[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

2핵심과제 목차

제 1 장 연구개발과제의 개요

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

제 1 절 국내·외 기술 개발의 환경 변화 ····· 15

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

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] ····· 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

제 1 절 연구개발 목표의 달성도 ····· 1051

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

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

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

제 7 장 참고문헌 ····· 1099

<표 목차>

[표 1]해외 자기부상열차 개발동향 ····· 20
[표 2]Linimo의 주요 시스템 사양 ····· 26
[표 3]사용재질의 항복강도 및 피로강도 (단위:kgf/mm2) ····· 109
[표 4]안전성 판정기준 ····· 109
[표 5]사용재질의 허용응력 및 피로응력 (단위:kgf/mm2) ····· 109
[표 6]차체의 처짐량 및 고유진동수 해석결과 ····· 112
[표 7]도시형 자기부상열차 MC1 차량의 중량제원 ····· 113
[표 8]사용재질의 항복강도 및 피로강도 (단위:kgf/mm2) ····· 114
[표 9]충돌안전도 해석조건 ····· 118
[표 10]사용재질의 항복강도 및 피로강도(단위:kgf/mm2) ····· 118
[표 11]연결기의 기계적 특성 ····· 119
[표 12]충돌안전도 평가기준 ····· 119
[표 13]재료 물성치 ····· 140
[표 14]정하중조건 ····· 140
[표 15]마그네슘의 기계적 특성 at 20℃ ····· 172
[표 16]성형용 마그네슘합금 판재 ····· 172
[표 17]성형용 마그네슘합금 판재 ····· 174
[표 18]재료시험 시험편 목록 ····· 177
[표 19]시험 데이터 ····· 178
[표 20]TRUE STRESS-STRAIN CURVE ····· 178
[표 21]시험 데이터 ····· 178
[표 22]TRUE STRESS-STRAIN CURVE ····· 179
[표 23]압출 Profile 형상 및 특성 ····· 204
[표 24]압출 금형 제작도 및 금형 형상 ····· 204
[표 25]해석 공정간 온도 변화 ····· 205
[표 26]유사차종 Under Frame의 주요 구성 압출 형재 ····· 207
[표 27]유사차종 Side Frame의 주요 구성 압출 형재 ····· 208
[표 28]유사차량 Roof Frame의 주요 구성 압출 형재 ····· 209
[표 29]Rib 형상별 응력-변형량 비교1 ····· 211
[표 30]Solid Type 압출 금형의 압출 최소 두께 ····· 212

[표 31]Hollow Type 압출 금형의 압출 최소 두께 ····· 212
[표 32]설계 모델 Under Frame의 주요 구성 압출 형재 ····· 213
[표 33]경량화 설계 모델 Roof Frame의 주요 구성 압출 형재 ····· 214
[표 34]경량화 설계 모델 Side Frame의 주요 구성 압출 형재 ····· 214
[표 35]nder Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징 ····· 217
[표 36]Side Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징 ····· 218
[표 37]Roof Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징 ····· 219
[표 38]End Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징 ····· 221
[표 39]Cap Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징 ····· 222
[표 40]Under Frame 압출 프로파일 설계 도면 ····· 226
[표 41]Side Frame용 압출 프로파일 설계 도면 ····· 227
[표 42]Roof Frame 압출 프로파일 설계 도면 ····· 227
[표 43]End Frame 압출 프로파일 설계 도면 ····· 228
[표 44]차체 정적강도 해석 결과 ····· 229
[표 45]도시형 자기부상열차(MC1)의 제원 ····· 230
[표 46]도시형 자기부상열차(MC1)의 계산 중량 ····· 231
[표 47]하중 조건 및 하중 크기 ····· 231
[표 48]안전성 판정기준 ····· 231
[표 49]사용재질의 허용응력 및 피로응력 (단위:kgf/mm^2) ····· 232
[표 50]하중조건별 최대응력(단위 : kgf/mm^2) ····· 233
[표 51]차체의 처짐량 및 고유진동수 해석결과 ····· 236
[표 52]도시형자기부상열차(MC1)의 계산 중량 ····· 241
[표 53]사용재질의 항복강도 및 피로강도 (단위:kgf/mm^2) ····· 242
[표 54]Under Frame용 압출 금형 설계 도면 및 제작 금형 ····· 244
[표 55]자기부상열차 Profile에 따른 압출기 및 빌렛 사이즈 ····· 246
[표 56]A6005 합금 빌렛 압출 공정 인자 ····· 246
[표 57]압출 공정 인자 ····· 247
[표 58]도시형 자기부상열차 Cab Frame의 실제 압출간 공정인자 측정 결과 ··· 249
[표 59]시험 항목 및 시험 시편 ····· 251
[표 60]Al 6005A T6 재료의 경도 합-부 판정 기준 ····· 251
[표 61]경도 시험 합-부 판정 기준 ····· 252
[표 62]Al 6005A의 화학 성분 Spec ····· 254

[표 63]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 기계적 특성 시험 결과 ····· 257
[표 64]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 경도 시험 결과(비커스0.5kgf) ····· 257
[표 65]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 굽힘 시험 결과 ····· 258
[표 66]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 성분 분석 시험 결과 ····· 259
[표 67]도시형 자기부상열차 압출 조직 분석 시험 결과 (GB≧-5) ····· 260
[표 68]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 변형 시험 결과 ····· 260
[표 69] 압출 프로파일 설계 단중 vs 실제 측정 단중 비교 ····· 261
[표 70]충돌해석 결과 ····· 341
[표 71]멀티미디어 컨트롤 시스템 TC CAR 장치 구성 ····· 347
[표 72]중앙제어장치 구성 ····· 348
[표 73]객차제어장치 구성 ····· 349
[표 74]갭 센서 사양 ····· 389
[표 75]가속도 센서 사양 ····· 389
[표 76]CT 사양 ····· 390
[표 77]PT 사양 ····· 390
[표 78]시뮬레이션 파라메타 ····· 399
[표 79]MLC 규격] ····· 446
[표 80]MLIB 규격 ····· 446
[표 81]MLIO 규격 ····· 447
[표 82]PSM 규격 ····· 447
[표 83]자기부상 마그네트사양 ····· 451
[표 84]MD 수정 보완 사항 ····· 490
[표 85]해석 프로그램의 검증 결과 ····· 500
[표 86]3대차 방식에서 개선된 LIM 해석비교표 ····· 501
[표 87]Modal Analysis ····· 514
[표 88]중기거점기술개발사업용 부상용 전자석의 주요특성 ····· 541
[표 89]3대차 및 5대차 방식 부상용 전자석의 주요특성 ····· 542
[표 90]1pole 3yoke 방식의 부상용 전자석의 주요특성 ····· 544
[표 91]4대차 방식 부상용 전자석의 주요특성 ····· 545
[표 92]중기거점기술개발사업용과 4대차 방식의 전자석 주요특성 비교 ····· 545
[표 93]부상용 전자석의 각 방식에 대한 특성 비교 ····· 548
[표 94]SM400 계열의 자기특성표 ····· 552

[표 95]ST37 계열의 자기특성표 ····· 552
[표 96]전기적 특성비교표 ····· 552
[표 97]부상용 전자석의 주요 특성 및 비교 ····· 559
[표 98]한국기계연구원 선로 시험대차용 부상용 전자석 주요사양 ····· 560
[표 99]시험장치의 주요사양 ····· 560
[표 100]온도에 따른 전기저항 변화특성 ····· 566
[표 101]최종 확정 사양의 부상용 전자석 개발결과 ····· 573
[표 102]기존차량 문제점 및 개선방안 ····· 594
[표 103]목표 성능 규격 분석 ····· 595
[표 104]해석 시 고려사항 ····· 605
[표 105]부상제어 시스템 파라메터 ····· 608
[표 106]성능평가 기준 ····· 622
[표 107]차량 요구 사항 ····· 624
[표 108]해석 모델 고려사항 ····· 624
[표 109]시험차량 진동 특성 계산표 ····· 626
[표 110 질량 및 관성 ····· 626
[표 111]해석 모델 힘요소 특성치 ····· 626
[표 112]시험항목 및 시험목적 ····· 628
[표 113]주요 치수 ····· 630
[표 114]공기 스프링 최대 변위 ····· 632
[표 115]대차 변위 검토 조건 ····· 633
[표 116]결과 요약 ····· 633
[표 117]Data for the curved guideway for simulation ····· 634
[표 118]피로내구 평가 조건 ····· 641
[표 118]승차감 평가 ····· 646
[표 119]진동가속도 데이터 통계값 ····· 651
[표 120]UIC 승차감 지수의 비교 ····· 651
[표 121]동특성 해석을 위한 현가요소 물성치 ····· 652
[표 122]대차 착지장치 개선안 비교표 ····· 653
[표 123]Landing skid 요구사양(규격) ····· 653
[표 124]공기 스프링 내압 측정 결과 ····· 658
[표 125]가이드웨이 불규칙도 ····· 659

[표 126]승차감 평가 결과 ····· 660
[표 127]1/2차량 승차감 평가 결과 ····· 661
[표 128]소음원 분석 ····· 665
[표 129]조인트 구조 ····· 668
[표 130]가이드웨이 불규칙도 ····· 669
[표 131]부상공극 편차 ····· 670
[표 132]가이드웨이 구조적 특성 ····· 672
[표 133]Properties of the electromagnet] ····· 685
[표 134]Properties of the levitation control system ····· 686
[표 135]Properties of the standard simply supported guideway ····· 686
[표 136]Eigenvalues calculated ····· 686
[표 137]Air gap deviation test results on the seven different guideways ··· 690
[표 138]강체 진동 해석 결과 ····· 691
[표 139]해석 모델의 설계 변수 ····· 699
[표 140]선형유도전동기 주요 규격 ····· 706
[표 141]Lateral skid 검토 ····· 712
[표 142]비상착지륜 요구사항 ····· 713
[표 143]기계연 시험선 ····· 718
[표 144]과학관 시험선 ····· 718
[표 145]가이드웨이별 물성치 ····· 719
[표 146]정규모드 해석결과 ····· 719
[표 147]가이드레일 주요진동수 ····· 720
[표 148]가이드웨이 물성치 ····· 722
[표 149]가이드웨이 설계 ····· 732
[표 150]거더별 고유진동수 및 부상공극 편차 증폭비 ····· 733
[표 151]상부궤도 설계요구 조건 ····· 734
[표 152]CantRail ····· 865
[표 153]Center Sill ····· 866
[표 154]Sole bar ····· 866
[표 155]bogie frame ····· 867
[표 156]Side Door Post ····· 869
[표 157]End Frame ····· 870

[표 158]Side Door Post 압출금형프로파일의 설계변경 형상 ····· 870
[표 159]End Panel 압출금형프로파일의 설계변경 형상 ····· 871
[표 160]도시형 자기부상열차(MC1)의 제원 ····· 872
[표 161]도시형 자기부상열차(MC1)의 계산 중량 ····· 872
[표 162]하중 조건 및 하중 크기 ····· 873
[표 163]안전성 판정기준 ····· 873
[표 164]사용재질의 허용응력(단위:kgf/mm^2) ····· 873
[표 165]하중조건별 최대응력(단위 : kgf/mm^2) ····· 874
[표 166]도시형자기부상열차 압출프로파일 리스트 ····· 877
[표 167]Under Frame 12종의 압출프로파일 압출 조건 ····· 878
[표 168]Side Panel 7종의 압출프로파일 압출 조건 ····· 878
[표 169]Roof Panel 7종의 압출프로파일 압출 조건 ····· 879
[표 170]End Panel 4종의 압출프로파일 압출 조건 ····· 879
[표 171]Cab Frame 2종의 압출프로파일 압출 조건 ····· 879
[표 172]압출기 출구의 압출프로파일 형상 ····· 880
[표 173]도시형자기부상열차 압출프로파일의 형상 ····· 881
[표 174]압출프로파일의 형상게이지 ····· 882
[표 175]알루미늄 압출재 치수검사 기준서용 압출프로파일 리스트 ····· 885
[표 176]압출프로파일의 소재시험 항목리스트 ····· 888
[표 177]Al 6005A T6 재료의 경도 합-부 판정 기준 ····· 889
[표 178]Al 6005A T6 재료의 경도 합-부 판정 기준 ····· 890
[표 179]Al 6005A의 화학 성분 Spec ····· 891
[표 180]압출프로파일 소재시험용 시험편 형상 ····· 893
[표 181]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 기계적 특성 시험 결과 ····· 894
[표 182]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 경도 시험 결과(비커스0.5kgf) ···· 895
[표 183]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 굽힘 시험 결과합 ····· 896
[표 184]도시형 자기부상열차 압출 조직 분석 시험 결과 (GB≧-5) ···· 896
[표 185]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 성분 분석 시험 결과 ····· 897
[표 186]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 변형 시험 결과 ····· 898
[표 187]제동계산서 수정 후 압부력 측정 비교표 ····· 921
[표 188]멀티미디어 컨트롤 시스템 TC CAR 장치 구성 ····· 932
[표 189]중앙제어장치 구성 ····· 932

[표 190]객차제어장치 구성 ····· 933
[표 191]승차감 평가 ····· 963
[표 192]곡선 가이드웨이 조건 ····· 963
[표 193]횡 공극 시뮬레이션 결과 ····· 963
[표 194]요 가속도 최대값 ····· 964
[표 195]ISO 기준 측정 값 ····· 968
[표 196]UIC 측정 결과 ····· 968
[표 197]부상공극 해석 결과 ····· 973
[표 198]속도에 따른 측정결과 ····· 975
[표 199]거더별 측정 결과 ····· 975
[표 200]자기부상열차 시험운용 내용 ····· 980
[표 201]초도편성 차량 동하중 해석 주행 시나리오 ····· 980
[표 202]Air spring의 정하중 대비 동하중 변동, ▽Fz ····· 981
[표 203]Magnet의 정하중 대비 동하중 변동, ▽Fz ····· 981
[표 204]Magnet의 안내력(N), Fy ····· 982
[표 205]레일 설치 및 유지보수 공차 ····· 984
[표 206]로테코 입고검사 품목 ····· 995
[표 207]로테코 공정검사 항목 ····· 998
[표 208]철도차량 제작검사 증명서(1 ~ 4편성) ····· 999
[표 209]구성품 시험 품목 ····· 1000
[표 210]완성차 시험 항목 ····· 1000
[표 211]본선시운전 시험 항목 ····· 1002
[표 212]도시철도차량성능검사증(1 ~ 4편성) ····· 1002
[표 213]주요 인터페이스 및 시험 항목 ····· 1004
[표 214]차량정비 매뉴얼 목록 ····· 1015

<그림 목차>

[그림 1]EXPO 93 전시/운행차량(HML-03) ····· 15
[그림 2]도시형 자기부상열차(UTM-01) ····· 16
[그림 3]지경부 수송시스템산업원천기술개발사업 차량 ····· 16
[그림 4]국립중앙과학관 ~ 엑스포과학공원 노선도 ····· 17
[그림 5]자기부상열차 실용화 사업 노선도(인천신공항 주변) ····· 19
[그림 6]Transrapid-09 ····· 21
[그림 7]상하이~푸둥국제공항간 자기부상열차 ····· 21
[그림 8]상하이~푸둥국제공항간 노선 가이드웨이와 분기기 ····· 22
[그림 9]MLX-01의 시험운행 ····· 22
[그림 10]일본의 HSST-100L의 시험운행전경 ····· 23
[그림 11]동부구릉선 역사의 외부 전경 및 실내 ····· 24
[그림 12]동부구릉선(Nagoya Eastern Hillside Line) 선로 ····· 24
[그림 13]버지니아주 ODU 대학 실용노선 건설현장 ····· 26
[그림 14]미국 GA사 영구자석형 자기부상열차 ····· 28
[그림 15]Zhonghua 01 ····· 28
[그림 16]자오다 자기부상 CFC-01 ····· 29
[그림 17]Web Access 메인화면 ····· 56
[그림 18]프로젝트 센터 : 전체 일정 관리 및 진도율 점검 ····· 57
[그림 19]도시형 자기부상열차 차체의 유한요소모델 (1/2 모델) ····· 108
[그림 20]수직하중조건에서의 응력분포 ····· 110
[그림 21]압축하중조건에서의 응력분포 ····· 110
[그림 22]비틀림 하중조건에서의 응력분포 ····· 111
[그림 23]인장하중조건에서의 응력분포 ····· 111
[그림 24]8점지지 하중조건에서의 응력분포 ····· 111
[그림 25]수직하중 조건에서의 사이드실의 처짐선도 ····· 112
[그림 26]굽힘 고유진동수 결과(약 14.43 Hz) ····· 112
[그림 27]비틀림 고유진동수 결과(약 8.88 Hz) ····· 113
[그림 28]AL6005-T6 재료의 S-N곡선 (R=-1.0) ····· 115
[그림 29]MC1 차체의 피로해석 결과(1) ····· 115
[그림 30]MC1 차체의 피로해석 결과(2) ····· 116

[그림 31]MC1 차체의 피로해석 결과(3) ····· 116
[그림 32]MC1 차체의 피로해석 결과(후방대차부) ····· 117
[그림 33]MC1 차체의 피로해석 결과(중심대차부) ····· 117
[그림 34]MC1 차체의 피로해석 결과(전방대차부) ····· 117
[그림 35]1차원 스프링요소를 이용한 충돌해석모델 개념도 ····· 118
[그림 36]다중연결기의 하중 변위특성 ····· 119
[그림 37]중간연결기의 하중 변위특성 ····· 119
[그림 38]도시철도차량(MC1)의 변형량 평가 영역 ····· 120
[그림 39]도시철도차량(MC1)의 구간별 변형량 결과 ····· 120
[그림 40]도시철도차량(MC1)의 충격력 결과 ····· 121
[그림 41]도시철도차량(MC1)의 충돌 후 시간에 따른 변형형상 ····· 121
[그림 42]차량 상하기기 배치도(3D 모델링) ····· 127
[그림 43]자기부상열차용 대차의 형상(1량구성) ····· 131
[그림 44]자기부상열차용 1대차 대차의 형상 ····· 131
[그림 45]대차 프레임 제품 형상 ····· 132
[그림 46]대차 프레임 구성품 ····· 132
[그림 47]타이빔 연결 형상 ····· 133
[그림 48]적용 공기스프링 외형 ····· 134
[그림 49]현수장치의 구성 ····· 135
[그림 50]부상용 전자석 ····· 135
[그림 51]비상착지륜 설치 ····· 136
[그림 52]landing skid ····· 137
[그림 53]lateral skid ····· 137
[그림 54]sliding table & steering cylinder ····· 138
[그림 55]시험대차 현수장치 공기 흐름도 ····· 139
[그림 56]유한요소모델 ····· 139
[그림 57]부상전자석 Ass'y 도면 ····· 142
[그림 58]장치 별 중량 분포 현황 ····· 150
[그림 59]Frame Assembly ····· 151
[그림 60]Module assembly ····· 151
[그림 61]3-D measurement for bogie assembly ····· 152
[그림 62]Installation of bogies on track ····· 152

[그림 63]Trucking of car-body on two bogies ····· 152
[그림 64]차체 대조립 지그 설치 ····· 155
[그림 65]SEAT 설계에 필요한 주요 인체 측정치 ····· 170
[그림 66]3점 굽힘 유한요소모델 ····· 179
[그림 67]강도시험 ····· 181
[그림 68]자기부상열차의 BUM Seat ····· 182
[그림 69]Type B (벽면부착 SEAT) ····· 182
[그림 70]Type B의 하중 분포 ····· 183
[그림 71]자기부상열차 접이식 SEAT ····· 184
[그림 72]Type C(접이식 SEAT) ····· 184
[그림 73]Type C의 하중 분포 ····· 184
[그림 74]강도시험 ····· 185
[그림 75]압출 공정의 전형적인 Thermal Cycle ····· 202
[그림 76]해석 진행 간 다이 압력 변화] ····· 206
[그림 77]유사차량의 End Frame ····· 209
[그림 78]유사차량의 Cab Frame ····· 210
[그림 79 자기부상열차 기본 설계안의 구체 단면도] ····· 216
[그림 80]Under Frame 설계 제시 안 ····· 224
[그림 81]Side Frame 설계 제시안 ····· 225
[그림 82]Roof Frame 설계 제시안 ····· 225
[그림 83]도시형 자기부상열차의 구체 단면 ····· 226
[그림 84]차체의 피로수명분포 ····· 229
[그림 85]도시형 자기부상열차(MC1) 차체의 유한요소모델(1/2) ····· 230
[그림 86]수직하중조건에서의 응력분포 ····· 234
[그림 87]압축하중조건에서의 응력분포 ····· 234
[그림 88]비틀림 하중조건에서의 응력분포 ····· 234
[그림 89]인장 하중조건에서의 응력분포 ····· 235
[그림 90]8점지지 하중조건에서의 응력분포 ····· 235
[그림 91]수직하중 조건에서의 사이드실의 처짐선도 ····· 236
[그림 92]굽힘고유진동수 결과(약 14.43 Hz) ····· 237
[그림 93]비틀림 고유진동수 결과(약 8.88 Hz) ····· 237
[그림 94]리프팅 브라켓 위치에 대한 개략도 ····· 238

[그림 95]리프팅 하중조건시 최대응력분포 ····· 239
[그림 96]리프팅 하중조건시 후방 리프팅부 응력분포 ····· 239
[그림 97]리프팅 하중조건시 전방 리프팅부 응력분 ····· 239
[그림 98]센터실과 Sole Bar의 상대처짐량 ····· 240
[그림 99]AL6005-T6 재료의 S-N곡선 (R=-1.0) ····· 242
[그림 100]MC1 차체의 피로해석 결과(1) ····· 243
[그림 101]1,800ton 압출기 ····· 244
[그림 102]3,650ton 압출기 ····· 245
[그림 103]8,000ton 압출기 ····· 245
[그림 104]자기부상열차 Profile ····· 246
[그림 105]압출 초기 압력(좌) 및 압출 Porfile 표면 ····· 248
[그림 106]압출간 냉각 공정 ····· 248
[그림 107]압출된 제품 형상 ····· 249
[그림 108]압출 제품 단면 형상 검사 ····· 249
[그림 109]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 치수 검사 기준서 ····· 250
[그림 110]경도 시험 시편 형상 ····· 252
[그림 111]굽힘 시험 시편 형상 ····· 253
[그림 112]모재부 인장시험 시편 ····· 255
[그림 113]Seam부 인장시험 시편 ····· 255
[그림 114]모재부 경도 시험 시편 ····· 255
[그림 115]Seam부 경도 시험 시편 ····· 255
[그림 116]모재부 굽힘 시험 시편 ····· 256
[그림 117]Seam부 굽힘 시험 시편 ····· 256
[그림 118]모재부 화학 성분 시험 시편 ····· 256
[그림 119]모재부 조직 분석 시험 시편 ····· 256
[그림 120]Seam부 조직 분석 시험 시편 ····· 256
[그림 121]변형 시험 시편 ····· 257
[그림 122]주회로도 ····· 262
[그림 123]시뮬레이션 회로도 ····· 262
[그림 124]시뮬레이션 파형 ····· 263
[그림 125]손실계산 데이터 ····· 264
[그림 126]LB BOX 제작 ····· 267

[그림 127]인버터함 제작 ····· 268
[그림 128]FL 제작 ····· 268
[그림 129]조합시험(기능 및 동작시험) ····· 269
[그림 130]PDS BOX ····· 269
[그림 131]FUSE BOX ····· 270
[그림 132]INVERTER BOX ····· 270
[그림 133]LB BOX ····· 271
[그림 134]FL BOX ····· 271
[그림 135]OVRe BOX ····· 272
[그림 136]DCU 시제품 ····· 280
[그림 137]Maglev Door System ····· 280
[그림 138]Fix Assembly ····· 281
[그림 139]Moving Mechanism Assmbly ····· 282
[그림 140]Pillar Assembly ····· 283
[그림 141]도어판넬 형상 ····· 283
[그림 142]도어판넬 도면 ····· 284
[그림 143]자기부상 도어시스템 전기회로도 ····· 284
[그림 144]자기부상 도어시스템에 적용될 플라스틱 기어, 베어링 시제품 ····· 285
[그림 145]자기부상열차 도어엔진 기구부 ····· 286
[그림 146]Inno Trans 2008 차량박람회 출품차량 적용 ····· 286
[그림 147]Inno Trans 2008 차량박람회 출품차량의 도어시스템 모습 ····· 287
[그림 148]도어시스템 설계 모델링 ····· 288
[그림 149]도어시스템 취부 모델링 ····· 288
[그림 150]제작 진행 중인 도어판넬 ····· 291
[그림 151]도어 오퍼레이터 어셈블리 시험 ····· 291
[그림 152]기계적 기능 및 성능 시험 ····· 291
[그림 153]시스템 기능 및 성능 시험 ····· 292
[그림 154]전기적 시험 ····· 293
[그림 155]기존의 Piping diagram ····· 294
[그림 156]변경된 Piping diagram ····· 294
[그림 157]기존의 공기제동장치 ····· 294
[그림 158]변경된 공기제동장치 ····· 294

[그림 159 기존의 공기압축기 모델] ····· 295
[그림 160 변경된 공기압축기 모델] ····· 295
[그림 161]공기압축기 용량 시험 및 Scroll profile 설계 ····· 295
[그림 162]캘리퍼 장치의 비교 ····· 296
[그림 163]연결기시스템의 비교 ····· 296
[그림 164]공기제동 성능계산 결과 ····· 297
[그림 165]제동 Piping diagram 작성 ····· 297
[그림 166]도시형자기부상열차용 BOM 작성 ····· 298
[그림 167]제동전자제어장치 일반도 작성 ····· 298
[그림 168]무급유 방식 공기압축기 일반도 ····· 299
[그림 169]유압캘리퍼 작동방식 조사 ····· 299
[그림 170]연결기 모델 ····· 300
[그림 171]연결기 완충장치 일반도 ····· 300
[그림 172]공기제동장치 일반도 ····· 301
[그림 173]압력스위치 유니트 일반도 ····· 301
[그림 174]주차제동 유니트 일반도 ····· 302
[그림 175]제동시스템 Piping diagram 수정본 - (1) ····· 302
[그림 176]제동시스템 Piping diagram 수정본 - (2) ····· 303
[그림 177]공기제동장치 일반도 ····· 303
[그림 178]압력스위치 유니트 일반도(취부 공간문제로 단품으로 진행) ····· 304
[그림 179]주차제동 유니트 일반도 (취부 공간문제로 단품으로 진행) ····· 304
[그림 180]공기필터 일반도 ····· 305
[그림 181]복식체크밸브 일반도 ····· 305
[그림 182]전공변환밸브 일반도 ····· 306
[그림 183]응하중밸브 일반도 ····· 306
[그림 184]압력 점검구 일반도 ····· 307
[그림 185]전자제어장치 일반도 ····· 307
[그림 186]전두부연결기 일반도 ····· 308
[그림 187]중간연결기 일반도 ····· 308
[그림 188]완충장치 일반도 ····· 309
[그림 189]공기압축기 일반도 ····· 309
[그림 190]공기건조기 일반도 ····· 310

[그림 191]Water separator 일반도 ····· 310
[그림 192]자동배수밸브 일반도 ····· 311
[그림 193]압력스위치 유니트 일반도 ····· 311
[그림 194]안전밸브 일반도 ····· 312
[그림 195]유압캘리퍼 장치 일반도 ····· 312
[그림 196]대차 인터페이스 일반도 ····· 313
[그림 197]레밸링 밸브 일반도 ····· 313
[그림 198]차압밸브 일반도 ····· 314
[그림 199]오버플로우 밸브 일반도 ····· 314
[그림 200]공유압변환기 일반도 ····· 315
[그림 201]유압캘리퍼 인터페이스 검토-(1) ····· 316
[그림 202]유압캘리퍼 인터페이스 검토-(2) ····· 316
[그림 203]Piping diagram -(1) ····· 334
[그림 204]Piping diagram -(2) ····· 335
[그림 205]BOM Table ····· 335
[그림 206]Train schematic diagram - (1) ····· 336
[그림 207]Train schematic diagram - (2) ····· 336
[그림 208]중량 Table ····· 337
[그림 209]공기제동장치 수정 일반도 ····· 338
[그림 210]시험대차 제동시험 (1) ····· 338
[그림 211]시험대차 제동시험 (2) ····· 338
[그림 212]시험대차 인터페이스 확인 ····· 339
[그림 213]공유압변환기 일반도] ····· 341
[그림 214]유압캘리퍼와 대차 인터페이스 검토 ····· 342
[그림 215]유압캘리퍼 대차취부 확인 ····· 342
[그림 216]유압캘리퍼 일반도 ····· 343
[그림 217]멀티미디어 컨트롤 시스템 구조 및 형상 ····· 346
[그림 218]멀티미디어 컨트롤 시스템 구성도 ····· 347
[그림 219]멀티미디어 컨트롤 시스템 인터페이스 구성] ····· 348
[그림 220]상태 관측기를 포함하는 부상 제어 시스템 구성도 ····· 379
[그림 221]kpr 변화에 따른 bode 선도 ····· 380
[그림 222]kva 변화에 따른 bode 선도 ····· 380

[그림 223]kaa 변화에 따른 bode 선 ····· 381
[그림 224]kvr 변화에 따른 bode 선도 ····· 381
[그림 225]kpa 변화에 따른 bode 선도 ····· 382
[그림 226]Single-point suspension 개략도 ····· 383
[그림 227]시뮬레이션 블록 선도 ····· 384
[그림 228]시뮬레이션 블록 선도 ····· 384
[그림 229]suspension 부분 블록도 ····· 385
[그림 230]차량 속도에 따른 수직방향 변위 ····· 385
[그림 231]EI변화에 따른 수직방향 변위 ····· 386
[그림 232]변화에 따른 수직방향 변위 ····· 387
[그림 233]변화에 따른 수직방향 변위 ····· 387
[그림 234]변화에 따른 수직방향 변위 ····· 388
[그림 235]마그네트 드라이브 제어기 블록도 ····· 391
[그림 236]이중화된 초퍼 블록도 ····· 391
[그림 237]A/D 변환 개략도 ····· 396
[그림 238]Step 응답(8mm→16mm) ····· 398
[그림 239]속도 100Km, l=24m일때의 시뮬레이션 결과 ····· 399
[그림 240]속도 100km, l=1m일때의 시뮬레이션 결과 ····· 400
[그림 241]보기의 코너 2에서 비교 파형 ····· 400
[그림 242]보기의 회전각 비교 ····· 401
[그림 243]부상제어 블록도 ····· 402
[그림 244]보드 선도 ····· 402
[그림 245]갭 프로파일 ····· 403
[그림 246]전류 프로파일 ····· 403
[그림 247]Ad 게인의 영향 ····· 404
[그림 248]게인의 영향 ····· 404
[그림 249]스텝 형태의 레일 ····· 405
[그림 250]2초에 1mm 레일 단차를 만난 경우의 응답 ····· 405
[그림 251]게인 변화에 따른 응답 ····· 406
[그림 252]B 게인 변화에 따른 보드 선도 ····· 406
[그림 253]Flux Feedback이 없는 조건의 갭 ····· 408
[그림 254]Flux Feedback이 없는 조건의 보드 선도 ····· 408

[그림 255]Flux Feedback이 없는 조건의 전류 프로파일 ····· 409
[그림 256]Flux Feedback을 사용하는 시뮬레이션 다이어그램 ····· 409
[그림 257]갭 파형 ····· 410
[그림 258]Flux Feedback이 없는 조건의 보드 선도 ····· 410
[그림 259]Flux Feedback이 없는 조건의 전류 프로파일 ····· 411
[그림 260]Flux Feedback이 없는 조건의 UTM01 갭 프로파일 ····· 411
[그림 261]Flux Feedback이 없는 조건의 UTM01 전류 프로파일 ····· 412
[그림 262]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 보드 선도 ····· 412
[그림 263]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 갭 프로파일(case1) ····· 413
[그림 264]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 전류 프로파일(case2) · 413
[그림 265]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 갭 프로파일(case2) ····· 414
[그림 266]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 전류 프로파일(case2) · 414
[그림 267]System configuration with an absolute reference ····· 415
[그림 268]2차로 단순화된 레일 모형 ····· 416
[그림 269]레일을 포함한 부상제어 시스템 블록선도 ····· 417
[그림 270]State Observer 블록선도 ····· 418
[그림 271]레일 deflection 블록선도 ····· 418
[그림 272]레일 프로파일 ····· 419
[그림 273]레일 deflection 블록선도 ····· 420
[그림 274]110 km/h에서 갭 프로파일(확대파형) ····· 420
[그림 275]50 km/h 와 110km/h 속도에 따른 갭 프로파일 ····· 421
[그림 276]속도에 따른 rail deflection 응답 파형 ····· 421
[그림 277]cross arm 형상 ····· 422
[그림 278]외란에 대한 주파수 응답 특성 ····· 423
[그림 279]cross arm 외란에 의한 갭 응답 ····· 423
[그림 280]확대한 파형] ····· 424
[그림 281]표면 조도 ····· 424
[그림 282]표면 조도 형상 ····· 425
[그림 283]표면 조도에 외란에 대한 공극 보드 선도 ····· 426
[그림 284]표면조도에 의한 공극 ····· 426
[그림 285]레일 연결 형상 ····· 427
[그림 286]수직 단차 파형 ····· 427

[그림 287]레일 이음매 수직 단차에서 공극 변화 ····· 428
[그림 288]수직 단차에서 settling time 관찰 ····· 428
[그림 289]이중화 초퍼 회로 ····· 429
[그림 290]펄스 폭 정의 ····· 430
[그림 291]IGBT 게이트 신호 파형 ····· 430
[그림 292]R1 정상 전압 ····· 431
[그림 293]R2 정상 전압 ····· 431
[그림 294]R3 정상 전압 ····· 431
[그림 295]R4 정상 전압 ····· 432
[그림 296]R1 지점 전압 ····· 432
[그림 297]R2 지점 전압 ····· 433
[그림 298]R3 지점 전압 ····· 433
[그림 299]R4 지점 전압 ····· 433
[그림 300]S1 고장 파형 ····· 434
[그림 301]S3가 고장시 파형 ····· 434
[그림 302]S2가 고장시 파형 ····· 435
[그림 303]S2가 정상상태 파형 ····· 435
[그림 304]고장 상태 파형 ····· 436
[그림 305]S4 정상 상태 파형 ····· 436
[그림 306]S1 고장 상태 파형 ····· 437
[그림 307]S1 정상 상태 파형 ····· 437
[그림 308]S1 고장 상태 파형 ····· 438
[그림 309]S3 정상 상태 파형 ····· 438
[그림 310]정상 동작 중 RL load ····· 439
[그림 311]이상 동작 파형 ····· 439
[그림 312]정상동작 파형 ····· 440
[그림 313]고장 검출과 전류 threshold 관계 파형 ····· 440
[그림 314]고장 검출 후 절체 후 파형 ····· 441
[그림 315]초퍼부 블록도 ····· 445
[그림 316]전체 프로그램 구성도 ····· 449
[그림 317]single 마그네트 시험 장치 전경 ····· 451
[그림 318]전자석 외관 도면 ····· 452

[그림 319]장치의 기본 설계 도면 ····· 453
[그림 320]이중화자기부상 제어기 개략도 ····· 454
[그림 321]MMI 메인 화면 ····· 455
[그림 322]DMLC 감시 소프트웨어의 통신설정 화면 ····· 455
[그림 323]DMLC감시 소프트웨어의 운전 파라메터 설정 화면 ····· 456
[그림 324]DMLC감시 소프트웨어의 운전 상태 모니터링 화면 ····· 457
[그림 325]DMLC감시 소프트웨어의 상태관측기 화면 ····· 458
[그림 326]DMLC감시 소프트웨어의 코일전압 / 전류 / 제어신호 화면 ····· 459
[그림 327]DMLC감시 소프트웨어의 시리얼 통신 시험화면 ····· 459
[그림 328]DAS 시스템 구성 ····· 461
[그림 329]제작된 DAS 실물 사진 ····· 462
[그림 330]MMI main 화면 ····· 463
[그림 331]MD 상태 모니터링 화면 ····· 463
[그림 332]대차상태 모니터링 화면 ····· 464
[그림 333]analog sensor 모니터링 ····· 464
[그림 334]digital 상태 모니터링 ····· 465
[그림 335]DAS 전면부 ····· 465
[그림 336]DAS 화면 ····· 466
[그림 337]부상제어 프로그램 구성도 ····· 467
[그림 338]Step 응답(16mm→8mm) ····· 468
[그림 339]Step 응답(8mm→16mm) ····· 468
[그림 340]주파수 응답 결과 ····· 469
[그림 341]single magnet 시험 장치 ····· 470
[그림 342]100A 통전 시험 파형 (20A/div) ····· 471
[그림 343]마그네트 드라이브 블록도 ····· 471
[그림 344]이중화된 제어기 블록도 및 MD 실물 ····· 472
[그림 345]heart beat check flowchart ····· 473
[그림 346]정지부상 중 이중화 절체 시험 파형 ····· 473
[그림 347]정지부상 공극 profile ····· 474
[그림 348]제어 전압에 사용되는 상태 파형 ····· 475
[그림 349]정지 부상 시 전류 파형 ····· 475
[그림 350]step 응답 파형 ····· 476

[그림 351]rise time을 구하기 위해 확대된 파형 ····· 476
[그림 352]조건에서 주파수 응답(진폭) ····· 477
[그림 353]Gain 1 조건에서 주파수 응답(phase) ····· 478
[그림 354]Gain 1 조건에서 주파수 응답(진폭) ····· 478
[그림 355]Gain 1 조건에서 주파수 응답(phase) ····· 479
[그림 356]이득에 따른 주파수 응답(진폭) ····· 479
[그림 357]이득에 따른 주파수 응답(phase) ····· 480
[그림 358]추진 시 공극 파형(최대속도 30km/h) ····· 480
[그림 359]추진 시 전류 파형(최대속도 30km/h) ····· 481
[그림 360]lip 주파수 제어 방식 추진 시 전류 파형 ····· 481
[그림 361]마그네트 드라이브 블록도 ····· 482
[그림 362]이중화된 제어기 블록도 및 MD 실물 ····· 483
[그림 363]정지부상에서 이중화 절체 시 공극 파형 ····· 483
[그림 364]추진 시 이중화 절체 발생 공극 파형 ····· 484
[그림 365]1mm 수직 단차에서 공극 파형 ····· 485
[그림 366]공극 선택 신호 및 수직방향 속도 신호 ····· 487
[그림 367]고안된 부상제어기 블록도 ····· 487
[그림 368]수직방향속도 선택과정 설명 파형 ····· 488
[그림 369]기존 방법과 고안된 방법에서의 수직방향 속도와 선택된 공극신호 ····· 489
[그림 370]기존 방법과 고안된 방법의 비교 파형 ····· 490
[그림 371]성능 및 주행 저항 곡선 ····· 493
[그림 372]주행 저항 곡선 ····· 494
[그림 373]선로 평면도 ····· 496
[그림 374]라인 프로파일 ····· 497
[그림 375]정방향 운행 속도 ····· 498
[그림 376]역방향 운행 속도 ····· 498
[그림 377]HSST 100L 주요 회로도 ····· 499
[그림 378]LIM의 추진 특성 ····· 499
[그림 379]추력 및 수직력 특성 해석 결과 ····· 500
[그림 380]산자부 자기부상 열차 추진용 LIM의 자속분포도(FEM 해석 결과) ····· 501
[그림 381]개선 모델의 슬롯 형상 ····· 503
[그림 382]개선 모델의 2차측 형상 ····· 504

[그림 383]개선 모델의 자속 분포도 ····· 504
[그림 384]개선 모델의 추력 및 수직력 특성 해석 결과 ····· 504
[그림 385]산자부 LIM 배치도 3S2P방식 ····· 505
[그림 386]변경된 LIM 배치도 4S2P방식 ····· 505
[그림 387]대차 한계길이 1600mm용 LIM Core 형상 ····· 506
[그림 388]대차 한계길이 1600mm용 LIM 측면 형상 ····· 506
[그림 389]대차 한계길이 1600mm용 LIM 가속 성능곡선 ····· 507
[그림 390]대차 한계길이 1800mm용 LIM Core 형상(1차안) ····· 507
[그림 391]대차 한계길이 1800mm용 LIM 측면 형상(1차안) ····· 507
[그림 392]대차 한계길이 1800mm용 LIM 전압 전류특성 ····· 508
[그림 393]대차 한계길이 1800mm용 LIM 추력 및 수직력 특성 ····· 508
[그림 394]LIM Core 형상 ····· 509
[그림 395]LIM Core 조립 측면도 ····· 509
[그림 396]LIM 총 조립도 ····· 509
[그림 397]슬립 주파수 결정 ····· 511
[그림 398]전압 전류 특성 ····· 511
[그림 399]추력 및 수직력 특성 ····· 512
[그림 400]회생제동 특성 ····· 512
[그림 401]선형유도전동기 제작공정 ····· 513
[그림 402]해석을 위한 모델링 ····· 514
[그림 403]Static Analysis ····· 515
[그림 404]정지 추력 및 수직력 측정용 LOAD CELL 배치 ····· 516
[그림 405]선형유도전동기 냉각설비 개략도 ····· 516
[그림 406]System Block Diagram ····· 517
[그림 407]정지형 추력시험기의 냉각 구조도 ····· 517
[그림 408]정지형 추력시험기의 구성도 ····· 518
[그림 409]인버터 및 DBR 판넬 ····· 518
[그림 410]냉풍기 장착모습 ····· 518
[그림 411]LIM 장착 작업 ····· 519
[그림 412]조작반 ····· 519
[그림 413]벡터제어 블록도 ····· 520
[그림 414]시뮬레이션 결과 파형 ····· 520

[그림 415]LIM 시뮬레이션 모델 ····· 521
[그림 416]회로와 수식을 기반으로 한 선형 유도전동기 모델 ····· 521
[그림 417]기계 부하 시스템 모델 ····· 522
[그림 418]슬립주파수 제어 개념에 근거한 LIM의 제어 알고리즘 블록도 ···· 522
[그림 419]슬립주파수 제어를 적용한 시뮬레이션 전체 모델 ····· 524
[그림 420]슬립 주파수 제어 시뮬레이션 전체 모델 ····· 524
[그림 421]슬립 주파수 [Hz] ····· 525
[그림 422]실효치 전류 지령 및 실효치 전류 ····· 526
[그림 423]모니터링 시스템 구성도 ····· 526
[그림 424]모니터링 보드 아트웍 실크 ····· 529
[그림 425]모니터링 보드 사진 ····· 529
[그림 426]추진인버터 고압 및 기능 시험 구성도 ····· 532
[그림 427]온도상승시험 파형 ····· 533
[그림 428]시험대차에 장착된 선형유도전동기 ····· 534
[그림 429]역행 시험 파형 ····· 534
[그림 430]제동 시험 파형 ····· 535
[그림 431]슬립주파수 일정제어 역행시험 파형 ····· 536
[그림 432]슬립주파수 일정제어 제동시험 파형 ····· 536
[그림 433]부상용 전자석의 철심내부의 자속밀도분포 ····· 542
[그림 434]3대차 및 5대차 방식 전자석의 철심내부의 자속밀도분포 ····· 542
[그림 435]1pole 3yoke 방식의 철심 내부의 자속밀도 분포 ····· 543
[그림 436]1pole 3yoke 방식의 각부 자속밀도 분포 ····· 543
[그림 437]3대차 방식(1pole 3yoke)의 부상 및 안내력 특성 ····· 544
[그림 438]3대차 방식의 부상용 전자석 구조 ····· 546
[그림 439]A2, B, C2 type의 부상 및 안내력 특성 ····· 547
[그림 440]A1, C1 type의 부상 및 안내력 특성 ····· 547
[그림 441]공극 11mm, 횡변위 15mm, 레일 상판 40mm, 최대부하의 자속밀도 ···· 549
[그림 442]현재 검토 중인 부상용 레일의 자기특성 ····· 551
[그림 443]부상용 전자석 단면 형상 ····· 553
[그림 444]부상용 전자석 측면 형상 ····· 554
[그림 445]공극 8mm, 횡변위 0mm, 만차하중 조건에서의 자속밀도 ····· 554
[그림 446]공극 8mm, 횡변위 0mm, 최대하중 조건에서의 자속밀도 ····· 554

[그림 447]공극 11mm, 횡변위 15mm, 최대하중 조건에서의 자속밀도 ····· 555
[그림 448]초기공극 및 만차하중 조건에서의 자속밀도 ····· 555
[그림 449]3차원 해석결과 ····· 556
[그림 450]3차원 해석결과 ····· 556
[그림 451]부상공극 8mm에서의 부상안내력 특성 ····· 556
[그림 452]초기부상공극 14mm에서의 부상력 특성 ····· 557
[그림 453]주행에 따른 전류변화 특성 ····· 557
[그림 454]전류밀도에 따른 시정수 변화특성 ····· 558
[그림 455]주행최대하중으로 운전되는 경우의 온도특성 ····· 558
[그림 456]전자석 시험지그 및 측정 장비 ····· 561
[그림 457]공극 및 전류변화에 대한 부상력 특성 ····· 561
[그림 458]전류변화에 따른 공극자속밀도 ····· 562
[그림 459]1magnet 고장 시, 부상력 특성 ····· 562
[그림 460]1magnet 고장 시, 횡변위에 따른 부상력 특성 ····· 563
[그림 461]1magnet 고장 시, 전류변화에 따른 공극자속밀도 ····· 563
[그림 462]29A 전류를 연속 공급 시, 온도특성(최대 180℃) ····· 564
[그림 463]29A 전류로 “5분 운전, 5분 정지”시, 온도특성(최대 100℃) ····· 564
[그림 464]40A 전류로 “5분 운전, 5분 정지”시, 온도특성(최대 170℃) ····· 565
[그림 465]전기코일 온도 30℃에서 시정수 측정 ····· 565
[그림 466]전기코일 온도 120℃에서 시정수 측정 ····· 566
[그림 467]온도상승에 따른 전류감소 특성 ····· 566
[그림 468]부상용 전자석 내전압시험 ····· 568
[그림 469]전기상수 및 온도측정 ····· 568
[그림 470]조립검사 ····· 568
[그림 471]Half Model 시험 전경 ····· 569
[그림 472]Full Model 시험 전경 ····· 569
[그림 473]횡변위 0mm에서 전류 및 공극변화에 대한 부상력 특성 ····· 569
[그림 474]횡변위 5mm에서 전류 및 공극변화에 대한 부상/안내력 특성 ····· 570
[그림 475]횡변위 10mm에서 전류 및 공극변화에 대한 부상/안내력 특성 ··· 570
[그림 476]횡변위 15mm에서 전류 및 공극변화에 대한 부상/안내력 특성 ··· 570
[그림 477]인접 전기코일의 직렬결선 시, 시정수 특성(1) ····· 571
[그림 478]인접 전기코일의 직렬결선 시, 시정수 특성(2) ····· 571

[그림 479]인천공항용 부상용 전자석(Pole Width: 32mm) 조립도면 ····· 572
[그림 480]PSPice를 이용한 시뮬레이션 모델 및 감쇄파형 ····· 576
[그림 481]MLC(주제어보드)의 대표도 ····· 577
[그림 482]이중화 자기부상 제어기의 시제품 ····· 578
[그림 483]이중화 자기부상 제어기의 시제품 ····· 578
[그림 484]마그네트드라이브 제어모듈 ····· 580
[그림 485]적층형 제어기 구조 ····· 581
[그림 486]독립된 Power Stack 모듈 ····· 582
[그림 487]모의 부하 시험기에서 초퍼시험 ····· 584
[그림 488]제작된 시험차량용 마그네트 드라이브 ····· 585
[그림 489]제작된 시험차량용 마그네트 드라이브 ····· 585
[그림 490]유지보수가 용이하도록 개선된 전류출력부 ····· 586
[그림 491]시험차량에 연결된 마그네트 드라이브 ····· 588
[그림 492]MMI소프트웨어를 사용한 제어파라미터 입력 ····· 589
[그림 493]부상시험 중인 마그네트 드라이브 ····· 590
[그림 494]주행성능 향상을 위한 개념설계 방안 ····· 596
[그림 495]부상제어기 블록다이어그램 ····· 608
[그림 496]곡선 가이드웨이 형상 ····· 609
[그림 497]1/2 차량 동역학 해석 모델 ····· 610
[그림 498]1/2 차량 대차 동역학 해석 모델 ····· 610
[그림 499]유연체 동역학 해석 과정 ····· 612
[그림 500]시험용 1/2 자기부상 차량 사진 ····· 612
[그림 501]시험용 1/2 자기부상 차량 모델 ····· 613
[그림 502]유연 대차 모델 ····· 613
[그림 503]유연체 유한요소 모델 ····· 613
[그림 504]사이드프레임 진동모드셋1 ····· 614
[그림 505]LIM 유연체 진동모드셋 ····· 614
[그림 506]앤티롤빔 진동모드셋 ····· 614
[그림 507]가이드웨이 불규칙 형상 ····· 615
[그림 508]부상공극 ····· 615
[그림 509]유연체 Anti-roll beam의 변형 ····· 616
[그림 510]허용가능한 가이드웨이 형상 편차 : 표면조도 ····· 617

[그림 511]한국기계연구원 시험선 ····· 618
[그림 512]Example of vertical profile deviations processed with Versines measured at KIMM test track ····· 619
[그림 513]Power spectra from a measurement and the known PSD function aligned with allowable maximum Versines ····· 619
[그림 514]Examples of simulated random irregularity profiles. ····· 620
[그림 515]Examples of span deflection aligned with allowable mid-span deflections ····· 621
[그림 516]Examples of guiderail deflections aligned with allowable deflections ··· 621
[그림 517]Example of the composite guideway irregularity profile in the Y-Z plane ····· 622
[그림 518]공기 스프링 특성 ····· 625
[그림 519]공기스프링 resonance test 결과 ····· 625
[그림 520]주행성능 계측 시스템 규격 ····· 627
[그림 521]주행성능 분석 시스템 ····· 627
[그림 522]차량 강체 진동모드 측정용 센서 부착위치 ····· 629
[그림 523]구조 진동모드 측정용 센서 부착위치 ····· 629
[그림 524]주요 치수 위치 ····· 630
[그림 525]곡선주행 해석 모델 ····· 630
[그림 526]최대 공기스프링 변위(3대차) ····· 631
[그림 527]최대 공기 스프링 변위(4대차) ····· 631
[그림 528]최대 공기 스프링 변위(5 대차) ····· 631
[그림 529]곡선 조향 메카니즘 개념도 ····· 632
[그림 530 곡선 조향 메카니즘 작동도 ····· 632
[그림 531]제안된 대차 메커니즘 ····· 633
[그림 532]대차 차체간 변위 ····· 634
[그림 533]횡공극 센서 설치 위치 ····· 634
[그림 534]횡공극 ····· 635
[그림 535]조향 대차 모델 및 조인트 (가정) ····· 635
[그림 536]횡공극(공기 스프링 취부 횡방향 운동 허용) ····· 636
[그림 537]곡선 가이드웨이 ····· 636
[그림 538]측정 방향 ····· 637

[그림 539]측정 위치 ····· 637
[그림 540]조향 실린더 횡변위 측정 위치 ····· 637
[그림 541]속도별 차체 횡가속도와 조향실린더 횡 변위 ····· 638
[그림 542]속도별 대차 횡가속도 ····· 638
[그림 543]피로내구 수명 과정 ····· 640
[그림 544]방향성 및 정하중 ····· 641
[그림 545]LIM 동하중 이력 ····· 642
[그림 546]전방 공기 스프링 동하중 이력 ····· 642
[그림 547]후방 공기 스프링 동하중 이력 ····· 642
[그림 548]견인바 동하중 이력 (L/2000, C=6) ····· 643
[그림 549]사이드프레임-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(전방, 상부) ····· 643
[그림 550]사이드프레임-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(전방, 하부) ····· 643
[그림 551]사이드프레임-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(후방, 상부) ····· 644
[그림 552]사이드프레임-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(후방, 하부) ····· 644
[그림 553]앤티롤빔-앤티롤빔 연결 조인트 ····· 644
[그림 554]앤티롤빔-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(전방) ····· 645
[그림 555]앤티롤빔-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(후방) ····· 645
[그림 556]가속도계 위치 ····· 646
[그림 557]UIC comfort indexes, C=2, 4, 6 mm (100km/h) ····· 647
[그림 558]UIC index, allowable mid-span deflection =25/2000, 25/3000, 25/4000m (100km/h) ····· 647
[그림 559]UIC index, allowable guiderail deflection =0.5, 1 mm (100km/h) ····· 648
[그림 560]UIC comfort indexes, composite irregularities (100km/h) ····· 650
[그림 561]승차감 평가를 위한 가속도계 위치 ····· 650
[그림 562]차량 속도 파 ····· 651
[그림 563]대차 변위를 고려한 차량 하부기기 설치도 ····· 652
[그림 564]제안된 공기스프링 공기압 선도 ····· 654
[그림 565]공기스프링 단순 모델 ····· 654
[그림 566]leveling valve 단순화 모델 ····· 654
[그림 567]공기 스프링 구성 ····· 655
[그림 568]차량 모델 ····· 655
[그림 569]부상고장에 따른 차체중량 편심에 대한 차량 시뮬레이션 결과 ··· 656

[그림 570]가속도 센서 위치 ····· 657
[그림 571]주행 중 공기 스프링 수직 방향 전달율 ····· 657
[그림 572]주행 공기 스프링 횡방향 전달율 ····· 657
[그림 573]공기 스프링 배관도 ····· 658
[그림 574]측정구간 및 구조 ····· 658
[그림 575]주행 중 공기 스프링 압력 ····· 659
[그림 576]1/2차량 가속도계 설치 위치 ····· 659
[그림 577]1/2차량 승차감 평가 ····· 660
[그림 578]센서 부착위치 ····· 665
[그림 579]Gain set별 차체 가속도 스펙트럼(상), 대차 가속도 스펙트럼(하) ····· 665
[그림 580]기존차량 부상 공극 해석 결과 ····· 669
[그림 581]부상공극 측정 위치 ····· 670
[그림 582]부상공극 응답(L/2000, C=10 mm, 110km/h) ····· 670
[그림 583]실험장치 구성 ····· 671
[그림 584]시험선 고가 가이드웨이 ····· 671
[그림 585]주행시 속도와 부상공극, 전자석 수직 가속도 ····· 673
[그림 586]수직 가속도의 시간별 주파수별 응답 ····· 673
[그림 587]시험 측정 위치 ····· 674
[그림 588]센서 부착 위치(35m, 2경간) ····· 674
[그림 589]전자석의 수직 가속도 응답 특성 ····· 675
[그림 590]가이드레일의 가속도 응답 특성 ····· 675
[그림 591]가이드레일과 전자석의 가속도 응답 특성 ····· 676
[그림 592]기존 차량 진동모드 측정 결과 ····· 676
[그림 593]Levitation failure intended to demonstrate the Maglev vehicle/guideway interaction ····· 678
[그림 594]Cross-sectional view of a Maglev vehicle system with electromagnetic suspension ····· 679
[그림 595]Bogie configuration ····· 679
[그림 596]Coupling between a moving vehicle and the guideway] ····· 680
[그림 597]Single-point suspension on a simply supported beam] ····· 680
[그림 599]Frequency responses of air gap deviation to variations in guideway height with different damping ratios ····· 687

[그림 600]Frequency responses of bogie acceleration to variations in guideway heightwith different damping ratios ····· 687
[그림 601]Frequency responses of carbody acceleration to variations in guideway height with different damping ratios ····· 688
[그림 602]Frequency responses of guideway deflection to variations in guideway height with different damping ratios ····· 688
[그림 603]Frequency responses of air gap to variations in guideway height with design variations, EI. ····· 689
[그림 604]Frequency responses of air gap to variations in guideway height with design variations, Ab. ····· 689
[그림 605]Frequency responses of air gap deviation of 5 different simply supported guideways to variations of guideway height. ····· 690
[그림 605]강체 진동해석 모델 ····· 691
[그림 606]전자석 센서 부착 모습 ····· 692
[그림 607]대차에 센서 부착 모습 ····· 692
[그림 608]차체에 센서 부착 모습 ····· 693
[그림 609]전자석의 속도별(10Km, 20Km, 30Km) Vetical 가속도 응답 ····· 693
[그림 610]전자석의 속도별(10Km, 20Km, 30Km) Lateral 가속도 응답 ····· 694
[그림 611]대차의 속도별(10Km, 20Km, 30Km) Vertical 가속도 응답 ····· 694
[그림 612]대차의 속도별(10Km, 20Km, 30Km) Lateral 가속도 응답 ····· 695
[그림 613]대차의 Vertical 진동형 ····· 695
[그림 614]차체의 속도별(10Km, 20Km) Vertical 가속도 응답 ····· 696
[그림 615]차체의 속도별(10Km, 20Km) Lateral 가속도 응답 ····· 696
[그림 616]차체 Bounce 모드 ····· 697
[그림 617]차체 변형 모드(추정) ····· 697
[그림 618]차체 굽힘 모드(추정) ····· 697
[그림 619]직선형 유도전동기의 해석 모델 ····· 699
[그림 620]슬립 0.12와 정격 입력시 알루미늄 표면의 수직 자속 밀도 ····· 700
[그림 621]슬립 0.12와 정격 입력시 알루미늄 표면의 와전류 ····· 700
[그림 622]정격 입력과 속도시 슬립에 따른 추력 특성 ····· 700
[그림 623]유도전동기의 d-q 전압 방정식 ····· 701
[그림 624]직선형 유도전동기의 운행 조건 ····· 703

[그림 625]유도전동기 동특성 모델링 ····· 703
[그림 626]V/F 일정 제어 시뮬레이션 ····· 703
[그림 627]일정 V/F값을 갖는 지령 속도와 가동자 속도 ····· 704
[그림 628]동특성 시뮬레이션에 의한 전류 특성 ····· 704
[그림 629]동특성 시뮬레이션에 의한 추력 특성 ····· 705
[그림 630]LIM 추진시 속도, 부상공극, 수직 가속도 응답 ····· 707
[그림 631]LIM 추진 시작시 속도, 부상공극, 수직 가속도 응답(확대) ····· 707
[그림 632]Lateral skid 설계 ····· 711
[그림 633]비상착지륜 유압시스템 구성도 ····· 712
[그림 634]Maglev vehicle/guideway model ····· 714
[그림 635]Euler-Bernoulli beam ····· 716
[그림 636]Guideway FE model ····· 716
[그림 637]Numerical analysis flow of the ODYN/Maglev ····· 717
[그림 638]가이드레일 진동특성 시험 ····· 720
[그림 639]가진시 가이드레일의 FRF(Frequency Response Function)응답 ····· 721
[그림 640]1차 모드형(75.8Hz) ····· 721
[그림 641]2차 모드형(84.13Hz) ····· 721
[그림 642]가이드레일 수직단차 ····· 728
[그림 643]강쐐기, 폴리우레탄 쐐기, TPU ····· 730
[그림 644]설치된 강쐐기와 폴리우레탄 쐐기 ····· 730
[그림 645]시험방법 ····· 731
[그림 646]침목방진고무 시험결과 (전자석 수직 가속도(상), 부상공극(하)) ····· 731
[그림 647]PSC-U 거더의 부상공극 편차 응답 ····· 733
[그림 648]Steel Girder의 부상공극 편차 응답 ····· 733
[그림 649]차량 중량 측정 ····· 760
[그림 650]대차 중량 측정 ····· 760
[그림 651]차체 대조립 - 전두 구조 용접 ····· 766
[그림 652]차체 대조립 - 지붕 구조 용접 ····· 766
[그림 653]차체 대조립 - 지붕 구조 용접 ····· 767
[그림 654]의장 작업 준비 ····· 767
[그림 655]냉난방 덕트 설치 ····· 768
[그림 656]전두 마스크 설치 ····· 768

[그림 657]HVAC 장치 설치 (차량 지붕) ····· 769
[그림 658]상하 전선 작업 ····· 769
[그림 659]출입문 설치 ····· 770
[그림 660]객실 내장판 설치 ····· 770
[그림 661]운전실 전면창 설치 ····· 771
[그림 662]운전대 설치 ····· 771
[그림 663]상하기기 설치 (사진은 공기통 및 배관) ····· 772
[그림 664]객실 배전반 설치 (차량 단부) ····· 772
[그림 665]지붕 기기 설치 (사진은 LJB) ····· 773
[그림 666]전두부 자동연결기 설치 ····· 773
[그림 667]상하 공기배관 설치 ····· 774
[그림 668]상하 주요 전장품 설치 ····· 774
[그림 669]차량 완성후 출고 기념식 ····· 775
[그림 670]완성 차량 시험선로 설치 ····· 775
[그림 671]완성 차량 시험선로 주행 장면 ····· 777
[그림 672]도시형 자기부상열차의 Carbody Section ····· 864
[그림 673]용접부 변형된 형상 ····· 869
[그림 674]수직하중 조건 ····· 874
[그림 675]압축하중조건 ····· 875
[그림 676]인장하중조건 ····· 875
[그림 677]비틀림하중조건 ····· 875
[그림 678]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 치수 검사 기준서 ····· 886
[그림 679]경도 시험 시편 형상 ····· 889
[그림 680]굽힘 시험 시편 형상 ····· 890
[그림 681]차량제작사에 공급 전 전수시험 진행 중인 도어엔진 ····· 907
[그림 682]자기부상열차 초도편성에 취부된 도어시스템 ····· 908
[그림 683]TCMS-DCU간 통신시험 ····· 910
[그림 684]도어시스템 완성차 시험 ····· 910
[그림 685]도어시스템 닫힘력 시험 ····· 910
[그림 686]완성차 시험 체크 시트 ····· 911
[그림 687]인터락 회로 관련 배선 변경 ····· 911
[그림 688]200만회 내구성 시험 모습과 종료 후 카운터 ····· 913

[그림 689]내구성 시험 사후시험 ····· 913
[그림 690]내구성 시험 전과 후 결과 비교 ····· 914
[그림 691]각종 센서 및 계측기 설치 ····· 919
[그림 692]대차 제동장치 배치도 ····· 919
[그림 693]제동압력 충기 완해시간 측정 ····· 919
[그림 694]압부력 측정 데이터 ····· 920
[그림 695]제동압력 충기 완해시간 측정 결과 ····· 920
[그림 696]튜닝 전 상용 공기제동시험 차트 ····· 921
[그림 697]공유압변환기 특성그래프 ····· 921
[그림 698]인쇼트압력 ····· 922
[그림 699]BED와 BEA 관계 ····· 922
[그림 700]FO 신호 ····· 922
[그림 701]충돌해석 결과(도시철도법) ····· 924
[그림 702]설계 변경 전두연결기 ····· 925
[그림 703]설계 변경 중간연결기 ····· 925
[그림 704]벨트 구동방식 ····· 926
[그림 705]커플링 직결 구동방식 ····· 926
[그림 706]Piston return spring 밀착상태 ····· 927
[그림 707]Piston return spring 교체 ····· 927
[그림 708]개선전 패드의 마찰계수 ····· 928
[그림 709]개선후 패드의 마찰계수 ····· 928
[그림 710]멀티미디어 컨트롤 시스템 구조 및 형상 ····· 931
[그림 711]멀티미디어 컨트롤 시스템 구성도 ····· 931
[그림 712]멀티미디어 컨트롤 시스템 인터페이스 구성 ····· 932
[그림 713]개선된 공기스프링(5mm,4L,30도) ····· 962
[그림 714]실제 차량에 취부된 댐퍼와 물성치 ····· 965
[그림 715]차량간 댐퍼 연결 모델 ····· 965
[그림 716]Yaw 가속도 비교 ····· 965
[그림 717]Yaw 가속도, 125mR, 30km/h ····· 966
[그림 718]Yaw 가속도, 800mR, 80km/h ····· 966
[그림 719]인버터 위치 및 측정 방법 ····· 967
[그림 720]주파수 응답 ····· 967

[그림 721]능동조향 장치 구성안 ····· 969
[그림 722]10km/h에서의 횡 공극 응답 ····· 971
[그림 723]20km/h에서의 횡 공극 응답 ····· 971
[그림 724]시험측정 ····· 972
[그림 725]시뮬레이션 결과 ····· 972
[그림 726]비교구간(G41~G37) 155m ····· 974
[그림 727]속도에 따른 Gap 변동 ····· 974
[그림 728]속도에 따른 최대 공극 변동 ····· 975
[그림 729]설계에 따른 진동 특성 ····· 976
[그림 730]진동 측정, Mc 1 ····· 976
[그림 731]진동 측정, Mc 2 ····· 976
[그림 732]Walkway 방진고무삽입 전후 모습 ····· 977
[그림 733]비상착지륜 불완전 복귀 ····· 979
[그림 734]대차에 작용하는 주요 정하중 및 동하중 방향 및 좌표 ····· 980
[그림 735](a) Air spring과 체결 부위의 동하중 변동 ····· 981
[그림 736](b) Magnet의 부상력 변동 ····· 982
[그림 737](c) Magnet의 안내력 변동 ····· 982
[그림 738]인천공항 자기부상열차 노선 전경 ····· 1004
[그림 739]미스트 필름 내부의 액정 분자들의 거동 ····· 1005
[그림 740]미스트 유리의 구조(단면) ····· 1006
[그림 741]미스트 유리 적용 부위 ····· 1006
[그림 742]DOPPLER SENSOR INTERFACE ····· 1007
[그림 743]DOPPLER SENSOR 취부 위치 ····· 1007
[그림 744]차량 전두부 측면에 1개/량 설치 ····· 1008
[그림 745]시제품 사진 ····· 1022
[그림 746]공기압축기 기동장치 제작 일반도 ····· 1023
[그림 747]공기압축기 기동장치 온도시험 그래프 ····· 1030
[그림 748]Magplane의 전자기 분기기 ····· 1082
[그림 749]Maglev2000의 분기기 ····· 1082
[그림 750]Magnemotion의 영구자석/전자석 부상시스템 ····· 1083
[그림 751]GA의 시험 설비 및 시제차량 ····· 1083
[그림 752]운행 패턴 개요 ····· 1085

[그림 753]ATO와 TIMS의 교환 정보 ····· 1085
[그림 754]집전 패드 비교 ····· 1086
[그림 755]일본 Linimo 전문가 활용 사진 ····· 1094

제3장 연구개발수행내용 및 결과

제2절 단계별 세부연구내용

1. 1단계 세부연구내용



[2-3과제]

가. 주행성능 개선

(1) 기존 차량 문제 분석 및 개선방안

(가) 문제점 및 개선방안

주행성능 향상을 위해 기존 차량(UTM-01, UTM-02)의 시험주행에서 발생하는 현상을 파악하고, 발생되는 문제점을 개선하기 위한 기본 방안을 아래 표와 같이 정리하였다.

[표 102]기존차량 문제점 및 개선방안

No	문제점 (현상 추정 원인)	개선 방안	비고
1	곡선 통과시 #1,3 bogie, 대각위치의 guidance wheel 끼임현상 최소 곡선에서의 #1,3 bogie의 회전 저항이 과다함. 대차 구조상 yaw 변위가 불가한 구조임.	* 대차 길이 감소 guidance wheel간 거리 축소. 전자석 size 변경여부 확인 * yaw 운동이 자유로운 구조의 차체~대차interface 수정	
2	곡선 진입시 guidance wheel & guide-way 측면 충돌, 속도가 상승할수록 충격량이 커짐 (60mR 곡선 통과 속도:15km/h 내외) 선로와 magnet간 각도(attack angle)로 인한 충격.	* 곡선별 요구 완화곡선 정의필요. - 반경별 곡선통과 속도와 완화곡선 간 긴밀한 관계있음. 통과 속도를 만족시키기 위한 요구 완화곡선 정의 필요. (LINIMO의 경우 지하구간에서 지상구간으로의 곡선(약 75mR)에서 30km/h 이하로 운행함.)	
3	직선주행 속도 증가시(60km/h이상) 차체 과진동 현상 magnet의 횡진동un-damping mode의 영향, magnet의 횡변위에 대한 복원력이 부족(부상력 vs. 수평력 비율이 낮음) 차량길이 대비 대차 설치공간이 좁아 차체의 pitch, yaw운동 유발 대차 side frame의 yaw운동에 대한 저항 없음. (LINIMO경우 side-frame당 2개의 airspring이 전자석 yaw운동을 억제함)	* 전자석 횡력 제어, stagger 역할 재정리 필요 * 선로 불규칙도가 있는 고속영역에서 미치는 영향 검토. * 대차 설치공간 확대, 차량 전후위 끝단부까지 대차 설치 * 2차 횡댐퍼를 frame당 2개 설치함으로써 대차 side frame의 yaw운동 줄일 수 있음. * 차간 횡댐퍼 설치 근본적인 해결책은 아님	
4	특정 Track에서 차량 이상 진동 선로공진(13Hz)에서 부상시스템과	* 선로 사양에서 girder 공진 주파수 제한.	

No	문제점 (현상 추정 원인)	개선 방안	비고
	공진 발생		
5	곡선 통과시 제동슈 접촉현상 제동슈와 guideway간 공극량 부족	* 제동업체 실린더 사양 제시 적정 사양 제시 및 관리	
6	추가 설계 목표 (1) 중량 감소 (2) 대차간 중량 균등화 (3) 소음 감소(tie-beam, brake rigging)	* 경량화 * leveling system 4점지지 3점지지로 변경 * 차량 무게중심 관리 * 별도의 소음 감소 방안 검토서 작성	

(나) 주행성능 향상을 위한 개념설계 방안

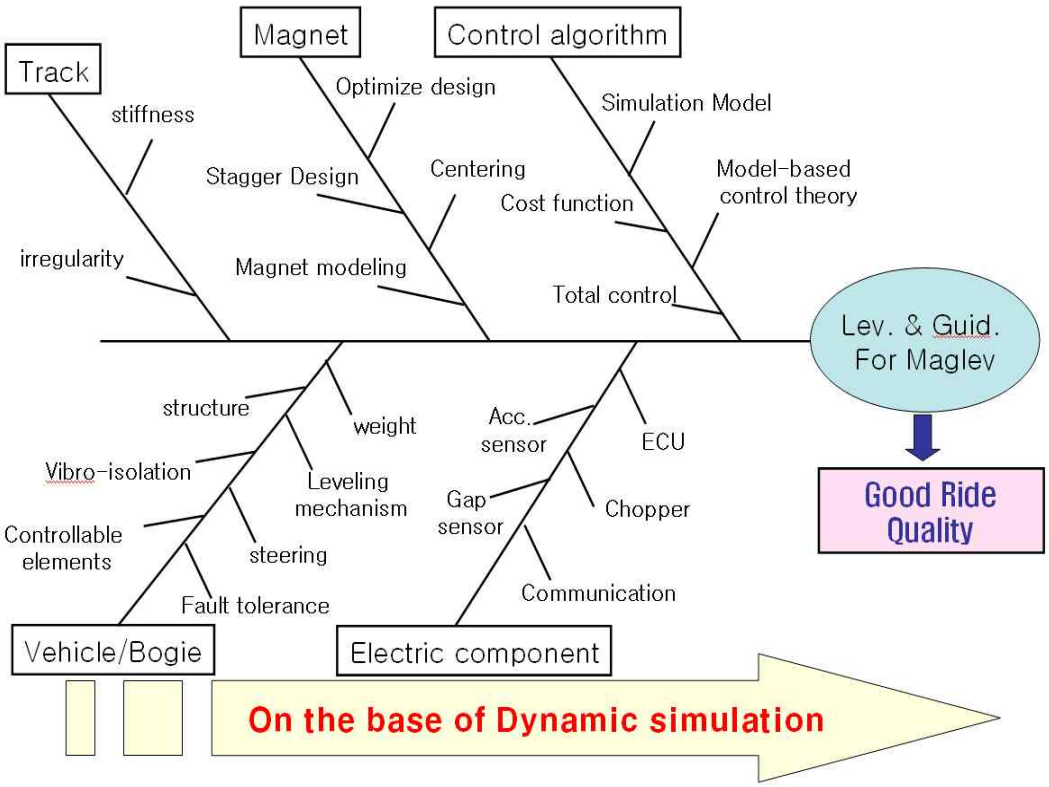
주행성능을 향상시키기 위한 개념설계 방안을 수립하기에 앞서 본 사업에서 개발하는 차량의 목표 성능을 다음 표와 같이 정리하였다.

[표 103]목표 성능 규격 분석

No.	항 목	목표 규격	기존 차량 규격	비 고
기본 사양				
1	편성	2량 1편성 (Mc1-Mc2)	좌동	
2	최고속도	110 km/h	좌동	
3	최고 운행속도	100 km/h	80 km/h	
4	최대 가속도	4.0 km/h/s	3.6 km/h/s	
5	최대 감속도: 상용	4.0 km/h/s	3.6 km/h/s	
6	최대 감속도: 비상	4.5 km/h/s	4.5 km/h/s	
7	저크	0.8 m/s3 이하	-	
8	승차감 지수	UIC 2.0	UIC 1.4 (수직, 횡)	
9	최대 풍속	26 m/s 이하	-	
차량				
1	부상 공극	8 ±3 mm	10 ±3 mm	
2	추진 공극	11 mm	-	
3	Floor height	1040 mm	좌동	
4	차체 길이	12,000	13,500mm	
5	차체 폭	2,700	2,850mm	
선로 조건				

1	궤간	1,850 mm	2,000 mm	
2	최대 구배	70 ‰	60 ‰	
3	최소 반경	50 mR	60 mR	
하중조건				
1	공차	20 ton	22 ton	
2	만차	26.5 ton (93 명/량)	28.5 ton	

위 표와 같은 성능 규격을 만족시키기 위한 서브시스템의 요구사양을 개발하기 위해서는 각 구성요소가 성능에 미치는 영향에 대한 명확한 직관적 이해가 필수적이며, 이러한 상관관계는 주행성능 향상을 위한 개념설계 진행에 있어 토대가 된다. 아래 그림3-1-1 과 같이 주행성능에 영향을 미치는 서브시스템을 도시화하였으며, 그 영향 및 개념설계의 방안을 제시한다.



[그림 494]주행성능 향상을 위한 개념설계 방안

가이드웨이

부상시스템이 제어 가능한 영역을 궤도의 사양을 목표 사양으로 설계 주요 설계 변수는 최대 처짐, 선로 강성 (Girder, Guideway and Cross beam), 선로

공진 주파수, 선로 불규칙도 (수평, 수직, gauge, cross), Guideway tolerance(U-shape): 센서 접촉면과 전자석 작용부간 거리 공차로 관리한다.

차체/대차

전자석의 선로 추종성, 진동절연, 안전성, 안정성 측면을 고려하여 목표사양을 설계 하고, 관리하여야할 주요 설계 변수 및 목표는 차체와 대차 연결구조: x-factor, lateral stiffness, Steering 구조 : 최소곡선에서 차체와 대차 연결구조의 보완, 전자석 선로 추종성 향상, 공기스프링 강성 : 타 시스템과 공진회피, 대차 경량화 : 중량 관리, Leveling mechanism : 대차간 하중 분배, 전자석의 분담하중 편차 제한을 관리한다.

전자석

철제 차륜차량의 등가 구배(conicity) 개념에서의 접근, 응답성 향상 측면을 고려하여 목표사양을 설계하고, 관리하여야할 주요 설계 변수 및 설계 목표는 최적 설계(중량, 효율 측면), Stagger design (곡선 통과성능, 직선 주행 안정성, 부상 효율), Centering force ratio: 부상력대 복원력 비율(y방향 변위에 대한 전자석 횡력)로써 철제 차륜 차량의 등가구배(conicity)에 해당하는 변수로 직선통과 성능과 주행안전성에 상반되는 영향을 미치는 변수로 추정. 선로조건에 맞는 치수 설계, 응답성(time constant를 최소화) 부분을 관리한다.

전장품

차량 동특성, 전자석 응답 이상의 시스템 사양 측면을 고려하여 목표사양을 설계하고, 관리하여야할 주요 설계 변수 및 설계 목표는 가속도 센서에서 측정범위, 응답성, 측정오차, 환경에 따른 영향 최소화, 공극센서에서 측정범위, 응답성, 측정오차, 환경에 따른 영향 최소화, ECU에서 제어 알고리즘의 연산량에 적합한 하드웨어 선정, 초퍼에서 소음, 효율을 고려한 초퍼 진동수, 용량 설계를 관리한다.

제어알고리즘

차량 안정성, 곡선 통과 성능, 승차감 측면을 고려하여 목표사양을 설계하고, 관리하여야할 주요 설계 변수 및 설계 목표는 Model based control theory : 차량 및 선로 모델 기반의 제어 이론 적용, Cost function에서 승차감, 부상

안정성, 에너지 효율, Simulation model에서 차량의 주요 현상을 구현, 개발 제어 알고리즘을 검증할 수 모델 개발 및 활용, Total control 측면에서 전자석 개별 제어가 아닌, 대차 전체 제어 방식도 고려 방안을 관리한다.

이상의 성능 규격을 만족시키기 위하여 다음 표와 같은 사항이 시뮬레이션에서 고려되어야 한다.

[표 104]해석 시 고려사항

N0	구성품	구 분	설계기준	설 계 내 용 비교	비 고
1	대차 일반	사양/ 정의	1. 전자석의 자기력을 이용한 부상상태에서 비접촉식 주행을 한다. 2. 자중 및 차체에 작용하는 하중을 지지하고, 견인력과 제동력을 전달하며, 주행 최고속도를 만족하여야 한다. 3. 안전성 유지, 최소곡선 통과 및 최대구배 등판을 원활히 할 수 있는 구조 이어야 한다. 4. 승차감이 좋고, 소음이 적으며 유지보수가 용이한 구조로 한다. 5. 대차프레임은 강도 및 강성을 유지하면서 경량화 구조로 한다. 6. 차량한계를 만족하며 차량의 최대하중 조건 및 충격하중에서도 안전하게 운행되도록 한다. 7. 보수품과 예비품을 줄이기 위해 호환성이 있도록 하고, 가능한 한 공용부품을 사용한다. 8. 사이드프레임, 타이빔, 현수장치로 구성되며, 사이드프레임에는 부상용전자석, 견인용 선형유도전동기, 제동장치, 집전장치 및 착지장치 등이 설치된다.		
		기준	1. 설계최고속도 ; 110Km/h 2. 최고운행속도 ; 100Km/h 3. 최소곡선 ; R50 m 4. 최대구배 ; 70 ‰		

N0	구성품	구 분	설계기준	설 계 내 용 비교	비 고
2	주요 제원	사양/ 정의	1. 형식 ; 공기스프링식 대차 2. 수량 ; 3대/량 3. 궤간 ; 1,850 mm 4. 치수 ; 길이(L) 3,400 x 폭(W) 2,700 mm 5. 기초제동방식 ; 레일압착 제동 6. 비상장치 ; 착지휠, 안내휠	1. 레일궤간 ; 산자부,UTM; 2,000 mm 2. 차량치수; 산자부; 길이 (L) 3,500x폭(W) 2,850 mm UTM; 길이(L) 3,500 x 폭(W)3,000 mm	대차 길이는 필요시 설계변경 예정
		기준			
3	대차프레임 (사이드프레임)	사양/ 정의	1. 비중이 작고 강도가 큰 알루미늄재를 사용한다. 1) MAIN FRAME ; 차체의 하중을 지지할 수 있는 비중이 작고 강도가 큰 알루미늄재를 사용한다. 2) RIB ; 용접변형을 최소화한 일체형 알루미늄 주물 구조로 한다. 2. 사이드프레임은 용접후 응력제거 공정을 실시한다. 3. 운행중 응력집중이 없도록 보강된 구조로 한다. 4. 가능한 한 습동부가 적은 구조로 한다. 5. 사이드프레임 커버는 경량재질을 사용한다.	1. 비중이 작고 강도가 큰 알루미늄재를 사용한다. 1) MAIN FRAME ; 1 Piece 의 알루미늄 압출재를 사용. (UTM은 2 Piece 의 알루미늄 압출재를 용접.)	사이드프레임 커버 삭제 추진 (중량감소효과)

N0	구성품	구 분	설계기준	설 계 내 용 비교	비 고
				2) RIB ; Rib를 Main Frame에 Huck Bolt로 조립. (UTM은 13개의 Rib를 Main Frame에 용접.) 2. 사이드 프레임 용접은 가급적 최소화 한다.	
		기준	차량중량 1. 공차기준 하중 ; 20.0 ton/량 2. 만차기준 하중 ; 26.5 ton/량	1. 산자부 차량 ; 28.5 ton/량	
4	타이빔 장치	사양/ 정의	1. 두 개의 사이드 프레임을 두 개의 타이빔으로 연결하여 하나의 대차로 구성한다. 2. 운행중 응력집중이 없도록 보강된 구조로 한다. 3. 곡선구간 주행시 사이드 프레임의 좌우 변위를 허용할 수 있는 구조이어야 한다.	1. 산자부 차량은 UTM과 동일한 구조 (Pin을 이용하여	

N0	구성품	구 분	설계기준	설 계 내 용 비교	비 고
			4. 가능한 한 습동부가 적은 구조로 하고, 모든 관절부 에는 부쉬 등을 설치하여 원활히 윤활되도록 한다.	S i d e F r a m e을 연결) 2. 실용화 차 량 은 Spherilastic Bearing 등을 사용 검토	
		기준	1. 최소곡선 ; R50 m	1. 산자부 차량 ; R60 m	
5	현 수 장치	사양/ 정의	1. 차체 안정성과 유연한 주행특성이 유지되도록 한다. 2. 대차의 횡방향 변위에 충분한 탄성을 갖도록 한다. 3. 차체 유동 및과도한 좌우변위를 제어할 수 있도록 하여야 한다.	산자부 차량은 UTM과 동일한 구조	
		기준			
6	견 인 장치	사양/ 정의	1. 견인력 및 제동력이 차체에 잘 전달될 수 있는 구조로 한다.	1. 산자부 차 량 은 UTM과 동일한 구조	
		기준			
7	기초 제 동 장치	사양/ 정의	1. 제동은 레일의 측면을 압착하는 방식으로 한다. 2. 최대구배에서 차량이 정지할 수있어야 한다. 3. 라이닝과 철 레일 사이의 일정한 간격 유지를 위해 자동 간격조정이 가능하고 유	1. 제동장치는 Brake Cylinder Unit 사용. (UTM은 B r a k e	

N0	구성품	구 분	설계기준	설 계 내 용 비교	비 고
			지보수가 간편한 구조이어야 한다.	Diaphragm 사용.) 2 . 제 동 용 Mount'g은 전 자 석 을 이용. (설계변경으로 제동용 Rib 추가설치) (UTM은 사이드프레임의 Rib 3개를 사용.)	
		기준	1. 최대구배등판능력 ; 70 ‰	1 . 산 자 부 차량; 80‰	
8	착 지 / 안 내 장치	사양/정의	1. 차량이 비상착지한 상태에서도 주행할 수 있어야 한다. 2. 착지상태에서 최소곡선 구간을 통과할 수 있어야 한다.	1. Landing Wheel 의 곡선주행성능 향상을 위해 4 Wheel로 변경.(UTM은 2 Wheel.) 2 . Guidance Wheel 의 레일접촉성 향상을 위해 2	

N0	구성품	구 분	설계기준	설 계 내 용 비교	비 고
				Wheel로 변경.(UTM은 1 Wheel.)	
		기준	1. 최소곡선 ; R50 m	1. 산자부차량, UTM ; R60m	
9	배장기장치	사양/정의	1. 각 차량의 전방대차 앞에는 대차 또는 차체 하부에 설치된 기기를 보호하기 위하여 배장기를 설치한다.	1. 산자부차량 ; 전위대차에 설치 2. UTM ; 차량의 전두부 Nose 부위에 설치	
		기준	1. 전위대차에 설치		
10	Mechanical Gap	사양/정의	착지와 부상상태에서의 공극 설정 1. 전자석 표면과 부상레일 하면 ; 착지시 공극 ; 14mm 부상시 공극 ; 8mm 2. 선형유도전동기와 추진용 도체판 상면 ; 착지시 공극 ; 5mm 부상시 공극 ; 11mm 3. 착지휠과 추진용 도체판 상면 ; 착지시 공극 ; 0mm 부상시 공극 ; 6mm	착지와 부상상태에서의 공극(산자부 차량) 1. 전자석 표면과 부상레일 하면 ; 착지시 공극; 17mm (UTM ;19mm) 부상시 공극; 10mm	

N0	구성품	구 분	설계기준	설 계 내 용 비교	비 고
				(U T M ;11mm) 2. 선형유도전동기와 추진용 도체판상면 ; 착지시 공극; 5mm (UTM ; 5mm) 부상시 공극 ; 12mm (U T M ;13mm) 3. 착지휠과 추진용 도체판 상면 ; 착지시 공극; 0mm (UTM ; 0mm) 부상시 공극; 7mm (UTM ; 8mm)	
		기준			
11	기타	사양/정의	1. 전자석 설치 ; 궤도(부상레일)와 비접촉식으로 주행할 수 있도록 전자석을 대차에 설치한다.	1. 전자석 설치 ; Rib 1개에 전자석 1개 Mount'g.	

N0	구성품	구 분	설계기준	설 계 내 용 비교	비 고
				(UTM ; Rib 2개에 전자석 1개 Mount'g.)	
			2. 추진용 선형유도전동기 설치 ; 정차/착지시에 추진용 도체판에 접촉되지 않고 일정한 간격이 유지되도록 대차에 설치한다.	2. 추진용 선형유도전동기 설치 ; Main Frame에 4개의 Seat Bracket을 이용하여 Mount'g. (UTM ; 2개의 Seat Bracket을 이용)	
			3. 집전장치 설치 ; 차량에 필요한 전원이 연속적으로 집전이 되도록 대차의 변위가 적은 위치에 설치한다.	3. 집전장치 설치 ; 연속하는 차량의 대차 변위가 적은 각 차량의 #3 대차에 각각 설치	
		기준			

(2) 해석기술 개발

(가) 강체 해석 모델

전자석

U-형 전자석을 부상 및 안내 장치로 이용하는 상전도 흡인식 자기부상 열차의 부상 원리를 그림 3-1-2 에서 보여주고 있다[4]. 전자석에 의한 부상력 $F_0(i,c)$는 일반적으로 비선형 함수이나 평형 점 즉 공칭 (i_0,c_0)점에서의 선형화

된 모델이 자주 이용된다[3]. 평형 위치에서의 선형화에 따른 부상력과 전류의 변화량은 식(1), 식(2)와 같이 표시된다.

$$F_0(\Delta c(t), \Delta i(t)) = k_c \Delta c(t) - k_i \Delta i(t) + F_{static} \quad (1)$$

$$\Delta \dot{i}(t) = \frac{k_c}{k_i} \Delta \dot{c}(t) - \frac{R}{L_0} \Delta i(t) + \frac{1}{L_0} \Delta v(t) \quad (2)$$

여기서,

$$L_0 = \frac{\mu_0 N^2 A}{2c_0}$$

$$k_i = \frac{\mu_0 N^2 A i_0}{2{c_0}^2}$$

$$k_c = \frac{\mu_0 N^2 A {i_0}^2}{2{c_0}^3}$$

F_0 : *Idle levitation force,*

F_{static} : *Static force,*

A : *Section area of magnet (m^2),*

μ_0 : *Permeability factor,*

N : *Number of turn of magnet coil (turn),*

i_0 : *Nominal current (A),*

c_0 : *Nominal air gap (m),*

c : *Air gap (m),*

v : *Voltage (V),*

R : *Resistance (Ω).*

아래 그림에서 전자석의 횡 변위가 $d(t) \neq 0$일 때의 부상력 및 안내력은 식(3), 식(4)와 같이 정의 된다.

$$F_z = F_0 \times \left[1 + \frac{2c(t)}{\pi \omega_m} + \frac{2d(t)}{\pi \omega_m} \tan^{-1}\left(\frac{c(t)}{d(t)} \right) \right] \quad (3)$$

$$F_y = F_0 \times \left(-\frac{2c(t)}{\pi \omega_m} \tan^{-1}\left(\frac{d(t)}{c(t)} \right) \right) \quad (4)$$

여기서,

F_y : *Guidance force,*

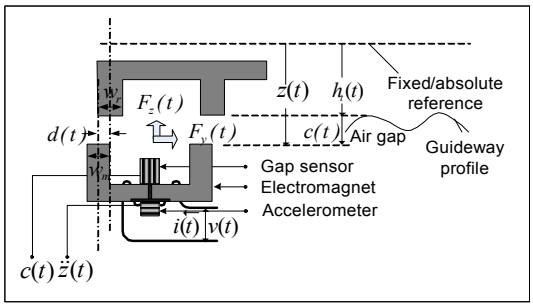
F_z : *Levitation force,*

d : *Lateral displacement (m),*

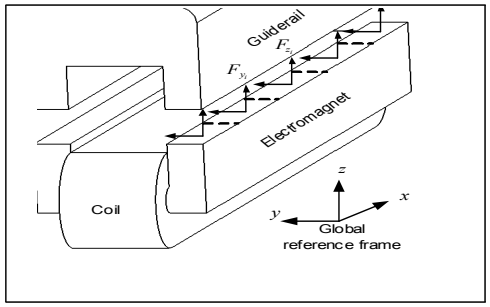
c : *Air gap (m),*

ω_m : *Magnet width (m).*

차량의 주행 시 전자석의 힘은 극의 길이 방향과 위치에 따라서 가이드 레일과 전자석간의 횡 공극이 다르게 나타난다. 그러므로 전자석의 부상력과 안내력을 정확하게 계산할 필요가 있다. 본 논문에서는 오른쪽 그림에서와 같이 전자석을 10개로 이산화하여 Fzi와 Fyi 을 각각 계산하여 합력을 구한다. 아래 표는 주행 해석에 사용된 전자석의 물성치이다.



[System configuration of levitation & guidance forces]



[Discretized of levitation & guidance force]

[Data for the levitation control system]

Item	*Specification*
μ_0	$4\pi\times10^{-7}$
N (Turn)	*396*
A (㎡)	*0.037*
R (Ω	*0.792*
c_0 *(m)*	*0.008*
i_0 *(A)*	*24*

부상제어기

자기부상 현가 시스템의 공극(air gap) Δc 가 한정된 범위를 유지하도록 하기 위한 제어는 전압 $\Delta v(t)$ 로 이루어진다. 식 (5)는 전압 $\Delta v(t)$ 를 결정하는 식이다. Table 2.2-1은 부상 제어 시스템에 사용된 물성치이다.

$$\Delta v(t) = k_1 \Delta \ddot{\hat{z}}(t) + k_2 \Delta \dot{\hat{z}}(t) + k_3 \Delta \hat{z}(t) + k_4 \Delta \dot{\hat{c}}(t) + k_5 \Delta \hat{c}(t) \quad (5)$$

여기서,

$\Delta \ddot{\hat{z}}(t)$: *Observed acceleration,*

$\Delta \dot{\hat{z}}(t)$: *Observed velocity,*

$\Delta \hat{z}(t)$: *Observed position,*

$\Delta \dot{\hat{c}}(t)$: *Observed air gap velocity,*

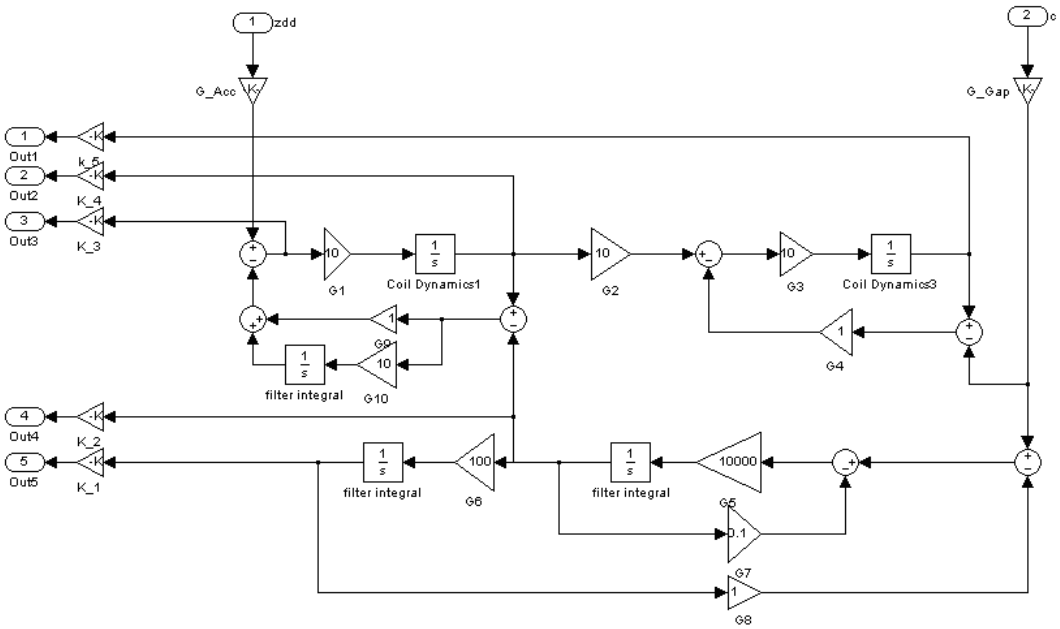
$\Delta \hat{c}(t)$: *Observed air gap,*

k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 : *Control gains,*

[표 105]부상제어 시스템 파라메터

Item	Specification	Item	Specification
μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	k_1	*7*
N (Turn)	*396*	k_2	*40*
A (m^2)	0.*037*	k_3	*4*
R (Ω	*0.792*	k_4	*40*
c_0 *(m)*	0.0*08*	k_5	*7*
i_0 *(A)*	*24*		

아래 그림은 식 (5)의 $\Delta \ddot{\hat{z}}(t)$, $\Delta \dot{\hat{z}}(t)$, $\Delta \hat{z}(t)$, $\Delta \dot{\hat{c}}(t)$, $\Delta \hat{c}(t)$을 추정하기 위한 블록다이아그램이다.



[그림 495]부상제어기 블록다이어그램

이 블록다이아그램을 상태방정식으로 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix}\dot{x}_1(t)\\ \dot{x}_2(t)\\ \dot{x}_3(t)\\ \dot{x}_4(t)\\ \dot{x}_5(t)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 100 & 0 & 0 & 0\\ -10^4 & -10^3 & 0 & 0 & 0\\ 0 & -10 & 0 & 10 & 0\\ 0 & 10 & -10 & -10 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 100 & -10\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1(t)\\ x_2(t)\\ x_3(t)\\ x_4(t)\\ x_5(t)\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0 & 0\\ 10^4 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 10\\ 10 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}250\times\Delta c(t)\\ 0.25\times\Delta\ddot{z}(t)\end{bmatrix} \quad (6)$$

,

$$\begin{bmatrix}y_1=\Delta\hat{c}(t)=GF\\ y_2=\Delta\dot{\hat{c}}(t)=GFP\\ y_3=\Delta\ddot{\hat{z}}(t)=ZPP\\ y_4=\Delta\dot{\hat{z}}(t)=ZP\\ y_5=\Delta\hat{z}(t)=Z\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 1 & -1 & -1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x_1(t)\\ x_2(t)\\ x_3(t)\\ x_4(t)\\ x_5(t)\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0 & 0\\ 0 & 0\\ 0 & 1\\ 0 & 0\\ 0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}250\times\Delta c(t)\\ 0.25\times\Delta\ddot{z}(t)\end{bmatrix} \quad (7)$$

곡선 가이드웨이

본 보고서에서는 그림 3-1-5 와 같은 곡선 가이드웨이를 대상으로 한다. 이 가이드웨이는 그림 3-1-5 에서와 같이 직선 구간, 완화구간, 원곡선구간으로 구성되어 있다. 완화 구간의 형상은 Clothoid 곡선으로 가정하였다. 이 완화 구간의 x, y좌표는 식(8), 식(9)으로 표현된다.

$$\frac{1}{r}=\frac{x}{RL}, \quad (8)$$

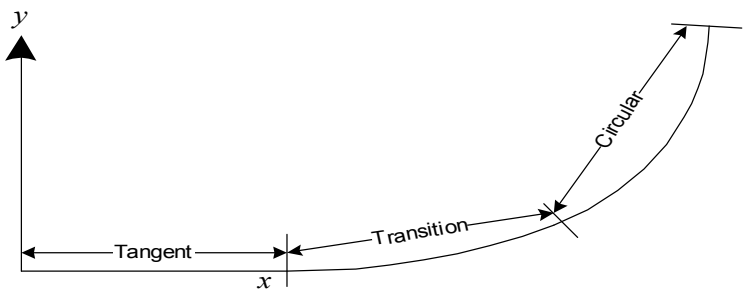
$$y=\frac{x^3}{6RL} \quad (9)$$

여기서e

r : Clothoid curve radius (m),

L : Transition curve length (m),

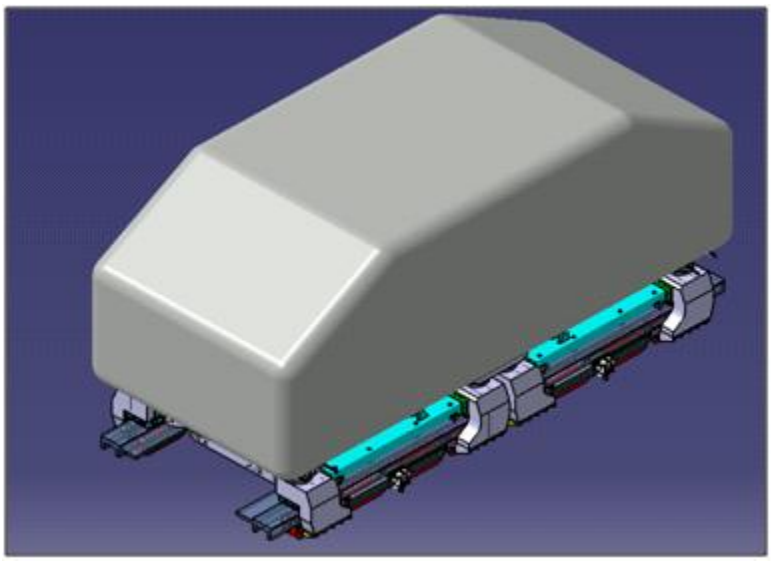
R : Circular curve radius (m).



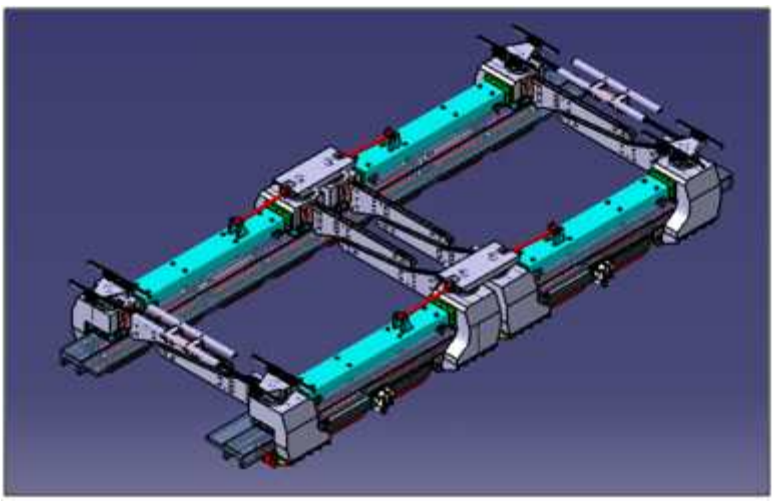
[그림 496]곡선 가이드웨이 형상

강체 차량 모델

그림 3-1-6 은 1/2 시험차량 동역학 해석 모델 결과를 보여주고 있다. 일반적인 모델 과정은 별첨 자료를 참조 바란다. 1/2차량은 2개의 대차로 구성되며 그 모델은 그림 3-1-7 에서 보여주고 있다. 대차는 1차 현가장치인 좌우 8개의 전자석과 2차 현가장치인 4개의 공기 스프링과 좌우 대차 사이드 프레임, 전후 Anti-roll beam 및 bush로 연결된 좌우 2개의 견인바로 구성된다. 전자석은 대차 사이드 프레임에 고정되어있다.



[그림 497]1/2 차량 동역학 해석 모델



[그림 498]1/2 차량 대차 동역학 해석 모델

1) 유연체 해석 모델

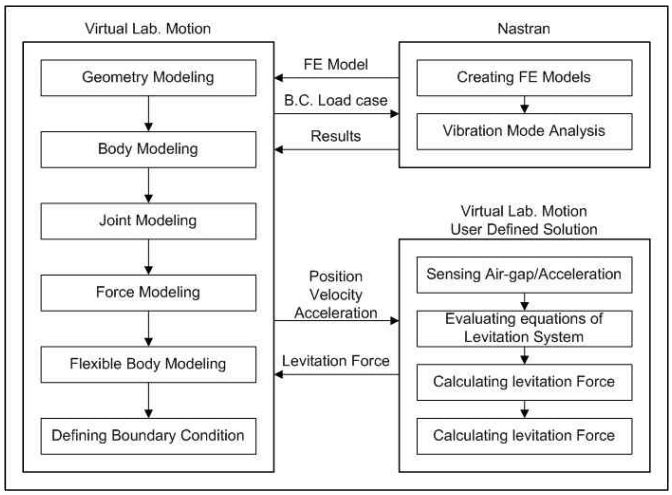
자기부상열차의 동특성 또는 부품의 내구수명을 정교하게 예측하기 위해서는 때때로 유연 다물체 동역학 모델이 요구된다[1]. 특히, 전자석을 부상장치로 이용하는 상전도흡인식 자기부상열차는 폐루프 제어 시스템이기 때문에 전자석이 체결된 대차의 유연성이 부상제어 성능에 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 대차의 거동, 동하중 및 부상성능을 보다 현실적으로 설계단계에서부터 예측하기 위한 유연체 동역학 모델은 자기부상열차에 있어서도 유용하게 이용될 수 있다. 본 논문에서는 현재 제작하여 시험 중인 1/2차량에 대한 유연체 모델을 소개하는데 목적이 있다. 유연체 모델을 만들기 위한 기본적인 과정은 이미 알려진 기법이 이용된다[2]. 본 차량에 독특한 전자석을 포함시키기 위한 폐루프 제어 시스템 및 부상력을 유연체에 적용하기 위한 기법이 제안된다. 제안된 기법을 적용하여 만들어진 모델을 이용하여 차량의 부상안정성의 척도 중 하나인 부상공극 변동 평가가 이루어진다. 이러한 기법은 가상시제를 이용한 자기부상열차 개발에 적용할 수 있다.

전형적인 변형모드합성법을 이용하는 유연 다물체 동역학 해석 과정은 그림 3-1-8에서와 같다. 그림 3-1-10 은 유연 다물체 동역학 해석 프로그램으로 Virtual.Lab Motion을 사용하고 FEM 프로그램으로 MSC/NASTRAN을 사용할 때의 과정이나 다른 프로그램들을 이용하더라도 그 과정은 유사하다. 유연 다물체 동역학은 차량과 궤도의 연성 운동방정식을 구성하고 수치해를 구하는 기능을 수행한다. 그림 3-1-8 에서의 주요한 내용은 다음과 같다[4].

-Virtual.Lab Motion은 형상 모델링, 물체 모델링, 조인트 모델링, 유연체 모델링 및 힘 요소 모델링을 수행하고 해를 구한다.

-Virtual.Lab Motion는 정규진동모드, 정적모드, Craig-Bampton 모드를 해석하기 위한 경계조건, 하중조건을 MSC/NASTRAN 입력 형식으로 생성한다.

-MSC/NASTRAN는 Virtual.Lab Motion가 생성한 입력 파일을 이용하여 모드해석을 수행한다. MSC/NASTRAN는 모드해석 결과 및 질량행렬, 강성행렬을 생성한다. 이러한 결과들은 Virtual.Lab Motion에 의하여 이용된다. 차량의 주행 시 전자석의 힘은 극의 길이 방향과 위치에 따라서 가이드 레일과 전자석간의 횡 공극이 다르게 나타난다. 그러므로 전자석의 부상력과 안내력을 정확하게 계산할 필요가 있다.

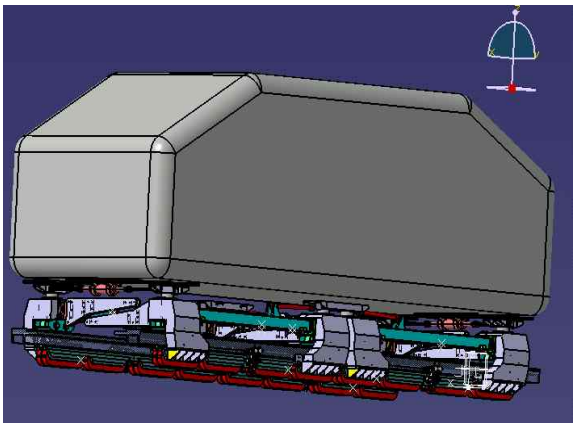


[그림 499]유연체 동역학 해석 과정

아래 그림은 현재 제작하여 시험 중인 1/2 자기부상 차량을 보여주고 있다. 시험용 1/2 자기부상 차량의 동역학적 전체차량 모델을 다음 그림에서 보여주고 있다. 그림 3-1-11 은 대차에 대한 유연체 모델을 보여주고 있다. 대차는 좌우 8개의 전자석, 좌우 사이드프레임(Side frame), 전후 안티롤빔(Anti-roll beam), 좌우 4개의 공기 스프링(Air spring), 차체를 견인하는 견인바(Traction rod), 견인바에 내재된 고무 부시(Rubber bush)등으로 구성되어 있다. 사이드프레임과 안티롤빔은 구조인트(Spherical joint)로 연결되어 있으나 잉여구속(Redundant constraint) 문제로 부시(Bushing)로 대체되었다. 여기서 전자석은 사이드 프레임에 고정되어 있고 부상 제어는 각 코너 별 2개의 전자석을 독립적으로 제어한다.

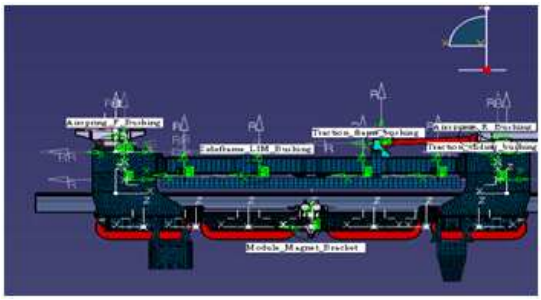


[그림 500]시험용 1/2 자기부상 차량 사진

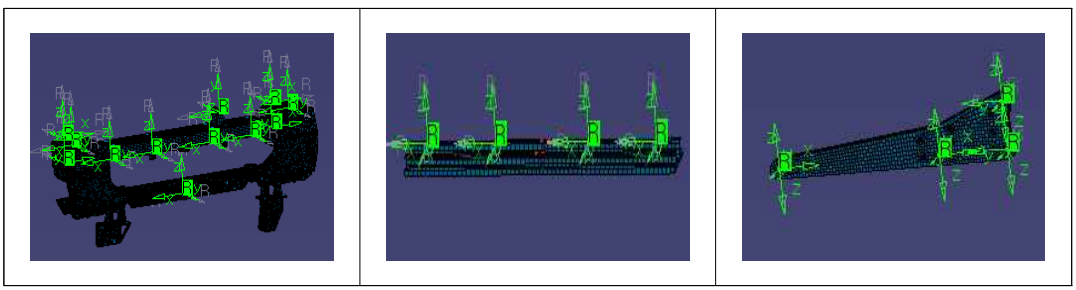


[그림 501]시험용 1/2 자기부상 차량 모델

아래 그림은 유연체 대차 모델을 보여주고 있다. 대차를 구성하는 물체는 아래 그림에서와 같이 대차 좌우의 사이드프레임과 선형 유도 전동기(LIM) 그리고 안티롤빔 (Anti-roll beam)이다. 사이드프레임은 약 9만개의 노드와 20만개의 요소, 선형 유도 전동기는 약 1000개의 노드와 요소, 그리고 안티롤빔은 약 6천개의 노드와 4천개의 요소로 각각 구성되어 있다.



[그림 502]유연 대차 모델



(a) Side frame (b) LIM (c) Anti-roll beam

[그림 503]유연체 유한요소 모델

Number	Activation	Frequency (Hz)	Viscous Damping (%)	Annotation
3	no	0.0000	3.0000	rigid-body mode: Mode: 3; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
4	no	0.0002	3.0000	rigid-body mode: Mode: 4; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
5	no	0.0003	3.0000	rigid-body mode: Mode: 5; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
6	no	0.0004	3.0000	rigid-body mode: Mode: 6; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
7	yes	62.6084	3.0000	Mode: 7; 62.6 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
8	yes	71.6158	3.0000	Mode: 8; 71.6 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
9	yes	81.1112	3.0000	Mode: 9; 81.1 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
10	yes	86.5956	3.0000	Mode: 10; 86.6 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
11	yes	92.2003	3.0000	Mode: 11; 92.2 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
12	yes	108.0701	3.0000	Mode: 12; 108.1 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
13	yes	118.3987	3.0000	Mode: 13; 118.4 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
14	yes	121.0861	3.0000	Mode: 14; 121.1 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
15	yes	146.9202	3.0000	Mode: 15; 146.9 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
16	yes	148.7822	3.0000	Mode: 16; 148.8 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
17	no	159.7007	3.0000	Mode: 17; 159.7 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
18	no	166.9449	3.0000	Mode: 18; 166.9 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1

[그림 504]사이드프레임 진동모드셋1

사이드프레임의 고유진동수는 위의 표에서 보는 바와 같이 Mode 7 ~ Mode 16까지 선택하였고 감쇠비는 3% 입력하였다.

Number	Activation	Frequency (Hz)	Viscous Damping (%)	Annotation
1	no	0.0000	3.0000	rigid-body mode: Mode: 1; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
2	no	0.0000	3.0000	rigid-body mode: Mode: 2; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
3	no	0.0001	3.0000	rigid-body mode: Mode: 3; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
4	no	0.0001	3.0000	rigid-body mode: Mode: 4; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
5	no	0.0001	3.0000	rigid-body mode: Mode: 5; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
6	no	0.0001	3.0000	rigid-body mode: Mode: 6; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
7	yes	40.0845	3.0000	Mode: 7; 40.1 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
8	yes	63.2208	3.0000	Mode: 8; 63.2 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
9	yes	104.9902	3.0000	Mode: 9; 105.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
10	yes	117.9461	3.0000	Mode: 10; 117.9 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
11	yes	137.7074	3.0000	Mode: 11; 137.7 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
12	yes	177.1009	3.0000	Mode: 12; 177.1 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
13	yes	192.8312	3.0000	Mode: 13; 192.8 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1

[그림 505]LIM 유연체 진동모드셋

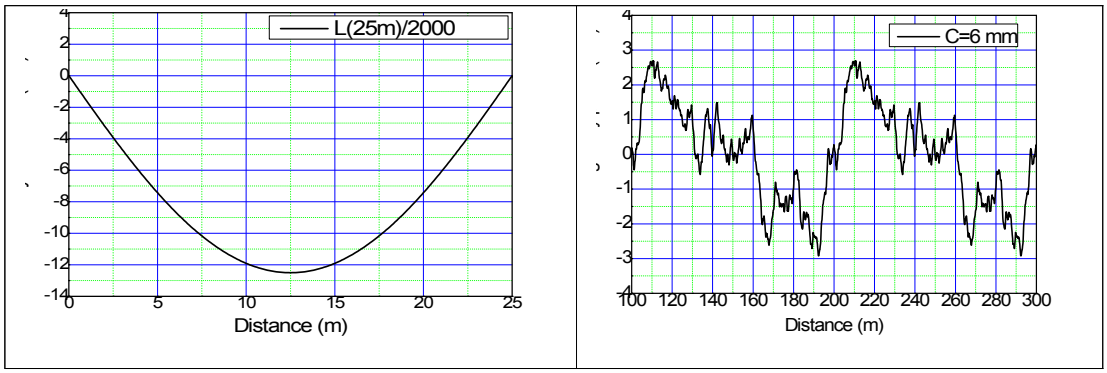
LIM의 고유진동수는 위의 표에서 보는 바와 같이 Mode 7 ~ Mode 13까지 선택하였고 감쇠비는 역시 3% 입력하였다.

Number	Activation	Frequency (Hz)	Viscous Damping (%)	Annotation
1	no	0.0000	3.0000	rigid-body mode: Mode: 1; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
2	no	0.0000	3.0000	rigid-body mode: Mode: 2; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
3	no	0.0000	3.0000	rigid-body mode: Mode: 3; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
4	no	0.0000	3.0000	rigid-body mode: Mode: 4; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
5	no	0.0001	3.0000	rigid-body mode: Mode: 5; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
6	no	0.0002	3.0000	rigid-body mode: Mode: 6; 0.0 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
7	yes	98.7572	3.0000	Mode: 7; 98.8 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1
8	yes	200.0798	3.0000	Mode: 8; 200.1 / EXPORTED BY LMS NASTRAN DRIVER / SUBCASE 1

[그림 506]앤티롤빔 진동모드셋

앤티롤빔의 고유진동수는 위의 표에서 보는 바와 같이 Mode 7 ~ Mode 8까지 선택하였고 감쇠비는 3% 입력하였다.

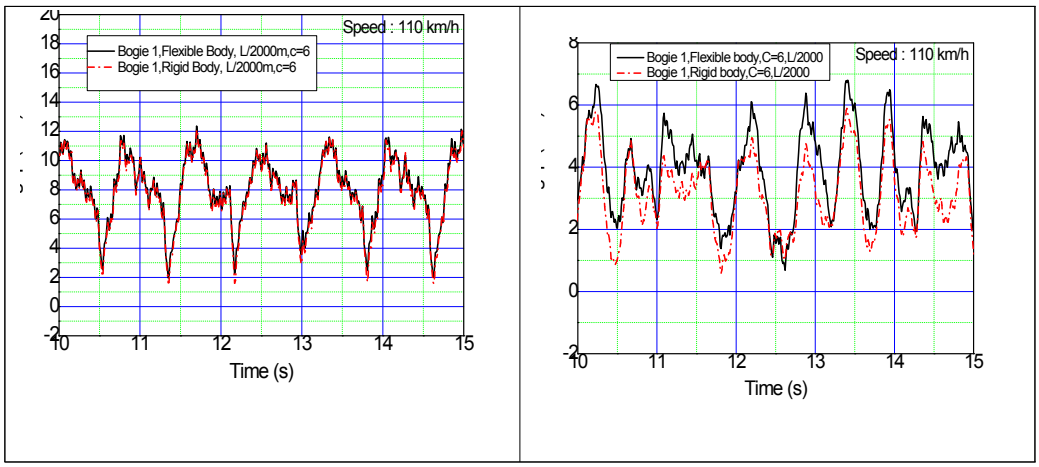
유연체 모델과 강체 모델의 차이점을 비교하기 위하여 주행안정성 평가 척도 중 하나인 부상 공극을 시뮬레이션 하였다. 강체 모델과 유연체 모델 차량 각각 110km/h로 일정하게 유지하면서 그림 3-1-13 의 불규칙 형상을 갖는 가이드웨이를 주행한다.



(a) 거더 처짐 (b) 가이드레일 표면 조도

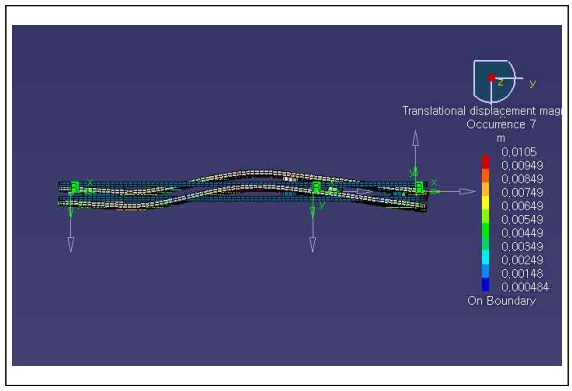
[그림 507]가이드웨이 불규칙 형상

위 그림의 (a)는 강체 모델과 유연체 모델의 수직공극을 비교한 것이다. 최대 변위에서 2%정도 유연체 모델 차량이 더 큰 공극을 가지지만 전반적인 특성은 유사함을 알 수 있다. 아래 그림의 (b)는 횡공극을 비교한 것이다. 조금은 큰 차이를 보이며 최대 변위에서 15% 정도 유연체 모델 차량이 더 큰 값을 나타낸다. 이를 통하여 횡공극 시뮬레이션에 있어서는 유연체 모델이 더 큰 변동을 보이기 때문에 강체 또는 유연체 모델 선정에 있어서 신중해야 함을 알 수 있다. 이러한 이유 중의 하나는 아래 그림 의 Anti-roll beam의 형상 특성상 횡방향 변형이 수직 방향에 비하여 크기 때문에 사이드 프레임에 영향을 주는 것으로 분석된다. 일반적으로 유연체 모델이 실제 거동과 상대적으로 유사하기 때문에 횡공극 시뮬레이션에 있어서는 유연체 모델이 추천된다고 할 수 있다. 이러한 이유로 곡선 주행 시뮬레이션에 있어서도 유연체 모델을 이용하는 것이 추천된다.



(a) 수직 부상공극 (b) 횡 부상공극

[그림 508]부상공극



[그림 509]유연체 Anti-roll beam의 변형

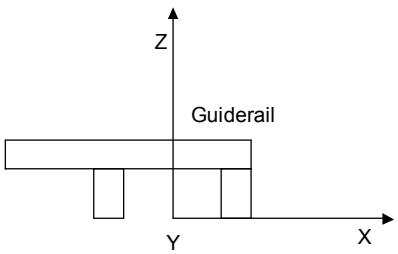
이상과 같이 유연체로 모델을 개발하였다. 강체 모델과 유연체 모델에 있어서 수직 부상공극에는 차이를 거의 볼 수 없었다. 반면에 횡공극에 있어서는 상당한 차이를 나타냈다. 그러므로 본 대차 구조에 있어서 횡방향 부상공극 응답 또는 곡선 추종성능을 시뮬레이션하기 위해서는 유연체 대차 모델을 사용하는 것이 고려될 수 있다고 할 수 있다.

(가) 가이드웨이 불규칙도 모델

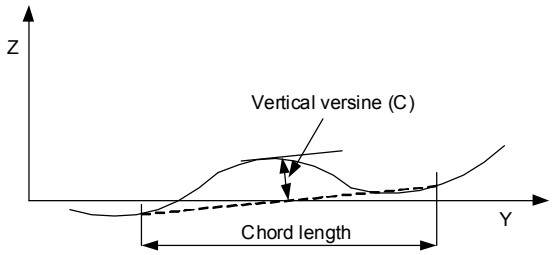
(나) 가이드웨이의 높이 랜덤 불규칙 형상, 거더 처짐에 의한 불규칙 형상을 정량화하여 본 실용화사업에서 가이드웨이 설계요구사항 도출 및 불규칙 형상에 의한 주행성능 예측이 필요하다.

수직 및 수평 표면조도

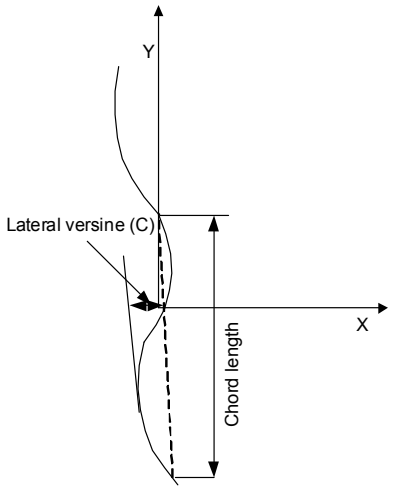
표면조도를 수학적으로 정의하기 위한 좌표계를 아래 그림(a)와 같이 정의하였다.



(a) Guiderail



(b) Vertical Versine



(c) Lateral Versine

[그림 510]허용가능한 가이드웨이 형상 편차 : 표면조도

주행성능 해석에 있어서, 기본적으로 차량이 주행하는 가이드웨이의 표면 조도를 정량화 할 필요가 있다. 아직, 본 사업에서의 가이드웨이는 존재하지 않기 때문에 한국기계연구원(KIMM)의 시험선 가이드웨이 표면 조도를 우선 정량화하였다. 표면 조도를 정량화하기 위하여 가이드웨이의 높이 측정 데이터를 이용한다. 그림 3-1-17 에서 보여주는 시험선 가이드웨이 높이를 약 1.25 m 간격으로 양측 가이드레일에서 측정하였다. 향후에는 좀더 연속적인 간격으로 높이를 측정할 필요가 있다. 그림 3-1-18은 측정된 시험선 가이드웨의 높이를 보여주고 있다. 이 높이는 절대 높이를 나타내며, 이 절대 높이를 직접 동특성 해석의 외란 입력으로 사용할 수도 있으나 Versine 기법이 현실적으로 이용된다. Versine 기법은 일정한 현길이(chord length)의 중간 지점에서의 편차를 표면 조도로 정의한다. 현 길이는 주요한 공간 파장 및 가이드레일의 단위 길이를 이용하여 정의한다. 본 연구에서는 Versine을 얻기 위해서 5 m 현길이가 이용되었다. 현재 시험선의 가이드웨이에 설치된 가이드레일의 길이가 5 m이고 시뮬레이션 결과 5m가 실험과 유사하였기 때문이다. 그러나 이 현길이에 대한

연구는 향후에도 필요하다고 사료된다. 이 현길이의 선정에 따라서 표면 조도가 달라지기 때문이다. 그림 4는 그림 3에 Versine 기법을 직선 구간에 적용하여 계산한 Versine 즉 표면 조도를 보여주고 있다. 일반적으로 이 높이 편차 즉 Versine은 Gauss 분포를 갖는 것으로 알려져 있다. 이러한 불규칙도의 정량적 평가는 일반적으로 PSD(power spectral density)로 이루어진다. 그림 3-1-19는 그림 3-1-18 에 대한 PSD 분석 결과를 보여주고 있다. 이 표면 조도에 대한 PSD 분석 결과는 여러 면에서 의미가 있다고 할 수 있다. 가이드웨이의 표면 조도에 관련된 파장 및 진폭을 나타내기 때문이다. PSD를 이용하면 정량적으로 가이드웨이의 높이 오차를 평가할 수 있는 것이다. 또한, 주행성능 해석 시 외란 입력으로 사용될 수 있다. 여기서, 좀더 PSD를 유용하게 사용하기 위하여 국내 실정에 맞는 PSD 근사화 함수를 개발할 필요가 있다. 그리고 일반 철도차량에서와 같이 근사함수에 필요한 상수를 개발하여, 그 상수를 이용하여 좀더 쉽게 노면 조도를 근사화할 필요가 있다.

다행이 HSST개발자들은 시험선에서의 계측을 통하여 다음과 같음 식을 제안하였다.

$$\Phi(\omega) = \frac{Av}{\omega^2} \cdot \frac{(\Phi_1 v)^2}{\omega^2 + (\Phi_1 v)^2} \tag{1}$$

여기서,

$\Phi(\omega)$: Random irregularity PSD (m^3/rad),

$A = \frac{4C^2}{9\pi l}$: Roughness paramter (m),

v : Vehicle speed (m/s),

ω : Angular velocity (rad/s)

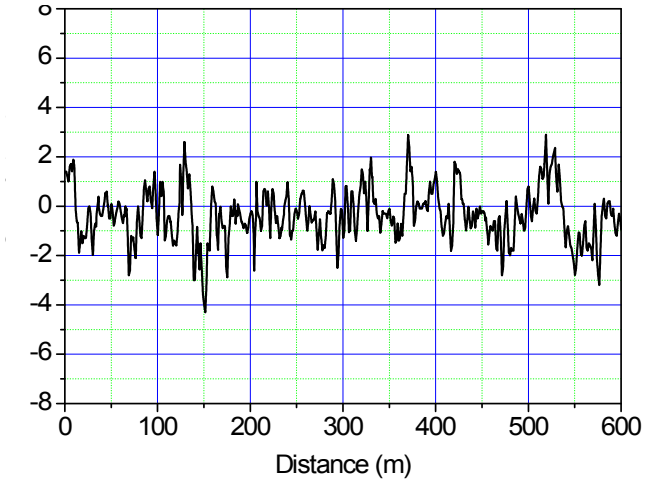
C : Allowable Versine (m)

l : Chord length (m)

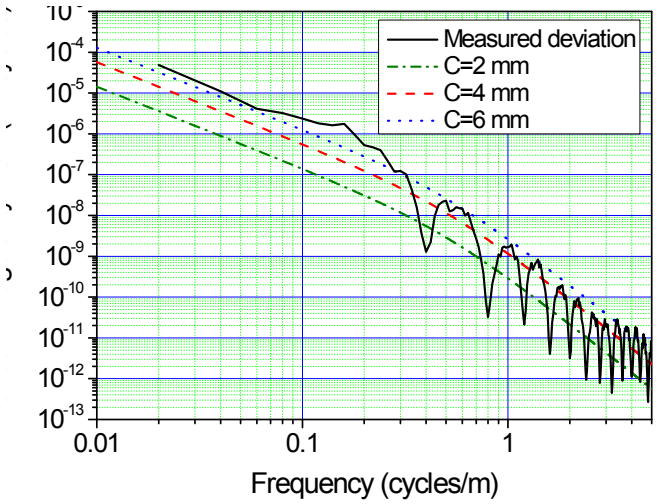
Φ_1 : Cut - off frequency (rad/m).



[그림 511]한국기계연구원 시험선



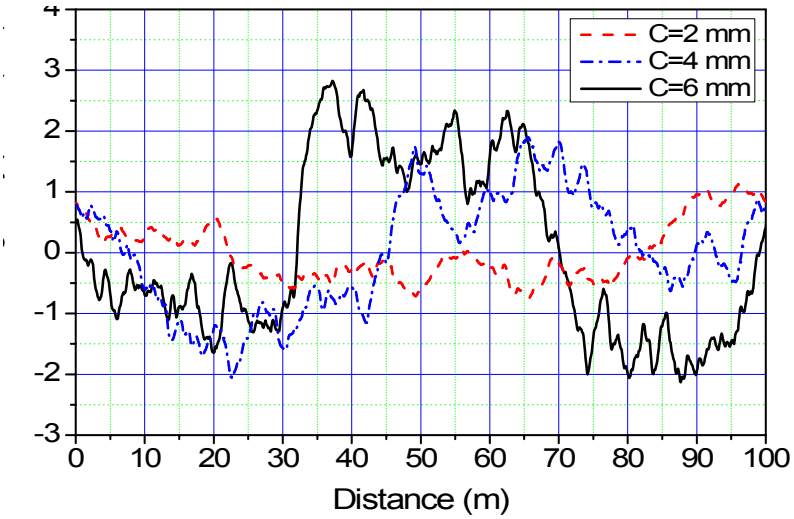
[그림 512]Example of vertical profile deviations processed with Versines measured at KIMM test track



[그림 513]Power spectra from a measurement and the known PSD function aligned with allowable maximum Versines

식(1)에 $C = 2,4,6$ mm, $v = 1$ m/s, 그리고 $\Phi_l = 0.1$ rad/m 을 대입하여 램덤형상을 생성하면 위 그림과 같이 된다. 그림에서 보면 식(1)이 시험선을 잘 표현하는 것을 알 수 있다. 다음으로, 주파수영역에서의 스펙트럼을 이용하여 길이영역 또는 시간 영역에서의 형상을 생성할 필요가 있다. 그림 3-1-21 은 길이 영역에서 생성된 불규칙 형상을 보여주고 있다. 이 형상의 주행성능 해석에 있어서

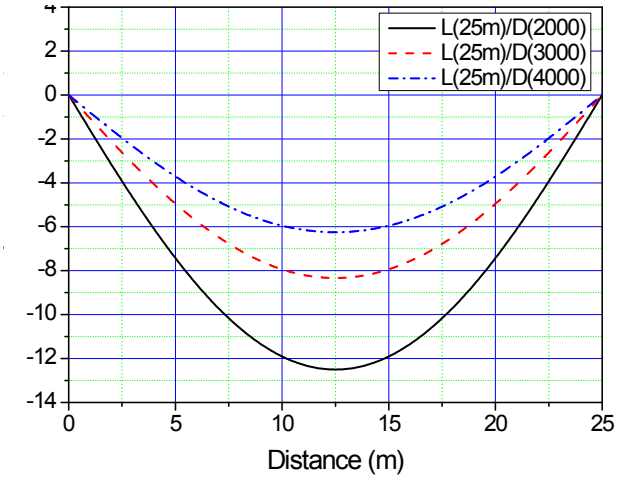
외란 입력으로 이용되게 된다.



[그림 514]Examples of simulated random irregularity profiles.

거더처짐

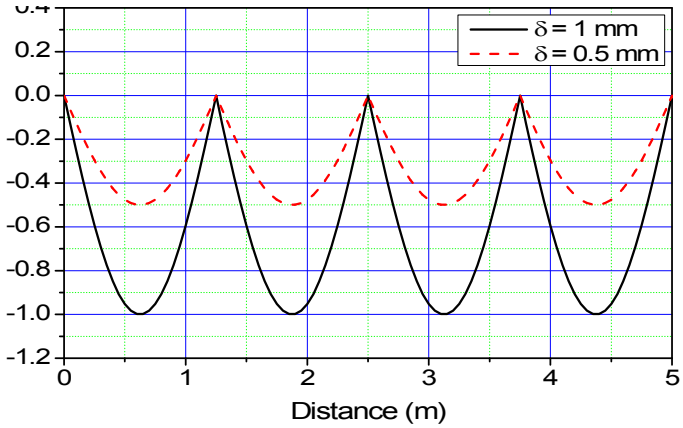
차량이 주행하면 차량의 정동적 하중에 의하여 가이드웨이는 변형을 일으켜 처짐이 발생한다. 물론, 이 처짐은 차량과 가이드웨이의 동적 상호작용에 의하여 결정된다. 그러나 가이드웨이 구조에 대한 설계가 완료되기 전에 미리 주행성능을 해석하기 위해서는 가이드웨이의 허용 처짐에 의한 불규칙도를 정량적으로 정의할 필요가 있다. 본 연구에서 대상으로 상전도 흡인식 자기부상열차에 의한 하중은 일반 철도 차량과 달리 차량 길이 걸친 분포하는 하중이다. 그러므로 차량의 중량과 길이 및 최대 처짐 한계를 이용하면 최대 처짐에서의 가이드웨이 처짐 형상을 이론적으로 계산할 수 있다. 물론, 이 가정에서 국부적인 진동에 의한 처짐 형상이 엄밀히 고려되지 않지만 대략적인 주행성능 예측에 이용할 수 있다. 특히, 도시형 자기부상열차는 약 100 km/h 이하에서 주행하고 분포하중의 특성을 갖기 때문에 동적 충격 계수가 타 열차에 비하여 상대적으로 작다. 일본의 HSST 경우 실측 결과 충격 계수가 약 0.05이하로 알려져 있다. 개발 중인 도시형 자기부상열차도 HSST와 동종이기 때문에 동적 충격계수가 HSST와 같이 낮을 것으로 예상할 수 있다. 설계 최대 허용 처짐을 주행 중 처짐으로 가정하여 동특성을 예측하는 기법은 HSST에서도 사용하고 있다.[2] 설계 최대 처짐 한계와 지간 즉 경간 길이가 25 m 이라고 할 때 이론 처짐 형상은 아래와 같다.



[그림 515]Examples of span deflection aligned with allowable mid-span deflections

가이드레일 처짐

가이드레일도 침목과 침목에서 처짐이 발생할 수 있다. 이러한 처짐은 부상안정성과 승차감에 영향을 미치게 된다. 침목 간격이 1.25이고 침목 사이에서의 처짐량을 0.5 또는 1mm로 가정하였을 때의 형상을 아래 그림에서 보여주고 있다. 이러한 형상 역시 주행성능 해석이 입력으로 이용된다.

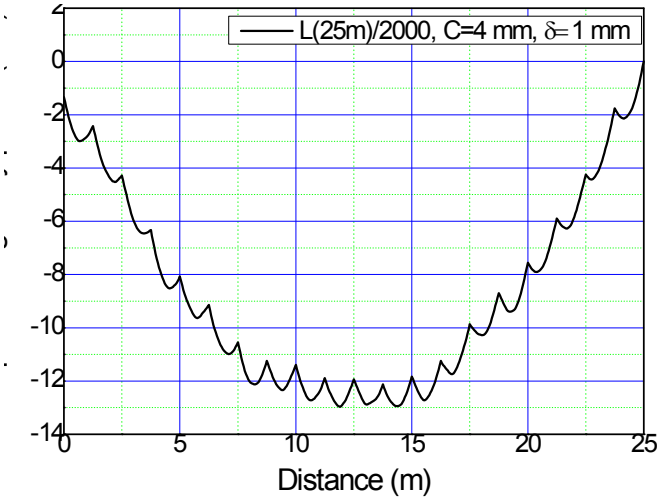


[그림 516]Examples of guiderail deflections aligned with allowable deflections

복합불규칙도

이상의 모든 불규칙도를 조합하여 복합 불규칙도를 정의하게 된다.위 그림은 그러한 결과를 보여주고 있다. 아래 그림은 복합 수직 불규칙도 형상을 보

여주고 있다. 수평 불규칙도는 표면 조도만 고려한다. 실제적으로는 이 이외에도 조인트 단차가 있는데 이에 대한 수학적 모델 개발이 요구된다.



[그림 517]Example of the composite guideway irregularity profile in the Y-Z plane

이상과 같이 기존의 시험선에 대한 가이드웨이 높이 불규칙도 즉 표면 조도와 이론적 가이드웨이 처짐에 대한 불규칙도를 정량화하였다. 이 정량적 정도는 차량의 주행성능 예측를 위한 입력 자료로 이용될 수 있다. 그 결과, 가이드웨이 불규칙도 선정, 가이드웨이 허용 처짐 선정 및 차량의 주행성능 향상에 이용될 수 있는 것이다.

(나) 동특성 해석 기준

동특성 해석에 의한 성능 평가 기준은 다음 표와 같다.

[표 106]성능평가 기준

해석 항목	해석 방안	판별기준
Eigenvalue 해석	- 3D 차량 모델에 대해 고유진동수 / 댐핑계수 해석 수행	- 주요 주파수간 공진 발생 여부 확인 - 5% 이상의 damping 계수
stability 해석 (critical speed)	- 직선 선로에서3D 차량 모델에서 초기 외란에 대해 수렴하	- 최고 설계속도 110km/h + 20% 이상의 임계속도

해석 항목	해석 방안	판별기준
	지 못하고 발산하는 차량 속도를 임계속도로 정의 (초기 외란에 대한 정의에 대한 검토요)	확보 여부
Ride quality 해석	- 100km/h 직선 선로에서의 대차 중심위치, 객실상면에서의 승차감 측정 - 선로 동특성, 불규칙도 반영	- UIC 승차감 N 2.0이하
Running performance 해석	- 직선선로에서 20, 60, 80, 100 km/h 에서의 simulation	- Guidance wheel 미접촉 - Gap fluctuation < ±3 mm - 이상 진동현상 없음
Curving performance 해석	- 본선 곡선 상황에 준하는 곡선 주행 simulation	- Guidance wheel 미접촉 - Gap fluctuation < ±3 mm - 이상 진동현상 없음
이상 조건에 대한 검토	- 풍속 26 m/s 에 대한 모의 시험 - 지진 리히터 5.5에 해당하는 가진 조건 주행 시험	- 이상 현상 없음.

(다) 입력 데이터

주행성능을 해석하기 위한 입력 데이터로 우선 차량 요구사항이 있다.

[표 107]차량 요구 사항

항 목	차량 요구사양 (요구사양서 내용 발췌)
기후조건	내진 : 리허터 규모 5.5까지 운행이 가능하여야 한다. 풍속 : 26m/s까지 운행이 가능하여야 한다.
운전조건	차량의 최고 운행속도는 100km/h로 하되, 추후 운영처와 협의에 의하며 구간별 운전속도 계획은 운행할 노선의 운전규정에 따른다
2.19 승차감	직선 평탄로를 최고 운행속도로 공차 운행시 차량 중심에 해당하는 객실 바닥면에서의 UIC 승차감 지수가 2.0 이하를 만족시켜야 한다.
주요제원	- 궤간 : 1,850 ㎜ - 차량 중량 공차 : 20.0 톤/량 만차 : 26.5 톤/량 - 설계 최고속도 : 110 ㎞/h - 최고 운행속도 : 100 ㎞/h - 공극 부상공극 : 8 mm (편차 : 1mm 이하의 레일 단차에서 ±3 mm 이내) 추진공극 : 11 mm - 곡선반경 통과능력 : 50 mR

해석 모델에서 포함시켜야 할 조건은 다음 표와 같다.

[표 108]해석 모델 고려사항

모델 구성	모델별 해석 방안 및 요구사양	비고
차량 model	- 만차, 공차에 대해 개별 수행 - 2량 1편성 - 대차는 6자유도가 있는 2개의 질점으로 구현 - 차체 6자유도의 1개 질점으로 구현	
선로 model	- 실제 선로 design 자료를 반영 (곡률, 경사도 등) - 선로 irregularity (vertical, lateral, cross	

	level, gauge 불규칙도 반영) - 선로 dynamic 반영 (최대 처짐, stiffness 반영) - 곡선부 Cant, transient 구간 반영	
부상 시스템 model	- 전자석, 제어기 모델 반영 - 전자석은 대차당 4개로 개별 모델링 - LIM의 흡인력 특성 반영	

공기스프링 특성

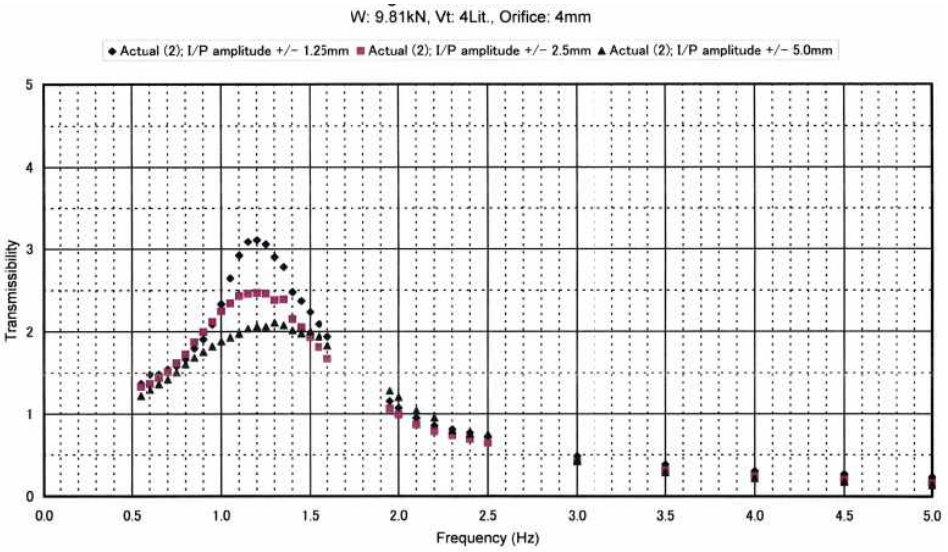
공기스프링의 기본 특성은 아래 표 109와 같고, 공기스프링의 특성은 setting에 따라 두가지 설정의 시험을 수행하였으며, Slope JIG를 적용한 모델,actual data(2)을 실차량에 적용하였다.

Table 1: Characteristics of ϕ 170 type air spring

	Item	Unit	Proposal	Actual data (1) Without JIG	Actual data (2) With Slope JIG
Characteristics data	Vertical Load	kN	6.86 / 11.77 (700 kgf / 1,200 kgf)		
	Effective Diameter	mm	170 / 173	166 / 169	167 / 170
	Internal Pressure	kPa	303 / 499	317 / 523	314 / 517
	Change Rate of Effective Area	cm^2/cm	0.4 / 2.1	4.7 / 11.7	0.3 / 1.3
	Internal Volume [Without Inner cylinder volume: 0.22Lit.]	Lit.	3.2 / 3.3	2.9 / 2.9	- / -
	Vertical Stiffness [Static, +/-10mm amplitude]	N/mm	28.8 / 53.9	37.6 / 73.5	32.4 / 59.4
	Lateral Stiffness [Static, +/-10mm amplitude]	N/mm	61.0 / 107.4	31.4 / 79.6	65.2 / 132.3
	[Dynamic, +/-10mm amplitude, 1.0 Hz]	N/mm	76.3 / 135.5	72.4 / 148.6	100.7 / 199.4

Vertical stiffness under Vt = 4 litters / Air Spring.

[그림 518]공기 스프링 특성



[그림 519]공기스프링 resonance test 결과

[표 109]시험차량 진동 특성 계산표

	tare	full	crush	
Secondary sprung mass	770	1200	1500	
Internal pressure of air spring	342	517	637	
Vertical stiffness of air spring (dyn.)	45	73	93	
Lateral stiffness of air spring (dyn.)	114	199	258	
Primary sprung mass	420	420	420	
Effective Vertical stiffness of Prim'y	2345	2345	2345	
Effective Lateral stiffness of Prim'y	605	605	605	
Vertical resonance (1st mode)	1.2	1.2	1.2	[Hz]
Vertical resonance (2nd mode)	12.0	12.1	12.1	[Hz]
Lateral resonance (1st mode)	1.6	1.5	1.4	[Hz]
Lateral resonance (2nd mode)	4.8	5.4	5.7	[Hz]
Yaw resonance of primary sprung			7.4	[Hz]
Pitch resonance of primary sprung			13.2	[Hz]

[표 110 질량 및 관성

Index	Mass (kg)	Inertia Ixx (kgm2)	Inertia Iyy (kgm2)	Inertia Izz (kgm2)
Carbody	6874	11232	70950	66400
Bogie frame	434	28.2	396.2	383.4
Anti-roll beam	31.4	3.8	0.1	3.7
LIM	221.4	59.5	1	60.3

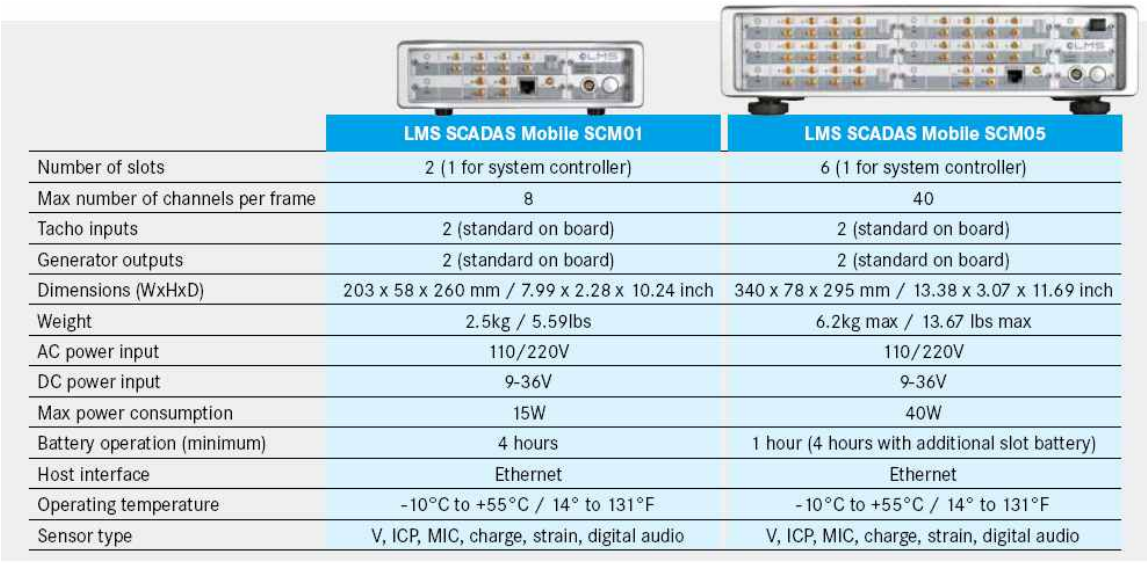
[표 111]해석 모델 힘요소 특성치

Index	Air spring	Anti-roll beam	Traction -rod	LIM
Radial stiffness (N/m)	1×106	1×108	5×107	1×106
Axial stiffness (N/m)	2×105	1×108	1×108	2×104
Conical stiffness (N*m/rad)	500	0	410	500
Torsional stiffness (N*m/rad)	500	0	410	500
Radial damping (N*s/m)	1600	1000	1000	1600
Axial damping (N*s/m)	2×105	2000	1000	2×105
Conical damping (N*s/m/rad)	400	0	100	400
Torsional damping(N*s/m/rad)	100	0	100	100

(3) 시험시스템 구축

(가) 측정 시스템 구축

주행성능을 시험적으로 평가하기 위하여 계측 및 분석 시스템을 구축하였다. 구축된 신호취득 시스템은 LMS SCADAS Mobile SCM05 이며 주요 규격은 아래 표와 같다.



	LMS SCADAS Mobile SCM01	LMS SCADAS Mobile SCM05
Number of slots	2 (1 for system controller)	6 (1 for system controller)
Max number of channels per frame	8	40
Tacho inputs	2 (standard on board)	2 (standard on board)
Generator outputs	2 (standard on board)	2 (standard on board)
Dimensions (WxHxD)	203 x 58 x 260 mm / 7.99 x 2.28 x 10.24 inch	340 x 78 x 295 mm / 13.38 x 3.07 x 11.69 inch
Weight	2.5kg / 5.59lbs	6.2kg max / 13.67 lbs max
AC power input	110/220V	110/220V
DC power input	9-36V	9-36V
Max power consumption	15W	40W
Battery operation (minimum)	4 hours	1 hour (4 hours with additional slot battery)
Host interface	Ethernet	Ethernet
Operating temperature	-10°C to +55°C / 14° to 131°F	-10°C to +55°C / 14° to 131°F
Sensor type	V, ICP, MIC, charge, strain, digital audio	V, ICP, MIC, charge, strain, digital audio

[그림 520]주행성능 계측 시스템 규격

또한 계측 결과를 분석하기 위한 분석 시스템은 다음과 같이 구축하였다.

B. LMS Test.Lab Software

1. TL-DTP.20.1	LMS Test.Lab Desktop - Standard
2. TL-SCD.40.3	LMS Test.Lab Frontend driver (40 channels)
3. TL-STR.25.2	LMS Test.Lab Spectral Testing
4. TL-MOD.21.2	LMS Test.Lab Modal Analysis
5. TL-MOD.25.3	LMS Test.Lab PolyMAX
6. TL-ODS.52.2	LMS Test.Lab Operational Deflection Shapes & Time Animation Workbook
7. TL-SIG.28.3	LMS Test.Lab Time Recording add-in

[그림 521]주행성능 분석 시스템

(다) 시험 계획

차량 조건

시험용 1/2 차량을 대상으로 하고(그림 3-1-9 참조), 하중 조건은 공차 상태로 한다.

측정 구간 및 운행 속도

측정 구간은 기계연 시험선로, 신역사에서 400m 구간

운행속도는 10km/h, 20km/h , 30km/h , 40km/h 을 기본으로 하고 여건에 따라 조정

시험항목 및 시험목적

- 공기스프링 시험

(1) 공기스프링 압력 측정시험

공기스프링 내압을 측정하여, 차량의 중량, 무게중심을 간접적으로 측정함

(2) 공기스프링 vent 시험

공기스프링 vent 밸브를 이용하여, 부상제어의 고장시 차량의 가용성을 높이는 기능에 대한 시험으로, vent 밸브 작동 시 작용된 공기스프링의 차량하중이 차량전체로 재분배되는 기능을 확인함. 단, 하중 재분배시 부상 주행시험은 별도로 확인 필요

-착지 자력 주행시험

부상제어기의 고장조건에서 Landing wheel을 이용한 자력주행 시험(LIM 추력이용). 특히, 곡선통과 시 lateral skid의 적합성을 확인함.

-동적특성 시험

(1) 승차감

승객이 느끼는 차량의 진동 성능 측정

(2) 주행안정성 / 곡선 추종성

직선 주행시 / 곡선 통과시 차량의 주행 성능 평가

(3) 차량 강체 진동모드

대차를 포함한 차량의 강체 운동모드 측정

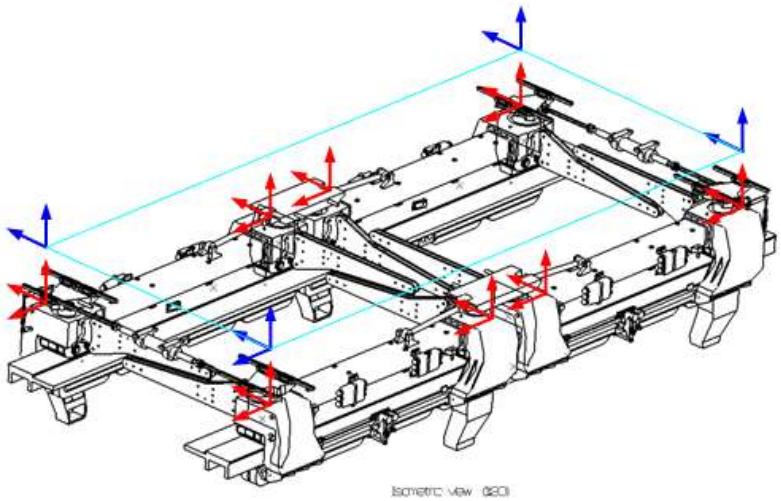
(4) 대차 구조 진동모드

주행성능에 영향을 줄 수 있는 구조적 공진 확인

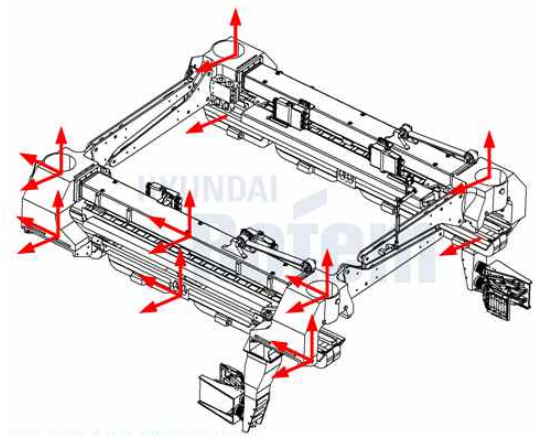
[표 112]시험항목 및 시험목적

시험항목	측정항목	측정위치	비고
공기스프링 시험	개별 공기압	각 공기스프링 test fit	

착지 자력 주행시험	좌후 횡가속도 Lateral skid 마모정도	차량, 대차 횡방향, yaw 가속도	
승차감	상하,좌우,전후 가속도	아래 그림참조	
주행안정성 /곡선추종성	상하,좌우,전후 가속도	아래 그림참조	
진동 모드 (structural)	모드확인을 위한 위치 선정요	모듈의 roll /전자석 bending / 모듈의 torsion / sideframe의 bending/ 대차의 twist	



[그림 522]차량 강체 진동모드 측정용 센서 부착위치



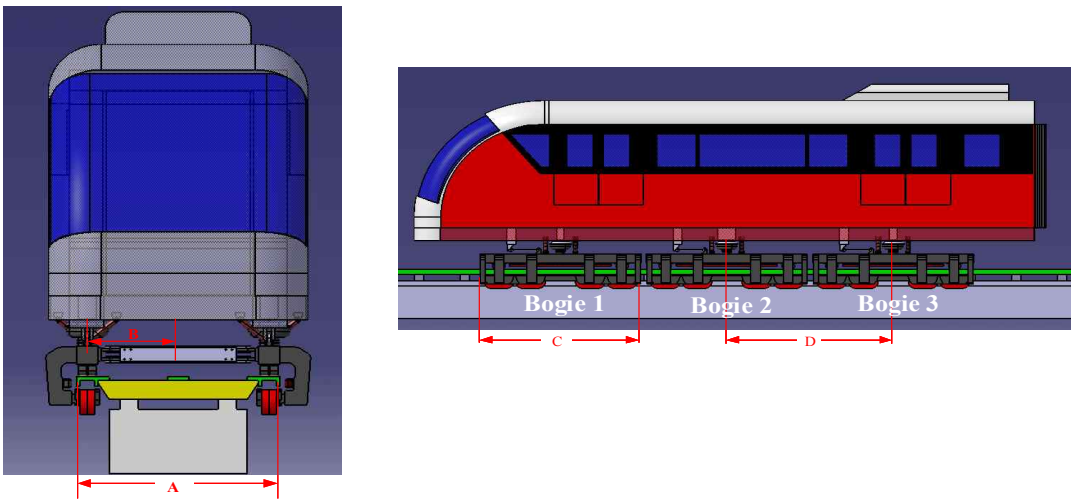
[그림 523]구조 진동모드 측정용 센서 부착위치

(4) 대차메커니즘 개선

(가) 기존대차 분석 (3대차)

1) 곡선추종성 검토

기존 대차 곡선 기구적 곡선 주행 해석을 통하여 기존 대차 메커니즘의 문제점과 설계 개선 방향을 찾는데 목적이 있다. 기존 차량의 크기를 고정하고 임의로 대차수를 증가시키면서 기구적 해석을 수행하였다.

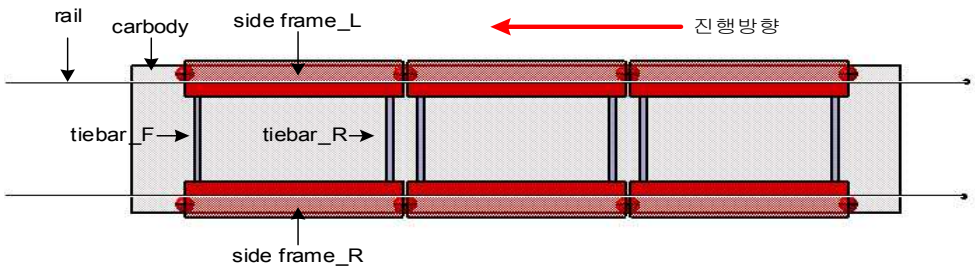


[그림 524]주요 치수 위치

[표 113]주요 치수

	A(mm)	B(mm)	C(mm)	D(mm)
3 bogies	2082	925	3400	3480
4 bogies	2082	925	2530	2610
5 bogies	2082	925	2008	2088

곡선추종성 해석을 위한 모델은 다음과 같다.

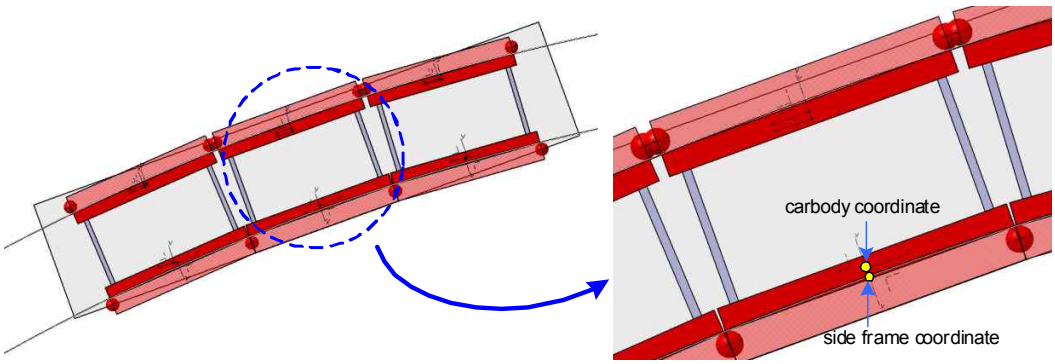


[그림 525]곡선주행 해석 모델

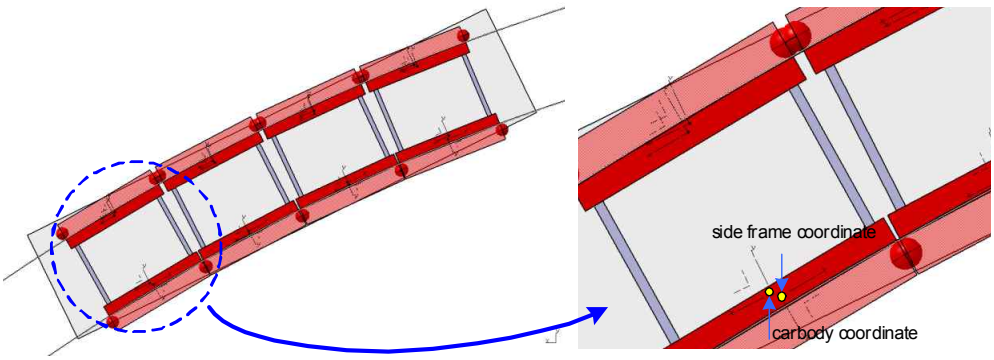
기본 body는 carbody, sideframe, tiebar, rail로 구성된다. Tiebar와 side frame은 revolute joint로 구속시키고 carbody와 side frame은 힘 요소인 bush

로 연결한다. side frame과 rail을 힘 요소인 contact으로 연결한 뒤 contact의 강성을 크게 하고 최대 침투 크기를 작게 하여 rail을 벗어나지 않고 잘 추종할 수 있도록 한다. 그리고 carbody와 side frame의 airspring 위치에 sensor를 만들어 두 body 사이의 변위를 알아낸다.

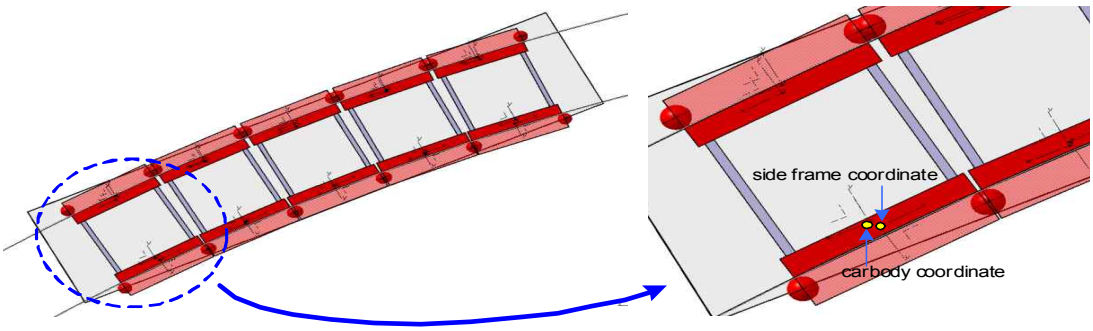
carbody와 sideframe의 벗어난 정도를 측정한 결과이다. 대차의 개수가 3인경우 최대 변위가 2번 대차에서 80.6mm이고, 대차의 개수가 4인 경우 최대 변위가 1, 4번 대차의 우측에서 89.4mm이며 대차의 개수가 5인 경우 최대 변위가 1, 5번 대차의 우측에서 105.6mm이다.



[그림 526]최대 공기스프링 변위(3대차)



[그림 527]최대 공기 스프링 변위(4대차)



[그림 528]최대 공기 스프링 변위(5 대차)

[표 114]공기 스프링 최대 변위

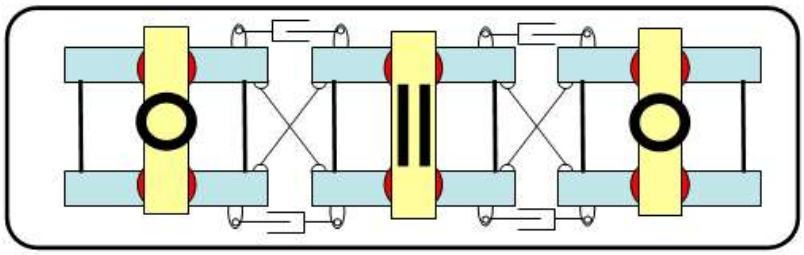
	bogie position(center line 진행방향 기준L:left, R:right)									
	1_L	1_R	2_L	2_R	3_L	3_R	4_L	4_R	5_L	5_R
3 bogies	64	68.3	80.6	80.6	64	68.3				
4 bogies	84	89.4	69.8	69.8	69.8	69.8	84	89.4		
5 bogies	99.6	105.6	50.3	49.5	87	87	50.3	49.5	99.6	105.6

(unit : mm)

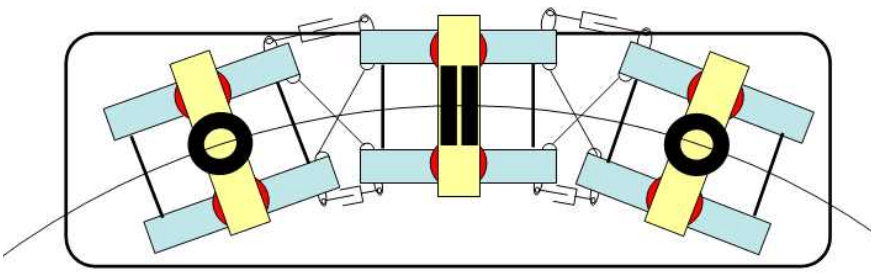
기존 대차 메커니즘을 이용한 기구적 곡선주행 해석을 수행하였다. 대차 수량에 따른 공기 스프링의 횡변위를 분석하여 대차 메커니즘의 문제점을 분석하고 개선 방향을 차고자 하였다. 그 결과 대차 수량이 증가에 따라서 공기 스프링의 횡변위가 최대 105.6 mm를 나타냈다. 이러한 크기가 공기스프링이 견딜 수 없는 값이라면 그에 대한 메커니즘적 대책이 필요하다고 할 수 있다.

2) 기존 메커니즘 평가

곡선에서 발생하는 중간 대차의 차량·대차간 횡 변위 흡수하고, 전자석의 곡선 선로 추종성을 향상시키기 위해 곡선 진입시 대차의 배열이 곡선 선로에 추종될 수 있는 대차 배열 자기조향 장치가 필요하다고 판단됨



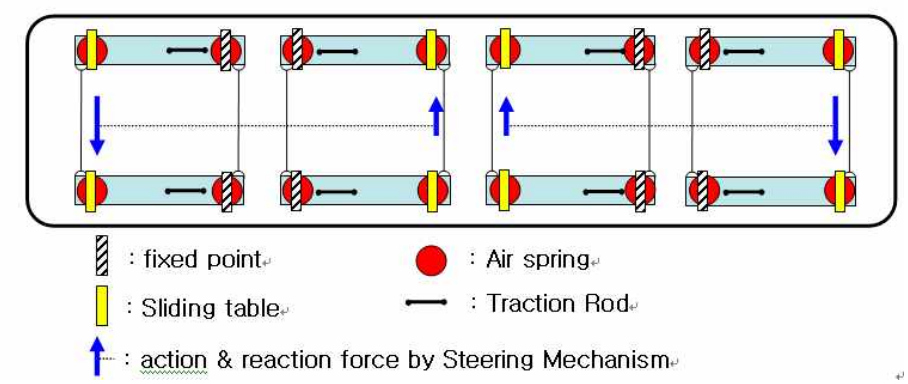
[그림 529]곡선 조향 메카니즘 개념도



[그림 530 곡선 조향 메카니즘 작동도

(나) 개선

기존 대차의 문제점을 보완하기 위하여 4대차를 다음과 같이 제안하였다.



[그림 531]제안된 대차 메커니즘

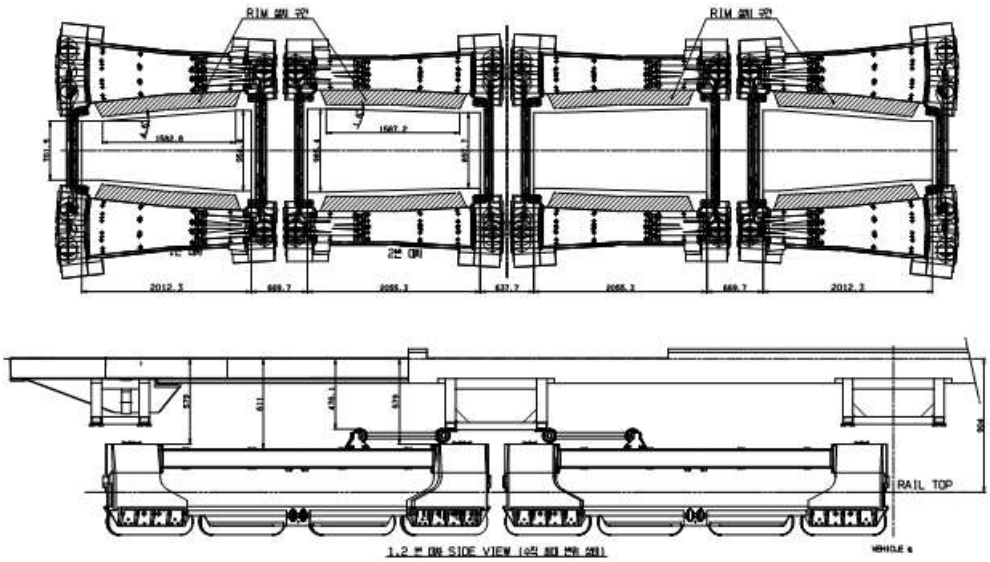
[표 115]대차 변위 검토 조건

Item	입력 값
수평 최소 곡선	50 m
수직 최소 곡선	1,000m
수직틀림	5mm
레일 이음매 수직단차	1mm
Lateral Skid와 Rail간 간격	12mm
Lateral Skid 최대 마모량	3mm

[표 116]결과 요약

		Carbody to bogie maximum movement				
Case		Yaw	Lateral	Pitch	Vertical	Longitudinal
레일,대차간 변위		1.62°	±15mm	N/A	+8/-10	N/A
대차,차체간 변위	1,4번대차	6.35°	±35mm	0.37°	+40 / -60mm	6.5mm
	2,3번대차	3.2°		0.28°		

상기 결과를 이용하여 모듈의 변위를 도시화하면 아래와 같다.



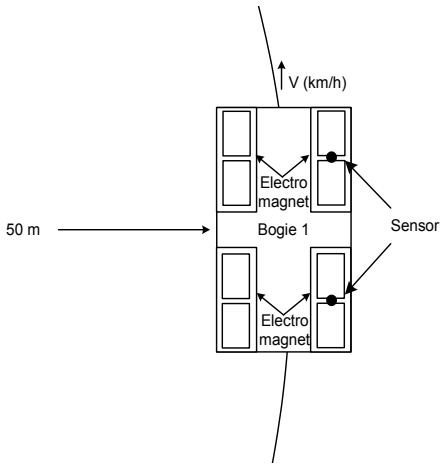
[그림 532]대차 차체간 변위

1) 곡선 추종성

실용화 차량의 곡선 추종성 해석을 위해서 아래의 표에서 보여주는 곡선 가이드웨이에 대해서 주행 시뮬레이션을 수행하였다. 아래의 그림은 곡선 주행 시뮬레이션에서의 횡 공극 계측위치를 도식적으로 보여주고 있다.

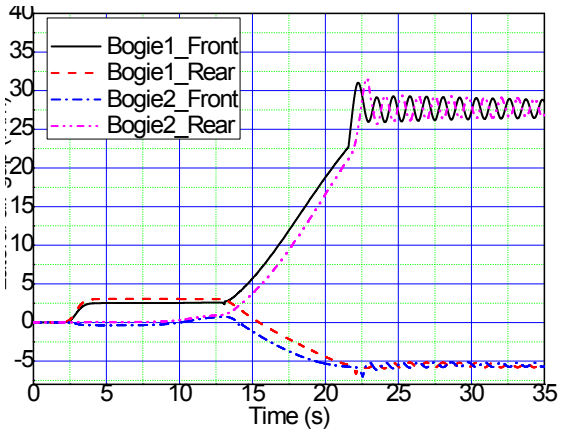
[표 117]Data for the curved guideway for simulation

Item	Condition
Clothoid curve length	25 m
Circular curve radius	50 mR

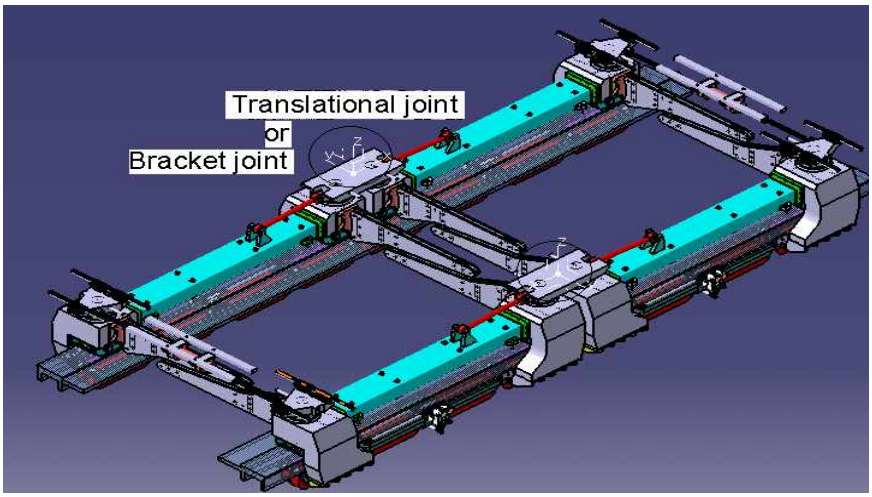


[그림 533]횡공극 센서 설치 위치

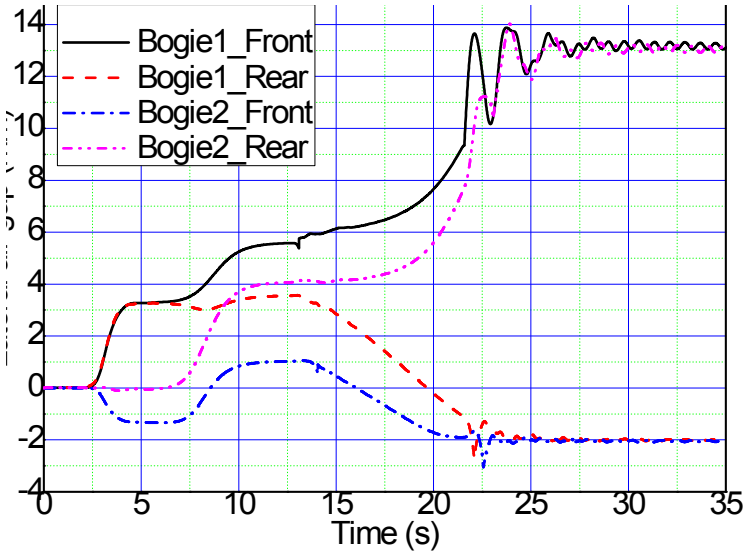
아래 그림은 1/2 시험 차량에 위 표의 자기 부상 라파미터를 적용하여 차량이 10km/h로 위 표와 같은 곡선 가이드웨이를 주행 할 때의 횡 공극 변동의 크기를 보여 주고 있다. 최대 횡공극이 30mm를 나타내고 있다. 이러한 크기는 Lateral skid 접촉이 일어날 수 있다. 그러나 본 1/2차량은 1/2이기 조향장치가 정상적으로 작동하지 않기 때문이다. 전체차량으로 구성되어 정상 조향이 이루어진다면 최대 횡공극은 감소할 것이다. 이러한 결과를 예측하기 위하여 임의로 전방 대차 후방 공기 스프링 취부, 후방대차 전방 공기 스프링 취부가 횡방향으로 자유로운 운동이 가능하도록 상대운동을 허용하여 곡선주행 해석을 수행하였다. 그림 3-1-41 에서와 같이 차체와 슬라이딩 테이블 연결 조인트를 실제 Bracket joint대신 Translational joint로 연결하여 횡공극을 해석하였다. 그림 3-1-42 는 이러한 경우에 대한 횡공극을 보여주고 있으며 최대 횡공극은 14mm인 것을 알 수 있다. 최대 횡공극이 크게 감소한 것을 알 수 있다. 결과적으로 1/2 차량이 아닌 전체차량이고, 조향 기구가 정상 작동한다면 최대 횡공극은 감소할 것으로 기대된다.



[그림 534]횡공극



[그림 535]조향 대차 모델 및 조인트 (가정)



[그림 536]횡공극(공기 스프링 취부 횡방향 운동 허용)

시험대차 곡선추종성 시험

1/2차량의 곡선 주행성능을 시험으로 평가하였다. 곡선 추종성은 전자석의 횡방향 공극을 측정하는 것이 바람직하나, 본 건에 대하여는 수행하지 못하여 간접적으로 곡선 주행시의 곡선 추종 성능을 평가하였다. 아래 그림은 시험선의 곡선 구간으로 180mR곡선이 포함되어 있다.



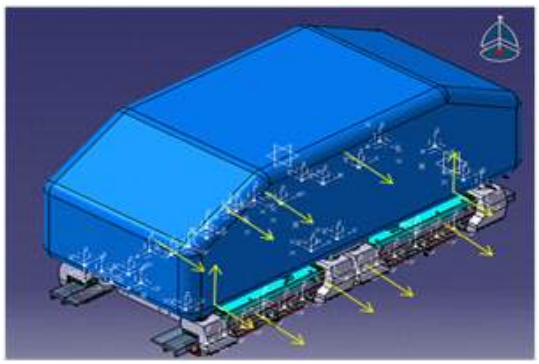
[그림 537]곡선 가이드웨이

가속도계는 아래 그림과 같은 위치와 방향으로 설치하였다.

-Magnet_Front, Magnet_Rear로 사이드별 2곳, 8곳에 Lateral 방향으로 가속도 센서를 설치

-주행중의 가속도 측정

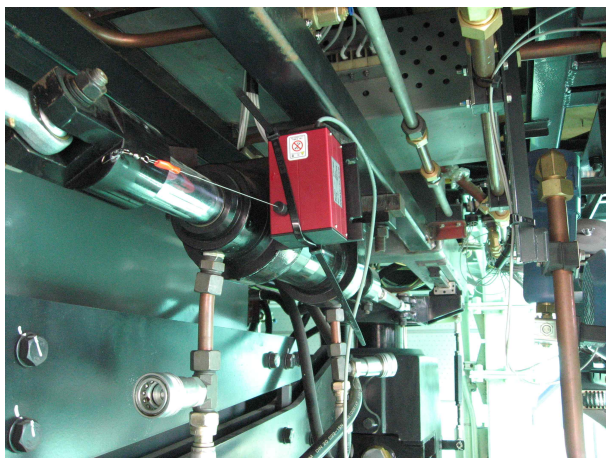
-LMS Test.Lab 장비를 이용하여 측정데이터 정리



[그림 538]측정 방향



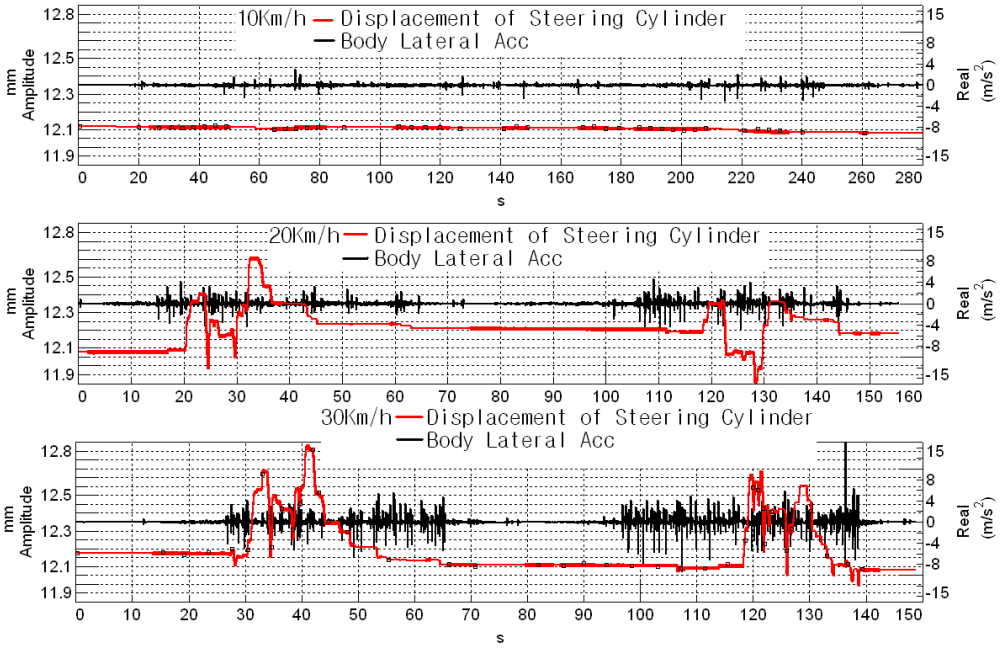
[그림 539]측정 위치



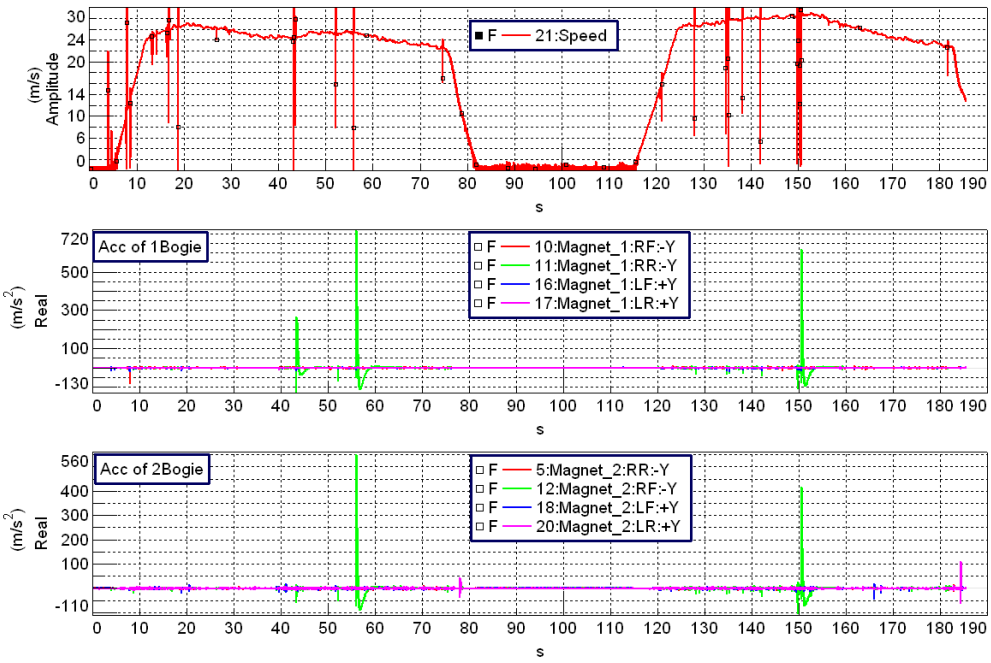
[그림 540]조향 실린더 횡변위 측정 위치

아래 그림에서 알 수 있듯이, 조향실린더는 30km/h에서 최대 0.8mm의 횡 변위를 갖는 것을 알 수 있다.(신호 처리 재검토 필요) 대차의 횡가속도는 곡선에

서 비 이상적인 크기를 보이고 있다. 다음그림은 곡선에서 전기적 충격으로 인한 신호 외곡으로 평가된다. 그러므로 좀더 엄밀한 곡선 추종성 평가가 전체차량 시험시에 이루어져야 할 것이다.



[그림 541]속도별 차체 횡가속도와 조향실린더 횡 변위



[그림 542]속도별 대차 횡가속도

2) 피로 평가

자기부상차량 구조물의 내구성능을 평가하기 위해서는 실험적인 방법과 해석적인 방법이 있다. 실험적인 방법은 실제적인 결과를 추출할 수 있지만 비용과 시간 면에서 비경제적이다. 따라서 해석적인 방법을 통해 설계 단계에서 내

구성능을 평가하게 되면 적은 비용으로 최대의 개발 효율을 기대할 수 있다. 해석적인 내구평가 방법으로는 정적 내구해석과 동적 내구해석으로 나눌 수 있는데, 자기부상 차량과 같은 불균일 하중이 지속적으로 전달되는 시스템에 대해서는 동적 내구해석 기법이 주로 사용된다. 동적 내구해석을 수행하기 위해서는 자기부상 차량에 대한 완전한 동역학적 모델이 필요하며, 이 모델을 바탕으로 다양한 운전조건에 대해 하중이력을 산출할 수 있다. 동역학 해석을 통해 추출한 하중이력은 Correlation을 통해 검증을 거친 후, 각 소재에 대한 Stress Strain History를 계산할 수 있으며 이러한 응력 이력은 바로 내구 평가를 위한 데이터로 사용된다. 동역학 모델을 이용한 내구 해석 방법은 실험의 횟수를 최소화하는 동시에 자기부상차량 구성부품에 대한 전반적인 내구 평가가 가능하며, 이를 바로 설계에 반영하여 보다 효율적인 개발 Process를 구성할 수 있다.

동적 내구해석을 수행하기 위해 반드시 필요한 사항은 다음과 같다

- 자기부상차량의 동역학 모델
- Correlation을 위한 시험 데이터
- 자기부상 차량의 운행조건(가속, 감속 및 회전 운행조건)
- 각 부품에 대한 소재특성 및 피로특성

내구해석을 위한 동역학 해석은 모델의 정확도가 하중 이력 및 내구 해석 결과에 결정적 영향을 끼치기 때문에 동역학 모델링은 매우 신중히 진행되어야 하며, 만들어진 자기부상 차량 모델은 반드시 실험 데이터와의 Correlation을 통해 그 정확도를 검증해야 한다. 제안되는 절차에서는 자기부상 차량의 동역학 모델링을 수행하고, 차량 및 차량운행조건에 고려한 동역학 Simulation을 통하여 각 부품에 작용하는 하중 이력을 산출한다. 그리고 각 부품의 주파수 특성과 하중에 대한 주파수 응답 특성을 고려하여 각 부품에 적합한 내구 해석 방법을 결정함으로써 자기부상 차량에 대한 내구해석 Process를 정립하고자 한다.

자기부상 차량에 대한 동역학적 모델링을 수행하며, 강체 모델링 및 탄성체 모델링의 두 가지 순서로 진행한다. 탄성체에 대한 특성을 고려하기 위해 필요한 부품에 대해서만 탄성체 해석을 수행하며, 또한 자기부상차량이 가지는 Compliance 요소를 모델링하여 정확한 동역학 해석을 수행할 수 있도록 한다. 내구해석을 수행하기 위해 동역학 모델 및 해석이 준비된 상태에서 각 부품이

가지는 고유모드 특성을 해석한 후 내구해석의 방향을 선정해야 하며, 최종적으로 동적 내구 해석을 수행하기 위해 각 부품에 사용된 소재 및 소재가 가지는 물성치와 피로 특성을 바탕으로 내구 해석을 수행한다.

프로세스에 대한 설계 업무의 흐름은 아래 그림과 같다.

① 자기부상 차량에 대한 동역학 모델링

② 탄성체 부품 선정 및 모델링

- ADAMS를 이용한 탄성체 동역학 모델링

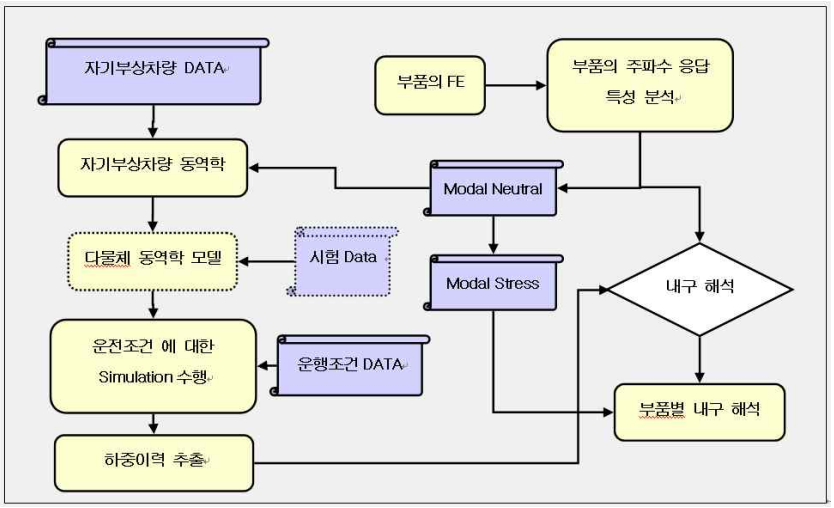
- Normal Mode해석을 통한 탄성체 부품 자체의 주파수 응답특성

- Modal Stress Recovery 방법을 이용한 내구해석

③ Normal Mode해석을 통한 탄성체 부품 자체의 주파수 응답특성

④ Modal Stress Recovery 방법을 이용한 내구해석

⑤ 운전조건 및 운행경로 설정



[그림 543]피로내구 수명 과정

⑥ 동역학 Simulation및 Correlation

⑦ 하중 이력 추출 및 주파수 분석

⑧ 내구해석 대상 부품의 주파수 응답 특성 분석

⑨ 주파수 응답 특성에 따른 부품별 내구 해석 방향 선정

⑩ 각 부품에 대한 내구 해석 수행

이상의 프로세스를 자기부상대차의 피로내구해석 프로세스로 제안/추진함.

-대차 프레임 피로해석 프로세스 제안

▪ 대차 프레임 구조적 설계 개선

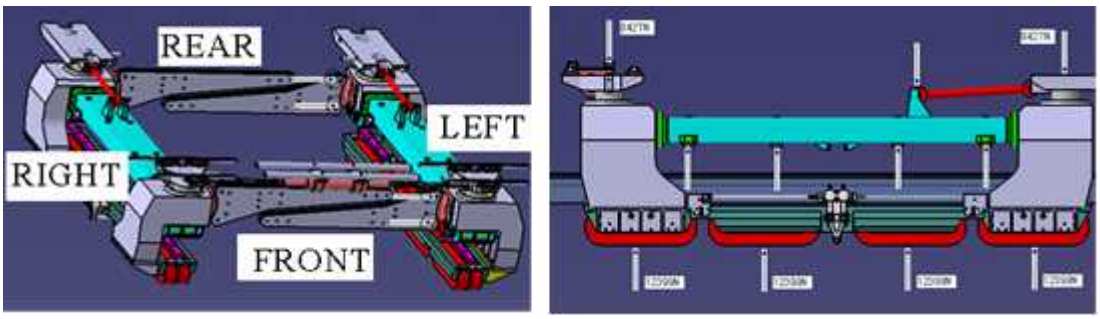
- 대차 프레임 내구성 및 강도 평가 절차 정립

- 자기부상차량 대차 프레임 정하중 해석 사양 검토

[표 118]피로내구 평가 조건

항목	적용기준	비 고
상하 하중시험	1G (착지), 0.3G (부상) 고려 충격하중 : 3 ton (대략3G에 해당)	
좌우 하중시험	0.5G(착지), 0.2G(부상) 고려	대차 중량 기준
전후 하중시험	전자석 흡착에 의한 전후하중 대략 대차 중량의6G정도의 힘.	
비틀림하중	고려안함.	구조상 비틀림 하중 없음
주전동기 취부 프레임 하중시험	수직 : 1G (착지) 수평 : 0.5G(착지) 충격 : 별도의 기준 마련	LIM 중량대비 가속도충격에 대한 하중 고려에 대한 검토요
구동장치 취부 프레임 하중시험	고려안함	해당사항 없음
브레이크하중 시험력	제동업체와 협의요	유진기공에서 제동실린더 설계 진행중
변형량	만차 부상조건에서 전자석 최대변위 1mm 이하	부상조건에서 전자석 pole상면의 평면도 조건임

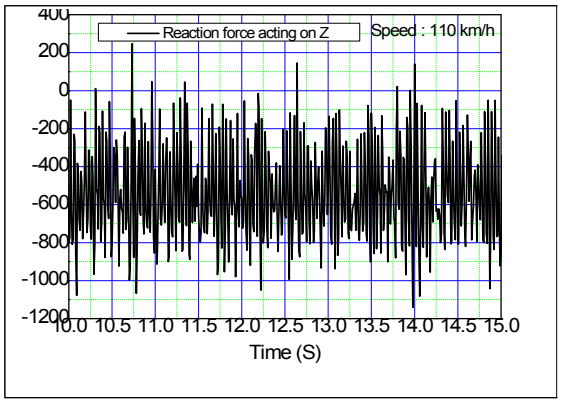
내구성을 평가하기 위하여 동하중 해석을 수행하였다. 아래 그림은 좌표 방향과 정하중을 보여주고 있다. 차량은 110km/h, C=10mm, 가이드레일 처짐 =1mm 조건이 이용된다.



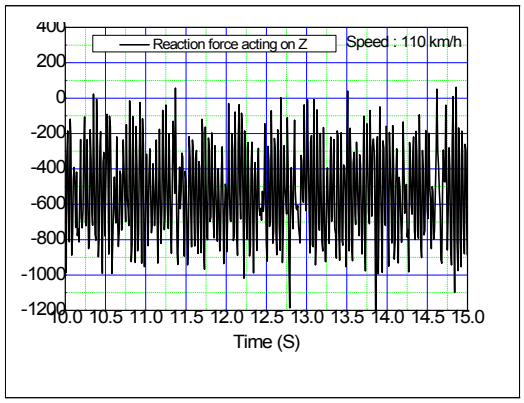
[그림 544]방향성 및 정하중

아래 그림은 사이드프레임과 LIM을 연결한 조인트에서의 수직방향(Z) 방향으로 사이드프레임에 작용하는 동하중 이력이다. LIM과 사이드프레임은 4지점

에서 연결되어 있으며 그 중 선두 지점에서의 결과이다. 최대 1.2kN을 나탄낸다.



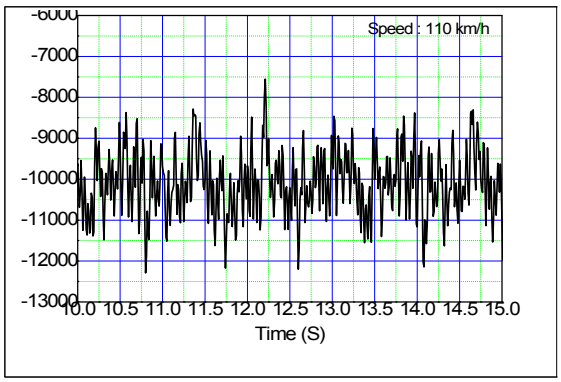
(a) Left



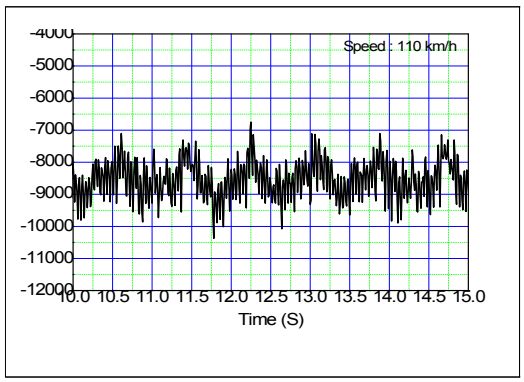
(b) Right

[그림 545]LIM 동하중 이력

사이드프레임과 공기 스프링의 연결점에 작용하는 수직방향 동하중 이력을 아래 그림에서 보여주고 있다.

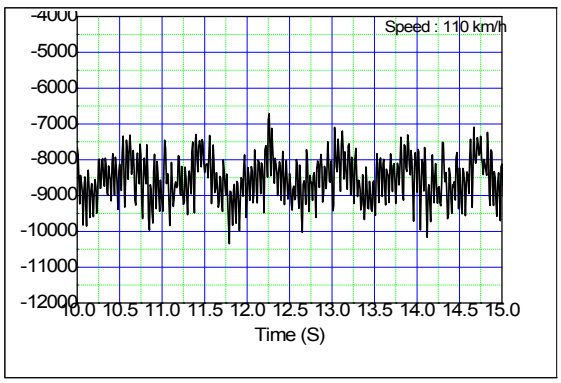


(a) Left

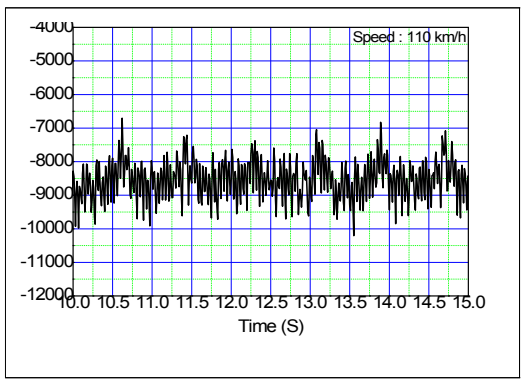


(b) Right

[그림 546]전방 공기 스프링 동하중 이력



(a) Left

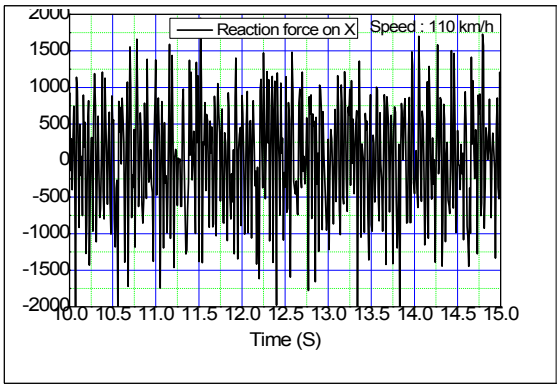


(b) Right

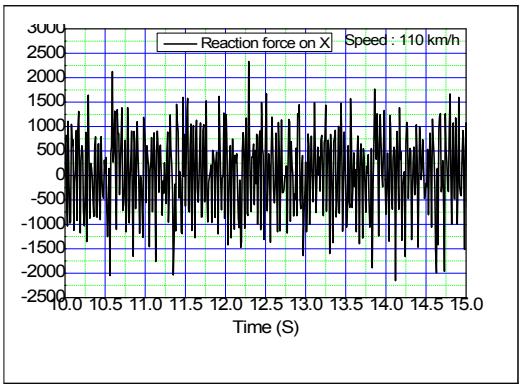
[그림 547]후방 공기 스프링 동하중 이력

견인바와 사이드프레임 연결점에서의 동하중 이력을 아래 그림에서 보여주

고 있다. 가감속이 이루어지지 않기 때문에 실제보다는 작은 값일 것으로 평가된다.



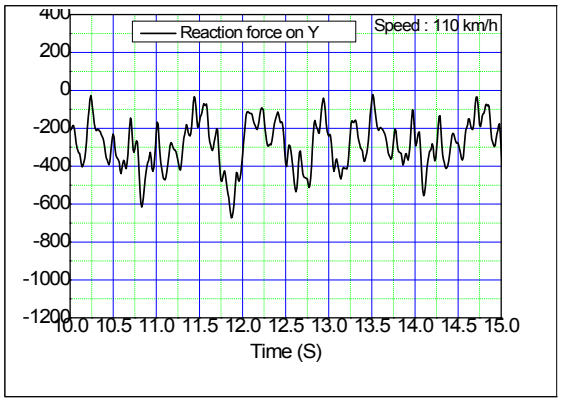
(a) Left



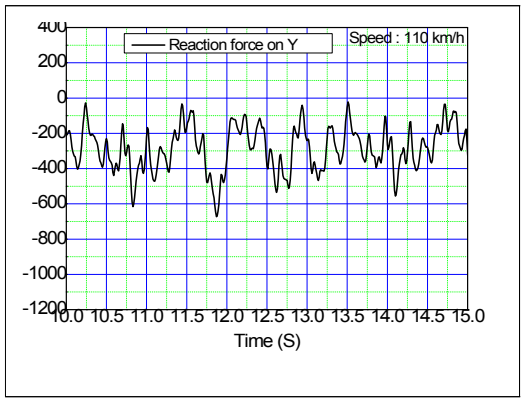
(b) Right

[그림 548]견인바 동하중 이력 (L/2000, C=6)

사이드프레임과 앤티로빔을 연결하는 볼 조인트에서의 횡방향 반력을 다음 그림들에서 보여주고 있다. 최대 700N을 나타내고 있다. 그러나 곡선 구간에서는 증가할 것으로 예상된다.

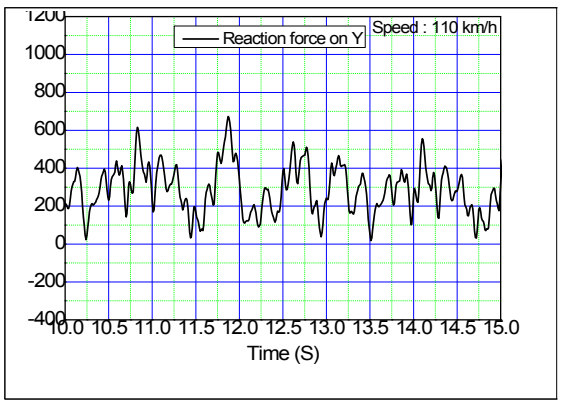


(a) Left

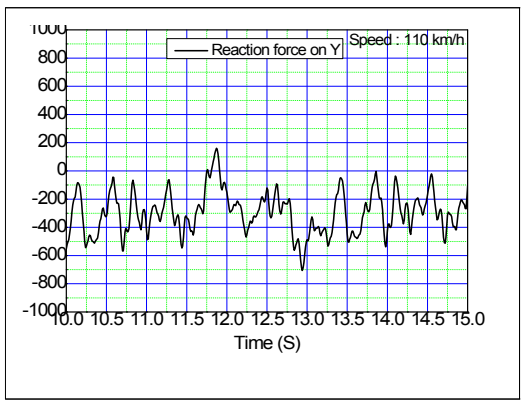


(b) Right

[그림 549]사이드프레임-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(전방, 상부)

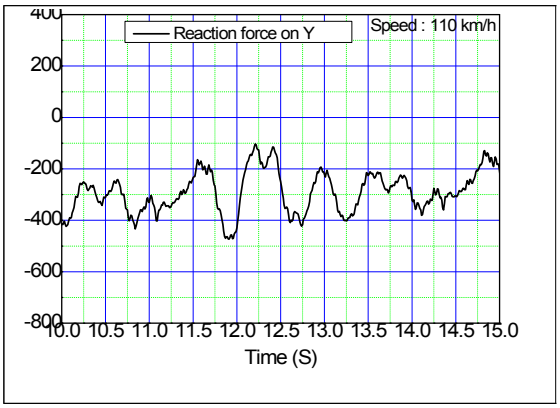


(a) Left

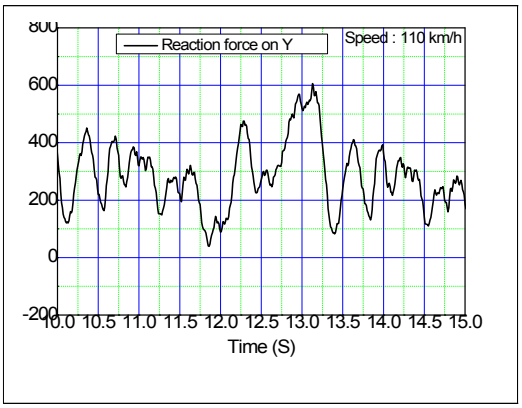


(b) Right

[그림 550]사이드프레임-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(전방, 하부)

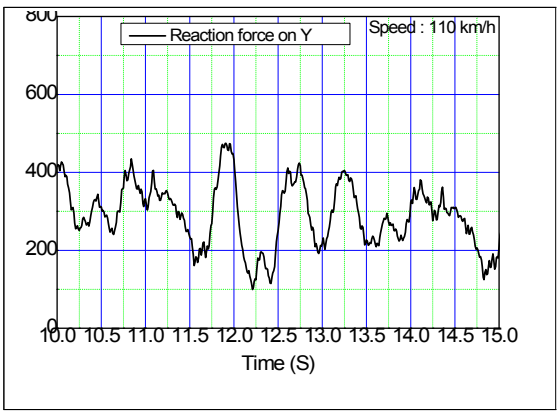


(a) Left

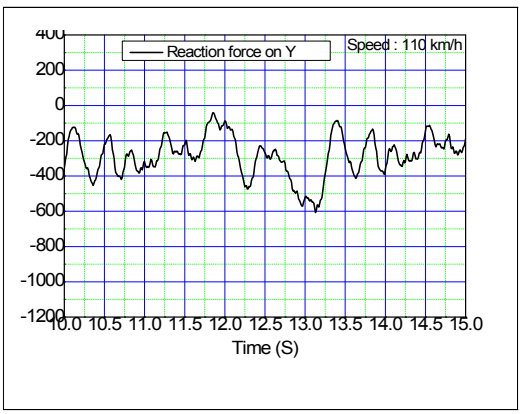


(b) Right

[그림 551]사이드프레임-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(후방, 상부)



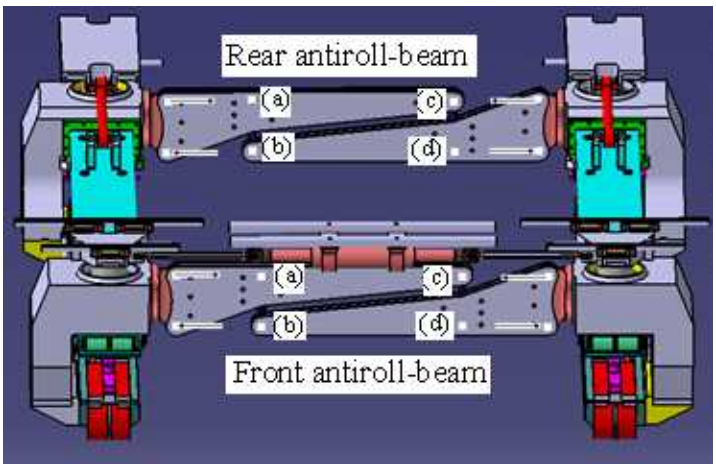
(a) Left



(b) Right

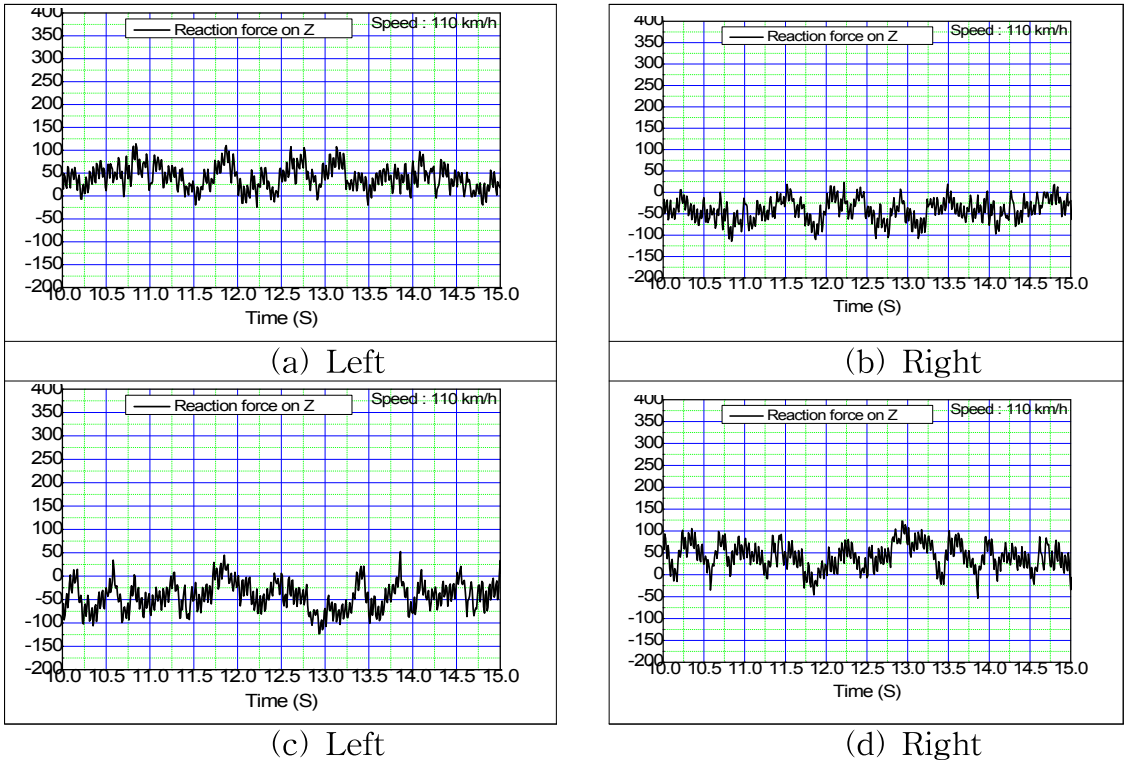
[그림 552]사이드프레임-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(후방, 하부)

다음으로아래에서 표시한 조인트에서의 동하중 이력을 해석하였다.

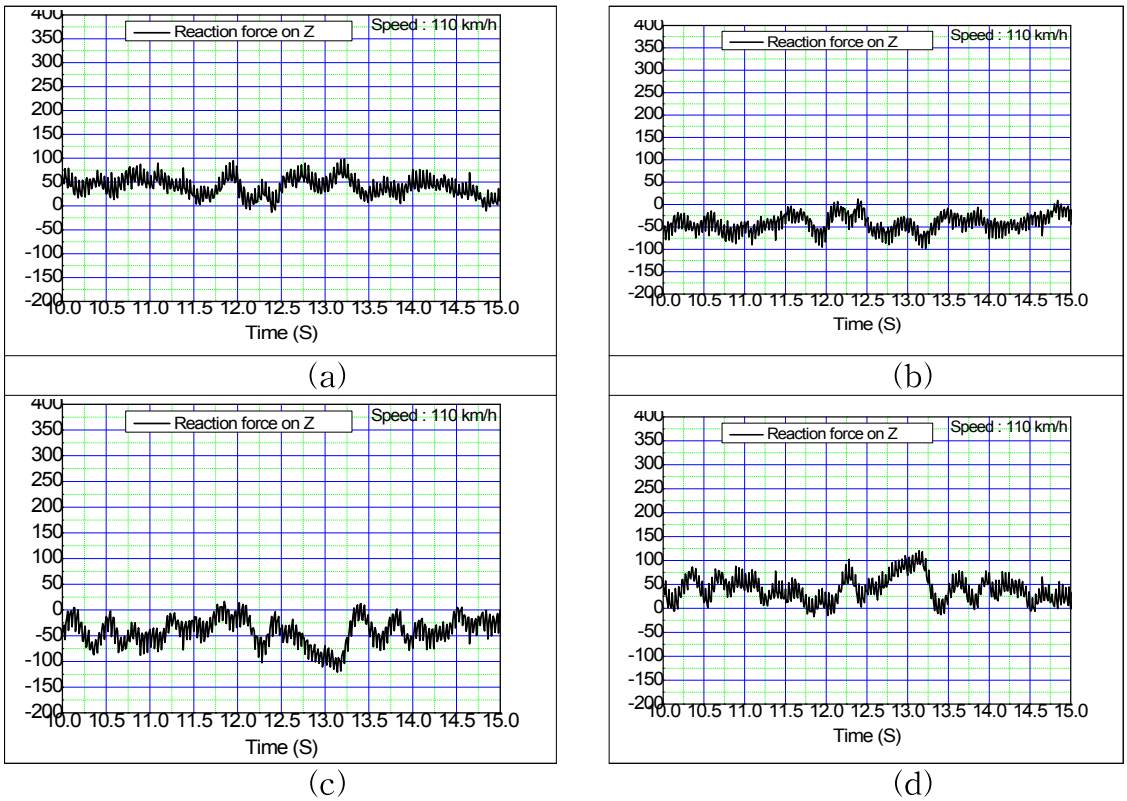


[그림 553]앤티롤빔-앤티롤빔 연결 조인트

아래 그림은 앤티롤빔과 앤티롤빔을 연결하는 콘트롤로드의 연결조인트에서의 동하중을 나타낸다. 그 크기는 모드 작은 값을 나타내고 있다. 그러나 곡선주행에 있어서는 그 크기가 증가할 것으로 예상된다.



[그림 554]앤티롤빔-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(전방)



[그림 555]앤티롤빔-앤티롤빔 볼 조인트 동하중 이력(후방)

이러한 동하중을 이용하여 내구수명 평가가 이루어진다.

(5) 승차감 개선

(가) 기존 차량 분석

1) 승차감 평가

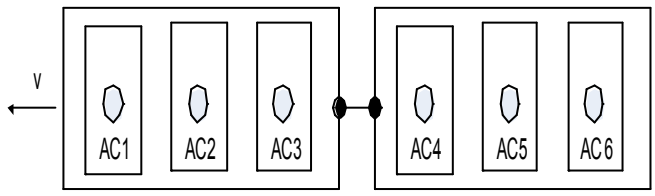
기존차량의 승차감을 시뮬레이션으로 평가하여 일반적인 경향을 도출하고 개선하였다. 승차감 평가는 UIC 513R 을 적용한다. Simplified method 에 의한 승차감 평가는 식(1)을 이용한다.

$$N = 6\sqrt{(a^{W_d}{}_{XP95})^2 + (a^{W_d}{}_{YP95})^2 + (a^{W_b}{}_{ZP95})^2} \quad (1)$$

$a^{W_d}{}_{XP95}, a^{W_d}{}_{YP95}, a^{W_b}{}_{ZP95}$ 는 X, Y, Z 방향 가속도에 대한 RMS 이다. 승차감 지수에 의한 승차감 평가는 아래 표에 의하여 이루어진다. 승차감 시뮬레이션에 있어서 가속도계 위치는 다음 그림과 같다.

[표 118]승차감 평가

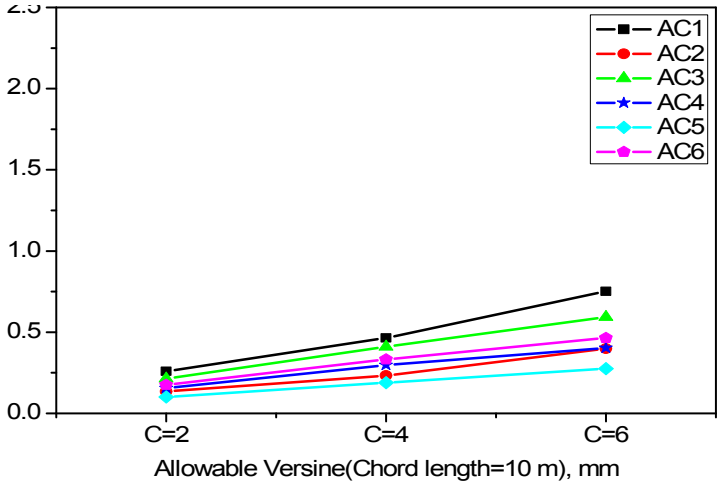
Comfort index	Comfort evaluation
N<1	very good comfort
1≤N<2	good comfort
2≤N<4	moderate comfort
4≤N<5	poor comfort
N≥5	very poor comfort



[그림 556]가속도계 위치

표면조도에 따른 승차감

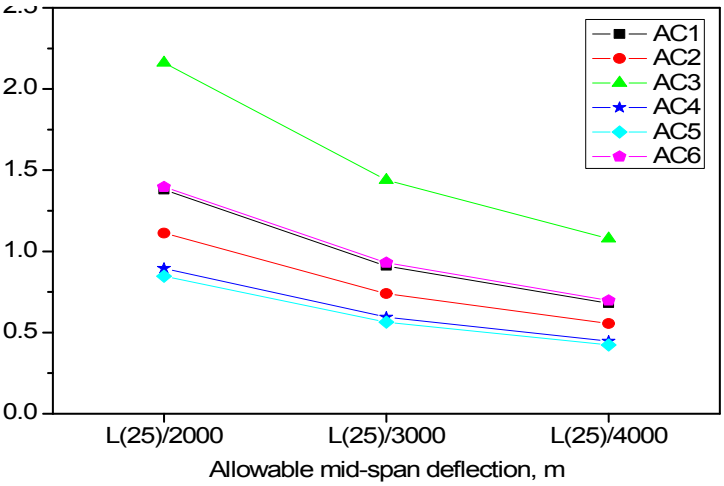
아래 그림은 표면조도만을 외란으로 고려하였을 경우의 UIC 지수를 보여주고 있다. 예상과 같이 Versine이 클수록 UIC 값이 증가하며, 동일 차량에 대하여 평가 위치에 따라 다른 것을 알 수 있다.



[그림 557]UIC comfort indexes, C=2, 4, 6 mm (100km/h)

거더 처짐

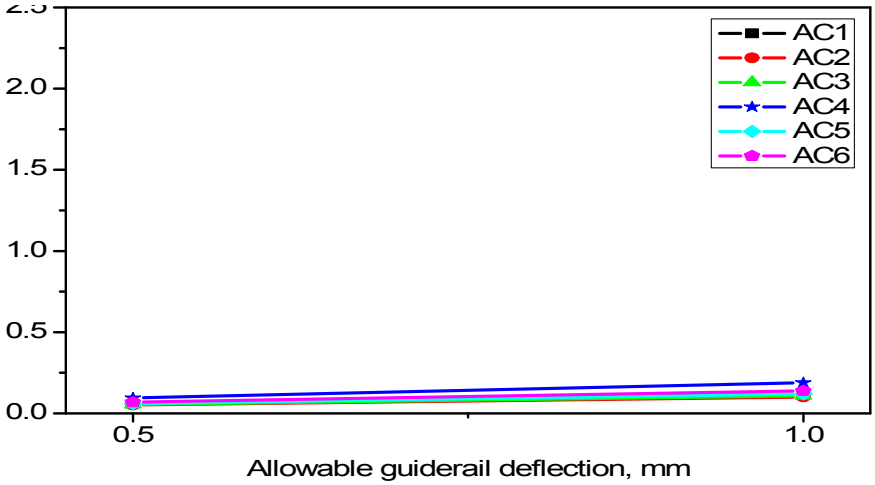
아래 그림은 거더 처짐만을 외란으로 고려했을 경우 UIC 지수를 보여주고 있다. 이 외란에 의한 UIC 지수는 다른 외란에 비하여 상대적으로 매우 큰 값을 나타낸다. 그러므로 거더 처짐은 승차감을 확보하기 위해서도 제안되어야 한다. L/3000 이하가 추천된다.



[그림 558]UIC index, allowable mid-span deflection =25/2000, 25/3000, 25/4000 m (100km/h)

가이드레일 처짐

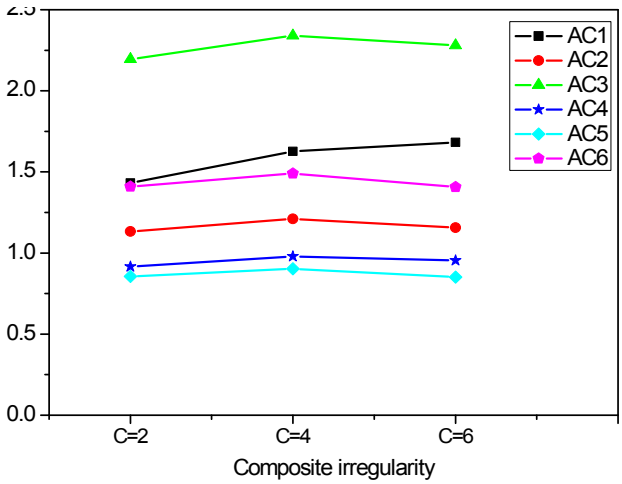
아래 그림 가이드레일이 침목 사이에서 최대 0.5m, 1mm 처짐을 있는 경우에 대한 승차감으로 상대적으로 작은 UIC 지수를 나타낸다.



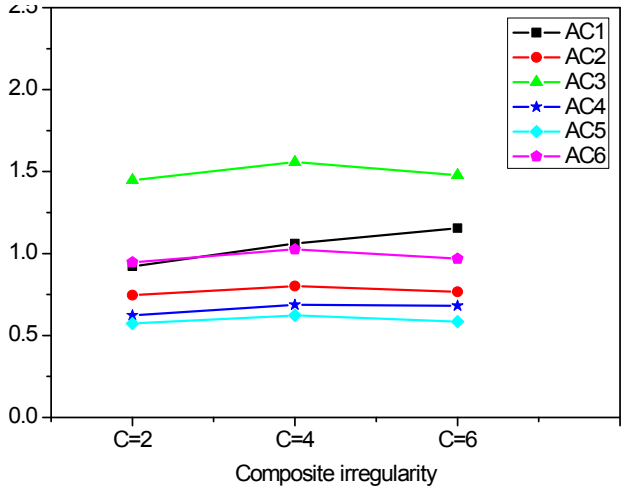
[그림 559]UIC index, allowable guiderail deflection =0.5, 1 mm (100km/h)

조합 불규칙도

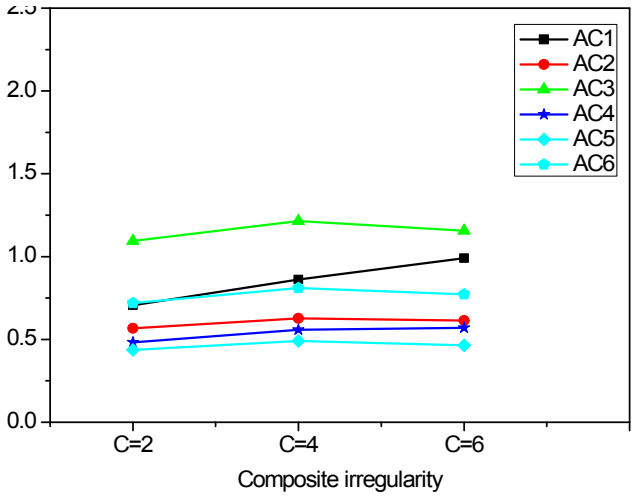
다음 그림은 가이드레일 표면 불규칙도, 거더 처짐 및 가이드레일 처짐을 조합했을 때의 UIC 지수를 보여주고 있다. 거더나 레일의 처짐에 의한 영향은 주행속도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 갖는다. 그러나 표면 불규칙도는 60km/h를 기준으로 그 영향이 작아지는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 부상시스템 및 현가 장치의 특성에 종속적이다. 거더 처짐이 가장 영향이 크기 때문에 거더 처짐은 승차감을 위하여 한정되어야 하는 것을 알 수 있다.



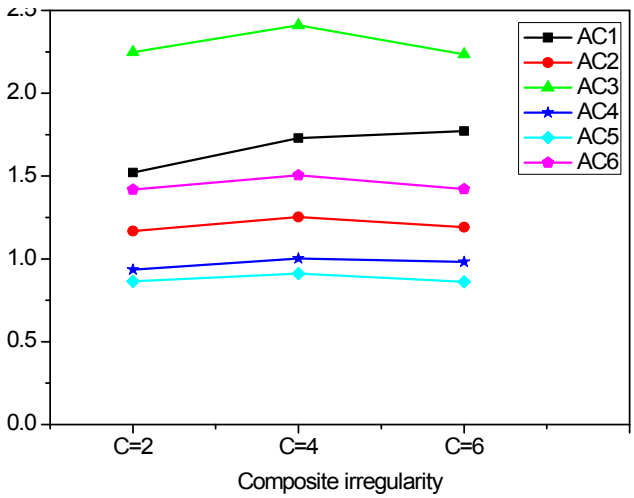
(a) Mid-span deflection=L/2000 m, guiderail deflection=0.5 mm (100km/h)



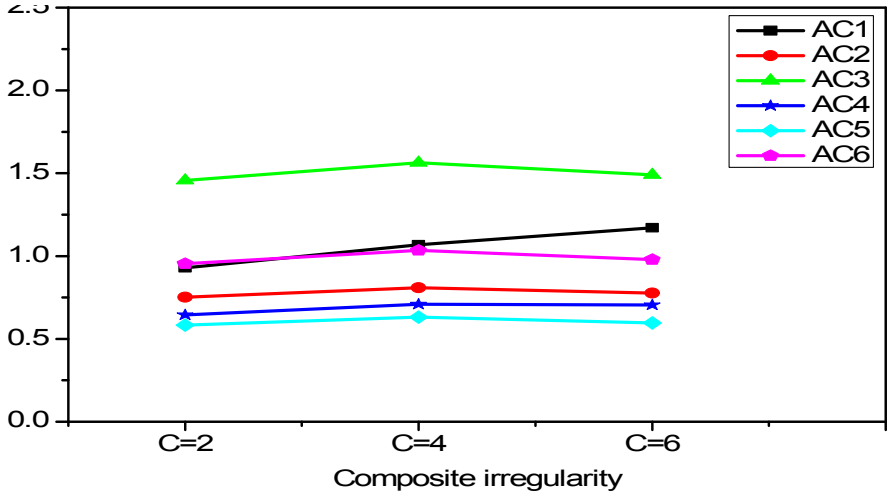
(b) Mid-span deflection=L/3000 m, guiderail deflection=0.5 mm (100km/h)



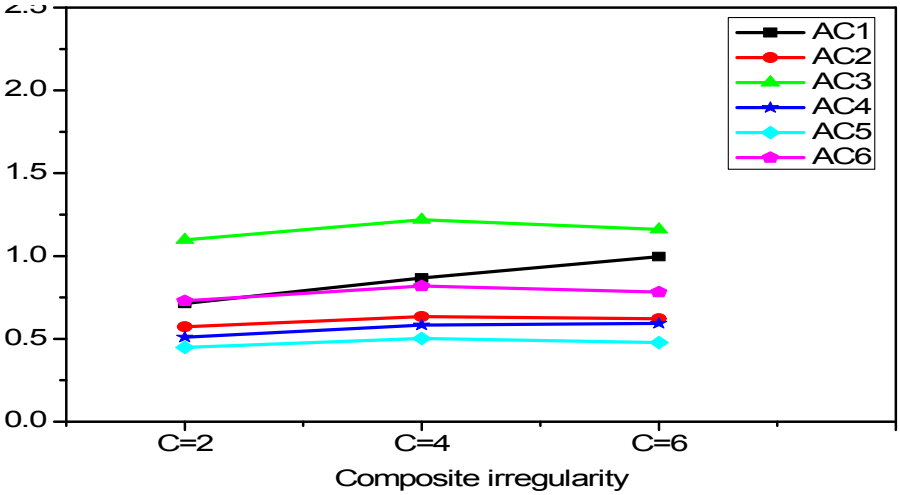
(c) Mid-span deflection=L/4000 m, guiderail deflection=0.5 mm (100km/h)



(d) Mid-span deflection=L/2000 m, guiderail deflection=1 mm (100km/h)



(e) Mid-span deflection=L/3000 m, guiderail deflection=1 mm (100km/h)

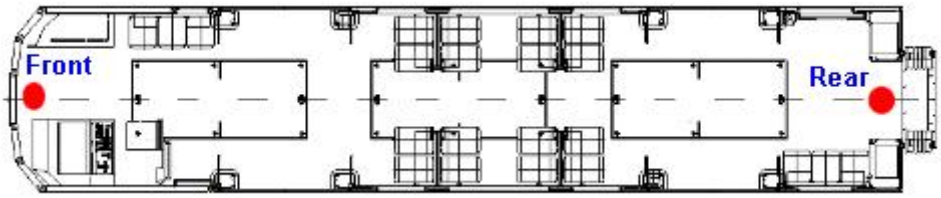


(f) Mid-span deflection=L/4000 m, guiderail deflection=1 mm

[그림 560]UIC comfort indexes, composite irregularities (100km/h)

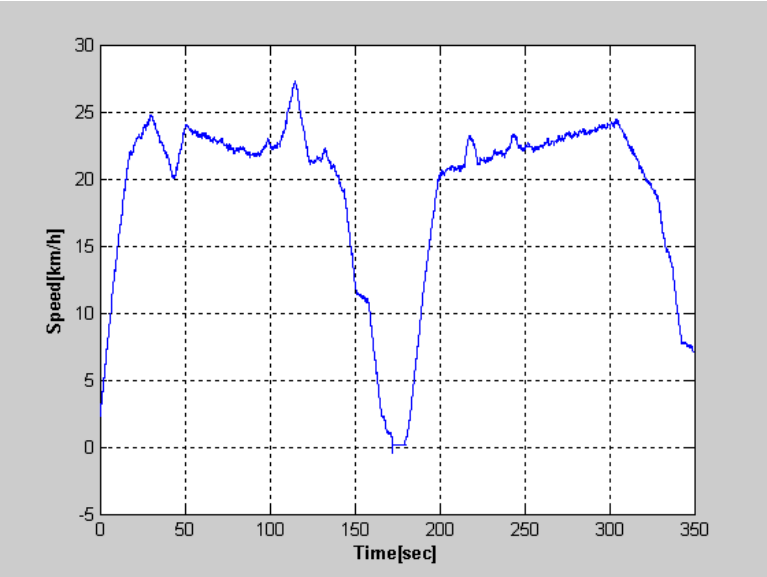
2) 시험에 의한 평가

기존 차량 UTM-02의 승차감을 측정하였다. 측정 위치는 다음 그림과 같다.



[그림 561]승차감 평가를 위한 가속도계 위치

주행속도는 아래 그림과 같고 평균은 19 km/h 이다. 후미부 좌우 방향의 승차감이 저감된 것은 국립중앙과학관 궤도의 곡선부 선형이 직선에 의해 연결된 구조로 2량 연결부의 좌우 거동이 상대적으로 큰 것에 기인한다.



[그림 562]차량 속도 파

[표 119]진동가속도 데이터 통계값

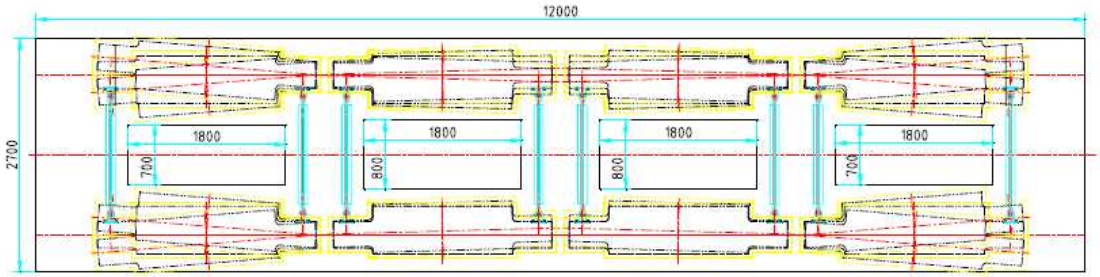
채널	Data 명	표준편차 [m/sec2]	최대값 [m/sec2]	최소값 [m/sec2]
Ch1	차체 상하 진동가속도(front)	0.1076	0.6088	-0.9216
Ch2	차체 좌우 진동가속도(front)	0.0533	0.2724	-0.5939
Ch3	차체 상하 진동가속도(rear)	0.0581	0.3234	-0.2937
Ch4	차체 좌우 진동가속도(rear)	0.0526	0.2629	-0.3346

[표 120]UIC 승차감 지수의 비교

구분	Cubic		Square		비고
	1단계	2단계	1단계	2단계	
전두부 좌우 방향	1.227	1.201	1.315	1.303	개선
전두부 상하 방향	1.294	1.223	1.417	1.405	개선
후미부 좌우 방향	1.173	1.219	1.275	1.32	
후미부 상하 방향	1,213	1.122	1.385	1.275	개선

(나) 현가요소 개선

주행성능 향상을 위한 현가요소 개선안을 검토하고 설계에 다음과 같이 반영하였다. 이를 위하여 주행성능 향상을 위한 현가요소 설계 가이드라인을 설정하고, 차량 한계 검토를 위한 현가 요소간 최대 변위를 분석하였다.



[그림 563]대차 변위를 고려한 차량 하부기기 설치도

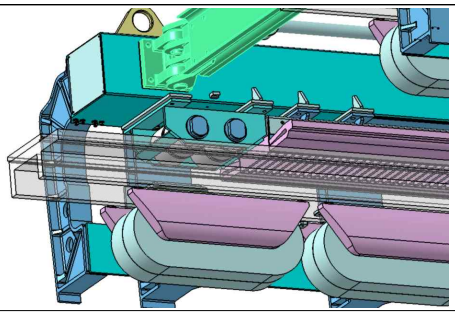
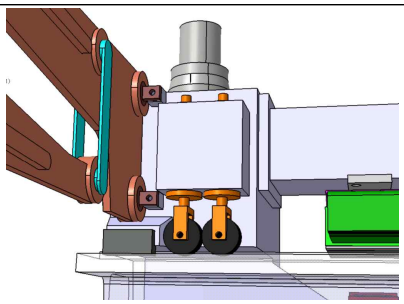
또한 동특성을 해석하였다.

[표 121]동특성 해석을 위한 현가요소 물성치

Element	Stiffness					
	Radial x (N/m)	Radial y (N/m)	Axial (N/m)	Conical x (Nm/rad)	Conical Y (Nm/rad)	Torsional (Nm/rad)
Air spring	1.5 x104	1.5 x104	2.0 x104	0.25 x103	0.25 x103	0.25 x103
Traction bush	1.4 x107	1.4 x107		410	410	410
Damper bush	6.86 x106	6.86 x106	1.029 x107	3,430	3,430	3,430
Damper	Damping coefficient (N*s/m): 4ea per bogie, air spring과 동일 위치					
	1300					

또한 대차 착지장치 개선안을 검토하였다.

[표 122]대차 착지장치 개선안 비교표

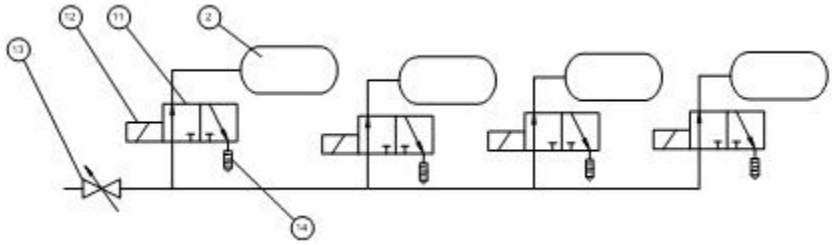
	기존 개념	신규 개념
형상		
장점	- 산자부 적용 실적 - 단순한 시스템	- 부상 및 제동장치 고장시 안전 제동력 확보 - landing wheel의 베어링 보다 안전 - reaction plate를 손상하지 않음. - 착지시 주차제동 기능 - LIM 길이 확보, 구조물 경량화 효과
단점	- reaction plate 손상문제 - 부상/제동 고장시 제동거리 확보 불가 - landing wheel 강도설계 어려움 - LIM 과의 interface 어려움 - 주차제동 장치 추가	- Skid 이외 별도의 비상착지륜 필요 - Skid 재질에 대한 경험없음. - 추가적인 유압시스템; 유압 압축기, 제어밸브, 배관, 축압기, 신호

[표 123]Landing skid 요구사양(규격)

항목	사양	설명
마찰계수	0.07 이상	최대구배 70‰에서 주차제동 기능 가능
내열성	열해석 보고서 제출 30% 이하	작동온도 내 마찰계수 변화량
내마모성	0.5mm 이하 / 1회사용	최고속도 착지시 마모량

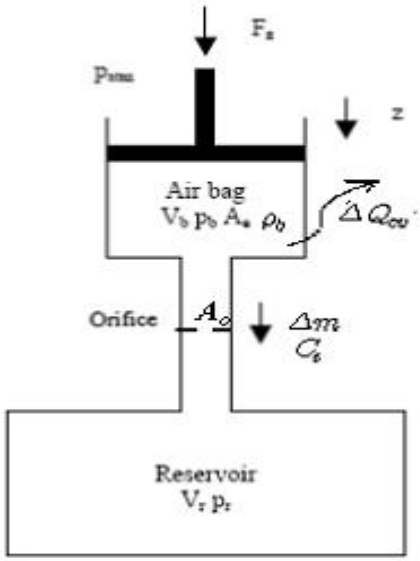
이러한 결과에 기초하여 자기부상 부상시스템 고장 보완장치 (특허청구, 2008.6월)에대한 특허를 청구하였다.

기존 차량의 공기 스프링 공기압 배선을 다음과 같이 개선하였다.

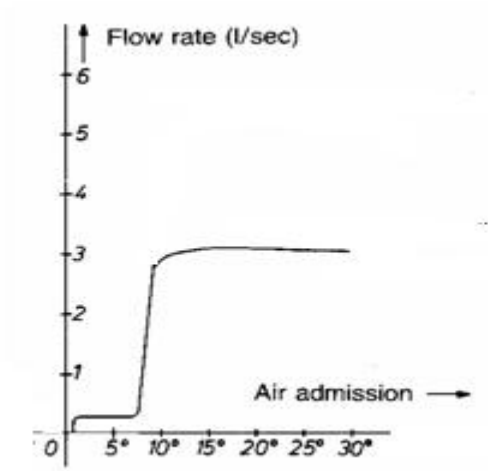


[그림 564]제안된 공기스프링 공기압 선도

부상고장에 따른 차체중량 편심에 대한 차량 시뮬레이션을 수행하였다. 이러한 경우에 대한 공기 TM프링에 대한 검토를 다음과 하였다.

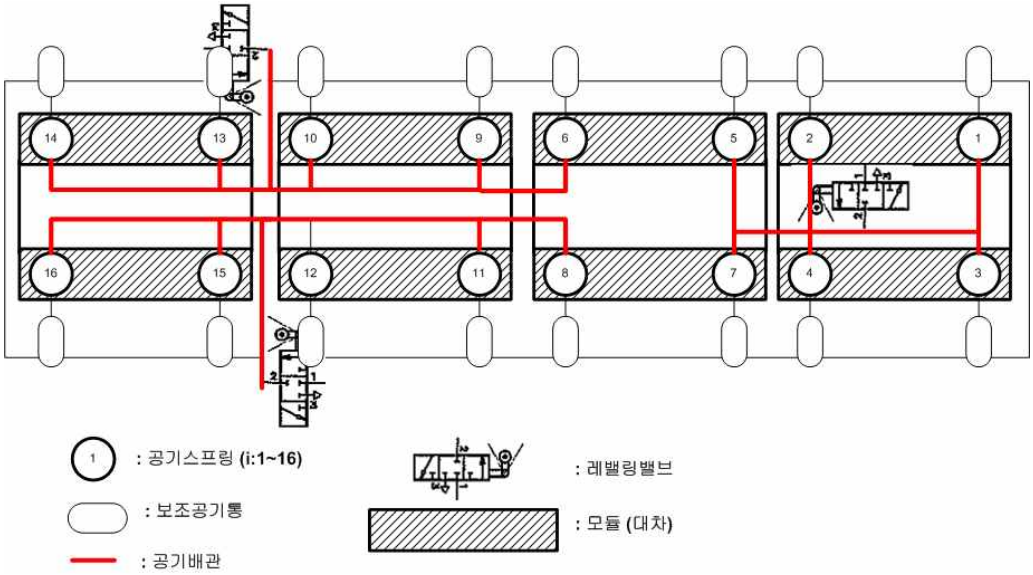


[그림 565]공기스프링 단순 모델



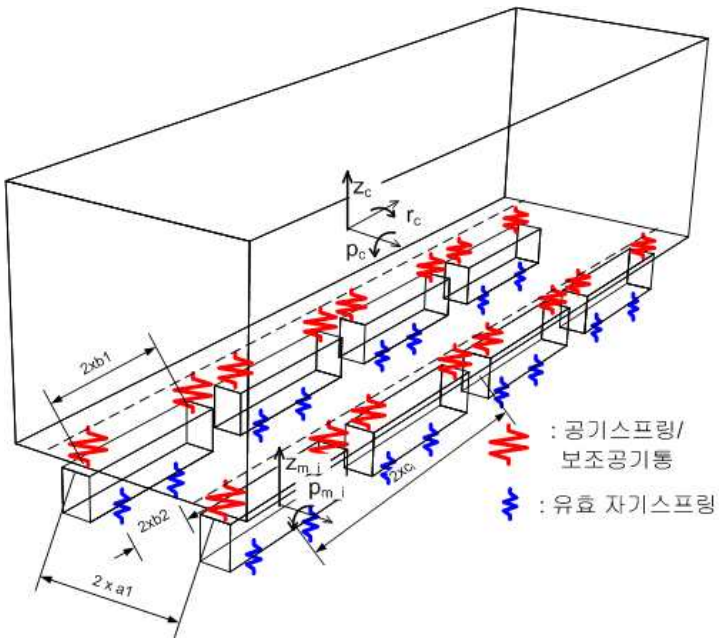
[그림 566]leveling valve 단순화 모델

공기스프링과 leveling valve의 수학적 모델 생성을 위해 상기 그림과 같이 단순화 모델을 적용하였다. 차량의 공기스프링 구성은 아래 그림과 같이 3 leveling system을 채택하였다.

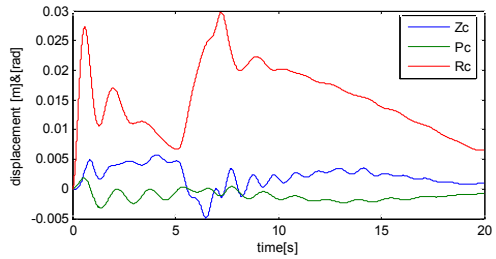


[그림 567]공기 스프링 구성

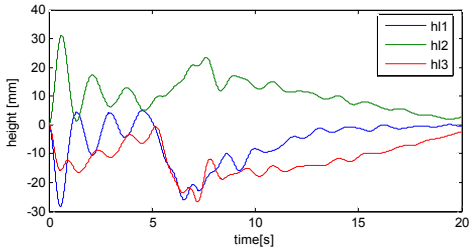
동특성을 해석하기 위한 차량 모델은 아래와 같다. 공기스프링과 공급배관, 그리고 차량과의 상관관계를 그림과 같이 단순화 모델을 이용하여, 3개의 운동방정식으로 구성하였으며, 차량의 가용성 향상을 위한 배기밸브의 기능을 아래와 같이 시뮬레이션 하였다.



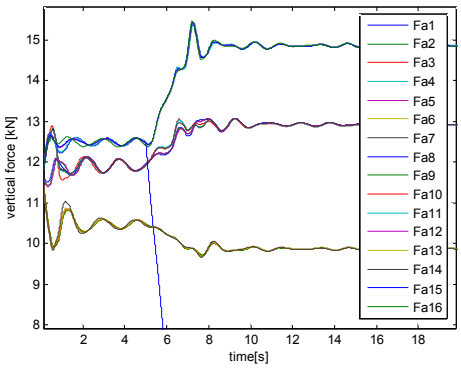
[그림 568]차량 모델



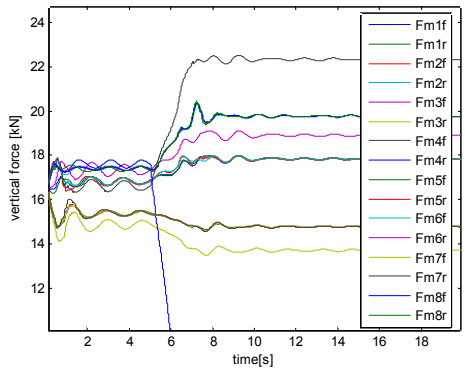
(a) displacement of carbody



(b) control height for leveling



(c)vertical force for airspring



(d) levitation force for two magnets

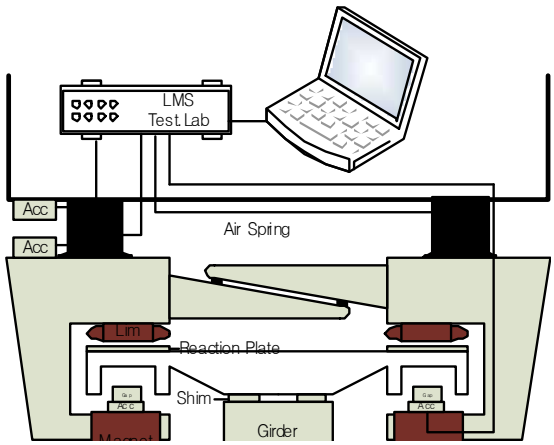
[그림 569]부상고장에 따른 차체중량 편심에 대한 차량 시뮬레이션 결과

본 시뮬레이션은 5초~7초 사이에 8번 공기스프링이 배기를 통해 수직력이 감소토록 하였으며, 레벨링 밸브를 통해 하중의 재분배를 진행하는 과정을 보인다. 위 그림에서 설정높이를 고장 후 15초 부분에서 안정권으로 접어드는 것을 확인하였고, 공기스프링의 수직력은 25% 수준으로 변경되었으며, 전자석에 작용하는 수직력은 28% 수준으로 변동하였으며, 부상안정성에 영향을 주시 않은 수준의 변동폭으로 판단된다.

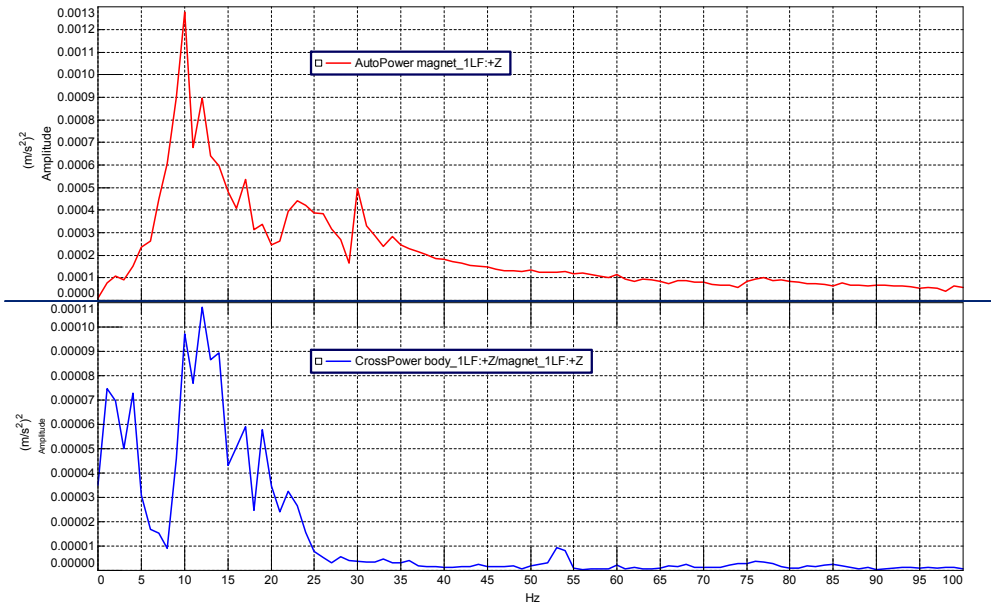
1) 2차 현가장치 특성 시험

공기 스프링 전달율

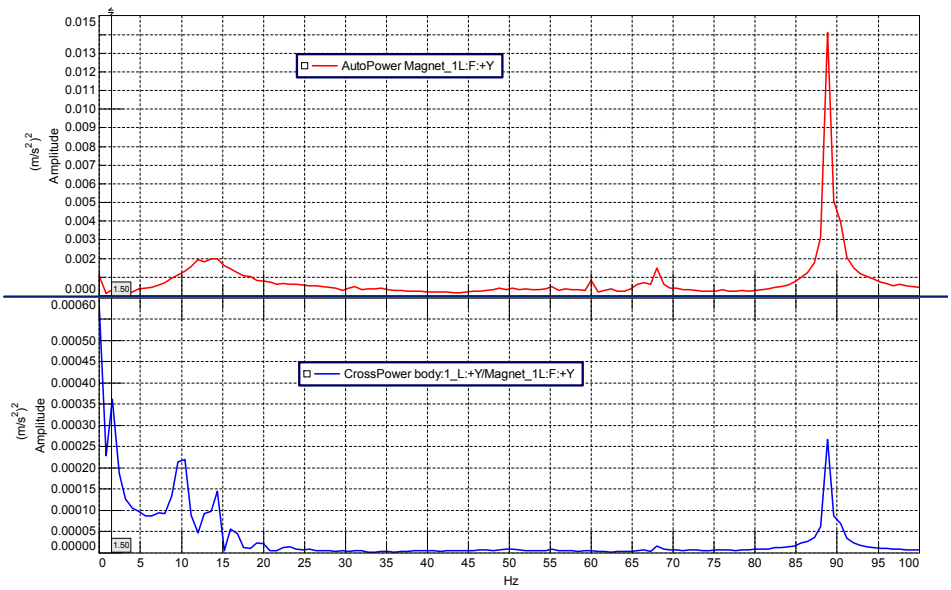
2차 현가장치인 공기 스프링의 전달율은 대차 진동 절연의 평가 척도이다. 기존의 공기 스프링을 개선하여 선정한 공기 스프링의 전달율을 시험에 의하여 측정하였다. 이를 위하여 공기 스프링의 취부 점(차체, 대차)에 가속도계를 설치하였다. 아래 그림은 수직, 횡방향에 대한 전달율 결과이다.



[그림 570]가속도 센서 위치



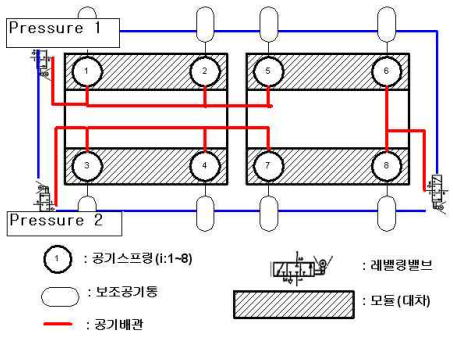
[그림 571]주행 중 공기 스프링 수직 방향 전달율



[그림 572]주행 공기 스프링 횡방향 전달율

공기압 변화

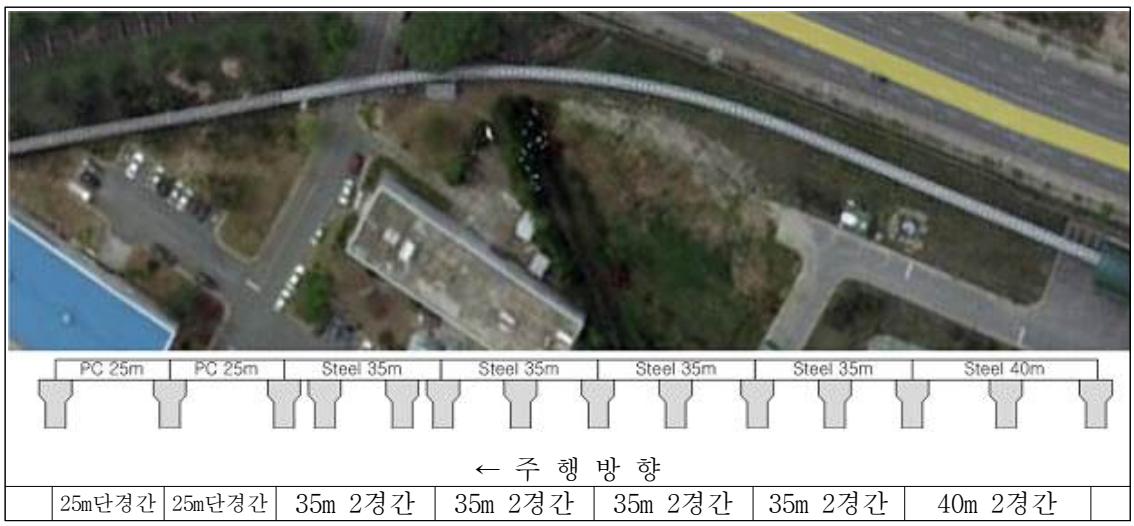
1/2차량의 공기 스프링 배관도는 아래와 같다. 우선, 정상 및 6번 배기에서의 압력 은 아래 표와 같다. 다음 그림은 시험선을 보여주고 있으며 시험선 주행 시 공기압 압력 변화 측정 결과는 아래 그림에서 보여주고 있다. Pressure 1는 4.43bar를 기준으로 최대 0.2bar의 변동을 갖는 것을 알 수 있다. 약 5%의 변동을 갖는다. 이를 통하여 시험선에서 30km/h 이내의 속도 주행에서는 동하중 변동이 5% 정도 인 것을 알 수 있다. Pressure 2 위치에서는 더 작은 변동을 보이고 있다.



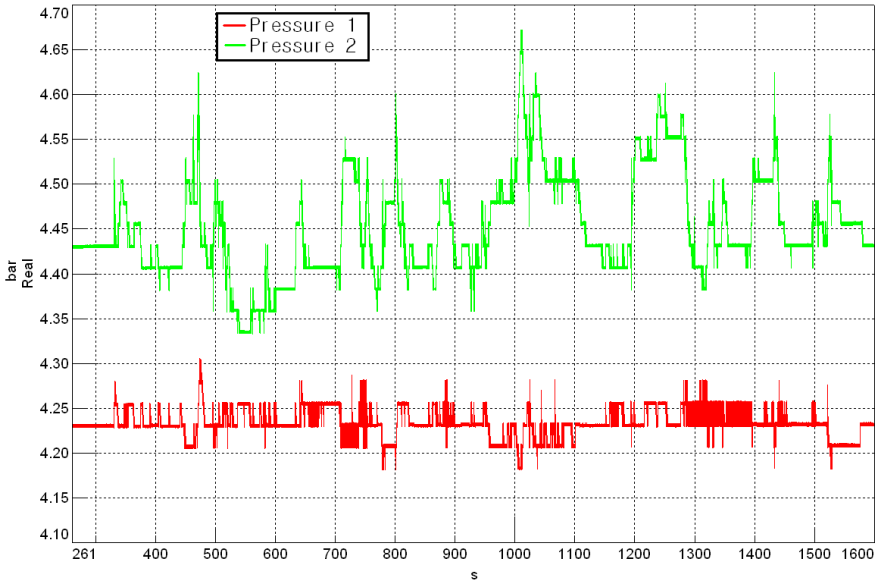
[그림 573]공기 스프링 배관도

[표 124]공기 스프링 내압 측정 결과

Test case	Air spring 1,2,5	Air spring 3,4,7	Air spring 6,8	차체중량	계산된 차량 무게 중심	
					Δx	Δy
정상	4.2 kgf/㎠	4.5 kgf/㎠	3.8 kgf/㎠	7509 kg	87mm	-37mm
6번 배기	5.4 kgf/㎠	3.2 kgf/㎠	7.6 kgf/㎠	7502 kg	55mm	-21mm



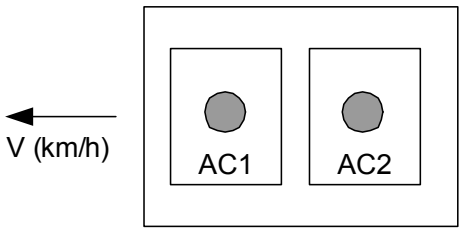
[그림 574]측정구간 및 구조



[그림 575]주행 중 공기 스프링 압력

(다) 승차감 해석

1/2차량의 승차감을 예측하기 위해서 가속도 센서를 아래와 같이 설치하였다.



[그림 576]1/2차량 가속도계 설치 위치

1/2차량의 승차감 평가를 위해서 아래 표에서 보여주는 가이드웨이 불규칙도를 입력하여 승차감 시뮬레이션을 수행하였다.

[표 125]가이드웨이 불규칙도

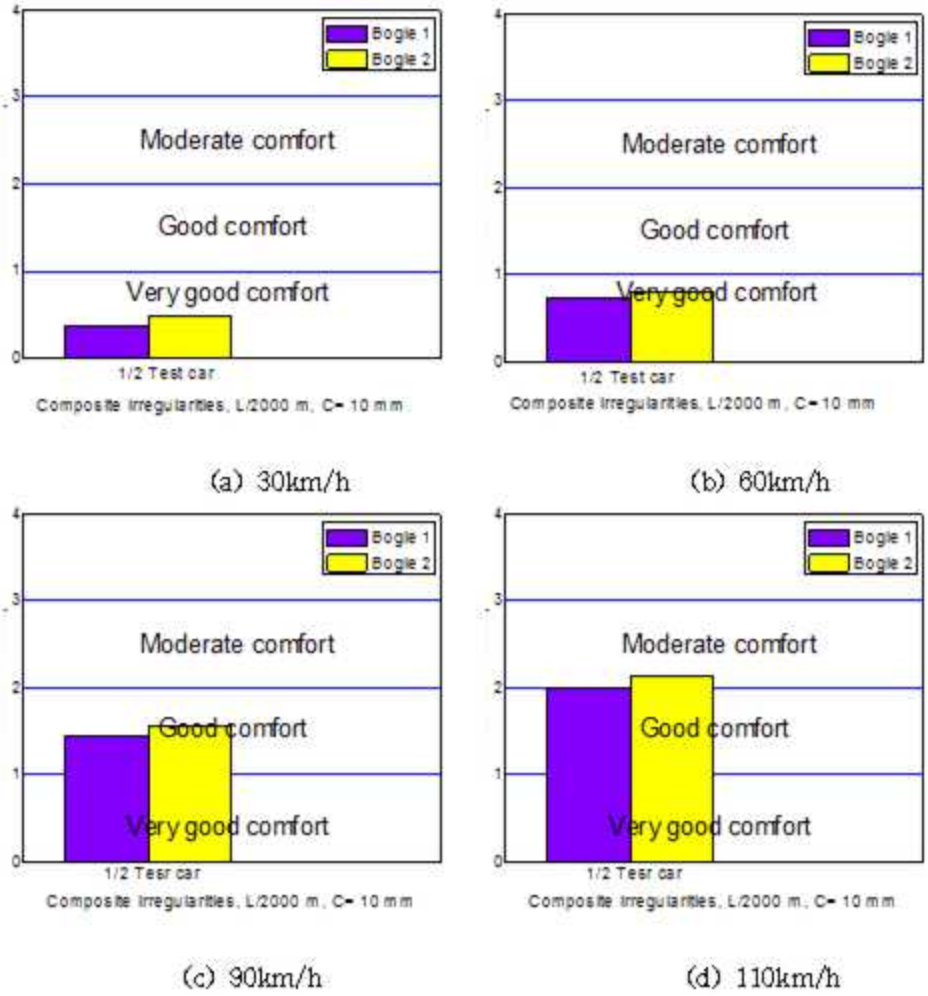
불규칙도	조건
거더처짐	L/2000
표면형상 편차(Versine)	±5 mm(10 mm)

아래 표는 1/2 시험 차량에 위 표의 불규칙도를 입력하여 승차감 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타내고 있다. 차량의 속도는 30km/h, 60km/h, 90km/h 그리고110km/h이다. 아래 표에서와 같이 속도가 증가함에 따라 승차감 지수가

증가한 것을 알 수 있다. 또한 가이드웨이 처짐한계 L/2000 m, 가이드웨이 표면 조도 C=10 mm에서 1/2차량에서 목표로 하는 승차감 UIC index 2.0을 만족하지 못하는 것을 알 수 있다.

[표 126]승차감 평가 결과

속도	대차 1(UIC)	대차 2(UIC)
30km/h	0.3	0.4
60km/h	0.7	0.7
90km/h	1.4	1.5
110km/h	1.9	2.1



[그림 577]1/2차량 승차감 평가

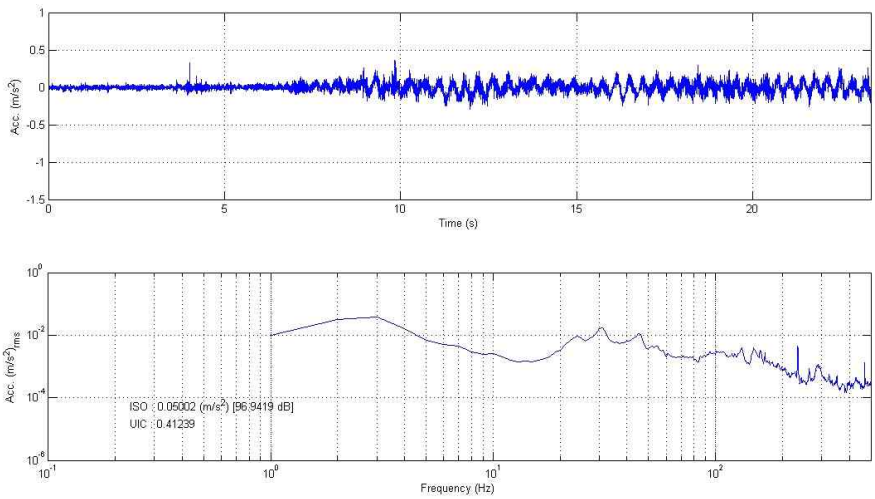
이상으로 가이드웨이의 설계 요구사항에 따른 UIC 513 index를 이용한 승차감을 평가하였다. 90km/h 까지는 UIC 2.0 이하를 모두 만족하는 것을 알 수 있다.

(라) 승차감 시험

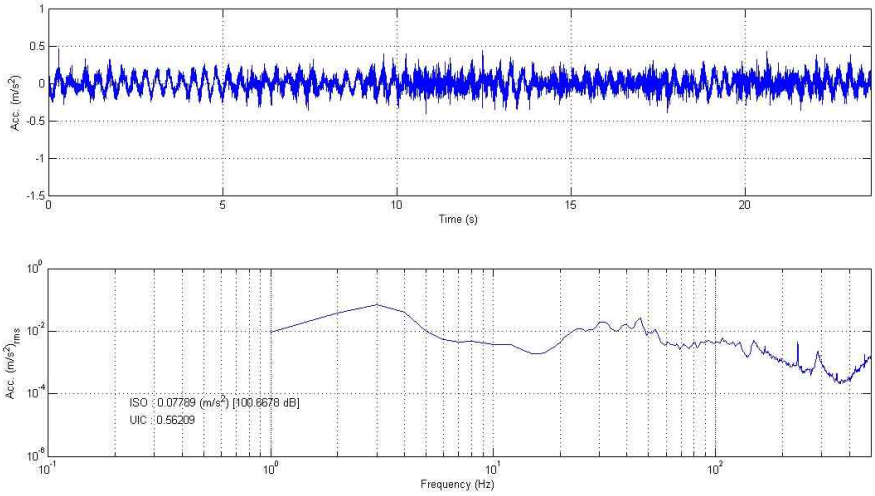
1/2차량의 승차감을 시험에 의하여 평가하였다. 차체 중앙 지점에서 가속도를 측정하였으며 주행속도는 10 km/ 20km/h 이다. UIC 기준 승차감은 아래 표와 같다.

[표 127]1/2차량 승차감 평가 결과

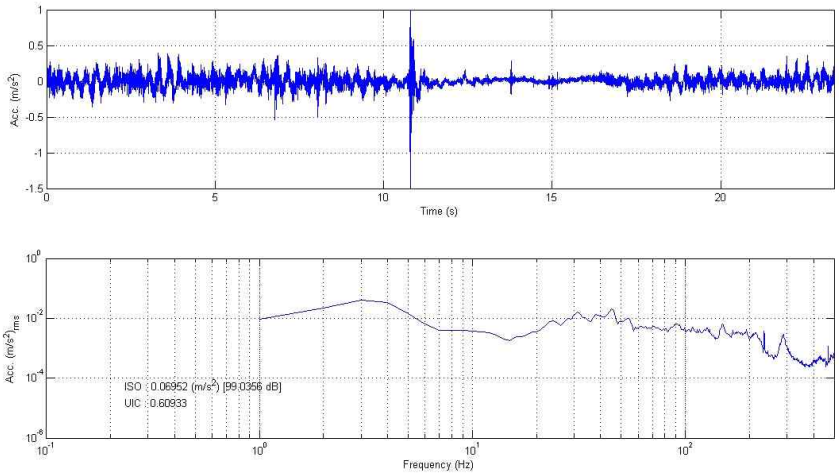
구간	UIC	
	10km/h	20km/h
1	0.41 (그림(a))	0.65 (그림(f))
2	0.56 (그림(b))	0.71 (그림(g))
3	0.60 (그림(c))	0.59 (그림(h))
4	0.52 (그림(d))	
5	0.66 (그림(e))	
평균	0.55	0.65



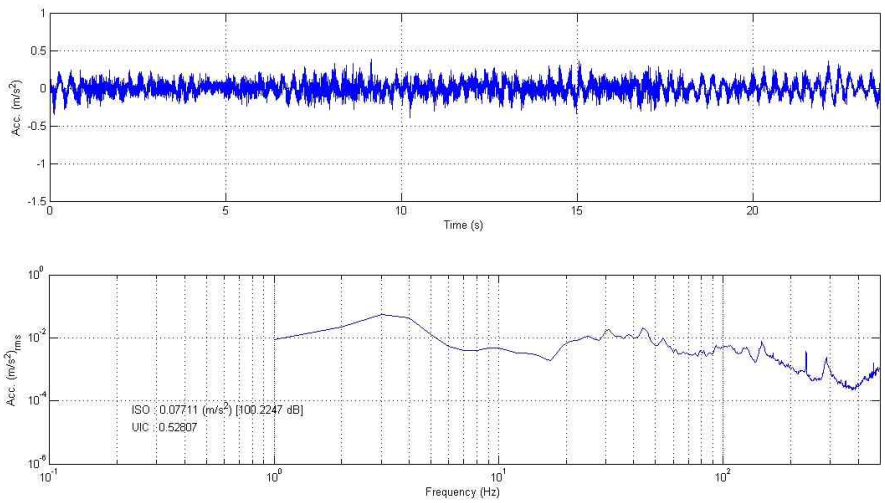
[(a) UIC index (10km/h, 1구간)]



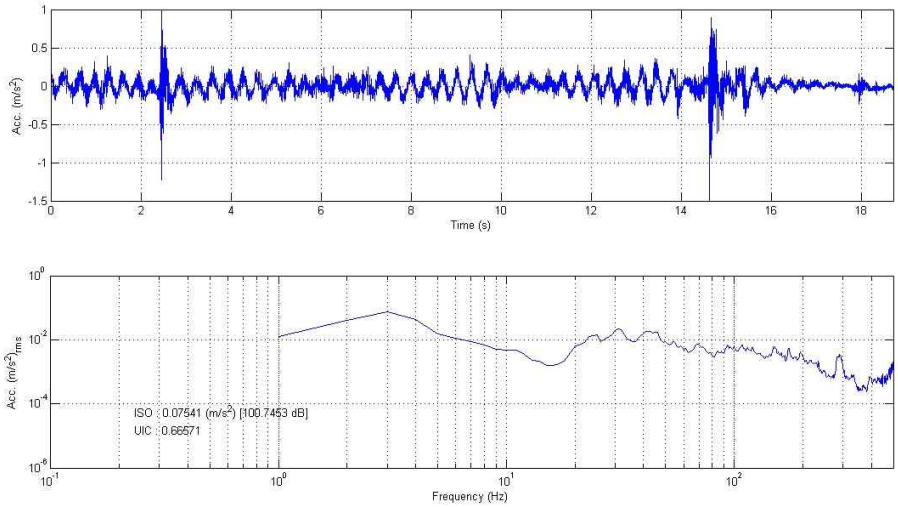
[(b) UIC index 10km/h, 2구간)]



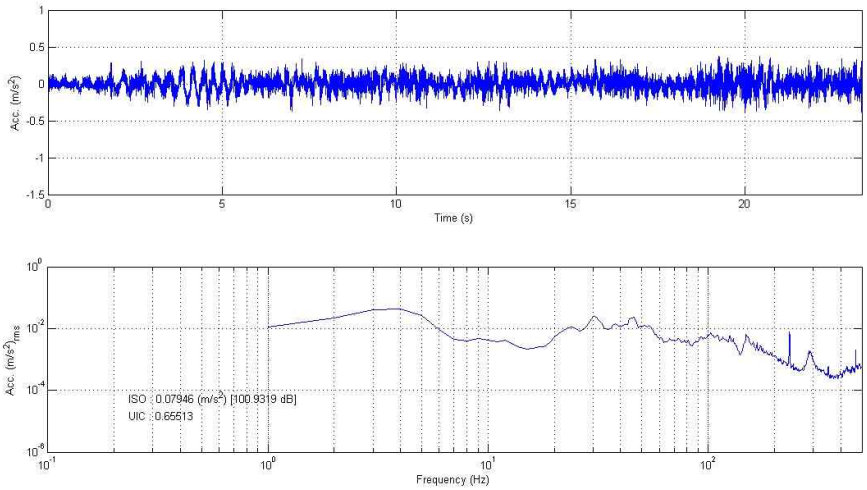
[(c) UIC index (10km/h, 3구간)]



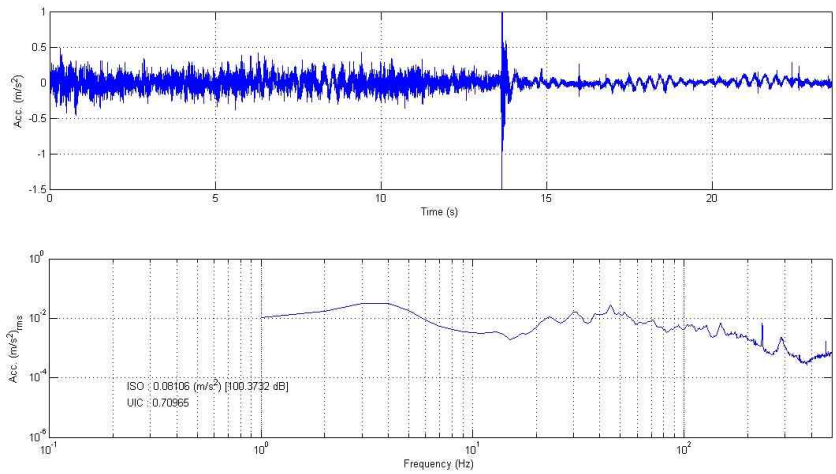
[(d) UIC index (10km/h, 4구간)]



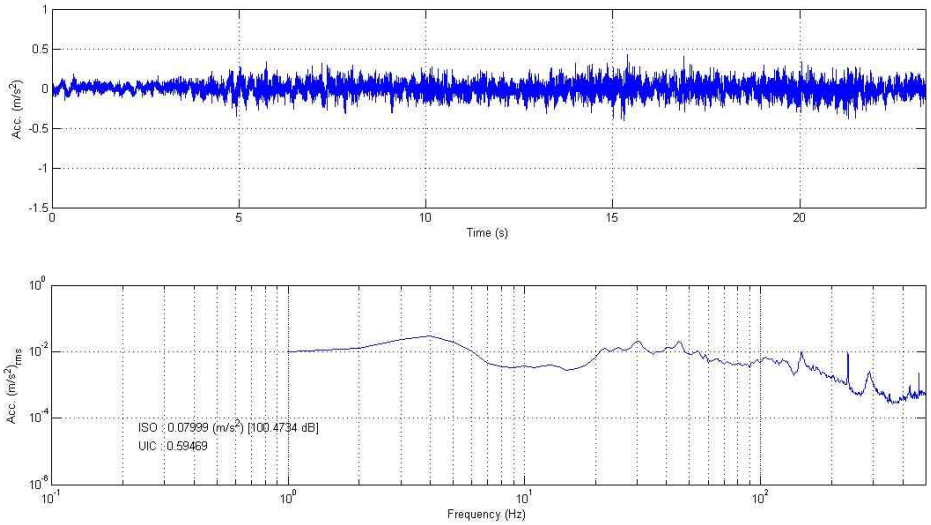
[(e) UIC index (10km/h, 5구간)]



[(f) UIC index (20km/h, 1구간)]



[(g) UIC index (20km/h, 2구간)]



[(h) UIC index (20km/h, 3구간)]

1) 부상제어기 게인에 따른 승차감 영향 분석

부상 제어기의 게인에 의한 승차감 영향을 시험적으로 분석하였다. 가속도는 사이드프레임과 차체이다. (아래 그림) 게인은 4 세트가 평가된다. 그림 3-1-86 은 차체와 대차의 가속도 스펙트럼이다. 이 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

① Gain 설정에 따라서 전자석의 주요 진동수 별 가속도 진폭이 다름

그러므로, Gain에 따라서 전자석의 진동특성을 변화시킬 수 있는 것을 알 수 있음

② 차체의 응답 즉, 승차감에 있어서는 주요 진동수를 변화하지 않고 진폭만 변하는 것을 알 수 있다.

③ Air Spring 주요 진동수는 1.58, 14.1, 82.8Hz 임을 알 수 있다. Air Spring 1차 고 유 진동수는 1.5Hz 임을 알 수 있다.

④ Gain 설정에 따라서 승차감이 변할 수 있음을 알 수 있다.

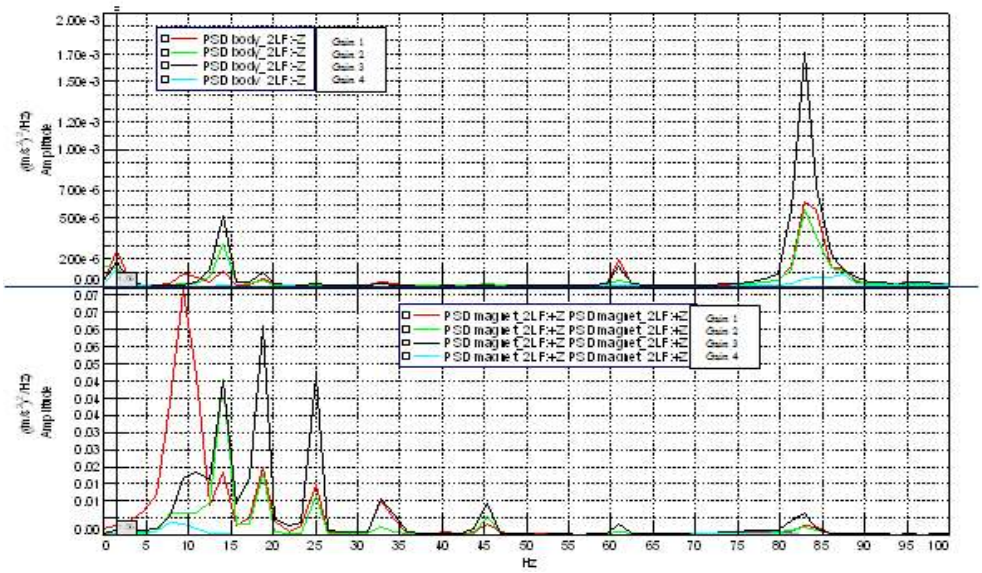
승차감의 변화량은 주행 시험에 의하여 평가할 필요가 있다.

⑤ Gain에 따라서 82Hz가 진폭이 매우 큰 것을 알 수 있다.

그러므로 승차감은 주로 2차 현가장치에 의하여 결정되지만 일정 부분은 부상제어기 게인에 의하여 제어할 수 있음을 알 수 있다.



[그림 578]센서 부착위치



[그림 579]Gain set별 차체 가속도 스펙트럼(상), 대차 가속도 스펙트럼(하)

(라) 소음원 분석 및 개선방안

소음원을 분석하고 개선방안을 검토하였다. 소음원 발생 유형을 크게 3가지로 정리하였고, 그 내용은 Pin과 Bush 유격으로 인한 접촉음, 금속간 접촉으로 인한 마찰 접촉음, 그리고 기타 접촉음 등으로 분류 하였다.

[표 128]소음원 분석

구 분	내 용	비 고
Brake Rigging	Lever 와 Lever Bracket, Lining Holder 조립	Pin & Bush 유격
	Lining Holder 와 Rod Arm, Rod Bracket 조립	Pin & Bush 유격
	Brake Shoe 와 Rail 간 접촉 Shoe 와 Rail 유격 ; 3 mm(한쪽)	기타 접촉음

Tie Beam	Joint 와 Joint 조립	Pin & Bush 유격
	Joint 와 Joint 조립 접촉면	마찰 접촉음
Sec. Suspension	Air Spring (Upper Plate)과 구체 Bolster 의 Support Bolster 간 접촉면	마찰 접촉음
Guidance Wheel	Guidance Wheel 과 Rail 간 접촉 (곡선구간 주행시 발생) Wheel 과 Rail 유격 ; 10 mm	기타 접촉음

Brake Rigging System

(i) Pin & Bush 유격음

- 기존 Pin 조립 부분에는 Steel Bush(SM45C)를 사용하였음. (JIS E 4111, 4112 적용)
- 전동차의 Brake Rigging 장치에 유진기공에서 Oilless Bush를 공급한 실적이 있음.
- 전동차의 사용범위는 Brake Lining Holder를 지지해주는 Hanger에만 제한적으로 적용하였으며, 기타 대부분은 Steel Bush를 사용하고 있음.
- Hanger에 Oilless Bush를 적용한 초기에는 PolyUrethane 계열의 Bush가 파손되고, 압입된 Bush가 이탈하는 현상이 발생되었으나, 현재는 Bush가 이탈되지 않는 구조로 재설계하여 적용중임.
- 그러나 자기부상열차에는 구조상 Hanger가 없는 형태임.
- 유진기공에서 공급한 Hanger에 사용된 Oilless Bush는 테프론 분말과 모직포를 성형하여 열처리한 복합재료 베어링 제품으로, Pin 류의 변형방지 및 수명저하를 막기 위한 개념으로 사용되는 것으로 파악하고 있음.
- 경우에 따라서는 Pin 과 Bush 사이의 고주파 소음을 부분적으로 억제하는 효과가 있을 수도 있으나, 그 사용 효과는 예측하기가 쉽지 않을 것으로 판단됨
- Brake Rigging 장치에서 소음 억제를 위한 Oilless Bush 적용 가능한 부분이 없는 것으로 판단됨.

(ii) Brake Shoe와 Rail간 접촉음

- 제동 완해 후 Shoe와 Rail간 유격이 한쪽 3mm, 양쪽 합하여 6mm 가 되어야 하나, Brake Rigging 장치의 구조, 제작공차 누적 및 Rail 상태 불균형 등으로 Shoe와 Rail간 유격이 일정하지가 않은 상태임.

- 차량 시험 운행 중 Shoe와 Rail이 접촉하는 현상이 자주 발생되고 있으며, 곡선구간 R=60m 주행시에는 Shoe와 Rail이 부딪치는 둔탁한 접촉음이 발생되고 있음.
- 이의 해결을 위해 Brake Cylinder Unit의 내부 부품을 부분 수정하여 Shoe와 Rail간 유격을 약 12mm로 조정하였으나, 현 차량 시험결과 제동 압력 부족 현상이 나타나 원상복귀 하였음.
- 그러나 Brake Shoe와 Rail간 접촉음 발생을 최소화하기 위한 방법으로 또다시 유진기공에서 Brake Cylinder Unit 의 Slack Adjusting 기능의 조정을 통하여 유격 간격을 확대하는 방법으로 협의를 진행하고 있음.
- 현재의 Brake Rigging 장치에서는 Shoe와 Rail간 유격이 3 mm 이하로 제한되어 있음. 따라서 Brake Cylinder Unit의 내부 부품을 부분 수정하여 최대한의 유격범위를 확보함으로서, 곡선구간 주행시 Shoe와 Rail의 접촉을 최소화 하는 것이 바람직함.

Tie Beam System

(ⅰ) Pin & Bush 유격음

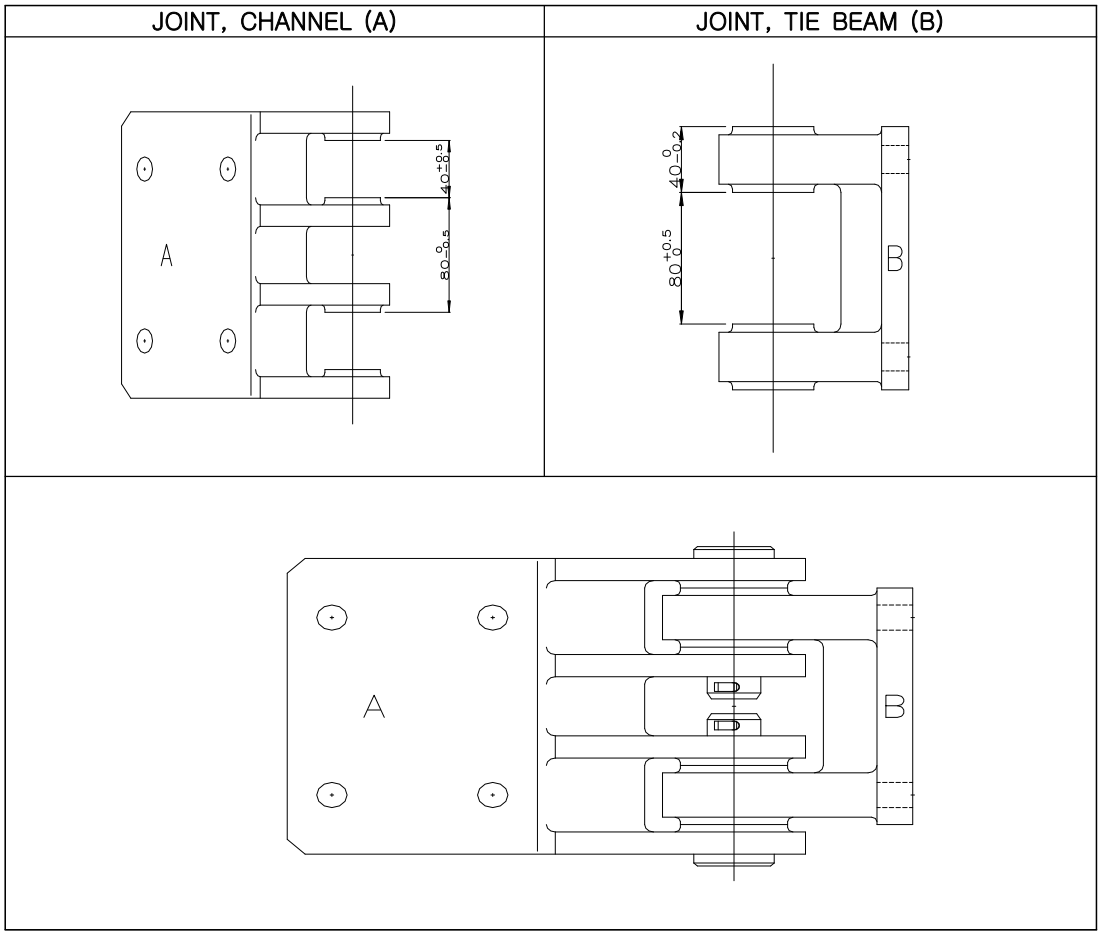
- Joint Ass'y의 Pin 조립 부분에 Steel Bush를 사용하였음. (JIS E 4111, 4112 적용)
- Pin과 Bush의 접촉시, 복합재료 베어링 Bush의 자기윤활 특성으로 마찰을 감소시켜 소음을 억제하는 역할을 수행할 수 있음.
- Tie Beam 장치에 필요하다면 복합재료 Bush를 사용할 수는 있다고 생각됨.
- Joint Ass'y의 구조적인 형상 때문에 일직선 형태의 복합재료 Bush를 적용해야 되는바, 이는 마찰 또는 기타의 사유로 차량 운행 중에 Bush가 분리될 가능성은 존재함. 일상 점검 item으로 관리가 필요함.

(ⅱ) Joint Ass'y 조립 마찰

- Joint, Channel(A)와 Joint, Tie Beam(B)의 interface 제작공차는 각각 40(+0.5/0), 40(0/-0.2), 80(0/-0.5), 80(+0.5/0) 임.
- 조립 접촉면에서는 제작공차에 따라 각각 0.7~ 0.0mm, 1.0~ 0.0mm 의 clearance가 발생할 수 있음.
- 따라서 좌우 대차의 부상 높이의 불일치(부상 Gap차이) 등으로 인하여 Tie Beam 높이 차가 발생하면 Joint간 접촉 경계면에서 마찰음이 발생할 수 있음.
- Tie Beam 장치에서는, 설계구조적으로 마찰소음이 항상 발생할 수 있음.

- 필요하다면 Joint간 접촉 경계면에 복합재료의 자기윤활작용이 있는 마찰판을 사용할 수는 있다고 생각됨. (일상 점검 item으로 관리가 필요함.)
- Joint Ass'y의 전반적인 수정은 불가피할 것으로 판단됨.

[표 129]조인트 구조



Guidance Wheel System

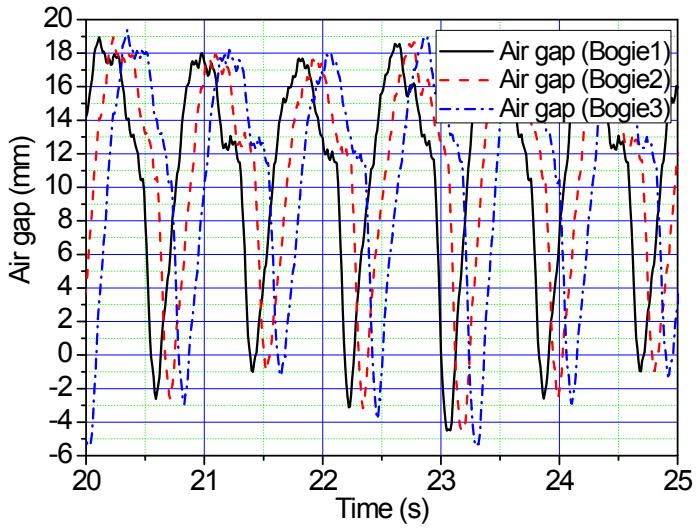
(i) Guidance Wheel 과 Rail 접촉

- 대차 Side Frame 과 Guidance Wheel 조립체 사이에 거리 조절용 Steel Liner 가 약 10t 정도 설치되어 있음.
- 곡선 R=60m 주행 시 대차의 Guidance Wheel 과 Rail 간 접촉은 불가피하게 발생되며, 이때 둔탁한 접촉음이 발생됨
- Guidance Wheel 과 Rail 의 간격 조절용 Steel Liner(약 10t)중 일부를 Rubber 재질의 Liner(약 5t)로 교체하면, 곡선구간 R=60m 주행시 발생되는 둔탁한 접촉음을 다소 줄일 수 있을 것으로 판단됨.

(6) 부상안정성 개선

(가) 기존차량 분석

기존차량 UTM-02에 대한 부상안정성 척도인 부상공극 응답을 해석하였다. 해석을 위한 속도: 110 km/h, 가이드웨이 처짐 한계:L/2000, 수직/수평 틀림: ±2mm, 가이드레일 처짐: 1mm 으로 설정하였다. 이러한 해석 조건에 대한 부상공극 응답을 아래 그림에서 보여주고 있다. 공칭 부상공극 10mm로 부터 크게 변동하는 것을 알 수 있다. 본 사업에서 목표로 하는 ±3mm 변동을 만족하기 위해서는 많은 개선이 필요함을 알 수 있다.



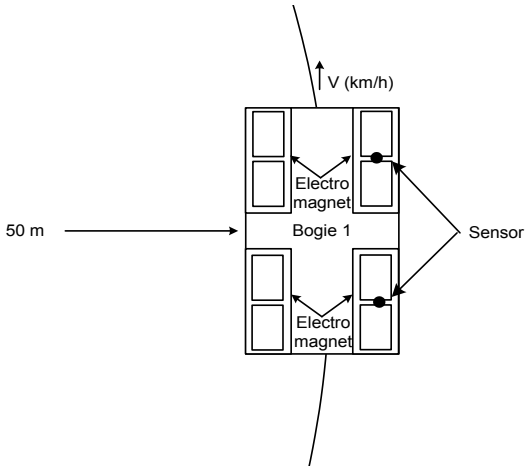
[그림 580]기존차량 부상 공극 해석 결과

(나) 부상공극 해석

1/2 차량의 주행 안정성 평가를 위해서 아래 표에서 보여주는 가이드웨이 불규칙도를 이용하여 부상 공극 응답 시뮬레이션을 수행하였다. 부상 공극 응답 시뮬레이션에서의 부상 공극의 측정 위치는 아래 그림에서 도식적으로 보여 주고 있다.

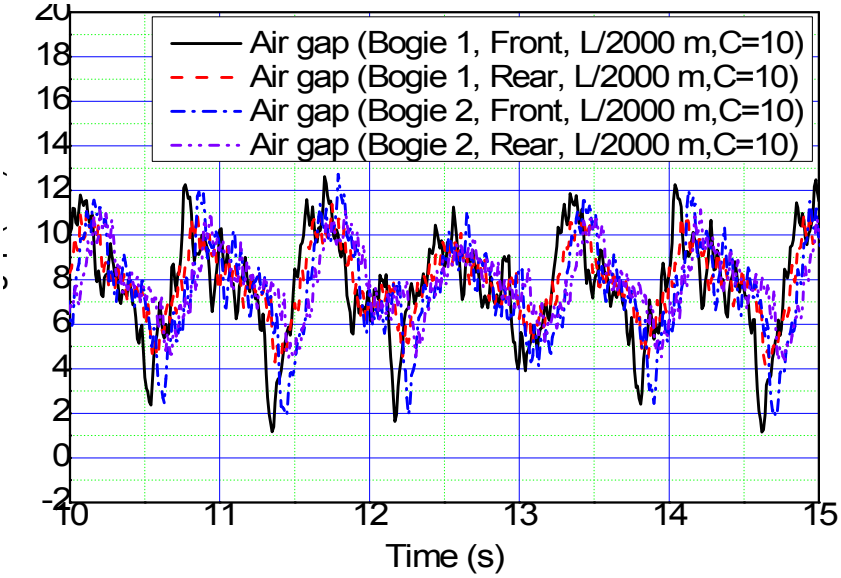
[표 130]가이드웨이 불규칙도

Irregularity	Condition
Guideway deflection	L/2000
Random irregularity (C)	±5 mm (10mm)



[그림 581]부상공극 측정 위치

주행속도는 110km/h, 가이드웨이의 표면조도는 유지보수 한계인 ±5mm, 거더처짐한계 L/2000m 일때의 부상공극 해석 결과를 아래 그림에서 보여주고 있다. 최대 부상공극 편차를 아래 그림에서 보여주고 있다. 최대 허용치 ±3 mm는 달성하지 못하는 것을 알 수 있다. 그러나 실제 인천공항 노선에서는 L/3000에 가깝기 때문에ㅍ아래의 결과보다는 작을 것으로 예상된다.



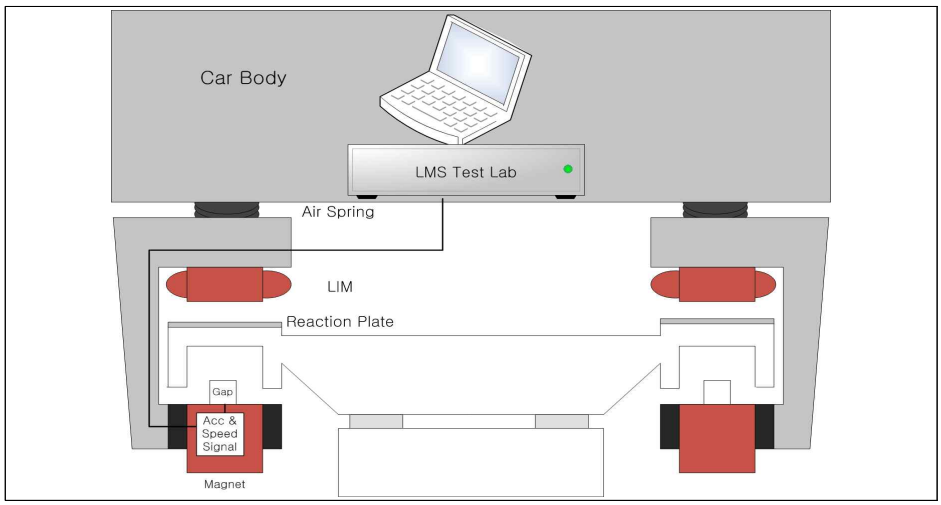
[그림 582]부상공극 응답(L/2000, C=10 mm, 110km/h)

[표 131]부상공극 편차

측정점	최대 편차 (mm)
Bogie1_F	7
Bogie1_R	4
Bogie2_F	6
Bogie2_R	4

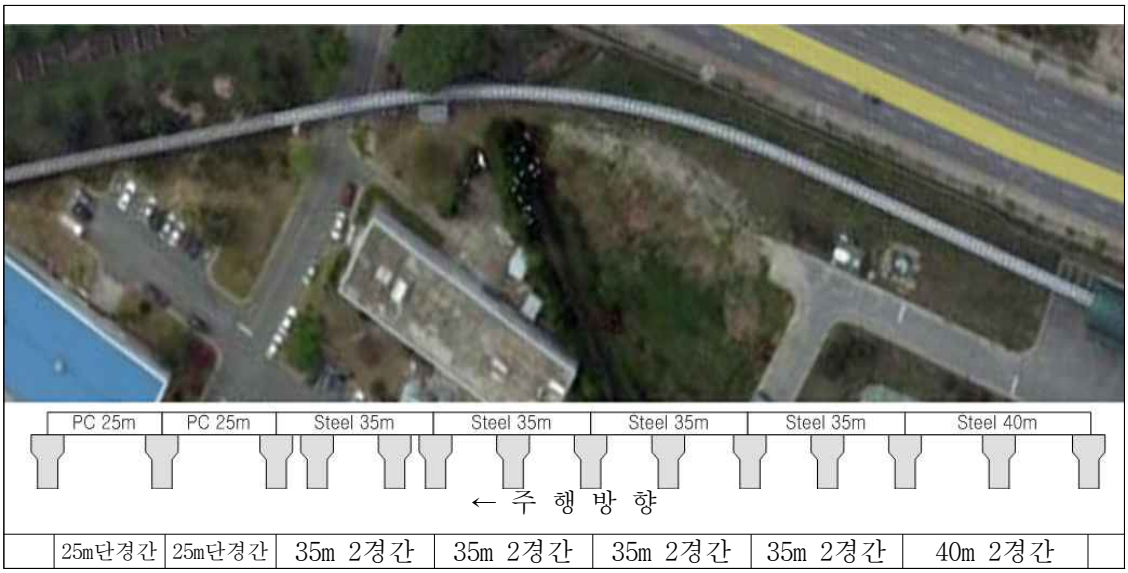
(다) 부상안정성 시험

본 항에서는 가이드웨이의 구조 특성에 따른 부상 공극 응답 특성을 분석하는데 목적이 있다. 1/2 차량으로는 110 km/h를 주행할 수 없기 때문이다. 이를 위하여 시험을 통하여 가이드웨이의 질량, 강성, 감쇠 특성과 부상 공극 응답의 관계가 분석된다. 아래 그림은 본 실험을 위한 실험장치 구성을 보여주고 있다. 실험에 의하여 전자석의 부상공극, 수직 가속도 및 차량 속도가 계측된다.



[그림 583]실험장치 구성

시험선의 가이드웨이는 아래 그림과 같이 표시할 수 있다. 가이드웨이의 구조적 특성은 아래 표에서와 같다. 가이드웨이의 구조 특성은 경간 길이, 질량 및 강성으로 구분할 수 있다.

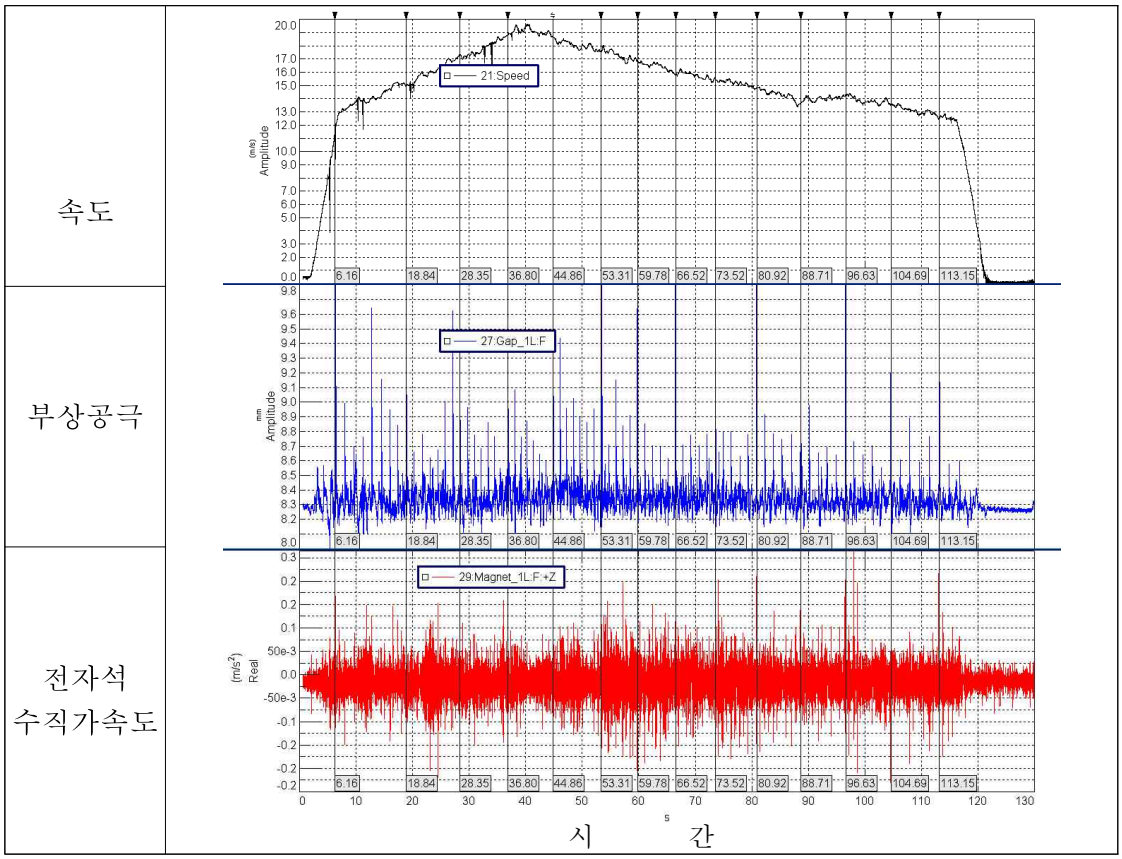


[그림 584]시험선 고가 가이드웨이

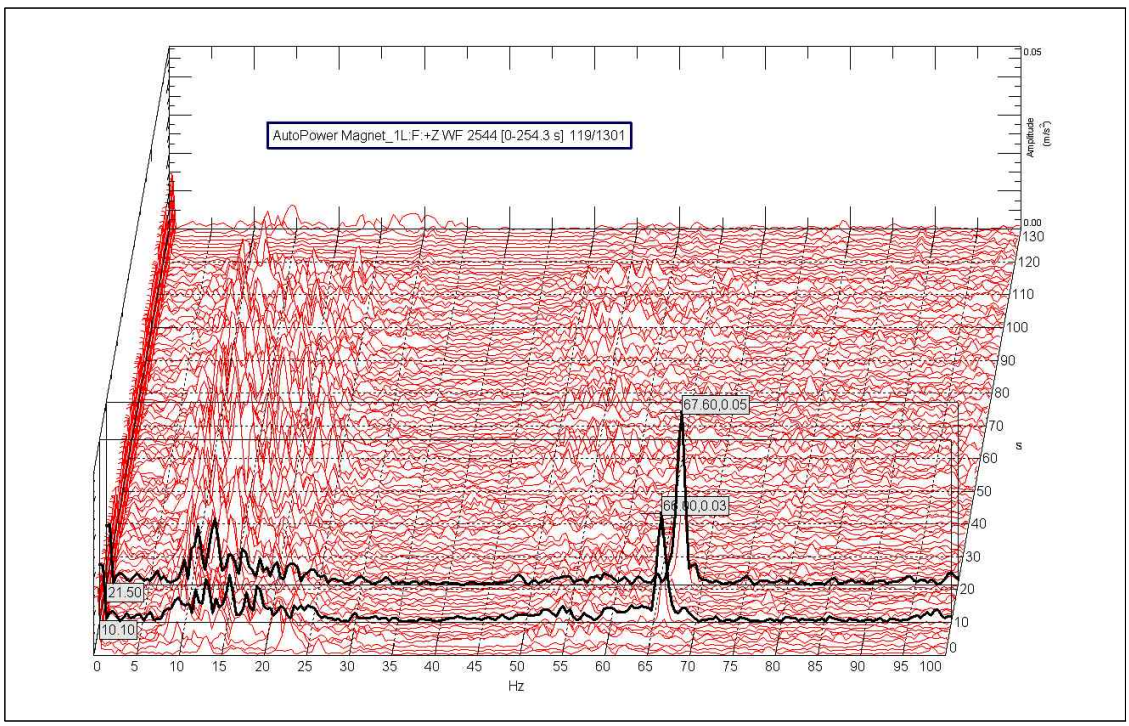
[표 132]가이드웨이 구조적 특성

거더	길이	재질	경간	처짐 한계	단위질량	고유 진동수	감쇠비(%)
Type1	40m	Steel	2경간	1/2000	1.73ton/m	7.4	1.22
Type2	35m	Steel	2경간	1/2000	1.75ton/m	9.2	1.84
Type 3-1	10m	Steel	3경간	1/2000	1.76ton/m	28.4	1.84
Type 3-2	15m	Steel				13.5	2.91
Type 3-3	10m	Steel				21.2	2.18
Type 4	25m	PC	단경간	1/4000	4.38ton/m	7.5	4.06

아래 그림은 각 거더별 주행시 속도와, 부상 공극, 수직 가속도를 나타낸다. 거더의 Type 별로 보면 Steel 재질의 거더 보다 PC재질의 거더가 부상 공극의 변화가 작다. 수직 가속도 변동은 Steel 재질 거더는 밀집구간 (10초, 20초) 존재하며 이때 차체의 진동과 레일이 진동이 심해진다. 그림 3-1-93 에서 가속도를 주파수별로 나눠 보면 특정 주파수(13Hz, 66Hz) 영역의 변동이 크게 나타나며 이를 공진주파수라 볼 수 있다. 반면, PC 거더에서는 Steel 거더보다 고른 분포를 보이며, 25Hz 이하의 저주파수 영역이 주를 이루는 것을 볼 수 있다. 따라서 부상공극과 가속도 변동을 줄이기 위해서는 부상제어기에서 제어 가능한 저 주파수 영역으로 가속도 응답을 옮길 필요가 있다. 이를 위해 선로의 강성을 키우고, 고유진동수가 작게 해야 한다.



[그림 585]주행시 속도와 부상공극, 전자석 수직 가속도



[그림 586]수직 가속도의 시간별 주파수별 응답

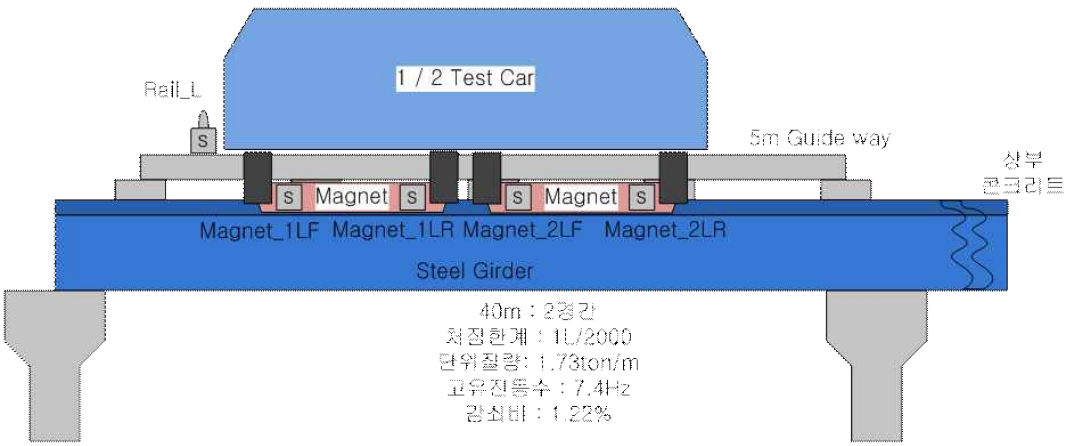
이상과 같이 1/2차량에 있어서 가이드웨이의 구조적 특성이 차량의 동특성

에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 그 결과 가이드웨이 질량, 강성 및 고유진동수에 따라서 대차 수직 가속도가 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다. 질량과 강성이 작은 가이드웨이의 경간 중심에서 부상공극과 전자석 수직 가속도가 상대적으로 크게 나타나는 것을 알 수 있었다. 반면에 질량과 강성이 큰 콘크리트 거더에서는 전자석의 수직 변동 증가는 상대적으로 작은 것을 알 수 있었다. 결과적으로 부상공극 변동을 최소화하기 위해서는 가능한 한 강성, 질량을 크기 설계할 필요가 있다.

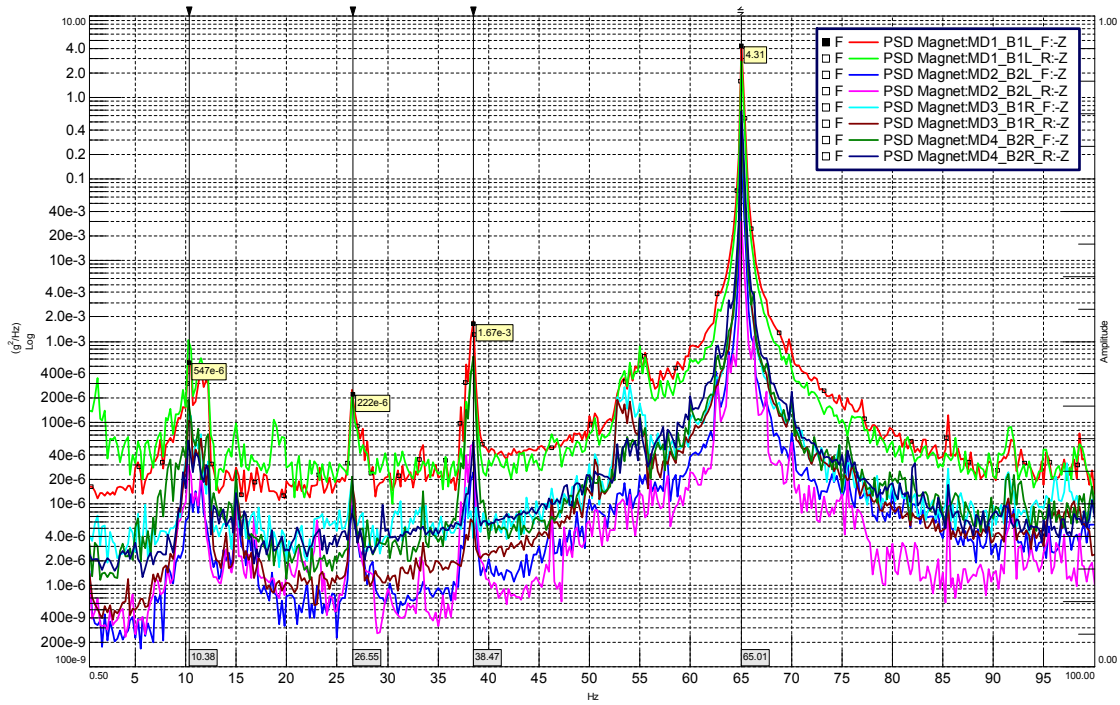
1/2차량이 특히 불안정한 응답을 보이는 위치에서의 부상공극, 전자석 가속도를 시험에 의하여 분석하였다. 아래 그림에서와 같이 35m 2경간 가이드웨이에서, 경간 중심에 차가 위치한다. 다음 그림들에서 측정 결과를 보여주고 있다. 10, 15, 18, 27, 38, 65Hz에서 가이드웨이 및 전자석의 가속도 응답이 큰 것을 알 수 있다. 65Hz에서 가장 크며, 다음으로 38, 10Hz이다. 10Hz는 가이드웨이의 1차굽힘 고유진동수 9.2Hz와 근접하는 진동수이다. 이러한 결과는 부상시스템, 가이드웨이 설계에 반영할 필요가 있다.



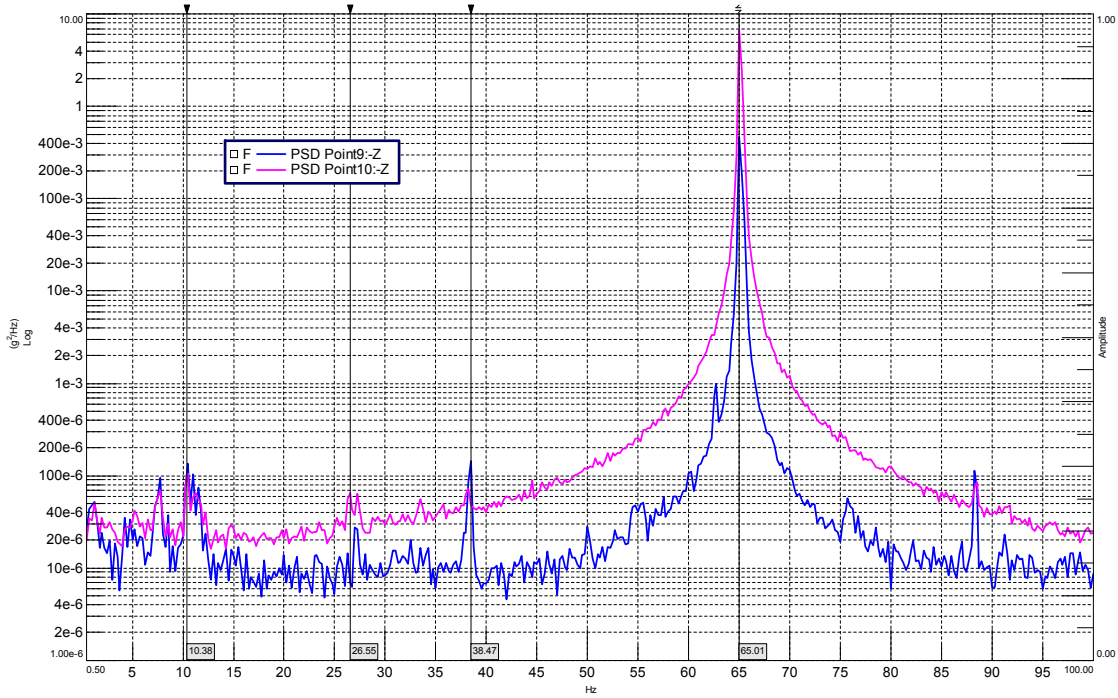
[그림 587]시험 측정 위치



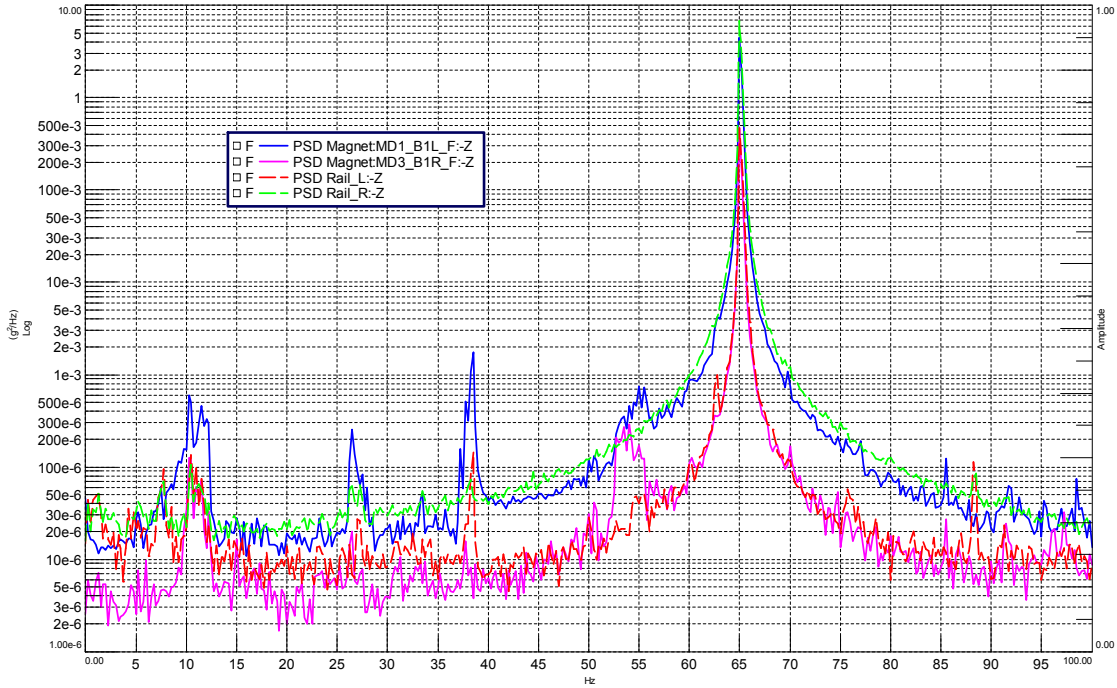
[그림 588]센서 부착 위치(35m, 2경간)



[그림 589]전자석의 수직 가속도 응답 특성



[그림 590]가이드레일의 가속도 응답 특성



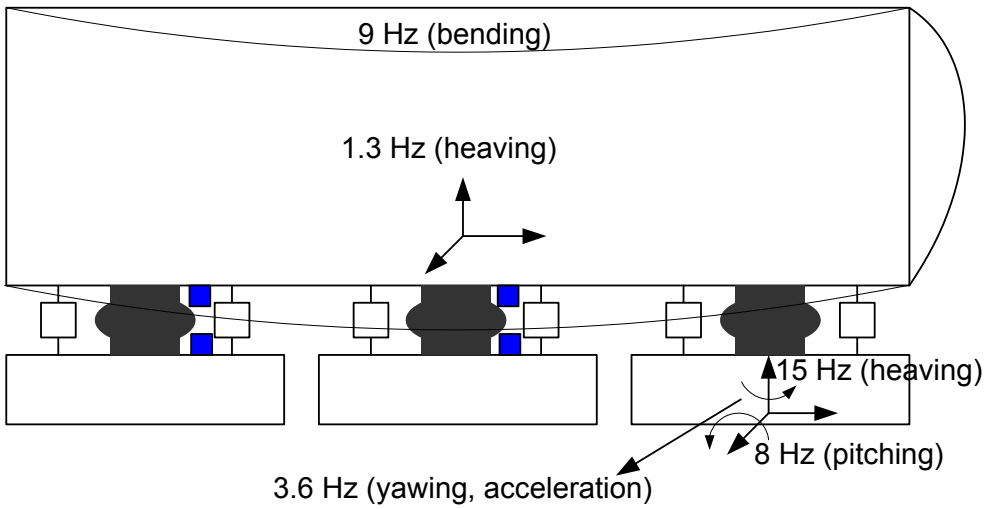
[그림 591]가이드레일과 전자석의 가속도 응답 특성

(7) 진동개선

(가) 기존차량 분석

1) 시험에 의한 진동모드

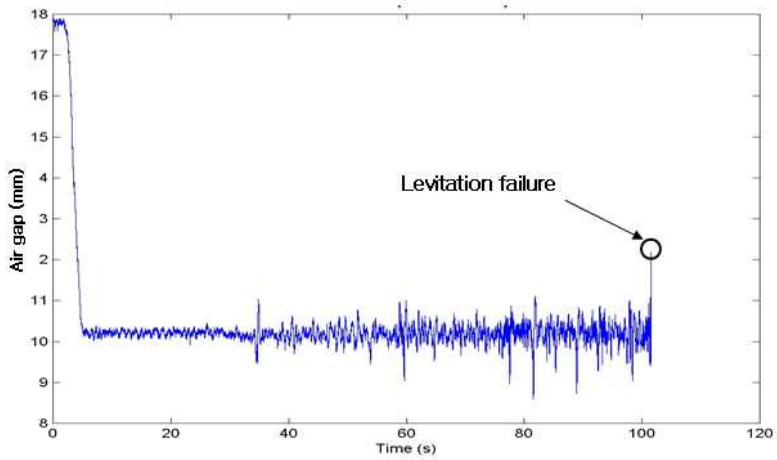
시험에 의한 기존 대차의 진동모드 측정 결과를 보여주고 있다.



[그림 592]기존 차량 진동모드 측정 결과

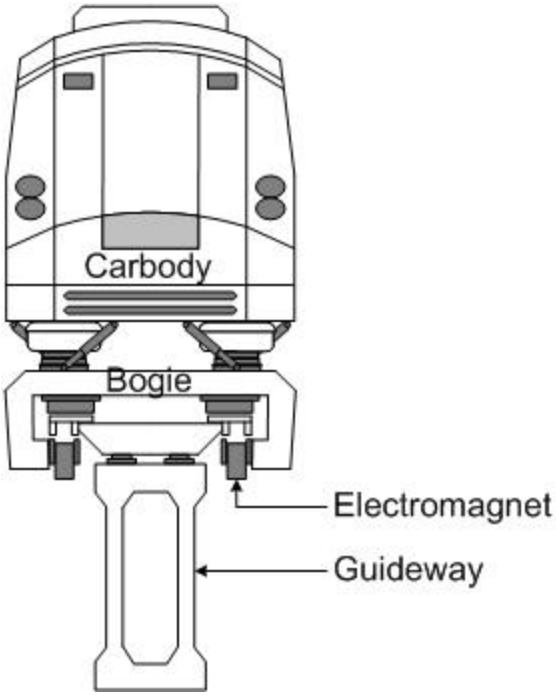
2) 차량/가이드웨이 시스템 진동 해석

상전도 흡인식 자기부상열차의 현가 시스템은 전자석과 가이드웨이 사이의 간극 즉 부상 공극(air gap)을 일정한 범위 내로 유지하기 위하여 전압을 제어하는 능동 현가 시스템이다. 가이드웨이는 교각으로 지지되어 있기 때문에 구조상 차량 주행 중 가이드웨이는 탄성 변형을 일으켜 진동하게 된다. 이러한 가이드웨이의 진동 특성은 전자석 현가 시스템과 동적 상호작용을 일으켜 공진이 발생하거나 부상 시스템이 이 진동을 추종하지 못 할 수 있다. 이러한 불안정 현상의 존재를 시연하기 위하여 고의로 부상 제어기의 게인을 비최적 값으로 설정하여 아래 그림과 같이 부상 공극을 계측하였다. 아래 그림에서와 같이 전자석과 가이드웨이가 동적 상호작용으로 인한 불안정성에 의하여 부상 공극 응답이 발산하는 것을 볼 수 있다. 이러한 불안정성을 최소화하기 위한 고려사항 중의 하나가 바로 가이드웨이의 진동특성이라고 할 수 있다. 그러므로 높이 변동을 갖는 자기부상열차-가이드웨이에 있어서 가이드웨이의 진동특성에 의한 시스템의 동특성을 분석하여 공진이 발생하지 않도록 그리고 가이드웨이를 전자석이 추종하도록 전기적, 기계적 최적 설계가 이루어져야 부상 안정성이 향상된다. 차량-가이드웨이 시스템의 진동특성은 적용한 부상 제어 법칙과 전장품 특성에 따라 가이드웨이 진동 특성에 의한 차량의 동특성 경향이 다르기 때문에 부상 제어 시스템마다 동특성 해석이 필요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 기존의 UTM-02에 대한 차량-가이드웨이 시스템 진동 해석을 통하여 해석 프로그램 개발과 일반적 경향을 도출하는데 목적이 있다. 그러한 결과를 본 사업 차량에 적용하게 된다. UTM-02는 기본적으로 5개의 관측 상태변수 궤환 제어기를 사용한다. 진동 해석을 위하여 정상상태에서의 자기부상열차-가이드웨이 연성 운동방정식을 정식화 한다. 시스템 운동방정식을 이용하여 고유치 해석이 이루어지며, 차량의 동특성을 명확히 이해하기 위하여 가이드웨이 높이 변동과 차량 동특성 간의 전달함수를 이용한 주파수 응답 해석을 수행한다. 해석 결과의 경향을 검증하기 위하여 UTM-02의 실차 실험이 또한 이루어진다. 본 연구 결과는 본 사업에서 개발하는 현가 시스템 및 가이드웨이 진동 특성 설계에 이용 가능할 것으로 기대한다.

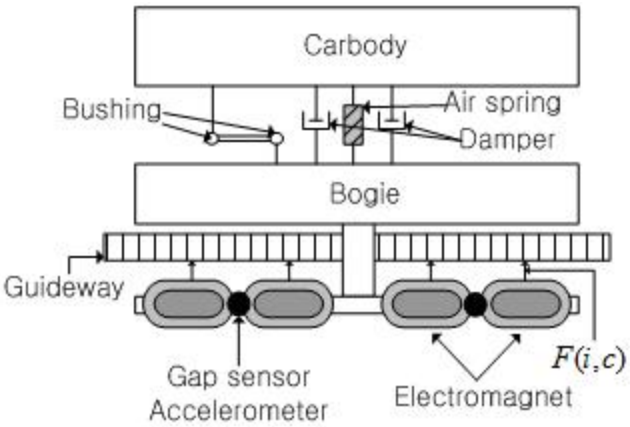


[그림 593]Levitation failure intended to demonstrate the Maglev vehicle/guideway interaction

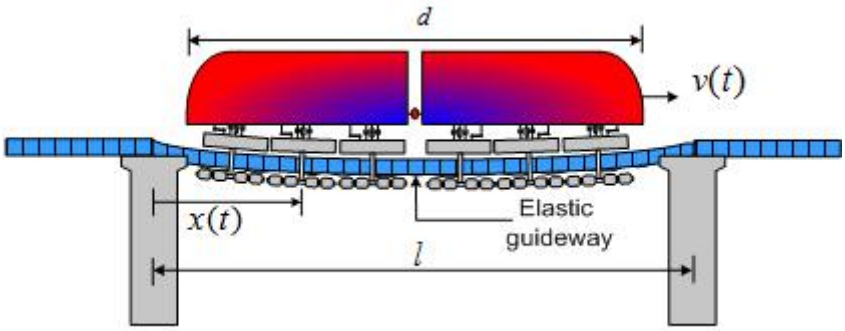
아래 그림은 전자석 현가 시스템을 사용하는 자기부상열차 UTM-02와 가이드웨이를 도식적으로 보여주고 있다. 그림 596은 대차의 단면 구조를 보여주고 있다. 대차는 1차 현가장치인 전자석과 2차 현가장치인 공기 스프링과 감쇠기로 구성된다. 대차는 전자석에 의한 부상력 $F(i,c)$에 의하여 가이드웨이에 매달려 주행하게 된다. 자기부상열차 시스템에서 미관과 가이드웨이 건설비용을 줄이기 위하여 가느다란 가이드웨이 형상이 추천된다. 이러한 구조적 특성은 가이드웨이의 유연성을 무시할 수 없으며, 결과적으로 가이드웨이 진동과 전자석 부상 시스템 사이의 동적 상호작용이 일어난다. 이 동적 상호작용 현상을 모델하기 위하여 그림 3-1-103, 104 와 같은 모델을 이용한다. 전자석에 의한 부상력은 일반적으로 패드길이(pad length) d에 걸친 분포하중이다. 이러한 자기부상열차-가이드웨이의 정상상태 동적 상호작용 해석을 위하여 그림 3-1-104 와 같은 전자석 1개에 대한 단순모델이 이용된다. 차량의 단순 모델은 전자석 1개가 분담하는 대차와 차체의 지량으로 구성된다. 이러한 현가 시스템의 동적 상호작용 특성을 해석하기 위해서는 유연 가이드웨이, 부상 시스템 및 차량의 연성 모델이 필요하다.



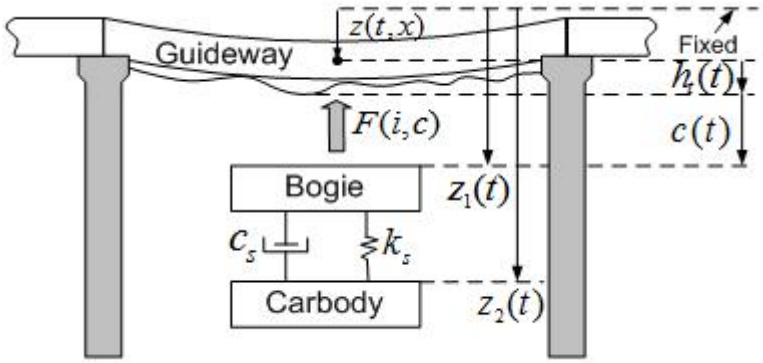
[그림 594]Cross-sectional view of a Maglev vehicle system with electromagnetic suspension



[그림 595]Bogie configuration



[그림 596]Coupling between a moving vehicle and the guideway]



[그림 597]Single-point suspension on a simply supported beam]

부상력

전자석에 의한 부상력 $F(i,c)$는 일반적으로 비선형 함수이나 평형 점 즉 공칭 점(i_0,c_0)에서의 선형화 모델이 자주 이용된다. 평형 위치에서의 선형화에 따른 부상력과 전류의 변화량은 식(1), 식(2)와 같이 정의된다.

$$\Delta F(\Delta i(t),\Delta c(t)) = -k_i \Delta i(t) + k_c \Delta c(t) \tag{1}$$

$$\Delta \dot{i}(t) = \frac{k_c}{k_i}\Delta \dot{c}(t) - \frac{R}{L_o}\Delta i(t) + \frac{1}{L_0}\Delta v(t) \tag{2}$$

여기서,

$$L_0 = \frac{\mu_0 N^2 A_e}{2c_0}$$

$$k_i = \frac{\mu_0 N^2 A_e i_0}{2c_0^2}$$

$$k_c = \frac{\mu_0 N^2 A_e i_0^2}{2c_0^3}$$

F : Levitation force

A_e : Section area of electromagnet (㎡)

μ_0 : Permeability factor

N : Number of turn of magnet coil (turn)

i_0 : Nominal current (A)

c_0 : Nominal air gap (m)

c : Air gap (m)

v : Voltage (V)

R : Resistance (Ω)

가이드웨이

유연한 가이드웨이의 동특성을 표현하는 방법의 하나로 모드중첩법이 이용될 수 있다. 모드중첩법에 의한 탄성 빔의 변형은 무한개의 모드형상 $z_n(x)$과 모드계수 $a_n(t)$의 곱의 합으로 정의된다. 단순 지지보의 경우 식(3)과 같이 표시된다.

$$z(t,x) = \sum a_n(t) z_n(x) \tag{3}$$

여기서,

$z_n(x) = \sin \lambda_n x$

$\lambda_n = \frac{n\pi}{l}$

식(3)에서 n는 모드 수이다. 가이드웨이는 Euler-Bernoulli simple beam으로 표현할 수 있으며 분포하중에 대한 각 모드의 응답은 식(4)와 같다.

$$\frac{d^2 a_n(t)}{dt^2} + 2\xi_n \omega_n \frac{da_n(t)}{dt} + \omega_n^2 a_n(t) = \frac{2}{\rho A_b l} \int_0^l F(i,c) \sin \frac{n\pi}{l} x dx \tag{4}$$

여기서,

ω_n : n th guideway modal frequency

ξ_n : n th guideway modal damping ratio

ρ : Beam mass density

A_b : Beam cross-sectional area

차량은 $\frac{l}{2}$위치에서 정지 부상 상태이고, $n=1$, $d=l$일 때 $F(i,c)$가 d에 걸쳐 같은 크기로 분포한다면 식(4)를 이용하여 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\ddot{z}(t)+2\xi_1\omega_1\dot{z}(t)+\omega_1^2 z(t)=\frac{48\times 4\times F(i,c)}{\rho A_b l\pi} \tag{5}$$

여기서, $F(i,c)$는 전자석 1개의 부상력을 나타내며, 2량 1편성으로 확장될 경우 48개의 전자석이 있기 때문에 식 (5)와 같이 표현된다.

차량 모델

2개의 질량으로 단순화된 차량에 대한 운동방정식은 식(6), 식(7)로 표시할 수 있다.

$$m_1\Delta\ddot{z}_1(t)=F(\Delta i(t),\Delta c(t))+c_s(\Delta\dot{z}_2(t)-\Delta\dot{z}_1(t))+k_s(\Delta z_2(t)-\Delta z_1(t)) \tag{6}$$

$$m_2\Delta\ddot{z}_2(t)=-c_s(\Delta\dot{z}_2(t)-\Delta\dot{z}_1(t))-k_s(\Delta z_2(t)-\Delta z_1(t)) \tag{7}$$

차량 운동방정식을 상태방정식 형태로 표현하기 위하여 식(1), (2), (6), (7)을 조합하면 식(8)을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix}\Delta\dot{c}(t)\\ \Delta\dot{z}_1(t)\\ \Delta\ddot{z}_1(t)\\ \Delta\dot{z}_2(t)\\ \Delta\ddot{z}_2(t)\\ \Delta\dot{i}(t)\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0\\ \frac{k_c}{m_1} & \frac{-k_s}{m_1} & \frac{-c_s}{m_1} & \frac{k_s}{m_1} & \frac{c_s}{m_1} & \frac{-k_i}{m_1}\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & \frac{k_s}{m_2} & \frac{c_s}{m_2} & \frac{-k_s}{m_2} & \frac{-c_s}{m_2} & 0\\ 0 & 0 & \frac{k_c}{k_i} & 0 & 0 & \frac{-R}{L_0}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\Delta c(t)\\ \Delta z_1(t)\\ \Delta\dot{z}_1(t)\\ \Delta z_2(t)\\ \Delta\dot{z}_2(t)\\ \Delta i(t)\end{bmatrix}+\begin{bmatrix}0\\0\\0\\0\\0\\ \frac{1}{L_0}\end{bmatrix}[\Delta v(t)]+\begin{bmatrix}-1\\0\\0\\0\\0\\ \frac{-k_c}{k_i}\end{bmatrix}[\Delta\dot{h}(t)] \tag{8}$$

부상 제어

부상 공극 변화량 $\Delta c(t)$를 허용 범위내로 유지하기 위하여 UTM-02는 5개의 관측 상태변수를 이용한 전압 $\Delta v(t)$을 제어하는 방법을 이용한다. 즉, 다음 식 (9)를 이용하여 식 (8)의 전압 $\Delta v(t)$를 결정한다.

$$\Delta v(t) = k_1 \ddot{\hat{z}}_1(t) + k_2 \Delta \dot{\hat{z}}_1(t) + k_3 \Delta \hat{z}(t) + k_4 \Delta \dot{\hat{c}}(t) + k_5 \Delta \hat{c}(t) \tag{9}$$

여기서,

$\Delta \ddot{\hat{z}}_1(t)$: Acceleration estimate

$\Delta \dot{\hat{z}}_1(t)$: Velocity estimate

$\Delta \hat{z}_1(t)$: Position estimate

$\Delta \dot{\hat{c}}(t)$: Air gap velocity estimate

$\Delta \hat{c}(t)$: Air gap estimate

k_1, k_2, k_3, k_4, k_5 : Control gains

상태 궤환에 이용되는 5개의 관측 상태 변수 즉, $\Delta \ddot{\hat{z}}_1(t), \Delta \dot{\hat{z}}_1(t), \Delta \hat{z}_1, \Delta \dot{\hat{c}}(t), \Delta \hat{c}(t)$는 다음 식(10), (11)과 같이 단지 실측 가속도 $\Delta \ddot{z}_1(t)$와 부상 공극 $\Delta c(t)$을 이용하는 관측기에 의하여 추정한다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{o_1}(t) \\ \dot{x}_{o_2}(t) \\ \dot{x}_{o_3}(t) \\ \dot{x}_{o_4}(t) \\ \dot{x}_{o_5}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{T_3} & 0 & -\frac{1}{T_3} & 0 \\ -\frac{1}{T_1} & -\frac{V_1}{T_1} & 0 & \frac{V_1}{T_1} & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_2} & -\frac{V_2}{T_2} & 0 & \frac{V_2}{T_2} \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{V_3}{T_4} & -\frac{1}{T_4} \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{T_5} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{o_1}(t) \\ x_{o_2}(t) \\ x_{o_3}(t) \\ x_{o_4}(t) \\ x_{o_5}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ \frac{1}{T_{1_1}} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{T_4} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \ddot{z}_1 \\ \Delta c \end{bmatrix} \tag{10}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \ddot{\hat{z}}_1(t) \\ \Delta \dot{\hat{z}}_1(t) \\ \Delta \hat{z}_1(t) \\ \Delta \dot{\hat{c}}(t) \\ \Delta \hat{c}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1 & -V_1 & 0 & V_1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{o_1}(t) \\ x_{o_2}(t) \\ x_{o_3}(t) \\ x_{o_4}(t) \\ x_{o_5}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \ddot{z}_1 \\ \Delta c \end{bmatrix} \tag{11}$$

5개의 관측 상태변수 궤환 제어기에서의 핵심은 식(10)과 같은 상태 관측기 설계와 식(9)에서의 제어게인들의 최적 설계라고 할 수 있다.

연성 운동방정식

자기부상열차-가이드웨이 연성 운동방정식은 식 (5), (8), (10), (11)을 조합하여 유도하게 된다. 연성 운동방정식을 유도하기 위하여 상태변수 벡터를 식

(12)와 같이 정의한다.

$$\boldsymbol{x} = [\Delta c,\ \Delta z_1,\ \Delta \dot{z}_1,\ \Delta z_2,\ \Delta \dot{z}_2,\ \Delta i,\ \Delta z,\ \Delta \dot{z},\ x_{o_1},\ x_{o_2},\ x_{o_3},\ x_{o_4},\ x_{o_6}]^T \tag{12}$$

출력을 $\boldsymbol{y} = [\Delta c]$로 정의하면 식 (13)과 같은 상태 방정식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} \dot{\boldsymbol{x}} &= \boldsymbol{A}\boldsymbol{x} + \boldsymbol{B}\,\Delta h_t(t) \\ \boldsymbol{y} &= \boldsymbol{C}\boldsymbol{x} \end{aligned} \tag{13}$$

여기서,

$\boldsymbol{A},\boldsymbol{B},\boldsymbol{C}$: Matrix

이 상태 방정식이 정식화되면 연성 운동방정식에 대한 동특성 해석이 가능하다.

해석 결과

전 항에서 정식화된 자기부상열차-가이드웨이 연성 운동방정식을 이용하여 동특성 해석을 수행한다. 표 3-1-40 ~42 는 동특성 해석에 이용된 물성치를 보여주고 있다. 물성치 중에 가이드웨이의 1차 진동 모드의 감쇠비는 $\xi_1 = 0.005$으로 설정하였다. 가이드웨이는 1@25(길이 25 m, 경간 1)으로 시험선의 표준 가이드웨이이다. 자기부상열차-가이드웨이 연성 시스템의 기본적 동특성을 분석하기 위하여 식(13)을 이용하여 고유치 해석을 수행하였으며 고유치 중 관심 고유치를 아래 표에 나타냈다. 표 3-1-43 에서 허수부를 이용하여 진동수를 계산하면 식(13)의 고유진동수는 0.8 Hz, 7.5 Hz, 12 Hz임을 알 수 있다. 0.8 Hz는 차체의 고유진동수이며, 7.5 Hz는 가이드웨이, 12 Hz는 대차 즉 전자석 고유진동수를 각각 나타낸다고 할 수 있다. 가이드웨이의 고유진동수와 대차의 고유진동수는 분리가 된 것을 알 수 있다. 가이드웨이의 높이 변동의 입력 주파수는 차량 속도에 따라 변하기 때문에 가이드웨이 높이 변동 외란 주파수에 따른 동특성을 추가로 분석할 필요가 있다. 이를 위하여 연성 운동방정식에 대한 전달함수를 이용하여 가이드웨이 높이 변동 $\Delta h_t(t)$ 입력에 대한 차량과 가이드웨이의 주파수 응답을 해석하였다. 전달함수는 식(13)에 대한 Laplace 변환으로 얻을 수 있으며 공극 변동 응답은 식(14)와 같이 계산되었다.

$$\Delta C(s) = G(s)\Delta H_t(s)$$

(1.3-14)

여기서,

$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$: Transfer function

$\Delta G(s) = \frac{N(s)}{D(s)}$: Transfer function,

$$N(s) = 1.137\times10^{-12}s^{13}\,3.492\times10^{-10}s^{12}\,1.192\times10^{-7}s^{11} - 106.3s^{10} - 4.721\times10^{6}s^{9}$$
$$8.788\times10^{8}s^{8} + 4.881\times10^{10}s^{7} - 8.858\times10^{11}s^{6} + 7.241\times10^{12}s^{5}$$
$$+ 2.611\times10^{13}s^{4} + 3.714\times10^{13}s^{3} + 18944s^{2} + 1.874\times10^{4}s \quad ,$$

$$D(s) = s^{13} + 1165s^{12} + 4.492\times10^{5}s^{11} + 7.564\times10^{7}s^{10} + 7.504\times10^{9}s^{9}$$
$$+ 4.859\times10^{11}s^{8} + 2.129\times10^{13}s^{7} + 7.672\times10^{14}s^{6} + 1.449\times10^{16}s^{5}$$
$$+ 1.478\times10^{17}s^{4} + 8.85\times10^{17}s^{3} + 2.973\times10^{18}s^{2} + 4.219\times10^{18}s$$
$$- 1.186\times10^{5} \quad ,$$

$\Delta C(s)$: Air gap,

$\Delta H_t(s)$: Height variation.

아래 그래프에서 부상공극 편차 주파수 응답으로 약 13Hz 까지는 크기가 증가하다가 50Hz 이상에서는 1에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 특히, 7.5Hz에서는 전달함수가 크게 증가하며 감쇠비가 작을수록 더 큰 것을 알 수 있다. 주목할 진동수는 13Hz로 부상 제어시스템으로부터 생성되는 진동수 있다. 이러한 경향은 차체, 대차 가속도 응답에서도 유사한다. 거더의 고유진동수가 낮을 수록, 감쇠비가 클 수록 부상공극 편차는 줄어드는 것을 알 수 있다.

[표 133]Properties of the electromagnet]

Item	Specification
Carbody mass (kg)	541.67
Bogie mass (kg)	425.25
Air spring stiffness (N/m)	23,000
Damping coefficient (Ns/m)	4,250

[표 134]Properties of the levitation control system

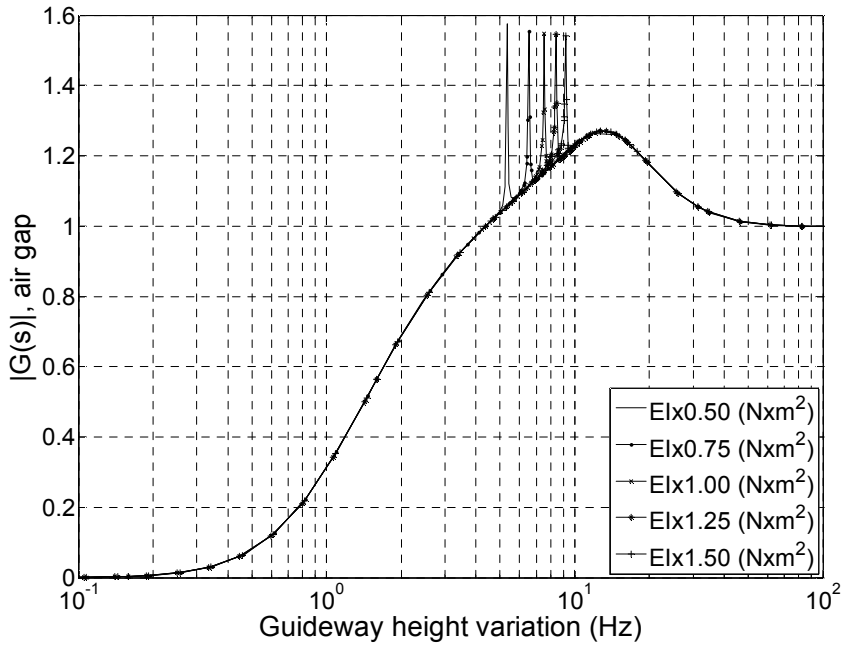
Item	Specification
μ_0	$4\pi\times10^{-7}$
N (Turn)	660
A (㎡)	0.04
R (Ω)	1.3
c_0 (m)	0.01
i_0 (A)	21
k_1	27
k_2	405
k_3	0
k_4	28,500
k_5	40,500
T1	0.22
T2	0.011
T3	0.3439
T4	0.000242
T5	0.022
V1	1.43
V2	1.1
V3	0.22

[표 135]Properties of the standard simply supported guideway

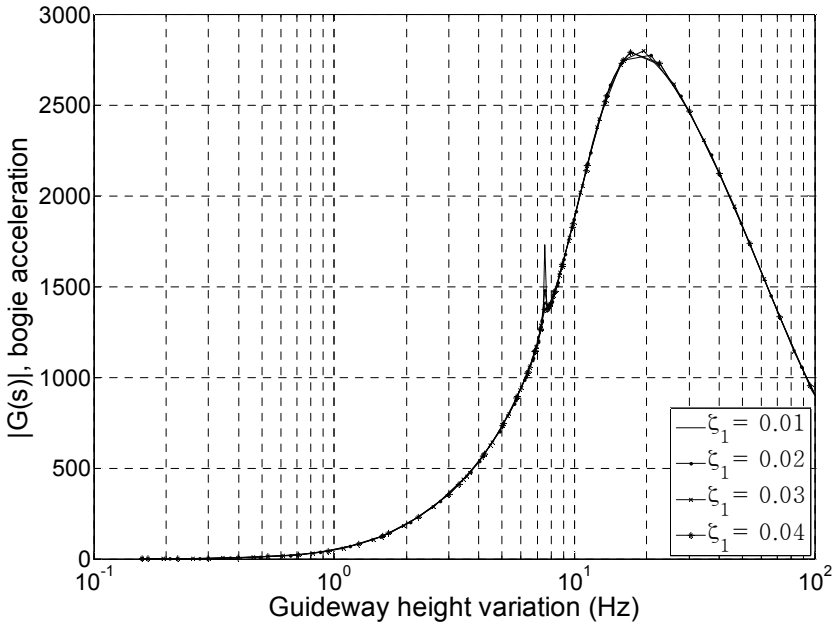
Item	Specification
E (N/m2)	30,000,000,000
I (m4)	1.174
Ab (m2)	1.395
Mass density (kg/m3)	2,805
Span length (m)	25
Measured first modal damping ratio (ζ1)	0.02

[표 136]Eigenvalues calculated

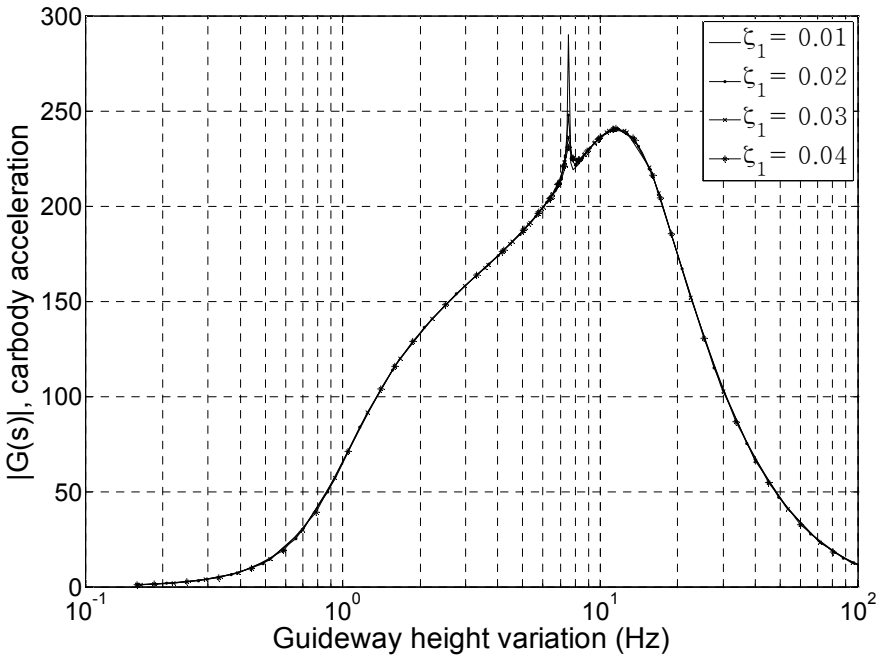
Order	*Eigenvalue (λ)*		Measured vibration modes	
	Re(λ)	*Im(λ)*	*Frequency (Hz)*	Motion
1	*-3.94*	*5.20 (0.8 Hz)*	*0.8*	*carbody*
2	*-0.46*	*47.12 (7.5 Hz)*	*7.2*	guideway
3	*-56.04*	*69.93 (11.1 Hz)*	*12*	bogie



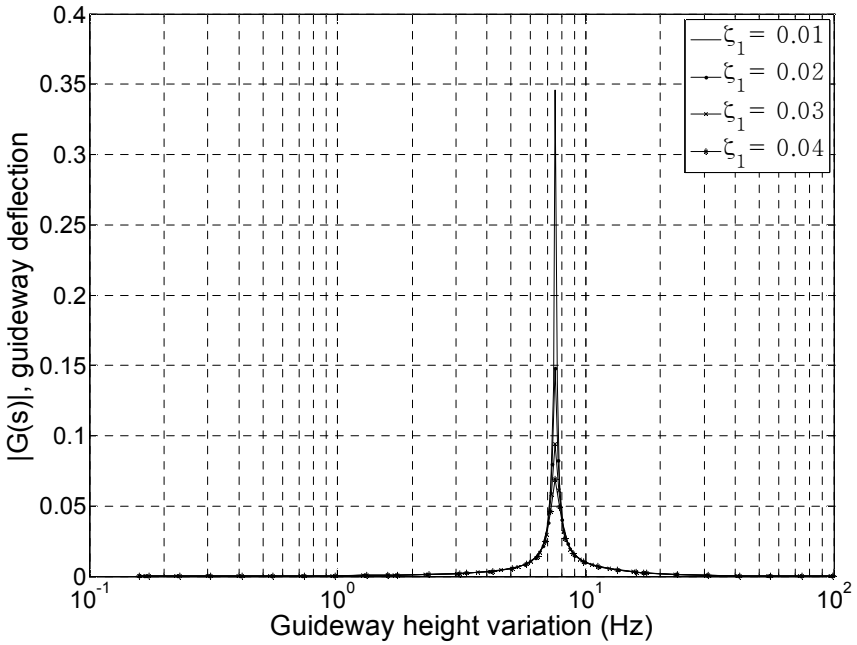
[그림 599]Frequency responses of air gap deviation to variations in guideway height with different damping ratios



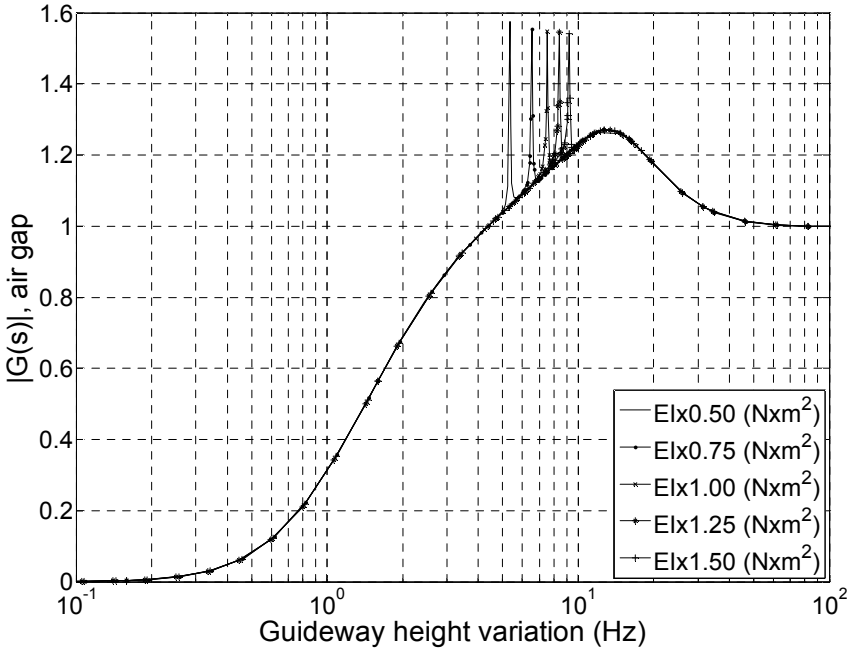
[그림 600]Frequency responses of bogie acceleration to variations in guideway heightwith different damping ratios



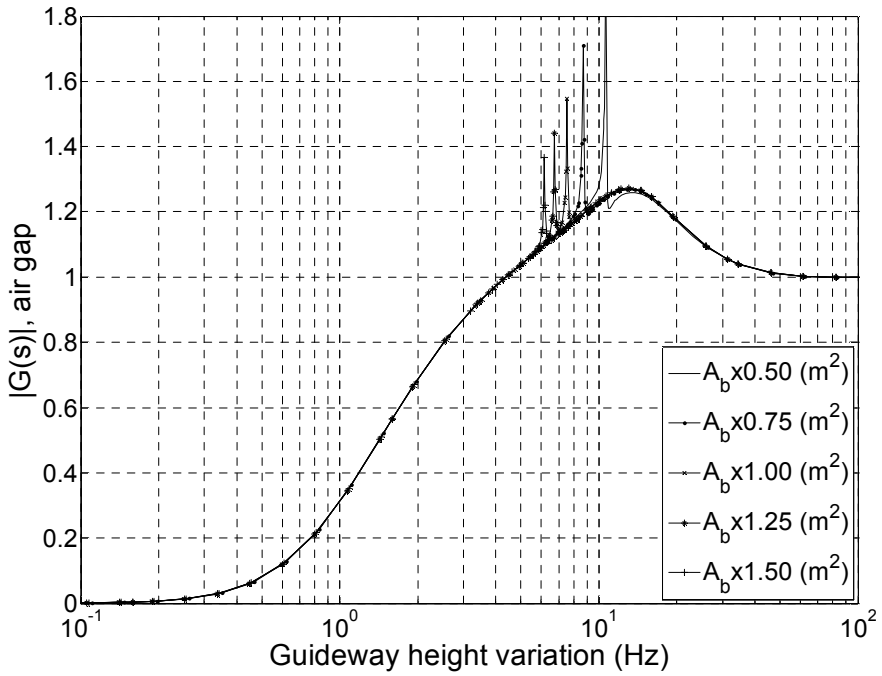
[그림 601]Frequency responses of carbody acceleration to variations in guideway height with different damping ratios



[그림 602]Frequency responses of guideway deflection to variations in guideway height with different damping ratios



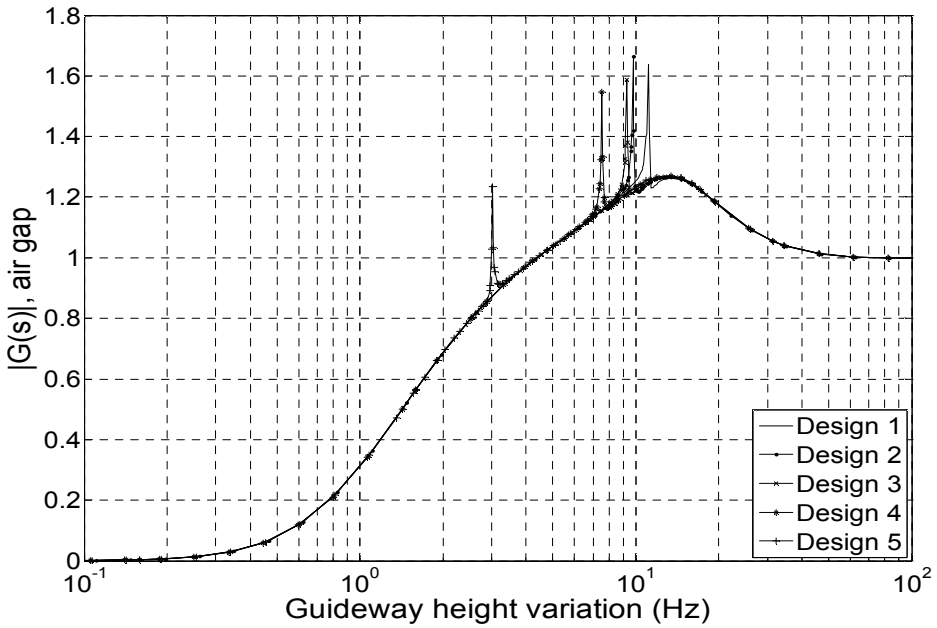
[그림 603]Frequency responses of air gap to variations in guideway height with design variations, EI.($\zeta_1 = 0.01$)



[그림 604]Frequency responses of air gap to variations in guideway height with design variations, Ab. ($\zeta_1 = 0.01$)

[표 137]Air gap deviation test results on the seven different guideways

Designs	Properties						Interesting vibration modes		Air gap standard deviation (μm)
	L (m)	Spans	E (N/m2)	I (m4)	Ab (m2)	ρ (kg/m3)	Frequency (Hz)	Damping ratio (ζ_1)	
1	18	1	3×10^{10}	0.6832	1.384	2,805	11.1 (1st)	0.02	12.4
2	19.2	1	3×10^{10}	0.6832	1.384	2,805	9.4 (1st)	0.03	11.8
3	22.5	1	3×10^{10}	1.1744	1.395	2,805	9.0 (1st)	0.01	11.5
4	25	1	3×10^{10}	1.1744	1.395	2,805	7.2 (1st)	0.02	11.9
5	55	1	21×10^{10}	0.1291	0.1658	19,369	2.92 (1st)	0.01	12.7
6	35	2	21×10^{10}	0.0276	0.0931	19,369	9.2(1st) 12.8 (2nd)	0.02 0.04 (ζ_2)	18.0
7	35	3	21×10^{10}	0.0161	0.0902	20,013	13.5(1st) 21.2 (2nd) 28.4 (3rd)	0.03 0.02 (ζ_2) 0.02 (ζ_3)	32.9



[그림 605]Frequency responses of air gap deviation of 5 different simply supported guideways to variations of guideway height. ($\zeta_1=0.01$)

3) 차량/궤도 시스템 진동 개선안 검토 및 설계 반영

전 항에서 설명한 기존 차량의 진동특성을 실용화 차량에 반영하였다. 주요 진동모드의 분리 및 진동 진폭 저감을 달성하고자 하였다. 반영 결과는 실험 및 해석에 의하여 증명될 것이다.

(나) 진동개선

1) 개선안

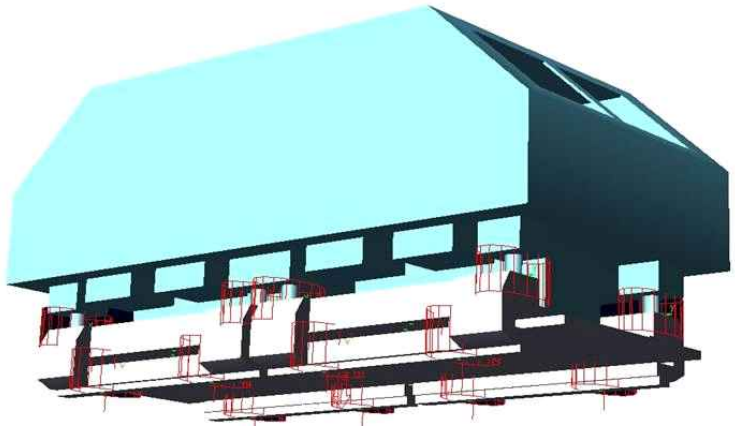
기존 차량에 대한 차량/궤도(가이드웨이) 시스템 진동 특성을 분석하고 개선안을 도출하였다. 도출된 개선점은 다음과 같으며 설계에 반영하였다.

-전자석의 진동특성을 개선하기 위하여 전자석 상 질량을 감소시키기 위하여 4대차로의 설계 변경

-가이드웨이 질량, 진동수, 감쇠비를 상부궤도 설계요구사항에 반영

2) 강체 진동 해석

차량의 진동모드를 해석하기 위하여 선형진동 해석을 수행하였다. 아래 그림은 진동해석을 위한 다물체 동역학 해석 모델이다. 존 차량에 대한 차량/궤도(가이드웨이) 시스템 진동 특성을 분석하고 개선안을 도출하였다.



[그림 605]강체 진동해석 모델

[표 138]강체 진동 해석 결과

No	Frequency	Mode shape	Remak
1	0.94	Car body sway	
2	1.31	Car body pitch + Car body vertical	
3	1.34	Car body yaw + pitch +vertical	
4	1.89	Car body sway + module lateral	
5	4.33, 4.34 5.04, 5.10	Module yaw	
6	4.44, 4.59 4.68, 4.80	Module yaw + lateral	
7	9.39, 9.42, 9.62,9.77	Module pitch	
8	11.83	Module bouncing	
9	27.55	Module longitudinal + pitch	
10	29.74	Module longitudinal + car body yaw	
11	34.65	Module long & pitch + car body pitch	

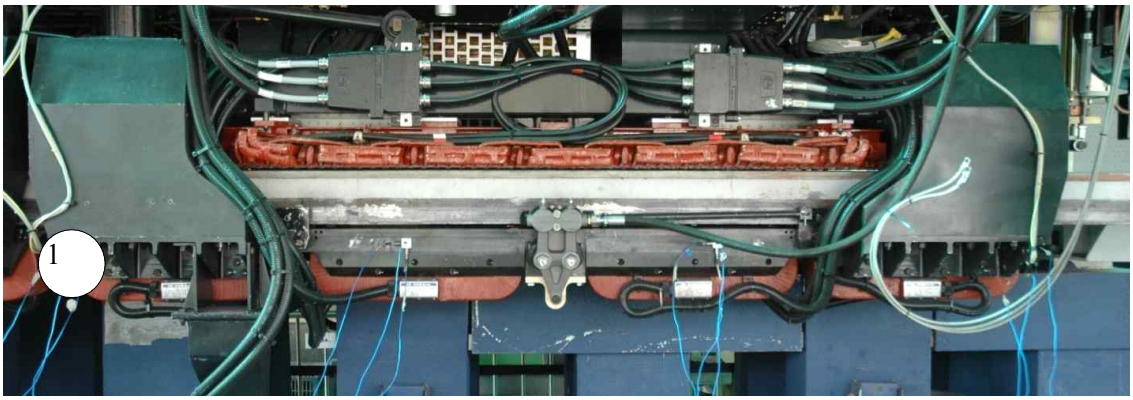
3) 시험

1/2차량의 진동특성을 분석하기 위하여 진동 시험을 수행하였다. 시험 방법은 다음과 같다.

① Magnet : 마그넷 4Point에 3축 센서를 설치하고 정지부상중과 주행중의 가속도 데이터 정리

② 대 차 : 대차의 상부(Lateral, Vertical), 하부(Lateral) 가속도 센서를 부착하여 대차의 고유 진동수 측정

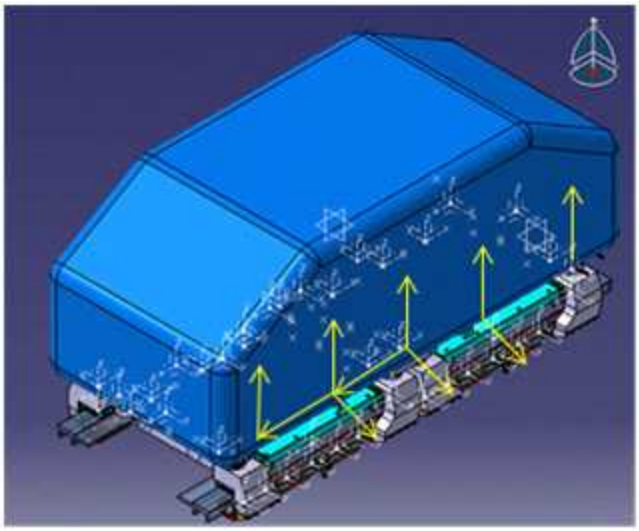
③ 차 체 : 차체에 가속도 센서를 부착하여 데이터 정리



[그림 606]전자석 센서 부착 모습



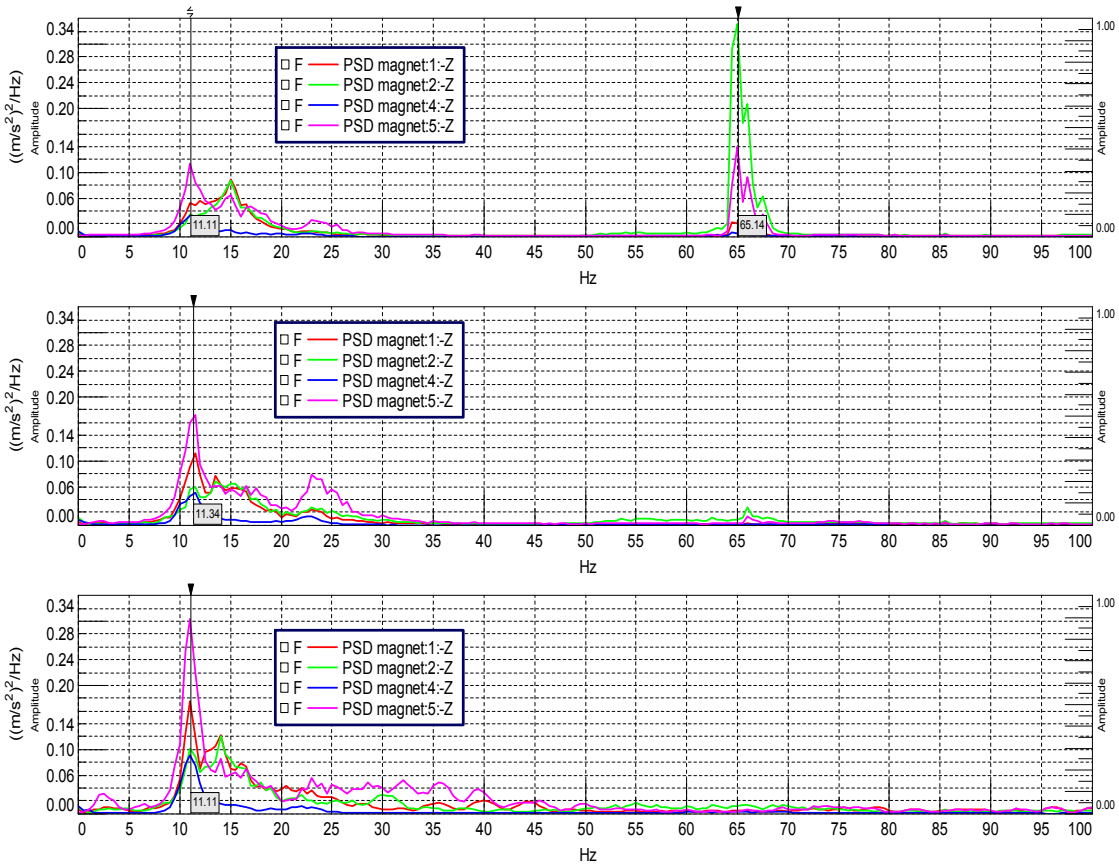
[그림 607]대차에 센서 부착 모습



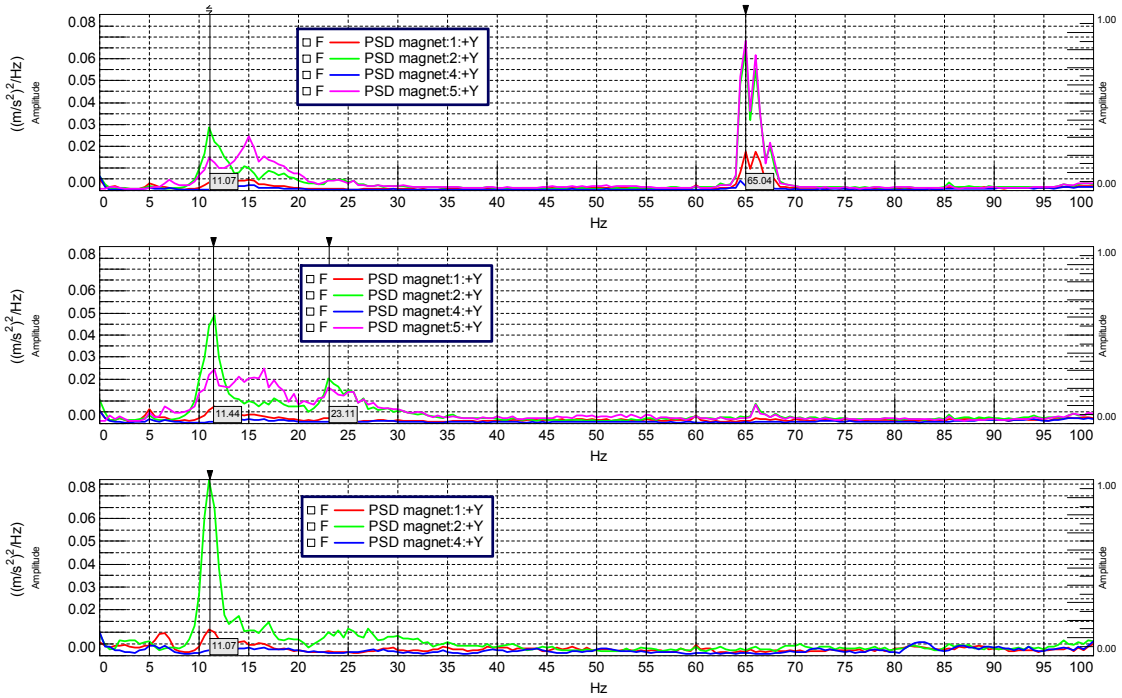
[그림 608]차체에 센서 부착 모습

4) 시험결과

① 전자석 : 그림 609는 전자석의 수직방향 진동특성 결과이다. 주요 진동수는 11, 15, 23Hz 인 것을 알 수 있다. 이 진동수는 부상제어기 및 대차변형에 의한 진동 특성이다.

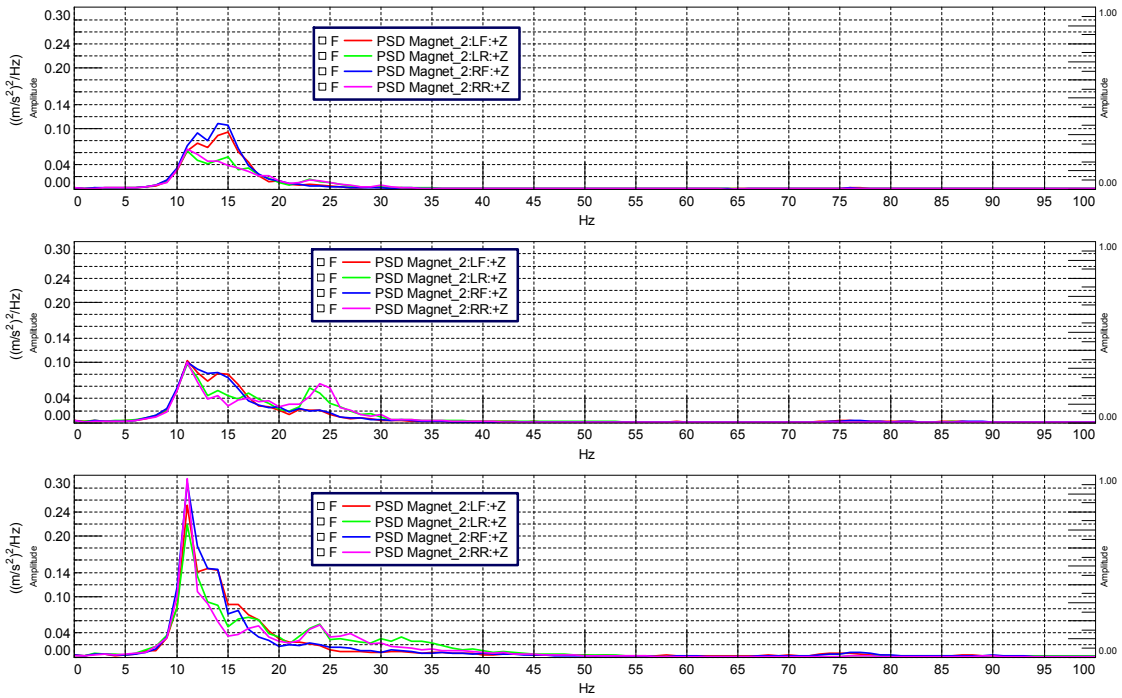


[그림 609]전자석의 속도별(10Km, 20Km, 30Km) Vetical 가속도 응답

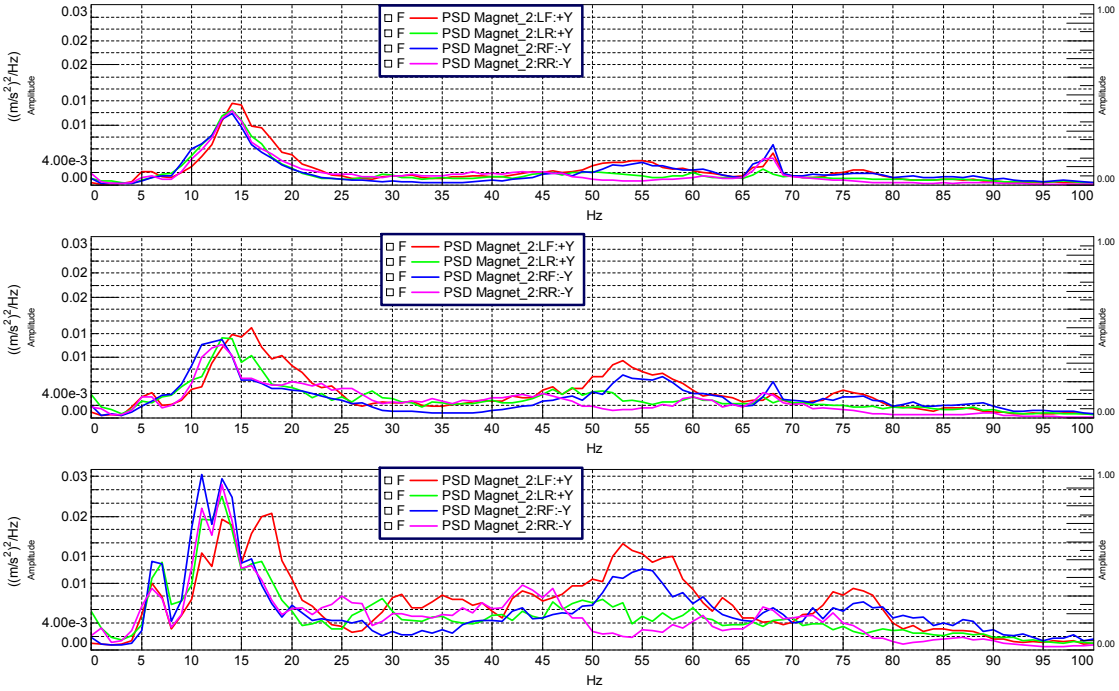


[그림 610]전자석의 속도별(10Km, 20Km, 30Km) Lateral 가속도 응답

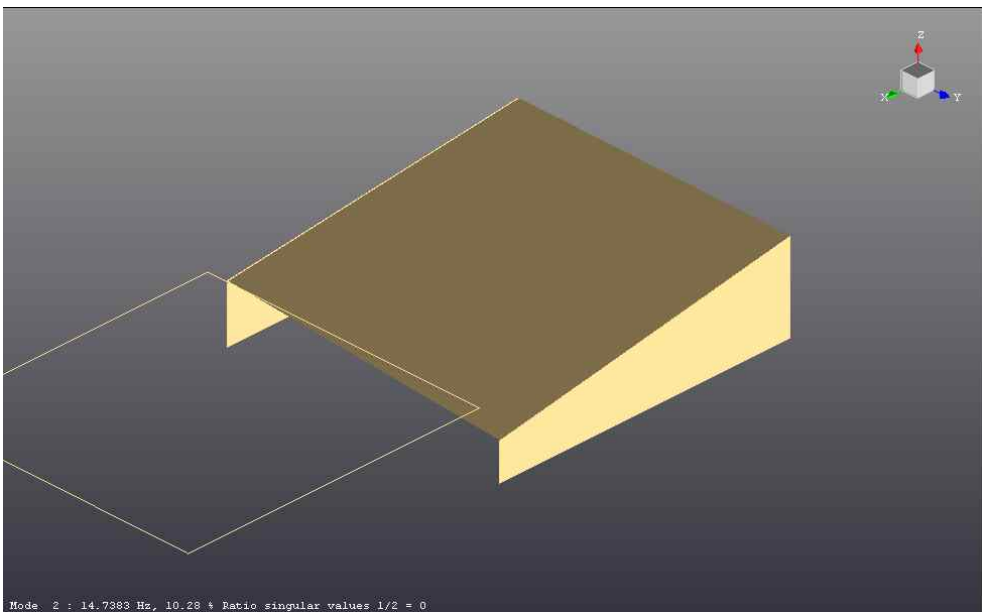
② 대차 : 아래 그림은 대차 프레임이 진동특성으로 주요 진동수는 전자석과 유사하게 11, 15, 23Hz을 나타내고 있다.



[그림 611]대차의 속도별(10Km, 20Km, 30Km) Vertical 가속도 응답

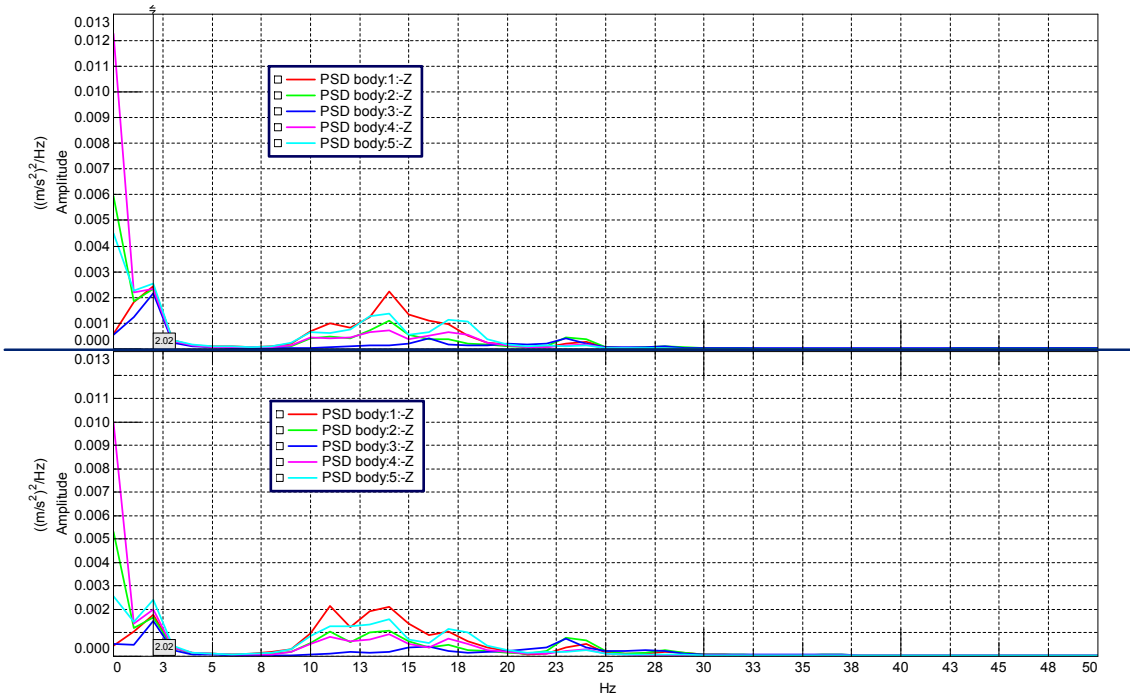


[그림 612]대차의 속도별(10Km, 20Km, 30Km) Lateral 가속도 응답

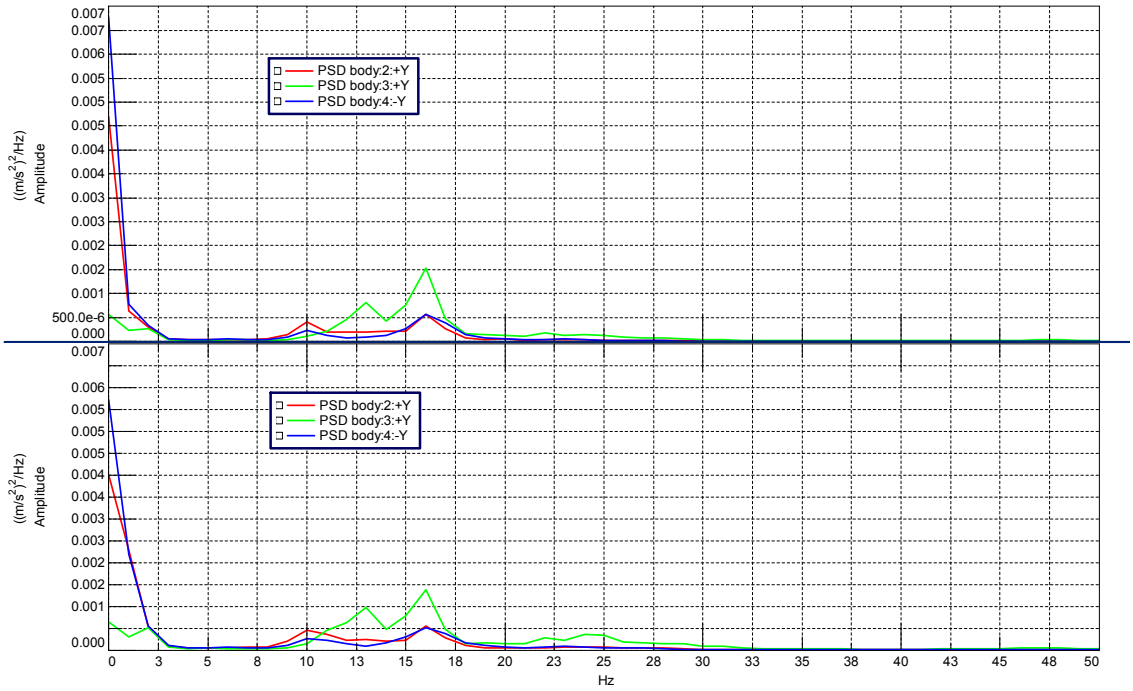


[그림 613]대차의 Vertical 진동형

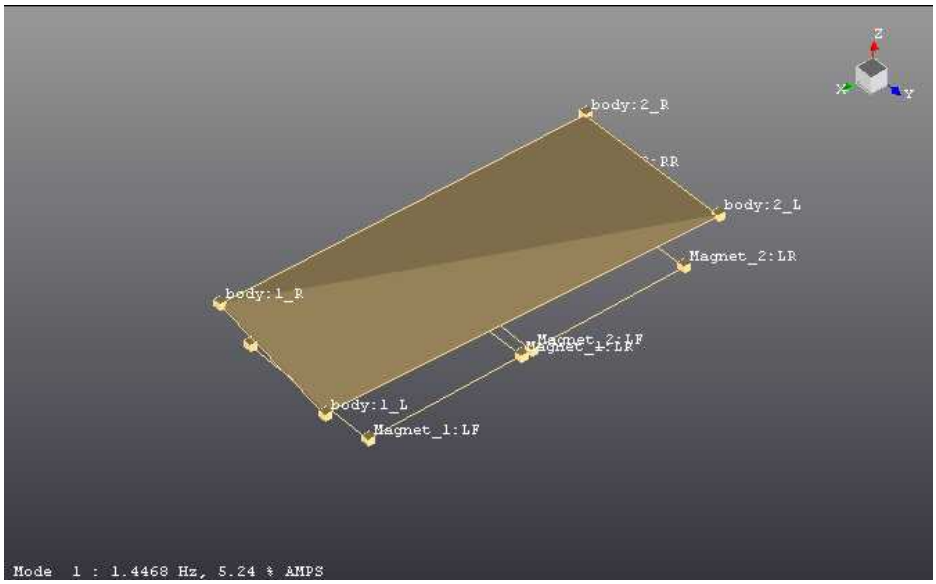
③차체 : 차체의 주요 진동수는 1.5, 11, 13, 15Hz 추정된다. 이러한 진동수는 대차와도 연성되어 있어 판단하기 어려운 면이 있다. 전체 차량 시험에서는 정상상태 조건을 만들어 엄밀한 진동특정이 요구된다.



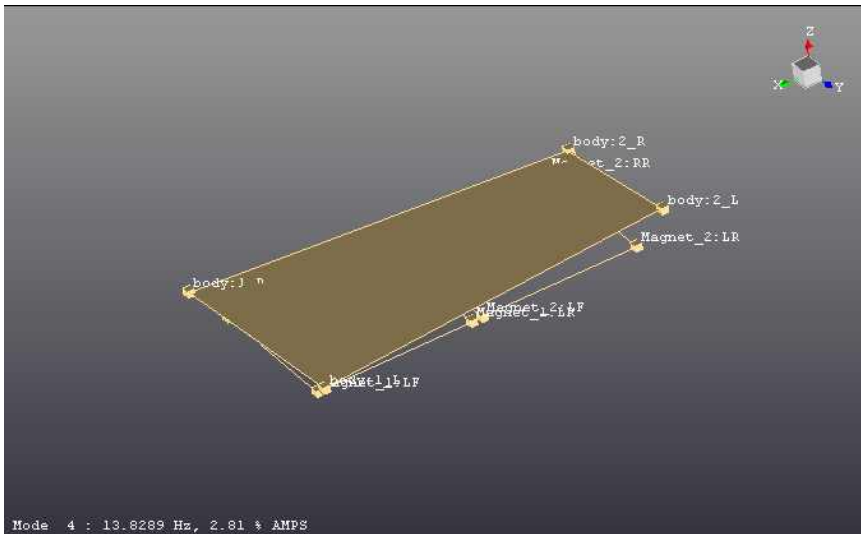
[그림 614]차체의 속도별(10Km, 20Km) Vertical 가속도 응답



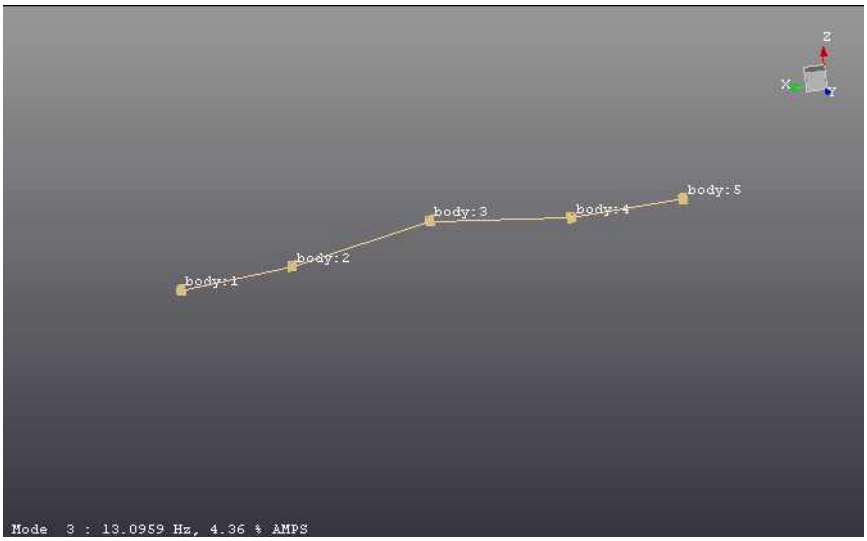
[그림 615]차체의 속도별(10Km, 20Km) Lateral 가속도 응답



[그림 616]차체 Bounce 모드



[그림 617]차체 변형 모드(추정)



[그림 618]차체 굽힘 모드(추정)

(8) 저크

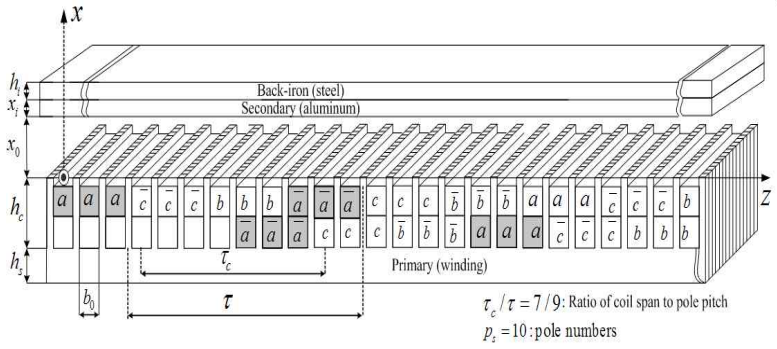
(가) 해석 기술 개발

구조가 단순하고, 유지보수가 용이한 직선형 유도전동기는 동력 변환 장치 없이 추진력을 직접 얻을 수 있으므로 직선 운동이 필요한 공장자동화 서보 시스템 및 반송 시스템에서 그 용도가 점차 증가되고 있으며, 동특성의 해석이 강조되고 있다. 이러한 직선형 유도전동기의 동특성 해석을 위해서는 정확한 등가회로정수를 계산하는 것이 중요하지만, 직선형 유도전동기의 구조상 등가회로정수를 계산하는 것은 상당히 어렵다.

본 절에서는 전자장 이론을 적용한 공간고조파법을 이용하여 직선형 유도전동기의 추력 특성과 1차측 등가회로 파라미터를 도출하였다. 2차측 등가회로 파라미터는 공간고조파법에 의한 추력 특성과 등가회로 해석법에 의한 추력 특성이 같아지도록 해석적 기법을 이용하였다. 또한, 직선형 유도전동기의 jerk 특성(급격한 가감속 특성)을 평가하기 위하여 V/F비 일정 제어시 가동자의 정격 속도를 고려한 동특성 시뮬레이션이 이루어졌으며 이를 바탕으로 jerk의 특성해석을 위한 가속, 정속, 감속의 운전패턴에 따른 동특성을 수행하였다

1) 직선형 유도 전동기의 동특성 해석

아래 그림은 특성 해석을 위한 모델의 기하학적인 구조로서 자기부상 열차의 차량 한 칸 최대 무게 20(ton)사용되는 직선형 유도 전동기를 보여주고 있다. 가동자는 치와 슬롯을 갖는 철심 코어에 회전자계를 위한 3상 권선이 구성되어 있으며, 고정자는 와전류 발생을 위한 알루미늄과 권선에 의한 자속밀도를 높이기 위한 철심 레일로 이루어져 있다. 이러한 직선형 유도 전동기의 설계 변수는 아래 표에 제시하고 있다. 표 3-1-46 에 있어서 인버터의 최대 상전압은 직류링크 전압 510(V)에 대해 3상 정현파 구동과 스위칭 소자의 전압 손실을 고려하여 240(V)로 계산되었으며, 상당 정격 전류는 코일의 단면적에 있어서 전류 밀도 4(A/mm^2)의 선정으로부터 212(A)로 얻어졌다. 또한 선형 기기의 극간격 τ를 고려한 입력 주파수인 동기속도는 식(1)과 같이 정의된다.



[그림 619]직선형 유도전동기의 해석 모델

[표 139]해석 모델의 설계 변수

파라미터	칫수
가동자의 정격 속도u_{rate}	$14[m/s]$
1차측 최대 상전압	$240[V]$
공극(x_0)	$11[mm]$
1차 철심폭 (l_L)	$200[mm]$
극수(p_s)	10
극간격(τ)	$180[mm]$
슬롯폭(b_0)	$14[mm]$
치폭	$6[mm]$
상당턴수	120
상당 슬롯당 턴수	4
코일단면적	$53[mm^2]$
코일간격	7슬롯/9슬롯
상당 정격 전류 i_{srate}	$212[A]$
알루미늄판 두께(x_i)	$6[mm]$
백아이런 두께(h_i)	$16[mm]$

$$u_s = 2\tau f_s \tag{1}$$

여기서, f_s는 권선의 입력 주파수이다. 따라서 직선형 유도전동기의 정격속도를 위한 슬립은 식 (2)와 같이 표현된다.

$$s = \frac{u_s - u_{rate}}{u_s}. \tag{2}$$

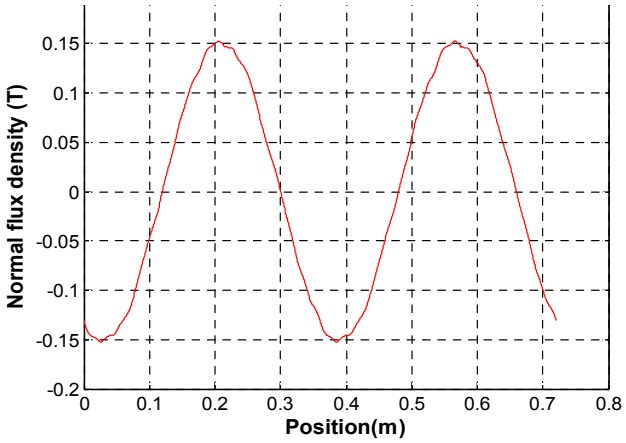
여기서, 슬립이 1은 정격속도가 0이므로 가동자가 정지했을 때를 의미하며 슬립이 0에 가까울수록 동기속도와 가동자의 정격 속도가 같음을 알수 있다.

유도전동기는 슬립과 입력 전류의 변화에 의해 추력이 변하는 특성을 가지

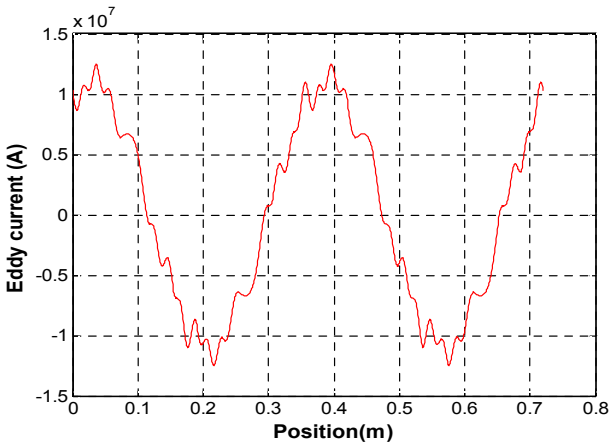
므로 식 (3)과 같이 일정한 전압과 주파수 비에 의한 V/F 제어 특성을 갖는다.

$$\alpha = \frac{V_m - V_0}{f_m - f_0} \tag{3}$$

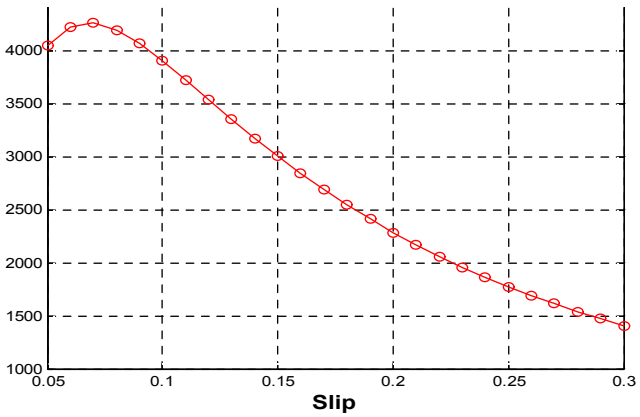
여기서, m은 최대값을, 0는 초기값을 의미한다.



[그림 620]슬립 0.12와 정격 입력시 알루미늄 표면의 수직 자속 밀도



[그림 621]슬립 0.12와 정격 입력시 알루미늄 표면의 와전류



[그림 622]정격 입력과 속도시 슬립에 따른 추력 특성

그림 311-126 은, 그림 3-1-125 의 해석 모델과 표 3-1-46 의 설계변수에 있어서, 가동속도 14(m/sec), 입력 전류 212(A)일 때의 전자계와 추력 특성을 각각 보여주고 있다. 그림 3-1-127 의 알루미늄 표면의 수직 자속밀도의 왜곡은 와전류에 의해 발생함을 볼 수 있으며, 알루미늄 표면의 와전류도 일정한 극간격을 유지함을 보여주고 있다. 또한 그림 3-1-128 은 정격 속도 시 최대 추력을 얻기 위한 슬립에 따른 추력 특성을 보여주고 있다.

회전형 유도전동기의 경우 유도전동기의 중성점이 외부에 연결되어 있지 않고, 각 상전압의 순시합이 0이라고 가정하면 임의의 속도 w로 회전하는 좌표축에서 고정자와 회전자의 dq축 전압 방정식은 식 (4)와 같다.

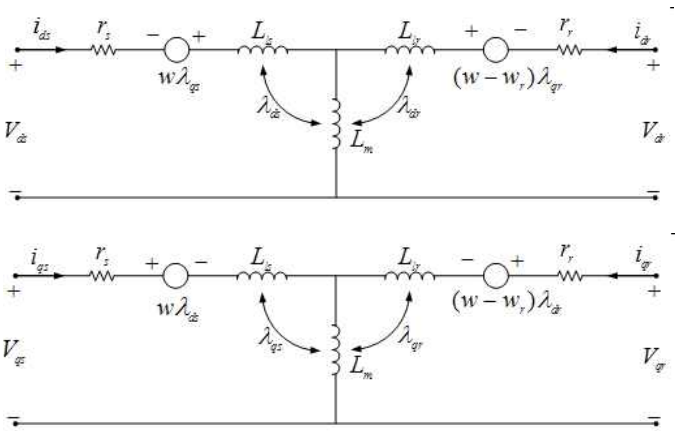
$$V_{ds} = r_s i_{ds} + P\lambda_{ds} - w_s\lambda_{qs} \tag{4.a}$$

$$V_{qs} = r_s i_{qs} + P\lambda_{qs} + w_s\lambda_{ds}$$

$$0 = r_r i_{dr} + P\lambda_{dr} - (w_s - w_r)\lambda_{qr} \tag{4.b}$$

$$0 = r_r i_{qr} + P\lambda_{qr} + (w_s - w_r)\lambda_{dr}$$

여기서, r_s, r_r은 고정자와 가동자의 상저항 값이며, P는 시간에 대한 미분 연산자이다. 또한 고정자와 회전자의 쇄교자속은 식(5)와 같이 표현된다.



[그림 623]유도전동기의 d-q 전압 방정식

$$\lambda_{ds} = L_s i_{ds} + L_m i_{dr}$$

$$\lambda_{qs} = L_s i_{qs} + L_m i_{qr} \tag{5.a}$$

$$\lambda_{dr} = L_m i_{ds} + L_r i_{dr}$$
$$\lambda_{qr} = L_m i_{qs} + L_r i_{qr} \quad (5.b)$$

식 (4)와 식(5)로부터 유도전동기의 추력 특성식은 식 (6)와 같이 계산된다.

$$T_e = \frac{3}{2}\frac{P}{2} L_m (i_{dr} i_{qs} - i_{qr} i_{ds}) \quad (6.a)$$

$$T_e = \frac{3}{2}\frac{P}{2}\frac{L_m}{L_r} (\lambda_{dr} i_{qs} - \lambda_{qr} i_{ds}) \quad (6.b)$$

$$T_e = \frac{3}{2}\frac{P_s}{2} (\lambda_{ds} i_{qs} - \lambda_{qs} i_{ds}) \quad (6.c)$$

여기서 식 (6.a)는 고정자와 회전자의 전류량으로 구한 토크식이며, 식 (6.b)는 고정자측 전류량과 회전자측 쇄교자속량으로 구한 토크식이다. 마지막으로 식 (6.c)는 고정자의 전류량과 쇄교 자속량으로 구한 토크식이다. 회전형 유도전동기의 토크식은 회전자의 주파수에 의해 표현되므로 직선형 유도전동기의 추력식은 주파수를 가동자의 속도로 식(1)을 이용하면 $w_s = u_s \pi/\tau$로 유도되며, 식 (4)에 있어서 동기 좌표계의 표현에 있어서 w_s가 0이라고 가정하면, 회전자와 고정자의 쇄교자속은 식 (7)과 같이 얻어진다.

$$\lambda_{ds}^{s} = \int_0^t (V_{ds}^{s} - r_s i_{ds}^{s}) dt \quad (7.a)$$

$$\lambda_{qs}^{s} = \int_0^t (V_{qs}^{s} - r_s i_{qs}^{s}) dt \quad (7.b)$$

$$\lambda_{dr}^{r} = \int_0^t (-r_r i_{dr}^{s} - w_r \lambda_{qr}^{s}) dt \quad (7.c)$$

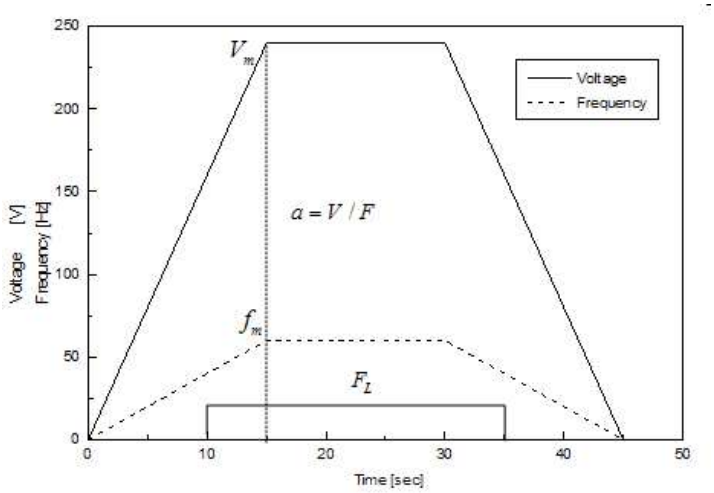
$$\lambda_{qr}^{r} = \int_0^t (-r_r i_{qr}^{s} + w_r \lambda_{dr}^{s}) dt \quad (7.d)$$

또한 이 계에 존재하는 운동방정식은 식 (8)와 같다.

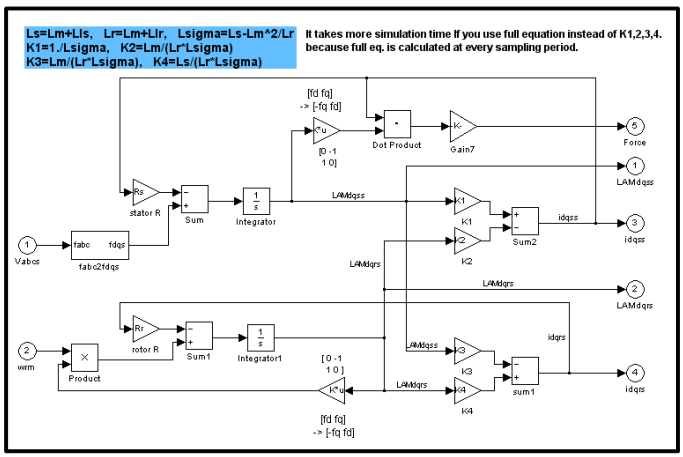
$$M\frac{du_m}{dt} + B_m u_m + F_L = F_e \quad (8)$$

여기서 M은 가동자의 질량이며, B_m는 마찰계수이고, F_L은 부하이다.

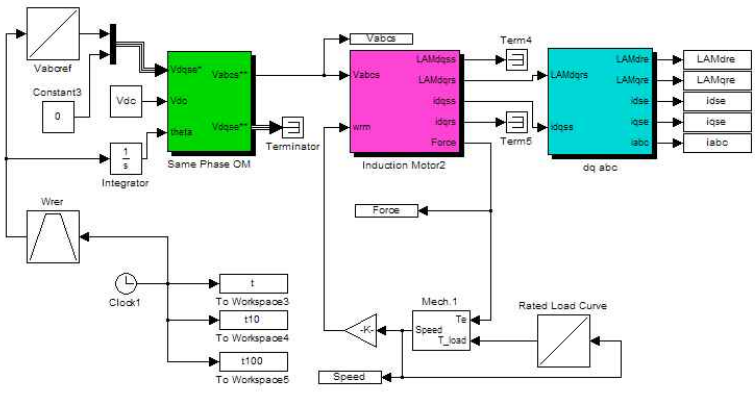
2) jerk의 특성 해석



[그림 624]직선형 유도전동기의 운행 조건



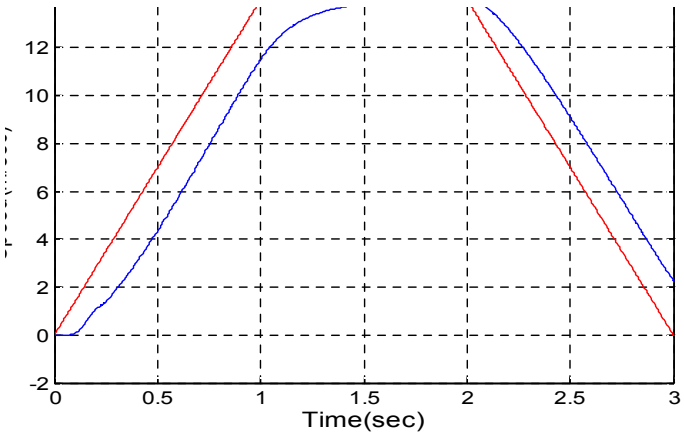
[그림 625]유도전동기 동특성 모델링



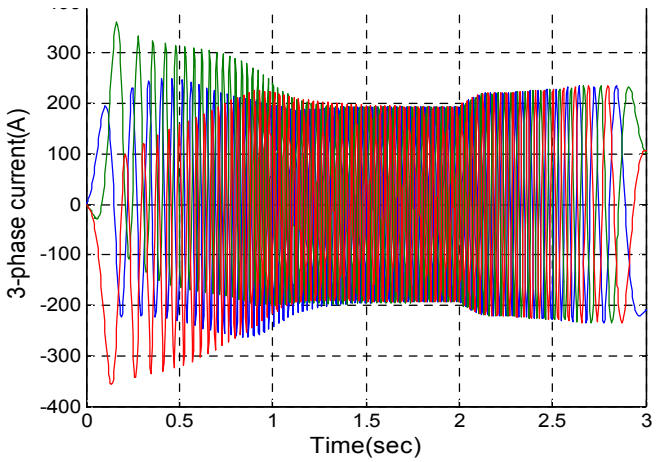
[그림 626]V/F 일정 제어 시뮬레이션

위 그림은 직선형 유도전동기의 일반적인 운전패턴을 보여주고 있다. 직선

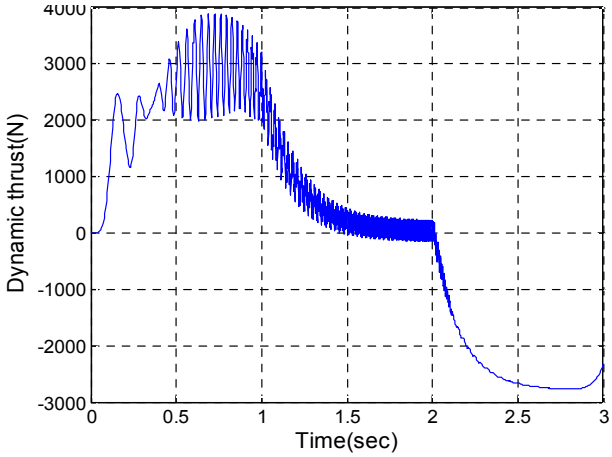
형 유도전동기는 일정한 전압에 있어서 주파수가 커질수록 추력이 감소하는 경향을 갖으며, 일정한 V/F의 비에 있어서 추력이 일정한 값을 갖음을 알 수 있다. 이러한 운전 패턴을 갖는 직선형 유도전동기의 자기부상열차의 적용에 있어서 그림 3-1-132 는 V/F의 일정한 비를 갖는 지령 속도와 운행시 부추력을 갖는 운행 조건을 보여주고 있다. 직선형 유도 전동기의 급격한 가속력과 외부의 왜란에 의한 추력의 변동은 승객 안정성에 많은 영향을 끼지며, 시스템 효율및 적용에 제한을 가져온다. 그러므로 가속력과 추력의 급격한 변동을 jerk로 규정하여 설계된 유도전동기의 동특성 시뮬레이션을 통해 설계된 유도전동기의 동특성을 본 논문은 제시하고 있다.



[그림 627]일정 V/F값을 갖는 지령 속도와 가동자 속도



[그림 628]동특성 시뮬레이션에 의한 전류 특성



[그림 629]동특성 시뮬레이션에 의한 추력 특성

위 그림은 (d-q)축 좌표계에서의 직선형 유도전동기의 동특성 시뮬레이션을 보여주고 있으며, 그림 3-1-135 은 일정한 V/F비의 지령과 부추력을 갖는 제어 시뮬레이션을 나타내고 있다. 그림 3-1-134 은 그림 3-1-133 의 V/F 지령치에 의한 가동자 속도를 보여주고 있다. 정격 속도 14(m/sec)를 위한 최대 상전압은 3상 정현파 구동 제어로부터 240(V)로 설정되어졌다. 그림 3-1-135 와 그림 3-1-136 은 입력 전압에 의한 3상 전류와 추력 특성을 보여주고 있다. 본 논문에 있어서 jerk 특성은 V/F 비에 의한 가속 계수만 단지 고려되어 졌다.

3) 결　　론

직선형 유도전동기의 jerk 특성해석을 위한 유도전동기의 동특성 시뮬레이션에 대해 다루고 있다. 동특성을 위한 회로정수는 전자계 특성 방정식과 동특성 모델링의 등가회로를 일치시킴으로서 얻어졌으며, jerk특성을 위한 유도 전동기의 제어특성은 V/F비에 의해 주어졌다.

(나) 개선

선형유도전동기에 의한 저크 및 동특성을 분석하기 위하여 1/2차량에 대한 동특성 시험을 수행하였다. 왼쪽 그림과 같이 1/2 차량을 제작하여 한국기계연구원 시험선에서 시험 중에 있다. 본 시험차량의 선형유도전동기는 오른쪽 그림과 같이 전형적인 선형유도전동기 구조를 갖는다. 주요 규격은 아래 표와 같다.



[시험용 1/2 자기부상 차량] [시험차량 선형유도전동기]

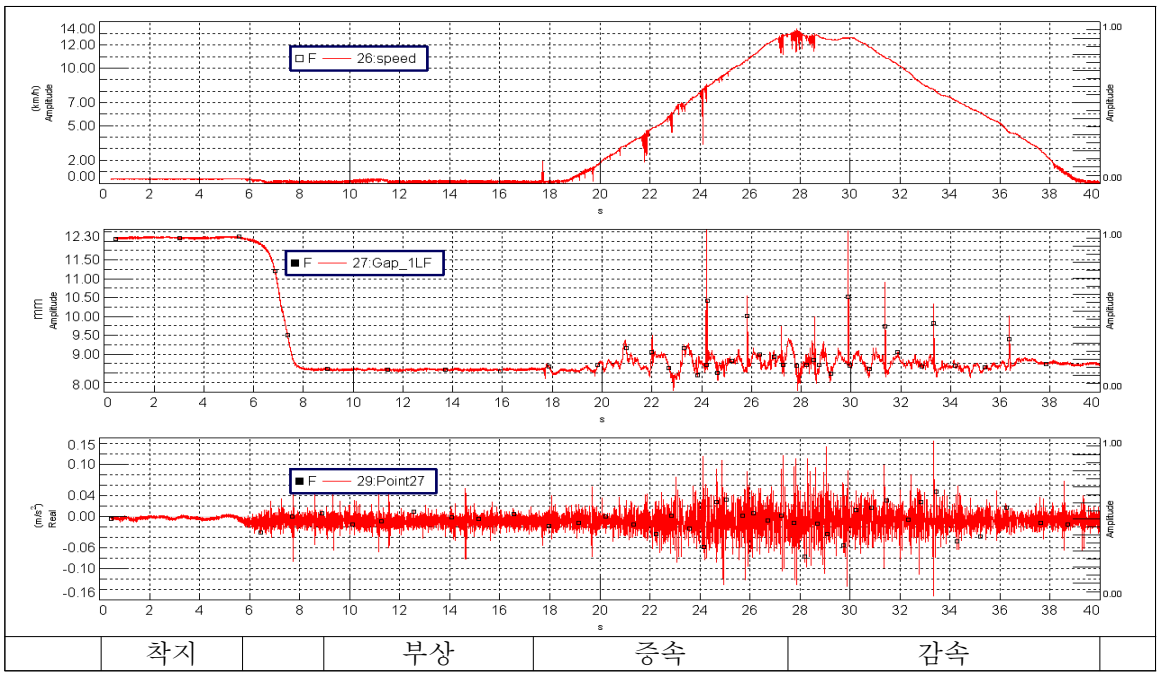
[표 140]선형유도전동기 주요 규격

극수	길이	추력	흡인력	전류
8	2,476	12,697[N]	24,032[N]	195.5[A]

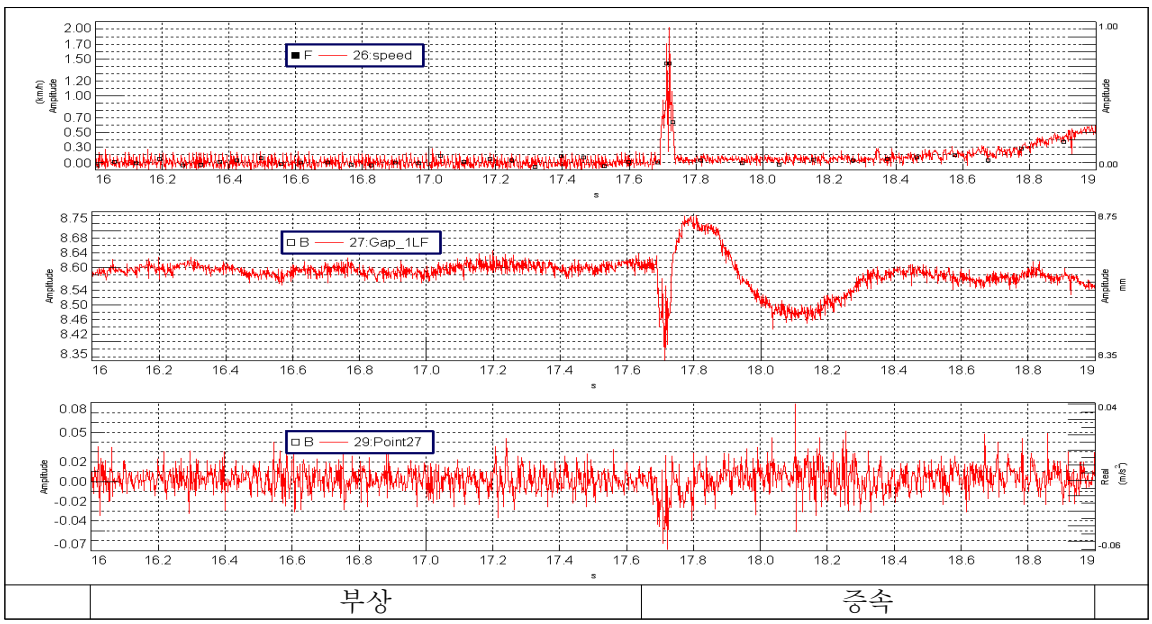
선형유도전동기의 가동에 따른 부상공극 변동을 실험적으로 분석하기 위하여 오른쪽 그림과 같이 계측 장치를 구성하였다. 계측 항목은 모든 전자석의 부상공극, 대차 수직 가속도 및 차량 속도이다. 신호 취득은 LMS Test.Lab을 이용한다. 시험 과정은 시험선에서 가속-감속으로 이루어진다.

아래 그림은 선형 유도 전동기 가속에 의한 속도, 부상공극, 전자석 수직 가속도 값을 보여주고 있다. 본 차량의 공칭 부상공극은 8mm이다. 실제 주행 중에는 가이드웨이의 불규칙도를 비롯한 각종 외란에 의하여 부상공극 변동이 항상 존재한다. 아래에서 볼 수 있듯이 정지상태에서 가속시 부상공극은 변동을 일으킨다. 이런 변동은 물론 다양한 외란에 의하여 발생하지만 정지상태에서 출발하기 때문에 선형유도전동기의 흡인력과 차량의 관성에 의하여 주로 발생할 것이다. 변동의 크기는 ±0.25mm로 공칭공극의 0.03% 임을 알 수 있다. 그리고, 다음 그림은 가속구간의 변화를 세부적으로 보여주고 있다. 이때의 변동은 공칭 공극을 유지한다. 결과적으로 시험용 1/2자기부상 차량에서는 선형 유도전동기의 흡입력이 부상공극 변화에 큰 영향을 주지 못한다. 이러한 변동의 크기는 선형유도전동기의 슬립주파수 제어값에 의해 추진력, 흡인력이 변화한다. 또한 부상공극 제어기에 의하여 결정될 것이다. 일반적으로 제어기는 부상공극, 부상공극 속도, 전자석 수직가속도, 전자석 수직 속도, 전자석 수직 위치 상태를 이용할 수 있다. 각 상태에 대한 게인의 상대적 크기를 설정하여 선형유도전동기에 의한 부상공극 변동을 제한할 수 있다. 이상과 같이 선형유도전동기의 가동시에 부상공극 변동의 크기를 실험에 의하여 분석하였다. 그

결과 현재 개발 중인 차량의 정지 상태에서 1.5㎨로 가속시 공칭 부상공극의 약 0.03% 의 변동을 갖는 것을 알 수 있다. 이러한 크기는 최대 허용 가능한 부상공극 변동 크기내의 작은 값으로 부상공극 변동에 큰 영향을 주지 못한다. 슬립 주파수 제어가 적절하게 설정되어 LIM 추진시의 흡입력은 부상제어기의 제어 범위에 있었다. 본 연구는 이러한 과정에 있어서의 실제 응답을 실험에 의하여 분석함으로 정량적으로 부상제어기의 게인을 최적화하는데 이용될 수 있다.



[그림 630]LIM 추진시 속도, 부상공극, 수직 가속도 응답



[그림 631]LIM 추진 시작시 속도, 부상공극, 수직 가속도 응답(확대)

나. 승객안전성 개선

승객 안전성 개선은 2-1과제에서 2,3차년도에 수행되고 있다. 2-3과제에서는 1차년도에 수행된 내용만을 소개한다. 별첨에 상세한 내용이 기술되어 있다.

(1) 설계 규정 및 연구사례분석

(가) 연결 및 충돌관련 차체설계 기준 조사 분석

압축강도 설계기준 (Design criteria)

1) 유럽(EN12663)

-중 전 철 : Coupler 취부의 압축하중 50ton 에서 재료의 항복 응력 이내

-경 전 철 : Coupler 취부의 압축하중 40ton 에서 재료의 항복 응력 이내

-노면전철 : Coupler 취부의 압축하중 20ton 에서 재료의 항복 응력 이내

2) 미국(CFR)

-통근열차 : Coupler 취부의 압축하중 91ton(200,000lbs) 에서 항복 응력 이내

-경 전 철 : Coupler 취부의 압축하중 40ton(90,000lbs) 에서 항복 응력 이내

3) 일본(JIS)

-지하철 : Coupler 취부에 압축하중 50-35ton 하여 재료의 항복 응력 이내

-경전철 : Coupler 취부에 압축하중 20ton 하여 재료의 항복 응력 이내

4) 국내 도시철도차량표준사양

-철재차륜 : Coupler 취부에 압축하중 50ton 하여 재료의 항복 응력 이내

-고무차륜 : Coupler 취부에 압축하중 35ton 하여 재료의 항복 응력 이내 (반송선)

성능기준 (Performance criteria)

○ 국외

1) 유럽(EN15227)

○ 동일 열차와 충돌

-경 전 철 : 상대속도 36kph(ATP 있는 경우 25kph 가능) 충돌에서 생존공간 보호

-노면전철 : 상대속도 36kph 충돌에서 생존공간 보호

-연결충돌 : 상대속도 5-10kph에서 구조에 영구변형 발생하지 않을 것

○ 거대 장애물과 충돌

-경 전 철 : 40kph로 16ton 변형장애물과 충돌에서 생존공간 보호

-노면전철 : 40kph로 3ton 강체와 충돌에서 생존공간 보호

2) 미국(Federal Transit Administration): HSST100S 경우

-연결충돌 : 상대속도 5kph에서 구조에 영구변형 발생하지 않을 것

-충돌사고 : 동일열차와 상대속도 40kph 충돌에서 생존공간 보호

3) 일본(JIS)

-연결충돌 : 상대속도 5kph에서 구조에 영구변형 발생하지 않을 것

○ 국내

1)도시철도차량 안전기준(2000.2)

-제 21조 : 승객 및 운전자 보호 조항

-제 22조 : 동일열차와 상대속도 20kph 충돌에서 단부 공간 우선 압괴 조건

-제 23조(연결충돌) : 상대속도 5kph 충돌에서 구조에 영구변형 발생하지 않을 것

2)철도안전법/ 철도차량 안전기준(2007.7.7)

-제 15조(4) : 충돌안전 위험도 분석을 실시하여야 함

-제 16조 : 철도차량의 표준충돌사고 각본 만족을 입증해야 함

철도차량안전기준 16조 조사 분석

표준충돌사고각본

○ 도시형 자기부상 열차는 제 16조 세칙에서 제 3종 차량(전용노선 도시철도차량)에 해당됨

○ 정면충돌사고 각본 -> 개별 차량의 에너지 흡수성능

-동일 열차와 25kph 정면충돌

○ 대형장애물 충돌사고 각본 -> 전두부의 에너지 흡수성능

-40kph로 15톤 표준변형 장애물과 충돌 (위험도 없음 입증시 감면 가능)

○ 소형장애물 충돌사고 각본 -> 배장기의 충돌 성능

-열차운행속도로 표준소형장애물과 충돌을 가정한 상당 정적하중 크기로 정의

충돌안전 성능평가

○ 평가 방법

-실물 열차시험뿐만 아니라 부품시험과 시뮬레이션을 조합한 방법도 허용

-신규 제작된 차량 경우 전두부 및 단부 검증시험 요구(공인 가능한 타 방법 가능)

-조합검증 방법의 경우 재료특성, 장치 및 부재시험, 최종 차량시뮬레이션 포함

평가항목 및 판단기준

○ 타고오름 현상 방지 : 40mm 수직 off-set 충돌에서 최소 1윤축이 선로와 접촉(자기부상열차의 경우 위험도 없음을 입증하면 감면 가능)

○ 생존공간 유지: 운전실 경우 원래의 80% 이상 또는 0.75m 길이와 폭 유지

-객실의 경우 객실길이의 1% 이하 변형 허용

-승하차 구역의 경우 원래 길이 30% 및 300mm 이상

○ 충돌에너지 분산 흡수: 충돌에너지는 에너지 흡수구조 및 장치에서 순차적이고 체계적으로 계획되어 흡수

○ 충돌감속도: 승객 탑승공간의 평균 충돌감속도는 5g 이하, 최대 충돌 감속도는 7.5g 이하

○ 소형장애물 충돌 에너지 흡수: 정적강도 조건, 변형형상 조건, 에너지 흡수조건 등이 만족되어야 함

(2) 연결 및 충돌 안전도 설계관련 권고사항

압축강도 설계기준 (Design criteria)

○ 국내도시철도차량 기준 : 50ton -> 과도한 수준

○ 도시형 자기부상 열차의 경우 : 20ton 또는 정의하지 않음(현재 규정 작업중이므로 적절한 방안을 반영하여야 함/철도연 홍재성 박사) -> 경량화 가능

성능기준 (Performance criteria)

○ 국내도시철도차량 안전기준: 의무조항

-제 21조 : 승객 및 운전자 보호 조항(선언적 조항)

-제 22조 : 동일열차와 상대속도 20kph 충돌에서 비탑승 공간 우선 압괴 조건

-제 23조(연결충돌) : 상대속도 5kph 충돌에서 영구변형 발생하지 않을 것

○ 철도안전법/철도차량안전기준(2007.7.7일자 고시) : 의무조항

-제 15조(4) : 충돌안전 위험도 분석을 실시하여야 함

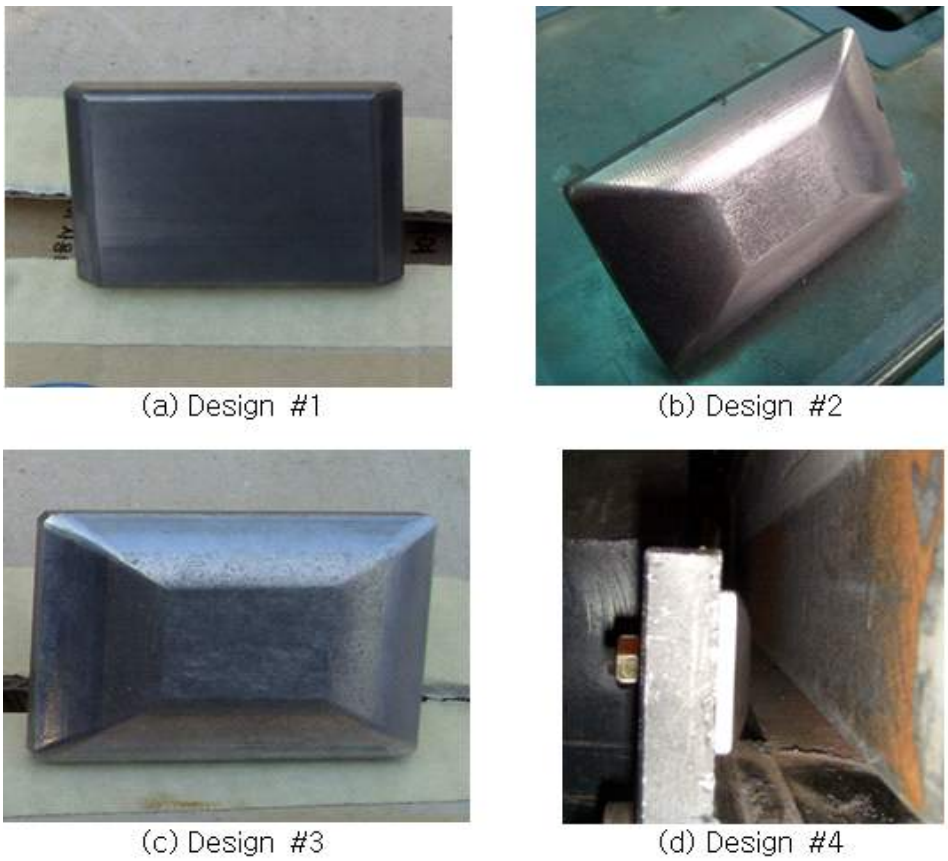
-제 16조 : 철도차량의 표준충돌사고 각본 만족을 입증해야 함

○ 기타 : 차체 하부와 충돌하는 소형 장애물 고려 검토 필요

(3) 차량안전성 향상방안 도출

1) Lateral skid 개선

Lateral skid를 개선하기 위하여 시험차량에서 아래 그림과 같은 4개의 lateral skid를 제작하여, 그 성능을 검토하였다.



[그림 632]Lateral skid 설계

[표 141]Lateral skid 검토

Designs	특성	결과
Design #1	소재: 초경합금 기존 형상에서 모따기 처리된 부분에 추가 라운딩 가공	부상상태에서는 무리 없이 곡선과 직선 구간 통과 하였으나, 착지 상태에서 공기 스프링에 공기가 빠졌을 시 어떤 기구를 이용하더라도 차량을 끌 수 없는

		상태. (공기 스프링에 공기가 찼을 시 와이어를 이용하여 차량 이동)
Design #2	소재: 주철 재륜자 전후(R50), 좌우(R20) 부분 라운딩 처리. 기존 대비 Rail과 접촉 면적을 줄였음.	#1~#3 design은 두께가 모두 10mm. Rail의 상대 접촉 면간 air gap이 15mm로 차량이 곡선 주행시 대차 frame과 rail간 간섭 발생
Design #3	소재: Oiless2000 기존 design 대비 Rail과 Lateral Skid간 마찰계수를 줄이고자 고체 오일이 소결된 소재(소결층 약 2mm)	Lateral Skid 상대 접촉 면이 제동 슈의 접촉 면과 동일한 지점으로, 이 소재를 사용할 경우 제동역할이 어려움
Design #4	소재: 주철 재륜자 Rail과 접촉면 형상은 위 #3과 동일, 두께를 10mm에서 15mm로 키움으로 Lateral Skid와 Rail간 Air gap을 15mm에서 10mm 로 줄임	Design#4의 형상의 lateral skid로 시험차량에서 lateral skid의 요구성능을 만족하는 것을 확인하였음. 4차년도 1편성 차량시험을 통해, lateral skid의 내마모성, 레일공격성, 내충격성의 기능을 향상시키기 위한 개선 및 검증은 지속되어야 함

(라) Emergency landing wheel 요구사양

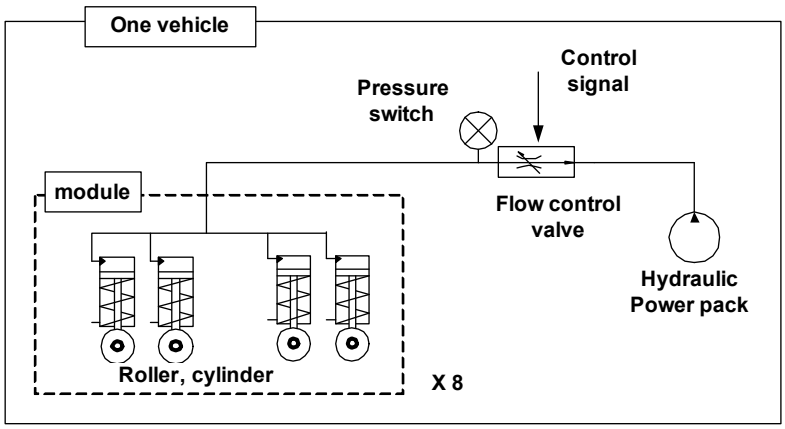
1) 시스템 일반

-roller, cylinder

-flow control valve

-hydraulic power pack

-그외 장치



[그림 633]비상착지륜 유압시스템 구성도

2) 설계 요구사양

-외기조건 : -25 ~ 40 ℃

-강우량 : 최대 500mm/1일

-먼지, 눈, 염분(해안 운행)에 대한 대비책이 충분히 고려.

[표 142]비상착지륜 요구사항

item		requirement	remarks
Rolloer,cylinder			형상: 첨부자료참조
	roller	주행속도 : 25km/h 최대 정하중 : 1 ton / roller 최대 동하중 : 1.5 ~ 2 ton / roller Roller 직경 : about 72mm 수량 : 4 ea / module, 32 ea/vehicle	구원속도 만차조건
	cylinder	Stroke : 8~10mm inner dia. Of cylinder : 약 50mm	
Control valve		Input signal : DC 100V. on-off 수량 : 1 ea/vehicle	
Power pack		Input : DC 330 (± 30%) 수량 : 1 set/vehicle 특성 : 경량 모델.	

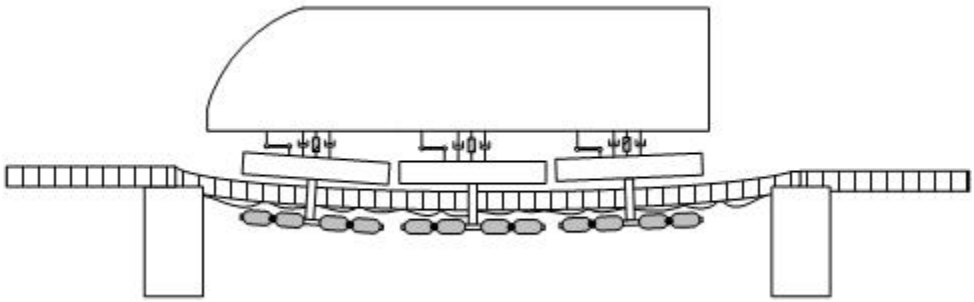
나. 가이드웨이 설계개선 요구사항 정립

(1) 차량/궤도 동적상호작용 기술 개발

부상공극 변동은 다양한 외란에 의하여 발생하는데 자연환경 조건을 제외하면 가이드웨이의 처짐, 표면 조도 및 가이드웨이 진동에 의하여 주로 결정된다. 가이드웨이의 표면 조도와 처짐을 줄일수록 부상 공극 변동과 승차감에는 긍정적이다. 반면에 가이드웨이 건설 및 유지보수 비용이 증가한다. 가이드웨이 건설비용을 줄이기 위해서는 부상 안정성, 승차감과 같은 주행성능을 확보하면서 가이드웨이의 유연성과 표면 조도 한계를 크게 하는 것이 추천된다. 그러므로 부상 안정성과 승차감을 확보하면서 가이드웨이 건설비용을 최소화하기 위한 자기부상열차 시스템의 최적 설계는 매우 중요한 기술적 사안이라고 할 수 있다. 특히, 실용화 및 상용화를 위한 자기부상열차 시스템 개발에 있어

서는 더더욱 중요하다.

본 사업에서도 상기에서 언급한 관점에서의 목표를 달성하기 위하여 부상 안정성 해석을 통하여 차량과 가이드웨이의 최적 설계가 요구되고 있다. 단순 모델에 의한 시간역, 주파수역에서의 일반적 부상 안정성 해석 방법은 이미 알려져 있다. 또한 ODE(상미분방정식) 형태의 운동방정식을 이용한 동특성 해석 기술도 여러 연구자들에 의하여 제안되었다. 그러나 본 연구에서 소개하는 5개의 관측 상태변수 궤환 제어기를 채택하는 자기부상열차에 대한 단순모델이 아닌 DAE(미분대수방정식) 구조의 다물체 동역학 차량모델 기반의 주행 안정성 해석 사례는 부족하다고 할 수 있다. 특히, 부상 제어기 알고리즘에 따라서 부상 안정성 척도인 부상 공극 응답이 다르기 때문에 관측 상태변수 5개의 궤환 제어기 차량에 대한 부상 공극을 분석할 필요가 있다.



[그림 634]Maglev vehicle/guideway model

위 그림은 개발된 해석 모델을 보여주고 있다. 차량을 구성하는 물체, 조인트, 힘 요소들은 식(1)～식(4)으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{M} & \boldsymbol{\Phi}_{\boldsymbol{q}}^{T} \\ \boldsymbol{\Phi}_{\boldsymbol{q}} & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\boldsymbol{q}} \\ \boldsymbol{\lambda} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \boldsymbol{Q} \\ \boldsymbol{\gamma} \end{Bmatrix} \tag{1}$$

$$\boldsymbol{\Phi}(\boldsymbol{q},t) = [\Phi_1(\boldsymbol{q},t),..,\Phi_m(\boldsymbol{q},t)]^T = \boldsymbol{0} \tag{2}$$

$$\boldsymbol{\Phi}_{\boldsymbol{q}}\dot{\boldsymbol{q}} = -\boldsymbol{\Phi}_t \equiv \boldsymbol{\nu} \tag{3}$$

$$\boldsymbol{\Phi}_{\boldsymbol{q}}\ddot{\boldsymbol{q}} = -(\boldsymbol{\Phi}_{\boldsymbol{q}}\dot{\boldsymbol{q}})_{\boldsymbol{q}}\dot{\boldsymbol{q}} - 2\boldsymbol{\Phi}_{\boldsymbol{qt}}\dot{\boldsymbol{q}} - \boldsymbol{\Phi}_{\boldsymbol{tt}} \equiv \boldsymbol{\gamma} \tag{4}$$

여기서,

$\boldsymbol{q}(t)$: position

$\dot{\boldsymbol{q}}(t)$: velocity

$\ddot{\boldsymbol{q}}(t)$: acceleration

$\boldsymbol{M}(t)$: mass matrix

$\boldsymbol{\Phi_q}(t) \equiv [\partial \Phi_j / \partial q_i]_{m \times n}$: constraint Jacobian

$\boldsymbol{Q}(t)$: external force

$\boldsymbol{\lambda}(t)$: Lagrange multiplier

이러한 운동 방정식은 ODYN/Maglev에서 자동적으로 생성하고 해를 구한다. ODYN/Maglev는 공간 운동방정식을 사용하지만 유연 가이드웨이 모델이 평면 운동이기 때문에 차체와 대차의 자유도 중 평면 병진 자유도와 하나의 회전 자유도 이외에는 구속시켰다. 향후 공간적 유연 가이드웨이 모델이 이용된다면 차량은 당연히 공간적으로 표현가능하다.

가이드웨이는 교각으로 지지되며 거더는 콘크리트나 강으로 제작된다. 본 논문에서는 이러한 가이드웨이를 모델하기 위하여 그림 3-3-2 에서와 같은 전통적인 Euler-Bernoulli 빔 모델을 적용한다. 결과적인 Euler-Bernoulli 빔 모델의 한 요소에 대한 운동방정식은 식(5)과 같다.

$$[\boldsymbol{M}]_e \ddot{\boldsymbol{v}}_e + [\boldsymbol{C}]_e \dot{\boldsymbol{v}}_e + [\boldsymbol{K}]_e \boldsymbol{v}_e = \boldsymbol{P}_e \tag{5}$$

여기서,

$\{\boldsymbol{v}\}_e = [u_1, v_1, v_2, u_2, v_3, v_4]_e^T$:

nodal coordinate

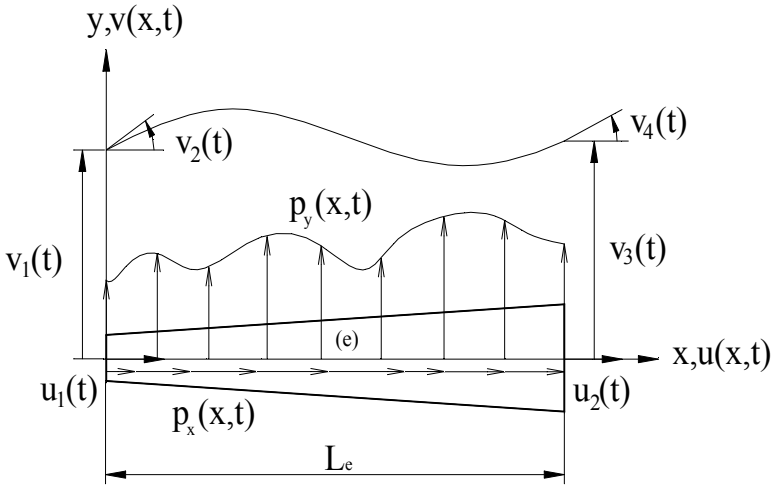
$\{\boldsymbol{P}\}_e = [P_{u_1}, P_{v_1}, P_{v_2}, P_{u_2}, P_{v_3}, P_{v_4}]_e^T$: nodal force

$[\boldsymbol{M}]_e$: element mass matrix

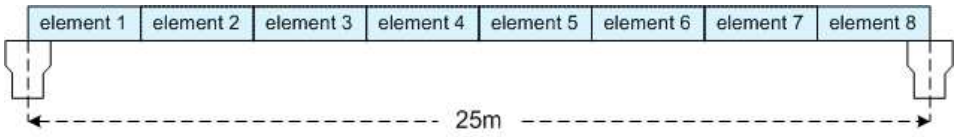
$[\boldsymbol{K}]_e$: element stiffness matrix

$[\boldsymbol{C}]_e = a[\boldsymbol{M}]_e + b[\boldsymbol{K}]_e$: element damping matrix

차량은 아래 그림과 같은 단위 가이드웨이가 다수로 구성된 가이드웨이를 주행한다. 아래 그림에서 요소의 수는 계산의 효율과 해의 정확도에 영향을 미치는데 반복적 해석 결과와 자기부상열차에서의 주 관심 주파수가 50 Hz 이하이기 때문에 25 m 길이의 가이드웨이를 8개의 요소로 모델 하였다. 표면 조도는 아래 그림에 부가되어 차량과 상호작용이 이루어진다.



[그림 635]Euler-Bernoulli beam



[그림 636]Guideway FE model

전 절에서 설명한 자기부상 제어기, 차량 및 유연가이드웨이 운동방정식은 모두 연성되어 있기 때문에 연성 운동 방정식을 구성하고 수치 해석적으로 연성 운동방식의 해를 구하게 된다. ODYN/Maglev에 의한 차량/가이드웨이 연성 운동방정식은 미분대수방정식(Differential-algebraic equations) 형태를 갖으며, 안정성이 뛰어난 일반좌표 분리법(Generalized coordinate partitioning algorithm)을 적용한다. 일반좌표분리법을 응용한 연성 운동방정식의 수치해석 알고리즘의 흐름을 그림 635에서 보여주고 있다. 그림 635에서의 주요한 사항에 대해서만 설명하면 다음과 같다.

(1) 초기치 $t_0, \boldsymbol{q}(t_0), \dot{\boldsymbol{q}}(t_0)$을 이용하여 차량의 조립여부를 평가한다.

(2) $\boldsymbol{\Phi}_{\boldsymbol{q}}(t_0)$의 rank을 구하여 잉여구속 존재 여부를 평가한다.

(3) $\boldsymbol{\Phi}_{\boldsymbol{q}}(t_0)$을 분해하여 $\boldsymbol{q}=[\boldsymbol{u},\boldsymbol{v}]^{\boldsymbol{T}}$을 독립좌표 $\boldsymbol{v}$와 종속좌표 $\boldsymbol{u}$로 분리한다. 이 분리된 좌 표 집합은 수치적 불안정이 일어날 때까지 유지되며, 수치적 불안정이 일어나면 재 분해를 실시하여 새로운 독립좌표와 종속좌표 집합을 구한다.

(4) Newton-Raphson을 식(2)에 적용하여 종속좌표 $\boldsymbol{u}(t_{i+1})$에 대한 해를

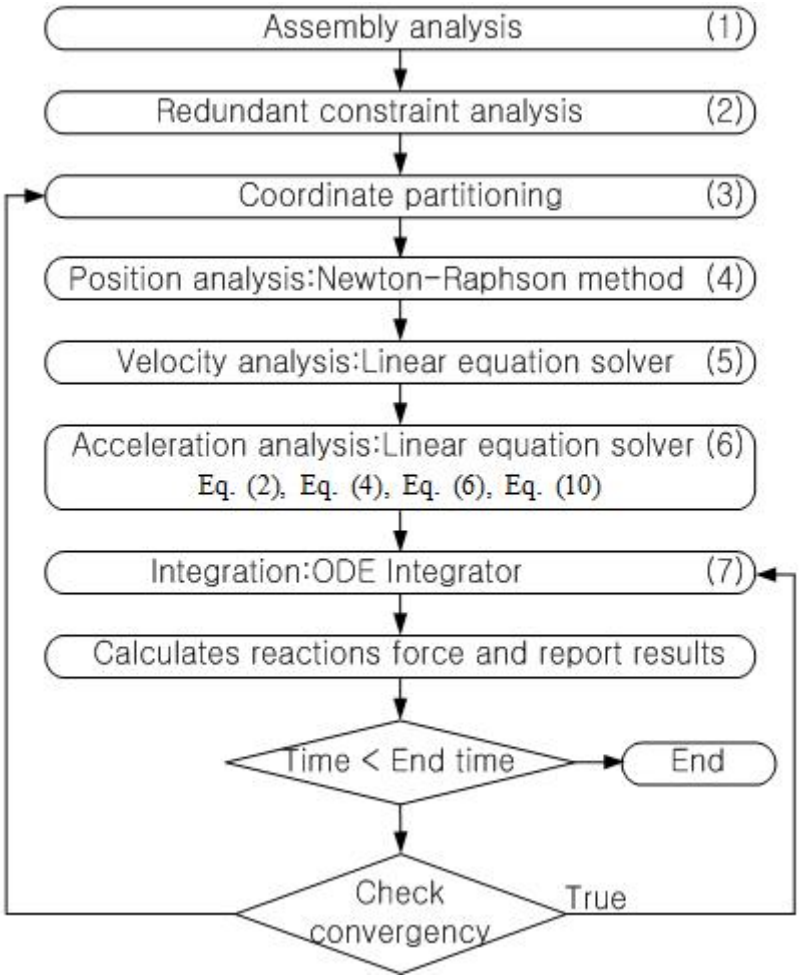
$\Phi(u,v,t)=0$으로부터 구한다. (v: fixed)

(5) 식(3)을 이용하여 종속좌표 속도 $\dot{u}(t_{i+1})$에 대한 해를 $\Phi_q\dot{q}(\dot{u},\dot{v})=-\Phi_t$으로부터 구한다. ($\dot{v}$: fixed)

(6) 임의의 시간 t_i에서 가속도, 전류방정식, 제어기 식을 연립하여 해를 구한다.

(7) ODE 수치적분법을 이용하여 수치 적분을 수행한다.

이 프로그램에 대한 상세한 설명 및 검증은 별첨 자료를 참조바란다.



[그림 637]Numerical analysis flow of the ODYN/Maglev

(2) 가이드웨이 진동특성 규명

1) 기존 궤도 진동 특성

가이드웨이 진동 특성의 주행성능과의 관계를 규명하고 주행성능 해석 입력 자료를 확보하기 위하여 국내에 설치된 가이드웨이의 진동 특성 실험을 실시하였다. 현재, 기계연에 5종, 대전중앙과학관에 5종이 각각 설치되어 있다. 진동 실험에 의하여 주요 진동 모드 특성치를 획득하였다. 그 결과는 다음 표와 같다.

[표 143]기계연 시험선

Type	1차 모드		2차 모드		3차 이상
	고유진동수 (Hz)	감쇠비 (%)	고유진동수 (Hz)	감쇠비 (%)	고유진동수(Hz)
Type 1	7.4	1.22	9.5	3.79	43.4, 47.7, 57.2, 66.8, 71.0, 76.3, 79.5, 90.1, 95.4
Type 2	9.2	1.84	12.8	3.72	48.35, 67.9, 78.7, 79.73, 83.3, 86.9, 98
Type 3-1	28.4	1.84	48.1	0.66	50.2, 61.2, 83.0, 97.3
Type 3-2	13.5	2.91	34.5	1.51	45.0, 55.5, 64.5, 74.2, 81.0, 88.5, 93.8, 95.3, 97.5
Type 3-3	21.2	2.18	24.1	1.7	60.9, 66.7, 72.5, 79.3, 90.9
Type 4	7.5	4.06	11.2	3.78	48, 60.0, 63.7, 73.5, 81.0 85.5, 88.5, 93.0, 96.0
Type 5	13.3	2.93	16.6	2.64	28.6, 36.0, 42.7, 53.3, 56.0, 62.0, 66.0, 81.4, 86.7, 92.7, 100.1

[표 144]과학관 시험선

가이드웨이	1차 고유진동수(Hz)	감쇠비
Type 1 : 19.2 m	9.4	0.03
Type 2 : 18 m	11.1	0.02
Type 3 : 25 m	7.2	0.02
Type 4 : 22.5 m	9	0.01
Type 5 : 55 m	2.9	0.01

실험 결과 2개소의 시험선을 구성하는 가이드웨이의 1차 고유진동수는 약 7 ~ 14 Hz에 분포하였다. 감쇠비는 약 1 ~ 4%에 분포하였다. 이러한 실험 결과는 주행성능 해석시 입력 자료로 사용된다.

기존 가이드웨이에 대한 진동해석을 수행하였다. 이 결과는 시험결과 분석에 이용된다. 또한 주행성능 해석 입력 자료 획득과 실험 결과의 검증에 목적이 있다. 대상이 되는 가이드웨이는 위 표와 같다. 위 표는 정규진동모드 해석 결과를 보여주고 있다. 해석 결과는 시험결과와도 유사한 결과를 나타냈다.

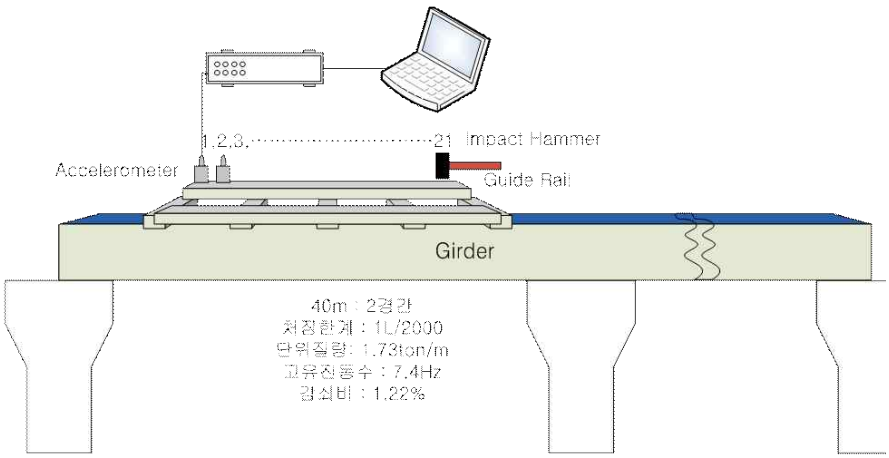
[표 145]가이드웨이별 물성치

구분	구조	물성치				
		E (N/m^2)	ρ (kg/m^3)	A (m^2)	I (m^4)	추정질량(kg)
Type 1	40m 2경간 steel girder	2.1e11	19579	0.0921	0.02009	72200
Type 2	35m 2경간 steel girder	2.1e11	19369	0.0931	0.02209	63175
Type 3	35m 3경간 steel girder	2.1e11	20013	0.0901	0.01641	63175
Type 4	25m 단경간 PC girder	3e10	2805	1.244	0.64673	87250
Type 5	30m 2경간 steel girder	2.1e11	18867	0.0956	0.02670	54150

[표 146]정규모드 해석결과

구분	진동모드		
	1차	2차	3차 이상
Type 1	5.9884	9.3509	23.766, 30.053, 52.806, 61.902, 92.338
Type 2	8.1926	12.790	32.404, 40.959, 71.596 83.868
Type 3	13.563	25.422	29.796, 49.546, 83.868, 94.981
Type 4	5.8481	23.035	50.610, 87.302
Type 5	12.230	19.087	48.059, 60.702

2) 가이드 레일 진동 특성



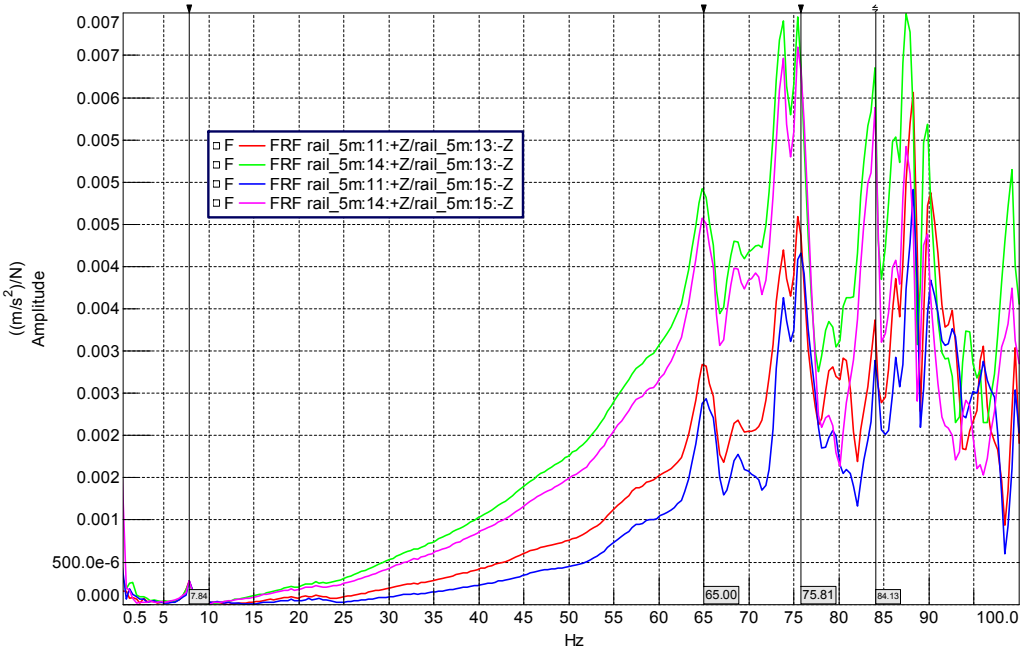
[그림 638]가이드레일 진동특성 시험

Type 1의 40m 2경간 선로위에 5m가이드 레일에서의 진동특성을 알아보기위해 위 그림과 같이 레일에 가속도 센서를 부착하고 Impact Hammer로 0.25m 간격으로 21포인트를 가진하여 결과를 정리하였다.

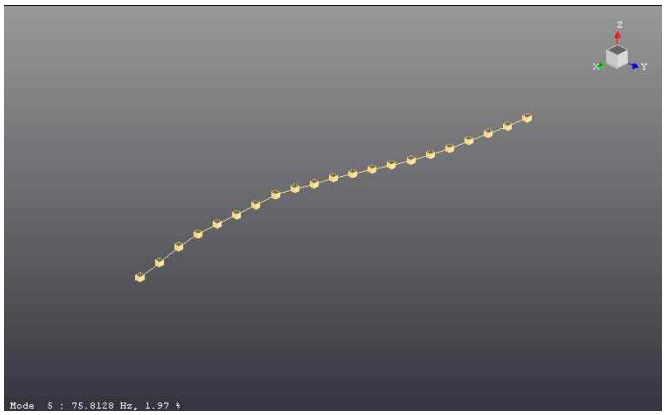
7.8Hz는 거더의 고유진동수 이고, 모드형 분석결과 1차는 75.8Hz로 판단되고 Damping ratio는 1.9%이다.

[표 147]가이드레일 주요진동수

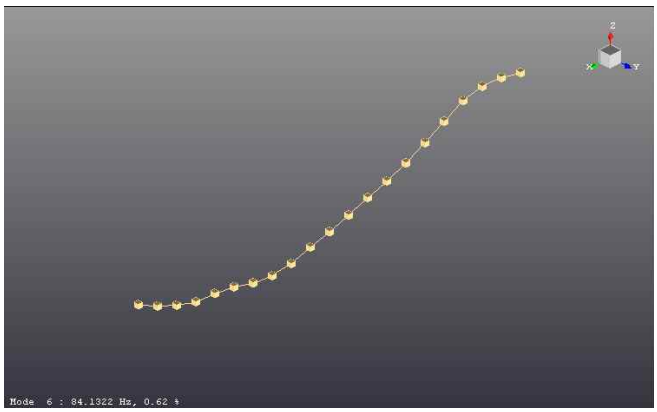
모 드		비 고
주파수(Hz)	Damping Ratio(%)	
7.8	3.0	
65.6	1.5	
75.8	1.9	1차
84.1	0.6	2차
87.9	1.4	3차
89.4	0.3	



[그림 639]가진시 가이드레일의 FRF(Frequency Response Function)응답



[그림 640]1차 모드형(75.8Hz)



[그림 641]2차 모드형(84.13Hz)

(3) 궤도설계에 따른 주행성능 해석

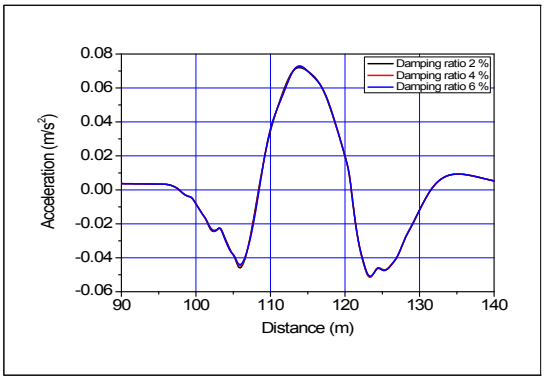
(가) 진동특성에 따른 주행특성 해석

본 연구에서는 가이드웨이의 진동 특성에 따른 차량의 동특성을 해석하여 그 경향을 파악하는데 목적이 있다. 가이드웨이의 1차 고유진동수와 감쇠비와 차량의 속도는 20 ~ 110 km/h로 변경하면서 동특성을 해석하였다. 해석 결과 중 안정성에 중요한 평가 항목인 부상공극(air gap), 차체의 수직 가속도 및 가이드웨이의 최대 처짐을 분석하였다. ODYN/Maglev 해석 모델을 이용하여 자기부상열차의 주행 중 동특성을 해석하였다. 이용된 가이드웨이는 25 m 길이의 콘크리트 거더로 구성된 가이드웨이다. 가이드웨이의 물성치는 표 3-3-6 과 같다. 차량의 총 중량은 23000 kg이다. 차량의 속도는 20 km/h ~ 110 km/h 이며 20 km/h 간격으로 증가시킨다. 모드 감쇠비는 0.04를 기준으로 ± 0.02 변화시켰다. 아래 그림들은 해석 결과를 보여주고 있다. 해석 결과 중 부상안정성에 중요한 평가 항목인 부상공극(air gap), 차체의 수직 가속도 및 가이드웨이의 최대 처짐을 분석하였다. 그림A, 그림B에서와 같이 차체의 수직 가속도는 전체적으로 차이가 미소하였다. 50 km/h에서는 감쇠비가 클수록 가속도 크기는 작은 값을 나타냈다. 그림C, 그림D 는 부상공극의 결과로 그 차이가 더 미소하였다. 그림E, 그림F는 가이드웨이 최대 처짐으로 50 km/h에서는 감쇠비가 클수록 처짐은 작았다. 그러나 다른 속도 영역에서는 차이가 미소하였다. 결과적으로 20 ~ 110 km/h 에서는 1차 모드 감쇠비에 따른 동특성의 변화는 전체적으로 작으나 차량의 속도에 따라 일부 차이를 나타내기도 한다. 결론적으로 콘크리트로 만들어진 가이드웨이에 있어서 1차 진동 모드의 감쇠비가 2 ~ 6 % 일 때 동특성의 차이는 작은 것을 알 수 있었다. 그러나 이러한 경향은 일반

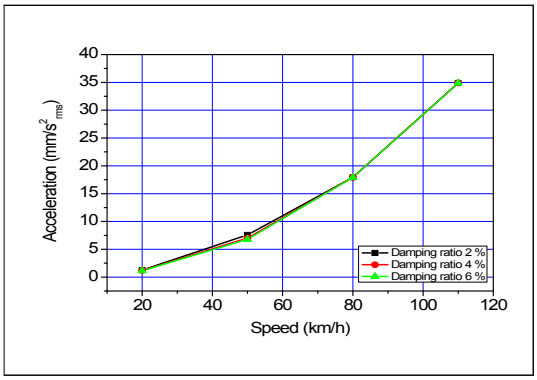
[표 148]가이드웨이 물성치

항목	물성치
Area (m2)	1.244
Inertia (m4)	1.037
Density (kg/m3)	2805
E (N/m2)	3.0E+10
Damping ratio (b)	0.02(2 %), 0.04(4%), 0.06(6 %) (0.00084, 0.0016, 0.0025)

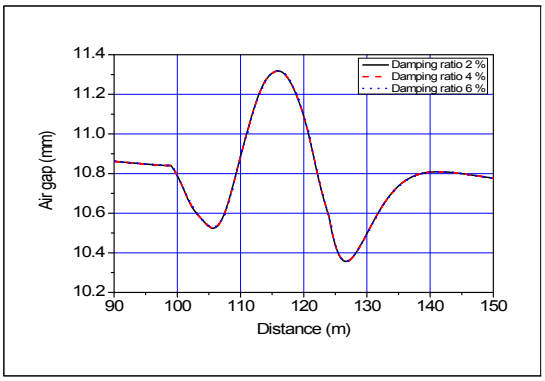
적인 경향이라고 할 수 없다. 자기부상열차에 있어서는 사용된 부상제어기에 따른 영향이 있기 때문이다. 보다 엄밀한 해석을 위해서는 더 많은 차수의 모드에 대한 감쇠비를 고려할 필요가 있다.



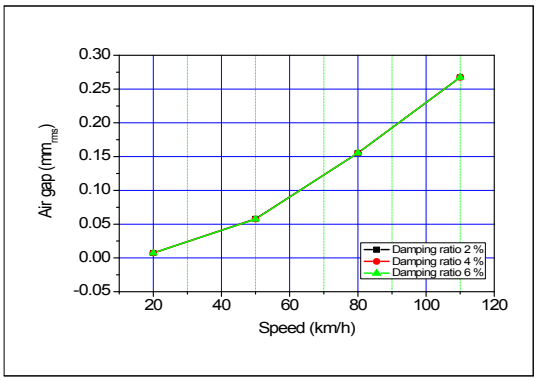
A.[110 km/h 에서의 차체 수직 가속도]



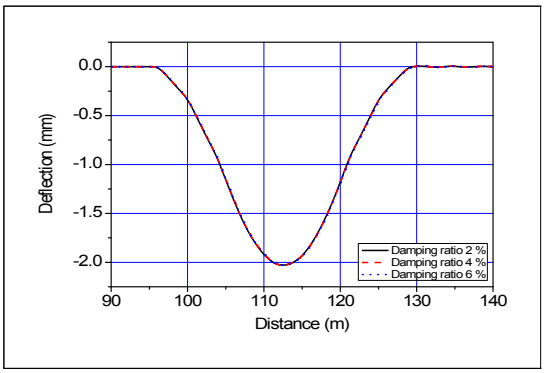
B.[속도 증가에 따른 가속도 RMS]



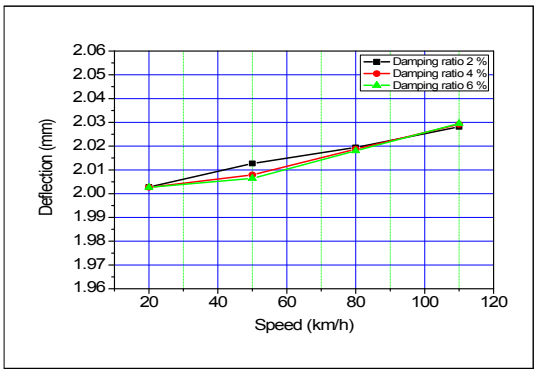
C.[110 km/h 에서의 공극]



D.[속도 증가에 따른 공극 RMS]



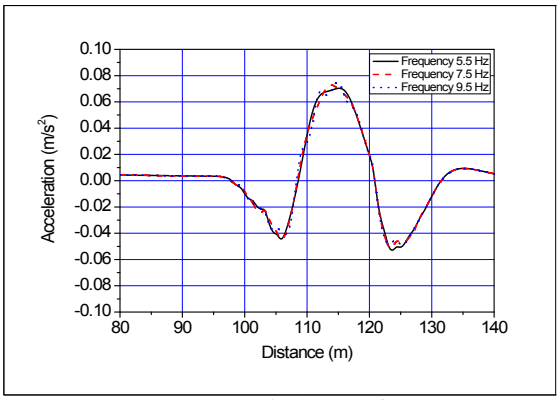
E.[110 km/h 에서의 가이드웨이 처짐]



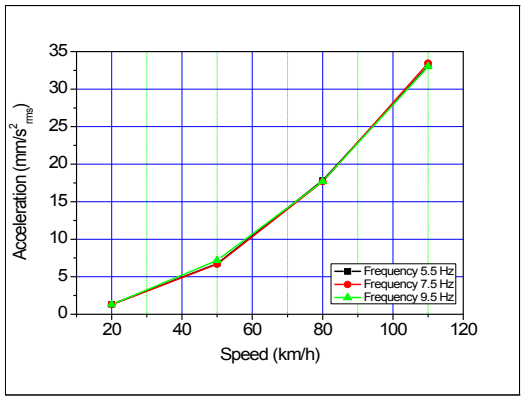
F.[속도 증가에 따른 가이드웨이 최대 처짐]

1차 고유진동수의 영향을 분석하기 위하여 5.5 Hz, 7.5 Hz, 9.5 Hz로 변경하면서 해석을 수행한다. 여기서, 1차 진동 모드에 대한 모드 감쇠비는 0.04로 동일하다. 그림C, D 에서와 같이 차체의 수직 가속도는 변곡점에서 고유진동수

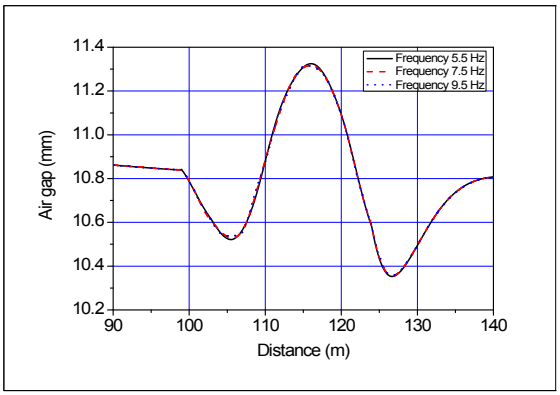
가 증가할수록 변동이 증가하는 것을 알 수 있다. 그러나, 가속도에 대한 통계치인 RMS는 차이가 미미한 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 사용된 제어기 특성에 따라 다를 수 있다. 그림 I, J 에서와 같이 공극 응답으로 상대적 차이는 미미한 것을 알 수 있다. 그림 K, L 은 가이드웨이의 처짐과 최대 처짐을 각각 보여주고 있다. 가이드웨이의 처짐도 110 km/h 까지는 차이가 미미한 것을 알 수 있다. 이를 통하여 가이드웨에 작용하는 동적하중은 정하중의 값에서 변화가 적은 것을 알 수 있다. 그림 L 에서는 최대 처짐을 비교하였다. 속도 증가에 따라 일반적으로 처짐의 변화가 적지만 증가한다. 그런데, 고유진동수에 따라서 특정 속도에서의 응답 경향은 다를 수 있음을 알 수 있다.



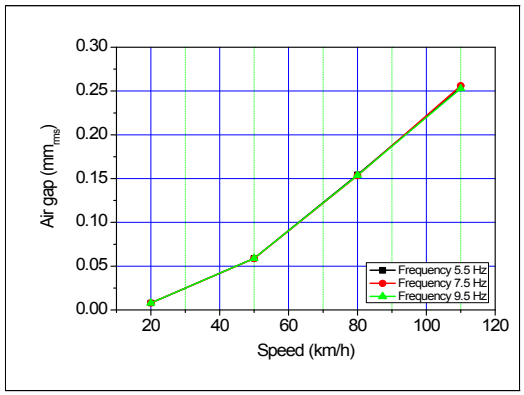
G.[110 km/h 에서의 차체 수직 가속도]



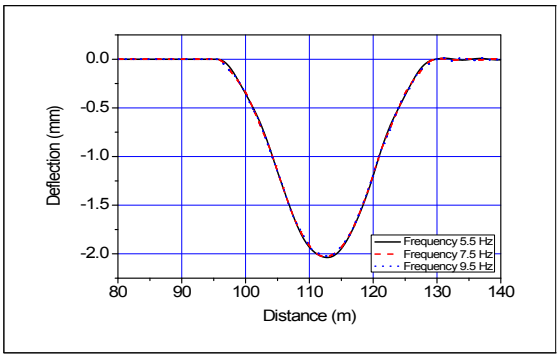
H.[속도 증가에 따른 가속도 RMS]



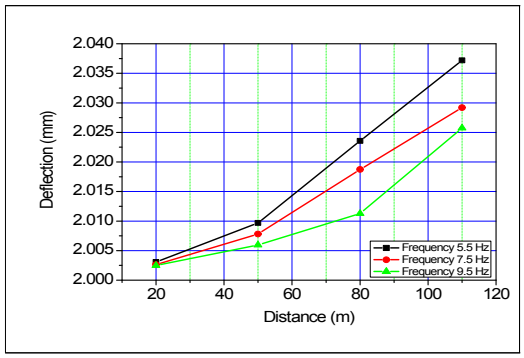
I.[110 km/h 에서의 공극]



J.[속도 증가에 따른 공극 RMS]



K.[110 km/h 에서의 가이드웨이 처짐]



L.[속도 증가에 따른 가이드웨이 최대 처짐]

(나) 가이드웨이 설계에 따른 주행성능

1) 불규칙도에 따른 동특성 해석

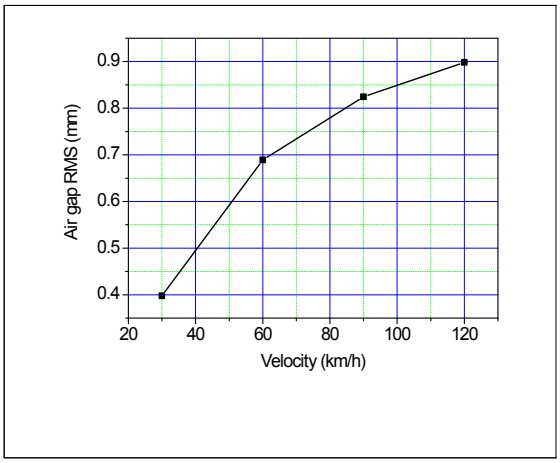
자기부상열차는 일반 철도차량과 달리 차량이 가이드웨이에 매달려 주행하기 때문에 가이드웨이의 처짐 한계를 비롯한 불규칙도 선정은 중요한 문제 중 하나이다. 특히, 가이드웨이의 구조적 설계가 이루어지기 전에 가이드웨이 처짐 한계, 불규칙도에 따른 주행특성을 예측할 필요가 있다. 본 절에서는 처짐 한계 및 불규칙도에 따른 차량의 동특성을 예측하고 그 경향을 명확히 하는데 목적이 있다. 그 결과를 통하여 주행성능을 만족하면서 경제적인 가이드웨이 구조설계 및 불규칙도 설정에 방향을 탐색하고자 한다.

가이드웨이의 구조적 설계가 이루어지지 않은 상태에서 차량의 동특성을 해석하기 때문에 차량-가이드웨이의 동적 상호작용을 엄밀하게 고려하지 않는다. 즉, 가이드웨이의 처짐은 미리 처진 것으로 가정한다. 이러한 가정에는 실제 동특성과 약간의 차이가 있지만, 도시형 자기부상열차의 경우 운행 중 충격계수가 0.1이하이기 때문에 그 차이는 작을 것이다. 더구나, 가이드웨이의 구조적 설계가 이루어지지 않은 상태에서 필요한 해석이다. 가이드웨이의 처짐은 아래 그림에서와 같이 처짐 한계만큼 이미 처져 있다고 가정한다. 일반적인 경향을 분석하기 위하여 UTM-01이 이용된다.

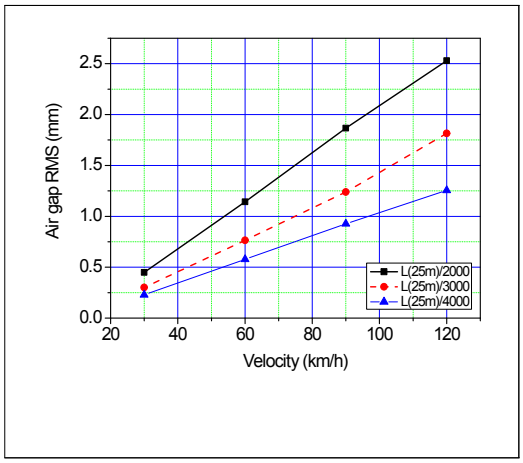
다음 그림은 부상 공극 응답을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 부상 공극 변동은 차량 속도 증가에 따라서 증가하는 것을 알 수 있다. 또한, 가이드웨이 처짐 한계에 증가에 따라서 부상 공극 변동이 증가한다. 그림 3-3-21은 불규칙도만을 고려하였을 때 차량 속도에 따른 부상 공극 응답을 보여주고 있다. 120 km/h 에서는 약 0.9 mm을 나타내고 있다. 특이한 점으로는 약 60 km/h 영역을 중심으로 RMS 값이 증가, 기울기가 감소하는 것을 알 수 있다. 그림 3-3-22 는 가이드웨이 처짐만을 고려하였을 때 부상공극 응답을 보여주고 있

다. 처짐 한계가 증가할 수록 부상 공극 변차 RMS 가 증가한다. 그러므로 가이드웨이 처짐 한계를 합리적으로 선정할 필요가 있음을 알 수 있다.그림 3은 불규칙도와 처짐을 모두 고려한 경우로 실제적인 조건이라고 할 수 있다. L/2000의 경우 120 km/h에서 부상 공극 변동 RMS가 약 2.8 mm를 나타내고 있다. 현재, 실용화사업에서의 부상 공극 변동 폭이 3mm 임을 고려하면 가이드웨이의 처짐, 불규칙도에 대한 합리적인 선택이 필요하다. 물론, 차량의 부상 시스템 개선도 병행하여 개선이 필요하다.

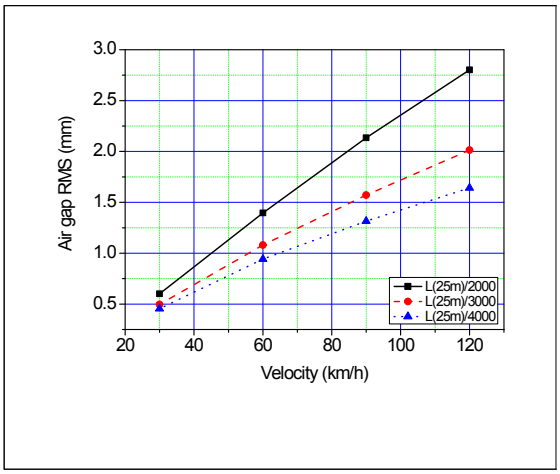
차체 가속도 응답은 다음 그림에서 보여주고 있다. 불규칙도에 의한 가속도 응답은 속도 증가에 따라서 증가하는 경향을 보이고 있다. 다만, 가이드웨이 처짐에 비하여 상대적으로 영향이 적은 것을 알 수 있다. 그러나 불규칙도를 정의하기 위한 chord length를 5 m에서 변경하면 그 영향은 변화할 것이다. 가이드웨이 처짐만에 의한 가속도는 처짐이 클수록 증가한다. 특이 사항으로는 약 90 km/h를 기점으로 그 영향도가 완만해지는 것을 알 수 있다. 가이드웨이 처짐과 불규칙도가 합성된 경우에는 120 km/h에서 최대 0.25 m/s2 이다. 가속도 응답이 만일 랜덤 특성을 갖는다면 약 0.75 m/s2 의 가속도를 예상할 수 있다. 그러므로 승차감 측면에서도 가이드웨이 처짐 한계 및 가이브드웨이 높이 불규칙도의 합리적인 선정이 요구된다.



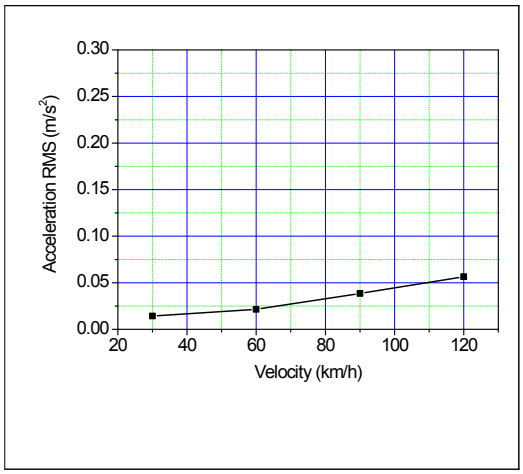
[불규칙도만에 의한 부상 공극 RMS]



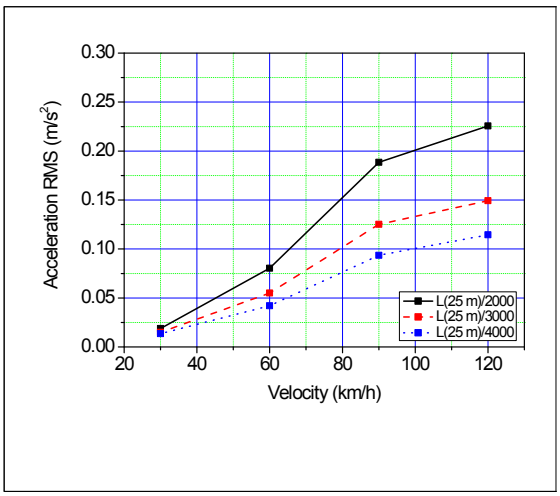
[가이드웨이 처짐만에 의한 부상 공극 RMS]



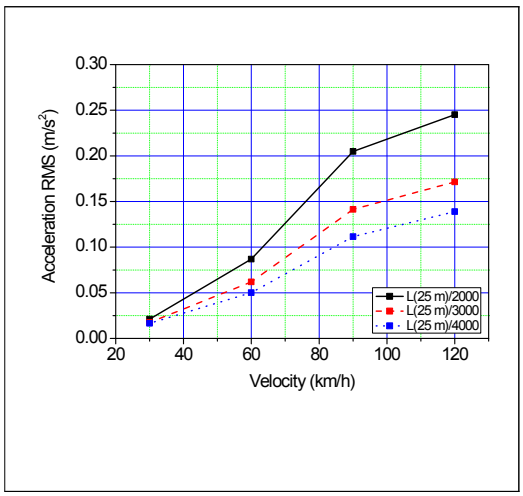
[불규칙도+가이드웨이 처짐에 의한 부상 공극 RMS]



[불규칙도만에 의한 차체 가속도 RMS]



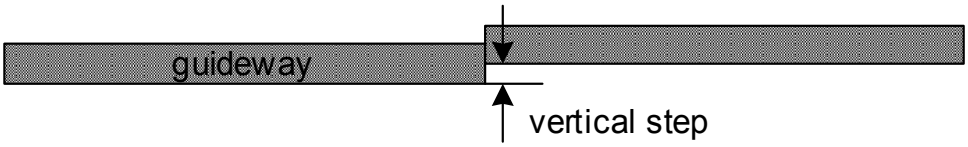
[가이드웨이 처짐만에 의한 차체 가속도 RMS]



[불규칙도+가이드웨이 처짐에 의한 차체 가속도 RMS]

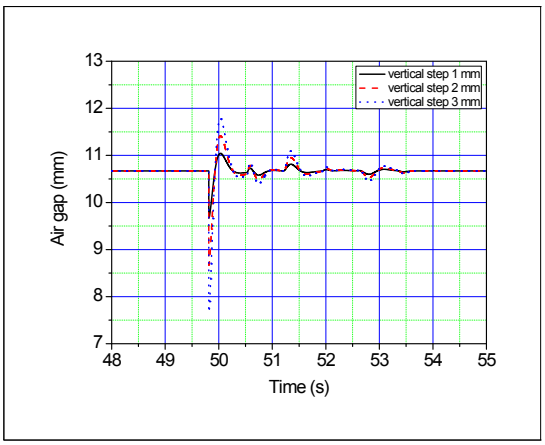
2) 조인트 단차에 따른 부상공극 응답

가이드레일의 설치 공차 선정을 위하여, 설치 공차 중 가이드레일 사이의 수직 단차 크기에 따른 동특성을 검토하였다. UTM-01에 대한 모델 및 프로그램이 이용된다. 가이드레일 연결부의 수직단차 공차는 그림 3-3-27 과 같으며 주행속도를 10 km/h ~ 110 km/h까지 증가시키면서 동특성을 해석한다. 그리고 수직 단차는 1 mm, 2 mm, 3 mm 로 설정한다. 동특성 중 부상 공극에 중점을 두며 첫 번째 대차의 첫 번째 전자석의 공극을 분석한다.

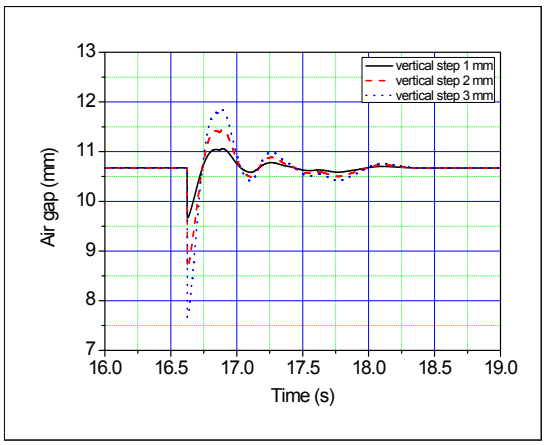


[그림 642]가이드레일 수직단차

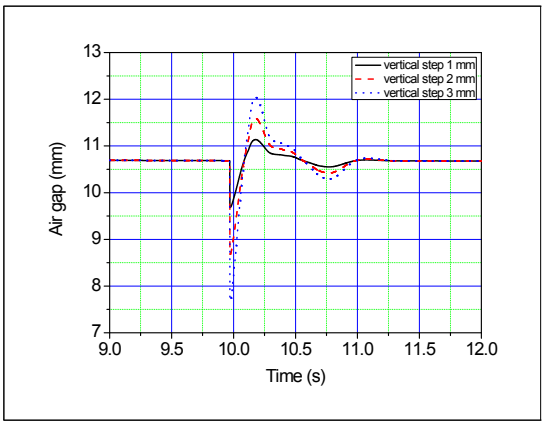
다음 그림들은 수직단차와 주행속도 변화에 따른 부상공극 응답을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 수직 단차가 증가하면 그에 따라서 부상 공극의 변화량도 증가한다. 그러므로 합리적인 크기로 제한할 필요가 있다.



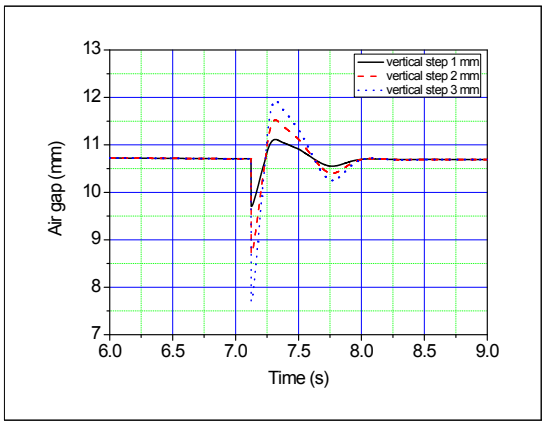
[부상 공극 이력 (10 km/h)]



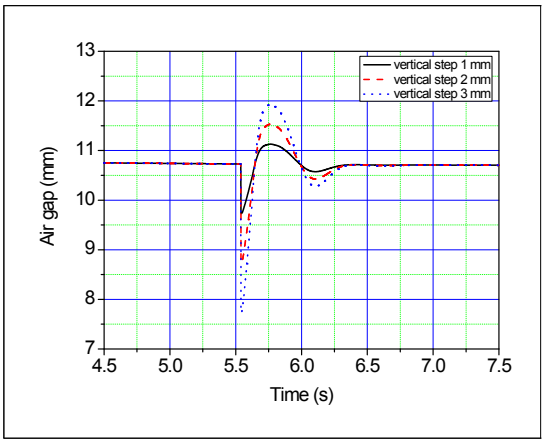
[부상 공극 이력 (10 km/h)]



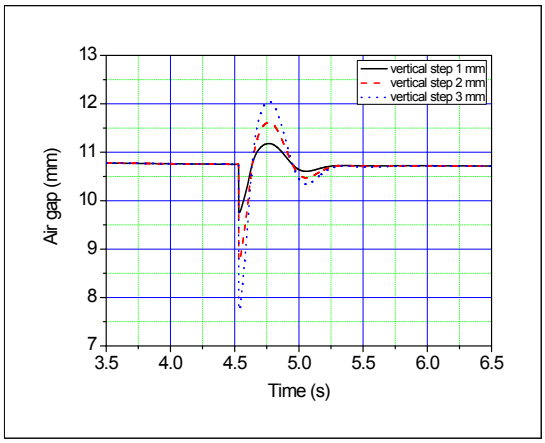
[부상 공극 이력 (50 km/h)]



[부상 공극 이력 (70 km/h)]



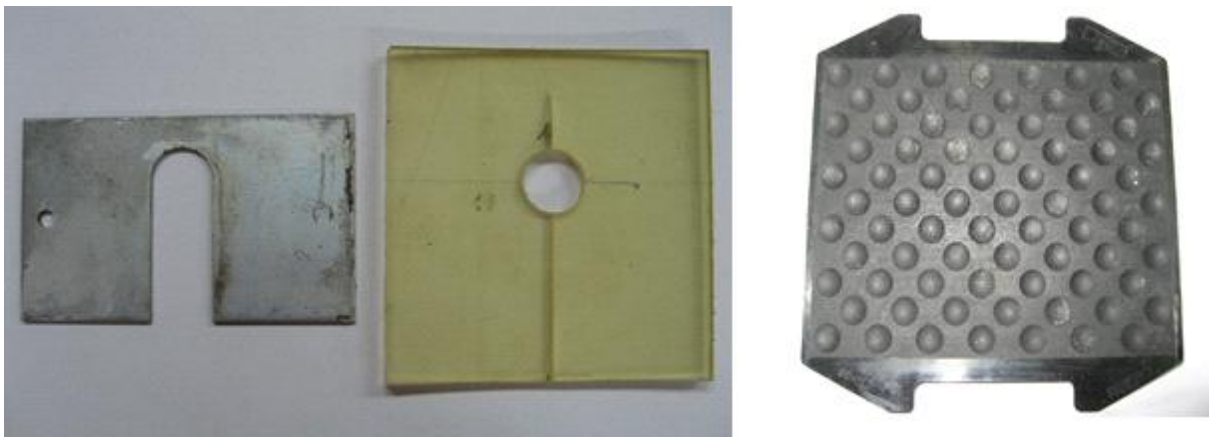
[부상 공극 이력 (90 km/h)]



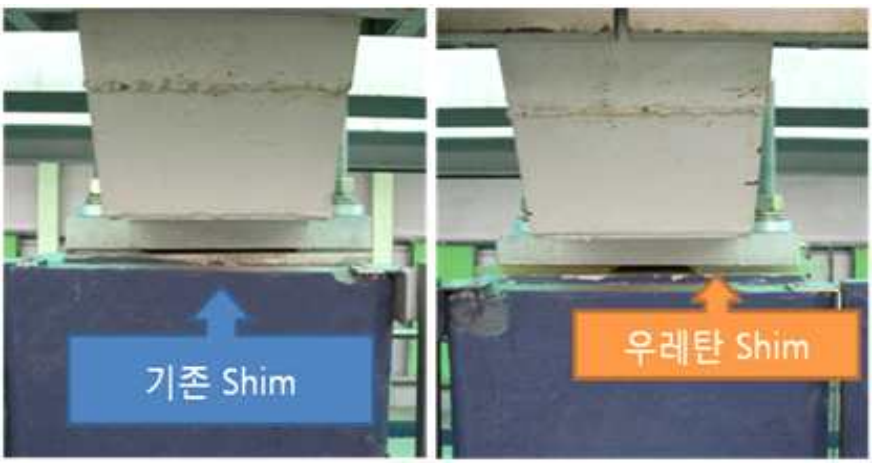
[부상 공극 이력(110 km/h)]

3) 침목 방진 고무 효과 시험에 의한 가이드웨이 개선안

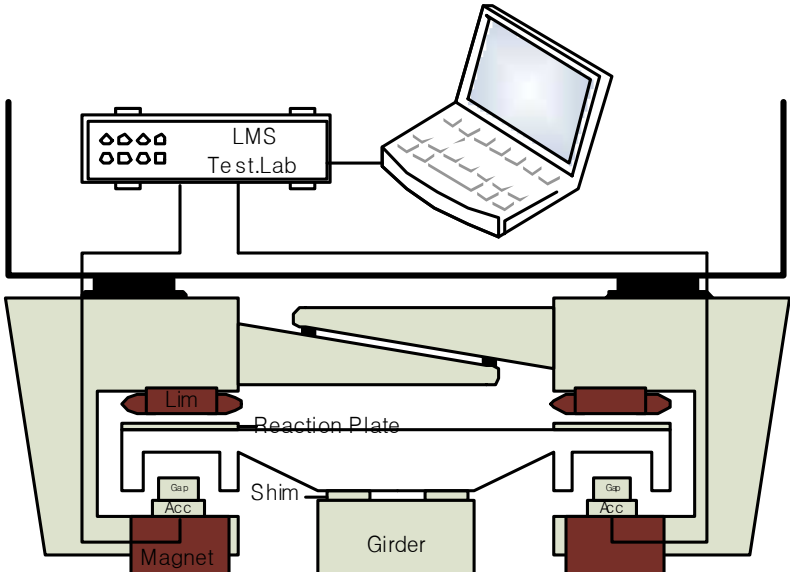
진동절연, 높이 조절, 하중에 대한 유연성 등을 개선하기 위하여 침목에 강(steel) 대신에 탄성체를 삽입하고 있다. 이 탄성체의 삽입 효과를 분석할 필요가 있다. 이를 위하여 임의로 폴리우레탄을 삽입하고 그 효과를 분석하였다. 기대 효과 중 전자석의 수직방향 진동과 부상공극 편차를 시험으로 분석하였다. 아래 그림은 기계연 시험선에 설치된 기존 심(shim)과 폴리우레탄 심과 시범 선로에 설치될 TPU를 보여주고 아래 그림은 설치된 모습을 보여주고 있다. 그림 3-3-36 은 가속도와 부성공극 측정 위치를 보여주고 있다. 시험 방법은 차고에서 정지부상 시 전자석의 수직가속도와 부상공극을 계측하여 스펙트럼을 분석하는 것이다. 다음 그림에서 알 수 있듯이 60Hz 이외의 영역에서는 전자석의 진동이나 부상공극 편차가 폴리우레탄 삽입 시 작은 것을 알 수 있다. 즉, 수직방향 부상안정성, 진동에 의한 소음은 탄성체를 삽입하면 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 그러므로 이론적, 실험적으로 최적의 강성을 갖는 탄성체를 삽입한다면 부상성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.



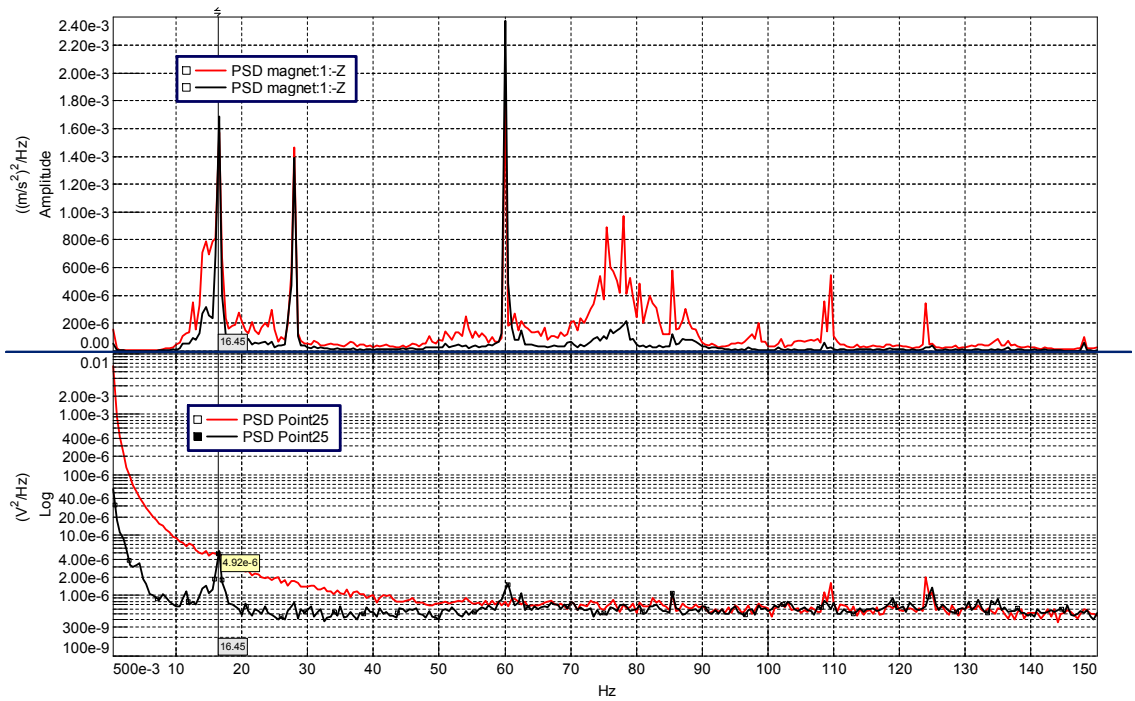
[그림 643]강쐐기, 폴리우레탄 쐐기, TPU



[그림 644]설치된 강쐐기와 폴리우레탄 쐐기



[그림 645]시험방법



[그림 646]침목방진고무 시험결과 (전자석 수직 가속도(상), 부상공극(하))

4) 가이드웨이 구조 특성에 따른 부상성능 해석

설계 단계에서 제안된 거더 중 부상성능 검토가 필요한 것들에 대하여 부상성능을 해석하였다. 물론 부상제어기와 거더는 계속 개선되고 있기 때문에 최종성능이라고 할 수 없다. 다만, 전반적인 경향에는 의미가 있다고 할 수 있다. 해석 대상이 되는 거더는 아래 표와 같다.

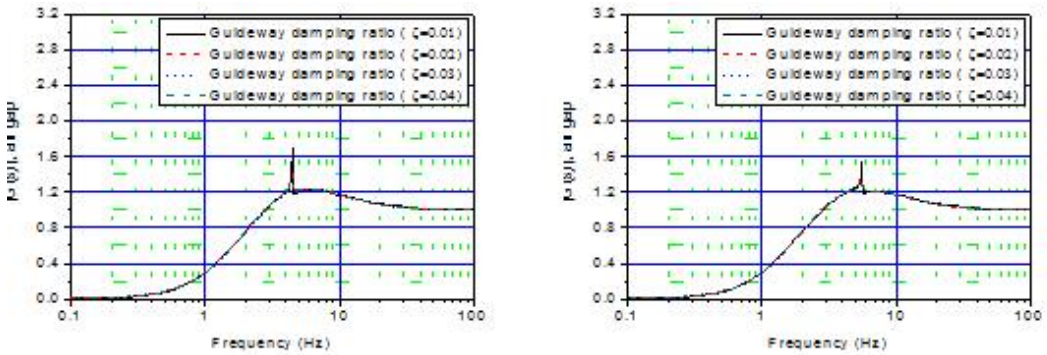
[표 149]가이드웨이 설계

No.	Design	L (m)	E (MPa)	A (m^2)	Iyy (m^4)	ρ (kN/m)	Mass (ton)
1	PSC-U Girder	30	28570	1.1964	0.51026	21.7	66.4
2	PSC-U Girder	25	28570	1.1213	0.38301	22.02	54.0
3	Steel Girder	37.5	210000	강 상형: 0.2058 슬래브: 0.3185	0.12837	22.1 ~23.6	90.2
4	Steel Girder	35					84.2
5	Steel Girder	34					81.8
6	Steel Girder	30					72.2

거더 경간구성에 따른 기본적인 진동 특성 분석을 분석하였다. 표 3-3-8 은 고유진동수와 부상공극 편차 최대 증폭비 해석 결과를 보여주고 있다. 1차 굽힘 고유진동수는 3.7 ~ 5.8Hz에 분포하는 것을 알 수 있다. 그림 3-3-38 은 PSC-U-Girder를 가진 거더의 부상 공극 주파수 응답이다. 그림 3-3-38(a) 를 보면 경간의 길이가 30 m인 거더의 고유진동수 4.47 Hz에서 실용화 차량의 부상 공극 편차 크기가 1.7배까지 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 3-3-38(b) 는 경간의 길이가 25 m인 거더의 고유진동수 5.53 Hz에서 실용화 차량의 부상 공극 편차가 1.55까지 증폭되는 것을 알 수 있다. 그림 3-3-39 는 강상형 거더의 부상 공극 주파수 응답이다. 그림 3-3-39(a) 를 보면 경간의 길이가 37.5 m인 가이드웨이의 고유진동수 3.73 Hz에서 실용화 차량의 부상 공극 편차 크기가 1.62까지 증폭되는 것을 알 수 있다. 그림 3-3-39(b) 를 보면 경간의 길이가 35 m인 가이드웨이의 고유진동수 4.28 Hz에서 실용화 차량의 부상 공극 변동 크기가 1.59배까지 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 3-3-39(c) 를 보면 경간의 길이가 34 m인 거더의 고유진동수 4.54 Hz에서 실용화 차량의 부상 공극 편차 크기가 1.56배까지 증가하는 것을 알 수 있다. 그림 3-3-39(d) 를 보면 경간의 길이가 30 m인 가이드웨이의 고유진동수 5.83 Hz에서 실용화 차량의 부상 공극 편차 크기가 1.43배까지 증가하는 것을 알 수 있다. 결과적으로 거더의 강성, 질량, 감쇠비에 따라서 부상공극 편차의 크기는 다르게 응답을 보이는 것을 알 수 있다. 그러나 이러한 특성들은 서로 연성되어 있어서 체계적인 분석이 필요하다.

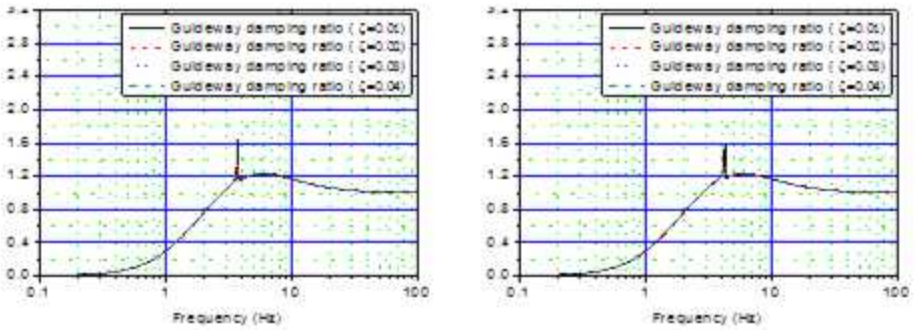
[표 150]거더별 고유진동수 및 부상공극 편차 증폭비

No.	Design	length	Frequency (Hz)	Maximum gain
1	PSC-U Girder	30 m	4.47	1.70
2	PSC-U Girder	25 m	5.53	1.55
3	Steel Girder	37.5 m	3.73	1.62
4	Steel Girder	35 m	4.28	1.59
5	Steel Girder	34 m	4.54	1.56
6	Steel Girder	30 m	5.83	1.43

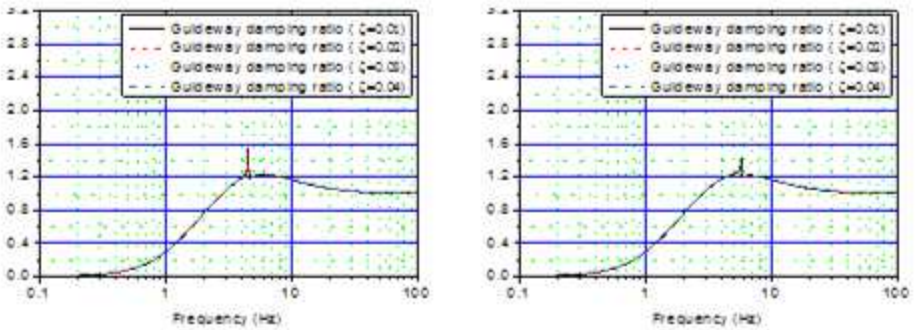


(a) L= 30m (b) L=25 m

[그림 647]PSC-U 거더의 부상공극 편차 응답



(a) L= 37.5m (b) L=35 m



(c) L=34m (d) L=30 m

[그림 648]Steel Girder의 부상공극 편차 응답

(2) 상부궤도(가이드웨이)설계 개선요구사항 정립

이상과 같이 해석과 실험 결과를 바탕으로 가이드웨이 설계요구사항을 정립하였다. 자기부상열차 시스템에 있어서 궤도분야는 차량과 함께 시스템의 주행성능 및 경제성을 결정하는 주요 분야로, 설계 단계에서부터 심도 있는 기술적, 경제적 검토가 요구된다. 아래 표는 궤도설계 요구조건을 요약 정리한 것이며 상세한 조건 설정 이유는 별첨을 참조 바란다.

[표 151]상부궤도 설계요구 조건

구분		항목	요구사항	조건	비고
가이드레일 설치공차	2.2.1	수직틀림 (versine)	2mm/5mm 이하 (설치/유지)	10 m 기준	직선 구간
	2.2.2	수평틀림 (versine)	2mm/5mm 이하	10 m 기준	
	2.2.3	궤간틀림	2mm/4mm 이하	1,850mm 기준	
	2.2.4	레일이음매 수직단차	1mm/1mm 이하		
	2.2.5	레일이음매 수평단차	0.5mm /1mm이하		
	2.2.6	좌우 레벨 차이	2mm/4mm 이하	좌/우레일	
	2.2.7	횡방향 틀림	1mm/2mm 이하	218mm 기준	
가이드레일	2.3.1	재질	기 제공		
	2.3.2	형상 및 치수			
	2.3.3	단위 길이	10 m 이상		장대화 요
	2.3.4	연결 조인트 방법	Linimo 방법 또는 고안	열 및 하중에 의한 변형시 연속 형상유지	
	2.3.5	접지방법	Linimo 방법 또는 고안		추후 협의 요
	2.3.6	처짐	1 mm 이하		
	2.3.7	1차 굽힘 고유진동수	50 Hz 이상		
추진도체판	2.4.1	재질	알루미늄(6061)		
	2.4.2	형상 및 치수	기 제공		
	2.4.3	단위 길이	5 m 이상		
	2.4.4	레일과의 접합	Linimo 방법 또는 고안		
침목 (Sleeper)	2.5.1	설치간격	1.25 m 이하		최소화
	2.5.2	설치방법	Linimo 방법		절연장치

			또는 고안		고려
거더 (Girder)	2.6.1	처짐한계	L/3000		사하중 역캠버 부가
	2.6.2	지간	25 m이상		권장
	2.6.3	경간수	많을수록 긍정적	2경간 이상의 경우 2차 이상의 굽힘 고유진동수 검토 필요	권장
	2.6.4	1차굽힘고유 진동특성 -고유진동수 -감쇠비	5 Hz 이상 2% 이상		권장
	2.6.5	차량/거더 질량비	0.6 이하	거더(거더+상부구조물),차량(거더 상 질량)	
	2.6.6	거더간 연결	Linimo 방법 또는 고안	변형 후에도 연속 형상 유지	
선형	2.7.1	완화구간(수평)	Clothoid		
	2.7.2	곡선 반경(수평)	60 m 이상/ 1500 이상	수평/수직	
	2.7.3	캔트	주행속도에 따름		
	2.7.4	완화구간 길이	캔트량의 700배 이상		
	2.7.5	완화-완화 연결 (곡선 사이 직선)	30 m이상의 직선선로 삽입		
	2.7.6	수평-수직 동시 완화구간	없어야 함		

기타 :

-궤도의 단차, 틀림, 변위 등의 측정 및 교정작업이 용이하도록 설계/시공

-대피로 설치

-기지 내 대차 탈거 설비 구축

-가선의 지락사고 방지 대책

-차량에서의 인도, 차도위 낙하물 방지 대책

2. 2단계 세부연구내용

[2-0과제]

가. 차량개발 사업 총괄관리

(1) 차량개발 공정회의 주관

(가) 1차 공정회의(2009.09.24)

- 차량 중량 관리(목표중량 달성을 위한 방안)
- 현대로템 의왕공장 의장 작업 현장 방문/초도편성 제작 현황 확인
- 초도편성 의장작업 세부일정 설명(Daily base), 이에 따른 협동기관의 개발품 시험 및 납품 요구 일정 제시
- 각 협동연구기관별 발표 및 현안사항 협의

(나) 2차 공정회의(2010.04.30)

- 4차년도 주요 성과 발표 : 목표중량 초과달성, 제작 및 시험 일정 준수 등
- 잔여편성 제작일정 지연 관련 4차년도 종결과제 과제 기간 연장 협의
- 추가 1편성 제작 방안 미확정
- 홍보를 위한 시승 행사로 인한 초도편성 기능/성능시험 지연
- 성능시험 인증/수행절차
- 차량 개발품 추가 개선 요구사항 협의 등

(다) 3차 공정회의(2011.01.18)

- 잔여편성 차량 제작일정 / 세부 공정계획
  - 과제 별 부품 제작/공급 일정 대비 문제점 catch-up
- 잔여편성 차량설계 보완사항 Review
  - 잔여편성 시트 카바지 디자인 변경/최종안 협의 일정계획(대원강업)
  - 구조해석결과를 반영한 압출 프로파일 추가 경량화(동양강철)
  - OVRe, F/L 박스 설계변경사항 I/F(브이씨텍)
  - 초도편성 문제점 및 유지보수편의를 위한 설계보완사항(에이디에스레일)
  - 연결기 shear-off 적용 여부(유진기공산업)
  - 열차통신시스템 I/F 진행사항/향후 계획(한터기술)
  - 능동형 조향장치/차간댐퍼 성능개선(2-3세부주관/협동)
- 공항공사 추가 1개편성 구매발주 관련
- 차량 성능시험 및 제작검사 관련
- 타 분야 인터페이스 미비 사항 점검

(라) 4차 공정회의(2011.03.10)

- 주요 장치별(제동시스템, 추진시스템 등) 현안사항 협의
- 과제 진행 일정 Review

(2) 과제 성과 발표 및 보고

(가) 4차년도 중간성과 발표(2009.12)

(나) 4차년도 3분기 진도보고서 작성/제출

(다) 4차년도 연차평가 발표

(라) 2핵심과제 2009년도 연보 작성/제출

(마) 국토해양기술대전 성과 발표(2010.6.30 COEX)

(바) 5차년도 1분기 진도보고서 작성/제출

(사) 5차년도 중간성과 발표(2010.12)

(3) 전문가 초청 자문/협의

(가) 일본 자기부상 전문가(Mr.Iwaya) 자문 수행

- 일시: 2010.03.22 ~ 2010.03.24
- 장소: 한국기계연구원
- 자문내용
  - Levitation control for speed-up to 110km/h
  - Guideway design requirements
  - Rail vibration at higher frequencies (>50Hz)
  - Air gap adjustment
  - Jam between lateral skid and guide rail when rolling
  - Vehicle rescue scenario
  - LIM control (ex. independently controlling left and right LIM)
  - Operation mechanical brake especially under LIM braking at higher speed
  - Electrical shield
  - Difficulties happening at higher speed
  - Air gap control techniques at rail joints
  - Air gap control considering weight variations
  - Consideration of magnet charateristics changes according to temperature
  - Managing Levitation fail event
  - Experiences at starting operation

(나) 독일 자기부상 전문가(Dr.Meins) 자문 수행

- 일시: 2010.05.11 ~ 2010.05.12
- 장소: 현대로템 기술연구소(의왕)/한국기계연구원 시험선로
- 자문내용
  - Guide rail vibration
  - Eddy current effect
  - Gap deviation
  - Redundancy of Magnet Driver
  - Grounding concept
  - Lightening/Surge protection
  - Test Run of Commercial MAGLEV vehicle on KIMM track
  - Air Condition/Acoustic Noise
  - Magnetic field (DC) inside car
  - Increase of currents of front running (leading) magnets
  - Guideway measurement system

(4) 사업단장-핵심과제 책임자 회의 참석

(가) 제18차 사업단장-핵심과제 책임자 회의(2009.06.30)

- 인터페이스 관리 관련 Cradle Web 활성화 방안
- 핵심과제간 인터페이스 미결사항
  - VM 및 운영시나리오 관련
  - 차량/궤도 인터페이스 관련(레일 접지 방안)
  - 차량/신호제어시스템 인터페이스 관련
  - 부상용센서/횡방향스키드 유지보수를 위한 부상레일 측면 절취 방안
- 궤도/시설물 대안입찰 관련

(나) 제19차 사업단장-핵심과제 책임자 회의(2009.12.22)

- 회의일정 사업단 홈페이지 등재
- 차량기지내 유지보수를 위한 레일 측면 절취
- 시선 차폐시설(시제차량 Mist Window 샘플 적용)
- RAMS 수행범위 확정 관련
- SEMP 개정안 승인 관련
- 차량시험평가계획 검토 관련
- 시범노선 운영시나리오 관련
- 차량 시험선 설치에 따른 확인 사항
- 본선 종합시운전 관련
- 무임운영에 따른 발매자동화설비(AFC) 시공여부

- 도시형자기부상철도 건설규칙(안) 보완 관련
- 대안입찰 서류접수 및 심의평가 관련
- 열차제어시스템 감사 관련

(다) 제20차 사업단장-핵심과제 책임자 회의(2010.02.24)
- SEMP 개정안 승인 일정
- 차량시험평가계획 준비 관련
- 본선시운전 시험 관련
- Risk 관리계획 관련
- 시험선 전차선 준비 관련
- CDR 결과 및 설계 성과물 관련
- 1편성 추가 제작 여부
- 기계연 시험선 시험 관리 방안
- 건설공사 일정
- 차량 및 열차제어시스템 성능시험 방안

(라) 제21차 사업단장-핵심과제 책임자 회의(2010.04.01)
- SEMP/차량시험평가계획/리스크관리계획/통합계측시스템 관련
- 시제차량 집전판과 급전선과의 인터페이스
- 1편성 추가제작 관련
- 종합시운전 일정계획 관련
- RAMS 담당자 선임 및 실무협의 라인 개설 관련
- 주요 홍보/시승 행사 관련

(마) 제22차 사업단장-핵심과제 책임자 회의(2010.11.24)
- 시범노선 통합공정표(안)
- 상세설계검토(CDR) 결과보고
- 상세설계검토(CDR) 관련 검토항목
  - 차량접지장치, 열차운전모드 용어통일, 고장정보의 통합관제실 전달, 곡선부 추진레일 가공
- 잔여편성(3개편성) 본선 인도시기 및 차량 이송/설치를 위한 소요 시설물/장비 확인
- 초도편성 개발(기능/성능)시험 결과 분석 현황
- 시험선 연속주행시험 방안/계획
- 성능시험 신청 계획/진행 상황
- 기계연 시험노선 4%, 6% 구배구간 수정 방안
- 시범노선 건설공사 현황

(바) 제23차 사업단장-핵심과제 책임자 회의(2011.02.23)

- 초도편성 정비 점검 계획 및 현재 진행현황(계획 대비)
- 2-1 협동과제 사업기간 연장(차량개발 일정/순연)
- 잔여편성 제작 진행현황
- 시범노선 공사 추진 현황
- 종합시운전기간 중 감리단, 시공사(공급사) 기술인력 적정 확보 방안

(5) 건설교통기술연구개발사업 우수성과사례 선정 및 수상(2011.3)

나. 타 분야, 하위과제 인터페이스 관리

(1) 타 분야 인터페이스 회의

(가) 차량 집전슈-전차선 인터페이스 회의(2010.04.19)

- 급전선 Expansion joint 소음 저감 방안
  - 도체 위,아래 가이드 단부(양방향)를 3차원 곡면 가공하여 집전슈 진입 시 충격소음 완화 방안 제시(포스코ICT)
  - 가이드와 도체의 수직면 불일치 가능성 확인 예정
- 분기부 Expansion joint 소음 저감 방안
  - 새로운 구조 모색예정. 현 상태에서 추가 조치방법 없음(포스코ICT)
  - 집전슈 형태 및 거동특성 검토 예정(현대로템)
- 분기부 Air Section 부위 소음 저감 방안
  - 현 상태에서는 추가 조치 방법 없음. 초기 소음은 다른 시스템에서도 유사함. 집전슈 형상 변경 및 장기 사용에 의한 마모에 의해 소음 저감 기대(포스코ICT)

(나) 차량-신호 인터페이스 회의(2009.08 ~ 계속, 대우엔지니어링)

- 차량/신호 인터페이스 협의체 구성
- 차상신호장치 목록 및 설치 인터페이스 진행중
- 차상신호장치 신호라인 인터페이스 진행중
- 차량 제동공주시간 검토/결정
- 차량 및 신호시스템 제작 일정 검토
- 차량 및 신호시스템 성능시험자 지정방안 검토
- 신호시스템 구성품 차량 설치 검토(안테나 및 랙 설치)
- 신호시스템 회로/배선 인터페이스 검토
- 신호시스템 차량 로직 및 통신 인터페이스 검토
- 조광유리(Mist Window) 시범노선 적용 방안 협의
- ATO Data 안테나 사양변경 및 설치 협의

(다) 4차년도 인터페이스 조정회의(2009.08.19 ~ 2009.08.20)

- 2, 3단계 및 4차년도 핵심/세부 과제별 사업계획 발표
- 인터페이스 사항 발표 및 전년도 미해결 사항 협의

(라) 검수설비 인터페이스(수시) → 첨부[2-0_현대로템(주)-10] 참조

- 부상용 센서 시험기 관련 설명 및 자료 제공
- 안전진단장치 관련 전자석 및 TCMS Protocol 설명 및 자료 제공
- 스팅거 사양 및 전원공급용량 관련 설명 및 자료 제공

• 차량 출입문 열림 상태 관련
• 추진제어장치 및 부상제어장치 시험기 관련 협의 진행중

(마) 통신분야 인터페이스(2011.3, 철도시설공단)
• 열차무선장치 관련 송수신기, 안테나 인터페이스 완료
• 무선데이터 송수신장치 관련 협의 진행중(사양 변경 진행)

(바) 성능시험 기준 협의(2010.12 ~ 2011.2, 산업기술시험원)
• 구성품/완성차/본선 성능시험 절차서 관련 기준 협의
• 기존 도시철도차량 성능시험 기준과 비교 검토

(사) 품질인증요령 검토(2010.4) → 첨부[2-0_현대로템(주)-12] 참조
• 자기부상열차 적용품목에 대한 품질인증대상 검토/회신
• 기존 도시철도차량 품질인증요령과 비교 검토

(아) 기타
• 시스템엔지니어링 및 궤도/시설물 관련 자료 검토
• 담당자간 비공식 회의 수시 참석/협의

(2) 하위과제 인터페이스 회의
(가) 제동시스템 인터페이스(vs. 유진기공산업)
• 공기압축기 설계 변경 관련
  - 벨트식→직결식에 따른 차량 취부 검토 및 기동장치 추가설계
• 만차조건 비상제동 압력 관련 현안사항 협의
• 응하중 정확도 향상 방안 협의
• 유압 측정에 따른 비상제동상태 피드백 방안 협의(신호인터페이스)

(나) 연결기 인터페이스(vs. 유진기공산업)
• Shear-off 및 센터링 장치 관련 현안사항 협의

(다) 추진시스템 인터페이스(vs. 브이씨텍)
• 속도 신호 및 속도지령 관련 협의(신호장치에서 신호 공급)
• F/L 누설자속 저감관련 현안사항 협의

(라) 시트 인터페이스(vs. 대원강업)
• 시트 디자인 변경 추진 방안 협의
• 시트내부 축전지 냉각 방안 검토(7인석 시트)

(마) 방송/표시기 인터페이스(vs. 한터기술)

- 열차무선장치 및 무선데이터송수신장치 인터페이스 방안 협의

(바) 기타

- 초도편성 문제점 및 잔여편성 설계 현안사항 관련 담당자 수시 협의

다. 시제차량 제작 및 시험현황 관리

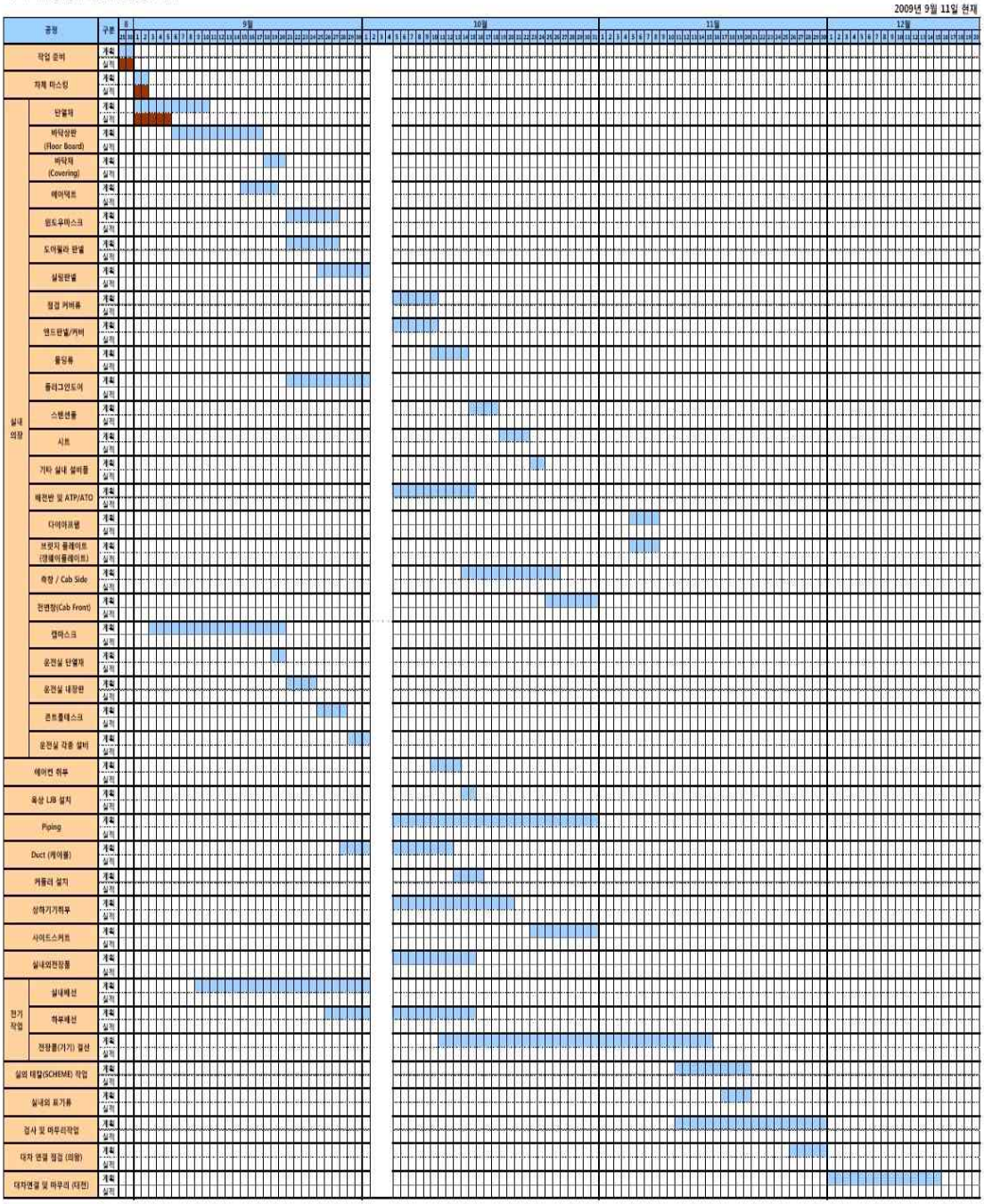
(1) 시제차량 제작 관리

(가) 시제차량 제작 일정(의장작업) 관리

- 의장작업 목표 일정 관리표

◆ 자기부상열차 의장작업 일정 계획

2009년 9월 11일 현재



• 의장작업 최종 공정 일정 관리표

◈ 자기부상열차 의장작업 일정 계획

공정		일정	11월													12월																
			17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
실내 의장	Side Threshold(4개, MC1)																																
	MC1 도어셋팅 마무리																																
	스텐션 폴																																
	지시등, 잠식등																																
	주조명/보조조명/전조등/LED 보조전조등																																
	비상인터폰(4) LCD 표시기(4)																																
	배전반																																
	운전실데스크(MC2)																																
	실내 판넬/내장 작업 마무리																																
	실내의자																																
	축전지																																
실외	실외데칼 및 로고(표기류)																																
	데칼 작업																																
옥상	UB 취부 브라켓(수정분)																																
	UB 취부 및 케이블 결선																																
연결기	전두연결기(중간연결기 기 입고)																																
	전두/중간 연결기 취부																																
상하	VVF/LB/FL/PDS/NDS(1량분 기 입고)																																
	VVF/LB/FL/PDS/NDS(잔여1량분)/조립시험 중																																
	전장품 취부 브라켓																																
	상하배관모듈																																
	상하배관 연결 및 전장품 취부																																
	상하기기 결선																																
대차	대차 2량분 입고																																
검사 및 시험																																	
외관 및 치수 검사																																	
중량 측정																																	
배선검사																																	
차체 리프팅 시험																																	
공기누설시험																																	
도어개폐시험																																	
등구류 조도 측정시험																																	
대차 연결및 인터페이스 확인																																	
출고행사(사업단 주관)/ 차량 이동 및 시험선 설치																																	
인원계획 (명)			5						10								10						6							5			

• 주요 의장 작업 사진

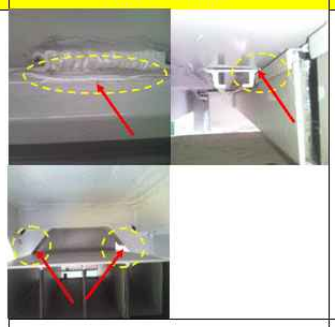
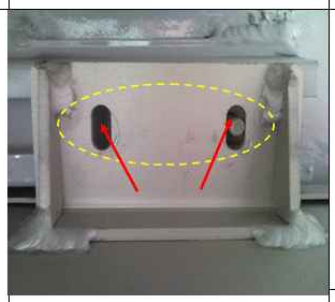
- HVAC 덕트 취부	- CAB MASK 취부
	

- HVAC 취부 	- 상하 전선 덕트 설치 및 배선 
- 출입문 설치 	- 내장판 설치 
- 전두 유리 설치 	- 운전대 취부 

- 상하기기 취부 	- 배전반 설치 
- LJB(지붕기기) 취부 	- 자동연결기 설치 
- 상하 배관 작업 	- 상하 주요전장품 취부 

(나) 의장작업 문제점 관리 및 조치

- 의장작업 시 발생하는 문제에 대한 관리를 통하여 초도편성 제작 공정 지연 방지
- 잔여편성 제작 시 발생가능한 문제에 대한 사전 해결책 마련
- 문제점 관리 조치(예)

No.	차종	장치명	도면번호	현상 및 발생원인	조치 방안	양산 제작시 반영(안)
1	MC1/MC2	기장 구체	RMD60022AM0 RSU10001AM0	 Cable Duct와 U/F간의 간섭 (용접비드,덕트뚜껑, 볼스타 프레임)	용접비드 사상후 최대한 U/F에 밀착후 현차 맞출예정	1.Cable Duct 뚜껑을 일체형으로 통짜로 제작반영 2. 케리어 볼트 레일 여유 오차 확보(덕트취부 브라켓 Slot 홀 활용)
2	MC1/MC2	기장	RMD90002AM0	 덕트와 구체의 간섭으로 인하여 도면상의 T볼트 사용시 취부 어려움 (길이 짧음) 도면치수 M6*25	업체 수배후 M6*30 으로 교체 취부예정	1.Cable Duct와의 I/F후 도면 반영 2. 특수 볼트인 관계 (제작및 수배 시간 지연)로 또한 간섭 우려를 위한 Size별 T볼트 확보 M6*25~30 10단위 확보

(다) 차량 이송/설치

- 중량 측정 및 대차연결 확인(2009.12.12)
  - 리프팅 러그 및 계근용 로드셀을 활용 차체/대차 계근 중량 측정




  - 차량 계근 결과

공차 중량 18.9톤/량 [차체 중량 11.9톤, 대차 중량 7톤]

- 목표중량(20톤/량) 초과 달성
- 대차 연결 확인 결과 일부 배관 및 전장품 브라켓 간섭 확인
  : 시험선 설치이전 조치 완료




• 시제차량 출고식(2009.12.15)
- 국토해양부, 건설교통교통기술평가원 등 관련 기관 인사 참석
- 도시형자기부상열차실용화사업 시제차량 제작 완료 대외 홍보(언론 매체 등)






• 기계연 시험선로 이송/설치(2009.12.15 ~ 2009.12.18)

- 이송/설치 일정 관리

일정	주요 내용	장소	비고
12월 12일	차체/대차 Trucking	의왕공장 L#1라인	1편성2량
12월 14일	차량 실.내외 청소		
12월 14일	작업장 주변정리 바닥보강작업	기계연	기계연 업무협조 요청 - 인원/차량/장비 정문 입/출입
12/14 ~12/15일	선로 비계 설치작업 (선로 좌우 약 25 m)	기계연	
12/15일 11:00 am ~	초도편성 출고행사	의왕공장 L#1라인	출고행사 일정/참석인원 확인 증 행사 주관 : 사업단 차체/대차 연결상태 (2량 1편성)
12/15일 오후	대차/차체 분리 대차 packing/이송(의왕=>대전)	의왕공장 L#1라인	
12/16 ~12/17일	대차 기계연 선로위 설치	기계연	기계연 업무협조 요청 - 인원/차량/장비 정문 입/출입
12/17일	차체(2량) packing/이송(의왕=>대전)	의왕공장 L#1라인	
12/18일	차체(2량)기계연 시험선로 설치	기계연	기계연 업무협조 요청 - 인원/차량/장비 정문 입/출입

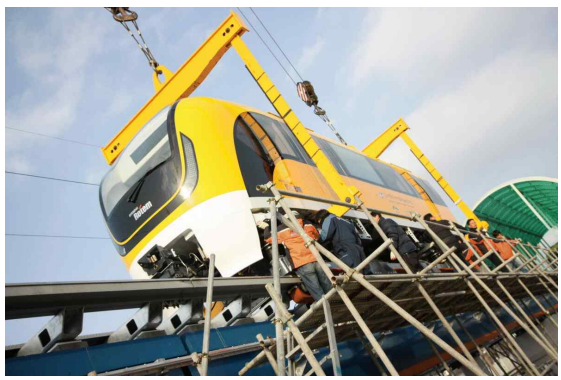
- 대차 설치 및 현장 정리(2009.12.15 ~ 2009.12.16)





- 대차-차체 조립 및 편성연결(2009.12.17 ~ 2009.12.18)





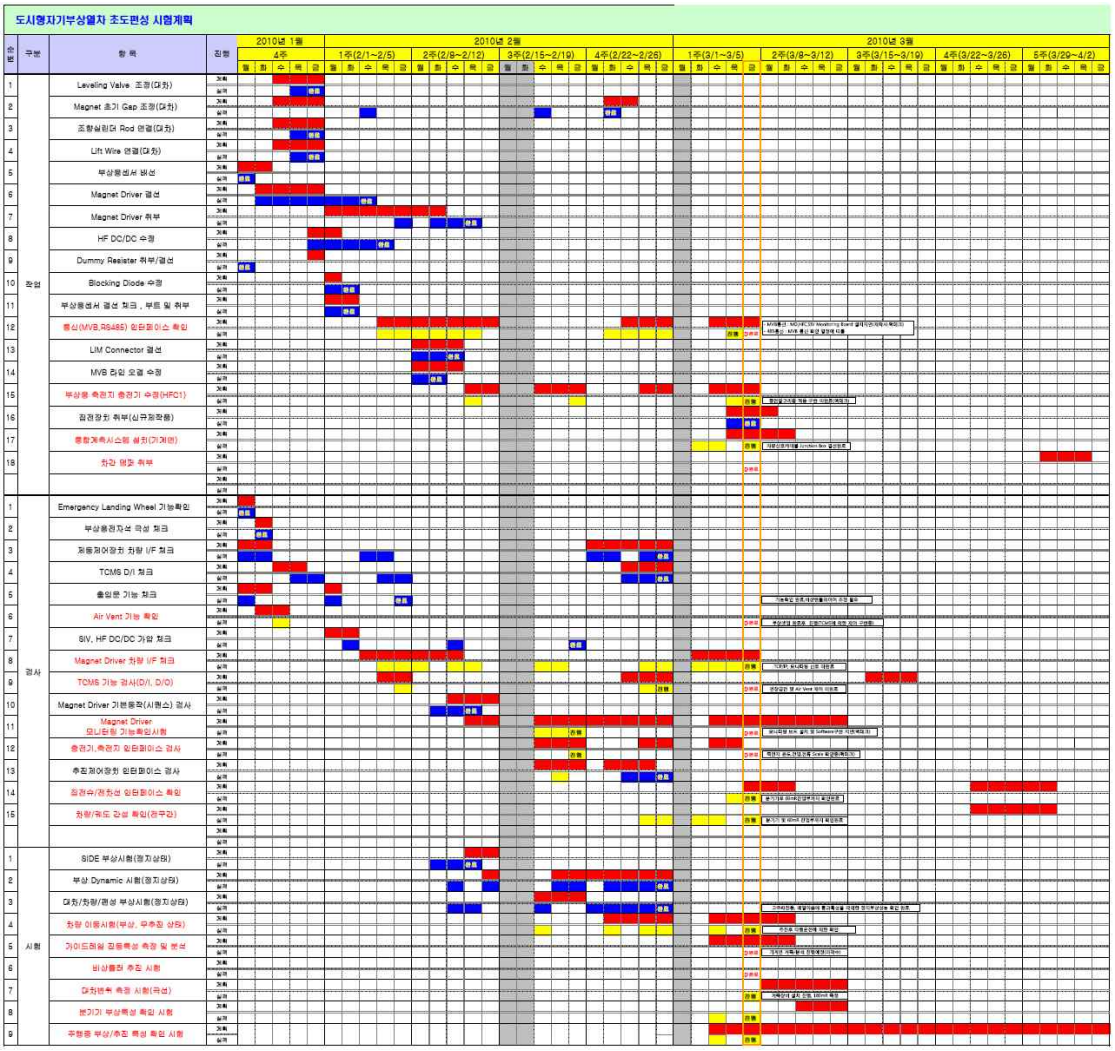
(2) 시제차량 시험 관리

(가) 시제차량 시험 관리(2010.1 ~)

- 차량 셋업 및 시험 일정 관리 : 셋업 조기 완료, 시험은 대외 홍보를 위한 지연 발생



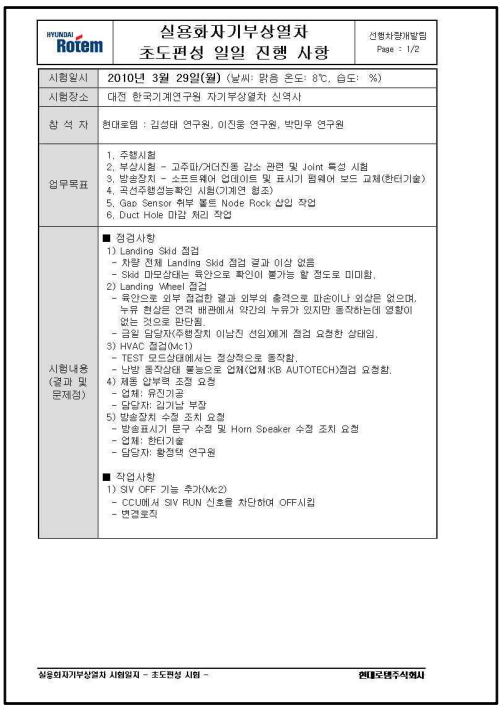




▣ 시험선 성능목표 달성

가감속 성능(4.0km/h/s), 시험선 최고속도 달성(70km/h), 부상공극변동(±3mm이내)

• 일일 시험 보고를 통한 문제점 공유 및 조치

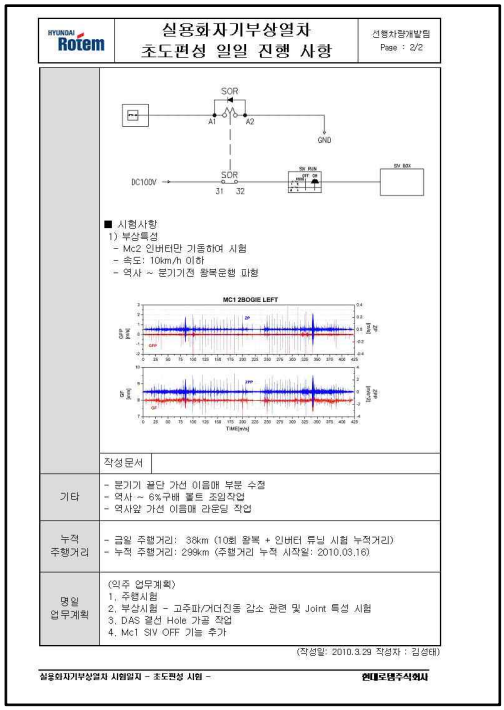


실용화자기부상열차
초도편성 일일 진행 사항

선행차량개발팀
Page : 1/2

시험일시	2010년 3월 29일(월) (날씨: 맑음 온도: 8℃, 습도: %)
시험장소	대전 한국기계연구원 자기부상열차 신역사
참 석 자	현대로템 : 김성태 연구원, 이진홍 연구원, 박민우 연구원
업무목표	1. 주행시험 2. 부상시험 - 고주파/거더진동 감소 관련 및 Joint 특성 시험 3. 방송장치 - 소프트웨어 업데이트 및 표시기 펌웨어 보드 교체(한티기술) 4. 곡선주행성능확인 시험(기계연 참조) 5. Gap Sensor 하부 볼트 Node Rock 삽입 작업 6. Duct Hole 마감 처리 작업
시험내용 (결과 및 문제점)	■ 점검사항 1) Landing Skid 점검 - 차량 전체 Landing Skid 점검 결과 이상 없음. - Skid 마모상태는 육안으로 확인이 불가능 할 정도로 미미함. 2) Landing Wheel 점검 - 육안으로 외부 점검한 결과 외부의 충격으로 파손이나 외상은 없으며, 누유 현상은 연직 배관에서 약간의 누유가 있지만 동작하는데 영향이 없는 것으로 판단됨. - 금일 담당자(주행장치 이남진 선임)에게 점검 요청한 상태임. 3) HVAC 점검(Mc1) - TEST 모드상태에서는 정상적으로 동작함. - 난방 동작상태 불능으로 업체(업체:KB AUTOTECH)점검 요청함. 4) 제동 압부력 조정 요청 - 업체: 유진기공 - 담당자: 김기남 부장 5) 방송장치 수정 조치 요청 - 방송표시기 문구 수정 및 Horn Speaker 수정 조치 요청 - 업체: 한티기술 - 담당자: 황정택 연구원 ■ 작업사항 1) SIV OFF 기능 추가(Mc2) - CCU에서 SIV RUN 신호를 차단하여 OFF시킴 - 변경로직

실용화자기부상열차 시험일지 - 초도편성 시험 -
현대로템주식회사



실용화자기부상열차
초도편성 일일 진행 사항

선행차량개발팀
Page : 2/2

■ 시험사항
1) 부상특성
- Mc2 인버터만 기동하여 시험
- 속도: 10km/h 이하
- 역사 ~ 분기기전 왕복운행 파형

	작성문서
기타	- 분기기 끝단 가선 이음매 부분 수정 - 역사 ~ 6%구배 볼트 조임작업 - 역사앞 가선 이음매 라운딩 작업
누적 주행거리	- 금일 주행거리: 38km (10회 왕복 + 인버터 튜닝 시험 누적거리) - 누적 주행거리: 298km (주행거리 누적 시작일: 2010.03.16)
명일 업무계획	(익주 업무계획) 1. 주행시험 2. 부상시험 - 고주파/거더진동 감소 관련 및 Joint 특성 시험 3. DAS 결선 Hole 가공 작업 4. Mc1 SIV OFF 기능 추가

(작성일: 2010.3.29 작성자 : 김성태)

실용화자기부상열차 시험일지 - 초도편성 시험 -
현대로템주식회사

(나) 차량 공개 시승을 통한 대외 홍보

• 차량 시승행사 수행중(2010.3 ~)





• '도시형자기부상열차 시제차량 성능평가회'(2010.4.9) 수행을 통한 대외홍보





- ‘도시형자기부상열차 연구개발 결과 공개발표회’(2010.5.3) 수행을 통한 대외 홍보




- 일반인 시승 수행을 통한 대외 홍보(매주 금요일)

(다) 시범노선 차량시험 기간 분석

- 차량시험(2량 3개 편성) 예상 공정표

<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="12">일정 (+ Months)</th><th rowspan="2">비고</th></tr>
<tr><th>+1</th><th>+2</th><th>+3</th><th>+4</th><th>+5</th><th>+6</th><th>+7</th><th>+8</th><th>+9</th><th>+10</th><th>+11</th><th>+12</th></tr>
<tr><td>1st 편성</td><td colspan="3">(차량 셋팅/튜닝)</td><td>(I/F)</td><td>(완성차)</td><td colspan="2">(최고 속도)</td><td colspan="4">(본선시험)</td><td rowspan="3">25 working days/월 기준

차량 셋팅/튜닝
3 개월
타 시스템간 I/F
1 개월
완성차 시험
1.5개월
최고속도 시험
1 개월
본선시험
4.5개월</td></tr>
<tr><td>2nd 편성</td><td></td><td colspan="3">(차량 셋팅/튜닝)</td><td>(I/F)</td><td colspan="2">(완성차)</td><td colspan="4">(본선시험)</td></tr>
<tr><td>3rd 편성</td><td></td><td></td><td colspan="3">(차량 셋팅/튜닝)</td><td>(I/F)</td><td>(완성차)</td><td colspan="4">(본선시험)</td></tr>
</table>

(라) 시제차량 기능/성능 개선 수행 관리

- 실내소음(냉난방장치) 성능 개선
- 제동시스템 보완 검토(제동캘리퍼 스프링 개선, 제동압력 재설정 등)
- 능동조향시스템 및 차간댐퍼 적용 방안 검토
- 집전장치 소음 개선을 위한 설계 개선 검토
  (집전슈 재질 변경, 자유도 방향 변경)

(마) 시제차량 완성차 시험(개발시험) 관리 →첨부[2-0_현대로템(주)-14] 참조

- 완성차 시험 28개 항목 실시 완료
- 연속주행시험 실시에 따른 운행 현황 관리 지원
- 초도편성 정비 점검 관리

기계연구원 자기부상열차 점검 항목 및 일정 2011.03.04

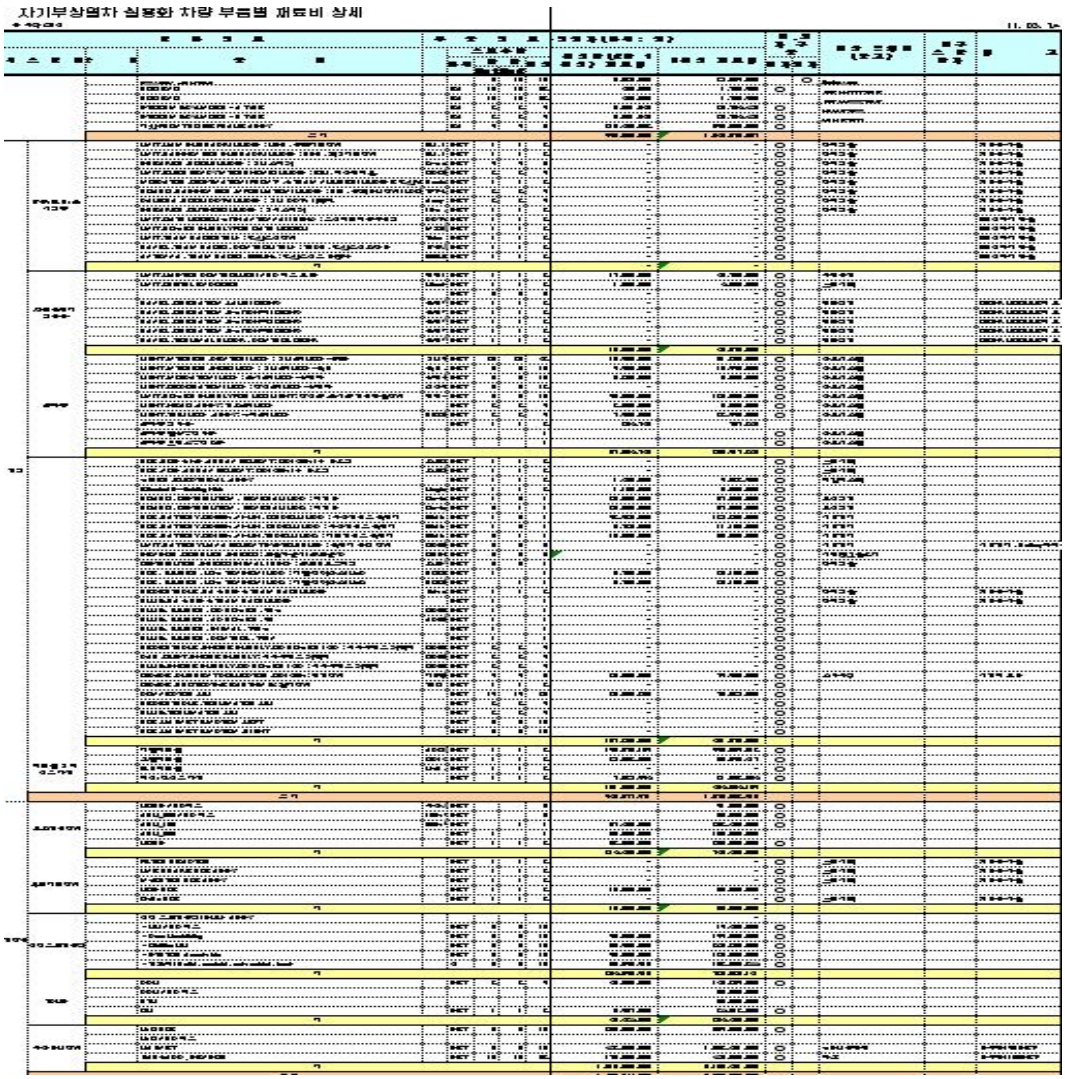
번 호	장 치	문제점	담당자	업체명	조치사항	조치일정	비 고
1	VVVF	1. 55~60km 속도에서 회생시 헌팅 현상 발생하여 회생제동기와의 인터페이스 시험 요청(기계연 요청 사항) 2. McB MVB 통신 불량 발생 3. 제동 관련 ECU와의 인터페이스 시험 요청(유진기공 요청)	김영한 권일동	브이씩텍	1. 모니터링 결과 인버터 정상 동작 확인 2. 보드 교체 완료 3. 인터페이스 관련 수정 4. 가/감속도 수정 완료(가/감속: 약 4.2~4.3)	~2/18	
2	M/D BOX	1. 초기기동시 통신 불량(McA/McB)	이종민	팩테크	1. 보드 제작업체에서 수정 진행중(McA&B 업체 교체 예정)	3월 한	업체 진행중 (인터컴)
3	HF DC/DC	1. 초기기동시 통신 불량(McA/McB)	이종민	팩테크	1. 보드 제작업체에서 수정 진행중(McA&B 업체 교체 예정)	3월 한	업체 진행중 (인터컴)
4	SIV	1. 초기기동시 통신 불량(McA)	이종민	팩테크	1. 보드 제작업체에서 수정 진행중(McA&B 업체 교체 예정)	3월 한	업체 진행중 (인터컴)
5	Steering	1. 곡선 진/출입시 기계 소음 발생	이남진		1. 점검결과 STEERING에서 발생되는 소음은 아닌것으로 판단	~2/18	
6	차간댐퍼	1. 미 적용 상태	이상엽		2월 안에 신규품 기계연 입고 예정이며 현차 시험 효과 검증(4월 한)	4월 시험 진행 예정	
7	DU	1. 초기 기동시 DU화면 오동작 현상 발생 (운전자 화면에서 메뉴버튼 깜박이는 현상) 2. 주행중 통신 불량(McA/B 둘다 발생하나 McB가 많이 발생됨) 3. 고장기록 저장 및 현시 오류 (운전자화면에서의 고장기록이 미현시됨)	김훈	첨장품개발팀	1. 오동작 및 고장기록 저장/현시 오류는 프로그램 수정 완료 2. 주행중 통신 불량 관련 2차 점검 예정(2월 25일) 3. 프로그램 수정하여 교체 완료(2월 25일) -> 정상 동작 확인	2/25	
8	Door	1. McA RIGHT 1번/McB LEFT 1번 DOOR 오동작 현상 발생 (가끔 발생되며 한번에 닫히지 않고 한번 열렸다가 닫힘)	박민우	ADSRAIL (허정웅)	1. 점검 결과 이상이 없으며 현재 정상 동작(일시적인 오동작으로 판단)	~2/11	
10	제동	1. 기계제동 감속도 및 압부력 부족 2. 회생제동시 만소트 압력이 너무 크게 들어가는 현상 발생 3. 성능 시험 미 진행 상태 4. 제동시 공류압 변환기 진동 및 진동소음 발생	박민우	유진기공 (최병일) (박영록)	1. 프로그램에서의 특정식 변경을 하여 공압을 높힘으로써 기계적 손실부분을 충족하여 성능시험 기준에 맞게 TUNNING 완료 2. 압력 조정하여 속도 5~6KM이하에서만 기계제동 동작 3. 감속도 완료하여 시험은 완료하였으며 콤프에서 입고 일정이 지연되면서 성능시험 일부 항목 미 진행(3월에 콤프에서 완료 항목 진행 예정) 4. 공류압 변환기 바닥에 고무판 추가 설치 예정	2/10~11 4월한	3월 7일 성능시험 미진행 항목 시험 예정
11	Compress	1. 모터 고장으로 인하여 시험대차 모터로 기동하는 상태 (McA에 설치/McB는 미설치 상태로 비가동) 2. 배기 밸브 미 설치 상태	박민우	유진기공 (나인균)	1. 모터는 업체에서 발주 완료상태(2월 18일 이전 입고 예정) -> 모터 입고 지연(2개월 소요 예정) -> 기존 고장 모터 업체 의뢰하여 수리 예정(2~3주 소요 예정) -> 수리 모터 입고 되는데로 TEST 한 후 성능시험 미 진행 항목 진행 예정 -> 새 모터 입고 되는데로 교체 계정(McA/McB) 2. 모터 교체시 배수 밸브 설치 완료 예정	4월한	수리품/배수 밸브 3월 7일 교체 예정
12	Battery (100[V])	1. 차량 부하 100%상태에서 기동시 전압 74[V]까지 떨어지는 현상	박민우	세방전지	1. Battery 점검 및 충방전 점검 완료 (충전전압/전류/온도 오차 수정-옵셋값 조정) (충방전 시험을 통한 개선 사항 확인 및 data 확보)	2/23~2/25	

- 잔여편성 성능 개선안 검증을 위한 추가 시험 방안 검토

라. 추가차량 제작 관리

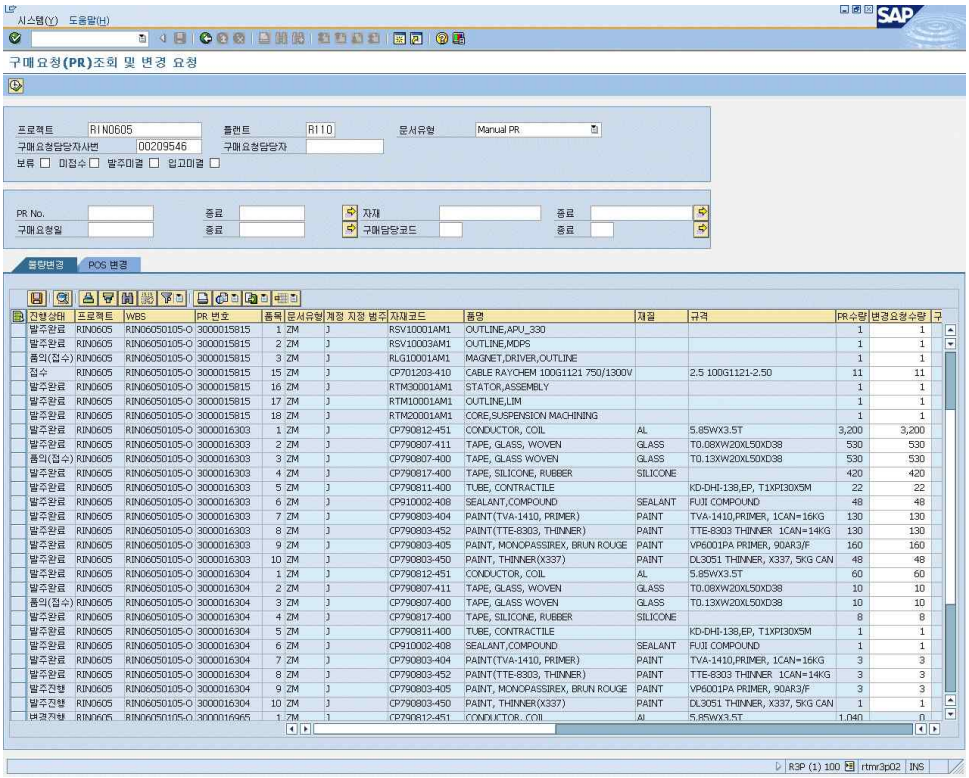
(1) 목표 원가 및 재료비 분석

- 초도편성 대비 단가 상승요인 분석
- 차량 개발/제작 비용 외 시범노선 개통을 위한 발생 비용 현실화를 위한 추가적인 검토 예정



(2) 장납기 품목 발주 진행

- 공기스프링, 보조전원장치, 선형유도전동기, 부상용센서, 전자석 등
- 사양 설명회 및 업체 평가에 의한 장납기 품목 구매 발주 완료
- 자재 발주 현황 관리(ERP 시스템에 의한 관리)

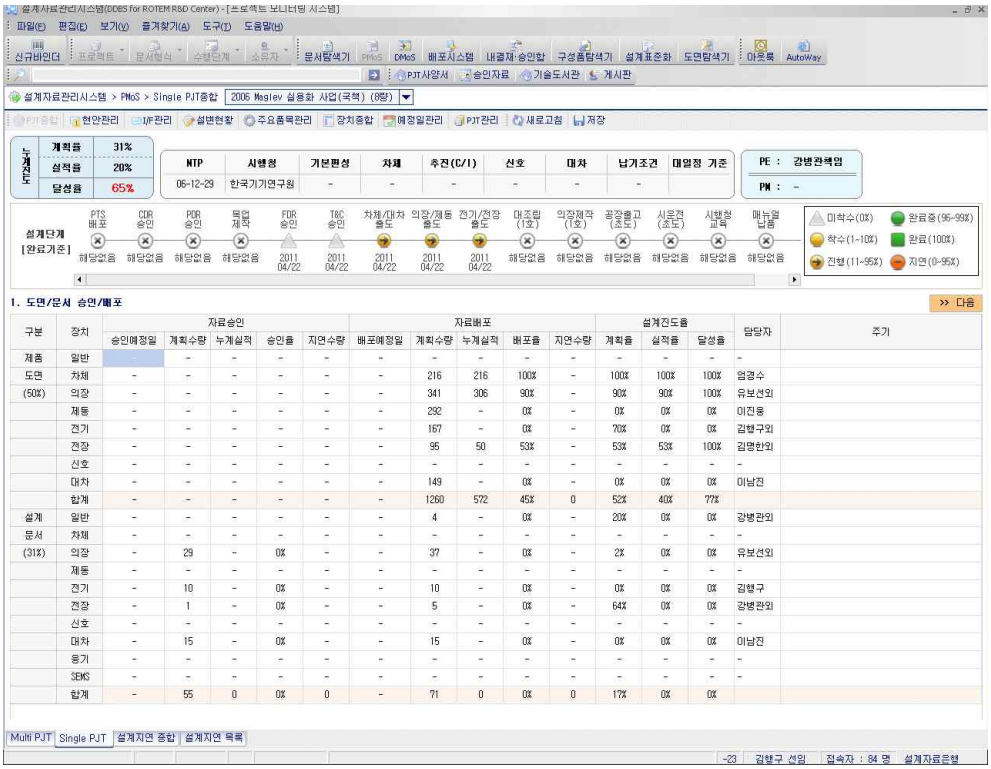


(3) 잔여편성 보완설계 관리(2011.5 완료)

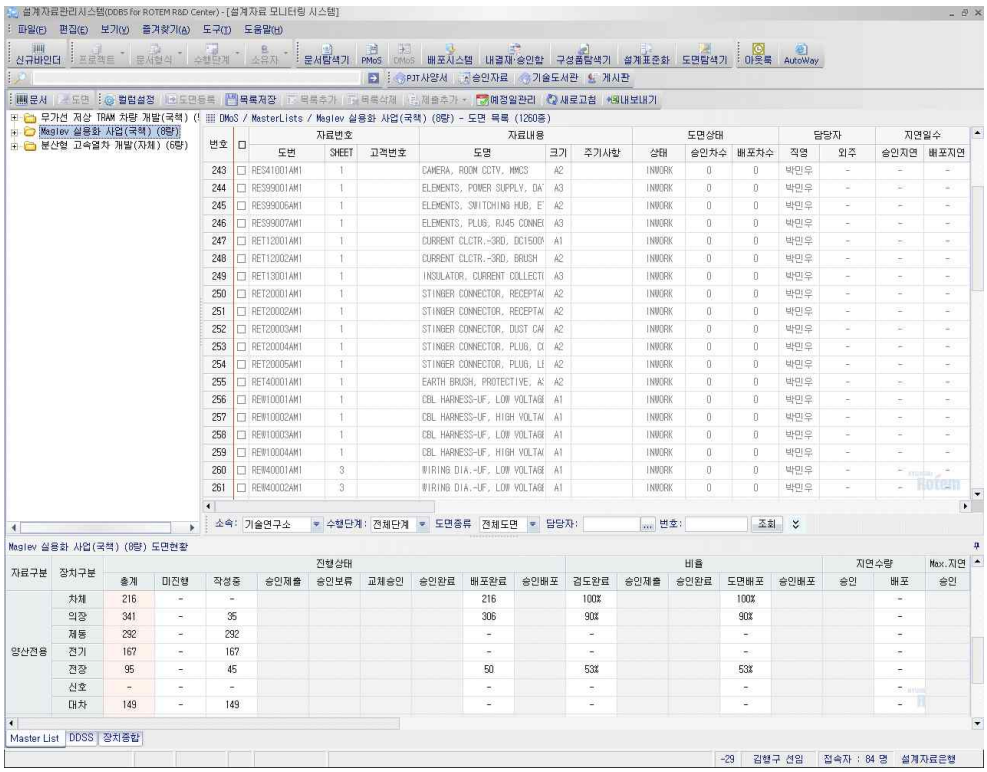
- 설계도면 출도 현황 관리(EKMS 시스템 관리)



- 개선사항 반영/문제점 해결 현황 관리
- 도면 및 사양서(절차서) 사업단 승인 관리 : 차체 분야 승인 완료
- 도면 및 문서 작성/제출 현황 관리(DDBS 시스템 관리)

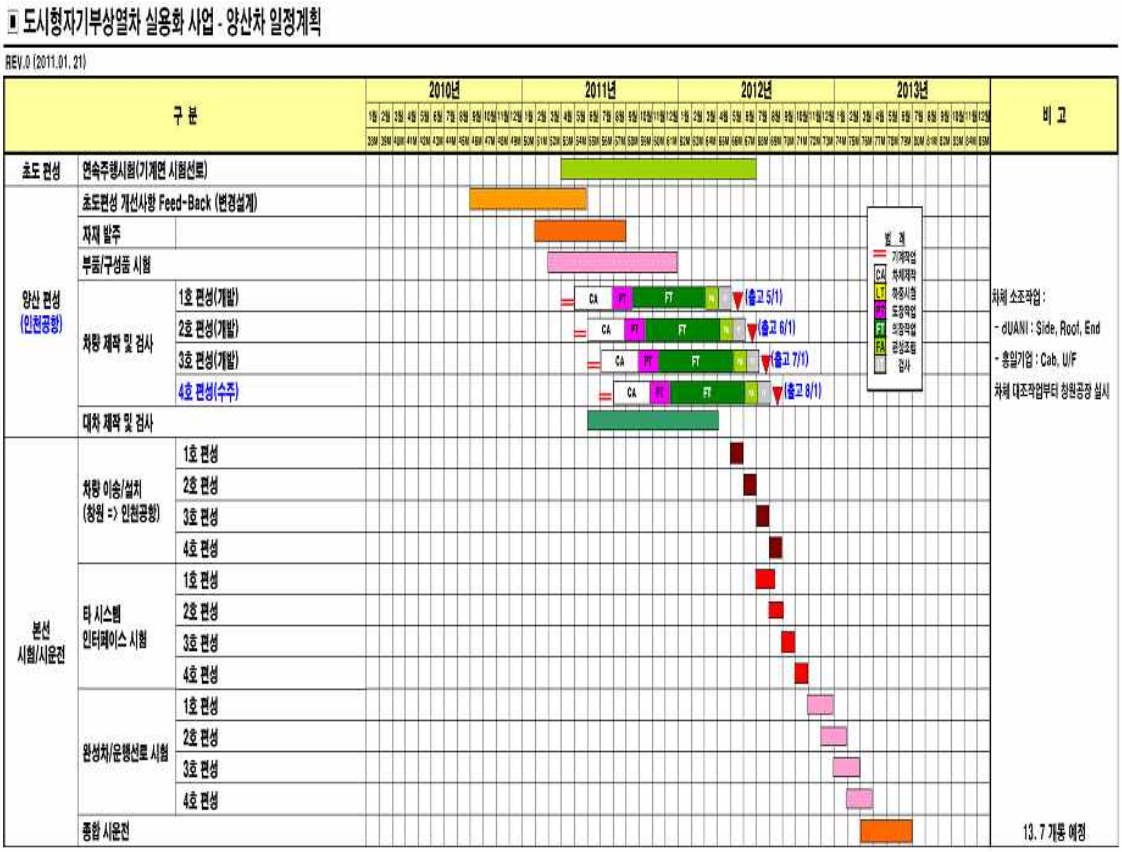


- 장치별 인터페이스 현황 관리(DDBS 시스템 관리)



(4) 차량 제작 일정 관리

- 잔여편성 제작 일정 관리 : 차체 제작 진행중



- 제작검사 신청 및 차량설명회 실시
- 성능시험 신청 및 항목 협의
- 차량 제작을 위한 공장설명회 실시(1차: 2011.3, 2차: 2011.5)

[2-1과제]

가. 차량개발 및 제작 (현대로템-주관)

(1) 차량 제작

(가) 개요

1) 개발차량 주요 사양 (기존 차량과 비교)

항 목		실용화 목표사양	기존 개발차량
1. 열차 편성		2량1편성(Mc1+Mc2)	2량1편성(Mc1+Mc2)
2. 선로조건		- 궤 간 : 1,850 mm - 등판능력 : 70 ‰ - 최소 곡선반경 : 50 mR - 가선 전압 : 1,500 VDC - 급전 방식 : 제3궤조방식	- 궤 간 : 2,000 mm - 등판능력 : 60 ‰ - 최소 곡선 반경 : 60 mR - 가선 전압 : 좌동 - 급전 방식 : 좌동
3. 성능조건		- 최고 설계속도 : 110 km/h - 가/감속성능 : 4.0 km/h/s => 4.2 - 실내소음 : 65 dB(A) - 승차감 : UIC 기준 2.0 이하 - 부상공극 : 8 mm (편차 +-3mm)	- 최고 설계속도 : 좌동 - 가/감속성능 : 3.6 km/h/s - 실내소음 : 68 dB(A) - 승차감 : 좌동 - 부상공극 : 10 mm
4. 주요 제원	4.1 차량치수	- 12(L) x 2.7(W) x 3.45(H) m/량 - 편성길이 : 24.5 m	- 13.5(L) x 2.85(W) x 3.53(H) m/량 - 편성길이 : 27.5 m
	4.2 탑승인원	- 만차정원 : 97 명/량 => 115 명/량	- 만차정원 : 100 명/량
	4.3 차량중량	- 공차 : 20 톤/량 이하 => 18.9 톤/량 - 만차 : 26.5 톤/량	- 공차 : 22.0 톤/량 (실측치 : 26 톤/량)

2) 개발차량의 특징 및 장점

구 분	주 요 특 징	비 고
구 체	- Single Skin 알루미늄 압출재 및 복합소재 적용 - 각 골조별 모듈화 확대 적용	
설 비	- 전기식 plug-in 아웃 슬라이딩 방식의 출입문 적용 - 수평형 스크롤 콤퓨레샤를 적용한 냉방장치로, 소음/진동 저감 및 소형/경량화 도모 - 경량 쿠션 및 난연 포지를 적용, 자연스러운 배치의 승객 의자	
제 동	- 유압실린더, 공/유압변환기 적용으로 소형/경량화 도모 - 전기제동(회생,역상) 영역 확대로 제동 슈 마모 최소화	
대 차	- 곡선통과성능 향상을 조향 메커니즘 적용 - 대차의 횡 변위 흡수를 위한 sliding table 적용 - 비상휠 적용	수량 : 4 대/량
부상시스템	- Drag Force를 줄이고 경량화를 위해 Long Pole 전자석 적용 - 이중화 디지털 제어기 적용	전자석 수량 : 32 대/량
추진시스템	- 추진전동기(LIM)의 수직력 최소화를 위한 제어 알고리즘 적용 - 고조파에 의한 추진전동기(LIM)에서의 자기음 최소화	LIM 수량 : 8 대/량
전기/신호 장치	- 정전시에도 일정시간 부상유지를 위한 Back-up 밧데리 적용 - 고주파 공진회로를 이용 보조전원장치의 소형/경량화 - 차량과 사령실간의 실시간 화상/음성 전송	

(나) 주요 개선 사항 (기존 차량 대비)

1) 차량 경량화 실현

- 차량 공차 중량 : 18.9톤 / 목표 중량 20톤 대비 초과 달성
- 차체 중량 11.9톤/량, 대차 중량 7톤/량
- 리프팅 러그 및 계근용 로드셀을 활용하여 중량 측정



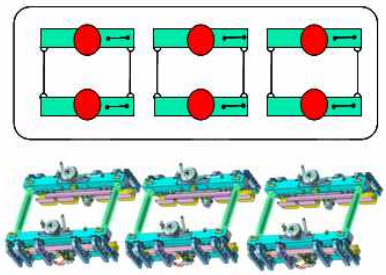
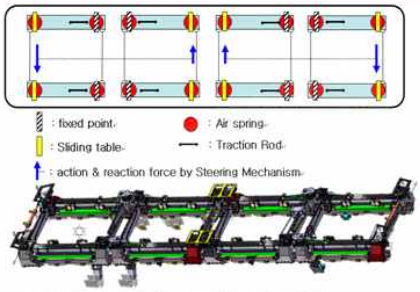
[그림 649]차량 중량 측정



[그림 650]대차 중량 측정

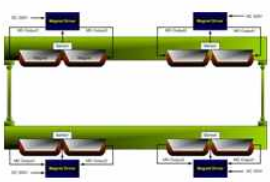
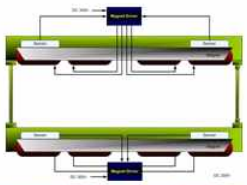
2) 주행장치[대차] 기술보완

- 동적 거동을 고려한 대차 프레임 내구 해석 기법 개발
- 대차 프레임 정하중 시험절차서 개발

구분	기존 개발차량	실용화 차량
대차 구성		
보완 사항	• 대차 수량 : 량당 3대 • 현수장치 수량 : 대차당 2셋트(가운데) • 조향 메커니즘 : 미적용 • 횡변위 흡수장치 : 미적용	• 대차 수량 : 량당 4대 • 현수장치 수량 : 대차당 4셋트(양 끝단) • 조향 메커니즘 : 적용 • 횡변위 흡수장치 : sliding table적용
특징	• 곡선 주행성능 미흡 • 진동흡수 미흡 – 승차감에 악영향	• 곡선 주행성능 향상 • 진동흡수 양호 – 승차감 향상

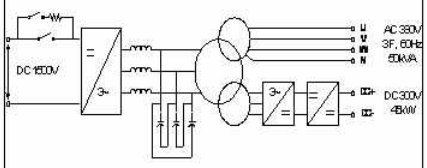
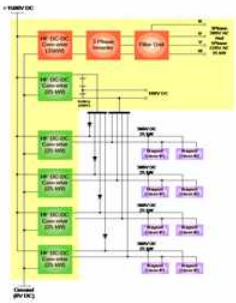
3) 부상시스템 기술보완

구분	기존 개발차량	실용화 차량	비 고
부상 공극	• 10 mm	• 8 mm	- 부상특성 향상 - 전력소모 36% 감소
순시 공극편차	• ± 5mm (at 70 km/h)	• ± 3mm (at 110 km/h)	- 주행 안정성 향상
부상 전자석	• Short Pole 적용	• Long Pole 적용	- 주행 성능 향상
	• 량당 24대 적용	• 량당 32대 적용	- 소형/경량화 - 부상특성 향상
부상 제어기	• Redundancy 미 적용	• Redundancy 적용	- 가용성 증대



4) 보조전원장치 기술보완

구분	기존 개발차량	실용화 차량
주 회로		
중량	• 1,160kg	• 700kg 이하
특징	• 일반 전동차에 적용된 구성과 유사	• 고주파 공진회로 적용, 소형/경량화 • Back-up 배터리의 적용 → 정전 시에도 일정시간 부상상태 유지

5) 기타 기술보완

구분	기존 개발차량	실용화 차량	비 고
추진시스템	• 수직력 변화의 제어 미비	• 수직력 변화의 제어 적용	- 열차 주행특성 향상
제동시스템	• 전기 및 공기제동	• 전기 및 공/유압제동	- 소형/경량화 - 제동특성 향상
차체재질	• Double Skin 알루미늄 압출재 적용	• Single Skin 알루미늄 압출재 적용	- 경량화 도모
차간 댐퍼	• 미적용	• 적용	- 주행성능 향상
공차중량	• 26.5 톤/량	• 18.9 톤/량	- 전력소모 감소

→ 선형유도전동기의 슬립주파수 제어 알고리즘에 관한 연구

→ 간접 벡터 제어에 근거한 선형유도전동기의 제어 일고리즘

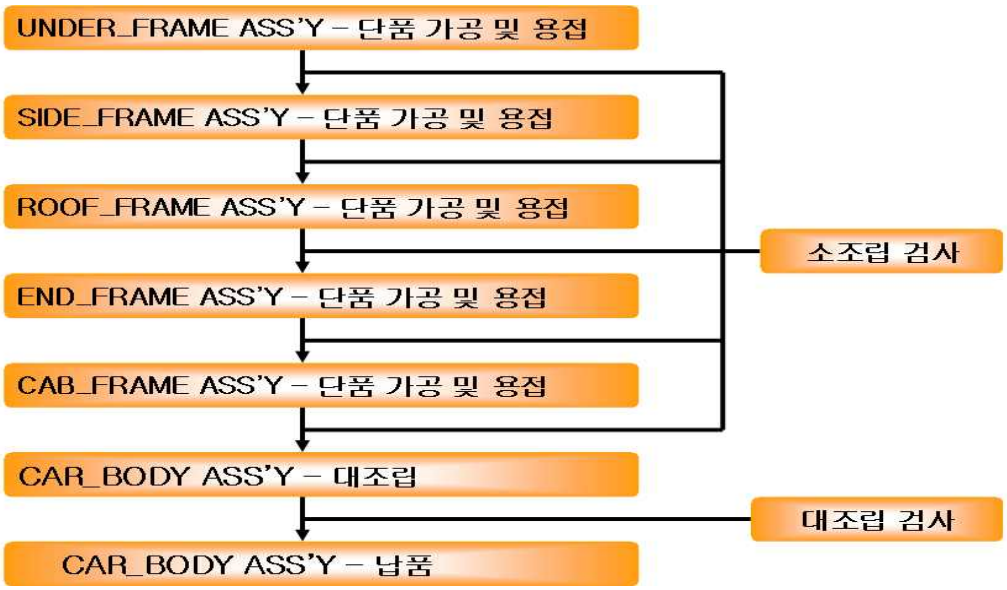
→ LIM 정특성 시험방법에 대한 연구

→ Grounding Shielding Concept

(다) 세부공정별 수행내역 및 결과

1) 차체 제작

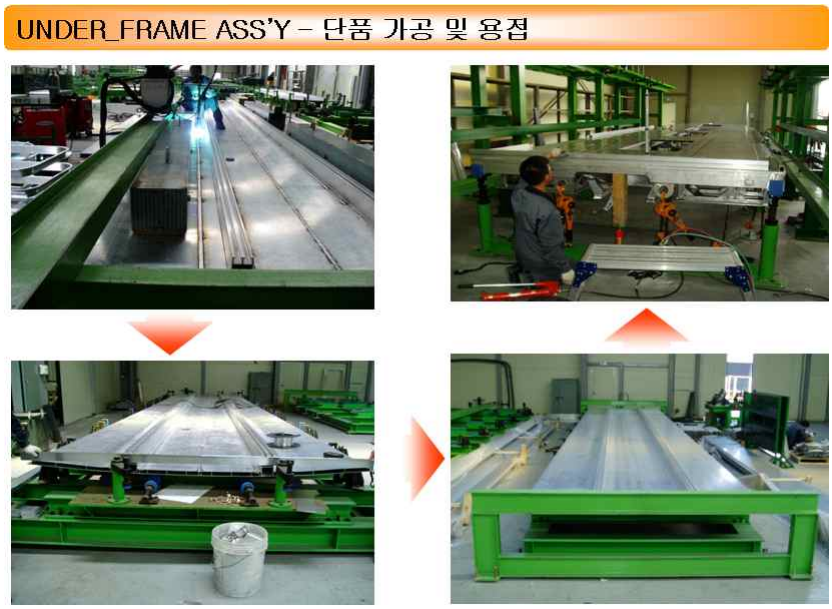
가) 차체 제작 Procedure



나) 측구조(사이드 프레임) 제작 과정



다) 언더프레임 제작 과정

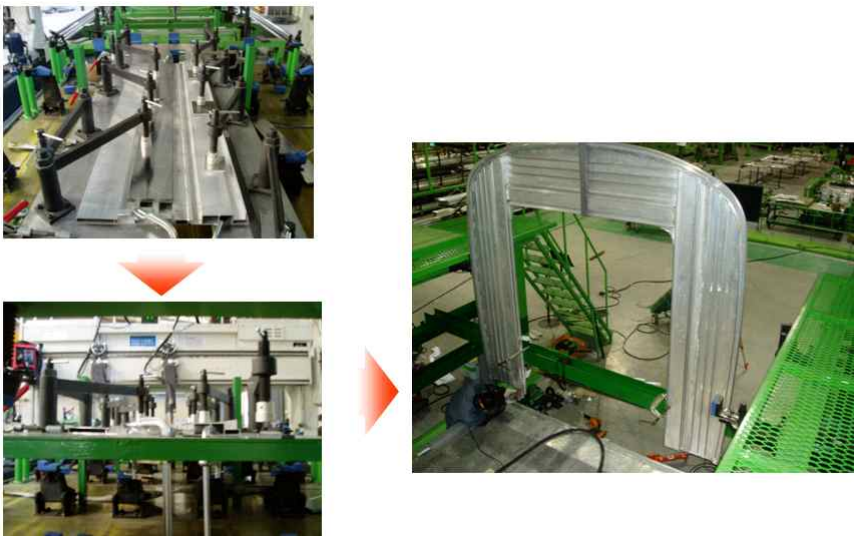


라) 지붕 구조 (루프 프레임) 제작 과정



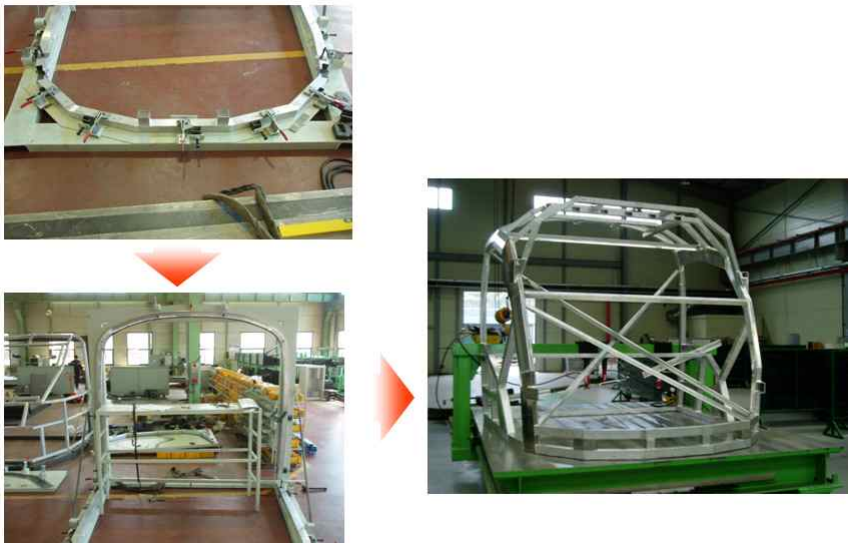
마) 단부 구조 (엔드 프레임) 제작 과정

END_FRAME ASS'Y – 단품 가공 및 용접



바) 전두 구조 (캡 프레임) 제작 과정

CAB_FRAME ASS'Y – 단품 가공 및 용접



사) 차체 대조립 및 하중시험



[그림 651]차체 대조립 - 전두 구조 용접



[그림 652]차체 대조립 - 지붕 구조 용접



[그림 653]차체 대조립 - 지붕 구조 용접

2) 의장 작업

가) 차체 이송 및 안착



[그림 654]의장 작업 준비

나) HVAC 덕트 설치



[그림 655]냉난방 덕트 설치

다) 전두 마스크 설치



[그림 656]전두 마스크 설치

라) HVAC 본체 설치



[그림 657]HVAC 장치 설치 (차량 지붕)

마) 상하 전선 덕트 설치 및 배선 작업



[그림 658]상하 전선 작업

바) 출입문 설치



[그림 659]출입문 설치

사) 내장판 설치



[그림 660]객실 내장판 설치

아) 전면창 설치



[그림 661]운전실 전면창 설치

자) 운전대 설치



[그림 662]운전대 설치

차) 상하기기 설치



[그림 663]상하기기 설치 (사진은 공기통 및 배관)

카) 배전반 설치



[그림 664]객실 배전반 설치 (차량 단부)

타) 지붕기기 설치



[그림 665]지붕 기기 설치 (사진은 LJB)

파) 자동연결기 설치



[그림 666]전두부 자동연결기 설치

하) 상하 공기배관 설치



[그림 667]상하 공기배관 설치

거) 상하 주요 전장품 설치



[그림 668]상하 주요 전장품 설치

3) 차량 완성/출고 및 시험선 이송 설치

→차량 운반 및 하역 방안 검토

→차량 리프팅 해석 보고서



[그림 669]차량 완성후 출고 기념식



[그림 670]완성 차량 시험선로 설치

(2) 초도편성 조립/결선 및 차량 안정화 작업 수행[기계연 시험선]

→ 기계연 시험선로 상부궤도 설치 공차와 부상공극 비교

→ 자기부상열차 초도편성 Eddy Current 영향 측정

→ 자기부상열차 초도편성 Magnet Current에 의한 Weight Blance 측정

○ 차량 이송/설치 후 각종 부품 기능/성능 점검 및 결선 작업

○ 차량 기능/성능 자체 점검

- 차량비상롤러, 조향실린더 및 착지 SKID 점검
- 차체가속도/ 승차감 측정 확인/시험
- 주행 중 밧데리 백업 기능시험
- 통신라인 점검(DCU/HVAC 등)
- 제동장치 및 압부력 점검

○ 정지부상 및 Dynamic 시험

- 레일 고주파 진동에 따른 게인 튜닝 수행

○ 공차 만차 차량 주행 특성시험(추진/부상/보조전원)

○ 연속주행시험/안정화 작업(부상/추진/제동 시험)

: 누적 주행거리 1096 km (2010.05.28일 기준)

- 증속시험/ 최고속도 70 km/h

(3) 초도편성 개발시험(완성차 기능/성능시험) 절차서 초안 작성

순번	항 목	하중조건	
		공차	만차
1	추진제어장치시험	○	
2	종합제어장치시험	○	
3	제어회로시험	○	
4	시동, 정지 및 운전실교환시험	○	
5	보조전원시험	○	
6	부상장치시험	○	
7	축전지 및 충전기 기능확인 시험	○	
8	역행시험(완성차)	○	○
9	역행시험(본선)	○	○
10	제동시험(정차상태)	○	
11	제동시험(주행상태)	○	○
12	집전시험		○
13	냉난방, 환기시험	○	
14	객실 및 운전실 기기시험	○	

	(표시등 및 조명장치 시험)		
15	객실 및 운전실 기기시험 (방송장치 시험)	○	
16	객실 및 운전실 기기시험 (표시기장치 시험)	○	
17	객실 및 운전실 기기시험 (화재감지기 시험)	○	
18	출입문시험	○	
19	누설자속측정시험	○	○
20	비상롤러 추진시험	○	○
21	부상장치 축전지 백업시험	○	○
22	승차감시험	○	
23	소음시험	○	
24	진동시험	○	
25	주행저항 측정시험	○	○
26	주요기기 온도 및 상태시험	○	○
27	전자기파 측정시험	○	
28	구배/곡선 추종성 시험	○	○
29	가속도 시험	○	○

(4) 시제차량 완성차 시험



[그림 671]완성 차량 시험선로 주행 장면

(가) 개요

1) 완성차 시험 수행 목적

본 단계 기간중에 제작된 자기부상열차가 목표 사양을 만족하는지 평가하기 위하여 완성차 단계에서의 각종 시험을 실시하였다.

2) 완성차 시험의 종류

- 추진제어장치 시험
- 종합제어장치 시험
- 제어회로 시험
- 시동, 정지 및 운전실 교환 시험
- 보조전원장치 시험
- 부상장치 시험
- 축전지 및 충전기 기능 확인 시험
- 추진제어장치 완성차 역행 시험
- 추진제어장치 본선 역행 시험
- 추진제어장치 가감속 시험
- 제동장치 완성차 시험
- 집전장치 완성차 시험
- 냉난방, 환기 시험
- 표시등 및 조명장치 시험
- 방송장치 시험
- 표시기 장치 시험
- 화재감지기 시험
- 출입문 시험
- 누설자속 시험
- 비상롤러 추진 시험
- 부상장치 축전지 백업 시험
- 주행저항 측정 시험
- 주요기기 온도 및 상태 시험
- 승차감 시험
- 진동 시험
- 소음 시험

(나) 완성차 시험 수행내역 및 결과

1) 추진제어장치 시험

가) 시험 항목 : 추진제어 장치 평가를 위한 다음 항목을 확인하였다

- 제어전압
- 입력 및 출력신호
- Self Test 기능
- 의장 배선상태 확인
- 운전 시퀀스 확인
- 역행 토크 패턴
- 제동 토크 패턴
- 보호 동작 확인
- 기동 기능

나) 시험 결과

순번	시험항목	기준치		측정치
1	제어전원 확인시험	제어전압이 정상전압(DC70V-DC110V) 인지 확인		110.2V
2	입력 및 출력신호 확인시험	EO, F, P, B의 LED 점등상태를 확인		EO, F, P, B OK
3	SelfTest 확인시험	1) Controller의 MGMON의 디스플레이에 고장현시가 없음을 확인 2) Controller의 MGDOUT에 LED 점등상태를 확인		OK
4	기능시험			
4.1	의장상태 확인시험	1) 주회로 배선은 정상 여부 2) 제어회로 배선 정상 여부 3) RSD 배선은 전용 배관으로 되어 있고 주회로선과 교차, 접근,병행하지 않을 것		OK
4.2	운전시퀀스 확인시험	1) HSCB 투입⇒CCK투입⇒LB 투입⇒ CCK 개방 2) 주간 제어기 역전기를 중립으로 하면 HB,CCK,LB가 개방됨		OK
4.3	역행토크 패턴시험	Notch	최대 지령치에 대한 백분율	첨부1-1
		P1N	35% (2.8V ±10%)	2.75
		P2N	57% (4.6V ±10%)	4.40
		P3N	79% (6.3V ±10%)	6.20
		P4N	100% (8V ±10%)	7.80
4.4	제동토크	Notch	최대 지령치에 대한 백분율	첨부1-1

	패턴시험	B1N	20% (1.6V ±10%)	1.85
		B2N	32% (2.6V ±10%)	2.80
		B3N	44% (3.5V ±10%)	3.71
		B4N	56% (4.5V ±10%)	4.65
		B5N	68% (5.4V ±10%)	5.51
		B6N	80% (6.4V ±10%)	6.50
		B7N	100% (8V ±10%)	8.00
4.5	보호동작 확인시험	1) 보호동작 발생시 VVVF Inverter는 Gating을 Off한 후 HSCB, CCK, LB 개방 2) MG_MON 보드의 디스플레이에 GDF 고장이 현시 되는지 확인한다.		OK
5	기동확인 시험	1) 주간제어기를 역행으로 한 뒤 1초 이내에 주간제어기를 중립으로 설정하면 HSCB 투입⇒CCK투입⇒LB 투입 ⇒CCK 개방 순으로 동작 2) 역전기와 차량의 진행방향이 일치할 것		OK

2) 종합제어장치(TCMS) 시험

가) 시험 항목 : 종합제어장치 평가를 위한 다음 항목을 확인하였다

○ TCMS 시험
- 시스템 구성
- 고장 표시 기능
- 자동 검사 기능

○ 운전실 시험
- 운전실 선택
- 주간제어기
- 운전자 경계용 손잡이

○ 회로 차단기 감시

○ 제동장치 연계동작 시험
- 비상제동 현시
- 정차제동 현시

○ SIV 연계동작 시험
- SIV 중고장(FDR)감시

○ Lamp 연계동작 시험
- 객실등 제어
- 헤드라이트 제어

○ 출입문 연계동작 시험

○ 화재경보 연계동작 시험

○ 냉난방장치 연계동작 시험

○ 방송표식 연계동작 시험

○ 마그넷 드라이버 연계동작 시험

○ 비상룰러(ER) 연계동작 시험

나) 시험 결과

순번	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	TCMS	1) 시스템 : 전원을 인가하기 전에 Mc1과 Mc2차의 VCPUS 보드 전면 판넬의 MOD, TL의 로터리스위치를 바르게 설정 - CCU1: MOD[0], TL[1], 7-Segment[1] - CCU2: MOD[1], TL[2], 7-Segment[2] - CCU3: MOD[0], TL[3], 7-Segment[3] - CCU4: MOD[1], TL[4], 7-Segment[4]	양호	양호	
		2) 고장표시 : 임의로 고장을 발생시켜 고장이 발생하는지 확인	양호	양호	
		3) 차상검사 : - 출고전검사(PDT), 차상검사를 실시 - 선두차 역전기를 전진 위치로 이동 가) 출고전검사 - "출고전검사"화면으로 이동. - "시험시작"버튼을 누름 / 시험결과 확인 - 마그넷드라이버(MD)시험 버튼 누름 - "시험시작"버튼 누름 / 시험결과 확인 나) 차상검사 - 추진장치검사에서 "시험시작" 버튼 누름. / 시험결과 확인 - 제동장치검사에서 "시험시작" 버튼 누름 / 시험결과 확인 - 보조전원장치검사에서 "시험시작" 버튼 누름 / 시험결과 확인 - HFC장치검사에서 "시험시작" 버튼 누름 / 시험결과 확인 - 서비스기기검사에서 "방송표시기", "냉방시험", "난방시험"을 선택하여 "시험시작"버튼 누름 / 시험결과 확인 - MD검사에서 "시험시작" 버튼 누름 / 시험결과 확인	양호	양호	
2	운전실	1) 선두차 역전기를 전진 위치로 이동	양호	양호	

	선택	가) 선두차 화면상 전진표시 : 녹색 - 선두차에 HCR 선택 확인. - 선두차에 HB신호 ON 확인. - 선두차에 ENABLE TRACTION 신호 ON 확인. - 후부차에 TCR 선택 확인 나) 선두차 화면상 전진표시 : 적색 - 선두차에 HCR 선택 확인 - 선두차에 HB, ENABLE TRACTION 신호 중 하나 ON 확인 - 후부차에 TCR 선택 확인 2) 선두차 역전기를 후진 위치로 이동 가) 선두차 화면상 후진표시 : 녹색 - 선두차에 HCR 선택 확인 - 선두차에 HB신호 ON 확인 - 선두차에 ENABLE TRACTION 신호 ON 확인 - 후부차에 TCR 선택 확인 나) 선두차 화면상 후진표시 : 적색 - 선두차에 HCR 선택 확인 - 선두차에 HB, ENABLE TRACTION 신호 중 하나 ON 확인 - 후부차에 TCR 선택 확인 3) 역전기 중립 위치로 이동. - TCMS 화면에 전지/후진 표시 없음 확인 - HCR/TCR 선택되지 않음 확인 (디지털 입출력 화면에서 확인)			
3	주간 제어기	1) 선택된 운전실의 주간제어기를 중립위치로 이동하고 운전자 경계용 손잡이를 누름 - 추진: 0.0% 확인 - 제동: 0.0% 확인 2) 주간 제어기를 선택된 운전실에서 B1에서 B7로 이동 - 제동: ~ 90%(EB:100%) 확인	양호	양호	
4	운전자 경계 손잡이	1) 선택된 운전실에서 P1 노치로 이동하고 운전자 경계용 손잡이를 누른후 다시 운전자 경계용 손잡이를 놓는다. - DEADMAN 경보확인부저 울림. - TCMS 화면에 DEADMAN 표시 확인 2) 선택된 운전실에서 주간제어기를 제동 위치로 이동	양호	양호	

		- DEADMAN 부저 멈춤 확인 - TCMS 화면에 DEADMAN 표시 삭제			
5	회로차단기 (NFB)감시	1) AC NFB 1개 이상 OFF - TCMS화면에 AC MCB 트립 현시 2) AC NFB 모두 ON - TCMS화면에 AC MCB 트립 삭제 3) DC NFB 1개 이상 OFF - TCMS화면에 DC MCB트립 현시 4) DC NFB 모두 OFF - TCMS화면에 DC MCB트립 삭제	양호	양호	
6	제동장치 연계동작 시험	1) 비상제동 현시 가) 주간제어기 EB취급 - TCMS화면에 "비상"표시 될 것 나) 주간제어기 EB 이외의 위치 취급 - TCMS화면에 "비상"표시 삭제 될 것 다) Safety Loop Not EB 취급 - TCMS화면에 "비상"표시 될 것 라) Safety Loop Not EB 취급 아닐 때 - TCMS화면에 "비상"표시 삭제 될 것 2) 정차제동 현시 가) 정차제동스위치 취급 - TCMS화면에 "정차" 표시 될 것 나) 정차제동스위치 복귀 - TCMS화면에 "정차" 표시 삭제 될 것	양호	양호	
7	SIV 연계동작 시험	SIV 중고장(FDR) 상태로 설정 - SIV고장 표시 - TCMS는 SIV다운 신호 출력	양호	양호	
8	Lamp 연계동작 시험	1) 객실등제어 가) 선택된 운전실에서 객실등 스위치 ON - 모든 차량의 객실등 점등 나) 선택된 운전실에서 객실등 스위치 OFF - 모든 차량의 객실등 소등 2) 헤드라이트(전조등) 가) 헤드라이트 스위치 ON - 헤드라이트 상향 나) 헤드라이트 스위치 OFF - 헤드라이트 하향	양호	양호	
9	출입문 연계동작 시험	1) 출입문 열림시험 - TCMS 화면에 출입문 열림 현시 2) 출입문 닫힘시험 - TCMS 화면에 출입문 닫힘 표출. 3) 출입문 바이패스 시험 - TCMS 화면에 출입문 바이패스 스위치 현시	양호	양호	

10	화재경보 연계동작 시험	1) 화재경보 모의 상황 발생 - 화재경보 메시지 및 "화재" 현시 2) 화재경보장치 고장 모의 상황 발생 -)화재경보장치 고장 메시지 현시.	양호	양호	
11	냉난방장치 연계동작 시험	1) 선두운전실 HVAC 상태정보 화면에서 HVAC 운전모드를 "OFF"로 선택 - 냉난방장치 운전모드에 "OFF" 현시 2) 선두운전실 HVAC 상태정보 화면에서 HVAC 운전모드를 "전냉방"으로 선택 - 냉난방장치 운전모드에 "전냉방" 현시 3) 선두운전실 HVAC 상태정보 화면에서 HVAC 운전모드를 "반냉방"으로 선택 - 냉난방장치 운전모드에 "반냉방" 현시 4) 선두운전실 HVAC 상태정보 화면에서 HVAC 운전모드를 "환기"로 선택 - 냉난방장치 운전모드에 "환기" 현시 5) 선두운전실 HVAC 상태정보 화면에서 HVAC 운전모드를 "자동"로 선택 - 냉난방장치 운전모드에 "자동" 현시 6) 선두운전실 HVAC 상태정보 화면에서 HVAC 운전모드를 "전난방"로 선택 - 냉난방장치 운전모드에 "전난방" 현시 7) 선두운전실 HVAC 상태정보 화면에서 HVAC 운전모드를 "반난방"로 선택 - 냉난방장치 운전모드에 "반난방" 현시	양호	양호	
12	방송 표시기장치 연계동작 시험	1) MC1 인터폰1 신호 ON - MC1 객실인터폰1 그림 현시 2) MC1 인터폰1 신호 OFF - MC1 객실인터폰1 그림 삭제 3) MC1 인터폰2 신호 ON - MC1 객실인터폰2 그림 현시 4) MC1 인터폰2 신호를 OFF - MC1 객실인터폰2 그림 삭제 5) MC2 인터폰1 신호 ON - MC2 객실인터폰1 그림 현시 6) MC2 인터폰1 신호 OFF - MC2 객실인터폰1 그림 삭제 7) MC2 인터폰2 신호 ON - MC2 객실인터폰2 그림 현시 8) MC2 인터폰2 신호 OFF - MC2 객실인터폰2 그림 삭제	양호	양호	
13	MD (마그넷 드라이버) 연계동작 시험	1) 선택된 운전실에 MD START 버튼 ON - TCMS 화면상 모든 차량의 MD가 START로 표시됨 2) 선택된 운전실에서 MD UP 버튼 OFF - TCMS 화면상 모든 차량의 MD가	양호	양호	

		UP 상태로 표시됨 3) MD1 ~ MD16으로부터 MD Levitation OK신호 입력 - TCMS화면에 모든 차량의 MD가 부상된 All Levitation OK 현시			
14	비상룰러 (Emergency Roller) 연계동작 시험	1) 선택된 운전실에서 ER START 버튼 ON - 비상룰러가 작동됨 - ER OIL 압력이 120 Bar 이상 되면 비상룰러가 작동 중지됨 - ER OIL 압력이 100 Bar 이하가 되면 비상룰러가 작동됨 2) 선택된 운전실에서 ER STOP 버튼 ON - 비상룰러 작동 중지됨 3) 선택된 운전실에서 ER BYPASS 스위치 ON - 비상룰러 작동 중지됨 - 압력에 따른 제어를 수행하지 않음	양호	양호	

3) 제어회로 시험

가) 시험 항목 : 차량 제어회로의 평가를 위한 다음 항목을 확인하였다

- 제어회로 전원투입 시험
- 고속차단기 투입 및 차단 시험
- 비상제동 안전루프 회로 시험

나) 시험 결과

○ 제어회로 전원투입 시험

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	최소전압 (DC70V) 기동/정지 시험	- 차량기동 후 주요기기 전원투입 상태가 양호할 것 - 차량정지 후 주요기기 전원이 차단될 것	양호	양호	외부전원 /무가압 /정차, 착지
2	최대전압 (110V) 기동/정지 시험	- 차량기동 후 주요기기 전원투입 상태가 양호할 것 - 차량정지 후 주요기기 전원이 차단될 것	양호	양호	

○ 고속차단기 투입 및 차단 시험

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	최소전압 (DC70V) 고속차단기 기동/정지 시험	- 추진제어장치 및 고속차단기 동작 상태가 양호할 것 - 고속차단기 투입 및 차단 정상동작(Display Unit 확인)	양호	양호	외부전원 /무가압 /정차, 착지 /VVVF INV. Test모드
2	최대전압(110V) 고속차단기 기동/정지 시험	- 추진제어장치 및 고속차단기 동작 상태가 양호할 것 - 고속차단기 투입 및 차단 정상동작 (Display Unit 확인)	양호	양호	

○ 비상제동 안전루프 회로 시험

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	최소전압 (DC70V) 비상제동 안전루프 회로 시험	- 비상제동 버튼에 의한 비상제동 체결/완해가 정상 동작할 것 - 주간제어기에 의한 비상제동 체결/완해가 정상 동작할 것 - 주간제어기 Dead Man스위치에 의한 비상제동 체결/완해가 정상 동작할 것 - 주공기압에 따른 비상제동 체결/완해가 정상 동작할 것 - 저속도 신호에 따른 비상제동 완해가 정상 동작할 것	양호	양호	외부전원 /무가압 /정차, 착지
2	최대전압 (110V) 비상제동 안전루프 회로 시험	- 비상제동 버튼에 의한 비상제동 체결/완해가 정상 동작할 것 - 주간제어기에 의한 비상제동 체결/완해가 정상 동작할 것 - 주간제어기 Dead Man스위치에 의한 비상제동 체결/완해가 정상 동작할 것 - 주공기압에 따른 비상제동 체결/완해가 정상 동작할 것 - 저속도 신호에 따른 비상제동 완해가 정상 동작할 것	양호	양호	

4) 시동, 정지 및 운전실 교환 시험

가) 시험 항목 : 차량 시동/정지/운전실 교환 기능 평가를 위한 다음 항목을 확인하였다

- 제어 전원 개폐 시험
- 외부전원인가 확인 시험
- 운전대 교환 기능 시험 (수동)

나) 시험 결과

○ 제어 전원 개폐 시험

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	기동시험	- 기동시 CCU 및 제어기기의 초기 기동상태가 양호할 것 - 축전지 전압 현시가 양호할 것	양호	양호	최소 및 최대 전압 조건에서 실시
2	제어전원 유지시험	- 축전지 전원 투입 후 선두 미지정시 제어전원 유지가 양호할 것.	양호	양호	
3	정지시험	- 정지시 제어기기의 전원차단이 양호할 것.	양호	양호	

○ 외부전원인가 확인 시험

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	외부전원 인가확인 시험	- 차량내 정상적으로 전원인가가 될 것	양호	양호	최소 및 최대 전압 조건에서 실시

○ 운전대 교환 기능 시험 (수동)

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	운전실 선택시험	- 운전실 선택 시 선두 및 후부 계전기 동작상태가 양호 할 것.	양호	양호	최소 및 최대 전압 조건에서 실시
2	비상제동 계전기 동작확인 시험	- 비상제동 계전기 동작 상태가 양호할 것.	양호	양호	

5) 보조전원장치 시험

가) 시험 항목 : 보조전원장치 기능 평가를 위한 다음 항목을 확인하였다

- 기동/정지 확인 시험
- 무부하 운전시 교류 출력전압 측정 시험
- 전부하 운전시 교류 출력전압 측정 시험
- 직류 출력전압 측정 시험
- 연장 급전 시험

나) 시험 결과

○ 기동/정지 확인 시험

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			MC1	MC2	
1	기동시험	기동 순서가 양호할 것	양호	양호	
2	정지시험	정지 순서가 양호할 것	양호	양호	

○ 무부하 운전시 교류 출력전압 측정 시험

순	시험항목		기준치	측정치		시험결과	비고
				MC1	MC2		
1	출력전압	U-V	AC 380V +5%, -10%	376 V	376 V	OK	
		V-W	AC 380V +5%, -10%	377 V	376 V	OK	
		W-U	AC 380V +5%, -10%	377 V	377 V	OK	
2	출력주파수		60Hz ± 1%	59.99 Hz	59.99 Hz	OK	
3	왜율		5% 이하	1.9 %	2.0 %	OK	
4	상회전 방향		U - V - W	OK	OK	OK	

○ 전부하 운전시 교류 출력전압 측정 시험

순	시험항목		기준치	측정치		시험결과	비고
				MC1	MC2		
1	출력전압	U-V	AC 380V +5%, -10%	376 V	377 V	OK	
		V-W	AC 380V +5%, -10%	376 V	377 V	OK	

		W-U	AC 380V +5%, -10%	376 V	377 V	OK	
2	출력주파수		60Hz ± 1%	59.99 Hz	59.99 Hz	OK	
3	왜율		5% 이하	2.2 %	2.8 %	OK	
4	상회전 방향		U - V - W	OK	OK	OK	

○ 직류 출력전압 측정 시험

순	시험항목		기준치	측정치		시험 결과	비고
				MC1	MC2		
1	출력전압1		DC 100V +5%, -5%		96.9 V	OK	
	리플율1		5% 이하		7.9 %	OK	
2	출력전압2		DC 330V +5%, -5%	329.9 V		OK	
	리플율2		5% 이하	4.5 %		OK	
3	출력 전압3	무부하	DC 350V +5%, -5%	348 V	348.9 V	OK	
		전부하		347.7 V	348.9 V	OK	
	리플율 3	무부하	5% 이하	6.6 %	3.7 %	OK	
		전부하		7.7 %	4.6 %	OK	

○ 연장 급전 시험

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			MC1	MC2	
1	연장 급전 시험	연장급전 기능이 양호할 것	OK	OK	

6) 부상장치 시험

가) 시험 항목

: 부상장치의 기능 및 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 입력 및 출력신호 확인시험
- 기동 확인시험
- 정지 확인시험
- 정지 부상/착지 시험

나) 시험 결과

○ 부상장치 기능 확인 시험

순번	시험항목	기준치	판정
1	입/출력 신호 확인시험	제어기 DIO 보드 및 Power 보드의 LED 점등상태를 확인	OK
2	기동확인 시험	MD START 기동 스위치 투입되면 OUTK 투입-> CHK 투입-> LK 투입 순으로 동작 확인	OK
3	정지확인 시험	기동 상태에서 MD START스위치 OFF되면 컨텍터 OFF 되며 정지 동작 확인	OK
4	정지부상/ 착지 시험	1) 정상부상 상태일 경우 LEV_OK 출력 확인 2) 부상상태시 측정항목의 판정기준 만족 확인	OK

○ 정지상태 부상시 성능 측정 (MC1 만차)

순번	측정항목	기준치	측정치(V)	판정
1BL Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.05V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.57V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.57V	
1BL Rear	sGAP	5V ± 0. 5V ((8mm ±1mm (offset 적용))	5.18V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.58V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.59V	
1BR Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.04V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.53V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.51V	
1BR Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.08V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.52V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.54V	
2BL Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.08V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.65V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.65V	
2BL Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.17V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.66V	

순번	측정항목	기준치	측정치(V)	판정
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.65V	
2BR Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ± 1mm (offset 적용))	5.04V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.64V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.63V	
2BR Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.15V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.65V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.64V	
3BL Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.06V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.58V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.58V	
3BL Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.08V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.57V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.55V	
3BR Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.07V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.64V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.62V	
3BR Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ± 1mm (offset 적용))	5.18V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.60V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.59V	
4BL Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.05V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.60V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.61V	
4BL Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.06V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.57V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.59V	
4BR Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.05V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.62V	

순번	측정항목	기준치	측정치(V)	판정
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.61V	
4BR Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.12V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.63V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.63V	

○ 정지상태 부상시 성능 측정 (MC2 만차)

순번	측정항목	기준치	측정치	판정
1BL Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.03V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.55V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.52V	
1BL Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.12V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.59V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.58V	
1BR Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.06V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.57V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.55V	
1BR Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.16V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.65V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.66V	
2BL Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.05V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.57V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.57V	
2BL Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.10V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.60V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.60V	
2BR Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.03V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.53V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.53V	
2BR Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.17V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.72V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.71V	

순번	측정항목	기준치	측정치	판정
3BL Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ± 1mm (offset 적용))	5.06V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.58V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.60V	
3BL Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ± 1mm (offset 적용))	5.10V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.60V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.58V	
3BR Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ± 1mm (offset 적용))	5.03V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.53V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.55V	
3BR Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.08V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.57V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.57V	
4BL Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ± 1mm (offset 적용))	5.11V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.63V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.62V	
4BL Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ±1mm (offset 적용))	5.12V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.54V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.54V	
4BR Front	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ± 1mm (offset 적용))	5.07V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.59V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.60V	
4BR Rear	sGAP	5V ± 0. 5V (8mm ± 1mm (offset 적용))	5.16V	OK
	Current 1	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.73V	
	Current 2	0.625V ± 0.15V (25A ± 6A)	0.71V	

7) 축전기 및 충전기 기능 확인 시험

가) 시험 항목

: 축전기 및 충전기의 기능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 72 CELL 방전시험
- 240 CELL 방전시험

- 72 CELL 충전시험
- 240 CELL 충전시험

나) 시험 결과

순번	시험항목	시험 방법	측정치	결과
1	축전지 (72CELL) 방전시험	1) 배전반에서 BLVR1(98V)의 12L25선을 제거하여 저전압 감지 회로를 차단한다. 2) 축전지 전압이 만충전되었는지를 CCU DU를 통해 확인한다. 3) 부록 1의 부하만을 연결한다. 4) 방전 종지전압(72V) 까지의 도달시간을 측정한다. (10분 단위로 전압, 전류를 측정) 5) 방전 시간은 30분 이상 유지한다.	방전 개시 전압 :DC88V 방전전압 (DC72V) 도달 시간 :30분58초	양호
2	축전지 (240CELL) 방전시험	1) 배전반에서 BLVR1(98V)의 12L25선을 제거하여 저전압 감지 회로를 차단한다. 2) 축전지 전압이 만충전되었는지를 CCU DU를 통해 확인한다. 3) 부록 1의 부하만을 연결한다. 4) 차량내 CCU DU 모니터에서 부상 START 및 UP/DOWN 스위치을 ON 한다. 5) 방전 종지전압(240V)까지의 도달시간을 측정한다. (0.1초 단위로 전압, 전류를 측정) 6) 방전 시간은 30초를 유지한다.	방전전압 도달시간 :5분	양호
3	축전지 (72CELL) 충전시험	1) 배전반에서 BLVR1(98V)의 12L25선을 연결하여 저전압 감지 회로를 복귀한다. 2) 차량내 축전지 충전기(98V)를 작동 시킨다. 3) 축전기가 축전지 충전기에 의해 만충전될 때까지의 시간, 전류, 전압을 측정한다.	만충전전압 :DC97.6V	0.4V 미달
4	축전지 (240CELL)	1) 배전반에서 BLVR3(98V)의 12L25선을 연결하여 저전압 감지	충전개시 전압	양호

	충전시험	회로를 복귀한다. 2) 차량내 축전지 충전기(330V)를 작동 시킨다. 3) 축전기가 축전지충전기에 의해 만충전될 때까지의 시간, 전류, 전압을 측정한다.	:DC305V 만충전전압 :DC330.2V	

9) 추진제어장치 완성차 역행 시험

가) 시험 항목

: 추진제어장치의 역행 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

○ 추진 시험

- 기동 시험
- 추가 노치 시험
- 재역행 시험
- 가속도 및 저크 측정 시험

나) 후진 시험

나) 시험 결과

○) 추진 시험

- 기동 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			MC1	MC2	
1	1N->10km/h->OFF->B1->0km/h	역행 특성이 양호할 것	양호	양호	
2	1N->20km/h->OFF->B5->0km/h		양호	양호	
3	2N->20km/h->OFF->B5->0km/h		양호	양호	
4	3N->20km/h->OFF->B7->0km/h		양호	양호	
5	4N->30km/h->OFF->B7->0km/h		양호	양호	
6	3N->구내최대속도->B7->0km/h		양호	양호	
7	4N->구내최대속도->B7->0km/h		양호	양호	

- 추가 노치 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			MC1	MC2	
1	1N->10km/h->2N->20km/h->3N->구내최대속도->B7->0km/h	역행 특성이 양호할 것	양호	양호	

2	2N->15km/h->4N ->구내최대속도->B7->0km/h		양호	양호	
3	4N->1N->4N->1N->4N->B7 ->0km/h		양호	양호	
4	1N->2N->4N->B7->0km/h		양호	양호	

- 재역행 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			MC1	MC2	
1	4N->OFF->4N->OFF->4N->B7 ->0km/h	역행 특성이 양호할 것	양호	양호	
2	1N->10km/h->OFF->3SEC->2N ->구내최대속도->B7->0km/h		양호	양호	
3	2N->20km/h->OFF->3SEC->3N ->구내최대속도->B7->0km/h		양호	양호	
4	4N->10km/h->OFF->3SEC->4N ->30km/h->B7		양호	양호	

- 가속도 및 저크 측정 시험

순서	시험 항목	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
				MC1	MC2	
1	가속도	4N->구내최대속도 ->B7->0km/h	4.0km/h/s 이상	양호	양호	
2	저크 측정	4N->구내최대속도 ->B7->0km/h	0.8m/s3 이하	양호	양호	

나) 후진 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			MC1	MC2	
1	1N->10km/h->OFF->B1->0km/h	역행 특성이 양호할 것	양호	양호	
2	1N->20km/h->OFF->B5->0km/h		양호	양호	
3	2N->20km/h->OFF->B5->0km/h		양호	양호	

9) 추진제어장치 본선 역행 시험

가) 시험 항목

: 본선에서의 추진제어장치의 역행 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 기동 시험
- 후진 시험
- 추가 노치 시험
- 재역행 시험
- 구배 기동 시험

나) 시험 결과

○ 기동 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			TC1	TC2	
1	1N->30km/h->OFF->B7-> 0km/h	역행 특성이 양호할 것.	양호		완성차 역행시험으로 대체
2	2N->30km/h->OFF->B7-> 0km/h				
3	3N -> 허용최고속도 -> OFF -> B7 -> 0km/h				
4	4N -> 허용최고속도 -> OFF -> B7 -> 0km/h	0.8m/s^{3}이하			

○ 후진 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			TC1	TC2	
1	1N->10km/h->OFF->B1->0km/h	역행 특성이 양호할 것.	양호		완성차 역행시험으로 대체
2	2N->20km/h->OFF->B5->0km/h				

○ 추가 노치 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			TC1	TC2	
1	1N -> 4N -> 허용최고속도 -> B7 -> 0km/h	역행 특성이 양호할 것	양호		완성차 역행시험으로 대체
2	1N -> 2N -> 3N -> 4N -> 허용최고속도 -> B7 -> 0km/h				
3	1N -> 2N -> 4N -> 허용최고속도				

	-> OFF -> B7 -> 0km/h			
4	2N -> 4N -> 허용최고속도 -> OFF -> B7 -> 0km/h			

○ 재역행 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			TC1	TC2	
1	1N -> OFF -> 1N -> OFF -> B7 -> 0km/h	역행 특성이 양호할 것	양호		완성차 역행시험으로 대체
2	2N -> OFF -> 2N -> OFF -> B7 -> 0km/h				
3	3N -> OFF -> 3N -> OFF -> B7 -> 0km/h				
4	4N -> OFF -> 4N -> OFF -> B7 -> 0km/h				
5	1N -> OFF -> 4N -> OFF -> B7 -> 0km/h				

○ 구배 기동 시험

순서	시험 항목	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과	비 고
1	1M차 개방	6.0% 구배에서 기동	구배 기동할것	양호	

10) 추진제어장치 가감속 시험

가) 시험 항목

: 추진제어장치의 가감속 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 공차 가속도 / 감속도 시험
- 만차 가속도 / 감속도 시험

나) 시험 결과

○ 공차 가속도 / 감속도 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			Mc1	Mc2	
1	4N → 45km/h 이상 → FF → B7 → 0km/h	4.0km/h/s 이상일 것	양호	양호	가속도
2	4N → 45km/h 이상 → FF	4.0km/h/s	양호	양호	감속도

	→ B7 → 0km/h	이상일 것			

○ 만차 가속도 / 감속도 시험

순서	운 전 조 건	시험 기준	시험 결과		비 고
			Mc1	Mc2	
1	4N → 45km/h 이상 → FF → B7 → 0km/h	4.0km/h/s 이상일 것	양호	양호	가속도
2	4N → 45km/h 이상 → FF → B7 → 0km/h	4.0km/h/s 이상일 것	양호	양호	감속도

11) 제동장치 완성차 시험

가) 시험 항목

: 제동장치의 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

○ 정차상태 시험

- 상용제동 시험
- 비상제동 시험
- 정차제동 시험
- 압부력 시험
- 충기/완해 시험
- 주공기압축기 시험
- 공기건조기 시험
- 공기 누설 시험
- 공기 작용장치 시험

○ 주행상태 시험

- 상용제동 시험
- 비상제동 시험

나) 시험 결과

○ 정차상태 시험

① 시험 결과 종합

순번	시험항목	시험내용	기준치	측정치
1	상용제동	충격 또는 이음 없이 상용제동이 원활히	확인	양호

	시험	체결될 것		
		제동실린더 압력이 규정치를 만족할 것	별표참조	별표참조
2	비상제동 시험	주제어기 및 비상제동 스위치에 의해 제동이 원활히 체결되며 충격 및 이음이 없을 것	확인	양호
		제동실린더 압력이 규정치를 만족할 것	별표참조	별표참조
3	정차제동 시험	제동실린더 압력이 규정치를 만족할 것	별표참조	별표참조
4	압부력 시험	상용전제동시의 제동실린더 압부력을 측정하여 기준치를 만족하여야 한다	M: 20.67kN 이상 Mc1 (1unit)	미결
		비상제동시의 제동실린더 압부력을 측정하여 기준치를만족하여야 한다	M: 23.25kN 이상 Mc1 (1unit)	미결
5	충기 /완해 시험	제동실린더 공기유입시간(95%까지) 측정시 5초 이내이어야 한다	5초이내	1 sec
		완해시 1.0kgf/㎠ 까지의 시간이 8초 이내 이어야 한다	8초이내	0.5 sec
		강제완해스위치 동작 시 제동실린더 압력이 배기되어야 한다.	확인	양호
6	주공기 압축기 시험	초충기 시간 측정	12.5분 이내	8분
		재기동압력(단위 :kgf/㎠)확인	8.0±0.2	7.85
		정지압력(단위 :kgf/㎠)확인	9.0±0.2	8.94
		안전밸브작동압력(단위 :kgf/㎠)확인	9.7±0.3 ~ +10%	미결
		MRPS 설정압력(단위 : kgf/㎠)확인	ON:7.0±0.2 OFF:6.0±0.2	ON : 7.10 OFF : 5.99
7	공기 건조기 시험	작동주기 정상 여부 확인	120초±6초	Mc1: 119sec Mc2: 미결
8	공기 누설 시험	주공기 계통의1분당 누설량 0.2kgf/㎠ 이하일 것	확인	0.07kgf/㎠ (8.35→8.28)
		제동실린더 압력의 압력 강하는 3분간 0.1kgf/㎠ 이하일것	확인	Mc1 :4.00→4.00 Mc2 :4.10→4.10
9	공기 작용장치 시험	공기스프링 압력 측정	별표 참조	별표 참조

② 상용/비상/정차 제동 시험 결과

STEP	기준치(kgf/㎠±0.2)				측정치(kgf/㎠±0.2)				비 고
	Mc1		Mc2		Mc1		Mc2		
	공차	만차	공차	만차	공차	만차	공차	만차	
1	1.03	1.18	1.03	1.18	1.02		1.07		
2	1.49	1.79	1.49	1.79	1.51		1.50		
3	1.95	2.40	1.95	2.40	1.85		1.87		
4	2.41	3.01	2.41	3.01	2.32		2.29		
5	2.87	3.62	2.87	3.62	2.72		2.73		
6	3.33	4.22	3.33	4.22	3.16		3.13		
7	3.79	4.83	3.79	4.83	3.83		3.80		
비상	4.19	5.36	4.19	5.36	4.15		4.10		
정차	2.82	3.55	2.82	3.55	2.83		2.83		

③ 공기 스프링 압력 측정 (공차 / 만차)

상태	기준치 (kgf/㎠±0.2)		실측치 (kgf/㎠±0.2)	
	Mc1	Mc2	Mc1	Mc2
공차	3.42	3.42	3.49	3.15
만차	5.28	5.28		

○ 주행상태 시험

① 상용제동 시험 (공차 상태)

순번	시험항목		시험기준	시험기준		비고
				Mc1	Mc2	
1	공기 제동 시험	역행시 제동완해	BC압력 소멸될 것	양호	양호	
		동작확인 시험	충격 및 이음이없을 것	양호	양호	
		제동지령 신호 확인	Mc1, Mc2 BC압력	양호	양호	

			동시상승 할 것				
		BC압력 확인	FSB	3.79±0.2kgf/㎠	3.82	3.67	
		감속도 측정	4.0km/h/s 이상	1회	4.17	4.22	
				2회	4.07	4.17	
				평균	4.12	4.19	
		저크 측정	0.8m/s^3	1회	0.70	0.61	
				2회	0.70	0.70	
				평균	0.70	0.66	
2	혼합 제동 시험	역행시 제동 완해	BC압력 소멸될 것.		양호	양호	
		동작확인 시험	충격 및 이음이 없을 것		양호	양호	
		전기제동 신호 확인	전기제동 요구신호 출력, 전기제동 달성신호 입력 신호 확인할 것.		양호	양호	
		혼합제동 확인	Fade Out 이후 전기제동 달성신호가 소멸, Mc1, Mc2차의 제동 실린더 압력이 동시 상승할 것.		양호	양호	
		감속도 측정	4.0km/h/s 이상	1회	4.17	4.27	
				2회	4.27	4.32	
				평균	4.22	4.29	
		저크 측정	0.8 m/s3	1회	0.52	0.50	
				2회	0.54	0.54	
				평균	0.53	0.52	

② 비상제동 시험 (공차 상태)

순번	시험항목		시험기준		시험결과		비고
1	주간 제어기 EB	동작확인 시험	충격 및 이음이 없을 것		양호	양호	
		제동지령신호 확인	제동지령신호 확인 할 것		양호	양호	
		BC압력 동시 상승	Mc1,Mc2 BC압력 동시 상승 확인 할 것		양호	양호	
		BC압력 확인	EB	4.19±0.2kg/㎠	4.13	4.13	
		감속도 측정	4.5km/h/s 이상	1회	4.61	4.55	
				2회	4.61	4.61	

				평균	4.61	4.58	
2	비상 제동 스위치	동작확인 시험	충격 및 이음이 없이 체결될 것		양호	양호	
		제동지령 신호 확인	제동지령신호 확인 할 것		양호	양호	
		BC압력 동시 상승	Mc1, Mc2 BC압력 동시 상승 확인 할 것		양호	양호	
		BC압력 확인	EB	4.19±0.2kg/㎠	4.13	4.06	
		감속도 측정	4.5km/h/s 이상	1회	4.61	4.61	
				2회	4.79	4.55	
				평균	4.70	4.58	
3	제동 중 비상제동시험		상용제동 중에 주간 제어기 또는 비상제동 스위치로 비상제동 인가시 비상제동이 원활이 체결될 것		양호	양호	

12) 집전장치 완성차 시험

가) 시험 항목

: 집전장치의 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 동작 시험
- 압상력 시험
- 내전압 시험

나) 시험 결과

순	시험항목	시험기준	시험결과								비고
			Mc1				Mc2				
			좌1	좌2	우1	우2	좌1	좌2	우1	우2	
1	동작상태	집전장치의 동작상태가 양호할 것	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	
2	부상시 압상력	표준작용 높이에서 100N=10kgf	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	
3	내전압	4500V RMS 60Hz 1분간 이상 없을 것	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	내전압 시험시 실시

13) 냉난방 / 환기 시험

가) 시험 항목

: 냉난방/환기 장치의 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 냉난방장치 작동상태
- 실내 소음
- 풍속(풍량)
- 냉난방 온도

나) 시험 결과

순	시험항목	기준/시간	결과				비고
1	냉난방장치 작동상태	환기	정상				
		반냉방	정상				
		전냉방	정상				
		반난방	-				
		전난방	-				
2	실내 소음 단위[dBA]	구 분	1차	2차	3차	AVE	
		HVAC 하부	60	61	60.8	60.6	
		차량전방	64.5	64	64.5	64.3	
		차량단부	63.2	62.5	62.5	62.7	
3	풍속(풍량)	측정위치	좌		우		
		1	5.0		5.00		
		2	5.32		4.79		
		3	2.95		2.06		
		4	4.73		4.52		
		5	5.13		4.95		
		6	4.72		4.56		
		7	2.98		2.06		
		8	0.16		1.77		
		9	4.31		4.55		

		10		4.71		4.59	
		11		2.95		3.17	
		12		1.60		1.29	
		13		3.50		5.33	
		14		3.23		2.83	
		15		0.40		0.51	
		16		0.37		0.37	
		17		3.66		4.36	
		18		0.40		0.31	
		19		1.68		1.24	
		20		2.28		0.27	
		21		2.36		2.72	
		22		4.28		3.95	
		23		4.53		4.08	
		24		1.74		1.32	
		25		1.34		1.24	
		26		4.23		4.77	
		27		5.16		4.98	
		28		2.94		2.23	
		29		2.25		2.24	
		30		3.20		4.13	
		31		4.97		4.78	
		전체 풍량(CMH)		2188.4		2140.9	
4	온도측정 <냉방 /난방>	외기온도(최고치)					37.6
		측정시간	위치 A	위치 B	위치 C	위치 D	외기온도
		15:11	22.9	19.6	20.3	21.8	27.9
		15:13	20.9	18.2	20.3	20.5	31.4
		15:15	19.8	17.4	18.3	19.8	33.0
		15:17	19.8	16.4	17.0	19.0	32.8
		15:19	19.0	15.4	17.4	17.9	30.8

		15:21	18.9	15.9	17.0	17.4	35.3	
		15:23	17.8	15.0	15.4	17.0	35.4	
		15:25	17.7	13.8	14.5	15.9	37.6	
		15:27	17.6	13.5	15.4	16.3	33.4	
		15:29	17.4	13.6	15.6	16.5	34.9	
		15:31	19.1	17.0	18.2	18.3	34.6	
		15:33	20.1	17.6	17.5	18.9	34.4	
		15:35	20.5	17.6	17.4	18.6	32.6	
		15:37	20.6	17.1	17.8	18.9	33.9	
		15:39	20.9	17.4	17.8	18.6	32.2	
		15:41	20.9	17.5	18.7	19.6	37.1	
	(평균값)	-	19.6	16.4	17.4	18.4	-	

14) 표시등 및 조명장치 시험

가) 시험 항목

: 객실 및 운전실에 설치되는 각종 표시등 및 조명장치의 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 각종 등구류 시험
- 운전대 표시등 시험
- 실내 조도 측정

나) 시험 결과

순	시험항목		시험기준	시험결과		비고
				Mc1	Mc2	
1	각종 등구류	전조등	전조등 상향/하향 및 후미등 점등이 양호할 것	양호	양호	
2		객실등	객실 등 점등이 양호할 것	양호	양호	
3	운전대 표시등	출입문 램프	출입문이 닫혀있을 동안 점등이 양호할 것	양호	양호	
4		전체부상 램프	전체 부상시 램프 점등이 양호할 것	양호	양호	

5		주차제동 램프	주차 제동시 램프 점등이 양호할 것	양호	양호	
6		HSCB 램프	고속차단기 동작시 CCU DU 화면 현시가 양호 할 것.	양호	양호	
7		추진계 고장램프	추진계 고장시 CCU DU 화면 현시가 양호 할 것.	양호	양호	
8		보조전원계 고장램프	보조전원계 고장시 CCU DU 화면 현시가 양호 할 것.	양호	양호	
9		HFC 고장램프	HFC 고장시 CCU DU 화면 현시가 양호 할 것.	양호	양호	
10	실내조도측정		객실 상면 850[mm] 지점에서 300[Lux] 이상일 것	440	421	

15) 방송장치 시험

가) 시험 항목

: 방송장치의 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 자동방송 시험
- 객실방송 시험
- 차외방송 시험
- 대승객 방송 시험
- 비상 통화 시험

나) 시험 결과

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	자동방송 시험	양호할 것	-	-	본선에서 실시
2	객실방송 시험	양호할 것	양호	양호	
3	차외방송 시험	양호할 것	양호	양호	
4	대승객방송 시험	양호할 것	-	-	본선에서 실시
5	비상통화 시험	통화가 양호할 것	양호	양호	
6		CCTV 카메라 연계 동작이 양호할 것	양호	양호	

16) 표시기 장치 시험

가) 시험 항목

: 표시기 장치의 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- LED 정면 행선 표시 시험
- LCD 동영상 표시 시험
- LCD 자막 표시 시험
- LCD 출입문방향 표시 시험
- LCD 정차역 표시 시험

나) 시험 결과

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	LED 정면행선 표시 시험	행선지 표출상태가 양호할 것	양호	양호	대체시험
2	LCD 동영상 표시 시험	동영상 표출 상태가 양호할 것	양호	양호	
3	LCD 자막 표시 시험	자막 표출 상태가 양호할 것	양호	양호	대체시험
4	LCD 출입문 방향 표시 시험	출입문 방향 표시 화살표 표출 상태가 양호할 것	-	-	본선시험
5	LCD 정차역 표시 시험	정차역 표출 상태가 양호할 것	-	-	본선시험

17) 화재 감지기 시험

가) 시험 항목

: 화재감지기 장치의 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 열/연기 감지 소방검정 필증 확인
- 열 감지 동작 확인 시험
- 연기 감지 동작 확인 시험

나) 시험 결과

순	시험항목	시험기준	시험결과		비고
			Mc1	Mc2	
1	열/연기감지	열/연기 감지 성능에 대하여	정상	정상	

	소방검정 필증 확인 검사	전용 시험기에 의해 소방 검정 합격품임을 감지기 뒷면에 부착된 소방 검정 필증을 통하여 확인한다.			
2	열감지 동작 확인 시험	온풍기나 헤어 드라이기를 이용하여 감지기로부터 약 40~60cm 떨어져 약 1~2분간 열을 가하였을 때 차량의 수신기를 통하여 "화재" 상태 현시가 양호할 것	정상	정상	
3	연기감지 동작 확인 시험	테스트용 연기 스프레이를 이용하여 약 20~30cm 떨어진 곳에서 2~3회 분사하였을 때 차량의 수신기를 통하여 "화재"상태 현시가 양호할 것.	정상	정상	

18) 출입문 시험

가) 시험 항목

: 출입문의 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

- 개폐 동작 시험
- 동작 시간 측정
- 장애물 감지 시험
- 비상핸들 작동 시험
- 이상 소음 발생 점검

나) 시험 결과

순	시험항목		기준/시간	결과								비고
				MC1				MC2				
				L1	L2	R1	R2	L1	L2	R1	R2	
1	개폐 동작	열림	이상 없을 것	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	
		닫힘	이상 없을 것	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	
2	동작 시간	열림	3.5 ± 0.5초	3.70	3.49	3.56	3.28	3.35	3.35	3.28	3.35	
		닫힘	4.0 ± 0.5초	3.91	3.91	3.84	3.84	3.63	3.91	3.84	3.70	
3	장애물 감지	1회	충격 닫힘력 300N이하	130	130	135	129	120	121	119	116	
			유효 닫힘력 150N이하	108	109	113	106	97	106	103	102	
		2회	충격 닫힘력 300N이하	107	101	123	123	105	116	122	113	
			유효 닫힘력 200N이하	91	89	99	97	91	99	100	95	
		3회	충격 닫힘력 300N이하	104	102	117	121	101	114	127	113	

			유효 닫힘력 200N이하	91	87	97	95	90	96	104	95	
		완전 열림	3회 감지 후 완전 열릴 것	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	
4	비상 핸들 작동	내부 핸들	이상 없을 것	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	
		내부Crew Switch	열림/닫힘 이상 없을 것			양호				양호		
		외부 핸들	이상 없을 것	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	
		외부Crew Switch	열림/닫힘 이상 없을 것	양호		양호		양호		양호		
5	이상 소음		이상 없을 것	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	양호	

19) 누설 자속 시험

가) 시험 항목

: 차량의 누설 자속을 측정하기 위하여 다음 항목을 확인하였다.

- 부상시 누설 자속 측정
- 착지시 누설 자속 측정
- 주행시 누설 자속 측정
- 상기 내용에 대해 각 차량별 실내/실외로 구분하여 측정

나) 시험 결과

○ 실내, MC1 차량

순	시험 항목	VVVF				FL				차량중앙			
		X	Y	Z	SUM	X	Y	Z	SUM	X	Y	Z	SUM
1	부상시	-0.04635	0.05539	0.04887	0.08714	0.04454	0.04521	0.03037	0.07012	-0.2293	0.05978	0.07068	0.09533
2	착지시	-0.04974	0.00561	0.02742	0.05872	-0.06049	-0.01010	-0.00032	0.06194	-0.06412	0.00358	0.03746	0.07478
3	주행시	-0.00640	0.21280	0.30396	0.24209	0.75670	0.84268	1.25640	1.42119	0.27408	0.21615	0.30396	0.34218

순	시험 항목	HFC				SIV			
		X	Y	Z	SUM	X	Y	Z	SUM
1	부상시	-0.01774	0.04874	0.07003	0.08678	-0.01287	0.05195	0.05863	0.07945
2	착지시	-0.05618	-0.00944	0.03993	0.07006	-0.05739	-0.00503	0.04422	0.07368
3	주행시	0.04146	0.21615	0.14878	0.08970	0.07164	0.21280	0.30396	0.08748

○ 실내, MC2 차량

순	시험 항목	VVVF				FL				차량중앙			
		X	Y	Z	SUM	X	Y	Z	SUM	X	Y	Z	SUM
1	부상시	-0.00030	-0.00095	-0.00178	0.00312	0.00096	0.01254	0.02711	0.02970	0.06029	0.03075	-0.00387	0.06684
2	착지시	0.00784	-0.03846	-0.01091	0.04137	-0.02592	-0.04274	0.00129	0.05054	-0.01877	-0.04414	0.01033	0.04894
3	주행시	0.11341	0.21280	0.30396	0.14656	0.88567	0.63292	1.26311	1.42	0.23414	0.42256	0.10335	0.36085

순	시험 항목	HFC				SIV			
		X	Y	Z	SUM	X	Y	Z	SUM
1	부상시	0.01929	0.00814	0.04065	0.04545	0.02384	0.00269	0.02800	0.03697
2	착지시	-0.01706	-0.05276	0.01746	0.05857	-0.01842	-0.04649	0.00784	0.05314
3	주행시	0.06646	0.21280	0.09695	0.05964	0.05335	0.05518	0.09695	0.05721

○ 실외, MC1 차량

순	시험 항목	차체				대차			
		X	Y	Z	SUM	X	Y	Z	SUM
1	부상시	-0.03350	0.00299	-0.00102	0.03371	-0.03985	-0.38845	0.09585	0.40530
2	착지시	-0.01647	-0.01521	-0.00212	0.02317	0.00943	-0.02661	-0.00800	0.02944

○ 실외. MC2 차량

순	시험 항목	차체				대차			
		X	Y	Z	SUM	X	Y	Z	SUM
1	부상시	-0.00813	-0.04092	-0.02609	0.04996	-0.04330	0.36790	-0.04264	0.37290
2	착지시	0.00755	-0.02033	-0.02581	0.03380	0.02639	0.01266	-0.02397	0.03787

○ 실외. 주행시

순	시험항목	X	Y	Z	SUM
1	역사에서 출발시	0.06494	0.19329	0.29298	0.51019
2	차량 주행시	0.23079	0.06219	0.08536	0.05281

20) 비상롤러 추진 시험

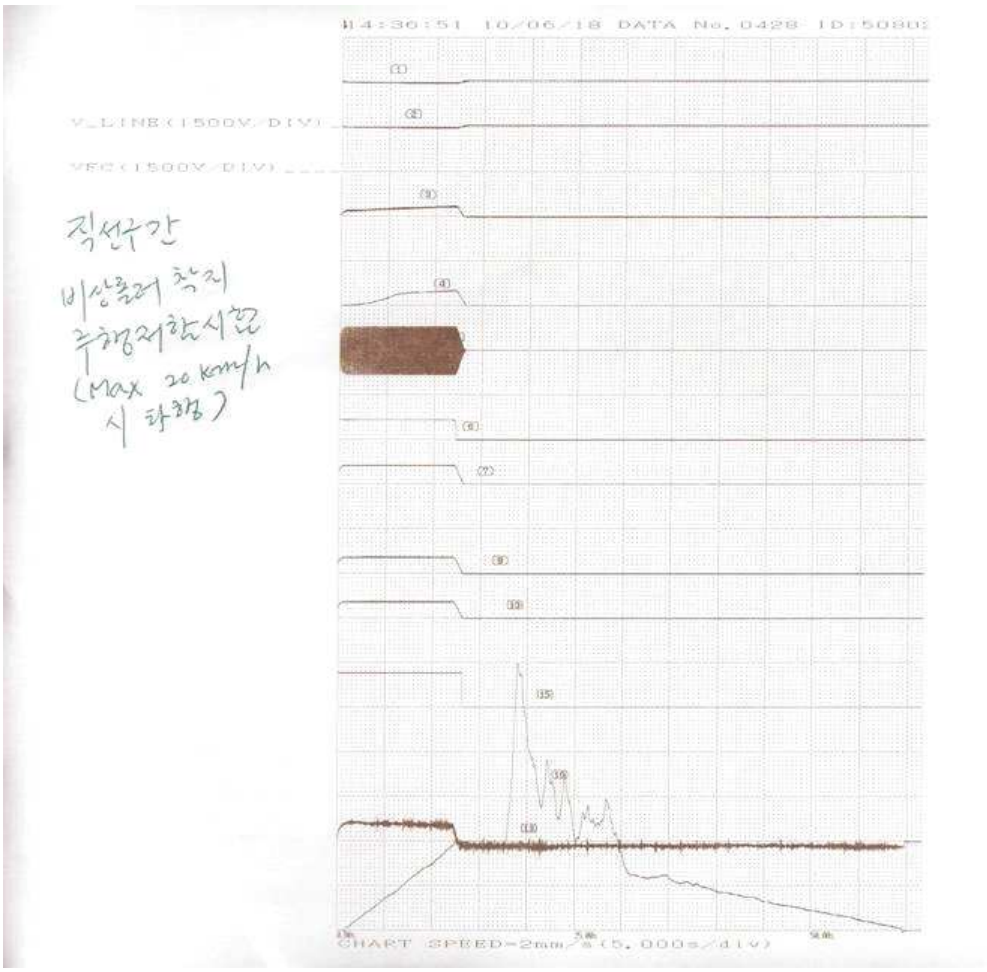
가) 시험 항목

: 비상롤러의 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

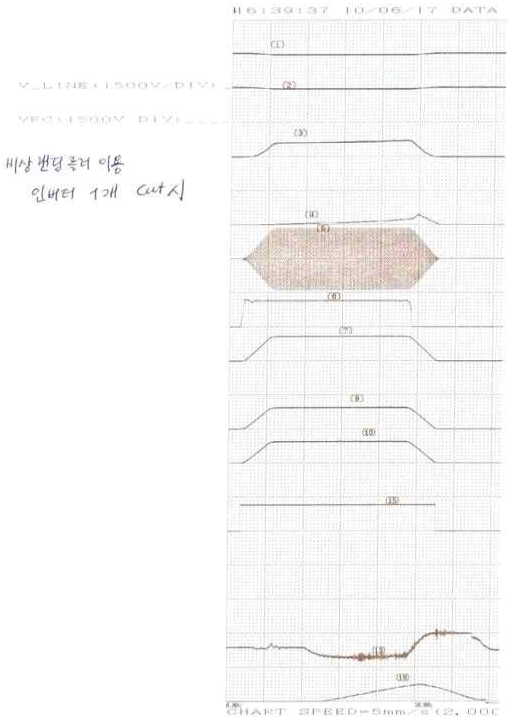
- 직선구간 주행저항 측정 시험
- 인버터 1대 Cut-off 주행 시험
- 인버터 2대 주행 (정상 가동)
- 곡선 구간 주행 시험
- 구배 구간 주행 시험

나) 시험 결과

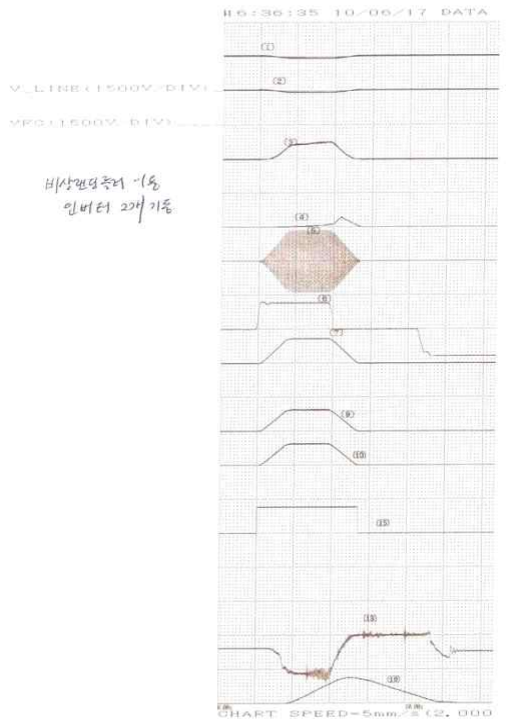
○ 직선구간 주행저항 측정



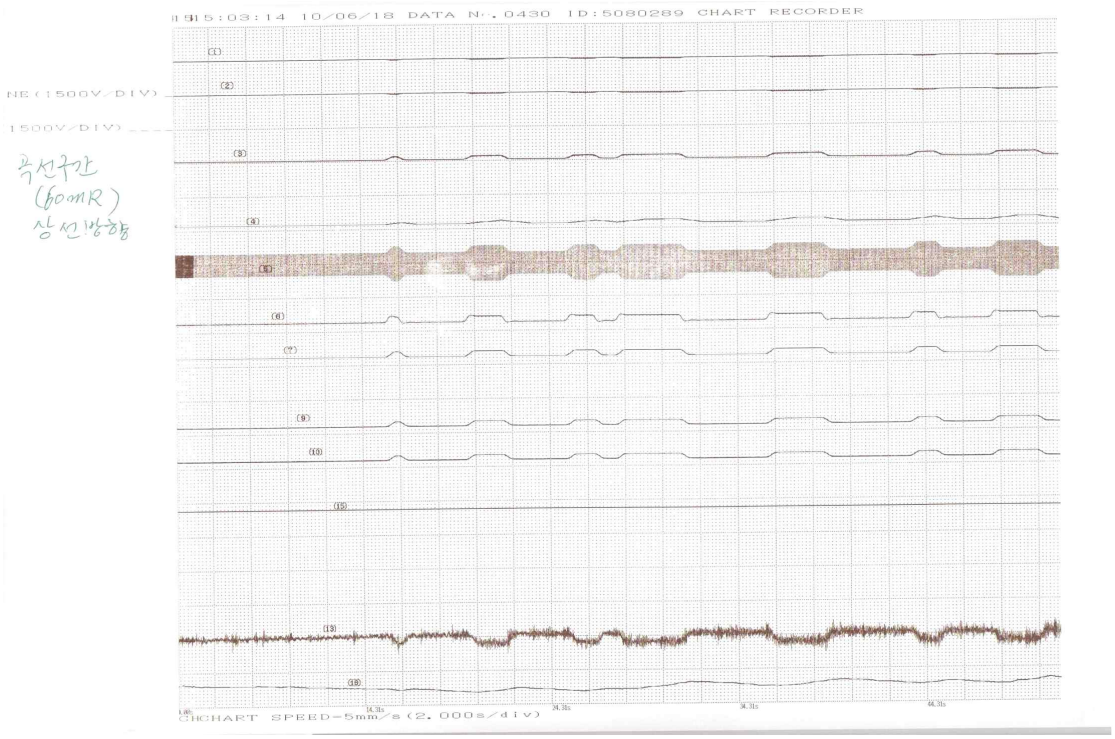
○ 인버터 1대 Cut-off 주행



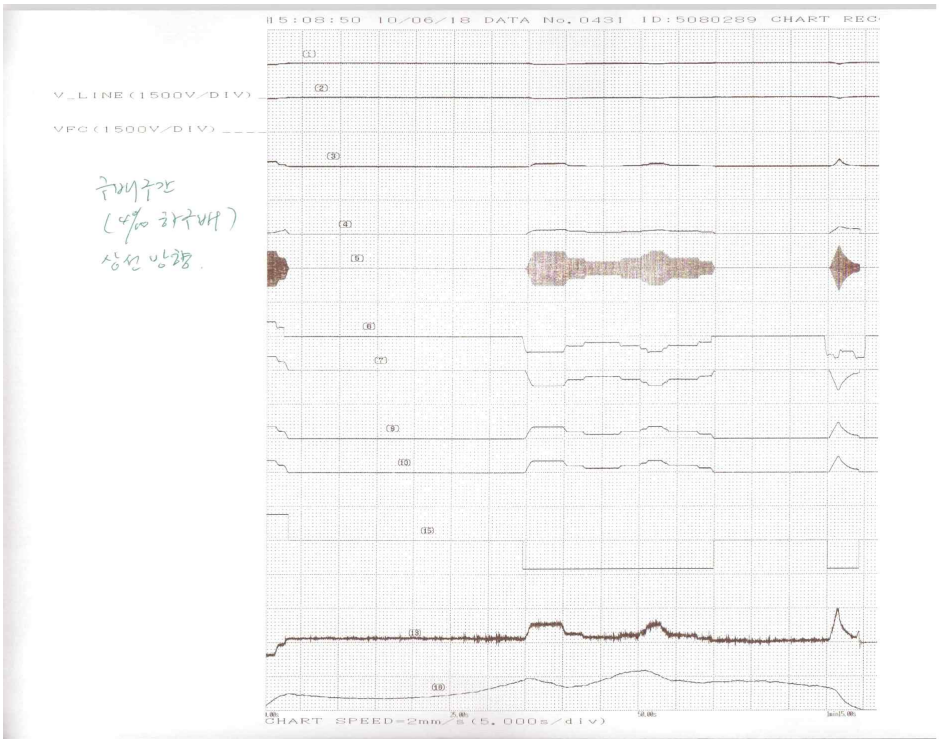
○ 인버터 2대 주행 (정상 가동)



○ 곡선 구간 주행



○ 구배 구간 주행



21) 부상장치 축전지 백업 시험

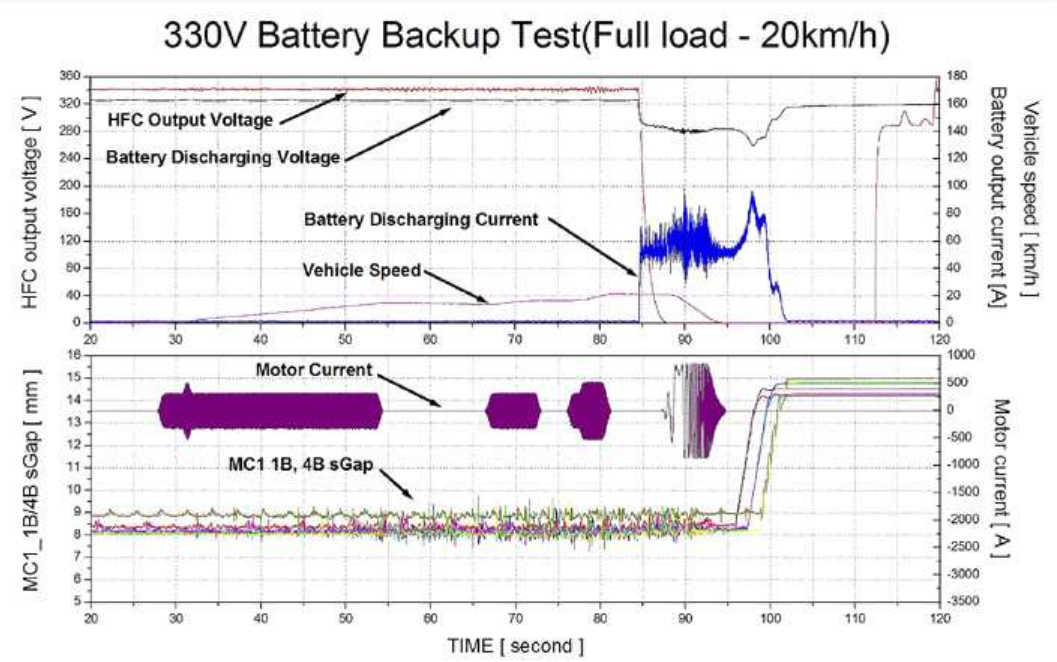
가) 시험 항목

: 부상용 축전지의 백업 성능을 평가하기 위해 다음 항목을 확인하였다.

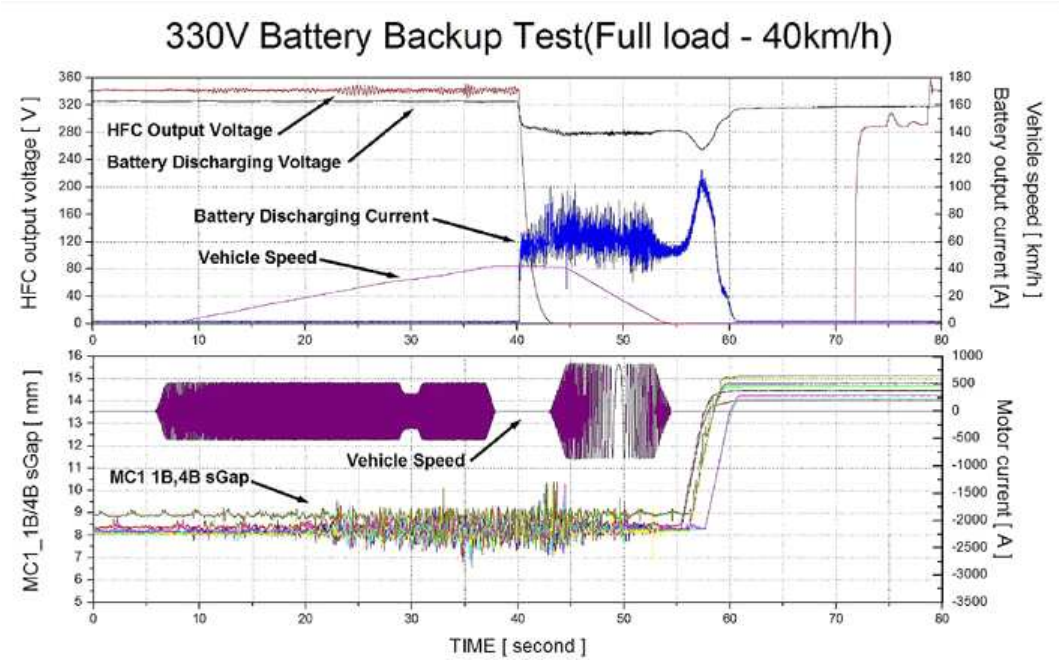
- 20km/h 주행중 330V Battery Backup Test (만차조건)
- 40km/h 주행중 330V Battery Backup Test (만차조건)
- 60km/h 주행중 330V Battery Backup Test (만차조건)

나) 시험 결과

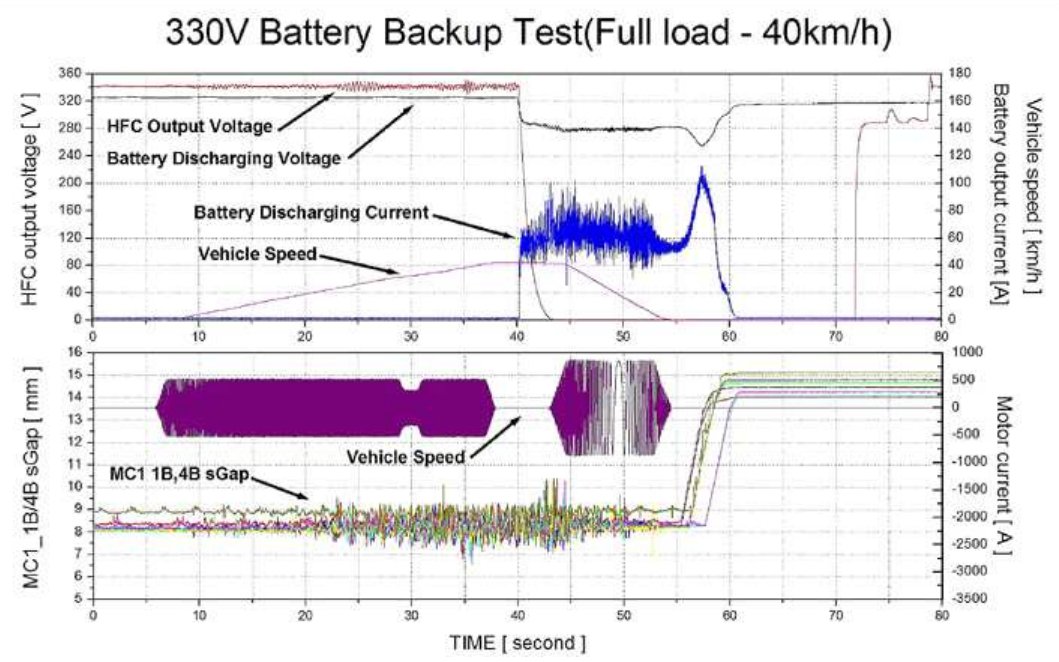
○ 20km/h 주행중 330V Battery Backup Test (만차조건)



○ 40km/h 주행중 330V Battery Backup Test (만차조건)



○ 60km/h 주행중 330V Battery Backup Test (만차조건)



22) 차량 주행저항 측정 시험

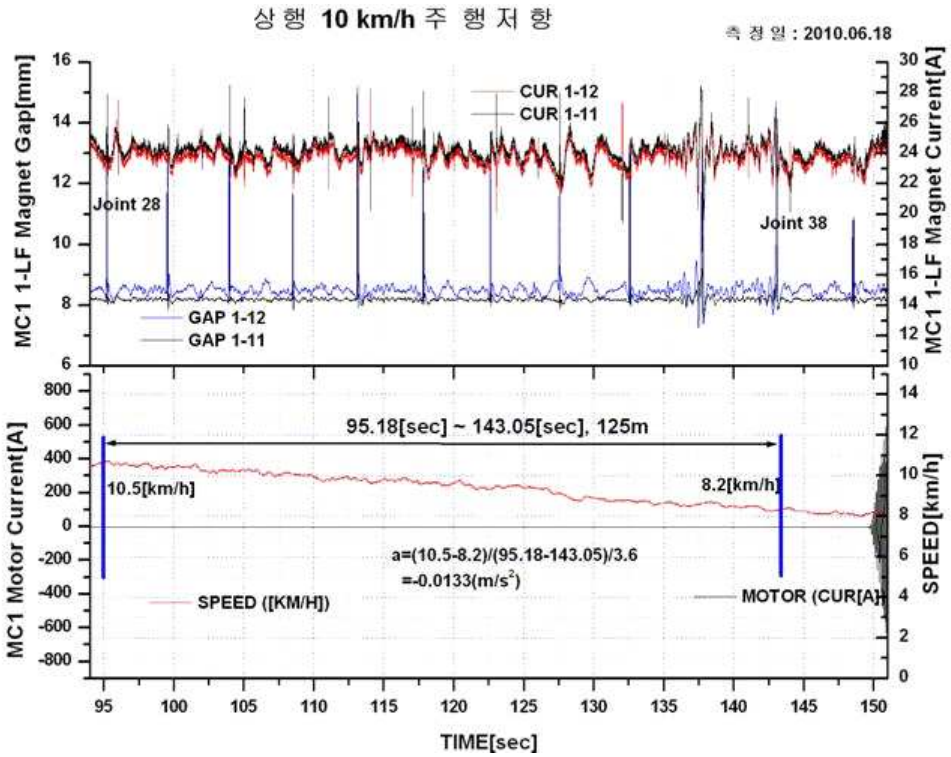
가) 시험 항목

: 시험선로에서의 차량 주행시 주행저항을 측정하기 위해 다음 항목을 확인하였다. (상/하행 방향 각각 구분)

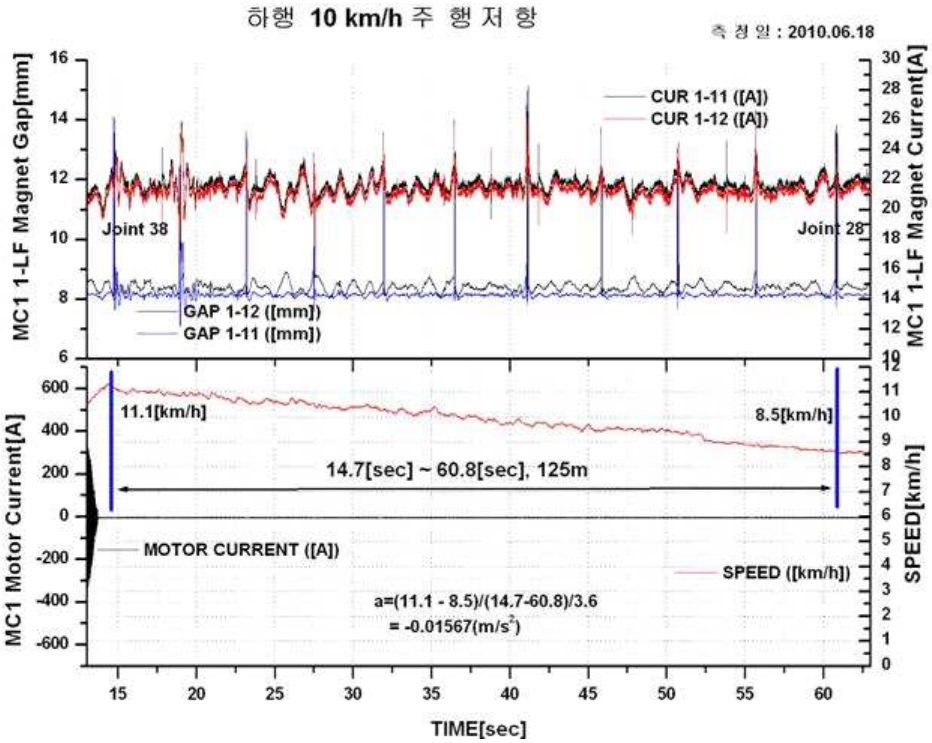
- 차량속도(km/h) : 2 Channel (Mc1,Mc2)
- Motor Current (A) : 2 Channel (Mc1,Mc2)
- Line Current (A) : 2 Channel (Mc1,Mc2)
- Line Voltage (V) : 2 Channel (Mc1,Mc2)

나) 시험 결과

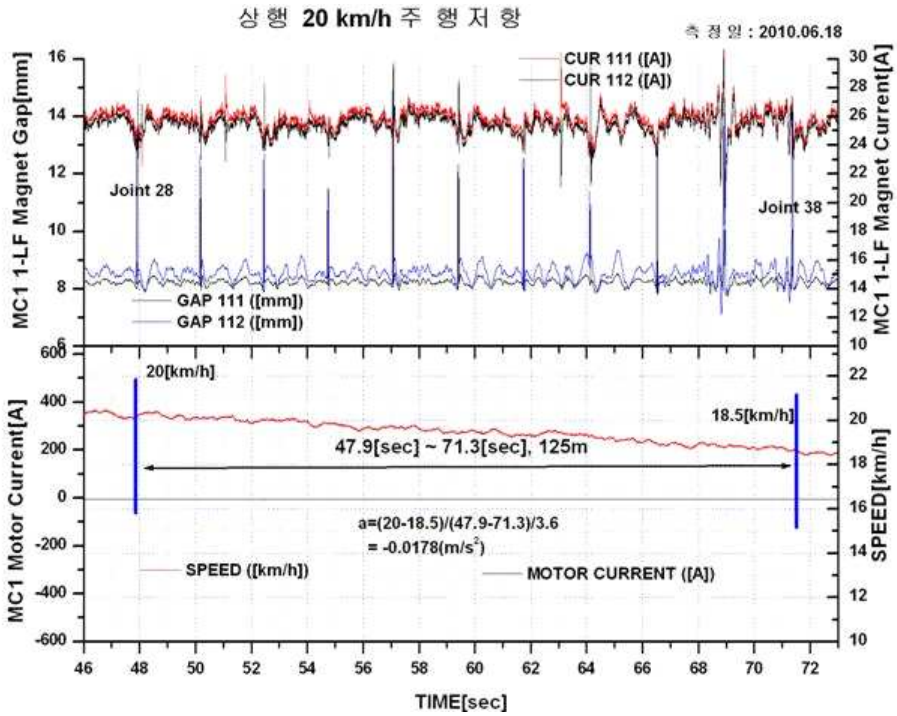
○ 10 km/h, 상행



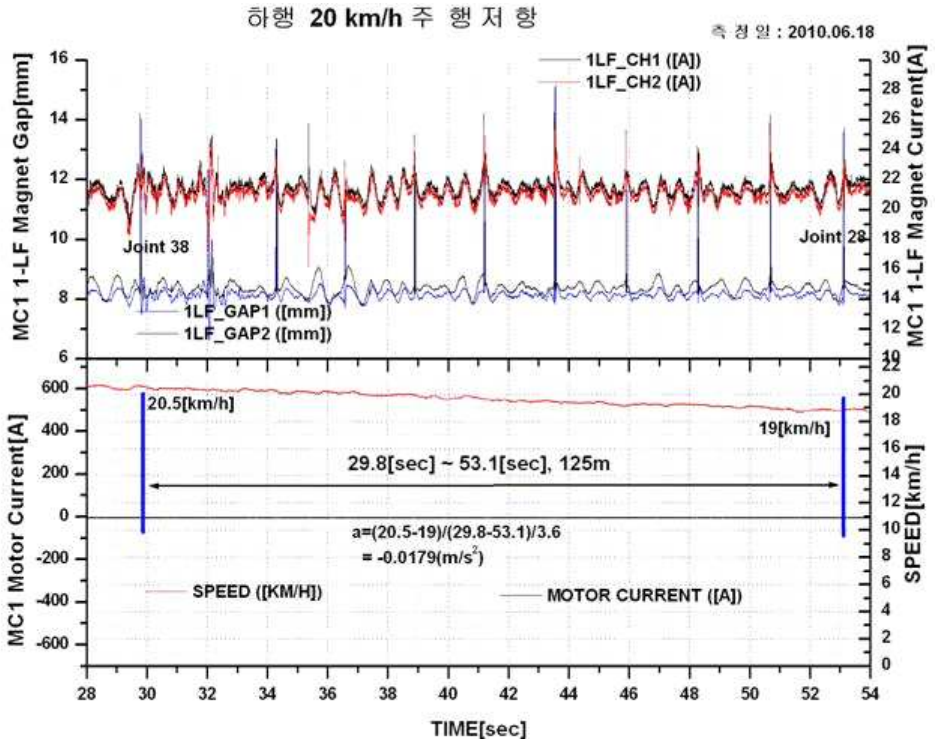
○ 10 km/h, 하행



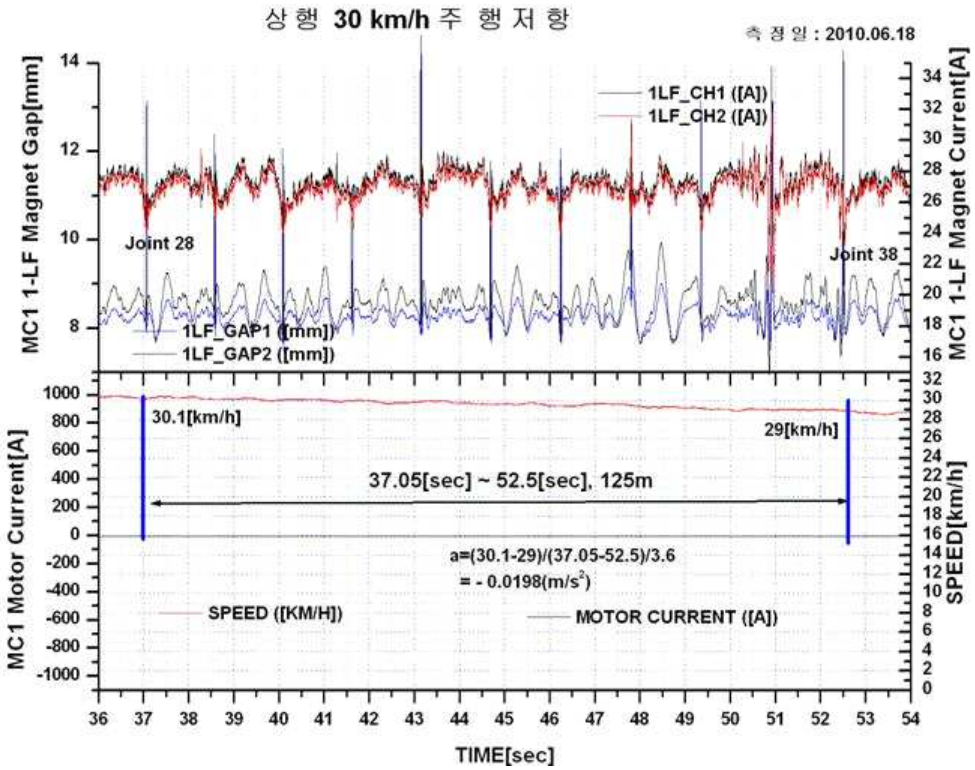
○ 20 km/h, 상행



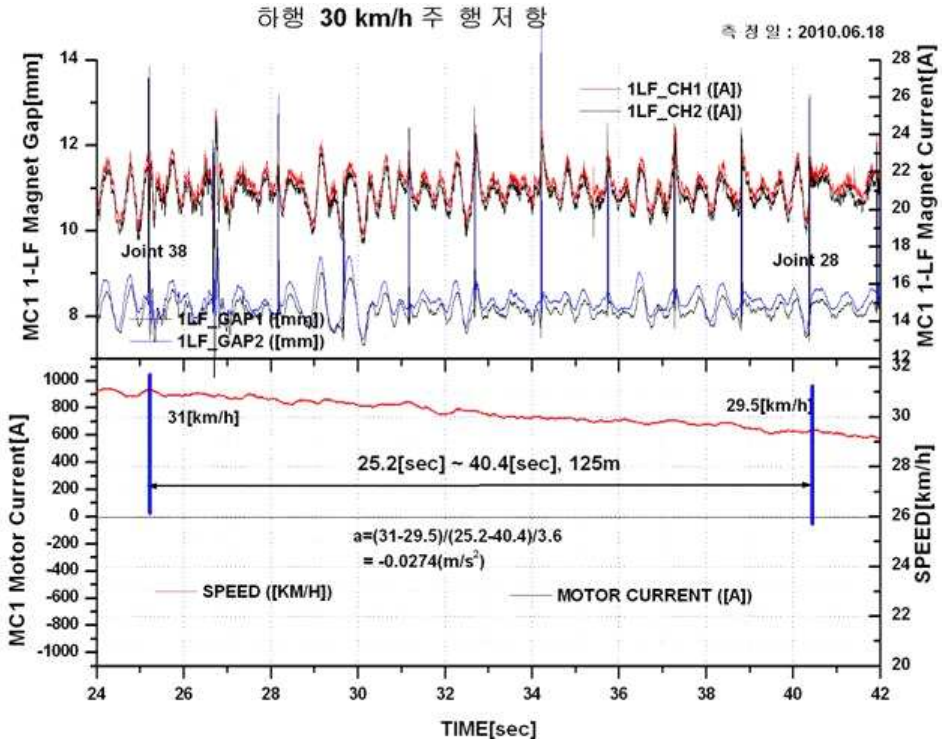
○ 20 km/h, 하행



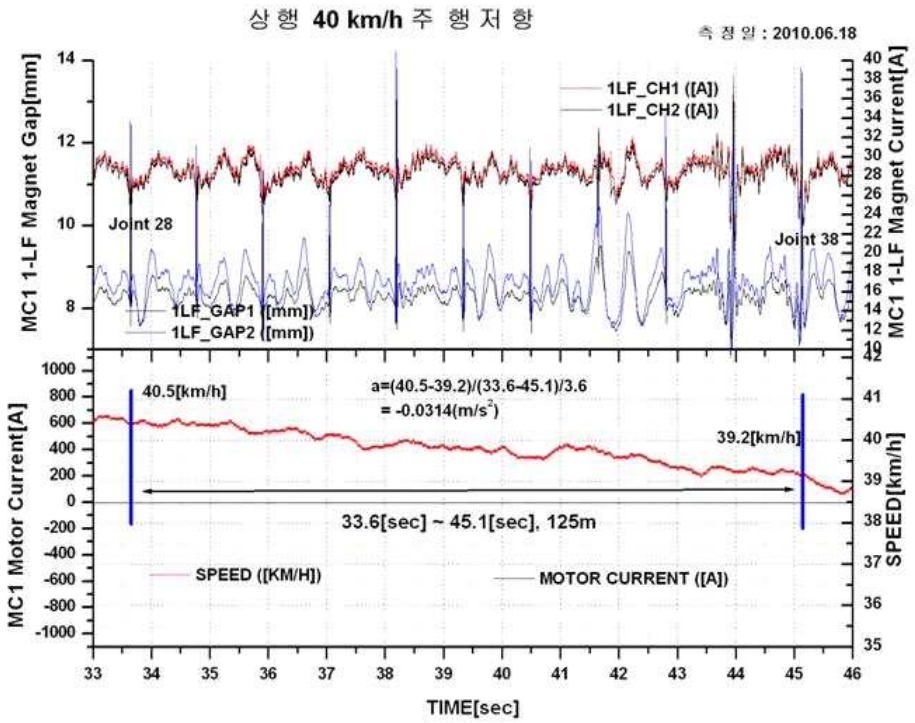
○ 30 km/h, 상행



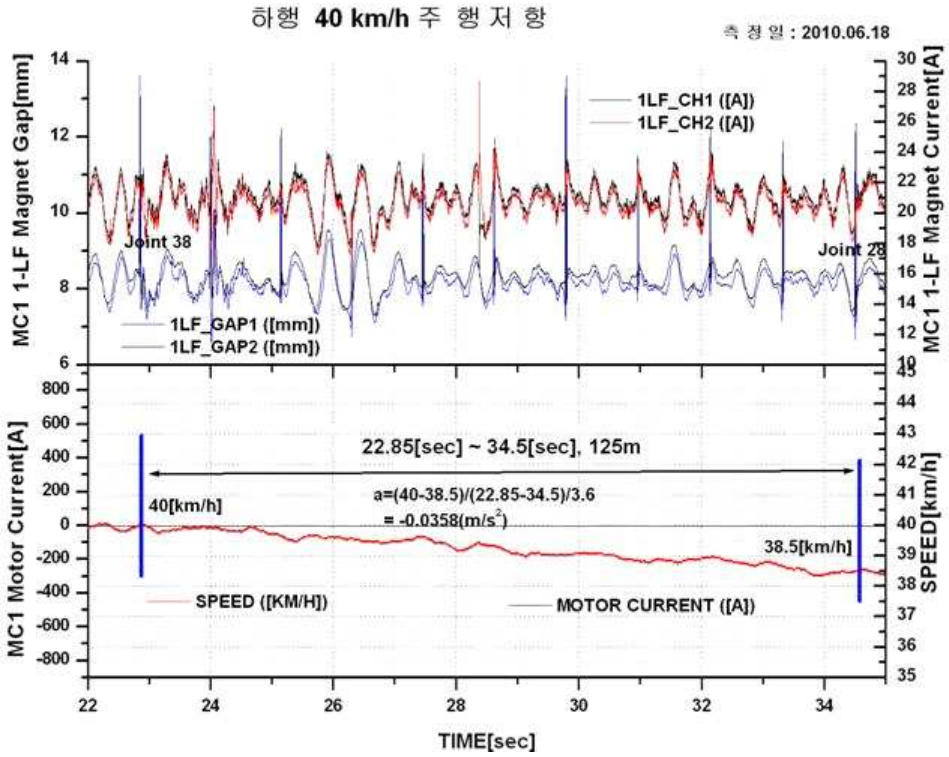
○ 30 km/h, 하행



○ 40 km/h, 상행



○ 40 km/h, 하행



○ 차량 속도별 감속도 (상/하행)

속도[km/h]	상행[m/s^2]	하행[m/s^2]	평균[m/s^2]
10	0.0133	0.0157	0.0145
20	0.0178	0.0179	0.0179
30	0.0198	0.0274	0.0236
40	0.0314	0.0358	0.0336

○ 차량 감속도 근사식

$$\beta = -10^{-5} v^2 + 0.0012 v$$

- β : 차량 감속도 [m/s^2]
- v : 차량 속도 [km/h]

23) 주요기기 온도 및 상태 시험

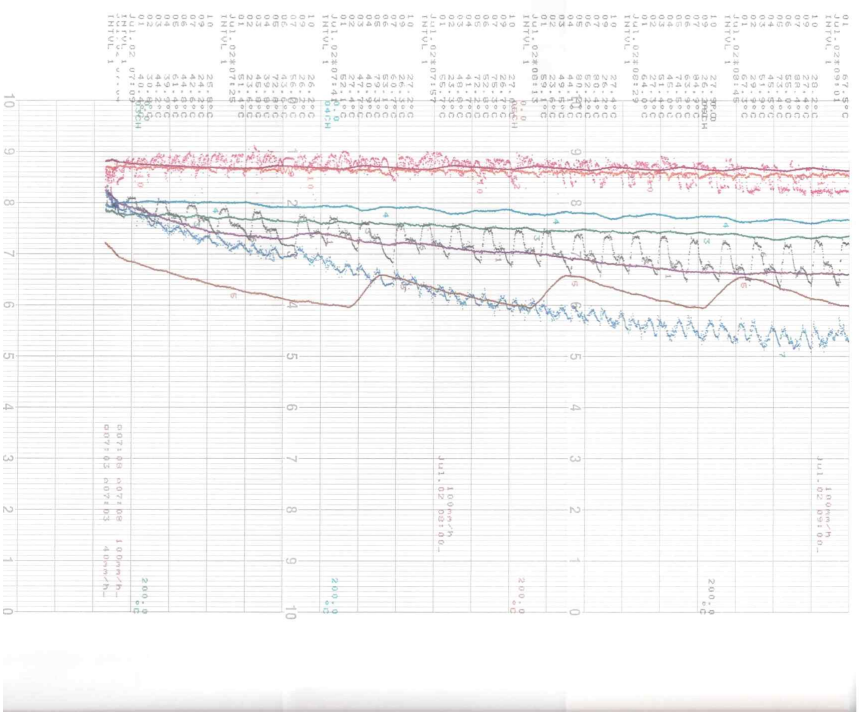
가) 시험 항목

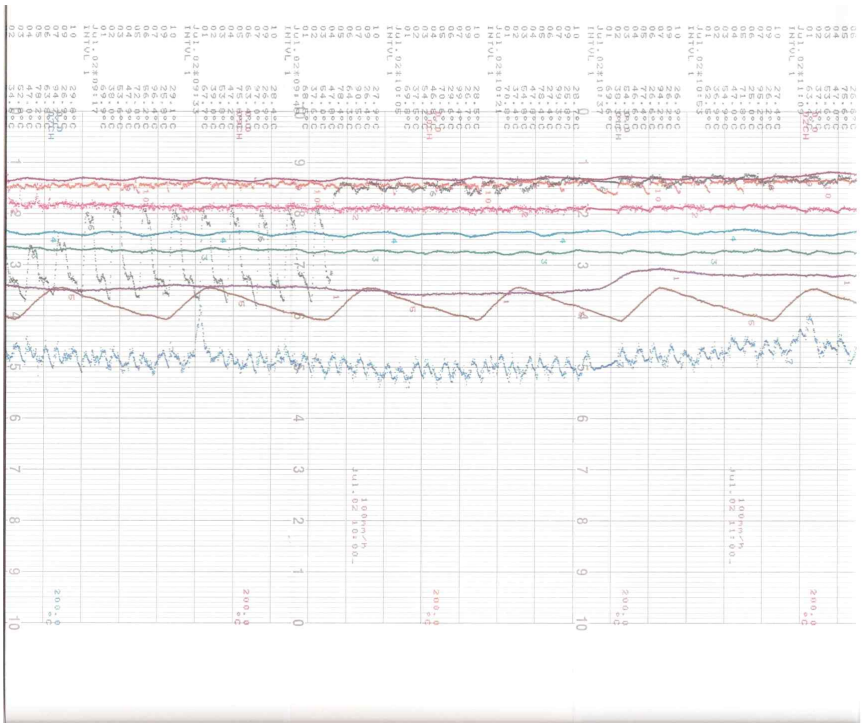
: 차량 사용조건에 대한 적합성 및 안정성을 평가하기 위하여 다음의 항목에 대한 온도를 확인하였다.

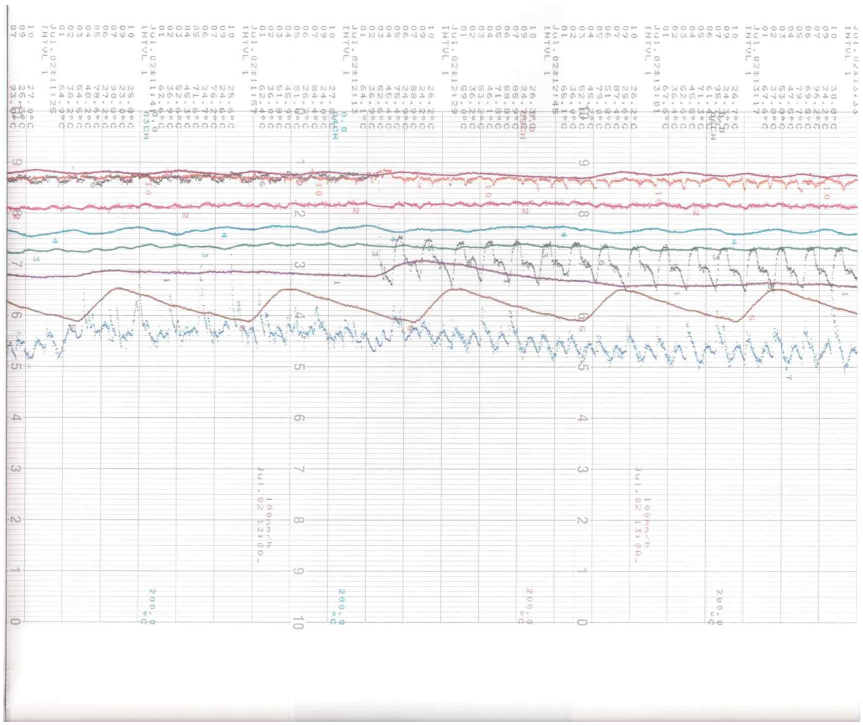
- 외기온도
- 선형유도전동기 온도
- 추진제어인버터 냉각유닛 온도
- 필터리액터 코일온도
- 보조전원장치 냉각유닛 온도
- HF DC/DC 냉각유닛 온도
- 부상용전자석 코일 온도
- 마그넷드라이브 냉각유닛 온도

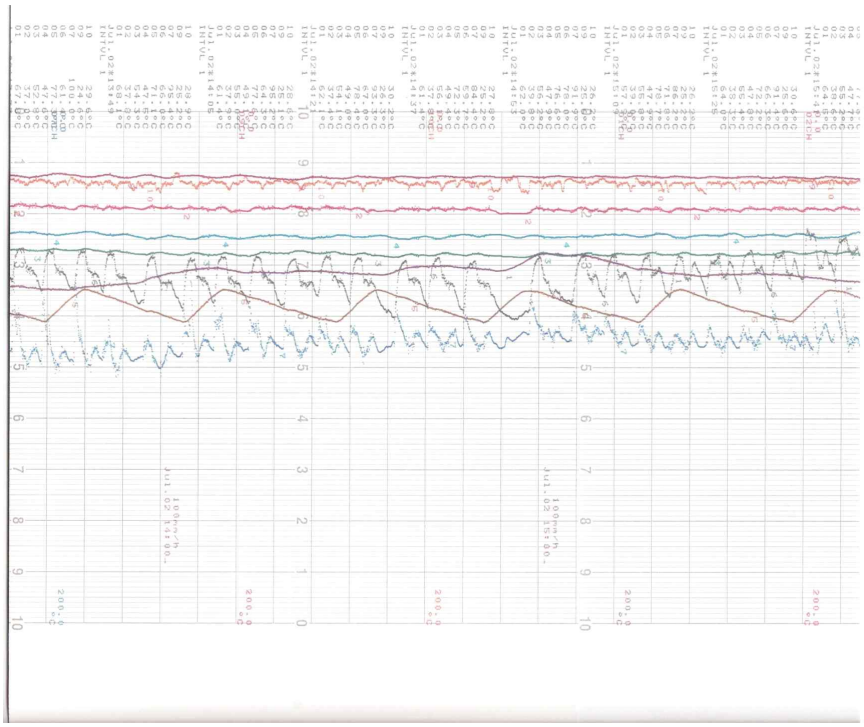
나) 시험 결과

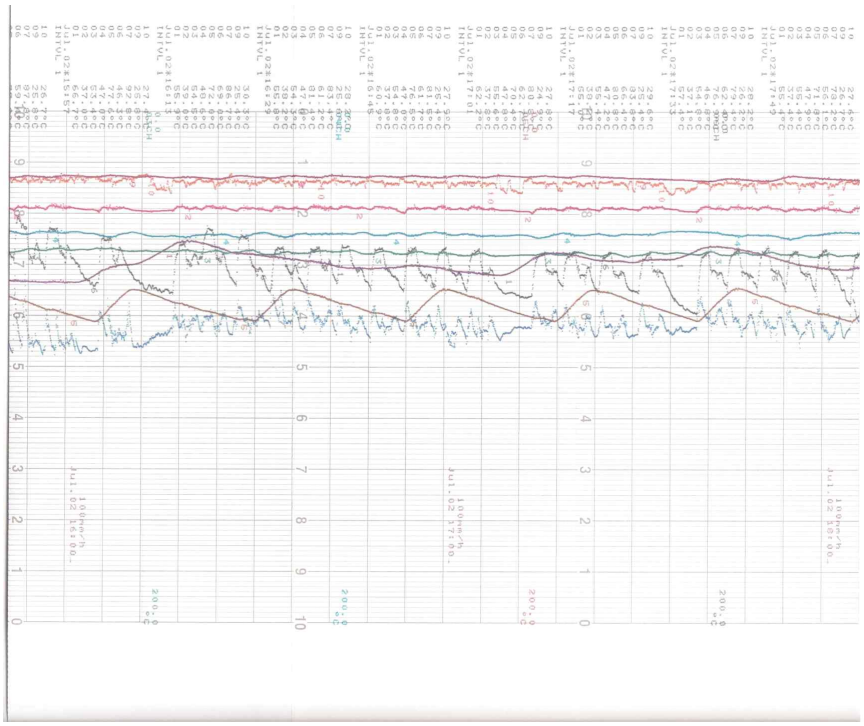
○ MC1, 연속 주행 시험 기록

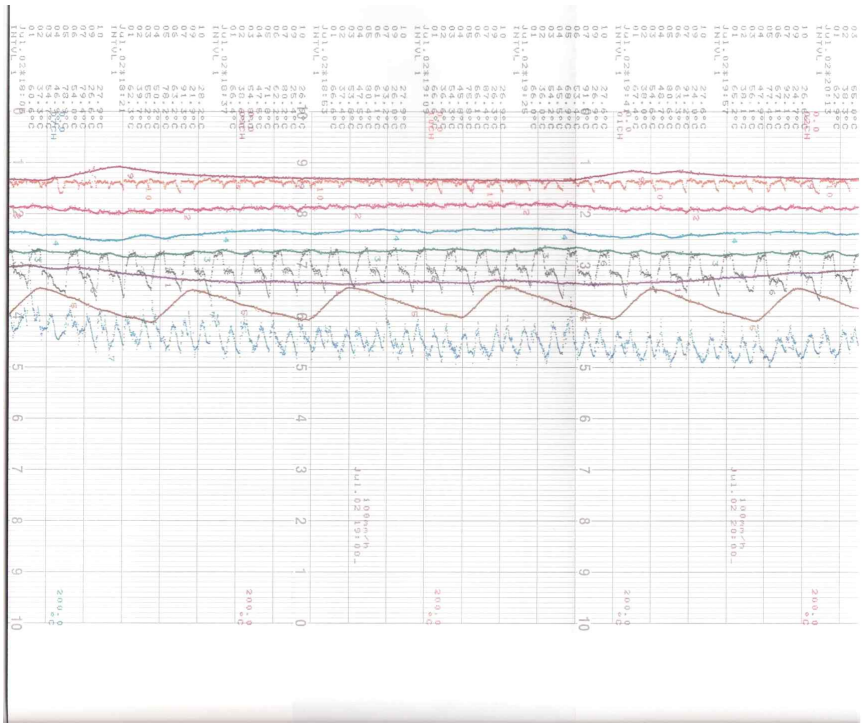


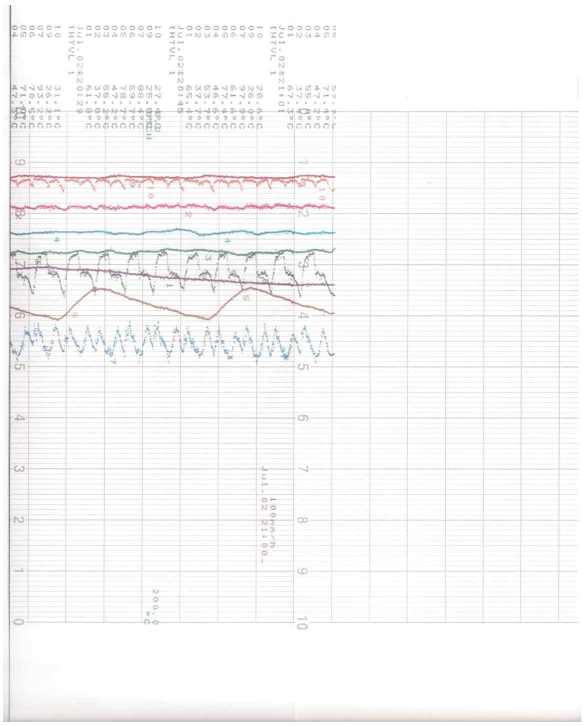




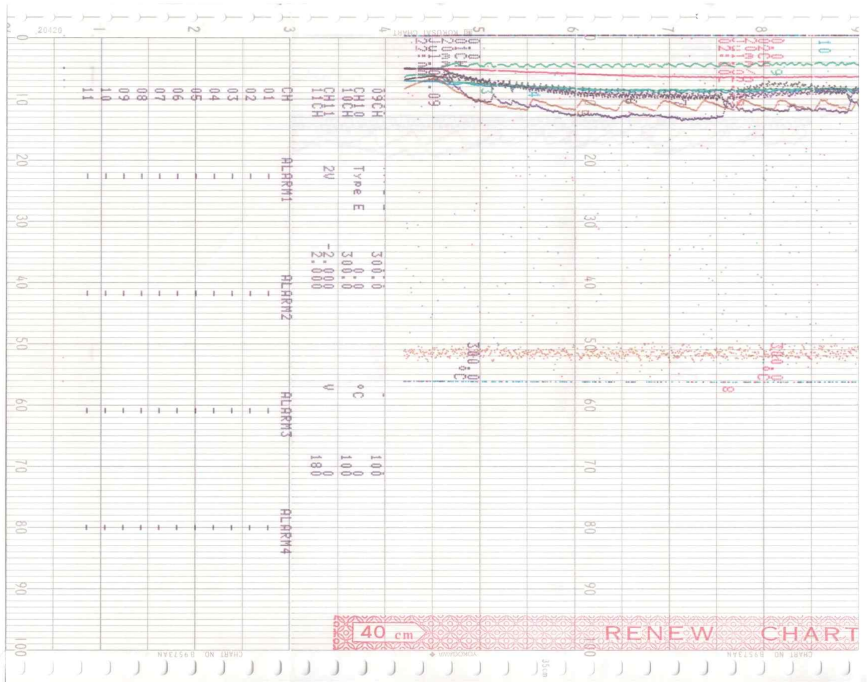


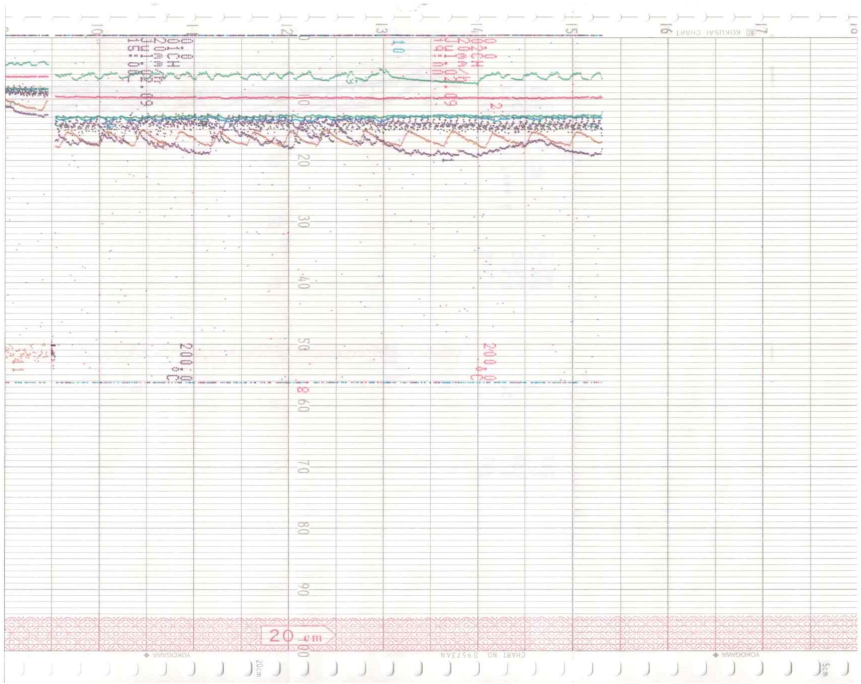






○ MC2, 연속 주행 시험 기록





23) 승차감 시험

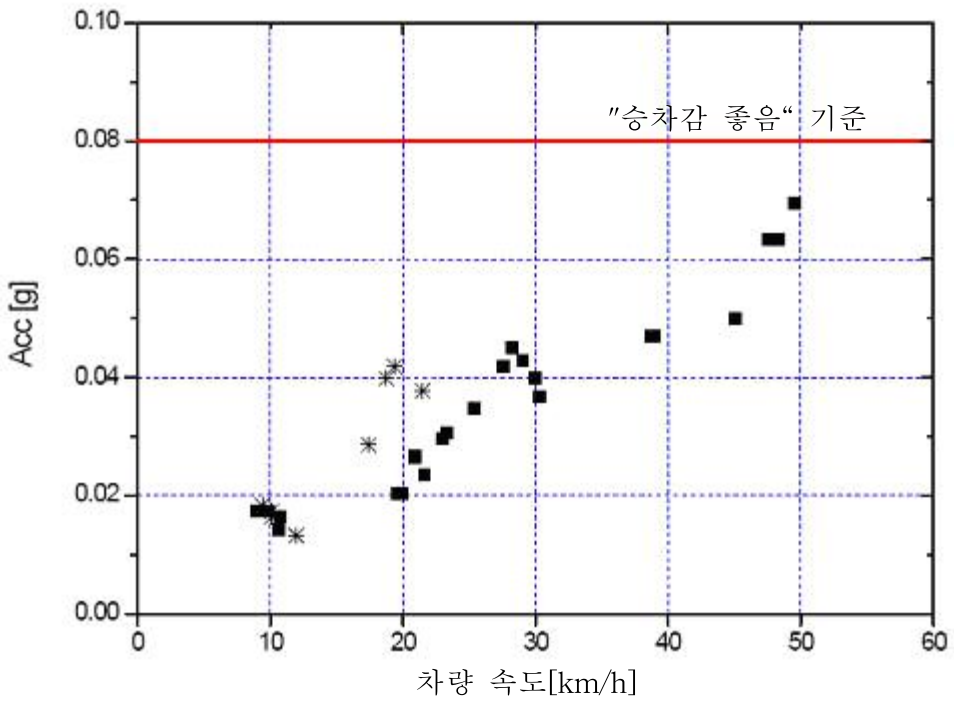
가) 시험 항목

: 차량 주행시 각 부위에 발생하는 진동 가속도를 측정하여 이를 바탕으로 당 차량의 승차감 성능을 평가하였다. 승차감을 계산하기 위해 측정한 항목은 다음과 같다.

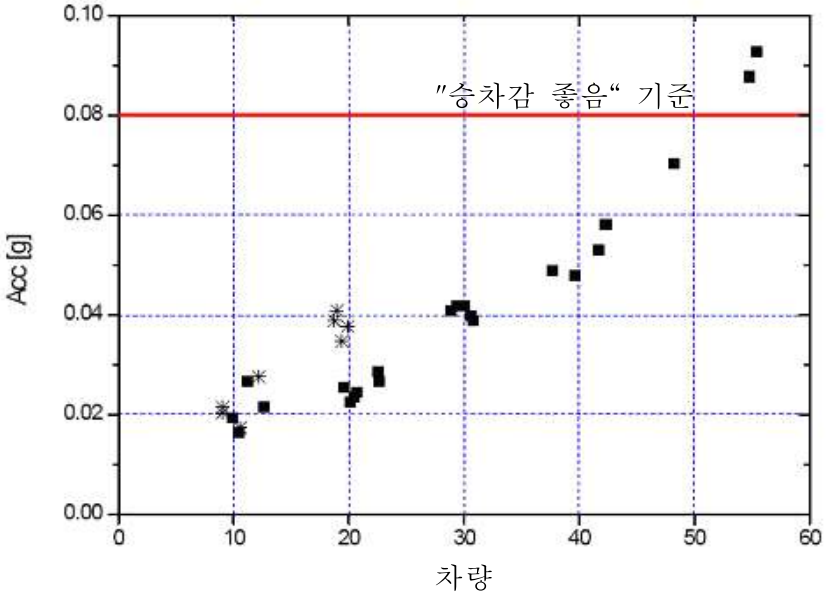
- 차량속도(km/h) : 2 Channel (Mc1,Mc2)
- 차체 상하방향 진동가속도 : 16 Channel (Mc1,Mc2)
- 차체 횡방향 진동가속도 : 16 Channel (Mc1,Mc2)
- 차체 전우 방향 진동가속도 : 16 Channel (Mc1/Mc2)
- 대차 상하방향 진동가속도 : 16 Channel (Mc1,Mc2)
- 대차 횡방향 진동가속도 : 16 Channel (Mc1,Mc2)

나) 시험 결과

○ MC1 승차감 평가



○ MC2 승차감 평가



24) 진동 시험

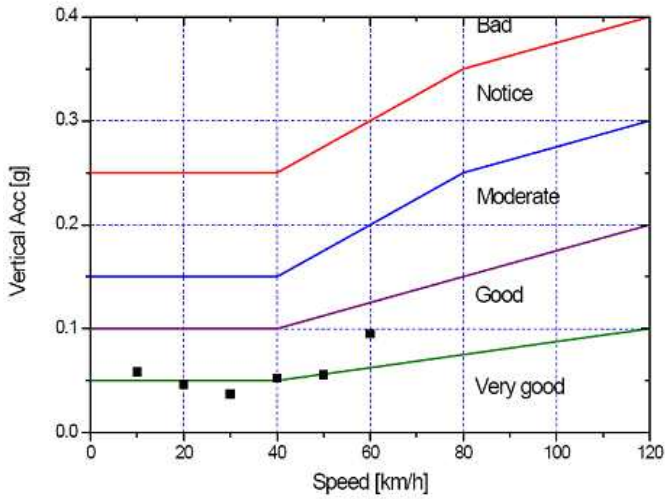
가) 시험 항목

: 차량 주행시 차체에서 발생하는 진동 가속도를 측정하고, 그 결과를 도시철도차량 성능 기준과 비교하여 차량의 진동 성능을 평가하였다.

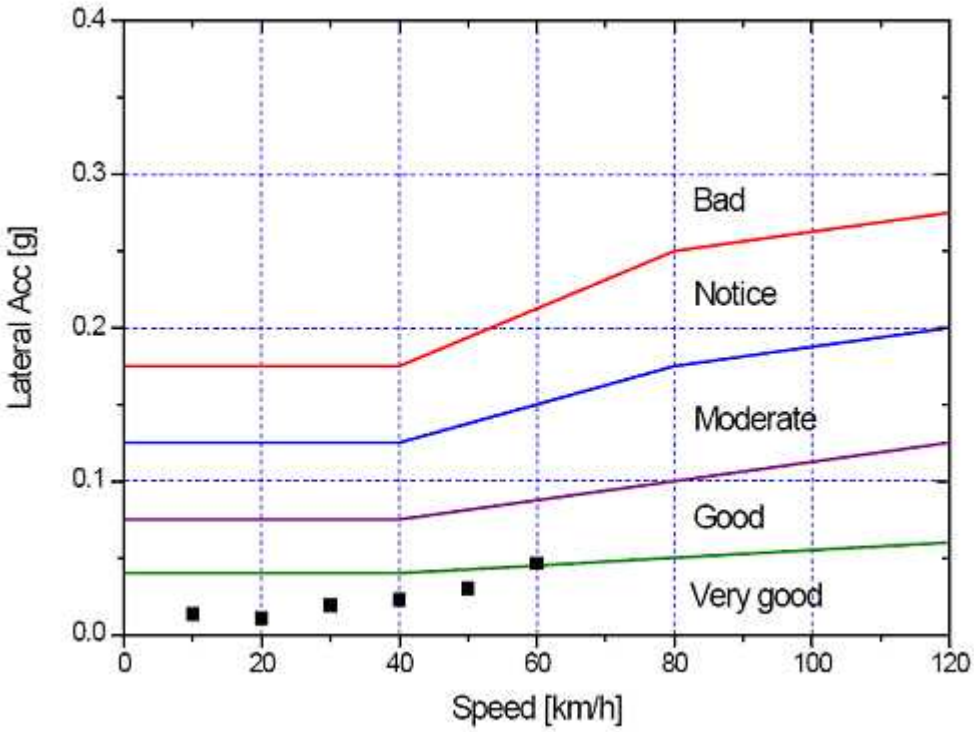
- 차체 상하방향 진동가속도 및 진동수
- 차체 좌우방향 진동가속도 및 진동수
- 측정 위치 : 대차 중심 상부 객실 바닥면 (4개소)

나) 시험 결과

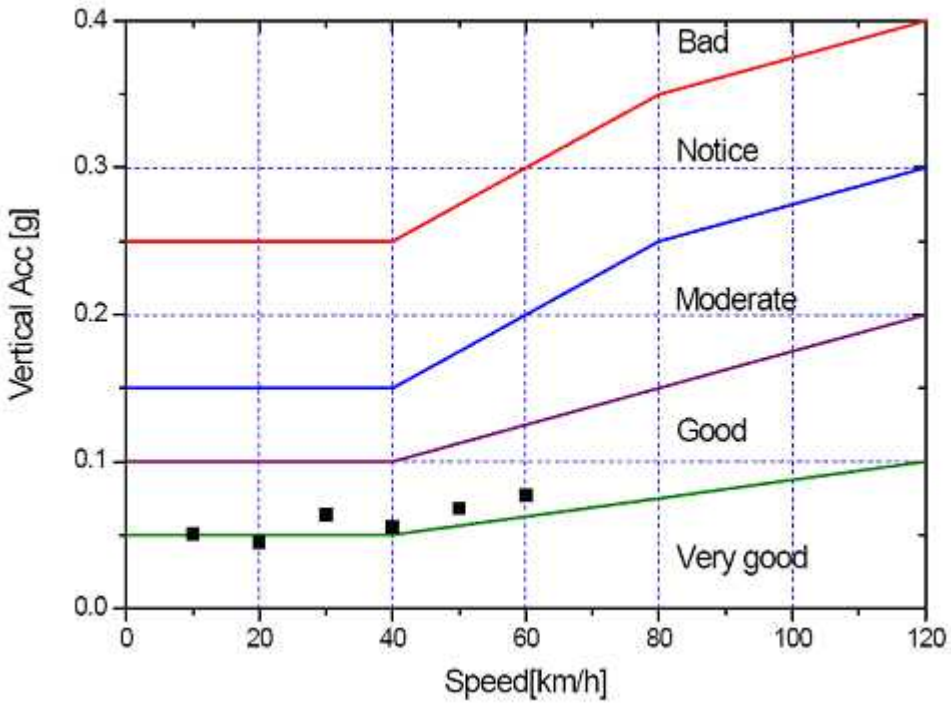
○ MC1 차체 상하방향



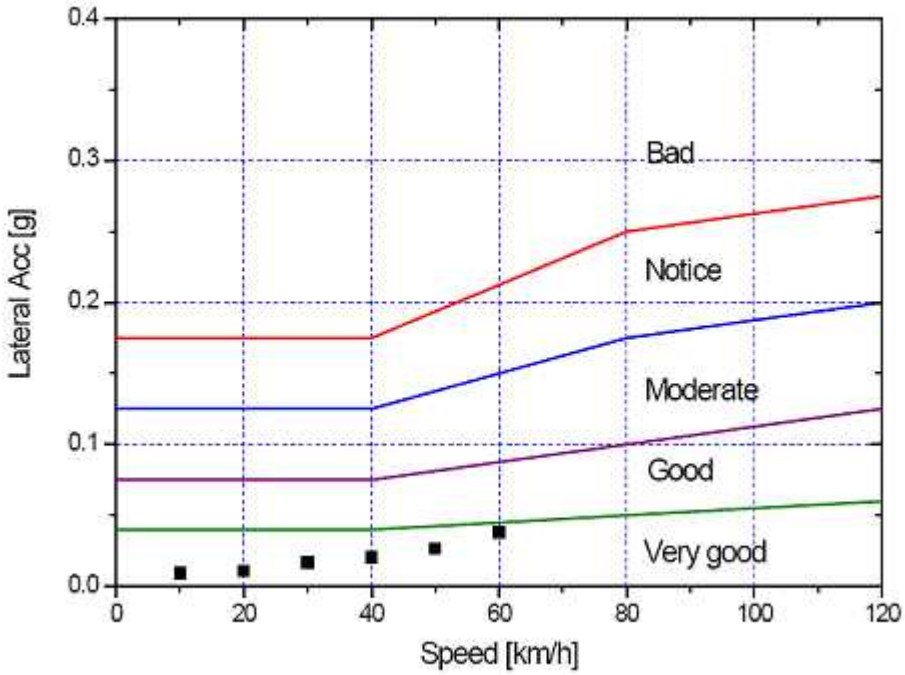
○ MC1 차체 좌우방향



○ MC2 차체 상하방향



○ MC2 차체 좌우방향



25) 소음 시험

가) 시험 항목

: 차량 주행시 발생하는 소음을 실내 및 실외에서 측정하였으며, 각 측정 조건은 다음과 같다.

○ 실내 소음

- 차량 정지, 착지 상태, 냉방장치 OFF
- 차량 정지, 부상 상태, 냉방장치 OFF
- 차량 주행 (40km/h), 냉방장치 OFF
- 차량 주행 (40km/h), 냉방장치 ON

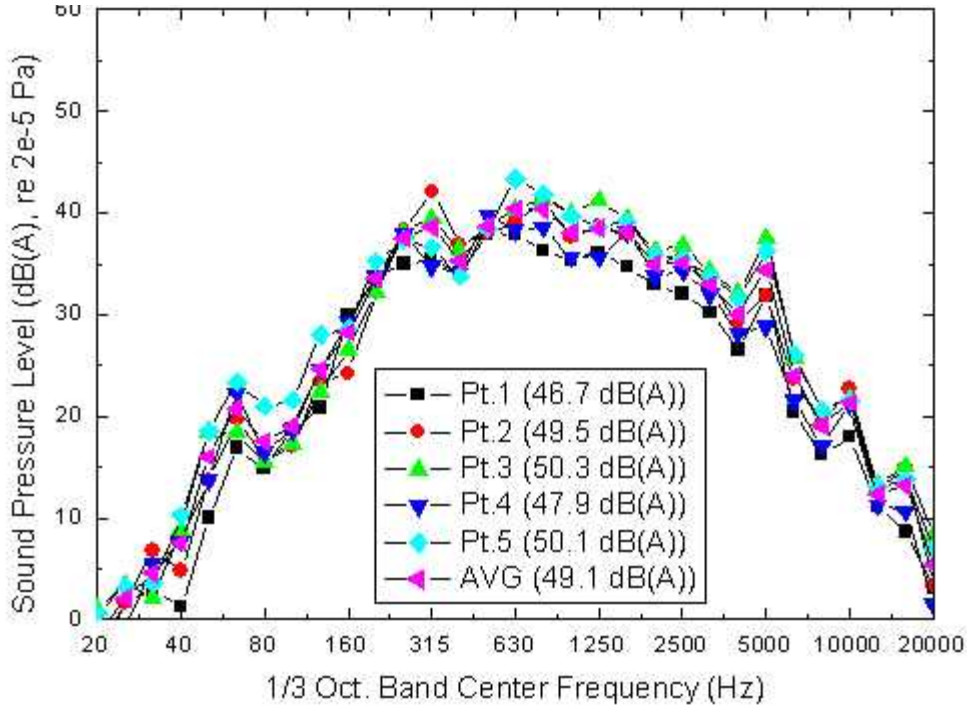
○ 실외 소음

- 냉방장치 OFF
- 냉방장치 ON

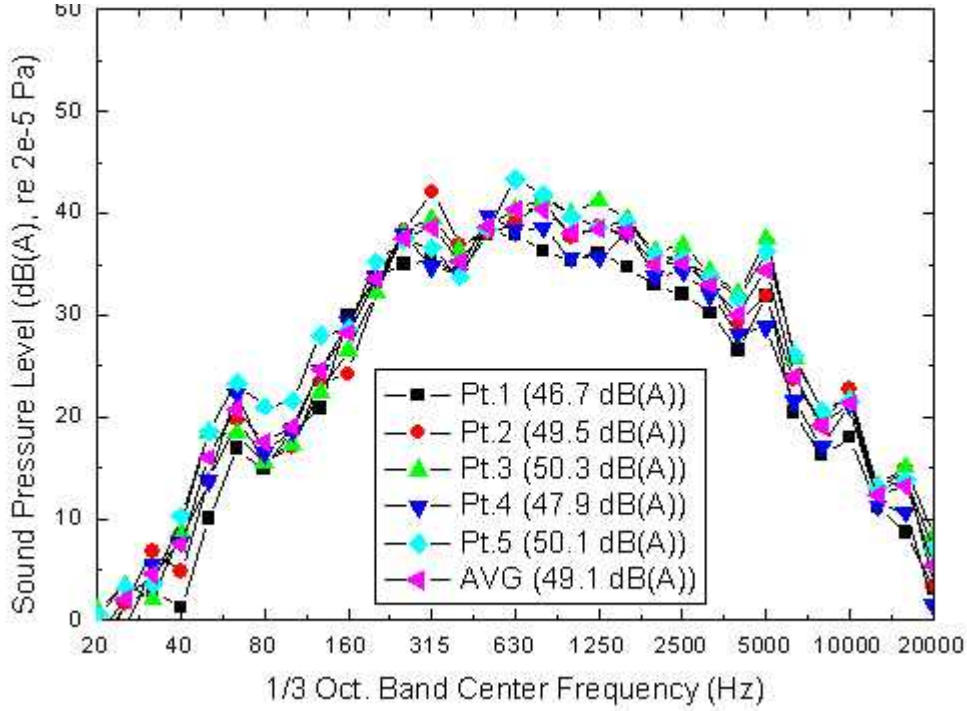
나) 시험 결과

○ 실내 소음

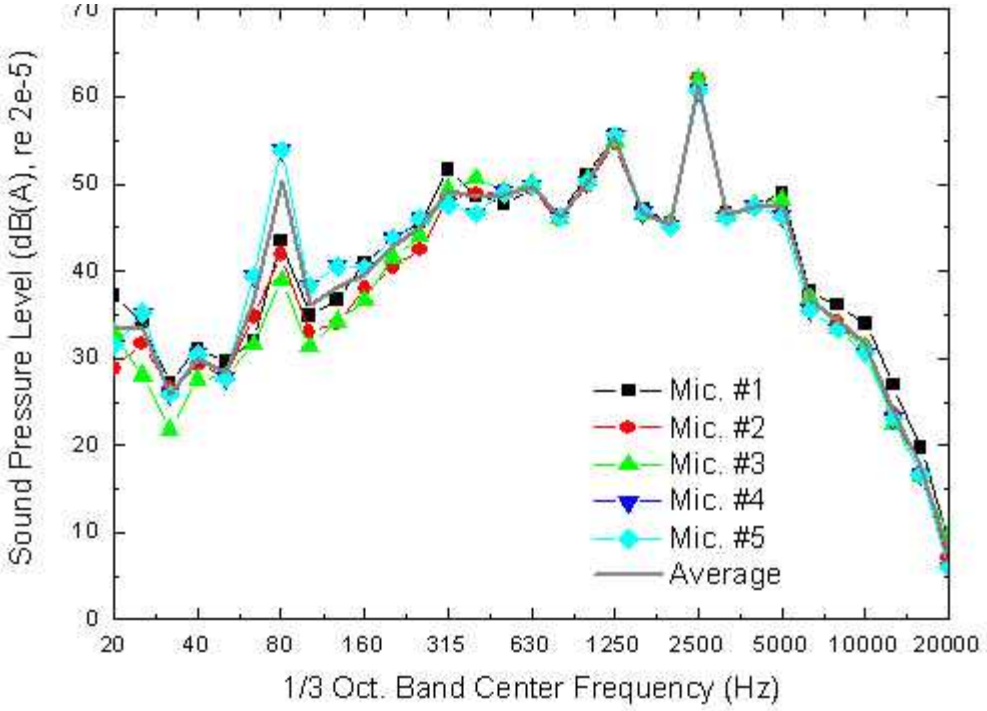
- 차량 정지, 착지 상태, 냉방장치 OFF



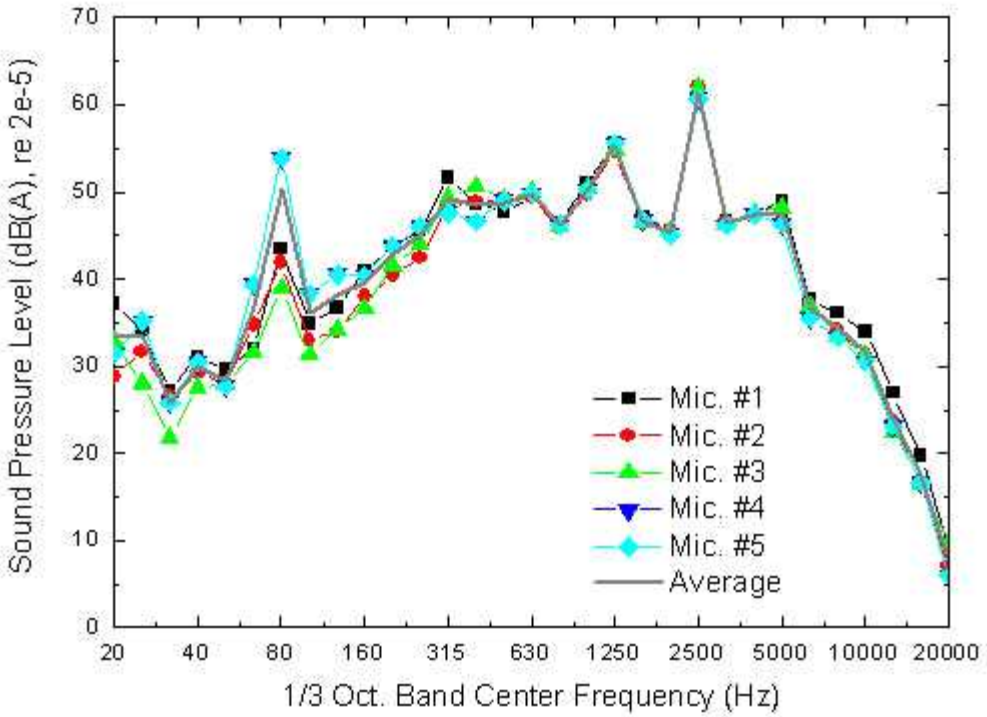
- 차량 정지, 부상 상태, 냉방장치 OFF



- 차량 주행 (40km/h), 냉방장치 OFF

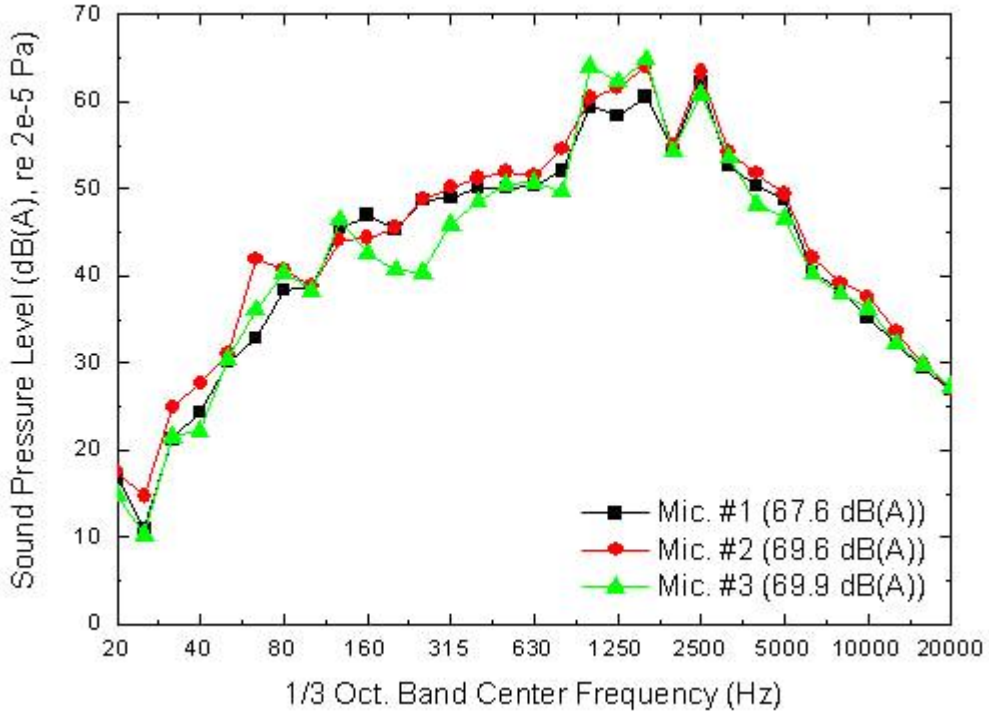


- 차량 주행 (40km/h), 냉방장치 ON

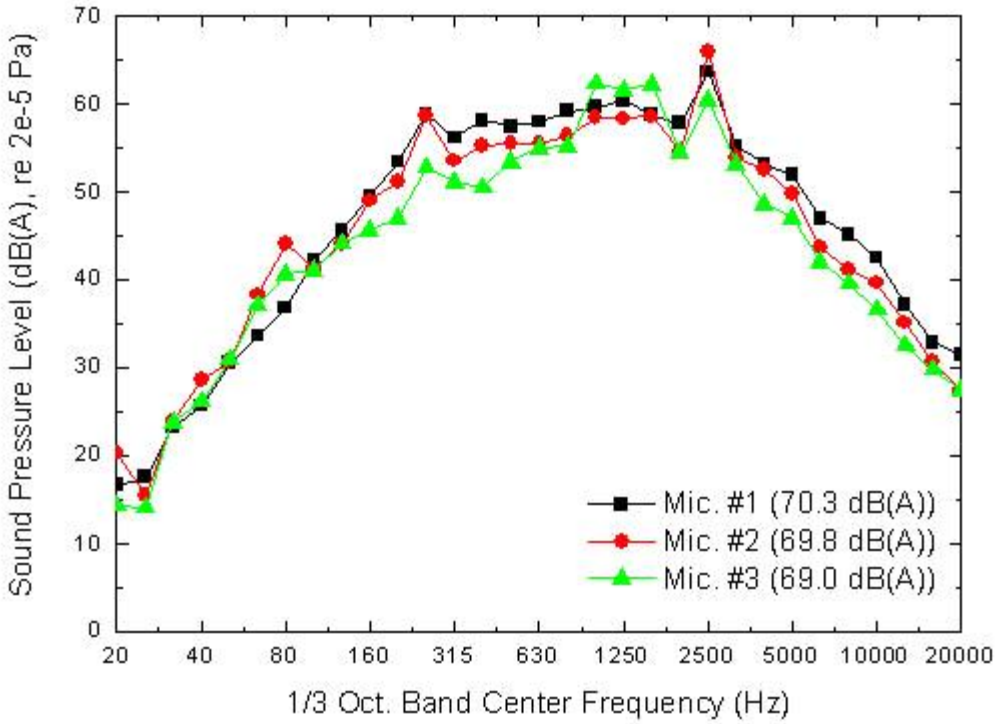


○ 실외 소음

- 냉방장치 OFF



- 냉방장치 ON

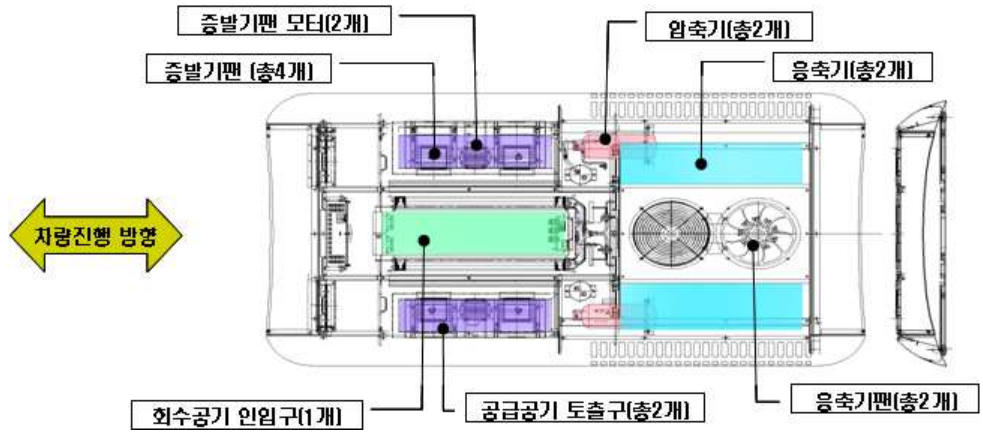


(5) 차내외 소음 평가 및 검증

(가) 자기부상열차 냉난방 장치 기본 사양

항 목	사 양	비 고	항 목	사 양	비 고
냉방능력	24,000kcal/h	EMU : 48,000	중량	460kg	
난방능력	16kW		압축기 형식	수평 스크롤식	밀폐형
송풍량	3,600~4,000 m^3/h/unit		응축기용 송풍기	전동기 직결 프로펠러	
냉매	R-407c		증발기용 송풍기	전동기 직결 양축 다익	원심형
크기	3540(L)x1700(W) x300(H)		소음 규정	68dB(A) 이하	

(나) 자기부상열차 냉난방 장치 기본 구조



(다) 자기부상열차 냉난방 장치 소음 저감 조치 내용

차수	소음 요소	소음저감 조치내용	비고
1차	응축기 팬	2개의 팬 중 1개 만 작동	
	증발기 팬	다공(공기평형)장치 부착 : 공기흐름 안정화	
	냉방 모드	초기 기동시 전냉 => 반냉 (회로변경)	
	기동 방식	증발기, 응축기 동시기동 => 순차적 기동	
2차	공기 덕트	냉방기 하부 리턴공기 인입구 폐쇄 및 인입 경로 변경	
		공급공기 토출구 유량 조절 장치 구조 변경	

(라) 실내 소음 측정 결과

1) 소음 저감 조치 전

항목	실내 소음기준	주행중 냉방기 미가동시	주행중 냉방기 가동시	주행중 냉방기 초기 기동시
측정치 [dB(A)]	65	60	66.5	70

- 냉방기 미가동시에 비해 초기 기동시 순간적으로 10dB 이상 소음 증가

2) 소음 저감 조치 후 (냉방기 가동 상태)

측정위치	운전실			냉방기 하부			차량 단부			평균
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1차	63.5	64.6	65.4	66.9	67	66	65.5	65.8	65.8	65.6
2차	62	62.3	63.9	63.1	63.5	64.6	63.5	63.7	63.3	63.3
저감량	1.5	2.3	1.5	3.8	3.5	1.4	2	2.1	2.5	2.3

- 2차 소음저감 결과 : 1차 소음저감 조치 후 보다 평균 2.3dB(A) 저감
- 당사 제작 차량 중 가장 낮은 소음 수치를 보이고 있음

(마) 잔여 편성분 개선 반영

1) 당 차량의 공기닥트 및 냉방기 소음저감 조치내역을 양산차량에 반영

- 냉방기 내, 응축기 및 증발기 팬의 형상 및 모터 회전 속도 추가 검토
- 급기 및 배기덕트의 형상 및 경로 추가 개선을 통한 공력소음 저감

2) 외부소음 저감을 위하여 역사 내 정차시 냉방기 제어모드 개선

- 차량이 역사 정차시 콘덴서 팬 정지, 공급공기 팬만 작동

3) 냉방기 소음저감 상세 조치내용을 연구소 DDBS에 등록

→ 타 차량 설계시 참조

(6) 차간 댐퍼의 특성에 따른 차량 거동 검토

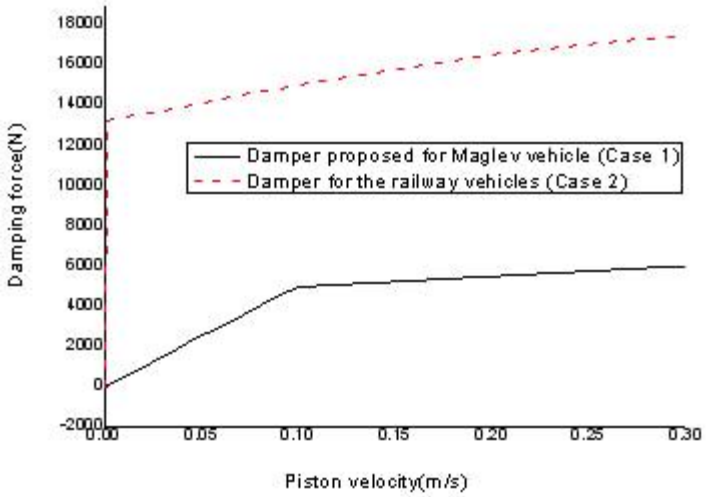
(가) 개요 (검토 목적)

- 차량간에 설치되는 댐퍼의 특성에 따른 차량 거동을 해석
- 결과 분석을 통해 최적의 댐퍼 사양 선정

(나) 검토 내용

1) 신규 댐퍼와 상용 댐퍼의 특성 비교

가) 감쇠력 곡선



- 자기부상열차를 위해 새로 설계된 댐퍼의 감쇠력은 일반 철도차량에 적용되는 댐퍼에 비해 약 30% 정도의 감쇠력을 가짐

나) 선로 조건

항목	사양	
곡선 반경	125m	800m
캔트	2.5°	4°
주행 속도	30km/h	80km/h

다) 검토 방법

○ 차량 조건 구분

- 댐퍼가 없는 경우
- 당 차량용으로 제안된 댐퍼를 적용한 경우

- 상용 댐퍼를 적용한 경우

○ 해석 및 비교 검토 대상

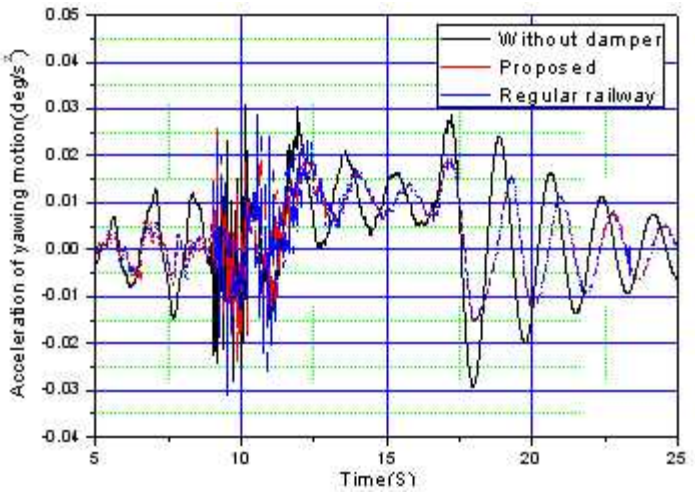
- 곡선 구간 주행시 차체 수직축 각가속도 (Yawing Motion)
- 곡선 구간 주행시 횡방향 공극 (Lateral Air Gap)
- 곡선 구간 주행시 차량 횡가속도 (Lateral Accelaration)

라) 해석 결과

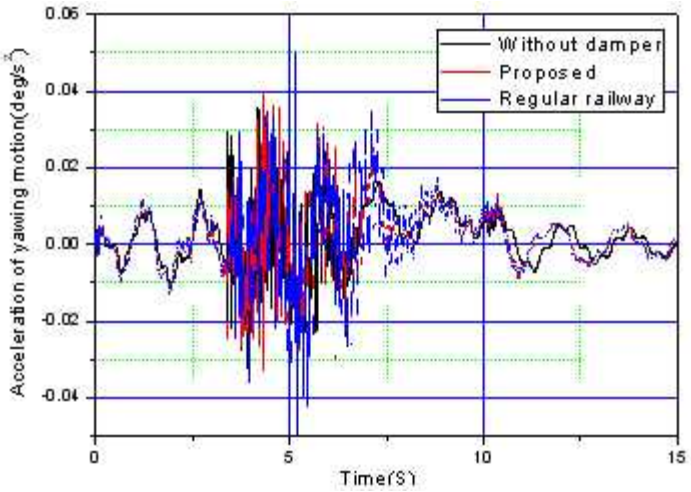
○ 곡선 구간 주행시 차체 수직축 각가속도 (Yawing Motion)

적용 조건	125mR, 30km/h		800mR, 80km/h	
	MC1	MC2	MC1	MC2
댐퍼 없음	0.030 deg/s^2	0.029 deg/s^2	0.035 deg/s^2	0.033 deg/s^2
당 차량용 댐퍼	0.025 deg/s^2	0.027 deg/s^2	0.040 deg/s^2	0.047 deg/s^2
상용 댐퍼	0.028 deg/s^2	0.056 deg/s^2	0.050 deg/s^2	0.063 deg/s^2

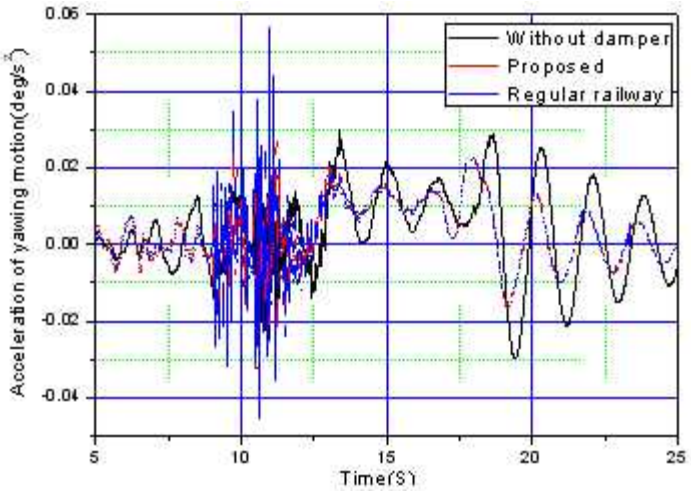
① MC1 차량, 125mR 구간, 30km/h 주행시



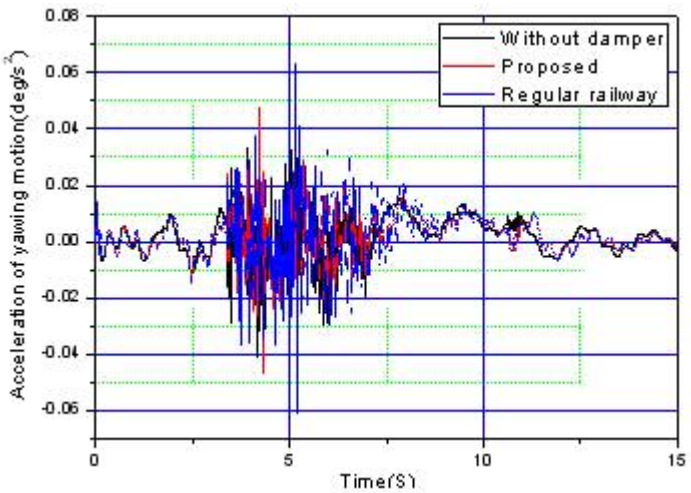
② MC1 차량, 800mR 구간, 80km/h 주행시



③ MC2 차량, 125mR 구간, 30km/h 주행시



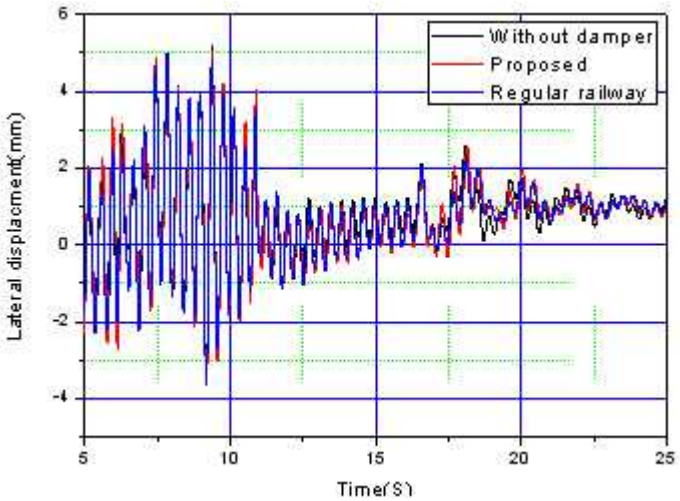
④ MC2 차량, 800mR 구간, 80km/h 주행시



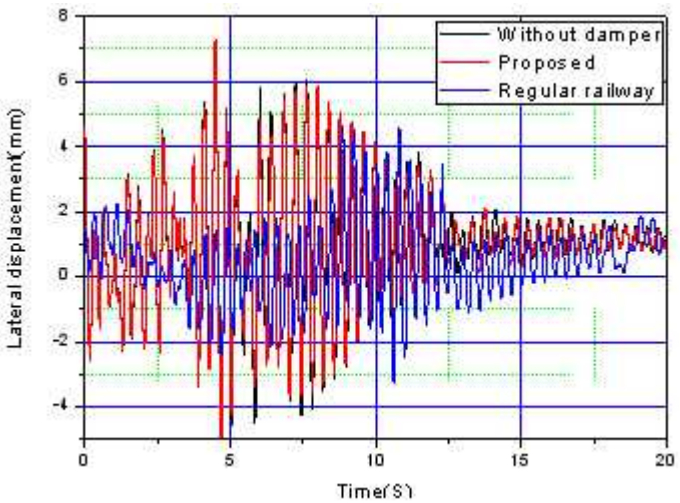
○ 곡선 구간 주행시 횡방향 공극 (Lateral Air Gap)

적용 조건	125mR (30km/h)		800mR (80km/h)	
	MC1	MC2	MC1	MC2
댐퍼 없음	5.17mm	4.79mm	7.21mm	8.49mm
당 차량용 댐퍼	5.01mm	4.53mm	7.28mm	8.69mm
상용 댐퍼	4.89mm	4.62mm	4.61mm	8.71mm

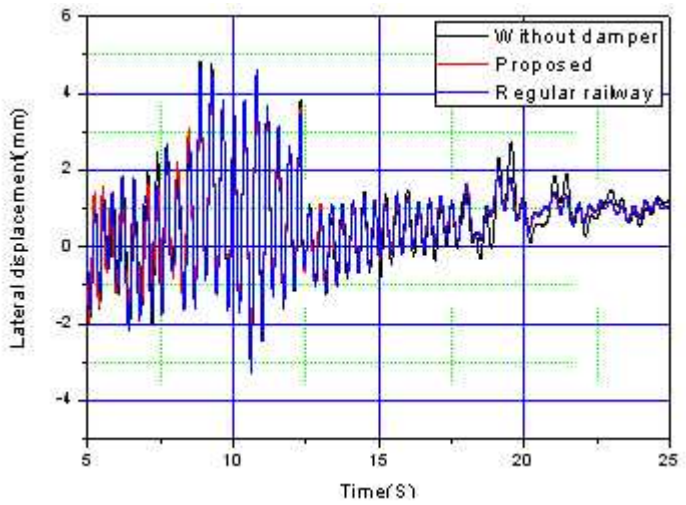
① MC1 차량, 125mR 구간, 30km/h 주행시



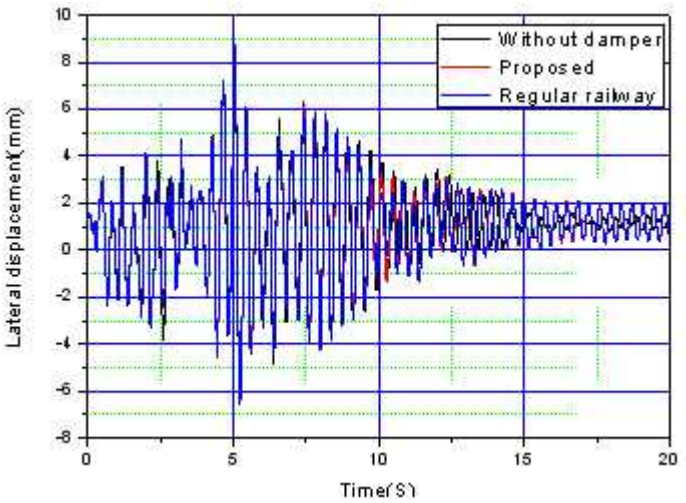
② MC1 차량, 800mR 구간, 80km/h 주행시



③ MC2 차량, 125mR 구간, 30km/h 주행시



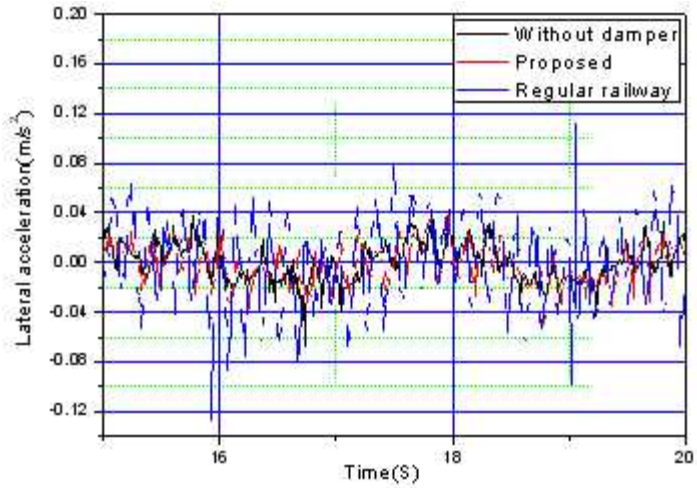
④ MC2 차량, 800mR 구간, 80km/h 주행시



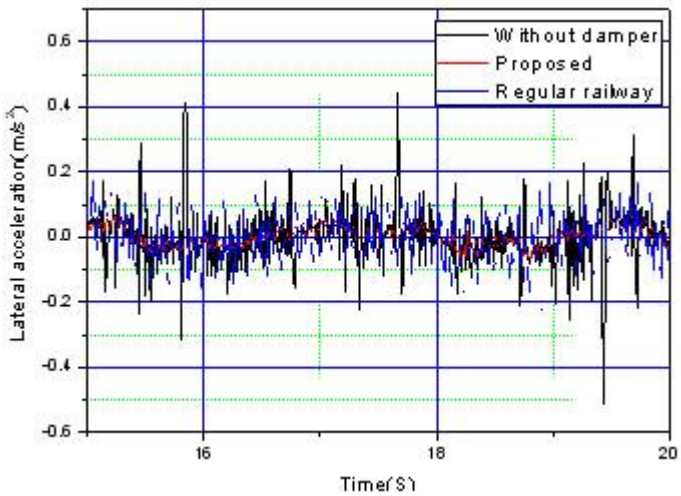
○ 곡선 구간 주행시 차량 횡가속도 (Lateral Accelaration)

적용 조건	30km/h (불규칙성 감안)		80km/h (불규칙성 감안)	
	MC1	MC2	MC1	MC2
댐퍼 없음	0.06 m/s^2	0.04 m/s^2	0.51 m/s^2	0.57 m/s^2
당 차량용 댐퍼	0.04 m/s^2	0.04 m/s^2	0.06 m/s^2	0.06 m/s^2
상용 댐퍼	0.11 m/s^2	0.11 m/s^2	0.17 m/s^2	0.18 m/s^2

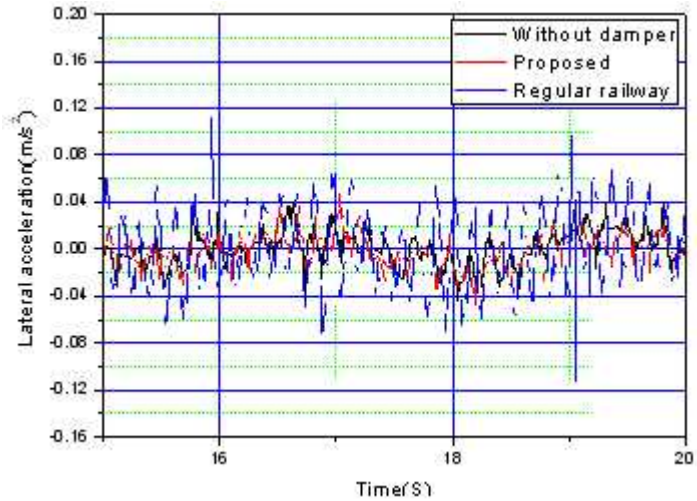
① MC1 차량, 125mR 구간, 30km/h 주행시



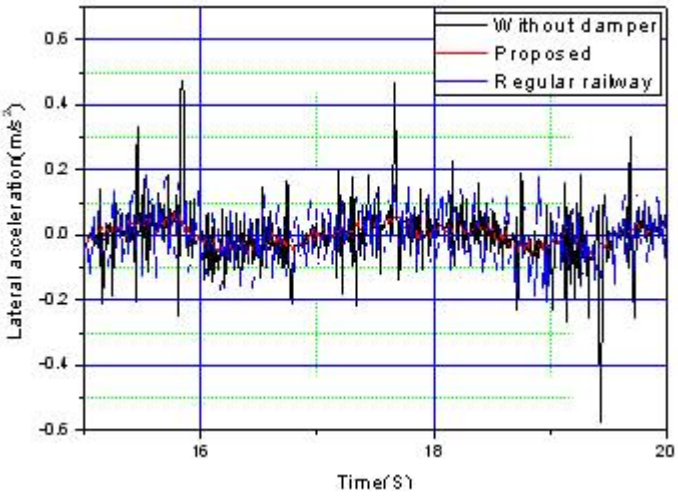
② MC1 차량, 800mR 구간, 80km/h 주행시



③ MC2 차량, 125mR 구간, 30km/h 주행시



④ MC2 차량, 800mR 구간, 80km/h 주행시

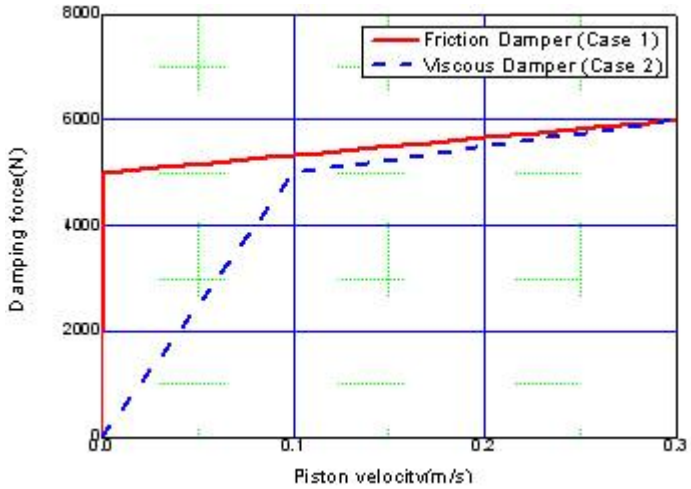


마) 검토 결과

- 당 차량을 위해 제안된 댐퍼를 적용할 경우 댐퍼를 설치하지 않은 경우 및 기존 댐퍼를 적용하는 경우보다 더 우수한 동적 특성을 보임

2) 점성(Viscous) 댐퍼와 마찰(Friction) 댐퍼의 특성 비교 (첨부 29 참고)

가) 감쇠력 곡선



- 점성 댐퍼의 작동력은 저속 구간에서 속도에 비례하여 증가
- 마찰 댐퍼는 작동 초기(작동 직전까지)에 작동력이 크게 증가하지만, 일단 작동이 시작된 이후에는 속도가 증가하더라도 댐퍼의 작동력은 이전에 비해 완만하게 증가함 (건조한 면에서의 마찰력의 특징)

나) 선로 조건

항목	사양	
곡선 반경	60 m	180m
캔트	2°	2.5°
주행 속도	20km/h, 30km/h	40km/h

다) 검토 방법

○ 차량 조건 구분

- 댐퍼가 없는 경우
- 마찰 댐퍼를 적용한 경우 (Case 1)
- 점성 댐퍼를 적용한 경우 (Case 2)

○ 해석 및 비교 검토 대상

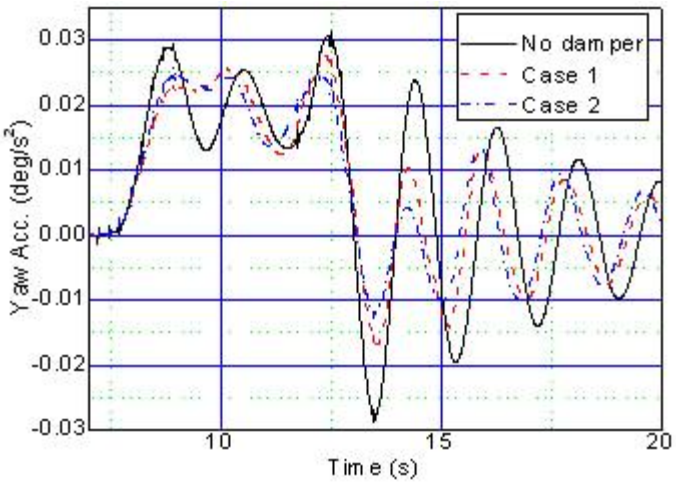
- 곡선 구간 주행시 차체 수직축 각가속도 (Yawing Motion)
- 곡선 구간 주행시 횡방향 공극 (Lateral Air Gap)
- 댐퍼 설치 각도에 따른 감쇠력 변화

라) 해석 결과

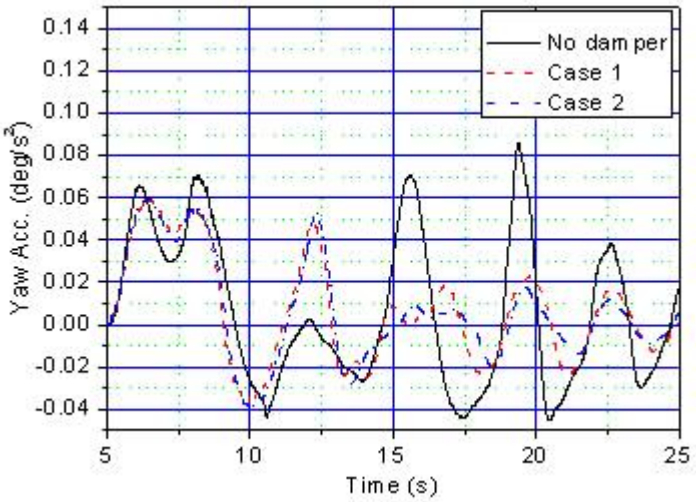
○ 곡선 구간 주행시 차체 수직축 각가속도 (Yawing Motion)

적용 조건	60mR, 20km/h		180mR, 40km/h	
	MC1	MC2	MC1	MC2
댐퍼 없음	0.031 deg/s^2	0.030 deg/s^2	0.044 deg/s^2	0.045 deg/s^2
마찰 댐퍼	0.027 deg/s^2	0.037 deg/s^2	0.033 deg/s^2	0.034 deg/s^2
점성 댐퍼	0.024 deg/s^2	0.030 deg/s^2	0.032 deg/s^2	0.036 deg/s^2

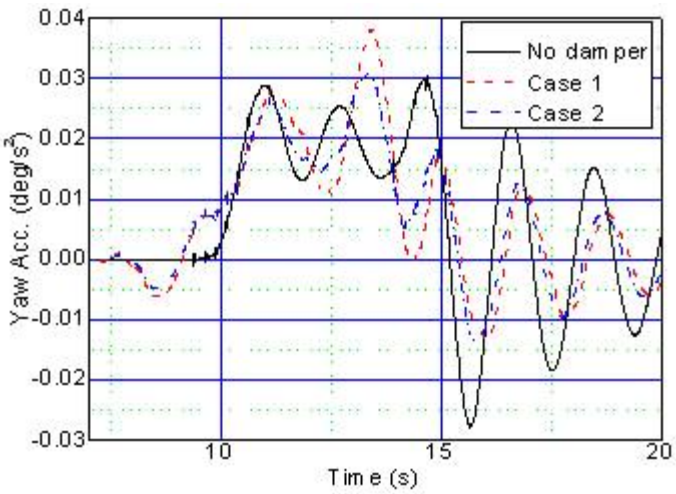
① MC1 차량, 60mR 구간, 20km/h 주행시



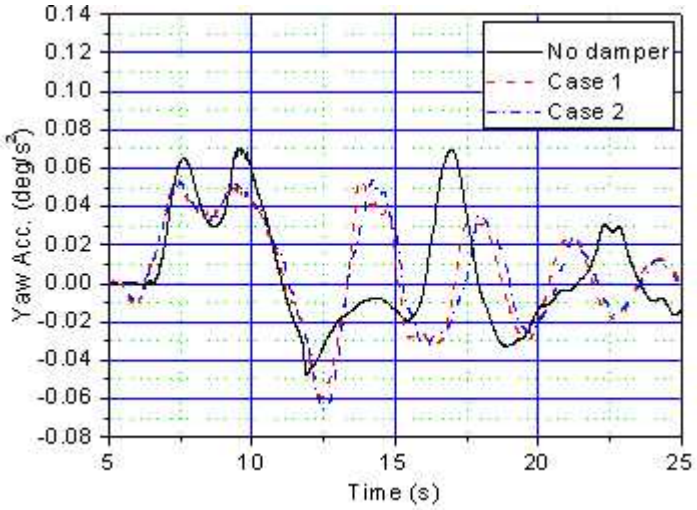
② MC1 차량, 60mR 구간, 30km/h 주행시



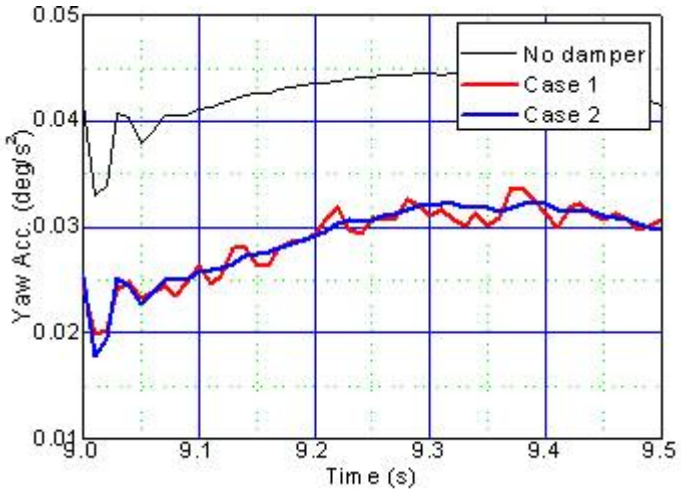
③ MC2 차량, 60mR 구간, 20km/h 주행시



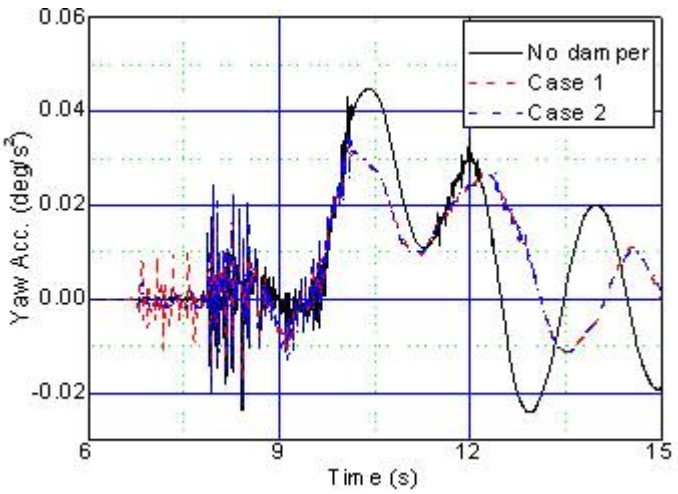
④ MC2 차량, 60mR 구간, 30km/h 주행시



⑤ MC1 차량, 180mR 구간, 40km/h 주행시



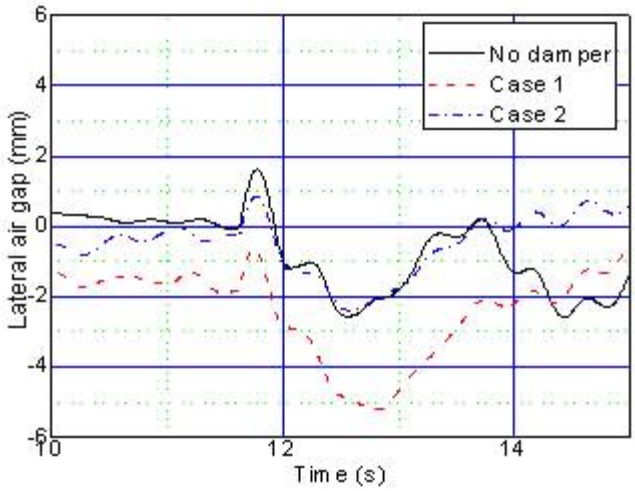
⑥ MC2 차량, 180mR 구간, 40km/h 주행시



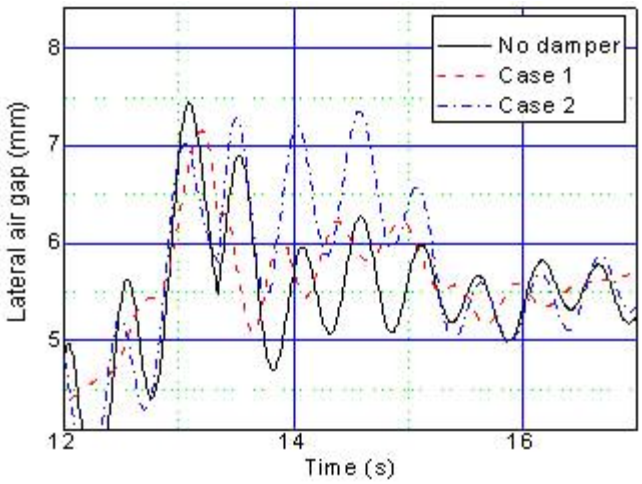
○ 곡선 구간 횡방향 공극 (Lateral Air Gap), 60mR, 20km/h 주행시

적용 조건	MC1		MC2	
	Bogie 1	Bogie 4	Bogie 5	Bogie 8
댐퍼 없음	2.56 mm	7.43 mm	2.57 mm	6.97 mm
마찰 댐퍼	5.12 mm	7.08 mm	2.09 mm	7.43 mm
점성 댐퍼	2.39 mm	7.35 mm	2.15 mm	6.79 mm

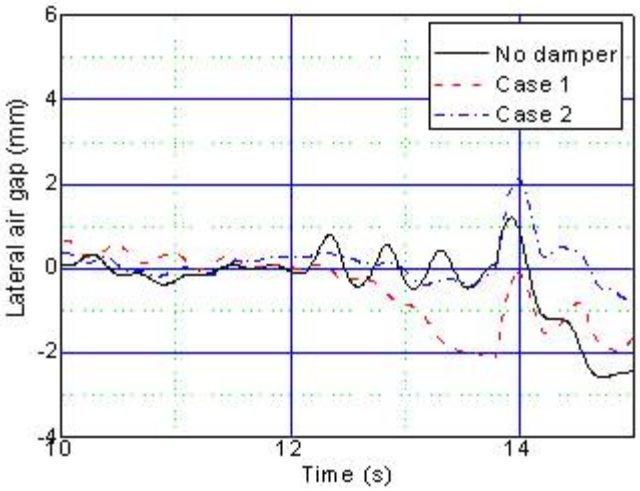
① Bogie 1



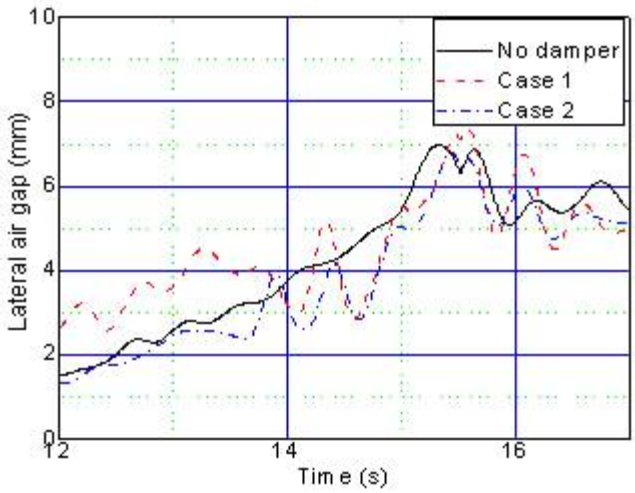
② Bogie 4



③ Bogie 5



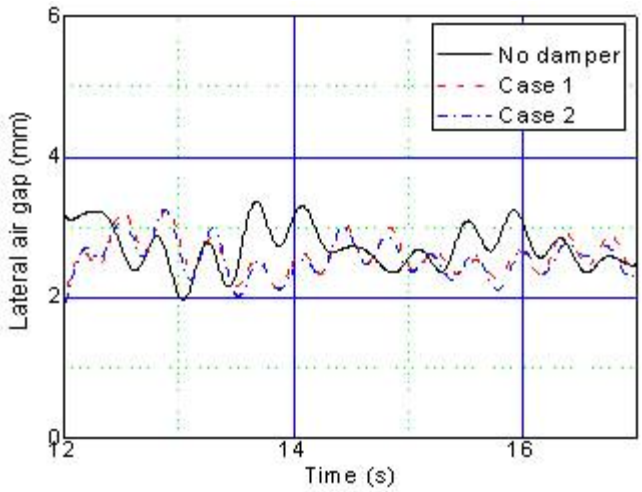
④ Bogie 8



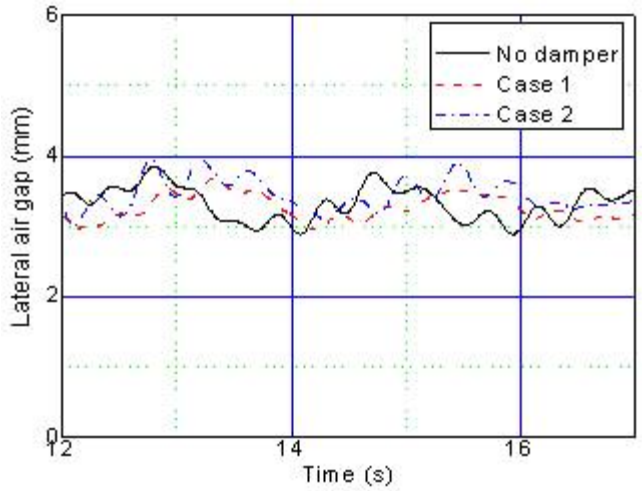
○ 곡선 구간 횡방향 공극 (Lateral Air Gap), 180mR, 40km/h 주행시

적용 조건	MC1		MC2	
	Bogie 1	Bogie 4	Bogie 5	Bogie 8
댐퍼 없음	3.71 mm	3.94 mm	3.37 mm	4.19 mm
마찰 댐퍼	3.22 mm	3.68 mm	2.92 mm	3.94 mm
점성 댐퍼	3.22 mm	3.91 mm	3.02 mm	3.96 mm

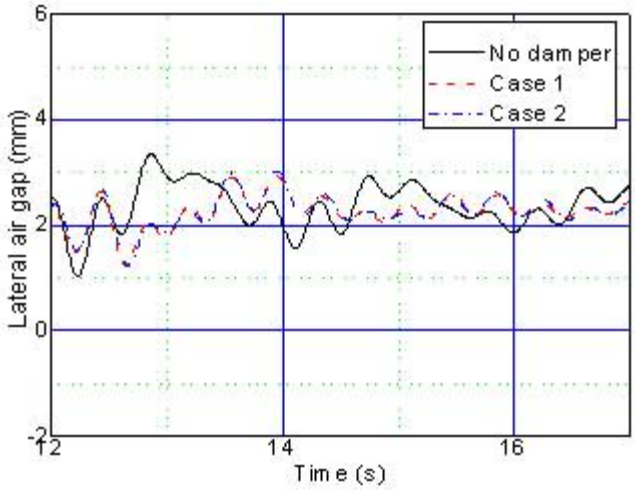
① Bogie 1



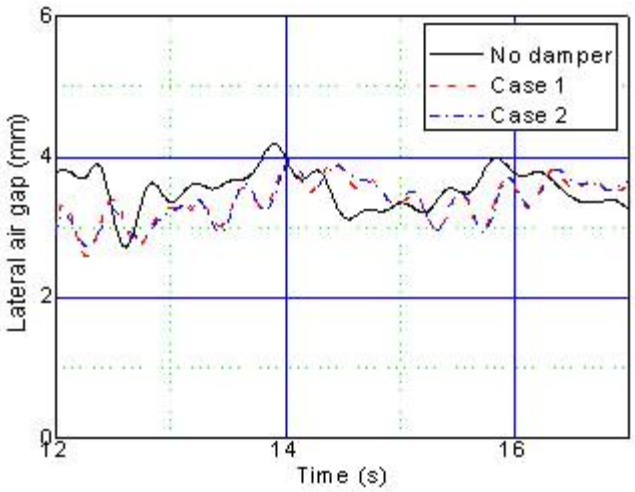
② Bogie 4



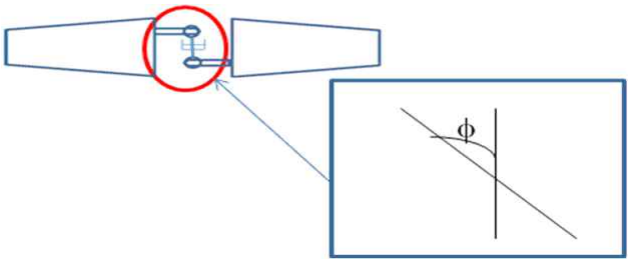
③ Bogie 5



④ Bogie 8

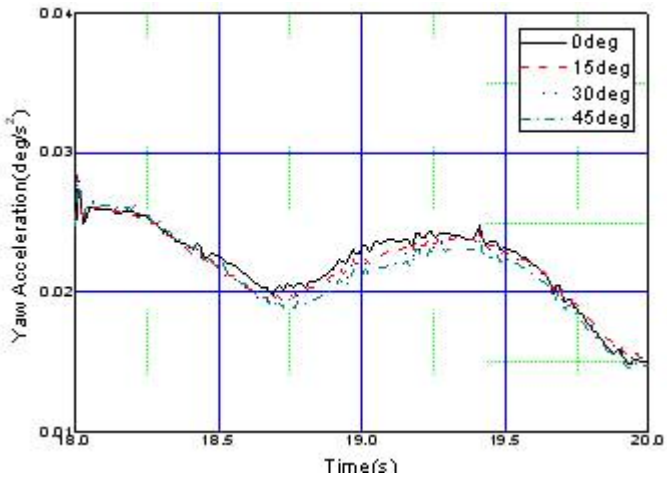


○ 댐퍼 설치 각도에 따른 감쇠력 변화

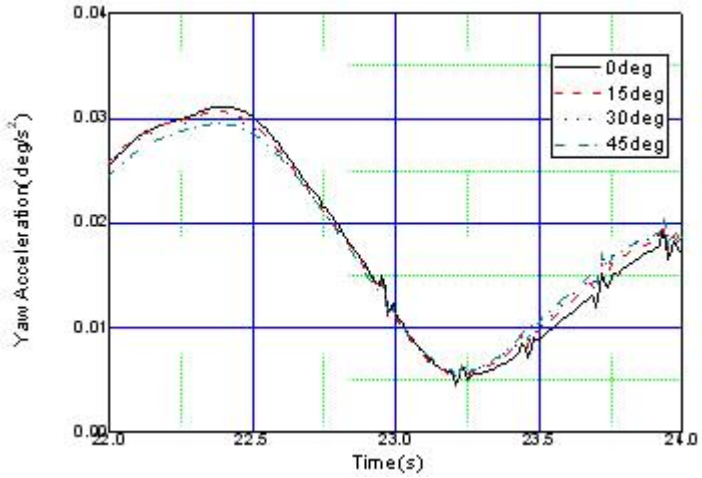


- 차간댐퍼의 설치 각도를 15도씩 변경하여 주행하였을 경우 차체에서 발생하는 수직축 회전각속도를 해석을 통하여 검토하였다.

① MC1



② MC2



마) 검토 결과

○ 마찰 댐퍼와 점성 댐퍼의 성능

- 점성 댐퍼의 경우가 차체 각가속도, 횡방향 공극, 횡가속도등 모든 면에서 우수한 특성을 보임
- 특히 점성 댐퍼는 속도에 상관없이 안정된 횡가속도를 나타냄

○ 차간 댐퍼 설치 각도에 따른 차체 각가속도의 차이

- 설치 각도가 45에 가까울수록 횡가속도가 감소함

(7) 유지보수 매뉴얼 및 운전 매뉴얼

(가) 유지보수 매뉴얼(안) (첨부[2-1_현대로템(주)-62] 참고)

1) 주요 대상 품목

- 보조전원장치
- 추진제어장치
- 냉난방장치
- 부상제어장치
- HFC DC/DC

(나) 운전자 매뉴얼(안)

1) 주요 항목

- 차량 기동전 확인 사항
- 차량 기동 순서
- 운전자 화면 설명
- 차량 정지
- 주의 사항
- 운전대 조작 판넬 명칭 및 기능
- 비상 상황 대처 요령

나. 경량/고품질 시트 개발 (대원강업-협동)

(1) 부품별 금형제작

(가) 개요

- 시트 골조 구성을 위한 마그네슘 압출금형 3벌 제작함.
- 경량시트의 목표중량 '7kg/인석'을 만족시키기 위해 초경량소재인 마그네슘 프레임을 선정하였으며 의자 골조 구성을 위한 3종의 압출재 금형을 제작 완료함.
- 또한 프레임 용접을 위한 시트 종별 용접지그를 제작하였으며,
- 의자 안장하부에 조립되는 언더카바 제작용 진공성형금형을 제작하였음.
- 언더카바는 의자 디자인 구현을 위해 안장 하부측에 부착시키는 부품임.

(나) 계획일정/수행일정/목표달성도

No	연구내용	일정 (4차년도)												달성도
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	압출금형제작	계획	----	----	----										100
		실적	————												
2	프레임용접지그제작	계획	----	----	----										100
		실적	————												
3	진공성형금형제작	계획	----	----	----										100
		실적	————												

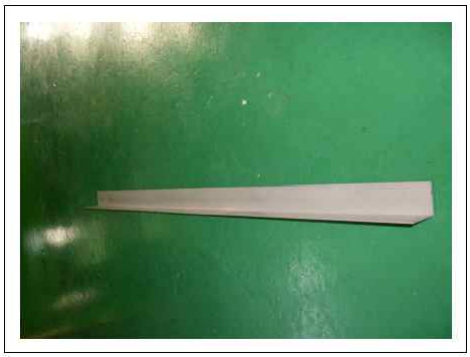
(다) 결과

1) 문제점 및 보완계획, 기대효과, 활용계획

- 용접지그의 경우 마그네슘 용접변형의 발생을 보정할 수 있는 방법 모색 필요함. (용접방법 변경을 통한 개선 검토 필요)
- 압출재의 경우 압출가격의 절감시킬 수 있는 방법 또는 업체모색 필요함

2) 최종

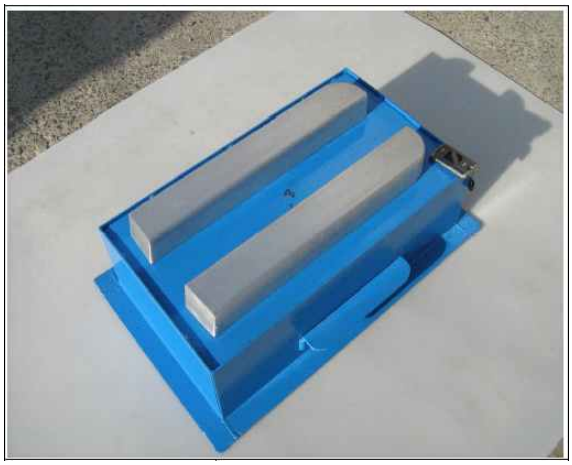
가) 마그네슘 압출금형 제작: 3벌

<table>
<tr>
<td> 
‘ㄱ’형 앵글</td>
<td> 
</td>
</tr>
<tr>
<td> 
‘ㄷ’형 찬넬</td>
<td>  </td>
</tr>
<tr>
<td> 
‘ㅁ’형 파이프</td>
<td>  </td>
</tr>
</table>

나) 언더카바 진공성형 금형 제작 6벌



TYPE ′A″ UNDER COVER NO.1 L/R



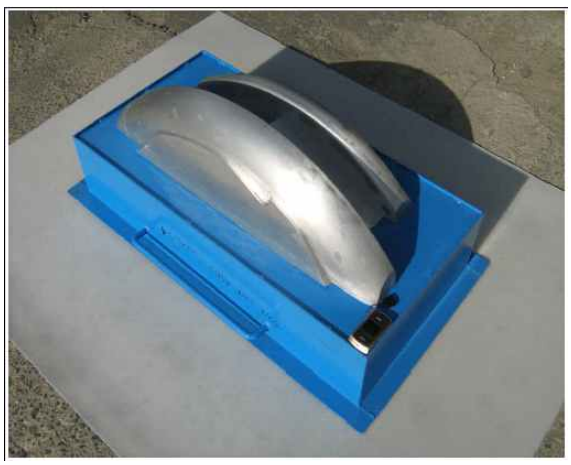
TYPE ′A″ UNDER COVER NO.2 L/R



TYPE ′B″ UNDER COVER L/R



TYPE ′D″ UNDER COVER



TYPE ′C″ UNDER COVER NO.1/4



TYPE ′C″ UNDER COVER NO.2/3

(2) 연구내용 2 - 초도1편성 제품제작

(가) 개요

- 초도1편성 차량제작용으로 제작 납품함.
- 초도편성의 문제점을 검토하여 차기 잔여편성 제작에 개선 반영함.
- 수량 : 2량분 (1인석-4조, 3인석-6조, 7인석-2조, 접이석-8조)
- 중량 : 7.6kg/석

(나) 계획일정/수행일정/목표달성도

No	연구내용	일정 (4차년도)												달성도
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	부품입고	계획			----										100
		실적			————	————									
2	제작	계획				----	----								100
		실적					————								
3	납품	계획					----								100
		실적					————								

(다) 결과

1) 문제점 및 보완계획, 기대효과, 활용계획

- 장착 시 조립 Hole 간의 치수차이로 장착시 약간의 수정이 필요했음.
- 조립치수관련 차량측과의 최종확인을 통해 문제점 재발방지 예정임.
- 기타 외관상의 문제점 등 장착성 확인보고서를 통해 검토/개선하였음.

2) 최종

가) 초도1편성 제품사진

<table>
<tr><td> 
3인석 & 7인석</td><td> 
3인석 & 7인석</td></tr>
<tr><td> 
3인석</td><td> 
7인석</td></tr>
<tr><td> 
1인석 & 접이석</td><td> 
1인석 & 접이석</td></tr>
</table>

(3) 초도1편성 장착성확인 결과보고서

(가) 개요

- 초도1편성용 시트 납품후 조립성 등 차량과의 취부 문제점 및 기타 지적/발견된 문제점을 잔여편성 제작시 반영하기 위해 작성한 문서임.

(나) 계획일정/수행일정/목표달성도

No	연구내용	일정 (4차년도)												달성도
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	장착성 확인	계획					------								100
		실적						———							

(다) 결과

1) 문제점 및 보완계획, 기대효과, 활용계획

- 본 문서를 통해 지적되거나 발생한 문제점을 차기 잔여편성 제작 전에 개선하여 잔여편성에 개선된 상태로 제작 납품 할 것임.
- 초도1편성의 의자 차량장착 결과 아래와 같은 문제점이 발생하였으며, 즉시 수정조치 하였거나 차기 양산에 변경 적용할 예정임.
- 이외 외관 미려도 향상을 위해 봉제품 패턴 및 커버 조립조건을 변경할 계획임.
- 차량 벽면과의 조합성 향상이 필요함
  ==> 벽면 형상 확인용 조립지그 제작 필요





- 봉제품 형상이 내장판 형상공차를 흡수하기에 다소 모자람
  ==> 패드 사이즈 증대 필요
- 레그 프레임 조립시 위치 셋팅 어려움

==> 차량과 인터페이스 검토하여 개선방향 도출 필요




- 접이석 등받이 뒷면 프레임 노출 ==> 봉제품 변경을 통해 즉시 변경함




(4) 의자 기술사양서

(가) 개요

- 의자의 분류, 특징, 재료, 시험 및 검사 방법 등을 규정하는 기술사양서를 작성함.
- KS, JIS, BS, ISO, 철도안전법 등 공인된 산업기준을 근거로 기준의 신뢰성을 확보하였음.
- 형식시험 등 검증시험 및 향후 실용화 제작시 제작기준서로 활용할 것임.

(나) 계획일정/수행일정/목표달성도

No	연구내용	일정 (4차년도)												달성도
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	기초 자료수입 (유사차종 기술사양서, 관련 규격 등)	계획	----	----	----										100
		실적	————	————	————	————									
2	의자 기술사양서 작성	계획				----	----	----							100
		실적				————	————								

(가) 결과

1) 문제점 및 보완계획, 기대효과, 활용계획

- 국내 실정에 부합하도록 작성되었으며, 향후 해외 수출을 검토하기 위해 해외규격을 접목한 기술사양서 검토가 필요함.
- 잔여편성 양산전 기술검토 예정임.

2) 최종

가) 기술사양서 사본

대원강업㈜	TECHNICAL SPECIFICATION	문서번호	DWL-09EC-001
		변경번호	0
	자기부상열차 6량 객실의자 의자 사양 및 시험 절차서	변경날짜	2009. 09. 18
		페이지	1/8

목 차

1. 적용범위
2. 적용규격
3. 필요조건
 3.1 재료
 3.2 치수 및 구조
 3.3 특성
4. 검사 및 시험
 4.1 시험방법
  4.1.1 강도시험
  4.1.2 내구시험
  4.1.3 재료시험
  4.1.4 화재성능시험
 4.2 검사
  4.2.1 검사의 분류
  4.2.2 검사 방법
 4.3 검사 및 시험방식
5. 품질 보증
6. 포장 및 표시
 6.1 포장
 6.2 표시

		대원강업㈜	현대로템㈜
승 인	날 짜	2009. 09. 18.	
	이 름	T. H. Kim	
	서 명		
검 토	날 짜	2009. 09. 18.	
	이 름	W. S. Suh	
	서 명		
작 성	날 짜	2009. 09. 18.	
	이 름	S. H. Choi	
	서 명		

대원강업㈜	TECHNICAL SPECIFICATION	문서번호	DWL-09EC-001
		변경번호	0
	자기부상열차 6량 객실의자 의자 사양 및 시험 절차서	변경날짜	2009. 09. 18
		페이지	3/8

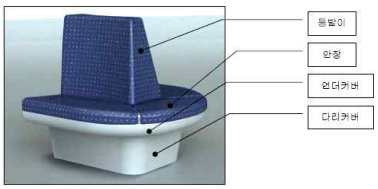
1. 적용 범위

본 규격서는 자기부상열차 6량 객실에 설치하는 객실의자에 대하여 규정한다.

2. 적용 규격

KS D 1801 철 및 강의 분석 방법 통칙
KS B 0802 금속재료 인장 시험 방법
JIS E 7104 : Seat for Passengers of Railway Rolling Stock
ISO 4589-2 : Plastics – Determination of burning behaviour by oxygen index
ASTM E 662 : Standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials.
BS 6853 : Code of practice for fire precautions in the design and construction of passenger carrying trains
철도차량용 안전기준에 관한 지침 (국토해양부 고시 제 2008-47 호)

3. 필요 조건



3.1 재료

이 의자에 사용된 소재는 KS 에 준하여 물리적 특성 및 화학 조성이 우수한 것을 사용하며, 도면에 의한다.

대원강업㈜	TECHNICAL SPECIFICATION	문서번호	DWL-09EC-001
		변경번호	0
	자기부상열차 6량 객실의자 의자 사양 및 시험 절차서	변경날짜	2009. 09. 18
		페이지	5/8

로 이루어진 구조로써 안장과 등받침 부분은 승객의 불편을 최소화할 수 있는 형상으로 한다.

2) 의자는 1 인용 일반석, 1 인용 접이석, 3 인용, 7 인용으로 제작하며, 접이석을 제외한 의자는 안장이 분리되는 구조이어야 한다.

3) 7 인용 의자는 안장이 분리되어 다리 내부에 장착되어 있는 측정지를 교환 및 결합할 수 있는 구조이어야 한다.

3.3 특성

본 의자는 안락성, 견고성, 안전성, 내구성, 보수유지의 용이성 및 아름다운 외관을 기본으로 설계 제작된다.

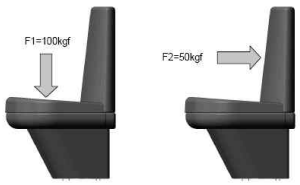
4. 시험 및 검사

4.1 시험 방법

4.1.1 강도시험

의자에 대한 강도시험(JIS E 7104)에 의하여 규정된 력정 하중을 가할 수 있는 견용 시험 기기로 가압시험을 실시한 후 프레임 및 체결부위 파손, 이완 등이 없어야 하며, 프레임의 영구 변형량은 최대 5mm 이내 이어야 한다.

- 가압위치 : 1 인석 의자의 안장 및 등 중앙부에 아래 그림과 같이 수직으로 하중을 가한다.
- 하중조건 : 안장-100Kg, 등-50Kg (접이식은 안장시험만 실시함)
- 가압판 치수 : 300mm x 250mm 이하



대원강업㈜	TECHNICAL SPECIFICATION	문서번호	DWL-09EC-001
		변경번호	0
	자기부상열차 6량 객실의자 의자 사양 및 시험 절차서	변경날짜	2009. 09. 18
		페이지	7/8

12		발	KS K ISO 105-E04	4급 이상	

b. 의자쿠션의 재질시험

No	항 목	기준치		시험 방법
		등	안장	
1	밀도(g/cm³)	0.055±0.01	0.06±0.01	KS M 6672
2	경도(kg/314 cm²)	15±1.5	22±2	KS M 6672
3	압축영구줄음률(%)	7% 이하		KS M 6672
4	반복압축줄음률(%)	10% 이하		KS M 6672

4.1.4 화재성능시험

부품명	시험항목	시험규격	판정기준	적용규정
카바지	산소지수	ISO 4589-2 또는 KS M ISO 4589-2	LOI ≥ 28	철도차량 안전기준
	연기밀도	ASTM E 662	Ds(1.5) ≤ 100 Ds(4.0) ≤ 200	
	독성가스	BS 6853 Annex B.2	R ≤ 2.0	
패드	산소지수	ISO 4589-2 또는 KS M ISO 4589-2	LOI ≥ 28	철도차량 안전기준
	연기밀도	ASTM E 662	Ds(1.5) ≤ 100 Ds(4.0) ≤ 175	
	독성가스	BS 6853 Annex B.2	R ≤ 3.2	
몸체	화염전파	ISO 4589-2 또는 KS M ISO 4589-2	LOI ≥ 32	철도차량 안전기준
	연기밀도	ASTM E 662	Ds(1.5) ≤ 100 Ds(4.0) ≤ 200	
	독성가스	BS 6853 Annex B.2	R ≤ 2.0	

- 단, 산소지수 32이상의 방염작으로 표장한 쿠션의 경우 산소지수 시험을 면제할 수 있다.
- 몸체는 불연재인 강재(Steel)로 되어있어 화재시험에서 제외한다.

4.2 검사

4.2.1 검사의 분류

(5) 초도1편성 시험검증결과보고서

(가) 개요

- 간이 형식시험을 통해 1인석과 3인석, 접이석에 대한 강도시험을 실시하였음.
- 의자 기술사양서에 입각하여 실시하였으며,
- 향후 잔여편성에 대해서는 강도 외 내구, 재질, 화재성능시험을 실시할 예정임.

(나) 계획일정/수행일정/목표달성도

No	연구내용	일정 (4차년도)												달성도
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	시험검증 (간이 형식시험)	계획					----								100
		실적					———								

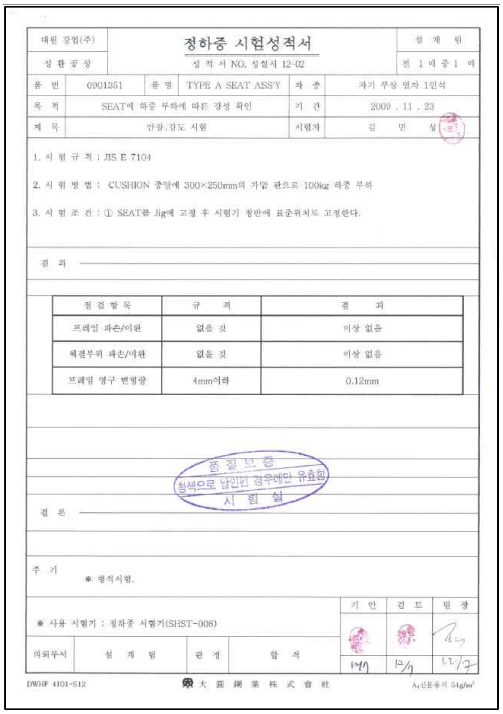
(다) 결과

1) 문제점 및 보완계획, 기대효과, 활용계획

- 차량제작사(현대로템) 실무자의 참석하에 실시한 시험으로 향후 잔여편성에 대해서는 정상적으로 감독관 입회하여 시험을 실시할 예정임.

2) 최종

가) 시험성적서 사본



대원 강업(주)

정하중 시험성적서

성 환 공 장

성적서 NO. 성설서 12-02

품 번	0901351	품 명	TYPE A SEAT ASSY	차 종	자기 부상 열차 1인석
목 적	SEAT에 하중 부하에 따른 강성 확인			기 간	2009 . 11 . 23
제 목	안장,강도 시험			시험자	김 민 성

1. 시 험 규 격 : JIS E 7104

2. 시 험 방 법 : CUSHION 중앙에 300×250mm의 가압 판으로 100kg 하중 부하

3. 시 험 조 건 : ① SEAT를 Jig에 고정 후 시험기 정반에 표준위치로 고정한다.

결 과

점 검 항 목	규 격	결 과
프레임 파손/이완	없을 것	이상 없음
체결부위 파손/이완	없을 것	이상 없음
프레임 영구 변형량	4mm이하	0.12mm

품질보증 첨삭으로 남긴의 경우에만 유효함 시 험 실

결 론

주 기

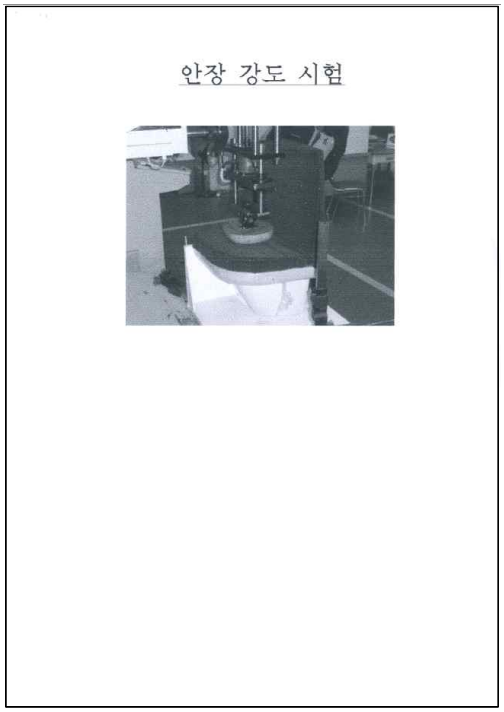
* 형식시험.

* 사용 시험기 : 정하중 시험기(SHST-008)

의뢰부서	설 계 팀	관 정	합 격

기 안	검 토	팀 장
1/19	1/21	1/22

DWHF 4101-512 大 圓 興 業 株 式 會 社 A4(본용지 54g/m²)



안장 강도 시험

(6) 잔여편성자재발주

(가) 개요

- 잔여3편성 제작을 위해 관련부품을 발주하는 것으로 부품별 사양에 대해서 기술적 재검토를 실시하여 원가경쟁력 있는 업체를 개발/선정하여 향후 실용화시 경쟁력 있는 제품을 공급하기 위한 연구임.

(나) 계획일정/수행일정/목표달성도

No	연구내용	일정 (5차년도)												달성도
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	잔여3편성 부품자재발주	계획	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----			80
		실적	————												

(다) 세부공정별 수행내역 및 결과

1) 주요 중간산출물

- 카바지 디자인 재승인 추진 (디자인 변경안)





- 언더카바용 쉬트재 재질성능 검토

◆ **진공성형用 Sheet재 비교검토서**

구분	규격	단위	제품								
업체			A 社		B 社				C 社	D 社	E 社
제품명			제품-1	제품-2	제품-3	제품-4	제품-4	제품-5	제품-6	제품-7	제품-8
PHYSICAL											
Specific Gravity	ASTM D 792	-	1.30	1.30	1.30	1.18			1.40	1.40	
MECHANICAL											
Tensile Strength, Yield	ASTM D 638	psi	8,000	8,000	13,100	8,200			5,900	6,000	
Tensile Elongation	ASTM D 638	%	20	20	35	110			-	55	
Tensile Modulus	ASTM D 638	psi	575,000	575,000	335,000	320,000			-	-	
Flexural Strength	ASTM D 790	psi	-	-	20,400	11,500			9,700	9,200	
Flexural Modulus	ASTM D 790	psi	-	-	460,000	310,000			330,000	350,000	
Izod Impact Strength, Notched @0.125"	ASTM D 256	ft-lbs/in	1.4	1.4	1.4	12.0			3.0	3.5	
Rockwell Hardness (R scale)	ASTM D 785	-	R115	R115	R123				R103	R98	
FLAMMABILITY											
Smoke Density, 4min	ASTM E 662	-	73.3	73.3	7.0	21.5	Pass	113.0	< 200	76.0	98.8
Flame Spread Index	ASTM E 162	-	15	15	< 5	Pass	Pass	5	10	< 35	미확인
Limiting Oxygen Index (LOI)	ISO 4589-2	-	39.8	39.8	Pass	28.8	미확인	미확인	미확인	미확인	31.5
Index of Toxicity	BS 6853 B.2	-	0.62	0.62	Pass	0.27	미확인	미확인	미확인	미확인	0.08
가격			○	△	X	◎	◎	X	◎	○	△

▪ 상기 제품 중 현재 A社의 '제품-1' 성능과 가격에서 양호한 편으로 검토되었으며,
▪ 가격이 저렴한 B社의 '제품-4'를 추가 검토하여 저가의 성능만족 제품을 적용할 수 있도록 진행 예정임.

- 주요부품 구매시방서 작성

(다) 결과

- 6차년도 연장하여 최종 완료 예정임.

다. 경량화 차체 개발 (동양강철-협동)

(1) 구체용 알루미늄 압출 경량화 설계

(가) 개요

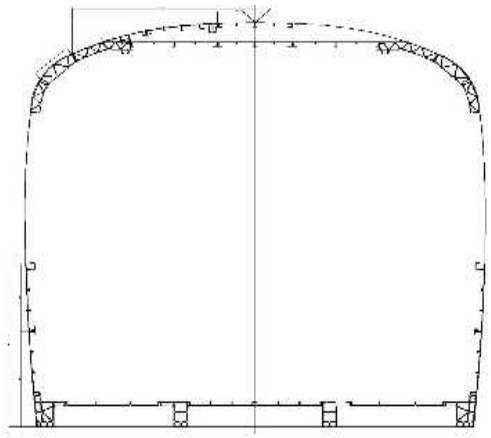
- 1단계에서 제작된 압출프로파일에 대한 추가 경량화 연구
- 도시형자기부상열차 차체의 경량화를 통한 경쟁력 강화 필요

(나) 주요 연구내용

도시형 자기부상열차의 구체 목표 중량은 2.95ton이며, 이 중량에는 당 연구기관에서 연구를 진행하는 구체용 알루미늄 압출 프로파일 뿐만 아니라, 지지용 브라켓, 내부 골조 등이 포함된 구체의 중량이다.

1단계(1~3차년도)에서 연구 개발된 구체용 알루미늄 압출 프로파일은 경량화를 위해 Roof Frame과 Side Frame에 Single Skin 구조를 채택하였으나, Single Skin 구조의 높은 압출비로 인해 압출성 저하 문제가 예상되었으며, 이를 해소하기 위해 압출 프로파일의 좌우가 균형을 이룰 수 있는 방향으로 압출금형을 설계하였다. 또한 압출시 알루미늄 metal flow가 한 방향으로 집중되는 것을 방지할 수 있도록 두께가 균일하게 설계하는 등 알루미늄 압출시 압출성이 향상될 수 있도록 설계하여 그 문제점을 보완하였다. 반면에 하중 지지가 필요한 Solebar Frame 이나 Cant Rail Frame 등은 기존의 형상을 대체로 유지한 반면 Under Frame의 경우 double skin 구조는 채택하되 높이를 줄여 경량화 설계를 실시하였다.

아래 그림은 상기와 같이 설계된 도시형 자기부상열차의 Carbody Section을 나타낸 것이다.

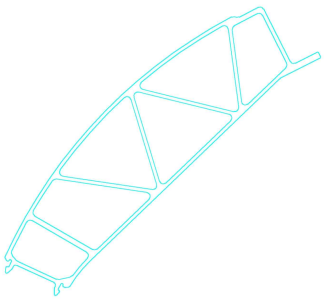
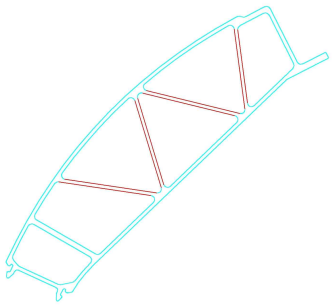


[그림 672]도시형 자기부상열차의
Carbody Section

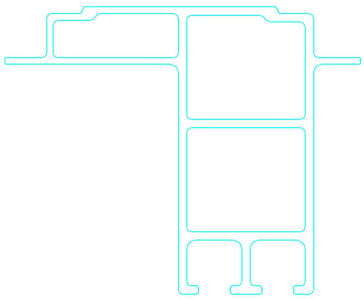
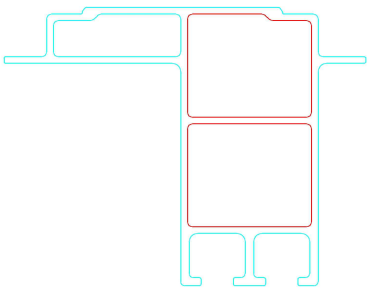
4차년도에서는 3차년도에 제작한 구체 압출 프로파일에 대하여 추가 경량화 설계를 진행하여 차량의 중량을 감소시키는 것이 주요 목표 중에 하나이며, 이를 위하여 1단계에서 수행한 구조해석결과를 바탕으로 과 설계된 압출 프로파일을 선정하여 경량화 설계를 수행하였다. 선정된 압출 프로파일은 구조해석시 발생되는 응력에 비하여 과도하게 설계된 프로파일들이며, 여기에 압출성이 확보된 경량화 설계를 실시한 후 하중조건 별 정적강도 해석을 수행하였다.

1단계 정적 강도 해석 검토 결과 발생 응력 대비 과하게 설계된 것으로 판단되는 압출 프로파일은 Cant Rail, Center sill, Sole bar, bogie frame 등 총 4종으로 설계변경사항 및 설계 변경으로 인한 경량화율(단중), 및 형상은 아래 표와 같다.

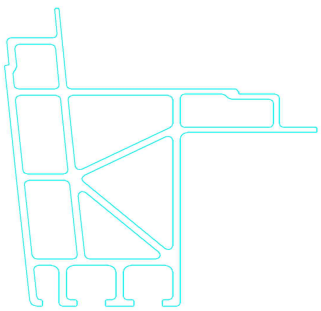
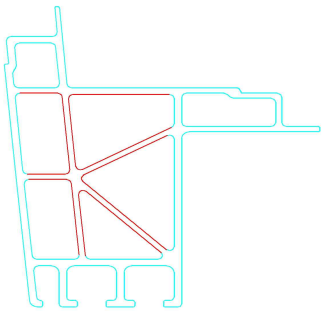
[표 152]CantRail

	설계 변경 전	설계 변경 후
형상		
설계변경 사항	내측 Rib 두께 축소 : 2.8mm ==> 2.6mm	
단중 (kg/m)	8.794	8.626
경량화율(%)	1.9% ↓	

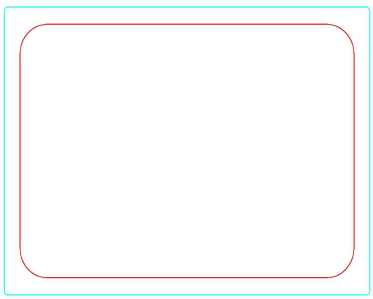
[표 153]Center Sill

	설계 변경 전	설계 변경 후
형상		
설계변경 사항	내측 Rib 및 측벽 두께 축소 : 5mm ==> 4mm	
단중 (kg/m)	11.05	9.817
경량화율(%)	11.2% ↓	

[표 154]Sole bar

	설계 변경 전	설계 변경 후
형상		
설계변경 사항	내측 Rib 두께 축소 : 5mm ==> 4mm	
단중 (kg/m)	16.894	15.964
경량화율(%)	5.5% ↓	

[표 155]bogie frame

	설계 변경 전	설계 변경 후
형상		
설계변경 사항	측벽 두께 축소 : 4mm ==> 3mm	
단중 (kg/m)	2.477	1.904
경량화율(%)	23.1% ↓	

위의 설계 변경된 압출 프로파일을 도시형 자기부상열차 차체 적용시 bare frame 중량이 2,204kg으로 설계 변경전 bare frame 중량 2,346kg 대비 142kg(약 6%)으로 경량화 되는 것으로 나타났다.

(다) 계획일정/수행일정/목표달성도

- 연구개발 일정 및 수행 일정

구 분 / 개발내용	연 구 개 발 기 간(4차년도)												진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
구체용 알루미늄 압출 Profile 추가 경량화	----	----	----										100
	———	———	———	———	———								

---------- 당초계획

——————— 실 적

- 연구개발 목표달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
구체용 알루미늄 압출 Profile 경량화 설계	100	● 압출 Profile 4종 경량화 설계

(라) 결과

- 차체의 구조해석 결과를 분석하여 과설계된 압출프로파일 4종에 대한 추가 경량화 실시

(2) 조립성 향상을 위한 압출 프로파일 설계

(가) 개요

- 도시형자기부상열차 차체 제작성을 고려한 압출프로파일 설계
- Mock up용 차체의 제작시 문제점으로 추가 6량 제작에 의하여 압출프로파일의 설계 변경이 필요

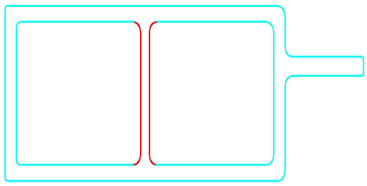
(나) 주요 연구내용

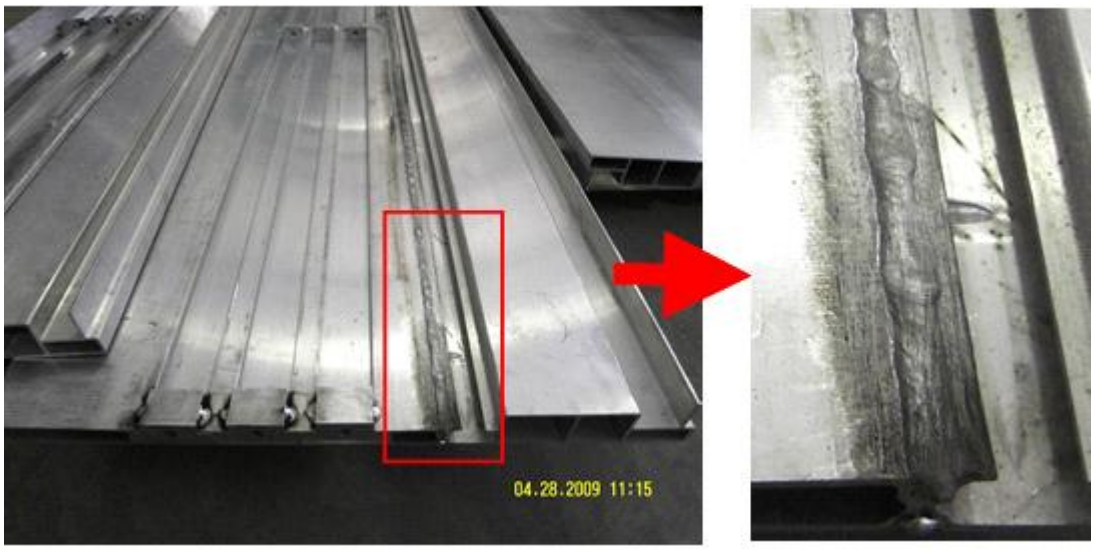
1단계에서 제작한 도시형 자기부상열차 구체용 압출 프로파일 조립시 나타난 문제점으로 용접시 변형발생과 벤딩작업시 소재 끝단부의 퍼짐이 발생하는 현상이 있었으며, 이를 최소화 하기 위해 2종류의 압출 프로파일을 재설계 하였다.

하나는 Side Door Post용 압출 프로파일로서, 벤딩작업시 중공형 압출재의 끝단부의 퍼짐 현상으로 조립성 저하 문제가 발생하였으며, 이는 사각 중공형 압출재의 내부 중앙에 외벽을 지지하는 Rib이 없어서 발생하는 문제로 사료되어 압출재 중앙부에 Rib을 보강하여 설계하였다. 표 1-5는 Side Door Post의 설계 전후의 압출 프로파일을 나타낸 것이다.

다른 하나는 End Panel로서, 용접시 압출 프로파일의 비틀림이 심하게 발생되는 현상이 나타났다. 이는 압출 프로파일의 용접부가 개구조로 되어 있기 때문이다. 이러한 문제를 최소화 하기 위해 압출 프로파일에 대한 보강 설계를 실시하였다. 아래 그림은 End Panel 용접시 압출 프로파일의 개구조 형상에 의한 비틀림 발생 형상이다. 아래 표는 End Panel의 보강 설계 전후의 압출 프로파일을 나타낸 것이다.

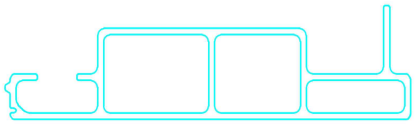
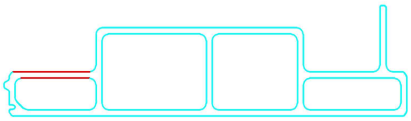
[표 156]Side Door Post

	설계 변경 전	설계 변경 후
형상		
설계변경 사항	중앙 Rib 추가	
단중 (kg/m)	5.17	5.677
경량화율(%)	8.9% ↑	



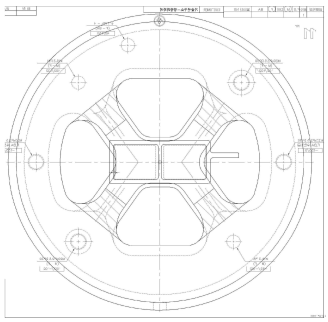
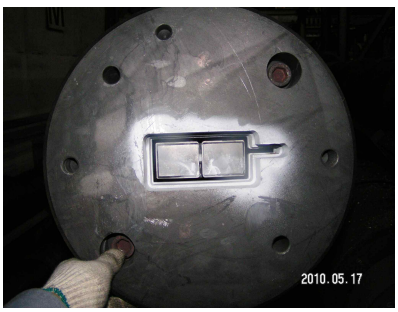
[그림 673]용접부 변형된 형상

[표 157]End Frame

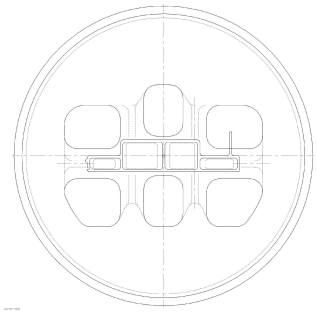
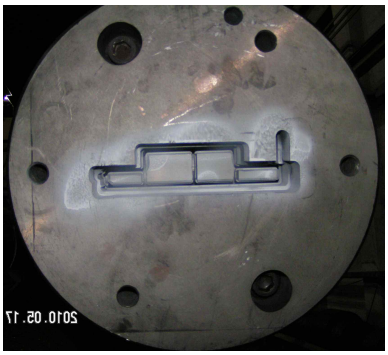
	설계 변경 전	설계 변경 후
형상		
설계변경 사항	개구조를 폐단면 구조로 변경	
단중 (kg/m)	4.113	4.257
경량화율(%)	3.4% ↑	

조립성 향상을 위한 2종의 압출프로파일의 설계완료 및 압출금형 설계와 제작을 완료하였다. 아래 표는 Side Door Post와 End Panel의 압출금형 도면 및 압출금형을 나타낸 것이다.

[표 158]Side Door Post 압출금형프로파일의 설계변경 형상

	압출금형 도면	압출금형 제작형상
형상		

[표 159]End Panel 압출금형프로파일의 설계변경 형상

	압출금형 도면	압출금형 제작형상
형상		

(다) 계획일정/수행일정/목표달성도

- 연구개발 일정 및 수행 일정

구 분 / 개발내용	연 구 개 발 기 간(4차년도)												진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
조립성 향상을 위한 압출프로파일 설계						----	----	----		———	———		100

---------- 당초계획

——————— 실 적

- 연구개발 목표달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
구체용 알루미늄 압출 Profile 경량화 설계 -조립성 향상을 위한 압출프로파일 설계	100	● 용접부 형상 보완 설계 2종 - 압출 금형 2종 제작

(라) 결과

- 차체 조립성 향상을 위한 압출프로파일 설계 및 압출금형 제작완료

(3) 경량화 설계된 압출 프로파일을 적용한 정적 강도 해석

(가) 개요

- 경량화 압출프로파일을 적용한 도시형자기부상열차의 구조해석
- 경량화 압출프로파일이 적용된 차체의 구조적 안전도 검증 필요

(나) 주요 연구내용

경량화 설계된 압출 프로파일의 적정성을 검토하기 위해 1단계에서와 동일 조건으로 정적 강도 해석(선형해석)을 수행하였다.

1) 도시형 자기부상열차 차체 해석 모델

도시형 자기부상열차의 제원은 아래와 같다.

[표 160]도시형 자기부상열차(MC1)의 제원

No.	구분	제원
1	길이	12,000 mm
2	폭	2,700 mm
3	높이	3,475 mm
4	대차중심간 거리	2,700 mm

2) 도시형 자기부상열차 차체의 하중 조건

도시형 자기부상열차(MC1)의 계산 중량은 표 1-10과 같다. 차체에 작용하는 하중은 "도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준"의 「구조체의 정적하중 시험 3-라」조건에 따라 계산되며 해석에 적용된 하중조건 및 하중크기는 아래 표와 같다.

[표 161]도시형 자기부상열차(MC1)의 계산 중량

No.	구분	중량	비고
1	공차중량(We)	20.0 톤	차체중량+ 대차중량
2	대차중량(Wb)	7.3 톤	1.5 set
3	차체중량(Wt)	12.3 톤	M1=공차중량-대차중량 (운행상태의 차량자중)
4	Bareframe 중량	2.942 톤	Carbody 설계 중량
5	최대 승객하중	10.0 톤	
6	동하중계수	0.2 g	

[표 162]하중 조건 및 하중 크기

No.	하중 조건	하중 크기	비고
1	수직하중	27.24 ton	
2	압축하중	20 ton	수직하중 : M1 적용 압축하중 : 연결기취부
3	비틀림하중	4.0 ton · m	
4	인장하중	20 ton	수직하중 M1 적용 인장하중 : 연결기취부

3) 도시형 자기부상열차의 평가 기준

차체 강도의 판정기준은 사용재질의 항복강도를 각각의 안전계수로 나눈 값을 기준으로 한다. 평가기준을 정리하면 아래와 같다.

[표 163]안전성 판정기준

구분	항목	판정 기준	비고
강도	응력	항복강도/안전계수 이하 (모재=1.0, 용접부=1.1)	
강성	Solebar 의 최대처짐	대차 중심간 거리 1/1000이하	

아울러 위의 판정 기준을 적용하여 사용재질의 허용응력을 정리하면 아래 표와 같다.

[표 164]사용재질의 허용응력(단위:kgf/mm^2)

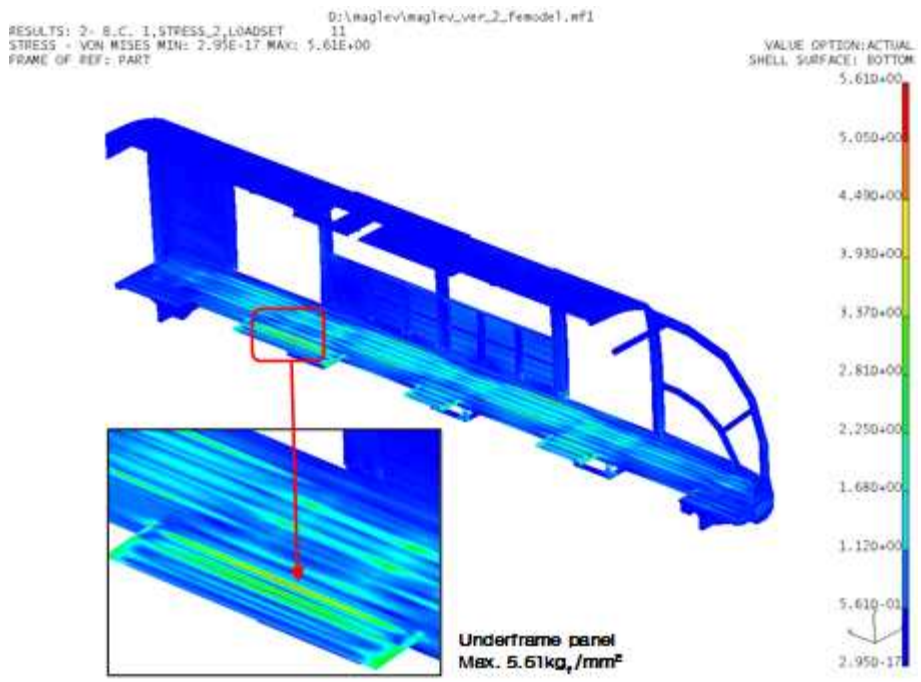
재질	항복강도	허용응력	
		모재부 (안전계수=1.0)	용접부 (안전계수=1.1)
6005A-T6	≥21.92	≥21.92	≥19.93
A5083P-H3	≥21.92	≥21.92	≥19.93

4) 도시형 자기부상열차의 차체 정적 강도 해석 결과

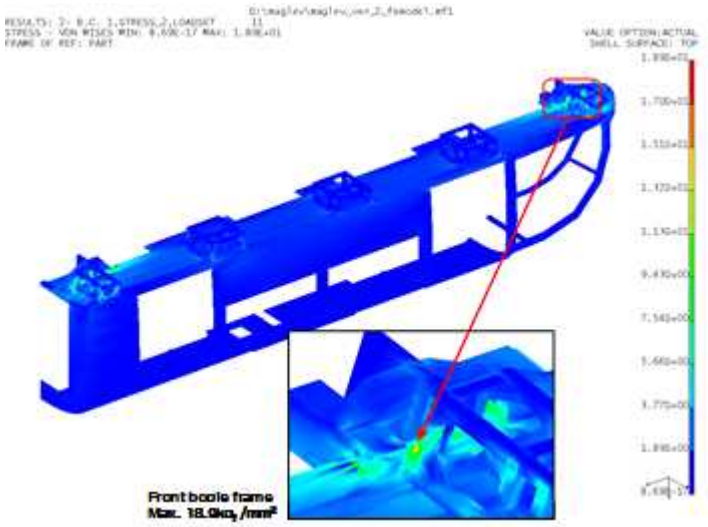
경량화 설계된 압출 프로파일을 적용한 도시형 자기부상열차의 차체 정적 강도 해석 결과는 아래 표이며, 다음 그림은 최대응력이 발생한 부위를 나타낸 것이다. 해석 결과 최대응력은 허용응력이내에서 발생한 것으로 나타나고 있다.

[표 165]하중조건별 최대응력(단위 : kgf/mm^2)

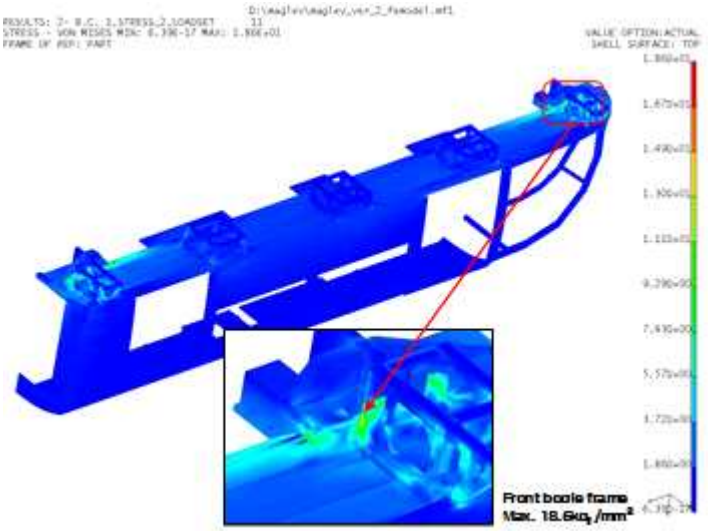
구분	하중조건	최대응력	판정기준	합격여부	발생부위	재질	비고
1	수직하중	5.61	21.9	합격	언더프레임 상부	6005A-T	허용응력
2	압축하중	18.9	21.9	합격	Front Bogie Frame	6005A-T	
3	인장하중	18.6	21.9	합격	Front Bogie Frame	6005A-T	
4	비틀림하중	19.5	21.9	합격	Cab Frame	6005A-T	



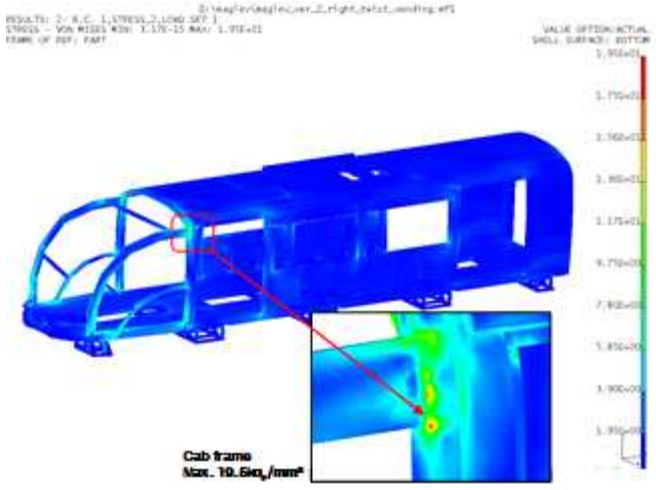
[그림 674]수직하중 조건



[그림 675]압축하중조건



[그림 676]인장하중조건



[그림 677]비틀림하중조건

(다) 계획일정/수행일정/목표달성도

- 연구개발 일정 및 수행 일정

구 분 / 개발내용	연 구 개 발 기 간												진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
경량화 설계된 압출 프로파일을 적용한 정적 강도 해석		----	----										100
			———	———	———								

---------- 당초계획

——————— 실 적

- 연구개발 목표달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
구체용 알루미늄 압출 Profile 경량화 설계 -경량화 설계된 압출 프로파일을 적용한 정적 강도 해석	100	● 경량화 차체의 구조적 안전도 검증

(라) 결과

- 경량화 차체의 구조해석 결과의 시험규정 만족으로 차체의 구조적 안전도 검증 완료

(4) 압출프로파일 제작 및 공급

(가) 개요

- 도시형자기부상열차 차체 6량분 압출프로파일 제작 및 공급

1) 주요 연구내용

Under Frame 12종(Rec 1종, 15인치 7종, 11인치 이하 4종), Side Panel 8종(Rec 2종, 15인치 1종, 13인치 이하 5종), Roof Panel 9종(Rec 3종, 15인치 3종, 11인치 이하 3종), End Panel 3종(5인치 1종, 11인치 이하 2종), Cab frame 6종(11인치 이하 6종)의 총 32종의 압출금형으로 6량분의 압출프로파일을 제작하였다. 표 166을 압출프로파일 리스트를 나타낸 것이다.

Rec, 15인치, 13인치의 압출프로파일을 압출하기 위하여 8,000 US Ton Press에서 압출기에서 압출을 실시하였고, 11인치의 압출프로파일은 3,650

US Ton Press에서 압출을 진행하였다. 아래 표는 압출진행시 압출 조건을 나타낸 것이다.

[표 166]도시형자기부상열차 압출프로파일 리스트

순	도면번호	압출금형번호	빌렛 인치	압출재 품명	
1	RSU90001AM1	TMIU000001	8호기(15″)	U/F	PANEL, CENTER
2	RSU90002AM1	TMIU000003	8호기(15″)		PANEL, MIDDLE
3	RSU90003AM1	TMIU000004	8호기(REC)		PANEL,SIDE
4	RSU90004AM1	TMIU000005	8호기(15″)		SIDE, SILL
5	RSU90005AM1	TMIU000006	8호기(15″)		END_SILL
6	RSU90006AM1	TICU000010	8호기(15″)		CENTER SILL
7	RSU90007AM1	TMIU000007	8호기(15″)		SUPPORT
8	RSU90008AM1	TMIU000002	8호기(15″)		PANEL, CENTER
9	RSU90009AM1	TMIU000008	5호기(11″)		FRAME
10	RSU90010AM1	TJLE000007	2호기(6")		SUPPORT
11	RSU90011AM1	TMIU000009	5호기(11″)		FRAME
12	RSS90004AM1	TMIS000004	6호기(8″)		FRAME
13	RSS90001AM1	TMIR000004	8호기(15″)	S/F	PANEL, UPPER
14	RSS90002AM1	TMIS000002	8호기(REC)		PANEL, UPPER
15	RSS90003AM1	TMIS000001	8호기(REC)		PANEL, LOWER
16	RSS90005AM1	TMIS000005	5호기 (11″)		DOOR, ENTRANCE CORNER
17	RSS90006AM1	TMIS000003	5호기 (13″)		PANEL, UPPER WINDOW
18	RSS90008AM1	TMIS000006	6호기(8″)		RAIN_GUTTER
19	RSS90009AM1	TMIS000007	5호기(11″)		POST, WINDOW
20	RSR90001AM1	TMIR000001	8호기 (15″)	R/F	ROOF PANEL
21	RSR90002AM1	TMIR000002	8호기(REC)		ROOF PANEL
22	RSR90003AM1	TMIR000003	8호기(REC)		ROOF PANEL
23	RSR90004AM1	TMIR000007	8호기(15″)		HVAC PANEL
24	RSR90005AM1	TMIR000006	8호기(15″)		HVAC PANEL
25	RSR90006AM1	TMIR000005	8호기(REC)		HVAC PANEL
26	RSR90009AM1	TMIR000009	6호기(8″)		FRAME
27	RSE90004AM1	TMIE000003	5호기(11″)	E/F	FRAME
28	RSR90011AM1	TMIE000004	5호기(11″)		FRAME
29	RSE90002AM1	TMIE000001	8호기(15″)		PANEL END
30	RSE90003AM1	TMIE000002	5호기(11″)		PANEL END
31	RSC90001AM1	TMIC000001	6호기(8″)	CAB	FRAME
32	RSC90003AM1	TMIC000002	6호기(8″)		FRAME

[표 167]Under Frame 12종의 압출프로파일 압출 조건

순	동양강철 금형번호	인치	압력(bar)			온도(℃)				램속도 (mm/sec)
			초	중	말	금형	Con	BLT	출구	
1	TMIU000001	8호기(15″)	235	229	121	450	460	472	539	1.8
2	TMIU000003	8호기(15″)	276	196	121	453	460	482	600	1.6
3	TMIU000004	8호기(REC)	319	280	211	454	459	489	536	1.6
4	TMIU000005	8호기(15″)	252	184	121	457	464	483	600	1.8
5	TMIU000006	8호기(15″)	283	234	121	457	459	480	557	1.8
6	TICU000010	8호기(15″)	233	174	121	440	460	480	560	1.8
7	TMIU000007	8호기(15″)	242	160	121	458	460	479	555	1.6
8	TMIU000002	8호기(15″)	165	247	121	454	461	480	600	1.8
9	TMIU000008	5호기(11″)	243	205	172	460	458	481	554	2.0
10	TJLE000007	2호기(6")	202	192	170	458	453	483	560	4.5
11	TMIU000009	5호기(11″)	230	190	162	457	445	494	561	2.0
12	TMIS000004	6호기(8″)	208	170	160	456	460	482	556	3.5

[표 168]Side Panel 7종의 압출프로파일 압출 조건

순	동양강철 금형번호	인치	압력(bar)			온도(℃)				램속도 (mm/sec)
			초	중	말	금형	Con	BLT	출구	
1	TMIR000004	8호기(15″)	297	208	121	465	420	480	600	1.8
2	TMIS000002	8호기(REC)	295	275	240	465	423	467	591	1.6
3	TMIS000001	8호기(REC)	326	313	211	463	422	470	563	1.4
4	TMIS000005	5호기(11″)	187	187	150	455	430	460	560	2.0
5	TMIS000003	5호기(13″)	231	190	155	456	425	455	558	2.0
6	TMIS000006	6호기(8″)	197	156	140	450	423	460	552	4.5
7	TMIS000007	5호기(11″)	175	146	109	456	455	460	573	2.0

[표 169]Roof Panel 7종의 압출프로파일 압출 조건

순	동양강철 금형번호	인치	압력(bar)			온도(℃)				램속도 (mm/sec)
			초	중	말	금형	Con	BLT	출구	
1	TMIR000001	8호기(15″)	252	217	121	465	430	470	545	1.8
2	TMIR000002	8호기(REC)	128	269	172	460	425	472	529	1.6
3	TMIR000003	8호기(REC)	223	270	88	470	430	460	542	1.6
4	TMIR000007	8호기(15″)	307	205	121	459	422	480	573	1.8
5	TMIR000006	8호기(15″)	295	232	166	460	423	483	563	1.8
6	TMIR000005	8호기(REC)	315	287	88	460	430	464	538	1.6
7	TMIR000009	6호기(8″)	202	160	145	440	420	445	555	4.5

[표 170]End Panel 4종의 압출프로파일 압출 조건

순	동양강철 금형번호	인치	압력(bar)			온도(℃)				램속도 (mm/sec)
			초	중	말	금형	Con	BLT	출구	
1	TMIE000003	5호기(11″)	238	187	155	445	420	472	578	2.5
2	TMIE000004	5호기(11″)	250	210	170	450	440	489	546	2.5
3	TMIE000001	8호기(15″)	217	211	121	454	440	460	538	1.8
4	TMIE000002	5호기(11″)	247	214	181	451	442	476	600	2.0

[표 171]Cab Frame 2종의 압출프로파일 압출 조건

순	동양강철 금형번호	인치	압력(bar)			온도(℃)				램속도 (mm/sec)
			초	중	말	금형	Con	BLT	출구	
1	TMIC000001	6호기 (8″)	209	162	141	445	416	492	552	4.5
2	TMIC000002	6호기 (8″)	182	154	144	450	415	495	540	4.5

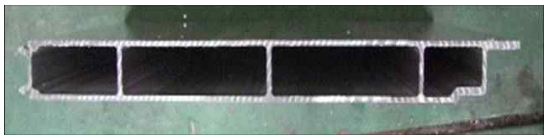
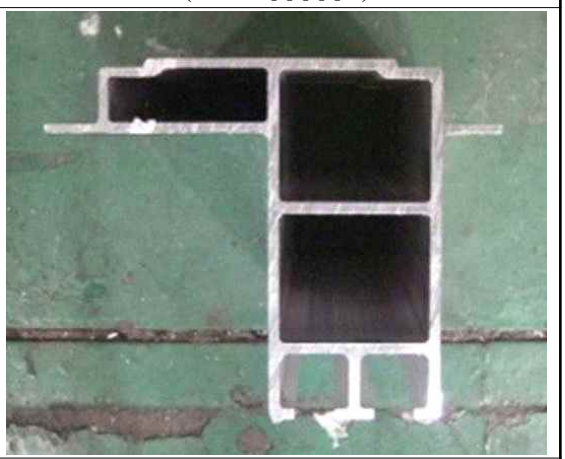
위 표의 압출 조건으로 압출을 진행하였으며, 아래 표는 압출시 압출기의 출구부분에서 압출프로파일이 압출되는 것을 나타낸 형상이며, 다음 표는

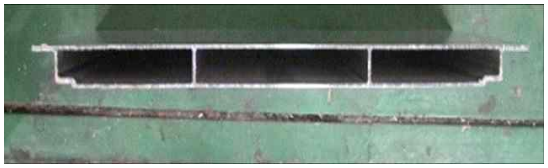
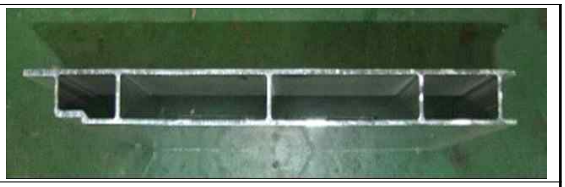
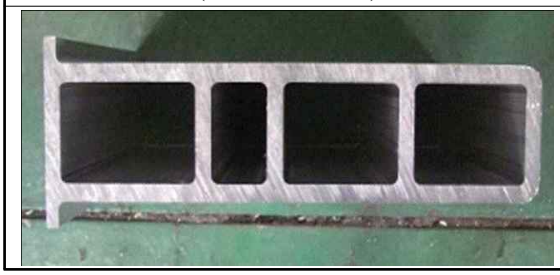
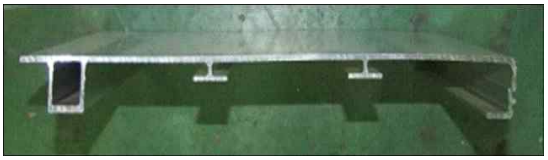
압출된 압출프로파일의 형상을 나타낸 것이다.

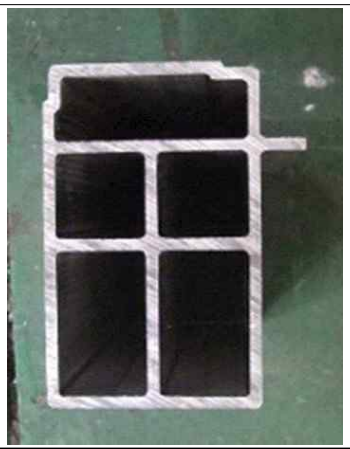
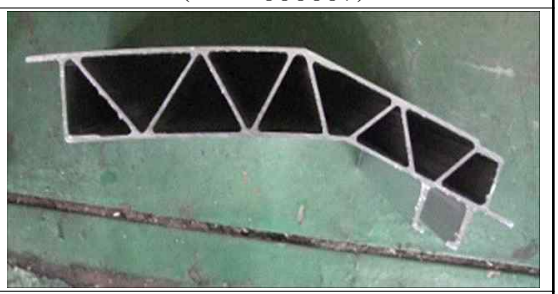
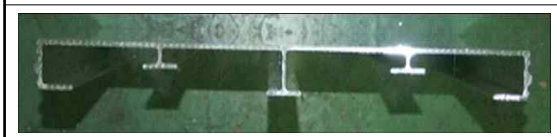
[표 172]압출기 출구의 압출프로파일 형상

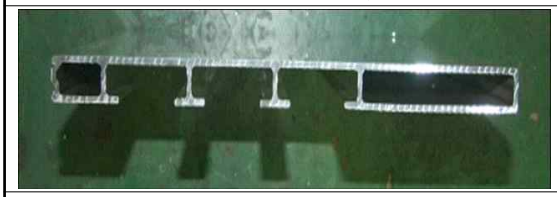
PANEL, LOWER, SIDE, PROFILE(S/F) 8호기 REC	ROOF, MIDDLE, PANEL(R/F) 8호기 REC
	
PANEL, SIDE, PROFILE(R/F)8호기15인치	PANEL, LOWER, WINDOW, PROFILE(S/F) 8호기 REC
	

[표 173]도시형자기부상열차 압출프로파일의 형상

PANEL, CENTER, PROFILE (TMIU000001)	PANEL, MIDDLE, PROFILE (TMIU000003)
	
PANEL, SIDE, PROFILE (TMIU000004)	PANEL, CENTER, U/F, PROFILE (TMIU000002)

	
SILL, DRAFT, PROFILE (TICU000010)	PANEL, LOWER, SIDE, PROFILE (TMIS000001)
	

SILL, END, PROFILE (TMIU000006)	ROOF, MIDDLE, PANEL (TMIR000002)
	
PANLE, SIDE, PROFILE (TMIR000003)	PANEL, SIDE, PROFILE (TMIR000007)
	
PANEL, CENTER, PROFILE (TMIR000006)	PANLE, MIDDLE , PROFILE (TMIR000005)
	

POST, VERTICAL, PROFILE (TMIE000001)	DOOR, ENTRANCE CORNER (TMIS000005)
	
SILL, SIDE, PROFILE (TMIU000005)	RAIL, CANT, PROFILE (TMIR000004)
	

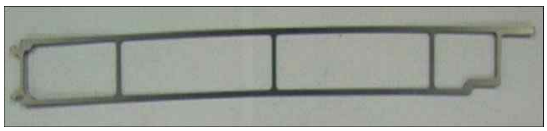
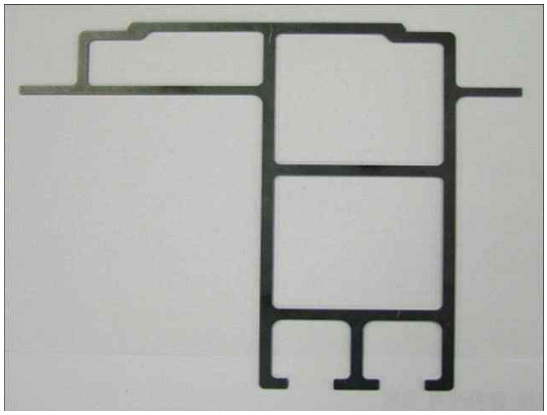
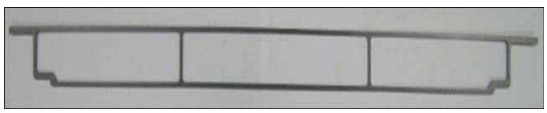
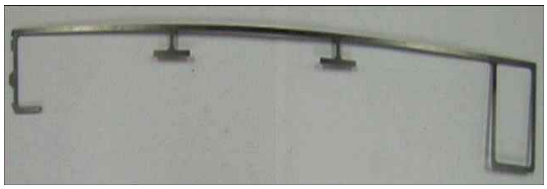
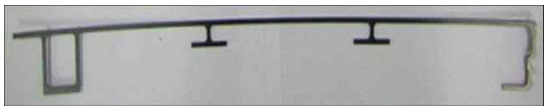
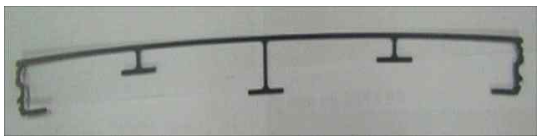
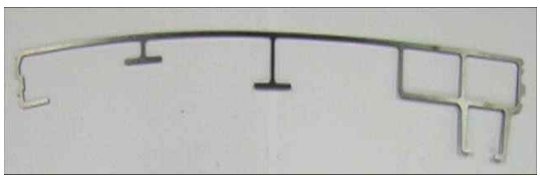
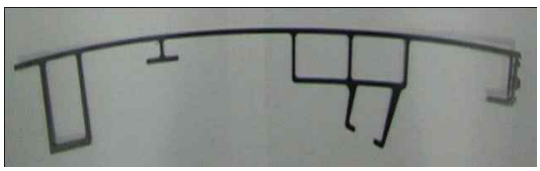
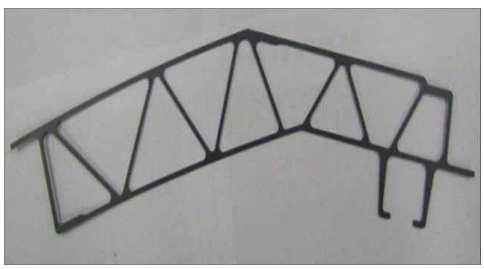
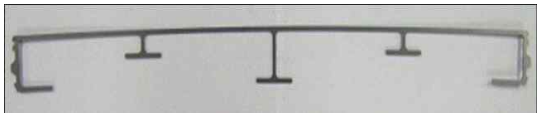
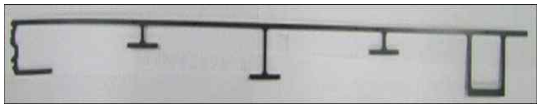
압출 프로파일별 치수 검사

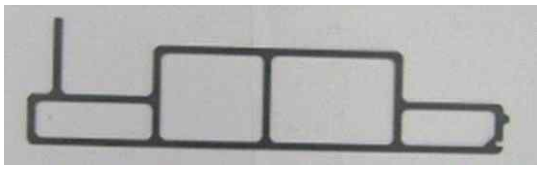
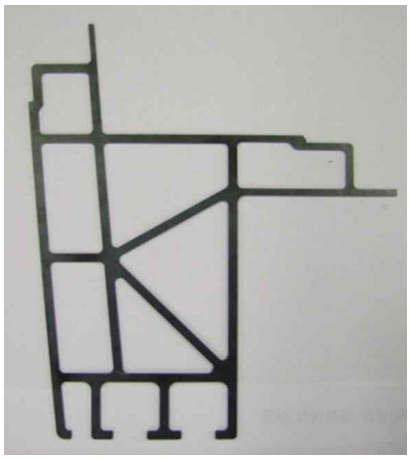
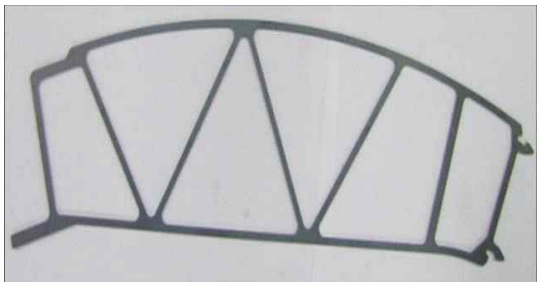
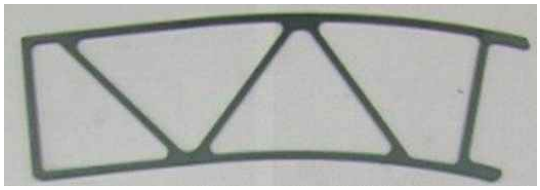
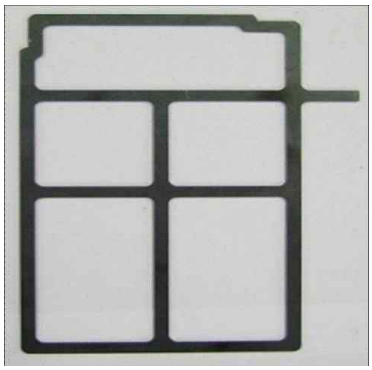
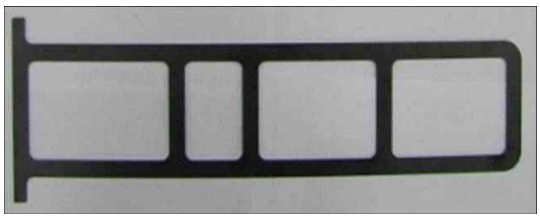
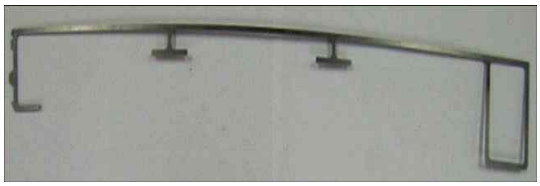
압출공정을 거쳐 생산된 압출프로파일은 일반 치수측정 도구(Micrometer, Vernier Calliper 및 측정자 등)를 이용하여 단면 치수를 측정하고, 제품의 형상게이지를 이용하여 제품의 형상을 측정한다. 압출프로파일 6량분을 제작 하면서 Under frame 8종, Side Panel 5종, Roof Panel 6종, End Panel 2종, 총 21종의 형상게이지를 제작하여 제품의 형상을 측정하였다. 표 1-23은 제작된 형상게이지를 나타낸 것이다.

총 32종의 압출프로파일에서 1단계와 마찬가지로 32종의 알출프로파일의 치수를 측정하였고,'알루미늄 압출재 치수검사 기준서(현대로템)'에 해당하는 22종의 압출프로파일의 치수 검사 데이터를 작성하였다. 치수 검사 기준서는 각 압출 프로파일에 대한 중요 관리 항목(외곽 사이즈나 타 부품과의 조립부 등)을 지정하고, 공차를 명기한 기준서로 이를 통해 압출 프로파일의 치수 검사 합-부 여부를 판정하였다. 그 결과 32종 모두 검사 기준에 적합한 것으로 검사되었다.

[표 174]압출프로파일의 형상게이지

PANEL, CENTER, PROFILE (TMIU000001)	PANEL, MIDDLE, PROFILE (TMIU000003)

	
PANEL, SIDE, PROFILE (TMIU000004)	PANEL, CENTER, U/F, PROFILE (TMIU000002)
	
PANEL, LOWER, WINDOW, PROFILE (TMIS000002)	PANEL, LOWER, SIDE, PROFILE (TMIS000001)
	
PANEL, CENTER, PROFILE (TMIR000001)	ROOF, MIDDLE, PANEL (TMIR000002)
	
PANLE, SIDE, PROFILE (TMIR000003)	PANEL, SIDE, PROFILE (TMIR000007)
	
PANEL, CENTER, PROFILE (TMIR000006)	PANLE, MIDDLE , PROFILE (TMIR000005)
	

POST, VERTICAL, PROFILE (TMIE000001)	POST, UPPER, PROFILE (TMIE000002)
	
SILL, SIDE, PROFILE (TMIU000005)	RAIL, CANT, PROFILE (TMIR000004)
	
PANEL, UPPER, WINDOW, PROFILE (TMIS000003)	SILL, END, PROFILE (TMIU000006)
	
SILL, DRAFT, PROFILE (TICU000010)	DOOR, ENTRANCE CORNER (TMIS000005)
	

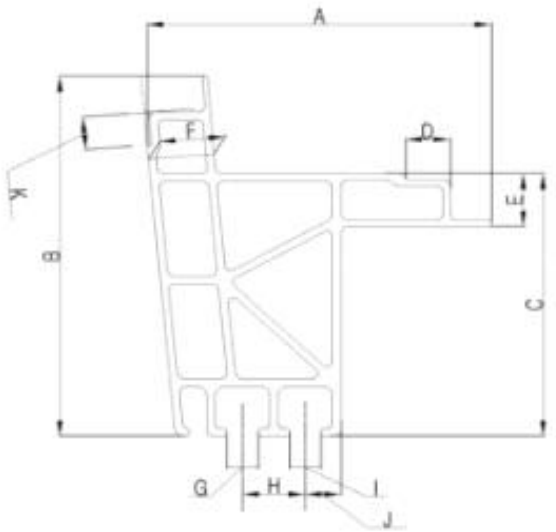
아래 표는'알루미늄 압출재 치수검사 기준서(현대로템)'의 22종의 압출프로파일 리스트이며, 아래 그림은 압출 프로파일의 치수 검사 기준서의 일부분을 나타낸 것이다.

[표 175]알루미늄 압출재 치수검사 기준서용 압출프로파일 리스트

순	도면번호	압출금형번호	빌렛 인치	압출재 품명	
1	RSU90001AM1	TMIU000001	8호기(15″)	U/F	PANEL, CENTER
2	RSU90002AM1	TMIU000003	8호기(15″)		PANEL, MIDDLE
3	RSU90003AM1	TMIU000004	8호기(REC)		PANEL, SIDE
4	RSU90004AM1	TMIU000005	8호기(15″)		SIDE, SILL
5	RSU90005AM1	TMIU000006	8호기(15″)		END_SILL
6	RSU90006AM1	TICU000010	8호기(15″)		CENTER SILL
7	RSU90007AM1	TMIU000007	8호기(15″)		SUPPORT
8	RSU90008AM1	TMIU000002	8호기(15″)		PANEL, CENTER
9	RSS90001AM1	TMIR000004	8호기(15″)	S/F	PANEL, UPPER
10	RSS90002AM1	TMIS000002	8호기(REC)		PANEL, UPPER
11	RSS90003AM1	TMIS000001	8호기 (REC		PANEL, LOWER
12	RSS90005AM1	TMIS000005	5호기 (11″)		DOOR, ENTRANCE CORNER
13	RSS90006AM1	TMIS000003	5호기 (13″)		PANEL, UPPER WINDOW
14	RSR90001AM1	TMIR000001	8호기 (15″)	R/F	ROOF PANEL
15	RSR90002AM1	TMIR000002	8호기 (REC)		ROOF PANEL
16	RSR90003AM1	TMIR000003	8호기 (REC)		ROOF PANEL
17	RSR90004AM1	TMIR000007	8호기 (15″)		HVAC PANEL
18	RSR90005AM1	TMIR000006	8호기 (15″)		HVAC PANEL
19	RSR90006AM1	TMIR000005	8호기 (REC)		HVAC PANEL
20	RSE90004AM1	TMIE000003	5호기 (11″)	E/F	FRAME
21	RSE90002AM1	TMIE000001	8호기 (15″)		PANEL END
22	RSE90003AM1	TMIE000002	5호기 (11″)		PANEL END

4) SILL, SIDE, PROFILE (RSU90004AM0)

명 칭	SILL SIDE PROFILE	공 사 명	자기부상열차
도 면 번 호	RSU90004AM0	날 짜	
금 형 번 호		검 사 자	



항 목	A(208.3)		B(233)	
측 정 부	①	②	①	②
공 차	+2.0 / -1.0		+2.0 / -1.0	
측 정 치				
측정결과				
항 목	C(170)		D(27)	
측 정 부	①	②	①	②
공 차	+2.0 / -1.0		+1.0 / -0.5	
측 정 치				
측정결과				
항 목	E(34)		F(40)	
측 정 부	①	②	①	②
공 차	±0.5		±0.5	
측 정 치				

[그림 678]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 치수 검사 기준서

(나) 계획일정/수행일정/목표달성도

- 연구개발 일정 및 수행 일정

구 분 / 개발내용	연 구 개 발 기 간(5차년도)												진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
압출 Profile 제작 및 공급	----	----	----	----	----	----	----						100
						————	————	————	————	————			

---------- 당초계획

———— 실 적

- 연구개발 목표달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
압출 Profile 제작 및 공급	100	● 6량분 압출프로파일 제작 및 공급완료

(다) 결과

- 경량화 차체의 구조해석 결과의 시험규정 만족으로 차체의 구조적 안전도 검증 완료

(5) 소재 특성 평가

(가) 개요

- 소재특성 시험을 통한 압출프로파일의 신뢰성 검증

(나) 주요 연구내용

제작된 32종 압출 프로파일 중에서 '원자재 검사(구조체 알루미늄)'의 검사대상 으로 20종을 소재 특성 평가 실시하였다. 1단계는 12종, 2단계 20종으로 검사대상 8종을 추가하였다. 소재 특성 평가용 압출재 20종은 Under Frame 7종, Side Panel 5종, Roof Panel 6종, End Panel 2종으로 구성 되어있다.

시험 항목 및 시편 채취

아래 표는 '원자재 검사(구조체 알루미늄)'에서 압출재의 검사 및 시험범위를 나타낸 것이다. 시험 시편 20종은 압출재의 모재부와 Seam부에서 각 1EA씩 채취하였고, 각 항목별로는 인장시험시편 37EA, 경도시험시편 37EA, 굽힘시험시편 37EA, 화학성분분석시편 32EA, 조직 분석 시편 37EA, 변형시험시료 18EA로 총 203EA의 시편을 채취하였다. 단 솔리드 형상의 압출프로파일은 모재부에서만 시험편을 채취하였다.

[표 176]압출프로파일의 소재시험 항목리스트

시험항목	구 분		적용규격	비고
	압출재 모재부	압출재 SEAM부		
인장 시험	○	○	KS B 0802	
경도 시험	○	○	KS B 0805 KS B 0806 KS B 0811	
굽힘 시험	○	○	KS B 0804	
화학 성분	○	○	KS D 1650 / KS M 0016	
거시 조직 (MACRO)	○	○	ASTM E 340	
미세 조직 (MICRO)	○	○	NF A04-503	
변형 시험	○	○	KS B ISO 8493	

1) 시험 방법

- 인장 시험

인장시험은 압출재의 모재와 Seam부 등의 인장, 항복 강도, 연신율을 측정하여 압출재의 건전성을 평가하는 것을 그 목적으로 한다. 시편의 형상은 KS규격에 따라 가공하였으며, 시험 규격은 KS B 0802-83 항의 금속재료 인장 시험 방법을 준수하였고, 표 177은 인장시험의 합-부 판정기준을 나타낸 것이다.

① 합-부 판정 기준

[표 177]Al 6005A T6 재료의 경도 합-부 판정 기준

구 분	최대인장강도(MPa)	항복강도(MPa)	연신율(%)
모재부	255이상	215이상	8이상
Seam 부	179이상	150이상	-

- 경도 시험

경도시험은 인장시험으로 측정하기 어렵거나 정확한 측정이 불가능한 국부적인 기계적 특성을 평가하며 특히 용접부 부근이나 인장시편을 만들기 힘든 부분의 기계적 특성을 세밀히 평가하는데 그 목적이 있다. 그림 1-8은 경도시험의 시험편의 형상 및 치수를 나타낸 것이다.

① 시편 형상

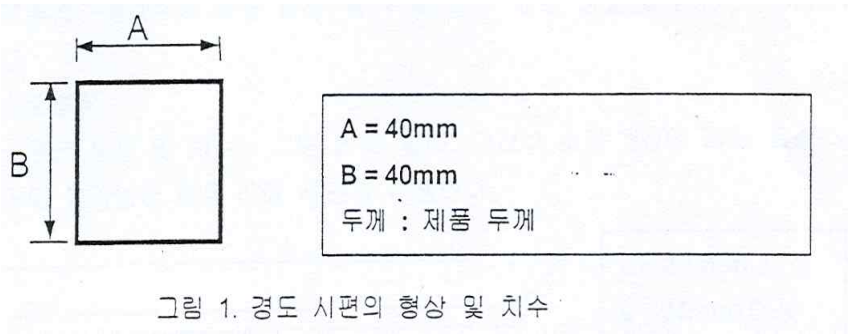


그림 1. 경도 시편의 형상 및 치수

[그림 679]경도 시험 시편 형상

② 시험 방법

시험의 방법은 KS B 0805 금속재료의 브리넬 경도 시험 방법 또는 KS B 0806 금속재료의 로크웰 경도 시험 방법 또는 KS B 0811 비커스 경도 시험 방법에 대한 규격을 준수한다.

아래 표는 경도 시험의 합-부 판정을 나타낸 것이다.

③합-부 판정 기준

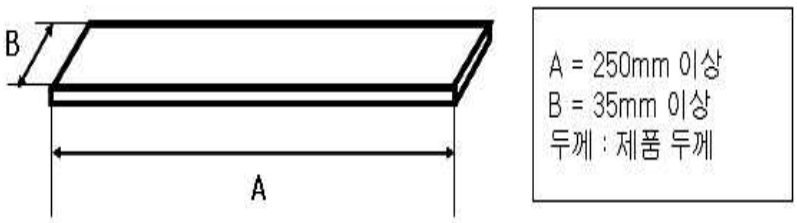
[표 178]Al 6005A T6 재료의 경도 합-부 판정 기준

종 류	HBS(Brinell) 500kgf, 10mm ball	비커스 경도0.5kgf	로크웰 경도			비 고
			HR B scale	HR E scale	HR H scale	
			100kgf, 1/16 in (1.5875mm) ball	100kgf, 1/8 in (3.175mm) ball	60kgf, 1/8 in (3.175mm) ball	
6005A-T6 모재부	80 이상	92 이상	46 이상	91 이상	107 이상	
6005A-T6 이음부	57 이상	65 이상	-	70 이상	97 이상	

- 굽힘 시험

굽힘 시험은 압출재 모재 및 용접부에 대한 연성 평가 및 모재 내부 결함 등을 측정하는 것을 그 목적으로 한다. 그림 1-9는 시험편의 형상 및 치수를 나타낸 것이다.

①시편 형상



[그림 680]굽힘 시험 시편 형상

②시험 방법

KS B 0804 금속 재료 굽힘 시험의 시험규정에 따라 수행한다. (굽힘각도는 90도)

③합-부 판정 기준

굽혀진 시험편에는 육안 또는 5배 이하 확대경(실체 현미경)으로 관찰하여, 균열(Crack) 또는 연성 및 취성 파단이 발생되지 말아야 하며, 표면에 오렌지 필 현상은 적합한 것으로 판정한다.

- 화학 성분 분석

압출 형재의 기본적인 물성을 얻기 위해서는 최종 열처리 후의 압출 제품이 함유한 필요 합금성분의 유무 및 편석 등을 확인하는 것을 그 목적으로 한다.

①시편 형상

시편은 표면에 산화물 및 오염 물질을 완전히 제거하여야 한다.

②시험 방법

기본적으로 ICP법 등 습식분석 또는 건식분석(발광 분광분석법 등)을 적용하며, 시편 채취 시 압출재의 전-후반부에서 채취하며 시편 표면의 기름 얼룩 등의 이물질 등을 에탄올 등으로 완전히 제거한 후 시험을 실시한다.

③합-부 판정 기준

아래 표는 Al6005A의 화학성분 분석표로 화학성분 분석시험의 합-부 판정기준이다.

[표 179]Al 6005A의 화학 성분 Spec

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Others		Al
								Each	Total	
0.5~0.9	0.35 이하	0.30 이하	0.50 이하	0.4~0.7	0.30 이하	0.20 이하	0.10 이하	0.05 이하	0.15 이하	나머지

- 조직 분석

조직분석은 압출재 조직의 건전성 및 이물질 혼입 여부를 평가하기 위해 실시한다.

①시편 형상

마이크로 조직 관찰의 경우 가로 세로의 길이가 1cm로 만든 후 수지에 Mounting한다. 이 때 압출재와 수지 사이에 공백이 없게 한다. 또한 매크로 조직의 관찰의 경우 압출재를 50~100mm 길이로 절단하며 절단면은 기계가공이나 연만 등에 의해 매끈하게 만들어야 하며, 표면의 이물질 등은

완전히 제거하여야 한다.

②시험 방법

마이크로 조직 관찰의 경우 표면을 경면으로 만든 후 표면을 에칭하여 깨끗이 수세하고 현미경이나 SEM(주사현미경) 등으로 관찰한다. 또한 매크로 조직 관찰의 경우 에칭용액에 침지한 후 관찰한다.

③합-부 판정 기준

석출상이 고르게 분포하여야 되며, 이상 성정(Abnormal Growth)된 입자나 석출상의 수가 적을 것.

입계 및 입내에 이물질 등이 존재하지 않을 것.

압출조직이 적절히 발달되어 있을 것.

Grain Growth 층이 전체 압출재 단면적의 20%를 초과하지 않을 것.

- 변형시험

변형시험은 압출재의 거시적 변형 특성 관찰을 통해 취약부의 파괴특성을 평가하기 한 것으로, 중공형 압출형재(Hollow 프로파일)에만 적용한다.

①시편 형상

압출방향 길이(시험편의 폭 W = 150± 20mm)로 절단하여, 형재 그대로의 형태를 시험편으로 한다.

②시험 방법

속도가변형 프레스 또는 만능재료시험기를 이용하여 KS B ISO 8493(금속재료-관-확관시험)에 따라 실시하며. 확관 부위가 파단될 때까지 서서히 삽입한다.

원추형 심봉의 삽입속도는 50mm/분 초과되지 않도록 하여야 한다.

③합격 여부 판정

확관된 압출형재를 육안으로 관찰하여 압출재와 이음부가 만나는 부분을 제외하고 이음부의 중간부위에 곡률 반경이 3mm 이하 (Rrib≤3mm)의 날카로운 균열이 없으면 합격으로 판정한다.

(나) 시험 시편 제작

‘원자재 검사(구조체 알루미늄)’에 명시된 시험 시편 제작 방법에 따라 시험 시편을 제작하였다. 아래 표는 인장시험, 경도, 굽힘, 화학, 미세조직, 변형시험 시험편의 형상을 나타낸 것이다.

[표 180]압출프로파일 소재시험용 시험편 형상

구 분	모재부	Seam 부	비고
인장시험			
경도시험			
굽힘시험			
화학시험			
미세조직			
변형시험			

(다) 시험 결과

제작된 도시형 자기부상열차 압출 프로파일의 시험시편으로 6종의 시험을 실시하였다. 시험 방법 및 합-불 판정 기준은‘원자재 검사(구조체 알루미늄)’의 시험 방법을 준수 하였다.

소재시험 중에서 인장시험, 경도시험, 굽힘시험, 화학시험, 거시조직, 변형시험은 본 연구기관에서 시험을 실시하였고, 나머지 미세조직시험은 공인시험기관인 한밭대학교에서 실시하였다.

20종의 압출프로파일의 시험편을 소재시험한 결과로서 모든 기준을 만족하였다.

아래의 표들은 20종의 소재시험 결과를 표로 정리한 것이다.

[표 181]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 기계적 특성 시험 결과

순	도면 번호	인장강도(MPa)		항복강도(MPa)		연신율(%)
		모재부	Seam부	모재부	Seam부	모재부
		255↑	179↑	200↑	150↑	8↑
1	TMIU000001 (RSU90001AM1)					
2	TMIU000002 (RSU90002AM1)					
3	TMIU000004 (RSU90003AM1)					
4	TMIU000005 (RSU90004AM1)					
5	TMIU000006 (RSU90005AM1)					
6	TICU000010 (RSU90006AM1)					
7	TMIU000002 (RSU90008AM1)					
8	TMIR000004 (RSS90001AM1)					
9	TMIS000002 (RSS90002AM1)					
10	TMIS000001 (RSS90003AM1)					
11	TMIS000005 (RSS90005AM1)					
12	TMIS000003 (RSS90006AM1)					
13	TMIR000001 (RSR90001AM1)					
14	TMIR000002 (RSR90002AM1)					
15	TMIR000003 (RSR90003AM1)					
16	TMIR000007 (RSR90004AM1)					
17	TMIR000006 (RSR90005AM1)					
18	TMIR000005 (RSR90006AM1)					
19	TMIE000001 (RSE90002AM1)					
20	TMIE000002 (RSE90003AM1)					

[표 182]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 경도 시험 결과(비커스0.5kgf)

순	도면번호	모재부(HV0.5)						이음부(HV0.5)					
		1	2	3	4	5	avg	1	2	3	4	5	avg
		91↑						70↑					
1	TMIU000001 (RSU90001AM1)												
2	TMIU000002 (RSU90002AM1)												
3	TMIU000004 (RSU90003AM1)												
4	TMIU000005 (RSU90004AM1)												
5	TMIU000006 (RSU90005AM1)												
6	TICU000010 (RSU90006AM1)												
7	TMIU000002 (RSU90008AM1)												
8	TMIR000004 (RSS90001AM1)												
9	TMIS000002 (RSS90002AM1)												
10	TMIS000001 (RSS90003AM1)												
11	TMIS000005 (RSS90005AM1)												
12	TMIS000003 (RSS90006AM1)												
13	TMIR000001 (RSR90001AM1)												
14	TMIR000002 (RSR90002AM1)												
15	TMIR000003 (RSR90003AM1)												
16	TMIR000007 (RSR90004AM1)												
17	TMIR000006 (RSR90005AM1)												
18	TMIR000005 (RSR90006AM1)												
19	TMIE000001 (RSE90002AM1)												
20	TMIE000002 (RSE90003AM1)												

[표 183]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 굽힘 시험 결과합

도면번호	합/불	도면번호	합/불	도면번호	합/불
TMIU000001 (RSU90001AM1)		TMIU000002 (RSU90002AM1)		TMIU000004 (RSU90003AM1)	
TMIU000005 (RSU90004AM1)		TMIU000006 (RSU90005AM1)		TICU000010 (RSU90006AM1)	
TMIU000002 (RSU90008AM1)		TMIR000004 (RSS90001AM1)		TMIS000002 (RSS90002AM1)	
TMIS000001 (RSS90003AM1)		TMIS000005 (RSS90005AM1)		TMIS000003 (RSS90006AM1)	
TMIR000001 (RSR90001AM1)		TMIR000002 (RSR90002AM1)		TMIR000003 (RSR90003AM1)	
TMIR000007 (RSR90004AM1)		TMIR000006 (RSR90005AM1)		TMIR000005 (RSR90006AM1)	
TMIE000001 (RSE90002AM1)		TMIE000002 (RSE90003AM1)			

[표 184]도시형 자기부상열차 압출 조직 분석 시험 결과 (G_B≧-5)

도면번호	GB≧-5		도면번호	GB≧-5		도면번호	GB≧-5	
	모재부	Seam부		모재부	Seam부		모재부	Seam부
TMIU000001 (RSU90001AM1)			TMIU000002 (RSU90002AM1)			TMIU000004 (RSU90003AM1)		
TMIU000005 (RSU90004AM1)			TMIU000006 (RSU90005AM1)			TICU000010 (RSU90006AM1)		
TMIU000002 (RSU90008AM1)			TMIR000004 (RSS90001AM1)			TMIS000002 (RSS90002AM1)		
TMIS000001 (RSS90003AM1)			TMIS000005 (RSS90005AM1)			TMIS000003 (RSS90006AM1)		
TMIR000001 (RSR90001AM1)			TMIR000002 (RSR90002AM1)			TMIR000003 (RSR90003AM1)		
TMIR000007 (RSR90004AM1)			TMIR000006 (RSR90005AM1)			TMIR000005 (RSR90006AM1)		
TMIE000001 (RSE90002AM1)			TMIE000002 (RSE90003AM1)					

[표 185]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 성분 분석 시험 결과

순	도면번호	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
		0.5 ~0.9	0.35↓	0.30↓	0.50↓	0.4 ~0.7	0.30↓	0.20↓	0.10↓	잔량
1	TMIU000001 (RSU90001AM1)									
2	TMIU000002 (RSU90002AM1)									
3	TMIU000004 (RSU90003AM1)									
4	TMIU000005 (RSU90004AM1)									
5	TMIU000006 (RSU90005AM1)									
6	TICU000010 (RSU90006AM1)									
7	TMIU000002 (RSU90008AM1)									
8	TMIR000004 (RSS90001AM1)									
9	TMIS000002 (RSS90002AM1)									
10	TMIS000001 (RSS90003AM1)									
11	TMIS000005 (RSS90005AM1)									
12	TMIS000003 (RSS90006AM1)									
13	TMIR000001 (RSR90001AM1)									
14	TMIR000002 (RSR90002AM1)									
15	TMIR000003 (RSR90003AM1)									
16	TMIR000007 (RSR90004AM1)									
17	TMIR000006 (RSR90005AM1)									
18	TMIR000005 (RSR90006AM1)									
19	TMIE000001 (RSE90002AM1)									
20	TMIE000002 (RSE90003AM1)									

[표 186]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 변형 시험 결과

도면번호	합/불	도면번호	합/불	도면번호	합/불
TMIU000001 (RSU90001AM1)		TMIU000002 (RSU90002AM1)		TMIU000004 (RSU90003AM1)	
TMIU000005 (RSU90004AM1)		TMIU000006 (RSU90005AM1)		TICU000010 (RSU90006AM1)	
TMIU000002 (RSU90008AM1)		TMIR000004 (RSS90001AM1)		TMIS000002 (RSS90002AM1)	
TMIS000001 (RSS90003AM1)		TMIS000005 (RSS90005AM1)		TMIS000003 (RSS90006AM1)	
TMIR000001 (RSR90001AM1)		TMIR000002 (RSR90002AM1)		TMIR000003 (RSR90003AM1)	
TMIR000007 (RSR90004AM1)		TMIR000006 (RSR90005AM1)		TMIR000005 (RSR90006AM1)	
TMIE000001 (RSE90002AM1)		TMIE000002 (RSE90003AM1)			

20종의 압출프로파일의 시험편을 소재시험한 결과로서 모든 기준을 만족하였다.

(다) 계획일정/수행일정/목표달성도

- 연구개발 일정 및 수행 일정

구 분 / 개발내용	연 구 개 발 기 간(5차년도)												진도(%)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
압출 Profile 제작 및 공급								------	------	———	———		100

---------- 당초계획

———— 실 적

-연구개발 목표달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
압출 시험편 제작 및 소재 특성 평가	100	● 소재특성 기준 만족

(라) 결과

- 6량분 압출프로파일 소재특성시험 만족으로 소재의 신뢰성 검증 완료
- 차체용 압출프로파일 차체의 구조적 안전도 검증 완료
- 최종산출물'도시형자기부상열차 압출프로파일 공점검사 성적서'

라. 소형/경량화 추진제어장치 개발 (브이씨텍-협동)

(1) 연구내용

과제명 (과제 번호)	연구목표 (성과목표 번호)	연구내용 (목표별 Activity)	성과지표		일정												성과물	가중치
			지표기호	지표명	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24		
		추진 제어장치 제작	A-1	부품 발주													발주서	0.1
			A-2	주요 부품 조립													구성품 조립품	0.3
			A-3	A′ssy 조립													Ass′y 조립품	0.3
		시험선 시험	B-1	개발 및 주행 시험													시험 결과서	0.2
			B-2	보완 및 반영													보완 보고서	0.1
계																		1

(2) 연구내용별 수행내용

(가) 추진제어장치 제작

1) 개요

- 자기 부상열차용 추진 제어 장치의 Stack 설계 및 제작과 제어기 제작 및 신뢰성 있는 제어 알고리즘를 통한 추진 시스템의 성능 개선.

2) 계획일정/수행일정/목표달성도

연구내용 (목표별 Activity)	성과지표		계획일정 / 수행 일정												성과물	가중치	목표 달성도	비고
	지표기호	지표명	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24				
추진 제어장치 제작	A-1	부품 발주													발주서	0.1	100%	완료
	A-2	주요 부품 조립													구성품 조립품	0.3	95%	진행중
	A-3	A′ssy 조립													Ass′y 조립품	0.3	0%	진행중

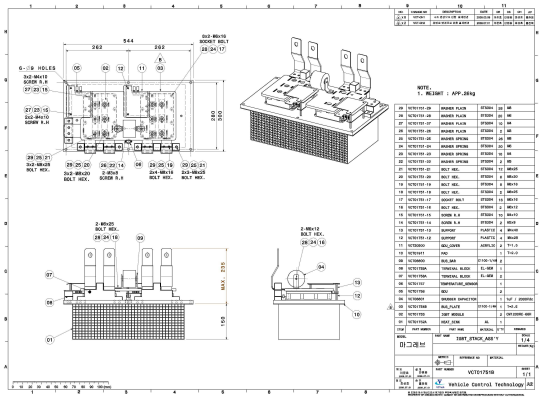
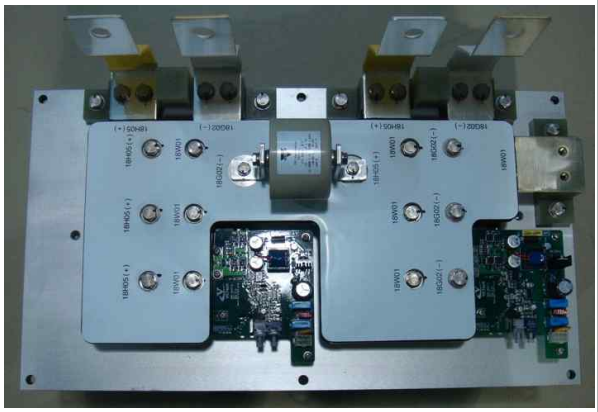
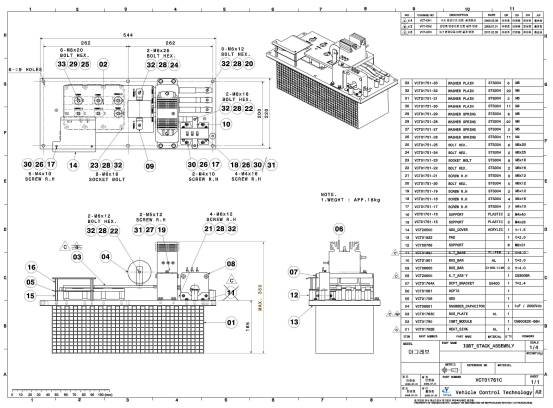
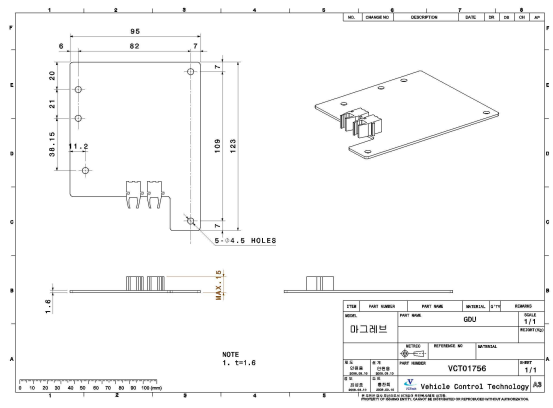
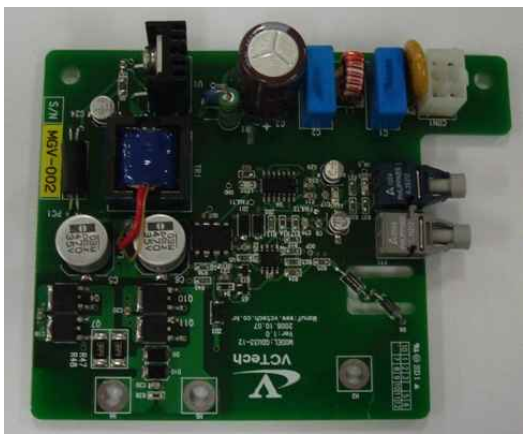
계획 수행

3) 세부공정별 수행내역 및 결과

□ 부품발주

- 추진인버터 제작에 필요한 부품 발주

□ 주요부품 조립

Stack1 도면	Stack1 조립사진
	
Stack2 도면	**Stack2 조립사진**
	
GDU 도면	**GDU 조립사진**
	

4) 결과

가) 연구결과의 활용방안 및 기대성과

□ 연구결과의 활용방안

- Fan를 이용한 강제 공랭식의 보조전원 및 추진제어장치의 냉각기술 및 소형 경량화 제품 개발에 활용함.

□ 기대성과 및 파급효과

① 기술적 측면

- 국내외 자기 부상열차의 실용화 양산에 적용
- 경전철 추진 제어 장치 및 기타 유사한 기술의 설계에 활용

② 경제·산업적 측면

- 자기 부상열차의 추진 제어 장치의 기술 자립으로 기술 도입비 및 기술료 지불이 절감된다.
- 전장품의 소형 경량화 경향에 따른 자기 부상열차의 핵심 기능부품설계 및 제작에 의한 기술의 향상으로 수입대체 및 세계시장 진출의 기틀을 마련한다.

□ 타 산업에 미치는 효과

- 광범위하게 적용되고 있는 전력전자 기술을 응용한 제어 장치에 대한 분석 및 제작 기술 향상의 효과가 기대 된다.

나) 최종 산출물 첨부

- 발주서
- 제작도면

(나) 시험선 시험

1) 개요

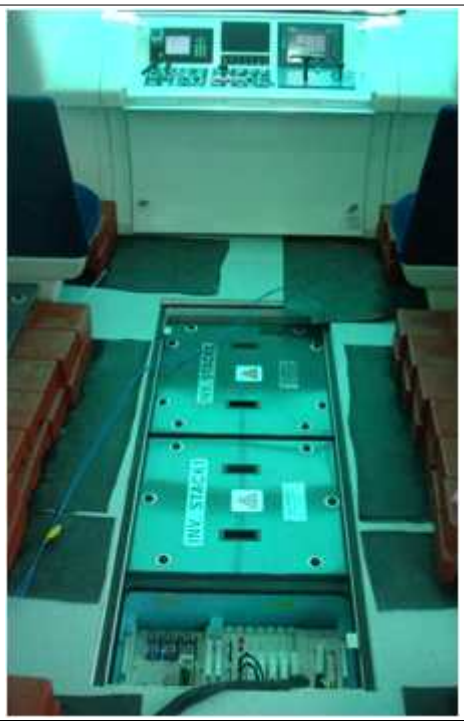
- 시험선 시험을 통하여 자기부상열차의 실용화시 추진제어장치의 문제점을 도출하고, 고 신뢰성을 확보하기 위함.

2) 계획일정/수행일정/목표달성도

연구내용 (목표별 Activity)	성과지표		계획일정 / 수행 일정												성과물	가중치	목표 달성도	비고
	지표기호	지표명	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24				
시험선 시험	B-1	개발 및 주행 시험	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획	계획		시험 결과서	0.2	92%	진행중
			수행	수행	수행	수행	수행	수행	수행	수행	수행	수행	수행					
	B-2	보완 및 반영											계획	계획	보완 보고서	0.1	50%	진행중
													수행					

3) 세부공정별 수행내역 및 결과

가) 개발 및 주행 시험

주행시험 사진	
	

나) 보완 및 반영

○ OVRe-BOX 설계변경

- BRACKET SIZE 205mm → 160mm 축소
- 볼트 체결(취부홀) 4EA → 2EA 변경

○ FL-BOX 설계변경

- BRACKET SIZE 200mm → 140mm 축소

- 3-1 각각의 PANEL로 분리(주행시 COVER 떨림현상 발생)
  => 한 조각으로 변경(절곡) / 용접 TYPE 적용

4) 결과

가) 연구결과의 활용방안 및 기대성과

○ 연구결과의 활용방안
- 추진제어장치 부품모듈의 신뢰성 강화

○ 기대성과 및 파급효과
- 주행 시험을 통해 신뢰성 높은 자기부상열차 양산용 시스템 확보에 기여

나) 최종 산출물 첨부

- OVRe-BOX 설계변경검토서
- FL-BOX 설계변경검토서
- 연속주행시험 결과서
- FUSE-BOX 설계변경검토서
- INV-BOX 설계변경검토서
- LB-BOX 설계변경검토서

마. 경량/고신뢰성 출입문 개발 (에이디에스레일-협동)

(1) 연구내용

과제명 (과제 번호)	연구목표 (성과목표 번호)	연구내용 (목표별 Activity)	성과지표		일정					성과물	가중치
			지표기호	지표명	1	2	3	4	5		
시스템통합(1-0, 기계연)	**시스템 통합 (A)**										
		자료수집 및 설계 기준 정립	A-1-1	자료조사						규격조사보고서 2 해외출장보고서	0.05
			A-1-2	사양협의						출입문 타입 비교 검토서	
		도어엔진, 도어 판넬 개념, 기본설계	A-2	도어시스템 개념, 기본설계						측출입문 기술 제안서	0.05
		DCU 개발 및 시험	A-3	DCU 개발 및 시험						TCMS-DCU 통신규격서 DCU 제작사양서 DCU 시제품 2	0.05
		부품/시스템 상세설계	A-4	부품/시스템 상세설계						도어시스템 제작규격서 형식시험 절차서 주요도면 설계진행 보고서 중량저감 계획서 회의록	0.05
		도어시스템 시제품 제작	A-5	도어시스템 시제품 제작						도어엔진 시제품 2 도어판넬 시제품 3 도어시스템 설치지그 1	0.05
		구성품 기능 및 형식시험	A-6	형식시험 실시						도어엔진 형식시험 완료 보고서 도어판넬 형식시험 완료 보고서	0.1
		초도편성분 도어시스템 제작	A-7-1	시제품 제작 피드백						위험성 분석 시트 고장유형, 치명도 분석 시트 신뢰성 분석 시트 정비성 분석 시트	0.2
			A-7-2	도어시스템 8Set 제작						도어시스템 8 DCU 진단프로그램 사용자 설명서	
		내구성 시험	A-8	도어시스템 200만회 내구성 시험 실시						내구성 시험 완료보고서	0.05
		완성차 시험 및 문제점 피드백	A-9	완성차 시험 실시 및 문제점 설계반영						완성차 시험절차서 완성차 시험 완료보고서 완성차 시험 문제점 검토서 2 설계변경 도면	0.1
		추가편성 제작	A-10-1	6량 3편성 24Set 도어시스템 제작						도어시스템 24	0.3
			A-10-2	매뉴얼 제작						운용 및 유지보수 매뉴얼 파트 카달로그 도어시스템 교육자료	
계											1

(2) 연구내용별 수행내용 (2단계 4, 5차년도)

(가) 구성품 기능 및 형식시험

1) 개요

도어시스템의 사양과 같이 제작되었는지 확인하기 위한 도어시스템 중 도어판넬의 형식시험 진행하였음. 도어엔진의 형식시험은 3차년도에 진행 완료함.

상세설계 시 도어시스템의 성능을 입증하기 위하여 작성된 형식시험 절차서에 의하여 당사 부산공장에서 차량제작사 담당자 입회하에 시험 진행하였음.

2) 계획일정/수행일정/목표달성도

도어판넬의 형식시험을 2009년 10월 13일 ~ 14일 양일간에 걸쳐 도어판넬 형식시험 실시 완료.

3) 세부공정별 수행내역 및 결과

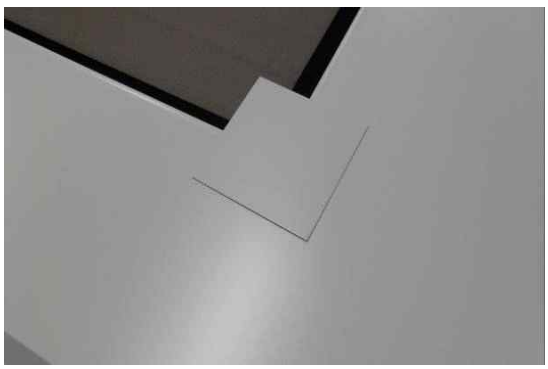
도어판넬 형식시험의 각 시험 항목 별 주요 시험결과는 하기와 같음

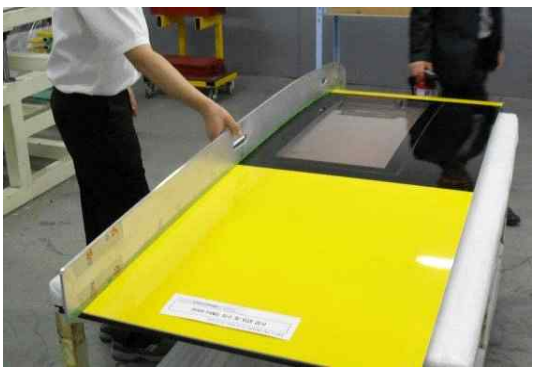
도어판넬 외관 및 치수 검사: 이상 없음, 양호함

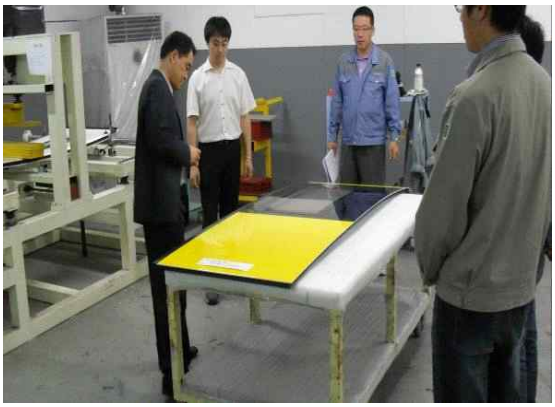
성능 시험: 접착제 시험(인장전단강도시험, 박리강도시험, 면방향 인장강도 시험, 드럼 벗김 항력시험, 고온/저온/내수성 시험) 측정치가 기준치를 벗어나지 않음. (기 성적서 완료보고서에 첨부)

집중 하중 시험: 최대 휨량 100Kg 가압 시 5.20mm, 최대 잔류 변형량 0.15mm, 측정치가 기준치를 벗어나지 않음.

반복 하중 시험: 최대 잔류 변형량 0.11mm로 기준치 0.5mm를 벗어나지 않음.














카 운 타
COUNTER/TIMER
10000
10000
CT6


카 운 타
COUNTER/TIMER
5773
10000
CT6
알람 부저



4) 결과

성능 입증을 위한 도어엔진 및 도어판넬 형식시험을 이상없이 완료하였음.

- 관련 성과물

도어엔진 형식시험 완료보고서

도어판넬 형식시험 완료보고서

(나) 초도편성 도어시스템 제작 및 공급

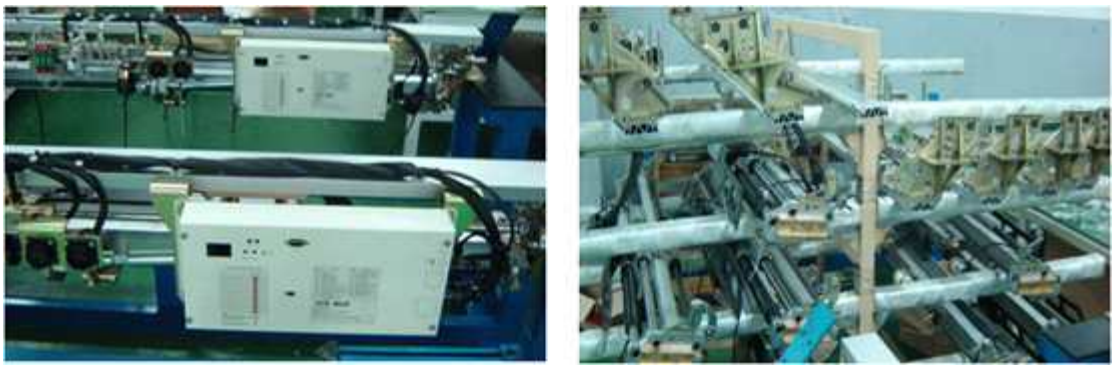
1) 개요

도어시스템의 성능을 입증하는 형식시험 완료 후 형식시험 시 지적사항 수정반영하여 초도편성 도어시스템 제작 공급하여 총 8Set 도어시스템 취부 완료.

2) 계획일정/수행일정/목표달성도

3차년도 3분기부터 초도편성 8Set 도어시스템 제작 후 자체 전수시험 완료하여 4차년도에 차량제작사에 공급 및 취부 완료하였음

3) 세부공정별 수행내역 및 결과



[그림 681]차량제작사에 공급 전 전수시험 진행 중인 도어엔진

초도편성에 적용된 도어시스템의 주요 사양

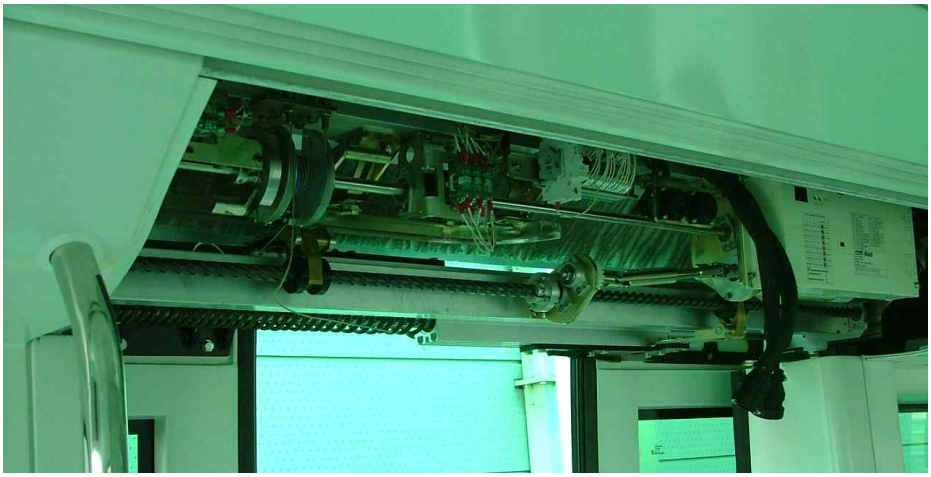
o 도어시스템 타입: 전기식 더블 판넬 플러그 인 도어시스템

o 도어시스템 작동 방식: 리드 스크류 방식

o 도어판넬: 알루미늄 스킨+알루미늄 허니컴 (두께 35mm)

o 열림폭, 높이: 1300mm x 1860mm

o 제어전원: 100Vdc (70~110Vdc)
o 통신: RS485(TCMS와 DCU 간), RS232(PC와 DCU 간)
o 열림/닫힘 시간: 3.5sec / 4.0sec
o 장애물 감지: 10mm x 100mm 평판 감지
o 열림/닫힘 장애물 감지 횟수: 3회 / 3회
o 작동 온도: -25℃ ~ 70℃
o 도어시스템 중량: 158Kg 이하 (도어엔진 70Kg 이하, 도어판넬 70Kg 이하, 비상핸들 및 휠러 시스템 18Kg 이하)



[그림 682]자기부상열차 초도편성에 취부된 도어시스템

초도편성에 적용된 도어시스템 주요 기능
o 도어시스템 자동 열림/닫힘: 차량 전송 신호에 의하여 Door를 자동적으로 열거나 닫는 기능을 수행
o 도어시스템 매뉴얼 열림/닫힘: 도어시스템 점검 시 검수자의 편의를 위하여 DCU 자체적으로 스위치를 적용하여 열림/닫힘/리셋 기능을 수행
o 장애물 감지: 도어 열림/닫힘 시 도어판넬이 물리적 힘에 의해 저항이 발생한 경우 Motor에 흐르는 전류를 이용하여 장애물(10mm x 100mm 이상)을 감지하여 열림 시 3회(프로그램 수정 가능), 닫힘 시 3회(프로그램 수정 가능) 감지 후 초기 명령 상태로 돌아가는 기능을 수행
o 주행 중 열림 방지 시스템: 제로 스피드 신호(차량 주행속도 5Km/h 이하)가 없을 경우 주행 중 비상핸들을 취급하여도 DCU가 열림을 방지하는 기능을 수행
o 비상 시 도어 열림 장치: 차량 비상 시 승객의 탈출을 위하여 제로

스피드 신호(차량 주행속도 5Km/h 이하)가 있는 경우 비상핸들을 취급하여 수동으로 도어를 열 수 있는 기능

o 도어 차단 기능: 도어시스템에 문제가 생겼을 경우 전기 및 기구적으로 도어시스템을 차단시켜 차량 운행에 지장을 주지 않도록 하는 기능. 비상핸들을 취급하여도 도어시스템은 기구적으로 차단되었기 때문에 수동으로 도어시스템을 취급할 수 없음.

o 검수자용 스위치 기능: 도시형 자기부상열차는 무인운전임을 감안하여 검수자가 빠르게 차량에 출입할 수 있도록 지정된 키를 이용하여 도어를 열수 있는 기능. 이 때 열린 도어는 약 10초 후 자동으로 닫히게 됨.

4) 결과

도시형 자기부상열차에 적용되는 도어시스템 8Set 제작, 공급하여 초도편성에 이상없이 취부 완료하였음.

- 관련 성과물

1. 도어시스템 시제품 8Set

(다) 완성차 시험 및 문제점 피드백

1) 개요

자기부상열차 초도편성에 적용된 도어시스템의 성능을 입증하기 위한 완성차 시험을 실시하여 문제점 피드백 및 개선여지가 있는 부분 설계 반영 진행하였음.

2) 계획일정/수행일정/목표달성도

4차년도 4사분기 ~ 5차년도 1사분기 중 3차에 걸쳐 대전 기계연구원에서 시운전 중인 자기부상열차 초도편성에서 차량제작사 및 기계연구원 담당자 입회 하에 실시하였음.

- 1차 : TCMS-DCU 간 RS485 통신시험: 2010년 4월 5일
- 2차 : 도어시스템 완성차 시험 (기능시험): 2010년 6월 24일
- 3차 : 도어시스템 닫힘력 시험: 2010년 07월 05일

시험 시 발생된 문제사항 검토서 작성 제출하였으며 피드백하여 잔여편

성 6량 3편성 도어시스템에 적용함.

3) 세부공정별 수행내역 및 결과

가) 완성차 시험

TCMS와 DCU간 RS485통신이 정상적으로 이루어지는지 확인하여 문제없이 정상적으로 통신이 됨을 확인함.



[그림 683]TCMS-DCU간 통신시험

도시형 자기부상열차 초도 편성에 적용된 도어시스템이 정상적으로 설치되어 기능을 구현하는지 완성차 시험 절차서에 의거하여 시험을 완료하였으며 그 결과는 하기 표와 같음



[그림 684]도어시스템 완성차 시험



[그림 685]도어시스템 닫힘력 시험

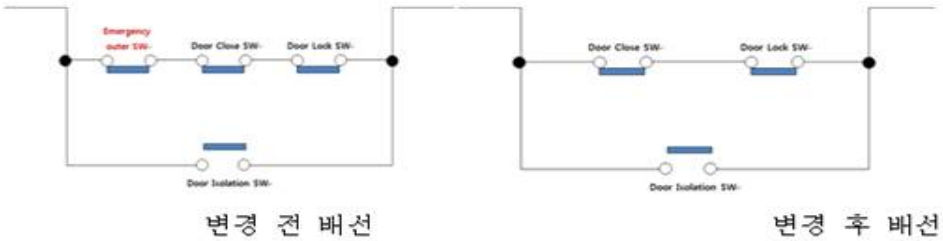
검사 및 시험항목		기준/시간	결과								비고
			MC1				MC2				
			1	2	3	4	1	2	3	4	
개폐 동작	열림	이상 없을 것	0	0	0	0	0	0	0	0	
	닫힘	이상 없을 것	0	0	0	0	0	0	0	0	
동작 시간	열림	3.5 ± 0.5 초	0	0	0	0	0	0	0	0	
	닫힘	4.0 ± 0.5 초	0	0	0	0	0	0	0	0	
장애물 감지	1 회	충격 닫힘력 300N 이하	0	0	0	0	0	0	0	0	
		유효 닫힘력 150N 이하	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2 회	충격 닫힘력 300N 이하	0	0	0	0	0	0	0	0	
		유효 닫힘력 200N 이하	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3 회	충격 닫힘력 300N 이하	0	0	0	0	0	0	0	0	
		유효 닫힘력 200N 이하	0	0	0	0	0	0	0	0	
	완전 열림	3 회 감지 후 완전 열릴 것	0	0	0	0	0	0	0	0	
비상 핸들	내부 동작 시험	이상 없을 것	0	0			0	0			
	내부 Crew Switch	열림/닫힘 이상 없을 것	0	0			0	0			
	외부 동작 시험	이상 없을 것	0	0			0	0			
	외부 Crew Switch	열림/닫힘 이상 없을 것	0	0			0	0			
이상 소음		이상 없을 것	0	0	0	0	0	0	0	0	

[그림 686]완성차 시험 체크 시트

나) 문제점 피드백

초도편성 도어시스템 취부 후 시운전 시 발생된 문제점 검토서 작성하여 제출하였음

- 도어 열림/닫힘 시 차량의 도어 전체 닫힘 신호(인터락 관련 배선)가 연결되지 않는 문제점 보완
- 인터락 회로 및 DCU 접지 관련 문제점 보완
- 도어시스템 모터 용량 검토



[그림 687]인터락 회로 관련 배선 변경

4) 결과

도어시스템 완성차 시험을 이상없이 완료하였으며 발생된 문제점 및 개선사항을 설계 반영하여 6량 3편성 도어시스템에 적용

- 관련 성과물

1. 도어시스템 기술검토서 (인터락회로 검토, DCU 접지 검토)
2. 도어시스템 기술검토서 (모터용량 검토)
3. 도어시스템 완성차시험 절차서
4. 도어시스템 완성차시험 완료보고서

(라) 내구성 시험

1) 개요

내구성 시험은 도어시스템의 신뢰성을 입증하고 각 주요 부품의 내구년도를 확인하기 위한 시험으로 일반적으로 100만회를 기준으로 실시되나, 도시형 자기부상열차 도어시스템의 특성상 고 신뢰성을 입증하기 위하여 200만회를 실시하였음.

도어시스템 열림 및 닫힘을 1회로 하여 총 200만회 실시하고 매 5,000회마다 장애물 감지 시험을 실시하였음.

2) 계획일정/수행일정/목표달성도

내구성 시험은 도어시스템 형식시험 완료 후 2009년 10월 13일에 시작하여 2010년 10월 02일까지 약 355일에 걸쳐 아래와 같이 진행되었음.

- 내구성 시험 시작: 2009년 10월 13일 13시 30분
- 500,000회: 2010년 01월 02일
- 1,000,000회: 2010년 03월 23일
- 1,500,000회: 2010년 06월 14일
- 2,000,000회 종료: 약 2010년 10월 02일 10시 10분

3) 세부공정별 수행내역 및 결과

가) 내구성 시험

2009년 10월 13일에 시작하여 2010년 10월 02일까지 약 355일에 걸쳐

200만회 내구성 시험을 실시하였음.



[그림 688]200만회 내구성 시험 모습과 종료 후 카운터

나) 사후 시험

도어시스템 내구성 시험 완료 후 도어시스템의 기능에 문제가 생겼는지 그리고 내구성 시험 전(형식시험 시)과 결과값에 변동이 생겼는지 확인하기 위하여 사후 시험 실시하였고 시험 항목 및 시험 결과는 하기 표와 같음.



[그림 689]내구성 시험 사후시험

시험항목	기준/시간	형식시험 시 결과	사후시험 결과	비교
도어 수동 작동력 시험	150N 이하	130.3 N	120 N	
도어 개폐거리 시험	1300±5mm 이내	1302mm	1302mm	
내부 비상 해제 장치 시험	150N 이하	53.9 N	70 N	
	Crew S/W 열림 시험 (10초 후 자동으로 닫힐 것)	이상 없음	이상 없음	
외부 비상 해제 장치 시험	150N 이하	124.4 N	101.9 N	
	Crew S/W 열림 시험 (10초 후 자동으로 닫힐 것)	이상 없음	이상 없음	
도어 열림 시간 측정	3.5±0.5초 이내	3.5초	3.45 초	
도어 닫힘 시간 측정	4.0±0.5초 이내	3.98초	4.08 초	
장애물 감지 시험	상단: 이상 없을 것	이상 없음	이상 없음	
	중단: 이상 없을 것	이상 없음	이상 없음	
	하단: 이상 없을 것	이상 없음	이상 없음	
장애물 감지 힘 측정 시험	150N 이하 (3회 평균 값)	67 N	95 N	
차단장치 시험	이상 없을 것	이상 없음	이상 없음	
Zero speed 시험	이상 없을 것	이상 없음	이상 없음	

[그림 690]내구성 시험 전과 후 결과 비교

시험 중 문제 발생내역은 하기와 같으며 발생 문제점 조치 후 추후 6량 3편성 도어시스템 설계반영하였음.

- 유니버셜 조인트 파손

시험 진행 약 100,000회에 파손되어 파손부분(유니버셜 조인트의 연결핀 부분) 보강하여 200만회 시험 완료하였음.

- 리미트 스위치 마모로 인한 소음 발생

시험 진행 약 1,250,000회에 스위치 마모로 인한 소음이 발생하여 접점여유를 주기위한 라이너 삽입 후 200만회 완료

4) 결과

도시형 자기부상열차에 적용되는 도어시스템의 고 신뢰성을 입증하기 위하여 약 355일 간에 걸쳐 200만회 내구성 시험을 완료하였고 사후시험을 완료하여 내구성 시험을 시작하기 전 형식시험 결과 값과 비교하여 이상이 없음을 확인하였음.

발생된 문제점을 추후 납품될 3량 6편성 도어시스템 제작 시 반영하여

보다 안정적인 시스템을 제작, 공급하고 각 부품의 교체 주기 등을 본 내구성 시험을 피드백 하여 유지보수 매뉴얼에 반영 예정임.

- 관련 성과물

1. 200만회 내구성 시험 완료보고서

(마) 추가편성 도어시스템 제작

1) 개요

도어시스템의 성능을 입증하기 위한 각 시험들의 문제점 및 개선내역을 반영하여 설계변경 진행 중이며 차량제작일정에 맞추어 6량 3편성 24Set 도어시스템 제작 공급 예정

2) 계획일정/수행일정/목표달성도

차량제작일정에 맞추어 6량 3편성 도어시스템 제작예정이며 장납기 자재 발주 완료하였음.

3) 세부공정별 수행내역 및 결과

- 주요 설계 변경 내역

내구성 시험 중 파손된 유니버셜 조인트 연결핀 용접에서 리벳 식으로 변경

완성차 시험 중 발생된 인터락 회로 배선 설계변경

비상핸들 내, 외부 동일 타입으로 변경하고 외부 돌리는 타입에서 당기는 타입으로 변경

라바센서 무빙케이블 연결 방식 스파이럴방식에서 케이블베어방식으로 변경

도어판넬 유리, 차량 유리 변경에 따라 동일한 미스트 유리로 변경 진행 검토 중

그 외 내구성 시험 중 마모가 심했던 부품 재질 검토 및 변경

4) 결과

각 시험 중 발생한 문제점 및 개선사항 반영하여 차량제작일정에 맞추어

6량 3편성 도어시스템 24Set를 공급예정이며 이와 함께 관련문서 도어시스템 유지보수 매뉴얼, 파트 카달로그, 운용자 유지보수 교육자료 제출예정임.

- 관련 성과물

1. 도어시스템 설계 변경 주요 도면

바. 경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발 (유진기공산업-협동)

과제명 (과제 번호)	연구목표 (성과목표 번호)	연구내용 (목표별 Activity)	성과지표		일정												성과물	가중치
			지표 기호	지표명	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
자기부상열차 소형/ 모듈화 제동 시스템 및 연결기 개발 (2-1-공동)	본선 시험 (A)	초도편성 주행시험 진행 /추가편성 성능 및 주행시험 진행	A-1	초도편성 주행시험													시험 절차서 제동시험 결과 보고서	0.3
			A-2	추가편성분 성능시험													제동시험 결과 보고서	0.1
			A-3	추가편성분 주행시험													완성차 시험 절차서 제동시험 결과보고서	0.1
	추가 편성분 제작 (B)	추가편성분에 대한 제작/시험/ 공급	B-1	추가 편성분 제작/공급													검사성적서 납품서류	0.2
			B-2	추가편성분에 대한 형식시험													시험절차서 결과보고서	0.2
	유지 보수 (C)	공급품에 대한 유지보수 지원	C-1	개발품에 대한 유지보수 진행													유지보수 매뉴얼	0.1
계																		1

(1) 연구내용별 수행내용

(가) 본선시험

1) 개요

제동시스템의 구성품 각 장치를 완성차에 조립 후 정차제동시험을 통하여 장치간의 기본 인터페이스 및 성능을 확인하는 과정으로 차량의 하중(공차/만차) 조건을 임의로 공급하여 제동요구치에 상당하는 제동압력이 출력되는지 확인하고, 제동압력에 따른 공유압실린더의 출력 압부력을 측정하며, 주공기압축기의 토출용량 및 차량의 공기누설 등을 점검한다. 주행시험에서는 제동장치와 추진장치간의 인터페이스 및 마찰계수의 영향을 고려하여 목표 감속도(상용 4.0km/h/s, 비상 4.5km/h/s)와 승차감을 위한 저크제한($0.8m/s^3$) 규정을 만족하도록 제동장치를 튜닝하고 검증한다.

2) 계획일정/수행일정/목표달성도

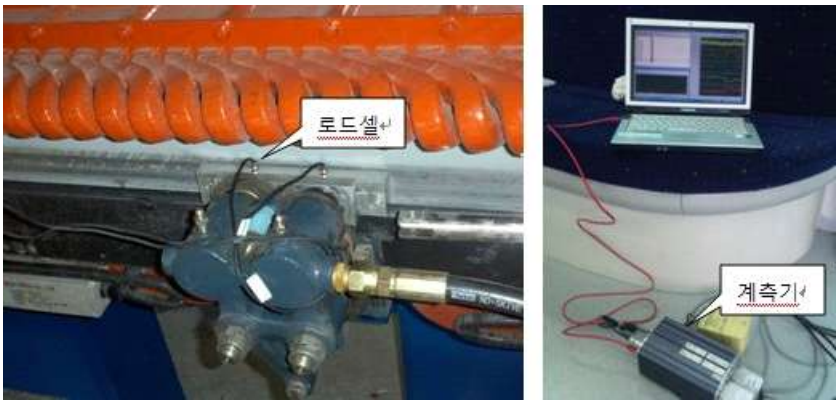
시험항목	일정	2010년							2011년						진도율
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	(%)
정차제동시험	계획														100.0
상용제동시험(공차)	실적	예비시험								입회시험					100.0
상용제동시험(만차)	실적										예비시험				20.0
비상제동시험(공차)	실적	예비시험								입회시험					100.0
비상제동시험(만차)	실적										예비시험				20.0
정차제동시험(공차)	실적									입회시험					100.0
정차제동시험(만차)	실적	예비시험									예비시험				20.0
압부력시험	실적	예비시험								입회시험					100.0
충기/완해시험	실적	예비시험								입회시험					100.0
주공기압축기시험	실적	예비시험								입회시험					100.0
공기건조기시험	실적	예비시험								입회시험					100.0
공기누설시험	실적	예비시험								입회시험					100.0
공기작용장치시험(공차)	실적	예비시험								입회시험					100.0
공기작용장치시험(만차)	실적										예비시험				20.0
소 계	실적														75.4
주행시험	계획														100.0
공기제동시험(공차)	실적					예비시험				입회시험					100.0
공기제동시험(만차)	실적														0.0
혼합제동시험(공차)	실적					예비시험				입회시험					100.0
혼합제동시험(만차)	실적														0.0
비상제동시험(공차)	실적					예비시험				입회시험					100.0
비상제동시험(만차)	실적														0.0
소 계	실적														50.0
합 계	실적														62.7

3) 세부공정별 수행내역 및 결과

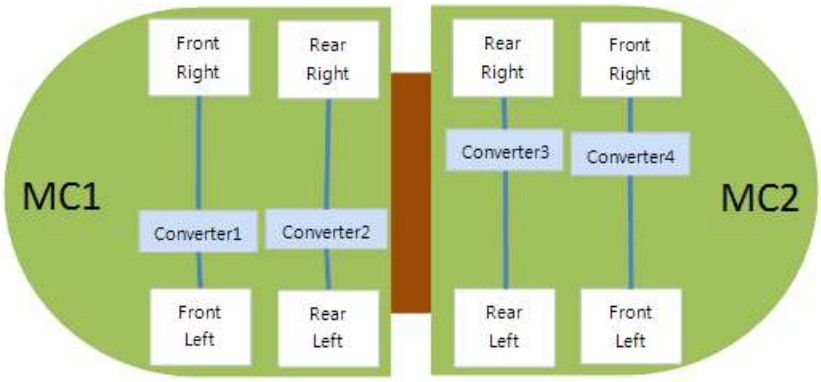
가) 정차제동시험

① 압부력시험

아래 그림처럼 레일과 제동패드 사이에 로드셀을 설치하여 상용전제동 및 비상제동을 체결하여 제동압력에 따른 마찰력으로 작용하는 힘을 측정하는 항목으로 2010년 7월 차량 설계에 따른 제동계산서를 기준으로 압부력을 측정하였으나 완성차 주행시험에서 저단 제동과 고단 제동에서의 감속도 특성이 상이하여 공유압변환기의 초기 작동압력(무효압력)을 재설정하고 공유압변환기 특성식을 수정하고 제동 압력 기준치를 변경하여 압부력을 재측정 하였다.



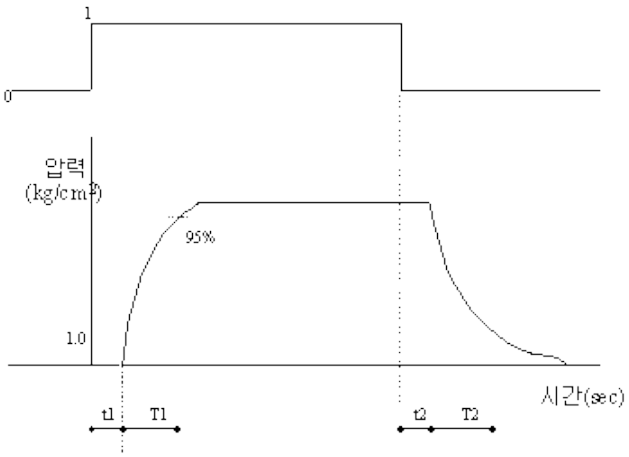
[그림 691]각종 센서 및 계측기 설치



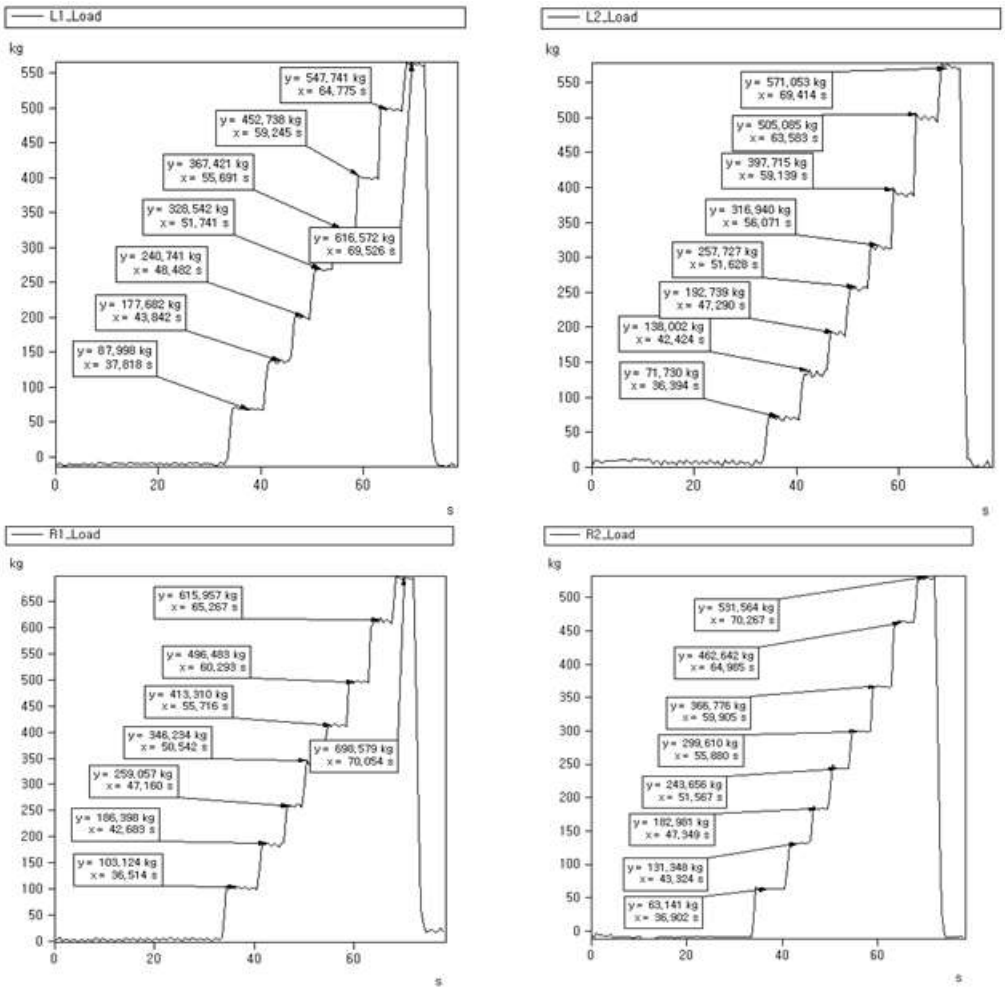
[그림 692]대차 제동장치 배치도

② 제동 충기 및 완해시험

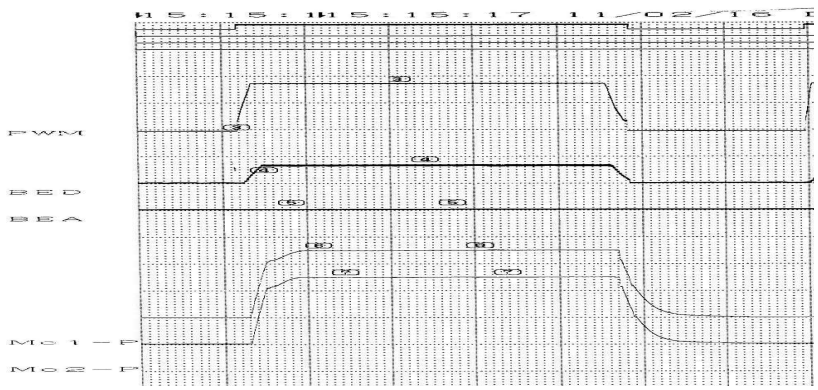
공기제동장치의 용량을 확인하기 위하여 비상제동을 체결하여 유공압실린더에 공기가 유입된 순간부터 최대압력의 95%까지 도달하는 시간(T1)과 완해 명령 후 제동압력이 1.0kgf/㎠까지 배기되는 시간(T2)을 그림35와 같이 측정하는 시험으로 결과는 아래와 같다.



[그림 693]제동압력 충기 완해시간 측정



[그림 694]압부력 측정 데이터



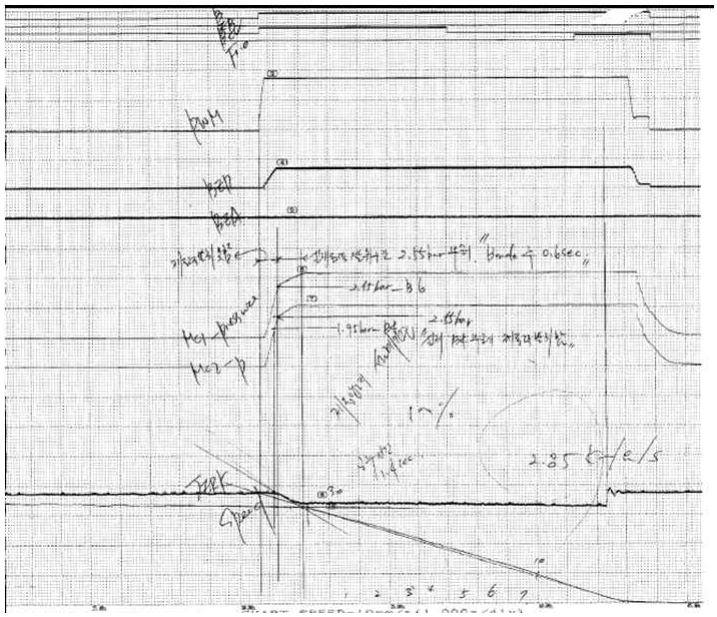
[그림 695]제동압력 충기 완해시간 측정 결과

나) 주행시험

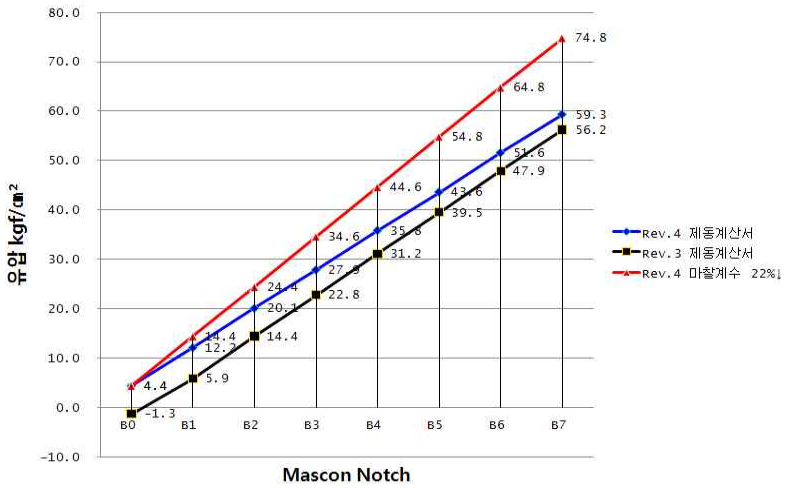
① 공기제동시험

공기제동 시험 시 감속도가 낮게 나오는 현상과 측정값의 산포도가 커서 확인결과 기초제동장치 부분의 일부 문제점이 발생하여 개선하였으며, 공

유압실린더의 출력특성 값을 재확인하여 변경된 특성 식이 반영된 제동력 계산서를 적용하고 마찰계수를 조종하여 감속도를 튜닝 하였다.



[그림 696]튜닝 전 상용 공기제동시험 차트



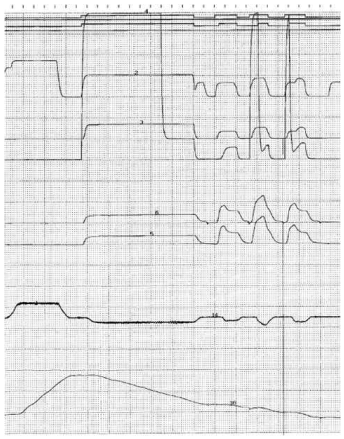
[그림 697]공유압변환기 특성그래프

[표 187]제동계산서 수정 후 압부력 측정 비교표

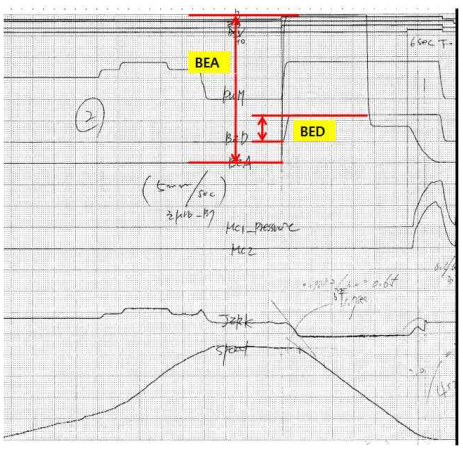
제동 스텝	2010 년 7 월(수정전)			2011 년 3 월(수정후)		
	제동압력 (kg/cm^2)	MC1 RL(kgf)	MC1 RR(kgf)	제동압력 (kg/cm^2)	MC1 RL(kgf)	MC1 RR(kgf)
B1	0.34	68	112	1.07	160.7	165.7
B2	0.70	198	237	1.56	313.7	316.9
B3	1.06	370	402	2.06	432.32	445.76
B4	1.44	535	561	2.55	587.08	583.92
B5	1.75	666	698	3.05	679.52	710.3
B6	2.20	829	860	3.54	843.08	864.26
B7	3.15	1100	1118	4.03	1051.34	1075.23
EB	3.25	1239	1266	4.47	1190.79	1222.65

② 회생제동시험

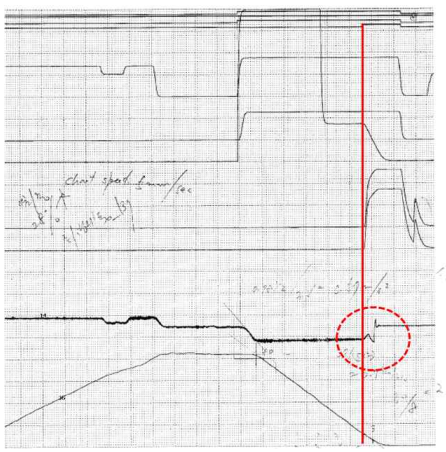
상용제동 시 회생제동을 효율적으로 활용하기 위하여 제동장치와 추진장치간의 인터페이스 튜닝 과정으로, 아래 그림에서 보여주는 인쇼트(Inshot)압력은 공기제동과 회생제동의 크로스블렌딩(Cross Blending) 과정에서 공기제동의 응답지연 시간을 방지하기 위한 기능이나 여기서는 공기제동의 지연시간 보다 공유압변환기에서 지연되는 시간이 상대적으로 크고, 정상적인 운행조건에서는 공기제동을 사용하지 않는다는 전제 조건하에서 인쇼트(Inshot)기능을 삭제 하였다.



[그림 698]인쇼트압력



[그림 699]BED와 BEA 관계



[그림 700]FO 신호

위의 왼쪽 그림은 회생제동요구(BED: Regen. Brake Effort Demand)와 회생제동달성(BEA: Regen. Brake Effort Achieved)의 관계를 보여주고 있다. 일반적으로 제동장치에서 전체 제동력에서 점착한계를 고려하여 추진장치에 회생제동요구를 출력하면 추진장치는 제동장치의 회생제동요구를 추종하면서 전기제동을 발휘한다. 하지만, 자기부상열차 추진장치의 특

성 상 역상구간이 발생하여 18km/h 이상의 속도에서는 제동장치의 요구를 추종할 수 없으므로 회생제동달성에 대하여 가상패턴(dummy pattern)을 적용하고 있다.

위의 오른쪽 그림은 회생소멸신호(FO: Fade Out)는 회생제동이 소멸되기 전에 제동장치에 주는 예보 신호로 크로스블렌딩(Cross Blending) 시 저크(Jerk) 또는 과제동 방지 등에 유효하게 활용되며, 처음에는 차량속도 5km/h에서 high를 출력하는 것으로 하였으나 정지 시 차량이 밀리는 현상이 발생하여 6km/h로 고정하였다. 또한, 제동장치는 상요제동일 경우 공기제동의 사용을 제한하기 위하여 제동모드(Brake Mode)와 회생제동전류유효신호(BCV: Regen. Brake Current Valid)가 동시 high가 되면 공기제동 압력을 출력하지 않도록 적용되어 있다.

4) 결과

초도 편성의 본선시험은 그림39, 그림40, 그림44과 같이 공차 조건에서는 완료되었다. 하지만, 그림41에서와 같이 역행 제동이 반복되는 저속구간에서는 추진장치의 역상구간에 의하여 회생제동전류유효신호(BCV: Regen. Brake Current Valid)와 회생제동달성(BEA: Regen. Brake Effort Achieved) 값이 불일치하여 제동압력이 충기 및 배기를 반복하는 현상이 발생하고 있어 이 부분에 대한 정의가 필요하고, 만차 시험 검증 후 제동장치의 최종 프로그램을 적용할 계획이다.

(나) 추가편성분 제작

1) 개요

추가 편성 제작은 초도편성에서의 문제점 또는 개선 사항에 대하여 차량설계 보완 Review 과정으로 재설계 또는 제작도 및 사양서를 업데이트하여 추가 편성 제작을 진행하고 있다.

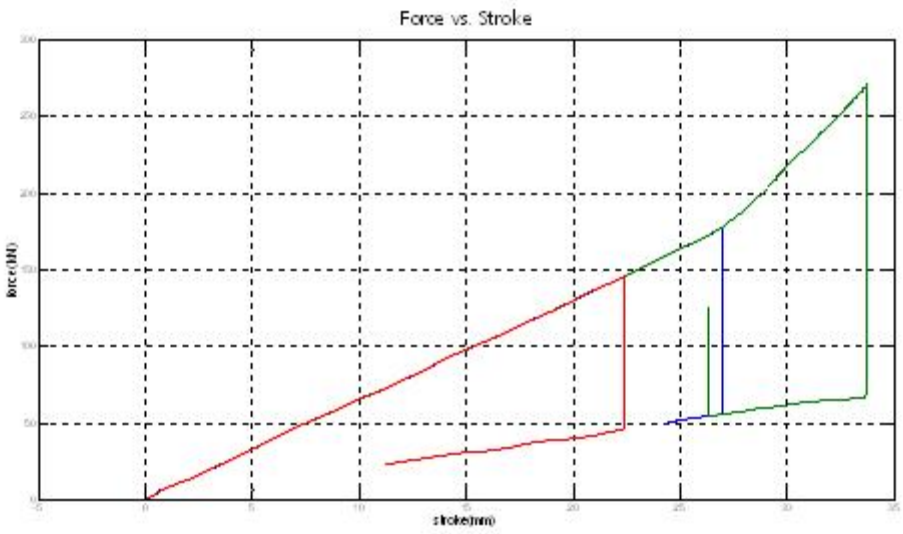
2) 계획일정/수행일정/목표달성도

시험항목	일정	2010년							2011년						진도율
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	(%)
추가편성분 제작	계획														100.0
차량설계보완	실적														90.0
제작사양 승인	실적														50.0
부품 발주	실적														10.0
제작/공급	실적														0
부품 형식시험	실적														0
납품	실적														0
완성차시험	실적														0
주행시험	실적														0
합 계	실적														18.8

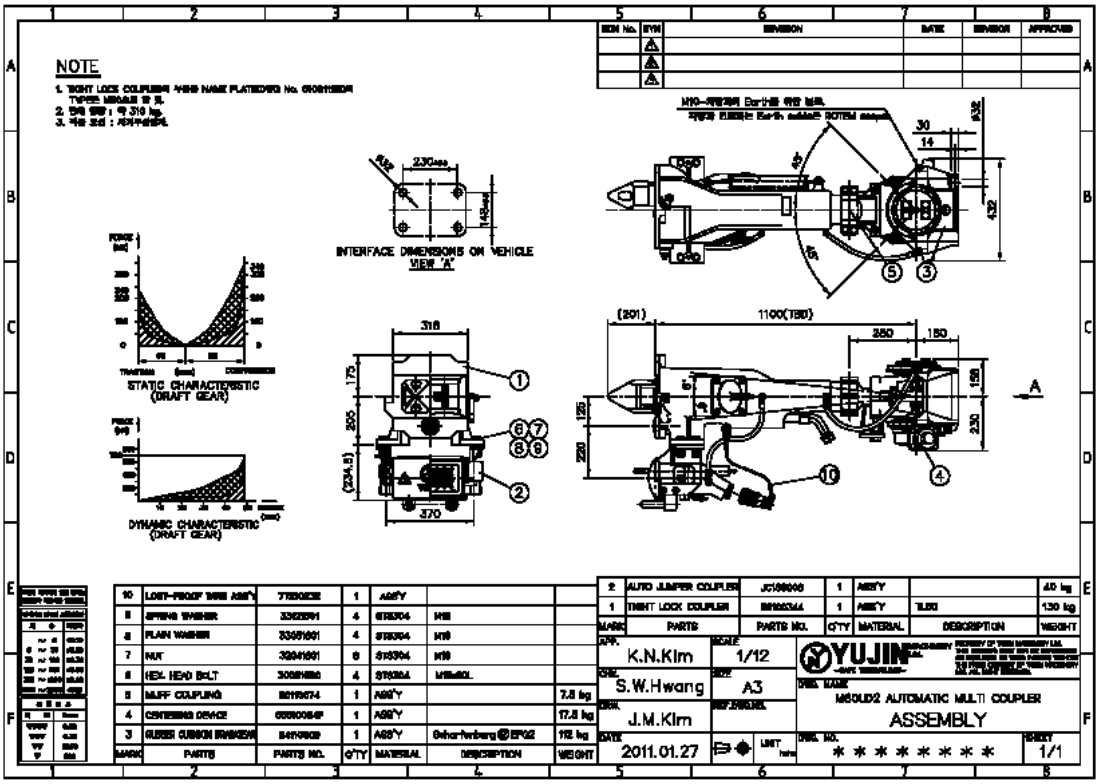
3) 세부공정별 수행내역 및 결과

가) 연결기시스템 신규 제안

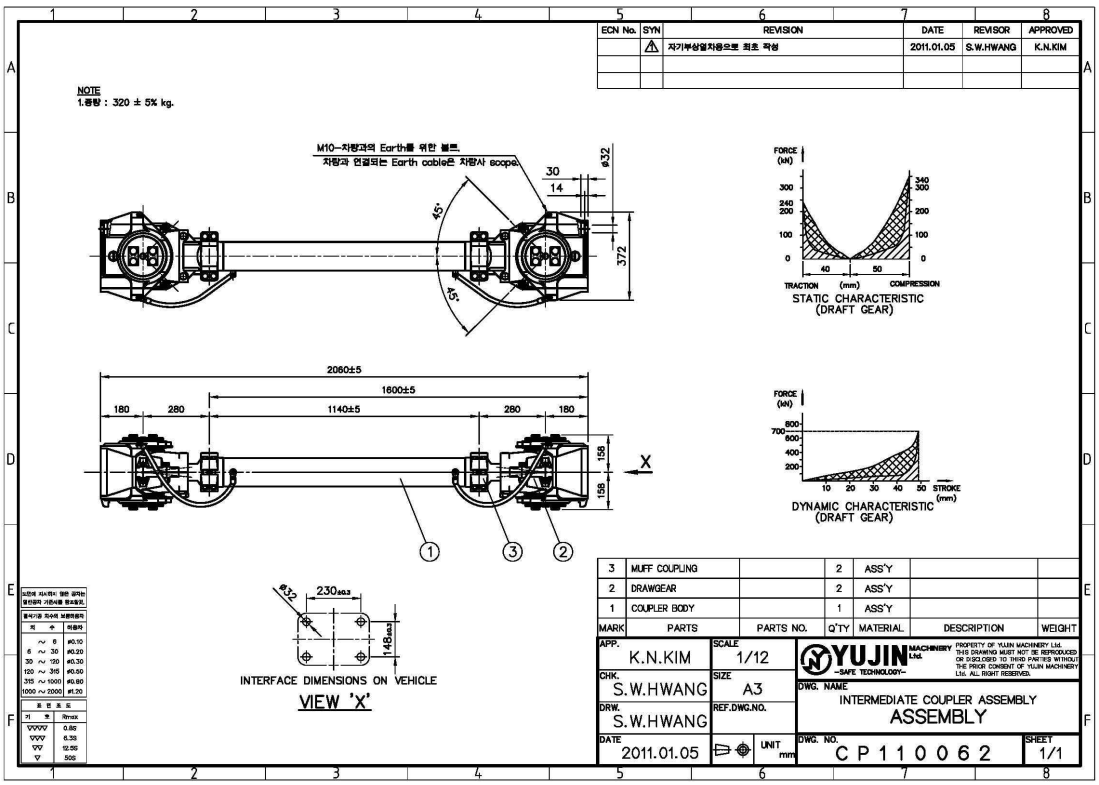
개발 초기에 차량의 경량화를 위하여 구체 압축하중은 200kN으로 제시되었으며, 최근(2010년 11월 11일) 구체 압축하중 기준이 350kN으로 상향 조정되었다. 초도편성 차량은 검토 결과 350kN의 압축하중 기준을 만족하는 것으로 확인되었기 때문에 압축하중 변경을 수용하였으나, 연결기 시스템은 200kN 기준으로 설계되었기 때문에 구조적으로 변경된 요구조건을 만족할 수가 없어 신규 제안을 필요로 하게 되었다. 아래 그림 45는 신규 제안한 연결기로 구체 압축하중을 견디는 구조에서 5km/h 충돌 시 최대 충격력은 270kN으로 요구조건을 만족하고 있다.



[그림 701]충돌해석 결과(도시철도법)



[그림 702]설계 변경 전두연결기



[그림 703]설계 변경 중간연결기

추가 편성 제작에 신규로 제안된 연결기의 설계기준은 최대 800kN으로 완충장치로는 EFG2를 적용하였으며, Shear off는 적용하지 않는 모델로

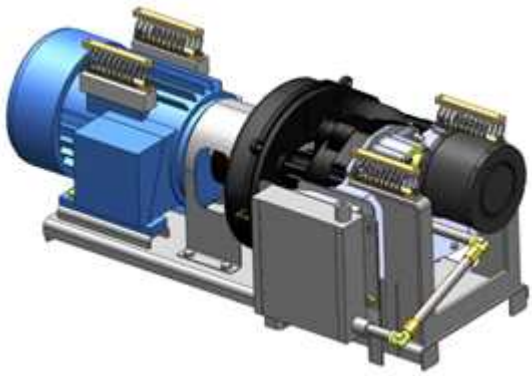
5km/h의 충돌 요구조건을 만족한다.

나) 공기압축기 구동방식 변경 제안

전동기의 동력전달이 벨트(Belt) 구동방식으로 벨트(Belt)의 탄성의 성질을 포함하여 압축블록 회전 시 슬립 현상이 발생할 경우 효율 및 진동 등 내구성에 영향이 있을 수 있으므로 커플링에 의한 직결 구동방식으로 변경 제안하였다.



[그림 704]벨트 구동방식



[그림 705]커플링 직결 구동방식

4) 결과

차량설계 보완을 위하여 신규 모델 제안과 함께 추가 편성 제작을 위한 제작도 및 제작사양서에 대하여 승인 과정이 진행되고 있으며, 일부 부품은 발주가 이루어지면서 추가 편성 제작이 진행되고 있다.

(다) 유지보수

1) 개요

공급된 부품의 문제점을 해소하고, 유지보수 주기에 따른 점검 및 적절한 정비를 통하여 초도 편성이 원활하게 시험 및 운행 가능하도록 한다.

2) 계획일정/수행일정/목표달성도

시험항목	일정	2010년							2011년						진도율
		6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	(%)
유지보수	계획														100.0
공급품에 대한 유지보수	실적														90.0
유지보수매뉴얼 작성	실적														40.0
합 계	실적														65.0

3) 세부공정별 수행내역 및 결과

가) 공기압축기

① 문제점

· 정차시간이 길고 장기간 체류 및 CM 기동/정지가 길어져 수분존재로 배관결빙 발생
· 안전밸브 미설치로 인한 과부하 압력 발생

② 검토내용 및 조치결과

· 스틸배관을 고무호스로 변경 및 배수콕크 설치
· 안전밸브 설치

나) 제동캘리퍼

① 문제점

· 제동패드 마모 시 패드 자동보상으로 인한 Return Spring 강체화 현상으로 stroke 부족이 발생하여 정상 제동력이 발생하지 않는다.
· Return spring의 권수가 많고 선경이 커서 요구 stroke 도달 전에 밀착현상 발생

② 검토내용 및 조치결과

· Spring의 선경, 권수, 자유길이 감소 시켜 stroke 확보
· 캘리퍼의 Piston return spring을 교체하여 stroke 확보
· 주행 중 레일-제동패드간 이격거리가 작고 Piston return spring의 사용거리가 작기 때문에 패드의 교체주기를 엄격히 관리해야 한다.



[그림 706]Piston return spring 밀착상태



[그림 707]Piston return spring 교체

다) 제동패드

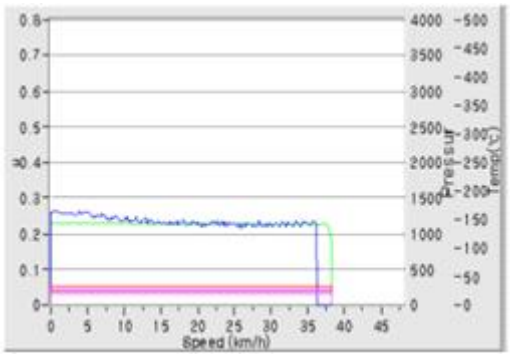
① 문제점

· 패드의 마찰면적이 작아 단위면적당 압부력이 기존 전동차에 비하여 2배 이상 높음

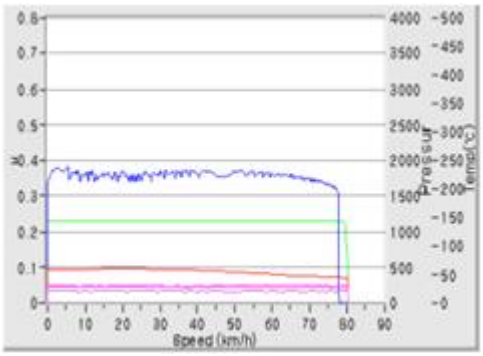
· 패드의 마모량이 많고 마찰계수가 낮음

② 검토내용 및 조치결과

· 3차에 걸쳐 패드의 재질 및 기계적특성 개선



[그림 708]개선전 패드의 마찰계수



[그림 709]개선후 패드의 마찰계수

라) 공유압변환기-오일

① 문제점

· 실리콘계 오일이 현행 법규상 환경오염문제로 인하여 사용 금지되었음

· 이를 대체하기 위하여 DOT 5.1 규격의 브레이크 오일 사용(DOT 5.1 oil은 air exhausting 시간이 1유닛 당 2시간 이상으로 보수/정비성 측면에서 인력 및 시간 소요가 많다).

② 검토내용 및 조치결과

· Mobile synthetic oil로 교체

· 기존의 oil에 비하여 점도가 높아 유압 전달 능력이 향상되었고 사용환경에 부합하며 보수/정비성이 우수함(air exhausting 1유닛당 30분 가량)

마) 공유압변환기-패킹

① 문제점

· 기존 DOT 5.1 규격 Oil에 대하여 패킹류 변형.

· O-ring 및 U-packing, Backup ring 변형을 일으킴

② 검토내용 및 조치결과

· 비변형 패킹류로 부품 교체

4) 결과

초도 편성을 시험하면서 발생된 문제점에 대하여 개선 및 보완하여 추가 편성에 반영되도록 조치하였다.

사. 멀티미디어 컨트롤 시스템 개발 (한터기술-협동)

(1) 연구내용

과제명 (과제 번호)	연구목표 (성과목표 번호)	연구내용 (목표별 Activity)	성과지표		일정	성과물	가중치
			지표기호	지표명	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12		
멀티미디어컨트롤 시스템 개발(2-1 핵심)							
멀티미디어컨트롤 시스템 개발	2,3,4편성 제작	PA 시스템 장치	A-1	부품발주서 제작 3식	━━━━━━━━	PA 시스템 장치	0.2
		PIS 시스템 장치	A-2	부품발주서 제작 3식	━━━━━━━━	PIS 시스템 장치	0.2
		CCTV 시스템 장치	A-3	부품발주서 제작 3식	━━━━━━━━	CCTV 시스템 장치	0.2
		통합제어기 장치	A-4	부품발주서 제작 3식	━━━━━━━━	통합제어기 장치	0.2
		차량시험	A-5	차량시험	━━━━	시험결과서	0.2
계							1

(2) 연구내용별 수행내용

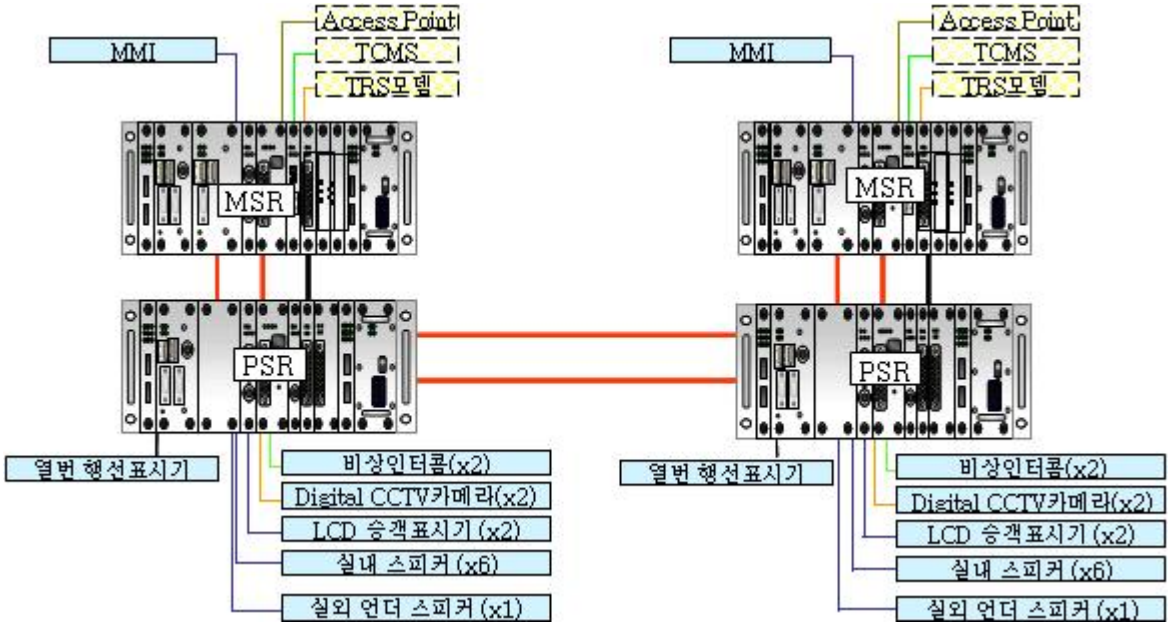
당해단계의 1차년도는 IP(Internet Protocol) 네트워크상에서 방송, 동영상, CCTV가 통합된 하드웨어 및 소프트웨어 시스템을 기본 설계하는 것이 개발의 주된 내용이다. 무인 운전하는 차량에서 차량의 모든 승객에 관한 정보를 지상의 사령실에서 제어할 수 있는 안정된 Fault Tolerant Infortainment 장치를 설계하는 것이다.

2차년도는 회로 구성 및 기구 구성에 대한 상세 설계를 진행하고 IT 기술을 총 집약하여 고안된 자기부상열차용 PA/PIS/CCTV 시스템에 대한 실제적인 설계를 완성한다. 산업체 제어 시스템 및 유비쿼터스 시스템들이 모두 IP(Internet Protocol) 기반의 기술 및 요소 기술을 적용하여 1편성분에 해당하는 시스템을 시제품 제작하고 자체 환경시험을 하는 것이다.

3차년도는 자기부상 차량의 1편성에 해당하는 PA/PIS/CCTV를 제작하여 안정적으로 동작하고, 환경시험을 함으로 신뢰성 있는 제품을 만드는 것이다.

(가) Multimedia Control System 설계

멀티미디어 컨트롤 시스템의 구조 및 형상은 아래와 같다.



[그림 710]멀티미디어 컨트롤 시스템 구조 및 형상

위에서 노란색으로 표기된 장치는 본 개발 과제에서 개발하는 품목은 아니며, 멀티미디어 컨트롤 시스템과 연결되어 부가적인 기능을 제공하는 장치이다.

멀티미디어 컨트롤 시스템은 방송 장치, 표시기 장치, CCTV 장치, 비상 인터폰 및 열차무선 인터페이스 장치로 구성된다. 표시기 장치는 LED 표시기 및 LCD 표시기로 이루어진다. 멀티미디어 컨트롤 시스템은 아래 아래와 같이 차상에 설치된다.



[그림 711]멀티미디어 컨트롤 시스템 구성도

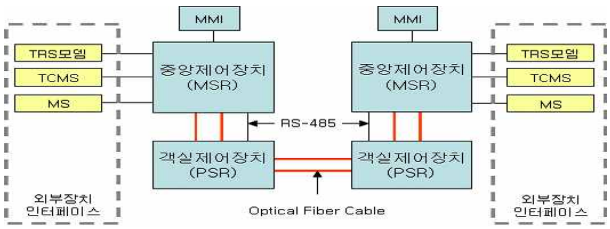
멀티미디어 컨트롤 시스템은 아래 표와 같이 승객 정보안내가 확실히 전달

되도록 하기 위한 TC CAR장치로 구성됩니다.

[표 188]멀티미디어 컨트롤 시스템 TC CAR 장치 구성

구 성 품	수량	부품(도면) 번호	비고
중앙제어장치(MSR: Main Sub Rack)	1		각종 보드 포함
객차제어장치(PSR: Passenger Sub Rack)	1		각종 보드 포함
설정기(MMI: Man Machine Interface)	1		
CCTV 카메라	2		
비상인터폰	2		
승객안내표시기(19" LCD)	2		
정면행선-열차번호표시기(LED)	1		
실내 스피커	4		
실외 언더 스피커	1		

멀티미디어 컨트롤 시스템은 각각의 기능을 수행하기 위해 장치간 내부 또는 TCMS등의 외부 장치들과 인터페이스 되며 인터페이스 구성도는 아래 그림과 같습니다.



[그림 712]멀티미디어 컨트롤 시스템 인터페이스 구성

주) MS : Mobile Station, TRS : Trunked Radio System

1) 중앙제어장치(MSR: Main Sub Rack)

방송장비, 비상 인터폰, 표시기 및CCTV 장치를 통합 관리/제어하는 장치로 아래 표와 같은 구성품들로 구성된다.

[표 189]중앙제어장치 구성

구 성 품	수량	부품(도면) 번호	비고
MC 보드	2		MCA, MCB 표기
MCP 보드	1		동영상 정보저장
CCP 보드	1		CCTV 영상저장
WTA 보드	1		LAN
MCU 보드	1		메인 제어
PA 보드	1		방송용
AMUX1 보드	1		
TCI 보드	1		열차무선용
AMUX4 보드	1		열차무선용
MPSU	1		전원 장치

2) 설정기(MMI: Man Machine interface)

설정기에 장착된 마이크를 사용하여 객차 내 수동방송, 후부차량 운전실과의 통화, 견인차량과의 통화 등을 할 수 있으며 비상 통화 요청 발생시 승무원이 작동중인 비상인터폰과 통화할 수 있는 통신 경로를 제공합니다. 수동 운전시 운전 승무원과 사령과 통화 가능합니다. 또한 운행상태를 LCD상에 표시하고, 선두차량 고장시 후부차량의 설정기가 기능을 수행한다.

3) 객차제어장치(PSR: Passenger Sub Rack)

중앙제어장치와 통신으로 연결되어 스피커, 비상인터폰, 표시장치 및 CCTV 카메라를 제어하기 위한 장치로서 아래 표와 같은 구성품들로 구성되어 있다.

[표 190]객차제어장치 구성

구 성 품	수량	부품(도면) 번호	비고
MC 보드	2		MCA, MCB 표기
CTA 보드	1		카메라
LCU 보드	1		로컬제어장치
AMP 보드	1		AMP
AMUX2 보드	1		인터폰
AMUX3 보드	1		P-AMP
PPSU	1		전원 장치

4) CCTV 카메라

CCTV 카메라는 개별적으로 IP를 할당하여 관리/제어되며, 해상도가 높아 주변광량이 많지 않아도 주변의 식별이 가능하고 자동으로 포커스가 조절된다. 비상인터폰 및 기타 특이사항에 PTZ(Pen/Tilt/Zoom) 기능에 의해서 카메라를 자유롭게 조절 할 수 있다.

5) 비상인터폰

승객과 승무원 또는 승객과 사령실간의 양 방향 통신을 지원하기 위하여 각 차량에 비상용 비상인터폰이 설치된다.

6) 승객안내표시기(LCD)

동영상 제어/저장 장치의 설정에 따라 정차 역 명, 문 열림 방향, 공지사항, 뉴스, 날씨, 광고 등의 정보를 승객들에게 시각적으로 전달하며 자동방송의 내용, 유지보수요원이나 승무원이 설정기를이용하여입력한내용을표시하는수동문자방송을할수도있다. 승객안내표시기는 각종 공지사항 및 비상시 승객 대처 요령 등에 대하여 방송 장치 음성과 연계되어 표시된다.

7) 정면행선 열차번호 표시기(LED)

차량의 선두부와 후부 정면에 설치되며 중앙제어장치로부터 전달된 데이터를 받아 차량의 종착역을 표시한다.

설정기를 이용하여 수동으로 행선지를 입력할 수도 있다.

8) 실내 스피커

객차내에 설치되며 수동방송, 자동안내방송등의 음성안내 정보를 승객에게 전달한다.

소음 센서에 의거한 자동볼륨조정(Automatic Volume Controlled(AVR))을 사용하여 방송 출력을 조정 가능합니다.

9) 실외 언더 스피커

차량외부 언더측에 설치되며 수동방송, 자동안내방송 등의 음성안내 정보를 주변사람에게 전달한다.

(나) PA/PIS 시스템

1) 시스템 설계

가) 중앙제어장치

열차의 안전운행 및 승객을 위하여 편의를 위해서 방송, 표시, 열차무선 인터페이스 등의 기능을 제어한다.

① 차량내 안내방송

멀티미디어 컨트롤 시스템과 연계된 설정기, TRS모뎀, 객실내 비상인터폰을 통해, 객차내의 승객들은 다양한 음성정보를 제공받을 수 있다.

● 승객안내방송의 종류

i. 종합 사령실 방송(대승객 방송)

멀티미디어 컨트롤 시스템과 연계된 TRS모뎀을 통해 열차내의 비상상황을 사령에게 알리거나 사령실의 사령이 전달하는 긴급상황을 전달하는 기능을 제공함.

ii. 차량 내 수동 안내 방송

차량 내 승무원이 객실내 승객에게 음성으로 정보를 전달하도록 하는 기능을 제공함.

iii. 차량 내 자동 안내 방송

차량제어장치의 중앙제어장치에 저장되어 있는 자동방송 정보를 정해진 스케줄에 의해 승객에게 안내하는 기능을 제공함.

● 방송우선순위

i. 종합 사령실 방송(대승객 방송)

ii. 차량 내 수동 안내 방송

iii. 차량 내 자동 안내 방송

② 비상인터폰 제어 및 연계 작동

중앙제어장치는 객실내 비상인터폰의 요청을 TRS 망에 접속시키는 통화경로를 제공한다.

승무원이 탑승한 경우, 승무원이 지정된 시간(10초) 이내에 대응하지 않은 경우, 승객의 비상통화 요청은 자동으로 열차무선장치로 전달되고, TRS 망을 이용하여 사령실로 전달된다.

CCTV 카메라는 작동이 된 비상 인터폰 지역을 자동 촬영하고, 이 영상은 중앙제어장치에 저장이 된다.

● CCTV 카메라 제어 및 내장 DVR

각 객실에 장착된 CCTV 카메라의 영상은 중앙제어장치의 CCTV영상제어PC(DVR기능)에 저장이 된다.

③ 방송내용을 추가 및 변경

휴대용 USB 플래시 디스크를 컴퓨터와 연결하여 작업이 가능하도록 USB 타입의 통신 포트가 제공된다.

④ 방송/표시 자료의 동기화

선두차량 동영상 제어/저장 장치에 저장된 영상 및 표시정보는 후부차량

의 중앙제어장치에 동일하게 복사 저장된다.

⑤ 시스템 레벨의 표시기-방송장치 동기화

각종 공지사항 및 비상 시 승객 대처 요령 등에 대하여 승객안내표시기(LCD)와 연계되어 계획, 조정, 방송되며, 중앙제어장치에서 제어한다.

⑥ 동영상 저장/제어 장치내장

중앙제어장치의 동영상서버 모듈에 승객안내표시기(LCD)가 사용할 수 있는 동영상 컨텐츠를 저장한다. 다양한 청각 및 시각적 정보, 공지사항, 광고, 비상 시 대처 요령등 사전 저장된 내용을 승객에게 보내는 동영상 제어 모듈은 아래와 같은 특성을 제공한다.

- 승객안내표시기에 표출될 정보를 저장
- MMI 또는 휴대용 컴퓨터를 이용하여, 사전에 저장되어 있는 공지 문자를 승무원이 선택하여 승객안내표시기로 표출 가능.
- 중앙제어장치의 동영상서버 모듈은 지정된 스케줄에 따라 필요한 영상 또는 표시정보를 승객안내표시기로 보내어 표출.

나) 객차제어장치

객차제어장치는 다음과 같은 기능을 제공한다.

① 방송 기능

방송기능은 객차제어장치의 방송용 AMP 모듈을 통하여 수행된다.

- 지향성 방송 가능: 객차제어장치로부터 각각의 실내스피커로 연결되는 출력포트는 고유의 ID를 가지고 있어, 정차 역 정보, 방송 스케줄 등을 반영하여 출입구가 열리는 방향으로 부분적인 방송이 가능함.
- 자동 방송 출력 조절: 소음센서에 의거한 자동볼륨조정(Automatic Volume Control)이 적용되며, 객차에 설치된 객차제어장치의 출력을 자동 조절한다.
- 비상인터폰 제어 및 연계 작동

승객이 비상인터폰을 작동시키면 객차제어장치에 연결된 CCTV 카메라가 활성화된 비상 인터폰을 자동 촬영하고, 촬영된 영상이 CCTV제어 PC에 저장된다.

② 표시 기능

각종 공지사항 및 비상 시 승객 대처 요령 등에 대하여 승객 안내 표시기(LCD)와 연계하여 계획, 조정, 방송된다. 객차제어장치는 중앙제어장치와의 통신으로 제어신호를 받는다.

정면행선 열차번호 표시기(LED)에 연결되어 동작된다.

● 주변장치 인터페이스 제공

객차제어장치는 중앙제어장치의 제어로 동작되며, 스피커, LED표시기, LCD 승객 안내 표시기, 디지털 CCTV 카메라 및 비상인터폰과의 인터페이스를 제공한다.

2) 장치 별 규격

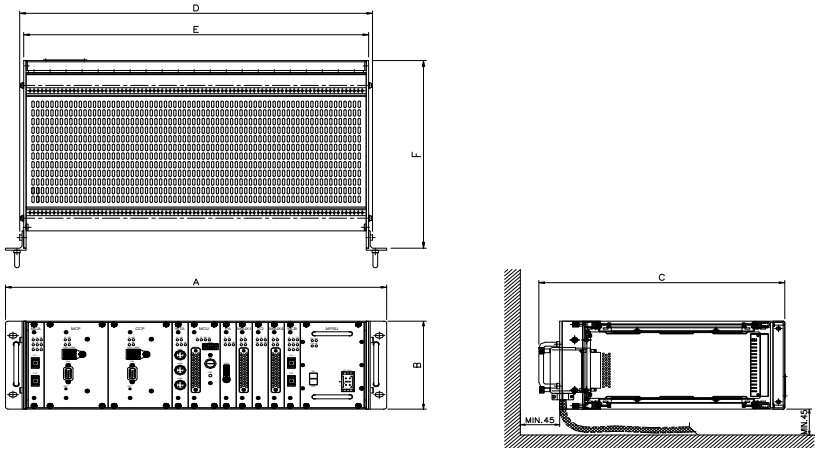
가) 중앙제어장치 (MSR)

● 장치 개요

중앙제어장치는 객차제어장치를 제어하며 방송 및 비상인터폰 제어, 표시기장치 현시, 디지털 CCTV장치 제어의 기능을 한다.

● 외형

중앙제어장치의 외형은 아래 그림과 같다.



중앙제어장치의 실물은 아래 그림과 같다.



① MC(Media Converter)보드

● 장치 개요

중앙제어장치간, 중앙제어장치와 객차제어장치가 광케이블로 데이터를 송/수신이 가능하도록 Ethernet Packet, 혹은 광신호를 상황에 맞도록 변환하여 주는 장치이다.

● 구성 및 동작

내부의 Switch chip을 통해 내부 장치와 연결된 8개의 Ethernet 포트에서 입력되는 신호 및 외부의 Optic 포트에서 입력되는 신호를 제어한다.

● 규격

항목	규격	비고
Optic	Optic length : FX1-1310nm FX2-1500nm	10/100 Base-T Auto MDI/MDI-X
LAN	Switch to 8port Ethernet	
LED	3Φ	Each port : state
PCB SIZE	100.1x217.8mm	1 SLOT

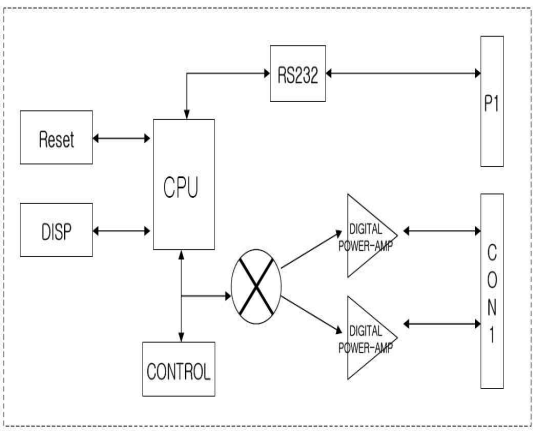
② MCP(Media Control PC)보드

● 장치 개요

방송을 위에 동영상 및 자막, 스케줄러, MP3 음성정보를 저장하며 스케줄링에 따라 동영상 데이터를 객차제어장치로 스트리밍 한다.

● 구성 및 동작

MCP 모듈은 별도의 Processor 모듈을 제작된 보드에 결합하여 사용한다.
모듈의 성능은 승객안내용 동영상을 전송하기에 부족함이 없다.



● 규격

General Specification	CPU	Intel Pentium M Processor	
		내부 클럭 속도	1.6 Ghz
		시스템버스스피드	400Mhz
		내부 L2 캐시	1,024K
		동작전압	1.27~1.34 V
	Main Board Chip set	Intel 852GM, 400FSB, integrated graphics	
	DRAM Memory	용량	512MB
		클럭 속도	133Mhz
		종류	144Pin
		타입	SODIMM
VGA Interface	Chip set	Intel Extreme Graphics2 controller	
	LCD Display	1,600*1200	
	Video RAM	Up to 64MB of dynamic Video RAM	
Network Interface	Chip set	Intel 82562EZ	
	Connector	IEEE802.3U compatible 10/100 Base-T interface	
High Speed Multi I/O	Serial Ports	RS-232 port	
	USB Port	2 USB ports support Ver 2.0	
Type	Em-ETX		
HDD	100GB, Ultra DMA 100 지원, 5400 rpm		
PCB SIZE	100.1*217.8mm, 2SLOT 사용.		

③ CCP(CCTV Control PC) 보드

● 장치 개요

객차내의 CCTV 카메라에서 전송되는 영상을 DVR기능의 소프트웨어를 사용하여 저장하도록 한 장치이다.

● 구성 및 동작

MCP 모듈과 동일.

● 규격

MCP 모듈과 동일.

④ WTA(Wireless Terminal Adaptor) 보드

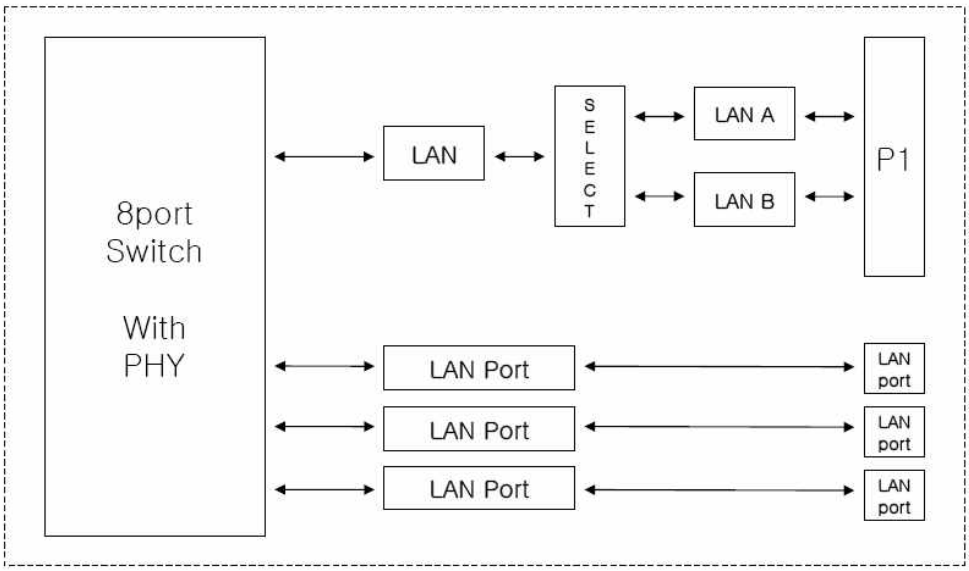
● 장치 개요

무선장치의 인터페이스와 설정기장치의 인터페이스와 같은 Ethernet용 외부장치의 인터페이스를 제공하는 보드이다.

● 구성 및 동작

내부의 Switch chip을 통해 외부 기기를 위한 3개의 Ethernet 포트에서 입력되는 신호 및 내부의 장치들과 데이터교환을 위한 1개의 포트를 제어

한다.



● 규격

항목	규격	비고
EXternal LAN	3 Port	10/100 Base-T
LAN	Switch to 8port Ethernet	Auto MDI/MDI-X
LED	3Φ	Each port : state
PCB SIZE	100.1x217.8mm	1 SLOT

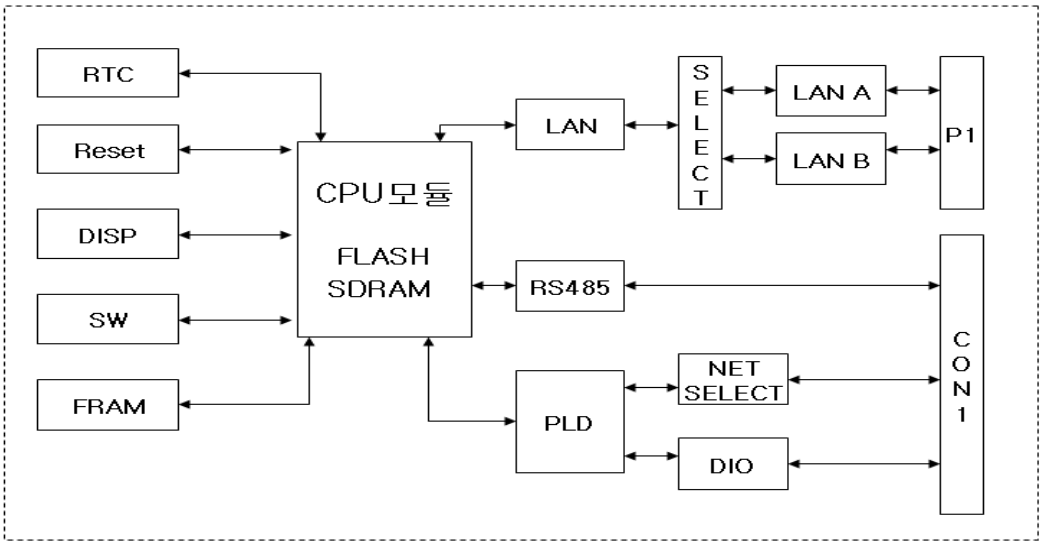
⑤ MCU(Main Control Unit) 보드

● 장치 개요

차량의 제어장치에서 입력되는 신호를 받아 멀티미디어 컨트롤 시스템과 관련된 기능을 동작시키며, 중앙제어장치를 구성하는 타 장치들의 상태정보를 전달받아 처리한다.

● 구조 및 동작

내부의 CPU 모듈과 내부의 로컬 자원을 담당하는 자원들과 외부장치와 데이터 교환을 담당하는 통신 및 입출력 포트와 전체적 네트웍을 제어 및 연결하는 LAN 구성으로 되어 있다. 차량제어장치 TCMS와는 MVB Bus 통신을 통해서 데이터를 통신하며, 차량의 정보를 송수신한다. 이 정보에 의해서 방송에 필요한 정보를 방송에 해당하는 PA 보드, AMP 보드 등으로 LAN 통해서 정보를 송신한다.



● 규격

항 목		규 격	비 고
CPU		32 Bits, 520MHz	PXA270
Memory	FLASH	64 MB (32 Bit)	System software
	SDRAM	128MB (32 Bit)	Running software
	FRAM	64KB (16 Bit)	LOG
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	RS485	MAX1480A * 3	Photo Isolated
	NET	NET SELECT	
Display		SLR2016, 4 Characters	Data Display
Menu Switch		Toggle Switch*4	Display Control
Reset Switch		Push Button Switch*1	System Reset
LED		3Φ* 6	RUN : CPU Running Status Running for System Controller COM : Communications
PLD		XC95144*1	
PCB SIZE		100.1*217.8mm	2 SLOT

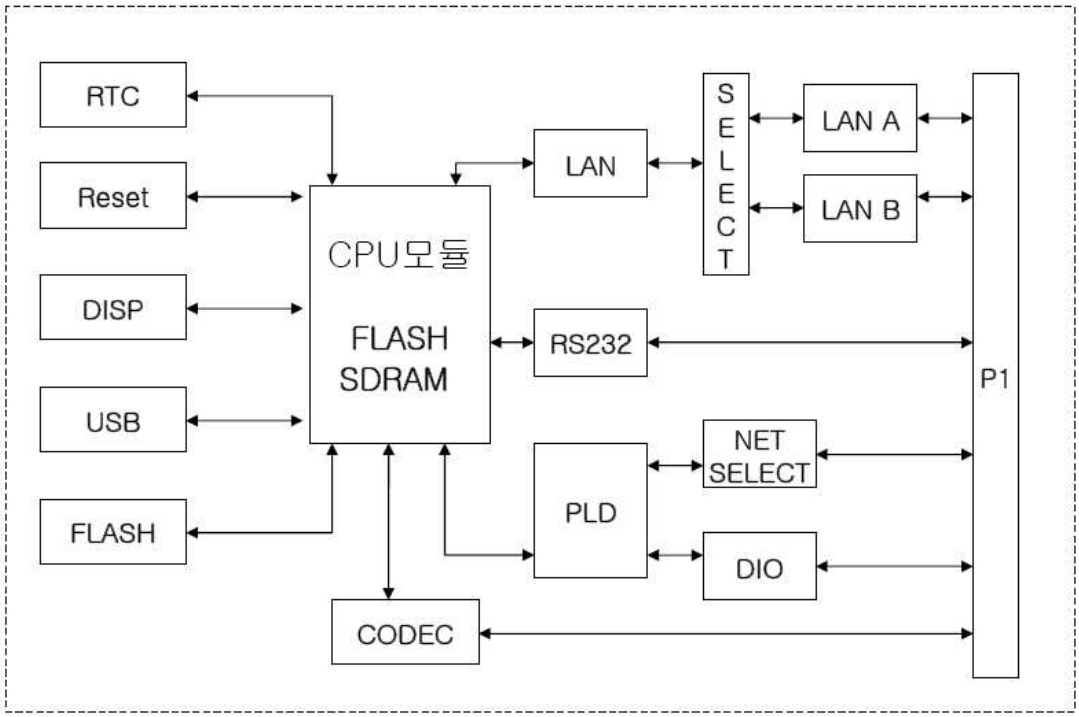
⑥ PA(Public Announcement) 보드

● 장치 개요

차량의 제어장치에서 입력되는 신호를 받아 멀티미디어 컨트롤 시스템과 관련된 자동방송기능을 동작시키며, 중앙제어장치를 구성하는 타 장치들의 상태정보를 전달받아 처리한다.

● 구조 및 동작

내부의 CPU 모듈과 내부의 로컬 자원을 담당하는 자원들과 외부장치와 데이터 교환을 담당하는 통신 및 입출력 포트와 전체적 네트웍을 제어 및 연결하는 LAN 구성으로 되어 있다.



● 규격

항 목		규 격	비 고
CPU		32 Bits, 520MHz	PXA270
Memory	FLASH	64 MB (32 Bit) 64 MB (option)	System software, MP3 file
	SDRAM	128MB (32 Bit)	Running software
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	RS232	RS232C * 2	
	USB	USB 1.1	
Display		LED	Satatus Display
Reset Switch		Push Button Switch*1	System Reset
LED		3Φ* 5	RUN : CPU Running Status Running for System Controller COM : Communications
PLD		XC9572*1	
PCB SIZE		100.1*217.8mm	1 SLOT

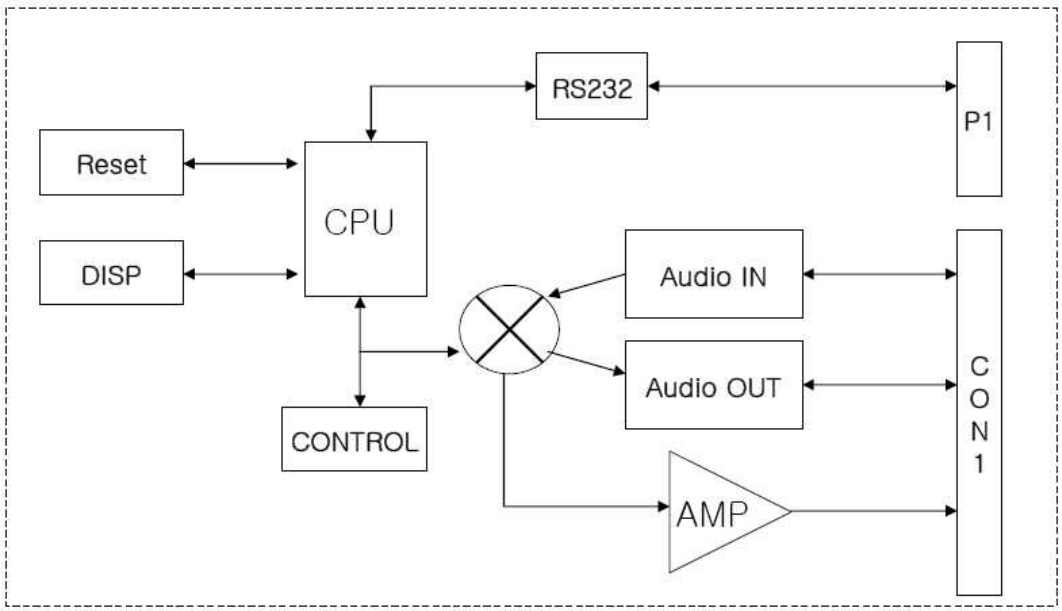
⑦ AMUX1(Analog MUX1) 보드

● 장치 개요

PA 보드와 연동 관계로 동작하며 수동방송 마이크, 운전실 모니터 스피커 등을 제어한다.

● 구조 및 동작

내부의 CPU 는 PA 보드와 RS232 통신으로 명령어를 주고 받으며, 수동방송은 Audio IN을 통해서 입력되고, 운전실 모니터는 AMP를 통해서 스피커로 출력 한다.



● 규격

항 목		규 격	비 고
CPU		Atmega128 8 Bits	Atmega128
Memory	FLASH	64 KB	CPU 내부에 내장
	SRAM	32 Bytes	CPU 내부에 내장
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	RS232	SP3232	
Display		LED	Satatus Display
Reset Switch		Push Button Switch*1	Board Reset
LED		3Φ* 4	RUN : CPU Running Status Running for System Controller COM : Communications
PCB SIZE		100.1*217.8mm	1 SLOT

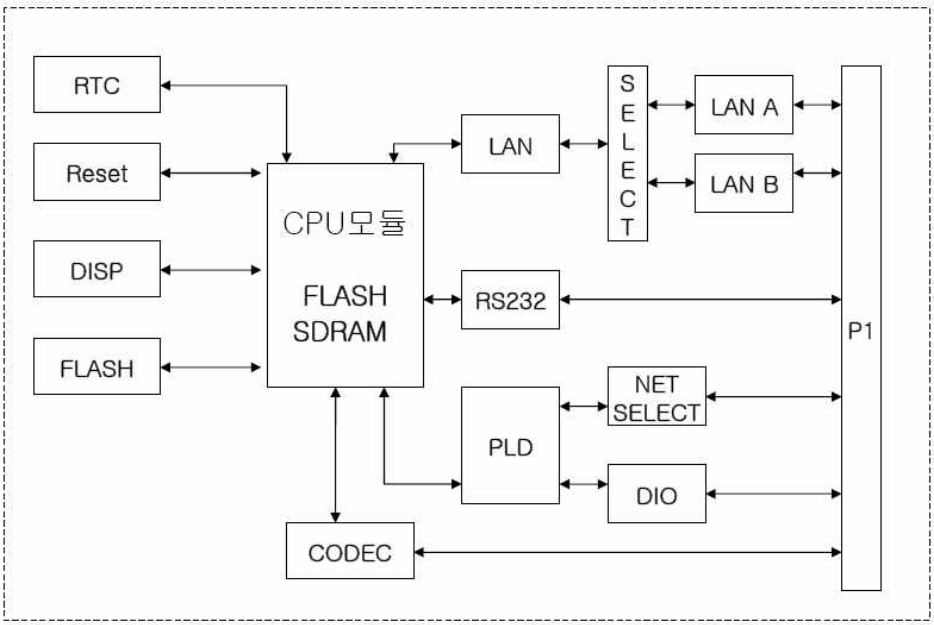
⑧ TCI(Tetra Communication Interface) 보드

● 장치 개요

차량의 제어장치에서 입력되는 신호를 받아 멀티미디어 컨트롤 시스템의 열차무선과 관련된 기능을 동작시킨다.

● 구조 및 동작

내부의 CPU 모듈과 내부의 로컬 자원을 담당하는 자원들과 외부장치와 데이터 교환을 담당하는 통신 및 입출력 포트와 LAN으로 구성으로 되어 있다.



● 규격

항 목		규 격	비 고
CPU		32 Bits, 520MHz	PXA270
Memory	FLASH	64 MB (32 Bit) 64 MB (option)	System software
	SDRAM	128MB (32 Bit)	Running software
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	RS232	RS232 C* 2	
Display		LED	Satatus Display
Reset Switch		Push Button Switch*1	System Reset
LED		3Φ* 5	RUN : CPU Running Status Running for System Controller COM : Communications
PLD		XC9572*1	
PCB SIZE		100.1*217.8mm	1 SLOT

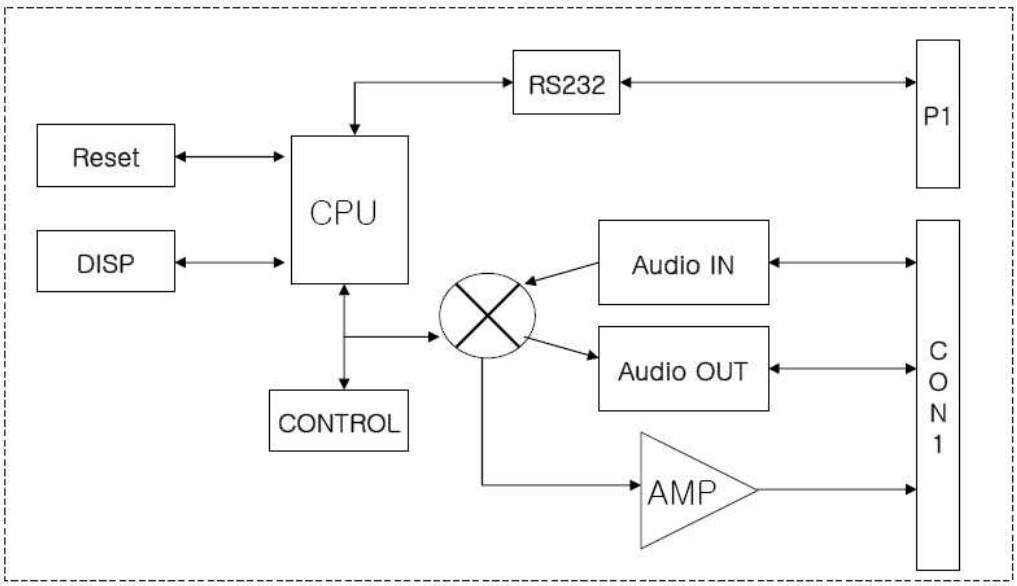
⑨ AMUX4(Analog MUX4) 보드

● 장치 개요

TCI 보드와 연동 관계로 동작하며 열차무선 인터페이스를 제공한다.

● 구조 및 동작

내부의 CPU 는 TCI 보드와 RS232 통신으로 명령어를 주고 받으며, 열차무선의 핸드마이크 음성은 Audio IN을 통해서 입력되고, 제어신호는 통신채널을 통해서 입출력 된다.



● 규격

항 목		규 격	비 고
CPU		Atmega128 8 Bits	Atmega128
Memory	FLASH	64 KB	CPU 내부에 내장
	SRAM	32 Bytes	CPU 내부에 내장
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	RS232	SP3232	
Display		LED	Satatus Display
Reset Switch		Push Button Switch*1	Board Reset
LED		3Φ* 4	RUN : CPU Running Status Running for System Controller COM : Communications
PCB SIZE		100.1*217.8mm	1 SLOT

⑩ MPSU(MSR Power Supply Unit) 보드

● 장치 개요

차량에서 제공되는 100VDC 전원을 입력 받아 중앙제어장치 내부의 각각의 보드에 필요 전원을 제공한다.

● 구조 및 동작

MPSU는 차량에서 공급되는 100VDC의 파워입력을 받아 내부의 DCDC 모듈을 통해 24VDC, 5VDC의 전원을 출력하게 된다.

● 규격

항 목		규 격	비 고
Internal Required Spec		+5 VDC, +24VDC, 100VDC	
DC/DC Converter	Input Voltage	DC 66V~DC 160V	
	Output Voltage	DC +5V/30A DC +24V/4.2A	
	효율	90% 이상	
	Output Ripple & Noise	100mVp-p 이하	
	Current Limit	Short Circuit Protection (Automatic Restart)	
	Turn-on Time	10m/sec	
LED		3Φ* 3	+5V, +24V
PCB SIZE		100*220mm	2 Slots

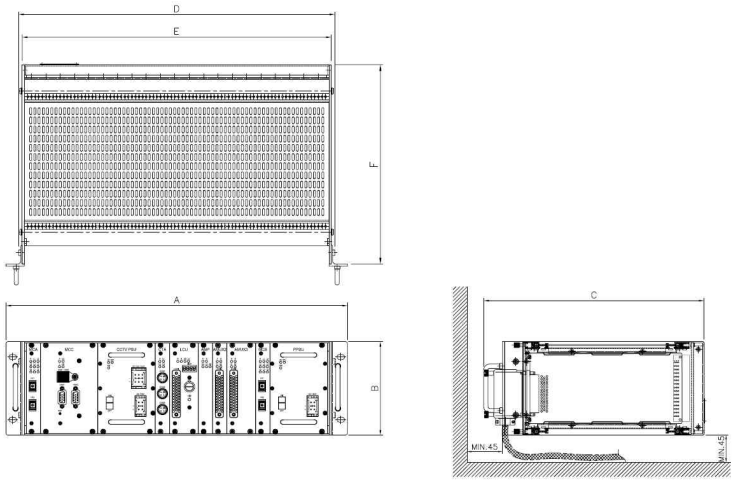
나) 객실제어장치(PSR: Passenger Sub Rack) 장치

● 장치 개요

객차제어장치는 중앙제어장치와 통신으로 연결되어 스피커, 비상인터폰, 표시장치 및 CCTV 카메라를 제어하기 위한 장치이다.

● 외 형

객차제어장치의 외형은 아래 그림과 같다.



객차제어장치의 실물은 아래 그림과 같다.



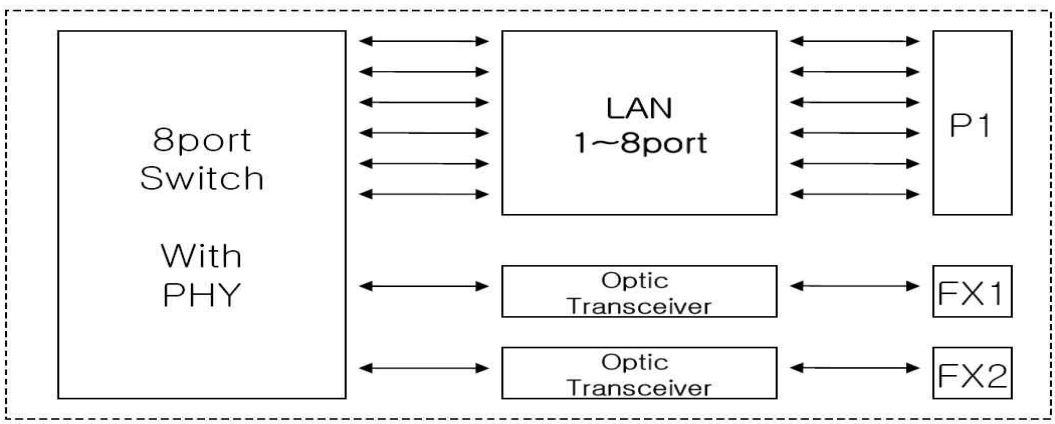
① MC(Media Converter)보드

● 장치 개요

객실제어장치간, 중앙제어장치와 객차제어장치가 광케이블로 데이터를 송/수신이 가능하도록 Ethernet Packet, 혹은 광신호를 상황에 맞도록 변환하여 주는 장치이다.

● 구성 및 동작

내부의 Switch chip을 통해 내부 장치와 연결된 8개의 Ethernet 포트에서 입력되는 신호 및 외부의 Optic 포트에서 입력되는 신호를 제어한다.



● 규격

항목	규격	비고
Optic	Optic length : FX1-1310nm FX2-1500nm	10/100 Base-T Auto MDI/MDI-X
LAN	Switch to 8port Ethernet	
LED	3Φ	Each port : state
PCB SIZE	100.1x217.8mm	1 SLOT

② CTA(CCTV Terminal Adaptor) 보드

● 장치 개요

객차제어장치와 CCTV카메라간의 인터페이스를 제공하는 보드이다.

● 구성 및 동작

별도의 회로구성은 가지고 있지 않으며 객차제어장치 내부와 선로를 제공한다.

● 규격

항목	규격	비고
LED	3Φ	Each port : state
PCB SIZE	100.1x217.8mm	1 SLOT

③ LCU(Local Control Unit) 보드

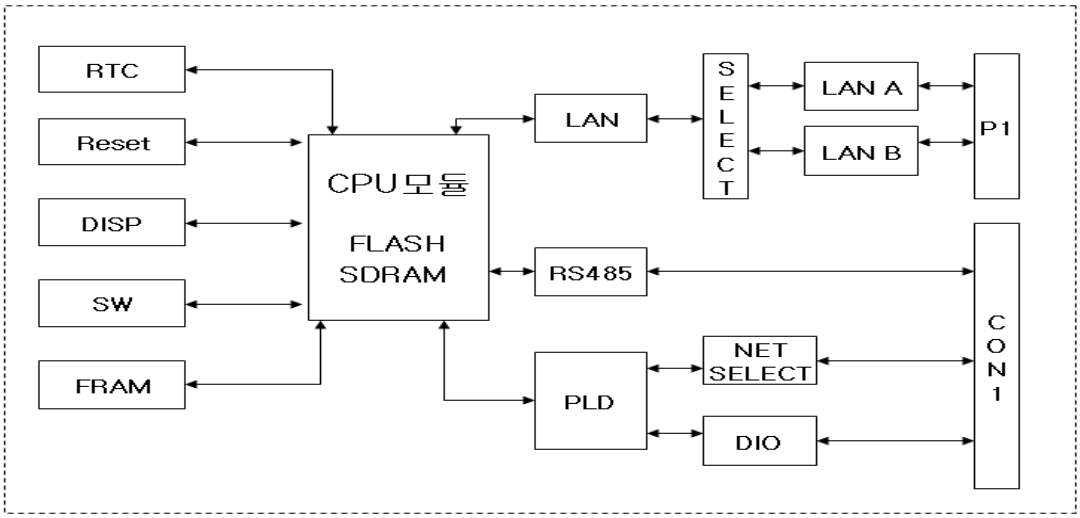
● 장치 개요

중앙제어장치와 통신으로 연결되어 제어 데이터를 주고받아 관련된 기능을 동작시키며, 객차제어장치를 구성하는 타 장치들의 상태정보를 전달받아 처리한다.

● 구성 및 동작

내부의 CPU 모듈과 내부의 로컬 자원을 담당하는 자원들, 외부장치와 데이터 교환을 담당하는 통신 및 입출력 포트, 네트웍을 제어 및 연결하는 LAN 구성으로 되어 있다.

중앙제어장치와는 RS485 통신을 통해서 데이터를 통신하며, 정보를 송수신한다. 이 정보에 의해서 방송에 필요한 신호를 MCC모듈 및 AMP보드 등으로 네트워크를 통해 송신한다.



● 규격

항 목		규 격	비 고
CPU		32 Bits, 520MHz	PXA270
Memory	FLASH	64 MB (32 Bit)	System software
	SDRAM	128MB (32 Bit)	Running software
	FRAM	64KB (16 Bit)	LOG
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	RS485	MAX1480A * 2	Photo Isolated
	NET	NET SELECT	
Display		SLR2016, 4 Characters	Data Display
Menu Switch		Toggle Switch*4	Display Control
Reset Switch		Push Button Switch*1	System Reset
LED		3Φ* 6	RUN : CPU Running Status Running for System Controller COM : Communications
PLD		XC95144*1	
PCB SIZE		100.1*217.8mm	2 SLOT

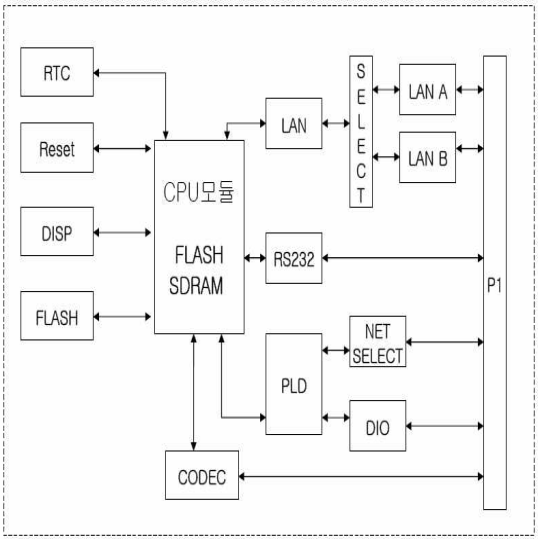
④ AMP(Amplifier) 보드

● 장치 개요

중앙제어장치에서 보내오는 신호를 받아 멀티미디어 컨트롤 시스템과 관련된 방송기능을 동작시키며, 객차제어장치를 구성하는 타 장치들의 상태정보를 전달받아 처리한다.

● 구조 및 동작

내부의 CPU 모듈과 내부의 로컬 자원을 담당하는 자원들, 외부장치와 데이터 교환을 담당하는 통신 및 입출력 포트, 네트웍을 제어 및 연결하는 LAN 구성으로 되어 있다.



● 규격

항 목		규 격	비 고
CPU		32 Bits, 520MHz	PXA270
Memory	FLASH	64 MB (32 Bit)	System software
	SDRAM	128MB (32 Bit)	Running software
	FRAM	64KB (16 Bit)	LOG
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	RS485	MAX1480A * 3	Photo Isolated
	NET	NET SELECT	
Display		SLR2016, 4 Characters	Data Display
Menu Switch		Toggle Switch*4	Display Control
Reset Switch		Push Button Switch*1	System Reset
LED		3Φ* 6	RUN : CPU Running Status Running for System Controller COM : Communications
PLD		XC95144*1	
PCB SIZE		100.1*217.8mm	2 SLOT

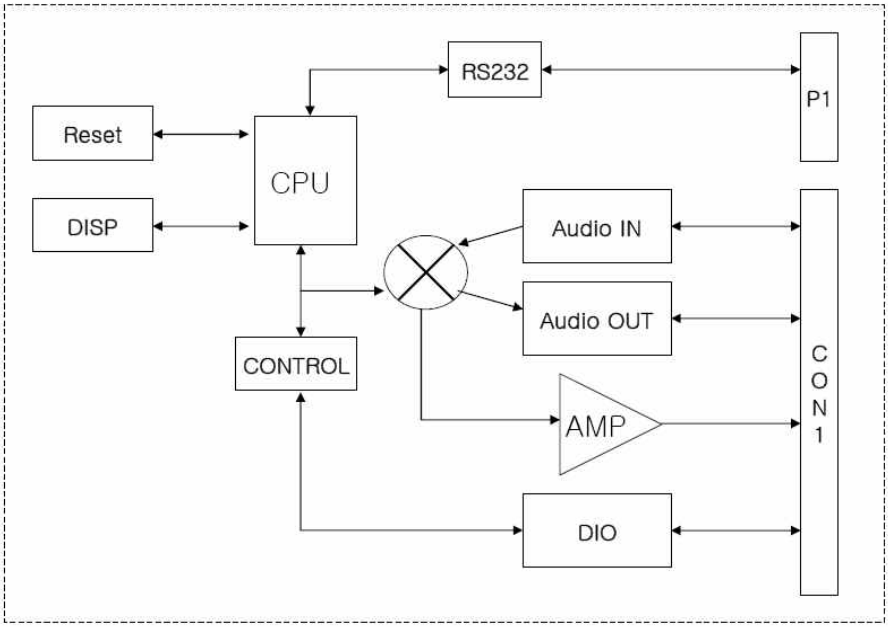
⑤ AMUX2(Analog Multiplexer2) 보드

● 장치 개요

AMP 보드와 연동 관계로 동작하며 비상인터폰을 제어 한다.

● 구조 및 동작

내부의 CPU는 AMP 보드와 RS232 통신으로 명령어를 주고 받으며, 비상인터폰의 동작은 비상인터폰장치의 Audio 입력을 받고, AMP을 통해서 운전실 승무원의 음성과 사령실 사령의 Audio를 출력 한다.



● 규격

항 목		규 격	비 고
CPU		Atmega128 8 Bits	Atmega128
Memory	FLASH	64 KB	CPU 내부에 내장
	SRAM	32 Bytes	CPU 내부에 내장
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	RS232	SP3232	
Display		LED	Satatus Display
Reset Switch		Push Button Switch*1	Board Reset
LED		3Φ* 4	RUN : CPU Running Status Running for System Controller COM : Communications
PCB SIZE		100.1*217.8mm	1 SLOT

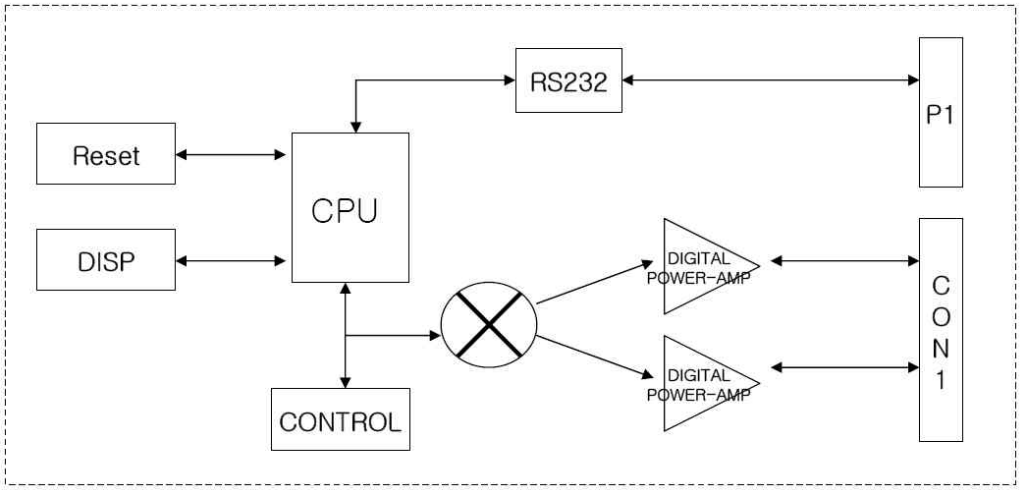
⑥ AMUX3(Analog MUX3) 보드

● 장치 개요

AMP 보드와 연동 관계로 동작하며 비상인터폰을 제어 한다.

● 구조 및 동작

내부의 CPU는 AMP 보드와 RS232 통신으로 명령어를 주고 받으며, 객실로 출력되는 음성을 큰출력으로 증폭하여 Audio를 출력 한다.



● 규격

구 분		규 격	비 고
CPU		Atmega128 8 Bits	Atmega128
Memory	FLASH	64 KB	CPU 내부에 내장
	SRAM	32 Bytes	CPU 내부에 내장
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	RS232	SP3232	
Display		LED	Status Display
Reset Switch		Push Button Switch*1	Board Reset
LED		3Φ* 4	RUN : CPU Running Status Running for System Controller COM : Communications
PCB SIZE		100.1*217.8mm	1 SLOT

⑦ PPSU(PSR Power Supply Unit) 보드

● 장치 개요

차량에서 제공되는 100VDC 전원을 입력 받아 중앙제어장치 내부의 각각의 보드에 필요 전원을 제공한다.

● 구조 및 동작

PPSU는 차량에서 공급되는 100VDC의 파워입력을 받아 내부의 DCDC

모듈을 통해 24VDC, 5VDC의 전원을 출력하게 된다.

● 규격

항 목		규 격	비 고
Internal Required Spec		+5 VDC, +24VDC, 100VDC	
DC/DC Converter	Input Voltage	DC 66V~DC 160V	
	Output Voltage	DC +5V/30A DC +24V/4.2A DC +100VDC/0.2A	
	효율	90% 이상	
	Output Ripple & Noise	100mVp-p 이하	
	Current Limit	Short Circuit Protection (Automatic Restart)	
	Power Fail Detection	Main 100V input	
	Turn-on Time	10m/sec	
LED		3Φ* 3	+5V, +24V
PCB SIZE		100*220mm	2 Slots

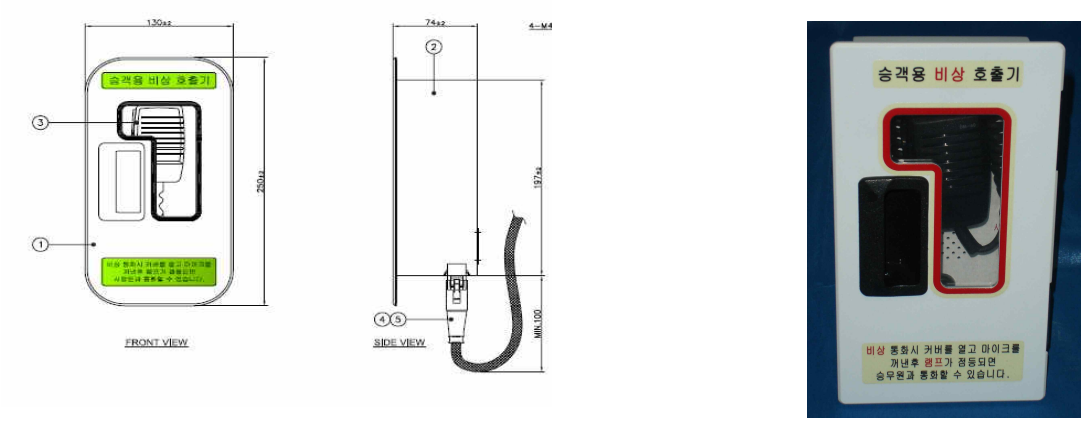
(다) 비상인터폰(Emergency Interphone) 장치

● 장치 개요

객차내 승객에게 응급 상황 발생시, 승무원 혹은 사령원과의 비상통화가 가능하도록 한다.

● 외 형

비상인터폰의 외형과 실물은 아래 그림과 같다.



● 규격

항목	규격	비고
입력전압	DC24VDC±10%	
제어방식	AMUX2에서 제어	
A/D 변환	PCM CODEC 변환	
표본화 속도	최대 16KHz	
왜율 (Transmit Signal)	5% 이하(1000Hz 기준)	
입력감도	-45dB 이하(마이크 입력)	
소비전력	100W 이하	
중량	2.5Kg 이하	
크기	130x235x90mm(WxHxD)	

라) 설정기(MMI: Man Machine Interface) 장치

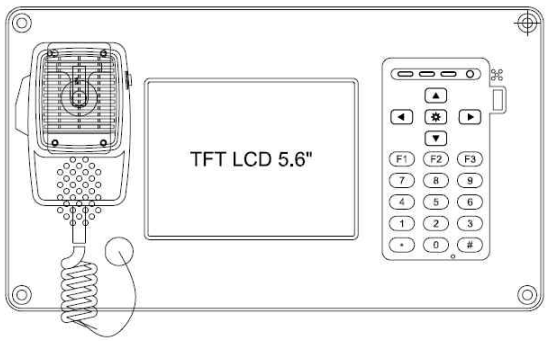
● 장치 개요

설정기는 차량의 운전실에 설치되며 설치된 마이크를 통해 수동안내방송 및 비상통화가 가능하도록 한다.

사용자의 편의성을 위해 버튼을 Touch Screen을 제공한다.

● 외 형

설정기장치의 외형은 아래 그림과 같다.



설정기장치의 실물은 아래 그림과 같다.



● 규격

항 목		규 격	비 고
CPU		32Bit, 520MHz	Pro270
Memory	FLASH	16MB	
	SRAM	32MB	
Comm. Port	Console	RS232 통신	CPU Monitoring
	LAN	10/100 Base-T	
Display		LCD	
Reset Switch		Push Button Switch*1	Board Reset
LED		3Φ	Status
입력전압		DC100V	

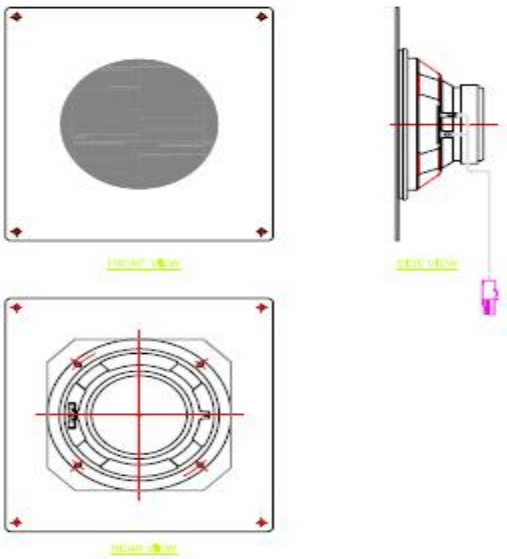
(마) 실내 스피커(Room Speaker) 장치

● 장치 개요

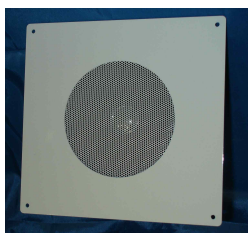
객차에 설치되어 승객에게 안내방송을 출력한다.

● 외 형

실내 스피커의 외형은 아래 그림과 같다.



실내 스피커의 실물은 아래 그림과 같다.



● 규격

품명	항목	규격	비고
실내스피커	주파수 특성	300~5000Hz 이상	
	입력 임피던스	8 Ω	
	허용입력	10W	
	음압(1W/1m)	90 dB 이상	-

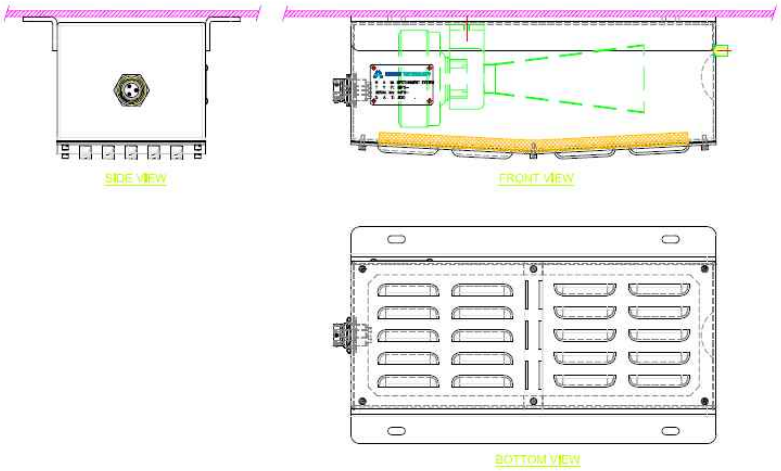
바) 실외 언더 스피커(Outside under Speaker) 장치

● 장치 개요

객차 언더 하부에 설치되어 차량외부의 승객에게 안내방송을 출력한다.

● 외 형

실외 언더 스피커의 외형은 아래 그림과 같다.



실외 언더 스피커의 실물은 아래 그림과 같다.



● 규격

품명	항목	규격	비고
실외언더스피커	주파수 특성	300~5000Hz 이상	
	입력 임피던스	8 Ω	
	허용입력	10W	
	음압(1W/1m)	90 dB 이상	-

(다) PIS 시스템

1) PIS 시스템 설계

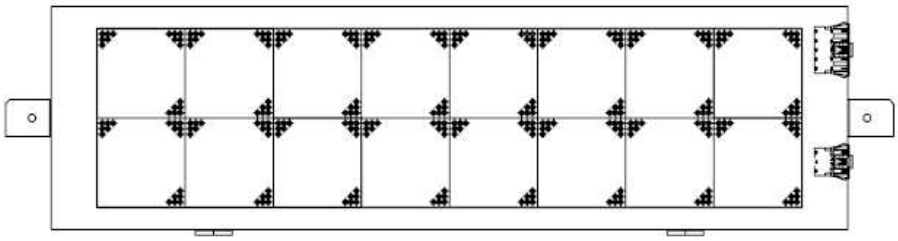
가) 정면 행선-열번 열번표시기(LED Front Destination Number Indicator) 장치

● 장치 개요

TC CAR의 상단에 설치되며, 차량의 행선지, 열차번호를 표시한다.

● 외 형

정면 행선-열번 표시기의 외형은 아래 그림과 같다.



정면 행선-열번 표시기의 실물은 아래 그림과 같다.



● 규격

항 목	규 격
정격입력전압	입력 전압 : 100V DC (전압변동범위 : 70~110V)
표시방법	LED Dot Matrix, 준 옥외형
소비전력	정격 150W / 최대 200W
LED MODULE	∅5 LAMP TYPE 고휘도
LED COLOR	3색(Red, Green, Amber)
CPU	16/32bit 이상
내부 메모리	Flash : 128KB/16MB SRAM : 8MB
LED 구성	2단 10열

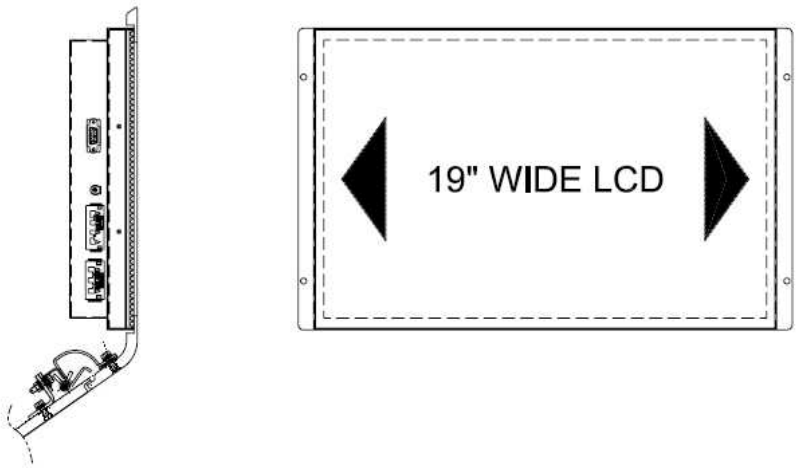
2) 승객안내 표시기(LCD 19") 장치

● 장치 개요

객차내 출입문 상단 및 중앙통로에 설치되며, 승객을 위한 안내영상, 문열림, 홍보 광고 영상과 자막을 표시한다.

● 외 형

승객안내 표시기의 외형은 아래 그림과 같다.



승객안내 표시기의 실물은 아래 그림과 같다.



● 규격

항목	규격		비고
입력전압	AC220V(AC180V~AC240V)		
소비전력	100W 이하		
제어장치	8bit micro controller		
화면장치	해상도	1440 x 900	
	표시색상	16.7M Colors	
	입력전압	12VDC	
	화면크기	19"Wide	
중량	7Kg		
크기	460x281x53.4mm(WxHxD 브라켓 포함)		

(라) CCTV 시스템 설계

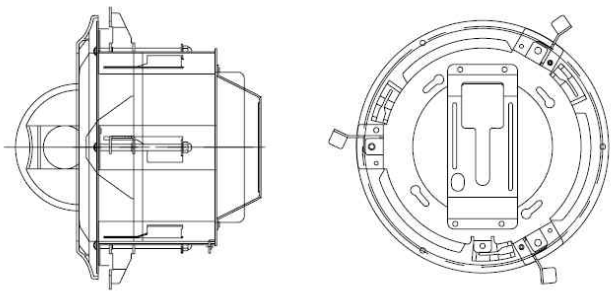
1) 카메라(CCTV Camera) 장치

● 장치 개요

차량내 승객들의 상태나 차량 정면의 진행상태를 확인하기 위하여, PTZ 기능이 가능한 카메라를 내부에 설치한다.

● 외형

CCTV 카메라의 외형은 아래 그림과 같다.



CCTV 카메라의 실물은 아래 그림과 같다.



● 규격

- 312x Zoom(26x Optical with 12x Digital zoom) Selectable
- Superior video compression - MPEG-4
- Max 30 frames/sec @ D1 resolution
- Digital Video Motion detection and event triggered alarm processing
- PTZ Features
- Digital Image stabilization - Protects video from excessive vibration

(i.e. high winds)

- PTZ Compensation - Moves dome in a single movement upon preset call up
- 200 Preset Positions
- 350°/S - 250°/S on Preset Call-up & 200°/S Manual PTZ

[2-3과제]

가. 승차감 개선

(1) 개요

일반적으로 진동 가속도에 의한 승차감은 수직, 횡, 종 방향 가속도를 이용하여 평가한다. 가속도를 이용한 승차감 평가는 일반 철도차량의 경우 UIC 513이나 ISO 2613에 의하여 평가할 수 있다. 현재, 자기부상열차를 위한 승차감 평가 절차나 방범에 대한 특별한 규정은 없다. 따라서 초도편성차량을 대상으로 시뮬레이션 및 시험을 통해 UIC 513에서 정의하는 승차감 지수에 대한 승차감 평가가 이루어진다. 승차감 개선을 위해 초도편성차량에 적용할 공기스프링 특성을 시험용 1/2 대차의 시험결과와 비교하여, 특성에 대한 개선 방안과 그 결과를 검토한다. 자기부상 차량용 차간댐퍼는 곡선 진출입시 차량에 발생하는 Yaw 방향의 진동을 최소화 할 수 있어야 함과 동시에, 발생하는 댐핑력이 부상 전자석의 횡방향 거동에 영향을 주지 않도록 최적설계 되어야 한다. 따라서 자기부상 차량 간 적용할 차간 댐퍼를 승차감 개선안으로 제시하였다.

(2) 현안

(가) 공기스프링

실용화 차량은 도시형 경전철 차량으로 잦은 주정차와 도심의 작은 곡선반경을 감안하여, 보다 딱딱한 2차 현수 장치의 특성이 승객이 느끼는 안락함에 유리할 것으로 판단되어 1/2 시험차량을 통해 제기된 지적 사항 검토 하여 개선하였다.

(나) 차간 댐퍼

곡선 진출입시 차량에 발생하는 Yaw방향의 진동을 최소화 할 수 있어야 함과 동시에, 발생하는 댐핑력이 부상 전자석의 횡방향 거동에 영향을 주지 않도록 최적 설계 필요하여 시뮬레이션을 통하여 개선안 제시하였으며 현재 검증중에 있다.

(다) 인버터 소음 분석

차량의 정지부상, 가속, 감속시의 차량 내부의 소음을 측정하여 소음 레

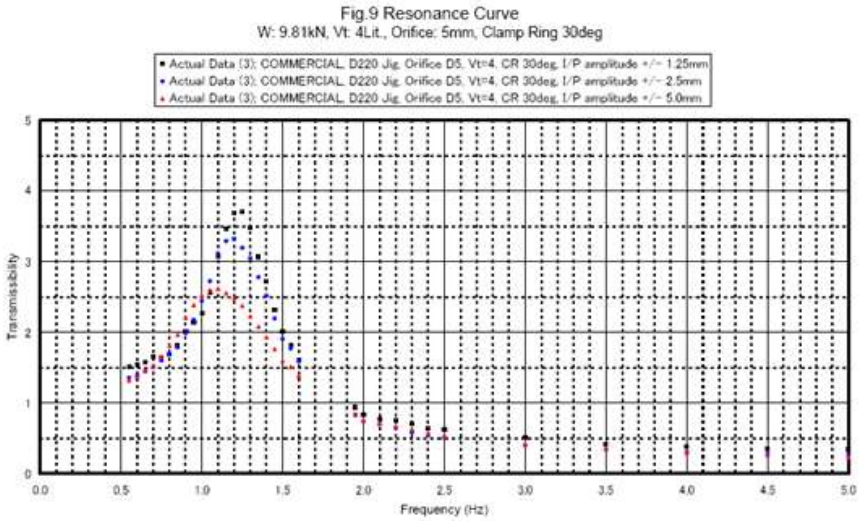
벨을 비교하여, 소음 영향도를 분석해보았다.

(3) 개선안 도출

(가) 공기스프링

공기스프링의 개선 방안은 다음과 같다.

ㄱ. Roll 감소를 위한 수직강성 상향
ㄴ. Yaw 감소를 위한 수평강성 상향
ㄷ. 고유진동수 비연성화 : 1.5Hz 이상에서 감쇠,진동 개선
ㄹ. 오리피스경 확대, 보조공기통 확대, 내부체적 확대 형상 변경



[그림 713]개선된 공기스프링(5mm,4L,30도)

위 그림의 개선된 공기스프링의 특성치를 반영, 승차감 예측 시뮬레이션에 의한 승차감 지수(UIC Index) 예측하였다. UIC 513 index 계산방법 중 Simplified method가 이용되며 식(1)로 지수를 계산

$$N = 6\sqrt{(a^{W_d}{}_{XP95})^2 + (a^{W_d}{}_{YP95})^2 + (a^{W_b}{}_{ZP95})^2} \qquad (1)$$

식 (1)에서 $a^{W_d}{}_{XP95}, a^{W_d}{}_{YP95}, a^{W_b}{}_{ZP95}$는 X,Y,Z 방향 가속도에 대한 가중 RMS 값이다.

[표 191]승차감 평가

Comfort index	Comfort evaluation
N<1	very good comfort
1≤N<2	good comfort
2≤N<4	moderate comfort
4≤N<5	poor comfort
N≥5	very poor comfort

주행 조건은 속도 110km/h, 거더처짐 한계=L/2000, 수직/수평 틀림=±5 mm 이며 다음 그림은 Mc1과 Mc2의 차체 바닥에서의 UIC comfort Index 해석 결과를 보여준다. 110km/h 에서 UIC 지수 불만족을 보이나 이는 인천 노선 거더 처짐 한계는 L/3000이나 내구해석을 위해 가혹한 조건을 외란으로 주었기 때문이다. 인천 시범노선의 조건으로 주행한 결과, 더 좋은 승차감 지수가 예측된다.

(나) 차간 댐퍼

차간 요 댐퍼 설치에 따른 승차감 영향 시뮬레이션결과 저속에서는 승차감이 개선되나 고속에서는 오히려 안 좋은 결과를 보인다. 아래의 표는 차간 요 댐퍼 설치에 따른 승차감 영향 시뮬레이션 결과이다.

[표 192]곡선 가이드웨이 조건

Case	Radius (m)	
	125	800
Cant angle(degree)	2.5	4
Transition curve length(m)	48	84

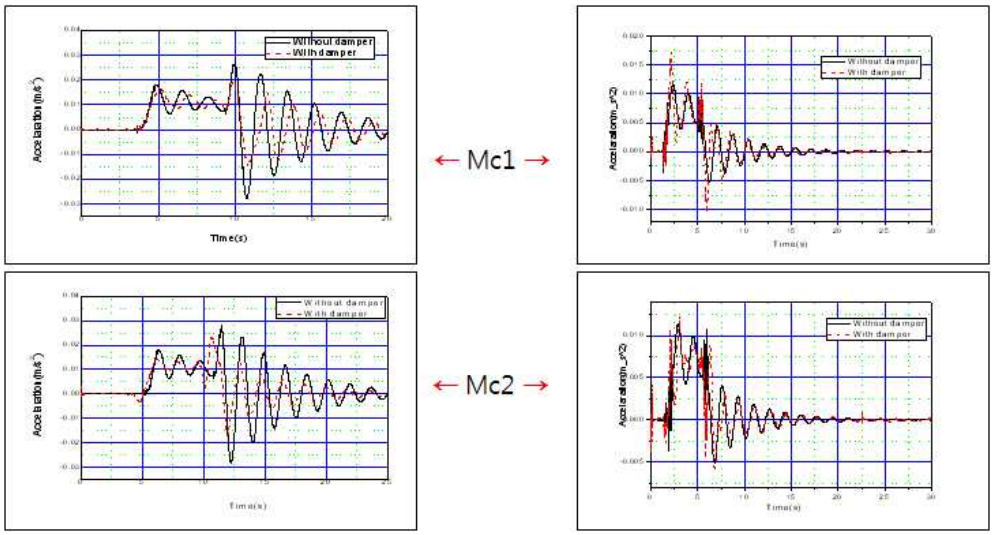
[표 193]횡 공극 시뮬레이션 결과

Case	Maximum lateral air gap(mm)	
	125mR,30km/h	800mR,80km/h
With damper,Bogie1	2.4	0.88
Without damper,Bogie1	2.8	0.88
With damper,Bogie2	6	2.55
Without damper,Bogie2	7.8	2.95

[표 194]요 가속도 최대값

Case	Yaw acceleration(deg/s^2)			
	125mR,30km/h		800mR,80km/h	
	Mc 1	Mc 2	Mc 1	Mc 2
With damper	0.019	0.022	0.017	0.012
Without damper	0.026	0.027	0.011	0.01

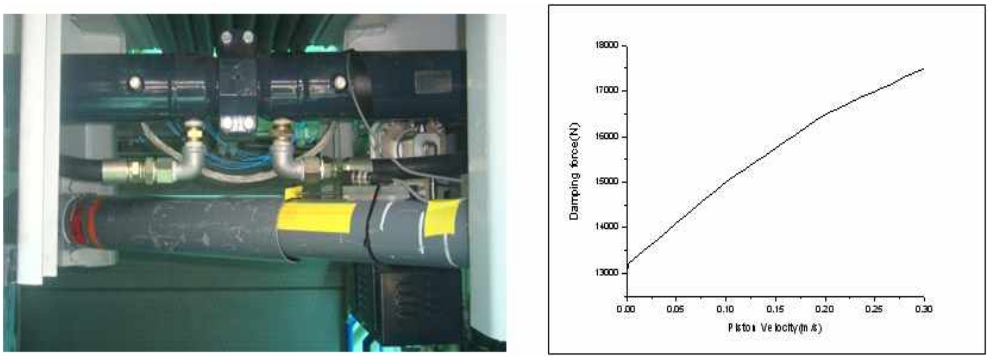
아래 그림은 차간 요 댐퍼 설치에 따른 승차감 영향 시뮬레이션 결과이며 저속에서는 승차감이 개선되나 고속에서는 오히려 안 좋은 결과 보여주고 있다.



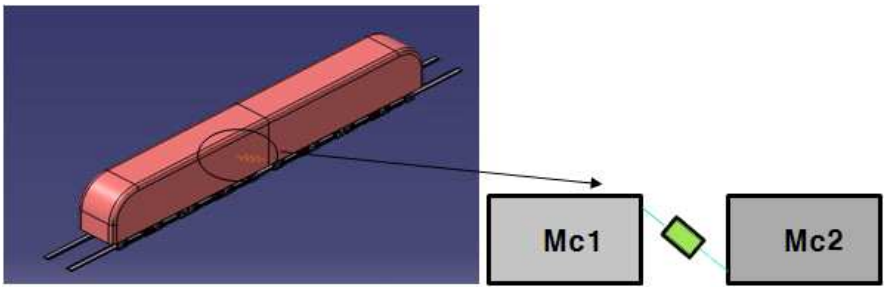
[(a)125m-radius curve] [(b) 800m-radius curve]

곡선 20km/h, 60m-radius, cant(2°), 완화구간 길이(25m)인 주행 조건에 따른 최적 댐칭 계수 선성 시뮬레이션 결과 설치 방법 1과 2 둘다 유사한 결과를 보여주고 있다.



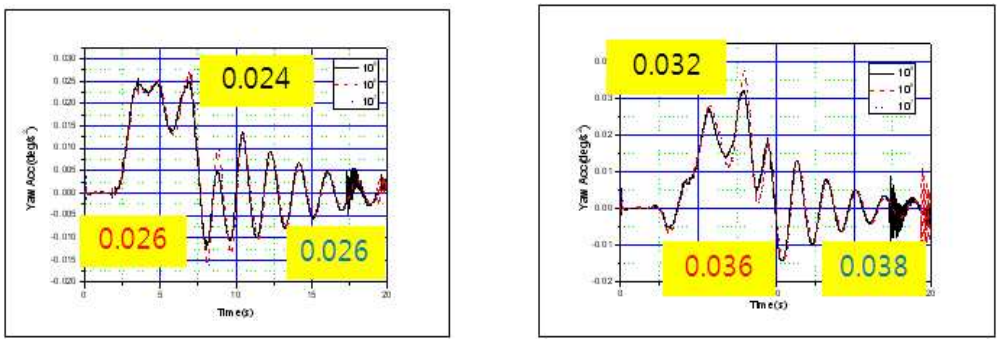


[그림 714]실제 차량에 취부된 댐퍼와 물성치



[그림 715]차량간 댐퍼 연결 모델

해석을 위한 댐핑 계수 선정은 C1=1x10^5 Ns/m, C2 = 1x10^6 Ns/m, C3 = 1x10^7 Ns/m 이며 결과는 Mc 1의 Yaw 가속도는 1x10^6 Ns/m 기준으로 1x10^7 Ns/m 과 유사하고 1x10^5 Ns/m 는 7% 감소를 보이고 있다. Mc 2 의 경우 Yaw 가속도는 1x10^6 Ns/m 기준으로 1x10^7 Ns/m 는 5% 증가, 1x10^5 Ns/m 는 11% 감소를 보여준다. 아래 그림은 댐핑 계수에 따른 시뮬레이션 결과이다.



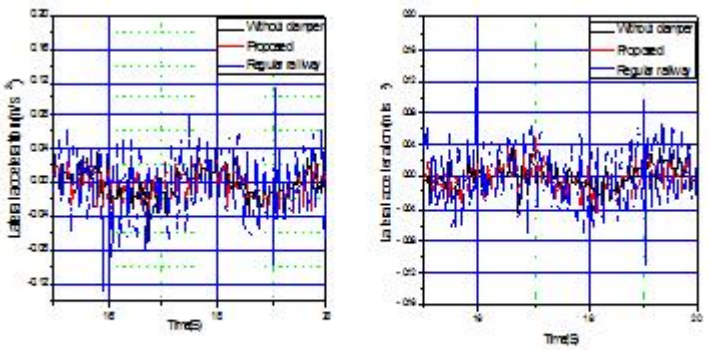
(a) Mc1 (b) Mc2

[그림 716]Yaw 가속도 비교

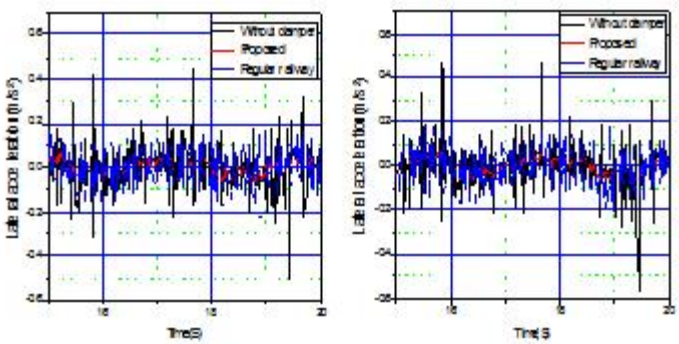
차간 요 댐퍼 시뮬레이션 결과에 따른 결론은 댐퍼(1x107 Ns/m)가 있는 경우 승차감 측면에서 Mc1은 좋은 경향을 Mc2는 나쁜 경향 보여주나 횡

공극 측면에서는 상대적으로 안 좋은 결과 보인다. 댐핑 계수에 따른 해석 결과를 보면 1x105 Ns/m 의 경우 승차감(Yaw acc) 측면에서 좋은 결과를 보이고 횡 공극측면에선 1x106 Ns/m 가 댐퍼가 없는 경우의 횡공극과 유사한 결과를 보여주고 있다. 결과적으로 1x106 Ns/m 인 경우 댐퍼 설치 않았을 경우와 유사한 횡공극을 보이고 있고 승차감 측면에서는 좋은 결과를 보여 1x106 Ns/m 선택이 적절하다고 판단된다.

한편 인천공항 시범노선도의 곡선가이드웨이 조건을 통해 제시된 댐퍼를 평가하고자 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 1.7과 1.8은 해석 결과이다. 직선구간에서 완화구간으로 넘어가는 부분에서 최대 가속도 값이 측정되며 많은 진동이 발생한다. 저속인 30km/h 에 작은 반경 125m 조건을 주행하였을 때 제안된 댐퍼가 Mc1과 Mc2 모두 작은 yaw motion 을 보인다. 비교적 고속인 80km/h에 큰 반경인 800m 조건에서는 댐퍼가 설치되지 않는 조건이 좋은 결과를 보이고 있다. 결과적으로 제안된 차간 댐퍼는 저속의 작은 반경을 가진 조건에 유리하다고 판단할 수 있다.



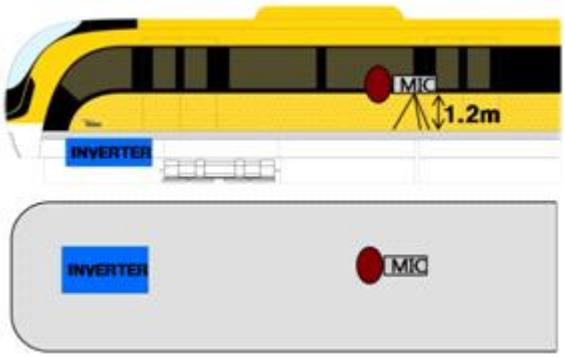
[그림 717]Yaw 가속도, 125mR, 30km/h



[그림 718]Yaw 가속도, 800mR, 80km/h

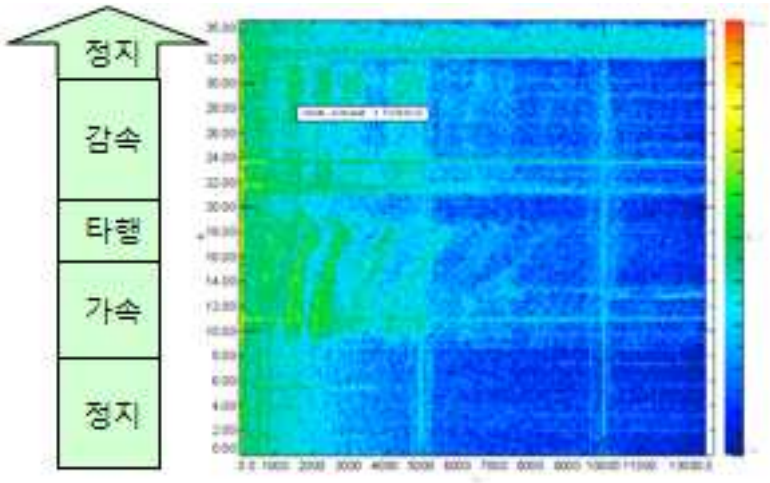
(다) 인버터에 의한 소음 영향

기계연의 시험선로에서 정지부상시 측정을 시작하여 가속→감속→정지 패턴으로 측정하였다.



[그림 719]인버터 위치 및 측정 방법

아래 그림은 주파수 응답 결과이며 주행 패턴에 따라 가속 시 초핑 주파수 대역에서 상승, 타행 시 하강, 감속 시 일정주파수, 정지 시 측정 전구간에 주파수 응답을 보이고 있다. 가•감속시 영향을 주는 주파수는 배수차로 영향을 보인다 (1, 2 차가 가장크게 나타남). 5000Hz, 10000Hz 부근에 지속적으로 측정되는 소음이 존재하는 것으로 판단된다.



[그림 720]주파수 응답

(4) 개선안 검증

진동 가속도 측정에 의한 승차감 평가를 통해 공기스프링 개선에 따른 승차감 개선 검증을 하였다.

ISO 기준측정은 승차감이 가장 안 좋다고 예상되는 차량 전두부 좌석에 승차감측정 장비를 설치하고 측정하였다.

[표 195]ISO 기준 측정 값

10km/h 역사 → 60mR					20km/h 역사 → 60mR					40km/h 역사 → 직선구간				
	MAXP	MAXL	AEQ	MINL		MAXP	MAXL	AEQ	MINL		MAXP	MAXL	AEQ	MINL
X	108.4	100.9	82.4	U	X	107.9	100.4	87.3	U	X	103.4	96.8	86.0	U
Y	111.6	107.6	89.3	U	Y	112.7	107.2	95.7	82.1	Y	112.3	107.1	97.5	80.6
Z	126.2	119.6	96.5	U	Z	120.9	113.4	96.0	84.7	Z	104.8	97.7	92.2	82.6
Sum			98.2		Sum			101.0		Sum			101.4	
15km/h 역사 → 60mR					30km/h 역사 → 직선구간					45km/h 역사 → 직선구간				
	MAXP	MAXL	AEQ	MINL		MAXP	MAXL	AEQ	MINL		MAXP	MAXL	AEQ	MINL
X	107.2	101.6	84.0	U	X	100.1	93.8	U	U	X	105.4	98.5	85.5	U
Y	111.9	106.5	92.2	U	Y	111.4	104.8	90.2	U	Y	111.2	106.9	97.3	U
Z	107.7	99.7	90.4	U	Z	109.3	97.5	86.9	U	Z	117.2	107.8	96.4	U
Sum			97.0		Sum			94.2		Sum			102.0	

UIC 기준 측정 결과는 표 196과 같으며 결과는 실용화 사업에서 제시하고 있는 승차감 UIC 513 index의 2.0이하를 보이고 있다. 만차 전구간 최고 운전 속도로 주행시(최고60km/h)의 결과이며 0.45이하로 승차감지수는 매우 만족하는 것으로 나타났다.

[표 196]UIC 측정 결과

Data Name	평균값	표준편차	최소값	최대값
MC 1	0.4438	0.0720	0.3045	0.5493
MC 2	0.4194	0.0634	0.3340	0.5324

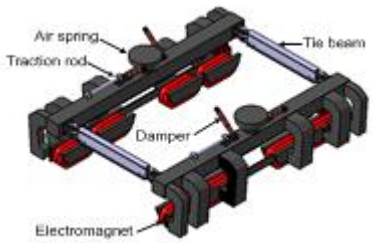
차간 댐퍼 개선안 검증은 현재 댐퍼 설치 진행 중이며 211년 4월까지 시험을 통해 평가를 하고자 한다.

나. 곡선추종성 개선

(1) 개요

기존 대차의 곡선 기구적 곡선 주행을 통하여 기존 대차 메커니즘의 문제점과 설계 개선 방향을 찾는데 목적이 있다. 곡선추종성 개선을 위해 조향장치 효과를 해석하였으며 시험 또한 유사한 결과를 보이고 있다. 능동조향 장치를 곡선추종성 향상을 위한 개선안으로 제시하였으며 곧 시험을 통해 검증을 할 예정이다.

(2) 현안

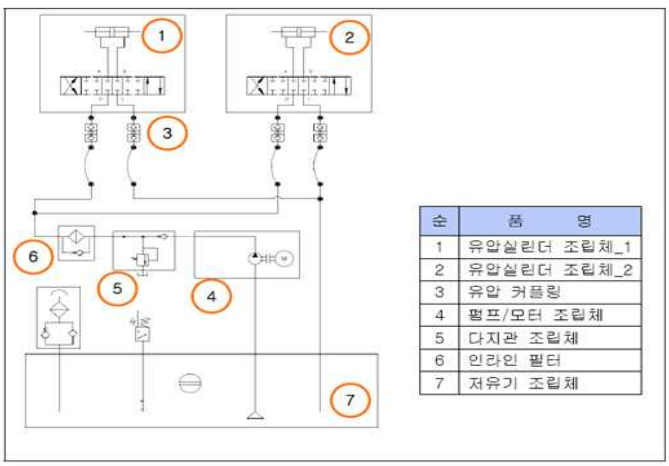


[(a) 비조향식 기존대차]



[(b) 조향식 4대차]

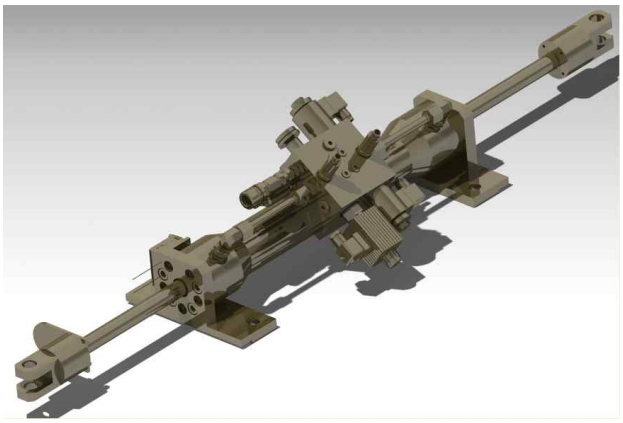
대차의 조향기구의 기능을 시뮬레이션 및 시험을 통해 확인이 필요하다. 특히, 초기 설정치 대비 조향실린더 설정치가 예상위치를 벗어난 곳이 있으므로 곡선추종성 개선의 필요성이 대두된다. 시제차량에 적용된 조향시스템은 Passive Steering 방식으로 초기 완화곡선 및 직선주 행시 차량의 안정성에 영향을 줄 수 있다. 따라서 능동조향장치를 개선안으로 제시한다.



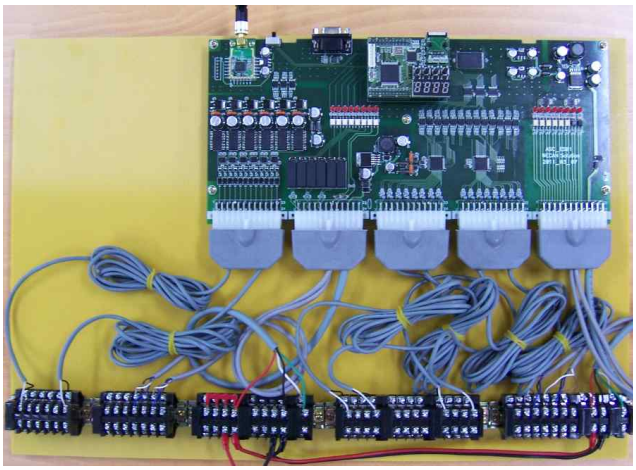
순	품 명
1	유압실린더 조립체_1
2	유압실린더 조립체_2
3	유압 커플링
4	펌프/모터 조립체
5	다지관 조립체
6	인라인 필터
7	저유기 조립체

[그림 721]능동조향 장치 구성안

- 가변 조향실린더 개발



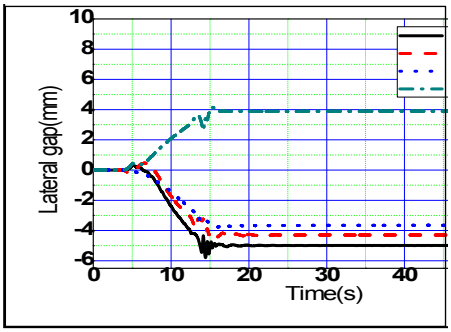
- 조향장치 제어기 개발



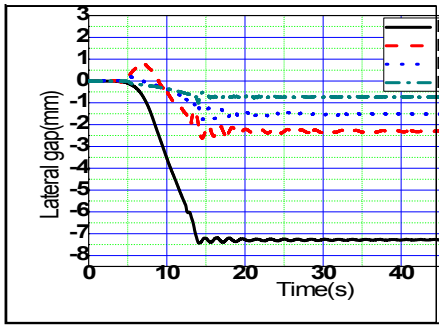
(3) 개선안 도출

반경 80m에 완화구간 25m 인 동일한 곡선 가이드웨이에서 속도에 따른 조향기구 응답 해석을 수행하였다.

아래 그림은 속력 10km/h에서의 시뮬레이션 결과이며 조향기구 설치한 경우 평균 공극이 -1.09mm 미설치 시 -2.03mm을 보인다. 한편 대 공극 역시 설치한 경우가 작지만 표준편차를 보면 각각4.03과 2.12로 설치시가 작다.



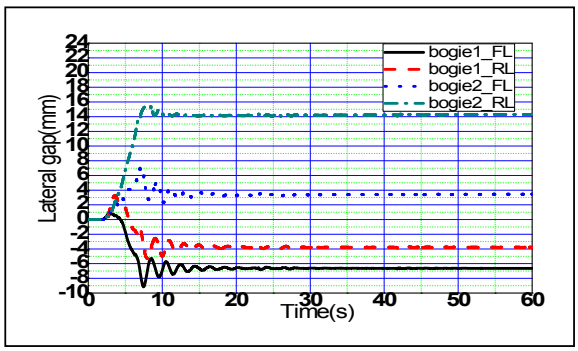
(a) 조향 기구 설치



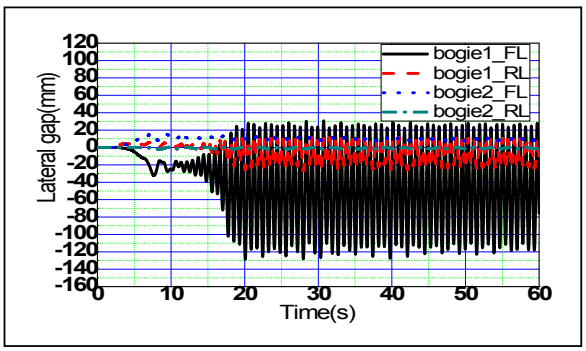
(b) 조향 기구 미설치

[그림 722]10km/h에서의 횡 공극 응답

아래 그림은 20km/h 속도에서의 횡 공극 시뮬레이션 결과이며 미설치한 경우 허용 횡 공극 크기를 넘었고 심한 진동이 발생함을 알 수 있다. 그리고 steering mechanism이 있는 경우 속도에 따라 일관적인 곡선 추종성을 보임을 알 수 있다.



(a) 조향 기구 설치



(b) 조향 기구 미설치

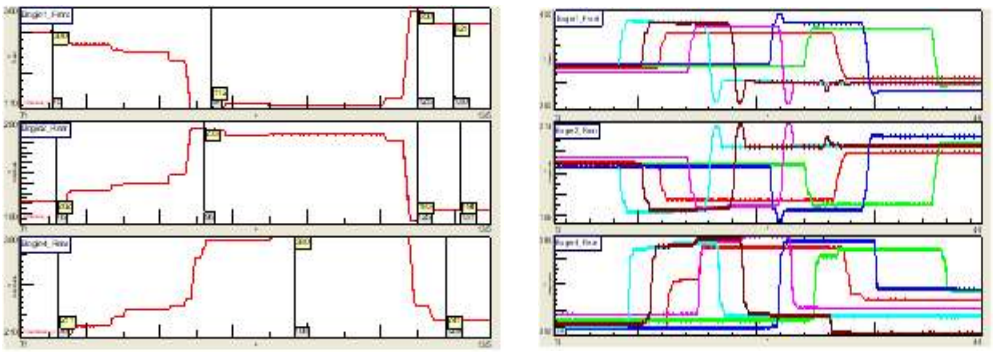
[그림 723]20km/h에서의 횡 공극 응답

결론적으로 조향 기구 응답 시뮬레이션 결과 10km/h에서는 steering mechanism이 없는 차량이 다소 나은 곡선 추종성을 보이고 횡 공극 크기 측면에서는 반대 경향을 보인다. 15km/h이상에서는 steering mechanism이 있는 경우가 더 나은 곡선 추종성과 상대적으로 안정된 횡 공극 크기를 보임을 알 수 있다. 한편, 시험에 의한 조향기구 작동 변위와 시뮬레이션을 통한 변위 비교를 통해 조향장치의 기능을 확인하였다.

(4) 개선안 검증

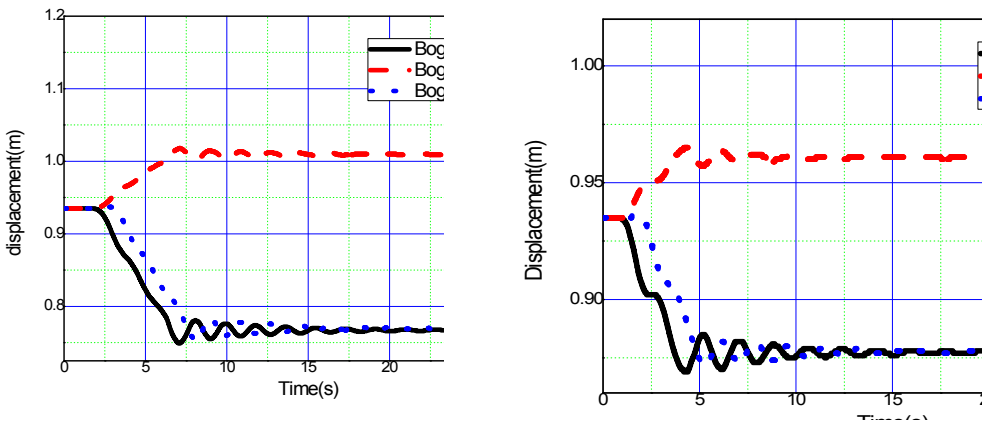
조향장치 기능 효과를 검증하기 위해 실제 시험 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교해보았다. 상당히 유사한 결과를 보이며 시뮬레이션을 통하여 다른 조건이나 시험에 대비하여 예측 가능할 수 있을것이라 판단된다. 이미 조향기구 장치의 효과를 증명하였고 실제 시험 결과도 유사하므로 조향기구 장치 효과의 검증을 했다고 볼 수 있다.

능동형 조향장치의 성능 확인하기 위하여 단품 종합시험 및 차량 시험을 2011년 5월 중 수행 예정이다.



(a) 60mR (b) 180mR

[그림 724]시험측정



(a) 60mR (b) 180mR

[그림 725]시뮬레이션 결과

현재 개선안으로 능동조향장치를 제시하였으며 시험을 통한 검증이 지연되고 있다. 기계연 시험 선로에서의 주행시험이 5월말로 예정되어 있어 그 후에 결과를 보고하고자 한다.

다. 부상안정성 개선

(1) 개요

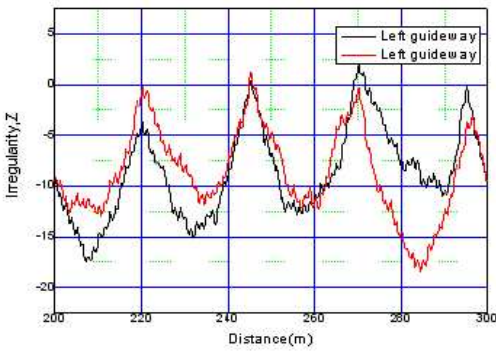
실용화 차량에 대한 부상안정성 척도인 부상공극 응답을 해석 및 시험 평가를 통해 개선안을 도출하고 검증하고자 한다.

(2) 현안

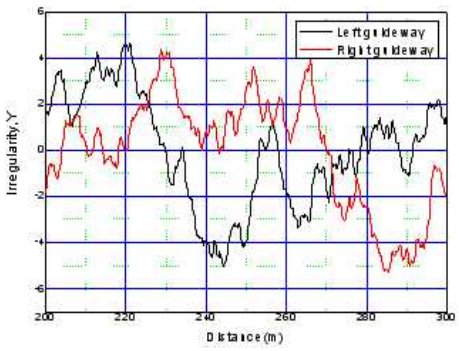
- 시뮬레이션을 통한 부상공극 예측
- 속도에 따른 부상공극 변동 값 측정
- 거더별 부상안정성 검토 및 개선안 도출
- 고주파 진동소음 발생으로 침목에 방진고무 설치 여부

(3) 개선안 도출

시뮬레이션을 통한 부상공극 응답해석을 하였다. 아래 그림에 보이는 것처럼 합성 외란(C=10 ,L/2000)을 주어 속도에 따라 부상공극을 측정한 결과 속도가 증가함에 따라 부상공극 역시 증가함을 알 수 있다. 다음 그림에 그 결과를 보여주고 있다.



[Z축 불규칙도]

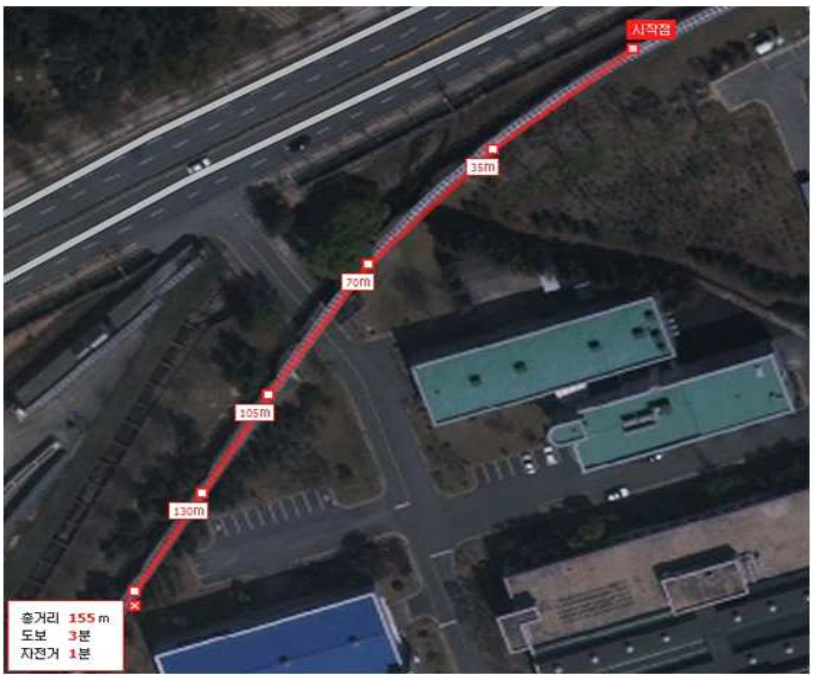


[Y축 불규칙도]

[표 197]부상공극 해석 결과

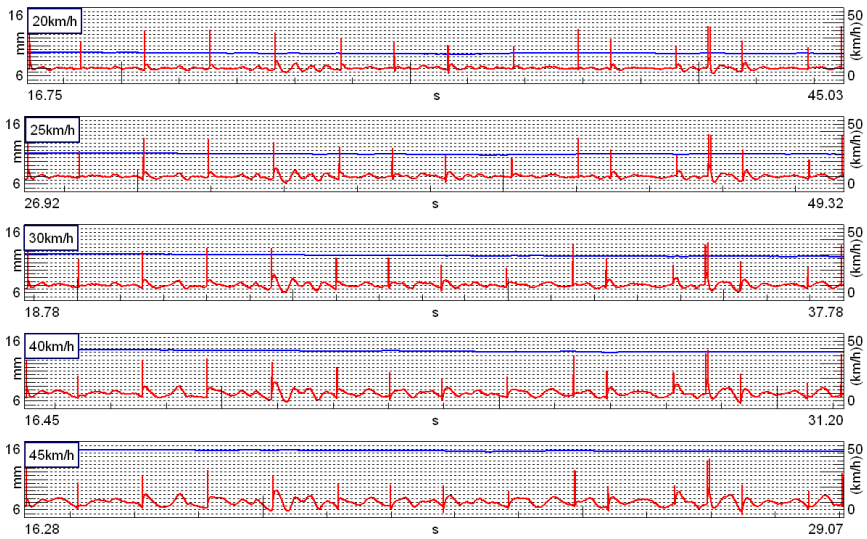
조건	최대 공극	최소 공극
0→30→0→100→0(+1.11, -1.25)	12.2mm	1.8mm
0→50→0→70→0(+1.11, -1.25)	11.3mm	2.5mm
직선 90km/h	12.6mm	0.9mm

아래 그림은 속도에 따른 부상공극을 시험을 통해 측정하고자 기계연 선로의 측정 구간을 보여주고 있다. 측정 결과는 표 1에 나타내었으며 위 그림은 속도에 따른 최대 부상 공극 변동을 그래프로 나타내었다. Gap 신호의 파형은 상부레일의 연결부(조인트)에서 큰 변동을 보인다. 해당 구간중 가장 많은 공극변동을 보이는 위치는 94번 레일이고, 이는 180mR 구간내에 있다. 속도에 따른 최대 부상공극 변동은 아래의 표와 같고 44km/h 주행시 최대 공극변동은 1.55mm 이다.



[그림 726]비교구간(G41~G37) 155m

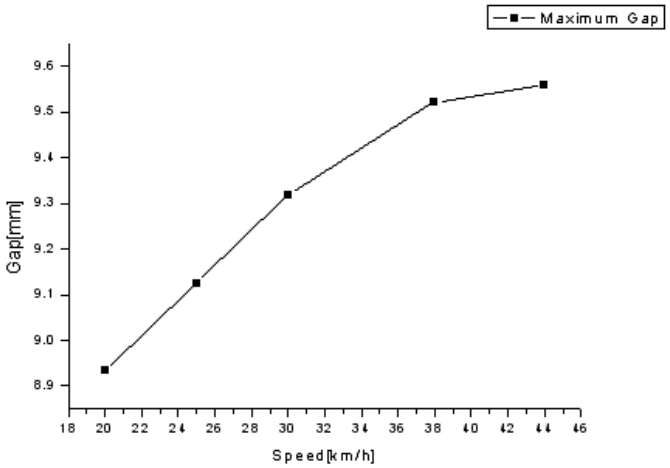
G41	G40	G39	G38	G37



[그림 727]속도에 따른 Gap 변동

[표 198]속도에 따른 측정결과

속도(km/h)	20	25	30	38	44
최대 공극(mm)	8.9328	9.1248	9.3172	9.5216	9.5582
최대 공극변동(mm)	0.9328	1.1248	1.3172	1.5216	1.5582



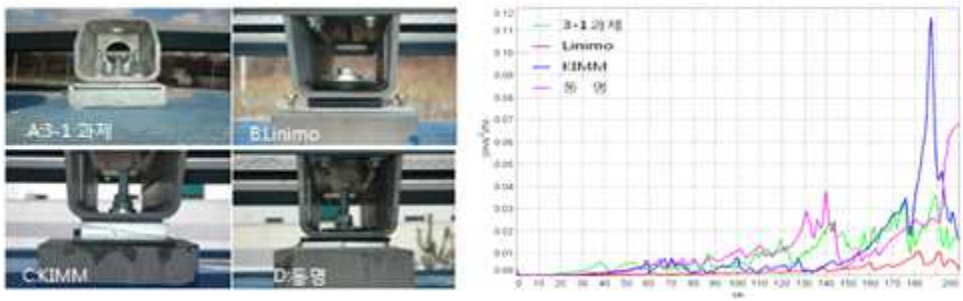
[그림 728]속도에 따른 최대 공극 변동

아래 표는 거더별 부상공극 응답 결과이다. 결과를 분석해보면 질량, 강성, 진동특성에 따라 부상공극 응답 다름을 알 수 있다. 부상안정성 확보를 위한 강성, 질량, 감쇠 신중히 선정해야 한다고 판단된다.

[표 199]거더별 측정 결과

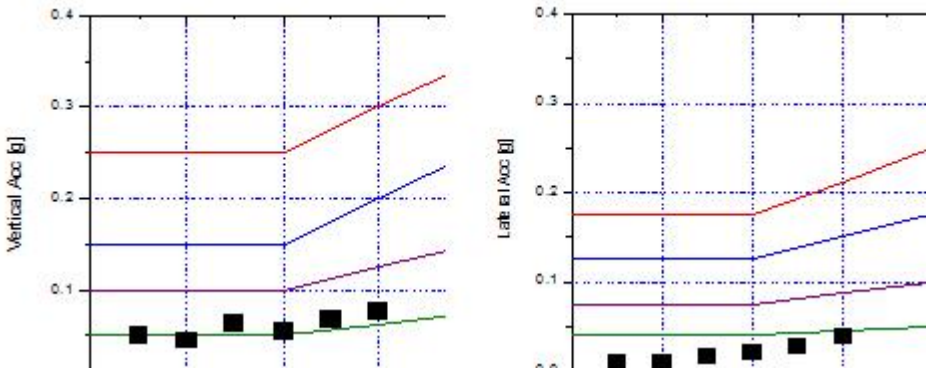
분 기 기	10~15Hz
PC 거더	8~20Hz, 60Hz
후 문	15Hz, 60Hz
Steel 거더	0~15Hz, 60Hz

자기부상 열차 주행시 고주파 진동소음 발생으로 침목에 방진고무 설치 여부 판단 필요에 따라 진동 특성을 분석해 보았다. 위의 그림은 레일 고정 설계별 특성에 따른 진동 분석 결과이다. 200Hz 이내에서 Linimo 타입이 가장 낮은 주파수별 응답을 보인다(180Hz 부근 KIMM 타입 대비약 10%). 3-1과제 타입의 경우 트윈블록(좌우 침목이 서로 연결되지 않고, 직접 거더에 고정) 다른 타입과 직접적인 비교는 어려우나 주파수 응답은 낮게 나타남을 알 수 있다. Linimo 타입은 전체적인 주파수 응답이 낮게 나타나고, 특히 140Hz 이하에서 응답이 낮게 나타난다.

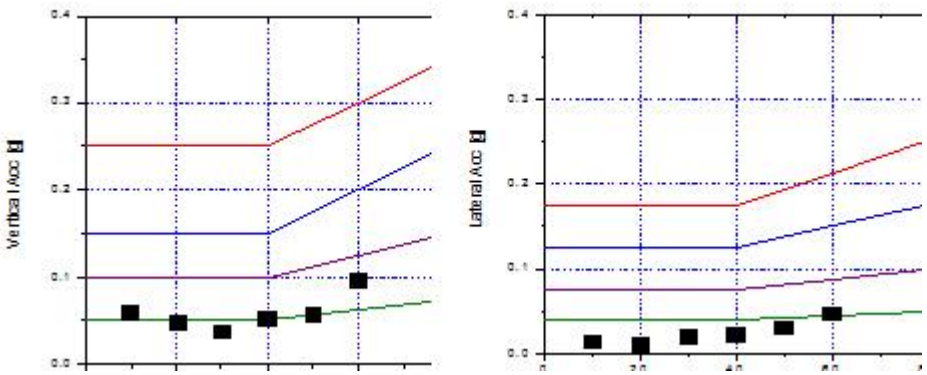


[그림 729]설계에 따른 진동 특성

아래 그림은 자기부상열차 주행 시 진동을 측정한 그래프이다. 10~60km/h까지 10km/h단위로 주행결과기준치인 Moderate 이상으로 성능시험 기준 만족함을 알 수 있다.



[그림 730]진동 측정, Mc 1



[그림 731]진동 측정, Mc 2

(4) 개선안 검증

Walkway에 방진고무를 삽입하여 진동소음 개선을 하였다.

Walkway 진동 소음이 크게 나타났던 4% 구배 부근에서의 침목과 Walkway에 고무를 삽입하여 소음 및 진동 저감 효과를 만족하였다.



[그림 732]Walkway 방진고무삽입 전후 모습

라. 승객안전성 향상

(1) 개요

승객안정성 향상을 위하여 시험 운행 중 발생한 문제점에 대하여 점검 및 수정방안을 검토하고자 한다. 또한 기존의 정적 내구해석뿐만 아니라 대차프레임의 진동 특성을 고려하기 위하여 동적 해석을 이용하여 대차프레임의 내구수명을 평가하는 과정을 진행하였다. 실제 상업 운행할 노선을 가정하여 설정한 주행 시나리오에 따른 주행 성능 시뮬레이션을 수행하였다.

차량에 고장 혹은 이상 거동에 대한 보완책으로 본 개발차량에서는 landing skie와 lateral skie 2종의 마찰재가 적용되고, 비상 이동시 차량의 거동을 위하 비상착지륜이 적용된다. 이들 시스템은 기존 철도차량에 적용되지 않는 부품으로 차량의 신뢰성 확보를 위해 지속적인 모니터이 필요하다. skid류에 대한 현차 조사를 실시하고, 향후 추가 물량시 개선 사항을 분석하였다.

(2) 현안

(가) 현차 조사 및 검토



Landing Skid

Lateral Skid

▶ 자기부상열차 시험운영 내용

Landing Skid 사용 여부	Landing Skid 제동 주행 거리	Lateral Skid 사용여부	Lateral Skid 제동 주행 거리
O	About 1.5Km	O	About 3.0Km

I. 총 운행거리가 아닌 Skid 사용시의 운행거리.
II. 제동 주행 거리는 현장 담당자 말을 참조로 작성.

(나) 분석 결과

1) Landing Skid 상태 분석





2010. 04월 현차 탈거 시 마찰재 표면(1차)



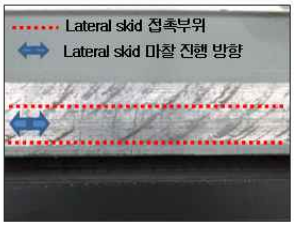


2011. 02월 현차 탈거 시 마찰재 표면(2차)

I. 1차: 마찰재 표면에 도료 응착이 발생(마모 발생은 거의 없음.) 2차: 도료 응착분이 제거 된 후 마모가 일부 진행.
II. 2차 마찰이 발생 되면서 마모 및 산화가 진행. 국부적으로 표면에 패임 현상이 발생
- 일부 패임 현상은 국부적으로 극히 미비하며 대상물인 Rail 손상이 없어 성능에는 이상이 없는 것으로 사료됨

2) Lateral Skid Rail 상태 분석





I. Rail 마찰면이 Lateral Skid 접촉부위보다 넓게 형성.
II. Rail 표면에 일부 Scratch 및 패임 현상 발생.
III. 예상 발생원인
- Rail 표면에 발생된 Scratch 나 패임현상은 Lateral Skid의 접촉범위보다 넓게 형성 되어 있으며, 마찰 진행 방향과 수직방향으로 형성된 것으로 보아 다른 외부요인에 의해 발생.





2010. 04월 현차 탈거 시 마찰재 표면(1차)

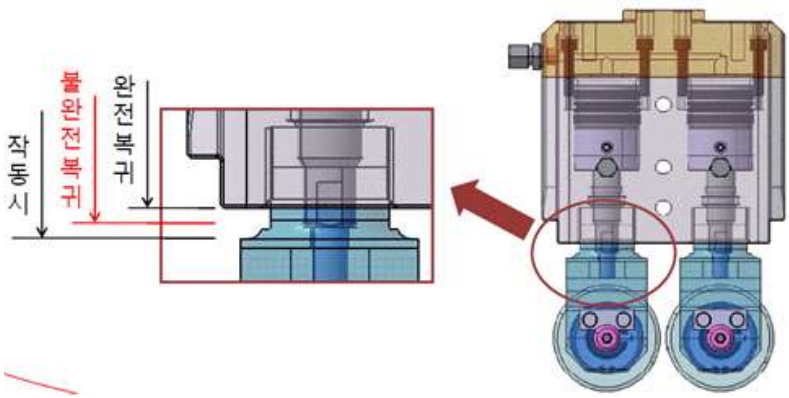




2011. 02월 현차 탈거 시 마찰재 표면(2차)

I. 1차에 비해 2차 탈거 시 마모가 비교적 많이 진행. 자기부상열차 장착부위에 따라 마모량이 다소 차이를 보임.
(납품 시: 12.2 mm 앞부분 장착 Skid: 10.3mm(1.9mm 마모) 중간부 장착 Skid: 10.9mm(1.3mm 마모)
II. 1차에 비해 2차 탈거 시 마찰재 표면은 마모가 많이 진행됨에 따라 일부 패임 현상이 발생 (마찰재 중간부분에 발생)
III. 마찰재 표면의 패임 현상으로 인한 대상물(Rail)의 손상은 없는 것으로 보아 성능에는 큰 문제는 없는 것으로 사료됨.
IV. 예상 발생원인: 부분적인 접촉에 의한 마찰 시 발생.

- 비상착지시의 안정성 확보 필요(Landing 및 Lateral skid 현차조사)
- 비상착지륜 불완전 복귀



[그림 733]비상착지륜 불완전 복귀

(3) 개선안 도출

아래 표는 자기부상열차의 시험운용 내용이다. 500km 누적 주행을 시행하였으며 그 결과 마모는 미약하거나 정상적인 마모 형상을 보여주었으며 곡선주행 시 안내 안정적임을 확인하였다. 다만 레일 도장에 의한 분말이 발견되었다. 결론적으로 양산에 적합하다고 판단되며, 안내 스키드 대응하여 안

내에 미 도장을 제시하였다.

[표 200]자기부상열차 시험운용 내용

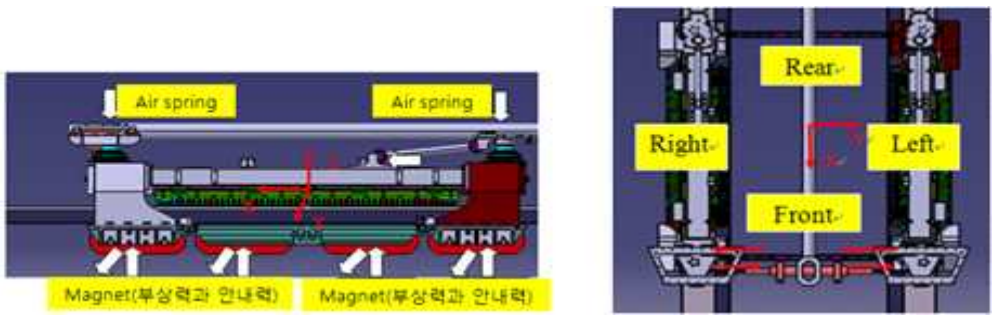
운행거리(㎞)	비상제동횟수 (Landing skid 작동)	비상제동시 속도(㎞/h)	Lateral skid 사용여부
약 500	2~3회	30~40(최고 50)	○

한편, 자기부상 개발차량에 적용된 비상롤러시스템의 현차조사를 통해, 롤러시스템의 복귀 스프링 불량을 발견하였다. 원인 예상은 복귀 스프링 불량, 배관 저항, 이물질 유입, 배관내 잔류 공기 영향등이라 판단되며 잔류공기 제거에 의한 현장개선을 하였다. 개선안은 복귀 스프링 재설계 검토 및 복동식 실린더 적용 검토를 제시하였으며 양산발주전 개선 예정이다.

기존의 정적 내구해석뿐만 아니라 대차프레임의 진동 특성을 고려하기 위하여 동적 해석을 이용하여 대차프레임의 내구수명을 평가하는 과정을 진행하였다. 실제 상업 운행할 노선을 가정하여 설정한 주행 시나리오에 따른 주행 성능 시뮬레이션을 수행하였다. 해석을 위해 대차에 작용하는 주요 정하중 및 동하중 방향과 좌표 표시

[표 201]초도편성 차량 동하중 해석 주행 시나리오

	운행 속도		선로 조건
시나리오 1	0→30→0→100→0	증가감속	
시나리오 2	0→50→0→70→0	증가감속	
시나리오 3	90km/h	직선	L/2000, C=10
시나리오 4	30km/h	곡선	캔트 80mm,125mR
시나리오 5	80km/h	곡선	캔트 140mm,800mR

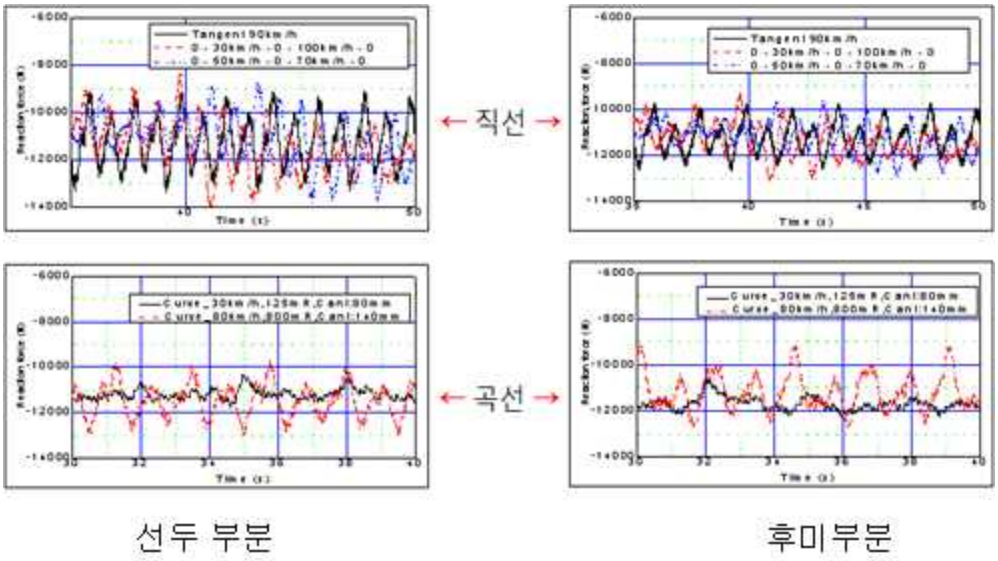


[그림 734]대차에 작용하는 주요 정하중 및 동하중 방향 및 좌표

내구해석을 위한 동하중 시뮬레이션 결과 air spring과 magnet이 체결된 대차에 작용되는 동하중 변동을 아래 그림에 보여주고 있다.

[표 202]Air spring의 정하중 대비 동하중 변동, ▽Fz

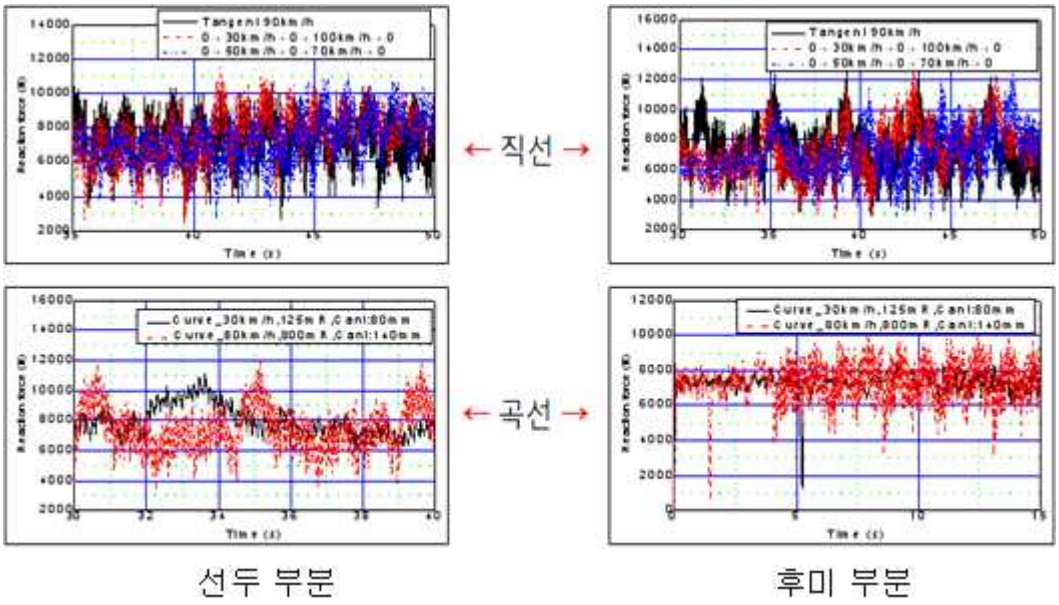
조 건 / 위 치	선두	후미
0→30→0→100→0(+1.11.-1.25)	25%/-25%	17.6%/-17%
0→50→0→70→0(+1.11.-1.25)	24%/-21%	15.7%-14.5%
직선 90km/h	20%/-18%	13.5/-12.5%
곡선 30km/h(80mm,125mR)	5.3%/-7.4%	9.6%/-5.5%
곡선 80km/h(140mm,125mR)	16%/-12.5%	12.5%/-18%



[그림 735](a) Air spring과 체결 부위의 동하중 변동

[표 203]Magnet의 정하중 대비 동하중 변동, ▽Fz

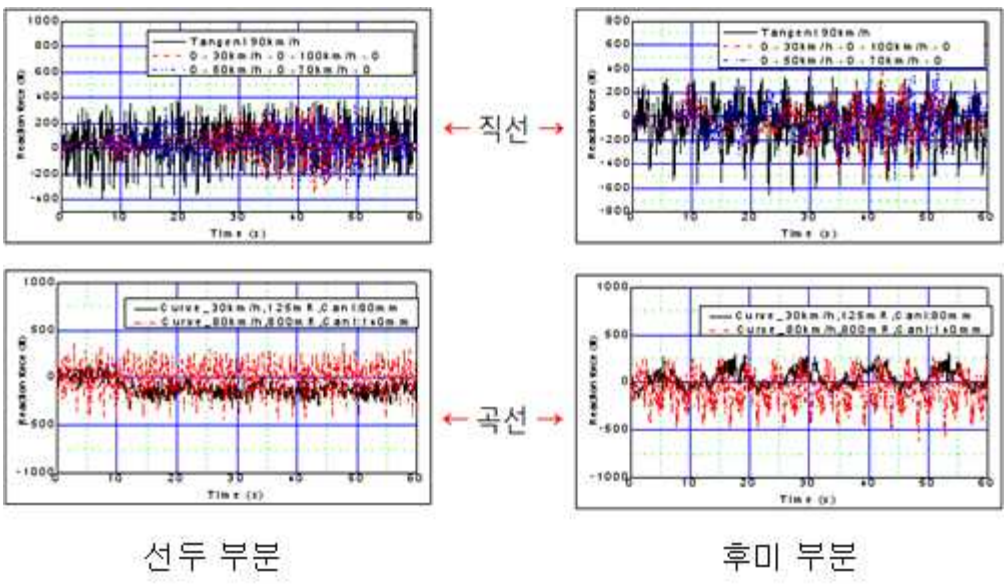
조 건 / 위 치	선두	후미
0→30→0→100→0(+1.11.-1.25)	50%/-70%	70%/-67%
0→50→0→70→0(+1.11.-1.25)	44.2%/-66%	68%-67%
직선 90km/h	34%/-65%	60%/-55%
곡선 30km/h(80mm,125mR)	7.8%/-13%	44.3%/-13.4%
곡선 80km/h(140mm,125mR)	30%/-60%	54.8%/-56%



[그림 736](b) Magnet의 부상력 변동

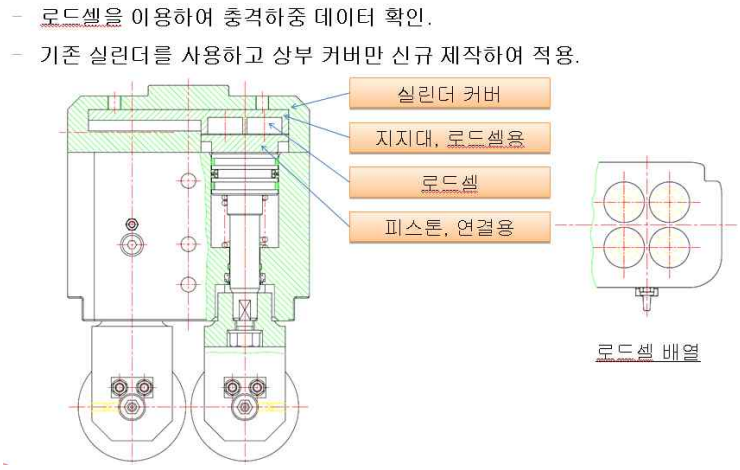
[표 204]Magnet의 안내력(N), Fy

조 건 / 위 치	선두	후미
0→30→0→100→0(+1.11.-1.25)	365/-357	399/-520
0→50→0→70→0(+1.11.-1.25)	375/-347	399/-530
직선 90km/h	389/-410	369/-642
곡선 30km/h(80mm,125mR)	187/-311	307/-145
곡선 80km/h(140mm,125mR)	358/-433	276/-599



[그림 737](c) Magnet의 안내력 변동

- 랜딩롤러 하중 측정 방안



(4) 개선안 검증

- Landing Roller 수정 방안으로 Bearing 용량 변경(Φ52→Φ80) 및 비상롤러 사용속도 하향 조정(설계운행속도 25km/h→10km/h)을 하였다. 또한 풀림방지기능 향상을 위한 롤러지지부 재설계 및 2량분의 롤러 Landing Roller 교체를 단행하였다.
- 2011.4월 中 측정시험 추진 예정

마. 선로구축물 요구사항

(1) 개요

- 경제적인 선로구출물을 개발하기 위하여 설계요구사항 도출 필요

(2) 현안

- 처짐한계, 차량/궤도 질량비 및 레일 설치공차를 완화하여 경량화 하고자 함.

(3) 세부공정별 수행내역 및 결과

- 주요 중간산출물 첨부

(4) 결과

- 문제점 및 보완계획, 기대효과, 활용계획 등 포함

-레일 불규칙도에 대하여 Linimo 사례를 통하여 다음과 같이 제안한다.

[표 205]레일 설치 및 유지보수 공차

항목			시범노선 제시 기준 (HSST 제시기준_상이한 내용)		해외 전문가 자문 내용 (이와야)		
			시공완료 기준	유지관리 기준	시공완료	보수완료 기준	검사한계 기준
레일처짐			· 부상레일 끝단 0.3mm 이하	-	-	-	-
레일 공차	· 수직 (10m 현) [고저 level]		±3mm	±5mm	±3mm ※ 이음매 구간은 ±1mm/3m로 관리	±4~5mm	±5mm
	· 수평 (10m 현) [방향 alignment]		±3mm	±5mm	±4mm/10m	±5mm	±7mm
	· 궤간		±3mm	±4mm	±3mm	±4mm	±5mm
	· 이음매 단차	수직	±1mm	±1mm	±1mm	±1mm	±1mm
		수평	±0.5mm	±1mm	±1mm	±1mm	±1mm
	· 좌우높이차		±2mm	±4mm	±3mm	±5mm	-

항목		시범노선 제시 기준 (HSST 제시기준_상이한 내용)		해외 전문가 자문 내용 (이와야)		
		시공완료 기준	유지관리 기준	시공완료	보수완료 기준	검사한계 기준
	[수평 elevation]	(±3mm)	(±5mm)			
	· 뒤틀림 [뒤틀림 twist]	±1mm	±2mm	±3mm	±4mm	±5mm
거더 처짐한계		90km/h 미만 구간 : L/2,000 이하	-	L/1,500	-	-
		90km/h 초과 구간 : L/3,000 이하				
질량비		0.6 이하				
고유진동수		5 Hz 이상				

3. 3단계 세부연구내용

[2-1과제]

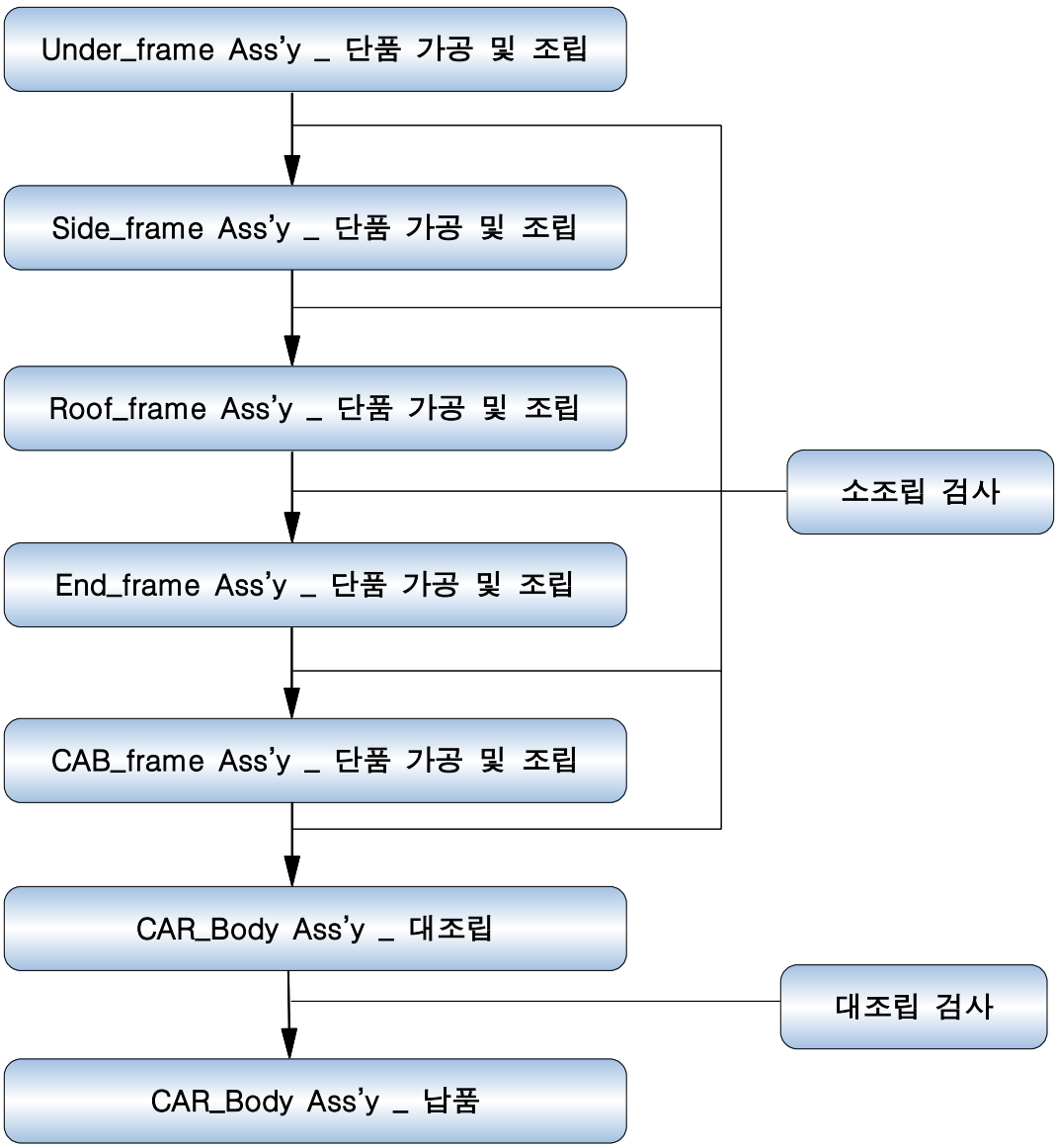
가. 차량개발 및 제작 (현대로템-주관)

(1) 차량 제작(3편성) 제작

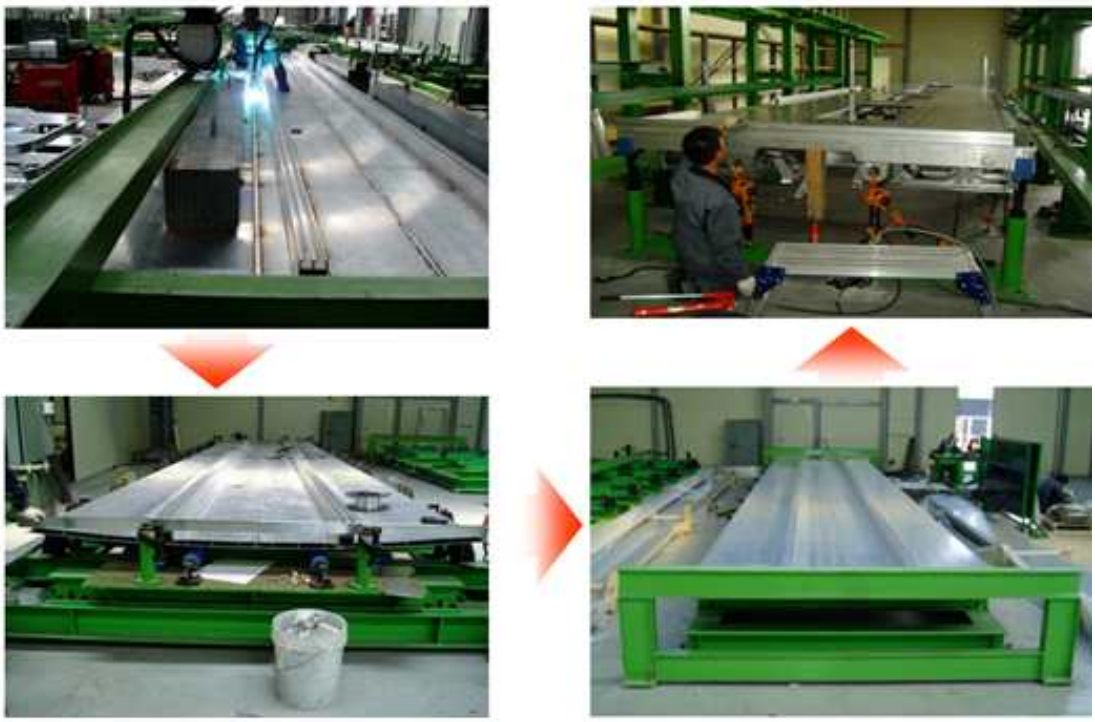
(가) 차체 제작

차체 6량 제작 완료

1) 차체 제작 공정



Under_frame Ass'y _ 단품 가공 및 용접

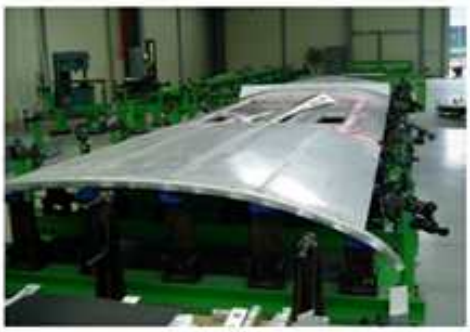


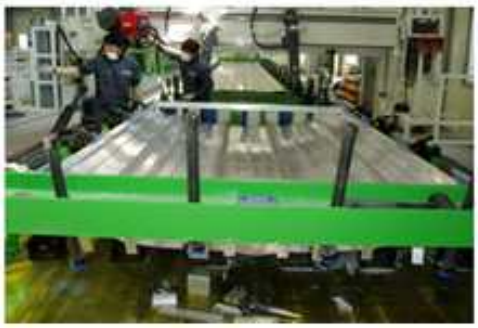
Side_frame Ass'y _ 단품 가공 및 조립

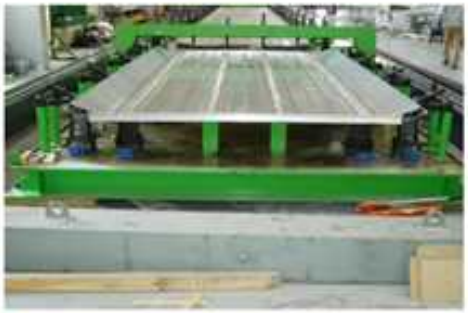


Roof_frame Ass'y _ 단품 가공 및 조립









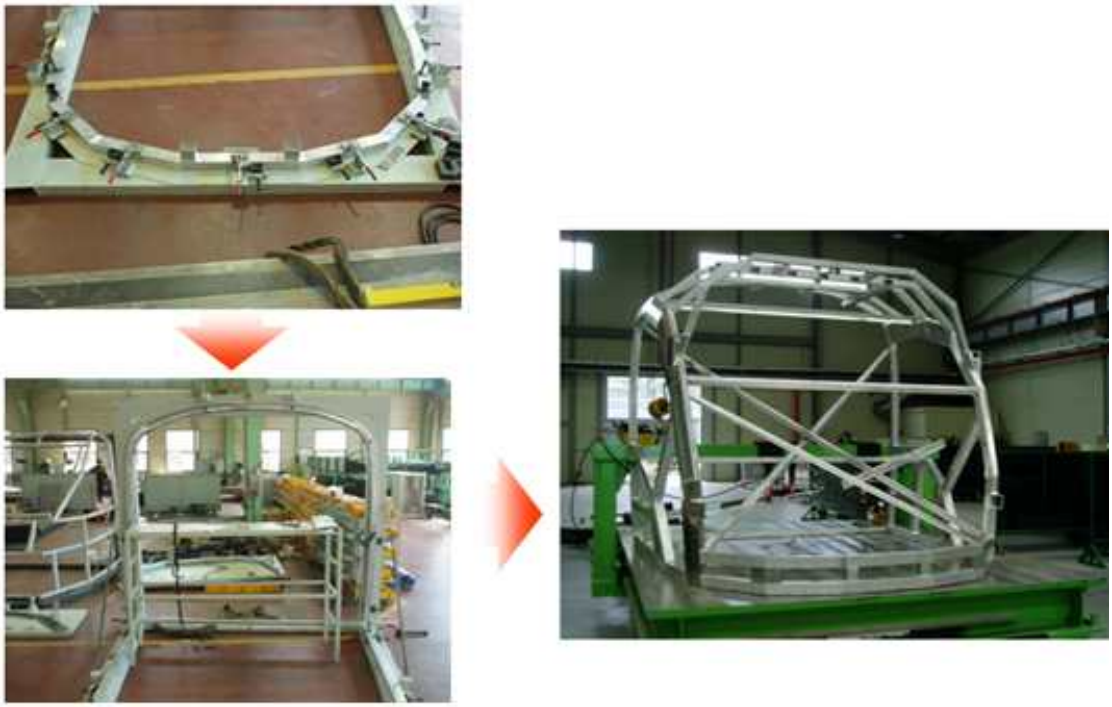
End_frame Ass'y _ 단품 가공 및 조립







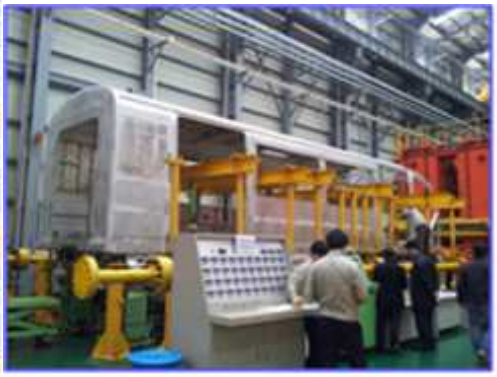
CAB_frame Ass'y _ 단품 가공 및 조립



차체 대조립



차체 하중시험

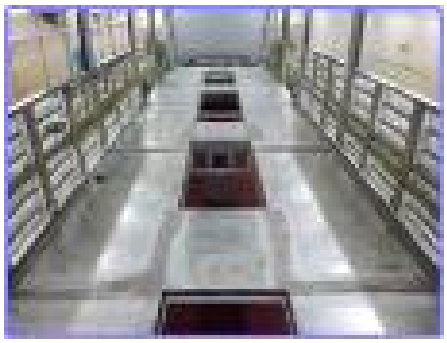



(나) 의장 조립

6량 도장 완료 후 의장 조립 작업 중

1) 객실 조립

	
도장작업(하도)(1~6호)	도장작업(상도)(1~6호)
	
단열재 설치(1~6호)	와이어 서포트 설치(1~6호)

	
플로어 쿠션 설치(1~6호)	플로어 보드 설치(1~6호)
	
실내덕트 설치 및 실내배선(1~6호)	캡마스크 설치(1,2호)

2) 상하기기 조립





1.2호 전두 연결기 및 중간 연결기 취부



1.2호 상하 중요 전장품 취부



1,2호 상하 중요 제동부품 취부



차량 출고(현대로템 창원)



차량 궤도내 설치(인천 시범노선)



차량기지내 편성 조립(검수기지)

(2) 차량공인기관 인증 획득

(가) 로테코 입고검사 및 공정검사

- 총 72 품목에 대한 로테코 입고검사 절차서 작성 및 로테코 승인 완료
- 해당 품목 제작 후 승인절차서에 준하여 로테코 입고검사 완료
- 차량 제작 관련 로테코 공정검사 28개 항목 검사 완료

[표 206]로테코 입고검사 품목

순	항 목		문서명
1	내장판	객실 내장판	내장판 입고검사절차서
2	의자	객실 의자	의자 입고검사절차서
3	통로연결막		통로연결막 입고검사절차서
4	바닥재	바닥재	바닥재 입고검사절차서
5	바닥재	바닥 상판	바닥 상판 입고검사절차서
6	단열재		단열재 입고검사절차서
7	창문	객실측창 유리	창문유리 입고검사절차서
8	창문	운전실 앞 유리	운전실 앞유리 입고검사절차서
9	출입문 장치	출입문(도아)	출입문 입고검사절차서
10	출입문 장치	도아 엔진	도아엔진 입고검사절차서
11	화재감지장치	화재감지장치	화재감지장치 입고검사절차서
12	내장 고무류	형고무	내장고무류 입고검사절차서
13	내장 고무류	패킹류	내장고무류 입고검사절차서
14	도료	외장도료	도료 입고검사절차서
15	도료	내장도료	도료 입고검사절차서
16	접착제	접착제	접착제 입고검사절차서
17	축광위치 표기	축광위치 표기	축광위치표시 입고검사절차서
18	창닦이 장치	창닦이 장치	창닦이장치 입고검사절차서
19	실내 설비 부품	운전대 판넬	운전대 판넬 입고검사절차서

20	실내 설비 부품	전두부 카바	전두부 카바 입고검사절차서
21	제동실린더	유압제동실린더	제동실린더 입고검사 절차서
22	제동실린더	공유압변환기	제동실린더 입고검사 절차서
23	제동마찰재	제동 라이닝	제동마찰재 입고검사절차서
24	제동제어 장치	제동장치(판넬)	제동장치 판넬 ECU 입고검사절차서
25	제동제어 장치	제어밸브	제어밸브 BOU 입고검사절차서
26	제동장치 부품	중계밸브	중계밸브 입고검사절차서
27	제동장치 부품	전자밸브	전자밸브 입고검사 절차서
28	제동장치 부품	역지밸브	역지밸브 입고검사절차서
29	제동장치 부품	감지밸브	감지밸브 입고검사절차서
30	제동장치 부품	공기정화기	공기정화기 입고검사절차서
31	제동장치 부품	고압공기제동호스	고압공기제동호스 입고검사절차서
32	제동장치 부품	유압제동호스	고압공기제동호스 입고검사절차서
33	2차 스프링	공기 스프링	2차 스프링 입고검사절차서
34	조향실린더	조향실린더	조향실린더 입고검사절차서
35	주행장치 조립부품	레벨링밸브	레벨링 밸브 입고검사 절차서
36	주행장치 조립부품	차압밸브	차압밸브 입고검사절차서
37	주행장치 조립부품	탄성죠인트 (모노링크조립체)	탄성죠인트 입고검사 절차서
38	방진고무	방진고무	방진고무 입고 절차서
39	연결기	자동연결기	자동연결기 입고검사절차서
40	연결기	중간연결기	중간연결기 입고검사절차서
41	완충기	완충기	완충기 입고검사절차서
42	압력공기 공급장치	공기압축기	공기압축기 입고검사 절차서
43	압력공기	압축기기동장치	공기압축기 기동장치 입고검사 절차서

	공급장치		
44	압력공기 공급장치	공기건조기	공기건조기 입고검사절차서
45	압력공기 공급장치	수분리기	수분리기 입고검사절차서
46	압력공기 공급장치	안전밸브	안전밸브 입고검사절차서
47	압력탱크	압력공기통	압력공기통 입고검사절차서
48	견인전동기	전동기프레임	Lim frame 입고검사절차서
49	집전장치	판타그래프	집전장치 입고검사 절차서
50	집전장치	고압애자	집전장치 입고검사 절차서
51	전원연결기	전원연결기	전원연결기 입고검사 절차서
52	전원연결기	접속상자	접속상자 입고검사 절차서
53	방송장치	방송장치	방송장치 (비상인터폰 포함) 입고검사 절차서
54	방송장치	비상인터폰	방송장치 (비상인터폰 포함) 입고검사 절차서
55	표시기 장치	설정기	열차통신장치(설정기포함)입고검사 절차서
56	표시기 장치	표시기	표시기장치 입고검사 절차서
57	분배전반	일반배전반	일반배전반 입고검사 절차서
58	분배전반	냉난방 배전반	냉방기 입고검사절차서
59	냉난방 장치	냉방기	냉방기 입고검사절차서
60	축전장치	축전지	축전지 입고검사 절차서
61	과부하 차단기	과부하차단기	과부하차단기 입고검사 절차서
62	전선	전선	차량용 전선 입고검사 절차서
63	정류장치	리엑터	필터리액터 입고검사절차서
64	접지브러쉬	접지브러쉬	접지브러쉬 입고검사 절차서
65	열차통신장치	열차통신장치	열차통신장치(설정기포함)입고검사 절차서
66	전조등/후미등	전조등/후미등	전조등/후미등 입고검사 절차서
67	전장조립부품	주간제어기	주간제어기 입고검사 절차서
68	비상롤러 시스템	비상유압발생장치	비상유압발생장치 입고검사절차서
69	알루미늄 주물품	캐스팅 블록	알루미늄 주물품 입고검사 절차서
70	알루미늄	마그넷 브라켓	알루미늄 주물품 입고검사 절차서

	주물품		
71	알루미늄 주물품	슬라이딩 테이블	알루미늄 주물품 입고검사 절차서
72	알루미늄 주물품	고정 테이블	알루미늄 주물품 입고검사 절차서

[표 207]로테코 공정검사 항목

순	공정명	대상 항목
1	원자재 검사	구조체 검사
2		대차 프레임 검사
3	구조체 제작공정	하부 구조
4		측면 구조
5		지붕 구조
6		단부 구조
7		전두부 구조
8		구조체 조립
9		구조체 누수검사
10	도장 공정	전처리 검사
11		도장 공정검사
12	의장설비 취부공정	상구조 작업공정
13		단열재 취부공정
14		덕트류 취부공정
15		내장판 취부공정
16		설비품 취부공정
17	연결장치 취부공정	연결장치 조립공정
18	기장제동장치	기장 및 제동배관조립
19		기장 및 제동기기취부
20		누설 검사
21	배선작업	실내 전선
22		상하 전선
23	전장품 조립	전장품 취부
24		도통검사[Bell Check]
25	대차 프레임	대차 프레임 제작공정
26		대차 프레임 완성검사

27	대차 조립공정	대차 조립공정
28	대차 차입공정	대차 차입공정

[표 208]철도차량 제작검사 증명서(1 ~ 4편성)



(나) 인증센터 성능시험

1) 구성품 시험

- 총 10 품목에 대한 구성품시험 절차서 작성 및 인증센터 승인
- 구성품 시험 품목 제작 후 승인절차서에 준하여 인증센터 구성품 시험 완료

[표 209]구성품 시험 품목

순	항목	문서명
1	추진제어 인버터	추진제어 인버터 구성품시험 절차서
2	선형유도전동기	선형유도전동기 구성품시험 절차서
3	종합제어장치[TCMS]	종합제어장치[TCMS] 구성품시험 절차서
4	부상용센서	부상용센서 구성품시험 절차서
5	부상용 전자석	부상용 전자석 구성품시험 절차서
6	구조체	차체 하중시험 절차서
7	대차프레임	대차프레임 정하중시험 절차서
8	부상제어장치	부상제어장치 구성품시험 절차서
9	APU	APU 구성품시험 절차서
10	MDPS	MDPS 구성품시험 절차서

2) 완성차시험

- 총 28 종 완성차시험 절차서 작성 및 인증센터 입회 시험 완료

[표 210]완성차 시험 항목

순	문서 번호	시험 항목	장소	장치
1	REDV109726	배선검사	창원	전기
2	REDV109727	절연저항 측정	창원	전기

3	REDV109728	내전압 시험	창원	전기
4	REDV107287	차체 리프팅	창원	차체
5	REDV109709	중량 측정	창원	제동
6	REDV107286	누수 시험	창원	의장
7	REDV109724	등구류 및 실내조도측정시험	기지	전기
8	REDV109720	제어회로 시험	기지	전기
9	REDV109699	출입문 시험	기지	차체
10	REDV109700	시동정지 및 운전실 교환 시험	기지	전기
11	REDV104098	추진제어장치 시험	기지	전장
12	REDV109693	부상제어장치 시험	기지	전장
13	REDV107285	차체 및 대차 치수 측정	기지	차체
14	REDV109887	제동시험	기지	제동
15	REDV109698	냉난방환기 성능시험, 냉난방환기장치 동작 확인	기지	의장
15-1	REDV200950	화재감지장치 성능확인시험	기지	의장
16	REDV109887	압축공기장치 시험	기지	제동
17	REDV109689	보조전원장치 시험	기지	전장
18	REDV110166	집전시험	기지	전기
19	REDV110165	종합제어장치 시험, 모니터장치 표시시험, 종합제어장치 차상검사 시험	기지	통신
20	REDV109725	객실및운전실기기시험(등구류,화재감지별도)	기지	전기
21	REDV109708	곡선통과 시험	기지	제동
22	REDV109705	차량한계 측정	기지	제동
23	REDV109697	외관구조 검사	기지	의장
24	REDV109722	축전지 및 충전기 충방전 시험	기지	전기
25	MPAB06	신호보안장치 시험	기지	신호
26	REDV104105	역행시험	기지	전장
27	REDV200588	보호장치 동작시험	기지	전장
28	MPAB09	지상설비 연계동작 시험	기지	신호

3) 예비주행 시험

가) 형식시험 5,000km 주행 완료(1호 편성)

- 수동(공차) : 1,250km, 수동(만차) : 1,250km
- 수동(만차) : 1,250km, 자동(만차) : 1,250km

나) 전수시험 :1,000km 주행 완료(2, 3, 4편성)

- 수동(공차) : 500km, 자동(공차) : 500km

4) 본선시운전 시험

본선시운전 절차서 총 16 종 작성 및 인증센터 입회 시험 완료

[표 211]본선시운전 시험 항목

순	문서 번호	시험 항목	장치
1	MPAD01	역행시험	전장품
2	MPAD02	가속도시험 (제동/신호)	전장품
3	MPAD03	감속도 시험	제동
4	MPAD04	제동시험	제동
5	MPAD05	최고속도시험	전장품
6	MPAD06	주행저항시험	제동
7	MPAD07	구원운전시험	전기
8	MPAD08	집전시험	전기
9	MPAD09	유도장애시험	시스템기술
10	MPAD10	보호장치 동작확인 시험	전장
11	MPAD11	소음시험	응용기술
12	MPAD12	진동시험	응용기술
13	MPAD13	승차감 시험	응용기술
14	MPAD14	지상설비와의 연계동작 시험	신호
15	MPAD15	주요기기 온도 및 상태시험	전기
16	MPAD16	비상착지시험	주행

[표 212]도시철도차량성능검사증(1 ~ 4편성)



(3) 종합시운전 지원

인천공항 시범노선에 차량 이외 부문 인터페이스 협의 및 시설물 검증시험 지원(SE, 궤도, 검수설비, 방송/표시기, 신호, 통신, 전차선, 무선인터넷)

[표 213]주요 인터페이스 및 시험 항목

구 분	주관 기관	주요 인터페이스 및 시험 항목	진행 현황	완료 시점
SE 분야	1핵심 [기계연]	통합계측시스템 차량 설치	완료	
궤도 분야	3핵심 [GS건설]	건축한계, 관절형 분기기, 궤도 검측, 레일유간장치, 레일 모따기, 레일면 도장	완료	
검수설비 분야	3핵심 [GS건설]	외부전원공급장치[스팅거], 대차 분리/이송	완료	
방송/표시기	인천공항공사	역사명, 차량번호 확정	완료	
신호분야	3핵심 [포스코 ENG]	차상신호, 속도검지신호 인터페이스	진행 중	본선시 운전
통신분야	3핵심 [동화음향산업]	열차무선장치, 양방향데이터 송수신	진행 중	본선시 운전
전차선 분야	3핵심 [GS건설]	집전장치/전차선습동,전차선동적특성,분기기/전차선소음/진동	진행 중	본선시 운전
무선인터넷	인천공항공사	영업 운행 전 WiFi 차량 설치 기기 사양 확정	진행 중	영업시 운전

(4) 차량시스템 검토

(가) 미스트유리 적용 검토

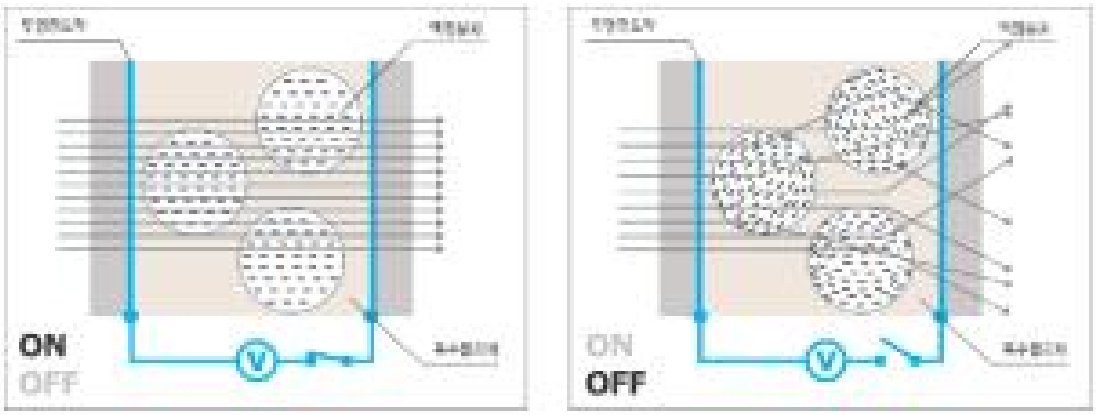
1) 미스트유리 적용 배경



[그림 738]인천공항 자기부상열차 노선 전경

- 인천공항 자기부상열차 시범노선은 경정훈련원 주변을 통과함
- 경정훈련원은 향후 경정장으로 활용될 예정
- 경정 경기 진행시 승부 조작 등의 우려에 따라, 차량 측창을 가릴 수 있는 수단이 필요(인천공항공사 요구 사항)
- 이에 따라 차량 측창을 가릴 수 있는 수단으로 미스트 유리 적용

2) 미스트유리 작동 원리

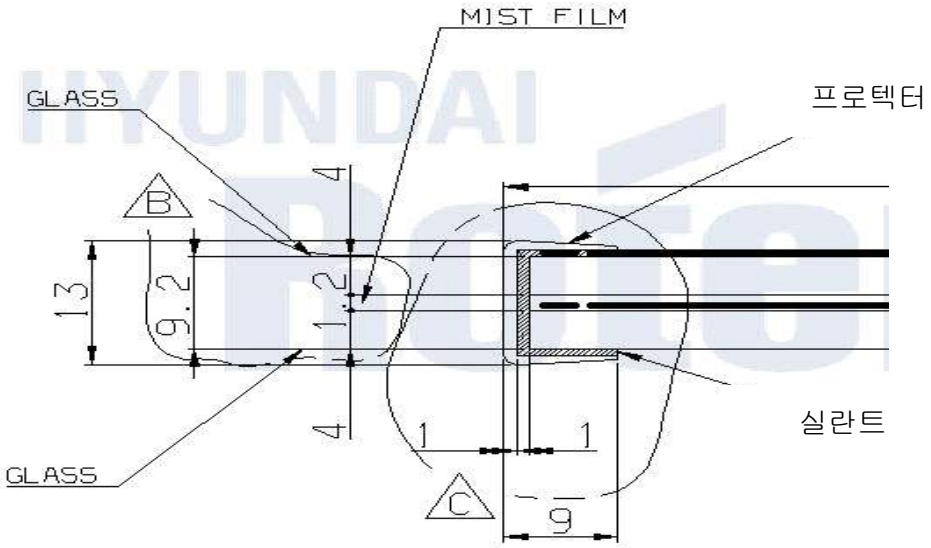


[그림 739]미스트 필름 내부의 액정 분자들의 거동

- 미스트 유리를 구성하고 있는 미스트 필름 내부에는 통전 상태에 따라 방향을바꾸는 액정 분자가 존재
- 통전시에는 이 액정 분자들이 일정한 방향으로 늘어섬으로 빛을 통과시킴
- 단전시에는 이 액정 분자들이 임의의 방향으로 늘어섬으로 빛을 산란시킴
- 상기 원리에 따라 통전 상태에 따라 시야 확보 및 차단 기능 수행

3) 미스트유리 구조

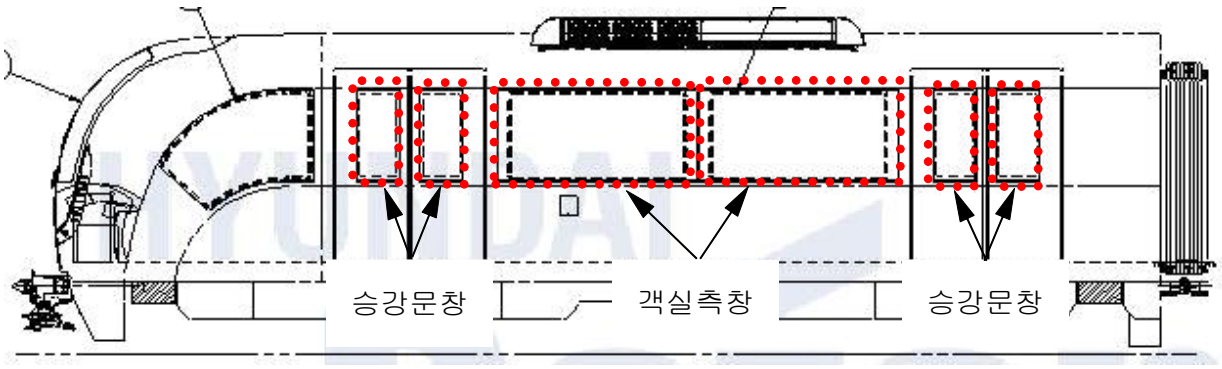
- 기존 접합 유리와 동일한 구조
- 접합 필름 내부에 미스트 필름을 추가한 형태로 제작



[그림 740]미스트 유리의 구조(단면)

4) 차량 미스트유리 적용 부위

- 객실 측창 및 승강문창에 적용
- 차량 좌우 공통
- 운전실 측창은 제외 (3차원 곡면에는 적용 불가)



[그림 741]미스트 유리 적용 부위

(나) 도플러센서 적용 검토

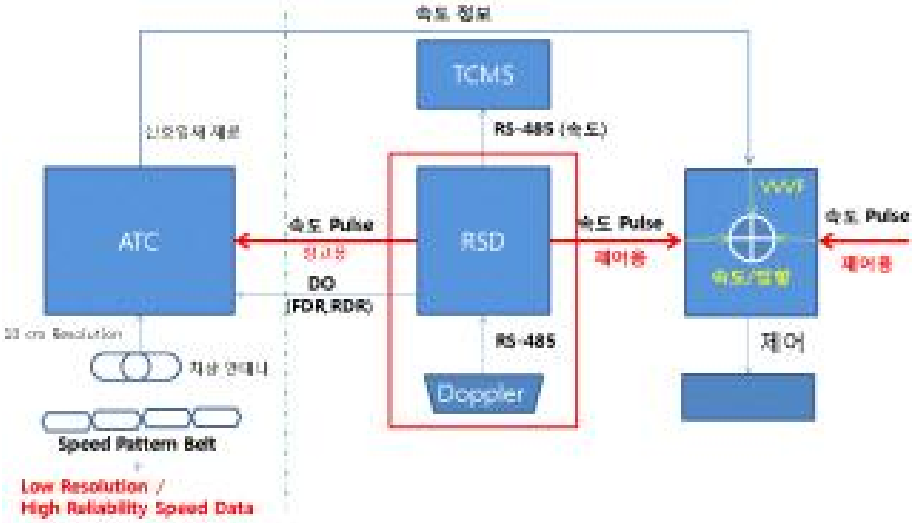
1) 도플러 센서 적용 배경

- 현 패턴벨트 방식의 속도 Pulse는 패턴벨트 또는 차상 신호인식장치 고장시 추진장치를 구동할 수 없으며(비상운전불가), 속도펄스의 해상도가 낮아 추진제어에 사용이 불가로 판단되어 시제차량(기계연)에 적용한 RSD 및 DOPPLER SENSOR를 추가 설치 반영
  단, 속도분배기(RSD)는 시제차량에 적용한 모델에서 기능을 추가하기 위

하여 부분 설계를 하였다.

2) 도플러센서 적용 인터페이스

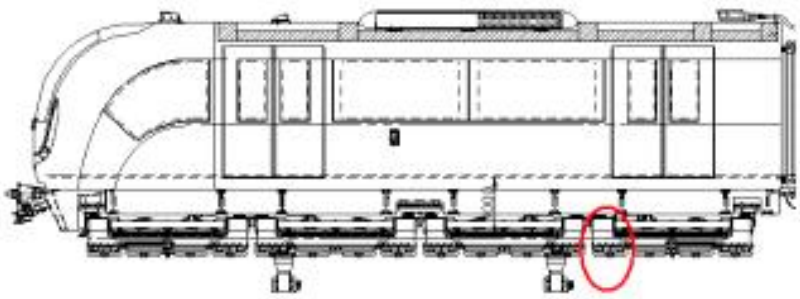
- DOPPLER SENSOR는 속도분배기(RSD)와 485통신을 통하여 속도 정보를 전달하고 속도분배기(RSD)는 VVVF와 ATC에 속도펄스를 전달하며 추가적으로 이중화 개념으로 MCA의 속도분배기(RSD)는 MCB의 VVVF에서 속도펄스를 전달하고 MCB의 속도분배기(RSD)는 MCA의 VVVF에 속도펄스를 전달하는 구조로 되어있다.
  그리고, ATC는 속도검출안테나의 속도정보를 VVVF에 전달한다.



[그림 742]DOPPLER SENSOR INTERFACE

3) 도플러센서 차량 적용 위치

- 도플러 센서는 량당 1개씩(즉, 1편성에 2개)설치되며 BOGIE#4 LEFT FRONT의 대차 프레임에 브라켓을 이용하여 취부하며 배선은 상하덕트를 통하여 실내의 속도분배기(RSD)로 연결된다.



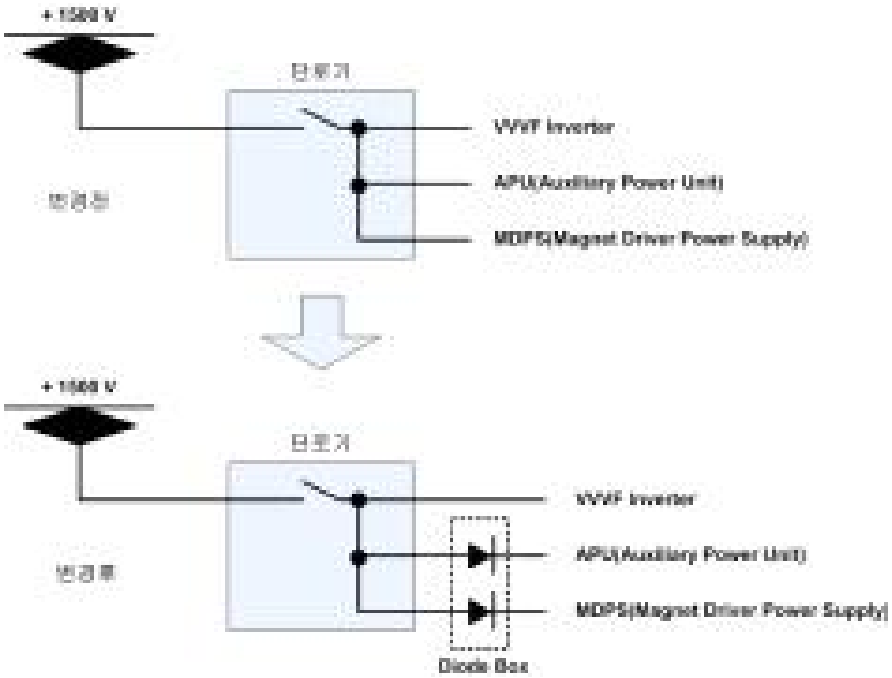
[그림 743]DOPPLER SENSOR 취부 위치

(다) 블로킹 다이오드 박스 적용

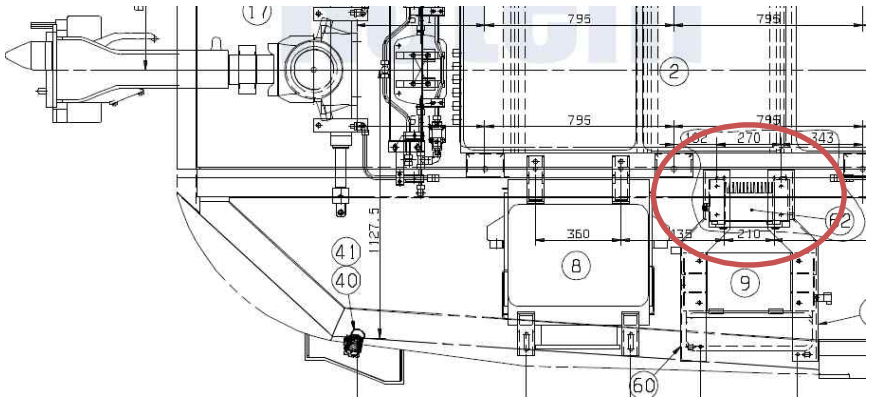
1) 블로킹 다이오드 박스 적용 배경

작업자의 안전을 위해 접지된 검수선으로 차량 운행시 지락 발생으로, 운행선에 있는 차량들의 보조전원장치 휴즈 단선 발생 및 주요 전장품(MDPS, 차상신호장치) 소손 발생되어, 지락에 의한 차량 손상 방지를 위한 블로킹 다이오드 박스 설치 방안 검토

2) 블로킹 다이오드 박스 설치 개념

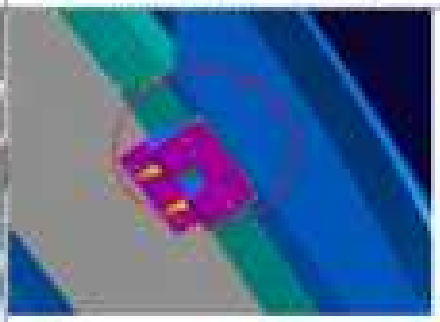


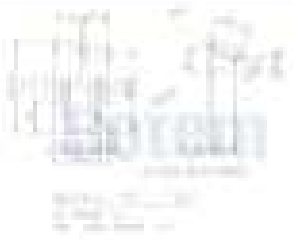
3) 블로킹 다이오드 박스 설치 위치

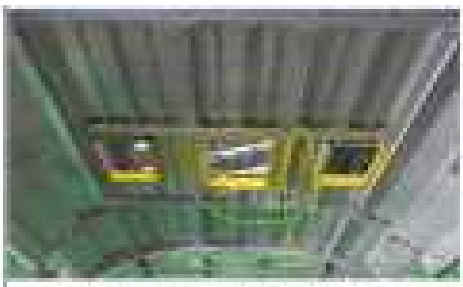


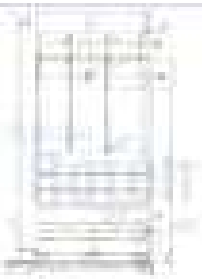
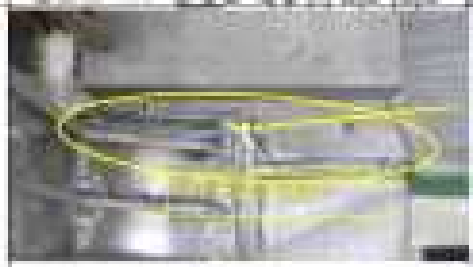
[그림 744]차량 전두부 측면에 1개/량 설치

(4) 차량개발 관련 주요 문제점 개선 사항

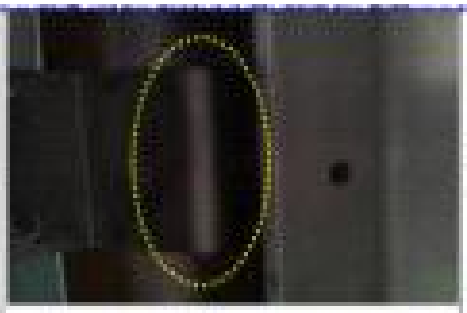
No.	구분	장치명	도로현장 제작 문제점	금산 차량 개선 사항
1	차체	레인가터	루프사 및 HVAC 풍량수 측정 출근대절 및 차를 위한 볼팅에 추가	차체 차량 전후레일부위 레인가터 추가
2		앤더프레임 장부구조	전두 및 중간 연결기 타입 변경에 따른 연결고 취부구조 변경	연결기 마찰면에 걸는 구조로 변경 및 강도 계산
3		차간 열위	볼팅 타입으로 강도 취약점	체결변경하여 용접타입으로 설계변경
4	외장/차체	CAB WASH	 Lifting bracket 과 Cab wash와의 간섭	 Lifting BRKT와 간섭부위 절취 방법 및
5	외장/차체	CAB 측창	 Side window cab 측창 취부시 해당 Braket에 걸어 할후 Side Window 장착시 유리무게에 대한 강도 문제 발생 우려	 Side window cab 측창 취부시 해당 Braket 설계변경(RFB1100248)

6	차체/의장	CAB WASH 고정	 Cab wash 우측 고정 Braket 용접불량로 인한 찍힘 발생	 고정 BRACKET SLOT HOLE 가공 -> 고정위치로 변경
7	차체/의장	CAB WASH	 커플러 조립 위치 플라지 CAB wash와 간섭 되는 이슈발생	 Cab wash설계시 반영

11	외장	단로제 작동 부위	 차량 리얼 적용내 단로제 미 적용	도면에 품번 기재 -> RFHS2000148K1 로 변경
12	외장	내장판 Locking	 Locking 고정 지지대를 접착제만으로 부착하여 차량운행시 진동으로 인하여 지지대가 떨어질 우려가 있음	작업 방법을 도면기재 (RFPS3000AK1 ,RFPS3003AK1 RFPS3000AN1 ,RFPS3011AK1 RFPS3013AK1 ,RFPS3015AK1) NOTE 추가 수지를 도포하여 내장판을 단단하게 고정할 것.

9	차체/의장	테일램프 측면 고정		 차체 배전함 브라켓 DIG 적으로 10mm 이동 (RGA0031548) - 변경항목 :
			테일램프 측면부고정과 도어측 차체와의 간섭(RFP0032A#) RH 스틸 변경 필요	
8	차체/의장	DIG 모니터 고정		
			DIG용 모니터 탈착 시 [illegible] 간섭	(RFP0031A#) 변경 필요
10	차체/의장	플랩몰		Door_Post 용접후 사상 작업을 도면에 표기 도어 측부 브라켓 각 Post별 형상에 맞게 가공필요 -> 구체안공사항 (RGA0033A#) 참조 (RFP0102A#) 브라켓 구체 (NG)부 홀 변경
			Door_Post 용접시 레이저용접용 사상 작업을 하지 않아 도어 측부를 브라켓 [illegible]	
13	의장	도어 와이어 서포트	플랩몰 브라켓과 접촉을 피하여 및 차량도어 전원 케이블 라인 Support 작업 필요	도면에 마운트 형상기재 작업방법 기재

14	처짐	HVAC 커버	 HVAC 커버하부시 Roof 모서리 녹물 기려	Roof 설계시 반영 하세반영 시험 ->RSR1000DAR1 #5
15	처짐	Sliding 지지부 시설	 모서리 날카로움	지붕 마감 조치 중요
16	작업/처짐	창문 하부	 Window supply	하부 보강핏 추가 조치 완료 앙신히 반영 -> 구조반영 사항 RSR0000DAR1 #1도 15
17	작업/처짐	외자 하부	 내측 Roof 리벳위치로 보강핏 필요	하부 보강핏 추가 조치 완료

18	외장/차체	배전반 취부 bracket	 오면접 a.d.h.l.s 리벳의위치와 작업공간 확보	차체에 새로 Slot을 반영 작업공간 확보를 위한 'c' 칠삭의 브리켓 적용
19	외장	End Reeval Frase	 END Reeval Frase 길이 불일치로 외장작업 불가	오면 반영후 양산적용 -> RFPS2023#1반영 길이 1821->1725로 변경
20	외장/차체	CAB 유자 취부 감소	 Cab Die window 내장재 취부시 외부 취부를 보강하여 강성을	차체도면 치수 수정 반영후 양산적용 구체도면(#0a0000584)
21	가장	하이룸 덕트	 Hi-Roof부를 룸스타 인트덕트 삽입시 작업 편리부 간섭	U/T 룸스타 프레임 폴딩 반영 CABLE DUCT END부 변경반영
22	가장	연결기	슬롯타입기존 연결와 다른 전두 및 중간 연결기 타입 변경	전두연결기: 연결부 차체 형상 변경 중간연결기: 연결부 차체 형상 변경 변경 및 타입 연결 결정리의 변경

23			전후면설계 충돌발생시 변경에따른 차체 외 강성 보강	충돌발생시 차체위치 변경 및 차체강성부 결측(구조해 결함이 없는지 해석)
24	제동	공기압축기	공기압축기 타입변경(벨트타→스크류직결타입 크기증가로 대치트랙션모터장 감소	압축기 형상 변경으로 간섭 회피
25	기장	차간절연	차간절연 충격 분석 및 효율 증대	• 적산된 차간절연 시제차 시험을 통한 최적 댐퍼특성 분석 • 차간댐퍼 연결 작도 변경을 통한 절연 효능 극대화
26	제동	공유압변환기	내부의 오일펌프 작동부, 스프링을 대한 비용을 현저한 감소 차체는 더욱한 강성 필요 (공유압변환기의 신뢰성 검증 필요)	변환기 신뢰성을 위하여 제품/전체 품목 누적될 압력에 신뢰성 TEST 실시 (최 400Bar) Dyn 2000회 TEST 실시
27	에칭	HVAC	리던던티를 장기간 세척하지 않을 경우 리던던티 변색을 인한 리던던기 변화시 이상 소음 및 진한 송기 출입부에 먼지가 과다 발생하며 냉방 효율이 저하됨	리던던기 필터의 주기적 세척 및 필요시 교체
28	에칭	경체이	최소곡선(R80m) 통과시 발생 흔들림	발생형상 연결부 통해 해결

29	전기		Signal Converter(신호변환기) 아날로그 신호(온도/압력/변위센서 등)를 구형(노이즈)로 인한 출전/차단 불량이 빈번히 발생	• Signal Converter 대신 DBS 제어기를 적용하여, 아날로그 신호 대신 485통신에 의하여 측전기 및 정보 제공 예정
30	전기		동절 온대 동요 → 초도현상 측전지 용량의 대전 감퇴 → 겨울(무인기동을 위한 대기전력 모집) 옥 충전시스템 추가 부착	• 기존용량 60Ah에서 120Ah로 동절 증가하여 Box 설계 완료 • 동절증가로 인한 중량 증가 : 약 90kg 예상
31	전기	부상복연료 측전지 (240 cell)	• 총 240 cell을 220 cell(7간의 Seat 내부)과 20 cell로 분리/설계 • 20 cell 및 BCB를 신호장치 공간에 위치	• 전여공간에는 신호시스템이 적용됨으로, 7간의 Seat내부공간을 최대로 활용하여 Box 재설계(2중구조) 완료
32	전기	집전장치 (Current Collector)	• 형동+측연 재질 집전슈 적용 • 주행시 전차선 도체(구리+니켈도금) 귀집 현상으로 인한 소음 및 전차선 도체 마모 발생	도면반영 완료
33	전기	접속상자 (LIJB)	• 신호시스템 적용에 따른 차량 인출라인 대폭 증가	• LIJB Receptacle(74P) 1개 추가 및 단자대 추가에 따른 LIJB 재설계 완료 • 점퍼케이블 1개 추가 반영 완료
34	전장품		제동 속와 제일간 접촉에 의한 부상상태 확인문제	1. 해당 이음매 부속의 모터기 => 제도 설계조건에 반영됨 2. 부상장치의 3개 튜닝(출력에 의한 비정상적 가속도 감지 대책 (Jerk 적용)

(5) 차량정비 매뉴얼

(가) 관련 문서 작성 후 사업단/인천공항공사 제출

- 유지관리 지침서
- 장애 복구 절차서
- 운전 지침서
- 차량 도면집
- 교육 훈련 교재

- 부품 명세표

(나) 운영처 유지보수 교육 완료

주요 장치에 대해 인천공항공사 유지보수 인원 교육 실시('13. 05월 ~ '13. 06월)

[표 214]차량정비 매뉴얼 목록

순번	구분	명칭
	열차	자기부상열차 운전 및 정비 지침서
	열차	제 1장 차량 일반
1		1-1 일반 사양 및 성능
2		1-2 주요기기 사양 및 차량 일반도
3		1-3 기호 명칭
4		1-4 인통선 기능
5		1-5 측면접촉식 전차선로 차량 운용시주의 사항
	열차	제2장 전기 회로
6		2-1 운전 조작
7		2-2 주회로 및 제어회로
8		2-3 보조전원장치 제어회로
9		2-4 부상제어장치 제어회로
10		2-5 추진제어장치 제어회로
11		2-6 저압 보조회로
12		2-7 제동 제어
13		2-8 주요 전기 회로도
	열차	제3장 차체 구조 및 설비
14		3-1차제 구조
15		3-2 출입문 장치
16		3-3 객실 설비
17		3-4 객실 의자
18		3-5 운전실
19		3-6 통로 연결막
20		3-7 공기조화장치
21		3-8 연결장치
	열차	제4장 기기 배치
22		4-1 기기 배치
	열차	제5장 대차
23		5-1 개요
24		5-2 대차의 주요 특징
25		5-3 대차의 주요 제원 및 구성품
26		5-4 대차 구조

27		5-5 분해 조립
28		5-6 보수 점검
29		5-7 검사 수선에 관한 기준
	열차	제6장 선형 유도 전동기
30		6-1 선형유도전동기
	열차	제7장 제동 장치
31		7-1 제동장치
32		7-2 제동제어장치(ECU)
33		7-3 제어밸브
34		7-4 중계밸브
35		7-5 전자밸브(VM14-1H,YM321A)
36		7-6 감지밸브
37		7-7 제동호스(고압공기, 유압)
38		7-8 공기정화기
39		7-9 공기 압축기 기동장치
40		7-10 공기 압축기
41		7-11 공기 건조기
42		7-12 수분리기
43		7-13 안전밸브
44		7-14 압력공기통
45		7-15 에어필터
46		7-16 테스트 피팅
47		7-17 Drain Cock
48		7-18 와이퍼 시스템
49		7-19 배관 보수 작업 기준서
	열차	제 8장 낸난방 장치
50		8-1 냉난방 장치
	열차	제9장 주회로 및 제어 회로 기기
51		9-1 집전장치
52		9-2 전원 연결기
53		9-3 주 퓨즈 상자
54		9-4 과부하 차단기
55		9-5 부상제어장치
56		9-6 추진제어장치
57		9-7 주간제어기
58		9-8 단로기 박스
	열차	제10장 보조 전원 장치
59		10-1 보조전원장치
	열차	제11장 종합 제어 장치
60		11-1종합제어장치시스템 (TCMS)운영 지침서
61		11-2종합제어장치시스템(TCMS)정비 지침서
	열차	제12장 차체 부속 전기 기기

62		12-1 LED 실내등
63		12-2 전조등 및 후미등
64		12-3 기타 등구류
65		12-4 LED 표시기 장치
66		12-5 LCD 표시기 장치
67		12-6 방송장치
68		12-7 배전반
69		12-8 축전지
70		12-9 비상 인터폰
71		12-10 접속 상자
72		12-11 접지 브러쉬
73		12-12 열차무선장치
74		12-13 기타 운전실 판넬류
75		12-14 화재감지 시스템
76		12-15 CCTV
	열차	제13장 검사 주기표
77		13-1 사용자 유의사항
78		13-2 추천 검사 주기표
79		13-3 기기별 주요 및 청소 개소

(6) 잔여편성(3개 편성) 유지보수용 예비품 구매

- 예비품 목적 : 개발차량 운영처 인수 후 차량 유지보수용
- 사업단/인천공항공사 예비품 종류 및 수량 협의/확정
- 선형유도전동기(LIM)외 190 종 발주 및 인천공항공사 입고 완료

(7) 시범노선 영업시운전 지원

- 차량 성능시험 완료 후, 개발 3개 편성은 운영처인 인천공항공사에 인도
- 개통 전 시범노선 영업시운전 지원 실시(2개월)

(8) 상용화 차량시스템 사양 작성

- 최고 설계속도 : 70km/h, 최고 운행속도 : 60km/h 기준 상용화 차량시스템 작성

나. 소형/경량화 추진제어장치 개발 (브이씨텍-협동)

(1) 추진제어장치 제작(4sets)











(2) 성능시험 및 조합시험



다. 경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발 (유진기공산업-협동)

(1) 연구개발 주요 내용

(가) 공기압축기 기동장치 시제품 개발 및 양산 적용

1) 공기압축기 사양 변경

- 직결식의 경우 공기압축기 입력단에 최대 2900rpm 수준이어야 하므로 2극 CM (용량3.7kW)적용 시 3600rpm으로 문제 발생 예상
- 2극 CM을 50Hz로 동작

2) 바이패스 기동 없이 정지되는 시퀀스 적용

(나) 공기압축기 직결 방식으로 변경

(다) 대차 댐핑레버 개선

(라) 공유압변환기 개선

1) 출력특성 개선

증폭비를 기존 1:20(실 증폭비1:20.4)에서 1:25(실 증폭비1:27.4)로 변경하여 만차 비상제동 시 제동압력 5.3kgf/cm^2 에서 4.17kgf/cm^2으로 변경함.

2) 유압게이지 간섭 개선

3) 인디케이터 개선

4) 오일 캡 개선

(마) 형식시험

1) RPS-CM1-503-006_자기부상열차_형식시험결과보고서_압력스위치

2) RTT-BS1-503-01_자기부상열차_압력센서 형식시험 결과서

3) RTT-BS1-503-02_자기부상열차_VM14-1H 형식시험 결과서

4) RTT-BS1-503-03_자기부상열차_YM321A_ 형식시험 결과보고서

5) RTT-BS3-503-01_자기부상열차_(Y)응하중 형식시험 결과서

6) RTT-BS3-503-02_자기부상열차_전공변환중계밸브 형식시험 결과서

7) RTT-BS5-503-01_자기부상열차_제어밸브(BOU) 형식시험 결과서

8) RTT-BS8-503-01_자기부상열차_공기필터 형식시험 결과서

9) RTe-CM2-001K_자기부상열차_형식시험결과보고서

10) RTe-CP1-G01K_자기부상열차_형식시험결과보고서

11) RPS-CM1-503-001_자기부상열차_공기압축기_결과서

12) RPS-CM1-503-002_자기부상열차_JS1000B 공기건조기_결과서

13) RPS-CM1-503-003_자기부상열차_TF-S240 액상분리기_결과서

14) RPS-CM1-503-004_자기부상열차_안전밸브_결과서

15) RPS-CM1-503-005_자기부상열차_D1A 자동배수밸브_결과서

16) RPS-CM1-503-006_자기부상열차_압력스위치_결과서

(바) 제작검사필증

1) 제3검증기관 제작검사 합격증

(사) 완성차시험 및 본선시험

1) 완성차시험 결과보고서

2) 본선시험 결과

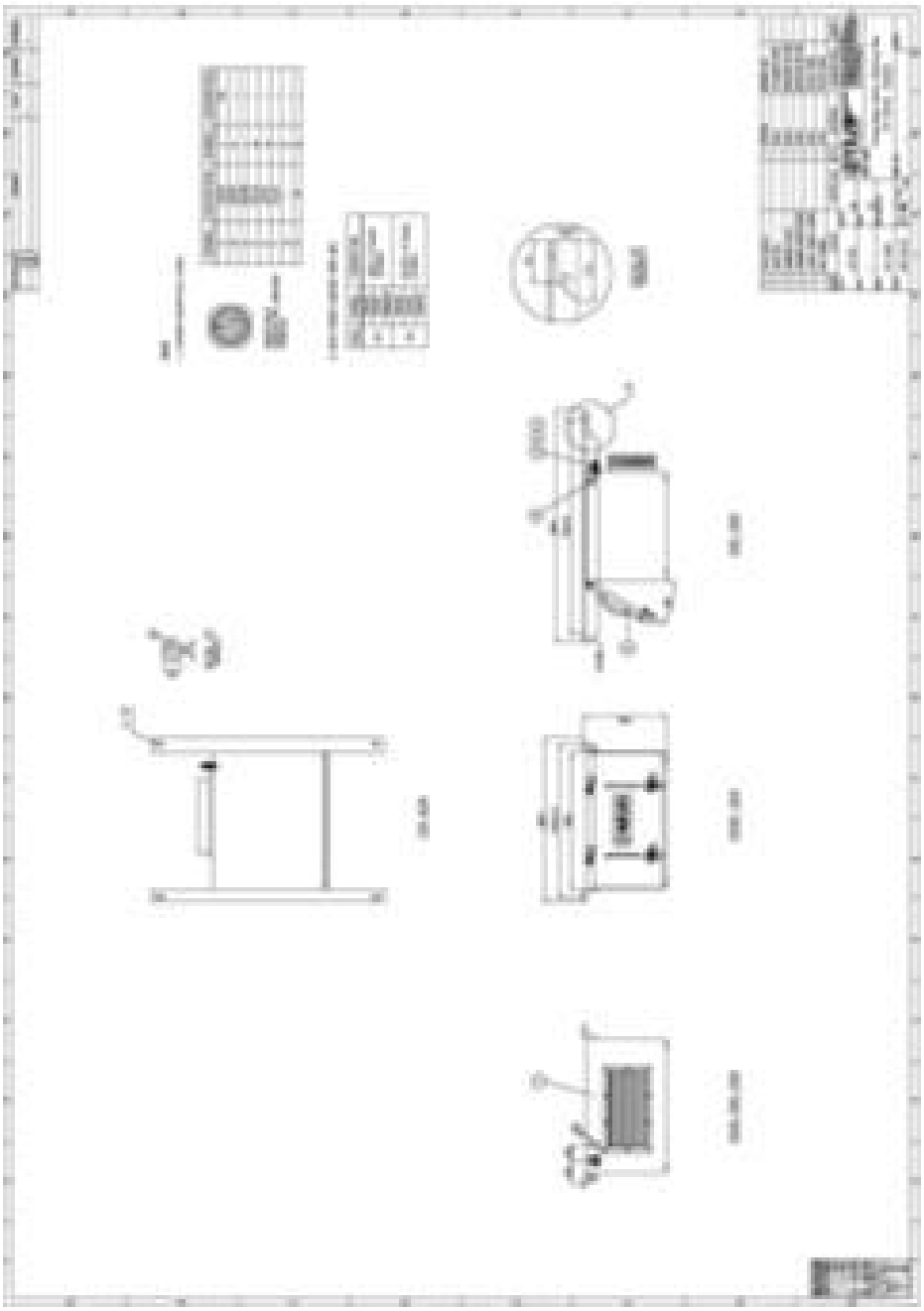
(2) 연구개발 결과물

(가) 공기압축기 기동장치 시제품 제작

형식		사양
일반사양	회로방식 제어방식 냉각방식 인버터 용량 사용온도 상대습도	전압형 인버터 기동방식 PWM 자연냉각 방식 1200V/50A -25℃ ~ 40℃ 30%~90%
입력사양	제어 전원 정격 제어전원 허용변동범위 정격 전압 전압 변동 범위 정격 주파수	DC 100V DC 70V ~ 110V 3상 380V AC 342V ~ 418V AC 60 Hz
출력사양	정격 출력 정격 출력 전압 정격 출력 전류 최대 출력 주파수 기동 주파수 기동지연 시간 과부하 내량 기동 방법 정지 방법	4kW 3상 380V AC ± 5% 9A 50Hz ± 2% 최소 주파수 0 ~ 10초 정격 전류의 150% 1분 SOFT 주파수 기동 FREE 정지

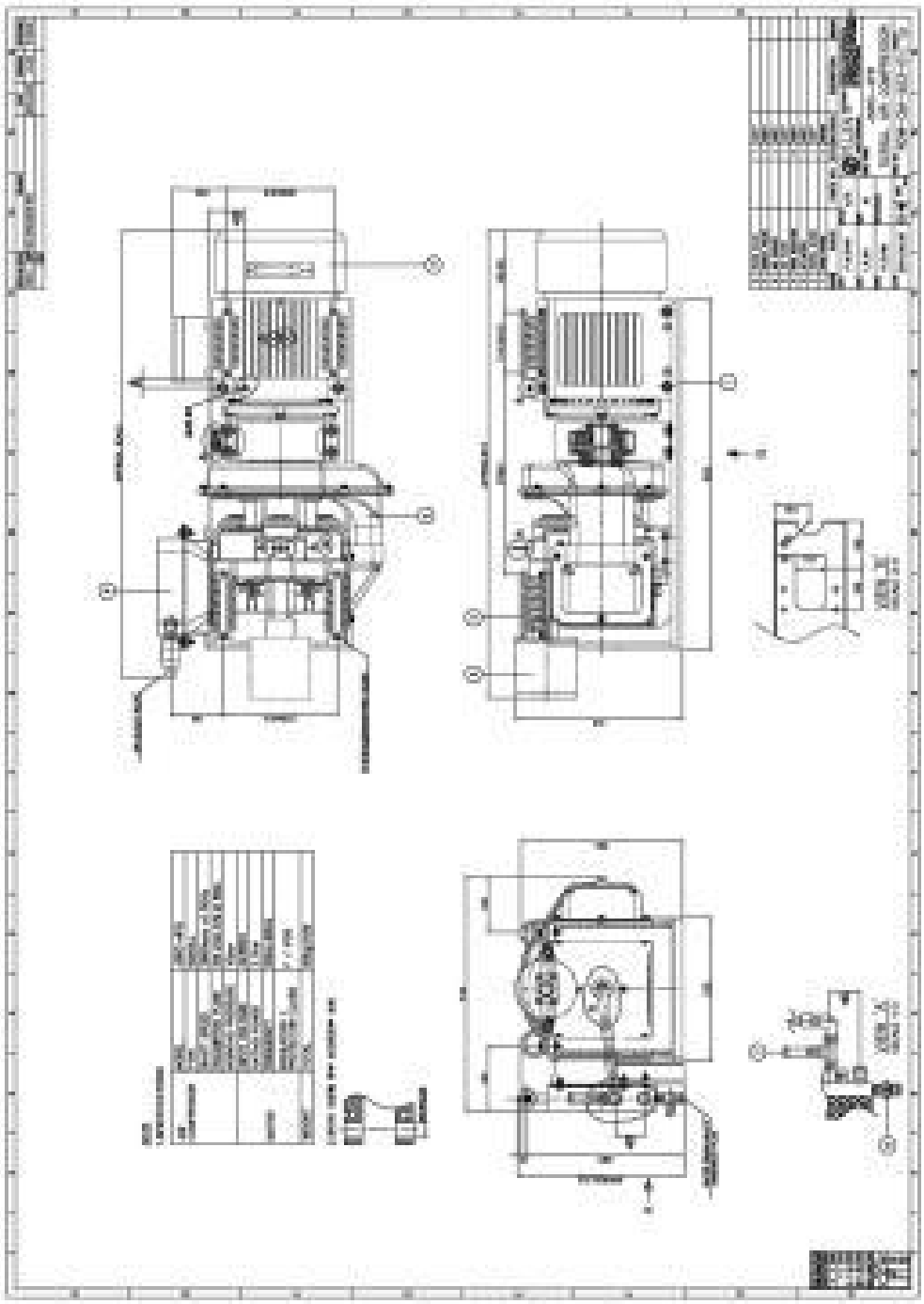


[그림 745]시제품 사진

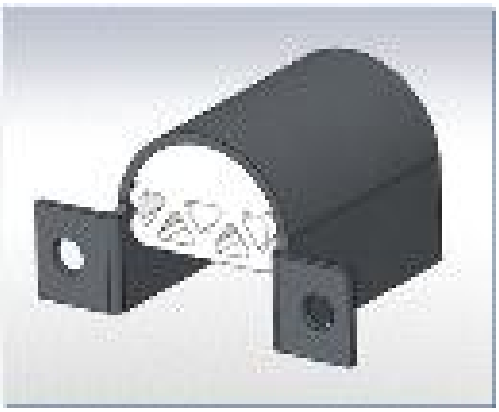
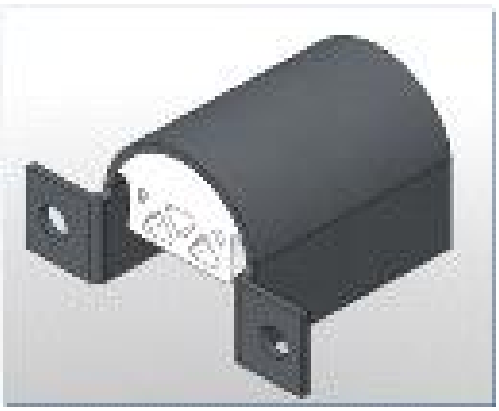


[그림 746]공기압축기 기동장치 제작 일반도

(나) 공기압축기 개선 도면

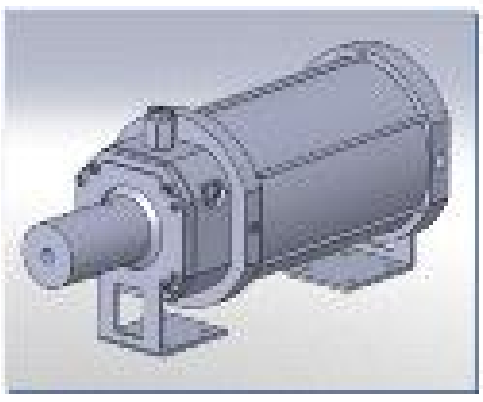
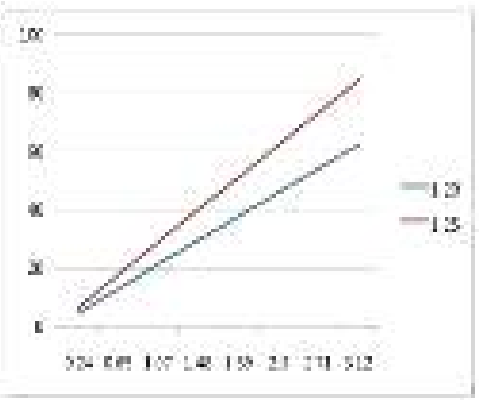


(다) 대차 댐핑레버 개선

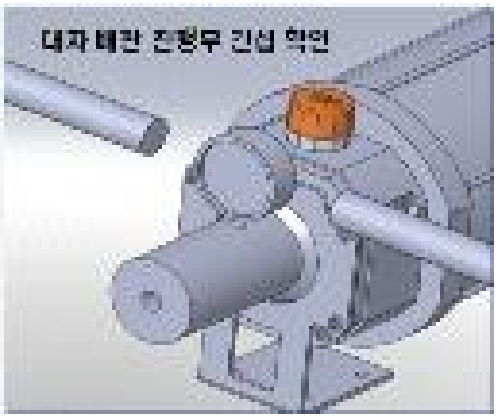
문제점	대차프레임과 댐핑러버 취부현황에 맞추어 제작된 댐핑러버 형상은 safety bracket과 동시에 성형되므로 추가적인 형상의 변경이 요구됨(2011/08)	
개선사항	대차취부 현황 및 강도해석 만족여부 판단하여 제품성형에 이상이 없는 형상으로 재설계(2011/09)	
		
	개선전	개선후

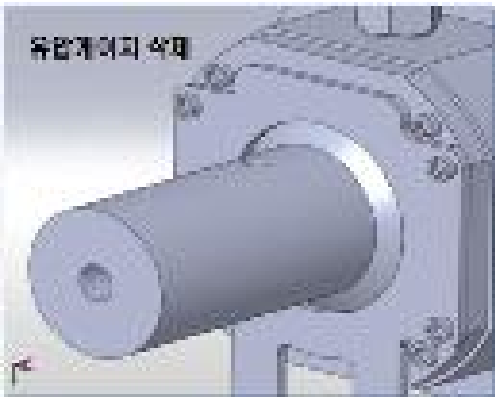
(라) 공유압변환기 개선

1) 출력특성 개선

문제점	감속도를 고려한 만차 제동 압력이 너무 높으므로 현 차량에서 추가적인 제동 유닛을 설치할 수 없는 관계로(중량, 취부 위치 미확보)공유압변환기 출력 특성변경이 요구됨(2011/07)
개선사항	기존의 1:20의 공/유압 증폭비를 1:25로 수정하여 제동유닛의 추가 없이 상당제동력을 확보토록 함(2011/09)
	 

2) 유압게이지 간섭 개선

<table>
<tr><td>문제점</td><td colspan="2">공유압변환기의 유압게이지가 대차 배관 설계에 따른 간섭문제 및 영업 운행 시 파손 우려(2011/09)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">개선사항</td><td colspan="2">공유압변환기에 취부되는 아날로그 유압게이지 삭제하여 대차 배관과의 간섭을 없앰(2011/09)</td></tr>
<tr><td> 

개선전</td><td> 

개선후</td></tr>
</table>

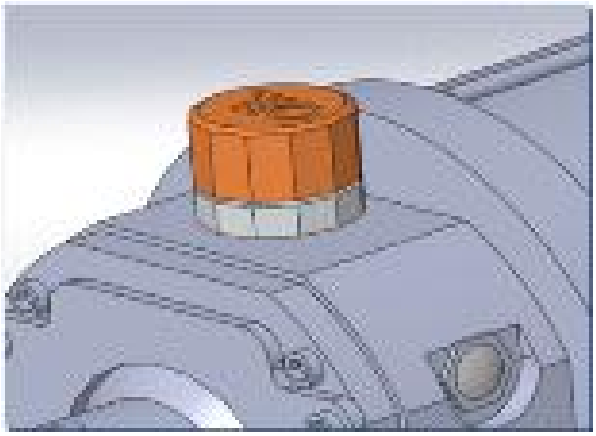
3) 오일레벨 인디케이터 개선

<table>
<tr><td>문제점</td><td colspan="2">오일레벨 인디케이터의 작동유로 인한 손상(투명 수지류의 손상)(2011/07)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">개선사항</td><td colspan="2">유리소재의 인디케이터로 교체하여 식별성 및 내유성 향상(2011/09)</td></tr>
<tr><td> 

개선전</td><td> 

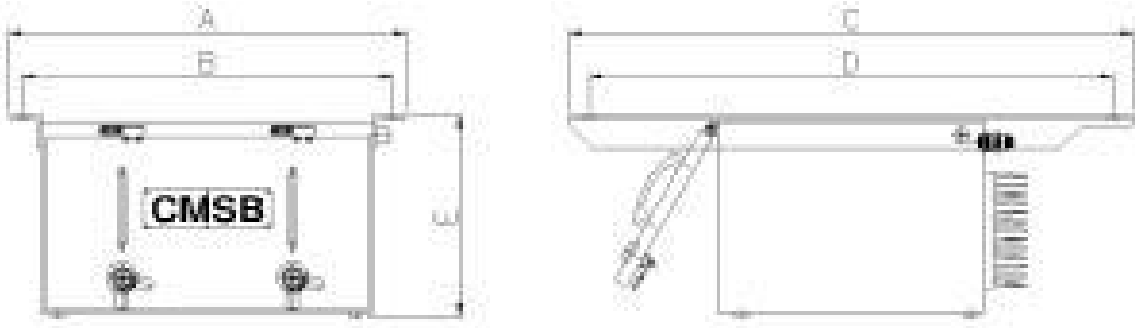
개선후</td></tr>
</table>

4) 오일 캡 개선

문제점	수지류 오일캡의 부식으로 인한 손상 및 외기 유입(2011/07)
개선사항	브리더 형식으로 교체 외기 유입을 차단, 내부는 내유성 재질로 교체(2011/09)
	

(마) 형식시험 결과보고서

1) 공기압축기기동장치



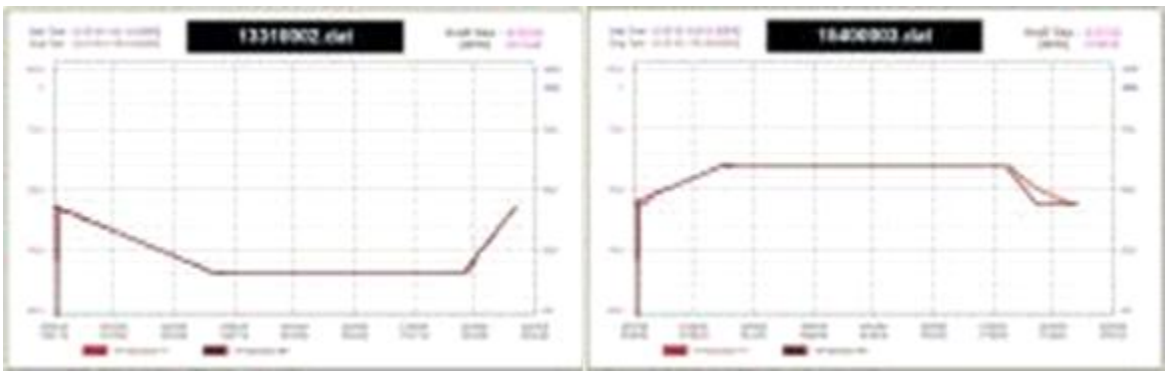
순번	항목	판정기준	측정치	비고
1	외관검사	외관검사는 사용상 유해한 흠, 녹 오손과 변형이 없으며, 제품 외부에 품명, 제작사 또는 그 약호, 제작연월, 일련번호 등의 표기가 있으면 양호로 한다.	OK	

2	치수검사 (mm)	A	595 ± 2.0	595	
		B	555 ± 2.0	554	
		C	844 ± 2.0	844	
		D	783.5 ± 2.0	783	
		E	300 ± 2.0	300	
3	중량검사	완성된 장치의 중량을 측정하여 40kg±4kg 이내이어야 한다.		41 kg	
4	절연저항시험	DC1000V Mega-Ohm Tester 측정하였을 때 주회로 5 0MΩ, 제어회로 30 MΩ 이상이어야 한다.		주:∞ 제어:∞	
	내전압시험	주회로 - 접지간: AC1800V 1분간 견딜 것. 제어회로 - 접지간: AC1200V 1분간 견딜 것.		OK	
5	기동 및 정지시험	1) 기 동 및 정지 시험	Time chart대로 정상 기동 및 정지 될 것.	OK	
		2) 무부하 소비 전류시험	무부하 입력전류를 측정하여 1A 이하	0.08A	
		3) 고장시 기동정지 시험	경고장 4회 발생 시 자동 재 기동 여부	OK	
			경고장 5회 발생 시 자동 정지 여부	OK	
			중고장 2회 발생 시 자동 재 기동 여부	OK	
			중고장 3회 발생시 자동 정지 여부	OK	
6	입력전압 변동시험	DC70V	AC342V	출력전압 AC380V ±5%, 출력 주파수50Hz±2%	AC382V 50.2Hz
			AC418V		AC380V 50.0Hz
		DC100V	AC342V		AC384V 50.6Hz
			AC418V		AC382V 50.2Hz
		DC110V	AC342V		AC384V 50.4Hz
			AC418V		AC384V 50.0Hz

<table>
<tr><td rowspan="6">7</td><td rowspan="6">출력
전압
측정
시험</td><td rowspan="2">상회전
확인시험</td><td rowspan="2">정상기동상태에서
출력전압 U-V-W상
순서로 위상이 120도±
5%(6.33~7.0ms)</td><td>U-V상</td><td>6.5ms</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>V-W상</td><td>6.5ms</td></tr>
<tr><td rowspan="2">무부하
시험</td><td rowspan="2">무부하 정상 기동일 때
출력전압은 AC380V±
5%,
주파수: 50Hz±2%</td><td>W-U상</td><td>6.7ms</td></tr>
<tr><td>AC380V±
5%</td><td>AC385
V</td></tr>
<tr><td rowspan="2">전부하
시험</td><td rowspan="2">100% 정상 기동일 때
출력전압은 AC380V±
5%,
주파수: 50Hz±2%</td><td>50Hz±2%</td><td>50.5Hz</td></tr>
<tr><td>AC380V±
5%</td><td>AC375
V</td></tr>
<tr><td rowspan="7">8</td><td rowspan="7">보호회
로
동작시
험</td><td>출력
단락시험</td><td colspan="2">출력단 삼상중 임의의 두상을 단락
하였을 때 장치가 정지되면 양호로
한다.</td><td>OK</td><td rowspan="7"></td></tr>
<tr><td>출력 과전류
시험</td><td colspan="2">정격 부하의 200%(18A)±5% 인가했을 때
장치가 정지되면 양호로 한다.</td><td>18.6A</td></tr>
<tr><td>출력 과부하
내량 시험</td><td colspan="2">정격 부하의 150% 인가했을 때부터
인버터가 1분간 견뎌야 하며, 이후에
장치가 정지되면 양호로 한다.</td><td>1분02초</td></tr>
<tr><td>인버터
과전압 보호</td><td colspan="2">입력전압을 상승시켜 인버터 내부의 DC
Link 전압이 750V±20V에서 장치가
정지되면 양호로 한다.</td><td>DC750V</td></tr>
<tr><td>인버터
저전압보호</td><td colspan="2">입력전압을 상승시켜 이버터 내부의 DC
Link 전압이 402V±20V에서 장치가
정지되면 양호로 한다.</td><td>DC402V</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Heat sink
과열보호
시험</td><td>온도스위치
동작시험</td><td>온도스위치의 접점을
분리하면 장치가 정지되면
양호로 한다.</td><td>OK</td></tr>
<tr><td>방열판
가열시험</td><td>방열판의 온도를 85±
5℃되도록 외부에서
가열하였을 때 보호회로가
동작되면 양호로 한다.</td><td>86℃</td></tr>
<tr><td rowspan="2">9</td><td rowspan="2">소음
시험</td><td colspan="3" rowspan="2">정상 기동 상태에서 65dB 이하</td><td>무부하</td><td>52dB</td><td rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>전부하</td><td>55dB</td></tr>
</table>

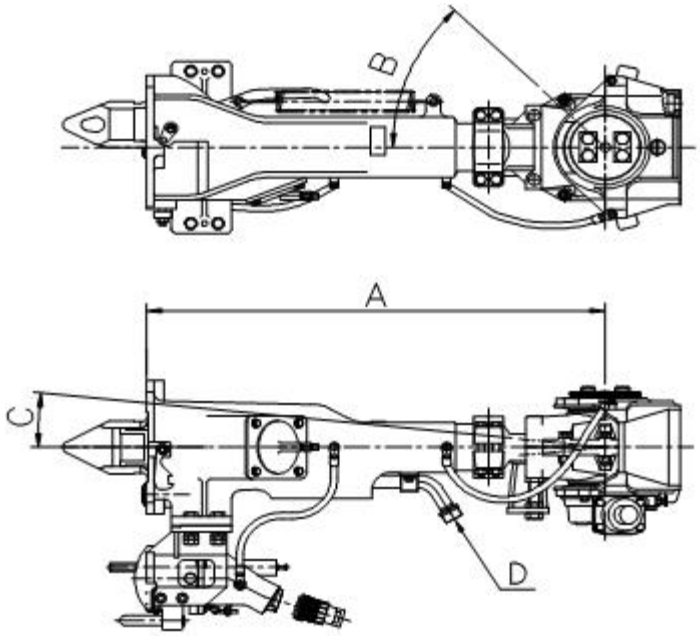
<table>
<tr><td rowspan="7">10</td><td rowspan="7">온도시험</td><td>온도
상승시험</td><td colspan="3">장치의 방열판에 온도센서를 부착 및 기록계를 설치하고 장치를 전부하 상태로 30분 연속으로 동작시킨 후 인버터 방열판의 온도를 측정하여 85℃이하이면 양호로 한다.</td><td>32℃</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="6">주위
온도시험</td><td rowspan="3">-25℃</td><td rowspan="3">AC380V±5%
50Hz±2%</td><td>U-V상</td><td>AC379V
50.0Hz</td><td rowspan="6"></td></tr>
<tr><td>V-W상</td><td>AC381V
50.0Hz</td></tr>
<tr><td>W-U상</td><td>AC381V
50.0Hz</td></tr>
<tr><td rowspan="3">+45℃</td><td rowspan="3">AC380V±5%
50Hz±2%</td><td>U-V상</td><td>AC384V
50.0Hz</td></tr>
<tr><td>V-W상</td><td>AC382V
50.0Hz</td></tr>
<tr><td>W-U상</td><td>AC384V
50.0Hz</td></tr>
<tr><td>11</td><td>진동
시험</td><td colspan="3">철도차량 부품의 진동시험방법(KSR 9144 2종 B)의 조건에 따라 시험 후 외관검사 및 기동/정지시험에 이상이 없어야 한다.</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>12</td><td>방수
시험</td><td colspan="3">KS V 8011 3항에 따라 기구를 정규 부착상태로 그 직선상에서 100°(±50°)까지의 사이에 어느 방향, 거리 1.3m, 연속적으로 5분간 물을 살수하여 장치의 내부에 물이 침투되지 않으면 양호로 한다.</td><td>양호</td><td></td></tr>
<tr><td>13</td><td>전자파
시험</td><td colspan="3">EMC/EMI 시험규격에 만족할 것.</td><td>공인
기관
성적서</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="7">[비 고]

1. 자기부상열차 CMSB 전자파시험성적서
2. RVR-CM2-503-01-CMSB_진동시험결과서
3. 온도시험그래프</td></tr>
</table>



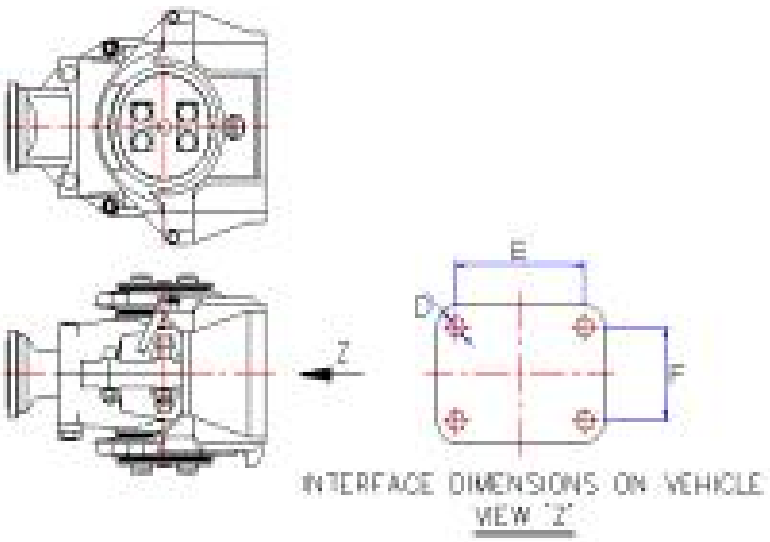
[그림 747]공기압축기 기동장치 온도시험 그래프

2) 다중 및 중간연결기



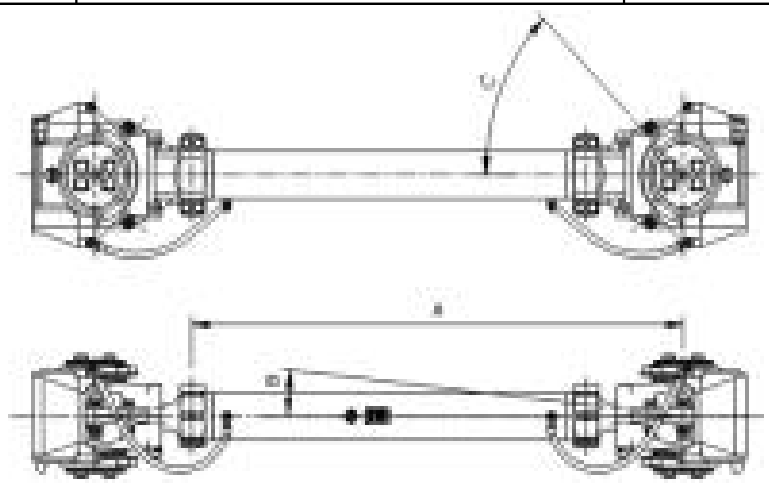
순번	항목	판정기준		측정치	비고
1	외관검사	사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없어야 하며, 도장은 도장사양서에 따를 것.		이상없음	
2	치수검사	A	1100 ±5 mm	1,100 mm	
		B	45°(※형식시험만 실시)	47 °	
		C	6°(※형식시험만 실시.)	6 °	
		D	R1 “	R1 “	
3	자분탐상검사	KS D 0213에 의거 제품 표면을 검사했을 때 균열이 없어야 한다. 적용품목은 Coupler body에 대하여 적용한다.		입고검사 성적서 참조	
4	재질시험	부품 사양서 3.3항을 만족할 것.		입고검사 성적서 참조	
5	절연저항시험 (전기연결기)	DC 1,000 V 절연저항계로 각 접촉자간 및 도전부와 접지부 간을 측정하여 20 MΩ 이상일 것.		이상없음	
6	절연내압시험 (전기연결기)	각 접촉자간 및 도전부와 접지부 간을 AC1,200V/ 60 Hz로 1분간 가하여 견뎌야 할 것.		이상없음	
7	온도상승시험 (전기연결기)	연결기를 결합시킨 상태에서 접촉자에 통전 조건에 따라 전류를 인가하고, 접촉자, 전선보호튜브, 전선 및 전기연결기 몸체의 포화온도를 측정한다. 측정부의 온도 상승		기실적 보고서 대체 (이상없음)	

		은 60° C 이하 이어야 한다.		
8	살수시험 (전기연결기)	KS V 8011 3항에 의거 제품을 정규의 부착 상태로 그 직상에서 100° 까지 사이의 어느 방향으로부터 거리 1.3m로 연속 5분간 물을 살수했을 때 누수가 없으며, 기구의 사용에 이상이 없을 것.	이상없음	
9	호환성시험 (밀착연결기) (전기연결기)	임의의 연결기를 서로 조합할 시 탈착기능 및 회로구성에 이상이 없을 것. 전기연결기의 경우 별도의 도통시험 장비에 연결하고, 각 신호선에 전원을 인가했을 시 LAMP의 점등으로 연결상태 이상 유무를 확인한다.	이상없음	
10	공기누설시험 (밀착연결기)	표준연결기에 연결하여 29.4 kN(3 ton)의 인장력과 882 kPa(9 kgf/㎠)의 압축공기를 보냈을 때 누설이 없을 것.	이상없음	
11	자동해방장치 기능시험	두 개의 연결기를 결합한 상태에서 882 kPa(9 kgf/㎠)의 압축공기를 자동해방장치용 공압 실린더에 공급하였을 때 키블록이 회전하여 연결기를 분리할 수 있는 상태를 유지하여야 하며, 연결상태의 분리가 원활하여야 한다.	이상없음	
12	밀착연결기 강도시험	588kN(60 ton)의 압축하중을 가하여 항복하중 390MPa을 초과하지 않을 것.	입고검사 성적서 참조	
13	밀착연결기 인장하중시험	29.4kN(3 ton)이상의 인장하중을 가했을 때 연결면의 간격을 틈새 게이지로 확인하여 0.3mm 이내일 것.	이상없음	



순번	항 목	판 정 기 준	측정치	비고
1	외관검사	겉모양은 사용상 해로운 흠, 녹, 오손과 변형이 없어야 하며, 도장은 승인 도장 규	이상없음	

		격서에 의한다.			
2	치수 검사	D	Ø32 ± 0.3 mm	31.85 mm	
		E	230 ± 0.3 mm	229.8 mm	
		F	148 ± 0.3 mm	147.95 mm	
3	자분탐상검사	KS D 0213에 의거 제품 표면을 검사했을 때, 균열이 없어야 한다. 적용 품목은 Bearing bracket, Upper shell 및 Lower shell에 대하여 실시한다.		입고검사 성적서 참조	
4	완충장치 강도시험	588 kN(60 ton)의 압축 하중을 가하여 항복이 발생하지 않을 것. 이 시험은 Scharfenberg 시험 성적서로 대체한다.		성적서 참조	
5	완충장치 특성시험	하중과 변위의 곡선은 동적 특성 곡선을 만족하여야 한다. 이 시험은 Scharfenberg 시험 성적서로 대체한다.		성적서 참조	



순번	항 목	판 정 기 준		측정치	비고
1	외관검사	사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없어야 하며, 도장은 도장사양서에 따를 것.		이상없음	
2	치수검사	A	1100 ±5 mm	1418.8 mm	
		B	6° (※형식시험만 실시.)	6°	
		C	45° (※형식시험만 실시.)	47°	
3	자분탐상검사	KS D 0213에 의거 제품 표면을 검사했을 때 균열이 없어야 한다. 적용품목은 Coupler body에 대하여 적용한다.		입고검사 성적서 참조	
4	재질시험	부품사양서 3.3항을 만족할 것.		입고검사 성적서 참조	
5	중간연결기 강도시험	588kN(60 ton)의 압축하중을 가하여 항복하중 390MPa을 초과하지 않을 것.		입고검사 성적서 참조	

[비 고]
1. [자기부상열차6량]_[첨부1 밀착연결기 기계성질 성적서]
2. [자기부상열차6량]_[첨부2 밀착연결기 화학성분 성적서]
3. 자기부상열차6량]_[첨부3 밀착연결기 자분탐상검사 성적서]
4. [자기부상열차6량]_[첨부4 중간연결기. 키블럭 소재 성적서]
5. [자기부상열차6량]_[첨부5 중간연결기 자분탐상검사 성적서]
6. [자기부상열차6량]_[첨부6 완충기 소재성적서]
7. [자기부상열차6량]_[첨부7 완충기 자분탐상 검사 성적서]
8. [자기부상열차6량]_[첨부8 M60UD2 강도시험]
9. [자기부상열차6량]_[첨부9 SP60D2 강도시험]
10. [자기부상열차6량]_[첨부10 전기연결기 온도상승 시험]
11. [자기부상열차6량]_[첨부11 EFG2 완충기 강도,특성시험 성적서]

○ 다중연결기

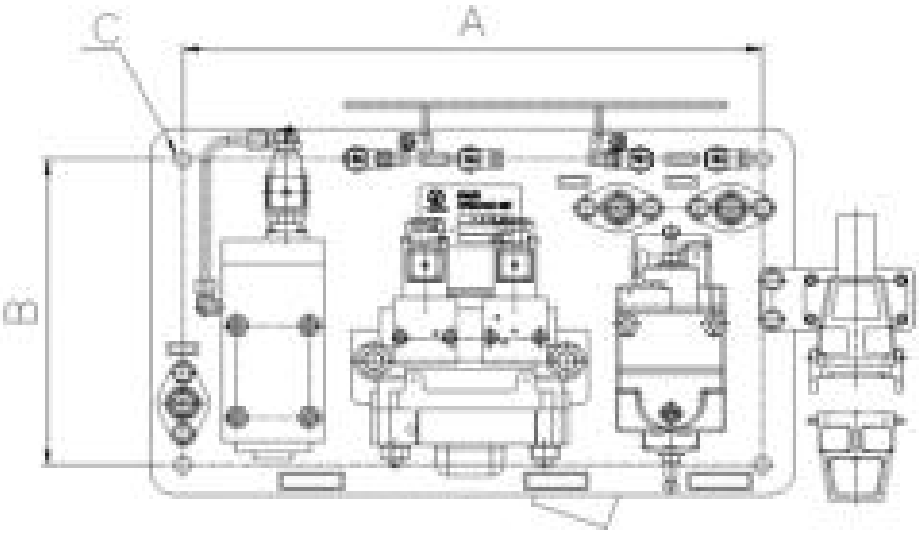
<table>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>외관검사</td><td>치수검사</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>절연저항시험</td><td>절연내압시험</td></tr>
</table>

	
살수시험	살수시험
	
호환성시험	인장하중시험
	
공기누설시험	해방기능시험
	
중량 측정(÷2)	중량 측정(÷2)

○중간연결기

	
외관검사	치수검사
	
중량측정	외관검사

3) 제어밸브(BOU)



순번	항 목	판 정 기 준	측정치	비고
1	외 관 검 사	사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없어야 한다.	양호	

2	치 수 검 사	A	450 ± 1.0 (㎜)		449.97㎜	
		B	250 ± 1.0 (㎜)		249.94㎜	
		C	4-φ13±0.2(㎜)		φ12.83	
3	공기누설시험	SR	공기누설이 없을 것.		양호	
		BC	공기누설이 없을 것.		양호	
4	성 능 시 험					
	1) 상 용 제 동		공차(335kPa)	만차(518kPa)		
		1단	101±20	116±20	99/115kPa	
		7단	372±20	474±20	386/488kPa	
	2) 비 상 제 동	공차	411±20kPa		427kPa	
		만차	526±20kPa		525kPa	
	3) 정 차 제 동	공차	277±20kPa		285kPa	
		만차	348±20kPa		355kPa	
	4)제동불완해	검지압력: 98±10KPa(1.0±0.1kgf/㎠) 검지시간: 5.0초 ± 15% 이내일 것. 해지압력: 검지압력 - 25kPa±10kPa (검지압력-0.25kgf/㎠)			97kPa 5.0초 70kPa	
	5) 강 제 완 해	BC 압력이 완전히 배기될 것.			양호	
5	용 량 시 험	만차 비상충기	만차비상충기 : 0 ->(만차비상압력-50)Kpa[0->(만차비상압력-0.5)kgf/㎠] 충기 규격 : 3초 이하 일 것.		1.63초	
		만차 비상배기	만차비상배기 : 만차비상압력->50KPa[만차비상압력-0.5kgf/㎠] 배기 규격: 4초 이하 일 것.		2.84초	
6	절연저항시험	DC 500 V MEGA-OHM TESTER로 측정시 10 MΩ 이상일 것.			양호	
7	내 전 압 시 험	AC1500V 1분 가압시 이상이 없을 것.			양호	
8	진 동 시 험	KS R 9144 철도차량부품의 진동시험 방법 1B에 준하여 시험 한 후 성능시험을 하였을 때 이상이 없을 것.			양호	

진동 시험후 성능시험

순번	항 목	판 정 기 준			측정치	비고
1	1) 상 용 제 동		공차(335kPa)	만차(518kPa)		

		1단	101±20	116±20	97/113kPa	
		7단	372±20	474±20	372/475kPa	
	2) 비 상 제 동	공차	411±20kPa		430kPa	
		만차	526±20kPa		519kPa	
	3) 정 차 제 동	공차	277±20kPa		275kPa	
		만차	348±20kPa		348kPa	
	4)제동불완해	검지압력: 98±10KPa(1.0±0.1kgf/㎠) 검지시간 : 5.0초 ± 15% 이내일 것. 해지압력 : 검지압력 - 25kPa±10kPa(검지압력-0.25kgf/㎠)			97kPa 5.02초 70kPa	
	5) 강 제 완 해	BC 압력이 완전히 배기될 것.			양호	
2	용 량 시 험	만차 비상충기	만차비상충기: 0 ->(만차비상압력-50)Kpa[0->(만차비상압력-0.5)kgf/㎠] 충기 규격: 3초 이하 일 것.		1.53초	
		만차 비상배기	만차비상배기:만차비상압력->50KPa[만차비상압력-0.5kgf/㎠] 배기 규격: 4초 이하 일 것.		3.12초	



외관검사



치수검사



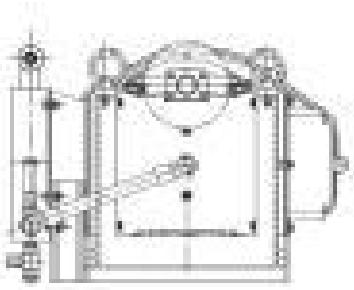
공기누설시험

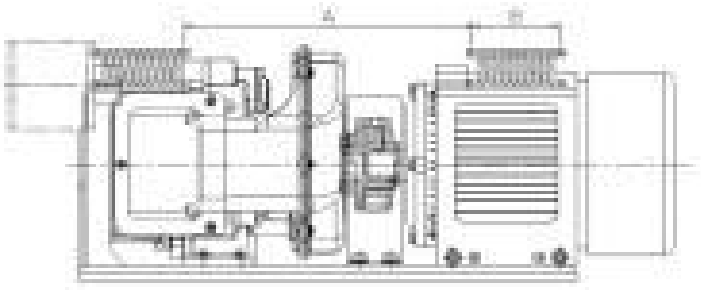


성능시험

	
용량시험	절연저항시험
	
내전압시험	진동시험

4) 공기압축기





순번	항 목	판 정 기 준	측정치	비고
1	외관검사	사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없을 것.	양호	

2	치수검사	A	378㎜ ±1	378	
		B	114.3㎜ ±0.5	114.44	
3	회전방향시험	회전방향 표시와 일치 여부를 확인한다.		양호	
4	안전밸브시험	단품상태에서 시험을 행할 것. 분출개시압력:1079kPa(11kgf/㎠)±3% 분출압력:설정압력의 0 ~ +10% 닫힘압력:설정압력의 0 ~ +10%		10.9 kf/㎠ 11.2 kf/㎠ 10.4 kf/㎠	
5	토출공기량시험	자유공기토출량을 계산하여 370ℓ/min ±7% 일 것.		358ℓ/min	
6	토출공기온도시험	토출공기온도를 측정하여 흡입공기온도 +20℃이하일 것.		흡입:20.9 토출:24.9	
7	누설시험	공기압축기에 비눗물을 도포한후 공기누설이 없을 것.		양호	
8	소음시험	암소음을 배제한 순소음이 평균79dB(A)이하일 것.		78.83dB	
9	진동시험	진동시험 후 성능시험을 하였을때 이상이 없을 것.		양호	



외관검사



치수검사



회전방향시험



안전밸브시험

	
토출공기량시험	토출공기온도시험
	
누설시험	소음시험

(바) 제작검사필증



입고(국내,해외) 검사필증

(사)한국철도차량엔지니어링



입고(국내,해외) 검사필증

(사)한국철도차량엔지니어링



입고(국내,해외) 검사필증

(사)한국철도차량엔지니어링



입고(국내,해외) 검사필증

(사)한국철도차량엔지니어링

(사) 완성차시험 및 본선시험

1) 완성차시험 결과보고서

○ 압축공기장치 시험 기록서

순번	시험항목	시험내용	기준치	측정치
1	주공기압축기 시험	초충기 시간 측정	12.5분 이내	5:00.50
		재기동압력(단위 : kgf/㎠)확인	8.0±0.2	8.019(A) 7.824(B)
		정지압력(단위 : kgf/㎠)확인	9.0±0.2	8.939(A) 9.027(B)
		안전밸브작동압력(단위 : kgf/㎠)확인	9.7±0.3 ~ +10%	9.86/9.9(A) 9.9/10.0(B)
		MRPS 설정압력(단위 : kgf/㎠)확인	ON:7.0±0.2 OFF:6.0±0.2	6.04/7.00(A) 6.04/7.06(B)
2	공기건조기 시험	작동주기 정상 여부 확인	120초±6초	120.01(A) 121.66(B)
3	공기누설 및 누유 시험	주공기 계통의 10분당 누설량 0.2 kgf/㎠ 이하일 것	확인	9.081/9.020 0.061
		제동실린더 압력의 압력 강하는 3분간 0.2 kgf/㎠ 이하이어야 하며 유압부의 공유압변환기,유압켈리퍼,유압배관 연결부위에 누유가 없어야 한다.	확인	3.146/3.144(A) 0.02 2.919/2.919(B) 0
4	비상유압 발생장치 시험	비상롤러 스위치 ON/OFF 시 부상/착지가 원활이 이루어 질 것.	확인	-
		비상롤러 부상후 5분간 피팅 및 연결부위의 누유가 없어야 한다.	확인	-

○ 제동 정차시험 기록서

순번	시험항목		시험내용	기준치	측정치
1	상용제동 시험	정차 상태	충격 또는 이음 없이 상용제동이 원활히 체결될 것	확인	확인
			제동실린더 압력이 규정치를 만족할 것	별표참조	-
2	비상제동 시험	정차 상태	주제어기 및 비상제동 스위치에 의해 제동이 원활히 체결되며 충격 및 이음이 없을 것	확인	확인
			제동실린더 압력이 규정치를 만족할 것	별표참조	-
3	정차제동시험		제동실린더 압력이 규정치를 만족할 것	별표참조	-
4	압부력 시험		상용제동시의 제동실린더 압부력을 측정하여 기준치를 만족하여야 한다	M: 15.85kN이상 McA (1unit)	18.15
			비상제동시의 제동실린더 압부력을 측정하여 기준치	M:	20.73

		를만족하여야 한다	17.97kN이상 McA (1unit)	
5	공 유압 변환기 시험	상용전제동시의 공유압 변환기 유압을 측정하여 기준치를 만족하여야 한다	63.02kgf/㎠ 이상 McA(1unit)	65/64
		비상제동시의 공유압 실린더 유압을 측정하여 기준치를만족하여야 한다	71.43kgf/㎠ 이상 McA(1unit)	74/73
6	충기/완해시험	제동실린더 공기유입시간(95%까지) 측정시 5초 이내 이어야 한다	5초이내	주행시험 차트
		완해시 1.0 kgf/㎠까지의 시간이 8초 이내 이어야 한다	8초이내	주행시험 차트
7	제동불완해 및 강제완해 시험	제동불완해 검지가 양호할 것 => ECU LED확인 SW8->1,SW9->3 조정 후 LED2 = 1 확인 (제동통 압력이 1.0 kgf/㎠(98kPa) 이상이 5초 이상 지속 시)	확인	양호
		강제완해스위치 취급 시 강제 완해 동작이 양호할 것	확인	양호

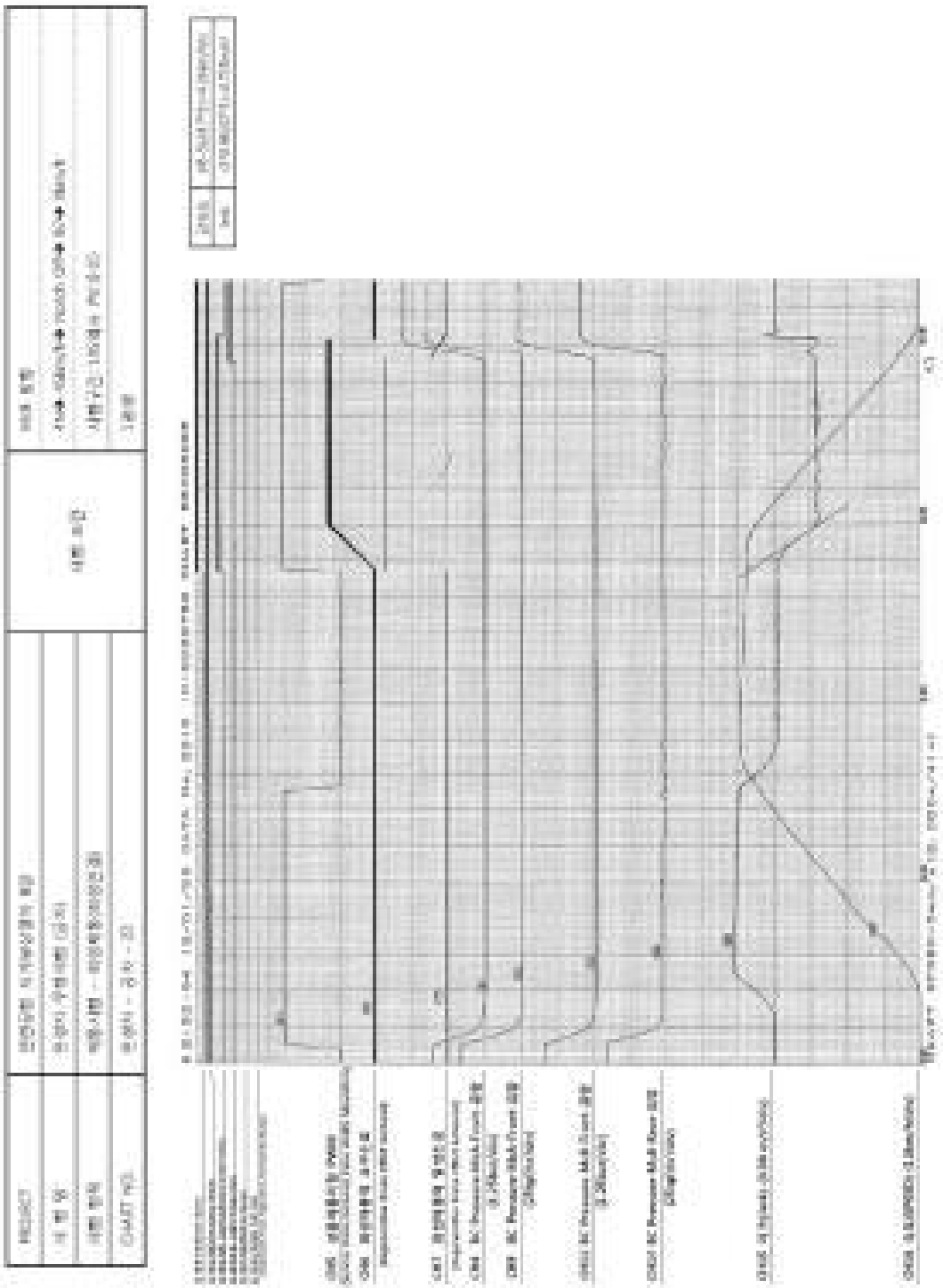
비고:

※ BC압력 기준 및 측정치
주) 만차는 TYPE TEST에 한함

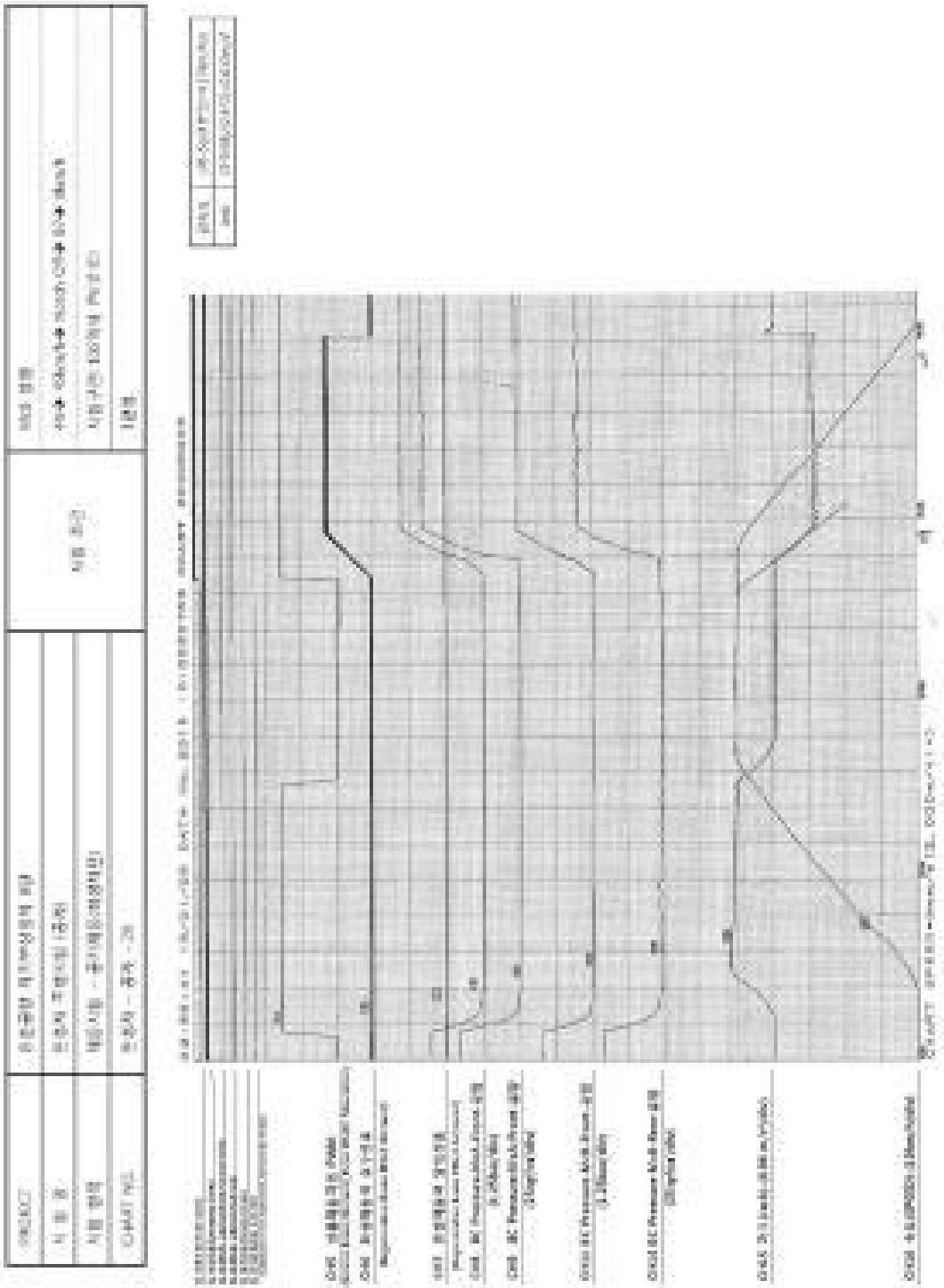
STEP	기준치(kgf/㎠±0.2)				측정치(kgf/㎠±0.2)				비 고
	McA		McB		McA		McB		
	공차	만차	공차	만차	공차	만차	공차	만차	
1	0.60	0.72	0.60	0.72	0.602	0.769	0.543	0.678	
2	0.97	1.22	0.97	1.22	0.965	1.240	0.907	1.187	
3	1.34	1.71	1.34	1.71	1.336	1.704	1.249	1.645	
4	1.70	2.20	1.70	2.20	1.658	2.160	1.599	2.136	
5	2.07	2.70	2.07	2.70	2.014	2.641	1.977	2.590	
6	2.44	3.19	2.44	3.19	2.367	3.143	2.336	3.085	
7	2.81	3.68	2.81	3.68	2.799	3.728	2.801	3.714	
비상	3.13	4.11	3.13	4.11	3.232	4.100	3.247	4.138	
정차제동	2.04	2.65	2.04	2.65	2.028	2.652	2.017	2.632	

○ 제동 주행시험 기록서

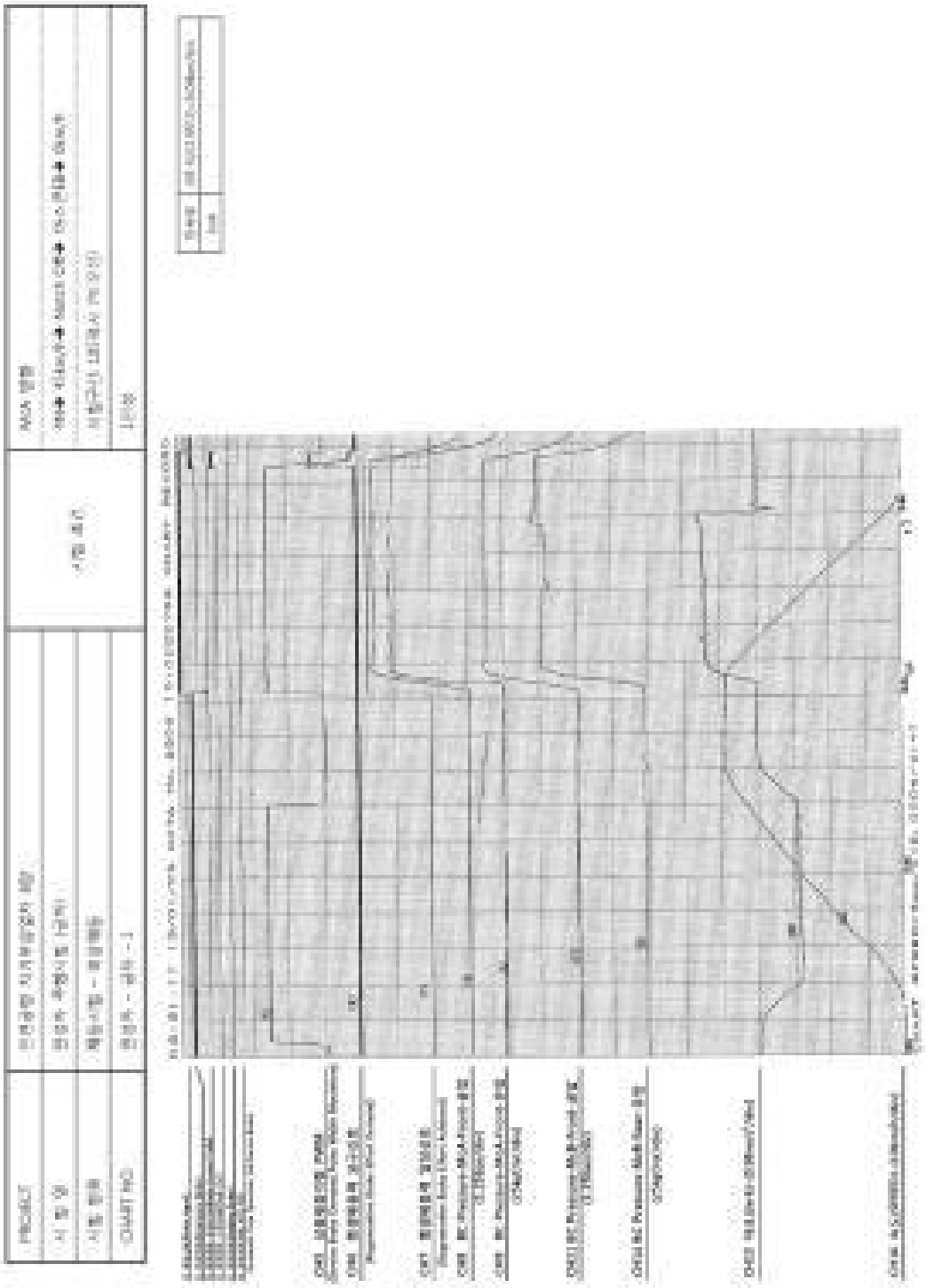
- 상용 회생제동 시험(공차)



- 상용 공기제동 시험(공차)

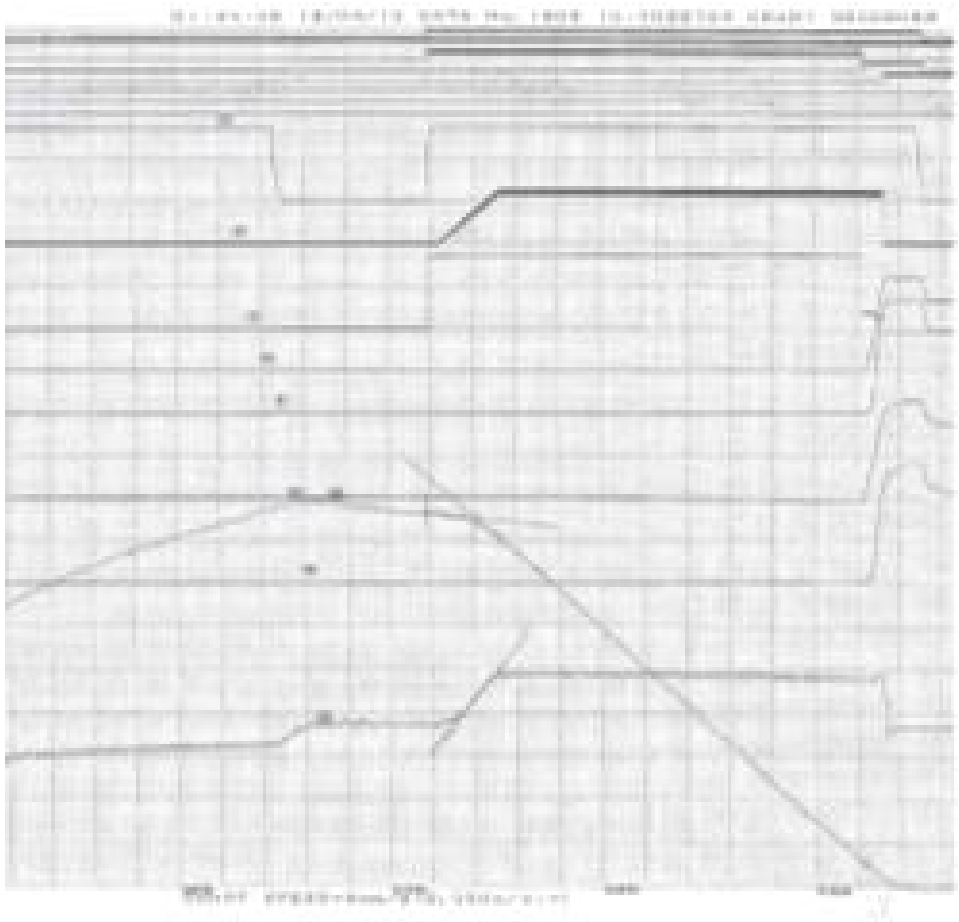


- 비상제동 시험(공차)

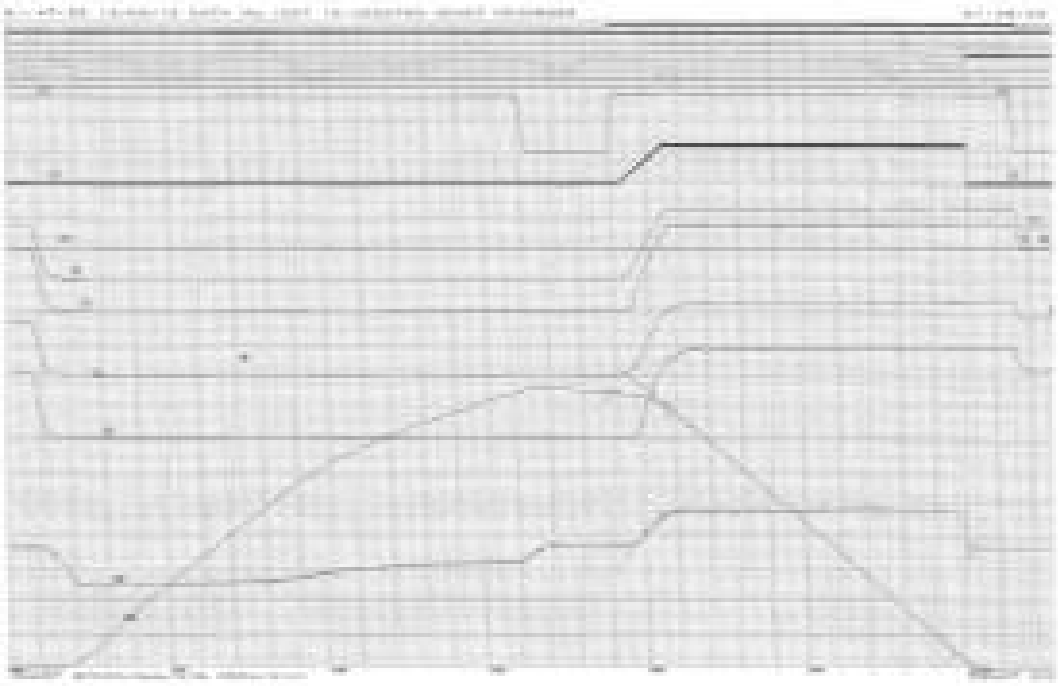


2) 본선시험

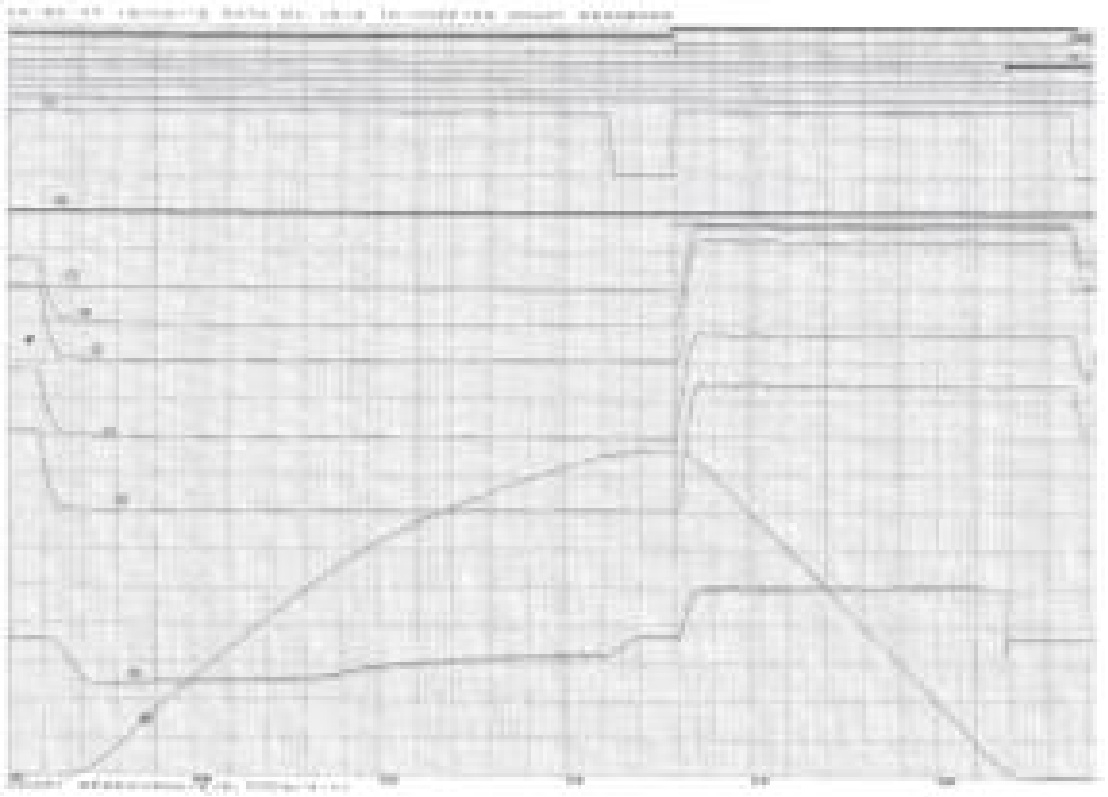
- 상용 회생제동시험(공차)



- 상용 공기제동시험(공차)



- 비상제동시험(공차)



라. 멀티미디어 컨트롤 시스템 개발 (한터기술-협동)

(1) 연구개발 주요 내용

1차년도는 IP(Internet Protocol) 네트워크상에서 PA/PIS/CCTV가 통합된 하드웨어 및 소프트웨어 시스템을 기본 설계하는 것이 개발의 주된 내용이다. 무인 운전하는 차량에서 차량의 모든 승객에 관한 정보를 지상의 사령실에서 제어할 수 있는 안정된 Fault Tolerant 멀티미디어 컨트롤 시스템 장치를 설계하는 것이다.

2차년도는 회로 구성 및 기구 구성에 대한 상세 설계를 진행하고 IT 기술을 총 집약하여 고안된 자기부상열차용 PA/PIS/CCTV 시스템에 대한 실제적인 설계를 완성한다. 산업체 제어 시스템 및 유비쿼터스 시스템들이 모두 IP(Internet Protocol) 기반의 기술 및 요소 기술을 적용하여 1편성분에 해당하는 시스템을 시제품 제작하고 자체 환경시험을 하는 것이다.

3차년도는 자기부상 차량의 1편성에 해당하는 PA/PIS/CCTV를 제작하여 안정적으로 동작하고, 환경시험을 함으로 신뢰성 있는 제품을 만드는 것이다.

4,5차년도는 차량에 장착하는 제품을 만들고, 운용 프로그램을 제작하는 것이며, 타사 장비와 인터페이스 개발하는 것이다.

6차년도는 차량 본선에서 시험하는 단계로 되어 있으나, 차량 본선이 아직 안되고, 차량의 제작이 지연되는 관계로 차량 운행 simulator를 이용하여 차량 모의 주행에 맞도록 PA/PIS/CCTV가 동작되는지 개발 및 시험하는 것이다.

(2) 주요 연구 실적

- 자기부상열차 기능조합 시험절차서
- 도시형 자기부상열차 방송장치(비상인터폰 포함) 입고검사절차서(로테코 승인본)
- 도시형 자기부상열차 표시기 입고검사절차서(로테코 승인본)
- 로테코 1편성 전수시험 진행현황 및 회의내용
- 종합시험 사진

제4장 연구개발목표 달성도

제1절 연구개발목표의 달성도



제 4 장 연구개발목표 달성도

제 1 절 연구개발목표의 달성도

[2-0과제]

단계	연구목표	달성도(%)	내 용
1 단계	차량개발 사업 총괄 관리	100	▪ 차량개발 전체 수행계획 수립 ▪ 차량개발 일정, 예산, 자료 등 관리 ▪ 차량개발 공정회의 주관 ▪ 사업단 & 핵심과제 회의 참석 ▪ 월간/분기보고서/년차 실적 및 계획 ▪ 시스템 기술 검토 총괄
	원활한 인터페이스 수행	100	▪ 타 분야 인터페이스 항목 검토/협의 ▪ 하위과제 인터페이스 조정/관리 ▪ 다양한 해외전문가 활용을 통한 시스템 엔지니어링 강화
	시스템 엔지니어링	100	▪ 성능목표에 대한 세부사항 검토/관리 ▪ 신뢰성 향상방안 검토/관리 ▪ 하위과제 성능지수 검토/관리
	디자인 및 목업 제작	100	▪ 차량 디자인 결정 지원 ▪ 차량 디자인 목업 제작/품평회 지원
	차량제작 및 시험 일정 관리	100	▪ 시제차량(1편성) 자재발주 및 제작 현황 관리 ▪ 과제별 RAMS항목 제시/관리 ▪ 차량 구성품 제작/시험 현황 관리 ▪ 시험대차 제작/시험현황 관리
2 단계	▪ 차량개발 사업 총괄 관리	100	▪ 차량개발 일정 준수 여부 ▪ 과제 계획 및 보고서 작성/협약 ▪ 월간보고서, 공정회의록, 분기보고서 및 각종 회의록
	▪ 타 분야, 하위과제 인터페이스 관리	100	▪ 인터페이스 조정/협의 ▪ 하위과제 성과물 자료

단계	연구목표	달성도(%)	내 용
	▪ 시제차량(1편성) 제작 및 시험 현황관리	100	▪ 시제차량(1편성) 자재발주 및 제작 실적 ▪ 목표 차량주량 초과 달성 [18.9톤/량] ▪ 초도편성 기능/성능 시험 현황 관리 ▪ 시험평가 종합계획 협의 ▪ 개발시험 절차서[구성품/완성차] 협의 ▪ 시제차량 기능/성능 개선 수행 ▪ 시제차량 완성차 시험 관리
	▪ 추가차량(3편성) 차량 제작 관리	100	▪ 목표 원가 및 재료비 분석 ▪ 장납기 품목 발주 진행 ▪ 보완설계 관리 ▪ 차량 제작 일정 관리 ▪ 제작검사/성능시험 신청 및 협의 ▪ 차량제작 설명회 실시

[2-1과제]

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
1 단 계	**차량개발 및 제작 - 현대로템(주관)**		
	▪ 기능/성능 정의	100	▪ 차량시스템/신호시스템 사양 설정 ▪ 열차성능 검토 ▪ 입력전압/횡방향 하중 검토
	▪ 요구사항 분석	100	▪ 차량 요구사항 분석/검토 ▪ 차량 경량화 방안 검토 ▪ 상부궤도/레일 재질 요구조건 제시 ▪ 대차 수량/단위길이 검토 등
	▪ 차량 디자인 및 개념/기본/상세설계	100	▪ 차량 디자인(조감도) ▪ 종합제어장치(TCMS) 개념설계 ▪ 보조전원장치 기본설계/제작사양/회로도 작성 ▪ 대차 피로해석절차 제시 ▪ 차량 주요 장치 설계 요구사양 확정 및 개념 검토 ▪ 차체,설비,기장/제동,전기장치,회로 및 대차 개념/기본 상세 설계 수행
	▪ 디자인 목업 제작	100	▪ 차량 디자인(조감도) 작성 및 확정 ▪ 디자인 목업(실차의 1/2) 제작 및 품평회
	▪ 시험대차 제작/시험	100	▪ 시험대차 제작/시험 수행
	▪ 시제 차량 제작	95	▪ 시제차량(1편성) 자재 발주 및 제작 ▪ 구성품 제작 및 시험
	경량/고품질 시트 개발 - 대원강업(협동)		
	▪ 경량시트 기술현황 파악	100	▪ 기술자료 수집분석을 통한 사양결정 ▪ 전시회 등 기존자료조사를 통한 경향분석 ▪ 국가별 경량시트 현황조사 ▪ 해외경량시트 기술조사
	▪ 인체공학적 설계기술개발	100	▪ 최신 한국인 체형분석 ▪ 경량시트에 적합한 적정 쿠션성의 검토 ▪ 경량시트에 적합한 CONTOUR의 설계 ▪ 체압 분포 측정을 통한 안락성 검토

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
			▪ 상기 주제에 의한 학술대회 논문 ▪ 조감도 및 시트 디자인 검토
	▪ 시트 LAY-OUT 검토	100	▪ LAY-OUT 치수검토를 위한 기술자료 조사 ▪ 조감도 LAY-OUT의 기술적 검토 ▪ 최종 디자인에 대한 개념도 작성
	▪ 경량화 시트 설계기술 연구	100	▪ 경량시트설계기술연구 보고서 - 경량소재 현황파악 - 경량화 구조물 설계기술 검토 - 경량화 부품 설계기술 검토
	▪ 경량 시트 구조해석 (위탁과제수행)	100	▪ 시트 소재의 해석용 Material Property의 DB 구축 ▪ 시트 해석 유한요소모델 개발 ▪ 유한요소 모델의 타당성과 유효성 확인
	▪ 시트 상세설계 및 개발	100	▪ 상세 설계
		100	▪ 부품 개발
	▪ MOCK-UP 시트 제작	100	▪ 디자인 MOCK-UP용 시트 제작 (0.5량) ▪ 검증용 시트 제작
	▪ 설계검증기술 연구 및 초도품 제작	100	▪ 시트 설계검증기술 연구
		80	▪ 초도 1편성 시트 제작
	경량화 차체 개발 - 동양강철(협동)		
	▪ 차체 경량화 설계 (유사차량 대체)	100	▪ 차체중량 29.7% 경량화 달성 (총 중량 4,735kg-->3,335kg)
	▪ FSW 용접기술 개발	80	▪ 용접부 인장강도 : 193.12MPa ▪ 용접부 항복강도 : 174.54MPa ▪ 용접부 연신율 : 4.40%
	▪ 경량화 설계 차체 정하중 해석 (유사차량 대체)	100	▪ 유사차량 해석 완료 (수직하중하 최대응력=7.85kgf/mm2) (수평압축하중하 최대응력=20kgf/mm2)
	▪ 경량화 설계 차체 변형량 예측 (유사차량 대체)	100	▪ 유사차량 해석 완료 (수직하중하 최대변위=7.85mm)

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
	▪ 피로 내구 해석 (유사차량 대체)	100	▪ 유사차량 해석 완료 (피로수명 $1.0*10^{7.49}$) ▪ 기준수명 $1.0*10^{7}$
	▪ 압출 프로파일 설계 제한 조건 분석	100	▪ 압출 프로파일 3종 압출해석 완료
	▪ 도시형 자기부상열차 차체 구조해석	100	▪ 차체 정적강도 해석 완료
	▪ 구체용 알루미늄 프로파일 설계최적화	100	▪ Single skin 프로파일 설계 완료 (3차년도 업무 연계를 통해 완료)
	▪ 압출 프로파일 제작 및 공급	100	▪ 엔지니어링 목업용1량분 및 시제차 2량분 공급 완료(3차년도 업무 연계를 통해 완료)
	▪ 압출 시험편 제작 및 소재 특성평가	100	▪ 자기부상용 압출 프로파일 12종에 대한 소재특성평가 공인기관의뢰 (3차년도 업무 연계)
	▪ 도시형 자기부상열차 압출 프로파일 최적화 설계	100	▪ 압출 프로파일 설계완료(구체 총 중량: 2,952kg /량. 유사차량 대비 38%경량화)
	▪ 도시형 자기부상열차 차체 구조 해석	100	▪ 정적강도해석, 피로해석, 리프팅 해석 완료
	▪ 엔지니어링 목업 지원 (1량분)	100	▪ 2차년도 연계 업무로 제작 및 공급 완료
	▪ 시제 차량 제작용 압출 프로파일 제작 및 공급 (2량)	100	▪ 2차년도 연계 업무로 제작 및 공급완료
	▪ 차량 경량화율 검증	100	▪ 압출 프로파일 설계안과 실제 압출프로파일 중량 측정 비교
	▪ 압출 금형 최적화 설계 및 수정,제작	100	▪ 압출 금형 제작 완료
	소형/경량화 추진제어장치 개발 - 브이씨텍(협동)		
	▪ 기본 사양 결정	100	▪ 주회로도 및 인버터 사양서 작성 ▪ Filter Reactor 사양서 작성
	▪ 시뮬레이션을 통한 시스템 검증	100	▪ Pspice 이용 입출력 파형분석 (시뮬레이션 회로도/정수값 도출)

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
			▪ 열손실 시뮬레이션 열저항값 선정
	▪ 상세 설계 및 주요품 제작	100	▪ 도면/계산서 작성 ▪ Stack/제어기 제작
	▪ Mockup 1세트 제작	100	▪ 시험대차용 인버터 Mockup 1세트 제작
	▪ 개발시제품 2세트 설계/제작	90	▪ 개발시제품 설계/제작 ▪ 성능시험 및 환경시험을 통한 신뢰성 확보
	경량/고신뢰성 출입문 개발 - 에이디에스레일(협동)		
	▪ 자료수집 및 설계기준 정립	100	▪ 해외 도어 업체의 도어관련 자료 수집 및 국내에 정립되어 있지 않은 도어관련 규격 조사 완료
	▪ 도어시스템 개념/기본 설계	100	▪ 정립된 설계기준을 근거로 하여 도어시스템 개념/기본 설계 완료
	▪ DCU 개발 및 시험	100	▪ 자기부상열차의 도어시스템에 적용될 DCU 시제품 개발 완료
	▪ 부품/시스템 상세설계 (엔진.판넬)	100	▪ 기본, 개념 설계된 내용을 바탕으로 도어 시스템의 상세설계 완료하였고, 3차년도에 진행될 형식시험사양을 검토하여 시험 절차서를 작성 완료
	▪ 도어시스템 제작(시험용)	100	▪ 도어시스템 시제품을 제작 완료하여 Inno- Trans 2008 전시용 차량에 적용 및 형식시험용 도어시스템 제작 완료
	▪ 초도편성분 제작	100	▪ 초도편성분 8 Set 제작 완료, 차량제작사에 공급 예정
	▪ 구성품 기능 및 형식시험	100	▪ 구성품 기능 및 형식시험을 위한 시험 지그 및 시제품 제작 완료 ▪ 구성품 형식시험 완료(판넬 시험 및 진동

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
			/ 환경/EMC/EMI 시험은 시험인증기관 확정 후 진행 예정)
	▪ 200만회 내구성 시험	100	▪ 내구성 시험 계획서 작성 완료, 2009년 8월 중 내구성 시험 시작 예정
	경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발 - 유진기공산업(협동)		
	▪ 자료조사	100	▪ 자기부상 및 경전철에 적용가능한 제동 시스템에 대한 자료조사를 진행하였으며 관련 내용을 차량제작사에 제출함
	▪ 제동시스템 기본설계	100	▪ 제동시스템에 대한 Piping & BOM 작성, 제동력계산서, 제동시스템 설명서 등을 작성함 ▪ 공기제동장치, 제동전자제어장치, 각종 유니트에 대한 기본설계를 진행함
	▪ Piping & BOM 작성	100	▪ 공기제동시스템의 Piping 을 작성하여 해당하는 제품에 대한 BOM을 확정함
	▪ 연결기시스템 자료조사	100	▪ 경전철 및 자기부상에 적합한 연결기 모델 조사를 진행함 ▪ 경량 완충장치에 대한 자료를 확보하였음
	▪ 연결기시스템 기본설계	100	▪ 차량의 강도조건에 따라 연결기 시스템에 대한 기본설계를 진행하였음
	▪ 공기압축기 Sample 구매 및 역설계	100	▪ 공기압축기 개발을 위하여 Sample 구매하여 역설계를 진행하였음
	▪ 공기압축기 Proto 제작	100	▪ 공기압축기 관련 일부 성능 확인이 필요한 부분에 대한 Proto 제작을 진행하였음
	▪ 공유압변환장치 자료조사	100	▪ 경량화를 위하여 유압장치에 대한 자료조사 를 지속적으로 진행하였음

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
	▪ 공유압변환장치 관련 역설계	100	▪ 입수된 자료를 바탕으로 역설계 및 제품에 대한 아웃소싱을 진행함
	▪ 캘리퍼 장치 자료검토	100	▪ 경량화를 위하여 유압장치에 대한 자료조사를 지속적으로 진행하였음
	▪ 캘리퍼 장치 역설계 진행	100	▪ 입수된 자료를 바탕으로 역설계 및 제품에 대한 아웃소싱을 진행하였음
	▪ 제동시스템 구성품 설계	100	▪ 제동시스템 변경 관련 인터페이스 수정 및 Piping diagram 수정 제출 ▪ Unit류 차량 취부 문제로 인하여 단품으로 공급함 ▪ 제동시스템 구성품에 대한 도면/규격 확정 ▪ 제동장치(BOU) 시제품 제작 ▪ 제동전자제어장치 시제품 제작
	▪ 규격서/시험절차서 작성	100	▪ 19개 품목에 대한 규격서 작성/제출 ▪ 24장의 구성품 관련 도면 작성/제출
	▪ 연결기 설계	100	▪ 충돌해석을 통한 연결기 모델 선정. ▪ 차량 인터페이스 문제(대차수량 증가로 기기 취부공간 협소)로 변경사항 발생 가능성 있음 ▪ 시제품 제작 진행
	▪ 공기압축기	100	▪ 무급유방식 공기압축기 시제품 제작 ▪ 시제품에 대한 성능 시험 진행
	▪ 공유압변환기	100	▪ 시험차량 적용을 위하여 인터페이스 진행 ▪ 시험대차용 시제품 제작 ▪ 트랙형상변경 인터페이스 반영
	▪ 제동시스템 초도편성 제작	80	▪ 공기제동장치 1편성분 제작 ▪ 제동전자제어유니트 1편성분 제작 ▪ 공기압축기 1편성분 제작

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
			▪ 공유압변환장치 1편성분 제작 ▪ 유압캘리퍼 1편성분 제작 ▪ 전자밸브등 1편성분 제작 ▪ 1편성분 공급품에 대한 성능시험
	▪ 연결기 시스템 초도편성 제작	80	▪ 전두연결기 1편성분 제작 ▪ 중간연결기 1편성분 제작 ▪ 1편성분 공급품에 대한 성능시험
	▪ 개발품 공급 및 차량조립 지원	80	▪ 요구일정에 개발품 제작 ▪ 시험대차 관련 성능시험 진행 ▪ 대차인터페이스변경에 따른 설계진행 ▪ 공기압축기 설계변경에 대한 신규모델 제안
	▪ 완성차 시험 관련 (차량제작일정에 따라 가변적임)	100	▪ 완성차 제동성능 시험절차서 작성
	멀티미디어 컨트롤 시스템 개발 - 한터기술(협동)		
	▪ Multi Media Control System 기본설계	100	▪ PA/PIS/CCTV 통합 시스템 블록도 작성 ▪ 회로설계 및 기구설계 완료 ▪ 외국 사례 조사
	▪ PA System 기본설계	100	▪ PA 시스템 블록도 작성 완료 ▪ 회로설계 및 기구설계 완료
	▪ PIS System 기본설계	100	▪ PIS 시스템 블록도 작성 완료 ▪ 회로설계 및 기구설계 완료
	▪ CCTV System 기본설계	100	▪ CCTV 시스템 블록도 작성 완료 ▪ 회로설계 및 기구설계 완료
	▪ PA 시스템 설계	100	▪ PA 시스템 상세설계 도면 및 블록도 상세설계 완료
	▪ PIS 시스템 설계	100	▪ PIS 시스템 상세설계 도면 및 블록도 상세설계 완료
	▪ CCTV 시스템 설계	100	▪ CCTV 시스템 상세설계 도면 및 블록도 상세설계 완료
	▪ Multi Media Control System 상세설계	100	▪ Multi Media Control System 상세설계 도면 및 블록도 상세설계 완료
	▪ 시제품 제작	100	▪ 상세 설계한 내용을 제작하기 위한 1식 자재 발주
	▪ 환경시험	50	▪ 시제품에 대한 환경시험 실시
	▪ PA 1편성분 제작	100	▪ MSR,PSR,스피커 제작

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
	▪ PIS 1편성분 제작	100	▪ LCD, LED표시기 제작
	▪ CCTV 1편성분 제작	100	▪ IP 카메라 제작
	▪ 프로그램 제작	100	▪ 운용프로그램 제작
2 단 계	**차량개발 및 제작 - 현대로템(주관)**		
	- 시제차량 완성차 기능/성능 및 시험선 시험 - 차내/외 소음 평가 및 검증 - 시험결과를 바탕으로 추가 차량(3편성) 설계 보완 - 추가차량(3편성) 제작 - 유지보수 매뉴얼 및 운전 매뉴얼 작성 - 시험선 시험을 통한 시제차량 부상/추진시스템 성능시험 및 개선	75	- 차량 초도 편성분 제작 완료 - 차량 초도 편성분 시험선 설치 - 추진제어장치 시험 - 종합제어장치 시험 - 제어회로 시험 - 시동, 정지 및 운전실 교환 시험 - 보조전원장치 시험 - 부상장치 시험 - 축전지 및 충전기 기능 확인 시험 - 추진제어장치 완성차 역행 시험 - 추진제어장치 본선 역행 시험 - 추진제어장치 가감속 시험 - 제동장치 완성차 시험 - 집전장치 완성차 시험 - 냉난방, 환기 시험 - 표시등 및 조명장치 시험 - 방송장치 시험 - 표시기 장치 시험 - 화재감지기 시험 - 출입문 시험 - 누설자속 시험 - 비상롤러 추진 시험 - 부상장치 백업 시험 - 주행저항 측정 시험 - 주요기기 온도 및 상태 시험 - 승차감 시험 - 진동 시험 - 소음 시험- HVAC 소음 저감 방안 수립

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
			- 차간 댐퍼 적용 기술검토 - 유지보수 매뉴얼 및 운전자 매뉴얼 (안) - 차량 추가 편성분 개선 설계
	경량/고품질 시트 개발 - 대원강업(협동)		
	- 부품별 금형제작 - 초도1편성 제품제작 - 기술사양서 작성 - 초도1편성 시험검증 - 초도1편성 장착성 확인 - 자기부상경량시트구조해석 - 잔여 3편성 제작 및 납품 - 잔여 3편성 설계 보완	90	- 마그네슘 압출금형 3벌 제작 - 진공성형 금형 6벌 제작 - 초도 1편성 시트제작완료 - 1편성에 대한 강도시험 - 잔여 3편성 부품 자재발주 - 잔여 3편성 시트 완성품 제작 - 잔여 3편성 보완 설계 실시
	경량화 차체 개발 - 동양강철(협동)		
	- 구체용 알루미늄 압출 프로파일 추가 경량화 - 압출 프로파일 제작 공급 - 소재특성 평가	100	- 목표중량 2.95ton - 6량분 압출 프로파일 제작 - 소재 특성 기준 만족
	소형/경량화 추진제어장치 개발 - 브이씨텍(협동)		
	- 추진 제어 장치 제작 - 시험선 시험 지원 - 구성품 시험 - 잔여 편성분 제작 - 잔여 편성분 초도 시험	90	- 추진 제어 장치 제작 완료 - 구성품 기능 시험 완료 - 시험선 주행을 통한 완성차 시험 실시 및 결과보고서 작성 - 성능 보완 방안 수립 및 추가 차량분 개선 설계
	경량/고신뢰성 출입문 개발 - 에이디에스레일(협동)		
	- 시험선로 초도편성 시	90	- 도어판넬 형식시험 실시

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
	험 - 추가편성 제작		- 200만회 내구성 시험 시작 - 초도편성 도어시스템 8 Set 취부 - 완성차 시험 및 피드백 - 200만회 내구성 시험 완료 - 초도편성 완성차 시험 및 피드백 - 잔여 3편성 24 Set 도어시스템 제작
	경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발 - 유진기공산업(협동)		
	- 설계보완 및 성능개선 - 추가편성분 제작 - 완성차 시험 및 주행 시험 - 추가편성분 제작 - 유지보수 작업	90	- 형식시험 진행 및 결과보고서 작성 - 센터링 장치 추가를 위한 인터페이스 진행 - 추가 제작을 위한 외자품 발주 - 초도편성에 대한 주행시험 - 제동장치 시험절차서 - 제동이상 관련 현차시험 보고서 - 제동장치 시험절차서 및 기록서 - 기술검토서 [자기부상열차 연결기시스템 제안 관련] - 연결기 도면 2매 - 공기압축기 도면 1매
	멀티미디어 컨트롤 시스템 개발 - 한터기술(협동)		
	- Multi Media Control System 설계 - PA System 설계 - PIS System 설계 - CCTV System 설계 - 시제품 제작 - 환경시험 - PA 2,3,4편성분 제작 - PIS 2,3,4편성분 제작	90	- PA/PIS/CCTV 통합 시스템 설계 완료 - PA / PIS / CCTV 시스템 상세설계 도면 및 블록도 상세설계 완료 - Multi Media Control System 상세설계 도면 및 블록도 상세설계 완료 - 상세 설계한 내용을 제작하기 위해 3 식 자재 발주 - 시제품에 대한 환경시험 실시 - MSR, PSR,스피커 제작

단계	연 구 목 표	달성도 (%)	내 용
	- CCTV 2,3,4편성분 제작 - 프로그램 제작		- LCD ,LED표시기 제작 - IP카메라 제작 - 운용프로그램 제작
3 단 계	**차량개발 및 제작 - 현대로템(주관)**		
	잔여차량 (3편성) 설계 보완	100	초도차량 기준한 차량 설계보완
	잔여차량 (3편성) 제작	100	차량 6량 제작 완료
	차량정비 매뉴얼 및 운전 매뉴얼 작성	100	매뉴얼 작성 완료
	시범노선 설치	100	인천공항 시범노선 설치 완료
	소형/경량화 추진제어장치 개발 - 브이씨텍(협동)		
	구성품 시험(8SET)	100	성능/조합시험
	시험선 시험 지원	100	시험선 시험 및 보완
	경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발 - 유진기공산업(협동)		
	추가편성분 제작	100	-추가편성분에 대한 제작/시험/공급
	본선 시험	100	-본선 제동시험 완료
	유지 보수	100	-공급품에 대한 유지보수 지원
	멀티미디어 컨트롤 시스템 개발 - 한터기술(협동)		
	본선시험	100	본선 simulator를 만들어 상업운행에 맞도록 상행선, 하행선 등 모의 주행으로 시험 본선 방송장치 시험 완료
	인터페이스시험	100	- 열차무선 인터페이스 시험을 통한 대승객방송, 비상인터폰 시험 - TCMS 인터페이스 시험 - 영상 무선 전송장치 인터페이스 시험은 Ethernet 규격상으로 정하고, Multicast filtering 기능 중 방송, 영상에 대해서 본 개발 장비에서 filtering 하는 것으로 개발 시험함
	응용프로그램 시험	100	- 자동,수동,기능방송 기능 시험 - 동영상, LED 표시기 기능 시험 - CCTV 카메라 저장 기능시험 - 방송,영상 편집기 프로그램 개발 및 시험

[2-2과제]

단계	연구 목 표	달성도(%)	내 용
1 단 계	1차 시제품 수정사항 도출	100	▪ 1차시제품 성능개선사항 목록작성 ▪ 대용량커패시터분석보고서 작성 ▪ 제어기 각모듈별 기능시험
	2차 시제품 기본 상세 설계	100	▪ 2차시제품용 제작 사양서 작성 ▪ 외부 인터페이스 PIN사양 구성 ▪ 제어기 각 모듈별 회로도면 작성 - MLC, MLIB, MLBP, LPF, MLIO, PSM 외 ▪ 초퍼구성 전기도면 작성 ▪ 시험절차서 작성
	2차 시제품 제작 및 기능 검증	100	▪ 제어기 각 모듈별 PCB디자인 및 제작용 거버 데이터 작성 ▪ 마그네트 드라이브 외함도면 작성 ▪ 주제어기 FPGA도면 작성 및 구동용 FW 라이브러리 작성 ▪ 외부인터페이스용 모듈 통신FW작성 및 FPGA설계도면 작성 ▪ 이중화 제어모듈간 통신 시험 및 MMI 프로그램용 TCP/IP stack구성 ▪ 전류제어를 위한 PWM신호 발생기 작성 (FPGA/10KHz) 및 제어 시험
	모의시험기 연동 시험 및 기능 개선	100	▪ 2코너용 초퍼제작 및 전류통전시험 : 100A상승 시험 및 온도 측정 ▪ 간이 MMI프로그램을 이용한 튜닝시험
	시험품 제작	100	▪ 대차시험용 MMI프로그램 제작 ▪ Long lead item 구매진행 ▪ 기능시험절차서 작성
	환경시험 등록	100	▪ 열차전기장치의 국제 규격에 맞는 환경 시험사양서 작성
	부상제어기 실차 적용 시험	100	▪ 각 보드별 기능시험 및 신호입력 시험 ▪ MMI프로그램간의 통신개선 및 추가기능 ▪ 이중화 제어기 신뢰성 시험
	초퍼구동 시험	100	▪ 정지부상 시험시 특성취득 및 개선작업 ▪ 저속주행 시험 시 특성 취득 및 개선작업 ▪ 고속주행 시험 시 특성 취득 및 개선작업
	내환경시험 및 신뢰성 평가	100	▪ 내환경시험 및 시험결과서 ▪ 신뢰성 평가용 RAMS문건 작성

[2-3과제]

단계	연구목표	달성도 (%)	내용
1 단계	▪ 주행성능 해석 및 개선	100	▪ 차량/궤도 동특성 해석 및 개선방향 제시 ▪ 주행성능 해석 및 개선방향 제시 ▪ 차체 및 대차 동역학 모델링 및 성능 해석
	▪ 대차 메커니즘 해석 및 개선	100	▪ 곡선추종성 해석 및 개선 방향 제시
	▪ 승객안전성 해석 및 개선	100	▪ 연결기를 포함한 충돌안전도 해석 ▪ 도시철도차량 안전기준 검토 개선안 제시
	▪ 저크 최소화 해석 및 개선	100	▪ 가감속 제어 해석에 의한 저크 평가 ▪ 설계 개선안 제시
	▪ 궤도 설계 지원	100	▪ 궤도 형상에 따른 주행성능 예측 ▪ 궤도 설계 지원
	▪ 현가요소 최적화 (기계연) (평가지표:승차감 UIC 2.0 이하, 곡선통과성능 50 mR (20km/h), 110 km/h 주행시 부상공극 변동 ± 3 mm)	100	▪ 시뮬레이션에 의한 주행성능 평가(승차감,주행안정성,곡선추종성) ▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 강성, 감쇠 최적 설계 ▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 배치 개선안 도출 ▪ 해석에 의한 설계 검증
	▪ 대차 메커니즘 개선 (기계연) (평가지표:승차감 UIC 2.0 이하, 곡선통과성능 50 mR (20km/h), 110 km/h 주행시 부상공극 변동 ± 3 mm)	100	▪ 곡선추종성 시뮬레이션 -안내력 정의에 의한 곡선주행 시뮬레이션 모델 개발 -곡선반경에 따른 곡선 추종성 시뮬레이션 ▪ 곡선 추종성 향상을 위한 대차 메커니즘 개선안 도출
	▪ 차량/궤도 시스템 진동해석 및 성능 개선 (기계연)	100	▪ 차량/궤도 시스템 진동해석 ▪ 차량 시스템 진동 시험 ▪ 차량/궤도 시스템 진동특성 개선안 도출
	▪ 궤도형상 최적 설계 지원 (기계연)	100	▪ 궤도형상에 따른 주행성능 해석 ▪ 주행성능 향상을 위한 궤도 설계 개선안 제시 ▪ 궤도 불규칙도에 따른 주행성능 해석

단계	연구목표	달성도 (%)	내용
			▪ 주행성능 향상을 위한 궤도 불규칙도 제시 ▪ 해석에 의한 설계 검증
	▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 개선안 검토 및 설계 반영 (1) (현대로템)	100	▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 설계 가이드라인 설정 -현가 요소 설계 가이드라인 설정 ▪ 개선안 검토 및 설계 반영 -현가 요소 민감도 결과 강성, 감쇠 개선안 설계 반영
	▪ 대차 메커니즘 개선안 및 설계 반영(2) (현대로템)	100	▪ 대차 메커니즘 개선안 검토 및 설계 반영 ▪ 대차 프레임 구조적 설계 개선
	▪ 차량/궤도 시스템 진동 개선안 검토 및 설계 반영 (현대로템)	100	▪ 차량/궤도 시스템 진동 특성 개선안 검토 및 설계 반영
	▪ 주행성능 해석 및 시험 지원 (현대로템)	100	▪ 서브시스템 동특성 해석 모델링 지원 차량 승차감 및 성능 해석 지원
	▪ 주행성능 향상 (신규 계획)	100	▪ 동특성 분석 -거동, 진동, 동하중 ▪ 현가장치 성능 향상 ▪ 대차 메커니즘 성능 향상 ▪ 시스템 진동 특성 향상 ▪ 승차감 향상 ▪ 가이드웨이 개선 ▪ 부상제어기 성능 향상
	▪ 실험용 대차 성능 예측, 실험 및 향상 방안 도출	100	▪ 실험용 대차 동특성 예측 ▪ 실험용 대차 부상안정성, 승차감, 곡선 추종성 예측 ▪ 실험용 대차 시스템 진동 특성 예측 ▪ 실험용대차/가이드웨이 연성 진동 특성 예측
		100	▪ 실험용 대차 실험 지원 -동특성 실험 계획 수립(취득신호, 절차 수립) -동특성 신호 모니터링 시스템 구축 지원
			▪ 실험에 의한 동특성 평가 및 성능 향상 방안 도출 ▪ 실험에 의한 부상안정성, 승차감, 곡선 추종성 평가 및 향상 방안 도출 ▪ 실험에 의한 차량/궤도 연성 진동특성 평가 및 향상방안 도출

단계	연구목표	달성도 (%)	내용
	▪ 대차 메커니즘에 대한 주행성능의 실험적 검증	100	▪ 실험 대차 동특성 해석 지원 ▪ 주행 성능 실험 방안 제시 ▪ 주행성능 시험 지원 ▪ 시험 결과 분석 및 개선 방안 도출
2 단 계	승차감 개선	100	-승차감 예측 및 개선안 도출 ・Air spring 개선 ・차간 댐퍼의 승차감 개선 효과 예측 및 최적 댐핑 특성 선정 -승차감 시험 및 개선안 도출 ・진동 가속도 측정에 의한 승차감 평가 (ISO,UIC) ・차간 댐퍼 응답 시험 ・인버터에 의한 소음 영향 시험 -승차감 시험결과 분석 -차간 댐퍼에 의한 승차감 개선 검증 -Air spring 개선에 의한 승차감 개선 검증 -Air spring 현가특성 개선 -차간 요댐퍼 개선 적용
	곡선추종성 개선	100	-대차 조향기구 특허분석 -곡선추종성 예측 ・횡 부상공극 예측 ・조향기구 응답 분석 -조향실린더 응답실험 및 분석 -곡선추종성 시험 ・사용 ・횡 가속도 시험
	부상안정성 개선	100	-부상안정성 예측 -진동해석 -진동시험 결과 분석 -부상안정성 시험 ・침목 방진고무 사용 효과 검증 -Walkway 진동소음 개선 -진동시험 ・yaw 시험 -부상안정성 시험 ・부상공극 변동 및 대차 가속도 시험 ・방진 고무 효과 시험 ・속도에 따른 부상공극 변동
	승객안전성 향상	100	-운행 중 대차 동하중 예측 및 개선안

단계	연구목표	달성도 (%)	내용
			도출 -랜딩롤러 분석 -스키드 소재 분석 (현상, 마모량, 500km)
	선로구축물 요구사항	100	-L/2000 거더의 보조 교각 삽입 시험 -레일 설치공차 설정

제5장 연구개발결과의 활용계획

제1절 연구성과의 활용방안

제2절 연구성과의 기대효과



제 5 장 연구개발결과의 활용계획

제 1 절 연구성과의 활용방안

[2-0과제]

시제차량 제작 및 시험 검증을 통하여, 보다 개선된 추가차량을 제작하여 성공적인 시범노선 적용 및 국내 지자체 도시철도 도입을 유도하여, 도시형자기부상열차가 신교통시스템의 한 분야로 확고한 자리를 매김할 수 있을 것으로 예상된다. 세계 철도차량 및 시스템 시장의 규모는 자동차 시장의 5% 수준에도 못 미치는 작은 규모이며, 특히 경전철은 짧은 노선연장 등으로 인해 소요차량 수가 많지 않기 때문에 자기부상열차 실용화사업을 통해 자동차 산업과 같은 막대한 국부창출은 현실적으로 어려운 실정이다. 그러나 국내 기술을 확보하여 세계 첨단교통 시장에 진입하는 효과는 단순히 계량적으로 표현되는 규모 이외에도 첨단기술력 확보라는 상징성에 의한 타 산업 수출 활성화를 유도할 수 있기 때문에 국부창출에 큰 밑거름이 될 것이다.

[2-1과제]

1. 차량개발 및 제작에 관한 연구성과의 활용방안

가. 2단계 주요 연구성과의 활용방안

본 실용화 사업을 통해 기술보완이 이루어지고, 개발된 시스템은 시범노선에서의 종합시운전을 실시한 후 지자체 등 시범노선 운영기관으로 이관하여 상업운행 시설로 전환 할 예정이며, 본 사업을 통해 실용화 실적이 확보될 경우, 동남아 등 해외시장 진출이 가능할 것으로 예상됨..

나. 연구성과의 활용방안

상기의 연구성과에 대한 결과는 기본적으로 차량제작에 적용/활용코자하며, 만약 계획한 성능지수에 미달하는 품목에 대해서는 수정/보완을 실시한 후 차량에 적용 여부를 결정코자 함.

2. 경량/고품질 시트 개발에 관한 연구성과의 활용방안

본 연구 성과를 토대로 대중교통수단용 시트의 경량화 소재적용을 기틀을 마련하였으며 이의 보다 체계적인 자료 정리를 통해 유사 산업으로의 활용이 가능할 것으로 판단된다. 또한 검증방법의 정립을 통해 향후 제품개발에의 적용과 기술 표준화를 구현할 수 있을 것이다. 이를 위해서는 유관 연구기관과의 연계를 통해 보다 학술적인 검토가 병행되어야 할 것이다.

3. 경량화 차체 개발에 관한 연구성과의 활용방안

1980년대 후반부터 개발해 온 도시형 자기부상열차는 Total 시스템의 개발이 아니라 배정된 연구개발비의 규모에 맞추어 국부적으로 사업이 수행되었다. 따라서 Total 시스템에 대한 연구개발 결과 및 시험/평가 등에 대한 정보가 부족한 것이 사실이었다. 특히 경량화 차체 제작 기술은 경량화 설계 및 해석, 조립 접합 및 신뢰성 평가에 대한 종합적인 연구개발이 절실히 필요하며, 본 기술개발사업을 통해 성공적인 개발이 이루어질 경우, 철도차량 차체 제작 및 자동차 부품의 경량화 설계 기술에도 접목 가능하여 세계적 수준의 기술능력 제고 및 해외시장 진출이 가능할 것으로 판단된다.

4. 소형/경량화 추진제어장치 개발에 관한 연구성과의 활용방안

전동차 추진제어장치의 Fan duct 구조 설계를 통하여 향상된 냉각기술을 이용하여 경전철용 보조전원장치 및 추진제어장치에 활용이 가능하며, 제작기술 습득으로 대용량 인버터 생산 조립기술에 적용을 할 수 있다. 또한, 자기부상열차용 추진제어장치의 특성화된 설계기술 확보가 가능하다.

5. 경량/고신뢰성 출입문 개발에 관한 연구성과의 활용방안

개발된 도어시스템을 대중교통 이용객들에게 보다 안전하고 신뢰할 수 있는 제품으

로 지속적으로 개선 연구하여 향후 제작되는 국내전동차 및 경량전철과 수출용 차량에 적용하여 확보된 설계 기술 및 경험을 바탕으로 전기식 DCU 제어 DOOR SYSTEM을 관련사업 기반 기술로 활용하고 그로 인한 수입대체 효과와 산업기술 향상을 도모할 것이다.

6. 경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발에 관한 연구성과의 활용방안

본 과제를 통한 연구개발 결과는 실용화 및 양산가능한 수준의 제품군을 확보할 수 있으므로 필요할 경우 즉시 양산이 가능한 수준의 준비가 가능하다.

경량화는 최근 철도차량에서 중요하게 고려되고 있는 부분으로 본 개발과제를 통하여 개발된 제품들은 차량제작 시 많은 이점을 제공할 수 있다.

7. 멀티미디어 컨트롤 시스템 개발에 관한 연구성과의 활용방안

가. 현장적용 방안(계획)

1단계 년도 연구 성과를 이용하여 계속해서 4차년도 연구개발을 진행한다. 2단계 년도에서는 멀티미어 컨트롤 시스템의 PA/PIS/CCTV장치에 필요한 Software를 추가 개발하고 자기부상열차에 탑재하여 기능시험을 진행할 계획이다. 1단계 년도 연구 성과는 IT 기술을 총 집약한 자기부상열차용 PA/PIS/CCTV 시스템을 제작하였고 IP기반의 기술과 요소기술을 사용하여 PA/PIS/CCTV 시스템 개발이 다양한 기능제공과 확장성, 소형화와 재료비 절감효과를 얻을 수 있다.

나. 실용화・제품화 방안

자기부상열차용으로 개발된 PA/PIS/CCTV 시스템은 자기부상열차뿐만 아니라 전동차 및 철도용으로도 사용 가능하다. 객차 추가시 PA/PIS/CCTV 시스템에 장착된 장치들은 편성번호와 객차번호와 관련된 IP Address를 부여받아 서로 운영됨으로 1편성 객차 수가 자기부상열차보다 많은 경우나 여러 편성의 열차의 경우에도 적용가능하다. 편성번호와 객차번호 입력방법도 간단한 버튼조작으로 이루어짐으로 유지보수나 시스템의 교체 시 편리하다.

다. 미래원천기술 확보

최근 열차용 PA/PIS/CCTV 시스템을 개발에 사용하고 있는 기술은 IP (Internet Protocol) 기술을 이용한 제품 개발이다. 본 연구를 통해 외국 제품과 동등 혹은 그 이상의 기능 및 품질을 확보할 예정이다. 또한 무인운전에 적합한 PA/PIS/CCTV 시스템을 개발하였고 시스템이중화와 망 이중화로 완벽한 Fault Tolerant한 시스템을 개발하여 미래원천기술을 확보하였다.

[2-2과제]

- 시범노선에서 운행될 자기부상열차 시제차량에의 적용은 물론 향후 국내에서 건설될 상업노선에서도 활용이 기대된다. 또한 아시아 및 미주 경전철 시장에 턴키 방식으로 수출할 경우 본 사업의 결과물을 활용함으로써 수요자의 요구에 탄력적으로 대응할 수 있는 기술적 기반을 확립할 수 있다.

- 자기부상/추진시스템 기술은 반도체 제조 공정 등의 초청정 환경을 요하는 전자산업 등에서 새로운 요구 기술로 부각되고 있어 본 사업을 통하여 획득한 결과물을 관련 산업에 적용함으로써 고부가가치 창출에 기여할 수 있을 것으로 사료됨.

[2-3과제]

본 연구 결과를 실제 차량에 적용하고 검증하기 위해서는 2, 3단계에 계속하여 해석과 시험 연구를 수행할 필요가 있다. 특히, 자기부상열차의 동특성은 다양한 요인에 의하여 결정되기 때문에 체계적인 시뮬레이션, 시험계획 및 시험결과 분석이 요구된다. 결과적으로 주행성능 요구 규격을 만족할 수 있도록 하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 연구는 향후 개발할 필요가 있는 도시간 자기부상열차에도 응용이 가능하다.

제 2 절 연구성과의 기대효과

1. 기술적 측면

연구성과	기대효과 - 기술적 측면
차량개발 및 제작	- 본 실용화에 있어서 차량개발의 핵심목표는 차량 경량화 및 성능 향상에 있으므로, 설계 연구성과가 차량제작에 원활히 적용/활용될 경우 본 실용화 사업이 성공적으로 완수될 것으로 판단된다. - 자기부상열차 전체 시스템에 대한 기술 확보가 가능하고, 성능 및 안정성에 대한 검증을 통하여 습득 기술에 대한 보편화가 가능해지고, 향후 보다 높은 속도의 열차 개발에 대한 기반 기술 제공이 가능할 것으로 예상된다.
경량/고품질 시트 개발	- 본 연구를 통해 세계 경량시트에 대한 기술적 수준을 조사·분석할 수 있었고 안락성에 대한 기준 및 개발방향을 연구하여 자기부상열차 등 경량철도차량에 적용할 의자의 설계기준을 확립할 수 있다. - 나아가 의자 기술사양, 시험검증 방법 등에 대한 구체적인 산업표준을 마련할 수 있을 것으로 기대되며, 세계시장 개방에 따른 산업표준에 입각한 기술적 선점을 가능하게 하리라 예상된다.
경량화 차체 개발	- 철도차량의 경량화에 관한 해외 동향을 살펴보면 고속열차는 물론 자기부상 열차의 대차프레임 및 전장품의 경량화 연구도 지속적으로 이루어지고 있는 추세이다. - 국내에서는 경량전철 개발, 고속철도 사업 등의 개발과정에서 경량 알루미늄 압출소재를 이용한 차체 경량화 연구가 진행된 사례가 있으나, 상업화를 전제로 철도 차량 경량화에 대한 연구가 체계적으로 이루어진 것은 아니었다. - 또한 기존 철도차량의 경우 UIC-Code를 통한 내구도 시험이 규정화 되어 있으나, 자기부상열차의 경우 철도차량의 경우에서처럼 내구도 시험과 관련된 규정이 현재까지 미비한 실정이다. - 따라서 본 사업을 통하여 광폭 알루미늄 압출소재를

연구성과	기대효과 - 기술적 측면
	이용한 자기부상열차 차체 경량화는 물론, 구조해석을 통한 압출 프로파일의 최적 단면 설계, 압출 프로파일의 용접 기술 개발 및 용접된 압출 프로파일의 신뢰성 평가를 통한 내구도 신뢰성 검증 등의 개발이 총괄적으로 이루어질 경우, 자기부상열차의 실용화는 물론 철도차량, 선박, 항공 및 자동차 등 수송기계 분야에 알루미늄 소재를 이용한 경량화 부품 개발 및 적용 등 그 파급효과가 상당히 클 것으로 판단된다.
소형/경량화 추진제어장치 개발	- 국내외 자기 부상열차의 실용화 양산에 적용 - 경전철 추진 제어 장치 및 기타 유사한 기술의 설계에 활용 - Mock-up을 기준으로 실용화차원의 적용 가능한 수준으로 양산성 및 신뢰성 확보
경량/고신뢰성 출입문 개발	- 전기식 DOOR SYSTEM에 대한 독자적 설계능력 및 제작기술 확보 - 전기식 Door System에 대한 독자적 설계능력 및 제작기술 확보 - 해외업체와의 기술종속 탈피 - DCU 기술개발로 인한 정확한 제어기술 및 장애감지 기술 보유 - 상기 기술 보유로 운행 중 안전사고 미연에 방지 가능
경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발	- 경량화, 소형화, 유지보수의 편의성, 차량시스템과의 인터페이스 능력을 확보하고 경쟁력 있는 시스템을 구성할 수 있는 기술력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.
멀티미디어 컨트롤 시스템 개발	- 1단계 년도 연구 개발을 통해 선진화된 기술과 개발방법을 이용하여 자기부상열차용 PA/PIS/CCTV 시스템을 개발 하였다. - 기존 방식의 PA/PIS/CCTV 시스템은 장치 상호간의 인터페이스가 서로 상이하여 통합적인 관리와 새로운 기능의 장치 추가가 매우 취약한 단점이 있다. - 이번에 개발한 PA/PIS/CCTV 시스템은 장치들간의 인터페이스를 Ethernet방식으로 표준화하였고 또한

연구성과	기대효과 - 기술적 측면
	Ethernet상의 TCP/IP를 사용하여 인터넷이 연결된 어디에서나 관리 및 모니터링이 가능한 장점이 있다. - 또한 선두 차와 객차, 후두부차에 장착된 장치와 Network 이중화로 개발하여 선진국에서 채택하고 있는 구조 및 사용하고 있는 기술과 동등한 방식으로 시스템을 개발 하였다. - 자기부상열차, 경전철, 전동차 및 철도 차량에 적용할 수 있는 PA/PIS/CCTV 시스템을 우리 자체적으로 개발할 수 있는 능력을 배양하였고 선진국의 도움 없이 시스템을 개발할 수 있을 뿐만 아니라 동등 이상의 기술력을 확보함으로써 선진국과의 경쟁력도 향상되었다.
부상/추진시스템 성능개선	자기부상열차의 부상용 전자석은 오래 전부터 점차적으로 설계기술, 제작기술이 축적되어 실용화에 근접하고 있으나 핵심부품은 아직도 해외에 의존하고 있으며, 110km/h 정도의 주행속도를 갖는 자기부상열차는 속도증가에 따른 부상력 저하, 동하중 증가로 인해 장시간 연속운전, 첨두부하와 같은 운전환경에서의 경험미비를 본 과제의 특성시험을 통해 내구성, 안전성, 신뢰성을 확보하였다. 또한 차량의 경량화를 통한 제조원가를 절감하기 위해 부상용 전자석의 자중을 대폭 개선하였으며, 고속주행에 있어 동하중에 대응하고 승차감 향상을 도모하고, 원활한 부상제어를 위해 부상용 전자석의 응답속도(시정수)를 대폭 개선하였다.

2. 사회·경제적 측면

연구성과	기대효과 - 사회·경제적 측면
차량개발 및 제작	- 차량의 경량화 및 성능향상을 위한 설계가 원활히 이루어질 경우 친환경적이고 주행성능이 우수한 자기부상열차 시스템은 건설비, 유지보수비 측면에서도 경쟁력을 갖게 되어 궁극적으로 사회적, 경제적으로 큰 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.
경량/고품질 시트 개발	- 향후 에너지자원고갈 문제 및 환경오염으로 인한 대중교통의 활성화가 예상되며 자기부상열차 등 도시형 경

연구성과	기대효과 - 사회·경제적 측면
	량전철의 개발 및 적용이 가속화 될 것으로 보인다. - 이런 시점에서 완성도 높은 경량시트의 개발은 해외 시장으로부터의 적극적 내수시장 보호 및 상품성 확보를 통한 수입 증가를 이끌어낼 수 있을 것이라 예상된다.
경량화 차체 개발	- 최근 들어 환경규제 강화 및 화석연료 고갈로 인해 선진 각국을 중심으로 대체 에너지 개발이 활발히 진행되고 있으며, 철도차량, 자동차 등 수송기계 분야에서 에너지 효율성 증대 및 에너지 절약을 위한 다양한 방안들이 기획, 개발되고 있는 실정이다. - 특히 철도차량 분야는 국가 기반산업의 일부로서 매우 중요한 위치를 차지하고 있으며, 철도 선진국인 독일, 일본 등을 중심으로 에너지 효율성 및 절약의 관점에서 철도차량 차체 경량화를 위한 연구가 활발히 연구되어지고 있다. - 국내에서는 자기부상열차 부상·추진장치 등에 대한 연구는 활발하게 진행되어 왔으나, 차체 경량화에 대한 연구는 미비하여 본격적인 상용화 단계에 이르지 못하고 있는 실정으로 자기부상열차 상업화를 위해서는 차체 경량화에 대한 연구는 반드시 이루어져야 할 중요 기술 중의 하나이다. - 수송수단으로서의 철도차량의 궁극적인 기능은 많은 여객과 화물을 보다 빠른 시간에 수송할 수 있어야 한다는 것이다. 이러한 고속화 기능을 달성하기 위해서는 차체 및 부품의 경량화, 소형화 및 고기능, 고효율화 등 다양한 분야에서의 기술적 혁신이 선행되어야 한다. - 또한 현대 대두되고 있는 환경규제 및 에너지 고효율화 정책에 부응하기 위해서는 대체 에너지의 개발 및 이에 상응하는 경량화 차체 기술이 선행되어야 하며, 이러한 기술개발이 완료되면 사회, 문화적으로 보다 편리하고 환경친화적인 철도차량의 보급이 가능하리라 판단된다.

연구성과	기대효과 - 사회·경제적 측면
소형/경량화 추진제어장치 개발	- 자기 부상열차의 추진 제어 장치의 기술 자립으로 기술 도입비 및 기술료 지불이 절감된다. - 전장품의 소형 경량화 경향에 따른 자기 부상열차의 핵심 기능부품 설계 및 제작에 의한 기술의 향상으로 수입대체 및 세계시장 진출의 기틀을 마련한다.
경량/고신뢰성 출입문 개발	- 경량 / 고신뢰성 제품으로 에너지 절감 - 수입 대체 효과를 통한 국가경쟁력 제고 - 전동차용 전기식 DOOR ENGINE SYSTEM의 개발로 인한 제작비 및 운영유지비 감소 - 수입대체효과 및 수출효과 기대 - 기업의 생산성 향상 및 대내외 경쟁력 강화
경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발	- 신규 시장 확보를 통한 매출증대를 통하여 투자비용에 대한 회수 및 지속적인 시장 확보가 가능할 것으로 판단된다.
멀티미디어 컨트롤 시스템 개발	- PA/PIS/CCTV 시스템은 철도차량에서는 필수적으로 장착되어야 하는 시스템으로 최신 IT기술을 적용하여 시스템이 단순하고 소형/경량화로 지자체등에서 계획하고 있는 경전철 열차에 특히 유리하다. - 또한 고성능의 프로세서와 최신 통신기술로 선진국 방송장치보다 우수하여 수입대체효과는 물론 해외 수출도 기대된다.
부상/추진시스템 성능개선	고속전철을 도입할 당시 모든 핵심부품은 해외에 의존하고, 주요 부품 및 시스템 기술을 도입하는데 많은 기술료를 지불하였으나, 대도시와 지방간의 신속한 연결을 통한 생산효과 유발, 고용창출과 관련 산업육성을 통해 산업경제적 측면에서 성공을 거두고 있다. 중저속자기부상열차 또한 지금까지 20여 년간 정부지원 혹은 사기업 자체 연구개발을 통해 많은 기술적 진전이 있었으며, 지하철 도입비용에 비해 오히려 자기부상열차 도입비용이 저렴한 환경이 도래하였기 때문에, 새로운 시스템 도입으로 인한 고용창출과 생산효과는 고속전철시스템에 비해 손색이 없을 것으로 기대되고 있다.

제6장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보



제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

[2-0과제]

[1] Marketing Strategy of the HSST System, Maglev Conference 2006

1. 분석

포지셔닝 :

- 수송능력: 2,000 ~ 30,000명/일 (단방향)
- 고성능, 환경친화적이고 안전한 운영 제공
- 날씨(비, 결빙, 눈, 낙엽 등)에 영향을 받지 않음
- 궤도 선형 설계에 높은 유연성 제공 : 구배등판능력, 곡선통과능력
- 모듈이 궤도를 감싸는 구조이므로 탈선의 위험이 없음
- 차량/궤도 저진동, 실내/실외 극저 소음 : 보다 안락한 승차감 제공 및 주변 환경에 최소 방해
- 간단한 궤도 구조이므로 타 시스템에 비하여 시각 점유가 낮음



상업적인 장점 :

- 수직하중이 차량 전체적 분산에 따른 토목 비용 절감(슬림화 가능)
- 정거장과 상업개발(쇼핑몰 등)의 통합 용이(건물 차지 면적 및 영향 최소)
- 도심 지역 궤도 선형 설계 유연성 제공
- 지하 터널 대신 지상 고가 적용 가능

- 유지보수 업무가 적음(유지보수 비용 절감)

적용 범위 :

- 시속 120km까지 운행이 가능하므로 공항과 도심 연결에 이상적임
- 진보된 기술 적용에 의한 미래지향적인 이미지를 제공
- 주요 시장
  - 도시 중소 수송 교통 시스템(특히, 붐비는 도시 지역)
  - 공항, 휴양지, 위락 시설에 대한 여객 수송
  - 공항과 도심 연결

적용 범위 :

- 상기 주요 시장에 대한 현재 기존 시스템(철차륜,선형모터,고무차륜,모노레일,케이블카 등) 적용 현황

Table 1: Market Segments Current Occupiers

Market segments	Technologies				
	Steel wheel on rail		APM	Mono-rail	Cable car
	Rotary motors	LIMs			
Low to medium capacity urban transport	x	x	x	x	
People movers at airports or entertainment centers			x	x	x
Airport link	x	x			

- 기존 시스템에 대한 보다 나은 대안으로 제시

진입장벽 :

- 자기부상열차 시스템에 대한 대중교통 운영자 및 계획자의 낮은 인지도
- 초고속자기부상열차(상해)가 좀더 높은 인지도가 있어, 자기부상열차는 초고속용으로만 있는 것으로 오해. 시스템 계획 시 자기부상시스템은 검토를 하지 않음.
- 회의적인 시각 : 도시형자기부상열차 기술을 인지하는 사람 조차도 바로 시스템을 적용하는 것에 대해서는 회의적이며, 증명된 기술은 적어도 2개이상의 실용노선에서다년간의 성공적인 운행을 기대하므로 기술도입의 선두에 설려고 하지 않음.

- 모든 사람이 자기부상열차 시스템이 매우 비싼 것으로 인식함. 동부구릉선의 총 비용이 매우 높은 것은 일본의 고물가에 의한 것임. 다른 일본 내의 기존 시스템과 비교하여 전혀 높지 않음.
- 신기술에 대한 두려움 : 자기부상열차는 매우 복잡한 기술이며 유지보수가 어렵다는 인식
- **현지 조달(Local Content)** 규정 : 일부 국가는 현지조달 규정이 있음. 현지 제작품은 품질 보장이 어려우며, 전체적인 시스템에 대한 품질 관리가 불가능함.
- **기술 이전** : 일부 국가는 프로젝트 획득을 위해서는 기술 이전이 필수임.
- 높은 전력 소비 : 기존 기술에 비하여 보다 많은 전력을 소비하는 것은 부정할 수 없음. 유지보수 비용 절감으로 추가적인 전력 비용을 상쇄하기에 충분하나, 최근 국제 유가 상승으로 에너지 비용에 대한 관심이 증가함.
- 공개된 기술시스템 경쟁

표준화 :

- 가이드웨이 형상, 궤간 등의 표준화 필요

2. 비교

- 도시형자기부상열차 실용화사업을 통하여 개발되는 시스템 역시, 일본 HSST 시스템과 동일하므로, HSST가 처한 마케팅적으로 어려운 점이 동일하게 적용된다.

3. 활용

- 실용화 도시형자기부상열차 시스템은 기술적으로는 HSST 시스템과 동등 이상 성능을 지향하고 있다. 하지만, 마케팅적인 측면에서는 HSST의 전략보다 적용 범위를 확대하고, 단점을 최대한 극복을 하여야 한다.
- 도시형자기부상열차의 대중화를 위해서는 HSST는 경쟁자가 아닌 동반자로서 여기고, 타 시스템과의 비교 우위를 계속적으로 확대해 나가야 한다.

[2] The Development Status and Future Prospects of Maglev Technology, Maglev Conference 2006

1. 분석

초고속 자기부상열차의 장점 :

- 바퀴식 시스템이 1825년에 등장한 이후로, 200km/h 속도를 달성하기 까지 140년이 걸렸으며, 200km/h에서 300km/h까지 증속하는데 약 30년이 걸림.
- 바퀴와 레일사이은 마찰제한으로 거의 속도 한계에 달함.
- 초고속 자기부상열차는 증속의 주요 장벽인 기계적인 접촉이 없음.
- 상해 시범노선에 의해 확인된 장점
  - High Speed : 500km/h 운행 속도를 가진 유일한 시스템
  - 높은 가속비율, 높은 등판 능력, 작은 곡선 통과 능력
  - 안전하고 안락한 승차감(초속30m/s 태풍에도 운영가능)
  - 적은 유지보수(궤도, 전장품신뢰성 향상)
  - 환경 친화적(객석에서의 자기장은 지구자기장과 같으며, 컬러 TV보다 작음)

자기부상열차의 응용 분야 :

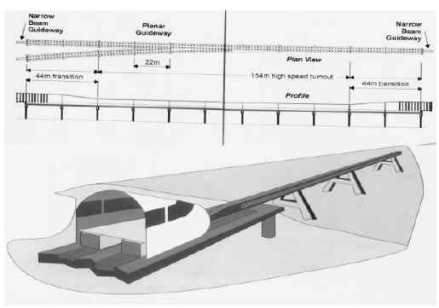
- 초고속과 중저속 자기부상열차 2종류가 있음.
- 초고속의 경우, 기존 바퀴식 초고속열차와 항공기와 비교 시, 운행 거리는 240km~1500km가 적당함.
- 중저속의 경우, 높은 운행 속도가 필요하지 않으며, 소음에 대한 제한이 엄격함.

신규 자기부상 기술 :

- 전자기 분기기(Electromagnetic Switch)
  - 자기부상열차 궤도의 스위칭 시간이 기존 기술보다 긴 것에 대하여 대안 제시



[그림 748]Magplane의 전자기 분기기

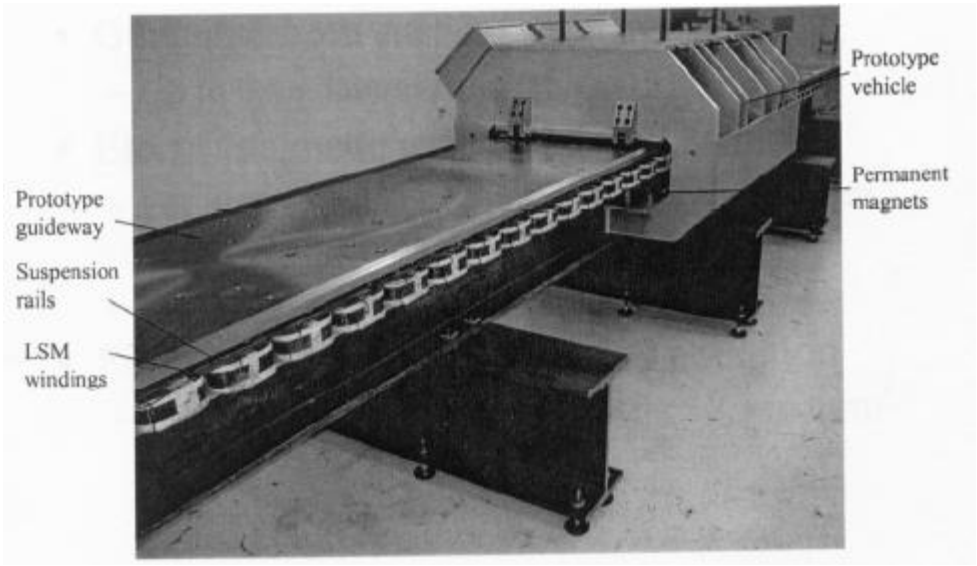


[그림 749]Maglev2000의 분기기

- Hybrid 부상시스템

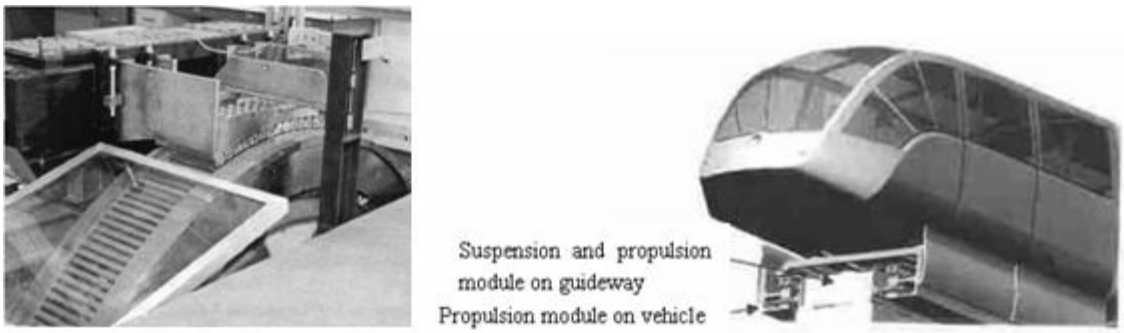
◦ TR시스템은 부상갭이 10mmdlamfh, 이는 가이드웨이의 mm레벨의 높은 정밀도를 요구하며, 이로 인하여 전체 시스템의 비용이 매우 비쌈.

◦ 영구자석과 전자석을 사용한 hybrid 부상기술이 Magnemotion에 의해 도입이 됨.
(부상공극을 증가시켜, 궤도의 정밀도를 줄이고, 가이드웨이 중량을 더 작게 함)



[그림 750]Magnemotion의 영구자석/전자석 부상시스템

◦ GA는 영구자석, Electrodynamics 서스펜서, 선형유도전동기를 사용한 자기부상 기술을 개발함.



[그림 751]GA의 시험 설비 및 시제차량

- 고온 초전도 자기부상열차(일본)

◦ 고온 초전도 자기부상열차는 보다 간단한 냉각 방식에 의하여 낮은 비용 및 향상된 안정성과 같은 장점이 있음.

◦ 2005년 553km/h의 운행속도를 기록하였으며, 부상공극은 10cm임.

2. 비교

- 국내는 개발하고 있는 중저속 자기부상열차 이외에 고속 스위칭 분기기도 개발을 하고 있으며, 초고속 자기부상열차에 대한 기초연구가 진행 중임.

3. 활용

- 기확보 또는 확보 예정인 기술의 안정성, 신뢰성, 경제성 등을 검토하여 향상 또는 신규 개발이 가능한 장치/시스템에 대하여 추가적인 연구를 착수해야 할 것으로 보이며, 이에 대한 결과는 향후 자기부상열차의 대중화에 기여를 할 것이다.

[3] Summary of automatic operation of Linimo and achievement in opening year, Maglev Conference 2006

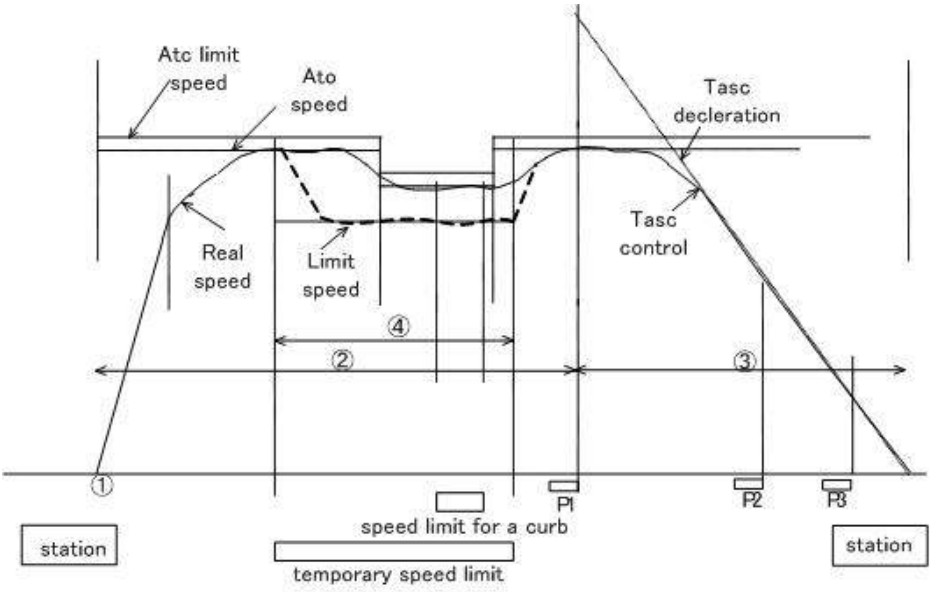
1. 분석

리니모 차량 사양 :

Item	Content
Train	3 cars, 43.3 m
Size lead car	Length 14.0 m, width 2.6 m, hight 3.45 m
middle car	Length 14.0 m, width 2.6 m, hight 3.45 m
Capacity	244 passengers a train (incl. 104 seated)
	Lead car 80(34), middle car 84(36)
Body structure	Made of welded aluminum alloy
	Head part with emergency door
	Two double door type side doors per side with 1200mm opening width
Body suspension	10 flexible pair modules a car
	Air spring as secondary suspension
Levitation & guidance	U-shape normal conductive magnets & combined levitation and guidance
Propulsion	
Main motor	Linear induction motor (10 a car)
Control device	IGBT VVVF inverter control (1 a car)
Brake	
Normal	Electrical brake & hydraulic brake
Emergency	Hydraulic brake
Main power	DC1500V
Auxiliary power	DC-DC converter (2 a train)
Operation	ATO system
Performance	Maximum speed 100 km/h
	Maximum acceleration 4.0 km/h/s
	Maximum deceleration 4.5 km/h/s
	Maximum gradient 7 %
	Minimum curve radius 50 m

자동 운행 :

- 속도제한



[그림 752]운행 패턴 개요

- Train Integrated Management System(TIMS)

Direction	Content	
TIMS→ATO	Direction	Forward/Backward
	Door	Full open
	Category	Local/Express/ Out of service/ Chartered/Test run
	Start order	Start/Restart
	Speed limit	Limit by wayside/ Limit by TIMS
	Trouble brake	Brake 1/Brake 2
	Station trouble	System 1 trouble/ System 2 trouble
	Clock	Year/Month/Day/Hour/ Minute/Second
	Vehicle condition	Emergency roller Levitated/Landing Propel/Brake Status of Hydraulic brake Trouble of VVVF
ATO→TIMS	Station	Previous station Next station
	Propulsion control	Effective Propulsion (31 steps) Brake (31 steps) Inching brake Slope brake
	Wayside coil	Number of noticed coils
	Stop position	S/J/O/Out of station
	Speed limit	Feedback from wayside Feedback from TIMS Feedback on speed limit
	Control condition	ATC signal Speed Position Distance from target Acceleration rate Deceleration rate Code of condition
	Position	Information from station controller

[그림 753]ATO와 TIMS의 교환 정보

- 2005년~2006년 운영기록

A	B	C	D	E	F	G	H
3	31	426,089	1,194,464	1,136,720	9260	82,414	4.598
4	30	2,293,765	2,422,625	1,168,920	9160	81,524	4.779
5	31	3,302,533	3,009,994	1,255,910	9492	84,479	4.956
6	30	3,577,008	3,165,392	1,280,760	9128	81,239	5.255
7	31	3,287,635	3,147,397	1,363,781	9490	84,461	5.382
8	31	4,035,794	3,589,211	1,432,050	9444	84,052	5.679
9	30	5,146,790	3,902,172	1,379,440	8840	78,676	5.844
10	31		326,742	736,280	6644	59,132	4.150
11	30		300,961	720,320	6440	57,316	4.189
12	31		239,514	780,960	6628	58,989	4.413
1	31		249,407	770,060	6628	58,989	4.351
2	28		216,891	692,420	6032	53,685	4.299
3	31		234,615	753,690	6676	59,416	4.228
Sum						924,372	
Previously estimated value							4.046

A. Month
B. The number of days
C. The number of visitors of EXPO2005
D. The number of passengers
E. Power consumption measured at substation (kWh)
F. The number of operation of trains
G. Running distance (km)
H. Average power consumption (kWh/car/km)

A	B	C	D	E
3	1,194,464	82,414	3	133
4	2,422,625	81,524	10	100
5	3,009,994	84,479	2	108
6	3,165,392	81,239	6	126
7	3,147,397	84,461	12	178
8	3,589,211	84,052	12	77
9	3,902,172	78,676	13	88
10	326,742	59,132	9	110
11	300,961	57,316	3	52
12	239,514	58,989	1	79
1	249,407	58,989	0	58
2	216,891	53,685	1	86
3	234,615	59,416	0	119
Sum		924372		
Previously estimated value per year			917	1849
Actual value / Estimated value (%)		7.9	71.1	

A. Month
B. The number of passengers
C. Running distance (km)
D. The number of exchanged brake pad
E. The number of power collecting pad

◦ 평균전력소비량은 1량이 1km 주행 시 소비전력임. 9월에 예상 소비전력(4.046kWh)보다 44% 증가한 것은 극히 높은 수송중량과 에어컨 풀가동에 의한 것임.

◦ 제동패드 교체량은 예상치의 8%에 지나지 않음. 이는 전기제동이 3km/h에서 10km/h사이에 유압제동으로 변경되고, 수동운전보다 자동운전 시에 낮은 단계의 제동을 체결한 것에 기인함.

◦ 집전패드 교체량은 예상치의 약 71%임. 집전패드가 홈이 파인 듯이 마모가 되므로 그라인더로 평평하게 갈아내어 재사용을 함.



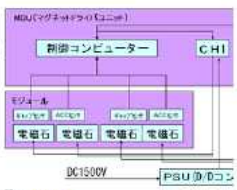
[그림 754]집전 패드 비교

- 운행후 마모된 패드(좌)/재사용을 위해 가공한 패드(우)

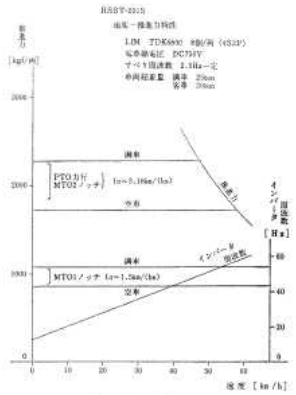
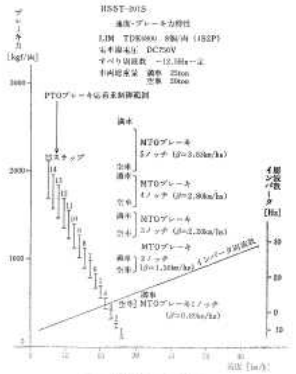
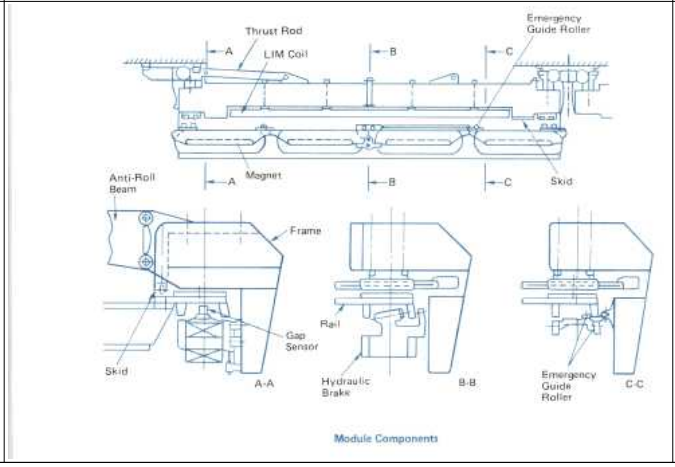
2. 비교 및 활용

- 리니모(6개/량)와 달리 실용화 차량의 경우는 제동의 수량이 적으므로, 좀더 많은 제동패드의 소모가 예상이되며, 현재 개발된 제동패드에 대한 다이나모 시험이 진행중이므로, 시험선에서 시험 시 제동패드의 마모성에 대한 검증이 이루어질 예정이다.
- 집전패드와 제동패드에 대한 재질은 사전 다이나모 시험 및 시험선 시험을 거쳐 최종 운영에 알맞은 재질을 선정할 예정임.
- 자동운전을 위한 신호시스템의 구현은 궤도/시설 과제에서 수행중이며, 시제차량은 신호시스템이 없으므로 추가차량 대해서는 신호시스템이 반영된 차량 설계가 이루어질 예정임.

[2-1과제]

구분	내용	비교/활용
리니모 차량정보	車両編成　3両固定編成、編成列車長43．3m 車両寸法　先頭車　車体長14．0m×幅2．6m×高さ3．45m 中間車　車体長13．5m×幅2．6m×高さ3．45m 乗車定員　編成　244人(座席定員104人) 〔先頭車80人(34人)／両　中間車84人(36人)／両〕 車体構造　アルミ合金製、先頭部非常扉付 乗降扉片側2ヶ所(両開き式、開扉幅1，200mm) 主要装置　車体支持装置 ペアモジュールによる可撓(かとう)台車方式(モジュール10台／両 浮上案内装置 U型常電導電磁石、浮上・案内兼用方式(浮上高さ約6mm) 推進装置 リニアインダクションモーター(10台／両) VVVFインバータ制御(1台／両) 制動装置 常用：電気ブレーキ、油圧ブレーキ　非常用：油圧ブレーキ 電気方式　DC－1，500V 補助電源装置　DC－DCコンバータ(2台／編成) 運転　ATOによる自動運転 車両性能　最高速度　約100km/h 最大加速度　4．0km/h/s 最大減速度(非常ブレーキ時)　4．5km/h/s 最大登坂勾配　70‰ 最大通過曲線範囲　50m  正面形状のデザインは透明感のあるカット形状、車体は白を基調とし、透明感が感じ色ということで、ブルーを象徴的に構成しました。さらに、路線の愛称であるリニモのロゴメイングラフィックスとして車体中央に配しています。 ◆車内 立体的な造形感と未来性を表現するために、天井素材をパンチング素材と連続した面照明としました。また、スタンションポール(握り棒)を積極的に活用しています。 画像拡大  内観基調色は車両イメージで表現しようとしている透明感を損なわないため、あえてインパクトのある色彩は使用せず、モノクローム系やメタリック系など素材感を思わせる色彩を中心にコーディネートしています。 先頭の車両と最後尾の車両には、それぞれ車いすスペースを設置しています。車内には、自動放送設備のほか、行先、次駅、扉開閉方向を示す車内案内表示器を設けています。また、乗降扉の開閉時には、ドアチャイムで注意を促します。 安全対策 ◆浮上・案内に関する安全性 モジュールにはマグネット・ドライバ・ユニット(MDU)が仕組まれています。 MDUは、制御コンピュータと電磁石駆動回路からなり、センサが監視するモジュールの動作に対応して適切な電圧を電磁石に印加します。このMDUは、モジュールごとに独立して装備されており、1台のモジュールに異常が発生した場合でも他のモジュールの浮上・案内(横方向の動き)は正常に機能します。 また、モジュールには、非常用ローラ装置が仕組まれており、浮上装置故障等で浮上できない場合でも最寄り駅へ走行できます。  画像拡大 ◆推進に関する安全性  画像拡大 車両は、磁気で浮上して走行し、鉄道車両のように車ールの間の粘着を利用していないことから、雨天、積雪候条件に左右されず、空転、滑走がないため高加速や逆相ブレーキによる高減速が可能です。 また、リニアインダクションモーターは、各車両に独立台ずつ装備されたVVVFインバータ装置により制御され、故障時にも3系統の内2系統は推進力を確保できるなっています。	실용화차량 사양과 비교 검토용으로 활용

<table>
<tr>
<td>리니모
차량정보</td>
<td>◆制動に関する安全性
ブレーキは、電気と油圧の2系統を装備し、常用系装置と保安系装置で使い分けられます。
電気ブレーキは、1両に10台搭載したリニアインダクションモーターをVVVFインバータで制御します。油圧ブレーキは、ライニングでレールの外歯部を挟みその摩擦力で制動力を得ます。
常用系装置のうちの常用ブレーキは、高速域では、回生ブレーキ、停止間際までの低速では逆相ブレーキを使用して制動力を得ます。停止直前の速度以下では、油圧ブレーキを使用します。
また、電気ブレーキ不足の際は、油圧ブレーキが補足する電油協調制御が行われます。非常ブレーキは、全速域を油圧で制動します。
保安系装置である保安ブレーキは、非常ブレーキの予備として動作します。また、非常ブレーキ、保安ブレーキの故障時にはブレーキ作動状態となるフェールセーフ設計になっています。
 
◆電源装置に関する安全性
 
車載電源装置は、1編成に2組装備し、1台が故障しても浮上装置や主要な機器への電源を確保できます。蓄電池は、1編成で2組装備し、停電時にはブレーキかけて車両が停車するまでの浮上電源を確保しています。
画像拡大
◆運転に関する安全性
運転保安装置は、列車検地装置（TD）、自動列車制御装置（ATC）、速度検出装置（VL）、自動列車運転装置（ATO）、駅制御装置、ATOデータ伝送／列車無線装置から構成されています。
各装置は、車上装置と地上装置とで構成されていますが、車上装置としては、TD送信器、ATC受信器、ATC制御装置、速度検出器、ATO制御装置、駅制御送受信器、IR送信器（ATOデータ伝送／列車無線送受信器）の7装置が装備され、すべて2重系構成とされています。</td>
<td>실용화차량
사양과 비교
검토용으로
활용</td>
</tr>
<tr>
<td>리니모차량
의
전기장치</td>
<td>3.2.2 ブレーキ制御装置
ブレーキ制御装置は，ブレーキ受量器部と油圧ブレーキ制御部等により構成されている。
ブレーキ受量器部は，車両情報制御装置からノッチ指令などの制御情報を受け，応荷重信号をもとに必要なブレーキ力を演算し，電気ブレーキ優先電油協調方式によりブレーキ制御を行っている。油圧ブレーキ制御部は，油圧電磁弁や油圧制御弁を制御するとともに，油圧センサからの入力を受け，異常時には警報送出や非常ブレーキ動作を行う。
HSST では，電油協調ブレーキ方式による制動を行っているが，停止制御において，できるだけ電気ブレーキ領域を拡大することが望まれている。大江実験線における先行車両のシステム調整結果では，通常運転での制動停止パターンでは，ほぼ，電気ブレーキのみによって停止することが可能であった。この成果を反映し，本線における営業運転においても，機械式油圧ブレーキのシュー摩耗量の低減を期待している。
3.2.3 リニアモータ
リニアモータは車上一次リニアインダクション方式であり，モータの仕様は100L 型車両に搭載したものと同じである。ただし，従来のモータ鉄心部が長手方向に複数枚の鋼板を結合して構成していたことに対し，今回は，長手方向を1枚の鋼板で構成することに成功した。この鋼板を横方向に積み上げる形でモータ鉄心を構成しているが，長手方向1枚化によってその剛性が上がり，鉄心に起因する特定の振動モードがほぼ解消した。すなわち，このことにより，車両浮上システムの浮上安定範囲が，従来に比べ広がったことになる。
リニアモーター次側写真を図５，仕様を表４に示す。
 
図５ リニアモータ 一次側外観
Fig.5 Picture of LIM primary side
表４ リニアモータ仕様
Table 4 Characteristics of LIM
一次側寸法 1800×571×83mm
一次側重量 173kg
相数・極数 3相・8極
極ピッチ 202.5mm
空隙長 13.5mm（機械的空隙）
冷却方式 自冷
1時間定格電流 222A
絶縁種別 H種
リアクションプレート 幅220mm×厚さ4mm
4．集電装置
メタライズドカーボンをすり板とする集電装置は，大江実験線における長期走行試験において良好な性能を発揮したことから，大きな変更を加えず，今回のリニモ車両に採用された。ただし，従来は溶接加工等で製作した部材の多くを型材に変更しており，これは，結果的に集電装置の軽量化に結びついた。
5．むすび
東部丘陵線“リニモ”は，都市内交通型リニアモーターカーとして，世界的にも大きな注目を浴びて開業運転に入るものと思われる。ＨＳＳＴシステムが，その優れた登坂能力や対環境性及び整備性を十分にアピールし，今後，世界各地へ展開することを期待している。
また，当社の技術が，夢の乗り物，未来の乗り物と呼ばれたHSST の実用化に，いささかの貢献をなし得たのであれば幸いであり，これまでご指導，ご協力頂いた関係各位に厚く御礼を申し上げる次第である。
参考文献
(1) 日比 修：「愛知高速交通 東部丘陵線と100形車両の概要」 R&M 2003年4月号，PP.4-12
(2) 千頭，田中：「愛知高速交通 HSST100形車両「Linimo」車両技術227号 2004年3月 PP.86－97
(3) 大沢，村井：「HSST-100L リニアモーターカー車載電気品」 東洋電機技報第93号 1995年11月 PP.21-27</td>
<td>실용화차량의
리니어모터,
VVVF 인버터,
보조전원장치
등의 용량 및
사양과의 비교
검토 자료로
활용</td>
</tr>
</table>

HSST 전기제품	 図2 速度－推進力特性 Fig. 2 Speed-tractive effort characteristics  図3 速度－ブレーキ力特性 Fig. 3 Speed-braking effort characteristics で-04よりも小さく設定し，効率の向上を図った。 図2，図3に力行，ブレーキの特性曲線を示す。 **2.2 補助電源装置（ＰＳＵ）** 高周波ＤＣ－ＤＣコンバータ方式の補助電源装置は小形・軽量化を図るためキャリア周波数を1.2kHzとしたが，可聴領域の周波数による電磁音を防止するため変圧器，リアクトルに機構的な改良を施し，顕著な成果を得た。 また，２両編成の一方の車両のＰＳＵが停止した場合には，健全なＰＳＵから電源を供給して浮上走行に支障を生じないようにするための延長給電回路を設け，浮上系の信頼性を大幅に向上させた。 **2.3 マグネットドライバ** 浮上用マグネットコイルの電流を制御するマグネットドライバは１両に16台設けられており，それぞれ２個のマグネットコイルを制御する。制御は2kHzのトランジスタチョッパ方式で，-05から当社が製作を担当した。 主な仕様は次のとおりで，-04用に比べ制御回路などの改良を図っている。 (1) 入力電圧：ＤＣ 280Ｖ (2) 出　　力：定格電流30Ａ　瞬時最大電流120Ａ (3) 入出力回路：各２回路／台 図4にマグネットドライバの外観を示す。 **2.4 ブレーキ受量器** HSSTは常用ブレーキVVVFにインバータとリニアモータとによる電気ブレーキ（回生／逆相）と油圧ブレーキを使用している。-05で初めて採用した回生ブレーキに対しては，ブレーキ中の回生負荷の変動により変化するブレーキ力を油圧ブレーキで補足する方式を採用した。このためブレーキ力の演算及びインバータと油圧ブレーキ装置のブレーキ力の制御を行うブレーキ受量器を設計している。 ブレーキ受量器は各車に１台ずつ搭載されており，その論理演算はマイクロコンピュータに行わせている。設計製作に当たり，装置の小形軽量化を図るとともにフェールセーフ性に特に留意した。  図4 マグネットドライバ外観 Fig. 4 Magnet driver マイナス側連続的に変化させて行っている。 また，すべり周波数は浮上制御に影響を及ぼさない範囲	실용화차량 전기설계 시 참고
Railway system and component	 Module Components	실용화차량 유압제동 설계 시 참고용

<table>
<tr>
<td>HSST
순전기제동
의 개요</td>
<td>
しかし，数年前より乗り心地改善とブレーキシューの交換周期の延伸を目的とした速度ゼロまでの純電気ブレーキ制御を取り入れている。
以下にその概要を紹介する。

2.1 速度ゼロまでの電気ブレーキ制動
図-3に速度ゼロまでの純電気ブレーキ方式における電気ブレーキと油圧ブレーキの制動力の関係を示す。
基本的には停止時のみ油圧ブレーキを作用させる方法である。ブレーキシューをガイドレールに押付けるが極力摺動させないことで摩耗を抑える。すなわち車両速度がゼロになる寸前に油圧ブレーキを立上げ，その油圧ブレーキ力の立上がり特性を予測して電気ブレーキ力を絞り込んでいる。
HSST-100Lのリニアモータ駆動制御はすべり周波数を約 14Hz に固定している，よって 概略 20km/h でインバータ周波数がゼロ周波数を通過し，停止付近では すでに 逆相制動に切り替わっている。
速度ゼロ時点で電気ブレーキ力が残り，油圧ブレーキへの切換えが遅れると後退の原因になる，したがって速度ゼロのタイミングを予測することが重要である。
図-3においてトルク電流指令はブレーキ制御装置からインバータ制御装置が受取るブレーキ力指令を電流指令に置換えたものである。ブレーキ力フィードバックはインバータ制御装置が発生させるブレーキ力情報をブレーキ制御装置にフィードバックするものである。
ブレーキ制御装置は出力したブレーキ力指令とフィードバックされたブレーキ力とを比較し，フィードバック量が少なければ油圧の補足ブレーキを出力し，合計ブレーキ力を指令値に一致させる。
図-3ではブレーキ力指令に相当するトルク電流指令を一定に保った状態でフィードバック信号を絞り込んだ場合で，フィードバック信号を絞り込んでからt_d後に油圧ブレーキ力が立上がるように描いている。
在来システムに特別の制御信号線を追加せずに油圧ブレーキの立上げタイミングを予告制御するするために，この補足演算機能を利用している。

2.2 速度ゼロ・タイミングの推定
HSSTの速度検知の方法は地上に敷設したタイミングベルトの作る交錯磁束を車上のセンサが検知してパルス列に変換，これを走行制御用インバータ装置やブレーキ制御装置が速度情報として取込む，速度情報は一定時間内のパルス・カウント値を使うのが一般的であるが，この一定時間が検知遅れと最低検知速度という二つの制約条件の元になる．HSSTは一般の交流電動機

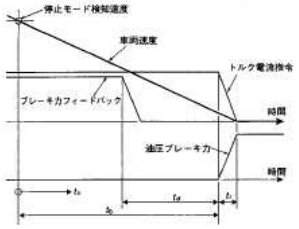
図-3 各制御パラメータの関係
 

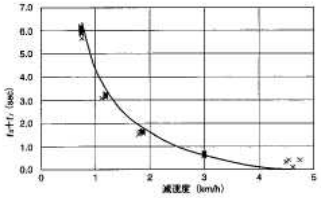
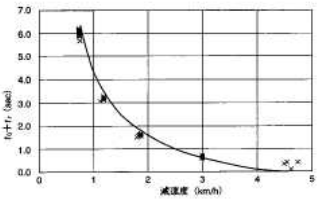
図-4.1 t_d予測制御の一例
 

図-4.2 t_d予測制御の一例
 
</td>
<td>실용화차량
전기제동 설계
시 참고용</td>
</tr>
<tr>
<td>리니모
유압캘리퍼</td>
<td>

 
 
 
 
 
</td>
<td>실용화차량
유압캘리퍼
역설계에 활용</td>
</tr>
</table>

아케보노 유압캘리퍼 자료	**Rolling Stock & Mag-lev Trains**  **Designers of railroads, including the Shinkansen and maglev trains are continually extending the frontiers of speed, safety and capacity.** Brakes manufactured by AKEBONO are used in the Shinkansen Bullet Trains, including the new "Nozomi" series trains that can travel the 530 kilometers between Tokyo and Osaka in just two and a half hours. Akebono is both helping develop technology for the braking systems to be used in the next-generation maglev trains, and cooperating in test runs, in preparation for commercialization of these maglev trains.  ■ Friction materials for rolling stock  ■ Disc brakes for mag-lev trains  ■ Disc brakes for new models of bullet trains	유압캘리퍼 현황 조사 검토용
Oil free 캘리퍼 장치	特 集 論 文 **空圧キャリパを用いたオイルレスな新幹線ブレーキシステムの開発** Development of Oil-Free Brake System for Shinkansen Using Pneumatic Brake Caliper  森 田 昇 三　古 谷 英 樹 佐々木浩一　白 石 仁 史 鉄道車両のブレーキ方式には，車輪とレール間の粘着力を利用する粘着方式と粘着力に依存しない非粘着方式がある．現在，新幹線営業車両に使用されているブレーキは粘着方式のみであり，電気ブレーキ（回生ブレーキ）と機械ブレーキ（ブレーキキャリパ）を併用し，走行車両の運動エネルギーを電流と熱に変換し制動力を得ている．また，安全と信頼性から制動源には空圧が使用され，フェールセーフ機構となっている．1964年（昭和39年）の東海道新幹線開業から機械ブレーキには，油圧方式が用いられている．本報では，ブレーキシステムの基幹構成要素である新幹線用空圧式ブレーキキャリパの開発について報告する． **1. は じ め に** 鉄道ブレーキは，安全の信頼性，列車運転の円滑化，新技術の導入（メンテナンスの省力化，小型軽量化）に留意しながら開発や改良が行われ，近代高速化の発展に寄与している．現在の新幹線のブレーキシステムは，空気圧を油圧に変換し油圧キャリパを動作させる“空油変換方式”が用いられている．この方式では空気圧を油圧に変換するための増圧シリンダが必要になる．一方，空気圧のみのブレーキシステムにすると増圧シリンダが不要となり，ブレーキ部品を削減できる．これは，安全性信頼性の向上及びメンテナンスの省力化に大きく寄与し，LCC（Life Cycle Cost）の低減につながる． **2. 新幹線用空圧キャリパの開発目標** 空圧キャリパ（Pneumatic Brake Caliper）の開発では，形状及び質量について次の開発目標を定めた．形状については，現在の油圧キャリパのスペースで台車に取付け可能なことを目標とした．新幹線では車輪の両側面にボルトで締結された車輪ディスクが用いられる．このため，ブレーキキャリパのアームは車輪のフランジに干渉してはならない．また，車輪と駆動装置間，車輪とモータ間のスペースは非常に小さくなっているため，ブレーキキャリパのライニング受けとライニングの厚みなどに制約がある．小型化と同時に，軽量化についても，増圧シリンダ＋油圧キャリパの質量よりも軽くなる90 kg以下を目標とした． **3. 開発した空圧キャリパ** 空圧キャリパは，1次試作により基本特性の確認を行った後，2次試作により小型化と軽量化を行った．図1に2次試作の空圧キャリパを示す．開発した空圧キャリパはテコ方式で，2本のブレーキアーム，支点となる体，隙間調整機構付きの空圧シリンダ，台車へ締結するためのブラケット及びライニング受けからなる．ブレーキアームの中央を支点とし，空圧シリンダの出力をテコ倍してライニング受けに取り付けたブレーキライニングでブレーキディスクを挟みこむものである．シリンダ径とてこ比の最適化により油圧と同等の出力性能を得た．また，表1に1次試作と2次試作の主要諸元を示す．  図1　開発した空圧キャリパ（2次試作） 表1　主要諸元の比較 項　目 / 1次試作 / 2次試作 質量（ブレーキライニングを除く）（kg） / 166 / 80 全　長（mm） / 660 / 634 ブレーキライニング間最大幅（mm） / 315 / 315 シリンダ間最大幅（mm） / 401 / 401 シリンダ径（mm） / 200 / 200 テコ比（片側） / 2.9（145） / 2.9（145）	유압캘리퍼 설계 검토용 활용

[2-3과제]

본 과제에서는 Linimo를 개발하는데 있어서 30년간 근무한 Mr. Iwaya를 1년간 초청하여 자문을 실시하였다. 전문가 약력은 다음과 같다.

Name: Mizro Iwaya

Birth: 1947.8.15

1971 Graduated from University of Tokyo, aeronautic division

1971 Employed in Japan Air Lines Co. Mainly engaged in power plant maintenance

1978 Moved to HSST division. Mainly engaged in guideway and levitaion system design.

Detail careers are:

1985 Design and operation of HSST-03 in Expo85, Tsukuba

1986 Operation of HSST-03 in Expo86, Vancouver

1988 Design and operation of HSST-04 in Expo Saitama

1989 Design and operation of HSST-05 in Expo Yokohama (Begin levitation engineering)

1991 Designed and tuned HSST-100S levitation system in the test line Ooe, Nagoya

1995 Designed and tuned HSST-100L levitation system in the test line Ooe, Nagoya

2005 Designed and tuned Linimo levitation system in TKL

2007 Retired from JAL, employed in Mitsubishi Heavy Industry as a temporary designer



[그림 755]일본 Linimo 전문가 활용 사진

전문가와의 토론 및 자문을 통하여 수집된 정보는 다음과 같다.

○ 속도 향상 방안

-Linimo의 경우 130km/h 까지 시험했고 그 이상의 속도로 주행 가능하다.

-속도가 증가될 수록 전자석과 LIM의 단부효과(end effect)가 커진다.

-Linimo의 경우 200km/h 에서도 도시형과 동일한 조향기구 사용을 고려하였다.

-200km/h로의 증속시 에너지 효율에 대한 분석이 요구된다.

○ 차간 댐퍼 설계에 대한 자문

-시험결과 분석 결과 댐퍼 특성이 너무 하드함

-차간댐퍼는 설치가 필요함.

-실험결과 마찰댐퍼보다는 점성댐퍼가 효과적이었음.

-저속에서는 lateral 방향의 댐퍼가 영향이 큼. 고속에서는 Longitudinal 방향 댐퍼 영향이 큼.

○ 자기부상제어 및 진동감쇠방안

-별첨자료 참조

○ 번개에 대한 대책

-레일은 일정한 간격으로 접지돼 있다. 만일 차가 번개에 맞으면 스파크를 통하여 레일로 전류가 흐르게 된다.

-차에는 어레스터가 필요없고 설치할 수도 없다.

-전자석 코일과 차체사이에의 절연을 1년에 2,3회 확인한다.

-Linimo는 Power station이 하나이기 때문에 dead section이 없다.

○ Lateral skid의 마찰계수

-0,2 면 문제없다.

○ Linimo 사례

-모든 모듈이 낙하한 적은 없고, 1,2개의 모듈만 낙하한다.

-Lateral 차간 댐퍼는 작은 곡선반경에 효과적이고 반면에 큰 곡선반경에서는 Longitudinal 댐퍼가 효과적이다.

-작은 곡선반경에서의 오실레이션이 중요하다.

-벤딩 머신이 있어서 알루미늄 플레이트를 곡가공 한다.

-레일 도색은 없다.

-유지보수차가 한대만 있다.

-긴급 견인은 다른 열차를 이용한다.

-열변형에 의한 레일 문제는 없다. 침목 체결구가 열변형을 흡수한다.

○ 대차 개수 결정

-차 길이

-최속 곡선반경

-조향기구 단순성

○ 상전도 흡인식과 영구자석시 Hybrid 비교

-100kg -1000kg 까지는 hybrid도 이용가능하지만 그 이상의 중량을 부상시키기 위해서는 전자석을 사용한다. 이유는, 전자석의 경우 부상비가 10-8인데 반하여 hybrid는 6이다.

○ 부상안정성에 대하여

-저속에서의 부상: 침목과 부상제어기의 연성이 중요하다.

-고속에서의 부상공극변동은 레일 조인트와 거더 조인트가 중요하다.

○ 레일불규칙도 측정 단계

-(1)시공 시 양 방향 스키드에 water string 를 이용한다.

-(2)차량 운영중에는 부상공극 변동을 확인하여 과도한 경우, 불규칙도를 확인한다.

-(3)매년 (1)과정을 반복한다.

○ Linim 운영 사례

-영업운전 이전에 8개월 시운전.

-비상상황 종류:부상 실패, 분기기 고장, vvvf 고장, 통신 고장

-지진이 발생하면 운행 중단한다. (level 3)(제어 시스템에 지진 감지기가 있다)

-리액션플레이트에 얼음이 생기면 운행중단하는데 그런 사례는 없었다.

-눈이 내리면 낮동안은 snow shovel를 설치하고 운행한다. 밤에는 청소차가 리액션 플레이트의 눈을 치운다.

-강우에 대하는 문제가 없다.

-풍속이 25m/s이면 운행을 중단한다.

-차륜식에 비하여 궤도 유지보수는 쉽고 차량 유지보수는 어렵다.

○진동 소음

-10Hz 이하의 진동수는 기계적 소음이고 100Hz 이상은 전기적 소음이다.

-전기적 진동은 갭샌서나 컨버터가 원인이다.

○Linimo 진동특성

-차체는 12-16Hz, 2차 현가장치 1-1.4Hz, 1차 현가(정지부상) 6-8Hz.

-1차 현가 감쇠비: 0.5.

-차체와 1차 현가장치는 분리돼 있다.

-차체 진동은 단지 승차감에는 관련돼 있다.

-차체의 고유진동수는 제한하지 않고 강도만 만족하면 된다.

○거더 처짐비

-L/1500 도 추천할 만하다.

-경간장이 30 이상인 경우, 총 질량이 크기 때문에 진동문제를 걱정안해도 된다.

-Linimo의 경우 경간장이 30m 이상이어, 진동문제를 걱정 안했는데 강구조인 분기기에서는 문제가 있었음

○ 레일 불규칙도

<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">항목</td><td colspan="2">시범노선 제시 기준
(HSST 제시기준_상이한 내용)</td><td colspan="3">해외 전문가 자문 내용
(이와야)</td></tr>
<tr><td>시공완료 기준</td><td>유지관리 기준</td><td>시공완료</td><td>보수완료 기준</td><td>검사한계 기준</td></tr>
<tr><td colspan="3">레일처짐</td><td>· 부상레일 끝단 0.3mm 이하</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="7">레일 공차</td><td colspan="2">· 수직 (10m 현) [고저 level]</td><td>±3mm</td><td>±5mm</td><td>±3mm
※ 이음매 구간은
±1mm/3m 로 관리</td><td>±4~5mm</td><td>±5mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">· 수평 (10m 현) [방향 alignment]</td><td>±3mm</td><td>±5mm</td><td>±4mm/10m</td><td>±5mm</td><td>±7mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">· 궤간</td><td>±3mm</td><td>±4mm</td><td>±3mm</td><td>±4mm</td><td>±5mm</td></tr>
<tr><td rowspan="2">· 이음매 단차</td><td>수직</td><td>±1mm</td><td>±1mm</td><td>±1mm</td><td>±1mm</td><td>±1mm</td></tr>
<tr><td>수평</td><td>±0.5mm</td><td>±1mm</td><td>±1mm</td><td>±1mm</td><td>±1mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">· 좌우높이차 [수평 elevation]</td><td>±2mm (±3mm)</td><td>±4mm (±5mm)</td><td>±3mm</td><td>±5mm</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">· 뒤틀림 [뒤틀림 twist]</td><td>±1mm</td><td>±2mm</td><td>±3mm</td><td>±4mm</td><td>±5mm</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">거더 처짐한계</td><td>90km/h 미만구간 : L/2,000 이하</td><td>-</td><td rowspan="2">L/1,500</td><td rowspan="2">-</td><td rowspan="2">-</td></tr>
<tr><td>90km/h 초과구간 : L/3,000 이하</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">질량비</td><td>0.6 이하</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">고유진동수</td><td>5 Hz 이상</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

※ 일본의 경우 대부분의 문제는 rail 및 거더 조인트에서 발생하기 때문에 조인트 관리가 우선으로 관리하였음. 좌우 높이차는 좌우레일의 평면성을 유지한 상태에서 높이의 차이(일반철도의 수평, elevation)

제7장 참고 문헌



제 7 장 참고문헌

[1] 도시형 자기부상열차 실용화사업 예비타당성조사 보고서, 과기부, 2005. 05

[2] 자기부상열차 실용화 모델 개발에 관한 산업분석 보고서, 산자부, 2003. 06

[3] 자기부상열차 실용화를 위한 모델 개발에 관한 연구(최종보고서), 지식경제부, 2009. 03

[4] 자기부상열차 실용화를 위한 모델 개발(2단계)에 관한 연구기획보고서, 산자부, 2006. 9

[5] 도시형 자기부상열차 실용화사업 타당성조사 보고서, 건교부, 2006. 09

[6] Maglev Conference Proceedings, 2006/2008

[7] 완전전기제동 및 가변편성 시스템 기술개발 3차년도 연구보고서, 유진기공산업(주), 2008

[8] 철도차량의 제동성능에 관한 연구, 한국철도기술연구원, 1995

[9] 알루미늄 제동 디스크 기술 조사 보고서, 2007

[10] 특허공고번호 90-4009 “제동 디스크용 구상흑연주철”

[11] OGASA, “Basic Study of Full Regenerative Brake by varing the adhesive Brake Pattern"

[12] Standards for Safety, WORKPACKAGE 4.3 REPORT STANDARDS FOR SAFETY.

[13] 철도차량 안전기준에 관한 지침, [별표 13] 표준충돌사고각본 세부기준(안) (제16조.관련)

[14] 도시형 자기부상열차 실용화사업 1단계 실적 보고서, 국토해양부, 2009.7

[15] P.K. Sinha, *Electromagnetic Suspension Dynamics & Control*, Peter Peregrinus Ltd., London,1987.

[16] N.F. AL-Muthairi and M. Zribi, "Sliding Mode Control of a Magnetic Levitation System,"*Mathematical Problems in Engineering*, Hindawi Publishing Corporation, 93-107(2004).

[17] W. Barie and J. Chiasson, "Linear and nonlinear state-space controllers for magnetic levitation," *International Journal of Systems Science,* no.**11**,1153-1163(1996).

[18] A.El Hajjaji and M. Ouladsine, "Modeling and nonlinear control of magnetic levitation systems," *IEEE Control Systems Magazine*,

13(1),42-48(1993).

[19] J. F. Gieras, G. E. Dawson, and A. R. Eastham, "Performance Calculation for Single-Sided Linear Induction Motors with a Double-Layer Reaction Rail Under Constant Current Excitation", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-22, No. 1, pp. 54-62, 1986.

[20] G. E. Dawson, A. R. Eastham, J. F. Gieras, R. Ong, and K. Ananthasivam, "Design of Linear Induction Drives by Field Analysis and Finite-Element Techniques", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. IA-22, No. 5, pp.865-873, 1986.

[21] B. T. Ooi and D. C. White, "Traction and Normal Forces in the Linear Induction Motor", IEEE Trans. on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-89, No. 4, pp.638-645, 1970.

[22] A. K. Wallace, J. H. Parker, and G. E. Dawson, "Slip Control for LIM Propelled Transit Vehicles", IEEE Trans. on Magnetics, Vol. MAG-16, No. 5, pp. 710-712, 1980.

[23] H. Yu and B. Fahimi, "An Investigation on Asymmetry Effects in Linear Induction Machines", IEEE Proceedings of APEC, pp. 390-395, 2007.

[24] H. Yu and B. Fahimi, "Maximum Force Control of a Linear Induction Motor Drive", IEEE Proceedings of IECON, pp. 1091-1096, 2007.

[25] W. Xu, G. Sun, and Y. Li, "Research on Tractive Characteristics of the Single Linear Induction Motor", IEEE Proceedings of ICIT, pp. 35-38, 2006.

[26] 김상훈 ,"DC 및 AC 모터 제어", 복두출판사

[27] Dae-Woong Chung and Seung-Ki Sul, "Minimum- Loss Strategy for Three-Phase PWM Rectifier," IEEE Trans. on Ind. Elec., Vol. 46, No. 3, June. pp. 517～526, 1999.

[28] T. G. Habetler, F. Profumo M. Pastrolli and L. M. Tolbert, "Direct Torque Control of Induction Machines Using Space Vector Modulation," IEEE Trans. on Ind. Appl., Vol. 28, No. 1, pp. 1045～1053 Sep./Oct. 1991.

[29] 한대웅 외 "폴전압을 이용한 SVPWM 인버터의 과변조 기법." 전력전자학회 논문지, 7권 2호, pp. 149～157, 2002.

[30] Sinha, P.K.,(1987). Electromagnetic suspension dynamcis&control, Peter

Peregrinus Ltd., London, United Kingdom.

[31] H.S. Han, B.H.Yim, N.J.Lee, Y.C.Hur, S.S.Kim, "Effects of guideway's vibrational characteristics on the dynamics of a Maglev vehicle,"Vehicle System Dynmics, Volume 47, Issue 3, Pages 309~324,2009

[32] 이남진,강광호,이원상,"도시형 자기부상차량 횡방향 주행특성 해석를 위한 상용철도차량 동특성해석 프로그램 활용,"2010.10,한국철도학회,2010년추계학술대회논문집.

[33] 이남진,강광호,이원상,"도시형자기부상차량의 반능동 조향장치에 대한 해석적 연구," 2011.5,한국철도학회,2011년춘계학술대회논문집.