특징과의 관계를 이해해야한다.

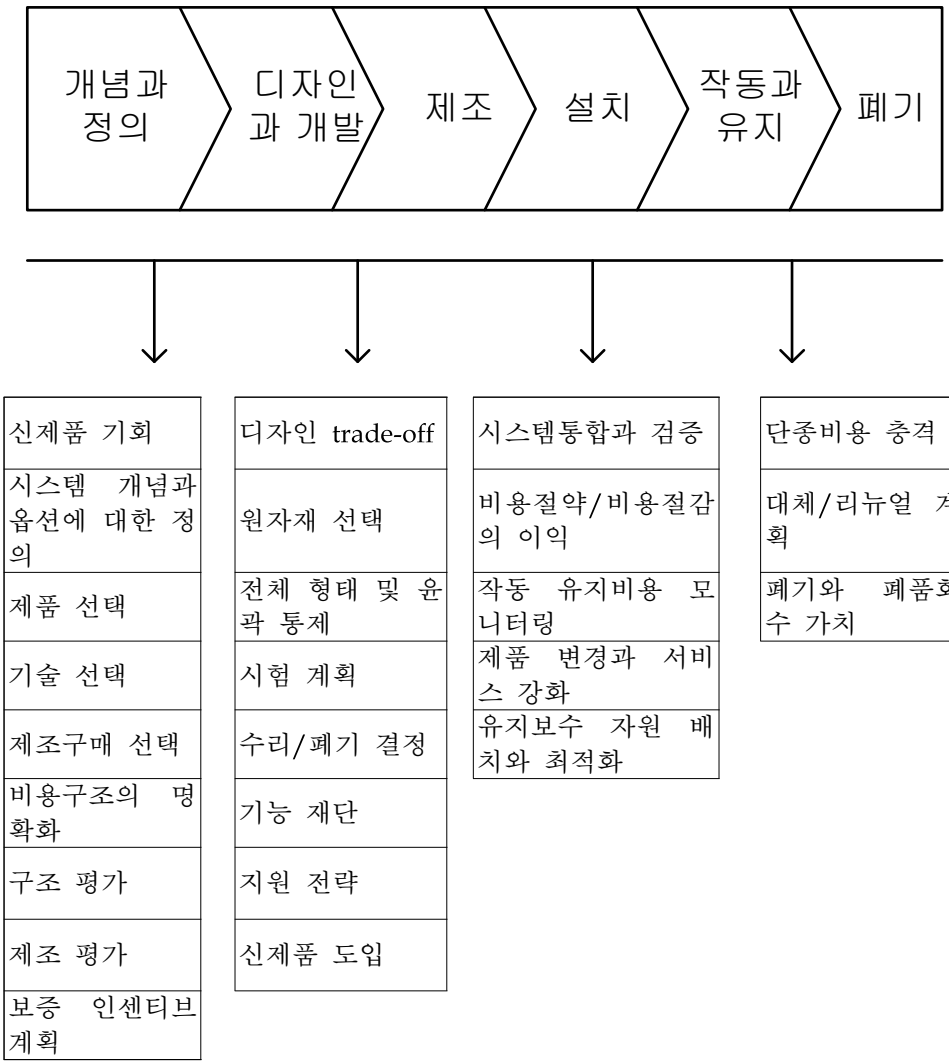
다음은 제품의 수명주기의 6단계이다.

a) 개념과 정의
b) 디자인과 개발
c) 제조
d) 설치
e) 작동과 유지보수
f) 폐기

일반적으로 위의 각 단계 동안 축적되는 전체 비용은 획득비용, 소유비용 그리고 폐기 비용으로도 나누어 질 수 있다.

수명주기 비용(LCC) = 획득 비용 + 소유 비용 + 폐기 비용

- 획득 비용(acquisition cost)은 일반적으로 획득결정이 이루어지지 전에 평가될 수 있는 가시적 비용으로 설치비용을 포함할 수도, 포함하지 않을 수도 있다.
- 소유 비용(ownership cost)은 종종 LCC의 주요 요소이며, 많은 경우 획득비용보다 많고 가시적으로 나타내기 어렵다. 또한 예상하기 어렵고, 설치비용과 관련된 비용을 포함할 수 있다.
- 폐기 비용(disposal cost)은 Total LCC의 주요한 부분을 나타낼 수 있다. 핵발전소와 같이 주요한 프로젝트에서 특별지출을 포함하는 폐기단계의 활동이 요구될 수 있다.



[수명주기비용 산정의 예시적 적용]

(나) 수명주기비용(LCC) 모델링

LCC 모델은 현실세계를 간단히 표현한 것이다. 즉 LCC 모델은 제품의 두드러진 특징과 모습을 추상화하고 그것들을 비용 수치로 옮긴 것이다. LCC 모델링을 하기 위해서는 다음이 필요하다.

a) 사용되는 환경, 유지 보전되는 개념, 작동과 유지 지원하기 위한 예상 시나리오, 그리고 압박과 제한을 포함하여 제품의 특징 설명을 분석해야 한다.

b) LCC에 관련되어 있는 모든 요인을 강조하고 포함하기 위해 이해되어야 한다.

c) 다른 요인들로부터 LCC의 독립적인 특정 요인을 평가하기 위한 방법이 설계되어야 한다.

단순한 LCC 모델은 기본적으로 기간과 LCC의 구성되는 각각의 비용 요인과 결합된 비용을 추정하기 위해 요소의 구조를 계산하기 위한 것이다. 어떤 경우에는 LCC모델은 특별하게 개발된 모델을 필요할 수도 있으며, 상업적으로 사용되는 모델을 사용할 수도 있다. 각각의 LCC모델은 그 자체의 유연성과 응용성이 있다.

내용에 대한 지식과 적용되는 조건들은 그것들의 사용에 대해 적절함을 보증하기 위해서 중요하다. 모델을 선택하기 전에, 정보의 총량은 사용 모델로부터 예상 결과까지 함께 확인되어져야 한다. 모델의 세부사항에 친숙한 사람은 모든 비용 요소의 적응성, 경험적인 관계, 요소, 모델에서의 상수와 변수 결정 등을 위해 재조사 하는 것이 필요하다.

LCC 모델에는 다음이 포함되어야 한다.

- 비용 분해 구조(cost breakdown structure)
- 제품/작업 분해 구조(product/work breakdown structure)
- 비용 범주의 선택
- 비용 요소의 선택
- 비용의 평가
- 결과의 발표

실제 적용될 때 다음을 포함할 수도 있다.

- 환경 및 안전 양상
- 불확실성 및 위험
- 비용유발요인을 규명하기 위한 민감도해석

비용 분해 구조란 제품의 수명주기 동안 주요 단계 또는 관심 단계에서 발생하는 비용의 분해를 나타낸다.

제품/작업 분해 구조는 모든 주요 업무와 지원 작업 패키지를 규명하는 하드웨어, 서비스 그리고 데이터의 상세한 분해로 이루어진다.

다른 단계에 대한 비용의 상세 표현은 개별적으로 개발될 수 있다. 비용요소 및 요인 등은 유일한 특성을 가져야한다. 여러 단계에 걸쳐있

는 분석의 경우에는 총 LCC 모델 내에서 비용 요소 및 요인이 유일해야 한다.

1) 비용요소

전체 수명주기비용을 산정하기 위해서, 전체 LCC의 비용 요소가 필요하다. 이러한 비용요소들은 뚜렷하게 정의하고, 측정할 수 있도록 개별적으로 확인되어 져야 한다. 비요요소들의 확인과 상응하는 범위 LCC연구 영역과, 목적에 배경을 두어야 한다.

요구 되는 비용요소의 확인을 위한 한 접근으로 계약서 레벨, 비용 영역, 수명 주기 단계까지 종종 제품의 고장을 포함하는 것이다.

- 재품의 고장은 계약서 레벨까지 낮춤(제품/작업 고장 구조임)
- 작업과 활동 때의 수명 주기 시간에서 실행되어짐(수명 주기 단계임)
- 노동, 재료, 원료/에너지, 총 경비, 이동/교통 등 적용할 자원수가 있는 비용영역

이러한 접근 방법은 조직적이고 순서적으로 될 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러므로 모든 비용 요소들이 높은 수준의 신뢰가 포함된다.

2) 비용요소 평가 방법

비용 평가 관계(CERs)는 LCC 고장 구조의 요소들 각각에 연결되는 비용들을 측정하기 위하여 사용되어 진다. CERs는 분석적인 모델에 바탕을 두거나 "rules of thumb"에 바탕을 둔다. 그것들은 자원의 소비를 나타내는 변수와 가격을 반영하는 모수들, 요소들의 전환, 활동/일들에서 발생하는 비용과 다양한 영역의 비용과 관련된 실험적인 관계들을 포함한다.

일반적으로, 비용을 측정하거나 CER 발견하는 방법으로 통상적으로 세 가지 방법이 있다.

- 공학 비용 방법
- 비교 비용 방법

- 모수 비용 방법

① 공학 비용 방법

공학 비용 방법을 사용하는 경우 특별한 비용요소에 기여하는 비용은 제품의 성분별 또는 부품별로 조사하는 것에 의해 직접적으로 평가될 수 있다. 흔히 표준적으로 수립된 비용요인 즉 현 엔지니어링 또는 제조 평가가 각 요소의 비용 및 다른 요소와의 관계를 개발하는데 사용될 수 있다. 활용 가능한 보다 오래된 방법은 적절한 요인의 예를 들어 연간 감소 및 증가요인에 의해 현재의 것으로 갱신될 수 있다. 공학 비용 방법은 반복되는 비용요소와 연관된 관련 비용에 의해 나타내어질 수 있다.

② 비교 비용 방법

이 방법은 유사 제품과 과거의 기술을 통한 경험에 기반 하여 비용을 평가하는 것을 포함한다. 시간종속적인 정보시스템을 활용하고, 기술 진보의 효과, 비용의 단계적 확대를 반영하여 갱신한다. 이 기술은 가장 덜 복잡하고 적은 시간이 소요되는 방법 중의 하나일 수 있다. 약간의 경험적이고 실제 데이터가 있는 제품의 요소에 쉽게 적용할 수 있다.

③ 모수 비용 방법

이 방법은 일반적으로 방정식 형태의 CERs를 발견하는데 중요한 모수와 변수를 사용한다. CERs에서의 모수는 하나의 시스템으로부터 다른 하나의 시스템으로 전환 요인을 반영한다. 경험적으로 유추된 비율 또는 가격이 될 수 있다. 비용 대 사람-시간 가격 같은 것을 비용에 들어가는 사람의 시간으로 변환한다. 경험적인 비율의 예는 통계 평균을 획득 할 수 있는 사람-시간 대 주어진 부품의 실패 유지 수이다. CER에서 모수 비율 방법의 변수는 일반적으로 시간대 자원과 비용 발생으로 특징화된다. 이러한 방법

은 물리적 또는 성능적인 치수가 될 수 있다. 그러한 예로서 고장 비율, 예방 보존 사람-시간 대 아이템 또는 컴포넌트의 단위가 될 수 있다.

CER 방정식은 얼마나 비용이 발생한가의 분석자의 평가를 반영한다. 종종 세부적인 이론 또는 분석적이 관계가 발견도지 않을 때에는, 예를 들면 회귀 분석 같은 통계적으로 유추된 관계가 사용되어 진다.

(다) 수명주기비용 분석 절차

수명주기비용(LCC) 분석은 제품의 수명 주기 동안의 소유와 획득에 관한 처리 비용의 확인 및 평가 과정이다. 유용하고 정확하게 고용된 결과를 생산하기 위하여, 어떠한 LCC분석들이라도 구조적이고 문서화가 잘 된 방법으로 다음 단계에 따라 실행되어야 한다.

a) LCC 분석 계획 (문제 정의 및 분석 목적)
b) LCC 모델 개발
c) LCC 모델 분석
d) LCC 분석 문서화
e) LCC 결과의 재조사
f) LCC 분석의 갱신

만약 어떠한 단계에서 재조사하는 것을 필요로 하거나 이전 단계의 완성된 작업을 수정해야 한다면, 상위 단계는 반복의 형태로 실행되어질 수 있다. LCC 분석은 여러 전문분야에 걸친 활동이다. 분석가들은 LCC의 전형적인 비용 요인, 비용 데이터의 원천, 재무 정책 등과 익숙해야 한다.

1) LCC 분석 계획

LCC 분석 계획은 목적과 분석 범위 처리를 개발 계획에서부터 시작해야 한다. 그 계획은 다음 요소들을 처리해야 한다.

a) 결과를 내는 기간 동안의 분석을 통하여 제공 되어지는 분석 목적을 정의한다, 그리고 결정을 지원하는데 결과가 사용되어 진다.

일반적인 목적은 :

- 제품을 위한 계획, 계약, 예산 또는 유사한 요구를 지원하는데 LCC 결정
- 평가 대안 제품의 LCC 과정 영향평가(설계접근, 제품획득, 공급정책, 대체기술)
- 제품 LCC에 대한 비용 유발하는 활동 요인 확인. 집중적 설계, 계발, 획득 제품 지원 활동을 위함

b) 분석 범위를 서술한다. 분석 범위는 제품 연구가 되어진 기간, 수명주기단계가 고려된 기간, 환경 사용, 사용되어진 시나리오 지원의 유지 및 작동이어야 한다.

c) 강조된 조건, 가정, 제한, 제약(예를 들어 최소 제품 성능 또는 이용할 수 있는 필요조건, 또는 최대 자본 비용 제한)을 확인한다. 이러한 것들은 용인된 옵션 범위를 제한할 수 있다

d) 평가되어지는 활동의 대안적인 방침을 확인한다. 제안된 대안들의 목록은 세밀히 확인된 새로운 옵션 또는 제한을 어긴 것이 존재하는지를 구별되어야 한다.

e) 요구되는 자원의 평가 제공, 분석 계획의 보고, 요구되는 의사결정 과정을 지원할 수 있도록 LCC 분석을 확인하다.

2) LCC 모델 개발

분석 목적을 충족하기 위한 세부 사항을 만족 시키는 LCC 모델은 다음 절차에 따라 개발 되어야 한다.

a) 비용 고장 구조를 채택하고 창조해야 한다. 비용 고장 구조는 비용을 발생하는 수명 주기 단계의 모든 영역에서 관련된 비용 영역을 확인한다. 비용 요인들은 각각으로 쉽게 평가되어지질 수 있는 CBS 형태로 요구된 수준으로 도달되어질 때 까지 더 작은 요소들로 분류되어야 한다. 사용 가능하고, 비용 고장 구조가 존재하는 곳에 LCC 고장 구조의 개발을 위한 유용한 시작 지점을 제공한다.

b) 고려된 상황 아래에서 제품의 LCC 전체에 중대한 영향을 가지고

있는 비용 요인을 확인한다. 그 고려 대상들로부터 요인들은 제거된다. 마찬가지로 활동의 대안 방침 비교 연구를 하기 위해 비용 요인을 확인한다.

c) 모델에 포함된 각각의 비용 요인과 관련된 평가 비용들을 위한 방법들을 선택한다.

d) 이러한 측정을 개발하기 위하여 요구된 자료를 결정한다. 그리고 자료에 대하여 가능한 원인을 확인한다.

e) 각각 비용 요소들의 측정치에 관련된 불확실성을 확인한다.

f) 개개의 비용 요인들을 단일 LCC 모델로 통합한다.

g) LCC 모델을 분석 목적에 알맞게 처리되었는지 확인하기 위하여 재확인 한다. 모든 비용 요인들이 포함되었는지, 높은 수준으로 전체가 정확하게 상승했는지, 자금의 시간가치가 정확하게 반영되었는지 확인한다.

모든 가정을 포함하는 LCC 모델은 분석 과정들의 수반 단계를 관리하고, 지원하기 위하여 문서화 되어져야 한다.

3) LCC 모델 분석

모델 결과의 분석과 산출물들의 LCC분석은 다음 단계들이 포함되어져야 한다.

a) 자료를 획득하고, 모든 LCC 모델에서의 기본비용 요인들의 비용 평가를 개발한다.

b) 가능한 과거 사실에 바탕을 둔 사용 가능한 LCC 모델 검증한다.

c) 각각의 분석 계획에서 정의된 시나리오에 따른 운영상 또는 지원상의 관련된 조합 모델로부터 모델 결과를 획득한다.

d) LCC 모델 투입, 결과를 조사하여 비용 원인들을 확인한다. 이러한 것들은 제품의 LCC상의 대부분 중요한 영향을 주는 비용요인을 결정하기 위함이다.

e) 연구된 대안들 사이에서 차이점을 정량화한다. 단 이러한 차이점들이 직접적으로 LCC모델과 연관되어 있는 경우에서만 수행한다.

f) 논리적 그룹화에 따라서 LCC 모델의 결과를 분류하고 요약한다.

이러한 논리적 그룹화는 분석 결과의 사용자들에게 관련되어 있다.

g) 가정의 영향을 검사하고 LCC 모델 결과상에서 불확실한 비용 요인들의 민감도 분석을 한다. 특정한 처리는 제품 사용과 관련 가정, 자본의 시간가치 연관된 가정의 비용 유발 요인에 집중화 되어야 한다.

h) 모든 목표를 다 이끌어낸 것을 확인하기 위한 분석 계획에서 정의된 목적과 대비해서 LCC 결과를 재조사 한다.

LCC 분석은 (모든 가정을 포함) 필요하다면 문서화 되어져야 한다.

4) LCC 분석 문서화

LCC 분석 결과들은 모든 사용자들이 결과와 LCC 분석과의 관계를 명백하게 이해할 수 있도록 문서화되어야 한다. 이러한 문서는 결과와 연관된 제한과 불확실성을 포함해야 한다.

보고서는 다음 내용을 포함해야 한다.

a) 전체 요약 - 분석의 목적, 결과, 검토와 권장사항들의 짧은 개요이다. 이 요약은 의사결정자들과 사용자, 또는 다른 이해관계가 있는 사람들에게 분석의 개요를 제공할 목적이다.

b) 목적과 범위 - 시나리오의 지원과 제품 사용 환경, 사용 제품의 의도, 제품 기술, 분석 목적의 서술이다.

c) LCC 모델의 기술 - LCC 모델의 요약이다. 이러한 요약은 관련된 가정, LCC 고장 정의 서술, 비용 요인과 그것이 측정된 방식의 설명, 비용 요인들이 통합된 방법 서술 등을 포함한다.

d) LCC 모델 분석 - LCC 모델 결과의 내용이다. 이러한 내용은 비용 유발 증명, 민감도 분석 결과, 분석 활동과 관련된 결과물들을 포함한다.

e) 검토 - 분석결과에 대한 이해의 검토를 통한 내용이다. 이러한 내용은 결과와 관련된 어떠한 불확실성과, 의사 결정자나 다른 결과의 사용 또는 이해하는 이용자를 도와주는 다른 결론을 포함해야 한다.

f) 결론과 권장사항들 - 분석 목적과 분석 결과에 기반을 둔 의사결정을 하는 권장사항의 목록에 연관된 결론뿐만 아니라 분석의 개정 작업의 필요로 하는 확인 작업에 연관된 결론의 내용(제출)이다.

5) LCC 결과의 재조사

분석 프로세스의 정식의 재조사는 보고서 상에서 나타난 권장사항과 결론, 결과의 완전성과 정확성을 확인하기 위하여 요구되어 질 수 있다. 그래서 목적을 확실하게 위하여 원 분석가들이 아닌 다른 사람에 의하여 재조사가 행하여져야 한다.

다음의 요소들은 포함하여야 한다.

a) 정확하게 진술되고 이해되었는지 확인하기 위해 분석 목적과 분석 범위를 재조사 한다.

b) 비용 요인들의 정의와 가정을 포함하는 모델이 분석 목적과 일치하는지 확인하기 위하여 재조사 한다.

c) 투입내용이 정확하게 성립되고, 모델이 정확하게 사용되고, 결과가 알맞게 평가 및 토의 되었으며, 분석 목적이 달성되었는지 확인하기 위하여 재조사 한다.

d) 분석 프로세스 동안 만들어진 모든 가정이 합당하고, 알맞게 문서화되었는지 확인하기 위하여 재조사 한다

6) 분석 갱신

제품의 수명 주기를 통하여 실험되어질 수 있도록 LCC 모델을 최신으로 유지하는 것은 제품의 많은 수명 주기 비용 연구에서 유익하다. 예를 들어, 제품 수명 주기에서 사용되어진 좀 더 세분화 된 자료들에 따른 LCC 모델 분석 결과의 갱신이 바람직하다. LCC 모델의 보존과 갱신은 LCC 고장 구조 수정, 유용되어 질수 있는 정보자료의 추가적인 비용 측정 방법의 변화, 모델에서 실현되어지는 가정의 대체 안들의 변화를 포함해야 한다.

(2) 철도분야 수명주기비용 기술현황

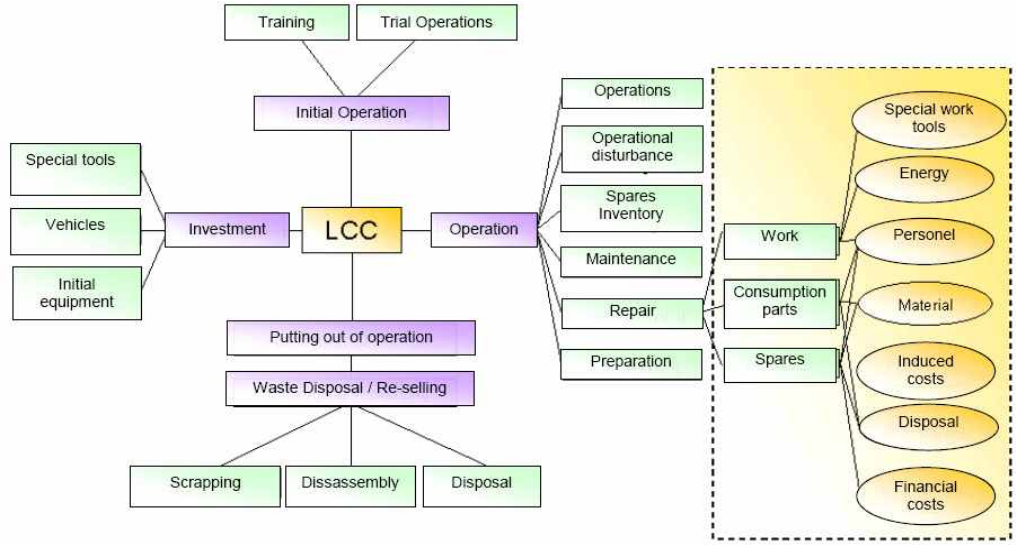
RAM/LCC 요구사항이 포함된 최초의 중요한 계약은 1986년 Adtranz(구 ABB)사와 SJ(Swedish State Railway)간에 이루어진 스위스 고속철도 X2000[3.1]에 대한 것으로 이 계약에서는 프로젝트 기간과 상업운전 개시 후 1년 동안의 RAM/LCC 검증을 요구하였으며 요건을 충족하지 못할 경우에 재설계 및 설치 후 다시 1년간의 RAM/LCC 검증을 요구하고 최종적으로 실패할 경우 위약금을 물도록 명시한 바 있다. 이후 유럽에서는 RAM/LCC 에 관한 사항이 주요 계약요건중 하나로 요구되고 있다고 알려져 있다[3.2].

(가) 독일 Transrapid 대안분석 사례[3.3]

독일 교통부(Ministry of Transport, Building and Housing)에서는 자기부상시스템의 경제성을 분석하기 위하여 ICE 3와 Transrapid 시스템의 수명주기비용을 계산하였다. 독일에서의 자기부상시스템 개발프로젝트는 국내와 같이 실용화를 목적으로 2002년부터 2005년까지 “Program for further development of the maglev"라는 이름하에 수행되었으며 고속철도시스템과의 경제성을 비교하기 위하여 시스템 운영에 필요한 모든 비용을 계산하였다. 계산에 적용된 비용모델은 식 3.1과 같다.

LCC 비용 = 초기 투자비용 + 유지보수비용 + 운영비용 + 관리비용 (3.1)

아래 그림은 수명주기비용모델의 비용요소로써 총 비용은 크게 차량, 초기장비, 정비공구 등을 구입하기 위한 투자비(investment)와 교육 및 시운전을 위한 초기 운영비, 상업운전을 위해 필요한 운영비 및 폐기를 위한 폐기비용으로 구성되어 있다.



[그림 105]수명주기비용모델의 비용구성요소

1) 시스템 사양비교

표는 ICE3 시스템과 자기부상시스템의 사양을 비교한 것으로 ICE3 시스템은 8량 1편성으로 최대 300km/h로 운행되며 차량중량은 409 ton, 휠/레일 접촉을 통하여 운행된다. 자기부상시스템은 5량 1편성으로 최대 450km/h, 차량중량 247 ton으로 가이드웨이와 10mm 간격으로 부상하며 운행된다. 자기부상시스템은 무접촉 및 기관사가 필요 없는 무인운행 시스템이다.

[표 60]시스템과 자기부상시스템 사양비교

파라미터	ICE 3 시스템	고속자기부상시스템
편성당 차량수	8	5(2-10 변경 가능)
좌석	415	446
운행속도	300 km/h	450 km/h
최대 엔진동력	8,000kW	대략 25,000kW
차량중량	409ton	247 ton
중량/좌석	약 930 kg	약 550 kg
편성당 최대길이	200m	128.3m
폭	2.95m	3.70m
높이	3.89m	4.16m
축하중	17ton(2.1 ton/m)	2.2 ton/m
시스템 특징		
차량	휠/레일 접촉	무접촉, 10mm 갭을 유지하며 운행
추진	3상 비동기 모터	동기형 선형모터
에너지 공급	AC 15kV/25kV DC 1.5kV/3.0kV	110kV, 50 Hz
운행제어시스템	ETCS/GSM-R 시스템	완전자동운행시스템

수명주기비용은 도시 간 교통수단으로서의 ICE3와 Transrapid를 비교하였으며 건설비용, 운행비용, 유지보수 등을 수명주기비용으로 고려하였다. 비교를 위해 다음과 같은 운행조건을 가정하였다.

- 총 운행거리 110 km
- 중간 기착점 없이 도시 간 이동
- 열차는 노선 양쪽 끝에서 방향을 바꿈
- 열차운행시간은 주교통시간대(main traffic time:5:00-20:00)에는 30분소요

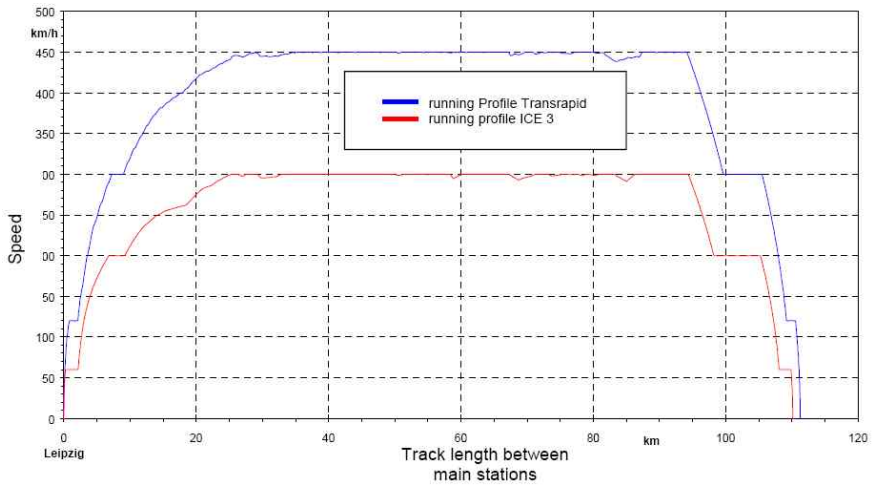
  이외 시간대(20:00-1:00)에는 60분소요

표는 ICE3 시스템과 Transrapid 시스템을 운영하기 위해 각각 정의한 것으로서 도시 간 이동노선으로써의 ICE3는 트랙길이 110.1km이며 트랙의 최대 경사도는 40‰, 건널목의 수는 4개, 분기기 수는 19개를 가정하였으며, 노선의 순환시간은 120분, 1일 운행횟수는 70회를 가정하였다. Transrapid는 트랙길이 111.3km이며 트랙의 최대 경사도는 90‰, 건널목 수는 3개, 분기기수는 7개를 가정하였으며 노선의 순환시간은 90분, 1일 운행횟수는 70회를 가정하였다.

[표 61]운행특성 비교

	ICE 3	Transrapid
트랙길이	110.1 km	111.3 km
건널목 수	4	3
분기기 수	19	7
최대운행속도	300km/h	450km/h
최대 경사도	40‰	90‰
최대 가속도	0.6m/s^2	0.8m/s^2
최대 감속도	-0.5m/s^2	-0.8m/s^2
운행편성수	5	4
편성당 좌석수	415	446
운행시간	32분	21분
순환시간 (time of circulation)	120분	90분
1일 운행횟수(양방향)	70	70

아래그림은 ICE3와 Transrapid의 운행곡선을 비교한 것으로써 ICE3는 Leipzig를 출발하여 약 25분 후에 최대 속도인 300km/h에 도달하며 최대속도로 약 60km를 운행한 뒤 감속을 시작하여 110km에 도달하면 정지한다. 한편, Transrapid는 출발 후 약 25분 후에 최대 운행속도인 450 km/h에 도달하며 ICE3와 같이 60km를 운행한 뒤 감속을 시작하여 113 km에 도달하면 정지한다.



[그림 106]도시간 열차운행곡선

이와 같은 운행시나리오를 기반으로 소모되는 예상 에너지를 계산하면 아래 표와 같다. ICE3의 경우 1회 운행에 따른 에너지 소요량은 총 68.4 GWh/a로 계산되었으며 Transrapid의 경우 246 km/h로 운행할 경우에는 57.3 GWh/a, 450 km/h로 운행할 경우에는 102.8 GWh/a로 계산되었다.

[표 62]운행시나리오에 따른 에너지 소모량

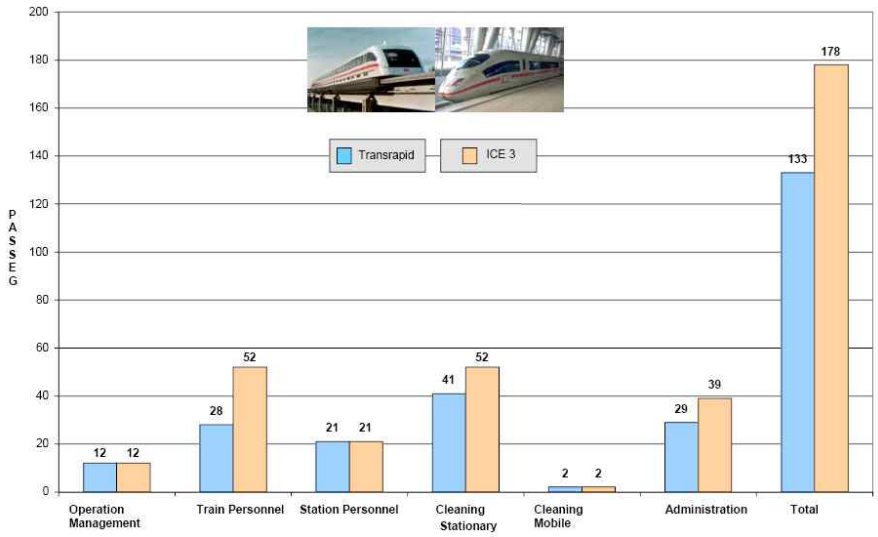
	ICE3	Transrapid 사례 1	Transrapid 사례 2
열차운행시간	32 분	32 분	21 분
설계속도	300 km/h	246 km/h	450 km/h
인터페이스	15 kV	20 kV	20 kV
견인에너지	62.2 GWh/a	44.1 GWh/a	89.6 GWh/a
기타에너지	6.2 GWh/a	13.2 GWh/a	13.2 GWh/a

표 는 ICE3와 Transrapid 시스템의 초기 투입비용의 구성율로서 투입비용은 부지매입비용, 가이드웨이 및 트랙 건설비용, 추진시스템 구축비용, 급전설비 및 전력공급설비 건설비용, 운영제어설비 건설비용 및 기타비용과 차량구입비용으로 계산하였다. 총 비용 중 가이드웨이 및 트랙의 건설비용이 전체 비용의 약 50%를 차지하고 있으며 역사 등의 미용도 30%나 된다. 이에 반해 차량도입비용은 전체의 6%에 불과하다. 초기 투입비용에 있어서는 자기부상시스템이 휠/레일 방식보다 약 25% 많은 것으로 예상되었다.

[표 63]초기투자비용 구성

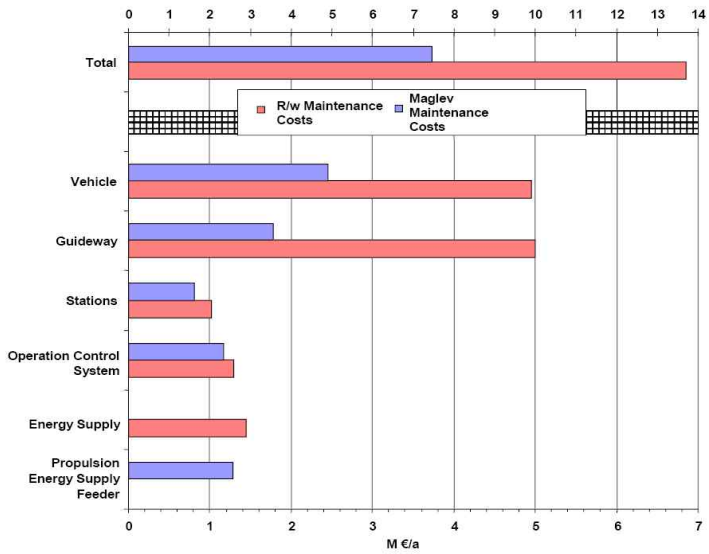
비용요인	ICE3	Transrapid
부지비용	6%	4%
가이드웨이/트랙 건설비용	47%	53%-62%
- Guideway/track	26%	50-59%
- Tunnel	8%	1%
- Bridge construction	13%	2%
추진시스템	2%	13-18%
전력공급설비	3%	3.5-4%
운영제어설비	7%	4-6%
기타비용	28%	20%
- 역사, 기타설비	1%	1%
- 간접비용	12%	7%
- 소음방지벽	7%	4%
- 설계비용	5%	5%
차량구입비용	6%	8-11%
총 투자비	100%	103-125%

그림은 시스템을 운영하기 위해 필요한 인원으로써 운영요원(operation management), 열차승무원(train personnel), 역무원(station personnel), 청소요원(cleaning station), 열차청소요원(cleaning mobile) 및 관리요원(administration) 으로 구성되어 있으며 ICE의 경우 총 178명, Transrapid의 경우 133명으로 계산되었다. Transrapid의 경우 무인운전시스템이기 때문에 상대적으로 필요한 열차승무원의 수가 적다.



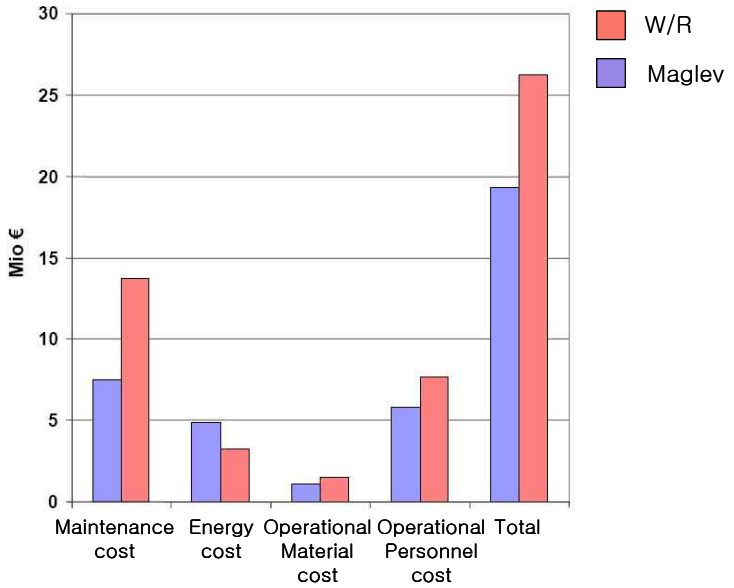
[그림 107]열차운행에 필요한 인원

유지보수비용은 열차의 정상운행을 위해 필요한 차량, 시설물, 역사 등에 대한 고장정비 및 예방정비 비용으로써 아래그림과 같다. 열차 주요장치는 차량, 가이드웨이, 역사, 운행제어시스템, 전력공급설비 등으로 구성되어 있다. 역사, 운행제어시스템, 전력공급설비의 유지보수비용은 두 시스템이 대동소이하나 차량 및 가이드웨이는 차기부상시스템의 경우 접촉이 없으므로 유지보수 비용측면에서 휠/레일 시스템의 경우 약 13M EU/year, 자기부상시스템의 경우 7.5M EU/year로 예측되었다.



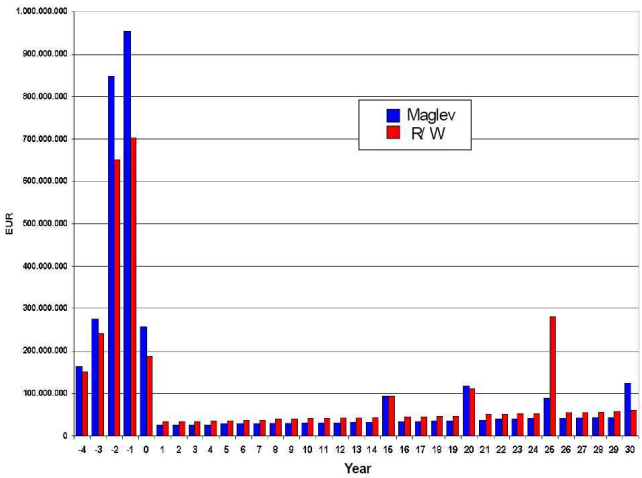
[그림 108]주요시스템 유지보수비용

아래그림은 열차운행비용을 비교한 것으로써 자기부상시스템의 경우 에너지 비용을 휠/레일시스템보다 크지만 유지보수비용, 운영비용이 상대적으로 낮아 전체적으로 휠/레일 시스템의 70%의 비용으로 운영할 수 있는 것으로 예측되었다.



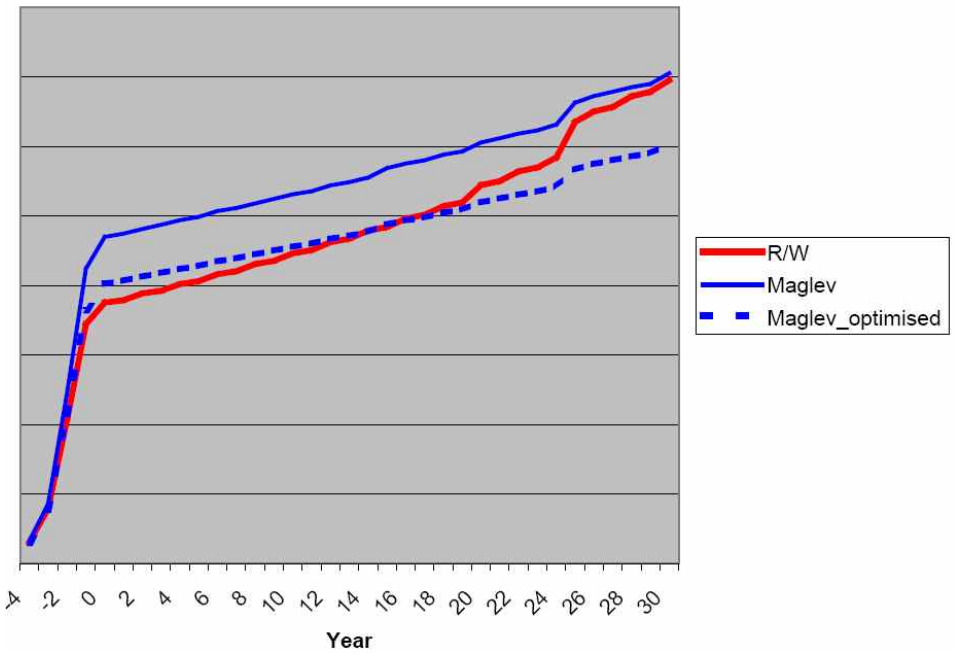
[그림 109]열차운행비용

아래 그림은 연간소요비용을 나타낸 것으로써 상업운전이 시작되기 4년 전부터 설계, 제작, 건설 등 초기 투자비가 발생하며 상업운전이 시작되면 소요비용은 낮아지다가 차량 및 시설물의 설계수명 및 유지보수 계획에 맞추어 15년, 20년, 25년 및 30년에 많은 비용이 필요한 것으로 예측되었다.



[그림 110]연간소요비용

아래그림은 휠/레일 시스템과 자기부상시스템의 누적수명주기 비용을 비교한 것으로써 자기부상시스템의 초기투입비용이 상대적으로 많지만 운영 및 유지보수비용이 낮아 운행 후 30년이 지나면 손익분기점이 발생하는 것으로 예측되었다. 한편 자기부상시스템의 최적화를 달성함으로써 이를 약 15년 전후까지 앞당길 수 있을 것으로 예측되었다.



[그림 111]누적수명주기 비교

(나) 콜로라도 자기부상도입 분석사례[3.4]

미국 콜로라도에서는 Denver 공항부터 Eagle County 공항까지 총 250 km 노선에 대한 자기부상시스템 도입이 타당성을 분석하였으며 18개월에 거친 조사를 수행하고 이를 위하여 각종 기술의 검증과 함께 총 수명주기비용을 예측하였다.

1) 콜로라도 자기부상시스템 사양

콜로라도 교통부에서 고려한 자기부상시스템은 상용속도 200km/h급의 중저속 자기부상시스템이며 자세한 시스템 사양은 다음과 같다.

가) 전체시스템

- 160 km/h 자기부상시스템
- 시간당 6,000 수송
- 첨두시 headway 2분
- 가동온도조건-10℃에서 40℃
- 가동상대습도-0%에서 95%

나(컴포넌트 레벨

- 가이드웨이
  - 75년 서비스 설계수명(static, dynamic load, temperature variation, snow, wind, seismic load, corrosive conditions 고려)
  - 차량에 의한 최대하중 : 레일 1,150 kgf/mm
    가이드웨이 2,300 kgf/mm
  - Line load deflection : L/1750
- 기둥(column)
  - 75년 서비스 설계수명
- 교각기초(pier foundation)
  - 75년 서비스 설계수명
  - 지진하중, 토양침식, 범람으로부터 안전
- 분기기(switches)
  - high speed switch/low speed switch 모두 15-25초 내에 동작

다) 전력설비(electrical power supply)

- 9.6-11.2 km 간격으로 설치

라) 차량

- 량당 206명 승차, 2차량 1편성
- 30년 서비스 설계수명

- 상용속도 200km/h
- 최대속도 250km/h
- 10% 오르막길 전 최소 460m 확보
- 최소반경 150m
- 모터, 전자장비 30년 서비스 설계수명

2) 신뢰성, 가용성, 유지보수성(Reliability, Availability, Maintainability)

신뢰성, 가용성 및 유지보수성은 자기부상 시스템의 운영시나리오를 세우는데 매우 중요한 인자로 다음과 같이 정의하였으며 요구되는 신뢰성, MTBF(Mean Time Between Failure)는 81,250 hour, 가용도는 0.9999, 유지보수성, MTTR(Mean Time To Restore)은 1시간 이내로 규정하고 있으며 자세한 사항은 다음과 같다.

가) 신뢰성(Reliability)

$$MTBF_s = \frac{Operating\ hours}{Nmber of failures} = \frac{OH_s}{NF_s}$$

- 가정
  - 단방향 최대 영업거리 250km
  - 연간 차량 당 영업거리 = +125,000 miles/year/vehicle
  - 단방향 영업시간 = 2.5 hours
  - 차량 당 연간 총 운행시간 = 2,500 hours
  - 총 65편성 운행
  - 연간 60분간 2번의 서비스 중단

$$MTBF_s = \frac{OH_s}{NF_s}$$

$$= \frac{2500 \times 65}{2} operating\ hours/year$$

$$= 81,250 operating\ hours\ between\ failures$$

나) 가용도(Availability)

$$Availability = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} = \frac{81,250}{81,250 + 1} = 0.9999$$

- 가정
  - 고장은 1시간 안에 수리
  - 차량의 MTBF를 7,500시간으로 유지하기 위해서는 서브시스템들의 MTBF를 45,000시간으로 유지해야 함

다) 유지보수성(Maintainability)

$$MTTR_s = \frac{Sum\ total\ of\ time\ to\ restore\ service}{Total\ time\ of\ failures}$$
$$= \frac{2\ hours}{2\ failures} = 1\ hours\ to\ restore\ service$$

- 가정
  - 유지보수성을 향상시키기 위해서는 다음 사항을 염두해 두어야 한다.
  - 궤도를 따라 차량을 정차시킬 수 있는 위치를 분산시킬 것
  - 예비차량을 궤도에 따라 분산시켜 놓을 것
  - 주요한 예비품을 하나 걸러 역에 분산시켜 놓을 것
  - 매일 주요 서브시스템에 대한 기능시험을 수행할 것
  - 차량의 구조건전성을 저해할 수 있는 손상에 대해 매일 육안으로 검사할 것
  - 가이드웨이 구조건전성을 저해할 수 있는 손상에 대해 매일 육안으로 검사할 것
  - 유지보수장치를 4개의 차량이 한 번에 점검받을 수 있을 정도로 큰 것으로 유지할 것

3) 시스템 비용모델

콜로라도 자기부상시스템의 수명주기비용 모델은 식(3.5)와 같다.

총비용 = 자본비용 + 운영 및 유지보수비용

가) 자본비용(Capital cost)

자기부상시스템 도입을 위한 단위자본비용은 아래표와 같다. 자기부상시스템의 주요 구성요소는 가이드웨이, 레일, 분기기, 역사, 차

량, 통신제어 시스템, 급전설비, 전력공급설비로 구성되어 있다. 가이드웨이는 통상 마일 당 $10.7-13.8M의 비용이 소요되며 터널 등 특수한 경우 $24.4M까지 늘어날 수 있다. 레일은 마일 당 $1.6M가 소요되며 분기기는 개당 $2.6M, 역사는 건물 당 $30M, 차량은 편성 당 $7M, 통신설비는 마일 당 $2M, 급전설비는 변전소 당 $4M 및 전력공급설비는 마일 당 $1M의 비용이 예측된다.

[표 64]자기부상시스템 구성요소의 단위비용

Major system elements	Unit costs
Guideway	Standard guideway $10.7-13.8M, per mile Exceptional guideway $24.4M, per mile
Rails	$1.6M, per mile
Switches	$2.6M, each
Stations	$30M, each
Vehicles	$7M, per consist
Communication Controls	$2M, per mile
Power substations	$4M, per substation
Electrification	$1M, per mile

아래표는 252.6km 노선의 자기부상시스템을 확보하기 위하여 필요한 비용으로써 252.6km 노선 중 85%는 표준 가이드웨이, 15%는 이례적인 경우의 가이드웨이로 가정하였으며 역사의 수는 14, 차량은 총 65편성(2량 1편성), 변전설비는 32개소로 가정하고 계산한 것이다. 총 비용은 $4,642M으로 가이드웨이 건설비가 약 50%를 차지하고 있으며 차량구입비용은 10%에 불과하다.

[표 65]총자본비용

Major system elements	Total costs
Guideway	$2,401M
Rails	$251M
Switches	$36M
Stations	$420M
Vehicles	$455M
Communication Controls	$314M
Power substations	$128M
electrification	$157M

emergency walkway	$480M
* Aggregated capital costs System parameters: · Total guideway length - 252.6 km · Guideway composition, 85% standard, 15% exceptional · Total number of stations - 14 · Vehicle inventory - 65 two car trains · Power substations - 32	

나) 운영비용(Operating cost)

운영비용은 아래 식과 같이 인건비(personnel cost),Cpe, 에너지비(system energy consumption cost),Csy, 예비품비(spare part cost),Csp, 교체품비(consummable cost),Ccon 및 서비스를 공급하기 위한 비용(service makeup cost),Cse으로 구성되어 있다.

Operating cost = Cpe+Csy +Csp+Ccon +Cse

운영비용은 시스템을 운영하기 위한 운영시나리오에 의존하기 때문에 운영비용을 계산하기 위해서는 서비스레벨과 장비의 가동시간을 결정하는 것이 매우 중요하다. 또한 운영시나리오를 바탕으로 하여 총 열차편성크기, 신뢰성 요구사항, 에너지 소모량, 예상되는 가동비용이 결정된다. 본 프로젝트에서는 다음과 같은 시나리오를 토대로 운영비용을 계산하였다.

아래표는 연간운영비용으로써 인건비, 전력비용, 편의시설물 비용, 예비품 비용 및 기타비용으로 구성되어 있으며 10%의 예비비를 두어 만약의 사태에 대비하고 있다. 연간 총운영비용은 $46,298,000으로 예측되었다.

[표 66]연간운영비용

	Annual operating cost
Salaries / Benefits	$13,437,000
Vehicle electricity	$13,451,000
Facility costs	$6,500,000
Spares	$3,000,000
Other expenses	$6,610,000
Total cost	$42,998,000
Contingency, 10%	$4,300,000
Total operating costs	$46,298,000

다) 유지보수비용(Maintenance cost)

유지보수비용의 예측은 시스템 유지보수 시나리오를 바탕으로 한다. 유지보수 비용은 다음의 가정 하에 예측한다. 따라서 유지보수 비용의 예측을 위해서는 다음과 같이 시스템 운영계획이 작성되어야 한다.

- 시스템은 운영기간은 일주일당 7일 운영하며 역무원은 7시 출근, 5시 퇴근을 가정하고 주당 5일 근무를 원칙으로 한다.
- 역무원의 휴가 등은 총 인원의 15% 내에서 발생한다고 가정한다.
- 콜로라도의 비교 가능한 임금률을 적용한다.
- 금,토,일요일은 일일 19시간동안 운영한다고 가정한다.
- 월-목요일까지는 일일 17시간을 운영한다고 가정한다.

전체 운영유지보수비용을 계산하기 위해서는 단위 유지보수비용을 예측한 후 해당되는 항목의 수를 곱함으로써 계산한다. 매년 3%의 임금 인상률을 가정한다. 아래표는 유지보수비용 계산을 위한 시스템 유지보수 계획이다.

[표 67]시스템 유지보수 시나리오

Item	Type of maintenance	Interval	Contents
Guideway structure	Look-around	1 day 1 month	· View observation of general condition from vehicle · View observation of detail condition from maintenance vehicle
	Plain	3 months	· Check of levitation gap
	Extended	6 months	· Condition check of beam, piers, rails, bolts · Visual inspection of safety-related structure including foundation
	Heavy	1 year	· Detail inspection of rail : leveling, flatness, etc
Guideway equip. - trolley - pattern belt - junction box	Plain	1 year	· General condition check of trolley corrosion, fastening of bolt/nut, etc · Tension check of pattern belt
	Extended	2 years	· Wear check of trolley
Telecommunication & signalling - control center - substation - signal houses - wayside equip.	Plain	1 month	· Check of general condition
	Extended	6 months	· Measurement of output, input sensitivity, etc
	Heavy	1 year	· Function test of all equipments
Electric power sup. - power receiving - power supply for	Look around	1 day	· View observation of peripheral around power stations
	Plain	6 months	· Protection circuit check of power

vehicle track equip. - emergency power generation - emergency batteries			distribution panel
	Extended	1 year	· Battery electrolyte level check and full charging
	Heavy	3 years	· General condition check of insulator, indicator, contactor, etc - insulation check - gas pressure check of high voltage
Transformer switches	Look around	1 day	· View for damage & obstacles of sensor surroundings
	Plain	3 months	· General condition check of oil leak, corrosion, noise, looseness, etc · Grease supply
	Extended	1 year	· Insulation & current check of electrical cylindrical motor · Measurement of switching time · Leveling check of flapping rail · Grease supply
	Heavy	3 years	· Check of local operation mode · Check of structure welding · Wear measurement of lock device, roller, etc · Overhaul of electrical cylinder, motor · Grease supply

① 인건비

자기부상열차 운영처는 관리부서와 운영유지부서를 운영한다고 가정한다. 운영처는 총 228명의 직원이 있으며 그중 14명은 관리부서에 142명은 열차 및 역 운영에 72명은 정비창에 근무한다고 가정한다.

관리부 - Chief executive

Administration

- General management, security and counsel
- Marketing/sales
- Public relations
- Scheduling & planning
- Accounting/procurement

운영유지부

- Operation control
- Train and station operation

인건비 계산 예)

a. 관리부 $ 960,000

b. 운영유지부 $7,695,000

c. 급여 관련비용(a+b*0.35) $3,029,000

d. relief adjustment(c*0.15) $1,753,000

계 $13,437,000

② 시스템 관리인건비

시스템을 운영하기 위해서는 시스템을 관리하기 위한 경영조직이 필요하며 여기에는 최고경영자, 재정 관리자, 운영기획자, 일반관리자, 마케팅 관리자 등 총 19명이 필요할 것으로 예측할 수 있다. 물론 시스템 및 조직의 구성에 따라 필요한 소요인원은 변경될 수 있다. 따라서 아래표 같이 2003년 미국 콜로라도주의 평균 임금을 적용하면 최고경영자 1인 $100,000/year, 재정 관리자 1인 $80,000/year, 이사급 7명 $420,000/year, 간부급 8명 $320,000/year 및 관리자급 2명 $40,000/year로 예측할 수 있다. 따라서 총 관리인건비는 $960,000/year로 예측할 수 있다.

[표 68]시스템 관리에 필요한 소요인원

	President	VP	Director	Staff	Admin	Total
Chief executive	1				1	2
Chief financial officer		1				1
Scheduling & planning			1	2		3
General management, Security			2		1	3
Marketing/sales/PR			1	1		2
Personnel			1	1		2
Accounting/procurement			2	4		6
Total	1	1	7	8	2	19

[표 69]시스템 관리에 요구되는 인건비

	No	Wage ($/person)	Cost
Chief executive	1	100,000	100,000
Chief financial officer	1	80,000	80,000
Director	7	60,000	420,000
Staff	8	40,000	320,000
Admin	2	20,000	40,000
Total	19		960,000

③ 시스템 운영인건비

시스템을 운영에 필요한 조직은 시스템 운영시나리오에 따라 달라질 수 있다. 여기서는 아래표와 같이 피크시간과 그 외 시간을 구분하여 피크시간에는 유지보수 인력을 더 많이 충원함으로써 원활한 운영이 가능하도록 하였다. 운영매니저, 운영감독자는 피크시간과 그 외 시간에 관계없이 1인으로 운영된다. 시스템 운영자는 2인 1교대로 운영되며 유지보수 관리자는 피크시간대는 4인 1조로 그 외 시간대는 2인 1조로 운영된다. 앞서와 마찬가지로 2003년 콜로라도주의 평균임금을 적용하여 필요한 운영비용을 계산하면 표 3.12와 같다. 매니저급은 2인 $130,000/year, 관리자급은 3인 120,000/year, 시스템 운영자는 6인 180,000/year 및 유지보수 작업자는 10인 $450,000/year으로 예측할 수 있다.

[표 70]시스템 운영에 필요한 소요인원

Position	Peak	Non-Peak	Total
Operation manager	1	1	2
Operation supervisor	1 per shift	1 per shift	3
System operator	2 per shift	2 per shift	6
Maintenance	4 per shift	2 per shift	10
Total			21

[표 71]시스템 운영에 요구되는 인건비

Position	No	Wage ($/person)	Total
Operation manager	2	65,000	130,000
Operation supervisor	3	40,000	120,000
System operator	6	30,000	180,000
Maintenance	10	45,000	450,000
Total			885,000

④ 역사운영을 위한 인건비

역사 운영을 위해 필요한 인원은 역사의 크기에 따라 달라진다. 아래표와 같이 역은 역사의 규모에 따라 큰 역(large station), 중

간 역(medium station) 및 작은 역(small station)으로 분류할 수 있다. 역이 큰 경우에는 관리자, 티켓판매자, 보안요원 및 유지보수작업자가 필요하며 중간급의 역에서는 티켓판매자와 보안요원 및 유지보수인원만 필요할 것으로 가정하였다. 또한 작은 규모의 역에서는 보안요원과 유지보수인원만 필요할 것으로 가정하였다. 본 프로젝트에서 대상으로 하고 있는 노선에는 총 14개의 역이 필요하고 그중 4개는 큰 규모의 역, 5개는 중간급의 역, 5개는 작은 규모의 역이 필요하므로 표 3.14와 같이 요구되는 인건비는 역 관리자 8인 $360,000/year, 티켓판매자 37인 $1,295,000/year, 보안요원 2,430,000/year 및 유지보수인원 42인 $1,890,000/year으로 예상된다.

[표 72]역사운영을 위한 소요인원

Position	Peak	Non-Peak	Total
Large station			Four stations
1. Manager	1 per shift		8
2. Ticket agent	1 per shift	1 per shift	12
3. Security	3 per shift	3 per shift	36
4. Maintenance	1 per shift	1 per shift	12
Medium station			Five stations
1. Ticker agent	2 per shift	1 per shift	25
2. Security	2 per shift	2 per shift	30
3. Maintenance	1 per shift	1 per shift	15
Small station			Five stations
1. Security	1 per shift	1 per shift	15
2. Maintenance	1 per shift	1 per shift	15
Total station headcount			168

[표 73]역사운영에 요구되는 인건비

Position	No	Wage ($/person)	Total
Station manager	8	45,000	360,000
Ticket agent	37	35,000	1,295,000
Security	81	30,000	2,430,000
Maintenance	42	45,000	1,890,000
Total			5,975,000

⑤ 유지보수인력 인건비

유지보수인력의 운용도 운용시나리오에 영향을 받는다. 여기에서는 아래표와 같이 유지보수인력을 가동한다고 가정하였다. 유지보수부서에는 경영자과 관리자 각각 1인씩 필요하며 차량유지보수와 노선에서의 유지보수에 필요한 작업자가 각각 56, 10명이 필요하다. 따라서 필요한 비용을 계산해보면 경영자 1인 $60,000/year, 관리자 1인 $135,000/year, 기계공학기사 4인 $180,000, 전기공학기사 4인 $180,000 및 수리공 8인 $280,000/year으로 예상된다.

[표 74]유지보수인력 소요인원

Section Name	Staff title	Working pattern	Peak	Total (shift)
Maintenance department	Maintenance manager	Normal	1	1
	Maintenance supervisor	Shift	1	3
Vehicle maintenance	Engineer(Mechanical)	Shift	2	4
	Mechanic(Mechanical)	Shift	2	4
	Engineer(Electrical)	Shift	2	4
	Mechanic(Electrical)	Shift	2	4
	Engineering mechanic	Shift	1 per station	42
Wayside maintenance	Mechanic (Trackway/Switch)	Shift	1	2
	Mechanic(power supply)			
	Mechanic(telecom and switches)	Shift	2	4
		Shift	1	4
Total				72

* 1shift = 1/4 day

[표 75]유지보수를 위한 인건비

Position	No	Wage ($/person)	Total
Maintenance manager	1	60,000	60,000
Supervisor	3	45,000	135,000
Mechanical engineer	4	45,000	180,000
Electrical engineer	4	45,000	180,000
Mechanic	8	35,000	280,000
Total			835,000

지금까지 필요한 인력의 인건비를 모두 더하면 아래표와 같이 연간 총 $8,655,000으로 계산할 수 있다. 이것은 운영시나리오에 따라 얼마든지 변경될 수 있으므로 실제 시스템의 총수명주기비용을 계산할 경우에는 운영시나리오가 먼저 결정된 이후에 여기에서 제시한 것과 같은 방식으로 필요한 인건비를 계산할 수 있을 것이다.

[인건비]

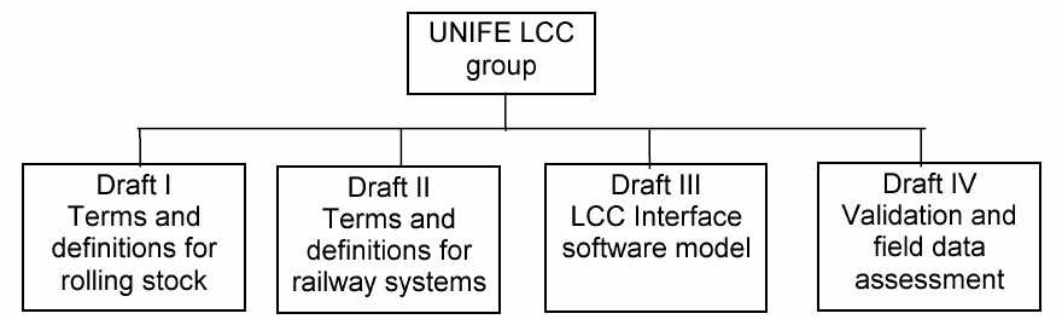
Position	No	Cost
Administration	19	960,000
Operations	21	885,000
Stations	168	5,975,000
Maintenance	20	835,000
Total	228	8,655,000

(3) UNIFE LCC 모델 분석

(가) UNIFE 소개

1) UNIFE 및 수명주기비용 워킹 그룹 회원

UNIFE(유럽철도산업연합, Union of European Railway Industries)는 철도 산업의 협력을 위해 유럽의 철도산업 관련 기관 및 기업으로 구성된 단체이며, 이 단체의 하위 그룹중 하나인 UNIFE LCC 그룹은 철도 산업 내에서 LCC 관련 환경을 개선하기 위해 발족되었다. UNIFE LCC 그룹은 지멘스 KH Munch가 이끌고 있다.



[그림 112]UNIFE LCC 그룹 내 워킹 그룹

2) UNIFE LCC 인터페이스 소프트웨어 워킹 그룹

UNIFE LCC 워킹 그룹 내에 데이터 수집과 전송을 위한 인터페이스 모델을 만드는 것을 목적으로 하는 UNIFE LCC 인터페이스 소프트웨어 모델을 개발하는 워킹 그룹이 존재한다. 이 그룹은 다음 회사 및 그 대표들로 구성되어 있다:

- Alstom: Olivier Chantal, Richard Long, Neil Rogers, Nick Kaye, Steve Tomkins
- Bombardier: Ulf Kjellson, Leader, Rasmus Myklebust (EXCEL code), Emmanuel Bois
- Deuta Werke: Ralph Zimmer, Bernd Neuhaus
- Faiveley Transport: Alain Muller, Christian Leroux
- Siemens: Torsten Arndt, Oliver Hagemann, Wilhelm Burg
- UNIFE: Chris White, Pascale Leburton
- Westinghose Brakes: Ian Wilson, Andrew Cheetham, Tony Parker

(나) UINFE LCC 모델 적용범위

수명주기비용(LCC, Life Cycle Cost)은 한 제품 또는 시스템의 획득 및 유지와 보수에 사용되는 총비용을 평가하는 경제적 분석 절차(프로세스)이다. 이 분석은 제품 설계, 개발 및 사용에 관하여 의사결정 절차에 중요한 정보를 제공한다. 공급자는 대안을 평가하고 트레이드오프(trade off) 연구를 수행함으로써 설계를 최적화할 수 있다. 공급자는

LCC를 최적화하기 위한 다양한 운행 및 유지보수 전략을 평가할 수 있다. 일반적으로 철도 고객 및 운행자는 신뢰할 수 있고 안전한 운행을 보장하며 사용가능한 수명기간 동안 손쉽게 유지보수 될 수 있는 철도 제품을 요구한다. 운영자는 고객으로서는 철도차량 또는 철도시스템을 구매하는 의사결정에서 취득비용뿐 아니라 제품의 운행 및 유지보수에 대한 기대비용에도 중요하게 고려해야 한다. 현재 철도업계에서 LCC는 주로 차량을 위해 사용되지만, Total Railway System (TRS)과 같은 턴키 시스템 위주의 공급에서 반드시 필요하다. 특히 최근 유럽 이외 지역에서의 철도시스템의 개발은 주로 공급자가 LCC를 철도차량뿐만 아니라 전체 철도 시스템(TRS)에 대해 적용하고 있다.

1) 용어

IEC 300-3 "Life cycle costing"에 따라 일반 용어 및 정의를 TRS에 대한 LCC에서 사용해야 한다.

- 수명주기 (Life Cycle): 한 제품의 개념(설계)단계에서 폐기까지의 시간 간격.
- 수명주기비용 (LCC): LCC 모델의 측면에서 한 제품의 수명주기 동안 누적된 모델 비용.
- 수명주기비용법 (Life cycle costing): 한 제품의 수명주기 또는 일정한 부분 동안 LCC를 평가하기 위한 경제적 분석의 절차.
- 비용 프로파일 (Cost profile): 한 제품의 수명주기 또는 일정한 부분 동안에 대하여 그래프 또는 도표로 나타낸 비용 분포.
- 수명주기비용 세부 구조 (Life cycle cost breakdown structure): 한 제품의 총 수명주기비용에 이르는 비용 요소를 순서대로 세분한 것.

2) TRS의 LCC 적용 범위

LCC는 LCC 모델에 비추어 수명주기 동안 한 프로젝트 또는 TRS 시스템에 사용되는 모든 비용의 합이다. TRS 프로젝트의 수명주기는 프로젝트의 개시부터 TRS가 폐기될 때까지의 시간 간격으로 정

의될 수 있다.

TRS의 LCC 모델링은 전체 철도시스템의 실제를 단순화하여 모델화한 것이다. 이는 TRS의 두드러진 특징 및 속성을 구체화하여 이를 비용 숫자로 변환하여 준다. 모든 TRS LCC 모델의 기본 요소는 다음과 같다.

- 해당 TRS의 특정 물리적 구조
- 고려해야 하는 관련 프로젝트 단계
- 포함시켜야 하는 관련 비용 범주

가) 해당 TRS의 특정 물리적 구조

해당 TRS의 특정 물리적 구조는 prEN 50127에 따라 TRS의 주요 하위시스템의 일반 정의에 따라야 한다.

- 열차 (Rolling Stock)
- 신호 및 제어 (Signalling and Controlling)
- 트랙션 파워 서플라이 (Traction Power Supply)
- 통신 (Communications)
- 접근 설비 (Access Facility)
- 로지스틱스 지원 (Logistic Support)
- 트랙 기간시설 (Track Infrastructure)

물리적 구조는 조사 대상인 특정 TRS의 LCC 요구조건에 의존하여 상세화할 수 있다.

특정 TRS 하위시스템들의 역할을 특성화하고 그들 시스템 관련성을 평가하기 위해서는 민감성 분석에 기반을 둔 시스템 분석을 수행하는 것이 필요하다. 그러한 분석에서 자동화 및 이론적 설명과 관련한 운행 관리 기술은 해당 TRS에 대해 중심적 중요성을 지닌다. 법과 규제 또한 전체 TRS에 대해 지대한 영향을 미치며, 완전히 새로운 관점을 촉발시킬 수 있다. 한편, 차량의 설계는 어떤 임계점을 넘지 않는 한, 예, 해당 차량의 기능을 발휘할 수 없는 상태, 시스템에 그다지 큰 영향을 끼치지는 않는다.

나) 고려해야 하는 관련 프로젝트 단계

TRS의 LCC 모델링은 주어진 사용 프로파일 및 환경 하에서 결정될 것이다. TRS 수명주기 단계에 대한 기본적인 이해를 고려해야 하는 것이 매우 중요하다. 고려해야 하는 관련 프로젝트 단계와 관련하여 IEC 300-2에 6가지 주요 수명주기 단계가 규정되어 있다.

- 개념 및 정의
- 설계 및 개발
- 제작
- 설치 (현장 테스트 및 시운전 포함)
- 운행 및 유지보수
- 폐기

EN 50126의 수명주기에는 IEC 300-2보다 상세하게 14단계로 나누고 있다.

다) 포함시켜야 하는 관련 비용 범주

위에 언급한 단계 중 총 비용은 세 가지 주요 영역으로 나눌 수 있으며, 다음과 같다.

- 획득 비용(Acquisition costs)
- 소유 비용(Ownership costs)
- 폐기 비용(Disposal costs)

위에서 파악한 수명주기 단계는 새 제품에 적용되고 잘 개발된 제품들에 꼭 적용되어야 하는 것은 아니다. 수명주기비용 절차는 전체 수명주기 또는 그 일부분에 적용될 수 있다. 고객지향적인 LCC 계산 TRS 모델은 획득(투자), 운행 및 유지보수 단계를 가장 강조한다. 폐기단계는 종종 무시된다.

투자, 운행 및 유지보수 관련 비용 범주는 다음과 같이 나눌 수 있다.

- 투자비용
  - 열차 및 설비
  - 설치
  - 납품

- 문서화
- 유지보수 및 운행 인력 훈련
- 초기 예비(품) 패키지
- 유지보수 시설

투자비용 및 하위 비용 범주는 인건비, 자재비 및 다른 부가 비용으로 구성된다.

- 운행 및 유지보수 비용
  - 라인운행 비용
  - 유지보수 비용
    -예방정비 비용
    -보수정비 비용

운행 및 유지보수 비용 관련 비용 범주는 인건비, 에너지 비용, 자재비, 기타 추가비용으로 구성된다. 공급자 제안의 일부로서 LCC 계산에서는 운행비용에 있어서는 대개 관련 에너지 비용만을 포함한다.

또한 TRS 하위시스템의 LCC 계산을 위해 필요한 일부 입력 데이터는 다음과 같다.

- TRS 구조 내에서의 수량 (Quantities within the TRS structure)
- 운행 시간 (Operation time)
- 에너지 소비 (Energy consumption)
- 유지보수 활동 횟수 (Number of maintenance activities)
- 유지보수 활동 당 작업시간 (Working time per maintenance activity, men-hours)
- 자재비 관련 예비품 수 (Number of spare part respectively material costs)
- 유지보수 활동 (Maintenance activity)
- 고장 및 시스템 정지 정보 (Information on failures and system

breakdown)

- 고장 영향 정보 (Information on faillure effects)
- 기능수행 값 (예, 열차-km, 차량-km) (Performance figures)
- 인시당 관련 비용 (Relevant costs per man-hour)
- 수명주기비용법을 위한 관련 기간 (Relevant time period for life cycle costing)

1) 측정 단위

TRS의 LCC를 위한 가능한 측정 단위

- 투자비용 관련 LCC
  > 각 하위시스템에 대하여
  > 전체 TRS에 대하여
- 비교
  > TRS 하위시스템 중 LCC 분포
  > TRS 하위시스템 중 투자비용 분포
- 열차 당 LCC
- 차량 당 LCC
- 자리 당 LCC
- 승객 km당 LCC
- 승객 여행 당 LCC

도시 철도에서 “자리”는 좌석과 입석을 더한 것을 의미한다. (평방미터 당 4인 기준) 장거리 철도에서 “자리”는 좌석만으로 이해해야 한다.

- 연간 LCC (전체 TRS에 대하여 / TRS 하위시스템에 대하여)

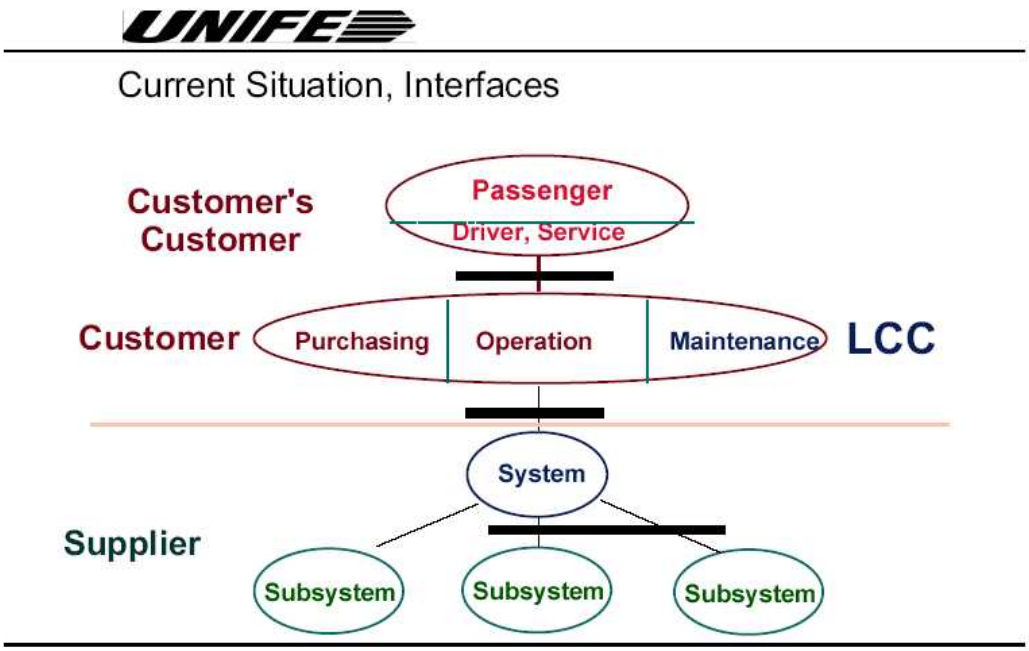
(다) UNIFE LCC 모델 구조

LCC 모델 안에서 분석하는 시스템은 차량일 수도 있고 차량 내 구성요소이거나 또는 전체 수송 시스템일 수도 있다. 또한 LCC 계산은 통화적 가치로서 한 시스템의 기술적 측면의 표현이다. 따라서 한 시스템의 수명주기 동안 자본비용, 이자, 감가상각, 수입, 지출, 세금, 수익

등과 같은 “재정적” 측면의 영향을 포함하는 LCC 계산은 UNIFE 측면의 LCC가 아니다. UNIFE 측면의 LCC는 "기술적"인 LCC 계산이며, 일반적으로 시스템의 분석에서 단순화된 모델을 나타낸다.

1) LCC 모델

LCC 모델의 성격과 구조는 직접적으로 취급되는 특정 적용 또는 생각되는 정보에 달려 있다. LCC 모델은 실제 시스템 시나리오를 지향하여 운용되어야 하고 불필요한 세부사항을 포함해서는 안 된다. LCC는 운영자(예, 시스템 고급자의 계약자)에 의해 초래되는 비용의 합계이다. 이들 비용은 시스템 공급자 자신의 다양한 하위시스템 및 설비 공급자에 의해 영향을 받는다. 동시에 서비스 품질의 최종 수혜자로서 고객의 고객(Customer's customer)을 반드시 고려해야 한다.



[그림 113]LCC 모델을 사용하는 데 있어 고려할 수 있는 다양한 시점

LCC 모델의 또 다른 요건은 시간에 대해 초래되는 비용만을 포함하여야 한다는 것이다. 차량의 가격을 구성하게 되는 일련의 개별 아이템으로 구성되는 계산은 LCC 계산 또는 모델이 아니라 표준 비용

계산(standard cost calculation)이다. 그럼에도 불구하고, 전반적 차량 가격은 LCC 계산에 통합될 수 있는 변수이다.

다시 한 번 정리하면 UNIFE LCC 모델은 LCC 모델은 주로 기술적 측면에 집중하고 다음으로 구성되는 시스템의 표현이다.

- 고정 비용 (비순환 비용)
- 수명주기 전체 동안 또는 일부 기간에 초래되는 비용

2) 요구조건

LCC 모델에 주어지는 요구조건은 다양하고 많으며 요구되는 정확도와 세부사항뿐 아니라 이 모델을 누가 사용하느냐에 달려 있다. 상업적으로 이용할 수 있지만 구매자가 사용하는 모델의 설계를 통제할 수 없는 다수의 LCC 소프트웨어 프로그램이 있다. 특정 요건에 맞추어 주문형 LCC 프로그램을 제작하는 것도 가능하다. 이러한 대안은 보다 비용면에서 효율적일 수도 있다. 그러나 모든 LCC 모델과 소프트웨어 실행은 전문적 용도에 적합하다고 평가받기 위해서 반드시 동일한 기본 기준을 만족시켜야 한다. 그 기본 기준은 다음과 같이 설명된다.

가) LCC 모델의 “적용”이 LCC 모델의 성격을 결정한다.

LCC 모델은 다양한 적용을 위해 설계될 수 있다.

- 개발 및 제작비용에 대해 정보가 요구된다면 모델 매개변수 및 구조가 이에 따라 정의되어야 한다. 그 결과는 차량의 비용, 구성 요소 또는 전체 시스템으로부터 얻어지는데 이는 거꾸로 계획, 개발, 견본, 자재, 외형, 최종 제작, 테스트 등과 같은 다양한 비용으로 구성된다.
- 입찰에 사용하고자 하는 정보수집을 목적으로 LCC 계산을 하고자 한다면 차량 비용은 고정비용의 일부로 포함되며, 차량비용은 더 이상 세분화되지 않는다. 운행 및 유지보수 비용은 어느정도 상세하게 특정된다.
- 입찰에 사용되는 LCC 계산에서는 운전자 또는 라인 비용 등 공급

자에 특정적이지 않은 운행비용을 무시해야 한다.

- 한 차량의 운행수명동안 초래되는 비용 예측을 작성하고자 한다면 고정비용은 중요하지 않으며 모델에서 생략할 수도 있다. 그러나 이런 종류의 모델은 유지보수 비용을 매우 상세하게 세분화할 것을 요구하게 된다.
- 비교의 목적으로 분석하는 두 가지 다른 시스템에 대해 LCC 계산을 하고자 한다면 양자에 대해 동일한 비용은 포함할 필요가 없다. 그러나 두 가지 대안의 차이점을 전체 비용에 대해 상대적으로 보고자 한다면 일반 비용이 중요하다.
- 자본 지출액(capital outlay) 및 운행비용을 나타내고 싶다면 LCC 모델은 이러한 의도와 관련된 모든 비용을 포함해야 한다. 이런 타입의 LCC 모델은 규모가 빠르게 증가할 수 있으며 재정적 LCC 모델의 특징을 갖는다.

위에서 설명한 것과 같이, 모든 요건을 동시에 만족시킬 수 있는 표준 LCC 모델과 같은 것은 없다. "범용적(universal)" LCC 모델이 되기 위해서는 각 사례에 관계없는 특정한 모델과 함께 모든 생각할 수 있는 영향 요소들을 포함해야 한다. 이러한 타입의 모델은 만들기 어려울 뿐만 아니라 사용하기도 지극히 어려울 것이다. 따라서 LCC 모델의 구조는 현재 다루고 있는 특정 과제를 지향하여 운용하여야 한다는 점이 중요하다.

나) 매개변수 입력을 위한 논리적 구조

매개변수를 입력하는 절차는 가능한 한 분명하고 간단해야 하며 이해한 개념의 논리적 구조를 반영해야 한다. 통화 또는 시급과 같은 보편적 값(universal value)은 개별 요소(individual component)를 위한 매개변수 값(parameter value)을 입력하기 전에 한번만 입력되어야 한다. 해당 매개변수가 입력되는 순서는 해당 공식이 처리되는 순서를 반영하여야 한다. 충분히 숙련된 엔지니어는 그 두 순서가 상응하는지 확인해야 한다. 그렇지 않은 경우 실제 LCC 사용

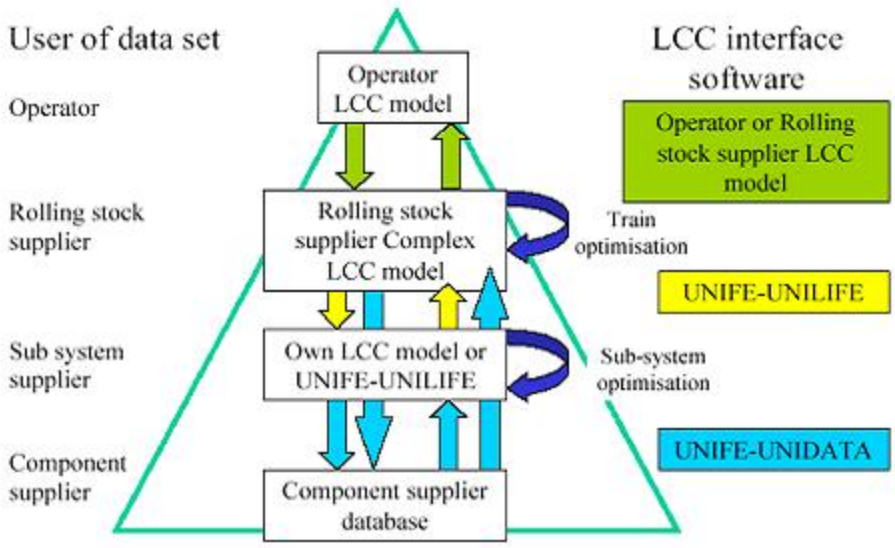
자가 완성된 프로그램을 수용하지 않을 위험이 있다.

일반적인 구조에 있어 수량을 특정화할 때는 주의해야 한다. 너무 많은 레벨은 구조의 투명성에 부정적인 영향을 끼칠 수 있다. 예로 수량에 변화를 줘야 할 필요가 있는 경우 틀린 입력 데이터가 발견되지 않을 수 있다. 일부 경우 이러한 잘못은 LCC 결과에 큰 영향을 미칠 수 있다.

3) UNIFE LCC 모델

가) UNIFE LCC 모델 개념

UNIFE LCC 모델은 앞에서 설명한 “해당 TRS의 특정 물리적 구조”, “고려해야 하는 관련 프로젝트 단계”, “포함시켜야 하는 관련 비용 범주” 등 TRS의 LCC 적용 범위를 고려하여, LCC 전산화에 공급하는 하위공급자로부터의 데이터를 수집하는 UNIDATA(계산 기능 없음)와 모아진 데이터를 이용하여 완전한 LCC 계산을 수행하는 UNILIFE로 구성되어 있다.



[그림 114]데이터 전송을 위한 UNILIFE 및 UNIDATA의 사용과 사용자 그룹 정의

본 UNIFE LCC 모델 개념에서는 UNIDATA의 기능성과 필드명은 UNILIFE의 일부이기 때문에 UNILIFE를 기준으로 설명을 하였다.

UNIFE LCC 소프트웨어는 차량 및 고정 설치 시스템(차량/플랜트/라인) LCC 분석을 위한 데이터 수집에 사용되는 몇 개의 스프레드시트가 포함된 MS 엑셀 워크북이다. 차량은 차량/유닛/타입으로 구성된다. UNILIFE는 하위시스템과 설비 아이템을 위한 LCC 또는 LSC 데이터의 수집과 초기 분석의 목적을 갖는다.

UNILIFE의 수행은 프로젝트 고객 및 공급사 요구에 따라 (차량) 공급사 신뢰성 엔지니어에 의해 셋업 되며, 요청된 데이터는 하위 공급사와 구성부품 공급사의 신뢰성 엔지니어에 의해 입력되어 다시 공급사 신뢰성 엔지니어에게 되돌려 보내진다. 하위 공급사, 설계자 또는 신뢰성 엔지니어는 UNILIFE에 설비, CM 및 PM 데이터 등의 신뢰성, 유지보수 및 비용 데이터를 입력해야 한다. 또한 UNILIFE는 시정조치 및 예방조치 유지보수를 고려하여 라인 교체 가능 유닛(LRUs) 및 예비부품(SRUs)을 다룬다. 고장은 열차 고장 범주(또는 고정 설치: 플랜트 또는 라인 고장 범주)로 세분된다. LCC 또는 LSC에 미치는 영향은 중복성의 도입 또는 제거, 설비 신뢰성 개선 또는 유지보수 요건 변경 등을 수행하여 평가할 수 있다. 보다 자세한 설명은 다음의 UNIFE LCC 모델 구조에서 설명하였다.

나) UNIFE LCC 모델 구조

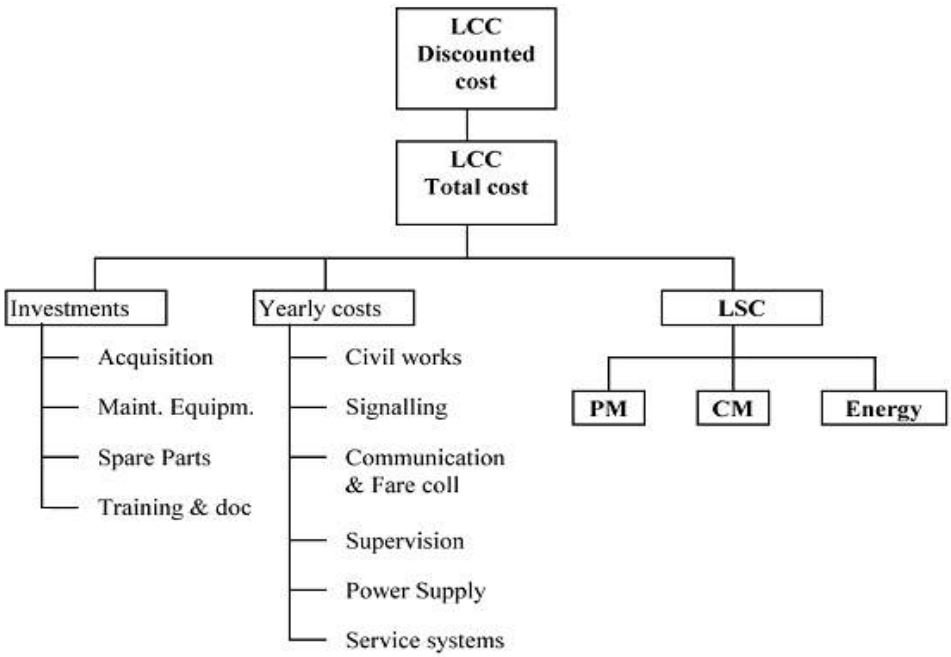
UNIFE LCC 모델은 크게 “Investment(투자비용)”, “Yearly cost(연간비용)", "LSC(수명지원비용)"의 3가지 항목 구조로 구성 되어 있다.

$$LCC_{UNIFE} = C_{Investment} + C_{Yearly\,cost} + C_{LSC}$$

Yearly cost는 총 TRS에 대해 일반적인 비용이며, 필요시 수정될 수 있다. LSC는 PM(예방정비), CM(보수정비) 및 에너지 비용을 포함한다. UNIFE LCC 모델 구조의 3가지 항목은 여러 개의 UNILIFE 세부 스프레드시트에 의해 수집되고 계산된다.

- Global Data spreadsheet
- Equipment Data, CM spreadsheet

- PM spreadsheet
- Maintenance Equipment spreadsheet
- Miscellaneous costs spreadsheet
- LCC Result spreadsheet



[그림 115]UNILIFE LCC 모델 구조

UNILIFE 입력 및 계산시 주의사항 및 제한사항은 다음과 같다.

- 프로젝트신뢰성 엔지니어(supplier)는 프로젝트 데이터 및 글로벌 데이터를 녹색 셀에 입력한다.
- 데이터 요청에 사용된 UNILIFE 파일은 프로젝트 및 하위시스템 식별을 파일명의 기본으로 사용하여야 한다.
- 해당 하위시스템 또는 구성요소 공급사의 신뢰성 엔지니어(sub-supplier)는 설비 데이터, CM, PM, 유지보수 설비 및 기타 데이터를 스프레드시트에서 노란색 셀에 입력한다.

UNILIFE는 LCC 계산 도구로서 사용자 대다수를 만족시키기 위해 모델의 단순함을 유지한다. 이는 실제를 모델화하는 데 필요하

며, 다음의 제한사항을 가진다.

- UNILIFE는 한 번에 하나의 열차 환경설정만을 계산한다.
- UNILIFE는 1인시 비용만을 갖는다.
- UNILIFE는 주기적인 CM 고장을 포함하지 않는다.
- UNILIFE는 차량과 고정 설치물 모두에 사용될 수 있다.

① Global Data spreadsheet

계산 시 필요한 Global Data 입력 요소(supplier 입력)

글로벌 데이터는 해당 시스템을 위한 계산에서 인시률, 차량의 연간 운행거리, 연간 동력 공급된 시간, 열차/플랜트/라인 번호, 사용 연수를 포함한다. 또한 열차/플랜트/라인에서 상이한 타입의 차량/유닛/타입과, 타입 정의 및 각 타입의 번호를 포함한다. 어느 파일(하위시스템)에서든 10개의 차량/유닛/타입 종류에 대해 데이터를 입력할 수 있다. 프로젝트 고장 범주는 글로벌 데이터에 추가되어야 한다. 고장 범주는 대개 고객이 요구하게 되며, 어느 파일(하위시스템)이든 최대 10개까지 허용된다. 유지보수가 고정 간격으로 수행되는 경우에는 여기서 입력된다. 기술 범주 입력 목록 및 사용되는 교육 범주가 포함된다.

● 입력 및 계산 항목

UNIFE-UNILIFE

Revision 1

Global data

Project:
Sub-syst. Supplier:
Equipment:

Parameter	Value	Unit, comments
Personnel Costs		
Original manhour cost	3500	Cost
Manhour cost unit	WON/h	Unit
Life cycle and economy		
Number of trains/plants/lines	10	
Operating distance	320,000	km/y
Discount rate (interest rate - inflation)	4%	Percentage
Life Cycle length (used in calcs)	25	Years
Product Life Cycle (for info only)	25	Years
Present value factor (calculated)	15.62	
Covered distance during life (calculated)	8,000,000	km
Revenue operating time per year		h (not incl in calcs)
Powered time per year this system	4,000	h (used in calcs)
Remarks: other syst with powered time (h)		

○ 입력

· Personnel cost

- Original manhour cost: 기준 인시 비용 입력
- Manhour cost unit: 인시 비용 단위 입력

· Life cycle and economy

- Number of trains/plants/lines: 해당 trains/plants/lines 수량
- Operating distance: 운행거리(Km/year)
- Discount rate: 이자율-인플레이션(%)
- Life Cycle length: 프로젝트 LCC 계산을 위한 수명주기 (year)
- Product Life Cycle: 프로젝트 수명주기 (year)

○ 자동 계산

- Present value factor: LCC 계산을 위한 현재가치 계산 요소
- Covered distance during life: 수명주기 동안 총 운행 거리

Failure categories

Failure category number	Code	Description	Penalty cost per fail	Unit
1	Stf	Example: Stopping fault >10 min	20,000	WON
2	UWV	Example: Unpl Workshop visit	2,000	WON
3	The rest	Example: The rest		WON
4				WON
5				WON
6				WON
7				WON
8				WON
9				WON
10				WON

· Failure categories

- Penalty cost per fail: 각 고장 범주에 따른 벌금

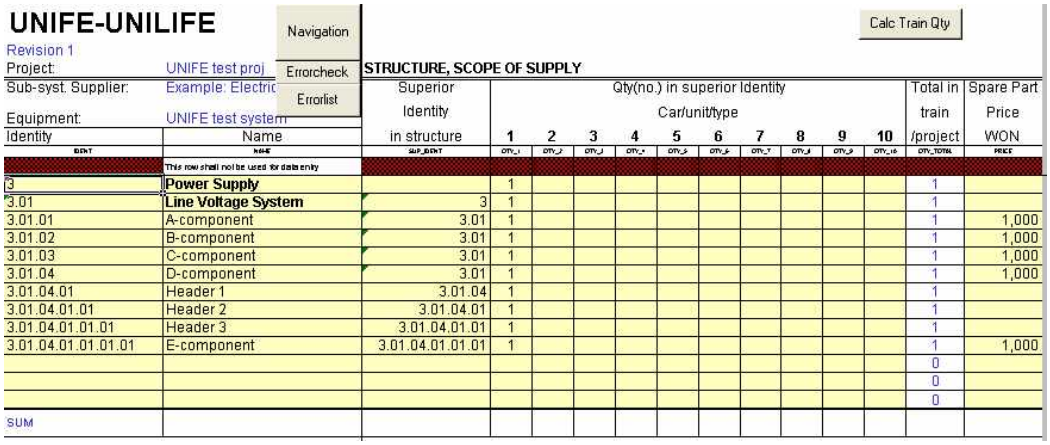
② Equipment Data, CM spreadsheet

계산 시 필요한 CM 입력 요소(sub-supplier 입력)

설비 데이터, CM 스프레드시트는 데이터 정보의 가장 기초이다. 이곳에서는 시스템 구조와 CM에 관련된 모든 정보가 입력된다. 정의된 필드에 어떤 변경도 허용되지 않으며, 필요하다고 생각되는 경우에는 새로운 열을 정의된 구역 오른편에 추가할 수 있다.

● 입력 및 계산 항목

○ 입력



UNIFE-UNILIFE

Navigation | Errorcheck | Errorlist | Calc Train Qty

Revision 1

Project: UNIFE test proj — STRUCTURE, SCOPE OF SUPPLY

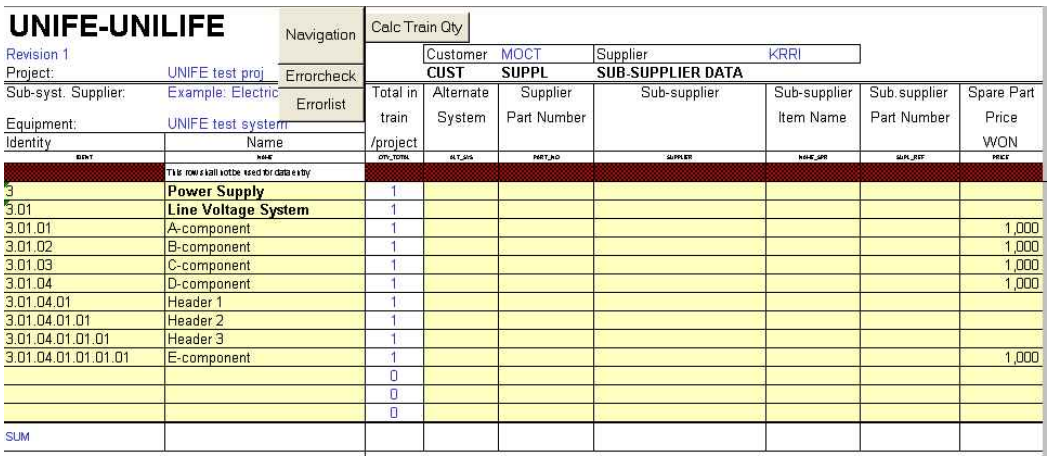
Sub-syst. Supplier: Example: Electric

Equipment: UNIFE test system

Identity	Name	Superior Identity in structure	Qty(no.) in superior Identity Car/unit/type 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total in train /project	Spare Part Price WON
IDENT	NAME	SUP_IDENT	QTY_1	QTY_2	QTY_3	QTY_4	QTY_5	QTY_6	QTY_7	QTY_8	QTY_9	QTY_10	QTY_TOTAL	PRICE
	This row shall not be used for data entry													
3	**Power Supply**		1										1	
3.01	**Line Voltage System**	3	1										1	
3.01.01	A-component	3.01	1										1	1,000
3.01.02	B-component	3.01	1										1	1,000
3.01.03	C-component	3.01	1										1	1,000
3.01.04	D-component	3.01	1										1	1,000
3.01.04.01	Header 1	3.01.04	1										1	
3.01.04.01.01	Header 2	3.01.04.01	1										1	
3.01.04.01.01.01	Header 3	3.01.04.01.01	1										1	
3.01.04.01.01.01.01	E-component	3.01.04.01.01.01	1										1	1,000
													0	
													0	
													0	
SUM														

· Structure

- Name: Item 이름
- Qty(no.) in superior identity Car/unit/type: 차량/유닛/타입 당 Item 수량



UNIFE-UNILIFE

Navigation | Errorcheck | Errorlist | Calc Train Qty

Revision 1

Project: UNIFE test proj

Customer MOCT — Supplier KRRI

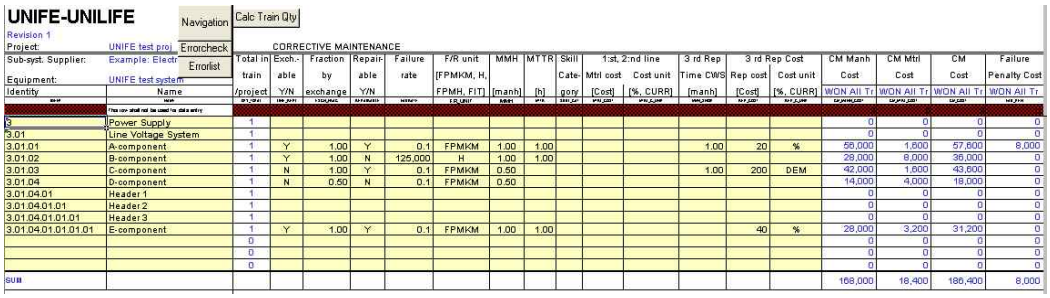
Sub-syst. Supplier: Example: Electric — CUST — SUPPL — SUB-SUPPLIER DATA

Equipment: UNIFE test system

Identity	Name	Total in train /project	Alternate System	Supplier Part Number	Sub-supplier	Sub-supplier Item Name	Sub.supplier Part Number	Spare Part Price WON
IDENT	NAME	QTY_TOTAL	ALT_SYS	PART_NO	SUPPLIER	NAME_SPR	SUP_PART	PRICE
	This row shall not be used for data entry							
3	**Power Supply**	1						
3.01	**Line Voltage System**	1						
3.01.01	A-component	1						1,000
3.01.02	B-component	1						1,000
3.01.03	C-component	1						1,000
3.01.04	D-component	1						1,000
3.01.04.01	Header 1	1						
3.01.04.01.01	Header 2	1						
3.01.04.01.01.01	Header 3	1						
3.01.04.01.01.01.01	E-component	1						1,000
		0						
		0						
		0						
SUM								

· Sub-supplier data

- Sub.supplier Part Number: 부품공급자 부품번호
- Spare Part Price: 예비품 가격



UNIFE-UNILIFE

Revision 1

Project: UNIFE test proj

Sub-syst. Supplier: Example: Electr

Equipment: UNIFE test system

Navigation | Errorcheck | Errorlist | Calc Train Qty

CORRECTIVE MAINTENANCE

Identity	Name	Total in train /project	Exch.-able Y/N	Fraction by exchange	Repair-able Y/N	Failure rate	F/R unit [FPMKM, H, FPMH, FIT]	MMH [manh]	MTTR [h]	Skill Category	1:st, 2:nd line Mtrl cost [Cost]	1:st, 2:nd line Cost unit [%, CURR]	3 rd Rep Time CWS [manh]	3 rd Rep Cost Rep cost [Cost]	3 rd Rep Cost Cost unit [%, CURR]	CM Manh Cost WON All Tr	CM Mtrl Cost WON All Tr	CM Cost WON All Tr	Failure Penalty Cost WON All Tr
	This row shall not be used for data entry																		
3	Power Supply	1														0	0	0	0
3.01	Line Voltage System	1														0	0	0	0
3.01.01	A-component	1	Y	1.00	Y	0.1	FPMKM	1.00	1.00				1.00	20	%	56,000	1,600	57,600	8,000
3.01.02	B-component	1	Y	1.00	N	125,000	H	1.00	1.00							29,000	6,000	35,000	0
3.01.03	C-component	1	N	1.00	Y	0.1	FPMKM	0.50					1.00	200	DEM	42,000	1,600	43,600	0
3.01.04	D-component	1	N	0.50	N	0.1	FPMKM	0.50								14,000	4,000	18,000	0
3.01.04.01	Header 1	1														0	0	0	0
3.01.04.01.01	Header 2	1														0	0	0	0
3.01.04.01.01.01	Header 3	1														0	0	0	0
3.01.04.01.01.01.01	E-component	1	Y	1.00	Y	0.1	FPMKM	1.00	1.00					40	%	28,000	3,200	31,200	0
		0														0	0	0	0
		0														0	0	0	0
		0														0	0	0	0
SUM																168,000	16,400	185,400	8,000

· Corrective maintenance

- Failure rate: 고장률
- F/R unit: 고장률 단위 (또는 MTBF)

  FPMKM=Failure per million km [f/106 km]

  H=MTBF [h]

  FPMH=Failure per million hours [f/106 h]

  FIT=Failure in Time [f/109 h]
- MMH: 유지보수 인시 (고장 수리, 교체, 점검을 포함한 총 유효정비 작업시간)
- MTTR: 평균고장수리시간
- Mtrl cost: 1차 또는 2차 line workshop에서 수리 가능한 Item의 수리평균비용
- 3rd Rep Time: component workshop에서 평균 수리 인시
- 3rd Rep Cost: component workshop에서 수리가능 교환불가 Item의 복구비용

○ 자동 계산

- CM Manh Cost: 보수정비 인시 비용의 총합
- CM Mtrl Cost: 보수정비 Mtrl cost의 총합
- CM Cost: 보수정비의 총합
- Failure Penalty Cost: Global data 따른 고장에 따른 벌금의 총합

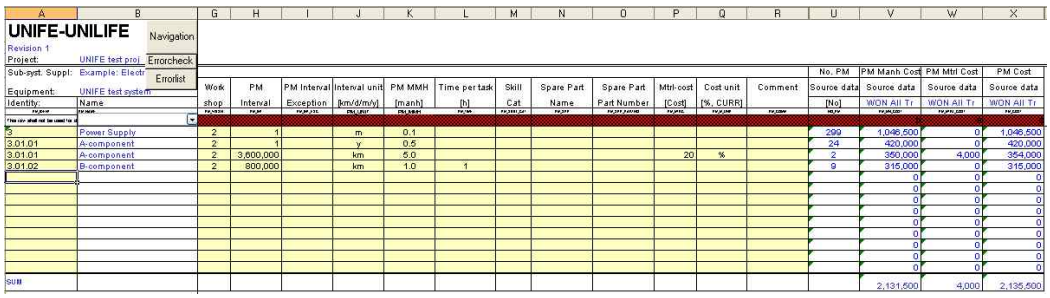
③ PM spreadsheet

계산 시 필요한 PM 입력 요소(sub-supplier 입력)

PM 스프레드시트는 예방정비에 대한 모든 정보를 입력하며, “설비 데이터, CM 스프레드시트”오 함께 데이터 정보의 가장 기초이다.

● 입력 및 계산 항목

○ 입력



UNIFE-UNILIFE

Navigation

Errorcheck

Errorlist

Revision 1

Project: UNIFE test proj

Sub-syst. Suppl: Example: Electr

Equipment: UNIFE test system

Identity:	Name	Work shop	PM Interval	PM Interval Exception	Interval unit [km/d/m/y]	PM MMH [manh]	Time per task [h]	Skill Cat	Spare Part Name	Spare Part Part Number	Mtrl-cost [Cost]	Cost unit [%, CURR]	Comment	No. PM Source data [No]	PM Manh Cost Source data WON All Tr	PM Mtrl Cost Source data WON All Tr	PM Cost Source data WON All Tr
5	Power Supply	2	1		m	0.1								299	1,046,500	0	1,046,500
3.01.01	A-component	2	1		y	0.5								24	420,000	0	420,000
3.01.01	A-component	2	3,600,000		km	5.0					20	%		2	350,000	4,000	354,000
3.01.02	B-component	2	800,000		km	1.0	1							9	315,000	0	315,000
															0	0	0
															0	0	0
															0	0	0
															0	0	0
															0	0	0
															0	0	0
															0	0	0
															0	0	0
SUM															2,131,500	4,000	2,135,500

- Work shop: 유지보수 작업 유형(line/depot/factory)
- PM Interval: 예방정비 간격
- Interval unit: 예방정비 간격 단위 [km/d/m/y]
- PM MMH: 예방정비 활동 인시 [manh]
- Time per task: 유지보수 수행을 위한 시간 및 시험을 포함한 점검 시간 [h]
- Spare Part Name: 예비품 이름
- Mtrl-cost: 평균 유지보수 작업장의 Material cost, CM의 Mtrl-cost와 다름.

○ 자동 계산

- No. PM: 전수명주기 동안 PM활동 수
- PM Manh Cost: 전수명주기 동안 PM활동 인시비용
- PM Mtrl Cost: 전수명주기 동안 PM material 비용
- PM Cost: 총 PM 비용

단, Source data를 이용하지 않고 PM Fixed interval을 이용할 경우 Global Data에서 PM Fixed interval을 정의하고 PM type in calcs를 type 2로 입력, 이 경우 위 PM 관련 자동계산 항목이 Source data가 아닌 Fixed interval 항목에 계산되며, 이 결과를 종합하여 PM cost가 계산됨.

④ Maintenance Equipment spreadsheet

계산 시 필요한 Maintenance Equipment 입력 요소(supplier, sub-supplier 입력)

하위시스템에 의해 요구되는 유지보수장비는 이 스프레드시트에 입력한다. 특별 장비인지 표준 장비인지, 작업장에 얼마나 많은 수량이 필요한지 그 비용은 얼마인지 등이 입력된다. LCC 계산에서 필요한 Investment 비용을 계산하는 데 사용된다.

● 입력 및 계산 항목

○ 입력

UNIFE-UNILIFE

Project: UNIFE test proj
Revision 1 — Sub-syst. Supplier: Example: Electric co.
Maintenance Equipment — Equipment: UNIFE test system

						Num of Depot	Num of Heavy M WS	Num of Comp Ws	
						2	2	2	
Identity	Name	Supplier	Price [W] K	Type 1=Stand 2=Spec	Comment	Quantity in Depot	Quantity in Heavy M WS	Quantity in Comp Ws	Total cost
			10,000	1		3	2	2	140,000
									0
									0
									0
									0
									0
									0
									0
									0
									0
									0
									0
									0
SUM									140,000

- Num of Depot: Depot 수 (Supplier 입력)
- Num of Heavy MWS : Heavy Maintenance workshop 수 (Supplier 입력)
- Num of Comp Ws: Component Workshop 수 (Supplier 입력)
- Price: 유지보수 장비 가격
- Quantity in Depot: Depot에 설치하는 유지보수 장비 수량
- Quantity in Heavy MWS : Heavy MWS에 설치하는 유지보수 장비 수량
- Quantity in Comp Ws: Component Workshop에 설치하는 유지보수 장비 수량

○ 자동 계산

- Total cost: 총 유지보수 장비 비용

⑤ Miscellaneous costs spreadsheet

계산 시 필요한 Miscellaneous costs 입력 요소(sub-supplier 입력) CM, PM에 관련된 항목 이외의 LCC 계산에서 필요한 "Investment","Yearly Cost", "LSC" 항목의 대부분 값이 입력되고 계산된다.

● 입력 및 계산 항목

UNIFE-UNILIFE

Revision 1

Miscellaneous costs

Project: UNIFE test proj
Sub-syst. Suppl: Example: Electric co.
Equipment: UNIFE test system

Investments	**Cost**		Calculated Currency
Aquisition Cost	5,000,000	Cost of acquisition for system	WON
Maintenance equipment	140000	Cost of tools for maintenance	WON
Spare parts	50,000	Cost of spare parts	WON
Training	2,000	Cost for training	WON
Documentation	2,000	Cost for documentation	WON
Misc. Inv 1			WON
Misc Inv 2.			WON
Sum Investments	5,194,000	SUM	WON

Yearly costs	**Cost/y**		
Civil works	2,500		WON
Signalling			WON
Communication &fare coll			WON
Supervision			WON
Power Supply			WON
Service systems			WON
Depot			WON
Misc. YC 1			WON
Misc. YC 2			WON
SUM yearly costs (cost/y)	2,500		WON
	Total cost	Discounted cost	
SUM yearly costs	62,500	39,055	WON

LSC	**Total cost**	**Discounted cost**		
Energy cost	100,000	62,488	WON	All trains, all years

· Investments

- Acquisition Cost: 시스템 획득 비용
- Maintenance equipment: 유지보수 장비 비용 (자동계산)
- Spare parts: 예비품 비용의 총합
- Training: 운영자 교육비용
- Documentation: 문서화 비용

- Sum Investments: 투자비요 총합계(자동계산)

  · Yearly costs

  - Civil works: 토목 작업 비용
  - Signalling: 신호비용
  - Communication & fare coll: 통신 및 운임 수금 비용
  - Supervision: 관리비용
  - Power Supply: 전원 공급 비용
  - Service systems: 서비스 시스템 비용
  - Depot: 정비창 비용
  - SUM yearly costs: 연간 비용 총합(자동계산)

· LSC: Life support cost

  - Energy cost: 에너지 비용

⑥ LCC Result spreadsheet

UNIFE LCC 모델에서 정의한 "Investment","Yearly Cost", "LSC" 비용과 TRS의 총 LCC 비용이 계산되어 나온다.

● 입력 및 계산 항목

UNIFE-UNILIFE

Revision 1 — Project: UNIFE test proj
LCC Calculation Result — Sub-syst. Supplier: Example: Electric co.
Revision Date 2007-03-08 — Equipment: UNIFE test system

Global data	Value	Unit
Original manhour cost	3500	WON/h
Number of trains/plants/lines	10	No
Mean production	320,000	km/y
Discount rate	4%	Percentage
Life cycle	25	years
Revenue operating time (info)	0	h
Operating time this system	4,000	h
Covered dist during life	8,000,000	km
PM Type	Source data PM	

Investments	Value	Unit
Aquisition Cost	5,000,000	WON
Maintenance equipment	140,000	WON
Spare parts	50,000	WON
Training	2,000	WON
Documentation	2,000	WON
Misc. Inv 1	0	WON
Misc Inv 2.	0	WON
Sum Investments	5,194,000	WON

Yearly costs	Total cost	Discounted cost	Unit
Spec on Misc worksh	62,500	39,055	WON
Sum yearly costs	62,500	39,055	WON

LSC (all trains)	Total cost	Discounted cost	Unit
Energy cost	100,000	62,488	WON
PM	2,135,500	1,334,438	WON
CM	186,400	116,478	WON
Failure penalty	8,000	4,999	WON
Sum LSC	2,429,900	1,518,404	WON

Sum LCC (all trains)	7,686,400	6,751,459	WON

- Global data
  - Original manhour cost
  - Number of trains/plants/lines
  - Mean production
  - Discount rate
  - Life cycle
  - Revenue operating time(info)
  - Operating time this system
  - Covered dist during life
  - PM Type
- Investments
  - Aquisition cost
  - Maintenance equipment
  - Spare parts
  - Training
  - Documentation
- Yearly costs
  - Spec on Misc worksh: SUM yearly costs
- LSC(all trains)
  - Energy cost
  - PM
  - CM
  - Failure penalty
- Sum of LCC (all trains)

  = Sum of investments + Sum of yearly costs + Sum of LSC costs

너. 자기부상열차 LCC 예측 프로세스 및 모델링 기법연구

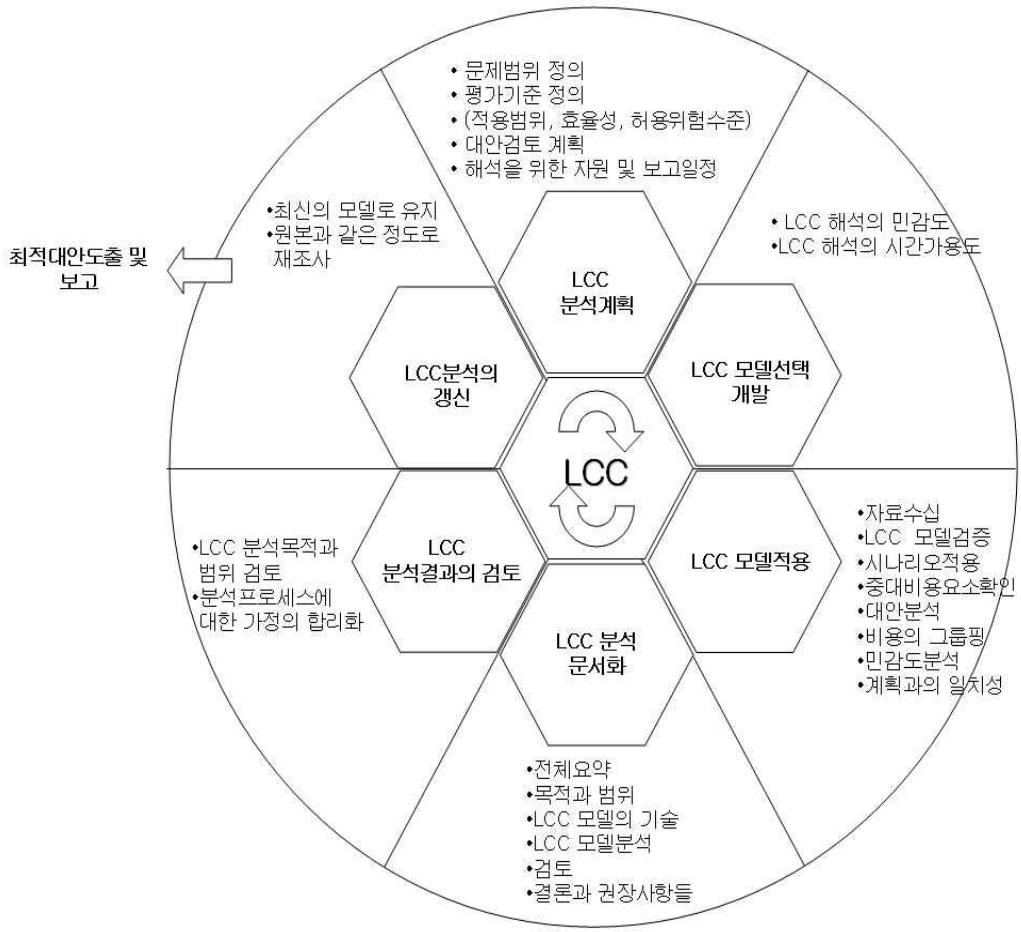
수명주기비용 예측작업은 제품의 수명주기 동안의 획득(acquisition), 소유(ownership) 및 폐기(disposal)에 이르는 과정에서 소요되는 비용을 예측하는 것으로 제품이 복잡할수록 수명주기가 길어질수록 예측작업은 난해해 진다. 따라서 적절한 예측 프로세스 및 타당한 모델링 기법을 도입함으로써 현실상황에 더 근접한 LCC 예측이 가능할 것으로 판단된다. 이를 위하여 본 절에서는 LCC를 분석하고 이를 기반으로 한 자기부상열차 LCC 모델링 기법에 대한 연구에 대해 설명하였다.

(1) 수명주기비용 예측 프로세스

(가) IEC-60300-3-3 규격[2.1]

수명주기비용 예측작업은 제품의 수명주기동안의 획득(acquisition), 소유(ownership) 및 폐기(disposal)에 이르는 비용의 확인 및 평가 작업으로 정의된다. 따라서 유용하고 정확하게 LCC 비용을 산출하기 위해서는 구조적이고 문서화가 잘 된 방법으로 LCC 예측이 수행되어야 한다. 일반적인 LCC 예측프로세스는 반복적인 작업으로 그림 o.o과 같다.

a) LCC 분석 계획(LCC 분석목적 정의)
b) LCC 모델 선택 또는 개발
c) LCC 모델 적용
d) LCC 분석 문서화
e) LCC 분석결과의 검토
f) LCC 분석의 갱신



[그림 116]일반적인 LCC 예측 프로세스

만약 어떤 단계에서 LCC 예측작업이 수정된다면 그 다음 단계에도 영향을 받으므로 위의 전체 단계들이 재 수행될 필요가 있다. 만약 각 단계에서 어떠한 가정이 쓰였다면 해석결과를 설명할 때나 반복적인 작업을 원활히 설명하기 위해 명확히 문서화 되어야 한다. LCC 분석은 다각적인 활동으로 LCC 분석가는 비용요소, 비용데이터, 재무원리 등에 대한 기초 수명주기비용 계산활동에 익숙해야 하며 비용예측과 관련한 불확실성을 평가하는 방법을 명확히 이해하고 있어야 한다. 해석의 범위에 따라 모든 수명주기단계를 잘 알고 있는 개개인들로부터 비용데이터를 확보하는 것은 매우 중요하다.

1) LCC 분석 계획

LCC 예측작업은 LCC 분석의 목적과 범위가 명확히 드러나는 LCC 계획의 개발로부터 시작되어야 하며 LCC 계획에서는 다음 요소들을 명확히 하여야 한다.

a) 해석을 통해 산출되는 결과의 측면에서 분석목적을 정의하며 여기에서 결정된 사항은 LCC 해석동안 적용된다.

분석목적의 예;

① 제품을 위한 계획, 계약, 예산 또는 유사한 요구사항을 지원하기 위한 LCC 결정목적

② 대안과정이 LCC에 미치는 영향평가목적(설계 접근, 제품 획득, 공급 정책, 대체 기술)

③ 집중적 설계, 개발, 획득제품 지원활동을 위해 제품 LCC에 중요하게 영향을 미치는 비용 유발요소 확인목적

b) 분석되고 있는 제품의 해석범위를 정의하며 해석범위는 수명주기 기간, 운영환경, 유지보수 시나리오 등이 고려되어야 한다.

c) 수용가능한 옵션의 범위를 제한할 수 있는 어떠한 가정, 한계, 제한조건, 예를 들면 최소생산성, 요구가능성, 최대자본비용 제한조건 등도 확인되어야 하며 평가되어야 한다.

d) 만약 대안이 해석목적의 일부라고하면 평가되어야 하는 대안에 대해 확인되어야 한다. 제안된 대안들에 대한 리스트는 새로운 옵션으로 정제되어야 하며 현재의 옵션이 문제의 제한조건에 어긋나지 않는가 검토되어야 한다.

e) 의사결정과정을 지원하기 위해 필요한 시점에서 해석결과에는 이용가능 하도록 하기 위해 예상되는 자원 및 해석에 대한 보고일정이 포함되어 있어야 한다.

해석계획은 나머지 단계에서의 작업의 집중화를 위해 LCC 해석과정의 초기부터 문서화되어야 하며, 이때 해석계획은 고객 및 공급자로부터 그들의 요구사항이 정확히 해석되고 명확히 명기되었는지 확인

하기 위하여 검토되어야 한다.

2) LCC 모델 선택 또는 개발

LCC 모델은 분석 목적을 충족하기 위하여 충분히 세부적인 사항을 담고 있는 LCC 모델이 선택되거나 데이터의 가용도를 고려하여 개발되어야 한다.

모델선택시 고려사항 예;

a) 옵션들을 식별하기 위하여 요구되는 선택의 정도

b) 필요한 해석결과의 정확성을 제공하기 위해 요구되는 민감도

c) 수명주기비용 해석을 수행하고 보고하기 위한 시간 가용도

3) LCC 모델 적용

모델 결과의 분석과 산출물들의 LCC분석은 다음 단계들이 포함되어져야 한다.

a) 모든 제품, 서브시스템 및 지원품에 대한 기초비용요소 데이터를 확보한다.

b) 해석계획에서 정의된 제품운용 시나리오에 대한 LCC 해석을 수행한다.

c) 최적의 자원시나리오를 확인할 수 있는 관점에서 해석결과를 보고한다.

d) 해석결과에 가장 중대한 영향을 미치는 비용요소를 결정하기 위해 LCC 모델의 입력값 및 출력값을 검토한다.

e) 만약 제품성능, 가용도 및 다른 제한요소들의 차이가 LCC 모델결과에 직접적으로 반영되지 않았다면 이들의 차이를 정량화해야 한다.

f) 논리적인 그룹화 방법에 의해 LCC 모델의 결과를 요약하고 카테고리화 한다. 예를 들면, 고정 혹은 가변비용, 순환 또는 비순환비용, 획득, 소유 또는 폐기비용, 사용자에 따라 달라질 수 있는 직접 또는 간접비용

g) 가정 및 비용요소의 불확실성이 LCC 모델 결과에 미치는 영향을 검토하기 위해 민감도분석을 수행한다. 이때 제품의 사용과 관계된 가정 및 중요한 비용요소에 대해서는 특별한 주의를 기울여야 한다.

h) 해석계획에서 정의된 목적을 만족시켰다는 것을 확인하기 위해 LCC 결과를 검토한다. 즉 요구되는 결정을 지원하기 위해 충분한 정보가 공급되었는지를 확인한다.

만약 목적이 충족되지 않았을 경우에는 추가적인 평가 또는 LCC 모델의 수정이 필요하다. 모든 가정이 포함된 해석은 해석결과가 쉽게 검증되고 다른 평가자가 쉽게 복제할 수 있도록 잘 문서화 되어야 한다.

4) LCC 분석 문서화

LCC 분석 결과들은 모든 사용자들이 결과와 LCC 분석과의 관계를 모두 다 명백하게 이해할 수 있도록 문서화 시켜야 한다. 이러한 문서는 결과와 연관된 제한과 불확실성을 포함해야 한다. 보고서는 다음 내용을 포함해야 한다.

a) 전체 요약 - 분석의 목적, 결과, 검토와 권장사항들에 대한 짧은 개요이다. 이 요약은 의사결정자들과 사용자, 또는 다른 이해관계가 있는 사람들에게 분석의 개요를 제공할 의도이다.

b) 목적과 범위 - 시나리오의 지원과 제품 사용 환경, 사용 제품의 의도와 정의 포함, 제품 기술, 분석 목적의 서술이다. 이러한 정보는 LCC분석 계획을 포함하기 때문에, 이 계획은 참고적으로 문서화되어 포함되어져야 한다.

c) LCC 모델의 기술 - LCC 모델의 요약은 관련된 가정, LCC 고장 규정의 서술, 비용 요인과 그것이 측정된 방식의 설명, 비용 요인들이 통합된 방법 서술 등이 포함된다.

d) LCC 모델 분석 - LCC 모델 결과의 내용은 비용 유발 입증, 민감도 분석 결과, 분석 활동과 관련된 결과물들을 포함한다.

e) 검토 - 분석결과에 대한 이해의 검토를 통한 내용으로 결과와 관련된 어떠한 불확실성과 의사 결정자나 다른 결과의 사용 또는 이해하는 이용자를 도와주는 다른 결론을 포함해야 한다.

f) 결론과 권장사항들 - 분석 목적과 분석 결과에 기반한 의사결정을 하는 권장사항의 목록에 연관된 결론뿐만 아니라 분석의 개정 작업에서 필요로 하는 확인작업에 연관된 내용을 포함해야 한다.

5) LCC 결과의 검토

분석 프로세스의 재조사는 보고서 상에서 나타난 권장사항과 결론, 결과의 완전성과 정확성을 확인하기 위하여 요구되어 질 수도 있다. 따라서 목적을 확실하게 하기위하여 원 분석가들이 아닌 다른 분석가들에 의하여 LCC 분석결과의 검토는 행하여져야 한다. 이때 다음의 요소들이 포함되어야 한다.

a) 정확하게 진술되고 이해되었는지 확인하기 위하여 분석 목적과 분석 범위를 재조사 한다.

b) 분석 목적과 일치하는 것을 확인하기 위하여 비용 요인들의 정의와 가정을 포함하는 모델을 재조사 한다.

c) 모델 평가를 위한 투입내용이 정확하게 성립되었고, 모델이 정확하게 사용되었으며, 민감도 분석을 포함하여 적절하게 평가 및 토의 되었고, 분석 목적이 달성되었는지 검토한다.

d) 분석 프로세스 동안 만들어진 모든 가정이 합당하고, 알맞게 문서화 되었는지 검토한다.

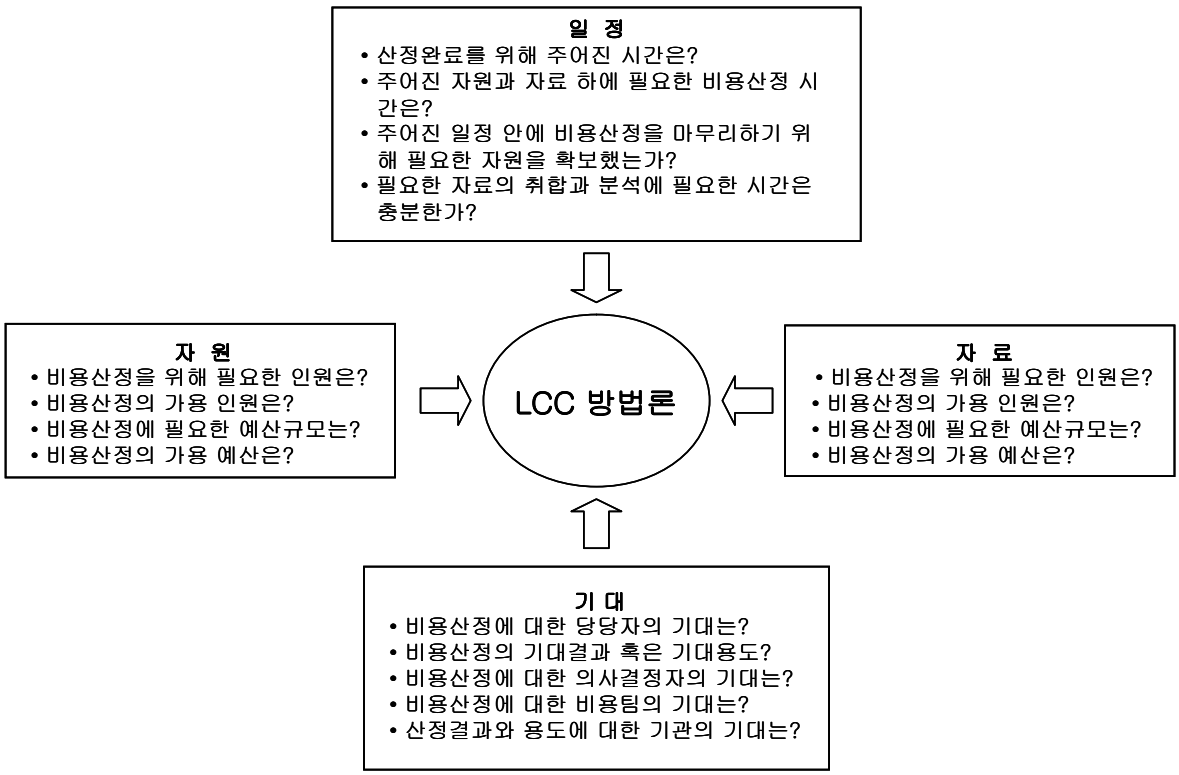
6) 분석 및 갱신

제품의 수명주기를 통하여 검토되어질 수 있도록 LCC 모델을 최신으로 유지하는 것은 제품의 LCC 예측연구에서 유익하다. 따라서 제품 수명 주기에서 사용되어진 좀 더 세분화 된 데이터들에 기인한 LCC 모델 분석 결과의 갱신은 바람직하다. LCC 모델의 보존과 갱신은 LCC 고장 구조 수정, 유용되어질 수 있는 정보자료의 추가적인 비용 측정 방법의 변화, 모델에서 실현되어지는 가정과 대안들의 변

화를 포함해야 한다. 갱신된 LCC 분석은 문서화 되어져야 하며 원본과 같은 정도로 검토되어야 한다.

(나) NASA 수명주기비용 산정절차[2.2]

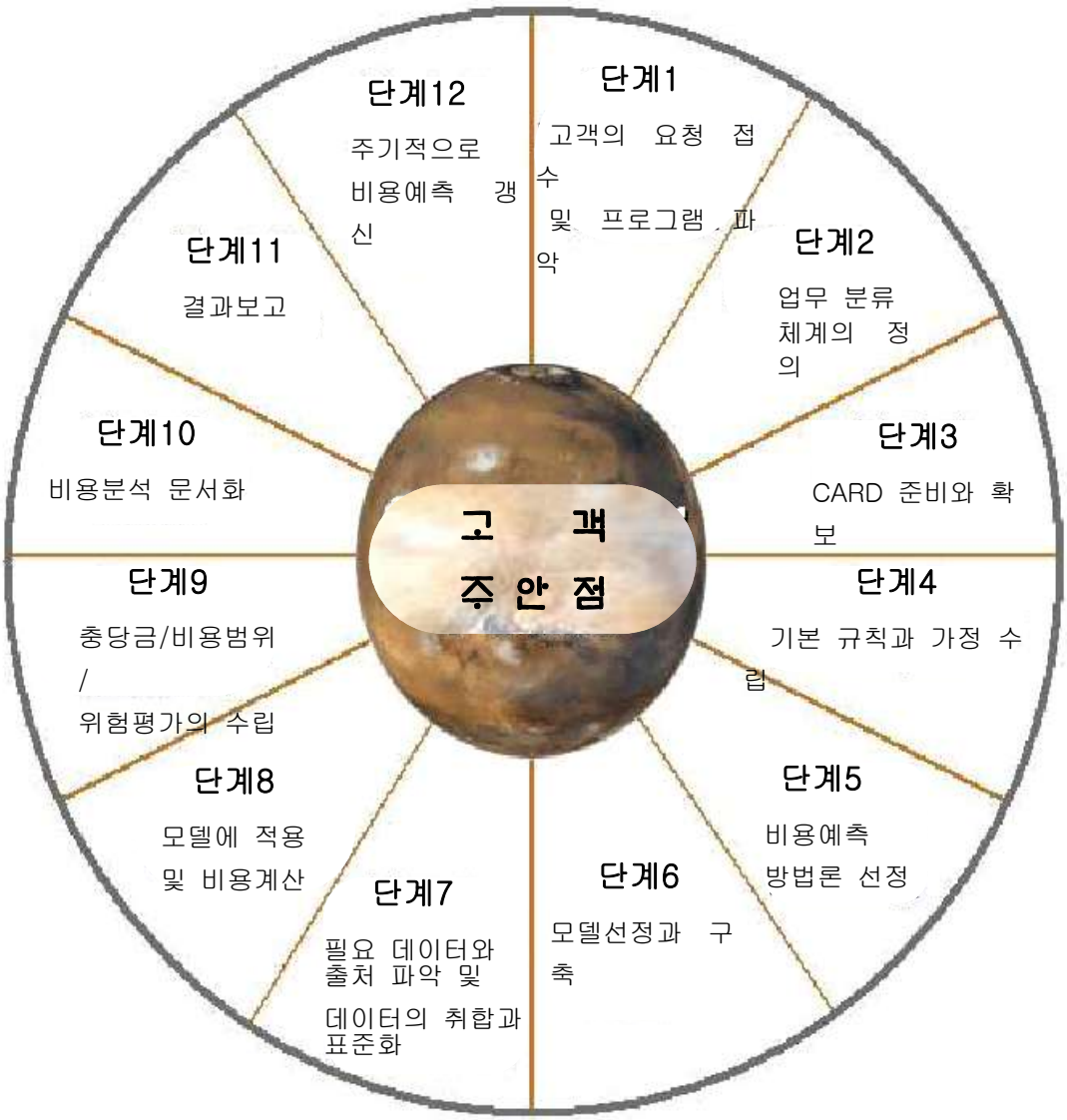
비용예측은 다양한 목적으로 이용되며 각각의 목적마다 고객이 달라지고, 주안점도 차이가 있으므로 비용예측에서는 이 점을 인식하는 것이 중요하다. 그러나 산정형태에 따른 산정과정 자체의 차이는 그다지 크지 않다. 비용예측에는 그림 O.O에서 볼 수 있듯이 자원, 데이터, 일정 및 기대의 4가지 중요 요소가 있으며, 비용예측자(cost estimator)와 의사결정자들은 방법론을 선택하고 비용예측을 진행하기 전에 이들 요소들에 대해서 이해하고 상호간에 의견을 일치시켜야 한다. 따라서 비용예측자는 비용예측 방법론을 선택하기 전에 이러한 요인들을 먼저 검토해야 한다.



[그림 117]비용예측 방법론 선택을 위한 4가지 요소

1) NASA의 LCC비용 예측절차

그림 O.O은 NASA에서 수행되는 LCC 비용예측절차를 위한 단계별 과정을 보여주고 있으며, 각 단계의 수행업무에 대해서는 각 절에서 자세하게 설명되어 있다. 비용예측 과정을 바퀴모양으로 표현한 것은 전체적인 LCC 예측과정이 연속적이라는 것을 나타내기 위함이며 이 과정의 일부 단계들은 선형적 혹은 순차적이 아닌 반복적으로 일어난다.



[그림 118]NASA의 비용예측 과정의 개요

2) 1단계 : 고객의 요청 접수 및 프로그램 파악 단계

비용예측에 대한 요청이 접수되면, 관리자는 비용예측의 기대에 대한 이해를 바탕으로 그 과제를 수용할 자원을 갖고 있는지를 확인해야 한다. 비용담당자는 요청된 업무의 중요도 (예: 마감일정과 요청의 상대적 수선순위)를 판단해야 하며 요청이 수용되면 관리자는 이 사실을 요청자에게 통보하고 작업을 맡을 담당자를 배정한다. 이때 비용담당자는 프로그램 및 프로젝트를 우선적으로 파악하며 과제와 관련된 비용의 효익을 계산하기 위해서 현재의 공정과 운영환경들을 파악한다. 모든 임무와 투자는 그것이 어떠한 것(설비, 인력, 기술 혹은 지식)에 대한 것이든 관계없이 조직의 많은 부분에 영향을 미치므로 프로젝트 임무의 필요성과 목표에 대한 평가 및 운영환경에 대한 평가는 바로 어떤 조직이나 공정이 영향을 받을 것인지를 사전에 식별할 필요가 있다. 프로그램 환경의 기준에 대한 평가는 비용예측의 필요성을 조장한 임무의 필요성, 위험성 및 시스템 결함을 파악하는 것이므로 초기의 평가는 산정과정에서 비교의 대상이 되는 기준을 만들어 준다.

3) 2 단계 : 업무분류 체계의 정의단계

모든 형태의 비용예측에 있어서 일관성 있는 업무분류 체계 (Work Breakdown Structure, WBS)는 비용구조에 중요하며, 모든 비용의 포착, 검토기관이나 이해관계자들과의 의사소통 및 향후 작업에서의 일관성유지 등을 목적으로 한다. 만약 프로그램에 대한 비용분석요건 설명서(Cost Analysis Requirements Description, CARD)가 존재하지 않거나, 프로그램에 대한 비용예측이 한 번도 실시된 적이 없다면, 새롭게 WBS를 수립해야 할 필요가 있을 수 있다. 그러나 WBS가 이미 존재하고, 비용예측도 과거에 실시된 적이 있다면, 정확성, 완벽성 및 기타 변경 필요성 등을 확인하기 위해 WBS를 검토해야 한다. WBS는 매우 제품 중심적이고, 하드웨어와 지원서비스를 포함하지만 직접적으로 프로그램 수명주기를 중심으로 하는 경우는 없다. 시스템의 개발과 조립 단계는 외관상 중복요소에 의해 종종 해결되지만, 요

소의 명칭과 정의는 적절하게 수정될 필요가 있다. 예를 들면, 개발 교육, 초기교육 및 반복교육 등이다. 모든 비용요소들을 확실히 포착하기 위해서는 프로그램과 WBS 전체에 대해 파악해야 하며 WBS를 수정하지 않으면, 비용의 포함 범위에서 차이가 발생할 수 있다. 예를 들어, WBS는 위험에 대한 충당금들을 감안하지 않는다.

4) 3 단계 : CARD의 준비와 확보단계

프로그램 및 프로젝트를 지원하는 NASA 조직들은 수명주기 비용예측을 위한 기준으로 삼기위해 개발 및 취득 과정에 있는 시스템의 비용계산과 관련된 특징에 대한 설명서 (이른바 CARD, Cost Analysis Requirements Description)를 준비한다. 프로젝트팀이 비용예측을 위해 이용하는 공통적 기준을 설정하기 위해 CARD는 시스템의 기술적 내용과 프로그램 정보를 제공해 준다. CARD는 또한 비용에 미치는 영향이 중대하고, 따라서 비용담당자에 의해 해결돼야 할 분야나 문제의 파악에도 도움이 되어야 한다. 이것은 또한 여러 가지 산정방법에도 적용될 수 있도록 탄력성 있게 수립돼야 한다. CARD는 비용예측의 기준이 되는 프로그램 특징에 대해 정량적 및 정성적으로 설명하고 있다. 이와 같이, 프로그램/프로젝트 조직과 독립적인 검토 조직들이 시스템과 프로그램의 공통적 정의를 바탕으로 비용예측을 실시하는 것이 CARD에 의해서 보장되는 것이다.

CARD에 포함되는 내용	CARD에 포함되지 않는 내용
• 포괄적이고 자세한 기초적 규칙과 가정 • 특정 계약 WBS와 프로그램 WBS와의 상관관계 • 부품의 개발 및 구매수량 • 가능한 경우, 하부시스템이나 부품을 개발하거나 생산하는 원계약자와 하청계약자/공급업자의 상호 • 지원과 교육 장비, 가능한 경우, 프로그램 WBS 용어집 • 시스템의 수명주기에 대한 개략적 비용구조 • 아이템들은 개발품, 개조품, COTS(Commercial-Off-The-Shelf, 상업용 기성품) 및 NDI (Non-Developmental Item, 비개발품) 등으로 구별돼야 한다.	• 비용정보 • 비용계산 방법

• 시스템의 개별적인 수리/유지보수 수준에서의 계약되고 예측된 신뢰성과 유지보수성, 자금원이나 관리주체와 관계없이, 프로그램 관련 모든 활동에 대한 내용이 CARD에서 설명되어야 하고, 자금원별 책임소재도 포함되어야 한다.	

5) 4단계 : 기본 규칙과 가정 수립단계

기본규칙과 가정(GR&A, Ground Rules & Assumptions)의 수립은 모든 산정방식에서 핵심적 단계이고, 비용담당자가 준비하는 모든 문서와 발표 자료에 분명하게 드러나야 한다. GR&A의 종합목록은 비용예측의 중요요소이며 프로그램을 명확히 규정하는 데에도 중요하지만, 현재의 산정방식과 향후의 비교를 위해 어떤 비용들이 현재 포함 또는 배제되어 있는지를 비용담당자가 파악하는 데에도 중요한 역할을 한다. 시간을 들여 정확한 GR&A를 수립하고 상호교감 함으로써 부정확하거나 혼선이 있는 비용예측으로 인하여 발생할 수 있는 문제들을 예방할 수 있다. 비용담당자는 NASA 프로그램, 프로젝트 관리자 및 기술팀원들과의 협력을 통하여 프로젝트와 비용예측의 정의와 그 범위를 규정하는데 필요한 일련의 프로그램의 GR&A를 수립하고 문서화한다. 모든 산정에는 포괄적 및 세부적 GR&A가 필요하다. 포괄적 GR&A는 전체 산정과정에 적용되며, 기준년도 화폐가치나 총수량 같은 기본규칙들을 포함하고 있다. 세부적 GR&A는 WBS 각 요소별 해당 상세 섹션에 포함되어 있다. 상세 GR&A는 단위수량과 일정 같은 특정 상세내용을 담고 있다. 프로그램 및 프로젝트의 설계단계에서는 기술 및 프로그램의 모든 매개변수들에 대해 확실히 파악할 수 없으므로, 전체적인 GR&A를 현실적면서도 제대로 문서화하는 것이 비용예측의 건전성을 높여준다. 이러한 GR&A는 프로그램 및 프로젝트 관리자와의 협조와 합의를 통해 수립되어야 한다.

6) 5단계 : 비용예측 방법의 선정단계

비용예측의 요건들(자원, 자료, 일정 및 기대)이 파악 및 문서화되고, WBS가 수립되고, GR&A가 정립 및 합의가 이루어지고 난 다음에 비용담당자가 취해야 할 가장 중요한 단계는 프로그램 및 프로젝트를 위한 최적의 산정방법을 선정하는 것이다. 비용예측 작업을 착수하기 전에 산정방법들이 정의되어야 하며 이는 산정대상 시스템과 가용한 데이터의 형태에 따라 달라진다. 이를 위해서는 일반적으로 4가지 요소를 고려하는데, 비용예측의 마감일은 언제인가(일정), 담당자는 얼마나 배정 되는가(자원), 가용한 정보는 얼마나 있나(자료) 및 고객이 원하는 것은 정확히 무엇인가(기대) 등이다. 적합한 산정방법의 선정에 영향을 주는 요인들은 산정 대상 활동의 범위, 기술적 정의의 상세도, 비용이력의 가용성, 프로그램의 성숙도 및 비용담당자의 경험과 숙련도 등이다. 대부분은 다음 4가지의 일반적으로 받아들여지고 있는 산정방법론적 접근법들 중에서 복합적으로 선정된다.

- 매개변수 방식
- 공학적 산정 방식
- 유사 시스템 방식
- 공급업자의 견적서 / 물량내역서 (ROM, Rough Order of Magnitude)

프로그램이 임무의 타당성에서 실제 배치로 진행됨에 따라, 보다 상세한 정보들이 가용해진다. 임무가 성숙단계로 진행됨에 따라 더 많은 데이터가 제공될 것이기 때문에 초기의 추정치들은 계속 갱신된다. 어떠한 산정기법을 적용했는가에 관계없이 적절한 문서화는 필히 수반되어야 한다.

① 매개변수 산정방식

매개변수 비용예측은 알려진 일부 핵심적인 데이터만 있는 경우 주로 이용된다. 많은 경우 데이터들은 무게특성과 설계복잡성과 관련이 있으며. 매개변수 비용예측은 비용과 관련된 데이터의 이력과 수학적 표현(회귀분석을 통해 선정된 종속변수, 독립변수 및 비용영향 변수)

을 바탕으로 한다. 이러한 접근법의 내재적 가정은 과거 비용에 영향을 주었던 변수는 미래에도 계속해서 영향을 주며 자체적인 비용예측 관계(Cost Estimate Relationship, CER)의 수립과 COTS 이용 혹은 일반적으로 받아들여지고 있는 방정식/모델이 있다. CER은 아이템의 한 가지 이상의 특징을 비용과 연관을 맺어주는 일종의 방정식으로 회귀분석은 비용의 입력사항과 관련하여 어떻게 작용하는가를 예측하는 과정으로 실시된다. 예를 들어, 기존 등급의 항공전자 장비를 조사하면, 항공전자 유닛의 항공전자 시스템에 대한 가중치와 관련된 CER이 산출될 수 있다. 이러한 CER은 가중치가 추정되는 새로운 시스템에 대한 항공전자 유닛의 비용을 예측하기 위해 이용될 수 있다. CER은 또한 다른 등급의 장비에도 이용될 수 있다. 예를 들면, 항공 vs. 우주, 혹은 통신 vs. 데이터처리 등이다. 한편, CER이 현재 사용 중인지 또한 산정 대상 데이터의 입력범위가 시스템에 적용될 수 있는지 등이 확인되어야 하며 모든 CER들이 제대로 문서화되고 설명이 제시되어야 한다. 부적절하게 적용되면, 그 결과는 심각한 비용예측 오류로 이어질 수 있으며 엑셀이나 기타 상용화된 툴들이 이러한 산출에 가장 많이 이용된다.

[표 76]매개변수 비용예측 방법의 강약점

강 점	약 점
일단 개발되고 나면, 모든 가능성을포괄할 수 있다.	제 3자가 이해하기 어렵다.
예측능력의 신뢰도에 관한 정보를 제시하는 통계적으로 안전한 예측 방법이다.	기초데이터, 데이터 수정, 방정식 개발, 타당성과 신뢰성에 대한 통계적 확인과 결론 등에 대한 충분한 설명과 문서화가 필요하다
견해에 대한 의존성 제거 (실질적 관측결과 이용)	적합한 데이터 취합과 통계적으로 정확한 CER수립은 대체로 어렵고 시간과 비용이 많이 든다.
논리적 상관관계, 완벽하고 정립된 조사, 타당성 있는 데이터 및 “과학적 방법”에 따른 타당성	관련 데이터의 범위를 벗어난 예측 가능성 및 신뢰성 상실 가능성이 있다.

② 공학적 산정방식

공학적 산출 방법은 종종 “풀뿌리” 혹은 “상향식” 비용예측이라고 불리기도 하며, 이 방법은 각 요소에 대한 개별적인 추정요소들을 전체적인 추정에 모두 적용하는 것이다. 작업을 수행하는 기술자들이 일반적으로 이러한 저수준의 추정치들을 제공한다. 이러한 비용예측 방법은 상세도가 가장 낮은 수준에서 산정하게 됨으로써 WBS의 각 요소별로 비용을 산출하는 과정이 수반된다. 이 수준에서는 업무활동을 완수하는 자원이 쉽게 구별될 수 있다. 노무비 요건은 종종 재료비 요건과 별도로 산정된다. 기타 직접비(Other Direct Cost, ODC), 일반관리비(General & Administrative Expense, G&A), 재료비 부담액 및 요금 등과 같은 비용요소의 간접비 요인들은 비용예측을 진행하는 과정에서 일반적으로 노무비와 재료비로 적용된다. 액티비티(activity) 작업에 경험이 풍부한 기술인력들이 대체로 이러한 공학적 산출을 담당한다. 비용담당자의 역할은 그러한 풀뿌리 산정이 프로그램/프로젝트 GR&A와 합리성, 완벽성 및 일관성 측면에서 부합하는지 검토하는 것이며 또한 이러한 산정치에 이용된 지식기반을 시험, 이해 및 검증하는 책임도 비용예측자의 몫이다. 기술부문 인원들이 자신들의 “기술적 판단”을 제시해야 하는 상황이 경우가 종종 있는데, 이는 경험적 데이터가 없을 경우로 국한되어야 한다. 그 환경과 가용데이터에 대한 경험과 분석은 이 방법을 적용하는 비용담당자에게 비용예측에 대한 폭을 넓혀준다. 이러한 방법의 공학적 판단과 전문가 의견은 델파이 (Delphi) 기법이라고 알려져 있다. 델파이 기법을 이용할 경우에는 기술 전문가들의 견해에서 공유되고 있는 지식을 포착하고 적절히 문서화하기 위해 비용담당자의 인터뷰 기술이 중요하다.

[표 77]공학적 산정방법의 강약점

강 점	약 점
직관적	비용산출 방법 개발에 상당한 노력(시간 및 비용)이 필요
변론 가능	대안적 요건에 적용이 쉽지 않음
비용요소별로 산정기준(Basis of Estimate, BOE이 가시화됨으로써 신뢰도 제고	모든 대안 상황에 맞는 새로운 산정방법이 구축되어야 함
분리성 : 개별적인 비용요소의 오산에 의해 산정 전체가 영향 받지 않음	“통계적” 신뢰도 수준을 제시하지 못함
중요한 비용요인에 대한 높은 통찰 가능	비용요인에 대한 통찰에 별 도움이 되지 않음
재활용 : 개별적인 프로젝트 예산과 실무자 일정에 대한 적용과 파악을 위한 전환이 용이	비용 요소별 관계/연결이 분석가에 의해 프로그램화 되어야 함

③ 유사시스템 산정방식

유사시스템 산정방식은 유사한 아이템이나 활동을 비교하여 외삽법으로 적용하는 방식이다. 산정 대상 프로그램을 기술적으로 대표하는 과거 프로그램의 비용데이터가 산정의 기준이 된다. 대상 프로그램이 유사 프로그램에 비해 어느 정도 복잡한가에 대한 직관에 따라 그 비용데이터를 상하로 조정할 수 있다. 이때 주관적인 조정은 비용예측의 타당성과 방어논리를 철저하게 훼손시키므로, 반드시 피해야 한다. 유사 시스템에 대한 선형외삽법이 가장 수용되는 “조정방법”이다. 매개변수 산정방식에서는 유사 아이템이 기법으로서의 유용성은 떨어지고, 데이터 포인트로서의 유용성은 높은 것이 일반적이다. 이 방법이 대체로 이용되는 경우는 프로그램의 성격과 기술에 대한 적정수준의 정의가 갖추어져 있어서 그 비용을 적절히 선택하고 조정이 가능한 경우이다. 이 기법의 적용을 위해 선정되는 비교시스템은 현재 현장에서 운영되고 있고, 설계와 운전 측면에서 비용예측 대상 시스템과 유사한 시스템이어야 한다. 또한 관련 정의가 별로 갖추어져 있지 않은 일반적 시스템에 대한 비용예측에도 이런 유사시스템 방법이 이용된다. 비용담당자는 그러한 현재 사용되고 있는 시스템의

데이터를 활용하여, 산정대상 시스템과의 차이를 보정하여 해당 비용을 산출한다. 유사시스템 방식은 비교 시스템을 보정하여 새로운 시스템에 대한 근사값을 구하기 위해 “전문가”의 의견에 많이 의존하게 되므로, 보정 폭이 증가될수록 타당성이 떨어진다.

[표 78]유사시스템 산정방법의 강약점

강 점	약 점
실질적 및 역사적 데이터를 기준으로 하고 있다.	단일 데이터 포인트에 의존한다.
빠르다.	적합한 유사시스템을 찾기 어렵다.
이해하기 쉽다.	정확성 보장을 위해 “표준화”가 필요하다.
비교대상에서 약간만 수정해도 정확해진다.	조정변수”가 외삽법이나 전문가 판단이다.

④ 공급업자 견적 / ROM

프로젝트나 프로그램이 공급업자로부터 이미 비용정보를 제공받은 하드웨어, 설비 혹은 서비스를 사용하는 경우가 종종 있다. 공급업자 견적 방법은 WBS의 어떤 수준에 있는 어떠한 아이템 (예: 하드웨어, 설비 혹은 서비스)에도 적용할 수 있지만, 아이템의 비용이 잘 알려져 있고, 또한 공급업자와 그들 제품 및 서비스에 대한 경험이 바탕이 되어야 한다. 공급업자가 비공식적인 비용정보를 제공할 의향이 있고, 비용분석가가 더 좋은 방법이 없다고 판단한 경우에는 공급업자 견적/ROM이 이용될 수 있다. 비용담당자는 공급업자 ROM이 프로그램이나 프로젝트 GR&A에 일치하는지 확인할 필요가 있고 (예: 화폐단위에 인플레이션 감안여부, 요금 포함여부, 통합비용 포함여부, 기타), 필요하다면 공급업자 ROM을 적절히 수정해야 한다.

[표 79]공급업자 견적/ROM 방법의 강약점

강 점	약 점
데이터 확보에 용이	제시된 비용에 포함된 사항들을 확인 필요
WBS의 모든 수준의 모든 아이템에 적용가능	비용예측 대상과 일치시키기 위한 조정 필요

7) 6단계 : 비용모델의 선정과 구축 단계

모델링은 보완적이고 계량화 가능한 프로그램이나 프로젝트를 분석하는 체계적인 접근법이다. 특정 프로젝트에 이용을 위해 적합한 비용모델을 선정하는 것은 비용예측 과정 중 가장 중요한 과정이다. 많은 비용예측 모델이 존재하고 있고, 그 방법론들도 유사하므로 모든 목적에 한 가지 비용모델만 사용할 필요는 없다. 일부 모델들은 툴로 사용될 수 있도록 기본적인 구조로 구성되어 있다. 분석가가 모델의 레이아웃을 설계하고, 모든 공식들이 서로 맞물리게 구성하기 위해서는 많은 시간이 소요된다. 비용담당자가 비용을 산정하고 조직화하는 것을 지원하는 비용모델링 툴들은 많이 있다. 비용예측을 위한 모델의 역사와 가능성을 파악 및 검증하는 것은 비용담당자의 책임이다.

8) 7단계 : 필요 데이터와 출처 파악 및 데이터 취합과 표준화 단계

비용담당자는 비용분석 완수에 필요한 기술 및 프로그램 관련 데이터를 취합하기 위해 프로그램/프로젝트 매니저 및 기술팀원들과 협력해야 한다. 이를 위한 첫 조치는 프로젝트 요건이 문서화되는 방법(예: 프로젝트팀이 개발하는 일종의 “요건 내역서”)을 파악하는 것이다. 대체로 이러한 내용들은 CARD 같은 문서에 포함될 수도 있다. 프로그램/프로젝트 요건에 대한 문서화가 정비되면, 비용담당자는 기술팀이 설계중인 동일 제품의 비용을 산정하는 것이 보장된다. 요건 내역서에 비용모델 입력사항의 일부가 누락된 경우에는 비용담당자가 관련 기술팀과 협력하여 인터뷰 기법 혹은 데이터 양식을 통해 이러한 데이터를 취합해야 한다. 데이터 취합은 일반적으로 비용예측 과정에서 가장 어렵고 시간이 많이 소요되며, 비용도 많이 드는 활동의 하나이다. 과제부여 초기 시점에는 어떤 데이터가 필요한지가 분명하게 파악되지 않는 경우가 많이 있으며, 비용예측 작업이 진행되면서 데이터 요건도 지속적으로 정비될 것이다. 데이터 출처는 파악하기 어려울 뿐더러, 그러한 데이터 제공처들은 상세 비용자료 제공을 꺼려할 수도 있다. 또한 필요사항도 정확히 파악할 수 없으며, 대체로 데이터에는 이해에 필요한 배경 스토리가 있게 마련이다.

① 데이터 취합절차

데이터 취합은 과제배정 당일부터 시작해서 비용 산정과 분석의 진행 및 문서화 전 과정에서 지속된다. 데이터 취합에는 7단계가 있다.

1. 프로그램 파악
2. 잠재적 쟁점사항 확인 (예: 일정, 성능, 기타)
3. 주요비용요소
4. 데이터 형태와 잠재적 출처 파악
5. 데이터 취합
6. 데이터를 도표화하여 추세파악
7. 데이터의 평가 및 조정

[표 80]3가지 범주의 주요 데이터 형태

데이터 범주	데이터 형태	데이터 출처
비용 데이터	• 과거의 비용 • 인건비 • 종전 프로그램의 CER	• 기초적인 회계기록 • 비용 보고서 • 과거의 데이터베이스 • 계약 (하청계약 포함) • 비용제안(2차 제안 포함)
기술적 운영 데이터	• 물리적 특징 • 성능 특징 • 성능 측정기준 • 기술적 중요 요인 • 중대한 설계변경 • 운영 환경	• 기능 전문가 • 기술 데이터베이스 • 설계 사양 • 설계 도면 • 성능 / 기능 사양 • 최종사용자 및 운영자
프로그램 데이터	• 개발 및 생산 일정 • 생산량 • 생산율 • 환산단위 • 생산 중단 • 중대 설계변경 • 이례 사항 (예: 파업, 국가적 재난, 기타)	• 프로그램 데이터베이스 • 기능조직 • 프로그램 관리 계획 • 주요 하청계약자

② 데이터 취합방법

비용담당자가 정량적 비용데이터를 파악하는 기법은 설문조사, 출처조사, 통계치, 1차 및 2차 출처로부터의 특정 비용 데이터, 및 기술과 프로그램 데이터기법이다. 정성적 데이터 취합을 위해서는 인터뷰, 의경집단, 검토, 회의 및 출처조사 기법이 이용된다. 비용예측의 자원, 일정 및 기대를 바탕으로 데이터 취합방법들은 다양하게 활용될 수 있다. 상업적인 공급업자가 비용 데이터의 유일한 출처가 되는 경우가 종종 있다. 낙찰 전에 상업적 공급자는 사업권 획득에 열을 올리며 그들의 비용예측의 경쟁력 유지를 위해 노력한다. 그러나 낙찰 후에는 그들의 관심사가 이익으로 이동되기 때문에, 비용 정확성에 대한 압박이 경감된다. 요건의 보강은 낙찰 후의 비용발생에 영향을 주는 또 다른 요인이다. 데이터 취합단계에는 비용분석가가 적합성을 최대한 촉구하는 것이 중요하다. 인터넷에서 얻은 데이터는 사실이 아니기 때문에 인터넷 데이터는 별도로 확인해야 한다. 정보취합, 동일정보 이용, 정보 업데이트 및 정보출처 조사능력 등 일정, 비용 및 비용예측의 타당성의 성패를 좌우하는 기관의 분석정책이 필요하다.

9) 8단계 : 모델에 적용 및 비용계산 단계

일단 모델이 선정되거나 구축됐고, 데이터가 취합되었으면, 다음 단계는 모델에 적용시키는 것이다. 또한 GR&A에 따라 모델에 자료를 입력시키고, 데이터들의 차이를 적절히 조정하고 나면, 모델은 비용을 계산할 준비를 드디어 마친 것이다. 모델의 구동 전후에, 정확성을 보장하고 상세 비용예측의 문서화를 위한 입력사항과 공식의 문서화를 위해 공식과 데이터입력의 점검을 반복하는 것이 중요하다. 일단 점추정치가 생성되고 나면, 계획된 실행일정을 고려하여 적합한 시간기간에 배분할 필요가 있다. 이를 위해 이용되는 많은 기법들에는 데이터 곡선, 역사적 배분, 공학적 판단 및 예산제약 등을 포함하여 여러 가지가 있다.

10) 9단계 : 비용범위와 위험 충당금 설정 단계

비용범위와 위험충당금을 수립하는 것과 여러 범위의 점추정치들에

게 미치는 영향을 판단하는 것은 민감도분석을 통해 이루어진다. 충당금 범위를 수립하고 발생확률에 따른 점 추정치를 결정하는 것은 위험분석을 통해 이루어진다. 이러한 “What-if, 가능성” 분석은 여러 가지 이유로 유용하다. 어떤 입력변수가 최종비용에 중대한 영향을 미치는가를 분석하면, 프로젝트의 정의와 설계단계에서 가장 주의해야할 설계 매개변수가 무엇인지 판단하는데 도움이 된다. 시뮬레이션 위험분석 기법을 이용하여 분석가들은 명기된 비용을 초과하지 않는 확률을 나타내는 누계 확률 분포 곡선 (“S″ 커브)을 만들어낼 수 있다. 프로젝트 비용이 초과하지 않을 신뢰도 기대수준을 달성하기 위해 필요한 일정액의 프로젝트 충당금을 설정하는데 이 방법을 이용할 수가 있다. 일련의 입력 매개변수의 최대값과 최저값을 비용모델을 통해 입력하면, 비용예측 범위의 최대/최소 범위가 설정될 수 있다. 프로젝트 관리에는 이 비용범위가 점 추정치보다 종종 유용하게 사용된다.

가) 민감도 분석

대안의 범위를 위한 주요 비용동인(비용의 변동에 가장 많은 영향을 주는 변수)과 가정을 찾아내기 위해서는 민감도분석이 필요하다. 민감도는 비용동인을 찾아내기 위해 이용되며 민감도분석을 실시함으로써 잠재적인 개선점과 비용들을 포착하는 것이 보장될 수 있다. 민감도는 비용예측의 범위가 점 추정치에 어떻게 영향을 미치는지 판단하는 것으로 범위 안에서 일어날 확률의 불확실성에 대한 설명력을 갖고 있는 범위추정치가 점 추정치보다 의사결정자에게 유용하다. 이 점을 바탕으로 하여 의사결정자가 가장 익숙한 위험 비율과 변수들의 범위에 따른 점 추정치에 의한 의사결정이 이루어질 수 있다. 민감도분석은 산정과정 전 단계에서 일어날 수 있지만, 모든 임무목표를 초기에 충족시키는 제약조건 없는 해결방안을 일단 도출한 다음, 비용절감 차원에서 조건들을 수정시키면서 그 해결방안을 검토해나가는 것이 일반적으로 타당하다. 그러나 조건들의 수정 과정에 해결방안에 의한 효익들이 중대하게 변경될 정

도로 실질적인 해별방안이 영향을 받지 않도록 유의해야 한다.

나) 위험성 분석

위험성분석은 발생확률을 반영한 위험조정 점 추정치를 생성하는 과정이다. 위험은 사건발생 확률과 그 발생을 둘러싼 결과에 초점이 맞추어져 있다. LCC 예측은 미래에 대한 예측이라는 성격 때문에, 어느 정도의 위험성과 불확실성은 존재한다. 따라서 비용예측의 정확성을 보장하기 위한 모든 노력을 기울일 필요가 있다. 위험요소가 확인되는 한 그것은 관리 및 통제될 수 있으며, 현실적으로 의사결정자는 실제로 확률의 위험도와 위험발생의 결과를 판단하는 유일한 당사자이다. 가정들의 불확실성과 정확성 부족을 반영하기 위하여 핵심 비용요소들에 대해 입력변수 배분값들(최소값, 최고확률값, 최대값)에 대한 추정이 이루어질 수 있다. 입력변수 배분값들에 대한 LCC 모델이 일단 충분히 개발되고 나면, 모델들을 몬테카를로 시뮬레이션으로 실행시켜 볼 수 있다. 몬테카를로 시뮬레이션은 “불확실한” 변수들의 입력변수 배분값에서 무작위로 값을 추출하여 결과를 도출하는 과정을 반복함으로써 모델에 대한 수많은 시나리오들을 산출해낸다. 시뮬레이션 한 번에 대체로 2,500~10,000번 반복한다. 몬테카를로 시뮬레이션의 결과는 위험이 반영된 추정치이며, 그에 상응하는 통계적 추정 배분값이다. 이 추정 배분값은 일련의 가능한 결과와 범위(최소값과 최대값)를 의사결정자에게 제시한다.

비용 위험 : 비용위험은 비용예측이 정확할 확률로써 이것은 특정 비용예측 방법론 사용으로 기인하는 불확실성이라고 정의된다. 경제적 변수, 비용의 불확실성, 비용예측 오류, CER 불확실성에 대한 통계적 기준 및 추정, 고유의 통계적 불확실성 등으로 인한 위험은 산정과정 고유의 불확실성에 대한 조사를 통해 해결될 수 있다. “위험조정” 산정이 생성될 수 있으며, 이것은 가능한 비용의 “범위”와 단일 “점 추정치”를 발생확률에 대한 언급 없이 제공하기 위해

가능한 주요 매개변수 값들의 배분이 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 통합되는 과정이다. 위험조정 범위는 의사결정자에게 매우 유용하지만, 예산은 점 추정치가 필요하다. 비용담당자가 제공하는 위험조정 범위에서 의사결정자가 선호하는 점 추정치를 선택하는 것이 권장된다.

기술적 위험 : 기술적 위험은 시스템의 성능 혹은 "효익"의 불확실성으로 정의된다. 이것은 특정 제약조건 하에서 성능목표를 달성하기 위한 프로그램, 시스템 혹은 과정의 요건, 계획수립, 설계, 실행 혹은 운영과 관련된 위험이다. 기술적 위험이 일어나게 하는 요인들은 기술의 미성숙, 신뢰도가 낮은 부품의 사용, 기술과 설계 면에서 제품이 최신표준을 채택한 정도, 제품을 뒷받침할 숙련된 자원의 가용성 및 적용에 필요한 변형의 정도 등이다. 기술적 문제 해결을 위한 비용증가와 전체적인 시스템 효익 저하로 반영될 수 있다.

통합복잡성 위험 : 이 유형의 위험은 부속데이터의 수량, 모듈 간의 실질적 인터페이스 횟수 및 프로그래밍과 어플리케이션 솔루션에 관한 기술적 문제들과 관련된 위험들이다.

시장 위험 : 시장위험은 시장의 공급업자, 그들의 소프트웨어 및 관련 툴과 서비스 등의 안정성과 관련된 위험들이다. 시장위험은 시장에 존재하는 공급업자와 제품의 수, 고려대상 시스템의 사용목적과 유사한 생산 환경에서 특정제품이 테스트되고 이행되는 정도, 이행 등의 변수들에 따라서 증가되거나 감소될 수 있다

프로젝트 일정과 프로그램의 위험 : 프로젝트 일정과 프로그램 위험은 모듈이행이 계획일정에 따라 성공적으로 운영되는가에 관련된 위험들이다. 일정위험은 프로젝트 완수나 배치 일정 및 그에 따른 비용과 효익에 대한 불확실성으로 정의된다. 일정의 지연은 연장된 자금조달 요건으로 인해 비용을 상승시킬 수 있고, 시스템 인도가

너무 지연되어 기대효과를 거두지 못하게 될 수 있다. 이 유형은 또한 다음과 같은 변수들에 초점이 맞추어져 있다. 즉, 프로젝트 접근과 계획의 완벽성, 계획에 반영되어 있는 위험완화 기법의 수준, 프로젝트의 기대 일정을 맞추거나 조정하지 못한 영향 등이다.

11) 10 단계 : 비용분석의 문서화 단계

비용분석자는 비용예측 전 과정에 걸쳐 비용예측 결과를 문서화해야 한다. 이 작업은 산정이 완료될 때까지 지속되어야 한다. 비용예측 문서화의 내용과 형식을 시스템 전체적으로 표준화하는 것은 비현실적이긴 하지만, 각 센터들은 문서화의 내용과 형식에 관해 되도록 많은 내부적 일관성을 유지하는 것이 필요하다. 왜냐하면, 이것이 기관 전체적인 비용예측 문서화의 완벽성과 품질을 향상시켜주기 때문이다. 비용예측 문서화의 목적은 프로그램 비용예측의 타당성을 서면으로 입증하는 것이다. 프로그램의 규모와 중요성을 감안한다면, 문서화는 분명히 중요하고 전문적인 활동으로 간주돼야 한다. 일반적인 경험론에 비추어 보면, 최종 문서는 비용예측이 어떻게 진행됐는가에 대한 충분한 정보를 제공하여, 독립적 비용분석가들도 동일한 산정을 재생할 수 있도록 해야 한다. 비용예측의 각 단계에서 사용된 방법들이 충분히 설명되어야 하며, 채택된 데이터베이스도 문서에서 제공되거나 분명히 식별되어야 한다. 현 비용예측과 과거의 비용예측의 차이점을 확인하고 설명하기 위한 비교조사도 역시 고려 대안에 대한 요약과 함께 포함돼야 한다. 문서화가 제대로 되면, 동일 프로그램 및 프로젝트에 대한 다른 비용예측 활동과 차이가 발생해도 문서화된 정보를 토대로 쉽게 조정될 수 있다는 장점이 있다. 문서화와 분석의 가치는 의사결정자가 결정사항에 대해 숙지할 수 있도록 비용요소에 대한 통찰력을 제공하는데 있다. 문서화에는 각 요소별의 위험도 신뢰수준과 더불어 각 라인 항목에 대한 정성적 평가도 수반되어야 한다. 산정과정이 세밀한 곳에는 요약을 붙여야 한다. 상세도의 수준은 산정과정에 따라 차이가 있지만, 경험적으로 보면, 다른 비용담당자가 재생할 수 있을 정도로 상세해야 한다.

1. 기본적인 방법론과 모델 : 특정 방법과 모델을 이용한 기준을 제시한다. 사용된 각 모델에 대한 모든 상세내역에 조정사항을 포함한 매개변수의 입출력내용을 포함시키며, 비용예측의 하드카피와 더불어 비용모델의 소프트카피도 제시하는 것이 바람직하다.
2. 비용예측 과정 : 비용요소의 정의, 비용의 추출과정 설명, 입력 데이터의 정의, 입력 변수에 대입된 값의 목록, 사용된 수학적 공식, 비용요소에 대한 비용동인의 목록, 데이터 출처, 취합된 데이터 및 데이터 조정내용 등이 포함된다.
3. 위험 평가 : 비용의 범위를 포함하며, 무작위로 (+/-)를 사용하는 것은 불충분하다.
4. 비용 동인 : 성능, 신뢰성, 유지보수성 및 일반적 운영 등에 초점을 맞춘 핵심 동인들이 포함되며, 각각의 동인들은 다른 것과 독립적으로 조사되어야 한다.
5. 민감도 및 위험성 분석 : 민감도 분석은 현재의 매개변수의 변화에 따른 비용 변동에 초점을 두고 있다. 위험성분석에서 무작위 (+/-)로는 불충분하다. 정량적 분석이 불가능한 경우에는 정성적 분석이 진행되어야 한다. 또한 시스템의 각 요소에 대한 비용영향에 관심이 유발되도록 결과가 제시되어야 한다.

학습된 교훈들은 종종 구두로만 전해지고, 문서화되어 충분히 공유되지는 않는다. 추가적으로 비용예측의 결과는 일반적인 비용정보 분야에서 학습된 교훈들을 제공해야 한다. 예를 들어, 학습된 교훈은 척도의 배열에 의해 시스템 비용을 절감 혹은 삭제할 수 있게 해준다. 학습곡선 교훈은 프로그램과 무관하게 달성 및 적용 가능한 비용절감 교훈이다. 고객 피드백도 또한 교훈에 통합시켜야 한다.

12) 11 단계 : 결과의 발표와 보고 단계

비용담당자는 내외부의 적절한 발표자료로 이용될 브리핑 자료와 보조문서를 준비해야 한다. 비용예측 문서화와 마찬가지로, 비용분석 브리핑자료의 내용과 형식을 전체적으로 모든 비용예측 형태에 동일

하게 표준화시키는 것은 현실성이 없지만, 관리평가 과정에 이해력을 제고시키고, 비용예측과 분석 문서화의 완벽성과 품질을 높이기 위해서는 내부적으로 일관성을 최대한 유지하는 것이 재차 권장된다. 완벽한 문서화는 비용예측의 타당성과 방어논리에 필수적이다. 비용 발표문서는 핵심 포인트에 대해 정확하고 집중적으로 설명하여, 독자의 관심을 비용동인과 비용실적으로 이끌어야 한다.

13) 12 단계 : 비용예측의 주기적 갱신 단계

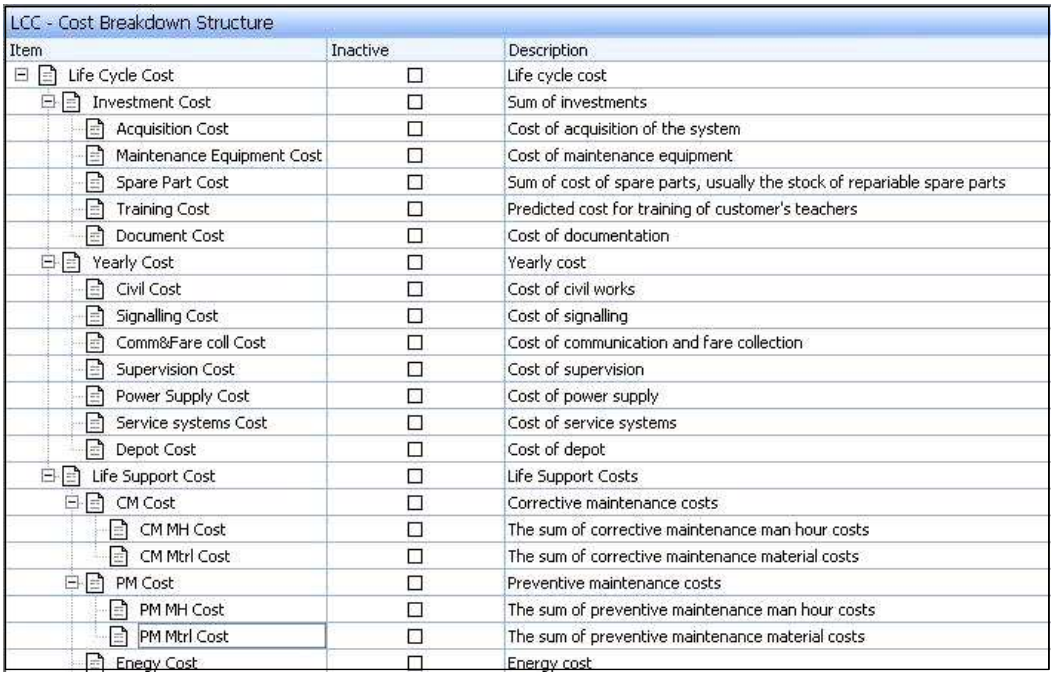
비용예측은 프로그램의 내용이 변경될 때마다 갱신돼야 한다. 비용예측을 항상 최신 상태로 유지함으로써, 비용예측의 방어논리를 보강시키고, 갱신된 비용예측의 검토시간을 줄어주고, 또한 의사결정자가 “What If” 조사나 중요한 의사결정 사항에 대한 분명한 이해를 북돋을 수 있을 것이다.

(2) RELEX-LCC 적용 연구

(가) RELEX-LCC 개요

1) 비용계층구조(Cost Breakdown Structure, CBS)

LCC 예측은 한 제품 또는 시스템의 획득 및 유지와 보수에 사용되는 총비용을 평가하는 것이다. RELEX-LCC는 비용 평가 분석을 위해 비용 요소들을 이용하여 비용계층구조를 정의하고, 비용계층구조를 근거로 하여 비용을 계산할 수 있는 계산식을 정의할 수 있다. 이때 비용계층구조는 LCC 예측을 위해 각각의 비용 요소들을 계층적 나무(tree) 구조로 정의한 것이다.



LCC - Cost Breakdown Structure

Item	Inactive	Description
Life Cycle Cost	☐	Life cycle cost
Investment Cost	☐	Sum of investments
Acquisition Cost	☐	Cost of acquisition of the system
Maintenance Equipment Cost	☐	Cost of maintenance equipment
Spare Part Cost	☐	Sum of cost of spare parts, usually the stock of repariable spare parts
Training Cost	☐	Predicted cost for training of customer's teachers
Document Cost	☐	Cost of documentation
Yearly Cost	☐	Yearly cost
Civil Cost	☐	Cost of civil works
Signalling Cost	☐	Cost of signalling
Comm&Fare coll Cost	☐	Cost of communication and fare collection
Supervision Cost	☐	Cost of supervision
Power Supply Cost	☐	Cost of power supply
Service systems Cost	☐	Cost of service systems
Depot Cost	☐	Cost of depot
Life Support Cost	☐	Life Support Costs
CM Cost	☐	Corrective maintenance costs
CM MH Cost	☐	The sum of corrective maintenance man hour costs
CM Mtrl Cost	☐	The sum of corrective maintenance material costs
PM Cost	☐	Preventive maintenance costs
PM MH Cost	☐	The sum of preventive maintenance man hour costs
PM Mtrl Cost	☐	The sum of preventive maintenance material costs
Enegy Cost	☐	Energy cost

[그림 119]RELEX-LCC 비용계층구조 탭(tab)

비용계층구조 탭(tab)은 아이템(Item), 비활성(Inactive), 묘사(Description) 세 가지 요소를 포함한다.

○ 아이템은 각각의 비용 요소의 이름이며, 각 아이템은 하위구조를 가질 수 있다.

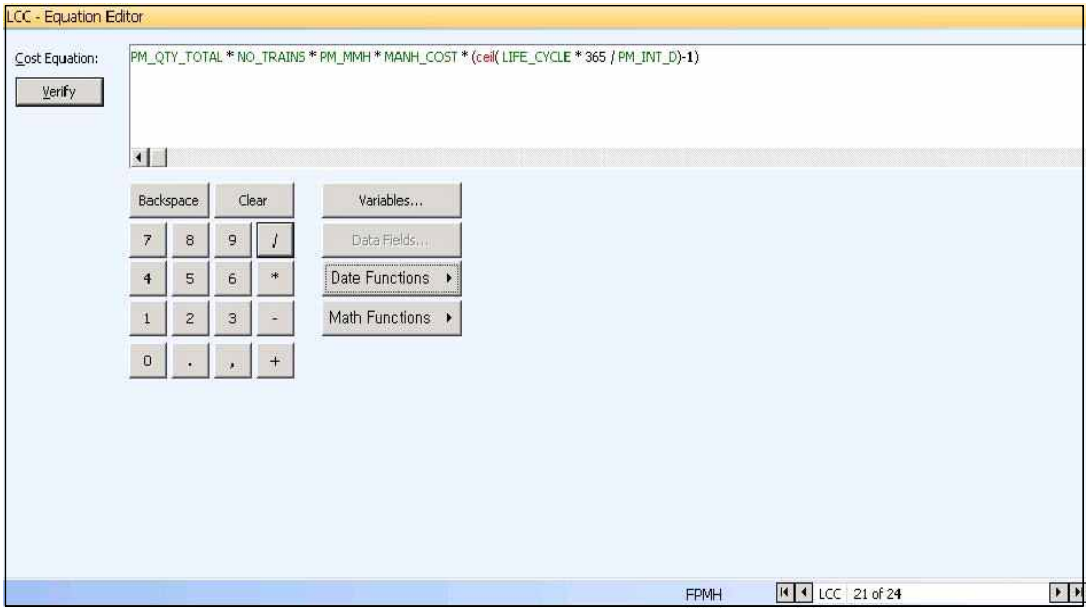
○ 비활성은 체크박스를 선택하면 해당하는 아이템의 계산식을 포함할 수 없고, 선택되지 않은 아이템은 계산식을 포함할 수 있다.

○ 묘사는 각 아이템의 설명이다.

현재 진행하고 있는 RELEX-LCC의 비용계층구조는 UNIFE-LCC 모델 구조를 바탕으로 정의한 것이다.

2) 수식정의

RELEX-LCC는 정의된 비용계층구조의 각 아이템에 관련된 비용들을 계산하기 위한 식을 정의할 수 있다. 수식은 사칙연산 및 지수 로그 등의 간단한 수학 계산이 가능하며, 수식을 간단하게 하기 위해 변수를 사용할 수 있다.



[그림 120]RELEX-LCC 수식에디터탭(tab)

수식에디터 탭에서 사용하는 기능들은 다음과 같다.

○ 비용수식은 CBS Tab에서 선택된 아이템의 비용계산식을 수정할 수 있는 박스이다.

○ 검증버튼은 비용수식이 완성되면 계산식이 유효한지 확인할 수 있는 버튼이다.

○ 비용수식 아래에 있는 키패드는 숫자를 입력하거나 기본적인 사칙연산을 클릭하여 수식에 반영할 수 있도록 한다. 숫자나 사칙연산은 키패드를 클릭하여 입력할 수도 있지만, 타이핑하여 직접 입력할 수도 있다.

○ 변수버튼을 클릭하면 사용자가 계산식에서 사용하기 위해 미리 입력해 놓은 변수들을 보여주고 선택할 수 있도록 한다.

○ 데이터 필드는 RELEX의 다른 모듈에서 사용하는 데이터를 보여주고 선택할 수 있도록 한다.

수식 에디터 탭에서 사용하고 있는 계산식 역시 UNIFE에서 사용하는 계산식을 바탕으로 했으나 RELEX에서 사용할 수 없는 기능들(if 문 등)은 예제에 맞게 수정하였다.

(나) RELEX-LCC 분석

본 장에서는 RELEX-LCC 분석을 위한 순차적인 프로세스를 소개하고 제동 디스크와 패드에 대한 데이터를 활용하여 수행한 시뮬레이션의 결과를 보여주도록 하였다. RELEX-LCC를 수행하는 프로세스는 간략하게 다음과 같이 설명할 수 있다.

① 프로젝트의 support file에 필요한 variables, alternatives, time intervals를 정의하고 값을 입력한다.

② 프로젝트에 시스템 파일을 생성하여 CBS를 정의한다.

③ 정의한 CBS의 수식에디터에 비용 계산식을 입력한다.

④ 원하는 기준으로 계산을 수행한다.

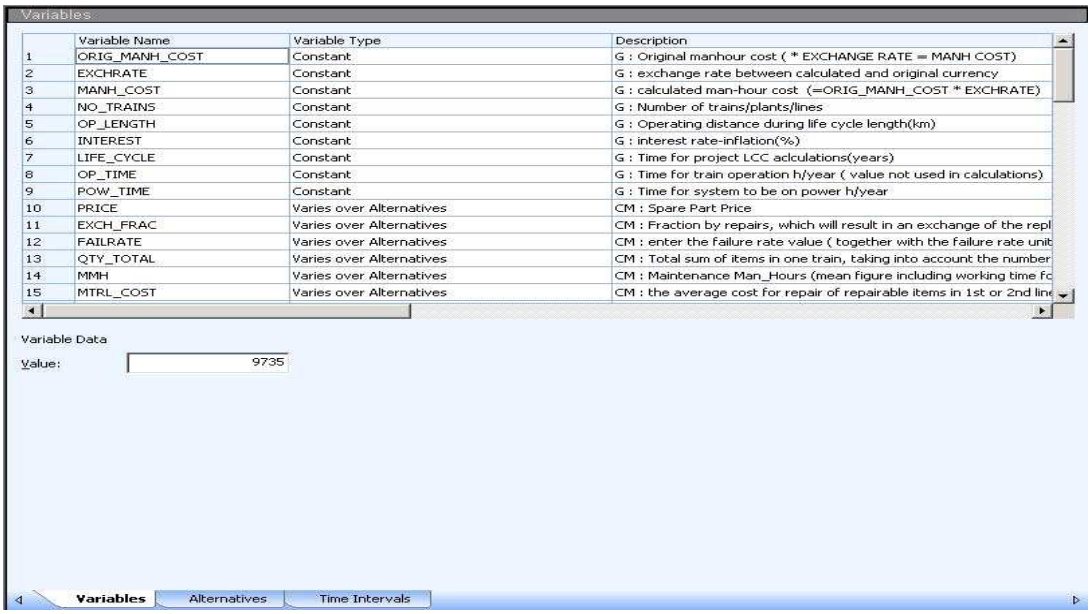
⑤ 계산결과 값을 원하는 형태의 그래프나 보고서로 작성하여 정리한다.

가) 변수정의

RELEX-LCC에는 support file이 LCC 변수파일 한가지 밖에 없으므로 CBS를 구성하고 비용을 계산할 때 필요한 모든 데이터 값들을 변수에 입력해야 한다. LCC 변수파일은 프로젝트가 생성될 때 자동으로 시스템 파일과 함께 생성된다. LCC 변수파일은 Variables, Alternatives, Time Intervals 세 개의 tab으로 구성되며 각각의 탭에 원하는 대안을 입력하여 계산된 비용의 결과를 비교할 수 있다. 변수는 LCC 계산식에 사용하는 LCC 변수들을 저장하는 탭이다. 변수테이블과 변수데이터 두 가지로 나누어져 있는데, 변수테이블에는 LCC 변수들 입력하고 변수의 이름과, 타입, 묘사 등의 정보를 저장하고 변수데이터에는 변수의 값을 저장한다. 변수는 constant, Varies over Time Intervals, Varies over Alternatives, Varies over Alternative and Time Intervals 등의 네 가지 타입으로 나눌 수 있다. 대안에 따른 비용, 시간간격에 따른 이자율이 고려된 비용 등을 비교 분석 할 수 있다.

○ constant는 프로젝트 내에서 유일한 값을 가지며, UNIFE의 시뮬레이션에서는 Global Data에 해당하는 것들이 constant type이라고 할 수 있다.

변수데이터에 값을 입력한다.



[그림 121]RELEX LCC Variable tab

○ Varies over Time Intervals는 LCC 계산에 시간간격에 따른 이자율을 고려하여 계산할 수 있도록 하며 시간간격을 기준으로 계산한 결과에는 이자율이 고려된 비용과 고려되지 않은 비용이 함께 나타나 비교할 수 있다.

○ Varies over Alternatives는 LCC 계산에 대안에 따른 값의 변화를 분석할 수 있도록 하며 UINIFE의 시뮬레이션에서 계산하는 부품, 제동 디스크와 패드를 넣고 두 개 부품의 LCC 결과 값을 비교할 수 있도록 하였다.

○ Varies over Alternatives & Time Intervals는 두 가지를 함께 고려하여 분석하는 것으로 시간간격을 대안 별로 모두 고려하여 각각의 비용을 한눈에 볼 수 있도록 한다. 변수는 추가한 순서대로 정렬되며 CBS에서 변수를 불러올 때는 알파벳순으로 보여지므로 명칭을 줄때도 보기 쉽고 찾기 쉽게 하는 것이 좋다.

나) 대안(Alternatives)

변수의 타입이 Varies over Alternatives이거나 Varies over

Alternatives & Time Intervals인 경우 대안을 입력하고 수정할 수 있는 탭이다. UNIFE 시뮬레이션의 두 가지 부품을 대안으로 입력하였다.

Alternatives

	Alternative Name	Description
1	01 - DISK	제동 디스크
2	01 - PAD	브레이크 패드
*	< Click here to insert a new Alternative >	

[그림 122]RELEX-LCC 변수의 대안탭

Alternatives tab에서 대안이 입력되면 각 대안에 해당하는 값을 넣어야 하는데 이 값은 변수 탭의 변수데이터에서 각각에 해당하는 값을 입력할 수 있다.

Variable Data

	Alternative Name	Value
1	01 - DISK	300000.00
2	01 - PAD	15000.00

[그림 123]RELEX-LCC 변수의 대안값 입력 창

다) 시간간격

변수의 타입이 Varies over Time Intervals 이거나 Varies over Alternatives & Time Intervals인 경우 시간간격과 각 간격에 해당하는 이자율을 입력할 수 있는 탭이다. UNIFE의 시뮬레이션에서는 연차별 이자율은 고려하지 않기로 한다.

Time Intervals

	Time Interval Name	Interest Rate	Description
1	1	5.00	1st year
2	2	5.00	2nd year
3	3	5.00	3rd year
4	4	5.00	4th year
5	5	5.00	5th year
*	< Click here to insert a new Time Interval >		

[그림 124]RELEX-LCC 변수의 Time Intervals tab

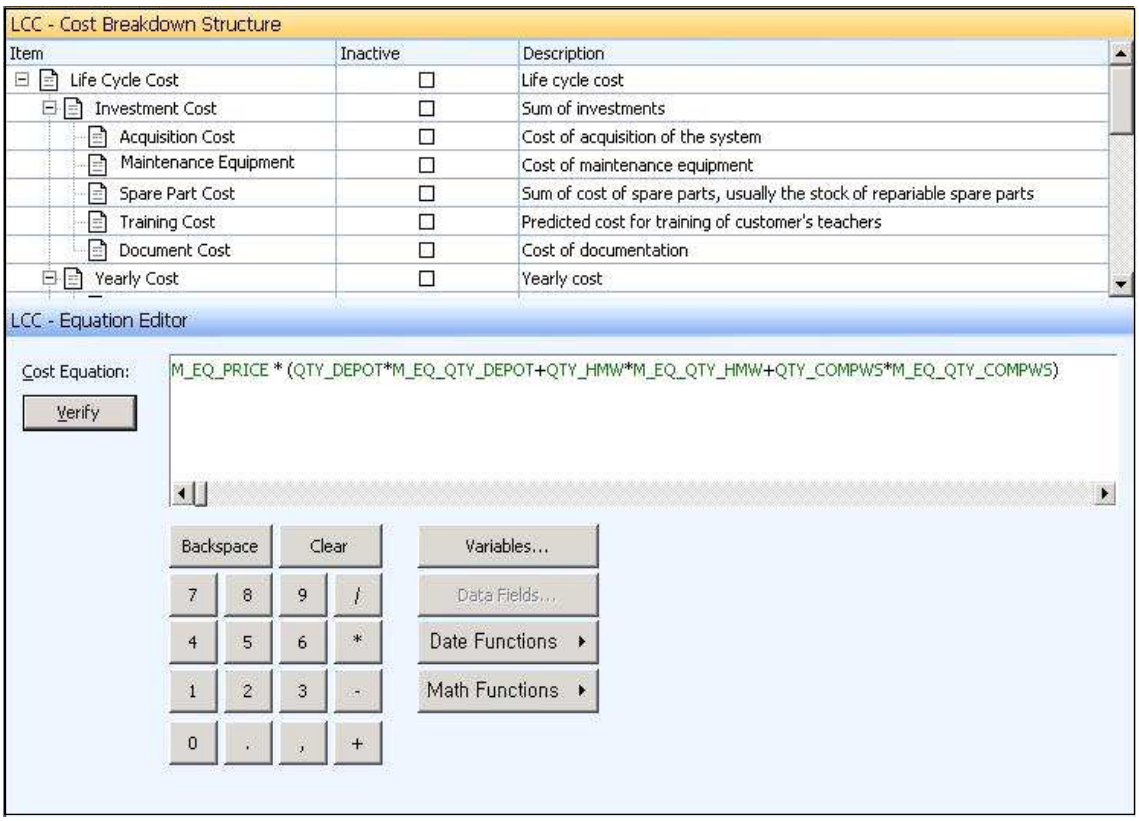
라) CBS의 수식 정의

변수가 모두 정의되고 난 후에 시스템 파일을 생성하고 CBS를 작성한다. CBS는 UNIFE의 CBS를 기준으로 작성하고 각 비용 항목의 계산식도 UNIFE의 항목별 계산식을 기준으로 작성하였다. 단

RELEX-LCC의 수식에서는 if문을 사용할 수 없으므로 UNIFE-UNILIFE의 엑셀에서 구현했던 수식은 시뮬레이션의 성격에 맞게 변경하였다. 수식을 완성한 후에는 검증버튼을 클릭하여 수식에 오류가 없는지 검사하도록 한다.

마) 투자비용

투자비용은 획득비용(시스템 획득 비용:입찰 혹은 계약 비용), 유지보수비용(유지보수 장비비용:판매가 혹은 계약가), 예비품 비용, 운영자 교육비용, 문서화 비용 등으로 구분한다. 투자비용 항목에 대해 UNIFE와 마찬가지로 RELEX-LCC도 유지보수비용을 제외한 나머지 항목은 계산 없이 조사된 비용을 바로 입력값으로 적용하도록 하고, 유지보수비용은 정해진 장비수를 기준으로 계산하여 비용을 산출하도록 한다.



[그림 125]투자비용의 CBS와 계산식

바) 년간운영비용

연간운영비용은 Civil Cost(연간 토목 작업 비용), Signalling Cost (연간 신호 비용), Communication & Fare Collection Cost(연간 통신 및 운임 수금 비용), Supervision Cost(연간 관리 비용), Power Supply Cost(연간 관리 비용), Service Systems Cost(연간 서비스 시스템 비용), Depot Cost(연간 Depot 비용) 등으로 구분한다. 연간 운영비용은 차량외 비용으로 보고 모두 운영사가 조사하여 얻은 비용을 변수에 일괄 적용하는 것으로 한다.

사) 수명유지비용

수명유지비용은 크게 고장정비비용과 예방정비비용, 에너지 비용, 고장손실비용으로 나눈다.

○ 고장정비비용 : CM 관련 인건비, CM 관련 자재비

① CM 관련 인건비 : UNIFE의 계산식을 기본으로 하되, 고장률의 단위는 FPMKM(failure per million km)로 통일하여 계산하였다.

② CM 관련 자재비 : UNIFE의 계산식을 기본으로 하고, 자재비용은 모두 실제 금액으로 표기하도록 하였다.

○ 예방정비비용 : PM 관련 인건비, PM 관련 자재비

① PM 관련 인건비 : UNIFE 시뮬레이션에서 수행했던 1일, 3일, 3달, 3년, 6년 주기를 RELEX-LCC에서는 따로 구분할 수 없으므로, 1일 주기를 기준으로 계산하였다.

② PM 관련 자재비 : UNIFE의 계산식을 기본으로 하고, 예비품비용은 모두 실제 금액으로 표기하도록 하였다.

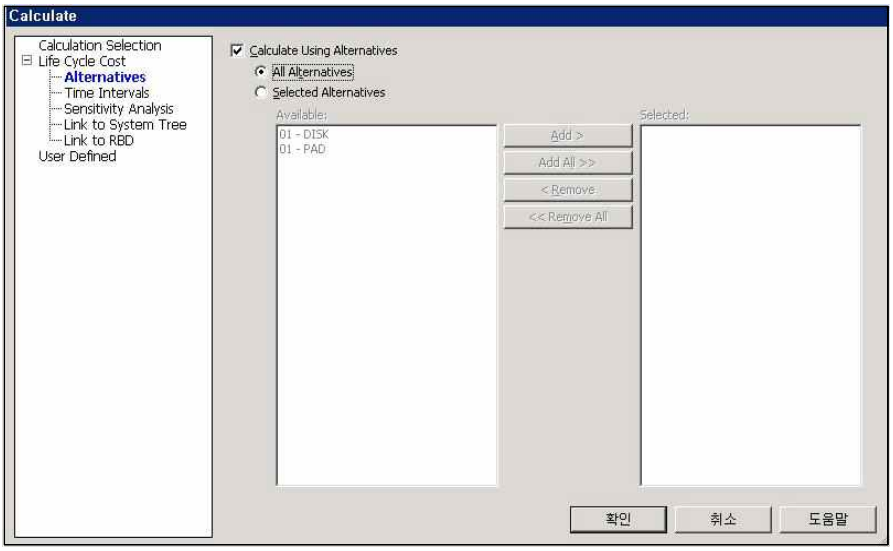
○ 에너지비용 : 에너지 비용은 UNIFE와 마찬가지로 변수에 일괄 적용하도록 하였다.

○ 고장손실비용 : UNIFE의 계산식을 기본으로 하고, 고장률의 단위는 FPMKM(failure per million km)로 통일하여 계산하였다.

아) 계산

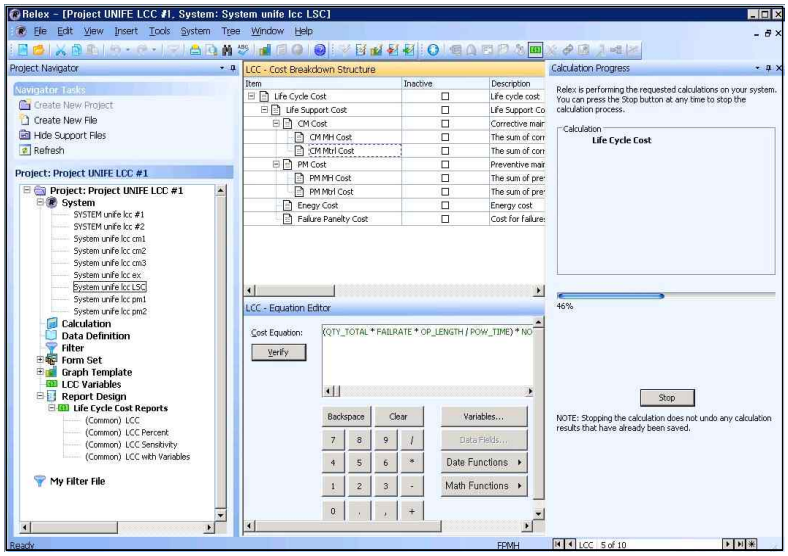
변수와 CBS, 각 아이템의 수식이 완성되면 LCC 총 비용을 계산하

도록 한다. 계산 방법은 툴바에서 계산기 모양 아이콘을 클릭하거나 키보드에서 F8 버튼을 누르면 계산 옵션을 선택할 수 있는 창이 뜬다. 대안별 비용, 시간간격별 비용, 민감도 분석 및 시스템구조나 RBD와의 연관 관계도 계산결과값으로 보여줄 수 있다. 계산 옵션을 선택하는 화면은 다음과 같다.

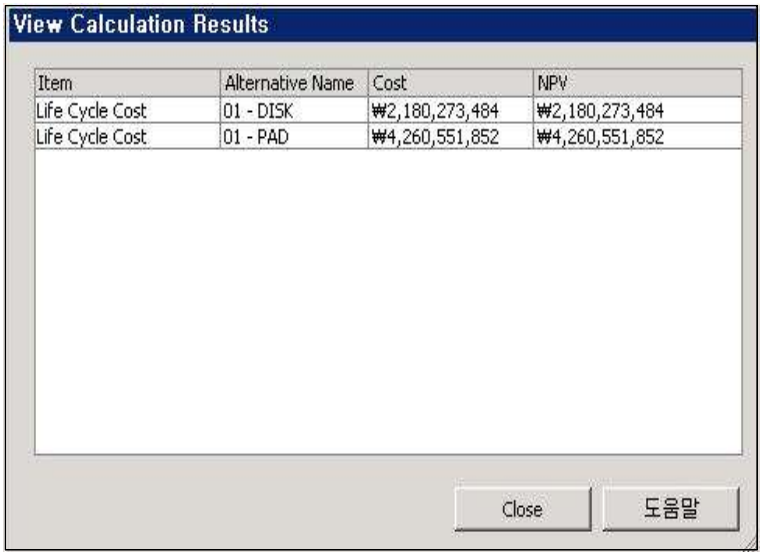


[그림 126]RELEX-LCC 계산옵션선택화면

RELEX-LCC의 시뮬레이션에서는 대안별 비용과 전체 상수 값을 갖는 비용이 따로 계산된다. 즉, 대안으로 사용했던 각 부품별 수명유지비용의 총 합과 투자비용과 연간운영비가 따로 계산된다.

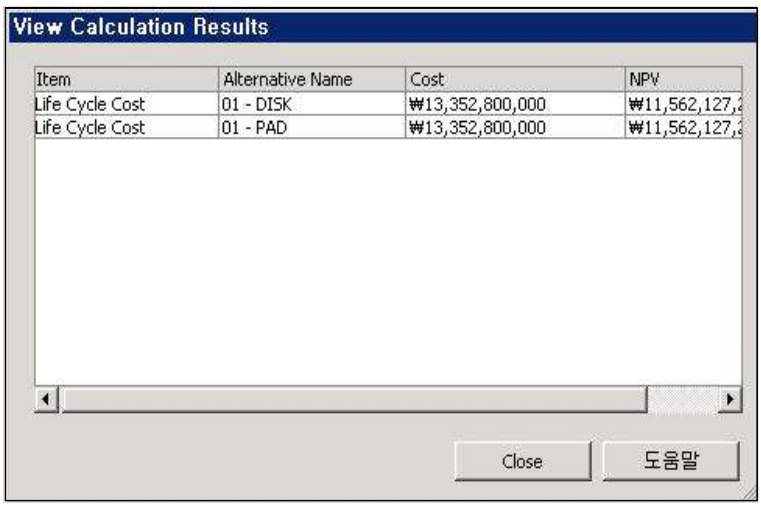


[그림 127]RELEX-LCC 계산과정



[그림 128]RELEX-LCC 계산결과

위의 결과화면은 대안만을 고려한 수명유지비용이며 대안을 고려하지 않은 투자비와 연간운영비는 아래 화면과 같다.



[그림 129]투자비 및 연간운영비에 대한
ELEX-LCC 계산결과

(다) RELEX-LCC의 한계

UNIFE LCC모델을 RELEX-LCC 모델로 전환하는 과정에서 여러 가지 문제점이 확인되었다. 사용자들이 사용하는데 불편할 뿐 아니라 LCC를 정확하게 계산하는데도 한계점이 있었다. 몇 가지 문제점을 아

래에 짚어보도록 한다.

가) 변수의 분류 및 식별의 어려움

RELEX-LCC는 변수를 한꺼번에 관리하도록 되어 있다. 변수별로 나누어 관리할 수도 없고, LCC 변수파일에서 아이템순서대로 정렬하여 저장할 수는 있으나, CBS의 계산식에서 활용할 때는 알파벳 순으로 정렬되어 보여지므로 프로그래머가 어떤 변수에 어떤 값이 저장되어 있는지 일일이 확인하고 적용해야 하는 불편함이 있다. 실제 사용자의 경우에도 어떤 변수에 어떤 값을 저장해야 하는지 찾기 어렵다. 또한 한 프로젝트에 하나의 변수파일만 생성되므로 한 프로젝트 안에 존재하는 여러 시스템 파일들의 변수들이 하나의 파일에 혼재되어 있어 구분하기 어렵다.

나) 각 파일, 대안, 시간간격별 합산 불가능

RELEX-LCC에서는 여러 가지 부품별로 LCC를 구하는 것은 가능하지만, 모든 부품의 LCC 총 합을 구하는 것은 현재의 시뮬레이션으로는 불가능하다. 부품을 대안별로 관리하지 않고, 한 파일에 하나의 부품을 적용한다고 해도 모든 파일의 LCC의 총 합을 구할 수도 없다. 또한 앞에서 언급한 바와 같이 하나의 프로젝트에 하나의 변수파일만 생성되므로 부품 하나를 추가하고자 시스템 파일을 하나 더 추가한다면 추가된 시스템 파일에서 사용되는 변수들을 모두 새로 추가해야 하는 번거로움이 있으며, 일반 사용자들이 마음대로 변수를 추가하거나 수정할 수 있게 한다면 LCC의 결과 값에 정확성을 부여하기도 어렵다. 시간간격 역시 마찬가지이다. 따라서 한 가지 부품의 LCC를 구하는 것은 가능하나, 여러 부품이 모여 있는 시스템의 LCC 총합을 구하기는 힘들다.

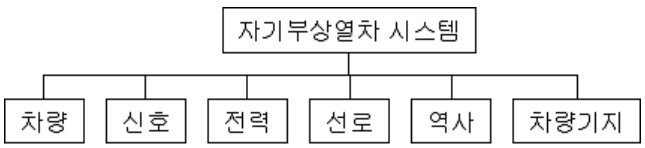
다) 사용자별 변수 및 CBS 수정 권한의 분리 불가능

LCC 시스템을 관리하기 위해서는 사용자별 권한을 설정할 수 있어

야 한다. 예를 들어 UNIFE에서 관리하는 Global 변수는 부품관련 정보를 입력하는 사용자는 입력 및 수정을 할 수 없어야 하고, 이 모든 사용자는 CBS나 CBS에 프로그래밍된 계산식은 입력 및 수정을 할 수 없어야 한다. 그렇지 않으면 수명주기나 시스템에 관련된 중요한 변수 값이 일반 사용자에 의해 쉽게 변경되어 LCC 결과값에 영향을 줄 수 있다. 또한 CBS의 계산식도 마찬가지이다. RELEX-LCC에서는 No Access, Read, Read/Edit, Read/Edit/Add, Read/Edit/Add/Delete 등의 네 가지 권한으로 설정할 수 있으나 모든 변수, 모든 아이템에 동일하게 작용하여 사용자별로 접근 가능한 변수를 따로 설정할 수 없게 되어 있다. 사용자의 권한을 보다 명확하게 정의하여 관리하기 위해서는 각 변수별로 사용자 권한을 설정할 수 있거나, CBS 역시 사용자의 요구에 맞춰 권한을 설정할 수 있어야 한다.

(3) 자기부상열차 시스템 수명주기비용 모델구성안

수명주기비용 예측을 위한 자기부상시스템의 구성요소는 차량시스템, 신호시스템, 전력시스템, 선로시스템, 역사, 차량기지로 한다.



[그림 130]자기부상시스템 구성요소

자기부상열차 시스템 중 차량에 관한 시스템을 차량시스템이라 칭하며 그 외 신호, 전력, 선로, 역사 및 차량기지는 차량 외 시스템으로 정의한다.

수명주기비용 모델의 구성안은 다음과 같다.

● 차량시스템 : 차량시스템에 대한 도입비, 운영비, 유지보수비 및

폐기비를 계산한다.

- 신호시스템 : 신호시스템에 대한 도입비, 운영비, 유지보수비 및 폐기비를 계산한다.
- 전력시스템 : 전력시스템에 대한 도입비, 운영비, 유지보수비 및 폐기비를 계산한다.
- 선로시스템 : 선로에 대한 도입비, 운영비, 유지보수비 및 폐기비를 계산한다.
- 역사시스템 : 역사에 대한 도입비, 운영비, 유지보수비 및 폐기비를 계산한다.
- 차량기지시스템 : 차량기지에 대한 도입비, 운영비, 유지보수비 및 폐기비를 계산한다.

차량시스템의 수명주기비용은 시스템 도입비(investment cost), 운영비(annual operation cost), 유지보수비(annual maintenance cost) 및 폐기비(disposal cost)로 구성한다.

총수명주기비용 = 시스템 도입비 + 운영비 + 유지보수비 + 폐기비

(가) 도입비

시스템 도입비용은 자기부상열차시스템을 구성하는 각각의 시스템에 대한 초기구입비용 및 이를 운영하기 위해 필요한 하드웨어 및 소프트웨어 비용으로 장비비 및 교육훈련비 및 문서화비 합으로 계산한다.

시스템 도입비 = 구입비 + 장비비 + 예비품비 + 교육훈련비 + 문서화비

구입비는 시스템을 구축하기 위한 초기 도입비로 자기부상열차시스템 수명주기비용모델에서는 시스템 개발을 위한 설계비, 연구개발비 등 중간과정에서의 비용을 계산하지 않고 최종 결과물의 도입에 필요한 비용만을 고려하며 레벨 1 수준에서 계산한다.

ex) PBS 예

차량시스템 A <- 시스템(system : Level 1)

제동시스템 A.1 <- 모듈(module : Level 2)

A.2

제동디스크 A.2.1 <- 부품(part : Level 3)

A.2.2

A.2.3

A.3

(시스템 = 차량, 모듈=제동시스템, 부품=제동디스크)

장비비는 시스템을 유지하기 위하여 정비창에서 필요한 장비들의 총 비용으로 장비의 종류에 따른 수량×가격으로 계산한다[1].

$$\text{장비비} = \sum_{i=1}^{n} no_{(equip)i} \times CE_i$$

여기서, i=장비의 종류

no(equip)i = 필요한 장비의 수량

CEi = 장비 가격

예비품비는 시스템에 요구되는 가용성을 유지하기 위하여 초기 도입되는 예비품에 대한 비용으로 각 예비품에 따른 수량×가격으로 계산한다[2]. 예비품비의 계산은 자기부상열차의 PBS를 기반으로 하여 LRU(Line Replaceable Unit) 단위까지 시스템을 확장한 후 산출된 LRU의 개수와 가격으로 계산한다.

$$\text{예비품비} = \sum_{i=1}^{n} no_{(spare)i} \times CSP_i$$

여기서, i=예비품의 종류

1) 장비의 절절한 수량에 대한 확보여부는 RAMS의 정책에 따라 달라지므로 LCC 모델에서는 고려하지 않고 최종 값만을 이용한다.

2) 적절한 예비품의 수량의 산출은 시스템의 가용성에 밀접한 영향을 미치며 이는 RAMS 정책에 의해 결정되므로 LCC 모델에서는 최종 결정된 예비품의 수량만을 이용한다.

no(spare)i = 필요한 예비품 수량

CSPi = 예비품 가격

교육비는 시스템을 운영하기 위하여 필요한 각종 교육에 필요한 비용으로 기관사 양성교육비, 승무원 교육비, 역무원 교육비 등으로 구성되며, 운영자에 따라 필요하다고 생각되는 항목을 추가할 수 있다.

교육비 = 기관사양성 교육비 + 승무원 교육비 + 역무원 교육비 + 기타

문서화비는 시스템의 도입 및 운영을 위해 필요한 각종 문서를 생산하는 비용으로 장비 및 운영에 대한 원어(original language)문서 비용, 번역비용, 예비품 카다로그 비용, 문제해결 매뉴얼(troubleshooting manual) 비용, 도면화(drawing) 비용, 전산화 비용 등 다양하다.

문서화비 = $\sum_{i=1}^{n} CDO_i$

여기서, i=문서화의 종류

CDOi = 문서 제작비용

[표 81]차량시스템 Product Based Structure

0 Vehicle : Level 1
1.0 Car body : Level 2
1.01 Body structure : Level 3
1.02 Exterior aesthetics
1.03 Exterior doors/steps
1.04 Couplers
1.05 Gangways
1.06 Window units
1.07 Body additions
2.0 Bogies and running gear
2.01 Bogie structure
2.02 Suspension
2.03 Wheel set
2.04 Traction line
2.05 Bogie additions
3.0 Power supply
3.01 Line voltage system
3.02 Engine system
3.03 Generator
4.0 Propulsion

4.01 Propulsion
4.02 Electric power cond.
4.03 Electric power conv.
5.0 Auxiliaries
5.01 Air supply system
5.02 Hydraulic system
5.03 Battery system
5.04 Auxiliary electric system
6. Braking
6.01 Braking control
6.02 Brakes
7.0 Interiors
7.01 Interior architecture
7.02 Heat, ventilation and air conditioning
7.03 Interior doors
7.04 Water services
7.05 Catering
7.06 Ticketing
7.07 Lighting
8.0 Control and communication
8.01 Infrastructure train control system
8.02 Train and vehicle control
8.03 Fault diagnostics
8.04 Data communications
8.05 Information systems
9.0 Specials
9.01 Tilt system
9.02 Snow protector de-icing
9.03 Other special equipment

(나) 운영비

운영비는 시스템을 운영하기 위해 투입되는 차량 외 시스템의 비용으로 정의하며 년간 단위로 계산한다. 년간 운영비는 토목공사비(civil work cost), 신호체계 운영비(signalling cost), 통신 및 운임징수체계 운영비(communication & fare collection cost), 관리비(supervision cost), 급전설비 운영비(power supply cost), 서비스시스템 운영비(service system cost) 및 차량기지 운영비(depot cost)의 합으로 계산한다.

$$\text{운영비} = COv + COs + COc + COsu + COps + COss + COde$$

여기서, COv=토목공사비

COs=신호체계 운영비

COc=통신 및 운임징수체계 운영비

COsu=관리비

COps=급전설비 운영비

COss=서비스시스템 운영비

COde=depot 운영비

(다) 유지보수비

시스템의 유지보수를 위한 비용은 크게 예방정비를 위한 비용, 고장정비를 위한 비용, 고장에 따른 페널티 비용 및 에너지비용 등이 있으나 본 연구에서는 유지보수비를 예방정비와 고장정비에 소요되는 비용으로 제한한다. 예방정비 및 고장정비 비용은 크게 정비를 위해 소요되는 인력의 인건비와 재료비로 분류하여 계산한다.

유지보수비 = 예방정비비(인건비,재료비)+고장정비비(인건비,재료비)

① 예방정비비

예방정비비는 크게 예방정비를 위해 소모되는 재료비와 이를 위해 필요한 인력의 인건비 합으로 계산한다. 예방정비비는 기본적으로 LRU 단위의 부품에 대해 계산하며 각 LRU에 대한 인건비 및 재료비는 다음과 같이 계산한다. 예방정비는 일상검사, 월상검사, 2년 및 4년 주기의 중정비시 소요되는 인력 및 재료가 각각 다르므로 이를 각각 분리하여 각 활동에 소요되는 인건비 및 재료비를 각각 계산해야 한다.

$$\text{총예방정비비} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(\text{인건비}_j + \text{재료비}_j)$$

여기서

i= 정비주기(일상, 월상, 2year, 4year 등)

j= 예방정비가 필요한 LRU의 종류

인건비j=j번째 LRU의 예방정비를 위해 소요되는 인건비

재료비j=j번째 LRU의 예방정비를 위해 소요되는 재료비

인건비는 대상열차수, PM횟수, 차량당 부품수, PM 당 소요시간 및 인시비의 곱으로 계산된다. 여기서 PM 횟수는 각각의 예방정비 주기에 따라 년간 수행되는 횟수이며, PM당 소요시간은 PM 수행에 소요되는 시간으로 일련의 PM작업에 여러 가지 부품에 대한 PM 이 동시에 수행될 때는 PM에 소요된 총 PM시간을 각 부품에 대한 PM 시간으로 할당함으로써 대상이 되는 LRU의 순수 PM에 소요되는 시간을 계산한다.

$$\text{인건비} = \sum_{i=1}^{n} \text{대상열차수} \times PM\text{횟수}_i \times \text{차량당 부품수} \times PM\text{당 소요시간}_i \times \text{인시비}$$

여기서

i=PM의 종류(일상, 월상, 2Y, 4Y)

PM횟수i, PM당 소요시간i=PM의 종류에 따라 PM횟수와 소요시간이 다르다고 가정

ex) PM 횟수

- 일상검사 : 매일 1회이므로 년간 365번 수행
- 월상검사 : 매달 1회이므로 년간 12회 수행
- 2년검사 : 2년간 1회이므로 년간 0.5회 수행
- 4년검사 : 4년간 1회이므로 년간 0.25회 수행

PM당 소요시간

- 4인이 PM 작업시 A(0.3),B(0.2),C(0.1),D(0.2),E(0.2) 5개의 부품에 대해 3시간에 거쳐 PM 작업을 수행했다면 총 4*3=12시간이 소요되었으며 그 중 각 부품의 PM에 소요된 시간은 다음과 같이 계산할 수 있다.

A : PM 소요시간 = 0.3*3*4 = 3.6 hours/man

B : PM 소요시간 = 0.2*3*4 = 2.4 hours/man

C : PM 소요시간 = 0.1*3*4 = 1.2 hours/man

D : PM 소요시간 = 0.2*3*4 = 2.4 hours/man

E : PM 소요시간 = 0.2*3*4 = 2.4 hours/man

총 소요시간 12 hours/man

$$재료비 = \sum_{i=1}^{n} 대상열차수 \times PM횟수_i \times 차량당부품수 \times 환율 * 재료비_i$$

여기서

i=PM의 종류(일상, 월상, 2Y, 4Y)

PM횟수i, 재료비i=PM의 종류에 따라 PM횟수와 재료비는 다르다고 가정

② 고장정비비

고장정비비는 크게 고장정비를 위해 소모되는 재료비와 이를 위해 필요한 인력의 인건비 합으로 계산한다. 고장정비비는 기본적으로 LRU 단위의 부품에 대해 계산하며 각 LRU에 대한 인건비 및 재료비는 다음과 같이 계산한다.

$$총고장정비비 = \sum_{i=1}^{n} (인건비_i + 재료비_i)$$

여기서

i= 고장정비가 필요한 LRU의 종류

인건비i=i번째 LRU의 고장정비를 위해 소요되는 인건비

재료비i=i번째 LRU의 고장정비를 위해 소요되는 재료비

$$인건비i = 총대상열차수 \times 고장율_i \times (교체정비시간_i + 수리정비시간_i) \times 인시비 \times 가동시간_i \times 수명주기$$

여기서

고장율i=i번째 LRU의 고장율

교체정비시간i=차량시스템에서 i번째 LRU의 교체 및 시험을 위해 소요되는 시간

수리정비시간i=정비창에서 i번째 LRU의 수리를 위해 소요되

는 시간

재료비i= 총대상열차수×고장율$_i$×환율×교체비율$_i$×예비품비$_i$×가동시간$_i$×수명주기

여기서

교체비율i=LRU의 수리를 위해 교체한 부품의 비율

(1=부품 전체를 교환, 0=부품은 교환하지 않고 단지 조정만 수행)

(라) 폐기비

폐기비용은 수명을 다한 시스템을 폐기하고 시스템 설치 이전의 상태로 복원하는 모든 비용을 의미하며, 이는 여러 가지의 재료적, 환경적 요인이 연결되어 있으므로 객관적인 예측이 어려우며 자기부상열차 시스템에서는 고려하지 않는다.

더. 기존 도시철도 검수체계 연구

(1) 국내외 철도시스템의 유지보수

(가) 국내 도시철도시스템의 유지보수

국내 도시철도시스템에 대한 유지보수는 국내 도시철도 유지보수에 대한 기존 문헌[1] 및 서울 지하철을 중심으로 하여 각 운영처의 유지보수 현황에 대해 조사하여 정리하였다.

1) 검수종류별 유지보수 작업공정

가) 경정비 공정

검수에는 크게 경정비와 중정비가 있다. 경정비에는 도착점검, 일상검수, 월상검수 및 임시검수 등이 있다. 도착점검은 운행을 마치고 차량기지에 입고하는 차량에 대하여 운전실, 객실, 옥상기기 및 주행장치 등에 대하여 상태확인을 하는 검수로서, 작업은 야간에 검수고에서 편성단위로 시행한다. 일상검수는 차량운행 개시 후 3-15일 이내에 실시하는 검수로서, 옥상기기, 상하기기, 주행장치, 제동장치, 보안장치 등에 대하여 외관 또는 일부 기능검수를 행하며, 주야간 작업으로 검수고의 일상검수선에서 검수한다.

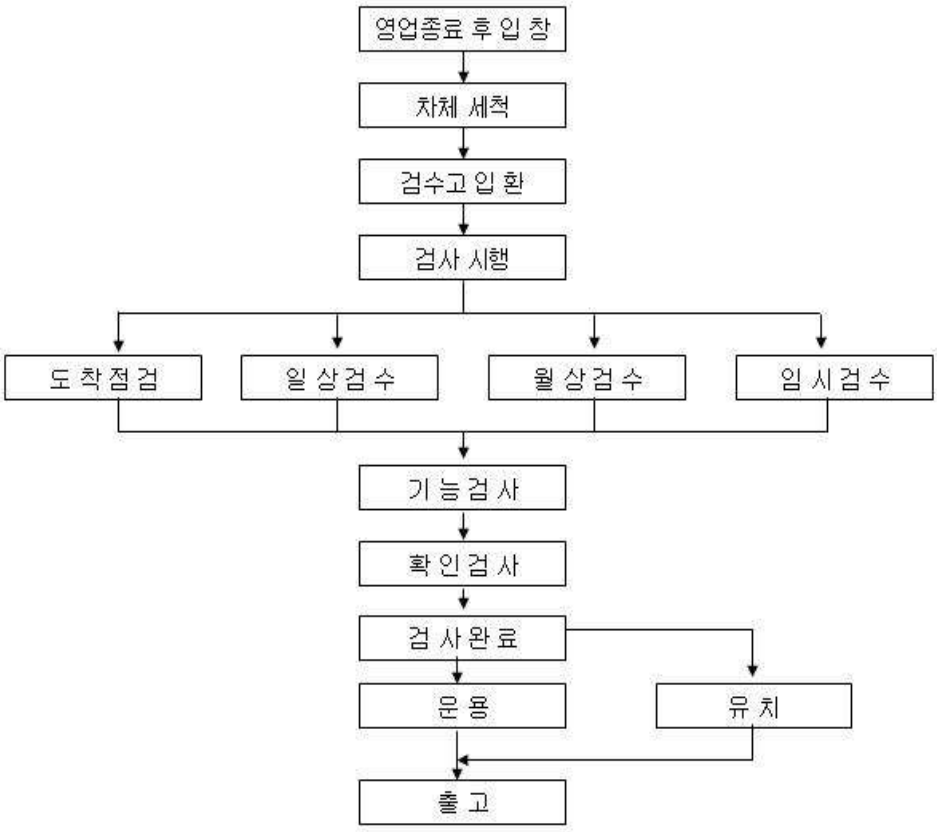
월상검수는 전회 검수 시행 후 1-6개월 이내에 실시하는 검수로서, 전기차량의 주요 부분에 대한 상태 및 기능검수를 행하며, 주간작업으로 검수고의 월상검수선에서 검사한다. 임시검수는 운전사고 이외의 원인으로 고장이 발생하였거나 기타 필요하다고 인정하였을 때 부분적인 상태 및 기능을 검수 확인하고, 일상검수를 시행한다. 이러한 경정비는 차량이 영업을 마치고 입창하면 세척을 하고 검수고에 입고한다. 각 종류별로 경정비를 실시한 후 기능 및 확인검수를 하고 이상이 없으면 출고를 하거나 유치를 한다. 그림으로 정리하면 아래와 같다.

나) 중정비 공정

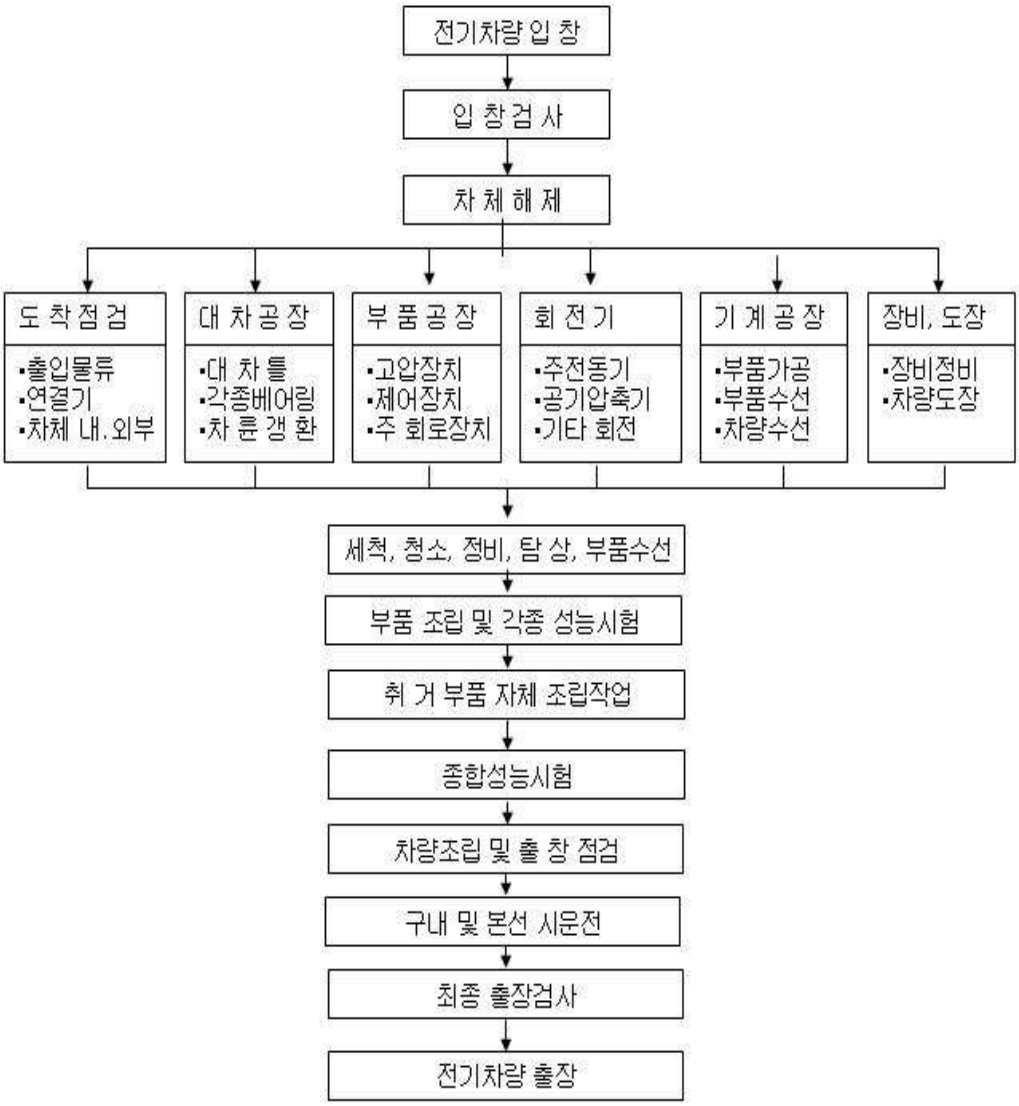
중정비에는 크게 중간검수와 전반검수가 있다. 중간검사는 전기차량이 중정비 검수후 1-3년(보통 3년) 이내 또는 주행거리 13-54만

㎞도달 이전에 정비고에서 실시하고, 전반검수는 검수주기 4-8년(보통 6년) 이내 또는 주행거리 53-80만㎞ 이내에 도달했을 때 정비고에서 실시하며, 중간검수 항목의 장치에 추가하여 해체 가능한 부품을 분해 검사, 시험 및 정비하여 전반적인 전기차량 성능을 확인하는 검사이다.

이러한 중정비는 차량을 세척한 후 입창하여 입창검수를 하고 차체를 분해하여 모든 부품들을 해당 공장으로 이송시킨다. 각 공장에서 중정비가 완료되면 다시 조립하여 기능시험과 검사를 한 후 이상이 없으면 출고한다.



[그림 131]경정비 작업 흐름도



[그림 132]중정비 작업 흐름도

이 Lay-Out은 공장의 크기와 형상에 따라 다르며, 업무의 효율성 및 경제성을 고려하여 설계하여야 한다.

또한 중정비를 수행하는데 필요한 각 공정별 소요 검수설비를 정리하면, 아래표와 같다.

[표 82]중정비용 소요 검수설비

공장명	수선장명	설비명
입출공장	시험기기실	TIS 지상기기
		TIS 시험기
		제동 종합 시험기

공장명	수선장명	설비명
		ATC/ATO 모의 신호발생기
		ATC/ATO 시험기
차체공장	차체 해체 조립장	천정 기중기(15+ 15/3톤)
		차체 걸이
		리프팅 트럭
		지게차 (2.5톤)
		이동식 테이블 리프트(0.5톤)
	차체 수선장	전기 용접기
		아르곤 용접기
		탁상 드릴기
		잡용 연삭기
		집진 청소차(대)
		진공 청소기
		차체 하부 도장기
		차체 받침대
		출입문 보관대
		차체 승강대
		옥상 작업대
	연결기 수선장	지브 크레인 (0.5톤)
		밀착 연결기 시험기
		완충기 분해 조립기
	자기 탐상장	자기 탐상기
		자기 탐상대
	출입문 수선장	출입문 개폐 시험기
		도어 엔진 수선대
		출입문 수선대
		스폿 용접기
회전기 공장	견인 전동기 수선장	천정 기중기 (3톤)
		견인 전동기 시험기
		절연 내력 시험기
		기취설비
		부품 세척기
		부품 건조기
		전동 운반차 (1.5톤)
		탁상 드릴기
		잡용 연삭기
		전기 용접기
		견인 전동기 분해대 (A, B)
		견인 전동기 시험대
	공기압축기 수선장	공기 압축기 시험기
		지브 크레인 (1톤)
		기취설비

공장명	수선장명	설비명
		고압 세척기
	부품 도장장	부품 도장 설비
대차 공장	대차 수선장	천정 기중기 (10/3톤)
		대차 세척기
		가스 배출 설비
		턴테이블 (10톤)
		대차 받침대
		리프팅 트럭
		지게차 (1.5톤)
		전기 용접기
		탁상 드릴기
		잡용 연삭기
	현수장치 시험장	고무스프링 시험기
		공기스프링 시험기
		레벨링 밸브 시험기
		지브 크레인 (0.5톤)
	제동 시험장	제동 종합 시험기
		제동 밸브 시험기
	기초제동 시험장	제동 실린더 시험기
		공기 제동답면 시험기
		천정 크레인 (1톤)
		고압 세척기
	오일댐퍼 수선장	오일댐퍼 시험기
윤축공장	윤축 수선장	천정 기중기 (3톤)
		윤축 청마기
		초음파 탐상기
		차륜 선반
		칩 운송 컨베이어
		가스 배출 설비
		수직 선반
		윤축 프레스 (400톤)
		저널 선반
		지브 크레인 (2톤)
		지브 크레인 (1톤)
		천정 기중기 (3톤)
		대차 도장 부스
		대차 도장기
		턴테이블 (10톤)
		턴테이블 (3톤)
		전기 용접기
		탁상 드릴기
윤축공장	윤축 수선장	잡용 연삭기
		지게차 (1.5톤)
		기어 유니트 시험기

공장명	수선장명	설비명
		윤축 작업대
	베어링 작업장	베어링 세척기
		베어링 착탈기
		로울러 컨베이어
		베어링 작업대
		유도 가열기
전기부품 공장 (1층)	VVVF 인버터 또는 SIV 시험장	VVVF 인버터 시험기
		차단기 시험기
		배선용 차단기 시험기
		절연 내력 시험기
		SIV 시험기
	판토 시험장	판토그라프 시험기
		지브 크레인 (1톤)
	냉난방장치 수선장	휠터 시험기
		기취장치
		냉방기 작업대
		라인데리아 작업대
		난방기 작업대
		진공 청소기
		고압 세척기
	밧데리실	밧데리 충전기
		밧데리 방전기
		증류수 제조기
		밧데리 받침대
기계공장	기계 가공장	천정 기중기 (3톤)
		브레이크 디스크 선반
		선반
		만능 밀링기
		레이디얼 드릴기
		직립 드릴기
		공구 연마기
		플라즈마 절단기
		탁상 드릴기
		잡용 연삭기
		관나사 절삭기
	용접장	아르곤 용접기
		전기 용접기
		스폿 용접기
		용접가스 집진기
		용접봉 건조로

다) 검수종류 및 검수주기

① 주요 검수종류 및 검수주기 검토

현재 운행되고 있는 국내 전동차 서울 2기, 부산, 대구, 광주지하철의 검수체계를 정리하면 표2와 같다. 국내 차량기지의 검수종류는 차량기지 또는 운행하는 차량의 종류에 따라 상이한 점이 있을 수 있으나 예방검수를 기본으로 한 검수개념은 동일하며 차량기지의 검수업무는 크게 정기검수와 비정기검수로 대별한다. 정기검수는 에방검수의 측면에서 정확한 계획공장에 의해 실시하며 일상검수 및 월상검수, 중간검수, 전반검수가 여기에 속한다./ 비정기검수는 우발 또는 비상사태 발생시 실시하는 비정기적인 임시검수로서 작업의 성질 및 경중에 따라 검수고에서 실시하거나 정비고로 보내어 실시토록 한다.

[표 83]주요 검수종류 및 주기

검수종류			검수주기	소요시간	검수내용	작업장소
도착점검			기지입고시	30분~45분	차량의 영업 운행 후 외관 및 이상상태 검수, 내부청소	기지 유치선
정기검수	경정비	3 일 검사	3일이내	2시간	집전장치, 견인전동기, 제어장치, 보조전원장치, 대차, 제동장치 등 주요부분에 대한 상태 및 기능검사	검사고
		3 월 검사	3개월이내	8시간	집전장치, 견인전동기, 제어장치, 보조전원장치, 대차, 제동장치 등 주요부분에 대한 상태 및 기능검사와 급유 및 청소, 부품교환	검사고
	중정비	3 년 검사	3년이내 (40만㎞이내)	14일	차량 주요부분의 분해, 검수 및 시험	주공장
		6 년 검사	6년이내 (80만㎞이내)	16일	차량의 전반적인 분해, 검수 및 시험	주공장
비정기검사	임시검사		필요시	필요시간	고장 발생 우려시 차량의 일부 또는 전반에 걸쳐 하는 검수	주공장 및 임시검사고
	특별검사		필요시	필요시간	노후 차량에 대한 유지관리	주공장 및 임시검사고
	차륜전삭 및 교환		필요시	필요시간	차륜의 상태가 교환 한도에 도달 혹은 찰상, 균열, 파손 등으로 전삭 및 교환하기 위하여 시행	전삭고
	인수검사		필요시	필요시간	신규제작 및 주요 부위를 개조 도입된 차량의 상태, 기능 등을 확인하는 검수	전삭고

라) 주요 검수의 내용 및 방법

철도차량의 검수방법은 검수의 종류에 따라 다르다. 도착점검은 차량의 영업운행후 외관 및 이상상태 육안검수와 내부청소를 수행한다. 일상검수는 차량 주요 부분에 대한 상태 및 기능을 육안 및 필요시 분리검수를 수행한다. 월상검수는 차량 각 부분에 대한 상태점검 및 기능검수, 주요부분의 조정, 급유 및 청소를 수행한다. 임시검수는 고장발생 우려시 차량의 일부 또는 전반에 걸쳐 하는 검수이다.

철도차량은 전기-기계적으로 결합된 매우 복잡한 구조를 가진 대형 시스템으로 고속주행에 따른 안전성의 확보와 이를 유지 보수할 수 있는 유지보수 체계의 확립이 필수적이다. 현재 효율적인 운영 및 안전성 확보를 위하여 차량스케줄에 따라 차량기지에서 아래 표와 같이 차량의 주요부분을 검수하고 있다.

[표 84]국내 전동차의 주요 검수내용 및 방법

주요 검수	검 수 내 용 및 방 법
도착점검	·차량의 영업 운행 후 외관 및 이상상태 육안검수, 내부청소
일상검수	·차량 주요 부분에 대한 상태 및 기능의 검수 (육안 및 필요시 분리검수)
월상검수	·차량 각 부분에 대한 상태점검 및 기능검수 주요부분의 조정, 급유 및 청소 (육안 및 필요시 분리 검수)
주간검수	·차량 주요부분의 분해, 검수 및 시험
전반검수	·차량의 전반적인 분해, 검수 및 시험
임시검수	·고장 발생 우려시 차량의 일부 또는 전반에 걸쳐 하는 검수 (육안 및 필요시 분리검수)
특별검수	·노후 차량에 대한 유지관리 (육안 및 필요시 분리검수)
차륜전삭 및 교환	·차륜의 상태가 교환한도에 도달 혹은 찰상, 균열, 파손 등으로 전삭 및 교환하기 위하여 시행

2) 검수항목

검수의 종류에는 3일 단위로 하는 일상검사, 3개월 단위로 하는 월상검사, 3년 단위로 하는 중간검사, 6년 단위로 하는 전반검사, 그리고 신규차량 도입 시나 차량의 개조 등에 따라서 하는 임시검사로 나뉘

어 지는데 기간이나 부르는 이름은 차량의 성능이나 운영하는 기관에 따라 차이가 있다.

가) 일상검사

일상검사는 차량의 운행간격을 이용하여 3일(72시간)이내 또는 주행거리 1,600㎞를 초과하지 않는 매 기간에 편성단위로 검수고에서 표4와 같이 주요각부에 대한 상태 및 작용에 대하여 검수를 시행한다.

[표 85]일상검사항목

구 분	검 수 항 목
1. 주회로 및 제어회로기기	집전장치, 주전동기, 제어장치
2. 주행장치	대차, 동력전달장치, 조향장치
3. 제동 및 공기장치	지초제동장치, 주차제동장치, 공기제동장치, 공기압축기
4. 전기장치	보조전원장치, 전원장치
5. 운전실장치	계기, 차량무선장치, 아연동제어장치, 각종 표시등, ATC/ATO 장치, 모니터장치, 방송장치
6. 실, 내외장치	차체, 실내, 연결 장치, 출입문장치, 조명장치

나) 월상검사

월상검사는 편성단위로 운전개시 후 3개월 이내 또는 주행거리 45,000㎞를 초과하지 않는 매 기간에 행하며, 집전장치, 견인전동기, 제어장치, 보조전원장치, 대차, 제동 장치, 연결 장치, 조명장치 및 기타 주요각부에 대한 상태 및 기능에 대한 점검을 한다.

[표 86]월상검사 세부항목

구 분	검 수 항 목
1. 주회로 및 제어회로기기	집전장치, 주전동기, VVVF인버터장치, 필터리액터, 단류기, 저항기, 주간제어기
2. 주행 장치	대차틀 및 현가장치, 차축 및 차륜 스프링 등 완충장치, 동력전달장치, 배장기, 접지장치
3. 제동 및 공기장치	기초제동장치, 주차제동장치, 제동제어장치, 공기압축기, 조압기, 제습장치, 각종배관 및 밸브류
4. 전기장치	보조전원장치, 밧데리, 계전기, 전자변, 저항기, 휴즈 및 스위치, 출입문장치, 전원장치

구 분	검 수 항 목
5. 운전실장치	계기, 차량무선장치, 도아연동제어장치, 각종표시등, ATC/ATO장치, 모니터장치, 방송장치
6. 실, 내외장치	차체, 실내, 연결 장치, 출입문장치, 조명장치, 냉난방장치

다) 중간검사

중간검사는 차량의 3년 이내 또는 주행거리 40만㎞를 초과하지 않는 기간에 실시하는 검사로서 차량의 주요 부분을 분해하여 검사 및 수선, 기능 확인 시험을 수행한다.

그러나 최근에는 신조차량의 경우 초기검사는 사용개시 후 4년 이내에 시행하였으나 일본의 경우 1998년 3월에 개정한 운수성법령에 따라 4년 이내 또는 주행거리가 60만㎞를 초과하지 않는 기간 중에 짧은 기간에 검사를 시행토록 개정되었다.

[표 87]중간검사 세부항목

구 분	검 수 항 목
1. 주회로 및 제어회로기기	집전장치, 주전동기, VVVF인버터냉각유니트, 게이트콘트롤부, 계전기, 차단기, 필터리액터, 저항기, 주간제어기
2. 주행장치	대차틀 및 현가장치, 차축 및 차륜, 스프링 등 완충장치, 차동기, 추진축 및 구동축, 커플링, 전후진 절환장치, 배장기, 접지장치
3. 제동 및 공기장치	기초제동장치, 주차제동장치, 제동제어장치, 공기압축기, 조압기, 제습장치, 각종배관 및 밸브류
4. 전기장치	보조전원장치, 밧데리, 계전기, 전자변, 저항기, 휴즈 및 스위치, 출입문장치, 전원장치
5. 운전실장치	계기, 차량무선장치, 홈도아연동제어장치, 각종 표시등, ATC/ATO장치, 모니터장치, 방송장치
6. 실, 내외장치	차체, 실내, 연결장치, 출입문장치, 조명장치, 냉난방장치, 지붕

라) 전반검사

전반검사는 차량의 운전개시 후 6년 이내 또는 주행거리 80만㎞를 초과하지 않는 기간에 실시하는 검사로서 차량을 전반적으로 분해하여 검사 및 수선, 기능 확인 시험을 수행한다. 그러나 최근에는

신조차의 경우 초기검사는 사용개시 후 7년 이내에 시행하였으나 일본의 경우 1998년 3월에 개정한 법령에 따라 8년 이내에 검사를 시행토롱 개정되었다.

[표 88]전반검사 세부항목

구 분	검 수 항 목
1. 주회로 및 제어회로기기	집전장치, 주전동기, VVVF인버터, 냉각유니트, 게이트콘트롤부, 계전기, 차단기, 필터리액터, 저항기, 주간제어기
2. 주행장치	대차틀 및 현가장치, 차축 및 차륜, 스프링 등 완충장치, 치차, 치차함, 추진축, 구동축, 커플링, 전후진절환장치, 배장기, 접지장치
3. 제동 및 공기장치	기초제동장치, 주차제동장치, 제동제어장치, 공기압축기, 조압기, 제습장치, 각종배관 및 밸브류
4. 전기장치	보조전원장치, 밧데리, 계전기, 전자변, 저항기, 휴즈 및 스위치, 출입문장치, 전원장치
5. 운전실장치	계기, 차량무선장치, 도아연동제어장치, 각종 표시등, ATC/ATO장치, 모니터장치, 방송장치
6. 실, 내외장치	차체, 실내, 연결 장치, 출입문장치, 조명장치, 냉난방장치, 지붕

(마) 임시검사

임시검사는 다음과 같은 경우에 실시하며 주로 대상차량의 기기 또는 부품의 교체와 간단한 용접과 배관 파이프 교체 등의 작업을 한다.

○ 차량의 신규제작 또는 구입하여 인수검사 시
○ 차량개조 또는 수선을 시행한 후
○ 일정기간 사용을 중지했던 차량을 다시 사용하고자 할 때
○ 충돌이나 탈선 등의 우발적인 사고 후
○ 기타 비상사태 발생시

3) 검수업무 자동화시스템

가) 차량검수의 자동화시스템

① 판타크라프 습판 자동계측 장치

○ 장치의 개요

- 주행하는 차량의 판타그라프 습판 마모량이나 습판체 등의 편형을 자동계측 할 수 있다.
- 다점측정에 의해 습판의 정확한 마모 Profile을 측정할 수 있다.
- 마모데이터 관리로 마모예측을 할 수 있고, 소모품의 계획적인 관리를 할 수 있다.
- 측정결과를 검수데이터의 검수업무 전사화 등과 연계하여 OA화로 활용할 수 있다.

○ 시스템 구성

- 판타그라프 습판 측정 장치 : 초음파를 이용해서 주행 중 차량 습판의 두께, 주체 등 기울기를 측정하고, 습판의 양부판정 및 결과표시를 행하는 장치.
- 차량번호 인식장치 : 주행 중 차량의 하면에 설치된 마이크로파를 이용해서 차량에 부착된 ID TAG로 차량번호 데이터를 통신하는 장치로서 지상측의 송수신기(안테나부)와의 교신에 의해 차량번호를 인식하는 장치.

② 차륜형상 측정 장치

○ 장치의 개요

- 측정 데이터에 의해 차량마다 차륜상태를 판단하고, 차륜 전삭계획의 관리를 할 수 있다.
- 통과 속도에 영향 받지 않고 차륜형상 데이터의 측정수집 할 수 있다.
- 측정결과를 검수데이터로 활용할 수 있다.

○ 시스템 구성

- 검출부 : 레이저광원과 카메라에 의해 통과하는 차륜의 화상을 촬영한다.
- 데이터 처리부 : 검출부 근처에 설치되며, 검출부로부터의

화상데이터를 받아 데이터처리를 해, 차륜 각부의 크기를 산출한다.

- 차량번호 인식장치 : 입고하는 차량의 차량번호를 인식한다.
- 차량통과 검출 센서 : 측정할 차량의 통과를 검지한다.
- 컴퓨터 : 데이터 보관이나 인쇄를 한다.
- 광파이버 케이블 : 데이터 처리부와 PC간의 데이터 전송을 행한다.

③ 제륜자 디스크라이닝 자동계측장치

○ 장치의 개요

- 주행하는 차량의 제륜자 및 디스크라이닝의 두께를 자동측정할 수 있다.
- 마모 한계값을 초과하면 화면표시, 인쇄, 음성에 의해 경고를 알린다.
- 마모 한계값의 설정이나 측정위치의 지정이 가능하다.
- 마모 데이터로 마모 예측을 할 수 있고, 소모품의 계획적인 관리를 할 수 있다.
- 측정결과를 검수데이터의 OA화로 활용할 수 있다.

○ 시스템 구성

- 화상 입력부: 기기구성은 대차 단위로 촬영을 하는 CCD 카메라, 스트로브, 화상 기록 장치로 구성되는 유니트가 외함 안에 수납되어 있다.
- 화상 처리부: 상기 화상입력부에서 촬영된 화상을 기본으로 제륜자를 추출하여 자동인식 할 수 있는 처리기능을 가지고 있다.

④ 차량 이상검지 장치

○ 장치의 개요

- 영업선의 궤도에 설치한 센서(적외선 온도계, 가속 진동계)에 의해서 통과차량의 상하기기(주저항기・제륜자・축수

등)의 발열 Level 및 차륜의 진동을 검지하고, 차량단위로 평상 운전시의 발열 및 진동 Pattern(관리치)와 비교한다. 이에 의해 이상으로 판단한 경우에는 종합 사령실 관리장치 및 차량기지 감시 장치에 통보하여 사고로 인한 인명피해와 경제적인 손실을 줄이기 위한 장비이다.

○ 시스템 구성

- 열검지 센서: 궤도 내에 설치한 5조의 적외선 온도계에 의해서 통과차량 상하기기의 차량측면과 중앙부의 발열상태를 감시하는 장치이다. 궤도내 장치에는 적외선 온도계 주변에, 차량의 접근과 통과속도를 검지하는 차륜검지기 3개, 차량의 편성번호를 알아내는 마이크로파 안테나 1개가 설치되어 있다.
- FLAT용 센서: 차량검지기에 의해 차량의 진입검지, 차륜검지를 행하고 동시에 가속도 진동계에 의해 차륜의 진동을 검출한다.
- 열검지 처리장치: 역사 열검지 수록 장치에 병설되어 적외선 온도계의 검지부 선단에 먼지의 부착을 막는 Air purge용의 compressor와, 편성번호 검지용의 송수신기 및 편성번호를 읽어들이는 장치가 설치되어 있다.
- FLAT 검출장치: 검지센서에서 받은 신호에 의해 통과 전 차량의 시각, 편성, 차호, 속도, 축수 등을 확인해 FLAT를 검지하는 경우 FLAT가 있는 차호, 축 위치, 좌우별로 검출 데이터를 입력한다.
- 차량감시 관리장치: 차량감시 관리 장치는 차량지령소 Desk상에 설치되어, 열검지 장치와 진동 데이터 기록 장치로부터의 경보나 데이터의 표시, 관리치의 설정 및 변경을 행한다.
- 적외선 온도계: Compact한 구조로 되어 있고, 설치할 경우, 종래의 적외선 카메라처럼 길 옆 벽의 확장이나 피트 굴착 등을 필요로 하지 않는다.

- 차륜 검지기: 차륜검지기는 레일에 취부되고, 차륜의 답면을 비접촉으로 검지하는 전자식 금속 센서로서, 자기변화에 의해서 차륜통과를 검지한다. 장치는 3개의 검지기로 구성되어 있으며, 차량 진입 측으로부터 차량접근검지용(No.1)과 차륜위치 검지용(No.2・No.3)로 되어 있고, No.2와 No.3를 차륜이 통과하는 시간차에 의해서 차량속도를 연산하고, 발열부위를 특정한다.
- 마이크로파 안테나: 궤도중앙에 설치하고, 통과차량에 대해서 고주파수를 발생하고, 1편성에 1매 취부한 ID Tag 고유의 반사파를 수시하는 것에 의해서 편성번호를 판별하는 장치이다. 이에 의해서 관리치나 데이터를 편성마다의 차량단위로 관리할 수 있다.

○ 설치장소

장치를 설치하기에 적합한 장소는 차량 주요기기의 이상 유무를 판독하는 원리가 주로 진동이나 온도를 감지하는 구조이므로 제약을 받을 수 있다. 따라서 차량의 속도나 선로의 구배조건, 외부환경조건 등을 고려하여 적정한 위치에 설치한다.

- 선정조건
  - 선로조건 : 곡률반경 = 1600R이상, Cant = 0, 구배 = 25‰이내
  - 진동검지장치의 경우 45㎞/h 이상에서 타력운전 구간이 적합
  - 열검지 장치의 경우 차량 주행속도가 낮을수록 좋은
  - 검지센서와 데이터처리장치(역사 내 설치예정)의 거리가 가능한 200m 이내
  - 눈・비와 온도 등에 보호하기 위하여 지상구간이 아닌 지하터널구간(열검지 장치)
  - 기동검수원(주재) 위치가 적당한 거리에 있을 것
- 국내적용 사례

서울지하철 2호선의 경우에 위의 조건을 만족하는 구간을 조사한 결과, 문래, 을지로 3가, 을지로 4가, 신천, 선릉, 서울대입구, 방배

역 이었으며, 이중검지장치 설치 역간 거리를 감안하여 3개역(을지로3가, 신천, 서울대 입구)이 적합하여 설치되었다.

나) 중정비 자동화설비

① 윤축구동장치 회전시험장치

전동차의 윤축을 포함한 구동장치를 이용하여 회전시켜서 윤축의 진동데이터 및 베어링의 온도상승데이터를 수집하여 구동장치의 이상 유무를 판단하는 기능을 가지고 있다. 또한 구동장치의 케이스 내에 세척과 속도계 펄스 검출부의 검사기능도 가지고 있다.

따라서 모든 구동장치의 기어케이스를 분해하여 검사하는 불편함을 없애고, 구동장치를 분해하기 전에 구동장치의 이상 유무를 알 수 있으므로 이상이 있는 구동장치만을 분해함으로서 정비 업무의 성력화를 이룰 수 있다.

② 주전동기 분해(조립)장치

주전동기를 자기틀과 전기자로 분해해서 각각 검사한다. 자기틀과 전기자를 분해하는 방법은 횡방향으로 뽑는 방식과 종방향으로 뽑는 방식이 있다. 일반적으로 전동차의 주전동기 검수라인에서는 가로로 뽑는 방식의 분해(조립)장치를 설치하고 있다.

③ 대차틀 승강장치

대차 검수에서는 대차 상부의 댐퍼나 브레이크 호스 등의 탈착, 대차 하부의 브레이크 실린더 등의 탈착, 대차 중간부의 브레이크 등의 탈착과 각 높이에서의 작업이 필요해진다. 그래서 종래에는 대차틀을 고, 중, 저 3종류의 고정대를 사용해서 작업을 했지만 이것으로는 천정크레인에 의한 대차들의 대리고 싣는 작업이 빈번하게 발생하기 때문에 동일 작업장에서 임의의 높이에 대차틀을 설치할 수 있는 승강 장치를 도입하고 있다. 따라서 승강장치는 승강부분이 유압식 또는 나사식의 2종류가 있다.

4) 유지보수 정보화 시스템

도시철도 차량 및 시설물의 효율적인 관리를 위해서는 정보화시스템의 도입이 필수적이다. 현재 국내에서 도시철도시스템에 대한 유지보수 정보화시스템이 개발되어 사용이 추진 중이다. 소개하는 시스템은 건설교통부에서 의뢰하고 한국철도기술연구원에서 개발하였다.

가) 도시철도 차량 유지보수체계 정보화 시스템

도시철도 차량 유지보수체계 정보화시스템은 도시철도 차량의 체계적인 유지보수정보 관리를 통한 신속한 고장 처치와 사고 예방을 목적으로, 국내 도시철도 유지보수정보의 표준화와 시스템 호완성 확보를 고려하여 개발한 정보시스템이다.

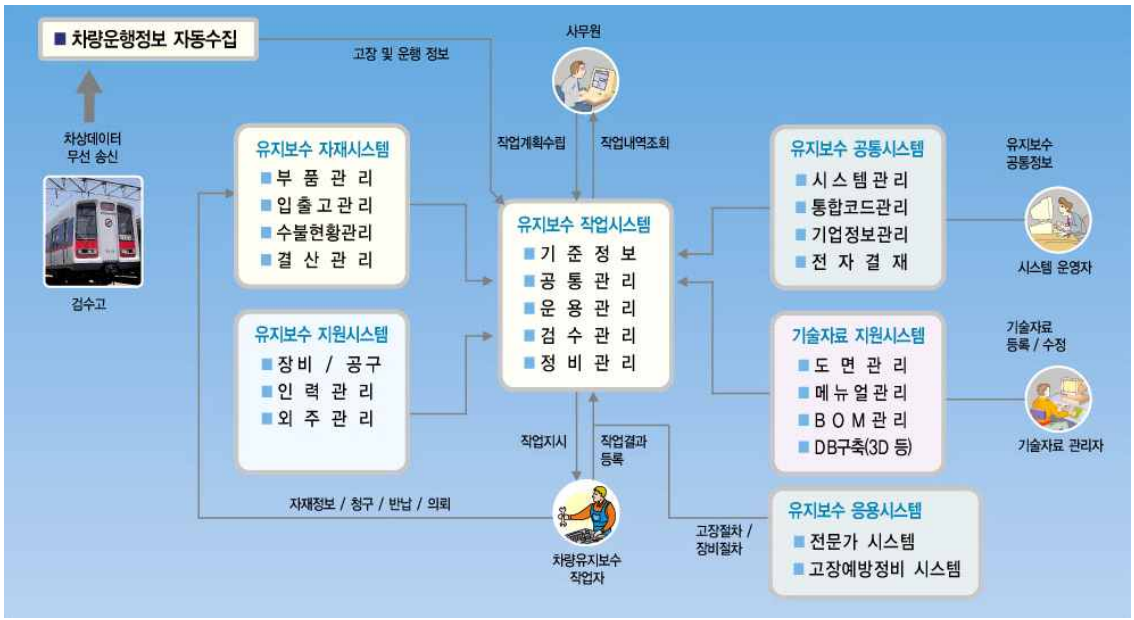
○ 특징

- 도시철도 차량 유지보수업무 프로세스 체계화 및 정보체계 표준화
- BOM(Bill Of Material)시스템 도입으로 시스템 효율성 활용성 증대
- RAMS, 전문가시스템 도입으로 엔지니어링 기능 확보
- 차량운행정보 자동수집시스템 도입으로 실시간 정비지원
- 도면, 정보메뉴얼, 설계서 등 각종 기술자료의 통합화 및 디지털화로 신속한 정보의 제공
- Web Application 아키텍처로 유연한 시스템
- 객체지향 기반의 CBD 방법론에 의한 시스템 모듈화로 신속한 개발, 변경 및 확장성 확보

○ 기대효과

- 차량의 체계적인 유지보수 정보 관리를 통한 시설물의 안전성 향상
- 차량의 통합 정보관리를 통한 업무 연계성·효율성 향상
- 차량 유지보수에 대한 체계적인 통계·분석자료 제공을 통한 신속한 의사결정
- 통합되고 일관된 차량의 수명주기 관리 및 연장 정책 수립

지원을 통한 경영 효율 향상



[그림 133]도시철도차량 유지보수체계 정보화시스템 구성도

① 유지보수공통시스템

전반적인 시스템관리, 표준화된 통합코드관리, 전자결재시스템관리, 기업정보관리 등을 통하여 도시철도 유지보수체계 정보화시스템을 일관성 있고, 타 시스템과 유연한 연계가 가능할 수 있도록 하는 시스템

○ 주요 기능 및 특징

- 시스템관리 : 사용자의 기초정보 등을 관리할 수 있는 사용자관리, 전체시스템에서 사용되어지는 각종 메뉴에 대한 권한 부여 등에 대한 관리, 업무에 필요한 각종 공지사항 관리
- 통합코드관리 : 시스템에서 사용하는 각종 공통코드관리, 부서의 유동성에 대비한 부서정보관리, 시스템에 필요한 호선 및 역사에 대한 정보 관리
- 기업정보관리 : 기업에 대한 기초정보등록, 조회 및 기업에 관련된 납품정보 관리, 납품한 물건 및 기업에 대한 평가

관리, 기업 정보를 다양한 방법으로 검색할 수 있는 기업 정보검색기능

- 전자결재기능 : 자동 및 수동 결재선 관리, 결재 대상 문서 관리

② 유지보수 작업 시스템

유지보수작업계획에 따라 작업자에게 작업지시서를 발행하고, 작업자는 작업지시서에 의하여 작업한 결과를 등록하며, 등록된 결과는 최적화된 유지보수작업계획을 수립하기 위하여 피드백됨으로써 체계적인 유지보수작업이 이루어질 수 있도록 하는 시스템. 차량 이력 정보, 전문가시스템 정보, 고장예방정비시스템 정보 등 다양한 정보를 공유함으로써 유지보수작업 활동의 효율을 극대화하기 위한 시스템

○ 주요 기능 및 특징

- 기준정보 : 전동차 장치 및 부품의 분류정보, 물품 정보, 창고 및 창고랙 정보, 재고 기준 정보 등의 설정 및 관리
- 검사계획관리 : 전동차 유지보수에 필요한 물품을 년 단위별로 자동 수급계획 수립하고 변경에 대한 이력의 관리
- 작업지시 : 전동차 유지보수를 위한 편성별 검사작업지시의 생성과 특별점검물량에 대 한 정기검사에 대한 지시
- 검사실적관리 : 전동차량의 검수작업, 정비작업, 정비작업, 차륜작업, 개조작업 및 부품수선 실적의 관리

③ 유지보수 자재 시스템

전동차 유지보수 작업에 필요한 장치 및 물품을 효율적으로 관리하고, 현장에 필요한 부품을 정확하고 신속하게 공급하며, 기준재고 설정 및 모니터링을 통한 적정재고유지와 작업자의 물품검색을 용이하게 하여 효율적인 유지보수를 할 수 있도록 하는 시스템

○ 주요 기능 및 특징

- 기준정보관리 : 물품의 기본이 되는 물품신규제정요청, 사무소별 물품관리, 창고위치관리 등을 할 수 있는 물품에 대한 기준정보관리
- 수급계획 : 물품사용실적을 바탕으로 차기년도의 수급계획을 자동으로 수립
- 입출고관리 : 구매입고, 계정변경 입출고, 이동 입출고, 관리전환입출고, 불용요청 및 출고, 현장출고/반납입고, 현장교환 입고 및 각종 현황 등에 대한 정보 제공
- 실사결산 : 정기실사, 수시실사에 대한 처리 및 월결산 처리, 결산현황 정보 제공
- 청구반납 : 현장에서 자재과로 물품 청구요청, 반납요청 처리

④ 유지보수 지원 시스템

유지보수 작업에 필요한 장비/공기구, 유지보수 인력, 교육 등 유지보수에 필요한 지원 사항에 대한 정보를 제공함으로써 유지보수 업무의 효율을 증대할 수 있는 시스템

○ 주요 기능 및 특징

- 장비/공기구관리 : 장비기본정보관리, 장비운용관리, 장비검사관리, 장비현황통계, 공기구 기본정보관리, 공기구검사관리 등에 대한 정보제공 및 업무처리
- 인력관리 : 유지보수인력에 대한 기본사항 조회, 인사발령에 따른 유지보수 업무 편성, 유지보수 근무일정 관리, 교육관리 등에 대한 정보제공 및 업무처리

⑤ 유지보수 응용시스템

유지 보수 작업을 쉽고 효율적으로 수행하도록 도울 수 있으며, 사용자의 의사결정을 지원할 수 있는 시스템으로서 크게 예방정비 시스템과 전문가 시스템으로 구성되어 있음.

○ 주요 기능 및 특징

- 고장예방정비시스템 : 작업계획 시에 예상부품의 수명이나 고장 유형, 고장 사례 등을 미리 제공함으로써 검사표에 반영시키기 때문에 고장의 증상이나 고장 발생의 징후가 승무원에게 인지되지 않았더라도 잠재적 고장요인을 찾아낼 수 있도록 도와주는 사전예방의 측면이 강조되는 시스템
- 전문가시스템 : 고장으로 발전할 수 있는 징후를 인지하였을 때 고장의 원인을 진단하는 절차를 제공하거나 고장의 원인이 규명되었을 때 정비 절차를 제공하는 것과 같은 사후 조치의 측면이 강조되는 시스템

⑥ 기술자료 지원 시스템

도시철도 유지보수에 필요한 전반적인 기술자료 관리 및 통합검색 서비스를 제공하는 체계를 갖춤으로써 사용자, 운영자, 관리자가 적시적소에 활용, 유지보수 업무의 효율성을 증대, 유지보수 활동을 극대화하기 위한 시스템

○ 주요 기능 및 특징

- 도면 관리 : 사용자가 작업 현장에서 웹을 통해 도면의 조회 및 메모 기능들을 통한 정보공유와 BOM을 기초로 도면과 내부 부품정보를 관리하여 자재청구 등 타 시스템과의 인터페이스 지원
- 메뉴얼 관리 : 기존의 책자 형태에서 벗어나 최신의 다양한 멀티미디어 및 정보 기술을 적용함으로써 필요한 내용의 조회 및 전자문서 표준인 XML로 구축함으로써 데이터의 호환성 및 유지/관리의 효율성 지원
- 3차원 형상정보 : 분해 및 조립과 관련한 기술자료를 3차원 형상정보로 서비스함으로써 작업의 효율성 및 정확성 증대

차량 운행정보 자동수집 시스템

전동차가 차량기지로 입고할 때 차량에 기록된 운행정보 및 고장정보를 지상으로 자동 전송함으로써 차량정보수집에 대한 인적 시간적 손실을 줄이고, 수집된 정보를 분석하고 유지보수에 필요한 정보를 공유함으로써 보다 효과적인 전동차 유지보수 작업을 가능하게 하는 시스템

○ 주요 기능 및 특징

- 데이터 자동 수집기능 : 전동차내의 다양한 정보를 무선을 통하여 자동으로 수집하여 지상의 정보수집장치로 전달하는 기능
- 실시간 정보제공기능 : 주요 고장 등에 대한 정보는 실시간으로 유지보수작업자에게 전달됨으로써 신속한 작업이 가능
- 분석 기능 : 운행정보, 고장정보, 고장추적데이터 등을 이용하여 지상분석 시스템에서 텍스트 및 그래픽, 보고서 형태로 표현함으로써 고장원인 분석에 사용 가능

나) 도시철도 시설물 유지보수체계 정보화 시스템

도시철도 시설물 유지보수체계 정보화시스템은 도시철도 시설물의 체계적인 유지보수정보 관리를 통한 사고예방과 신속한 보수를 목적으로, 국내 도시철도 유지보수정보의 표준화와 시스템 호환성 확보를 고려하여 개발한 정보화시스템이다.

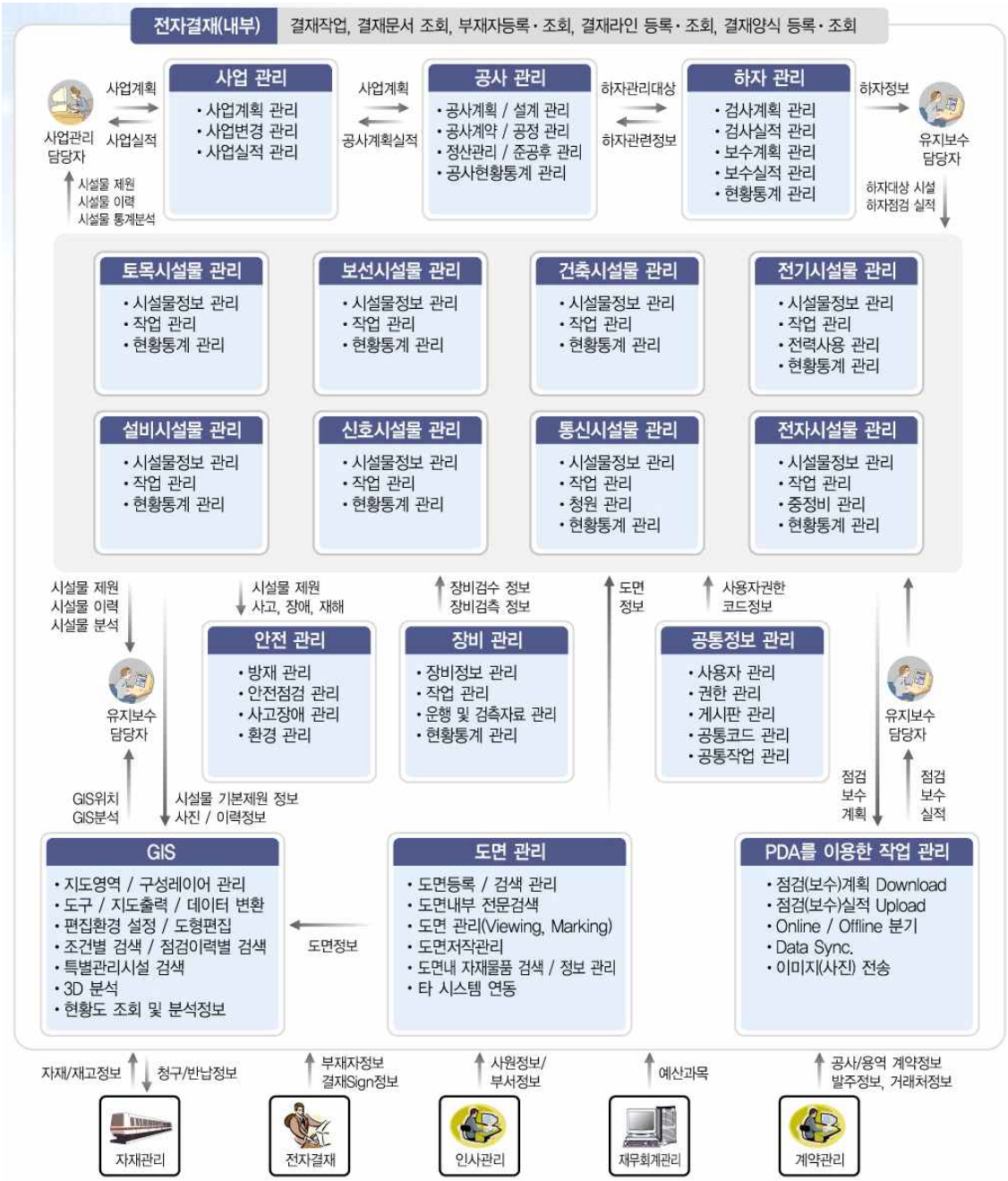
○ 특징

- 도시철도 시설물 유지보수업무 프로세스 체계화 및 정보체계 표준화
- 도면, 설계서, 매뉴얼 등 각종 기술자료의 통합화 및 디지털화로 신속한 정보의 제공
- 광범위한 지역에 산재해 있는 방대한 시설물에 대하여 웹 지리정보시스템(Geographic Information System) 활용으로 효과적인 시설물 유지보수 정보 관리
- PDA 등 무선단말기를 이용한 유비쿼터스 환경 구축

- 역사시설물 3차원 가상공간시스템을 활용한 시각적인 시설물 유지보수 정보 관리
- J2EE 기반의 Web Application 아키텍처로 유연한 시스템
- 객체지향 기반의 CBD(Component Based Development)방법론에 의한 시스템 모듈화로 신속한 개발, 변경 및 확장성 확보

○ 기대효과

- 시설물의 체계적인 유지보수 정보 관리를 통한 시설물의 안전성 향상
- 시설물의 통합 정보관리를 통한 업무 연계성·효율성 향상
- 문서양식 표준화로 중복성 업무제거를 통한 시설물 유지보수 생산성 향상
- 시설물 유지보수에 대한 체계적인 통계·분석자료 제공을 통한 신속한 의사결정
- 통합되고 일관된 시설물의 수명주기(Life Cycle) 관리 및 연장 정책 수립 지원을 통한 경영 효율 향상



[그림 134]도시철도 시설물 유지보수체계 정보화시스템 구성도

① 사업·공사·하자·장비 관리 시스템

도시철도 시설물에 대한 중장기 및 단기사업 관리, 사업계획에 따른 시설물의 공사 관리, 하자보증 기간 내의 대상 시설물의 체계적인 하자 관리, 유지보수 장비 관리 등 시설물 전체 공통적으로 연계 관리되는 시스템

○ 주요기능 및 특징

- 사업관리시스템: 시설물의 검사・점검 실적과 유지보수작업 실적 등에 근거한 중장기 및 단기 사업에 대한 사업계획・사업변경・사업실적의 체계적인 관리시스템
- 공사관리시스템: 시설물의 사업계획에 의해 발주 계획된 시설물 공사의 계획, 설계, 계약, 공정, 기성, 준공 등 공사시행 전반에 걸친 업무 및 관련 정보의 체계적인 관리시스템
- 하자관리시스템: 공사준공 및 계약정보에 의거 하자보증 기간 내에 있는 대상 시설물의 하자검사・하자보수 계획 및 실적 등의 체계적인 하자 관리시스템
- 장비관리시스템: 시설물 유지보수에 투입되는 각종 장비의 제원정보, 작업・운행계획 및 검사・검측실적 정보에 대한 체계적인 관리시스템

② 토목・보선・건축・전기・설비・신호・통신・전자관리 시스템

토목・선로・건축・전기・설비・신호・통신・전자의 8개 시설물에 대한 효율적인 유지보수작업 및 안전 관리를 위하여 유지보수작업계획 수립 및 작업실적 등록 등 유지보수업무 전반에 걸친 체계적인 시설물 유지보수 작업정보 관리시스템

○ 주요 기능 및 특징

- 시설물정보관리

・장치별, 부품별 시설물 분류에 따른 시설물 기본 제원정보 관리

・GIS, 도면관리시스템과 연동된 기본정보 관리

- 유지보수작업관리

・년간・월간・일일 점검 및 유지보수작업 계획 관리

・년간・월간・일일 점검 및 유지보수작업 실적 관리

・일일점검일지, 점검표 등 각종 작업표 자동 작성

- 현황통계관리

・GIS와 연동한 다양한 조건별 시설물 현황정보 조회

· 유지보수작업 현황통계 조회
· GIS와 연동, 유지보수장비 작업결과에 대한 시각적 정보 조회
· 시설물별 장애율 분석정보 조회
· 유지보수 작업실적에 의한 시설물 추이분석정보 조회

- 특별관리

· 토목시설물 점검계획 및 실적에 대한 한국시설안전관리공단 시설물정보통합관리시스템과 연계(입력정보 자동 추출 방식)
· 전기시설물의 수전시설, 전기사용량 등 전력사용관리 기능
· 방재관리, 장애·재해관리, 지하환경관리 등의 안전관리 기능

③ GIS·PDA·3D역사관리·도면관리 시스템

토목·선로·건축·전기·설비·신호·통신·전자의 8개 시설물의 유지보수 정보에 대한효율적인 관리를 지원하는 시스템

○ 주요 기능 및 특징

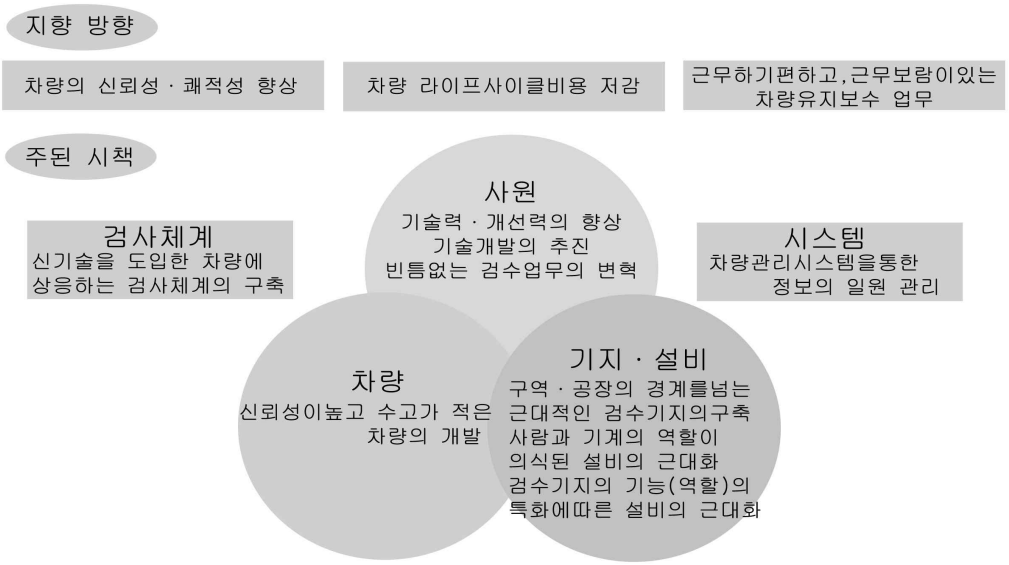
- 지리정보시스템(GIS, Geographic Information System): 웹 지리정보시스템(Geographic Information System) 활용하여 전체 노선에 걸쳐 광범위한 지역에 산재해 있는 시설물 즉, 공간위치정보를 갖는 시설물의 유지보수 정보와의 연계 관리
- PDA(Personal Digital Assistants): PDA 등 무선단말기를 이용하여 사무실과 현장에서 유지보수 작업계획 및 작업실적 정보에 대한 실시간 혹은 오프라인 공유를 가능케 함으로써, 이중 업무 배제를 통한 작업 효율성 및 생산성을 제고를 위한 유비쿼터스(Ubiquitous) 환경 구축
- 3D 역사관리 시스템: 역사시설물의 시각적인 시설물 유지보수 정보 관리를 위한 3차원 가상공간시스템 구축
- 도면관리시스템(DMS, Drawing Management System): 각종 시설물 도면에 대한 등록, 변경 등의 체계적인 도면관리, 도면저작관리, 도면내 자재물품정보 관리가 가능한 도면 관리시스템 구축

(나) 일본 철도시스템의 유지보수

山之內秀一郎[2]은 일본의 철도 유지보수의 역사 및 현황, 발전방향을 다룬 '철도메이터넌스'를 저술하였다. 여기서는 그 책의 내용 중 차량 유지보수의 근대화 내용과 검수규정 및 체계를 소개한다.

1) 차량 유지보수의 근대화

JR 동일본에서는, 1990년에 21세기의 경영 구상으로, 생활 창조 기업, 미래 지향 기업, 인간 존중 기업을 기본 방향으로 한 'FUTURE 21'을 책정하였다. 이를 실현하기 위해, 차량 유지보수 부문에서는, '차량 유지보수 근대화 계획'을 책정하고 유지보수의 변혁에 착수하였다.



[그림 135]차량 유지보수 근대화 계획

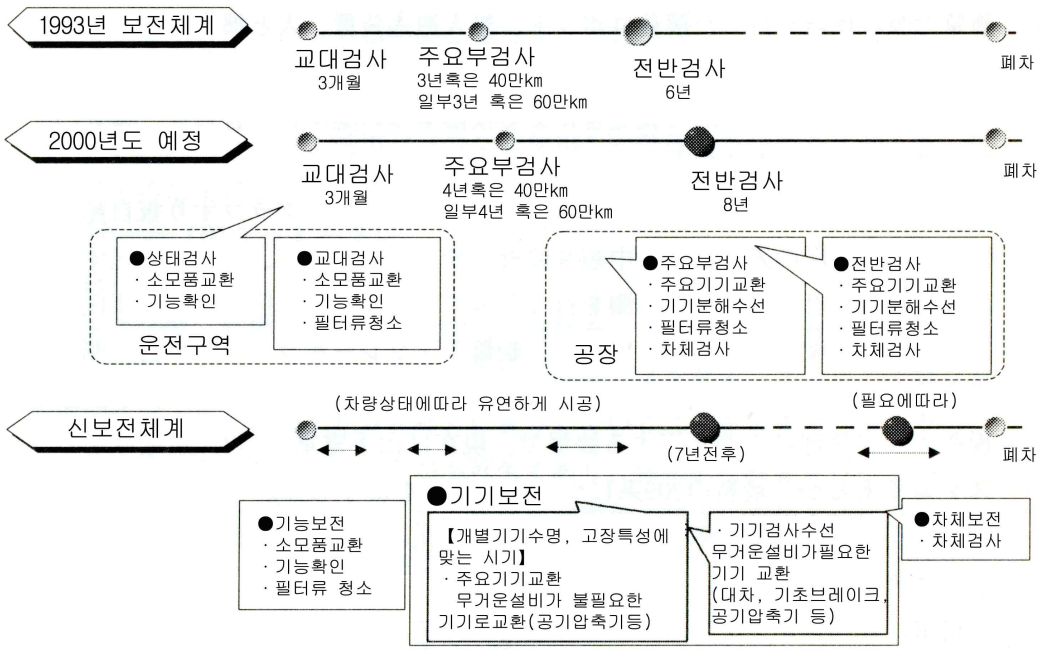
1994년에 책정된 '차량 유지보수 근대화 계획' 에서는, 차량 유지보수가 목표로 하는 방향으로, '차량의 신뢰성 향상', '차량의 라이프 사이클 비용의 저감', '작업하기 수월하고, 작업의 보람이 있는 차량 유지보수 업무' 의 세 가지 테마를 언급하고 있다. 이러한 방향을 따라, 그 업무의 대상인 '차량', 방법인 '검사 체계', 도구인 '검수 기지 설비', 이들을 유기적으로 결합시키는 '시스템' 및 유지보수 업무의 주체인 '검수 사원'

의 관점에서 변혁에 착수하고 있다. 이를 실현시키기 위해, 니가타 차량 제조소에서 차량을 새로이 제작하여, 설계·계획, 제조, 운용, 유지보수, 폐차까지의 차량의 라이프 사이클 시점에서의 변혁을 꽤할 수 있었다. 구형 차량은 그 구조 상, 유지보수에 많은 노력이 필요하지만, 케이힌 토호쿠선에 도입된 209계 전차, 소부·요코스카선에 도입된 E217계 전차 등은, 유지보수가 경감될 뿐만 아니라 새로운 검사 체계로 이행이 가능한 완전히 새로운 설계였다. 이른바 신계열 차량을 1999년도까지 근교 통근형으로 약 2,000량, 약 25% 투입하였다. 1998년 11월에 도입된 새로운 209계 전차에서는 정보 수집, 전송, 표시의 기능에만 머물렀던 모니터 장치의 기능이 버전 업 되었으며, 자동 출구 점검, 차상 시험 기능의 향상, 편성의 일괄 제어가 가능하게 되었다. 이 열차 정보 제어 장치(TIMS)를 통해 차량 내 배선 및 열차 라인을 큰 폭으로 삭감시킬 수 있었으며, 이를 통해 초기 비용의 1절감과 검사·점검 작업의 간소화에 의한 유지보수 비용의 절감이 가능하였다.

가) 검사 체계의 변혁

신계열 차량은, 차량 단위에 일정한 주기로 획일적으로 실시되고 있는 검사 체계에서 벗어나, 13년간 주행 200만 km까지는 오버올이 불필요하다는 설계 개념을 근거로, 차량 모니터를 이용한 기기의 상태 감시를 통해 적절한 시기에 적절한 검사를 실시하는 유연한 검사 체계로, 이른바 신보전 체계의 검사 체계의 구축을 목표로 하고 있다. 1993년에 구형 차량의 교대 점검·전반 점검의 키로 제한을 폐지하고, 신간선 차량의 대차 검사의 키로 제한 주기를 연장하였다. 2000년에 전차의 전반 검사·요부 검사의 기간 주기를 전반 「6년」·요부 「3년」에서 전반 「8년」·요부 「4년」으로 변경하였다. 또 동차의 전반 검사·요부 검사의 주기를 전반「6년」·요부 「3년 혹은 25만km」에서 , 전반「8년」·요부 「4년 혹은 50만 km」로 그 주기를 연장시키기 위한 시험을 실시하였다. 신계열 차량의 검사 내용은 설계 사상, 새로운 보전 체계의 연구 방법을 선행한 형태로, 내용 변경을 통하여 종래 타입인 103계 전차에 비해,

약 55%까지 유지보수 비용을 절감할 수 있었다. 새로운 검사 체계·신보전 체계는, 종래의 일정 주기로 고정되어있던 사전 검사·교대 검사·요부 검사·전반 검사 등을 실시하는 검사 내용에서, 소모품의 교환, 기능 검사와 필터 등의 청소, 주요 기기의 보전, 차체의 리뉴얼을 실시하는 차체 보전 등의 차량 사용 상황에 따라 유연하게 유지보수를 실시하는 검사 체계로 변경되었다. 현재, 기술 기준의 발본적 개정을 위하여 검사를 진행하고 있다. 새로운 검사 체계가 실현되면, 신계열 차량의 유지보수 비용은 구형 타입인 103계 전차와 비교하여 약 35%까지 절약할 수 있다(그림 6).



[그림 136]신보전 체계

나) 검수 기지·설비의 변혁

1990년에 센다이 제일 운전소를 통합한 센다이 통합 차량소를 개설, 1991년에 나가노 공장과 키타나가노 운전소를 통합하여 나가노 종합 차량소를 개설하였다. 검수 기지·설비의 변혁은, 공장 및 구역을 뛰어넘는 근대적인 검수 기지의 구축을 목표로 하고 있다. 공

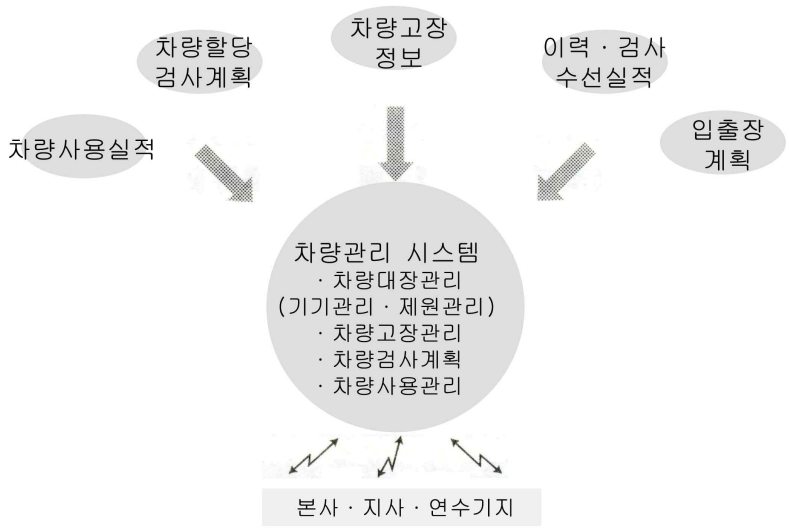
장·종합 차량소는, 신계열 차량의 투입을 통한 업무량의 감소에 입각하여, 각 공장의 역할 및 검수 기능의 재편성을 실시하고, 검수 설비의 집약, 근대화를 진행해가고 있다.

오오이 공장은 구형 차량을 1량 단위로 기기를 분리하여 분해·검사·수선하는 유지보수 시스템이었지만, 신계열 차량의 유지보수를 위해 차량이 연결된 편성 그대로의 대차, 지붕 위 기기, 연결 장치 등을 동시 착탈하는 택트 작업 방식의 검수 설비로 정비하였다. 코리야마공장에서는 대차, 모터의 검수 라인의 정비가 진행되고 있다. 직류 모터 검수 라인은 인력이 주체가 된 검수 시스템이었으나 컴퓨터로 작업을 총체 제어하는 장치화 된 검수 라인으로 변경하였다. 이 라인은 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 등으로 이루어져있다. 운전 구역은, 구역의 통폐합을 통한 검수 업무의 집중화와 함께 검사의 인텔리전트화와 작업의 개선을 진행하였다. 각 구역의 새로운 유지보수 장치로 도입된 팬터그래프 슬라이더 자동 측정 장치는 전차구의입구에 공중 초음파 센서를 설치하여, 전차가 구역에 진입할 때부터 자동 계측하고, 마모를 예측하는 시스템으로 야마노테 전차구, 우라와 전차구 등 23개 구역(1998년 말)에 도입되었다. 제륜자·브레이크 라이닝 자동 측정 장치는 선로에 설치된 CDD카메라를 통하여 제륜자와 브레이크 라이닝을 화상 처리 및 에지 처리를 통해 계측하는 장치로, 현재는 야마노테 전차구의 205계 전차용 시스템이지만, 최신 209계에 대한 측정 장치도 개발되었다. 소모품 교환의 자동화와 기기 탈착 작업의 자동화에 대해서도 계속하여 검토를 진행하고 있다.

다) 시스템의 변혁

종래의 차량 유지보수를 위한 검수 시스템은, 공장의 KICS 시스템과 운전 구역의 운전 오피스 컴퓨터 시스템이 개개로 각기 존재하

고 있었지만, 1992년도에 본격 가동된 차량 관리 시스템에서 차량의 유지보수 시스템으로 일체화되었다. 차량 관리 시스템을 통해 차량 이력 관리, 차량 사용 관리, 차량 고장 관리, 검사 계획의 각 시스템으로 이루어진 일원적인 데이터베이스의 구축 및, 데이터베이스를 활용한 유지보수의 실현, 보고 서류의 대폭적인 절감이 가능하였다. 1999년도에 하드웨어의 갱신 시기에 맞추어, 데이터 처리 속도와 데이터 가공 유연성을 향상시키기 위해 범용 서버, 범용 컴퓨터를 사용한 저가의 분산 시스템과, 범용 소프트의 활용을 통해 각 현장에 대응한 유연한 처리가 가능한 데이터베이스의 개정이 실시되었다.



[그림 137]차량 관리 시스템

2) 궤도 유지보수의 근대화

가) 배경과 목적

철도 시스템의 재구축 중에서도, 유지보수의 혁신이 최우선 과제의 하나이다. 고령화 사회에 접어들고 있고, 또 젊은이의 선호 노동도 크게 변화되고 있기 때문에, 전형적인 3D(difficult, dirty, dangerous) 요소가 강한 보선 직장에 앞으로도 계속하여 안정적인 노동력을 확보하는 것이 곤란한 상황이 되었다. 철도의 안전과 신

뢰성을 확보하기 위해서는 효율적인 유지보수 시스템의 확립이 반드시 필요하며 또, 추후 수입 전망이 어두운 현 상태에서는 영업경비의 1/3을 점유하는 유지보수 비용을 삭감하는 것이 중요한 과제이다. 이러한 상황에서, 1990년, 보선 부문에서는 21세기에 어울리는 선로 보수 시스템의 구상을 정리한 '보선 2000년 프로젝트'를 책정하고, 시행에 옮겼다.

나) 기본 방향

○ 인력 주체의 보선 작업, 검사 및 선로의 관리 업무 등은 기계와 로봇 또는 컴퓨터에 의한 작업으로 변경한다.

○ 인력으로 처리할 수밖에 없는 판단 업무와 기술 업무는 사원이 실시한다(협력 회사 포함).

○ 쾌적, 안전하게 일할 수 있는 사무실 환경을 만든다.

다) 구체적 시책

구체적 시책과 그 개요는 다음과 같다.

① 선로의 구조 강화

2000년대에는 먼저 궤도 구조를 강화하여, 궤도의 열화를 감소시키고, 보수 작업과 검사 자체가 사라지는 것을 목표로 하고 있다. 특히, 기설선의 생력화 궤도의 개발, 도입을 목표로 하고 있다.

② 검사의 자동화

검사는, 구조를 강화하고 단순화하여 검사 자체를 없앰과 동시에, 필요한 검사는 영업차 및 보수용 차 등의 차상으로부터, 빛과 음파를 활용하여 측정을 실시하고, 이를 자동 처리하여 가급적 선로를 직접 걸어 다니지 않고도 작업이 가능하도록 한다.

③ 작업의 기계화

작업의 기계화는, 인력 작업으로부터 기계화 작업으로의 변혁을 도모함과 동시에, 안전 시스템에 의한 백업 체제를 정비한 기계

화 작업을 목표로 한다.

④ 작업 환경의 개선

작업을 기계화하는 것뿐만 아니라, 작업을 안전하고 효율적으로 실시하기 위해 작업 환경을 개선하는 것을 목표로 한다.

○ 안전 시스템의 구축: 선로 내 작업을 얼마나 안전하게 실시하는가가, 보선의 중요한 포인트이다. 인간의 주의력을 가급적 장치와 시스템으로 교환하는 것을 목표로 한다.

○ 타이밍의 확보: 보선 작업에서는, 타이밍의 확보가 필요하다. 주간의 배차 간격이 넓은 틈이 확보와 병행 구간에서도 병합 운행, 로컬 선에서의 운휴·버스대행을 통해 타이밍을 확보하고 주간에 기계 편성을 투입하여, 효율적인 작업의 실시를 목표로 한다.

○ 보안 시스템의 개선: 선로 폐색과 보수용 차의 취급은 감독자가 역·CTC에 신청하고, 진로의 구성과 열차의 방호는 역·CTC의 취급에 따르고 있다. 감독자가 역·CTC를 통하지 않고, 스스로 컴퓨터와 대화하고 선로 폐색과 보수용 차를 취급하는 것을 목표로 한다.

⑤ 관리 업무의 OA화

한층 진보한 선로 관계의 관리 업무의 효율화를 도모하기 위해, OA화의 촉진을 목표로 한다.

(2) 일본 리니모 자기부상열차 시스템의 유지보수

(가) 리니모 자기부상열차 시스템의 개요1) 궤도

○ 복선 궤간은 3,850mm(중앙에 750mm의 피난로)

○ 본선로의 평면곡선 반경은, 100m 이상(75m까지 축소 가능하도록 함)

○ 종곡선은 3,000m 이상(1,500m까지 축소 가능하도록 함)

○ 본선로의 구배는 60/1000 이하로 한다.

○ 분기 방식은 3관절 굴절형 수평 전환 분기 방식

2) 차량

○ 상전도 흡인식 자기부상 안내 겸용 방식

○ 운전 보안 장치는 ATC/TD

○ 편성 길이는 3량 고정 편성 열차 길이 43.3m, 9편성 소유

○ 승차 정원은 244명(좌석 104명)/편성

○ 추진 방식 리니어인덕션 모터 VVVF 인버터 제어

○ 운전 방식은 ATO에 의한 자동 운전

○ 최대 가감속도는 ± 4.0km/h/s

○ 최고 속도 100km/h

3) 신호・통신 장치

○ 열차 제어는 ATC + ATO

○ 운동 장치는 제 1종 전자 운동으로 전선(全線) 집중식

○ 열차 overrun protection은 속도 조사에 따른다.

○ 열차 무선 방식은 연락 교신 복신 방식

○ 홈 도어제어는 차량의 ATO 장치와 역 ATO장치에 의해 이루어짐

4) 변전과 전차선 전력

○ 전차선(電車線) 전압 DC1, 500V

○ 전차선 AL/SUS 복합 강체 전차선(1,500㎟)
양・음의 2선식

○ 변전 능력 4,000kw＊2 (게이다이토오리 변전소)
1,000kw＊1 (차량기지내 변전소)

5) 리니모 검수 현황의 개요

○ 신호, 통신을 포함하여 기타 부분은 일반 전동차와 같은 유지보수 체계를 따름

○ 총 인원 90명 중 Depot에 6명 근무하여 유지보수 관련 종사자는 29명임

○ 대부분의 점검 업무는 TIMS라는 컴퓨터에 의해 수행됨

○ 매주 컴퓨터에 의해 주기적으로 검사를 수행하고 있음: 인력은 보조적 수단

○ 판토그래프 슈는 매달 주기적으로 교체하고, 브레이크 슈는 4년의 주기로 교체함

○ 슈 이외에 주기적으로 교체하는 품목은 현재 없음

○ Reaction Plate는 높이와 넓이를 점검하고 있음

(나) 검수장의 기능

○ 검수장은 동부 구릉선 「리니모」의 상전도 부상식 차량 「HSST-100L형」 3량 편성의 법정 검사 등의 검사와 각종 유지보수를 실시할 수 있는 충분한 공간과 기능을 확보하고 있다.

○ 운영 차량은 9편성 차량이지만, 최대 12편성까지의 검사 능력을 갖추고 있다.

○ 검수장의 크기는, 길이 71m × 폭 33.1m = 면적 2,350㎡로, 건물의 최대 높이는 13.67m이며, 천정 주행 크레인으로 차체와 모듈(대차)을 탈착할 수 있도록 되어있다.

○ 검사선은, ①「열차 검사 · 월검사선」, ②「고장 수선 · 정기 검사선」의 두 선이 있으며, 각각 1편성(3량)씩 입선할 수 있다.
양 검사선은, ④「연속 검사 피트」를 구성하여 작업성을 좋게 하였으며, 또 동측에서는 완만한 슬로프로 연결하여, 포크 리프트 등의 운반차가 용이하게 피트내로 들어갈 수 있는 구조로 되어있다.
피트 깊이는 상면으로부터 0.6m, 레일면으로 부터는 1.8m 깊이로, HSST 차량의 독특한 부상 장치가 구성된 모듈(대차) 등의 검사 및 정비 작업 공간을 넓게 하여, 편안한 자세로 작업이 가능하도록 되어있다.
또, 열차 검사 · 월검사선에는 차량의 정지 위치를 정해져 있으며, 필요한 위치에 차량으로의 승강대 및 루프 위 기기 점검대와 전락 방지 울타리 등이 설치되어 있다.

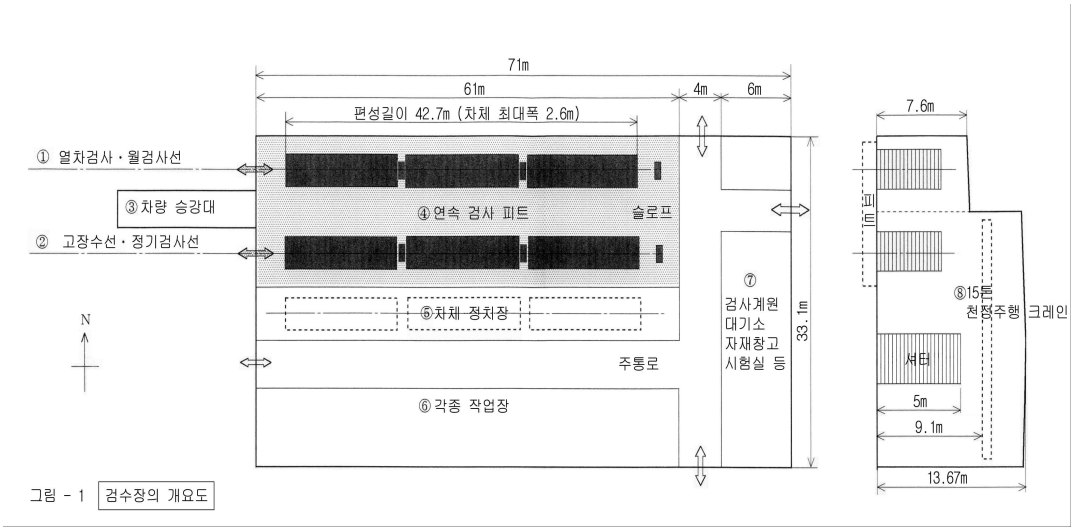
○ 고장 수선 · 정기 검사선의 남측에, 전반 검사 · 중요부 검사시에 모듈(대차)을 빼내고 차체를 정비하는 ⑤「차체 정치장」,

그리고 통로를 거쳐 떼어낸 모듈과 각종 기기 등을 정비하는 ⑥「각종 작업장」이 배치되어 있다.

○ 검사 차량의 검수장으로의 입선은, 운전 지령실의 조작으로 검사 대상인 차량을 무인 운전하여 회송시켜 「ATC-10/01」로, ③「차량 승강대」에 정지시키고, 정지시킨 후 차량 검사 계원이 탑승, 운전하여 검사 피트선으로 입선시킨다.

○ 그 외에, 검수장 동쪽 단에는 ⑦「검사 계원 대기소 · 자재 창고 · 시험실」등을, 또 이들 부실의 상부에는, 예비 기기 등의 창고와 외주 업자의 대기소가 설치되어있다.

고장 수선 · 정기 검사선의 남측은 천정을 높게 하여 ⑧「15톤 천정 주행 크레인」을 설치하여, 모듈과 차체의 분리 · 결합과 중량 큰 기기의 이동, 그리고 신조 차량의 조립 및 on rail 등을 실시할 수 있도록 되어있다.



[그림 138]검수장의 개요도

(다) 검사 차량의 출입장과 검사의 실시

1) 「열차 검사」차량의 출입장과 검사

○ 검사차량의 검수장으로의 입선은, 운전 지령실의 조작으로 「검사 대상 차량」을 자동 운전으로 차량 기지 내로 회송시켜, 좌단부(서측)의 「차량 수수대」로 ATC-10/01에 의해 정지시킨다.

○ 정지 후, 차량 검사 계원이 차량에 탑승, 운전하여 검사선에 정해

진 「열차 검사 정지 위치」에 차량을 정지시킨다.

○ 이 위치는, 전차선이 이어져 있어 후부 팬터그래프에서 집전하여 주행할 수 있는 위치이다.

○ 차량의 전원을 「OFF」하고, 섹션 스위치「89FK3」을 「OFF」로 한 후 「열차 검사 수순표」와 「열차 검사 기준」에 따라 「열차 검사」를 실시한다.

○ 「열차 검사」는 단시간에 이루어지는 검사이므로, 「피트 구조도」에서 볼 수 있듯이 서측으로 이어져있는 전차선의 피트폭은 640mm로 좁으며, 또 피트 기둥의 측부에는 양측으로 전차선이 있어, 이 부분은 작업성이 좋지 않다. 하지만 빈번하게 실시되는 검사이므로 차량 출입의 용이성을 우선 시 하고 있다.

○ 「열차 검사」의 마지막에는, 섹션 스위치「89FK3」를 ON시키고 차량 전원을 「ON」하여 통전 시험을 실시한 후 「열차 검사」를 종료한다.

○ 차량 검사 계원이 차량을 「차량 수수대」까지 이동시켜 정지시킨 후 하차한다.

○ 연락을 받은 운전 지령소의 계원은, 검사가 끝난 해당 차량을 무인 운전을 통하여 차량 기지내의 유치선으로 회송시킨다.

2) 「월검사」차량의 출입장과 검사

○ 차량 검사 계원은「차량 수수대」에서, 해당 월검사 차량을 일단 열차 검사 시의 정지 위치에 정차시킨 후, 차량의 전원을 「OFF」시키고, 섹션 스위치「89FK3」을 「OFF」시킨다.

○ 검수 시간이 반나절 이상 걸리는 「월검사」에서는, 작업성을 좋게 하기 위해 차량을 집전부가 없는 폭이 넓은 피트선 부분으로 이동시켜 검사를 실시한다.

○ 중간 차량의 동측 차단부에는 부상 전원의 공급을 받는 「점퍼 연결기」가 설치되어있으며, 여기에 검수장의 천정부에 설치된 이동이 가능한 슬라이드식 전원 공급전 「trolley bus duct」를 접속한다.

○ 「장내 부상 전원 장치」인 스위치를 「ON」시키고, DC275V의 부상 전원을 차량에 공급한다.
○ 편성을 손으로 밀어, 약 6m 정도 동측으로 이동시켜 「월검사」의 정지 위치에 차량을 착지시켜 「월검사 수순표」와 「월검사 기준」에 따라 「월검사」를 실시한다.
○ 「월검사」의 마지막에는, 다시 「장내 부상 전원 장치」로부터 부상 전원의 공급을 받아 부상시켜 「열차 검사」의 정차 위치까지 손으로 밀어 이동시킨다.
○ 「trolley bus duct」의 부상 전원 공급전을 뺀 후, 섹션 스위치 「89FK3」를 ON시키고, 통전 시험을 실시한 후 「월검사」를 종료한다.
○ 차량 수수대까지 차량을 이동시킨다.

3) 「정기 검사」선으로의 출입장과 검사
○ 「중요부 검사」혹은 「전반 검사」의 대상인 해당 차량을 차량 수수대에서 받아 2량 분을 「정기 검사선」 동측의 피트선으로 옮겨 정지시키고, 차량 전원과 섹션스위치「89FK3」를 「OFF」시킨 후, 월검사 차량과 마찬가지로 천정부에 설치된 「trolley bus duct」로부터 부상 전원을 공급받아 부상시켜, 약 20m 정도 동측으로 이동 후 착지시킨다.
○ 부상 전원을 「OFF」한 후 「중요부 · 전반 검사 수순표」와 「중요부 · 전반 검사 기준」을 기초로 한 검사를 실시한다.
○ 「중요부 검사」 · 「전반 검사」는 1편성 당 약 40일정도가 소요되는 대규모 검사로, 모듈과 차체를 분리하여 이루어진다. 차체는 크레인을 이용하여 작업장으로 이동된 후 프레임에 고정시켜 검사 · 정비를 실시하고, 모듈은 「모듈 · 플로어하부 기기 탈착용 자주식 유압 리프트」로 1대씩 모듈 탈착 피트로부터 크레인으로 반출하여 모듈 작업장에서 검사 · 정비를 실시한다.
○ 기타 각 기기는 차체로부터 「가반식(可搬式) 리프터」를 이용하여 받아 분리한 후, 주로 외부 위탁으로 정비를 실시한다.

○ 정비된 기기는 다시 차체에 장착하고, 정비된 모듈은 레일에 늘어놓고 위에서 크레인으로 차체를 태워 결합시킨다.

○ 검사를 마친 차량은, 전원을 넣고 통전 테스트를 반복한 후, 본선「시운전」을 통해 기능과 성능을 확인한다.

4) 각 검사에 필요한 설비

○ 「열차 검사 · 월검사선」에는, 차량의 플로어 하부 air blast 청소용으로 무선 유도 자주식 집진기를, 또 검사에서 불량 기기가 발견된 경우에 예비 기기로의 교환이 가능하도록 「모듈 · 플로어 하부 기기 탈착 자주식 유압 리프트」를 사용할 수 있도록 2개소가 마련되어있다.

○ 검사에 사용되는 설비 기계 기구 · 시험기 등의 사양은 아래표와 같다.

[표 89]검사에 사용된 주요 설비 기계, 기구 시험기 등의 능력 및 사양

설비 구분	설비·기기 명	능력, 사양 등
운반 기계	전차이동용 천정 주행 크레인	가능 하중 15.2t, lift 8.3m, 50KVA, (전용 차체 hang beam 공용)
	검사선 모노레일 호이스트	정격 2t - lift7m, 0.3KW 무선식
	모노레일호이스트(보수재료용)	정격 1.4t × 2 - lift 6m, 무선식
	고가 작업차	최대 하중 500kg - 최대 lift 4m 배터리식 · FET제어식
	모듈 탈착 유압 리프트	하중 3t - lift 1600mm(2대)
	포크 리프트	토요타 2t, 배터리 · 인버터 방식
검수 설비	모듈 air blast 집진기	ϕ2600턴테이블, 하중 700kg 더스트 컬렉터는 75㎥/min
	자주식 플로어 하부 집진기	처리풍량 200㎥/min, 무선 유도식 가이드레일 방식
	습식(濕式)세정기	턴테이블 ϕ630×400h 토출량 200L/min, 히터 6KW
	차체 지지 프레임	하중 2t - 6점 지지 · 전도방지식(3량분)
	간이 도장 장치	plunger형, 정전 핸드건
	배터리 충방전기	충전 280V 10A, 방전 240V 10A
	부품 세정대	토출량 20L/min

설비 구분	설비·기기 명	능력, 사양 등
공작 기계	탁상볼반	최대 가공 능력 ϕ23mm
	CO_2 반자동 용접기	50~350A - 14~36V
	TIG 용접기	DC · AC : 5~300A - 32V
	글라인더(집진기 부가)	2.5KW, 백필터식
	가반식 자기볼반	능력ϕ60×50mm두께, 1.3KW
설비 기계	장내 컴프레서	스크류 컴프레서 22kW×2대 토출압690KPa, 3.8㎥/min
	부상용 전원장치	TDK제 차량용 D/D컨버터장치×2조 사용
	trolley bus duct	DC280V · 400A-3선식, 덕트길이 25m×2루트
	노면 청소차	청소폭 1200mm, 배터리 탑재식
	장내 배수 펌프	0.25KW-100V(4대)
검사 설비	절연내압시험기	AC0~5000V 80mA
	메모리하이코더	16M워드, 8초, 8.4TFT
	진동가속도계	5mV~20V/div 12레인지 주파수특성 :DC~400kHz
	정전압 · 정전류 전원장치	스트레인 게이지식 상하, 좌우, 전후 3방향
	디지털 멀티미터	직류 · 교류 - 전압 · 전류 · 저항 측정
	파이버 스코프	ϕ8mm×1000mm
	보호 계전기 시험기	반복 동작, 최저 전압 동작, 코일 저항, 접점 저항 등 측정
	차량 검수 LAN 시스템	차량검사순서 · 검사 기록표 작성, 공정 관리, 자재 관리
	마모품 자동 감시 시스템	차량 마모품(브레이크슈, 팬터 슬라이더) 등의 면상 처리에 의한 자재 자동 측정·기록
세차 설비	자동 세차기	문형 고정식, 브러쉬 ϕ1200×4본
	세차 · 검수 배수처리장치	고성능함유(含油)폐수처리재(함에멀젼유 배수처리재)배수 처리 순환 장치, 응집 침전처리장치, 슬러지 탈수설비
시험기	ATC/TD시험장치	ATC수신기의 동작 확인 시험기, 차에서 송신되는 체크인, 체크아웃 신호를 수신하고 동작 상황을 확인하는 시험기
	ATO시험장치	ATO 차상 장치의 기능 확인 시험기
	역(驛)제어 시험장치	역제어차량 탑재기기의 기능 확인 시험기
	VEL 시험장치	차량 탑재 속도 검출기의 기능 확인 시험

설비 구분	설비·기기 명	능력, 사양 등
		기
	IR(열차무선)시험장치	데이터 전송・열차 무선 기능 확인 시험기
	TIMS 시험정치	TIMS 데이터의 독출 장치
	유압기기 시험장치	유압 기기의 테스트래크
	G센서 시험장치	갭센서의 평가 시험 장치

(라) 검사의 종류와 검사주기

동부 구릉선 「리니모」 차량은, 국토 교통성의 성령을 기초로 하여, 각각의 편성에 대하여, 아래 표와 같이 실시한다.

[표 90]검사의 종류와 검사주기

검사 종별		검사 내용	검사 주기	검사공수
일상검사	① 사전검사	매일 아침 등, 각각의 차량 편성이 차량 기지에서 나가기 전에, 차량 검사 계원 혹은 운전 계원이 차량 주요 기기의 상황을, 차량에 탑재된 자동 검사 장치(TIMS의 자동 검사 기능) 등으로 정상적으로 기능하고 있는가를 확인한다.	매일	1 인 × 5 ~ 10M(min) =5~10인M
	② 소모품의 마모측정	차량 기지의 반환선에 설치된 측정소에서, 매일 1회 이상 「팬터그래프의 모든 슬라이드」「모든 브레이크슈」의 두께를 화상 처리 방법으로 자동 계측하여, 열차의 운행에 지장이 없는가를 확인한다. 또 각 차량의 개개의 마모 상황과 교환 시기를 네트워크를 구성하여 검수장의 컴퓨터로 전송시켜, 주로 「열차 검사」시에 함께 교환한다.	매일	무인 자동 측정 (통과 순간 측정)
	③ 열차 검사	차량 검사 계원에 의해, 「열차 검사의 검사 기준」「열차 검사의 안전 작업 수순표」에 따라 주요 기기의 육안 점검・정비・측정・	7일	2인×3H=6인H 3인×2H=6인H

검사 종별		검사 내용	검사 주기	검사공수
		확인 작업을 실시한다.		
	④ 월검사	차량의 검사 계원에 의해, 「월검사의 검사 기준」「월검사의 안전 작업 수순표」에 따라 주요 기기의 육안 점검・정비・측정・확인 작업 그리고 소모품 등의 교환을 실시한다.	90일	4인×5H30M×2회 =44인H 5인×4H24M×2회 =44인H
정기검사	⑤ 중요부 검사	「중요부 검사의 검사 기준」에 따라, 차량에 탑재된 각 기기를 분리하여 상세한 검사를 실시한다. 외주 시행에 의한 정비도 포함되지만, 최종적인 조립 ・ 시운전 확인 ・ 검사 등은 당사의 차량 검사 계원이 실시한다.	4년, 60만km	1920인H(240인공)
	⑥ 전반 검사	「전반 검사의 검사 기준」에 따라, 차량에 탑재되어있는 대부분의 기기 등을 분리하여 상세한 검사를 실시하는 가장 규모가 큰 검사이다. 외주 시행에 의한 정비도 포함되지만, 최종적인 조립 ・ 시운전 확인 등은 당사의 차량 검사 계원이 실시한다.	8년	2880인H(360인공)
(주) 검사공수는, 1인공=8인H=480인M 로 나타냄.				

(마) 검사의 일정 계획과 검사 요원

1) 일상 검사

○ 검사는 가급적 평준화하여, 적은 수의 요원이 효율적으로 실시하면 인건비 등의 비용 절감효과를 얻을 수 있다.

○ 열차 검사는 1편성 당 6인H로 검사가 완료되지만, 월검사는 40인H가 소요되어, 약 7배의 작업량이 필요하다.

평소에 월검사 요원을 확보하면 7인의 요원이 필요하지만, 월검사

의 검사 작업을 2분할하여 2일에 걸쳐 1편성의 월검사를 실시하면, 월검사의 통전 시험이 2회로 증가하여 검사공수는 약간 증가하지만, 일상 검사의 평균 필요 검사공수는 20인H정도로 평준화할 수 있다.

○ 열차 검사 주기는 최대 8일 이내마다, 월검사 주기는 최대 90일 이내마다 검사를 실시하고, 월검사를 시행한 편성은 열차 검사를 시행한 것으로 간주하고, 다음 회의 검사 기한은 검사 종료 다음 날로부터 기산한다.

○ 동부 구릉선의 HSST 차량 3량 편성 × 9편성 = 27량의 「열차검사」「월검사」는 표 3과 같은 일정으로 실시한다.

숫자는, 9편성 차량의 편성 No.를 의미한다.

13주 = 90일 이내에 2분할 방식으로 월검사를 18회, 그리고 열차검사를 최대 회귀 10일 이내에 실시한다.

다음으로 표 4에 요원 배치를 정리하였는데, 배치된 검사 요원은 5인이므로 30인H이며, 최대 필요 검사 요원은 22인H이므로 일상 검사의 실시에는 여유가 있으며, 갑작스런 요원의 휴가 등에도 대응할 수 있다.

2) 정기 검사

○ 중요부 검사는 4년마다, 전반 검사는 8년마다 실시하며, 차량 9편성을 보유하고 있으므로, 정기 검사의 평준화를 위해 「2~3편성/년」정도 검사를 실시하게 된다.

○ 일상 검사에 비하여 그 규모가 큰 검사이며, 1편성의 검사를 약 40일에 걸쳐 시행한다.

○ 당사의 검사 요원만으로는 대응할 수 없기 때문에, 차량 제작 메카 등의 외주 업자에 위탁하여 차량으로부터 각 기기를 분리, 기기의 제작 메카에서 분해 · 정비 · 검사를 실시한다.

○ 각 기기의 최종 검사와 조정, 그리고 시운전에 의한 기능의 적성 확인은 당사의 검사 요원이 실시한다.

○ 이 검사 · 시운전 등에 필요한 당사의 요원은 월검사가 없는 날에 맞추어 집중시켜 대처하고 있다.

[표 91]일상검사의 일정 계획

주	1 일 휴일	2 월 열검	3 화 월검	4 수 월검	5 목 열검	6 금 열검	7 토 휴일
1		2 3 4	1	1	5 6	7 8 9	
2		1 3 4	2	2	5 6	7 8 9	
3		1 2 4	3	3	5 6	7 8 9	
4		1 2 3	4	4	5 6	7 8 9	
5		1 2 3	5	5	4 6	7 8 9	
6		1 2 3	6	6	4 5	7 8 9	
7		1 2 3	7	7	4 5	6 8 9	
8		1 2 3	8	8	4 5	6 7 9	
9		1 2 3	9	9	4 5	6 7 8	
10		1 2 3			4 5 6	7 8 9	
11		1 2 3			4 5 6	7 8 9	
12		1 2 3			4 5 6	7 8 9	
13		1 2 3			4 5 6	7 8 9	
1		2 3 4	1	1	5 6	7 8 9	
2		1 3 4	2	2	5 6	7 8 9	

[표 92]검사 요원

	1 일 휴일	2 월 열검	3 화 월검	4 수 월검	5 목 열검	6 금 열검	7 토 휴일
최대검사공수 인H		6×3 18	 22	 22	6×3 18	6×3 18	
배치검사원수 6인H/명		5 30	5 30	5 30	5 30	5 30	
여유인H		12	8	8	12	12	

(주) 차량 검사원의 「열차 검사」「월검사」의 실검사 시간은 6인H/일로 하고 있다. 이는, 검사 준비와 안전 작업에 필요한 「위험 예지 훈련」, 그리고 검사표의 확인과 장내 청소 시간과 휴식 등을 제외한 시간이다.

(3) 자기부상 검수체계 구축 방향

(가) 개요

도시형 자기부상열차의 유지보수 체계는 다음과 같은 방향으로 구축되어야 한다.

1) 유지보수 체계는 철도안전법의 '철도차량 안전기준에 관한 지침'을 만족하도록 구축되어야 한다.

2) 유지보수 체계는 요구되는 시스템 안전성/신뢰성/가용성을 만족할 수 있도록 구축되어야 한다.

3) 유지보수 체계는 운영 및 유지보수비용 측면에서 효율적이어야 한다.

(나) 보수정비체계

1) 보수정비체계 제안

보수정비는 고장 난 시스템을 빠른 시간 내에 서비스 가능한 상태로 회복시키는 것을 목적으로 한다. 보수정비 체계는 이러한 목적을 비용 효과적으로 달성할 수 있도록 설계되어야 한다. 이와 같은 목적을 달성하기 위해서 아래 그림과 같은 보수정비 체계를 구축하는 것이 효율적인 것으로 판단된다. 각 유지보수 단계에서 수행되는 업무는 다음과 같다.

○ 1단계 보수정비

1단계에서는 고장 난 시스템을 빨리 서비스 가능한 상태로 회복시키는 것을 목표로 한다. 따라서 하위 구성품의 수리보다는 LRU(Line Replaceable Unit)의 교환으로 시스템의 수리가 이루어진다. LRU는 고장 난 시스템을 서비스 준비 상태로 되돌리기 위해 교체되는 차량이나 선로변 시스템의 아이템이다. 1단계에서 제거된 LRU는 1단계에서 수리될 수도 있지만 주로 2, 3단계에서 수리되어 진다. 1단계에서는 LRU의 교환을 위한 적정 수량의 예비품을 보관하고 부족한 예비품은 2단계 예비품 창고에 공급을 요청한다.

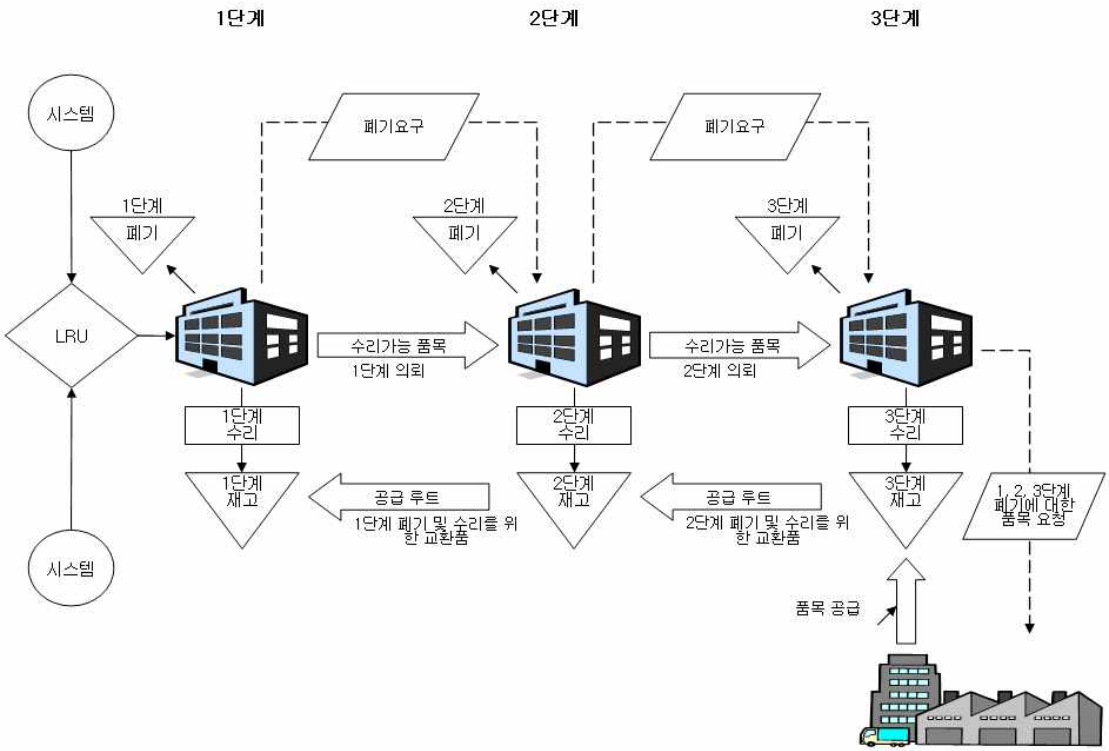
○ 2단계 보수정비

2단계에서는 1단계에서 제거된 LRU를 수리한다. 수리 된 LRU는 예

비품으로 보관한다. 2단계에서 수리가 불가능 한 LRU 및 하위 구성품들은 3단계로 보내진다.

○ 3단계 보수정비

3단계에서는 3단계에서 수리되도록 정의된 LRU 및 LRU 하위 구성품을 수리한다. 수리 완료된 LRU 및 하위 구성품들은 예비품으로 보관한다. 1,2,3단계에서 폐기한 아이템에 대해서는 외부 공급업체로부터 공급을 요청한다.



[그림 139]효과적인 보수정비 체계(J.W. Langford)

2) 효율적 보수정비체계 구축을 위한 방안

앞에서 제시한 보수정비체계를 구축하기 위해서는 다음과 같은 사항이 결정되어야 한다.

1) 유지보수 단계 및 재고 창고의 수

2) 시스템의 LRU 리스트

3) 각 아이템의 유지보수 수준 결정: 교환, 수리, 폐기 단계 결정

4) 보수정비 설비 및 장비

5) 예비품 수량 및 공급체계

6) 고장 및 유지보수 정보 시스템

(다) 예방정비체계

1) 예방정비체계 제안

○ 예방정비 업무의 기계화 및 자동화를 통한 소요 인력의 최소화

○ 자가 진단 시스템을 통한 검사 업무의 최소화 및 신뢰성/안전성 향상

○ 상태 모니터링 시스템 도입을 통한 주기적 교환 업무의 최소화 및 가용성/안전성 향상

○ 환경 친화적인 예방정비 체계 구축

○ 예방정비체계의 전산화(전자 매뉴얼 등)

○ 고장 모드 중심의 예방정비 체계 도입

○ 예방정비 업무별 정비주기의 세분화

○ 경제성 향상을 위한 예방정비 업무의 그룹화

○ 적용 가능하며 효율적인 예방정비 업무의 선정(예방정비 업무의 적용 가능성과 효율성 평가)

○ 교환 및 검사 주기의 최적화

○ 위와 같은 예방정비 체계를 구축하기 위해서는 아래와 같은 절차의 신뢰성 중심 유지보수(RCM) 기법을 제품 개발단계에서부터 도입

러. 자기부상열차 완성차 LCC 예측 및 분석

(1) LCC 분석을 위한 차량시스템 계층모델 구축

(가) 차량시스템 PBS 분석

자기부상열차 차량시스템 PBS 특성 분석은 철도차량의 RAM 성능 및 LCC 모델에 필수적인 기능 요구사항을 파악하기 위한 시스템 식별 작업으로서, 본 연구에서는 수명주기비용 개발에 앞서 바탕이 되는 철도차량의 체계 구조(breakdown structure)에 대한 조사 및 분석을 수행하였다. 일반적으로 체계 구조의 범위는 시스템에 속한 모든 부속품들의 목록을 만들고 각 체계 레벨 마다 고유번호를 부여하여 각기 다른 철도차량 부품간의 관계를 정리함으로 시스템의 경계를 설정하는 것으로, 크게 기능적 체계 구조 (Functional breakdown structure)와 물리적 체계 구조 (physical breakdown structure)로 분류된다. 일반적으로 기능적 체계 구조는 기능 고장으로 인한 고장 결과들을 예측에 활용되며, 물리적 체계 구조는 철도 시스템의 주요 장치 목록을 도출하고, 유지보수성(Maintainability)을 분석하는데 활용된다. 본 연구에서는 LCC 모델링을 위한 유지보수성 분석 관점에서 EN50126-3과 표준전동차, 한국형 경량전철을 대상으로 하여 물리적 체계 구조 중심으로 PBS 특성 분석을 수행하였다.

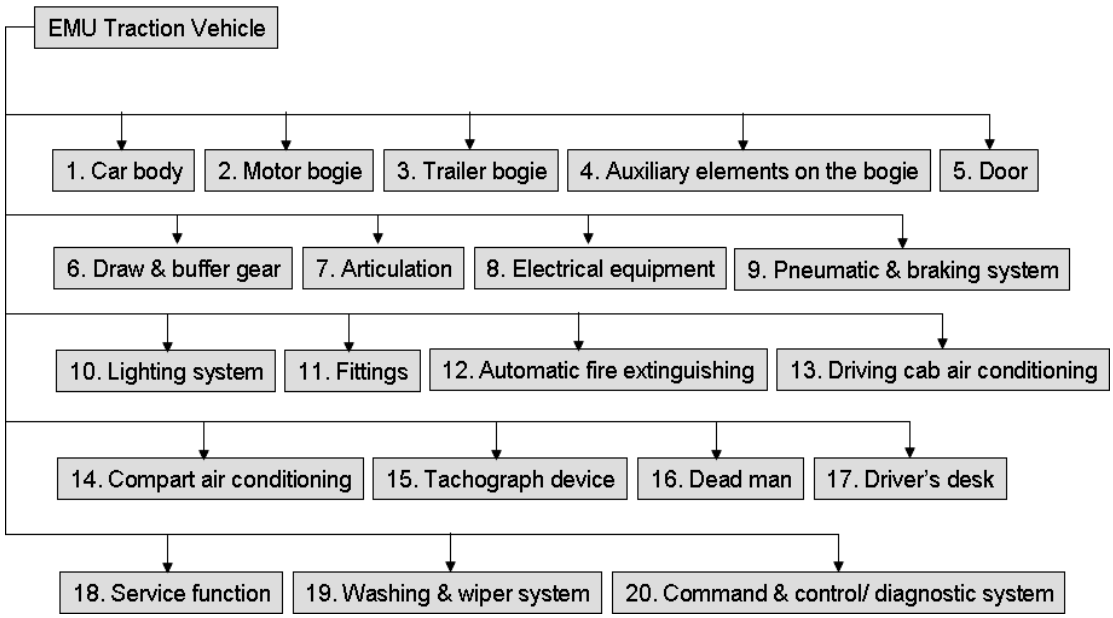
1) EN50126 PBS 분석

EN50126-3에서는 물리적 체계 구조 (physical breakdown structure, PBS)를 결정하기 위한 몇 가지 원칙을 설명하고 있다. 물리적 체계 구조를 확립하기 위해서는 시스템에 속한 모든 부품들의 기능 관계를 나타내기 위해 파악된 모든 레벨에 걸쳐 체계 구조를 작성하는 작업이 이루어지도록 제안하고 있으며, 이러한 체계 구조 작업은 철도차량(Rolling stock)부터 시작하는 하향식 계층 관계를 기반으로 작성하도록 제안하고 있다. 계층 관계 중 레벨에 해당하는 시스템은 고려 대상이 되는 바로 다음 하위 시스템이 되며, 필요에 따라서는 보다 하위 레벨로 세분화 시킬 수 있다. 또한 이외에도 물리적 체계 구

조를 설정할 때는 다음의 권장사항을 따르도록 제안하고 있다.

- 지나치게 많은 레벨을 설정하는 것은 피한다. (3~4 레벨 권장)
- 체계 최하위 단위는 반드시 LRU(Line Replaceable Unit)가 되도록 한다.
- 동일한 장치에 대해서는 통일된 용어와 정의를 사용하도록 한다.
- 일단 체계 구조가 설정되면 불필요한 수정을 가하지 않는다.

또한 이와 같은 원칙에 따라 철도차량 EMU를 대상으로 물리적 체계 구조를 예로 제시하고 있다. EN50126-3에서 예로 제시한 EMU 차량시스템의 경우, 그림 140 기능 블록도와 같이 EMU 차량시스템 하위에 총 20개의 대분류로 주요 장치 목록을 정의하였으며, 트리 체계표(tree breakdown chart)를 이용하여 최하위 LRU 단위까지 분류하고 있다. [EN50126-3 Railway applications-The specification and demonstration of reliability, availability, maintainability and safety 참고]



[그림 140]EN50126-3 EMU vehicle 기능 블록도

[표 93]EN50126-3 EMU vehicle tree breakdown chart

Code	L1-System	Qty	Code	L2-Sub-system or LRU	Qty	Code	L3-LRU	Qty
1	Carbody	1						
			1.1	Heat insulation	1			
			1.2	Front panel	1			
			1.3	Side window, passenger room	14			
			1.4	Side window, driver's cab	2			
			1.5	Floor	1			
			1.6	Side wall, paneling	2			
			1.7	Roof	1			
			1.8	Nose cover	1			
			1.9	Obstacle deflector	1			
			1.10	Energy absorbtion elements	2			
			1.11	Aerodynamic front nose structure	1			
			1.12	Underframe	1			
2	Motor bogie	1						
			2.1	Bogie frame	1			
			2.2	Carrier	1			
						2.2.1	Steering rod	1
			2.3	Primary suspension	4			
						2.3.1	Damper	1
						2.3.2	Helical spring	1
			2.4	Secondary suspension	1			
						2.4.1	Air spring	2
						2.4.2	Pneumatic components for secondary suspension	1
						2.4.3	Vertical damper	2
						2.4.4	Horizontal damper	2
			2.5	Bearing assembly	4			
						2.5.1	Bearing box	1
						2.5.2	Bearing	1
			2.6	Wheel set	2			
						2.6.1	Axle	1
						2.6.2	Wheel disk	2
						2.6.3	Brake disk	2
			2.7	Axle gear box	2			
			2.8	Axle box temperature device	2			
			2.9	INDUSI-magnet	1			
			2.10	Mechanical interface with bodyshell (set)	1			
			2.11	Pneumatic equipment on bogie (set)	1			
			2.12	Speed sensor	2			
			2.13	Brake equipment on the bogie (set)	1			
			2.14	Earthing contacts	2			
3	Trailer bogie	1						
			3.1	Bogie frame	1			
			3.2	Carrier	1			
						3.2.1	Steering rod	1
			3.3	Primary suspension	4			

						3.3.1	Damper	1
						3.3.2	Helical spring	1
			3.4	Secondary suspension	1			
						3.4.1	Air spring	4
						3.4.2	Pneumatic components for secondary suspension (set)	1
						3.4.3	Vertical damper	4
						3.4.4	Horizontal damper	1
			3.5	Bearing assembly	4			
						3.5.1	Bearing box	1
						3.5.2	Bearing	1
			3.6	Wheel set	2			
						3.6.1	Axle	1
						3.6.2	Wheel disk	2
						3.6.3	Brake disk	2
			3.7	Axle box temperature device	2			
			3.8	Mechanical interface with bodyshell (Set)	1			
			3.9	Pneumatic equipment on bogie (set)	1			
			3.10	Speed sensor	2			
			3.11	Brake equipment on the bogie (set)	1			
			3.12	Earthing contacts	2			
4	Auxiliary elements on the bogie	1						
			4.1	Sanding device	2			
						4.1.1	Sanding trap	1
						4.1.2	Sanding pipe and nozzles	1
			4.2	Wheel flange lubrication	2			
						4.2.1	Tank	1
						4.2.2	Pump	1
						4.2.3	Magnetic valve	1
						4.2.4	Turbolub distributer	1
						4.2.5	Nozzle	2
						4.2.6	Control unit	1
5	Door	1						
			5.1	Passenger door	2			
						5.1.1	Drive/motor unit	1
						5.1.2	Roller swing arm, right	1
						5.1.3	Roller swing arm, left	1
						5.1.4	Emergency egress device (inside)	1
						5.1.5	Bowden cable, emergency egress device (inside)	1
						5.1.6	Emergency egress device (outside)	1

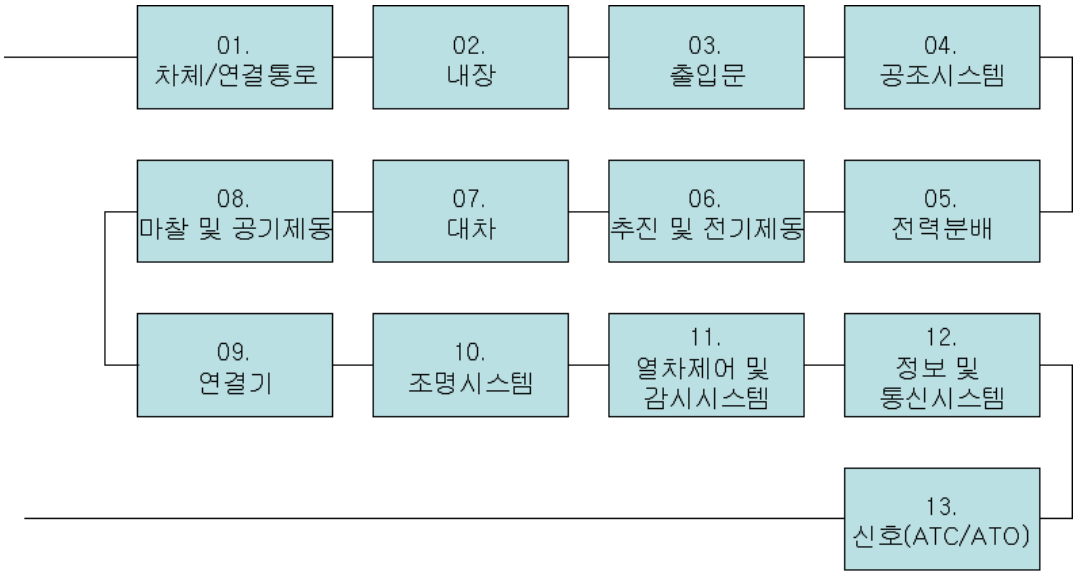
						5.1.7	Bowden cable, emergency egress device (outside)	1
						5.1.8	Doorleaf, right	1
						5.1.9	Doorleaf, left	1
						5.1.10	Lock box	1
						5.1.11	Light barrier	1
						5.1.12	Control unit	1
			5.2	Internal door	1			
			5.3	External cab door	2			
			5.4	Sliding door driver's cab	1			
6	Draw and buffer gear	1						
			6.1	Automatic coupler	1			
						6.1.1	Coupler head	1
						6.1.2	Uncouple device	1
						6.1.3	Air coupler for main air pipe coupler	1
						6.1.4	Air coupler for uncouple device	1
						6.1.5	Electrical coupler operation device	1
						6.1.6	Coupling rod	1
						6.1.7	Bearing block	1
						6.1.8	Electrical coupler	1
						6.1.9	Covering	1
						6.1.10	Center position	1
						6.1.11	Supplies	1
						6.1.12	Earthing	1
						6.1.13	Coupler head, electrical part	1
			6.2	Coupling link	1			
						6.2.1	Special bearing for articulation	1
						6.2.2	Coupling fork	1
						6.2.3	Guide rod support	1
7	Articulation	1						
			7.1	Articulated damper, rolling	1			
			7.2	Articulated damper, pitching	1			
			7.3	Articulated damper, yawning	1			
			7.4	Intercommunicating gangway	1			
						7.4.1	Bellows	1
						7.4.2	Bellows frame	2
						7.4.3	Step board	1
8	Electrical equipment	1						
			8.1	Traction	1			
						8.1.1	Propulsion inverter boxes	1
						8.1.2	Electric traction motor	2
						8.1.3	Speed sensor for traction control	4
						8.1.4	Traction control unit	1

						8.1.5	Rheostatic breaking resistors	1
			8.2	Auxiliary electrical energy	1			
						8.2.1	LV and MV contractors, relay contractors, fuses, automatic circuit breaker	1
						8.2.2	Battery	1
						8.2.3	Auxiliary static converter with battery charger	1
9	Pneumatic and braking system	1						
			9.1	Brake control device	1			
			9.2	Direct brake control device	1			
			9.3	Electronic control unit	1			
			9.4	Signaling repetition plate	1			
			9.5	Antiskid redounded(1 per axe)	1			
			9.6	Pneumatic group	1			
			9.7	Brake devices group	1			
			9.8	Motor bogie secondary suspension reservoir	1			
			9.9	Trailer bogie secondary suspension reservoir	1			
			9.10	Passenger alarm brake	1			
10	Lighting system	1						
			10.1	Compartment lights	1			
			10.2	Driving cab lights	1			
			10.3	External lights	1			
						10.3.1	White lights	2
						10.3.2	Red lights	2
						10.3.3	Green lights	1
						10.3.4	Central lights	2
11	Fittings	1						
			11.1	Compartment fittings	1			
						11.1.1	Passenger seat	61
						11.1.2	Foldable seat	2
						11.1.3	Manual curtain	18
						11.1.4	Dresshanger (set)	1
						11.1.5	Luggage rack	1
						11.1.6	Hand rails (set)	1
						11.1.7	Litter box	1
						11.1.8	Ticket vending machine	1
						11.1.9	Fire extinguisher	1
			11.2	Driving cab fittings	1			
						11.2.1	Driver seat (adjustable)	1
						11.2.2	Sunshad curtain	3
12	Automatic fire	1						

	extinguishing							
13	Driving cab air conditioning	1						
			13.1	Ventilation	1			
			13.2	Cooling	1			
			13.3	Heating	1			
14	Compart air conditioning	1						
			14.1	Ventilation	1			
			14.2	Cooling	1			
			14.3	Heating	1			
			14.4	Heaters	45			
15	Tachograph device	1						
16	Dead man device	1						
17	Driver's desk	1						
			17.1	Light rack	1			
			17.2	Instruments rack	1			
			17.3	Video surveillance monitor	1			
			17.4	Console	1			
			17.5	Radio equipment	1			
			17.6	ATP equipment	1			
18	Service function	1						
			18.1	Passenger information system	1			
						18.1.1	Loudspeaker	8
						18.1.2	Controller	1
						18.1.3	Cab Control unit	1
						18.1.4	Emergency speech unit	4
						18.1.5	Internal information display	2
						18.1.6	External side display	2
						18.1.7	Handset	1
			18.2	Video surveillance system	1			
						18.2.1	External cam	2
						18.2.2	Internal cam	3
						18.2.3	Video monitor	1
19	Washing and wiper system	1						
20	Command & control/diagnostic system	1						
			20.1	Command & control/diagnostic	1			
			20.2	Input/output remoted device	1			
			20.3	Diagnostic monitor	1			
			20.4	Instruments monitor	1			
			20.5	TCN knot	1			

2) 표준전동차 PBS 분석

도시형 표준전동차의 물리적 체계 구조는 그림 58의 표준전동차 시스템 기능 블록도와 같이, 13개의 주요서브시스템으로 구성되어 있으며, 각 서브시스템은 전동차 시스템이 정상적인 운행을 하는데 있어 중요한 기능을 담당하는 모듈로 분류하고 있다. 또한 서브시스템에서 고장이 발생하거나, 고장의 징후가 감지되면 정상적인 차량 운행이 불가하거나 운행 능력이 저하되므로 각 서브시스템을 상호보완의 관계가 아닌 직렬로 연결되어 있다고 가정하였다.



[그림 141]표준전동차 시스템 기능 블록도

아래표와 같이 트리 체계표에 있어서는 표준전동차는 EN50126-3의 트리 체계표 보다는 더 큰 범위의 대그룹으로 분류하고 있다. 예로 대차의 경우 표준전동차는 “07 대차” 한 개의 대분류로 분류하고 있으나, EN50126-3의 경우는 “2 motor bogie”와 “3 trailer bogie”로 구분하여 작성하고 있으며, 또한 운행 및 안전관련 장치에 있어서도 표준전동차는 “11 열차제어 및 감시시스템,” “12 정보 및 통신시스템,” “13신호(ATC/ATO)″ 로 분류하고 있지만, EN50126-3의 EMU 차량시스템에서는 ”15 Tachograph device,“ ”16 Dead man,“ ”17 Driver′s desk,“ ”18 Service

function," "20 Command & control/diagnostic system" 등으로 세분하여 분류하고 있다. [도시철도표준화 연구개발사업 2001년도 연구결과보고서 (표준전동차 RAMS 평가 연구), 한국철도기술연구원, 참고]

[표 94]표준전동차 차량시스템 tree breakdown chart

ID	서브시스템 (Leverl 1)	ID	장치 및 부품 (Level 2)	ID	장치 및 부품 (Level 3)
1	Vehicle				
		1.1	Carbody & Gangway		
				1.1.1	Carbody structure : bodyshell
				1.1.2	Exterior appearance
				1.1.3	Gangway
		1.2	Interior & Facility (for passenger & crew)		
				1.2.1	Interior
				1.2.2	Window unit
				1.2.3	Exterior equipment
				1.2.4	Cab's equipment
		1.3	Door & Door control		
				1.3.1	Passenger door(side door)
				1.3.2	Cab's door
		1.4	Air comfort system (HVAC)		
				1.4.1	Cooling unit
				1.4.2	Line flow fan
		1.5	Power distribution & Auxiliary equipment		
				1.5.1	Static inverter(SIV)
				1.5.2	Battery system
				1.5.3	AC & Low voltage equipment
		1.6	Propulsion & Electric braking system		
				1.6.1	Power supply(pantograph)
				1.6.2	Mechanical propulsion system
				1.6.3	Electric propulsion system
		1.7	Truck(bogie)		
				1.7.1	Bogie frame
				1.7.2	Primary suspension
				1.7.3	Secondary suspension
				1.7.4	Wheel set
				1.7.5	Traction link(pivot)
				1.7.6	Bogie additions
		1.8	Friction brake & Pneumatic (system)		
				1.8.1	Brake control

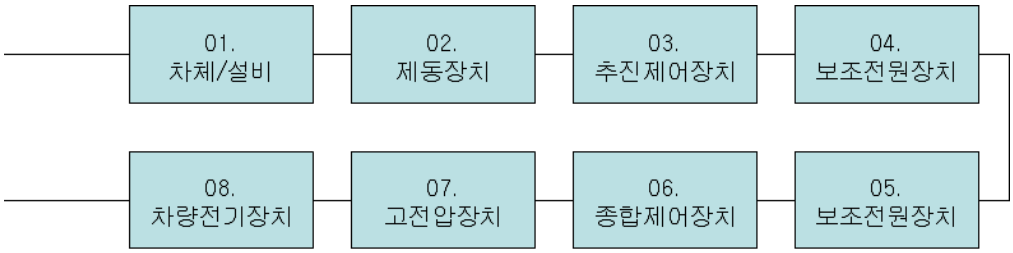
		1.8.2	Brakes
		1.8.3	Compressed air supply
		1.8.4	Reservoir
		1.8.5	Pneumatic horn
		1.8.6	Wiper assembly
1.9	Coupler & Draft gear		
		1.9.1	Coupler
		1.9.2	Draft gear
1.10	Lighting system		
		1.10.1	Interior lighting
		1.10.2	Exterior lighting
1.11	Train control & Monitoring system(TCMS)		
		1.11.1	Display
		1.11.2	Control
1.12	Information & Communication		
		1.12.1	Train communication(radio)
		1.12.2	Information & Communication
1.13	signal		
		1.13.1	ATC/ATO

3) 한국형 경량전철 PBS 분석

한국형 경량전철 시스템의 경우 도시형 표준전동차의 13개 물리적 체계구조와 달리 차체/설비, 대차, 제동장치, 추진제어 장치, 보조전원 장치, 종합제어 장치, 고전압 장치, 차량전기 장치 등 8개의 서브시스템을 가진 물리적 체계 구조로 구성하였다. 따라서 경량전철 시스템의 경우에는 그림 1.1.3에서 보는 것과 같이 표준전동차의 물리적 체계 구조보다는 더 큰 범위로 유사한 성격의 서브시스템을 하나의 서브시스템으로 통합하여 그룹화 하였다. 예로 표준전동차의 경우 제동장치를 “06번 추진 및 전기제동”과 “08번 마찰 및 공기제동”으로 구분하여 서브시스템을 분류하였으나, 경량전철 시스템의 경우 “02번 제동장치” 한 개의 서브시스템으로 그룹화 하였다. 또한 운행 및 안전관련 장치에 있어서도 “06 종합제어장치”와 “08 차량전기장치” 2가지로 분류하여 표준전동차의 “11 열차제어 및 감시시스템,” “12 정보 및 통신시스템,” “13 신호(ATC/ATO)″보다도 더 크게 그룹화 하여 분류하였다.

하지만, 그림 59과 같이 각각의 서브시스템은 도시형 표준전동차의

물리적 체계 구조와 마찬가지로 고장발생 또는 고장의 징후가 감지되면 정상적인 차량 운행이 불가하거나 운행능력이 저하되므로 직렬로 연결되어 있다고 가정하였다. [경량전철시스템의 신뢰도 체계설계를 위한 연구, 한국철도기술연구원, 참고]



[그림 142]한국형 경량전철 시스템 기능 블록도

[표 95]한국형 경량전철 tree breakdown chart

ID	서브시스템 (Level 1)	ID	장치 및 부품 (Level 2)	ID	장치 및 부품 (Level 3)
1	차체/설비				
		1.1	구조체		
		1.2	출입문		
				1.2.1	베벨기어
				1.2.2	유성기어
				1.2.3	스핀들기어
		1.3	냉난방장치		
				1.3.1	압축기
				1.3.2	증발기
				1.3.3	응축기어
				1.3.4	팽창밸브
				1.3.5	건조기
				1.3.6	고.전압압력스위치
		1.4	의자		
				1.4.1	등받이
				1.4.2	안장 베이스후레임
				1.4.3	의자받침 및 Kick Board
		1.5	창문		
				1.5.1	유리
				1.5.2	탄성유리 접착제
				1.5.3	스페이셔
		1.6	내장판		
		1.7	선반/손잡이		
		1.8	연결장치		
				1.8.1	밀차연결기
				1.8.2	고무완충기
				1.8.3	중간(반영구)연결기
2	대차	2.1	대차틀		
				2.1.1	고무 타이어
		2.2	윤축		
				2.2.1	구동대차 차축
				2.2.2	부수대차 차축
				2.2.3	베어링
		2.3	차륜지지 장치		
		2.4	현가장치	2.4.1	공기 스프링
				2.4.2	오일댐퍼
				2.4.3	평행링크
		2.5	센터피봇		
		2.6	구동장치		
		2.7	안내장치		
				2.7.1	안내륜
				2.7.2	분기륜
3	제동장치				
		3.1	제동작용 장치		
				3.1.1	전공변환중계 밸브
				3.1.2	응하중 밸브
				3.1.3	압력센서 유니트
				3.1.4	강제완해 밸브
				3.1.5	보안제동 밸브
				3.1.6	압력조정 밸브

				3.1.7	제동전자제어 유니트(ECU)
				3.1.8	시험용 점검구
				3.1.9	3/8“사이드밴트형컷아웃콕크
		3.2	제동제어 장치		
		3.3	주차제동 장치		
		3.4	압축공기공급 장치		
		3.5	기초제동 장치		
				3.5.1	공유압 변환기
				3.5.2	제동 켈리퍼
				3.5.3	디스크
4	추진제어장치				
		4.1	인버터		
		4.2	견인전동기		
				4.2.1	회전자
				4.2.2	고정자
				4.2.3	베어링부분
				4.2.4	속도검출기
				4.2.5	주차브레이크
		4.3	견인제어 장치		
				4.3.1	BLOWER
				4.3.2	FLITER REACTOR
				4.3.3	POWER UNIT
				4.3.4	TEST CONNECTOR
				4.3.5	CONDENSER PLATE
				4.3.6	GATE CONTROL UNIT
				4.3.7	SWITCH PLATE
				4.3.8	DCPT PANEL
				4.3.9	PRINT CARD ASS'Y(PWM-D)
				4.3.10	PRINT CARD ASS'Y(LFD3)
				4.3.11	ACCT PANEL
				4.3.12	FERRITE CORE
				4.3.13	RESISTOR ASSEMBLY
				4.3.14	INTERFACE UNIT ASS'Y
				4.3.15	RELAY UNIT ASS'Y
				4.3.16	RESISTOR ASSEMBLY
				4.3.17	RESISTOR ASSEMBLY (RB-S622A)
				4.3.18	OVCRF UNIT
				4.3.19	DCVT BOARD
				4.3.20	POWER SUPPLY
				4.3.21	CONTACTOR BOARD
				4.3.22	TERMINAL BLOCK
				4.3.23	AIR FILTER
				4.3.24	HEATER ASSEMBLY
				4.3.25	HEATER ASSEMBLY
				4.3.26	HEATER ASSEMBLY
				4.3.27	CONNECTOR
5	보조전원장치				
		5.1	정지형 인버터		
		5.2	필터 장치		
		5.3	충전기		

		5.4	축전기		
		5.5	변압기		
6	종합제어장치				
		6.1	TCMS		
				6.1.1	M-CPU
					SIF 기판
					E-NET 기판
					AUX 기판
					DI 기판
					IC card Reader and Writer mudule
					AVR 기판
7	고전압장치				
		7.1	집전기		
				7.1.1	집전기 Body
				7.1.2	집전슈
				7.1.3	FUSE
		7.2	단로기		
		7.3	피뢰기		
				7.3.1	절연물
				7.3.2	연결 터미널
				7.3.3	명판이름
				7.3.4	구원압력 장치
		7.4	(고속)차단기		
				7.4.1	몸체
				7.4.2	아크슈트
				7.4.3	스크류 및 너트
		7.5	필터 인덕터		
		7.6	주변압기		
8	차량전기장치				
		8.1	주간제어기		
				8.1.1	역행, 제동제어 핸들부
				8.1.2	전진, 후진 핸들부
				8.1.3	전위차계 브라켓 조립
		8.2	안내정보장치		
		8.3	열차무선 장치		
				8.3.1	열차무선장치 본체
				8.3.2	TRCP(제어기)
				8.3.3	ANTENNA
				8.3.4	CABELE 및 부속자제
		8.4	방송장치		
				8.4.1	자동방송 장치
				8.4.2	중앙제어기
				8.4.3	모니터 스피커
				8.4.4	출력 증폭기
				8.4.5	비상 인터폰
				8.4.6	차내 스피커
		8.5	조작용 스위치		
		8.6	등구류		

4) 독일 Transrapid 차량 PBS 분석

가) PBS 구조

독일 Transraipd 차량의 PBS를 분석함으로써 도시형 자기부상열차의 PBS를 작성하는데 도움을 주고자 한다. PBS 구조는 시스템의 구조에 대한 중요한 설명이며 시스템에 대한 구조와 기능을 설명하는데 적합하다. 따라서 PBS의 구조는 최소한의 결함을 인지하거나 보수작업을 실행할 수 있는 차원에서 작성되어야 한다. 따라서 기술적 시스템 구조는 자기부상열차 시스템 구조의 특징을 나타내고, 전체 수명주기비용 결산의 핵심적 관련근거를 마련한다. 기술적 구조의 준비를 위해 예를 들면, 비품 목록 등과 같은 구성자료들을 고려할 수 있다.

[표 96]PBS 구조의 예

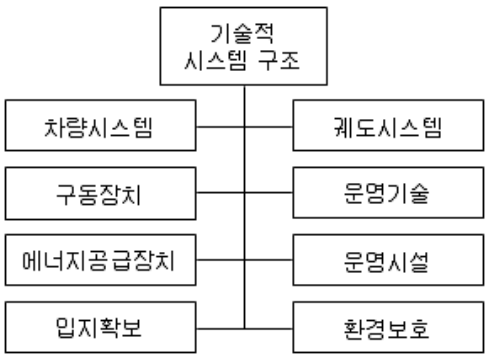
분류번호	건축물 표시	수량
1.	구조물	1
1.1.	하위 구조물 1	2
1.1.1.	부분 건축물 A	1
1.1.2.	부분 건축물 B	1
1.1.3.	부분 건축물 C	2
1.2.	하위 구조물 2	1
1.2.1.	부분 건축물 B	2
1.2.1.	부분 건축물 D	1
1.3	부분 건축물 E	3

시스템 구조는 기술적 시스템을 구현하는 부속 시스템, 구조물, 하위 구조물, 부분 건축물 등 다수의 체계적 분류단위를 포함하며 다양한 개념에 따라 분류될 수 있다.

* 기능적 개념에 따른 분류 - 개개의 한 부분이 규정에 적합한 시스템 운영상 어떤 기능에 관련되는지에 따른 분류.
* 구조물적 개념에 따른 분류 - 구조물에 관련된 수량 및 비용 효과 제시 가능성에 의한 구조물과 부분 건축물의 구성

* 지역적 개념의 분류 - 구조물 설치장소에 의한 구성

이 경우에 2개의 시스템 구조가 서로 연결될 수 있다. 비용, 운영, 보수비용의 철저한 집행과 관련한 전체 수명주기비용을 고려해서 구조물적, 기능적, 경우에 따라서는 지역적 개념에 따른 시스템 구조의 결합이 제시된다. 개개의 부속 시스템의 구성 깊이는 기타 기능수행과 기타 다양한 순환단계에 종속되면서 자료내용에 일치될 수 있어야 하고 다양한 연결이 가능해야 한다. 자기부상열차 시스템의 기술적 시스템 구조에 대한 체계적인 분류는 제작자, 운영자, 기획자 등에 의하여 오늘날까지도 통일적으로 규정되지 않고 있으나 다음 항목에 따른 분류가 공통적이다.



[그림 143]Transrapid

자기부상열차 시스템의 PBS 구조

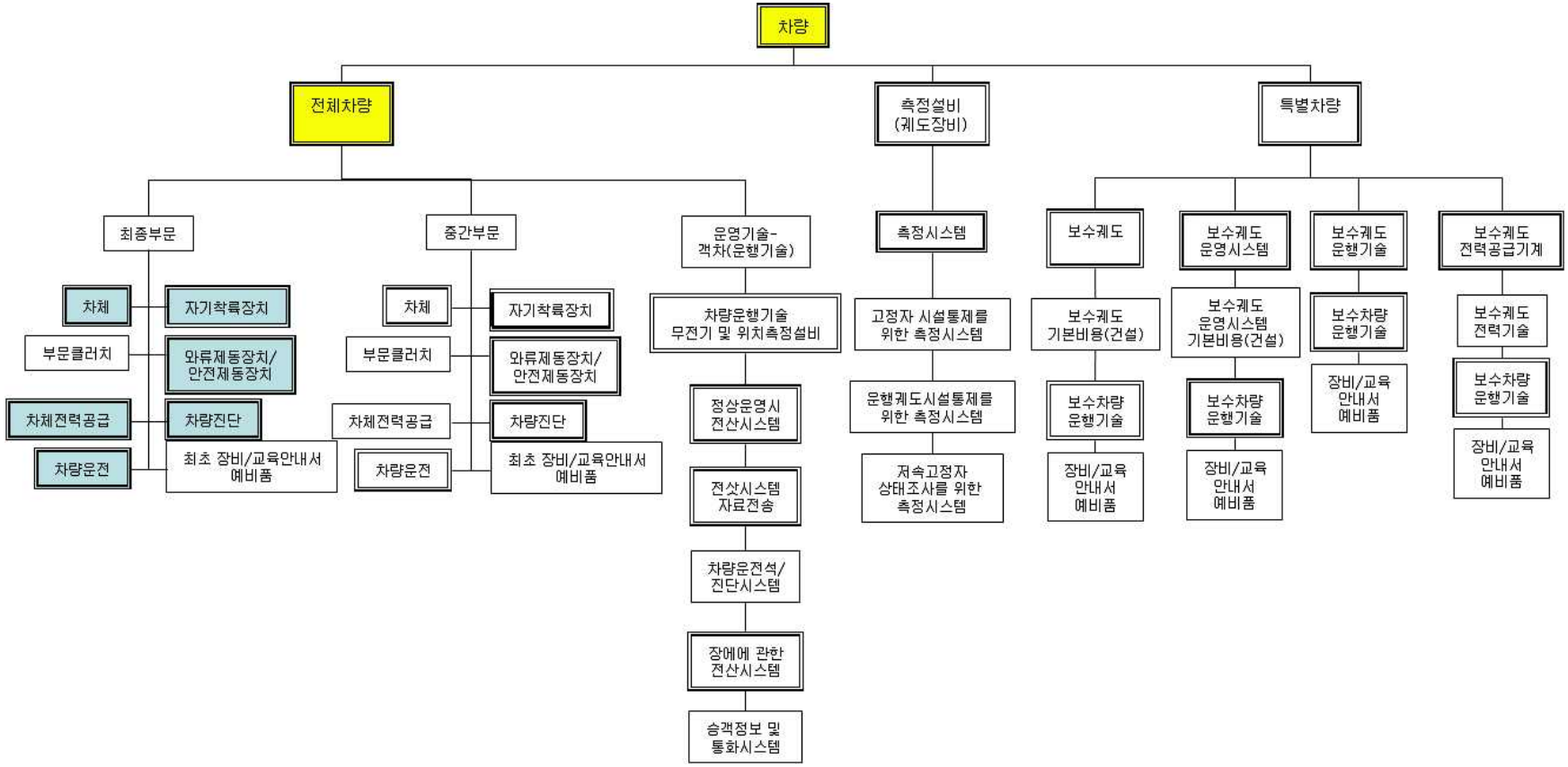
개개의 구조를 정리할 때, 여러 가지의 시도가 가능하다. 예를 들면 차량 내에 존재하는 운영기술의 구조는 “운영기술” 항목에 지역적으로 소속될 수 있거나, 또는 “차량” 부속 시스템에 구조적으로 소속될 수 있다. 따라서 “차량 내의 운영기술”에 적합한 비용상의 정리는 “차량” 항목으로 처리된다. 그러므로 차량 공급에서 나타나는 모든 비용 항목이 “차량” 항목에 포함된다. 집전용 접촉레일과 긴 고정자 설비 구조물이 비교될 수 있다고 가정하면, 그 양자 모두는 부속 시스템 궤도에 지역적으로 소속되거나 또는 연결될 경우에 중앙 운영기술로 간주된다. 그 분류법은 시스템 변경이나 모델 궤도

의 수량 변경에 대한 차후 결산을 용이하게 한다. 왜냐하면 그로 인하여 공급과 연관된 모든 비용 항목이 “차량” 항목이나 “궤도” 항목에서 종합되기 때문이다. 그러한 시스템 구조는 국제 자기부상 열차 회사에서 토론되고 표결된다.
“전체 차량” 항목에서 개별적인 차량의 전체적인 구조는 최종 및 중간 부분으로 구별되어 요약된다. 따라서 전체 수명주기비용평가에서 투입된 차량 당 모든 하위 항목이 비용예측에 포함된다. 차량 내의 운영기술은 이동 무전기 및 위치측정 설비, 승객안내 시스템, 차량안전 시스템을 포함한다. “특별차량” 항목은 보수용 차량, 기타 이동 보수설비, 전력공급기계 등을 포함한다.

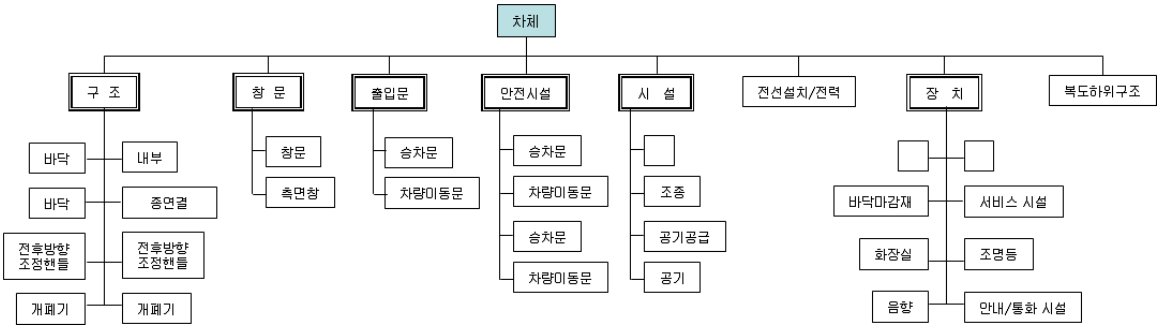
차량의 기술적인 구조는 그림 62에서 자세하게 설명했다. 그러한 부속 시스템의 일례로서 보다 더 큰 구성 차원에서 굵게 표시된 구조물이 다른 그림에서 세분된다. 그림에서 이중선으로 테두리를 표시한 것은 그 아래에 묘사되거나 숨겨진 항목을 의미한다.



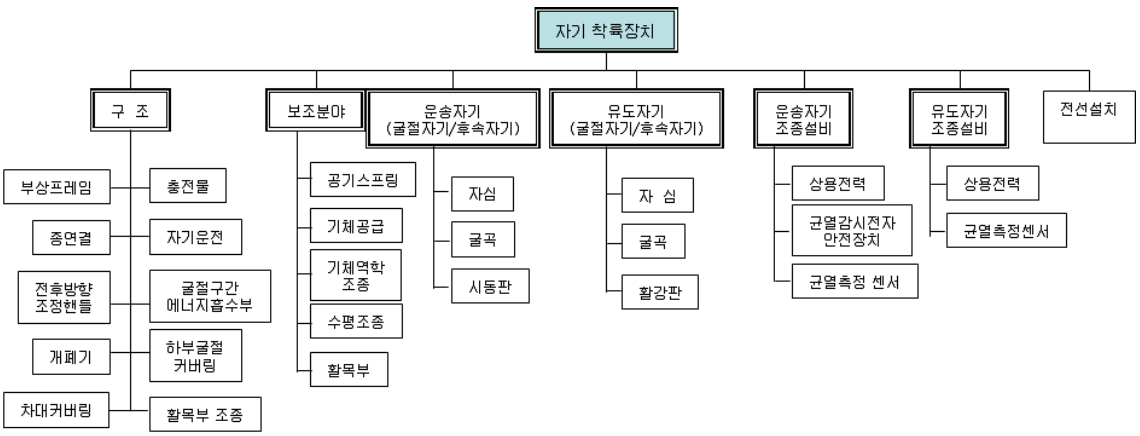
[그림 144]시험궤도 상의 TR08



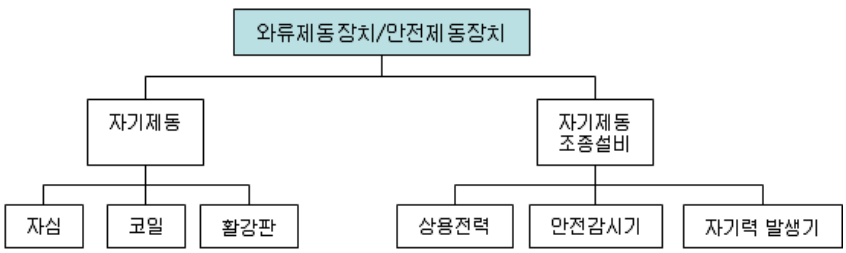
[그림 145]차량 시스템 PBS 구조



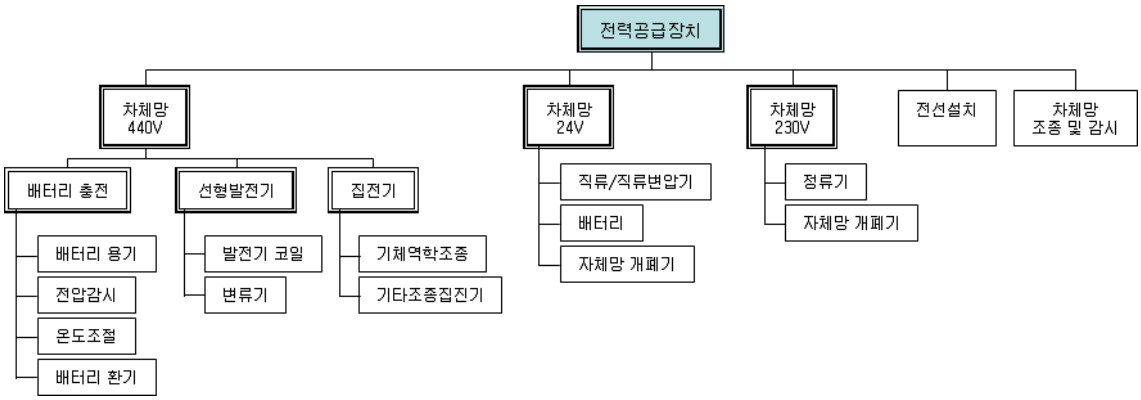
[그림 146]차체 시스템 구조



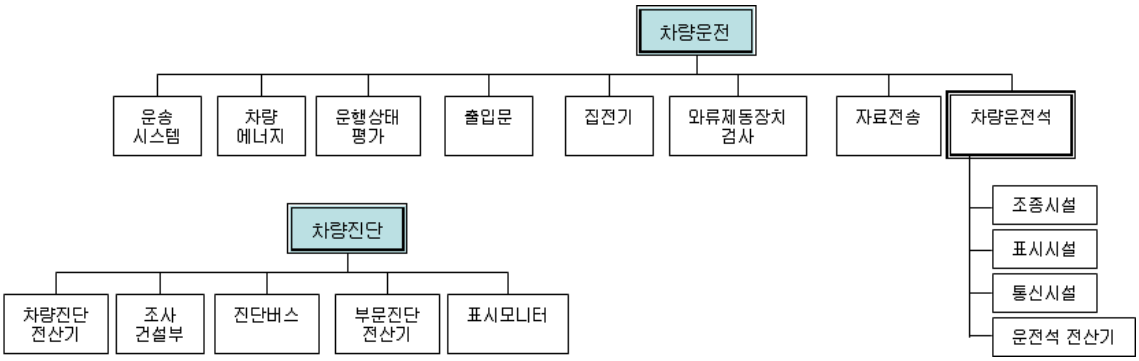
[그림 147]자기 착륙장치 시스템 구조



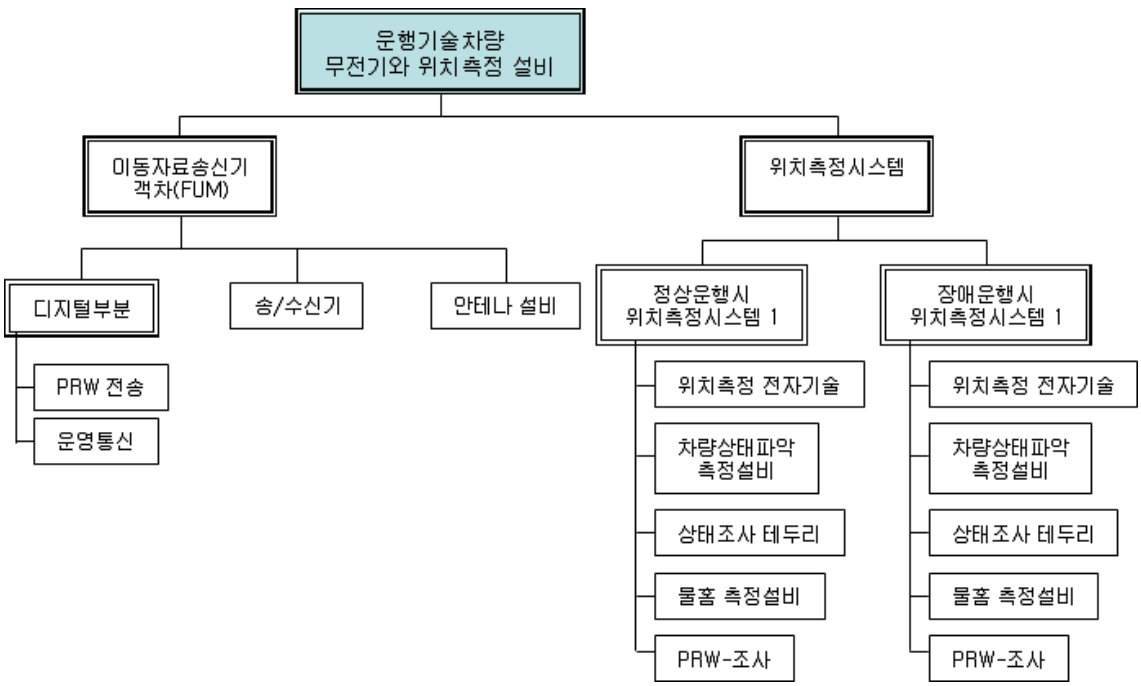
[그림 148]와류 제동기 시스템 구조



[그림 149]차체 에너지 공급 시스템 구조



[그림 150]차체조종과 차량진단 시스템 구조



[그림 151]차량 내 운행기술 시스템 구조

5) 고찰

지금까지 국내·외 차량시스템의 PBS를 분석한 결과 상위레벨의 PBS는 장차위주보다 기능위주로 분류됨을 알 수 있다. 또한 현재 도시형 자기부상열차시스템의 PBS도 기능위주로 분류된 것으로 볼 수 있으나, 현재까지 완성된 자기부상열차시스템 PBS 레벨 1의 대분류가 매우 크고 포괄적이기 때문에 여러 단계의 하위레벨이 필요하다고 생각된다. 또한 기능 또는 장치를 기반으로 하지 않은 항목들이 있어 PBS가 독립적이지 못하여 상호 중복 및 연계되는 문제가 발생될 수 있어 독립적으로 계산되는 LCC 모델을 적용하기에는 문제가 있어 보인다. 즉, RAM 및 LCC 분석을 위해서는 LRU 단위의 하위레벨까지 PBS가 정의되어야 하나 현 레벨에서의 PBS는 RAM 및 LCC 분석을 위한 레벨보다 매우 상위의 개념으로 자기부상열차 사업의 일정을 고려하였을 때 RAM 및 LCC 과제 수행을 위해 적절한 PBS가 제때에 제공되지 못할 것으로 판단된다.

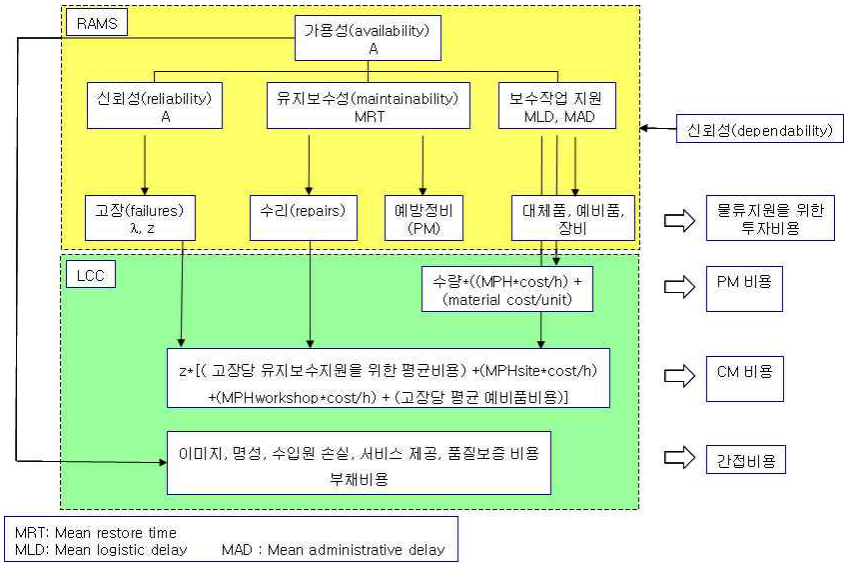
따라서 본 과제에서 개발된 LCC 모델의 타당성을 검토하기 위하여 먼저 PBS가 잘 정의된 도시철도시스템의 일부 장치를 대상으로 LCC 예측을 수행하고 향후 세부적인 단계의 PBS가 도출되면 이를 이용하여 LCC를 예측하는 것이 타당하다고 판단된다.

(나) 유지보수비용 계산을 위한 DB 템플릿 개발

1) 개요 및 목적

수명주기비용(Life Cycle Cost, 이후 LCC)은 대상으로 하는 시스템의 기획, 설계, 개발, 제작, 설치, 운영·유지보수 및 폐기단계에 이르기까지 소요되는 모든 비용을 포괄한다. 철도시스템의 경우에는 차량, 궤도, 신호, 역사, 급전 등 상호 성격이 다른 여러 시스템이 연계되어 있기 때문에 구성시스템이 복잡할 뿐만 아니라 25년 이상의 장기간 수명주기로 인해 유지보수 활동이 많으며 이에 소요되는 비용 또한 전체 LCC 중 상당한 부분(30~50%)을 차지한다[1.1]. 전체 LCC 중 시스템 도입비용은 비교적 쉽고 정확하게 계산되므로 철도시스템 LCC 예측의 핵심은 얼마나 정확하게 운영 및 유지보수 비용을 계산하느냐가 관건이라 해도 과언이 아니다. 차량시스템의 유지보수전략과 전체 LCC 중 유지보수에 소요되는 비용의 관계는 그림 1.2.1과 같이 직접적인 연관이 있으므로 유지보수전략을 기술한 RAMS DB와 LCC DB의 연계성을 유지하는 것은 일관성 있는 비용 예측 및 RAMS 시나리오의 수정 및 개선에 대하여 반복적으로 수행해야 하는 LCC 예측작업을 효율화 하는데 매우 필요한 작업이다.

본 연구에서는 철도시스템 전체 수명주기에 대한 LCC 모델링 개발의 일환으로 철도차량 유지보수 활동에 소요되는 비용을 계산하기 위한 DB 템플릿을 개발하고자 하며, 이를 위하여 국외 규격 및 가이드 등 관련 자료 분석을 통하여 철도차량에 적합한 예방정비와 보수정비에 관련한 CBS를 개발하고 데이터수집 및 비용예측작업을 원활하게 수행하기 위한 유지보수정보 DB템플릿 개발연구를 수행하였다.



[그림 152]RAM과 LCC의 연계성(IEC 60300-3-3[1.2])

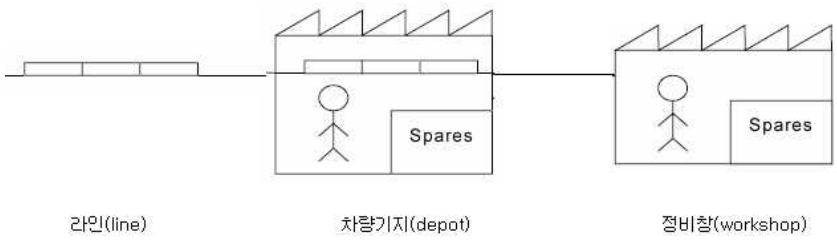
2) EN50126-1 유지보수정보 DB 구조 분석

RAMS DB와 LCC DB의 연계성을 확보하기 위해서는 RAMS DB 구조의 분석 및 LCC DB 구조의 분석이 선행되어야 한다. 이를 위하여 본 연구에서는 먼저 RAMS 시나리오와 관련된 DB 특성을 분석하기 위하여 유럽전기기술 표준협회인 CENELEC의 철도차량 전기기계 차상장치(Electro-mechanical material on board of rolling stock) 워킹그룹에서 작성한 철도차량 RAMS를 위한 EN 50126-1 응용가이드[1.3]에서 제시한 RAMS DB 구조에 대해 분석하였다. 또한 LCC 시나리오와 관련한 DB 특성을 분석하기 위하여 철도산업의 협력을 위해 유럽의 철도산업 관련기관 및 기업으로 구성된 단체인, UNIFE (유럽철도산업연합, Union of European Railway Industries)[1.4]에서 제시한 LCC DB 구조에 대해 분석하였다.

EN 50126-1은 철도분야의 RAMS 목표를 달성하는데 필요한 제반사항에 대해 다루고 있으며, 철도시스템의 전 수명주기 단계에서 요구되는 다양한 활동들이 총체적으로 정의되어 있다. EN 50126-1에서의 RAMS는 전체 시스템 성능에 중요한 영향을 미치는 특성으로 정의되며 경제적 측면에서의 RAMS 중요성을 파악하는 지표로써 LCC가 활용된다. EN 50126-1에서 LCC는 시스템을 경제적 측면에서 평가하

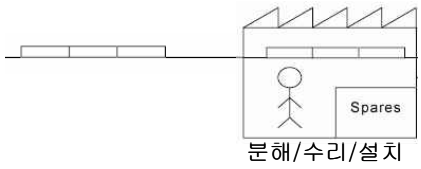
기 위한 총비용 개념을 의미하며 LCC 분석을 통해 RAMS 항목이 각각 LCC에 기여하는 영향도 분석을 위해 활용될 수 있다. 이러한 관점에서 EN 50126-1은 RAMS의 M에 해당하는 유지보수성(Maintainability) 측면에서 유지보수특성과 정보 DB 구조를 제안하고 있다.

대부분의 철도 운용사들은 그림 70와 같이 유지보수 작업을 수행하기 위한 차량기지(depot)를 운영하고 있으며, 보유하고 있는 인력과 자원, 예비품 및 장비만으로 차량기지에서 유지보수작업이 어렵거나 경제적 측면에서 불리할 경우에는 차량기지가 아닌 제 3의 장소(component workshop 등)에서 유지보수 작업을 수행하고 있다. 이러한 유지보수작업 레벨은 유지보수비용을 결정하는데 매우 큰 영향을 미치므로 주의 깊게 다루어져야 한다. EN 50126-1에서는 유지보수 레벨을 차량기지에서 이루어지는 "In-Service Maintenance" 레벨과 차량기지 이외의 장소에서 이루어지는 "Out-of-Service Maintenance"레벨의 두 종류로 구분하고 있다. 이를 성격에 따라 조합하면 예방정비작업의 시나리오는 그림 70과 같이 3가지 경우를 생각해 볼 수 있다. 첫째 예정된(scheduled) 모든 유지보수 작업이 차량기지에서 수행되는 경우, 둘째 차량기지에서는 오직 유지보수 대상의 분리, 설치 및 예비품으로의 교체 작업만이 수행되고 이를 제외한 분해, 오버홀, 점검 등의 유지보수 작업들은 제 3의 장소에서 수행되는 경우, 셋째 모든 예방유지보수 작업이 제 3의 장소에서 수행되는 경우이다.

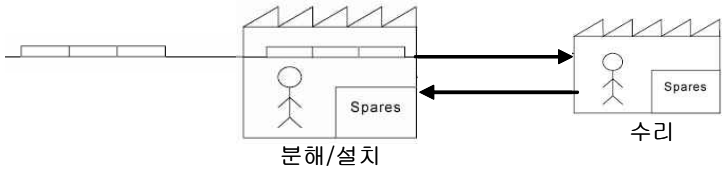


[그림 153]철도운영사 차량기지 운영 예

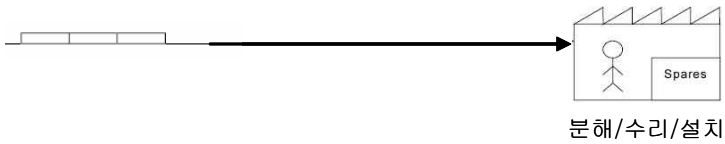
1. 차량기지에서 유지보수 작업이 모두 수행되는 경우



2. 차량기지에서 분해, 정비창에서 수리가 이루어지는 경우



3. 정비창에서 분해,수리,설치가 이루어지는 경우



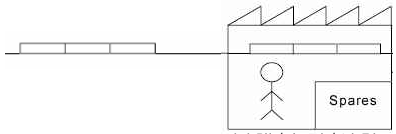
[그림 154]예방정비를 위한 유지보수 시나리오 예

보수정비(corrective maintenance) 작업의 경우에도 예방정비절차와 유사하다. 다만 보수정비의 경우에는 차량기지에서의 자원(인력, 설비 등)상황 외에도 차량에서 발생한 고장모드(failure mode)를 고려하여 유지보수레벨을 결정해야 한다. 고장모드 역시 RAMS 성능에 중대한 영향을 미치는 요소이기 때문에 “In-Service Maintenance"레벨과 "Out-of-Service Maintenance"레벨에 ”고장모드“를 각각 고려하여 유지보수레벨을 결정하므로 위 그림과 같은 3가지의 경우를 생각해 볼 수 있다. 첫째 수리 가능한 고장모드의 경우 수리를 위한 모든 유지보수 및 정비작업을 차량기지에서 수행하는 경우, 둘째 수리가 불가능한 고장모드의 경우 차량기지에서는 오직 예비품을 사용하여 유지보수 대상의 분리 및 교체 작업을 수행하는 경우, 셋째 수리가능여부를 떠나 해당 유지보수 대상의 분리 및 예비품 설치 작업과 기타 모든 유지보수 작업이 제 3의 장소에서 이루어지는 경우이다. 한편, EN50126-1에서는 차량기지에서 수행되는 모든 “In-Service Maintenance"는 철도차량 부품 LRU(line replaceable unit)단위로 수행된다고 정의하고 있다.

EN50126-1에서는 이러한 유지보수 시나리오가 반영된 유지보수 분석 DB 구조를 제시하고 있다. 그림 71는 EN 50126-1의 예방정비

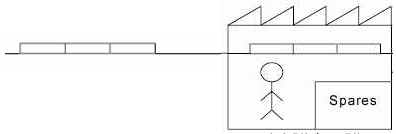
DB 구조로서 유지보수 레벨을 반영하여 예방정비에 관련된 정보들을 입력하도록 하고 있으며, 그 항목과 정의내용은 표 1.2.1과 같다. 하지만 EN 50126-1은 RAMS 관점의 유지보수 시나리오에 대한 DB 구조를 제안하고 있기 때문에 철도시스템 예방정비비용 산출을 위한 “시간당 인건비(man hour cost)” 등의 비용정보는 고려하지 않고 있다.

1. 수리가능하고, 차량기지에서 유지보수 작업이 모두 수행되는 경우



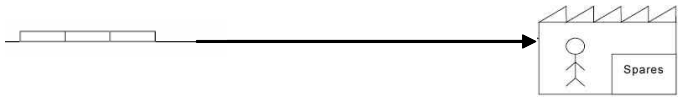
분해/수리/설치

2. 수리불가능하고, 차량기지에서 교환이 이루어지는 경우



분해/교체

3. 정비창에서 분해,수리,설치가 이루어지는 경우



분해/수리/설치

[그림 155]보수정비를 위한 유지보수 시나리오 예

EN50126
Preventive Maintenance Sheets

Rolling Stock
Code L1
L1 Assy

Code L2
L2 Assy
Drwg or Diagr Ref

Doc. No.
Version Number
Date of version
Drawn up by
Page n/N
File name

	Spare Parts Cost (€/1000km)	Man-Hour cost (€/1000km)	Total Cost (€/1000km)
L2 Assy total Data			

Code LRU	LRU Description	Part No.	Qty	Step No.	Maintenance Task	Spare Parts And Special Tools	Frequency	Maintenance Level	Personnel N.	Skill Level	Spare Parts Cost	Man-Hour	Standstill Time	Total Qty	Note

[그림 156]EN50126-1에서 제안한 예방정비 정보 DB 구조

[표 97]EN 50126-1 예방정비정보 DB 구조 항목 및 정의내용

Code	LRU 분류 코드
Description	LRU 설명
Part No.	LRU 부품 번호
Qty	Level 2 어셈블리에 속한 모든 LRU 수
Step no.	개별적인 유지보수 작업을 식별하기 위한 일련 번호
Maintenance Task	예방정비 작업 설명
Spare Parts and special tools	작업에 필요한 특수 장비(depot 이나 workshop에서는 제공치 않으며 일반적으로 구하기 힘든 장비)와 물품들(소비재 및 예비품)
Frequency	예방정비 주기(time or Km)
Maintenance level	예방정비작업자가 사용하는 유지보수 레벨 코드 • InS-PM (In-Service Preventive Maintenance) • OutS-PM (Out-of-Service Preventive Maintenance)
Personnel	예방정비 설명 당시 필요한 유지보수 인력 수
Skill Level	예방정비 수행 작업자에게 요구되는 기능 레벨 코드
Spare Parts Cost	예비품 비용
Man hours	예방정비에 필요한 인원 수 × 유지보수 작업에 걸리는 시간
Standstill time	예방정비로 인한 철도 차량의 대기 시간
Total Qty	전체 철도차량에 포함된 LRU의 수
Notes	물류나 기타 사항과 관련한 모든 주석 (유지보수 매뉴얼 참고 등)

아래 그림은 EN50126-1의 보수정비 시나리오에 대한 정보 DB 구조로써 전체적으로 예방정비 분석을 위한 DB 구조 항목과 유사하나, 앞서 설명한 것과 같이 보수정비에 있어 고장모드 및 이에 따른 고장률은 유지보수 횟수를 결정하는 요소이기 때문에 보수정비분석 DB 구조에 LRU의 고장모드 정보에 관련된 항목이 추가되었으며, 유지보수 활동횟수와 관련해서는 예방정비의 주기가 아닌 LRU 고장모드에 따른 고장률로 결정한다는 차이점이 있다.

EN50126

Corrective Maintenance Sheets

Rolling Stock
Code L1
L1 Assy

Code L2
L2 Assy
Drwg or Diagr Ref

Doc. No.
Version Number
Date of version
Drawn up by
Page n/N
File name

	Spare Parts Cost (€/1000km)	Man-Hour cost (€/1000km)	Total Cost (€/1000km)
L2 Assy total Data			

Code LRU	LRU Description	Part No.	Qty	Failure Mode	Maintenance Task	Spare Parts and Special Tools	Failure Rate (f/10^6 h)	Maintenance Level	Personnel N.	Skill Level	Spare Parts Cost	Man-Hour	Standstill Time	Total Qty	Note

[그림 157]EN50126-1 보수정비정보 DB 구조

[표 98]EN 50126-1 보수정비정보 DB 구조 항목 및 정의내용

Code	LRU 분류 코드
Description	LRU 설명
Part No.	LRU 부품 번호
Qty	Level 2 어셈블리에 속한 모든 LRU 수
Failure Mode.	FMECA 분석을 참고해 작성한 LRU 고장 모드
Maintenance Task	보수정비 설명
Spare Parts and special tools	작업에 필요한 특수 장비(depot 이나 workshop에서는 제공치 않으며 일반적으로 구하기 힘든 장비)와 물품들(소비재 및 예비품)
Failure rate (in failures/ Mh)	LRU 고장 모드의 고장률(백만 시간 당 고장 횟수)
Maintenance Level	보수정비 작업자가 사용하는 유지보수 레벨 코드 • InS-CM - Rep (In-Service Corrective Maintenance with Repairable Failure Mode) • InS-CM - Not Rep (In-Service Corrective Maintenance with Non Repairable Failure Mode) • Out-SCM (Out-of-Service Corrective Maintenance)
Personnel	보수정비 설명 당시 필요한 유지보수 인력 수
Skill Level	보수정비 수행 작업자에게 요구되는 기능 레벨 코드
Spare Parts Cost	예비품 비용
Man hours	보수정비에 필요한 인원 수 × 유지보수 작업에 걸리는 시간
Standstill time	보수정비로 인한 철도 차량의 대기 시간
Total Qty	전체 철도차량에 포함된 LRU 의 수
Notes	물류나 기타 사항과 관련한 모든 주석 (유지보수 매뉴얼 참고 등)

3) UNIFE LCC 모델 DB 구조 분석

UNIFE LCC 모델은 하나의 부품 또는 시스템의 획득 및 유지보수에 사용되는 총비용을 평가하는 경제성 분석절차로써 제품 설계, 개발, 제작, 설치, 사용 및 폐기 등 수명주기 전 단계에 걸쳐 의사결정에 중요한 정보를 제공한다. UNIFE LCC의 모델은 유지보수에 대한 기대비용을 계산하기 위하여 예방정비와 보수정비 시나리오에 관한 일련의 정보 DB 구조를 제안하고 있다. UNIFE LCC 모델은 EN

50126-1과 달리 RAMS 관점에서의 유지보수 정보 분석이 아닌 대상 시스템의 총비용 평가 관점에서 유지보수정보를 분석하기 때문에 표 1.2.3과 같이 열차 총 수량, 총 운행거리 및 시간, 년간 가동 시간 등 EN 50126-1의 유지보수정보 구조에는 없는 글로벌 데이터 항목을 별도로 정의하고 있다.

[표 99]UNIFE LCC 글로벌 데이터 항목 및 정의내용

Manhour cost	시간당 인건비
Number of trains	총 열차 수
Operation distance	총 운행 거리 (km)
Life Cycle Length	총 사용 년수 (year)
Powered time per year this system	년당 가동 시간 (hour)

철도차량 부품 유지보수 단위에 있어서 UNIFE LCC 모델은 EN 50126-1과 다르게 라인 교체 가능 유닛인 LRU와 예비품 유닛인 SRU(shop replaceable unit)로 구별하고 있으며, SRU 단위로 유지보수 비용을 계산하고 있다. 또한 예방정비와 보수정비의 유지보수 레벨 정의에 있어 UNIFE LCC 모델은 1차 라인(line), 2차 차량기지(depot), 3차 정비공장(workshop)과 같이 내부 또는 외부에서의 유지보수 활동으로 구분하고 있다. 하지만 이 경우에도 정의만 구별할 뿐 실제 총비용 계산을 위한 유지보수 레벨 구분에 있어서는 1차 라인(line)과 2차 차량기지(depot)를 하나로 묶어 동일한 유지보수 레벨로 정의하고 있기 때문에 UNIFE LCC 모델의 1차 라인(line)과 2차 차량기지(depot)는 EN 50126-1의 "In-Service Maintenance" 레벨과 같고 3차 정비공장은 "Out-of-Service Maintenance" 레벨과 동일한 유지보수 레벨이라고 볼 수 있다. 하지만 EN 50126의 보수정비에서 고려하는 고장모드에 따른 수리가능 여부에 대해서는 UNIFE LCC 모델은 고장모드를 고려하지 않고, 단지 대상 SRU의 교환과 수리 가능 여부만을 고려하여 유지보수 총 비용을 계산한다. 또한 인건비 계산(man hour)에 있어서도 EN 50126-1은 “유지보수에 필요한 인원 수(personnel) × 유지보수에 걸리는 작업 시간”으로 정의하여 유지보수에 소요되는 인원수를 고려하고 있으나, UNIFE LCC 모델은 총 비

용 계산을 위하여 유지보수 활동에 걸리는 총 인시(man hour)만을 요구하고 있다. 그리고 작업에 필요한 특수 장비와 물품들에 관한 정보도 UNIFE LCC 모델은 예방정비와 보수정비 DB 템플릿이 아닌 별도의 템플릿에서 관리하고 있다. 그리고 기타 UNIFE LCC 모델의 예방정비와 보수정비정보 DB 템플릿의 항목 및 정의에 있어서는 아래 표 및 그림과 같으며, EN 50126-1과 유사한 것을 알 수 있다.

UNIFE

Preventive Maintenance Sheets

Rolling Stock
Code L1
L1 Assy

Code L2
L2 Assy
Drwg or Diagr Ref

Doc. No.
Version Number
Date of version
Drawn up by
Page n/N
File name

Spare Parts Cost (€/1000Km)	Man-Hour cost (€/1000Km)	Total Cost (€/1000Km)

L2 Assy total Data

Identity SRU	Name	Total Qty	Spare Part Price	Task No.	PM Description	Work shop	PM Interval	PM Interval Exception	Interval unit	PM MMH	Time per task	Skill Category	Spare Part Name	Spare Part Part-Number	Material cost	Cost Unit	Note

[그림 158]UNIFE 예방정비 정보 DB 템플릿

UNIFE

Corrective Maintenance Sheets

Rolling Stock
Code L1
L1 Assy

Code L2
L2 Assy
Drwg or Diagr Ref

Doc. No.
Version Number
Date of version
Drawn up by
Page n/N
File name

Spare Parts Cost (€/1000Km)	Man-Hour cost (€/1000Km)	Total Cost (€/1000Km)

L2 Assy total Data

Identity SRU	Name	Superior Identity In Structure	Total In train	Alternate System	Supplier Part Number	Sub-Supplier	Sub-Supplier Item Name	Sub-Supplier Part Number	Spare Part Price	Exchangeable	Fraction by Exch	Repairable	Failure rate	F/R unit	MMH	MTTR	Skill Category	1st,2nd Line		3rd Rep		3rd Rep Time CWS
																		Mtrl cost	Cost unit	Rep cost	Cost unit	

[그림 159]UNIFE 보수정비 정보 DB 템플릿

[표 100]UNIFE 예방정비정보 DB 항목 및 정의내용

Identity	아이템 ID
Name	아이템 이름
Total in train/proj	열차 당 총 아이템 수
Spare Part Price	예비품 비용
Task No	각각의 유지보수 업무를 식별하기 위해 사용하는 일련의 번호
PM Description	예방정비 업무에 대한 설명
Work shop	work shop 타입 (1,2 or 3)
PM Interval	PM활동 간격
PM Interval Exception	예방정비가 수행되는 사이 간격의 예외
Interval unit(km/d/m/y)	간격 단위
PM MMH(Manh)	예방정비 인시
Time per task	유지보수 업무 수행 시간
Skill Category	기능 카테고리
Spare Part Name	예비품 이름
Spare Part Number	예비품 파트 넘버
Mtrl cost	예방정비 재료비
Cost unit	주어진 재료비 단위

[표 101]UNIFE 보수정비정보 DB 항목 및 정의내용

Identity		아이템 ID
Name		아이템 이름
Superior Identity in structure		구조 상 상위 ID
Total in train/proj		열차 당 총 아이템 수
Alternate System		대체 시스템
Supplier Part Number		공급자 파트 넘버
Sub-Supplier		하위 공급자
Sub-Supplier Item Name		하위 공급자 아이템 이름
Sub-Supplier Part Number		하위 공급자 파트 넘버
Spare Part Price		예비품 비용
Exchangeable		교환 가능 여부
Fraction by Exchange		수리율 (1: 교환 0: 수리)
Repairable		수리 가능 여부
Failure rate		고장률
F/R unit		고장률 단위
MMH(manh)		유지보수 인시
MTTR		평균 복구 시간
Skill Category		기능 분류
1st, 2nd line	Mtrl cost	1st, 2nd line 보수정비 재료비
3rd Rep	Rep cost	3rd Rep 보수정비비
3rd Rep Time CWS		3차 workshop에서 아이템을 복구하는데 필요한 평균 인시

4) 국내 차량제작사 RAM 테이블 분석

가) 예방정비작업을 위한 RAM 테이블 분석

국내 차량제작사로부터 입수한 예방정비작업을 위한 RAM 테이블로써 RAM 테이블에는 유지보수작업을 수행하기 위하여 부품 또는 모듈에 대한 LRU(Line Replace Unit) 단위의 고유번호 및 명칭, 1편성의 차량시스템을 구성하는데 필요한 부품 또는 모듈의 개수가 기록되어 있다. 또한 자세한 유지보수작업의 설명 및 예방정비 주기가 기록되어 있으며 유지보수작업에 필요한 예비품, 특수공구, 유지보수인력의 기술력 및 필요인원, 소요시간 등이 기술되어 있다. 이와 같이 RAM 테이블에는 유지보수작업의 정의 및 주기계산을 위해 필요한 주요정보를 포함하고 있으므로 RAM 테이블과의 연계성을 확보하면 일관성 있는 수명주기비용 예측이 가능할 것으로 판단된다. RAM 테이블에 수록되는 내용에 대한 자세한 설명은 다음과 같다.

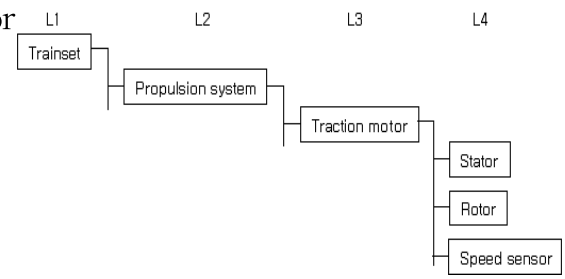
- ID No : 차량시스템 PBS에 기반한 LRU의 고유번호이다. RAM 테이블의 ID No는 레벨 6으로 구성되어 있으며 각 단계의 숫자를 조합하여 고유 ID를 생성한다. 레벨의 깊이는 필요에 따라 조절할 수 있으므로 PBS가 확정되면 그에 따라 레벨의 깊이는 조절할 수 있을 것으로 판단한다.

L1 : 차량편성번호
L2 : 주요장치
L3 : 주요장치를 구성하는 모듈
L4 : 부품 또는 모듈
L5 : 부품 또는 모듈
L6 : 부품 또는 모듈

ex)

- 100000 : 1번 열차편성
- 110000 : Propulsion system

- 111000 : Traction motor
- 111100 : Stator
- 111200 : Rotor
- 111300 : Speed sensor



- Item Description : 부품명
- Part No. : 부품번호, 동일한 편성에 여러 개의 부품의 필요할 경우 부품의 일련번호

- Step No. : 각 부품당 수행해야 하는 유지보수작업 일련번호
- Maintenance Task : 예방정비활동 작업내용은 각 모듈 및 부품에 대하여 간단하게 작업절차 및 방법을 기술한 것이다(자세한 유지보수방법은 정비매뉴얼 참조). 그림 1.2.9은 도시철도차량 중정비 업무공정 흐름도로써 차량시스템이 정기검수주기에 도달하면 대상이 되는 차량편성이 입고되어 중정비 업무가 수행된다. 따라서 중정비 업무의 항목 및 예방정비활동을 RAM 테이블에 기술하여 정확한 정비가 이루어지도록 한다. 아래표는 전동차 검수주기에 따른 검수종류 및 검수항목의 예이다. 3년 검수는 3년 또는 표준사업 운행거리 540,000km에 도달하기 전 하위검수인 6개월 검수항목을 검수하고 각 부분에 대하여 추가검수하고 확인하는 작업으로써 각 작업을 수행하는데 소요되는 인건비 및 재료비를 계산함으로써 예방정비비용을 산출할 수 있다.

  6년 검수는 6년 또는 표준사업운행거리 1,080,000km에 도달하기 전 하위검수인 3년 검수항목에 추가하여 표 1.2.8과 같이 해체검수를 실시하는 것으로 3년 검수 항목에 추가하여 수행한다.
- Maintenance Category : 예방정비활동을 분류하기 위한 것으로 LCC 비용계산에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 부대비용 등을 계산할 때 유지보수활동 등을 오버홀, 윤활, 청소, 점검 등으로 그룹핑 하는데 적용할 수 있다. 즉 부대비용 계산시 예방정비 작업의 성격에 따라 육안검사는 재료비가 필요치 않으므로 0%, 측정, 분해검사 및 조립, 오버홀, 수리 등은 작업의 난이도에 따라 예비품값의 O% 등으로 정의할 수 있

다.

- Spare Parts, and Special Tool : 예방정비활동을 위해 필요한 예비품, 재료 및 특수공구
- Frequency (Km) : 해당 부품의 예방정비 주기

  부품의 예방정비주기는 부품의 신뢰성 있는 수명과 밀접한 관계가 있으나 정해진 수명이 도래했다고 그때 그때 부품의 예방정비작업을 수행하기는 현실적으로 어렵기 때문에 일정한 검수주기를 정해놓고 수명이 도래된 부품들을 일괄하여 예방정비를 수행한다. 검수의 종류 및 주기는 대상이 되는 열차시스템의 신뢰성에 따라 각각 다르다. 아래는 도시철도차량 전동차의 검수종류 및 주기의 예이다. 따라서 자기부상열차의 경우에도 전동차의 경우와 같은 검수주기 및 종류가 정해질 필요가 있으며 이에 따라 수명주기비용을 계산할 필요가 있다. 또한 정기적으로 이루어지지 않지만 차륜교환검수, 임시검수, 특종검수 등도 실제 현장에서는 이루어지고 있으므로 수명주기비용 계산시 이를 고려하여 계산하여야 한다. 차륜교환검수는 차륜의 두께가 마모한도에 도달하였을 때와 균열 및 마모 등으로 인하여 차륜이 파손되었을 때 수행하며, 임시검수는 열차사고 이외의 원인으로 고장이 발생하였거나 전동차를 신규 도입하였을 때 또는 동력장치 교환 등 검수규정에 지정하는 항목이 필요하다고 인정되었을 때 이상 부위를 원상회복시키기 위하여 수행하는 검수이다. 또한 특종검수는 열차의 추돌, 충돌, 탈선 등 열차사고가 발생하였을 때나 개조, 재생, 기타를 행하였을 때 부분적인 상태 및 기능을 검수확인하고 일상검수를 비롯하여 필요한 경우 정기검수항목을 시행하는 검수이다. 그러나 LCC 모델링시 부정기적으로 일어나는 검수에 대해 자세하게 모델링하는 것은 현실적으로 불가능하므로 정기적으로 발생하는 검수에 대한 비용에 대해서는 자세한 모델로 반영하나 부정기적으로 발생하는 검수에 대해서는 도시철도 사례를 참고하여 평균적인 비용으로 고려하는 것이 타당하다고 판단된다.
- Maintenance Level : 예방정비 작업은 작업의 종류에 따라 내부 또는 외부에서 이루어지고 있다. 내부 또는 외부에서의 작업을 작업소요시간, 단위비용 등에 영향을 미치므로 이를 분류하여 계산하도록 모델링할 필

요가 있다.

InS-PM : 모든 예방정비 활동이 내부 검수고 또는 정비창에서 이루어지는 경우

OutS-PM : 모든 예방정비 활동이 외부 검수고 또는 정비창에서 이루어지는 경우

- Personnel : 예방정비작업에 필요한 인원
- Skill Level : 예방정비작업을 위해 필요한 작업인원의 기술력은 T, S, A 등으로 간략하게 정의할 수도 있으며, 예방정비작업에 필요한 기술을 더 상세하게 정의하기 위하여 중소기업중앙회에서 정의하는 직업을 바탕으로 하여 예방정비작업을 위해 필요한 직업을 선택하고 이를 바탕으로 하여 비용을 계산할 수 있도록 하는 것도 작업현장의 상황을 더 상세하게 반영할 수 있으므로 현실적이라 할 수 있다.

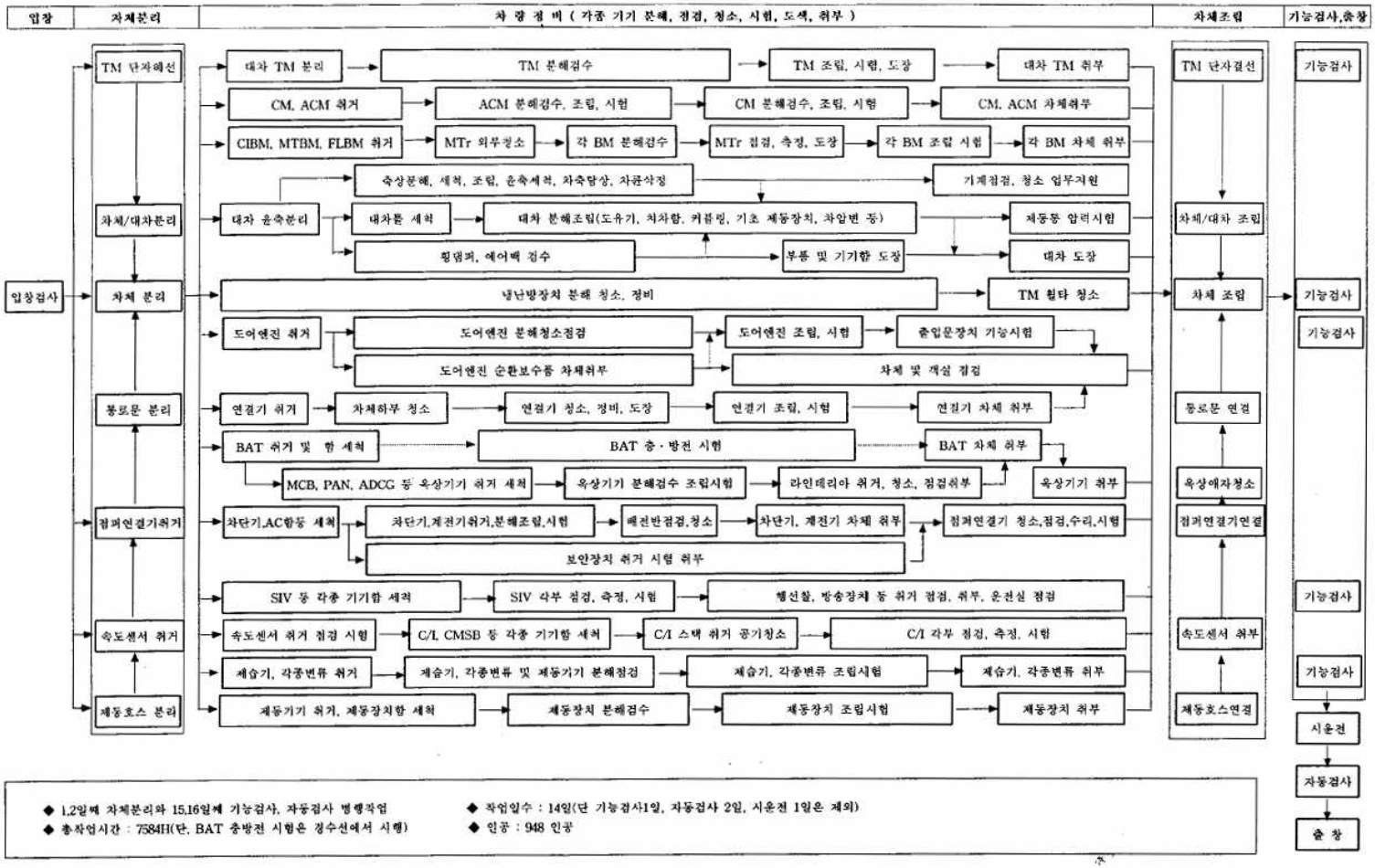
  A : 보조작업자(Assistant)

  S : 숙련공(Skilled worker)

  T : 전문기술자(Technician)
- Spare Part Cost : 예비품 비용
- Man hours : 해당 부품의 예방정비작업을 위해 소요되는 총 시간으로서 표 와 같이 차량사무소 작업장별 소요인공을 측정하고 이를 각 작업별로 할당시키면 각 부품의 예방정비작업을 위해 소요되는 시간을 계산할 수 있다. 표 1.2.12는 출입문 작업, 수선 및 차체제동을 위한 작업항목 및 내용과 작업을 위해 필요한 기능인력 및 소요시간을 분석한 것으로써 출입문 작업과 같이 여러 사람이 동시에 수행한 작업일지라도 이를 작업항목으로 분류하고 총 소요시간을 각 작업에 소요되는 시간으로 할당하면 각 작업을 수행하기 위해 필요한 인건비를 계산할 수 있다. 아래는 중소기업 중앙회에서 발표한 중정비 소요 직종별 시중노임단가로써 이를 이용하면 시간당 인건비를 산출할 수 있다.
- Standstill time : 예방정비작업을 위해 대기하는 시간
- Notes : comments or remarks

[표 102]예방정비작업을 위한 RAM 테이블

ID. No.						Item Description	Part No.	Quantity							Step No.	Maintenance Task	Maintenance Category	Spare Parts	Special Tool	Frequency (Km)	Maintenance Level	Personnel	Skill Level	Spare Part Cost	Man hours	Standstill time	Notes
L1	L2	L3	L4	L5	L6			TC	M	M	M	M	TC	Total													
1	1	0	0	0	0	**Propulsion System**																					
1	1	1	0	0	0	Traction Motor																					
1	1	1	1	0	0	Stator	TBD	0	4	4	4	4	0	16	TBD	Check damage, Cleaning the inner space.	Supporting maintenance	N/A	N/A	600,000	TBD	1	E				
															TBD	Check damage, Cleaning the inner space.	Overhaul	N/A	N/A	1,200,000	TBD	1	E				
1	1	1	2	0	0	Rotor	TBD	0	4	4	4	4	0	16	TBD	Check damage, Cleaning the inner space.	Supporting maintenance	N/A	N/A	600,000	TBD	1	E				
															TBD	Check damage, Cleaning the inner space.	Overhaul	N/A	N/A	1,200,000	TBD	1	E				
1	1	1	3	0	0	Speed Sensor	TBD	0	4	4	4	4	0	16	TBD	Visual Inspection	ETC	N/A	N/A	15,000	TBD	1	E				
															TBD	Visual Inspection	Quarterly inspection	N/A	N/A	30,000	TBD	1	E				
															TBD	Check damage, Cleaning the inner space.	Supporting maintenance	N/A	N/A	600,000	TBD	1	E				
															TBD	Check damage, Cleaning the inner space.	Overhaul	N/A	N/A	1,200,000	TBD	1	E				



[그림 160]도시철도차량 중정비업무 공정흐름도 (예)

[표 103]전동차 3년 검수 세부항목(예)

장치명	검수세부항목	비고
특고압기기 및 부속장치	· 팬터그라프 분해검수 · 주차단기 - 구조검사 - 진공차단부 해체 점검과 청소 - 동작성능시험 - 공기누설검사 · 교직절환기 - 구조검사 - 접촉부 발축력 측정 - 공기누설 검사 · 주 휴즈 접촉상태 및 크립간격측정 · 주 변압기 - 절연저항시험 - 온도계, 지시계 오일쿨러 점검 - 전동송풍기 분해검사 - 절연유 내압시험 · 제어기함 - 차단기 주 접촉부 접촉압력 및 개방거리 측정 - 보조접촉기 접촉압력 및 개방거리 측정 - 주요부 분해검수 - 직류전압계전기 점검	
특고압기기 및 부속장치	· 주요부 분해검수 · 무부하 회전, 조립시험 · 속도검측기 상태 및 간격조정 · 구동접속기 분해검수	

장치명	검수세부항목	비고
고압보조기기 및 부속정치	· 공기압축기 전동기 및 부속장치 - 공기압축기 기동장치 정밀검수 · 각종 저항기 점검 및 청소 · 정지형인버터 - 각 반도체소자, 캐패시터, 저항기류 점검 - 케이블, 커넥터 각부 조정 - 각 PCB 상태 및 각부 조정 - 무가압 시험 및 출력전압 파형측정 - 접촉기, 차단기의 분해검수 - 검출기의 설정치, 시한측정 - 리엑터, 변압기류 검수 및 절연보강 - 기타 부속기기 검수 · 휠터 리엑터 - 터미널 함 내부점검	
주변환장치	· 냉각유니트 풍도부 패킹점검 · 방진고무 손상, 열화점검 · 전원유니트 출력전압 측정 · 저항기 검사 및 저항치 측정	
제어기기	· 주간제어기 - 접촉부 점검 - 전위차계 점검 - 절연저항 시험	
저압보조기기 및 부속장치	· 축전지 - 함의 청소 및 점검 - 보충전, 충방전 시험	
대차 및 부속장치	· 대차 분해검수 · 치차유 교환 · 치차함 분해검수 · 도유기 분해검수	
기계장치	· 주공기압축기 분해검수 · 보조공기압축기 분해검수 · 조압기, 안전변 분해검수 · 유분리기, 자동배수변 분해검수 · 제습기 분해검수 및 제습제 교환	

장치명	검수세부항목	비고
제동장치	· 기초제동장치 분해검수 · 제동제어함 분해검수 · 각종 공기변류 분해검수 · 각종 전자변류 분해검수 · 공기관 및 접수부 점검 · 각종 공기호스 압력시험 · 응하중변 압력조정 · 공기배관 여과기류 분해검수	
연결기 완충장치	· 연결기 및 완충장치 분해검수	
각종 공기관	· 연결부 점검	
점퍼 연결기	· 접촉자 접촉압력 검수	
차체 및 차내설비	· 출입문 기계장치 분해검수 · 문, 창 등의 변형훼손, 부식 및 개폐작용 불량 또는 부적합 · 의자, 커튼 등에 있어 동작부분의 작용 불량, 쿠션 스프링류의 훼손부적합, 포지의 퇴색 및 부적합 · 상판, 피복물의 훼손, 변형, 퇴색 및 부적합 · 통로다이아후램 상태 및 작용, 부적합 · 차체 골격부의 균열, 훼손, 부식 및 리베트 부분의 이완 또는 용접부의 균열 · 구성 철판류의 부식, 노후, 마모 및 부적당 · 도장의 퇴색, 오손, 박리, 부식 · 배전반 각부청소 접촉부 각부 점검 · 등구류, 개폐기류, 건기표시기 정밀검수 · 방송장치 정밀검수 · 각종기기 표시상태 · 행선표시기 장치 및 열차번호 장치 분해검수 · 실내전광판 정밀검수 · 모니터장치 정밀검수	

장치명	검수세부항목	비고
냉난방 장치	· 유니트쿨러 증발기용 전동송풍기 및 응축기용 전동송풍기 점검 · 유니트쿨러 동작시험 및 설정치 시험 - 내압시험 - 발열체 단자간의 저항치 측정 · 라이플로어팬 절연저항 측정 및 각부점검	
보안장치	· ATS 장치 각부 정밀점검 · ATS/ATC 발전기 정밀점검 · 속도기록계 및 속도기록계발전기 특성시험 및 정밀점검 · 차륜경 보정 · 절연저항 측정 · 운전경계장치 시한측정 · ATC 장치 - 계전기 점검, 코일저항 정밀점검 - PCB 기능시험 - ADU 속도변환기 상태 - 픽업코일 높이조정	
종합시험	· 절연저항 시험 · 절연내압 시험 · 최저동작 전압시험 · 최저동작 공기압력 시험 ※ 상기시험 실시 후 시운전 실시	

[표 104]전동차 6년 검수 세부항목

장치명	검수세부항목	비고
특별고압기기	※ 3년검수 항목과 동일	
견인전동기 및 부속장치	※ 3년검수 항목과 동일	
주변환장치	· 송풍전동기 분해검수 · 계전기 최저동작시험 및 석방전압 측정 · 차단기 내압시험 · 광케이블 감쇠량 측정	
고압보조기기 및 부속장치	· 정지형인버터 - 계전기 최저동작시험 및 석방전압 측정 - 차단기, 접촉기 내압시험 - 광케이블 감쇠량 측정	
저압보조기기 및 부속장치	※ 3년검수 항목과 동일	
제어기기	※ 3년검수 항목과 동일	
기계장치	※ 3년검수 항목과 동일	
제동장치	· 제동통 분해검수 · 각종 고무막판 교환 · 각종 고무호스 교환	
대차 및 부속장치	※ 3년검수 항목과 동일	
연결기 및 완충장치	※ 3년검수 항목과 동일	
전기연결기	※ 3년검수 항목과 동일	
차체 및 차내설비	※ 3년검수 항목과 동일	
냉난방장치	※ 3년검수 항목과 동일	
보안장치	※ 3년검수 항목과 동일	
각종공기관	※ 3년검수 항목과 동일	
절연시험	· 교류 특별 고압회로 · 직류 및 교류 고압회로 · 직류 및 교류 저압회로	

[표 105]도시철도 전동차 검수종류 및 주기(예)

종별	일상	3개월	6개월	3년	6년	차륜교환	임시	특종
기호	3D	3M	6M	3Y	6Y	NWC	T	R

기간	72 시간	3개월	6개월	3년	6년	수시	수시	수시
표준사업 거리(km)	1,500	45,000	90,000	540,000	1,080,000	삭정	차량사무소:T_1 정비창:T_2	차량사무소:R_1 정비창:R_2

[표 106]차량사무소 작업별 소요인공 분석, 3Y기준 (예)

구분	항목	인원 (명)	평균소요시간 (H)	소요인공 (M·H)	비고
시험 및 운용	입창검사	7	130	910	
	객실냉난방 장치검사 및 수선				
	차량분리 및 조립				
	각종 공작품 제작 및 기타				
차체	차체분리, 수선, 부품취거, 운반	9	143	1,287	
	도어엔진 분해, 수선, 조립, 시험				
	냉방장치 취거, 청소, 수선, 조립				
	차체하부청소				
	수선업무				
대차	윤축분리, 세척 및 수선, 조립	10	190	1,900	
	축상탐상, 수선업무				
	대차틀 분리, 수선 및 시험업무				
	대차조립 및 지원업무				
	차륜삭정, 교환업무				
제동	차체제동장치류 취거, 시험, 정비, 취부업무	8	78	624	
	부품제동 장치의 취거, 수선, 조립 시험				
전기	팬터그라프 분리, 청소, 수선, 조립 시험업무	13	116	1,508	
	고압장치류 수선업무				
	특고압 장치의 취거, 수선, 청소				
	저압장치의 수선, 시험, 취부				
	축전지 점검 및 충전				
	전자장치의 청소, 수선 및 시험				
회전기	ACM/BM 장치의 취거, 수선, 조립	9	74	666	
	TM장치의 수선 및 시험				
	CM장치의 취거, 수선, 검사				
	TM장치의 분리, 측정, 청소, 검사				
기계	지원업무	7	98	689	
합 계		63		7,584	

[표 107]차량사무소 작업별 소요인공 분석, 6Y기준 (예)

구분	항목	인원 (명)	평균소요시간 (H)	소요인공 (M·H)	비고
시험 및 운용	입창검사	7	148	1,036	
	객실냉난방 장치검사 및 수선				
	차량분리 및 조립				
	각종 공작품 제작 및 기타				
차체	차체분리, 수선, 부품취거, 운반	9	163	1,467	
	도어엔진 분해, 수선, 조립, 시험				
	냉방장치 취거, 청소, 수선, 조립				
	차체하부청소				
	수선업무				
대차	윤축분리, 세척 및 수선, 조립	10	216	2,160	
	축상탐상, 수선업무				
	대차틀 분리, 수선 및 시험업무				
	대차조립 및 지원업무				
	차륜삭정, 교환업무				
제동	차체제동장치류 취거, 시험, 정비, 취부업무	8	89	712	
	부품제동 장치의 취거, 수선, 조립 시험				
전기	팬터그라프 분리, 청소, 수선, 조립 시험업무	13	133	1,729	
	고압장치류 수선업무				
	특고압 장치의 취거, 수선, 청소				
	저압장치의 수선, 시험, 취부				
	축전지 점검 및 충전				
	전자장치의 청소, 수선 및 시험				
회전기	ACM/BM 장치의 취거, 수선, 조립	9	83	747	
	TM장치의 수선 및 시험				
	CM장치의 취거, 수선, 검사				
	TM장치의 분리, 측정, 청소, 검사				
기계	지원업무	7	115	805	
합 계		63		8,656	

[표 108]Tc차량의 공정별 소요직종 및 소요시간 분석 예

작업공정	작업내용	직종명	량당시간(H)	
			3Y	6Y
출입문	하차작업지원	보통인부	1.09	1.09
	도어엔진취거	부품조립공	5.82	5.82
	도어엔진 분해 및 수선, 상태확인	제품검사공	14.00	15.44
	도어엔진 조립 및 작동시험	경기계조립공	7.91	10.21
	도어엔진 취부 및 조립	부품조립공	7.27	7.27
	출입문 조정작업	제품조정공	5.09	5.09
소계			41.18	44.92
수선	차체·대차분리 지원	보통인부	2.05	2.05
	다이아후램, 밀착연결기, 건널판, 아마도호스분리	경기계조립공	0.77	0.77
	시트하차, 운반, 청소 및 수선, 상차작업	세척공	2.73	3.30
	밀착연결기 취거, 운반, 청소, 분해, 수선, 조립, 취부	기계정비공	10.00	18.37
	건널판, 다이아후램 점검, 수선, 교환	기계정비공	1.14	1.14
	차체하부 청소	세척공	3.64	3.64
	출입문 가이드레일 취거, 청소, 운반작업, 취부	경기계정비공	5.46	5.46
	출입문 베어링, 건널판 점검 및 교환	제품검사공	7.74	9.32
	정션박스내 고·저압 단자 점검, 보수	제품검사공	1.82	1.82
	싱크가이드 취거, 검사, 수선, 높이보상, 취부	제품검사공	0.45	0.45
	완충기 취거, 세척, 검사, 수선, 취부	제품검사공	1.14	1.14
	실내소화기 및 설비물 점검 및 수선	제품검사공	0.48	0.74
	지붕, 물받이 점검, 청소	세척공	0.18	0.28
	차체, 대차조립 지원	보통인부	2.05	2.05
	다이아후램, 밀착연결기, 건널판, 아마도호스연결, 점검	경기계조립공	0.85	0.85
	차체 애자류 청소, 점검, 교환	세척공	1.82	1.82
소계				
차체제동	레벨링밸브 시험 및 취거, 분해, 수선, 청소, 취부	기계정비공	7.39	9.39
	Y형 공기필터 외관검사, 분해, 정비	기계정비공	1.45	2.27
	역지변 분해, 청소 및 부품교환, 조립	경기계조립공	1.82	2.16
	에어휠터 드레인코크 분해, 청소 및 부품교환, 조립	경기계조립공	0.91	1.14
	드레인코크 기능검사 및 수선	제품검사공	0.65	0.80
	컷아웃코크 기능확인 및 청소점검	세척공	1.71	1.94
	스트레이너 분해, 점검 및 부품교환	제품검사공	1.27	1.48
	복식역지변 취거, 분해검사, 부품교환, 조립, 시험	제품검사공	8.00	9.55
	배관라인 청소 및 점검, 취부	세척공	1.36	1.36
	누기확인 및 기능점검	제품검사공	2.05	2.05
소계			26.61	32.14
시운전		기계정비공	0.91	0.91
총계			111.02	131.17

[표 109]중정비 소요 직종별 시중노임단가(2007.9월 기준)

소요직종명	기본급 (2006)	기본급 (2007)	직 종 해 설
강전기계조립공	43,102	49,076	교류기기를 조립하는 사람
경기계조립공	43,679	45,480	실내장치가 가능한 비교적 경한 기계시설
기계기술공	54,655	59,525	전문분야의 기계구조 및 성능을 비교적 잘 파악하고 보수유지에 능한 사람
기계정비공	51,991	61,943	전문분야의 기계를 정비할 수 있는 능력을 갖춘사람
도장공(취부)	44,644	50,180	도장재료를 취부기구에 의하여 도장하는 사람
드릴공	43,567	47,482	드릴기로 제품을 가공하는 사람
밀링공	44,773	50,483	밀링기로 제품을 가공하는 사람
보통인부	38,172	43,990	제조분야에 있어서 단순한 노무에 종사하는 사람
부품조립공	38,997	44,107	중간부품을 조립하는 사람
세척공	39,554	46,946	물체의 녹과 오염부분을 각종 세척재료에 의하여 세척하는 사람
용접공	50,296	56,846	용접공에 의하여 용접을 하거나 땜질하는 사람
자동선반공	44,352	52,469	자동선반기로 제품을 가공하는 사람
전기정비공	49,888	57,251	모터와 같은 간단한 전기시설을 고치는 전기기술자
제품검사공	37,934	46,093	제품을 검사하는 사람
제품시험공	43,875	49,774	제품을 시험하는 사람
중기운전사	50,863	53,413	기중기류, 권상기, 윈치, 체인브럭, 콘베이어류, 엘리베이터, 에스컬레이터, 삭도, 기타 중기류의 운전사
작업반장	59,721	63,004	각 공정별로 작업자를 통솔하여 작업을 지휘하는 사람

나) 보수정비작업을 위한 RAM 테이블 분석

아래는 보수정비작업을 위한 RAM 테이블이다. 보수정비작업을 위한 RAM 테이블의 경우에도 예방정비테이블과 거의 동일하며 다만 고장율에 따라 총 수명기간 동안의 발생횟수를 계산하고 이를 바탕으로 고장모드에 따른 고장수리 작업에 대한 인건비 및 재료비로 계산한다.

- ID No : ※ 예방정비항목과 동일
- Item Description : ※ 예방정비항목과 동일
- Part No. : ※ 예방정비항목과 동일
- Quantity : ※ 예방정비항목과 동일
- Failure Modes : 각 부품의 고장모드
- Maintenance Task : ※ 예방정비항목과 동일
- Spare Parts, and Special Tool : ※ 예방정비항목과 동일
- Failure Rate(in failure/Mh) : 고장율
- Maintenance Level : ※ 예방정비항목과 동일
- Personnel : ※ 예방정비항목과 동일
- Skill Level : ※ 예방정비항목과 동일
- Spare Part Cost (USD) : ※ 예방정비항목과 동일
- Man hours : ※ 예방정비항목과 동일
- Standstill time : ※ 예방정비항목과 동일
- Notes : ※ 예방정비항목과 동일

[표 110]보수정비작업을 위한 RAM 테이블

ID. No.						Item Description	Part No.	Quantity							Failure Modes	Maintenance Task	Spare Parts	Special Tool	Failure Rate (in failure/Mh)	Maintenance Level	Personnel	Skill Level	Spare Part Cost	Man hours	Standstill time	Notes
L1	L2	L3	L4	L5	L6			TC	M	M	M	M	TC	Total												
1	1	0	0	0	0	**Propulsion System**																				
1	1	1	0	0	0	Traction Motor																				
1	1	1	1	0	0	Stator	TBD	0	4	4	4	4	0	16												
1	1	1	2	0	0	Rotor	TBD	0	4	4	4	4	0	16												
1	1	1	3	0	0	Speed Sensor	TBD	0	4	4	4	4	0	16												
1	1	1	4	0	0	Ball bearing	TBD	0	4	4	4	4	0	16												
1	1	1	5	0	0	Roller bearing	TBD	0	4	4	4	4	0	16												

5) 차량유지보수비용 예측을 위한 CBS 및 DB 구조 개발

본 과제에서 대상으로 하고 있는 자기부상열차시스템의 수명주기비용 모델은 이미 앞서 발표한 보고서에서 기술한 것과 같이 도입비, 연간운영비, 유지보수비 및 폐기비로 구성되어 있다. 유지보수비는 크게 주기적인 예방정비를 위한 예방정비비와 고장시 수리를 위한 보수정비비로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 EN50126, UNIFE 및 차량제작사 RAM 테이블 분석결과를 바탕으로 하여 이를 연계하여 사용할 수 있도록 CBS를 개발하였다.

가) 유지보수비용 예측을 위한 CBS 개발

① 예방정비비용 예측을 위한 CBS 개발

예방정비비는 예방정비활동을 위해 소요되는 비용으로 크게 식 (1.2.5.1)과 같이 인건비 및 재료비로 구성하였다.

$$\text{총 예방정비비용} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(\text{인건비}_j + \text{재료비}_j) \quad (1.2.5.1)$$

여기서

i= 예방정비가 필요한 SRU의 종류

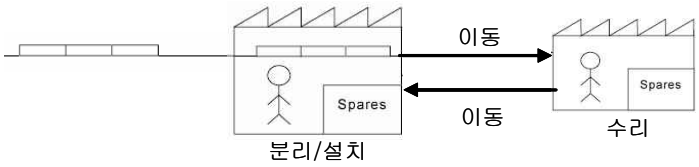
j= 정비주기(일상, 월상, 2year, 4year 등)

인건비j=i번째 SRU의 j번째 정비주기시 소요되는 인건비

재료비j=i번째 SRU의 j번째 정비주기시 소요되는 재료비

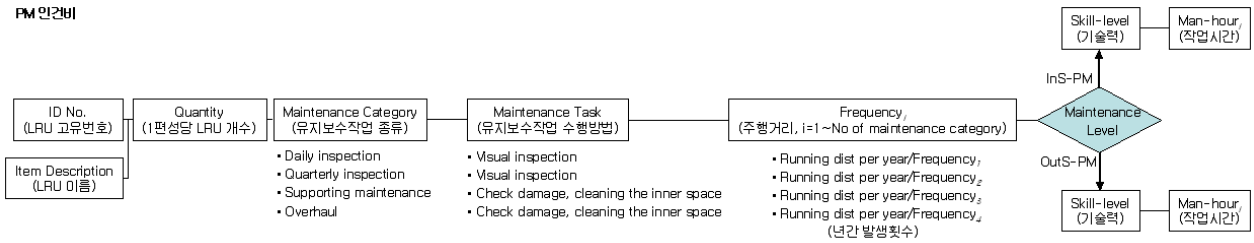
여기에서 인건비는 예방정비활동을 위해 소요되는 순수 인건비로 정의된다. 즉, 물류보급을 위해 기다리는 시간 등은 고려하지 않으며, 예를 들어 예방정비 활동이 모듈의 분리, 분해, 청소, 조립 및 설치 작업으로 이루어져 있다고 하면 각각의 작업을 수행하는데 필요한 소요시간과 이를 위해 필요한 작업자의 기술력 및 기술력에 따른 인시비를 이용하여 식 1.2.5.2와 같이 계산한다.

$$\text{인건비} = \sum_{i=1}^{n} \text{대상열차수} \times PM\text{횟수}_i \times \text{차량당부품수} \times PM\text{당소요시간}_i \times \text{인시비}_i \quad (1.2.5.2)$$



PM당 소요시간=분리시간+수리시간+설치시간

년간 예방정비활동의 횟수는 년간 상업운행거리와 예방유지보수 주기(frequency)로부터 산출할 수 있으며 예방정비를 위해 소요되는 시간 및 인시비는 내부수행 또는 외주에 따라 기술, 소요시간 및 인시비가 달라질 수 있으므로 이를 구분함으로써 적절한 비용산출이 가능하도록 하였다.



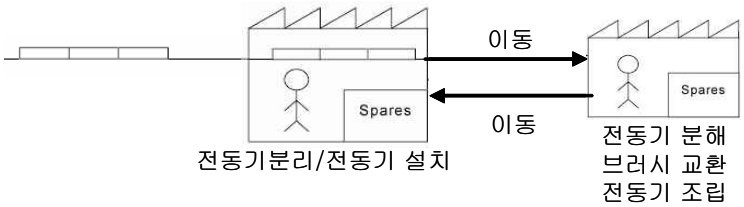
[그림 161]RAM 시트와 연계한 예방정비활동 인건비 계산을 위한 CBS 구축

한편, LCC 모델은 빈도계산시 예방정비주기를 각각 독립적 사건으로 간주하므로 예방정비 주기가 겹치는 사건이 발생할 수 있다. 예를 들면 3M과 3Y의 경우 3Y째에 이르면 3M도 수행하고 3Y도 수행하는 것으로 계산할 수 있으므로 아래표와 같이 상위 검수를 수행하면 하위 검수도 수행한 것으로 모델링 한다. 즉 6년 검수를 수행했으면 일상검수, 3개월 검수, 6개월 검수 및 3년 검수를 수행한 것으로 간주하며, 3년 검수를 수행하면 일상검수, 3개월 검수 및 6개월 검수를 수행한 것으로 간주한다.

[표 111]검수주기에 따른 수행간주규정[1.5]

간주/시행검수	3개월검수	6개월검수	3년검수	6년검수
일상검수	O	O	O	O
3개월검수		O	O	O
6개월검수			O	O
3년검수				O

예방정비활동을 위한 재료비는 크게 수명주기가 도래하여 교환되는 부품의 부품비와 청소, 그리스 도포, 윤활, 분해 및 점검 등에 필요한 접착제, 나사, 볼트 등의 부대비로 구성된다. 부품비는 교환이 일어나는 마지막 단위의 부품비용으로 계산한다. 전동기의 브러시를 교환할 경우를 예를 들면 대차에서 전동기를 대차에서 분리하고 전동기를 분해하며 브러시를 교체하고 전동기를 조립하고 전동기를 대차에 설치하는 것의 일련의 작업으로 볼 수 있다. 이 경우 부품비는 교환을 위한 순수 브러시 비용이며, 이러한 작업을 수행하기 위한 일련의 비용은 인건비로 보충된다.

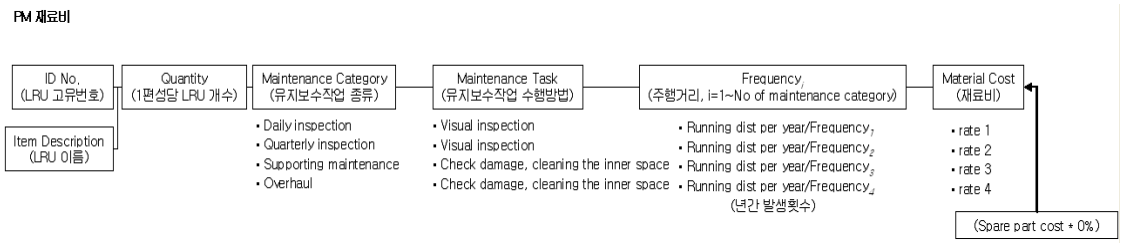


인건비 = 전동기 분리/분해/교환/조립/설치에 소요되는 시간으로부터 비용계산
재료비 = 브러시 비용 + 부대비용

일반적으로 부대비용은 예방정비활동의 종류 및 부품의 상태에 따라 달라지므로 매번 정확한 비용을 산출하기는 어렵다. 따라서 비용산출이 용이할 경우에는 직접 비용을 입력하고 비용산출이 용이하지 않을 경우에는 부품 값의 일정한 비율을 간접적으로 계상한다.

$$\text{재료비} = \sum_{i=1}^{n} \text{대상열차수} \times PM\text{횟수}_i \times \text{차량당부품수} \times (\text{예비품및기타재료비})_i$$

(1.2.5.3)



[그림 162]RAM 시트와 연계한 예방정비활동 재료비 계산을 위한 CBS 구축

② 보수정비비용 예측을 위한 CBS 구축

보수정비비용도 보수정비활동을 위해 소요되는 인건비 및 재료비로 구성하였다. 보수정비비용은 고장이 발생하였을 때 파급되는 손실 및 사회적비용 등은 비용산출시 고려하지 않았으며 단지 고장을 수리하기 위해 필요한 인건비 및 재료비로 한정하였다. 또한 실제고장의 발생은 불규칙적으로 발생하나 모델의 단순화를 위하여 고장율을 토대로 일정한 주기마다 고장이 발생한다고 가정하였으며 총 수명주기 동안 발생할 것이라 예측되는 모든 고장비용을 계산하여 이를 수명주기로 나누어 년간 발생하는 보수비용을 계산하였다.

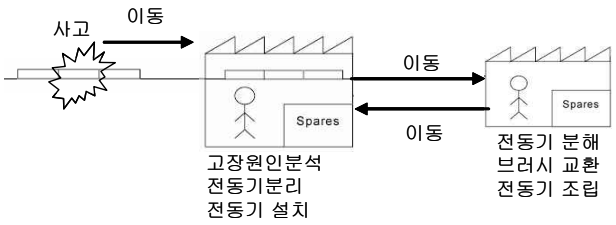
$$\text{보수정비비} = \sum_{i=1}^{n}(\text{인건비}_i + \text{재료비}_i) \qquad (1.2.5.4)$$

보수정비를 위한 인건비는 년간 발생하는 총 보수발생횟수와 고장모드에 따른 수리시간 및 인시비로 계산할 수 있다. 고장발생횟수는 고장율(횟수/백만km)과 년간 운행거리로부터 산출할 수 있으며, 수리시간은 열차복구를 위한 순수정비시간과 고장난 부품의 수리를 위해 필요한 부품수리시간의 합으로 계산한다. 고장율이 년간운행거리보다 긴 부품이 있으므로 년간 고장발생 횟수를 산출할 때에는 총 수명주기 기간중 발생할 수 있는 고장횟수를 계산하여 이를 수명주기로 나눔으로써 년간 발생할 수 있는 고장횟수를 산출한다.

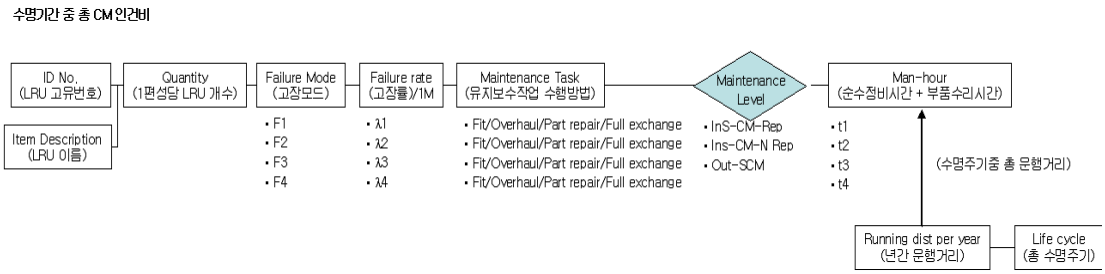
$$\text{인건비}_i = \text{총대상열차수} \times \text{고장율}_i \times (\text{교체정비시간}_i + \text{수리정비시간}_i) \times \text{인시비} \times \text{가동시간}_i \times \text{수명주기} \qquad (1.2.5.5)$$

앞서의 예와 같이 전동차에 사고가 발생하여 차량기지로 입고한 후에 사고원인을 분석하고 사고가 전동기 브러시의 접촉 불량으로 일어나 브러시를 교환할 경우를 예를 들면 대차에서 전동기를 대차에서 분리하고 전동기를 분해하며 브러시를 교체하고 전동기

를 조립하고 전동기를 대차에 설치하는 것의 일련의 작업으로 볼 수 있다. 이 경우 부품비는 교환을 위한 순수 브러시 비용이며, 이러한 작업을 수행하기 위한 일련의 비용은 인건비로 보충된다.



인건비 = 고장원인분석/전동기 분리/분해/교환/조립/설치에 소요되는 시간으로부터 비용계산
재료비 = 브러시 비용 + 부대비용

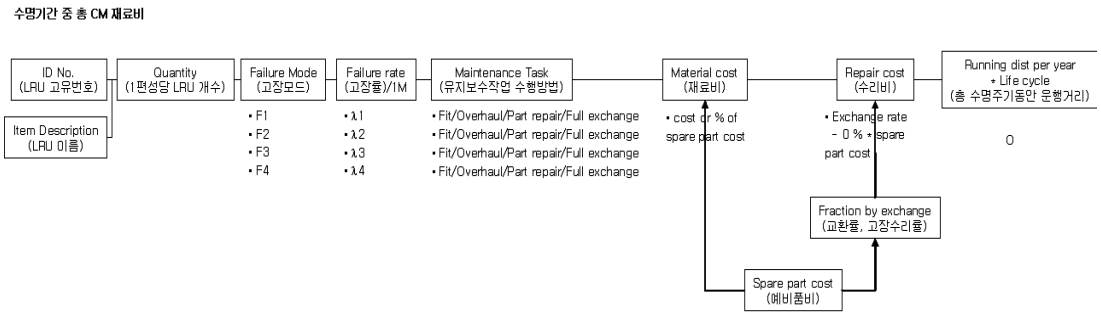


[그림 163]RAM 시트와 연계한 보수정비활동 인건비 계산을 위한 CBS 구축

보수정비에 소요되는 재료비는 고장의 심각도에 따라 예비품 비용 및 기타 부대비용이 다르므로 이를 고려하여 산출하도록 하였다. 즉 고장의 수리가 부품의 교환을 동반하지 않고 검사 등으로 끝나면 재료비 발생 없이 인건비만 지출되며, 고장의 수리가 부품의 일부 교환 혹은 수리를 동반하면 예비품 비용 없이 기타 부대비용 지출을 계산한다. 또한 고장의 수리가 부품의 전체 교환으로 이루어지면 재료비는 예비품 비용과 이에 따른 기타 부대비용 지출을 모두 포함하며 계산한다. (교환시만 예비품 비용은 재료비에 포함 되며, 수리시는 재료비에 불포함 된다. 이때 예비품 비용은 단순히 예비품 비용 정보이다.)

재료비i=

$$\text{총대상열차수} \times \text{고장율}_i \times \text{환율} \times \text{교체비율}_i \times (\text{예비품비및기타부대비용})_i \times \text{가동시간}_i \times \text{수명주기} \quad (1.2.5.6)$$



[그림 164]RAM 시트와 연계한 보수정비활동 재료비 계산을 위한 CBS 구축

나) LCC 모델을 위한 차량유지보수정보 DB 템플릿 개발

앞서 분석한 EN50126-1 규격, UNIFE LCC 모델 가이드 자료 및 국내 차량제작사 RAM 테이블의 분석결과를 토대로 하여 철도차량의 유지보수비용을 예측하기 위한 DB 템플릿을 개발하였다. DB 템플릿은 예방정비비용 계산을 위한 템플릿과 보수정비비용 계산을 위한 템플릿으로 구성되어 있으며 세부내용은 다음과 같다.

① 목적

본 연구에서 제안하는 유지보수정보 DB 템플릿은 그 기본이 차량시스템 유지보수 활동에 대한 비용예측에 있으며, 추후에는 DB 템플릿의 확장을 통하여 차량외 시스템에 대한 유지보수비용 예측도 가능하도록 하고자 한다. 따라서 본 연구에서 제안한 템플릿은 UNIFE LCC 유지보수정보 템플릿과 같이 유지보수 기대비용을 계산할 수 있는 항목을 기본으로 포함하였으며, 추가적으로 EN 50126-1 DB 구조 중 철도시스템 RAMS 관점에서 비용계산에 필요하다고 판단되는 항목도 추가하였다.

② 가정 및 제한

- 유지보수정비 단위 : 기본적으로 유지보수활동을 위한 기본 유지보수 단위는 라인 교체 가능 유닛인 LRU 단위가 아닌, 예비품 유닛 단위인 SRU 단위로 정의하였다. 이는 철도운영기관

현장에서 이루어지는 유지보수 활동이 SRU 단위에서 수행하고 있기 때문에 이를 시뮬레이션하기 위한 것이다. 만일 LRU 단위를 트리구조의 마지막 단계로 고려할 경우 LRU 단위로 교체가 이루어진 이후에 하위의 SRU 단위에서 수리 혹은 교체가 발생한 경우에 대해서는 추적이 불가능하기 때문에 정확한 LCC 계산이 불가능하다.

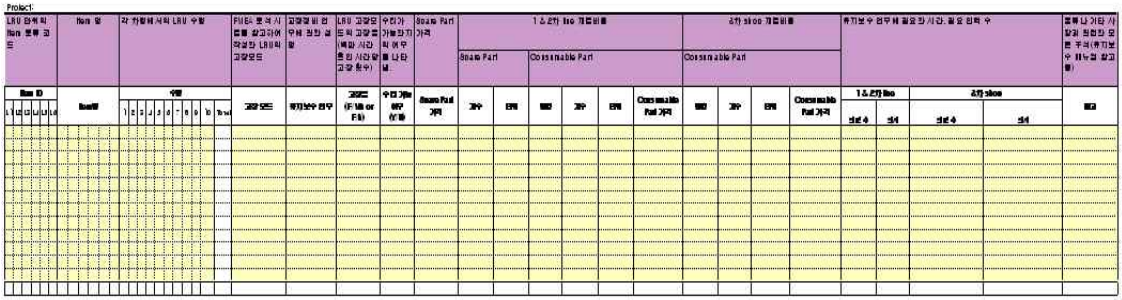
- 유지보수레벨의 정의 : 유지보수레벨 정의에 있어서도 제안된 유지보수정보 DB 템플릿은 SRU의 교환이 이루어지는 1차 line과 2차 depot를 하나로 묶어 동일한 유지보수 레벨인 “line”으로 정의하였으며, component workshop과 같이 SRU의 수리가 이루어지는 제3의 장소를 “shop” 레벨로 정의하였다. 이러한 분류는 유지보수 업무를 수행하는 운영사의 유지보수자와 제품을 제작하는 제작사의 설계자의 의견을 종합하여 정의한 결과이다. 실제로 철도시스템 고장모드에 따른 “유지보수 업무”는 설계자에 의해 정의될 수 있지만 이것이 수행되는 “유지보수 레벨”은 설계자가 아닌, 운영사의 유지보수 운영정책에 따라 결정된다. 그리고 앞에서 설명한 유지보수 업무 평가와 관련하여 SRU의 “고장모드” 분석 항목을 템플릿에 추가 하였다.

- 부대비용 정의 : 부대비용은 유지보수 활동에 필요한 예비품 비용 외에 부가적으로 소요되는 물품들에 대한 비용으로 정의한다. 따라서 유지보수 비용 계산에 필수적인 재료비는 SRU 예비품 비용 외에 부가적으로 소비되는 Consumable 물품들에 대한 비용을 line과 shop의 “재료비” 항목에 추가하여 이를 반영하도록 하였다. (예, 베어링 유지보수의 경우, 수리 불가능시 재료비용: 베어링 예비품 비용 + Consumable 물품인 윤활유 비용/수리 가능시 재료비용: 베어링 수리비용 + Consumable 물품인 윤활유 비용).
- 글로벌 데이터 정의 : LCC 계산을 위해 필요한 유지보수 인건

비 단가, 대상 열차의 수량, 년간 평균 운행거리 및 사용수명 등 글로벌 데이터 항목은 필요에 따라 별도로 정의하도록 하였다.

③ 유지보수정비 정보 DB 템플릿 개발

유지보수정보 템플릿 중 보수정비와 예방정비 템플릿의 차이점 중 하나는 계산시 사용되는 유지보수 횟수의 기준에 있다. 보수정비의 경우 SRU 고장모드의 고장율(failure/hour)에 따라 유지보수 횟수가 정해지지만, 예방정비의 경우 사전에 계획된 예방정비 주기(day, month, year 또는 km)에 따라 유지보수 횟수가 결정된다. 그리고 예방정비정보 템플릿의 경우 예방정비 업무가 주기적으로 반복되기 때문에 예방정비 업무에 대하여 다음과 같이 코드화가 가능하다: IN:Inspection, SV:Servicing, RP: Replacement, NDT: Non-Destructive Test, OV: Overhaul. 그리고 이렇게 개발된 유지보수 정보 DB 템플릿은 다음과 같다.



[그림 165]예방정비정보 DB 템플릿(안)

○ Corrective Maintenance DB sheet 각 컬럼명에 대한 설명

CM 각 shop에 대한 정의 :
1 & 2차 line (라인 또는 경정비창) : LRU 부품의 탈부착 및 교환
3차 shop (component shop) : LRU 부품의 수리

- Item ID : LRU 단위의 아이템 분류 코드

- Item 명 : Item 명칭
- 수량 : 각 차량에 장착된 Item 수량
- Item 가격 : Item의 가격
- 고장 모드 : 각 부품의 고장모드

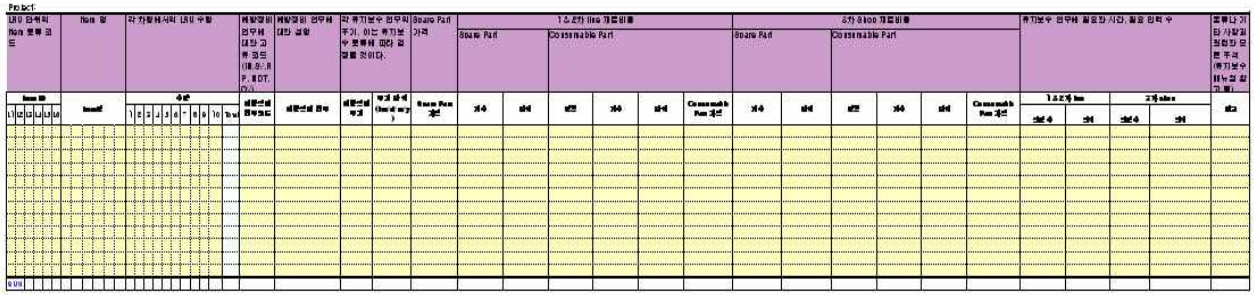
  ※ 한 부품에 여러 고장모드가 있을 수 있음. 고장이 발생하였을 경우 많은 비용이 소요되는 것과 발생빈도가 높은 것(고장율이 높은것)을 우선순위로 두어 작성. 가능한 발생할 가능한 모든 고장모드 입력.
- 유지보수 업무 : 각 모듈 및 부품의 해당 고장모드에 대한 보수 정비 작업절차 및 방법

  ※하나의 고장모드에 여러 단계의 유지보수작업이 있을 수 있으므로 고장모드에 따른 모든 유지보수 입력.
- 고장률(failure/h or failure/Mh) : 부품의 고장모드에 따른 고장률(단위: 시간당 또는 백만시간당 고장발생횟수)
- 수리가능여부 (Y/N) : 고장모드에 따른 수리 가능 여부 입력.

  ※ "N"이면 수리가 불가능하여 LRU 전체를 교환한다는 의미. 즉, 1 & 2차 line에서 LRU 단위 아이템 전체를 교환하는 것을 의미. "Y"이면 해당 LRU에 대해 수리가 가능하다는 의미이며 1 & 2차 line에서는 LRU 단위 아이템의 탈부착이 수행되며 3차 shop에서 LRU의 수리(LRU 하위 단위의 교환 및 수리)가 수행.
- 1 & 2차 line 재료비용 : 해당 고장에 대해 1 & 2차 line에서 수행하는 교환 및 탈부착시 발생하는 교환품 및 소모품 재료비용 비용

  ※ 교환품의 비용은 Spare Part 가격에 기입하며 이때의 개수 단위 명기, 부가적인 소모품 비용은 1 & 2차 line의 Consumable Part 가격에 기입하며, 이때의 명칭, 개수, 단위 또한 기입하도록 정의.
- 3차 shop 재료비용 : 해당 고장에 대해 1 & 2차 line에서 탈착된 LRU 아이템에 대하여 3차 라인에서 수행하는 수리시 발생하는 재료비용 기입, 이 때 재료비용은 3차의 Consumable Part 가격에 기입하며, 명칭, 개수, 단위 또한 기입.
- 1 & 2차 line 인력수 : 해당 고장모드에 대해 1 & 2차 line의 정비작업에 필요한 인원

- 1 & 2차 line 인시 : 해당 고장모드에 대해 1 & 2차 line에서 해당 부품의 정비작업을 위해 소요되는 총 시간
- 3차 shop 인력수 : 해당 고장모드에 대해 3차 라인의 정비작업에 필요한 인원, 있을 경우 입력
- 3차 shop 인시 : 해당 고장모드에 대해 3차 라인에서 해당 부품의 정비작업을 위해 소요되는 총 시간, 있을 경우 입력
- 비고 : 참고사항 기입



[그림 166]보수정비정보 DB 템플릿(안)

○ Preventive Maintenance DB sheet 각 컬럼명에 대한 설명

PM 각 shop에 대한 정의 :
1,2차 shop (라인 또는 경정비창) : 교환, Overhaul, 점검, 청소
3차 shop (중정비창) : 교환, Overhaul, 점검, 청소

- Item ID : LRU 단위의 아이템 분류 코드
- Item 명 : Item 명칭
- 수량 : 각 차량에 장착된 Item 수량
- Item 가격 : Item의 가격
- 예방정비 업무코드 : 각 예방정비직무가 수행될 Maintenance category

※ 보기의 Maintenance Action Codes를 선택함. (IN, SV, RP, NDT, OV)
※ IN=외관 및 동작 상태검사, SV=청소, 오일/그리스주입 및 필터교환, RP=구성품(LRU) 교환, NDT=비파괴검사, OV=장치 중정비 (중정비를 위

한 장치탈부착시간 포함) 단, PM 정검시 확인된 고장은 모두 CM으로 간주, 따라서 PM에는 정해진 유지보수 업무만 있으며, 수리 업무는 없는 것으로 정의.

※한 부품에 주기별 여러 예방정비 업무가 있으므로 수행하는 모든 업무에 대한 내용을 추가하도록 한다.

- 예방정비 업무 : 해당 주기에 수행하는 예방정비 유지보수 업무
- 예방정비 주기 : 해당 부품의 예방정비 주기
- 주기 단위(㎞, d, m, y) : 정비 주기의 단위 (운행 km, 혹은 일상, 월상검사 등)
- 1 & 2차 line 재료비용 : 해당 장치에 대해 1 & 2차 line에서 수행하는 예방정비시 발생하는 교환품 및 소모품 재료비용 비용
  ※ 교환품의 비용은 Spare Part 가격에 기입하며 이때의 개수 단위 명기, 부가적인 소모품 비용은 1 & 2차 line의 Consumable Part 가격에 기입하며, 이때의 명칭, 개수, 단위 또한 기입하도록 정의.
- 3차 shop 재료비용 : PM의 경우 CM과 달리 중정비시 해당 LRU 장치에 대한 점검 및 정규교환이 발생할 수 있으므로, 3차 라인에서 수행하는 예방정비시 발생하는 Spare Part에 대한 명칭과 개수 정보를 입력하며, LRU의 가격은 Spare Part와 동일. 3차 shop의 부가적인 소모품 비용은 3차의 Consumable Part 가격에 기입하며, 이때의 명칭, 개수, 단위 또한 기입하도록 정의.
- 1, 2차 shop 인력수 : 1,2차 라인의 정비작업에 필요한 인원
- 1st, 2nd line 인시 : 1,2차 라인에서 해당 부품의 정비작업을 위해 소요되는 총 시간
- 3차 shop 인력수 : 3차 라인의 정비작업에 필요한 인원
- 3차 shop 인시 : 3차 라인에서 해당 부품의 정비작업을 위해 소요되는 총 시간
- 비고 : 참고사항 기입

지금까지 본 연구에서 제안한 유지보수 정보 DB 템플릿의 개발과정에 대하여 설명하였다. 본 템플릿의 개발목적은 다양한 LCC 모델중 철도시스템 유지보수에 대한 기대비용 계산에 있다. 하지만

LCC 모델에 주어지는 요구조건은 다양하고 많으며 요구되는 정확도와 세부사항뿐 아니라 모델 사용자 또한 다양할 수 있다. 따라서 그 사용 환경 및 목적에 따라 필요한 유지보수정보 DB가 달라질 수 있으며, 이를 고려하여 유지보수정보 DB 템플릿의 항목과 정의는 달라져야 할 것으로 판단된다.

(2) 자기부상열차 완성차 LCC 예측 및 분석

본 연구에서는 지금까지 제안한 자기부상열차 시스템 유지보수비용 예측을 위한 CBS 모델 및 DB 구조 개발 결과를 바탕으로 완성차에 대하여 LCC 예측 및 분석을 수행하였다. 자기부상열차 완성차 LCC 예측 및 분석을 위한 대상 시스템으로는 상위 세부과제인 자기부상열차 완성차 RAMS 분석 대상 시스템과 연계하여 다음과 같이 9개 시스템으로 정하였다. 이 때 자기부상열차는 2량 1편성 차량을 기준으로 각 시스템별로 LCC 예측 및 분석에 필요한 수량을 산정하여 수행하였다. 그리고 LCC 비용의 예측은 LCC 비용의 핵심인 유지보수 비용을 중심으로 수행하였다.

- 방송 및 표시 장치
- 대차
- 연결기
- HVAC
- 추진 장치
- TCMS
- 부상 장치
- 제동 장치
- 출입문 장치

그리고 자기부상열차 2량 1편성에 대한 예상 연간운행거리, 수명, 유지보수 인건비, 환율 등 필수적인 글로벌 데이터 항목은 표 2.1.1과 같이 운영시나리오를 바탕으로 가정하여 사용하였으며, 보수 및 예방정비 항목에 관해서는 해당 장치의 제작사 조사를 통하여 수집하였다.

[표 112]글로벌 데이터 항목 및 조사 내용

Manhour cost	9,375원 (= 월평균 1,500,000원 / 근무일 수 20일 / 8시간 근무)
Number of trains	2량 1편성
Operation distance	49,093 km/y
Life Cycle Length	25 년 (내구연한)
Exchange rate	$1=1300원

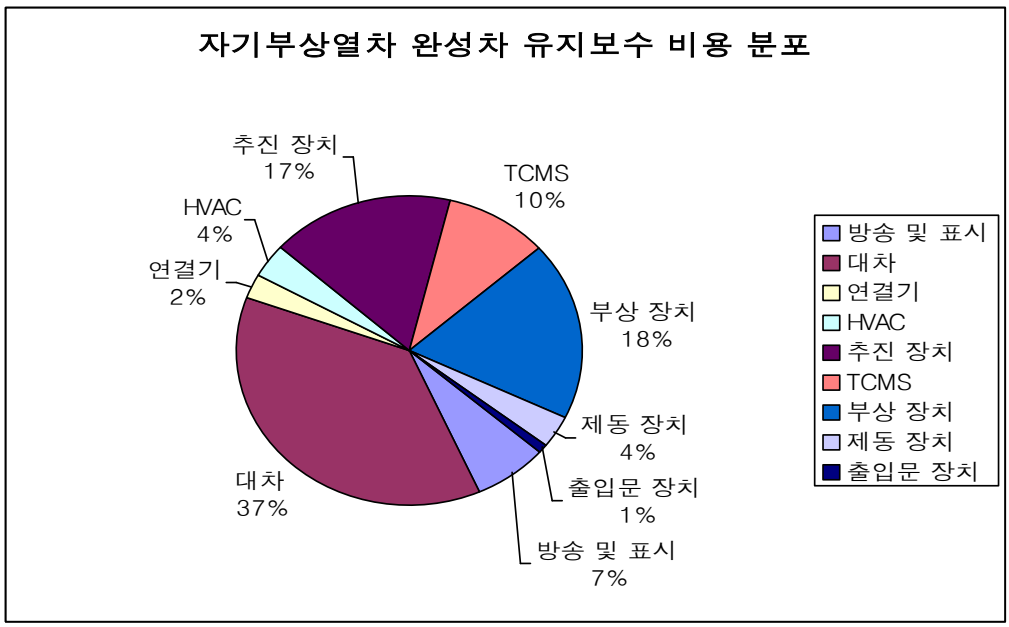
[표 113]자기부상열차 완성차 유지보수 비용 계산 결과

시스템	CM (25년) [원]			PM (25년) [원]			CM+PM Total [원]
	인건비	재료비	총 CM	인건비	재료비	총 PM	
방송 및 표시	967,425	95,199,098	96,166,523	4,684,375	780,000	5,464,375	101,630,898
대차	3,908	21,500	25,408	190,425,000	345,600,000	536,025,000	536,050,408
연결기	60,375	69,425	129,800	13,110,000	22,000,000	35,110,000	35,239,800
HVAC	5,186,600	7,134,675	12,321,275	38,169,375	489,424	38,658,799	50,980,074
추진 장치	2,106,675	61,104,350	63,211,025	82,696,875	103,066,400	185,763,275	248,974,300
TCMS	86,725	140,618,300	140,705,025	0	0	0	140,705,025
부상 장치	1,542,150	144,503,025	146,045,175	120,210,000	0	120,210,000	266,255,175
제동 장치	459,900	11,199,325	11,659,225	5,833,125	33,096,000	38,929,125	50,588,350
출입문 장치	37,699	76,525	114,224	8,886,406	1,140,000	10,026,406	10,140,630
누계	10,451,482	459,926,223	470,377,680	464,015,181	506,171,824	970,186,980	1,440,564,660

계산결과 자기부상열차 완성차(9개 시스템 기준)에 대한 유지보수 비용은 위와 같이 예측되었다. 자기부상열차 완성차의 경우에는 현재의 시스템 사양 예측값을 가질 경우 2량1편성 기준으로 25년 동안 약 14억4천만원의 비용이 보수정비와 예방정비에 사용될 것으로 예측되었다.

그리고 이러한 예측 값에서 각 장치별로 차지하는 비용은 그림 2.1.1과 같이 서로 다르며, 자기부상열차 완성차의 주요 장치 중에서는 대차에 대한 유지보수 비용이 37%로 가장 많이 차지하는 것으로 예측되었다. 그리고 그 뒤를 따라 부상 장치, 추진 장치, TCMS 순서로 유지보수 비용이 많이 드는 것으로 예측되었다. 특히 이들 4개의 시스템이 자기부상열차 완성차에서 차지하는 유지보수 비용은 전체 자기부상열차 완성차

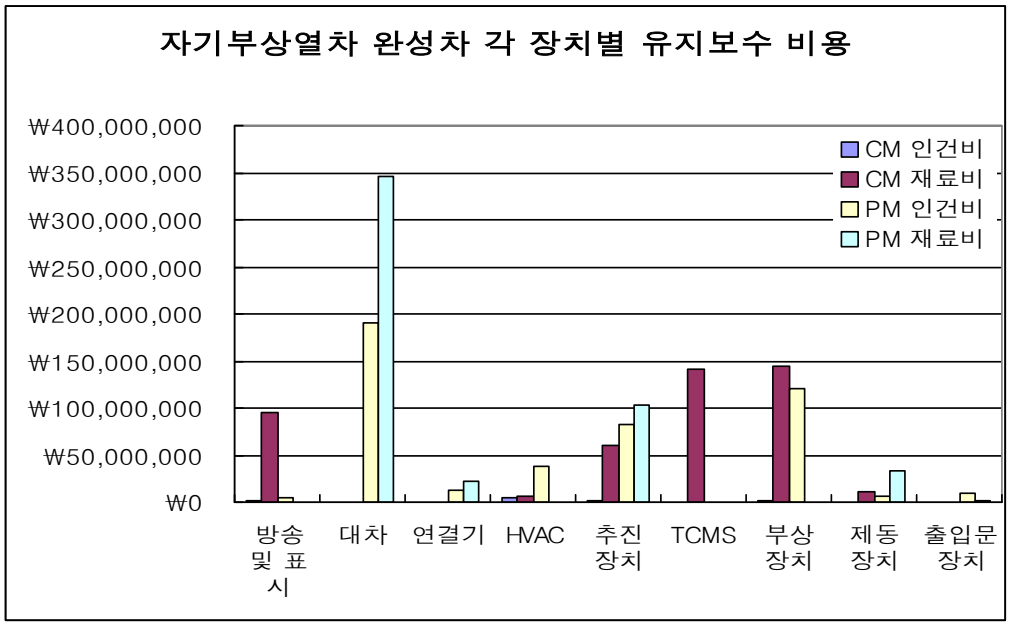
유지보수 비용의 82%로 대부분을 차지할 것으로 예측되었다. 따라서 이 결과를 바탕으로 할 때 현재의 시스템 사양 예측값을 가질 경우 이들 4개 시스템에 대한 유지보수 업무 및 계획이 총 수명주기 동안 자기부상열차의 전체 유지보수 비용을 좌우할 것을 예측할 수 있다. 그러므로 이들 시스템에 대한 유지보수 업무 및 계획의 세밀한 분석이 수행될 경우 현재의 유지보수 비용 예측치에 대한 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 167]자기부상열차 완성차 유지보수 비용 분포

하지만 예측된 유지보수 비용 중 보수정비와 예방정비에 대한 비율은 각 장치별로 서로 다르다. 그림 84 자기부상열차 완성차 각 장치별 유지보수 비용 분포와 같이 자기부상열차 완성차의 경우에는 대차, 연결기, HVAC, 추진 장치, 제동 장치, 출입문 장치의 경우 예방정비(PM)시 소요되는 인건비와 재료비 지출이 보수정비(CM)시 소요되는 인건비와 재료비 지출보다 많은 것으로 예측되었다. 하지만 나머지 시스템인 방송 및 표시 장치, TCMS, 부상 장치의 경우에는 예방정비(PM)보다 보수정비(PM)시 인건비와 재료비의 지출이 많은 것으로 예측되었다. 따라서

이 결과를 바탕으로 할 때, 유지보수 비용을 효과적으로 사용하기 위해서는 시스템에 따른 보수정비와 예방정비 비율의 특성을 고려해야 한다. 예로 앞서 설명한 것과 같이 전체 자기부상열차 완성차 유지보수 비용의 82%를 차지할 것으로 예측된 4개 시스템에 대한 유지보수 업무 및 계획 분석에 있어서도, 대차와 추진 장치의 경우에는 예방정비(PM)에 대한 유지보수 업무 및 계획에 보다 초점을 맞추어 분석이 이루어질 필요가 있으며, 부상 장치와 TCMS의 경우에는 보수정비에 대한 유지보수 업무 및 계획에 보다 초점을 맞추어 분석이 이루어져야 그 효과가 높을 것으로 판단된다.



[그림 168]자기부상열차 완성차 각 장치별 유지보수 비용 분포

마지막으로 부록의 각 장치별 예방정비와 보수정비 비용 예측 그래프에서 알 수 있듯이, 보수정비와 예방정비 내에서도 각 장치별 특성성에 따라 인건비와 재료비 지출간의 비율은 서로 다르며, 또한 일정한 주기로 수행되는 예방정비 업무의 경우에도 각 장치의 년도별 예방보수 비용 지출 패턴은 서로 다른 것을 금번 자기부상열차 완성차 유지보수 비용 예측을 통해 확인하였다.

본 연구에서는 지금까지 제안한 자기부상열차의 CBS 모델 및 DB 구

조 개발 결과를 바탕으로, 자기부상열차 완성차에 대하여 유지보수 비용을 중심으로 LCC 예측 및 분석을 수행하였다. 그리고 이렇게 예측한 유비보수 비용은 향후 자기부상열차 운영사에게 있어 25년 동안 운행시 유지보수에 소요되는 인건비와 재료비 등의 예측을 통하여 효율적으로 유지보수 예산을 계획하고, 운영할 수 있는 근거 자료로서 활용할 수 있을 것이라 판단된다.

러. 수명주기비용 예측 소프트웨어 개발 및 DB화

본 절에서는 수명주기비용 예측결과의 데이터베이스화를 위한 수명주기비용 예측 소프트웨어의 기능요구사항 및 데이터베이스 요구사항을 정의하였으며, 이를 위한 수명주기비용 예측 소프트웨어의 개발 및 출력결과에 대해 설명하였다.

(1) LCC 소프트웨어 요구사항

(가) LCC 예측 소프트웨어 기능요구사항

본 절에서는 자기부상열차 시스템 수명주기비용(Life cycle cost : LCC, 이하 LCC) 예측 소프트웨어 개발을 위한 요구기능을 정의하였으며 수명주기비용 예측 프로그램은 다음의 기능을 만족할 수 있도록 설계되고 프로그래밍 되어야 한다.

프로그램 기능적 관점

① 자기부상열차의 도입시 필요한 비용과 수명주기동안 운행하는데 필요한 비용의 예측기능을 제공한다.

② 자기부상열차의 년간운행비용을 주요부품별 비용 프로파일형태로 제공한다.

③ 서브시스템(예. 제동장치) 단위로 도입 및 수명주기 동안 사용하는데 필요한 모든 비용의 예측기능을 제공한다.

④ 서브시스템(예. 제동장치) 단위로 년간운행에 필요한 비용 프로파일을 제공한다.

⑤ 서브시스템 A를 사용했을 경우와 B를 사용했을 경우에 대한 대안비교 기능을 제공한다.

⑥ 과거 데이터를 이용할 수 있도록 데이터의 로딩 및 조합기능을 제공한다.

프로그램 개발환경 및 관리방안 관점

① Windows 환경하의 프로그램 사용을 위한 표준 사용자 인터페이스

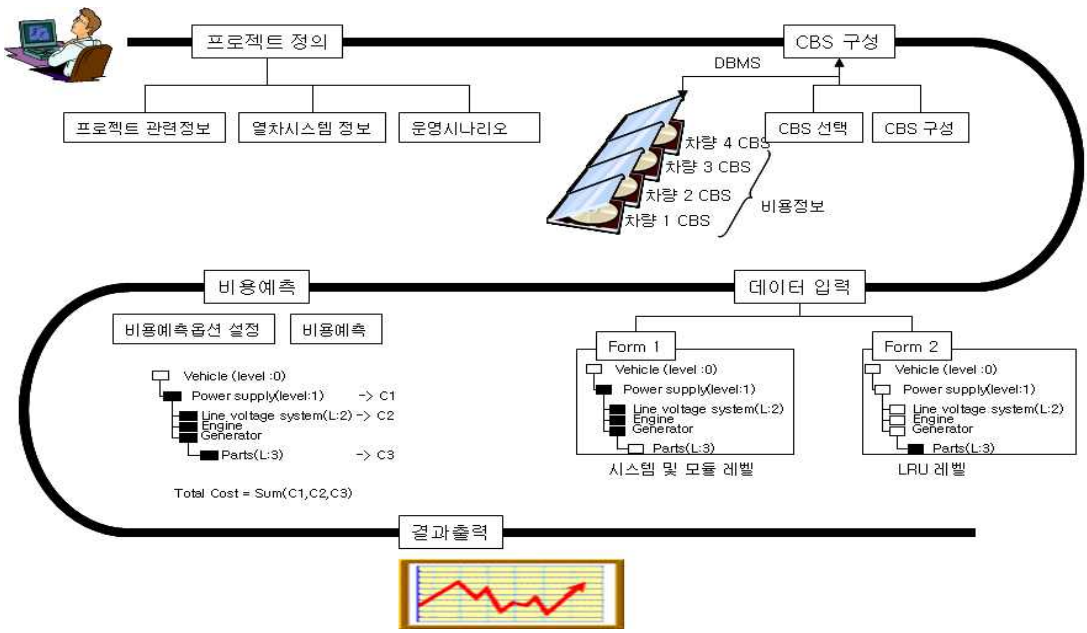
기능을 제공한다.

② 데이터베이스 관리를 위한 DBMS 기능(데이터베이스 생성, 수정, 삭제, 조합 등)을 제공한다.

③ C++계열의 프로그램 언어를 이용하여 프로그램을 개발해야 한다.

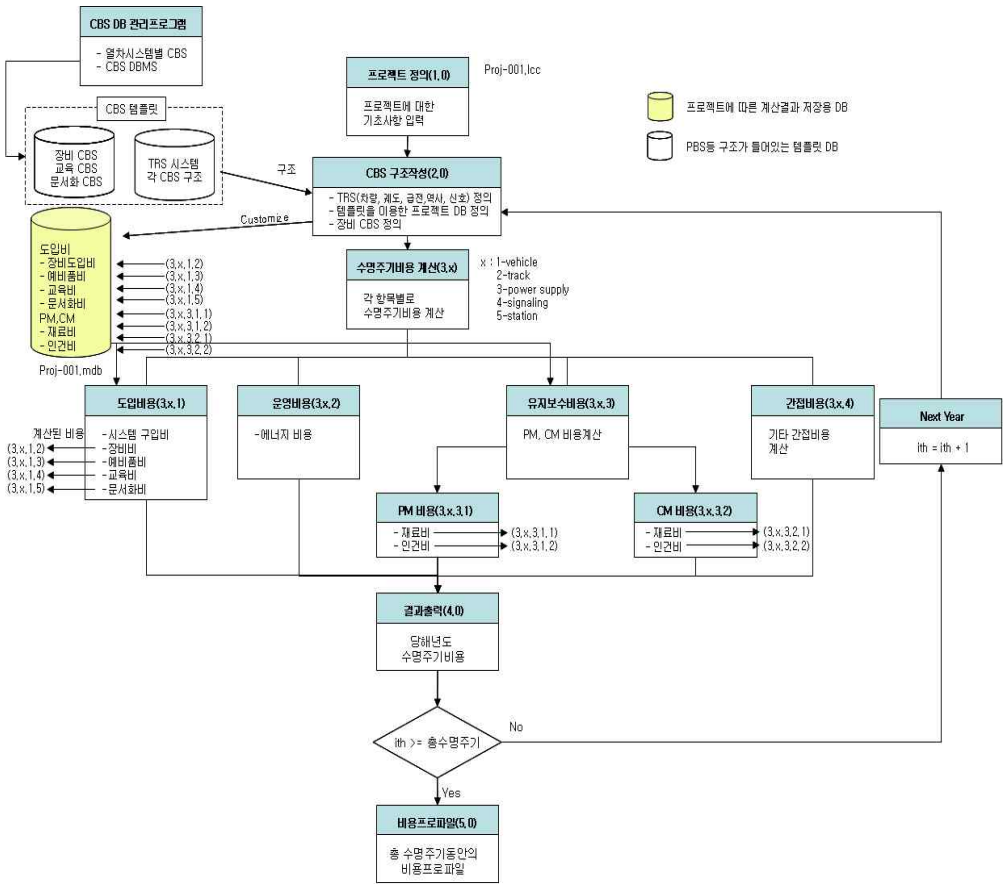
다음 그림은 개발하고자 하는 LCC 프로그램의 수행절차로써 LCC 예측은 프로젝트 정의, CBS 구성, 데이터 입력, 비용예측 및 결과 출력의 과정을 거친다.

- 프로젝트 정의 : 해석을 원하는 시스템에 대한 정보, LCC 해석을 수행하는 기관 등의 정보, 해석조건 등을 정의한다.
- CBS 구성 : 기존의 CBS DB로부터 적절한 CBS 트리(Tree)를 추출하여 완성된 CBS Tree 구조를 만든다.
- 데이터입력: 템플릿으로부터 불러온 비용데이터 검토, 데이터 수정 및 추가적인 데이터를 입력한다.
- 비용예측 : CBS를 기반으로 도입 및 유지보수데이터를 이용하여 수명주기동안 비용을 계산한다.
- 결과출력 : 총수명주기비용, 비용프로파일 등 예측결과를 출력한다.



[그림 169]수명주기비용 예측 소프트웨어 흐름도

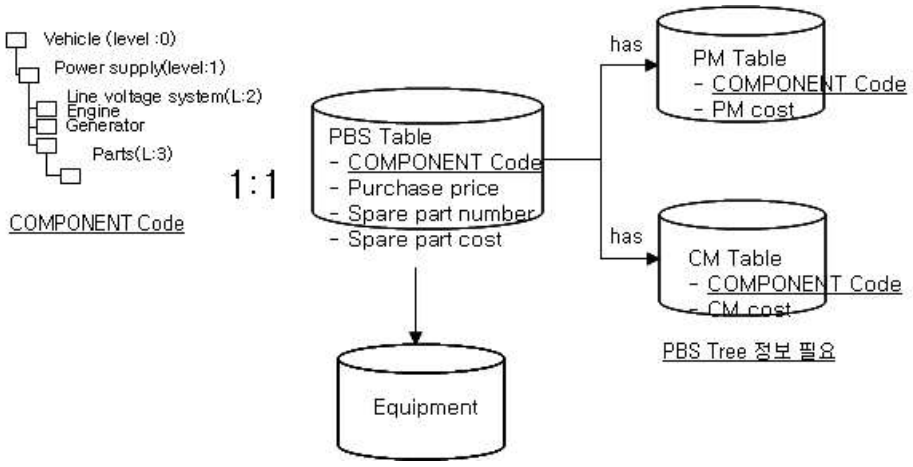
다음 그림은 개발하고자 하는 소프트웨어의 기능블럭도로써 각 모듈의 연결관계를 나타낸다.



[그림 170]수명주기비용 예측 소프트웨어 기능블럭도

(나) 데이터베이스 기능요구사항

개발하고자 하는 데이터베이스 프로그램은 수명주기비용 예측을 위한 입력데이터 및 출력결과의 저장을 위해 다음의 기능을 만족할 수 있도록 설계되고 프로그래밍 되어야 한다.



[그림 171]차량시스템을 위한 데이터베이스 테이블 연결관계 구성도

○ 데이터베이스 기능

① 데이터베이스는 다음과 같은 기능을 수행할 수 있어야 하며 이를 적절히 수행할 수 있는 데이터베이스 시스템(MS-access, MS sql, Oracle 등)이 선정되어야 한다.

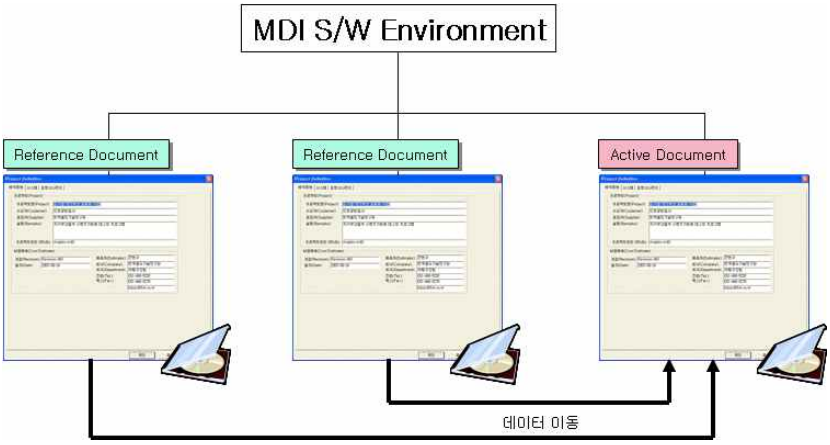
② 데이터베이스에는 LCC 계산을 위한 비용정보, 유지보수정보 등이 수록되어야 하며 한 프로젝트당 1만개의 레코드가 수록될 수 있어야 한다.

③ 관리자 및 사용자가 데이터를 관리(복제-전체 또는 일부, 수정, 삭제 등)할 수 있는 기능 및 사용자 인터페이스가 제공되어야 한다.

④ 여러 프로젝트를 불러 놓고 필요한 레코드를 추출하여 사용할 수 있는 조합기능이 제공되어야 한다.

⑤ 데이터베이스는 Single user interface를 기준으로 한다.

⑥ 데이터베이스는 Excel로 만들어진 유지보수정보파일과 호환성을 유지하여야 한다. 즉 Excel데이터를 DB파일에 수록 또는 DB 파일의 내용이 Excel 파일로 생성될 수 있는 모듈이 제공되어야 한다.



[그림 172]MDI 환경에서의 DB 관리

○ 데이터베이스 구성

① 1개의 데이터베이스 파일에는 (PBS, PM, CM, Equipment)의 4개의 테이블을 갖는다.

② 데이터베이스는 차량시스템뿐만 아니라 궤도/신호/전력 시스템에 대해서도 구성되어야 하므로 향후 이를 추가할 수 있도록 생성되어야 한다.

○ 데이터베이스 관리

① 데이터베이스는 시스템 DB와 사용자 DB로 나뉘다.

② 시스템 DB는 열차시스템에 대한 정제된 CBS 정보가 수록되어 있는 DB이다.

③ 사용자 DB는 해석대상으로 하고 있는 열차시스템을 위하여 해석도중 프로그램에서 생성된 DB 이다.

④ 시스템 DB는 관리자만이 데이터베이스 관리시스템(DBMS)을 이용하여 접근할 수 있으며 데이터의 수정/삭제/추가 등의 기능을 수행한다.

⑤ 사용자 DB는 프로그램의 사용자가 자유로이 수정/삭제/추가 등의 기능을 수행할 수 있다.

○ 데이터베이스 운영

① PBS Table에서는 Component Code를 Primary Key로 갖는다.

② Component Code는 열차시스템의 PBS와 1:1 매칭된다.

③ 동일한 Component Code라 할지라도 여러 개의 Maintenance Task를 가질 수 있기 때문에 PM 과 CM 테이블을 분리한다.

④ PBS Table의 Component Code 키값을 이용하여 PM Table과 CM Table의 레코드를 불러온다.

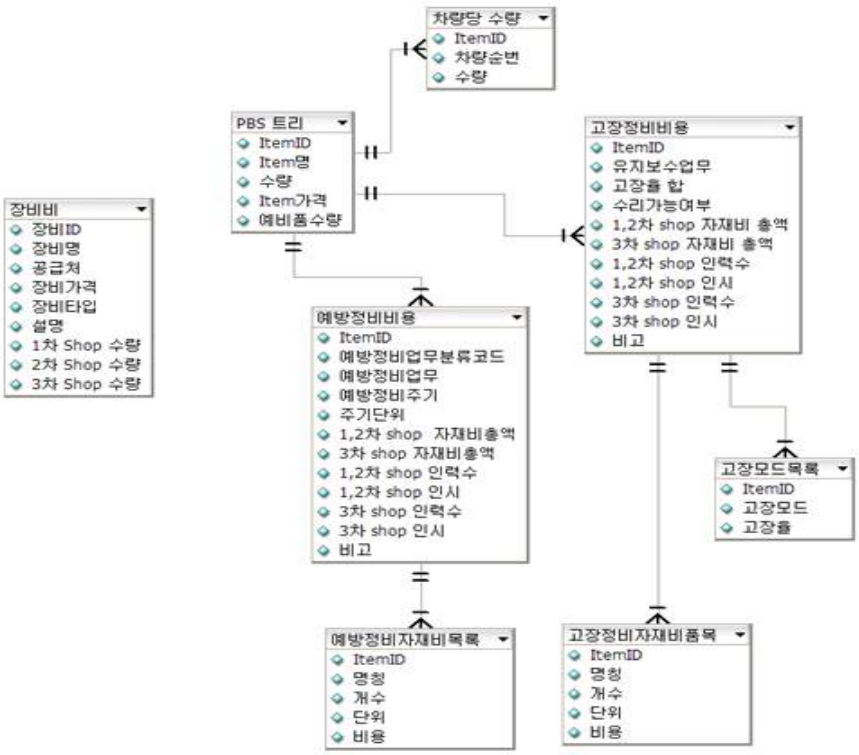
⑤ 기존의 열차시스템 데이터베이스들 중에 원하는 서브시스템들을 조합하여 해당 시스템에 맞는 새로운 데이터베이스를 만들 수 있는 기능을 제공한다.

⑥ PBS 테이블에는 Primary Key인 Component Code와 Component 특성 및 도입비, 예비품 비용 계산을 위한 정보가 입력된다.

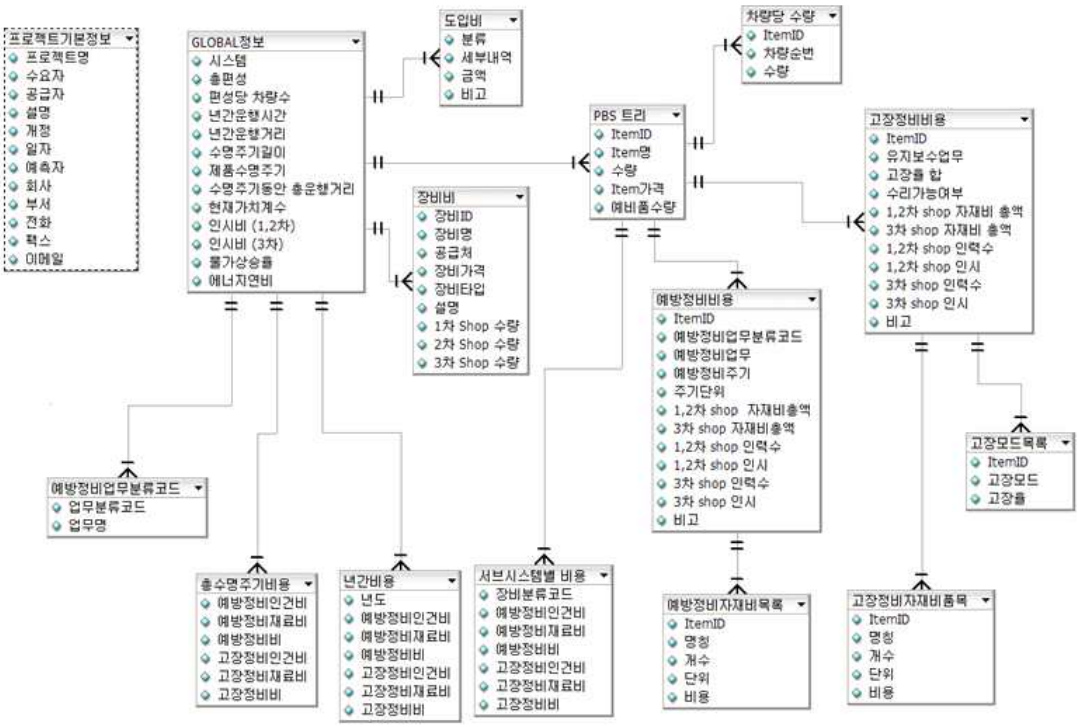
⑦ Maintenance task Code는 Component Code + Serial로 생성한다.

○ 데이터베이스 테이블 구성

앞서 제시된 기능을 만족하기 위하여 다음과 같은 테이블이 필요하며, 프로그램 개발과정에서 테이블 및 필드는 추가적으로 정의될 수 있다.



[그림 173]시스템 DB를 위한 필드연계관계



[그림 174]사용자 DB를 위한 필드연계관계

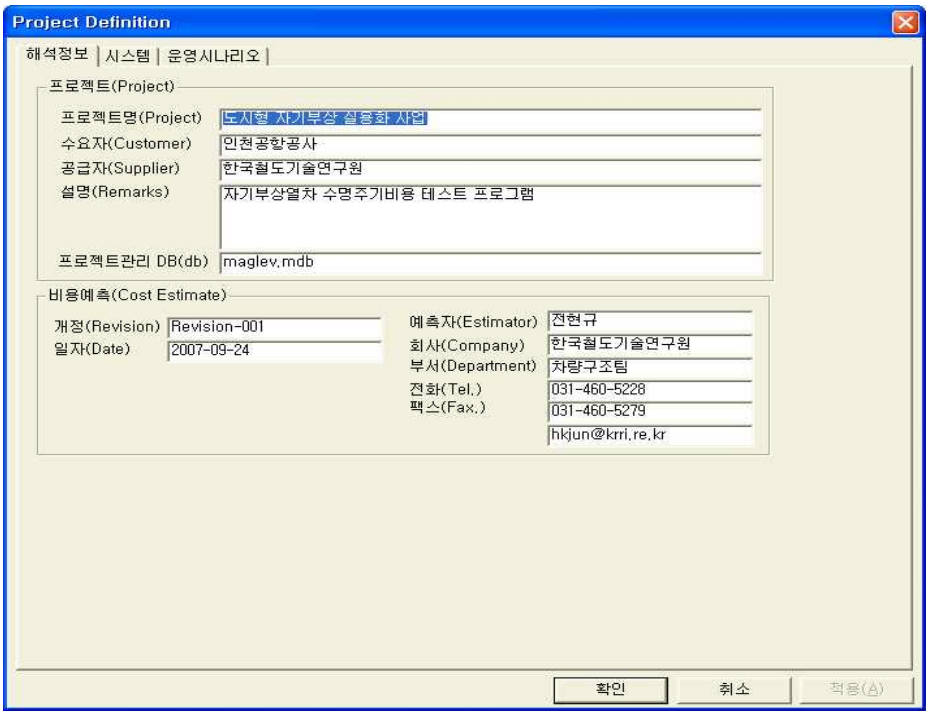
(2) 프로젝트 정의모듈

LCC 예측을 위한 작업단위를 프로젝트라 정의하며, LCC 예측은 프로젝트 단위로 이루어진다. 프로젝트 정의 단계에서는 해석정보, 열차시스템 정보, 운영시나리오, 비용예측을 위한 설정의 정보를 입력해야 한다.

(가) 해석정보

해석정보에서는 예측한 해석사례에 대한 정보가 6하 원칙에 의거하여 상세하게 기술되어야 하며 추후 보고과정에서 일목요연하게 설명되어야 한다.

- 언제 : 해석이 언제 수행되었는가 ?
- 어디서 : 어느 부서에서 수행되었는가
- 누가 : 해석을 수행한 사람이 누구인가 ?
- 무엇을 : 해석대상으로 한 시스템에 대한 정보
- 어떻게 : 해석을 수행한 방법은 어떻게 된는가 ?
- 왜 : 무슨 목적을 위해 수행되었는가 ?

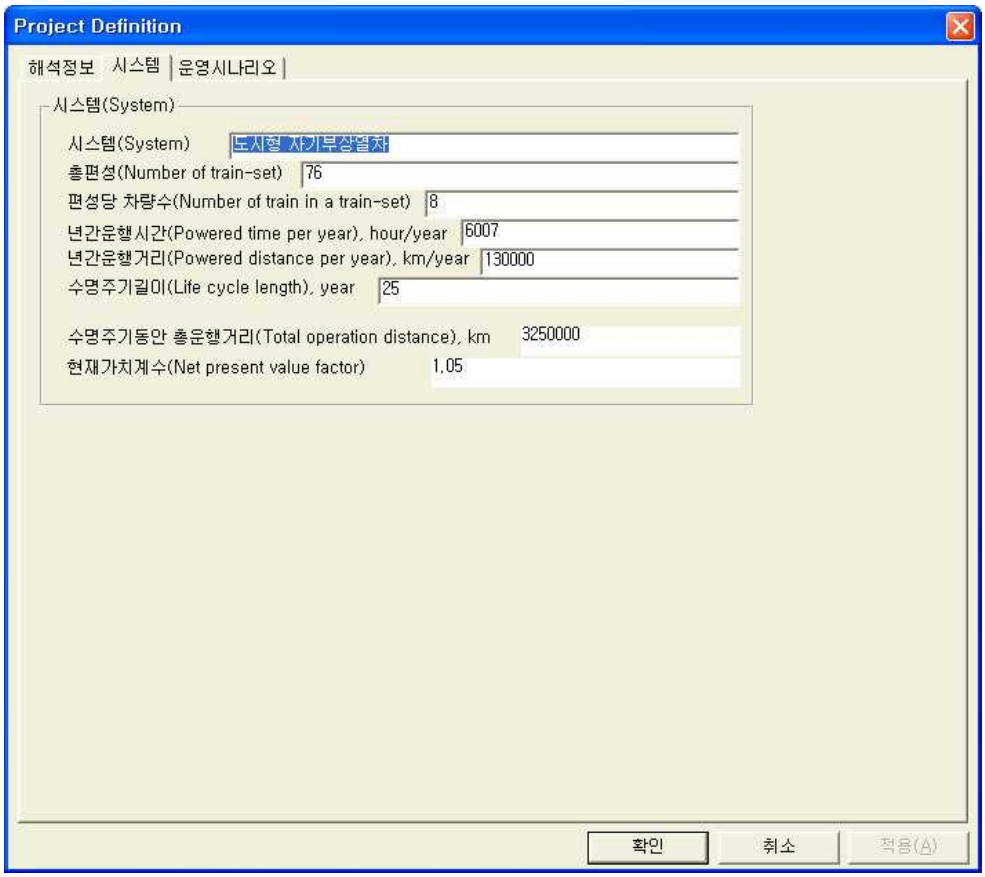


[그림 175]해석정보 입력화면(안)

(나) 시스템 정보

시스템 정보는 수명주기비용 예측을 위해 필요한 해석대상으로 하는 열차시스템의 정보가 입력되어야 하며, 추후 보고과정에서 일목요연하게 설명되어야 한다.

- 열차시스템명 :
- 총 편성
- 1 편성당 차량 수
- 년간평균 운행시간
- 년간평균 운행거리
- 수명주기
- 수명주기동안의 총 운행거리 등

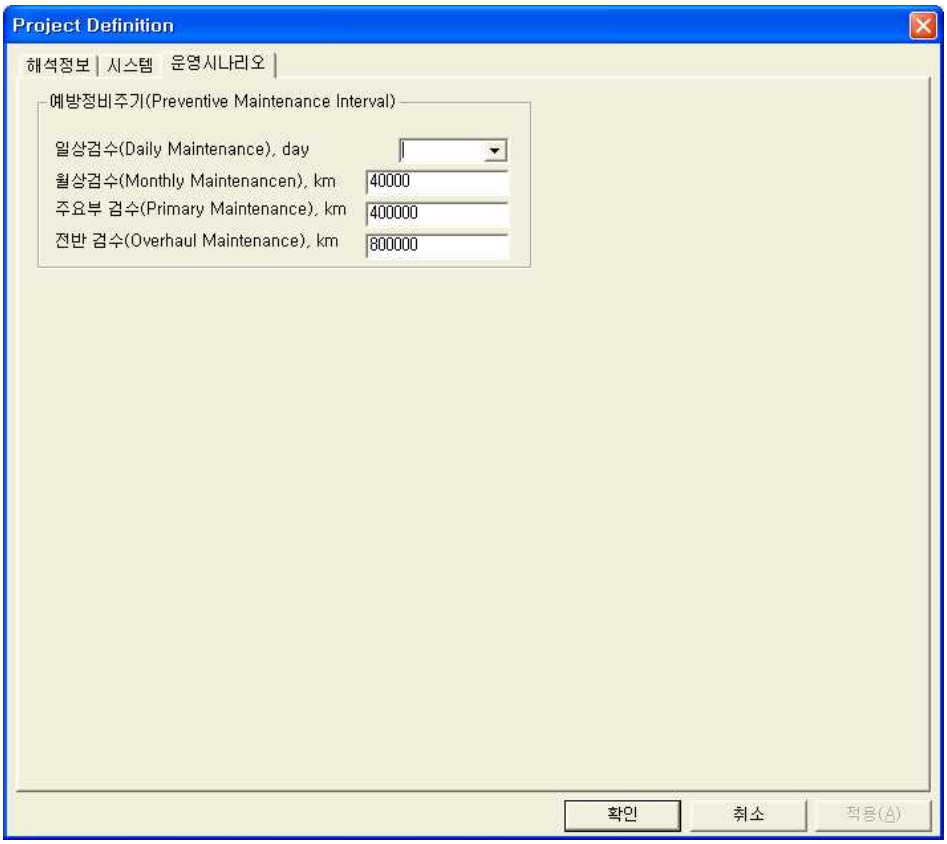


[그림 176]시스템정보 입력화면(안)

(다) 운영시나리오

운영시나리오는 열차시스템 운영을 위한 정보가 제공되어야 하며 특히 예방정비 및 고장정비에 대한 정보가 상세히 기술되어야 한다. 추후 레포트 과정에서 일목요연하게 설명되어야 한다.

- 일상검수 주기 :
- 월상검수 주기 :
- 중간검수 주기 :
- 전반검수 주기 :
- 인시비 :
- 예방정비업무 코드 :
- 비용단위($, \) 등



[그림 177]운영시나리오 입력화면(안)

(3) 비용계층구조 관리모듈

비용계층구조 작성의 단계는 전체 프로그램 중 가장 중요한 부분으로 해석사례에 포함하고자 하는 시스템을 선택하고, 데이터베이스로부터 필요한 비용계층구조 정보를 로딩하며, 필요한 경우 데이터를 수정하는 기능을 가지고 있어야 한다. 또한 DBMS 모듈과의 연동을 통하여 수정된 데이터를 DB에 저장할 수 있어야 한다.

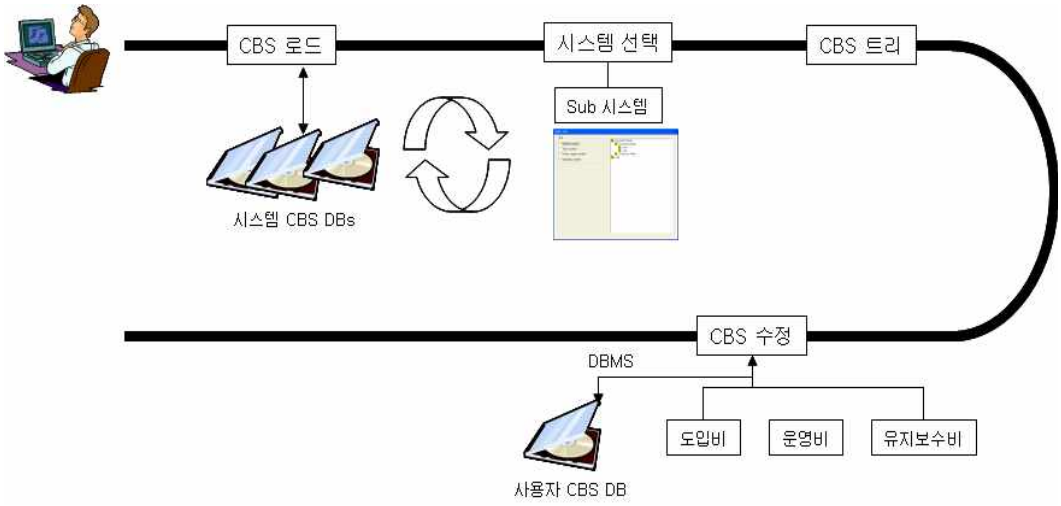
① 차량시스템 타입선택(전동차, 자기부상열차, 경량전철 등)을 통하여 기본 비용계층구조 스트럭처 생성

② 기존 해석사례를 로딩하여 서브시스템 단위에서 기본 비용계층구조 스트럭처의 부분교체, 수정, 삭제 등의 작업을 수행

③ Component 단위에서 비용계층구조 데이터의 변경

④ 데이터베이스 이를 또는 키(key)값을 입력하여 사용자 해석사례 DB

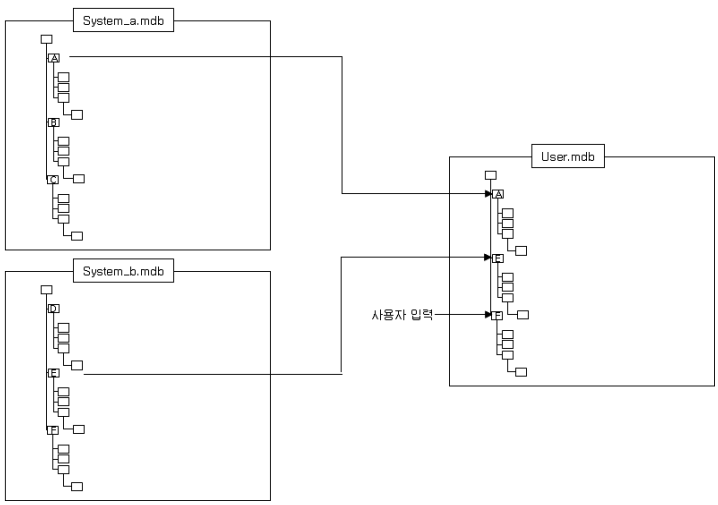
로 저장



[그림 178]비용계층구조 관리 프로세스

(가) 시스템 DB 및 비용계층구조 관리모듈

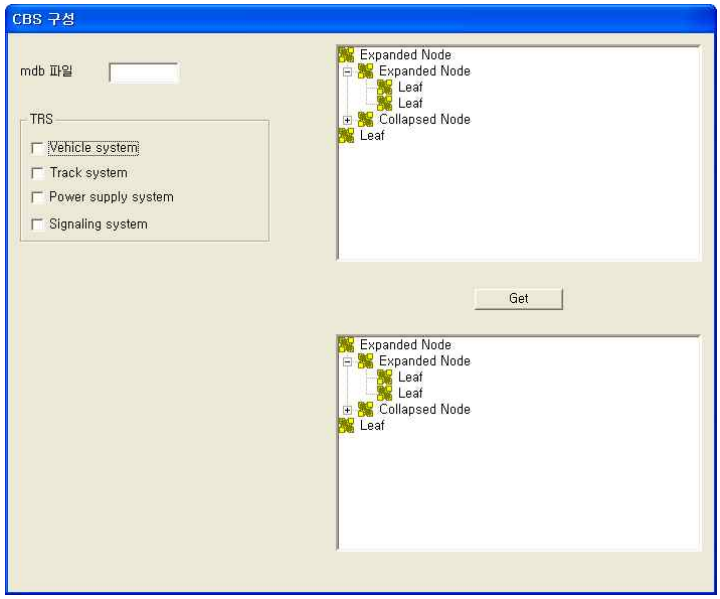
① 데이터베이스 파일은 열차 시스템 단위로 생성되기 때문에 여러 개의 열차시스템 중 필요한 서브시스템만을 선택하여 사용자 DB를 만들 수 있어야 한다. 즉 데이터베이스 파일을 열고 열차시스템 트리에서 수명주기비용을 예측하고자 하는 대상시스템을 선택하면 대상시스템의 PBS 구조가 사용자 트리(tree)로 이동할 수 있어야 한다.



[그림 179]비용계층구조

② 체크박스를 해제하면 해당서브시스템 또는 하위시스템은 수명주기 비용 계산시 고려되지 않아야 한다.

③ 차량 및 차량 외 시스템도 같은 방식으로 운영될 수 있어야 한다.



[그림 180]비용계층구조 선택을 위한 다이얼로그 박스

(나) 시스템 도입비 비용계층구조

시스템 도입 비용계층구조는 시스템 도입을 위해 필요한 컴포넌트의 도입에 소요되는 비용계산을 위한 데이터의 입력기능이 제공되어야 한다.

구입비 : 시스템 구입 및 상업운전 이전의 모든 활동에 따른 비용을 포함한다.

장비비 : 유지보수를 수행하기 위해 필요한 장비에 대한 비용을 포함한다.

예비품비: 예비품에 대한 비용을 포함한다.

① 시스템 도입비용정보 입력

시스템 도입비는 시스템 도입을 위한 엔지니어링 비용, 설치비용, 인수시험 비용과 서브시스템 가격을 누적하여 계산한 시스템 비용으로 구성한다.(시스템 가격을 입력하는 것은 향후 대안비교를 할 때 필요) 각각의 구입비는 Component ID 키를 Primary 키로 하여 PBS 트리를

이용하여 입력한다. 예비품비는 시스템에 요구되는 가용성을 유지하기 위하여 초기 도입되는 예비품에 대한 비용으로 각 예비품에 따른 수량 ×구입단가로 계산한다. 예비품비의 계산은 자기부상열차의 PBS를 기반으로 하여 가능한 한 하위레벨까지 시스템을 확장한 후 산출된 LRU의 개수와 가격으로 계산한다.

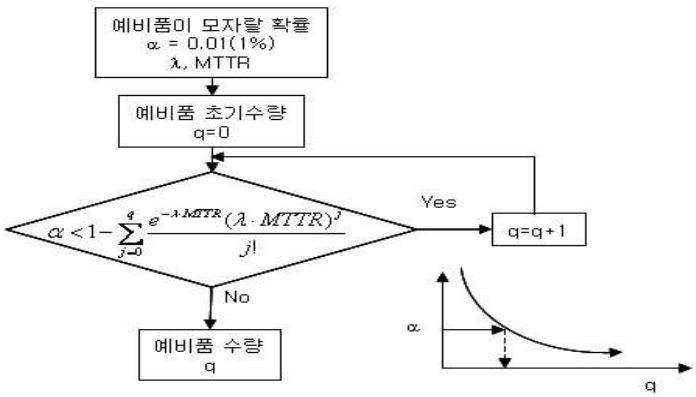
$$\text{예비품비} = \sum_{i=1}^{n} no_{(spare)i} \times CSP_i$$

여기서, i=예비품의 종류

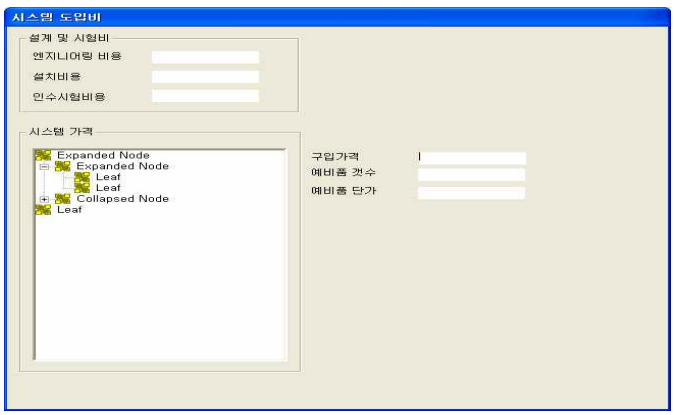
no(spare)i = 필요한 예비품 수량

CSPi = 예비품 가격

시스템의 운용을 위해 필요한 예비품의 개수는 사용자가 직접 입력하거나 시스템이 예측한 데이터를 이용한다. 시스템이 이용하는 예비품 개수 예측이론은 Cheng 모델이다.



동일한 부품이 n개 있을 경우는 ???



[그림 181]예비품 수량 예측을 위한 다이얼로그 박스

② 장비 구입비용정보 입력

장비구입비는 시스템을 유지하기 위하여 정비창에서 필요한 장비들의 총 비용으로 각각 장비의 종류에 따른 수량×단가=비용으로 계산한다.

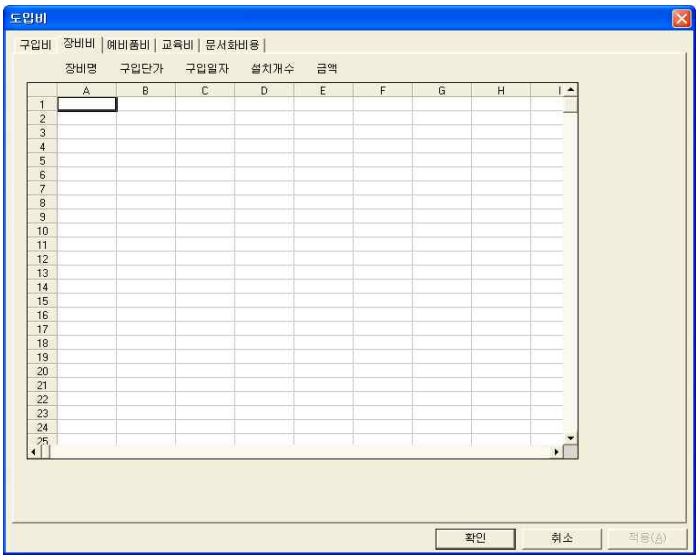
$$\text{장비비} = \sum_{i=1}^{n} no_{(equip)i} \times CE_i$$

여기서, i=장비의 종류

no(equip)i = 필요한 장비의 수량

CEi = Unit 장비 가격

한편, 년간 장비운영을 위해 필요한 유지보수비용은 별도의 값을 입력하거나 구입비의 몇 % 형태로 입력하여 산출하고 이를 장비비에 더하여 총 장비의 구입 및 운영비를 계산하도록 한다.



[그림 182]장비구입비용 예측을 위한 다이얼로그 박스

(다) 유지보수비 비용계층구조

유지보수 비용계층구조 모듈은 컴포넌트의 유지보수작업에 소요되는 비용계산을 위한 데이터를 입력하기 위한 것으로 사용자 데이터베이스와 연동되어 있으며 화면 왼쪽의 트리구조를 이용하여 원하는 DB 레코드에 접근할 수 있어야 한다. DB 레코드에 접근하면 오른쪽의 입력창에 각각의 필드가 입력 또는 수정될 수 있어야 한다.

1) 예방정비비

예방정비비는 예방정비활동을 위해 소요되는 비용으로 크게 인건비 및 재료비로 구성한다.

$$\text{총 예방정비비용} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(\text{인건비}_j + \text{재료비}_j)$$

여기서

i= 예방정비가 필요한 SRU의 종류

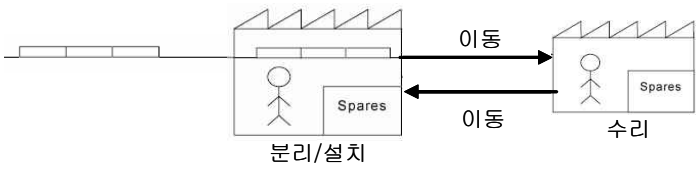
j= 정비주기(일상, 월상, 중간검수, 전반검수)

인건비j=i번째 SRU의 j번째 정비주기시 소요되는 인건비

재료비j=i번째 SRU의 j번째 정비주기시 소요되는 재료비

여기에서 인건비는 예방정비활동을 위해 소요되는 순수 인건비로 정의된다. 즉, 물류보급을 위해 기다리는 시간 등은 고려하지 않으며, 예를 들어 예방정비 활동이 모듈의 분리, 분해, 청소, 조립 및 설치 작업으로 이루어져 있다고 하면 각각의 작업을 수행하는데 필요한 소요시간과 이를 위해 필요한 작업자의 단위시간당 기술력 및 기술력에 따른 인시비를 이용하여 계산한다.

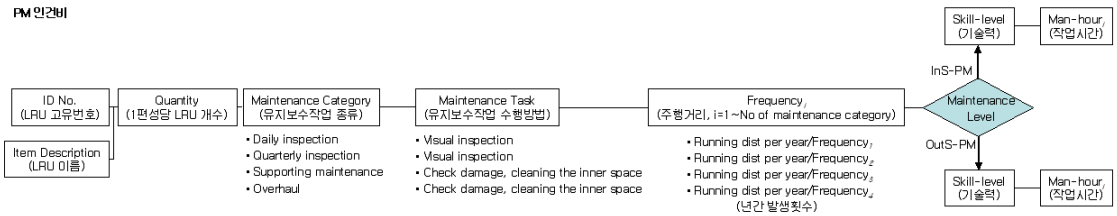
$$\text{인건비} = \sum_{i=1}^{n}\text{대상열차수} \times PM\text{횟수}_i \times \text{차량당부품수} \times PM\text{당 소요시간}_i \times \text{인시비}_i$$



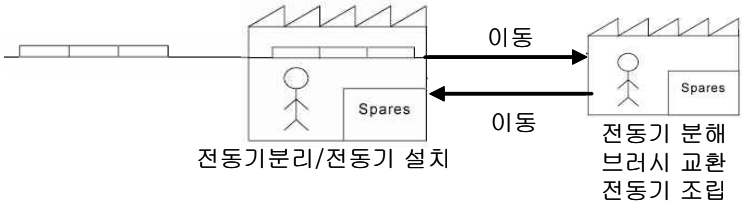
PM당 소요시간=분리시간+수리시간+설치시간

년간 예방정비활동의 횟수는 년간 상업운행거리와 예방유지보수주기(frequency)로부터 산출할 수 있으며 예방정비를 위해 소요되는 시간 및 인시비는 내부수행 또는 외주에 따라 기술, 소요시간 및 인시비가

달라질 수 있으므로 이를 구분함으로써 적절한 비용산출이 가능하도록 하였다.



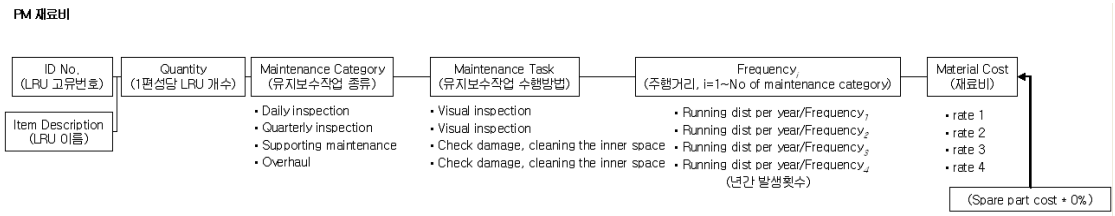
예방정비활동을 위한 재료비는 크게 수명주기가 도래하여 교환되는 부품의 부품비와 청소, 그리스 도포, 윤활, 분해 및 점검 등에 필요한 접착제, 나사, 볼트 등의 소모품(consumable)비로 구성된다. 부품비는 교환이 일어나는 마지막 단위의 부품비용으로 계산한다. 전동기의 브러시를 교환할 경우를 예를 들면 대차에서 전동기를 대차에서 분리하고 전동기를 분해하며 브러시를 교체하고 전동기를 조립하고 전동기를 대차에 설치하는 것의 일련의 작업으로 볼 수 있다. 이 경우 부품비는 교환을 위한 순수 브러시 비용이며, 이러한 작업을 수행하기 위한 일련의 비용은 인건비로 보충된다.



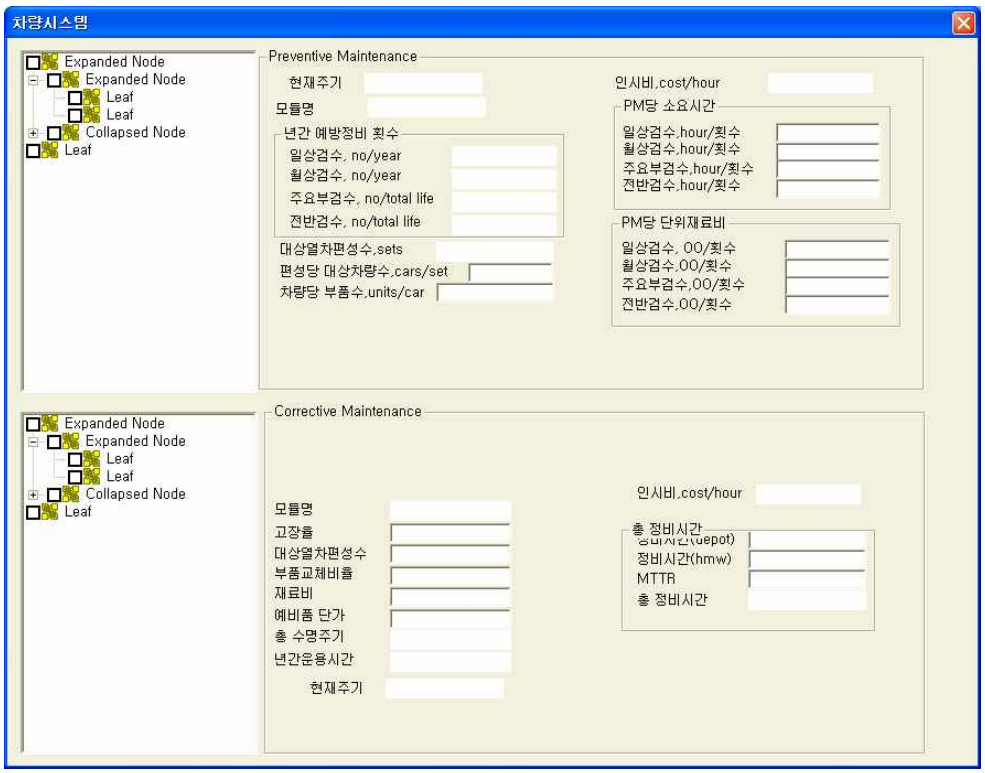
인건비 = 전동기 분리/분해/교환/조립/설치에 소요되는 시간으로부터 비용계산
재료비 = 브러시 비용 + 부대비용

일반적으로 소모품비는 예방정비활동의 종류 및 부품의 상태에 따라 달라지므로 매번 정확한 비용을 산출하기는 어렵다. 따라서 비용산출이 용이할 경우에는 직접 비용을 입력하고 비용산출이 용이하지 않을 경우에는 부품 값의 일정한 비율로 간접적으로 계상한다.

$$\text{재료비} = \sum_{i=1}^{n} \text{대상열차수} \times PM\text{횟수}_i \times \text{차량당부품수} \times (\text{예비품및기타재료비})_i$$



LRU 단위의 Item 분류 코드						Item 명	각 차량에서의 LRU 수량			Item 가격	관리의 유지보수 업무를 식별하기 위해 사용하는 일련의 번호	예방정비 업무에 대한 고유 코드(M, S, RP, HOT, P/U, O/H)	예방정비 업무에 대한 설명	각 유지보수 업무의 주기. (이는 유지보수 분류에 따라 결정될 것이다)		기계 단위비용		유지보수 업무에 필요한 시간, 필요 인력 수				출력시 기타 사항과 관련한 모든 주석(유지보수 매뉴얼 참고 등)
Item ID						Item명	수량			Item 가격	업무 번호	예방정비 업무코드	예방정비 업무	예방정비 주기	주기 단위 (km/d/m/u)	1,2차 shop 자재 비용	3차 shop 자재비용	1,2차 shop		3차 shop		비고
L1	L2	L3	L4	L5	L6		1	2	Total									인력 수	인시	인력 수	인시	
1	3	0	0	0	0	TCMS	1	1	2													
1	3	1	0	0	0	중앙장치(CCU)	1	1	2	31,000,000	-	IN	Check PCB status Check the condition of connectors, cables, frame and each part,	3	y			2	2,00			25년간 Spare part수량: CCU (2EA)
1	3	1	1	0	0	VCPUS 보드	1	1	2	6,600,000												
1	3	1	2	0	0	VGWS 보드	1	1	2	6,800,000												
1	3	1	3	0	0	VDIS 보드	1	1	2	3,300,000												
1	3	1	4	0	0	VDOS 보드	1	1	2	3,900,000												
1	3	1	5	0	0	VPS 보드	1	1	2	4,800,000												
1	3	1	6	0	0	BP 보드	1	1	2	5,600,000												
1	3	2	0	0	0	MVB_IO	2	2	4	7,500,000	-	IN	Check PCB status Check the condition of connectors, cables, frame and each part,	3	y			1	1,50			25년간 Spare part수량: MVB_IO (2EA)
1	3	2	1	0	0	IRMIO-210 TOP	2	2	4	-												
1	3	2	2	0	0	IRMIO-210 BOTTON	2	2	4	-												
1	3	3	0	0	0	화면장치(DU)	1	1	2	1,200,000		IN	Check Screen Condition Check the condition of connectors, cables, frame and each part,	3	y			1	1,00			25년간 Spare part수량: DU (2EA)
SUM																						



[그림 183]예방정비비용 예측을 위한 다이얼로그 박스

2) 고장정비비

고장정비비용도 고장을 수리하기 위해 소요되는 인건비 및 재료비로 구성한다. 고장정비 비용은 고장이 발생하였을 때 파급되는 손실 및 사회적비용 등은 비용산출시 고려하지 않으며 단지 고장을 수리하기 위해 필요한 인건비 및 재료비로 한정한다. 또한 실제고장의 발생은 불규칙적으로 발생하나 모델의 단순화를 위하여 고장율을 토대로 일정한 주기마다 고장이 발생한다고 가정하며 총 수명주기 동안 발생할 것이라 예측되는 모든 고장비용을 계산하여 이를 수명주기로 나누어 년간 발생하는 고장정비비를 계산한다.

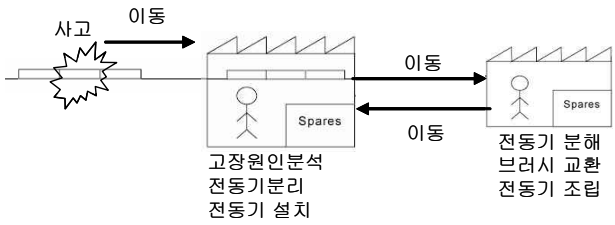
$$\text{고장정비비} = \sum_{i=1}^{n}(\text{인건비}_i + \text{재료비}_i)$$

고장정비를 위한 인건비는 년간 발생하는 총 보수발생횟수와 고장모드에 따른 수리시간 및 인시비로 계산한다. 고장발생횟수는 고장율(횟수/백만km)과 년간 운행거리로부터 산출하며, 수리시간은 열차복구를 위한 순수정비시간과 고장난 부품의 수리를 위해 필요한 부품수리시간의 합으로 계산한다. 고장율이 년간운행거리보다 긴 부품이 있으므로 년간 고장발생 횟수를 산출할 때에는 총 수명주기 기간중 발생할 수 있는 고장횟수를 계산하여 이를 수명주기로 나눔으로써 년간 발생할 수 있는 고장횟수를 산출한다.

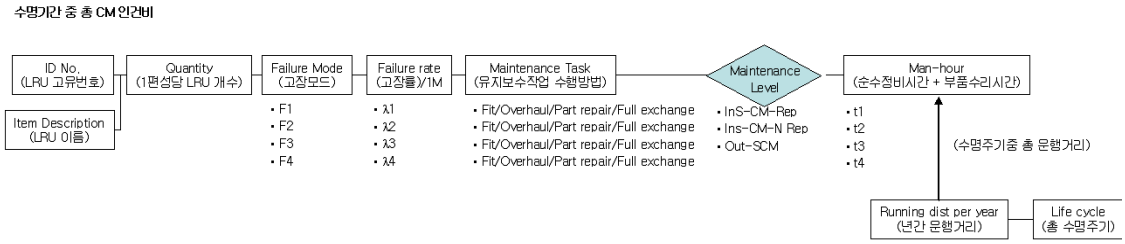
$$\text{인건비}i = \text{총대상열차수} \times \text{고장율}_i \times (\text{교체정비시간}_i + \text{수리정비시간}_i) \times \text{인시비} \times \text{가동시간}_i \times \text{수명주기}$$

앞서의 예와 같이 전동차에 사고가 발생하여 차량기지로 입고한 후에 사고원인을 분석하고 사고가 전동기 브러시의 접촉 불량으로 일어나 브러시를 교환할 경우를 예를 들면 대차에서 전동기를 대차에서 분리하고 전동기를 분해하며 브러시를 교체하고 전동기를 조립하고 전동기를 대차에 설치하는 것의 일련의 작업으로 볼 수 있다. 이

경우 부품비는 교환을 위한 순수 브러시 비용이며, 이러한 작업을 수행하기 위한 일련의 비용은 인건비로 보충된다.

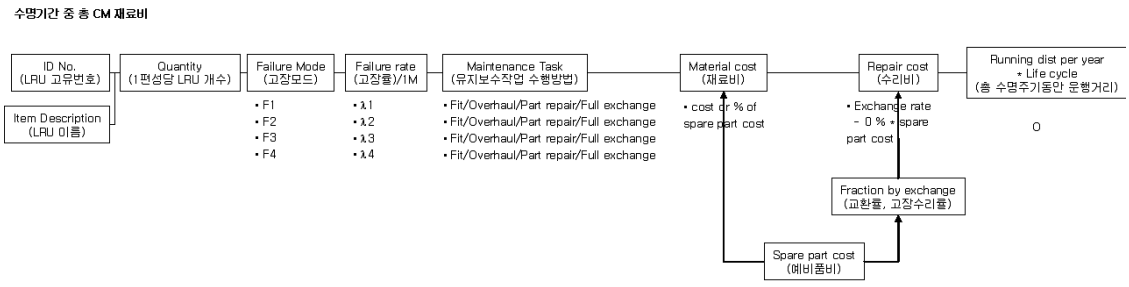


인건비 = 고장원인분석/전동기 분리/분해/교환/조립/설치에 소요되는 시간으로부터 비용계산
재료비 = 브러시 비용 + 부대비용

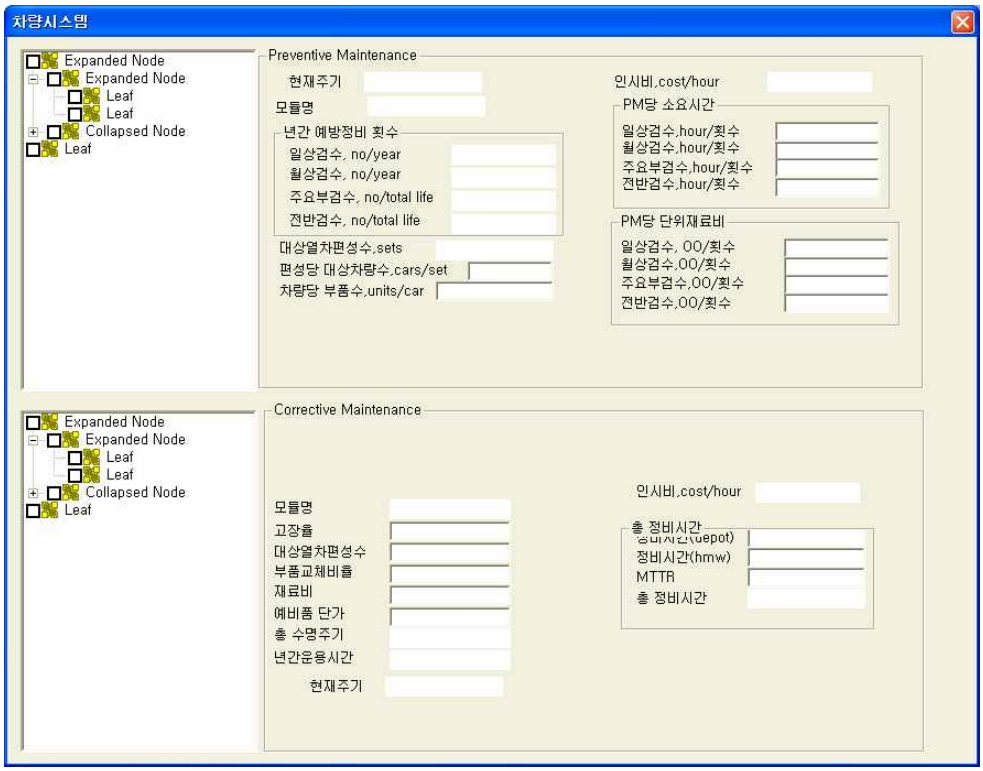


고장정비에 소요되는 재료비는 고장의 심각도에 따라 예비품 비용 및 소모품 비용이 다르므로 이를 고려하여 산출한다. 즉 고장의 수리가 부품의 교환을 동반하지 않고 검사 등으로 끝나면 재료비(부품비+소모품비) 발생 없이 인건비만 지출되며, 고장의 수리가 부품의 일부 교환 혹은 수리를 동반하면 예비품 비용 없이 소모품 비용만을 비용으로 계산한다. 또한 고장의 수리가 부품의 전체 교환으로 이루어지면 재료비는 예비품 비용과 이에 따른 소모품비용을 모두 포함하여 계산한다.

재료비i= 총대상열차수 × 고장율$_i$ × (예비품비,소모품비)$_i$ × 가동시간$_i$ × 수명주기



LRU 단위의 Item 분류 코드						Item 명	각 위량에서의 LRU 수량			Item 가격	FIE- 본선 시트론 항고장에 각 상한 LRU의 고장모드	고장정비 업무에 관한 설명	LRU 고장모드의 고장률 (평균 시간 당 고장 횟수)	수리가 가능한가의 여부를 나타냄	각 shop에서 고장 및 수리에 필요한 가격 단위비용		유지보수 업무에 필요한 시간, 필요 인력 수				유지나 기타 사항과 관련한 모든 주석(유지보수 매뉴
Item ID						Item명	수량			Item 가격	고장 모드	유지보수 업무	고장률 (in failure/Mh)	수리 가능 여부(Y/N)	1,2차 shop 자재 비용	3차 shop 자재비용	1,2차 shop		3차 shop		비고
L1	L2	L3	L4	L5	L6		1	2	Total								인력 수	인시	인력 수	인시	
1	3	0	0	0	0	TCMS	1	1	2												
1	3	1	0	0	0	중앙장치(CCU)	1	1	2												
1	3	1	1	0	0	VCPUS 보드	1	1	2	6,600,000	No Operation	보드교체	2.52E-05	N			1	0.10			25년간 spare part 수량 : 4 EA
											Shorted	보드정비		Y					1	0.50	
											Wire Bond Failure	보드정비		Y					1	0.50	
											Opened	보드정비		Y					1	0.50	
											Loose	보드체결정비		Y			1	0.10			
1	3	1	2	0	0	VGWS 보드	1	1	2	6,800,000	No Operation	보드교체	1.75E-05	N			1	0.10			25년간 spare part 수량 : 4 EA
											Shorted	보드정비		Y					1	0.50	
											Wire Bond Failure	보드정비		Y					1	0.50	
											Opened	보드정비		Y					1	0.50	
											Loose	보드체결정비		Y			1	0.10			
1	3	1	3	0	0	VDIS 보드	1	1	2	3,300,000	No Operation	보드교체	1.28E-05	N			1	0.10			25년간 spare part 수량 : 6EA
											Shorted	보드정비		Y					1	0.50	
											Wire Bond Failure	보드정비		Y					1	0.50	
											Opened	보드정비		Y					1	0.50	
											Loose	보드체결정비		Y			1	0.10			
1	3	1	4	0	0	VDOS 보드	1	1	2	3,900,000	No Operation	보드교체	1.39E-05	N			1	0.10			25년간 spare part 수량 : 6EA
											Shorted	보드정비		Y					1	0.50	
											Wire Bond Failure	보드정비		Y					1	0.50	
											Opened	보드정비		Y					1	0.50	
											Loose	보드체결정비		Y			1	0.10			
1	3	1	5	0	0	VPS 보드	1	1	2	4,800,000	No Operation	보드교체	1.00E-06	N			1	0.10			25년간 spare part 수량 : 4EA
											Shorted	보드정비		Y					1	0.50	
											Wire Bond Failure	보드정비		Y					1	0.50	
											Opened	보드정비		Y					1	0.50	
											Loose	보드체결정비		Y			1	0.10			
1	3	1	6	0	0	BP 보드	1	1	2	5,600,000	No Operation	보드교체	3.47E-06	N			1	1.00			25년간 spare part 수량 : 3EA
											Shorted	보드정비		Y					1	0.50	
											Wire Bond Failure	보드정비		Y					1	0.50	
											Opened	보드정비		Y					1	0.50	
											Loose	보드체결정비		Y			1	0.10			
1	3	2	0	0	0	MVB_IO	2	2	4	7,500,000	Opened	MVB_IO 교체	1.57E-05	N			1	0.50			25년간 spare part 수량 : 8EA
											Shorted	MVB_IO 교체		N			1	0.50			
											Timing Error	MVB_IO 교체		N			1	0.50			
1	3	2	1	0	0	IRMIO-210 TOP	2	2	4	-	Opened	MVB_IO 교체	1.19E-05	N			1	0.50			
											Shorted	MVB_IO 교체		N			1	0.50			
											Timing Error	MVB_IO 교체		N			1	0.50			
1	3	2	2	0	0	IRMIO-210 BOTTOM	2	2	4	-	Opened	MVB_IO 교체	3.85E-06	N			1	0.50			
											Shorted	MVB_IO 교체		N			1	0.50			
											Timing Error	MVB_IO 교체		N			1	0.50			
1	3	3	0	0	0	화면장치(DU)	1	1	2	1,200,000	Dim Rows	화면장치 교체	8.02E-06	N			1	0.50			25년간 spare part 수량 : 5EA
												화면장치 정비		Y					1	1.00	
											Flickering Rows	화면장치 교체		N			1	0.50			
												화면장치 정비		Y					1	1.00	
											Improper Characters	화면장치 교체		N			1	0.50			
												화면장치 정비		Y					1	1.00	
											Missing/Dim Columns	화면장치 교체		N			1	0.50			
												화면장치 정비		Y					1	1.00	
											Flashing Dots	화면장치 교체		N			1	0.50			
												화면장치 정비		Y					1	1.00	
											Missing Rows	화면장치 교체		N			1	0.50			
												화면장치 정비		Y					1	1.00	
											Blank Display	화면장치 교체		N			1	0.50			
												화면장치 정비		Y					1	1.00	
											Loose	화면장치 교체		N			1	0.50			
												화면장치 정비		Y					1.00	1.00	



[그림 184]고장정비비용 예측을 위한 다이얼로그 박스

3) 에너지 비용

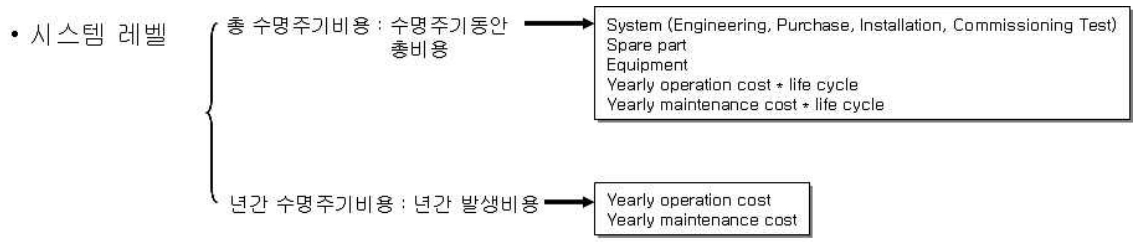
에너지 비용은 차량을 운행하는데 소요되는 전기 에너지의 비용을 의미한다. 이때 전기에너지는 차량의 속도 및 운행환경에 따라 달라질 수 있으므로 전 구간에 거친 에너지의 평균값을 취하여 구간에서의 km 당 소모되는 에너지로써 표시한다. 소모되는 에너지는 TPS 프로그램 또는 실측을 통해 결정한다.

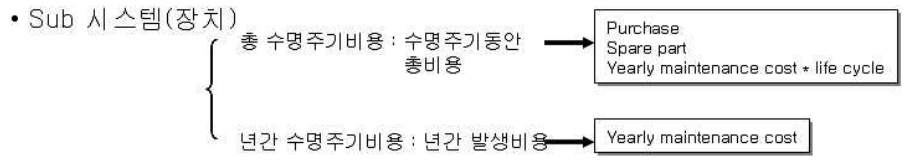
4) 수명비용주기 예측모듈

수명주기 예측모듈은 앞서 생성된 비용계층구조를 이용하여 수명주기별 발생하는 비용을 총 수명주기동안 계산하는 모듈이며 다음과 같은 기능조건을 제공해야 한다.

- 자기부상열차를 총 수명주기동안 운행하는데 필요한 모든 비용을 알고 싶다.

- 자기부상열차를 년간 운행하는데 필요한 비용을 알고 싶다.
- 서브시스템(예. 제동장치)을 총 수명주기동안 사용하는데 필요한 비용을 알고 싶다.
- 서브시스템(예. 제동장치)을 년간 사용하는데 필요한 비용을 알고 싶다.
- A장치를 사용했을 경우와 B장치를 사용했을 경우에 대한 비용을 비교하고 싶다.





(가) 예방정비비용 계산모듈

아래 그림은 사용자 데이터베이스와 연계한 예방정비비 계산 프로세스이다.

① 입력한 조건에 해당하는 레코드의 처음으로 이동

② 첫 번째 Component의 Maintenance task에 따른 년간 예방정비 발생횟수 계산

③ 비용요소별 예방정비비용 계산

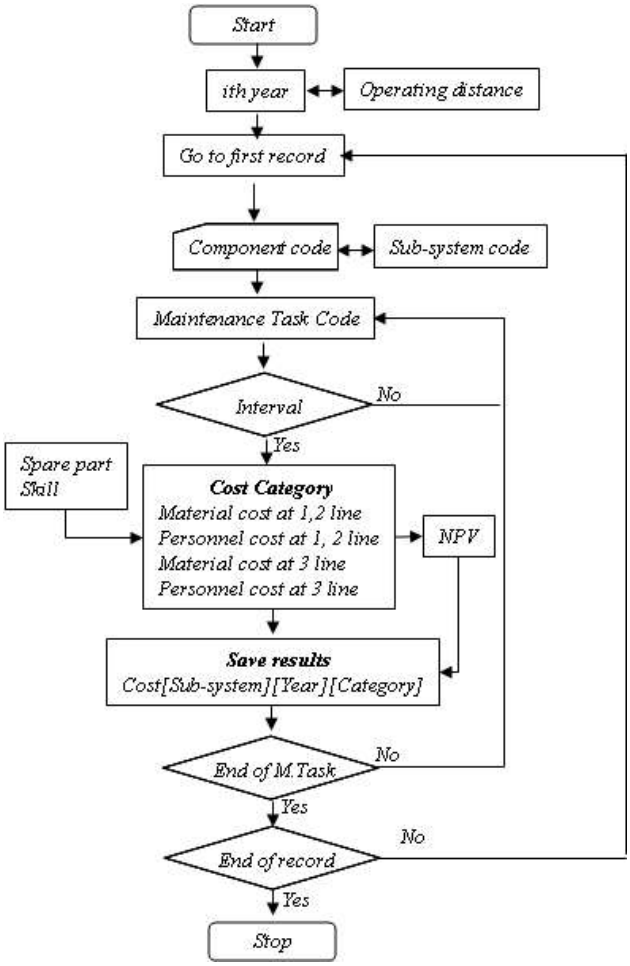
④ 비용요소의 합산으로 총 비용계산

⑤ Net present value로 환산

⑥ 결과 저장

⑦ 두 번째 Component에 대하여 ②-⑥의 과정을 반복

⑧ 마지막 레코드에 도달할 때까지 ②-⑦의 과정을 반복



[그림 185]예방정비비용 계산 프로세스

(나) 고장정비비용 계산모듈

아래 그림은 사용자 데이터베이스와 연계한 고장정비비 계산 프로세스이다.

① 입력한 조건에 해당하는 레코드의 처음으로 이동

② 첫 번째 Component의 Failure mode에 따른 총 수명주기동안의 고장발생횟수를 계산

③ 비용요소별 고장정비비용 계산

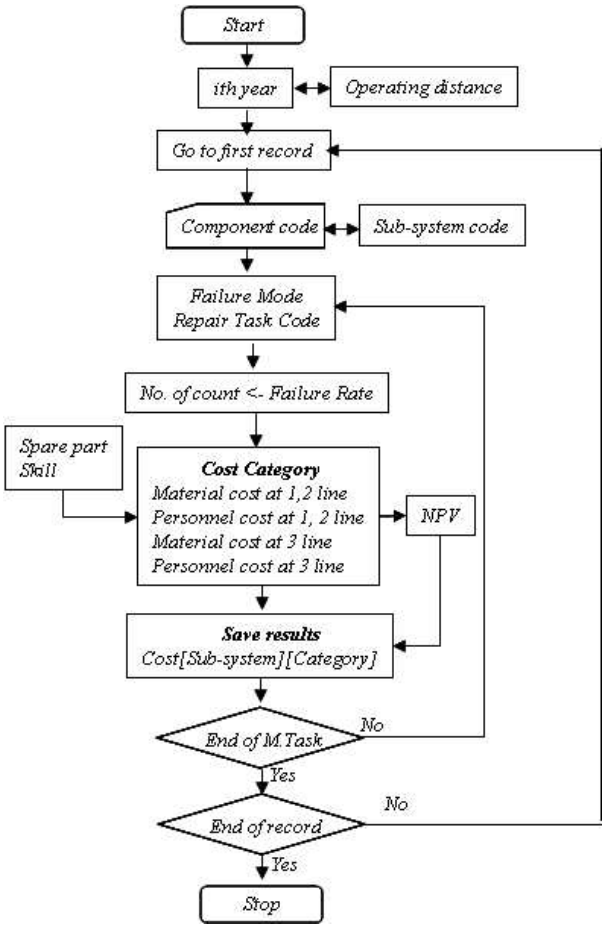
④ 비용요소의 합산으로 총 비용계산

⑤ Net present value로 환산

⑥ 결과 저장

⑦ 두 번째 Component에 대하여 ②-⑥의 과정을 반복

⑧ 마지막 레코드에 도달할 때까지 ②-⑦의 과정을 반복

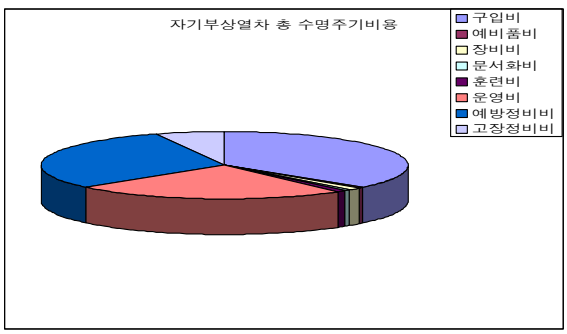


[그림 186]고장정비비용 계산 프로세스

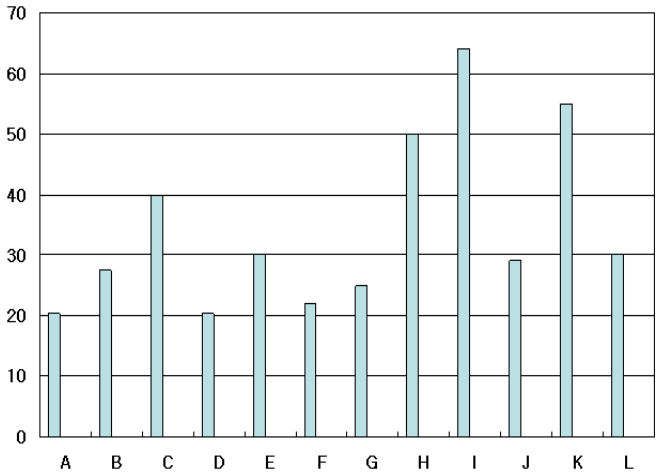
(5) 결과출력 모듈

(가) 그래프 출력

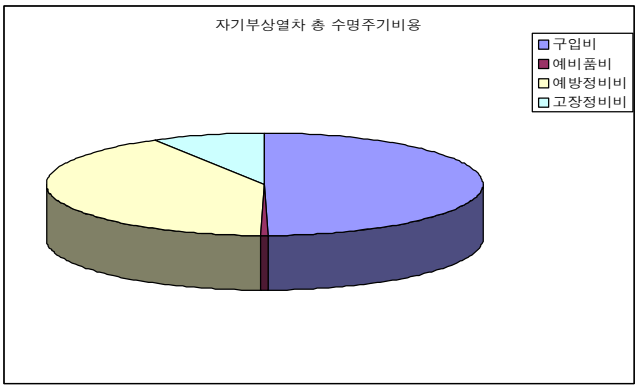
① 자기부상열차의 도입시 필요한 비용과 수명주기동안 운행하는데 필요한 비용의 예측기능을 제공한다.



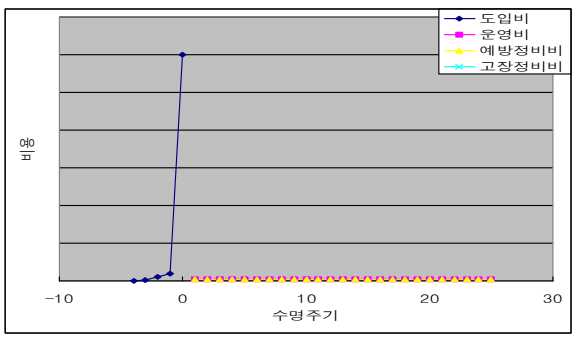
② 자기부상열차의 년간운행비용을 주요부품별 비용 프로파일형태로 제공한다.



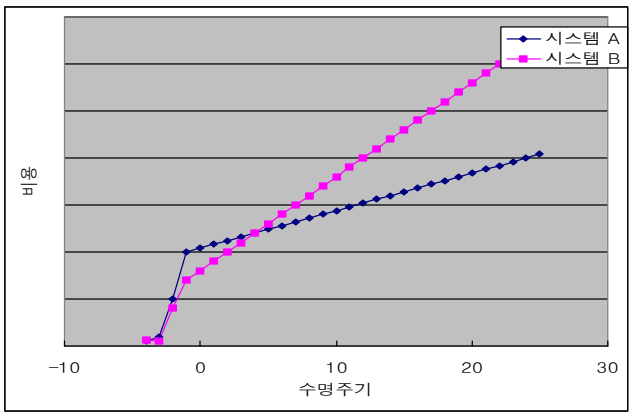
③ 서브시스템(예. 제동장치) 단위로 도입 및 수명주기 동안 사용하는데 필요한 모든 비용의 예측기능을 제공한다.



④ 서브시스템(예. 제동장치) 단위로 년간운행에 필요한 비용 프로파일을 제공한다.



⑤ 서브시스템 A를 사용했을 경우와 B를 사용했을 경우에 대한 대안비교 기능을 제공한다.



(나) 파일 출력

- 해석을 위해 입력된 시스템 조건, 해석조건, 비용조건 등의 보고서 형태로 출력
- 도입비, 운영비, 유지보수비의 수명주기동안의 비용 프로파일 출력

```
**** 도입비용 ****
편성개수=8E+001  편성당 단가=      1.13E+004  금액 =      8.56E+005

**** 장비비용 ****
장비명=            Disc gage 설치개수=1E+001  단가=      1.00E+002   금액=      1.00E+003
장비명=          Lining gage 설치개수=2E+001  단가=      1.00E+002   금액=      2.00E+003
장비명=    Lining exchanger 설치개수=2E+001  단가=      5.00E+002   금액=      1.00E+004
장비명=       Disc exchanger 설치개수=1E+001  단가=      1.00E+003   금액=      1.00E+004
장비명= Bogie decomposition 설치개수=1E+000  단가=      2.00E+005   금액=      2.00E+005
=============================================
                          합계 :  2.23E+005

**** 예비품비용 ****
모듈명=           Brake disc 개수=3E+001  단가=      3.00E+002   금액=      9.60E+003
모듈명=            Brake pad 개수=6E+001  단가=      1.50E+001   금액=      9.60E+002
=============================================
                          합계 :  1.06E+004

**** 훈련비용 ****
교육명=   brake disk repair 교육시간=5E-001  단가=      1.00E+001   금액=      5.00E+000
교육명=    brake pad repair 교육시간=2E-001  단가=      1.00E+001   금액=      2.00E+000
=============================================
                          합계 :  7.00E+000

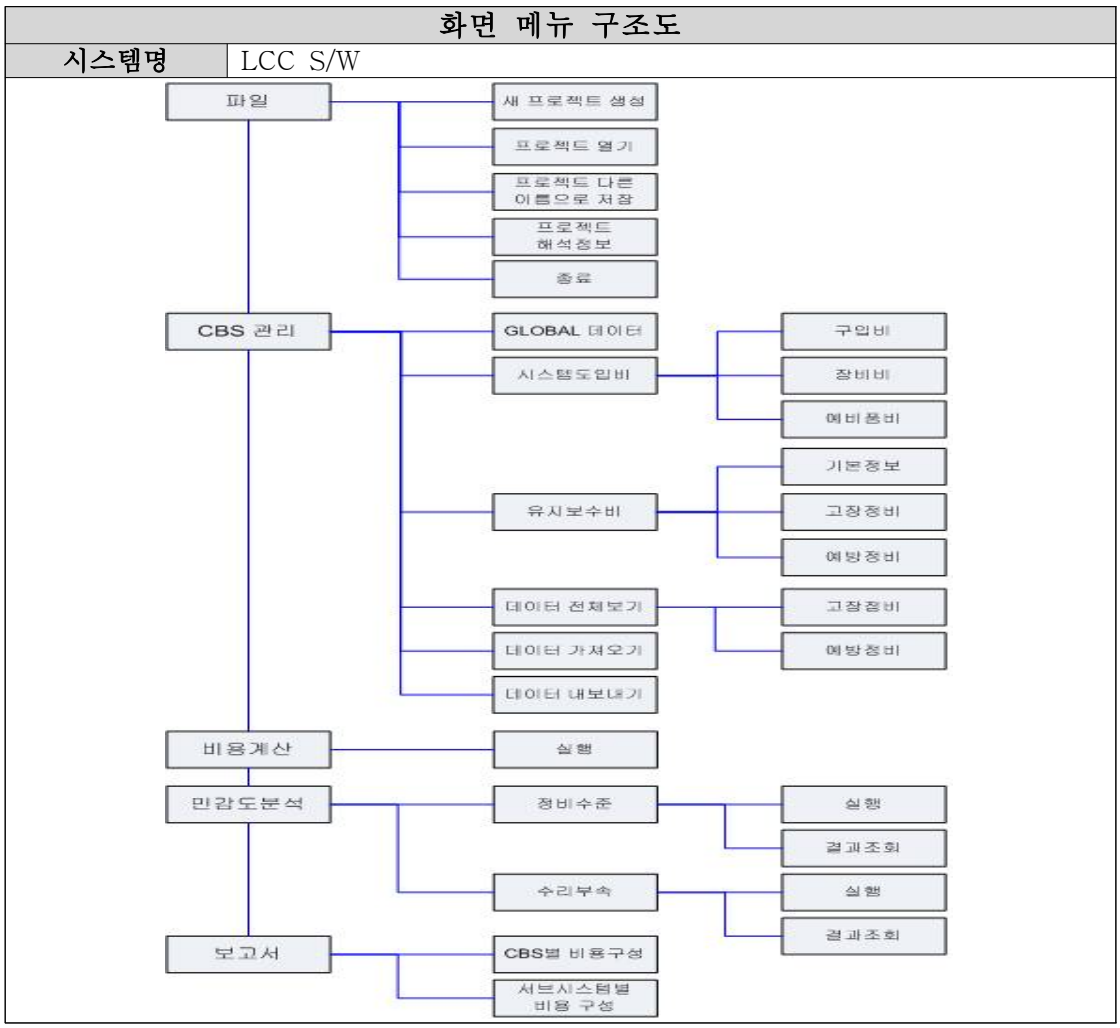
1. Investment cost :  1.09E+006
```

*Initial purchase cost : 8.56E+005
*Equipment cost : 2.23E+005
*Spare part cost : 1.06E+004
*Training cost : 7.00E+000
*Documentation cost : 1.00E+002

2. Annual operation & maintenance cost
1st year
*Annual energy cost
-Energy cost = 1.00E+003

(6) 사용자 메뉴얼

(가) 화면 메뉴구조도



[그림 187]화면메뉴 구성도

(나) 화면목록

화면목록			
No	화면ID	화면명	화면 설명
1	LCC_Main_Form	메인화면	메인 화면
2	LCC_Project_New	프로젝트 생성	새로운 프로젝트를 생성
3	LCC_Project_Open	프로젝트 열기	기존의 프로젝트 파일을 선택하여 가져오기
4	LCC_Project_SaveAs	프로젝트 다른 이름으로 저장	작업중인 프로젝트를 다른 이름으로 저장
5	LCC_Project_Info	프로젝트 해석정보	프로젝트의 해석사례에 대한 정보 입력 및 조회
6	LCC_CBS_Global	GLOBAL 데이터	비용계산을 위한 시스템 정보를 입력 및 조회
7	LCC_CBS_Purchase	시스템도입비 - 구입비	시스템 구입 및 도입에 소요되는 비용을 입력 및 조회
8	LCC_CBS_Equip	시스템도입비 - 장비비	유지보수를 수행하기 위해 필요한 장비에 대한 정보 입력 및 조회
9	LCC_CBS_Spare	시스템도입비 - 예비품비	유지보수를 위한 예비품 비용을 입력 및 조회
10	LCC_CBS_PBS	유지보수비 - 기본정보	시스템의 PBS Tree에 대한 기본정보
11	LCC_CBS_CM	유지보수비 - 고장정비	고장정비 데이터를 PBS Tree 별로 입력 및 조회
12	LCC_CBS_PM	유지보수비 - 예방정비	예방정비 데이터를 PBS Tree 별로 입력 및 조회
13	LCC_CBS_CM_All	데이터 전체보기 - 고장정비	전체 고장정비 데이터를 입력 및 조회
14	LCC_CBS_PM_All	데이터 전체보기 - 예방정비	전체 예방정비 데이터를 입력 및 조회
15	LCC_CBS_Import	데이터 가져오기	엑셀로 부터 유지보수비 정보를 일괄로 가져오기
16	LCC_CBS_Export	데이터 내보내기	작업중인 유지보수비 정보를 엑셀로 내보내기
17	LCC_CA	비용분석	수명주기비용 분석 실행
18	LCC_SA_Worker	정비수준 - 분석	정비수준에 따른 민감도 분석
19	LCC_SA_WorkerRes	정비수준 - 결과조회	정비수준에 따른 민감도 분석 결과 조회
20	LCC_SA_Item	수리부속 - 분석	수리부속에 따른 민감도 분석

화면목록			
No	화면ID	화면명	화면 설명
21	LCC_SA_ItemRes	수리부속 - 결과 조회	수리부속에 따른 민감도 분석 결과 조회
22	LCC_Report_CBS	CBS별 비용 프로파일	CBS별 비용 프로파일 보고서
23	LCC_Report_Sub	서브시스템별 비용 프로파일	서브시스템별 비용 프로파일 보고서

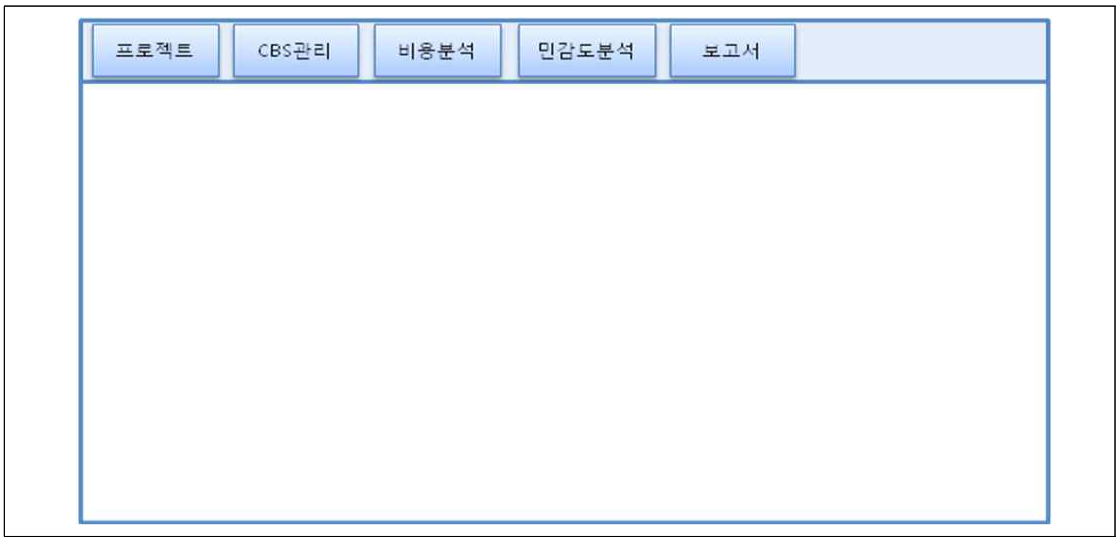
(다) LCC S/W 화면설계

1) 메인화면

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_Main_Form
화면명	메인화면
화면설명	메인화면

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	**관련DB필드**	**수정가능**	**비고**

라) 이벤트 처리로직

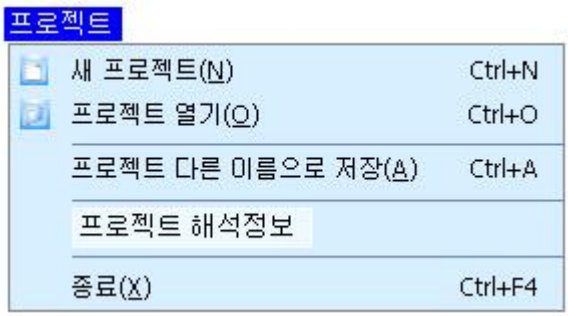
UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직

2) 프로젝트 생성

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_Project_New
화면명	프로젝트 생성
화면설명	새로운 프로젝트를 생성

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
새 프로젝트(N) 클릭	새프로젝트생성ToolStripMenuItem_Click()	모든 변수를 초기화 시킨 후 새 프로젝트를 생성한다.

마) 처리로직

가. 파일메뉴에서 새 프로젝트를 클릭한다.

나. 모든 변수를 초기화 시킨 후 새 프로젝트를 생성한다.

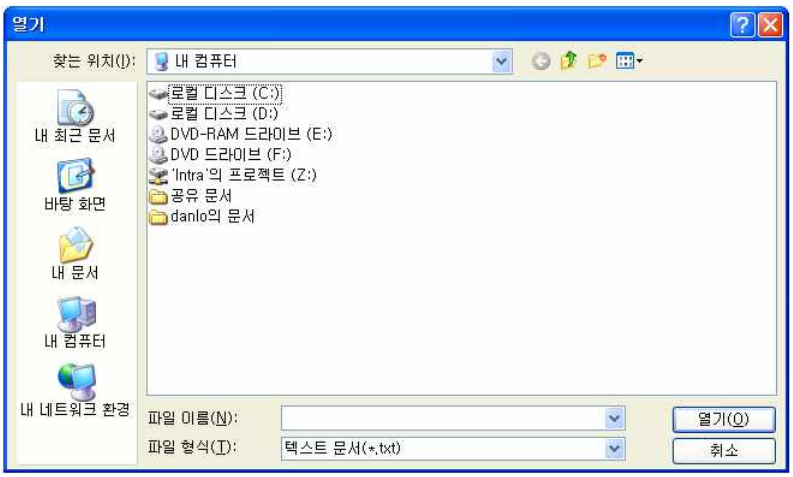
다. 프로젝트 해석사례를 입력 할 수 있는 해석정보 화면이 나타난다.

3) 프로젝트 열기

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_Project_Open
화면명	프로젝트 열기
화면설명	기존의 프로젝트 파일을 선택하여 가져오기

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
프로젝트 열기(O) 클릭	프로젝트열기ToolStrip MenuItem_Click()	선택된 파일로부터 Data를 Load한다.

마) 처리로직

가. 프로젝트 메뉴에서 프로젝트 열기를 클릭한다.

나. 열려고 하는 프로젝트가 보관된 파일을 선택한다..

다. 선택한 파일로부터 데이터를 Load하여 각각의 변수에 저장시킨다.

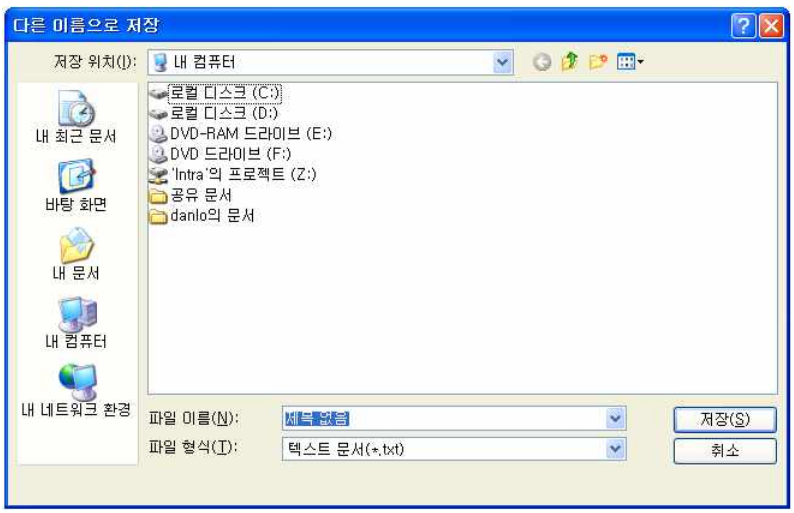
라. 저장되어 있던 프로젝트 내용이 표시된다.

4) 프로젝트 다른 이름으로 저장

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_Project_SaveAs
화면명	프로젝트 다른 이름으로 저장
화면설명	작업중인 프로젝트를 다른 이름으로 저장

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
프로젝트 다른 이름으로 저장(A) 클릭	프로젝트다른이름으로 저장ToolStripMenuItem_Click()	프로젝트 Data를 다른 이름으로 저장시킨다.

마) 처리로직

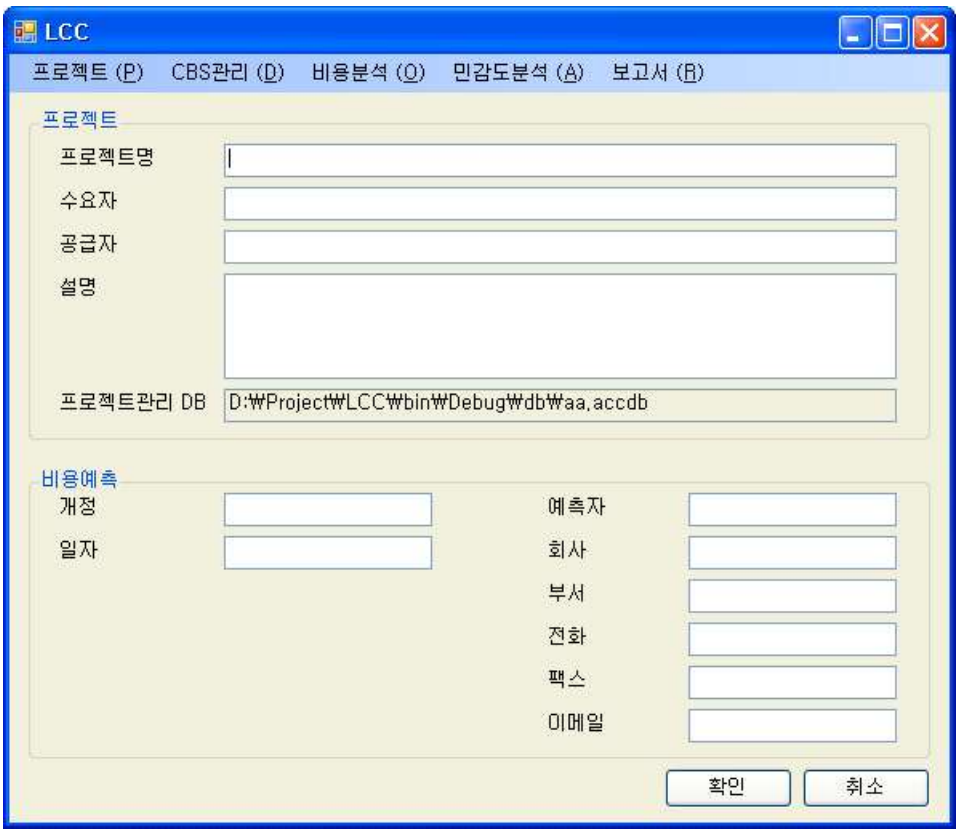
가. 저장시킬 모든 변수의 Data를 입력한 파일명으로 저장시킨다.

5) 프로젝트 해석정보

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_Project_Info
화면명	프로젝트 해석정보
화면설명	프로젝트의 해석사례에 대한 정보를 입력 및 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
프로젝트명		Y	프로젝트명
수요자		Y	수요자
공급자		Y	공급자
설명		Y	설명
개정		Y	개정
일자		Y	일자
예측자		Y	예측자

회사		Y	예측자 회사
부서		Y	예측자 부서
전화		Y	예측자 전화
팩스		Y	예측자 팩스
이메일		Y	예측자 이메일

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
확인	btnOk_Click()	입력된 해석정보를 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	해석정보 입력을 취소한다.

마) 처리로직

가. 프로젝트 생성시

(1) 프로젝트 해석정보 항목을 입력한다.

(2) 저장버튼을 클릭하면 정보가 저장된다.

(3) 취소 버튼을 클릭하면 입력된 정보가 사라지고, 정보를 재입력을 한다.

나. 프로젝트 열기시 혹은 프로젝트 해석정보 조회시

(1) 입력된 내용을 조회하거나 수정한다.

(2) 저장버튼을 클릭하면 정보가 저장된다.

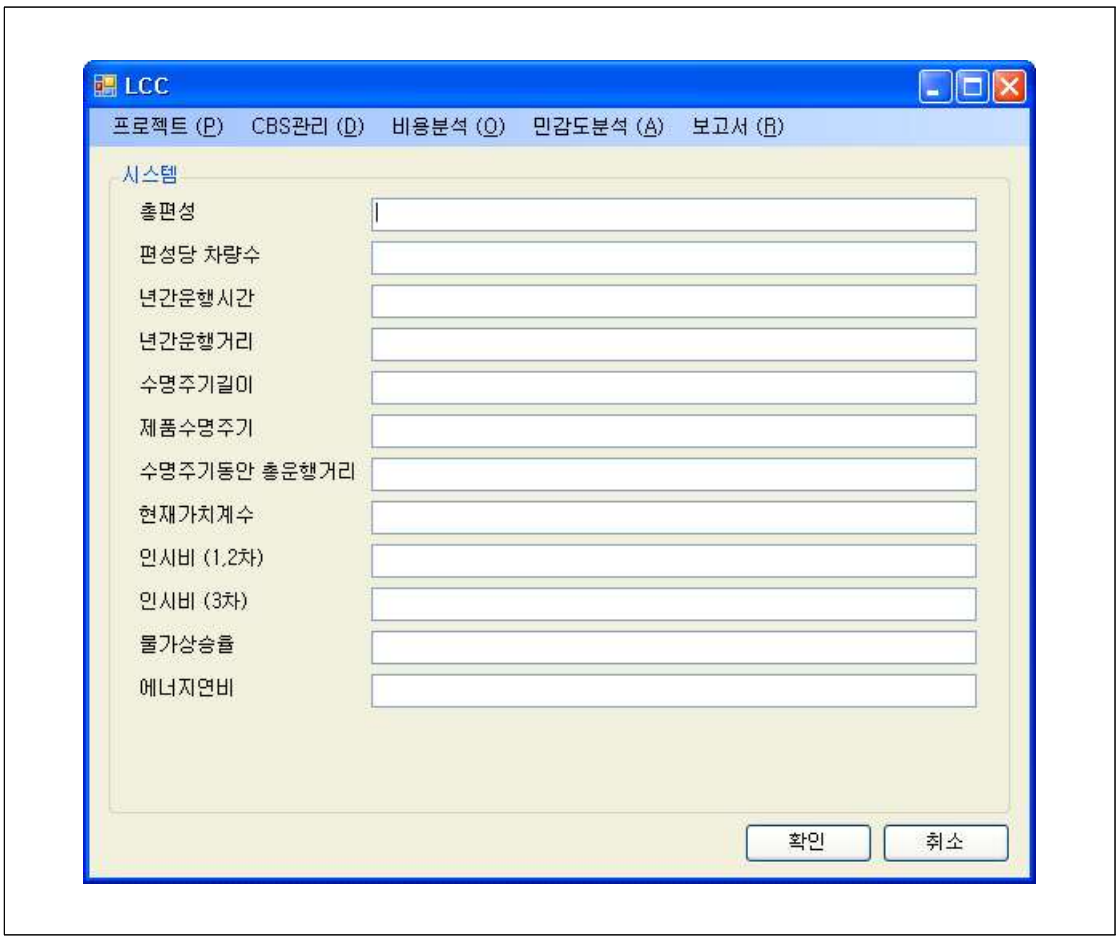
(3) 취소 버튼을 클릭하면 저장된 정보가 다시 로딩되고, 변경을 취소한다.

6) GLOBAL 데이터

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_Global
화면명	Global 데이터
화면설명	비용계산을 위한 시스템 정보를 입력 및 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
총편성		Y	총편성
편성당 차량수		Y	편성당 차량수
년간운행시간		Y	년간운행시간
년간운행거리		Y	년간운행거리
수명주기길이		Y	수명주기길이
(품수명주기		Y	(품수명주기
수명주기동안 총운행거리		Y	수명주기동안 총운행거리
현재가치계수		Y	현재가치계수
인시비 (1,2차)		Y	인시비 (1,2차)
인시비 (3차)		Y	인시비 (3차)
물가상승율		Y	물가상승율
에너지연비		Y	에너지연비

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
확인	btnOk_Click()	입력된 시스템 정보를 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	시스템 정보 입력을 취소한다.

마) 처리로직

가. CBS관리 메뉴에서 Global 데이터를 선택한다.

나. 비용분석을 위한 시스템 정보를 입력하거나 조회한다.

다. 저장버튼을 클릭하면 정보가 저장된다.

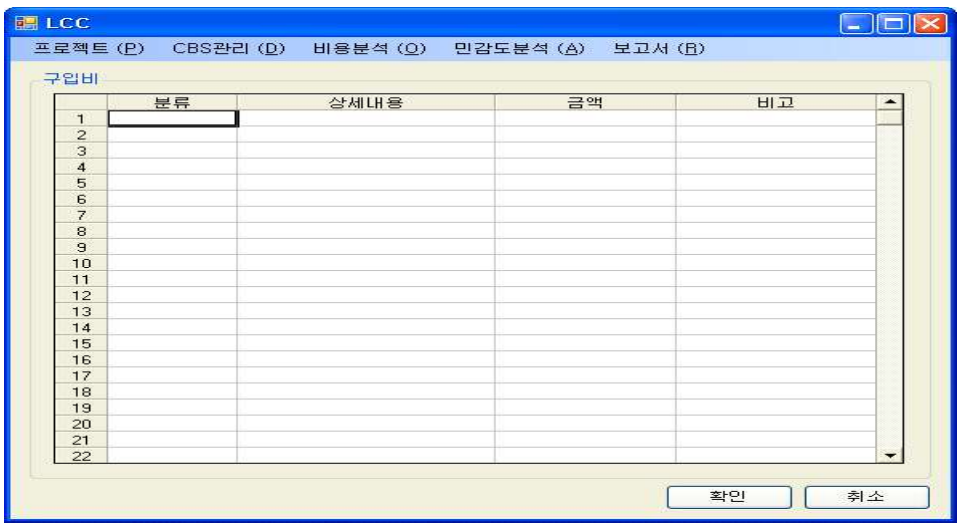
라. 취소 버튼을 클릭하면 저장된 정보가 다시 로딩되고, 변경을 취소한다.

7) 시스템도입비 - 구입비

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_Purchase
화면명	시스템도입비 - 구입비
화면설명	시스템 구입 및 도입에 소요되는 비용을 입력 및 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
분류		Y	문서화비/교육비/구입비/운영비
세부내역		Y	세부내역
금액		Y	금액
비고		Y	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
확인	btnOk_Click()	입력된 시스템 정보를 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	시스템 정보 입력을 취소한다.

마) 처리로직

가. 확인

(1) 데이터시트에서 분류 셀을 클릭해서 드랍다운되는 분류항목을 선택한다.

(2) 상세내용, 금액, 비고등을 입력/수정한다.

(3) 확인 버튼을 클릭한다.

(4) DB에 입력한 내용으로 데이터를 갱신한다.

나. 취소

(1) 취소버튼을 클릭한다.

(2) 화면의 항목들을 모두 삭(한다.

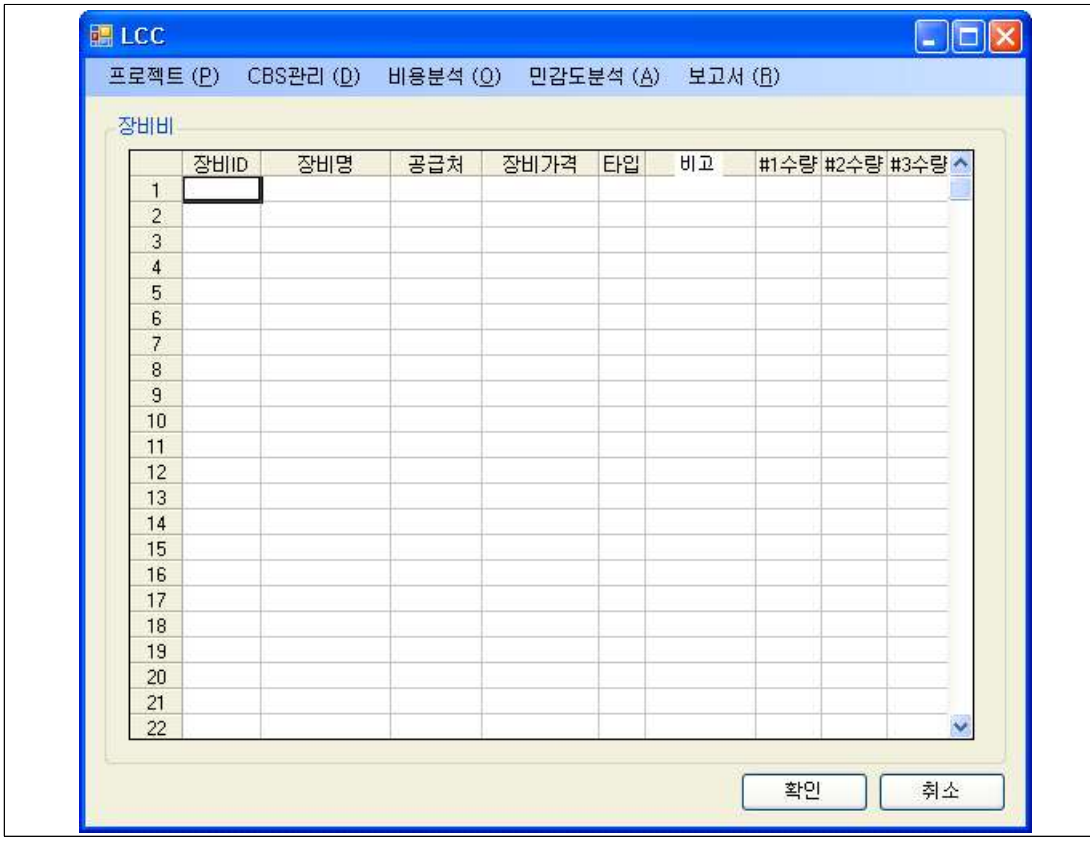
(3) DB에 입력된 내용을 다시 로딩해서 데이터시트에 보여준다.

8) 시스템도입비 - 장비비

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_Equip
화면명	시스템도입비 - 장비비
화면설명	유지보수를 수행하기 위해 필요한 장비에 대한 정보 입력 및 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
장비ID		Y	장비ID
장비명		Y	장비명
공급처		Y	공급처
장비가격		Y	장비가격
타입		Y	장비타입
비고		Y	비고
#1수량		Y	1차 shop 수량
#2수량		Y	2차 shop 수량
#3수량		Y	3차 shop 수량

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
확인	btnOk_Click()	입력된 장비비 정보를 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	입력을 취소한다.

마) 처리로직

가. 확인

(1) 장비ID, 장비명, 공급처, 장비가격, 장비타입, Shop별 수량 등을 입력/수정한다.

(2) 확인 버튼을 클릭한다.

(3) DB에 입력한 내용으로 데이터를 갱신한다.

나. 취소

(1) 취소버튼을 클릭한다.

(2) 화면의 항목들을 모두 삭(한다.

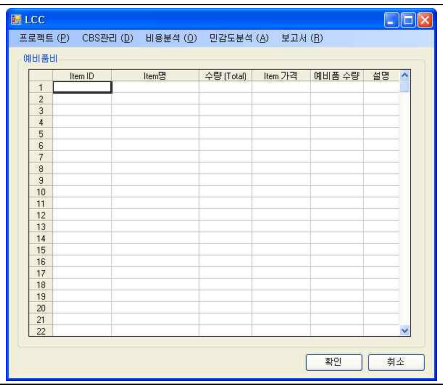
(3) DB에 입력된 내용을 다시 로딩해서 데이터시트에 보여준다.

9) 시스템도입비 - 예비품비

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_Spare
화면명	시스템도입비 - 예비품비
화면설명	유지보수를 위한 예비품 비용을 입력 및 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
Item ID		Y	Item ID
Item 명		Y	Item 명
수량		Y	수량
Item 가격		Y	Item 가격
예비품 수량		Y	예비품 수량
비고		Y	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
확인	btnOk_Click()	입력된 예비품비 정보를 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	입력을 취소한다.

마) 처리로직

가. 확인

(1) Item ID, Item 명, 수량, Item 가격, 예비품수량, 비고를 입력/수정한다.

(2) 확인 버튼을 클릭한다.

(3) DB에 입력한 내용으로 데이터를 갱신한다.

나. 취소

(1) 취소버튼을 클릭한다.

(2) 화면의 항목들을 모두 삭(한다.

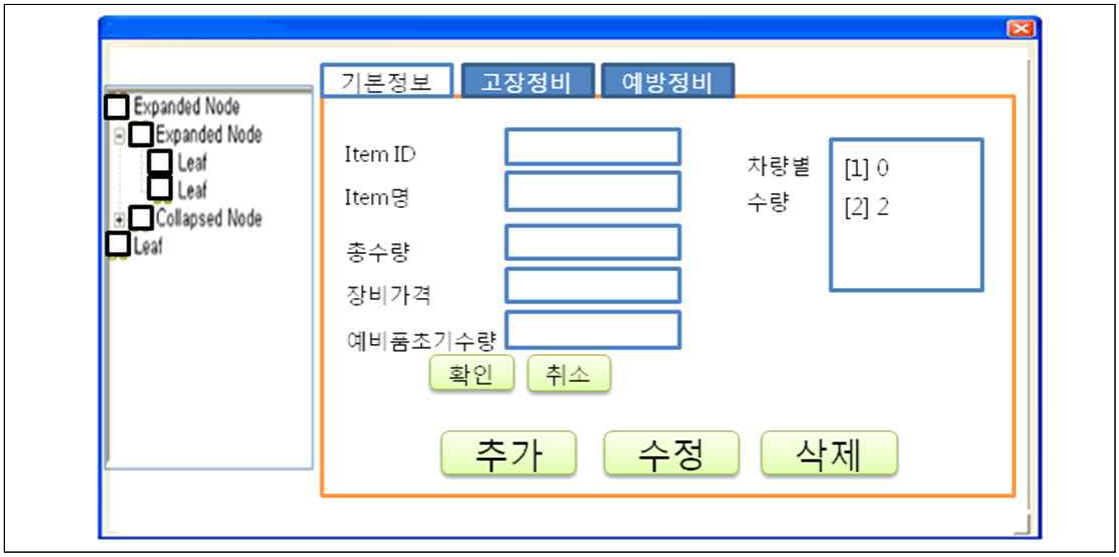
(3) DB에 입력된 내용을 다시 로딩해서 데이터시트에 보여준다.

10) 유지보수비 - 기본정보

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_PBS
화면명	유지보수비 - 기본정보
화면설명	시스템의 PBS Tree 에 대한 기본 정보

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
Item ID		Y	Item ID
Item 명		Y	Item 명
총수량		Y	총수량
장비가격		Y	장비가격
예비품초기수량		Y	예비품초기수량

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
추가	btnAdd_Click()	입력한 장비 정보를 PBS Tree 에 추가한다.
수정	btnMod_Click()	선택한 PBS Tree 항목을 수정한다.
삭제	btnDel_Click()	선택한 PBS Tree 항목을 삭(한다.

확인	btnOk_Click()	입력 및 수정한 내용을 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	입력 및 수정을 취소한다.

마) 처리로직

가. 추가

(1) 장비를 추가할 상위 PBS Tree 노드를 선택하고 추가버튼을 클릭한다.

(2) 장비분류코드, 장비명, 수량, 장비가격, 예비품 초기수량을 입력한다.

(3) 확인 버튼을 클릭한다.

(4) PBS 트리가 갱신되고 새로 추가된 장비가 표시된다.

나. 수정

(1) 수정하고자 하는 PBS Tree 노드를 선택하고 수정버튼을 클릭한다.

(2) 선택된 정비요원의 정보가 입력 항목에 표시된다.

(2) 수정하고자 하는 사항들을 수정하고, 확인 버튼을 클릭한다.

(3) 수정된 내용이 반영된다.

다. 삭(

(1) 삭(하고자 하는 PBS Tree 노드를 선택하고 삭(를 클릭한다.

(2) PBS Tree 가 갱신되고 삭(된 항목이 없어진다.

11) 유지보수비 - 고장정비

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_CM
화면명	유지보수비 - 고장정비
화면설명	고장정비 비용을 PBS Tree 별로 입력 및 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
고장모드		Y	고장모드
유지보수업무		Y	유지보수업무
고장율		Y	고장율
수리가능여부		Y	수리가능여부 (Y/N)
1,2차 Shop 자재비용		Y	1,2차 Shop 자재비용
3차 Shop 자재비용		Y	3차 Shop 자재비용
1,2차 Shop 인력수		Y	1,2차 Shop 인력수
1,2차 Shop 인시		Y	1,2차 Shop 인시
3차 Shop 인력수		Y	3차 Shop 인력수
3차 Shop 인시		Y	3차 Shop 인시

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
저장	btnSave_Click()	입력 및 수정한 내용을

		저장한다.
취소	btnCancel_Click()	입력 및 수정을 취소한다.

마) 처리로직

가. 유지보수비에서 고장정비 탭을 선택한다.

나. 유지보수비용 계산을 위한 고장정비 정보들을 입력하거나 조회한다.

다. 저장버튼을 클릭하면 정보가 저장된다.

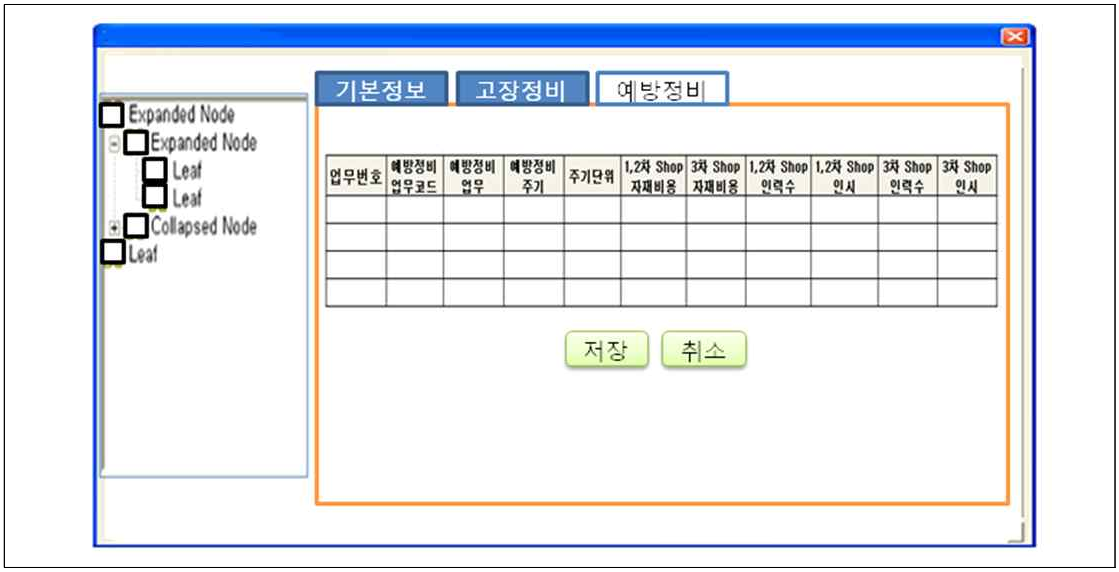
라. 취소 버튼을 클릭하면 저장된 정보가 다시 로딩되고, 변경을 취소한다.

12) 유지보수비 - 예방정비

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_PM
화면명	유지보수비 - 예방정비
화면설명	예방정비 비용을 PBS Tree 별로 입력 및 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

업무번호		Y	업무번호
예방정비업무코드		Y	예방정비업무코드
예방정비업무		Y	예방정비업무
예방정비주기		Y	예방정비주기
주기단위		Y	주기단위
1,2차 Shop 자재비용		Y	1,2차 Shop 자재비용
3차 Shop 자재비용		Y	3차 Shop 자재비용
1,2차 Shop 인력수		Y	1,2차 Shop 인력수
1,2차 Shop 인시		Y	1,2차 Shop 인시
3차 Shop 인력수		Y	3차 Shop 인력수
3차 Shop 인시		Y	3차 Shop 인시

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
저장	btnSave_Click()	입력 및 수정한 내용을 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	입력 및 수정을 취소한다.

마) 처리로직

가. 유지보수비에서 예방정비 탭을 선택한다.

나. 유지보수비용 계산을 위한 예방정비 정보들을 입력하거나 조회한다.

다. 저장버튼을 클릭하면 정보가 저장된다.

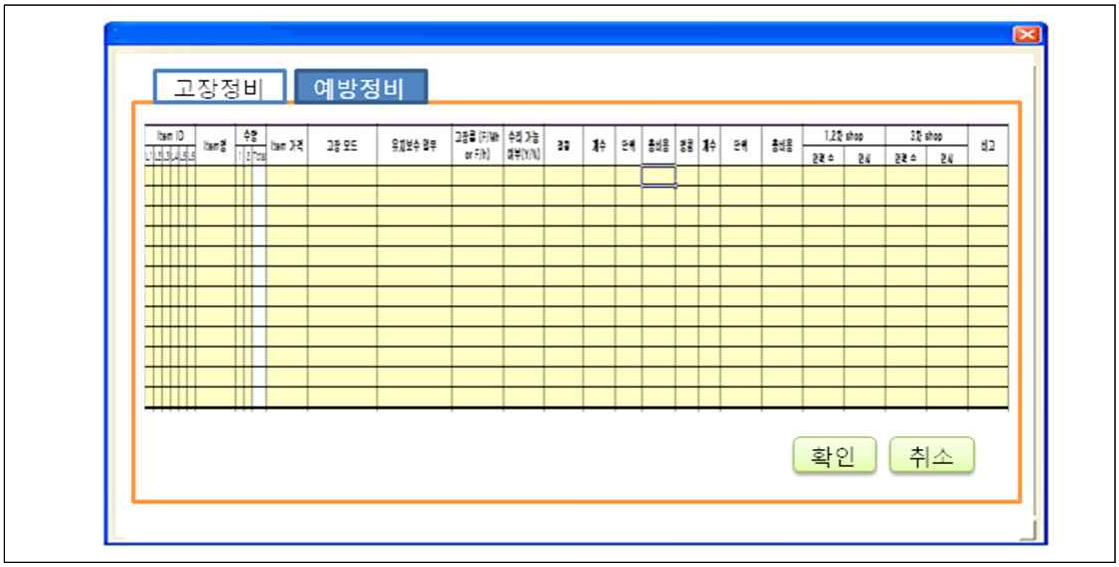
라. 취소 버튼을 클릭하면 저장된 정보가 다시 로딩되고, 변경을 취소한다.

13) 데이터전체보기 - 고장정비

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_CM_ALL
화면명	데이터전체보기 - 예방정비
화면설명	전체 고장정비 데이터를 입력 및 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
Item ID		Y	Item ID
Item 명		Y	Item 명
총수량ㅇ		Y	총수량ㅇ
Item 가격		Y	Item 가격
고장모드		Y	고장모드
유지보수업무		Y	유지보수업무
고장율		Y	고장율
수리가능여부		Y	수리가능여부
1,2차 Shop 자재비용		Y	1,2차 Shop 자재비용
3차 Shop 자재비용		Y	3차 Shop 자재비용
1,2차 Shop 인력수		Y	1,2차 Shop 인력수
1,2차 Shop 인시		Y	1,2차 Shop 인시
3차 Shop 인력수		Y	3차 Shop 인력수
3차 Shop 인시		Y	3차 Shop 인시

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
저장	btnSave_Click()	입력 및 수정한 내용을 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	입력 및 수정을 취소한다.

마) 처리로직

가. 데이터전체보기에서 고장정비탭을 선택한다.

나. 유지보수비용 계산을 위한 고장정비 정보들을 입력하거나 조회한다.

다. 저장버튼을 클릭하면 정보가 저장된다.

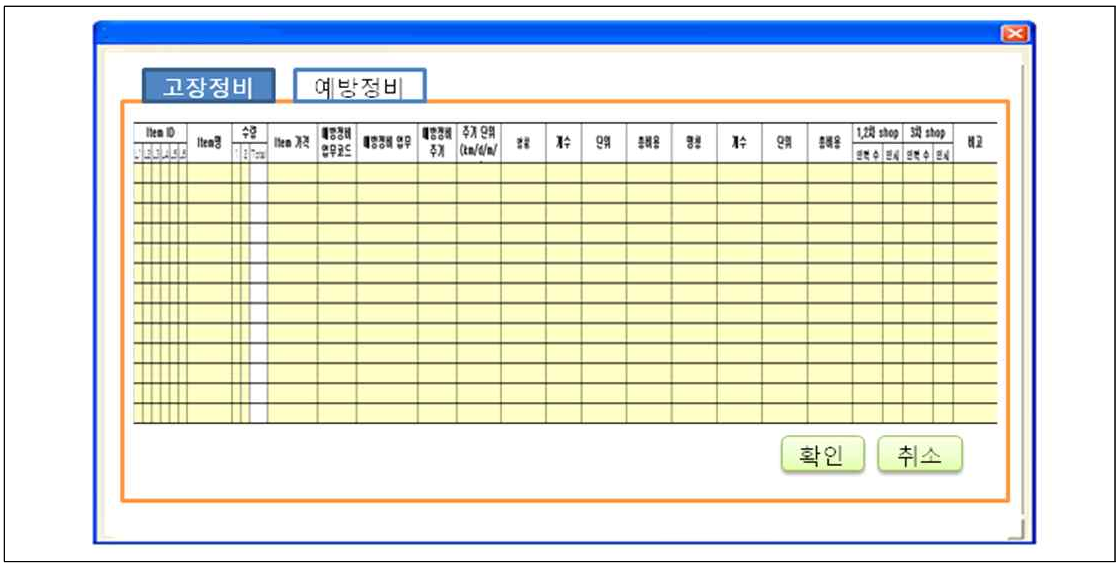
라. 취소 버튼을 클릭하면 저장된 정보가 다시 로딩되고, 변경을 취소한다.

14) 데이터전체보기 - 예방정비

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_PM_ALL
화면명	데이터전체보기 - 예방정비
화면설명	전체 예방정비 데이터를 입력 및 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
Item ID		Y	Item ID
Item 명		Y	Item 명
총수량ㅇ		Y	총수량ㅇ
Item 가격		Y	Item 가격
고장모드		Y	고장모드

유지보수업무		Y	유지보수업무
고장율		Y	고장율
수리가능여부		Y	수리가능여부
1,2차 Shop 자재비용		Y	1,2차 Shop 자재비용
3차 Shop 자재비용		Y	3차 Shop 자재비용
1,2차 Shop 인력수		Y	1,2차 Shop 인력수
1,2차 Shop 인시		Y	1,2차 Shop 인시
3차 Shop 인력수		Y	3차 Shop 인력수
3차 Shop 인시		Y	3차 Shop 인시

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
저장	btnSave_Click()	입력 및 수정한 내용을 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	입력 및 수정을 취소한다.

마) 처리로직

가. 데이터전체보기에서 예방정비탭을 선택한다.

나. 유지보수비용 계산을 위한 예방정비 정보들을 입력하거나 조회한다.

다. 저장버튼을 클릭하면 정보가 저장된다.

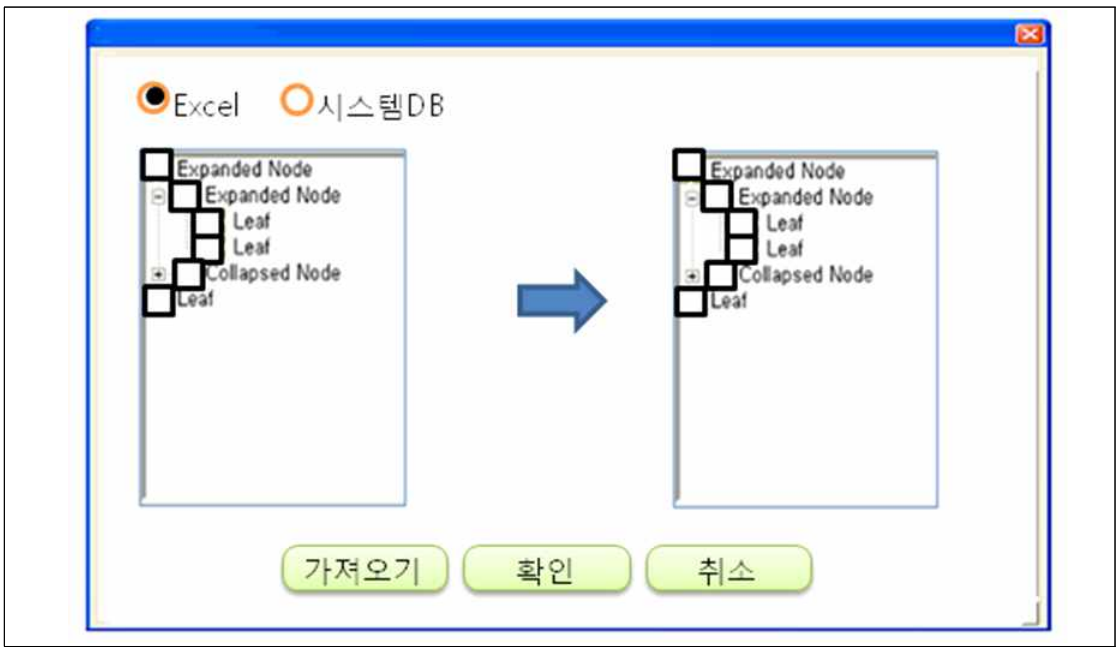
라. 취소 버튼을 클릭하면 저장된 정보가 다시 로딩되고, 변경을 취소한다.

15) 데이터 가져오기

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_Import
화면명	데이터가져오기
화면설명	엑셀로부터 유지보수비 정보를 일괄로 가져오기

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
가져오기	btnImport_Click()	엑셀로부터 정비 데이터를 가져온다.
이동	btnMove_Click()	좌측의 내용을 우측으로 이동한다.
확인	btnOk_Click()	입력 및 수정한 내용을 저장한다.
취소	btnCancel_Click()	입력 및 수정을 취소한다.

마) 처리로직

가. 가져오기

(1) 데이터를 가져올 대상을 Excel or 시스템DB 중에서 선택한다.

(2) 가져오기 버튼을 클릭한다.

(3) 파일 열기 다이알로그가 팝업되고 가져오기를 할 엑셀이나 DB

파일을 선택한다.

(4) 파일을 선택하고 확인을 클릭하면, 좌측 Tree 에 가져오기를 한 데이터의 PBS Tree 가 나타난다.

나. 이동

(1) 좌측 Tree에서 이동할 항목을 체크한다.

(2) 우측 Tree에서 삽입될 항목의 상위 항목을 체크한다.

(3) 이동 버튼을 클릭한다.

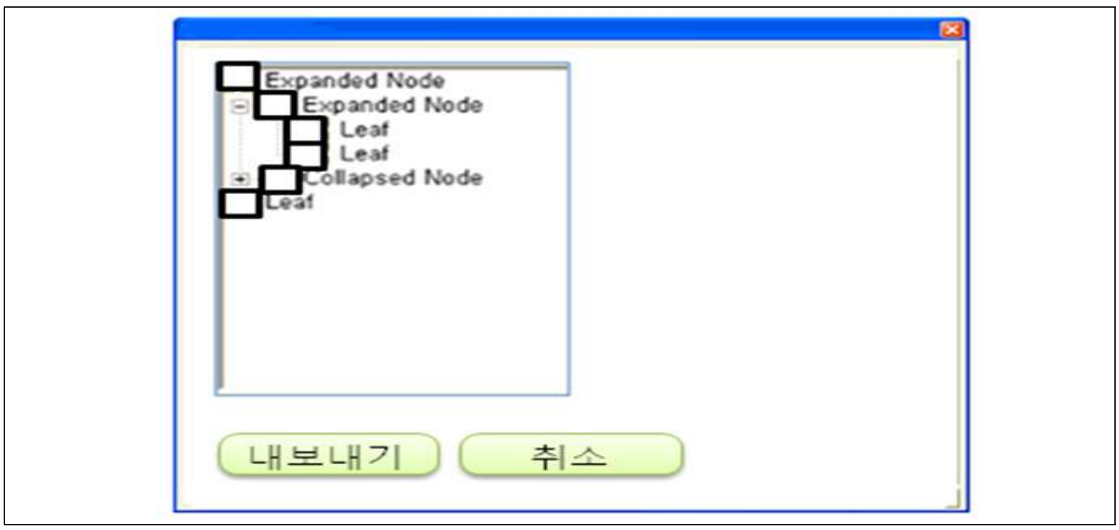
(4) 확인버튼을 클릭하면 최종적으로 매핑된 내용이 반영된다.

16) 데이터 내보내기

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CBS_Export
화면명	데이터 내보내기
화면설명	작업중인 유지보수비 정보를 엑셀로 내보내기

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
내보내기	btnExport_Click()	정비 데이터를 엑셀로 내보낸다.
취소	btnCancel_Click()	입력 및 수정을 취소한다.

마) 처리로직

가. 내보내기

(1) 내보내기를 할 항목을 PBS Tree에서 체크한다.

(2) 내보내기 버튼을 클릭한다.

(3) 파일 저장 다이알로그가 팝업되고 내보내기를 할 Excel 파일의 위치 및 이름을 입력하고 확인을 클릭한다.

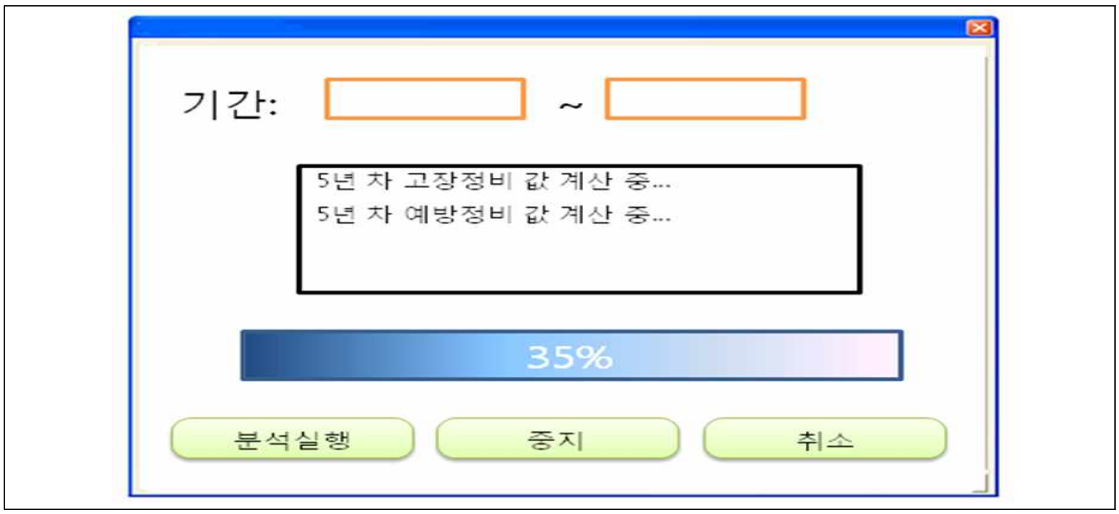
(4) Excel 파일이 생성된다.

17) 비용분석

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_CA
화면명	비용분석
화면설명	수명주기 비용분석 실행

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
분석실행	btnAnalysis_Click()	수명주기 비용분석을 실행한다.
중지	btnStop_Click()	계산을 일시 중지한다.
취소	btnCancel_Click()	계산을 취소한다.

마) 처리로직

가. 기간을 입력한다.

나. 분석실행을 클릭한다.

다. 입력된 Global 데이터, 시스템 도입비, 유지보수비 등을 이용해서 수명주기 비용을 계산한다.

라. 중지를 클릭하면 진행중인 계산을 잠시 중지하고, 버튼의 레이블을 계속진행으로 변경한다.

마. 계속진행을 다시 클릭하면 계산을 다시 시작한다.

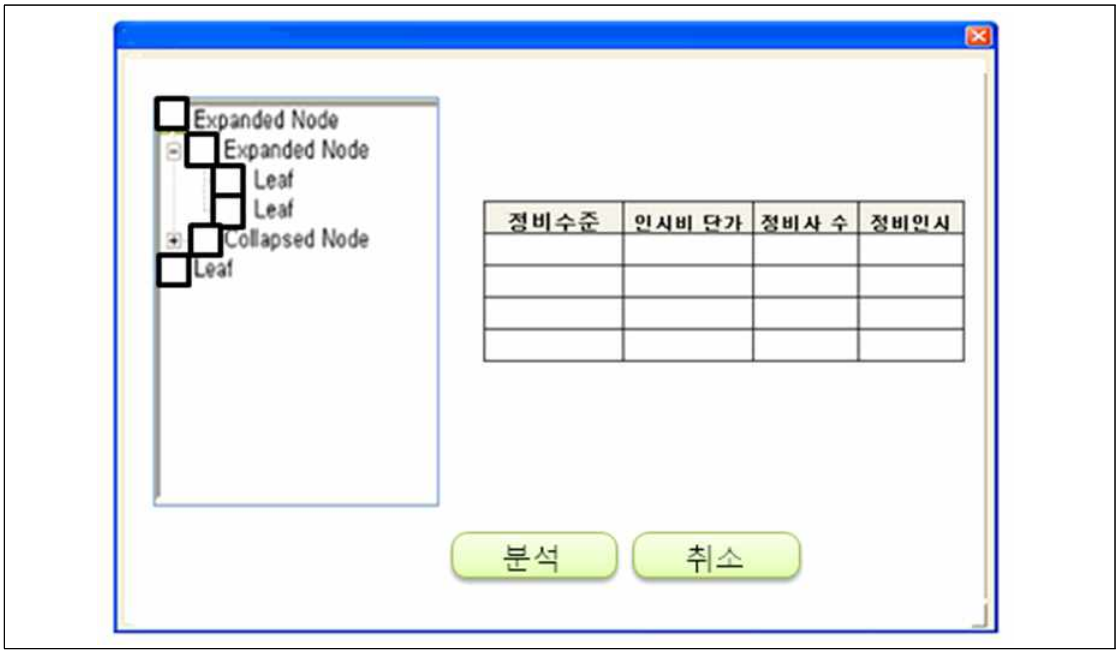
바. 취소를 클릭하면 진행중인 계산을 종료하고, 계산을 초기화한다.

18) 정비수준 - 분석

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_SA_Worker
화면명	정비수준 - 분석
화면설명	정비수준에 따른 민감도 분석

나) 화면 레이아웃



(다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
정비수준		Y	정비수준
인시비단가		Y	인시비단가
정비사 수		Y	정비사 수
정비인시		Y	정비인시

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
분석	btnAnalysis_Click()	분석을 시작한다.
취소	btnCancel_Click()	계산을 취소한다.

마) 처리로직

가. 좌측 PBS Tree에서 해당되는 시스템, 모듈을 선택한다.

나. 정비수준, 인시비단가, 정비사수, 정비인시를 입력한다.

다. 분석버튼을 클릭하면 각 케이스별로 민감도를 비교해서 계산한다.

라. 계산이 진행되면 진행상태를 보여준다.

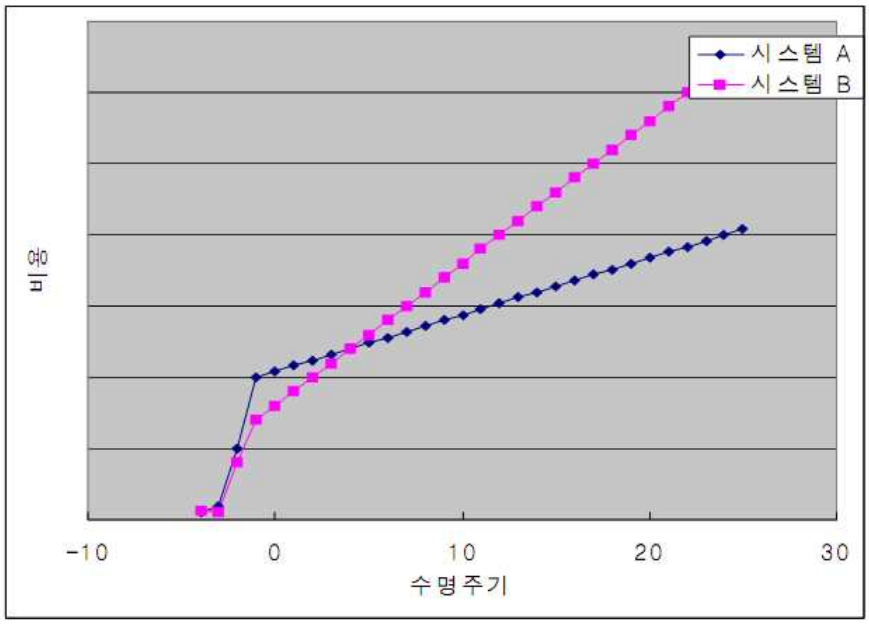
마. 계산이 완료되면 결과화면을 보여준다.

19) 정비수준 - 결과조회

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_SA_WorkerRes
화면명	정비수준 - 결과조회
화면설명	정비수준에 따른 민감도 분석결과 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직

마) 처리로직

가. 메뉴에서 민감도분석을 선택하고 정비수준 결과조회로 결과를 언(든지 확인할 수 있다.

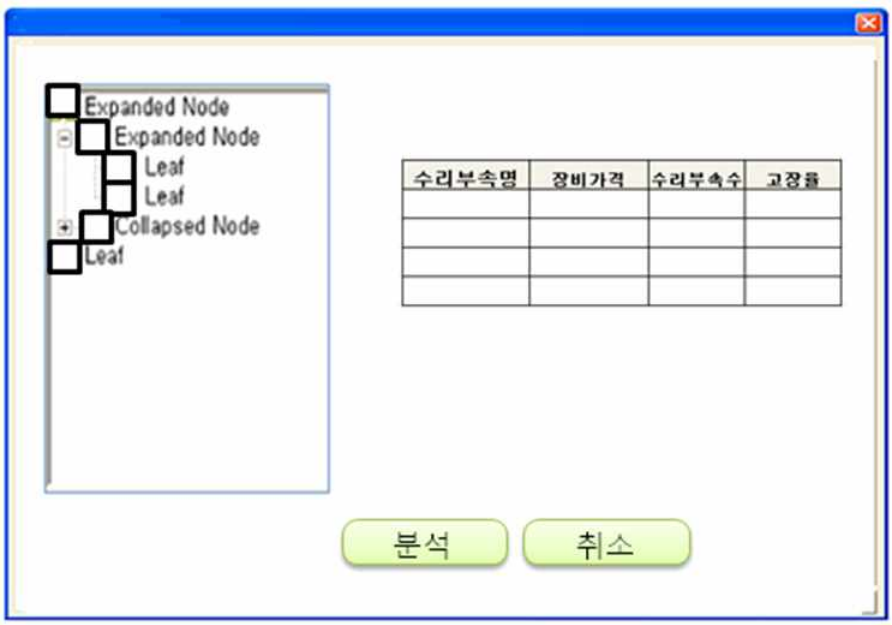
나. 결과는 차트나 그리드 형태의 엑셀로 케이스별로 비교해서 볼 수 있다.

20) 수리부속 - 분석

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_SA_Item
화면명	수리부속 - 분석
화면설명	수리부속에 따른 민감도 분석

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고
수리부속명		Y	수리부속명
정비가격		Y	정비가격
수리부속수		Y	수리부속수
고장율		Y	고장율

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직
분석	btnAnalysis_Click()	분석을 시작한다.
취소	btnCancel_Click()	계산을 취소한다.

마) 처리로직

가. 좌측 PBS Tree에서 해당되는 시스템, 모듈을 선택한다.

나. 수리부속명, 장비가격, 수리부속수, 고장율을 입력한다.

다. 분석버튼을 클릭하면 각 케이스별로 민감도를 비교해서 계산한다.

라. 계산이 진행되면 진행상태를 보여준다.

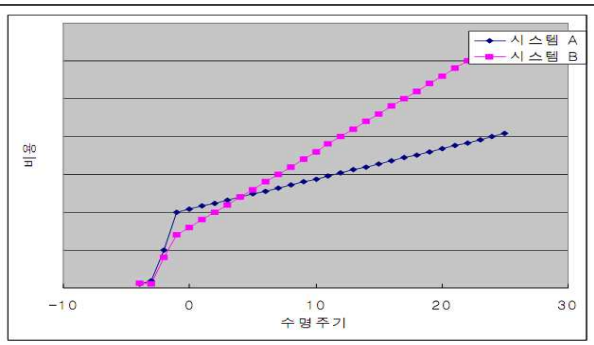
마. 계산이 완료되면 결과화면을 보여준다.

21) 수리부속 - 결과조회

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_SA_ItemRes
화면명	수리부속 - 결과조회
화면설명	수리부속에 따른 민감도 분석 결과 조회

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직

마) 처리로직

가. 메뉴에서 민감도분석을 선택하고 수리부속 결과조회로 결과를 언(든지 확인할 수 있다.

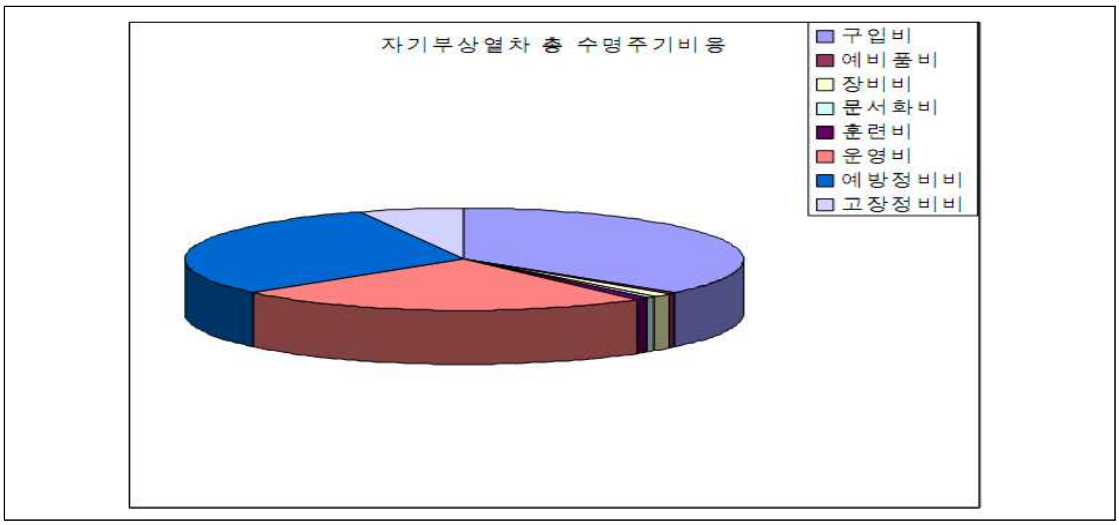
나. 결과는 차트나 그리드 형태의 엑셀로 케이스별로 비교해서 볼 수 있다.

22) CBS 별 비용 프로파일

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_Report_CBS
화면명	CBS별 비용 프로파일
화면설명	CBS별 비용 프로파일 보고서

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직

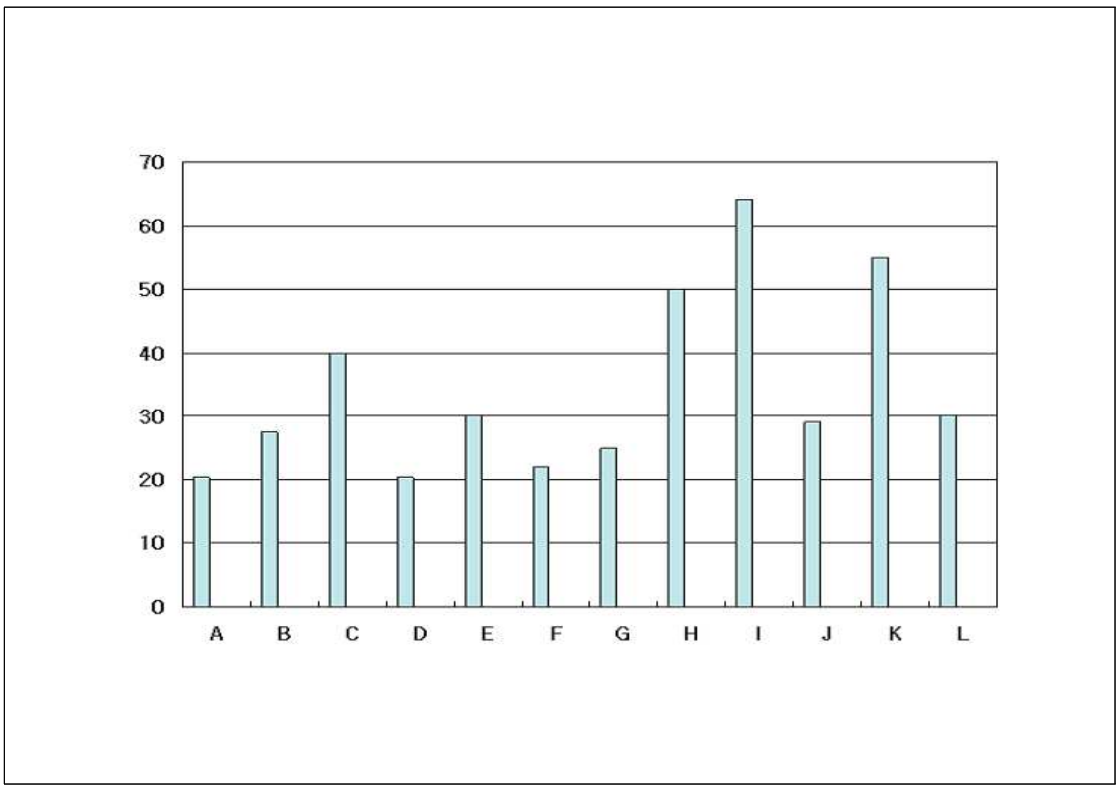
마) 처리로직

23) 서브시스템별 비용 프로파일

가) 개요

시스템명	LCC S/W
화면ID	LCC_Report_Sub
화면명	서브시스템별 비용 프로파일
화면설명	서브시스템별 비용 프로파일 보고서

나) 화면 레이아웃



다) 데이터 항목

항목명	관련DB필드	수정가능	비고

라) 이벤트 처리로직

UI 컨트롤 이벤트	이벤트명	처리로직

마) 처리로직

[1-3과제]

가. 시험항목, 세부시험계획 평가기준

(1) 도시형 자기부상열차의 성능시험항목

자기부상열차의 성능시험은 크게 구분하여

- 구성품 시험(하부 구성품)
- 완성차 시험
- 본선 시운전 시험

으로 구분한다.

다음은 성능시험 구분에 따른 시험항목이다.

[표 114]성능시험 구분에 따른 시험항목

시험구분	시 험 명	세부내용
구성품시험	구조체 하중시험	차체 수직하중시험, 차체 수평하중시험, 차체 굽힘고유진동수 시험
	대차시험	대차 구조, 치수검사, 조립품 체결검사
	전자석 정특성시험	입력 전압/전류 정격 부상력, 초기 부상력, 온도특성
	추진제어장치시험	인버터의 입/출력, 전압/전류 단품에 대한 소음 및 환경시험
	보조전원장치시험	입/출력에 대한 전압/전류 전압 맥동률, 환경시험
	신호보안장치시험	차상 시스템에 대한 환경시험 EMI 시험
	부상제어기시험	환경시험 EMI 시험
	Magnet Driver 시험	환경시험 EMI 시험
	종합제어장치시험	EMI 시험, 구성조합시험
완성차시험	외관구조검사	육안 검사
	측정에 의한 검사	측정 검사
	차체누수시험	방수 성능 검사
	차체리프팅시험	리프팅 작업 후 상태 확인시험
	추진제어장치시험	제어기능과 동작의 정확성 및 안전성 확인시험
	종합제어장치시험	동작의 정확성 및 안전성 확인시험

시험구분	시 험 명	세부내용
	조합된 차량의 기능 및 동작측정시험	공차 중량에 의한 부상력/안내력 시험, 도어 개폐시험, 축전지 시험
	Module 레일추종성능시험	대차 모듈과 선로간의 간격 확인시험
본선시운전 시 험	역행시험	기동/추가노치/재역행/구배기동 시험
	가속도시험	차량 만차 시 규정 가속도 확인시험
	제동시험	상시/비상/전기 및 회생 제동 기계전기 제동의 조합시험
	감속도시험	차량 만차 시 규정 감속도 확인시험
	최고속도시험	110km/h 시험
	집전시험	집전슈의 마모 및 이선률 측정
	유도장애시험	전자유도간섭의 수준을 평가하기 위한 시험
	소음시험	개활지 및 비개활지 구분 시험
	진동시험	상하/좌우방향 진동 및 정상가속도 시험
	승차감시험	UIC 기준 적용 시험
	주행저항시험	영업운전 최고속도 시
	지상설비 연계동작시험	신호지상설비 기능 확인시험
	주요기기 온도 및 상태시험	주행 중 주요기기 온도 측정시험
	전원공급 차단시 Battery 에 의한 비상운행시험	비상시 Battery 능력 확인시험
	차내외 누설자속 측정	DC 측정 (Flux) AC 성분의 측정(주파수 별)
	부상안내계 고장 시 안전확인 시험	추진제어장치 자체 견인 타 편성 차량에 의한 견인
	소비전력측정시험	차량당 소비전력 측정 및 확인시험
	분기기 성능시험기준서	2way, 3way 기준
	Guideway 성능시험기준서	직진도, 평활도, 단차, Joint 기준
	지상전원설비(정류기, 변압기) 시험기준서	전압 맥동률 등

(2) 도시형 자기부상열차 시스템 시험평가 체계 구축

(가) 시험평가 체계

1) 시험평가 일반계획 수립

가) 시험평가 종합계획의 목적

시험평가 종합계획의 목적은 도시형 자기부상열차 실용화사업에 있어서 개

발되는 부품, 하부구성품 및 전체시스템의 시험평가를 체계적으로 관리하며, 관련된 개발기관 사이의 책임과 권한 등 역할을 정의하여 일관되고 효율적으로 시험평가를 수행하는데 있다.

나) 시험평가 체계

도시형 자기부상열차 실용화사업의 시험평가는 개발시험과 차량성능시험으로 구분하여 수행한다. 개발시험은 차량, 신호, 통신, 전력, 선로구축물로 구성된 자기부상열차시스템의 개발과 관련된 부품 및 하부구성품 시험과 시험선 시운전 시험 및 본선 통합시운전 시험을 의미하며, 차량성능시험은 본 실용화사업을 통해 개발된 선로구축물 위에 전력시스템으로부터 동력을 공급받고 신호시스템에 의하여 무인운전으로 완성차량의 운행을 통하여 수행하는 성능입증 및 인수를 위한 시험을 의미한다. 단, 발주사업에 의해 도입되는 하부구성품의 경우, 인수검사를 위한 시험을 별도의 절차에 따라 수행한다.

① 개발시험

개발시험은 차량, 전력, 신호, 선로구축물 분야의 부품, 하부구성품의 개발시험과 시험선 시운전 시험 및 본선 통합시운전시험으로 구분하며, 규격의 적합성 확인 이외에 설계 변수의 확인 및 개발을 위한 시험을 의미한다.

② 차량성능시험

차량의 성능시험은 도시형 자기부상열차에 대한 법적인 체계나 근거가 없으므로 관련법이 제정되어 정비될 때까지 현재의 도시철도법 시행령 제25조 4항 “성능시험의 기준 및 방법” 등과 국토해양부 고시 제2008-410호 “도시철도 차량의 성능시험기준에 관한 규칙”의 성능시험항목과 절차를 준용하며, 시험평가는 성능시험자에 의해 수행된다.

다) 시험평가관리

① 개발시험평가 관리절차

- 구성품 및 하부시스템의 시험평가

구성품 및 하부시스템 시험평가는 안전 관련 시험평가와 일반 시험평가로 구분한다. 구성품 시험평가의 수행 주체는 주관연구기관, 참여기관은

주관연구기관의 승인하에 수행, 승인은 총괄 주관기관이 담당한다. 총괄 주관기관은 안전 관련 부품목록을 제시, 주관연구기관은 제시된 안전 관련 부품에 대한 시험항목(안)을 총괄 주관기관에 제출한다.

안전 관련 부품에 대한 시험항목은 총괄 주관기관이 주관연구기관과 협의하여 결정하고, 일반 부품에 대한 시험항목은 주관연구기관이 총괄 주관기관과 협의하여 결정한다. 그 결과를 총괄 주관기관에 즉시 통보한다.

하부시스템의 시험평가 주체는 각 하부시스템을 개발하는 주관연구기관이 수행하며, 이와 관련된 시험항목, 시험절차서의 검토 및 승인은 총괄 주관기관이 담당한다.

개발시험평가에 대한 검토 및 승인은 주관연구기관, 총괄 주관기관, 외부 관련전문가가 참여한 협의를 통하며, 검토 및 승인과 관련된 문서와 협의 결과를 총괄 주관기관에 즉시 통보하여야 한다.

개발시험평가 수행기관은 결정된 시험항목에 대하여 세부시험평가계획, 시험절차서를 작성 및 승인을 받아야 하며, 승인된 절차서에 의거 시험평가를 수행 후 시험평가 결과보고서를 작성, 평가를 받도록 한다.

시험결과는「성공」,「보완」혹은「실패」로 평가하며,「성공」으로 평가된 경우에만 당해 품목이 성공적으로 개발되었다고 보고,「보완」으로 평가된 경우에는“시험평가 결과보고서”를 보완하여 재심의를 받아야 하며,「실패」로 평가된 경우에는 연구기관은 재시험을 수행하여야 한다.

재시험에는『불만족 원인분석 및 조치보고서』및『시험절차서』를 작성하여 승인을 받아야 한다.

② 차량성능 시험평가 관리 절차

성능시험자는 차량성능 시험평가를 주관한다. 성능시험자는 시험항목(안)을 작성하여 1핵심기관에 제출하고, 1핵심기관은 제시된 시험항목(안)을 관련 전문가와 협의하여 시험항목을 결정한다. 1핵심기관은 관련 전문가가 참여한 협의를 통하여 차량성능시험평가와 관련된 세부시험평가계획, 시험절차서 및 시험 결과 등에 대한 검토 및 승인을 한다. 성능시험자로부터 시험평가 조직 구성원으로 참여를 제안 받은 자와 그의 소속 연구기관은 이에 적극 협조해야 한다.

성능시험자는 차량의 시험평가와 관련된『세부시험평가계획』,『시험 절차서』, 시험평가 수행 및『결과보고서』를 작성한다.

시험 결과가 합격 기준을 만족하지 못하였을 경우에는 성능시험자는 재시험을 수행해야 하며, 재시험에 앞서『불만족 원인분석 및 조치보고서』및『시험 절차서』를 작성하여 1핵심기관의 승인을 받아야 한다.

③ 통합시운전 시험평가

통합시운전 시험평가를 위하여 관련 연구인력 및 전문가들로 구성된 시운전 조직을 총괄주관기관 내에 구성하여, 통합시운전 시험평가와 관련된『세부시험평가계획』,『시험절차서』, 시험평가 수행 및『결과보고서』를 작성하고, 시험결과가 합격기준을 만족하지 못할 경우에는 재시험을 수행,『불만족 원인분석 및 조치보고서』및『시험절차서』를 작성하여 승인을 받아야 한다.

필요시 차량, 궤도, 전기신호 등 전문가 조사반을 구성, 원인을 분석

라) 시험 항목 코드

시험평가 업무의 효율적인 관리를 위하여 도시형 자기부상열차 실용화 사업에서 실시되는 모든 시험 항목에 대하여 다음과 같이 시험 항목 코드를 부여한다.

<시험 항목 코드 부여법>

XXX(과제코드)-X(시험분류)-X(시험수준)X(시험종류)X(시험대상분류)-X(부품/하부구성품 등급)-XXX(일련번호)

□ 과제코드

210 : 도시형 자기부상열차 차량개발 및 제작, (주)로템

211 : 도시형 자기부상열차용 경량/고품질 시트 개발, 대원강업(주)

212 : 도시형 자기부상열차 경량화 차체개발, (주)동양강철

213 : 자기부상열차용 소형/경량화 추진제어장치 개발, (주) 브이씨텍

214 : 도시형 자기부상열차용 경량/고신뢰성 출입문 개발, (주)에이디에스레일

215 : 자기부상열차용 경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발, 유진기공산업(주)

216 : 자기부상열차용 멀티미디어 컨트롤 시스템 개발, 한터기술

220 : 도시형 자기부상열차 부상/추진시스템 성능개선, 한국전기연구원

221 : 도시형 자기부상열차 추진시스템 성능개선, (주)로템

222 : 도시형 자기부상열차 부상용 전자석 개발, (주)우성마그네트

223 : 도시형 자기부상열차용 마그네트 드라이브 개발, (주)이투에스

230 : 도시형 자기부상열차 주행특성 및 승객안전성 향상, 한국기계연구원

231 : 도시형 자기부상열차 안전성 향상을 위한 주행특성 연구, (주)로템

310 : 도시형 자기부상열차 선로구축물 성능개선, 한국철도기술연구원

311 : 설계기준 및 유지보수 지침, (주)삼안

312 : 하부구조개발, 한국건설기술연구원

313 : 상부구조개발, (주)대우건설

314 : 부상/추진 레일 개발, 한국생산기술연구원

320 : 도시형 자기부상열차 분기기 개발, 한국기계연구원

321 : 자기부상 분기기 궤도구조설계 및 시험평가, 한국철도기술연구원

322 : 자기부상열차 분기기 개발, (주)대명엔지니어링

323 : 분기기 유지관리지침서 작성, (주)삼안

330 : 시범노선건설, 한국철도시설공단

□ 시험분류

1 : 개발시험, 2 : 차량성능시험

□ 시험수준

○ 개발시험

1 : 부품, 2 : 하부구성품, 3 : 완성차 공장내 시험,

4 : 시험선 시운전, 5 : 본선 통합시운전

○ 차량성능시험

1 : 구성품, 2: 완성차, 3 : 본선시운전

□ 시험종류

1 : 설계입증시험(Qualification 혹은 type test)

2 : 인수시험(Acceptance 혹은 routine test)

3 : 조정시험(Adjustment test)

□ 시험대상분류

1 : 차량(기계), 2 : 차량(전기), 3 : 차량(제어 및 감시)

4 : 전력공급, 5 : 신호, 6 : 통신, 7 : 선로구축물, 8 : 역사/차량기지

□ 부품/하부구성품 등급

S : 안전관련 항목, O : 일반부품

□ 일련번호 : 시험평가 수행기관에서 순차적으로 부여

※ 시험 종류 설명

(1) 설계입증시험

시제품 혹은 양산 초도품에 대한 설계/시험 규격 만족 여부를 확인하는 시험으로서 시험평가 수행기관은 승인기관과 협의하여 시험방법 및 시기를 정한다.

(2) 인수시험

양산 초도품 이후의 양산품에 대한 설계/시험 규격 만족 여부를 확인하는 시험으로서 시험평가 수행기관은 승인기관과 협의하여 시험방법 및 시기를 정한다.

(3) 조정시험

시험평가 수행기관은 설계 입증 시험이나 인증 시험 이전에 성능의 조정 등을 위하여 조정시험을 실시할 수 있도록 요구할 수 있으며, 승인기관과 협의하여 시험방법 및 시기를 결정한다.

마) 개발시험평가 요약

① 설계 입증된 부품의 시험 면제

도시형 자기부상열차 실용화사업에서는 많은 부품이 국내 경전철이나 도시철도에 사용되는 부품이 구매되어 사용되므로, 이미 설계가 입증된 부품에 대하여는 관련 시험성적서 또는 설계입증 관련서류로 개발시험을 대체할 수 있다(주요 하부구성품 개발기관과 차량개발 기관은 상세설계 종료 시 설계 입증된 부품목록과 설계입증 관련문서를 개발시험 승인기관에 제출하여야 한다).

② 안전관련 부품 목록

고장이 날 경우에 파국고장(Catastrophic failure)을 유발하는 부품을 안전관련 부품이라고 정의한다. 여기서, 파국고장이란 사망사고 등 승객 안전에 심각한 영향을 줄 수 있는 고장을 말한다.

총괄기관은 파국고장을 유발할 수 있는 도시형 자기부상열차 안전 관련 부품 목록을 참조하여 1-2세부기관과 협의를 거쳐 정한다. 당해 부품/하부구성품의 설계가 완료되는 때까지 안전관련 부품목록이 정해질 수 있도록 세부기관은 적극 협조해야 한다.

③ 완성차 공장 내 시험평가

완성차 공장 내 시험평가는 차량제작 완료 후, 차량을 시험선 또는 본선에 인수하기 전에 공장 내에서 실시한다.

④ 시험선 시운전 및 본선 통합시운전 시험평가

시험선 시운전 시험은 기계연에 구축된 시험선의 짧은 주행선로로 인하여 시험 속도가 제한되며, 신호, 통신 및 전력시스템과 관련된 시험은 제외된다. 본선 통합시운전 시험평가는 최고속도까지 수행되며, 차량시스템과 전력/신호/통신 시스템, 선로구축물의 인터페이스와 관련된 시험항목이 포함된다.

⑤ 소프트웨어 시험평가

소프트웨어 품질확보 계획(SQAP: Software Quality Assurance Plan)의 목적은 소프트웨어 품질을 확보하기 위해 필요한 품질 관리 조직, 수단 및 활동을 정의하는 것으로, 소프트웨어 개발자는 SQAP와 SVVP(Software Verification and Validation Plan: 이 계획은 SQAP에 포함되거나 별도로 작성하여도 됨)에 준해서 작업해야 하며 이를 입증할 문서를 제출해야 한다.

SQAP에는 다음과 같은 내용이 포함된다.

- 소프트웨어 개발 동안 품질 관리를 위한 조직과 책임
- 소프트웨어 개발 과정
- 소프트웨어 개발에 사용된 방법과 표준
- 구현될 소프트웨어와 관련 문서
- 변경을 포함한 CM(Configuration Management)
- 소프트웨어 공급자 통제
- 소프트웨어 생산 및 공급
- 품질 확보 및 검증 활동

SQAP는 전체 시스템에 대해서 먼저 작성되고 이를 토대로 하위 시스템의 특성에 맞는 SQAP를 작성, 승인을 거친 후 이 계획에 따라 해당 소프트웨어를 개발하는 과정을 거치며 하위 시스템에 또 다른 하위 시스템이 있는 경우 하위 시스템의 SQAP를 토대로 자신의 SQAP를 작성, 승인

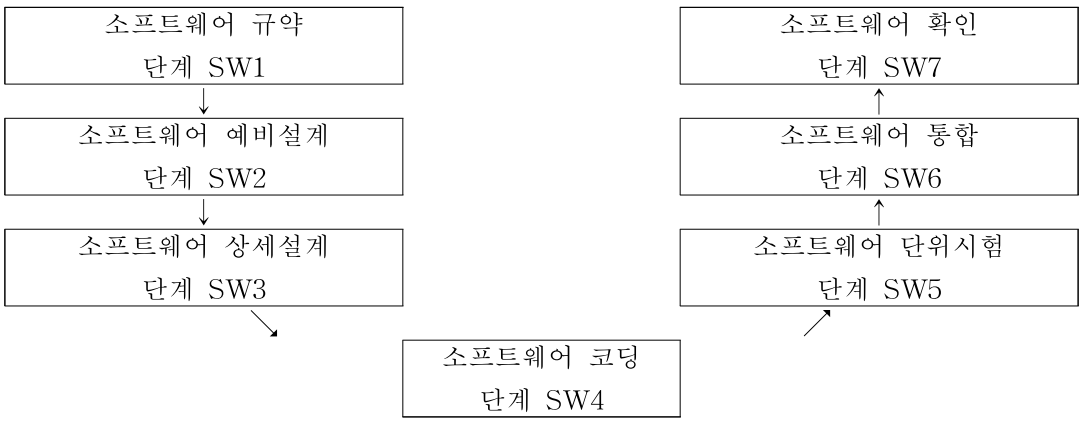
을 거친 후 개발 과정을 시작한다.

품질 관리자가 SQAP에 대한 책임을 지며 이 SQAP는 개발 과정에서 수정 보완될 수 있고 변경된 내용은 검토 및 승인 절차를 거쳐 확정된 후 모든 소프트웨어 개발 품질 관리자에게 배포되어야 한다.

소프트웨어 개발 과정은 이미 개발되어 그 품질이 입증된 경우, 그대로 사용하는 경우, 수정이 필요한 경우와 완전히 새로이 개발하는 경우로 나누어 적용되어야 한다. 품질이 입증된 것을 그대로 재사용하는 경우 소프트웨어 개발 과정이 필요치 않고 단지 소프트웨어와 관련 문서만 필요하며 수정 및 새로운 개발의 경우 개발 과정(Software development cycle)을 적용해야 한다. 이 과정은 흔히 V-cycle로 불리며 그림 3-1-1에서와 같이 7단계로 분리할 수 있으며 좌측 상단으로부터 설계 및 코딩을 거쳐 우측 상단으로 단위 시험, 통합 시험 및 검증 단계로 이어진다. 각 단계별로 단계 시작 전에 준비되어야할 입력 문서, 해당 단계에서 수행할 작업 내용과 그 단계의 종료와 함께 작성될 출력 문서가 정의되어야 한다. 각 단계의 종료 전에 모든 필요한 문서의 수정 및 갱신이 확인되어야 한다. 전체 개발 단계에서 필요한 입력 문서에는 시스템 규격, 안전 확보 계획, CM 계획, 시스템 품질 보증 계획, 기능 규격, 시스템 구조 등이 있다.

소프트웨어 개발 과정에서 소프트웨어 공학에 기초한 분석, 설계, 코딩 방법을 적용할 수 있으며 그 과정을 용이하게 하기 위해 도구들을 사용할 수 있다. 모든 소프트웨어 시험은 관련 시험 계획 및 시험 양식에 따라 수행된다.

문서화는 소프트웨어 개발에 있어 가장 중요한 부분으로 모든 작성된 문서는 소프트웨어 품질 관리자의 감사를 위해 제출되어야 하며, 특히 안전에 관련된 소프트웨어의 경우 문서화 및 감사는 철저히 이루어져야 한다.



[그림 188]소프트웨어 개발 과정

수정 및 새로이 개발된 소프트웨어의 경우 최소한 다음과 같은 문서를 작성해야 한다.

- 소프트웨어 규약 문서
- 소프트웨어 예비 설계 문서
- 소프트웨어 시험 계획(단위, 통합 또는/및 확인 시험 내용)
- 소프트웨어 시험 보고서(단위, 통합 또는/및 확인시험 시트 및 결과)
- 소프트웨어 소스 프로그램

소프트웨어 CM을 통해 개발 과정에서 변경된 내용들을 일관성 있게 관리할 수 있어야 한다. 모든 개발된 소프트웨어의 생산 및 재생산을 위한 내용은 소프트웨어 구축 매뉴얼에 설명하며 재생 및 검증 방법은 내부 문서로 작성할 수 있다. 소프트웨어 개발 과정 동안 소프트웨어 데이터에 대한 접근은 승인된 사람에게만 허용되어야 하고 소프트웨어와 관련 문서는 규칙적으로 백업되어야 한다.

이상에서 정의되는 내용이 잘 적용되는지는 소프트웨어 관리자의 책임이며 이를 위해 품질 관리자는 1) 각 단계에서 문서의 검토, 2) 단계별 검토 및 종료를 조정, 3) 단계별 출력과 모든 비고 사항을 종합하여 품질 관리 파일을 작성하고, 4) 모든 도출된 문제들을 책임자에게 보고하며 5) 주기적으로 CM 및 문서관리를 검사한다. 품질 관리자와 설계부서의 엔지니어가 소프트웨어 검증 작업을 수행하며 이들의 주요 관심 대상은 문서, 코딩 리스트와 단위, 통합 및 확인 시험 내용이다. 문서의 검증은 출력 문서를 읽고 절차에 따라 작성되었는지, 각 문서 내용이 정확한지, 문서 내용 간에 일관성이 있는지, 이전 단계에서 작성된 문서 내용과 호환되는지, 문서가 이해하기 쉽게 작성되었는지에 따라 평가한다. 코드 검증은 코딩 리스트가 코딩 표준에 의해 작성되었는지를 검사하고 시험 검증은 모든 시험 단계에서 시험이 계획에 따라 성공적으로 이루어졌는지, 기록된 결과가 만족스러운지와 발견된 이상 현상에 대한 처리가 제대로 되었는지를 확인한다. 소프트웨어 품질 확보를 위해서는 SQAP에 부합해서 품질 감사를 실시해야 한다.

나. 도시형 자기부상열차 인증체계 구축방안

1. 자기부상열차 실용화 단계에 있는 경쟁국들의 성능시험체계는 설계 초기단계부터 안전성평가 및 성능검증을 거쳐 자기부상열차의 안전운행을 확보하고 있음.

2. 선진 도시철도 운영국들은 성능시험을 국가규정으로 제도화하여 의무사항으로 부과하고 있음.

3. 해외 성능시험은 자기부상열차 운영국가가 제시한 기술제안서의 요구사항에 따라 제조자는 국제시험규격에 따른 성능시험을 수행하여 시스템의 성능과 안전성을 만족 시키도록 하고 있음.

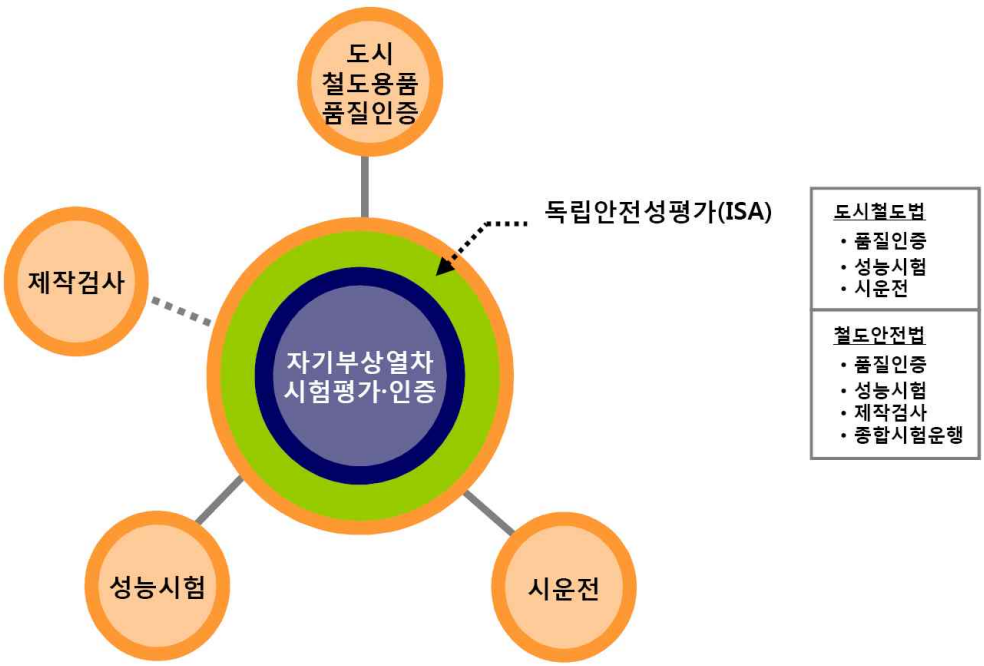
4. 일반 도시철도 시스템과 구분하여 별도 법규 및 법령을 두고 있으며, 성능시험과 함께 안전에 관한 평가를 최우선적으로 고려함.

5. 철도안전법에 의한 시험평가/인증은 다음과 같다.
   - 철도용품 품질인증 : 철도에 사용되는 부품·기기 또는 장치(철도용품)의 성능 및 안전성 확보를 위한 품질인증
   - 성능시험 : 철도차량 및 시설형식과 성능에 관하여 국토해양부장관이 지정하는 자(성능시험자)가 실시하는 시험
   - 제작검사 : 국토해양부가 지정한 철도차량 제작검사 전문기관에서 실시, 철도차량 품질 및 안전성 확보 확인 검사
   - 종합시험운행 : 철도시설의 설치상태 및 열차운행체계 점검 및 철도종사자의 업무숙달 등을 위한 종합시험운행

6. 도시철도법에 의한 시험평가/인증은 다음과 같다.
   - 도시철도용품 품질인증 : 도시철도에 사용되는 부품·기기 또는 장치(도시철도용품)의 성능 및 안전성 확보를 위한 품질인증
   - 성능시험 : 도시철도 차량 및 시설형식과 성능에 관하여 국토해양부장관이 지정하는 자(성능시험자)가 실시하는 시험

7. 도시형 자기부상열차 실용화사업의 시험평가 및 인증은 품질인증, 제작검사, 성능시험, 종합시험운행의 4단계로 나누어 실시된다. 여기서, 제작검사 및 종합시험운행은 도시철도법상에는 규정되어 있지 않으나, 철도안전법을 준용하여 본 사업에는 적용하고자 한다.

8. 실용화사업의 시험평가 및 인증체계는 국내 자기부상열차 시스템의 해외 수출시장 개척을 위한 시험평가 및 시스템 인증체계 구축을 목표로 추진하고 있음.



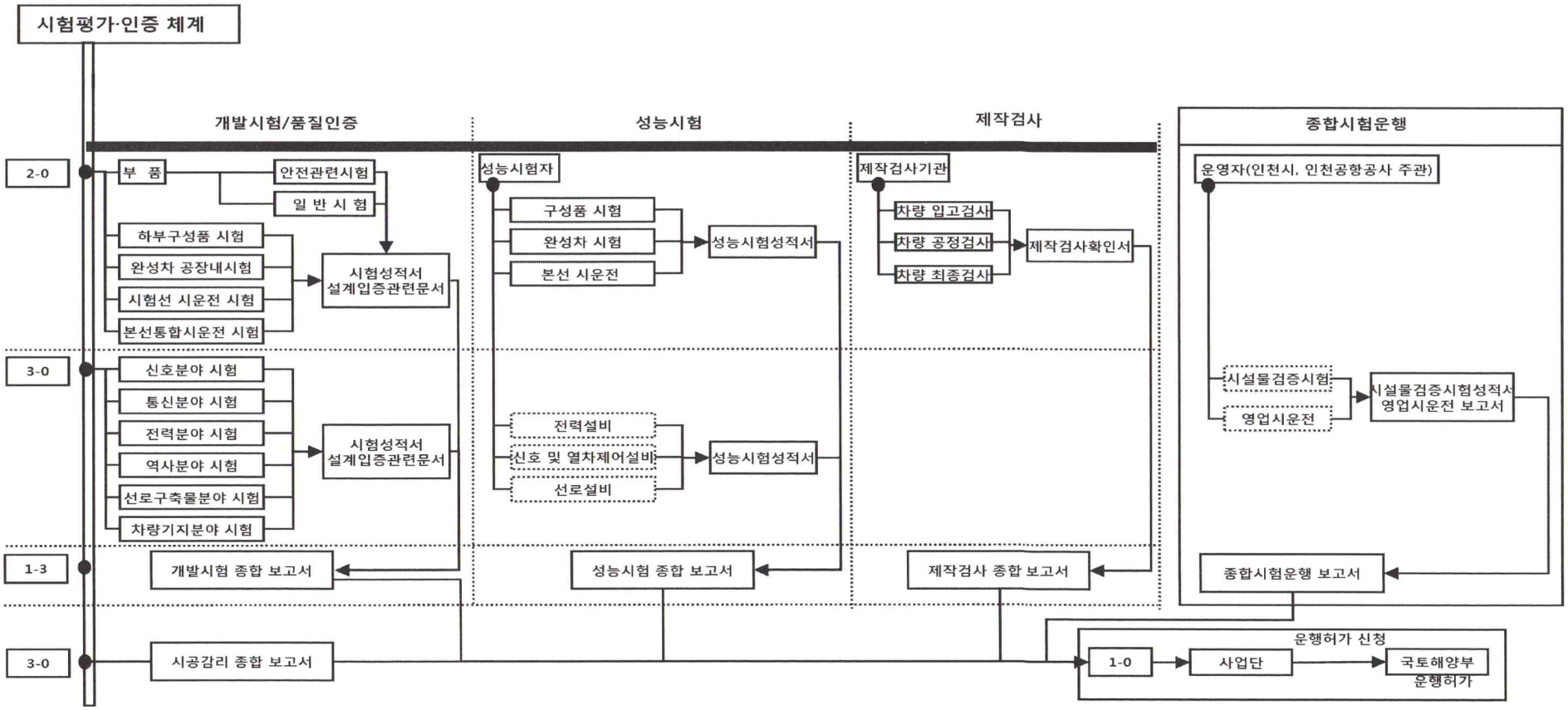
[그림 189]도시형 자기부상열차실용화 사업의 시험평가・인증

▫ 다음 표는 철도차량 성능시험 및 제작검사의 수행절차(안)임.

[표 115]철도차량 성능시험인증 및 제작검사 수행절차(안)

시험/검사	수행업무	수행절차		
		수주 프로젝트	현대로템(안)	1-3세부(안)
성능시험인증	① 성능시험인증 의뢰요청	제작사 → 국토해양부	1-3세부 → 국토해양부	제작사 → 1-3세부 → 국토해양부
	② 성능시험 실시 통보:	국토해양부 → 제3인증기관	국토해양부 → 제3인증기관	국토해양부 → 제3인증기관
	③ 성능시험 항목 및 비용 협의 - 구성품 시험항목 - 완성차 시험항목 - 본선 시험항목	제3인증기관/제작사	제3인증기관/1-3세부/제작사	제3인증기관/1-3세부/제작사
	④ 성능시험인증 계약체결	제3인증기관/제작사	제3인증기관/1-3세부	제3인증기관/1-3세부/제작사
	⑤ 시험절차서 취합/제출	제작사 → 3인증기관	제작사 → 1-3세부 → 3인증기관	제작사 → 1-3세부 → 3인증기관
	⑥ 성능시험 착수보고	제3인증기관 → 국토해양부	제3인증기관 → 국토해양부	제3인증기관 → 국토해양부
	⑦ 성능시험 입회요청	제작사 → 제3인증기관	제작사 → 1-3세부 → 3인증기관	제작사 → 제3인증기관
	⑧ 성능시험 결과보고	제3인증기관 → 국토해양부	제3인증기관 → 국토해양부	제3인증기관 → 국토해양부
	⑨ 성능시험인증서 수여	국토해양부 → 제작사	국토해양부 → 1-3세부	국토해양부 → 제작사
	⑩ 성능시험인증서 제출	제작사 → 사업단	1-3세부 → 사업단	제작사 → 1-3세부 → 사업단
제작검사	① 제작검사 의뢰요청	시행청 → 검사기관	-	사업단 → 검사기관
	② 제작검사 계약체결	시행청/검사기관	-	사업단/검사기관
	③ 제작검사 착수통보	시행청 → 제작사	-	사업단 → 제작사
	④ 제작검사 협의	검사기관/제작사	해당기관/제작사	검사기관/제작사
	⑤ 제작검사 실시	검사기관	해당기관	검사기관
	⑥ 제작검사 결과 제출	검사기관 → 시행청	해당기관 → 사업단	검사기관 → 사업단

▫ 실용화사업에서 각 핵심 및 세부기관별 시험평가 업무 및 운행허가를 위한 인증체계는 다음과 같다



[그림 190]도시형 자기부상열차 기관별 업무 및 시험평가/인증체계도

다. 시스템 안전성평가 방안 수립

(1) 제3자 안전성평가 획득방안 조사연구

(가) 제3자 안전성 평가

안전성 평가는 전 세계적으로 널리 통용되는 유럽 철도 적용 기준에 의거하여 개발 중인 인천국제공항 도시형 자기부상열차 실용화 사업 1 단계의 제3자 안전성 평가를 통한 공인기관 시스템 인증 획득을 뜻한다.

제3자 안전성 평가는 모든 안전성 요인 및 관련 서브시스템, 운영자와 유지 및 보수 조직의 구성, 인천국제공항의 1단계 사업 적용을 위한 관련 운행 및 유지 보수 프로세스를 포함하는 도시형 자기부상열차 시스템의 모든 부분을 포함한다. 이는 향후의 프로젝트 단계에도 연장하여 실시되어질 수 있다.

시스템 인증을 위한 제3자 안전성 평가는 일반적으로 안전성(S)에 한정하여 수행된다. 핵심적인 신뢰성, 가용성, 유지보수성 (Reliability, Availability, Maintainability : RAM)과 관련된 문제점은 안전성과 관련된 경우에 평가대상이 된다. 그러나 안전성과 관련이 없는 기능들, 시공단계에서의 건강 및 안전성, 그리고 보안 문제점은 평가자의 업무에 포함되지 않는다.

운행 면허는 제3자 안전성 평가기관이 수행한 평가에 기초하여 우리나라 국토해양부로부터 허가된다.

도시형 자기부상열차 시스템은 완전 무인 시스템이기 때문에 제3자 안전성 평가를 수행하는 기관은 다음 프로젝트에서의 완전 자동 도시형 열차시스템 안전성 평가 경험 및 교훈이 유용할 것으로 여겨진다.

- 프랑크푸르트 국제공항에 있는 "Skyline" 열차,
- 코펜하겐 메트로
- 초고속 자기부상열차인 TRANSRAPID
- Lausanne Metro의 신 자동라인 M2

도시형 자기부상열차 시스템의 평가 항목은 다음과 같은 내용을 포함할 수 있다.

□ 시스템 전반적인 관점:
- 전체적인 시스템과 안전성의 개념
- 탈출 및 구조 개념, 화재 방제 개념
- 전반적인 안전성 입증 및 서브시스템 통합
- 상업운행을 위한 운행 및 유지보수 개념

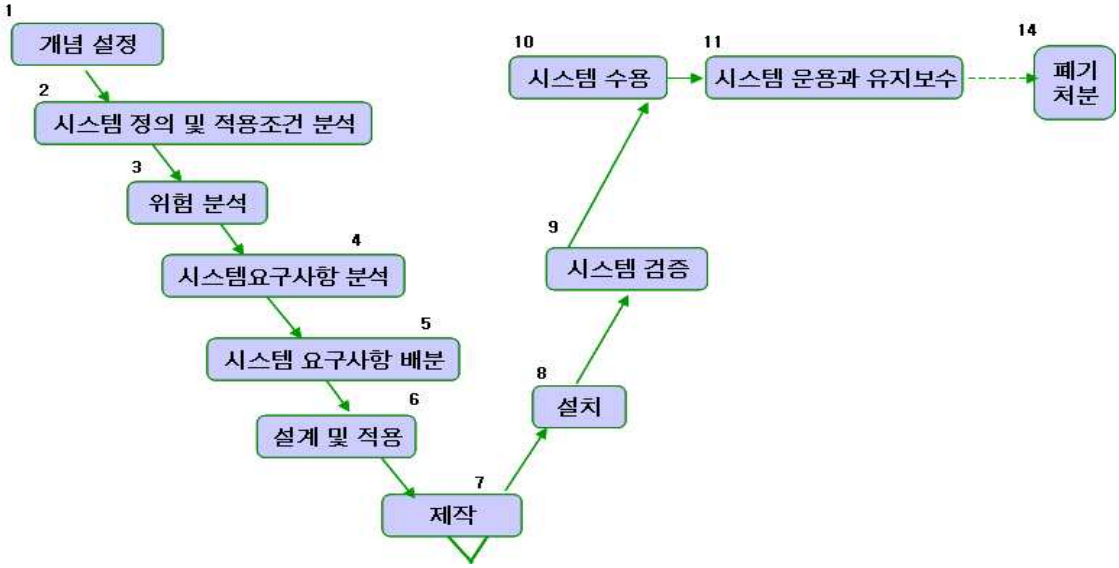
□ 교통 시스템 관점
- 가이드 웨이 (Permanent Way)
- 자기부상열차
- ATC

□ 운영 및 유지보수 관점
- 운영 및 유지보수 절차
- 승무 배치 및 스텝의 인식(자격요건, 교육, 기술)
- 인간/기계 인터페이스

(나) 제3자 안전성 평가 기준

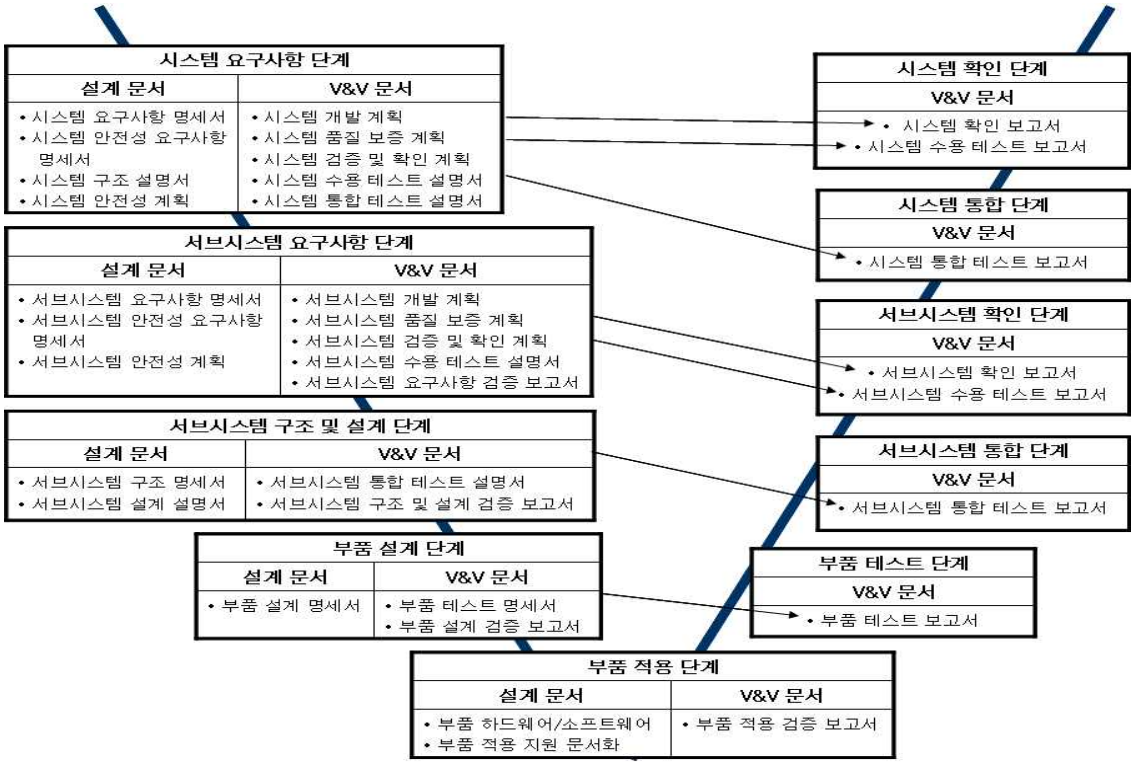
시스템 인증을 위해 EN 50126에 따라 다음의 평가 기준이 적용된다.
도시형 자기부상열차 실용화 사업의 시스템 인증 평가 대상은, 인천국제공항 자기부상열차 실용화 사업라인 1단계, 6.1 km 트랙으로, “시스템 공급자”는 도시형 자기부상열차 실용화 상업의 사업단장이며, 프로젝트의 시스템 통합은 1핵심과제 연구책임기관인 한국기계연구원에서 맡아 수행하며, 자기부상열차 차량은 현대 로템이 2핵심과제 연구기관으로 개발, 설계, 생산, 공급하며, 노선건설은 한국철도시설공단이 3핵심과제 연구기관으로 실용화사업에 참가하고 있다.

도시형 자기부상열차 시스템의 설계 및 개발 프로세스는 그림 3-3-1과 같이 유럽철도분야 규격에서 제시하는 수명주기 모델을 따른다.



[그림 191]유럽 철도분야 규격 수명 주기 모델

도시형 자기부상 열차 시스템의 개발과 설계는 현재 진행 중이며, 위 그림에 나타난 시스템과 각각의 안전성 기능 및 서브시스템, 그리고 그들의 원천적 기술관련 주요 문서가 사업단으로부터 작성되어 제3자 안전성 평가기관에 제출 되어야 한다.



[그림 192]일반적인 시스템 개발 수명주기

(다) 제3자 안전성 평가의 기본 업무

제3자 안전성 평가의 기본 업무는 다음과 같은 규정과 규격에서 제시하는 기준에 따라 수행한다.

□ EN 50126 / IEC 62278 철도분야 -신뢰성, 가용성, 유지보수성 그리고 안전성(Reliability, Availability, Maintainability and Safety : RAMS)의 시방서 및 설명서

□ EN 50128 / IEC 62279 철도분야 - 의사소통, 수신호 및 프로세싱 시스템
철도 감독 및 보호 시스템을 위한 소프트웨어

□ EN 50129 / IEC 62425 철도분야 - 의사소통, 수신호 및 프로세싱 시스템
안전성 관련된 전자 수신호 시스템

□ EN 50159-1/IEC 62280-1 철도분야 - 의사소통, 수신호 및 프로세싱 시스템
제 1단계: 폐쇄 송신 시스템에서의 안전성 관련된 의사소통

□ EN 50159-2/IEC 62280-2 철도분야 - 의사소통, 수신호 및 프로세싱 시스템
제 2단계: 개방 송신 시스템에서의 안전성 관련된 의사소통

□ NFPA-130 고정된 유도 통행 시스템의 기준
미국 화재 예방 협회, 2000년 판

□ EN ISO 9001 품질 경영 시스템 요구사항

을 기본으로 EMC 등 환경 조건 관련된 다른 기준들이 적용된다.

각각의 서브시스템 및 부품의 구성요소에 따라 세부적인 규정 및 규격이 적용될 수 있다. 국제적으로 통용되는 유럽 철도규격 시리즈는 철도 시스템의 시스템 안전성 확보와 입증을 위해 구조적인 접근과 유연한 방법을 제공하고 있다. 새로운 기술의 분석과 평가뿐만 아니라, 입증된

기술과 방법의 통합은 쉽게 가능하고 실현할 수 있다.

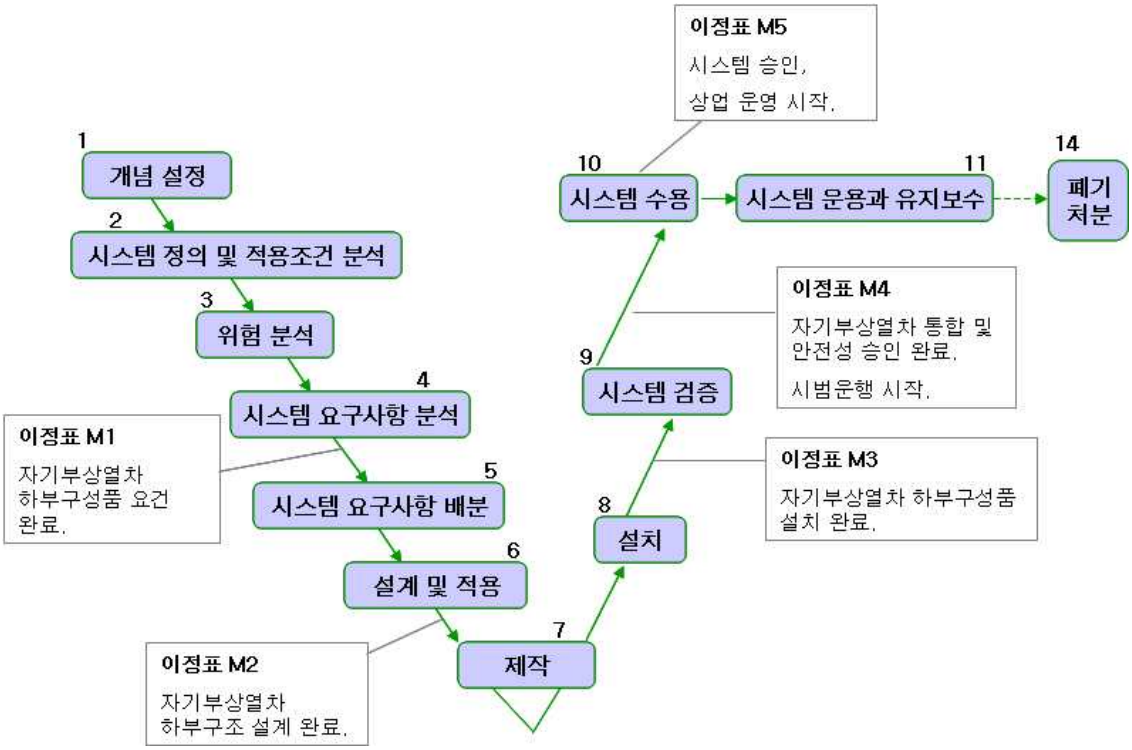
이 규격을 적용하는 철도 기술에 대한 개연론적 접근법은 다른 기술 분야에서 사용되는 논리와 같다. EN 5012x 철도분야 규격 시리즈를 사용함으로써 철도 시스템과 구성요소들에 대한 안전성과 상호 수락(acceptance)이 관련된 이점이 있다. 만약 EN 50129의 안전성 개념이 개별 기술에 적용되어 모든 서브시스템을 포함하는 전체 시스템의 기본에 적용된다면, 전체 철도 시스템에 적절히 분배된 안전성 레벨을 달성할 수 있다. 다른 철도 시스템에서 이런 접근법을 사용함으로써 얻은 경험은 이 접근법의 효과를 입증하는데 큰 도움이 된다.

유럽과 국제 철도 차량/시스템 시장에서 상호 수락의 중요성은 점점 더 커지고 있다. 유럽의 통합된 표준화가 이런 경향에 큰 기여를 하였고, 미국과 아시아에서도 유럽의 접근법에 대한 높은 관심을 보이며 이 접근법의 강점을 부각시킨다. 이는 미래의 자기부상열차 시스템을 포함한, 무인 철도 시스템이 현대의 정보 처리 능력이 있는 운송 시스템과 서비스 분야에서 더 깊이 개발되고 실행될 수 있다는 것을 보여준다.

유럽 CEN/CENELEC 에 의한 철도규격의 개발은 ISO/IEC의 표준 개발에 그대로 적용되고 있다. 또한 이러한 규격들은 국제적인 표준 확정을 위한ISO/IEC의 투표에서 성공적으로 통과 되고 있으며, 전 세계적으로 점점 더 널리 받아들여지고 있다.

(라) 수명주기와 단계별 안전성 평가 프로세스

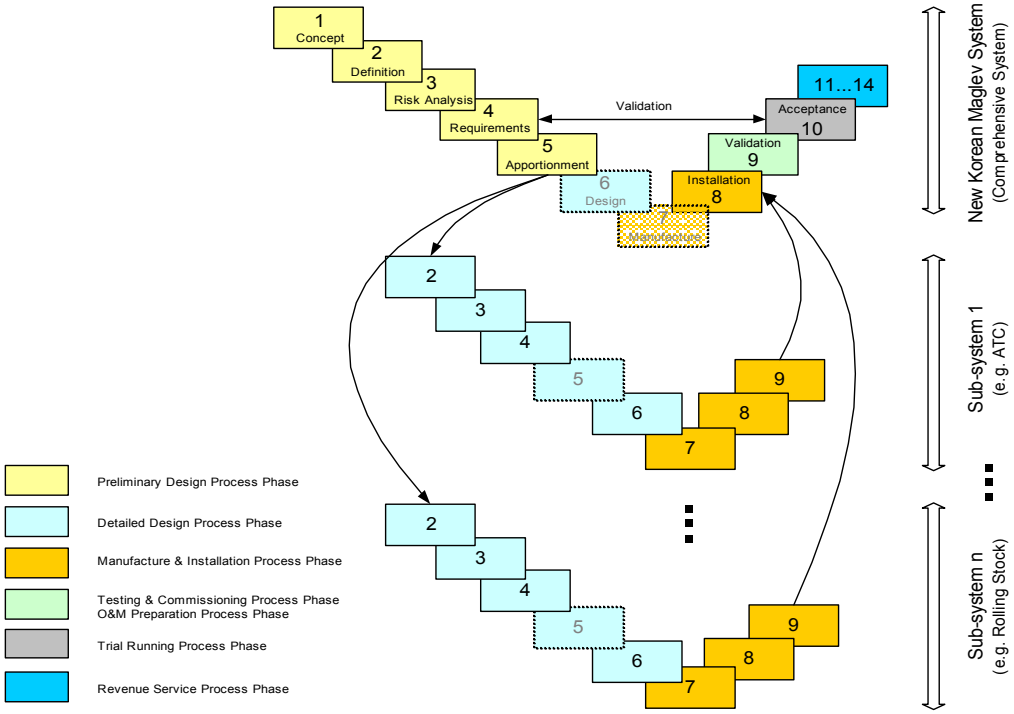
자기부상열차 시스템의 설계 및 개발 프로세스는 아래 그림과 같이 유럽 철도분야규격의 수명주기 모델을 따른다. 안전성의 지속적인 평가와 함께 하는 프로젝트는 모든 관련 안전성 활동과 그와 관련된 기관들이 제 자리에 있는지 알아야 하기 때문에, 어느 정도 수명주기 단계가 지난 후 중간 안전성 인증 단계별 프로세스를 도입시키는 것이 좋다. 그러므로 다음의 프로젝트 단계별 프로세스 평가를 제안한다.



[그림 193]제3자 안전성 평가 단계

단계별 안전성 평가 프로세스는 제3자 안전성 평가자가 내린 분석 결과에 따라 발주처의 승인으로 완성된다.

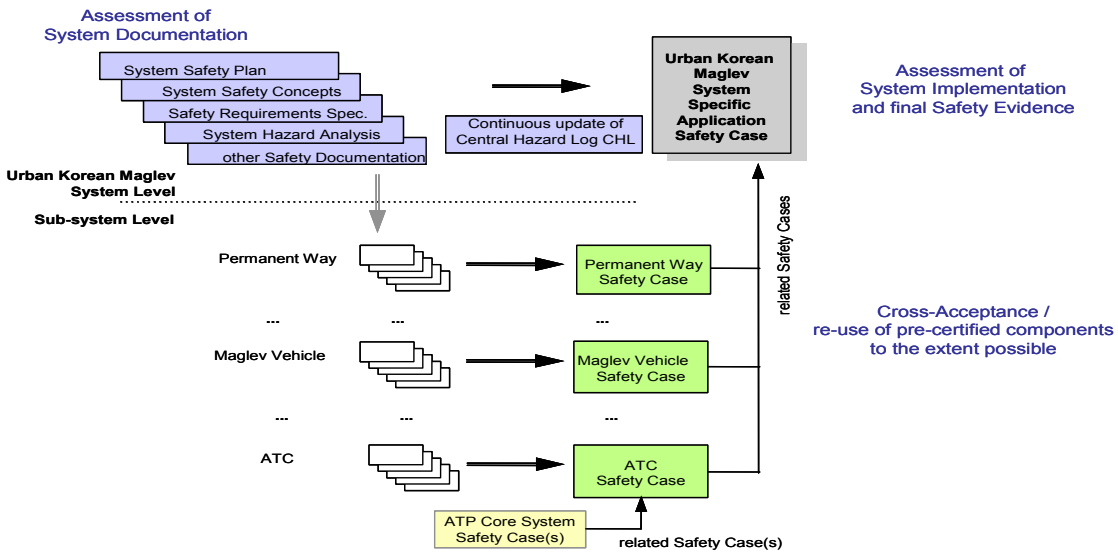
자기부상열차 시스템과 같이 복잡한 시스템은 전반적인 수명주기 모델을 변형시켜 아래 그림과 같이 전체적인 시스템 측면뿐만 아니라 서브시스템 이슈들을 다루는 것이 필요하다. 이 그림은 자기부상열차 시스템 프로젝트에 맞게 변형된 유럽 철도분야 규격의 수명주기를 적용시키는 것을 설명한다.



[그림 194]한국의 자기부상열차 프로젝트 Life cycle 모델 및 단계별 과정

(마) 안전성 평가 접근법

제3자 안전성 평가는 명백하고 정확한 안전 문서 및 목표 달성 여부의 확실한 확인에 초점을 둔다. 제3자 안전성 평가 접근법에 대한 세부사항은 아래 그림에 제시하였다.



[그림 195]안전성 평가 접근법

제3자 안전성 평가법은 크게 3단계로 요약이 가능하다.

첫째, 개념 평가로 허용된 개념, 요건 및 위험요소 문서 평가

둘째, 서브시스템 자기부상열차에 대한 이용 가능한 안전성 입증문서 확인

셋째, 시스템 확인으로 시스템 요건에 따른 서브시스템 시험결과 확인 (시험보고서와 자세한 안전대책 보고서에 대한 문서화)

일반적으로 수행되는 감사활동과 같이 시스템 레벨에서 이용 가능한 문서를 활용한다. 정보가 부족한 경우, 시스템 요건 및 시험 결과가 이미 존재하는 자기부상열차 또는 시스템 엔지니어링 문서로부터 나올 수 있는지의 여부를 검증한다.

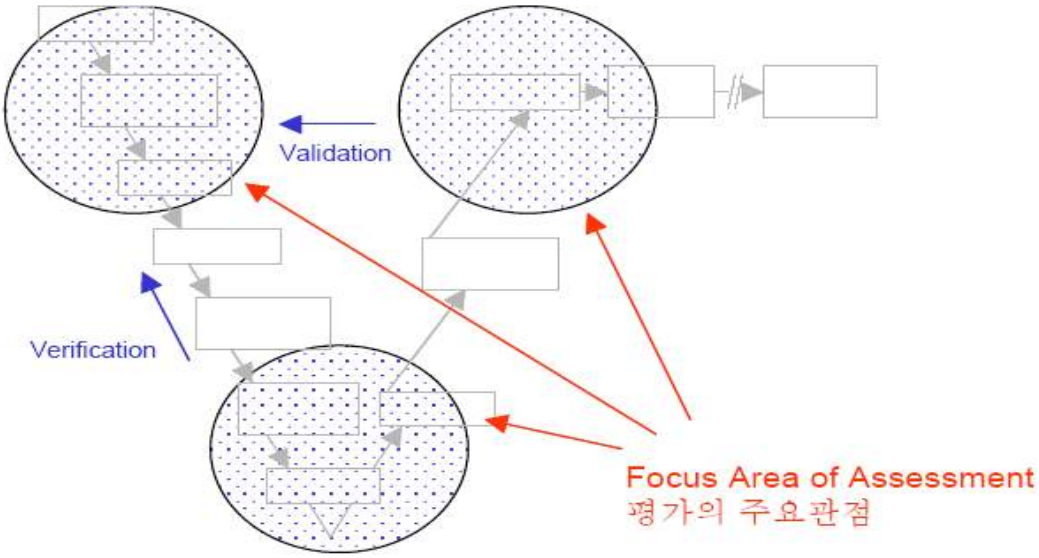
제3자 안전성 평가자에 의해 확인 가능한 다양한 방법으로 안전성 입증이 가능하나, 자기부상열차 시스템 및 서브시스템의 상세 개발 프로세스에서의 안전성관련 자료 제공 및 그 결과에 대한 인증 여부는 논의 하여 결정한다.

(바) 안전성 평가 계획

제3자 안전성 평가를 위해 다.항의 적용 가능한 코드, 규격과 합의된 인증 프로세스 및 안전성 조직을 토대로 평가자는 최소한 다음의 항목들을 포함하는 상세한 평가 계획을 수립하여야 한다.

- 평가자 프로젝트 조직, 역할 및 책임 설명
- 안전성 기능의 평가업무 할당
- 프로젝트 분석 구조의 평가업무 할당
- 프로젝트 스케줄/단계별 과정에게 평가업무 할당
- 핵심 측면 설명/ 크리티컬 패스 묘사
- 문서 전달, 감사 및 회의 계획

다음의 그림과 같이 평가는 개념/시스템 요구사항 단계, 설계 및 설계 확인 단계, 그리고 시스템 통합/시험 단계(시스템 유효성)에 초점을 맞출 수 있다.



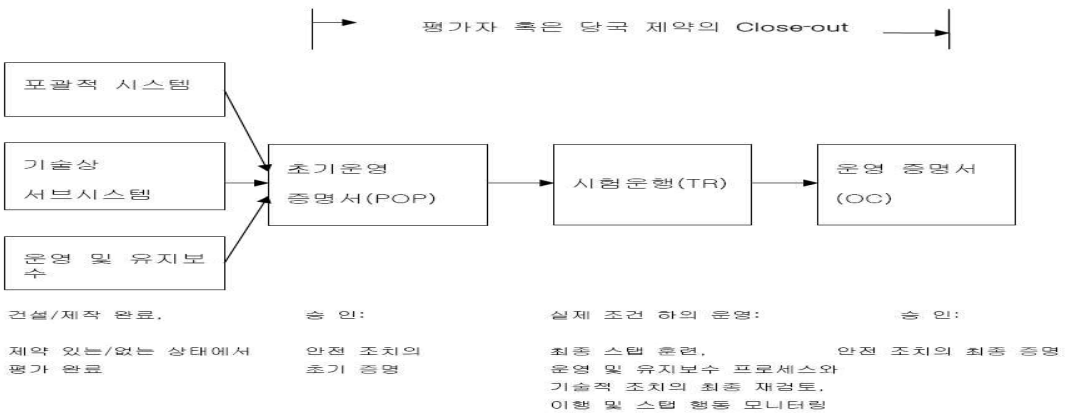
[그림 196]평가의 주요 관점

(사) 제3자 안전성 평가 프로세스

정부 당국의 안전성 승인은 정부당국(우리나라 국토해양부 장관)이 지정한 책임자가 발급한다. 인증은 시범 운행을 허락하는 초기 운행 증명서(Preliminary Operations Certificate : POC)로 제3자가 평가한 안전성 평가에 기초한다.

시범 운행을 마치고 최종 결함까지 마무리 지은 후 최종 운행 허가서가 발급되어 상용 운영면허가 자기부상열차 운영자에게 주어진다.

아래 그림에 안전성 평가법이 나타나 있다.



[그림 197]안전성 평가법

라. 구성품 시험계획서/절차서 개발

(1) 구성품 시험계획서/절차서 개요

1, 2차년도에 걸쳐 개발된 구성품시험 계획서 및 절차서는 관련과제의 검토 및 협의를 거쳐 보완, 개발하였음.

구성품 시험계획서는 도시형 자기부상열차 실용화 차량을 대상으로 구성품 의 품질을 검증하기 위한 성능시험계획에 대한 것이다. 성능시험은 구성품 개발후의 품질수준을 결정하고 양산단계에서의 제품의 결함발생을 줄이며, 설계기준에 필요한 설계변수를 도출하여 완성품의 제조 및 시험평가에 대한 기반기술을 확보하기 위함으로써 시험항목코드 및 시험절차서의 문서번호는 다음과 같다.

[표 116]구성품 시험항목코드 및 문서번호

시험	시험항목코드	시험절차서
구조체하중시험	212-2-121-O-001	M1300-SE+TS-101-0021
대차시험	210-2-121-O-001	M1300-SE+TS-101-0022
부상용전자석시험	222-2-122-O-001	M1300-SE+TS-101-0023
추진제어장치시험	213-2-123-O-001	M1300-SE+TS-101-0024
보조전원장치시험	210-2-122-O-001	M1300-SE+TS-101-0025
신호보안장치시험	210-2-123-O-001	M1300-SE+TS-101-0026
종합제어장치시험	210-2-123-O-002	M1300-SE+TS-101-0027
부상제어장치시험	220-2-123-O-001	M1300-SE+TS-101-0028

(2) 구성품 시험절차서

(가) 구조체 시험절차서

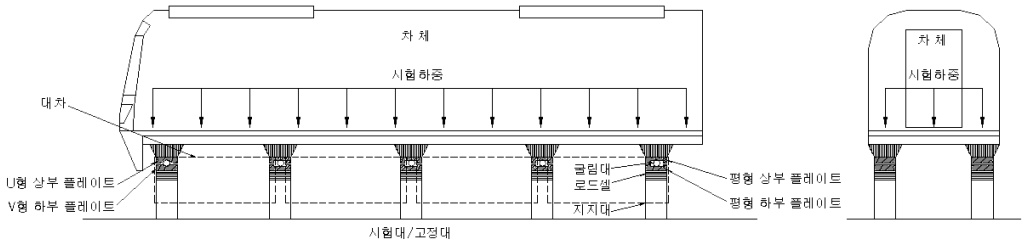
1) 시험목적

본 절차서는 도시형 자기부상열차의 차체 구조체에 대한 정하중시험 및 고유진동수시험을 위한 시험절차를 규정하고, 규정에 맞는 시험을 수행할 수 있도록 함을 그 목적으로 한다.

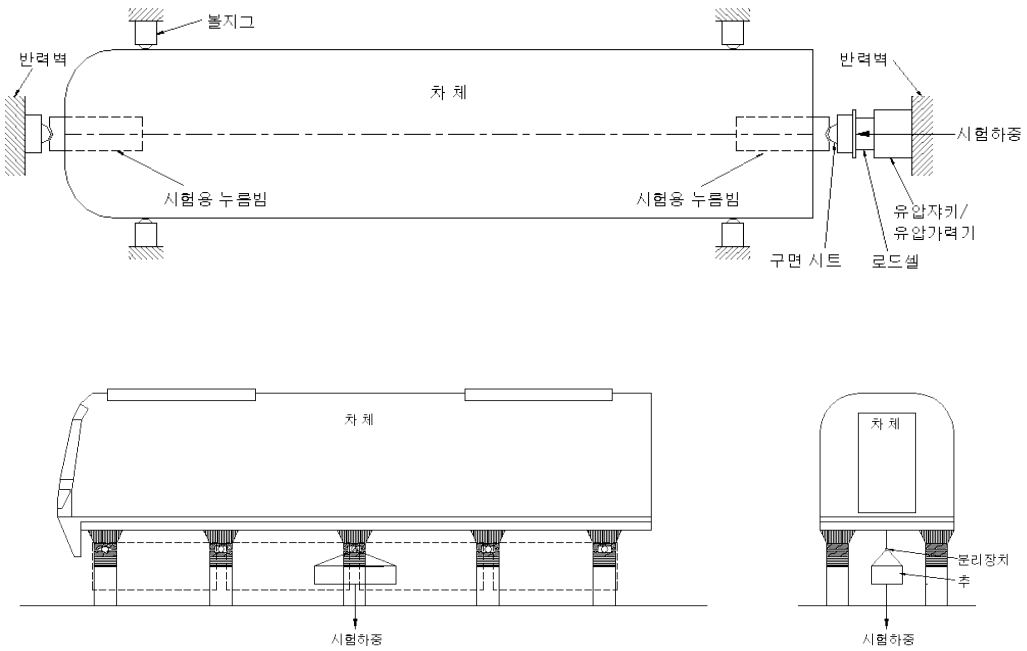
2) 시험항목

구분	시험 항목	형식시험	전수시험
1	수직하중시험	◎(주1)	
2	수평압축하중시험	◎	
3	굽힘고유진동수 측정시험	◎	
주 1 : 시험항목중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.			

3) 차체 지지방법 및 시험하중 부하방법



[그림 198]차체 지지방법(4대차 방식)



[그림 199]시험하중 부하방법

(나) 대차시험절차서

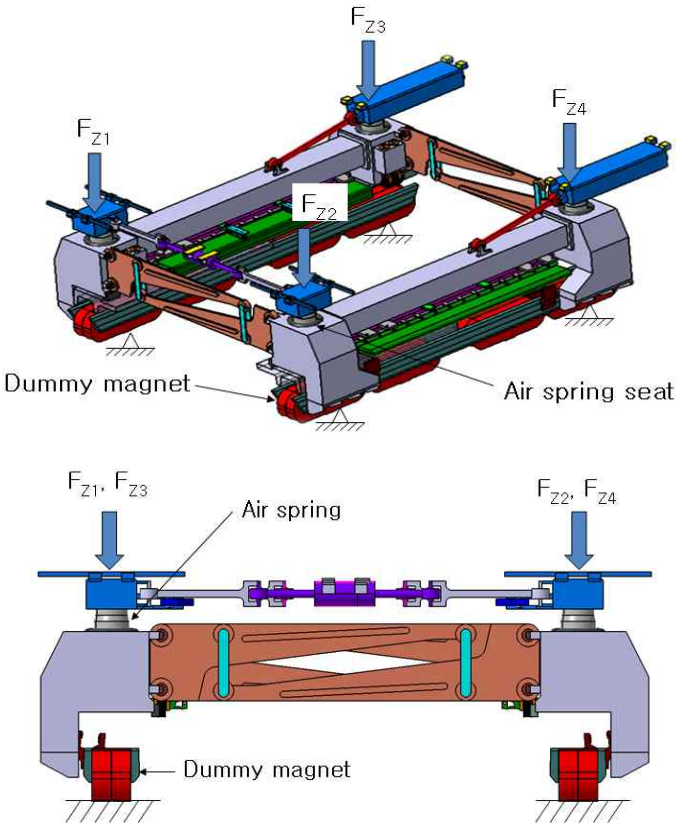
1) 시험목적

본 절차서는 도시형 자기부상열차 차량 대차의 구조 및 치수검사, 조립품 체결검사 및 대차프레임 하중시험을 위한 시험절차를 규정하고, 규정에 맞는 시험을 수행할 수 있도록 함을 그 목적으로 한다.

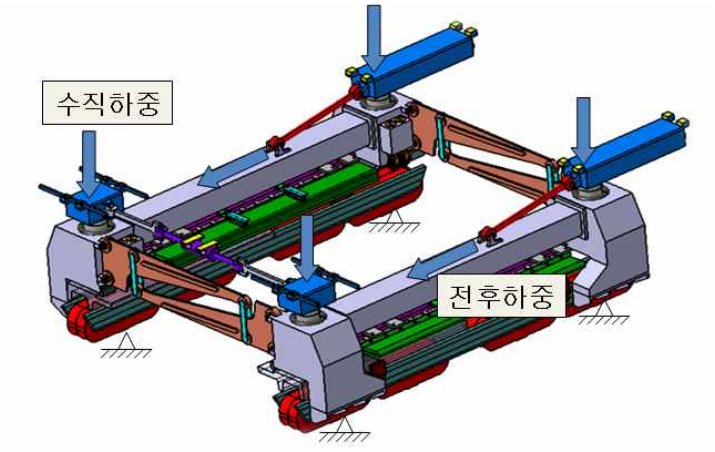
2) 시험항목

구분	시험 항목	형식시험	전수시험
1	구조 및 치수 검사	◎(주1)	◎
2	조립품 체결검사	◎	◎
3	대차프레임 하중검사	◎	
4	대차높이 측정시험	◎	◎
주 1 : 시험항목중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.			

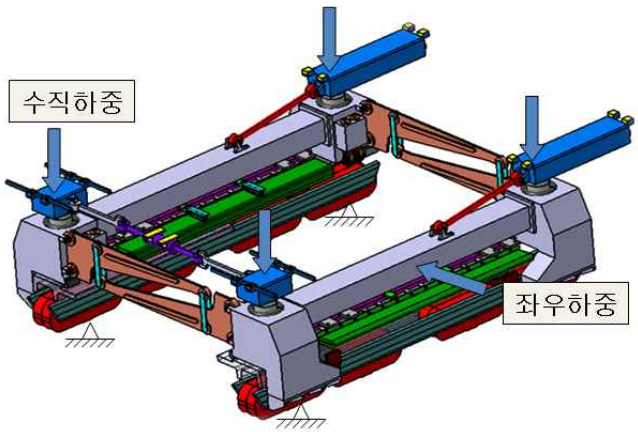
3) 대차정하중시험방법 예시



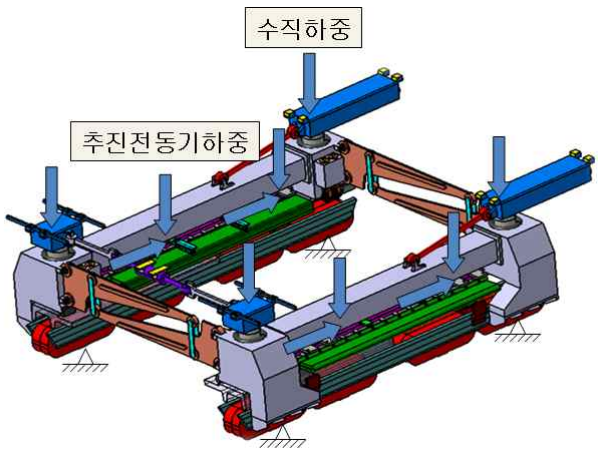
[그림 200]수직하중시험



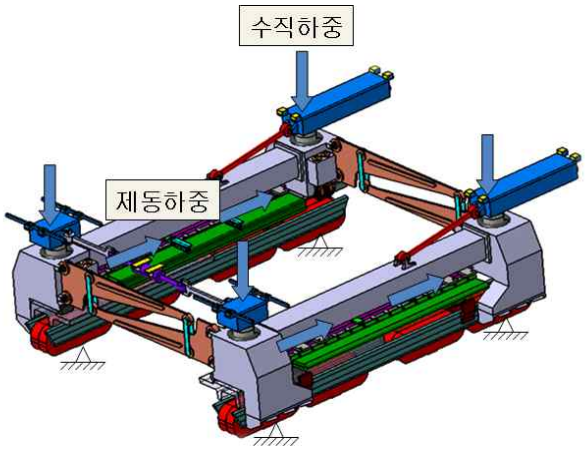
[그림 201]전후하중시험



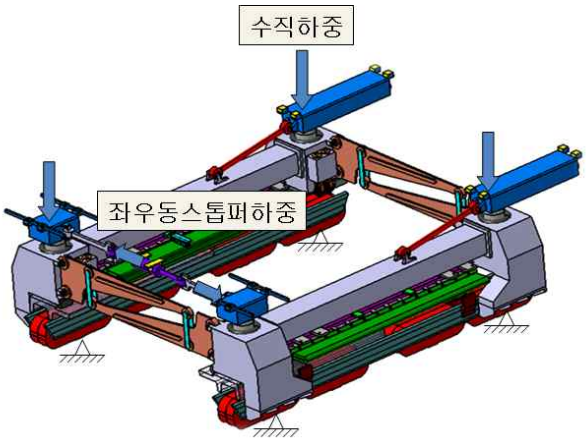
[그림 202]좌우하중시험



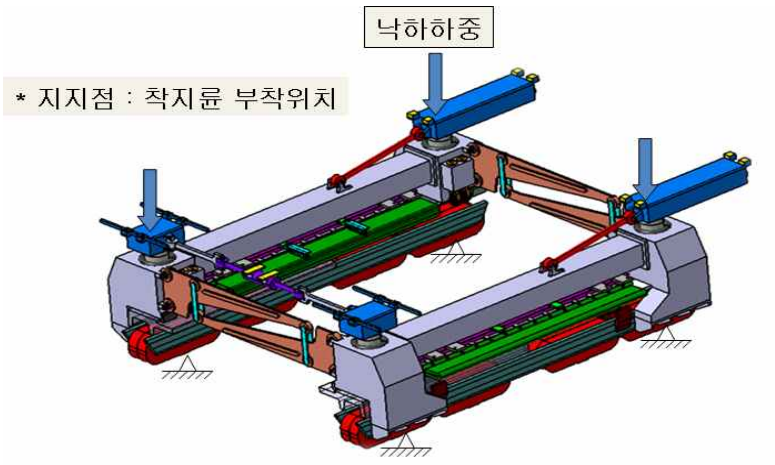
[그림 203]추진전동기하중시험



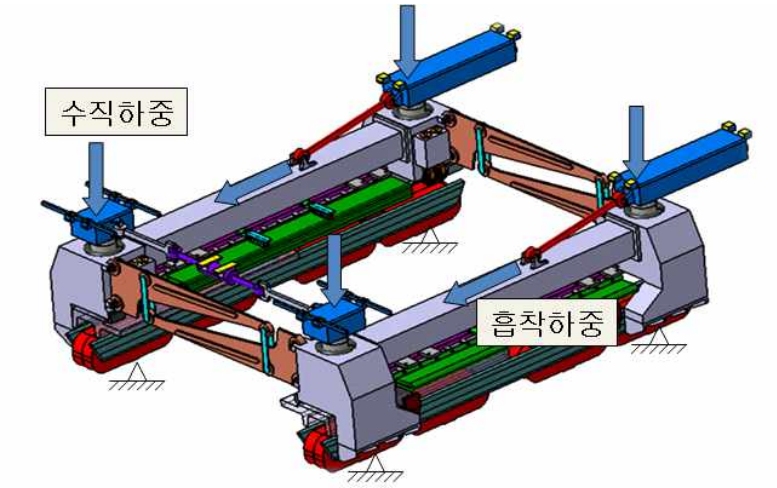
[그림 204]제동하중시험



[그림 205]좌우동스톱퍼하중시험



[그림 206]낙하하중시험



[그림 207]흡착하중시험

(다) 부상용전자석 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 도시형 자기부상열차 대차에 설치되는 부상시스템의 부상용 전자석의 차량성능시험을 위한 특성시험을 수행함에 있어 전자석의 성능을 확인하고 규정된 기능 및 성능상태가 적합한지를 평가하기 위한 성능시험절차를 규정하고 규정에 맞는 원활한 시험을 수행할 수 있도록 함을 그 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험항목	형식시험	전수시험
1	외관구조검사	◎(주1)	◎
2	측정시험	◎	◎
3	부상력 및 자속측정시험	◎	◎
4	소음시험	◎	
5	온도상승	◎	◎
6	효율측정시험	◎	
7	절연저항시험	◎	◎
8	내전압시험	◎	◎
9	안전요구시험	◎	◎
10	진동시험	◎	
11	방수 및 침수시험	◎	◎
주 1 : 시험항목중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.			

(라) 추진제어장치 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 자기부상열차 차량의 추진제어시스템을 구성하는 추진제어 인버터와 선형전동기 및 이들 조합시스템의 성능을 확인하고 동작상태가 적합한지 평가하기 위한 성능시험절차를 규정하고 규정에 맞는 원활한 시험을 수행할 수 있도록 함을 그 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험항목	형식시험	전수시험
1	외관구조검사	◎(주1)	◎
2	측정시험	◎	◎
3	온도상승시험	◎	
4	특성시험	◎	◎
5	과속시험	◎	◎
6	소음시험	◎	
7	절연저항시험	◎	◎
8	내전압시험	◎	◎
9	진동시험	◎	◎
10	임피던스측정	◎	◎
11	통전내력시험	◎	
12	방수시험	◎	
주 1 : 시험항목중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.			

(마) 보조전원장치 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 실용화 자기부상열차 차량에 적용되는 보조전원장치의 차량성능시험을 위한 구성품 시험을 수행함에 있어 보조전원장치의 성능을 확인하고 규정된 동작 상태가 적합한지 평가하기 위한 성능시험 절차를 규정하여 규정에 맞는 원활한 시험을 수행할 수 있도록 함을 그

목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험 항목	형식시험	전수시험
1	외관 구조 검사	◎(주1)	◎
2	측정 시험	◎	○(주2)
3	진동•충격 시험	◎	○
4	소음 시험	◎	○
5	기동 및 정지 시험	◎	◎
6	경 부하 시험	◎	◎
7	부하맥동 시험	◎	○
8	효율 시험	◎	○
9	부하급변 시험	◎	○
10	전압변동 시험	◎	○
11	보호회로 동작확인 시험	◎	◎
12	전자파장애 시험	◎	○
13	공급과전압과 과도에너지 시험	◎	◎
14	온도상승 시험	◎	○
15	절연저항 시험	◎	◎
16	내전압 시험	◎	◎
17	방수 시험	◎	○
18	환경 시험	◎	○
주 1 : 시험 항목 중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다. 주 2 : 시험 항목 중 “○” 표시된 시험은 시험품의 성능 확인을 위하여 필요하다고 인정되는 경우에 한하여 실시한다.			

(바) 신호보안장치 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 자기부상열차 차량에 설치되는 신호보안장치의 차량성능시험을 위한 구성품 시험을 수행함에 있어 신호보안장치의 성능을 확인하고 규정된 동작상태가 적합한지 평가하기 위한 성능시험기 절차를 규

정하고 규정에 맞는 원활한 시험을 수행할 수 있도록 함을 그 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험 항목	형식시험	전수시험
1	외관 구조 및 치수 검사	◎(주1)	◎
2	전원 변동 시험	◎	○(주2)
3	저온 시험	◎	○
4	고온 시험	◎	○
5	고온·고습 시험	◎	○
6	과전압, 서지, 정전 방전 시험	◎	○
7	과도 버스트 시험	◎	○
8	무선주파수 간섭 시험	◎	○
9	절연 시험	◎	◎
10	진동, 충격 시험	◎	○
11	방수 시험	◎	○
12	온도 사이클링 시험	◎	○
13	조합 시험	◎	○
주 1 : 시험항목중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다. 주 2 : 시험항목중 “○” 표시된 시험은 시험품의 성능 확인을 위하여 필요하다고 인정되는 경우에 한하여 실시한다.			

(사) 종합제어장치 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 자기부상열차 차량에 설치되는 종합제어장치의 차량성능시험을 위한 구성품 시험을 수행함에 있어 종합제어장치의 성능을 확인하고 규정된 동작상태가 적합한지 평가하기 위한 성능시험기 절차를 규정하고 규정에 맞는 원활한 시험을 수행할 수 있도록 함을 그 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험 항목	형식시험	전수시험
1	외관 구조 및 치수 검사	◎(주1)	◎
2	전원 변동 시험	◎	○(주2)
3	저온 시험	◎	○
4	고온 시험	◎	○
5	고온·고습 시험	◎	○
6	과전압, 서지, 정전 방전 시험	◎	○
7	과도 버스트 시험	◎	○
8	무선주파수 간섭 시험	◎	○
9	절연 시험	◎	◎
10	진동, 충격 시험	◎	○
11	방수 시험	◎	○
12	온도 사이클링 시험	◎	○
13	조합 시험	◎	○
주 1 : 시험항목중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다. 주 2 : 시험항목중 “○” 표시된 시험은 시험품의 성능 확인을 위하여 필요하다고 인정되는 경우에 한하여 실시한다.			

(아) 부상제어장치 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 자기부상열차 차량에 설치되는 부상제어장치의 차량성능시험을 위한 구성품 시험을 수행함에 있어 부상제어장치의 성능을 확인하고 규정된 동작상태가 적합한지 평가하기 위한 성능시험절차를 규정하고 규정에 맞는 원활한 시험을 수행할 수 있도록 함을 그 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험 항목	형식시험	전수시험
1	외관 구조 및 치수 검사	◎(주1)	◎
2	전원 변동 시험	◎	○(주2)
3	저온 시험	◎	○
4	고온 시험	◎	○
5	고온·고습 시험	◎	○

6	과전압, 서지, 정전 방전 시험	◎	○
7	과도 버스트 시험	◎	○
8	무선주파수 간섭 시험	◎	○
9	절연 시험	◎	◎
10	진동, 충격 시험	◎	○
11	방수 시험	◎	○
12	온도 사이클링 시험	◎	○
13	조합 시험	◎	○
주 1 : 시험항목중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다. 주 2 : 시험항목중 “○” 표시된 시험은 시험품의 성능 확인을 위하여 필요하다고 인정되는 경우에 한하여 실시한다.			

마. 완성차 공장 내 시험계획서/절차서 개발

(1) 완성차 공장 내 시험계획서/절차서 개요

완성차 공장 내 시험계획서/절차서는 도시형 자기부상열차 실용화 차량을 대상으로 완성차의 품질을 검증하기 위한 완성차 시험계획 및 절차에 대한 것이다. 성능시험은 완성차 개발 후의 품질수준을 결정하고 양산단계에서의 제품 결함발생을 줄이며, 설계기준에 필요한 설계변수를 도출하여 완성품의 제조 및 시험평가에 대한 기반기술을 확보하기 위함으로써, 시험항목코드 및 시험절차서 문서번호는 다음과 같다.

[완성차 공장 내 시험항목코드 및 문서번호]

시험	시험항목코드	시험절차서
차체시험	210-2-221-O-001	M1300-SE+TS-101-0031
추진제어장치시험	213-2-223-O-001	M1300-SE+TS-101-0032
신호보안장치시험	210-2-223-O-001	M1300-SE+TS-101-0033
종합제어장치시험	210-2-223-O-002	M1300-SE+TS-101-0034

(2) 완성차 공장 내 시험절차서

(가) 차체시험절차서

1) 시험목적

자기부상열차 완성차량의 외관구조검사, 측정에 의한 검사, 차체누수시험, 차체리프팅 시험을 수행하여 차량에 제작 및 도면에 대한 적합성 확인을 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험항목		형식시험	전수시험
1	외관구조검사	차체의 외관상태	◎(주1)	
		차내의 외관상태	◎	
		운전부 검사	◎	
2	측정에 의한 검사	중량측정 검사	◎	
		차량한계 측정	◎	
		곡선통과 시험	◎	
		배선 검사	◎	◎
		절연저항 시험	◎	◎
		내전압 시험	◎	◎

3	차체 누수 시험		◎
4	차체 리프팅 시험	◎	
주 1 : 시험항목 중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.			

(나) 추진제어장치 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 도시형 자기부상열차의 제작이 완료된 후 완성차 시험시에 행하는 추진제어장치의 제어기능과 동작의 정확성 및 안전성을 확인하기 위한 시험절차 및 판정기준에 대하여 규정한다.

2) 시험항목

구분	시험항목	형식시험	전수시험
1	제어전압 확인시험	◎(주1)	
2	Self Test 확인시험	◎	
3	기능확인시험	◎	
주 1 : 시험항목 중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.			

(다) 신호보안장치 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 자기부상열차 차량에 설치되는 신호보안장치의 차량성능시험을 위한 완성차 시험을 수행함에 있어 신호보안장치의 기능과 동작의 정확성 및 안전성을 확인하고 규정된 동작상태가 적합한지 평가하기 위한 성능시험절차 및 판정기준에 대해 규정함을 그 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험 항목	형식시험	전수시험
1	외관 구조 및 치수 검사	◎(주1)	◎
2	제어전원 인가 시험	◎	◎
주 1 : 시험항목 중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.			

(라) 종합제어장치 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 자기부상열차 차량에 설치되는 종합제어장치의 차량성능시험을 위한 완성차 시험을 수행함에 있어 종합제어장치의 종합제어기능과 동작의 정확성 및 안전성을 확인하고 규정된 동작상태가 적합한지 평가하기 위한 성능시험절차 및 판정기준에 대해 규정함을 그 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험 항목	형식시험	전수시험
1	운전부 모니터 시험	◎(주1)	◎
2	종합제어장치 전원동작 시험	◎	◎
3	운전반 연계동작 시험	◎	◎
4	고전압장치 연계동작 시험	◎	◎
5	연장급전장치 연계동작 시험	◎	◎
6	제동장치 및 공기압축기 연계동작 시험	◎	◎
7	출입문장치 연계동작 시험	◎	◎
8	형광등 연계동작 시험	◎	◎
9	냉방장치 연계동작 시험	◎	◎
10	난방장치 연계동작 시험	◎	◎
11	환기장치 연계동작 시험	◎	◎
12	승객경보장치 연계동작 시험	◎	◎
13	신호보안장치 연계시험	◎	◎
14	방송/표시기장치 연계시험	◎	◎
15	연계장치와의 통신 및 입출력 확인시험	◎	
주 1 : 시험항목 중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.			

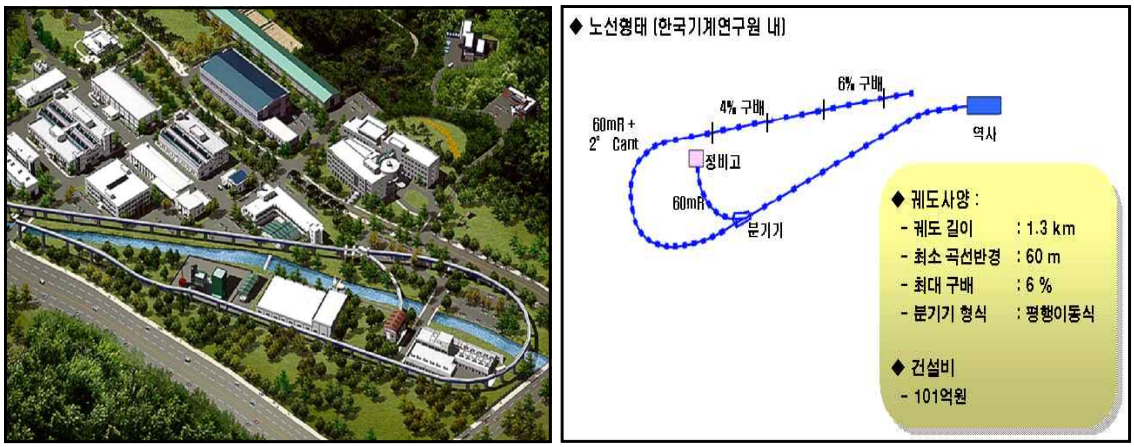
바. 시험선 시험계획서/절차서 개발

(1) 시험선 시험계획서/절차서 개요

시험선 시험계획서/절차서는 도시형 자기부상열차 실용화 차량을 대상으로 완성차의 품질을 검증하기 위한 시험계획 및 절차에 대한 것이다. 시험선 성능시험은 완성차 개발 후이 품질수준을 결정하고 양산단계에서의 제품 결함발생을 줄이며, 설계기준에 필요한 설계변수를 도출하여 완성품의 제조 및 시험평가에 대한 기반기술을 확보하기 위함으로써, 시험항목코드 및 절차서 문서 번호는 다음과 같다.

[표 117]시험선 시험항목코드 및 문서번호

시험	시험항목코드	시험절차서
편성차량의 기능 및 동작측정시험	210-2-221-O-001	M1300-SE+TS-101-0035
모듈 레일 추종성능시험	210-2-221-O-002	M1300-SE+TS-101-0036



[그림 208]시험선로 노선도

(2) 시험선 시험절차서

(가) 편성차량의 기능 및 동작측정 시험절차서

1) 시험목적

본 절차서는 제작이 완료된 자기부상열차를 편성열차로 구성하여 차량의 기능과 동작의 정확성 및 안전성에 대한 시험을 수행할 수 있도록 함을 그 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험 항목		형식시험	전수시험
1	제어회로시험		◎(주1)	◎
2	시동, 정지 및 운전실교환시험		◎	◎
3	보조전원시험	무부하 운전시의 출력전압	◎	◎
		동작시험	◎	◎
		축전지 및 충전기 기능확인시험	◎	○(주2)
4	역행시험		◎	◎
5	제동시험	상용제동시험	◎	◎
		비상제동시험	◎	◎
		정차제동시험	◎	◎
		압부력 시험	◎	
		주차제동시험	◎	◎
		보안제동시험	◎	◎
		제동 충기/완해시험	◎	
6	압축공기 장치시험	주공기압축기 시험	◎	◎
		보조공기압축기시험	◎	◎
		공기건조기시험	◎	◎
		공기누설시험	◎	◎
		공기작용장치시험	◎	◎
		주공기압축기 부하시험	◎	◎
7	집전시험	집전헤드의 추종성 시험	◎	◎
		스프링 압력 시험	◎	
		집전장치 편향 시험	◎	
		내전압 시험	◎	◎
8	보호장치동작 시험	과부하 시험	◎	
		정전시험	◎	
		전압급변 시험	◎	

구분	시험 항목		형식시험	전수시험
9	지상설비와의 연계동작시험		◎	◎
10	냉난방, 환기 성능시험	환기성능시험	◎	◎
		차량내부온도 측정시험	◎	◎
		소음 측정시험	◎	◎
11	객실 및 운전실기기시험		◎	◎
12	출입문시험	출입문 개폐 확인	◎	◎
		출입문 동작시간 확인	◎	◎
		출입문 작동압력 확인	◎	◎
		출입문 저항력 확인	◎	◎
		출입문 인터록간격 확인	◎	◎
		출입문 장애물검지 시험	◎	◎
13	모니터장치의 표시시험	추진제어장치의 동작 및 고장 표시 확인	◎	◎
		보조전원제어장치의 동작 및 고장표시 확인	◎	◎
		공기, 제동제어장치의 동작 및 고장표시 확인	◎	◎
		방송, 객실안내장치의 동작 및 고장표시 확인	◎	◎
		무인장치의 동작 및 고장표시 확인	◎	◎
		고장기록, 운행기록, 고장추적기록 확인	◎	◎
14	종합제어장치 차상검사시험	출발전 시험 확인	◎	◎
		일일검사 확인	◎	◎
		월간검사 확인	◎	◎
		시험결과 표시, 기록 확인	◎	◎
15	부상전자석 온도특성 시험		◎	

주 1 : 시험항목중 “◎” 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다.
주 2 : 시험항목중 “○” 표시된 시험은 시험품의 성능 확인을 위하여 필요하다고 인정되는 경우에 한하여 실시한다.

(나) 모듈 레일 추종성능 시험절차서

1) 시험목적

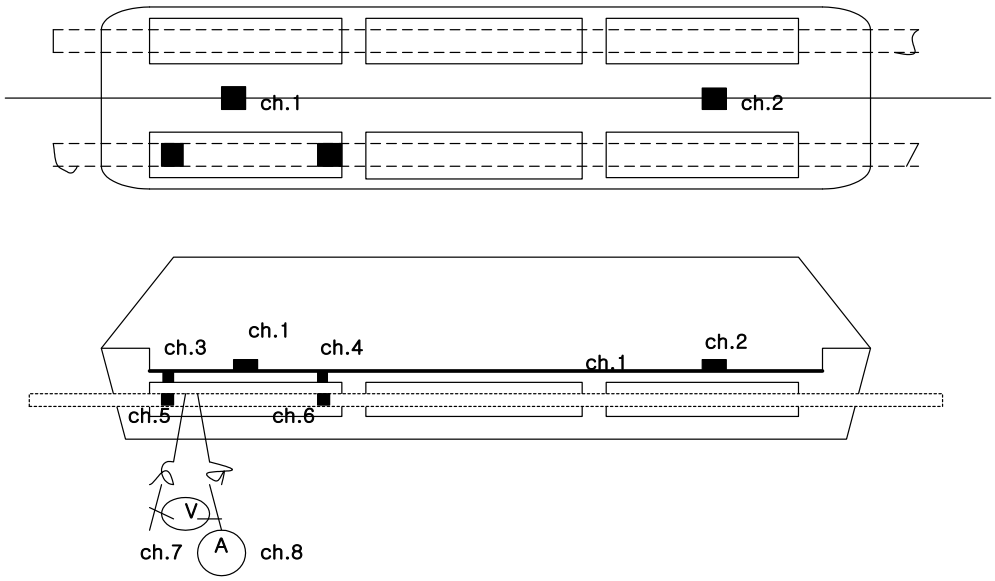
본 절차서는 제작이 완료된 자기부상열차를 편성열차로 구성한 상태에서 시험선로 전 구간에 걸쳐 주행시험을 실시, 자기부상열차를 구성하는 각 Module이 수직, 횡방향으로 허용된 Gap변동범위 내에 있는지 확인하는 것을 그 목적으로 한다.

2) 시험항목

구분	시험항목	형식시험	전수시험
1	모듈 레일추종 성능시험	◎(주1)	○(주2)
2	모듈 레일단차 통과 성능시험	◎	○
주 1 : 시험항목 중 "◎" 표시된 시험은 반드시 실시하여야 한다. 주 2 : 시험항목 중 "○" 표시된 시험은 시험품의 성능확인을 위하여 필요하다고 인정되는 경우에 한하여 실시한다.			

3) 시험장치의 개요

차량 및 Module 상하방향/횡방향 진동가속도, Gap



[그림 209]상하/횡방향 계측점

ch1, ch2 : 차체 수직/횡가속도

ch3, ch4 : Module 수직/횡가속도

ch5, ch6 : 수직방향 수직/횡방향 Gap

ch7, ch8 : Magnet 전압, 전류

사. 유럽과 독일의 자기부상열차법 및 관련기술 규정조사 연구에 의한 시험절차서 작성 자료조사

(1) 시험절차서 작성을 위한 자료조사를 위하여 시험 및 시운전을 위한 기본적인 프로세스에 대하여 정리하였으며, 시험절차서 작성을 위한 기술규격 및 규정 연구를 하였다. 먼저, 독일의 자기부상열차 규정을 입수하고 유럽의 철도관련 기술규격에 대한 리스트를 작성하여 정리하였다. 본 과제에서 시험절차서 작성을 위해 필요한 구체적인 자료 입수를 위해 필요한 기술규격의 리스트 작성과 기존에 입수된 기술규격과의 비교분석을 통하여 요구되는 기술규격에 대해 구매하여 활용하였다. EN 규격이나, DIN 규격에서 확보하지 못한 자기부상열차 관련 기술규격은 UIC 코드를 연구하여 구입하였다. 연구에 대한 모든 결과물은 시험절차서 작성을 위한 자료조사 보고서를 통하여 정리하였다.

(2) 시험절차서, 그리고 연관된 시험 설명서와 절차서는 성과, 기능, 품질 및 안전성 등의 기능적이고 기술적인 조건들이 충족되고 그 실행 과정이 설계 조건과 취지를 충족하여 실용화 사업의 성공적인 실행을 입증하려고 한다. 시스템 기능상의 모든 부분들이 적절하게 상호작용하여 서로 악영향을 끼치지 않도록 보증하는 것도 중요한 필수조건이다. 성공적인 도시형 자기부상열차 실용화사업을 보증하기 위해서는 이 문서에 포함된 내용들을 제외하고도 추가적인 시험이 필요하다.

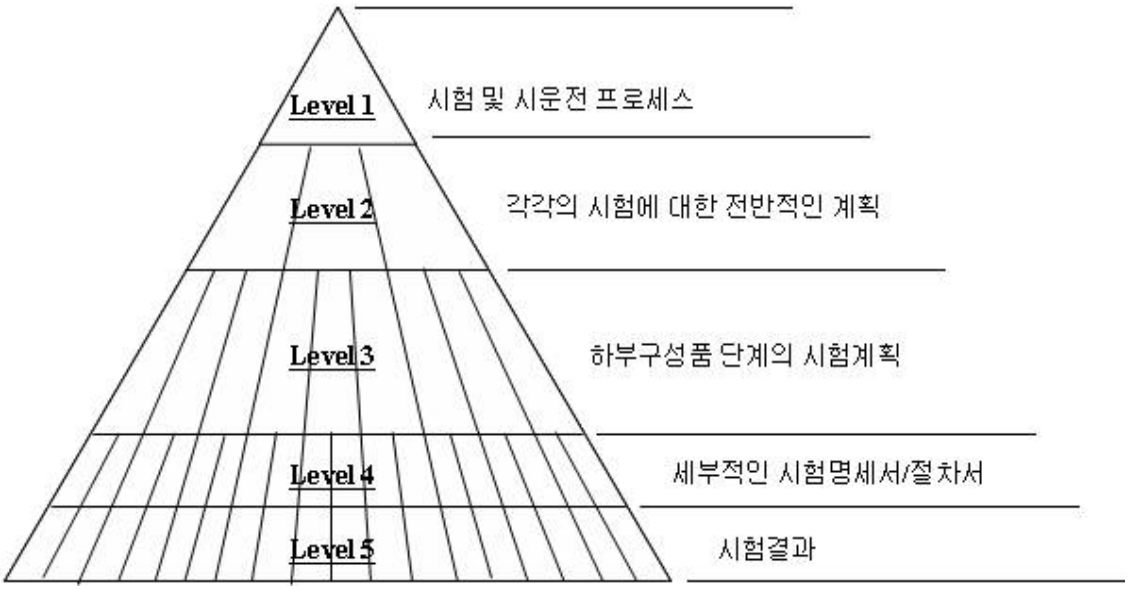
(3) 절차서의 확장

시험절차서는 시간이 지남에 따라 그 범위가 확장될 것이다. 도시형 자기부상열차 실용화 사업의 시험 평가 및 인증 세부기관(이하 1-3 세부기관)은 핵심 시스템의 설계와 설치가 진행됨에 따라 지속적으로 시험 및 시운전 프로세스를 관리할 것이며, 시스템의 요건에 따라 그 내

용의 수정도 제안 할 것이다.1-3 세부기관에서는 적어도 예비설계, 최종설계, 그리고 설치단계의 끝에서 필요에 따라 프로세스 업데이트를 할 수 있다.

(4) 문서의 구조

시험 및 시운전 프로세스의 문서화는 다음과 같은 구조를 띄고 있다.



[그림 210]문서의 개념적 구조

Level 1 시험 및 시운전 프로세스는 구조의 최상위에 위치해 있으며, 전체적인 시험 및 시운전 절차를 설명한다.

Level 2 이 단계는 유형시험 계획, 양산시험 목록, 시스템 통합 시험 계획 등 각각의 시험 종류에 대한 전체적 계획을 포함하고 있다.

Level 3 이 단계는 서브시스템, 또는 부품 단계의 시험 계획을 포함하고 있으며, 더 작은 부분들로 나눠질 수 있다.

Level 4 이 단계에는 더 세부적인 시험 설계와 절차가 포함되어 있다.

Level 5 시험 결과는 Level 4의 시험 설계/절차에 따라 개발 될 것이다.

1-3 세부기관 또는 관련 세부기관에서는 제시된 것과 같이 모든 필요한 문서를 준비하고 성능, 기능, 품질과 안전성 등의 기능적, 기술적 요구사항들이 만족되며, 그 모든 공정이 설계 조건과 용도를 충족한다는 것을 입증하기 위한 시험을 수행해야 한다.

(5) 시험 및 시운전 프로세스의 순서

1-3 세부기관에서는 기본적으로 다음과 같은 순서에 따라 프로세스를 진행한다.

가. 시험 계획과 세부적 설계/절차의 개발과 제출

나. 1-3 세부기관에서의 검토와 의견의 일치, 그리고 시험 일자의 결정

다. 시험의 실행

라. 시험 결과의 평가와 적합하지 않은 부분의 시정

1-3 세부기관 그리고/또는 세부기관은 모든 시험 결과들을 평가하고, 품질 인증 프로세스 실행과 관리 계획에 따라 적합하지 않은 결과가 나온 곳에 대해서는 시정조치를 행한다. 1-3 세부기관에서는 재작업 또는 필요한 곳에 따라서는 시험결과가 만족할 수 있는 작업을 요청할 것이다.

마. 시험 결과

각각의 시험을 위한 시험 기록 형식은 시험평가 종합계획에 의해 작성 될 것이다. 그러나 일부 세부기관에서는 기술적 일관성을 유지하기 위해서 관련 유럽 철도규격 및 형식을 사용하도록 요청할 수 있다.

1-3 세부기관에서 평가한 시험에 대해 시험평가 수행기관은 "시험평가 결과보고서"를 작성하며, “시험평가 결과보고서”는 시험 결과를 요약하고 평가하는데 사용된다.

바. 시험평가 결과보고서

시험평가 수행주체는 시험평가 업무를 추진하며, 시험평가 결과의 검토 및 승인을 목적으로 한 관련 기관의 시험참관 또는 입회 요청에 적극 협조하여야 한다.

사. 시험 결과의 제출

1-3 세부기관은 시험평가 수행기관에서 작성한 시험평가 결과보고서

의 필요한 모든 시험 결과를 검토한 후, 그 결과를 1 핵심기관에 제출한다.

각각의 시험평가에 따른 실행 세부사항은 1-3 세부기관으로부터 준비되어 시험평가를 위해 적용할 예정이다. 완성차 공장 내 시험평가, 시험선 시운전 및 본선 통합 시운전 시험평가 그리고 소프트웨어 시험평가를 위한 시험절차는 세부기관들 및 시험평가 수행기관간의 일관성을 유지하기 위한 가이드라인으로 작성될 것이다.

이러한 가이드라인의 필수조건들은 다음을 포함한다.

○ 기본 문서를 준비하기 위한 가이드라인

○ 시험 결과를 평가하기 위한 방법의 설명

○ 실패한 시험 결과에 대한 대처 방법 등

(6) 주요규격 관련자료 총 500여건.

KS	KS C 0220 "환경시험방법-전기/전자-저온(내한성) 시험방법" 외 총 220건
IEC	IEC 62279 "Railway application - Communications, signalling and ···" 외 총 27건
EN	EN 14531-1 "Railway application-Methods for calculation of stopping ···" 외 총 116건
BS	BS 5760-5 "Reliability of systems, equipment and components-Part 5. ···" 외 총 52건
MIL	MIL-HDBK-472 "Maintainability Prediction" 외 총 47건
UIC/DIN	UIC 547 "Brakes-Air brake - Standard program of tests" 외 총 20건
ISO	ISO 9126-1, "Software engineering-Product quality-Part 1 : Quality model" 외 총 5건
YB*	YellowBook 3, "Application Note 1-Railway-Level Issue 1.0" 외 총 8건

아. 통합계측시스템 기본설계

(1) 자기부상열차 통합계측시스템 기본설계 목적

자기부상열차 통합계측시스템은 시험선 및 본선 시운전시 수행되는 차량 및 지상 시스템의 시험평가를 위해 설계제작 된다. 본 시스템의 운영 목적은 안정적인 데이터 획득 및 개별 시험평가 측정시스템의 통합운영에 있다. 자기부상열차 본선 시운전 시 차량의 성능평가를 위해서는 다양한 시험이 필요하다. 각각의 시험 항목을 개별적으로 측정하는 경우, 측정 환경이 상이하여 측정 신호들 간의 직접비교가 쉽지 않으며, 시험 기간도 증가 한다. 통합계측시스템은 한 번의 실험으로 모든 데이터를 측정하여 시험일정을 단축할 수 있으며, 동일 조건 상태에서 동시에 계측을 하기 때문에 계측 신호 간에 직접적인 비교가 가능하게 한다.

(2) 통합계측시스템 기본설계 목표

자기부상열차 성능평가는 차량 구성품, 완성차, 본선 시운전 및 운영시설에 대해 관련 기준(안)과 고시에서 제시하는 시험항목을 시험하여 평가함으로서 이루어진다. 본 보고서에서는 시험선 및 본선 시운전을 위한 차상/지상 통합계측시스템의 기본설계를 목표로 한다.

위와 같은 목적 및 목표를 바탕으로 3차년도에 통합계측시스템 구축을 위한 기본설계를 수행하였으며 기본설계의 성과물인 통합계측시스템 기본설계 보고서가 도출되었음.
이 결과물을 바탕으로 상세설계 및 통합계측시스템 제작에 착수할 계획임.

(3) 통합계측시스템의 구성 요소

[표 118]통합계측시스템의 주요 구성 요소

항 목	주요 항목			비고
통합계측 시스템 구성	계측 시스템	H/W	- Signal, Sensor - Conditioner - Cable : 종류, 내부 Cable 개수, Color - Connector : 종류, Pin No. , 위치 - A / D board : Resolution, Speed - Terminal : 종류, Cable No.	
		S/W	- 데이터 측정 : 데이터 저장, Data Chart, 실시간 모니터링, 측정 신호간 시간 동기 - 데이터 분석 : 측정 File 분석, 데이터 보고, 그래프 파일 저장 - Calibration : 측정 신호별 Calibration 방법, Calibration 데이터 저장 및 Loading방법 - 네트워크 (TCP/IP) : 무선 네트워크 구축방안, 데이터 전송 속도의 검토 및 안전성 검증	
항 목	세부 항목			비고
데이터 처리	데이터 측정 및 저장		- 하드웨어 운영 - 소프트웨어 운영	
	데이터 분석		- File 분석 - Report 출력	
	Data Backup		- Low 데이터 저장 - Post-Processing (계산 Channel 등) 운영 - 측정 데이터 배포	
	System Maintenance Sheet		- Hardware Maintenance - Software Maintenance	

(4) 시험 항목별 주요내용

[표 119]주행시험

시험 항목	세부항목		시험방법	평가기준	측정신호
주행시험	역행시험	기동 시험	- 노치별 기동 • 평형속도 도달 시 - 후진기동	- 기동상태 확인 - 평형속도여부 확인 - Jerk 규정 적합여부	집전전압/전류 인버터입력 전압/전류 SLIM 입력전압 SLIM 입력전류 (순시치/실효치) 견인력 지령치 인버터입력 역행 지령치 차량의 주행속도 주행가속도 주행거리 수직/횡방향 갭
		추가노치시험	- 가속 중 노치 변경	- 가속상태 이상유무 - Jerk 규정 적합여부	
		재역행 시험	- 운행방향 순서 조작	- 가속상태 이상유무 - Jerk 규정 적합여부	
		구배기 동시험	- 최대 견인력 가속 • 최대 경사조건	- 후퇴유무 - Jerk 규정 적합여부	
	가속도시험		- 최대 견인력 기동 및 가속 - 직선 평탄 구간 • 최소 2회 실시 - 운전 Mode별 수행 - 역지령 후 소요시간측정 (견인력발생시)	- Jerk 규정 적합여부 - 각 기기의 동작 및상태 이상여부	
	제동시험	상용제 동시험	- 상용전제동 실시 운행 최고 속도	- 이음, 충격발생 여부 - 설정속도 이하 시 전기 제동 신호 소멸 구동차 및 부수차 공기압 상승여부 - 제동 체결 시 전기제동 신호 상승 - 제동력 부족 시 공기제동력 보충 - 전기제동 실패 시 제동 : 공기제동만 사용 여부	비상제동 지령신호 차량의 주행속도 주행가속도 주행거리 인버터 출력전류 브레이크 실린더 압력 노치 지령신호 가선 전압/전류 수직/횡방향 갭
		비상제 동시험	- 비상제동 실시 운행 최고 속도	- 이음, 충격발생 여부 - 부상 제어발산여부 - 정격갭 유지여부	
	주행저항 시험		- 단계1 정속 가속 후 노치 off - 단계2 : 단계 1후 초기속도 (km/h)수행	- 상행, 하행 2회 측정 후 산술평균	주행속도 주행시간 주행거리 차량위치

시험 항목	세부항목		시험방법	평가기준	측정신호
			(80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10) - 단계3 주행속도, 주행시간, 주행거리 기록		
	최고속도 시험		- 최대견인력으로 최고속도 가속	- 최고 주행속도 도달여부 - 최고속도 주행 후 각 기기의 동작상태 정상 여부	집전전압 전류 인버터입력전압 인버터입력전류 SLIM 입력전압 SLIM 입력전류 (순시치/실효치) 토크 지령치 역행 지령치 차량 주행속도 주행가속도 주행거리 수직/횡방향 갭
	감속도 시험	상용 제동 시험	운행 최고 속도에서 상용전제동 실시	- 규정 감속도 (최소 0.97 m/s2) - 공주시간, 제동거리 - Jerk 만족여부	비상제동 지령신호 차량의 주행속도 주행가속도 주행거리 인버터 출력전류 브레이크실린더 압력 노치 지령신호 가선 전압/전류 수직/횡방향 갭
		비상 제동 시험	운행 최고 속도에서 비상제동 실시	- 규정 감속도 (최소 1.25 m/s2) - 공주시간, 제동거리 - Jerk 만족여부	

[표 120]집전시험

시험 항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
집전시험	집전헤드 추종성 시험	CCTV 육안 검사	- 집전헤드의 집전선 추종여부 결점 발생 여부	집전헤드움직임과 회전범위 주행속도 수직/횡방향 갭
	전류집전 시험	출발, 역행, 타행 등 운행	- 과도한 스파크 여부 - 스파크 발생 시 전류 크기 및 시간 측정 - 장비 손상 및 마모 발생 - 집전 수준 만족	출발/역행/타행 중 스파크마모량 집전수준 집전장치 동작상태, 주행속도, 주행거리 수직/횡방향 갭

[표 121]유도장애시험

시험 항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
유도장애시험	전도성 간섭시험	- 단계 1 상용 전제동(최대속도) - 단계 2 : 최대속도 제동 / 가속 후 제동 - 단계 3 : 최소 3회 반복 - 단계 4 속도 45 (km/h) 반복	스펙트럼 분석 스펙트럼 기준비교	전력변환장치 가선전류 주행속도
	유도성 간섭시험	- 단계 1 가속, 타행, 감속 반복 가속시 : 최대 견인력 감속시 : 상용최대 제동력 - 단계 2 차량 통과 시 궤도 양측 전압차 및 파형 측정	스펙트럼 분석 스펙트럼 기준비교	주행속도 궤도양측 전압차이 측정 신호설비 사용주파수 측정 고주파 스펙트럼 측정
	복사성 간섭시험	- 전자계 추정 트랙 중앙 10m 거리 90kHz ~ 1Ghz Peak-hold 적용	설계치 비교	차량 발생 전자계측정 열차 통과 시 노이즈 측정

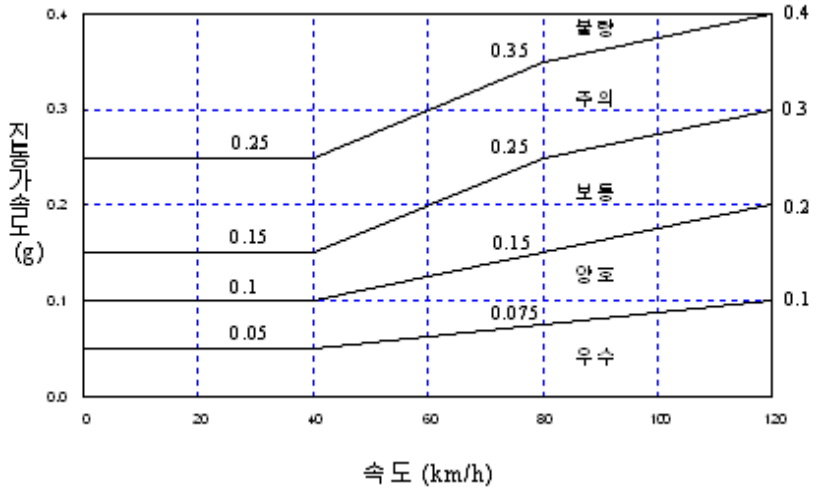
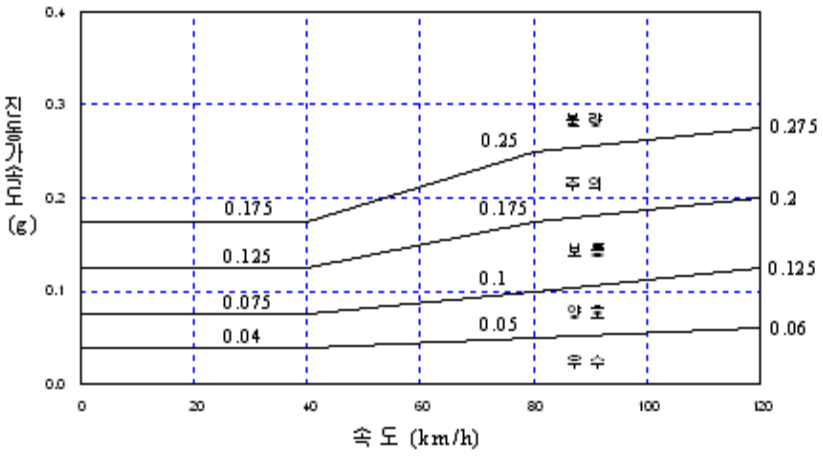
[표 122]보호장치 동작확인시험

시험 항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
보호 장치 동작 확인 시험	과부하 시험	- 최대견인력 가속 및보호동작 확인	보호 동작정상 여부	집전전압 전류 인버터 전압 전류 SLIM 입력 전압 SLIM 입력 전류 (순시치/실효치) 견인력 지령치 역행 지령치 차량의 주행속도 주행가속도 주행거리
	순간정전 시험	- 최대견인력 출발 - 집전선 전류 최대 시 집전선 정전 전기제동에너지 최대시 집전선 정지	규정 동작 수행여부	
	전압급변 시험	- 전압변동 발생 해당속도 : 전기 에너지 최대영역 - 전압변동 발생 해당속도 : 전기 에너지 최대영역	이상유무 확인	

[표 123]소음/진동시험

시험 항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
소음 시험 방법	소음시험 (차내)	- 시험조건 모든 장치 가동 최고 운항속도 모든 Door close - 시험규격에 따른 수행 정지 / 운행시 측정 KS A ISO 3381 차내 소음	- 주행 시 차내 및 운전실 소음 : 65 dB(A) Leq이하	소음측정 주행속도
	소음시험 (차외)	- 시험조건 모든 장치 가동 최고 운항속도 모든 Door close - 시험규격에 따른 수행 정지시 / 운행시에 측정 KS A ISO 3095	대상지역 / 허용한도 dB(A) / 주간 (06:00 ~22:00) / 야간 (22:00 ~06:00) A / 70 / 65 B / 75 / 70	

<table>
<tr><td rowspan="3">진동
시험
방법</td><td>상하
좌우
방향
진동
시험</td><td>- 주행 가능 속도
10km/h 단위 주행
매 속도당 측정
- 100 m 구간별
측정 신호 분류
Peak-Peak
해당 속도 계측
- 동일 속도간
평균가속도
최대진폭 평균치</td><td>보통수준 이하</td><td rowspan="2">- 진동측정
전후의 대차
중심상 자체
바닥주행속도</td></tr>
<tr><td>좌우 방향
정상가속도
시험(aH)</td><td>- 주행속도
- 좌우방향 가속도 계측
- 정상 가속도 성분</td><td>0.08g 이하</td></tr>
<tr><td>승
차
감
시
험</td><td>- 단계 1
필터 적용 신호
RMS 5초 간격
5분간 60개 측정
- 단계2
60개 데이터
누적 빈도분포 작성
승차감 지수 산술 평균</td><td><table><tr><th>승차감
지수</th><th>구분</th></tr><tr><td>N<1</td><td>매우좋음</td></tr><tr><td>1<N<2</td><td>좋음</td></tr><tr><td>2<N<4</td><td>양호</td></tr><tr><td>4<N<5</td><td>나쁨</td></tr><tr><td>N>5</td><td>매우나쁨</td></tr></table>승차감 지수 2.5 이하</td><td>- 0.1~100Hz
전후의
대차중심상의
차체 바닥</td></tr>
</table>

시험 항목	진동평가기준	비고
진동 시험 방법		상하 방향
		좌우 방향

[표 124]지상설비 연계동작시험

시험 항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
지상 설비 연계 동작 시험	정지 상태 시험	- 단계 1 ADU / ATC / ATO / TWC 동작시험 - 단계2 출발 전 시험 일상 시험	지시등 점등 통신 상태 확인 종합제어장치 모니터 관찰	육안검사 운행상태 기능검사
	운행시험	기본설계 보고서 부록 1 참조	기본설계 보고서 부록 1참조	육안검사 운행상태 기능검사 가선전압/전류 추진/제동 지령치 및 실제값 속도지령치/실제값 비상제동신호 차량위치
	비정상 상태시험	기본설계 보고서 부록 1 참조	기본설계 보고서 부록 1참조	육안검사 운행상태 기능검사
	열차 무선장치 지상 연계시험	- 기지국 호출 - 열차 호출 - 제어패널 조작 - 전 후방 열차무선장치 절체	해당 시험 이상 확인	육안검사 운행상태 기능검사

[표 125]주요기기 온도 및 상태 측정시험

시험 항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
주요 기기 온도 및 상태 시험	온도 상태 시험	해당 기기 온도 측정 주행 중 운항속도와 동일하게 동작	규정 온도범위 비교 소비전력, 회생전력, 회생률, 표정속도 및 회차시간 산정	외기온도 추진제어 인버터 냉각유닛 표면온도 필터리엑터 코일온도 SLIM 코일내부온도 전자석 코일 내부온도

시험 항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
				리엑션 플레이트 온도 기타온도, 육안검사 상태 기능검사 소비 및 회생전력 차량속도

[표 126]차내외 누설 자속 측정시험

시험 항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
차내외 누설자속 시험	정지 착지 상태누설자속 측정 정지부상 상태누설자속 측정 표준가속 상태누설자속 측정	- 해당 시험조건 정지 상태 정지부상상태 표준가속상태 - 공통시험방법 자계측정 가우스미터 Peak값 기록	누설자속 만족	차량 주행속도 누설자속 수직/횡방향 공극 수직/횡방향 가속도 가선전압 SLIM U상 실효전류

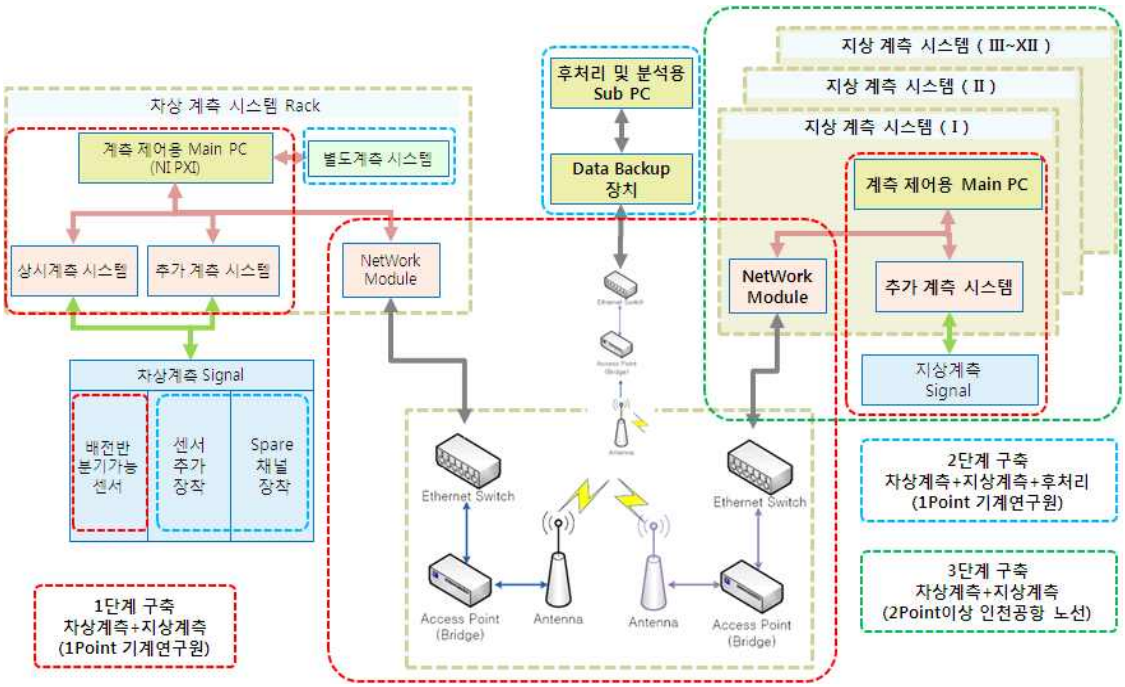
[표 127]소비전력 측정시험

시험 항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
소비전력 측정시험	부상계 전력 소비량측정	- 부상 시 소비 전력량 측정 - 정비 부상상태	- 직류 전류/전압 컨버터 출력 Magnet Driver 입력	수직 부상공극 주행속도 거리 전류/전압 -인버터 -Magnet Driver
	추진계 전력 소비량측정	- 인버터 입력 전압. - 전류 측정 - 직선구간시험	- 전압/전류 인버터 입력	출력 전압 전류
	차내 전력 소비량측정	- 가선전압 전류 - 인버터 입력 전압전류	- 가선전압 - 전류측정	가선 전압/전류 인버터 전압 전류

[표 128]비상주행 안전확인시험

시험항목	세부항목	시험방법	평가기준	측정신호
비상주행안전확인시험	전원공급 차단 시 축전지에 의한 비상주행 시험	- 속도조건 하 HSCB off 비상제동 실시 - 구간별 실시	차량부상 유지 상태 확인	차량 주행 속도 차체진동가속도 모듈진동가속도 모듈횡방향 공극 모듈 전압/전류 축전지 전압 전류 HSCB 작동상태
	주행 중 비상 착지시험	- 정지부상 40km/h 운행 최대속도 운행 외란신호 - 전자석 흡착 낙하 유발	이상발생 육안확인 변형 허용기준 레일, 모듈, 차체 영향 조사 Gliding 확인	모듈 부상 공극 모듈 가속도 전자석 전류/전압 차량 주행속도 모듈 응력 변형률
	모듈 흡착 시험			

(5) 통합계측시스템 구성도



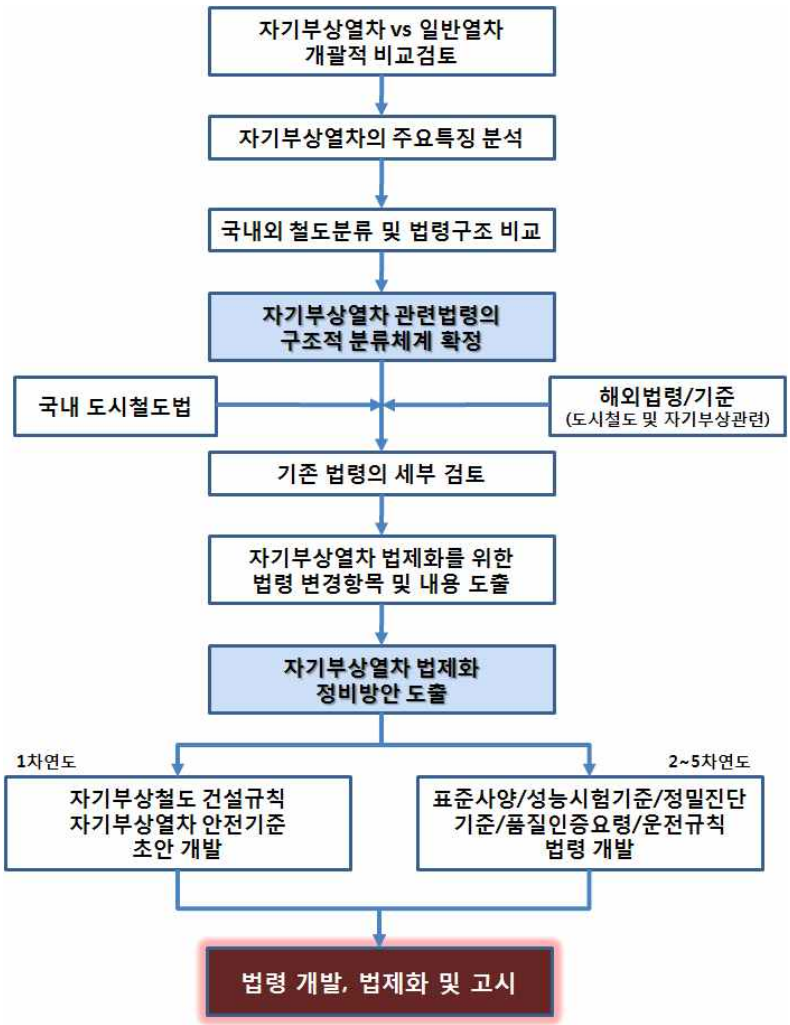
[그림 211]통합계측시스템 구성도

[1-4과제]

가. 도시형 자기부상열차 법제화 정비방안 도출

(1) 연구 추진 개요

자기부상열차 관련 법령 개발을 위한 주요 연구추진개요는 아래의 그림과 같다.

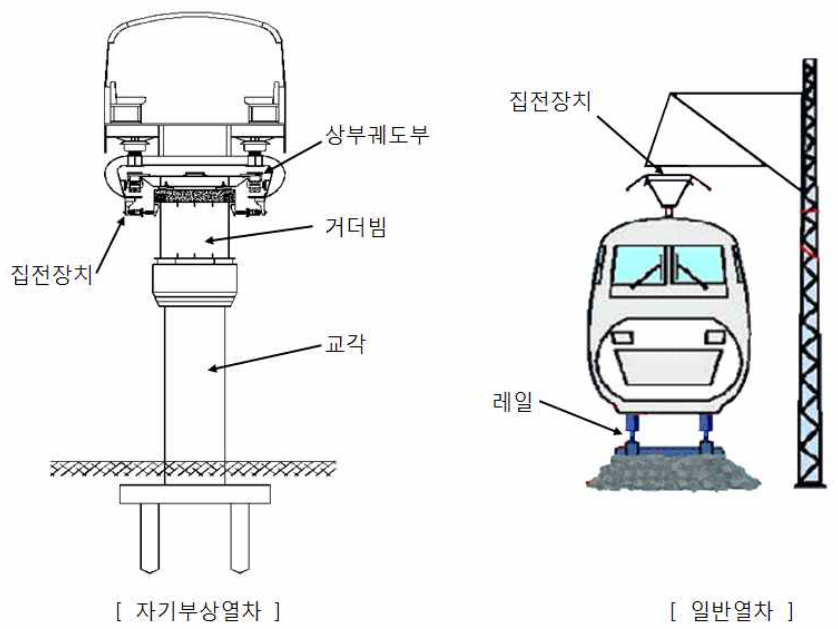


[그림 212]자기부상열차 관련법령 법제화 연구추진도

(2) 자기부상열차와 일반열차의 비교

(가) 일반열차에 대한 자기부상열차의 특징

기존의 일반차량에 대한 자기부상열차의 개략적인 특징은 다음과 같다.



[그림 213]자기부상열차와 일반열차의 비교

자기부상열차(Magnetically Levitated Vehicle)는 자석의 힘으로 차량을 지지(부상)하고 가이드웨이 상에서 자기장에 의해서 일정한 갭(gap)을 유지하면서 선형 전동기로 추진하는 형태의 교통수단이다.

자기부상방식은,

o 차륜이 존재하지 않는다.

o 레일이 없으며 가이드웨이를 따라 운행한다.

o 차체가 자력에 의해 10mm정도 부상하여 운행한다.

o 견인모터가 차량에 탑재되어 있지 않고 트랙에 설치된다.

o 집전장치가 차체 하부 혹은 독립적으로 작동한다.

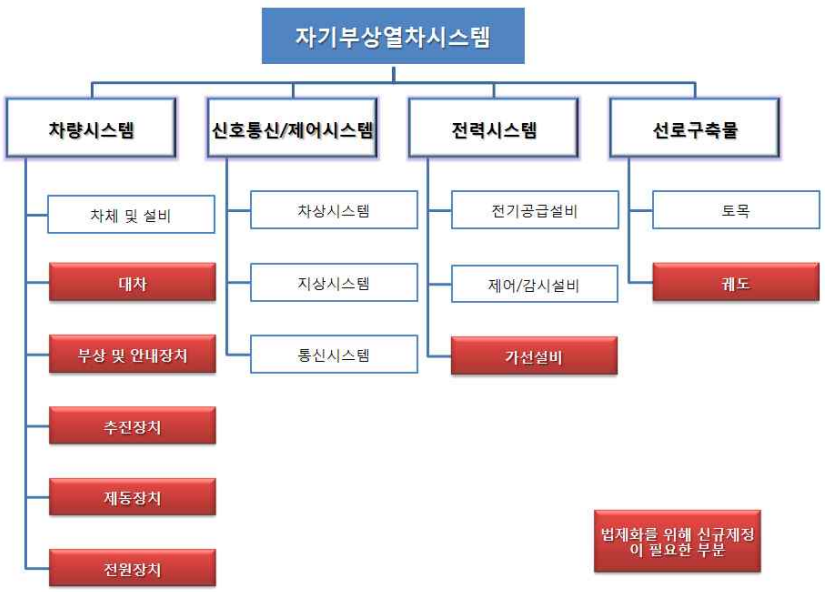
[표 129]자기부상열차와 일반철도차량의 구조 비교

구조상의 비교			
구조 및 장치	자기부상열차	공통성	일반철도차량
차체	AL, 경량구조	△	강, SUS, AL
차체지지구조	자기부상 분산하중	×	대차 집중하중
주행장치	상전도 흡인식 자기부상주행	×	차륜과 레일의 회전에 의한 점착력 활용
추진장치	선형유도전동기에 의한 구동	×	직류, 교류전동기의 회전력에 의한 구동
차량전원장치	D/D 컨버터 등으로 제어전원, 공조전원 및 부상전원을 작동	○	D/D 컨버터 등으로 제어전원이나 공조전원을 작동
제동장치	기초제동은 유압제동, 통상 회생제동, 역상제동을 활용	×	기초제동은 공기제동, 통상 답면제동을 기본으로 하며 회생제동 활용
집전장치	부상식으로 하부 지지구조에 접촉식 집전장치 사용, 독일은 충전식	×	일반적으로 상부 가선에 의한 전기를 팬터그래프로 집전
신호보안장치	ATC 방식	○	ATS, ATC 방식
자동운전장치	ATO, TASC 등 사용	○	자동운전장치(ATO), 정점정지장치(TASC) 등

[표 130]자기부상열차와 일반철도차량의 성능, 기능 비교

성능, 기능상의 비교			
구조 및 장치	자기부상열차	공통성	일반철도차량
가감속	점착을 이용하지 않는다. 비접촉방식이므로 고가속, 고감속이 가능하다.	×	휠-레일간의 점착을 이용. 속도, 레일면의 상태 등에 따라 공전, 활주가 발생한다.
주행	차체 전체에 부상을 위한 전자석이 설치되며 magnet에 의해 균등한 차체하중이 부하된다. 궤도나 구조물을 경량화할 수 있으며 차체의 강성도 줄일 수 있다.	×	4점 지지방식으로 하중이 부가된다.
소음	부상식이므로 레일 단부 및 곡선에서도 소음이 발생하지 않는다.	×	휠-레일 접촉소음이 발생한다.
마찰	레일의 마찰이 없다.	×	휠-레일의 마찰이 발생한다.

(나) 시스템 구성체계의 차이점



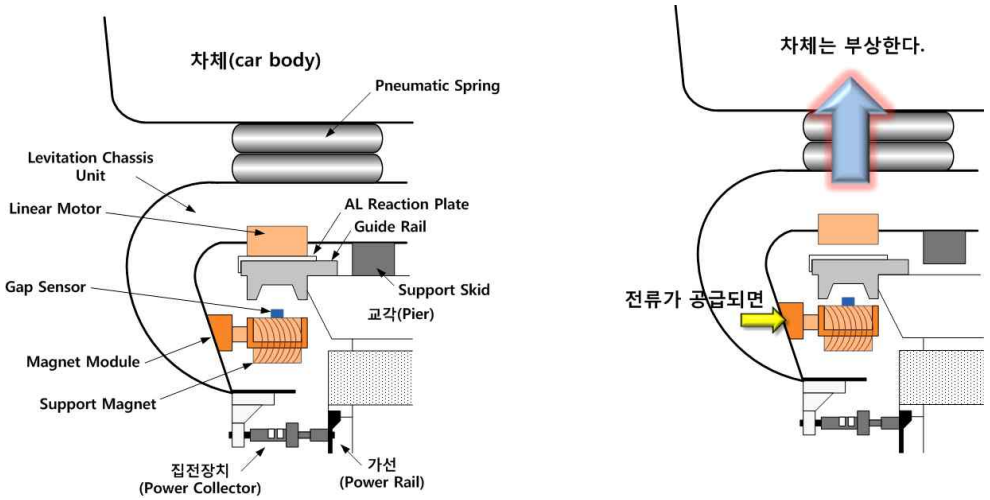
[그림 214]자기부상열차 법제화를 위한 개정부분

(3) 자기부상열차의 주요 특징

(가) 자기부상열차의 주요 시스템의 특징

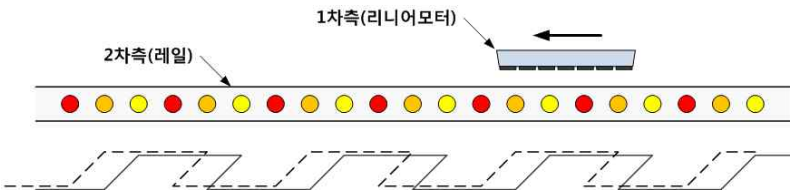
1) 부상 및 추진

차체에 붙어있는 전자석에 전류가 흐르면 레일과 리니어 모터 사이에 흡인력이 발생하여 차체가 부상하게 된다. 전자석과 레일과의 간격은 갭 센서에 의해 항상 일정한 간격이 유지될 수 있도록 제어한다.



[그림 215]자기부상열차의 부상/추진시스템 구성도

차체는 리니어 모터로 추진하는데 중저속형에는 선형유도전동기(LIM, Linear Induction Motor)가 사용된다. 리니어 모터는 보통의 회전형 모터를 편평하게 편 것과 같은 원리로서 보통의 모터는 회전력으로 작용하는 것에 반하여 리니어 모터는 그 힘을 직진하는 힘으로 활용하는 것이다.

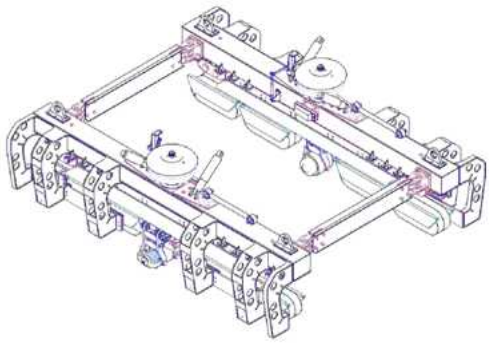


[그림 216]리니어 모터에 의한 추진

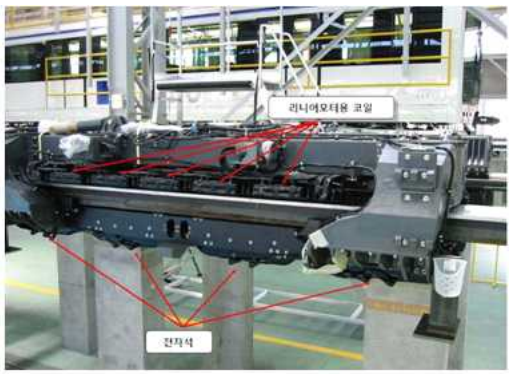
2) 주행대차(Levitation Chassis Unit 혹은 Magnet Module)

대차 모듈은 철도차량에서의 대차에 해당하는 부분으로 1대의 모듈에는 부상용 전자석이 4개, 리니어 모터용 코일이 1대, 기타 유압/공압 제동장치 등이 부착되어 있다. 대차 모듈은 1량 당 3대가 탑재된다.

대차는 비상시 착지상태에서 주행이 가능한 구조로 설계되며 대차 프레임은 side 프레임과 tie beam으로 이루어져 있고, side 프레임에는 공기스프링, 부상/안내용 전자석, 추진용 선형유도전동기, 공기제동용 제동통, 가이드 휠 및 착지 휠 등이 있다.



[UTM-01 대차]



[Linimo 대차]

[그림 217]자기부상열차의 주행대차

3) 제동시스템

차량의 가속 및 정상 제동은 리니어모터로 구성된 추진시스템에 의해서 이루어진다. 이러한 회생제동시스템과 더불어 비상정지시에는 eddy-current 제동이 사용된다.

4) 전원공급시스템(집전장치)

차상에 필요한 전원은 궤도의 양측에 설치된 가선(power rail)로부터 차량의 대차에 취부된 집전장치(power collector)를 통해 집전한다. 차상 전원공급시스템은 가선으로부터 고전압을 수전받아 차내에 필요한 각종 전원으로 변환하여 공급한다.

5) 궤도 및 전차선

궤도는 가이드레일(guide rail), 리엑션 플레이트(AL reaction plate), 크로스 빔(Cross beam)으로 구성된다. 가이드레일은 역U자형으로 된 압연강판을 사용하며 그 위에 알루미늄 리엑션 플레이트(AL reaction plate)가 부착되어 있다.

역U자형 가이드레일 부분은 부상 안내용 전자석의 자기도체가 되어 부상, 안내력을 발생시켜 차체를 지지한다. 또한 기계식 제동장치의 습동면으로 작용하여 제동력을 발휘한다.

알루미늄 리엑션 플레이트는 리니어 모터의 2차도체가 되어 추진력을 발생시킨다.



[그림 218]가선시스템



[그림 219]가이드레일

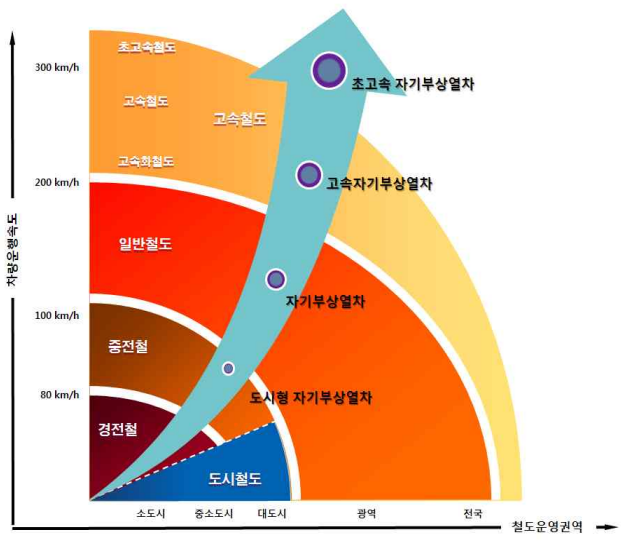
(나) 차량의 속도에 따른 운행상의 검토

o 자기부상열차는 특성에 따라 도시철도에서 초고속까지 실용화 가능함.

o 본 실용화 사업은 중저속의 도시형 자기부상열차로 제한 됨.

o 따라서 개정되는 법은 도시형 자기부상열차에 한정되어야 함.

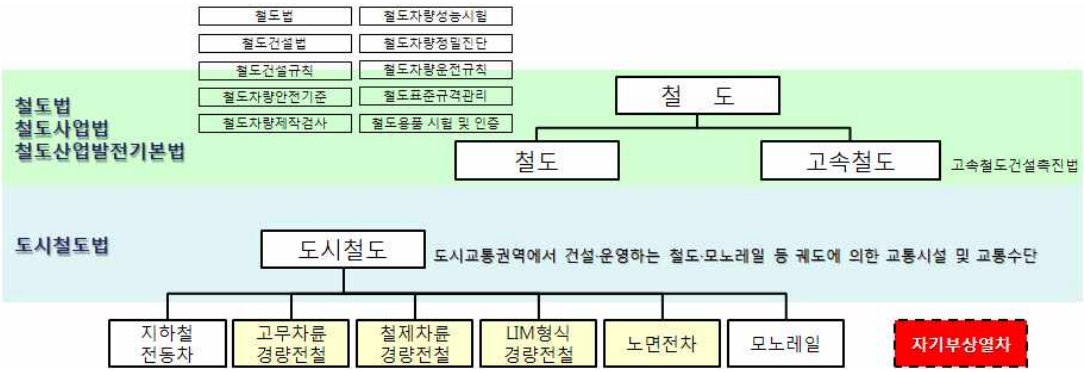
o 고속차량에 대해서는 향후에 별도의 법제정이 필요.



[그림 220]차량운행속도별 자기부상열차의 실용화

(4) 국내외 철도분류 및 법령구조 사례비교

(가) 국내 도시철도법에 의한 철도의 분류와 법령구조분석



[그림 221]국내 철도의 분류와 관련법

o 현재 국내법령상 철도, 고속철도, 도시철도로 구분되며 “철도법”, “철도사업법” 및 “철도산업발전기본법”을 기본으로 한다.

o 도시철도의 경우 “도시철도법”에 근거하여 세부법령을 정하고 있다.

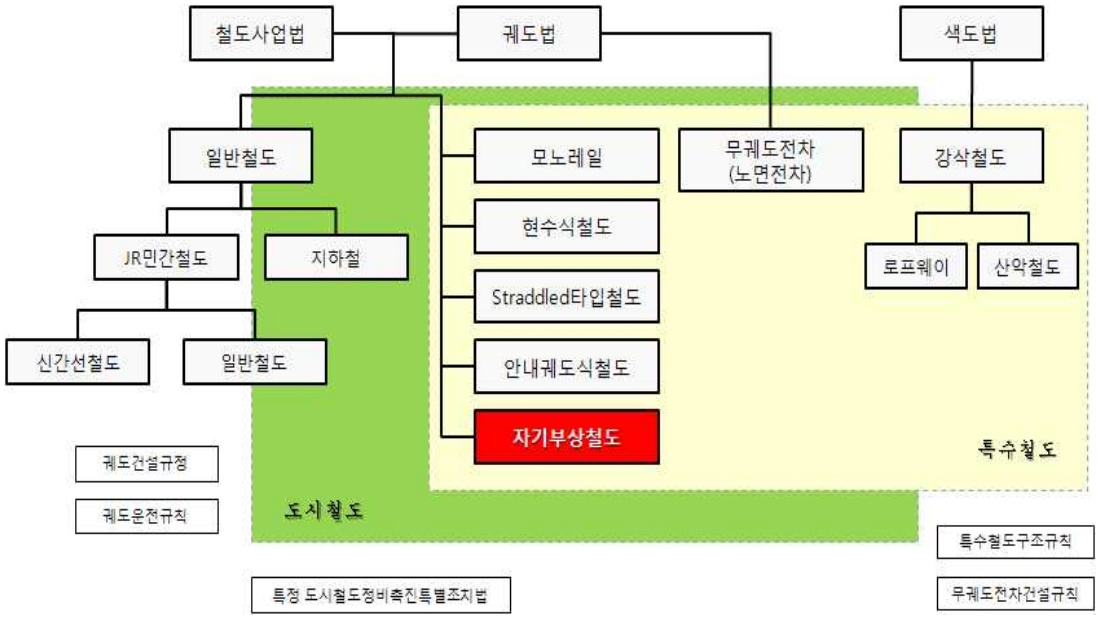
o 경량전철 관련법령은 경량전철시스템기술개발사업에서 별도로 법제화연구를 추진하고 있음.

o 본 사업에서는 자기부상열차에 관련된 법령의 제·개정을 목적으로 함.

[표 131]경량전철시스템의 관련법령 제·개정방향

	도시철도법	경량전철시스템
건설규칙	도시철도건설규칙	건설지침 **신규제정**
안전기준	도시철도차량 안전기준에 관한 규칙	도시철도차량 안전기준에 관한 규칙 **개정**
표준사양	도시철도차량 표준사양	도시철도차량 표준사양 **개정**
성능시험	도시철도차량 성능시험에 관한 기준	도시철도차량 성능시험에 관한 기준 **개정**
품질인증	도시철도차량 품질인증요령	도시철도차량 품질인증요령 **개정**
정밀진단	도시철도차량 정밀진단지침	도시철도차량 정밀진단지침 **개정**
운전규칙	도시철도차량 운전규칙	도시철도차량 운전규칙 **개정**

(나) 일본의 철도의 분류와 법령구조 비교



[그림 222]일본 철도의 분류와 관련법

o 일본은 “철도영업법”과 “철도사업법”을 근거하여 법류을 제정한다.

o 일본의 철도사업은 JR민영철도와 지하철을 포함하는 일반철도와 모노레일, 케이블카, 자기부상열차 등을 포함하는 특수철도로 구분한다.

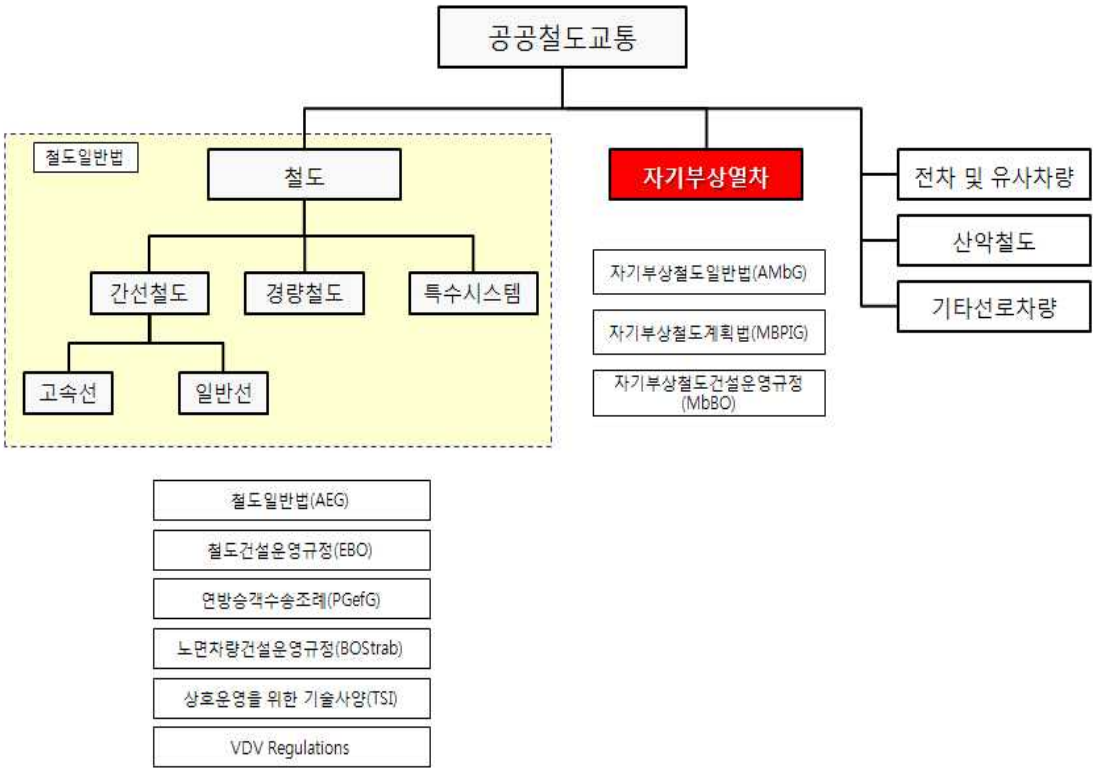
o 일반철도에 대해서는 “보통철도구조규칙”, “신간선철도구조법규”를 정하고 있다.

o 도시철도는 도시내 운영을 위한 일반철도, 지하철, 특수철도를 포함한다.

o 특별히 노면전차로 구분되는 무궤도전차의 경우에는 철도사업법과는 별도로 궤도법에서 관할하고 있다.

o 자기부상열차는 운영상에서는 도시철도로 분류되며, 기술적으로는 특수철도로 분류되어 “특수철도구조규칙”에 근거하여 별도로 정하고 있다.

(다) 독일의 철도의 분류와 법령구조 비교



[그림 223]독일 철도의 분류와 관련법

o 독일의 경우, 철도는 “철도일반법(AEG)”에 근거한다.

o 자기부상열차, 전차 및 유사차량, 산악철도, 기타선로차량은 “철도일반법”에 포함되지 않는다.

o 자기부상열차의 경우 “자기부상철도일반법(AMbG)” “자기부상철도계획법(MBPIG)”, “자기부상철도건설운영규정(MbBO)”에서 정하고 있다.

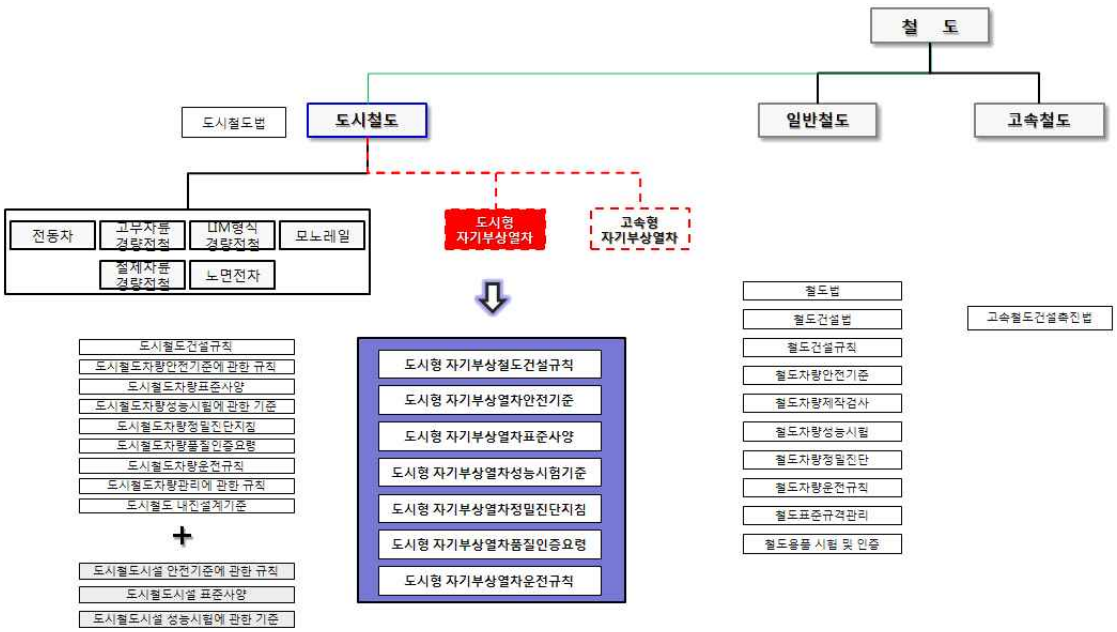
o 독일의 경우 특별히 “도시철도”의 용어를 규정하지 않고 “여객근거리교통”으로 분류하며 세부 기준들은 VDV 규정 및 지침을 활용한다.

(5) 국내 자기부상열차 관련법령의 분류 방안

경전철, 모노레일, 자기부상열차 등의 개발 및 상용화와 이를 반영한 법령의 제·개정이 필요하며 최근의 기술개발사업과 병행하여 체계적인 법체계정립의 필요성이 되두된다.

따라서 국내의 법령체계의 확립을 위하여 다음과 같이 제안한다.

1. 도시형 자기부상열차 관련법령은 **도시철도법 하부법령 및 기술기준으로 제정하여 건설교통부장관이 고시한다.**
2. 자기부상열차는 **도시철도 범주내에서 경량전철, 지하철 등과 별도로 분리한다.**
3. **고속형에 대하여는 향후 실용화의 추이를 보고 별도**로 정한다.
4. 아울러 자기부상열차시스템의 실용화를 위하여 제정될 법령들은 기존의 도시철도법의 상세수준에 비하여 세밀화 정도를 낮춤으로서, 철도차량시스템의 발전에 능동적으로 대처할 수 있도록 포용력있는 법령을 개발, 제정할 필요가 있다.



[그림 224]자기부상열차 관련법령 분류방안

(6) 자기부상열차 법제화를 위한 도시철도법령의 세부 검토

(가) 도시철도건설규칙

	도시철도건설규칙	검토 사항
목적	**제1조 (목적)** 이 규칙은 도시철도법 제10조의2의 규정에 의하여 도시교통권역안에서 건설하는 도시철도의 건설기준등에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.	도시형자기부상철도로 제한해야 함
용어의 정의	**제2조 (정의)** 이 규칙에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다. 1. "궤간"이라 함은 레일의 맨위쪽부분으로부터 14밀리미터 아래지점에 위치한 양쪽레일의 안쪽간의 최단거리를 말한다.	**궤간**의 정의를 자기부상철도에 알맞게 개정해야 함
궤간	**제6조 (궤간)** 궤간의 치수는 1천435밀리미터로 한다.	자기부상열차의 **궤간**에 대한 규정을 고려하여 **확대궤간**, **확대궤간 체감거리**, **궤간의 공차**등을 고려하여 적절한 규정을 정의하여야 한다.
	제7조 (확대궤간) ①선로가 곡선인 구간(이하 "곡선부"라 한다)의 궤간에는 제6조의 규정에 불구하고 확대궤간을 두어야 한다. ②제1항의 규정에 의한 확대궤간은 곡선부분의 안쪽레일에 두어야 하며, 그 치수는 25밀리미터를 초과하지 아니하는 범위안에서 당해 곡선의 반경등을 고려하여 시·도지사가 정한다.	
	제8조 (확대궤간의 체감거리) ①제7조의 규정에 의한 확대궤간은 선로가 나뉘어지는 지점(이하 "분기부"라 한다)의 경우를 제외하고는 다음 각호의 거리에서 이를 체감시켜야 한다. 1. 완화곡선이 있는 경우에는 그 곡선 전체의 거리 2. 완화곡선이 없는 경우에는 제12조의 규정에 의한 캔트의 체감거리와 동일하게 하되, 캔트를 두지 아니하는 경우에는 원곡선의 시·종점으로부터 5미터이상의 거리 ②반경이 다른 같은 방향의 곡선이 접속하는 경우에는 반경이 큰 곡선안에서 확대궤간의 차를 제1항제1호 및 제2호에 준하여 체감하여야 한다.	
	제9조 (궤간의 공차) ①궤간에는 다음 각호에 정하는 공차를 허용한다. 1. 크로싱의 경우 : 증 3밀리미터, 감 2밀리미터 2. 기타의 경우 : 증 10밀리미터, 감 2밀리미터 ②제1항의 규정에 의한 허용치에 확대궤간을 가산한	

	치수는 30밀리미터를 초과하여서는 아니된다.	
곡선	**제10조 (선로의 곡선반경등)** ①선로의 곡선반경은 선로의 구간 및 기능 등에 따라 각각 그 크기를 다르게 할 수 있다. ②제1항의 규정에 의한 곡선반경의 크기는 시·도지사가 정한다.	당해 **곡선의 반경**·열차의 **운행속도**등을 고려하여 자기부상열차에 적합한 **캔트**를 정의하고 **캔트의 체감거리**, **완화곡선**, **직선의 삽입**등과 같은 규정을 개·제정하여야 한다.
	제11조 (캔트) ①곡선부의 바깥쪽 레일에는 열차의 운행안전을 위하여 캔트(열차의 원심력에 의한 탈선이나 전복을 막기 위하여 바깥쪽레일을 안쪽레일보다 높게 부설하는 것을 말한다)를 두어야 한다. 다만, 분기부에 부대되는 곡선의 경우에는 그러하지 아니하다. ②제1항의 규정에 의한 캔트의 크기는 당해곡선의 반경·열차의 운행속도등을 고려하여 시·도지사가 정하되, 그 최대의 크기는 160밀리미터를 초과할 수 없다.	
	제12조 (캔트의 체감거리) 캔트의 체감거리는 다음 각호와 같다. 1. 완화곡선이 있는 경우에는 그 곡선 전체의 거리 2. 완화곡선이 없는 경우에는 제11조제2항의 규정에 의한 캔트(이하 "표준캔트"로 한다)의 600배이상의 거리 3. 복심곡선이 있는 경우에는 반경이 큰 곡선상에서의 캔트차의 600배이상의 거리 4. 제1호 내지 제3호의 경우로서 시·도지사가 정하는 부득이한 경우에는 표준캔트의 450배이상의 거리	
	제13조 (완화곡선) ①본선의 경우에 곡선반경이 800미터이하의 곡선과 직선이 접속하는 곳에는 상당한 완화곡선을 삽입하여야 한다. 다만, 분기부에 부대되는 곡선인 경우에는 그러하지 아니하다. ②제1항의 규정에 의한 완화곡선의 길이는 표준캔트의 600배이상으로 한다. 다만, 부득이한 경우에는 표준캔트의 450배까지 감축시킬 수 있다.	
	제14조 (직선의 삽입등) ①본선의 경우에 인접하여 2개의 곡선이 있는 선로에는 캔트 체감후에 20미터이상의 직선을 삽입하여야 한다.	
기울기	**제15조 (정거장밖의 기울기한도)** ①정거장밖의 지역에 있는 본선의 기울기는 1천분의 35를 초과하여서는 아니된다. ②곡선인 선로에 기울기를 두는 경우에는 제1항의 규정에 의한 한도에 상당한 곡선보정을 한 기울기를 그	정거장 안에 있는 **본선의 기울기한도**, **측선의 기울기**, **종곡선의 기울기**와 같은 항목들에서 자기부상열

	한도로 한다.	차에 맞는 정량적 규정이 요구되어진다. 자기부상열차의 궤간과 캔트에 정의를 바탕으로 관련된 규격을 얻어야 할 것이다.
	제16조 (정거장안의 기울기한도) 정거장안에 있는 본선의 기울기는 다음 각호의 한도를 초과하여서는 아니된다. 1. 본선의 차량을 분리·연결 또는 유치용도로 사용되는 경우 : 1천분의 3 2. 제1호외의 경우 : 1천분의 8(부득이한 경우에는 1천분의 10)	
	제17조 (측선의 기울기) 측선의 기울기는 1천분의 3을 초과하여서는 아니된다. 다만, 차량을 유치하지 아니하는 측선에 있어서는 1천분의 45까지로 할 수 있다	
	제18조 (종곡선) 선로의 기울기가 변하는 경우로서 인접 기울기의 변화가 1천분의 5를 초과하는 경우에는 반경 3천미터이상의 종곡선을 삽입하여야 한다.	
건축한계	**제21조 (곡선부의 건축한계)** ①곡선부의 건축한계는 제11조제2항의 규정에 의한 표준캔트에 따라 경사시켜야 한다. ②제1항의 규정에 의한 곡선부의 건축한계는 직선부의 건축한계를 궤도중심의 각측에 일정한 치수이상으로 확대한 것으로 하되, 그 범위는 곡선반경등을 고려하여 시·도지사가 정한다. 다만, 가공전차선 및 그 현수장치를 제외한 상부에 대한 건축한계는 이에 의하지 아니할 수 있다.	**곡선부의 건축한계**는 시도지사가 정하고 곡선부의 건축한계는 표준캔트에 따라 경사시켜야 한다. 그러므로 자기부상열차에 대한 관련 기준이 필요하며, 제정되어야 한다.
궤도	**제22조 (궤도의 중심간격)** ①열차가 상호 반대방향으로 운행되는 본선궤도의 경우에는 열차의 안전 및 승객등의 안전을 위하여 그 궤도간의 간격은 충분한 거리를 두고 설치하여야 한다. ②제1항의 규정에 의한 궤도의 간격은 당해궤도의 지상부·지하부·궤도병설수 및 차체규격등을 고려하여 시·도지사가 그 기준을 정한다. 이 경우 궤도사이에 가공전차선지주나 신호기지주등을 설치하는 경우에는 당해부분만큼 궤도의 간격을 확대하여야 한다.	부상식 열차가 상호 반대방향으로 운행되는 본선궤도의 경우, 고가구조물에 의한 상·하 및 좌·우에 대한 각 궤도의 **중심간격**을 정의하여야 한다. 부상식 열차에 특성에 맞는 **레일의 중량**과 **도상의 두께**를 제정하여야 한다.
	제23조 (곡선인 궤도의 중심간격) 곡선인 궤도의 중심간격은 제21조제2항의 규정에 의한 치수의 2배이상으로 확대하여야 한다.	
	제24조 (레일) 레일의 중량은 열차의 종류·설계하중 및 통과톤수등에 따라 시·도지사가 정한다.	
	제25조 (도상의 두께등) ①도상(레일의 침목밑면부터 시공기면까지의 부분에 설치하는 콘크리트나 자갈등을 말한다. 이하 같다)의 두께 및 너비의 기준은	

	시·도지사가 정하는 기준이상으로 하여야 한다. 다만, 기술상 또는 지형상 불가능한 경우로서 안전에 지장이 없다고 인정되는 경우에는 도상의 두께를 달리하거나 도상을 설치하지 아니할 수 있다. ②시·도지사는 제1항의 기준을 정함에 있어서 지상이나 지하의 소요공간과 지반의 특성등을 고려하여 정하되, 당해도상을 자갈로 하는 경우와 콘크리트로 하는 경우를 구분하여 정할 수 있다.	
구조물	**제26조 (건축한계외의 여유공간)** 구조물과 건축한계와의 사이에는 시·도지사가 정하는 바에 따라 전기·신호·통신·통로 기타 시설의 설치에 필요한 여유공간을 두어야 한다.	전기·신호·통신·통로 기타 시설등의 규정이 필요함
정거장	**제31조 (승강장의 너비)** ①승강장의 너비는 다음 각호의 기준에 의한다. 다만, 승객의 이용이 적은 승강장의 양끝지역에서는 다음 각호의 기준보다 좁게 할 수 있다. [개정 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]] 1. 본선과 본선사이에 설치된 승강장의 경우에는 8미터 이상 2. 본선의 양옆에 설치된 승강장의 경우에는 4미터 이상 ②승강장의 연단으로부터 너비 1.5미터, 높이 2미터이내의 공간에는 승객의 실족·추락방지시설, 대피시설등 안전시설 외에는 기둥·계단 등 어떠한 시설도 설치하여서는 아니된다. [개정 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]] ③시·도지사는 당해지역의 여건상 불가피하다고 인정되는 경우에는 제1항 및 제2항의 규정에 불구하고 승강장의 너비를 기준이하로 하거나 승강장의 주위에 기둥이나 계단을 설치하게 할 수 있다.	부상식 열차의 크기에 따른 **승강장의 너비와 높이**가 개정되어야한다. 또한 고가(高架)에 설치되는 승강장의 경우 **안전시설** 및 **특별피난계단**을 개정하여야 한다.
	제32조 (승강장연단의 높이) 승강장의 연단은 레일의 윗면으로부터 1.135미터 높이에 설치하는 것을 표준으로 한다. [개정 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]]	
	제33조 (승강장연단과 차량한계와의 간격) ①승강장의 연단은 제51조의 규정에 의한 차량한계로부터 50밀리미터의 간격을 띠어 설치하여야 한다. ②선로가 곡선으로 되어 있는 승강장은 제1항의 규정에 의한 간격에 제21조제2항의 규정에 의한 치수를 가산하여 설치하여야 한다.	
	제35조의2 (특별피난계단) ①지하 3층 이하의 승강장에는 비상시 승객이 쉽게 대피할 수 있도록 승강장	

	과 지상을 계단으로 직접 연결한 별도의 비상계단(이하 “특별피난계단”이라 한다)을 설치하여야 한다. ②본선과 본선 사이에 설치된 승강장에는 1개소 이상, 본선의 양옆에 설치된 승강장에는 승강장별로 각 1개소 이상의 특별피난계단을 각각 설치하여야 한다. ③특별피난계단에는 제69조의 규정에 의한 유도등과 제70조의 규정에 의한 비상조명등을 각각 설치하여야 한다. [본조신설 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]]	
전기설비	**제36조 (전기방식)** 선로에 공급하는 전압 및 전기방식은 다음 각호에 정하는 바에 의하되, 전력은 당해 도시철도를 관할하는 도시철도변전소로부터 공급받는 것을 원칙으로 한다. [개정 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]] 1. 전차선로 : 직류 1천500볼트 가공선식 2. 고압배전선 : 교류 3상 6천600볼트, 2만2천볼트 또는 2만2천900볼트 3. 선로내 조명 및 동력시설 : 교류 100볼트 또는 200볼트이상 400볼트이하 4. 신호용 배전선 : 교류 100볼트이상 400볼트이하	도시철도 전기설비는 기존 지상부와 지하부의 급전선을 사용하도록 규정되어있고 전차선의 가선방식, 레일윗면으로부터의 높이 및 편차에 관한 사항은 열차의 종류, 설치장소 및 지역여건 등을 고려하여 시도지사가 정한 다고 규정되어있으나 **자기부상열차의 전기설비**는 기존 방식과 다르므로 선로를 건설할 때부터 여러 가지 요인을 고려해야 한다. 그러므로 건설방식에 있어서의 별도의 규정이 필요함.
	제37조 (전선로) 조명 및 동력용 고압배전선은 2회선이상으로 하여야 하고, 지상부 전차선은 별도의 급전선을 설치하여 구간별로 급전하여야 하며, 지하부 전차선은 강체전차선 또는 카테나리조가선이 급전선을 겸하도록 하여야 한다	
전차선의 기울기	**제43조 (전차선의 기울기)** 가공전차선의 레일면에 대한 기울기는 본선의 경우에는 1천분의 3이하로, 측선의 경우에는 1천분의 10이하로 하여야 한다. 다만, 지형상 부득이한 경우에는 본선의 경우에는 1천분의 5이하로, 측선의 경우에는 1천분의 15이하로 할 수 있다.	자기부상철도에 맞는 **전차선의 기울기**가 규정되어야 한다.
환기·배	**제45조 (배수설비)** 선로에는 적절한 배수설비를 하여야 한다.	선로가 고가인 경우 배수설비의 예외를 두어야 한다.

수		
안전설비	**제63조 (대피시설)** 선로에는 다음 각호에 규정된 대피시설을 설치하여야 한다. 1. 교량 및 고가부의 양측에 순회통로 및 손잡이 시설 2. 중간기둥이 있는 지하부에 중간기둥 손잡이 시설 3. 지하분기부의 양측벽면에 통로 및 손잡이 시설 4. 터널안·차량기지등 필요한 곳에 순회통로 및 손잡이 시설 5. 지하본선에 지상출입구 시설	자기부상열차는 고가구조물이나 교량상에서 운행되는 구조이므로 **긴급상황이나 대피상황에서의 안전규정**들을 규정하고 보완하여야 한다.

(나) 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙

	도시철도차량 안전기준	**검토사항**
목적	제1조 (목적) 이 규칙은 도시철도법 제22조의2 및 동법시행령 제25조의 규정에 의하여 도시철도차량의 구조 및 장치의 안전운행에 필요한 기준을 규정함을 목적으로 한다.	도시형자기부상철도로 한한 규범 정의가 제정되어야 한다.
정의	**제2조 (정의)** 이 규칙에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다. 1. "열차"라 함은 여러 차량이 하나의 편성을 이루어 본선에서 운전할 목적으로 열차번호를 부여받은 도시철도차량을 말한다. 2. "차량"이라 함은 열차를 구성하는 전동차 1량을 말한다. 3. "차량한계"라 함은 차량의 안전을 확보하기 위하여 궤도위에 정지된 상태에서 측정한 차량의 길이·너비 및 높이의 한계를 말한다. 4. "차체"라 함은 주행장치에 의하여 지지되며 승객 및 운전자가 탑승하거나 화물 및 운전용기기 등을 적재하는 차량 부분의 총칭을 말한다. 5. "구조체"라 함은 차체를 구성하고 있는 차체 프레임, 측면 구조틀, 지붕구조 등 주요 구조부를 말한다. 6. "윤축(윤축)"이라 함은 차륜(차륜)과 차축(차축)의 결합체를 말한다. 7. "축중(축중)"이라 함은 차량이 수평상태에 있을 때 1개의 차축에 연결된 모든 차륜의 윤중(윤중)을 합한 것을 말한다.	자기부상열차는 **차륜**과 **차축**이 없으므로 **전자석** 등의 알맞은 용어의 정의를 삽입, 제정하여야 한다.

	8. "윤중"이라 함은 차량이 수평상태에 있을 때에 1개의 차륜이 수직으로 궤도를 누르는 중량을 말한다. 9. "삭정(삭정)"이라 함은 부품의 마모된 부분을 초기의 형상에 가까운 모양으로 깍는 것을 말한다. 10. "페일-세이프기능"이라 함은 어떤 장치에 고장이 발생한 경우에도 당해 고장의 영향이 차단되어 전체 장치가 안전하게 작동할 수 있는 기능을 말한다	
차량한계	**제6조 (총중량)** 차량의 총중량은 정상적인 운전이 가능한 상태의 차량 자체만의 중량(이하 "공차중량"이라 한다)과 승객 및 화물의 중량을 합한 중량으로 하되, 제8조의 규정에 의한 축중기준에 적합하여야 한다.	자기부상열차는 차륜이 없고 이에 따른 **축중**과 **중량분포** 등의 **차량한계**의 정의를 개정해야 한다.
	제7조 (중량분포) ①공차상태에서 각 차축의 한쪽 차륜하중은 동일차축의 좌우측차륜하중 평균치와의 편차가 5퍼센트 이내이어야 한다. ②공차상태에서 한쪽 선로의 차륜의 하중합은 그 동일차량의 좌우측선로차륜의 하중합의 평균치와의 편차가 5퍼센트 이내이어야 한다. ③공차상태에서 각 축중은 그 동일차량의 축중평균치와의 편차가 5퍼센트 이내이어야 한다. 다만, 관절형식의 주행장치를 가지는 도시 철도차량은 그러하지 아니하다.	
	제8조 (축중) 정차중인 차량의 축중은 다음 각호의 기준에 적합하여야 한다. 1. 전동차 : 16톤 이하 2. 철제차륜형식 경량전철 : 10.8톤 이하 3. 고무차륜형식 경량전철 : 9.5톤 이하	
화재안전	**제10조 (화재예방을 위한 기준)** ①차량의 차체 및 실내설비는 다음 각호의 어느 하나에 해당하는 불에 타지 아니하는 재료(이하 “불연재료”라 한다)를 사용하여야 한다. 1. 철·구리·알루미늄·스텐레스 또는 유리 2. 국제표준화기구(International Organization for Standardization)에서 정한 시험방법 ISO 1182에 의하여 시험한 결과 시료(시료)의 연소에 의한 추가온도상승이 섭씨 50도 이하인 재료 3. 국제표준화기구에서 정한 시험방법 ISO 4589-2에 의하여 시험한 결과 산소지수(Limited Oxygen Index)가 70 이상인 재료 ②차량의 실내설비중 내장판·의자·통로연결막·바닥재	자기부상열차의 **재료**를 이 기준에 적용할 수 있는가에 대한 고려가 필요하며 자기부상열차의 특성상 새로운 재료를 사용하게 된다면 그 재료에 대한 규격을 마련해야 한다. 또한 고가에 설치된 자기부상열차에서 **화재대피를 위한 구조** 및 **장비**를 개정해야

	및 단열재는 불연재료를 사용하거나 별표 1의2의 차량실내설비의 화재안전 시험방법 및 기준에 적합한 재료를 사용하여야 한다. ③실내설비(제2항의 규정에 의한 실내설비를 제외한다)의 성질상 불연재료를 사용할 수 없는 경우에는 국제표준화기구에서 정한 시험방법 ISO 4589-2에 의하여 시험한 결과 산소지수가 24 이상인 재료를 사용하거나, 한국산업규격 또는 국제적으로 인정된 시험방법에 의한 연소성 시험에 합격한 재료를 사용하여야 한다.	
	제11조 (화재대피를 위한 구조) ①차량의 출입문은 화재발생 등 비상시에 승객이 용이하게 대피할 수 있도록 수동으로 열 수 있는 구조이어야 한다. ②차량에는 축전지 전원으로 작동될 수 있는 다음 각호의 장치를 구비하여야 한다. 1. 승객과 운전자간의 비상연락장치(완전무인운전 도시철도차량의 경우에는 승객과 중앙제어센터간의 비상연락장치를 말한다) 2. 화재상황을 알릴 수 있는 방송장치 또는 경보장치 3. 비상등 ③운전실에는 다음 각호의 장비를 각각 1개 이상 비치하여야 한다. 다만, 운전실에 장비를 비치하기 어려운 경우에는 운전실과 연결된 차량 내부에 이를 비치할 수 있다. [신설 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]] 1. 산소호흡기 2. 들것 3. 확성기 4. 손전등 5. 방독면	한다.
전기안전	**제20조 (전기장치의 유지보수)** ①전기장치의 기계적인 동작을 행하는 부품은 동작 또는 마모상태를 쉽게 확인할 수 있어야 하며, 교체가 필요한 경우에는 쉽게 교체할 수 있는 위치에 설치하여야 한다.	자기부상열차의 레일에는 전자석이 매설되고 그 장치의 동작이나 마모상태를 알기 어려운 면이 있다. 이에 따라 차량운행에 대한 법규를 추가하여야 할 것이다.
충돌안	**제22조 (충돌변형부의 제한)** 구조체는 각 차량이 상대속도 20킬로미터에서 연결기를 통하여 충돌할 때 연결기의 흡수능력 이상의 하중이 차체에 작용하는	자중의 경감에 의한 **충돌기준**의 재검토 필요.

전기준	경우 차체의 다른 부위에 압괴변형이 발생하기 전에 차체의 끝부분과 볼스터사이의 차체부분이 압괴변형에 의하여 충돌에너지를 흡수할 수 있는 구조이어야 한다. 다만, 볼스터방식이 아닌 도시철도차량은 그러하지 아니하다.	자기부상열차는 탈선의 위험이 적다는 특징이 있지만, 고가구조물이나 교량 등에서 운행되어진다는 특징을 고려하여 더욱더 엄격한 **충돌안전성이나 충돌변형부의 제한**에 대한 규제가 필요하다.
	제23조 (차체의 충돌안전성) 시속 5킬로미터의 속도로 주행하는 공차상태의 열차가 제동이 되어 있는 유사한 형태의 열차와 연결기를 통하여 충돌하였을 때 차체에는 손상이 발생하지 아니하여야 한다.	
장치별안전기준	**제24조 (구조체의 강도 등)** ①구조체는 차량의 사용내구연한까지 안전하게 운행될 수 있는 강도를 지녀야 한다. ②구조체에는 균열·훼손·부식 및 리벳 부분의 느슨해짐 또는 용접부의 균열이 있어서는 아니된다. ③구조체의 하부틀의 변형은 10밀리미터 미만이어야 한다. ④구조체를 구성하고 있는 철판류의 부식·노후 및 마모 등이 승객의 안전에 영향을 미치지 아니하여야 한다. ⑤통로연결막의 부식·균열 및 표면의 벗겨짐 등이 승객의 안전에 영향을 미치지 아니하여야 한다.	**구조체의 하부틀의 변형**에 대한 부상식 열차의 특징을 고려해여 개정해야 한다. 또한 고가구조물에 의한 부상식 열차의 **외부개방장치**는 원격에 의한 제어 등을 고려하여 개정해야 한다.
	제30조 (승객용 출입문) ①차량에는 비상시 승객용 출입문을 외부에서 수동으로 열 수 있는 장치(이하 이 조에서 “외부개방장치”라 한다)와 비상시 승객용 출입문을 차량 내부에서 수동으로 열 수 있는 장치(이하 이 조에서 “내부개방장치”라 한다)를 각각 구비하여야 한다. [개정 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]] ②승객용 출입문의 가장자리는 사람의 손 또는 옷이 걸리지 아니하는 구조이어야 한다. ③승객용 출입문이 서로 맞닿는 부위는 문이 완전히 닫혔을 때 틈이 없어야 한다. ④승객용 출입문은 닫힌 상태에서 차체 밖으로 돌출되어서는 아니된다. ⑤외부개방장치는 차량구조에 따라 레일면으로부터 1.26미터 이상 1.5미터 이하 높이의 차량의 바깥쪽 벽에 설치하고, 내부개방장치는 승객용 의자 밑이나 승객용 출입문의 안쪽 옆벽에 설치하여야 한다. [신설 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]]	

	⑥승객용 출입문의 안쪽 옆벽에는 비상시 문을 여는 방법이 설명되어 있고 내부개방장치가 설치된 곳을 향하여 방향표시가 되어 있는 안내표지를 부착하여야 한다. 이 경우 안내표지와 내부개방장치 사이에는 광고물 등을 부착하거나 설치하여서는 아니된다. [신설 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]] ⑦내부개방장치와 외부개방장치의 덮개에는 승객이 그 위치를 쉽게 알 수 있도록 위치표지를 각각 부착하여야 한다. [신설 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]] ⑧제6항의 규정에 의한 안내표지와 제7항의 규정에 의한 위치표지는 축광위치표지로 한다. [신설 2004.12.4] [[시행일 2005.3.4]]	
제동성능	**제52조 (제동성능)** ①제동작용시에는 운행노선에 따라 정하여진 감속도가 일정하게 유지되어야 한다. ②정상제동시에는 승객에게 불쾌감을 주는 충격·소음 및 진동이 최소화되어야 한다. ③열차의 비상제동거리는 운행노선에 따라 정하여진 운행최고속도에서 600미터 이내이어야 한다. ④제동장치는 정상제동시 제동작용이 급격히 증가되거나 감소되지 아니하는 구조이어야 하며, 비상제동시에는 마찰제동력만으로 열차를 정지시킬 수 있어야 한다. ⑤제동장치는 활주방지기능을 갖추어야 하며, 활주방지기능이 제동성능에 영향을 주어서는 아니된다.	자기부상열차의 **제동방식에 따른 정량적 수치**는 제동성능에 대한 규정이 필요하다. 또한, 마찰제동의 부상식열차에 사용 가능한지의 여부와 사용되었을 때의 그 충격량과 안정성에 대한 내용을 개정해야 한다.
	제53조 (제동작용) ①열차에는 정상적인 제동작용외에 긴급상황시에도 안전하고 신속하게 작동할 수 있는 비상제동기능이 구비되어야 한다. ②비상제동에는 전기지령선이 단선될 경우 전 차량에 비상제동이 자동으로 작용하는 페일-세이프기능이 적용되어야 한다. ③운전자 또는 열차제어장치의 비상제동지령, 주공기압력 부족, 열차분리 및 제동제어회로 이상 등과 같은 비정상적인 상황에서는 비상제동기능이 자동으로 작동되어야 한다. ④주차제동은 도시철도건설규칙 제16조 및 제17조의 규정에 의하여 차량을 유치할 수 있는 선로의 최대구배에서도 공차상태로 열차를 지속적으로 정차할 수 있어야 하며, 별도의 보조장비 없이 제동이 될 수 있어야 한다.	

	⑤회생제동, 전자기적 제동, 마찰제동 및 기타 다른 제동기능이 독립적으로 또는 혼합되어 작용될 수 있어야 하며, 혼합되어 작용될 경우에는 각 제동기능 사이의 상호작용이 고려되어야 한다. ⑥차량의 중량에 비례하여 제동력을 가감하는 기능을 가져야 하며, 공기스프링의 파손이나 고장시에도 하중보상이 되어야 한다. ⑦제동장치는 차량이 운행기능을 상실한 경우에 동일 노선을 운행하는 다른 열차 또는 입환기관차에 의하여 구원제동이 가능하여야 하며, 구원제동시에도 정상제동 및 비상제동이 가능하여야 한다.	
	제55조 (기초제동장치) ①제동마찰재는 불꽃·먼지 및 가스 등의 발생이 적은 재질이어야 하며, 유해물질을 포함하여서는 아니된다. ②제동레버 등 힘을 지탱하거나 전달하는 부품은 충분한 강도를 가져야 한다. ③열차의 전차량 제동후 최종차량의 제동실린더의 압력이 제곱센티미터당 1킬로그램이 되는 순간까지의 제동풀림시간은 8초 이내이어야 한다. ④열차의 비상제동시 제동실린더로 공기가 유입되는 순간부터 제동실린더의 압력이 최대치의 95퍼센트가 되는 순간까지의 제동충기시간은 5초 이내이어야 한다.	
추진제어장치	**제62조 (견인전동기)** ①견인전동기는 운행중 설치볼트가 파손된 경우에도 주행장치에서 분리되지 아니하도록 설치하여야 한다. ②견인전동기와 그 축에 설치되는 베어링에는 축전류 및 차체로부터의 누설전류 등에 대한 보호방안이 강구되어야 한다. ③견인전동기의 전기배선은 물체의 충격 및 차량의 진동에 견딜 수 있도록 내마모성 및 유연성을 가져야 하며, 차체와의 최대상대변위시 과도한 구부러짐이 없도록 이를 설치하여야 한다.	**선형유도전동기**의 **전기배선**, 선형유도전동기의 **내마모성** 및 **유연성**, 차체와의 최대상대 변위 시 과도한 **구부러짐**, 그리고 **과도한 열에 따른 냉각**에 대한 규정이 필요하다.
신호보호장치	**제70조 (신호보안장치의 동작)** ①자동열차제어장치는 열차운행을 시작하기 전에 제한속도신호 검지시험을 시행할 수 있는 기능을 가져야 하며, 열차운행중 제한속도신호가 일정시간 이상 입력되지 아니하면 열차를 정지시키는 기능을 가져야한다. ②자동열차제어장치는 제한속도신호와 실제속도신호를 비교하여 실제속도가 제한속도를 일정범위 이상	**제한속도신호**가 일정시간 입력되지 아니하면 열차를 정지시키는 기능은 고가구조물에서 다른 위험을 야기할 수 있다. 따라서 출·하차시를 제한 운행

	초과하면 과속으로 판단하여 열차를 제한속도 이하로 감속시키는 기능을 가져야 한다. ③자동열차제어장치는 자동 또는 무인운전시 정하여진 운전방식의 성립조건과 일치하지 아니하면 열차를 정지시키는 기능을 가져야 한다. ④자동열차제어장치는 역전기의 위치와 열차의 운전방향이 일치하지 아니하면 열차를 정지시키는 기능을 가져야 한다. ⑤자동열차제어장치는 속도검지기의 기능을 감시하여야 하며, 고장을 검지한 때에는 열차를 정지시키는 기능을 가져야 한다.	최저속도를 정하여 동일 상황에서 감속 제어할 수 있도록 해야 한다.

(다) 도시철도차량 (전동차)표준사양

	도시철도차량 표준사양	검토 사항
적용범위	**I. 일 반** **1. 적용범위** 이 표준사양서는 1,500V, DC 전원을 전차선을 통해 공급받는 통근형 직류전동차(이하 “전동차”라 한다)의 차량시스템 및 주요 구성품의 기능과 성능규격에 대해 규정한다.	자기부상열차의 사양에 맞는 새로운 **적용범위**가 필요하므로 제정하여야 한다.
전동차의 형식	**2.1 전동차의 형식** 1) 대형 전동차(이하 “A형” 이라 한다) 차체길이 19,500mm, 차체폭 3,120mm, 지붕높이(레일상면 기준) 3,600mm를 가지는 전동차 2) 중형 전동차(이하 “B형” 이라 한다) 차체길이 17,500mm, 차체폭 2,750mm, 지붕높이(레일상면 기준) 3,600mm를 가지는 전동차	자기부상열차의 사양에 맞는 새로운 **형식**이 필요하다.
기후조건	**Ⅱ. 기술규격** **1.1 기후조건** 1) 외기온도 : -25℃ ~ 40℃ 2) 적 설 량 : 30cm의 적설량을 고려하여야 한다. 3) 기 타 : 먼지, 눈, 비, 염분(해안지역인 경우)에 대해 충분히 고려해야 한다.	자기부상열차의 특성상 철제 이물질의 들러붙음, 고가구조물에서 적설량 등은 새로운 규정이 필요하다.
선로조건	**1.2 선로조건** 1) 궤 간 : 1,435mm 2) 차량최대축중 : 16ton	도시철도건설차량표준사양에 의한 **궤간**, **차량 최대 축중**, **최대구배**, **최대캔트**, **승강장**

	3) 최대구배 : ◦본선 : 35‰ ◦측선 : 45‰ 4) 최대캔트 : 160mm 5) 승강장연단 높이 : 1,100mm 6) 차량한계 : 별지 1 참조	**연단높이**와 같은 항목에 대한 새로운 규정이 제정되어야한다.
하중조건	**1.3 하중조건** 1) 승객 1인당 하중기준 : 62kg 2) 최대승객하중 ◦A형 : 20ton/량(성능계산기준, 정원기준의 2배) 30ton/량(강도계산기준, 정원기준의 3배) ◦B형 : 16ton/량(성능계산기준, 정원기준의 2배) 24ton/량(강도계산기준, 정원기준의 3배) 3) 관성질량 보상계수 ◦동력차 : 1.14 ◦부수차 : 1.06	한 량당 자기부상열차의 형태에 맞는 중량과 **최대승객하중**, **관성질량 보상계수**의 새로운 규정이 필요하다.
운전조건	**1.4 운전조건** 1) 노선평면선형 및 노선종단은 각 운행할 계획노선에 따른다. 2) 제작되어지는 노선의 수송수요에 따라 4량편성(2M2T), 6량편성(3M3T), 8량편성(4M4T), 10량편성(5M5T) 등으로 정할 수 있다. 3) 운전속도계획은 운행할 계획노선의 운전규정을 따른다. 4) 편성열차는 1일 평균 400km를 주행하는 것으로 한다. 5) 왕복운행시간은 1km당 3초의 예비시간과 각 정차역에서 최소 30초의 정차시간을 갖도록하며 이 시간은 지상의 신호보안장치에 의해 가변될 수 있도록 한다.	고가구조물의 교각 등의 허용 하중을 고려하여 **편성**을 규정 지어야 한다. 또한 기존 도시철도차량과는 달리 **1일 평균 주행 거리**와 **왕복운행시간** 등을 부상식 열차의 운행특징에 알맞은 규정이 필요하다.
유지보수	**1.5 유지보수조건** 1) 차량은 차량기지에서의 정기검사계획에 의거한 검사조건을 충분히 고려하여 설계·제작하여야 한다. 2) 차량의 고장검지 및 표시, 운행중 이상시 승무원 응급대처 지시기능 및 월간검사 정도의 자동검사 기능 등을 갖추어 신속한 고장복구를 할 수 있어야 한다. 3) 성능기준 최대하중조건의 1개편성이 고장으로 운행불가능할 경우 고장편성과 동일한 차량이 본선최대구배의 경사로에서 구원운전하는 것이 가능해야 한	기존 도시철도차량과는 달리 레일에 문제가 생기거나 열차에 문제가 생겼을 경우 **긴급복구를 위한 조항**을 필요로 한다.

	다.	
전기방식	**2.1 전기방식** 1) 가선전압 : 1,500V, DC (전압변동범위 : 1000V~1,800V, DC) 2) 전원공급방식 : ◦지상구간 : 카테나리선 ◦지하구간 : 강체 가선	자기부상열차전기방식에 맞는 **가선전압**과 **전원공급방식**에 대한 정의가 필요하다.
승객정원	**2.2 승객정원** 1) 정원기준시 승객 1인당 점유면적 : 0.35m^2 2) 정원기준 ◦A형 · 제어차(Tc) : 148명 (좌석 48명, 입석 100명) · 중간차(M,T) : 160명 (좌석 54명, 입석 106명) ◦B형 · 제어차(Tc) : 113명 (좌석 42명, 입석 71명) · 중간차(M,T) : 124명 (좌석 48명, 입석 76명)	자기부상열차의 크기와 적정하중에 맞는 새로운 **정원기준** 규정이 필요하다.
최대차량중량	**2.3 최대차량중량** 1) 편성별 최대차량중량 ◦A형 4량편성 142ton, 6량편성 209ton, 8량편성 276ton, 10량편성 343ton ◦B형 4량편성 130ton, 6량편성 190ton, 8량편성 250ton, 10량편성 310ton 2) 단, 량당 최대차량중량은 A형인 경우 39ton, B형인 경우 36ton 이하 이어야 한다.	자기부상열차의 크기와 최대승객하중에 따른 **편성별 최대차량중량** 새로운 규정이 필요하다.
성능최고속도	**2.4 성능 최고속도** 100km/h 이상	자기부상열차의 성능과 특성에 맞는 규정이 필요하다.
최고운행속도	**2.5 최고 운행속도** 80km/h 이상	자기부상열차의 성능과 특성에 맞는 개정이 필요하다.
가속도	**2.6 가속도** 3.0km/h/s 이상(조건 : 정지 → 35km/h)	자기부상열차의 성능과 특성에 맞는 개정이 필요하다.

감속도	**2.7 감속도** (조건 : 80km/h → 정지) ◦상용 : 3.5km/h/s 이상 ◦비상 : 4.5km/h/s 이상	자기부상열차의 성능과 특성에 맞는 규정이 필요하다.
표정속도	**2.8 표정속도** 30km/h 이상	자기부상열차의 시스템과 특성에 맞는 개정이 필요하다.
차륜경	**2.9 차륜경** (성능계산기준 820mm) ◦최대 : 860mm ◦최소 : 780mm	자기부상열차는 차륜이 없으므로 품목에 맞는 제정이 필요하다.
저크한계	**2.9 저크한계** 0.8m/sec^{3}이하	자기부상열차의 특성에 맞는 개정이 필요하다.
속도제어	**2.11 속도제어방식** 회생브레이크병용 VVVF 인버터제어	자기부상열차의 용품과 특성에 맞는 제정이 필요하다.
브레이크	**2.12 브레이크방식** 회생브레이크병용 전기지령식 공기브레이크	자기부상열차의 용품과 특성에 맞는 제정이 필요하다.
제어전압	**2.13 제어전압** 100V, DC (변동범위 : 70V ~ 110V, DC)	자기부상열차의 용품과 특성에 맞는 개정이 필요하다.
제어공기압력	**2.14 제어공기압력** 5kg/cm^2 (변동범위 : 4 ~ 6kg/cm^2)	자기부상열차의 용품과 특성에 맞는 제정이 필요하다.
열차주행저항	**2.15 열차주행저항** ◦지하구간 : 1.867 + 0.0359V + 0.000745V^2 [kg/ton] ◦지상구간 : (1.65 + 0.024V)Wm + (0.78 + 0.0028V)Wt + (0.028 + 0.0078(n-1))V^2 [kg] 여기서 V : 주행속도 [km/h] Wm : 편성중 동력차의 총중량 [ton] Wt : 편성중 부수차의 총중량 [ton] n : 편성 차량수	자기부상열차는 구름저항이 없으므로 **주행저항**에 대한 제정이 필요하다.

승 차 감	**2.16 승차감** 직선평탄로를 최고 운행속도(80km/h)로 공차 운행시 동력차 전·후위 대차 차량중심선 차량바닥에서의 진동가속도가 UIC에 의거한 승차감계수 2.5이하(양호)를 만족시켜야 한다	자기부상열차는 레일과의 마찰에 의한 진동 소음이 없으므로 따라서 **승차감계수**의 수준에 대한 개정이 필요하다.
소 음	**2.17 소음** 1) 차내소음은 모든 장치를 가동시킨 상태에서 콘크리트 도상, 지하복선터널, 직선평탄로를 최고운행속도(80km/h)까지 공차 운행시 동력차에 대해 아래 3측정부위의 차량중심선, 차량바닥 높이 1.5m에서 측정한 소음의 평균치가 80dB(A) Leq(5sec, fast) 이하이어야 한다. ○ 차량진행방향 전위 대차중심부 상면 ○ 차량정중앙부 ○ 차량진행방향 후위 대차중심부와 차량정중앙부의 중간 2) 노선 주변 소음은 차량이 최고 운행속도 주행시 소음·진동 규제법 시행규칙 제37조 별표10, 제2호(철도) 규정을 만족하여야 한다.	자기부상열차는 레일과의 마찰에 의한 진동 **소음**이 없으므로 소음 레벨의 개정이 필요하다.
주 요 수 치	**3. 전동차 주요 구성요소의 규격** **3.1 차 체** **3.1.2 주요치수** 1) 연결면간 거리 : A형 → 20,000 / B형 → 18,000 〔㎜〕 2) 차체길이 : A형 → 19,500 / B형 → 17,500 〔㎜〕 3) 차체최대폭 : A형 → 3,120 / B형 → 2,750 〔㎜〕 4) 대차중심간거리 : A형 → 13,800 / B형 → 12,400 〔㎜〕 5) 지붕높이 : 3,600 이하 〔㎜〕 (레일상면으로부터) 6) 집전기 접은 높이: 4,000이하 〔㎜〕 (레일상면으로 부터) 7) 객실 상면 높이 : 1,150 〔㎜〕 (레일상면으로 부터) 8) 연결장치 높이 : 880±10 〔㎜〕 (레일상면으로부터)	자기부상열차의 특성에 맞는 **차체의 주요치수**에 대한 제정이 필요하다.
구	**3.1.3.5 지붕구조틀(Roof Frame)**	자기부상열차의 특성

<table>
<tr><td>조체</td><td>1) 냉방장치 및 집전장치 설치부위에는 충분한 강도를 유지할 수 있도록 하여야 한다.
2) 지붕의 빗물받이(Rain Gutter)는 지붕의 좌우양측 캔트레일(Cant Rail)부에 설치한다.
3) 지붕표면은 불연성 또는 난연성 절연재로 처리하며, 미끄럼 방지처리를 한다.</td><td>에 맞는 규정이 필요하다.</td></tr>
<tr><td>바닥</td><td>3.1.4 실내 내장
3.1.4.1 바 닥
1) 바닥구조재는 구조소음 전달을 최소화 할 수 있어야 하며 단열 처리되어야 한다.
2) 바닥구조재 위에 상판재를 붙이며 상판재는 빗물, 화학성분등 기타 환경에 의해 변색되어서는 안된다.차용 알루미늄 구조체 규격(별지 4)에 따른다.</td><td>자기부상열차는 구동소음의 영향이 거의 없으므로 구조소음의 전달에 대해서는 하향조절이 필요하다. 또한 자기장, 전자파 차단에 대한 새로운 규격을 제정해야 한다.</td></tr>
<tr><td>출입문</td><td>3.1.4.4 출입문
3.1.4.4.1 일 반
1) 각 차량에 설치되는 문의 종류 및 수량은 다음과 같다.
<table><tr><th>구 분</th><th>Tc</th><th>M, T</th></tr><tr><td>승객용 측출입문</td><td>8</td><td>8</td></tr><tr><td>차량간 통로문</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>운전실 측출입문</td><td>2</td><td>0</td></tr><tr><td>운전실 칸막이 문</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>2) 문의 외판 및 골조는 내식 스테인리스 강재, 내식 알루미늄 합금재, 또는 동등 이상의 재질을 사용할 수 있다.
3) 문에 설치된 모든 부품은 차량의 진동 및 충격에 견디어야 하며, 작동이 원활하고, 또한 문의 유리설치 부분은 방수가 되는 구조로 하여야 한다.
4) 문은 승객 및 승무원의 안전이 고려되고 외부로부터 방수, 방음 및 단열이 되도록 설계 및 제작되어야 한다.
5) 문의 크기 및 문에 설치되는 유리의 크기는 전동차용 출입문 규격(별지 7)에 의한다.
3.1.4.4.2 승객용 측출입문
1) 차량의 양측에 각각 4개의 승객용 출입구가 설치되며, 각 출입구는 두 개의 슬라이딩 문으로 한다.
2) 주요 제원(전동차용 출입문 규격(별지 7) 참조)
- 출입문 배열(차량의 측벽중심에서 인접한 출입구 중심까지의 거리)</td><td>자기부상열차의 크기와 특성에 맞는 승객용 측출입문의 수량과 배열 규정이 필요하다.</td></tr>
</table>

	A형 : 2,400mm, B형 : 2,065mm - 각 출입구 중심에서 인접한 출입구 중심까지의 거리 A형 : 4,800mm B형 : 4,130mm - 각 출입구 크기 폭 1,300mm × 높이 1,860mm(객실상면 기준) 3) 측출입문은 전기적으로 제어되는 전기식 또는 공기식 도아엔진에 의해 개폐되는 구조로 한다. 4) 측출입문은 잠금장치를 설치하여야 한다.	
대차	**3.2. 대 차** **3.2.1 일 반** 1) 대차는 볼스타레스(Bolsterless)형으로 전동차 운행중 승차감이 양호하고 소음 발생이 적은 구조로 Ⅱ.2.16 절과 Ⅱ.2.17 절에서 기술한 승차감과 소음수준을 만족하도록 설계되어야 한다. 2) 대차는 동력대차와 부수대차로 구분하며, 경량구조로 한다. 3) 보수비와 예비품을 줄이기 위하여 동력대차와 부수대차는 가능한 한 공동부품을 사용한다. 4) 액슬박스 및 감속기와 같은 장치는 모래나 먼지 등이 침입되지 않게 밀폐구조로 한다. 5) 대차는 Ⅱ.1.2 절에서 기술한 차량한계를 적용한다. 6) 대차는 차륜이 마모한도에 도달했을 때에도 전동차의 최고 운행 속도에서 안전하게 운행되도록 설계되어야 한다. 7) 대차의 스프링장치는 차체의 1차 굽힘 고유진동수와 공진을 피할 수 있도록 설계되어야 한다. 8) 대차에 설치되는 모든 장치들은 대차틀과 스프링장치의 주파수들과 공진을 피할 수 있게 설계되어야 한다. 9) 대차의 모든 구성품은 Ⅱ.1.3 절에서 기술한 최대하중조건과 운행시 발생되는 충격하중에 충분히 견딜 수 있는 강도와 강성을 확보할 수 있도록 설계되어야 한다. 10) 차체와 대차는 분리하거나 함께 운반할 수 있는 구조로 한다. 11) 제석기는 외부 장애물로부터 열차를 보호하기 위	자기부상열차의 특성에 맞는 **대차**형식과 그 성능에 맞는 규정이 필요하다.

	해 제어차 앞대차의 차륜 앞에 설치한다. 단, 지하구간만 운행하는 대차에는 적용하지 않을 수 있다. 12) 1차 지지장치는 롤 고무스프링으로 하고, 2차 지지장치는 공기스프링으로 한다. 13) 차륜 제륜자와 디스크 라이닝은 인체에 유해한 석면 등이 사용되어서는 안된다. **3.2.2 주요제원 및 성능** 1) 대차높이 : 레일상면에서 공기스프링 상면까지 987mm 이하 2) 축간거리 : 2,100mm (참고치) 3) 임계속도 : 120Km/h 이상 (신조시), 최고 운행속도 × 1.1 이상 (노후시) 4) 정적 윤중감소량 : 60% 이하 5) 탈선계수 : 0.8 이하 6) 차륜횡압 : 5.3 ton 이하 **3.2.3 주요 구성품의 규격** **3.2.3.1 대차틀(Bogie Frame)** 1) 대차틀은 이음매 없는 파이프로 된 가로비임(Cross Beam)과 강판 용접구조의 측면비임(Side Beam)을 결합한 H형 프레임으로 한다. 2) 완성된 대차틀은 용접 후 응력제거를 한다. 3) 동력대차와 부수대차의 기본구조는 같은 형태로 한다. 4) 대차틀은 용접구조용 강재를 사용한 전 용접 구조이며, 용접이음 설계방법은 KS R 9152(철도차량용 아크 용접 이음 설계 방법)에 의한다. 5) 대차틀은 충분한 강도를 가지게 하며, 강도확인은 전동차용 대차의 하중시험방법 규격(별지 8)에 의한다. 6) 측면비임과 가로비임의 조립 부위와 같이 응력집중이 일어나기 쉬운 구조는 응력집중을 해소하도록 보강한다. 7) 가로비임을 보조 공기통으로 이용하는 경우, 내부를 방청처리하고 기밀을 유지하도록 한다. 8) 견인전동기와 구동장치 설치를 위한 브라켓은 대차틀의 가로비임에 설치하며, 브라켓의 설치위치와 구동장치의 중심선 위치는 견인 전동기 및 구동장치 브라켓 설치도(별지 2)에 따른다. 9) 대차틀의 설계는 KS R 9210에 따르며, 설계통칙에 의해 계산한 주응력과 변동응력이 재료의 응력한계 선도에서 피로응력 한도 내에 있도록 하며 영구변형이 발생하	

	지 않도록 한다.	
스프링장치	**3.2.3.4 스프링장치** 1) 차체와 대차사이의 횡방향 변위는 42mm를 초과하지 않도록 하며 Ⅱ.1.2 절에서 기술한 차량한계를 적용한다. 2) 고무부품은 Ⅱ.1.1 절에서 기술한 기후조건에서 정상적인 성능이 유지되어야 한다. 3) 스프링장치의 고무제품은 차량의 정상 운용조건에서 10년 이상의 내구성을 갖도록 한다. 4) 공기스프링은 대차틀의 측면비임에 각각 하나씩 설치되며 차체는 직접 공기스프링에 지지되는 구조로 한다. 5) 공기스프링은 중앙에 탄성 패드를 설치하여 주행시나 정차시 공기압력이 부족한 경우에는 이 탄성 패드에 의해 지지되도록 한다. 또한 공기가 누설된 상태에서도 가·감속 및 안전운행이 가능하도록 한다. 6) 대차틀과 차체 사이에 자동 높이조정 밸브를 설치하여 자동적으로 높이 조정이 가능하도록 한다.	자기부상열차의 특성에 맞는 스프링장치의 규격이 필요하다.
견인장치	**3.2.3.5 견인장치** 1) 견인 및 제동력은 차체에 직결된 센터피봇이 견인비임에 결합되어 차체에 전달되도록 한다. 2)견인장치는 수평, 수직 및 대차 회전시 필요한 운동에 제한이 없도록 하고 차량한계 및 건축한계를 적용한다. 그리고 이상 상승시 차체의 상승력을 지지하는 이상상승방지장치를 설치한다. 3) 차체 유동의 완화를 위하여 대차틀의 견인비임과 센터피봇 블록 사이에는 댐퍼를 설치한다. 4) 견인장치는 대차의 피치운동 전달을 최소화 할 수 있도록 한다. 5) 먼지에 의한 습동부 마모를 방지하기 위해 센터피봇과 센터피봇블럭 사이에 먼지 커버 등과 같은 것을 설치한다.	자기부상열차의 **견인방식**에 대한 규정과 방법에 대한 조항들이 제정되어야 한다.
구동장치	**3.2.3.6 구동장치** **3.2.3.6.1 일 반** 1) 구동장치는 평행 카르단식으로 동력대차에 설치한다. 2) 구동장치는 헬리컬 기어로 된 1단 기어 감속방식이며 밀폐형 구조로 한다.	기존에 도시철도차량과 자기부상열차의 **운행원리**는 근본적으로 다르므로 그에 대한 제정이 필요하다. 자기부상열차의 운행을 위

	3) 주전동기와 구동장치 사이의 커플링은 기어형 굽힘 커플링방식으로 한다. 4) 구동장치와 주전동기는 운행중 설치 볼트 파손시에도 대차에서 분리되지 않는 구조로 한다. 5) 기어함은 분리가 용이한 구조로 하며 기어함 내부의 오일상태를 확인하기 위해 유면계를 설치하여야 한다.	해 필요한 용어의 정의에서 **제원에 대한 정의**가 필요하며 해당 규격을 정해야 한다.
신호보안장치	**3.3.3 신호보안장치 (ATC/ATO)** **3.3.3.2.5 ATC(auto train control) 타코메타** ATC 타코메타는 액슬(Axle) 회전에 비례하는 펄스수를 발생시키기 위하여 사용되는 신뢰성 있는 소형 경량의 펄스 발생기이어야 하며, 먼지 및 물에 보호되어야 한다.	자기부상열차에서는 신호 수신부에서 출력된 ATP신호와 가속도 센서에서 출력되는 차량 속도 신호를 비교 연산 조사하여 차량속도를 제어한다. **종합제어장치의 제원**에 대한 규정이 필요하다.
고전압장치	**3.3.4.3 피뢰기** **3.3.4.3.1 일 반** 1) 피뢰기는 판토그라프와 대지사이에 설치하여 가선으로부터 유입되는 낙뢰 및 서지전압으로부터 차량을 보호한다. 2) 피뢰기는 뇌서지, 개폐서지, 직류과전압 등의 스트레스를 받은 후 열폭주가 발생하지 않도록 충분한 안전성을 가져야 한다. 3) 피뢰기는 비선형 저항소자를 사용한 무간극형으로 한다. 4) 피뢰기는 IEC99-4에 준한다. **3.3.4.3.2 주요제원** 1) 연속사용전압 : 2000V, DC 2) 공칭방전전류 : 10kA 3) 정격전압 : 2000V, DC	자기부상열차는 집전장치 및 전자석이 차량과 레일에 모두 영향을 준다. 따라서 **피뢰기**는 차량 및 고가시설물을 보호할 수 있도록 설치되어야 하며 그에 따른 제원 그리고 설치에 대해 개정해야 한다.
추진제어장치	**3.3.5 추진제어장치** **3.3.5.1 일 반** 추진제어장치는 인버터와 견인전동기로 구성하며 전동차의 역행 및 전기브레이크를 수행한다.	자기부상열차의 특성에 맞는 **추진제어장치**의 구성이 필요하다.
인버터	**3.3.5.2 인버터** **3.3.5.2.1 일 반** 1) 인버터는 전압원 인버터로 하며 4대의 견인전동기를	자기부상열차의 특성에 맞는 **인버터**의 규격이 필요하다.

	일괄제어하고 각 구성요소는 모듈화 한다. 2) 인버터는 고장이 발생한 경우에 고장난 부분을 전기적으로 분리할 수 있도록 한다. 3) 지상 및 지하구간의 통신 신호 및 기타 제 설비와의 유도장해 및 차량내 다른 장치와의 상호동작 장해가 절대로 미치지 않도록 하며, 선로 전선에 대한 전파장해도 생기지 않도록 하여야 한다. 4) 역행 및 브레이크시 정토오크, 정출력, 정전압제어, 응하중제어, 공전활주검지, 재점착제어 및 회생시 가선전압 한계제어가 되도록 한다. 5) 차륜경 차이로 인한 특성저하를 최소화 할 수 있도록 종합 제어장치와 연계하여 차상 자기진단기능 및 고장의 감시등 각종제어의 모니터링(입/출력) 기능을 갖는 것으로 한다. 6) 유지보수의 편리성을 위해 VVVF 인버터는 팬을 전혀 사용하지 않는 자연냉각방식으로 한다. 7) 전력회생시에는 회생부하에 따라 차량측에서 최대한 회생제어가 가능하도록 하며, 가선이 회생제동력을 수용하지 못할 경우, 과전압저항기는 5초 동안 회생전력을 소모시킬 수 있어야 하며, 5초 이후에도 계속 가선이 회생전력을 수용치 못할 경우, 이 회생제동력을 공기브레이크가 자동적으로 전환되어 보상할 수 있도록 한다 **3.3.5.2.2 주요제원** 1) 주회로방식 : 일괄제어방식(1C4M) 2) 제어방식 : 전압형 PWM 변조제어 VVVF(가변전압, 가변주파수)인버터 역행제어, 회생제어를 병용한 자동 가감속제어방식 3) 정격입력전압 : 1,500V, DC (전압변동범위 : 1000~1,800V, DC) 4) 정격출력(연속) : 1,100kVA 이상 5) 최대출력 : 1,600kVA(1분 정격) 6) 냉각방식 : 자연냉각방식 7) 제어용량 : 800㎾이상 (200kW 이상 전동기 4대 병렬접속) 8) 정격출력전압 : 1,170V, AC 9) 제어소자 : IGBT 10) 제어전압 : 100V, DC (전압변동범위 : 70~	

	110V, DC) 11) 보호회로 기능 : 가선 과전압, 가선 저전압, 가선 접지, 주회로 과전류, 주전동기 과전류, 전류실패, 상전류 불평형, 제어회로 전압저하, 공전활주 검출, 기타	
견인전동기	**3.3.5.3 견인전동기** **3.3.5.3.1 일 반** 1) 견인 전동기는 3상 농형 유도전동기로서 빈번한 기동, 정지, 전동차의 진동 및 터널내 먼지등 악조건하에서도 견딜 수 있도록 한다. 2) 냉각 방식은 자기통풍 방식으로 하며, 공기 흡입구에는 필터를 사용하고, 통풍에 의한 소음발생을 최소화할 수 있는 구조로 한다. 3) 고정자와 회전자는 고조파 전류에 의한 온도상승과 손실을 최소화할 수 있는 구조로 한다. 4) 베어링의 윤활 방식은 주유관부 밀봉형 그리스 윤활 방식으로 하며, 누설전류 등에 의한 전식을 방지할 수 있는 구조로 한다. 5) 전동기의 기계적 강도를 위한 최고허용회전속도는 차량의 최고속도에 해당하는 회전속도의 120%이상으로 한다. **3.3.5.3.2 주요제원** 1) 형 식 : 3상 농형 유도 전동기, 대차 장가식 2) 극 수 : 4극 3) 냉각방식 : 자기 통풍 냉각 방식 4) 정 격 ① 정격전압 : 1,100V, AC ② 출 력 : 200kW 이상 ③ 회전속도 : 1950rpm이상 5) 효 율 : 92% 이상(IEC 34-2) 6) 최대토오크 : 2100Nm이상 7) 최고운전속도 : 4,950rpm이상 8) 절연등급 : H종 이상 (IEC349-2)	자기부상열차의 특성에 맞는 **견인전동기**의 규격이 필요하다.
정지형인버터	**3.3.6.2 정지형 인버터 및 출력변압기** **3.3.6.2.1 일 반** 1) 정지형 인버터는 전압형으로서 PWM제어방식으로 한다. 2) 고조파를 감소시키고 리플(Ripple)을 최소화한 안정된 전원을 공급하기 위하여 입력 및 교류 출력부에 필터를 설치한다.	자기부상열차에 맞는 **정지형 인버터 및 출력변압기** 규격이 필요하다.

및 출 력 변 압 기	3) 출력 변압기는 인버터로부터 공급받은 전압을 정격출력전압으로 변환시켜 출력하며 3상 전압의 고조파 성분을 저감시키는 필터의 기능을 갖도록 한다. **3.3.6.2.2 주요 제원** 1) 제어소자 : IGBT 2) 냉각방식 : 자연냉각방식 3) 정격용량 A형 : 180kVA 이상 B형 : 140kVA 이상 4) 정격 입력전압 : 1,500V, DC (전압 변동범위 : 900 ~ 1900V, DC) 5) 출력전압 : AC 380V + 5%, -10% 3상 4선식, 60Hz	
충 전 기	**3.3.6.3 충전기** **3.3.6.3.1 일 반** 1) 충전기는 출력변압기의 교류출력을 이용하여 축전지 충전제어전원을 공급하도록 한다. 2) 출력전압을 일정하게 유지하기 위하여 출력전압과 전류를 검지하여 감시하도록 한다. 3) 축전지의 전압이 기준값 이하로 저하되면 출력회로를 자동 차단하여 과방전을 방지하는 구조로 한다. **3.3.6.3.2 주요제원** 1) 방 식 : 3상전파정류 2) 입 력 : 3상 380V, 60Hz, AC 3) 출 력 : 100V, DC 4) 충전방식 : 상시 부동 충전방식	자기부상열차에 맞는 **충전기**의 **방식, 입력, 출력, 충전방식** 등의 규격이 필요하다.
축 전 지	**3.3.6.4 축전지** **3.3.6.4.1 일 반** 1) 축전지는 직류부하에 전력을 공급한다. 2) 축전지 1대가 고장인 경우에도 다른 정상인 축전지로 전동차를 정상 운전할 수 있도록 한다. 3) 축전지 충전가스와 공기가 혼합되어 있는 상태에서 발화에 의한 폭발 방지 및 공기 유통이 잘 되도록 한다. 4) 축전지 보호를 위해 단자와 근접한 곳에 퓨즈 및 차단스위치를 설치한다. 5) 축전지 음극을 접지하여 고장이 발생하면 퓨즈가 끊어 지도록 한다. **3.3.6.4.2 주요 제원** 1) 전 압 : 100V, DC	자기부상열차에 맞는 **축전지**의 **전압**과 **용량**에 대한 규격이 필요하다.

	2) 용 량 : A형 : 70AH이상 B형 : 50AH이상	
공기브레이크장치	**3.4 공기브레이크장치** **3.4.1 일 반** 1) 공기브레이크장치는 상용 및 비상브레이크장치, 브레이크제어기, 보안브레이크장치, 주차브레이크장치, 활주방지장치, 구원브레이크장치 및 압축공기 공급장치와 공기통, 공기배관, 밸브, 기기, 피팅류 및 각종 전기부품으로 구성 한다. 2) 공기브레이크장치는 상용브레이크, 보안브레이크, 비상브레이크, 주차브레이크 및 정차브레이크기능을 갖도록 한다. 3) 동절기에 있어서 Ⅱ.1.1)항의 조건에서도 동결방지를 필요로 하는 각 기기에는 충분한 용량의 히터를 설치하여 동결방지와 기기 수명을 연장하도록 한다. 4) 공기브레이크장치의 모든 기기 및 부품은 유지보수성 등의 향상을 위하여 최대한 동일함내에 설치하도록 한다. 5) 제어방식은 회생브레이크병용 아나로그 전기지령, 전기연산식 공기브레이크로 하고, 상용브레이크시에는 전기브레이크가 우선 작용되도록 하며, 비상브레이크, 보안브레이크, 주차 및 정차브레이크시에는 공기브레이크만으로 제어하도록 한다. 6) 공기브레이크장치는 각 차량마다 브레이크제어기를 설치하여 장치를 구성하도록 한다. 7) 상용 및 비상브레이크시 모든 브레이크작용은 차량의 중량에 비례한 제동력이 유지될 수 있도록 각 공기스프링의 압력을 압력변환기로 감지하여 이 압력에 따라 제동력을 가감하는 응하중제어기능을 갖도록 한다. 8) 모든 브레이크지령은 역행신호와 인터록되고 타신호에 대해 우선 순위가 되도록 하며 응하중장치의 파손 및 고장시에도 가감속은 공차시보다 작거나 만차시보다 크지 않도록 한다. 9) 공기브레이크장치는 동력차 및 부수차를 1 유니트로 하여 일괄교차제어방식에 의해 전기적으로 제어되며 전기브레이크가 주가 되고 부족분을 공기브레이크가 보충하는 방식으로서 이때 공기브레이크는 부수차에 우선하여 작용하며 편성차량에서 동력차의 회생브레이크 고장	자기부상열차에 맞는 **브레이크장치**의 구성과 비상브레이크와 회생브레이크 등의 규격과 제어장치 및 보조장치의 규격이 필요하다.

	또는 실패시에도 이 동력차는 공기브레이크로 자동전환되고 다른 동력차는 회생브레이크작용이 계속되도록 한다. 10) 공기브레이크장치는 상용브레이크시 승차감 향상을 위하여 져크제한(Jerk Limitation) 기능을 가지며 저소음, 저진동의 구조로 하도록 한다. 11) 점착효율을 향상시키고 차륜과 궤도의 마모감소 및 소요동력의 이용효율 상승을 위하여 공전/활주방지 및 재점착제어기능을 갖도록 한다. 12) 수동운전모드에서는 주간제어기의 브레이크에 의해, 자동/무인 운전모드에서는 신호보안장치에 의해 제어되도록 한다. 13) 브레이크실린더 및 공기스프링의 압력변화와 브레이크장치 고장 및 기능에 이상 발생시 이에 대한 모든 정보는 종합제어장치에 기록 및 현시되도록 하며 주요고장은 경보를 발생하도록 한다.	
주차 및 정차브레이크	**3.4.2.3 주차 및 정차브레이크** 1) 주차브레이크는 주차브레이크스위치로 주차전자밸브를 동작시키거나 주공기통의 압력을 완전히 배기하면 자동으로 브레이크가 체결되도록 하며 오동작을 고려하여 수동조작기구를 설치하도록 한다. 2) 주차브레이크는 상용 및 비상브레이크와 동시에 체결되지 않게 하며 브레이크체결유무가 종합제어장치에 현시되도록 한다. 3) 주차브레이크는 주공기통의 압력공기가 완전히 배기되었거나 공급되지 아니할 때도 브레이크실린더에 수용완해장치를 설치하여 작은 힘으로도 간단하고 신속히 브레이크를 완해할 수 있어야 한다. 4) 주차브레이크실린더는 스프링작용, 공기완해방식으로 제어차의 운전실측 대차에 축당 1개이상 설치하도록 한다. 5) 주차브레이크 불완해시는 전동차가 출발할 수 없도록 주차브레이크실린더에 압력스위치를 설치하며 추진제어장치와도 인터록시킨다. 6) 정차브레이크는 차량속도 3 km/h 이하에서 자동으로 체결되게 하고 주간제어기의 역행시 자동으로 완해가 되어야 하며 정차시 전동방지기능을 갖도록 한다. 7) 상용브레이크지령이 체결되어 있을 경우에는 상용제동력과 정차제동력을 비교하여 제동력이 큰쪽이 출력되	자기부상열차에 맞는 **주차 및 정차브레이크장치**의 기능과 특성에 대한 규정이 필요하다.

	도록 한다. 8) 정차제동력은 최대하중상태로 노선최대구배에서 정지상태를 충분히 유지하도록 하고 정차브레이크가 체결되면 브레이크불완해 인통선 신호를 차단하여 브레이크불완해 검지기능을 중단하도록 한다.	
활주방지제어	**3.4.2.5 활주방지제어** 1) 제어차 및 부수차의 경우에는 4개의 차축에 각각 속도검출기를 설치하여 검출기에 의해 감지된 펄스신호에 의해 브레이크실린더압력을 유지/배기시킴으로서 활주방지제어가 이루어지도록 한다. 2) 활주방지제어의 고장시 일정시간이 지나면 무효화시켜서 지령값보다 적은 견인력 및 제동력이 체결되지 않도록 By-Pass장치를 갖추도록 한다. 3) 활주방지제어시 차륜(Wheel)의 직경보정은 마모나 삭정에 의해 변경시에도 수동으로 조정이 필요없이 80mm(780~860mm)까지 자동으로 이루어지도록 한다.	자기부상열차에 맞는 **활주방지제어**의 기능과 특성에 대한 규정이 개정되어야 한다.
기초브레이크장치	**3.4.3.2 기초브레이크장치** 1) 대차의 기초브레이크방식은 동력대차에는 제륜자에 의한 휠접촉(Wheel Thread)방식으로 하고 A형 전동차의 부수대차에는 차축당 2개의 디스크방식으로, B형 전동차의 부수대차에는 차축당 2개의 디스크방식 또는 휠접촉방식으로하며 제륜자 및 라이닝은 비석면재질로 한다. 2) 동력대차와 부수대차의 기초브레이크장치에는 제륜자와 차륜사이 및 라이닝과 디스크 사이의 일정한 간격 유지를 위해 자동간극조정기를 설치하도록 한다. 3) 디스크의 설계, 제작 및 시험은 KRS 2242-2108에 따르며 디스크 시트에는 차축과 분리를 위한 유압구를 설치하도록 한다. 4) 제륜자 및 디스크라이닝의 설계, 제작 및 시험은 KRS 2242-2059 및 KRS 2242-2427에 따라야 한다.	자기부상열차는 와전류와 같은 비접촉식 제동방식 등이 사용될 것이다. 기존의 전동차의 **기초브레이크장치** 방식과는 다르기 때문에 제정해야 한다.

(라) 도시철도차량 성능시험

	도시철도차량 성능시험	검토 사항
목적	**제2장 총 칙** **제1조(목적)** 이 기준은 도시철도법시행령(이하 "영"이라 한다) 제25조의4 및 제25조의5의 규정에 의한 도시철도차량의 성능시험에 필요한 세부기준 및 방법과 성능시	자기부상철도로 한한 규범 정의가 제정되어야 한다.

	험자의 지정에 관한 세부적인 사항을 규정함을 목적으로 한다.	
구성품시험	**제2장 성 능 시 험** **제3조(구성품시험)** 영 제25조의4제2항에 의한 구성품시험의 세부기준 및 방법은 다음 각호와 같다. 1. 구조체 하중시험의 세부기준 및 방법은 별표 1과 같다. 2. 대차시험의 세부기준 및 방법은 별표 2와 같다. 3. 추진제어장치시험의 세부기준 및 방법은 별표 3과 같다. 4. 보조전원장치시험의 세부기준 및 방법은 별표 4와 같다. 5. 신호보안장치시험의 세부기준 및 방법은 별표 5와 같다. 6. 종합제어장치시험의 세부기준 및 방법은 별표 6과 같다.	자기부상열차에 맞는 구성품시험의 구조체 **하중시험, 대차시험, 추진제어장치시험, 보조전원장치시험, 신호보안장치시험, 종합제어장치시험**의 세부기준 및 방법이 개·제정되어야 한다.
완성차시험	**제4조(완성차시험)** 영 제25조의4제2항에 의한 완성차시험의 세부기준 및 방법은 다음 각호와 같다. 1. 외관구조검사의 세부기준 및 방법은 별표 7과 같다. 2. 측정에 의한 검사의 세부기준 및 방법은 별표 8과 같다. 3. 차체 누수시험의 세부기준 및 방법은 별표 9와 같다. 4. 차체 리프팅시험의 세부기준 및 방법은 별표 10과 같다. 5. 추진제어장치시험의 세부기준 및 방법은 별표 11과 같다. 6. 신호보안장치시험의 세부기준 및 방법은 별표 12와 같다. 7. 종합제어장치시험의 세부기준 및 방법은 별표 13과 같다. 8. 기타 조합된 차량의 기능 및 동작측정시험의 세부기준 및 방법은 별표 14와 같다.	자기부상열차에 맞는 **완성차시험**의 **외관구조검사, 측정에 의한 검사, 차체 누수시험, 차체 리프팅시험, 추진제어장치시험, 신호보안장치시험, 종합제어장치시험, 조합된 차량의 기능 및 동작측정시험**의 세부기준 및 방법이 개·제정되어야 한다.
본선시운전	**제5조(본선시운전)** ①영 제25조의4제2항에 의한 본선시운전의 세부기준 및 방법은 다음 각호와 같다. 1. 역행시험의 세부기준 및 방법은 별표 15와 같다. 2. 가속도시험의 세부기준 및 방법은 별표 16과 같다. 3. 제동시험의 세부기준 및 방법은 별표 17과 같다.	자기부상열차에 맞는 **본선시운전**의 **역행시험, 가속도시험, 제동시험, 감속도시험, 최고속도시험, 집전시**

	4. 감속도시험의 세부기준 및 방법은 별표 18과 같다. 5. 최고속도시험의 세부기준 및 방법은 별표 19와 같다. 6. 집전시험의 세부기준 및 방법은 별표 20과 같다. 7. 유도장애시험의 세부기준 및 방법은 별표 21과 같다. 8. 보호장치동작확인시험의 세부기준 및 방법은 별표 22와 같다. 9. 소음 및 진동시험에 관한 세부기준 및 방법은 별표 23 및 별표 24와 같다. 10. 승차감 및 주행저항시험에 관한 세부기준 및 방법은 별표 25 및 별표 26과 같다. 11. 지상설비 연계동작시험의 세부기준 및 방법은 별표 27과 같다. 12. 기타 주요기기 온도 및 상태시험의 세부기준 및 방법은 별표 28과 같다. ②본선시운전은 차량이 운행될 노선(이하 “본선”이라 한다)에서 실시하는 것을 원칙으로 한다. 다만, 본선에 제약이 있을 경우에 제1항제1호 내지 제8호의 시험은 시험선 등 타 노선(이하 “시험선”이라 한다)에서 실시할 수 있다. ③성능시험자가 제2항 단서의 경우, 본선에서 시행하는 조건과 유사하게 시험하여야 하며, 이 경우 성능시험자는 시험대상 차량의 발주자 또는 운영할 자(이하 “운영자”라 한다)와 협의하여 본선등을 사전에 조사할 수 있다.	**험, 유도장애시험, 보호장치동작확인시험, 소음 및 진동시험, 승차감 및 주행저항시험, 지상설비 연계동작시험, 주요기기 온도 및 상태시험** 세부기준 및 방법이 개·제정되어야 한다.
시험품등의조건	**제10조(시험품등의 조건)** ①제3조의 규정에 의한 구성품시험을 통과한 차량에 대해 제4조의 규정에 의한 완성차시험을 실시한다. ②제5조에 의한 본선시운전을 실시하고자 하는 차량은 제4조에 의한 완성차시험을 통과한 후 예비주행을 실시하여 신뢰성이 확인된 차량이어야 한다. ③제2항에 의한 예비주행을 실시하는 경우 형식시험은 5000km이상, 전수시험은 1000km이상의 각 거리를 시험선에서 영업운행시의 운전조건과 유사하게 주행 및 정지를 반복하여 운행하였을때 차량의 이상이 없어야 한다. 다만, 시험선이 예비주행에 부적합한 경우 본선에서 예비주행을 실시할 수 있으며, 이때 주행거리는 운영자와 성능시험자가 협의하여 조정할 수 있다.	예비주행의 **형식시험**과 **전수시험**의 거리기준은 자기부상철도의 시험선과 운전조건 등을 고려하여 개정하여야한다.
성능시	**제3장 성능시험자** **제17조(성능시험자의 지정등)** ①영 제25조의5제1항의 규정에 의한 성능시험자로 지정을 받고자 하는 자는	신규 제정될 자기부상열차성능시험에 해당하는 별표와 그 요건

험자의 지정 등	별표29의 요건을 갖추어야 한다. ②성능시험자는 시험대상인 도시철도차량의 제작감독과 성능시험 업무를 겸할 수 없다.	으로 개정한다.
구조체하중시험	**(예)[별표 1]** **가. 구조체 하중시험** 나. (제3조 제1호 관련) 라. 시험하중 1) (1) 수직하중시험 : (운전정비상태일때의 하중＋최대승객하중-대차하중)×상하진동가속도(1.2g)-(구조체하중＋시험기하중) 2) (2) 수평압축하중시험 가) (가) 압축하중 : 490,000 N 나) (나) 수직하중 : (운전정비상태일때의 하중)-(대차하중)-(구조체하중＋시험기하중) 3) (3) 비틀림하중시험 : 39,200 N-m 4) (4) 3점지지시험 : (운전정비상태일때의 하중)-(대차하중)-(구조체하중＋시험기하중) 5) (5) 굽힘고유진동수 측정시험 : 진동이 가능한 부하하중 가) (가) 비틀림고유진동수 측정시험 : 진동이 가능한 부하하중	**수직하중시험, 수평압축하중시험, 비틀림하중시험** 등의 기준 수치를 자기부상열차에 알맞게 변경해야 한다. 특히, **대차하중**의 가감여부는 대차의 설치위치에 따라 변경될 가능성이 있다.
대차시험	**(예)[별표 2]** **다. 대차시험** 라. (제3조 제2호 관련) 1) (1) 정하중시험 가) (가) 상하 하중시험 나) (나) 좌우 하중시험 다) (다) 전후 하중시험 라) (라) 비틀림 하중시험 마) (마) 주전동기 장착프레임 하중시험 바) (바) 구동장치 장착프레임 하중시험 사) (사) 브레이크력 하중시험 아) (아) 댐퍼 장착프레임 하중시험 자) (자) 좌우동 스톱퍼 하중시험	**주전동기** 및 **구동장치 장착프레임 하중시험**, **브레이크력 하중시험** 등은 자기부상열차에 맞지 않으므로 개정해야 한다.

	차) (차) 하중시험. 단, 앤티롤바가 적용되는 도시철도 차량에만 적용한다. 카) (카) 하중시험. 단, 고무차륜형식 경전철차량에만 적용한다.	

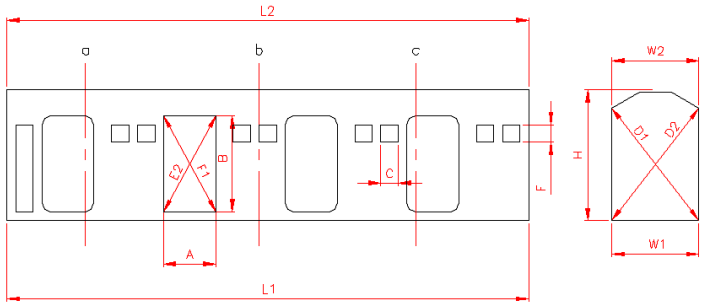
(마) 도시철도차량 품질인증

	도시철도차량 품질인증	검토 사항
목적	**도시철도용품의품질인증요령** **제1조(목적)** 이 요령은 도시철도법 제22조의4 및 동법 시행령 (이하 "영"이라 한다) 제25조의6의 규정에 의한 도시철도에 사용되는 부품·기기 또는 장치 등(이하"도시철도용품"이라 한다)의 성능 및 안전성 확보를 위하여 도시철도용품의 품질인증 실시에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.	도시형자기부상철도로 한한 규범 정의가 제정되어야 한다.
정의	**제2조(정의)** 이 요령에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다. 1. "도시철도용품"이라 함은 도시철도에 사용되는 부품·기기 또는 장치로 차량용품, 궤도용품 및 전기용품 등을 말한다. 2. "도시철도용품의 품질인증(이하 "품질인증"이라 한다)"이라 함은 "도시철도용품을 생산하는 제작자(이하 "제작자"라 한다)"의 기술력, 용품의 품질 및 성능을 종합 평가하여 우수한 도시철도용품임을 확인하는 행위를 말한다.	용어의 정의에서 **궤도용품**은 자기부상열차에 적합하지 않으므로 선로용품과 같이 넓은 의미의 용어로 개정되어야 한다. 단, 선로용품 등이 이타의 법령과 상충할 우려가 있을 시에는 도시철도용품과 대응하는 자기부상열차의 용어가 정의, 제정되어야 한다.
품질인증대상	**제3조(품질인증대상)**①영 제25조의6제1항의 규정에 의한 품질인증대상은 별표1과 같다. ②제1항의 규정이외의 도시철도용품을 품질인증대상으로 선정받고자 하는 자는 신청서에 다음 각호의 서류를 첨부하여 건설교통부장관에게 신청하여야 한다. 1. 용품의 구조 및 성능에 관한 설명서 2. 용품의 품질시험기준(안) 3. 품질시험기준(안) 해설서 [별표 1] **도시철도용품 품질인증대상**	자기부상열차에는 부상전자석, 선형유도전동기, 부상용 초퍼, 부상제어장치, 비접촉식 방식의 제동장치 등의 시스템은 새로 도입해야하므로 **품질인증대상**의 용품명 등은 제정해야 한다. 는 개정을 해야 한다. 예컨대, **전동차용일체**

	(제3조제1항관련) 	순번	용 품 명	용 품 번 호	페이지
---	---	---	---
1	전동차용출입문(DR)	KRT-EV100-DR001	
⋮	⋮	⋮	⋮
11	전동차용차압밸브(DPV)	KRT-EV200-DPV001	
⋮	⋮	⋮	⋮
20	전동차용주공기압축기(MAC)	KRT-EV300-MAC001	
⋮	⋮	⋮	⋮
31	전동차용차량제어컴퓨터(CC)	KRT-EV500-CC001	
⋮	⋮	⋮	⋮
41	전동차용필터리액터(FR)	KRT-EV700-FR001	
⋮	⋮	⋮	⋮
48	전동차용자동열차운전장치(ATO)	KRT-EV900-ATO001			**차륜(WE), 전동차용차축(AX)** 항목은 자기부상열차에는 해당사항이 없으므로 자기부상열차의 품질인증 대상에 한해서 제한다. 또한 자기부상열차에만 특수하게 들어가는 **리니어 모터, 전자석, 갭 센서, 집전 장치**, 레일의 과부하 방지를 위한 **냉각제 및 냉각기** 등은 항목은 신규 제정해야 한다. 그리고 **전동차용밀착연결기(TC), 전동차용고무완충기, 전동차용대차틀** 등은 개정을 하며 **전동차용출입문(DR)**과 **전동차용공기식도어엔진(DE)** 등은 전자식으로 전환 또는 둘의 혼합형으로 사용할 수 있으므로 개정 혹은 제정해야 한다.

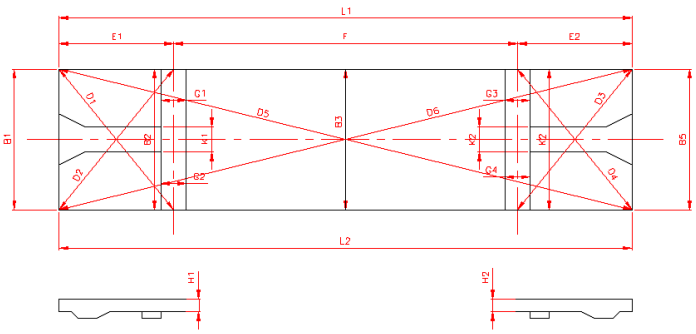
(바) 도시철도차량 정밀진단

	도시철도차량 정밀진단	검토사항
목적	**제1조(목적)** 이 지침은 도시철도법 제22조의5 및 도시철도차량 관리에관한규칙(이하 “규칙”이라 한다) 제9조제2항의 규정에 의하여 도시철도차량(이하 “차량”이라 한다)의 정밀진단실시에 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.	도시형자기부상철도로 한한 규범 정의가 제정되어야 한다.
정밀진단지	**제5조(정밀진단 방법, 기준 및 결과평가)** ①대상항목별 정밀진단의 방법, 기준 및 결과평가에 관한 사항은 다음 각 호와 같다. 1. 차체에 대한 정밀진단은 별표 1에 의한다. 2. 대차에 대한 정밀진단은 별표 2에 의한다.	전기장치에 대한 정밀진단을 자기부상 시스템의 전기장치를 포함할 것인지의 여부를 고려해야 한다. 포함하

침	3. 제동장치에 대한 정밀진단은 별표 3에 의한다. 4. 전기장치에 대한 정밀진단은 별표 4에 의한다. ②정밀진단자는 일반검사와 정밀검사 결과를 종합하여 정밀진단결과를 평가하고, 차량의 안전운행 적합성 여부와 사용내구연한연장을 판정하여야 한다.	지 아니하면 자기부상 시스템의 정밀진단 항목을 제정해야 한다.
정밀진단장비	**제6조(정밀진단장비)** 정밀진단에 사용되는 주요장비는 별표 5와 같으며 정밀진단자가 필요하다고 인정하는 경우에는 추가로 장비를 사용할 수 있다.	자기부상열차의 전자석 등의 운행에 사용되는 용품들은 진단장비가 비접촉식이어야 하며, 전선도 자기장과 전자파의 영향을 받지 않아야 할 것이다. 따라서 그에 맞는 장비를 사용해야 한다.
차체에대한검사개소 및 허용공차	【별표 1】 **차체의 정밀진단방법** **2. 정밀진단방법** **가. 일반검사** **(2) 검사방법** **(가) 치수검사** 1) 공차상태의 차체 캠버량은 역캠버가 발생하지 않는 조건을 만족하여야 하며, 치수검사의 판정기준은 최대승객하중을 고려하여야 한다. 2) 차체에 대한 치수검사개소 및 허용공차는 표 1-1과 같으며, 언더프레임에 대한 치수검사 개소 및 허용공차는 표 1-2와 같다. 3) 정밀진단자는 차체의 노후화를 고려하여 치수검사 개소 및 허용공차를 변경하여 적용할 수 있다.  표 1-1. 차체에 대한 검사개소 및 허용공차	자기부상열차의 모양과 크기 그리고 차체의 재료 및 대차의 설치 위치 등의 특징에 맞는 **공차**와 **측정위치**를 선별하여 제정해야 한다.

항 목	기호	공차[mm]	비 고
차량단부간의 거리(밑면)	L1	+ 12 / -2	
차량단부간의 거리(윗면)	L2	+ 12 / -2	
차체폭(밑면)	W1	±5	측정위치 a, b,
차체폭(윗면)	W2	±5	측정위치 a, b,
차체높이	H	±5	측정위치 a, b,
대각선간의 차이	D1 - D2	7 이내	
출입구 너비	A	±3	
출입구 높이	B	±3	
대각선간의 차이	E1 - E2	4 이내	
창틀 높이	F	±2	
창틀 너비	C	+ 3/-0	

표 1-2. 언더프레임에 대한 검사개소 및 허용공차



항 목	기호	공차 [mm]	비 고
언더프레임단부간의 거리(옆면)	L1	+12 / -2	
언더프레임단부간의 거리(옆면)	L2	+12 / -2	
대각선간의 차이	L1-L2	5 이내	
볼스터 센타간의 거리	F	+8 / 0	
볼스터에서 단부까지의 거리	E1, E2	+3 / -1	
볼스터에서 단부까지의 거리 차이	E1-E2	4 이내	
언더프레임 폭	B	±3	측정위치 : B1, B2, B3, B4, B5
대각선의 차이	D1-D2	3 이내	
	D3-D4		
	D5-D6	5 이내	
볼스터 폭	G	±1	측정위치 : G1, G2, G3, G4
볼스터 높이	H	±2	
센터실의 폭	K	+3 / -0	

표면결함검사	**(2) 검사방법** **(나) 표면결함검사** 1) 표면결함이라 함은 차량의 모재 및 용접부 표면에 발생한 결함으로서 육안검사, 자분탐상시험 또는 침투탐상시험 등으로 확인이 가능한 결함을 말한다. 2) 구조체 용접부 표면에 대한 검사는 육안검사와 비파괴 검사로 구분한다. 육안검사는 목측 및 측정기구를 이용하고 비파괴검사는 자분탐상시험(M.T)과 침투탐상시험(P.T)을 실시한다. 3) 육안검사결과 표면결함이 의심되는 부위는 비파괴시험을 실시한다. 이때 자분탐상시험은 KS D 0213에 따라서 실시하고 침투탐상시험은 KS B 0816에 따라서 실시한다. 4) 표면결함에 대한 판정기준은 표 1-3 및 표 1-4와 같으며 결함한계는 C급 이상으로 한다.	표면결함검사의 **판정기준표**는 **강재**와 **알루미늄**에 대한 용접결함 기준만 제시되어 있다. 자기부상열차의 차체는 경량 및 합금 등의 재료를 사용할 수 있으므로 재료에 따른 새로운 **판정기준**과 **판정기준표**가 제정되어야 한다.
적용범위	【별표 2】 **대차 정밀진단방법** **1. 적용 범위** 도시철도차량의 대차에 대한 정밀진단은 용접형 대차틀과 볼스터를 대상으로 한다.	자기부상열차에서 하중을 가장 많이 받거나 정밀진단이 요하는 범위를 선정, 새로운 **적용범위**를 제정해야 한다.
치수검사	**2. 정밀진단방법** **(2) 검사방법** **(나) 치수검사** 용접대차틀 및 볼스터에 대한 치수검사는 정밀진단 신청자가 제시한 기준도면 및 자료에 의하여 실시한다. 치수검사의 대상부위는 다음 항목 중 대차형식별로 해당되는 사항을 선정하고 3차원 측정설비를 이용하여 검사를 실시한다. 1) 대차 고정 축거 2) 대차 고정 축거 좌우 차 3) 저어날 중심간 거리 및 중심간 전후 거리차 4) 차축 스프링 시트 중심간 좌우 차 5) 차축 스프링 시트 대각거리 차 6) 차축 스프링 시트 내면간 거리 차 7) 트랜솜 중심간 거리 차 8) 센터피봇 써포트 브라켓 중심간 거리 9) 댐퍼 및 버퍼 설치 브라켓 중심간 거리 10) 구동기어 설치브라켓 거리 11) 제동장치 설치브라켓 거리	검사항목의 **축거, 차축, 구동기어** 등은 자기부상열차에 맞지 않다. 이를 제하거나 제정해야 한다. 또한, 자기부상열차의 정밀진단 범위에 대한 각 **치수검사**는 새로 제정해야 된다.

	12) 견인전동기 설치브라켓 거리 13) 기타 정밀진단자가 정하는 주요치수	
적용범위	【별표 3】 **제동장치 정밀진단방법** **1. 적용범위** 도시철도차량의 제동장치에 대한 정밀진단은 전기식 및 공기식으로 작용하는 제동장치를 대상으로 한다.	제동장치는 전기식 과 공기식이 주로 사용되기는 하지만 점착에 의한 마찰제동 그리고 와전류 등의 자기장에 의한 전자식 제동으로 포괄할 수 있도록 **적용범위**를 개정되어야 한다.
기능검사	**2. 정밀진단방법** **가. 일반검사** **(2) 검사방법** **(가) 기능검사** **2) 측정항목** 가) 비상제동신호 나) 역행선택신호 다) 제동선택신호 라) 상용제동신호 마) 제동실린더압력 바) 주공기배관압력 사) 주공기통압력 **나. 정밀검사** **(1) 검사항목** (가) 교정검사 (나) 제어신호검사 (다) 공기압력검사 (라) 압부력검사 (마) 기밀검사 (바) 내압검사 (사) 부식검사 (아) 장치검사	측정항목에 **제동실린더압력, 주공기배관압력, 주공기통압력** 등은 자기부상에 맞지 않다. 제동실린더 혹은 제동 역할을 하는 전자장치에 대한 항목을 제정 혹은 개정해야 한다. 또한 검사항목의 **장치검사** 대상에 **디스크제동** 관련 항목은 제하여 자기부상열차의 제어 장치에 해당하는 것으로 제정해야 한다.
성능검사	**(나) 성능검사** **1) 검사조건** 가) 성능검사는 열차운행상태 및 본선에서 실시하여야 한다. 나) 평탄하고 직선인 선로에서 실시하여야 하고, 만족하는 선로가 없으면 선로의 동일구간을 각각의 운행방향으로 운행하여 평균치를 평가기준에 적용하여야 한	**감속도시험**에서는 **마찰제동** 및 **혼합제동**을 검사하지만 자기부상열차는 제동방식이 다르다. 자기부상열차의 전자식 비접촉 감속도 시험 항목을 제정해야

	다. 다) 열차운행에 필요한 충분한 전원을 공급할 수 있어야 하고 전기제동시에 가선수용이 가능하여야 한다. 라) 시험횟수는 동일속도에서 적어도 3회 이상으로 하는 것을 원칙으로 하며 필요에 따라 조정할 수 있다. 마) 감속도시험은 수동운전 및 자동운전 모드로 각각 실시하여야 한다. 바) 감속도시험은 마찰제동 및 혼합제동으로 각각 실시하여야 한다. **2) 측정항목** 열차에서 구동차와 부수차 1량씩을 선택하여 다음과 같은 신호를 측정하여야 한다. 가) 비상제동신호 나) 역행선택신호 다) 제동선택신호 라) 상용제동신호 마) 제동실린더압력 바) 차축속도신호 사) 열차속도신호 아) 가・감속도신호	한다. 또한 그의 세부내용 면에서 혼합제동은 전자식 제동을 포함하여야 한다. 그리고 측정항목의 **차축속도신호**는 자기부상열차와 무관하므로 제하고 리니어모터의 속도측정 항목 등으로 제정해야 한다.
기초제동장치	**(라) 외관 및 설치검사** **3) 기초제동장치** 가) 마찰재가 움푹 패이거나, 기포 또는 기타 손상이 있는지를 검사한다. 나) 열반점, 크랙 및 마모정도를 검사한다. 다) 제동실린더 및 설치브라켓의 외관상에 지나친 녹, 균열 및 손상여부가 있는지를 검사한다. 라) 힘을 받는 부분이 충분한 강도와 강성을 유지하는 지를 육안으로 검사한다. 마) 디스크가 지나치게 마모되었는지를 검사한다. 바) 제동실린더가 양호하게 설치되어 있는지를 검사한다. (아) 장치검사 3) 기초제동장치 3) 기초제동장치 가) 검사조건 기초제동장치는 차량에서 분해하여 마찰계수검사를 실시하여야 한다. 나) 검사방법	자기부상열차의 **기초제동장치**는 마찰제동장치가 아니다. 유압제동, 역상제동 등의 자기부상열차에 맞는 기초제동장치의 검사항목을 제정해야 한다.

<table>
<tr><td></td><td>답면제동의 마찰재에 관한 검사방법은 UIC 541-4, 디스크 제동의 마찰재에 관한 검사방법은 UIC 541-3을 따라야 한다.
다) 검사기준
3개의 시험편에 대한 평균값이 제작사양을 만족하여야 한다.
라) 결과평가
정밀진단자는 검사결과의 만족여부를 평가하여 기록하고 마찰계수가 제작사양을 만족하지 않을 경우에는 교체를 조치하여야 한다.</td><td></td></tr>
<tr><td>정밀진단 장비</td><td>【별표 5】
정밀진단 장비목록
<table><tr><th>분류</th><th>장 비 명</th><th>시 험 내 용</th></tr><tr><td rowspan="4">차체</td><td>부식두께측정기</td><td>구조체 부식량 측정</td></tr><tr><td>Data Logger</td><td>정하중 시험시 스트레인 게이지</td></tr><tr><td>Strain Amplifier</td><td>Strain Signal 증폭 및 Filtering</td></tr><tr><td>Tape Recorder</td><td>시험 데이터 저장</td></tr><tr><td rowspan="6">대차</td><td>Signal Processor</td><td>Data 처리 및 분석</td></tr><tr><td>3차원치수측정기</td><td>대차치수검사</td></tr><tr><td>자분탐상검사장비</td><td>비파괴검사</td></tr><tr><td>방사선투과검사장비</td><td>비파괴검사</td></tr><tr><td>초음파탐상검사장비</td><td>비파괴검사</td></tr><tr><td>Dynamic Strain Amplifier</td><td>피로강도 잔존수명평가</td></tr><tr><td rowspan="4">제동장치</td><td>Wave Analyzer</td><td>피로강도 잔존수명평가</td></tr><tr><td>차트 레코더</td><td>시험데이터 분석 및 기록</td></tr><tr><td>주파수·전압변환기</td><td>시험시 주파수·전압 변환</td></tr><tr><td>데이터 분석장비</td><td>시험데이터 분석 및 저장</td></tr><tr><td rowspan="5">전기장치</td><td>신호교정기</td><td>전류·전압의 전기신호 교정</td></tr><tr><td>진동계측 및 해석장비</td><td>회전기기의 진동측정</td></tr><tr><td>베어링계측장비</td><td>베어링검사 및 손상검출</td></tr><tr><td>절연특성계측장비</td><td>전기설비, 전력기기의 절연저항측정 및 열화상태진단</td></tr><tr><td>온도계측장비</td><td>각 기기, 부품의 표면온도 측정</td></tr><tr><td>EMI/EMC측정장비</td><td>각 기기, 부품의 전자파 영향 측정</td></tr></table></td><td>대차, 제동장치, 전기장치의 정밀진단 장비에는 자기장의 영향을 받지 않는 장비와 전선을 사용하거나 비접촉식 센서를 사용해야 한다.</td></tr>
</table>

(사) 도시철도 운전규칙

	도시철도 운전규칙	검토 사항
정의	**제3조 (정의)** 이 규칙에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다.	**용어의 정의**에서 **선로, 전차선로** 등은 자

	1. "정거장"이라 함은 여객의 승하차, 열차의 편성, 차량의 입환등을 위한 장소를 말한다. 2. "선로"라 함은 궤도 및 이를 지지하는 공작물을 말하며, 열차의 운전에 상용되는 본선과 그 외의 측선으로 구분된다. 3. "열차"라 함은 본선에서 운전할 목적으로 편성되어 열차번호를 부여받은 차량을 말한다. 4. "차량"이라 함은 선로에서 운전하는 열차외의 전동차·궤도시험차·전기시험차등을 말한다. 5. "운전보안장치"라 함은 열차 및 차량(이하 "열차등"이라 한다)의 안전운전을 확보하기 위한 장치로서 폐색장치·신호장치·연동장치·전철장치·경보장치·열차자동정지장치·열차자동제어장치·열차자동운전장치·열차종합제어장치등을 말한다. 6. "폐색"이라 함은 선로의 일정구간에 2이상의 열차를 동시에 운전시키지 아니하는 것을 말한다. 7. "전차선로"라 함은 전차선 및 이를 지지하는 공작물을 말한다. 8. "운전사고"라 함은 열차등의 운전으로 인하여 사상자가 발생하거나 도시철도시설이 파손된 것을 말한다. 9. "운전장애"라 함은 열차등의 운전으로 인하여 당해 열차나 차량의 운전에 지장을 주는 것중 운전사고에 해당하지 아니하는 것을 말한다.	기부상열차에 맞게 개정되어야 한다.
비상제동거리	**제11조 (선로의 점검·정비)** ①선로는 매일 1회이상 순회점검하여야 하며, 필요한 경우에는 이를 정비하여야 한다. ②선로는 정기적으로 안전점검을 실시하여 안전운전에 지장이 없도록 이를 유지·보수하여야 한다	자기부상철도 선로 특성상 매일 1회 이상의 **순회점검**은 불편하므로 점검차량에 의한 순회점검으로 개정해야 한다.
비상제동거리	**제29조 (열차의 비상제동거리)** 열차의 비상제동거리는 600미터이하로 하여야 한다.	자기부상열차의 하중과 운행속도 및 안전거리 등의 특성을 고려하여 **비상제동거리**를 개정해야 한다.
차량의 굴	**제50조 (차량의 굴음방지)** ①차량을 선로에 두는 경우에는 굴음방지에 필요한 조치를 하여야 한다. ②동력을 가진 차량을 유치하는 경우에는 그 동력에 의하여 움직이는 것을 방지하기 위한 필요한 조치를	자기부상열차는 근본적으로 차륜에 의한 **굴음**이 발생할 수 없다. 단, 부상 중에 활

음방지	강구하여야 하며, 동력을 가진 동안에는 이를 감시하여야 한다.	주나 미끄러짐을 방지할 수 있는 조항은 제정해야 한다.

(7) 도시형 자기부상열차 관련법령 정비방안

(가) 도시철도법 및 시행령 정비방안

o 도시철도법은 현행 적용이 가능하며 개정이 불필요하다.

o 기본계획수립 및 사업면허, 건설 및 운전, 운영 등은 그대로 사용

o 도시철도법에서 규정하는 다음 기준들에 대하여 별도로 제정할 필요가 있다.

현행 법령명		신규 법령명(안)	제개정 방안
도시철도 건설규칙	⇨	도시형 자기부상철도 건설규칙	신규제정
도시철도차량 안전기준	⇨	도시형 자기부상열차 안전기준	신규제정
도시철도차량 표준사양	⇨	도시형 자기부상열차 표준사양	신규제정
도시철도차량 성능시험기준	⇨	도시형 자기부상열차 성능시험기준	신규제정
도시철도차량 정밀진단지침	⇨	도시형 자기부상열차 정밀진단지침	신규제정
도시철도차량 품질인증요령	⇨	도시형 자기부상열차 품질인증요령	신규제정
도시철도차량 운전규칙	⇨	도시형 자기부상열차 운전규칙	신규제정

o 현재 추가로 진행중인 도시철도시설에 대한 법령의 반영

진행중인 법제화 현황	반영계획
도시철도시설(전력/신호/선로)분야에 대한 기준제정 추진중. - 도시철도시설 안전기준에 관한 규칙 - 도시철도시설 표준사양 - 도시철도시설 성능시험에 관한 기준 - 도시철도시설 품질인증요령	- 전력 및 신호분야는 기존철도차량과 자기부상철도의 차이가 거의 없기 때문에 향후 제정될 법령에 자기부상열차를 고려하여 반영토록 요청. - 선로분야에 대한 법령은 추가 연구진행여부를 협의하여 결정.

o 도시철도차량 성능시험 및 품질인증관련 절차 및 수수료 등에 대해서는 보완, 개정할 필요가 있음.

(나) 도시형 자기부상철도건설규칙 정비방안

o 도시철도건설규칙은 차량 및 선로의 차이로 자기부상열차에 적용하는 것이 불가능하기 때문에 신규로 제정한다.

o 도시철도 건설규칙은 지하철을 위주로 하였으나, 도시형 자기부상열차는 교량의 고가 구조를 중심으로 제정한다.

o 다양한 형태의 자기부상열차의 적용과 적절한 선로의 건설이 가능하도록 포괄적으로 제정.

o 기술의 발전에 따라 유연하게 대처할 수 있도록 유연조항의 삽입이 필요하다.

o 단, 안전성과 사회적인 연계성에 관해서는 그 범주를 제시해야 한다.

o 주요 변경사항

- 선로의 변화에 따른 궤간에 대한 규격사항
- 선로의 변화에 따른 운전진로와 선로의 형식
- 곡선부에 적용되는 캔트에 대한 사항
- 곡선부에서의 주행에 의한 건축한계
- 구조물에서 승강장 연단과 피난에 대한 규정
- 전차선의 가선방식에 따른 집전에 대한 사항 등

(다) 도시형 자기부상열차안전기준 정비방안

o 도시철도차량안전기준은 차량 및 선로의 차이로 자기부상열차에 적용하는 것이 불가능하기 때문에 신규로 제정한다.

o 자기부상열차의 부상, 운행, 제동에 사용되는 용품들의 자기장과 전자파에 대한 안전기준이 필요하며, 승객과 화물을 보호할 수 있도록 자체 용품의 자기장·전자파 차단에 대한 신규 조항이 필요하다.

o 주요 변경사항

- 제동장치, 추진제어장치 등에 해당하는 용어의 정의
- 제동장치, 추진제어장치, 신호보안장치 등에 대한 각각의 안전기준
- 차량의 총중량, 중량분포에 대한 정의 및 선로 부담에 관련된 규정
- 화재대피를 위한 차량 및 시스템의 구조 등
- 충돌부의 변위제한 등의 안전기준
- 견인용 선형유도전동기와 비상제동시스템
- 자기부상열차의 특성에 따른 추가적인 안전관련 시스템 등

(라) 도시형 자기부상열차표준사양 정비방안

o 도시철도차량표준사양은 차량 및 선로의 차이로 자기부상열차에 적용하는 것이 불가능하기 때문에 신규로 제정한다.

o 차량 및 시설물에 대하여 법안을 개발하고 운행조건, 시스템 성능기준, 구성요소의 규격 등에 대해서는 향후 실용화사업을 통한 검증된 사항을 법제화한다.

o 자기부상철도 시설물 표준규격은 자기부상열차 표준규격과 별도로 제정한다.

o 관련 국내외 규격을 참고하고 기술 수준을 고려하여 적용한다.

o 현재 진행 중인 경전철 표준규격 법안을 고려하여 도시형 자기부상열차 표준규격에 보완 적용한다.

o 주요 변경사항

- 차량의 형식과 종류 및 적용범위
- 선로, 하중, 운전조건 관련 사항
- 유지보수의 조건
- 대차관련 구조
- 구동 및 제어 장치
- 운영원리 및 부상장치 등

(마) 도시형 자기부상열차성능시험기준 정비방안

o 도시철도차량성능시험기준은 차량 및 선로의 차이로 자기부상열차에 적용하는 것이 불가능하기 때문에 신규로 제정한다.

o 자기부상열차의 특성을 고려한 시험항목 및 시험기준, 세부시험방법, 평가기준 등 제정

o 차량 및 시설물에 대하여 실용화사업을 통하여 검증 후 법제정

o 주요 변경사항

- 차체의 중량 및 처짐량 제한에 대한 구조체 시험
- 대차, 부상장치, 추진장치, 주행장치, 제동장치, 집전장치 등의 구성품시험
- 자기부상열차의 특성을 고려한 완성차시험 및 본선시운전시험 해당 별표 등

(바) 도시형 자기부상열차품질인증요령 정비방안

o 도시철도차량품질인증요령은 차량 및 선로의 차이로 자기부상열차에 적용하는 것이 불가능하기 때문에 신규로 제정한다.
o 자기부상열차의 특성을 고려한 인증대상, 시험 및 인증기준, 적합성평가방법 등의 제정
o 부상전자석, 선형견인전동기, 부상용 쵸퍼, 부상제어장치 등의 주요 장치와 궤도, 신호, 통신 장치 등의 품질인증 신규 제정.
o 주요 변경사항
- 출입문, 밀착연결기, 대차틀, 차축, 구동장치, 기어커플링, 브레이크디스크
- 선형유도전동기
- 부상전자석, 부상용 초퍼, 부상제어장치
- 제동장치 등

(사) 도시형 자기부상열차정밀진단지침 정비방안
o 도시철도차량정밀진단지침은 차량 및 선로의 차이로 자기부상열차에 적용하는 것이 불가능하기 때문에 신규로 제정한다.
o 자기부상열차의 용품과 그 특성을 고려한 정밀진단절차, 진단방법, 기준, 장비 등을 제정
o 주요 변경사항
- 정밀진단 방법, 장비, 기준 및 결과 평가에 대한 해당 별표
- 차체 및 대차
- 제동장치
- 전기장치
- 추진제어장치 등

(아) 도시형 자기부상열차운전규칙 정비방안
o 도시철도운전차량규칙은 차량 및 선로의 차이로 자기부상열차에 적용하는 것이 불가능하기 때문에 신규로 제정한다.
o 자기부상열차의 특성을 고려한 운전규칙의 제정
o 무인운전 등의 운전모드별 특성을 고려하여 제정한다.
o 주요 변경사항
- 운전용어
- 선로 및 전차선 점검방법 및 시기

- 비상제동거리와 굴음방지
- 분기부 관련 사항

o 단, 주요 변경사항을 제한 현행 도시철도차량운전규칙의 각 항목은 포괄적으로 규범 되어 있으므로 자기부상열차운전규칙에 적용

(자) 세부법령별 신규제정 및 개정항목

법령명	신규 제정이 필요한 항목	기존 법령의 변경이 필요한 항목
도시형 자기부상 철도 건설규칙	목적, 정의, 적용범위, 궤간, 선로의 공차, 침목 및 거더, 궤도의 잔류자기, 구조물, 고가 구조물 아래 등의 방호, 지상설비 등의 설치 위치, 직통계단 설치, 승강기의 설치, 차량기지의 시설·설비, 차량기지의 안전시설, 입출고선 길이, 검사선 등 선로의 중심간격, 통합관제실의 설치, 전차선의 설치, 지상설비의 차량위치 추적장치, 낙하물로등 보호설비, 자동화재감지장치, 기타 소방설비의 설치	열차의 운전진로, 선로의 곡선반경, 캔트, 완화곡선, 직선의 삽입, 캔트의 체감거리, 정거장 밖의 기울기 한도, 정거장 안의 기울기 한도, 측선의 기울기, 종곡선, 건축한계, 곡선부의 건축한계, 직선 궤도의 중심 간격, 승강장의 안전시설, 정거장간의 거리, 승강장의 너비, 승강장과 통로의 길이와 폭, 피난계단 설치, 전기방식, 전선로, 예비전원설비, 전차선로, 배수설비, 통신설비, 본선열차의 신호방식, 신호보안장치, 차막이 시설 등, 대피시설, 물을 사용하는 소화설비, 유도등 등, 비상조명등, 털널안의 연결송수관설비 등
도시형 자기부상 열차 안전기준	목적, 정의, 궤도하중, 부상흡인력, 환경조건, 대차, 대차 프레임, 현수장치 등, 모듈의 강도 등, 착지륜 등, 부상·안내 장치, 부상제어장치, 전자석, 추진장치, 선형유도전동기, 속도 및 위치 센서, 공기배관, 자동열차보호장치,	시설물 등과의 적합성, 차량한계, 총중량, 중량분포, 표지, 화재 예방을 위한 기준, 화재 대피를 위한 구조, 소화기, 전기안전, 접지, 충돌 변형부의 제한, 구조체의 강도 등, 승객용 출입문, 승객용 손잡이 시설, 냉난방장치,

법령명	신규 제정이 필요한 항목	기존 법령의 변경이 필요한 항목
	자동열차운전장치, 차상-지상간 통신장치, 정위치 정차 검지장치, 역간 정차 방지, 조명장치, 장애인시설 등	환기장치, 운전실 또는 운전석, 운전 데스크 등, 장애물제거기, 추진제어, 비상운전, 제동장치, 제동성능, 제동작용, 제동제어, 기초제동장치, 압축공기 공급장치, 신호보안장치, 운행상태 등의 표시, 열차운행기능, 집전장치, 보조전원장치, 축전지 등, 통로연결장치, 차량연결장치, 통신장치, 필터 리액터
도시형 자기부상 열차 표준사양	적용범위, 형식, 선로조건, 하중조건, 운전조건, 전기방식, 최대차량중량, 차륜경, 속도제어방식, 브레이크방식, 제어공기압력, 열차의 주행저항, 주요수치, 실내내장, 대차, 스프링장치, 견인방식, 구동장치, 공기제동장치, 주차 및 정차브레이크, 기초브레이크장치, 접지, 대차, 모듈, 부상·안내 방식, 추진제어, 기타 자기 부상열차에서 사용되는 장치 및 시설에 대한 사양	기후조건, 유지보수, 승객정원, 성능최고속도, 최고 운행속도, 져크한계, 가속도, 감속도, 표정속도, 제어전압, 승차감,소음, 지붕구조틀, 신호보안장치, 피뢰기, 인버터, 견인전동기, 정지형 인버터 및 출력변압기, 충전기, 축전지, 활주방지제어
도시형 자기부상 열차 성능시험	목적, 구성품시험 ,완성차시험, 본선시운전, 해당 별표, 기타 자기부상열차에서 사용되는 용품에 대한 성능시험	구성품 시험, 시험품등의 조건, 성능시험자
도시형 자기부상 열차 품질인증	목적, 정의, 부상전자석, 선형견인전동기, 부상용 쵸퍼, 부상제어장치 등의 주요 운행장치, 그 외 품질인증대상과 해당	구성체 및 구성품의 품질인증

법령명	신규 제정이 필요한 항목	기존 법령의 변경이 필요한 항목
	별표의 부상용 용품, 기타 자기 부상열차에서 사용되는 용품에 대한 품질인증	
도시형 자기부상 열차 정밀진단	목적, 운행 장치의 정밀진단 방법, 관련 기준 및 결과평가, 관련 해당 별표, 각각의 검사방법, 적용범위, 성능검사	정밀진단장비 등, 구성체 및 구성품의 정밀진단
도시형 자기부상 열차 운전규칙	정의, 고가구조물과 부상특성을 고려한 운전규칙, 운전모드 별 운전규칙	선로의 점검・정비, 비상제동거리, 굴음방지

나. 도시형 자기부상철도 건설규칙 법안 개발

(1) 건설규칙 작성관련 기본방향

o 도시교통수단의 일환인 점을 감안하여 도시철도법의 범주 하에서 추진

- 도시교통권역(또는 이에 준하는 지역)을 대상으로 하는 중저속의 도시철도 시스템으로 추진
- 미국 대중교통협회(APTA)의 경우 도시철도 또한 지역간철도와 동일하게 속도를 5개 등급(15, 30, 60, 80 90mph)으로 구분하고 있으나, 국내의 경우 속도를 세분화할 필요가 없을 것으로 판단됨
- 고속자기부상열차와의 구분을 위한 기준은 필요 (속도를 기준)

o 실용화사업에서 목표사양(또는 표준사양)으로 추진하는 차량의 운행을 지원할 수 있도록 법적 유연성 확보 추진

- 차량의 목표사양에 부합하는 시설물 건설규칙 작성
- 구체적인 수치를 규정하여 구속하기 보다는 적용의 유연성을 확보하는 방향으로 추진

[표 132]실용화사업 목표사양 (타당성조사 보고서 기준)

항목	제안사양
궤간	1,850mm 이하
차량길이	14m/량 (2량 1편성시 약 28m)
공차중량	20ton/량 (2량 1편성시 40ton)
등판능력	70‰ 이상
최소수직곡선반경	1000mR
최소수평곡선반경	50mR 이하
승객정원	93명/량 이상 (만차기준)
최고설계속도	110km/h
가・감속성능	4.0km/h/s 이상,
감속성능	<상용> 4.0km/h/s 이상 <비상> 4.5km/h/s 이상
기후조건	내진 : 리히터 5.5, 강우량 : 500mm/일, 풍속:26m/s, 기온:-20~40℃
실내소음	65dB

항목	제안사양
승차감	UIC기준 2.0 이하
전력공급	직류 1,500V 제3궤조방식
최소시격	90초
정위치 정차	±0.3m
운전방식	ATO 무인자동운전
분기속도	25초 이내
교량 처짐한계	L/1500~L/2000

o 도시형자기부상열차의 운행을 지원해 줄 수 있도록 시설물 건설에 관한 규정 제정

- 시설물은 도시철도 건설규칙과 유사하게 선로, 정거장(차량기지 포함), 설비로 구분

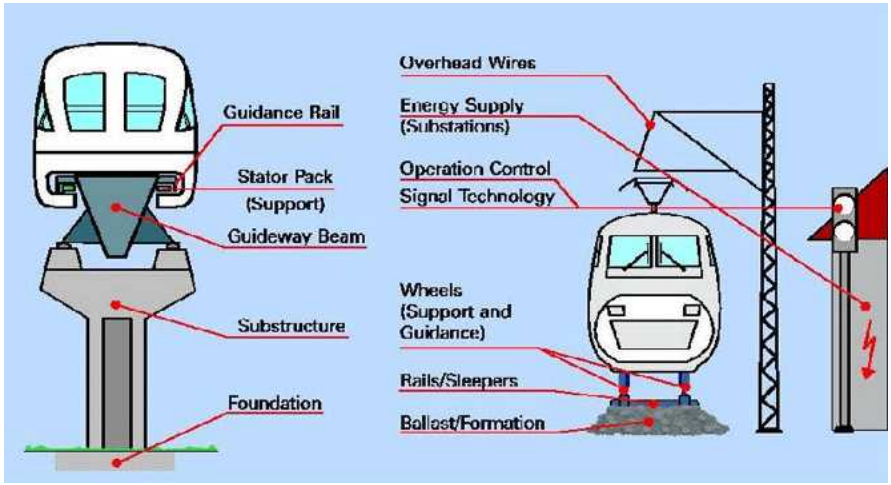
[표 133]도시형자기부상철도 건설규칙 적용 시설물 검토

대분류	시설물
선로	궤간, 곡선, 기울기, 건축한계, 궤도, 구조물, 분기
정거장 및 기지	정거장, 차량기지
설비	전기설비, 환기・배수설비, 통신설비, 신호・보안설비, 안전설비

o 현재 추진 중인 경전철 차량 관련 건설규칙 작성방향과 궤를 같이하되, 자기부상열차의 기술적 특성을 반영

- 자기부상열차는 자석의 힘으로 차량을 지지(부상)하고 가이드웨이 상에서 자기장에 의해서 일정한 갭(gap)을 유지하면서 선형전동기로 추진하는 새로운 형태의 교통수단.

  * 자기부상열차의 차량시스템이 기존 차륜식 열차와 크게 다른 점은 부상/추진방식



[그림 225]자기부상열차(좌)와 일반 차륜식 철도차량(우) 비교

- 철차륜으로 지지되는 일반 차륜식 철도차량과 달리 자력에 의해 일정간격 부상하여 운행되는 자기부상열차에서는 열차의 차륜에 해당하는 역할을 담당하는 마그네트(magnet)와 레일 역할을 하는 가이드웨이(guideway)간의 전자기적 파라미터로 결정되는 Suspension System이 적절한 Stiffness와 Damping 값을 갖도록 컨트롤 하는 것이 가장 중요

o 차량의 안전주행을 도모할 수 있는 방향으로 건설규칙 작성
- 차량의 성능, 주행특성과 선로특성과의 연계를 통한 선형 기준 도모
- 차량 주행, 시설 이용자의 안전성 제고를 도모하는 방향으로 설비 기준 작성

2. 건설규칙 작성관련 반영사항 조사

o 건설규칙 적용대상은 상전도 흡인식 자기부상 방식을 사용하는 중저속형 자기부상열차 운행을 위한 철도로 제한
- 철도 운행 지역은 도시교통권역을 포함한 다양한 지역으로 정의 (광역철도, 특수철도 용도 등으로도 사용이 가능할 수 있도록 기술적 규정에 주안점을 두어 작성)

o 궤간은 궤도의 좌우에 설치되는 추진용 레일의 중심선간의 거리로 정의
- 궤간의 치수는 실용화목표인 1,850mm를 표준으로 하되, 기술의 발전과 수요자 요구조건의 다양성을 감안하여 도시형 자기부상열차를 설치하고자 하는 국가 및 지방자치단체의 장에게 위임

- 궤간은 차량의 구조, 설계최고속도 등을 고려하여 차량의 안전한 주행 및 안정된 주행을 확보할 수 있도록 선언적 규정 포함

o 곡선의 주요 요소인 최소곡선반경, 캔트, 완화곡선 등은 차량의 운전속도,부상력 등의 열차성능을 고려하여 안전한 주행을 도모하도록 작성

- 최소곡선반경은 차량의 곡선 주행 능력과 직결되므로 현재 목표사양을 토대로 할 때는 선로의 최소곡선반경은 60m가 바람직하나, 차량의 기술력이 개선될 경우 최소 곡선반경이 축소될 수 있음
- 현행 도시철도 건설규칙에서도 최소곡선반경을 수치화하지 않고 있기 때문에 도시형 자기부상열차를 설치하고자 하는 국가 및 지방자치단체의 장에게 위임
- 완화곡선의 길이는 주행속도와 시간당 캔트변화율을 감안하되, 경전철 특성을 감안하여 산출

o 기울기의 경우 차량의 등판능력을 감안하여 설정

- 차량목표사양의 등판능력이 7% 수준인 점을 감안하여 본선의 기울기는 6% 수준으로 하나, 차량의 기술력 개선, 노선통과지역의 지형특성을 감안하여 조정 가능하도록 작성

o 도시형 자기부상열차의 차량한계 및 건축한계를 정하기 위해서는 기존의 혹은 향후에 상용화될 도시형 자기부상열차의 치수를 결정하는 것이 우선이나, 법규상에서는 굳이 수치를 명시하지 않는 것이 바람직함

- 차량한계와 건축한계는 차량과 시설물 사이에 일정의 공간을 확보하여 어떤 경우에도 서로 접촉하지 않고 안전하게 차량을 운용할 수 있도록 선언적 규정 필요
- 도시형 자기부상열차의 경우 집전장치가 레일 하부 크로스빔 혹은 거더 부위에 설치되기 때문에 기존철도의 가공전차선 및 그 현수장치는 적용되지 않음
- 차량 구조의 변경, 궤간의 변경 등을 감안할 때 건축한계를 수치화하여 규정하기 보다는 도시형 자기부상열차를 설치하고자 하는 국가 및 지방자치단체의 장에게 위임

o 궤도의 경우 차량을 지지하고 주행을 유도하는 레일(rail), 레일의 위치를 고정시켜주고 차량으로부터 하중을 지지하는 침목(cross arm 혹은 support beam), 침목의 위치를 일정한 장소에 고정시키고 침목으로부터 받은 하중을 다방면으로 광범위하고 균형있게 분포시켜 노반에 전달하며 주행 중인 열차

로부터의 충격력을 완화시키는 거더(girder) 등을 대상으로 규정 작성
- 레일은 부상레일과 추진레일을 대상으로 안전운행을 위한 조건 규정
- 거더의 경우 열차의 주행안정성에 대해 규정

o 구조물의 경우는 교량이나 터널 등의 안전, 차량과의 여유 공간, 위치 등에 관한 규정이 필요
- 건설규칙에 반영하는 방안과 시설안전기준에 관한 규칙에 반영하는 방안이 가능하나 현 단계에서는 건설규칙이 바람직 (안전기준에 관한 규칙은 도시형자기부상열차에 국한)
- 구조물과 건축한계 사이에 전기, 통신, 신호, 통로 등 기타 시설의 설치에 필요한 여유 공간을 확보하기 위한 규정 필요

o 정거장의 경우는 도시형자기부상열차와 중전철간의 기술적 차이는 없으며, 규모상의 차이만 존재할 수 있기 때문에 도시철도 건설규칙과 유사하게 작성
- 승강장 규모 등과 관련된 사항의 경우는 도시형 자기부상열차를 설치하고자 하는 국가 및 지방자치단체의 장에게 위임

o 설비의 경우 전차선 등 일부를 제외하고는 도시형자기부상열차와 중전철간의 기술적 차이는 없기 때문에 도시철도 건설규칙과 유사하게 작성
- 자기부상열차의 전기공급은 일반적으로 거더의 측면에 power rail 에 의해 이루어짐
- 전차선의 높이는 궤도의 높이에 대해 일정 간격을 유지한 것이어야 하지만, 상전도흡인식 자기부상열차의 부상높이가 항상 균일한 것이 아니기 때문에 집전기와 접촉하기 위해서는 전차선에서 접촉면의 크기가 규정되어야 함

(3) 철도건설관련 국내 법규 및 기준 조사

o 국내의 경우 현재 국내 철도건설 관련 기술적 사항은 「철도건설법」에 근거한 「철도건설규칙」과「도시철도법」에 근거한 「도시철도건설규칙」에 규정되어 있음
- 해당 규칙 적용대상 시설물은 선로, 정거장 및 기지, 설비 등으로 크게 구분됨
- 고속 및 일반철도는 차량운행 조건(운행속도)에 따라 선로를 구분하고 있으나, 도시철도는 단일 선로 조건으로 규정

[표 134]국내 철도 유형별 건설관련 법체계

철도 유형	사업추진법령	건설기술 관련 법령
고속철도	철도건설법	철도건설규칙
일반철도	철도건설법	철도건설규칙
광역철도	대도시광역교통관리특례에관한법	철도건설규칙
도시철도	도시철도법	도시철도 건설규칙
경전철	도시철도법	도시철도 건설규칙

[표 135]국내 철도 관련 건설규칙 적용 시설물

대분류	중분류	철도 건설규칙	도시철도 건설규칙	비고
선로	차량운행 조건 관련	○	-	
	선로선형 설계 관련	○	○	
	궤도 구성요소 관련	○	○	
	구조물 관련	○	○	
	분기관련	-	○	일반철도는 정거장 및 기지에서 규정
정거장 및 기지	정거장 관련	○	○	
	구내 선로 관련	○	-	도시철도는 선로에서 규정
	기타 시설 관련	○	○	
설비	전기 설비	○	○	
	신호 보안 통신 설비	○	○	
	기타설비	-	○	일반철도는 선로, 정거장에서 규정
	안전설비	-	○	일반철도는 선로, 정거장에서 규정

o 「철도건설규칙」과 달리「도시철도건설규칙」은 시·도지사 위임사항을 많이 두고 있어 노선 건설과 관련된 기술적 유연성이 일부 확보됨

- 시·도지사 위임사항은 대부분 선로를 중심으로 이루어지고 있는데, 이는 노선 통과지역의 입지특성을 반영하기 위함임
- 위임사항은 전적으로 위임하는 경우 (곡선반경, 궤도중심간격, 레일의 중량 등), 특정 상황에 대해 위임하는 경우(직선의 삽입, 승강장 너비), 일정 범위 내에서 위임하는 경우(확대궤간, 캔트)로 구분
- 안전관련 설비는 위임사항을 두지 않고 있음

[표 136]도시철도 건설규칙 중 시도지사 위임사항

대분류	중분류	위임사항
선로	선로선형 설계 관련	곡선부 확대궤간(최대치 제한), 곡선반경, 캔트(최대치 제한), 직선의 삽입(특정 상황), 건축한계
	궤도 구성요소 관련	궤도의 중심간격, 레일의 중량, 도상의 두께
	구조물 관련	구조물과 건축한계 사이의 여유공간, 구조물과 도로면과의 간격,
정거장 및 기지	정거장 관련	승강장 너비(특정 상황)
설비	전기 설비	전차선 가선방식 및 높이

o 경전철의 경우 2004년말에 종료된「경량전철 시스템 기술개발사업」에서 선로구축물에 대한 설계기준(안)을 작성하였음.

- 국내 경전철 개발차량인 고무차륜 AGT에 주안점을 두어 작성
- 철제차륜 AGT 및 LIM AGT 차량의 경우는 표준사양 작성 과 선로시설물과의 인터페이스 검토

[표 137]경량전철 시스템 기술개발사업 선로구축물 설계기준 검토사항

구분	중분류	설계 관련 주요 제안 사항
선로 선형	속도	본선 주행속도, 곡선반경별 주행속도, 가감속도
	캔트	최대 캔트, 캔트 부족량, 캔트체감거리
	슬랙	최소·최대 슬랙
	곡선반경	최소곡선반경, 곡선간의 직선길이, 곡선길이, 곡선경합에 의한 제한
	완화곡선	완화곡선의 길이, 완화곡선 설치방법
	구배	구배한도, 곡선저항 보정
	종곡선	종곡선 길이
	건축한계	곡선부 건축한계, 슬랙에 의한 건축한계 확대
정거장	정거장 설비	승강장 너비, 승강장 종단높이. 승강장 유효연장, 차량한계와 승강장 종단과의 거리, 승강장 연단에서 궤도

		중심까지 거리, 승강장 구조, 통로의 폭원, 승강장 연단의 높이
설비	안전 설비	차량정지벽 시설, 선로침입방지 설비, 대피시설, 침수방지장치, 방수·방화설비, 피난 유도로
	선로 표식	안전운행 관련 시설사항 표시

(4) 건설규칙 초안 개발

(가) 건설규칙 초안의 검토

o 초안검토 진행일정

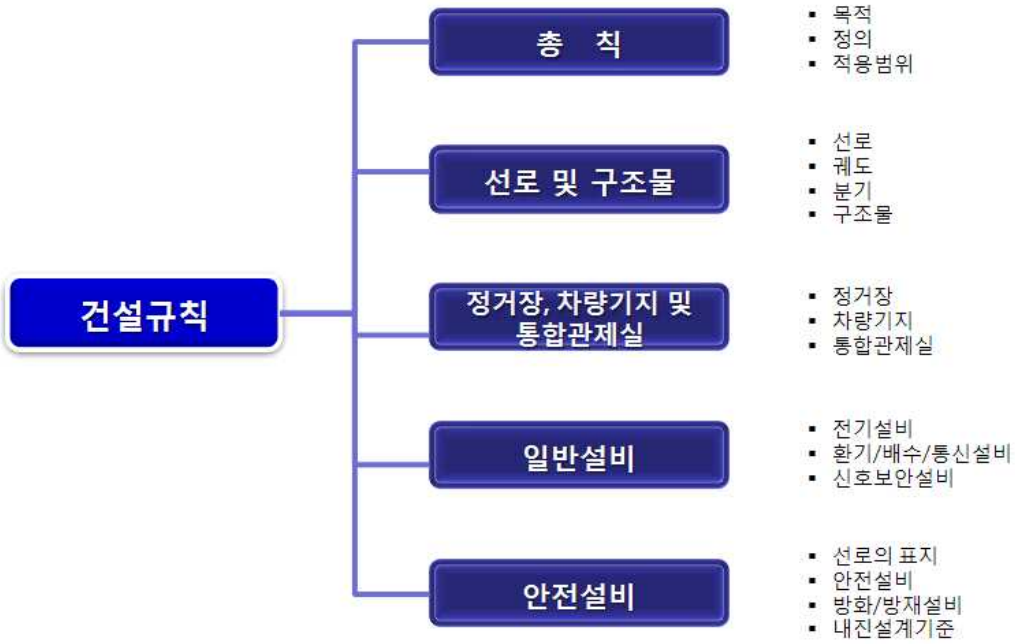
일 시	내 역
07.07.31	「도시형 자기부상철도 건설규칙」 초안 작성 및 배포
07.08.14	외문전문가의 의견문의 및 초안 배포
07.08.17	1차 검토의견 취합
07.08.27	수정본 배포
07.08.31	2차 검토의견 및 외부전문가 검토의견 취합
07.09.07	건설규칙 수정본 토론회 개최 및 의견수렴

o 의견문의 및 수렴 기관

구분	의견수렴 기관
사업참여기관	도시형 자기부상열차 실용화사업단(사업단/핵심/세부/관련과제)
기타기관	대우엔지니어링, 대진대학교, 서영기술단, 서울산업대, 서울시정개발연구원, 선진엔지니어링, 유신코퍽레이션, 철도대학, 청석엔지니어링, 태조엔지니어링, 한국철도기술공사, 한국철도기술연구원 등(기관별 2-3인)

(나) 건설규칙 초안의 구성

도시형 자기부상철도 건설규칙 법안을 총 5장, 77조로 구성하여 개발하였으며, 주요 구성은 아래의 그림과 같다.



[그림 226]건설규칙의 구조 및 세부조항구성

(5) 도시형 자기부상철도 건설규칙 법안 개발

(가) 건설규칙 법안에 대한 의견수렴 및 수정·보완 일정

일 시	내 역
2007.05.31	도시형 자기부상열차 법제화 정비 방안 수립
2007.07.31	『도시형 자기부상철도 건설규칙』 초안 개발
2007.08.01 ~ 2007.10.30	사업단 내부 검토 (6회) 및 의견수렴
2007.11.15	『도시형 자기부상철도 건설규칙』 초안 확정(사업단 내부)
2007.11.19 ~ 2008.01.31	외부전문가 검토의뢰(90여개 전문기관 의견 수렴) - 전국 지자체 - 도시철도 건설기관 - 도시철도 관리운영기관 - 도시철도 관련기관, 연구소 - 학회 및 학교
2008.02.01 ~ 2008.02.28	차량 및 시설 설계 반영 - 2핵심의 궤도 설계 요구 조건 - 3핵심 선로 설계 기준 요구사항 - 건설규칙/토목구조물설계기준/선로설계기준
2008.03.01 ~ 2008.04.16	시범노선 기본설계 내용 반영

2008.04.16 ~ 2008.05.31	도시철도 건설규칙 개정안 및 경전철 건설지침(안) 반영
2008.06.20	『도시형 자기부상철도 건설규칙』 법안 확정
2008.07.16	법안 공청회 개최
2008.09.01	『도시형 자기부상철도 건설규칙』 최종 상정안 확정

나. 건설규칙 법안의 외부 전문가 검토

구 분	의견수렴 기관 및 전문가
사업단 내부검토 (32개 기관)	도시형 자기부상열차 실용화사업 사업단, 핵심과제, 세부과제 등 관련과제 수행 기관
외부전문기관 및 전문가 검토 (83개 기관)	[지방자치단체 21개 기관] 강원도청, 경기도청, 경상남도청, 경상북도청, 관악구, 광명시청, 광주광역시청, 대구광역시청, 대전광역시청, 부산광역시청, 서울특별시청, 용인시청, 울산광역시청, 의정부시청, 인천광역시청, 전란남도청, 전라북도청, 전주시청, 제주특별자치도청, 충청남도청, 충청북도청
	[도시철도운영기관 20개 기관] 광주도시철도공사, 광주지하철건설본부, 대구도시철도건설본부, 대구도시철도공사, 대전도시철도공사, 대전지하철건설본부, 부산교통공사, 서울도시철도공사, 서울메트로, 서울지하철건설본부, 용인경전철㈜, 인천도시철도건설본부, 인천지하철공사, 한국철도공사, 한국철도시설공단
	[기업체 35개 기관] ㈜대한콘설탄트, ㈜비엔에스엔지니어링, ㈜서영엔지니어링, ㈜설화, ㈜일신하이텍, 고려개발㈜, 남광토건㈜, 대림산업㈜, ㈜대우엔지니어링, 동부건설, 두산산업개발㈜, 롯데건설, 벽산건설㈜, 벽산엔지니어링, 삼보, 삼성물산, 삼성엔지니어링, 삼환, 서영, ㈜유신코퍼레이션, ㈜제일엔지니어링, ㈜한양, ㈜동립컨설턴트, ㈜로템, ㈜와이이앤씨, ㈜청석엔지니어링, 코오롱건설㈜, ㈜태영건설, ㈜포스코건설, ㈜한진종합건설, ㈜한진중공업, 현대산업개발㈜, SK건설
	[기타 7개 기관] 인천국제공항공사, 한국건설교통기술평가원, 한국기술교육대학교, 한국철도기술연구원, 한국철도대학, 한국철도차량공업협회

(다) 법안 공청회 개최

o 공청회 일자 : 2008년7월16일

o 공청회 장소 : 국토연구원 대강당

o 공청회 목적 : 건설규칙 및 안전기준에 대한 개발내용 보고 및 의견수렴

o 참석자 : 국토해양부 등 71명

(라) 건설규칙 법안의 주요내용

o 도시형 자기부상철도에 적합하도록 자기부상열차가 갖는 특수한 구조와 장치를 포함하여 열차의 안전운행에 필요한 선로 및 궤도의 구조와 기능 등에 대한 최소 기준을 규정한다.

o 자기부상철도 특성에 맞는 궤간을 정의한다.

o 자기부상열차를 수용할 수 있는 선로의 선형기준을 제시한다.

o 자기부상철도의 특성에 맞게 고가(高架)구조의 건설을 중심으로 한다.

o 곡선부 캔트의 크기를 캔트량과 캔트각도로 정의한다.

o 전차선의 가선방식에 따른 집전에 대한 사항을 규정한다.

o 차량기지 및 통합관제실의 건설을 규정한다.

(마) 건설규칙 법안의 구성

건설규칙 법안의 구성은 다음과 같다.



[그림 227]건설규칙 법안의 구성

대분류 (장)	중분류 (절)	소분류(각 조항)
총칙		목적, 정의, 적용범위, 열차의 운전진로
선로 및 구조물	궤간	궤간, 선로의 공차
	수평곡선	선로의 곡선반경, 캔트각도, 완화곡선, 직선의 삽입 등, 캔트의 체감거리
	기울기	정거장 밖의 기울기 한도, 정거장 안의 기울기 한도, 측선의 기울기, 종곡선
	건축한계	건축한계, 직선부의 건축한계, 곡선부의 건축한계
	궤도	직선 궤도의 중심간격, 곡선인 궤도의 중심간격, 레일, 침목 및 거더, 궤도의 잔류자기
	분기	분기
	구조물	구조물, 건축한계 외의 여유공간, 도로면 등으로부터의 간격, 고가(高架) 구조물 아래 등의 방호, 지상설비 등의 설치위치, 침입방지시설
정거장, 차량기지 및 통합관제실	정거장	정거장의 시설·설비, 승강장의 안전시설, 정거장간의 거리, 승강장의 너비, 승강장 연단의 높이, 승강장 연단과 차량한계와의 간격, 승강장과 통로의 길이와 폭, 노면출입구 및 지상보행로, 직통계단의 설치, 피난계단의 설치, 정거장 구조물 등의 마감재료
	차량기지	차량기지의 시설·설비, 차량기지의 안전시설, 입출고선 거리, 검사선로 등 선로의 중심 간격
	통합관제실	통합관제실의 설치
설비	전기설비	전기방식, 전선로, 전식방지대책, 급전선의 차단, 예비전원설비, 전차선로, 전차선의 설치
	환기·배수 및 통신설비	환기설비, 배수설비, 통신설비
	신호·보안설비	본선열차의 신호방식, 신호장치 등의 설치, 선로전환기와 신호장치와의 연동, 신호보안장치, 지상설비의 차량 위치 추적 장치
선로표지 등의 안전설비		선로의 표지, 차막이시설 등, 대피시설, 침수방지설비, 방화·방재설비, 환기구 내부의 설비, 낙하물 등 보호설비, 자동화재탐지설비, 제연설비, 물을 사용하는 소화설비, 유도등 등, 비상조명등, 터널안의 연결송수관설비 등, 터널로 통하는 진입로, 내진설계기준

(바) 건설규칙 법안의 주요 조항 및 내용

자기부상 철도의 고유 특성에 따른 건설규칙 법안의 주요 내용은 아래와 같다.

주요조항	법안 주요 내용
적용범위	이 규칙이 적용되는 자기부상열차는 도시 안에서 운행하는 상전도 흡인식 자기부상열차로 제한한다.
용어정의	자기부상열차, 궤간, 차량기지, 통합관세실, 입출고선, 신호보안장치 등 추가 궤간이란 선로의 좌우에 설치되는 부상용 레일의 중심 간의 최단거리를 말한다.
궤간 등의 주요치수	궤간을 비롯한 건설에 필요한 기본적인 주요 치수들은 건설규칙에서 정하지 않고 도시형 자기부상철도를 건설하고자 하는 국가 또는 지방자치단체의 장이 정하는 것으로 한다.
캔트	캔트의 크기는 각도로 정하며 최대 8도를 초과하지 않도록 한다.
선로의 기울기	부상 열차의 특성상 중력에 의해 미끄러지는 구조는 허용되지 않는다.
레일	부상 열차의 특성을 고려하여 주행 중 열차가 활주하여 선로와의 접촉이 발생하여도 안전을 확보할 수 있도록 규정한다.
구조물	고가 형태의 선로에 대한 안전확보를 규정한다.
스크린도어	안전을 고려한 스크린도어의 설치를 의무화 한다.
승강장	승강장의 너비는 경전철 등과 같은 규모로 축소한다. 승강장 연단의 높이는 객실바닥과 같거나 약간 낮게 설정한다. 계단은 피난계단과 특별피난계단에 대하여 규정한다.
차량기지	도시형 자기부상철도의 특성에 맞게 차량기지 및 통합관제실에 대한 조항을 신설한다.
통신설비	무인자동운전을 고려하여 객실과 통합관제실 간의 통신을 규정한다.
신호방식	무인자동운전을 고려하여 차내신호방식을 기본으로 규정한다.
화재관련	대피시설에 대하여 명확히 한다. 소방법령에서 규정하지 않은 소화 및 방화시설에 대한 규정을 명확히 한다. 유도등, 비상조명등에 대한 성능을 명확히 한다.

(사) 도시형 자기부상철도 건설규칙 법안

(아) 도시형 자기부상철도 건설규칙 법안 해설

다. 도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙 법안 개발

(1) 철도안전관련 국내 법규 및 기준 조사

o 현재 국내 철도안전 관련 기술적 사항은 「철도안전법」에 근거한 「철도차량안전기준에 관한 규칙」,「철도시설안전기준에 관한 규칙」과「도시철도법」에 근거한「도시철도차량안전기준에 관한 규칙」에 규정되어 있음

- 일반철도는 시설과 차량 모두에 대한 안전기준 관련 법령이 있으나, 도시철도는 차량만 있는 실정임
- 연구개발사업을 통해 도시철도 시설안전기준(안)이 작성된 상태임

[표 138]철도 차량 안전기준관련 규칙 비교(차량장치)

대분류	소분류	철도차량안전기준에관한 규칙	도시철도차량안전에관한규칙
차량 장치	차체 및 장치	구조체의 설계, 구조체의 강도, 부식억제, 기압변화의 방지, 들어올림 장치, 운전실, 여객용 출입문, 철도차량간 통로문, 창문, 실내설비, 의자 및 선반, 객실 냉난방장치, 비상조명등	구조체의 강도, 장치의 설치, 들어올림장치, 장애물제거기, 부식억제, 출입문, 승객용 출입문, 승강장 승하차용 출입문과의 연계, 차량간 통로문 등, 실내설비, 승객용 손잡이, 냉난방장치, 환기설비, 비상등, 의자 및 선반, 창문, 운전실, 운전 데스크
	주행장치	주행장치의 설계 , 주행장치틀, 고정축거, 차륜, 플랜지, 철도차량의 윤축, 축상조립장치, 윤축용 베어링, 현가장치, 차체지지장치, 구동장치,	주행장치, 주행장치틀, 차륜, 차축, 윤축, 축상조립장치, 1차 스프링장치, 2차 스프링장치, 차체지지장치, 구동장치
	제동장치	제동시스템, 제동장치, 비상제동, 제동제어장치, 기초제동장치, 압축공기공급장치, 관통제동기, 수용제동기	제동장치, 제동성능, 제동작용, 제동제어, 기초제동장치, 압축공기 공급장치
	추진 및 보조전원 장치	보호기능, 연장급전, 직류전압의 맥동, 집전장치, 인버터 및 컨버터, 견인전동기, 축전지 등, 내연기관의 구조, 내연기관의 장치, 증기기관의 장치	보호기능, 비상운전, 회생제동, 유도장애의 억제, 인버터, 견인전동기, 연장급전, 직류전압의 맥동, 보조전원장치용 인버터, 축전지 등

	차상신호 장치 및 운전자보 안장치	차상신호장치, 운전자 보안장치	신호보안장치, 신호보안장치의 동작
	종합제어 장치	종합제어장치, 운행상태 확인장치	종합제어장치, 운행상태 확인장치, 열차운행기능, 출입문 제어, 무인운전
	연결장치	연결기, 통로연결장치	좌동
	기타 장치 분기	장애물제거기, 기적, 전조등 및 후부표시장치, 통신장치, 비상정지설비, 고압가스운송용 차량의 특수 장치, 열차비상용품	통신장치, 집전장치, 피뢰기, 주퓨즈, 차단기, 필터 리액터, 비상정지설비, 열차운행정보의 전송설비
유지 관리	철도차량 유지관리	철도차량의 유지관리계획, 시행, 사고차량의 유지관리, 시험운전	-

[표 139]철도 차량 안전기준관련 규칙 비교(구조)

대분류	소분류	철도차량안전기준에관한 규칙	도시철도차량안전에관한규칙
일반	화재안전 기준	철도차량의 화재안전, 화재발생의 예방, 화재 전파의 방지, 화재의 감지 및 경보, 화재발생시의 대피, 화재발생시 진압설비, 작동상태의 표시	화재예방을 위한 기준, 화재대피를 위한 구조, 소화기
	전기안전 기준	철도차량의 전기안전 , 절연거리 확보, 전기차단, 접지, 전자기유도장애의 억제, 전기장치의 오조작 방지, 배선 및 전기기기의 배치	<좌동>
구조	철도차량 의 구조	차량한계, 총중량, 축중, 중량분포, 최소곡선구간의 통과, 철도차량 구조의 제원	차량한계, 총중량, 중량분포, 축중, 표지
	주행안전 기준	철도차량과 선로간의 작용력, 윤중 감소량, 횡압, 탈선계수, 선로의 부담력과의 관계, 철도차량의 전복방지	-
	충돌안전 기준	철도차량의 충돌안전설계, 철도차량의 연결	승객 및 운전자보호, 충돌변형부의 제한, 차체의 충돌안전성

[표 140]시설안전기준관련 규정 비교

철도시설안전기준에관한 규칙	
시설 안전성 분석	철도시설 안전성 분석(설계시)
터널 방재기준	대피로의 설치, 안전난간, 대피통로, 대피통로 접속부의 안전기준, 제연설비, 배연설비, 송수관 설비, 비상조명등, 전기시설물의 보호, 터널 안의 표지판, 비상통신장비, 터널의 출입구, 단전 및 접지기구 설치
건널목 안전기준	건널목의 분류 및 안전설비 설치기준, 차단기의 설치, 경보기의 설치, 건널목 보판의 여유폭과 차량진입 금지설비, 건널목의 안전설비
승강장 안전시설	승강장의 안전시설, 철도교량의 안전시설, 차량탈선방지 안전시설, 선로의 안전시설, 선로 방호시설, 철도교량의 대피시설
철도시설 유지관리	철도시설의 유지관리계획, 시행, 기록관리

[표 141]도시철도시설안전기준(안) 주요 사항

도시철도시설안전기준(안)		
신호 시설	구조 안전기준	• 화재안전기준 : 화재예방, 소화기 • 전기안전기준 : 전력공급기준, 배선 및 전기기기 배치, 절연확보, 접지, 유도장애 억제
	장치별 안전기준	• 장치별 안전기준 일반 : 장치의 설치, 부식억제, 실내설비, 운전데스크, 도표류 관리, 고장대책 • 차상신호보안장치 • 지상신호보안장치 : 신호전원장치, 신호전원장치용인버터, 축전지, 외함, 신호케이블, 열차자동방호・감시장치, 연동장치, 무선통신시스템, 연동검사)
전력 시설	구조안전기준	• 전기안전기준 : (전력시스템 구성, 변전소 위치 및 간격, 변전소 용량, 전차선 가선방식 및 전압, 전기안전표시, 이상전압에 대한 보호, 위험전압의 억제, 충전부분의 노출, 접지, 전자기 잡음억제, 전력관제 위치, 현장감시제어, 전기설비 오조작 방지, 절연물 오염방지) • 화재안전기준 : (화재예방 기준, 화재대피 설비, 소화설비)
	장치안전기준	• 수・변・배전설비 : (변압기, 개폐기, 정류기, 직류고속도차단기, 보호계전기, 축전지, 원격감시제어설비, 전력케이블) • 전차선로설비 : (전차선로 조가방식, 급전계통 구성

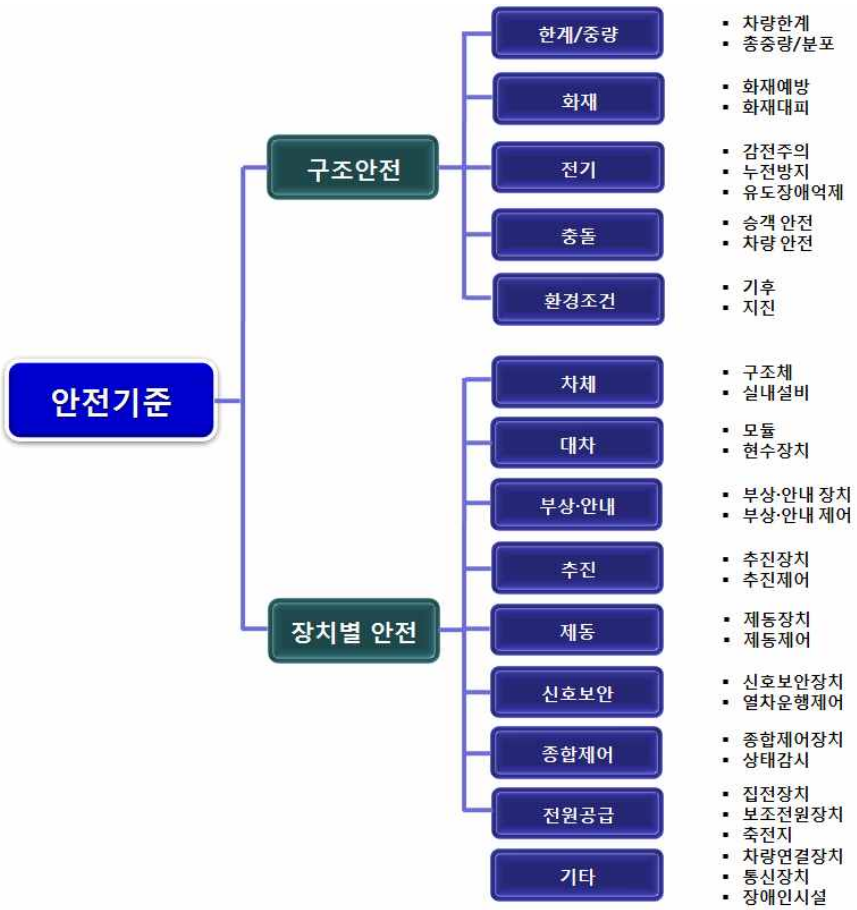
		및 구분, 전차선로 이격거리 유지, 전차선의 편위, 전차선의 구배, 피뢰기)
선로 시설	선로	• 선로일반 : (선로일반, 가드레일 등 안전설비, 선로변의 구조물 및 설비, 선로대피시설, 도로와의 교차) • 토공 : (토공일반, 사면, 옹벽, 토공배수, 침식방지공, 접속구간) • 교량 : (철도교 일반, 교량 상 탈선대책, 철도교 하부방호, 철도횡단교량) • 터널 : (터널 일반, 승객대피, 터널내 열차탈선대책, 터널 비상진입로, 횡갱, 궤도표면관리, 터널내부 소방· 환기· 배수· 조명·통신설비, 측면보도
정거장	역	• 역 일반, 승강장 : (규격, 안전설비) • 이동시설 및 설비 : (계단 및 램프, 엘리베이터, 에스컬레이터, 연결통로) • 기타 공공구역 : (대합실, 출입구) • 비공공구역 : (통제실, 기기설비실) • 역내 조명·환기·배수설비 • 역내 화재 및 비상시 방재 대책
유지 관리	유지관리	• 유지관리 계획수립

(2) 안전기준 초안 개발

(가) 안전기준 초안의 검토

일 시	내 역
07.07.31	「도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙」초안 작성 및 배포
07.08.14	외문전문가의 의견문의 및 초안 배포
07.08.17	1차 검토의견 취합
07.08.27	수정본 배포
07.08.31	2차 검토의견 및 외부전문가 검토의견 취합

(나) 안전기준 초안의 구성



[그림 228]안전기준의 구조 및 세부조항구성

(3) 도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙 법안 개발

(가) 안전기준 법안에 대한 의견수렴 및 수정·보완 일정

일 시	내 역
2007.05.31	도시형 자기부상열차 법제화 정비 방안 수립
2007.07.31	『도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙』 초안 개발
2007.08.01 ~ 2007.10.30	사업단 내부 검토 (4회) 및 의견수렴
2007.11.15	『도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙』 초안 확정
2007.11.19 ~ 2008.01.31	외부전문가 검토의뢰(90여개 전문기관 의견 수렴) - 전국 지자체 - 도시철도 건설기관 - 도시철도 관리운영기관 - 도시철도 관련기관, 연구소 - 학회 및 학교
2008.02.01 ~ 2008.03.15	차량 설계 반영 - 2핵심의 차량시스템 요구 사항
2008.03.15 ~ 2008.04.16	『도시철도법』 및 『철도차량 안전기준에 관한 규칙』 개정(안) 반영
2008.04.16 ~ 2008.05.31	실용화 모델의 차량시스템규격 반영 및 수정·보완
2008.06.20	『도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙』 법안 확정
2008.07.16	법안 공청회 개최
2008.09.1	『도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙』 최종 상정안 확정

(나) 안전기준 법안의 외부 전문가 검토

구 분	의견수렴 기관 및 전문가
사업단 내부검토 (32개 기관)	도시형 자기부상열차 실용화사업 사업단, 핵심과제, 세부과제 등 관련과제 수행 기관
외부전문기관 및 전문가 검토 (83개 기관)	[지방자치단체 21개 기관] 강원도청, 경기도청, 경상남도청, 경상북도청, 관악구, 광명시청, 광주광역시청, 대구광역시청, 대전광역시청, 부산광역시청, 서울특별시청, 용인시청, 울산광역시청, 의정부시청, 인천광역시청, 전란남도청, 전라북도청, 전주시청, 제주특별자치도청, 충청남도청, 충청북도청
	[도시철도운영기관 20개 기관] 광주도시철도공사, 광주지하철건설본부, 대구도시철도건설본부, 대구도시철도공사, 대전도시철도공사, 대전지하철건설본부, 부산교통공사, 서울도시철도공사, 서울메트로, 서울지하철건설본부, 용인경전철㈜, 인천도시철도건설본부, 인천지하철공사, 한국철도공사, 한국철도시설공단
	[기업체 35개 기관] ㈜대한콘설탄트, ㈜비엔에스엔지니어링, ㈜서영엔지니어링, ㈜설화, ㈜일신하이텍, 고려개발㈜, 남광토건㈜, 대림산업㈜, ㈜대우엔지니어링, 동부건설, 두산산업개발㈜, 롯데건설, 벽산건설㈜, 벽산엔지니어링, 삼보, 삼성물산, 삼성엔지니어링, 삼환, 서영, ㈜유신코퍼레이션, ㈜제일엔지니어링, ㈜한양, ㈜동립컨설턴트, ㈜로템, ㈜와이이앤씨, ㈜청석엔지니어링, 코오롱건설㈜, ㈜태영건설, ㈜포스코건설, ㈜한진종합건설, ㈜한진중공업, 현대산업개발㈜, SK건설
	[기타 7개 기관] 인천국제공항공사, 한국건설교통기술평가원, 한국기술교육대학교, 한국철도기술연구원, 한국철도대학, 한국철도차량공업협회

(다) 법안 공청회 개최

o 공청회 일자 : 2008년7월16일

o 공청회 장소 : 국토연구원 대강당

o 공청회 목적 : 건설규칙 및 안전기준에 대한 개발내용 보고 및 의견수렴

o 참석자 : 국토해양부 등 71명

(라) 안전기준 법안의 주요내용

o 도시형 자기부상열차에 적합하도록 자기부상열차가 갖는 특수한 구조와 장치를 포함하여 열차의 안전운행에 필요한 차량의 구조 및 장치에 대한 최소 요구조건을 규정한다.

o 전자석에 의한 부상운행에 따른 중량한계 및 분포에 대하여 규정한다.

o 자기부상열차 운행특성을 고려하여 환경조건을 제시한다.

o 부상운행에 따른 차체의 접지설비 및 비상착지장치 등의 안전설비에 대한 설치 및 요구기능을 규정한다.

o 무인자동운전에 의한 자기부상열차 시스템의 필요사항을 추가하여 정의한다.

(마) 안전기준 법안의 구성

안전기준 최종안의 구성은 다음과 같다.



[그림 229]안전기준 법안의 구성

대분류 (장)	중분류 (절)	소분류 (각 조항)
총칙		목적, 정의, 시설물 등과의 적합성, 세부시행세칙
구조 안전기준	차량한계 등의 안전기준	차량한계, 총중량, 중량한계, 중량분포, 부상력, 장애물제거기, 표지
	화재 안전기준	화재 예방을 위한 기준, 화재감지, 화재 대피를 위한 구조, 소화기
	전기 안전기준	전기안전, 절연확보, 전기차단, 접지, 유도장애의 억제, 전기장치의 오조작 방지, 배선 및 전기기의 배치, 전기장치의 유지보수
	충돌 안전기준	승객 및 운전자 보호, 충돌 변형부의 제한, 차체의 충돌 안전성
	환경조건에 따른 안전기준	환경조건
장치별 안전기준	차체의 안전기준	구조체의 강도 등, 장치의 설치 등, 차체의 들어올림 등, 부식 억제, 출입문 등, 승객용 출입문, 비상문, 승강장 승하차용 출입문과의 연계, 차량간 통로문 등, 실내설비, 승객용 손잡이, 냉난방장치, 환기장치, 비상등, 의자 및 선반, 창문, 운전실, 운전 데스크, 간이운전대, 차체의 접지설비
	대차의 안전기준	대차, 대차프레임, 현수장치 등, 모듈, 비상착지장치
	부상・안내장치의 안전기준	부상・안내 장치, 부상제어장치, 전자석, 부상제어용 센서
	추진장치의 안전기준	추진장치, 추진제어, 선형유도전동기, 속도 및 위치센서, 보호기능, 비상운전, 유도장애의 억제
	제동장치의 안전기준	제동장치, 제동성능, 제동작용, 제동제어, 기초제동장치, 압축공기 공급장치, 공기배관
	신호보안장치의 안전기준	신호보안장치, 자동열차보호장치, 자동열차운전장치
	종합제어장치의 안전기준	종합제어장치, 운행상태 등의 표시, 열차운행기능
	전원공급장치의 안전기준	집전장치, 보조전원장치, 직류전압의 맥동, 보조전원장치용 인버터, 축전지 등
	기타 장치의 안전기준	승객용 출입문 제어, 통로연결장치, 차량연결장치, 통신장치, 피뢰기, 주퓨즈, 차단기, 필터 리액터, 비상정지장치, 열차운행정보의 전송설비, 조명장치

(바) 자기부상열차 고유특성에 따른 안전기준 법안의 주요 조항 및 내용

주요조항	법안 주요 내용
중량한계	선로 보호 및 안전운행을 위하여 자기부상열차의 특징에 맞는 중량 한계를 규정한다.
부상력	부상력은 선로에 고르게 분포되어 집중하중이 작용하지 않도록 한다.
화재감지	차량내 화재를 자동으로 감지할 수 있는 화재감기를 설치하도록 한다. 화재감지시 운전실 및 통합관제실에 경보할 수 있도록 한다.
환경조건	외기조건 등 각각의 환경조건에서도 안전한 운행이 가능하도록 한다.
환기장치	화재감지시 자동배기운전 하도록 한다.
차체의 접지설비	선로측에 설비와 적합한 차체 접지설비를 설치하도록 규정한다.
대차	운행 중에 궤도와 접촉하지 않도록 한다.
현수장치	운행 중 파손 등의 이상이 발생한 경우에도 차량의 과도한 치우침을 방지할 수 있는 보안장치를 갖추도록 규정한다.
비상착지장치	비상 활주시 차량의 집중하중을 지지하며 비상운전이 가능하도록 규정한다.
부상·안내 장치	선로의 최대 경사선로에서도 열차를 안전하게 제어해야 한다. 운행에 의해 가열되어도 충분히 기능을 발휘할 수 있도록 한다.
부상제어장치	이중구조로 규정한다. 전자기 잡음을 안전한 범위 이내로 억제하도록 규정한다.
추진장치	부상공극의 변화가 발생하여도 추진제어를 할 수 있도록 한다. 안정된 추진제어를 위해 각 추진장치의 추진력이 고르게 발생하도록 한다.
선형유도전동기	부상제어를 위해 수직력의 발생과 그 변화를 최소화 하도록 한다. 먼지가 흡착되어도 그 기능을 유지할 수 있도록 한다.
신호보안장치	각각의 운전모드에 대한 안전이 확보될 수 있도록 한다.
자동열차보호장치	열차의 안전거리 확보를 위해 안전거리 침해시 열차를 정지시키는 기능을 갖도록 규정한다.
자동열차운전장치	무인운전의 경우에는 이중구조 및 자동절체 기능을 갖도록 한다. 정거장에서 정위치 정차 과주거리 복원 기능을 갖도록 한다.
집전장치	사구간이 발생하지 않도록 여러 대를 설치하도록 규정한다. 운행시의 편기량에서도 안정적으로 집전할 수 있도록 한다. 이중 이상으로 절연하도록 한다.

사. 도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙 법안

아. 도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙 법안 해설

라. 도시형 자기부상열차 성능시험기준 법안 개발

(1) 차량 성능시험기준 관련 국내 사례 조사

o 도시철도는「도시철도 차량 성능시험에 관한 기준」에서 규정

- 근거법령 : 도시철도법, 도시철도 차량 관리에 관한 규칙
- 주요내용 : 성능시험의 구성, 성능시험의 절차, 성능 시험자 지정 등

o 경량전철 차량 성능시험 기준(연구 보고서)

- 적용대상 : 고무차륜 경량전철
- 주요 내용

[표 142]경량전철 성능시험 주요 사항

구분	주요 항목
차량성능	차량의 주요 성능(차량의 편성, 중량, 최고속도, 가·감속도 등), 차량의 규격
차량 구성품 시험	차량시스템, 차체/설비, 대차, 제동장치, 추진제어장치, 보조전원장치, 종합제어장치, 신호보안장치, 차량전기장치
완성차 공장시험	완성차 공장시험 계획서·절차서·결과 보고서 등
고무차륜 AGT 차량 시스템 종합시험평가	장치별 성능개선 및 보완

[표 143]차량 성능시험 항목

구분	주요 항목
구성품 시험	구조체 하중시험, 대차시험, 추진·제어장치 시험, 보조전원장치 시험, 신호·보안장치 시험, 종합제어장치 시험
완성차 시험	차체 외관구조 검사, 차량의 규격 및 성능 측정, 차체 누수시험, 차체 리프팅 시험, 추진제어장치 시험, 신호·보안장치 시험, 종합제어장치 시험
본선 시운전	역행시험, 가·감속도 시험, 제동시험, 최고속도 시험, 집전시험, 유도장애 시험, 보호장치동작확인 시험, 소음 및 진동시험, 승차감 및 주행저항 시험, 지상설비 연계동작시험, 주요기기 온도 및 상태시험

(2) 성능시험기준 관련 국외 사례 조사

o 미국 도시철도 차량의 성능에 영향을 주는 설비를 대상으로 한 유지보수 검사항목

- 집전장치 : 제3궤도 집전, 판타그라프 집전 등
- 냉난방 및 환기 장치 : 컴프레서, 모터, 팬, 필터, 콘덴서, 증발코일 등
- 도어 시스템 : 전기적 장치, 기계적 장치, 공기식 장치, 도어 판넬, 서스펜션 등
- 연결 장치 : 비상시 해체 볼트, 충격 흡수장치, 지지장치, 안전잠금장치, 윤활유, 완충기 등
- 제동 장치 : 브레이크 실린더, 브레이크 디스크, 디스크 브레이크 패드, 트레드, 트레드 브레이크 슈즈 등
- 보조전력 장치 : 축전지, 온도센서, 전해질, 배터리 연결, 배터리 박스 등
- 차량 통신시스템 : 비상시 승객 인터콤, 도어닫힘 경고시스템, 무선통신시스템, 차내 정보표시 등
- 대차 시스템 : 바퀴와 축, 구동장치, 현가장치, 대차 프레임, 대차와 차체 연결부, 승차감 제어 등
- 공기 공급 및 저장 장치, 전기 모터 장치, 차상 신호 시스템 , 추진제어 시스템 등

o 성능시험 기준에 사용된 국내외 규격

시험항목	관련 규격
구조체 시험	• EN 12663 Railway applications - Structural requirements of railway vehicle bodies • UIC 566 OR Loadings of coach bodies and their components • JIS E 7105 Rolling Stock - Test methods of static load for body structures • JIS E 7106 Rolling Stock - General requirements of carbody structures for passenger car
대차 시험	• KS R 9210 철도 차량용 대차 스톡 - 설계 통칙 • UIC 515-4 Passenger rolling stock - Trailer bogies - Running gear - Bogie frame structure strength tests • UIC 615-4 Motive power units - Bogies and running gear - Bogie frame structure strength tests
추진장치 시험	• KS A ISO 3381 음향학 - 철도 차량의 실내 소음 측정 • KS B 6311 송풍기의 시험 및 검사 방법 • KS B 6361 송풍기, 압축기의 소음 레벨 측정 방법 • KS C IEC 60529 외곽의 밀폐 보호등급 구분(IP코드) • KS C IEC 61373 철도 차량 설비의 충격 및 진동 시험 방법 • KS C IEC 61991 철도용 전기 설비 - 전기 위험 방지를 위한 보호 대책

	• KS C IEC 62236-3-2 철도용 전기자기 적합성 - 제3-2부 : 철도차량 - 장치 • KS R 9197 철도 차량의 절연 저항 및 내전압 시험 방법 • EN 50124-2 Railway applications - Insulation coordination - Part 2 : Overvoltages and related protection • IEC 60349-2 Electric traction - Rotating electical machines for rail and road vehicles - Part 2 : electronic converter-fed alternating current motors • IEC 60850 Railway applications - Supply voltages of traction systems • IEC 61287-1 Railway applications - Power convertors installed on board rolling stock - Part 1 : Characteristics and test methods • IEC 61377-1 Railway applications - rolling stock - Part 1 : Combined testing of inverter-fed alternating current motors and their control system
부상장치 시험	• KS C IEC 61000-4-2 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 방법 - 정전기 방전 내구성 • KS C IEC 61000-4-3 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 기술 - 전기 자기 방사 내성 시험 • KS C IEC 61000-4-4 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 기술 - 전기적 빠른 과도 현상 내성 시험 - EMC 기본 규격 • KS C IEC 61000-4-6 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 기술 - 전자기장 전도 내성 시험 - EMC 기본 규격 • KS C IEC 61373 철도 차량 설비의 충격 및 진동 시험 방법 • KS C IEC 60529 외곽의 방진 보호 및 방수 보호 등급(IP코드) • IEC 60068-2-1 Environmental testing - Part 2-1 : Tests - Test A : Cold • IEC 60068-2-2 Environmental testing - Part 2-2 : Tests - Test B : Dry heat • IEC 60068-2-14 Environmental testing - Part 2 : Tests - Test N : Change of temperature • IEC 60068-2-30 Environmental testing - Part 2-30 : Tests - Test Db : Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle) • IEC 60571 Electronic equipment used on rail vehicles
보조전원 장치 시험	• KS A ISO 3381 음향학 - 철도 차량의 실내 소음 측정 • KS B 6311 송풍기의 시험 및 검사 방법 • KS B 6361 송풍기, 압축기의 소음 레벨 측정 방법 • KS C IEC 60076-10 전력용 변압기 - 제10부 : 소음 레벨의 측정 • KS C IEC 60529 외곽의 밀폐 보호등급 구분(IP코드) • KS C IEC 61287-1 철도용 전기 설비 - 철도용 전력 변환 장치 - 제1부 : 특성 및 시험 방법 • KS C IEC 61373 철도 차량 설비의 충격 및 진동 시험 방법 • KS C IEC 61991 철도용 전기 설비 - 전기 위험 방지를 위한 보호 대책

	• KS C IEC 62236-3-2 철도용 전기자기 적합성 - 제3-2부 : 철도차량 - 장치 • KS R 9197 철도 차량의 절연 저항 및 내전압 시험 방법 • EN 50124-2 Railway applications - Insulation coordination - Part 2 : Overvoltages and related protection • IEC 60850 Railway applications - Supply voltages of traction systems • IEC 61287-1 Railway applications - Power convertors installed on board rolling stock - Part 1 : Characteristics and test methods
신호보안 장치 시험	• KS C IEC 61000-4-2 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 방법 - 정전기 방전 내구성 • KS C IEC 61000-4-3 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 기술 - 전기 자기 방사 내성 시험 • KS C IEC 61000-4-4 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 기술 - 전기적 빠른 과도 현상 내성 시험 - EMC 기본 규격 • KS C IEC 61000-4-6 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 기술 - 전자기장 전도 내성 시험 - EMC 기본 규격 • KS C IEC 61373 철도 차량 설비의 충격 및 진동 시험 방법 • KS C IEC 60529 외곽의 방진 보호 및 방수 보호 등급(IP코드) • IEC 60068-2-1 Environmental testing - Part 2-1 : Tests - Test A : Cold • IEC 60068-2-2 Environmental testing - Part 2-2 : Tests - Test B : Dry heat • IEC 60068-2-14 Environmental testing - Part 2 : Tests - Test N : Change of temperature • IEC 60068-2-30 Environmental testing - Part 2-30 : Tests - Test Db : Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle) • IEC 60571 Electronic equipment used on rail vehicles
종합제어 장치시험	• KS C IEC 61000-4-2 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 방법 - 정전기 방전 내구성 • KS C IEC 61000-4-3 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 기술 - 전기 자기 방사 내성 시험 • KS C IEC 61000-4-4 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 기술 - 전기적 빠른 과도 현상 내성 시험 - EMC 기본 규격 • KS C IEC 61000-4-6 전기 자기 적합성(EMC) - 시험 및 측정 기술 - 전자기장 전도 내성 시험 - EMC 기본 규격 • KS C IEC 61373 철도 차량 설비의 충격 및 진동 시험 방법 • KS C IEC 60529 외곽의 방진 보호 및 방수 보호 등급(IP코드) • IEC 60068-2-1 Environmental testing - Part 2-1 : Tests - Test A : • Cold • IEC 60068-2-2 Environmental testing - Part 2-2 : Tests - Test B : Dry heat • IEC 60068-2-14 Environmental testing - Part 2-14 : Tests - Test N : Change of temperature • IEC 60068-2-30 Environmental testing - Part 2-30 : Tests - Test Db : • Damp heat, cyclic (12 h + 12 h cycle) • IEC 60571 Electronic equipment used on rail vehicles

(3) 성능시험 인증기준 관련 요구조건

o 구성품 시험의 구성

- 구조체시험, 대차시험, 추진장치시험, 부상장치시험, 보조전원장치시험, 신호보안장치시험, 종합제어장치시험

o 완성차 시험의 구성

- 외관구조검사 및 측정에 의한 검사, 추진제어장치시험, 신호보안장치시험, 종합제어장치시험, 편성차량의 기능 및 동작측정시험, 모듈 레일추종성능시험

o 본선 시운전의 구성

- 주행시험, 집전시험, 유도장애시험, 보호장치동작 확인시험, 소음, 진동 및 승차감시험, 지상설비와의 연계동작시험, 주요기기 온도 및 상태시험, 차내외 누설자속 측정시험에 의한 비상운행시험, 소비전력 측정시험, 비상주행시 안전 확인 시험

o 구조체시험 하중 기준값 결정

- 기존 도시철도차량 성능시험기준의 항목 구성을 따르되 유럽의 EN 규격과 일본의 JIS 규격에서 공통적으로 요구하는 수평인장하중시험 항목을 추가할 필요가 있음

o 추진장치 시험 관련

- 자기부상열차의 추진장치 시험 항목은 추진제어 인버터, 선형유도전동기, 추진장치 조합시험으로 구분함
- 추진제어 인버터 시험의 경우 철도용 전기 설비에 관한 IEC 규격군 중 전력변환장치의 특성 및 시험 방법을 규정하고 있는 IEC 61287-1의 견인용 변환기 부분의 시험항목들과 호환이 용이하도록 구성할 필요가 있음
- 선형유도 전동기에 관한 시험 항목은 기존 도시철도 성능시험기준의 추진제어장치 시험 중 견인전동기 성능시험 부분을 근간으로 하되, 전기견인 철도차량 및 도로차량용 회전기기 중 컨버터 구동형 교류 전동기의 요구사항에 관한 규격인 IEC 60349-2의 내용을 반영할 필요가 있음
- 추진장치 조합시험의 시험 항목은 시험 항목은 기존 도시철도 성능시험기준의 내용을 근간으로 하되 철도용 전기 설비 중 교류 전동기 및 제어 장치의 조합 시험 방법에 관해 규정하고 있는 IEC 61377-1의 내용을 반영할 필요가 있음
- 진동 및 충격 시험방법의 경우 KS C IEC 61373을 따르는 것이 바람직함

o 보조전원장치 시험 항목

- 자기부상열차의 보조전원장치 시험항목은 철도용 전기 설비에 관한 IEC 규격군 중 전력변환장치의 특성 및 시험 방법을 규정하고 있는 IEC 61287-1의 보조 변화기 부분의 시험항목들과 호환이 용이하도록 구성하는 것이 바람직함

o 신호보안장치 시험 항목

- 자기부상열차의 신호보안장치에 관한 시험 항목은 기존 도시철도 성능시험 기준의 내용을 기본으로 하고 철도차량용 전자기기의 요구사항에 대한 기준인 IEC 60571에 부합하도록 시험항목을 추가 또는 수정할 필요가 있음
- IEC 60571은 철도차량용 기기 중 제어, 조정, 보호, 전원 공급 등을 위하여 철도 차량에 설치된 모든 전자기기류, 차량의 충전 배터리, 전력 전자기기를 제외한 저전압 전원공급 장치 등에 대해 규정하고 있음

(4) 현행 도시철도법과의 연계방안

(가) 정부의 도시철도 분야 법제화 기본방향 준수

o 정부는 도시철도 차량분야에 적용되어 오던 표준규격, 성능시험, 품질인증을 도시철도시설까지 확대 적용하여 도시철도시설의 안전제고, 성능 및 운영효율 향상을 극대화하고자 함

- 선로시설의 경우 궤도 지지와 전동차의 주행안정성 확보를 위해 궤도, 구조물, 노반간의 상호작용에 주안점을 두어 법제화 추진
- 전철전력설비의 경우 선로 구조물 방식에 따라 전력공급의 안전성 확보에 주안점을 두어 법제화 추진
- 신호 및 열차제어설비의 경우 안전성, 유지보수성, 장래확장성 및 지상-차상설비간의 시스템 통합에 주안점을 두어 법제화 추진

[표 144]정부의 도시철도 시설분야 법제화 방향 및 주요 내용

구분	주요 내용
선로시설 성능시험	• 궤도구조시스템의 구조안정성을 평가하기 위한 궤도지지성능시험과 주행안정성 시험기준 규정
전철전력설비 성능시험	• 전철전력설비의 성능을 검증하기 위해 전차선로 집전성능 평가시험, 전철변전소 특성시험, 레일전위 측정시험, 전철변전소 유도장애시험 규정
신호 및 열차제어설비 성능시험	• 무선통신 이용 열차제어시스템에 대해 지상신호·제어 장치에 대한 정상기능 구현 시험과 차상설비와 연계한 안전성 확인 시험 규정

o 정부는 차량표준규격, 건설지침 등 정부차원의 기준 마련을 위한 법제화 추진을 통해 경전철 차량의 안전·성능제고 등 기술발전 지원을 도모함
- 우선적으로는 국내에서 건설 중인 고무차륜 경전철, 철제차륜 경전철, 선형유도전동기 방식 경전철을 대상으로 건설지침, 표준규격 법제화 추진
- 도시철도차량 성능시험기준을 경전철 차량에 까지 확대적용하기 위해 경전철 표준규격 제·개정을 진행 중임
- 최근 도시철도법에서 규정된 도시철도시설 안전·성능시험·품질인증 기준 등을 경전철 시설에 까지 확대 적용하는 방안에 대한 논의가 진행 중임

(나) 도시형 자기부상철도의 기술적 차별성 고려
o 자기부상열차는 기존의 차륜식 열차와 비교할 때 부상/추진 방식에서 큰 차이를 보이기 때문에 이에 대한 충분한 고려 필요
- 자기부상열차는 자석의 힘으로 차량을 지지(부상)하고 가이드웨이 상에서 자기장에 의해서 일정한 갭(gap)을 유지하면서 선형전동기로 추진
- 자기부상열차 하부는 궤도를 감싸는 구조로 되어 있기 때문에 주행로 변경을 위한 분기기 설치 시에는 신속성, 안전성에 대한 고려 필요
o 열차의 차륜 역할을 담당하는 전자석과 레일 역할을 하는 가이드웨이간의 서스펜션 시스템이 적절한 강성과 댐핑을 갖도록 컨트롤 하는 것이 중요
- 자기부상열차의 경우 레일과 차체의 갭이 작기 때문에 주행 중 갭 변동량에 영향을 받으므로, 시설의 강성요건(휨률) 등 고려 필요
- 흡인식자기부상의 경우 액티브 제어에 의해 부상위치를 제어하므로 전자석의 응답속도이상으로 궤도가 빠르게 움직이면 안정된 제어를 할 수 없음
o 자기부상열차는 부상 주행에 따른 분포하중 특성과 비상 착지 시 낙하·활주의 가능성이 있기 때문에 이를 감안한 시설설계가 필요함
- 분포하중으로 취급하기 때문에 거더에서의 응력과 휨이 적으며, 속도에 의한 효과가 적고 하중 변동도 작아 전체 충격계수는 작은 편임
- 주행 중 낙하하면 차체는 착지륜을 이용하여 레일 위를 활주하게 되며, 집중하중이 작용하므로 고려 필요
o 자기부상열차의 전기 공급은 일반적으로 거더의 측면에 power rail 에 의해 이루어지기 때문에 전차선 설치 시 부상 높이에 대한 고려 필요

- 자기부상열차의 부상높이가 항상 균일한 것이 아니기 때문에 집전기와 접촉하기 위해서는 전차선에서 접촉면의 크기 등을 고려해야 함

(다) 현행 법체계와 차량성능시험기준 연계

o 도시형자기부상열차 차량성능시험기준은 도시철도법의 하위 기술법령으로서 도시형 자기부상열차 차량 제작 및 운행을 위해 요구되는 차량 구성요소들의 성능 요구수준을 제시하여, 안전하고 경제적인 차량 제작을 도모해야 함

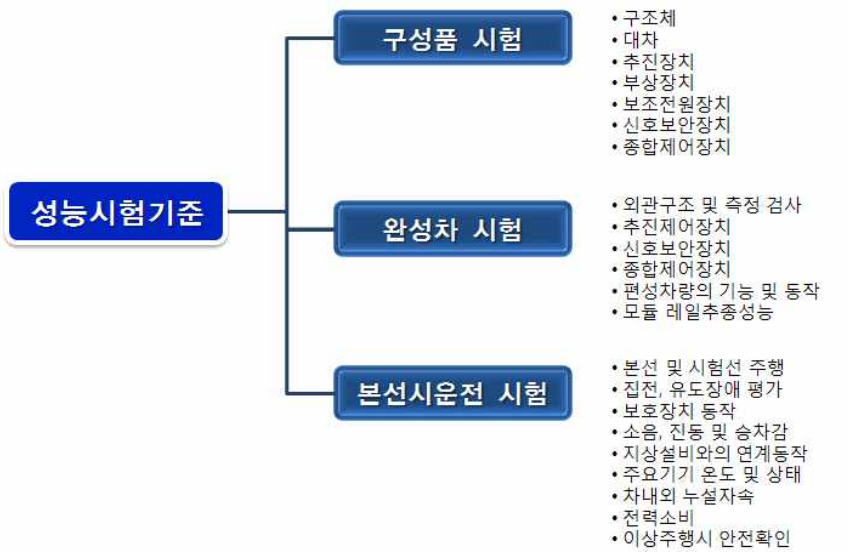
(5) 성능시험기준 법안 개발

(가) 성능시험기준 개발 개요

o 도시교통 수단의 일환인 점을 감안하여 도시철도법의 범주하에서 추진
  - 기존 도시철도 성능시험기준과 같은 구조를 가지도록 함
  - 구성품 시험, 완성차 시험, 본선시운전 시험으로 구성

o 부상/추진장치 등 자기부상열차의 기술적 특징을 반영하여 관련 항목 수정 및 신설

o 최근의 흐름은 각국의 기준들이 국제규격을 따르도록 개정되고 있는 추세
  - 관련 국제규격의 내용에 부합하도록 시험항목 및 내용 수정



[그림 230]성능시험기준의 구성 및 세부시험 항목

(나) 구성품 시험

o 자기부상열차 차량을 구성하는 주요 구성품의 성능 확인을 위한 시험

- 구조체 시험
- 대차 시험
- 추진장치 시험
- 부상장치 시험
- 보조전원장치 시험
- 신호보안장치 시험
- 종합제어장치 시험



[그림 231]구성품 시험의 구성

o 차체 및 대차 구조 변경에 따른 시험항목 신설 및 수정

- 구조체 정적하중 시험 세부항목 및 지지방법 변경
- 대차 구조 변경으로 인한 세부항목 신설/삭제

o 자기부상열차의 기술적 특성에 따른 시험항목 신설 및 수정

- 부상장치 시험의 부상전자석 및 마그넷드라이버 관련 시험 항목 신설
- 추진장치 시험의 선형유도전동기 관련 시험 항목 신설
- 추진장치 시험의 추진제어 인버터 시험항목 수정

o 최근의 국제규격의 내용에 부합하도록 관련 시험내용 수정

- 구조체 시험 - EN 12663(2000)
- 추진장치 시험 - IEC 61287-1(2005), IEC 60349-2(2002), IEC 61377-1(2006)
- 보조전원장치 시험 - IEC 61287-1(2005)
- 부상장치, 신호보안장치, 종합제어장치 - IEC 60571(2006)

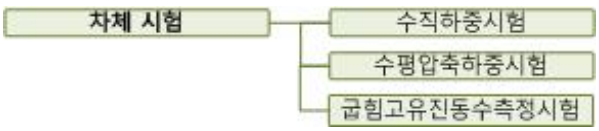
o 참조 규격 수정

- 구조체시험 : JIS E 7105 → EN 12663
- 진동 및 충격 시험 : KS R 9144, R 9146 → IEC 61373
- 방수 시험 : KS C 0904 → IEC 60529
- 냉각 시험(저온 시험) : KS C 0220 → IEC 60068-2-1
- 냉각 시험(저온 시험) : KS C 0221 → IEC 60068-2-2
- 건열 시험(고온 시험) : KS C 0227 → IEC 60068-2-30
- 온도사이클링 시험 : KS C 0225 → IEC 60068-2-14
- 정전기방전 시험 : KS C 0263 → IEC 61000-4-2
- 과도버스트 대자율 시험 : KS C 0265 → IEC 61000-4-4
- 무선주파수 간섭 시험 : KS C 0267, C 0264 → IEC 61000-4-6, 61000-4-3
- 소음 시험 : IEC 551 → IEC 60076-10, ISO 3381

(다) 구성품 시험 수정·보완

도시형 자기부상열차 성능시험기준은 구성품시험, 완성차시험, 본선시운전시험으로 구성되며 3차년도에는 이 중 구성품시험에 대하여 관련 과제와의 협의를 거쳐 확정을 지었다. 구성품시험은 차체시험, 대차시험, 추진장치시험, 부상장치시험, 보조전원장치시험, 신호보안장치시험, 종합제어장치시험으로 구성된다.

1) 차체시험 주요사항



[그림 232]차체시험 항목

o 차체 지지점 변화로 인한 수정사항

- 차제 구조가 16개의 공기스프링에 얹혀진 10개의 슬라이딩테이블로 지지되는 형식
- 기존의 2점지지 방식 도시철도 차량에서 시행하였던 비틀림시험과 3점지지시험을 제외하는 것이 타당함

o 경량화 차체 사용으로 인한 수정사항

- 수평압축하중시험의 시험하중을 400kN으로 조정(EN 12663의 P-IV등급 -heavy duty tramway vehicle에 따름)
- EN 12663의 P-V등급-tramway vehicle의 경우 수평압축하중으로 200kN을 적용
- 국내 도시철도차량 성능시험기준은 490kN, 경전철개정안은 345~490kN을 적용

2) 대차시험 주요사항



[그림 233]대차시험 항목

o 대차구조 변화로 인한 대차프레임하중시험 항목 변경

- 좌우 모듈이 링크구조로 연결되므로 비틀림하중시험 삭제 타당
- 구동장치, 댐퍼, 안티롤바, 안내륜이 없으므로 관련 항목 삭제
- 부상전자석의 부상실패시에 대한 낙하하중시험 및 흡착하중시험 신설

o 주행모의시험대를 사용하는 동적특성시험 삭제

- 기존의 차륜방식대차의 주행을 모의하는 주행모의시험대 방식을 자기부상열차 대차에서는 사용할 수 없고 비슷한 현상을 시험실내에서 모사하기 어려움

o 대차높이측정시험시 차륜의 부재로 인한 변경사항

- 대차프레임과 부상전자석의 연결위치에 지그를 제작하여 고정하는 방식으로 시험

3) 추진장치시험 주요사항



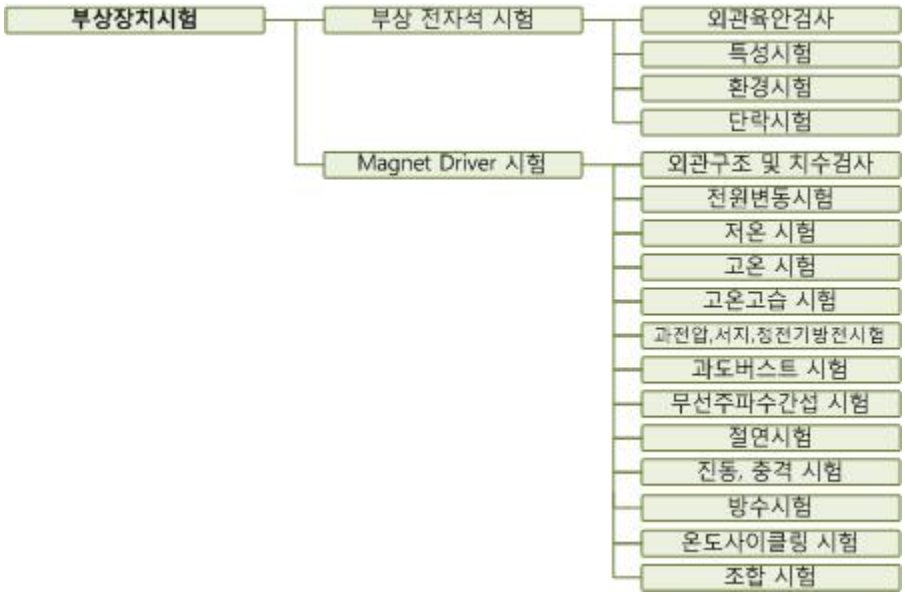
[그림 234]추진장치시험 항목

o 대차단위 시험이 불가능한 시험항목을 완성차시험으로 이동
  - 추진제어장치조합시험 이동
  - 온도상승시험, 효율시험은 부하조건을 만들 수 없으므로 이동
  - 과전압/과도에너지시험, 단시간공급장애시험은 모터를 구동할 수 없으므로 이동

o 선형유도전동기 특성에 따라 시험내용 변경
  - 온도상승시험의 측정항목 및 시험방법 변경
  - 특성시험의 무부하조건 삭제, 구속조건 수정
  - 방수시험의 방수등급을 IPx5(물분사에대한보호)로 함

o 참조규격 변경
  - 추진제어인버터 시험 : IEC 61287-1 (2005)
  - 선형유도전동기 시험 : IEC 60349-2 (2003)
  - 진동 및 충격시험 : KS R 9144, KS R 9146 → KS C IEC 61373
  - 방수시험 : KS C 0904 → KS C IEC 60529

4) 부상장치시험 주요사항



[그림 235]부상장치시험 항목

o 부상전자석의 특성 및 환경시험, 마그넷드라이버의 신뢰성시험으로 구성

o 방수시험의 방수등급을 장치설치 위치에 따라 결정

- 부상전자석(궤도의 수분 및 습기침투 가능) : IPx5 등급(물분사에 대한 보호)
- 마그넷드라이버(차체 하부에 설치) : IPx4 등급(물튀김에 대한 보호)

o 참조규격

- 마그넷드라이버 시험 : IEC 60571 (2006)
- 진동 및 충격시험 : KS R 9144, KS R 9146 → KS C IEC 61373
- 방수시험 : KS C 0904 → KS C IEC 60529

5) 보조전원장치시험 주요사항

o 보조전원장치가 도시철도 장치와 달리 SIV, battery charger, HF DC-DC convertor의 multiple output을 가지므로 각각의 output에 대하여 별도 시험을 수행



[그림 236]보조전원장치시험 항목

o 공급과전압과 과도에너지 시험 수정

- 기존의 도시철도성능시험기준에서 참조하였던 IEC 61287-1의 내용이 개정됨
- 공급과전압과 과도에너지 시험의 입력 파형을 개정된 내용에 따라 IEC 60850과 EN 50124에 의하는 것으로 변경

o 차체하부에 설치되므로, 방수시험의 방수등급을 IPx4 등급(물 튀김에 대한 보호)로 함

o 공랭식 냉각방식이므로 냉매에 대한 누설시험을 삭제

o 시험항목명은 기존 도시철도성능시험기준을 최대한 따르되, IEC 61287-1 (2005)의 시험항목을 포함하도록 함

6) 신호보안장치시험 주요사항

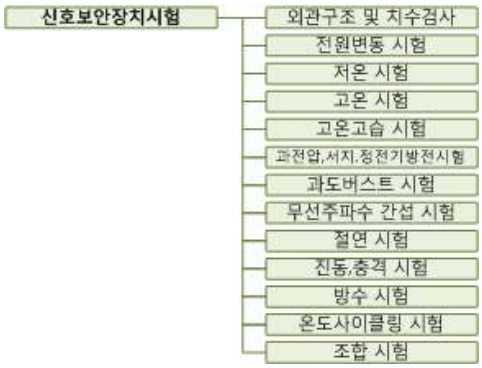
o 기존 도시철도성능시험기준의 내용을 기본으로 하고 철도차량용 전자기기의 요구사항에 대한 기준인 IEC 60571 (2006)에 부합하도록 함

o 차체내부에 설치되어 빗물 등에 직접 접촉이 없으므로 방수시험시 IPx3 (물 분무에 대한 보호) 등급 적용

o 참조규격

- 정전기방전시험 : KS C 0263 → KS C IEC 61000-4-2
- 과도버스트시험 : KS C 0265 → KS C IEC 61000-4-4

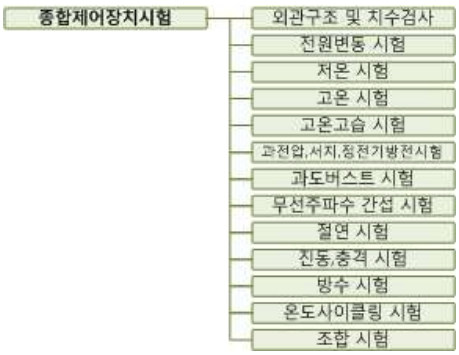
- 무선주파수간섭시험 : KS C 0267 → KS C IEC 61000-4-6
- 진동/충격시험 : KS C 0264 → KS C IEC 61000-4-3



[그림 237]신호보안장치시험 항목

7) 종합제어장치시험의 주요사항

o 신호보안장치와 동일한 항목 구성



[그림 238]종합제어장치시험 항목

(라) 완성차 시험

o 구성품들을 조립한 완성차량의 공장내 시험에 관하여 규정, 구성부품 조합 시의 자기부상열차 차량의 전체적인 성능 평가

- 외관구조 검사 및 측정에 의한 검사
- 추진제어장치 시험
- 신호보안장치 시험
- 종합제어장치 시험
- 편성차량의 기능 및 동작 측정시험
- 모듈 레일추종성능 시험



[그림 239]완성차 시험의 구성

o 차체구조 및 집전방식 변경에 따른 시험항목 수정

- 차체리프팅 시험 및 중량측정시험 방법 수정
- 집전장치 관련 시험함목 수정 및 삭제

o 대차구조 변경에 따른 시험항목 신설

- 대차모듈의 레일추종성능 시험
- 레일추종 및 단차통과 시험 신설

o 최근의 국제규격의 내용에 부합하도록 시험구성 및 내용 보완

- 완성차 시험 항목 - IEC 61133(2006)의 8. static tests

(마) 본선시운전 시험

o 완성차 시험을 마친 자기부상열차 차량의 주행 성능, 지상 신호장치와의 연계, 소음/진동/승차감/전자기파 등 환경에 대한 영향, 이상 주행시 안전성 보장 등에 대하여 본선(또는 시험선)에서 종합적인 성능 평가

- 주행 시험
- 집전 시험
- 유도장애 시험
- 보호장치동작 확인시험
- 소음, 진동 및 승차감 시험
- 지상설비와의 연계동작 시험
- 주요기기 온도 및 상태 시험
- 차내외 누설자속 측정
- 전력소비 측정 시험
- 이상 주행시 안전확인 시험



[그림 240]본선시운전 시험의 구성

o 부상전자석 및 선형유도전동기로 인한 전자기적 영향 시험 신설

- 차내외 누설자속 측정 시험
- 착지시, 부상시 및 주행시 측정

o 부상장치의 이상시에 대한 안전 확인 시험 신설

- 집전장치를 통한 외부전력 공급 차단시 차량 내부 축전지에 의한 일정 시간 비상운행 능력 시험
- 착지륜에 의한 비상착지 시험
- 부상장치 제어기능 이상시 모듈의 흡착 상황에 대한 안전 확인

o 최근의 국제규격의 내용에 부합하도록 시험구성 및 내용 보완

- 본선시운전 시험 항목 - IEC 61133(2006)의 9. dynamic tests

(바) 성능시험기준 법안

마. 도시형 자기부상열차 및 시설 표준규격 법안 개발

(1) 표준규격 관련 국내 사례 조사

o 도시철도는「도시철도 시설표준규격」,「도시철도 차량표준규격」에서 규정

- 근거법령 : 도시철도법
- 도시철도 시설표준규격 적용대상: 선로시설, 전철전력설비, 신호열차제어설비
- 도시철도 차량표준규격 적용대상: 대형·중형 전동차, 고무차륜 경전철, 철제 차륜 경전철
- 직류전원을 공급받아 선형유도전동기(LIM : Linear Induction Motor)로 구동되는 무인운전 철제차륜 방식 경전철 차량에 대한 표준규격 제정 진행 중

[표 145]도시철도 시설/차량표준 규격 주요 내용

구분	세부 분류	주요 항목
도시철도 시설	선로시설	- 건설규칙에 따른 선로선형 설계요소 - 선로경합 등에 관한 요구사항 - 선로주변 소음•진동 대책 수립 - 구조물 설계요소 - 구조물간의 인터페이스 검토사항
	전철전력설비	- 전력설비 시스템 및 구성품의 기능 및 성능규격 - 전력공급조건 - 전력설비 관련 구성 및 보호 방식 등
	신호열차제어설비	- 신호•열차제어설비의 안전성 - 유지보수성 확보를 위한 기준 등
도시철도 차량	전동차	- 전동차 성능규격 - 전동차 주요 구성요소 규격 - 차체, 대차, 전기장치, 공기브레이크 등
	고무차륜 경전철	- 자동안내궤도용 고무차륜형식 대차를 갖는 직류 경전철 차량 대상 - 차량시스템 및 주요 구성품의 기능과 기술규격에 대하여 규정
	철제차륜 경전철 (개정 진행 중)	- 표준궤 선로용 철제차륜형식 대차를 갖는 연절형 직류 무인운전 경전철 차량 대상 - 차량시스템 및 주요 구성품의 기능과 기술규격에 대하여 규정

o 일반철도는「철도표준규격관리 시행지침」에서 규정

- 근거법령 : 철도안전법

- 주요 내용 : 철도 용품 및 철도에서 전용하는 제품 등의 표준

[표 146]철도 용품의 분류

구분	대분류	중분류	분류기호
철도용품	철도시설용품	토목용품	CV
		궤도용품	TR
		건축용품	AC
		전철전력용품	PW
		신호용품	SG
		통신용품	CM
	철도차량 용품	차체설비용품	CB
		주행장치용품	RN
		제동장치용품	BR
		추진장치용품	PR
		보조전원장치용품	AP
		차상신호장치용품	CS
		운전자보안장치용품	OS
		종합제어장치용품	CC
		연결장치용품	CP
		기타 장치용품	EQ

(2) 표준규격 관련 국외 사례 조사

o 일본 신교통수단 표준규격 연구에서는 표준화 기본사양 항목은 최소한으로 설정

- 신호 및 통신방식은 기술혁신이 가장 많이 예상되는 항목이므로, 사양을 통일하기는 어렵고 장래 기술개발을 저해할 우려도 있음. 그러나 차량, 궤도 설계 시 설비 설치 공간 확보에 대한 규정 필요

[표 147]일본 AGT 경전철 시설분야 표준규격 항목

① 방식	② 차량	③ 궤도
1. 안내방식	1. 차량한계	1. 건축한계
2. 분기방식	2. 만차중량	2. 안내면 치수
3. 전기방식		3. 승강장 높이

[표 148]일본 AGT 경전철 건축한계 표준규격 설정 시 고려 항목

항목			
수평방향 이격거리	차체 횡방향 변위	① 실내장치 조정공차	② 안내륜 마모량
		③ 안내륜 횡이동량	④ 안내벽 장착공차
	차체기울기	⑤ 주행륜 펑크(주행중)	⑥ 주행륜 좌우 직경 차
		⑦ 주행면 공차	⑧ 주행륜 롤링 진동
		⑨ 공기스프링 이상	⑩ 공시스프링 롤링 진동
	⑪ 차단에서의 변위 증대량		
	⑫ 대차에 대한 차체 횡 움직임에 따른 변위 증가		
	①~⑫의 합계		
	여유		
수평방향이격거리 ⇨ 건축한계(폭)			
수직방향이격거리 건축한계(높이)			

[표 149]일본 AGT 경전철 안내면 치수 표준규격 설정 시 고려 항목

항목		항목	
부품 등의 치수	① 트레드×1/2 ② 주행륜 폭×1/2 ③ 분기용 안내판 두께 ④ 분기륜 직경 ⑤ 분기륜 좌우간격	부품 등 치수	⑩ 분기용 안내판 높이
변위	⑥ 안내륜과 주행륜의 편기 ⑦ 안내장치스토퍼까지의 변위 ⑧ 주행륜타각변위 ⑨ 주행륜 휨 마모	안내륜의 상하방향 변위량	⑪ 주행륜 펑크 ⑫ 타이어 펑크 시 경사에 의한 증대량 ⑬ 안내륜 장착공차 등 ⑭ 주행면 공차 등 ⑮ 경사에 따른 증대량 ⑯ 주행륜 롤링 진동
궤도 중심으로부터의 필요거리 (①~⑨의 합계)		변위량 합계	
좌우안내면간격 : 필요거리 × 2		안내면 장착공차	
		안내면 상하방향 폭	
		상단높이	
		하단높이	

o 영국의 철도 표준규격

- 철도안전・표준화 협회에서는 일반철도 시스템을 선로시설, 차량, 플랜트, 신호・제어, 전력, 열차운영으로 구분하여 안전과 표준규격에 관한 요구조건을 제시
- 일반철도 시설은 국가소유이나, 시설이용은 다양한 운영회사들이 하므로 철도안전・표준규격에 주안점

[표 150]선로시설 표준규격 항목

구분	주요 항목

궤도시스템 요구조건	- 궤도기하구조 : 평면선형, 종단선형, 궤간 등 - 궤도시스템과 구성요소들 : 궤도시스템 성능 특성, 레일, 레일체결부 등 - 분기 관련 : 분기지점 선정, 분기지점에서 궤도간격, 분기기 선택 등
종점지역 궤도 요구조건	차막이 설치, 완충 벽 설치, 터널구간 과주행 여유궤도 등
교량설계 요구조건	- 교량을 이용하는 하중의 종류 및 영향 - 철도교량의 유형 및 하중 조건
건축한계 요구조건	- 건축한계 계산 : 계산방법, 정밀도, 궤도 허용한계, 맞바람 보정 등 - 궤도와 구조물의 상대적 위치 결정 - 궤도와 구조물의 상대적 위치에 대한 모니터링과 유지 - 하부시설물의 요구조건 : 최소 상부 건축한계, 하부 구조물 간격 등 - 예외 하중의 통과를 위한 간격 조건, 표준차량의 간격 등
정거장 시설 관련 표준화	- 정거장 승강장 : 승강장 처리 용량, 궤도유지보수 등 - 구조물, 건물 및 승강장 비품 : 승강장의 머리 위 공간, 정거장 지붕과 승강장 캐노피, 전기시설 건축한계, 신호 가인선 유지 등 - 진출입 : 진출입구 설계, 비상 대피, 차량 접근 등 - 에스컬레이터 및 승객 이동시설 : 설계 일반 요구조건, 기술적 요구조건, 화재 요구조건 등 - 조명 : 승강장 조명설계, 승강장 진출입구 조명 제공, 비상탈출구 및 경로 조명 등 - 승강장 표지 : 표지의 일반적 요구조건, 승객정보 표지, 승객 및 직원 경고표지, 정거장에서 차량교통을 위한 표지 등 - 서비스시설 : 서비스 시설의 위치·보호, 승강장 내 서비스 시설의 특별 요구조건, 모든 서비스시설의 요구조건 - 화재 주의 : 자재의 화재안전, 화재보호장치 등 - 정거장 무단 진입 제한 설계 : 승강장 종단부 설계, 교량 위 승강장 설계, 가공전차선 위에 입지한 승강장 설계 등 - 승객 보안설비
정거장 승강장, 궤도 및 열차간의 인터페이스	- 신규 승강장의 위치 : 정거장 승강장을 경유하는 평면 및 종단 궤도선형 - 인접 궤도에 대한 표준 승강장의 위치 : 승강장의 높이, 승강장의 간격, 표준 승강장에 대한 차량 발판 등

	- 승강장 유효장 : 승강장 유효장의 일반 조건 및 운영상의 예외, 기존 승강장 유효장 연장, 차량 정차 위치를 위한 표지 - 승강장 상의 건물, 구조물 등의 위치 - 승강장의 유효 폭, 승강장의 최소 머리 위 공간 - 통과차량의 공기역학 효과로부터 승객 보호 - 승강장의 조명 : 조명시설 공급 요구조건, 수평 조도, 수직판 조도 등 - 승객 승하차 안전을 위한 요구조건 - 정거장에서 태양광 지역과 인공 조명지역간의 전이
기타	- 차량하중과 교량간의 인터페이스 - 터널구간 안전을 위한 조명시설 요구조건 - 선로하부시설과 차량 간의 전자기적 호환 등

- 신호 통신 설비관련 표준규격 내용
  - 열차보호 및 경고시스템 요구조건
  - Cab 신호 시스템 안전 요구조건
  - 자동경고시스템
  - 신호 위치 및 시인성 확보 조건
  - 승강장에서 열차 발송을 위한 기술적 요구조건
  - 선로변 신호시스템의 고장 발생 시 사용을 위한 제어 시설
  - 음성 및 메시지 전달을 위한 열차 무선통신 시스템
  - 신호와 안전을 연계한 통신 전력설비 및 회로
  - 선로변 신호, 표지의 유형 및 관련 장치, 신호기 간격
  - 열차 검지를 위한 시스템의 일반적 요구조건 등
  - 신호제어센터의 기능적·성능적 요구조건, 장치공급 등
  - 허용 속도와 속도 제한에 대한 표시
  - 신호 및 운영통신 장치의 설치, 고장 시의 안전 관리

- 전기설비 관련 표준규격 내용
  - 전기시스템 검사 및 타 시스템과의 상호작용
  - 전기차량과 전기 시스템간의 호환
  - 직류 누전 효과 완화
  - 철도 주변 지역 전자기적 영향
  - 저전압 전기설비

- 하부시설의 차량 유지를 위한 자가 전력공급 시스템

(3) 표준규격 개발 요구사항 조사

(가) 선로시설 표준규격 관련 요구사항

o 표준규격은 도시형 자기부상철도 건설· 운영 과정에서 요구되는 선로시설 구성요소들에 대한 설계 및 성능 요구사항을 포함하는 기술규격을 제시하여, 안전하고 경제적인 선로시설을 구축하는데 목적을 두어야 함

o 표준규격은「도시형자기부상철도 건설규칙」에 의하여 건설되는 궤도, 정거장, 차량기지, 통합관제실, 구조물 및 안전설비를 대상으로 하며, 교량 상부구조를 포함하는 것이 요구됨

[표 151]도시형 자기부상철도 건설규칙 구성

구분	주요 항목
총칙	목적, 정의, 범위
선로 및 구조물	선로, 궤도, 분기, 구조물
정거장, 차량기지, 통합관제실	정거장, 차량기지, 통합관제실
일반설비	전기설비, 환기・배수・통신설비, 신호・보안설비
안전설비	선로의 표지, 안전설비, 방화・방재설비, 내진설계

o 표준규격에서 제시하는 기준은 권장 표준치로 사용하는 것을 원칙으로 하되, 도시형 자기부상철도 건설 및 안전과 관련된 법령에서 규정한 구체적 기준 등은 예외로 함.

[표 152]도시형 자기부상철도 건설규칙 중 지방자치단체장 결정 위임항목

구분	주요 항목
궤도	궤간, 선로의 공차, 선로의 곡선반경, 켄트각도, 정거장 안의 본선 기울기 한도, 궤도중심 간격, 레일의 형태와 구조, 침목의 형상 및 설치간격
구조물	건축한계, 구조물 설치 높이 및 깊이 기준
정거장	정거장간의 거리, 승강장 너비의 축소, 승강장 유효길이, 통로의 폭

o 표준규격은 다음의 항목들로 구성함

- 차량 운행조건 : 대상차량, 설계속도 및 하중
- 선로 시설 공통요구조건 : 선로 선형 설계기준, 정거장 설계기준, 차량기지 설계기준, 선로설비 등
- 선로 시설 구성요소별 요구조건 : 궤도, 교량 등
- 시스템간의 인터페이스 요구조건 : 차량과 선로시설, 신호와 선로시설, 전철전력설비와 선로시설

[표 153]도시형자기부상철도 선로시설 선형설계 관련 표준규격 요구조건

구분	요구조건
궤간	• 궤간은 선로시설 규모와 수송수요 규모 등을 참고하여 사업주체가 결정하는 것이 바람직함. 다만, 이 표준규격에서는 표준차량의 좌·우 부상용 전자석의 중심간 거리인 1,850mm를 궤간의 표준 권장치로 제시할 필요가 있음 • 궤간의 크기는 차량 폭에 영향을 받는데, 차량의 폭은 차내 쾌적성과 연관이 되기 때문에 궤간 결정 시에는 이들 요소를 고려해야 함.
선로의 공차	• 선로의 허용공차는 궤도공사 마감을 기준으로 한 기준을 권장 표준치로 하며, 궤도정비를 기준으로 할 때는 예외적 표준치로 설정할 필요가 있음
수평곡선	• 본선의 곡선은 되도록 반경이 큰 곡선을 사용하는 것이 바람직하나, 제약조건이 엄격한 도시지역에서는 설치할 수 있는 곡선반경에는 한계가 있으므로 대략 속도 40km/h 이상은 확보할 수 있도록 곡선반경을 설정하는 것이 바람직함 • 본선구간 예외적 표준치는 선로 설치지역의 지형적 제약조건을 감안한 한계 값의 의미를 갖기 때문에 표준차량이 통과 가능한 최소곡선 반경과 20%의 여유율을 추가 적용하여 최소 곡선반경의 한계 값을 설정하는 것이 요구됨 • 예외적 표준치에 해당되는 곡선반경을 적용하여 설계할 경우는 선형의 균형을 충분히 고려하여 개략적인 운행계획을 사전에 검토한 후 시스템의 기능을 저하시키지 않도록 충

	분히 주의할 필요가 있음 • 지형적 조건 등으로 인해 정거장 구간에서 부득이 하게 곡선반경을 줄여할 경우, 도시형 자기부상열차는 열차 1편성 길이가 짧고, 플랫폼 및 궤도간의 안정적인 인터페이스를 확보해야 하기 때문에 최소한 전동차 전용철도에 준하는 최소곡선 반경은 확보해야 함
종단곡선	• 선로 기울기는 노선을 이용하는 차량의 제동 및 추진 성능, 차량운행과 관련된 신호기의 위치 및 운영방식을 고려해야 하며, 반경이 작은 수평곡선 구간에서 기울기가 동시에 발생할 경우에는 기울기와 수평곡률의 결합에 따른 영향을 반영해야 함 • 도시형자기부상열차 표준차량의 등판능력은 70‰이기 때문에 본선 일반구간의 최대 기울기는 60‰로 규정하는 것이 바람직하며, 곡선 선로에서의 기울기 감소분을 별도로 반영하지 않아도 됨 • 도시형 자기부상열차는 1편성 차량길이가 작으며, 무인 운전 시스템 도입에 따라 차량, 궤도, 승강장 간의 인터페이스가 요구되기 때문에 전동차에 비해 기울기를 작게 하는 것이 필요함.
건축한계	• 건축한계는 차량에 발생하는 안내 스키드의 좌우변위, 착지에 의한 아래쪽 변위, 궤도 이상에 의한 차량변위, 공기스프링의 이상에 의한 차체의 경사 및 변위 등을 고려해서 결정해야 함
궤도중심 간격	• 궤도중심 간격을 결정할 때에는 차량한계 및 차량의 좌우측면에 대한 건축한계, 인접한 궤도 사이에 설치되는 설비시설 관련 필요 공간 및 건설·유지 과정에서 발생하는 허용 오차, 승객이 차량 창문을 열어 내민 신체와 반대편 차량과의 접촉 위험 방지 등을 고려해야 함 • 자기부상열차의 경우는 부상력 특성, 안내력 특성, 해당 궤도를 주행하는 차량의 속도 등을 추가로 고려하여 정해야 함

구조물 위치	• 도로면으로부터 지하구조물 윗면까지의 깊이는 도로면을 운행하는 차량의 하중에 의한 진동 등의 영향을 받지 않도록 해야 함 • 도로면으로부터 고가구조물 밑면까지의 높이는 도로면을 운행하는 차량들이 구가 구조물과 상충이 발생하지 않도록 하기 위한 건축한계이므로 교량 하부의 교차조건에 필요한 공간과 유지관리에 필요한 공간을 감안하여 설정해야 함. 다만, 대형 화물차량 등 차량 적재 높이에 제한을 둔 도로의 경우에는 관계기관과 협의하여 조정할 수 있도록 예외조항을 추가할 필요가 있음

[표 154]도시형자기부상철도 궤도 관련 표준규격 요구조건

구분	요구조건
궤도 구조	• 자기부상열차 주행 및 부상 안정성, 차량-궤도-구조물간 상호작용에 의한 궤도 안정성, 구조물이 받는 하중, 온도변화 등에 대응할 수 있도록 규격을 작성해야 함. • 열차주행과 부상 안정성 확보를 위하여 구조물 및 부재의 강도, 변형, 내구성 등을 감안해야 함. • 궤도구조는 열차의 주행으로 인해 발생하는 하중을 확실하게 하부구조에 전달하고 지진·바람 등에 안전하도록 설계기준을 작성해야 함 • 원활한 자기부상시스템 운영을 위하여 타 분야와의 인터페이스를 고려해야 함
설계하중	• 열차하중은 1궤도당 모듈 전장에 대해 작용하는 등분포하중으로 적용하는 것이 바람직함 • 착지륜 1대차가 부상력을 잃고 낙하한 상태에서 레일 한쪽에 2개의 착지륜이 작용하는 하중, 착지륜 1대차가 한쪽 부상력을 잃고 낙하한 상태에서 레일 한쪽에 1개의 착지륜이 작용하는 하중, 차량 전체 대차에서 부상 이상이 발생하여 차량이 전체 착지륜에 의해 활주하는 경우 레일면에 작용하는 하중

	등을 반영해야 함
궤도지지방식	• 교량 위에 설치되는 궤도의 경우 교량상부의 거더와 체결하거나 또는 거더 위에 설치한 바닥판과 체결하여 지지하는 것을 표준으로 하되, 정거장 또는 분기기 설치구간은 차별화 할 필요가 있음 • 일본 동부구릉선은 거더 위에 상부 슬라브를 놓고 주행 지지대를 설치하는 방안으로써, 안전에는 유리하나 과다한 비용이 발생하며 미관이 훼손되어 경전철로서의 효과가 반감될 수 있음을 감안해야 함
궤도 구성요소 (부상레일)	• 부상레일은 차량 측 마그네트의 자기회로를 형성하여 필요한 부상력을 얻을 수 있도록, 투자율이 높아야 함. • 부상레일은 차량 측 선형모터의 2차 도체가 되어 필요한 추진력을 얻을 수 있도록 전기 전도성이 우수해야 함. • 부상레일은 차량이 착지할 때 차체를 지지하는 마찰판 기능과 미끄럼을 지원할 수 있도록 높은 강도를 지니어야 하며, 부식과 마모가 작아야 함
궤도 구성요소 (추진도체판)	• 추진도체판은 차량의 선형유도전동기에서 발생하는 와류에 대한 반발력을 발생시키므로 전기저항이 작아야 한다. • 추진도체판은 부상레일 윗면에 위치하기 때문에 부상레일과의 열팽창계수의 차이에 의한 열응력 강도를 확보해야 한다.
궤도 구성요소 (침목)	• 침목은 레일에 가해지는 하중을 주행 지지대로 분산시키는 기능을 수행하므로, 내충격성 및 완충성이 있어야 함. • 침목은 레일을 체결하여 레일의 위치를 정하고, 궤간을 유지하는 기능을 수행하므로 종·횡 방향 이동에 대한 저항이 커야 함 • 침목은 전기절연성이 양호해야 함. • 침목은 궤도를 이용한 비상 대피가 이루어질 경우 보행에 지장을 주지 않아야 함
궤도 구성요소 (부상레일과	• 부상레일과 침목을 체결하는 장치는 궤간을 유지하고, 차량 주행 시 궤도에 부하되는 하중, 진동 등을 하부구조로 분산 또는 완충하여 전달하는 기능을 가져야 함

침목 체결장치)	• 레일체결장치는 교체가 용이하고, 유지관리 시 쉽게 선형을 복구할 수 있도록 설계되어야 하고, 시공 후에도 수평 및 수직방향으로 충분한 조정여유를 확보해야 함. • 레일체결장치는 레일과 지지물 사이를 전기적으로 절연시킬 수 있도록 전기절연 성능을 갖도록 해야 함.
궤도 구성요소 (부상레일과 추진도체판 체결장치)	• 부상레일과 추진도체판 체결 장치는 부상/추진레일 간의 상호작용 및 열팽창에 의한 파손을 최소화하도록 해야 함
궤도 구성요소 (안내레일 유간 조정장치)	• 교량의 거더와 안내레일의 신축차 흡수를 위해 교량 신축 이음부 구간에 레일 유간 조정 장치를 설치하여야 함. • 안내레일 유간은 온도변화에 의한 교량 거더의 신축 및 안내레일 신축, 차량통과에 따른 변형, 콘크리트 거더의 크리프 및 건조수축의 영향을 고려하여 설정하여야 함. • 자기부상열차의 승차감 및 운행 안정성 확보, 차량 측 제약을 고려하여 안내레일의 유간은 50mm 이하로 해야 함. • 교량의 연속화로 거더의 신축량이 50mm 이상일 경우는 여러 개의 안내레일 유간을 적절하게 분산 배치한 레일 유간 조정장치를 설치하여야 함.

[표 155]도시형자기부상철도 분기기 관련 표준규격 요구조건

구분	요구조건
분기기 설치기준	• 분기기는 수평곡선 및 종곡선 안에 설치해서는 안 됨. • 분기기와 곡선(수평 및 종곡선)간에는 충분한 이격거리를 확보해야 함 • 분기기는 기울기가 없는 선로에 설치하는 것을 원칙으로 하며, 중력에 의하여 열차가 자동적으로 미끄러지지 않는 기울기의 최대값을 예외적 표준치로 규정해야 함 • 분기기간에는 일정 거리 이상을 이격시켜야 함
분기기 기능 및 성능요구조건	• 분기기는 하나의 궤도를 둘 이상의 궤도로 나누는 기능을 수행하므로, 잠금장치 해제, 이동, 잠금장치 체결로 이루어진 일련의 작동이 25초 이내에 완료되는 것을 표준으로 해야

	함 • 분기기는 기계장치가 많이 부착되므로 추후 발생할 유지보수를 고려하여 유지보수가 용이한 구조로 설계해야 함 • 분기기는 거더 전체를 한 몸체로 하여 분기시키기 때문에 충분한 구동능력을 확보해야 함

(나) 차량 표준규격 관련 요구사항

o 표준규격은 1500 V DC 전원을 공급받아 각각 전자석과 선형유도전동기를

표 도시형자기부상철도 정거장, 차량기지 관련 표준규격 요구조건

구분	요구조건
정거장	• 정거장의 일반설비에 대한 표준규격은「도시철도 정거장 및 환승·편의시설 보완 설계 지침」 또는 「교통약자 이동편의 증진법」에서 규정하는 사항을 수용하는 것이 바람직함 • 정거장에서 화재가 발생할 경우 이를 감지하여, 조기에 소화를 실시하고 이용객들의 안전한 대피를 도모할 수 있는 설비를 갖추어야 하며, 안전과 관련한 문제 발생 시 승객과 통합관제실간의 효과적인 통신, 제어 및 안내를 도모할 수 있도록 해야 함 • 승강장, 통로 규모 등은 안전에 지장이 없는 범위 내에서 최소 기준을 설정하는 것이 경제적임
차량기지	• 차량기지 내에 설치되는 선로는 차량의 유치, 검사 등의 기능을 하기 때문에 안전 확보를 위해 속도를 낮추어야 하므로 선형조건을 완화하는 것이 필요함 • 차량기지 내에 설치되는 선로의 필요한 최소 길이를 산출할 때는 차량 1편성을 유치할 수 있는 길이, 안전거리, 차막이설치와 후단의 여유거리, 과주여유거리 등을 감안하여 설정해야 함 • 차량 기지 내 선로 중심 간격은 기능적 특성, 검사장치, 건물크기를 종합적으로 검토하여 선정하는 것이 바람직함

통해 부상, 추진하는 상전도 흡인식 도시형 자기부상열차의 차량시스템 및 주요 구성품을 대상으로 함

o 차량의 편성 관련 요구사항

- 편성은 2량 1편성을 기본으로 고정편성하며, 필요시 중복 연결할 수 있도록 하여 요구 수송수요를 만족할 수 있어야 함.
- 차량의 중복연결 편성 시에는 차량의 신속한 중복연결을 위해 기존 편성에 별도의 설비를 추가하거나 개조 없이 중복연결 편성이 가능하도록 하여야 함

o 표준규격을 통한 차량의 설계 목표 수준
- 정확하고 안전한 무인자동운전체계의 확립
- 안락한 승차감 제공 및 승객에 대한 서비스 향상
- 차량 기기 및 부품의 표준화
- 차량의 경량화
- 에너지 이용효율 증대 및 운전전력비 절감
- 유지관리의 편리성 및 무점검, 무보수화 확대
- 25년 이상의 내구성 확보
- 차량의 운행성능의 향상
- 시설물 및 도시 미관과의 환경친화적인 차량

o 표준규격을 통한 신뢰성, 가용성, 유지보수성, 안전성 확보 수준
- 표준규격에 의하여 제작되는 모든 기기 및 부품은 동일 도면에 의하여 제작되어야 하고 호환성을 가져야 함.
- 표준규격을 통한 차량의 설계 목표 수준2) 모든 기기 및 부품은 도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙에서 규정한 재료를 사용해야 함
- 모든 기기 및 부품은 차량의 제작과정 및 향후 차량폐차시를 고려하여 재활용이 가능한 재질을 최우선 사용해야 함.
- 중요 기기 및 부품은 이중화되어 국소적인 부품, 운영과정 또는 장치의 파손이 시스템의 기능을 마비시켜서는 안 됨.
- 모든 부품은 유지보수에 지장이 없도록 차량의 내구 연한동안생산·공급이 가능하여야 함.
- 기기의 진동시험은 도시형 자기부상열차 성능시험에 관한 기준을 만족하여 차량운행시 진동이나 충격 등에도 양호한 성능을 발휘 하여야 함.
- 차량의 각종제어장치는 검증된 전자기술을 적용하여 소형화, 경량화, 무접점화하며 신뢰성을 향상시키고 유지보수가 용이하도록 가능한 한 관련 부품별로 모듈화 하여야 함.
- 차량에 적용되는 컴퓨터 설비는 하드웨어와 소프트웨어 모두 장래 확장성

이 충분히 고려되어야 함

- 컴퓨터 프로그램의 모든 출력정보의 표시 및 기록은 한글을 기본으로 하며, 데이터 형식은 출력형태의 재편집이 가능하도록 저장 및 기록되어야 함.
- 차량의 화재시에는 초기에 이를 감지하여 경보장치가 작동되도록 함.
- 차량 고장의 경우 고장이 발생한 차량을 회로적으로 분리시켜 자체 비상운전 및 구원운전이 가능하도록 하여야 함.
- 통합관제실에서 차량 객실내부에 대한 화상감시를 할 수 있도록 함.
- 차량의 MTBF(Mean Time Before Failure)는 7,300 시간 이상이어야 함
- 시스템 이용가능성은 20시간/일, 365일/년을 기준으로 99.99% 이상이어야 함.

[표 156]도시형자기부상열차 주요 구성품 표준규격 요구조건

구분	요구조건
대차	• 대차는 차체 및 차체에 작용하는 하중지지 및 견인력과 제동력을 전달함과 동시에 차량의 최고속도 주행을 만족하고, 이와 관련하여 안전성 유지, 최소곡선통과 및 최대구배통과를 수행하는 장치이어야 함. • 대차는 전자석의 자기력을 이용한 부상상태에서 비접촉식 주행을 해야 함 • 대차는 모듈(modlue), 타이 빔(tie beam), 현수장치로 구성함. • 대차는 경량구조로이어야 함 • 대차는 승차감이 좋고 소음이 적으며, 유지보수가 용이한 구조로 하여야 함 • 차체와 대차는 분리할 수 있는 구조이어야 함 • 대차의 스프링 장치는 차체와의 공진을 피할 수 있게 설계되어야 함 • 대차의 모든 구성품은 최대 하중조건과 운행시 발생하는 충격하중에 충분히 견딜 수 있는 강도와 강성 확보 필요 • 집전장치와 인접한 대차부품은 전기 아크형성으로 손상되지 않도록 설계하여야 함

부상안내 장치지	• 부상·안내장치는 부상제어기(연산 및 전력변환장치), 공극센서(Gap Sensor), 가속도센서(accelerometer), 전자석(Magnet) 등으로 구성함 • 차량의 하중조건, 전자석과 궤도 레일 사이의 실제 공극(Gap) 및 설정된 공극에 따라 필요한 힘(전류)의 양을 계산하여 전력변환장치에 인가하고, 전력변환장치는 전력을 변환하여 전자석에 공급하는 구조필요 • 부상장치는 부상용 전자석, 전력변환장치, 갭센서 및 가속도센서 등으로 구성되며, 소형, 경량화 및 신뢰성, 보수성, 에너지효율 향상에 역점을 두고 설계 필요
공극센서 및 가속도 센서	• 전자석과 철레일 사이의 거리를 측정하는 Gap센서와 전자석의 상하 가속도를 측정하는 가속도 센서로 구성되며, 두 종류의 센서를 일체형으로 설계 제작 필요 • 온도 및 습도에 강하고 내구성 있어야 함 • 전자파에 강한 구조룰 가져야함
전자석	• 부상용 전자석은 차량을 부상시키는 부상력을 발생시키는 장치로 견고하고 내환경성 보유 필요 • 부상용 전자석은 대차의 자기부상열차 대차틀에 부착된 내/외측 pole에 설치 필요 • 자기부상전자석과 레일의 흡착 방지를 위하여 pole의 양 끝단에는 흡착 방지용판 설치 필요 • 전자석과 전자석 사이에는 공극 센서와 가속도 센서를 설치하기 위한 취부 브라켓 설치 필요 • 정격의 부상력을 얻기 위하여 자기부상전자석과 선로의 부상용 레일(Guide Rail) 사이의 초기 공극이 일정하게 유지되도록 설치 필요. • 자기부상전자석은 차량운용 기후조건에서 견딜 수 있도록 제작 • 냉각방식은 자연 냉각으로 하며, 여러 가지 요인에 의한 온도상승을 억제할 수 있는 구조 • 전자석은 차량의 최대 중량, 열차의 속도에 따른 부상력 감소분, 추진용 선형 유도전동기의 수직력에 의한 영향 등을 고려 • 전자석은 빈번한 부상, 착지, 차량의 진동 및 터널 내 먼지 등

	악조건 하에서도 견딜 수 있어야 함
부상제어기	• 부상 제어기는 차량의 대차별로 취부되고 제어기 1대는 4채널의 회로 보유 • 각 채널의 회로는 해당 코너당 2개의 전자석을 단위로 상하방향과 좌우방향의 제어신호에 의해 초퍼의 평균전압을 변화 시켜 제어 • 부상/안내 제어기는 공극센서 및 가속도센서 신호를 제어입력으로 사용하여 차량을 설정된 일정한 공극으로 유지 • 자연냉각방식을 원칙으로 함

(4) 현행 도시철도법과의 연계방안

(가) 정부의 도시철도 분야 법제화 기본방향 준수

o 정부는 도시철도 차량분야에 적용되어 오던 표준규격, 성능시험, 품질인증을 도시철도시설까지 확대 적용하여 도시철도시설의 안전제고, 성능 및 운영효율 향상을 극대화하고자 함

- 선로시설의 경우 궤도 지지와 전동차의 주행안정성 확보를 위해 궤도, 구조물, 노반간의 상호작용에 주안점을 두어 법제화 추진
- 전철전력설비의 경우 선로 구조물 방식에 따라 전력공급의 안전성 확보에 주안점을 두어 법제화 추진
- 신호 및 열차제어설비의 경우 안전성, 유지보수성, 장래확장성 및 지상-차상설비간의 시스템 통합에 주안점을 두어 법제화 추진

[표 157]정부의 도시철도 시설분야 법제화 방향 및 주요 내용

구분		주요 내용
선로시설	표준 규격	• 선로선형 설계기준 제시 • 탈선 등 안전사고에 대비한 선로설치 및 가드레일 부설기준 제시 • 선로주변 소음·진동에 대한 대책수립을 위한 가이드라인 제시 • 궤도-구조물-노반 상호작용에 대한 인터페이스 검토사항 기

		술
전철전력 설비	표준 규격	• 직류 1,500V의 전철전력설비의 시스템 및 구성품 대상 • 수전·변전·배전설비 및 일반전기설비와 전차선로 설비로 구분하여 제시 • 전력공급의 신뢰성 확보를 위한 이중화 및 연장급전 등 전력공급조건 명시 • 지하·지상구간 전차선로 설비의 조가방식 및 설치기준에 대한 규격 제시
신호 및 열차제어 설비	표준 규격	• 설비의 안전성, 유지보수성, 장래확장성 및 전체 시스템 통합성 고려 • 자동열차방호·운전·감시 장치간의 상호인터페이스 등 안전관련 요구사항 제시 • 승객요구조건에 맞추어 승하차 설비 작동 기준을 발주기관이 설정 • 계획·설계 단계에서부터 시스템 사용기간에 걸쳐 시스템안전 요구사항 제시 • 사고 및 장애시의 원인분석 및 해결을 위해 데이터 보관에 관한 기준 제시

o 정부는 차량표준규격, 건설지침 등 정부차원의 기준 마련을 위한 법제화 추진을 통해 경전철 차량의 안전·성능제고 등 기술발전 지원을 도모하고자 함

- 우선적으로는 국내에서 건설 중인 고무차륜 경전철, 철제차륜 경전철, 선형유도전동기 방식 경전철을 대상으로 건설지침, 표준규격 법제화 추진
- 도시철도차량 성능시험기준을 경전철 차량에 까지 확대적용하기 위해 경전철 표준규격 제·개정을 진행 중임
- 최근 도시철도법에서 규정된 도시철도시설 안전·성능시험·품질인증 기준 등을 경전철 시설에 까지 확대 적용하는 방안에 대한 논의가 진행 중임

(나) 도시형 자기부상철도의 기술적 차별성 고려

o 자기부상열차는 기존의 차륜식 열차와 비교할 때 부상/추진 방식에서 큰 차

이를 보이기 때문에 이에 대한 충분한 고려 필요

- 자기부상열차는 자석의 힘으로 차량을 지지(부상)하고 가이드웨이 상에서 자기장에 의해서 일정한 갭(gap)을 유지하면서 선형전동기로 추진
- 자기부상열차 하부는 궤도를 감싸는 구조로 되어 있기 때문에 주행로 변경을 위한 분기기 설치 시에는 신속성, 안전성에 대한 고려 필요

o 열차의 차륜 역할을 담당하는 전자석과 레일 역할을 하는 가이드웨이간의 서스펜션 시스템이 적절한 강성과 댐핑을 갖도록 컨트롤 하는 것이 중요

- 자기부상열차의 경우 레일과 차체의 갭이 작기 때문에 주행 중 갭 변동량에 영향을 받으므로, 시설의 강성요건(휨률) 등 고려 필요
- 흡인식 자기부상의 경우 액티브 제어에 의해 부상위치를 제어하므로 전자석의 응답속도 이상으로 궤도가 빠르게 움직이면 안정된 제어를 할 수 없음

o 자기부상열차는 부상 주행에 따른 분포하중 특성과 비상 착지 시 낙하·활주의 가능성이 있기 때문에 이를 감안한 시설설계가 필요함

- 분포하중으로 취급하기 때문에 거더에서의 응력과 휨이 적으며, 속도에 의한 효과가 적고 하중 변동도 작아 전체 충격계수는 작은 편임
- 주행 중 낙하하면 차체는 착지륜을 이용하여 레일 위를 활주하게 되며, 집중하중이 작용하므로 고려 필요

o 자기부상열차의 전기 공급은 일반적으로 거더의 측면에 power rail 에 의해 이루어지기 때문에 전차선 설치 시 부상 높이에 대한 고려 필요

- 자기부상열차의 부상높이가 항상 균일한 것이 아니기 때문에 집전기와 접촉하기 위해서는 전차선에서 접촉면의 크기 등을 고려해야 함

(다) 현행 법체계의 특징 분석

o 도시형자기부상철도 시설분야 법제화 대상은 도시철도법에서 규정한 시설을 기반으로 하되, 자기부상열차의 건설·운영 특성을 반영하여 설정

- 선로시설은 궤도, 정거장, 차량기지, 통합관제실, 안전설비, 교량 등을 대상으로 하되, 차량-궤도-교량간의 상호작용에 대한 시설요구조건을 중심으로 법제화
- 전철전력설비와 신호 및 열차제어설비는 도시철도 시설표준규격과 유사하게 수행하되 무인운전 특성을 지원할 수 있도록 법제화 추진

[표 158]현행 법체계에서 도시철도 시설분야 구분

구분	주요 내용
도시철도법	• 선로, 역사 및 역무시설 • 선로보수기지, 차량정비기지, 차량유치시설 및 창고시설 • 전철전력설비, 정보통신설비, 신호 및 열차제어설비 • 기타 도시철도 기술 개발·시험·연구 시설 등
도시철도 시설표준규격	• 선로시설 (궤도, 교량, 터널 및 지하구조물, 흙노반) • 전철전력설비 (수전·변전·배전설비, 일반전기설비, 전차선로) • 신호 및 열차제어 설비 (무선통신기반 지상·차상 설비)

o 도시철도 시설분야와 유사하게 도시형자기부상철도 시설분야를 대상으로 표준규격, 안전기준, 성능시험기준, 시설용품 품질인증 법제화를 추진

- 표준규격은 설계기준 등 지방자치단체장 등에게 위임된 기술적 사항에 대한 표준 권장치 제시를 기준으로 하되, 효율성 도모를 위한 조항에 대해서는 예외적 한계치를 기준으로 제시
- 안전기준은 「도시철도 시설안전기준」에 관한 규칙 수준의 선언적 사항 이외에「일반철도 시설안전 세부기준」과 같은 구체적 사항을 포함하여 제시
- 성능시험기준과 품질인증방안은「도시철도 시설 성능시험기준」,「도시철도 품질인증 요령」에 준하여 수행하되, 표준규격에서 권장하는 시설 구성요소의 기능을 충족시킬 수 있도록 제시

(라) 현행 법체계와 표준규격 연계

o 도시철도 사업은 대부분 지방자치단체가 사업주체가 되기 때문에, 도시철도 시설 관련 기술 규정 중 많은 부분들이 사업주체에게 위임되어 있음

- 경전철 등 다양한 유형의 도시철도 시스템이 국내에 도입되고 있으나, 관련 법규·기준 등이 부족하여 사업주체의 기술적 부담은 클 수밖에 없는 실정
- 2007년 정부에서는「도시철도법」제22조를 개정하여 도시철도의 효율적인 운영과 호환성의 확보 등을 위하여 도시철도 차량 및 시설에 대한 표준

규격을 정하여 차량 및 도시철도시설을 제작·조립 또는 수입하려는 자 및 도시철도 건설자 또는 도시철도 운영자에게 이를 권고할 수 있도록 규정하고 있음

- 기술 관련 법·제도가 일관성 확보에 주안점을 둘 경우 기술 발전의 다양성을 저해할 우려가 있기 때문에 강제 조항이 아닌 권고사항으로 규정하고 있음

o 도시형 자기부상철도는「도시철도법」의 적용을 받게 되는 교통수단이며, 특히 차륜과 레일이 접촉하여 주행하는 기존의 철도시스템과는 달리 부상하여 주행하기 때문에 기술적 차별성이 현저함

- 도시형 자기부상철도를 건설·운영하려는 사업자들을 위해 도시형 자기부상열차 및 철도시설에 대한 표준규격을 제정하여 사업자들의 기술적 부담을 경감시킬 필요가 있음
- 표준규격은 도시철도법의 하위 기술법령으로서 도시형 자기부상철도 건설· 운영 과정에서 요구되는 선로시설 구성요소들에 대한 설계 및 성능 요구사항을 포함하는 기술규격을 제시하여, 안전하고 경제적인 선로시설을 구축하는데 목적을 두어야 함

(5) 열차 및 시설 표준규격 초안 개발

(가) 표준규격 개발 개요

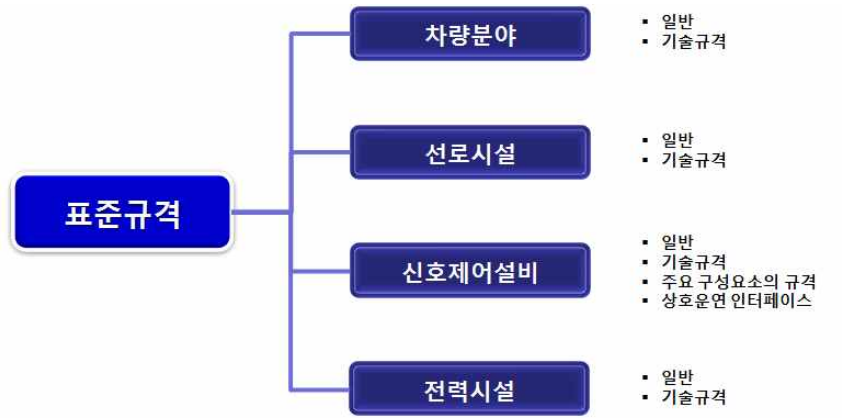
o 도시철도법 제22조제1항에 근거하여 추진함

※ 도시철도법 [일부개정 2008.3.28 법률 9071호] 제22조제1항

> 제22조 (표준규격) ①국토해양부장관은 도시철도의 효율적인 운영과 호환성의 확보등을 위하여 도시철도차량 및 도시철도시설의 표준규격을 정하여 도시철도차량 및 도시철도시설을 제작·조립 또는 수입하려는 자(이하 "제작자등"이라 한다) 및 도시철도건설자 또는 도시철도운영자에게 이를 권고할 수 있다. 다만, 「산업표준화법」에 따른 한국산업표준이 제정되어 있는 사항에 대하여는 그 표준에 따른다.

o 도시형 자기부상열차시스템을 크게 차량분야와 시설분야로 구분하며, 시설분야는 다시 선로시설분야, 신호제어설비분야, 전력시설분야 등으로 분류하

여 각각을 개발함



[그림 241]표준규격의 구성 및 주요항목

o 해당 장치 및 설비의 요구되는 최소한의 구조, 기능, 성능, 형식 등의 요구사항을 권고

o 목적, 적용범위, 용어정의, 시스템 형식 등의 전체 시스템 수준에서 나타내야 할 사항은 '일반'으로 구성하며, 세부 장치 또는 기능 등은 '기술규격'으로 구성하고 각각의 계열별로 분류

o 미래형 자기부상열차와 같은 기술의 발전을 수용할 수 있도록 유연하고 포괄적인 표현을 사용

o 무인·자동화에 따른 관련 시스템의 요구사항을 추가, 보완함

o 차량분야와 각 선로, 신호, 전력시설분야간의 인터페이스 또는 연동되는 부분은 각각의 표준규격에서 별도로 나타내어 연계 시스템에 대하여 충분히 고려될 수 있도록 함

o 도시철도, 경전철 및 자기부상열차 각각의 요구사항을 비교, 검토하여 반영

- 도시철도 및 경전철과 자기부상열차의 동일·유사 시스템과 자기부상열차의 고유 시스템을 분리
- 도시철도 및 경전철과 동일·유사 시스템은 검토, 보완하여 반영
- 자기부상열차의 고유 시스템은 실용화 사업의 연구결과와 국외 기술기준 등을 검토하여 반영함

(나) 차량분야 표준규격

1) 전체 구성 개요



[그림 242]차량분야 표준규격의 주요 항목 구성

o 도시형 자기부상열차의 차량시스템과 그 주요 구성품이 갖추어야 할 형식과 구조, 기능 및 성능 등의 규격에 대하여 권고

o 차량의 구성품은 각 장치별로 요구되는 조건이 다양하므로 각 규격의 내용을 명확히 나타낼 수 있도록 조항의 내용을 분류

- 대상 구성품의 최상위 장치 또는 그룹에서 세부장치 순으로 조항을 구성함
- 지정/형식/구성/설치/구조/강도/기능/성능/재료/치수/기타 요구 사항/국제 규격의 적용 등의 순서로 분류하여 구성함

2) 주요 항목의 구성특징

o 일반에서는 목적, 적용 범위, 대상, 설계목표, RAMS, 사용용어 등에 대하여 권고 또는 설명하며, 기술규격에서는 차량운행조건, 시스템 성능규격, 세부 구성요소의 규격에 대하여 권고함

o 이 규격서의 목적 및 전체시스템 상의 요구조건을 나타낼 수 있도록 일반에 항목 신설

- 목적 및 근거를 나타낼 수 있도록 목적 항을 신설
- 차량의 전체 시스템에서 갖추어야할 모듈화, 중요장치의 이중화, 운행의 신뢰성, 안전성 등에 대한 일반적인 요구조건을 나타내기 위해 'RAMS' 항을 신설

o 자기부상열차 시스템의 고유 특징에 따라 차량운행조건의 각 항목과 그 내용에 대한 신설 또는 수정, 보완

- 자기부상열차의 자기력에 의한 부상·추진 및 대차가 궤도를 감싸는 구조적인 특징에 따라 풍속, 결빙 등의 관련 환경조건을 신설
- 실용화 사업에서 결정된 선로조건을 반영하여 궤간, 캔트 등의 내용을 수정, 보완

o 도시철도차량의 일반적인 요구조건을 반영하여 차량운행조건의 하중조건을 수정, 보완

o 실용화 사업의 차량개발 설계목표 및 그 내용에 따라 차량시스템 성능규격의 각 항목과 그 내용에 대한 신설 또는 수정, 보완
- 전기방식, 성능 최고속도, 운행 최고속도, 최대 감속도, 표정속도, 열차주행저항, 승차감, 소음 등의 항목 수정, 보완
- 부상시 차량과 레일과의 공극, 최대 기울기 등판능력, 최소 곡선반경 통과능력, 전자기 적합성, 충돌 안전성 평가 등의 항목 신설

o 도시철도차량의 일반적인 요구조건을 반영하여 차량시스템 성능규격의 승객정원을 수정, 보완

o 자기부상열차의 고유 특징 및 무인자동운전에 따라 차량 주요 구성요소의 규격의 각 항목과 그 내용에 대한 신설 및 수정, 보완

구분	구성요소의 규격의 항목	사유 및 내용
수정, 보완	차체-주요치수	실용화 사업의 차량개발 설계목표를 반영
신설	구조체	경량화를 위한 대상재료의 권고
신설	차체접지	부상운행에 따른 고유 특징
수정, 보완	차체의 강도	차체지지구조의 변화에 따른 차체의 처짐 범위
신설	장애인 등의 편의 시설	장애인의 안전 및 편의를 고려
신설	간이운전대	무인자동운전에 따른 운전설비의 변경
전면 수정	대차	대차의 구조, 장치 등 고유특성을 반영
신설	부상공극	부상운행에 따른 고유 특징
수정, 보완	대차프레임	대차의 구조, 장치 등 고유특성 부분을 반영

전면 수정	지지 및 완충장치	대차의 구조, 장치 등 고유특성을 반영
수정, 보완	기초제동장치	레일을 압착하여 제동하는 고유특성을 반영
신설	착지장치	부상운행에 따른 고유 특징
신설	장애물제거기	전자력 사용에 따른 요구특성 반영
수정, 보완	종합제어장치	무인자동운전에 따른 요구기능 변경
수정, 보완	신호보안장치	무인자동운전에 따른 요구기능 변경
신설	집전장치	제3궤조에 따른 고유 특징
신설	부상·안내장치	자기부상열차의 고유 특징
신설	추진제어장치	자기부상열차의 고유 특징
수정, 보완	축전지	부상운행에 따른 안전을 위한 요구성능 반영
신설	제동장치-주요규격	무인자동운전에 따른 요구기능 반영

(다) 선로시설 표준규격

1) 선로시설 표준규격 개발의 기본방향

o 도시형 자기부상열차 시스템의 보급을 촉진할 수 있도록 도시규모 및 교통특성에 따라 시설분야 구축의 유연성을 확보하도록 함

o 안전에 직접적인 영향을 주는 요소를 제외하고는 기술 발전을 수용할 수 있도록 권장치로서의 성격을 지니도록 함

o 도시철도 시설표준규격 법제화 방안의 기본 틀을 중심으로 하되, 자기부상철도의 고유특성 등은 시범노선 설계기준 및 시설물 계획을 반영

o 차량시스템 표준화와 연계한 시설분야 구축으로 건설비용의 저렴화, 안전성

2) 선로시설 표준규격 구성 및 주요 내용

o 전체구성



[그림 243]선로시설 표준규격의 주요 항목 구성

o 주요 일반 규격의 내용

- 도시형 자기부상열차의 선로시스템은 도시형 자기부상철도 건설규칙 법안 등에 따른 선로선형 설계요소, 선로경합 등에 관한 요구사항, 구조물 설계요소 및 구조물간의 인터페이스 검토사항 등에 대하여 권고

o 주요 기술규격의 내용

- 확대궤간, 곡선반경, 캔트, 완화곡선, 직선의 삽입조건 및 곡선의 길이, 기울기 등 선로선형 설계기준을 상세히 규정
- 안전을 고려하여 선로경합에 관한 요구사항과 부설기준을 표준화하여 제시
- 선로 주변 및 역사 내 소음진동에 대한 대책 수립을 위한 가이드라인을 제시
- 궤도의 주요 구성재료의 요구사항 및 구조적 안정성에 관한 검토 기준 등을 제시
- 교량, 터널 등 구조물과 흙노반의 설계는 철도설계기준(건설교통부 제정)을 준용토록 하되, 열차의 주행안정성과 유지보수와 관련하여 철도설계기준에서 다루고 있지 않는 교량상 장대레일 축력 검토, 궤도-노반 변화구간 안정성 검토 등 궤도-구조물/노반 상호작용에 대한 인터페이스 검토사항을 상세히 기술
- 역사 및 환승편의시설의 설계와 관련, 기 고시된 역사 및 환승편의시설

보완설계지침을 준용

- 정거장, 차량기지, 통합관제실을 선로시설에 편성하여 인터페이스 및 연동되는 부대시설에 관하여 가이드라인 제시

(라) 신호제어설비 표준규격

o 전체구성



[그림 244]신호 및 열차제어설비 표준규격의 주요 항목 구성

o 주요 일반 규격의 내용

- CBTC 방식의 도시형 자기부상철도의 신호 및 열차제어시스템과 그 주요 구성품이 갖추어야 할 형식과 기능 및 성능 등에 대하여 권고
- 신호 및 열차제어설비의 경우 신기술 적용이 빠르게 진행되므로 요구되는 기능과 성능적인 측면을 중심으로 권고함
- 적용원칙 항목을 신설하여 각 규격에 대한 내용이 세부 기술적인 사항에 국한되는 것을 방지하고자 함
- 전체 시스템의 가동은 발주기관에서 정한 기간으로 하되, 필요에 따라 하부시스템의 개량이나 교체가 가능하도록 수정

o 주요 기술규격의 내용

- 운전시격 등은 주어진 상황 또는 목표에 따라 유동적으로 조정할 수 있도록 함
- 안전한 성능을 위해 페일 세이프(Fail-Safe)구조를 원칙으로 하며 및

MTBHE(Mean Time Between Hazardous Event) 등을 명시하도록 권고

- 시스템 보증을 위해 단계별, 유형별 RAMS의 가이드라인을 각각 제시
- 무인, 자동, 수동, 비상, 기지운전모드 등의 각 모드별 요구기능을 나타내며, 기본적으로 무인운전모드를 지원하며 비상시 승무원에 의한 비상운전이 가능하도록 함

운전모드	규격 내용
무인운전모드	○ “승무원의 개입 없이 완전자동운전상태의 운전”으로 지정 ○ ATP, ATO에 위해 부여된 안전한계 이내로 한정 ○ 지상, 차상시스템의 정상작동하는 경우로 한정 ○ 무인운전을 위한 선행조건 및 안전조치
자동운전모드	○ “승무원이 출발버튼 조작만 수행, 그 외 자동운전”으로 지정
수동운전모드	○ “ATP 안전한계 이내에서의 운전자에 의한 운행”으로 지정 ○ ATP 안전한계를 벗어난 경우의 제동 등의 조치
비상운전모드	○ “신호보안장치의 이상에 따른 완전 수동운전”으로 지정 ○ 수동운전에 따른 안전 주의 ○ 운전규정 준수 및 사고 주의
기지운전모드	○ “차량기지 등에서 운전, 최고속도 25km/h로 제한된 운전”으로 지정 ○ 기지운전모드 중 무인, 자동, 수동운전모드 선택적용

- 지상 또는 차상의 자동열차보호, 자동열차운전, 자동열차감시 등 각각의 장치 및 시스템에 대하여 요구되는 기능을 분별하여 나타냄

구분	요구 기능 및 주요내용
자동열차보호	○ 열차 위치 검지 : 모든 열차의 위치를 연속적으로 검지 및 보완 및 보호 ○ 열차 속도 검지 : 열차속도측정 ○ 열차 속도 제한 : 최대 안전속도 결정 및 운행속도와 비교하여 열차의 속도를 제어 ○ 수동모드 속도제한 : 정해진 최고 속도 준수 및 비상제

	동 ○ 열차속도 표시 및 경고 - 운전자 또는 운전상태감시자에서 속도정도 제공 ○ 미끄럼 검지 : 의도하지 않은 움직임 검지 및 제동 ○ 비상제동 작동 후의 동작 : 리셋에 따른 재출발 허용 ○ 열차 출입문 제어 : 좌우 출입문의 제어 ○ 승강장 스크린도어 제어 : 출입문과 연동하여 제어 ○ 임시 속도 제한
자동열차운전	○ 자동 속도 제어 : 무인, 자동운전모드에서 사용되며, 속도프로파일 작성 및 적합속도산출 ○ 열차조정 : 자동열차조정시스템의 입력에 따른 열차운행의 단축, 지연 ○ 역 정차 : 정위치 정가제어 ○ 출입문 제어 : 출입문의 일반적이 개폐 ○ 운행 중인 열차확인 : 열차번호 통일 및 열차 확인 ○ 열차보류 : 열차의 출발 금지
자동열차감시	○ 종합 제어기능 ○ 분산된 지역제어 기능 ○ 오류 진단 및 데이터 로깅 기능 ○ 자동 기능 - 열차 시각표, 자동열차추척, 정상 또는 수정된 열차 시각표에 의한 진로제어, 정차장에서의 열차출발 조정, 본선 열차운행 조정, 열차속도 제어, 열차보류 제어, ○ 수동 기능 - 진로제어, 열차속도 제어, 시발역에서의 열차 출발, 열차보류 제어, 승강장 스크린도어 제어, 승객 정보제공

(마) 전력시설 표준규격

o 전체구성



[그림 245]전력시설 표준규격의 주요 항목 구성

o 주요 일반 규격의 내용

- 직류 1,500V 전원을 전차선을 통해 자기부상열차에 공급하는 차량전력설비와 역사 및 차량기지에 공급하는 전력시스템 및 주요 구성품이 갖추어야 할 형식과 구조, 기능 및 성능 등의 규격에 대하여 권고
- 관련 법령의 적용을 신설하여 이 표준규격 이전에 도시형 자기부상철도 건설규칙과 전기설비 기술기준에 규정된 사항을 준수하도록 함

o 주요 기술규격의 내용

- 전철전력설비의 적용구분을 수전·변전·배전설비 및 일반전기설비와 전차선로 설비로 구분하여 제시
- 수전·변전·배전설비 및 일반전기설비의 구성품에 대한 정격 등에 대한 규격 제시
- 수전·변전·배전설비 및 일반전기설비에 대해서는 계통의 전압 및 용량, 시스템 구성 및 보호방식에 대해 규격 제시
- 전차선로 구성설비에 대한 종류 및 특성, 설치조건 등에 대한 규격 제시
- 계통에 따른 전기공급방식 및 공급전압을 명시하고 전력공급의 신뢰성 확보를 위한 이중화 및 연장급전 등의 전력공급조건을 명시
- 자기부상열차의 부상운행 특징에 따라 정거장 및 차량기지 등의 차량이 통상적으로 정차 또는 주차하는 곳에는 차체를 접지하기 위한 지상설비를 설치토록 함
- 제3궤조 형식 및 도심지 건설에 따른 전차선의 구조, 설치높이, 교차시설, 부대설비 등의 항목을 구성품기술규격과 시스템기술규격에서 각각 신설하여 나타냄

구분	전차선 세부 항목	규격 내용
시스템 기술규격	전차선로의 방식	○ 제3궤조 방식
	전차선로 설비의 구조	○ 전차선의 지지점 간격은 4m를 기준 ○ 신축이음새 및 앵커링 설치, 전차선 각 끝은 집정장치의 접동에 지장이 없는 구조
	전차선의 교차시설	○ 전차선의 접속개소는 통과에 지장이 없도록, 상호접촉에 의해 손상되지 않도록 설치
	급전선로 설비	○ 정급전선과 부급전선의 범위 지정
	접지설비	○ 전차선에 접지해야하는 설비와 그의 접지저항
	피뢰기	○ 피뢰기 설치는 500m를 원칙으로 함 ○ 변전소 등 주요 시설의 중점 설치 ○ 1중 접지 및 접기 공용
	안전율	○ 계산시의 외기 기준 표시 ○ 전차선 및 애자의 안전율 권고
구성품 기술규격	전차선로 설비의 구성요소	○ 전차선, 애자, 클램프, 브라켓, 이음매 연결판, 단락부 이음판 등으로 구성
	전차선	○ 재질 고려 ○ 거더대비 열팽창율 지정
	애자	○ 완전절연을 위한 재질 ○ 접촉압력을 고려한 강도 ○ 내오손용 사용 권고
	애자용 클램프	○ 애자의 체결, 하중지지, 열팽창율 등 고려
	절연애자 취부용 브라켓	○ 구조와 역할 등을 고려한 재질 ○ 설치높이, 횡방향간격, 기울기 등의 조정
	이음매 연결판	○ 통전을 위한 전도성이 좋은 재질 사용 ○ 점퍼선 사용
	단락부 이음판	○ 통전 및 열팽창에 따른 신축감당 역할 ○ 통전을 위한 전도성이 좋은 재질 사용 ○ 단락부에 사용

(6) 도시형 자기부상열차 및 시설 표준규격 법안 개발

(가) 표준규격 법안에 대한 의견수렴 및 수정·보완 일정

일 시	내 역
2007.05.31	도시형 자기부상열차 법제화 정비 방안 수립
2008.03 ~ 2008.05	경량전철 표준화기준 제·개정안 반영 - 철체차륜 표준규격 개정(안) - 선형유도전동기 표준규격 제정(안)
2008.05 ~ 2008.08	도시철도시설 표준규격 제정안 및 고시 반영
2008.08.20	『도시형 자기부상열차 및 시설 표준규격』 초안 개발
2008.08.20 ~ 2008.10.15	사업단 내부 검토 (2회) 및 의견수렴
2008.11.04 ~ 2008.12.10	표준화 방향성 설정 조정 및 주요 스펙 결정 - (11.18) 표준규격 방향성 설정 토의 - (11.20) 경량전철 표준화 공청회 검토의견 적용
2008.12.15 ~ 2009.02.12	열차 및 시설 기본/실시 설계결과 반영 및 초안 확정
2009.02.19 ~ 2009.03.20	외부전문가 검토의뢰(30여개 전문기관 의견 수렴) - 도시철도 건설기관 - 도시철도 관리운영기관 - 철도 관련기관, 연구소 - 학회 및 학교
2009.03.26 ~ 2009.04.10	『도시형 자기부상열차 및 시설 표준규격』공개토론회 개최 및 의견수렴
2009.05.27	『도시형 자기부상열차 및 시설 표준규격』 공청회 개최
2009.06.18	『도시형 자기부상열차 및 시설 표준규격』 법안 확정

(나) 표준화 방향성 설정

o 표준화와 표준규격

- 표준규격은 계획과 발주시에 적용하는 권고사항임



[그림 246]법령 및 기준의 적용 시기와 강제성

o 표준의 정의와 표준규격의 의의

- 표준 : 재료, 제품, 공정 서비스가 그 목적에 적합하도록 보증하기 위해서 기술사양 또는 기준을 포함하는 문서화된 약속(ISO)
- 표준화 : 표준을 설정하고 활용하는 조직적인 행위(KSA3001)
- 표준규격은 도시철도법 제22조제1항에 의거하여, 발주시에 필요한 차량 및 시설이 가져야 할 성능과 주요 구성품의 제원 등을 표기한 기술문서로서, 국가가 부품의 호환성, 유지관리의 경제성, 기술발전의 부합성, 국내산업체의 기술능력 등을 종합적으로 분석하여, 국내 여건에 가장 적합한 방향을 제시하는 표준이

o 표준규격의 표준화 방향 설정

- 표준규격은 권고(recommendation)사양이지만, 표준(standard)기준처럼 구분되고 있는 실정이므로, 신규 사업을 할 때 마다 설계와 표준규격이 상충되는 부분은 개정이 되어야 함
- 도시형 자기부상열차와 시설은 노선별로 구획되므로 구조와 형식을 통일할 경우 기술발전을 저해하고 각 해당 노선에서의 효율성과 적합성에 맞

지 않을 우려가 큼

- 따라서 표준규격에서는 다양성을 고려하여 안전과 직접적인 연관이 없는 열차 및 시설의 구조와 형식에 대하여 정량적인 치수를 정하지 않는 것이 가장 바람직한 것으로 결정됨

o 구조나 형식과 연관된 항목

분류	항 목
열차	차량한계, 차체 주요치수(연결면간거리, 차체길이, 대차 중심간 거리, 차체폭, 차량높이, 객실상면 높이, 연결기 높이), 대차(수량, 치수), 부상공극(전자석 표면과 부상레일 하면, 선형유도전동기와 추진도체판 상면, 착지바퀴와 추진도체판 상면) 등
시설	궤간, 선로의 공차(궤간의 공차, 줄맞춤 공차, 면맞춤 공차, 레일 이음매 수직단차, 레일 이음매 수평단차, 레일 수평단차), 건축한계(직선구간의 건축한계, 곡선구간의 건축한계), 부상레일(레일의 단면적, 질량, 물성), 추진도체판(길이, 물성), 침목(설치간격), 분기기(설치기준, 분기각도) 등

o 표준화 방향 설정 조정에 따른 주요 규격 변경 사항

항목	원안	수정안
열차의 주요 치수	1) 연결면간 거리: 14,000mm 2) 차 체 길 이: 13,500mm 3) 최대 차체폭: 2,650mm 4) 지붕높이: 3,200mm(레일 기준) 5) 객실상면높이: 850mm(레일 기준)	• 연결면간 거리, 차체길이, 최대 차체폭, 지붕높이, 객실상면높이 등 차량의 주요 치수는 수송능력과 차량의 성능, 쾌적성, 안전성 등을 종합적으로 고려하여 결정한다.
선로시설의 설계 하중	• 선로의 설계하중은 26kN/m의 등분포 활하중을 적용한다.	• 선로시설의 설계 하중은 등분포 활하중을 적용한다.
선로의 궤간	• 궤간의 권장 표준치는 표준차량의 좌·우 부상용 전자석의 중심간 거리를 감안하여 1,850mm로 한다.	• 궤간은 차량의 구조, 설계최고속도 등을 고려하여 안전하고 안정된 주행을 확보할 수 있도록 설정한다.

직선구간의 건축한계	1) 차량 좌우 측면에 대한 건축한계 권장 표준치는 차량한계로부터 각각 200mm, 예외적 표준치는 각각 100mm를 추가한다. 다만, 승강장 연단의 건축한계는 예외로 한다. 2) 레일 기준면을 중심으로 한 차량 높이에 대한 건축한계 권장 표준치는 차량한계로부터 상하 방향 각각 100mm, 예외적 표준치는 각각 50mm를 추가한다.	1) 직선 구간에서의 건축한계는 열차의 외형 구조에, 열차의 부상·안내 특성 및 발생 가능한 최대한의 요동으로부터 일정한 안전거리를 추가하여 설정하도록 한다. 2) 승강장 연단의 건축한계는 별도로하여, 차량과 접촉하지 않는 범위 이내에서 차량한계에 최대한 근접하여 설정한다.

(다) 외부 전문가 검토의견 수렴

o 주요 검토의견 및 그에 대한 기술 검토

항목	외부 전문가 검토의견	기술 검토
차량의 하중조건 기준	**[한국철도기술연구원(차세대고속철도기술개발사업단)]** • 하중조건 계산 방법 만 제시하고 구체적인 값은 운영노선의 선로조건에 따라 선정이 바람직함 **[부산교통공사]** • 계산기준을 명확히 할 필요가 있음(정원기준 혹은 입석승차밀도 등) **[(주)동림컨설턴트]** • 차량의 성능조건의 기준을 정확히 명시함으로써 운영기관/차량제작사 등에서 구매/개발 사양 작성시 승객정원에 따라 변경을 가능함.	• 도시형 자기부상열차는 노선별로 구획되어 다양한 형태의 차량이 적용 가능할 수 있으므로 정량적인 기준을 두지 않도록 함 • 도시철도로서의 허용 범위 이내에서 정원기준 및 입석승차밀도 등의 계산기준을 나타낼 수 있도록 함 • 공개토론회를 통하여 규격 내용 최종 결정
1일 평균 주행거리	**[(주)청석엔지니어링]** • 가변의 조건을 언급하고 있지	• 도시형 자기부상열차는 기존의 도시철도 차량보다 향상된

	만 1일 평균 500km의 기준을 설정할 필요는 없다고 판단됨 **[부산교통공사]** • 도시철도차량표준사양의 공통사항으로서 400km 이상을 기준으로 적용	성능 수준을 지향함 • 그러나 노선별로 운영선택에 따라 달리 적용할 수 있으므로 도시철도의 공통요구 수준을 적용하는 것이 타당함
표정속도	**[한국철도기술연구원(차세대고속철도기술개발사업단)]** • "표정속도 35km/h 이상"은 운영노선의 특성에 따라 선정되는 것이 타당함 **[(주)청석엔지니어링]** • 표정속도는 정거장간 거리 등 노선 현황에 영향을 받음으로 차량 규격을 설정한 후 표정속도를 규정하는 것은 바람직하지 않음 따라서 본 조항 삭제 **[(주)동림컨설턴트]** • 표정속도는 노선조건 및 정거장 수에 변동되므로 표정속도를 표준규격에 언급하여 구속할 필요 없음.	• 표정속도는 열차의 성능 뿐만이 아니라 선로의 선형, 정거장간 거리 및 운영조건 등 복합적인 요소로 결정이 됨. • 따라서 열차 표준규격의 범주에 해당하지 않으며, 열차의 성능조건과 직접적인 연관성이 적으므로 삭제함
대차틀의 하중조건	**[(주)동림컨설턴트]** • 표준규격은 설계 사양이므로 대차에 작용하는 정하중과 동하중을 명시하여야 함.	• 구조와 형식이 제한되지 않도록 표준화 방향을 설정하였음 • 또한 하중 조건은 성능시험기준에서 제시되므로 표준규격에서 중복하여 적용하지 않음
축전지 주요제원	**[부산교통공사]** • 선로조건을 고려하여 충분한 시간이 필요함. "용량 : 50 Ah 이상"	• 안전기준에서 제어용 전원에 대하여 최소한의 축전지 용량(30 Ah) 기준이 있으나, 표준규격은 권고사양으로서 도시철도 공통요구수준(50 Ah)을 따르도록 함
주차제동	**[(주)청석엔지니어링]** • 장기 차량 주차를 위한 방안이 필요함에 따라 "단, 차량의	• 자기부상열차는 착지스키드에 의하여 주차하므로 별도의 주차제동 기능을 구비하지 않음

	장기 주차시 구름을 방지할 수 있는 제동 수단을 갖추어야 한다"라는 문구 추가	• 또한 정거장, 차량기지 등 주차가 필요한 곳에서는 선로가 수평이 되도록 건설규칙에서 규정함
정차제동	**[(주)청석엔지니어링]** • 정차제동이 체결된 상태에서 역행 지령이 입력되었을 경우 상구배상에서는 미끄러짐 현상이 발생될 수 있다. 이를 완화하는 기능이 추가되어야 함	• 자기부상열차는 주차시와 비상시를 제외하고는 운행 중에 부상상태를 유지하고 있으며, 출발저항이 없고 선로의 구배가 차륜식 열차보다 클 수 있으므로 상구배에서 출발시 미끄러짐 현상이 발생할 우려가 있음 • 시·제동 메커니즘에서 미끄러짐 억제는 기술적으로 구현되어야 할 사항으로 판단됨 • 본 실용화 사업에서 개발 중인 모델에서는 홀딩 브레이크(holding brake)를 사용하여 미끄러짐 현상을 최소화 하도록 함
대피통로	**[(주)동림컨설턴트]** • 대피방법을 선로 및 구조물로 한정할 경우 대피시설(구조물)을 설치해야하므로 차량 자체에 대피장치(탈출슈트등)등을 설치할 경우도 고려할 필요 있음.	• 대피통로 이외의 방법을 고려할 수 있으나 탈출슈트 등을 통한 대피 방법은 안전성과 효용성이 입증되지 않았음 • 고가구조물에서 비상시, 다수의 승객이 가장 효과적으로 대피할 수 있는 방법은 대피통로를 통하여 이동하는 방법임 • 또한 건설규칙에서는 대피로 설치를 원칙으로 하고 있음
설계하중의 조합	**[(주)비엔에스엔지니어링]** • 현재 콘크리트 구조물의 설계는 강도설계법이며, 강구조물의 설계 또한 하중저항계수설계법(LRFD) 설계법으로 변경되는 추세이므로 사용상태와 극한 상태에 대한 별도의 하중조합을 정의하여야 함	• 일본의 자기부상철도의 경우에 철도교 설계기준을 따르고 있으며, 본 사업 토목구조물 설계기준의 경우에도 철도설계기준(철도교편2004)의 규정에 의해 "강도설계법"을 적용하고 있음 • 현재 추세일 수 있으나, 국내외 자기부상철도의 건설사례

		를 볼 때, 하중저항계수설계법은 검증되지 않은 방법으로 적용하기에는 무리가 있음 • 따라서 철도교의 특성을 반영한 규정 개정 후, 수정하는 것이 타당하다고 사료됨
궤도와 교량간의 상호 작용력	**[(주)비엔에스엔지니어링]** • 궤도와 교량간의 상호 작용 해석 시에 필요한 입력 자료를 모두 명확하게 제시할 필요가 있음. 예를 들어 레일과 구조물간의 연결 강성 및 간격 등에 정의할 필요가 있음.	• 표준규격에서는 궤도의 구성요소에 대한 사용 재료를 제한하지 않았으므로 수치 기준을 나타내지 않는 것이 타당함 • 수치적 기준은 나타내지 않도록 하고, 해석시에 필요한 대상 항목과 고려사항은 표시
시스템 인터페이스 요구사항	**[(주)일신하이텍]** • 선로시설은 적용된 차량의 특성을 고려한 시스템 인터페이스 요구사항에 따라 별도 협의하여 정할 수 있다.	• 도시형 자기부상철도의 차량, 선로, 신호, 전력 각 시스템에 대하여 그 구조 및 형식에 대하여 구체적으로 제한하지 않도록 하였음 • 노선별 해당 시스템의 고유특성을 고려하여 별도의 인터페이스 요구조건이 추가될 수 있도록 함
전차선 설비의 구조	**[한국철도시설공단]** • 전차선의 편마모 발생을 줄이는 대처방안에는 여러 가지가 있을 수 있으므로 직접적인 대처 방안을 표준규격에 명시하는 것은 바람직하지 못함	• 전차선의 캔트 설치를 곡선부로 한정할 필요가 없음 • 전차선의 캔트 설정은 거더의 구조와도 연관이 있으므로 전차선에 캔트 설정이 기준이 되어서는 안 될 것으로 판단됨

(라) 표준규격 법안에 대한 공개토론회 개최

o 공개토론회 주요 안건

분류	안 건
열차	• 차량의 종류 : 중간 객차의 편입 가능 여부 • 차량의 편성 : 차량의 기본편성 설정

	• 하중조건 : 성능·강도계산기준 및 공차·만차중량의 정량적 기준 제시 여부 • 평균주행거리 및 운행최고속도 : 성능 수준의 설정 • 주요치수 : 구조에 대한 정량적 기준 적용 타당성 • 창문 : 전면창 및 측창의 안전유리 적용 기준 • 공기조화장치 : 적용온도 및 실내온도기준의 표준화 타당성
시설	• 설계하중/궤간/건축한계 : 구조에 대한 정량적 기준 적용 타당성 • 설계하중의 조합 : 기준적인 설계방법의 설정 • 상호작용력 : 궤도와 교량간의 상호작용 해석시의 기준 조건 • 인터페이스 요구사항 : 노선별 시스템 고유 특성에 따른 요구조건 적용 • 전차선로 설비의 구조 : 편마모 방지를 위한 대처방안 지정 여부 • 전차선 지지점 간격 : 전차선 지지점 간격의 설정 • 전차선의 편위 : 편위의 설치 기준 지정 여부

o 공개토론회를 통한 주요 의견수렴 및 반영사항

항목	원안	수정안
차량의 종류	• 노선별 열차 편성 계획에 따라 각 장치의 크기, 기능, 성능, 구성 및 운영·유지보수의 용이성 등을 감안하여 간이운전대 등의 운전제어설비를 갖춘 차량(“Mc1”로 약칭한다)과 운전제어설비가 없는 차량(“Mc2”로 약칭한다)으로 구성한다.	• 노선별 열차 편성 계획에 따라 각 장치의 크기, 기능, 성능, 구성 및 운영·유지보수의 용이성 등을 감안하여 간이운전대 등의 **운전제어설비를 갖춘 차량(“Mc1”, ”Mc2”로 약칭한다) 또는 운전제어설비가 없는 차량(“M”로 약칭한다)** 으로 구성한다.
차량의 편성	1) 차량의 편성은 1량1편성 이상으로 고정편성을 구성하며, 필요시 중복 연결할 수 있도록 하여 요구 수송 수요를 만족할 수 있어야 한다.	1) 차량의 편성은 **2량1편성** 이상으로 기본편성을 구성하며, 필요시 **기본편성을** 중복 연결할 수 있도록 하여 요구 수송 수요를 만족할 수 있어야 한다.
차량의 하중조건	1) 최대 승객하중 및 화물하중 : - 6.5 ton/량 (성능계산기준)	1) **최대 승객하중 :** **(1) 성능계산기준은 차량별 최대 입석인원과 좌석정원을 합한 수에 승객 1인 하중(63kg)을 곱하여 정한다. 이 경우,**

<table>
<tr><td></td><td>- 10.0 ton/량 (강도계산기준)

2) 공차중량 : 20.0 ton 이하

3) 만차중량 : 26.5 ton 이하</td><td>차량별 최대 입석인원은 평방미터 당 6명 이내의 범위에서 노설별로 정한다.
(2) 강도계산기준은 성능계산기준의 1.5배 이상으로 설정한다.
2) 공차중량은 노선별 계획에 따른다.
3) 만차중량은 2) 항의 공차중량과 1) 항의 성능계산기준에 따른 하중을 합한 값으로 결정한다. 다만, 만차중량은 도시형 자기부상열차 안전기준에 관한 규칙에서 정한 중량한계 기준을 만족하여야 한다.</td></tr>
<tr><td>창문 안전 규격</td><td>2) 객실 측창문은 밝고 개방감 있는 대형 고정식 창문으로 하며, 안전유리를 적용하여야 한다.

3) 차량 전두부의 전면창은 안전유리를 적용하며, ~(생략)~

4) 안전유리 관련 세부기준은 유리창 안전기준을 준용한다.</td><td>2) 객실 측창문은 밝고 개방감 있는 대형 고정식 창문으로 하며, 창유리는 두께 6 mm 이상의 안전유리를 적용해야 한다.
3) 차량 전두부의 전면창은 두께 10 mm 이상의 안전유리를 적용하며 ~(생략)~
4) <삭제></td></tr>
<tr><td>공기조화장치의 적용온도 및 실내온도기준</td><td>5) 공기조화장치의 적용온도 및 실내온도기준(단, 외기조건은 노선에 따라 적합한 기준을 적용할 수 있다)
<table><tr><th>구분</th><th>외기조건</th><th>실내온도</th></tr><tr><td>하절기</td><td>34℃ / 95% RH</td><td>28℃ / 65% RH</td></tr><tr><td>동절기</td><td>-11℃ / 73% RH</td><td>20℃ / 50% RH</td></tr></table></td><td>5) <삭제></td></tr>
<tr><td>정차제동</td><td>정차시 주간제어기를 역행위치(Powering Mode)로 옮기거나 무인/자동운전시 역행 신호가 입력되면 자동완해되어야 한다.</td><td>정차시 주간제어기를 역행위치(Powering Mode)로 옮기거나 무인/자동운전시 역행 신호가 입력되면 자동완해되어야 한다. 이 경우 미끄러짐 현상이 최소화</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td></td><td></td><td>되어야 한다.</td></tr>
<tr><td>설계하중의 조합</td><td>궤도는 다음의 하중 조합을 견딜 수 있도록 설계해야 한다.

<표 14> 궤도구조에서의 하중조합 및 허용응력 증가계수</td><td>궤도의 설계하중조합에 관한 사항은 도시형 자기부상철도 토목구조물 설계기준을 따른다.</td></tr>
<tr><td>궤도와 교량간의 상호작용력</td><td>1) 궤도와 교량간의 상호 작용 해석 시에는 다음과 같은 온도변화 및 열팽창 계수를 적용하여 레일과 구조물의 온도변화를 동시에 고려해야 한다.
<table>
<tr><th colspan="2">구분</th><th>기준</th></tr>
<tr><td colspan="2">레일</td><td>± 45 ℃</td></tr>
<tr><td colspan="2">콘크리트 구조물</td><td>± 25 ℃</td></tr>
<tr><td rowspan="2">강 구조물</td><td>기후가 보통인 지역</td><td>± 35 ℃</td></tr>
<tr><td>한랭지역</td><td>± 45 ℃</td></tr>
<tr><td rowspan="3">구조물의 열팽창계수</td><td>강재(강교)</td><td>1.2×10^{-5} /℃</td></tr>
<tr><td>철근 및 콘크리트(콘크리트교)</td><td>1.0×10^{-5} /℃</td></tr>
<tr><td>강재 및 콘크리트(합성거더교)</td><td>1.2×10^{-5} /℃</td></tr>
</table></td><td>1) 궤도와 교량간의 상호 작용 해석 시에는 다음 사항을 고려해야 한다.
(1) 온도하중, 열차 시·제동하중 및 열차 수직하중 등의 작용력을 동시에 고려해야 한다. <신설>
(2) 교좌장치배열, 상판 및 교각의 제원과 물성치, 상판의 휨강성 및 높이, 상판의 중립축 위치, 기초의 수평 및 휨강성 등의 구조물 파라메타를 고려해야 한다. <신설>
(3) 레일의 제원과 물성, 궤도의 종방향 하중-변위 관계(종저항력) 등 궤도의 파라메타를 고려해야 한다. <신설></td></tr>
<tr><td>전차선로 설비의 구조</td><td>2) 선로의 곡선부 또는 캔트가 있는 구간에서는 전차선과 차량의 집전장치가 안정적으로 접촉할 수 있도록 궤도와 같은 캔트를 전차선에 직접 두는 등의 방법을 마련하여 전차선과 차량의 집전장치에 접동부 간의 편마모가 가능한 발생하지 않도록 한다.</td><td>2) 전차선의 구조는 차량의 집전장치와 습동이 원활하도록 하여 편마모를 방지하는 구조로 한다.</td></tr>
<tr><td>전차선의 지지점 간격</td><td>1) 전차선의 지지점 간격은 4 m를 기준으로 설정한다. ~(생략)~</td><td>1) 전차선의 지지점 간격은 전차선의 구조와 전차선의 허용 가능한 변형한계 및 열차의 집전장치와 전차선 간의 접촉에 의한 압력 등을 고려하여 설정한다.</td></tr>
</table>

전차선의 편위	1) 표준 높이의 중심선을 기준으로 위, 아래 각각 50 mm 이하의 편위를 둘 수 있다. 2) 편위를 둘 경우, 집전판 상, 하의 집전범위 한계를 넘지 않도록 한다.	1) **차량 집전장치의 편마모 발생을 최소화하기 위해 전차선 표준 높이의 중심선을 기준으로 위, 아래 각각에 편위를 두도록 한다.** 2) **편위는** 집전판 상, 하의 집전범위 한계를 넘지 않도록 한다.

(마) 도시형 자기부상열차 및 시설 표준규격 법안

1) 도시형 자기부상열차 표준규격 법안

2) 도시형 자기부상철도 선로시설 표준규격 법안

3) 도시형 자기부상철도 신호 및 열차제어설비 표준규격 법안

4) 도시형 자기부상철도 전력시설 표준규격 법안

바. 도시형 자기부상열차 품질인증요령(기계용품) 초안 개발

(1) 도시철도 품질인증의 법적근거

기존의 도시철도법에서 품질인증요령에 관한 내용은 도시철도법 제22조의 4에 규정되어 있으며, 그 대상 및 기준은 도시철도법 시행령 제25조의 6에 규정되어 있다.

도시철도법 제 22조의 4 [일부개정 2008.3.28 법률 9071호]

① 국토해양부장관은 도시철도에 사용되는 부품, 기기 또는 장치 등의 성능 및 안전성확보 등을 위하여 도시철도용품에 대한 품질인증을 실시할 수 있다.

② 국토해양부장관은 도시철도건설자 또는 도시철도운영자와 제작사 등에게 품질인증을 받은 도시철도용품의 우선구매를 권장할 수 있다.

도시철도법 시행령 제 25조의 6 [일부개정 2008.7.29 대통령령 20947호]

① 법 제22조의4 제3항에 따른 품질인증의 대상 및 기준은 다음 각 호와 같다.

1. 품질인증의 대상 : 별표4의3의 도시철도용품별 세부품목으로서 기술위원회의 심의를 거쳐 국토해양부장관이 고시한 품목

별표4의 3의 품질인증 대상용품의 분류는 차량용품과 시설용품으로 분류되며 여기에서는 차량용품을 대상으로 한다.

[품질인증의 대상용품 (제25조의6제1항 제1호 관련)]-도시철도법 시행령[별표 4의3]

구분	세부 품질인증 대상 용품
차량용품	1. 차체·설비용품 2. 대차(臺車)용품 3. 공기제동용품 4. 추진제어용품 5. 종합제어용품 6. 보조전원용품 7. 고전압용품 8. 차량전기용품 9. 그 밖에 도시철도차량의 성능 및 안전성 확보를 위하여 건설교통부장관이 정하는 차량용품
시설용품	1. 궤도용품 2. 토목용품 3. 건축용품 4. 설비용품 5. 신호용품 6. 정보통신용품 7. 전력용품 8. 그 밖에 도시철도시설의 성능 및 안전성 확보를 위하여 건설교통부장관이 정하는 시설용품

(2) 자기부상열차 차량 품질인증요령 대상 품목 선정

기존 도시철도 품질인증대상 품목 중 자기부상열차 차량과 같은 구조의 장치를 사용하는 항목들은 준용하고 자기부상열차에 없는 장치와 관련되어 있는 항목들은 제외하는 것이 타당하다. 기존 도시철도 품질인증대상 품목 대비 준용, 수정 및 삭제 항목은 다음과 같다.

[도시철도용품 품질인증대상 (차량용품)]

도시철도 품질인증대상 용품	자기부상열차 품질인증요령	도시철도 품질인증대상 용품	자기부상열차 품질인증요령
전동차용출입문(DR)	준용	전동차용제동실린더유니트(BC)	준용
전동차용냉방기(AC)	준용	전동차용보조공기압축기(AAC)	삭제
전동차용공기식도어엔진(DE)	준용	전동차용제동제어기(ECU)	준용
전동차용밀착연결기(TC)	준용	전동차용구원제동장치(RCU)	삭제
전동차용고무완충기(TC)	준용	전동차용인버터(MIN)	준용
전동차용대차틀(BF)	수정	전동차용견인전동기(TM)	수정
전동차용일체차륜(WE)	삭제	전동차용차량제어컴퓨터(CC)	수정
전동차용차축(AX)	삭제	전동차용편성제어컴퓨터(TC)	수정
전동차용자동높이조정밸브(LV)	준용	전동차용모니터컴퓨터(DU)	수정
전동차용오일댐퍼(LB)	준용	전동차용보조전원장치(SIV)	준용
전동차용차압밸브(DPV)	준용	전동차용충전기(CH)	준용
전동차용구동장치(DG)	삭제	전동차용축전지(BA)	준용
전동차용고무스프링(RR)	준용	전동차용판토그라프(PG)	삭제
전동차용공기스프링(AS)	준용	전동차용차단기(LB)	준용
전동차용엑슬박스(AB)	삭제	전동차용피뢰기(AR)	삭제
전동차용기어커플링(GC)	삭제	전동차용주퓨우즈(MF)	준용
전동차용제륜자(BS)	수정	전동차용필터리액터(FR)	준용
전동차용브레이크라이닝(BL)	삭제	전동차용주간제어기(MC)	수정

전동차용브레이크디스크(BL)	삭제	전동차용승객안내정보장치(PIS)	준용
전동차용주공기압축기(MAC)	준용	전동차용점퍼커플러(JC)	준용
전동차용공기건조기(AD)	삭제	전동차용배전반(DP)	준용
전동차용속도검출기(SS)	준용	전동차용연장급전상자(EPS)	준용
전동차용활주방지밸브(DV)	삭제	전동차용자동열차제어장치(ATC)	준용
전동차용제동작용장치(BOU)	준용	전동차용자동열차운전장치(ATO)	준용

자기부상열차 차량의 고유한 장치는 부상대차, 부상장치, 추진장치로, 이 장치들의 구성 부품은 다음과 같다. 부상장치와 추진장치에 대하여는 차량 설계결과에 따라 대상 품목을 추가로 결정할 필요가 있다.

대차	모듈	프레임	캐스팅 블록, 사이드프레임
		제동실린더	
		현수장치	공기스프링, 레벨링 밸브
		착지장치	랜딩스키드, 비상착지바퀴
		좌우동 스키드	
	타이 빔	타이빔, 링크	
	슬라이딩 테이블	테이블 블록, LM 가이드, 트랙션 링크	
	조향장치	유압실린더1, 유압실린더2	
부상장치	부상전자석		
	Magnet Driver		
	센서류	공극센서, 가속도센서	
추진장치	VVVF 인버터		
	선형유도전동기		

도시철도 품질인증대상 품목 중 준용항목과 자기부상열차의 고유장치 부품들을 기계분야와 전기분야로 나누어 다음 표와 같이 나타낼 수 있다. 자기부상열차 품질인증요령 중 기계용품 분야는 3차년도, 전기용품 분야는 4차년도에 개발하는 것으로 되어 있으며, 성능시험기준과 품질인증요령에 따라 자기부상열차의 주요 부품에 대한 인증이 가능하도록 하고 기존 도시철도 품질인증요령의 제정취지에 맞추어 개발을 진행할 계획이다. 다음 표에 나타난 대상 항목은 관련 세부과제들과의 협의에 의해 변경될 수 있다.

[자기부상열차 차량용품 품질인증대상 항목]

구분	세부 품질인증 대상 용품
기계용품 분야 (24)	출입문, 냉방기, 도어엔진, 밀착연결기, 고무완충기, 대차프레임, 현수장치, 랜딩스키드, 비상착지바퀴, 좌우동스키드, 타이빔, 슬라이딩 테이블, 조향장치, 공극센서, 가속도센서, 높이조정밸브, 오일댐퍼, 차압밸브, 고무스프링, 공기스프링, 제륜자, 공기압축기, 제동작용장치, 제동실린더유니트
전기용품 분야 (19)	제동제어기, 인버터, 견인전동기, 차량제어컴퓨터, 편성제어컴퓨터, 모니터컴퓨터, 보조전원장치, 충전기, 축전지, 차단기, 주퓨우즈, 필터리액터, 주간제어기, 승객안내정보장치, 점퍼커플러, 배전반, 연장급전상자, 자동열차제어장치, 자동열차운전장치

(3) 품질인증요령 개발 진행 현황

도시형자기부상열차 차량을 위한 품질인증요령은 기존 도시철도 차량 품질인증요령과 같은 구조를 가지나, 부상장치, 추진장치 등에서 기존 차량과 다른 구조를 가지므로 이들 구조의 부품류에 대한 품질인증요령의 개발이 필요하다. 품질인증요령은 크게 기계분야와 전기분야로 나누어져 있으며, 3차년도 개발 대상 기계분야 품질인증요령 항목과 개발시 준용 또는 신설, 수정 여부는 다음과 같다.

[표 159]품질인증요령 대상 용품

품질인증대상 용품	기존규격 준용 또는 신설 여부	품질인증대상 용품	기존규격 준용 또는 신설 여부
출입문	준용	대차조향장치	신설
냉방기	준용	공극센서	신설
공기식도어엔진	준용	가속도센서	신설
밀착연결기	준용	높이조절밸브	준용
고무완충기	준용	오일댐퍼	준용
대차프레임	수정	차압밸브	준용
현수장치	신설	고무스프링	준용
랜딩스키드	신설	공기스프링	준용
비상착지바퀴	신설	제륜자	수정
좌우동스키드	신설	공기압축기	준용
타이빔	신설	제동작용장치	준용
슬라이딩테이블	신설	제동실린더유니트	준용

(4) 도시형 자기부상열차 품질인증요령(기계용품) 초안

사. 도시형 자기부상열차 정밀진단지침 초안 개발

(1) 정밀진단 관련 법령 검토

o 정밀진단지침은 도시철도법 제22조의5 및 도시철도차량관리에 관한규칙 제9조제2항의 규정에 의하여 도시철도차량의 정밀진단실시에 필요한 사항을 규정하고 있음

관련 법령	해당 조문
도시철도법	**제22조의5 (도시철도차량의 사용내구연한)** ① 도시철도운영자는 국토해양부령으로 정하는 사용내구연한을 초과한 도시철도차량을 운행할 수 없다. 다만, 대통령령으로 정하는 바에 따라 국토해양부장관이 지정한 자가 실시하는 정밀진단을 받아 안전운행에 적합하다고 인정되어 사용내구연한이 연장된 도시철도차량의 경우에는 그러하지 아니하다. ② 제1항에 따른 정밀진단의 실시 및 사용내구연한의 연장에 필요한 사항은 국토해양부령으로 정한다. ***[전문개정 2009.4.1]***
도시철도차량 관리에 관한 규칙	제9조 (도시철도차량의 사용내구연한 등) ① 법 제22조의5제1항에 따른 도시철도차량의 사용내구연한(이하 "사용내구연한"이라 한다)은 운행(「철도안전법 시행규칙」 제75조제5항제2호에 따른 영업시운전을 포함한다)을 시작하는 날부터 도시철도건설자 또는 도시철도운영자가 차량사양 및 운용환경 등을 고려하여 발주 시 제작사양서에 명시한 수명까지로 하되, 수명이 명시되지 아니한 경우에는 25년으로 한다. ***<개정 2009.3.19>*** ② 영 제25조의7제1항에 따른 정밀진단자(이하 "정밀진단자"라 한다)가 실시하는 정밀진단결과 안전운행에 적합하다고 인정된 도시철도차량에 대한 사용내구연한의 연장은 그 도시철도차량의 제1항에 따른 사용내구연한 만료일의 다음날부터 15년의 범위에서 정밀진단자가 인정하는 기간까지로 한다. 이 경우 도시철도운영자는 사용내구연한이 5년을 초과하여 연장된 도시철도차량에 대하여는 5년마다 자체 안전진단을 실시하여 안전운행에 적합한지를 평가하고, 그 결과를 국토해양부장관에게 보고하여야 한다. ***<신설 2009.3.19>***

o 도시철도차량의 정밀진단 검사대상에 따른 검사항목

검사대상	일반검사	정밀검사
차체	• 치수검사 • 표면결함검사 • 내부결함검사	• 구조체하중시험 • 피로강도평가
대차	• 외관검사 • 치수검사 • 용접부검사 • 부식 및 마모량 검사	• 대차실동응력시험 (주행시 대차틀 또는 볼스터가 받는 응력을 측정)
제동장치 -전기·공기식	• 기능검사 • 성능검사 • 누설검사 • 외관 및 설치검사	• 교정검사 • 제어신호검사 • 공기압력검사 • 압부력검사 • 기밀검사 • 내압검사 • 장치검사
전기장치 -추진제어장치 -보조전원장치 -고전압장치 -기타전기장치	• 정밀진단 신청자가 제출한 자료의 분석 결과와 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준을 준용하여 일반검사항목을 선정 • 운전상태에서 아래의 시험을 실시하고 필요한 경우에는 분해하지 않은 상태에서의 육안검사 및 계측조사에 의한 상태진단 시험을 실시 - 조합된 차량의 기능 및 동작 측정 시험 - 주요기기 온도 및 상태시험 - 측정에 의한 검사 : 절연저항 및 내전압 시험 - 추진제어장치 완성차시험 - 역행시험 - 최고속도시험 - 집전시험 - 보호장치동작 확인시험 - 지상설비 연계동작 시험	• 일반검사결과 정밀검사에 의한 상태진단과 안전성평가가 요구되는 장치나 기기를 대상으로 정밀검사항목 및 검사방법을 선정할 수 있다.

- 일반 도시철도차량의 전기장치에는 종합제어장치, 차상신호보안장치, 고전압 장치(집전장치, 주퓨즈, 필터리액터, 차단기 등), 추진제어장치 등이 있음
- 이 중 종합제어장치와 차상신호보안장치는 검사대상에서 제외하는데, 해당

장치는 프로세스 연산 및 제어장치로 차량의 노후화와는 큰 연관성이 없기 때문임

- 결론적으로 일반 도시철도차량의 정밀진단검사 대상은 차량의 전체 구성품 또는 용품 중에서 마모나 내구성과는 큰 연관성이 없거나 주기적으로 유지보수 되거나 쉽게 이상여부를 판단할 수 있는 품목들은 제외(수동 운전 설비, 축전기, 축전지, 통신장치, 표시기장치, 내외장 설비, 연결기 등)한다.

(2) 정밀진단기준 개발방안

(가) 주요 개발방안

o 검사방법을 제외한 절차, 검사장비, 보고서 작성사항 등은 타당하며, 자기부상열차에 적용하여도 무방하므로 준용한다.

o 차체의 정밀검사 방법 등은 도시철도차량 정밀진단기준을 준용하며, 실용화 모델에 맞는 공차 및 변형 기준을 개발한다.

o 대차의 정밀검사 방법은 도시철도차량 정밀진단기준을 포함하며, 기계적 결합에 대한 방법, 기준, 장비 등을 신규로 개발한다.

o 제동장치의 정밀검사 방법은 도시철도차량 정밀진단기준을 준용하며, 공/유압의 실용화 모델에 맞는 적용 압력 등의 기준과 시험방법 등을 신규로 개발한다.

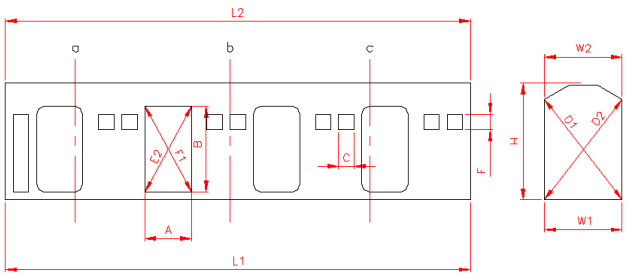
o 전기장치의 시험항목은 도시형 자기부상열차 성능시험기준과 연계하여 검토하고 , 정밀검사는 성능시험기준을 적용하여 개발한다.

(나) 세부 대상별 정밀진단기준 개발방안

o 차체 정밀진단방법

- 일반검사 항목으로는 치수검사, 표면결함검사, 내부결함검사 등이 있음

항목	내용	적용
치수검사	▪ 캠버량 - 공차상태, 역캠버가 발생하지 않는 조건, 최대 승객하중고려 ▪ 치수검사개소와 허용공차 ex)	○삭제 ○ 전 면 개정

	 표 1-1. 차체에 대한 검사개소 및 허용공차 ▪ 차체의 노후화를 고려하여 치수검사 개소 및 허용공차를 변경하여 적용	○ 준용
표면결함검사	▪ 육안검사 - 차체의 모재 및 용접부 등 전체 - 목측 및 측정기구 이용 ▪ 비파괴검사 (자분탐상시험/침투탐상시험) - 육안검사 결과 의심되는 부분 - 자분탐상시험 : KS D 0213 - 침투탐상시험 : KS B 0816 ▪ 판정기준 - 강재에 대한 용접결함 기준 : ISO 6520 - 알루미늄에 대한 용접결함 기준 : ISO 6520	○ 준용 ○ 준용 ○ 준용
내부결함검사	▪ 방사선투과시험/초음파탐상시험 - 표면결함검사 결과 의심되는 부분, 결함이 생기기 쉬운 개소, 응력집중부 부근 개소 - 공인된 전문검사기관에서 실시, 검사원은 국가기술 및 기능자격을 가진 비파괴검사기사(기능사) 등	○ 준용

- 결과평가는 각각의 검사에 대한 개별적인 평가와 종합적인 평가로 실시하며, 합격, 폐차, 정밀검사 요망으로 구분하여 판정
- 일반검사결과 차체골조 및 외판, 언더프레임의 부식이 심한 경우 폐차로 판정

- 도시철도차량 차체의 정밀검사 항목으로는 구조체하중시험, 피로강도평가 등이 있음

항목	내용	적용
구조체하중 시험	▪ 구조체하중시험 - 정밀검사요망 판정을 받은 대상 차량 중 상태가 가장 불량한 순으로 필요수량 선정 - 성능시험기준에 따름 - 강도저하, 부식, 누적피로손상 등의 영향을 고려하여 변경적용 가능	○ 준용
피로강도평가	▪ 재료의 피로특성 - 다음의 방법 중 하나를 선택하고 노후화로 인한 피로특성의 저하를 고려하여 평가 - 부품에 의한 피로시험 : 동일한 재료를 사용한 부품시험편을 제작하여 시험 - 시험편에 의한 시험 : 구조체에 이용되는 동일한 재료를 사용한 시험편을 제작하여 시험을 실시, 하중, 치수, 표면 거칠기, 표면처리, 용접, 노치 및 부식의 영향 등 고려 ▪ 구조체의 하중이력 - 기존 데이터 또는 측정 데이터를 이용 - 대상차량이 운행하는 선로조건 반영 ▪ 수명산정 - (시험 결과 잔존주행거리)/(년간 주행거리)	○ 준용 ○ 준용 ○ 준용

- 결과평가는 구조체하중시험방법으로 평가하며 만족하는 경우 합격으로 판정하고, 피로강도평가방법으로 잔존수명을 산정

o 대차 정밀진단방법

- 도시철도차량의 대차에 대한 정밀진단은 용접형대차틀과 볼스터를 대상으로 함

  → 정밀진단 대상항목에 기계적 결합을 추가 포함하여 개정해야 함.

- 도시철도차량의 일반검사 항목으로는 외관검사, 치수검사, 용접부검사, 부식 및 마모량 검사 등이 있음

항목	내용	적용
외관검사	▪ 대상의 외관변형이나 균열유무 검사	○ 준용
치수검사	▪ 치수기준 : 신청자가 제시한 기준도면 및 자료	○ 준용

	▪ 장비 : 3차원 측정설비 이용 ▪ 측정항목 : 대차 고정 축거, 차축 시프링 시트, 센터피봇 중심간 거리, 구동기어 설치브라켓 거리, 구동기어, 제동장치, 견전동기 설치브라켓 거리, 기타 정밀진단자가 정하는 주요치수	○ 준용 ○ 전면개정
용접부검사	▪ 검사부위 및 기준 - 검사대상 대차의 사양서 및 관계도면에 의하여 정밀진단자가 별도로 지정 - 비파괴 전문가는 적합한 검사장비를 가지고 용접부 검사를 실시하여 건전성을 평가 - 대차틀에 대한 비파괴검사는 자분탐상시험(KS D 0213), 초음파탐상시험(KS B 0845) 및 방사선투과시험(KS B 0896)을 실시	○ 준용
부식 및 마모량 검사	▪ 부식 및 마모량 검사 - 용접대차틀 및 볼스터에서 부식이 잘 발생되는 부위에 대해 차종별로 지정하여 부식정도를 검사 - 구조상 습동부위가 존재하는 경우에는 마모 부위에 대해 차종별로 지정하여 마모량을 검사	○ 준용

- 결과평가는 외관검사에 따라 변형이나 균열이 없어야 하며, 용접부검사 결과 각각 2급 이상이어야 하고, 치수검사와 부식 및 마모량 검사는 신청자가 제시한 기준 도면 및 자료에 의하여 평가함
- 정밀검사 항목으로는 실제 운행노선에서 주행시 대차틀 또는 볼스터가 받는 응력을 측정하는 대차실동응력시험이 있음

- 도시철도차량의 정밀검사 방법은 다음과 같다.

검사방법	내용	적용
시험조건	▪ 영업운전선로에서 최대하중조건으로 정상영업운전상태와 동일하게 실시	○ 준용
시험방법	▪ 측정방법 - 스트레인게이지(최대한 독립적으로 작용) ▪ 측정구간 - 특별지정, 영업운전구간, 3회 왕복 이상 ▪ 시험장비 - 가속도계, 앰프, 오실로그래프, 레코더, 속도계	○ 준용 ○ 준용 ○ 준용

	등 ▪ 시험장비 사용법 - 스트레인게이지 설치방법, 공진주파수 고려, 수평면에 고정, 필터사용, 고주파진동 제거(30Hz 사용), 보조자료입력	○일부개정
시험기록	▪ 기록항목 - 측정일시, 기후, 공시차량, 편성, 측정구간, 주행속도, 거리, 선로상태, 측정인원, 측정기의 종류·형식·설치위치·구성도, 사용필터특성, 측정항목, 측정데이터, 기타사항	○준용
시험결과 분석방법	▪ 부식 및 마모량 검사 - 신청자가 제시한 기준도면 및 자료	○준용
평가기준	▪ 미국용접학회(AWS)의 피로허용응력 E등급 기준	○준용

- 결과평가는 외관 및 치수변형량, 부식마모량, 용접부의 비피괴검사결과를 실동응력측정결과와 조합하여 잔존수명을 평가함

o 제동장치 정밀진단방법

- 적용범위 대상으로는 전기식, 공기식이 있으며, 유압식(공용)을 추가 포함하여 개정.
- 도시철도차량의 일반검사는 다음과 같다.

분류	내용	적용
검사항목	▪ 기능검사, 성능검사, 누설검사, 외관 및 설치검사	○준용
기능검사 검사방법	▪ 검사조건 - 정차상태, (상용, 비상, 정차 등)각각의 제동실린더 압력측정은 공차 및 만차상태에서 검사 등 ▪ 측정항목 - 비상제동신호, 역행선택신호, 제동선택신호, 상용제동신호, 제동실린더압력, 주공기배관압력, 주공기통압력 ▪ 검사방법 및 기준 - 상용제동검사, 비상제동검사, 주차제동검사, 보안제동검사, 제동충기/완해 검사, 주공기압축기 검사	○일부개정 ○일부개정 ○준용

	- 동작 및 압력에 대한 검사기준	
성능검사	▪ 검사조건 - 직선 평탄로 등 ▪ 측정항목 - 비상제동신호, 역행선택신호, 제동선택신호, 상용제동신호, 제동실린더압력, 차축속도신호, 열차속도신호, 가·감속도신호 ▪ 검사방법 및 기준 - 상용제동검사, 비상제동검사 - 동작 및 시간, 제동거리 등	○일부개정 ○준용 ○일부개정(대상항목 및 그 동작)
누설검사	▪ 검사조건 - 직선 평탄로 등 ▪ 측정항목 - 제동실린더 압력, 주공기배관 압력, 주공기통 압력 ▪ 검사방법 및 기준 - 명차 및 제동실린더에 정격압력으로 충기하고 압력강하 측정	○준용 ○일부개정 ○일부개정
외관 및 설치검사	▪ 검사항목 및 기준 - 제동작용장치, 주공기압축기, 기초제동장치, 공기통 및 공기배관, 각종 계기, 밸브 및 외함의 손상 마모 등 검사	○일부개정(대상항목)

- 정밀검사 항목으로는 교정검사, 제어신호검사, 공기압력검사, 압부력검사, 기밀검사, 내압검사, 부식검사, 장치검사 등이 있다.

분류	내용	적용
교정검사	▪ 검사조건(항목) - 압력스위치, 압력변환기, 안전밸브 및 압력조정밸브 및 기타 필요한 계기 ▪ 검사방법 및 기준 - 압력스위치교정, 압력변환기교정, 안전밸브교정, 압력조정밸브교정 ▪ 결과평가 - 평가기록, 기준만족을 못 할 시에는 부품의 수리 또는 교체를 조치	○준용

제어신호검사	▪ 검사조건 - 연차운행상태, 혼합제동(상용제동지령신호, 응하중압력신호, 전기제동요구신호, 전기제동달성신호, 공기제동요구신호) ▪ 검사방법 - 전기제동신호 차단, 운행최고속도에서 주간제어기를 타행위치로, 주간제어기로 상용전제동을 체결 ▪ 검사기준 - 혼합제동 원활, 제어신로가 제작사양 만족 ▪ 결과평가 - 평가기록, 기준만족을 못 할 시에는 제어신호를 교정하여 제동성능 만족하도록 조치	○준용 ○일부개정
공기압력검사	▪ 검사부위 및 기준 - 검사대상 대차의 사양서 및 관계도면에 의하여 정밀진단자가 별도로 지정 - 비파괴 전문가는 적합한 검사장비를 가지고 용접부 검사를 실시하여 건전성을 평가	○준용
압부력검사	▪ 검사조건 - 정차상태 ▪ 검사방법 - 상용전제동을 체결, 제동실린더 입구의 차단콕 잠금, 압력계 설치, 제동접촉자 사이에 로드셀 설치, 차단콕 잠금해제 ▪ 검사기준 - 제동실린더 압력이 0.4MPa 일 때 압부력이 제작사양 만족 ▪ 결과평가 - 평가기록, 기준만족을 못 할 시에는 부품의 수리 또는 교체를 조치	○준용 ○ 개정(선로와 제동자사이에 로드셀 설치 가능여부) ○개정 ○준용
기밀검사	▪ 검사조검 - 정차상태 ▪ 검사방법 - 정격압력 충기로 5분 지속, 배관, 콕 필터 에 기밀탐지용액 통해 기포발생 검사 ▪ 검사기준 - 기포, 누설이 없어야 함	○준용 ○준용 ○준용

	▪ 결과평가 - 평가기록, 기준만족을 못 할 시에는 부품의 수리 또는 교체를 조치	○준용
내압검사	▪ 검사조건 - 분해검사를 원칙으로 함 ▪ 검사방법 - 최대사용압력의 1.5배를 서서히 가해, 5분 지속 ▪ 검사기준 - 누수 및 영구변형 등의 이상유무 ▪ 결과평가 - 평가기록, 기준만족을 못 할 시에는 부품의 수리 또는 교체를 조치	○준용 ○준용 ○준용 ○준용
부식검사	▪ 검사조건 - 시편 채취, 시험편의 가공 ▪ 검사방법 및 기준 - 노후관의 두께 결정 ▪ 결과평가 - 부식두께가 설계두께의 절반이상 초과시 폐기	○준용 ○준용 ○준용
장치검사	▪ 제동작용장치 - 차량에서 분해야여 성능시험, 기능시험, 누설검사 및 노후도검사로 구분하여 실시 - 성능검사, 기능검사, 누설검사 등의 기준은 제작사양에 따르며, 제동작용장치의 분해검사를 실시 - 평가기록, 기준만족을 못 할 시에는 부품의 수리 또는 교체를 조치 ▪ 주공기압축기 - 제작사양에 따름 - 분해검사를 실시, 결함, 균열 및 부식 등의 노후도 검사 - 평가기록, 기준만족을 못 할 시에는 부품의 수리 또는 교체를 조치 ▪ 기초제동장치 - 차량에서 분해하여 마찰계수검사 실시 - UIC 기준 - 평균값이 제작사양을 만족 - 평가기록, 기준만족을 못 할 시에는 부품의 수리 또는 교체를 조치	○준용 ○준용 ○ 개 정 (관련 규격 검토)

o 전기장치 정밀진단방법

- 기존 적용범위의 대상은 추진제어장치, 보조전원장치, 고전압장치 및 기타 정기장치 등이 있으며, 부상제어장치 등을 추가하여 포함시켜야 함
- 일반검사는 다음과 같다.

분류	내용	적용
일반검사	▪ 검사항목 - 성능시험기준을 준용 ▪ 검사조건 - 운전상태 또는 필요한 경우 분해하지 않은 상태에서의 육안검사 및 계측조사에 의한 상태진단 시험을 실시 - 조합된 차량의 기능 및 동작측정시험, 주요기기 온도 및 상태시험, 측정에 의한 검사(절연저항 및 내전압 시험), 추진제어장치 완성차시험, 역행시험, 최고속도시험, 보호장치동작 확인시험, 지상설비 연계동작 시험 ▪ 결과평가 - 해당 사양서 및 시험성적서를 기준으로 하며 없는 경우에는 관련규격을 조사하여 준용 - 제출자료의 분석, 동작, 기능 확인시험 및 상태진단시험에 의한 결과를 종합 - 평가기록, 기준만족을 못 할 시에는 부품의 수리 또는 교체를 조치	○준용
정밀검사	▪ 검사항목 - 정밀검사가 필요한 경우 정밀진단자는 정밀검사 항목 및 검사방법을 선정할 수 있음 - 검사기준은 사양서 및 시험성적서를 기준으로 하며 없는 경우에는 관련규격을 조사하여 준용 ▪ 검사방법 - 정밀육안검사, 계측시험조사에 의한 정밀상태진단 실시 - 기계적 성능평가시험(기계적 동작시험, 강도시험, 진동 및 충격내력시험, 유·공압장치의 기밀시험) - 전기적 성능평가 시험(절연특성시험, 온도상승	○준용 ○전면개정

	시험, 보호장비와 계전기에 대한 동작 및 조정 시험) - 보수 등의 조치를 실시한 구성품은 차량에 다시 조립 장착한 후 전반적인 기능검사를 실시하고 주행시험을 통하여 성능 확인 ▪ 결과평가 - 상태평가결과 및 기계적, 전기적 성능평가시험에 의한 안전성 및 잔존수명 평가 결과를 종합 - 안전성이 미흡한 경우에는 이를 해소하도록 수리 또는 교체 판정	

(3) 도시형 자기부상열차 정밀진단지침 초안