# [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

# 제1장 연구개발과제의 개요

제1절 연구개발의 목적

제2절 연구개발의 필요성

제3절 연구개발의 범위

# 제 1 장  연구개발과제의 개요

## 제 1 절 연구개발의 목적

### [2-0과제]

○ 차량개발 분야의 효율적 수행을 위한 하위과제의 관리 및 인터페이스 조정 수행

### [2-1과제]

○ 최고설계속도 110km/h의 도시형 자기부상열차 시제차량 1편성 및 추가차량 3편성 개발 및 제작

### [2-2과제]

○ 부상 및 추진시스템의 목표 성능과 고신뢰성, 고안정성을 확보하기 위해 각 시스템을 구성하는 개별 장치의 설계/제작/시험과 이들을 통합한 실용화 시제 차량에서의 정지 부상 및 설계 최고 속도까지의 주행 시험을 통해 실용화 수준의 부상 및 추진 시스템을 완성한다.

○ 부상시스템을 구성하는 전장품(DC/DC 컨버터, 초파)과 부상용 전자석, 부상 제어기  및 센서류 등의 최적 설계/제작(또는 구입)/단위 시험을 통하여 상업용 부상시스템을 완성하고, 차량단위에서의 부상/추진 시험을 통하여 목표 사양(부상공극:8mm,설계 최고속도에서의 공극 순시 변동폭:±3mm(수직단차 1mm이내 조건))을 만족시키는 고신뢰성 및 고안정성을 갖춘 부상시스템을 완성한다. 또한 부상/추진시스템의 상호 연계와 관련하여 부상시스템에로의 영향을 최소화시키는 추진시스템의 요건 분석과 추진시험 등을 통하여 부상/추진시스템 상호 간섭에 의한 부상시스템의 신뢰성 약화 현상 등이 발생하지 않도록 한다.

### [2-3과제]

○ 최종연구 목표는 다음과 같은 성능 제안사양을 만족하는 도시형 자기부상열

차를 개발할 수 있도록 시뮬레이션 및 시험에 의한 지원

- 최소수평곡선반경 50 mR
- 최고설계속도: 110 km/h
- 승차감 UIC 지수 2.0 이하
- 저크 최소화
- 경제적 궤도설계 지원
- 시험에 의한 주행성능, 승객안전성 검증
- 충돌거동해석을 통한 차량 구조설계 검토(도시철도차량 안전기준) (21조, 22조, 23조)

## 제 2 절 연구개발의 필요성

### [2-0과제]

○ 기술적 측면

- 자기부상열차는 소재, 기계, 전기/전자, 통신 및 시스템 등 첨단 종합산업의 결집체 임.
- 부품의 수가 500여 개에 달하므로 산업전반에 기술적파급효과가 매우 큼
- 차량뿐만 아니라 토목/궤도, 신호, 전력 등 Total System에 대한 독자 기술력 확보가 가능 함

○ 경제·산업적 측면

- 자기부상열차는 중국 상하이(2004. 1), 일본 나고야(2005. 3)에서 상업운행이 실시되고 있음
- 본 사업을 통해 국내에서의 실용화가 이뤄어질 경우 타 시스템에 비해 가격경쟁력을 갖게되어 향후 국내/외 자기부상열차 시장을 선점 할 수 있을 것이며,
- 차량뿐만 아니라 토목/궤도, 신호, 전력 등 Total System에 대한 Turn-Key 사업화가 가능 함.

○ 사회·문화적 측면

- 자기부상열차는 소음과 진동이 작고, 분진 및 Co2가 발생하지 않으므로 환경친화적인 시스템이며,
- 신개념, 첨단 교통시스템의 도입으로 국민들에게 새로운 기술에 대한 자부심을 심어주며
- 고가궤도에서의 운행으로 도심내 주변시설들과의 조화로 인하여 문화적 가치도 높음

### [2-1과제]

○ 기술적 측면

- 자기부상열차는 소재, 기계, 전기/전자, 통신 및 시스템 등 첨단 종합산업의 결집체 임.
- 부품의 수가 500여 개에 달하므로 산업전반에 기술적 파급효과가 매우 큼
- 차량뿐만 아니라 토목/궤도, 신호, 전력 등 Total System에 대한 독자 기술력 확보가 가능 함

○ 경제·산업적 측면

- 자기부상열차는 중국 상하이(2004. 1), 일본 나고야(2005. 3)에서 상행운행이 실시되고 있음
- 본 사업을 통해 국내에서의 실용화가 이뤄어질 경우 타 시스템에 비해 가격 경쟁력을 갖게되어 향후 국내/외 자기부상열차 시장을 선점 할 수 있을 것이며,
- 차량뿐만 아니라 토목/궤도, 신호, 전력 등 Total System에 대한 Turn-Key 사업화가 가능 함.

○ 사회·문화적 측면

- 자기부상열차는 소음과 진동이 작고, 분진 및 Co2가 발생하지 않으므로 환경 친화적인 시스템이며,
- 신개념, 첨단 교통시스템의 도입으로 국민들에게 새로운 기술에 대한 자부심을 심어주며
- 고가궤도에서의 운행으로 도심내 주변시설들과의 조화로 인하여 문화적 가치도 높음

[2-2과제]

○ 기술적 측면

- 2007년부터 본격적으로 진행될 자기부상열차 실용화 사업의 최종 목표는 자기부상열차의 국내 수요 충족은 물론 해외 시장 진출까지도 고려하고 있다는 점에서 국제적인 경쟁력을 갖춘 세계 최고 또는 동등의 기술 수준을 요구하고 있다. 1990년경부터 시작된 국내의 자기부상열차 개발 사업은 차량 개발을 중심으로 몇 개의 기관이 독립적으로 연구를 진행해 왔지만, 2006년 현재 시점까지도 상업 운전이 가능한 수준까지는 미치지 못하고 있는 것이 현실이다. 주지하는 바, 자기부상열차의 실용화에 가장 큰 걸림돌은 부상/추진시스템의 신뢰성 및 안정성을 어떻게 확보할 것인가 하는 것이다. 따라서, 전체 사업의 성공 여부가 본 과제의 목표 달성 여부에 좌우된다는 점에서 관련 기술 분야 전문가의 유기적인 협조 체계가 절실히 요구된다.

○ 경제·산업적 측면

- 상전도 흡인식 자기부상열차의 관련 기술 중 핵심 기술인 부상/추진시스템의 목표성능, 고신뢰화 및 고안정화함를 달성함으로써 자기부상열차의 국산화는 물론 세계 3번째 순수 독자 기술 확보를 통한 국제적인 경쟁력을 갖추는 계기를 마련할 수 있다. 또한, 부상/추진시스템 관련 부품, 장치 및 시스템 개발 업체의 새로운 부가가치 창출과 2020년까지의 계획 중인 신교통 수요의 50%이상을 본 기술개발 결과가 사용될 경우 총 3조원 이상의 수입 대체 효과를 기대할 수 있으며, 아시아 및 미주 경전철 시장의 20%를 턴키 방식으로 수출할 경우 12조원 이상의 수출 증대 효과를 예상할 수 있다.

[2-3과제]

- 자기부상열차는 고가궤도를 주행하고 능동적 부상/추진 제어에 의하여 주행하기 때문에 차량의 주행특성은 차량과 궤도의 동특성에 의하여 결정된다. 동특성은 차량뿐만이 아니라 궤도의 형상에 영향을 받기 때문에 시스템적인 주행특성 예측에 의한 주행성능 향상과 경제적인 궤도를 개발하기 위하여 주행특성 예측 및 개선 연구가 필요하다. 또한 충돌사고 시 승객인 안전성을 향상시키기 위하여 차체, 연결기의 충돌안전도를 평가하고 개선하는 연구가 필요하다.

## 제 3 절 연구개발의 범위

### [2-0과제]

| 연구목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|---|---|
| ▪ 차량개발 사업 총괄 관리<br>▪ 하위과제 인터페이스 관리 | ▪ 차량분야 사업계획 수립<br>▪ 하위단위과제 계약 지원<br>▪ 차량 요구사항 분석, 기본사양 정의<br>▪ 차량 개념/기본설계 관리<br>▪ 차량개발 관련 일정, 문서 등 관리<br>▪ 차량설계 및 구성품 제작/시험 관리<br>▪ 시제차량 자재발주/입고 및 제작 관리<br>▪ 구성품 시험 및 유지보수 방안 수립 |

### [2-1과제]

| 연구목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|---|---|
| **차량개발 및 제작 - 현대로템(주관)** | |
| ▪ 개념설계<br>▪ 기본설계<br>▪ 상세설계<br>▪ 장납기품 발주<br>▪ 구성품 제작 및 시험<br>▪ 시제차량 제작 | ▪ 기능/성능 정의, 요구사항 분석<br>▪ 차량 디자인(외부 전문기관 용역)<br>▪ 사양확정 및 기본설계<br>▪ 상세설계<br>▪ 장납기품 발주<br>▪ 구성품 제작 및 시험<br>▪ 시제차량(1편성) 제작 |
| **경량/고품질 시트 개발 - 대원강업(협동)** | |
| ▪ 시트 기술현황 파악 및 CONCEPT 결정<br>▪ 경량화 시트 설계기술 연구<br>▪ 경량 시트 구조해석 (위탁과제수행)<br>▪ 시트 상세설계 및 개발<br>▪ MOCK-UP 시트 제작<br>▪ 설계검증기술 연구 및 초도품 제작 | ▪ 경량시트 기술현황 파악<br>▪ 인간공학적 설계기술 개발<br>▪ 시트 LAY-OUT 검토<br>▪ 경량소재 현황 파악<br>▪ 경량화 구조물 설계기술 연구<br>▪ 경량화 부품 설계기술 연구<br>▪ 시트 소재의 해석용 Material Database 구축<br>▪ 해석 모델의 타당성 검증 및 해석 정밀도 향상<br>▪ 경량시트 개발을 위한 시트 해석 |

| 연구목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|---|---|
| | ▪ 상세 설계<br>▪ 부품 개발<br>▪ 디자인 MOCK-UP용 시트 제작 (0.5량)<br>▪ 시트 검증 시험<br>▪ 시트 설계검증기술 연구<br>▪ 초도 1편성 시트 제작 |
| **경량화 차체 개발 - 동양강철(협동)** | |
| ▪ 차체 설계안 분석 및 설계 변수 도출<br>▪ 차체 경량화를 위한 압출재 형상 최적화 설계<br>▪ 설계 최적화에 대한 구조해석<br>▪ 압출 Profile 설계 제한 조건 분석<br>▪ 도시형 자기부상열차 차체 구조해석<br>▪ 구체용 알루미늄 압출 Profile 설계 최적화<br>▪ 압출 Profile 제작 및 공급<br>▪ 압출 시험편 제작 및 소재 특성 평가<br>▪ 도시형 자기부상열차 압출 프로파일 최적화설계<br>▪ 압출 금형 최적화 설계 및 압출 금형 제작<br>▪ 압출 Profile 시제품 지원 (구체 2량)<br>▪ 차량 경량화율 검증 | ▪ 차체 설계안 분석<br>▪ 경량화 가능 설계 변수 도출<br>▪ 최대 650mm 광폭 압출재 최적 강성 확보 설계 및 Ribs 설계 최적화 검토<br>▪ 광폭 압출재를 이용한 FSW 용접 기술 개발<br>▪ 구체 제작 공차를 고려한 압출재 설계<br>▪ 정하중 해석 : 차체 구조에 가해진 하중에 의한 영구변형 발생 가능성 예측<br>▪ 동일한 작용 하에서 최적화 설계된 차체의 변형량 예측<br>▪ 주행시 반복하중에 의한 응력집중 부위 피로강도 예측/설계 반영<br>▪ 구조해석 결과의 신뢰성 검증<br>▪ 구체용 알루미늄 압출 Profile 설계 제한 조건 분석<br>▪ 최적화 설계 변수 도출<br>▪ 차체 설계안 입수 및 차체 구조해석<br>▪ 구조해석결과에 따른 압출 Profile 설계 반영<br>▪ 압출 Profile 최적 경량화 설계<br>▪ 생산 공정상의 문제점 도출 및 설계 반영<br>▪ 자기부상열차 Mock-up용 압출재 공급(1량분)<br>▪ 인장시험<br>▪ 굽힘시험<br>▪ 변형시험<br>▪ 압출 프로파일 최적 경량화 설계<br>▪ 상세 설계 모델 구조해석<br>▪ 압출 프로파일 최적 경량화 설계 모델 구조해석 |

| 연구목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|---|---|
| | ▪ 상세 설계안에 대한 압출 금형 해석 및 최적 압출 금형 제작<br>- Cap부 압출금형 제작<br>- Under Frame용 압출금형 제작<br>- Side Frame용 압출금형 제작<br>- Upper Frame용 압출금형 제작<br>- Roof Frame용 압출금형 제작<br>- End Frame용 압출금형 제작<br>▪ 구체 구성요소별 압출 Profile 제작<br>▪ 완성차 제작 지원(총2량분)<br>▪ 설계안 대비 실제 경량화율 검증 (설계 목표 대비, 실측 중량 비교) |
| **소형/경량화 추진제어장치 개발 - 브이씨텍(협동)** | |
| ▪ 기본 사양 결정 및 검증해석<br>▪ 상세 설계 및 주요품 제작<br>▪ 추진 제어 장치 제작(3세트)<br>▪ 공장내 시험 | ▪ 시뮬레이션을 통한 추진제어장치 분석<br>▪ 장납기 자재 발주(IGBT, Capacitor, IC류)<br>▪ 제어기, Stack Proto 제작<br>▪ 도면(단품도면, Ass'y 도면)<br>▪ 계산서 작성(방열계산, 부품선정계산서)<br>▪ 제어기,Stack 제작(초도품)<br>▪ 주요부품 입고관리(IGBT, Capacitor, FAN)<br>▪ 추진제어장치 Proto 및 탑재용 Ass'y 제작<br>▪ 공장내 시험 및 분석<br>- 환경시험<br>- 온도상승시험<br>- 보호 동작시험<br>- 절연저항/절연내압시험<br>- 시퀀스 시험<br>- 성능시험 |
| **경량/고신뢰성 출입문 개발 - 에이디에스레일(협동)** | |
| ▪ 도어엔진, 도어판넬 개념 설계 및 기본설계<br>▪ 도어엔진, 도어판넬 상세 설계<br>▪ 초도편성 제작 및 구성품 | ▪ 자료 수집 및 설계기준 정립, 사양 협의/확정<br>▪ 판넬 소재 선정 및 기본설계<br>▪ 도어엔진 작동 메커니즘 개념설계<br>▪ 제어 소프트웨어 개발<br>▪ DCU 개발 |

| 연구목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|---|---|
| 시험 | ▪ 도어엔진 상세설계<br>▪ 도어판넬 상세설계<br>▪ 각종 도어에 대한 시험사양 확정<br>▪ 초도편성분 제작<br>- 도어시스템 8세트<br>▪ 형식 시험<br>- 내전압 시험<br>- EMC 시험 등<br>▪ 200만회 내구성 시험 |
| **경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발 - 유진기공산업(협동)** | |
| ▪ 제동시스템 기본설계<br>▪ 연결기시스템 기본설계<br>▪ 기능품 Proto 제작<br>▪ 제동시스템 상세설계<br>▪ 연결기 시스템 상세설계<br>▪ 초도편성 양산준비<br>▪ 초도편성 양산진행<br>▪ 차량조립 지원<br>▪ 완성차 시험 지원 | ▪ 제동시스템 구성<br>▪ 제동력계산 및 Piping diagram, BOM 작성<br>▪ 연결기 관련 자료 수집<br>▪ 연결기 기본설계 진행<br>▪ 공기압축기에 대한 Proto 제작<br>▪ 유공압변환장치에 대한 설계 검토<br>▪ Sample에 대한 Reverse engineering 진행<br>▪ 제동시스템 상세설계<br>▪ 연결기 시스템 상세설계<br>▪ 연결기 규격 확정<br>▪ 연결기 Proto 제작<br>▪ 공기압축기 2차 시작품 제작<br>▪ Reverse engineering 진행<br>▪ 유공압변환장치에 대한 설계완료<br>▪ 캘리퍼 장치에 대한 설계완료<br>▪ 차량제작일정에 따른 양산준비<br>▪ 개발품에 대한 형식시험<br>▪ 초도편성에 대한 양산 진행<br>▪ 개발품 차량사 공급<br>▪ 개발품에 대한 차량조립 지원<br>▪ 완성차 시험절차서 작성 |
| **멀티미디어 컨트롤 시스템 개발 - 한터기술(협동)** | |
| ▪ Multi Media Control System 안정화된 기본설계 | ▪ 국내 사례 조사<br>▪ 외국 경쟁사 사례 조사 |

| 연구목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|---|---|
| ▪ Multi Media Control System 상세 설계<br>▪ Multi Media Control System 1편성분 제작 | ▪ PA/PIS/CCTV 통합 시스템 블록도 작성<br>▪ PA 시스템 블록도 작성<br>▪ PIS 시스템 블록도 작성<br>▪ CCTV 시스템 블록도 작성<br>▪ 기본 회로 설계 및 기구 설계<br>▪ PA/PIS/CCTV 통합시스템 상세설계<br>▪ 부품 발주<br>▪ PA/PIS/CCTV 1편성분 제작<br>▪ PA/PIS/CCTV 안정화 작업 |

## [2-2과제]

| 연구목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|---|---|
| ▪ 부상시스템의 성능개선 관련 설계<br>▪ 부상시스템 개발환경 구축<br>▪ 이중화 부상제어기 및 초퍼 1차시제품 개발 | ▪ 레일, 차량 및 주행속도 등을 고려한 부상제어 알고리즘 설계<br>▪ 고신뢰성 부상제어시스템 설계<br>▪ Single Magnet 부상시험 장치 구축<br>▪ 부상시스템 개발용 MMI 시스템 구축<br>▪ 신호처리 보드 설계/제작<br>▪ 고안정성 초파 1차시제품 설계/제작<br>▪ 차량 단위 통합 모니터링 시스템 관련 설계 지원 |

## [2-3과제]

| 단계 | 연 차 | 연구목표 | 주요연구내용 |
|---|---|---|---|
| 1단계 (당해 단계) | 1차년도 | ▪ 주행성능 해석 및 개선 | ▪ 차량/궤도 동특성 해석 및 개선 방향 제시<br>▪ 주행성능 해석 및 개선방향 제시<br>▪ 차체 및 대차 동역학 모델링 및 성능해석 |
| | | ▪ 대차 메커니즘 해석 및 개선 | ▪ 곡선추종성 해석 및 개선 방향 제시 |
| | | ▪ 승객안전성 해석 및 개선 | ▪ 연결기를 포함한 충돌안전도 해석 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | ▪ 도시철도차량 안전기준 검토 개선안 제시 |
| | | ▪ 저크 최소화 해석 및 개선 | ▪ 가감속 제어 해석에 의한 저크 평가<br>▪ 설계 개선안 제시 |
| | | ▪ 궤도 설계 지원 | ▪ 궤도 형상에 따른 주행성능 예측<br>▪ 궤도 설계 지원 |
| | 2차년도 | ▪ 현가요소 최적화<br>(기계연)<br>(평가지표:승차감 UIC 2.0 이하, 곡선통과성능 50 mR (20km/h), 110 km/h 주행시 부상공극 변동 ± 3 mm) | ▪ 시뮬레이션에 의한 주행성능 평가(승차감,주행안정성,곡선추종성)<br>▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 강성, 감쇠 최적 설계<br>▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 배치 개선안 도출<br>▪ 해석에 의한 설계 검증 |
| | | ▪ 대차 메커니즘 개선<br>(기계연)<br>(평가지표:승차감 UIC 2.0 이하, 곡선통과성능 50 mR (20km/h), 110 km/h 주행시 부상공극 변동 ± 3 mm) | ▪ 곡선추종성 시뮬레이션<br>-안내력 정의에 의한 곡선주행 시뮬레이션 모델 개발<br>-곡선반경에 따른 곡선 추종성 시뮬레이션<br>▪ 곡선 추종성 향상을 위한 대차 메커니즘 개선안 도출 |
| | | ▪ 차량/궤도 시스템 진동해석 및 성능 개선 (기계연) | ▪ 차량/궤도 시스템 진동해석<br>▪ 차량 시스템 진동 시험<br>▪ 차량/궤도 시스템 진동특성 개선안 도출 |
| | | ▪ 궤도형상 최적 설계 지원<br>(기계연) | ▪ 궤도형상에 따른 주행성능 해석<br>▪ 주행성능 향상을 위한 궤도 설계 개선안 제시<br>▪ 궤도 불규칙도에 따른 주행성능 해석<br>▪ 주행성능 향상을 위한 궤도 불규칙도 제시<br>▪ 해석에 의한 설계 검증 |
| | | ▪ 주행성능 향상을 위한 현가 | ▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 |

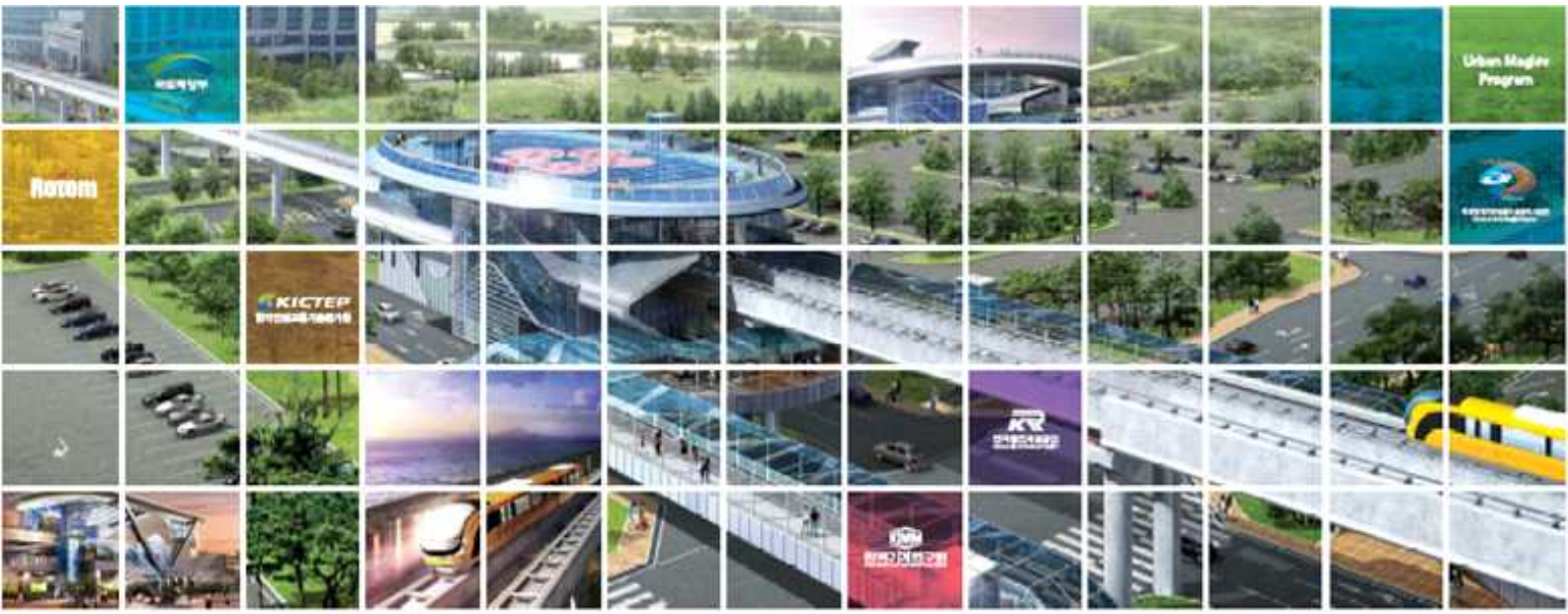
| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 요소 개선안 검토 및 설계 반영 (1)<br>(현대로템) | 설계 가이드라인 설정<br>-현가 요소 설계 가이드라인 설정<br>▪ 개선안 검토 및 설계 반영<br>-현가 요소 민감도 결과 강성, 감쇠 개선안 설계 반영 |
| | | ▪대차 메커니즘 개선안 및 설계 반영(2)<br>(현대로템) | ▪대차 메커니즘 개선안 검토 및 설계 반영<br>▪대차 프레임 구조적 설계 개선 |
| | | ▪차량/궤도 시스템 진동 개선안 검토 및 설계 반영 (현대로템) | ▪차량/궤도 시스템 진동 특성 개선안 검토 및 설계 반영 |
| | | ▪주행성능 해석 및 시험 지원<br>(현대로템) | ▪서브시스템 동특성 해석 모델링 지원<br>차량 승차감 및 성능 해석 지원 |
| | 3차년도 | ▪주행성능 향상 (신규 계획) | ▪동특성 분석<br>-거동, 진동, 동하중<br>▪현가장치 성능 향상<br>▪대차 메커니즘 성능 향상<br>▪시스템 진동 특성 향상<br>▪승차감 향상<br>▪가이드웨이 개선<br>▪부상제어기 성능 향상 |
| | | ▪실험용 대차 성능 예측, 실험 및 향상 방안 도출 | ▪실험용 대차 동특성 예측<br>▪실험용 대차 부상안정성, 승차감, 곡선 추종성 예측<br>▪실험용 대차 시스템 진동 특성 예측<br>▪실험용대차/가이드웨이 연성 진동 특성 예측 |
| | | | ▪실험용 대차 실험 지원<br>-동특성 실험 계획 수립(취득신호, 절차 수립)<br>-동특성 신호 모니터링 시스템 구축 지원 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | ▪실험에 의한 동특성 평가 및 성능 향상 방안 도출<br>▪실험에 의한 부상안정성, 승차감, 곡선추종성 평가 및 향상 방안 도출<br>▪실험에 의한 차량/궤도 연성 진동특성 평가 및 향상방안 도출 |
| | | ▪대차 메커니즘에 대한 주행성능의 실험적 검증 | ▪실험 대차 동특성 해석 지원<br>▪주행 성능 실험 방안 제시<br>▪주행성능 시험 지원<br>▪시험 결과 분석 및 개선 방안 도출 |
| 2단계 | 4차년도 | ▪완성차시험 및 시험선 시험평가를 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증 | ▪완성차주행성능(승차감,부상안정성,곡선추종성), 진동 해석에 의한 주행성 개선안 도출 |
| | | | ▪시험선에서의 완성차주행성능(승차감,부상안정성, 곡선추종성), 진동 실험에 의한 주행성능 평가 및 개선안 도출 |
| | | | ▪시험선에서의 완성차주행성능(승차감,부상안정성,곡선추종성),진동 실험에 의한 주행성능개선 검증 |
| | | | ▪개선 대상<br>• 현가 요소 특성치<br>• 대차 메커니즘<br>• 차간 연결 댐퍼<br>• 부상제어 알고리즘 |
| | | | ▪시험선 시험과 차량-궤도 상호작용해석을 통한 선로구축물 설계개선 요구사항 도출 |
| | 5차년도 | ▪시험선 시험 및 시범노선 시운전시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증 | ▪완성차주행성능(승차감,부상안정성,곡선추종성), 진동 해석에 의한 주행성 개선안 도출(계속) |
| | | | ▪시험선에서의 완성차주행성능(승 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | 차감,부상안정성, 곡선추종성), 진동 실험에 의한 주행성능 평가 및 개선안 도출(계속) |
| | | | ▪ 시험선에서의 완성차주행성능(승차감,부상안정성,곡선추종성),진동 실험에 의한 주행성능개선 검증(계속) |
| | | | ▪ 개선 대상 (계속)<br>• 현가 요소 특성치<br>• 대차 메커니즘<br>• 차간 연결 댐퍼<br>• 부상제어 알고리즘 |
| | | | ▪ 시험선 시험과 차량-궤도 상호작용해석을 통한 선로구축물 설계개선 요구사항 도출(계속) |
| 3단계 | 6차년도 | ▪ 시험선 시험 및 시범노선 시운전시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증 | ▪ 시험선 시험 및 시범노선 시운전 시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증(계속) |
| | | | ▪ 시험선 시험과 차량-궤도 상호작용해석을 통한 선로구축물 설계개선 요구사항 도출(계속) |
| | 7차년도 | ▪ 시험선 시험시범노선 시운전시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증 | ▪ 시험선 시험 및 시범노선 시운전 시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증(계속) |
| | | | ▪ 시험선 시험과 차량-궤도 상호작용해석을 통한 선로구축물 설계개선 요구사항 도출(계속) |

# 제2장 국내·외 기술개발 현황

## 제1절 국내·외 관련분야의 환경변화



# 제 2 장 국내·외 기술개발 현황

## 제 1 절 국내·외 관련 분야의 환경변화

### 1. 자기부상열차 국내외 동향

#### 가. 국내 자기부상열차 개발 동향

- 국내 자기부상열차의 연구개발은 다음과 같이 기초연구 단계, 실차형 개발 단계 및 실용화모델 개발 단계로 나눌 수 있다.

(1) 기초연구 단계(1985 ~ 1989)

- 기초자료 수집 및 연구 및 해석 프로그램 및 Tool 개발
- 한국기계연구원('89.12 ~ '93.7)

  1989년 12월부터 과기부 국책 사업으로 아래와 같은 기술개발 을 수행함

  · 부상, 추진 및 전력변환기술 등 요소기술 개발
  · 2 대의 1/2 Scale 대차개발
  · 100 m 시험선로 및 Full Scale 대차개발, 동특성 시험
  · 총 연구비 : 45 억원(과기부 출자)
- 현대로템('91. 1~'93. 11) : EXPO'93 전시운행, 구 현대정공 자체과제로 HML-03개발

- 승차인원 : 최대 80명
- 설계최고속도 : 100 km/h
- 선로길이 : 560 m
- 3,300 km 운행
- 12만명 승객수송
- 최초의 실차규모

[그림 1 ]EXPO 93 전시/운행차량(HML-03)

(2) 실차형 개발단계(1994. 5 ~ 1998. 8)

- 과기부 국책 2단계 사업, 한국기계연구원 주관, 현대로템 참여로 경전철 규모의 2량1편성 도시형 자기부상열차(UTM-01) 개발

  · 선로 : 단선고가 1.3km, 최대구배 6% , 최소곡선 60mR

· 분기기 : 평행이동식 1대

· 국산부품적용 : 95%

| | |
|---|---|
| | - 승차인원 : 최대 80명/량<br>- 설계최고속도 : 110 km/h<br>- 운행최고속도 : 65 km/h<br>- 가 속 도 : 3.0 km/h/s<br>- 공급전원 : 1,500 VDC |

[그림 2 ]도시형 자기부상열차(UTM-01)

(3) 실용화 모델 개발단계

- 사업명 : 지식경제부 수송시스템산업원천기술개발사업
- 과제명 : 자기부상열차 실용화를 위한 모델 개발
- 사업 기간 : 2003. 10 ~ 2009. 3(5.5년)
- 추진체계 :
  · 총괄관리 : 현대로템(주)
  · 세부주관 : 현대로템(주)/한국기계연구원
- 최종 목표 :
  · 연속주행시험으로 시스템 신뢰성, 안정성 확보

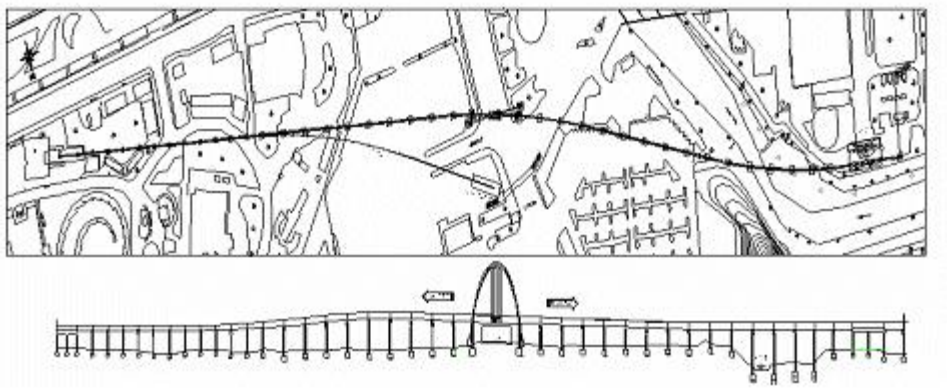
| | |
|---|---|
| | - 승차인원 : 최대 100명/량<br>- 설계최고속도 : 110 km/h<br>- 운행최고속도 : 80 km/h<br>- 가 속 도 : 3.6 km/h/s<br>- 공급전원 : 1,500 VDC |

[그림 3 ]지경부 수송시스템산업원천기술개발사업 차량

## 나. 국내 자기부상열차 실용화 동향

(1) 국립과학관 ~ 엑스포공원 자기부상열차 설치사업

- 사업목적 :
  - 국책연구사업으로 개발한 자기부상열차의 운행으로 대국민에게 과학기술의 홍보 및 자긍심 고취
  - 자기부상열차의 실용화 촉진 및 시험선로로도 활용
- 사업내용 및 범위 :
  - 선로건설:1km (기존 EXPO 노선 360m 개조 + 신규 640 m 연장)
  - 신규 역사 건설 : 1개소
  - 기존 역사 증설 : 1개소
  - 전력설비 및 가선 : 1식
  - 신호 설치 : 1식
  - 시운전 : 차량 및 신호시스템 : 지경부 중기거점과제 결과물 활용
- 사업기간 : 2005. 01 ~ 2007. 09
- 총 사업비 : 98억 원(과기부 과학기술진흥기금)
- 시범운행 개통 : 2008. 4. 21



[그림 4 ]국립중앙과학관 ~ 엑스포과학공원 노선도

- 노선 사양 :
  - 노선길이 : 1km
  - 역사 수 : 2개소
  - 최소 곡선반경 : 600m
  - 최대 구배 : 2.5%
- 일정 계획 :
  - 설계기준서 작성 및 설계 : 2005. 1 ~ 2006. 2
  - 선로 건설 : 2006. 3 ~ 2007. 초

· 신호/전력 설치공사 : 2007. 1 ~ 2007. 3
· 차량 이송/설치 및 시험 : 2007. 4 ~ 2008. 4
· 시범운행 개통 : 2008. 4 ~ 7 (현재, 전차선사고로 운행중단)

- 사업 수행 방안
· 주계약자(시공사) : ㈜동원시스템스/㈜삼환
· 운영계획(안) : 개통 후 3년간 현대로템에서 무상 운영

(2) 도시형 자기부상열차 실용화 사업(본 사업)

- 사업 취지 :
· 대형 국가연구개발사업을 통해 얻은 기술 중 민간이 스스로 상용화하지 못하여 국가 차원의 지원이 필요한 과제를 도출
· 실용화 및 수출로 이어질 수 있도록 범부처 차원의 전략을 수립하여 전 주기적으로 지원

- 진행경과 :
· '04. 12. 21 : 국가과학기술위원회에서 "대형 국가연구과제 현황" 대통령에게 보고
· '04. 12. 23 : 과학기술관계장관회의에서 "대형 국가연구과제의 실용화 사업 추진 계획" 검토/협의
· '05. 01. 27 : 과학기술관계장관회의에서 '실용화 과제 후보로 자기부상열차 선정'
· '05. 02 ~ 04 : '예비타당성 조사' 실시(건교부 - 철도연 주관)
· '05. 05 : 6대 실용화 추진과제로 최종 선정
· '05. 06 ~ 12 : 해외 기술조사(일본/중국) 수행
· '05. 08 ~ '06. 02 : 본 타당성 조사 준비 및 수행기관 선정
· '06. 03 ~08 : 타당성 조사

- 사업범위 :
· 시스템 구축 : 토목/궤도/역사/차량/신호/통신/전력/기계/검수 등
· R&D 내용 : 차량, 신호, 궤도 및 분기기 등 기술보완
· 관련 규정정비 : 도시철도법, 성능/안전/품질규정, 표준사양 등

- 사업 개요 :
· 노선 길이 : 약 6.1km(복선), 인천신공항 주변

· 사업기간 : 2006. 12 ~ 2012. 12(6년)

· 소요예산 : 약 4,500억 원

· 추진체계 :

- 사업총괄 : 한국기계연구원(사업단)
- 1핵심주관 : 한국기계연구원(시스템 통합)
- 2핵심주관 : 현대로템(주)(차량개발)
- 3핵심주관 : 한국철도시설공단(노선구축)

[그림 5 ]자기부상열차 실용화 사업 노선도(인천신공항 주변)

## 나. 해외 자기부상열차 개발 동향

독일, 일본 등에서는 지역간 철도(장거리, 초고속용)와 도시 신교통시스템(중/저속용), 2가지 형태의 자기부상열차 개발에 주력해 왔다. 최근에는 중국에서 자체기술로 초고속 및 중저속 자기부상열차를 개발과 동시에 상용화를 진행하고 있다. 아래 표는 해외의 자기부상열차 기술동향을 나타내고 있다.

[표 1 ]해외 자기부상열차 개발동향

| 구 분 | 기 종 | Proto-type 개발회수 | 주요 기술형태 | 초기 상용화 |
|---|---|---|---|---|
| 초고속용 | 독일 Transrapid | 8회 | 상전도 흡인식 부상<br>선형 동기전동기 추진 | 2004년<br>중국 상하이 |
| | 일본 MLX | 5회 | 초전도 반발식 부상<br>선형 동기전동기 추진 | |
| 중/저속용 | 일본 HSST | 7회 | 상전도 흡인식 부상<br>선형 유도전동기 추진 | 2005년<br>일본 애지현 |
| | 미국 AMT | 1회 | 상전도 흡인식 부상<br>선형 유도전동기 추진 | |
| | 미국 GA사 | 1회 | 영구자석 반발식 부상<br>선형 동기전동기 추진 | |

(1) 장거리, 초고속형 자기부상열차

(가) 독일 Transrapid : 상전도 흡인식, 초고속용(500km/h급)

1) 개발현황

- 1969 ~ 1973 Krauss-Maffei사에 의해 Transrapid 01 ~ 04호기 개발(상전도흡인식, 중/저속형)
- 1978 AEG, BBC, Krauss-Maffei, MBB, Thyssen에 의해 Transrapid Consortium 구성
- 1981 독일 철도청과 Lufthansa 공동, 시험전담회사 MVP 설립
- 1982 ~ 2008 Tranrapid 05~09호기 개발(상전도흡인식, 초고속형)

2) 시험선 및 설비운영 현황

- 총 31.5 km Emsland 시험선에서 500 km/h급 TR-09까지 시험
- Transrapid 시험 및 계획수립을 위해 독일철도청(DB) 및 LH의 자회사 로 MVP사를 설립하여 시험선 운행(2009년 폐쇄)

[그림 6 ]Transrapid-09

3) 상용화 현황

2001년 1월 독일 SIEMENS 콘소시엄(Transrapid International)은 중국과 상하이에 Transrapid 건설계약을 체결하고 노선을 완성하여 상하이 ~ 푸둥 국제공항간 31km 구간을 시속 500km/h급의 자기부상열차로 2002년 12월 31일 시범운행을 개통하였다. 2004년 1월 상업운행을 정식 개통하여, 현재 이 구간에서 430km/h의 속도로 상업운행 중이다.

초기에는 승객이 주로 자기부상열차 자체를 관람하기 위한 관광객이 주류였으나 현재는 공항이용객이 주류를 이루어 전형적인 교통 수송 역활을 담당하고 있다. 그러나 승객량이 10,000명/day로 손익분기점에 훨씬 미치지 못하고 있다. 초기에는 하루에 9시간정도 운행했으며, 현재는 하루 14시간 운행중에 있다.

[그림 7 ]상하이~푸둥국제공항간 자기부상열차

[그림 8 ]상하이~푸둥국제공항간 노선 가이드웨이와 분기기

- 일정 : 2000년 12월 착공, 2004년 1월 개통
- 구간 : 상하이 ~ 푸둥국제공항
- 총연장 : 31km, Double Track, 최고속도 430km/h
- 차량 수 : 총 3편성 , 6량/1편성
- 편도주행시간 : 8분
- 전자동 운행 (중앙제어센터에서 일괄 제어)
- 차량 및 제어시스템 : 독일 (Siemens, Thyssen 등)에서 공급
- 궤도 건설 : Shanghai 건설, Yangmahe 교량 건설 등 참여

시운전기간을 포함한 총 3년이 넘는 운행기간 중 궤도침하에 의한 레일 조정 외에는 특별한 문제점이 없이 정상 운행되고 있어, 앞으로 고속자기부상열차의 상용화도 확산될 것으로 전망되고 있다.

(나) 일본 MLX : 초전도 반발식, 초고속용(500 km/h급)

[그림 9 ]MLX-01의 시험운행

1) 개발현황

- 1962년 Linear Motor 추진부상식 철도의 연구개시

· 1970년 초전도 자기부상의 기초시험장치 완성
· 1973년 동경, 오사카간 Linear 중앙신간선 노선도 확정
· 1977년 ML-500, 미야자끼 시험선에서 주행시험 개시
· 1990년 야마나시 시험선건설(선행개시구간 : 18.4 km) 완료
· 시험선 현황
위 치 : 동경부근 야마나시현
총 연 장 : 42.8 km(선행개시구간 : 18.4 km)
1997년부터 MLX-01 주행시험

2) 실용화 계획
· 동경 ~ 오사카간(500km) Linear 중앙 신간선 건설예정
(70조원 소요예상)으로 시험선로(42.8 km)에서 시험운행중

(3) 신교통시스템 중/저속용 자기부상열차
(가) 일본 HSST : 상전도 흡인식, 중·저속용(110 km급)
1) 개발현황
· 1972년 일본항공㈜에서 개발착수
· 1985년 쭈구바 과학박람회에서 HSST-03 호기 전시운행 : 도시내 교통시스템으로 HSST가 주목을 받기 시작
· 1989년 名鐵그룹, 애지현, HSST사의 출자로 중부HSST개발㈜ 설립, 애지현의 위탁으로 실용화연구조사위원회가 발족
· 1993년 HSST-100S 개발, 1995년 HSST-100L 개발
· 1999년에는 애지현 학술연구개발존에 위치한 나고야 동부구릉지역 철궤도계수송기관으로 HSST 채택, 2000년에 제3섹터 애지고속교통 주식회사를 설립

[그림 10 ]일본의 HSST-100L의 시험운행전경

2) 상용화 현황

- 1999년 7월 동부구릉선 도입 기종선정위원회는 HSST 자기부상열차를 2005년 Aichi EXPO를 대비하여 애지현 국제박람회장~나고야 후지가오카 전철역을 연결(8.9km)하는 철도수단으로 채택
- 위원회는 일본에서 운행중인 신교통시스템중 하네다선과 같은 모노레일, 고베시 고무차륜 경전철(포트라이너)과 HSST 자기부상열차 등 3종을 후보로 경제성, 환경영향, 승차감, 급경사 주행능력 등을 비교 검토한 결과 자기부상열차가 모든 면에서 우수하여 도입 방침 결정
- 2002년 4월 공사를 시작하여 2005년 3월 6일 개통, 약 3년 동안 건설 (당초 건설목표보다 나고야 Aichi EXPO를 위해 2년 앞당겨 건설됨)

[그림 11 ]동부구릉선 역사의 외부 전경 및 실내

[그림 12 ]동부구릉선(Nagoya Eastern Hillside Line) 선로

3) 동부구릉선 건설비 현황

<table>
<tr><td>당초 예상</td><td colspan="3">실제 소요</td></tr>
<tr><td>405억엔</td><td colspan="3">1,032억엔</td></tr>
<tr><td rowspan="2">- 출자금 : 81억엔(20.0%)<br>- 지자체, 민간 등 전대채(무이자차입금) : 122억엔(30.0%)<br>- 장기차입금 : 202억엔(50.0%)<br>(일본정책투자은행25%, 시중은행25%)</td><td>- 인프라 구축비 : 670억엔</td><td colspan="2">- 정부 : 50%<br>- 지자체 : 50%</td></tr>
<tr><td>- 인프라 구축비 외 : 362억엔</td><td colspan="2">- 출자금(20%) : 72억엔<br>- 무이자 차입(30%) : 109억엔<br>- 유이자 차입(50%)</td></tr>
<tr><td colspan="4">인프라 구축비 362억엔의 내용</td></tr>
<tr><td colspan="2">출자금(20%) 72억엔</td><td>무이자 차입(30%) 109억엔</td><td colspan="2">유이자차입(50%)</td></tr>
<tr><td>지방자치단체 (51.85%)</td><td>민간 (48.15%)</td><td>지방자치단체 (100%)</td><td>지방자치단체 (22.75%)</td><td>민간 (77.25%)</td></tr>
</table>

4) 동부구릉선 운영 현황

- EXPO 기간중(2005. 3. 25~9. 25(185일)) 일평균 10만 6천명, 총 2,000만명 수송하였으며, EXPO 폐막 후에는 1일 약 2~3만명 수준으로 승객이 급감하였고 현재는 1일 17,000명 수준을 유지하고 있음 (손익분기점은 1일 22,000 ~ 23,000명 수준)
- 소모전력은 일본에서 운행중인 모노레일과의 비교시 약 120% 소요되는 것으로 추산되나 종합적인 운영, 유지보수 비용은 적게 들어감
- 우려하는 전자파는 일반 전동차보다도 낮은 것으로 나타났으며, 특히 문제가 될 수 있는 교류전자파가 매우 낮은 것으로 파악 됨
- 1년 운영유지비는 약 15~20억엔으로 인건비 비중은 60%, 연료비 1억엔, 유지관리 3억엔(1000만엔/량/1년)
- 소모품교체는 제동슈 (1년에 1회) 및 판토슈 (2주에 1회) 교환 요함
- 운행시격은 3~5분이고 승객이 많을 경우 2분까지 가능하며 최소 headway는 100초 임
- 여행시간(편도) : 15분
- 정차역은 9개소이며, 요금 360￥임
- 7.5 지진에 견딤
- 5시간 이상 운행 정지, 약한 지진에는 25㎞/h 이하로 운행

[표 2 ]Linimo의 주요 시스템 사양

| 구 분 | | 사 양 |
|---|---|---|
| 열차편성 | | 3량 고정편성 (편성 길이 : 43.3m) |
| 차량치수 | 길이 | 14.0m (선두차) / 13.5m (중간차) |
| | 폭 | 2.6m |
| | 높이 | 3.45m |
| 승차 정원 | 편성당 | 244명(좌석 104명) |
| | 선두차 | 81명(좌석 34명) |
| | 중간차 | 82명 (좌석 36명) |
| 최고 속도 | | 100km/h |
| 최대 가속도 | | 4.0km/h/s |
| 감속도 | | 상용 4.0km/h/s, 비상 4.5km/h/s |
| 최대 구배 | | 6% |
| 최소 곡선 반경 | | 50m |
| 대차 수량 | | 5대/량 |
| 가선 전압 | | 1,500 VDC |
| 부상 높이 | | 8mm |

(나) 미국 AMT : 상전도 흡인식, 중·저속용(110 km급)

1) 개발현황

- 1960년대에 MIT, Westinghouse 등에서 개발 착수
- 1991년 연방의회에서 종합체계의 육상교통효율화 법안 채택
- 1992년부터 National Maglev Initiative를 구성하고 본격 개발에 착수한 바 있으나 90년대 중반 답보 상태
- AMT사(American Maglev Technology Inc.)는 버지니아주의 Old Dominion 대학 내 1km의 시험선을 건설/시험 중

[그림 13 ]버지니아주 ODU 대학 실용노선 건설현장

2) 미국 GA사 : 영구자석식, 중·저속용(110 km급)

- G.A사의 개발 개요

· FTA Urban Maglev (< 100mph)
· California~Nevada Maglev ( > 240mph)
· Air Force Holloman Macha (Superconducting)
· FTA의 지원으로 개발 중 : 예산은 TEA-21(Transportation Equity Act for the 21st Century)에서 제공
· 120m(400ft) 시험선로에서 full-scale 대차(chassis), Power system 시험 중

- Consortium 기관
· Hall Industries : 차량제작(설계 : G.A)
· Mackin Engineering Company : 궤도 설계
· P.J. Dick : 궤도 건설
· Sargent Electric Company : Power system
· Union Switch&Signal : 신호
· Carnegie Mellon University
· Western Pennsylvania Maglev Development Corporation 등

- 차량의 주요 사양
· 부상방식 : 영구자석(Halbach)에 의한 부상, Passive 제어
· 추진방식 : 선형동기전동기(LSM), 계자(차량)는 영구자석 사용
· 최대 운행속도 : 160 km/h
· 일반 운행속도 : 50 km/h
· 차량치수 : 12m(L) x 2.6m(W) x 3m(H)
· 구배 등판능력 : 10%
· 최소곡선반경 : 18.3 m
· 승객탑승 : 100명

- 기술적 내용
· 영구자석의 세기 1.45 ~ 1.5 Tesla
· 부상공극은 약 25 mm
· 속도가 10km/h 이상 되어야 부상 함
· 가/감속도 : 5.5km/h/s 가능(지상 1차 LSM 사용)
· 초기건설비는 HSST, UTM에 비해 약 1.5배 정도 예상

- 현안사항
· 시험선로의 상행방향에는 부상하여 주행

· 하행방향에는 기계제동이 없는 관계로 착지하여 매우 저속으로 주행하고 있음
· 부상하여 주행시 갭 변동이 매우 큼 - 해결해야할 과제라고 함

[그림 14 ]미국 GA사 영구자석형 자기부상열차

(다) 중국 중·저속용 자기부상열차

1) 개발현황

중국은 2001년 교통대학을 중심으로 하여 경량전철형 자기부상열차를 개발하였고, 2004년 32인승의 시제열차 'Zhonghua 01'을 개발하여 중국 북부지역의 Dalian에서 시험하고 있으며, 초전도체를 이용하여 자기부상열차 부상시험을 하는 등 자체 기술개발에도 박차를 가하고 있다.

[그림 15 ]Zhonghua 01

또한, 자체 기술로 개발한 자기부상열차 '자오다 자기부상 CFC-01'가 2006년 4월 30일 길이 425m, 높이 2m의 테스트라인에서 시험운행에 성공함으로써 중국이 중·저속 자기부상열차 분야에서 충분한 기술을 축적했다는 사실을 입증했다. 쓰촨(四川)성 청두(成都)에 있는 시난(西南)교통대학 자기부상연구팀이 자체 개발한 '자오다 자기부상 CFC-01'는 상전도 흡인식으로 통제시스템은 열차 자동운행 방식과 운전기사 운행 방식으로 나눠졌다. 가

로 2.6m, 높이 3.3m, 길이 11.2m 크기이고 무게는 18톤이며, 승객 60명을 태우고 레일에서 8~10㎜ 정도 뜬 상태로 시속 80~180㎞로 달릴 수 있는 중·저속 자기부상열차이다.

[그림 16 ]자오다 자기부상 CFC-01

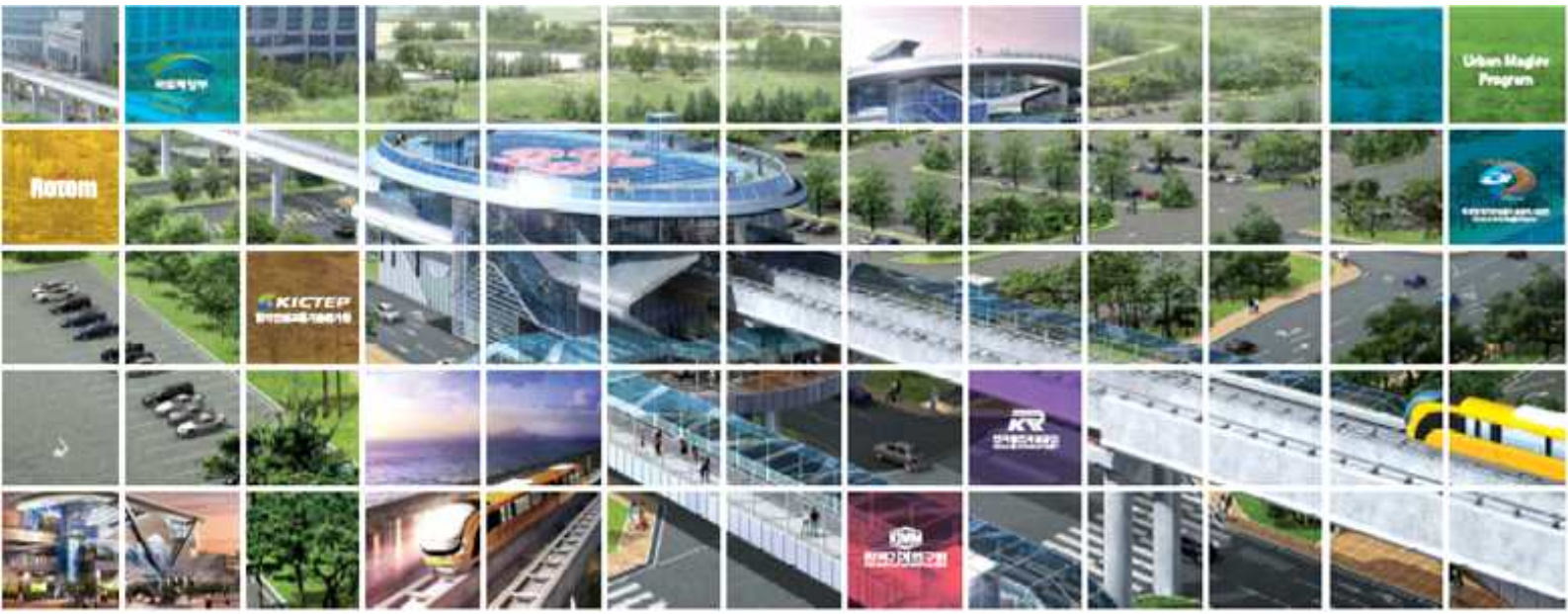
2) 상용화 계획

- 2011.2.28 북경 8개 노선 동시 기공식(2012년말 상용화)
- 3량1편성, 궤간 2m, 설계최고속도 150km/h

# 제3장 연구개발수행내용 및 결과

제1절 연구목표 및 연구내용

제2절 단계별 세부연구내용



# 제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

## 제 1 절 연구목표 및 연구내용

| 단계 | 연도 | 연구개발목표 | 연구개발내용 및 방법 |
|---|---|---|---|
| 1단계 | 1차 연도 | [차량개발 총괄]<br>▪ 차량개발 사업 총괄 관리<br>▪ 하위과제 인터페이스 관리 | ▪ 차량분야 사업계획 수립<br>▪ 하위단위과제 계약 지원<br>▪ 차량 요구사항 분석, 기본사양 정의<br>▪ 차량 개념/기본설계 관리<br>▪ 차량개발 관련 일정, 문서 등 관리 |
| | | [차량개발 및 제작]<br>▪ 시제차량 개념/기본설계 | ▪ 시제차량 규격 확정<br>▪ 개념/기본설계<br>▪ 차량 실내/외 디자인 |
| | | [주행특성 및 승객안전성 향상]<br>▪ 주행성능 해석 및 개선<br>▪ 대차 메커니즘 해석 및 개선<br>▪ 승객안전성 해석 및 개선<br>▪ 저크 최소화 해석 및 개선<br>▪ 궤도 설계 지원 | ▪ 차량/궤도 동특성 해석 및 개선방향 제시<br>▪ 주행성능 해석 및 개선방향 제시<br>▪ 차체 및 대차 동역학 모델링 및 성능해석<br>▪ 곡선추종성 해석 및 개선 방향 제시<br>▪ 연결기를 포함한 충돌안전도 해석<br>▪ 도시철도차량 안전기준 검토 개선안 제시<br>▪ 가감속 제어 해석에 의한 저크 평가<br>▪ 설계 개선안 제시<br>▪ 궤도 형상에 따른 주행성능 예측<br>▪ 궤도 설계 지원 |
| | 2차 연도 | [차량개발 총괄]<br>▪ 차량개발 사업 총괄 관리<br>▪ 하위과제 인터페이스 관리 | ▪ 차량설계 및 구성품 제작/시험 관리<br>▪ 차량개발 관련 일정, 문서 등 관리<br>▪ 시제차량 자재발주 현황 관리 |
| | | [차량개발 및 제작]<br>▪ 시제차량 기본/상세 설계 | ▪ 기본/상세설계 및 장납기품 발주<br>▪ 디자인 확정 및 목업 제작<br>▪ 시험용 대차 설계 및 제작발주 |
| | | [주행특성 및 승객안전성 향상]<br>▪ 현가요소 최적화<br>▪ 대차 메커니즘 개선<br>▪ 차량/궤도 시스템 진동해석 및 성능 개선<br>▪ 궤도형상 최적 설계 지원<br>▪ 주행성능 향상을 위한 현 | ▪ 시뮬레이션에 의한 주행성능 평가(승차감,주행안정성,곡선추종성)<br>▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 강성, 감쇠 최적 설계<br>▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 배치 개선안 도출<br>▪ 해석에 의한 현가요소 설계 검증<br>▪ 곡선추종성 시뮬레이션<br>▪ 곡선 추종성 향상을 위한 대차 메커 |

| 단계 | 연도 | 연구개발목표 | 연구개발내용 및 방법 |
|---|---|---|---|
| | | 가요소 개선안 검토 및 설계 반영<br>▪ 대차 메커니즘 개선안 및 설계 반영<br>▪ 차량/궤도 시스템 진동 개선안 검토 및 설계 반영<br>▪ 주행성능 해석 및 시험 지원 | 니즘 개선안 도출<br>▪ 차량/궤도 시스템 진동해석<br>▪ 차량 시스템 진동 시험<br>▪ 차량/궤도 시스템 진동특성 개선안 도출<br>▪ 궤도형상에 따른 주행성능 해석<br>▪ 주행성능 향상을 위한 궤도 설계 개선안 제시<br>▪ 궤도 불규칙도에 따른 주행성능 해석<br>▪ 주행성능 향상을 위한 궤도 불규칙도 제시<br>▪ 해석에 의한 불규칙도 설계 검증<br>▪ 주행성능 향상을 위한 현가요소 설계 가이드라인 설정<br>▪ 현가요소 개선안 검토 및 설계 반영<br>▪ 대차 메커니즘 개선안 검토 및 설계 반영<br>▪ 대차 프레임 구조적 설계 개선<br>▪ 차량/궤도 시스템 진동 특성 개선안 검토 및 설계 반영<br>▪ 서브시스템 동특성 해석 모델링 지원<br>▪ 차량 승차감 및 성능 해석 지원 |
| | 3차 연도 | [차량개발 총괄]<br>▪ 차량개발 사업 총괄 관리<br>▪ 하위과제 인터페이스 관리 | ▪ 시제차량 자재발주/입고 및 제작 관리<br>▪ 구성품 시험 및 유지보수 방안 수립<br>▪ 차량개발 일정, 문서 등 관리 |
| | | [차량개발 및 제작]<br>▪ 시제차량 상세설계/ 구성품<br>시험 및 시험용 대차 제작<br>/시험 수행 | ▪ 상세설계,부품발주 및 제작착수<br>▪ 구성품 시험 지원 및 단차시험<br>▪ 시험용 대차 제작 및 기능/성능시험<br>▪ 생산치공구 설계/제작 |
| | | [주행특성 및 승객안전성 향상]<br>▪ 주행성능 향상<br>▪ 실험용 대차 성능 예측, 실험 및 향상 방안 도출<br>▪ 대차 메커니즘에 대한 주행성능의 실험적 검증 | ▪ 동특성 분석<br>▪ 현가장치 성능 향상<br>▪ 대차 메커니즘 성능 향상<br>▪ 시스템 진동 특성 향상<br>▪ 승차감 향상<br>▪ 가이드웨이 개선<br>▪ 부상제어기 성능 향상<br>▪ 실험용 대차 동특성 예측<br>▪ 실험용 대차 부상안정성, 승차감, |

| 단계 | 연도 | 연구개발목표 | 연구개발내용 및 방법 |
|---|---|---|---|
| | | | 곡선 추종성 예측<br>▪ 실험용 대차 시스템 진동 특성 예측<br>▪ 실험용대차/가이드웨이 연성 진동 특성 예측<br>▪ 실험용 대차 실험 지원<br>▪ 실험에 의한 동특성 평가 및 성능 향상 방안 도출<br>▪ 실험에 의한 부상안정성, 승차감, 곡선추종성 평가 및 향상 방안 도출<br>▪ 실험에 의한 차량/궤도 연성 진동특성 평가 및 향상방안 도출<br>▪ 실험 대차 동특성 해석 지원<br>▪ 주행 성능 실험 방안 제시<br>▪ 주행성능 시험 지원<br>▪ 시험 결과 분석 및 개선 방안 도출 |
| 2단계 | 4차 연도 | [차량개발 총괄]<br>▪ 차량개발 사업 총괄 관리<br>▪ 타분야, 하위과제 인터페이스 관리 | ▪ 타분야, 하위단위 과제간 인터페이스 조정 및 차량개발분야 사업총괄 관리<br>▪ 시제차량 차량제작 및 시험 관리<br>▪ 시제차량(1편성) 시험선 시험평가 지원 |
| | | [차량개발 및 제작]<br>▪ 시제차량 제작 및 완성차 시험 (시험선)을 통한 성능검증 | ▪ 시제차량 제작 및 완성차 기능/성능 시험선 시험<br>▪ 차내/외 소음 평가 및 검증<br>▪ 시험결과를 바탕으로 추가차량(3편성) 설계 보완<br>▪ 추가차량(3편성) 제작을 위한 부품 발주<br>▪ 차량 유지보수 방안 수립<br>▪ 시험선 시험을 통한 시제차량 부상/추진시스템 성능시험 및 개선 |
| | | [주행특성 및 승객안전성 향상]<br>▪ 완성차시험 및 시험선 시험평가를 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증 | ▪ 완성차 주행성능(승차감,부상안정성,곡선추종성), 진동 해석에 의한 주행성 개선안 도출<br>▪ 시험선에서의 완성차 주행성능(승차감,부상안정성, 곡선추종성), 진동 실험에 의한 주행성능 평가 및 개선안 도출<br>▪ 시험선에서의 완성차 주행성능(승차감,부상안정성,곡선추종성),진동 |

| 단계 | 연도 | 연구개발목표 | 연구개발내용 및 방법 |
|---|---|---|---|
| | | | 실험에 의한 주행성능 개선 검증<br>▪ 개선 대상:현가 요소 특성치,·대차 메커니즘<br>차간 연결 댐퍼, 부상제어 알고리즘 |
| | 5차 연도 | [차량개발 총괄]<br>▪ 차량개발 사업 총괄 관리<br>▪ 시제차량(1편성) 시험선 시험<br>현황 관리<br>▪ 추가차량(3편성) 차량제작 관리 | ▪ 타분야, 하위단위 과제간 인터페이스<br>조정 및 차량개발분야 사업총괄 관리<br>▪ 추가차량(3편성) 제작 관리<br>▪ 시제차량 시험선 시험평가 지원 |
| | | [차량개발 및 제작]<br>▪ 시제차량 완성차 시험(시험선)<br>을 통한 성능검증 및 추가차량<br>(3편성) 제작 | ▪ 시제차량 완성차 기능/성능 시험선 시험<br>▪ 차내/외 소음 평가 및 검증<br>▪ 시험결과를 바탕으로 추가차량(3편성)<br>설계 보완<br>▪ 추가차량(3편성) 제작<br>▪ 유지보수 매뉴얼 및 운전 매뉴얼 작성<br>▪ 시험선 시험을 통한 시제차량 부상/추진시스템 성능시험 및 개선(계속) |
| | | [주행특성 및 승객안전성 향상]<br>▪ 시험선 시험 및 시범노선 시운전시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증 | ▪ 완성차 주행성능(승차감,부상안정성,곡선추종성), 진동 해석에 의한 주행성 개선안 도출(계속)<br>▪ 시험선에서의 완성차 주행성능(승차감,부상안정성, 곡선추종성), 진동 실험에 의한 주행성능 평가 및 개선안 도출(계속)<br>▪ 시험선에서의 완성차 주행성능(승차감,부상안정성,곡선추종성),진동 실험에 의한 주행성능 개선 검증(계속) |
| 3단계 | 6차 연도 | [차량개발 총괄]<br>▪ 차량개발 사업 총괄 관리<br>▪ 시범노선 시운전 현황 관리<br>▪ 추가차량(3편성) 차량제작 관리 | ▪ 시범노선 시운전, 시험을 통한 완성차<br>성능검증 지원<br>▪ 추가차량(3편성) 제작 관리 |
| | | [차량개발 및 제작]<br>▪ 시범노선 시운전 시험 및 차량 | ▪ 시범노선 시운전 시험을 통한 완성차<br>성능검증 |

| 단계 | 연도 | 연구개발목표 | 연구개발내용 및 방법 |
|---|---|---|---|
| | | 성능검증 | ▪ 차량 공인기관 인증 획득 지원<br>▪ 시범노선 시운전시험 지원<br>▪ 시범노선 시운전시험을 통한 완성차 부상<br>/추진시스템 성능시험 및 개선 |
| | | [주행특성 및 승객안전성 향상]<br>▪ 시험선 시험 및 시범노선 시운전시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증 | ▪ 시험선 시험 및 시범노선 시운전시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증(계속) |
| | 7차 연도 | [차량개발 총괄]<br>▪ 시범노선 시운전 현황 관리 | ▪ 시범노선 시운전, 시험을 통한 완성차<br>성능검증 지원 |
| | | [차량개발 및 제작]<br>▪ 시범노선 종합시운전시험을<br>통한 차량 성능검증 및 개발된<br>기술문서 정리/체계화 | ▪ 시범노선 종합 시운전시험을 통한 차량<br>성능 검증 및 개발된 기술문서 정리/체계화<br>▪ 시범노선 종합시운전 시험 및 인증 지원<br>▪ 부상/추진시스템 향후 개발방향 제시 |
| | | [주행특성 및 승객안전성 향상]<br>▪ 시험선 시험시범노선 시운전시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증 | ▪ 시험선 시험 및 시범노선 시운전시험을 통한 주행성능 평가, 개선 및 검증(계속) |

## 제 2 절 단계별 세부연구내용

### 1. 1단계 세부연구내용

[2-0과제]

**가. 차량개발 사업 총괄 관리**

(1) 1차년도 과제계획서/ 실적서 및 계약서 작성

- 2-0 핵심총괄 및 핵심주관 : 2건
- 2-1 세부총괄/주관(현대로템) 및 협동(대원강업, 동양강철, 브이씨텍, 에이디에스레일, 유진기공, 인터엠미디어) : 8건
- 2-2 세부총괄/주관(전기연), 협동(현대로템, WSM, 이투에스), 위탁(동양대) : 6건
- 2-3 세부총괄/주관(기계연), 협동(현대로템), 위탁(서울산업대, 충남대) : 5건

(2) 2차년도 과제계획서/실적서 작성

- 2-0 핵심총괄 및 핵심주관 : 2건
- 2-1 세부총괄/주관(현대로템) 및 협동(대원강업, 동양강철, 브이씨텍, 에이디에스레일, 유진기공, 한터기술) : 8건
- 2-2 세부총괄/주관(전기연), 협동(현대로템, WSM, 이투에스), 위탁(건국대)
  : 6건
- 2-3 세부총괄/주관(기계연), 협동(현대로템) : 3건

(3) 3차년도 과제계획서 및 단계 실적서 작성

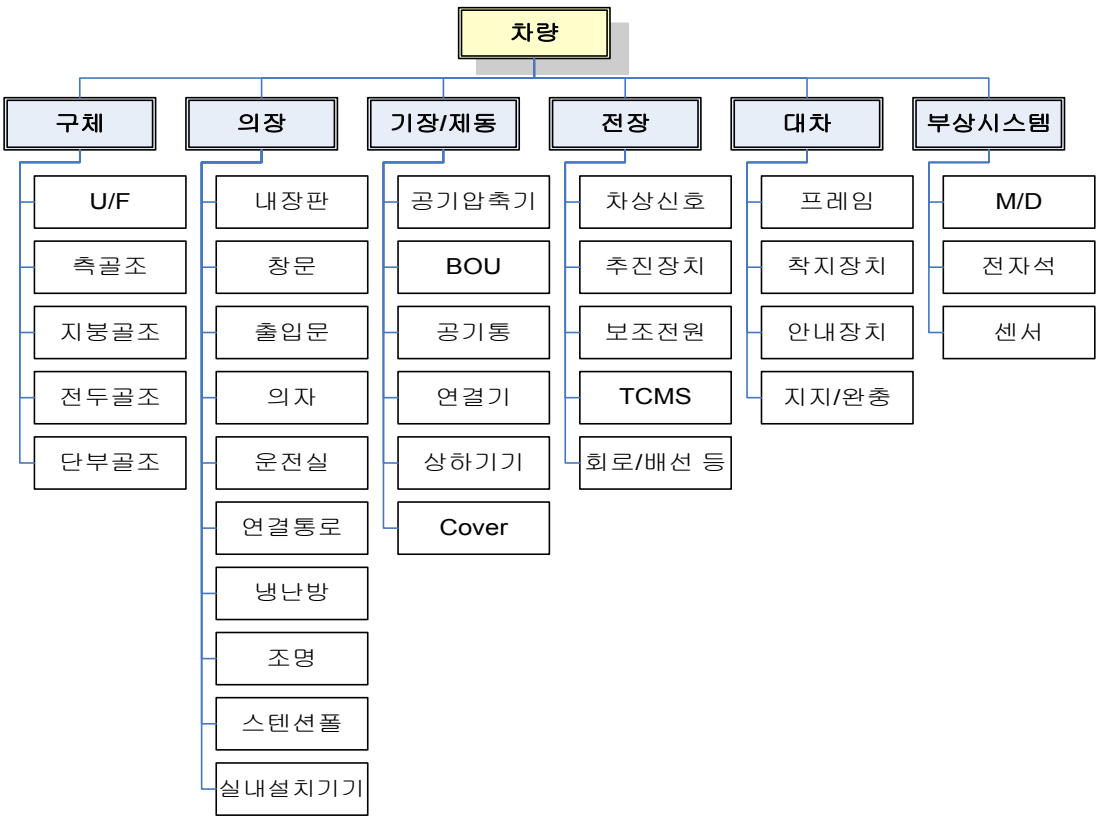
- 2-0 핵심총괄 및 핵심주관 : 2건
- 2-1 세부총괄/주관(현대로템) 및 협동(대원강업, 동양강철, 브이씨텍, 에이디에스레일, 유진기공, 한터기술) : 8건
- 2-2 세부총괄/주관(전기연), 협동(현대로템, WSM, 이투에스) : 5건
- 2-3 세부총괄/주관(기계연), 협동(현대로템) : 3건

(4) 공정회의 개최(회의록)

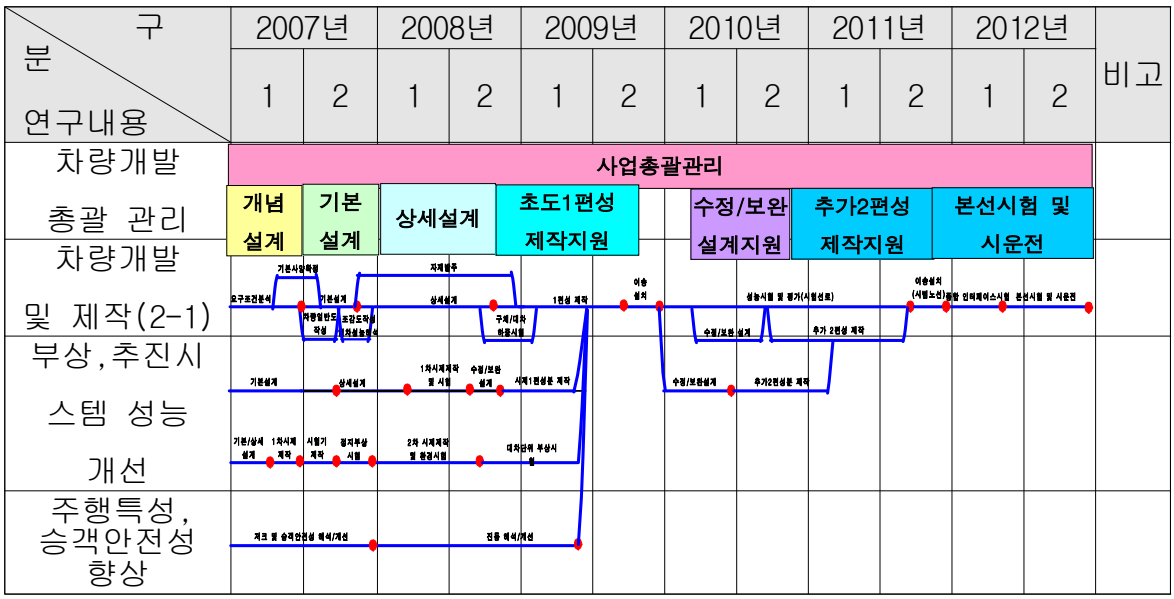
| 연번 | 회의내용 | 장소 | 일시 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ▪ 1차년도 Kick-off meeting | 현대로템 기술연구소 | 2007.03.14 | 첨부[2-0_현대로템(주)-01] 참조 |
| 2 | ▪ 대차수량 변화에 따른 장단점분석<br>▪ 부상용 레일 재질 및 형상에 따른 부상계 영향 분석<br>▪ 차량중량 관리 방안 | 한국기계 연구원 | 2007.04.11 | 첨부[2-0_현대로템(주)-02] 참조 |
| 3 | ▪ 과제별 개발 진행 현황 발표 | 한국전기 연구원 | 2007.05.16 | 첨부[2-0_현대로템(주)-03]참조 |
| 4 | ▪ 과제별 현황 및 현안 사항 토의<br>▪ 대차 수량 확정<br>▪ 상부궤도 요구사항 재검토 | 충북 청원 | 2007.07.11 | 첨부[2-0_현대로템(주)-04]참조 |
| 5 | ▪ 전자석 시정수 향상 및 Weight 절감 방안 협의 | 한국기계 연구원 | 2007.08.16 | 첨부[2-0_현대로템(주)-05]참조 |
| 6 | ▪ 전자석 설계 검토<br>▪ 마그네트 드라이브 설계 검토 | 한국기계 연구원 | 2007.09.06 | 첨부[2-0_현대로템(주)-06]참조 |
| 7 | ▪ 차량개발 대일정 및 설계 Activity 검토/협의<br>▪ 사업관리 방안 설명<br>▪ 과제별 현황 및 향후계획 검토 | 현대로템 기술연구소 | 2008.02.26 | 첨부[2-0_현대로템(주)-07]참조 |
| 8 | ▪ 장치별 개념설계 검토/협의<br>▪ 과제별 진행 현황 검토<br>▪ 장치별/부품별 목표중량관리 검토<br>▪ RAMS/LCC 및 EMC 요구사항<br>▪ 부상레일 형상 및 치수 확정<br>▪ 차량중량 관리 방안 설명 | 현대로템 기술연구소 | 2008.03.25 | 첨부[2-0_현대로템(주)-08]참조 |
| 9 | ▪ 추진제어알고리즘 구현 및 최적화<br>▪ 외국인 기술자문 결과 추심<br>▪ 시험대차 Concept<br>▪ 1분기 보고서 수정/보완 | 현대로템 기술연구소 | 2008.05.02 | 첨부[2-0_현대로템(주)-09]참조 |
| 10 | ▪ 차량 중량관리 사례(일본) 소개<br>▪ 장치별 중량관리 현황 및 저감 안 | 현대로템 기술연구소 | 2008.06.27 | 첨부[2-0_현대로템(주)-10]참조 |
| 11 | ▪ 과제별 연구성과 점검<br>▪ 장치별 중량저감 실적(목표치 대비 달성율 점검)<br>▪ 인터페이스 현황/향후계획 검토 | 현대로템 기술연구소 | 2008.12.23 | 첨부[2-0_현대로템(주)-11]참조 |

(5) 차량개발 전체 수행 계획서 작성

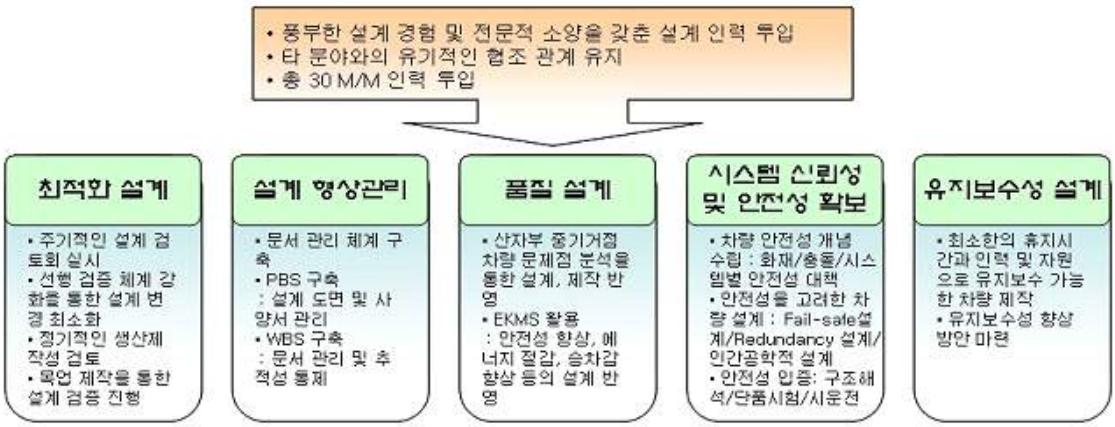
□ 차량개발 체계 구성




□ 차량개발 일정 계획



□ 설계 수행 계획




□ 주행성능(부상/안내시스템, 추진시스템, 대차시스템) 향상 방안

| 구 분 | 개 선 목 표 | 개 선 방 법 | 수 행 방 안 |
|---|---|---|---|
| 부상/안내 시스템 | • 110km/h 주행시 공극 편차 ±3mm이내<br>• 50mR 곡선구간 최소 20km/h 주행 가능<br>• 에너지효율 20% 증대 | • 부상제어 알고리즘 개선<br>• 갭/가속도 센서특성 개선<br>• 부상용 전자석의 최적설계<br>• 횡방향 제어 적용여부 검토<br>• 구조 설계 개선<br>• 부상공극 10mm→ 8 mm<br>• 전자석 취부 정밀도 개선<br>• 궤도설치조건 제시 | • 필요기술 개발<br>- 궤도 Interaction 기술<br>- 비선형 동역학 해석/제어기술<br>- 선진기술 조사/적용<br>- 주요부품업체 조사/협의<br>- 과학관노선 시험<br>• 2세부과제 협력<br>- 부상/안내제어기 H/W설계 및 시험 검증: 한국전기연구원<br>• 해외(Braunschweig대, 독) 기술자문 : 설계결과 검토<br>• 국내(서울대) 기술자문 : 모델링기반 비선형 제어 |
| 추진 시스템 | • 110km/h 주행시험<br>• 가속도 4.0km/h/s<br>• 등판능력 70‰<br>• 수직력 변화 최소화<br>• 에너지효율 20% 증대 | • 과학관노선 성능향상 시험<br>- 추진제어 알고리즘 개선<br>- 부상/안내시스템 기술보완<br>• LIM설계 개선<br>• 기동 추진력 시험설비 구축/시험<br>• 추진제어 알고리즘 개선<br>• 추진공극 12mm→11mm<br>• LIM 취부방법/정밀도 개선<br>• 궤도설치조건 제시 | • 필요기술 개발<br>- LIM 최적화 설계기술<br>- 추진/수직력 제어기술<br>- 선진기술 조사/적용<br>- 주요부품업체 조사/협의<br>- 과학관노선 시험<br>• 유관기관 협력<br>- 동양대학교 : LIM 최적화 설계<br>- 건국대학교 : 추진알고리즘 기술<br>• 해외(Braunschweig대, 독) 기술자문 : 설계결과 검토 |
| 대차 시스템 | • 임계속도135km/h 이상<br>• 동특성 해석 및 시험 입증 방안 확보<br>• 곡선 통과시 가이드 롤러 비접촉<br>• 유지보수성 확보<br>• 부품 슬림화 설계 | • 차간 댐퍼 설치<br>• 궤도 조건 제시<br>• 공기스프링 용량 증대<br>• 대차 메커니즘 개량<br>• 공/유압 제동실린더 적용<br>• 가이드 롤러 및 라이닝 재질 변경 | • 필요기술 개발<br>- ADAMS, MATLAB 등을 이용한 동특성 해석 기술<br>- 선진기술 조사/적용<br>- 주요부품업체 조사/협의<br>- 과학관노선 시험<br>• 3세부과제 협력<br>- 동특성 해석 기술 : 한국기계연구원<br>• 해외(Braunschweig대, 독) 기술자문 : 설계결과 검토 |

(5) 품질보증 계획

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td>품질보증<br>조직</td><td>
<table>
<tr><th>프로젝트<br>엔지니어</th><th>품질보증<br>관리자</th><th>프로젝트<br>품질 담당자</th><th>개발그룹</th><th>고객</th></tr>
<tr><td>•품질보증계획서 검토/승인<br>•품질보증 활동 지원/검토<br>•품질보증결과 팀원 전달<br>•시정 및 예방조치 사항에 대한 계획 수립,조치,조치결과 검토</td><td>•품질보증계획수립<br>•계획,표준,절차 수립 지원/검토<br>•프로세스 및 산출물 점검/평가<br>•시정 및 예방조치 지시 및 결과확인<br>•프로젝트 활동/결과자료 수집,분석<br>•품질보증부서장에게 보고</td><td>•품질활동(검증/확인)관리/유지<br>•검증/확인 계획수립, 활동 준비<br>•검증/확인 결과 기록/분석(프로젝트엔지니어 보고)<br>•검증/확인 활동의 시정조치 관리</td><td>•활동 수행,산출물 개발<br>•절차와 수행결과 차이 발생시 활동의 조정 및 시정조치<br>•프로젝트 품질보증 활동 지원</td><td>•PM 및 프로젝트 수행팀에 협조<br>•단계별 검토/검증 수행 후,합의사항 문서화</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>품질보증<br>활동</td><td>
<table>
<tr><th>품질검증/확인<br>(단계말, 필요 시)</th><th>품질보증<br>(산출물 단위로 실시)</th><th>내부 품질감리<br>(외부감리 실시전)</th></tr>
<tr><td>• 프로젝트 작업 산출물 및 프로세스 검토<br>• 품질목표 부합 여부 검토 및 일치, 합의 확인</td><td>• 프로젝트 표준제공 및 지원활동, 품질 현장(On Site) 교육<br>• 산출물 품질측정, 성능시험, 사용성 테스트수행<br>• 주기적 품질진단 활동</td><td>• 프로젝트 산출물 품질 및 프로세스 이행에 대한 적정성 및 외부감리 대응을 위해 실시<br>(품질주관부서)</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>품질보증<br>방법</td><td>
<table>
<tr><th>경영층 진단<br>(필요 시)</th><th>품질관리 담당<br>(중간점검,완료시점)</th><th>내부 품질 감사<br>(필요 시)</th></tr>
<tr><td>• 주관사업자의 부서 방문을 통한 직접 점검 또는 사전 문제점 도출 및 개선/보완 작업</td><td>• 품질보증체크리스트 검토 및 위험영역 규정<br>• 산출물 검토 후, 프로젝트 목표/목적, 체크리스트의 정보지원 여부 확인</td><td>• 담당 QAM 이외의 평가 QAM이 품질활동 및 산출물에 대한 감사 실시<br>(품질주관부서)</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

(6) 문서 및 보안관리 계획

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 문서관리<br>계획 | ▣ 문서 작성 기준 마련<br>- 작성도구: MS-Office 2003(문서작성), EKMS(설계지원)<br>- 문서표준서식: 프로세스 문서표준 작성지침서(RMS-OPD-GL-06)에 의거<br>- 배포관리: 프로젝트 사업관리팀을 통한 배포<br>- 문서관리수준: 베이스라인 관리/버전 관리/미 적용<br>▣ 문서 보관 방안<br>- 전자파일 관리: 파일서버에 Repository 구성(접근권한설정)<br>▣ 백업 관리<br>- 지정된 담당자가 파일서버 백업, 바이러스 예방, 보안 수행 |
| 보안관리<br>계획 | ▣ 문서 보관 방안<br>- 보안등급(일반정보/대외비/기밀)에 따른 관리, 폐기, 보안 유지<br>▣ 프로젝트 비밀 유지<br>-투입인력에 대한 보안서약서 관리 |

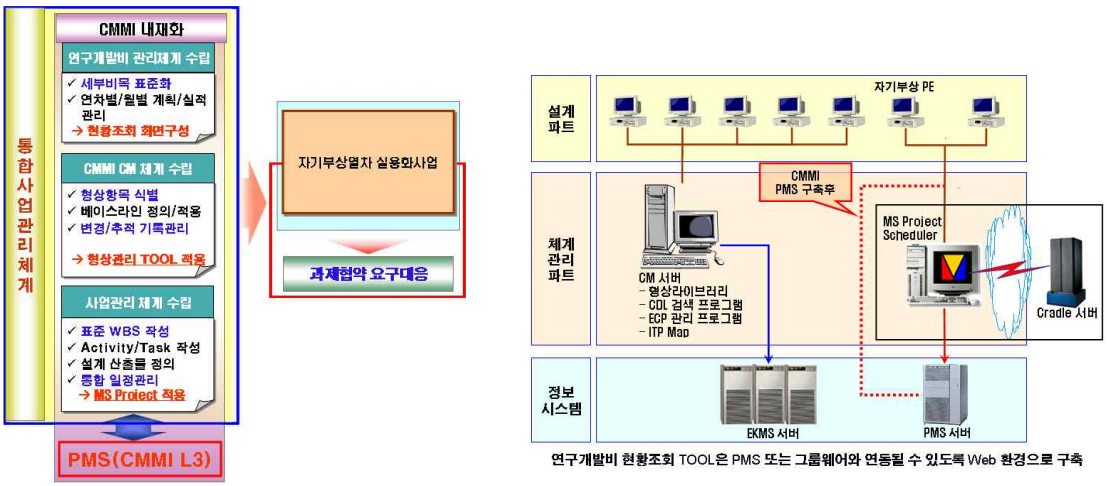
□ 형상관리 계획

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td>형상관리<br>조직</td><td>
<table>
<tr><th>프로젝트 엔지니어<br>(PE)</th><th>형상관리 담당자<br>(CM)</th><th>형상통제 위원회</th></tr>
<tr><td>• 형상관리 수행 지원/감독<br>• 형상관리 계획을 검토/승인<br>• 형상관리 조직 구성<br>• 형상통제위원회 위원장<br>• 모든 형상항목/변경요청에 대한 최종 승인 권한</td><td>• 형상관리 계획 수립/배포/유지관리<br>• 형상관리 시스템 구축/접근권한부여/백업관리<br>• 형상항목 선정/식별/검토<br>• 형상항목 변경요청서 접수<br>• 형상관리 활동 기록/보고</td><td>• 형상 베이스라인 설정 승인<br>• 변경요청에 대한 영향분석/평가 및 심의</td></tr>
<tr><th>품질보증 관리자<br>(QAM)</th><th>개발그룹</th><th>고 객</th></tr>
<tr><td>• 형상관리 계획 검토<br>• 형상관리 활동/산출물에 대한 품질점검 수행</td><td>• 개발단계별 형상항목 개발<br>• 필요시 형상항목 변경요청<br>• 담당 형상항목에 대한 변경</td><td>• 수립된 형상 베이스라인에 대한 변경 요청<br>• 중대 변경 발생시 프로젝트 관리자의 요청에 따라 형상통제위원회에 참여, 변경영향 평가/승인</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>형상관리<br>절차</td><td>
<table>
<tr><th>착수</th><th>요구사항<br>분석</th><th>설계</th><th>개발</th><th>시험</th><th>설치/<br>유지보수</th></tr>
<tr><td>기능<br>베이스라인</td><td>할당<br>베이스라인</td><td>설계<br>베이스라인</td><td>테스트<br>베이스라인</td><td>제품<br>베이스라인</td><td>운영<br>베이스라인</td></tr>
<tr><td>프로젝트<br>계획단계</td><td>분석단계<br>완료시점</td><td>설계단계<br>완료시점</td><td>단위시험<br>완료시점</td><td>시험단계<br>완료시점</td><td>설치 및<br>운영단계</td></tr>
<tr><td>프로젝트수행계획서/WBS/프로젝트문서관리표준및절차서/형상관리계획서/품질보증계획서/측정및분석계획서</td><td>요구사항기술서/Use-case모델링/설계표준및절차서</td><td>시스템사양서/도면,소프트웨어사양서/도면,개발표준및절차서</td><td>SW프로그램</td><td>통합시험결과/시스템시험결과/인수시험결과</td><td>확인서/결과기록서</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>형상관리<br>시스템<br>구축</td><td>
▣ 형상관리 시스템 구축(형상관리 담당자)<br>
- 도면관리: EKMS 사용<br>
- 개발산출물(문서) 관리: 사내 기술자료 관리시스템(그룹웨어) 사용<br>
▣ 접근권한<br>
- 형상관리 담당자는 프로젝트 팀원에게 형상항목별로 접근권한을 부여
<table>
<tr><th colspan="2">버전 관리</th><th colspan="2">베이스라인 관리</th></tr>
<tr><td colspan="2">개발 라이브러리</td><td colspan="2">마스터 라이브러리</td><td colspan="2">배포 라이브러리</td></tr>
<tr><td colspan="2">개발그룹이 자유롭게 형상항목 개발/수정 가능</td><td colspan="2">베이스라인 관리와 베이스라인 내의 형상항목에 대한 변경관리 목적</td><td colspan="2">고객에게 배포된 베이스라인의 집합, 형상관리 담당자에 의해 관리</td></tr>
<tr><td>개발그룹</td><td>읽기/쓰기</td><td>개발그룹</td><td>읽기</td><td>개발그룹</td><td>읽기</td></tr>
<tr><td>형상관리<br>담당자</td><td>읽기/쓰기</td><td>형상관리<br>담당자</td><td>읽기/쓰기</td><td>형상관리<br>담당자</td><td>읽기</td></tr>
<tr><td>프로젝트<br>관리자</td><td>읽기/쓰기</td><td>프로젝트<br>관리자</td><td>읽기</td><td>프로젝트<br>관리자</td><td>읽기</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

□ 요구사항 관리 계획

<table>
<tr><th>구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td>요구사항 관리절차</td><td>
<table>
<tr><th>요구사항관리 계획수립</th><th>요구사항 수립</th><th>요구사항 검증 및 승인</th><th>요구사항 변경관리</th><th>요구사항 추적관리</th></tr>
<tr><td>•이해관계자 식별<br>•승인기준 식별<br>•관리 도구 선정<br>•관리 교육 실시</td><td>•요구사항 기술서 작성<br>•요구사항 추적표 작성</td><td>•요구사항 동료 검토 실시<br>•내부승인 획득<br>•고객과 합동검토 회의 수행<br>•고객 승인 획득<br>•베이스라인 설정</td><td>•변경 접수<br>•모순점 식별<br>•요구사항 변경에 대한 조치<br>•베이스라인 기설정된 요구사항의 변경은 형상관리 절차에 따라 통제</td><td>•양방향 추적(순방향,역방향)<br>•상위문서와 하위문서 간의 요구사항 반영여부 추적</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>역할 및 책임</td><td>
<table>
<tr><th>프로젝트 엔지니어</th><th>요구사항 관리담당자</th><th>형상관리 담당자</th></tr>
<tr><td>• 요구사항관리 담당자 지정<br>• 요구사항 검토/승인<br>• 고객 승인 획득<br>• 변경에 따른 영향 평가<br>• 요구사항관리 활동에 대한 정기적/비정기적 검토</td><td>• 요구사항관리 계획 수립<br>• 프로젝트 구성원에 요구사항 관리절차 및 기법 교육<br>• 변경에 따른 영향 평가<br>• 추적성 유지/관리<br>• 요구사항 상태 측정/보고<br>• 산출물<br>- 요구사항 기술서<br>- 요구사항 추적표</td><td>• 요구사항의 형상기준선 등록, 변경통제/관리<br>• 산출물<br>- 형상항목 관리대장</td></tr>
<tr><th>품질보증 관리자</th><th>개발그룹</th><th>고 객</th></tr>
<tr><td>• 요구사항 기술서 및 추적표 검토/감사<br>• 요구사항 관리활동 및 작업산출물 검토/감사</td><td>• 요구사항 검토<br>• 요구사항 도출, 분석 및 명세화<br>• 요구사항 기술서 작성 및 검토<br>• 변경에 따른 영향 평가</td><td>• 요구사항 제시<br>• 검증 및 확인 계획에 따라 요구사항이 제대로 도출/반영되는지 검증<br>• 요구사항 승인<br>• 요구사항 변경 요청<br>• 요구사항 변경 최종 승인</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>요구사항 변경관리</td><td>▣ 목적<br>- 요구사항 변경 시, 요구사항에 대한 타당성 및 변경 방안을 결정한 후, 변경된 요구사항을 일관성 있게 유지 관리하는 수행방법 및 절차를 제공함<br><br>▣ 변경절차<br>1. 요구사항에 대한 변경 접수<br>- 형상관리 담당자는 고객 또는 프로젝트 팀원으로부터 형상 변경 요청서를 접수받고, 요구사항 관리 담당자에게 해당 변경 요청서를 통보함<br>2. 요구사항에 대한 모순점 식별<br>- 기승인된 요구사항 명세서와 비교 후 모순점 식별(요구사항 관리담당자)<br>- 개발그룹과 동료검토 회의를 통한 모순점 재검토<br>3. 요구사항 변경에 대한 조치<br>- 형상관리 절차서에 의해 요구사항 변경 요청 건에 대한 승인/기각/보류가 결정됨<br>- 변경 승인 후 요구사항 변경 요청자는 요구사항 명세서를 변경하고, 요구사항 관리담당자는 변경된 요구사항을 관리함</td></tr>
</table>

□ 사업관리를 위한 체계 구축




연구개발비 현황조회 TOOL은 PMS 또는 그룹웨어와 연동될 수 있도록 Web 환경으로 구축

## ■ 연구개발비 관리체계 수립

○ 세부비목 표준화를 통해 년차별 연구개발비 사용에 대한 계획/실적관리 및 현황조회 가능토록 함

| | |
|---|---|
| 세부비목 표준화 | ➢ 표준화 비목 선정 (대, 중, 상세분류)<br>- 인건비, 직접경비, 간접비 및 위탁개발사업비 등의 대항목 선정<br>- 대항목 내 중분류 및 상세비목 표준화 작업 |
| 사용실적 사용현황 | ➢ 사업 총기간에 대한 연차별 사업비 계획현황 조회 (전체계획)<br>➢ 연차별 월별 사업비 계획 및 사용실적 현황 조회토록 함<br>➢ 월별 사용실적 입력 및 잔여 사업비 자동 |
| 정산이력 사후관리 | ➢ 사업비 사용과 관련한 증빙서류 등 관련문서 DB화<br>➢ 회계기관 감사 및 이력에 대한 사후관리 |
| 현황조회 TOOL | ➢ 연차별 월별 사업비 사용계획 대비 실적을 조회/보고서 출력이 가능하도록 현황 조회 TOOL 작성함<br>➢ 사업비 사용과 관련된 각종 문서 및 증빙서류 DB화를 통한 이력관리 DB 구성 |

## ■ CMMI CM (Configuration Management : 형상관리) 체계 구축

| | |
|---|---|
| 형상항목 식별 | ➢ CMMI ROSE Framework과 Interface 가능한 구조로 작성<br>- 사업관리 체계에서 정의된 Activity/Task의 산출물 근거 대상 선정<br>➢ CAL(KTX-II, DDSS(효동,아데비,RAV) 기법 활용<br>- 표준 WBS에서 정의된 산출물에 대해, 프로젝트별 정의된 System Hierarchy 및 산출물의 종류를 포함하는 번호체계 구성 |
| 베이스라인 정의 / 적용 | ➢ 제작 출도/배포를 위한 베이스라인과 수요처 승인을 위한 베이스라인 구분하여 정의 → 프로젝트별 특성 감안<br>➢ CMMI CM 절차는 제작 출도/배포를 위한 베이스라인 정의됨 |
| 변경/추적 기록관리 | ➢ 설계 산출물의 Revision 관리를 통한 변경이력 기록관리<br>➢ 기술변경요청관리(ECP: Engineering Change Process)의 기록관리<br>➢ 기록대장은 ROSE System과 Interface 가능한 구조로 작성 |
| 형상관리 TOOL 적용 | ➢ 형상항목 승인, 기술변경 프로세스를 포함 하는 TOOL 개발적용<br>- KTX-II CDL 검색 프로그램 기법 적용<br>- CMMI 도입 적용 예정인 PMS 프로세스와 연계<br>➢ 기술문서 번호 및 리비전 부여 자동기능 구현(WBS Number)<br>- 형상식별 및 변경/추적 기록관리 최소한의 수작업 구현 |

■ 사업관리 체계 수립

○ 도시형자기부상열차 차량개발 및 제작 과제의 사업관리 체계 구축을 CMMI에서 추진 중인 PP 및 PMS와 연계 ( MS Project 적용)

## 나. 원활한 인터페이스 수행

(1) 핵심/세부과제 인터페이스 항목 정리

| 연번 | 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 1 | 제2핵심과제 인터페이스 항목 | 첨부[2-0_현대로템(주)-21] 참조 |
| 2 | 세부과제 내부인터페이스 항목 | 첨부[2-0_현대로템(주)-22] 참조 |

(2) 시스템 요구사항 검토

| 연번 | 회의내용 | 장소 | 일시 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 시스템 요구사항 검토 1차 회의 | 한국기계연구원 | 2007.08.02 | |
| 2 | 시스템 요구사항 검토 2차 회의 | 한국기계연구원 | 2007.08.30 | |

(3) 차량-궤도 TFT(회의록)

| 연번 | 회의내용 | 장소 | 일시 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ▪ Girder 처짐량과 주파수 범위<br>▪ 궤도 공진 주파수 범위<br>▪ 궤도 설치 공차<br>▪ 궤도 침목 유무 | 한국기계연구원 | 2007.06.28 | 첨부[2-0_현대로템(주)-23] 참조 |
| 2 | ▪ 선로 종별 특성 검토<br>▪ Girder 처짐량과 주파수<br>▪ 레일 Roll Forming 제작 공차 | 한국기계연구원 | 2007.07.20 | 첨부[2-0_현대로템(주)-24] 참조 |
| 3 | ▪ Girder 처짐량<br>▪ 레일 공차 | 한국기계연구원 | 2007.09.13 | 첨부[2-0_현대로템(주)-25] 참조 |

(4) 타 분야 인터페이스 협의 주요내용

| 연번 | 주요 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 1 | 차량요구사항(시스템 요구사항 검토회신, 1-1과제) | |
| 2 | 차량분야 RAMS 엔지니어 선임 | |
| 3 | 차량 주요장치 WBS 및 PBS | |
| 4 | 하부 구성품 시험평가 인증 수행 절차 | |
| 5 | 시스템엔지니어링 관리 계획(SEMP) | |
| 6 | 노선 선형 | |
| 7 | 차량분야 KPI 작성 | |
| 8 | 도심구간 통과 시 차량에서의 시선차단 방안 기술검토 | |
| 9 | 비상시 승객 대피방안 기술검토 | |
| 10 | 시범노선 운영 시나리오 검토 | 첨부[2-0_현대로템(주)-26] 참조 |
| 11 | 서브시스템 RAMS 요구조건 보고서(차량) | 첨부[2-0_현대로템(주)-27] 참조 |
| 12 | 궤도구조 및 승강장 연단 검토 | 첨부[2-0_현대로템(주)-29] 참조 |
| 13 | 레일분야 유지보수 관리 검토 | 첨부[2-0_현대로템(주)-30] 참조 |
| 14 | 제3핵심과제 자료요청에 대한 회신 | |
| 15 | 상부궤도 설계 요구조건 | 첨부[2-0_현대로템(주)-31] 참조 |
| 16 | 차량 시스템 요구사항 검토 | 첨부[2-0_현대로템(주)-32] 참조 |
| 17 | 도시형자기부상열차 안전기준에 관한 규칙 검토 | 첨부[2-0_현대로템(주)-33] 참조 |
| 18 | 도시형자기부상열차 건설규칙 검토(1-4과제) | |
| 19 | 시험평가 종합계획(TEMP) 검토 | 첨부[2-0_현대로템(주)-34] 참조 |
| 20 | 토목구조물 설계기준(안) 검토 | |
| 21 | 부상 레일 Profile/ 재질 검토 | |
| 22 | 차량 일반도 / 차량 한계도 / Kinematic Envelope | 첨부[2-0_현대로템(주)-35] 참조 |
| 23 | 검수설비 관련 차량 기본설계자료 제공(3핵심) | |

| 연번 | 주요 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 24 | 표준규격(안) 주요규격 검토 | 첨부[2-0_현대로템(주)-36] 참조 |
| 25 | 차량 시스템 규격서 주요 쟁점사항(최대강우강도/강설강도/결빙/추락방지 설치) 검토 회신 | 첨부[2-0_현대로템(주)-37] 참조 |
| 26 | 차량기기 검수고 내 궤도지지 구조에 대하 검토 회신 | 첨부[2-0_현대로템(주)-38] 참조 |
| 27 | 시범노선 검수분야 실시설계서 검토 회신 | 첨부[2-0_현대로템(주)-39] 참조 |
| 28 | 시범노선 실시설계를 위한 차량 운동특성자료 | 첨부[2-0_현대로템(주)-40] 참조 |
| 29 | 부상레일 시압연 결과 검토 회신 | |
| 30 | 제3궤조, 차량 간 인터페이스 관련자료 | 첨부[2-0_현대로템(주)-41] 참조 |
| 31 | 시범노선 설계에 필요한 차량관련자료(효율/집전장치) | 첨부[2-0_현대로템(주)-42] 참조 |

(5) 하위과제 인터페이스 협의 주요내용

| 연번 | 주요 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 1 | 차량 제원, 차량 중량(공차/만차/정원 하중) | |
| 2 | 차량 최종 실내조감도/ 디자인 Mock-up 배열도 | |
| 3 | 인버터 BOX의 소형/경량화 방안 | |
| 4 | LB BOX의 소형화 방안 | |
| 5 | 회생관련 개념 정리 | |
| 6 | BOX 사이즈 한계치 정의 | |
| 7 | 차량과 도어시스템의 기구적인 인터페이스 | |
| 8 | Piping Diagram / 공기소모량 계산서 / 제동력 검토 . 제동/대차 인터페이스 | |
| 9 | Piping Diagram | |
| 11 | 열차무선, 무선영상 전송장치의 개발/공급범위 | |
| 12 | 중량 목표 선정 및 중점 관리 | |
| 13 | 대차 동특성 해석결과 | |
| 14 | 대차 수량 변경(3대차=> 4대차) | |
| 15 | 대차 외형 상세 치수 | |
| 16 | 차량 신호 장치(도플러 센서) 취부 위치 | |
| 17 | 레일 처짐량 | |
| 18 | 주행속도에 따른 LIM의 Normal Force 특성 곡선 | |
| 19 | 곡선 주행 시 대차의 횡 방향 편심량 | |

| 연번 | 주요 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 20 | 부상용 전자석 편심량에 대한 부상력 변화 특성 | |
| 21 | 선형 유도전동기 취부 가능한 대차 높이 한계치 | |
| 22 | 주행 성능 시뮬레이션 | |
| 23 | 선형유도전동기의 흡인력 개선 | |
| 24 | 선형유도전동기 한계 길이 | |
| 25 | 주행속도에 따른 부상력 특성 | |
| 26 | 전자석 설계/해석보고서 | |
| 27 | 집전장치 취부 검토 | |
| 28 | 부상력특성 시험보고서 | |
| 29 | 온도/자속변화에 따른 전자석 특성 시험보고서 | |
| 30 | 전자석 부하특성 시험보고서 | |
| 31 | 전자석전기/절연저항특성 시험보고서 | |
| 32 | TCN통신 자료 | |
| 33 | 대차간 댐퍼 연결에 따른 곡선 추종성 분석 | |
| 34 | 부상제어 알고리즘 | |
| 35 | 부상제어기 성능개선 | |
| 36 | 착지장치 설계 요구사항 및 착지장치 운행 시나리오 | |
| 37 | 조향장치 사양서 | |
| 38 | 비상 착지륜 유압 시스템 요구사양 | |
| 39 | 대차 메커니즘 해석 모델/입력조건/결과 | |
| 40 | 마그네트 드라이버 설계 결과 | |
| 41 | 차량 주요장치 RAMS 데이타 | |
| 42 | 시험대차 시험계획서 및 시험절차서 | |
| 43 | 부상시스템 시험(한 코너, 대차 단위) 결과 | |
| 44 | LIM 시험(Test bed, 대차 단위) 결과 | |
| 45 | 경량 시트 해석결과 | |
| 46 | 차체 구조해석 결과 | |
| 47 | 공기압축기 프레임 변경 | |
| 48 | 공유압 변환기 취부 브라켓 형상 변경 | |
| 49 | 선형유도전동기 취부 개선 안 | |
| 50 | 시험대차 동특성 분석자료 | |
| 51 | 대차 메카니즘 및 현가장치 개선 안 | |
| 52 | 시험대차 부상안정성, 승차감, 곡선추종성 예측 | |
| 53 | 시험대차 대차 시스템 진동 특성 | |

(6) 해외전문가 활용을 통한 시스템 엔지니어링 강화

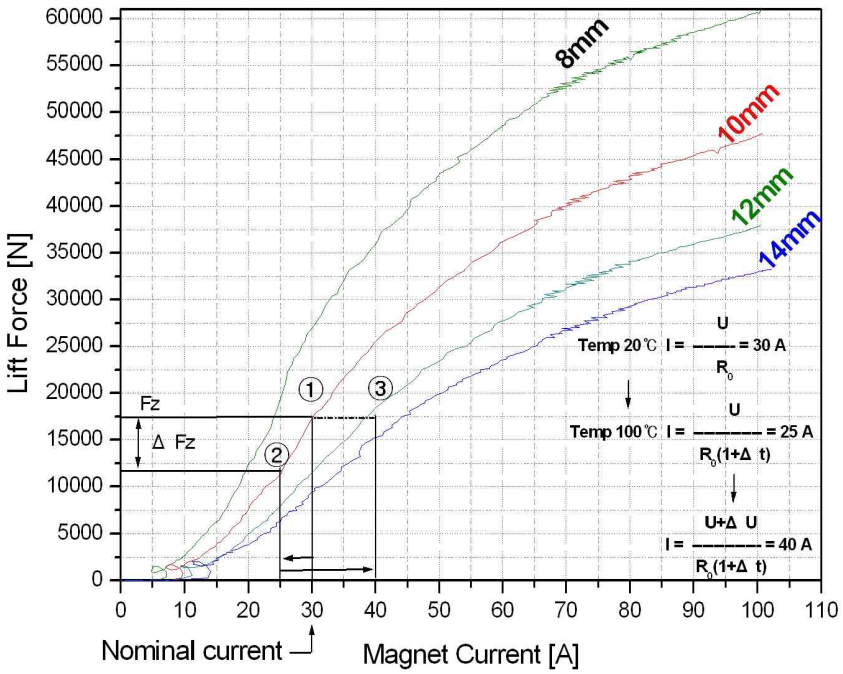
(가) 차량 전문가 활용 결과 - 회의 요약(Meins 교수)

1) 전자석(Magnet)

[자문주제] 전자석 코일 온도 상승에 따른 부상공극 드리프트 :

(문제점) 실용화자기부상열차는 하루에 18시간 운행이 될 예정이므로, 이 경우, 온도 상승에 따른 부상용 전자석 코일의 저항이 증가함. 그러므로 부상공극이 드리프트 됨.

(해결방안 제안) 공극오차 보상 로직 적용(약 10 ~ 20초 동안의 공극 평균을 계산하여 적용) 후 시험 결과 검토가 필요함.




[자문주제] 전자석 설계 검토 :

가) 전자석 코어 자속 밀도 포화 및 브릿지 효과

정상 동작 공극(8mm)에서 공극 자속 밀도는 0.9T이고, 전자석 코어의 최대 자속 밀도는 1.3T임. 동적인 힘을 고려 시, 코어 자속밀도에 대하여 보다 많은 여유가 필요함.

나) 부상용 레일 재질 및 형상

전자석 pole 폭은 30mm이고, 레일 폭은 32mm임.

- 레일 치수를 유지하고, 전자석 pole 폭을 30, 31, 32로 변화시키면서, 최적의 부상력 및 안내력을 찾아 계산함.
- 동적인 힘을 더하여 부상력 여유를 확인함.

- 약 50kg 전자석 중량이 증가할 경우의 성능 개선 사항을 확인함.
  (재질의 자기적 특성과 상세설계 도면 제공 시, 전자석 부상력 시뮬레이션이 가능함)

2) 부상제어기(Magnet Driver)

[자문주제] 부상제어기 설계 검토 :

가) 스위칭 방법 비교(HML03와 실용화용 쵸퍼)

- 쵸퍼 스위칭 방법의 2 모드와 3 모드 사이의 차이점 검토

나) 단락 회로 문제

- 회로가 차체에 단락이 될 경우, 하드웨어나 소프트웨어로 검지하기 위해서 추가적으로 필요한 시스템 검토.

다) Cut-off 주파수

- HML-03에서 측정된 신호의 cut-off 주파수를 200Hz로 정의한 이유가 센서의 해상도, 차량 속도, 쵸퍼 스위칭 주파수와의 관련성 설명.
- 200Hz 대역은 고주파수 영역에서 위상 시프트와 관련한 최소 요구사양임.

라) 필터 캐패시터

- 필터 캐패시터는 쵸퍼 입력의 AC전류 요구사양을 만족해야 함.
- MKP(Metalized Polypr.) 타입(용량은 약 500V/500$\mu$F) 캐패시터를 추천함.

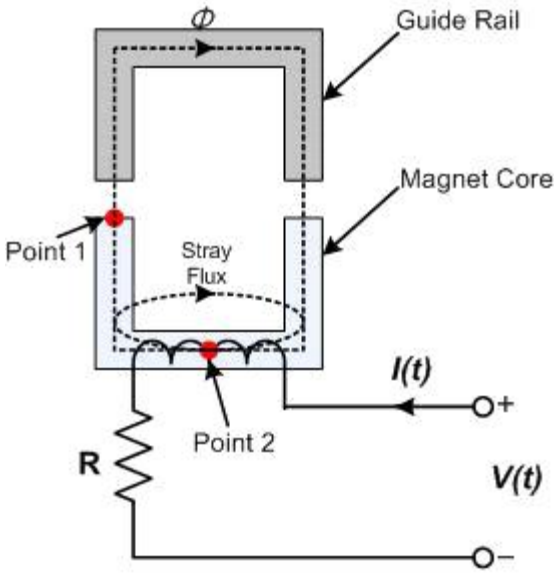
[자문주제] 제어 이중화 :

이중화 개념 및 필요성에 대한 정리 및 의사 결정 필요.

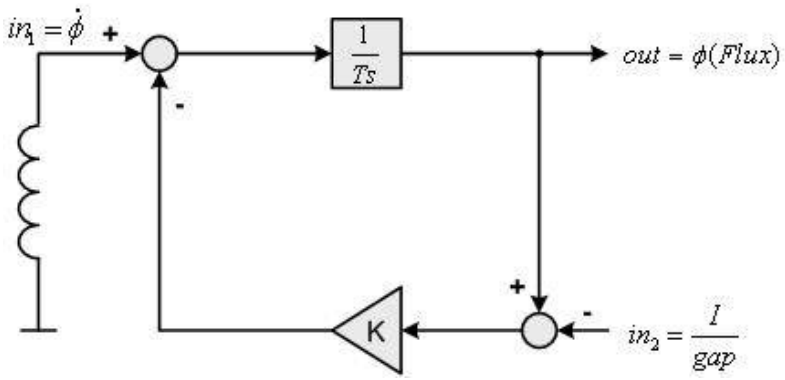
[자문주제] Flux feedback 기법 :

가) 자속 측정 방법

- 추정 : 전자석 코일의 전압 및 전류를 측정하여 유도
  (HML-03방법. 지경부 차량에 적용한 적 있음)
- 직접 측정 : Point 2에 코일을 설치하여 측정(아래 그림 참조)을 한 적이 있으나, 유도 전압이 공극값과 거의 양상이 비슷함. 추가적으로 point 1 위치에 대한 자속 측정 시험이 필요.




나) Flux Feedback 제어 기법 (Meins교수 추천)




- 전달함수

$$\frac{Out}{in_1} = \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{1+(\tau/K)s} \qquad \frac{Out}{in_2} = \frac{1}{1+(\tau/K)s}$$

$$Out = \frac{(\tau/K)s}{1+(\tau/K)s} \cdot \frac{in_1}{Ts} + \frac{1}{1+(\tau/K)s} \cdot in_2$$ , 여기서 $\frac{in_1}{Ts}$ 는 이상적인 자속

- 이상적인 자속은 cut-off 주파수 밑으로는 잘못된 값이므로 high pass 됨.
- cut-off 주파수 아래로는 in2가 보상됨(low pass됨).
- 적정한 cut-off 주파수의 범위는 1~3Hz 사이.
- 자속값에 대한 스케일링을 위해, 특정 주파수에 대하여 test 신호를 인가하여 조정해야 함.

3) On-Board 전원공급장치

[자문주제] HF-DC/DC 쵸퍼에 대한 하드웨어 요구사양 :

- 보상 캐패시터의 특성(350VDC/650VDC/100VDC)
- 하위 공급자에게 장비 목록 제공
- 변압기 및 쵸퍼에 대한 시험절차

[자문주제] IMAB 업무 일정 :

- HF DC/DC(350VDC) 쵸퍼 공급 일정 논의

[자문주제] 축전지 충전기 :

- 축전지 충전 특성이 정의되어야 함.
- 쵸퍼 구현이 정의되어야 함.

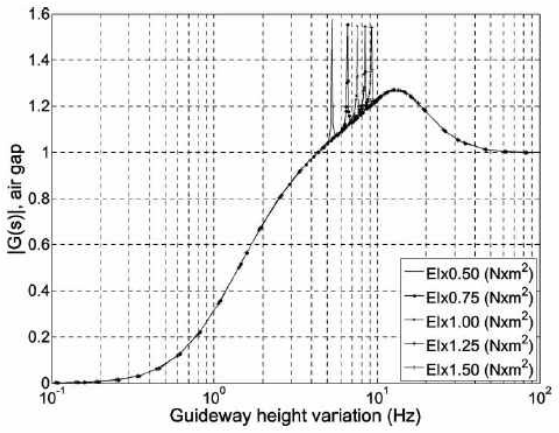
(나) 궤도 전문가 활용 결과 - 회의 요약(Mr. Suding)

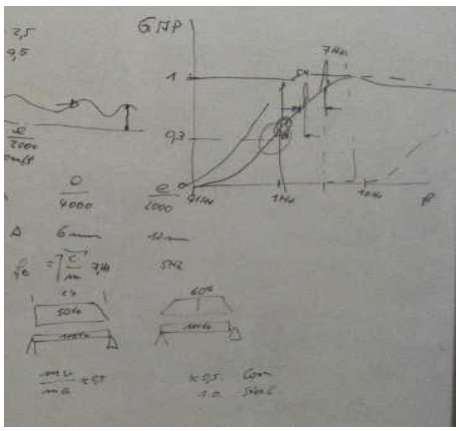
[자문주제] Shanghai 자기부상열차 프로젝트 사례 :

- 일반적으로 하이브리드 거더 적용.
- 치수와 구조는 TVE 사양에 따름.

[자문주제] 중량비(Mass Ratio)

- Transrapid에 중량비 0.6 적용 (고유진동수 7 Hz, 처짐비 L/4000).



- 실용화 사업의 경우, 고유진동수 5 Hz, 처짐비 L/2000이며, 이 경우, 안정적인 성능을 내기 위해서는 중량비는 0.5이상이어야 함.

**[질의응답 요약]**

질문1) 가장 심각하게 고려해야할 요소는 무엇인가?

답변1) 순위를 매길 수 없으며, 모든 요소(처짐비, 온도효과, 중량비, 공차)를 고려해야 한다.

질문2) 부상/안내시스템의 성능을 향상시키는 것에 의한 요구 성능 달성이 가능한가?

답변2) 아니다. 진동과 안정성 때문이며, 공극 한계도 고려되어야 한다.

질문3) 보통의 경우, 가이드웨이의 공차는 누가 결정하는가?

답변3) 공차 요구조건은 부상/안내 시스템에 의하여 결정된다.

질문4) 실용화 사업에서 거더 상에 레일을 조립하고 조정하는 과정은 어떻게 되는지?

답변4) 특수 장비를 사용하여 조립한다.

질문5) Transrapid와 실용화사업 차량의 부상 제어의 차이가 있는가?

답변5) 제어시스템 개념은 차이가 없다.

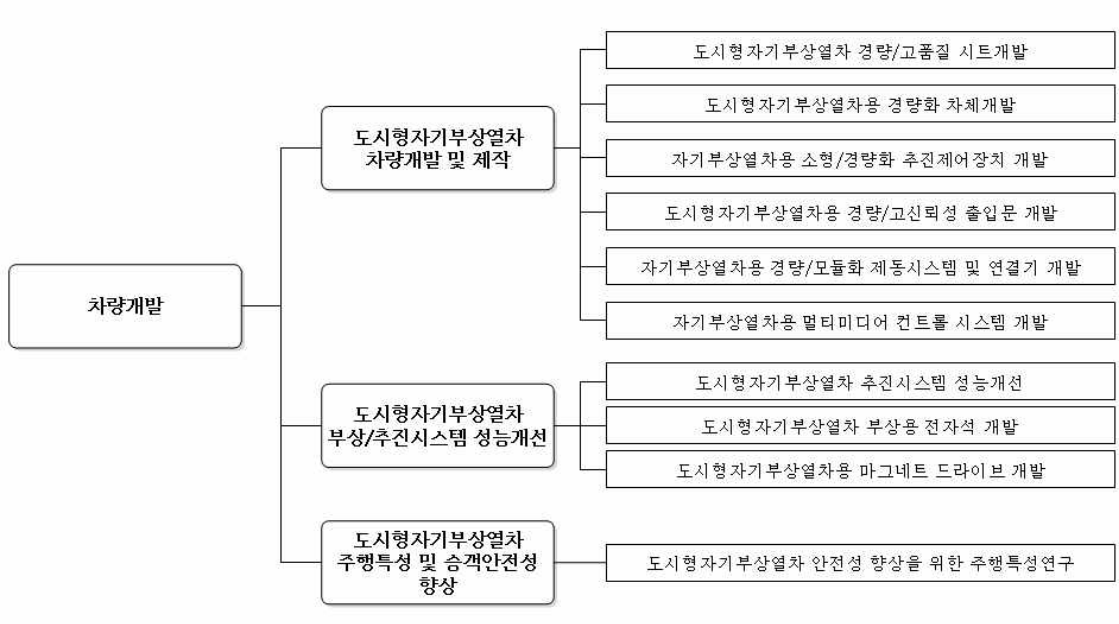
질문6) 레일 정렬에 대한 공차 요구조건을 만족할 수 있을지 의문이다.

답변6) 이미 건설된 독일, 일본, 중국의 것을 참조할 수가 있다. 이는 그와 같은 요구사항을 만족할 수 있다는 것을 증명한다.

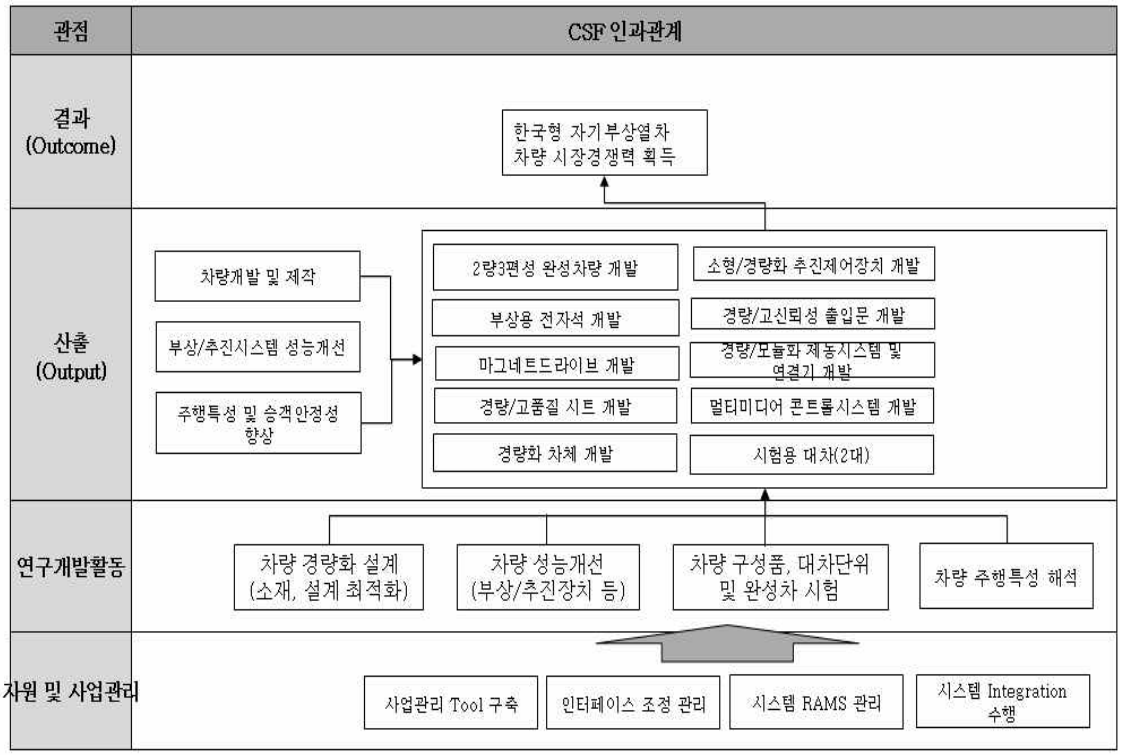
## 다. 시스템 엔지니어링

### 가. 핵심성공요인(CSF) 및 핵심성과지표(KPI) 도출

#### (가) 연구내용 및 범위




#### (나) CSF(핵심 성공요인) 인과관계도



(다) 성과지표 정의

| 관점 | CSF (핵심성공요인) | KPI(성과지표) | 목적/정의 | 산식 또는 기준 |
|---|---|---|---|---|
| 결과 Outcome | 한국형 자기부상 열차 차량 시장 경쟁력 획득 | 한국형 자기부상 열차 차량 시장 경쟁력 | 한국형 자기부상 열차 차량 표준의 수출 가능성 및 시장성 | 기술이전 및 시스템 수출 금액 |
| 산출 Output | 2량3편성 완성차 개발 | 2량3편성 차량 개발 여부 | | 개발 여부 및 설정된 기준의 적정성 |
| | 부상용 전자석 개발 | 부상용 전자석 개발 여부 | 성능개선 | 개발 여부 및 설정된 기준의 적정성 |
| | 마그네트 드라이브 개발 | 마그네트드라이브 개발여부 | 기능/성능개선 | 개발 여부 및 설정된 기준의 적정성 |
| | 경량/고품질 시트 개발 | 경량/고품질 시트 개발여부 및 기술수준 | 경량화 및 내구성 확보 | 개발 여부 및 설정된 기준의 적정성 |
| | 경량화 차체 개발 | 차체중량 | 경량화 확보 | 개발 여부 및 설정된 기준의 적정성 |
| | 소형/경량화 추진제어장치 개발 | 추진제어장치 개발 여부 및 기술 수준 | 시스템 소형/경량화 | 개발 여부 및 신뢰성/가용성 확인 |
| | 경량/고신뢰성 출입문 개발 | 경량/고신뢰성 개발 여부 및 기술수준 | 경량화 및 신뢰성 확보 | 개발 여부 및 설정된 기준의 적정성 |
| | 경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발 | 제동시스템 및 연결기 개발여부 및 기술수준 | 경량화 및 성능 향상 | 개발 여부 및 설정된 기준의 적정성 |
| | 멀티미디어 컨트롤시스템 개발 | 멀티미디어 컨트롤시스템 개발여부 및 기술 수준 | 기능 확보 | 개발 여부 및 설정된 기준의 적정성 |
| | 시험용 대차 (2대) 개발 | 개발 및 시험 여부 | 대차/부상/추진/제동 기능 확보 | 개발 여부 및 설정된 기준의 적정성 |
| | 차량 성능 | 경량화 | - | 20톤 이하 |
| | | 고속화 | - | 110km/h이상 |
| | | 급구배 등판개선 | - | 7% 이상 |
| | | 급곡선 주행성능 | - | 50mR 이하 |
| | | 수송력 향상 | - | 93명/량 이상 |

| 관점 | CSF (핵심성공요인) | KPI(성과지표) | 목적/정의 | 산식 또는 기준 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | 급가속/감속능력 | - | 4.0km/h/s 이상 |
| | | 정위치 정차 정밀도향상 | - | 편차 30cm 이하 |
| | | 부상 능력향상 | - | 8mm 이하 |
| | | 부상편차 최소화 | - | 편차 3mm 이하 |
| | | 실내소음 저감 | - | 65 dB(A) 이하 |
| | | 승차감 향상 | - | UIC 2.0 이하 |
| 연구개발 활동 | 차량 경량화 설계(소재, 설계 최적화) | 차량 공차중량 달성여부 | 에너지소비 절감, 궤도 슬림화 도모 | 20톤 이하 |
| | 차량 성능개선 (부상/추진장치) | 부상/추진장치 성능 달성여부 | - | 차량 성능 조건 |
| | 차량구성품,대차 및 완성차 시험 | 시험 사양서 기준 달성 여부 | 차량 기능 및 성능 검증 | 시험 평가 결과 |
| | 차량 주행특성 해석 | 주행특성 해석 여부 | 시스템 개발에 반영 | 부상/주행 분석 결과 |
| 자원 및 사업관리 | 사업관리 Tool 구축 | 진도관리회수 /공정율 | 효율적관리 /일정준수 | 계획공정 및 일정 준수 여부 |
| | 인터페이스 조정 /관리 | 인터페이스 조정 횟수 | 시스템 부조화 방지 | 년차별 인터페이스 횟수 |
| | 시스템 RAMS 관리 | 신뢰성 /가용성 지표 | RAMS 향상 | 장치별/차량 단위 지표 |
| | 시스템 Integration 수행 | 제품완성도 /공정 불량율 | 품질 확보 | 설계 변경율 |

(2) 차량중량 관리 계획

(가) 20 Ton 목표 중량 관리 위해 장치별 목표 할당 (중량 관리 담당자 지정)

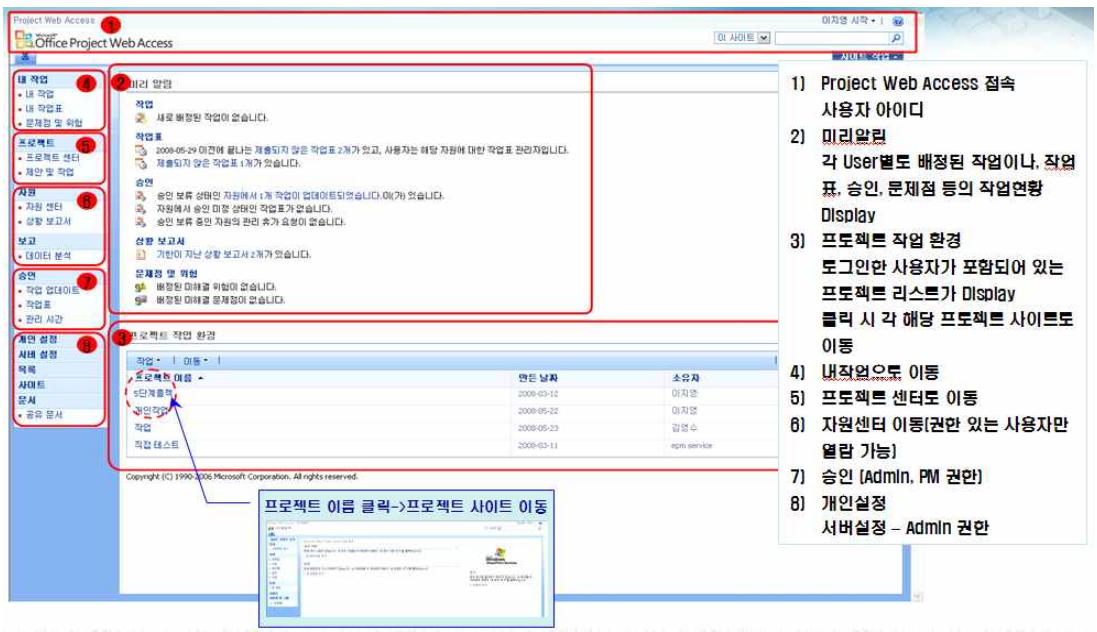
(나) 장치별 목표 중량

| No. | ITEM | CURRENT WEIGHT | | TRAGET WEIGHT (Rev. 3) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | MC1 | MC2 | MC1 | MC2 |
| 1 | CARBODY SHELL | 4,735.0 | 4,735.0 | 3,010.00 | 3,010.00 |
| 2 | INTERIOR | 4,578.2 | 4,578.2 | 2,567.00 | 2,567.00 |
| 3 | MECHANICAL EQUIPMENT | 1,465.2 | 1,442.0 | 1,067.00 | 1,067.00 |
| 4 | ELECTRIC EQUIPMENT | 6,478.0 | 6,468.0 | 5,166.00 | 5,166.00 |
| 5 | SIGNALING SYSTEM | 0.0 | 0.0 | 120 | 120 |
| 5 | LEVITATION SYSTEM | 4,080.0 | 4,080.0 | 3,440.00 | 3,440.00 |
| 6 | Bogie (#1) ASS'Y | 1,627.9 | 1,627.9 | 1,162.00 | 1,162.00 |
| 7 | Bogie (#2) ASS'Y | 1,511.3 | 1,511.3 | 1,153.00 | 1,153.00 |
| 8 | Bogie (#3) ASS'Y | 1,668.7 | 1,668.7 | 1,142.00 | 1,142.00 |
| 9 | Bogie (#4) ASS'Y | 0.0 | 0.0 | 1,173.00 | 1,173.00 |
| TOTAL | | 26,144.3 | 26,111.1 | 20,000.0 | 20,000.0 |

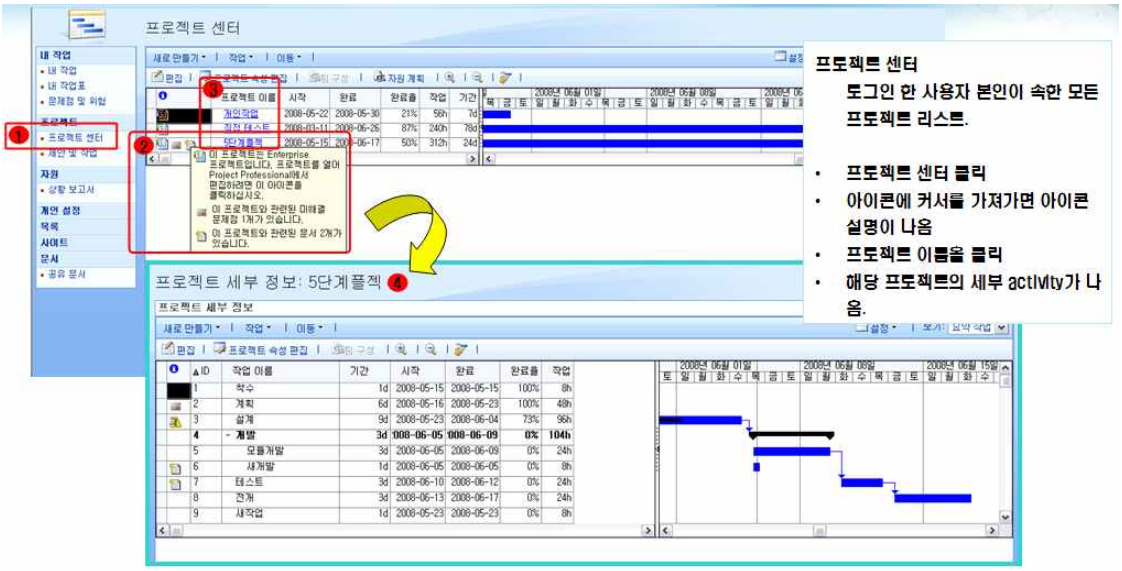
* 기타 잡자재 및 전선 등을 포함할 경우 차량 총중량 : 20,000 kg/량
* 차량중량 관리는 2-0 과제에서 중점 관리하며 경량화는 2-1과제에서 수행

(3) 프로젝트 관리시스템(WBS) 구축

: Activity에 따른 목표 일정 및 Output 관리




[그림 17 ]Web Access 메인화면




[그림 18 ]프로젝트 센터 : 전체 일정 관리 및 진도율 점검

(4) 스마트 윈도우 기술을 이용한 시선차단 방안 기술 검토

(가) 스마트 윈도우 기술의 개요

(나) 스마트 윈도우의 연구개발 동향

(다) 자기부상열차 실용화사업 차량에의 적용 검토(도심구간 및 경정훈련원 부근 통과 시)

(라) 하기와 같은 사유로 자기부상열차 실용화사업 차량에의 적용에는 어려운 점이 있으며, 2단계 사업에서 적용 여부에 대한 구체적인 연구를 수행할 예정.

1) 아직까지 대형 윈도우에 대한 제조비용과 제조기술력의 한계를 극복하지 못한 상태로 파악됨.

2) 내구성이 입증 되지 않아 운행 중 '전기를 흘려도 투명하게 변화지 않는 등의 문제 발생 시에는 모든 차량의 유리를 전면 교체해야 함.

3) 어느 지점에서 어떤 신호를 받아 창문을 흐리게 하고, 다시 선명하게 할 것 인지에 대한 신호시스템의 역할과 인터페이스 문제가 불명확 함.

## 라. 디자인 및 목업 제작

(1) 차량 디자인 결정(조감도 3건)

(가) 디자인 시안 Type A 특징

▶ 한국적 이미지와 첨단건축물에서 보여지는 이미지, 그리고 IT 강국을 상징하는 이미지를 조합

▶ 기존 철도차량의 디자인 형상을 크게 벗어나지 않는 구조

▶ 제작성이 용이 함

▶ 승객들로부터 최대한 넓은 시야 확보

(나) 디자인 시안 Type B 특징

▶ 한국을 대표할 수 있는 문화유산인 도자기와 첨단기술을 상징하는 벌집구조를 조합한 이미지

▶ 기존 철도차량의 디자인 형상에서 크게 차별화 한 곡선 구조

▶ 신소재가 갖고 있는 물리적 특성을 시각화 시킴

▶ 공항 이미지에 잘 어울리며 승객들의 이용한 편리한 좌석배치

▶ 승객들로부터 최대한 넓은 시야 확보

**C** 안

(다) 디자인 시안 Type C 특징 :

▶ 한국의 관문으로서의 상징성과 인천공항의 이미지를 조합한 이미지

▶ 기존 도시철도차량의 디자인 형상에서 차별화된 전두 구조

▶ 미래지향적인 컨셉을 반영한 좌석배치

▶ 승객들로부터 최대한 넓은 시야 확보

(라) 차량 디자인 선정 과정

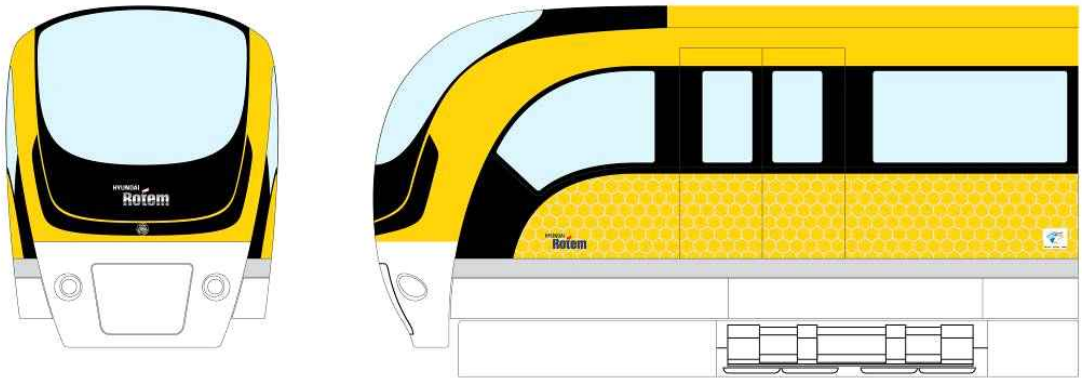
| | |
|---|---|
| '07년 9월 말 | 차량개발사 1차 품평회(외형) 실시 |
| '07년 11월 초 | 차량개발사 2차 품평회(실내) 실시 |
| '07년 12월 중순 | 차량개발사 3차 품평회(실외/내) 실시 |
| '08년 1월 | 건교부 보고(동영상물 포함) |
| '08년 1월 말 | 디자인 전문가 및 차량개발사 임직원 대상 설문조사 실시 |
| '08년 2월 중순 | 건교부 및 운영기관 대상 설문조사 |

(2) 디자인 목업 제작

(가) 디자인 목업 품평회 요약 (첨부[2-0_현대로템(주)-48] 참조)

- 품평일 : 2008. 07. 04
- 장 소 : 성일테크㈜ (김해시 진례면)
- 참석자 : 국토해양부 양동인 사무관 및 자기부상열차사업단 신병천 단장 외 10명
- 품평 결과 : 전반적으로 고품질의 제품으로 일정내에 완료.
  일부 품목의 수정/보완 작업 후, 최종 완료하여 납품.

(나) 디자인 목업 Lay-out



(다) 디자인 목업 품평회 사진

(라) 디자인 목업 InnoTrans 2008 전시회 참가

- 참가 목적 : 국내 자기부상열차 기술 홍보
- 전시회 명칭 : InnoTrans 2008, 세계 철도교통 박람회
  (세계 최대의 철도교통 관련 전시회)
- 개최 기간 : 2008.9.23 ~ 9.26/ 4일간
- 장소 : 독일 베를린 철도차량 전문 전시장

(마) 디자인 목업 Raillog Korea 2009 참가

- 참가 목적 : 실용화자기부상열차 디자인 및 사업 홍보
- 전시회 명칭 : 제4회 부산 국제철도 및 물류산업전
  Korea Railways & Logistics Fair 2009
- 개최 기간 : 2009.06.03 ~ 2009.06.06/ 4일간
- 장소 : 부산광역시 BEXCO 전문전시장

## 마. 차량 제작 및 시험 일정 관리

(1) 시험대차 제작 및 기계연 선로 시험

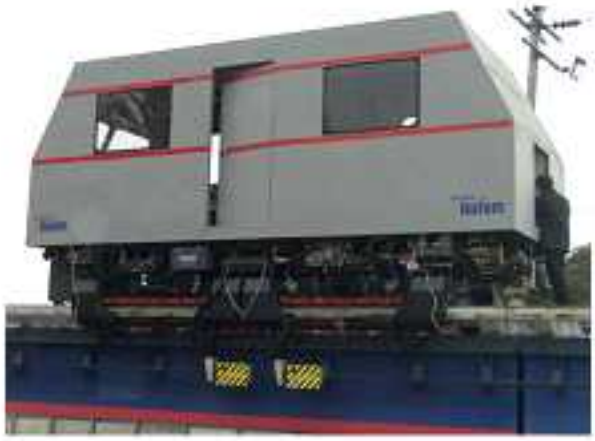
(가) 시험대차 제작 목적

- 향후 실용화 차량에 적용할 대차 시제 재작 및 사전 시험으로 대차 구조 변경에 따른 각종 인터페이스 및 기능 검증 실시

(나) 기능/성능 확인

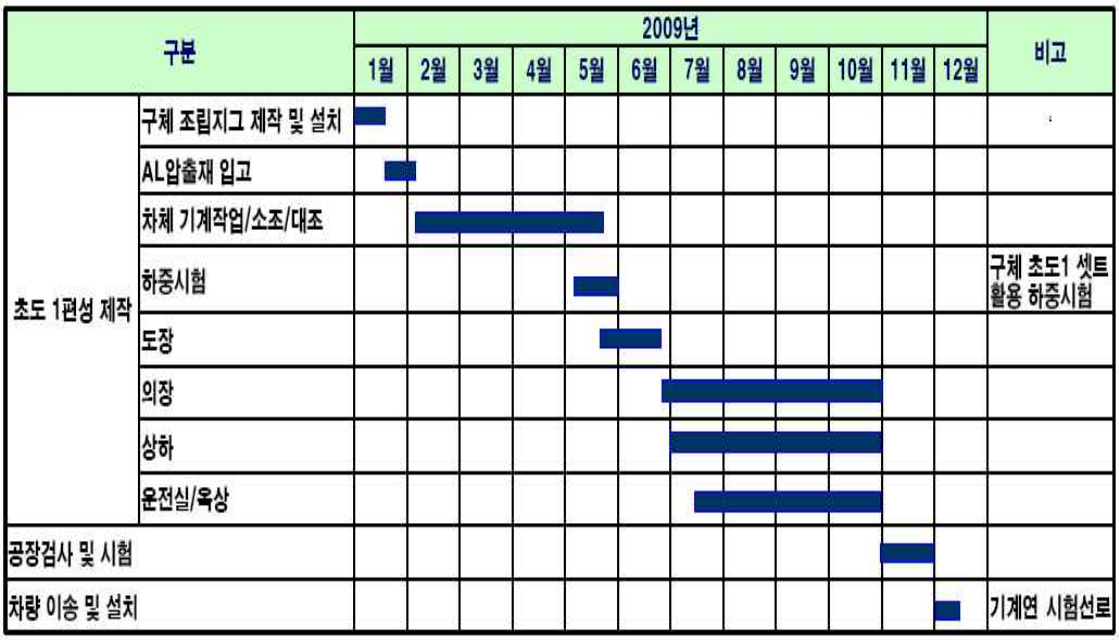
- 시스템간 인터페이스 확인
-주요 부품 성능 검증/ 확인 시험
- 부상제어 알고리즘 시험
- 대차 조항 능력 검증
- 대차 시스템 주행 성능 확인( Yaw, Pitching 향상정도, 승차감 등)
- 대차단위 부상/주행시험을 통한 부상시스템의 기능/성능 확인
- 속도 증가에 따른 공극 변동[30 km/h 속도로 ±1mm 수직단차를 지날 때 8mm±2mm 변동폭 달성]

(다) 시험대차 기계연 선로 시험 사진



(2) 시제차량 제작 일정 관리

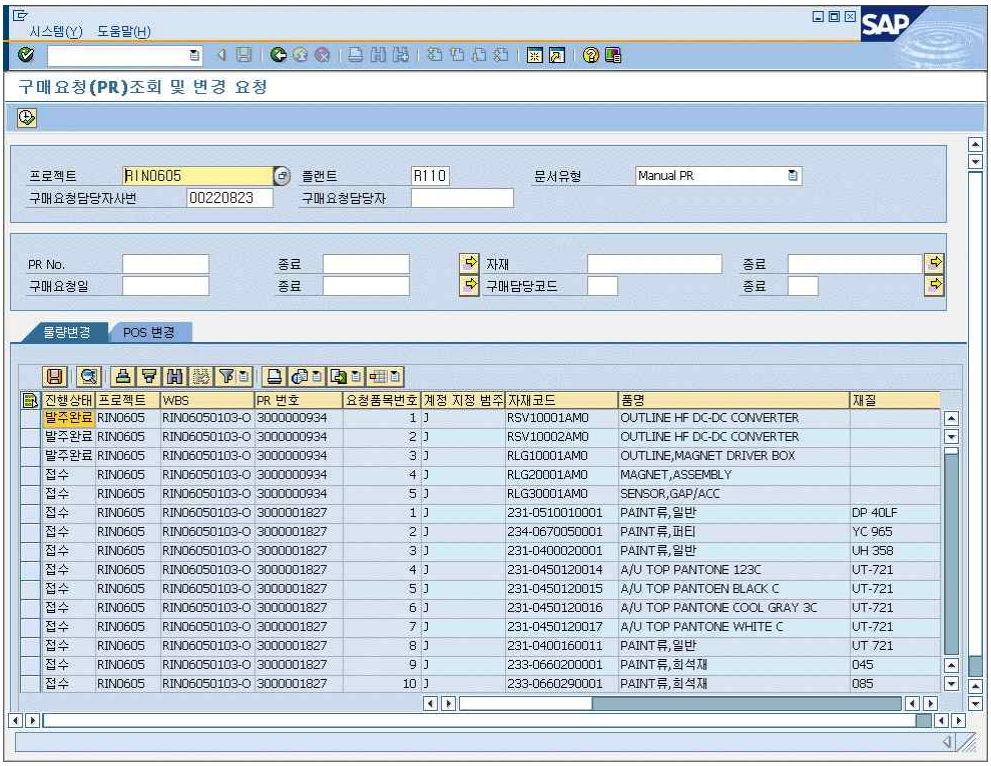
- 차체 기계작업/소조립 : '09. 5 완료
- 차체 대조립/하중시험/도장 : '09. 6 완료
- 의장작업/공장검사 및 시험 : '09. 11 완료 예정
- 기계연 시험선로 이송/설치 : '09. 12 완료 예정

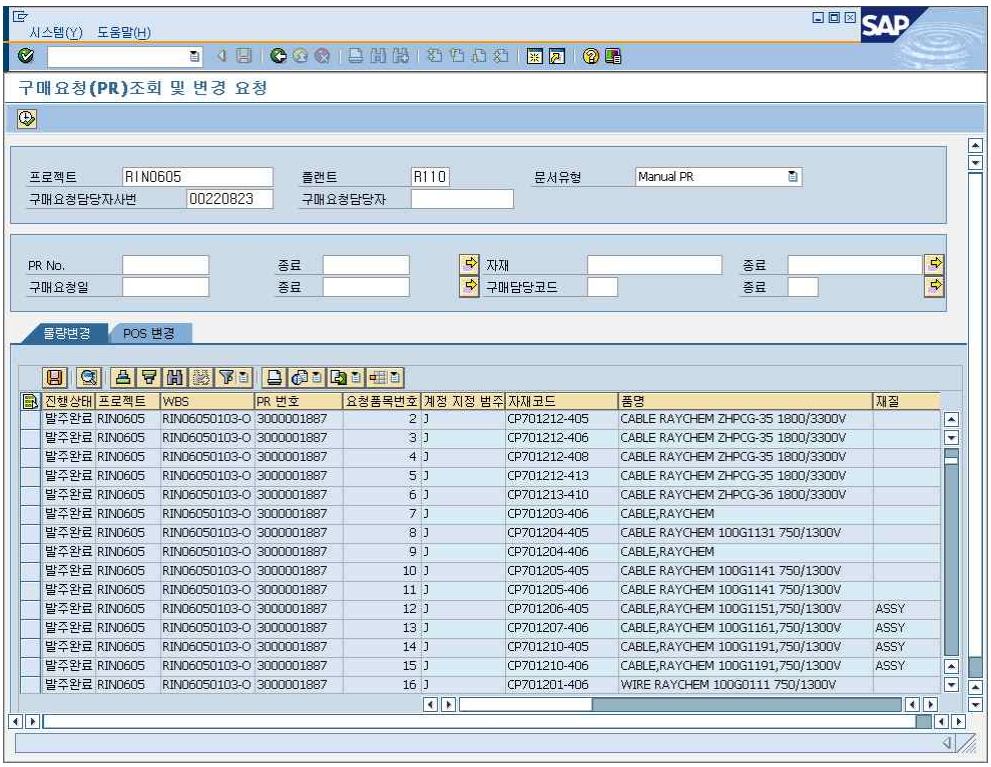



(3) 시제차량 자재발주 관리

차량제작사 ERP(SAP R3) 도입(2009년 4월)에 의한 구매요청에서 자재입고까지 일괄 전산 관리 실시

- 차체 조립 및 의장작업용 JIG 발주 및 입고 완료
- 보조전원장치(SIV 및 부상용 DC/DC Converter) 발주 완료
- 부상제어기(Magnet Driver) 발주 완료
- 차량 배선용 케이블 발주 및 입고 완료
- 선형유도전동기 관련 자재 발주 완료
- 설비 및 전기장치류 구매요청 완료




[구매요청/발주/입고현황 조회 화면 - ERP 시스템]

(4) RAMS 요구사항 관리

과제별/장치별로 RAMS 요구사항에 대하여 관리를 실시하였음. 아래 표는

장치별 Reliability 목표치를 제시한 것이다.

| Subsystem | 실용화자기부상열차 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Equipment | SG | MJ | MI |
| | | Failure Rate | Failure Rate | Failure Rate |
| 출입문 | 출입문 | 1.04E-06 | 3.45E-05 | 2.74E-04 |
| HVAC | 냉,난방 및 환기장치 | 4.06E-07 | 1.35E-05 | 1.07E-04 |
| 대차 | 대차 | 4.52E-08 | 1.50E-06 | 1.19E-05 |
| 제동 및 공기공급시스템 | 제동 및 공기공급시스템 | 5.42E-07 | 1.80E-05 | 1.43E-04 |
| 연결장치 | 연결기 | 9.03E-08 | 3.00E-06 | 2.39E-05 |
| 부상장치 | | 2.26E-07 | 7.50E-06 | 5.96E-05 |
| | 전자석 | 2.26E-08 | 7.50E-07 | 5.96E-06 |
| | Magnet Driver | 6.77E-08 | 2.25E-06 | 1.79E-05 |
| | Gap센서 | 6.77E-08 | 2.25E-06 | 1.79E-05 |
| | 가속도센서 | 6.77E-08 | 2.25E-06 | 1.79E-05 |
| 추진장치 | | 9.93E-07 | 3.30E-05 | 2.62E-04 |
| | 집전장치 | 9.93E-08 | 3.30E-06 | 2.62E-05 |
| | 선형유도전동기 | 9.93E-08 | 3.30E-06 | 2.62E-05 |
| | 전력변환장치 | 7.95E-07 | 2.64E-05 | 2.10E-04 |
| 보조전원 | | 1.81E-07 | 6.00E-06 | 4.77E-05 |
| | 보조전원장치 | 1.63E-07 | 5.40E-06 | 4.29E-05 |
| | 배터리 | 1.81E-08 | 6.00E-07 | 4.77E-06 |
| TCMS | TCMS | 1.81E-07 | 6.00E-06 | 4.77E-05 |
| 방송시스템 | 방송및표시기 | 3.61E-07 | 1.20E-05 | 9.54E-05 |

## [2-1과제]

### 가. 차량개발 및 제작 (현대로템-주관)

(1) 시제차량 개념/기본설계

(가) 기능/성능 정의

1) 차량시스템 사양 정의

- 차량 요구 사양 정의

| 항 목 | | 내 용 |
|---|---|---|
| 일반사항 | 차량 형식 | 상전도 흡인식 자기부상열차(경량화 금속구조체) |
| | 차량 종류 | 비상 운전대가 있는 동력 차량(Mc) |
| | 열차 편성 | 2량 1편성(Mc1-Mc2) 고정편성 |
| | 설계 목표 | • 무인자동운전 체계 확립<br>• 안락한 승차감 및 승객에 대한 서비스 향상<br>• 차량 성능 향상<br>• 경량화 및 에너지 이용 효율 증대<br>• 유지관리의 편리성 및 무보수화 확대<br>• 차량기기 및 부품의 표준화<br>• 환경 친화적 차량<br>• 25년 이상의 내구성 확보 |
| | 공통 특기사항 | • 모든 기기 및 부품은 호환성 및 내구년한 동안<br>생산/공급이 가능하여야 함<br>• 도시철도법에서 정하는 화재안전기준을 만족<br>• 가능한 재활용 가능 재질 사용<br>• 제어장치: 소형, 경량, 무접점화, 부품별 모듈화<br>• 컴퓨터 설비: H/W, S/W 장래 확장성 고려<br>• 프로그램 출력정보의 표시/기록: 한글<br>• 기기 및 부품의 진동시험은 KS R 9144 또는 동등<br>이상의 방법으로 시험 실시 |
| 차량 운행조 | 기후 조건 | • 외기조건: -25℃ ~ +40℃<br>• 강우량: 500mm/일 |

| 항 목 | | 내 용 |
|---|---|---|
| 건 | | • 풍속: 26m/s 이상<br>• 기타: 먼지, 눈, 염분(해안도시)에 대한 대비 고려 |
| | 선로 조건 | • 궤간: 1,850 mm<br>• 최대구배: 60 ‰<br>• 최소곡선반경: 60 mR<br>• 승강장 연단 높이: 1,000 mm (레일기준면에서)<br>• 가선공칭전압: 1,500V DC<br>• 급전방식: 제3궤조 방식 |
| | 하중 조건 | • 승객 하중 기준: 1인당 62kg<br>• 최대 승객 하중: 6.5 ton/량 (성능기준, 만차하중)<br>10.0 ton/량(강도기준, 성능의 1.5배)<br>• 공차중량: 20 ton/량<br>• 만차중량: 26.5 ton/량 |
| | 운전 조건 | • 노선의 평면 및 종단선형: 계획 노선에 의거<br>• 차량의 실제 최고운행속도는 운영처와 협의에 의함<br>• 구간별 운전속도 계획은 운행노선의 운전규정에 의거 |
| | 유지보수 조건 | • 차량검수: 경정비(검수고), 중정비(정비고)<br>• 신속한 고장복구: 종합제어장치 자동 검사기능 구비<br>• 차체와 대차는 긴급 복구장비 사용이 가능한 구조<br>• 차량세척: 자동세척(실내 및 기기함에 물 유입 방지) |
| 주요 제원 | 만차 탑승인원 | 93 명/량 (5명/$m^2$) : 좌석 28명, 입석 65명 |
| | 설계 최고속도 | 110 km/h(최고운행속도: 80 - 100km/h) |
| | 최대 가속도 | 4.0 km/h/s |
| | 최대 감속도 | 4.0 km/h/s (비상: 4.5 km/h/s) |

| 항 목 | | 내 용 |
|---|---|---|
| | 공극 | • 부상: 8 mm (편차 : 1mm이하 레일 단차에서 ±3mm 이내)<br>• 추진: 11 mm |
| | 구배 등판능력 | 70 ‰ |
| | 곡선반경 통과능력 | 50 mR |
| | 표정속도 | 35 km/h 이상 |
| | 가선전압 기준 | • 견인: DC1,500V<br>• 회생제동: DC1,650V (회생전압변동 범위:DC1650-1800V) |
| | 저크한계 | 0.8 $m/s^3$ 이하 |
| | 속도제어 방식 | 가변전압 가변주파수(VVVF)인버터에 의한 가·감속 제어 |
| | 제어회로 전압 | DC 100V |
| | 열차주행저항 | R =1.26 + 0.035V + 0.00074$V^2$[kgf/ton]<br>평탄/직선선로 기준, V = 열차속도 (㎞/h) |
| | 승차감 | UIC 승차감 지수 2.0 이하<br>(직선 평탄로, 최고운행속도,공차) |
| | 소음 | • 차내: 65dB(A)이하 (직선 평탄로, 최고운행속도, 공차) |

- 차량 주요 구성요소 정의

| 구성요소 | 항 목 | 규 격 |
|---|---|---|
| 차체 | 일반 | • 불연성(난연성), 경량화 재질<br>• 금속제 용접구조 (강도 보장)<br>• 천정: 공기용 덕트 설치(냉방장치용)<br>• 실내 단부벽: 배전반, 소화기 설치<br>• 내부식성, 내진동성 |
| | 주요 치수 | • 연결면간 거리: 12,500 mm (1량 기준)<br>• 차체길이: 12,000 mm (1량 기준)<br>• 대차수량: 4 대/량<br>• 대차 중심간 거리: 2,700 mm<br>• 차체폭: 2,700 mm |

| 구성요소 | 항 목 | 규 격 |
|---|---|---|
| | | • 차량높이: 3,475 mm (레일 기준면 기준, 부상상태)<br>• 객실 상면높이: 1,000 mm (레일 기준면 기준, 부상상태)<br>• 연결기 높이: 720 mm (레일 기준면 기준, 부상상태) |
| | 구조 | • 언더프레임<br>-수직하중(승객하중, 기기하중) 수평하중(연결기), 전달<br>하중(대차)에 견딜 수 있는 구조<br>-알루미늄 합금 압출재/판재<br>-하부에 패드 설치(Jacking/Lifting용)<br>• 측구조<br>-알루미늄 합금재 압출품(성형 제작), 응력 집중 고려<br>-연속용접(각 압출품), 표면처리(도장)<br>• 지붕구조<br>-알루미늄 합금재 압출품 및 복합소재, 응력 집중 고려<br>-빗물받이(Rain Gutter) 설치(지붕 좌우, 차량 길이 방향)<br>• 단부구조<br>-알루미늄 합금재 용접구조<br>-통로연결막 설치<br>• 전두부구조<br>-비상 시 안전확보 장치 설치(비상 탈출구 등)<br>-차단, 충격 압충응력에 견딜 수 있어야 함(승객보호) |
| | 구체 강도 | • 구체 재질 항복 강도: 시험조건하 측정 응력 이상<br>• 항복점 불명확 재질: 0.2%의 영구변형을 일으키는 응력 |

| 구성요소 | 항 목 | 규 격 |
|---|---|---|
| | 충돌 안전성 | 도시철도차량 안전기준에 의거 |
| 실내 내장 | 상판 | • 상구조: 구조소음 차단부재 사용<br>• 바닥재: 불연성, 내마모성, 내화학성<br>-승객출입구: 미끄럼 방지용 설치 |
| | 내장 | • 차체 외판과 내장판 사이 단열재 부착 (방음, 단열)<br>• 냉방 공기 덕트 내부: 방음/단열 처리, 응결수 방지대책<br>• 구조 소음 전달 최소화 |
| | 창문 | • 객실 측창, 전두부 측창: 밀폐형 구조<br>• 운전실 전면창: 안전유리 사용, 넓은 시야 확보<br>• 객실 창문 유리: 안전유리 사용, 양호한 시계 확보 |
| | 출입문 | • 승객용 객실 출입문<br>-차량 양측 각각 2개 설치<br>-안전과 차음성능이 우수한 구조<br>-전기 작동식 도어 엔진에 의한 개폐<br>-도어엔진: 전기식/기계식 잠금장치 내장, 장애물 검지<br>-잠금장치 수동 개폐 가능(무전원시)<br>-출입문 유리: 안전유리 적용<br>-추진제어장치와 인터록킹(Interlocking) 제어(불완전<br>폐쇄시 차량 운행 불가) |
| | 의자 | • 객실 의자<br>-승차감 및 미려도 우수, 경량재질 적용, 분해조립 용이 |
| | 객실 손잡이 | 편안함, 안정감, 편리한 배치, 강도/미려함 고려 |
| | 장애인 시설 | 휠체어 또는 유모차 사용 편의 시설 설치 |
| | 승객안내장치 | 각종 안내정보제공, 용이한 시각적 인지 |
| | 운전대 | • 종합제어장치, 운전조작장치, 각종 수동조작 기기 설치 |

| 구성요소 | 항 목 | 규 격 |
|---|---|---|
| | | • 전면창에 창닦기 와이퍼 설치<br>• 전두쪽 언더프레임 하부에 기적 설치<br>• 소화기 비치 |
| | 차간<br>연결통로<br>(Gangway) | • 방음, 방수, 방풍효과가 우수한 구조<br>• 자기소화성 재료이상 등급 사용, 화재방지구조 |
| | 연결기 | • 선로 최소곡선 통과 시 정상적인 작동<br>• 차간 상이한 견인력 및 제동력에 대한 강도<br>• 충격 흡수 구조 |
| | 냉방/난방/<br>환기장치<br>(공기조화장치) | • 냉. 난방장치<br>-형식: 옥상외부, 노출형, 천정 집약공급 덕트 유도분산형<br>-냉. 난방용량: 20,000 kcal |
| | U/F하부<br>설치기기 | • 기기용 배관, 배선이 통하는 외함 부위는 씰링(Sealing)<br>을 통한 미세먼지, 습기 침입 방지<br>• 균등 하중 분포를 위한 각종 기기함의 배치 |
| | 실내 천정<br>및<br>벽면<br>설치기기 | • 실내천정: 형광등, 비상등, 공기덕트, 방송용 스피커 등<br>설치<br>• 비상인터폰 및 비상출입문 개방콕크: 지정위치에 설치 |
| 대차 | 주요 제원 | • 공기스프링 식 조향 대차<br>• 수량 : 4대/량<br>• 치수 : 2,600 mm<br>• 비상 착지장치, 유압 롤러 시스템 |
| | 대차 프레임 | • 저비중 고강도 알루미늄재 사용<br>• 완성 사이드 프레임은 용접 후 응력제거 공정 실시<br>• 습동부가 적은 구조, 모든 관절부에 부쉬 설치 |
| | 지지장치/<br>완충장치 | • 공기스프링<br>- 차체하부와 대차프레임 상면 사이에 설치<br>- 횡변형에 대한 충분한 탄성 |

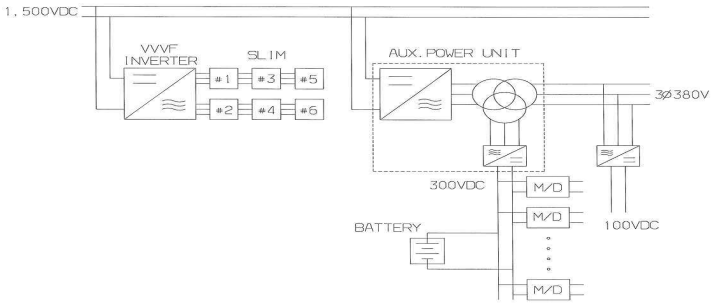
<table>
<tr><th>구성요소</th><th>항 목</th><th>규 격</th></tr>
<tr><td rowspan="6"></td><td></td><td>- 탄성패드: 공기압력이 부족한 경우 지지 역할<br>- 종합제어장치에 의한 고장 감시(파손, 공기압력)<br>• 레벨링밸브<br>- 차체와 대차프레임 사이에 설치<br>- 우수한 횡적 롤링 특성, 일정한 차량 높이 유지(자동)</td></tr>
<tr><td>견인장치</td><td>• 견인 로드(Traction Rod)에 의한 견인력 및 제동력 전달<br>• 대차의 피칭 운동 전달이 최소화되도록 설치</td></tr>
<tr><td>기초<br>제동장치</td><td>• 제륜자가 레일 측면을 압착하는 방식<br>• 제륜자의 재질: 비석면(마찰력 우수, 인체에 무해)</td></tr>
<tr><td>착지장치</td><td>랜딩 스키드 + 유압 롤러 시스템</td></tr>
<tr><td>배장기</td><td>외부 이물질로부터 대차, 차체 하부 기기 보호 (전방 대차 앞)</td></tr>
<tr><td>공극 설정</td><td>
<table>
<tr><th>위 치</th><th>착지시<br>공극</th><th>부상시<br>공극</th></tr>
<tr><td>전자석 표면과 부상레일 하면</td><td>14 mm</td><td>8 mm</td></tr>
<tr><td>선형유도전동기와 추진용 도체판 상면</td><td>5 mm</td><td>11 mm</td></tr>
<tr><td>착지장치와 추진용 도체판 상면</td><td>0 mm</td><td>6 mm</td></tr>
<tr><td>전자석용 Skid와 부상레일 하면</td><td>12 mm</td><td>6 mm</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td rowspan="3">부상장치</td><td>전자석<br>(Magnet)</td><td>• 수량: 32 대/량 (전자석 형상에 따라 변경 가능)<br>• 냉각방식: 자연냉각 / 절연등급: H종 이상</td></tr>
<tr><td>Magnet<br>Driver</td><td>• 수량: 8 Unit/량<br>• 출력제어: Duty에 의한 PWM 제어<br>• 입력전압: DC 300V</td></tr>
<tr><td>갭/가속도<br>센서</td><td>• Gap/가속도 센서의 일체형 설계 제작<br>• Gap 센서</td></tr>
</table>

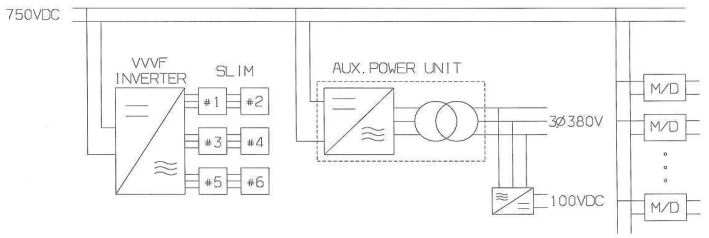
| 구성요소 | 항 목 | 규 격 |
|---|---|---|
| | | -공급전원 : ±15 V DC<br>-측정범위: 0 ~ 20 mm<br>-Output : 0 ~10 V DC (1V/2.0mm)<br>• 가속도 센서<br>-공급전원 : ±15 V DC<br>-측정범위: ±3g 이상 |
| 추진장치 | 일반 | • 차량당 1대 인버터, 8대 선형유도전동기 |
| | 선형유도전동기 | • 형식: 3상 선형유도전동기(SLIM)<br>• 극수: 6극<br>• 냉각방식: 자연 냉각방식<br>• 최대 추진력 : 3775 N/대<br>• 절연등급 : H종 이상 |
| | 전력변환장치 (VVVF Inverter) | • 1대가 SLIM 8대를 4S2P로 일괄 제어<br>• IGBT: 3,300V/1,200A 급 이상 사용, 강제냉각방식<br>• 정격 입력전압: DC1,500V<br>• 출력전압: 3상 0 ~ 1,100V AC<br>• 고장검지 : 과전류, 과전압, 저전압, 스위칭 소자 고장 등 |
| 집전장치 | 집전장치 | • 동작방식: 스프링 작용식, 상시 가선접촉식<br>• 제3궤조용 수평·측방향 집전 방식<br>• 연속 집전을 위한 중복 설치<br>• 압상력: 8 kgf (표준)<br>• 습판재질: 탄소 혼합체 집전판 |
| 보조전원장치 | 일반 | • PWM 제어방식<br>• TCMS와 연계한 자기진단, 고장감시 기능<br>• Fan을 이용한 강제냉각 |
| | 주요부하 | • 교류 3상 380V,60Hz: 냉난방장치,주전동 공기압축기,<br>조명 등<br>• 직류 300V: 부상용 전원 |
| | 규격 | • 입력전압: 1,500V DC<br>• 출력 1 |

| 구성요소 | 항 목 | 규 격 |
|---|---|---|
| | | -전압: 300V DC(±5%, 정상상태), 리플 ±5%이하<br>• 출력 2<br>-전압: AC 3상380V(±5%, 정상상태),60Hz,왜율 10% 이하 |
| 축전지 | 축전지 | • 비상 시, 관련 기기의 전원 공급 용도<br>• 형식: 니켈-수소<br>• 전압: DC 100V, DC 330V<br>• 충전방식: 상시 부동 충전식 |
| | Battery Charger | • 전압: 300 VDC<br>• 리플 ±5% 이하 |
| 조명장치 | 실내조명 | • 교류형광등: 입력전압 AC220V, 60Hz<br>• 직류형광등(비상용): 입력전압 DC100V |
| | 전조등/후미등 | • 전면에 각 2개의 전조등 및 후미등 세트 설치<br>• 비상운전대의 절환스위치로 감광조절 가능 |
| 방송장치 | 일반 | • 자동안내방송, 공지사항전달, 비상시 안내방송 등<br>• 승객안전정보 현시 및 방송(자동/수동 작동 가능) |
| | 구성 | • 운전실내 중앙 제어박스 및 제어기(자동/수동 안내방송)<br>• 앰프, 분배장치 및 스피커 |
| 종합제어장치 (TCMS) | 구성 | • 주제어장치와 차량제어장치로 구성<br>-선택된 운전실의 주제어장치 고장 시 후부 장치의<br>백업에 의한 제어의 연속성 확보 |
| | 주요기능 | • 안전요원 보조 기능<br>-차량 출고 시 주요 기기의 정상 작동 여부 시험/확인<br>-운전 관련 정보 표시<br>-고장 발생 시 경고음 발생, 고장내용, 조치요령 화면현시<br>• 차량 검사(출고검사, 일상검사, 월상검사) 기능 |

| 구성요소 | 항 목 | 규 격 |
|---|---|---|
| | | • 제어 및 감시 기능 |
| 제동장치 | 일반 | • 저크 제한 기능, 저소음/저진동 구조<br>• 회생제동 병용, 전기지령식 유/공압 제동<br>• 응하중 제어기능: 차량 중량에 비례한 제동력 유지<br>• 비상제동 : 운전실 스위치에 의한 완해 가능<br>• 자기진단 기능: 제동실린더 압력, 공기스프링 압력 표시 |
| | 제동의 종류 및 기능 | • 상용제동 (ATP/ATO 장치 연동)<br>-승무원에 의한 주간제어기 조작, ATP/ATO 장치의 지령<br>• 비상제동 (ATP/ATO 장치 연동)<br>-승무원에 의한 주간제어기 조작, 비상제동 스위치 조작,<br>ATP/ATO 비상제동지령, 주공기압력 부족, 열차분리 및<br>비상제동 제어회로 이상시, Fail-Safe 구조<br>• 정차제동<br>-제동장치 및 ATO에 의한 자동 체결, 역행시 자동 완해,<br>열차 정차 시 이동방지 기능 |
| | 압축공기 공급장치 | • 공기 압축기<br>-오일프리 스코롤 또는 오일프리 피스톤 방식<br>• 전동기: 3상 AC380V, 60Hz, 유도전동기 |
| | 공기배관 | • 아연도금 강관, 스테인레스관, 동관 또는 동등 이상 사용<br>• 주요 배관에 배수용 포켓 설치<br>• 제동실린더 및 공기스프링용 콕은 전기 접점 부착형으로<br>사용(개폐여부 운전실 확인 가능) |

2) 차량 입력전압 검토

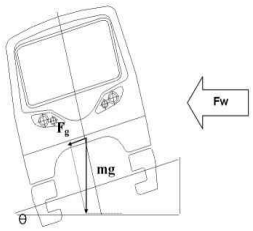
<table>
<tr><th>항 목</th><th colspan="5">내 용</th></tr>
<tr><td>검토 배경<br>및 목적</td><td colspan="5">• 기존 자기부상열차(일본 Linimo, 한국 UTM) 입력전압: 1,500V DC<br>• 국내 철제/고무차륜 및 모노레일 경전철 입력전압(표준사양): 750V DC<br>• 시스템 설계</td></tr>
<tr><td>시스템<br>구성도</td><td colspan="5">• 입력전압 1,500V DC의 시스템 구성도<br> 

<br>• 입력전압 750V DC의 시스템 구성도<br> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="8">입력전압에<br>따른<br>차량특성<br>비교</td><td colspan="2">항 목</td><td>직류 1500V</td><td>직류 750V</td><td>비 고</td></tr>
<tr><td rowspan="5">추진<br>시스템</td><td>VVVF Inverter<br>최대 출력전압</td><td>3Ø 1,100V</td><td>3Ø 550V</td><td></td></tr>
<tr><td>SLIM 양단<br>최대 전압</td><td>3Ø 367V</td><td>3Ø 275V</td><td></td></tr>
<tr><td>SLIM 요구<br>전류량</td><td>100%</td><td>133%</td><td rowspan="2">동일<br>추진력을<br>얻기위한<br>조건</td></tr>
<tr><td>VVVF Inverter<br>요구<br>출력전류량</td><td>100%</td><td>200%</td></tr>
<tr><td>경량화</td><td>경량화가능<br>(100%)</td><td>경량화곤란<br>(120%)</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">보조<br>전원<br>시스템</td><td>발열량</td><td>낮음</td><td>높음<br>(특히,<br>SLIM)</td><td></td></tr>
<tr><td>부하 전원</td><td>3Ø380V,<br>300VDC,<br>100VDC</td><td>3Ø380V,<br>100VDC</td><td></td></tr>
<tr><td>부상 전력</td><td>보조전원장</td><td>입력전원에</td><td></td></tr>
</table>

| 항 목 | 내 용 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 치<br>출력 | 직접연결 | |
| | | 보조전원시<br>고장시 | 차량전체<br>부상불가 | 차량전체<br>부상가능 | |
| | | 부상전력<br>Back-up<br>밧데리<br>필요여부 | 필요 | 불필요 | |
| | | 시스템 구성 | 복잡 | 단순 | |
| | | 경량화 | 경량화곤란<br>(100%) | 경량화 가능<br>(60%) | |

3) 차량 횡방향 하중 검토

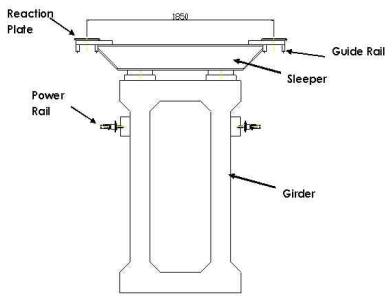
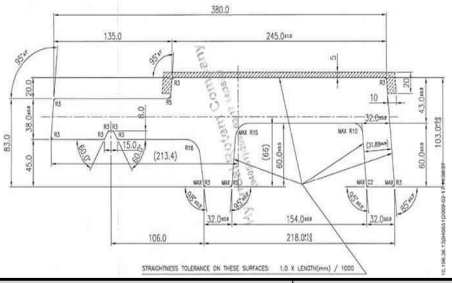
| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 차량 운행 조건 | • 공차중량 : 20,000 kg<br>• 만차중량 : 26,500 kg<br>• 차량 측면적 : 12 m x 4 m = 48 $m^2$<br>• 최소 곡선 반경 : 50mR<br>• 최대 캔트 : 2 degree (미정, 가정)<br>• 최대 풍속 : 26 m/s |
| 최대 횡방향 하중 발생 조건 | • 곡선 구간에서 차량 정차 시 곡선 외측에서 횡풍이 부는 경우<br>-캔트에 의한 곡선 내측으로 횡방향 하중이 가해짐<br>-곡선 외측에서 횡풍이 불어오면 차량의 횡방향 하중이 최대가 됨<br>• 곡선 구간 주행시 곡선 내측에서 횡풍이 부는 경우<br>-곡선 구간 주행 시 외측으로 원심력이 작용하면서 내측에서<br>횡풍이 불어올 경우 차량의 횡방향 하중이 최대가 됨<br>-곡선 통과를 위한 최대 속도는 승객이 느끼는 허용 횡가속도에<br>의해 결정되며, 이 횡가속도는 곡선 구간에서 차량이 정차했을<br>경우 중력에 의해 내측으로 발생하는 횡방향 가속도의 크기와 |

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | 동일하다고 가정<br>-곡선 반경에 대한 캔트량 및 주행속도에 따라 횡방향 하중조건은<br>상이 할 수 있음 |
| 횡방향 하중 계산 (곡선구간 정차 시) |  <br>•중력 및 캔트에 의해 발생하는 횡방향 하중<br>$F_g = mg\sin\theta = (26500kg)\times(9.8m/s^2)\times\sin 2^\circ = 9089.5N$<br>•횡풍에 의한 횡방향 하중<br>$F_w = C_d\left(\frac{1}{2}\rho v^2 A\right) = (2.0)\times\left(\frac{1}{2}\right)\times(1.2kg/m^3)\times(26m/s)^2\times(48m^2) = 38937.6N$<br>($C_d$ : 공기저항계수 = 2.0, ρ : 공기의 밀도 = 1.2 kg/$m^3$,<br>v : 최대풍속 = 26 m/s, A : 차량 측면적 = 48 $m^2$ )<br>• 차량에 가해지는 최대 횡방향 하중(1량당)<br>9089.5 N + 38937.6 N = 48,000 N<br>• 최대 횡방향하중 발생시 전자석1개당 요구 안내력<br>48,000N / 32 EA = 1,500N |
| 검토결과 | • 전자석 설계검토결과(2-2 협동기관 우성마그네트 설계자료)<br>-차량 당 최대 안내력(lateral 변위 15mm일 경우) : 83,200 N<br>전자석 당 최대 안내력(lateral 변위 15mm일 경우) : 2,600 N<br>-차량 당 최대 안내력(lateral 변위 10mm일 경우) : 72,000 N<br>전자석 당 최대 안내력(lateral 변위 15mm일 경우) : 2,250 N<br>• 전자석의 안내력은 lateral 변위 10mm일 경우(2,250N), 차량의<br>최대 횡방향 하중(2,000N)보다 크므로 초속 26m/s의 강풍이 |

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | 불어올 경우에도 최소 곡선반경에서 열차 운행이 가능한 것으로<br>검토 됨 |

(가) 요구사항 분석

1) 상부궤도 설계 요구조건 제시

<table>
<tr><td>항 목</td><td colspan="4">내 용</td></tr>
<tr><td>상부궤도 구성 및 가이드레일 단면도</td><td colspan="2">• 궤간 및 상부궤도 구성<br> 
</td><td colspan="2">• 가이드레일 및 Reaction Plate 단면도<br> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="11">궤간 및 상부궤도 구성</td><td>분류</td><td>검토항목</td><td>요구조건 및 사양</td><td>비고</td></tr>
<tr><td rowspan="8">Guide Rail</td><td>레일 설치공차</td><td>• 수직들림 : 2 mm<br>• 수평들림 : 2 mm<br>• 궤간들림 : 2 mm<br>• 레일이음매 수직단차<br>: 1 mm<br>• 레일이음매 수평단차<br>: 0.5 mm<br>• 좌우레벨 차이 : 2 mm<br>• 뒤틀림 : 2 mm</td><td>10m 기준<br>1.85m기준<br>좌/우 레일<br>218 mm기준</td></tr>
<tr><td>형상 및 치수</td><td>상기 그림 참조</td><td></td></tr>
<tr><td>단위 길이</td><td>10 m 이상</td><td></td></tr>
<tr><td>연결 이음매 방법</td><td>Linimo 방법 또는 고안</td><td></td></tr>
<tr><td>접지방법</td><td>Linimo 방법 또는 고안</td><td></td></tr>
<tr><td>처짐</td><td>0.3 mm 이하</td><td></td></tr>
<tr><td>1차 굽힘 고유진동수</td><td>50 Hz 이상</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">Reaction Plate</td><td>재질</td><td>알루미늄</td><td></td></tr>
<tr><td>형상 및 치수</td><td>상기 그림 참조</td><td></td></tr>
</table>

| 항 목 | 내 용 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 단위 길이 | 5m 이상 | |
| | | 레일과의 접합 | Linimo 방법 또는 고안 | |
| | Sleeper | 설치 간격 | 1.25 m 이하 | |
| | | 설치 방법 | Linimo 방법 또는 고안 | |
| | Girder | 처짐한계 | L/3000 | |
| | | 1차굽힘 고유진동특성 -고유진동수 -감쇠비 | 5 Hz 이상 2% 이상 | |
| | | 차량/거더 질량비 | 0.6 이하 | |
| | | 거더 간 연결 | Linimo 방법 또는 고안 | |

2) 레일 재질 요구조건 검토

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 검토 배경 및 목적 | • 한국기계연구원(KIMM) 자기부상열차 시험 선로에 사용된 SS400<br>강철 재료는 화학적 성분과 관련된 표준이 없음<br>• 화학적 성분은 자기특성인 투자율(Magnetic Permeability)과 전기<br>특성인 고유저항(Electrical Resistivity)을 결정하며, 제어의 품질에<br>영향을 줌<br>• 실용화 사업의 경우 레일의 강철 재질에 대한 표준을 마련하고<br>그에 의거하여 제작이 되어야 함 |
| 투자율 (Magnetic Permeablity) | • 강철(Steel) 또는 순철(pure Iron)의 특성<br>: 자기저항이 커질수록 일정 자속을 내기 위해서 전자석 전류도 커지지만, 강철과 순철은 자속밀도가 제한되어 있음 (자기포화)<br>• 3가지 재질에 대한 자기특성(Pure Iron/Steel ST37-2/Steel SS41)<br>- B, H값으로부터 상대투자율 계산($B = \mu_o \mu_r H$) |

<table>
<tr><th>항 목</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">자계강도<br>H (A/m)</th><th colspan="3">자속밀도 B (T)</th><th colspan="3">상대투자율</th></tr>
<tr><th>ST37</th><th>SS41</th><th>Pure Iron</th><th>ST37</th><th>SS41</th><th>Pure Iron</th></tr>
<tr><td>500</td><td>0.90</td><td></td><td>1.50</td><td>1432</td><td></td><td>2387</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>1.30</td><td>1.10</td><td>1.61</td><td>1035</td><td>875</td><td>1281</td></tr>
<tr><td>2500</td><td>1.52</td><td>1.50</td><td>1.70</td><td>484</td><td>477</td><td>541</td></tr>
<tr><td>5000</td><td>1.66</td><td>1.65</td><td>1.80</td><td>264</td><td>263</td><td>286</td></tr>
<tr><td>10000</td><td>1.79</td><td></td><td>1.90</td><td>142</td><td></td><td>151</td></tr>
<tr><td>20000</td><td>1.94</td><td></td><td>2.00</td><td>77</td><td></td><td>80</td></tr>
<tr><td>30000</td><td>2.04</td><td></td><td></td><td>54</td><td></td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>전기적<br>고유저항<br>(Electrical<br>Resistivity)</td><td>
• 가이드레일 재질이 높은 고유저항을 갖는다면 와전류 현상(eddy<br>current effect)이 감소하므로 시스템의 품질 향상에 도움이 됨<br>
• 재질별 고유저항(20°C일 때)
<table>
<tr><th>재질</th><th>고유저항 ρ [Ω mm²/m]</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>ST 37</td><td>0.13</td><td></td></tr>
<tr><td>ST 37-2</td><td>0.17</td><td>측정값</td></tr>
<tr><td>SS41</td><td>0.10</td><td>DHI 제공자료,1997</td></tr>
</table>
• 고유저항의 추정/계산(화학성분비를 알고 있을 때)<br>
$100 \times \rho\ [\Omega mm2/m] = e^{[2.2929+0.3188\times(\%C)]} + 6.1985\times(\%Mn) + 11.7499\times(\%Si) + 14.3269\times(\%P) - 10.3715\times(\%S) + 12\times(\%Al) + 4.8852\times(\%Cr) + 1.55\times(\%Ni) + 4.5\times(\%Ti) + 4.5\times(\%Zr)$<br>
• ST37-2의 화학 성분비<br>
: C 0.17%, P 0.035%, S 0.04%, Si 0.55%<br>
- ST37과 비교하여 C의 성분이 0.1%증가하였으나 고유저항 변화에<br>영향을 거의 주지 않음<br>
- 반면, <u>Si의 증가가 고유저항 변화에 큰 영향을 줌</u>
</td></tr>
<tr><td>결론</td><td>
• 투자율은 화학성분비로 계산할 수 있는 공식이 없음<br>
• 비용, 내기후성, 용접성 관련 요구 조건이 주어져야 함<br>
• 투자율은 측정을 통하여 가급적 높은 특성을 갖도록 검토되어야 함<br>
• 고유저항은 화학성분비로부터 계산하고 더불어 측정이 이루어져야 함<br>
• 품질관리를 위해서 재질 구성에 관한 명확한 사양서를 마련해야 함
</td></tr>
</table>

3) 대차수량 및 단위 길이 검토

<table>
<tr><th>항 목</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td>검토 목적</td><td>• 자기부상열차에 있어서 차량의 길이가 일정할 경우, 대차의 수량에 따라 대차의 단위 길이가 결정됨<br>• 대차의 단위 길이는 차량의 곡선 및 구배 주행성능에 직접적인 영향을 미침<br>• 대차의 단위 길이에 따라 대차에 취부되는 각종 기기(견인 전동기, 부상용 전자석 등)의 사이즈가 결정됨<br>• 대차의 수량에 따라 각종 기능품 및 성능품의 수량 및 치수가 변경되는 관계로 전체 차량의 중량변화가 예상 됨</td></tr>
<tr><td>기존 차량의 대차 사양</td><td>
<table>
<tr><th>항목</th><th>일본 Linimo</th><th>한국<br>UTM(산자부중기거점)</th></tr>
<tr><td>차량 길이</td><td>선두차 14.0m, 중간차 13.5m</td><td>13.5 m</td></tr>
<tr><td>대차 수량</td><td>5대/량</td><td>3대/량</td></tr>
<tr><td>대차<br>단위길이</td><td>2,500 mm</td><td>3,500 mm</td></tr>
<tr><td>차체와의<br>연결</td><td>대차당 4개의 공기스프링<br>(각 사이드 모듈의<br>끝단에 1개)</td><td>대차당 2개의<br>공기스프링<br>(각 사이드 모듈의<br>중간에 1개)</td></tr>
<tr><td>사이드<br>모듈간<br>연결</td><td>안티-롤 바</td><td>크로스-빔으로 연결</td></tr>
<tr><td>기타특징</td><td>사이드 모듈별 자유롭게<br>변위가 가능하도록<br>슬라이딩 기구 적용</td><td>사이드 모듈별 자유롭게<br>변위가 불가한 구조</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>대차 단위 길이에 따른 특징</td><td>• 장/단점 분석
<table>
<tr><th>항 목</th><th>단위길이가<br>짧은 경우</th><th>단위길이가<br>긴 경우</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>곡선통과 성능</td><td>양호</td><td>불리</td><td>성능 : 속도</td></tr>
<tr><td>구배 완화구간</td><td>양호</td><td>불리</td><td></td></tr>
<tr><td>곡선에서의<br>횡변위</td><td>큼</td><td>작음</td><td>Linimo:슬라이딩 기구 적용</td></tr>
<tr><td>전자석 길이</td><td>단</td><td>장</td><td></td></tr>
<tr><td>전자석 동특성</td><td>양호</td><td>불리</td><td></td></tr>
<tr><td>SLIM 길이</td><td>단</td><td>장</td><td></td></tr>
<tr><td>전체 중량</td><td>증가</td><td>감소</td><td></td></tr>
</table>
• 대차수량에 따른 공기스프링의 횡변위
<table>
<tr><th rowspan="2">대차<br>수량</th><th colspan="10">대차의 위치(center line 진행방향 기준 L : Left, R : Right)</th></tr>
<tr><th>1_L<br>(mm)</th><th>1_R<br>(mm)</th><th>2_L<br>(mm)</th><th>2_R<br>(mm)</th><th>3_L<br>(mm)</th><th>3_R<br>(mm)</th><th>4_L<br>(mm)</th><th>4_R<br>(mm)</th><th>5_L<br>(mm)</th><th>5_R<br>(mm)</th></tr>
<tr><td>3대</td><td>64</td><td>68.3</td><td>80.6</td><td>80.6</td><td>64</td><td>68.3</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>4대</td><td>84</td><td>89.4</td><td>16.8</td><td>69.8</td><td>69.8</td><td>69.8</td><td>84</td><td>89.4</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>5대</td><td>99.6</td><td>105.6</td><td>50.3</td><td>49.5</td><td>87</td><td>87</td><td>50.3</td><td>49.5</td><td>99.6</td><td>105.6</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>검토 결과</td><td>• 대차의 단위 길이가 짧을 경우, 곡선 및 구배(완화구간)에</td></tr>
</table>

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | 서의 속도성능이 우수하고, 부상용 전자석의 동특성이 향상되는 장점이 있음<br>• 대차의 단위 길이가 짧을 경우, 곡선에서의 횡변위가 크고, 전체 중량이 증가(기능품, 성능품 수량 증가)하는 등 단점이 있음<br>• 일본 Linimo 차량용 대차의 경우 곡선에서의 횡변위 문제를 해소하기 위해 사이드 모듈 당 2개의 공기스프링을 사용하고, 슬라이딩 기구를 적용 함 |

4) 차량 요구사항 분석/검토

| 항 목 | 제시내용 | 검토결과 |
|---|---|---|
| 차량운행 모드 | 차량시스템은 자동 차량 운행모드, ATO 차고모드, 자동 차량 보호모드, ATP 차고모드, CBTC 우회모드 중 택일하여 운행될 수 있어야 한다(T.B.D.). | 차량시스템은 비상운전모드, ATP 제한모드, 수동운전모드, 자동운전모드, 완전자동운전모드 중 택일하여 운행될 수 있어야 한다. |
| 운행속도 | 차량의 최고 운행 속도는 100 ㎞/h 이상으로 하며, 구간별 운전 속도 계획은 운행할 노선의 운전 규정에 따른다. | 차량의 최고 운행 속도는 100㎞/h 로 하며, 구간별 운전 속도 계획은 운행할 노선의 운전 규정에 따른다. |
| 운행 가/감속도 | 차량시스템의 운행 가/감속도는 4km/h/s 이상으로 한다. | 차량시스템의 최대 운행 가/감속도는 4km/h/s 로 한다. |
| 최대 등판능력 | 차량시스템은 최대 70‰ 이상의 경사가 포함된 노선에서 정지 및 재출발이 가능해야 한다. | 차량시스템은 최대 70‰ 의 경사가 포함된 노선에서 정지/재출발이 가능해야 한다. |
| 실내환기 | 실내 산소 부족 및 이산화탄소 증가를 막고 경우에 따라 발생할 수 있는 유독 가스 및 악취를 신속하게 제거할 수 있도록 강력한 환기 성능을 갖추어야 한다. | 차량 실내는 환기 성능을 갖추어야<br>한다. |
| 승차감 및 | 대차는 승차감이 좋고, 소음 | 대차는 유지보수가 용이해야 |

| 항 목 | 제시내용 | 검토결과 |
|---|---|---|
| 유지보수성 | 이 적으며 유지보수가 용이해야 한다. | 한다. |
| 견인로드 설치 | 대차의 견인력과 제동력이 차체에 전달될 수 있는 구조로 견인로드(Traction Rod) 견인장치(traction device)가 설치되어야 한다. | 대차의 견인력과 제동력이 차체에 전달될 수 있는 구조로 견인장치(traction device)가 설치되어야 한다. |
| 착지장치 | 안내부상시스템의 고장으로 차량이 착지된 상태에서도 비상구원시 주행이 가능하도록 휠 방식의 별도의 착지장치를 설치한다. | 차량이 착지된 상태에서도 주행이 가능<br>하도록 착지장치를 설치한다. |
| 추진장치 | 소형, 경량화 설계를 통해 차량의 신뢰성, 보수성 및 에너지 효율성 향상 등 차량시스템이 갖는 특성을 최대한 발휘할 수 있어야 한다. | 추진장치는 소형, 경량화 설계를 통해 차량의 에너지 효율을 향상시킬 수 있어야 한다. |
| 열차정지검지기능 | 속도감지기에서 출력되는 차량속도가 1㎞/h이하 일 때 열차가 정지된 것으로 판단하고, 차량 정지 신호를 ATO장치 및 출입문 제어를 가능하게 한다. | 속도감지기에서 출력되는 차량속도가 1㎞/h이하 일 때 열차가 정지된 것으로 판단하고, 출입문 제어를 가능하게 한다. |

5) 차량 경량화 방안 제시

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 경량화 목표 | • 목표 중량(공차 19톤/량) 이하로 설계/제작<br>• 차량의 중량이 전후/좌우 최대한 균일한 분포 |
| 경량화 목적 | • 차량 주행에 필요한 에너지를 감소시켜 운영비를 절감<br>• 부상시스템의 부하를 감소시켜 부상제어 특성 향상<br>• 차량을 지지하는 궤도의 SLIM화를 도모 - 건설비 절감<br>• 부상용 전자석의 균일한 부하특성 및 차량의 동역학적 특성 향상 |

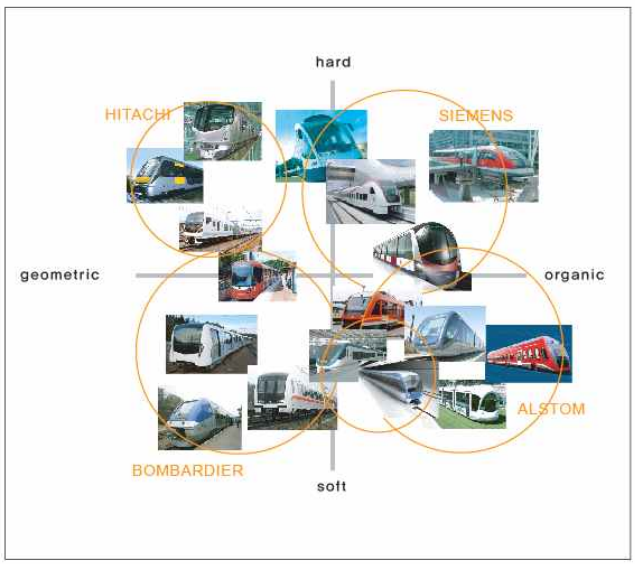
| 항 목 | 내 용 | |
|---|---|---|
| 경량화 방안 | 차체 | • 압축하중 20톤/량 이하 적용<br>• 차체 프로파일 단면 최적화<br>• 측골조 및 지붕골조의 부분적 복합소재 적용/검토<br>• 전두부 골조 최소화<br>• 구조해석을 통한 설계구조 변경/검토 등 |
| | 설비 | • 측창 단층유리 적용<br>• 출입문 재질의 복합소재 적용/검토<br>• 객실의자의 취부방법 개선 및 경량소재 적용<br>• 내장판 두께 및 취부 브라켓 형상 개선<br>• 소형/경량 냉방장치 적용 등 |
| | 기장/제동 | • 기기 취부용 브라켓의 최적화 : 개별 구조해석 실시<br>• 각종 구성품 Box의 재질변경(Steel → Al)<br>• 왕복/무급유 방식의 공기압축기 적용<br>• 대차프레임을 공기스프링용 공기통으로 활용<br>• 소형 연결기 적용 등 |
| | 전기장치 | • 부상/추진 공극 축소 및 차량중량 감소로 관련 전장품의 용량<br>축소<br>• 각 장치의 최적 용량 및 Topology 설계<br>• Box의 재질변경(Steel → Al)<br>• 변압기 및 리액터류 등에 경량소재 철심 적용 등 |
| | 대차 | • Frame 형상 및 두께 최적화<br>• Rib의 수량 변경 및 높이 축소<br>• 선형유도전동기(SLIM)의 공극 축소<br>• 부상용 전자석의 공극 축소<br>• 공유압식 제동실린더 적용 등 |
| 중량목표 관리방안 | • 목표관리 절차<br>- 1단계 : 차량의 개념설계 단계에서 장치(시스템) 및 단품별 목표할당<br>- 2단계 : 차량의 개념/기본설계 후 전체 예상중량 취합 및 목표 재할당<br>- 3단계 : 차량의 상세설계 후 전체 예상중량 취합 및 목표 | |

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | 재할당<br>- 4단계 : 초도(1편성)차량 제작 후 중량측정 및 분석, 목표 재할당<br>- 5단계 : 양산(2편성)차량 제작 후 중량측정 |
| 중량분포 관리방안 | • 차량내 구성품의 중량 정보를 Excel sheet를 활용하여 중량 관리표를 작성<br>• 본 중량 관리표에는 각 구성품의 중량 및 위치 정보가 수록됨<br>• 각 설계 분야(구체,설비,기장,전장,부상시스템,대차)별로 sheet 를 하나씩 할당하여 정보를 입력하면, 각 sheet 별로 취합된 중량 정보가 첫번째 장에 종합적으로 표시됨<br>• 부품의 중량 및 위치정보가 입력되면 차량 전체의 무게 중심의 위치가 특정한 기준점으로부터의 거리로 표시됨<br>• 차량 중심선 및 2번 대차 중심을 기준으로 하여 무게 중심의 거리가 0 이 되도록 중량 배치 상황을 관리 |

(다) 차량 디자인 및 개념/기본 설계

1) 차량 개념 디자인

가) 경쟁사 열차 조형 분석을 통한 컨셉 설정 방향 제시




**독일 지멘스 社**
▶ 유기적이지만 단단한며 견고한 느낌의 디자인

**프랑스 알스톰 社**
▶ 부드러운 선과 조화를 이루는 유기적인 형태의 디자인

**캐나다 봄바르디에 社**
▶ 다양한 면분할로 단단한 이미지와 부드러운 이미지가 조화된 디자인

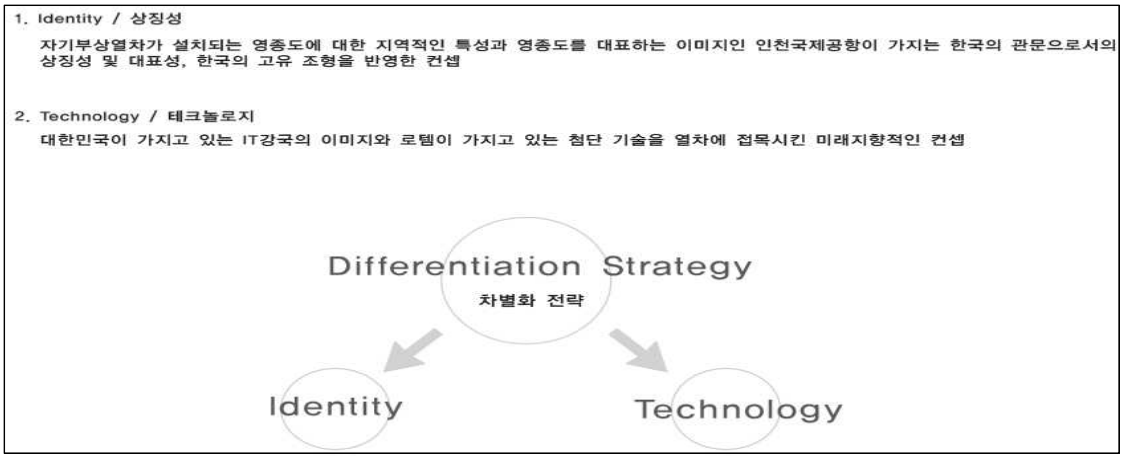
**일본 히타치 社**
▶ 견고한 느낌에 간결하며 디테일이 살아있는 디자인

비슷한 조형과 형태의 열차로 기존 시장은 이미 포화상태

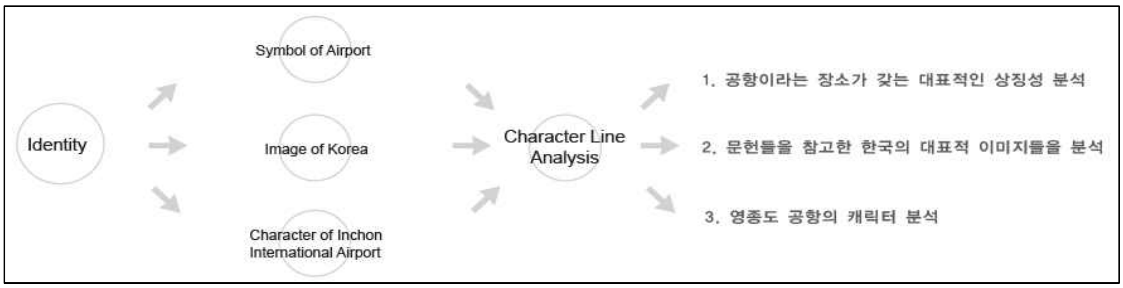
혁신적이며 독창적인 디자인이 아니면 기존시장에서 경쟁력이 없다고 판단

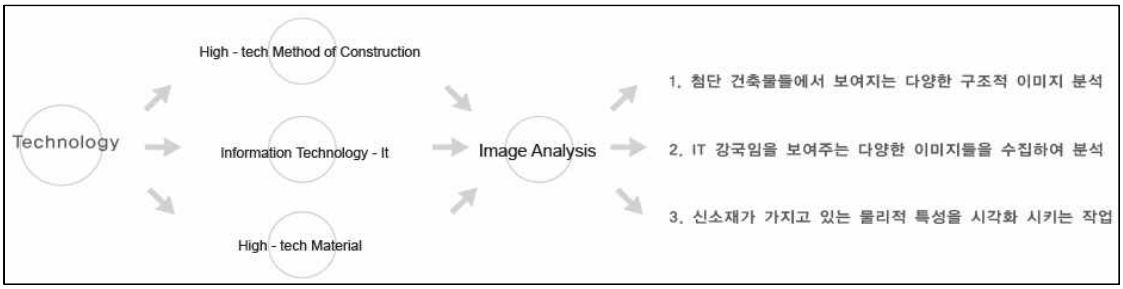
**기존 열차와 근본적으로 차별화 될 수 있는 색다른 컨셉의 디자인을 제시하도록 방향 설정**

나) 그랜드 컨셉 제안

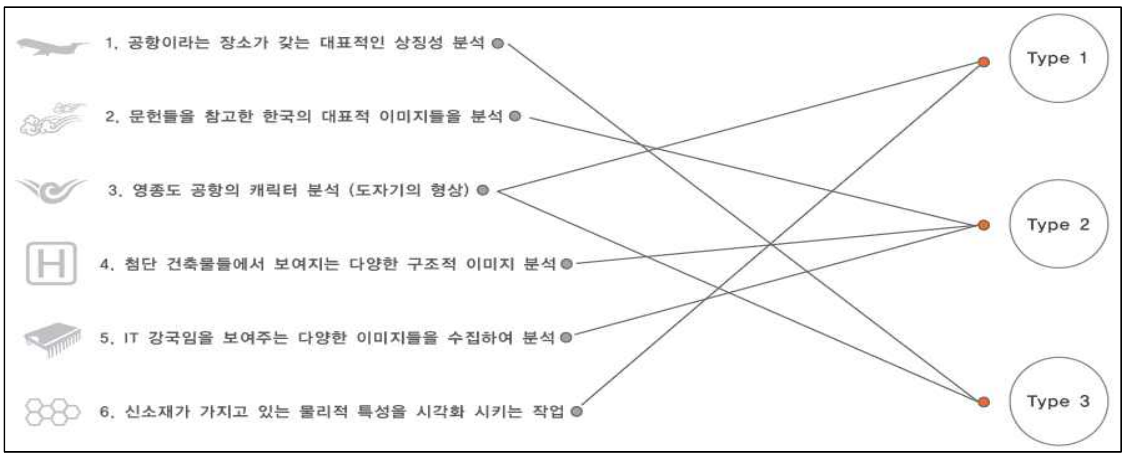



다) 그랜드 컨셉에서 6가지 세부 컨셉 파생

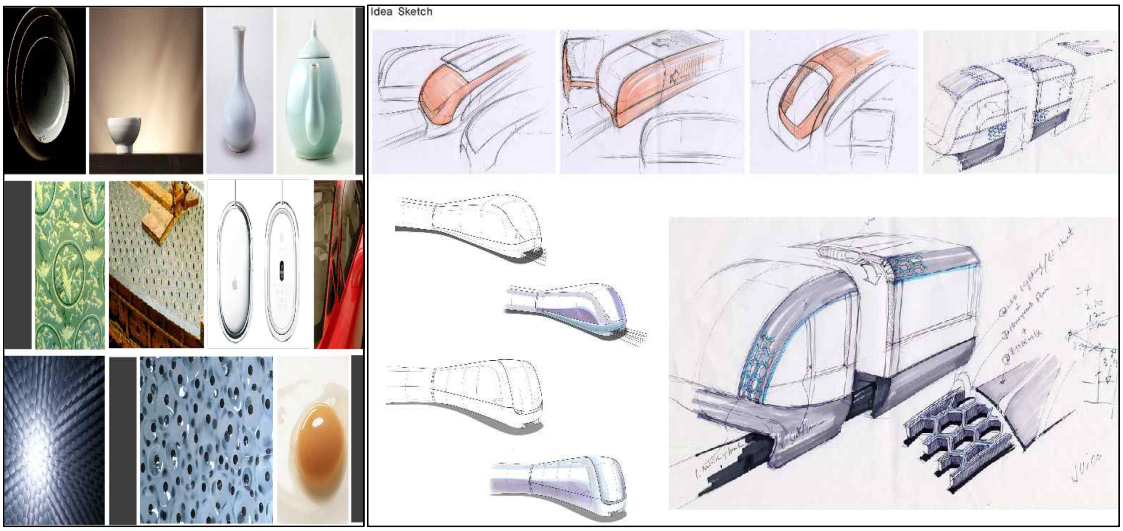


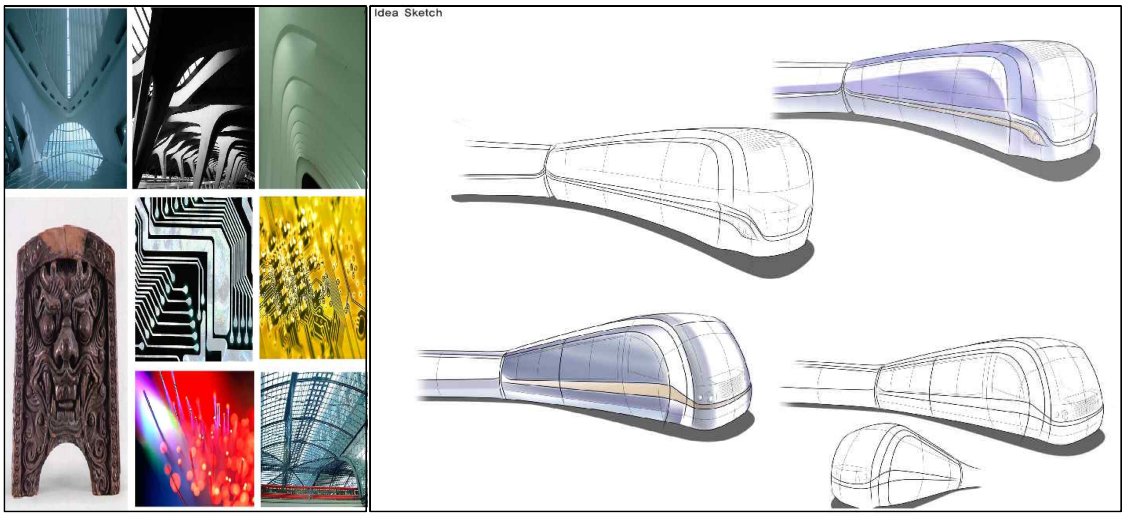

라) 6가지 세부 컨셉을 종합한 3가지 타입의 디자인 제시(아이디어스케치)



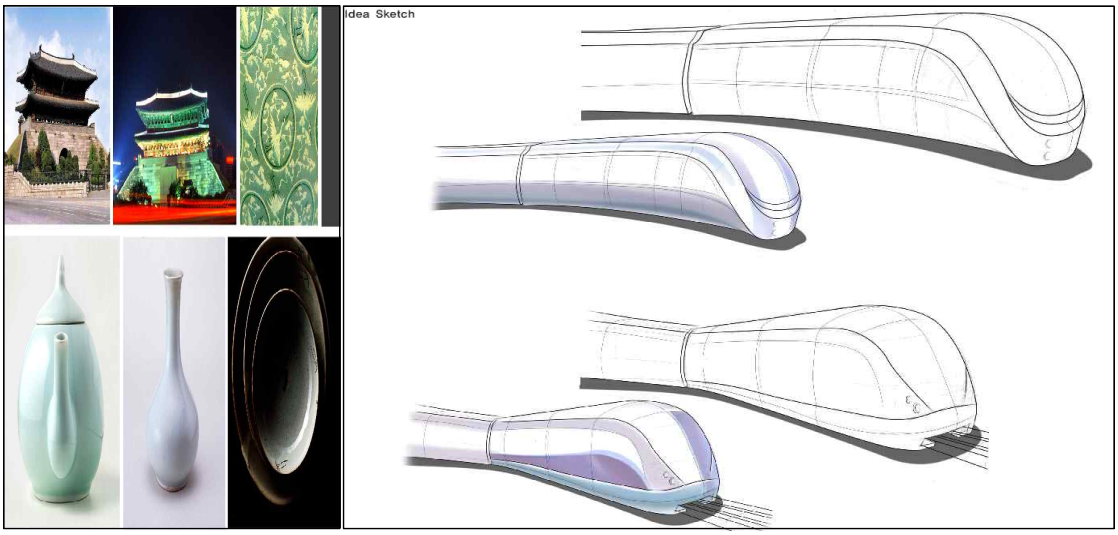
마) Type 1( + ) : 한국을 대표할 수 있는 문화유산인 도자기와 첨단 기술을 상징하는 벌집구조를 조합한 타입




바) Type 2( + + ) : 한국적 이미지와 첨단건축물에서 보여지는 이미지, 그리고 IT강국을 상징하는 이미지를 조합한 타입



사) Type 3( + ) : 공항이 가지는 한국의 관문으로서의 상징성과 영종도 공항의 이미지를 조합한 타입




1) 대차 프레임 피로해석 프로세스 제안

가) 프로세스 제안의 배경 및 목표

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 내구성능을 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 System에 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 대한Stress 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

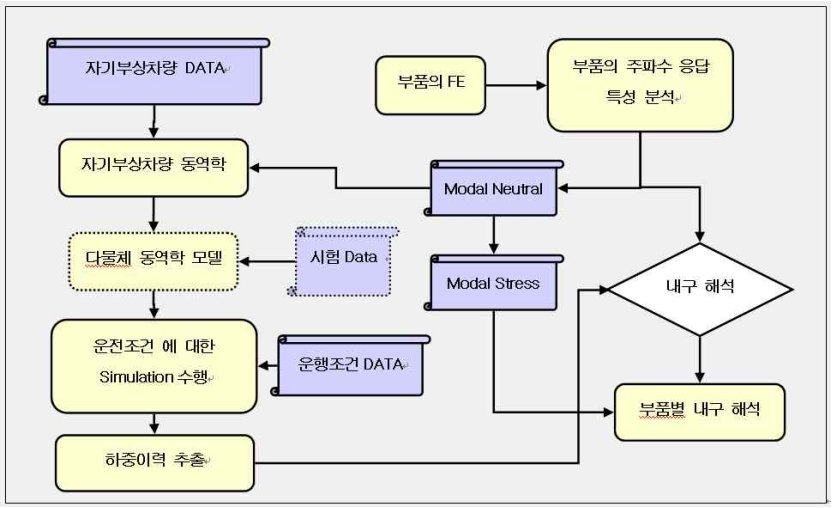
- 자기부상차량의 동역학 모델
- Correlation을 위한 시험 데이터

- 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.

나) 대차 프레임 피로해석 프로세스

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 다음과 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

⑥ 동역학 Simulation및 Correlation

⑦ 하중 이력 추출 및 주파수 분석

⑧ 내구해석 대상 부품의 주파수 응답 특성 분석

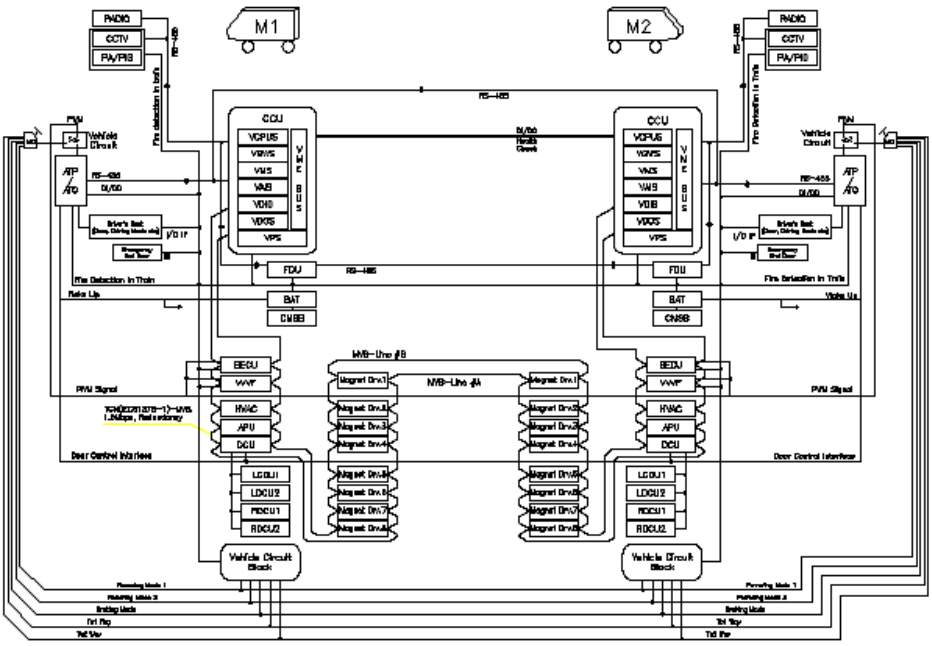
⑨ 주파수 응답 특성에 따른 부품별 내구 해석 방향 선정

⑩ 각 부품에 대한 내구 해석 수행

이상의 프로세스를 자기부상대차의 피로내구해석 프로세스로 제안/추진함.

1) 종합제어장치(TCMS) 개념설계

가) 시스템 구성도



2량 1편성인 경우 차량의 구성은 MC1-MC2로 구성되며, 각 Mc차량에 각각의 중앙장치(CCU)가 설치된다. 각각의 TCMS 중앙장치는 통신 네트워크(Train Network)를 통해 상호 연결되어 있으며, 차량간 송수신되는 데이터를 주고 받는다. TCMS 운행기록 및 고장기록을 무선으로 기지시스템으로 송신하는 무선 송신장치(RTD)는 1/2운전실에 설치되며, 중앙장치와 RS-485 통신방식으로 연결되어 있다. 대부분의 하부장치는 TCN 네트워크로 TCMS에 연결되어 있으나, TCN을 지원하지 못하는 장치는 RS-485방식으로 TCMS와 연결한다. 휴대용 TCMS 시험기는 RS-232 방식으로 TCMS 중앙장치의 CPU보드와 연결되어 기능을 수행한다. TCMS는 통신방식의 인터페이스 외에 각 하부장치 및 차량의 로직회로와 디지털 입출력 및 아날로그입력 인터페이스로 연결되어 있다. 이러한 인터페이스는 TCMS의 기본 기능인 제어 및 감시 기능을 보다 정확하게 수행가능 하도록 한다.

나) 차량간 및 차량내 통신 네트워크

TCMS 장치간 상호연결 메인 통신은 최근에 널리 사용되는 TCN네트워크 방식을 적용한다. 이 방식은 IEC61375-1규격에 따른다. TCN 통신은 크게 MVB(Multifunction Vehicle Bus)와 WTB(Wide Train Bus)로 구성되는데, 차량간 또는 차량내 통신방식은 MVB 방식을 적용한다.

차량 내에서 TCMS 장치와 하부장치간 통신 인터페이스를 위한 연결은 크게 두 가지로 구분된다. IEC 61375-1을 만족하는 TCN의 MVB 네트워크와 일반적으로 철도차량에서 많이 사용되고 있는 시리얼 통신 방식인 RS-485 통신이 그것이다. TCMS 대부분의 주변장치와 MVB 통신을 실시하고 MVB 통신을 지원하지 못하는 장치에 대해서는 RS-485방식을 적용한다. IEC 규격에 의하면 MVB네트워크는 ESD(Electrical Short Distance : 20m), EMD(Electrical Middle Distance : 200m) 및 OGF(Optical Glass Fiber)의 3가지로 구분된다. 자기부상열차에 적용할 TCMS는 이 중에서 EMD 타입을 적용한다. 트랜스포머 절연 방식에 의해 통신이 수행되는 EMD 타입은 노이즈에 대해 ESD 타입보다 강하므로 철도차량의 차량내 통신으로 적합하기 때문이다. MVB에 대한 통신사양은 아래와 같다.

- 통신 속도 : 1.5Mbps
- 통신 거리 : 200m-EMD 타입
- 통신 케이블 : 차폐된 꼬임선(Shielded Twisted Pair), 120ohm

• 통신 주기 : 1ms ~ 128 ms

MVB 네트워크는 라인 A와 라인 B의 이중화로 연결되어 있으며, WTB에서와 같은 방식으로 A라인과 B라인을 사용한다.

RS-485 통신은 철도차량 분야에서 일반적으로 많이 사용되어 왔으며, 신뢰성이 증명된 통신 방식이다. 현대로템은 이 방식을 통하여 기존 국내/외의 전동차에서 추진장치, 제동장치, 신호장치 및 서비스 기기등과 통신을 수행하여 왔으며, 통신의 신뢰성을 확보하여 왔다. RS-485 통신의 사양은 아래와 같다.

• 통신 속도 : 9600/19200/38400bps
• 통신 방식 : HDLC 동기방식/비동기방식
• 통신 케이블 : 차폐된 꼬임선(Shielded Twisted Pair), 120ohm
• 통신 주기 : 연결되는 하부장치에 따라 결정됨.

차량 내의 TCN-MVB 및 RS-485 통신연결은 각 하부장치에 따라서 결정 예정임.

4) 보조전원장치(SIV 또는 APU) 기본설계

가) 보조전원장치 충전저항(CHR) 산출

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 기능 및 기본사양 | • 입력 Filter Capacitor 충전, 초기 돌입 전류 감소<br>• 정격 입력 전압 : DC 1500[V]<br>• 입력 전압 변동범위 : DC 900[V] ~ DC 1800[V]<br>• Filter Capacitor : 6000[uF] |
| 충전저항 용량 계산 | • 최대 전압 인가시 (VDC=1800[V]) τ에 걸리는 시간을 2sec 이하로<br>설정하면,<br>τ≤2[sec] ∴ R X C ≤ 2[sec]<br>- 저항값 선정<br>$R \leq \frac{2}{C} = \frac{2}{6000 \times 10^{-6}} \leq 333[\Omega] \therefore R = 300[\Omega]$<br>-저항 300[Ω]일 때 저항의 소비 전력은 |

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | $I=\frac{V}{R}=\frac{1800}{300}=6[A]\ P=I^2R=6^2\times300=10800[W]$<br>1초 단시간 정격은 20~28배 보장하므로, $P=\frac{10800}{25}=432[W]$ |
| | • 정상 전압 인가시 (VDC=1500[V]) τ에 걸리는 시간을 2sec 이하로<br>설정하면,<br>τ≤2[sec] ∴ R X C ≤ 2[sec]<br>- 저항값 선정<br>$R\leq\frac{2}{C}=\frac{2}{6000\times10^{-6}}\leq333[\Omega]\ \therefore R=300[\Omega]$<br>- 저항 300[Ω]일 때 저항의 소비전력은<br>$I=\frac{V}{R}=\frac{1500}{300}=5[A]\ P=I^2R=5^2\times300=7500[W]$<br>1초 단시간 정격은 20~28배 보장하므로, $P=\frac{9000}{25}=300[W]$ |
| 결과 | • 도시형 자기부상열차 보조전원장치의 충전저항(CHR)은 위의 계산 및 검토<br>결과를 근거로 최대전압을 기준으로 산정하고 소비전력의 여유를 두어<br>300[W]/600[W] 이상으로 선정한다 |

나) 보조전원장치 방전저항(DSR) 산출

| 항 목 | 내 용 | |
|---|---|---|
| 기능 및 기본사양 | • 입력 Filter Capacitor의 축적된 에너지를 보조전원장치 정지시 적절한<br>방전저항으로 에너지를 방전하여 작업자의 안전을 확보함<br>• 기본 사양 | |
| 방전저항 | DSR1 | DSR2 |

| 항 목 | 방전저항 종류 | |
|---|---|---|
| | DSR1 | DSR2 |
| 정격 입력 전압 | DC1500V | DC300V |
| 입력 전압 변동범위 | DC900 ~ 1800V | DC255 ~ 345V |
| Filter Capacitor | 6000uF | 4.7mF |

| 항 목 | 내 용 | |
|---|---|---|
| 용량 계산 | •최대전압 인가시 4분 이내에 50[V] 이하로 방전하기 위해서, $\frac{50[V]}{1800[V]} \cong 0.028$이므로, 방전시, 시정수는 4τ(=0.019)가 적당함. $4\tau \leq 240sec \ \therefore \ RC \leq 60sec$ •저항값 선정 $R \leq \frac{60}{C} = \frac{60}{6000\times10^{-6}} \leq 10000[\Omega] \ \therefore R = 10[k\Omega]$ •저항10[kΩ]일 때, 소비전력 $P = \frac{V^2}{R} = \frac{1800^2}{10000} = 324[W]$ •4분 후의 캐패시터 잔류 전압 $V = V_{input} \times e^{-\left(\frac{t}{RC}\right)} = 1800 \times e^{-\left(\frac{240}{10000\times6000\times10^{-6}}\right)} = 32.97[V]$ | •최대전압 인가시 4분 이내에 50[V] 이하로 방전하기 위해서, $\frac{50[V]}{345[V]} \cong 0.145$이므로, 방전시, 시정수는 2τ(=0.14)가 적당함. $2\tau \leq 240sec \ \therefore \ RC \leq 160sec$ •저항값 선정 $R \leq \frac{120}{C} = \frac{120}{4.7\times10^{-3}} \leq 25531.9[\Omega] \ \therefore R = 10[k\Omega]$ •저항10[kΩ]일 때, 소비전력 $P = \frac{V^2}{R} = \frac{345^2}{10000} \approx 11.9[W]$ •4분 후의 캐패시터 잔류 전압 $V = V_{input} \times e^{-\left(\frac{t}{RC}\right)} = 345 \times e^{-\left(\frac{240}{10000\times4.7\times10^{-3}}\right)} = 2.09[V]$ |
| 결과 | • DSR은 최대전압을 기준으로 산정하고 소비전력의 여유를 두어 선정함<br>- DSR1 <u>10[kW]/1200[W] 이상</u><br>- DSR2 <u>10[kW]/40[W] 이상</u><br><u>으로 선정함</u> | |

다) 보조전원장치 입/출력 필터 산출

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 기본 사양 | • 정격 입력 전압 : DC 1500V<br>• 입력 전압 변동범위 : DC 900 ~ 1800V<br>• 정격 출력 전압 : AC 380V (±5%) / DC 300V (±15%)<br>• 정격 용량 : 95kVA (AC : 50kVA, DC : 45kW / 연속정격) |

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | • 과부하 정격 : AC 380V 출력 150% (1분간)<br>DC 300V 출력 300% (10초간)<br>• 역률(Power Factor) : 0.85<br>• 스위칭 주파수 : 1980Hz |
| 입력 필터부 용량 계산 | • 보조전원장치 내에서 발생된 전압 리플을 필터 캐패시터에서 흡수<br>하도록 설계하고, 필터 리액터를 추가하여 가선으로 유출되는 것이<br>없도록 설계<br>• 악조건에 대비, 가선전압의 맥동이 필터 캐패시터에 반영됨을 가정<br>하고 설계<br><br>• **입력필터 캐패시터**<br>- 일반적으로 가선 전압은 12펄스 정류기에 의해 정류되므로 다음과<br>같이 캐패시터의 방정식을 이용하여 캐패시터의 용량을 선정<br>$C = I_{DC} \times \frac{\Delta t}{\Delta V}$, $\Delta t = \frac{\pi}{6} \times \frac{1}{2\pi \times f}$, f : 60Hz, $I_{DC}$: 최대전류,<br>$\Delta V$ : 허용리플전압<br><br>- 입력전압의 최저 허용치와 부하용량에 따른 입력단에 흐르는 최대전류<br>$I_{DCMAX} = \frac{(50000 \times 0.85) + 45000}{900} \times 1.5 = 145.8[A]$<br>- 허용 리플전압을 75V (5%) 이하로 유지 위한 입력 필터단의 캐패시터<br>용량<br>$C = 145.8 \times \frac{\frac{\pi}{6} \times \frac{1}{2\pi \times 60}}{75} = 2700[\mu F]$<br>- DC부하단을 고려하여 6000[uF]으로 선정 |

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | • **입력필터 리액터**<br>- 입력필터 리액터는 입력필터 캐패시터와 함께 L-C필터를 구성<br>- 입력필터의 회로 정수값이 궤도 회로와 공진이 되지 않도록 리액턴스<br>값을 선정<br>- 인버터에 의해 발생하는 리플 전류는 60Hz 기본파의 배수 고조파<br>이므로 공진주파수 $f_o$=60Hz 이하가 되도록 L, C 값을 선정하여<br>필터는 입력단 고조파를 억제함<br>- 차단주파수를 30Hz로 선정한다면,<br>$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 30\,[Hz]$<br>$L = \frac{1}{(2\pi f_c)^2 C} = \frac{1}{(2\pi\times 30)^2\times 6000\times 10^{-6}} = 4.69[mH]$<br>- 크기 및 효율과 열 손실을 고려하여 5[mH]로 선정 |
| 입력 필터부 용량 계산 | • 인버터 출력 전류 $I = \frac{95\,[\mathrm{kVA}]}{\sqrt{3}\times 640\,[\mathrm{V}]\times 0.85} = 100.82\ [\mathrm{A}](\mathrm{rms})$<br>• AC 출력 전류 $I = \frac{50\,[\mathrm{kVA}]}{\sqrt{3}\times 380\,[\mathrm{V}]\times 0.85} = 89.4\ [\mathrm{A}](\mathrm{rms})$<br>• DC 출력 전류 $I = \frac{45\,[\mathrm{kW}]}{300\,[\mathrm{V}]} = 150\ [\mathrm{A}]$<br>• **AC 필터 리액터(ACL)**<br>AC필터 리액터에 인가되는 고조파 전압의 rms값은 인버터 출력전압 AC<br>640V이며, 이 때의 스위칭 파형은 입력전압의 변동에 따른 MI<br>(Modulation Index)를 조정하여 생성한다. 이러한 스위칭으로 나타나는<br>고조파 전압의 rms값은<br>$V_{RIPPLE\_rms}$ = 640[Vrms] X 0.3 = 192 [Vrms]<br>리플 전류를 기본파의 20%로 하면,<br>$I_{RIPPLE\_rms}$ = 0.2 X 100.82[Arms](인버터 출력전류) = |

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | 20.2[Arms]<br>주고조파는 스위칭 주파수의 2배이므로, 3960[Hz] 이다.<br>따라서, $2\pi fL \times I_{ripple_rms} = V_{ripple_rms}$로부터,<br>$L = \frac{192}{2\pi \times 3960 \times 20.2} \approx 0.382[\mathrm{mH}]$<br>리액터의 전기적 특성과 온도 변화를 고려하여 여유를 두어 L=0.5[mH]<br>으로 선정.<br><br>• **AC 필터 캐패시터(ACC)**<br>AC필터 캐패시터는 필터 목적이므로 출력전압의 왜율을 향상시키는<br>설계를 해야 한다. $L_f$ - $C_f$의 공진주파수는 부하의 최저차 고조파인<br>1980[Hz]보다 최소 4배 아래인 주파수 f=410[Hz]에 위치시켜 설정해야<br>한다. 이 공진주파수를 근거하여 아래와 같이 AC필터 캐패시터를 선정<br>한다.<br>$C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} = \frac{1}{(2\pi \times 410)^2 \times 0.5 \times 10^{-3}} = 301[\mu\mathrm{F}]$<br>위의 결과와 같이 AC필터 캐패시터를 C=300[uF]로 선정. |

라) IGBT 용량 검토

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| 상세 조건 | • 트랜스포머의 1차측 전압 : AC 640V<br>• 부하 역률 : 0.85<br>• 소자 선정 시 적용된 온도 : 125 ℃<br>• 적용된 IGBT 소자의 Vge = 15[V] |
| 정격 전류 산출 | • IGBT 소자에 흐르는 전류는 입력 전압의 변동에 관계없이 제어부의<br>스위칭 파형의 Modulation Index를 제어하므로, 트랜스포머 1차측 전압을 |

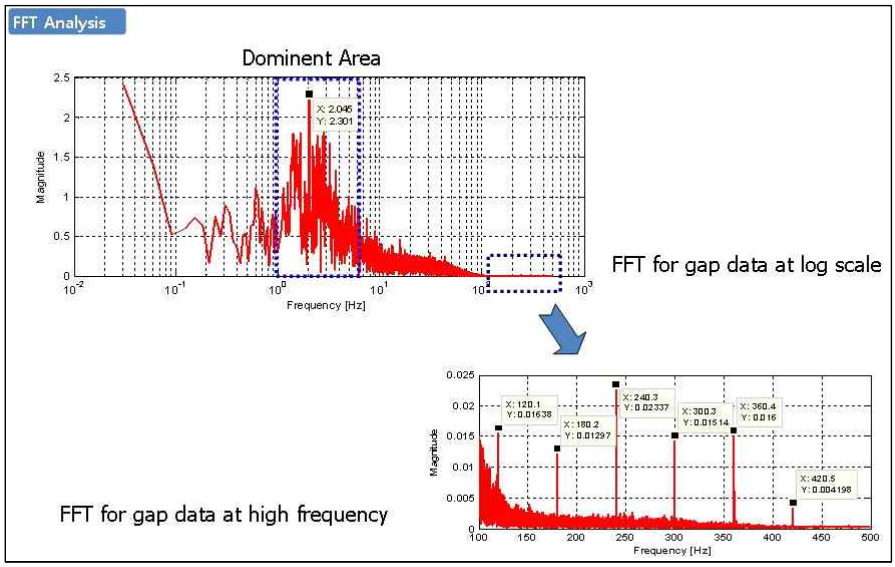
| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | 일정하게 유지한다.<br>이러한 실시간 제어를 통하여 소자에 흐르는 정격전류($I_{IN}$)는 아래와 같다.<br>$P=\sqrt{3}\times V(\text{트랜스1차측})\times I(\text{트랜스1차측})$<br>$95[\text{kVA}]=\sqrt{3}\times 640\times I_{IN} \quad \therefore I_{IN}\cong 85.7[\text{A}]$<br>• 자기부상열차의 정격 부하량이 95[kVA]일 때 IGBT 소자에는 85.7[A]의AC 전류가 흐르며, 이때에 과부하정격과 과부하시 Peak 전류를 감안하여 전류의 크기를 구하면, 아래와 같다.<br>- 150% 과부하시 : $85.7\times 1.5\cong 128[A]$<br>- 150% 과부하시 Peak 전류 : $\sqrt{2}\times 128\cong 182[A]$<br>• 고조파 성분과 Margin Factor를 고려하고 Peak 전류에 적용하여 계산<br>하면 다음과 같다.<br>- 182 (Peak 전류) ×1.2 (고조파) ×1.3 (Margin) = 284[A]<br>• 과부하 정격과 고조파 성분과 여유율을 고려하면 284[A] 이상의 소자를<br>사용하여야 하며, 소자 메이커의 정격전류, 특성, 온도 조건 등을 고려<br>하여 선정한다.<br>• 도시형 자기부상열차 보조전원장치에서는 전류의 마진을 고려하고 자연<br>냉각 방식과 제품의 신뢰성 측면, 스위칭 주파수 등을 고려하여 400[A]급을 선정한다. |
| 정격<br>전압<br>산출 | • 입력전압 변동 범위의 최대치가 DC 1800V이고, 전력 반도체 소자의<br>특성상 소자 내부의 인덕턴스, 필터 캐패시터와 소자 사이의 전선에서<br>오는 기생 인덕턴스의 크기에 의하여 스위칭시(Turn Off시) 스파이크<br>전압이 발생한다. |

<table>
<tr><th>항 목</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td></td><td>• 스파이크 전압의 크기를 줄이기 위하여 소자와 캐패시터의 연결을 Bus<br>Plate를 사용하여 연결하고 소자의 양단에 스너버 캐패시터를 설치한다.<br>- Turn-Off 예상 Spike 전압<br>입력 최대 전압 X 1.3 = 1800 X 1.3 = 2340 V<br>$V_{CE}$ ≥ 2340 X 1.2 (margin) = 2808V<br>• 소자의 Turn-Off 예상 Spike 전압치에 대한 Margin을 고려하면 도시형<br>자기부상열차 보조전원장치의 소자 정격 전압은 제품의 사양을 고려하여 2808V 이상 급으로 선정한다.</td></tr>
<tr><td>냉각<br>계산<br>검토</td><td>• 적용소자<br>정격 전압 3300[V], 정격 전류 400[A] Dual Type, 소자메이커 EUPEC<br>• 소자의 손실 계산 결과(IGBT 소자의 최대 Junction 온도 : 125℃)<br><table><tr><th colspan="2">구 분</th><th>손 실 량 (W)</th></tr><tr><td rowspan="2">IGBT</td><td>도통 손실</td><td>49.58</td></tr><tr><td>스위칭 손실</td><td>282.38</td></tr><tr><td rowspan="2">DIODE</td><td>도통 손실</td><td>9.16</td></tr><tr><td>스위칭 손실</td><td>65.93</td></tr><tr><td colspan="2">IGBT 1개 손실</td><td>407.05</td></tr><tr><td colspan="2">IGBT MODULE 1개 손실</td><td>814.1</td></tr><tr><td colspan="2">IGBT MODULE 3개 손실</td><td>2442.3</td></tr></table>• 결론<br>- 도시형 자기부상열차 보조전원장치용 IGBT 모듈 1개를 취부하고,<br>주위온도의 최고치인 40℃를 기준으로 설계 시 인버터 모듈 부분의 온도<br>상승량을 50℃ 이하로 설계하므로 열저항계수가 50℃/814.1 = 0.0614<br>[℃/W] 이하인 히크싱크를 사용하면 자연 냉각된다<br>- IGBT 소자의 최대 정션 온도인 125℃ 보다 25℃ 이상의 이득(Margin)을</td></tr>
</table>

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| | 고려하여 제품의 신뢰성을 보장한다. |

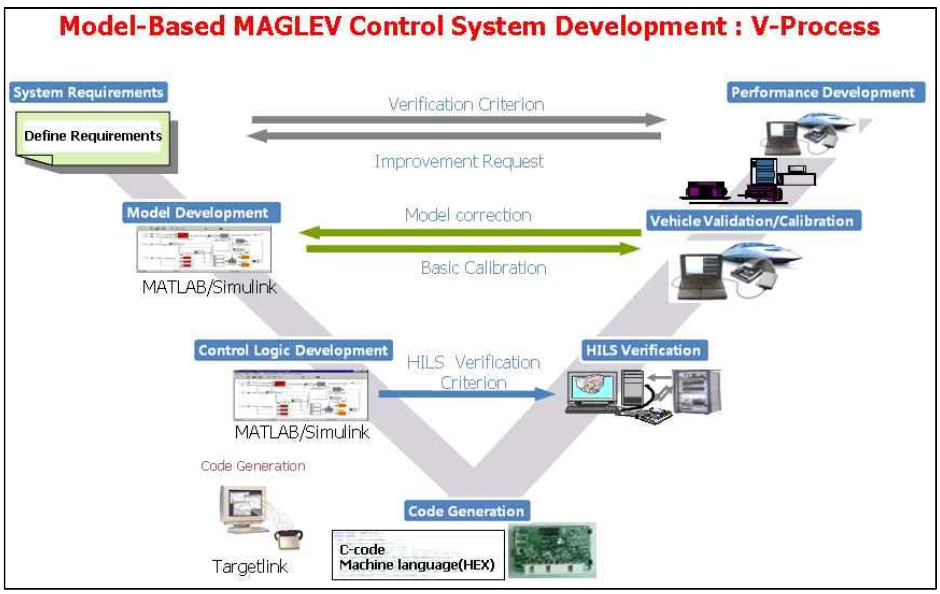
5) 자기부상열차 제어기술 향상 방안 연구

가) 지경부 중기거점 과제 차량 데이터 분석



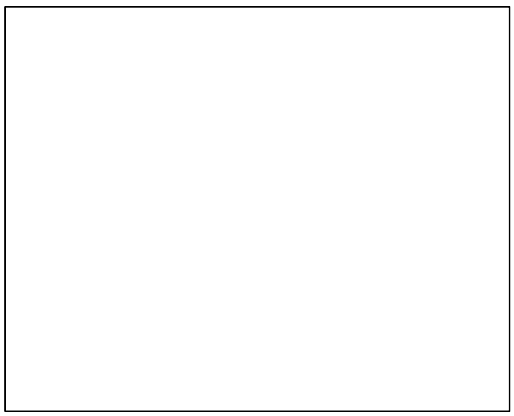

→ 기존 차량의 데이터 분석을 통한 특성 파악 및 개선 방향 검토/제시

나) 모델 기반 제어 시스템 개발 프로세스 제안

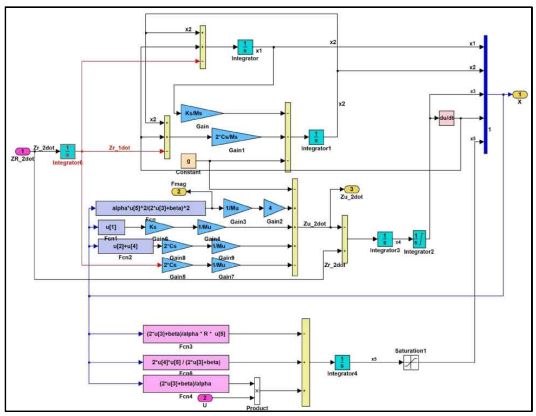



→ 요구사항 분석, 모델 개발, 시뮬레이션, 검증/평가의 체계적인 프로세스 제안

다) 차체/2차현가장치/전자석을 고려한 자기부상열차 모델링 및 시뮬레이션 기법 개발

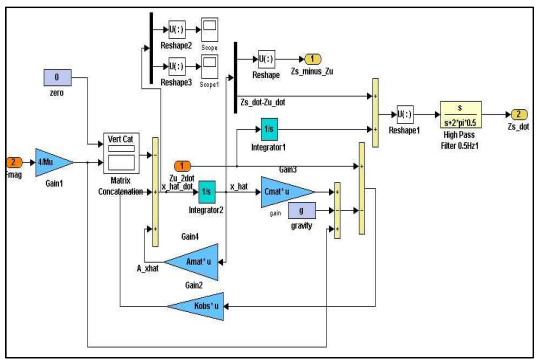


[1/6 Vehicle Modelin]

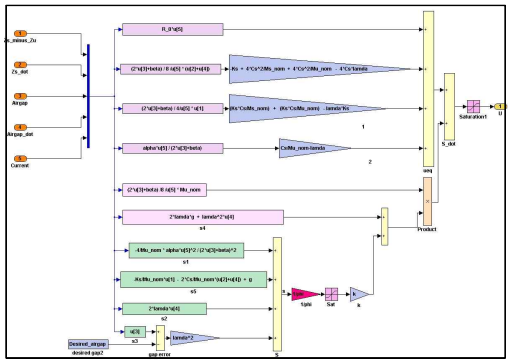


[MATLAB/Simulink Simulation 개발]

라) 비선형 시스템을 고려한 제어기 개발
(State Observer 및 Sliding Mode Controller)



[State Observer]



[Sliding Mode Controller]

마) 시험 결과

지경부 차량에 대한 정지부상 시험 적용 결과, 하드웨어 출력 제한에 의해 정지부상 불가하였음. 향후에는 보다 심층적인 검토를 통한 알고리즘 현실화를 연구할 예정임.

(2) 차량 기본/상세 설계

(가) 차량디자인(조감도) 결과

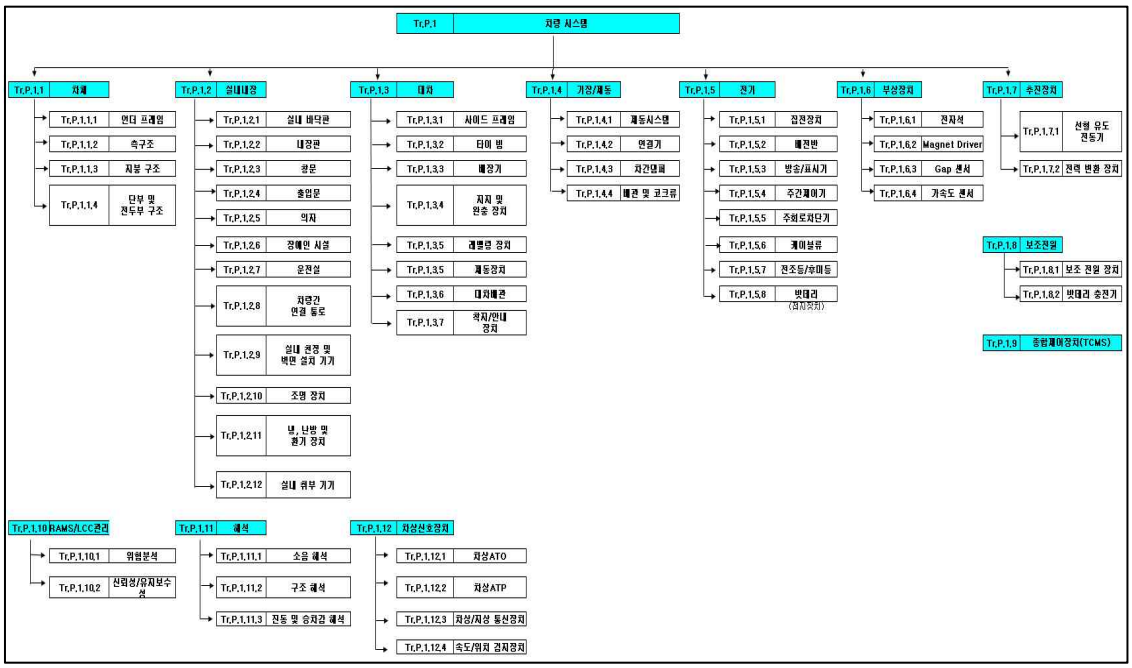
(나) 차량시스템, 부품구성도 및 주요 장치 설계 요구사항 확정

1) 차량시스템 주요 특징

| 구 분 | 주 요 특 징 | 비고 |
|---|---|---|
| 차체 | - Single Skin 알루미늄 압출재 및 복합소재 적용으로 경량화<br>- 각 골조별 모듈화 확대 적용 | 압축하중 20tonf |
| 실내 내장 | - 전기식 plug-in 아웃 슬라이딩 방식의 출입문 적용<br>- 수평형 스크롤 콤퓨레샤를 적용한 냉방장치로, 소음/진동 저감 및 소형/경량화<br>- 경량 쿠션 및 난연 포지를 적용, 자연스러운 배치의 승객 의자 | |
| 제동 | - 공/유압변환 실린더 적용으로 소형/경량화 및 응답성 향상<br>- 전기제동(회생,역상) 영역 확대로 제동 슈 마모 최소화 | |
| 대차 | - 곡선통과성능 향상을 조향 메커니즘 적용<br>- 대차의 횡 변위 흡수를 위한 sliding table 적용<br>- 비상휠/스키드 적용 | 대차수량 4대/량 |
| 부상 시스템 | - Drag Force를 줄이고 경량화를 위해 Long Pole 전자석 적용<br>- 시스템 Redundancy 개념 적용 | 전자석 수량 16대/량 |
| 추진 시스 | - 추진전동기(LIM)의 수직력 최소화를 위한 제어 알고리즘 적용 | LIM 수량 8대/량 |

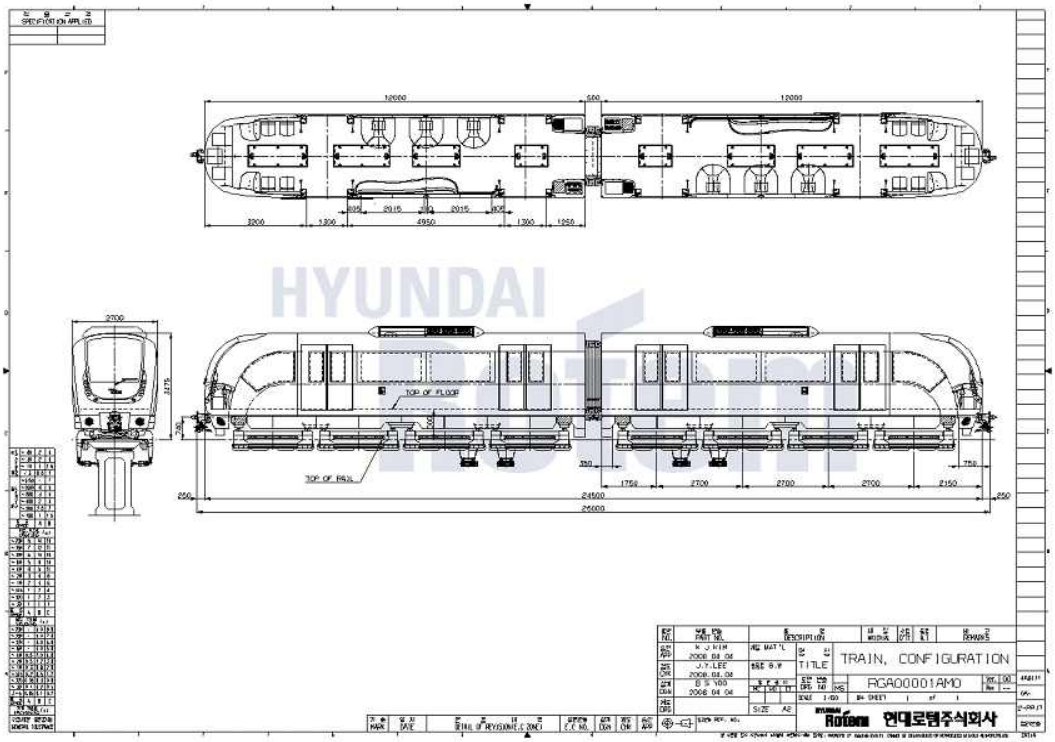
| | | |
|---|---|---|
| 템 | - 고조파에 의한 추진전동기(LIM)에서의 자기음 최소화 | |
| 전기/신호 장치 | - 정전시에도 일정시간 부상유지를 위한 Back-up 밧데리 적용<br>- 고주파 공진회로를 이용 보조전원장치의 소형/경량화<br>- 차량과 사령실간의 실시간 화상/음성 전송<br>- 무선통신 기반(CBTC) 차상 신호장치<br>- TCN통신에 의한 열차제어 및 상태 모니터 | |

2) 부품구성도 PBS(Product Breakdown Structure)



(다) 차량 주요장치 기본/상세 설계

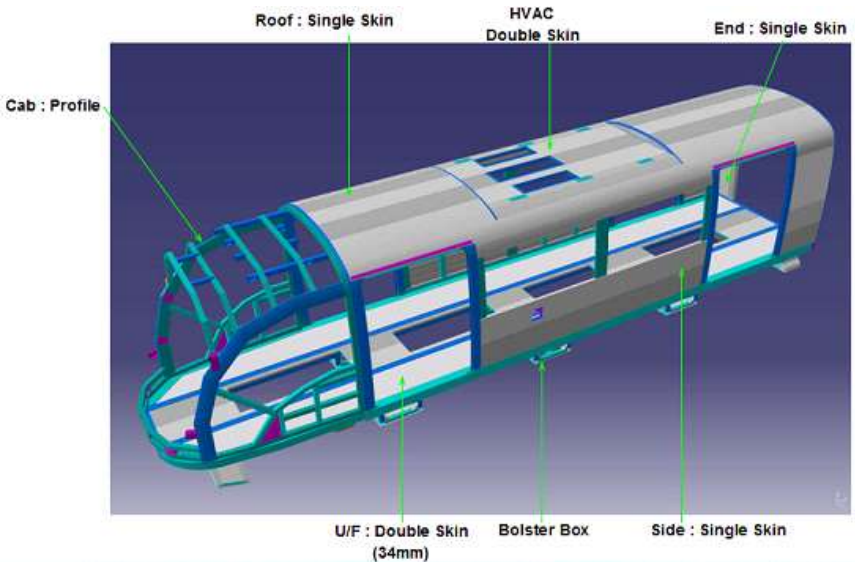
1) 차량 일반도 및 기본사양

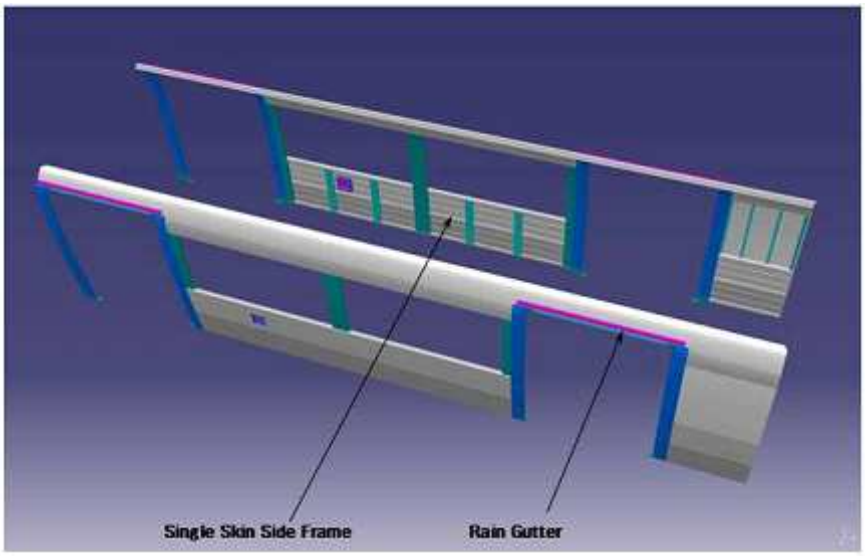



2) 차체 설계 내용

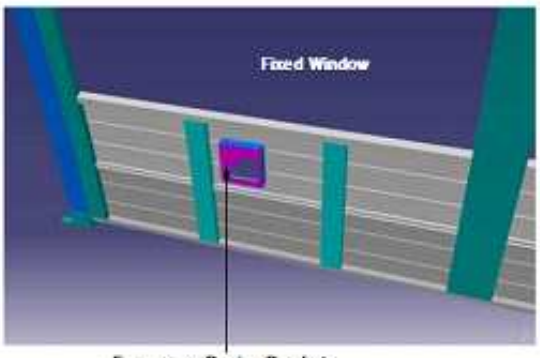
가) 차체 설계 목표 : 경량화 및 최적화 설계

- 사이드 프레임, 지붕 프레임 Single Skin 구조 설계
- 언더 후레임 플로어 압출재 두께 축소
- 기기 브라케트 및 내부골조 최소화 설계
- 충분한 강도, 강성 확보

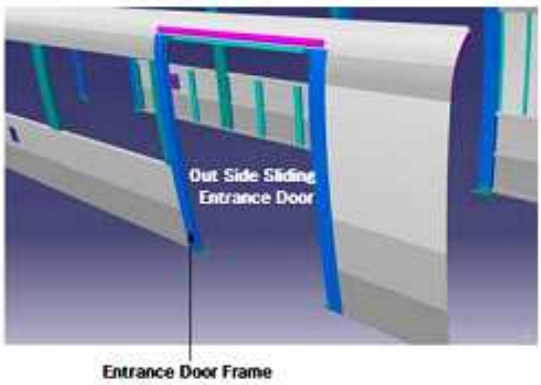





나) 창문 부, 비상코크

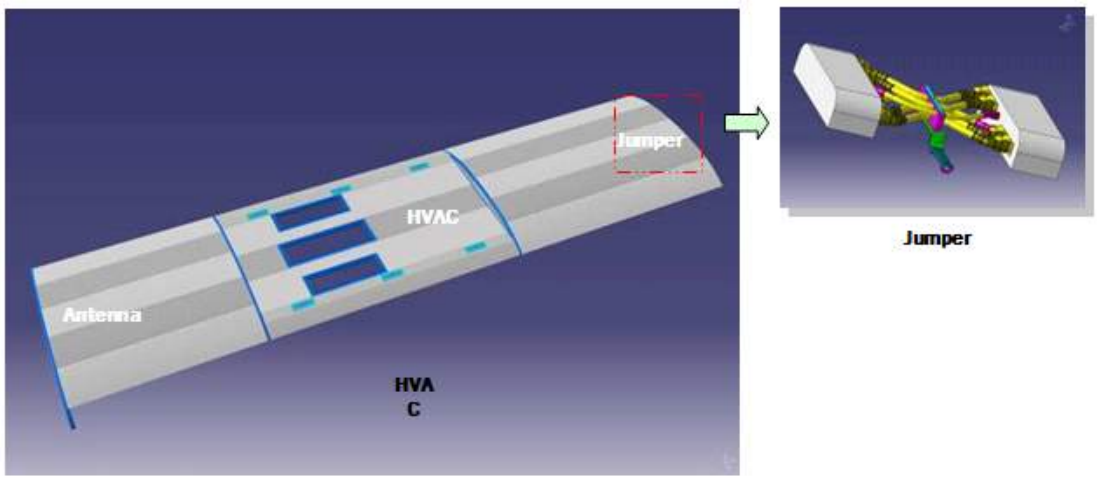



다) 출입문 부



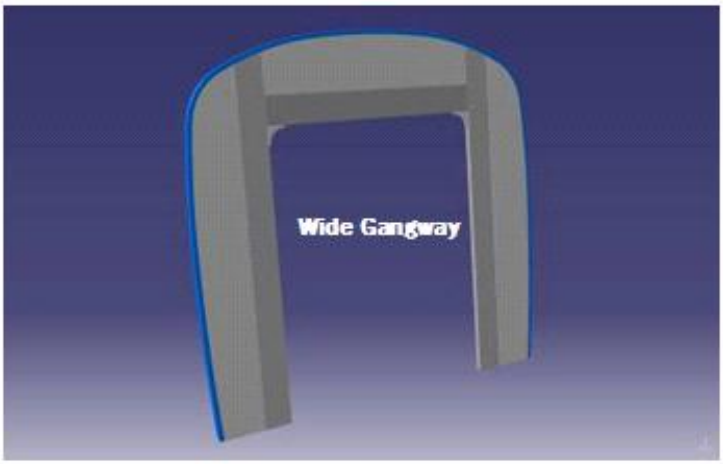

라) 지붕 : Sinle Skin 구조

HVAC 설치부 : Double Skin 구조

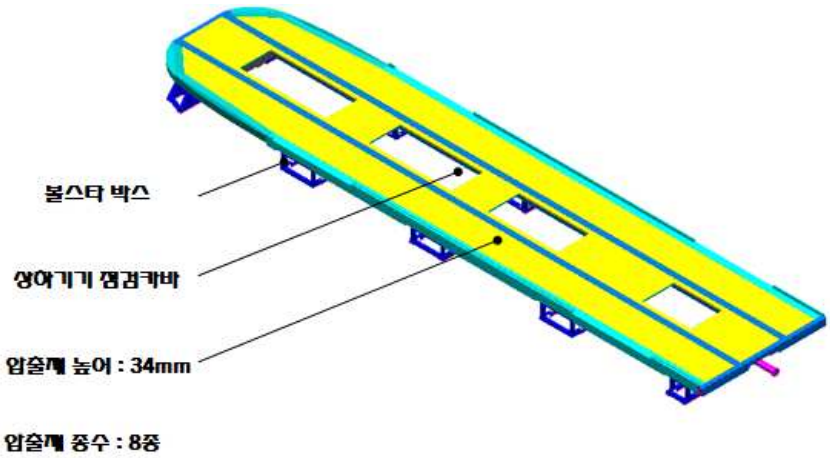


마) 엔드부 : Sinle Skin 구조

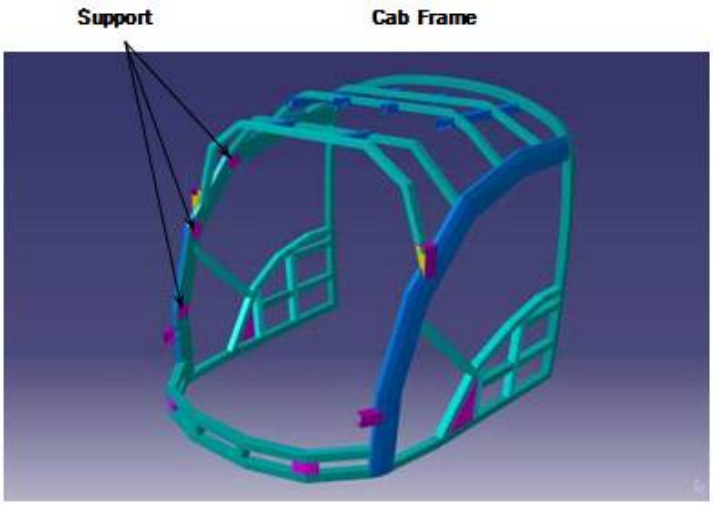
도어부 : Double Skin 구조

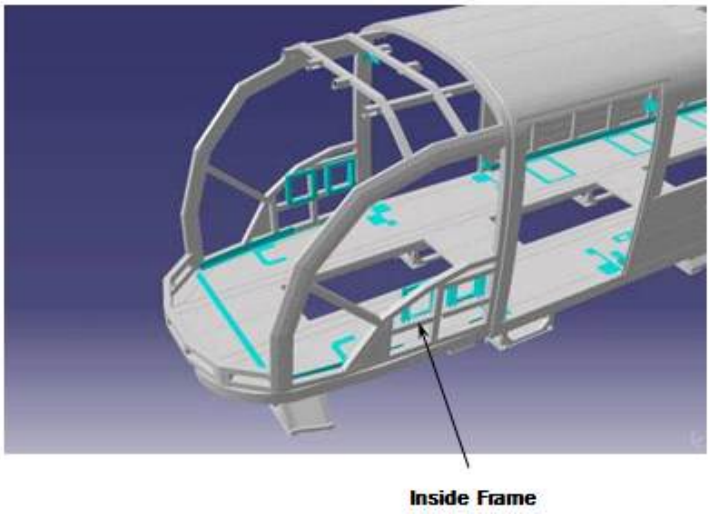



바) 언더프레임 구조 : 알루미늄



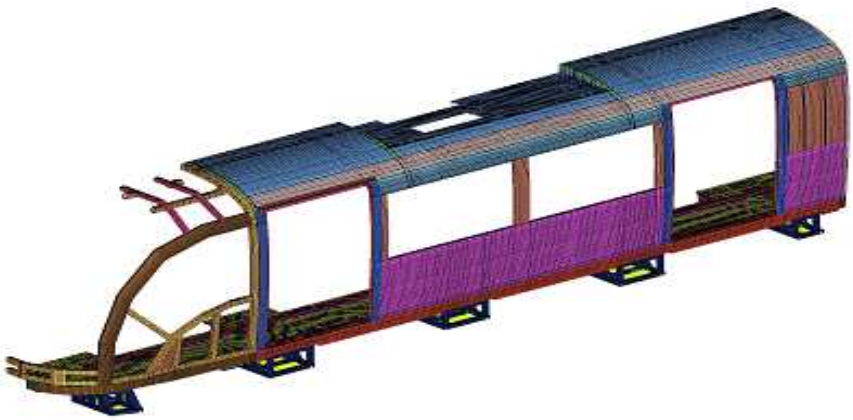

사) Cab Frame






3) 차체 구조해석 보고서

가) 해석 모델



[그림 19 ]도시형 자기부상열차 차체의 유한요소모델 (1/2 모델)

나) 하중 조건 및 하중크기

| 하중 조건 | 하중 크기 | 비 고 |
|---|---|---|
| 수직하중 | 27.24 ton | |
| 압축하중 | 20 ton | 수직하중 : M1 적용<br>압축하중 : 연결기취부 |
| 비틀림하중 | 4.0 ton • m | |
| 인장하중 | 20 ton | 수직하중 M1 적용<br>인장하중 : 연결기취부 |
| 8점 지지하중 | 12.7 ton | |
| 굽힘 고유진동수 | 2.942 ton | Bareframe 중량 |
| 비틀림 고유진동수 | 2.942 ton | Bareframe 중량 |

다) 평가 기준

[표 3 ]사용재질의 항복강도 및 피로강도 (단위:$kg_f/mm^2$)

| 재 질 | 항복강도 | 피로강도 | 인장강도 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 6005A-T6 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥26.50 | JIS H 4000 (피로강도 : 현대모텍 시험데이터) |
| A5083P-H32 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥31.09 | |

차체 강도의 판정기준은 사용재질의 항복강도를 각각의 안전계수로 나눈 값을 기준으로 한다. 사이드실의 처짐량 판정기준은 대차 중심 간 거리의 1/1000인 이내로 한다. 또한 차체의 1차 굽힘 고유진동수는 성능시험의 구조체 하중시험 평가기준에 따라 굽힘 진동모드의 값을 기술하였다. 이상의 평가기준을 정리하면 아래와 같다.

[표 4 ]안전성 판정기준

| 구 분 | 항 목 | 판정 기준 |
|---|---|---|
| 강 도 | 응력 | 항복강도/안전계수 이하 (모재=1.0, 용접부=1.1) |
| 강 성 | Side Sill 의 최대처짐 | 대차 중심간 거리 1/1000이하 |
| 고유진동수 | 1차 굽힘 고유진동수 | 굽힘진동모드의 값 |

상기 표의 안전성 판정기준을 적용하여 사용재질의 허용응력 및 피로응력을 정리하면 다음표와 같다.

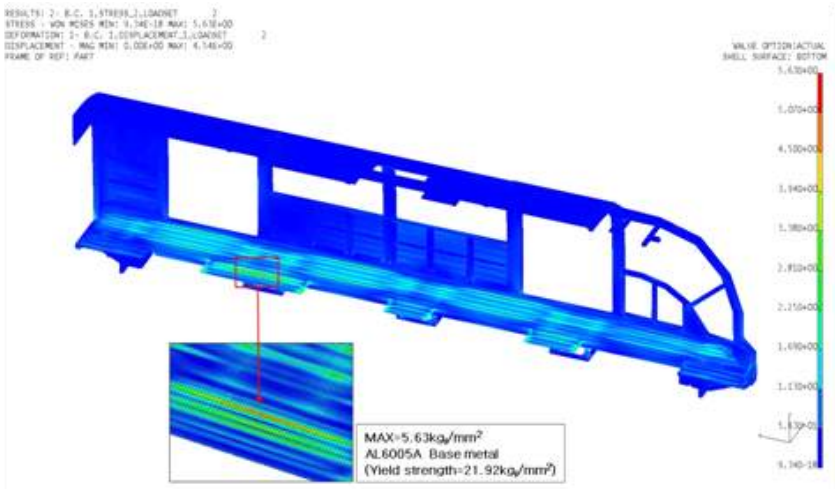
[표 5 ]사용재질의 허용응력 및 피로응력 (단위:$kg_f/mm^2$)

| 재질 | 항복강도 | 피로강도 | 허용응력 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 모재부 (안전계수=1.0) | 용접부 (안전계수=1.1) |
| 6005A-T6 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥21.92 | ≥19.93 |
| A5083P-H32 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥21.92 | ≥19.93 |

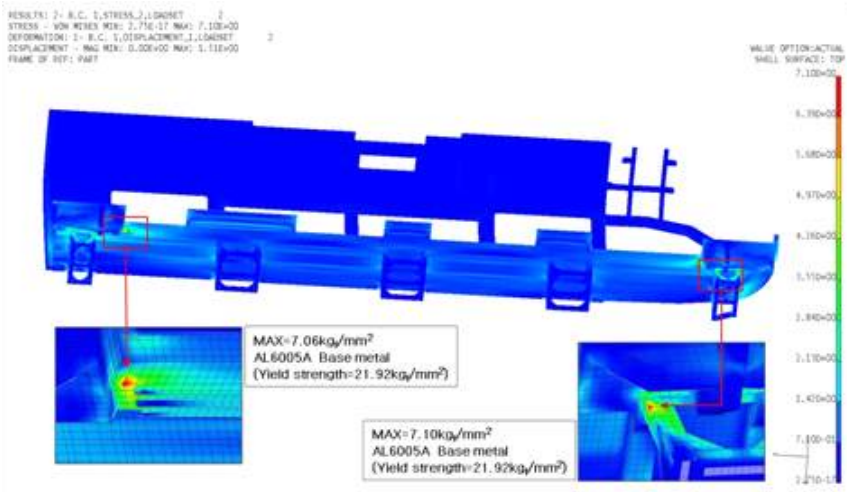
라) 차체 구조해석 결과

① 응력해석 결과

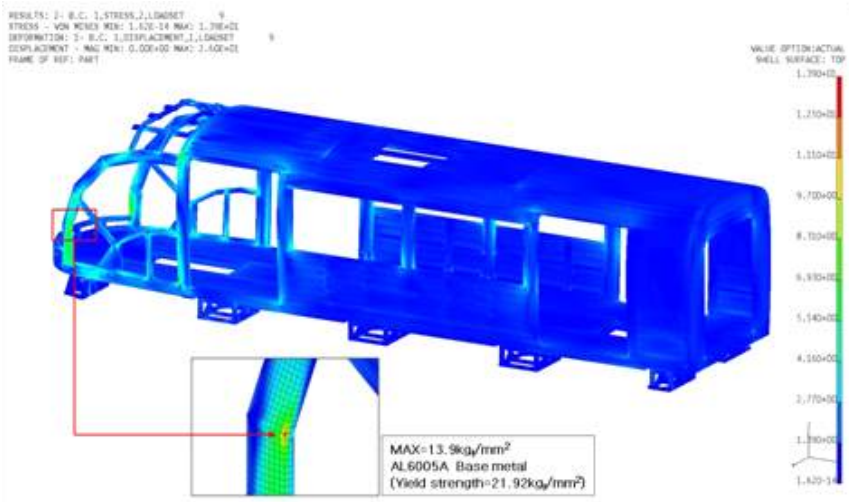
| 하중조건 | 최대응력 | 발생부위 | 재질 | 판정기준 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 수직하중 | 5.63 | 언더프레임 상부 | 6005A-T6 | 21.92 | 허용응력 |
| 압축하중 | 7.10 | 첫번째 대차프레임 | 6005A-T6 | 21.92 | |
| 비틀림 | 13.9 | 운전실 전방 창문 프레임 | 6005A-T6 | 21.92 | |
| 인장하중 | 7.83 | 센터실과 커플러 브라켓이 교차되는 부분 위 | 6005A-T6 | 21.92 | |
| 8점 지지하중 | 4.16 | END부 판넬 하부 | 6005A-T6 | 21.92 | |



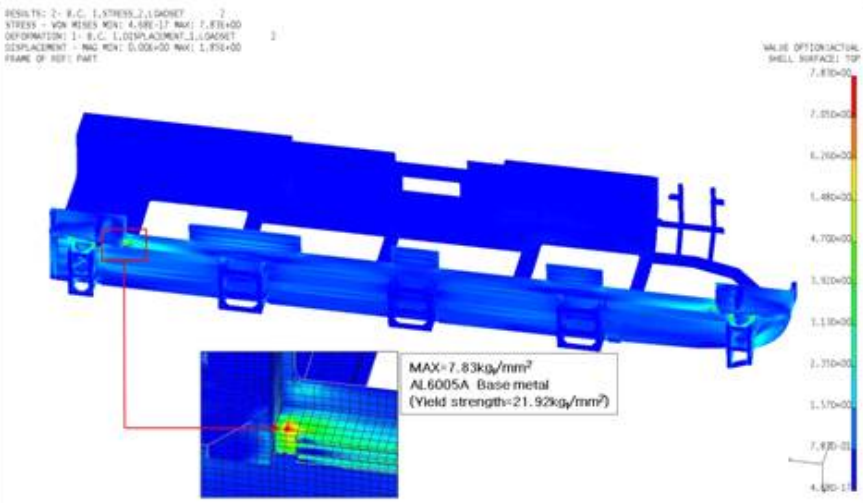

[그림 20 ]수직하중조건에서의 응력분포



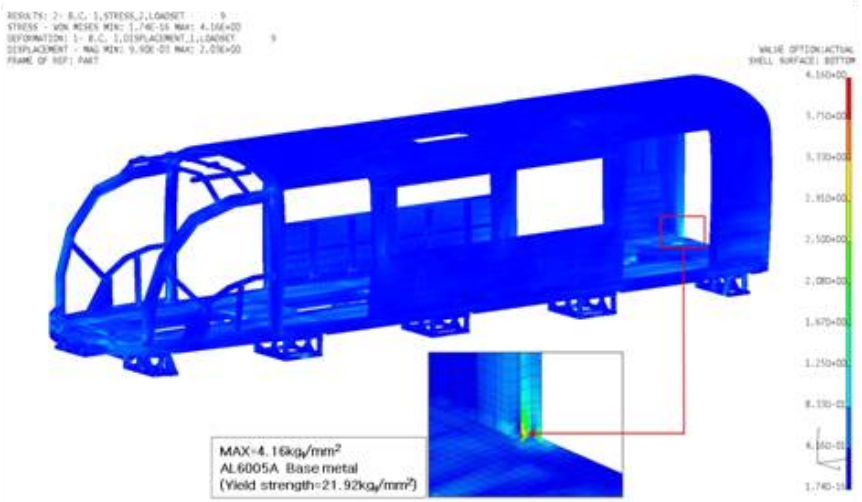

[그림 21 ]압축하중조건에서의 응력분포




[그림 22 ]비틀림 하중조건에서의 응력분포




[그림 23 ]인장하중조건에서의 응력분포

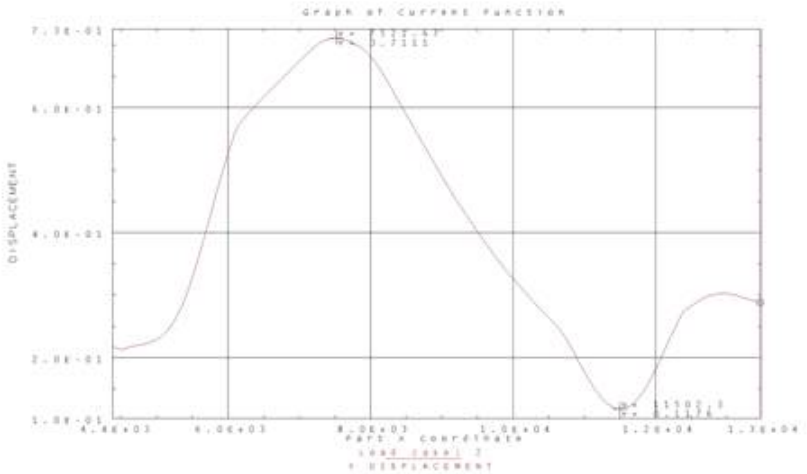



[그림 24 ]8점지지 하중조건에서의 응력분포

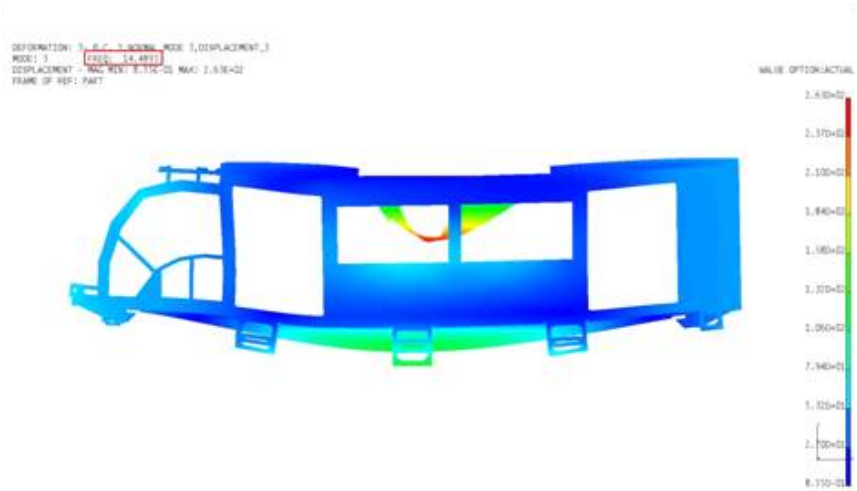
② 차체의 처짐량 및 고유진동수 해석 결과

[표 6 ]차체의 처짐량 및 고유진동수 해석결과

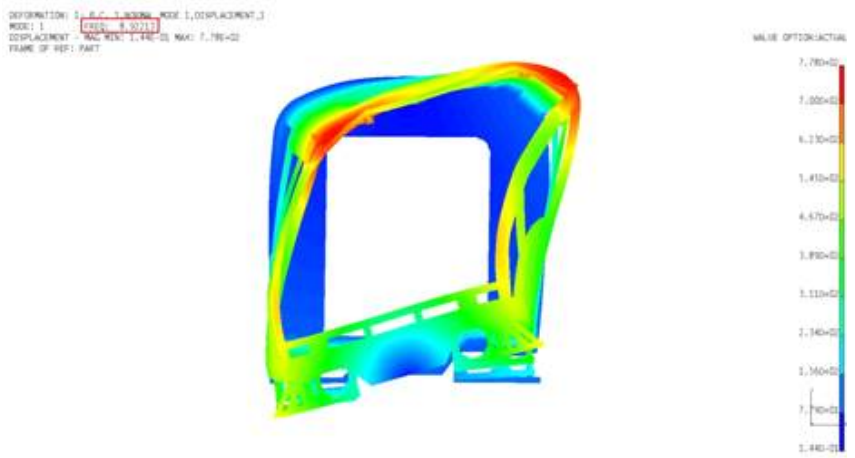
| 구 분 | 해석결과 | 판정기준 |
|---|---|---|
| Side Sill 처짐 | 0.59 mm | 2.70 mm 이내 |
| 1차 굽힘 고유진동수 | 14.49 Hz | 굽힘 진동 모드 값 |
| 비틀림 고유진동수 | 8.92 Hz | 비틀림 진동모드 값 |



[그림 25 ]수직하중 조건에서의 사이드실의 처짐선도



[그림 26 ]굽힘 고유진동수 결과(약 14.43 Hz)



[그림 27 ]비틀림 고유진동수 결과(약 8.88 Hz)

마) 결론

- 최대응력은 비틀림하중조건 시 시 운전실 전방 창문에서 13.9 $kg_f/mm^2$ 발생하였으나, 이는 해당재질인 AL6005-T6의 허용응력기준인 21.92$kg_f/mm^2$ 이내 임.
- 차체의 상대처짐량은 0.59mm로 평가기준인 2.7mm 이내이고, 굽힘 고유진동수는 14.49 Hz, 비틀림 고유진동수는 8.92 Hz의 결과를 얻었음.

1) 차체 피로 해석 보고서

가) 하중 조건

[표 7 ]도시형 자기부상열차 MC1 차량의 중량제원

| 구 분 | 중 량 | 비 고 |
|---|---|---|
| 공차중량(We) | 21.126 톤 | 차체중량+대차중량 |
| 대차중량(Wb) | 8.322 톤 | 1.5 set |
| 차체중량(Wt) | 12.804 톤 | M1=공차중량-대차중량<br>(운행상태의 차량자중) |
| Bareframe 중량 | 2.966 톤 | Carbody 설계 중량 |
| 최대 승객하중 | 5.859 톤 | M22=좌석수(22명)×63kg +<br>입석수(71명)×63kg |
| 수직하중 할증계수 | 30% | |
| 동하중계수 | 0.2g | |

차체에 작용하는 하중은 "도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준"의

「구조체의 정적하중시험 3-라」조건에 따라 계산되며 해석에 적용된 하중조건 및 하중크기는 다음과 같다.

- 운행하중 = {(공차중량 - 대차중량)+최대승객하중)}×(1.0 + 동하중계수)

= (21.126-8.322+5.859) × 1.

= 22.395[ton]

피로해석은 차량의 수직하중상태에서 동하중계수0.2g의 변동하중이 수직방향으로 반복되는 피로조건, 0.8g ~ 1.2g 사이의 하중이 반복되는 조건에 대하여 실시한다.

나) 평가 기준

차량제작에 사용 된 재질의 항복강도 및 피로한도는 아래 표와 같다.

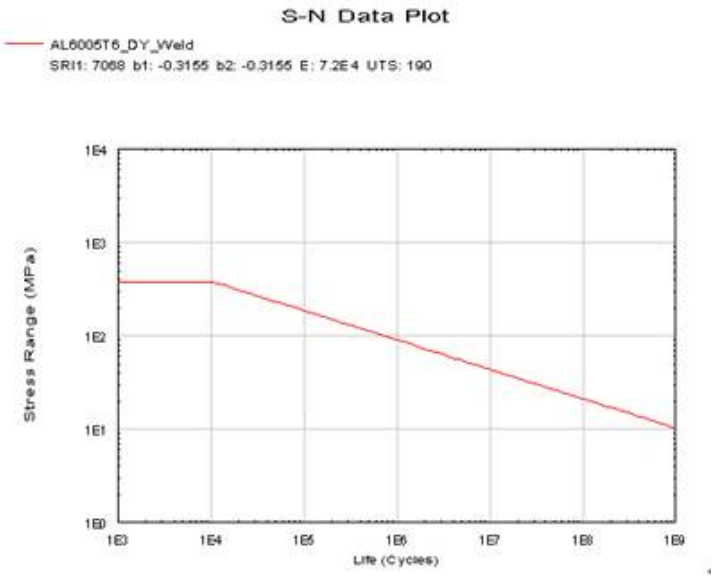
[표 8 ]사용재질의 항복강도 및 피로강도 (단위:$kg_f/mm^2$)

| 재 질 | 항복강도 | 피로강도 | 인장강도 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 6005A-T6 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥26.50 | JIS H 4000 (피로강도 : 현대로템 시험데이터) |
| A5083P-H32 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥31.09 | |

응력-수명 피로해석을 수행하기 위해서는 재료의 기계적 성질 외 피로데이터로서 응력-수명곡선(S-N Curve)이 필요하여, 본 피로해석의 대상차량인 경량전철 차체와 동일한 재질에 대해 동양강철에서 실시한 피로시험으로부터 획득한 알루미늄 용접재 Al 6005T6의 피로데이터를 사용하였다.

본 해석에 사용된 피로데이터의 S-N곡선은 다음 그림과 같다.

MC1 차체의 피로한계기준은 하중조건에 따라 균열이 발생할 때까지의 총 싸이클 수가 1.0E+07 cycle 이상으로 정의하였다(BS 12664:2000 5.2).



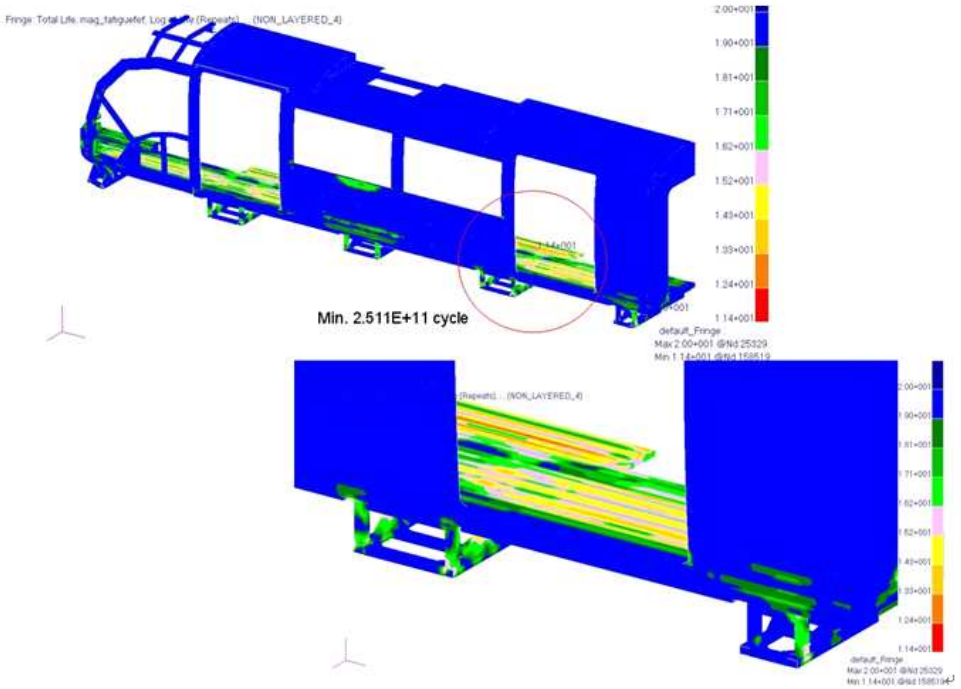

[그림 28 ]AL6005-T6 재료의 S-N곡선 (R=-1.0)

다) 피로해석 결과

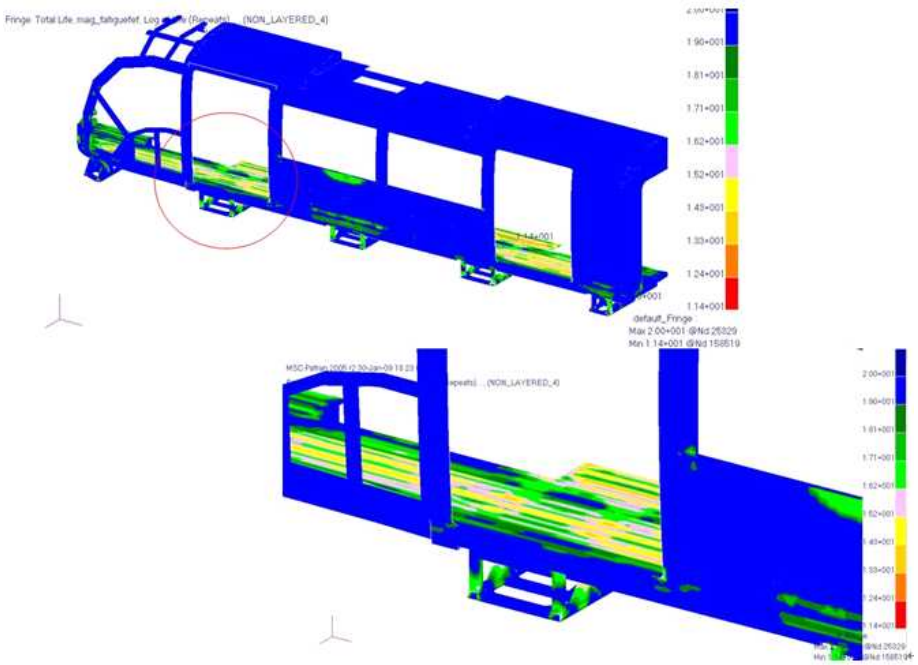
자기부상열차 MC1 차량의 피로해석결과는 아래 그림과 같이 차체바닥 영역에서 최소 1.0E+11.4 cycle(2.511E+11 cycle) 발생하였다.

이는 피로한계기준인 1.0E+7 cycle 이상이므로 피로수명조건을 만족한다.

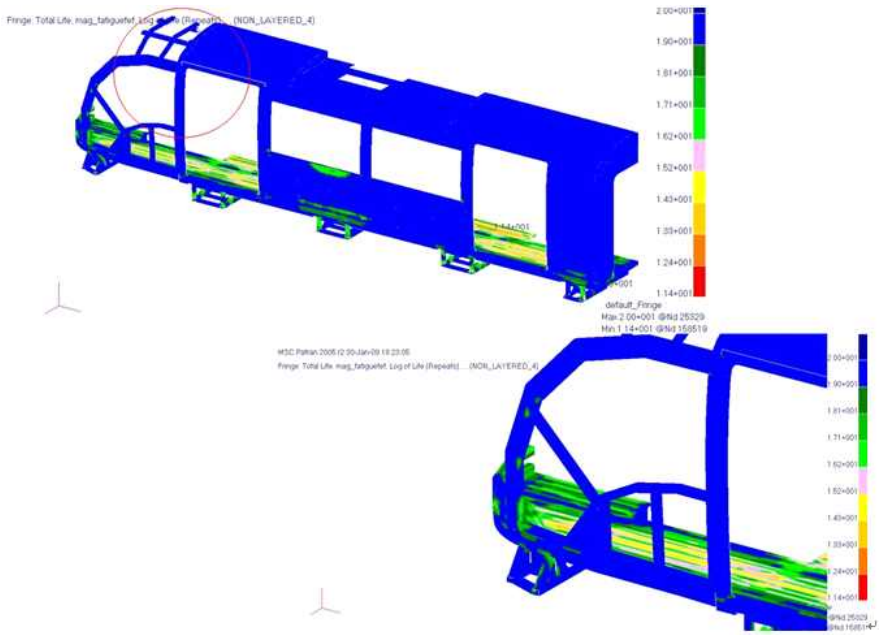
아래 그림들은 MC1 차체의 각 부위별 피로해석결과를 나타낸 것이다.



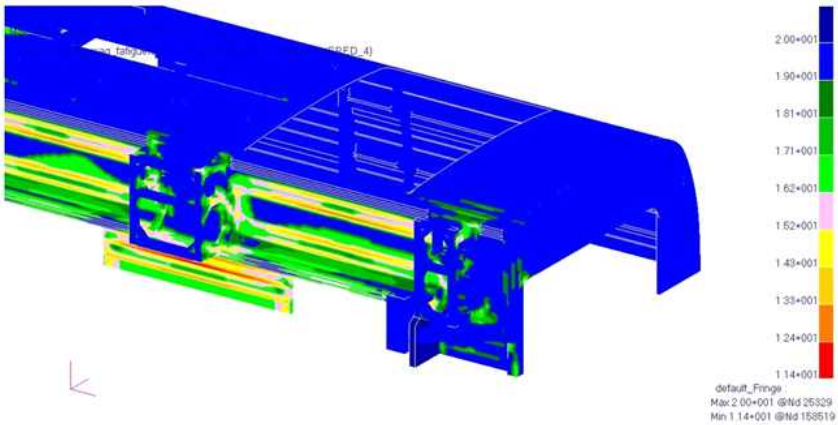

[그림 29 ]MC1 차체의 피로해석 결과(1)



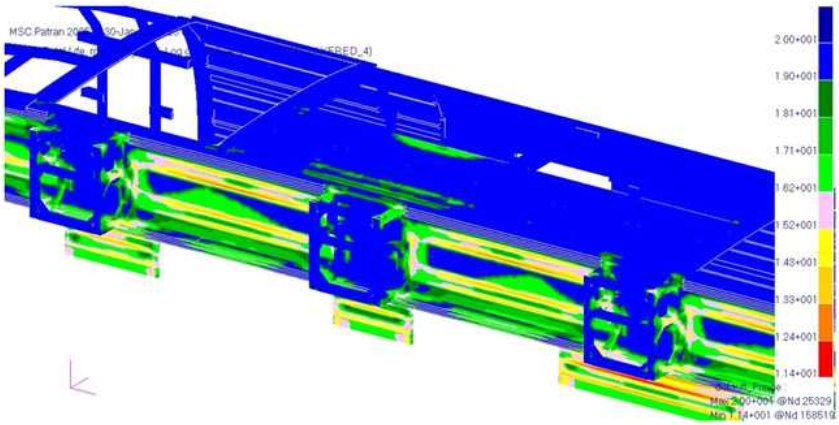
[그림 30 ]MC1 차체의 피로해석 결과(2)



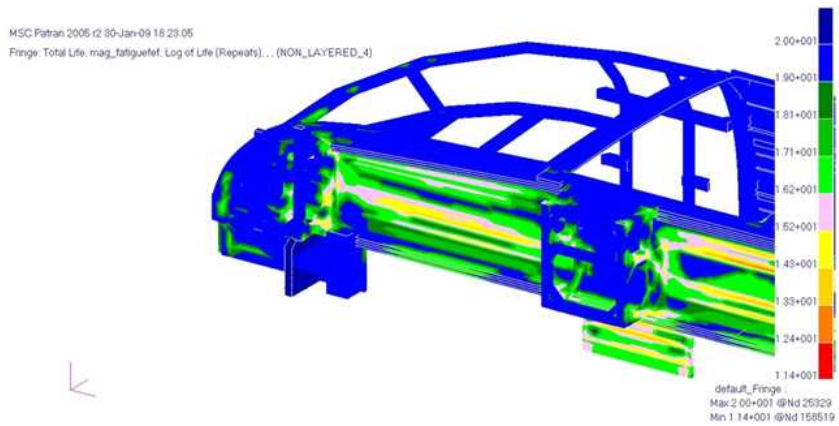
[그림 31 ]MC1 차체의 피로해석 결과(3)



[그림 32 ]MC1 차체의 피로해석 결과(후방대차부)



[그림 33 ]MC1 차체의 피로해석 결과(중심대차부)




[그림 34 ]MC1 차체의 피로해석 결과(전방대차부)

라) 결론

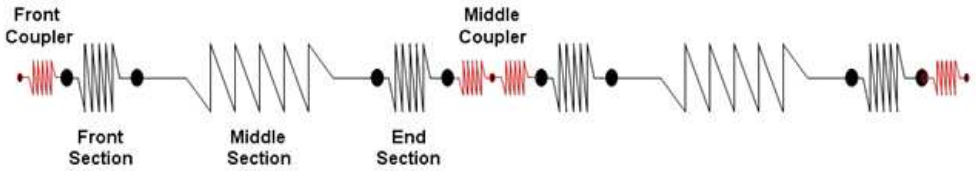
- MC1 차량은 최소 피로수명은 차량 후방부 바닥에서 약 2.511E+11 cycle

발생하였고, 이는 피로수명한계 기준인 1.0E+07 cycle을 만족한다.

5) 차체 충돌 해석 보고서

가) 해석 모델

상대속도 시속 5킬로미터로 충돌하는 조건에 대한 해석모델은 1차원 탄성스프링 요소를 이용하여 모델링하였다. 이는 차체의 손상이 발생하지 않는 조건에 의거하여 차체는 소성변형이 없는 탄성체로 정의가 가능하기 때문이고, 이때 사용한 차체의 강성계수는 정적강도해석 조건 중 수직압축조건(20 ton압축하중) 시 발생하는 차체길이방향의 변형량으로부터 획득하였고, 연결기는 3차원 모델과 동일하게 적용하였다. 해석에 사용된 모델의 개념도는 그림 xxx와 같다. 모델링에 사용된 1차원 스프링요소는 2량 1편성 당 10개씩 총 20개이고, 차량간 인터페이스의 강체 스프링 1개로 총 21개로 구성되었다.




[그림 35 ]1차원 스프링요소를 이용한 충돌해석모델 개념도

나) 충돌 안전도 해석 조건

[표 9 ]충돌안전도 해석조건

| 항 목 | 충돌조건 |
|---|---|
| 충돌변형부 평가 | 시속 10킬로미터로 고정벽과 충돌 |
| 차체의 충돌안전성 평가 | 시속 2.5킬로미터로 고정벽과 충돌 |

다) 평가 기준

① 차체의 재질과 연결기의 기계적 성질

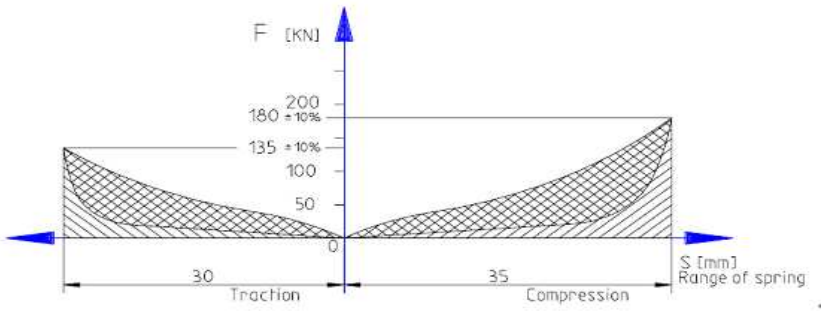
차량제작에 사용 된 재질의 항복강도와 인장강도는 다음 표와 같고, 장착된 연결기의 기계적특성은 아래의 표에 그리고 특성곡선은 다음 그림들에 나타내었다.

[표 10 ]사용재질의 항복강도 및 피로강도(단위:$kg_f/mm^2$)

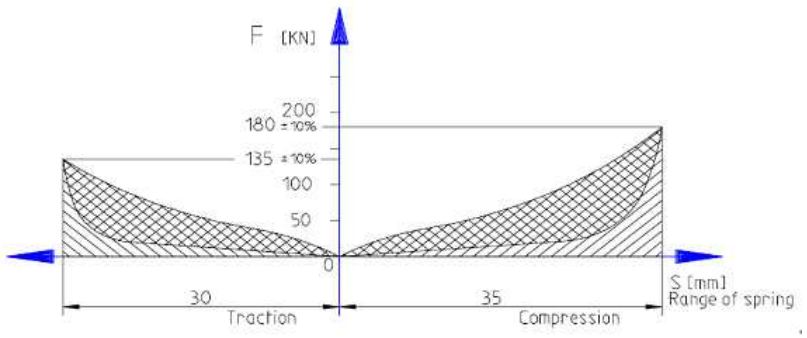
| 재 질 | 항복강도 | 인장강도 |
|---|---|---|
| AL6005A-T6 | ≥21.92 | ≥26.50 |
| A5083P-H32 | ≥21.92 | ≥31.09 |

[표 11 ]연결기의 기계적 특성

| 명 칭 | 구 분 | | 성 능 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 다중연결기 (M20UD2L) | 스트로크 | Traction | 30mm | 고무의 전단 |
| | | Compression | 35mm | 고무의 전단 |
| | 충격흡수 | Traction | 2.4kJ | 고무의 전단 |
| | | Compression | 1.6kJ | 고무의 전단 |
| | 수직움직임 | | ±6° | |
| | 수평움직임 | | ±45° | |
| 중간연결기 (T20D2L) | 스트로크 | Traction | 30mm | 고무의 전단 |
| | | Compression | 35mm | 고무의 전단 |
| | 충격흡수 | Traction | 2.4kJ | 고무의 전단 |
| | | Compression | 1.6kJ | 고무의 전단 |
| | 수직움직임 | | ±6° | |
| | 수평움직임 | | ±45° | |




[그림 36 ]다중연결기의 하중 변위특성




[그림 37 ]중간연결기의 하중 변위특성

② 충돌안전에 관한 평가기준은 아래와 같다.

[표 12 ]충돌안전도 평가기준

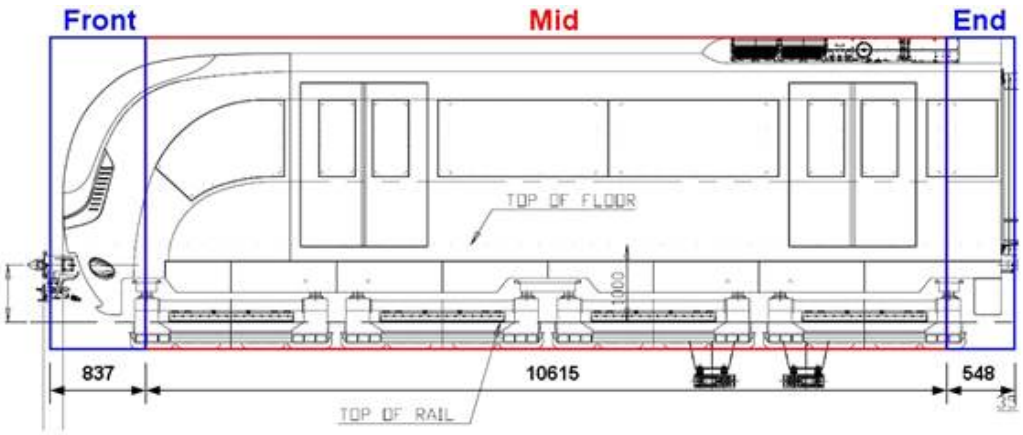
| 구 분 | 판정 기준 |
|---|---|
| 승객 및 운전자보호 | 차체구조 충돌사고 후 변형량 |
| 충돌변형부의 제한 | 주 승객탑승부의 압괴변형량 |
| 차체의 충돌안전성 | 연결기의 에너지 흡수용량, 연결부의 소성변형 제한 |

라) 충돌해석 결과

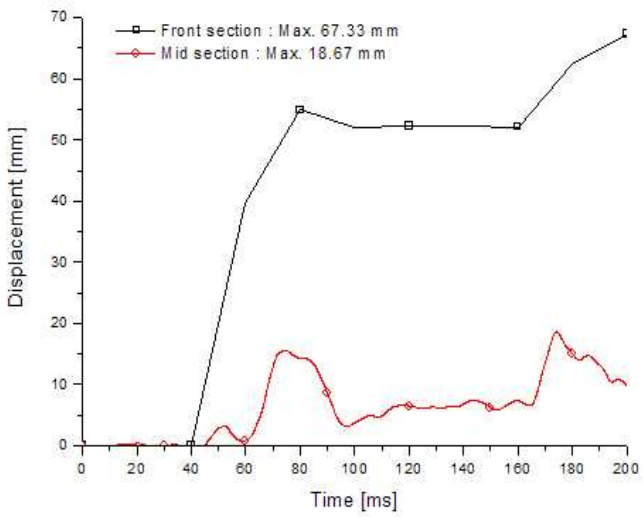
① 승객 및 운전자보호 평가

설정된 영역은 승객탑승영역보다 먼저 압괴변형일 진행되었고, 최대변형량은 약 67.33 mm 발생. 승객탑승영역에서는 최대 18.67 mm 발생하였으나, 설정된 승객탑승영역 길이의 약 1% 미만 수준이었다.

따라서 해당 결과로부터 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙에 의거할 때 승객과 운전자의 안전에 영향을 주는 수준의 차체변형은 발생하지 않는다고 평가할 수 있다.




[그림 38 ]도시철도차량(MC1)의 변형량 평가 영역

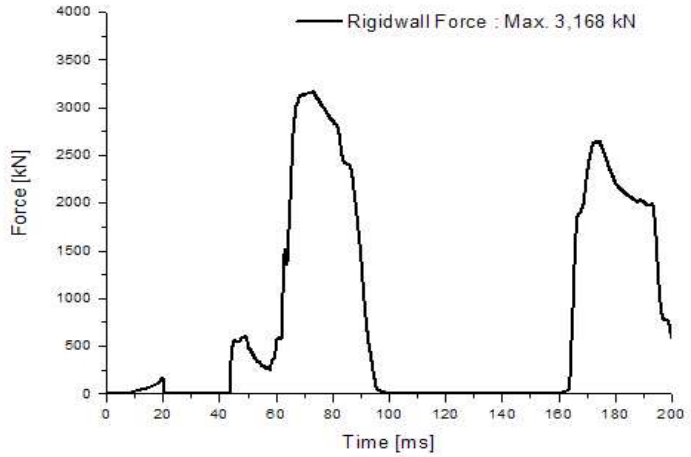



[그림 39 ]도시철도차량(MC1)의 구간별 변형량 결과

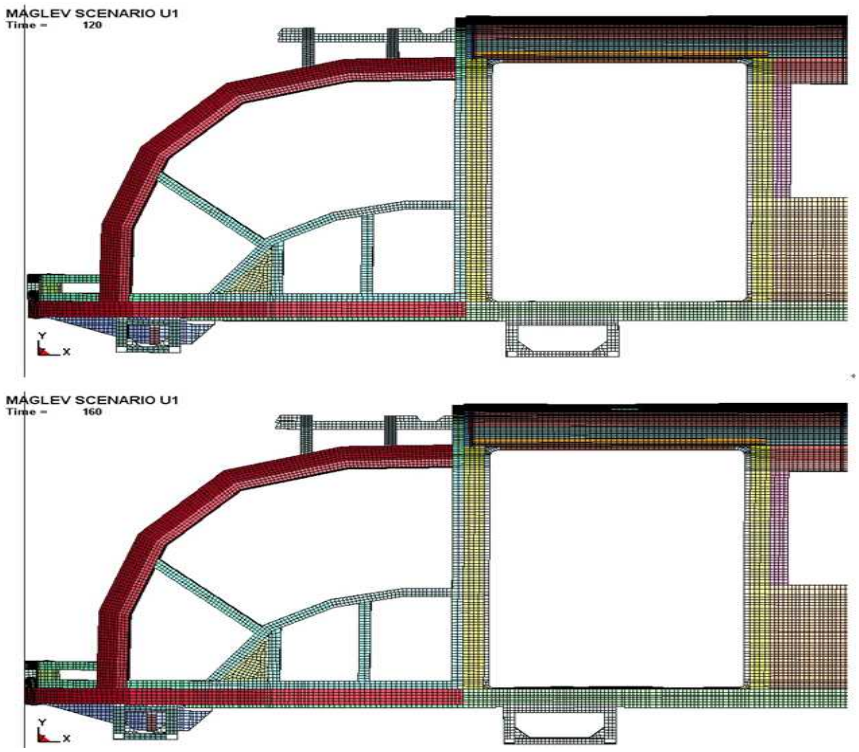
② 충돌변형부의 제한 평가

상대속도 시속 20킬로미터로 정면충돌사고 시, 차체의 끝부분과

볼스터 사이(본 차량에서는 운전실 영역으로 지정)의 압괴변형에 의하여 충돌 에너지를 흡수여부를 평가하기 위하여 해당 구간과 승객탑승구간의 압괴 변형량을 평가한다. 이때 차체에 발생하는 최대 충격량은 약 3,168 kN이 발생 함.




[그림 40 ]도시철도차량(MC1)의 충격력 결과




[그림 41 ]도시철도차량(MC1)의 충돌 후 시간에 따른 변형형상

마) 결론

승객 및 운전자보호와 충돌변형부의 제한 조건에 대한 평가결과 승객의 안전에 영향을 미치는 수준의 압괴변형이 발생하고, 변형구간도 제한된

영역에서 발생하므로 인해 안전기준에 만족한다고 판단된다.

6) 마찰교반용접(FSW) 기술개발

가) 마찰교반용접(FSW)기술개발 필요성 및 특징

최근 철도차량과 같은 수송기기 산업에, 경량소재 필요성 및 사용량의 증가로 인하여 알루미늄 합금에 대한 접합 수요가 증가하고 있음.

아울러, 환경 친화적인 용접기술에 대한 수요 증가 및 해외 기술국내 진입에 대한 자체 FSW 개발 필요성 대두, 선진 업체의 FSW 확대에 따른 대응기술 확보가 필요함.

ARC열에 의한 기존 용융용접과는 달리 용접보호가스/용가재 등 부재료가 요구되지 않으며, 용접 중 흄/유해광선이 없으며, 현저히 적은 용접 열변형량 등 많은 장점이 있는 새로운 접합 기술 분야임.

아울러, 프로파일 압출재 설계, 용접공법, 용접장치 등에 대한 개발/검증이 선행되어야 하며, 고비용의 초기 설비투자 타당성 등이 충분히 검토되어야함.

나) 주요기술 단계별/ 개발 절차

다) FSW 개발 업무 구분 및 주요 내용

| 대분류 | 중분류 | 구 분 | | 소분류 (주요 내용) |
|---|---|---|---|---|
| | | 1단계 | 2단계 | |
| FSW 동향 분석 | 자료 조사 | ● | | 철도차량 FSW 외국업체(Hitachi,Sapa) 기술/품질 수준 파악 |
| | 동향 분석 | ● | | 철도차량 FSW 선진기술 동향분석 |
| FSW용 압출재 개발 | 특허 분석 | ● | | 국내/해외(Twi, Hitachi, 등) |
| | 특허 출원 | ● | | 국내/해외 |
| | 접합부 형상설계 | ● | | 기존 특허 회피 설계 |
| | | ● | | 압출재 상세 설계 / 압출재 접합부 수직 RIB 좌굴 해석 및 방지 기술 |
| | 압출재 평가 | ● | | FSW용 압출 시제품 제작 및 압출재 물성 평가(외관,기계적 강도) |
| Process 기술 개발 | 평가기술 | ● | | 압출재 접합부 평가 기준 확립 (평가항목:인장,충격,굽힘,경도,피로,비파괴) |
| | | | ● | 3M급 접합 공정기술 개발(속도,신뢰성) |
| | | ● | ● | 접합부 특성 및 신뢰성 평가 |
| | 최적접합기술 개발 | ● | | 최적접합인자 도출(회전속도, 용접속도, 삽입깊이, 틸팅각도) |
| | | | ● | GAP 극복 기술 |

| 대분류 | 중분류 | 구 분 | | 소분류 (주요 내용) |
|---|---|---|---|---|
| | | 1단계 | 2단계 | |
| 시제품 제작/평가 | (1차)FSW용 접합 시제 제작 | ● | | Plate 시편 FSW(1D) 용접 |
| | | ● | | 철도차량용 알루미늄 Plate 시편 접합성 분석- 물성치 평가 |
| | (2차)FSW용 접합 시제 제작 | ● | | 기존 알루미늄 압출재 시편 FSW(1D) 용접 |
| | | ● | | 기존 알루미늄 압출재 시편 접합성 분석- 물성치 평가 |
| | (3차)FSW용 접합 시제 제작 | | ● | 개발 압출재 시편 FSW(1D) 용접 |
| | | | ● | FSW용 알루미늄 압출재 시편 접합성 분석- 물성치 평가 |
| | (4차)차체모듈 시제품 제작 | | ● | 시제품(END/SIDE 블록) 부품 제작 |
| | | | ● | FSW(1D) 적용한 시제품(END/SIDE 블록) 제작 |
| | | | ● | 시제품 평가 (평가항목:비파괴, 용접외관, 변형량) |
| System 개발 | FSW 치구개발 | ● | ● | FSW 치구 설계/제작 (1차,2차,3차,4차) |
| | BURR 제거기술 | | ● | BURR 제거기술 개발 |
| | Tool 개발 | ● | | 철도차량용 알루미늄 압출재의 FSW에 적합한 Tool 특성 분석 |
| | | ● | | Tool 설계 (냉각 고려) |
| | | ● | | Tool 제작 |

라) FSW 개발일정

| 대분류 | 중분류 | 소분류 (주요 내용) | 일 정 |
|---|---|---|---|
| FSW 동향분석 | 자료 조사 | 철도차량 FSW 외국업체(Hitachi, Sapa) 기술/품질 수준 파악 | |
| | 동향 분석 | 철도차량 FSW 선진기술 동향분석 | |
| FSW용 압출재개발 | 특허 분석 | 국내/해외(Twi, Hitachi, 등) | |
| | 특허 출원 | 국내/해외 | |
| | 접합부 형상설계 | 기존 특허 회피 설계 | |
| | | 압출재 상세 설계 / 압출재 접합부 수직 RIB 좌굴 해석 및 방지 기술 | |
| | 압출재 평가 | FSW용 압출 시제품 제작 및 압출재 물성 평가(외관,기계적 강도) | |
| Process 기술개발 | 평가기술 | 압출재 접합부 평가 기준 확립 (평가항목:인장,충격,굽힘,경도,피로,비파괴) | |
| | | 3M급 접합 공정기술 개발(속도,신뢰성) | |
| | | 접합부 특성 및 신뢰성 평가 | |
| | 최적접합기술 개발 | 최적접합인자 도출 (회전속도, 용접속도, 삽입깊이, 틸팅각도) | |
| | | GAP 극복 기술 | |
| System 개발 | FSW 치구개발 | FSW 치구 설계/제작 (모듈 시제품) | |
| | BURR 제거기술 | BURR 제거기술 개발 | |
| | Tool 개발 | 철도차량용 알루미늄 압출재의 FSW에 적합한 Tool 특성 분석 | |
| | | Tool 설계 (냉각 고려) | |
| | | Tool 제작 | |

08.4 08.5 08.6 08.7 08.8 08.9 08.10 08.11 08.12 09.1 09.2 09.3 09.4 09.5

마) 개발결과 요약

① 철도차량 FSW 동향 분석

- 각 대형 철도차량 회사에서 알루미늄 차체에 FSW 적용을 적용하거나 모색 중
- 일본의 Hitachi와 Nippon Sharyo에서 서로 다른 FSW 기술 적용

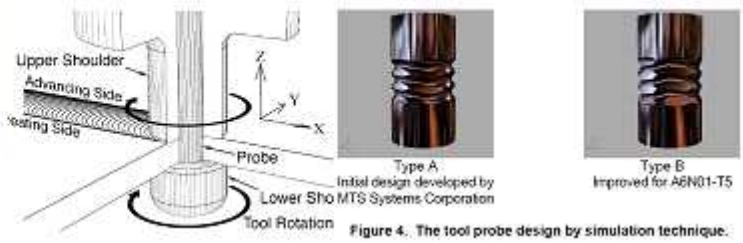
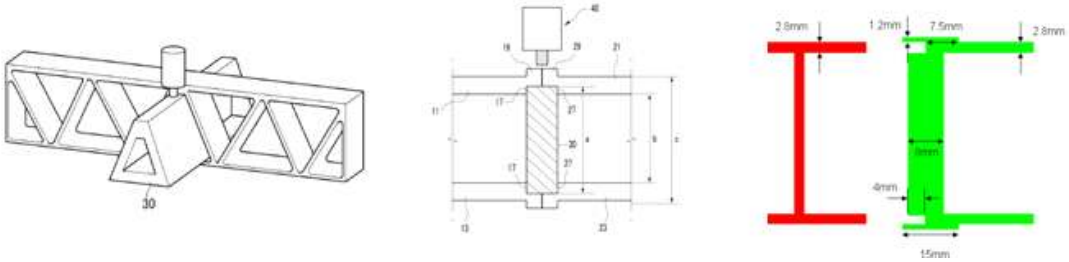


Figure 4. The tool probe design by simulation technique.

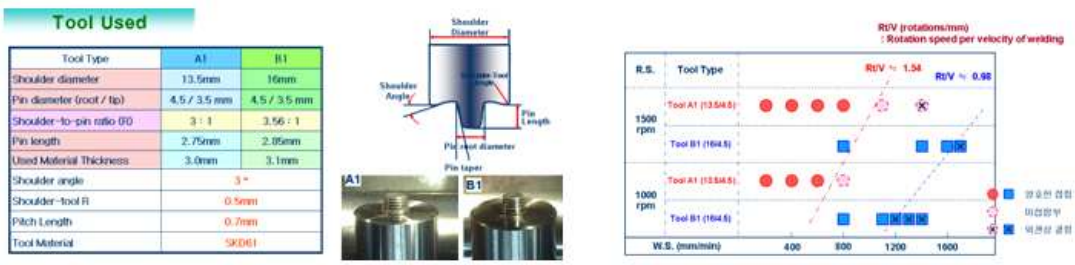
② 철도차량 FSW 동향 분석

- 일본의 Hitachi에서 적용 가능한 FSW 접합부 및 공정기술에 다수 특허 출원(60~100여편)
- Hitachi 특허 회피기술 특허출원(2007-0113208, 2008-0062429, 2008-0131898)



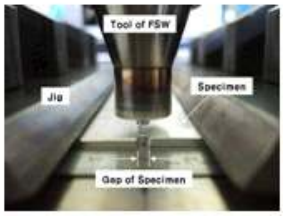

③ 알루미늄 철도차량 차체 용접용 툴 개발

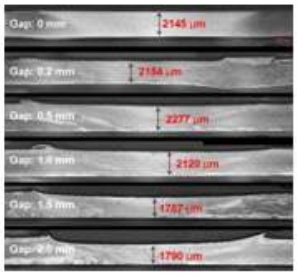
- 알루미늄 압출재 용접용 Tool : SKD61, 숄더직경 : 13~16mm, 핀직경 : 3~5mm
- Rotation Speed per welding speed = 1.54에서 양호

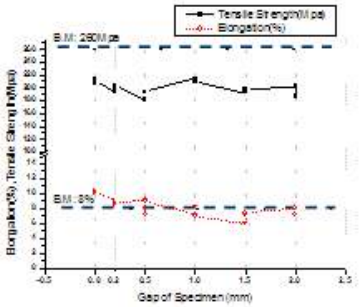



④ Gap 발생에 따른 극복 기술 도출

- Gap 발생에 따라 Tool 삽입 깊이 증가 (ex, Gap 1.5mm이면 삽입 깊이 23% 증가 필요)
- Gap이 증가하면 Tensile strength and Elongation이 약간 감소

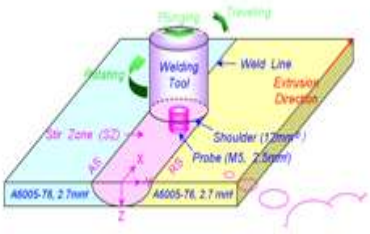


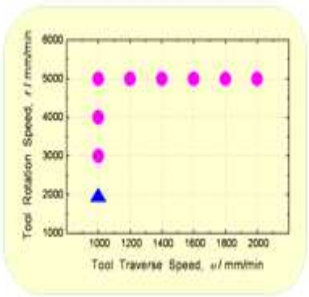



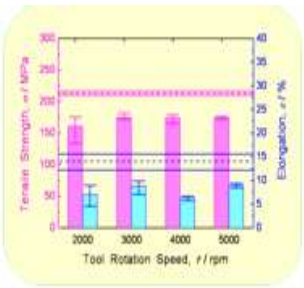




⑤ 고속접합 및 평가기술

- Tool 회전속도 5,000rpm에서 용접속도 2,000mm/min 달성
- 용접부 비파괴검사결과 결함 無, Tensile Strength 모재의 80% 수준

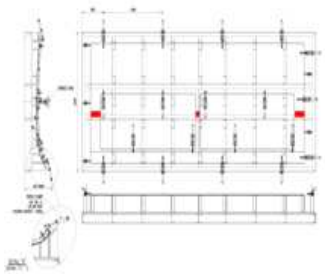


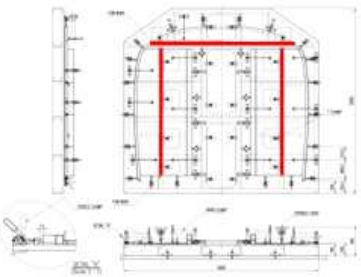



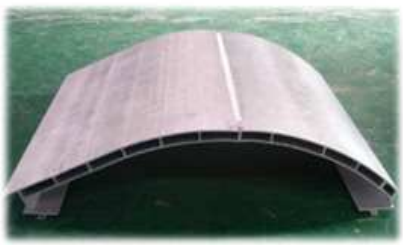




⑥ 치구개발 및 시제품

- Side Plate 및 End Plate 마찰교반접합용 치구 개발
- Skirt 시제품 제작







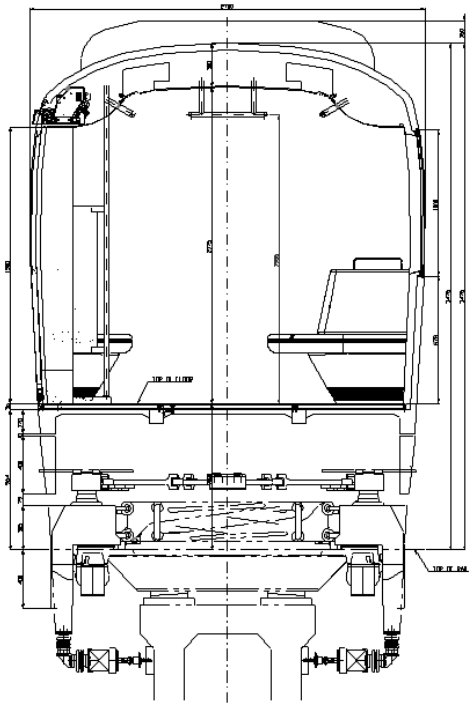
바) 결론

본 과제를 통한 FSW 기술의 적용은 관련 설비구축 비용의 문제로 어려움이 있으며, 추후 설비 구현 후, 적용을 위한 기술 확보에 의의가 있다.

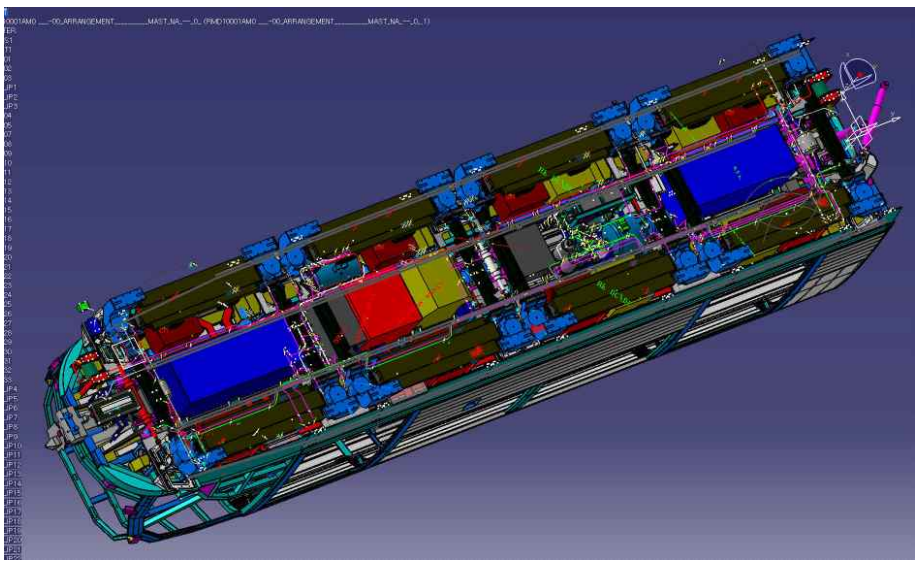
총 제작차량 중에 일부 차량에 FSW 기술을 적용하는 것을 검토 중에 있다.

7) 차량 단면도/주요 사양

| 항 목 | 사 양 | 비 고 |
|---|---|---|
| 실내 중천정 높이 | 2125 mm | |
| 중천정 두께 | 350 mm | |
| 중천정 핸드레일 하단 높이 | 1900 mm | |
| 에어콘 돌출량 | 150mm | |
| 측출입문 높이 | 1900mm | |
| 플로어상면 높이 | 1000mm | 레일 기준면에서부터 |
| 플로어상판 재질 | Al 하니컴 | 또는 복합소재 (밀워키) |
| 플로어 상판 두께 | 36mm | |
| 사이드 점검커버 높이 | 400mm | FRP |
| 전면창 유리 | 곡접합유리 11.52mm | 투명 |
| 측창 유리 | 곡접합유리 7.52mm | 색상미정 |
| 측창 높이 | 1000mm (자체높이), | 878mm (바닥으로부터 높이) |
| 내장재 | 페놀 FRP 2.5t | 도장적용 |



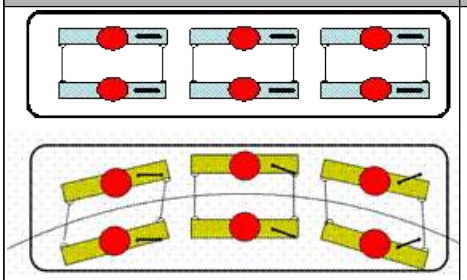
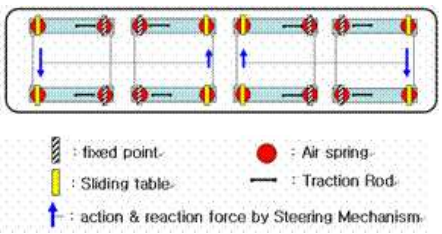
8) 차량 상하기기 배치도

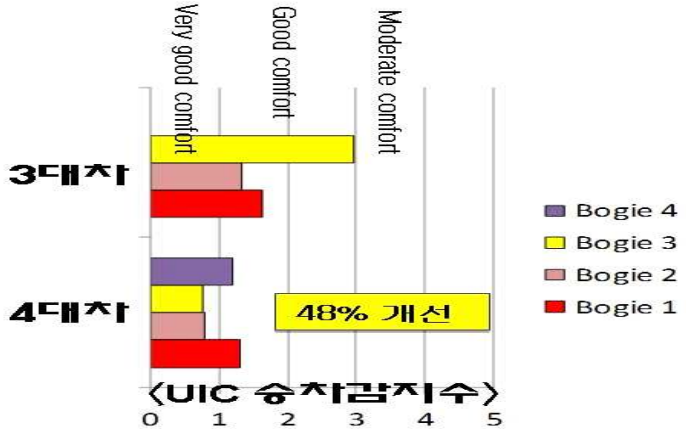


[그림 42 ]차량 상하기기 배치도(3D 모델링)

9) 대차 수량 변경 검토(3대차→4대차)

<table>
<tr><th>항 목</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td>검토 목적</td><td>• 1차년도에 결정된 3대차 방식의 경우, 기존 과학관 차량(지식경제부 중기거<br>점차량)보다 곡선 및 구배 주행 성능이 크게 개선되지 않음이 우려되므로,<br>대차 설계 변경이 필요.<br>• ‘대차수량 및 단위길이 검토서(M2100-VC+CV-315-006)’(1차년도 실적물)에<br>서 지적된 대차수량 증가에 따른 문제에 대한 합리적인 해결 방안 도출.<br>• 변경된 4대차 방식의 승차감 향상 및 부상 안정화에 대한 성능을 예측.</td></tr>
<tr><td>대차 수량 비교 검토</td><td>• 기존 3대차(중기거점 차량)와 설계 변경된 4대차(실용화 차량)를 비교.<br>• 5대차 이상의 경우, 성능 향상의 정도보다 주요 전장품의 기기배치 한계,<br>부상용 센서 및 관련 전장품 수량의 증가, 배선 및 대차부품의 증가에 따른<br>단점이 부각/제외.<br>• 성능해석 시에 동일한 부상제어 알고리즘을 사용한다.
<table>
<tr><th>항목</th><th>4대차</th><th>3대차</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>곡선통과 성능</td><td>양호</td><td>불리</td><td rowspan="3">4대차의 경우, 대차단위 축소에 따름</td></tr>
<tr><td>구배 완화구간 성능</td><td>양호</td><td>불리</td></tr>
<tr><td>곡선에서의 횡변위 (차체와 대차간)</td><td>큼</td><td>작음</td></tr>
<tr><td>전자석 특성</td><td>양호</td><td>불리</td><td></td></tr>
<tr><td>전체중량</td><td>증가</td><td>감소</td><td rowspan="3">전장품 수량 등의 증가에 따른 단순 비교</td></tr>
<tr><td>개발 경험</td><td>무</td><td>유</td></tr>
<tr><td>차량 가격</td><td>고</td><td>저</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>전자석 주요 사양 비교</td><td>• 전자석 주요사양 비교(4대차: 1 pole 4 yoke)</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>항 목</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><th>주요 항목</th><th>단위</th><th>3대차용</th><th>4대차용(최종)</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td>정격 부상력</td><td>N</td><td>11,651</td><td>8,124</td><td>1 마그네트에 대해</td></tr>
<tr><td>최대 안내력</td><td>KN</td><td>73<br>(횡변위 15mm)</td><td>100<br>(횡변위 15mm)</td><td>1차량에 대해</td></tr>
<tr><td>정격 부상공극</td><td>Mm</td><td>10</td><td>8</td><td></td></tr>
<tr><td>철심 폭</td><td>mm</td><td>232</td><td>216</td><td>공극부에서</td></tr>
<tr><td>철심 높이</td><td>mm</td><td>170</td><td>128</td><td></td></tr>
<tr><td>단위 자중</td><td>kg</td><td>165</td><td>94</td><td>Lead Cable 포함</td></tr>
<tr><td>총 자중</td><td>kg</td><td>3,960</td><td>3,000</td><td>1차량에 대해</td></tr>
<tr><td>코일내부온도</td><td>℃</td><td>118</td><td>125</td><td>주행 시 최대온도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">해석 시정수</td><td rowspan="2">sec</td><td>0.98</td><td>0.635</td><td>상온에서</td></tr>
<tr><td>-</td><td>0.479</td><td>주행 포화온도에서</td></tr>
<tr><td>LTWR</td><td>ton/ton</td><td>7.07</td><td>8.83</td><td></td></tr>
<tr><td>PTLR</td><td>kw/ton</td><td>0.423</td><td>0.536</td><td></td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>대차 조향 성능 비교</td><td>
<table>
<tr><th>3대차</th><th>4대차용(최종)</th></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>-차량 당 3대차<br>-별도의 조향 메커니즘 없음<br>-곡선통과 취약한 구조<br>-대차 회전저항 과다 곡선통과 시<br>안내륜 접촉 유도 곡선통과 성능<br>저하</td><td>-차량당 4대차<br>-곡선통과성능 향상을 위한 유압식<br>-조향메커니즘 적용<br>-대차 횡변위 흡수를 위한 Sliding<br>Table 적용</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>승차감 예측 비교</td><td>• 설계 변경된 4대차의 경우, 기존 3대차 대비 약 48%의 승차감 개선이 예측됨(속도 110km/h, 가이드웨이 처짐한계 : L/2000).</td></tr>
</table>

| 항 목 | 내 용 |
|---|---|
| |  |
| 부상공극 응답해석 비교 | • 설계 변경된 4대차의 경우, 기존 3대차 대비 약 38%의 부상 응답 개선이<br>예측 (속도 110km/h, 가이드웨이 처짐한계: L/2000) |
| 곡선추종성 해석 | • 설계 변경된 4대차의 경우, 기존 3대차 대비 약 65%의 횡방향 공극 개선<br>이 예측 (50mR, 10km/h, 캔트 0°, 브레이크 라이닝 위치)<br><최대 횡방향 공극> 3대차 : 12.5mm, 4대차 : 6mm |
| 부상공극 응답 특성 비교 | • 시스템 진동에 대해 설계 변경된 4대차의 경우, 기존 3대차 대비 각각<br>28%, 9%의 부상 공극 응답 개선이 예측된다(가이드웨이 L/2000). |
| 결론 | - 4대차 방식 부상용 전자석(1 pole 4 yoke)의 성능 우위<br>- 4대차 방식 적용 시, 승차감 및 부상안정성 향상 기대<br>- 4대차 방식 적용 시, 곡선추종성 및 구배완화 주행 성능 향상 기대 |

10) 대차 설계 내용(구성 및 개요/특징)

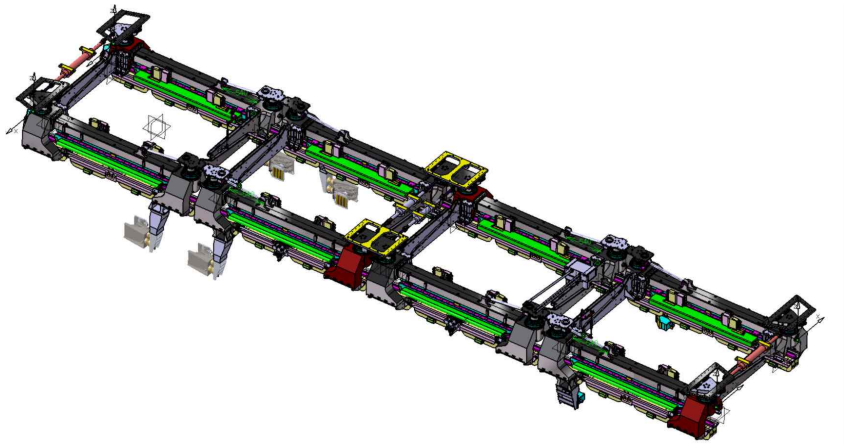
가) 대차 주요 특성

- 전자석의 자기력을 이용한 부상상태에서 비접촉 주행을 한다.
- 자중 및 차체에 의해 작용하는 하중을 지지하고 견인력과 제동력을 전달함과 동시에 차량의 주행은 최고 속도를 만족하고, 이와 관련하여 안전성 유지, 최소 곡선 통과 및 최대 구배 통과를 수행할 수 있는 구조로 한다.
- 승차감이 좋고, 소음이 적으며 유지보수가 용이하도록 한다.
- 대차프레임은 강도 및 강성을 유지하면서 경량화 구조로 이루어진다.

- 차량한계를 만족하도록 하며 차량의 최대 하중 조건 및 충격 하중에서도 안전하게 운행되도록 한다.
- 보수품과 예비품을 줄이기 위해 공용 부품을 대폭 적용한다.

나) 주요 제원

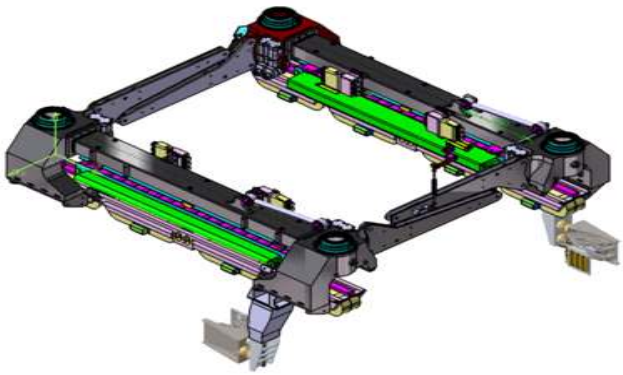
- 형식: 공기스프링식 대차
- 수량 : 4대/량
- 궤간 : 1,850mm
- 치수 : 길이(L) 2,600mm × 폭(W) 2,500mm
- 기초 제동방식 : 레일압착 제동
- 비상 장치 : 착지휠, 안내스키드, 착지스키드, 장애물 제거장치



[그림 43 ]자기부상열차용 대차의 형상(1량구성)

다) 주요 구성요소 및 기능

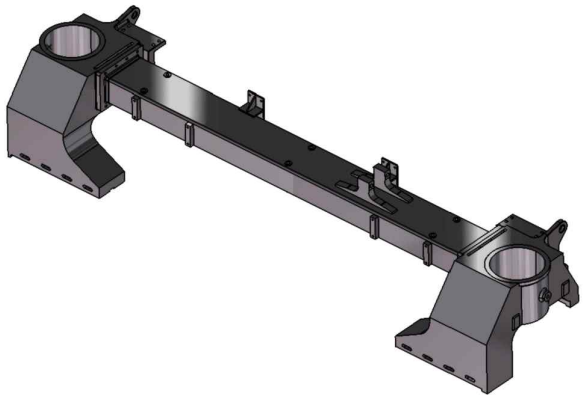
자기부상 대차의 1량구성은 4대의 대차와 steering device로 불리우는 차체~대차 조립부로 구성되며, 각 구성품의 기능은 아래와 같다



[그림 44 ]자기부상열차용 1대차 대차의 형상

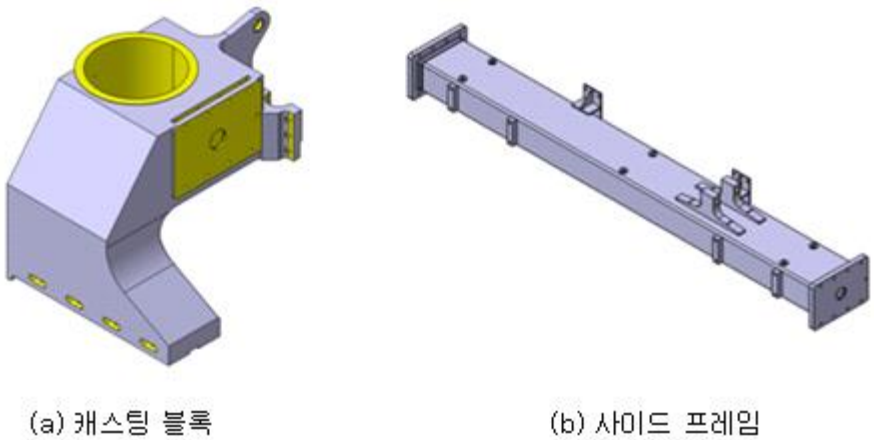
• 대차 프레임

자기부상열차용 대차의 골격을 이루는 대차프레임은 크게 casting block, 양측 사이드프레임을 연결하는 타이빔(Tie Beam)으로 구성된다. 대차 프레임은 차량의주행 시에 발생하는 하중을 지지하며, 또한 차량의 주행에 필요한 각종 부상/안내, 주행장치 및 제동장치 등을 수용하므로 유연하고도 강한 구조적성능이 요구된다.



[그림 45 ]대차 프레임 제품 형상

프레임의 주재료는 Al이며, LIM, 전자석, traction rod, 공기스프링, 그리고 비상착지륜과 착지스키드가 조립될 수 있는 구조를 가진다. 프레임은 형상의 복잡성과 작업성을 고려하여, 2개의 Al casing block과 Al 압출재을 이용한 Al용접구조물을 bolt 조립구조로 제작된다. 아래 그림(a)는 casting block, 아래 그림 (b)는 sideframe의 형상을 보여주고 있다.




[그림 46 ]대차 프레임 구성품

• 타이빔(Tie Beam)

타이빔은 양측의 대차프레임을 연결하는 구조로서, 두 개의 채널로 이루어진 주구조와 양단의 힌지 구조로이루어진다. 이 힌지에 의하여 주행

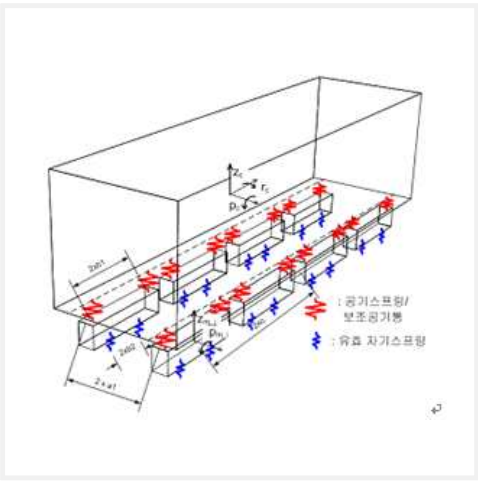
중 대차프레임에 각변형이 일어나게 되며, 이로 인하여 원활한 곡선 구간 주행이 가능해진다.

또한 타이빔은 내측에 설치된 4절 링크구조로 설계되었으며, 이것으로 양쪽 대차프레임간 독립적인 횡방향 운동을 가능하게 하고, 양 대차프레임의 roll 방향 운동을억제하게 된다. 링크구조의 수직링크는 adjusting 기능을 가지며, 양쪽 대차프레임의 변형 혹은 조립공차를 보완할 수 있도록 하였다.

[그림 47 ]타이빔 연결 형상

- 현수장치

자기부상열차의 대차는 넓은 의미에서 2종의 현수장치가 적용된다. 1차 현수장치는 전자석을 이용한 자기 현수장치(electro-magnetic suspension)으로 전자석으로 구성된 현수장치이며, 2차 현수장치는 철도 차량의 전형적인 공기스프링을 이용한 현수장치이다. 2차 현수장치의 기능은 차량의 주행 중에 발생하는 수직하중, 횡방향 하중을 전달하고, 2차 현수장치는 공기스프링, 견인로드(Traction Rod), 레밸링밸브 시스템으로 구성된다.




- 공기스프링

본 자기부상열차에는 공기스프링을 적용하여 2차 현수장치를 구성하였다. 공기스프링은 기존의 코일스프링과는 달리 승객하중이 변화하더라도 차체의 높이를 일정하게 유지할 수 있는 장점이 있다. 또한 하중의 변화에 관계없이 차체의 공진을 1Hz 내외로 유지할 수 있어 승차감을 향상시킬 수 있다. 그림 30은 차량에 적용된 공기스프링 외형이며, Diaphragm 방식으로 횡방향 강성을 보완하기 위해 frame(casting block)내 삽입되는 방식으로 조립된다.

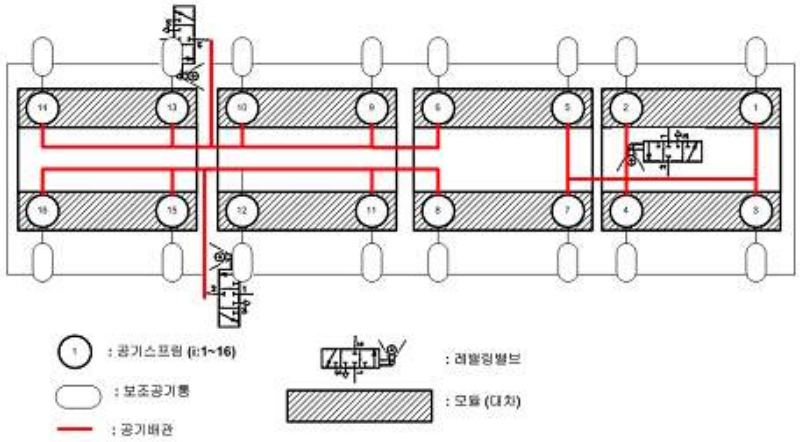
[그림 48 ]적용
공기스프링 외형

• 견인 로드(Traction Rod)

대차와 차체를 진행방향으로 연결하는 견인 로드에 의해 대차에서 발생하는 견인력 및 제동력이 차체로 전달된다. 자기부상열차의 경우 차량당 4대의 대차가설치되며, 견인 로드는 원형 단면의파이프 양단에 각변위를 수용할 수 있는 고무베어링을 설치하여 차체 및 대차와의 연결 후 약간의 각 변위가 가능하도록 제작하였다.

• 레벨링 시스템

레벨링 밸브의 위치는 차량과 모듈간 변동이 작고, 각 군의 반발력의 중심에 해당하는 위치로 잡았으며, 그 대략적인 위치는 그림 31와 같이 1위 대차 후방과 3위대차 후방 좌우에 각각 설치한다. 3개의 공기스프링 군은 각각 6개, 5개, 5개로 구성되며, 각각 차량 중량을 3점 지지방식으로, 차량과 모듈간의 일정한 높이를 지탱하게 된다. 자기부상차량에서 3점지지 방식은 차량의 높이 조절이 용이하고, 완화곡선에서 부상력에 미치는 off-load를 최소화하여 부상안정성에 도움을 줄 것으로 판단된다.

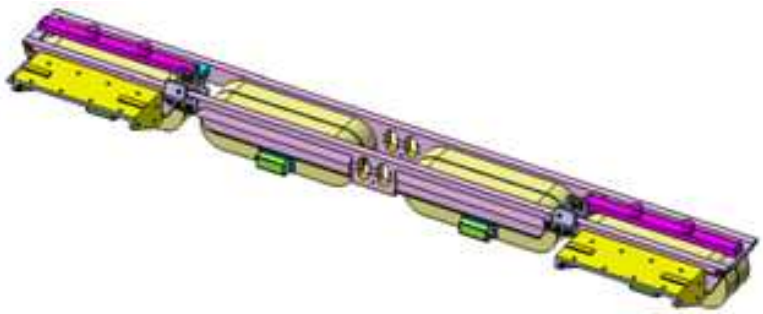



[그림 49 ]현수장치의 구성

• 자기 현수장치- 전자석

부상용 전자석은 한 대차 당 8개씩 설치되며, 차체에 탑재된 Magnet Driver 로부터 전력을 인가받아 차량을 부상시키는 역할을한다. 부상용 전자석 및 자기현수 특성에 관한 상세한 내용은 별도의 문서에서 다루도록 한다. 그림 32는 부상용 전자석 형상을 나타낸다. 전자석은 1개의 long pole에 4개의 yoke로 구성되며, 4개의 yoke에는 각각 2개의 coil이 조립된다. 전자석의 양 끝단에는 gap센서가 조립되고, 대차 프레임과의 조립을 위한 magnet bracket이 설치된다. 전자석에는 부착되는 대차의 위치에 따라, 제동실린더, lateral skid, CCD, Dopplersensor가 부착된다.

전자석은 착지 시 14mm, 부상 시 8mm의air-gap을 rail과 유지토록 설계되었으며, 레일 전자석 흡착을 막기 위해 magnet_skid가 전자석 pole상부에 설치된다.



[그림 50 ]부상용 전자석

• 추진장치 조립

선형유도전동기(LIM)는 한 대차 당 좌우 각 1대씩 총 2대가 설치되며,

VVVF Inverter으로부터 전력을 인가 받아 차량을 추진시키는 역할을 한다. LIM은 대차 프레임 하부에 조립되며, 궤도의 reaction plate와 부상시 11mm, 착지시 5mm가 되도록 설치한다.

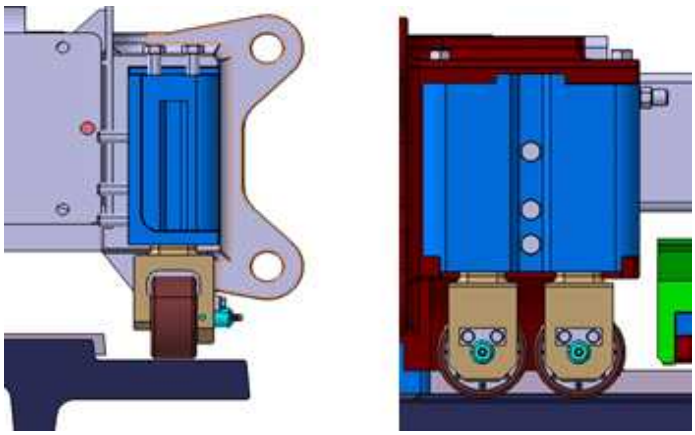
• 궤도 안내 장치

자기부상차량은 부상주행 시 대차와 궤도는 비접촉으로 작동되지만, 외부에서의 이상가진, 차량 고장 등의 이유로 설정된 gap이상의 대차 변위가 발생할 수 있으며, 이에 대해 대차에는 궤도 안내장치가 부착되어 대차의 안전성을 확보한다.

궤도 안내장치로는 비상착지륜(emergency landing wheel), 착지스키드(landing skid), 횡 방향 스키드(lateral skid)가 있다.

• 비상착지륜 (emergency landing wheel)

비상착지륜은 부상시스템 이상시 바퀴를 이용하여 차량을 이동하기 위한 장치로, 차량 저속 운행시에만 사용토록 사양을 제한하였다. 비상착지륜의 작동은 유압실린더를 이용하여 작용/완해 제어가 될 수 있도록 하며, 대차량 4개의 비상착지륜을 설치하도록 한다.

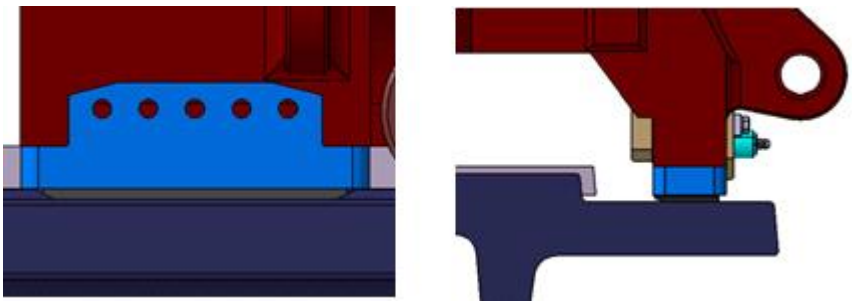


[그림 51 ]비상착지륜 설치

• Landing Skid

Landing skid는 차량의 정상 주행시 갑작스런 부상시스템의 고장으로 차량이 레일에 떨어질 때 차량의 충격량을 견디고, 차량이 멈출 때까지 차량의 수직하중을 견디는 장치이다. 따라서, landing skid는 내충격성, 내마모성, 내열성이 요구되고, 레일과 접촉되는 면을 보고하기 위해 레일에

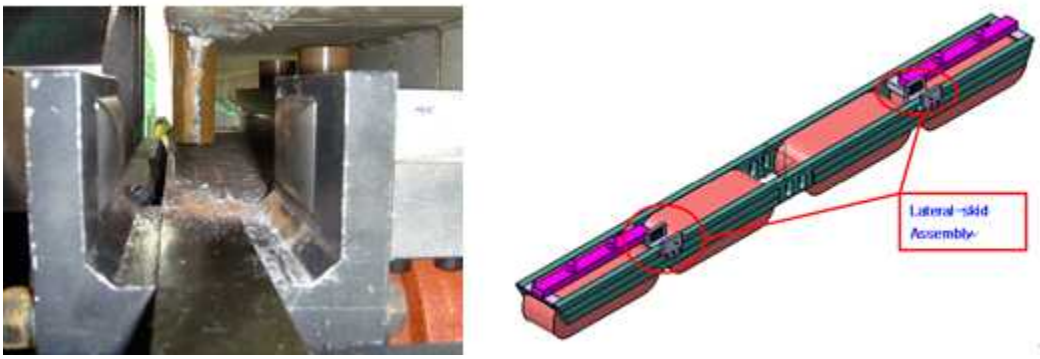
대한 공격성이 낮아야 하는 특성이 있다. 그리고, landing skid는 최대구배에서 차량의 주차제동력을 발생시키고, 레일 접촉 시 승객에 과도한 제동감속도를 전달하지 않기위해 마찰계수는 적정한 마찰계수를 가져야 하고, 그 값은 작동조건에 따라 변화가 작아야 한다. 아래 그림은 landing skid의 조립 형상이다.



[그림 52 ]landing skid

• Lateral Skid

Lateral skid는 레일에 대한 물리적stopper의 기능으로 전자석의 횡복원력 부족시 대차가 일정량이상 궤도에 대해 벗어나지 못하게 한다. Lateral skid의 요구사항으로는 낮은 마찰계수, 내구성, 내마모성 등의 요구성능이 있다. 그림 35는 설치된 lateral skid의 형상과 설치 위치를 나타낸다.




[그림 53 ]lateral skid

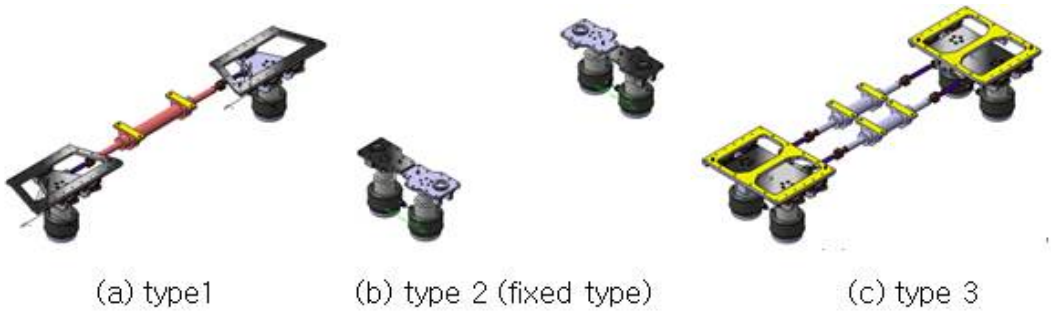
• Sliding Table & Steering Cylinder

량당 4대차가 적용되고, 도시내 급곡선 선로를 운행하기 위해 자기부상차량은 sliding table과 steering cylinder를 이용한 조향 메커니즘을 적용한다. 자기부상차량은 곡선에서의 차량과 대차의 과도한 횡변위를 흡수하기 위해 LM guide를 이용한 sliding table을 적용하였고, sliding table로 인해 부족해진 직선 주행안정성을 보완하기 위해 차량 끝단부와 중앙부의

거동을 구속하는 steering cylinder를 적용한다.

조향 메커니즘에 대한 차량 구성은 16개의 공기스프링에 3종의 sliding table이 설치되고, 양끝단과 중앙부에 거동을 구속하는 steering cylinder을 설치한다.

아래 그림은 3종의 sliding table과 steering clydiner의 조립 형상을 보여주고 있다. Type1은 차량 양 끝단에 설치되는 형대로 한 개의 공기스프링에 한 개의 sliding table이 조립되고, 차량중앙에 설치된 steering cylinder의 양 끝단에 힌지형태로 2개의 sliding table이 조립된다. Type1은 차량 끝단에 설치되어, 곡선상에서 차량의 outer overthrow를 흡수한다. Type2는 fixed table이라고도 불리며, 차체에 고정되는 형태의 table이다. Type 2의 설치위치가 대차의 yaw방향 거동의 회전중심이 되며, 1,2번 대차 중간, 3,4번대차 중간이 설치위치가 된다. Type3은 차량 중앙부의 sliding table로서 양 끝단에서 오는 2개의 steering cylinder와 연결된 2개의 유압실린더가 장착되고, type1보다는 작지만 80mm 정도의 횡변위를 흡수하기 위해 LM guide가 설치된다. 그리고, 차량이 전후위 곡선반경이 다를 선로에서 높이는 경우를 위해 균형링크를 삽입하여, 전후위 평균변위가 발생할 수 있도록 구성하였다.

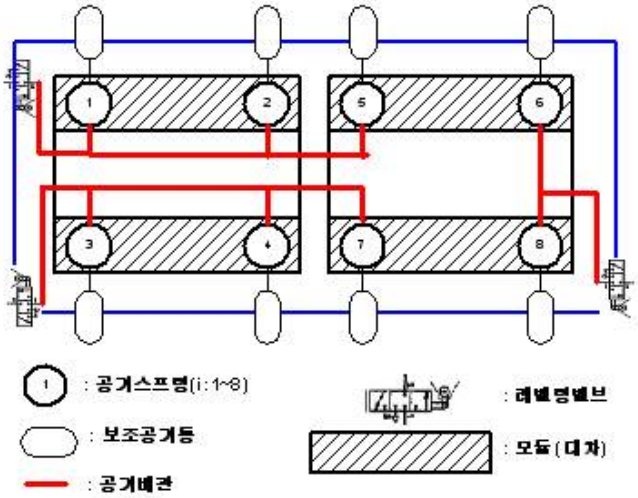



[그림 54 ]sliding table & steering cylinder

11) 시험대차 주행성능 시험을 통한 대차 성능 개선방안 도출

가) 2차 현수장치 시험

시험대차의 2차 현수장치는 하기 그림과 같이 8개의 공기스프링과 3개의 레벨링밸브로 구성되며, 시험대차 내 각 배관에는 test fit을 설치하여 압력을 측정 가능토록 하고 1번 공기스피링과 8번 공기스프링에는 하중 재분배용 Vent valve를 설치 함.




[그림 55 ]시험대차 현수장치 공기 흐름도

정지상태의 정상차량과 6번 공기스프링에 장착된 vent valve를 작동하였을 때 2가지 case에 대해서, 배기상태에서 증가된 하중에 대한 부상안정성을 확인/검증.

나) 부상주행 및 착지 주행 시험

차량과 대차의 각각의 x, y, z, roll, pitch 그리고 yaw방향의 거동을 확인하게 위해 하기 그림과 같은 위치에 가속도 센서를 부착 후, 부상/착지 상태에서 비교 주행 시험을 실시, 상세 공진 분석을 통해 개선사항 및 방안 도출.

12) 대차 프레임 구조 해석

가) 해석 모델

사용된 요소는 솔리드요소(Hex8, Tet4)와 빔요소(Beam)를 사용하였으며 그 외에 볼트 및 하중 및 구속조건을 구현하기 위하여 Rigid요소가 사용되었다.

[그림 56 ]유한요소모델

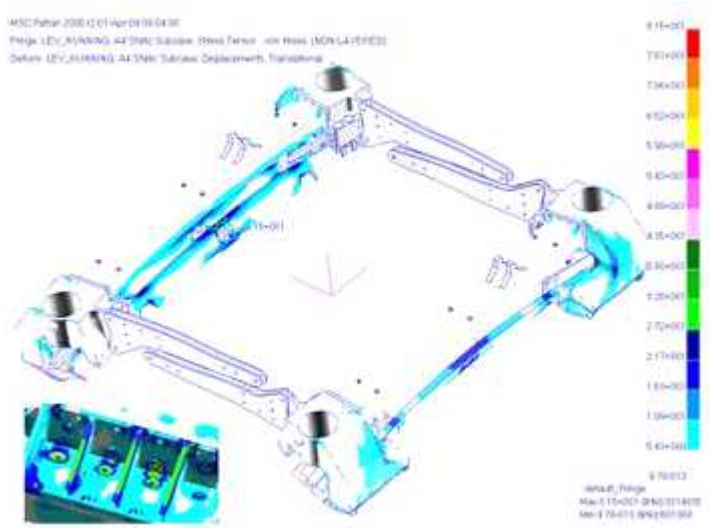
[표 13 ]재료 물성치

| 재질 | 항복강도 | | 인장강도 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | 모재 | 용접부 | | |
| 6005A-T6 | 215 | 114 | 260 | Side frame (Extrusion) |
| 5083P-O | 205 | 124 | 310 | T-link Brkt, Tie beam & Fixed plate |
| EN AC 42200 | 294 | | 327 | Casting block, Pole brkt |

[표 14 ]정하중조건

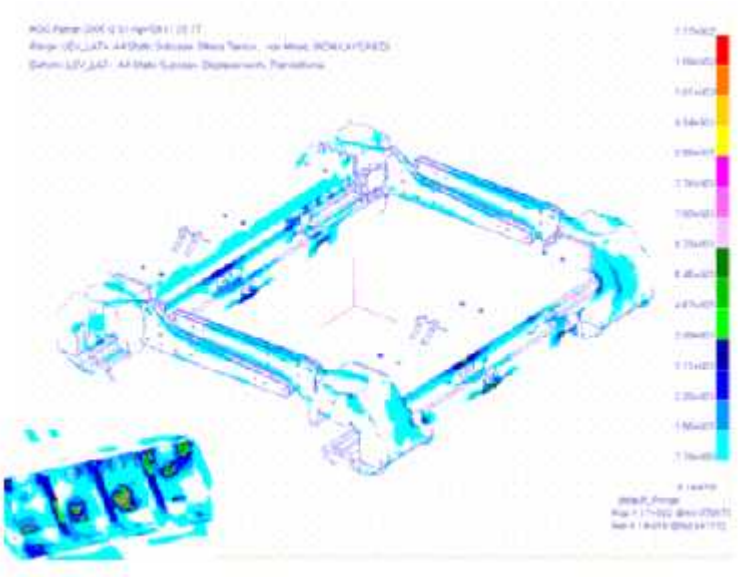
| 하중 | 상태 | 입력값 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 수직하중 | 부상주행 | 9,710 [N], $F_{ZL}$ | Magnet coil 하중부하 |
| 좌우하중 | 부상주행 | 42,784 [N], $F_{YL}$ | Lateral Stopper 하중부하 |
| 낙하하중 | 낙하시 | 38,136 [N], Fzd | Landing skid 하중부하 |

나) 수직하중 적용 시



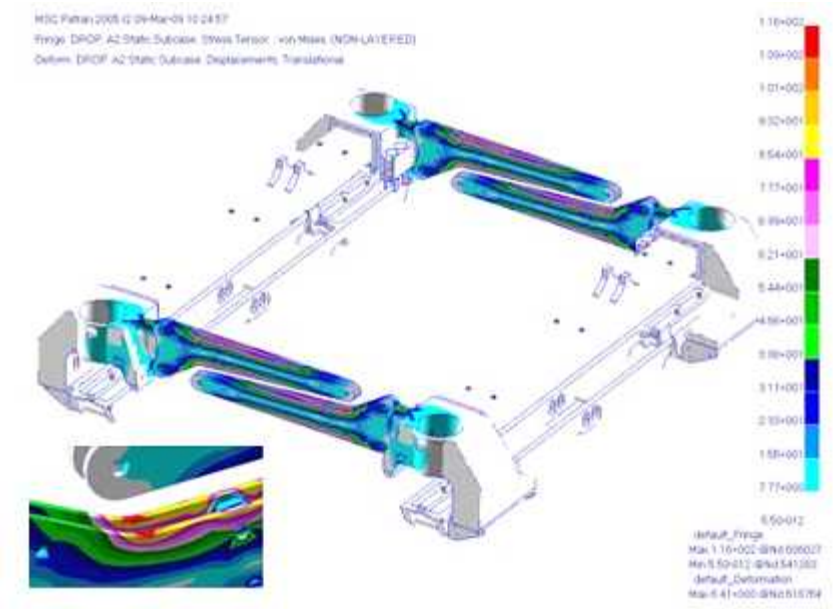
Magnet pole 취부 브라켓 bolting 부에서 최대응력 79.8Mpa 이 발생하였으며 이 부분의 재질인 EN AC 42200의 항복응력(294Mpa) 넘어서지 않음.

다) 좌우하중 적용 시



Magnet pole 취부 브라켓 bolting 부에서 최대응력 117Mpa 이 발생하였으며 이 부분의 재질인 EN AC 42200의 항복응력(294Mpa) 넘어서지 않음.

라) 낙하하중 적용 시

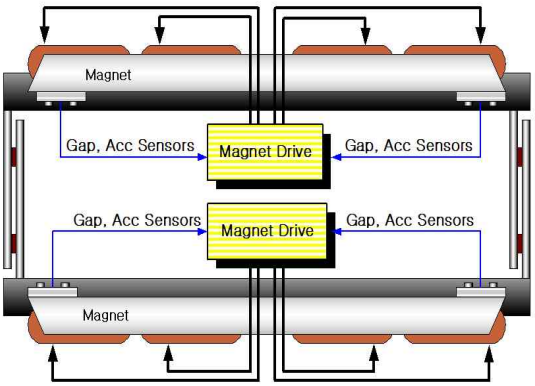


Tie beam의 링크 취부부위 근처 R부에서 최대응력 116Mpa 이 발생하였으며 이 부분의 재질인 A5083의 항복응력(205Mpa) 넘어서지 않음.

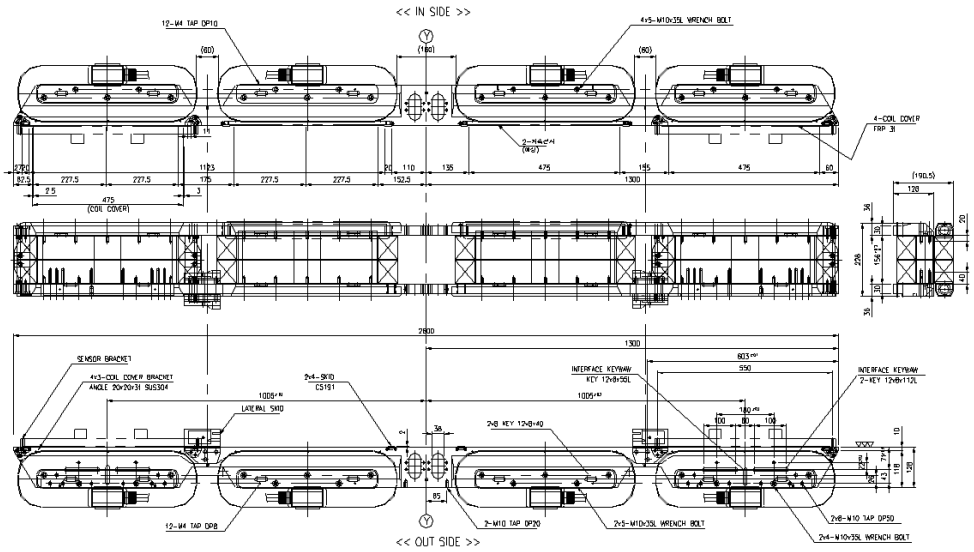
13) 부상시스템 구성 및 사양

가) 부상 전자석 사양 및 특징

- Drag Force 감소를 위해 Long Pole 전자석 적용
- 시스템 Redundancy 개념 적용

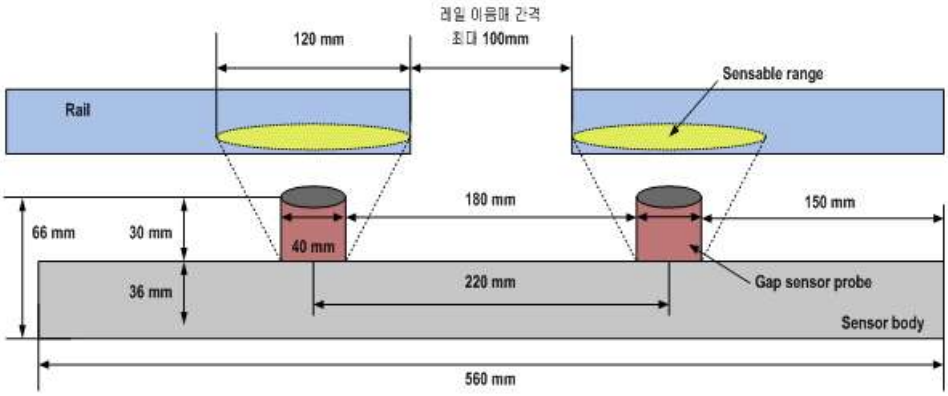



| 항목 | 사 양 |
|---|---|
| 대차 수량 | 4set / 량 (전자석 32 set/량) |
| 정격부상공극 | 전기공극 : 8[mm] |
| 착지공극 | 14[mm] |
| 최고속도 | 110[km/h] |
| Fault redundancy | Power Back-up : Battary Back-up(DC300V) |
| | 부하 Reduction : 2nd Suspension 압력 조절 |
| 부상제어 | 4Edge |
| 전자석 수량 | 8 MODULE / 량<br>4SET 전자석 / MODULE |
| 전자석당 부하 | 1,313[kgf]/전자석 |
| 센서 | 2 probe gap sensor + 1 Vertical accelerometer<br>16 set/량 |




[그림 57 ]부상전자석 Ass'y 도면

나) Gap & ACC 센서 사양

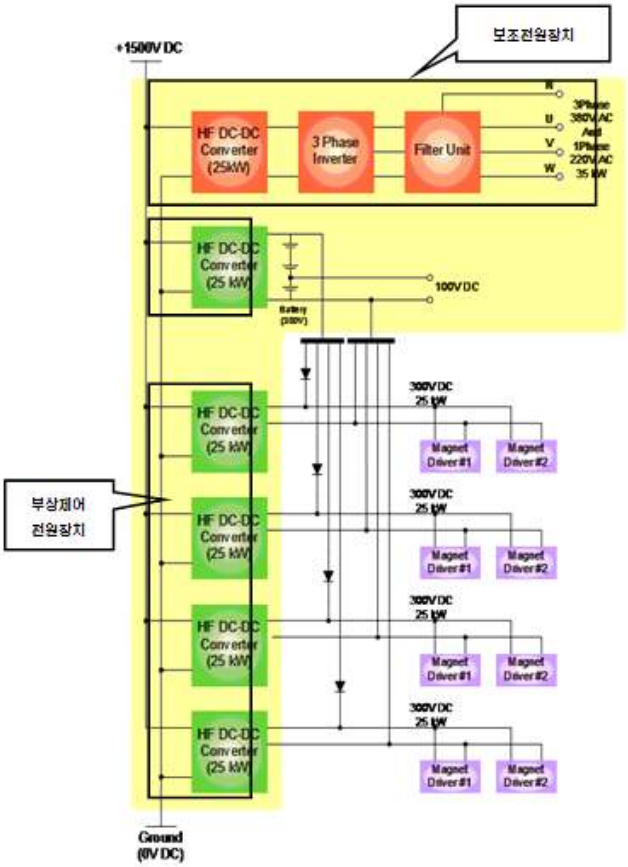



| PART of ACCELEROMETOR | |
|---|---|
| Measuring Range | +49 m/s² (+5G) ~ -58.8 m/s² (-6G)<br>(G-forces 9.8 m/s² == 1G) |
| Sensitivity | 9.8 m/s² (1G)/1V |
| Center of output | 0V ±0.3 V |
| Linearity | ±3 %/FS |
| Resolution | 0.166 m/s² |
| Frequency Range | DC ~ 1.4 kHz (-3dB at 1.4 kHz) |
| Phase Response | 180 degree start 175 degree at 100 Hz |

| PART of GAP - SENSOR | |
|---|---|
| Target | Iron |
| Measuring Range | 3mm~ 19mm |
| Output | 1V/2mm<br>(+1.5V=3mm, +4V=8mm,<br>+9.5V=19mm) |
| Linearity | ±5%/FS : 3~ 15 mm |
| Resolution | 18μm |
| Frequency Range | DC ~ 10 kHz (-3dB at 10 kHz) |
| Output impedance | 50Ω |
| Operating Temperature | -25 ℃ ~ +70 ℃ |
| Storage Temperature | -25 ℃ ~ +70 ℃ |

14) 보조전원장치 시스템 구성 및 사양

가) 사양




| 항목 | | 전원 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 입력 | 전압 | DC 1500V | |
| 출력 | 전압 | AC 380V, 3Ø<br>AC 220V, 1Ø | 교류 부하용 |
| | | DC 100V | 배터리 충전 및 직류 부하용 |
| | | DC 350V | 부상제어기용 전원 |
| | 용량 | 50kVA | 교류 부하 및 DC 100V 부하용 |
| | | 100kW | 부상제어기용 |

나) 보조전원장치 - 정지형인버터(Static Inverter)

① 차량 실내외에 사용되는 전기장치(형광등, 히터, 에어컨 등)에 공급되는 교류 3상 380V, 단상 220V를 생성하는 장치

② 구성 : 공진형 컨버터, 3상 인버터, 필터 유니트

다) 부상제어 전원장치

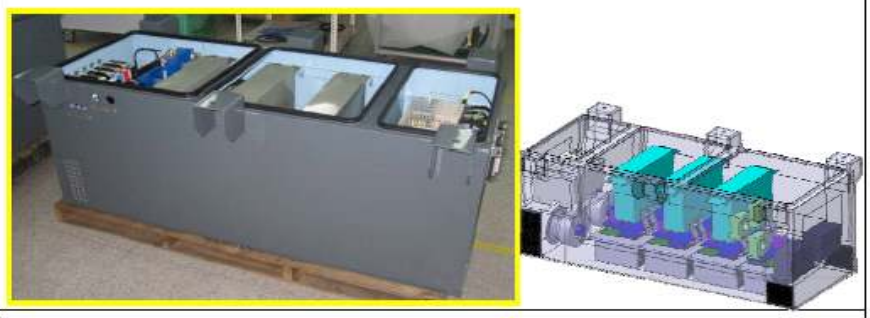
① 차량을 부상시키기 위해 필요한 직류 350V 전원을 생성하는 장치

② 구성 : 공진형 컨버터

라) 정전 시에도 부상유지를 위한 Battery Charger 및 Back-up 배터리 탑재

15) 추진장치 주요 구성품 개요 및 사양

가) 인버터 박스

| 항목 | | 주요 사양 | |
|---|---|---|---|
| 인버터 | 외형 |  | |
| | 치수 | 1600 mm (L) x 700 mm (W) x 700 mm (H) | |
| | 중량 | 490kg | |
| | 사양 | 정격용량 | 1450KVA |
| | | 출력전압 | 0~1100Vac |
| | | 출력전류 | 660A |

나) Line Breaker 박스 및 Filter Reactor 박스

| 항목 | | 주요 사양 | | |
|---|---|---|---|---|
| Line Breaker Box | 외형 | | 치수 | 900 mm (L) x 900 mm (W) x 700 mm (H) |
| | | | 중량 | 240kg |
| | | | 사양 | HSCB : 1000A/1800V<br>LB : 800A/1500V<br>CCK : 250A/1500V<br>충전저항 : 20 ohm/2kW |
| Filter Reactor | 외형 | | 치수 | 900 mm (L) x 800 mm (W) x 700 mm (H) |
| | | | 중량 | 350kg |
| | | | 사양 | - Inductance : 5mH<br>- 정격 전류 : 400A<br>- 정격전압 : 1500V |

다) 선형유도전동기

| 항목 | | 주요 사양 | 비고 |
|---|---|---|---|
| LIM | 외형 | | 최대 출력 47.2 [kW]/LIM<br>기동 추력 3,775[N]/LIM<br>(Full l oaded)<br>LIM 공극 : 11[mm]<br>LIM 극수 : 8<br>매극매상 슬롯수 : 2<br>단절율 : 5/6<br>총 슬롯수 : 53 |
| | 치수 | 길이 : 1785mm<br>폭 : 557mm<br>높이 : 132mm | |
| | 중량 | 200kg/LIM | |
| | 사양 | 정격 전압 : 275V/LIM<br>정격 전류 : 300A<br>정격 용량 : 42kW | |

16) 전기장치 사양

| 장 치 명 | | 사 양 | |
|---|---|---|---|
| 집전장치 | | - 방식 : 대차에 취부, 상시 접촉식(주회로차단기에 의한 접점 분리)<br>- 수량 : +,- 각 2셋트/량<br>- 접촉압력 : 8kgf<br>- 슈마모량 : 1.5 mm/천km 이하 | |
| 축전지 | | - 수량 : 1 셋트/량<br>- 방식 : Ni-MH(니켈수소)<br>- 전압 : 300VDC (100V 공용)<br>- 용량 : 30Ah | |
| 실내조명 | | AC형광등, DC형광등(비상), LED 스팟조명, 광고판 백라이트 | |
| 멀티미디어 컨트롤 시스템 (차상) | 통신장치 | 열차무선장치 | 국가재난망(TETRA)에 직접 연결, 음성송수신 |
| | | 무선송수신기 | 동영상(데이터포함) 송수신, 양방향 |
| | 방송장치 | 제어기(중앙/객실) | 시스템 통합 처리, 장치간 인터페이스 제공 |
| | | 동영상 서버 | 동영상/데이터 등의 차량 내 실시간 저장 |
| | | MMI | 은폐형 조작반 또는 이동형 조작반(무인운전) |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | LCD표시기 | 행선지안내, 생활정보(공항이용정보), 비상발생시<br>대피방법 등의 제공 |
| | | 비상인터폰/스피커 | 승객안내방송, 경보음, 비상시 사령실과의 통화 등 |
| | 기타 장치 | LED표시기 | 열차 외부 차량번호/행선지 표시 등 |
| | | CCTV | 차량 내/외부 감시(형상 감지), 궤도 장애물 감시 등 |
| | | 화재/연기 감지기 | 화재 감지 등 |

17) 종합제어장치(TCMS) 구성 및 사양

| 장 치 명 | 사 양 |
|---|---|
| TCMS 구성 및 주요사양 | 1) CPU 및 Memory 사양<br>- CPU : MPC860(50MHz)<br>- Back Up Memory : 32M 이상<br>2) 통신방식<br>- Main 통신 : TCN(IEC 61375-1, WTB)<br>- Local 통신 : TCN(IEC 61375-1, MVB) 및 RS-485<br>3) 구성<br>- CCU : 375x310x242, 7.9kg<br>- DU : 310x214x100, 4.5kg |
| H/W 기본사양 | 1) CCU : RS-485 3ch, DI 40ch, DO 16ch<br>2) DU : 800x600, 256color, Touch Screen |
| 인터페이스 | 1) 통신 인터페이스 |

| | |
|---|---|
| 사양 | - MVB : ATC/ATO, VVVF INVERTER, SIV, ECU, DC/DC 등<br>- RS485 : DCU, HVAC, MSR, BMS 등<br>2) DI : 100V/5mA, DO : 100V/200mA, AI : 0~10V/20mA |
| 시스템 백업 방안 | 1) MVB_IO 2중계 구성으로 운전실 데이터 수신.<br>2) TCN을 이용한 통신 이중계 구성.<br>3) Mc1 CCU 고장시 Mc2 CCU가 백업 실시. |
| 제어기능 | 1) 부상 제어 : 개별부상 명령 전송(통신)<br>2) 연장급전제어, 고압회로 제어, CMSB 기동 제어, 밧데리 저전압<br>제어, 냉/난방 제어, 서비스 기기 제어, 실내등 제어등 수행. |
| 검수지원기능 | 1) TCMS 입/출력 신호 및 통신 Protocol 데이터 현시<br>2) 운행기록(입/출력 기록, 출입문 기록 포함) 및 고장기록<br>3) USB 및 PTU를 활용한 데이터 수집 가능.<br>4) 차상검사 기능 구현(PDT, 일상검사, 월상검사) |

(3) 각 시스템/ 장치 별 RAMS 관리 요구사항

| 장 치 명 | 사 양 | |
|---|---|---|
| RAMS 분석에 사용되는 차량 운영 조건 | - 열차 구성 : 2량 1편성 (Mc1-Mc2)<br>- 년간 주행 거리 : 49,093 km<br>- 평균 운행 속도 : 7.47 km/h<br>- 일일 운영 시간 : 18Hours<br>- 년간 운영 시간 : 6,570Hours | |
| Reliability Requirements | 고장 시나 리오 | • 중대고장(SG) :<br>열차운행서비스에 영향을 미치며 열차 운행 복구시간이<br>30분을 초과<br>• 주요고장(MJ) :<br>열차운행서비스에 영향을 미치며 열차 운행 복구시간이<br>4분 초과 30분 이하<br>• 경미한 고장(MI) :<br>열차운행서비스에 잠재적인 영향을 미치며 열차 운행<br>복구시간이 90초 초과 4분 이하<br>• 무시가능 (NE) :<br>열차운행 서비스에 직접적인 영향을 미치지 않거나<br>복구시간이 90초 이하가 소요되나 고장정비가 필요. |

<table>
<tr><td></td><td>각<br>장치별<br>목표치</td><td>
<table>
<tr><th rowspan="3">Subystem</th><th colspan="4">자기부상열차</th></tr>
<tr><th rowspan="2">Equipment</th><th>SG</th><th>MJ</th><th>MI</th></tr>
<tr><th>Failure Rate</th><th>Failure Rate</th><th>Failure Rate</th></tr>
<tr><td>출입문</td><td>출입문</td><td>1.04E-06</td><td>3.45E-05</td><td>2.74E-04</td></tr>
<tr><td>HVAC</td><td>냉,난방 및 환기장치</td><td>4.06E-07</td><td>1.35E-05</td><td>1.07E-04</td></tr>
<tr><td>대차</td><td>대차</td><td>4.52E-08</td><td>1.50E-06</td><td>1.19E-05</td></tr>
<tr><td>제동 및 공기공급시스템</td><td>제동 및<br>공기공급시스템</td><td>5.42E-07</td><td>1.80E-05</td><td>1.43E-04</td></tr>
<tr><td>연결장치</td><td>연결기</td><td>9.03E-08</td><td>3.00E-06</td><td>2.39E-05</td></tr>
<tr><td rowspan="5">부상장치</td><td></td><td>2.26E-07</td><td>7.50E-06</td><td>5.96E-05</td></tr>
<tr><td>전자석</td><td>2.26E-08</td><td>7.50E-07</td><td>5.96E-06</td></tr>
<tr><td>Magnet Driver</td><td>6.77E-08</td><td>2.25E-06</td><td>1.79E-05</td></tr>
<tr><td>Gap 센서</td><td>6.77E-08</td><td>2.25E-06</td><td>1.79E-05</td></tr>
<tr><td>가속도센서</td><td>6.77E-08</td><td>2.25E-06</td><td>1.79E-05</td></tr>
<tr><td rowspan="4">추진장치</td><td></td><td>9.93E-07</td><td>3.30E-05</td><td>2.62E-04</td></tr>
<tr><td>집전장치</td><td>9.93E-08</td><td>3.30E-06</td><td>2.62E-05</td></tr>
<tr><td>선형유도전동기</td><td>9.93E-08</td><td>3.30E-06</td><td>2.62E-05</td></tr>
<tr><td>전력변환장치</td><td>7.95E-07</td><td>2.64E-05</td><td>2.10E-04</td></tr>
<tr><td rowspan="3">보조전원</td><td></td><td>1.81E-07</td><td>6.00E-06</td><td>4.77E-05</td></tr>
<tr><td>보조전원장치</td><td>1.63E-07</td><td>5.40E-06</td><td>4.29E-05</td></tr>
<tr><td>배터리</td><td>1.81E-08</td><td>6.00E-07</td><td>4.77E-06</td></tr>
<tr><td>TCMS</td><td>TCMS</td><td>1.81E-07</td><td>6.00E-06</td><td>4.77E-05</td></tr>
<tr><td>방송시스템</td><td>방송및표시기</td><td>3.61E-07</td><td>1.20E-05</td><td>9.54E-05</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Maintainability Requirements</td><td>• 별도의 정비나 부품교환 없이 권장하는 검사주기를 충족할<br>수 있는 성능 및 내구성을 확보<br>• RAM demonstration 기간 동안 MTTR이 2시간 이내로 만족<br>• 평균수리시간(MTTR)은 순수한 교체정비기간을 의미</td></tr>
<tr><td colspan="2">Safety 요구조건</td><td>• 위험도의 Ri나 Index가 “Acceptable Category” 이하로 관리<br>(Risk Matrix에 정의된 "To" 또는 "Ne"를 만족)</td></tr>
</table>

(4) 목표 중량 관리

- 목표 중량 : 공차 20톤

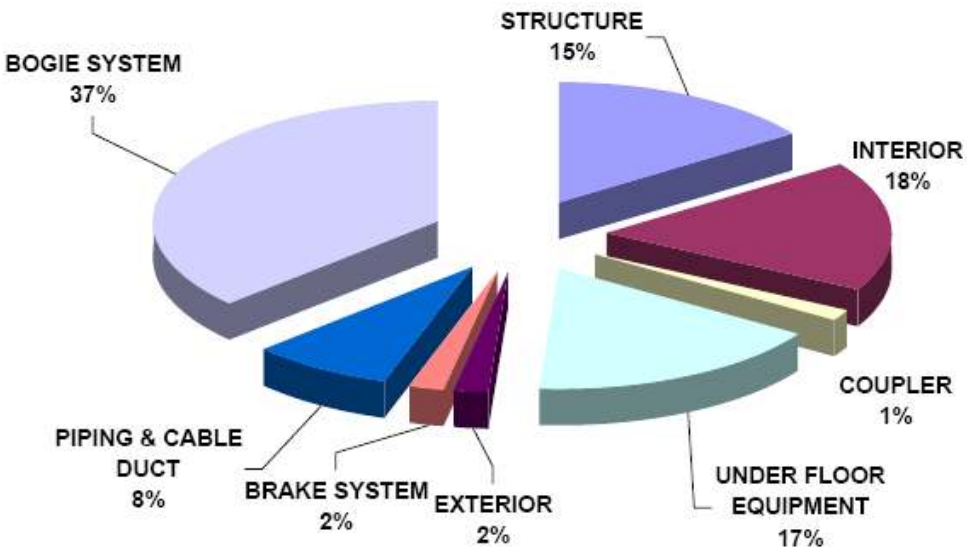
## WEIGHT SUMMARY SHEET

6.Feb.09 REV-0

| ID NO. | ITEM | TOTAL WEIGHT (kg) | | REMARKS |
|---|---|---|---|---|
| | | MC1 Car | MC2 Car | |
| 1 | STRUCTURE | 2,953 | 2,953 | |
| 2 | INTERIOR | 3,408 | 3,408 | |
| 3 | COUPLER | 270 | 270 | |
| 4 | UNDER FLOOR EQUIPMENT | 3,326 | 3,106 | Battery 차이 |
| 5 | EXTERIOR | 392 | 392 | |
| 6 | BRAKE SYSTEM | 346 | 346 | |
| 7 | PIPING & CABLE DUCT | 1,564 | 1,564 | |
| 8 | BOGIE SYSTEM | 7,203 | 7,203 | |
| 9 | Passenger load condition | 6,510 | 6,510 | |

| ID NO. | LOAD CONDITION | CENTER OF GRAVITY(mm) | | | | | | REMARKS |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | MC1 Car | | | MC2 Car | | | |
| | | X | Y | Z | X | Y | Z | |
| 1 | **AW0** | 34 | -1 | 845 | 27 | -1 | 848 | |
| 2 | **AW3** | 25 | -1 | 710 | 20 | -1 | 711 | |

| ID NO. | ITEM | MC1 Car | MC2 Car | REMARKS |
|---|---|---|---|---|
| A | CAR WEIGHT IN AW0 LOAD CONDITION (Including Bogie Weight) | 19,462kg | 19,242kg | 19351.76 |
| B | CAR WEIGHT IN AW3 LOAD CONDITION (Including Bogie Weight) | 25,972kg | 25,752kg | 25861.76 |
| E | TRAIN SET WEIGHT(MC1+MC2):AW3 LOAD | | | 51,724kg |




[그림 58 ]장치 별 중량 분포 현황

(5) 차량 디자인 목업 제작

<table>
<tr><td rowspan="2">차량 디자인 목업</td><td>제작품목 및 제작이력</td><td>- 제작 품목 : 전두부를 포함한 1/2량 길이의 실제크기 차량 및<br>더미 궤도/대차<br>* 차량 길이: 실차량의 1/2<br>* 차량 폭, 높이 : 실 차량 크기<br>* 의자, 출입문 : 실용화사업 결과물 활용<br>* 대차 및 부속품, 궤도 : Dummy 활용<br>- 제작기간 : 2008. 3/초 ~ 6/말<br>- InnoTrans 2008 전시 : 2008.9.23 ~ 9.26 (독일 베를린)</td></tr>
<tr><td>품평회</td><td> </td></tr>
</table>

(6) 시험대차 제작 및 기능/성능 시험 수행

(가) 제작 목적

향후 실용화 차량에 적용할 대차 시제 제작 및 사전 시험으로 대차구조 변경에 따른 각종 인터페이스 및 기능/성능 사전 검증 실시

[그림 59 ]Frame Assembly

[그림 60 ]Module assembly

[그림 61 ]3-D measurement for bogie assembly

[그림 62 ]Installation of bogies on track

[그림 63 ]Trucking of car-body on two bogies

(나) 시험대차 주요 시험 실시 항목

| 구분 | 시험항목 | | |
|---|---|---|---|
| 기능시험 | 추진/전기제동시험 | 속도장치 | 취부/신호 확인 |
| | | VWF Inverter/LIM | I/F 신호 및 결선 확인 |
| | | | 시퀀스 확인 |
| | | 추진방향 | SLIM 결선 확인 |
| | | 추진 시험 | 역행시험 |
| | | 회생제동시험 | 회생제동시험 |
| | Interaction시험 | 추진/부상 | 간섭시험 |
| | | | 부상 Gain 튜닝 |
| | | | Slip 주파수 변경 |
| 추가 보완시험 | Air Spring Air Ventilation 시험 | | |
| | HF DC/DC Converter 시험 | 부상시스템 Gap 변동 최소화 | |
| | 곡선구간 착지후 추진시험(Lateral Skid 평가) | | |
| 성능시험 | 가/감속도 측정 | 가속시험 | 가속도 확인 |
| | | 감속시험 | 정상 감속도 확인 |
| | | | 비상 감속도 확인 |
| | 대차프레임 동응력 측정시험 | | 프레임 동응력 측정 |
| | 동적 특성 시험 | | 승차감, 주행성능 평가 |
| | 최고속도 시험 | | |
| | 흡인력 측정 | | |
| | 주요 장치 온도 측정 시험 | | |
| | 소음(자기음) 측정/검토 | | |
| | 누설자속 측정 | | |

(7) 초도편성 제작 착수

(가) 초도 1편성 제작 및 기계연 시범선로 이송/설치 계획

| 구분 | | 2009년 1월 | 2월 | 3월 | 4월 | 5월 | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 10월 | 11월 | 12월 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 초도 1편성 제작 | 구체 조립지그 제작 및 설치 | ■ | | | | | | | | | | | | |
| | AL압출재 입고 | ■ | ■ | | | | | | | | | | | |
| | 자체 기계작업/소조/대조 | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | |
| | 하중시험 | | | | | ■ | | | | | | | | 구체 초도 1셋트 활용 하중시험 |
| | 도장 | | | | | ■ | ■ | | | | | | | |
| | 의장 | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 상하 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| | 운전실/옥상 | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | |
| 공장검사 및 시험 | | | | | | | | | | | | ■ | | |
| 차량 이송 및 설치 | | | | | | | | | | | | | ■ | 기계연 시험선로 |

(나) 차체 기계/소조립

<table>
<tr><td>차체<br>언더프레임</td><td>-판넬 용접 작업 및 교정, 점검카바 부위 절취 작업<br> <br>[언더프레임 용접 작업]</td></tr>
<tr><td>차체 사이드<br>프레임</td><td>-단품 제작<br>-지그설치 및 용접 작업</td></tr>
<tr><td>차체 지붕</td><td>-단품 제작<br>-지그 설치 및 용접 작업<br> <br>[단품 제작 지그]<br> <br>[Roof 지그 및 용접 작업]<br> <br>[Roof 1호 가공 대기]</td></tr>
<tr><td>차체 엔드부</td><td>-단품 제작<br>-지그설치 및 용접 작업</td></tr>
</table>

| | |
|---|---|
| | <br>[엔드부 지그 설치] |
| 차체 CAB | 1) 지그설치 및 용접 작업 진행 |

(8) 언더후레임(U/Frame), 지붕(Roof), 대조립 Part의 치공구 9종 제작

(가) 언더후레임(U/Frame) Part

1) 볼스타 조립 지그 : 조립 및 회전용접 지그 적용

2) 플로어 조립 지그 : 알루미늄 압출재 5종 조립 및 전.후면 완전용접 적용

3) 언더후레임 조립 지그 : 플로어 Ass'y + 숄바 + 엔드실 완성용접 적용

4) 언더후레임 Lower 지그 : 언더후레임 하부의 대차 조립용 블록용접 적용

5) 언더후레임 Final 지그 : 부품용접, 교정, 검사 수행

(나) 지붕(Roof) Part

1) 지붕 모듈 블록 지그 : 프로파일 조립, 전.후면 완성 용접

2) 지붕 HVAC 블록 지그 : 평면 프로파일 조립, 전.후면 부품용접 적용

3) 지붕 조립 지그 : 미들(Middle)블록 + HVAC 블록조립 및 완성용접 적용

(다) 차체 대조립 Part

- 차체 전체 조립을 위한 지그

[그림 64 ]차체 대조립 지그 설치

(9) 인터페이스 관리

(가) 타 핵심간 인터페이스

| 연번 | 주요 내용 |
|---|---|
| 1 | 차량제원, 차량중량(만차, 공차, 정원하중) |
| 2 | 차체 외형치수 |
| 3 | 대차의 외형 상세치수 |
| 4 | 차량 자중과 부상력 등의 작용하중들과 크기 |
| 5 | 차량 대차 모듈 및 리액션 플레이트 도면 |
| 6 | 부상 레일의 치수 검토, 유지보수 방안 |
| 6 | 리액션 플레이트 설계 요구조건 |
| 7 | 차상신호시스템 사양 |
| 8 | 차량 및 구성품 설계 결과물(도면, 연구보고서 등) |
| 9 | 구성품 시험 및 유지보수방안 등 |
| 10 | 차량 디자인에 대한 의자 안전성 검토 |
| 11 | 차량 주요장치의 RAMS 데이터 요구항목 및 양식 |
| 12 | (성능시험) 주요장치 시험절차 검토서 |
| 13 | 거더의 열변형 방지 대책 |
| 14 | 거더 및 부상 레일, 설치/유지 공차 및 품질 관리 방안 |
| 15 | 부상레일간 단차 유지방안 |
| 16 | 차량 동특성 검토를 위한 분기기의 동특성 요소(고유진동수, damping, 중량 등) |
| 17 | 시범노선 접지 검토 필요 (역사, 검수고) |
| 18 | 가선 설치 및 유지/보수 공차, 전차선 단면적, 낙하 방지 설계안, 무가압 구간의 dead section 길이 및 형태 |
| 19 | 궤도에 설치하는 비상대피로 관련 기술자료 및 도면<br>거더 종류에 따른 비상대피로 설치위치 |
| 20 | 데이터송수신방안 (차량과 통합관제실 간) |
| 21 | 무선송신장치(Radio Transmission Device)적용 관련자료 |
| 22 | 검수고 차막이 설치 및 방법 |
| 23 | 검수고내외부수전(shore supply) |
| 24 | 차상 카메라 영상 사령실 현시 및 저장방안 |

| 연번 | 주요 내용 |
|---|---|
| 25 | 열차무선(TETRA) 운영 방안-인천 신공항 노선과 연계 방안(TRS) |

(나) 하부과제 인터페이스

| 연번 | 주요 내용 |
|---|---|
| 1 | 차량과 도어시스템의 전기, 통신 부분 인터페이스 |
| 2 | 상하기기배치도 |
| 3 | 조감도 시트 배열 정보 (인원) |
| 4 | 차량 실내 히터 크기, 수량 |
| 5 | 도어시스템의 최적 설계를 위한 구조 해석 |
| 6 | 차량/대차 제원, 운전조건 |
| 7 | 마그네트 드라이버 설계 결과 |
| 8 | 선형유도전동기(LIM) 설계 결과 |
| 9 | 부상시스템 시험결과 |
| 10 | 선형유도전동기 (LIM) 시험 결과 (Test Bed, 대차 단위) |
| 11 | 성능/환경 시험 기준/규격 |
| 12 | 운행시나리오/ 부상용 전자석 운행 가능여부 |

## 나. 경량/고품질 시트 개발 (대원강업-협동)

(1) 시트 기술현황 파악 및 CONCEPT 결정 - 요구화재성능 검토

(가) 개요

본 검토서는 '도시형 자기부상열차 실용화 사업'의 객실 의자에 대한 화재성능을 검토하여 국제적으로 인정될 수 있는 기준 제시를 그 목적으로 한다.

(나) 검토내용

1) 전세계 화재규격 적용현황

| 규격 | 부품 | 시험방법 | | 합격기준 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| NFPA 130 | COVER'G | FLAMMABILITY | FAR 25.853 | Flame ≤ 10s<br>Burn Length ≤ 6in | U.S.A |
| | | SMOKE EMISSION | ASTM E 662 | Ds(4.0) ≤ 200 | |
| | PAD | FLAMMABILITY | ASTM D 3675 | Is ≤ 25 | |
| | | SMOKE EMISSION | ASTM E 662 | Ds(1.5) ≤ 100<br>Ds(4.0) ≤ 175 | |
| | SHELL | FLAMMABILITY | ASTM E 162 | Is ≤ 35 | |
| | | SMOKE EMISSION | ASTM E 662 | Ds(1.5) ≤ 100<br>Ds(4.0) ≤ 200 | |
| NF F 16.101 | COVER'G | FLAMMABILITY | M CLASS | GRILL 7 | FRANCE |
| | | SMOKE & TOXIC | F CLASS | GRILL 7 | |
| | PAD | FLAMMABILITY | M CLASS | GRILL 9 | |
| | | SMOKE & TOXIC | F CLASS | GRILL 9 | |
| | SHELL | FLAMMABILITY | M CLASS | GRILL 1 | |
| | | SMOKE & TOXIC | F CLASS | GRILL 1 | |
| BS 6853 Ia | SEAT TRIM | Flammability | BS 476 Part7 | CLASS 1 | U.K |

| 규격 | 부품 | 시험방법 | | 합격기준 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | (BACK & BASE) | TOXIC | BS 6853 B.2 | R(max) ≤ 3.5 | |
| | SEAT TRIM (ASSEMBLY) | SMOKE EMISSION | BS 6853 ANNEX D 8.5 | Ao(max) ≤ 8.7 | |
| 도시철도차량 안전기준 | COVER'G | OXYGEN INDEX | ISO 4589 2 | LOI ≥ 28 | KOREA |
| | | SMOKE EMISSION | ASTM E 662 | Ds(1.5) ≤ 100 Ds(4.0) ≤ 200 | |
| | | TOXIC | BS 6853 ANNEX B.2 | R(max) ≤ 2.0 | |
| | PAD | OXYGEN INDEX | ISO 4589 2 | LOI ≥ 28 | |
| | | SMOKE EMISSION | ASTM E 662 | Ds(1.5) ≤ 100 Ds(4.0) ≤ 175 | |
| | | TOXIC | BS 6853 ANNEX B.2 | R(max) ≤ 3.2 | |
| | SHELL | OXYGEN INDEX | ISO 4589 2 | LOI ≥ 32 | |
| | | SMOKE EMISSION | ASTM E 662 | Ds(1.5) ≤ 100 Ds(4.0) ≤ 200 | |
| | | TOXIC | BS 6853 ANNEX B.2 | R(max) ≤ 2.0 | |

2) 검토사항

가) 위 표와 같이 국가별로 화재안전기준을 다르게 적용하고 있으며 공통 적용규격은 존재하지 않는다.

나) 또한 규격 별로 시험방법에 차이가 있어 단순 비교로 규격의 우열을 구분 하기가 어렵다.

다) 위 규격 중 'BS 6853'을 만족하기가 가장 까다로우며 만족하기 위해서는 사용 재질의 한계를 가지고 있다.

라) 자기부상열차용 경량시트에 적용하기 위한 규격은 우선 국내 규격을

만족하고, 타 규격을 추가로 만족할 수 있도록 검토하되 경량화 및 안락한 시트 구현에 적합하도록 최종안을 선정한다.

3) 결론

아래 표와 같이 국내에서 적용하고 있는 '도시철도차량 안전기준'에 미국 'NFPA 130'을 추가하는 것으로 목표로 정하였다. 이는 국내 기준이 최근 화재 사건 등으로 인해 국제적 수준에 동등한 기준을 따르고 있기 때문이며, 또한 연구 최종 목표인 경량화에 보다 충실하기 위해 상대적으로 보편적인 기준을 선정하였다.

(2) 시트 기술현황 파악 및 CONCEPT 결정 - 전시회 등 기존자료조사 분석

(가) 개요

본 검토서는 '도시형 자기부상열차 실용화 사업'의 객실 시트 개발과 관련하여 당 기관이 전시회 참관 및 해외 출장 등을 통하여 입수하였던 기존 자료를 조사하고 분석하여 개발방향을 정하기 위함이다.

(나) 조사대상

1) 해외 출장보고서 (전시회 참관 포함)

2) 보유 사진 자료

3) 시트 업체 카탈로그 및 기술문서

(다) 검토내용

1) 지역별 경량시트의 경향 분석

| 지역 | 형상 | 특징 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 일본 | | 패드가 두꺼워 안락성이 뛰어남<br>디자인이 미려하지 못함<br>훼손방지 기능이 떨어짐<br>기본 골조는 알루미늄 등 비중이 낮은<br>소재 사용 | |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 미국 | | 패드가 얇아 안락성이 다소 떨어짐<br>디자인은 대체로 투박하며 튼튼한<br>느낌임<br>훼손방지 기능이 우수함<br>부품의 경량화가 요구됨 | |
| 유럽 | | 패드가 얇아 안락성이 다소 떨어짐<br>디자인이 가장 미려하여 고급스러운<br>느낌임<br>훼손방지 기능이 우수함<br>경량소재의 단순한 조합으로 경량화<br>우수함 | |

2) 조사를 통한 설계 아이디어 검토

| NO | 형상 | 검토내용 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | | 다리 형상이 외팔보 형태일 경우 차량 벽측의 강도가 보강되어야 하고 시트 하부 구조의 강성이 증가되어야 하므로 시트의 중량을 감소시키는데 문제가 있음. 그러므로 좌측 형상과 같이 **통로측에 단순 형상구조로 다리를 설계**하는 것이 유리함. | 다리 |
| 2 | | 일반적으로 플라스틱 소재를 사용하여 외관 프레임을 설계할 경우 내측에 별도 금속 골조가 필요하게 됨. 그러므로 **알루미늄 등 경량소재의 파이프 및 판재 등을 이용하여 외관 및 강도를 유지하는 골조 역할을 동시에 할 수 있도록 설계**하는 것이 유리할 것으로 | 골조 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 판단됨. | |
| 3 | | 패드 및 카바지의 포장 구성은 좌측 그림과 같이 **비교적 얇은 패드에 훼손방지 쉬트를 부착하고 카바지를 포장하는 방법으로 검토하고자 함**. 두꺼운 패드에 비해 안락성은 다소 떨어지나 비교적 짧은 거리를 운행하는 도시형 자기부상 열차임을 감안할 때 적용가능 하다고 판단됨. 또한 경량화 및 디자인 측면에서도 유리함. | 패드 |
| 4 | | 패드와 카바지를 포장하는 인서트 판넬의 경우 형상을 최소한 단순화하여 중량을 절감시켜야 함. 특히 **메인 골조가 인서트 판넬의 강도를 대체할 수 있도록 설계**되는 것이 유리함. | 인서트판넬 |
| 5 | | 좌측 그림과 같이 판재의 의자 골조를 적용할 경우 가능한 **천공을 만들어 적정 강성을 유지하면서 경량화**를 이룰 수 있도록 설계함. | 골조 |

(라) 결론

현재 조사 진행 중이며 위 검토내용 외에 디자인 방향을 추가 검토하여 설계에 반영할 것임.

(3) 시트 기술현황 파악 및 CONCEPT 결정 - 경량시트 현황분석

(가) 개요

1) 본 자료는 해외 경량시트 벤치마킹을 위한 견본 입수 및 해외 출장 시 기초자료로 활용하기 위해 시트 업체별 경향 및 기술 수준을 검토한 것임.
2) 각 업체의 전체적인 기술수준, 모델의 다양성, 디자인, 경량성능 등으로 구분하여 분석하였으며,
3) 이를 근거로 벤치마킹 대상 시트를 선정하고 견본을 구매하여 조사할 예정임.

(나) 검토내용

1) COMPIN

주요형상

내 용

- 소재 : Welded Steel, Tubular steel frame, Aluminium extrusion, PP, PA, PU Foam, Moquette
- 중량 : 20~26kg
- 디자인이 우수하며, 안락성이 뛰어나다.
- 안티반달 기능이 있으며, 고객의 요구에 따른 옵션이 다양하다.
- 세계적으로 인지도 높은 대중교통용 시트전문 업체이다.

| 경량성 | 디자인 | 안락성 | 다양성 | 평 가 |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 4 | 4 | 4 | 16 |

2) VOGELSITZE

주요형상

내 용

- 최고의 경량화를 실현한 시트 PINO를 가지고 있다.
- 디자인이 세련되고 우수하다.
- 경량화에 주안점을 두다 보니 다소 안락성이 떨어진다.
- 구조가 단순하다.
- PINO 견본을 보유하고 있다.

| 경량성 | 디자인 | 안락성 | 다양성 | 결 론 |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 5 | 3 | 2 | 15 |

3) KIEL

| 주요형상 |
|---|
| |
| 내 용 |
| - 시트의 종류가 무척 다양하다.<br>- 여러 소재를 이용해 시트를 제작하였다.<br>- 몇 제품을 제외하고 디자인은 다소 투박한 느낌이 든다.<br>- 폼이 비교적 두껍고 안락성이 양호하다. |

| 경량성 | 디자인 | 안락성 | 다양성 | 결 론 |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 3 | 4 | 5 | 15 |

4) STER

| 주요형상 |
|---|
| |
| 내 용 |
| - PIPE와 STS STEEL 소재를 이용해 단순화하여 경량화를 구현하였다.<br>- 전체적인 스타일은 유사하나 조금씩 디자인의 변화를 주어 다양하게 제작하였다.<br>- SLIM하면서도 면의 굴곡을 잘 살려 안락성을 구현하였다. |

| 경량성 | 디자인 | 안락성 | 다양성 | 결 론 |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 4 | 4 | 4 | 16 |

5) FREEDMAN SEATING

주요형상

내 용

- 시트의 종류가 다양하다.
- PIPE & STS, FRP, 플라스틱 등 다양한 소재로 시트를 구현하였다.
- FRP 소재의 경우 다소 딱딱하며 무거운 느낌을 준다.
- 견본을 보유하고 있다.

| 경량성 | 디자인 | 안락성 | 다양성 | 결 론 |
|---|---|---|---|---|
| 3 | 3 | 3 | 5 | 14 |

(다) 결론

첨부 검토자료에서와 같이 경량화, 디자인, 안락성 등 기술적으로 우수한 아래 업체들의 시트를 위주로 벤치마킹 등 기술검토를 하고자 할 것임.

| NO | 업 체 명 | 국 가 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 1 | COMPIN | 프랑스 | |
| 2 | VOGELSITZE | 독일 | 견본 기 입수 |
| 3 | KIEL | 독일 | |
| 4 | STER | 폴란드 | |
| 5 | FREEDMAN | 미국 | 견본 기 입수 |

(4) 시트 기술현황 파악 및 CONCEPT 결정 - 해외경량시트 기술조사

(가) 개요

본 문서는 해외 경량시트 기술조사를 위해 2007 UITP 전시회 참관 및 유럽 선진국 도시별 경량 시트를 조사하고 이를 토대로 선진 기술 및 디자인

을 분석하고 경량/고품질 시트의 설계 안을 도출하기 위해 기술되는 자료임.

(나) 출장기간 및 장소

1) 기간 : 2007. 5. 20 ~ 5. 28

2) 장소 : 핀란드(헬싱키)외 4개국

(다) 출장내용

1) 2007년 UITP(세계대중교통협회) 전시회 참관

① 전시회명 : UITP HELSINKI 2007
(MOBILITY & CITY TRANSPORT EXHIBITION)

② 전시기간 : 2007. 5. 21 ~ 5. 24

③ 장소 : FINLAND HELSINKI

2) 유럽 주요도시 지하철, TRAM등의 SEAT 기술 조사

(라) 조사내용

| 업체명 | STER社 |
|---|---|
| 형상 | |
| 검토내용 | - 외관을 플라스틱 MAIN PANEL로 처리함<br>- 패드 두께 및 BOLTSTER부 확보로 안락성 증대<br>- 손잡이 및 암레스트의 옵션화 가능<br>- 인서트 판넬을 목재 사용<br>- 다리구조의 다양화<br>- 플라스틱 소재를 사용한 부드럽고 고급스러운 외관<br>- 소재의 화재성능 적합성 검토 필요 |

| 업체명 | VOGEL社 |
|---|---|
| 형상 | |
| 검토 내용 | - 플라스틱을 골조 및 외관 형상 구현<br>- 중량 최소화<br>- 패드가 없어 안락성 떨어짐<br>- 상단부 손잡이 옵션화 가능<br>- 플라스틱을 사용한 심플한 디자인<br>- 플라스틱 소재의 화재성능 적합성 검토 필요 |

| 업체명 | KIEL社 |
|---|---|
| 형상 | |
| 검토 내용 | - 플라스틱을 이용하여 프레임 구현<br>- 쿠션이 다소 딱딱하여 안락성이 떨어짐<br>- 상단부 손잡이 일체형<br>- 알루미늄 압출을 통한 베이스 프레임 형상 구현<br>- HIP REST, ARM REST 사양의 옵션화 가능<br>- 디자인이 깔끔하여 상품성이 높음 |

| 업체명 | 미확인 |
|---|---|
| 형상 | |
| 검토내용 | - 파이프와 스테인리스 판넬로 골조 구성<br>- 카바지와 쿠션재가 떨어져 있어 외관 불량<br>- 쿠션재로 일반 패드가 아닌 폴리에스테르 사용<br>- 사용 중 안장 카바지 벗겨짐 발생<br>- 접이식 시트 복원력이 강해 복귀시 이음이 크게 발생함<br>- 손잡이 I.S.F 적용 |

| 구분 | 스톡홀름 지하철 SEAT 13 |
|---|---|
| 업체명 | 미확인 |
| 형상 | |
| 검토내용 | - 카바지와 쿠션재 사이에 훼손 방지용 철망 적용<br>- 쿠션재로 일반 패드가 아닌 타 소재 사용<br>- 사용 중 카바지 벗겨짐 발생<br>- 안락성은 양호한 편임<br>- 외팔보 지지 형태임 |

(마) 결론

금번 해외 경량시트 기술조사를 통하여 유럽 여러 선진국의 세련되면서도 다양한 경량형 시트들을 접할 수 있었다.

시트는 차량내 배열 조건에 유연하게 대체될 수 있도록 설계되었으며 팔걸이, 손잡이 등 고객의 요구조건에 충분히 대응할 수 있도록 옵션성이 충분히 구현되어 있었다.

또한 주로 플라스틱 소재를 이용하여 경량성능을 확보하였는데 이는 외관의 아름다움을 효과적으로 표현하여 제품의 상품성도 만족될 수 있게 하였다. 다만 사용된 플라스틱 제품들이 우리가 요구하는 충분한 화재성능을 만족할 수 있지를 향후 충분한 재질 검토를 통해 알아봐야 할 것이다.

그리고 국내에서 제작된 전동차 등의 시트들은 훼손방지와 화재성능에 주안점을 두고 제작되어 안락성 측면에서 다소 떨어지는 성능을 보였다. 하지만, 이번에 조사된 시트들은 패드 두께와 적합한 형상을 통하여 충분히 안락성을 가질 수 있게 제작된 것을 볼 수 있었다. 물론 사용 중인 차량에서 카바지 벗겨짐이나 틀어짐이 발생하는 문제점도 볼 수 있어 시트 설계 시에 반영되어야 할 것이다.

전체적으로 카바지의 패턴 디자인이 미려하여 제품의 상품성을 돋보이게 하고 있었다. 이는 국내 대중교통수단의 시트 카바지 패턴과 비교되는 부분인데 다소 단조롭고 획일적인 패턴이 심미성을 떨어트리고 이로 인한 상품성 저하로 나타나는 것으로 보였다.

그 외에 다양한 다리 구조와 접이식 시트들도 조사를 할 수 있었다. 이는 자기부상열차용 시트 설계 외 타 제품 설계에도 많이 유용한 정보로 사용할 수 있을 것이다.

자기부상열차용 고품질/경량화 시트를 설계하기 위해 다방면으로 자료를 조사하고 있는데 금번 조사를 통해 보다 구체적이고 정확한 정보들을 많이 얻을 수 있었다. 앞으로 금번에 얻은 좋은 아이디어를 설계에 반영하는 것은 물론이고 조사하면서 발견했던 문제점들도 충분히 검토하여 고품질의 시트가 될 수 있도록 연구개발을 추진할 것이다.

(5) 인간공학적 설계기술 개발 - 최신 한국인 체형분석

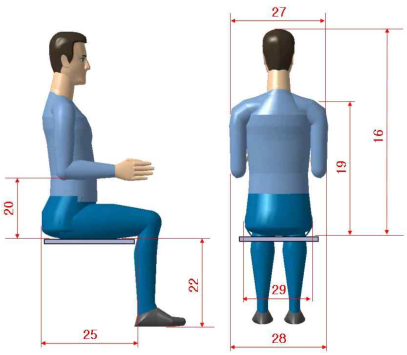
(가) 개요

안락한 시트 설계를 위해서는 설계요소들과 인체측정자료의 연관성을 인지하고, 대상 승객들의 인체 치수 범위를 파악하여야 하며, 실내에서의 승객들의 행동과 그에 따른 최적자세를 분석하여 객실의자 설계 제원에 반영할 수 있어야 한다. 그러므로 본 자료를 통해 최신 한국인 인체 측정 자료를 조사하고 그 중 설계요소와 연관된 치수를 파악하여 설계 제원의 기초 자료로 활용하고자 한다.

(나) 주요 인체측정 데이터

| No | 측정항목 | 남 | | | 여 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 ‰ | 50 ‰ | 95 ‰ | 5 ‰ | 50 ‰ | 95 ‰ |
| 16 | 앉은키 | 861 | 928 | 967 | 853 | 848 | 880 |
| 19 | 앉은어깨높이 | 558 | 599 | 642 | 552 | 551 | 561 |
| 20 | 앉은팔꿈치높이 | 255 | 268 | 288 | 259 | 247 | 229 |
| 22 | 앉은오금높이 | 380 | 423 | 441 | 355 | 385 | 415 |
| 25 | 앉은엉덩이오금수평길이 | 446 | 483 | 503 | 417 | 441 | 500 |
| 27 | 어깨너비 | 367 | 396 | 441 | 341 | 357 | 382 |
| 28 | 팔꿈치사이너비 | 460 | 486 | 585 | 407 | 456 | 540 |
| 29 | 앉은엉덩이너비 | 339 | 373 | 402 | 335 | 365 | 433 |

[출처 : 2005년 표준화 부문 연구용역사업 (SIZE KOREA - 산업자원부)]




[그림 65 ]SEAT 설계에 필요한 주요 인체 측정치

(다) 결론

위 그림에서와 같이 시트 설계에 필요한 주요 인체측정 인자가 있으며 이를 근거로 시트의 높이, 안장 깊이, 시트 폭 등을 결정할 것이다. 우선은 한

국인을 대상으로 시트를 개발하므로 한국인의 인체 데이터를 조사하였다. 이 자료는 LAY-OUT검토 및 시트 상세설계 시 참고할 것이다.

(6) 인간공학적 설계기술 개발 - 경량시트의 안락성 평가 및 분석

이번 연구 과제를 통해 좌면의 굴곡형상과 패드의 특성에 따른 안락성능을 연구진행 하였다. 국내 전동차 시트 및 해외에서 입수한 견본의 체압 분포를 측정하고 관계 요인과의 상관관계를 비교 분석하여 경량시트의 인체공학적 설계방법을 도출하였다. 이 자료를 근거로 상세 설계 시 경량시트의 한계에서 최대한 안락성을 확보할 수 있는 제품을 설계/개발 예정임(철도학회 추계학술대회 논문 발표).

(7) 경량시트 설계기술연구

(가) 개요

중량 최소화를 위해 시트의 부품으로 적용 가능한 소재를 기술적 측면에서 조사/검토하여 세부 설계에 활용하고자함.

(나) 내용

1) 마그네슘

가) 배경

① 현재 사용되고 있는 구조용 금속 중에서 가장 가벼운 재료

② 지구상의 약 2.7% 차지하며 나트륨, 칼륨에 이어 8번째로 풍부함

③ 국내는 자동차 부품으로 현재 스티어링 휠, 에어백하우징, 키록하우징 등에 제한적 적용

④ 전자부품으로 휴대폰케이스, 노트북PC케이스, 디지털카메라케이스 등 적용

④ 향후 환경문제로 인한 고효율 차량을 위해 마그네슘의 적용량이 증가할 것으로 예측됨

나) 특성

① 기계적 특성 (20℃)

[표 15 ]마그네슘의 기계적 특성 at 20℃

| Formandsection | Tensile Strength (Mpa) | 0.2%tensile-yield strength(Mpa) | 0.2 compressive yield strength (Mpa) | Elongation (%) | Hardness (HB) |
|---|---|---|---|---|---|
| Sand cast, 13㎜ dia. | 90 | 21 | 21 | 2~6 | 30 |
| Extrusion, 13㎜ dia. | 165~205 | 69~105 | 69~105 | 5~8 | 35 |
| Rolled sheet | 180~220 | 115~140 | 115~140 | 2~10 | 45~47 |
| Annealed sheet | 160~195 | 90~105 | 90~105 | 3~15 | 40~41 |

② 일반특성

- 경량화/고비강도를 나타냄
- 전자파 차폐성(EMI/RFI shield)이 우수함
- 재생성이 우수한 환경친화적인 소재
- 치수안정성이 높음
- 진동감쇄능이 우수함
- 산화성이 높음
- 내식성이 낮음 (화성처리나 양극산화 등을 이용한 표면처리 필수)

다) 공법 (판재성형)

마그네슘은 소성변형의 특성상 다른 금속과는 달리 소성가공품보다 주조제품에 월등히 많이 사용되고 있음. 하지만 가공용 마그네슘합금은 일반적으로 주조재에 비해 뛰어난 기계적 특성을 보유하고 있으며 대량생산에 적합하고 효율적이며 경제적이기 때문에 가공 방법의 개발 및 개선이 필요함.

▪ 판재성형

마그네슘은 상온에서 슬립계의 수가 적으면서 연성이 낮기 때문에 프레스 성형성이 좋지 않음.

[표 16 ]성형용 마그네슘합금 판재

| 합금 | 기호 | 연신율(%) | 항복강도 (MPa) | 인장강도 (MPa) | 압축내력 (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| AZ31B | O | 26 | 145 | 255 | |
| AZ31B | H24 | 14 | 220 | 285 | 165 |
| HK31A | O | 23 | 140 | 230 | 95 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| HK31A | H24 | 12 | 200 | 255 | 150 |
| HM21M | T8 | 11 | 195 | 250 | 145 |
| ZE10A | O | 24 | 175 | 240 | 130 |
| ZE11A | H24 | 10 | 181 | 266 | |
| ZK30A | H24 | 10 | 195 | 270 | |

① 굽힘 가공

- 실온에서 연강, 황동, 순 알루미늄 연질 판재의 최소 굽힘 반경은 0.5t 이하이고, 마그네슘의 굽힘가공성은 다른 범용금속보다 떨어짐
- 온도의 상승과 함께 마그네슘의 굽힘성도 향상되고 250℃가 되면 2.0t의 곡률반경이 되지만 실온에서의 알류미늄판에는 미치지 못함.

② 드로잉 성형

- 마그네슘은 상온에서 한계드로잉비(LDR)가 약 1.2로 다른 범용금속에 비해 매우 낮음.
- 고온 성형에 있어서 한계드로잉비는 성형속도에 의해 영향을 받으며,
- 낮은 성형속도에서 높은 한계드로잉비를 얻음.
- 따라서, 마그네슘의 고온 드로잉 성형에서는 기계프레스보다 유압프레스의 사용이 바람직함.

라) 접합

- 다른 금속에 이용되는 대부분의 접합법이 적용가능
- 즉, 용접, 압접, 브레이징, 접착, 기계적 접합 등에 의해 마그네슘과 마그네슘 혹은 마그네슘과 이종금속간의 접합이 가능함.

마) 검토결과

① 시트부품으로 적용 가능 부위는 아래와 같으며

- 압출재 : 구조물
- Roll, Sheet : Kick board, 기타 Cover류 및 쿠션 구조용 판넬

② 원가적 측면에서 아래와 같은 문제가 있음.

- 현재 국내(포스코)에서 개발된 판재의 가격이 알루미늄의 약 4~5배 수준으로 양산 적용 시 기술적 뿐만 아니라 원가적 검토도 명확히 진행되어져야 함.

③ 금번뿐 아니라 향후기술향상 및 소요량 증가가 예상되면 이에 따라 철

도차량 적용에 적극 검토가 필요할 것으로 사료됨.

2) 알루미늄

가) 성질

[표 17 ]성형용 마그네슘합금 판재

| ALLOY | 열처리구분 | 인장강도 (kg/㎟) | 기계적성질 (인발봉) | | 용융온도 (℃) | 내식성 | 표면처리성 | 적상석 | 특성 | 용도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 항복강도 (kg/㎟) | 신율(%) | | | | | | |
| A1050 | F | 6이상 | 2이상 | 25이상 | 650-660 | A | A | C | 강도는 떨어지나 전도율, 반사율이 높고 내식성 우수 | 반사판, 장식품 명판, 화학공업용 TANK |
| A1100 | F | 7.5이상 | 2이상 | 25이상 | 643-1657 | A | A | C | 강도떨어짐, 전신성, 성형성, 용접성 우수 | 일반용기물, 전기기구 인쇄판 |
| A2011 | T3<br>T8 | 3-380:32이상<br>38-800:30 이상<br>38이상 | 27이상<br>24이상<br>28이상 | 10이상<br>14이상<br>10이상 | 535-1613 | D | A | A | 내식성은 떨어지나 절삭성이 대단히 우수 | 광학기기부품, 기계나사제품 |
| A2024 | T4<br>T6 | 44이상<br>42이상 | 30이상<br>32이상 | 10이상<br>5이상 | 510-649 | D | C | B | 2014보다 강도 높음 | 항공기용재, 각종 구조제품, 볼트, 너트용 |
| A3003 | | 9.5이상 | 3.5이상 | 25이상 | 643-654 | A | A | C | 1100보다 강도 약간 높음 | 건축용재, 일반용기물 |
| A5052 | | 18-22 | 6.5이상 | 24이상 | 563-649 | A | A | C | 중간정도 강도, 내식성 특히 내해수성 우수 | 선박용재, 차량용재, 광학기품 |
| A6N01 | T6 | 27이상 | 24이상 | 8이상 | | A | C | B | 6063 및 6061의 중간 가공성 및 경도 우수함 | 자동화 부품, 기계부품 |
| A6063 | T5<br>T6 | 15이상<br>21이상 | 11이상<br>18이상 | 8이상<br>10이상 | 615-651 | A | A | C | 내식성 양호, 압축가공성 양호, 양극산화 처리시 우수함 | 건축재, 가구용재, 방열판, 볼트,너트용 |
| A7075 | T7 | 54이상 | 47이상 | 7이상 | 476-638 | C | C | B | 2024보다 높은 강도, 내마모성 양호, 절삭성 양호, 고속회전체 등 | 항공기용재, 구조재, 금형소재, 운동기기 |

나) 용도

① 전성(展性), 연성(延性)이 풍부하고 비중이 작으며, 열. 전기의 전도성이 크고 대기 중에서의 내식성이 강하기 때문에, 판재(板材), 박재(箔材), 봉재(捧材), 선재(線材), 관재 (管材), 형재(型材)등 모든 형태로 가공되어 이용됨.

② 가벼운 점을 이용하여 항공기, 자동차, 선박, 철도에 사용되고, 전기의 양도체인 점을 이용하여 송전선 등에 사용됨.

다) 특성

① 경량성

경금속중의 하나이며 Cu보다 3배이상 가볍고 Fe보다는 2.9배가 가벼움.

나) 내식성(부식성)이 우수

Al는 공기중의 산소와 반응하여 안정한 산화 금속인 Al2O3의 산화 피막에 의해 표면이 훌륭한 내식성을 갖음.

② 가공성이 우수

복잡한 단면 형상재(압출), 박막재(압연)등을 가공할 수 있음.

③ 표면 처리성이 우수

양극산화 피막, 전착, 불소도료, 세라믹 도료, 세라믹 항균도료 등 목적에 맞게 표면 처리를 우수하게 적용시킬 수 있음.

라) 공법

① 주조

- 알루미늄합금은 철강재에 비해 융점이 낮고 주조성이우수하여 다양한 제조법이 적용됨.
- 주조법은 사용하는 주형재료에 따라 분류될 수 있고, 주물에 작용하는 가압력의 크기와 방식에 따라 다르게 구분이 가능함.
- 주조법은 제조하고자 하는 주물의 형상, 크기, 치수정밀도, 소요 수량, 품질수준, 기계적 성질, 경제성 등을 고려하여 선택해야 함.
- 각종 사형주조나 정밀주조는 주형을 1회로 소모성이지만 각종 금형 주조에 서는 다수로 수천에서 수십만 회까지 가능함

② 압출

- 압출가공에서는 1번의 변형으로 복잡한 단면형상을 가지는 제품을 얻을 수 있음.
- 빌릿(피가공재)은 콘테이너(원통용기)내에 램(압봉)에 의해 압축되어 다이스 구멍을 통해 압출되어 제품이 제조됨.
- 제품의 형상과 재질(합금)에 적합한 방법을 선택하지만 알루미늄의 압출에서는 직접법, 간접법이 대부분이며, 정수압압출은 일부이고 Conform압출도 최근 연속 압출로서 사용되기 시작함.

③ 판재성형 기술

- 판재를 원통으로 길게 연신시키는 딥드로잉(Deep drawing) 성형
- 원통형 펀치를 따라 원형의 모습으로 만드는 장출(Stretching) 성형
- 구멍난 판재에서 날개를 생기게 하는 플랜지성형(Flanging)
- 임의의 각도로 굽힘(Bending) 성형

④ 접합가공기술

알루미늄의 접합법은 용접, 압접, 브레이징접합, 기계적 접합, 접착 등으로 나눌 수 있음. 이중 아직은 용접법이 주류를 이루고 있음.

○ 용접법

- 알루미늄의 주된 접합공정인 용접법은 아직 일반적으로 철강이나 비철재료 중에서 잘 알려져 있지 않고 까다로운 재료로 알려져 있음.
- 대표적인 종류로는 TIG 용접(Tungsten Insert Gas Arc), MIG용접(Metal Insert Gas Arc), 레이저 용접, 마찰교반용접(Friction Stir Welding), 저항 점용접

○ 납땜(Brazing)

- 납땜은 경납과 연납으로 구분되며, 보통 경납은 브레이징(Brazing)으로 연납은 솔더링(Soldering)이라함.

○ 기계적 결합

- 리벳이나 볼트 등의 체결재를 사용하여 접합시키는 방법은 판의 모서리를 굽혀 결합시키는 방안이 있음.
- 리벳접합은 항공기나 벤형 트럭의 조립등에 사용하는 대표적인 기계적 접합임.
- 그 특징은 균일한 접합부의 강도, 냉간에서 체결하여 열변형이나 강도저하가 없음, 작업의 용이성 등이 있음.

○ 접착법 (Adhesive bonding)

- 접착면에 접착제를 도포하여 접합시키는 방법으로 근래 접착재의 성능 및 신뢰성이 향상되었음.

마) 검토결과

① 시트의 경량화를 위해 공법 및 가격적인 측면에서 현재 가장 현실적인 대안이 될 수 있은 재질로써 압출재를 이용하여 구조물을 생성 시킬수 있으며,

② 판재를 이용하여 구조용 판넬 및 Cover를 제작할 수 있음.

(8) 경량 시트 구조해석 - 소재의 해석용 Material Property DB 구축

(가) SEAT 주요 사용 재질 조사

**1. List of Material for Seat**

2008. 02. 15 (Rev. 0)

| 구분 | 규격 | 품어 | | 기호 | | | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | KS | 한글 | 영어 | KS | | | ASTM | JIS | |
| 철강 | D3501 | 열간 압연 연강판 및 강대 | Hot-rolled mild steel plates, sheets and strip | SPHC | | | | G 3131/G3131 | |
| | D3503 | 일반 구조용 압연 강재 | Rolled steel for general structure | SS400 | SS490 | | A36/A572 | G 3101/G3101 | |
| | D3512 | 냉간 압연 강판 및 강대 | Cold rolled carbon steel sheets and strip | SPCC | | | | G 3141/G3141 | |
| | D3519 | 자동차 구조용 열간 압연 강판 및 강대 | Hot-rolled mild steel plates, sheets and strip forautomobile structural uses | SAPH400 | SAPH440 | | | G 3113/G3113 | |
| | D3616 | 자동차용 가공성 열간압연 고강력 강판 및 강대 | Hot-rolled high strength steel sheets with improved formability for automobile structural use | SPFH490 | SPFH540 | SPFH590 | | | |
| | D3517 | 기계 구조용 탄소 강관 | Carbon steel tubes for machine structural purposes | STKM11A | | | A513/A519 | G 3445/G3445 | |
| | D3566 | 일반 구조용 탄소 강관 | Carbon steel tubes for general structural purposes | SPS290 | SPS400 | | | | |
| | D3568 | 일반 구조용 각형 강관 | Carbon steel square pipes for general structural purposes | SPSR400 | SPSR490 | | | | |
| | D3552 | 철 선 | Low carbon steel wires | MSW-B | | | | | |
| | D3510 | 경강선 | Hard drawn steel wires | HSW-2 | HSW-3 | | | | |
| | D3556 | 피아노 선 | Piano wires | PW-1 | PW-2 | | | | |
| | D3559 | 경강선재 | High carbon steel wire rods | HSWR | | | | | |
| | D3707 | 크롬강재 | Chromium Steels | SCr435 | SCr440 | | | | |
| | D3711 | 크롬 몰리브덴강 강재 | Chromium molybdenum steels | SCM435 | SCM440 | | | | |
| | D3752 | 기계 구조용 탄소 강재 | Carbon steel for machine structural use | SM10C | SM20C | SM45C | | | |
| | D3698 | 냉간 압연 스테인리스 강판 및 강대 | Cold rolled stainless steel plates, sheets and strip | STS304 | | | | | |
| | D3706 | 스테인리스 강봉 | Stainless steel bars | STS304 | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| 비철 | D6759 | 알루미늄 및 알루미늄합금 압출 형재 | Aluminium and aluminium alloy extruded shapes | A6N01S-T5 | | | | | |
| | D6006 | 알루미늄합금 다이캐스팅 | Aluminium alloys die castings | ALDC12 | | | | | |
| | D6017 | 마그네슘합금 다이캐스팅 | Magnesium alloy die castings | MDC2B | | | AM60B | | |
| | | | | | | | | | |
| 플라스틱 | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |

※ 본 자료는 자기부상열차 실용화 사업의 일환으로 SEAT 해석에 활용하기 위해 작성된 것임.

(나) 소재시험을 통한 재질 물성치 확보

1) 개요

자기부상열차 실용화 사업의 일환으로 연구수행하고 있는 시트부문의 최고 목표는 기능성과 안락성능을 유지하면서도 중량을 최소화하는데 있다. 이에 시트의 부품으로 적용 가능한 소재를 기술적 측면에서 조사 및 검토하여 세부 설계에 활용하고자 한다. 선전된 몇몇 소재를 재료 시험을 통하여 물성치를 구하고 해석 시 필요한 데이터로 변환한다.

2) 시험 목록

[표 18 ]재료시험 시험편 목록

| 구분 | 소재 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1차 시험 | SAPH440 | STS304 | SPCC | SPHC | SS400 |
| 2차 시험 | PC_black | PC_gray | A6N01S-T5 | SPFH590 | HSW-3 |

- 인장시험 시험을 통하여 인장강도, 항복강도, true-strain curve를 구함.
- 굽힘시험 시험을 통하여 탄성률을 구함.

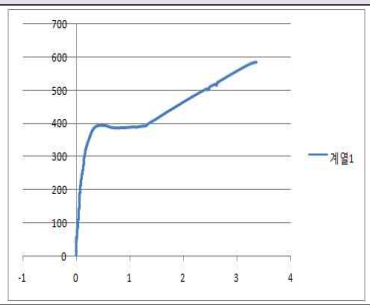
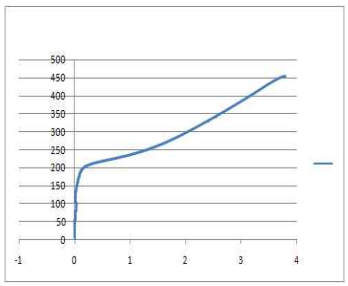
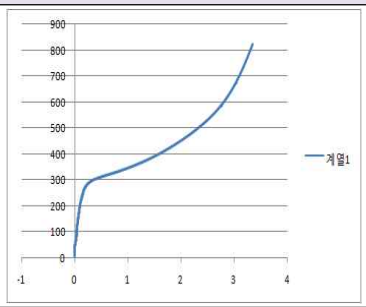
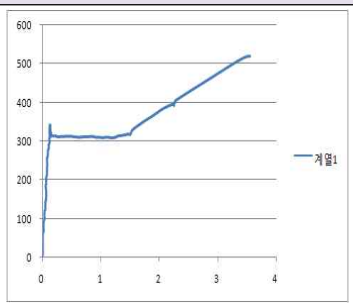
3) 결과

가) 1차 시험

[표 19 ]시험 데이터

| 구분 | 탄성률 | 항복강도 | 인장강도 |
|---|---|---|---|
| SPHC | 197.417 | 265.143 | 353.544 |
| SAPH440 | 220.949 | 391.054 | 468.069 |
| SPCC | 221.627 | 205 | 326.233 |
| SS400 | 258.176 | 337.473 | 398.491 |
| STS304 | 195.240 | 205 | 769.694 |

[표 20 ]TRUE STRESS-STRAIN CURVE

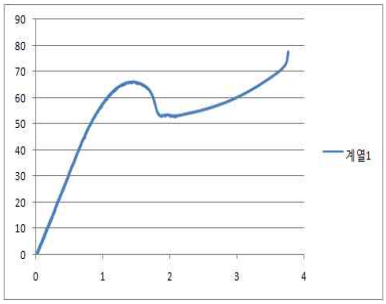
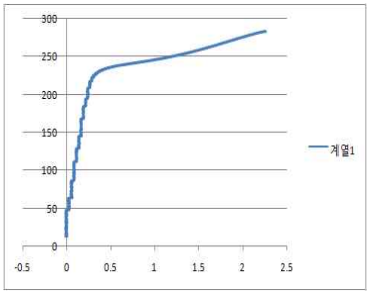
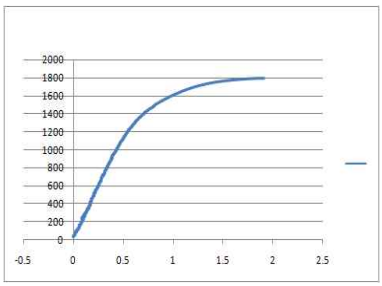
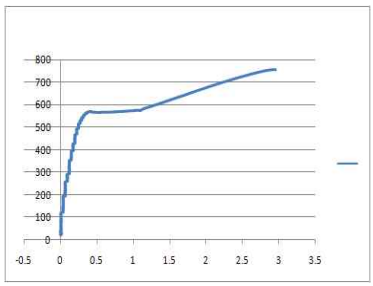
| SAPH440 | SPCC |
|---|---|
|  |  |
| STS304 | SS400 |
|  |  |

나) 2차 시험

[표 21 ]시험 데이터

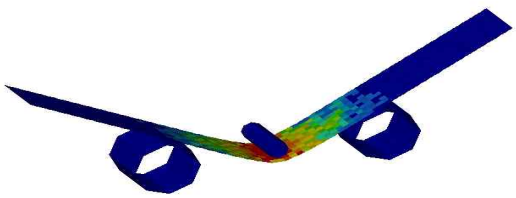
| 구분 | 탄성률 | 항복강도 | 인장강도 |
|---|---|---|---|
| PC_gray | 199.626 | 63.597 | 65.3821 |
| A6N01S-T5 | 69.5138 | - | 261.3 |
| HSW-3 | 188.575 | 292.624 | 1699.97 |
| SPFH590 | 332.05 | 565.537 | 653.845 |

[표 22 ]TRUE STRESS-STRAIN CURVE

| PC_gray | A6N01S-T5 |
|---|---|
|  |  |
| **HSW-3** | **SPFH590** |
|  |  |

4) 오차 비교

조사를 통하여, 시트재료의 기존 물성치를 구하여 비교한 결과, PC, SS400, SAPH440은 유사한 결과를 가지지만, 나머지 재료의 물성치는 큰 차이를 보였다. 따라서 유사한 시험 물성치를 가진 3개의 재료를 해석을 통하여 오차를 비교한다. 3점 굽힘 시험과 동일한 조건의 유한요소 모델에 적용하여, 시험에서 구한 물성치를 적용한 해석과 기존 물성치를 적용한 해석을 비교한다.



[그림 66 ]3점 굽힘 유한요소모델

(9) 경량 시트 구조해석 - 해석 모델의 타당성 확보

(가) 해석 모델의 타당성 확보

1) 개요

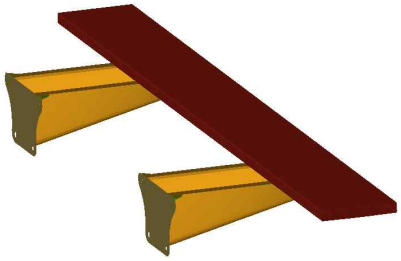
자기부상열차 실용화 사업의 일환으로 연구수행하고 있는 시트부문의 최

고 목표는 기능성과 안락성능을 유지하면서도 중량을 최소화하는데 있다. 새로운 시트 모델을 개발하기 전, 기존의 모델을 해석하여 해석기법의 타당성을 확보하여 최적의 모델을 개발한다.

2) 해석

가) Type A

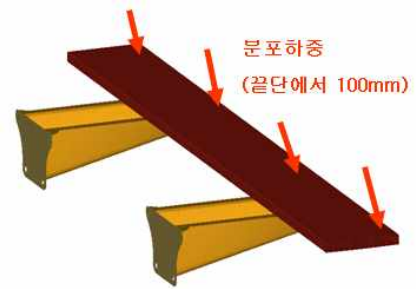
① 해석 모델



[Type A]

② 해석 조건

| | |
|---|---|
| Young's modulus | SPFH590 : 207N/mm$^2$<br>SAPH440 : 220N/mm$^2$<br>SPCC : 220N/mm$^2$<br>A6N01S-T5 : 70.5 GPa |
| Poisson's ratio | Aluminum : 0.33<br>Steel : 0.3 |
| Density | Aluminum : 2.7e-6<br>Steel : 7.8e-6 |

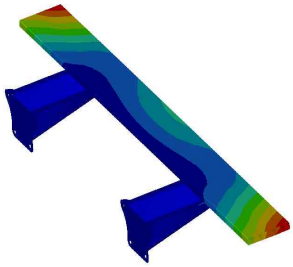



[하중 분포(400kgf)]

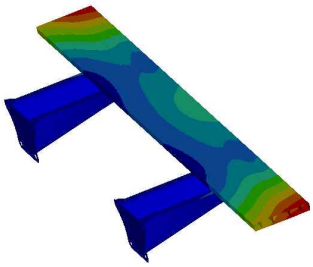
③ 해석결과

○ 최대 변형량

- LS-DYNA : 1.781 mm
- NASTRAN : 1.888 mm

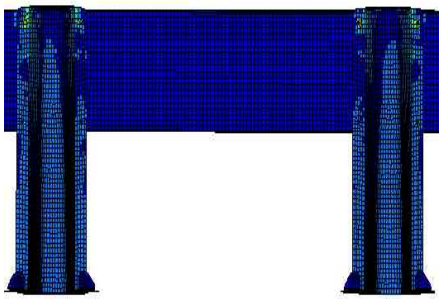


[LS-DYNA-Displacement]

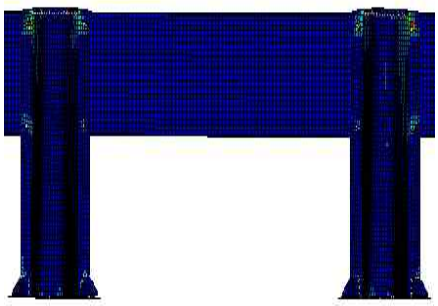


[NASTRAN - Displacement]

○ 최대 집중응력



[LS-DYNA - Stress]

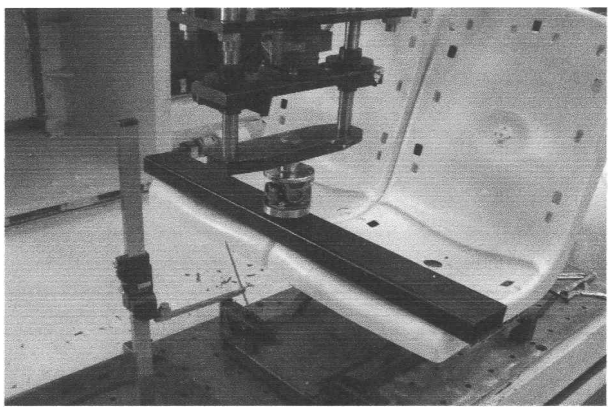


[NASTRAN - Stress]

- LS-DYNA : 154.9N/mm$^2$
- NASTRAN : 323.3 N/mm$^2$

④ Type A의 강도시험

해석과 동일한 조건에서 시험



[그림 67 ]강도시험

⑤ 결론

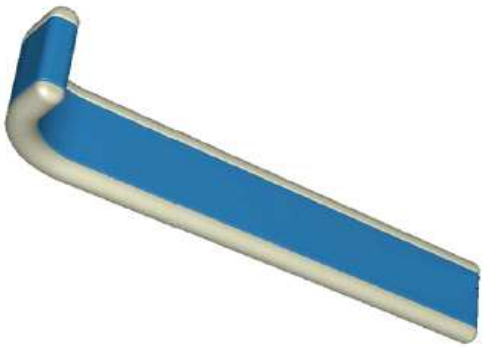
강도 시험 결과, 시트와 하단 LEG FRAME의 연결부위가 영구 변형이 일어나지 않았다. 또한, 해석에서도 LEG FRAME 재질인 SPFH590

의 항복응력 값에 도달하지 않았다. 그러나 시험 조건이 해석조건과 완전히 일치하지 않기 때문에 해석의 적절성은 판단하기 어렵다.

나) Type B (벽면부착 SEAT)

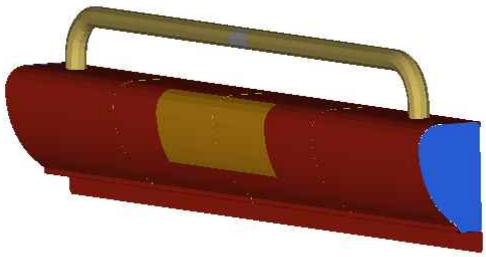
① 목표

개발된 자기부상열차의 벽면에 부착되는 SEAT의 구조 해석을 하기 위해 기존의 유사한 모델을 해석하여 해석기법의 타당성을 확보한다.



[그림 68 ]자기부상열차의 BUM Seat

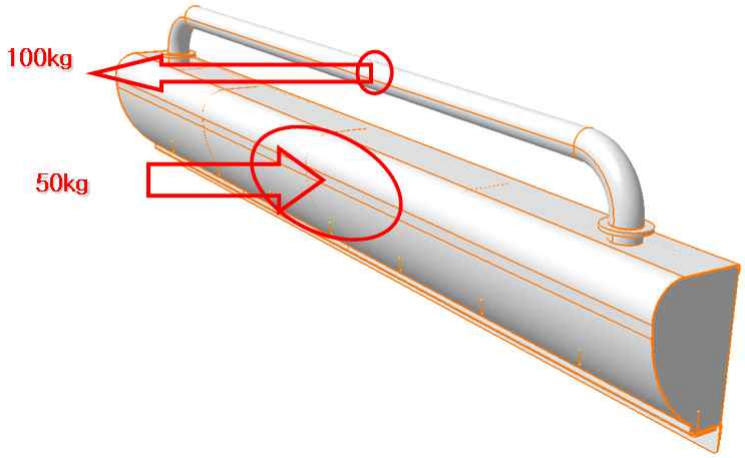
② 해석모델



[그림 69 ]Type B (벽면부착 SEAT)

③ 해석조건

| | |
|---|---|
| Young's modulus | Aluminum : 70 GPa<br>STS304 : 200 GPa |
| Poisson's ratio | Aluminum : 0.33<br>STS304 : 0.3 |
| Density | Aluminum : 2.7e-6<br>STS304 : 7.8e-6 |

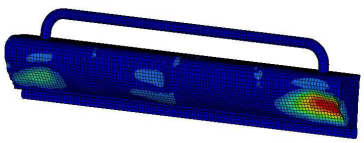
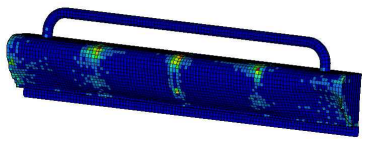



[그림 70 ]Type B의 하중 분포

④ 결론

Type B의 기존 SEAT의 STS304 재질 Bar를 100kg 하중으로 당기는 강도시험 결과, 변형량이 거의 없었다.

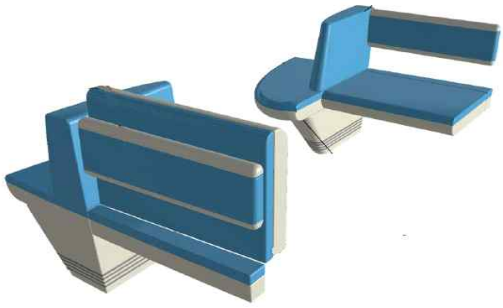
유한요소해석 결과, 50kg의 하중이 부하되는 BODY부에서는 용접결합부에서의 응력집중 및 변형량의 변화가 나타났지만 항복응력에 도달하지 않았기 때문에 영구변형이 발생하지 않는다고 판단되었다. 또한 Bar에서의 응력변화 또는 변형량이 거의 없으므로 실제 시험과 유사한 해석모델이 수립되었다고 할 수 있다.

| 최대 변형량 1.865 mm | 최대 집중응력 15 Mpa |
|---|---|
|  |  |
| [Type B - Displacement] | [Type B - STRESS] |

다) Type C (접이식 SEAT)

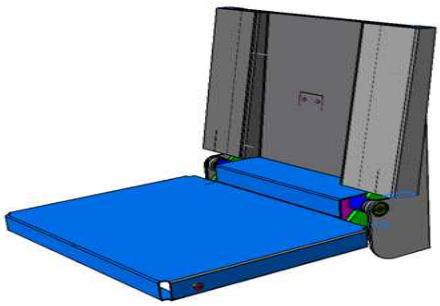
① 목표

개발된 자기부상열차의 접이식 SEAT 구조 해석을 하기 위해 기존의 유사한 모델을 해석하여 해석기법의 타당성을 확보한다.



[그림 71 ]자기부상열차 접이식 SEAT

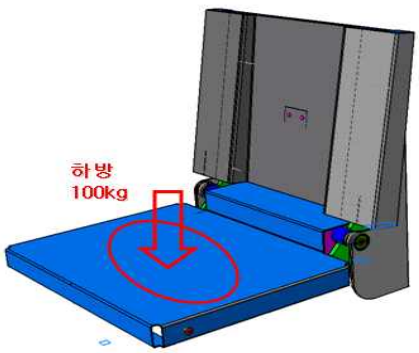
② 해석 모델



[그림 72 ]Type C(접이식 SEAT)

③ 해석 조건

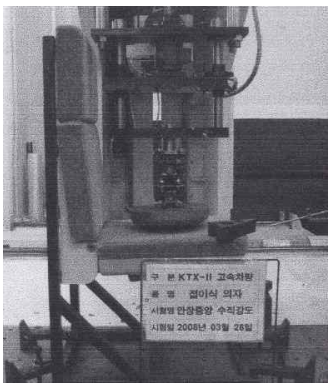
| | |
|---|---|
| Young's modulus | Aluminum : 70 GPa<br>Steel : 200 GPa |
| Poisson's ratio | Aluminum : 0.33<br>Steel : 0.3 |
| Density | Aluminum : 2.7e-6<br>Steel : 7.8e-6 |




[그림 73 ]Type C의 하중 분포

④ 강도시험

100kg의 하중을 300*250 mm 면적에 부하 후, 영구 변형량을 측정하였다. 시험 결과, 영구 변형량은 1.4mm로 측정되었다.

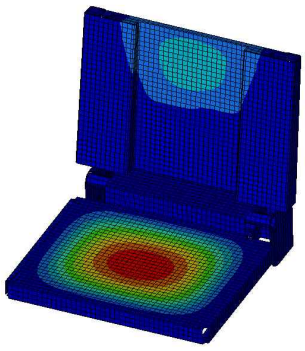
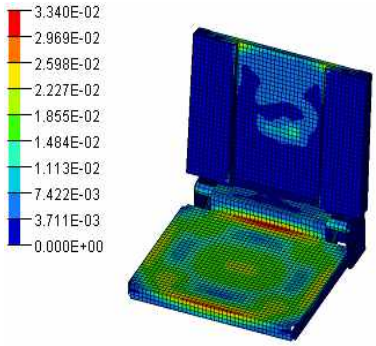


[그림 74 ]강도시험

⑤ 결론

강도시험 후, 영구변형량이 1.4mm로 측정되었다. 일반적으로 강도시험 후 영구변형이 5mm 이하일 경우, 변형 및 균열이 없을 것으로 판단하여 '이상없음'으로 결론을 내린다.

아래 해석 결과값을 보면, 하중을 부하한 seat부에서 최대 변형량이 1.523mm 예측되는데, 이 부위에서의 집중응력은 약 18Mpa로 항복응력에 가깝다. 이는 집중응력이 항복응력에 도달하여 영구변형이 일어났지만, 그 변형량이 5mm 이하이므로 seat의 강도시험 통과 조건에 만족한다.

| 최대 변형량 1.523 mm | 최대 집중응력 33.4 Mpa |
|---|---|
|  |  |
| [Type C - Displacement] | [Type C - Stress] |

3) 종합 결론

Type A 모델을 해석 프로그램 NASTRAN 과 LS-DYNA를 이용하여 해석해 본 결과, 두 해석이 약간의 수치상의 차이를 보였다. 실제시험결과와 비교하여 보면 LS-DYNA 의 해석결과가 더 실제시험 결과와 유사한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 그리고 실제 Type A 모델의 강도시험 결과와 비교하여 유사한 결과를 얻었지만, 해석상의 해석결과와 실제 시험결과가 약간의 차이를 보이고 있다. 이는 해석모델과 실제 시험과의 구속조건 및 세부모델링의 상이함에 기인한 것으로 판단된다.

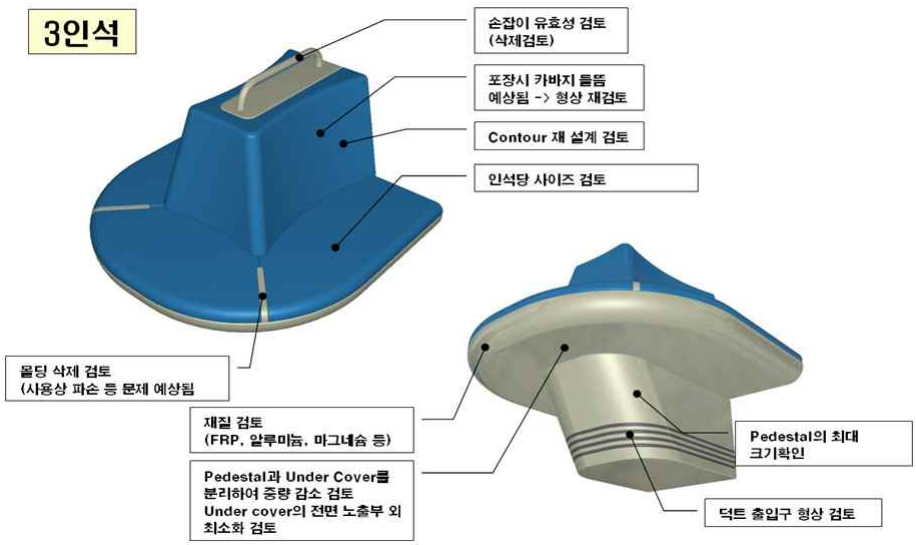
위 해석에서 비교한 NASTRAN과 LS-DYNA 중, 강도시험과 가장 유사한 결과를 나타낸 LS-DYNA를 이용하여, 실제 개발된 자기부상열차에 장착될 SEAT와 유사모델인 Type A(벽면부착 SEAT)와 Type C(접이식 SEAT)를 해석하였다. 실제 강도시험 결과값과 비교하여 최적화된 모델을 수립하였다.

(10) 상세설계 - 시트 디자인 설계검토

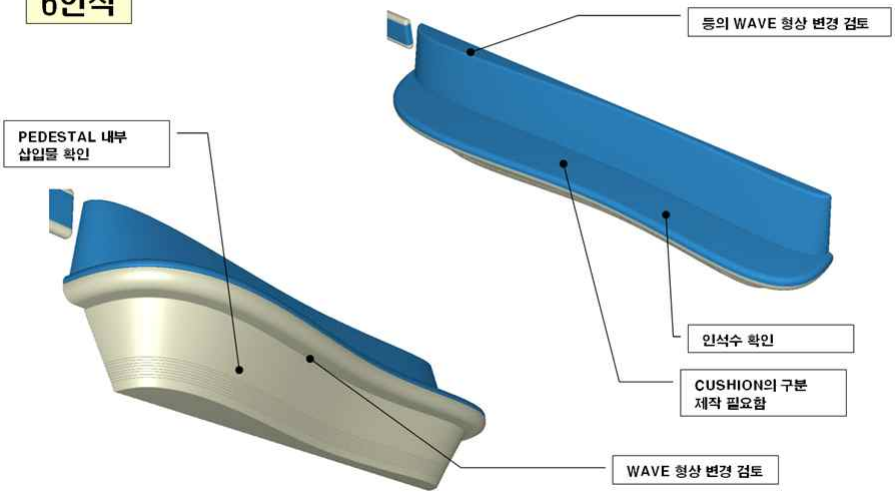
(가) 개요

본 검토는 결정된 차량실내 조감도를 근거하여 실내 장비인 시트의 디자인을 검토한 것으로 디자인의 설계구현 가능성을 검토하고 기술적 제안을 통하여 최종 디자인 확정 및 설계에 반영하고자 함.

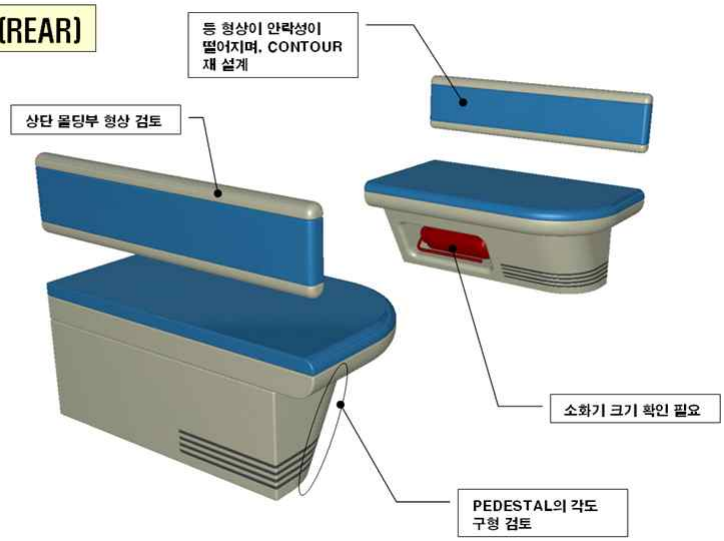
(나) 시트 디자인 설계검토



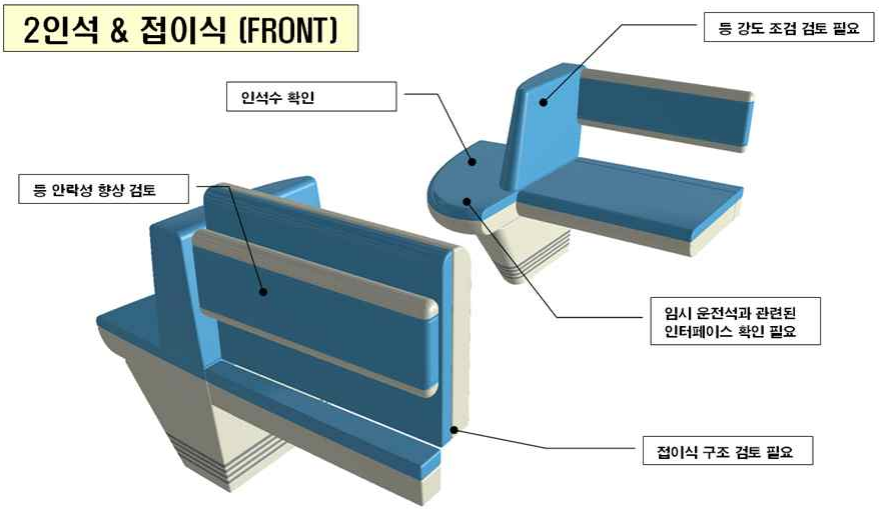
## 6인석




## 2인석 (REAR)




## 2인석 & 접이식 (FRONT)



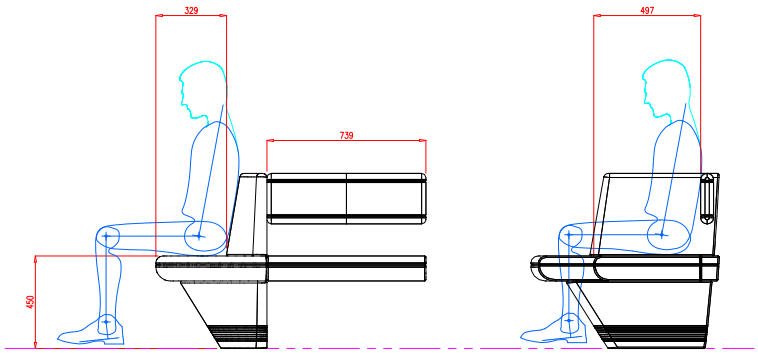
(11) 상세설계 - 시트 디자인 치수 검토서

(가) 개요

본 문서는 디자인(안)에 근거하여 시트 기본 치수를 검토하고 이를 상세설계에 반영하기 위해 검토하는 것임.

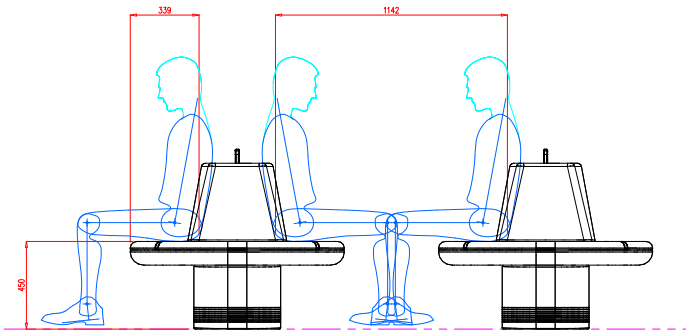
(나) 시트 디자인 치수 검토

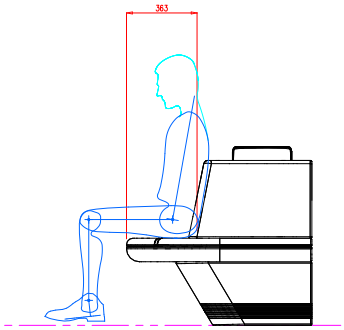
1) SEAT AS. TYPE-A




- 의자 높이 450mm는 너무 높으며 약430mm로 조정 필요함.
- 좌측 그림에서 안장 깊이 치수 329mm는 너무 좁으며 약 430mm로 조정.

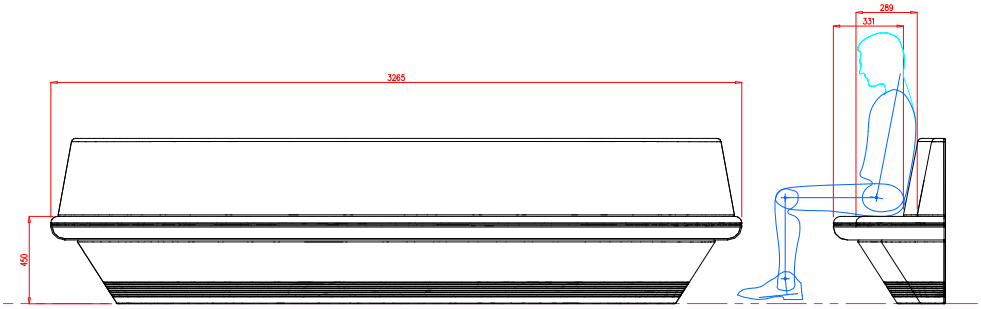
2) SEAT AS. TYPE-B





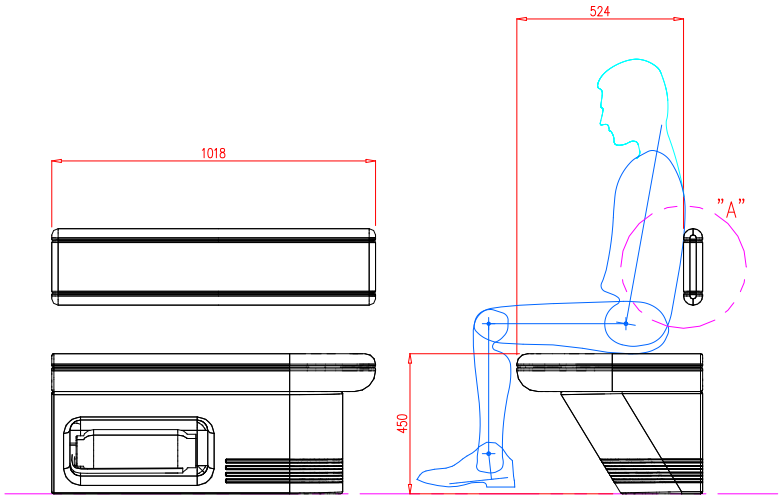

- 의자 높이 450mm는 너무 높으며 약430mm로 조정 필요함.
- 상부 그림 중 치수 1142mm승객이 마주보고 앉았을 때 무릎이 마주쳐 불편함을 느끼게 되므로 최소 1200mm이상으로 변경 필요함.
- 우측 그림에서 안장 깊이 치수 363mm는 약 430mm 조정 필요함

3) SEAT AS. TYPE-C




- 의자 높이 450mm는 너무 높으며 약430mm로 조정 필요함.
- 좌측 그림에서 안장 깊이 치수 289mm와 331mm는 약 430mm 조정 필요함.

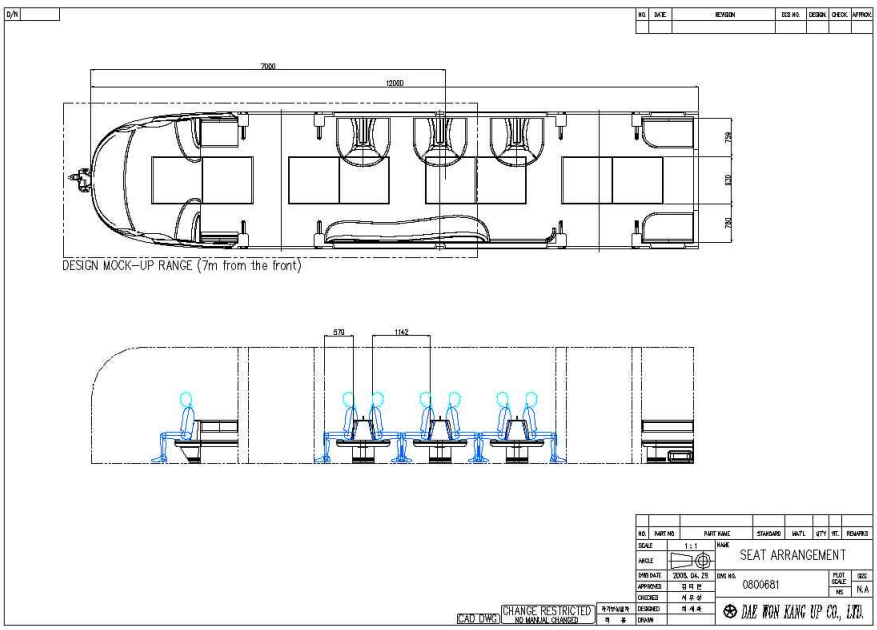
4) SEAT AS. TYPE-D



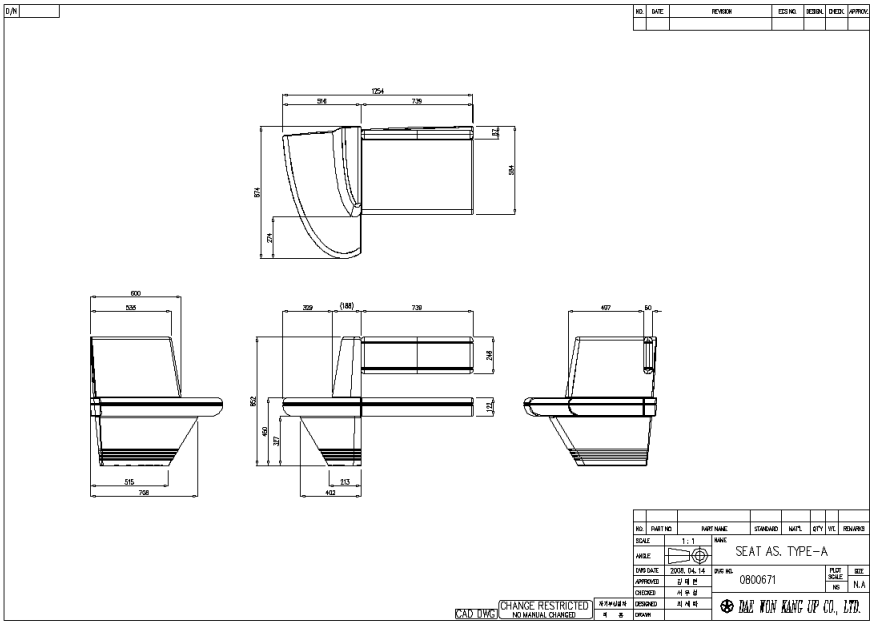

- 의자 높이 450mm는 너무 높으며 약430mm로 조정 필요함.
- 좌측 그림에서 안장 깊이 치수 524mm는 등 구조를 감안하여 다소 줄이 필요가 있음.

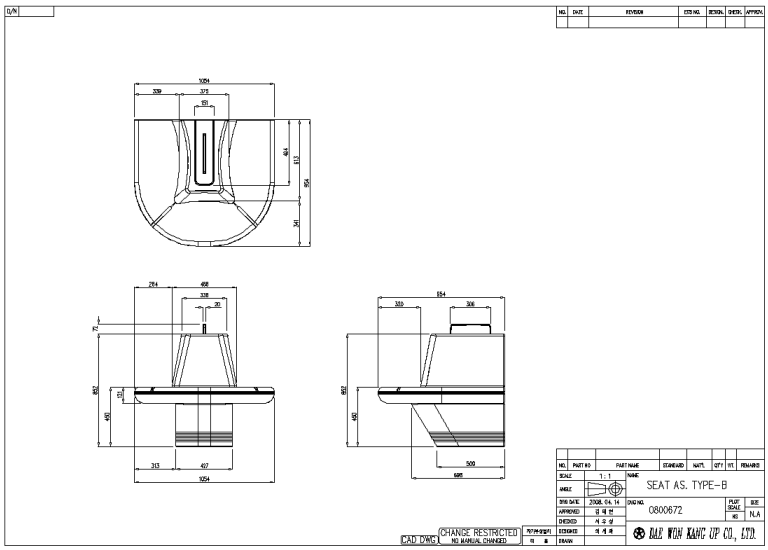
(12) 상세설계 - 시트 일반도면 작성

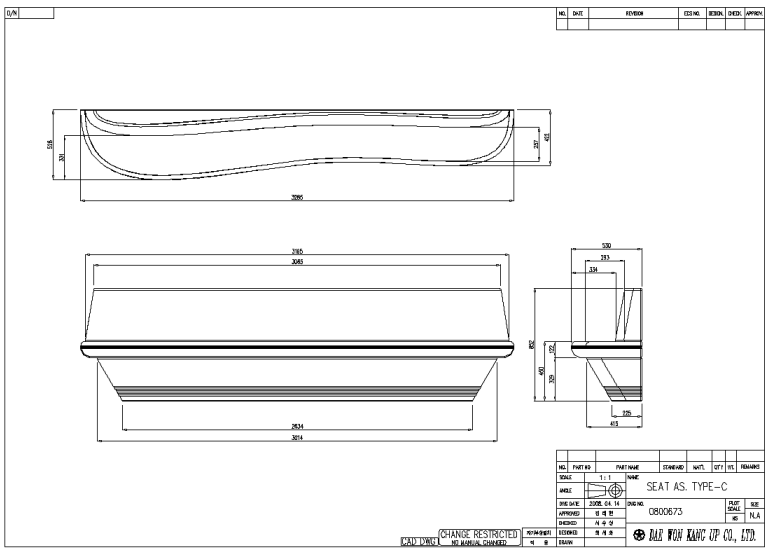
(가) SEAT ARRANGEMENT

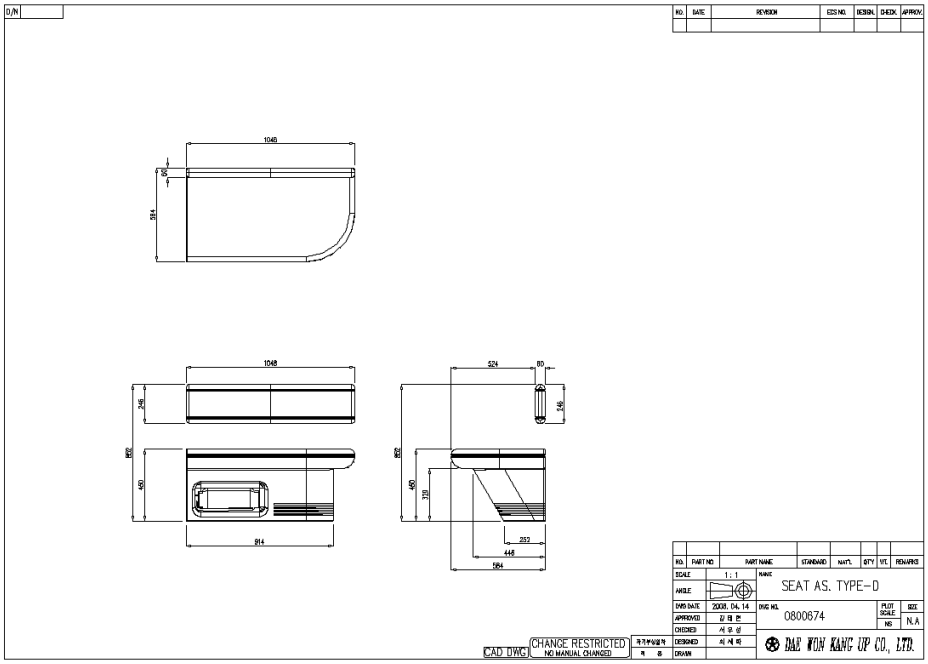


(나) SEAT ASS'Y 도면



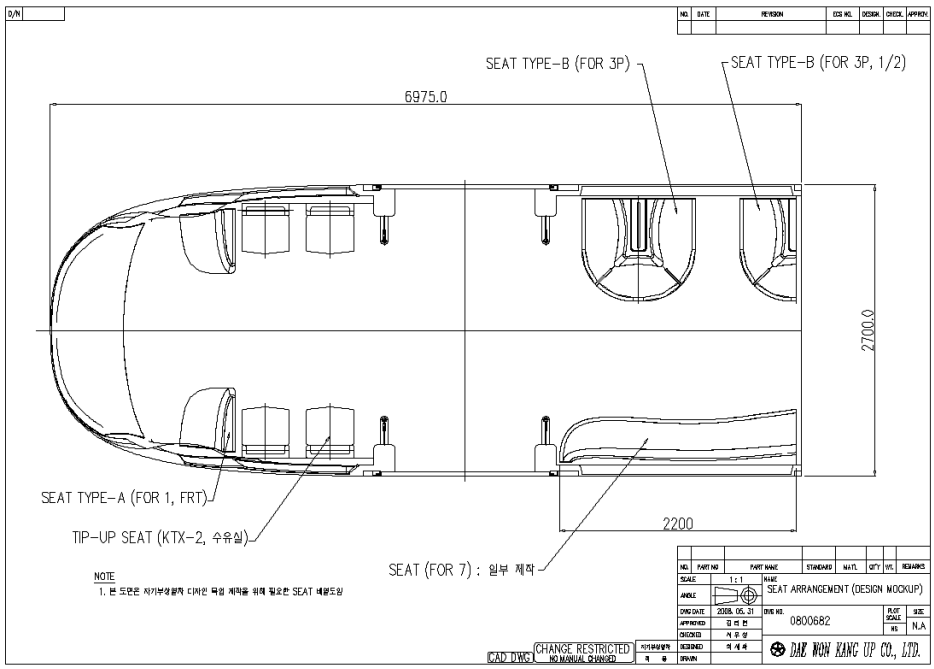





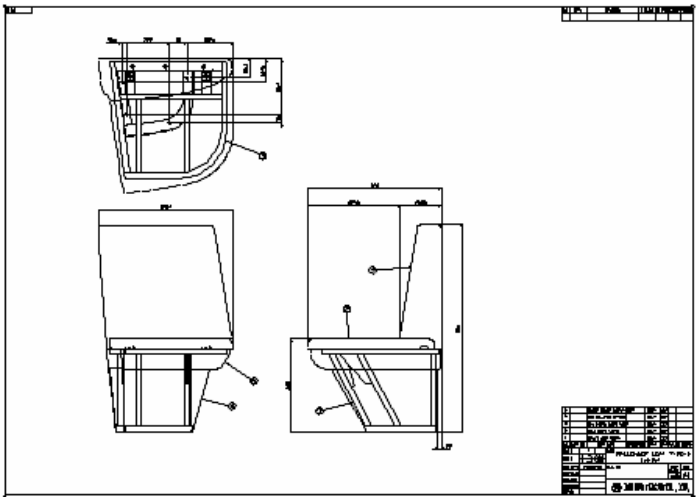

(13) MOCK-UP 시트 제작 - 디자인 목업 제작

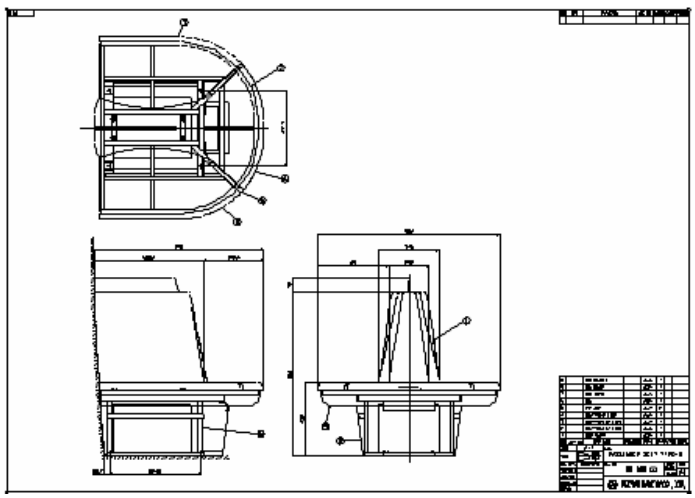
(가) SEAT ARRANGEMENT (DESIGN MOCK-UP)

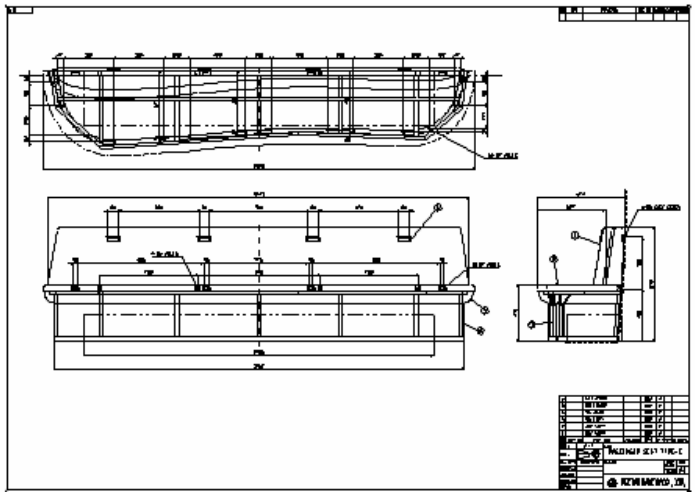


(나) SEAT MOCK-UP 사진

(14) 상세설계 - SEAT 종류별 상세도면 작성







(15) 상세설계 - 중량 저감을 위한 소재 검토

(가) 섬유강화수지 판재

총 2종의 섬유강화수지를 관련 업체를 통해 검토하였으며 재료의 타당성 및 금형투자비의 적합성 등을 검토하여 소재를 선정하였음.

**KYDEX® 6200**
Fire-rated sheet for mass transit

Physical Properties

| Property | Test Method | Typical Value[1] | |
|---|---|---|---|
| Specific Gravity | ASTM D-792 | 1.38 | |
| Tensile Strength | ASTM D-638 | 41 MPa | 6,000 psi |
| Flexural Strength | ASTM D-790 | 63 MPa | 9,200 psi |
| Modulus of Elasticity | ASTM D-790 | 2,413 MPa | 350,000 psi |
| Notched Izod Impact Resistance @ 23°C (73°F) | ASTM D-256 | 187 J/m | 3.5 ft-lbs/in |
| Coefficient of Linear Thermal Expansion | ASTM D-696 | 7.92 x $10^{-5}$ / °C | 4.4 x $10^{-5}$ / °F |
| Rockwell Hardness (R Scale) | ASTM D-785 | 98 | |
| Taber Abrasion Resistance Wt. Loss / 1,000 cycles | ASTM D-1044 | 0.03g | |
| Heat Deflection Temperature (HDT) @ 1.8 MPa (264 psi) annealed | ASTM D-648 | 78°C | 173°F |
| Flammability: Independent Laboratory Testing | UL Standard 94[2] | V-0 | |
| Federal Aviation Administration | FAR 25.853 (a) | Pass[2] | |
| Motor Vehicle Safety Standard | MVSS 302 | Pass | |
| Radiant Panel, FS | ASTM E-162 | 3.99 | |
| Smoke Generation, Ds @ 4.0 minutes | ASTM E-662 | < 200 | |
| DIN 5510-2 | | 0.9mm (S4, ST2, SR2)<br>6.80mm (S4, ST2, SR2) | |

1 Values based upon 3.18mm (0.125") sheet unless otherwise specified.
2 All thicknesses 0.71mm (0.028") and above
Not intended for specification purposes.

**ULTEM® R16SG00 Sheet**

**Product Data Sheet**

**DESCRIPTION**

ULTEM R16SG00 sheet is an extruded polyetherimide (PEI) alloy sheet material used for rail interior applications. ULTEM R16SG00 sheet is an amorphous thermoplastic offering outstanding high heat resistance, high strength, modulus and broad chemical resistance. ULTEM R16SG00 sheet is inherently flame resistant with low smoke emission. ULTEM R16SG00 sheet meets United States Federal Rail Administration (FRA 49 CFR Part 238, Appendix B) flammability and smoke emission characteristics for passenger cars and locomotive cabs. In addition ULTEM R16SG00 sheet complies with toxicity standard Bombardier SMP 800-C. The material may be thermoformed, pressure formed, twin sheet formed, or used in flat or cold formed applications. Information on stai and chemical resistance, processing, and secondary operations is available upon request.

**TYPICAL PROPERTY VALUES** *

| Property | Test Method | Units | Value |
|---|---|---|---|
| **PHYSICAL** | | | |
| Specific Gravity (Color Dependent) | ASTM D792 | -- | 1.26 – 1.33 |
| Water Absorption, Equilibrium, 24 hrs. | ASTM D570 | % | .70 |
| **MECHANICAL** | | | |
| Tensile Strength | ASTM D638 | psi @ yield | 13,100 |
| Ultimate | | | 11,000 |
| Tensile Modulus | ASTM D638 | psi | 335,000 |
| Tensile Elongation | ASTM D638 | % Ultimate | 35 |
| Flexural Strength (Gauge Dependent)** | ASTM D790 | psi | 20,400 |
| Flexural Modulus (Gauge Dependent)** | ASTM D790 | psi | 460,000 |
| Dynatup Impact Strength, ½" Diameter Dart (Gauge Dependent)** | ASTM D3763 | ft-lbs @75°F | 50 |
| Izod Impact Strength (Gauge Dependent)** | ASTM D256A | ft-lbs/in | |
| Notched @ 75°F | | | 1.4 |
| Unnotched @ 75°F | | | No Break |
| Gardner Impact Strength, Round Tup (Gauge Dependent)** | ASTM D3029 | in-lbs @ 75°F | >320 |
| Rockwell Hardness | ASTM D785 | | 123 |
| **THERMAL** | | | |
| Coefficient of Thermal Expansion | ASTM D696 | in/in/°F | $2.75 \times 10^{-5}$ |
| Heat Deflection Temperature | ASTM D648 | °F | |
| @ 264 psi | | | 373 |
| @ 66 psi | | | 395 |
| **FLAMMABILITY** | | | |
| FRA 49 CFR Part 238, Appendix B | | | |
| Flame Spread Index, Is (<35 max)*** | ASTM E-162 | | Pass, Is = <5 |
| Smoke Density | | | |
| Ds – 1.5mins. (<100Max)*** | ASTM E-662 | | Pass, ds, 1.5 = 1 |
| Ds – 4.0mins (<200 max)*** | | | Pass, Ds, 4 = 7 |
| Heat & Visible Smoke Release Rate | ASTM E-1354/ ISO-5660 | | |
| Average Heat of Combustion | | MJ/kg | 30.96 |
| Average Extinction Area | | m2/kg | 85.10 |

(16) 상세설계 - SEAT 기술사양서 작성

(가) 적용규격, 재료, 시험 및 검사방법 등을 기입한 SEAT 기술사양서 작성.

(나) 카바지 사양서 작성

| Test Item | | Test standard | Specification | Remarks |
|---|---|---|---|---|
| Content of pile (%) | | | 90% Wool, 10% Nylon | |
| Weight | | KS K 0514 or BS 12127 | 700 g/m², Min. | |
| Thickness | | KS K 0506 or BS 4051 | 3.5±0.3mm | |
| Threads | Warp | KS K 0511 or ISO 7211-2 | 130 Min. | |
| | Weft | KS K 0511 or ISO 7211-2 | 65 Min. | |
| Breaking force | Warp | KS K 0521 or ISO 13934-1 | 650N Min. | |
| | Weft | KS K 0521 or ISO 13934-1 | 650N Min. | |
| Elongation at Break | Warp | KS K 0521 or ISO 13934-1 | 5~40% Max. | |
| | Weft | KS K 0521 or ISO 13934-1 | 5~40% Max. | |
| Tear Resistance | Warp | KS K ISO 13937-2 | 35N Min. | |
| | Weft | KS K ISO 13937-2 | 25N Min. | |
| Abrasion Resistance | | KS K ISO 12947-2 | 70,000cycles Min | |
| | | KS K ISO 12947-4 | 4 | |
| Color Fastness | Light | KS K ISO 105-B02 | 6 | |
| | Rubbing | ISO 105-X12 or KS K 0650 | 4 | |
| | Acid Perspiration | KS K ISO 105-E04 | 4 | |
| | Alkali Perspiration | KS K ISO 105-E04 | 4 | |
| | Water | KS K ISO 105-E01 | 4 | |
| | Washing | KS K ISO 105-C01 | 4 | |

(17) 상세설계 - 목표중량관리

목표중량 만족을 위해 현재 Mg 판재, 압출재, 진공 성형용 Sheet재 등을 적용하여 설계를 진행하고 있음. 지속적으로 목표중량을 관리하고 있으며 PAD 등에 대한 경량소재를 추가 검토 중에 있음.

◆ 자기부상열차用 경량SEAT 중량검토서

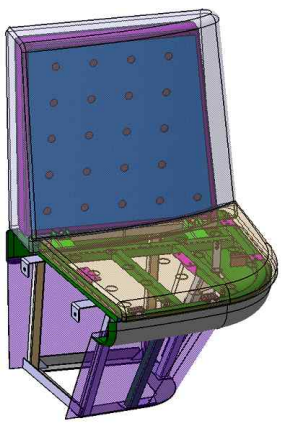
2009년 3월 26일 목요일

| 구분 | | TYPE-A | TYPE-B | TYPE-C | TYPE-D | 량당 중량 합계 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 중량 | 중량 | 중량 | 중량 | 현재 | 목표 | |
| COVERING | BACK | 0.623 | 0.763 | 2.688 | 0.350 | 7.623 | | MOQUETTE |
| | CUSHION | 0.378 | 1.239 | 2.268 | 0.350 | 8.141 | | MOQUETTE |
| FIRE BARRIER | BACK | 0.223 | 0.363 | 0.960 | 0.125 | 2.993 | | - |
| | CUSHION | 0.135 | 0.348 | 0.810 | 0.125 | 2.623 | | - |
| PAD | BACK | 1.280 | 1.450 | 7.180 | 0.600 | 16.490 | | PU FOAM |
| | CUSHION | 0.410 | 1.390 | 3.760 | 0.600 | 11.150 | | PU FOAM |
| FRAME | PIPE, BRKT | 7.000 | 15.000 | 25.000 | 9.000 | 120.000 | | Mg, Sheet |
| 정병류, 용접 | | 0.200 | 0.300 | 0.500 | 0.200 | 2.600 | | - |
| 소계 | | 10.249 | 20.852 | 43.166 | 11.350 | 171.619 | | |
| 수량 | | 2.000 | 3.000 | 1.000 | 4.000 | | | |
| 량당 중량 | | 20.497 | 62.556 | 43.166 | 45.400 | 171.619 | 154.000 | |
| 인석 | | 2.000 | 9.000 | 7.000 | 4.000 | 22.000 | 22.000 | |
| 인석당 중량 | | | | | | 7.801 | 7.000 | |

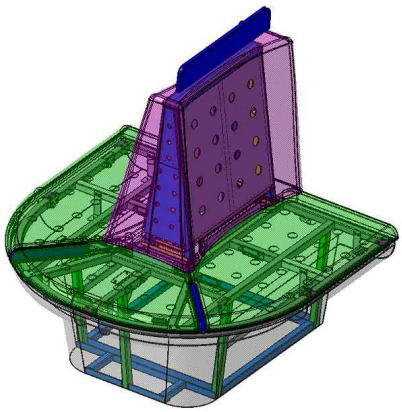
(18) 상세설계 - SEAT 종류별 상세설계

(가) 중량저감을 위해 Mg Frame으로 재설계 실시함.

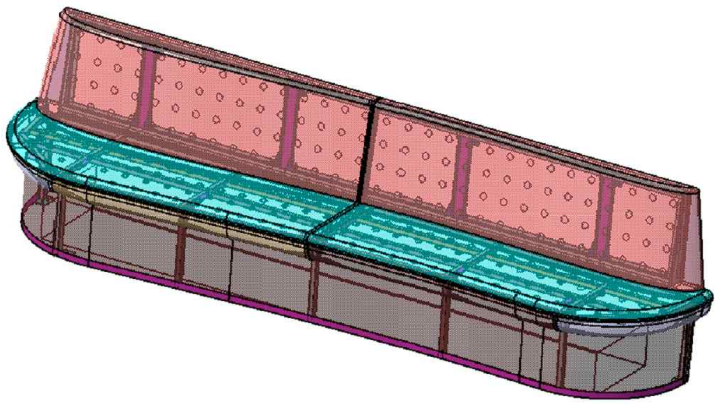
1) TYPE-A (FOR 1P)



2) TYPE-B (FOR 3P)



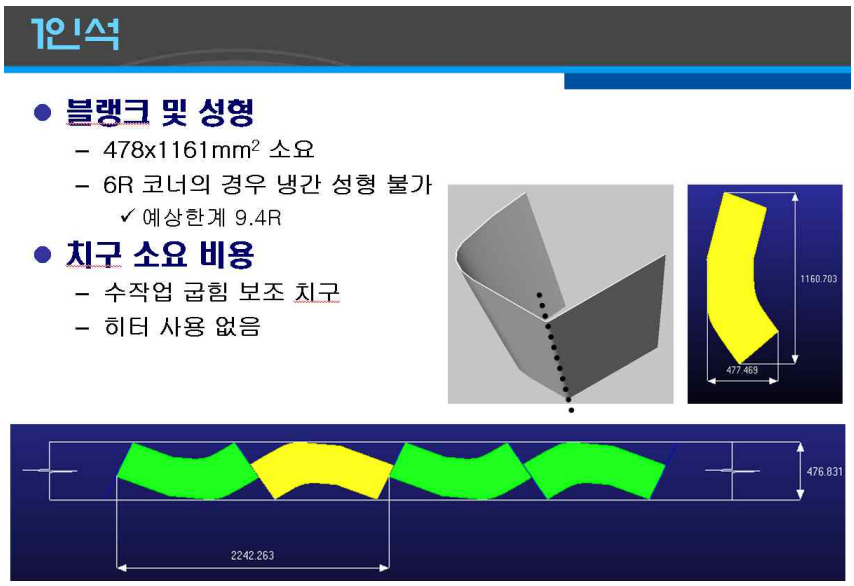
3) TYPE-C (FOR 7P)



(19) 부품개발

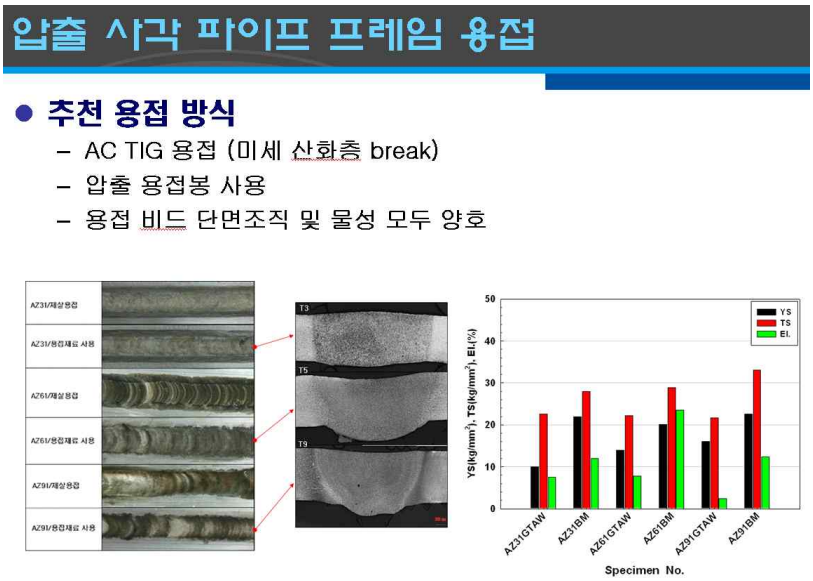
(가) Mg 판재 성형가능 검토

현재 POSCO에서 제작가능한 Mg판재의 폭 크기를 감안하여 PEDESTAL COVER 부품에 적용가능한지 여부를 판단하기 위해 검토한 자료임.



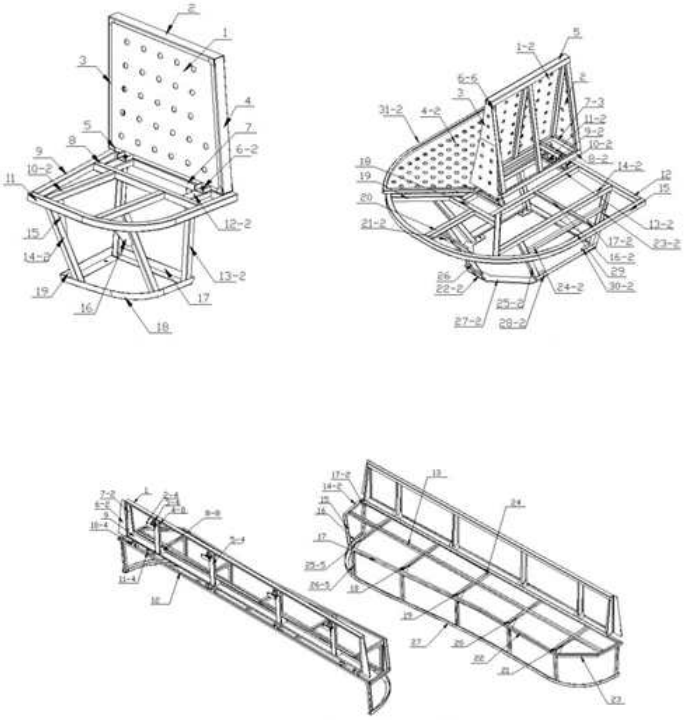
(나) 용접성 검토

Mg 소재의 용접성을 검토하여 FRAME 제작가능성을 판단함.



(다) Mg 압출재 FRAME 제작 검토

SEAT 골조를 구성하는 Mg 압출재의 구성방법 및 소요량을 파악하여 중량 최소화를 검토함.



## 다. 경량화 차체 개발 (동양강철-협동)

(1) 압출 프로파일 설계 제한 조건 분석

(가) 구체용 알루미늄 압출 Profile 설계 제한 조건 분석

압출 공정은 임의의 단면형상을 가진 형강재를 생산하기 위해 널리 사용되는 소성가공 공정으로 주로 알루미늄이나 동등의 소재에 널리 적용되고 있다. 일반적으로 압출공정은 컨테이너 내에 초기 소재인 빌렛을 장착하고 압력을 가함으로써 원하는 단면형상을 가진 금형을 통해 제품을 생산하게 되며, 압출재의 단면형상에 다라 중실형(Solid Type)과 중공형(Hollow Type) 압출 공정으로 구분된다.

특히 중공형 압출 공정의 경우 소재의 외측 형상은 금형의 형상에 의해 결정되는 반면, 소재의 내측 형상은 맨드렐(코어)에 의해 결정된다. 이 때 맨드렐과 금형의 연결을 위해 금형의 형상이 복잡해지게 되고, 그에 따른 소재의 유동 역시 복잡해지게 된다. 이러한 요인으로 인해 중공형 압출 Profile의 경우 압출 공정과 압출 금형 설계에 많은 어려움이 따르게 된다.

따라서 압출공정에서 원하는 중공형 단면 형상을 얻기 위해서는 중공형 압출 금형의 설계가 우선되어야 하며, 또한 압출 공정간 압출성 및 성형성을 고려한 최적의 공정 조건이 설정되어야 한다.

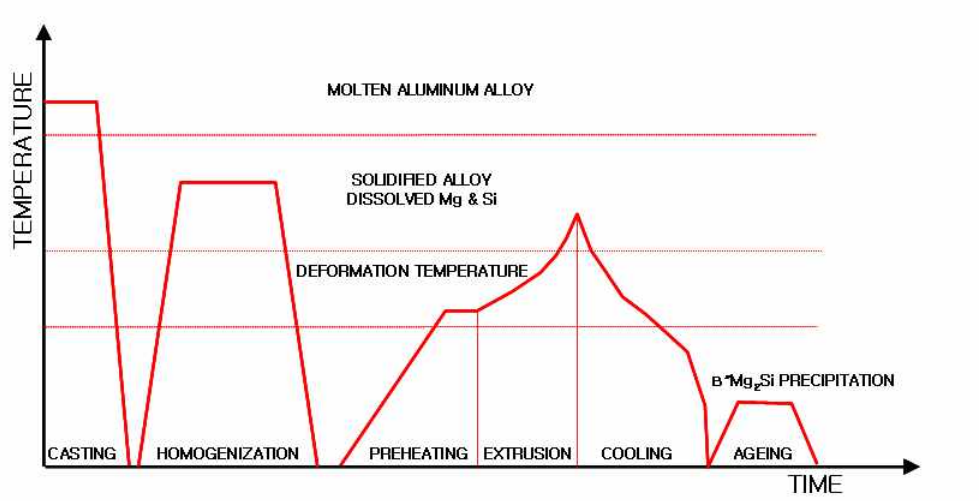
- 구체용 알루미늄 압출 Profile 제작을 위한 최적 압출 Operation window

A6XXX계열 합금의 경우, 전형적인 열처리형 합금이기 때문에, 압출시 일어나는 기계적인 변형에 의해서보다는 thermal processing에 의해서 강도를 얻게 된다. A6XXX계열 합금의 주요 합금 성분은 Mg와 Si이며, 이 두 원소가 상호 결합하여 $Mg_2Si$ 석출물을 형성하게 되는데, 이들 석출물은 크게 세 가지 형태의 석출물로 구별된다. 첫째, β'' $Mg_2Si$는 가장 작은 형태의 $Mg_2Si$ 석출물로서, 형태는 rod-shape 이며, 조밀하게 분산될 때 기계적 특성에 가장 크게 기여한다. 둘째, β' $Mg_2Si$는 rod-shape 석출물보다 약간 더 큰 것이며, β''에서 성장한 것이다. β'석출물의 경우 기계적 특성에 대한 기여도가 거의 미미하다. 마지막으로 β $Mg_2Si$는 cube-like 형태의 가장 큰 $Mg_2Si$ 석출물로서, 기계적 특성에 대한 기여도는 거의 없다.

따라서 A6XXX 계열 합금의 경우 압출 공정에서 이와 같은 $Mg_2Si$ 석출문의 제어가 기계적 특성 확보에 큰 영향을 미치게 되므로 전 공정을 통해

$Mg_2Si$ 특성을 조정하는 정확한 온도 제어가 없이는 최대 기계적 성질을 얻을 수 없다. 그림 1-1은 압출공정에 대한 전형적인 Thermal Cycle을 나타내었는데, 각 압출 공정별 Mg 및 Si의 역할 및 거동을 나타내었다.

압출 Operating window에는 빌렛 예열 조건, 프레스 한계선도, 표면품질 한계선도 및 기계적 특성에 대한 한계선도 및 출구온도의 제어 등이 포함된다




[그림 75 ]압출 공정의 전형적인 Thermal Cycle

(나) 구체용 알루미늄 압출 Profile 설계를 위한 최적의 압출 금형 제작 기술

압출 금형은 Die, Mandrel, Dummy Lock, Stem Head, Welding Chamber die 등 가공을 위한 장비들로서 이들은 항상 압출 작업에 의해 마모되고 손상되므로 계속적으로 교환이 요구된다.

압출 금형은 기본적으로 원하는 형상에 따라 한 개 또는 여러 개의 홀을 지니며, Steel을 주재료로 한 두꺼운 원형 Disk 형태를 가지게 된다. 이러한 금형들은 보통 H-13과 같은 공구강에 필요한 열처리를 시행하여 제작된다. 일반적인 압출 공정에서 압출 금형은 여러 보조 Tool과 함께 압출 프레스 내에 위치하게 된다. 이러한 보조 Tool(Backer, Bolster 그리고 Sub-bolster) 역시 경화된 공구강으로 만들어 진다. Backer, Bolster 그리고 Sub-Bolster는 압출 공정 중에 압출 금형을 보조하는 역할을 하며, 압출 공차의 제어 및 압출 속도향상에 기여하게 된다.

중공형 압출재의 생산을 위해서는 컨테이너(Container)안에 장착되어 있는 소재에 압력을 가하여 여러 가지 형태의 보조금형을 사용하여 분리(splitting)하고 이를 다시 재결합(re-welded)한 과정을 거치게 된다. 이때 소

재의 분리를 위해서 사용되는 대표적인 보조금형으로는 포트홀 금형(porthole die), 스파이더 금형(spider die), 브리지 금형(bridge die)이 있다. 본 연구에서는 이중 포트홀 금형을 사용한 중공형재의 압출 공정을 이용하였다. 포트홀 금형의 각 구멍에 의해 분리된 소재는 포트홀 금형에 연결되어 있는 만드렐과 형상금형사이의 압출실(welding chamber)에서 재결합되어 원하는 단면형상으로 압출되어 진다. 이러한 현상은 일종의 고상 압착(solid state bonding)으로 weld seam이라 불리운다.

Port는 알루미늄을 프로파일의 각 부분으로 분산시켜줌으로써 금속유동(metal flow)이 배분될 수 있도록 해주는 부분으로, Port size는 금속유동이 주입되는 프로파일의 면적에 비례해야 하고 압출 시 금형에 작용하는 압력에 견딜 수 있어야 한다. Port 크기는 잔존하는 다이스 재료(steel)의 강도에 의해 제한되므로 적정한 압출비를 유지해야 한다. 일반적으로 대칭 혹은 비대칭의 경우에도 가능하며, 각 Port와 제품 단면간의 비율이 일정하도록 설계하는 것이 균일한 유동을 얻어 평탄도, 휨, 각도 등의 품질 안정을 유도할 수 있다.

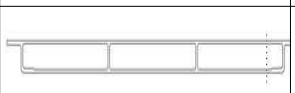
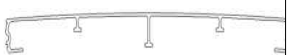
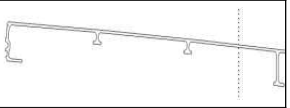
Undercut은 bearing면 앞에 위치하고 있는 Core에 위치한 step이다. 중공형재의 압출시 일반적으로 사용되는 직선형 mandrel은 mandrel stem을 따라 흐르는 금속유동과의 마찰을 유발하여 열을 발생시킴으로써 표면 불량을 유발하고 압출 속도를 감소시킨다. Undercut을 이용하여 중공형 압출재의 형상 개선과 균일한 온도분포로 인한 압출재 표면 품질 향상을 기대할 수 있다. 그러나 mandrel의 undercutting은 mandrel의 단면적 감소를 의미하며 이는 금형의 강도감소를 의미하므로 가공시 신중하여야 하며 undercut의 곡률은 최대한 완만하 가공하여 압력의 증가를 피해야 한다.

Bearing은 프로파일의 마무리와 형상에 결정적인 영향을 미치는 부분이다. 이 부분은 압출재가 die와 접촉하는 마지막 부분으로서 금속유동의 조절이 가능한 부분이다. 만약 port에서 die 출구까지의 금속유동이 불규칙하다면 bearing 길이 조정에 의해 유동 속도를 개선하여야 한다.

1) 압출 금형 최적화 설계 변수 도출

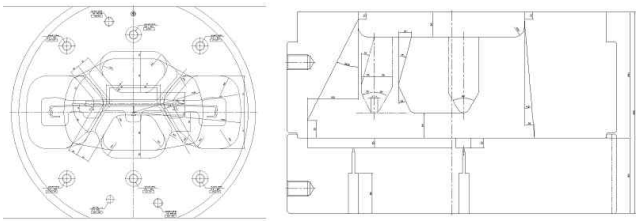
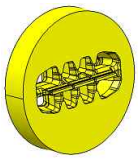
우선 경량화 설계된 기본 설계안으로부터 대표적인 압출 프로파일을 선정하여 압출 해석을 실시하였다. 아래 표는 선정된 압출 Profile의 형상 및 특성을 나타낸다.

[표 23 ]압출 Profile 형상 및 특성

| | Under Frame | Roof Frame | Side Frame |
|---|---|---|---|
| 단면 형상 |  |  |  |
| 단면적(mm2) | 3340.7 | 1790.4 | 1813.6 |
| 단중(kg/m) | 9.053 | 4.851 | 4.915 |
| 단면 Size(mm*mm) | 550 * 30 | 440 * 30 | 440 * 40 |
| 단면 두께(mm) | 2.8 | 2.8 | 2.6 |

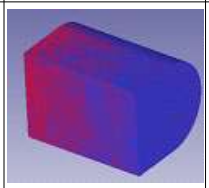
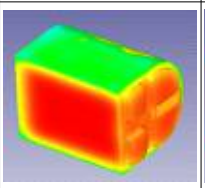
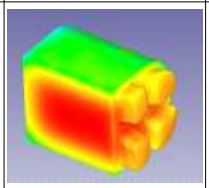
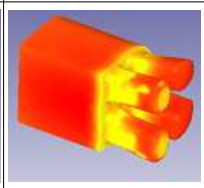
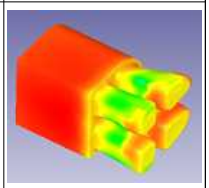
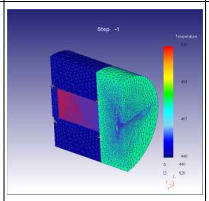
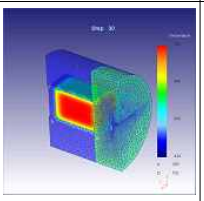
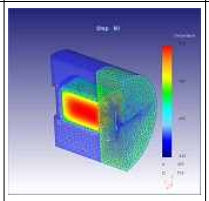
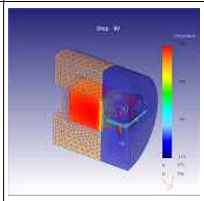
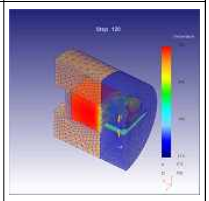
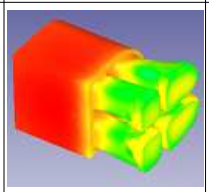
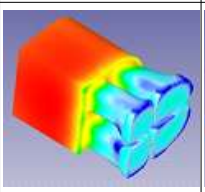
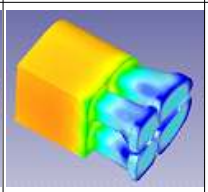
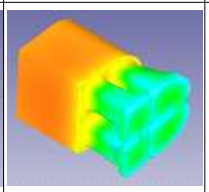
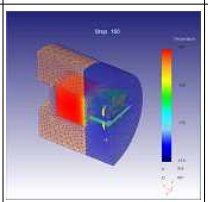
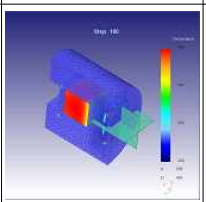
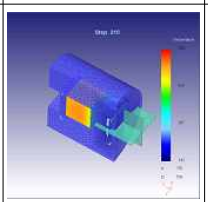
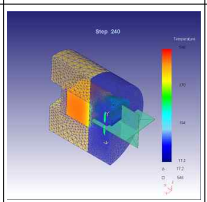
Under Frame을 제외한 Roof 및 Side Frame의 경우 Single Skin 구조의 솔리드형 압출재로 이루어져 있어, 중량적 측면에서 기존의 Double Skin 구조에 비해 유리하나, 단면적 대비 제품 사이즈가 크기 때문에 대형 압출기에서 압출을 실시하여야 하며, 큰 압출비로 인해 문제를 야기시킬 소지가 있다. 이러한 문제를 사전에 예측하고 최적의 압출 금형 설계를 위해 압출 해석을 실시하였다.

[표 24 ]압출 금형 제작도 및 금형 형상

| 압출 금형 제작도 | |
|---|---|
|  | |
| BG | DIE |
|  | |

2) 해석 결과

[표 25 ]해석 공정간 온도 변화

| Step | -1 step | 30step | 60step | 90step | 120step |
|---|---|---|---|---|---|
| Billet |  |  |  |  |  |
| 전체 |  |  |  |  |  |
| 최대온도 | 520℃ | 520℃ | 519℃ | 509℃ | 503℃ |
| Step | 150step | 180step | 210step | 240step | |
| Billet |  |  |  |  | |
| 전체 |  |  |  |  | |
| 최대온도 | 497℃ | 493℃ | 538℃ | 543℃ | |

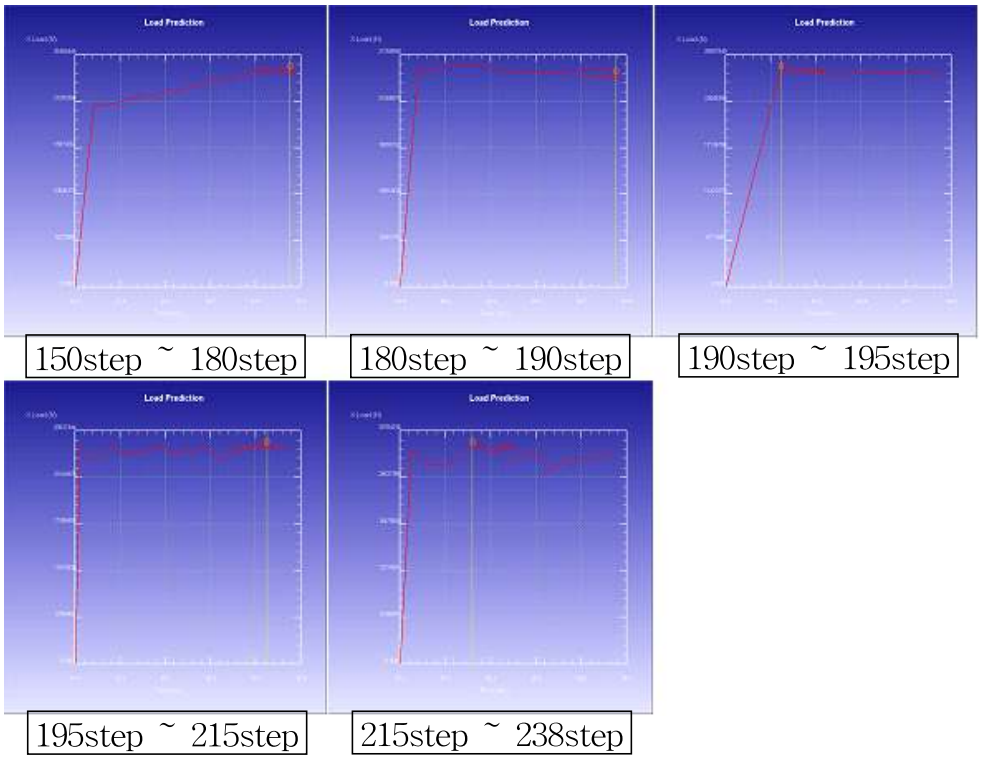
아래 표의 온도 분포를 살펴보면 180step과 210step 사이에서 온도가 급격히 상승하는 것을 알 수 있다. 이는 알루미늄이 다이의 베어링부를 통과하면서 발생하는 마찰에 기인한 것이다.

위 표는 Step별로 압출 금형이 받는 압력을 나타낸다.

190step까지는 약 2,600ton 정도의 하중을 받다가 압출금형의 베어링부와 알루미늄의 마찰이 시작되는 190step 이후로는 약 3,000ton정도의 압력을 받는 것을 알 수 있다. 이는 두 가지 요인에 의해 기인된다고 판단된다.

그 첫 번째는 앞서 언급한 알루미늄과 베어링부의 마찰이다.

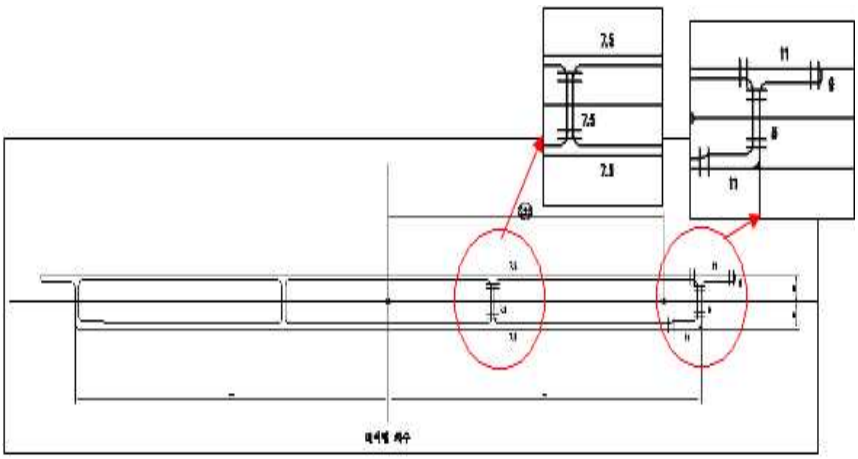
또 한가지는 상기 금형의 경우 Port가 존재함으로 인해 Seam부가 존재하는데 Port를 빠져 나온 알루미늄 소재끼리의 접합에 의한 것이 나머지 하나이다.




[그림 76 ]해석 진행 간 다이 압력 변화]

3) 압출 금형 재설계

앞서 실시한 압출 해석 결과를 바탕으로 압출시 제품의 위치별 속도차 발생에 의해 제품 형상에 변형이 발생한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 압출시 제품의 속도에 가장 큰 영향을 미치는 베어링 부 길이를 구간별로 재설계 하였다.



(2) 도시형 자기부상열차 압출 프로파일 최적화 설계

(가) 유사 차량의 차체 설계안 분석 및 설계 변수 도출

본 연구의 목표중량 20,000kg 달성을 위하여 유사차종을 비교 대상으로 하였다. 유사차량의 전체 중량은 26,110kg이며 이중 알루미늄 구체 중량은 4,735kg이다.

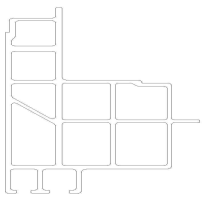
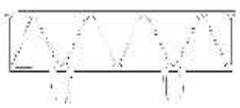
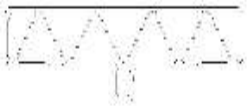
목표 중량 달성을 위한 차량의 중량은 2,850ton이며 이는 유사차량 적용시 약 40%의 중량 감소를 필요로 한다. 상기의 목표 달성을 위하여 유사차종의 설계안을 분석하였으며 이를 통해 경량화에 유리한 설계 변수 등을 도출하였다.

1) 마루구조(Under Frame)

일반적으로 유럽, 일본 등의 알루미늄 철도차량은 마루구조를 채택하고 있으며, 마루구조의 양끝단은 용접제작시 차체의 강도 및 강성을 만족할 수 있는 최적 압출 형상으로 설계되어 있다. 이 구조는 수직하중, 연결기를 통해 전달되는 압축 하중 및 대차를 통하여 전달되는 하중에 대해 강성이 보장될 수 있는 구조로 설계되었다.

유사차량도 이와 같은 구조로서 아래 표에 나타내었다.

[표 26 ]유사차종 Under Frame의 주요 구성 압출 형재

| | Sole Bar | Panel Side | Panel Middle | Panel Center |
|---|---|---|---|---|
| 형상 |  |  | |  |
| 단중 (kg/m) | 20.3 | 18.3 | 16.1 | 18.5 |
| 휨강성 (EI) | I1 = 1282<br>I2 = 2893 | I1 = 370<br>I2 = 11681 | I1 = 325<br>I2 = 7210 | I1 = 325<br>I2 = 13898 |

상기와 같이 바닥구조는 Panel Center 압출재를 중심으로 하여 나머지 3

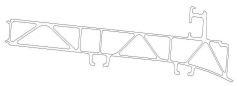
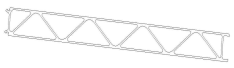
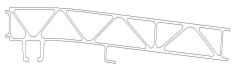
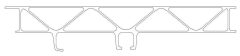
개의 압출재가 좌우 대칭을 이루며 각각의 압출재는 용이한 용접을 위하여 'V'홈 형상의 용접부를 갖도록 설계되어있다. 프로파일 내부는 사다리꼴 형상의 Rib 구조로 되어 있으며 Rib의 두께는 2.8t, 외측부의 두께는 3.0t이다.

또한 하부기기의 취부를 위하여 각 부재에 T-슬롯을 만들어 하부기기를 취부할 수 있도록 하여 향후 타 부품과의 조립성을 극대화한 구조로 되어 있다.

2) 측면구조( Side Frame )

유사차량의 경우 측면 구조는 4개의 측면 판넬과 출입문 기둥, 창문 기둥 등으로 구성되어 있으며 측면 구조의 부재들은 외판의 용접 변형 최소화, 좌굴 현상의 방지, 소음의 감소에 유리한 중공형  단면의 압출재로 이루어져 있다. 부재의 형상을 표 27에 나타내었다.

[표 27 ]유사차종 Side Frame의 주요 구성 압출 형재

| | Upper Panel Window | Middle Panel Side | Lower Panel Window | Lower Panel Side |
|---|---|---|---|---|
| 형상 |  |  |  |  |
| 단중 (kg/m) | 20.3 | 14.9 | 17.3 | 15.5 |
| 휨강성 (EI) | I1 = 454<br>I2 = 13108 | I1 = 158<br>I2 = 10205 | I1 = 225<br>I2 = 9710 | I1 = 228<br>I2 = 8078 |

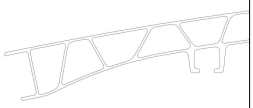
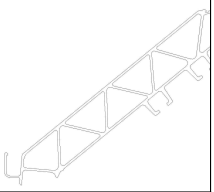
측면 구조 역시 용접이 용이하도록 용접부의 형상을'V'홈으로 하였으며, 프로파일 내부 또한 사다리꼴 구조의 Rib으로 지지되어 있다. Rib의 두께는 2.8t이며, 외측부의 두께는 3t 이다. 또한 출입문 및 창문에 몰딩 대신 알루미늄 중공형 압출재를 사용함으로써 문코너부를 가공하여 용접이 가능하게 하였다.

3) 지붕구조(Roof Frame)

지붕구조는 중공형 압출재를 사용하였으며 에어컨 및 기타 부품 등의 조립과 하중에 견딜 수 있는 강성에 주안점을 두어 설계되었다. 총 4개의 중공

형 압출재가 중앙에 위치한 부재를 중심으로 좌우 대칭으로 구성되어 있다. 부재의 형상을 아래 표에 나타내었다.

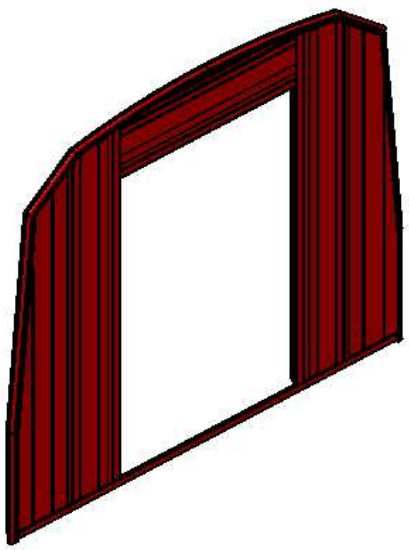
[표 28 ]유사차량 Roof Frame의 주요 구성 압출 형재

| | Roof Panel Center | Roof Panel Middle | Roof Panel Side | Cantrail |
|---|---|---|---|---|
| 형상 | | |  |  |
| 단중 (kg/m) | 13.5 | 10.1 | 9.44 | 20.7 |
| 휨강성 (EI) | I1 = 155<br>I2 = 7705 | I1 = 101<br>I2 = 2953 | I1 = 121<br>I2 = 2304 | I1 = 501<br>I2 = 9698 |

지붕구조 역시 사다리꼴 Rib을 적용하였으며 Rib 및 외측 두께 모두 2.8t로 동일하게 설계되었다.

4) 단부 구조 (End Frame)

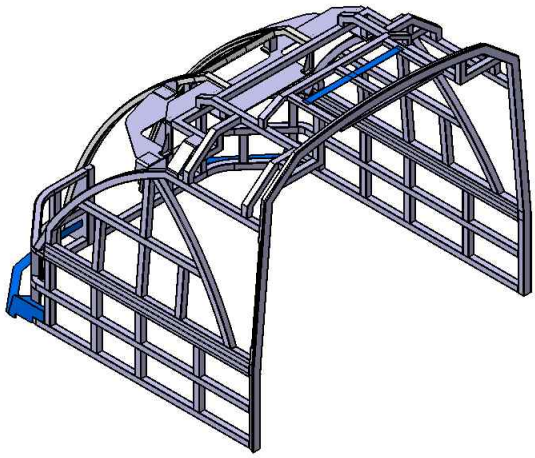
단부구조의 압출형재는 대형압출재를 사용하였다. 압출재는 최대한 동일한 형상을 갖도록 하였으며 이를 통해 단품의 수를 줄이고 조립공수 감소 및 용접조립에 의한 치수공차를 줄일 수 있는 최적의 구조이다. 부재의 형상을 아래 그림에 나타내었다



[그림 77 ]유사차량의 End Frame

5) 운전실 구조(Cap Frame)

운전실 구조는 단부구조의 코너 기둥을 가공하고, 알루미늄 판재를 냉간 성형하여 골조를 이루도록 설계되었으며, 또한 4t의 두께를 갖는 정사각 또는 직사각형의 압출형재를 용접한 구조로써 운전자 보호를 극대화한 구조로 설계되었다. 부재의 형상을 아래 그림에 나타내었다



[그림 78 ]유사차량의 Cab Frame

상기와 같이 유사차량은 운전실 구조를 제외하고는 3~2.8t의 외측 두께와 내부에 사다리꼴 형상의 2.8t의 두께를 지니는 Rib을 갖는 샌드위치 형상의 압출재로 이루어져 있다.

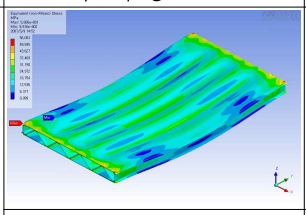
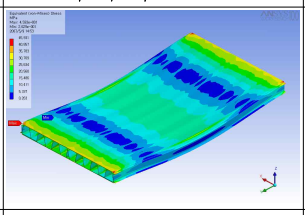
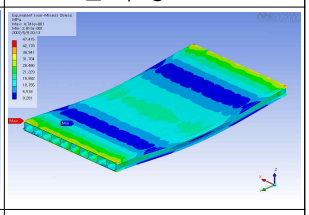
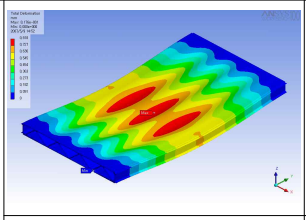
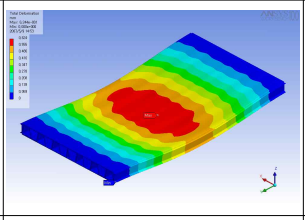
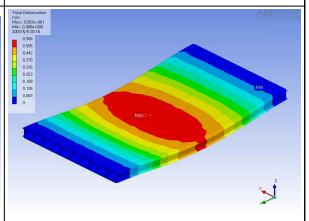
(나) 차체 경량화를 위한 압출재 형상 최적 설계

철도차량의 차체 경량화는 차량의 제작 및 유지보수의 측면에서 많은 이점이 있다. 차량의 경량화를 위해서는 적정 강성을 갖는 동시에 차체 중량을 최소로하는 최적 설계가 수행되어야 한다. 강에 비해 알루미늄이 갖는 강성적 한계를 보완할 수 있는 방법이 샌드위치 구조의 판을 사용하는 것이다. 샌드위치 판은 중량에 비해 높은 강성과 강도를 갖는다.

1) 샌드위치 압출재 내부 Rib 형상 변경을 통한 단면 최적화 설계

유사 중량을 갖는 압출재에 대해 프로파일 내부 Rib형상을 변화시켜 굽힘 강도가 우수한 단면의 설계를 위해 유사차종의 단면 형상인 사다리꼴 Rib형상을 기준으로 하여 팔각형 Rib 형상, 삼각형 Rib 형상을 상호 비교 하였다. 모든 조건은 동일하게 적용하였고 단면의 형상만 변경하였다.

[표 29 ]Rib 형상별 응력-변형량 비교1

| | 삼각형 Rib | 사다리꼴 Rib | 팔각형 Rib |
|---|---|---|---|
| 최대 유효 응력 (MPa) |  |  |  |
| | 56 | 46 | 47 |
| 변형량 (mm) |  |  |  |
| | 0.82 | 0.62 | 0.57 |
| 단중 (kg/m) | 17.32 | 16.83 | 18.02 |

위 표의 형상에 대한 응력-변형량 비교시 삼각형 Rib 〈 팔각형 Rib ≦ 사다리꼴 Rib 구조순의 변형량을 갖는 것을 알 수 있었다. 또한 프로파일 내부 Rib의 수가 증가할 수록 단면의 변형량은 작아짐을 알 수 있다. 따라서 사다리꼴 형상이나 팔각형 형상의 Rib 그리고 Rib의 수가 증가할 수록 단면에 대한 굽힘 저항성이 증가할 수 있을 것으로 사료된다. 즉 단면의 Rib 형상과 Rib 개수의 조정을 통해 경량화율을 향상 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

2) 단면 두께 최적화 설계

압출재 단면 형상은 개단면인 Solid Type과 폐단면인 Hollow Type으로 분류할 수 있다. Solid Type의 압출재와 Hollow Type의 압출재는 금형 구조가 완전히 다르므로 단면 치수 또한 다르다. Solid Type 압출형재의 외접원에 따른 재질별 생산 가능한 제품의 최수 두께는 아래의 표와 같다.

반면 Hollow type 압출재는 압출가공시 용착에 의한 Seam이 있으므로 금형구조가 복잡하고 생산 가능한 최소 두께도 증가한다. 즉 Solid Type의 압출형재에 비해 Hollow Type의 압출형재의 두께가 더 두껍다. 이는 금형구조의 복잡성에 의한 금형의 코어부가 취약하기 때문이며, 형상의 복잡성과 압출비에 따라 최소 두께의 조절이 가능하다. Hollow Section 형재의 외접원에 따른 재질별 생산 가능한 제품의 최소 두께는 아래의 표와 같다.

[표 30 ]Solid Type 압출 금형의 압출 최소 두께

| | A6063 | A6005A<br>A6N01 | A6061 | A7073<br>A7N01 | A7005 |
|---|---|---|---|---|---|
| D(mm) | Circular Container | | | | |
| 200 | 2.0 | 2.2 | 2.5 | 2.7 | 3.5 |
| 250 | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.5 |
| 300 | 3.0 | 3.2 | 3.5 | 3.7 | 3.5 |
| 350 | 3.5 | 3.7 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| 400 | 4.0 | 4.2 | 4.5 | 4.5 | 4.5 |
| 450 | 4.5 | 4.7 | 5.0 | 5.0 | 5.5 |
| 500 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 5.5 | 8.0 |
| 540 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 7.0 | 7.0 |
| 가로*세로 | Rectangular Container | | | | |
| 500*150 | 3.0 | 3.2 | 4.0 | 4.0 | 4.0 |
| 550*100 | | | | | |
| 620*60 | | | | | |

[표 31 ]Hollow Type 압출 금형의 압출 최소 두께

| | A6063 | A6005A<br>A6N01 | A6061 | A7073<br>A7N01 | A7005 |
|---|---|---|---|---|---|
| D(mm) | Circular Container | | | | |
| 200 | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.5 |
| 250 | 3.0 | 3.2 | 3.5 | 4.0 | 4.5 |
| 300 | 3.5 | 3.7 | 4.0 | 4.5 | 5.0 |
| 350 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| 400 | 4.5 | 5.0 | 6.0 | 6.5 | 7.0 |
| 450 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | | |
| 490 | 5.0 | 5.5 | 6.0 | | |
| 가로*세로 | Rectangular Container | | | | |
| 500*150 | 4.5 | 4.8 | 5.5 | 5.5 | 6.0 |
| 550*100 | 3.0 | 3.2 | 3.5 | 4.0 | 4.5 |
| 620*60 | 3.0 | 3.2 | 4.0 | 5.0 | 6.0 |

(다) 유사 차량의 차체 경량화 설계

앞서 수행한 알루미늄 압출 프로파일의 경량화 설계 변수를 토대로하여 유사차량의 경량화 설계를 실시하였다.

우선 경량화 설계를 위해 현재 비교 대상으로 삼은 유사차량의 압출 프로파일에 대한 검토를 실시하였으며, 여기서 내부 Rib 형상 변경이나 압출성을 고려한 압출형재의 두께 감소를 통해 경량 설계를 하고자 하였다.

유사차량은 Under Frame, Side Frame, Roof Frame, End Frame, Cab Frame으로 구성되어 있으며 각 각은 외측 두께 2.8~3mm, 내측 Rib 두께 2.8mm를 갖는 중공형 압출재의 용접에 의해 결합되어 있다.

유사차량의 중량은 4,735kg으로 과제 목표인 40%의 경량화를 위해서는 차량 중량이 2,850kg을 가져야 한다.

1) Under Frame 의 경량화 설계

Under Frame은 floor를 구성하는 외측 두께 3.0mm, 사다리꼴을 갖는 내부 Rib 두께 2.8mm의 중공형재와 4.0mm의 전두부 골조를 갖는 중공형재로 이루어져 있으며, 그 중량은 2,750kg으로 경량화율 40% 적용시 1,650kg으로 경량화 설계가 이루어져야 한다.

상기의 경량화율 달성을 위해 앞서 언급한 표 2-5과 2-6의 알루미늄 압출형재의 최소 두께 표를 참고하여 샌드위치 구조를 갖는 더블스킨 구조로 중공형 압출재의 설계를 하였으며, 이 때 외측 두께는 2.8mm, 내측 Rib 두께는 2.6mm로 감소시켰으며, 중량의 추가 감소를 위해 일부 Rib을 제거하고 직각방향으로 수정설계하였다. 또한 전두부 골조의 두께는 2.5mm로 설계하였으며, 이에 대한 결과를 아래 표에 나타내었다.

[표 32 ]설계 모델 Under Frame의 주요 구성 압출 형재

| | Panel Center | Panel Middle | Panel Side | Sole Bar |
|---|---|---|---|---|
| 형상 |  |  |  |  |
| 단중 (kg/m) | 10.6 | 12.3 | 13.4 | 13.1 |
| 휨강성 (EI) | I1 = 200<br>I2 = 8078 | I1 = 290<br>I2 = 5655 | I1 = 325<br>I2 = 8803 | I1 = 1012<br>I2 = 2187 |
| 경량화율 (%) | 42.1 | 23.3 | 26.5 | 35.2 |

상기와 같은 경량화 모델의 총 중량은 1,832.9kg으로 유사차량의 UnderFrame 대비 약 33%의 중량 감소가 가능한 것으로 나타났다.

2) Roof Frame의 경량화 설계

Roof Frame은 Cantrail을 포함한 4종의 대형중공 압출재로 구성되어 있으며 외측 및 내부 Rib 두께는 2.8mm이며 중량은 1,026kg으로 경량화율 40% 적용시 615kg을 얻을 수 있으므로, 내부 Rib 형상 변경 및 2.6mm로의 두께 감소 설계를 실시하였다. 아래 표는 그 결과를 나타내었다.

[표 33 ]경량화 설계 모델 Roof Frame의 주요 구성 압출 형재

| | Roof Panel Center | Roof Panel Middle | Roof Panel Side | Cantrail |
|---|---|---|---|---|
| 형상 |  |  |  |  |
| 단중 (kg/m) | 12.1 | 8.7 | 8.4 | 13.74 |
| 휨강성 (EI) | I1 = 152<br>I2 = 7188 | I1 = 98<br>I2 = 2636 | I1 = 116<br>I2 = 2126 | I1 = 385<br>I2 = 7214 |
| 경량화율 (%) | 10.4 | 13.9 | 11.1 | 33.6 |

경량화 설계 결과 Roof Frame의 총중량은 790.4kg으로 유사차종의 Roof Frame 대비 약 23%의 경량화 가 가능한 것으로 나타났다.

3) Side Frame의 경량화 설계

Side Frame은 4종의 대형 중공압출재와 출입문 및 창문의 기둥골재로 이루어져 있으며, 외측 두께 3.0mm, 내부 Rib 두께 2.8mm로 중량은 646kg이며 경량화율 40% 적용시 388kg으로 설계되어야 한다. 따라서 내부 Rib 형상 변경 및 외측 두께 2.8mm , 내부 Rib 두께 2.6mm로 설계하였으며 아래 표에 그 결과를 나타내었다.

[표 34 ]경량화 설계 모델 Side Frame의 주요 구성 압출 형재

| | Upper Panel Window | Middle Panel Side | Lower Panel Window | Lower Panel Side |
|---|---|---|---|---|
| 형상 |  |  |  |  |
| 단중 (kg/m) | 12.7 | 10.6 | 11.8 | 11.9 |
| 휨강성 (EI) | I1 = 204<br>I2 = 7796 | I1 = 134<br>I2 = 7392 | I1 = 186<br>I2 = 6750 | I1 = 204<br>I2 = 6236 |
| 경량화율 (%) | 37.4 | 28.9 | 31.8 | 23.2 |

Side Frame의 경량화 설계 결과 총 중량은 494.3kg으로서 유사차량의 Roof Frame 대비 약 23.6%의 경량화 설계를 진행하였다.

4) End Frame의 경량화 설계

End Frame의 중량은 총 105kg으로서 End Frame의 취부면을 구성하는 4종의 중공형 압출재와 Post부를 구성하는 1종의 중공형 압출재 , 그리고 취부 역할을 하는 1종의 솔리드 압출재로 구성되어져 있으며 각각은 가공 및 용접에 의해 조립되어 있다. 경량화율 40% 적용시 63kg을 얻을 수 있으며, 이를 만족하기 위해 Post부의 두께를 4mm에서 2.8mm로 감소시켰으며, 취부면의 압출형재의 내부 Rib 형상 변경을 실시하였다.

경량화 설계된 End Frame의 중량은 84kg으로 유사차량 대비 약 20%의 경량화가 가능한 것으로 나타났다.

5) Cab Frame의 경량화 설계

유사차량의 Cab Frame은 직각 또는 '日'자의 중공형 압출재와 프레스 성형된 판재를 용접한 것으로 두께 2.5mm, 중량 219kg을 갖도록 설계되어 있다.

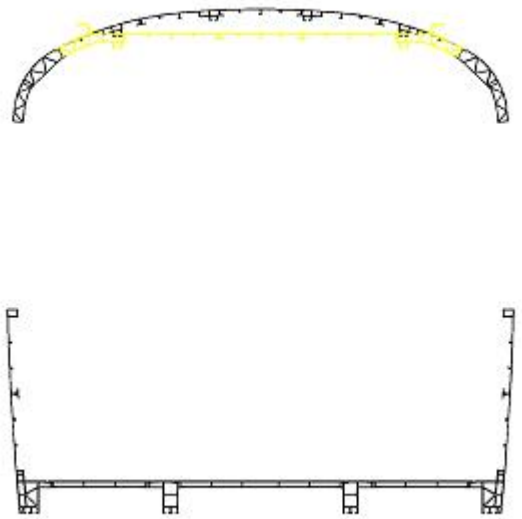
경량화 설계를 통하여 Cab Frame의 중량은 133.2kg으로 유사차종 대비 약 39.2%의 경량화 설계가 가능한 것으로 나타났다.

6) 경량화 설계 결과

상기와 같은 경량화 설계를 통하여 유사차종의 중공형 압출재 두께와 Rib 형상 변경으로 총 중량 3,335kg의 29.7% 경량화를 달성하였으나, 당해연도 경량화 목표대비 약 500kg 이상의 추가 경량화가 필요하다. 현재의 설계안에서 외측 두께 2.8t를 유지하고 내부 Rib을 모두 제거하더라도 모델의 총 중량은 2,988kg으로 경량화율은 37.0%이며, 이 역시 수정 협의된 경량화 목표에 미달하므로 목표 달성을 위해서는 압출재의 폭을 감소시킴과 동시에 두께의 감소 또는 (즉, 하나의 압출형재를 두개의 압출형재로 분리) 현재의 double skin 구조를 single skin구조로의 변경 등을 통한 경량화 설계가 필요할 것으로 판단되었으며, 이에 따라 도시형 자기부상열차의 구체 압출 프로파일은 Sigle Skin구조를 채택하였다.

(라) 도시형 자기부상열차 구체용 알루미늄 압출 프로파일 기본 설계안 분석

그림 2-3에서 보는 바와 같이 기본 설계된 자기부상열차 차체는 기본적으로 Single Skin구조로 이루어져 있는 Roof Frame 과 Side Frame, 그리고 Double skin의 구조로 되어 있는 Under Frame, 기존과 동일하게 샌드위치 구조의 Double Skin을 채택하고 있는 Cant Rail과 Sole bar로 구성되어져 있다. 이를 통해 1차년도에서 비교 연구를 실시 했던 유사 차량 대비 30%의 경량화는 충분히 가능할 것으로 판단된다.



[그림 79 자기부상열차 기본 설계안의
구체 단면도]

기본 설계된 자기부상열차 차체 Frame의 총 중량은 1,948kg이며, 이에 대한 각 Part 별 중량은 다음과 같다.

1) Under Frame

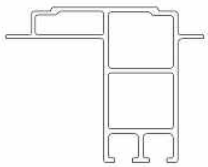
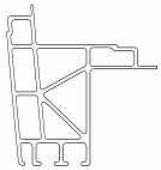
자기부상열차 차량의 Under 차체는 Center Frame을 기준으로 좌우 대칭 형상 구조로서 아래 그림과 같이 바닥면을 이루는 압출재(①,③)와 그 압출재간의 보강역할을 해주는 압출재(②), Under Frame과 Side Frame의 연결 및 하중지지 역할을 하는 Sole bar(④), 그리고 끝단부의 마감역할을 하는 압출재(⑤,⑥)로 이루어져 있으며, 총 6종류의 단면에 대해 10개의 압출재로 이루어져 있다.

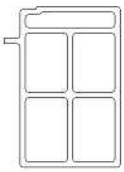
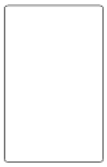
Under 차체의 전체 중량은 약 913 kg이다.

Under 차체를 이루는 압출재에 대한 단면 형상 및 특징은 아래 표와 같다.

[표 35 ]nder Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징

| 형상 | ① | ② |
|---|---|---|
| | | |
| 단면적(mm2) | 5,497.6 | 3,340.65 |
| 단중(kg/m) | 14.9 | 9.05 |
| Ix(mm4) | 955,333 | 573,736 |
| Iy(mm4) | 379,225,769 | 84,333,852 |

| 형상 | ③ | ④ |
|---|---|---|
| |  |  |
| 단면적(mm2) | 4,101.28 | 6,246.53 |
| 단중(kg/m) | 11.11 | 16.93 |
| Ix(mm4) | 7,298,415 | 15,226,694 |
| Iy(mm4) | 15,433,815 | 22,258,716 |

| 형상 | ⑤ | ⑥ |
|---|---|---|
| |  |  |
| 단면적(mm2) | 3,912.5 | 14,432.28 |
| 단중(kg/m) | 10.60 | 39.11 |
| Ix(mm4) | 4,342,201 | 27,757,987 |
| Iy(mm4) | 9,655,361 | 10,843,140 |

2 Side Frame

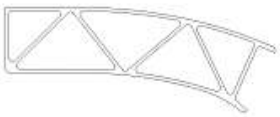
자기부상열차 차량의 Side 차체는 좌우 대칭 구조로서 측벽을 이루는 3개의 압출재(①,②,③) 와 1개의 Cant Rail(④), 그리고 기둥 역할을 하는 여러 개의 압출재(⑤,⑥,⑦)로 구성되어 있으며, 총 7종류의 단면에 대해 46개의 압출재로 이루어져 있다.

Side 차체의 전체 중량은 약 332 kg이다.

단면을 살펴보면, 측면을 이루는 ①, ②, ③ 압출재는 Single Frame으로 이루어져 있으며, ④의 Cant Rail 은 샌드위치 구조의 Double Skin 구조이다. 그 외의 기둥 역할을 하는 압출재 들은 단순 중공재이거나 솔리드 형상의 구조로 이루어져 있으며 Side Frame을 구성하는 총 7종류의 압출재에 대한 특징은 아래표와 같다.

[표 36 ]Side Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징

| 형상 | ① | ② |
|---|---|---|
| | | |
| 단면적(mm2) | 1,719.05 | 1,982.34 |
| 단중(kg/m) | 4.66 | 5.37 |
| Ix(mm4) | 211,948 | 513,902 |
| Iy(mm4) | 35,174,101 | 47,146,177 |

| 형상 | ③ | ④ |
|---|---|---|
| | |  |
| 단면적(mm2) | 1,394.9 | 2,431.46 |
| 단중(kg/m) | 3.78 | 6.59 |
| Ix(mm4) | 72,004 | 1,209,369 |
| Iy(mm4) | 24,816,448 | 11,179,948 |

| 형상 | ⑤ | ⑥ |
|---|---|---|
| | | |
| 단면적(mm2) | 1,800.32 | 810.54 |
| 단중(kg/m) | 4.88 | 2.2 |
| Ix(mm4) | 873,070 | 233,365 |
| Iy(mm4) | 3,837,178 | 1,175,174 |

| 형상 | ⑦ |
|---|---|
| | |
| 단면적(mm2) | 245.27 |
| 단중(kg/m) | 0.66 |
| Ix(mm4) | 13,939 |
| Iy(mm4) | 56,093 |

3) Roof Frame

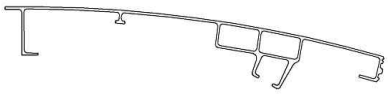
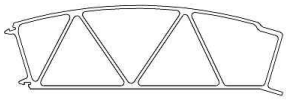
자기부상열차 차량의 Roof 차체는 좌우 대칭 구조로서 지붕을 구성하는 6종류의 압출재(①, ②, ③, ⑤, ⑥, ⑦)와 1종류의 Cant Rail(④), 그리고 횡방향을 가로 질러 구조적 역할을 하는 2종류의 압출재(⑪, ⑫) 와 기타 압출재(⑧, ⑨, ⑩, ⑬)로 구성되어 있으며, 총 13종류의 압출재에 대해 55개의 압출재로 이루어져 있다.

Roof 차체의 총 중량은 477kg이다.

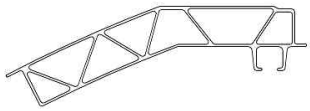
단면을 살펴보면, 지붕을 이루는 ①, ②, ③, ⑤, ⑥, ⑦ 압출재는 Single Frame으로 이루어져 있으며, ④의 Cant Rail 은 샌드위치 구조의 Double Skin 구조이다. 그 외의 기둥 역할을 하는 압출재 들은 단순 중공재이거나 솔리드 형상의 구조로 이루어져 있으며 Side Frame을 구성하는 총 13종류의 압출재에 대한 특징은 아래 표와 같다.

[표 37 ]Roof Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징

| 형상 | ① | ② |
|---|---|---|
| | | |
| 단면적(mm2) | 1,692.87 | 2,209.39 |
| 단중(kg/m) | 4.59 | 5.99 |
| Ix(mm4) | 173,975 | 533,392 |
| Iy(mm4) | 34,293,143 | 42,466,249 |

| 형상 | ③ | ④ |
|---|---|---|
| |  |  |
| 단면적(mm2) | 2,486.38 | 2,742.02 |
| 단중(kg/m) | 6.74 | 7.43 |
| Ix(mm4) | 822,769 | 2,105,084 |
| Iy(mm4) | 48,343,573 | 14,916,170 |

| 형상 | ⑤ | ⑥ |
|---|---|---|
| | | |
| 단면적(mm2) | 1,697.39 | 1,875.98 |
| 단중(kg/m) | 4.6 | 5.08 |
| Ix(mm4) | 145,302 | 126,314 |
| Iy(mm4) | 34,695,434 | 50,646,783 |

| 형상 | ⑦ | ⑧ |
|---|---|---|
| |  | |
| 단면적(mm2) | 3,632.25 | 1,512.22 |
| 단중(kg/m) | 9.84 | 4.1 |
| Ix(mm4) | 2,536,088 | 48,630 |
| Iy(mm4) | 43,859,908 | 28,433,149 |

| 형상 | ⑨ | ⑩ |
|---|---|---|
| | | |
| 단면적(mm2) | 1,622.54 | 1,312.4 |
| 단중(kg/m) | 4.4 | 3.56 |
| Ix(mm4) | 35,284 | 585,170 |
| Iy(mm4) | 37,026,384 | 895,885 |

| 형상 | ⑪ | ⑫ |
|---|---|---|
| | | |
| 단면적(mm2) | 523.82 | 741.44 |
| 단중(kg/m) | 1.42 | 2.01 |
| Ix(mm4) | 185,261 | 102,928 |
| Iy(mm4) | 188,604 | 979,295 |

| 형상 | ⑬ |
|---|---|
| | |
| 단면적(mm2) | 596.98 |
| 단중(kg/m) | 1.62 |
| Ix(mm4) | 40,734 |
| Iy(mm4) | 613,992 |

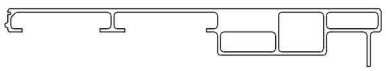
4) End Frame

자기부상열차 차량의 End 차체는 좌우 대칭 구조로서 후면을 구성하는 3종류의 압출재(①, ②, ③)와 End Frame 외곽을 감싸는 1종류의 기둥으로 구성되어 있으며, 총 4종류의 압출재에 대해 6개의 압출재로 이루어져 있다.

End부 차체의 총 중량은 83kg이다.

End부를 구성하는 총 4종류의 압출재에 대한 특징은 아래 표와 같다.

[표 38 ]End Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징

| 형상 | ① | ② |
|---|---|---|
| |  | |
| 단면적(mm2) | 2,922.45 | 1,739.05 |
| 단중(kg/m) | 7.92 | 4.71 |
| Ix(mm4) | 398,521 | 108,767 |
| Iy(mm4) | 21,479,023 | 18,221,027 |

| 형상 | ③ | ④ |
|---|---|---|
| | | |
| 단면적(mm2) | 3,349.72 | 771.67 |
| 단중(kg/m) | 9.08 | 2.09 |
| Ix(mm4) | 443,540 | 191,238 |
| Iy(mm4) | 37,412,804 | 265,163 |

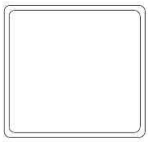
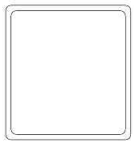
5) Cab Frame

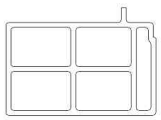
자기부상열차 차량의 Cab 차체는 그림 2-11과 같이 좌우 대칭 구조로서 총 7 종류의 압출 형상에 대해 27개의 압출재로 구성되어 있으며, 각 각의 압출재는 벤딩형상으로 이루어져 Cab 차체의 형상을 구현하고 있다.

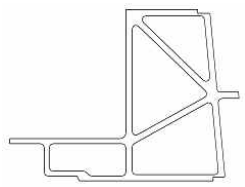
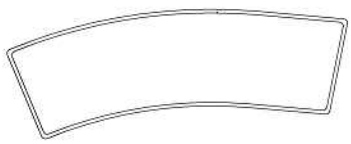
Cab 차체의 총 중량은 143kg이다.

Cab부를 구성하는 총 7종류의 압출재에 대한 특징은 아래 표와 같다.

[표 39 ]Cap Frame 구성 압출재 단면 형상 및 특징

| 형상 | ① | ② |
|---|---|---|
| |  |  |
| 단면적(mm2) | 726.92 | 834 |
| 단중(kg/m) | 1.97 | 2.26 |
| Ix(mm4) | 559,668 | 707,252 |
| Iy(mm4) | 623,134 | 634,900 |

| 형상 | ③ | ④ |
|---|---|---|
| | |  |
| 단면적(mm2) | 597.03 | 3,912.5 |
| 단중(kg/m) | 1.62 | 10.06 |
| Ix(mm4) | 242,778 | 4,342,202 |
| Iy(mm4) | 412,051 | 9,665,357 |

| 형상 | ⑤ | ⑥ |
|---|---|---|
| |  |  |
| 단면적(mm2) | 3,684.71 | 1,543 |
| 단중(kg/m) | 9.99 | 4.19 |
| Ix(mm4) | 4,931,133 | 1,507,890 |
| Iy(mm4) | 9,248,368 | 9,812,787 |

| 형상 | ⑦ | ⑧ |
|---|---|---|
| | | |
| 단면적(mm2) | 728.92 | 551.32 |
| 단중(kg/m) | 1.98 | 1.49 |
| Ix(mm4) | 542,345 | 33,239 |
| Iy(mm4) | 650,028 | 1,283,553 |

(마) 생산 공정상의 문제점 도출 및 설계 반영

자기 부상 열차의 기본 설계안은 앞서 언급한 바와 같이 기존의 샌드위치 구조의 Double Skin 구조에서 Single Skin 및 얇은 중공형 구조로 이루어져 있으나, 이를 압출 현장에서 적용하기에는 몇 가지 문제점이 발생할 가능성이 있다. 특히 광폭의 Single Skin 구조의 압출형재 제작에서 더욱 그러하다.

1) 냉각 공정에 의한 제품 변형 발생 가능성

알루미늄 압출 공정에서는 제품의 기계적 특성 확보를 목적으로 압출과 동시에 고온상태의 알루미늄 압출재를 급랭시키는 냉각공정이 포함되어 있다. 대부분의 열처리형 알루미늄 합금의 경우에 냉각 공정과 인공시효 공정을 통해 제품의 기계적 특성을 향상시킨다. 이 때, 고온의 압출재가 급격히 냉각 되면서 제품의 수축이 발생하게 되며, 이는 제품 형상의 뒤틀림 등의 변형을 발생시킨다. 비록 후속 공정을 스트레칭 공정이 있으나, 발생된 모든 변형을 복원하기에는 그 한계가 있다.

도시형 자기부상열차 차량의 경우 이미 언급한 바와 같이 Single Skin 구조의 압출재가 다수 포함되어 있으며, 대부분 압출재가 곡률을 지닌 형상이어서 상기의 문제는 더욱 크게 나타날 수 있다.

2) 광폭의 압출재 적용에 따른 치수 확보 문제 발생 가능성

당사에서 보유하고 있는 8,00ton 압출기는 최대 600mm 내외의 폭을 지닌 압출재의 제작에 용이하며, 특히 철도차량과 같이 광폭의 압출재를 요하는 제품의 생산에 적합하며, 현재 많은 철도차량의 차체에 적용되고 있다.

본 과제의 도시형 자기부상열차 차체 설계안의 경우 기존의 Double Skin 구조가 아닌 Single Skin 구조이면서 광폭의 압출재가 적용되도록 설계되어

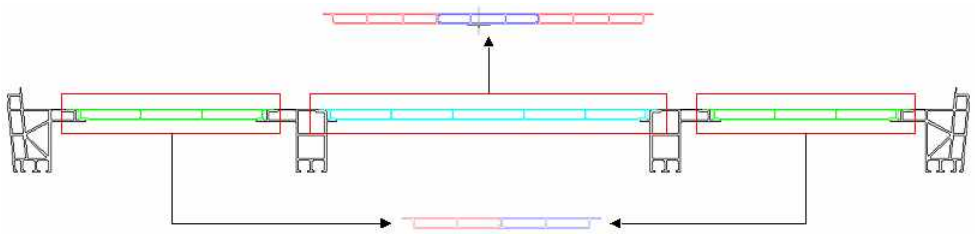
있다. 즉, 단면적은 기존의 압출재에 비해 줄어들었으나, 그 폭은 유지하고 있으며. 이는 곧 압출비의 증가를 야기시킨다.

압출비가 크다는 것은 압출금형이 받는 하중이 그만큼 커진다는 의미이며, 이는 압출 공정간 금형의 파손 문제와 제품의 치수 확보가 어렵다는 것을 의미한다.

알루미늄 압출재의 생산에 있어 상기와 같은 문제의 발생을 최소화하기 위한 방안으로 차체 설계안에서 Single Skin 구조를 Under Frame과 동일하게 작은 높이를 지니는 중공 형상으로 대체하고 압출재의 폭을 줄이는 것을 고려할 수 있다. 이로써 도시형 자기부상열차 차체 설계안의 압출재 제작 시 발생할 수 있는 문제가 어느 정도 해소 될 수 있을 것으로 판단된다.

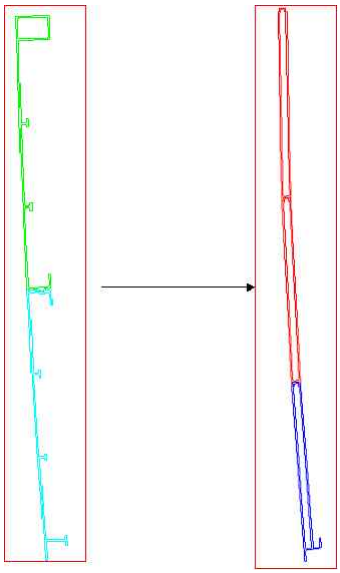
3) 생산 공정을 고려한 도시형 자기부상열차 압출 프로파일 설계

아래 그림은 도시형 자기부상열차 차체의 Under Frame에 대한 상기의 문제를 해소하기 위해 제시한 설계안으로서 바닥면을 구성하는 최소 폭이 550mm 이상되는 3개의 압출재를 분할하여 상기와 같이 폭이 최대 350mm 정도의 압출재 7개로 구성되도록 수정하였다. 이로써 압출비의 감소가 가능하며, 이에 따라 생산성 및 치수 정밀도도 향상될 것으로 판단된다.



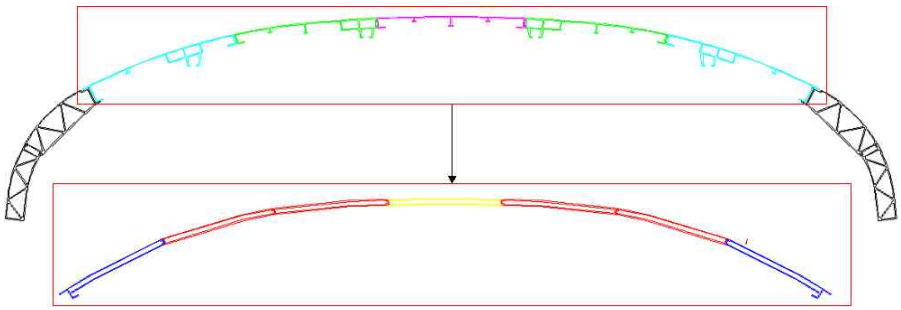
[그림 80 ]Under Frame 설계 제시 안

아래 그림은 도시형 자기부상열차 차체의 Side Frame에 대한 제안 설계안으로써, 최소 폭이 470mm인 두개의 압출재를 분할하여 그림과 같이 300mm 정도의 3개의 압출재로 분할하였으며, 또한 Single Skin 구조의 압출형상을 Under Frame 과 동일하게 작은 높이를 지닌 중공형상으로 변경하였다.



[그림 81 ]Side Frame
설계 제시안

아래 그림은 도시형 자기부상열차 차체의 Roof Frame에 대한 제안 설계안으로써, Side Frame과 동일하게 제품의 형상을 Single Skin 구조에서 중공형상으로 변경하였으며, 제품의 폭을 줄여 총 5개의 압출형상으로 구성되어 있던 구조를 7개의 압출형상으로 변경하였다.



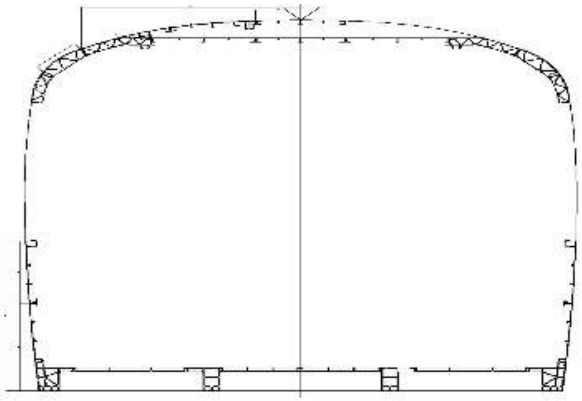
[그림 82 ]Roof Frame 설계 제시안

하지만, 제품의 폭을 줄임으로써 압출재의 수가 늘어나게 되고, 이는 향후 용접 시 작업 수가 늘어나는 원인이 되며 또한 현 설계안 대비 중량이 늘어난다는 단점이 있다.

(바) 도시형 자기부상열차 압출 프로파일 도출

초기 제시된 모델 및 이에 대한 생산 공정상의 문제점을 반영하여 핵심기관인 현대로템으로부터 도시형 자기부상열차의 구체 설계안을 입수하였다.

본 설계안은 초기 제시된 모델과 비교하여 Single Skin은 그대로 유지하되 알루미늄 압출시 압출성이 향상될 수 있는 방향으로 설계된 모델이다. 압출성 향상을 위해 압출 프로파일의 형상은 좌우가 균형을 이룰 수 있는 방향으로 설계되었으며, 또한 압출 시 알루미늄이 한 곳에 집중되는 것을 방지할 수 있도록 가급적 두께가 균일한 방향으로 설계되었다. 아래 그림은 도시형 자기부상열차의 구체 단면을 도시화 한 것이다.

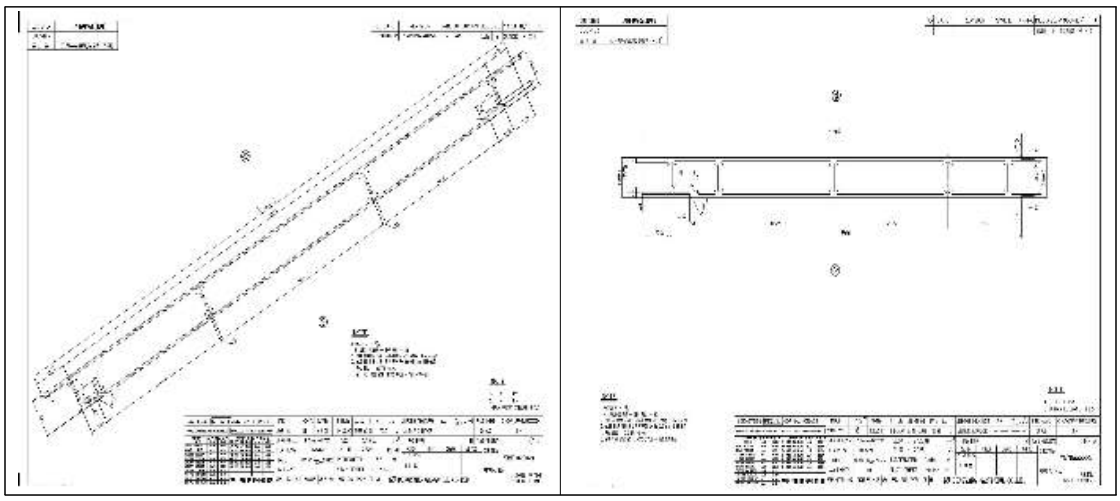


[그림 83 ]도시형 자기부상열차의 구체 단면

2) Under Frame 용 압출 프로파일

위 그림의 자기부상열차 구체 단면도를 보면 Under Frame은 구체 단면의 중심을 기준으로 좌우 대칭 형상으로 구체의 바닥면을 구성하는 3개의 압출재와 구조역할을 하는 2개의 압출재로 이루어져 있다. 하중을 지지가 필요한 특성 상 중공형 형상을 채택하였으며, 중량 절감을 위해 수직 리브를 갖는 얇은 중공형재라는 것이 특징이다.

[표 40 ]Under Frame 압출 프로파일 설계 도면

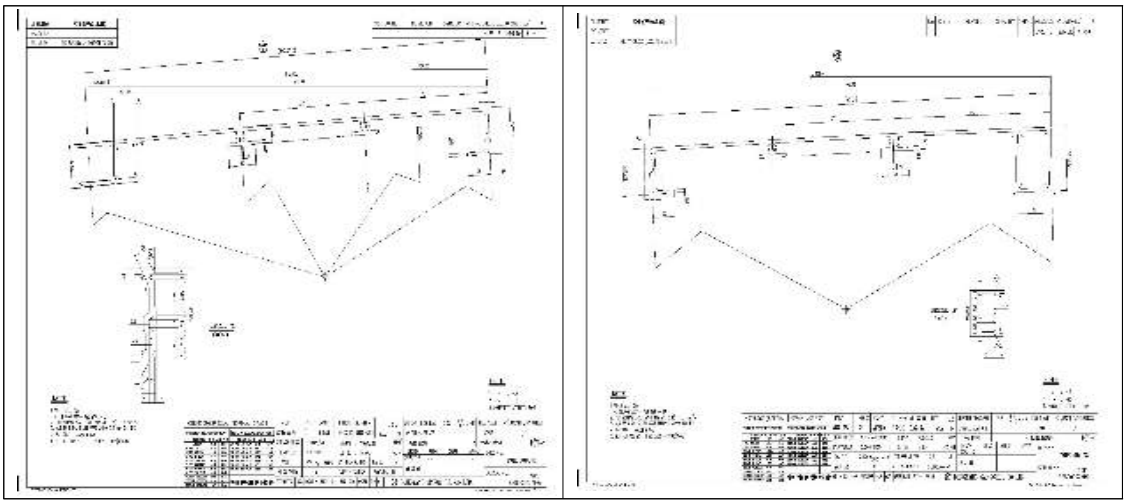


2) Side Frame용 압출 프로파일

Side Frame은 구체 단면도의 중심을 기준으로 하여 좌우 대칭 구조로서 측벽의 하단부를 구성하는 Single Skin의 2종류 압출형재와 상부를 구성하는 샌드위치 구조의 압출형재 2종류로 구성되어 있다.

하단부를 구성하는 압출형재 중 window에 해당되는 부분을 중공형으로 설계함으로써 강성 보완을 시켰으며 상부의 경우 구조적 안전성을 위해 일반 알루미늄 철도차량과 마찬가지로 샌드위치 구조를 갖는 압출형재를 채택하였다는 것이 특징이라 할 수 있다.

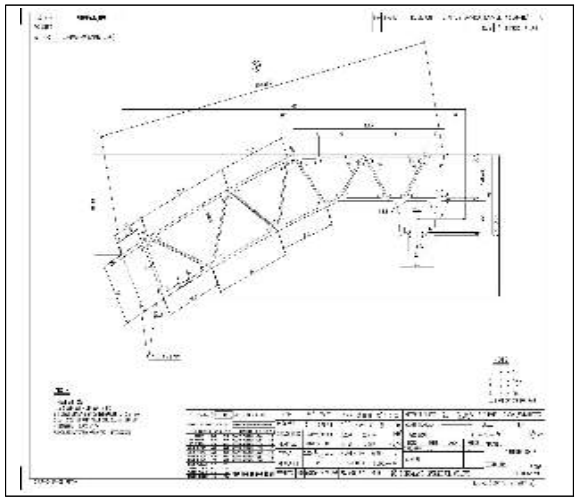
[표 41 ]Side Frame용 압출 프로파일 설계 도면



3) Roof Frame용 압출 프로파일

Roof Frame은 구체 단면도의 중심을 기준으로 하여 좌우 대칭 구조로서 각종 취부가 가능하도록 압출 프로파일의 단면이 설계되었다.

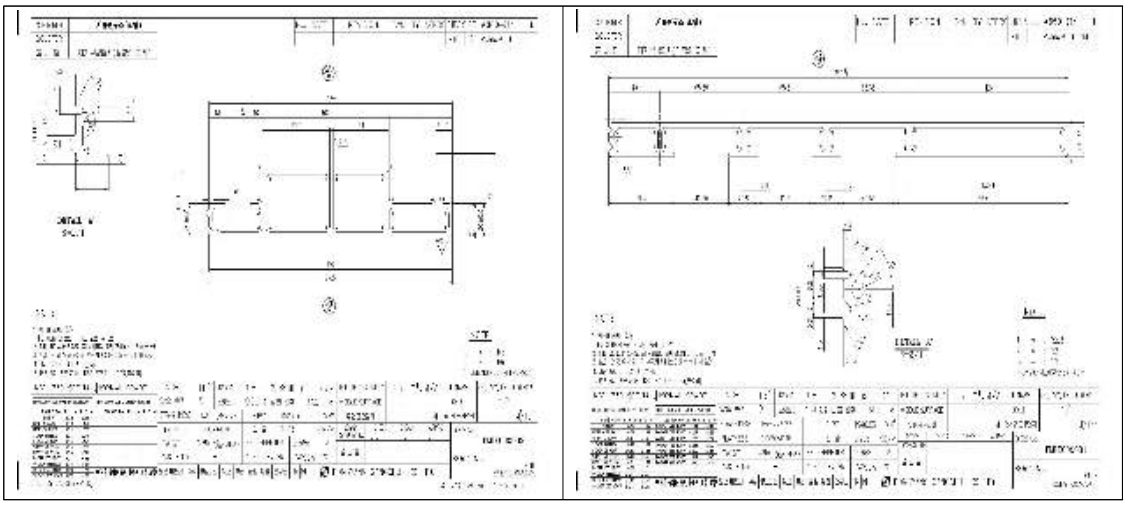
[표 42 ]Roof Frame 압출 프로파일 설계 도면



4) End Frame용 압출 프로파일

End Frame에는 2종의 중공형 압출재가 적용되었다.

[표 43 ]End Frame 압출 프로파일 설계 도면



도시형 자기부상열차의 구체용 알루미늄 압출 프로파일은 상기에서 언급한 4종의 Frame 외에도 Cab frame 및 기타 포스트용 압출재를 포함하여 전체 32종의 알루미늄 압출 형재로 구성되어 있다.

상기와 같이 구성된 알루미늄 구체의 전체 중량은 2.952kg/량(지지브라켓 및 내부 골조 제외시 2,700kg/량)으로서 비교 대상이었던 유사차량의 중량 4,735kg/량에 비해 약 38%의 경량화를 달성하였다. 이는 유사 차량의 압출 프로파일이 2.8~3t가량의 두께를 지닌 더블스킨 구조인데 반해 본 과제의 자기부상열차의 경우 대다수의 압출 프로파일이 2.8t의 싱글스킨 구조를 채택하였기 때문이다.

(3) 도시형 자기부상열차 차체 구조 해석

(가) 유사차량의 차체 구조 해석

도시형 자기부상열차의 차체 구조해석을 진행하기에 앞서 유사 차량에 대한 정적 강도 해석을 아래와 같이 실시하였으며, 평가기준은 '도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준'의 [구조체의 정적하중시험 3-라] 와 '철도의 정하중 시험 규정'의 [JIS E 7105 철도차량 구체의 하중시험방법]에 의거하였다.

- 해석 결과

수직하중과 수평압축하중 하에서 유사차종의 차체 정적강도 해석 결과는 아래 표와 같다. 해석 결과에 근거할 때 해당 차체는 설계 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

[표 44 ]차체 정적강도 해석 결과

| 하중조건 | 동력차(MC) | |
|---|---|---|
| | 결과 | 변형 발생 지점 |
| 수직하중 | 최대변위 : 5.21 | 언더프레임 |
| | 최대응력 : 4.82 | bolster 주변부 |
| 수평압축하중 | 최대응력 : 12.2 | 언더프레임 |

(나) 유사 차량의 피로 해석 및 평가

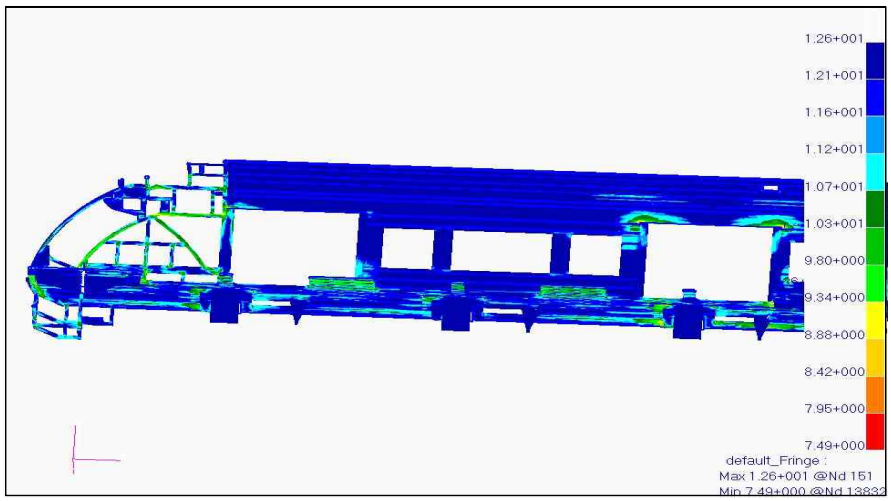
유사 차량의 피로해석은 상용 유한 요소 해석 프로그램인 I-DEAS Master Series11의 Fatigue module을 사용하였으며 규격은 경량전철 표준사양, JIS E 7105, BS EN 12663 : 2000 을 인용하였다.

1) 평가 기준

알루미늄 차체의 피로강도 평가기준은 하중조건에 따라 균열이 발생할 때까지의 총 사이클 수가 $1.0\times10^{7}$ Cycle 이상이어야 한다. (BS 12664:200 5.2항)

2) 피로해석 결과

유사차량의 차체 피로해석 결과 출입문 상부 모서리에서 최소 수명인 $1.0\times10^{7.49}$ Cycle을 나타내었다. 이 결과는 평가기준인 $1.0\times10^{7}$ Cylce을 초과함을 알 수 있다. 차체의 수명 분포와 최소 수명발생부 결과는 아래 그림과 같다.




[그림 84 ]차체의 피로수명분포

3) 결론

- AL6005-T6 용접재의 피로 시험데이터를 이용하여 차량의 피로해석을 수행하였으며, 피로해석은 구조해석으로부터 구한 수직하중조건에서의 응력 결과를 이용하였고, 평균응력효과, 표면거칠기 효과, 가공의 효과 등을 고려하였다.

- 피로해석 결과 차체에 피로균열이 발생할 수 있는 최소 수명 위치는 후방출입문 상부모서리 부분이었으며, 피로수명은 $1.0\times10^{7.49}$ Cycle로 기준 수명인 $1.0\times10^{7}$ Cycle을 초과하므로 안전하다고 판단되었다.

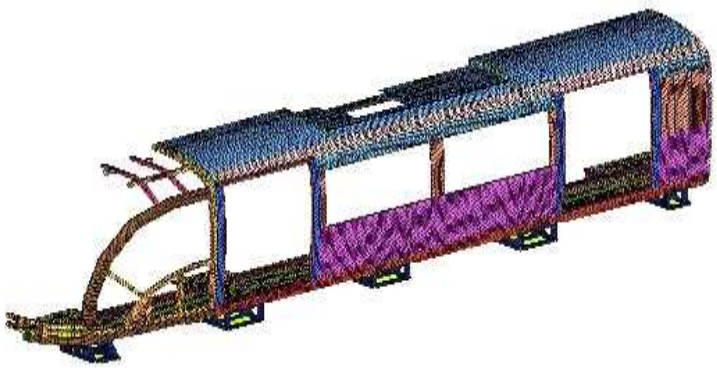
(다) 도시형 자기부상열차 최종 설계안에 대한 차체 구조 해석

1) 도시형 자기부상열차 차체 해석 모델

도시형 자기부상열차의 제원은 아래 표와 같다. 차체는 수직하중, 수평압축하중, 굽힘 고유진동수의 경우 경계조건이 차체의 폭 방향 대칭이라고 가정하여 1/2을 모델링 하였다.

[표 45 ]도시형 자기부상열차(MC1)의 제원

| No. | 구분 | 제원 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 길이 | 12,000 mm | 설계도면 RGA00001AMO |
| 2 | 폭 | 2,700 mm | |
| 3 | 높이 | 3,475 mm | |
| 4 | 대차중심간 거리 | 2,700 mm | |



[그림 85 ]도시형 자기부상열차(MC1) 차체의 유한요소모델(1/2)

2) 도시형 자기부상열차 차체의 하중조건

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

[표 46 ]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<br>(운행상태의 차량자중) |
| 4 | Bareframe 중량 | 2.942 톤 | Carbody 설계 중량 |
| 5 | 최대 승객하중 | 10.0 톤 | |
| 6 | 동하중계수 | 0.2 g | |

[표 47 ]하중 조건 및 하중 크기

| No. | 하중 조건 | 하중 크기 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 수직하중 | 27.24 ton | |
| 2 | 압축하중 | 20 ton | 수직하중 : M1 적용<br>압축하중 : 연결기취부 |
| 3 | 비틀림하중 | 4.0 ton · m | |
| 4 | 인장하중 | 20 ton | 수직하중 M1 적용<br>인장하중 : 연결기취부 |
| 5 | 8점지지하중 | 12.7 ton | |
| 6 | 굽힘 고유진동수 | 2.942 ton | Bareframe 중량 |
| 7 | 비틀림 고유진동수 | 2.942 ton | Bareframe 중량 |

3) 도시형 자기부상열차의 평가 기준

차체 강도의 판정기준은 사용재질의 항복강도를 각각의 안전계수로 나눈 값을 기준으로 한다. 사이드실의 처짐량 판정기준은 대차 중심 간 거리의 1/1000인 이내로 한다. 또한 차체의 1차 굽힘 고유진동수는 성능시험의 구조체 하중시험 4. 평가기준에 따라 굽힘 진동모드의 값을 기술하였다. 이상의 평가기준을 정리하면 아래 표와 같다.

[표 48 ]안전성 판정기준

| 구분 | 항목 | 판정 기준 | 비고 |
|---|---|---|---|

| | | | |
|---|---|---|---|
| 강도 | 응력 | 항복강도/안전계수 이하<br>(모재=1.0, 용접부=1.1) | |
| 강성 | Side Sill 의<br>최대처짐 | 대차 중심간 거리<br>1/1000이하 | |
| 고유진동수 | 1차 굽힘<br>고유진동수 | 굽힘진동모드의 값 | |

아래 표의 안전성 판정기준을 적용하여 사용재질의 허용응력 및 피로응력을 정리하면 아래와 같다.

[표 49 ]사용재질의 허용응력 및 피로응력 (단위:kgf/mm^2)

| 재질 | 항복강도 | 피로강도 | 허용응력 | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 모재부<br>(안전계수=1.0) | 용접부<br>(안전계수=1.1) |
| 6005A-T6 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥21.92 | ≥19.93 |
| A5083P-H3 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥21.92 | ≥19.93 |

4) 도시형 자기부상열차 차체 구조 해석 결과

가) 응력해석 결과

각 하중조건별 응력 분포는 아래 그림들에서 보여주고 있으며 최대응력을 아래와 같이 정리 하였고, 표 아래 표에 요약하였다.

- 수직하중조건

응력분포는 그림 3-3과 같이 언더프레임 상부에서 5.63kgf/mm^2의 최대응력이 발생하였으며, 이 부분 재질인 6005A-T6의 항복응력 21.92kgf/mm^2 이내에 있다.

- 압축하중조건

응력분포는 아래 그림와 같이 첫번째 대차프레임에서 7.10kgf/mm^2 의 최대응력이 발생하였으며, 이 부분의 재질인 6005A-T6의 항복응력 21.92kgf/ mm^2 이내에 있다.

- 비틀림하중조건

응력분포는 아래 그림와 같이 운전실 전방 창문 프레임에서 13.9kgf/mm^2 의 최대응력이 발생하였으며, 이 부분의 재질인 6005A-T6의 항복응력 21.92kgf/mm^2 이내에 있다.

- 인장하중조건

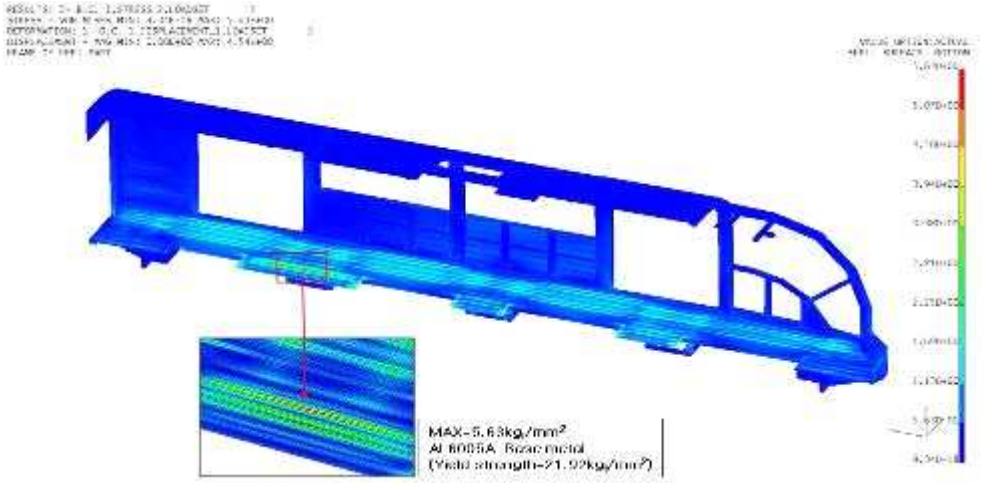
응력분포는 아래 그림과 같이 센터실과 커플러 브라켓이 교차되는 부분 위쪽에서 7.83kgf/mm^2 의 최대응력이 발생하였으며, 이 부분의 재질인 6005A-T6의 항복응력 21.92kgf/mm^2 이내에 있다.

- 8점지지하중조건

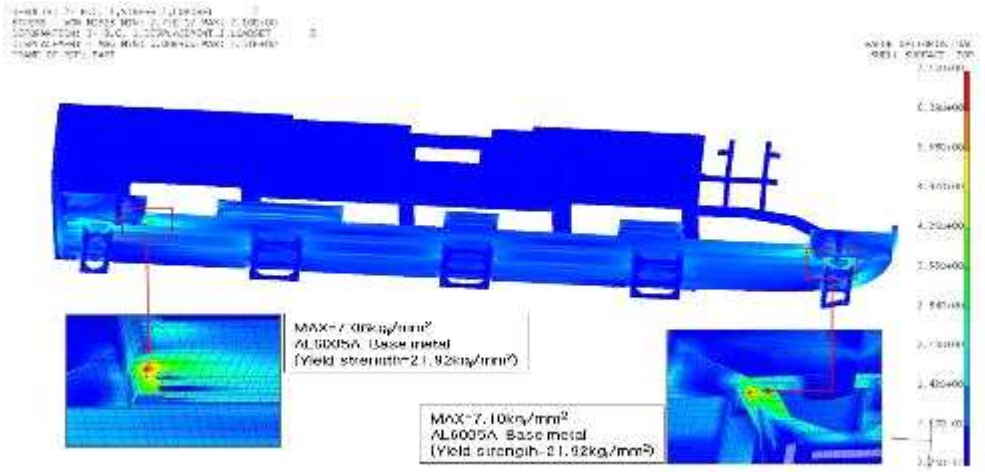
응력분포는 아래 그림과 같이 END부 판넬 하부에서 4.16kgf/mm^2 의 최대응력이 발생하였으며, 이 부분의 재질인 6005A-T6의 항복응력 21.92kgf/mm^2 이내에 있다.

[표 50 ]하중조건별 최대응력(단위 : kgf/mm^2)

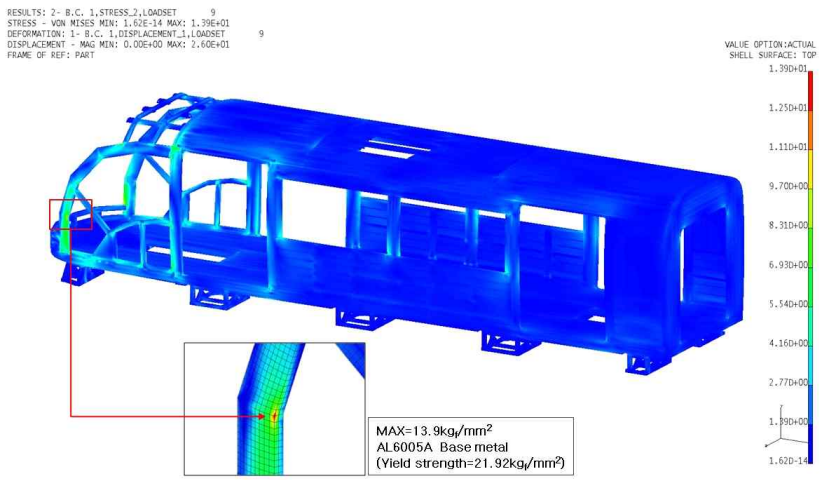
| 구분 | 하중조건 | 최대응력 | 발생부위 | 재질 | 판정기준 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 수직하중 | 5.63 | 언더프레임 상부 | 6005A-T | 21.9 | 허용응력 |
| 2 | 압축하중 | 7.10 | 첫번째 대차프레임 | 6005A-T | 21.9 | |
| 3 | 비틀림 | 13.9 | 운전실 전방 창문 프레임 | 6005A-T | 21.9 | |
| 4 | 인장하중 | 7.83 | 센터실과 커플러 브라켓이 교차되는 부분 위 | 6005A-T | 21.9 | |
| 5 | 8점지지하중 | 4.16 | END부 판넬 하부 | 6005A-T | 21.9 | |



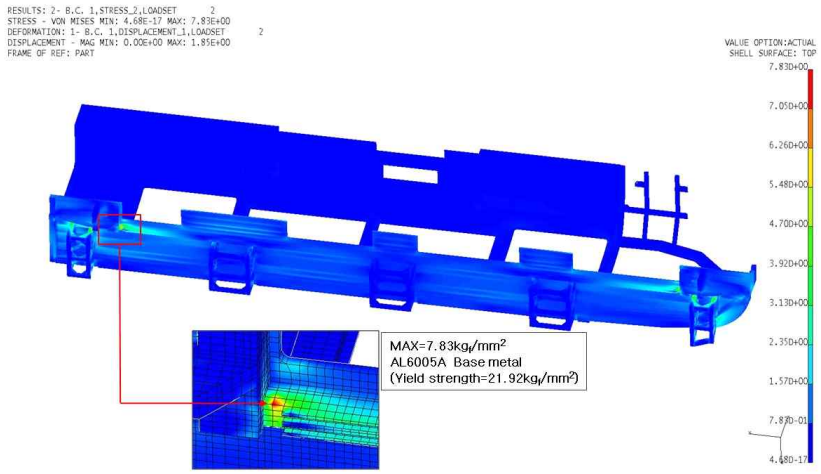

[그림 86 ]수직하중조건에서의 응력분포



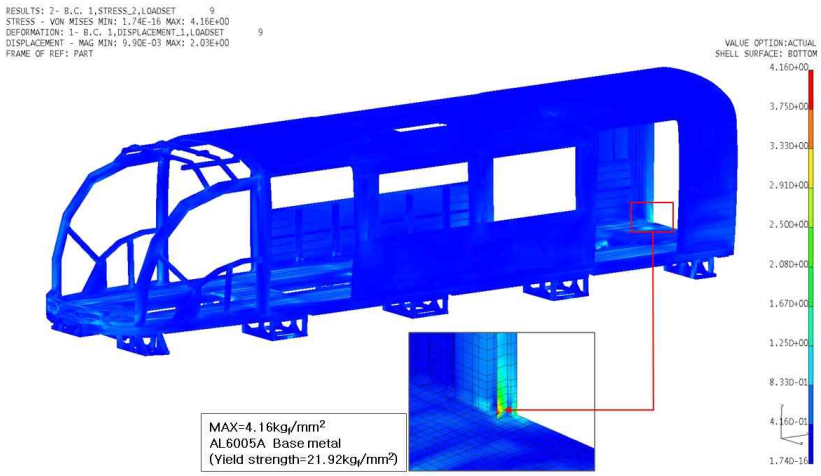

[그림 87 ]압축하중조건에서의 응력분포




[그림 88 ]비틀림 하중조건에서의 응력분포



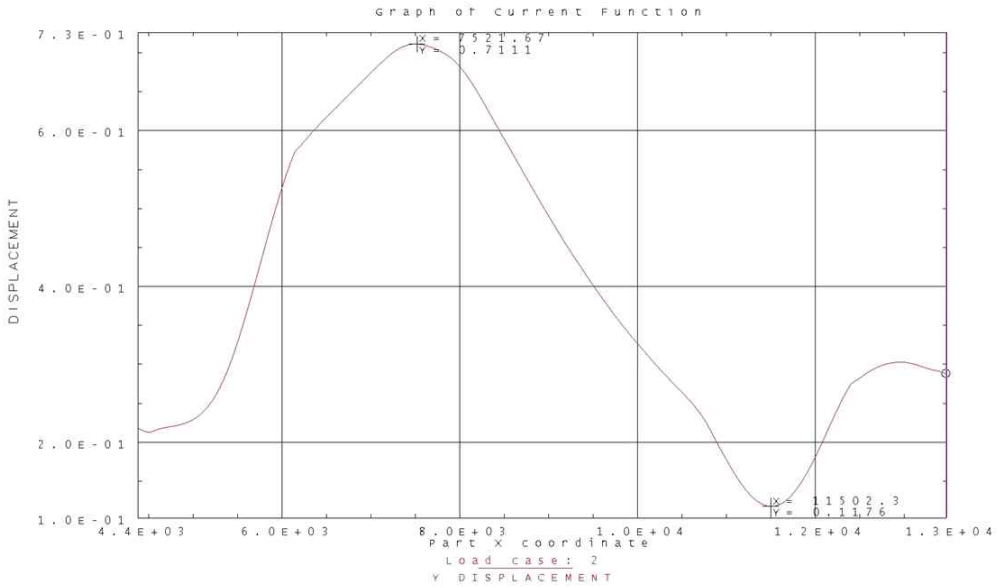

[그림 89 ]인장 하중조건에서의 응력분포




[그림 90 ]8점지지 하중조건에서의 응력분포

2) 처짐량 해석 결과

사이드실의 최대 처짐은 수직하중 시 0.59 mm 이며, 이 값은 처짐량의 평가기준인 2.70mm 보다 작은 값이다. 사이드실의 처짐 선도는 그림 3-8에 나타내었다.



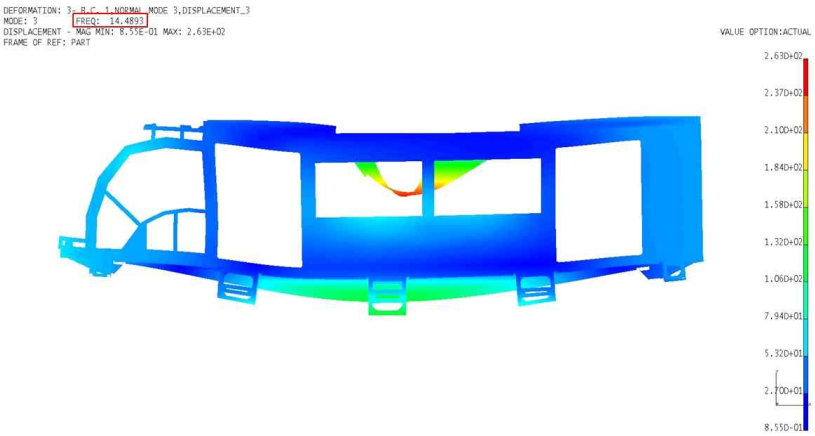

[그림 91 ]수직하중 조건에서의 사이드실의 처짐선도

다) 고유 진동수 해석 결과

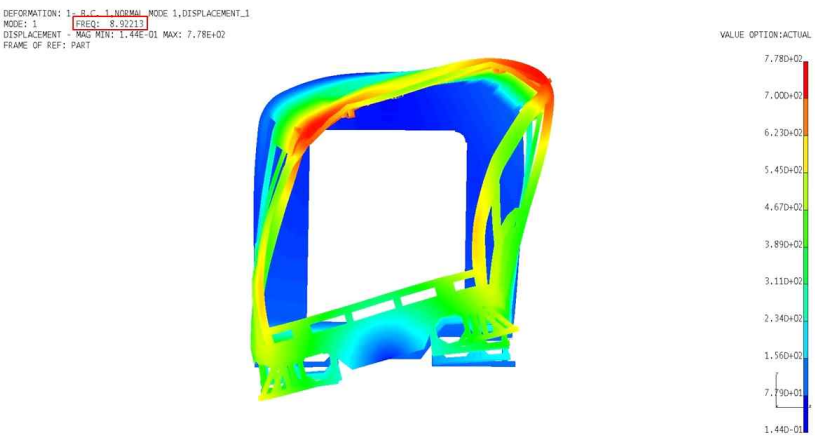
Bareframe 중량 상태에서 차체의 1차 굽힘 고유진동수는 그림 3-9에서 보는 바와 같이 14.49 Hz 이며, 비틀림 고유진동수는 그림 3-10과 같이 8.92 Hz의 결과를 나타내었다. 차체의 처짐량 및 고유진동수 해석결과는 아래 표에 정리하였다.

[표 51 ]차체의 처짐량 및 고유진동수 해석결과

| 구분 | 해석결과 | 판정기준 | 비고 |
|---|---|---|---|
| Side Sill 처짐 | 0.59 mm | 2.70 mm 이내 | |
| 1차 굽힘 고유진동수 | 14.49 Hz | 굽힘 진동 모드값 | |
| 비틀림 고유진동수 | 8.92 Hz | 비틀림 진동모드 값 | |




[그림 92 ]굽힘고유진동수 결과(약 14.43 Hz)




[그림 93 ]비틀림 고유진동수 결과(약 8.88 Hz)

라) 도시형 자기부상열차 구조해석 결론

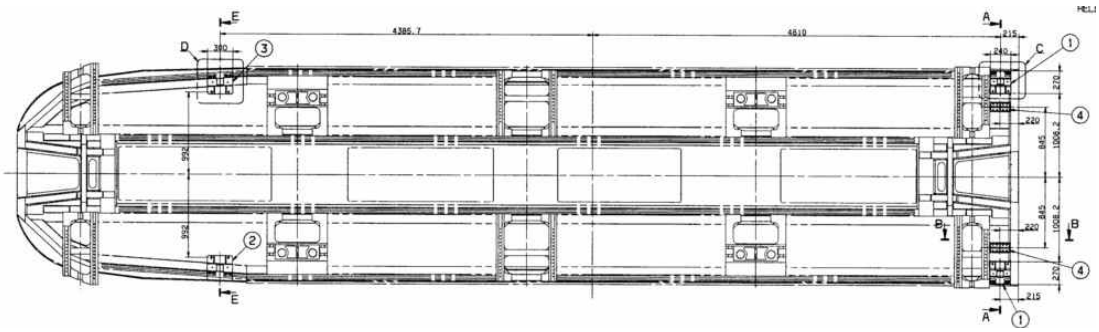
본 도시형자기부상열차 MC1 차량의 각 정적 하중조건에 대한 구조해석을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 최대응력은 비틀림하중조건 시 시 운전실 전방 창문에서 13.9 kgf/mm^2 발생하였으나, 이는 해당재질인 AL6005-T6의 허용응력기준인 21.92 kgf/mm^2 이내이다.
- 차체의 상대처짐량은 0.59mm로 평가기준인 2.7mm 이내이고, 굽힘 고유진동수는 14.49 Hz, 비틀림 고유진동수는 8.92 Hz의 결과를 얻었다.

5) 도시형 자기부상열차 차체 리프팅 해석

가) 도시형 자기부상열차 차체 해석 모델

제원은 아래 표와 같으며, 해석에 적용된 하중조건은 "도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준"의 「구조체의 정적하중시험 3-라」에 근거하여 ㈜현대로템에서 작성된 기준을 적용하였다. 아래 그림은 리프팅 브라켓 위치를 나타낸 것이다.



[그림 94 ]리프팅 브라켓 위치에 대한 개략도

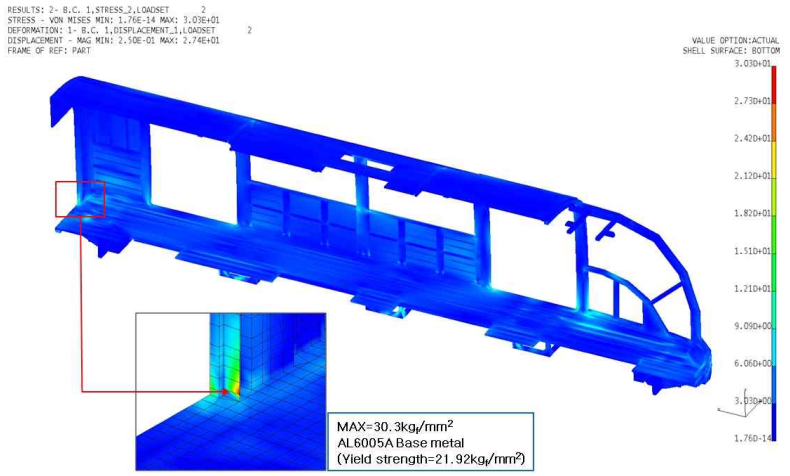
나) 도시형 자기부상열차 차체 하중조건 및 구속조건

리프팅 조건은 자기부상열차 MC1 차체를 리프팅 패드 위치에서 동시에 4개의 잭으로 들어올릴 때 순간적으로 발생하는 수직하중을 적용함으로 인해 수직방향 동하중계수를 1.0으로 설정하였다.

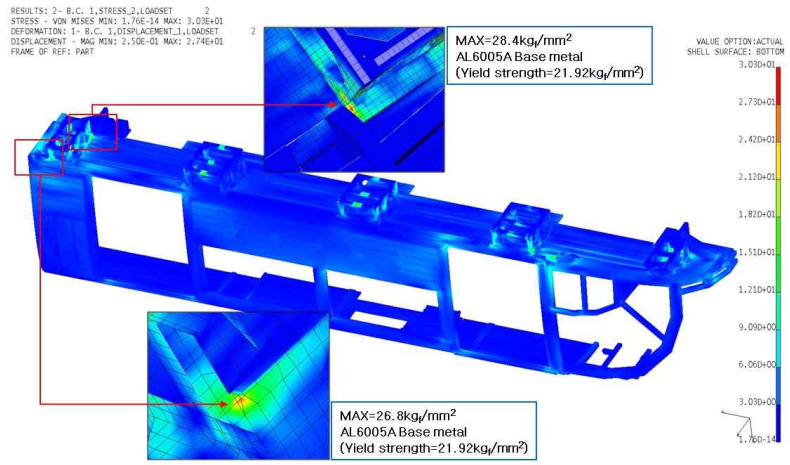
상하방향 수직하중 = (공차중량) × (1.0+동하중계수)
= (20,000 kg) × (1.0 + 1.0) = 40,000kg

다) 해석결과

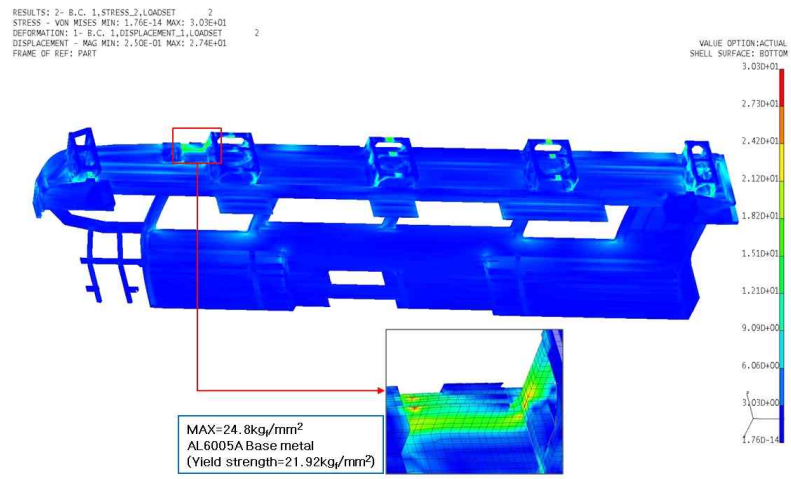
도시형자기부상열차 MC1 차량에 리프팅 하중조건을 적용한 해석결과를 살펴보면 그림 3-12와 같이 운전실 하부 리프팅 패드주변에서 30.3 kgf/mm2의 최대응력이 발생하였으며, 이는 해당재질인 6005A-T6의 판정기준 21.92 kgf/mm2 를 만족하지 못한다. 그림 3-13 ~ 3-14는 리프팅부의 주요  응력발생부를 나타낸 것이다. 상대처짐량을 살펴보면 센터실은 설계좌표기준 1,152 mm 지점에서 약 22.247 mm 발생였하고, Solebar는 389 mm지점에서 약 13.177 mm 발생하였다. 상대적으로 센터실의 처짐이 많이 발생함을 알 수 있었다. 해당결과는 그림 3-15에 나타내었다.



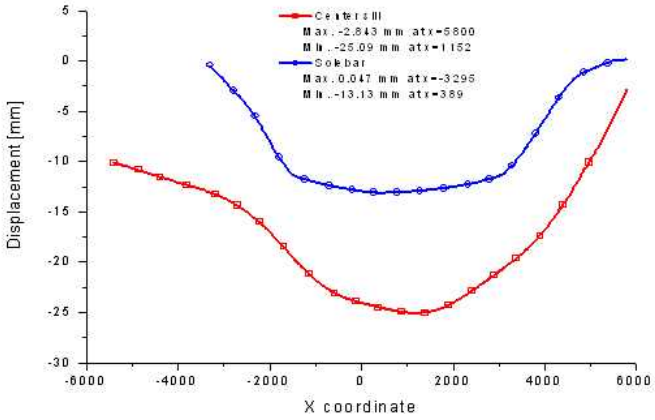

[그림 95 ]리프팅 하중조건시 최대응력분포




[그림 96 ]리프팅 하중조건시 후방 리프팅부 응력분포




[그림 97 ]리프팅 하중조건시 전방 리프팅부 응력분




[그림 98 ]센터실과 Sole Bar의 상대처짐량

라) 리프팅 해석 결론

- 앤드프레임 포스트 하단부에서30.3 kgf/mm2의 최대응력이 발생하였으며, 이는 해당재질인 6005A-T6의 판정기준 인 21.92 kgf/mm2 를 초과하였다.

- 상대처짐량을 살펴보면 센터실은 설계좌표기준 1,152 mm 지점에서 약 22.247 mm 발생였하였고, Solebar는 389 mm지점에서 약13.177 mm 발생하였다. 이는 리프팅 시 상대적으로 센터실의 처짐이 발생함을 의미한다.

5) 도시형 자기부상열차 차체 피로 해석

가) 도시형 자기부상열차 차체 해석 모델

해석에 적용된 하중조건은 "도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준"의 「구조체의 정적하중시험 3-라와 "철도의 정하중 시험규정"의 「JIS E 7105 철도차량 구체의 하중시험방법」에 근거한 정상 운행조건에 기초하여 JIS와 BS의 규정을 참고하였다.

나) 도시형 자기부상열차 차체 하중조건 및 구속조건

도시형 자기부상열차 MC1 차량의 계산 중량은 아래와 같다

[표 52 ]도시형자기부상열차(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<br>(운행상태의 차량자중) |
| 4 | Bareframe 중량 | 2.942 톤 | Carbody 설계 중량 |
| 5 | 최대 승객하중 | 10.0 톤 | |
| 6 | 동하중계수 | 0.2 g | |

차체에 작용하는 하중은 "도시철도 차량의 성능시험에 관한 기준"의 「구조체의 정적하중시험 3-라」 조건에 따라 표 3-16으로 부터 다음과 같이 계산되며 해석에 적용된 하중조건 및 하중크기는 아래와 같다.

- 운행하중 = {(공차중량 대차중량) + 최대승객하중)} × (1.0 + 동하중계수)

= (20.0-7.3+10) × 1.2

= 27.24 [단위 : ton]

피로해석은 차량의 수직하중상태에서 동하중계수 0.2g의 변동하중이 수직방향으로 반복되는 피로조건, 0.8g ~ 1.2g 사이의 하중이 반복되는 조건에 대하여 실시한다.

다) 피로해석의 판정기준

- 재질의 기계적 성질

도시형 자기부상열차(MC1) 차량제작에 사용 된 재질의 항복강도 및 피로한도는 아래 표와 같다.

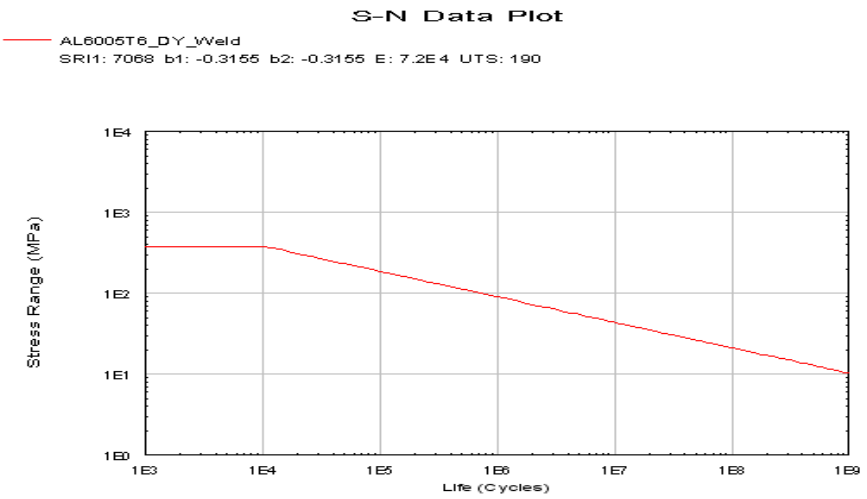
[표 53 ]사용재질의 항복강도 및 피로강도 (단위:kgf/mm^2)

| 재질 | 항복강도 | 피로강도 | 인장강도 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 6005A-T6 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥26.50 | JIS H 4000 (피로강도 : 로템 시험데이터 |
| A5083P-H 3 | ≥21.92 | ≥14.0 | ≥31.09 | |

- 판정기준

응력-수명 피로해석을 수행하기 위해서는 재료의 기계적 성질 외 피로데이터로서 응력-수명곡선(S-N Curve)이 필요하여, 본 피로해석의 대상차량인 경량전철 차체와 동일한 재질에 대해 동양강철에서 실시한 피로시험으로부터 획득한 알루미늄 용접재 Al 6005T6의 피로데이터를 사용하였다. 본 해석에 사용된 피로데이터의 S-N곡선은 그림 3-16과 같다.

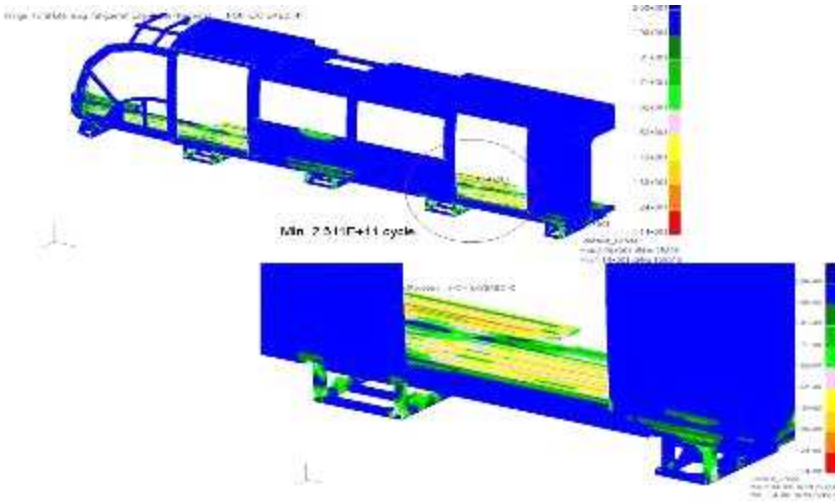
본 도시형 자기부상열차 MC1 차체의 피로한계기준은 하중조건에 따라 균열이 발생할 때까지의 총 싸이클 수가 1.0E+07 cycle 이상으로 정의하였다(BS 12664:2000 5.2).




[그림 99 ]AL6005-T6 재료의 S-N곡선 (R=-1.0)

라) 피로해석 결과

도시형 자기부상열차 MC1 차량의 피로해석결과는 그림 3-17과 같이 차체바닥 영역에서 최소 1.0E+11.4 cycle(2.511E+11 cycle) 발생하였다. 이는 피로한계기준인 1.0E+7 cycle 이상이므로 피로수명조건을 만족한다.



[그림 100 ]MC1 차체의 피로해석 결과(1)

마) 피로해석의 결론

- MC1 차량은 최소 피로수명은 차량 후방부 바닥에서 약 2.511E+11 cycle 발생하였고, 이는 피로수명한계 기준인 1.0E+07 cycle을 만족한다.

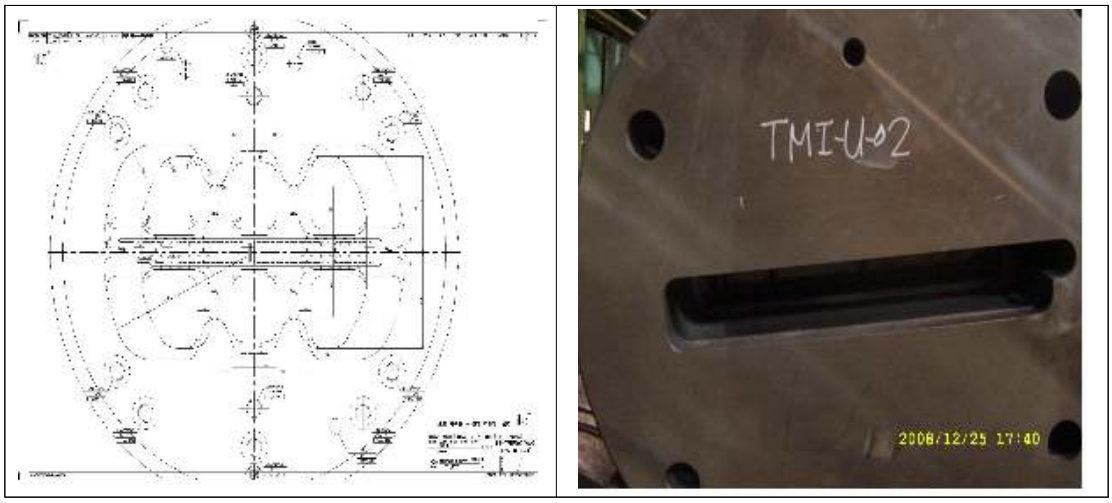
(4) 도시형 자기부상 열차 구체용 압출 금형 설계 및 제작

최종 설계된 도시형자기부상열차 구체용 압출 프로파일 31종에 대한 압출 금형 설계 및 제작을 실시하였다.

압출 금형은 압출 프로파일의 폭, 높이 및 두께에 따라서 그 사이즈가 결정된다. 현재 당사에서 보유 중인 압출기는 5“, 6“, 8”, 11“, 13”, 15“, 17”, Rec 빌렛이 적용 가능한 총 6기가 있으며, 대부분의 철도차량용 압출 프로파일의 경우 대형 인치의 빌렛을 적용하고 있다.

본 도시형자기부상열차 구체용 압출 프로파일의 경우 전체 31종의 압출 프로파일 중에 8“ 빌렛 5종, 11” 빌렛 7종, 13“ 빌렛 1종, 15” 빌렛 12종, Rec 빌렛 6종으로 구성되어 있다.

[표 54 ]Under Frame용 압출 금형 설계 도면 및 제작 금형




(5) 도시형 자기부상열차 압출 프로파일 제작

기 개발한 31종의 압출 금형을 통해 도시형 자기부상열차의 구체용 압출 프로파일을 제작하였다.

총 31종의 압출 금형중 8“ 빌렛 압출용 금형 5종은 당사 보유 압출기 중 1,800ton 압출기에서 압출을 실시하였고, 11” 빌렛 압출용 금형 7종과 13“ 빌렛 압출용 금형 1종은 3,650ton 압출기에서 압출을 실시하였다. 또한 15” 및 Rectangular 빌렛용 압출 금형 18종은 8,000ton 압출기에서 압출을 실시하였다. 아래 그림들은 도시형 자기부상열차의 압출 프로파일 제작에 적용된 압출기이다.

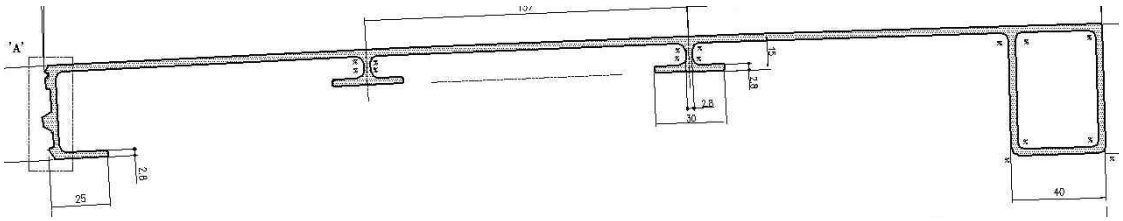
[그림 101 ]1,800ton 압출기

[그림 102 ]3,650ton 압출기

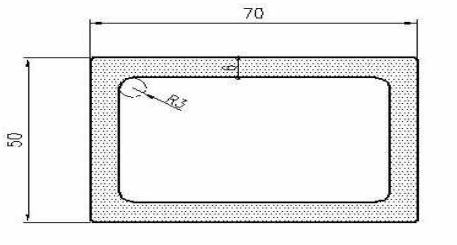
[그림 103 ]8,000ton 압출기

(가) 도시형 자기부상열차 압출 프로파일 제작

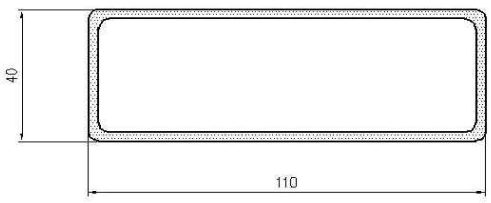
자기부상열차 Profile 3종을 그림 5-4에 나타내었다. 3종의 Profile 형상은 각각 그 크기 차이로 인하여 형상에 맞는 압출기 및 빌렛을 선정하였고 이를 아래 표에 나타내었다. TMIS00002의 경우 전체 폭이 449.65mm로 이를 압출하기 위하여 8,000 US Ton Press의 Rectangular 빌렛을 적용하였고, TMIU00009와 TMIS00004는 각각 3,650 US Ton Press(11 inch)와 2,750 US Ton Press(8 inch)를 이용하여 압출을 실시하였다.



(a) TMIS00002




(b) TMIU00009




(c) TMIS00004

[그림 104 ]자기부상열차 Profile

[표 55 ]자기부상열차 Profile에 따른 압출기 및 빌렛 사이즈

| Profile | 압출기 (US Ton) | 빌렛 사이즈(inch) |
|---|---|---|
| TMIS00002 | 8,000 | Rectangular |
| TMIU00009 | 3,650 | 11 |
| TMIS00004 | 2,750 | 8 |

[표 56 ]A6005 합금 빌렛 압출 공정 인자

| 구분 | 컨테이너 온도(℃) | 금형온도 (℃) | 빌렛예열 온도(℃) | 램속도 (mm/sec) | 출구온도 (℃) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A6005 | 420~440 | 440~460 | 475~500 | 1~3 | 520~540 | 표면 양호 |

위 표는 기존 철도차량 차체용 Profile의 압출 공정 조건으로서 이를 기반으로 하여 각 Profile 형상에 따라서 컨테이너 예열 온도, 금형예열온도 및 빌렛 예열온도를 설정하였고, 이를 아래 표에 나타내었다. 아래 그림은 압출공정시 압출기에서의 압출 압력과 압출공정 완료후 표면이 양호한 Profile의 형상이다.

Rectangular 빌렛을 이용한 압출의 경우 광폭 압출을 이용하는 것으로서 빌렛, 금형 및 컨테이너 온도 편차에 따라서 압출성이 크게 차이가 나고 기존 빌렛보다 압출 온도를 높게 설정해야 압출성이 양호하므로, 위 표에 나타낸 바와 같이 압출 온도 조건을 높게 설정하였다.

각 자기부상열차 Profile의 1차 시압출 결과, 3종 모두 압출 초기 압력이 과다하게 부하되는 경향을 보였다. TMIS00002 Profile의 경우 압출재 형상이 Solid 부와 Hollow부가 같이 존재하는 형상으로, Hollow부로 인한 압출 압력이 과다하게 부하되어 Profile 형상이 뒤틀리는 문제가 발생하였다. 또한 TMIS00004의 경우 적정 온도 조건을 맞추지 못하여 압출 빌렛과 압출 금형 Bearing Face의 마찰로 인한 출구 온도 증가로 압출 Profile의 표면에서 Dies Line이 발생하였다.

압출 초기 압력이 과다하게 부하되는 것은 빌렛이 초기 압출 금형으로 투입되어지는 과정에서 발생되는 것으로서 이는 빌렛 예열 온도 및 금형 온도의 저하로 인하여 Metal Flow가 양호하지 못한 것으로 판단되었다. 이에 표 5-3의 2차 압출 조건과 같이 금형 온도 및 빌렛 예열 온도를 상향 조정하였고, 상향된 온도 조건으로 인하여 출구 온도 상승에 따른 표면 Dies Line을 방지하기 위하여 램 속도를 하향 조정하여 압출을 실시하였다.

그림 5-5에 나타낸 바와 같이, 2차 시압출은 금형 및 빌렛 온도 상승으로 인하여 압출 초기 압력은 감소하였고, 표면 품질이 양호한 압출 Profile을 얻을 수 있었다.

[표 57 ]압출 공정 인자

| 구분 | | 컨테이너 온도(℃) | 금형온도 (℃) | 빌렛예열 온도(℃) | 램속도 (mm/sec) | 출구온도 (℃) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TMIS00002 | 1차 | 450~470 | 470~490 | 490~510 | 1.0~2.0 | 525~545 | 고압력 표면 불량 |
| | 2차 | 455~465 | 475~485 | 500~520 | 1.0~1.5 | 530~540 | 표면 양호 중압 |
| TMIU00009 | 1차 | 440~460 | 450~470 | 490~510 | 2.0~4.0 | 520~540 | 고압력 |
| TMIS00004 | 2차 | 445~455 | 455~465 | 495~515 | 2.0~3.0 | 525~535 | 표면 양호 중압 |
| | 1차 | 425~435 | 445~455 | 480~490 | 2.0~4.0 | 535~555 | 고압력, Dies Line |
| | 2차 | 425~435 | 450~460 | 495~505 | 1.5~2.0 | 530~540 | 표면 양호, 중압 |

[그림 105 ]압출 초기 압력(좌) 및 압출 Porfile 표면

위 표에서 도출된 압출기 별 압출 공정인자를 상기 3종의 압출 프로파일 뿐만 아니라, 잔여 압출 프로파일에도 압출시 기본 공정인자로 동일하게 적용하여 전체 31종의 압출 프로파일을 제작하였다.

아래 그림들은 도출된 압출 공정인자를 적용한 압출 프로파일 제작 공정이다. 또한 아래 표들은  전체 31종에 대한 실제 압출 간 측정된 각 공정인자를 나타낸다.

[그림 106 ]압출간 냉각 공정

[그림 107 ]압출된 제품 형상

[그림 108 ]압출 제품 단면 형상 검사

[표 58 ]도시형 자기부상열차 Cab Frame의 실제 압출간 공정인자 측정 결과

| 순 | 동양도면번호 | 청구 규격 단위(M) | MC 1 수량 | 청구 수량(3량) | 청구 중량(KG) | 금형제작(2008년) | 압출진행 | | | | | | | | 빌렛 투입 중량(kg) | 절단 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 빌렛 온도(℃) | 금형 온도(℃) | 컨테이너 온도(℃) | 압력 | | | 램속도(mm/sec) | 출구 온도(℃) | | 길이(mm) | 수량(EA) | 중량(kg) |
| | | | | | | | | | | 초압 | 중압 | 말압 | | | | | | |
| 1 | TMIC000001 | 7.75 | 2 | 6 | 94.6 | 12월 13일 | 492 | 445 | 416 | 182 | 151 | 130 | 4.5 | 542 | 204 | 7,750 | 6 | 95 |
| 2 | TMIC000002 | 7.5 | 2 | 6 | 88.1 | 12월 13일 | 495 | 450 | 415 | 168 | 144 | 125 | 4.5 | 547 | 137 | 7,500 | 6 | 84.8 |
| **합계** | | | **4** | | **182.7** | **평균** | **493.50** | **447.50** | **415.50** | **175** | **147.5** | **127.5** | **4.5** | **544.50** | **341** | | | **179.8** |

(나) 압출 프로파일 치수 검사

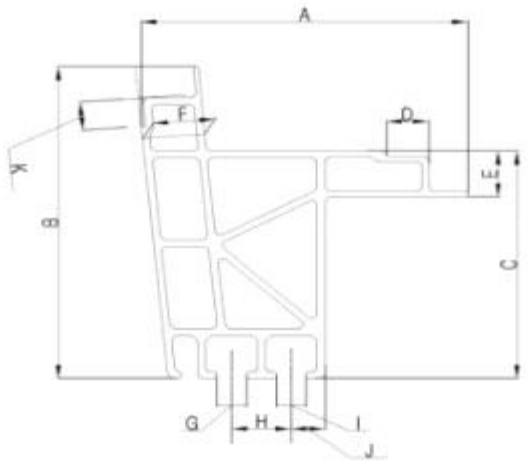
제작된 31종의 압출 프로파일에 대해 치수 검사를 실시하였다. 전체 31종에 대해 치수 검사 및 형상 게이지를 통한 검사를 실시하였으며, 이 중 현대로템과 협의한 도시형 자기부상열차 압출 프로파일의 치수 검사 기준서에 해당하는 22종에 대한 치수 검사 데이터를 작성하였다.

치수 검사 기준서는 각 압출 프로파일에 대한 중요 관리 항목(외곽 사이즈나 타 부

품과의 조립부 등_을 지정하고, 공차를 명기한 기준서를 이를 통해 압출 프로파일의 치수 검사 합-부 여부를 판정하였다. 그 결과 31종 모두 검사 기준에 적합한 것으로 검사되었다. 그림 109는 도시형 자기부상열차 압출 프로파일의 치수 검사 기준서의 일부이다.

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 109 ]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 치수 검사 기준서

(6) 소재 특성 평가

제작된 31종의 압출 프로파일 중 기 협의된 12종에 대한 소재 특성 평가를 실시하였다. 소재 특성 평가용 압출재 12종은 Under Frame 5종, Side Frame 4종, Roof Frame 3종이다.

(가) 시험 항목 및 시편 채취

시험 시편은 12종에 대해 표 6-1과 같이 압출재의 모재부와 Seam부에서 각 1EA씩 채취하였다. 단, 화학성분의 경우 압출재 모재와 압출재의 Seam부 간 차이가 발생하지 않아 모재부에 대해서만 채취 하였으며, 각 항목별로는 인장시험시편 24EA, 경도시험시편 24EA, 굽힘시험시편 24EA, 화학성분분석 시편 12EA, 조직 분석 시편 24EA, 변형시험시료 24EA로 총 144EA의 시편을 채취하였다.

[표 59 ]시험 항목 및 시험 시편

| 검사 및 시험 항목 | 압출재 모재 | 압출재 Seam부 |
|---|---|---|
| 인장 시험 | O | O |
| 경도 시험 | O | O |
| 굽힘 시험 | O | O |
| 화학 성분 분석 | O | X |
| 조직 분석 | O | O |
| 변형 시험 | O | O |

(나) 시험 방법

1) 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 60은 인장시험의 합-부 판정기준을 나타낸것이다.

- 판정 기준

[표 60 ]Al 6005A T6 재료의 경도 합-부 판정 기준

| 구 분 | 최대인장강도(MPa) | 항복강도(MPa) | 연신율(%) |
|---|---|---|---|
| 모재부 | 260이상 | 215이상 | 7이상 |
| Seam 부 | 180이상 | 160이상 | - |

2) 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 6-1은 경도시험의 시험편의 형상 및 치수를 나타낸 것이다.

가) 시편 형상

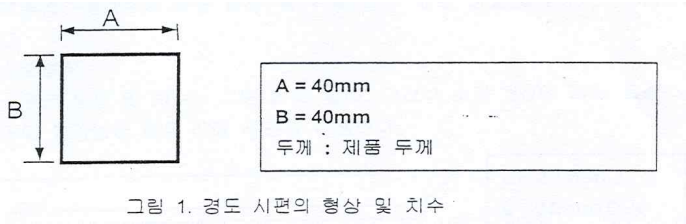


그림 1. 경도 시편의 형상 및 치수

[그림 110 ]경도 시험 시편 형상

나) 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.

다) 합-부 판정 기준

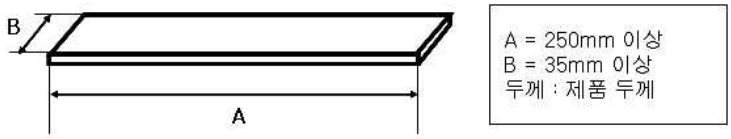
[표 61 ]경도 시험 합-부 판정 기준

| 구 분 | HBS(Brinell) 500kgf, 10mm ball | HRE(Rockwell E) 100kgf, 3.175mm ball | HRH(Rockwell H) 60kgf, 3.175mm ball | Vickers Hardness 0.5kgf |
|---|---|---|---|---|
| 모 재 | 80 이상 | 88 이상 | 106 이상 | 92 이상 |

3) 굽힘 시험

굽힘 시험은 압출재 모재 및 용접부에 대한 연성 평가 및 모재 내부 결함 등을 측정하는 것을 그 목적으로 한다. 아래 표는 시험편의 형상 및 치수를 나타낸 것이다.

가) 시편 형상




[그림 111 ]굽힘 시험 시편 형상

나) 시험 방법

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

다) 합-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.

4) 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.

가) 시편 형상

시편은 표면에 산화물 및 오염 물질을 완전히 제거하여야 한다.

나) 시험 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.

다) 합-부 판정 기준

아래 표는 Al6005A의 화학성분 분석표로 화학성분 분석시험의 합-부 판정기준이다.

[표 62 ]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 |

5) 조직 분석

조직분석은 압출재 조직의 건전성 및 이물질 혼입 여부를 평가하기 위해 실시한다.

가) 시편 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.

나) 시험 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.

다) 합-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.

6) 변형시험

변형 시험은 압출재의 거시적 변형 특성 관찰을 통해 취약부의 파괴 특성을 평가하는데 그 목적이 있다.

가) 시편 형상

시편의 길이는 150mm± 20mm로 하며 필요시 폭 방향에 수직으로 시험할 경우 높이를 150mm 이하로 낮춰야 한다.

나) 시험 방법

시편에서 시험 부위를 표시 후 MTS 등을 이용하여 RMx이 둥근 가압봉으로 시편에 압력을 직접 가하여 압출재의 파단형상을 관찰한다.

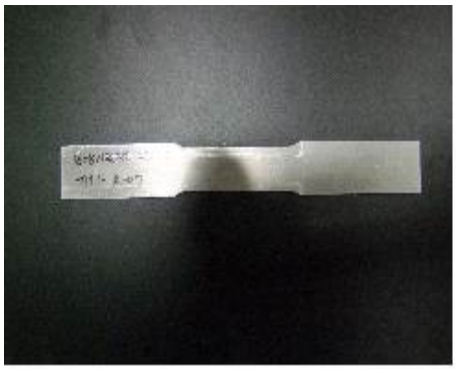
다) 합-부 판정 기준

압출재의 Seam 부위 파면을 관찰하여 파단의 형태가 취성 파괴 양상을 나타낼 경우 부적합 판단을 내린다.

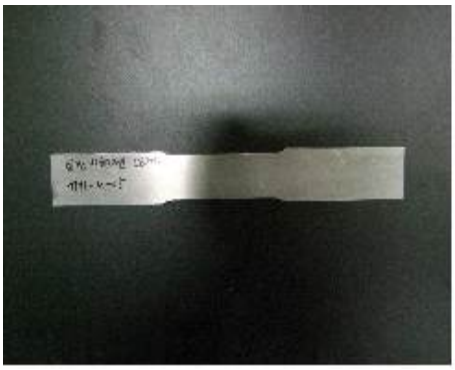
(다) 시험 시편 제작

시험방법에 명시된 시험 시편 제작 방법에 따라 시험 시편을 제작하였다. 왼쪽 그림은 각 시험 항목별로 제작된 모재부 시편 형상의 일부이며, 오른쪽 그림은 Seam의 시편형상이다.

1) 인장 시험 시편



[그림 112 ]모재부 인장시험 시편



[그림 113 ]Seam부 인장시험 시편

2) 경도 시험 시편

아래 그림은 경도시험의 모재부와 Seam부의 시편형상이다.

[그림 114 ]모재부 경도 시험 시편

[그림 115 ]Seam부 경도 시험 시편

3) 굽힘 시험 시편

아래 그림은 굽힘시험의 모재부와 Seam부의 시편형상이다.

[그림 116 ]모재부 굽힘 시험 시편

[그림 117 ]Seam부 굽힘 시험 시편

4) 화학 성분 시험 시편

아래 그림은 화학성분 시험의 Seam부의 시편형상이다.

[그림 118 ]모재부 화학 성분 시험 시편

5) 조직 분석 시험 시편

아래 그림 조직 분석 시험편의 모재부와 Seam부의 시편형상이다.

[그림 119 ]모재부 조직 분석 시험 시편

[그림 120 ]Seam부 조직 분석 시험 시편

6) 변형 시험 시편

[그림 121 ]변형 시험 시편

위 그림은 변형 시험시편의 시편형상이다.

(라) 시험 결과

제작된 도시형 자기부상열차 압출 프로파일의 시험시편으로 6종의 시험을 실시하였다. 시험 방법 및 합-불 판정 기준은 (다)항의 시험 방법을 준수 하였다. 시험은 공인시험기관은 한밭대학교에서 실시하였으며, 아래 표는 시험 결과로서 모든 기준을 만족함을 알 수 있다.

[표 63 ]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 기계적 특성 시험 결과

| 품번 | 인장강도(MPa) | | 항복강도(MPa) | | 연신율(%) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 모재부 | Seam부 | 모재부 | Seam부 | 모재부 | Seam부 |
| | 260↑ | 180↑ | 215↑ | 160↑ | 7↑ | 5↑ |
| TMIU000003 (RSU90002AMO) | 289 | 265 | 264 | 226 | 15 | 15 |
| TMIU000004 (RSU90003AMO) | 304 | 262 | 276 | 231 | 15 | 11 |
| TMIU000005 (RSU90004AMO) | 297 | 238 | 247 | 197 | 17 | 16 |
| TMIU000006 (RSU90005AMO) | 296 | 252 | 249 | 212 | 19 | 13 |
| TICU000010 (RSU90006AMO) | 289 | 300 | 252 | 277 | 17 | 15 |
| TMIR000004 (RSS90001AMO) | 269 | 243 | 240 | 213 | 14 | 10 |
| TMIS000002 (RSS90002AMO) | 304 | 225 | 265 | 176 | 10 | 11 |
| TMIS000001 (RSS90003AMO) | 321 | 274 | 298 | 235 | 9 | 14 |
| TMIS000003 (RSS90006AMO) | 300 | 248 | 256 | 217 | 14 | 11 |
| TMIR000001 (RSR90001AMO) | 279 | 262 | 267 | 229 | 12 | 12 |
| TMIR000003 (RSR90003AMO) | 285 | 261 | 258 | 228 | 14 | 8 |
| TMIR000007 (RSR90004AMO) | 289 | 244 | 264 | 210 | 12 | 14 |

[표 64 ]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 경도 시험 결과(비커스0.5kgf)

| 품번 | 모재부(HV0.5) | | | | | | 이음부(HV0.5) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | avg | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | avg |

| | 92↑ | | | | | | 65↑ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TMIU000003 (RSU90002AMO) | 101 | 100 | 103 | 99 | 99 | 100 | 95 | 101 | 99 | 98 | 100 | 99 |
| TMIU000004 (RSU90003AMO) | 98 | 93 | 93 | 95 | 94 | 95 | 95 | 94 | 96 | 93 | 96 | 95 |
| TMIU000005 (RSU90004AMO) | 98 | 98 | 103 | 100 | 96 | 99 | 94 | 95 | 94 | 95 | 94 | 95 |
| TMIU000006 (RSU90005AMO) | 102 | 100 | 101 | 104 | 101 | 102 | 95 | 91 | 95 | 94 | 94 | 94 |
| TICU000010 (RSU90006AMO) | 101 | 96 | 101 | 97 | 105 | 100 | 100 | 103 | 107 | 101 | 104 | 103 |
| TMIR000004 (RSS90001AMO) | 99 | 102 | 103 | 101 | 102 | 102 | 96 | 94 | 95 | 97 | 96 | 96 |
| TMIS000002 (RSS90002AMO) | 109 | 107 | 110 | 111 | 107 | 109 | 80 | 74 | 75 | 79 | 77 | 77 |
| TMIS000001 (RSS90003AMO) | 107 | 107 | 109 | 111 | 107 | 108 | 87 | 89 | 91 | 91 | 93 | 90 |
| TMIS000003 (RSS90006AMO) | 105 | 108 | 107 | 108 | 109 | 107 | 88 | 88 | 83 | 88 | 85 | 86 |
| TMIR000001 (RSR90001AMO) | 101 | 104 | 96 | 98 | 97 | 99 | 101 | 95 | 96 | 97 | 97 | 97 |
| TMIR000003 (RSR90003AMO) | 99 | 103 | 98 | 106 | 97 | 101 | 99 | 97 | 96 | 93 | 93 | 96 |
| TMIR000007 (RSR90004AMO) | 100 | 95 | 102 | 97 | 103 | 99 | 95 | 93 | 93 | 92 | 92 | 93 |

[표 65 ]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 굽힘 시험 결과

| 품번 | 합/불 | 품번 | 합/불 | 품번 | 합/불 |
|---|---|---|---|---|---|
| TMIU000003 (RSU90002AMO) | 합 | TICU000010 (RSU90006AMO) | 합 | TMIS000003 (RSS90006AMO) | 합 |
| TMIU000004 (RSU90003AMO) | 합 | TMIR000004 (RSS90001AMO) | 합 | TMIR000001 (RSR90001AMO) | 합 |
| TMIU000005 (RSU90004AMO) | 합 | TMIS000002 (RSS90002AMO) | 합 | TMIR000003 (RSR90003AMO) | 합 |
| TMIU000006 (RSU90005AMO) | 합 | TMIS000001 (RSS90003AMO) | 합 | TMIR000007 (RSR90004AMO) | 합 |

[표 66 ]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 성분 분석 시험 결과

| 품번 | Si | Fe | Cu | Mn | Mg | Cr | Zn | Ti |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0.5 ~0.9 | 0.35 ↓ | 0.30 ↓ | 0.50 ↓ | 0.4 ~0.7 | 0.30 ↓ | 0.20 ↓ | 0.10 ↓ |
| TMIU000003 (RSU90002AMO) | 0.71 | 0.27 | 0.05 | 0.10 | 0.48 | 0.05 | 0.06 | 0.02 |
| TMIU000004 (RSU90003AMO) | 0.72 | 0.24 | 0.07 | 0.10 | 0.58 | 0.06 | 0.06 | 0.02 |
| TMIU000005 (RSU90004AMO) | 0.67 | 0.28 | 0.08 | 0.10 | 0.48 | 0.06 | 0.05 | 0.02 |
| TMIU000006 (RSU90005AMO) | 0.67 | 0.28 | 0.07 | 0.09 | 0.49 | 0.05 | 0.08 | 0.02 |
| TICU000010 (RSU90006AMO) | 0.68 | 0.33 | 0.10 | 0.07 | 0.48 | 0.06 | 0.05 | 0.02 |
| TMIR000004 (RSS90001AMO) | 0.68 | 0.31 | 0.08 | 0.09 | 0.49 | 0.05 | 0.10 | 0.01 |
| TMIS000002 (RSS90002AMO) | 0.80 | 0.23 | 0.05 | 0.06 | 0.52 | 0.05 | 0.04 | 0.02 |
| TMIS000001 (RSS90003AMO) | 0.73 | 0.31 | 0.07 | 0.05 | 0.50 | 0.06 | 0.09 | 0.02 |
| TMIS000003 (RSS90006AMO) | 0.76 | 0.32 | 0.08 | 0.05 | 0.55 | 0.05 | 0.07 | 0.02 |
| TMIR000001 (RSR90001AMO) | 0.70 | 0.27 | 0.05 | 0.10 | 0.51 | 0.06 | 0.06 | 0.02 |
| TMIR000003 (RSR90003AMO) | 0.69 | 0.27 | 0.08 | 0.09 | 0.49 | 0.06 | 0.07 | 0.02 |
| TMIR000007 (RSR90004AMO) | 0.70 | 0.25 | 0.06 | 0.11 | 0.49 | 0.05 | 0.07 | 0.02 |

[표 67 ]도시형 자기부상열차 압출 조직 분석 시험 결과 ( $G_B \geqq -5$ )

| 품번 | $G_B \geqq -5$ | | 품번 | $G_B \geqq -5$ | | 품번 | $G_B \geqq -5$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 모재부 | Seam부 | | 모재부 | Seam부 | | 모재부 | Seam부 |
| TMIU000003 (RSU90002AMO) | 3.5 | 3 | TICU000010 (RSU90006AMO) | 4 | 4.5 | TMIS000003 (RSS90006AMO) | 3.5 | 3 |
| TMIU000004 (RSU90003AMO) | 3 | 2.5 | TMIR000004 (RSS90001AMO) | 1.5 | 1 | TMIR000001 (RSR90001AMO) | 4 | 2.5 |
| TMIU000005 (RSU90004AMO) | 3.5 | 3 | TMIS000002 (RSS90002AMO) | 3.5 | 3.5 | TMIR000003 (RSR90003AMO) | 3 | 2 |
| TMIU000006 (RSU90005AMO) | 3 | 3 | TMIS000001 (RSS90003AMO) | 3 | 3.5 | TMIR000007 (RSR90004AMO) | 3 | 3 |

[표 68 ]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 변형 시험 결과

| 품번 | 합/불 | 품번 | 합/불 | 품번 | 합/불 |
|---|---|---|---|---|---|
| TMIU000003 (RSU90002AMO) | 합 | TICU000010 (RSU90006AMO) | 합 | TMIS000003 (RSS90006AMO) | 합 |
| TMIU000004 (RSU90003AMO) | 합 | TMIR000004 (RSS90001AMO) | 합 | TMIR000001 (RSR90001AMO) | 합 |
| TMIU000005 (RSU90004AMO) | 합 | TMIS000002 (RSS90002AMO) | 합 | TMIR000003 (RSR90003AMO) | 합 |
| TMIU000006 (RSU90005AMO) | 합 | TMIS000001 (RSS90003AMO) | 합 | TMIR000007 (RSR90004AMO) | 합 |

(7) 차량 경량화율 검증

도시형 자기부상열차 압출 프로파일의 실제 중량과 설계 중량과의 비교를 위해 실시하였다. 이는 압출 프로파일이 가지고 있는 공차로 인해 중량 상승 또는 감소가 필연적으로 발생하기 때문이다.

아래 표에서 보는 바와 같이 도시형 자기부상열차 압출 프로파일의 실제 제품 단중과 설계 단중을 비교하였을 때, 평균적으로 설계 대비 약 1.8%가 감

소된 것으로 나타났다.

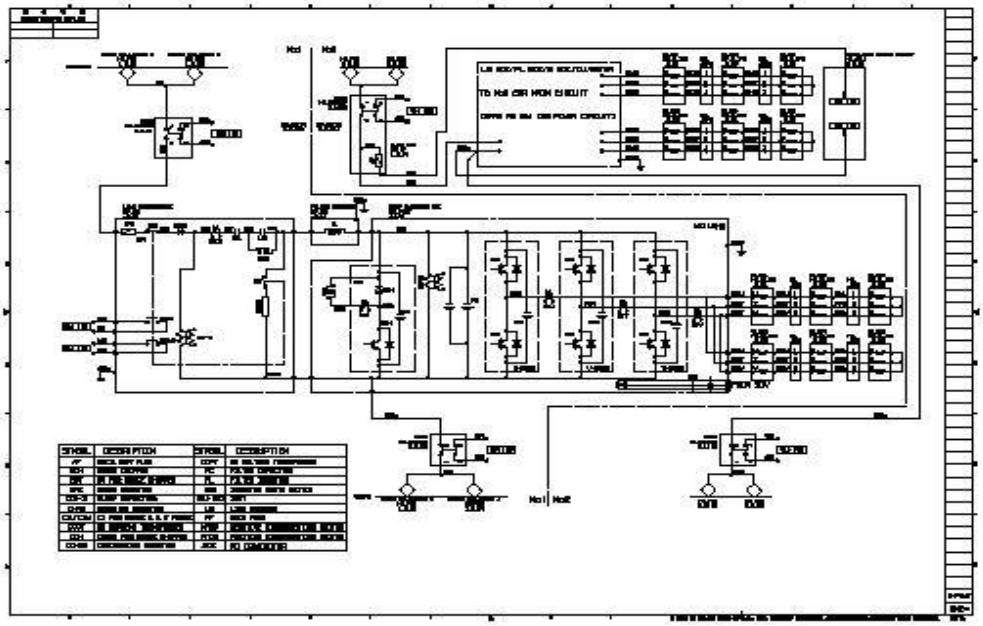
[표 69 ]도시형 자기부상열차 압출 프로파일 설계 단중 vs 실제 측정 단중 비교

| | 도면 번호 | 설계 단중(kg/m) | 측정 단중(kg/m) |
|---|---|---|---|
| UNDER FRAME | RSU90001AMO | 7.621 | 7.380 |
| | RSU90002AMO | 11.050 | 10.646 |
| | RSU90003AMO | 9.879 | 9.154 |
| | RSU90004AMO | 16.894 | 16.098 |
| | RSU90005AMO | 10.442 | 9.951 |
| | RSU90006AMO | 26.255 | 26.055 |
| | RSU90007AMO | 30.667 | 29.958 |
| | RSU90008AMO | 7.385 | 7.129 |
| | RSU90009AMO | 2.477 | 2.400 |
| | RSU90011-1AMO | 3.519 | 3.431 |
| SIDE FRAME | RSS90001AMO | 8.794 | 8.487 |
| | RSS90002AMO | 5.624 | 6.231 |
| | RSS90003AMO | 5.377 | 6.06 |
| | RSS90004AMO | 2.183 | 2.137 |
| | RSS90005AMO | 5.170 | 5.004 |
| | RSS90006AMO | 5.369 | 5.192 |
| | RSS90008AMO | 1.021 | 1.012 |
| | RSS90009AMO | 0.955 | 0.937 |
| ROOF FRAME | RSR90001AMO | 4.948 | 4.378 |
| | RSR90002AMO | 6.216 | 6.395 |
| | RSR90003AMO | 7.530 | 7.638 |
| | RSR90004AMO | 10.399 | 10.099 |
| | RSR90005AMO | 5.060 | 4.807 |
| | RSR90006AMO | 6.218 | 5.956 |
| | RSR90009AMO | 1.612 | 1.592 |
| | RSR90011AMO | 1.657 | 1.625 |
| END FRAME | RSE90002AMO | 5.256 | 5.083 |
| | RSE90003AMO | 4.113 | 3.941 |
| | RSE90004AMO | 2.255 | 2.309 |
| CAB FRAME | RSC90001AMO | 1.963 | 1.951 |
| | RSC90003AMO | 1.893 | 1.868 |

## 라. 소형/경량화 추진제어장치 개발 (브이씨텍-협동)

(1) 기본사양 결정

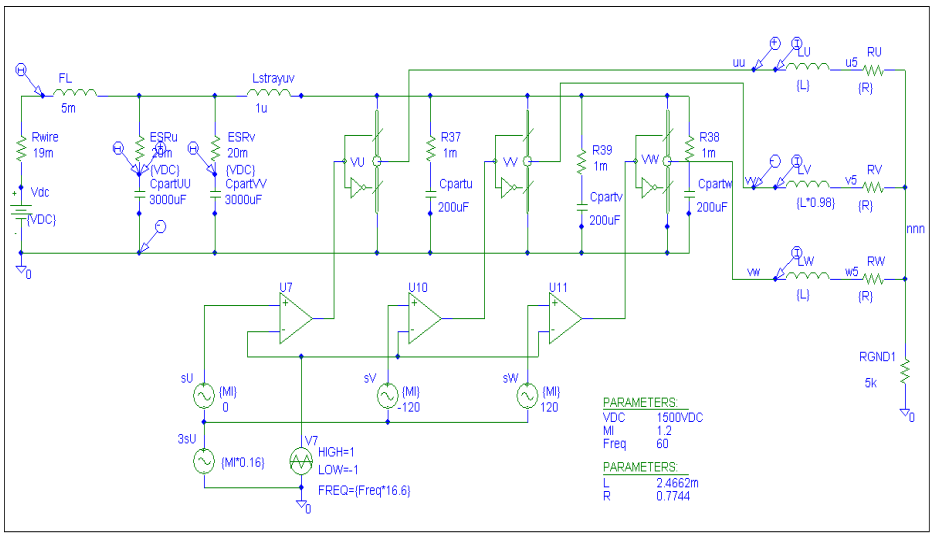
- 차량 요구사항 및 선형유도전동기 용량에 의거 주회로도 작성 및 인버터 사양서 작성 (Tool : CATIA Ver.5)



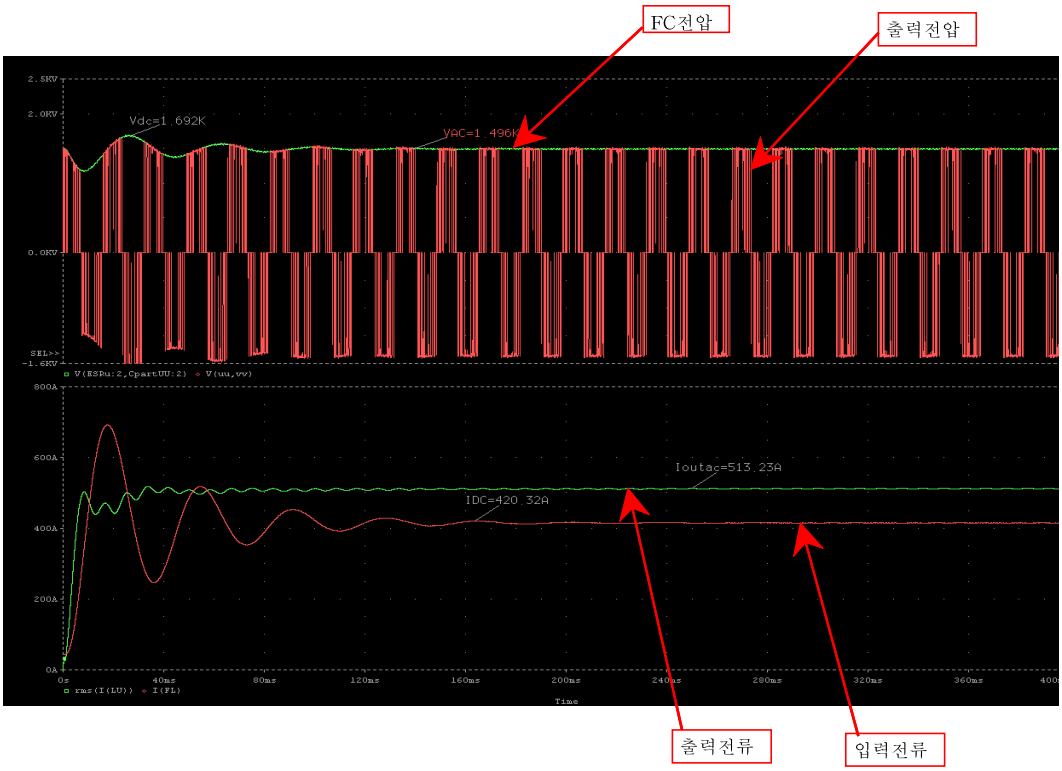
[그림 122 ]주회로도

(2) 인버터 파형 분석 - 시뮬레이션을 통한 시스템 검증

- 시뮬레이션 Tool : P-spice(Ver8.0)
- 정수값 및 스위칭 주파수에 의한 이상적인 인버터 입출력 결과 파형 도출
  FL : 5mH, FC : 6,000uF, Fsw : 1kHz




[그림 123 ]시뮬레이션 회로도




[그림 124 ]시뮬레이션 파형

(3) 열손실 시뮬레이션 - 시뮬레이션을 통한 시스템 검증

(가) 방열계산서 작성

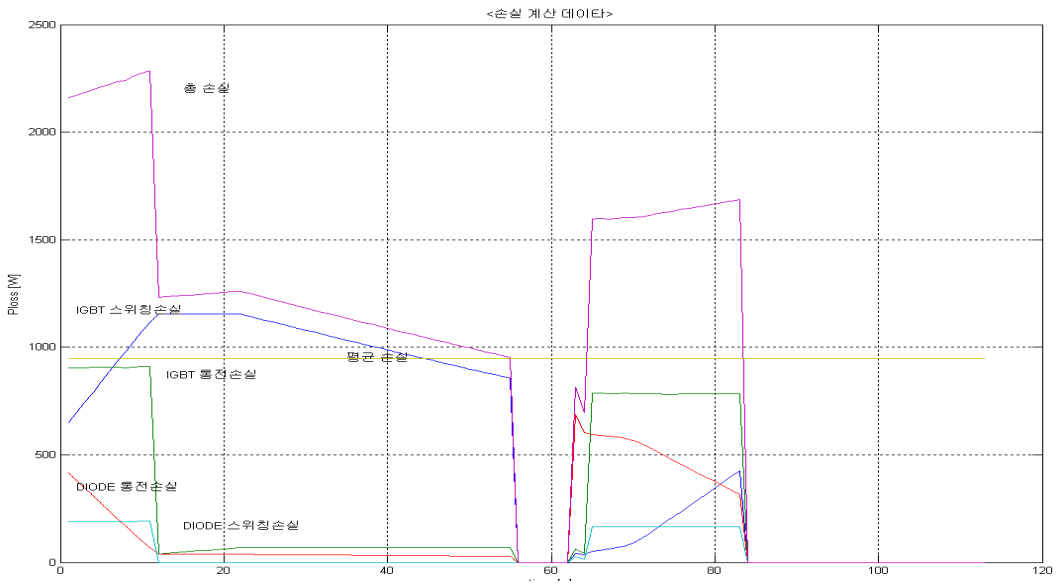
(나) 열손실 시뮬레이션

1) Tool : Matlab(Ver6.5)

2) 결 과 :

- 열손실 값 : 946W
- 온도 상승치 : △T=60℃
- 열저항값(Rth) : 0.063℃/W

| 구간 | IGBT | | DIODE | | 구간별 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 통전손실 | 스위칭손실 | 통전손실 | 역회복손실 | 총손실[W] |
| 1 | 886 | 907 | 239 | 190 | 2221 |
| 2 | 1155 | 54 | 37 | 0 | 1246 |
| 3 | 998 | 68 | 32 | 0 | 1098 |
| 4 | 39 | 51 | 646 | 21 | 756 |
| 5 | 204 | 783 | 481 | 164 | 1632 |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 총 평균손실 946 [W] | | | | | |




[그림 125 ]손실계산 데이터

(4) 상세설계

(가) 기구도면

1) LB BOX 상세설계

- BOX 사이즈 및 재질 : 1000(L)X800(W)X750(H), STS304, t=2mm
- 주요성과(30매)

: 제한된 외형 사이즈내에 부합하기 위한 3D 모델링을 이용한 최적화 및 경량화 설계

: 내압 및 전기적 성능과 정비성 및 접근성을 고려한 합리적인 부품 배치 및 배선의 최적화

: 외부 기기 및 부품과의 효율적 인터페이스를 위한 입출력 방법 및 위치 선정

2) 인버터함 상세설계

- BOX 사이즈 및 재질 : 1800(L)X940(W)X784(H), Al, t=4mm
- 주요성과(37매)

: 제한된 외형 사이즈내에 부합하기 위한 3D 모델링을 이용한 최적화 및 경량화 설계

: 내압 및 전기적 성능과 정비성 및 접근성을 고려한 합리적인 부품 배치 및 배선의 최적화(상별 Stack 모듈화등)

: 외부 기기 및 부품과의 효율적 인터페이스를 위한 입출력 방법 및 위치 선정

: 냉각 효율 향상 및 소음개선을 위한 방식 및 히트싱크 선정 및 구조 개선

: 배선 및 접지 구조 고려를 통한 노이즈환경에 강인한 구조 설계

3) FL(Fiter Reator)

- BOX 사이즈 및 재질 : 875(L)X780(W)X745(H), Al, t=16mm
- 주요성과(2매)

: 제한된 외형 사이즈내에 부합하기 위한 3D 모델링을 이용한 최적화 및 경량화 설계

: 내압 및 전기적 성능과 정비성 및 접근성을 고려한 합리적인 구조 배치

: 외부 기기 및 부품과의 효율적 인터페이스를 위한 입출력 방법 및 위치 선정

: 권선구조 개선을 통한 최적 사이즈화 및 동일냉각 성능 달성

- 구성품별 경량화 결과

| 구 분 | 구성품 | 목표중량(kg) | | 중량비(%) |
|---|---|---|---|---|
| | | 목표중량 | 실측중량 | 감소율 (달성치) |
| 추진인버터 | LB BOX | 240 | 170 | 29.2 |
| | 인버터 BOX | 490 | 355 | 27.6 |
| | FL | 350 | 320 | 8.6 |
| 계 | | 1,080 | 845 | 21.8 |

(나) 계산서

1) Filter Reactor 계산서

- Al 권선을 이용한 경량화 설계
- 계산서를 통한 실 제작 변수 도출

2) 시스템 연속정격 추정 계산서

- 인버터 시스템 연속정격 추정 및 계산
- 시스템 용량 계산을 통한 부품 용량 및 선정 계산 기준틀 마련

3) LB BOX CHR 계산서

- 충전저항 용량 계산 및 선정

(다) 사양서

1) FL 사양서

- 사양변경 및 재설계에 따른 사양서 변경(1차년도 사양서 보완, 수정)

2) 히트싱크 사양서(시뮬레이션결과 포함)

- 시뮬레이션을 통한 냉각성능 예측 및 검증
- 히트싱크 기구사양 확정

(5) 주요품 제작

(가) Stack 제작

- 인버터 Stack 및 OCRf Stack 제작
- 상별 모듈화설계를 바탕으로 한 모듈별 제작 관리
- 내압 및 절연저항 시험, 외관검사등 단품검사 및 시험

(나) 제어기 제작

- DSP 보드등 제어기랙 Ass'y 제작
- 보드단품 조립 및 기능시험
- 절연코팅, 외관검사 및 조립완성도 체크

(다) GDU 제작

- 적용 IGBT를 타겟으로 하는 최적 GDU 회로설계 및 제작
- 내압 및 절연저항 시험, 보호회로 동작시험 등 단품 기능시험
- 절연코팅, 외관검사 및 조립완성도 체크

(6) 시험대차용 인버터 Mockup 1세트 제작

(가) LB BOX 제작

1) 조립

2) 검사 및 시험

- 외관검사
- 내전압 및 절연저항 시험
- 기능 및 동작시험

[그림 126 ]LB BOX 제작

(나) 인버터함 제작

1) 조립

2) 검사 및 시험

- 외관검사
- 내전압 및 절연저항 시험
- 기능 및 동작시험

[그림 127 ]인버터함 제작

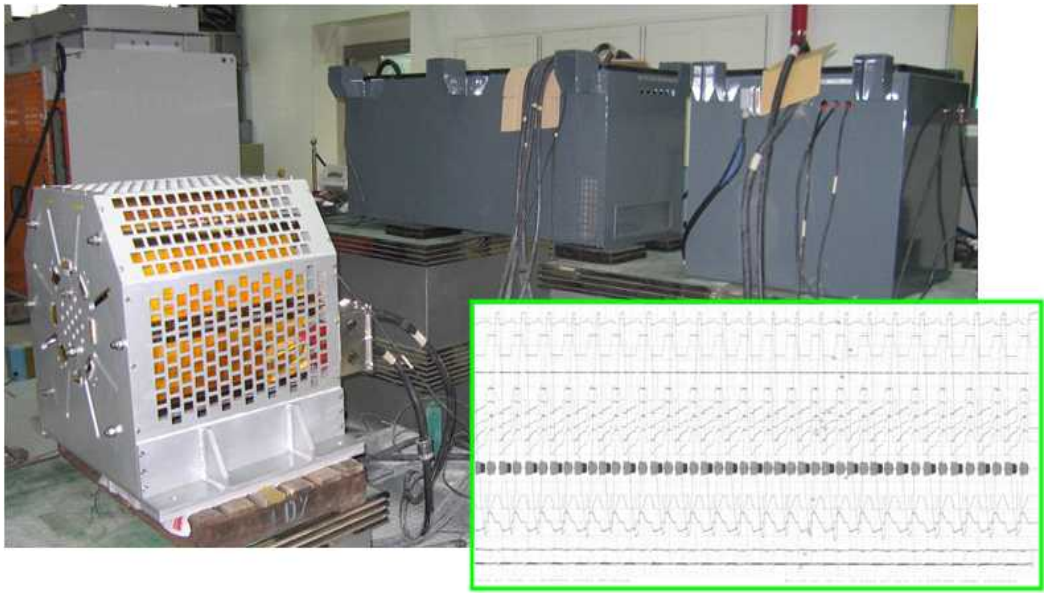
(다) FL 제작

1) 조립

2) 검사 및 시험

- 외관검사
- 내전압 및 절연저항 시험
- 기능 및 동작시험

[그림 128 ]FL 제작

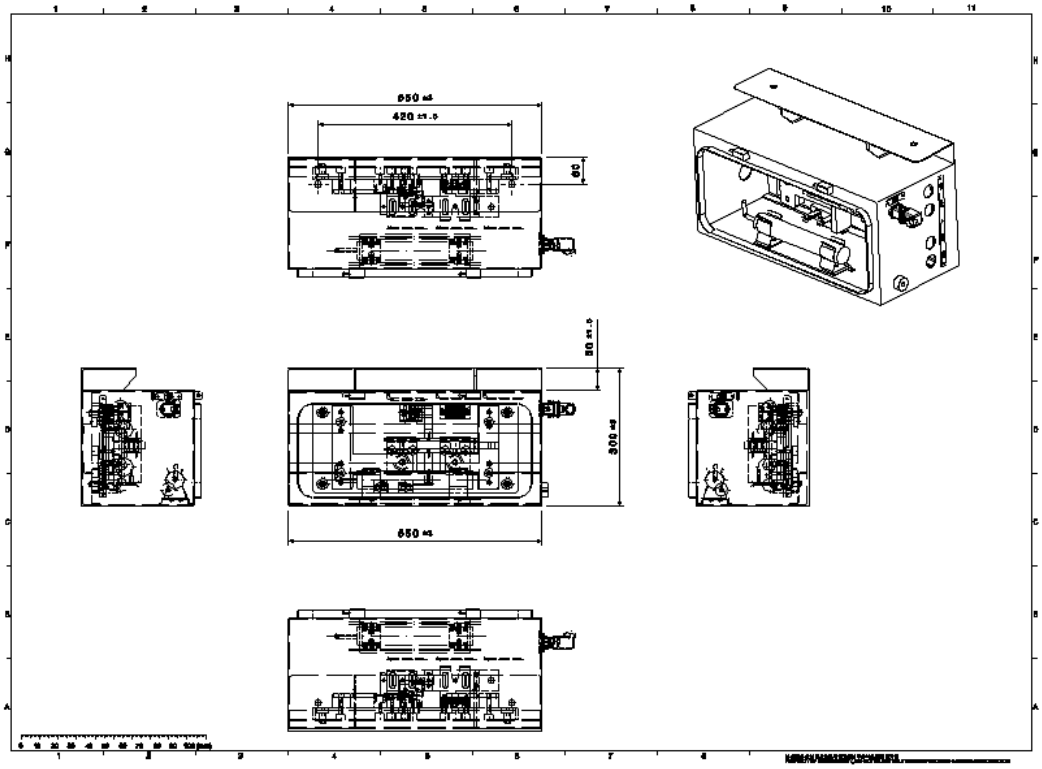


[그림 129 ]조합시험(기능 및 동작시험)

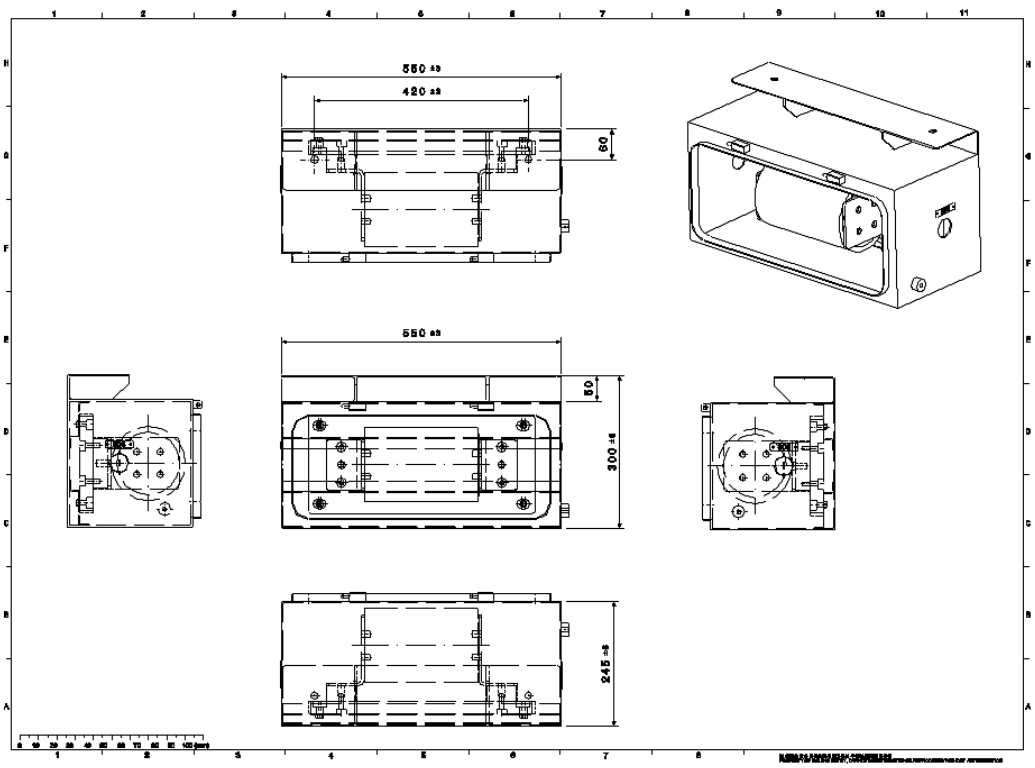
(7) 개발 시제품 설계/제작

(가) 부품발주 및 관리

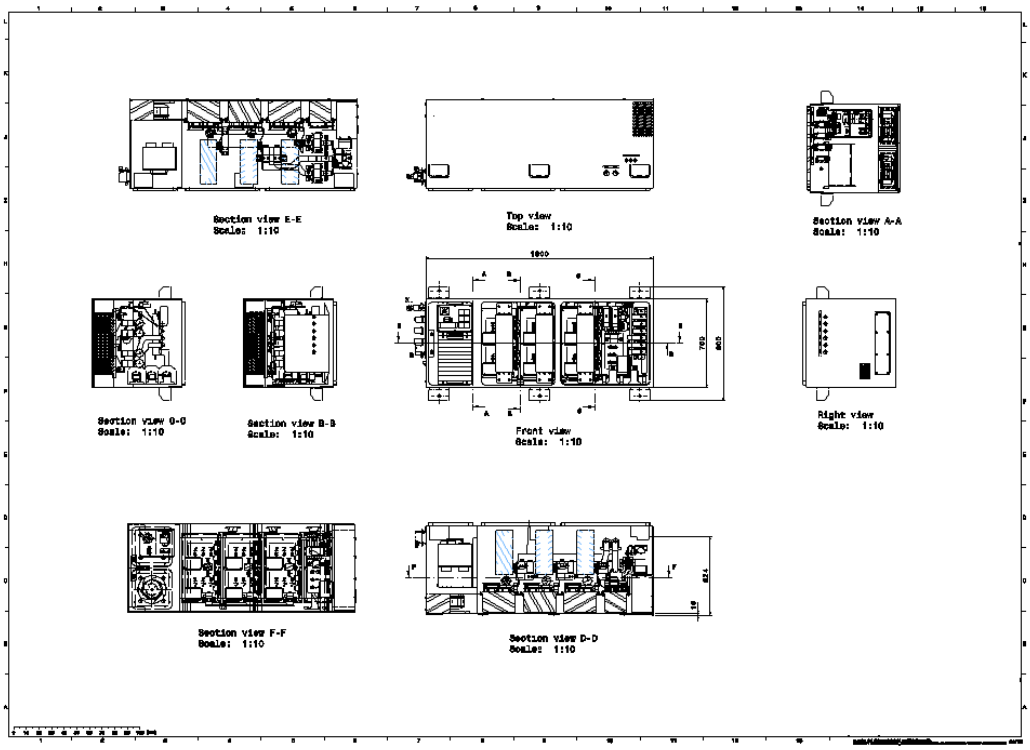
(나) 타 장치와의 인테페이스 협조에 다른 설계 변경 및 도면 확정



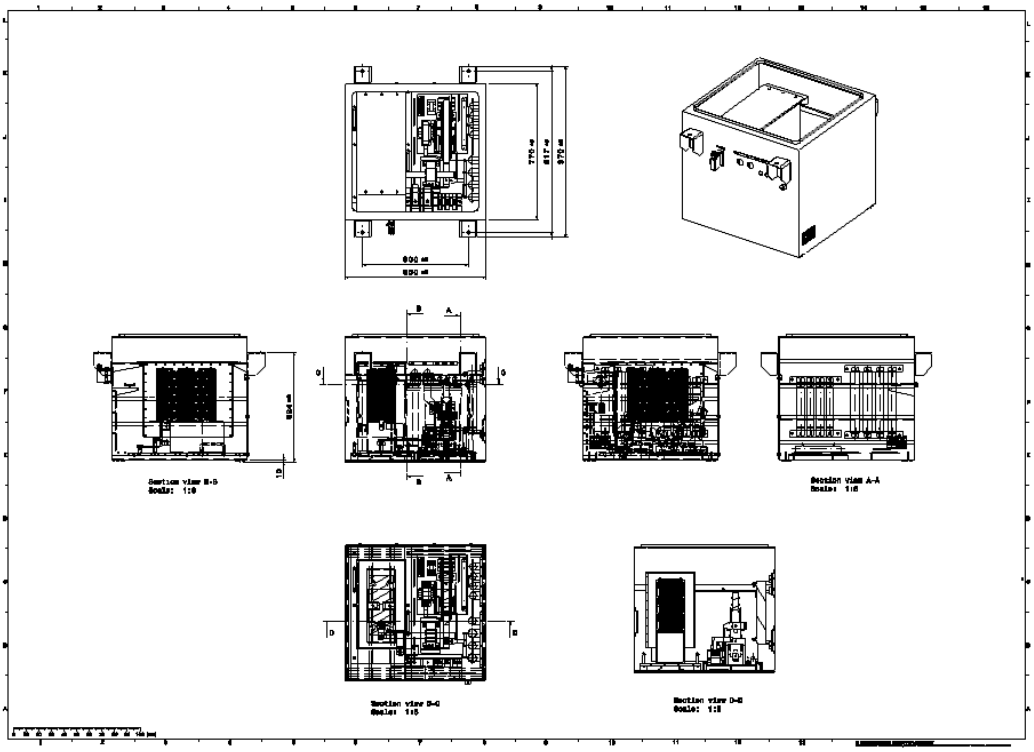
[그림 130 ]PDS BOX



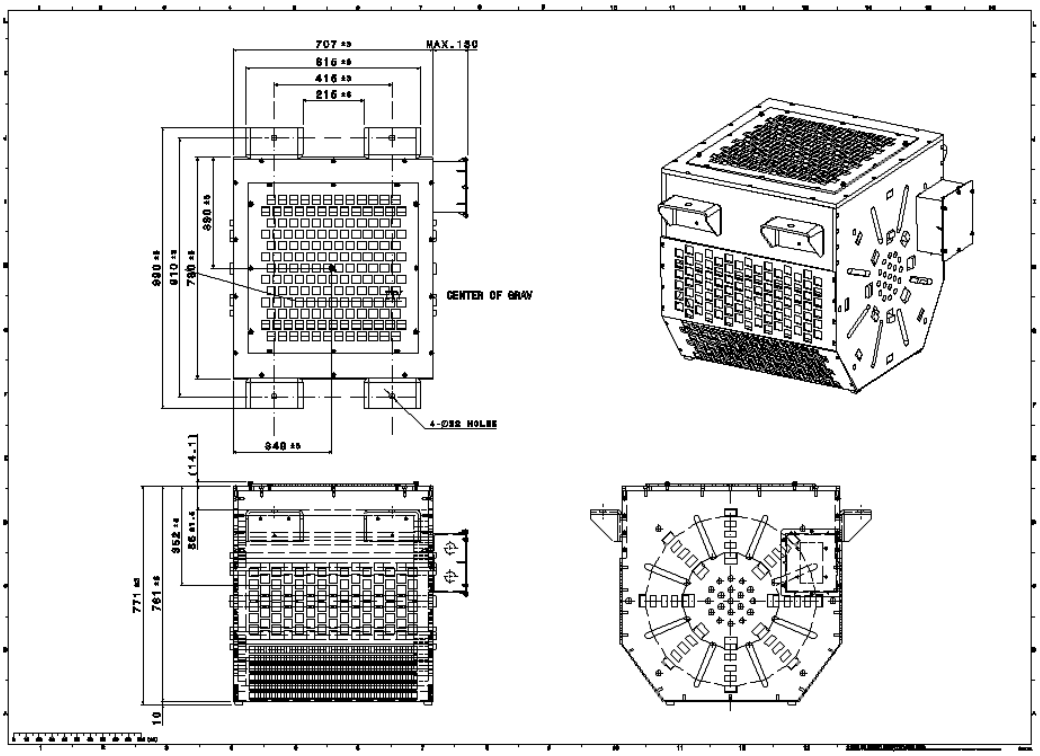

[그림 131 ]FUSE BOX



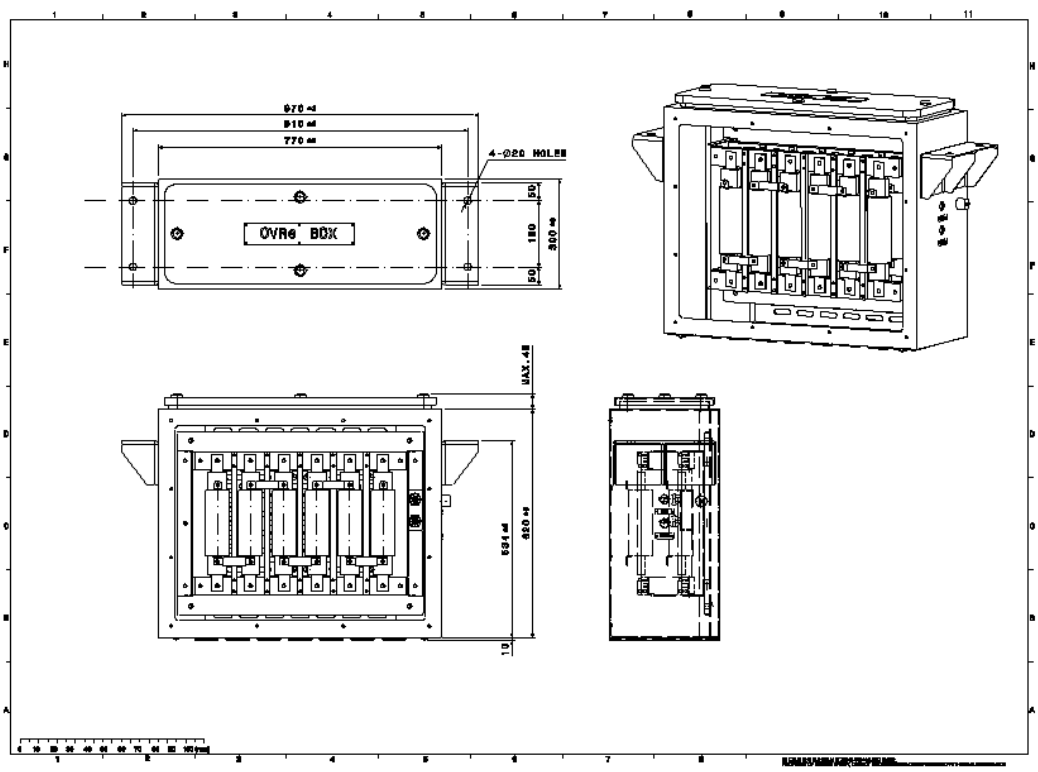

[그림 132 ]INVERTER BOX



[그림 133 ]LB BOX




[그림 134 ]FL BOX




[그림 135 ]OVRe BOX

### 마. 경량/고신뢰성 출입문 개발 (에이디에스레일-협동)

(1) 자료수집 및 사양협의

도어시스템 설계에 필요한 관련 자료 및 규격을 조사하였음.

국내에서는 도어시스템 제작 관련 규정이 제정되어있지 않아 시행청별로 제작사양이 상이하기 때문에 해당제품 제작 시 필요이상의 규격남용이나 불충분한 조건을 적용하는 경우도 발생되었음.

따라서 선진철도 시장이라 판단되는 유럽지역의 EN 14752:2005en 규격과 북미지역의 ASCE 도어시스템 제작규격을 조사하여 분석하고 국내에 적용되고 있는 시행청별 운용조건들을 파악하여 자기부상열차용 경량/고신뢰성 도어시스템의 설계기준을 정립하기 위해 자료수집 하였으며. 특히 북미 지역의 도어시스템 제작업체(IFE, CURTIS)를 직접 방문하여 시스템의 설계 및 제작에 필요한 관련자료를 수집하고 미국 내 운행 중인 무인운전 차량을 시승하여 시스템의 운용사항등을 수집하였음.

이와 같이 수집 및 분석된 자료를 바탕으로 자기부상 차량에 적용될 경량/고신뢰성의 도어시스템 사양을 전기식 플러그인 슬라이딩 타입으로 결정하였음.

(가) 규격 조사

국내에는 도어시스템 제작 관련 규정이 제정되어 있지 않아 선진 철도시장이라 판단되는 유럽지역의 EN14752en2005 규격과 북미지역의 ASCE 도어시스템 규격을 조사하여 설계 기준을 정립함

1) EN14752:2005en

도어 시스템에 대한 전반적인 기준 제시한 유럽규격으로 구조에 대한 측면, 안전에 대한 측면, 기능에 대한 측면, 기타 요구 사항등 여러 측면에서 참고할 수 있는 샘플과 함께 기준을 제시하고 있어 도어 설계 시 기초 자료로 폭 넓게 활용할 수 있다. 금번 자기부상열차 과제를 수행하면서 도시철도법을 근간으로 한 자기부상열차용 규격이 제시된다면, 동시에 자기부상열차와 같은 무인화 차량에 적용될 도어시스템에 관한 전반적인 기준이 제시될 필요가 있는데, 자기부상열차와 같은 무인화 차량은 운용적인 측면, 안전에 대한 측면(상해 및 사고 포함)등이 일반 도어와는 틀려야 하기 때문이다.

2) ASCE21-96,98 : Part1, Part2

본 규격은 APM(Automated People Mover)에 관한 미국규격이다. 전체적으로 APM 차량 및 운용에 관한 기준을 제시하고 있다. APM에 대해 파트별로 구분하여 기준을 제시한 것이 Part 1, Part 2, Part 3(추후 조사) 되는 것이다. APM은 기본적으로 무인화 차량이기에 운용 및 안전성 등에 있어서 자기부상열차의 무인화 요구 사양과 수준을 참조할 수 있을 것이다. 그러나 근본적으로 본 규격에서 제시하는 APM과 자기부상열차는 차량의 근본 시스템이 차이가 나므로 운용적인 측면에서 참조하는 것이 바람직하다고 판단된다. 본 규격은 장애감지(EN14752의 경우, 30mm 이상), 닫힘력(EN14752의 경우 150N 이하)인 것으로 보아, 유럽 규격에 비해 상대적으로 안전에 대해 좀 더 까다로운 기준을 제시하고 있음을 알 수 있다.

(나) 해외출장 관련

자기부상열차 도어 시스템 개발 관련 국제규격에 준한 제품 개발 목적의 현지 업체 방문 조사. 도어시스템 제작업체 방문 (IFE, Curtis, RTC)

1) IFE Company (Knorr-Bremse 계열사)

본사는 오스트리아에 있으며 1947년에 설립되었다. 미국 발티모어 외 전 세계 8개소의 공장 및 회사를 소유하고 있다. 도어 관련 계열사는 Table, Kiekert, Westinghouse를 소유하고 있으며 현재 미국 시장 내 경전철 80%, 도시철도 15%를 점유하고 있다.

2) Curtis Company (CNIM 계열사)

본사는 미국 뉴욕 주 플래츠버그에 있으며 1988년에 설립되었고, 1999년부터 본격적으로 도어시스템 사업을 시작하였다. 캐나다 몬트리올 및 중 국에 공장을 가지고 있다.

3) RTC (Rail Transit Consultants)

미국시장 내 철도관련 업무에 대한 규정 및 규격에 대한 컨설팅 및 제반 업무 지원 업체로 펜실베니아 피츠버그에 위치하고 있다.

(다) 출입문 타입 비교 검토

전기식 플러그 타입 및 슬라이딩 타입 그리고 포켓 타입등 타입별 장단점 비 교 및 목표무게 제시함. 이와 같이 수집 및 분석된 자료를 바탕으로 자기부상 차량에 적용될 경량/고신뢰성의 도어시스템 타입을 전기식 슬라이딩 타입으로 제안하였으나(경량화 중점) 여러 부분을 고려하여 전기식 플러그인 슬라이딩 타입으로 결정되었음.

1) 전기식 플러그인 슬라이딩 타입

장점 : 외관이 미려하고, 운행 시 도어 판넬과 차량한계가 일치하므로 고속 주행에 적합하다. 판넬과 차량 간의 전면이 라바로 부착되기 때문에 소음차단이 탁월하고, 밀폐가 용이하다.

단점 : 슬라이딩 대비하여 중량이 무겁고, 복잡한 기계 구조를 가지고 있다. 그에 따라 가격이 높은 것이 단점이다.

2) 전기식 슬라이딩 타입 (External 타입 및 Pocket 타입)

장점 : 가볍고 개폐시간이 빠르다. 상대적으로 플러그 타입보다 간단한 구조로 설계되며, 유지보수가 편리하다. 가격도 싸고 중량도 가볍다.

단점 : 도어 판넬이 구체한계와 일치하지 않으므로 고속 주행에 적합지 않고 외관이 미려하지 못하다. 외부 소음 차단등도 탁월하지 못하다.

해외 사례로 보아 저속인 일본의 리니모 자기부상열차는 전기식 외부 슬라이딩 방식을 채택하여 운행 중에 있고, 고속인 중국의 상해 자기부상열차는 플러그 타입을 채택하여 운행하고 있다.

(2) 도어엔진 및 판넬 기본 설계

초기에 슬라이딩 타입과 플러그인 타입의 시스템을 동시에 검토하여 도어시스템이 차량에 장착되는 조건들을 확인하여 플러그인 시스템으로 확정하고 도어시스템(엔진 및 판넬) 열림 폭 1,300mm 높이 1,860mm의 개념 및 기본 설계를 완료하였음.

(가) 측출입문 기술 제안

본 제안서는 자기부상열차 실용화 사업에 적용하고자 하는 승객 출입용 Door System 에 관한 설명서이고 수집된 자료 및 규격에 의하여 기본 사양을 결정하였음.

1) 기본사양

| | |
|---|---|
| Door System방식 | DOUBLE PLUG-IN SLIDING TYPE |
| Door Panel. | AL Steel skin + AL Honeycomb. |
| 열림 폭. | 1300mm |
| 출입문 높이. | 1860mm |
| Door Panel 두께. | 38mm |
| 제어 전원. | DC100V(70~110VDC) |
| 열림/닫힘 시간. | 3.5sec/4.0sec (3.0sec-5.0sec. 조절가능) |
| 장애물 감지. | 10mm 두께 판 감지 가능 |
| 열림/닫힘 힘. | 동작 힘 : 350N ±50N<br>최대 힘 : 400N ±50N |

2) 도어시스템 개요

Door System은 Door Engine, Locking Device, Door Control Unit, Pillar와 두 개의 Door Panel로 이루어져 있으며 유성기어를 사용하여 Torque를 향상 시키고 Motor와의 기구적인 상호 작용으로 Plug 동작 및 Door의 개폐 동작을 수행한다. Locking Device는 Roller Track과 Plug동작시의 기구적인 원리를 이용하여 별도의 장치 없이 잠김 및 잠김 해제를 수행하도록 구성 되었다.

3) 도어 판넬

철도차량에 입증된 알루미늄으로 만들고 설계 원칙은 압출재를 사용하고 알루미늄 스킨을 경량 복합소재인 하니콤에 접착하는 방식으로 제작 된다. 판넬은 우수한 강성과 유연성을 동시에 만족시킬 수 있도록 되어 있으며 Door Panel의 구조는 알루미늄 압출재로 4면의 하니콤 복합소재를 감싸고 전. 후에 러버를 부착할 수 있도록 하였다. Door Panel의 유리 접착 부위는 판넬면과 유리면이 일직선을 이룰 수 있도록 알루미늄 압출재 형상이 설계되어 있다. Door Panel은 알루미늄 판재와 알루미늄 하니콤, 그리고 압출재 프레임을 고온에서 샌드위치 구조로 접착시키는 방식으로 제작되며 접착시 사용되는 에폭시 필름 접착제는 본드 면적을 극대화 할 수 있는 장점이

있다. 접착 전 알루미늄 스킨은 사전 약품처리 하게 되며 이러한 약품처리는 접착제 내구연한을 안정적으로 보장하게 된다. 고온접착은 고온 프레스에서 하게 되며 온도와 압력, 시간을 지속적으로 제어하는 공정을 거치게 된다.

(3) DCU 개발 및 시험

(가) DCU 구성

1) Opto-isolation

마이크로 컨트롤러와 입력 및 출력 신호에 있어서 과전류, 서지, RF 간섭 등의 외부 방해요인을 완벽하게 막아준다.

2) Encoder56

엔코더는 도어의 위치, 속도 등의 정보를 DCU에 제공하여 원활한 도어의 움직임을 가능하게 하며 장애물 검지에 있어서 2차적인 데이터로 사용 된다.

3) Watchdog Timer

마이크로 프로세서 내부에 Watchdog Timer를 사용하여 프로그램 동작이나 최소전압 상태 모니터링 및 컨트롤러의 안전을 위해서 사용된다.

4) Oscillator

클럭 발진기로서CPU가 동작하는데 필수적인 요소이다.

(마) Memory

EPROM은 Fault Reporting 과 Door Motion Parameters를 저장하는데 사용 되고 ROM은 프로그램을 저장하는데 사용된다.

5) Display

3개의 디지털 표시기로서 7-세그먼트를 이용하여 표시한다. 상태 정보 및 오류코드를 표시하는 기능을 한다.

6) Motor bridge

모터 드라이버로 Full 4-quadrant FET를 사용한다. 이 브리지는 모터가 정회전 및 역회전 그리고 정지 할 수 있도록 해준다.

7) Power supply

100V dc컨트롤러 및 엔코더 등의 전원으로도 사용되도록 한다.

8) Motor Relay

모터 브리지가 오류이거나 다른 모드의 오류가 있을 경우 모터로의 전원

을 차단해 주어 모터의 이상 작동을 막아준다.

9) Motor Spec

Motor는 크기를 적게 하면서 높은 출력을 발휘 할 수 있도록 영구자석으로 되어 있으며 철도차량용으로 특별히 제작되었다.

(나) DCU 기능 정의

| 구 분 | 설 명 |
|---|---|
| **케이스 재질** | 알루미늄 T2mm |
| **메인 보드** | 마이크로 프로세서 |
| **제어 전원** | 100V (70V~110V) |
| **모터 드라이버** | FET 모터 드라이버 |
| **디스플레이(FND)** | 고장정보 및 도어의 상태를 현시 |

1) 도어 열림

DCU 1,300mm이상 도어를 열수 있어야하며 도어 열림 시 1/4sec후부터 장애감지를 하여야 하며 열림 시간은 3.5sec~4.5sec이내여야 한다.

2) 도어 닫힘

DCU는 차량으로부터 도어 닫힘 명령을 수신했을 때 정상인 경우 Motor를 제어하여 도어를 닫을 수 있다. 도어를 닫을 경우에는 닫힘 시작 1/4sec 후부터 장애감지를 하여야 하며 닫힘 시간은 3.0sec~5.0sec이내 이어야 한다.

3) Buzzer(경고음)

도어가 열림/닫힘 명령을 받고 2초 동안 경고음을 낸 후 모터를 제어하여 도어를 개폐 할 수 있다. 경고음은 도어가 비정상 조건에서는 경고음을 울리지 않는다.

4) 주행 중 열림 방지 시스템

주행 중 열림 신호를 받은 DCU는 Enable 신호가 없는 상태라면 열림 명령 또는 비상핸들이 작동되어도 도어 열림 방지시스템에 의해 도어가 개방되지 않도록 프로그램 되어야 한다.

5) 비상 시 도어 열림 (Emergency Interface)

도어는 주행(5km/h이상) 중 도어 열림 방지시스템에 의해 비상핸들이 작동 되더라도 도어가 개방되지 않아야 한다.

6) 차단 스위치(Isolation switch)

DCU(Door Control Unit)의 고장 또는 다른 치명적인 고장으로 인해 해당 도어가 자동운전이 불가하다고 판단됐을 경우 해당 도어만 차단시키고 다른 출입문은 정상적으로 제어를 할 수 있게 하는 기능이다.

7) Enable(Zero Speed Signal)

ENABLE는 자기부상열차의 정지상태를 확인 하는 신호이다. DCU는 이 신호를 차량으로부터 받게되면 5km 이하의 속도로 달리고 있다는 것을 인식하게 되어 도어를 정상 개폐 할 수 있으며, 만약 차량이 5km 이상의 속도로 운행 중 (ENABLE 0V)이면 도어를 개폐할 수 없다.

8) 장애물 감지

DCU는 도어를 열거나 닫을 때 장애물에 대한 검지 및 그 후속조치를 취하도록 프로그램화되며 장애물에 대한 검지는 EDGE SENSOR, MOTOR CURRENT 에 의하여 인식된다. 도어는 열림 명령을 받고 1/4sec후부터 약 350N의 저항이 발생 시 장애물로 인식하게 되며 장애물을 인식 후 약 100mm 역방향으로 이동하고 0.5sec 후 다시 열리도록 프로그램화된다. 장애감지를 3회 하게 되면 도어는 닫힘으로 대기하고 다음 명령을 기다린다. 도어는 닫힘 명령을 받고 1/4 지점 에서 부터 장애감지를 시작하게 되며 닫힘 구간에서 Edge sensor와 Motor current에 의해 장애물 감지 후 약 400mm 역방향으로 이동하고 0.5sec후 다시 닫히도록 프로그램 된다. 이 동작은 장애물이 제거되거나 운전자로부터 후속 조치가 이루어 지기 전까지 무한대로 반복하여 닫힘을 시도하게 된다. 10mm 장애물이 끼었을 때에도 감지 할 수 있도록 구성함.

9) 승무원용 스위치(Crew Switch)

차량에 전원이 살아 있는 상태에서 검수자가 최종 점검을 위해 차량 내 진입 시 사용되는 열림 및 닫힘 작동스위치이며, 승무원 전용키로만 작동을 할 수 있도록 되어 있다.

(다) DCU-TCMS 통신

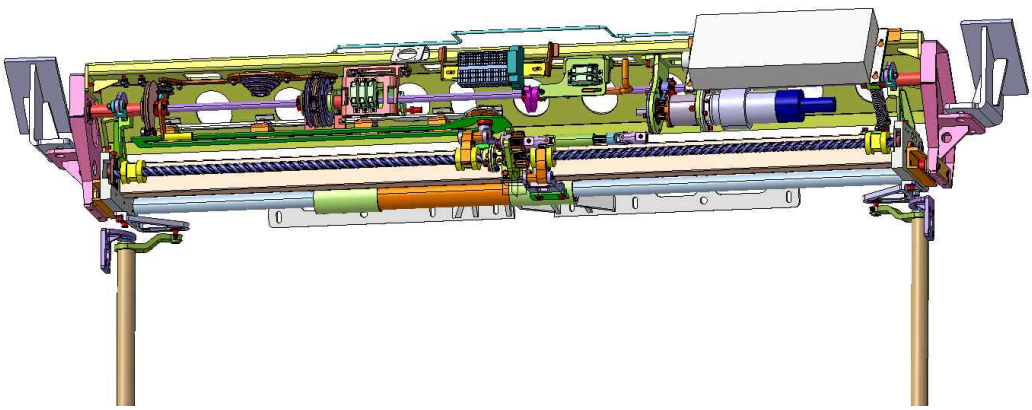
- 전송방식 : RS485 (2선식)
- 전송모드 : 비동기 반이중통신
  (Master :TCMS, Slave : DCU1, DCU2, DCU3, DCU4)
- 전송속도 : 19200 또는 38400 bps

- 전송주기 : 각 장치 200ms 또는 100ms
- Data 형식 : 시작비트 - 1비트
  Data비트 - 8비트
  패리티비트 - None 패리티
  정지비트 - 1비트

[그림 136 ]DCU 시제품

(4) 부품/시스템 상세설계 (엔진, 판넬)

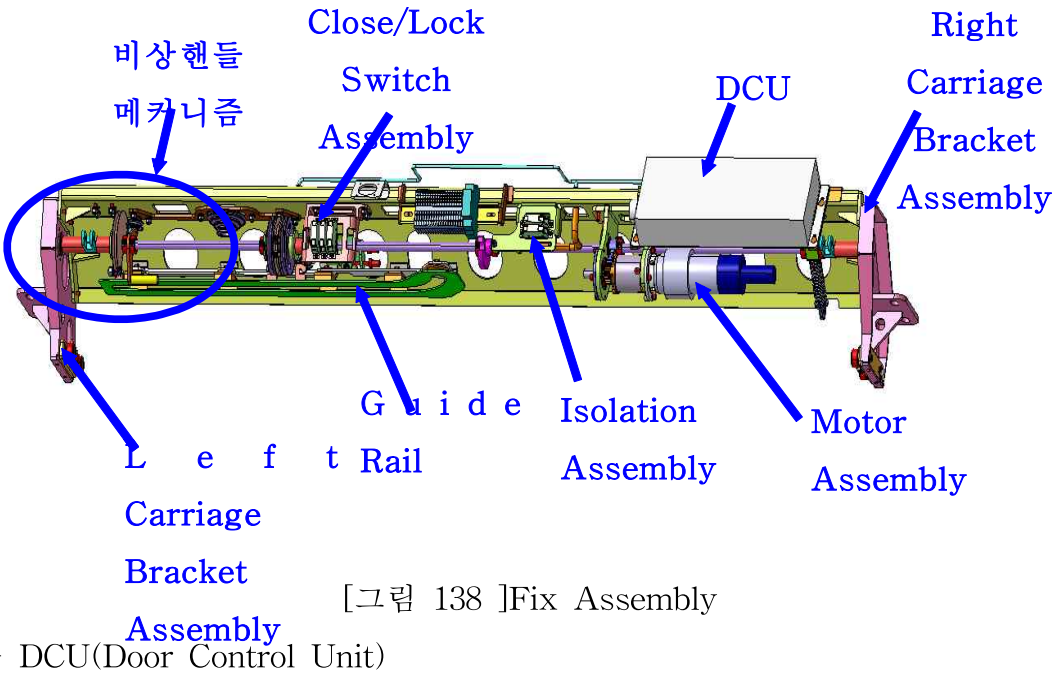
1차년도 연구를 통해 수집된 자료와 기본, 개념 설계된 내용을 바탕으로 도어 시스템의 기구적인 부분과 전기적인 부분의 상세설계를 완료하였음.



[그림 137 ]Maglev Door System

(가) Fix Assembly 상세설계

도어엔진의 플러그 인, 아웃 시 고정되어 있는 Assembly




[그림 138 ]Fix Assembly

- DCU(Door Control Unit)

  차량(TCMS)과의 통신 등 도어시스템을 제어하는 장치

- Left Carriage Bracket

  Fix Assembly의 좌측 블라켓 어셈블리

- Right Carriage Bracket

  Fix Assembly의 우측 블라켓 어셈블리

- 비상핸들 메커니즘

  닫힘 상태에서 비상핸들 동작 시 기구적인 잠김을 해제시켜주는 장치

- Colse, Lock Switch Assembly

  열림, 닫힘 시 DCU에 접점신호를 주는 Close/Lock Switch Assembly

- Isolation Assembly

  기구적 및 전기적으로 시스템을 Isolation 시켜주는 장치

- Motor Assembly

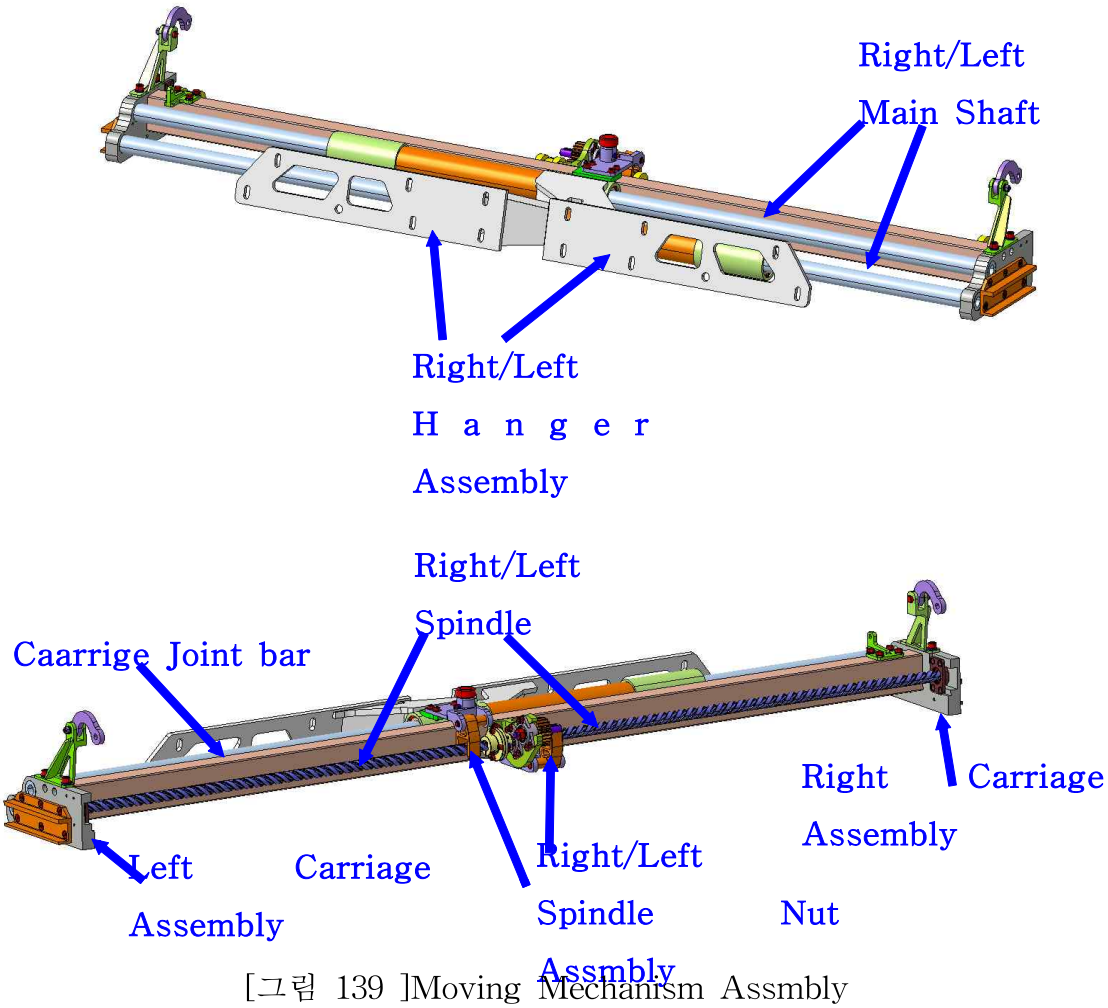
  모터 및 유성기어, 엔코더와 취부 블라켓 등의 어셈블리

- Guide Rale

  도어 판넬 슬라이딩 시 기준이 되는 레일

(나) Moving Mechanism Assembly 상세설계

도어엔진의 플러그 인, 아웃 시 판넬과 함께 움직이는 Assembly




[그림 139 ]Moving Mechanism Assmbly

- Right/Left Carriage Assembly

  플러그 인, 아웃 시 Fix Assembly의 Right/Left Carriage Bracket의 베어링에 의하여 Moving Mechanism Assembly를 전, 후로 이동시킴

- Carriage Joint Bar

  Left, Right Carriage Assembly를 연결시켜주는 알루미늄 압출 제품

- Right/Left Hanger Assembly

  좌, 우측 판넬과 도어엔진을 연결시켜주고 Main Shaft를 이용하여 열림, 닫힘 시 좌우로 도어판넬을 이동시킴

- Right/Left Main Shaft

  Hanger Assembly의 가이드 역할을 함

- Right/Left Spindle

  모터가 회전함에 따라 회전하게 됨

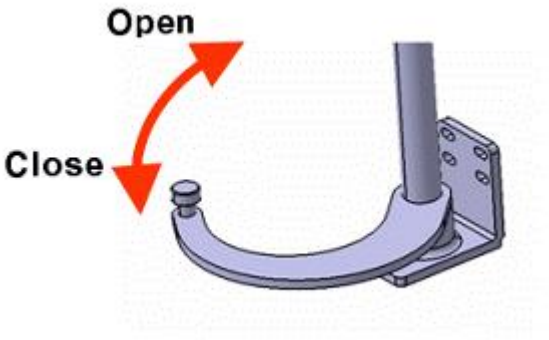
- Right/Left Spindle Nut Assembly

  Hanger Assembly와 연결되어 있으며 Spindle의 회전의 회전 운동을 직선

운동으로 바꾸어 줌

(다) Pillar Assembly 상세설계

Moving Mechanism Assembly의 전, 후 운동을 Fillar의 회전운동으로 아래 그림과 같이 변경하여 베어링을 이용해 판넬 하부를 지지시켜주는 역할을 함

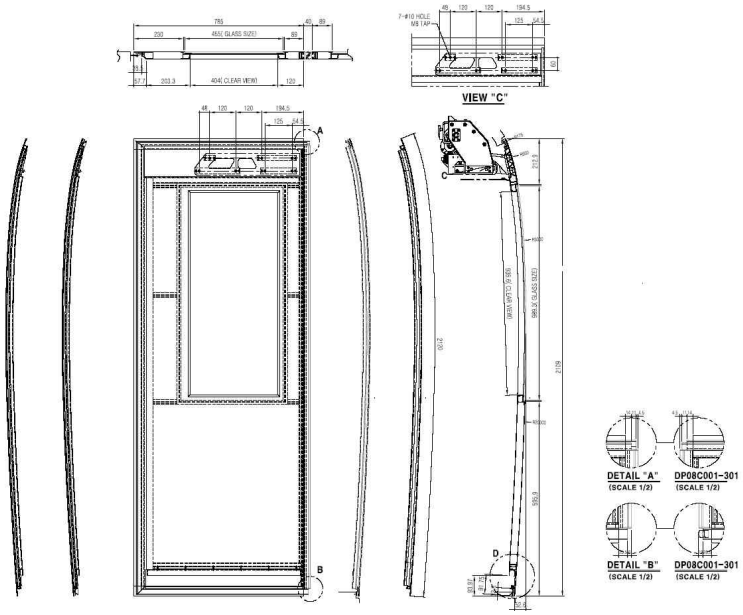



[그림 140 ]Pillar Assembly

(라) 도어판넬

- 기본, 개념설계 시 판넬의 두께 38mm로 설계되었던 부분을 경량화를 위하여 최종 35mm로 확정
- 강화유리 두께 5mm로 확정

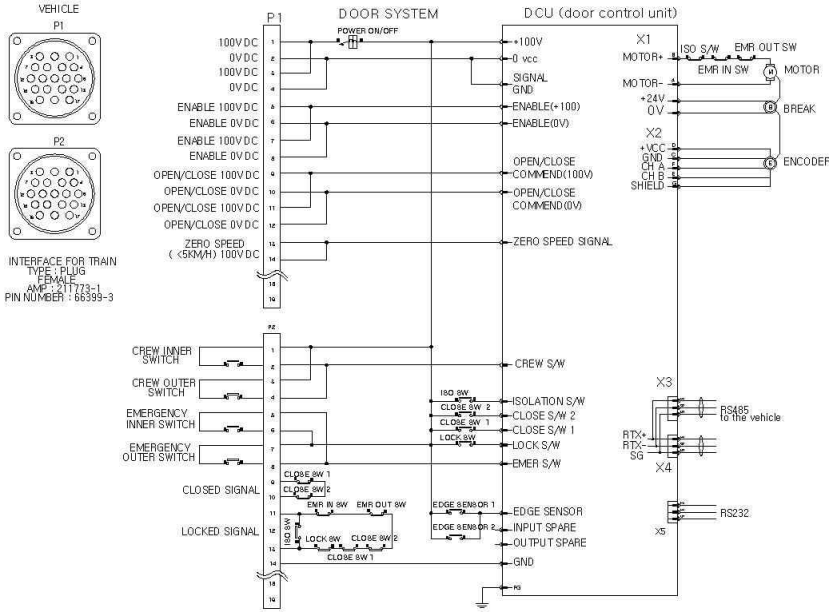
[그림 141 ]도어판넬 형상




[그림 142 ]도어판넬 도면

(마) 전기부분 상세설계

- 차량제작사와 인터페이스 협의 후 DCU의 Input과 차량 측의 Output을 DCU의 기능에 맞추어 설계함
- 추후 차량 측의 전기배선이 변경될 여지가 있어 각 부분에 여유(스페어)를 두고 설계 반영함




[그림 143 ]자기부상 도어시스템 전기회로도

(바) 성능 개선을 위한 각 부품 시제품 개발

- 시스템의 소음 감소 및 중량감소, 내구성 향상을 위한 주요 부품 시제품 개발
- 기어 및 베어링, Spindle Nut 등 소음에 민감한 부품들 성능 개선

[그림 144 ]자기부상 도어시스템에 적용될 플라스틱 기어, 베어링 시제품

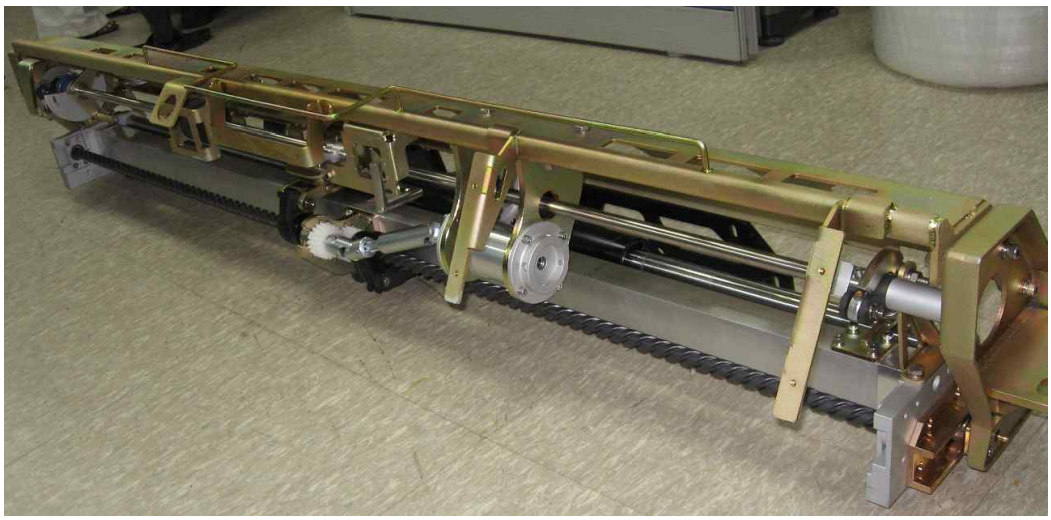
(사) 중량 저감

플러그 도어시스템에 비해 과도한 목표중량을 부여받아(해외 경량화 된 도어시스템의 경우에도 약 160Kg 정도임) 목표 실적치는 달성하지 못하였으나 여러 부분 경량화를 진행하여 기존 시스템 대비 약 25% 경량화 (첨부[2-1_에이디에스레일(협)-11] 참조)

- 기본적인 구조를 개선
- 각 단품의 최적설계를 통하여 고중량 부품(Main shaft 및 Plug shaft rod, Plug track 등) 중량 저감
- 플러그 동작 시 유성기어에 의해 180도 회전하는 Plug shaft rod에 연결된 모든 단품(기어류 및 풀리류) 검토하여 필요없는 부위 제외하여 단품 설계
- 각 단품 재질 검토하여 저중량 재질로 변경(고분자 플라스틱 등 적극 활용)
- DCU 크기 및 중량 감소
- 도어판넬 두께 38mm에서 35mm로 변경하고 Glass 두께 5mm로 변경하여 중량 감소
- 휠러 및 하부시스템 구조 변경하여 중량 감소

(5) 도어시스템 제작(시험용)

Inno trans 2008 국제철도 차량박람회에 출품한 자기부상열차의 도어엔진 1Set, 도어판넬 2Set, DCU 1Set 시제품 제작하여 적용함



[그림 145 ]자기부상열차 도어엔진 기구부

[그림 146 ]Inno Trans 2008 차량박람회
출품차량 적용

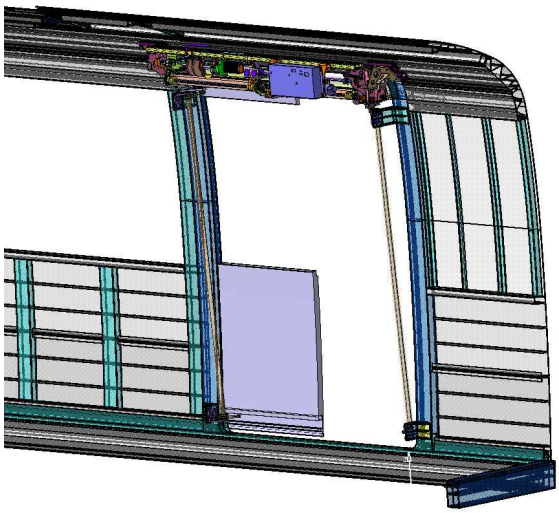
[그림 147 ]Inno Trans 2008 차량박람회
출품차량의 도어시스템 열림, 닫힘 모습

(6) 초도편성분 제작

(가) 도어시스템 시제품 피드백

1차년도, 2차년도 연구를 통하여 제작된 시제품을 고신뢰성, 경량화, 유지보수 편의에 중점을 두어 피드백 및 차량과의 인터페이스 협의 진행하여 설계 변경 완료

[그림 148 ]도어시스템 설계 모델링



[그림 149 ]도어시스템 취부 모델링

(나) RAMS 관련

RAMS Guideline에 제시된 RAMS 목표를 만족시키고 도어시스템의 고신뢰성에 대한 기술적 방안을 확보하기 위하여 아래 항목 수행 및 자료 제출

- 위험성 분석(Hazard Analysis)
- 고장 유형, 결과 및 치명도 분석(FMECA)
- 신뢰성 분석(Reliability Analysis)
- 정비성 분석(Maintenance Information)

자기부상열차 운행 시 도어시스템 개발의 최종 목표인 고 신뢰성 확보를 위하여 도어시스템으로 인한 위험 요소를 분석함. 각 단품에 대한 신뢰성 분석 자료에  기반한 고장 유형, 결과 및 치명도 분석을 실시하고 이로 인한 위험 요소를 예방하기 위하여 필요한 예방 정비 일정 및 임무에 대하여 분석을

실시하였고 RAMS 분석을 통하여 자기부상열차 운행 시 발생할 수 있는 고장에 대하여 그 원인 및 결과를 짧은 시간 내에 확인할 수 있어 열차 지연을 최소화 할 예정임.

다음은 신뢰성 분석 자료 중 도어시스템의 주요 Assembly인 Over center Assembly 고장에 대한 RAMS 분석자료이고 하기와 같이 시스템에 적용되는 모든  단품 및 어셈블리에 대한 분석을 상기 4종류의 시트에 정리, 분석함.

1) 위험 요소 분석

위험 식별 번호: HL007

위험 발생 장치: 출입문 장치

위험 설명: 승객이 차량에서 떨어짐

발생 가능 요인:

- 잠김 메카니즘 고정자 풀림
- 기계적인 고장: 도어 작동 중 도어 고착
- 기계적인 파손

영향: A. 인명: 사망 또는 중상, B. 차량: 출입문 결함,
C. 시스템: 주요서비스 운행 지연

저감 대책:

- 열림, 닫힘 내구성 테스트
- DCU와 TCMS에 의한 출입문 개폐상태 모니터링 설계
- 출입문 예방 정비 실시

2) 부품 신뢰성 예측자료에 기반한 고장 유형, 결과 및 치명도 분석

항목: Right over center assembly

기능: 도어 닫힘 시 기계적으로 도어시스템을 잠금 시킴

고장 모드: Plug shaft rod와의 체결부 이탈

도어시스템에 미치는 영향: 기계적으로 도어 잠금 기능 불가능

시스템에 미치는 영향

: 오른편 도어 잠김 기능이 상실되나 Redundancy 설계 및 해당 도어 Isolation 후 차량운행 가능, Isolation된 도어로 인해 승객의 불편이 예상됨

항목 고장률: 0.0016건/1,000,000시간

차량 당 수량: 4

편성 당 수량: 8 (2량 1편성 기준)

항목 고장률에 대한 고장모드 비율: 60%

빈도: D

심각성: III

예방/교정 정비활동: 6개월마다 검사/체결부 재작업

3) 위험요소에 대비한 정비성 분석

항목: Right Over center

유지보수임무: Plug shaft rod 와의 체결 상태 및 회전 시 정위치 확인

유지보수임무 코드: IN

유지보수 빈도: 20,000Km

유지보수 수준: Ins-PM (경정비)

필요 인원: 1명

필요 재능 수준: G (일반)

(다) 초도편성 제작 (8Set)

1) 1편성 8 Set분의 도어시스템 제작 후 공급 (2009. 8. 21 이전 공급예정)

2) 도어시스템 각 매뉴얼 작성

- 운용/유지보수 매뉴얼, 도어시스템 취부절차서, 도어시스템 파트 카달로그

[그림 150 ]제작 진행 중인 도어판넬

(7) 구성품 기능 및 형식시험

제작된 시제품을 대상으로 제출된 형식시험 절차서를 기준으로 기능 및 형식시험 실시 (2009년 6월 12일 완료)

1) 도어 오퍼레이터 어셈블리 시험

절연저항 시험, 내전압 시험, 배선 연속성 시험, 접지 연속 시험

[그림 151 ]도어 오퍼레이터 어셈블리 시험

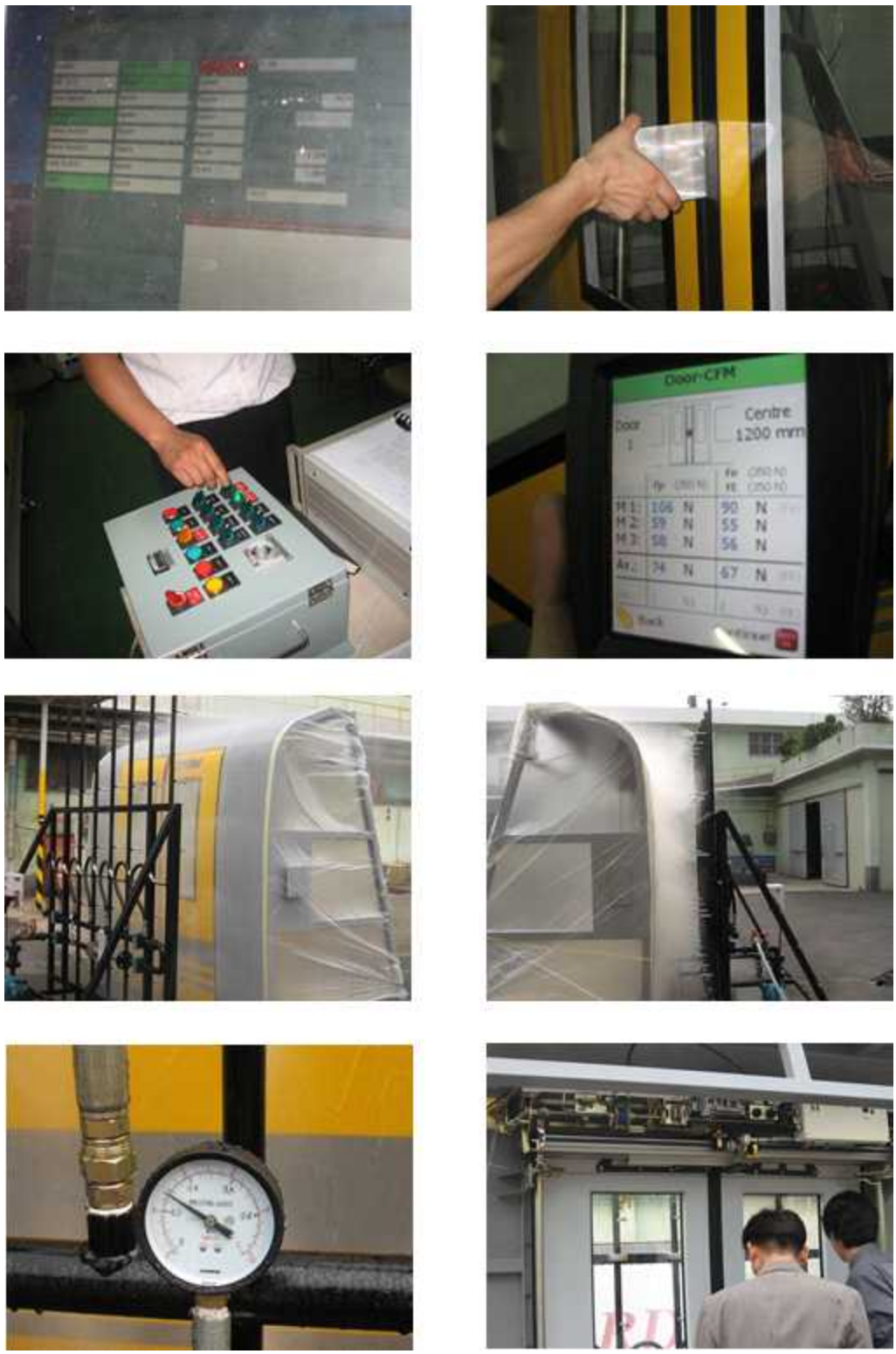
2) 기계적 기능 및 성능 시험

도어 수동 작동력 시험, 도어 개폐거리 시험, 내/외부 비상해제 장치 시험

[그림 152 ]기계적 기능 및 성능 시험

3) 시스템 기능 및 성능 시험

도어 닫힘/잠금 스위치 시험, 장애물 감지 시험, 장애물 감지 힘 측정 시험, Isolation 시험, Zero Speed 시험, Crew Switch 시험, 누수시험




[그림 153 ]시스템 기능 및 성능 시험

4) 전기적 시험

최소 전압 작동 시험, 최대 전압 작동 시험, 소비 전력 시험, 역전압 시험

[그림 154 ]전기적 시험

5) 판넬 시험 및 진동/환경/EMC/EMI 시험

시험 인증기관 확정 후 실시 예정

(8) 200만회 내구성 시험

형식시험 완료 후 도어시스템의 성능 및 신뢰성을 입증하기 위하여 200만회 내구성 시험을 실시 (2009년 8월 말 시작 예정, 약 16개월 소요)

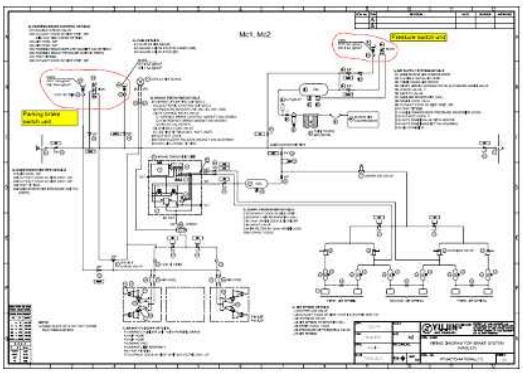
## 바. 경량/모듈화 제동시스템 및 연결기 개발 (유진기공산업-협동)

(1) 1차년도 연구개발 내용 및 결과

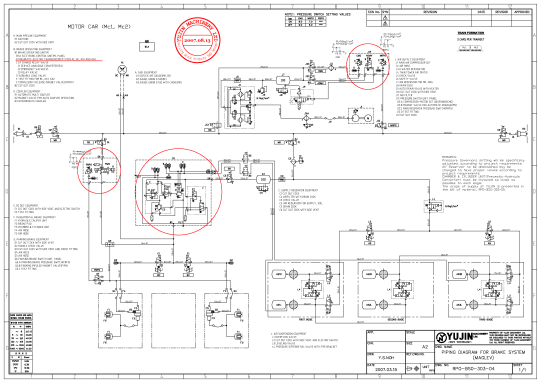
(가) 기존 시스템과의 비교

1) 제동 Piping diagram의 변경

시스템의 경량화 및 모듈화를 위하여 각각의 장치를 모듈화 설계로 진행하도록 Piping diagram을 변경하였다.



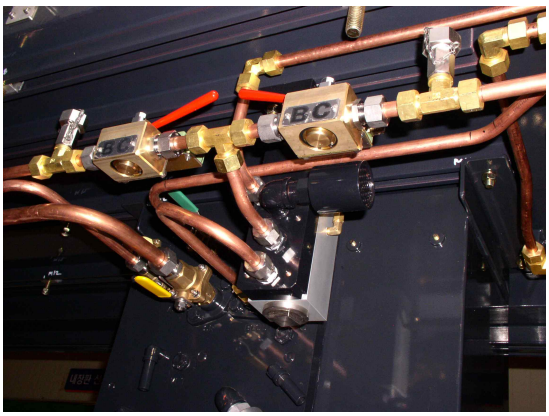
[그림 155 ]기존의 Piping diagram



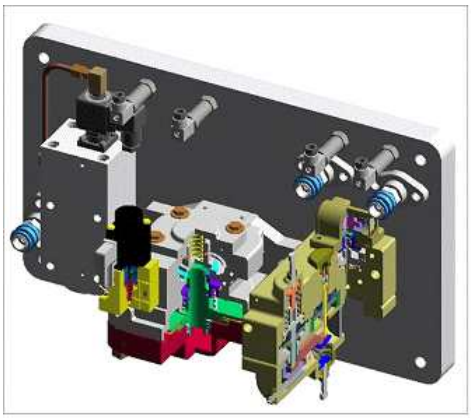
[그림 156 ]변경된 Piping diagram

2) 공기제동장치

공기제동장치는 아래 그림과 같이 Panel 형식으로 설계변경하여 중량을 대폭 줄인 경량화 모델을 적용한다.



[그림 157 ]기존의 공기제동장치



[그림 158 ]변경된 공기제동장치

**Proto 제작**

㈎ 선회/고정 Scroll Sample 제작.

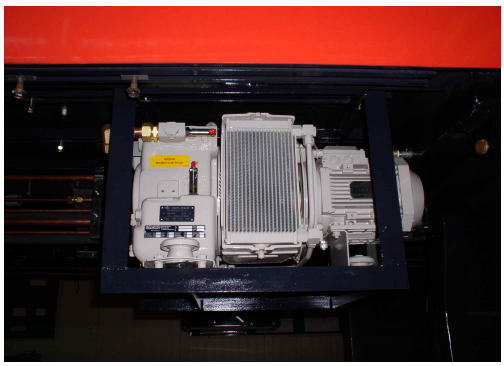
**Proto 기능 시험**

㈎ 온도 및 회전수 측정 .

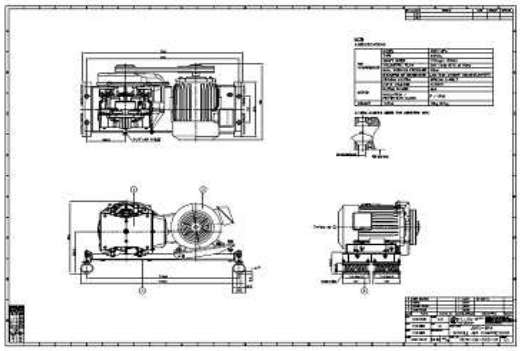
3) 공기압축기

공기압축기는 급유방식에서 무급유 방식으로 변경하여 유지보수 및 각 장치에 대한 전생에 유지보수 비용을 경감할 수 있도록 하였다.

무급유 공기압축기는 향후 정량적인 결과를 도출할 수 있도록 관리되어야 하며, 여러 가지 이점이 있을 것으로 예상되고 있다.



[그림 159 기존의 공기압축기 모델]



[그림 160 변경된 공기압축기 모델]

공기압축기는 1량에 1Set씩 설치되며, 공기압축기의 용량은 분당 350리터 수준이 된다.

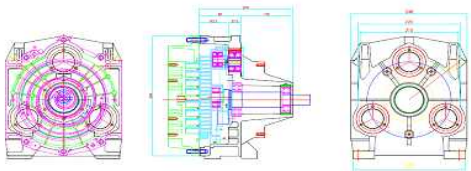
**Sample 분석**

㈎ 토출 공기용량 시험(Sample).

㈏ 토출용량 : 350리터/분.

**Proto 설계**

㈎ Scroll block 설계.



[그림 161 ]공기압축기 용량 시험 및 Scroll profile 설계

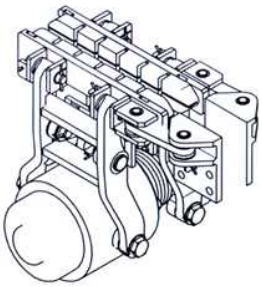
4) 공유압변환기 및 캘리퍼 장치

공기실린더 방식에서 공유압변환기를 사용하는 방식으로 변경되며, 유압실린더를 적용하여 경량화를 도모하였다.

**기존 설계 내용**

㈎ 공압식 8″ 실린더 & 캘리퍼 장치.

㈏ 주차제동 일체형.



**개발 진행 내용**

㈎ 리니모사 유압 캘리퍼 분석.

㈏ 아케보노사 제품 특허 검색 및 제품 샘플 구매 검토 중.

㈐ 공유압 변환기 자료 검토중.

[그림 162 ]캘리퍼 장치의 비교

5) 연결기시스템

연결기시스템은 기존 차량의 경우 중간연결기만 적용되어 있으나, 도시형자기부상실용화 차량에는 전두부연결기를 적용하여 고장 시 차량을 구원할 수 있도록 하였으며 중간연결기도 경량화 모델을 적용하였다.

**기존 설계 내용**

㈎ 수입품 적용.

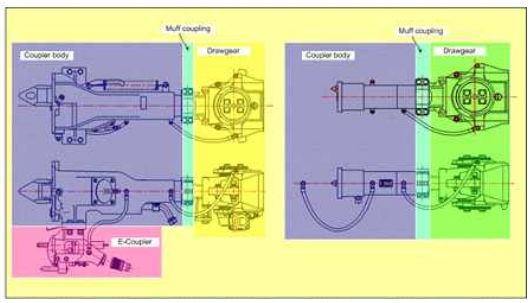
㈏ 중간연결기만 설치되어 있음.

㈐ 중간연결기 중량 약 150kg.

**개발 진행 내용**

㈎ 차량의 강도(200kN) 기준 적용.

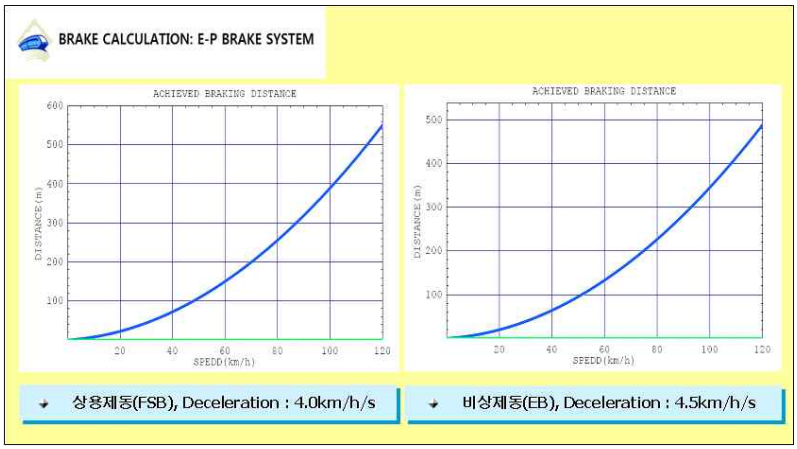
㈏ 완충장치 변경(110kg -> 55kg).




[그림 163 ]연결기시스템의 비교

(나) 제동성능 계산

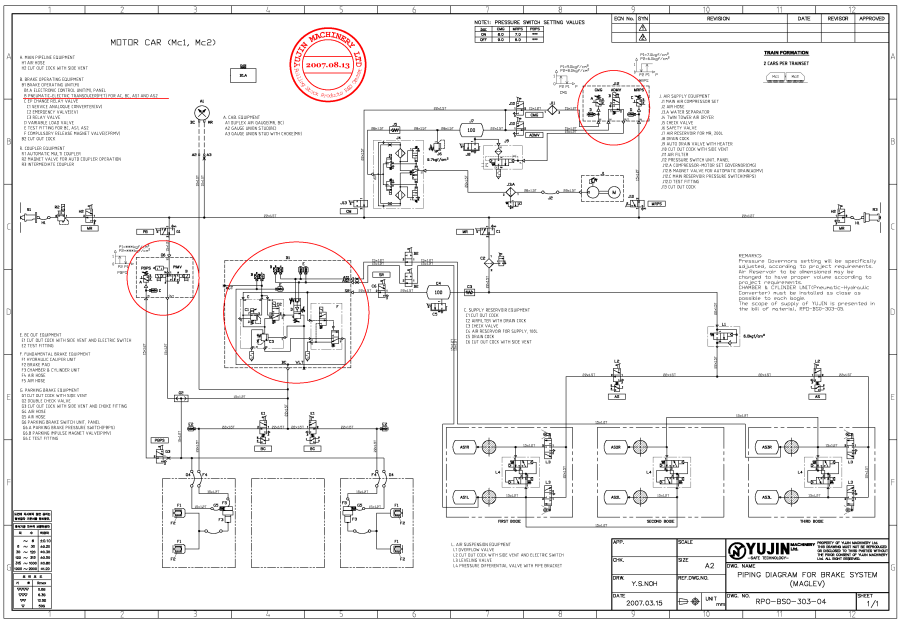
자기부상열차에 대한 제동계산결과 상용제동의 경우 제동거리는 466m, 비상제동의 경우 제동거리는 413m로 예상된다.




[그림 164 ]공기제동 성능계산 결과

(다) 제동 Piping diagram 작성

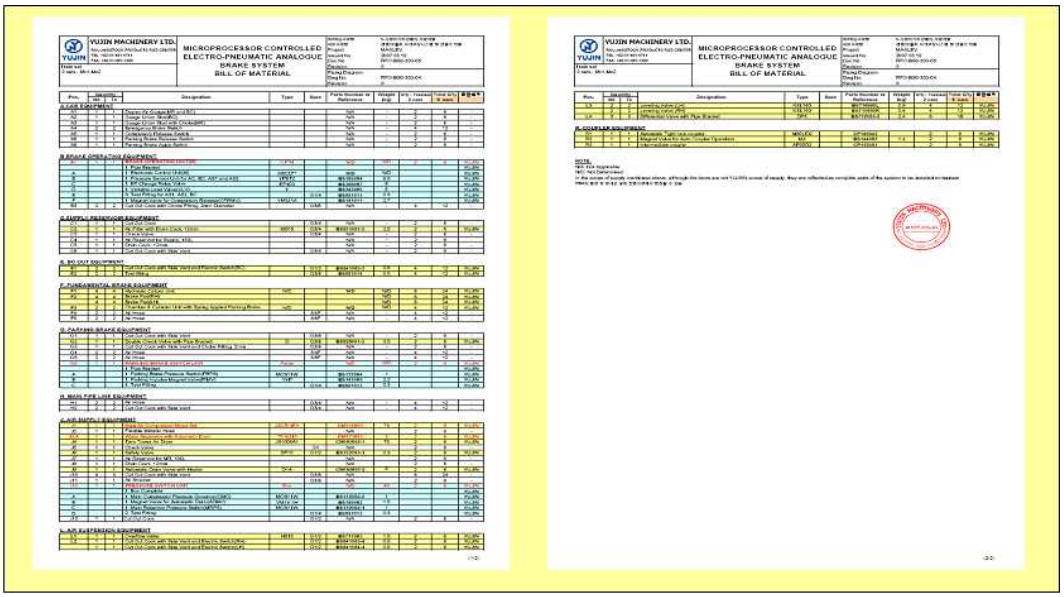
공기제동시스템을 구성하는 기본 Piping diagram을 작성하였다. Piping diagram은 공기제동시스템의 구성 및 흐름을 확인할 수 있다.




[그림 165 ]제동 Piping diagram 작성

(라) 제동 BOM 작성

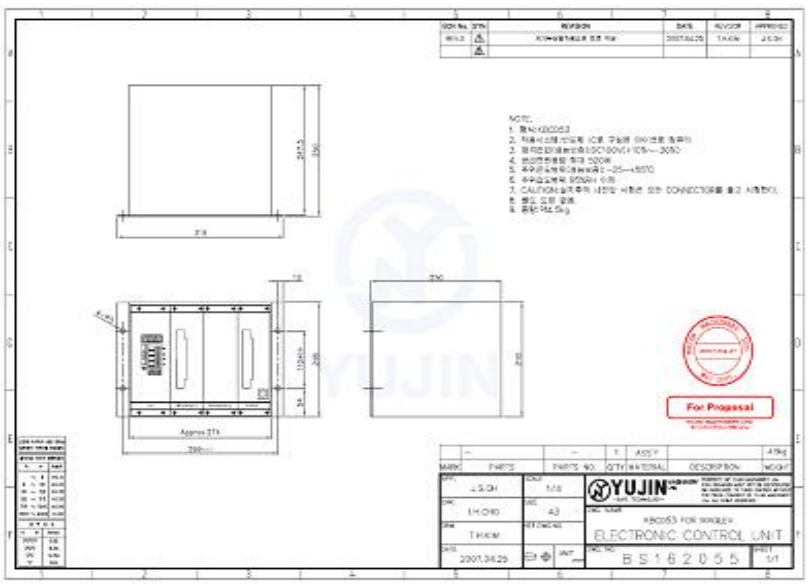
제동 Piping diagram에 따라 구성품을 나열하면 BOM을 작성할 수 있으며, Piping diagram과 BOM은 항상 동기화되어야 한다.



[그림 166 ]도시형자기부상열차용 BOM 작성

(마) 제동전자제어장치 일반도 작성

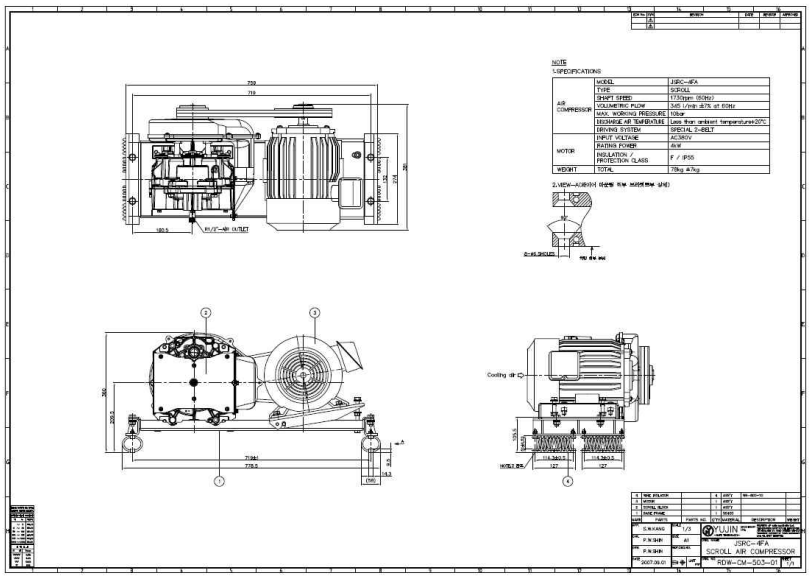
제동전자제어장치는 공기제동장치에서 별도로 구성되어 차량의 내부에 설치될 수 있도록 구성하였다.



[그림 167 ]제동전자제어장치 일반도 작성

(바) 공기압축기 일반도 작성

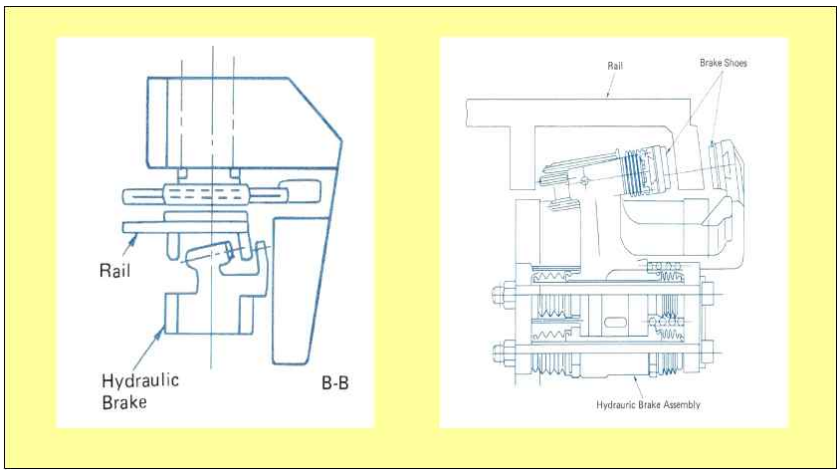
공기압축기는 Oil free 형식의 공기압축기로 중량, 소음 측면에서 강점이 있으며, 직기동 방식을 적용하였다.



[그림 168 ]무급유 방식 공기압축기 일반도

(사) 유압캘리퍼 설계검토

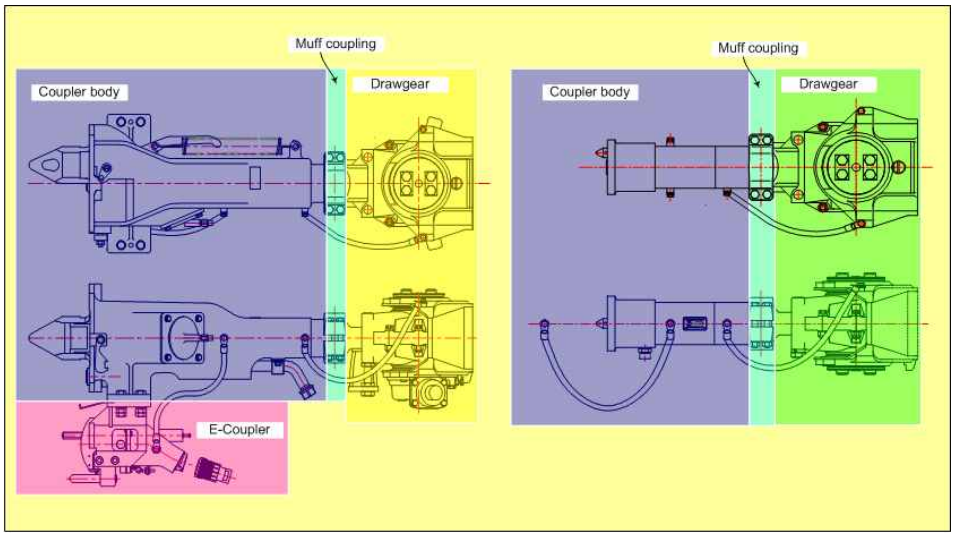
유압캘리퍼는 일본 Linimo에 적용된 설계내용을 Bench marking 하여 개발을 진행하고 있으며 기본적인 작동 메커니즘은 다음과 같다.




[그림 169 ]유압캘리퍼 작동방식 조사

(아) 연결기시스템 기본 설계

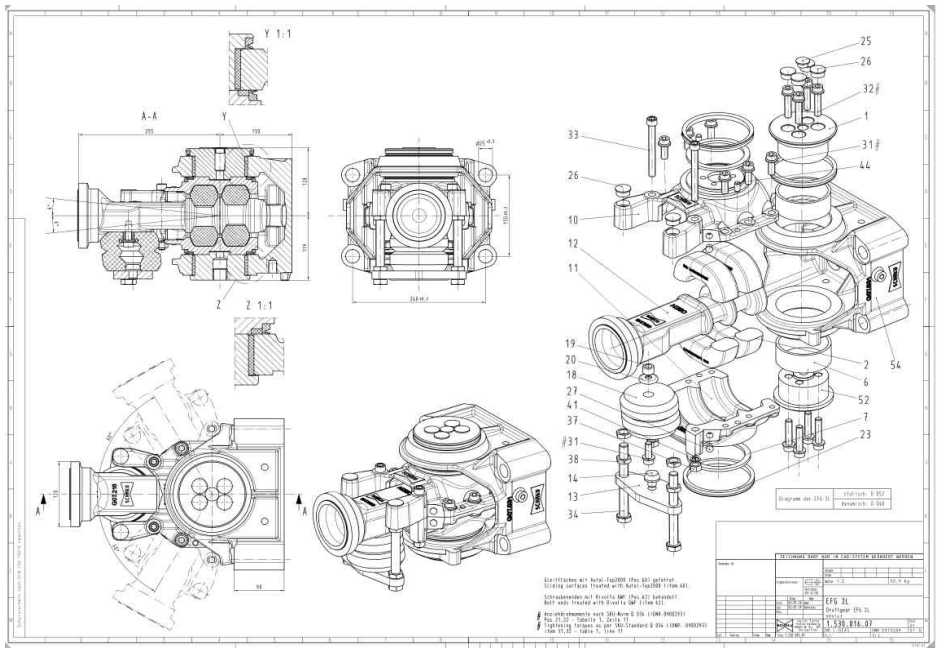
연결기시스템은 200kN 압축강도 기준에 따라 설계되었으며, 완충장치는 차량의 승차감 및 주행안전성을 고려한 모델이 적용되었다.




[그림 170 ]연결기 모델

(자) 연결기 완충장치 일반도

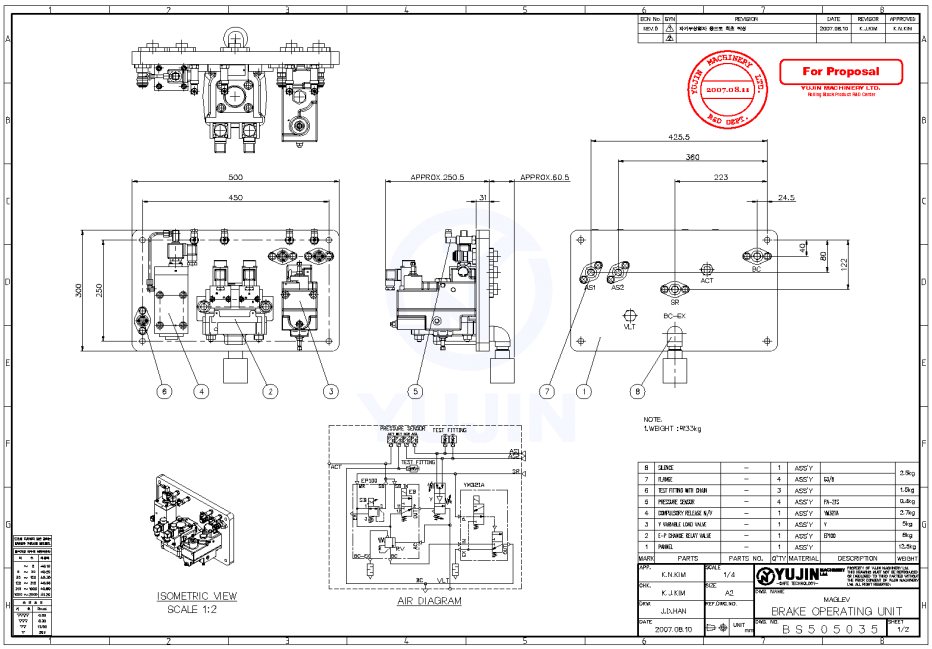
연결기 완충장치는 마찰소음이 발생하지 않는 모델을 적용하여 차량의 승차감 및 주행시 발생하는 비틀림 하중에 대응할 수 있도록 하였다.



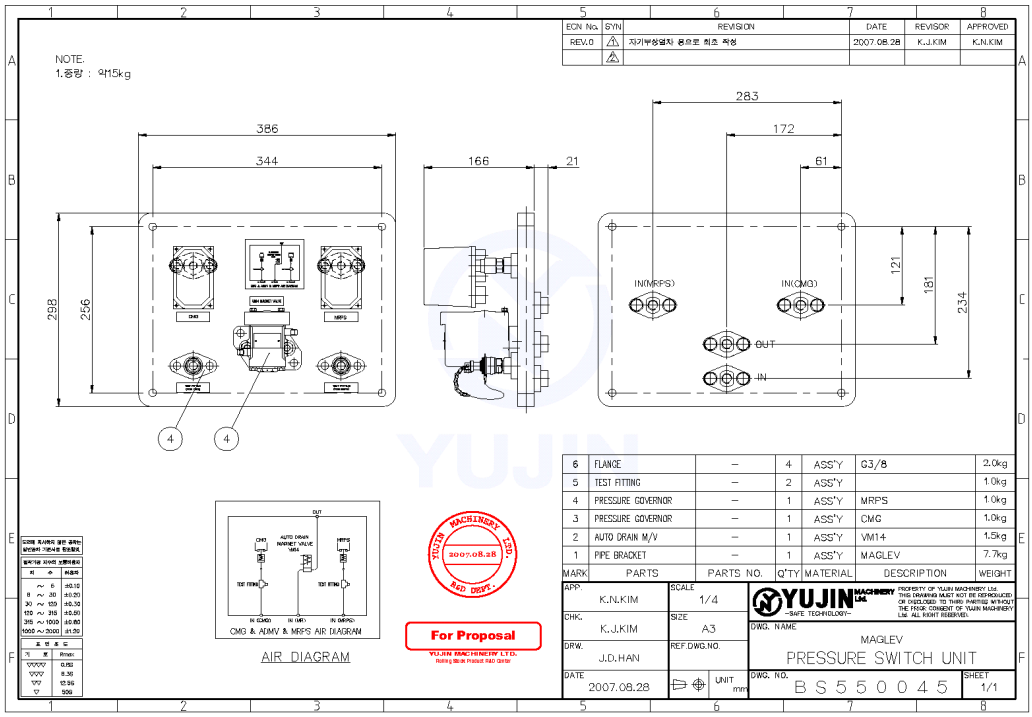
[그림 171 ]연결기 완충장치 일반도

(차) 공기제동장치 기본설계

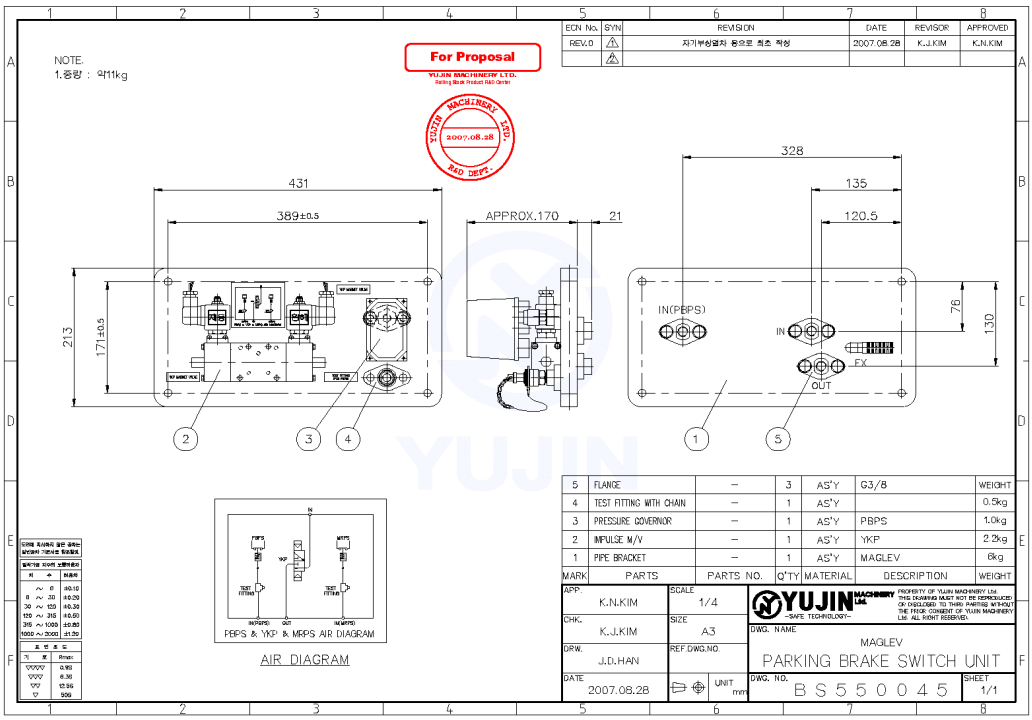
공기제동장치는 제동전자제어장치와 분리하여, 경량화 모델로 설계하였으며, 압력 스위치 유니트와 주차제동용 스위치 유니트를 모듈로 구성하였다.




[그림 172 ]공기제동장치 일반도




[그림 173 ]압력스위치 유니트 일반도

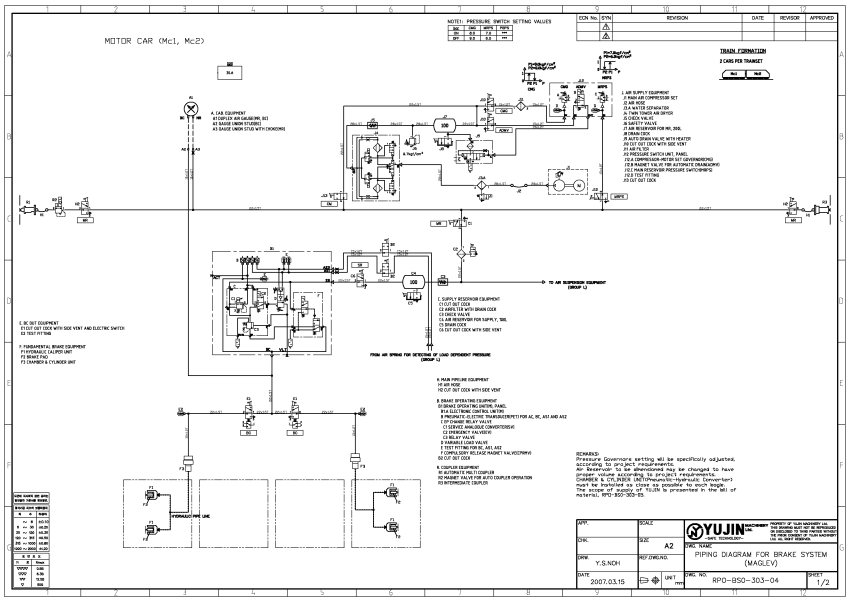



[그림 174 ]주차제동 유니트 일반도

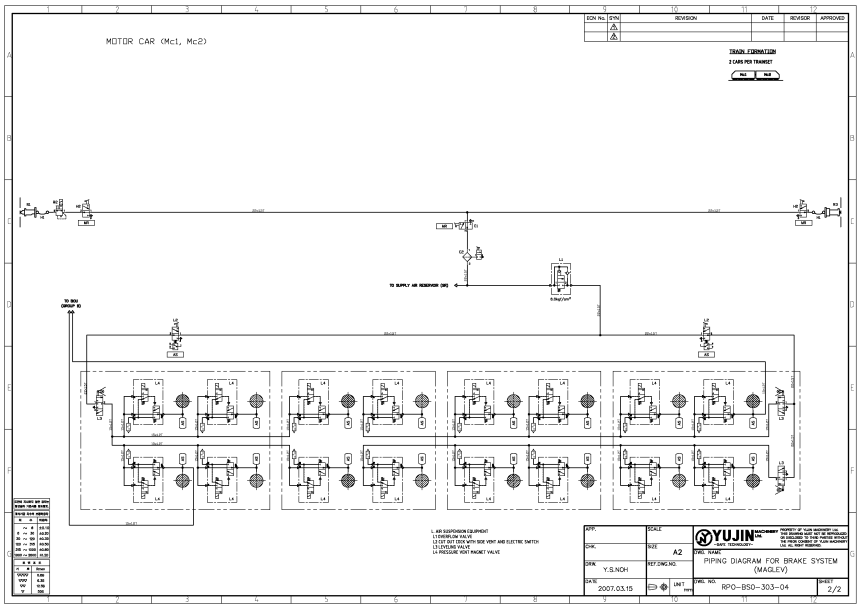
(2) 2차년도 연구개발 내용 및 결과

(가) 개발품 도면 목록

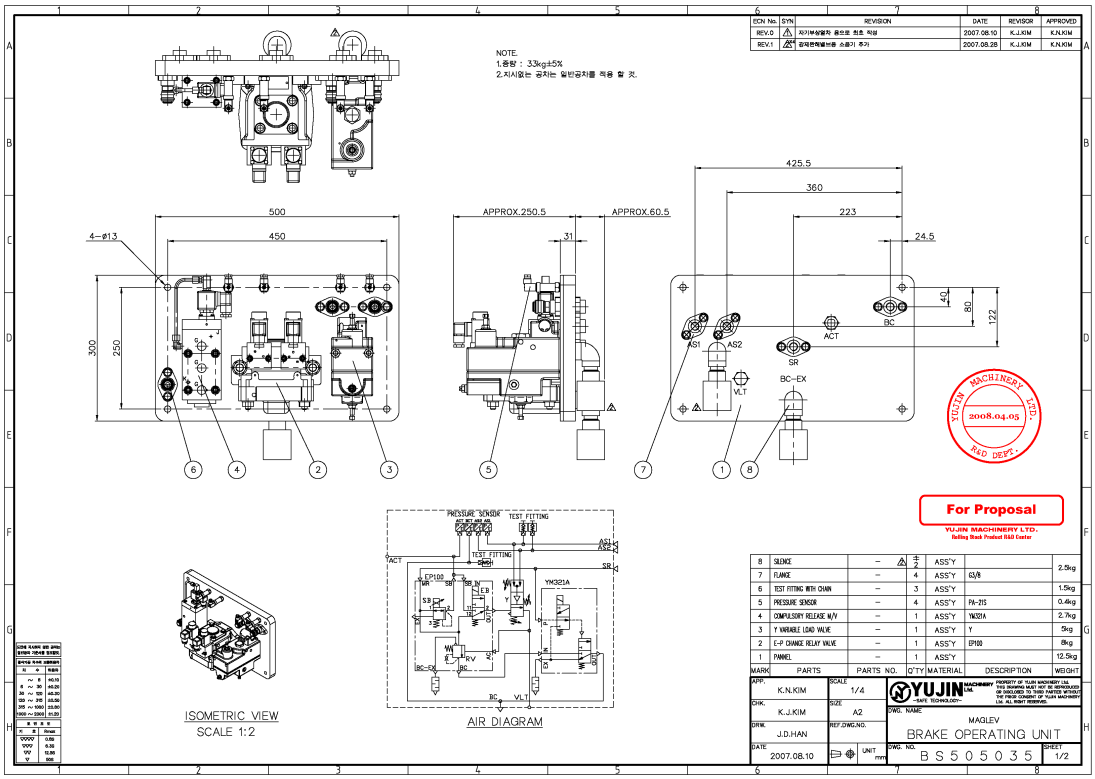
2차년도 연구진행결과에 따라 Piping diagram, BOM, 일부 장치 변경이 발생하였다. 변경내용은 차량의 중량절감을 위하여 변경된 사항과, 인터페이스(취부공간) 문제로 변경된 경우가 있으며, 2차년도 까지 확정된 장치의 도면은 다음과 같다.



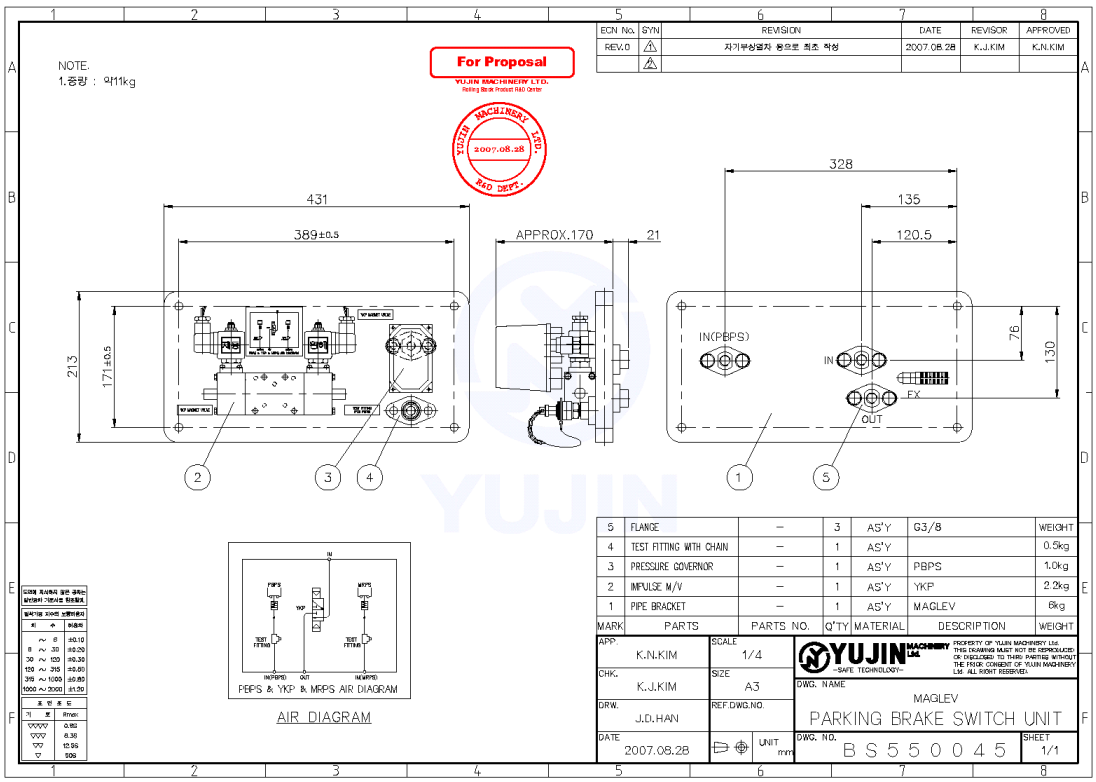

[그림 175 ]제동시스템 Piping diagram 수정본 - (1)



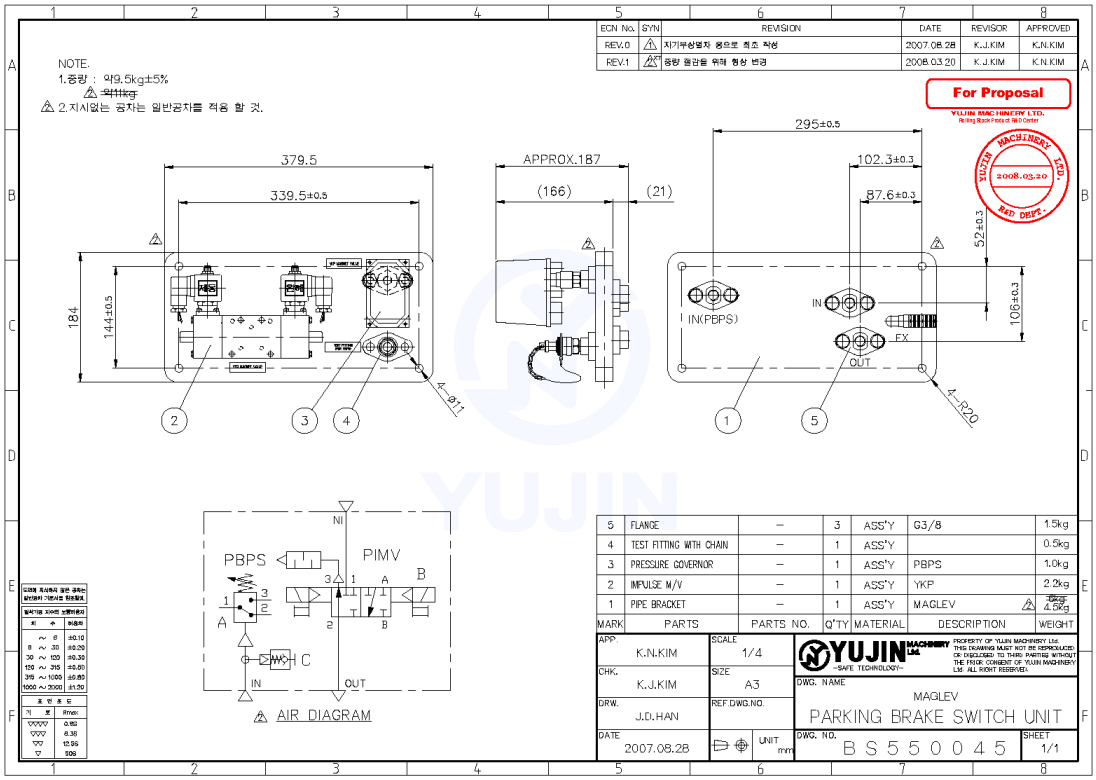

[그림 176 ]제동시스템 Piping diagram 수정본 - (2)



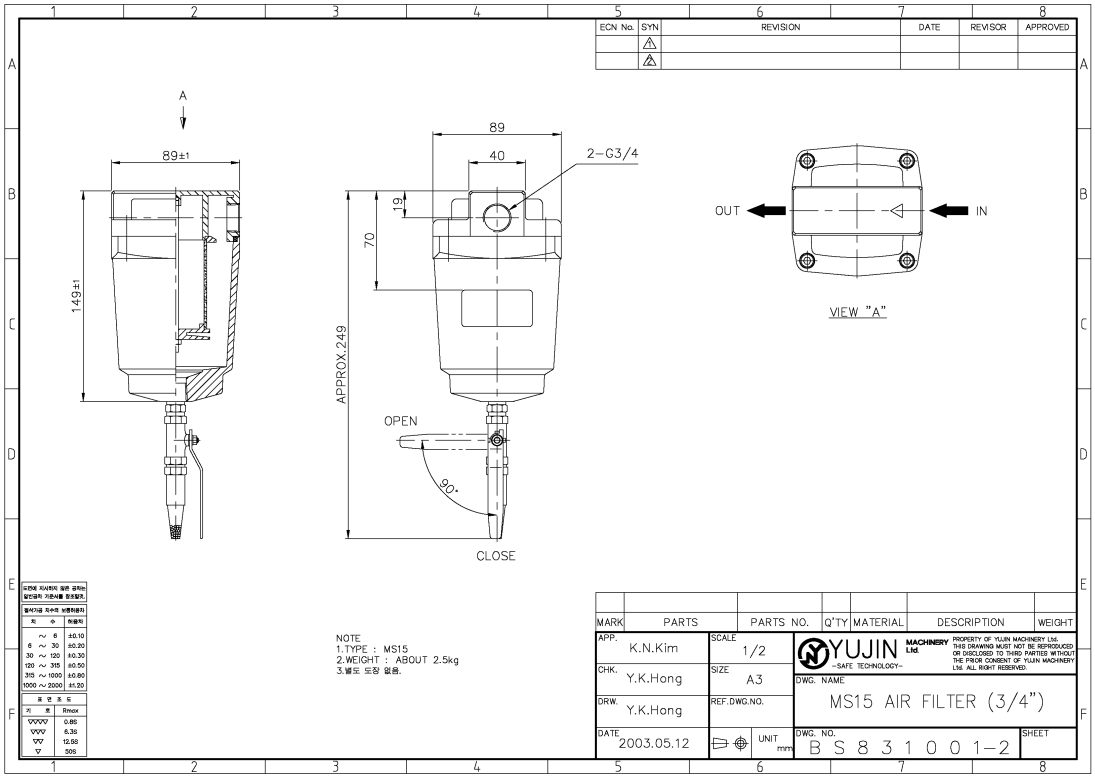

[그림 177 ]공기제동장치 일반도



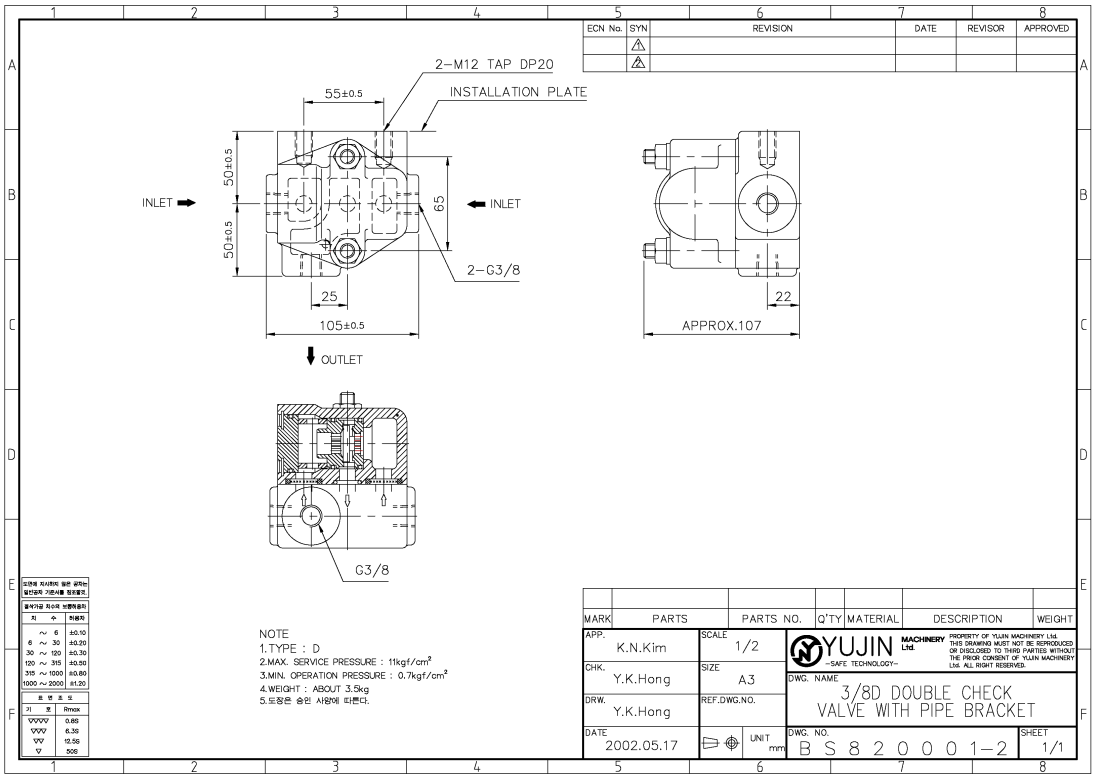

[그림 178 ]압력스위치 유니트 일반도 - (취부 공간문제로 단품으로 진행)



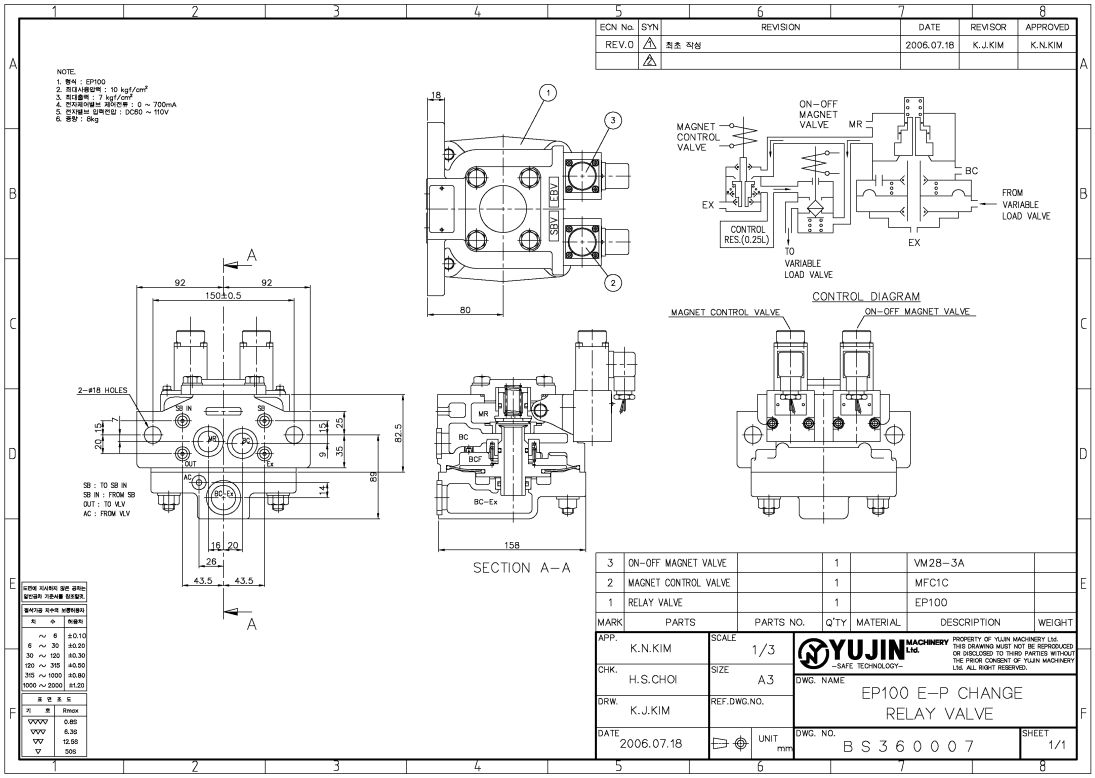

[그림 179 ]주차제동 유니트 일반도 - (취부 공간문제로 단품으로 진행)



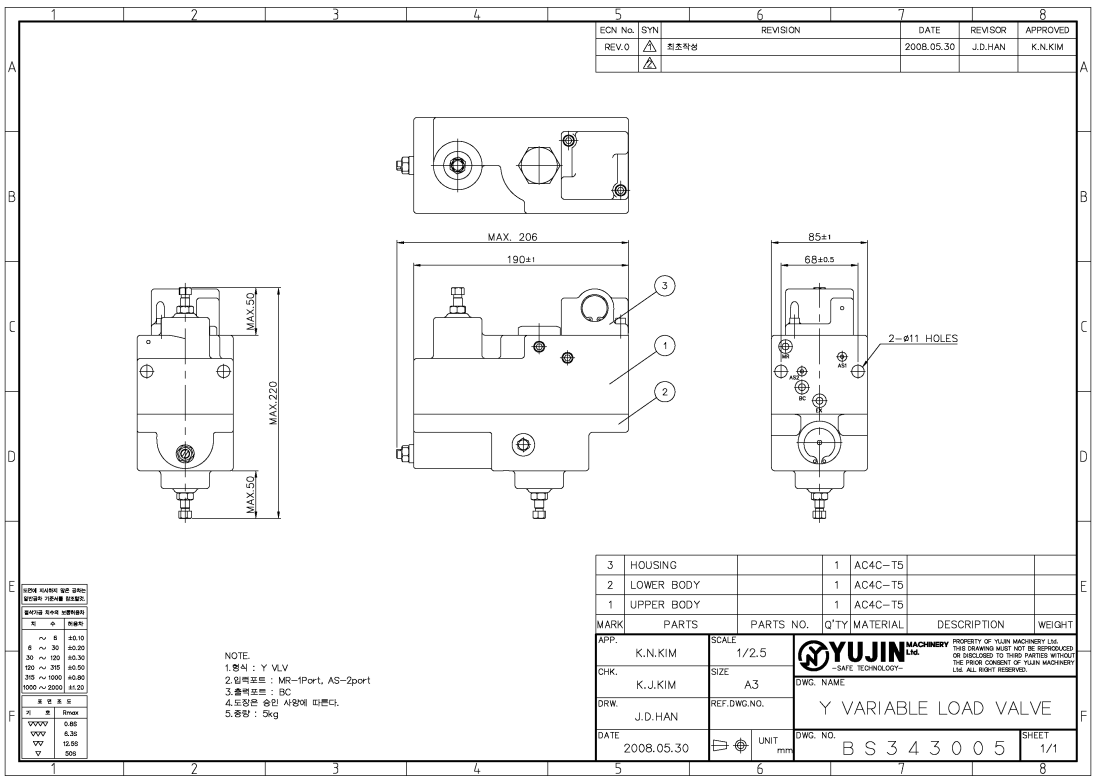

[그림 180 ]공기필터 일반도



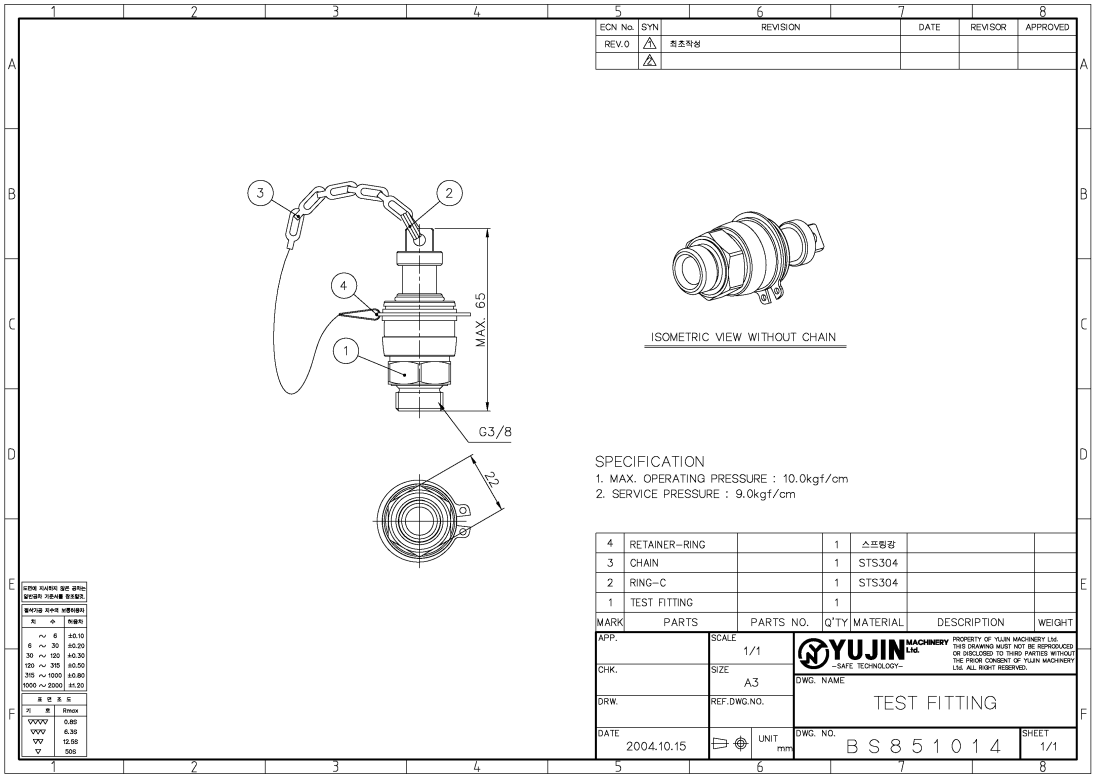

[그림 181 ]복식체크밸브 일반도



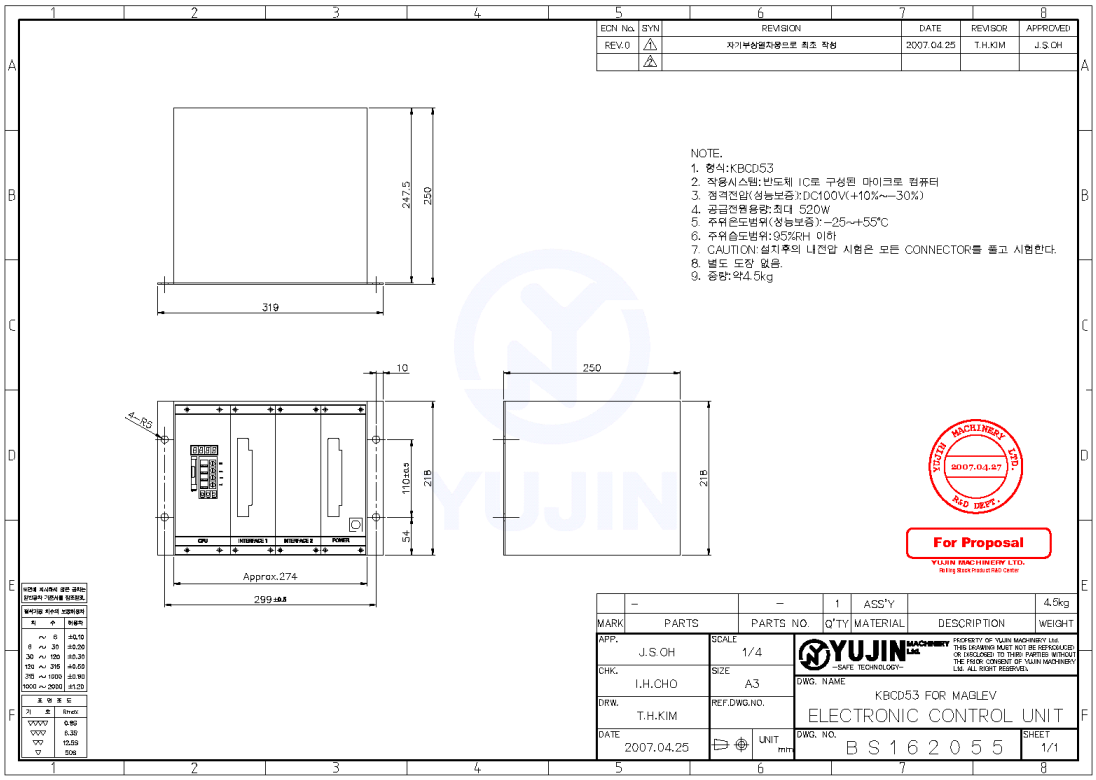

[그림 182 ]전공변환밸브 일반도



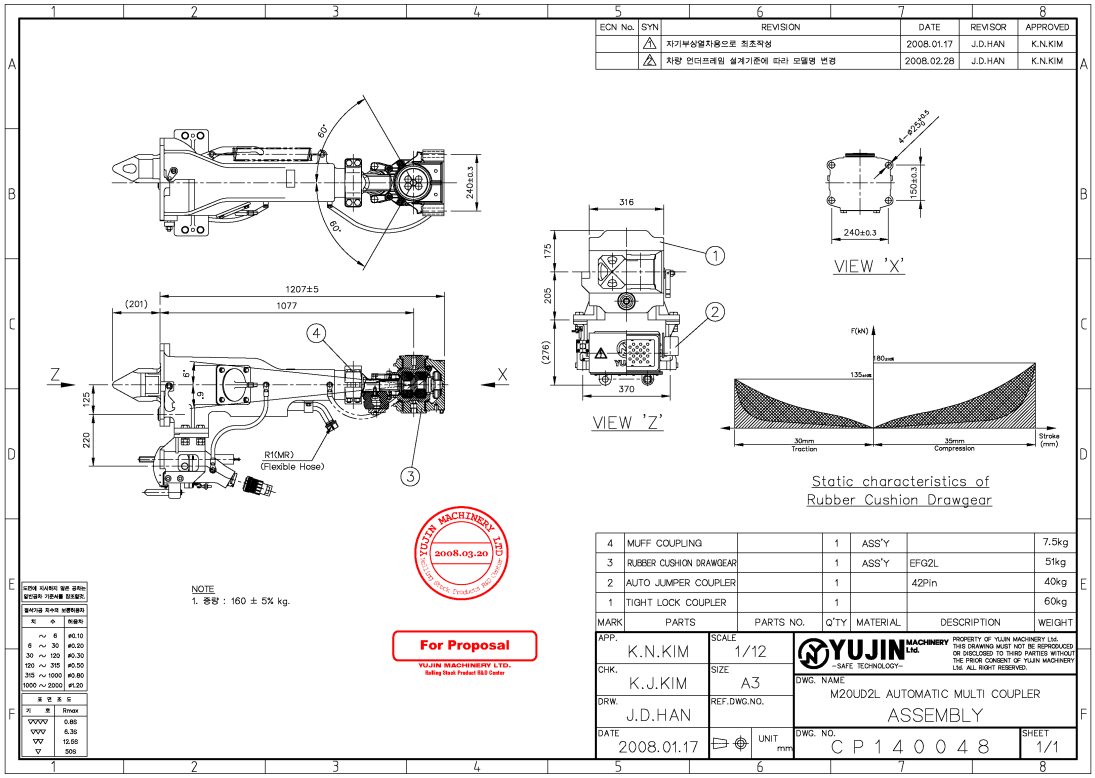

[그림 183 ]응하중밸브 일반도



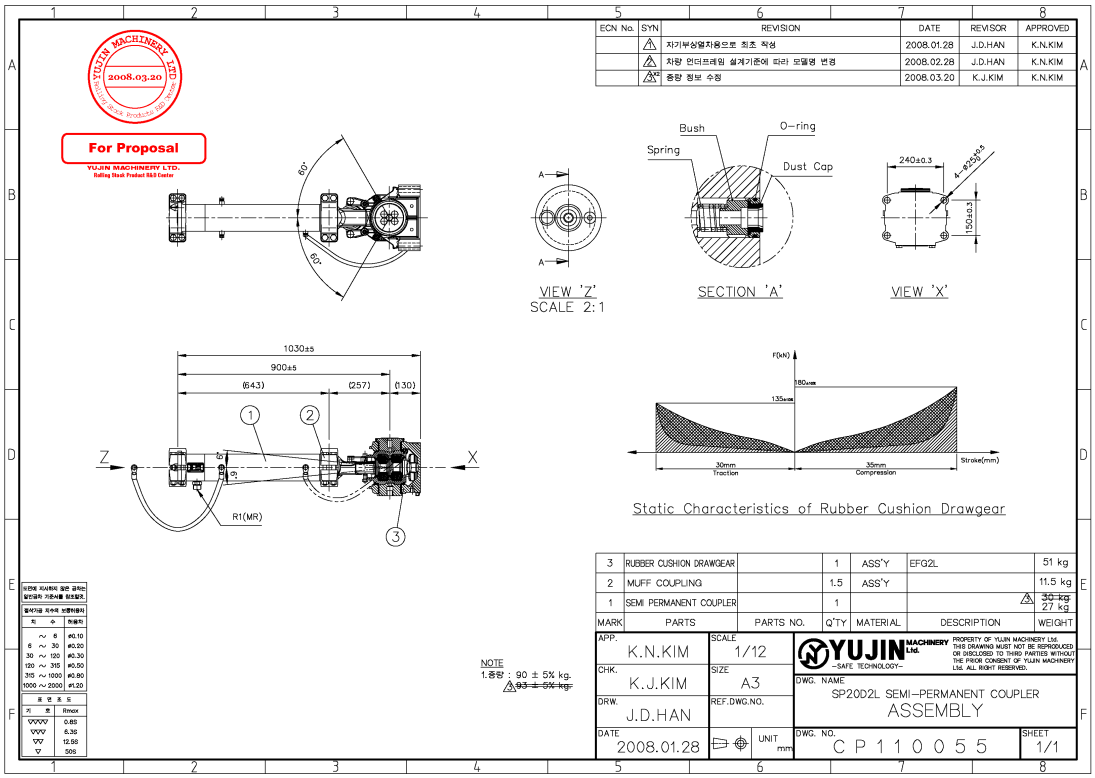

[그림 184 ]압력 점검구 일반도



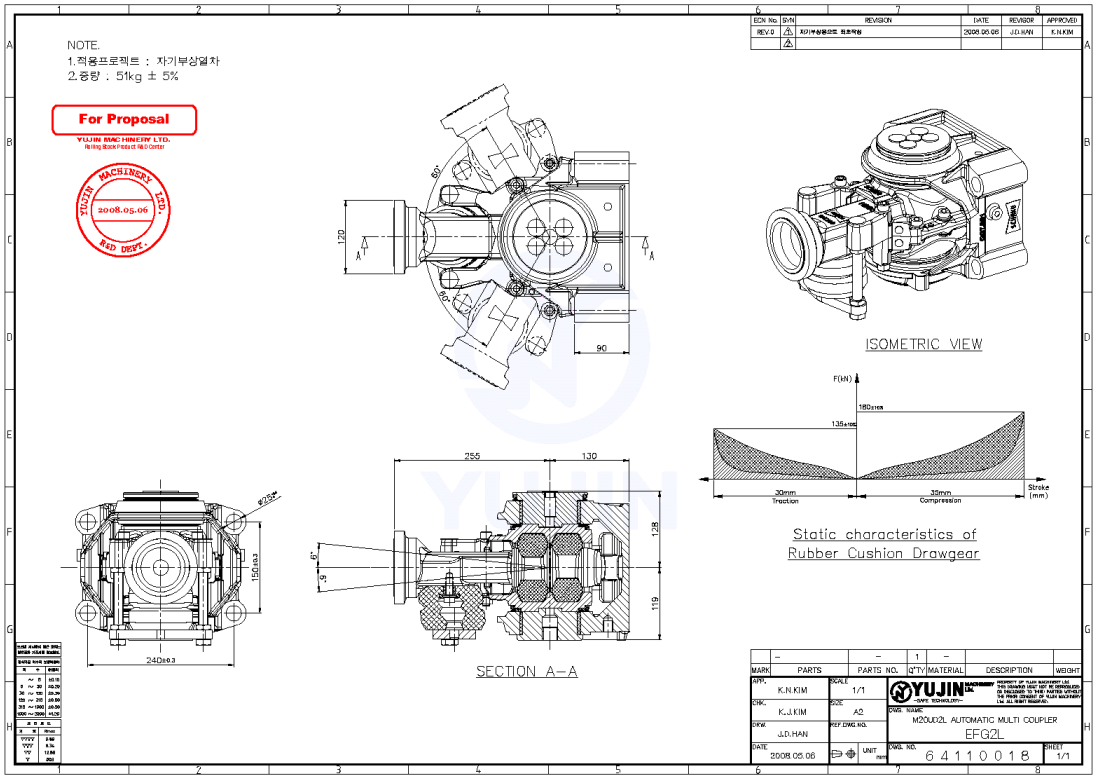

[그림 185 ]전자제어장치 일반도



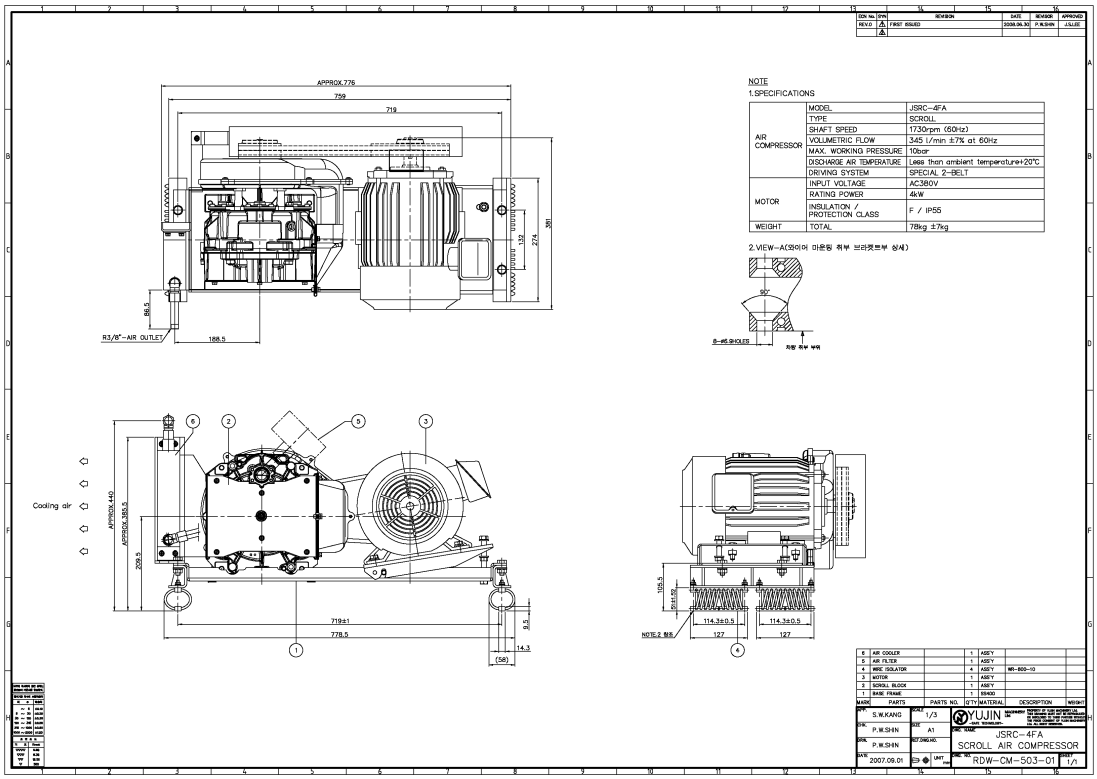

[그림 186 ]전두부연결기 일반도



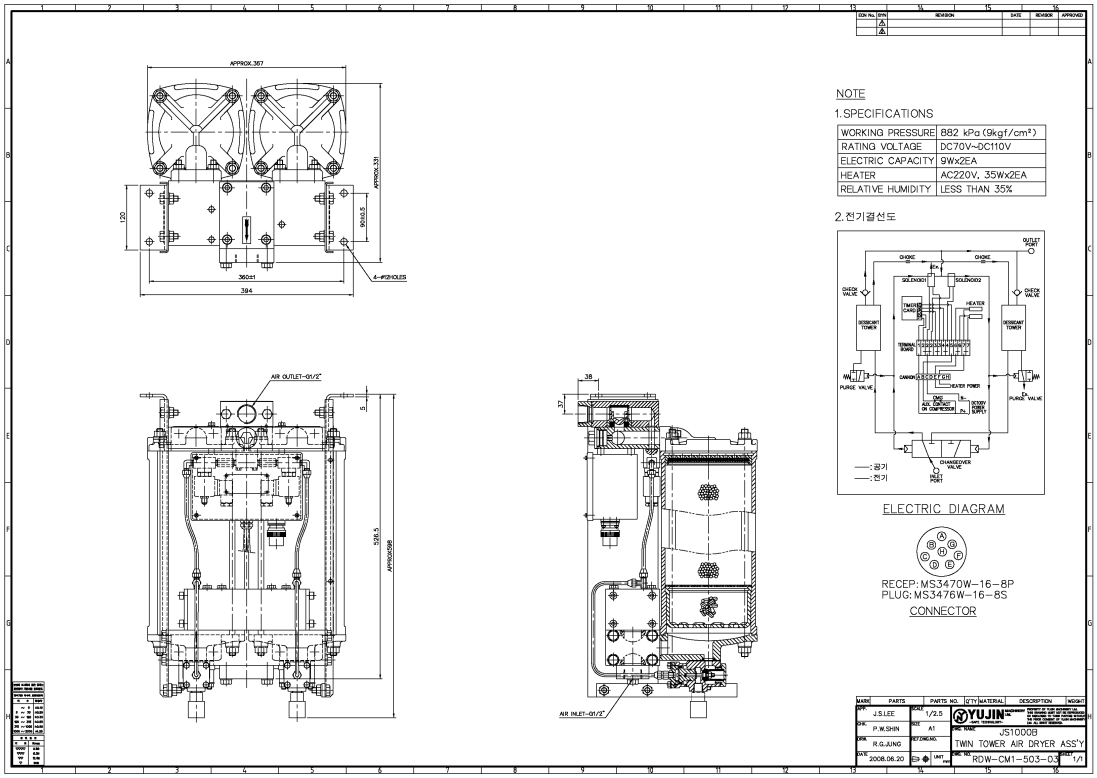

[그림 187 ]중간연결기 일반도



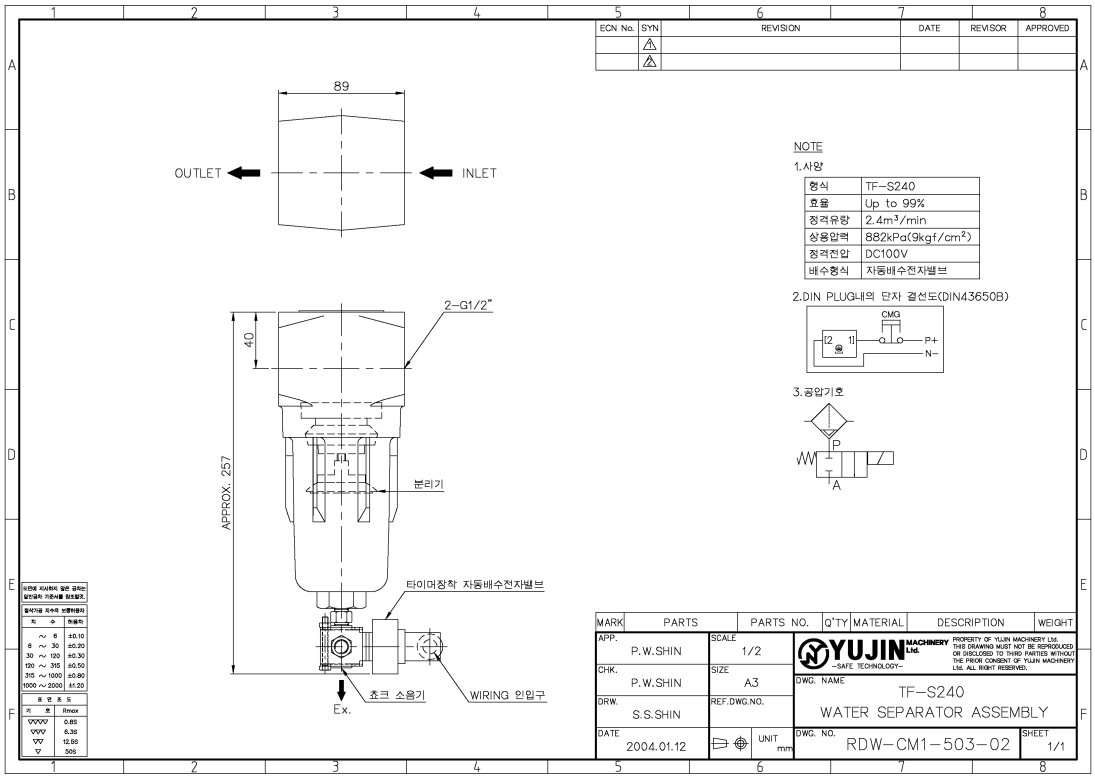

[그림 188 ]완충장치 일반도



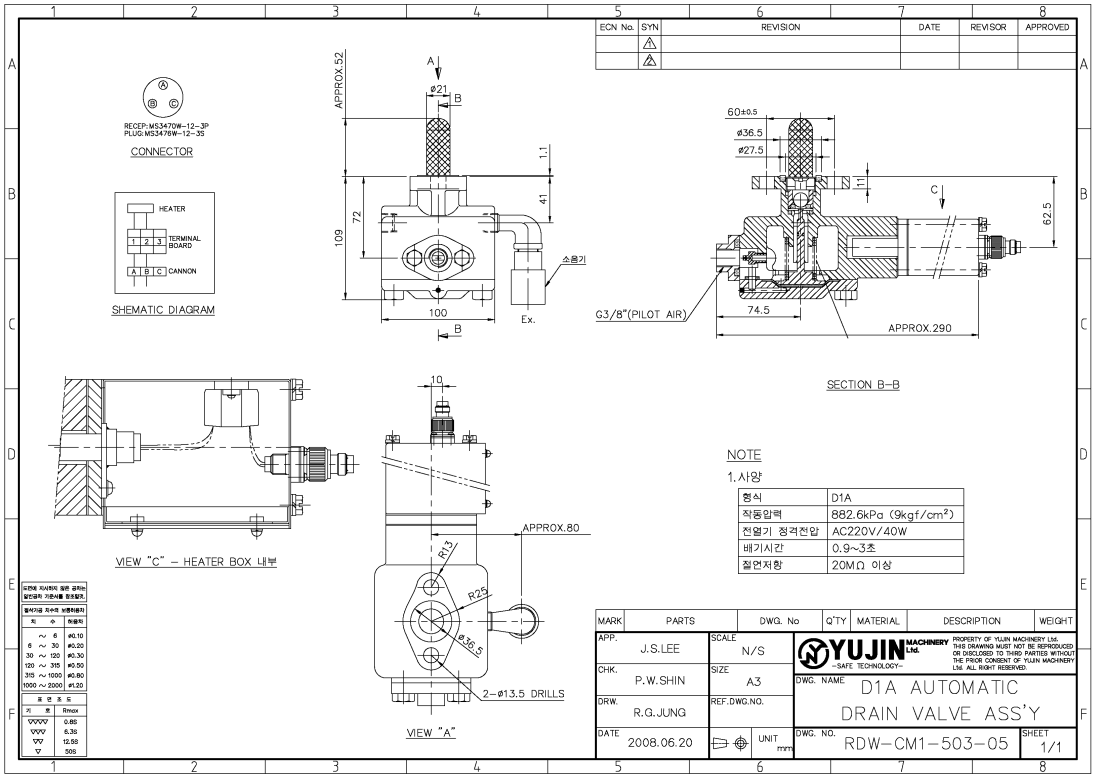

[그림 189 ]공기압축기 일반도



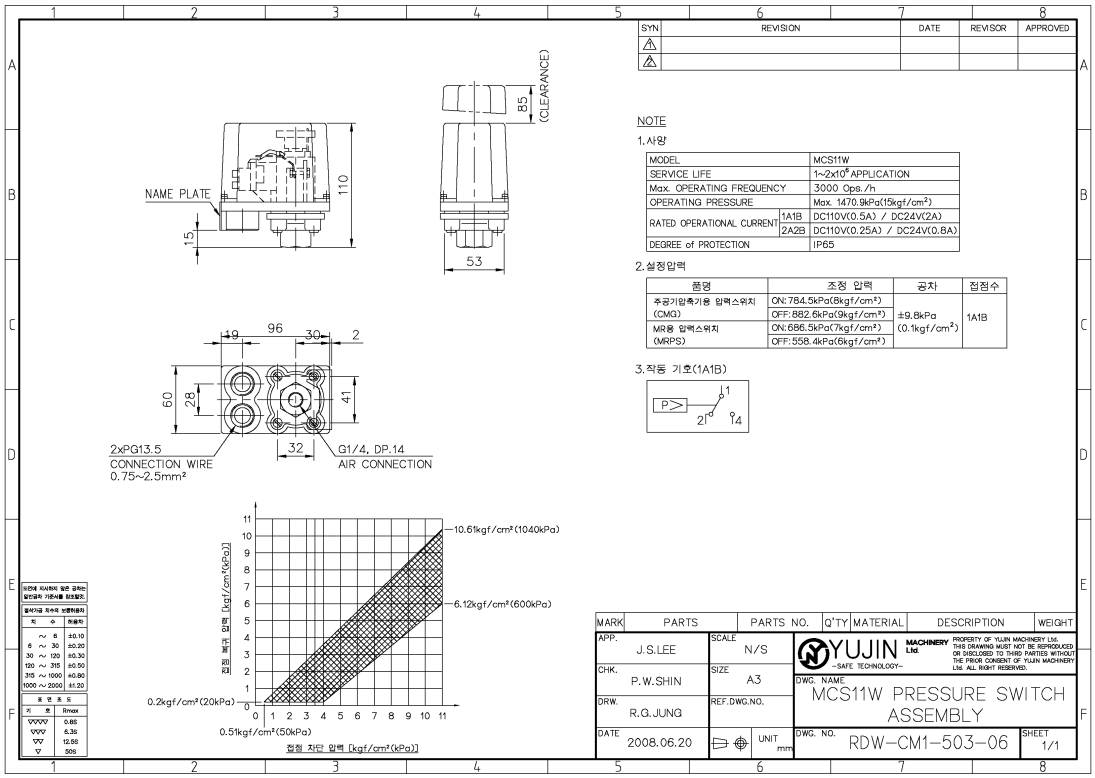

[그림 190 ]공기건조기 일반도



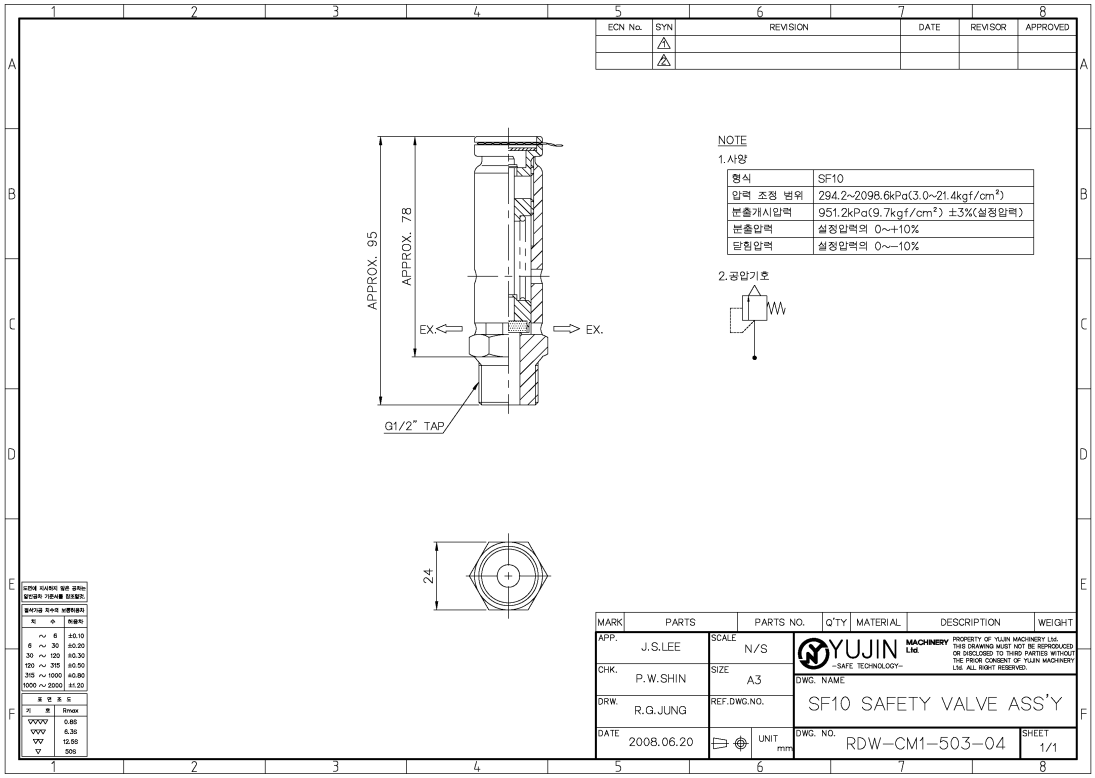

[그림 191 ]Water separator 일반도



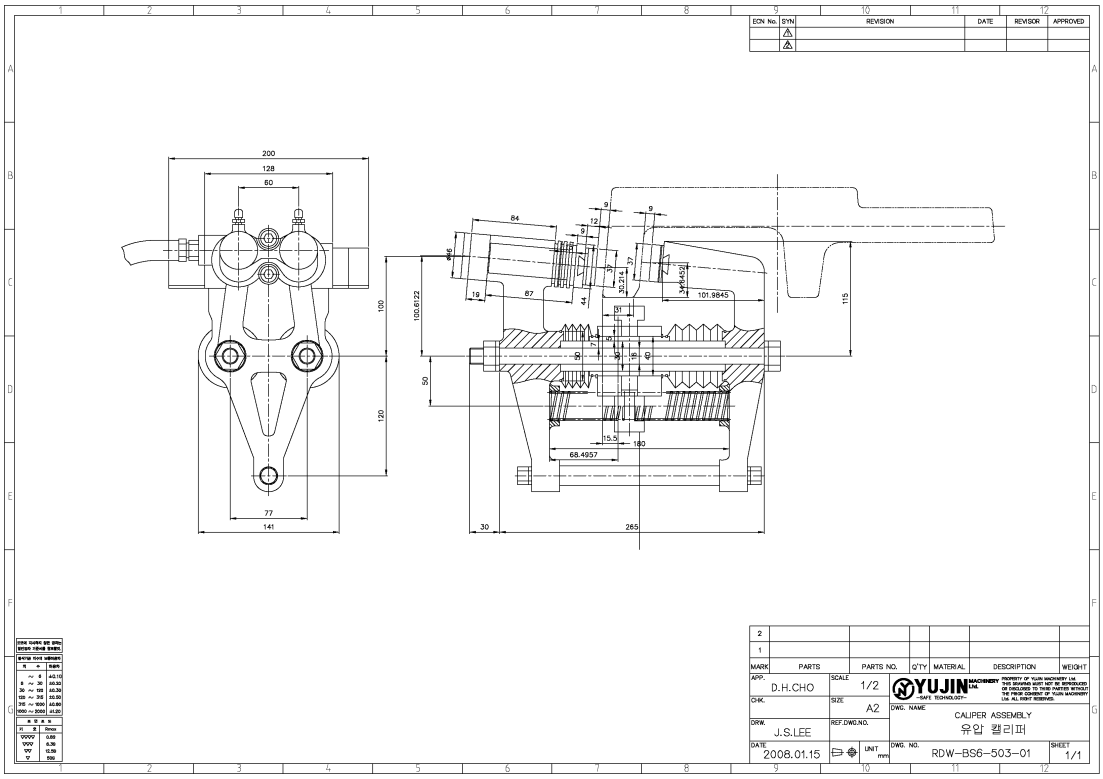

[그림 192 ]자동배수밸브 일반도



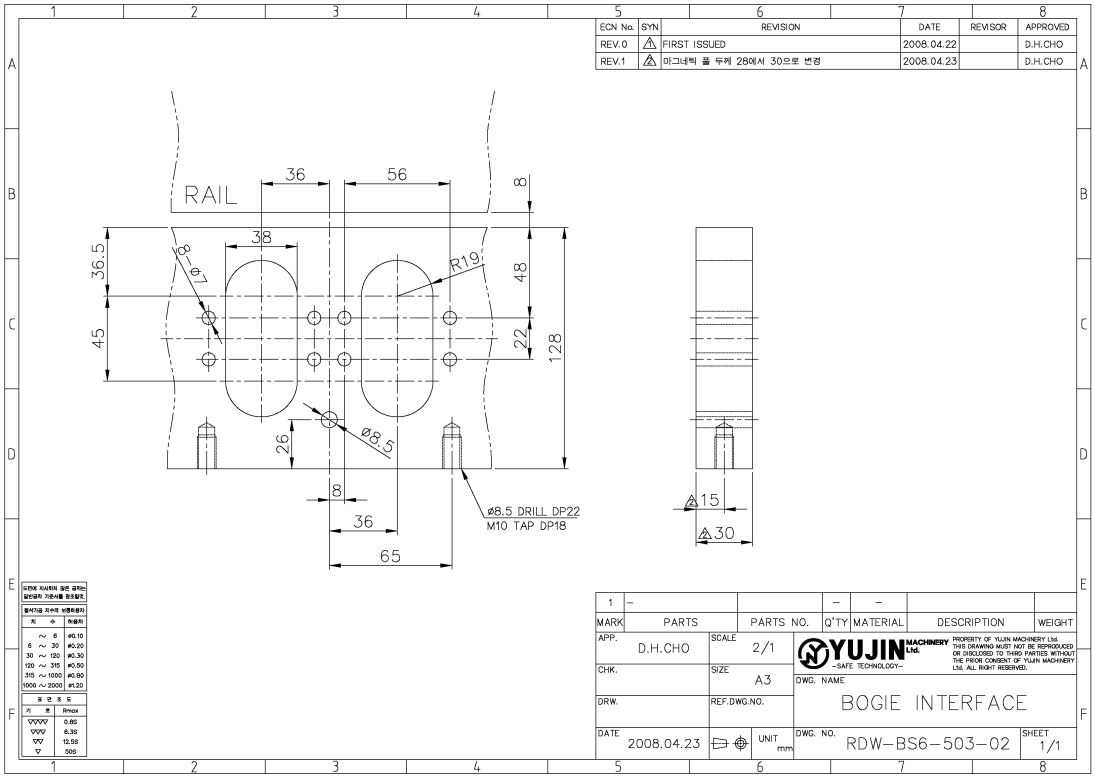

[그림 193 ]압력스위치 유니트 일반도



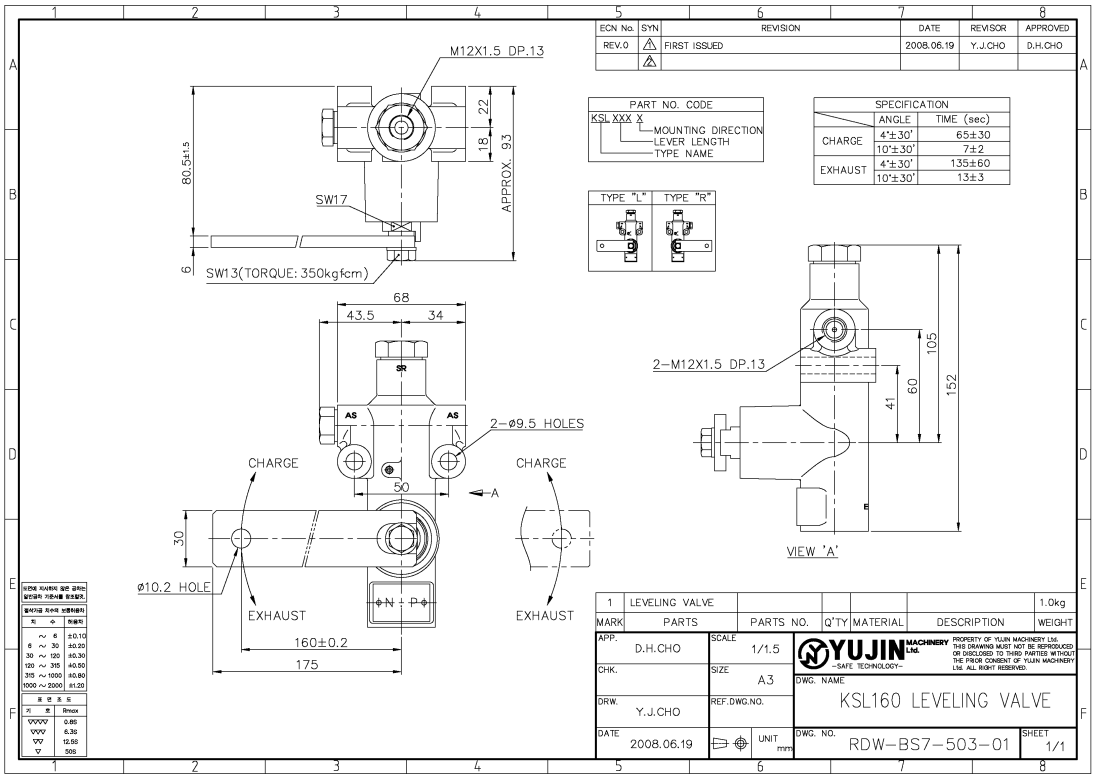

[그림 194 ]안전밸브 일반도



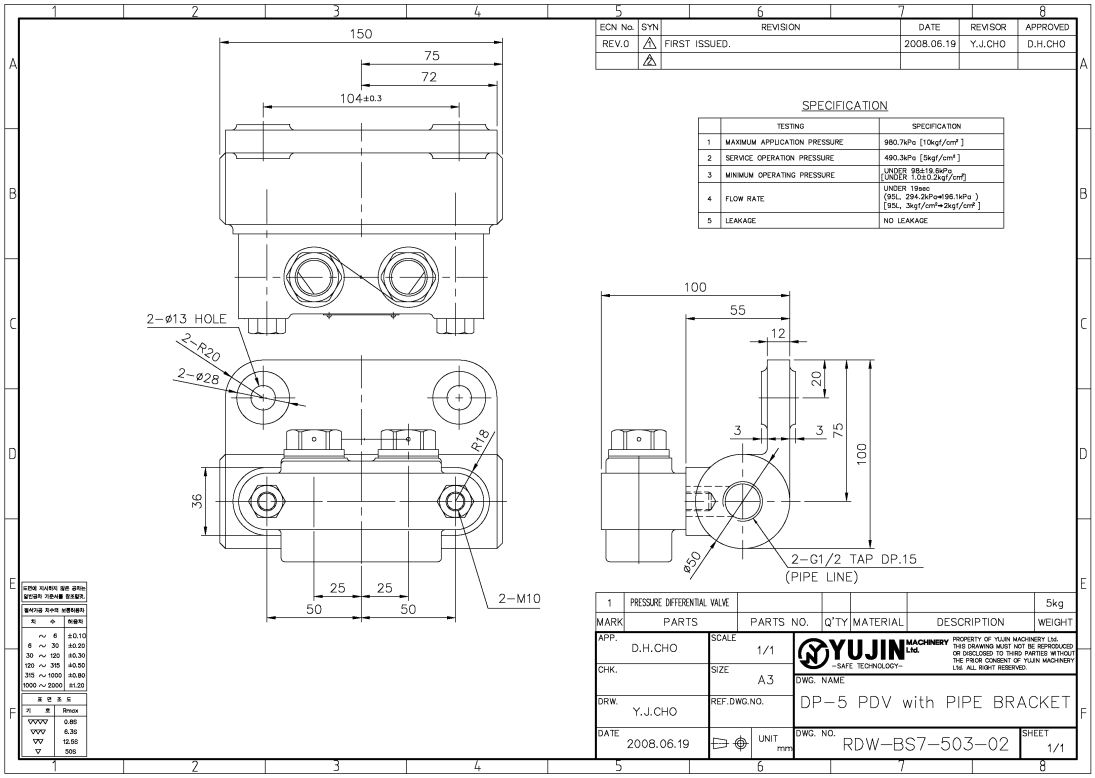

[그림 195 ]유압캘리퍼 장치 일반도



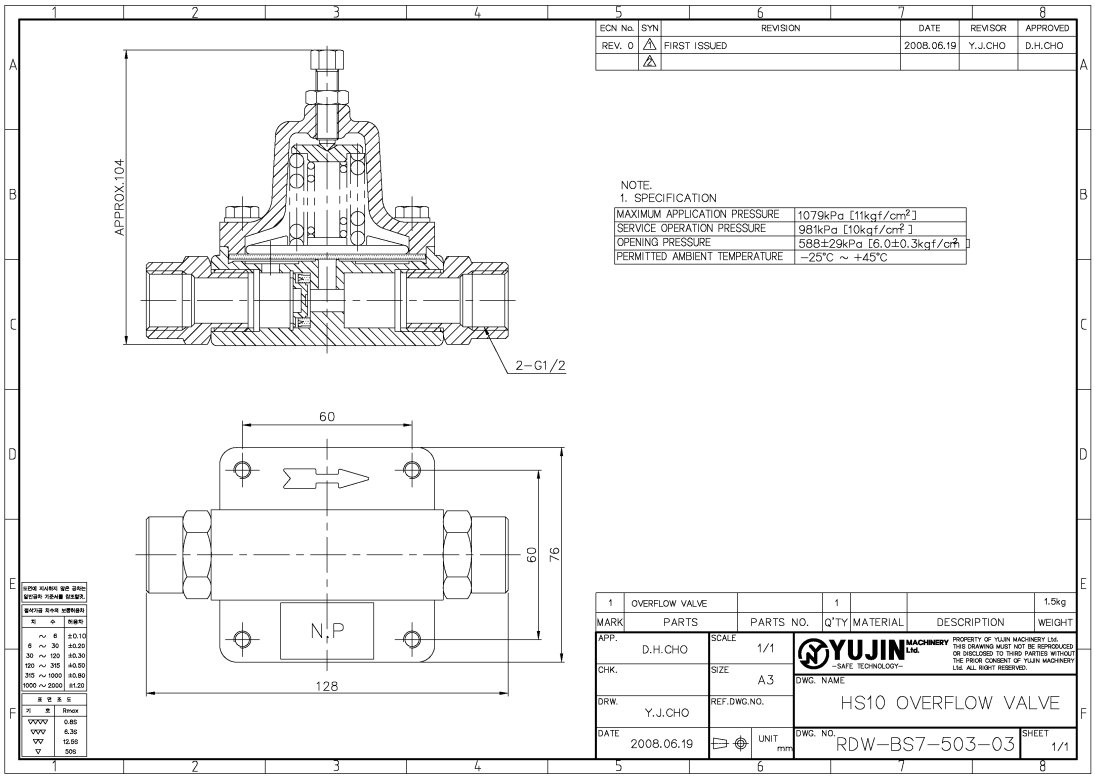

[그림 196 ]대차 인터페이스 일반도



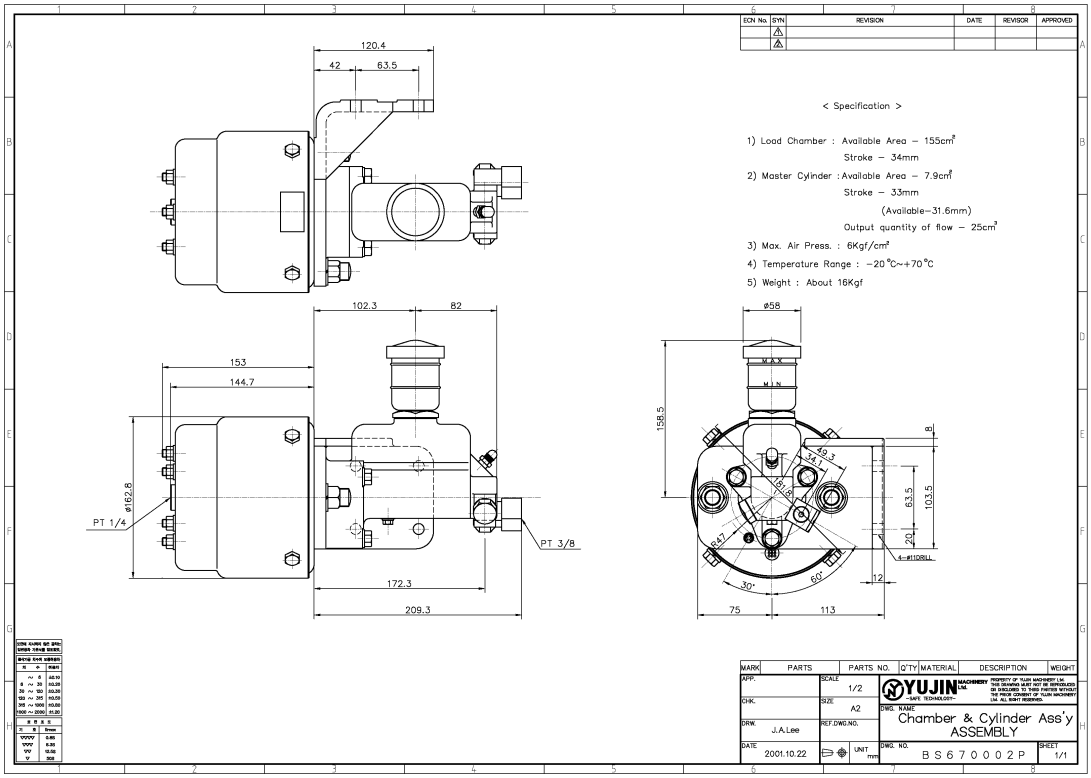

[그림 197 ]레밸링 밸브 일반도




[그림 198 ]차압밸브 일반도




[그림 199 ]오버플로우 밸브 일반도



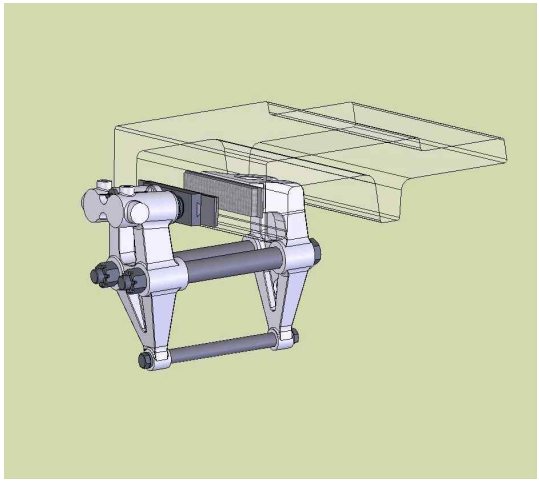

[그림 200 ]공유압변환기 일반도

(나) 시제차량 제작관련

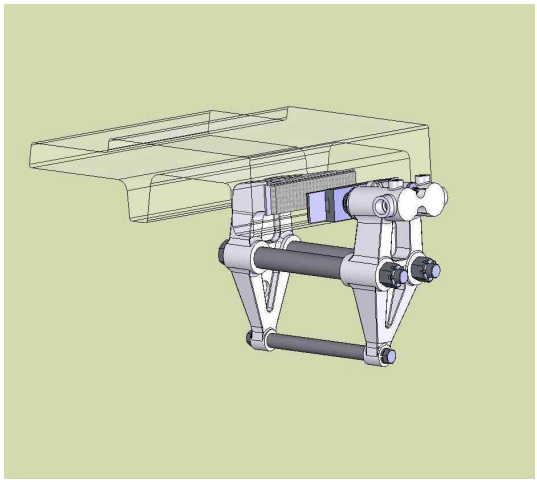
차량의 성능검증을 위한 시제차량 제작과 관련하여 구성품에 대한 Scope 협의를 진행하였다.

| 르템 작성 | 유진 확인 | Pos. | 단위 | 수량(1TS) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| MOTOR COMPRESSOR UNIT | Main Air Compressor-Motor Set<br>Automatic Drain Valve with Heater | J1, J9 | SET | 2 | 개발품 사급 |
| AIR DRYER UNIT | Twin Tower Air Dryer | J4 | EA | 2 | 개발품 사급 |
| BRAKE OPERATING UNIT | BRAKE OPERATING UNIT(M) | B1 | EA | 2 | 개발품 사급 |
| ELECTRONIC CONTROL UNIT | Electronic Control Unit(M) | B1A | EA | 2 | 개발품 사급 |
| MAGNET VALVE WITH PIPE BRACKET | Magnet Valve for Automatic Drain(ADMV) | J12B | EA | 2 | 개발품 사급 |
| AIR FILTER WITH 12mm DRAIN COCK | Air Filter with Drain Cock, 12mm | C2 | EA | 2 | 개발품 사급 |
| TEST FITTING FOR BRAKE | Test fitting | E2, J12D | EA | 6 | 개발품 사급 |
| 1/2" CUT OUT COCK WITH SIDE VENT AND ELECTRIC S/W FOR BRAKE | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(BC) | E1 | EA | 4 | 개발품 사급 |
| DOUBLE CHECK VALVE WITH PIPE BRACKET | 적용하지 않음 | | | | |
| TEST FITTING FOR RESERVOIR | ? | | | | |
| MAIN RESERVOIR PRESSURE SWITCH(MRPS) | Main Reservoir Pressure Switch(MRPS) | J12C | EA | 2 | 개발품 사급 |
| SAFETY VALVE | Safety Valve | J6 | EA | 2 | 개발품 사급 |
| MICRO AIR/OIL SEPARATOR WITH DRAIN COCK | Water Separator with Automatic Drain | J3A | EA | 2 | 개발품 사급 |
| TEST FITTING FOR AIR SPRING | ? | | | | |
| MAIN COMPRESSOR PRESSURE GOVERNOR(CMG) | Main Compressor Pressure Governor(CMG) | J12A | EA | 2 | 개발품 사급 |
| OVERFLOW VALVE | Overflow Valve | L1 | EA | 2 | 개발품 사급 |
| 1/2" CUT OUT COCK WITH SIDE VENT AND ELECTRIC S/W FOR A/SPR. | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(RH, LH) | L2 | EA | 4 | 개발품 사급 |
| DIFFERENTIAL VALVE WITH PIPE BRACKET | 적용하지 않음 | | | | |
| AIR FILTER | ? | | | | |
| LEVELLING VALVE | Leveling Valve (LH, RH) | L3 | EA | 6 | 개발품 사급 |
| 공기등 등 배관품(코크,밸브) | ROTEM SCOPE | | 식 | 2 | |
| AUTOMATIC COUPLER | Automatic Multi Coupler | R1 | SET | 2 | 개발품 사급 |
| SEMI-PERMANENT COUPLER | Intermediate coupler | R3 | SET | 2 | 개발품 사급 |
| | Pressure vent magnet valve | L4 | EA | 32 | 로템구매 |
| | Hydraulic Caliper Unit | F1 | EA | 8 | 개발품 사급 |
| | Brake Pad(RH, LH) | F2 | EA | 16 | 개발품 사급 |
| | Chamber & Cylinder Unit with Spring Applied Parking Brake | F3 | EA | 4 | 개발품 사급 |

유압캘리퍼의 경우 대차 인터페이스를 진행하면서 설계 개선점 및 인터페이스 사항에 대한 검증을 위한 Proto 제작을 진행하였다.



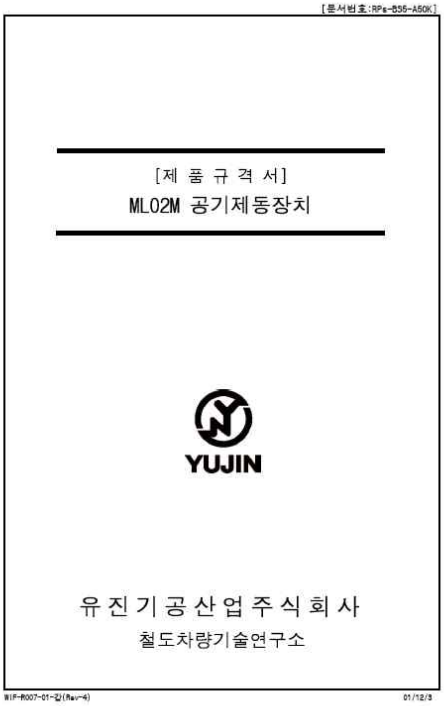
[그림 201 ]유압캘리퍼 인터페이스 검토-(1)



[그림 202 ]유압캘리퍼 인터페이스 검토-(2)

(다) 개발품에 대한 제품 규격서

1) 공기제동장치


[문서번호:RPs-BS6-A50K]

[제 품 규 격 서]

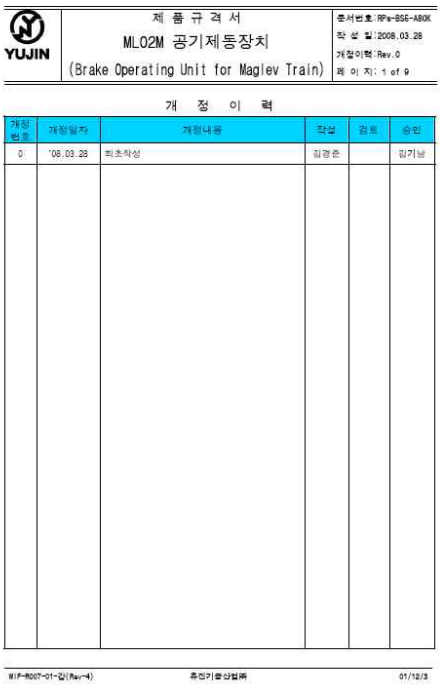
ML02M 공기제동장치

YUJIN

유진기공산업주식회사

철도차량기술연구소

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 01/12/3


YUJIN

제 품 규 격 서

ML02M 공기제동장치

(Brake Operating Unit for Maglev Train)

문서번호:RPs-BS6-A80K

작 성 일:2008.03.28

개정이력:Rev.0

페 이 지: 1 of 9

개 정 이 력

| 개정번호 | 개정일자 | 개정내용 | 작성 | 검토 | 승인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | '08.03.28 | 최초작성 | 김경준 | | 김기남 |

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/3

1. 적용범위

본 규격서는 도시형 자기부상열차의 공기제동을 제어하는 공기제동장치에 대하여 적용한다.

2. 적용규격

2.1 한국표준규격(KS)

KS A 0006 : 시험장소의 표준상태
KS B 5305 : 브르돈관 압력계
KS C 0704 : 제어기기의 절연거리, 절연저항 및 내전압
KS R 9144 : 철도차량부품의 진동시험

2.2 도시형자기부상열차 차량시스템 규격서

3. 필요조건

3.1 외형치수 및 형상

외형치수 및 형상은 승인도면에 의하며, 각 기기 및 밸브류등은 각각의 규격서에 따른다.

3.2 구조

공기제동장치는 제동과 관련된 기능품들을 효율적으로 조합한 장치로 [표1]과 같은 기능품들로 구성 되며, 사용목는 각각의 기능품들은 탑재 상태에서 각각의 규격서에서 요구하는 성능을 만족하는 기능품들을 이용하여 구성하여야 한다.

[표1]. 공기제동장치의 구성품 목록

| 품 명 | 형 식 | 수 량 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 전 공 변 환 중 계 밸 브 | EP100 | 1 | |
| 응 하 중 밸 브 | Y | 1 | |
| 압 력 센 서 | PA-215 | 4 | |
| 강 제 완 해 용 전 자 밸 브 | YM321A | 1 | |





| | | | |
|---|---|---|---|
| 시 험 용 점 검 구 | G1/4" | 3 | |
| 공 기 회 로 판 | | 1 | |

3.4 성능

3.4.1 상용제동

1) 직 렬 전 송 : RS485
2) 변 동 하 중 : 무 부하에서 16 톤 하중
3) 제 어 작 용 : 공기제동

3.4.2 비상제동

1) 변 동 하 중 : 무 부하에서 16 톤 하중
2) 제 어 작 용 : 공기제동

3.4.3 제동불완해발생

1) 설 정 B C 압 력 : 검지압력 : 98±10 kPa (1. 0±0.1 kgf/cm$^2$)
검지시간 : 3.0초±15% 이내일 것
2) C C 에 출 력 : CC의 광결합기로 수신

3.4.4 강제완해

1) 강 제 완 해 밸 브 제 어 : BC 압력의 완전 배기

3.4.5 제동력 부족감지

1) 설 정 B C 압 력 : 98kPa 이상 (1.0 kgf/cm$^2$ 이상)
ISB 소자, 감지시간 3.5 ± 1초
2) C C 에 출 력 : CC의 광결합기로 수신

4. 검사

4.1 검사 항목

(1) 외관 검사
(2) 치수 검사





4.2 검사 방법

(1) 외관 검사

결함은 사용상 해로운 흠, 녹, 오손과 변형이 없어야 한다.

(2) 치수 검사

치수 검사는 승인 도면에 의한다.

5. 시험

5.1 시험의 분류

(1) 공기누설 시험
(2) 성능 시험
(3) 절연저항 시험
(4) 내전압 시험
(5) 진동 시험
(6) 강제완해 시험

5.2 시험 방법

5.2.1 공기누설 시험

공기제동장치에 상용제동, 비상제동을 인가하여 누설이 있는지 확인한다.

공기누설시험은 제동종합시험기에서 공기제동장치에 제어압력을 공급한 다음 압력이 안정화 될 때까지 기다렸다가 디지털 압력계이지의 압력 변화를 확인한다.

5.2.1.1 MR & SR

882kPa (9.0 kgf/cm$^2$)에서 누설을 확인한다.

규 격 : 1분간 압력 강하가 4.9 kPa (0.05 kgf/cm$^2$) 이내 이어야 한다.

5.2.1.2 AS1 & AS2

490kPa (5.0 kgf/cm$^2$)에서 누설을 확인한다.

규 격 : 1분간 압력 강하가 4.9 kPa (0.05 kgf/cm$^2$) 이내 이어야 한다.

5.2.2 성능 시험

공기제동장치에 포함되어 있는 모든 구성부품은 적용목는 규격서에 규정된 필요조건이 확인되어야 한다. 공기제동장치의 필요조건에 만족하게 될 때까지 시험대에서 다음의 상호관련 작용시험을 행한다.

5.2.2.1 상용제동시험 (공기제어만)





공기제동장치에 최대 상용제동 지령을 인가하여 출력목는 BC 압력을 측정한다.

규 격 : BC 압력은 설정치의 ±19.6 kPa (±0.2 kgf/cm$^2$) 이내 이어야 한다.

5.2.2.2 비상제동시험

공기제동장치에 비상제동을 인가하여 출력목는 BC 압력을 측정한다.

규 격 : BC 압력은 설정치의 ±19.6 kPa (±0.2 kgf/cm$^2$) 이내 이어야 한다.

5.2.2.3 제동불완해시험

제동종합시험기에서 제동불완해 상황을 모사하여 시험하며, 제동불완해 스위치를 ON하여 확인한다.

규 격 : 검지압력 : 98±10 kPa (1. 0±0.1 kgf/cm$^2$)
검지시간 : 3.0초±15% 이내일 것

5.2.2.5 용량시험(탑지 만차시압)

만차비상충기 : 0→(만차비상압력-50)kPa [0→(만차비상압력-0.50) kgf/cm$^2$ ] 충기

규 격 : 3초 이하 일 것.

만차비상배기 : 만차비상압력→50kPa [만차비상압력→0.51 kgf/cm$^2$ ] 배기

규 격 : 4초 이하 일 것.

5.2.3 강제완해 시험

강제완해 신호를 인가하면 BC 압력이 배기되어야 한다.

규 격 : BC 압력이 완전히 배기되어야 한다.

5.2.4 절연저항 시험

개는 플러그의 접핀과 밸브하이프 브라켓트 사이를 DC 500 V MEGA-OHM TESTER로 저항을 측정하고, 10 MΩ 이상일 것.

5.2.5 내전압 시험

개는 플러그의 접핀과 밸브하이프 브라켓트 사이를 AC 1200 V의 상용주파수로 1분간 가압했을 때 이상이 없어야 한다.

5.2.6 진동 시험

KS R 9144 철도차량부품의 진동시험 방법 1종에 준하여 시험 한 후 성능시험을 하였을 때 이상이 없어야 한다.

5.3 시험 및 검사항목

| 구분 / 항목 | | 형식시험 | 전수시험 |
|---|---|---|---|
| 외관검사 | | ○ | ○ |
| 치수검사 | | ○ | ○ |
| 공기누설시험 | | ○ | ○ |
| 성능시험 | 상용제동시험 | ○ | ○ |
| | 비상제동시험 | ○ | ○ |
| | 제동불완해시험 | ○ | ○ |
| | 응답시험 | ○ | ○ |
| 강제완해 | | ○ | ○ |
| 절연저항시험 | | ○ | ○ |
| 내전압시험 | | ○ | - |
| 진동시험 | | ○ | - |

5.4 성능보증 기간

제품의 성능보증은 영업개시일로부터 3년간 그 성능을 만족해야 한다.
단, 소모품 고장주기 불이행등 사용자의 취급 부주의에 의한 성능저하는 제외한다.

5.5 완성 검사 기준서

별지 7. 완성 검사 기준서를 참조한다.

6. 포장 및 표시

6.1 포장

운반 및 보관이 편리하고 파손 또는 손상되지 않도록 견고하게 포장 하여야 한다.





6.2 표시

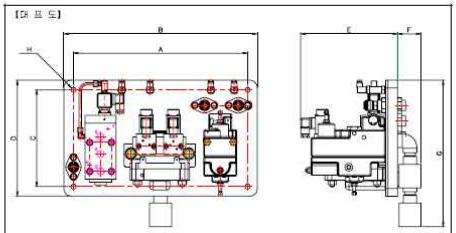
식별이 용이한 곳에 품명, 제작회사명, 제작년월, 제작일련번호 등을 표시하여야 한다.





7. 완성 검사 기준서

【대 표 도】



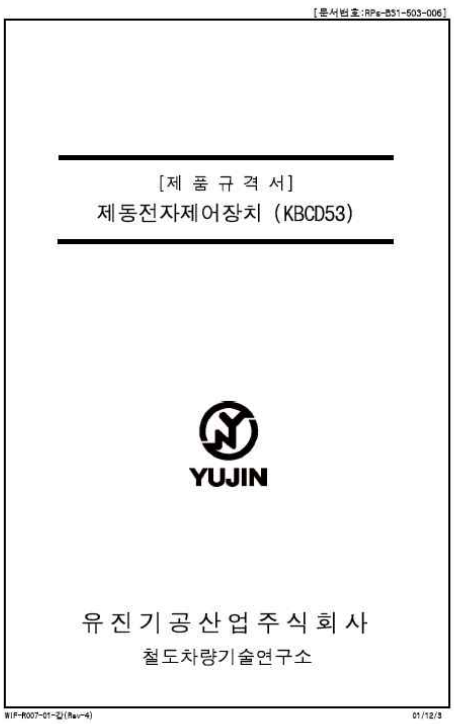

| No | 검사항목 | 검 사 기 준 | | 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 외 관 검 사 | 사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없어야 한다. | | |
| 2 | 치 수 검 사 | A | 460 ±0.8(mm) | |
| | | B | 600 ±0.8(mm) | |
| | | C | 260 ±0.5(mm) | |
| | | D | 300 ±0.5(mm) | |
| | | E | Approx. 260.6(mm) | |
| | | F | Approx. 60.5(mm) | |
| | | G | Approx. 380(mm) | |
| | | H | 4-φ13 ±0.2(mm) | |
| 3 | 공기누설시험 | 1) MR & SR : 882kPa (9.0 kgf/cm²)에서 1분간 압력 강하가 4.9 kPa (0.05 kgf/cm²) 이내 이어야 한다. | | |
| | | 2) AS1 & AS2 : 490kPa (5.0 kgf/cm²)에서 1 분간 압력 강하가 4.9 kPa (0.05 kgf/cm²) 이내 이어야 한다. | | |





| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 4 | 성 능 시 험 | | | |
| | 1) 상용제동 | BC 압력이 설정치의 ±19.6 kPa (±0.2 kgf/cm²) 이내일 것. | | |
| | 2) 비 상 제 동 | BC 압력이 설정치의 ±19.6 kPa (±0.2 kgf/cm²) 이내일 것. | | |
| | 3)제동불완해 | 검지압력 : 98±10 kPa (1. 0±0.1 kgf/cm²)<br>검지시간 : 3.0 초±15% 이내일 것 | | |
| | 4) 응 답 시 험 | 만차비상제동 | 만차비상승기 : 0→(만차비상압력-60)kPa [0→(만차비상압력-0.60) kgf/cm²]<br>규 격 : 3 초 이하 일 것. | |
| | | 만차비상해기 | 만차비상해기 : 만차비상압력→60kPa [만차비상압력→0.61 kgf/cm² ] 까지<br>규 격 : 4초 이하 일 것. | |
| 5 | 절연저항시험 | DC 500 V MEGA-OHM TESTER 로 측정시 10 MΩ 이상일 것. | | |
| 6 | 내 전 압 시 험 | AC 1200 V/분 가압시 이상이 없을 것. | | |
| 7 | 진 동 시 험 | KS R 9144 철도차량부품의 진동시험 방법 1B 에 준하여 시험한 후 성능시험을 하였을 때 이상이 없을 것. | | |
| 8 | 강제완해시험 | BC 압력이 완전히 배기되어야 한다. | | |

## 2) 제동전자제어장치



[문서번호:RPs-BS1-503-006]

[제 품 규 격 서]

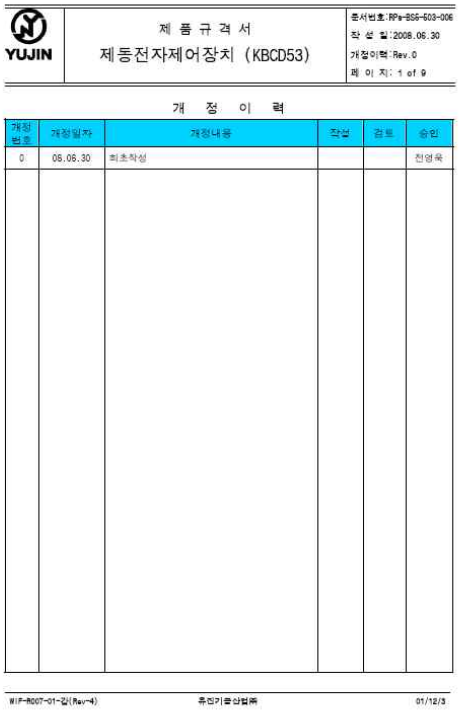
제동전자제어장치 (KBCD53)

YUJIN

유 진 기 공 산 업 주 식 회 사

철도차량기술연구소

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 01/12/3



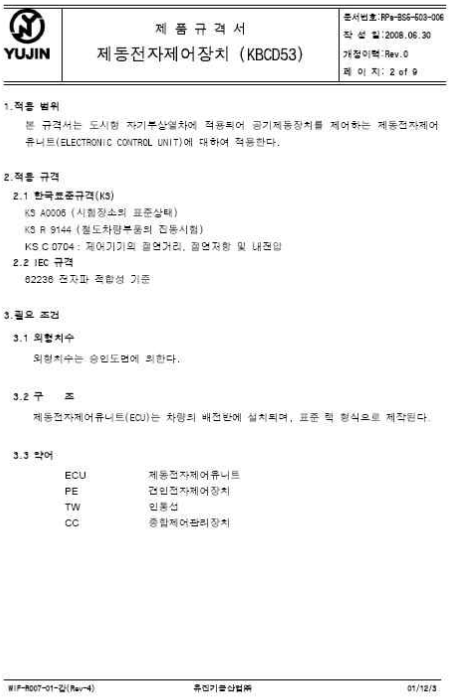
YUJIN 제 품 규 격 서 제동전자제어장치 (KBCD53)

문서번호:RPs-BS6-503-006
작 성 일:2008.06.30
개정이력:Rev.0
페 이 지: 1 of 9

개 정 이 력

| 개정번호 | 개정일자 | 개정내용 | 작성 | 검토 | 승인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 08.06.30 | 최초작성 | | | 전영욱 |

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/3



YUJIN 제 품 규 격 서 제동전자제어장치 (KBCD53)

문서번호:RPs-BS6-503-006
작 성 일:2008.06.30
개정이력:Rev.0
페 이 지: 2 of 9

1.적용 범위

본 규격서는 도시형 자기부상열차에 적용되어 공기제동장치를 제어하는 제동전자제어 유니트(ELECTRONIC CONTROL UNIT)에 대하여 적용한다.

2.적용 규격

2.1 한국표준규격(KS)

KS A0006 (시험장소의 표준상태)

KS R 9144 (철도차량부품의 진동시험)

KS C 0704 : 제어기기의 절연거리, 절연저항 및 내전압

2.2 IEC 규격

62236 전자파 적합성 기준

3.필요 조건

3.1 외형치수

외형치수는 승인도면에 의한다.

3.2 구 조

제동전자제어유니트(ECU)는 차량의 배전반에 설치되며, 표준 랙 형식으로 제작된다.

3.3 약어

| | |
|---|---|
| ECU | 제동전자제어유니트 |
| PE | 견인전자제어장치 |
| TW | 인동선 |
| CC | 종합제어관리장치 |

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/3

YUJIN 제 품 규 격 서 제동전자제어장치 (KBCD53)

문서번호:RPs-BS6-503-006
작 성 일:2008.06.30
개정이력:Rev.0
페 이 지: 3 of 9

3.4 규격 및 성능

제동전자제어장치는 반도체 IC로 구성된 마이크로 컴퓨터 시스템으로 요구되어지는 제동력을 계산한다.

3.4.1 선간전압

| 구분 | 규격 |
|---|---|
| 정격 | DC 100V |
| 성능보증 | DC 100V +10% ~ -30% |
| 작용보증 | DC 60V ~ 110V |
| 공급전원용량 | Max 120W |

3.4.2 입력

| 구분 | 신호선 | 규격 |
|---|---|---|
| 공기스프링압력신호(AS) | 2 Lines | • 아날로그접압신호<br>• 전원공급 : 12~24V (ECU로 부터)<br>• 압력센서규격(출력전압)<br>0 bar [0 kPa]에서 : 1±0.1V<br>10 bar [980 kPa]에서 : 5±0.1V |
| 작용압력신호(AC) | 1 Line | • 아날로그접압신호<br>• 전원공급 : 12~24V (ECU로 부터)<br>• 압력센서규격(출력전압)<br>0 bar [0 kPa]에서 : 1±0.1V<br>6 bar [980 kPa]에서 : 5±0.1V |
| 제동통압력신호(BC) | 1 Line | |
| 제동선택신호(B) | 1 선 | • 디지털신호<br>• 전원공급 : DC70~110V(인동선→ECU)<br>• 입력접류<br>ON : 3.3 ±1mA (DC100V에서)<br>OFF : 0.6mA 이하<br>• 상시소자<br>• 광결합기로 수신 |
| 역행선택신호(M) | 1 선 | |
| 정차제동신호(HB) | 1 선 | |
| 제동불완해조사(NRB) | 1 선 | |
| 강제완해지령(CPR) | 1 선 | |
| 제동루즈조사지령(ISB) | 1선 | |
| 비상운전모드제동(BTL) | 1 선 | |
| 출입문닫힘신호(DC) | 1 선 | |
| 회생제동접류유효신호(BCV) | 1 선 | • 디지털신호<br>• 전원공급 : DC70~110V(PE→ECU) |
| 역행접류유효신호(MCV) | 1 선 | |

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/3

| | | |
|---|---|---|
| 희생제동소멸신호(FO) | 1 선 | • 입력전류<br>ON : 3.3 ±1mA (DC100V에서)<br>OFF : 0.6mA 이하<br>• 상시소자<br>• 광결합기로 수신 |
| 비상제동신호(EB) | 1 선 | • 디지털신호<br>• 전원공급 : DC70~110V(인통선→ECU)<br>• 입력전류<br>ON : 3.3 ±1mA (DC100V에서)<br>OFF : 0.6mA 이하<br>• 상시여자<br>• 광결합기로 수신 |
| 인통선 제동지령<br>(Train Line PWM) | 1 선 | • PWM 신호<br>• 주파수 : 500Hz±10Hz<br>• 전원공급 : DC24±3V (Encoder로부터)<br>• 입력전류<br>마 크 : 10±3mA (DC24V에서)<br>스페이스 : 0.3mA 이하<br>• 스케일링 : 15%에서 0.0 km/h/s<br>85%에서3.5 km/h/s(Max.)<br>• Limit : Minimum : 5%<br>Maximum : 95%<br>• 광결합기로 수신 |
| 희생제동력달성신호<br>(BEA) | 1 선 | • PWM 신호<br>• 주파수 : 500Hz±10Hz<br>• 전원공급 : DC22±3V (PE로부터)<br>• 입력전류<br>마 크 : 15±3mA (DC20V에서)<br>스페이스 : 1mA 이하<br>• 스케일링 : 10±3%(0KN에서)<br>90±3%(40KN에서)<br>• 광결합기로 수신 |
| 직렬전송<br>(Serial Trans.) | 1 선 | • RS485 |





3.4.3 출력

| 구분 | 신호선 | 규격 |
|---|---|---|
| 전공변환중계밸브의 구동지령(EPV) | 1 선 | • 전류제어<br>• 최대 : 1000mA<br>• 저항(밸브규격) : 25Ω±5%<br>(밸브규격) |
| 희생제동력요구신호<br>(BED) | 1 선 | • PWM 신호<br>• 주파수 : 500Hz±10Hz<br>• 전원공급 : DC22±3V (ECU로부터)<br>• 출력용량 : 23mA이하<br>• 스케일링 : 10 ±3%(0KN에서)<br>90 ±3%(40KN에서)<br>• PE의 광결합기로 수신 |
| 응하중신호(LW) | 1 선 | • PWM 신호<br>• 주파수 : 500Hz ±10Hz<br>• 전원공급 : DC22 ±3V (ECU로부터)<br>• 출력용량: 23mA이하<br>• 스케일링 : 10±3%(15ton에서)<br>90±3%(35ton에서)<br>• PE의 광결합기로 수신 |
| 제동불완해발생신호<br>(NRBD) | 1 선 | • 디지털신호<br>• 전원공급 : DC100V (ECU로부터)<br>• 출력용량 : 100mA 이하<br>• 스케일링<br>- 검지압: 98<br>kPa이상[1.0kgf/㎠이상]<br>- 해제압: 74kpa<br>이하[0.75kgf/㎠이하]<br>- 시간지연 : 5.0 ± 1초<br>• 운전실회로의 광결합기로 수신 |
| 제동부족검지(ISBD) | 1 선 | • 디지털신호<br>• 전원공급 : DC24V (CC로 부터)<br>• 출력용량 : 100mA 이하<br>• 스케일링<br>-검지압: 98kPa이상[1.0kgf/㎠이상]<br>-해 제: ISB 소자<br>- 시간지연 : 3.5 ± 1초<br>• CC의 광결합기로 수신 |





| | | |
|---|---|---|
| ECU전원고장(EPSFD) | 1 선 | • 디지털신호<br>• 전원공급 : DC24V (CC로 부터)<br>• 출력용량 : 100mA 이하<br>• CC의 광결합기로 수신 |
| 직렬전송<br>(Serial Trans.) | 1 선 | • RS485 |

3.4.4 기타

| 구분 | 규격 |
|---|---|
| 덤프 아웃 | RS232C |
| 내전압 시험[1] | 1200V AC, 60Hz, 1분간 |
| 절연저항 시험 | 10 MΩ 이상 |

## 4. 시험 및 검사

### 4.1.검사

4.1.1.검사의 분류

(1) 외관검사
(2) 치수검사

4.1.2.검사방법

(1) 외관검사
외관은 육안으로 검사하고 사용상 해로운 흠, 녹, 오손 및 변형이 없어야 한다.
(2) 치수검사
치수검사는 승인도면에 의한다.

### 4.2.시험

4.2.1.시험의 분류

(1) 특성, 성능시험
(2) 선간 전압 편차시험
(3) 온도시험
(4) EMI (전도노이즈) 시험





(5) 절연저항시험
(6) 내전압시험
(7) 진동시험

4.2.2.시험방법

(1) 특성, 성능시험
제동전자제어유니트의 기본적인 입/출력 특성을 확인하는 시험으로 ECU에 정격전압(DC100V)을 인가하고, 제동전자제어유니트의 입출력 특성을 확인한다.
(2) 선간 전압 편차시험
전압 변동(70V~110V) 시 ECU의 기본성능을 확인하는 시험으로, 성능보증 선간전압, 70V와 110V를 인가하고, 각각에 대하여 특성(성능)시험에 명기된 항목을 확인한다.
(3) 온도시험
가. 주위온도를 성능보증온도의 상한치(40℃)와 하한치(-25℃)의 상태에 두고, 특성시험과 선간전압편차시험을 행한다.
나. 작용보증온도의 상한치,하한치의 주위온도(55℃)에서 이상이 없는 것을 확인한다.
(4) EMI(전도노이즈) 시험
전자파 노이즈에 대한 내성을 확인하는 시험으로, IEC 62236의 기준을 적용한다.
(5) 절연 저항 시험
도전부와 케이스사이를 DC500V MΩTester로 저항을 측정하고, 10 MΩ 이상이어야 한다.
(6) 내전압시험
1분간 도전부와 케이스사이에 AC 1,200V의 상용주파수가 적용되었을 때 결함이 없어야 한다.
(7) 진동시험
KS R 9144 1종 1B 철도차량부품의 진동시험 방법에 준하여 시험 한 후에 성능시험을 하였을 때 이상이 없어야 한다.
※ 시험은 특별한 지시가 없는 한 KS A0006 (시험장소의 표준상태)에 지정하는 표준온도 15급(20 ±15℃)으로 한다.

[1] 내전압 시험은 모든 콘넥터를 풀고 난 후 행해야 한다.

4.3. 검사방식

| 항목 / 구분 | 형식시험 | 전수시험 |
|---|---|---|
| 외 관 검 사 | ◎ | ◎ |
| 치 수 검 사 | ◎ | ◎ |
| 특성, 성능시험 | ◎ | ◎ |
| 선간전압 편차시험 | ◎ | - |
| 온 도 시 험 | ◎ | - |
| EMI 시험 | ◎ | - |
| 절 연 저 항 시 험 | ◎ | ◎ |
| 내 전 압 시 험 | ◎ | - |
| 진동 시험 | ◎ | - |

4.4 성능보증 기간

제품의 성능보증은 영업개시일로부터 3년간 그 성능을 보증해야 한다.
단, 소모품 교환주기 불이행 등 사용자의 취급 부주의에 의한 성능저하는 제외한다.

5.표시 및 포장

5.1.표 시

1) 형식 및 품명
2) 제조년월일
3) 제조회사명
4) 제조번호

5.2.포 장

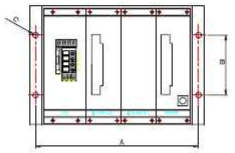
운반이나 저장 시 취급이 편리하고 손상되지 않도록 한다.





6. 완성 검사 기준서

【도 표】




| No | 검사항목 | 검 사 기 준 | | 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 외관 검사 | 사용상에 해로운 흠,녹,변형 및 오손이 없을 것. | | |
| 2 | 치수 검사 | A | 299 ±0.5mm | |
| | | B | 110 ±0.5mm | |
| | | C | 4-Ø6 | |
| 3 | 특성 성능 시 험 | 상온,정격전압에서 전자제어유니트의 입력,출력을 확인한다. | | |
| 4 | 선간전압 편차시험 | 상온,선간전압 70V~110V 에서 제동전자제어유니트의 입력과 출력을 확인한다. | | |
| 6 | 온도시험 | 성능보증온도(-25℃~+40℃) | 제동전자제어유니트의 입력과 출력을 확인한다. | |
| | | 작동보증온도(-25℃~+55℃) | | |
| 6 | EMI/EMC 시험 | IEC 62236 의 기준을 만족할 것. | | |
| 7 | 절연저항시험 | 도전부와 케이스사이를 DC500V Meg-ohm Tester 로 저항을 측정하고, 10 MΩ 이상일 것. | | |
| 8 | 내전압 시험 | 1 분간 도전부와 케이스사이에 AC 1,200V 의 상용주파수가 적용되었을 때 결함이 없을 것. | | |
| 9 | 진동 시험 | KSR 9144 철도차량부품의 진동시험 방법 1B 에 준하여 시험 한 후에 성능시험을 하였을 때 이상이 없을 것. | | |
| [비고] | | | | |



## 3) 공기압축기

[DOC.NO.:RPS-CM1-503-01]

**[제 품 규 격 서]**
**JSCR-4FA 스크롤 공기압축기**

YUJIN

**유진기공산업주식회사**
**철도차량기술연구소**





개 정 이 력

| 개정번호 | 개정일자 | 개정내용 | 작성 | 검토 | 승인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2008.07.01 | First issued | 정혜근 | 신형우 | 이종섭 |

1.적용범위(Application)

본 규격서는 철도차량 전동차의 제동장치 및 각종 공압밸브에 주공기를 공급하는 JSCR-4FA 스크롤 공기압축기(JSCR-4FA Scroll Air Compressor)에 대하여 적용한다.

2.적용규격(Standard for Application)

KS A 0006(시험장소의 표준상태)
KS B 6351(용적형 압축기의 시험 및 검사방법)
KSC IEC 60034-1(회전기기-일반)
KS R 9144(철도차량부품의 진동시험)

3.필요조건(Requirements)

3.1 외형치수 및 형상

외형치수는 승인도면에 의한다.
도장은 도장 사양서에 따르며, 색상은 고객의 요구사항에 따른다.
단, 스크롤 블럭은 도장하지 않으며 또한 플라스틱류 및 고무류도 도장하지 않는다.
그리고 전동기는 수입처 사양에 따른다.

3.2 구조

JSCR-4FA 스크롤 공기압축기는 전동기와 스크롤 블럭이 벨트로 연결되어 구동되며, 공기 압축은 고정스크롤에 선회스크롤이 선회하므로써 점대칭의 위치에 있는 초승달 모양의 압축실이 점점 작아지며 공기가 압축되어 압축공기를 연속적으로 압축하는 구조로 되어있다.
여기서 주요 구성품으로는 그림. 1 과 같이 전동기, 스크롤 블럭, 공기여과기, 공기냉각기 등으로 구성되어있다.





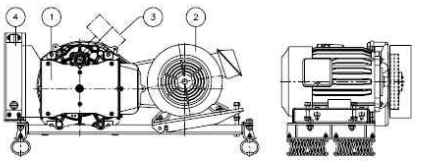



그림.1 스크롤 공기압축기 구조

| 품번 | 품명 | 기능 | 수량 |
|---|---|---|---|
| 1 | 스크롤 블록(SCROLL BLOCK) | 압축공기를 생성 | 1 |
| 2 | 전동기(MOTOR) | 스크롤 블록을 구동시키는 전동장치 | 1 |
| 3 | 공기여과기(AIR FILTER) | 공기를 여과하는 장치 | 1 |
| 4 | 공기냉각기(AIR COOLER) | 압축공기를 냉각하는 장치 | 1 |

3.3 규격

3.3.1 공기 압축기

(1) 모델: JSCR-4FA
(2) 압축: SCROLL
(3) 냉각방식: 공기냉각기 의한 압축공기의 강제 공냉식
(4) 토출공기온도: 주위온도 +20℃이하
(5) 주위온도: -25℃ ~ +40℃
(6) 윤송장치: 4 개의 와이어 마운팅 장착
(7) 구동축 회전속도: 1730rpm ±5%
(8) 자유공기토출량: 345ℓ /min ±7%
(9) 상용토출공기압: 9kgf/㎠
(10) 허용가동율: 15% ~ 100%
(11) 소음: 66dBA 이하(사방 5m 거리에서 측정한 평균값)





3.3.2 전동기

(1) 여자형식: 3 상 고류 농형 유도전동기
(2) 출력: 4kW
(3) 정격전압: AC380V
(4) 전류: 9A
(5) 회전수: 1730rpm ±5%
(6) 극수: 4 극
(7) 설계형식: 전폐형
(8) 보호등급: IP55
(9) 절연등급: F 종

3.4 제어

본 스크롤 공기압축기는 공기압축기용 압력스위치(Pressure Switch)동작에 따라 기동장치에서 제어되는 공급전원에 의해 기동/정지 방식으로 제어 운전한다.
즉, 공기압축기는 공기압축기용 기동장치와 기동 및 정지 설정압력에 따른 공기압축기용 압력스위치에 의해 기동하고 정지한다.

| 제어전원 | 압력스위치 작동 | 공기압축기 기동 |
|---|---|---|
| ON | ON | ON |
| OFF | OFF | OFF |

3.5 작동

그림 2 와 같이 공기압축기가 기동을 시작하게되면 외부 공기는 공기여과기에 의해 여과된후 선회스크롤에 의해 압축되어 공기냉각기를 통과하면서 냉각되고 공기압축기 후단에 설치된 각종 후처리장치에 의해 여과되어 주공기통에 유입된후 공기제동장치 및 각종 공기소모 장치에 깨끗한 공기를 공급한다.

그림.2 공기압축기 작동원리

4.검사 및 시험(Inspection & Test)

4.1 검사

4.1.1 검사의 분류

(1) 외관검사
(2) 치수검사

4.1.2 검사방법

(1) 외관검사

외관은 육안으로 검사하고 사용상 해로운 흠, 녹, 오손 및 변형이 없어야 한다.
도장은 도장 사양서에 따른다.
탄,스크롤 블럭은 도장하지 않으며 또한 플라스틱류 및 고무류도 도장하지 않는다. 그리고 전동기는 수입처 사양에 따른다.

(2) 치수검사

치수검사는 승인도면에 의한다.

4.2 시험

4.2.1 시험의 분류

(1) 압축기

1) 토출공기량시험
2) 토출공기온도시험
3) 누설시험
4) 소음시험
5) 진동시험

(2) 전동기

수입처의 일반 성능시험성적서로 대체한다.

4.2.2 시험조건

(1) 시험을 위한 적합한 시험장치를 설치하여야 한다.
(2) 시험에 사용하는 제품은 특별한 지정이 없는 한 완제품으로 한다.

4.2.3 시험방법

(1) 압축기

1)토출공기량시험

KS B 6351 에 의거 부하공기압 9kgf/㎠기준, 기준 rpm 으로 가동시켜 공기압축기에서 토출되는 공기량을 탱크 승기법으로 측정하고 자유공기 토출량을 계산한다.

▪ 기준: 345ℓ /min ±7%





| 기호 | 설명 | 비고 |
|---|---|---|
| Q | 자유공기토출량 | ℓ /min |
| Qt | 총 토출공기량 | ℓ |
| Vm | 측정용 공기 탱크의 체적 | 330ℓ |
| t | 측정용 공기 탱크를 0kgf/㎠→8kgf/㎠로 승기 하는데 소요되는 시간 | min |
| Pa | 흡입공기의 절대압력 | 1kgf/ ㎠ |
| Pc | 측정용 공기 탱크의 마지막 절대압력 | 8kgf/ ㎠ |
| Ta | 흡입공기의 절대온도 | K° |
| Tc | 측정용 공기 탱크의 마지막 절대온도 | K° |
| 계산식 | $Q=\frac{Qt}{t}=\frac{Vm\times Pc\times Ta}{t\times Tc\times Pa}=\frac{330\times 8\times Ta}{t\times Tc\times 1}$ | ℓ /min |

2)토출공기온도시험

9kgf/㎠로 가동시켜 공기압축기에서 토출되는 공기온도를 측정한다.

▪ 기준: 흡입공기온도 +20℃ 이하이어야 한다.

3)누설시험

9kgf/㎠으로 공기압축기를 약 10 분간 연속가동 후 공기압축기에 비눗물을 도포하여 공기누설이 없어야 한다.

4)소음시험

사방 5m 거리에서 소음을 측정하여 암소음을 배제한 순소음이 평균 66dB(A) 이하이어야 한다. 여기서 소음감의 차가 10dB(A)를 넘는 경우에는 암소음의 영향을 무시한다.

5)진동시험(KS R 9144)

KS R 9144 철도차량부품의 진동시험 방법의 1 종 B 기준에 준하여 시험한 후에 성능시험을 하였을때 이상이 없어야 한다.

(2)전동기

수입처에서 제공하는 일반성능 시험성적서로 대체한다.





4.3 시험 및 검사항목(Type test and Routine test)

| 구분 | 항목 | 형식시험 | 전수시험 |
|---|---|---|---|
| 압축기 | 1.외관검사 | ◎ | ◎ |
| | 2.치수검사 | ◎ | ◎ |
| | 3.토출공기량시험 | ◎ | ◎ |
| | 4.토출공기온도시험 | ◎ | - |
| | 5.누설시험 | ◎ | ◎ |
| | 6.소음시험 | ◎ | - |
| | 7.진동시험 | ◎ | - |
| 전동기 | 1.일반 성능시험 | ◎ | - |

※전동기는 수입처에서 제공하는 일반성능시험성적서로 대체한다.

5.성능보증 기간

제품의 성능 보증은 영업개시일로부터 3년간 그 성능을 만족해야 한다.
단, 소모품 교환주기 불이행 등 사용자의 취급 부주의에 의한 성능저하는 제외한다.

6.표시 및 포장(Packing & Manifestation)

6.1 표시

1) 형식 및 품명
2) 제조년월일
3) 제조회사명
4) 제조번호

6.2 포장

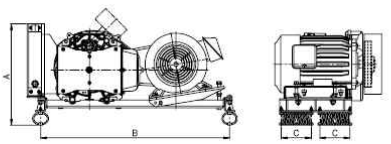
운반이나 저장 시 취급이 편리하고 손상되지 않도록 한다.





7.검사기준서(Test Criteria)

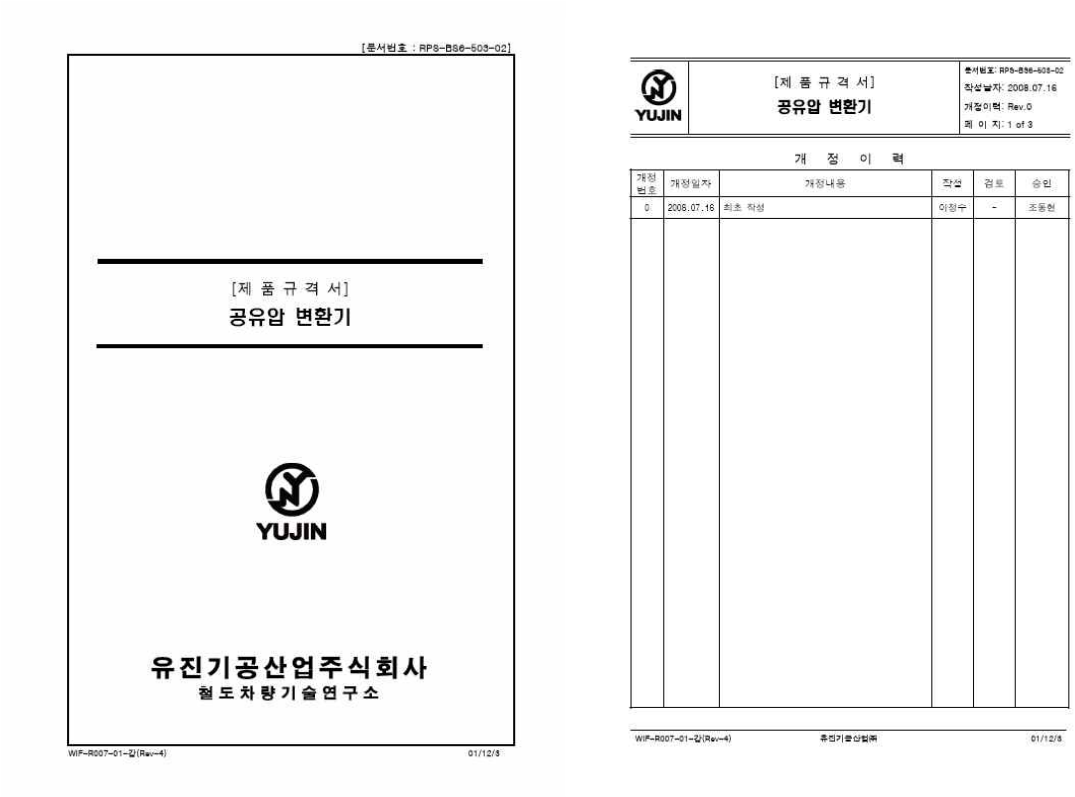
[대표도]




| No | 항목 | 기준 | | 형식 | 전수 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 외관검사 | 사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없을 것 | | ◎ | ◎ |
| 2 | 치수검사 | A | APPROX.386.6 | ◎ | ◎ |
| | | B | 719mm ±1 | | |
| | | C | 114.3mm ±0.6 | | |
| 3 | 토출공기량시험 | 부하공기압 9kgf/㎠기준, 해당 rpm 으로 가동시켜 공기압축기에서 토출되는 공기량을 탱크 승기법으로 측정하고 자유공기토출량을 계산하여 345ℓ /min ±7% 일 것. | | ◎ | ◎ |
| 4 | 토출공기온도시험 | 9kgf/㎠로 가동시켜 공기압축기에서 토출되는 공기온도를 측정하여 흡입공기온도 +20℃이하이어야 한다. | | ◎ | - |
| 5 | 누설시험 | 9kgf/㎠으로 공기압축기를 약 10 분간 연속가동 후 공기압축기에 비눗물을 도포한후 공기누설이 없어야 한다. | | ◎ | ◎ |
| 6 | 소음시험 | 사방 5m 거리에서 소음을 측정하여 암소음을 배제한 순소음이 평균 66dB(A)이하인 것을 확인한다. | | ◎ | - |
| 7 | 진동시험 | KS R 9144 철도차량부품의 진동시험 방법의 1 종 B 기준에 준하여 시험한 후에 성능시험을 하였을때 이상이 없어야 한다. | | ◎ | - |

[비고]

## 4) 공유압변환기



[문서번호 : RPS-BS6-503-02]

[제 품 규 격 서]

**공유압 변환기**

YUJIN

**유진기공산업주식회사**

**철도차량기술연구소**

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 01/12/5

---

YUJIN | [제 품 규 격 서] 공유압 변환기 | 문서번호: RPS-BS6-503-02 / 작성날자: 2008.07.16 / 개정이력: Rev.0 / 페 이 지: 1 of 3

개 정 이 력

| 개정 번호 | 개정일자 | 개정내용 | 작성 | 검토 | 승인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2008.07.16 | 최초 작성 | 이정우 | - | 조동현 |

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/5

---

YUJIN | [제 품 규 격 서] 공유압 변환기 | 문서번호: RPS-BS6-503-02 / 작성날자: 2008.07.16 / 개정이력: Rev.0 / 페 이 지: 2 of 3

**1. 적용범위**

본 제작 사양서는 도시형 자기부상실용화 차량의 TEST 차량에 사용하는 공유압 변환기에 대하여 적용한다.

**2. 필요조건**

**2.1. 치수 및 형상**

치수 및 형상은 승인도면에 의한다.

**2.2. 규 격**

(1) Load Chamber
- 유효면적 : 165 $cm^2$
- 전체 Stroke : 34 mm

(2) Load Chamber
- 유효면적 : 7.9 $cm^2$
- 전체 Stroke : 33 mm (유효 31.6 mm)
- 전체 토출유량 : 25.0 $cm^3$
- 작동유 : Maruzen RO32 (광물유)

(3) 최고사용공기압력 : 590 kPa (6kgf/$cm^2$)

(4) 사용온도범위 : -20 ℃ ~ +70 ℃

(5) 용량 : 약 157 N (16Kgf)

**3. 검사 및 시험**

**3.1. 검 사**

**3.1.1. 외관 검사**

겉모양은 사용상 해로운 흠, 녹, 오손과 변형이 없어야 하며 각부의 체결 상태는 견고히 고정 되어야 한다.

**3.1.2. 치수 검사**

치수 검사는 제작 도면에 의한다.

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/5

---

YUJIN | [제 품 규 격 서] 공유압 변환기 | 문서번호: RPS-BS6-503-02 / 작성날자: 2008.07.16 / 개정이력: Rev.0 / 페 이 지: 3 of 3

**3.2. 시 험**

**3.2.1. 누설 시험**

공유압 변환기에 490 kPa (5.0 kgf/$cm^2$)의 압축 공기를 공급하고 1 분간 누설이 없을 것.

**3.2.2. 출력 성능 시험**

공유압 변환기에 50 kPa (0.5 kgf/$cm^2$), 490 kPa (5.0 kgf/$cm^2$)의 압축 공기를 공급하고 변환된 유압을 압력센서와 Recorder를 이용하여 20초 후에 측정한다.

규 격 : 공압 50 kPa (0.5 kgf/$cm^2$) -> 유압 80 ± 20 kPa (0.8 ± 0.2 kgf/$cm^2$)

공압 490 kPa (5.0 kgf/$cm^2$) -> 유압 9.3 ± 0.4 MPa (95 ± 4.5 kgf/$cm^2$)

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/5

## 5) 유압캘리퍼

[문서번호 : RPS-B56-503-01]

[제 품 규 격 서]

**유압 캘리퍼**

YUJIN

**유진기공산업주식회사**

**철도차량기술연구소**

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 01/12/5



개 정 이 력

| 개정번호 | 개정일자 | 개정내용 | 작성 | 검토 | 승인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2008.07.16 | 최초 작성 | 이정우 | - | 조동현 |





### 1. 적용범위

본 제작 사양서는 도시형 자기부상철도 차량에 사용하는 유압 캘리퍼에 대하여 적용한다.

### 2. 적용규격

KS D 6008 알루미늄 합금 주물

### 3. 필요조건

#### 3.1. 치수 및 형상

치수 및 형상은 승인도면에 의한다.

#### 3.2. 규 격

(1) 형식 : HC40
(2) 실린더 직경 : 40 mm
(3) 유효 단면적 : 25.12 $cm^2$
(4) 스트로크 : 36 mm
(5) 최대 압부력(양측) : 37.28 kN (3800 kgf) 이상
(비상제동압력 7616.6 kPa (75.17 kgf/$cm^2$ 작용시))
(6) 최대 허용 압력 : 9810 kPa (100 kgf/$cm^2$)

### 4. 검사 및 시험

#### 4.1. 검 사

##### 4.1.1. 외관 검사

결모양은 사용상 해로운 흠, 녹, 오손과 변형이 없어야 하며 각부의 최결 상태는 견고히 고정 되어야 한다.

##### 4.1.2. 치수 검사

치수 검사는 제작 도면에 의한다.

##### 4.1.3. 소재 검사

| 품 명 | 소 재 | 관련규격 |
|---|---|---|
| Body-Caliper | AC4D-T6 | KS D 6008 |





#### 4.2. 시 험

##### 4.2.1. 작동상 시험

최저 작동 압력으로 유압유를 공급하여 유압 캘리퍼를 수회 작동한 후 제동 및 완해 상태를 육안으로 검사한다.
규 격 : 제동 및 완해가 원활 할 것.

##### 4.2.2. 내압성 시험

유압 캘리퍼에 10300 kPa (105 kgf/$cm^2$)의 유압유를 공급하여 2 분 경과 후 완해시켜 외형 상태를 육안으로 검사한다.
규 격 : 균열, 영구 변형, 부품의 파괴 등이 없을 것.

##### 4.2.3. 누유 시험

4.2.2.내압성 시험에서 누유 상태를 육안으로 검사한다.
규 격 : 패킹부의 누유량은 0.1ml 이하이며, 기타 부위에서는 누유가 없을 것.

##### 4.2.4. 제동 패드 압부력 시험

유압 캘리퍼에 비상제동압력 7616.6 kPa (75.17 kgf/$cm^2$)의 유압유를 공급하고 15초 후 유압캘리퍼 패드 홀더의 압부력을 측정한다.
규 격 : 양측 37.28 kN (3800 kgf) 이상일 것.
또는 편측 18.64 kN (1900 kgf) 이상일 것.

# 6) 제동패드

[문서번호 : RPS-BS6-503-03]

[제 품 규 격 서]

**제동 패드**

**유진기공산업주식회사**

**철도차량기술연구소**





**개 정 이 력**

| 개정번호 | 개정일자 | 개정내용 | 작성 | 검토 | 승인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 2009.05.21 | 최초 작성 | 이정수 | - | 조동현 |





## 1. 적용범위

본 제작 사양서는 도시형 자기부상실용화 차량에 사용하는 비석면 제동 패드(NON-ASBESTOS BRAKE PAD, 이하 패드)에 대해 적용한다.

## 2. 필요조건

### 2.1. 재질 및 형상

비석면 합성제 및 기타 마찰재

### 2.2. 제조 및 가공

**2.2.1.** 석면이 포함되지 않은 화이바 결합제 및 마찰 조정제 등을 혼합하여 가열, 가압 성형 후 내부까지 재질이 균일하게 되도록 충분한 열처리를 시행하여 제조한다.

**2.2.2.** 패드는 홀더에 취부가 용이하여야 하며 보강판은 방청처리와 도장을 하여야 한다.

### 2.3. 외관 및 성능

**2.3.1.** 외관

패드는 외관상 유해한 균열, 비틀림, 파손 등의 결함이 없어야 한다.

**2.3.2.** 성능

(1) 평균 마찰 계수

평균 마찰 계수는 4.2.2.(2)의 시험에 의해 각 브레이크 초속도를 평균하였을 때 다음과 같아야 하며 허용 공차는 ±10%로 한다.

| 항 목 | 사 양 |
|---|---|
| 평균 마찰 계수 | 0.33±10% |

(2) 마모량

마모량은 4.2.2.(4)의 시험 후 계산 결과가 아래에 따라야 한다.

| 항 목 | 사 양 |
|---|---|
| 마모량(x1/100mm) | 100 이하 |

(3) 압축강도

패드의 압축강도는 4.2.2.(5)의 시험 후 계산 결과가 아래에 따라야 한다.





| 항 목 | 사 양 |
|---|---|
| 압축강도 (kg/mm²) | 24.5 이상 (2.5kg/mm² 이상) |

(4) 소음

패드는 제동시 귀에 거슬리는 소음을 발생하지 않아야 한다.

(5) 변형

패드는 순간 최대 온도시 열에 의한 비틀림이 없어야 한다.

(6) 기타

① 패드는 마모시에도 표면의 상태가 변하지 않아야 하며 균열도 발생하지 않아야 한다.
② 패드는 정상적인 제동시 후각적으로 역겨운 냄새가 나지 않아야 한다.
③ 제동시 패드로 인해 디스크에 열균열, 열반점이 발생하지 않아야 한다.

## 3. 검사 및 시험

### 3.1. 검 사

**3.1.1. 검사의 분류**

(1) 외관 검사
(2) 치수 검사
(3) 소재 검사

**3.1.2. 검사 방법**

(1) 외관 검사는 3.3.1 항에 따라 시행한다.
(2) 치수 검사는 승인 도면에 의한다.
(3) 소재 검사는 비석면 재질이어야 한다.

### 3.2. 시 험

**3.2.1. 시험 종류**

(1) 예비 시험
(2) 평균 마찰 계수 시험
(3) 최고 온도 측정 시험
(4) 마모량 시험

(5) 압축 강도 시험

**3.2.2. 시험 방법**

(1) 예비 시험

- 시험기 플라이휠의 관성모멘트는 다음과 같다.

$$Oa = Ma \times r^2$$

Oa = 관성모멘트
Ma = 만차 하중에서 유압캘리퍼당 제동질량((공차하중+최대승객하중)/4)
r = 디스크 중심에서 패드 중심점까지의 거리(262mm)

- 시험용 패드를 시험기에 장착한다.
- 시험기 최전 속도는 80km/h 로 조정되어야 한다.
- 패드의 제동력은 양압조건으로 F=11.2kN (최대상용제동력의 약 50%)으로 한다.
- 초기 시험 온도는 100℃ 이하로 한다.
- 디스크와 패드의 접촉이 90%가 될 때까지 매 5회의 제동 이후 접촉 면적을 확인한다.
- 예비 시험은 디스크와 패드의 접촉 면적이 90% 이상이면 종료한다.
- 패드의 중량을 확인하고 기록한다.

(2) 평균 마찰 계수 시험

- 제동 초속도/제동력을 조합하여 각 2회 반복한다.(5x3x2 회=30 회)

| 제동 초속도(km/h) | 제동력(kN)-편성당 평균 | 초기온도(℃) |
|---|---|---|
| 20, 40, 60, 80, 100 | 11.2 (최대상용제동력의 약 50%)<br>22.3 (최대상용제동력)<br>25.1 (최대비상제동력) | 100 |

(3) 최대 온도 측정 시험

평균 마찰 계수 시험시 디스크 접촉면 1mm 깊이에서 온도를 측정하여 400℃ 이하이어야 한다.

(4) 마모량 시험

(1), (2)의 시험 후, 질량을 측정하고 다음식에 의해 마모량을 계산한다.



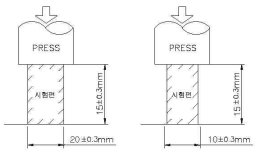


$$\delta = \Delta W / S \times \rho$$

δ = 마모량(x1/100mm)
ΔW = (1), (2) 시험후 패드의 중량 변동차
S = 패드와 디스크의 접촉면적
ρ = 패드의 밀도(몰드부)(g/cc)

(5) 압축 강도 시험→제품두께 미달로 시편제작 불가함(시료크기 조정요구됨:현제품은 9mm 임)

시험편은 제품에서 성형 가압의 방향이 두께 방향이 되도록 다음 그림의 형상치수로 절취한 것으로 하고 절차적으로 하중을 가하여 시험편이 파괴될 때의 하중(kg)을 측정하고 이를 가압면적(mm²)으로 나누어 산출한다.




(6) 평균 마찰 계수 시험(추가)

- 제동 초속도/제동력을 조합하여 각 50 회 반복한다. (1x3x50 회=150 회)

| 제동 초속도(km/h) | 제동력(kN)-편성당 평균 | 초기온도(℃) |
|---|---|---|
| 5 | 11.2 (최대상용제동력의 약 50%)<br>22.3 (최대상용제동력)<br>25.1 (최대비상제동력) | 100 |

(7) 마모량 시험(추가)

(6)의 시험 후, 질량을 측정하고 다음식에 의해 마모량을 계산한다.

$$\delta = \Delta W / S \times \rho$$

δ = 마모량(x1/100mm)





ΔW = (1), (2) 시험후 패드의 중량 변동차
S = 패드와 디스크의 접촉면적
ρ = 패드의 밀도(몰드부)(g/cc)

**3.3. 검사 방식과 합격 수준**

**3.3.1. 검사방식**

| 항 목 | 형식시험 | 전수시험 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 외 관 검 사 | ◎ | ◎ | - |
| 치 수 검 사 | ◎ | ◎ | 검사기준서 참조 |
| 소 재 검 사 | ◎ | ◎ | 1 개/LOT [LOT:1 회 발주분] |
| 평균마찰계수시험 | ◎ | - | |
| 최대온도측정시험 | ◎ | - | |
| 마 모 량 시 험 | ◎ | - | |
| 압 축 강 도 시 험 | ◎ | - | |

**3.3.2. 합격수준**

3.1, 3.2 항의 검사 및 시험 결과 이 규격에 적합할 때 합격으로 한다.

## 4. 포장 및 표시

**4.1. 포장**

운반 및 보관이 편리하고 파손 또는 손상되지 않도록 견고하게 포장하여야 한다.

**4.2. 표시**

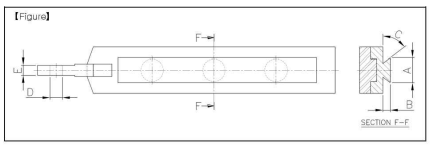
식별이 용이한 곳에 제품의 생산사항을 구분할 수 있는 표시를 한다.





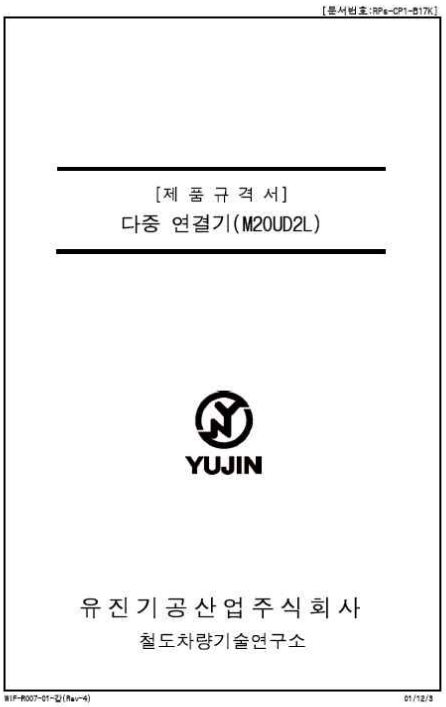
## 5. 검사기준서

【Figure】




| No | 검 사 항 목 | 검 사 기 준 | |
|---|---|---|---|
| 1 | 외 관 검 사 | 사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없을 것. | |
| 2 | 치 수 검 사 | A | 20 -0.2/-0.4 |
| | | B | 6 +0.1/0 |
| | | C | 53° |
| | | D | Ø10 +0.022/0 |
| | | E | 8 0/-0.2 |
| 3 | 소 재 검 사 | 비석면일 것. | |
| 4 | 평 균 마 찰 계 수 시 험 | 0.33 ± 10% | |
| 5 | 최 고 온 도 측 정 시 험 | 400℃ 이하일 것. | |
| 6 | 마 모 량 시 험 | 100 이하( X $10^{-2}$ mm) | |
| 7 | 압 축 강 도 시 험 | 24.5N/mm² 이상 (2.5kg/mm² 이상) | |
| 8 | 소 음 | 비정상적인 스퀼음이 없을 것. | |
| 9 | 변 형[순간최고온도시] | 열에 의한 비틀림이 없을 것. | |
| 10 | 냄 새 | 마찰에 의한 타는 냄새가 나지 않을 것. | |
| 11 | 열 균 형 | 발생하지 않아야 함. | |

## 7) 전두부 연결기



[문서번호:RPs-CP1-B17K]

[제 품 규 격 서]

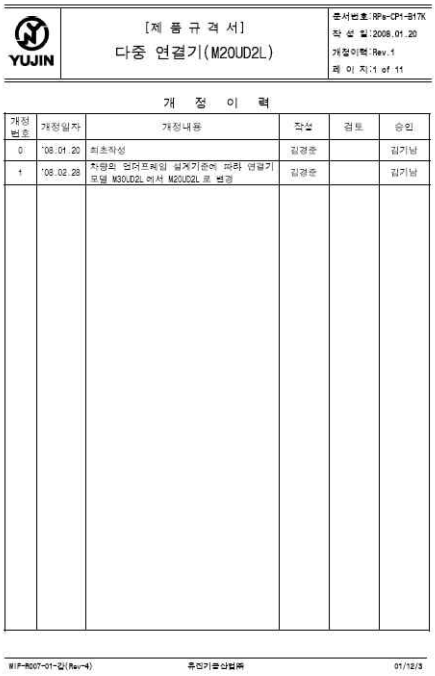
다중 연결기(M20UD2L)

YUJIN

유진기공산업주식회사

철도차량기술연구소

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 01/12/3



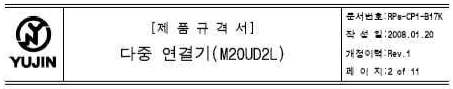
YUJIN [제 품 규 격 서] 다중 연결기(M20UD2L)

문서번호:RPs-CP1-B17K
작 성 일:2008.01.20
개정이력:Rev.1
페 이 지:1 of 11

개 정 이 력

| 개정번호 | 개정일자 | 개정내용 | 작성 | 검토 | 승인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | '08.01.20 | 최초작성 | 김경호 | | 김기남 |
| 1 | '08.02.28 | 차량의 언더프레임 설계기준에 따라 연결기 모델 M30UD2L 에서 M20UD2L 로 변경 | 김경호 | | 김기남 |

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/3



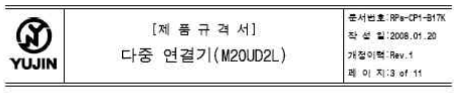
YUJIN [제 품 규 격 서] 다중 연결기(M20UD2L)

문서번호:RPs-CP1-B17K
작 성 일:2008.01.20
개정이력:Rev.1
페 이 지:2 of 11

목 차


1. 적용범위 ..... 3
2. 적용규격 ..... 3
2.1 한국공업규격(KS) ..... 3
2.2 일본산업규격(JIS) ..... 3
3. 필요조건 ..... 3
3.1 개요 ..... 3
3.2 구성 ..... 3
3.3 재질 ..... 4
3.4 구조, 형상 및 치수 ..... 4
3.5 제조 및 가공 ..... 5
3.6 성능 ..... 5
4. 검사 및 시험 ..... 6
4.1 검사 ..... 6
4.2 시험 ..... 7
4.3 시험 및 검사항목 ..... 9
4.4 완성 검사 기준서 ..... 9
4.5 성능 보증 기간 ..... 9
5. 포장 및 표시 ..... 9
5.1 포장 ..... 9
5.2 표시 ..... 9
6. 완성 검사 기준서 ..... 10


WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/3



YUJIN [제 품 규 격 서] 다중 연결기(M20UD2L)

문서번호:RPs-CP1-B17K
작 성 일:2008.01.20
개정이력:Rev.1
페 이 지:3 of 11

### 1. 적용범위

본 규격서는 자기부상 열차에 사용되는 다중 연결기(이하 연결기라 한다.)에 대하여 적용한다.

### 2. 적용규격

#### 2.1 한국공업규격(KS)

A 0006 시험 장소의 표준 상태
R 9208 철도 차량 – 자동 연결기
R 9209 철도 차량 – 밀착 연결기
D 4101 탄소강 주강품
D 0213 철강 재료의 자분 탐상 시험 방법 및 자분 모양의 분류

#### 2.2 일본산업규격(JIS)

E 4202 전기 연결기

### 3. 필요조건

#### 3.1 개요

연결기는 차량 고장 등으로 정차한 열차에 다른 구원열차를 자동으로 연결하여 고장 열차에 방송 및 전동회로, 제어회로에 전원을 공급하여 견인하기 위한 장치이다.

#### 3.2 구성

본 장치는 다음과 같은 품목으로 구성되어 있다.

1) 밀착 연결기(Tight lock coupler)

밀착 연결기는 회전식 연결기로 몸체 내부에는 키블럭(Key-Block), 해방용(Uncoupling) 공기 실린더가 설치되어 있고, 밀착 연결기 하단에는 전기 연결기가 설치되어 있으며, 완충장치 하단에는 센터링 장치가 설치되어 있다. 해방용 공기 실린더에는 7bar 이상의 압축공기가 공급되어야 자동해방이 가능하다. 자동해방장치는 차량의 설계에 따라 선택사항이 될 수 있다.

2) 전기 연결기(Electric coupler)

본 기기는 밀착 연결기의 하단에 장착되어 차량의 연결 또는 해방시 접근 및 이행 동력을 이용하여, 자동적으로 전기 회로의 접속 및 분리가 가능한 구조로 되어 있으

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 유진기공산업㈜ 01/12/3

며 사용 핀 수는 42핀으로 구성된다. 전기 연결기는 밀착 연결기의 기계적인 연결과 동시에 연결된다.

3) 완충장치(Rubber cushion drawgear)

완충장치는 연결기의 후방에 위치하는 충격흡수장치이다. 본 기기는 연결기의 원활한 관절 움직임을 가능하게 한다. 제한된 범위에서 인장 및 압축력에 대한 충격을 흡수하며, 그 범위 이상의 하중은 Bearing bracket을 통하여 차체에 전달된다.

4) 버티컬 서포트(Vertical support)

버티컬 서포트는 연결기의 수직 방향 움직임을 구속하는 장치로, 상하 방향에 대한 범위를 구속한다. 즉, 연결기 몸체의 중량에 의하여 연결기가 처부점을 기준으로 하방향으로 처두질 경우 이 장치를 이용하여 높이를 보정할 수 있다. 이 장치는 차량의 설계에 따라 선택사항이 될 수 있다.

6) 머프 커플러(Muff coupling)

본 기기는 밀착 연결기와 완충장치(Rubber cushion drawgear)를 연결하는 역할을 한다.

### 3.3 재질

1) 주요 부품의 재질은 다음과 같다.

| 부 품 명 | 재 질 | 규 격 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 밀착연결기 몸체부 | SCC60 | KS R 9208 | 인장, 화학분석 |
| 키블럭(Key-Block) | SC460 | KS D 4101 | 인장, 화학분석 |

2) 기계적 성질

| 재 질 | 항 복 점 | 인 장 강 도 | 연 신 율 | 단면수축율 |
|---|---|---|---|---|
| SCC60 | 390 MPa 이상 | 670 MPa 이상 | 23 % 이상 | 35 % 이상 |
| SC460 | 225 MPa 이상 | 460 MPa 이상 | 19 % 이상 | 30 % 이상 |

3) 화학 성분(%)

| 재 질 | C | Si | Mn | P | S | Ni | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SCC60 | 0.10~0.20 | 0.20~0.70 | 0.60~1.20 | 0.030 이하 | 0.030 이하 | 0.75 이하 | 0.20 이하 |
| SC460 | 0.35 이하 | - | - | 0.040 이하 | 0.040 이하 | _ | _ |

※ 재질 검사는 공인기관의 성적서 및 Mill sheet로 대체 가능하다.

### 3.4 구조, 형상 및 치수





본 연결기의 구조, 형상 및 치수는 승인도면에 준한다.

### 3.5 제조 및 가공

3.5.1 제조

각 연결기에 사용되는 주조품은 주조석, 기포 등 주조결함이 없어야 하며 필요에 따라 열처리를 행하여야 한다.

3.5.2 가공

각 부품의 가공은 정확하고 견밀하게 가공되어 상호동작 기능에 이상이 없어야 한다.

3.5.3 기타

전기 연결기는 훼손시 간단하게 교환할 수 있게 제품의 후두부에 구출된 전선의 도중 및 끝단에 필요시 Connector를 설치할 수 있다.

### 3.6 성능

3.6.1 밀착 연결기

압축 하중 : 20톤 이상

3.6.2 전기 연결기

| 구 분 | 성 능 | 비 고 |
|---|---|---|
| 접 촉 자 수 | 42 PIN | |
| 정 격 전 압 | DC 100 V | |
| 정 격 전 류 | 13 A | |
| 접 속 방 식 | 접촉식 | |
| 보 호 등 급 | IP 65 | |

3.6.3 완충장치

완충장치는 제한된 스트로크의 범위에서 충격을 흡수하며, 허용된 스트로크를 초과한다면, 차체에 하중을 전달 한다. 완충장치는 Cushioning unit와 Bearing bracket로 구성되고, 수직, 수평 및 비틀림의 움직임뿐 아니라 가르반식 움직임도 가능하다.

Cushioning unit는 Bearing bracket에 의해서 일체되고, 수평 회전을 가능하게 하기 위해 Journal과 Maintenance-free bush가 제공된다.

완충장치의 입측은 연결기 Shank와 Muff coupling을 이용하여 연결되기 위해서 플랜지 형상을 갖는다. 인장 및 압축력은 두개의 분리된 고무의 전단에 의하여 흡수 된





다. 그림1은 완충장치의 특성곡선을 나타낸다.

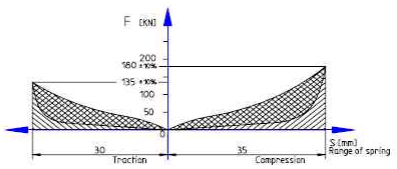



그림 1 정적 특성

| 순서 | 구 분 | | 성 능 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 스트로크 | Traction | 30 mm | 고무의 전단 |
| | | Compression | 35 mm | 고무의 전단 |
| 2 | 충격 흡수 | Traction | 2.4kJ | 고무의 전단 |
| | | Compression | 1.5kJ | 고무의 전단 |
| 3 | 수직 움직임 | | ±6° | |
| 4 | 수평 움직임 | | ±45° | |

## 4. 검사 및 시험

### 4.1 검사

4.1.1 검사 항목

(1) 외관 검사

- 겉모양은 사용상 해로운 흠, 녹, 오손과 변형이 없어야 한다.
- 도장은 승인 도장 규격서에 의하며, 승인된 도장시편이 제공되어야 한다.

(2) 치수 검사

- 치수 검사는 대표도에 의한다. 단, 치수검사 항목 중 C(6°), D(45°)는 형식





시험에서만 실시한다.

(3) 자분탐상검사

- KS D 0213에 의거 연결기 몸체 표면을 검사할 때 사용상 유해한 균열, 기타 흠등이 없어야 한다. 검사방법은 극간법으로 한다.

4.1.2 검사 방법

(1) 형식 시험(TYPE TEST)

- 최초 제작시 또는 성능에 큰 영향을 주는 설계 변경이 있을 경우 규격서에 의거하여 행하며, 최소 1대 이상 시험한다.

(2) 정수 시험(ROUTINE TEST)

- 양산 시험은 정수 시험으로 하며, 필요시 시험 항목은 추가할 수 있다.

### 4.2 시험

4.2.1 시험의 방법

(1) 재질시험

- 3.3항의 시험항목에 따른다. 기계적 성질 및 화학성분 시험은 1 Charge당 샘플 1개를 시험한다.

(2) 호환성시험(밀착, 전기연결기)

- 협의의 연결기를 서로 조합할 시 밀착의 기능 및 회로 구성에 이상이 없어야 한다. 전기연결기의 경우 별도의 도통 시험장비에 연결하고, 각 신호선에 전원을 인가 했을 경우 LAMP의 점등으로 연결상태 이상유무를 확인한다.

(3) 공기누설시험(밀착연결기)

- 표준연결기에 연결하여 3톤 이상의 인장력을 가하면서 882 kPa (9 kgf/cm²)의 압축공기를 보냈을 때 누설이 없어야 한다.

(4) 인장하중시험(밀착연결기)

- 3톤 이상의 인장력을 가했을 때 공기 누설이 발생하지 않을 것.

(5) 절연저항시험(전기연결기)

- DC 1,000 V 절연저항계로 각 접촉자간 및 도전부와 접지부 간을 측정하여 20MΩ 이상일 것.

(6) 절연내압시험(전기연결기)

• 각 접촉자간 및 도전부와 접지부 간을 AC 1,200 V/60 Hz로 1분간 가하여 견뎌야 한다.

(7) 온도상승시험(전기연결기)

• 연결기를 결합시킨 상태에서 접촉자에 통전 조건에 따라 전류를 인가하고, 접촉자, 전선보호튜브, 전선 및 전기연결기 몸체의 포화온도를 측정한다. 측정부의 온도 상승은 60 ℃이하 이어야 한다.
통전 조건: 전기 연결기 전선의 총 개수 중 9선은 정격 정류를 통전하고, 나머지선은 정격 전류의 30 %를 인가한다. 여기서 9선의 선택은 상부, 중앙 및 하부에서 각각 3선씩을 선정한다.

(8) 중량측정

• 연결기 완성품에 대하여 저울을 이용하여 중량을 측정하며, 측정된 중량은 설계중량 ±5% 이내이어야 한다.

(9) 강도시험(일적연결기)

• 연결기 몸체에 20톤의 압축하중을 가하여 항복응력을 초과하지 않을 것.





4.3 시험 및 검사항목

| 구분 / 항목 | 형식시험 | 전수시험 |
|---|---|---|
| 외 관 검 사 | ◎ | ◎ |
| 치 수 검 사 | ◎ | ◎ |
| 자 분 탐 상 검 사 | ◎ | ◎ |
| 재 질 시 험 | ◎ | – |
| 호 환 성 시 험 | ◎ | ◎ |
| 공 기 누 설 시 험 | ◎ | ◎ |
| 인 장 하 중 시 험 | ◎ | ◎ |
| 절 연 저 항 시 험 | ◎ | ◎ |
| 절 연 내 압 시 험 | ◎ | – |
| 온 도 상 승 시 험 | ◎ | – |
| 중 량 측 정 | ◎ | – |
| 강 도 시 험 | ◎ | – |

4.4 완성 검사 기준서

별지참조 – 6. 완성 검사 기준서를 참조한다.

4.5 성능 보증 기간

납품 후 4년.

5. 포장 및 표시

5.1 포장

운반 및 보관이 편리하고 파손 또는 손상되지 않도록 견고하게 포장 하여야 한다.

5.2 표시

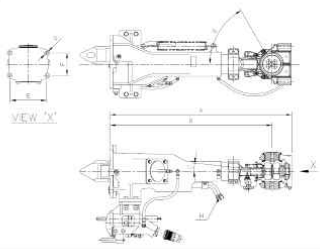
식별이 용이한 곳에 품명, 제작회사명, 제작년월, 제작일련번호 등을 표시하여야 한다.





6. 완성 검사 기준서

【도 표】




| No | 검사항목 | 검 사 기 준 | | 검사결과 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 외 관 검 사 | 사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없으며, 도장은 승인 도장 규격서의 규격을 만족할 것. | | |
| 2 | 치 수 검 사 | A | 1.207 ± 6 | |
| | | B | 1.077 ± 6 | |
| | | C | 6° (※ 형식 시험만 실시.) | |
| | | D | 45° (※ 형식 시험만 실시.) | |
| | | E | 240 ± 0.3 | |
| | | F | 160 ± 0.3 | |
| | | G | Φ26 + 0.6 / – 0.0 | |
| | | H | R1 | |
| 3 | 자분탐상검사 | KS D 0213 에 의거 균열 등 결함이 없을 것. 검사방법은 극간법으로 한다. | | |
| 4 | 재 질 검 사 | 3.3 항을 만족할 것. | | |





| No | 검사항목 | 검 사 기 준 | 검사결과 |
|---|---|---|---|
| 5 | 호 환 성 시 험 | 임의의 연결기를 서로 조합할 시 탈착 기능 및 회로구성에 이상이 없을 것. 전기연결기의 경우 별도의 도통 시험장비에 연결하고, 각 심선에 전원을 인가 했을 경우 LAMP 의 점등으로 연결상태 이상유무를 확인한다. | |
| 6 | 공기누설시험 | 임의의 연결기에 연결하여 3 톤의 인장력과 882 kPa (9 kgf/cm²의)의 압축공기를 보냈을 때 누설이 없을 것. | |
| 7 | 인장하중시험 | 3톤 인장력을 적용했을때 공기누설이 발생하지 않을 것. | |
| 8 | 절연저항시험 | DC 1,000 V 절연저항계로 각 접촉자간 및 도전부와 접지부간을 측정하여 20MΩ 이상일 것. | |
| 9 | 절연내압시험 | 각 접촉자간 및 도전부와 접지부간을 AC 1,200 V / 60 Hz 로 1분간 가하여 견뎌야 할 것. | |
| 10 | 온도상승시험 | 연결기를 결합시킨 상태에서 접촉자에 통전 조건에 따라 전류를 인가하고, 접촉자, 전선보호튜브, 전선 및 전기연결기 몸체의 포화온도를 측정한다. 측정부의 온도 상승은 60 ℃이하 이어야 한다.<br>통전 조건: 전기 연결기 전선의 총 개수 중 9선은 정격 정류를 통전하고, 나머지 선은 정격 전류의 30 %를 인가한다. 여기서 9선의 선택은 상부, 중앙 및 하부에서 각각 3선씩을 선정한다. | |
| 11 | 중 량 측 정 | 연결기 완성품에 대하여 저울을 이용하여 중량을 측정하며, 측정된 중량은 설계중량 ±5% 이내이어야 한다. | |
| 12 | 강 도 시 험 | 연결기 몸체에 20 톤의 압축하중을 가하여 항복응력을 초과하지 않을 것. | |

## 8) 중간연결기



[제 품 규 격 서]

중간 연결기(T20D2L)

YUJIN

유진기공산업주식회사

철도차량기술연구소





개 정 이 력

| 개정 번호 | 개정일자 | 개정내용 | 작성 | 검토 | 승인 |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | '08.01.20 | 최초작성 | 김경중 | | 김기남 |
| 1 | '08.02.28 | 차량의 업더프레임 설계기준에 따라 연결기 모델 M30JD2L 에서 M20JD2L 로 변경 | 김경중 | | 김기남 |





목 차

1. 적용범위 ..... 3
2. 적용규격 ..... 3
2.1 한국공업규격(KS) ..... 3
3. 필요조건 ..... 3
3.1 개요 ..... 3
3.2 구성 ..... 3
3.3 재질 ..... 3
3.4 구조, 형상 및 치수 ..... 4
3.5 제조 및 가공 ..... 4
3.6 성능 ..... 4
4. 검사 및 시험 ..... 6
4.1 검사 ..... 6
4.2 시험 ..... 6
4.3 시험 및 검사항목 ..... 7
4.4 완성 검사 기준서 ..... 7
4.5 성능 보증 기간 ..... 7
5. 포장 및 표시 ..... 7
5.1 포장 ..... 7
5.2 표시 ..... 7
6. 완성 검사 기준서 ..... 8





### 1. 적용범위

본 규격서는 자기부상 열차에 사용되는 중간 연결기(이하 연결기라 한다.)에 대하여 적용한다.

### 2. 적용규격

#### 2.1 한국공업규격(KS)

A 0006 시험 장소의 표준 상태
R 9208 철도 차량 – 자동 연결기
D 3711 크롬 몰리브덴강 강재
D 0213 철강 재료의 자분 탐상 시험 방법 및 자분 모양의 분류

### 3. 필요조건

#### 3.1 개요

중간 연결기는 전동차의 차간에 설치되어 다른 차량에 설치된 중간 연결기와 안정적으로 연결되는 장치이다.

#### 3.2 구성

본 장치는 다음과 같은 품목으로 구성되어 있다.

1) 연결기 몸체(Coupler body)

연결기 몸체는 반영구 연결기에 적용된 형식을 사용하며, 연결기 헤드(Coupler head), 연결기 튜브(Coupler tube), 연결기 꼬리(Coupler tail)로 구성된다.

2) 완충장치(Rubber cushion draw gear)

완충장치는 연결기의 후방에 위치하는 충격흡수장치이다. 본 기기는 연결기의 완전한 원절 움직임을 가능하게 한다. 제한된 범위에서 인장 및 압축력에 대한 충격을 흡수하며, 그 범위 이상의 하중은 Bearing bracket을 통하여 차체에 전달된다.

3) 머프 커플러(Muff coupler)

본 기기는 연결기와 연결기 및 연결기와 완충장치(Rubber cushion draw gear)를 연결하는 역할을 한다.

#### 3.3 재질

1) 주요 부품의 재질은 다음과 같다.

| 부 품 명 | 재 질 | 규 격 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| Coupler Head | SCM440 | KS D 3711 | 인장, 화학분석 |
| Coupler Tube | ST52-3 | DIN17120-84 | 인장, 화학분석 |
| Coupler Tail | SCM440 | KS D 3711 | 인장, 화학분석 |

2) 기계적 성질

| 재 질 | 항 복 점 | 인 장 강 도 | 연 신 율 | 단면수축율 |
|---|---|---|---|---|
| SCM440 | 834 MPa 이상 | 980 MPa 이상 | 12 % 이상 | 45% 이상 |
| ST52-3 | 335 MPa 이상 | 490~630MPa | - | |

3) 화학 성분(%)

| 재 질 | C | Si | Mn | P | S | Ni | V |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SCM440 | 0.38 ~0.43 | 0.15 ~0.35 | 0.60 ~0.85 | 0.030 이하 | 0.030 이하 | - | - |
| ST52-3 | 0.22 | - | - | 0.04 | 0.04 | | |

※ 재질 검사는 공인기관의 성적서 및 Mill sheet로 대체 가능하다.

**3.4 구조, 형상 및 치수**

본 연결기의 구조, 형상 및 치수는 승인도면에 준한다.

**3.5 제조 및 가공**

3.5.1 제조

각 연결기에 사용되는 소재는 3.3의 조건을 만족하는 소재를 사용하여 견고하고 안전하게 제작되어야 한다.

3.5.2 가공

각 부품의 가공은 정확하고 원활하게 가공되어 상호동작 기능에 이상이 없어야 한다.

3.5.3 기타

연결면은 밀착성이 좋아야 하며, 풀림을 방지하기 위하여 Nut 조립시 적정 토크를 적용한다.

**3.6 성능**

3.6.1 연결기 몸체





압축 하중 : 20톤 이상

3.6.2 완충장치

완충장치는 제한된 스트로크의 범위에서 충격을 흡수하며, 허용된 스트로크를 초과한다면, 차체에 하중을 전달 한다. 완충장치는 Cushioning unit와 Bearing bracket로 구성되고, 수직, 수평 및 비틀림의 움직임뿐 아니라 가로만식 움직임도 가능하다.

Cushioning unit는 Bearing bracket에 의해서 일체되고, 수평 회전을 가능하게 하기 위해 Journal과 Maintenance-free bush가 제공된다.

완충장치의 일측은 연결기 Shank와 Muff coupling을 이용하여 연결되기 위해서 플랜지 형상을 갖는다. 인장 및 압축력은 두개의 분리된 고무의 전단에 의하여 흡수 된다. 그림1은 완충장치의 특성곡선을 나타낸다.

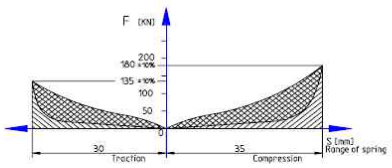



그림 1 정적 특성

| 순서 | 구 분 | | 성 능 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 스트로크 | Traction | 30 mm | 고무의 전단 |
| | | Compression | 35 mm | 고무의 전단 |
| 2 | 충격 흡수 | Traction | 2.4kJ | 고무의 전단 |
| | | Compression | 1.6kJ | 고무의 전단 |
| 3 | 수직 움직임 | | ±6° | |
| 4 | 수평 움직임 | | ±45° | |





## 4. 검사 및 시험

**4.1 검사**

4.1.1 검사 항목

(1) 외관 검사

- 겉모양은 사용상 해로운 흠, 녹, 오손과 변형이 없어야 한다.
- 도장은 승인 도장 규격서에 의하며, 승인된 도장시편이 제공되어야 한다.

(2) 치수 검사

- 치수 검사는 대표도에 의한다. 단, 치수검사 항목 중 C(6°), D(45°)는 형식시험에서만 실시한다.

(3) 자분탐상검사

- KS D 0213에 의거 연결기 몸체 표면을 검사했을 때 사용상 유해한 균열, 기타 흠등이 없어야 한다. 검사방법은 극간법으로 한다.

4.1.2 검사 방법

(1) 형식 시험(TYPE TEST)

- 최초 제작시 또는 성능에 큰 영향을 주는 설계 변경이 있을 경우 규격서에 의거하여 행하며, 최소 1대 이상 시험한다.

(2) 전수 시험(ROUTINE TEST)

- 양산 시험은 전수 시험으로 하며, 필요시 시험 항목은 추가할 수 있다.

**4.2 시험**

4.2.1 시험의 방법

(1) 재질시험

- 3.3항의 시험항목에 따른다. 기계적 성질 및 화학성분 시험은 1 Charge당 샘플 1개를 시험한다.

(2) 공기누설시험

- 연결 상태에서 882 kPa (9 kgf/cm²)의 압축공기를 충기 하였을 때 공기 누설이 없어야 한다.

(3) 중량측정





- 연결기 완성품에 대하여 저울을 이용하여 중량을 측정하며, 측정된 중량은 설계중량 ±5% 이내이어야 한다.

(4) 강도시험

- 연결기 몸체에 20톤의 압축하중을 가하여 항복응력을 초과하지 않을 것.

**4.3 시험 및 검사항목**

| 구분 / 항목 | 형 식 시 험 | 전 수 시 험 |
|---|---|---|
| 외 관 검 사 | ◎ | ◎ |
| 치 수 검 사 | ◎ | ◎ |
| 자 분 탐 상 검 사 | ◎ | ◎ |
| 재 질 시 험 | ◎ | - |
| 공 기 누 설 시 험 | ◎ | ◎ |
| 중 량 측 정 | ◎ | - |
| 강 도 시 험 | ◎ | - |

**4.4 완성 검사 기준서**

별지참조 – 6. 완성 검사 기준서를 참조한다.

**4.5 성능 보증 기간**

납품 후 4년.

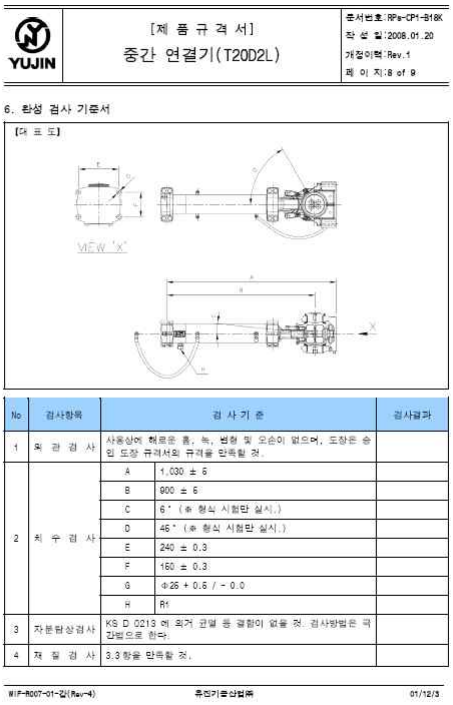
## 5. 포장 및 표시

**5.1 포장**

운반 및 보관이 편리하고 파손 또는 손상되지 않도록 견고하게 포장 하여야 한다.

**5.2 표시**

식별이 용이한 곳에 품명, 제작회사명, 제작년월, 제작일련번호 등을 표시하여야 한다.



YUJIN | [제 품 규 격 서] 중간 연결기(T20D2L) | 문서번호:RPs-CP1-B18K 작 성 일:2008.01.20 개정이력:Rev.1 페 이 지:8 of 9

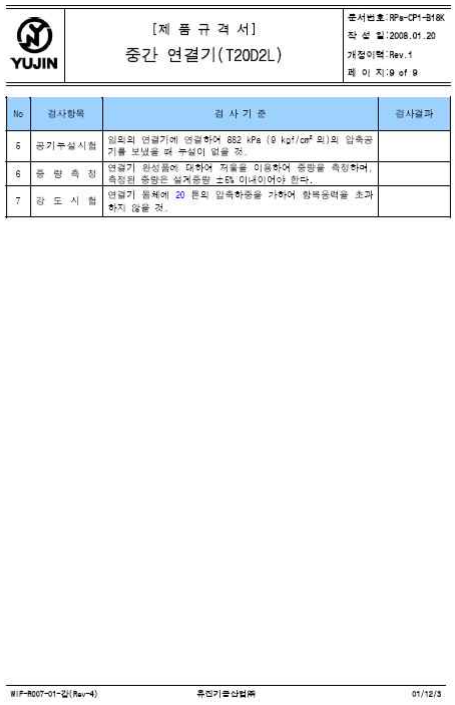
6. 환성 검사 기준서

【대 표 도】

VIEW 'X'

| No | 검사항목 | 검 사 기 준 | | 검사결과 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 외 관 검 사 | 사용상에 해로운 흠, 녹, 변형 및 오손이 없으며, 도장은 승인 도장 규격서의 규격을 만족할 것. | | |
| 2 | 치 수 검 사 | A | 1,030 ± 6 | |
| | | B | 900 ± 6 | |
| | | C | 6° (※ 형식 시험만 실시.) | |
| | | D | 45° (※ 형식 시험만 실시.) | |
| | | E | 240 ± 0.3 | |
| | | F | 160 ± 0.3 | |
| | | G | Φ25 + 0.5 / - 0.0 | |
| | | H | R1 | |
| 3 | 자분탐상검사 | KS D 0213 에 의거 균열 등 결함이 없을 것. 검사방법은 곡감법으로 한다. | | |
| 4 | 재 질 검 사 | 3.3 항을 만족할 것. | | |

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 주진기공산업㈜ 01/12/3



YUJIN | [제 품 규 격 서] 중간 연결기(T20D2L) | 문서번호:RPs-CP1-B18K 작 성 일:2008.01.20 개정이력:Rev.1 페 이 지:9 of 9

| No | 검사항목 | 검 사 기 준 | 검사결과 |
|---|---|---|---|
| 5 | 공기누설시험 | 임의의 연결기에 연결하여 882 kPa (9 kgf/cm² 의)의 압축공기를 보냈을 때 누설이 없을 것. | |
| 6 | 중 량 측 정 | 연결기 완성품에 대하여 저울을 이용하여 중량을 측정하며, 측정된 중량은 설계중량 ±5% 이내이어야 한다. | |
| 7 | 강 도 시 험 | 연결기 몸체에 20 톤의 압축하중을 가하여 항복응력을 초과하지 않을 것. | |

WIF-R007-01-갑(Rev-4) 주진기공산업㈜ 01/12/3

(3) 3차년도 연구개발 내용 및 결과

(가) 제동성능 계산

차량의 중량 및 설계변경 내용 반영하여 공기제동 성능 요구조건인 상용제동시 감속도 4.0km/h/s, 비상제동 시 감속도 4.5km/h/s에 따라 제동계산서 수정 함.

EP 제동시스템의 등가응답시간($t_e$)을 적용하고 등가감속도($a_e$)로 제동이 작용할 때, 어떤 초기속도($v_0$)에서 정지거리($S_3$)를 구할 수 있다. 다만, 직선 평탄 선로에서 주행저항은 무시하며 제동이 작용하기 전의 운전자 반응시간은 제외한다.

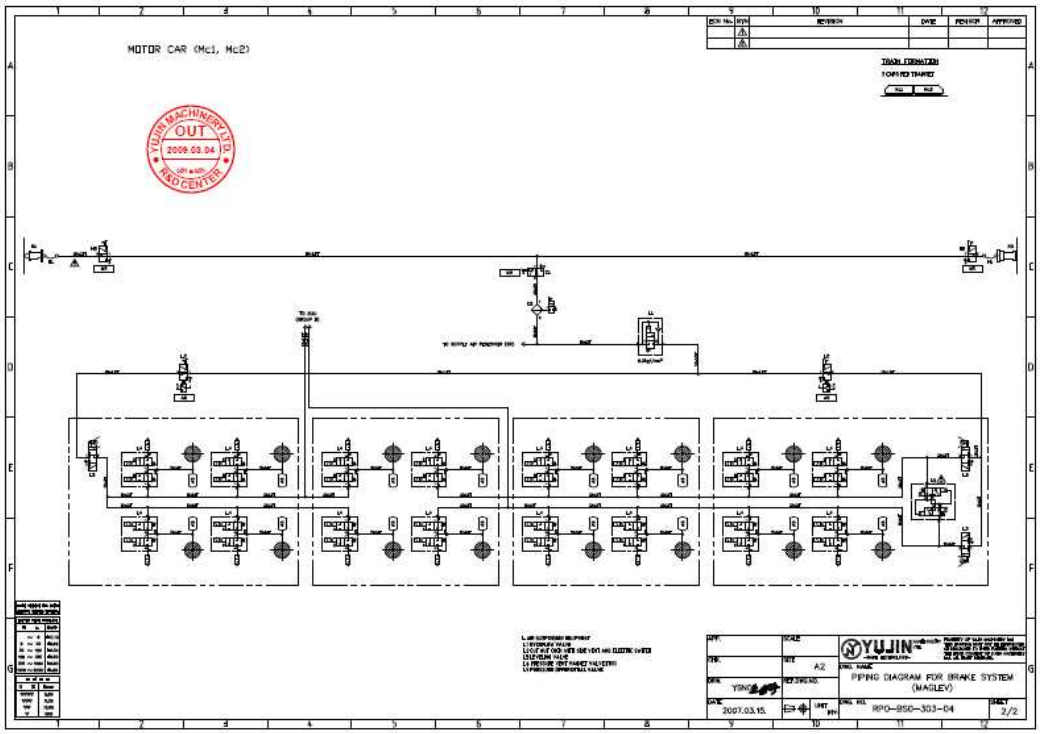
| | 공차 | 만차 | 비고 |
|---|---|---|---|
| **초기속도** | 100.00 | 100.00 | [km/h] |
| **공주시간** | 1.50 | 1.50 | [sec] |
| **마찰제동력** | 44.44 | 58.89 | [kN] |
| **구배저항력** | 0.00 | 0.00 | [kN] |
| **주행저항력** | 0.00 | 0.00 | [kN] |
| **감속력** | 44.44 | 58.89 | [kN] |
| **등가감속도** | 4.00 | 4.00 | [km/h/s] |
| **공주거리($S_1$)** | 42 | 42 | [m] |
| **제동거리($S_2$)** | 347 | 347 | [m] |
| **정지거리($S_3$)** | 389 | 389 | [m] |

EP 제동시스템의 등가응답시간($t_e$)을 적용하고 등가감속도($a_e$)로 제동이 작용할 때, 어떤 초기속도($v_0$)에서 정지거리($S_3$)를 구할 수 있다. 다만, 직선 평탄 선로에서 주행저항은 무시하며 제동이 작용하기 전의 운전자 반응시간은 제외한다.

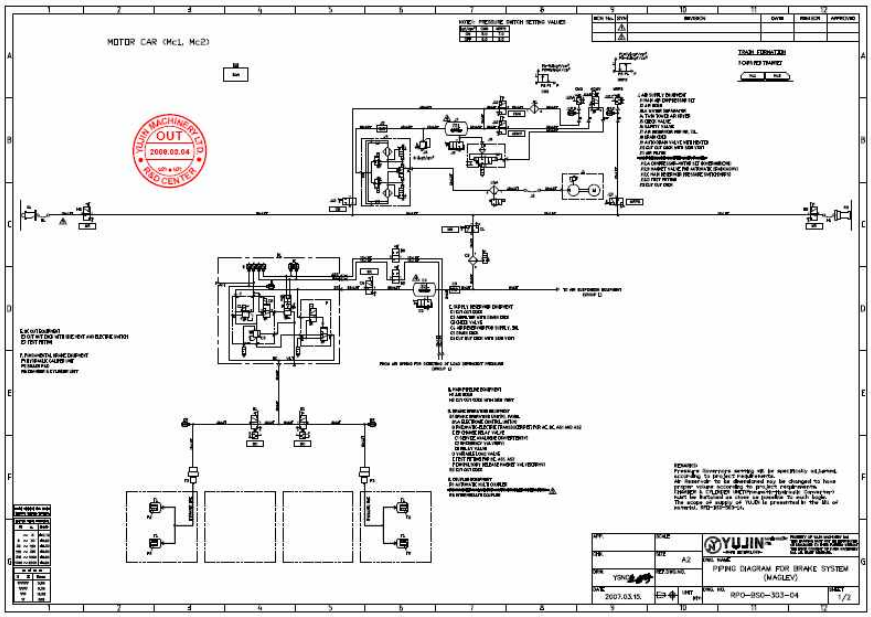
| | 공차 | 만차 | 비고 |
|---|---|---|---|
| **초기속도** | 100.00 | 100.00 | [km/h] |
| **공주시간** | 1.30 | 1.30 | [sec] |
| **마찰제동력** | 50.00 | 66.25 | [kN] |
| **구배저항력** | 0.00 | 0.00 | [kN] |
| **주행저항력** | 0.00 | 0.00 | [kN] |
| **감속력** | 50.00 | 66.25 | [kN] |
| **등가감속도** | 4.50 | 4.50 | [km/h/s] |
| **공주거리($S_1$)** | 36 | 36 | [m] |
| **제동거리($S_2$)** | 309 | 309 | [m] |
| **정지거리($S_3$)** | 345 | 345 | [m] |

(나) 제동 Piping Diagram 작성

설계변경 내용을 반영하여 공기제동에 대한 Piping diagram 수정함.




[그림 203 ]Piping diagram -(1)




[그림 204 ]Piping diagram -(2)

## (다) BOM 작성

**YUJIN MACHINERY LTD.**
ROLLINGSTOCK PRODUCTS R&D CENTER
TEL: +82-31-491-4711
FAX: +82-31-491-1339

**MICROPROCESSOR CONTROLLED ELECTRO-PNEUMATIC ANALOGUE BRAKE SYSTEM BILL OF MATERIAL**

Train set
2 cars : Mc1-Mc2

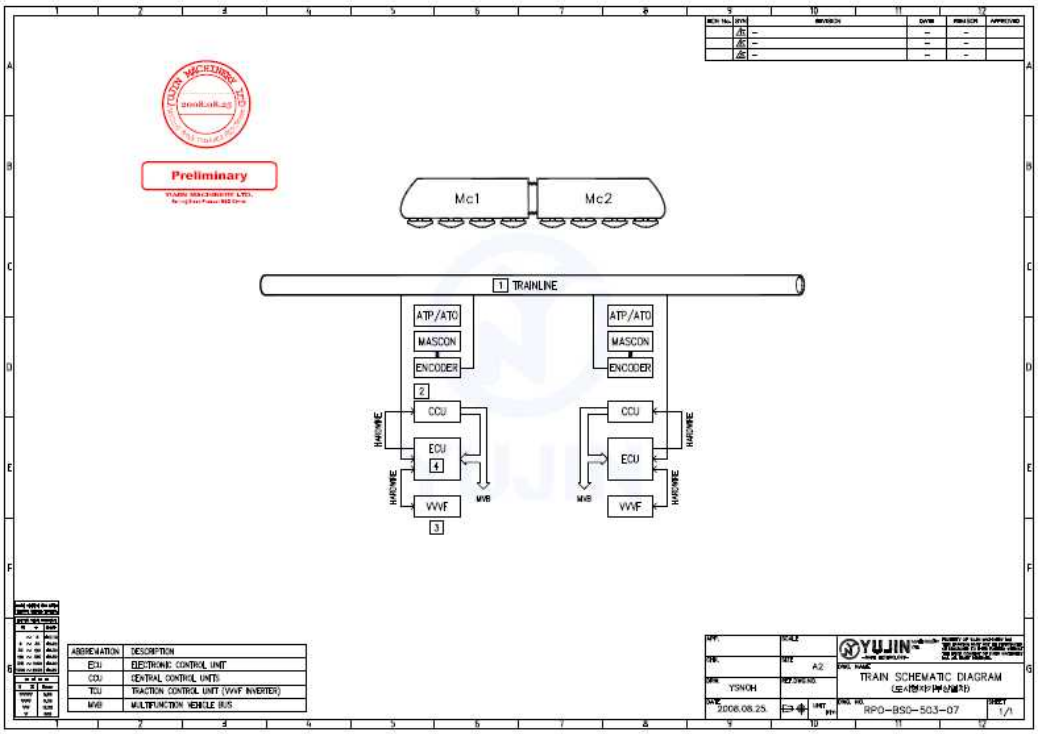
| | |
|---|---|
| 차세대과제명 | : 도시철차기부상열차 차량개발 |
| 세부과제명 | : 경량/모듈화 차기부상시스템 및 안정기 개발 |
| Project | : MAGLEV |
| Issued No. | : 2007.03.19 |
| Doc No. | : RPO-BS0-303-05 |
| Revision | : 13 |
| Piping Diagram | |
| Dwg No. | : RPO-BS0-303-04 |
| Revision | : 2 |

| Pos. | Quantity Mc1 | Quantity Mc2 | Designation | Type | Spec | Parts Number or Reference | 견교부 중량(kg) | 산자부 중량(kg) | Q'ty / Trainset 2 cars | Total Q'ty 6 cars | 공급범위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | 1 | 1 | **BRAKE OPERATING UNIT(M)** | YJ37M | | BS505035 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| | | | 1: Pipe Bracket | | | | | | | | YUJIN |
| A | | | 1: Electronic Control Unit(M) | KBCD53 | | BS162055 | | | | | YUJIN |
| B.1 | | | 2: Pneumatic-Electric Transducer(PET) for AS1, AS2 | PA-21S | | 89910013P | | | | | YUJIN |
| B.2 | | | 2: Pneumatic-Electric Transducer(PET) for AC, BC | PA-21S | | 89910020P | | | | | YUJIN |
| C | | | 1: EP Change Relay Valve | EP100 | | BS360007 | | | | | YUJIN |
| D | | | 1: Variable Load Valve(VLV) | Y | | BS343005 | | | | | YUJIN |
| E | | | 3: Test Fitting for AS1, AS2, BC | | G1/4 | BS851013 | | | | | YUJIN |
| F | | | 1: Magnet Valve for Compulsory Release(CPRMV) | YM321A | | BS141012 | | | | | YUJIN |
| B3 | 2 | 2 | Cut Out Cock with Choke Fitting, 2mm Diameter | | G3/8 | N/A | | | 4 | 12 | - |
| **C.SUPPLY RESERVOIR EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | |
| C1 | 1 | 1 | Cut Out Cock | | G3/4 | N/A | | | 2 | 6 | - |
| C2 | 1 | 1 | Air Filter with Drain Cock, 12mm | MS15 | G3/4 | BS831001-2 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| C3 | 1 | 1 | Check Valve | | G3/4 | N/A | | | 2 | 6 | - |
| C4 | 1 | 1 | Air Reservoir for Supply, 100L | | | N/A | | | 2 | 6 | - |
| C5 | 1 | 1 | Drain Cock, 12mm | | | N/A | | | 2 | 6 | - |
| C6 | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent | | G3/4 | N/A | | | 2 | 6 | - |
| **E. BC OUT EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | |
| E1 | 2 | 2 | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(BC) | | G1/2 | BS841003-3 | | | 4 | 12 | YUJIN |
| E2 | 2 | 2 | Test fitting | | G3/8 | BS851014 | | | 4 | 12 | YUJIN |
| **F. FUNDAMENTAL BRAKE EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | |
| F1 | 4 | 4 | Hydraulic Caliper Unit | N/D | PT3/6 | BS640016 | | | 8 | 24 | YUJIN |
| F2 | 4 | 4 | Brake Pad(RH) | | | N/D | | | 8 | 24 | YUJIN |
| | 4 | 4 | Brake Pad(LH) | | | N/D | | | 8 | 24 | YUJIN |
| F3 | 2 | 2 | Chamber & Cylinder Unit | N/D | | N/D | | | 4 | 12 | YUJIN |
| F4 | 2 | 2 | Air Hose | | 3/4F | N/A | | | 4 | 12 | - |
| F5 | 2 | 2 | Air Hose | | 3/8F | N/A | | | 4 | 12 | - |
| **G. PARKING BRAKE EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | |
| G1 | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent | | G3/8 | N/A | | | 2 | 6 | - |
| G2 | 1 | 1 | Double Check Valve with Pipe Bracket | D | G3/8 | BS820001-2 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| G3 | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent and Choke Fitting, 2mm | | G3/8 | N/A | | | 2 | 6 | - |
| G4 | 2 | 2 | Air Hose | | 3/4F | N/A | | | 4 | 12 | - |
| G5 | 2 | 2 | Air Hose | | 3/8F | N/A | | | 4 | 12 | - |
| G6 | 1 | 1 | **PARKING BRAKE SWITCH UNIT** | Panel | | BS550045 | | | | | 삭제 |
| | | | 1: Pipe Bracket | | | | | | | | - |
| A | | | 1: Parking Brake Prssure Switch(PBPS) | MCS11W | | BS112004 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| B | | | 1: Parking Impulse Magnet Valve(PIMV) | YKP | | BS143005 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| C | | | 1: Test Fitting | | G1/4 | BS851013 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| **H. MAIN PIPE LINE EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | |
| H1 | 2 | 2 | Air Hose | | G3/4 | N/A | - | - | 4 | 12 | - |
| H2 | 2 | 2 | Cut Out Cock with Side Vent | | G3/4 | N/A | - | - | 4 | 12 | - |
| **J. AIR SUPPLY EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | |
| J1 | 1 | 1 | Main Air Compressor-Motor Set | JSCR-4FA | | CM115001 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| J2 | 1 | 1 | Flexible Metallic Hose | | | N/A | | | 2 | 6 | - |
| J3.A | 1 | 1 | Water Separator with Automatic Drain | TF-S240 | | CM171003-1 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| J4 | 1 | 1 | Twin Tower Air Dryer | JS1000B | | CM163001-2 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| J5 | 1 | 1 | Check Valve | | G1 | N/A | | | 2 | 6 | - |
| J6 | 1 | 1 | Safety Valve | SF10 | G1/2 | BS332003 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| J7 | 1 | 1 | Air Reservoir for MR, 100L | | | N/A | | | 2 | 6 | - |
| J8 | 1 | 1 | Drain Cock, 12mm | | | N/A | | | 2 | 6 | - |
| J9 | 1 | 1 | Automatic Drain Valve with Heater | D1A | | CM150007-4 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| J10 | 4 | 4 | Cut Out Cock with Side Vent | | G3/8 | N/A | | | 8 | 24 | - |
| J11 | 1 | 1 | Air Strainer | | G3/8 | N/A | | | 2 | 6 | - |
| J12 | 1 | 1 | **PRESSURE SWITCH UNIT** | Panel | | BS550046 | | | | | 삭제 |
| | | | 1: Pipe Bracket | | | | | | | | - |
| A | | | 1: Main Compressor Pressure Governor(CMG) | MCS11W | | BS112003-1 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| B | | | 1: Magnet Valve for Automatic Drain(ADMV) | VM14-1H | | BS140002 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| C | | | 1: Main Reservoir Pressure Switch(MRPS) | MCS11W | | BS112002-1 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| D | | | 2: Test Fitting | | G1/4 | BS851013 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| J13 | 1 | 1 | Cut Out Cock | | G1/2 | N/A | | | 2 | 6 | - |
| **L. AIR SUSPENSION EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | |
| L1 | 1 | 1 | Overflow Valve | HS10 | G1/2 | BS711003 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| L2 | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(AS) | RHLS | G1/2 | BS841003-4 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(AS) | LHRS | G1/2 | BS841004-4 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| L3 | 3 | 3 | Leveling Valve | KSL160 | | BS710011L | | | 6 | 18 | YUJIN |
| L4 | 16 | 16 | Pressure Vent Magnet Valve | | | | | | 32 | 96 | YUJIN |
| **R. COUPLER EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | |
| R1 | 1 | 1 | Automatic Multi Coupler | M60UD2 | | CP140043 | | | 2 | 6 | YUJIN |
| R2 | 1 | 1 | Magnet Valve for Auto Coupler Operation | MX | | N/A | | | - | - | - |
| R3 | 1 | 1 | Intermediate coupler | SP60D2 | | CP110051 | | | 2 | 6 | YUJIN |

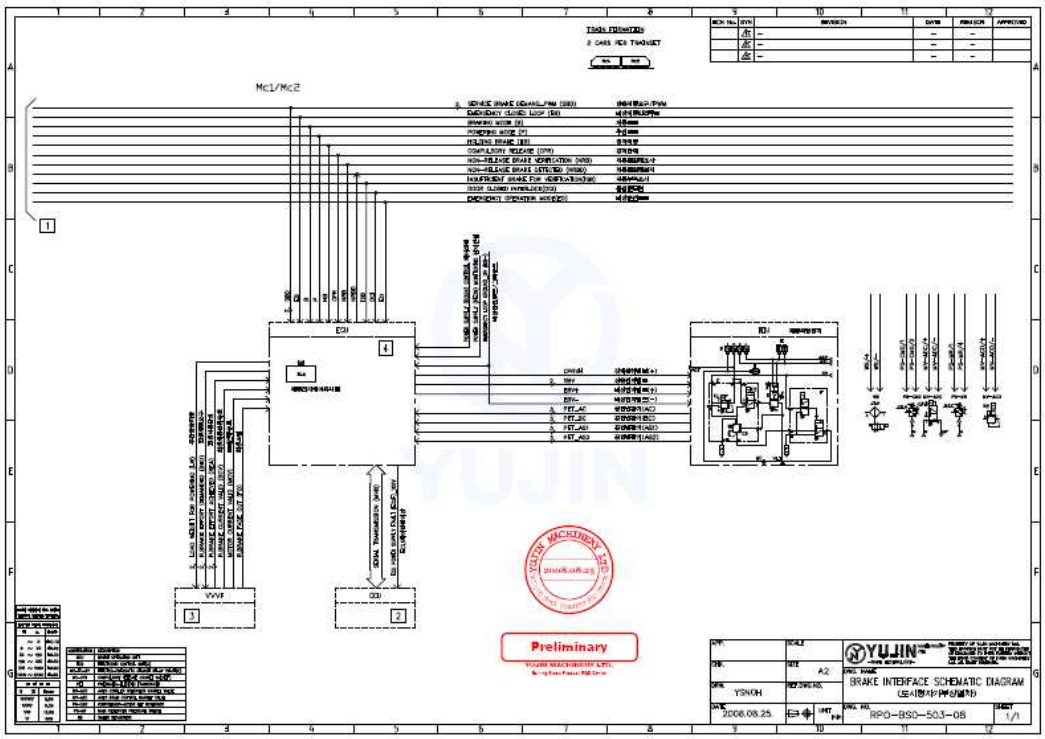
1 페이지

[그림 205 ]BOM Table

(라) 제동 Interface diagram 작성




[그림 206 ]Train schematic diagram - (1)




[그림 207 ]Train schematic diagram - (2)

## (마) 개발품 중량 Table 작성

| | | |
|---|---|---|
| YUJIN MACHINERY LTD.<br>ROLLINGSTOCK PRODUCTS R&D CENTER<br>TEL: +82-31-491-4711<br>FAX: +82-31-491-1339 | URBAN MAGLEV TRAIN<br>PROGRAM<br>- Weight Control Table - | 제2핵심과제명 : 도시형자기부상열차 차량개발<br>세부과제명 : 경량/모듈화 자기부상시스템 및 연결기 개발<br>Project : MAGLEV<br>Issued No. : 2009.02.02<br>Doc No. : RPO-BS0-503-14<br>Revision : 0<br>Piping Diagram<br>Dwg No. : RPO-BS0-303-04<br>Revision : 4 |
| Train set<br>2 cars : Mc1-Mc2 | | |

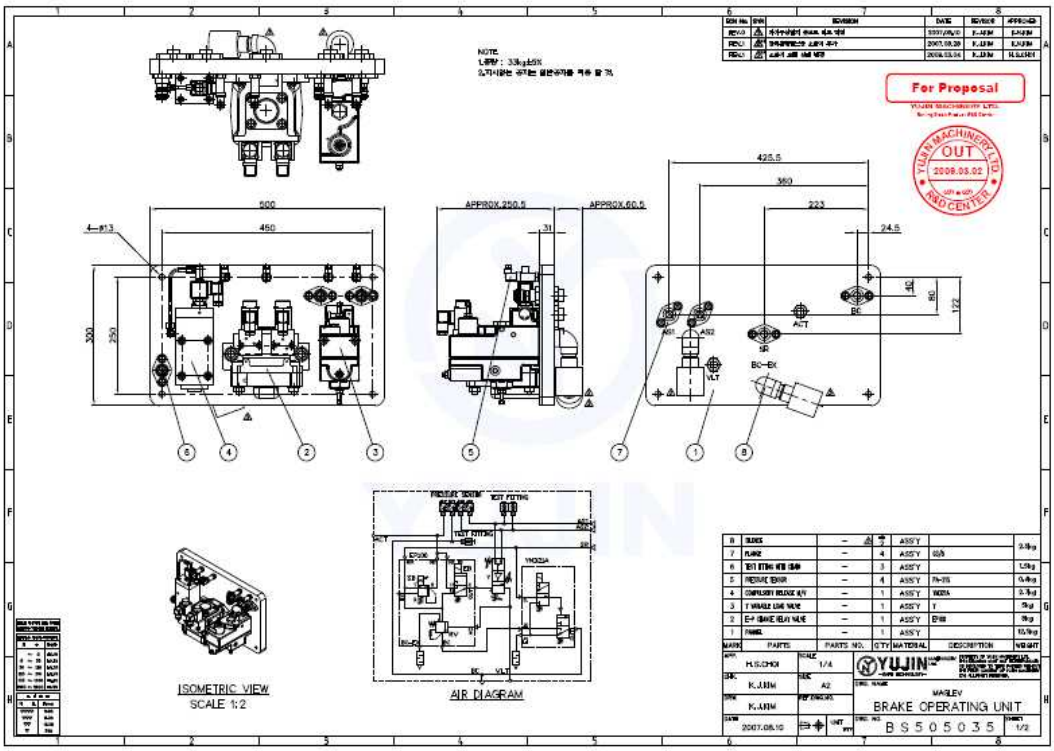
| Pos. | Quantity Mc1 | Quantity Mc2 | Designation | Type | Spec | Parts Number or Reference | Jan.2009 Weight (kg) | Feb.2009 Weight (kg) | Q'ty / Trainset 2 cars | Jan.2009 Total Weight(kg) | Feb.2009 Total Weight(kg) | 공급범위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B1 | 1 | 1 | **BRAKE OPERATING UNIT(M)** | YJ37M | | BS505035 | 32.2 | | 2 | 64.4 | 0 | YUJIN |
| | | | 1: Pipe Bracket | | | | 15 | | | | 0 | YUJIN |
| A | | | 1: Electronic Control Unit(M) | KBCD53 | | BS162055 | 4.5 | | | | 0 | YUJIN |
| B.1 | | | 2: Pneumatic-Electric Transducer(PET) for AS1, AS2 | PA-21S | | 89910013P | 0.4 | | | | 0 | YUJIN |
| B.2 | | | 2: Pneumatic-Electric Transducer(PET) for AC, BC | PA-21S | | 89910020P | | | | | 0 | YUJIN |
| C | | | 1: EP Change Relay Valve | EP100 | | BS360007 | 8 | | | | 0 | YUJIN |
| D | | | 1: Variable Load Valve(VLV) | Y | | BS343005 | 5 | | | | 0 | YUJIN |
| E | | | 3: Test Fitting for AS1, AS2, BC | | G1/4 | BS851013 | 1.5 | | | | 0 | YUJIN |
| F | | | 1: Magnet Valve for Compulsory Release(CPRMV) | YM321A | | BS141012 | 2.7 | | | | 0 | YUJIN |
| B3 | 2 | 2 | Cut Out Cock with Choke Fitting, 2mm Diameter | | G3/8 | N/A | - | | 4 | | | - |
| | | | | | | | 36.7 | | | | | |
| **C.SUPPLY RESERVOIR EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | | |
| C1 | 1 | 1 | Cut Out Cock | | G3/4 | N/A | - | | 2 | | | - |
| C2 | 1 | 1 | Air Filter with Drain Cock, 12mm | MS15 | G3/4 | BS831001-2 | 2.5 | | 2 | 5 | 0 | YUJIN |
| C3 | 1 | 1 | Check Valve | | G3/4 | N/A | - | | 2 | | | - |
| C4 | 1 | 1 | Air Reservoir for Supply, 100L | | | N/A | - | | 2 | | | - |
| C5 | 1 | 1 | Drain Cock, 12mm | | | N/A | - | | 2 | | | - |
| C6 | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent | | G3/4 | N/A | - | | 2 | | | - |
| | | | | | | | 2.5 | | | | | |
| **E. BC OUT EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | | |
| E1 | 2 | 2 | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(BC) | | G1/2 | BS841003-3 | 0.6 | | 4 | 2.4 | 0 | YUJIN |
| E2 | 2 | 2 | Test fitting | | G3/8 | BS851014 | 0.5 | | 4 | 2 | 0 | YUJIN |
| | | | | | | | 1.1 | | | | | |
| **F. FUNDAMENTAL BRAKE EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | | |
| F1 | 4 | 4 | Hydraulic Caliper Unit | N/D | PT3/8 | BS640016 | 12 | | 8 | 96 | 0 | YUJIN |
| F2 | 4 | 4 | Brake Pad(RH) | | | N/D | 1 | | 8 | 8 | 0 | YUJIN |
| | 4 | 4 | Brake Pad(LH) | | | N/D | 1 | | 8 | 8 | 0 | YUJIN |
| F3 | 2 | 2 | Chamber & Cylinder Unit | N/D | | N/D | 15 | | 4 | 60 | 0 | YUJIN |
| F4 | 2 | 2 | Air Hose | | 3/4F | N/A | - | | 4 | | | - |
| F5 | 2 | 2 | Air Hose | | 3/8F | N/A | - | | 4 | | | - |
| | | | | | | | 29 | | | | | |
| **G. PARKING BRAKE EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | | |
| G1 | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent | | G3/8 | N/A | - | | 2 | | | - |
| G2 | 1 | 1 | Double Check Valve with Pipe Bracket | D | G3/8 | BS820001-2 | 3.5 | | 2 | 7 | 0 | YUJIN |
| G3 | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent and Choke Fitting, 2mm | | G3/8 | N/A | - | | 2 | | | - |
| G4 | 2 | 2 | Air Hose | | 3/4F | N/A | - | | 4 | | | - |
| G5 | 2 | 2 | Air Hose | | 3/8F | N/A | - | | 4 | | | - |
| G6 | 1 | 1 | **PARKING BRAKE SWITCH UNIT** | Panel | | BS550045 | 0 | | 2 | | 0 | YUJIN |
| | | | 1: Pipe Bracket | | | | 0 | | | | 0 | YUJIN |
| A | | | 1: Parking Brake Prsssure Switch(PBPS) | MCS11W | | BS112004 | 0 | | | | 0 | YUJIN |
| B | | | 1: Parking Impulse Magnet Valve(PIMV) | YKP | | BS143005 | 0 | | | | 0 | YUJIN |
| C | | | 1: Test Fitting | | G1/4 | BS851013 | 0 | | | | 0 | YUJIN |
| | | | | | | | 3.5 | | | | | |
| **H. MAIN PIPE LINE EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | | |
| H1 | 2 | 2 | Air Hose | | G3/4 | N/A | - | | 4 | | | - |
| H2 | 2 | 2 | Cut Out Cock with Side Vent | | G3/4 | N/A | - | | 4 | | | - |
| **J. AIR SUPPLY EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | | |
| J1 | 1 | 1 | Main Air Compressor-Motor Set | JSCR-4FA | | CM115001 | 78 | | 2 | 156 | 0 | YUJIN |
| J2 | 1 | 1 | Flexible Metallic Hose | | | N/A | | | 2 | | | - |
| J3.A | 1 | 1 | Water Separator with Automatic Drain | TF-S240 | | CM171003-1 | 2 | | 2 | 4 | 0 | YUJIN |
| J4 | 1 | 1 | Twin Tower Air Dryer | JS1000B | | CM163001-2 | 48 | | 2 | 96 | 0 | YUJIN |
| J5 | 1 | 1 | Check Valve | | G1 | N/A | | | 2 | | | - |
| J6 | 1 | 1 | Safety Valve | SF10 | G1/2 | BS332003 | 0.3 | | 2 | 0.6 | 0 | YUJIN |
| J7 | 1 | 1 | Air Reservoir for MR, 100L | | | N/A | | | 2 | | | - |
| J8 | 1 | 1 | Drain Cock, 12mm | | | N/A | | | 2 | | | - |
| J9 | 1 | 1 | Automatic Drain Valve with Heater | D1A | | CM150007-4 | 6 | | 2 | 12 | 0 | YUJIN |
| J10 | 4 | 4 | Cut Out Cock with Side Vent | | G3/8 | N/A | | | 8 | | | - |
| J11 | 1 | 1 | Air Strainer | | G3/8 | N/A | | | 2 | | | - |
| J12 | 1 | 1 | **PRESSURE SWITCH UNIT** | Panel | | BS550046 | 4.5 | | 2 | | 0 | YUJIN |
| | | | 1: Pipe Bracket | | | | 0 | | | | 0 | YUJIN |
| A | | | 1: Main Compressor Pressure Governor(CMG) | MCS11W | | BS112003-1 | 1 | | | | 0 | YUJIN |
| B | | | 1: Magnet Valve for Automatic Drain(ADMV) | VM14-1H | | BS140002 | 1.5 | | | | 0 | YUJIN |
| C | | | 1: Main Reservoir Pressure Switch(MRPS) | MCS11W | | BS112002-1 | 1 | | | | 0 | YUJIN |
| D | | | 2: Test Fitting | | G1/4 | BS851013 | 1 | | | | 0 | YUJIN |
| J13 | 1 | 1 | Cut Out Cock | | G1/2 | N/A | | | 2 | | | - |
| | | | | | | | 138.8 | | | | | |
| **L. AIR SUSPENSION EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | | |
| L1 | 1 | 1 | Overflow Valve | HS10 | G1/2 | BS711003 | 1.5 | | 2 | 3 | 0 | YUJIN |
| L2 | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(AS) | RHLS | G1/2 | BS841003-4 | 0.6 | | 2 | 1.2 | 0 | YUJIN |
| | 1 | 1 | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(AS) | LHRS | G1/2 | BS841004-4 | 0.6 | | 2 | 1.2 | 0 | YUJIN |
| L3 | 2 | 2 | Leveling Valve (LH) | KSL160 | | BS710011L | 0.8 | | 4 | 3.2 | 0 | YUJIN |
| | 2 | 2 | Leveling Valve (RH) | KSL160 | | BS710011R | 0.8 | | 4 | 3.2 | 0 | YUJIN |
| L4 | 4 | 4 | Differential Valve with Pipe Bracket | DP5 | | BS712003-2 | 4.8 | | 8 | 38.4 | 0 | YUJIN |
| | | | | | | | 9.1 | | | | | |
| **R. COUPLER EQUIPMENT** | | | | | | | | | | | | |
| R1 | 1 | 1 | Automatic Multi Coupler | M60UD2 | | CP140043 | 160 | | 2 | 320 | 0 | YUJIN |
| R2 | 1 | 1 | Magnet Valve for Auto Coupler Operation | MX | | N/A | | | | | 0 | |
| R3 | 1 | 1 | Intermediate coupler | SP60D2 | | CP110051 | 90 | | 2 | 180 | 0 | YUJIN |
| | | | | | | | | | Total | | | |

**NOTE:**

(1/2)

[그림 208 ]중량 Table

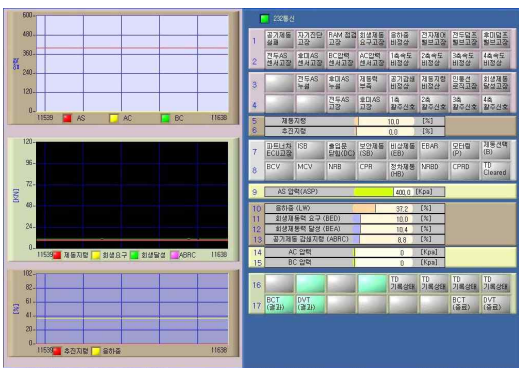
(바) 공기제동장치 일반도 수정



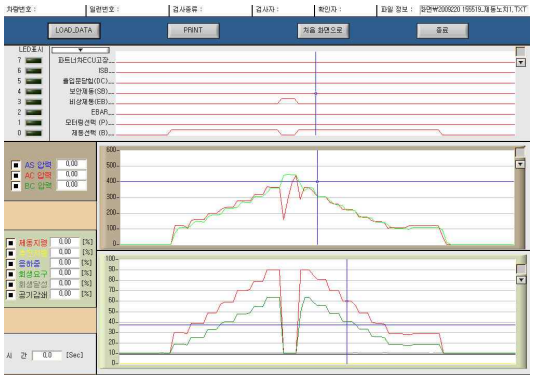

[그림 209 ]공기제동장치 수정 일반도

(사) 시험대차 관련 인터페이스 및 제동성능 시험 진행

시험대차에 장착된 공기제동장치, 유압캘리퍼, 공기압축기, 공기건조기등 개발품을 장착하여 시험을 진행하고 각장치에 대한 작동 상태를 확인함.



[그림 210 ]시험대차 제동시험 (1)



[그림 211 ]시험대차 제동시험 (2)

1. Connection 검토 필요.
2. Silencer 변경 필요.

1. Balancing 검토 필요.
2. 양산품과 설계 상이점으로 인한 성능문제 확인.

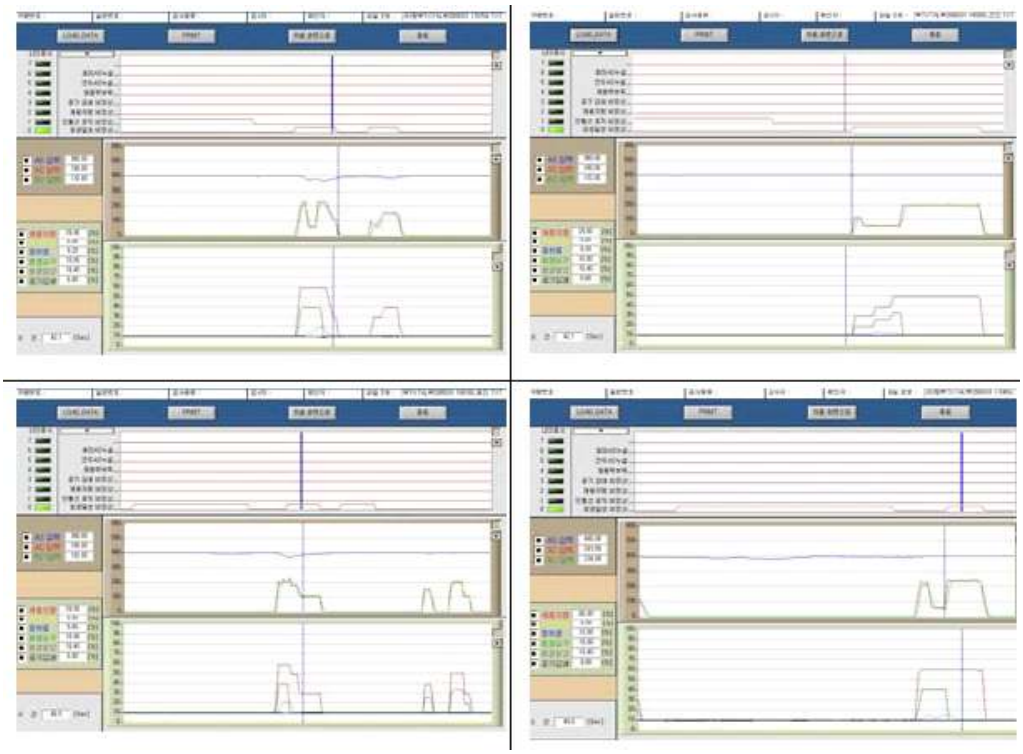
1. 진동 및 소음 관련 설계 보완 필요성 검토 요망.
2. 인터페이스 관련 양산전 로템과 협의 필요.

1. 공기건조기 경량화 필요.

[그림 212 ]시험대차 인터페이스 확인

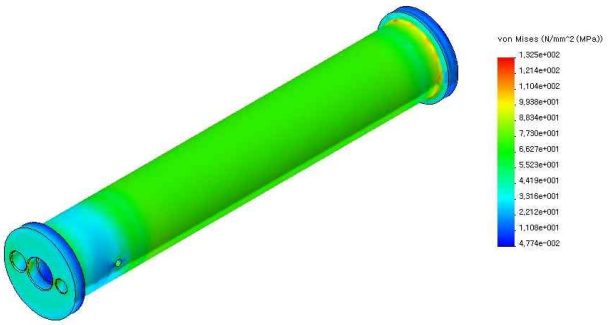
- 시험대차의 AS 압력 측정 및 조정 수행

- 인버터와 제동장치간 블렌딩 점검.

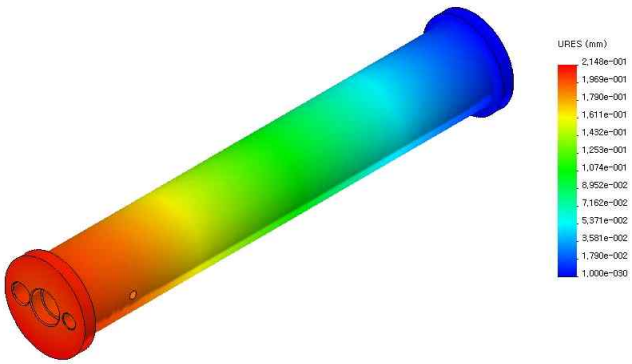


(아) 연결기 강도해석결과

응력분포는 그림과 같고, 최대응력은 132.5 N/mm$^2$ 으로 나타났다.




변위는 아래 그림과 같고, 최대 변위는 약 0.21mm 이다.



연결기 몸체에 사용된 재질의 항복응력은 각각 최소 675 N/mm$^2$, 345 N/mm$^2$고, 최대 사용 하중 20톤에 대한 최대응력 132.5 N/mm$^2$ 은 항복응력 기준 안전율 약 2.6 이었다.

(자) 연결기 충돌해석결과

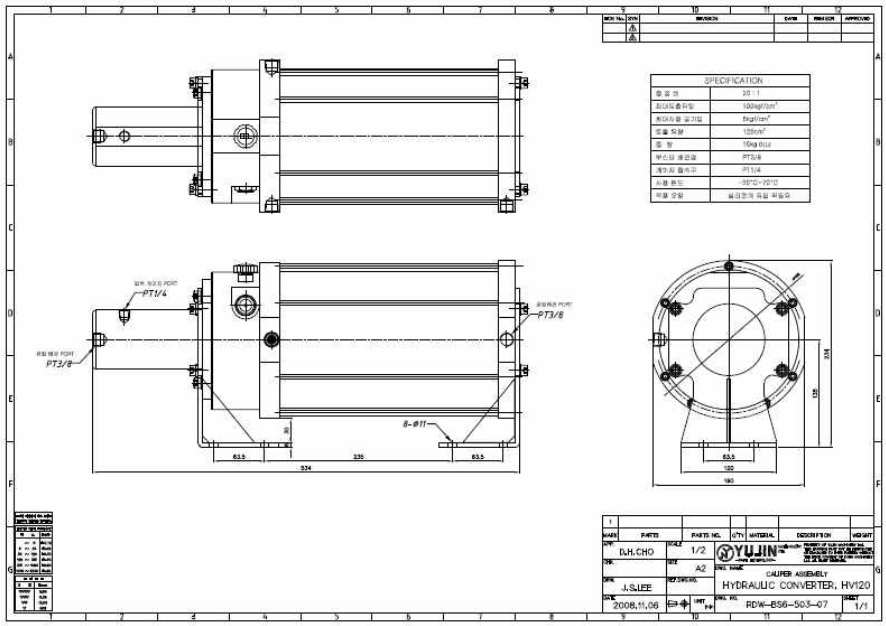
도시철도법에서 규정하는 속도로 연결기에 대한 충돌해석을 수행하였으며, 결과는 다음과 같다.

[표 70 ]충돌해석 결과

| Coupler | Stroke(mm) | Force(kN) | Accel.(m/s$^2$) | Energy(kJ) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Absorption | Dissipation |
| 1 | 88.40 | 158.00 | -7.32 | 11.90 | 10.31 |
| 2 | 36.70 | 151.00 | -7.56 | 3.75 | 3.39 |
| 3 | 88.40 | 158.00 | -4.12 | 11.90 | 10.31 |
| 4 | 27.50 | 143.00 | -3.53 | 1.45 | 1.45 |

(차) 공유압변환기 일반도

인터페이스 내용을 반영한 공유압변환기에 대한 최종 일반도는 다음과 같다.

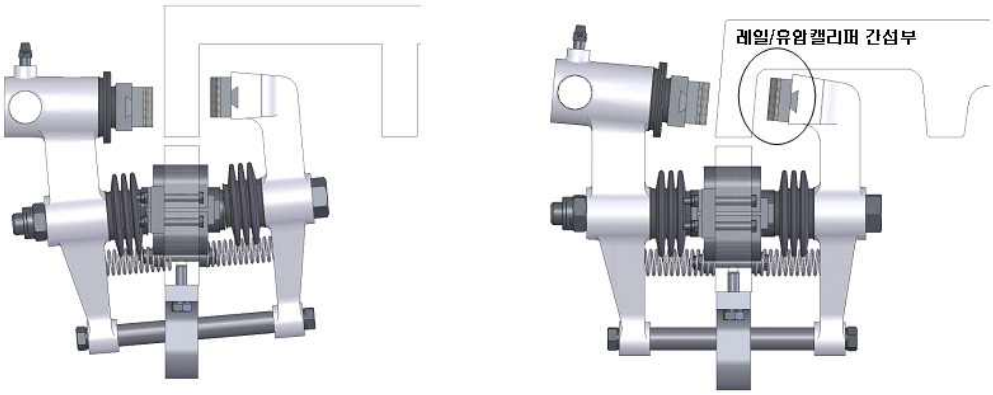



[그림 213 ]공유압변환기 일반도]

(카) 유압 캘리퍼와 대차 인터페이스 관련

◆ 현안사항 및 대책

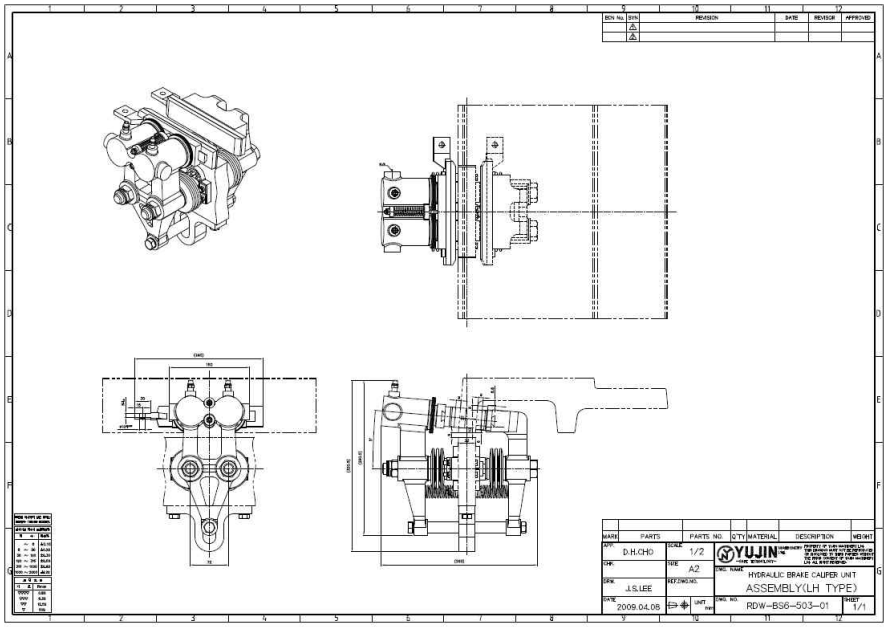
| 장치 | 문제점 및 현안사항 | 대책 및 향후 계획 |
|---|---|---|
| 유압캘리퍼 | ▶캘리퍼 좌우측 몸체간 무게차<br>▶시험용/실용화차량 레일 형상 및 치수변경으로 레일과 유압캘리퍼 간섭(상 변위 3mm 확보) | ▶무게차 절감 방안 검토 및 제작/시험<br>▶캘리퍼 몸체 금형 신규 설계 및 제작<br>(고무댐퍼 상/하 최대 변위인 8mm 만큼 레일과 유압캘리퍼간의 공간 확보) |




[그림 214 ]유압캘리퍼와 대차 인터페이스 검토

[그림 215 ]유압캘리퍼 대차취부 확인

(타) 유압 캘리퍼 일반도




[그림 216 ]유압캘리퍼 일반도

(파) 제동 패드 마찰계수 시험 수행

**정속마찰시험 REPORT**

| 결재 | 담 당 | 검 토 | 승 인 |
|---|---|---|---|
| | CCK | LJE | CMJ |

적용기종 : 자기부상열차 재질명 : SB K-14

| 시험기기 | 정속식 마찰시험기 |
|---|---|
| 시험규격 | KS R4024-1종 |
| 시험조건 | 400~500RPM |
| 시 험 자 | 차 충 규 |
| 시험일자 | 2008.10.22 |

1.마찰계수 시험

1)마찰계수(μ)

| 구 분 | FADE | | | | | | RECOVERY | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100℃ | 150℃ | 200℃ | --- | --- | --- | 100℃ | 150℃ | --- | --- | --- |
| 실측치 | 0.43 | 0.59 | 0.48 | --- | --- | --- | 0.46 | 0.49 | --- | --- | --- |

2)마모량(v)

| 구 분 | THICKNESS LOSS($10^{-7}$㎤/N·m) | | | | | WEIGHT LOSS (g) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 100℃ | 150℃ | 200℃ | --- | --- | |
| 실측치 | 0.08 | 0.05 | 0.14 | --- | --- | 0.23 |

2. 압축강도 시험

| 단면적[가로×세로] : (㎟) | | | | 하중 : (kg) | 강도 : (kg/㎟) |
|---|---|---|---|---|---|
| 20.0 | × | 10.0 | = | 200.0 | 940 | 4.7 |

3. 비중 시험

| 공기중 무게(g) | 물속 무게(g) | 비 중(g/㎤) |
|---|---|---|
| 102.5 | 58.4 | 2.32 |

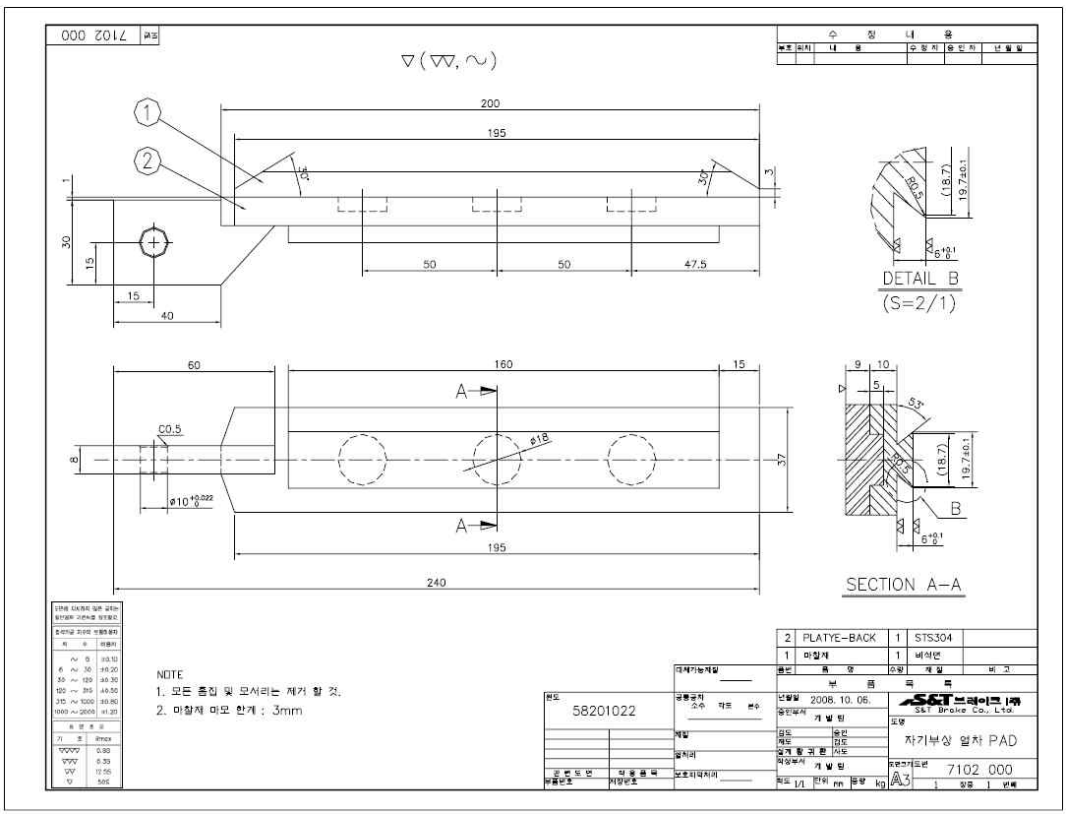
| 비 고 | |
|---|---|

# 검 사 성 적 서 ( INSPECTION REPORT )

| 작 성 | 검 토 | 승 인 |
|---|---|---|
| IKH | LJE | CMJ |

| 차(기)종 MODEL | 자기부상열차 | 부품명 ITEM NAME | 자기부상열차 PAD | 도 번 ITEM No. | 7102 000 | PAGE | 1장중 1장 | LOT수 | 20 EA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 샘플수 | 3 EA |
| 검사일자 DATE | 08.11.24 | 검사원 INSPECTOR | 임강호 | | | 검사결과 | 합격 | KS A ISO 2859-1 샘플링 검사방식에 의거 | |

| 순 (No.) | 부 위 ( CHAR. CHECKED ) | 규 격 ( SPEC.) | AQL | 검사방법 (METHOD) | 시 료 번 호 ( SAMPLE No. ) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | 거리 | 240 | | V/C | 240.0 | 240.0 | 240.0 | | | | | | | |
| 2 | 거리 | 195 | | V/C | 194.9 | 194.9 | 194.9 | | | | | | | |
| 3 | 거리 | 160 | | V/C | 160.0 | 160.0 | 160.0 | | | | | | | |
| 4 | 거리 | 15 | | V/C | 14.9 | 14.9 | 14.9 | | | | | | | |
| 5 | 폭 | 37 | | V/C | 36.9 | 36.9 | 36.9 | | | | | | | |
| 6 | 두께 | 8 | | V/C | 7.8 | 7.8 | 7.8 | | | | | | | |
| 7 | 내경 | $\phi$ 10 +0.022 | | C/G | +0.02 | +0.02 | +0.02 | | | | | | | |
| 8 | 거리 | 195 | | V/C | 195.0 | 195.0 | 195.0 | | | | | | | |
| 9 | 폭 | 30 | | V/C | 30.0 | 30.0 | 30.0 | | | | | | | |
| 10 | 거리 | 15 | | V/C | 15.0 | 15.0 | 15.0 | | | | | | | |
| 11 | 거리 | 15 | | V/C | 14.9 | 14.9 | 14.9 | | | | | | | |
| 12 | 두께 | 10 | | V/C | 9.9 | 9.9 | 9.9 | | | | | | | |
| 13 | 높이 | 6 +0.1 | | H/G | 6.0 | 6.0 | 6.0 | | | | | | | |
| 14 | 각도 | 53° | | 검사게이지 | 양호 | 양호 | 양호 | | | | | | | |
| 15 | 폭 | 18.7 | | V/C | 18.7 | 18.7 | 18.7 | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | | | | | |



## (하) 제동시스템 RAM Table 작성

**Appendix I**
**Reliability information sheet** REVISION No. 0
**Beake System** REVISION DATE
**Data provided by**

| | |
|---|---|
| Annual Running Distance | 109,500 |
| Annual Operating Hour | 6,570 |
| Average speed (km/hour) | 16.67 |

| Reference ID | | | | | | Item Description | Scope of Supply: Qty(no) in each car Car Mc1 | Car Mc2 | Qty(no) in Train 2car | Failure Data: Failure Data(per item) Failure Rate failure/Mhour | Data Source | Failure Data(per Train) Failure Rate failure/Mhour | Failure Consequence Fractions Type1 | Type2 | Type3 | Type4 | No. of the predicted Type failure per Train per year Type1 | Type2 | Type3 | Type4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | (D, P, T) | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | **Brake System** | | | | | | | | | | | **2.52E-01** | **4.42E-01** | **6.69E-01** | **7.05E-01** |
| 1 | 7 | 1 | 0 | 0 | 0 | **Brake Operating Unit(M)** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 1 | 1 | 0 | 0 | Electronic Control Unit(M) | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 1 | 1 | 1 | 0 | Power Board | 1 | 1 | 2 | 8.33E-07 | P | 1.67E-06 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 2.19E-03 | 2.19E-03 | 5.48E-03 | 1.10E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 1 | 2 | 0 | Main CPU Board | 1 | 1 | 2 | 8.33E-07 | P | 1.67E-06 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 2.19E-03 | 2.19E-03 | 5.48E-03 | 1.10E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 1 | 3 | 0 | Interface Board | 1 | 1 | 2 | 8.33E-07 | P | 1.67E-06 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 2.19E-03 | 2.19E-03 | 5.48E-03 | 1.10E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 2 | 0 | 0 | Pneumatic-Electric Transducer(PET) for AS1, AS2 | 1 | 1 | 2 | 9.12E-07 | P | 1.82E-06 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 2.40E-03 | 2.40E-03 | 5.99E-03 | 1.20E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 3 | 0 | 0 | Pneumatic-Electric Transducer(PET) for AC, BC | 1 | 1 | 2 | 9.12E-07 | P | 1.82E-06 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 2.40E-03 | 2.40E-03 | 5.99E-03 | 1.20E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 4 | 0 | 0 | EP Change Relay Valve | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 1 | 4 | 1 | 0 | Service Analogue Converter | 1 | 1 | 2 | 4.78E-06 | P | 9.56E-06 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 0.1 | 6.28E-03 | 1.26E-02 | 3.77E-02 | 6.28E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 4 | 2 | 0 | Emergency Valve | 1 | 1 | 2 | 1.52E-06 | P | 3.04E-06 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 0.1 | 2.00E-03 | 3.99E-03 | 1.20E-02 | 2.00E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 4 | 3 | 0 | Relay Valve | 1 | 1 | 2 | 2.75E-06 | P | 5.50E-06 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 0.1 | 3.61E-03 | 7.23E-03 | 2.17E-02 | 3.61E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 5 | 0 | 0 | Variable Load Valve(VLV) | 1 | 1 | 2 | 2.98E-06 | P | 5.96E-06 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 7.83E-03 | 7.83E-03 | 1.96E-02 | 3.92E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 5 | 0 | 0 | Test Fitting for AS1, AS2, BC | 1 | 1 | 2 | 1.05E-06 | P | 2.10E-06 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 1.38E-03 | 2.76E-03 | 2.76E-03 | 6.90E-03 |
| 1 | 7 | 1 | 7 | 0 | 0 | Magnet Valve for Compulsory Release(CPRMV) | 1 | 1 | 2 | 3.65E-06 | P | 7.70E-06 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 1.01E-02 | 1.01E-02 | 2.02E-02 | 1.01E-02 |
| 1 | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | **Supply Reservoir Equipment** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 2 | 1 | 0 | 0 | Air Filter with Drain Cock, 12mm | 1 | 1 | 2 | 8.60E-06 | P | 1.72E-05 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.6 | 1.13E-02 | 1.13E-02 | 2.26E-02 | 6.78E-02 |
| 1 | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 | **BC Out Equipment** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 3 | 1 | 0 | 0 | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(BC) | 2 | 2 | 4 | 2.67E-06 | P | 1.03E-05 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.5 | 6.76E-03 | 6.76E-03 | 3.03E-02 | 9.38E-02 |
| 1 | 7 | 3 | 2 | 0 | 0 | Test Fitting | 2 | 2 | 4 | 1.05E-06 | P | 4.20E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.76E-02 |
| 1 | 7 | 4 | 0 | 0 | 0 | **Fundamental Brake Equipment** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 4 | 1 | 0 | 0 | Hydraulic Caliper Unit | 4 | 4 | 8 | 7.87E-06 | P | 6.30E-05 | 0.1 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 4.14E-02 | 1.66E-01 | 1.24E-01 | 8.27E-02 |
| 1 | 7 | 4 | 2 | 0 | 0 | Brake Pad(RH) | 4 | 4 | 8 | 1.05E-06 | P | 8.40E-06 | 0.1 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 5.52E-03 | 2.21E-02 | 1.66E-02 | 1.10E-02 |
| 1 | 7 | 4 | 3 | 0 | 0 | Brake Pad(LH) | 4 | 4 | 8 | 1.05E-06 | P | 8.40E-06 | 0.1 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 5.52E-03 | 2.21E-02 | 1.66E-02 | 1.10E-02 |
| 1 | 7 | 4 | 4 | 0 | 0 | Chamber & Cylindor Unit | 2 | 2 | 4 | 2.78E-06 | P | 1.11E-05 | 0.1 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 7.31E-03 | 2.92E-02 | 2.19E-02 | 1.46E-02 |
| 1 | 7 | 5 | 0 | 0 | 0 | **Air Supply Equipment** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 5 | 1 | 0 | 0 | Main Air Compressor-Motor Set | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 5 | 1 | 1 | 0 | Scroll Block | 1 | 1 | 2 | 3.10E-06 | P | 6.20E-06 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 1.22E-02 | 1.22E-02 | 8.15E-03 | 8.15E-03 |
| 1 | 7 | 5 | 1 | 1 | 1 | Orbiting scroll | 1 | 1 | 2 | 3.10E-06 | P | 6.20E-06 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 1.22E-02 | 1.22E-02 | 8.15E-03 | 8.15E-03 |
| 1 | 7 | 5 | 1 | 1 | 2 | Fixed scroll | 1 | 1 | 2 | 3.10E-06 | P | 6.20E-06 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 1.22E-02 | 1.22E-02 | 8.15E-03 | 8.15E-03 |
| 1 | 7 | 5 | 1 | 2 | 0 | Electric motor | 1 | 1 | 2 | 3.10E-06 | P | 6.20E-06 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 1.22E-02 | 1.22E-02 | 8.15E-03 | 8.15E-03 |
| 1 | 7 | 5 | 1 | 3 | 0 | Air filter | 1 | 1 | 2 | 5.40E-06 | P | 1.08E-05 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 7.10E-03 | 7.10E-03 | 2.84E-02 | 2.84E-02 |
| 1 | 7 | 5 | 1 | 4 | 0 | Air cooler | 1 | 1 | 2 | 7.20E-06 | P | 1.44E-05 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 9.46E-03 | 9.46E-03 | 3.78E-02 | 3.78E-02 |
| 1 | 7 | 5 | 1 | 5 | 0 | Check valve | 1 | 1 | 2 | 1.05E-06 | P | 2.10E-06 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 1.38E-03 | 1.38E-03 | 5.52E-03 | 5.52E-03 |
| 1 | 7 | 5 | 2 | 0 | 0 | Water Separator with Automatic Drain | 1 | 1 | 2 | 8.97E-07 | P | 1.79E-06 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 1.18E-03 | 1.18E-03 | 4.71E-03 | 4.71E-03 |
| 1 | 7 | 5 | 3 | 0 | 0 | Twin Tower Air Dryer | 1 | 1 | 2 | 4.39E-06 | P | 8.78E-06 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 5.77E-03 | 5.77E-03 | 2.31E-02 | 2.31E-02 |
| 1 | 7 | 5 | 4 | 0 | 0 | Safety Valve | 1 | 1 | 2 | 1.85E-06 | P | 3.70E-06 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 2.43E-03 | 2.43E-03 | 9.72E-03 | 9.72E-03 |
| 1 | 7 | 5 | 5 | 0 | 0 | Automatic Drain Valve with Heater | 1 | 1 | 2 | 4.78E-06 | P | 9.56E-06 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 6.28E-03 | 6.28E-03 | 6.28E-03 | 4.40E-02 |
| 1 | 7 | 5 | 6 | 0 | 0 | Main Compressor pressure Governor(CMG) | 1 | 1 | 2 | 3.10E-06 | P | 6.20E-06 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.5 | 8.15E-03 | 4.07E-03 | 8.15E-03 | 2.04E-02 |
| 1 | 7 | 5 | 7 | 0 | 0 | Magnet Valve for Automatic Drain(ADMV) | 1 | 1 | 2 | 3.10E-06 | P | 6.20E-06 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 4.07E-03 | 4.07E-03 | 4.07E-03 | 2.85E-02 |
| 1 | 7 | 5 | 8 | 0 | 0 | Main Reservoir Pressure Switch(MRPS) | 1 | 1 | 2 | 1.22E-06 | P | 2.44E-06 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 3.21E-03 | 1.60E-03 | 4.81E-03 | 6.41E-03 |
| 1 | 7 | 5 | 9 | 0 | 0 | Test Fitting | 1 | 1 | 2 | 1.05E-06 | P | 2.10E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.38E-02 |
| 1 | 7 | 6 | 0 | 0 | 0 | **Air Suspension Equipment** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 7 | 6 | 1 | 0 | 0 | Overflow Valve | 1 | 1 | 2 | 2.66E-06 | P | 5.10E-06 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 3.35E-03 | 6.70E-03 | 6.70E-03 | 1.68E-02 |
| 1 | 7 | 6 | 2 | 0 | 0 | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(RH) | 1 | 1 | 2 | 2.57E-06 | P | 5.14E-06 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 3.38E-03 | 3.38E-03 | 1.35E-02 | 1.35E-02 |
| 1 | 7 | 6 | 3 | 0 | 0 | Cut Out Cock with Side Vent and Electric Switch(LH) | 1 | 1 | 2 | 2.57E-06 | P | 5.14E-06 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 3.38E-03 | 3.38E-03 | 1.35E-02 | 1.35E-02 |
| 1 | 7 | 6 | 4 | 0 | 0 | Leveling Valve(LH) | 2 | 2 | 4 | 3.48E-06 | P | 1.39E-05 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 9.15E-03 | 9.15E-03 | 3.66E-02 | 3.66E-02 |
| 1 | 7 | 6 | 5 | 0 | 0 | Leveling Valve(RH) | 2 | 2 | 4 | 3.48E-06 | P | 1.39E-05 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 9.15E-03 | 9.15E-03 | 3.66E-02 | 3.66E-02 |
| 1 | 7 | 6 | 6 | 0 | 0 | Differential Valve with Pipe Bracket | 4 | 4 | 8 | 2.35E-06 | P | 1.88E-05 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 1.24E-02 | 1.24E-02 | 4.94E-02 | 4.94E-02 |

| No. of Service affected Type1 Failure per Train per year | No. of Service affected Type2 Failure per Train per year | No. of Service affected Type3 Failure per Train per year | No. of Service affected Type4 Failure per Train per year |
|---|---|---|---|
| 2.52E-01 | 4.42E-01 | 6.69E-01 | 7.05E-01 |

| MKBF (Train km) | MKBF (Train km) | MKBF (Train km) | MKBF (Train km) |
|---|---|---|---|
| 433,791 | 247,460 | 163,696 | 155,310 |

## (거) 연결기시스템 RAM Table 작성

**Appendix I**
**Reliability information sheet** REVISION No. 0
**Coupler System** REVISION DATE
**Data provided by**

| | |
|---|---|
| Annual Running Distance | 65,310 |
| Annual Operating Hour | 6,570 |
| Average speed (km/hour) | 9.94 |

| Reference ID | | | | | | Item Description | Scope of Supply: Qty(no) in each car Car Mc1 | Car Mc2 | Qty(no) in Train 2car | Failure Data: Failure Data(per item) Failure Rate failure/Mhour | Data Source | Failure Data(per Train) Failure Rate failure/Mhour | Failure Consequence Fractions Type1 | Type2 | Type3 | Type4 | No. of the predicted Type failure per Train per year Type1 | Type2 | Type3 | Type4 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | (D, P, T) | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | **Coupler System** | | | | | | | | | | | **0.00E+00** | **2.60E-03** | **6.18E-02** | **2.53E-01** |
| 1 | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 | **Front coupler** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | Tightlock coupler | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | Coupler head | 1 | 1 | 2 | 1.84E-07 | P | 3.68E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.84E-04 | 1.93E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 1 | 2 | 0 | Air pipe | 1 | 1 | 2 | 2.15E-07 | P | 4.30E-07 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.7 | 0.00E+00 | 2.83E-04 | 5.65E-04 | 1.98E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 1 | 3 | 0 | Uncoupling device | 1 | 1 | 2 | 9.00E-07 | P | 1.80E-06 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.7 | 0.00E+00 | 1.18E-03 | 2.37E-03 | 8.28E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 1 | 4 | 0 | Key block | 1 | 1 | 2 | 1.60E-07 | P | 3.20E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.20E-04 | 1.68E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 1 | 5 | 0 | Return spring | 1 | 1 | 2 | 1.60E-07 | P | 3.20E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.10E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 2 | 0 | 0 | Auto Jumper coupler | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 1 | 2 | 1 | 0 | Jumper coupler body ass'y | 1 | 1 | 2 | 1.05E-07 | P | 2.10E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.38E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 2 | 2 | 0 | Jumper cover | 1 | 1 | 2 | 1.60E-07 | P | 3.20E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.5 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.05E-03 | 1.05E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 2 | 3 | 0 | Guide pin | 1 | 1 | 2 | 5.30E-07 | P | 1.06E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.39E-03 | 5.57E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 2 | 4 | 0 | Push road ass'y | 1 | 1 | 2 | 5.30E-07 | P | 1.06E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.39E-03 | 5.57E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 2 | 5 | 0 | Contactor | 42 | 42 | 84 | 2.83E-07 | P | 2.38E-05 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.12E-02 | 1.25E-01 |
| 1 | 4 | 1 | 2 | 6 | 0 | Insulator plate | 1 | 1 | 2 | 1.20E-07 | P | 2.40E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.15E-04 | 1.26E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 2 | 7 | 0 | Cannon & recep. | 1 | 1 | 2 | 1.20E-07 | P | 2.40E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 3.15E-04 | 1.26E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 3 | 0 | 0 | Muff coupling | 2 | 2 | 4 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 1 | 4 | 1 | 0 | Muff | 2 | 2 | 4 | 2.55E-07 | P | 1.02E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.34E-03 | 5.36E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 4 | 2 | 0 | Bolt | 4 | 4 | 8 | 2.55E-07 | P | 2.04E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.68E-03 | 1.07E-02 |
| 1 | 4 | 1 | 4 | 3 | 0 | Nut | 4 | 4 | 8 | 2.55E-07 | P | 2.04E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.68E-03 | 1.07E-02 |
| 1 | 4 | 1 | 5 | 0 | 0 | Drawgear | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 1 | 5 | 1 | 0 | Bearing bracket | 1 | 1 | 2 | 1.70E-07 | P | 3.40E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.47E-04 | 1.79E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 5 | 2 | 0 | Upper & lower shell | 2 | 2 | 4 | 1.70E-07 | P | 6.80E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.94E-04 | 3.57E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 5 | 3 | 0 | Journal | 2 | 2 | 4 | 1.70E-08 | P | 6.80E-08 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.94E-05 | 3.57E-04 |
| 1 | 4 | 1 | 5 | 4 | 0 | Cushion unit | 4 | 4 | 8 | 1.70E-08 | P | 1.36E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.79E-04 | 7.15E-04 |
| 1 | 4 | 1 | 5 | 5 | 0 | Draw bar | 1 | 1 | 2 | 1.70E-08 | P | 3.40E-08 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.47E-05 | 1.79E-04 |
| 1 | 4 | 1 | 6 | 0 | 0 | Vertical support | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 1 | 6 | 1 | 0 | Support rubber | 1 | 1 | 2 | 2.10E-07 | P | 4.20E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.52E-04 | 2.21E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 6 | 2 | 0 | Plate | 1 | 1 | 2 | 2.10E-07 | P | 4.20E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 5.52E-04 | 2.21E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 6 | 3 | 0 | Bolt | 2 | 2 | 4 | 2.10E-07 | P | 8.40E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.10E-03 | 4.42E-03 |
| 1 | 4 | 1 | 6 | 4 | 0 | Nut | 2 | 2 | 4 | 2.10E-07 | P | 8.40E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.10E-03 | 4.42E-03 |
| 1 | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | **Intermediate coupler** | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 | Semi-permanent coupler | 4 | 4 | 8 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 2 | 1 | 1 | 0 | Coupler body | 4 | 4 | 8 | 1.84E-07 | P | 1.47E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 9.67E-03 |
| 1 | 4 | 2 | 1 | 2 | 0 | Air pipe | 4 | 4 | 8 | 2.15E-07 | P | 1.72E-06 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.7 | 0.00E+00 | 1.13E-03 | 2.26E-03 | 7.91E-03 |
| 1 | 4 | 2 | 2 | 0 | 0 | Muff coupling | 2 | 2 | 4 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 2 | 2 | 1 | 0 | Muff | 2 | 2 | 4 | 2.55E-07 | P | 1.02E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.34E-03 | 4.02E-03 |
| 1 | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 | Bolt | 4 | 4 | 8 | 2.55E-07 | P | 2.04E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.68E-03 | 1.07E-02 |
| 1 | 4 | 2 | 2 | 3 | 0 | Nut | 4 | 4 | 8 | 2.55E-07 | P | 2.04E-06 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 2.68E-03 | 1.07E-02 |
| 1 | 4 | 2 | 3 | 0 | 0 | Drawgear | 1 | 1 | 2 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 4 | 2 | 3 | 1 | 0 | Bearing bracket | 1 | 1 | 2 | 1.70E-07 | P | 3.40E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.47E-04 | 1.79E-03 |
| 1 | 4 | 2 | 3 | 2 | 0 | Upper & lower shell | 2 | 2 | 4 | 1.70E-07 | P | 6.80E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.94E-04 | 3.57E-03 |
| 1 | 4 | 2 | 3 | 3 | 0 | Journal | 2 | 2 | 4 | 1.70E-08 | P | 6.80E-08 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 8.94E-05 | 3.57E-04 |
| 1 | 4 | 2 | 3 | 4 | 0 | Cushion unit | 4 | 4 | 8 | 1.70E-08 | P | 1.36E-07 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 1.79E-04 | 7.15E-04 |
| 1 | 4 | 2 | 3 | 5 | 0 | Draw bar | 1 | 1 | 2 | 1.70E-08 | P | 3.40E-08 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.8 | 0.00E+00 | 0.00E+00 | 4.47E-05 | 1.79E-04 |

| No. of Service affected Type1 Failure per Train per year | No. of Service affected Type2 Failure per Train per year | No. of Service affected Type3 Failure per Train per year | No. of Service affected Type4 Failure per Train per year |
|---|---|---|---|
| 0.00E+00 | 2.60E-03 | 6.18E-02 | 2.53E-01 |

| MKBF (Train km) | MKBF (Train km) | MKBF (Train km) | MKBF (Train km) |
|---|---|---|---|
| #DIV/0! | 25,168,175 | 1,056,481 | 257,798 |

## 사. 멀티미디어 컨트롤 시스템 개발 (한터기술-협동)

(1) 개발 개요

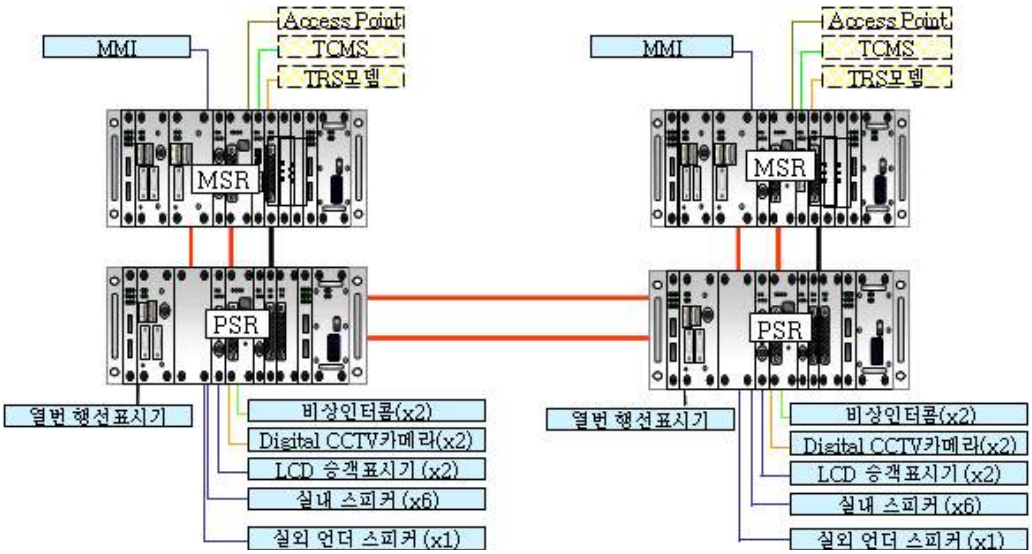
당해단계의 1차년도는 IP(Internet Protocol) 네트워크상에서 방송, 동영상, CCTV가 통합된 하드웨어 및 소프트웨어 시스템을 기본 설계하는 것이 개발의 주된 내용이다. 무인 운전하는 차량에서 차량의 모든 승객에 관한 정보를 지상의 사령실에서 제어할 수 있는 안정된 Fault Tolerant Infortainment 장치를 설계하는 것이다.

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.

(2) MultiMedia Control 시스템 설계

멀티미디어 컨트롤 시스템의 구조 및 형상은 아래와 같다.




[그림 217 ]멀티미디어 컨트롤 시스템 구조 및 형상

위 그림에서 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 그림과 같이 차상에 설치된다.

[그림 218 ]멀티미디어 컨트롤 시스템 구성도

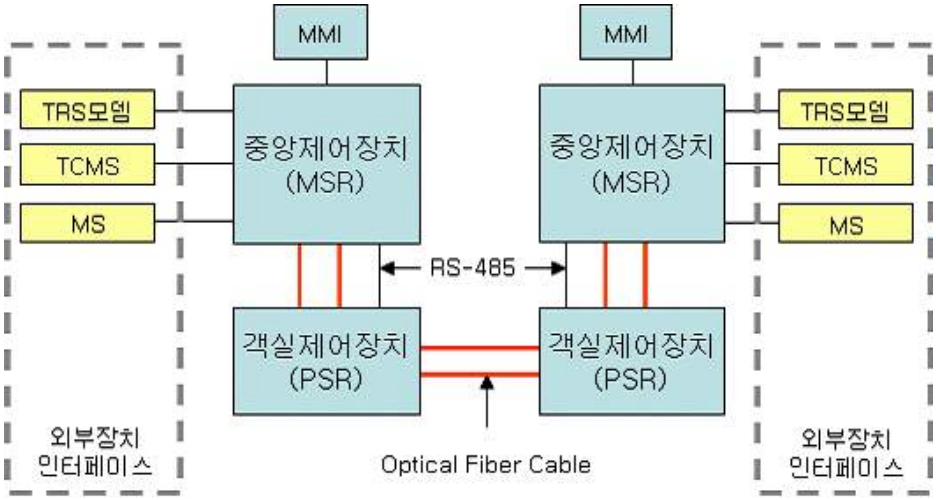
멀티미디어 컨트롤 시스템은 아래 표1과 같이 승객 정보안내가 확실히 전달되도록 하기 위한 TC CAR장치로 구성된다.

[표 71 ]멀티미디어 컨트롤 시스템 TC CAR 장치 구성

| 구 성 품 | 수량 | 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 같다.




[그림 219 ]멀티미디어 컨트롤 시스템 인터페이스 구성]

(MS : Mobile Station, TRS : Trunked Radio System)

(가) 중앙제어장치(MSR: Main Sub Rack)

방송장비, 비상 인터폰, 표시기 및CCTV 장치를 통합 관리/제어하는 장치로 아래 표와 같은 구성품들로 구성된다.

[표 72 ]중앙제어장치 구성

| 구 성 품 | 수량 | 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 |

(나) 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 승

무원이 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.

(다) 객차제어장치(PSR: Passenger Sub Rack)

중앙제어장치와 통신으로 연결되어 스피커, 비상인터폰, 표시장치 및 CCTV 카메라를 제어하기 위한 장치로서 아래 표와 같은 구성품들로 구성되어 있다.

[표 73 ]객차제어장치 구성

| 구 성 품 | 수량 | 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 |

(라) 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.

(마) 비상인터폰

승객과 승무원 또는 승객과 사령실간의 양 방향 통신을 지원하기 위하여 각 차량에 비상용 비상인터폰이 설치된다.

(바) 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 설정기를이용하여입력한내용을표시하는 수동문자방송을할수도있다. 승객안내표시기는 각종 공지사항 및 비상 시

승객 대처 요령 등에 대하여 방송 장치 음성과 연계되어 표시된다.

(사) 정면 행선지 열차번호 표시기(LED)

차량의 선두부와 후부 정면에 설치되며 중앙제어장치로부터 전달된 데이터를 받아 차량의 종착역을 표시한다.

설정기를 이용하여 수동으로 행선지를 입력할 수도 있다.

(아) 실내 스피커

객차내에 설치되며 수동방송, 자동안내방송등의 음성안내 정보를 승객에게 전달한다.

소음 센서에 의거한 자동볼륨조정(Automatic Volume Controlled(AVR))을 사용하여 방송 출력을 조정 가능합니다.

(자) 실외 언더 스피커

차량외부 언더측에 설치되며 수동방송, 자동안내방송 등의 음성안내 정보를 주변사람에게 전달한다.

(3) PA/PIS 시스템

(가) 시스템 설계

1) 중앙제어장치

열차의 안전운행 및 승객을 위하여 편의를 위해서 방송, 표시, 열차무선 인터페이스 등의 기능을 제어한다.

가) 차량내 안내방송

멀티미디어 컨트롤 시스템과 연계된 설정기, TRS모뎀, 객실내 비상인터폰을 통해, 객차내의 승객들은 다양한 음성정보를 제공받을 수 있다.

- 승객안내방송의 종류

◦종합 사령실 방송(대승객 방송)

멀티미디어 컨트롤 시스템과 연계된 TRS모뎀을 통해 열차내의 비상상황을 사령에게 알리거나 사령실의 사령이 전달하는 긴급상황을 전달하는 기능을 제공함.

◦차량 내 수동 안내 방송

차량 내 승무원이 객실내 승객에게 음성으로 정보를 전달하도록 하는 기능을 제공함.

◦차량 내 자동 안내 방송

차량제어장치의 중앙제어장치에 저장되어 있는 자동방송 정보를 정해진 스케줄에 의해 승객에게 안내하는 기능을 제공함.

- 방송우선순위
  ◦종합 사령실 방송(대승객 방송)
  ◦차량 내 수동 안내 방송
  ◦차량 내 자동 안내 방송

나) 비상인터폰 제어 및 연계 작동

중앙제어장치는 객실내 비상인터폰의 요청을 TRS 망에 접속시키는 통화 경로를 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 CCTV 영상 제어PC(DVR기능)에 저장이 된다.

다) 방송내용을 추가 및 변경

휴대용 USB 플래시 디스크를 컴퓨터와 연결하여 작업이 가능하도록 USB 타입의 통신 포트가 제공된다.

라) 방송/표시 자료의 동기화

선두차량 동영상 제어/저장 장치에 저장된 영상 및 표시정보는 후부차량의 중앙제어장치에 동일하게 복사 저장된다.

마) 시스템 레벨의 표시기-방송장치 동기화

각종 공지사항 및 비상 시 승객 대처 요령 등에 대하여 승객안내표시기(LCD)와 연계되어 계획, 조정, 방송되며, 중앙제어장치에서 제어한다.

바) 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.

2) 객차제어장치

객차제어장치는 다음과 같은 기능을 제공한다.

가) 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.

나) 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.

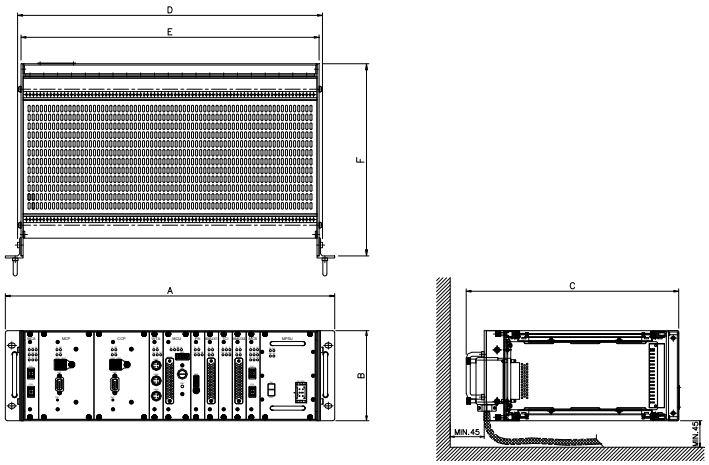
(나) 중앙제어장치(MSR)

1) 장치 개요

중앙제어장치는 객차제어장치를 제어하며 방송 및 비상인터폰 제어, 표시기장치 현시, 디지털 CCTV장치 제어의 기능을 한다.

중앙제어장치의 실물은 아래 그림과 같다.

중앙제어장치의 외형은 아래 그림과 같다.



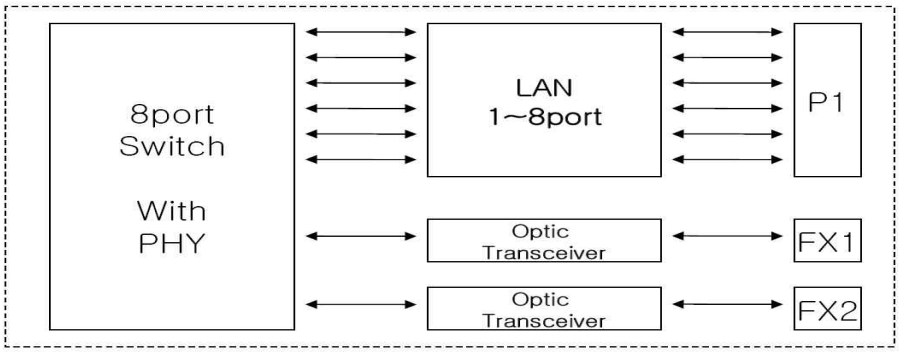

2) MC(Media Converter) 보드

가) 장치 개요

중앙제어장치간, 중앙제어장치와 객차제어장치가 광케이블로 데이터를 송/수신이 가능하도록 Ethernet Packet, 혹은 광신호를 상황에 맞도록 변환하여 주는 장치이다.

나) 구성 및 동작

내부의 Switch chip을 통해 내부 장치와 연결된 8개의 Ethernet 포트에서 입력되는 신호 및 외부의 Optic 포트에서 입력되는 신호를 제어한다.




다) 규격

| 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|
| Optic | Optic length :<br>FX1-1310nm<br>FX2-1500nm | 10/100 Base-T<br>Auto<br>MDI/MDI-X |
| LAN | Switch to 8port Ethernet | |
| LED | 3Φ | Each port :<br>state |
| PCB SIZE | 100.1x217.8mm | 1 SLOT |

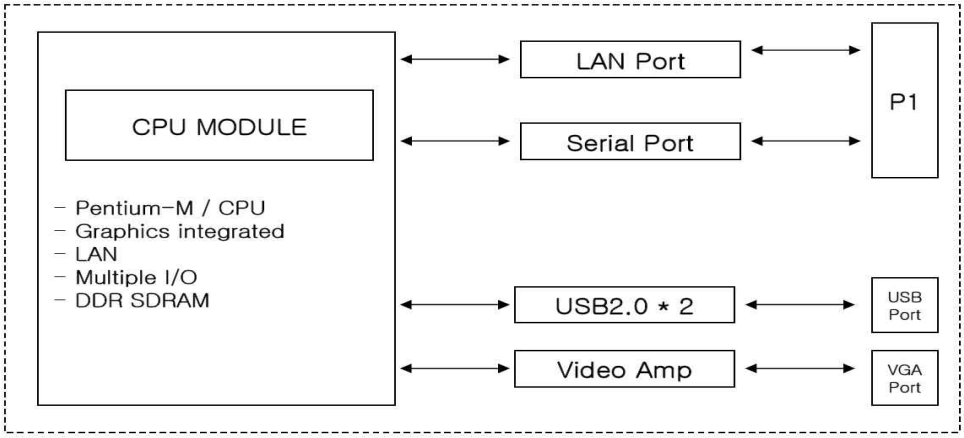
3) MCP(Media Control PC)보드

가) 장치 개요

방송을 위에 동영상 및 자막, 스케줄러, MP3 음성정보를 저장하며 스케줄링에 따라 동영상 데이터를 객차제어장치로 스트리밍 한다.

나) 구성 및 동작

MCP 모듈은 별도의 Processor 모듈을 제작된 보드에 결합하여 사용한다. 모듈의 성능은 승객안내용 동영상을 전송하기에 부족함이 없다.



다) 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. | | |

라) CCP(CCTV Control PC) 보드

- 장치 개요

객차내의 CCTV 카메라에서 전송되는 영상을 DVR기능의 소프트웨어를 사용하여 저장하도록 한 장치이다.

나) 구성 및 동작

MCP 모듈과 동일.

다) 규격

MCP 모듈과 동일.

5) WTA(Wireless Terminal Adaptor) 보드

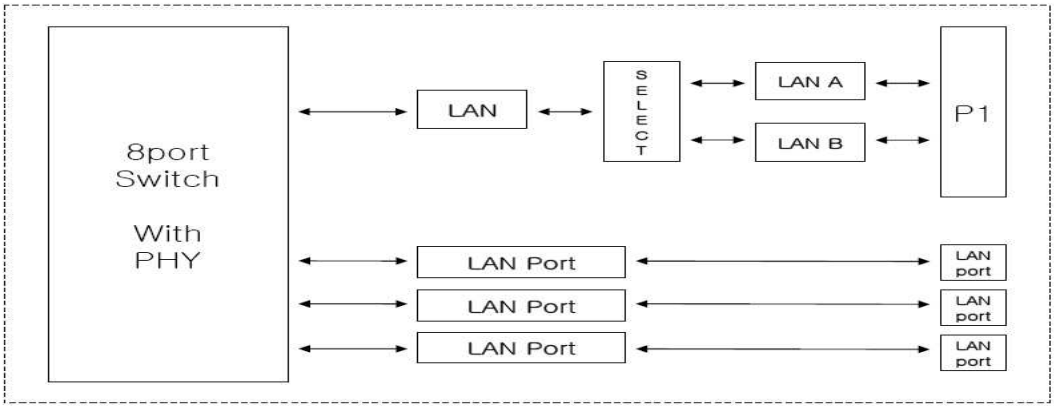
가) 장치 개요

무선장치의 인터페이스와 설정기장치의 인터페이스와 같은 Ethernet용

외부장치의 인터페이스를 제공하는 보드이다.

나) 구성 및 동작

내부의 Switch chip을 통해 외부 기기를 위한 3개의 Ethernet 포트에서 입력되는 신호 및 내부의 장치들과 데이터교환을 위한 1개의 포트를 제어한다.




다) 규격

| 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|
| EXternal LAN | 3 Port | 10/100 Base-T<br>Auto MDI/MDI-X |
| LAN | Switch to 8port Ethernet | |
| LED | 3Φ | Each port : state |
| PCB SIZE | 100.1x217.8mm | 1 SLOT |

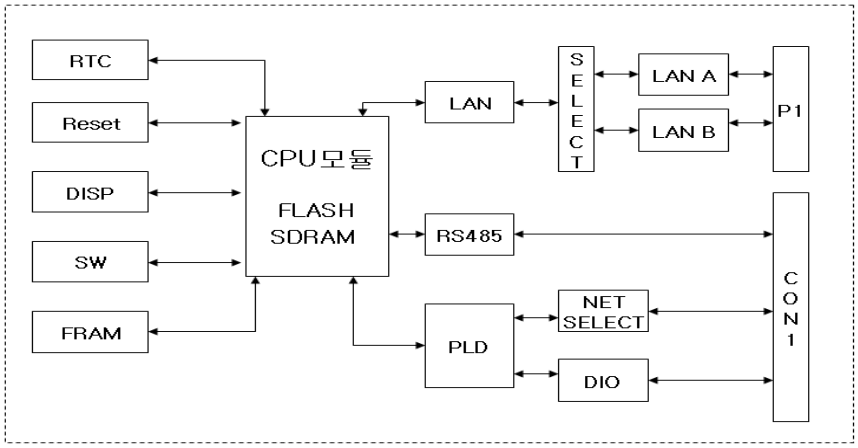
6) MCU(Main Control Unit) 보드

가) 장치 개요

차량의 제어장치에서 입력되는 신호를 받아 멀티미디어 컨트롤 시스템과 관련된 기능을 동작시키며, 중앙제어장치를 구성하는 타 장치들의 상태정보를 전달받아 처리한다.

나) 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.




다) 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,<br>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<br>Status Running for System Controller<br>COM : Communications |
| PLD | | XC95144*1 | |
| PCB SIZE | | 100.1*217.8mm | 2 SLOT |

7) PA(Public Announcement) 보드

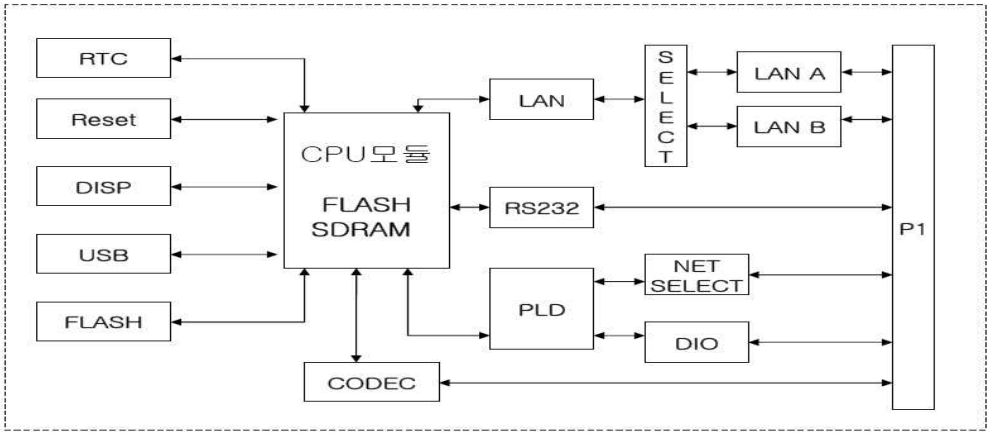
가) 장치 개요

차량의 제어장치에서 입력되는 신호를 받아 멀티미디어 컨트롤 시스템과 관련된 자동방송기능을 동작시키며, 중앙제어장치를 구성하는 타 장치들의 상태정보를 전달받아 처리한다.

나) 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.




다) 규격

| 항 목 | | 규 격 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| CPU | | 32 Bits, 520MHz | PXA270 |
| Memory | FLASH | 64 MB (32 Bit)<br>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<br>Running for System Controller<br>COM : Communications |
| PLD | | XC9572*1 | |
| PCB SIZE | | 100.1*217.8mm | 1 SLOT |

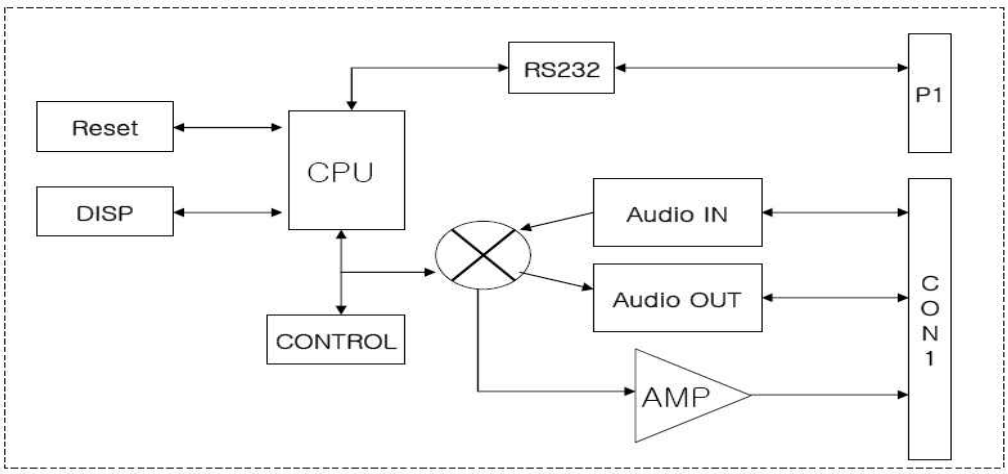
8) AMUX1(Analog MUX1) 보드

가) 장치 개요

PA 보드와 연동 관계로 동작하며 수동방송 마이크, 운전실 모니터 스피커 등을 제어한다.

나) 구조 및 동작

내부의 CPU 는 PA 보드와 RS232 통신으로 명령어를 주고 받으며, 수동 방송은 Audio IN을 통해서 입력되고, 운전실 모니터는 AMP를 통해서 스피커로 출력 한다.




다) 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<br>Running for System Controller<br>COM : Communications |
| PCB SIZE | | 100.1*217.8mm | 1 SLOT |

9) TCI(Tetra Communication Interface) 보드

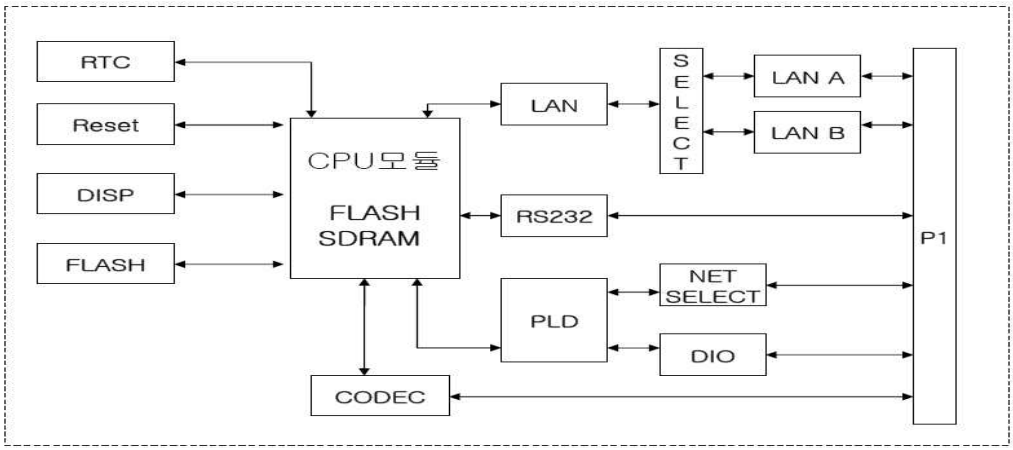
가) 장치 개요

차량의 제어장치에서 입력되는 신호를 받아 멀티미디어 컨트롤 시스템의 열차무선과 관련된 기능을 동작시킨다.

나) 구조 및 동작

내부의 CPU 모듈과 내부의 로컬 자원을 담당하는 자원들과 외부장치와

데이터 교환을 담당하는 통신 및 입출력 포트와 LAN으로 구성으로 되어 있다.




다) 규격

| 항 목 | | 규 격 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| CPU | | 32 Bits, 520MHz | PXA270 |
| Memory | FLASH | 64 MB (32 Bit)<br>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<br>COM : Communications |
| PLD | | XC9572*1 | |
| PCB SIZE | | 100.1*217.8mm | 1 SLOT |

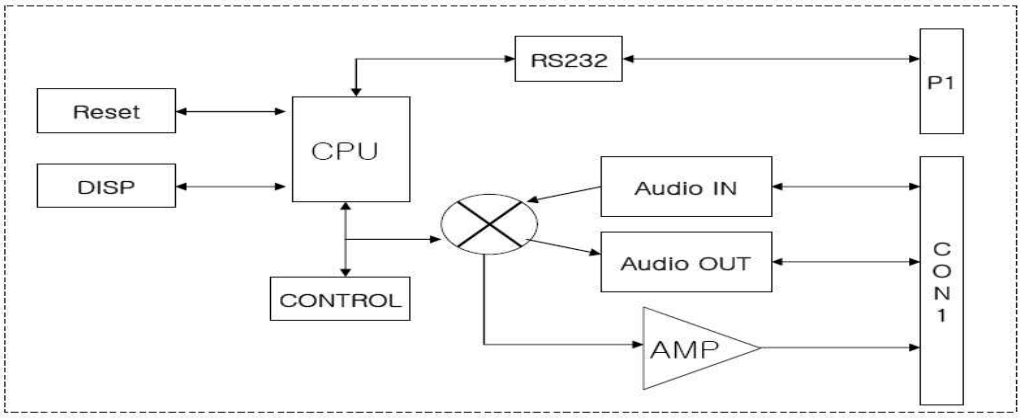
10) AMUX4(Analog MUX4) 보드

가) 장치 개요

TCI 보드와 연동 관계로 동작하며 열차무선 인터페이스를 제공한다.

나) 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.




다) 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<br>COM : Communications |
| PCB SIZE | | 100.1*217.8mm | 1 SLOT |

11) MPSU(MSR Power Supply Unit) 보드

가) 장치 개요

차량에서 제공되는 100VDC 전원을 입력 받아 중앙제어장치 내부의 각각의 보드에 필요 전원을 제공한다.

나) 구조 및 동작

MPSU는 차량에서 공급되는 100VDC의 파워입력을 받아 내부의 DCDC 모듈을 통해 24VDC, 5VDC의 전원을 출력하게 된다.

다) 규격

| 항 목 | | 규 격 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| Internal Required Spec | | +5 VDC,<br>+24VDC, 100VDC | |
| DC/DC Converter | Input Voltage | DC 66V~DC 160V | |
| | Output Voltage | DC +5V/30A<br>DC +24V/4.2A | |
| | 효율 | 90% 이상 | |
| | Output<br>Ripple & Noise | 100mVp-p 이하 | |
| | Current Limit | Short Circuit Protection<br>(Automatic Restart) | |
| | Turn-on Time | 10m/sec | |
| LED | | 3Φ* 3 | +5V, +24V |
| PCB SIZE | | 100*220mm | 2 Slots |

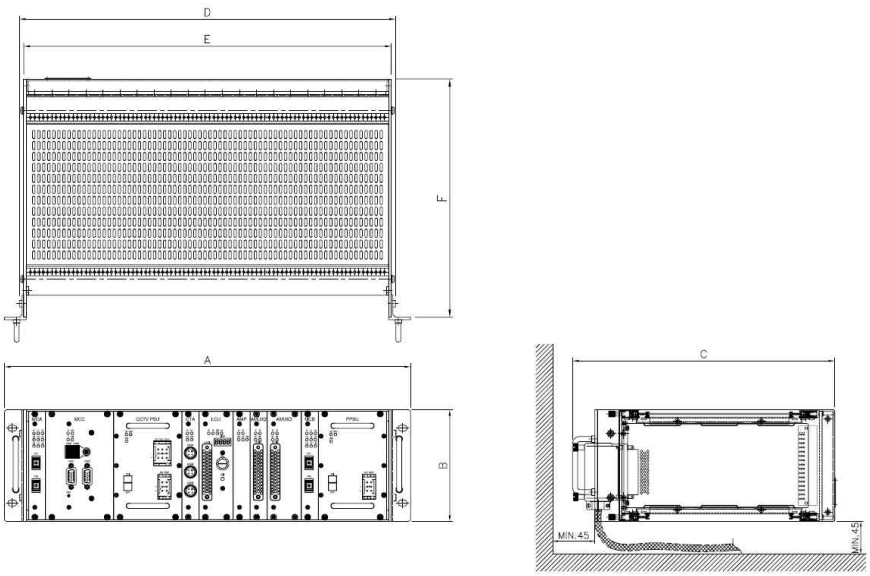
(다) 객실제어장치(PSR: Passenger Sub Rack)

1) 장치 개요

객차제어장치는 중앙제어장치와 통신으로 연결되어 스피커, 비상인터폰, 표시장치 및 CCTV 카메라를 제어하기 위한 장치이다.

객차제어장치의 실물은 아래 그림과 같다.

객차제어장치의 외형은 아래 그림과 같다.



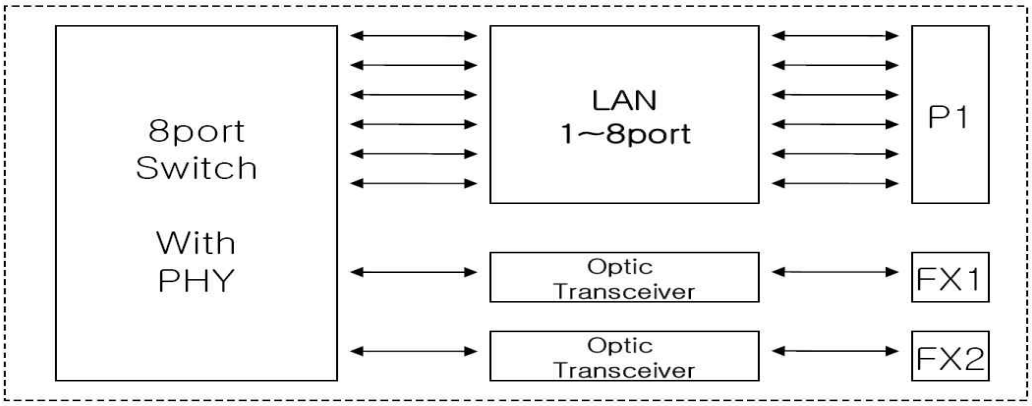
2) MC(Media Converter)보드

가) 장치 개요

객실제어장치간, 중앙제어장치와 객차제어장치가 광케이블로 데이터를 송/수신이 가능하도록 Ethernet Packet, 혹은 광신호를 상황에 맞도록 변환하여 주는 장치이다.

나) 구성 및 동작

내부의 Switch chip을 통해 내부 장치와 연결된 8개의 Ethernet 포트에서 입력되는 신호 및 외부의 Optic 포트에서 입력되는 신호를 제어한다.




다) 규격

| 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|
| Optic | Optic length :<br>FX1-1310nm<br><br>FX2-1500nm | 10/100 Base-T<br>Auto MDI/MDI-X |
| LAN | Switch to 8port Ethernet | |
| LED | 3Φ | Each port : state |
| PCB SIZE | 100.1x217.8mm | 1 SLOT |

3) CTA(CCTV Terminal Adaptor) 보드

가) 장치 개요

객차제어장치와 CCTV카메라간의 인터페이스를 제공하는 보드이다.

나) 구성 및 동작

별도의 회로구성은 가지고 있지 않으며 객차제어장치 내부와 선로를 제공한다.

다) 규격

| 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|
| LED | 3Φ | Each port : state |
| PCB SIZE | 100.1x217.8mm | 1 SLOT |

4) LCU(Local Control Unit) 보드

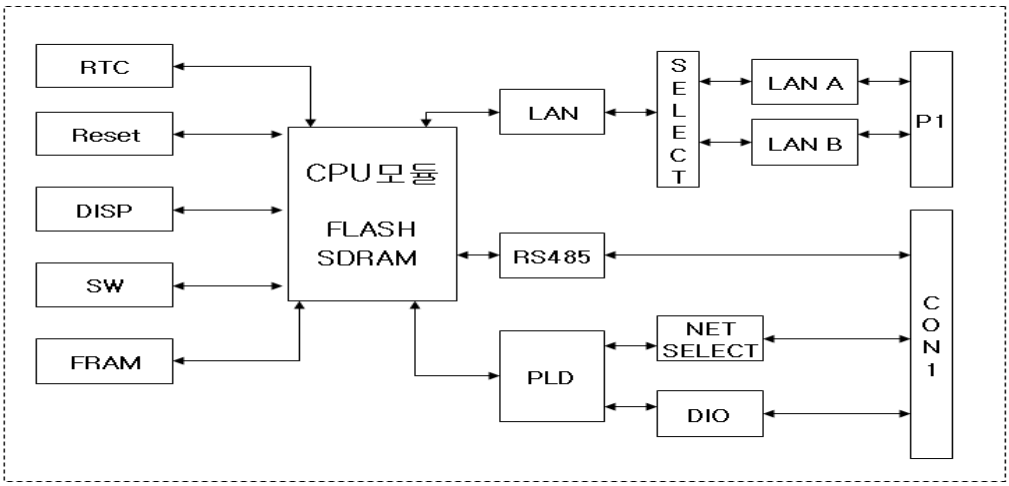
가) 장치 개요

중앙제어장치와 통신으로 연결되어 제어 데이터를 주고받아 관련된 기능을 동작시키며, 객차제어장치를 구성하는 타 장치들의 상태정보를 전달받아 처리한다.

나) 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.




다) 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,<br>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<br>Running for System Controller<br>COM : Communications |
| PLD | | XC95144*1 | |
| PCB SIZE | | 100.1*217.8mm | 2 SLOT |

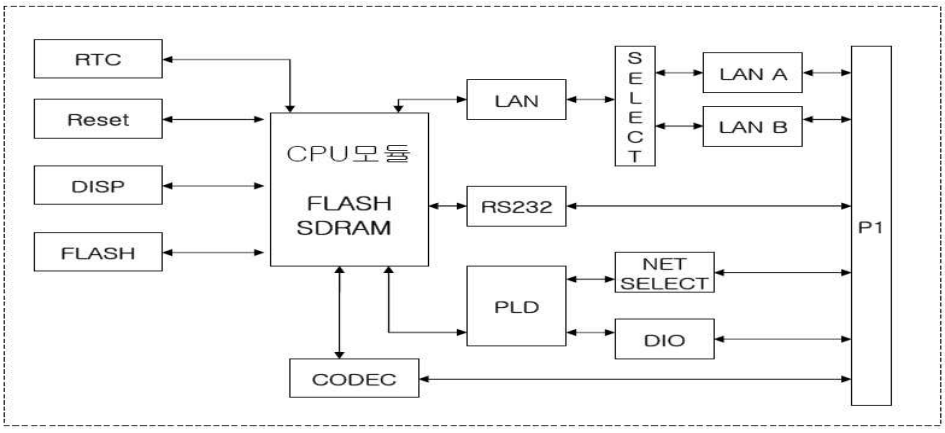
5) AMP(Amplifier) 보드

가) 장치 개요

중앙제어장치에서 보내오는 신호를 받아 멀티미디어 컨트롤 시스템과 관련된 방송기능을 동작시키며, 객차제어장치를 구성하는 타 장치들의 상태정보를 전달받아 처리한다.

나) 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.




다) 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,<br>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<br>Running for System Controller<br>COM : Communications |
| PLD | | XC95144*1 | |
| PCB SIZE | | 100.1*217.8mm | 2 SLOT |

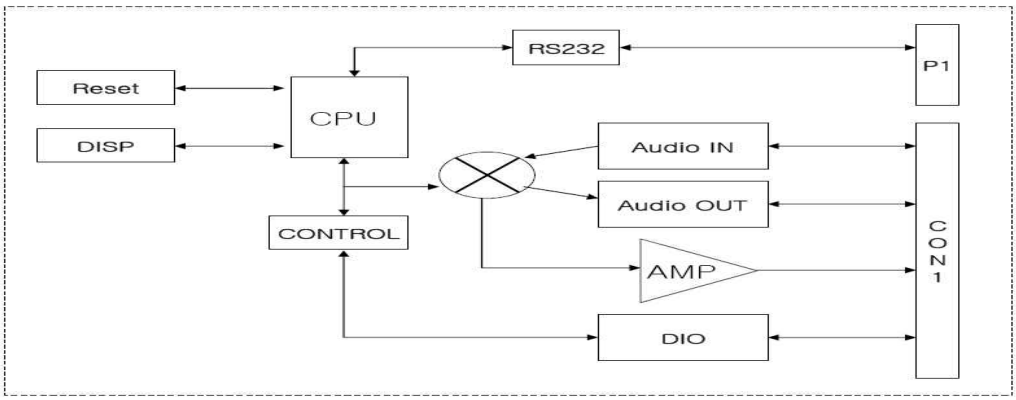
6) AMUX2(Analog Multiplexer2) 보드

가) 장치 개요

AMP 보드와 연동 관계로 동작하며 비상인터폰을 제어 한다.

나) 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.




다) 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<br>Running for System Controller<br>COM : Communications |
| PCB SIZE | 100.1*217.8mm | 1 SLOT |

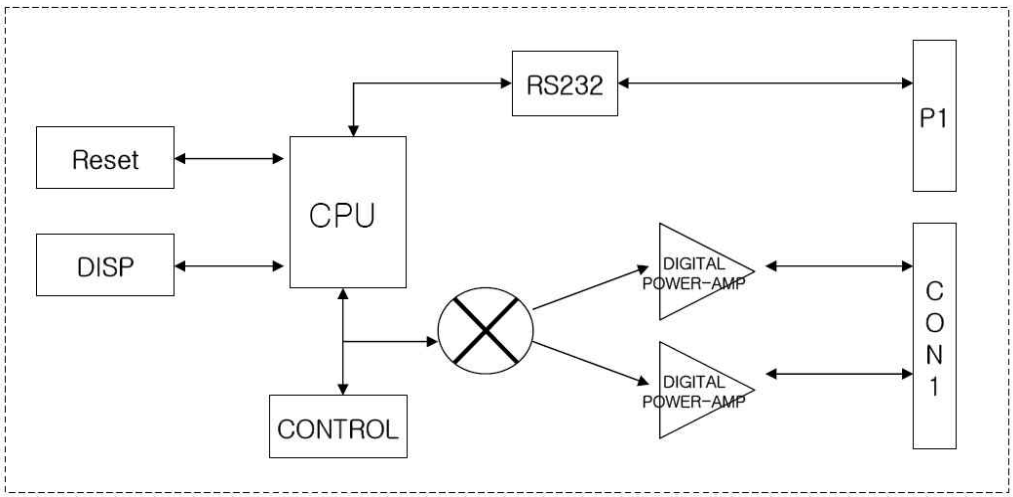
8) AMUX3(Analog MUX3) 보드

가) 장치 개요

AMP 보드와 연동 관계로 동작하며 비상인터폰을 제어 한다.

나) 구조 및 동작

내부의 CPU는 AMP 보드와 RS232 통신으로 명령어를 주고 받으며, 객실로 출력되는 음성을 큰출력으로 증폭하여 Audio를 출력 한다.




다) 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<br>Running for System Controller<br>COM : Communications |
| PCB SIZE | 100.1*217.8mm | 1 SLOT |

9) PPSU(PSR Power Supply Unit) 보드

가) 장치 개요

차량에서 제공되는 100VDC 전원을 입력 받아 중앙제어장치 내부의 각각의 보드에 필요 전원을 제공한다.

나) 구조 및 동작

PPSU는 차량에서 공급되는 100VDC의 파워입력을 받아 내부의 DCDC 모듈을 통해 24VDC, 5VDC의 전원을 출력하게 된다.

다) 규격

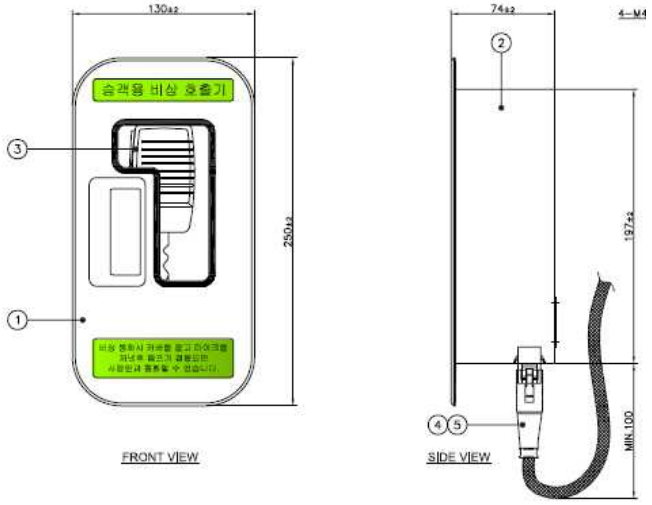
| 항 목 | | 규 격 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| Internal Required Spec | | +5 VDC,<br>+24VDC,<br>100VDC | |
| DC/DC Converter | Input Voltage | DC 66V~DC 160V | |
| | Output Voltage | DC +5V/30A<br>DC +24V/4.2A<br>DC +100VDC/0.2A | |
| | 효율 | 90% 이상 | |
| | Output Ripple & Noise | 100mVp-p 이하 | |
| | Current Limit | Short Circuit Protection<br>(Automatic Restart) | |
| | Power Fail Detection | Main 100V input | |
| | Turn-on Time | 10m/sec | |
| LED | | 3Φ* 3 | +5V, +24V |
| PCB SIZE | | 100*220mm | 2 Slots |

(라) 비상인터폰(Emergency Interphone) 장치

1) 장치 개요

객차내 승객에게 응급 상황 발생시, 승무원 혹은 사령원과의 비상통화가 가능하도록 한다.

비상인터폰의 외형은 아래 그림과 같다.




비상인터폰의 실물은 아래 그림과 같다.

2) 규격

| 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|
| 입력전압 | DC24VDC±10% | |
| 제어방식 | AMUX2에서 제어 | |
| A/D 변환 | PCM CODEC 변환 | |
| 표본화 속도 | 최대 16KHz | |
| 왜율<br>(Transmit Signal) | 5% 이하(1000Hz 기준) | |
| 입력감도 | -45dB 이하(마이크 입력) | |
| 소비전력 | 100W 이하 | |
| 중량 | 2.5Kg 이하 | |
| 크기 | 130x235x90mm(WxHxD) | |

(마) 설정기(MMI: Man Machine Interface) 장치

1) 장치 개요

설정기는 차량의 운전실에 설치되며 설치된 마이크를 통해 수동안내방송 및 비상통화가 가능하도록 한다.

사용자의 편의성을 위해 버튼을 Touch Screen을 제공한다.

설정기장치의 실물은 아래 그림과 같다.

3) 규격

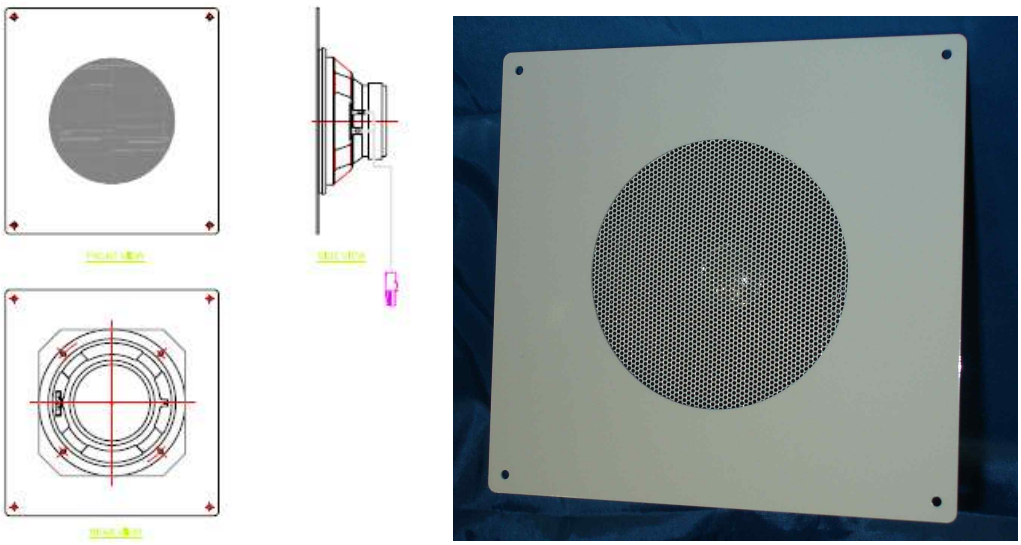
| 항 목 | | 규 격 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| CPU | | 32Bit, 520MHz | Pro270 |
| Memory | FLASH | 16MB | |
| | SRAM | 32MB | |
| Comm. Port | Console | RS232 통신 | CPU Monitoring |
| | LAN | 10/100 Base-T | |
| Display | | LCD | |
| Reset Switch | | Push Button Switch*1 | Board Reset |
| LED | | 3Φ | Status |
| 입력전압 | | DC100V | |

(바) 실내 스피커(Room Speaker) 장치

1) 장치 개요

객차에 설치되어 승객에게 안내방송을 출력한다.

실내 스피커의 외형 및 실물은 아래 그림과 같다.



2) 규격

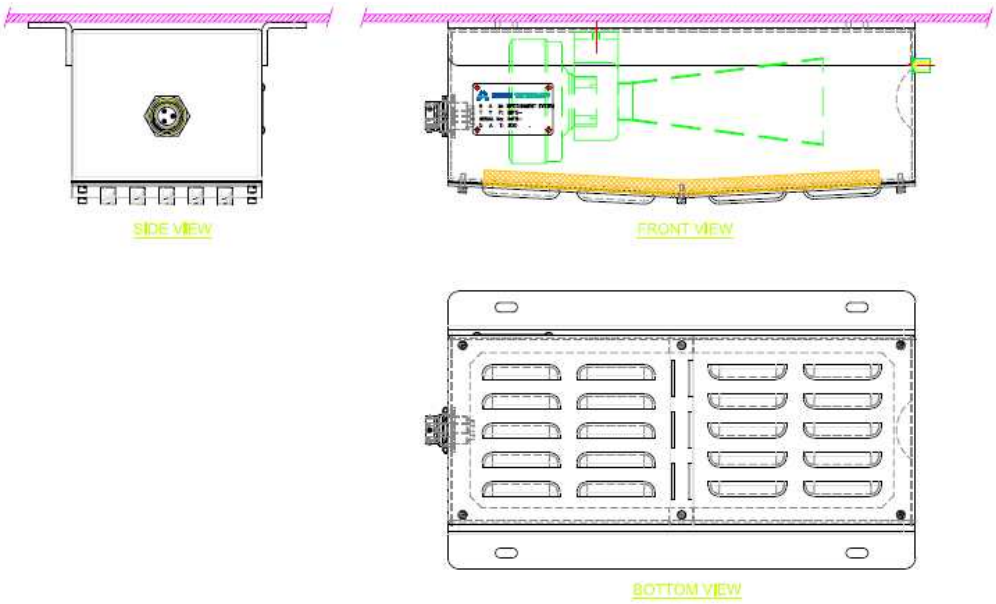
| 품명 | 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 실내스피커 | 주파수 특성 | 300~5000Hz 이상 | |
| | 입력 임피던스 | 8 Ω | |
| | 허용입력 | 10W | |
| | 음압(1W/1m) | 90 dB 이상 | - |

(사) 실외 언더 스피커(Outside under Speaker) 장치

1) 장치 개요

객차 언더 하부에 설치되어 차량외부의 승객에게 안내방송을 출력한다.

실외 언더 스피커의 외형은 아래 그림과 같다.




실외 언더 스피커의 외형은 아래 그림과 같다.

2) 규격

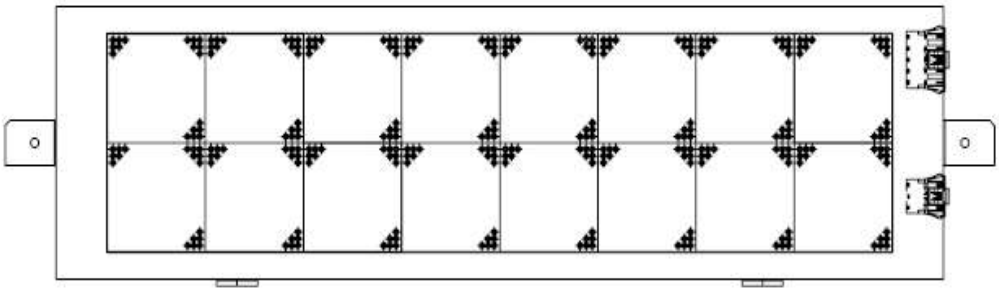
| 품명 | 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 실외언더스피커 | 주파수 특성 | 300~5000Hz 이상 | |
| | 입력 임피던스 | 8 Ω | |
| | 허용입력 | 10W | |
| | 음압(1W/1m) | 90 dB 이상 | - |

(4) PIS 시스템 설계

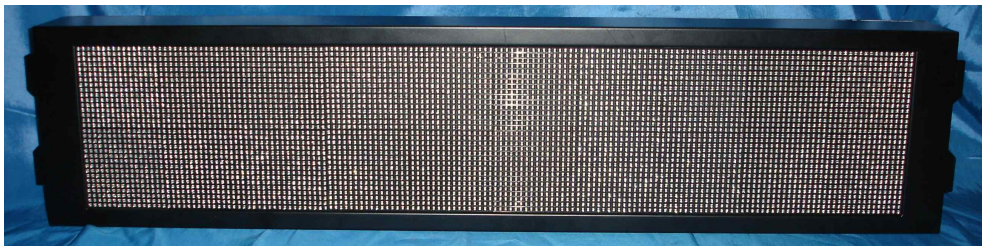
(가) 정면 행선-열번 표시기(LED Front Destination Number Indicator) 장치

1) 장치 개요

TC CAR의 상단에 설치되며, 차량의 행선지, 열차번호를 표시한다.
정면 행선-열번 표시기의 외형은 아래 그림과 같다.



정면 행선-열번 표시기의 실물은 아래 그림과 같다.



2) 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 |

(나) 승객안내 표시기(LCD 19") 장치

1) 장치 개요

객차내 출입문 상단 및 중앙통로에 설치되며, 승객을 위한 안내영상, 문열림, 홍보 광고 영상과 자막을 표시한다.

승객안내 표시기의 실물은 아래 그림과 같다.

2) 규격

| 항목 | 규격 | |
|---|---|---|
| 입력전압 | DC100V | |
| 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) | |

(6) CCTV 시스템 설계

(가) 카메라(CCTV Camera) 장치

1) 장치 개요

차량내 승객들의 상태나 차량 정면의 진행상태를 확인하기 위하여, PTZ 기능이 가능한 카메라를 내부에 설치한다.

CCTV 카메라의 실물은 아래 그림과 같다.

2) 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

(6) 자체 기능시험 결과

- 시스템 기능 항목

한터기술 내부에서 내부적으로 시스템의 기능을 시험한 결과는 아래와 같다.

△ 기능은 추후 열차무선 장치와 공동 시험 예정임.

| 시스템 기능 항목 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| No. | 항목 | | 경로 | 내부시험결과 |
| 1 | PA 기능 | 대승객방송 | 사령실->실내스피커 | △ |
| 2 | | 자동방송 | 방송장치->실내스피커 | ○ |
| 3 | | 수동방송(실내) | 승무원->실내스피커 | ○ |
| 4 | | 수동방송(실외) | 승무원->실외 언더스피커 | ○ |
| 5 | | 사령통화 | 승무원<->사령실 | △ |
| 6 | | 승무원비상통화 | 비상인터폰<->승무원 | ○ |
| 7 | | 사령실비상통화 | 비상인터폰<->사령실 | △ |
| 8 | PIS 기능 | 자동LCD표시 | 방송장치->승객안내표시기 | ○ |
| 9 | | 자동LED표시 | 방송장치->열번표시기 | ○ |
| 10 | CCTV기능 | CCTV 영상저장 | IP 카메라->CCP 모듈 | ○ |

(7) 중량 관리 목표

자기부상 열차에서 중량에 대한 목표값과 현재 측정한 중량에 대한 결과이다.

| No. | Item | 전체 수량 | 목표 중량 (kg) | | 현재 중량 (kg) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | MC1 | MC2 | MC1 | MC2 |
| 1 | MSR | 2 | 13.0 | 13.0 | 11.0 | 11.0 |
| 2 | PSR | 2 | 13.0 | 13.0 | 11.5 | 11.5 |
| 3 | LCD | 4 | 15.0 | 15.0 | 7.0 | 7.0 |
| 4 | ROOM SPEAKER | 6 | 1.5 | 1.5 | 1.0 | 1.0 |
| 5 | U/F SPEAKER | 2 | 3.0 | 3.0 | 4.0 | 4.0 |
| 6 | INTERPHONE | 4 | 3.0 | 3.0 | 2.0 | 2.0 |
| 7 | IP CCTV CAMERA | 6 | 3.0 | 3.0 | 1.2 | 1.2 |
| 8 | LED FRONT INDICATOR | 2 | 15.0 | 15.0 | 11.0 | 11.0 |
| 9 | MMI | 2 | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 5.0 |
| 10 | FIBER-JUMPER COUPLER | 1 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |
| Total | | | 71.8 | 71.8 | 54.0 | 54.0 |

## [2-2과제]

### 가. 한국전기연구원

(1) 부상시스템 성능 개선

(가) 부상시스템 요구조건 분석서

| 항목 | 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 전자석 조건 | ▪ 전자석은 빈번한 부상, 착지, 차량의 진동 및 터널 내 먼지 등 악조건하에서 견딜 수 있어야 한다.<br>▪ 한 쌍으로 구성된 전자석에서 하나가 고장이 나더라도 하나의 전자석으로 충분한 부상력을 가지도록 설계되어야 한다.<br>▪ 부상공극 6[mm]~10[mm]에서 가능한 선형성이 보장되어야 한다.<br>▪ 레일과 전자석 pole이 lateral 방향으로 어긋나더라도 충분한 부상력을 내도록 설계되어야 한다.<br>▪ 부상 시간 대비 전자석 온도 상승이 가능한 적어야 한다.<br>▪ 모든 성능을 만족하면서 가능한 가볍게 설계되어야 한다. | |
| Magnet Driver 조건 | ▪ Magnet Driver는 차량의 신뢰성, 보수성 및 에너지 효율 향상 등 차량시스템의 특성을 최대한 발휘할 수 있어야 한다.<br>▪ Magnet driver내 온도 상승을 억제하는 설계가 되어야 한다.<br>▪ 보호 회로가 구비 되어야 한다.<br>▪ 노이즈에 강인하도록 설계되어야 한다.<br>▪ 가능한 가볍게 설계되어야 한다.<br>▪ 진동에 강인하게 설계되어야 한다.<br>▪ 고장에 강인하게 설계되어야 한다. | |
| 센서 조건 | ▪ 충분한 측정 범위를 가져야 한다.<br>▪ 적정 분해능을 가져야 한다.<br>▪ 선형성을 가져야 한다.<br>▪ 응답성을 좋게 하기 위해 충분한 cutoff frequenc를 가져야 한다.<br>▪ 동작 온도 범위가 넓어야 한다.<br>▪ 센서 취부가 용이 하도록 설계되어야 한다. | |
| 추진장치 일반 | ▪ 소형, 경량화 설계를 통해 차량의 신뢰성, 보수성 및 에너지 효율성 향상 등 차량시스템이 갖는 특성을 최대한 발휘할 수 있어야 한다. | |
| 선형유도전동기 일반 | ▪ 선형유도전동기(SLIM)는 3상으로 빈번한 기동, 정지, 차량의 진동 및 터널 내 먼지 등 악조건 하에서도 견딜 수 있어야 한다. | |
| 전력변환장치 일반 | ▪ 전력변환장치는 전압형 PWM 제어방식, 가변전압 가변주파수 인버터(VVVF) 제어방식으로 하며, 차량의 신뢰성, 보수성 및 에너지 효율의 향상 등 차량시스템이 갖는 특성을 최대한 발휘할 수 있어야 한다. | |

(나) 부상시스템 기본/상세 설계서

- 센서: 첨부[2-2_전기연(주)-2]부상제어 시스템용 센서 요구조건 기술서
- MD: 첨부[2-2_전기연(주)-14]2차마그네트드라이브시제품사양서
- 전자석: 첨부[2-2_WSM_협_-14]부상용 전자석 제작사양서
- 프로그램: 첨부[2-2_전기연(주)-16]자기부상제어프로그램SDD_Rev00

(다) Single Magnet 부상 동특성 해석

1) single magnet 부상 제어 특성해석

가) 개요

UTM01에 사용되는 상태궤환(state feedback) 제어기의 이득(gain)에 따른 Single Magnet 부상제어 특성 해석 결과를 기술한다.

나) 특성방정식 유도

부상력은 다음 식으로 나타난다.

$$F(i,z) = \frac{\mu_0 N^2 A}{4}\left(\frac{i(t)}{z(t)}\right)^2 \tag{1}$$

식(1)로 표현되는 부상력에 의해서 수직 방향의 움직임을 나타내는 수식은 다음과 같다.

$$m\ddot{z}(t) = -F(i,z) + mg \tag{2}$$

동작점 에서 선형화 된 수식은 다음과 같다.

$$m\Delta\ddot{z}(t) = -k_i\Delta i(t) + k_z\Delta z(t) \tag{3}$$

제어 전압에 대한 식은,

$$\Delta v(t) = R\Delta i(t) + L_0\Delta\dot{i}(t) - k_i\Delta\dot{z}(t) \tag{4}$$

이다. 여기서

$$k_i = \frac{\mu_0 N^2 A}{2}\frac{i_0}{{c_0}^2} \qquad k_z = \frac{\mu_0 N^2 A}{2}\frac{i_0^2}{z_0^3} \qquad L_0 = \frac{\mu_0 N^2 A}{2z_0}$$

UTM01에서 사용되는 는 다음과 같은 state feedback 형태이다.

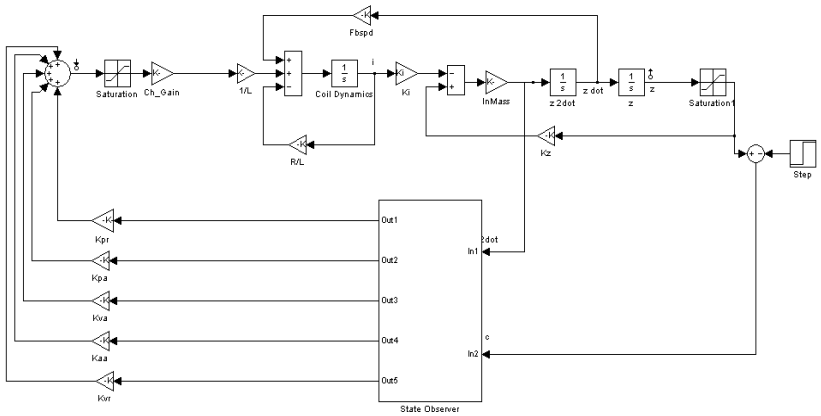
$$\Delta v = k_{pr}c^* + k_{vr}\dot{c}^* + k_{pa}z_1^* + k_{va}\dot{z}_1^* + k_{aa}\ddot{z}_1^* \tag{5}$$

먼저, open loop특성과 closed loop 특성을 비교하기 위해 $\Delta z/\Delta v$ 를 전달함수로 bode plot를 그려서 $k_{pr}$ , $k_{vr}$ , $k_{pa}$ , $k_{va}$ , $k_{aa}$ 의 변화에 따른 주파수 응답을 비교한 후, closed loop 상태에서 $k_{pr}$ , $k_{vr}$ , $k_{pa}$ , $k_{va}$ , $k_{aa}$ 의 변화에 따른 bode plot을 비교하여 제어 이득을 튜닝하는 아이디어를 얻는다.

open loop 전달함수를 (3), (4)으로부터 구하면,

$$\frac{\Delta z}{\Delta v} = -\frac{k_i/(mR)s^2}{L_0/Rs^3 + s^2 - k_z/m}$$

태 관측기를 포함하는 부상 제어 시스템은 아래 그림으로 나타낼 수 있다.

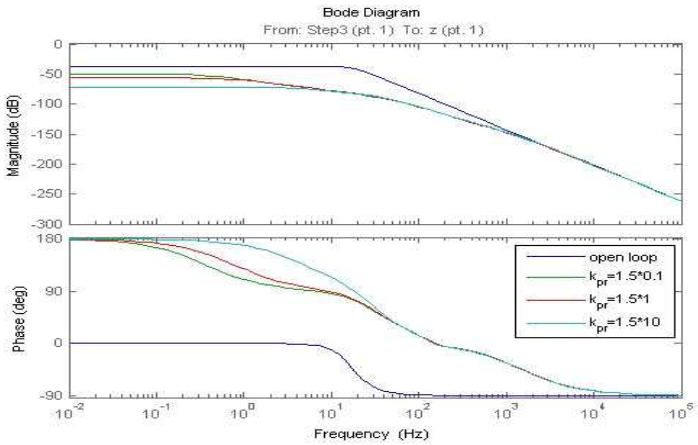



[그림 220 ]상태 관측기를 포함하는 부상 제어 시스템 구성도

다) Simulation 결과

$k_{pr}$ , $k_{vr}$ , $k_{pa}$ , $k_{va}$ , $k_{aa}$ 의 변화에 따른 주파수 응답은 다음과 같다.

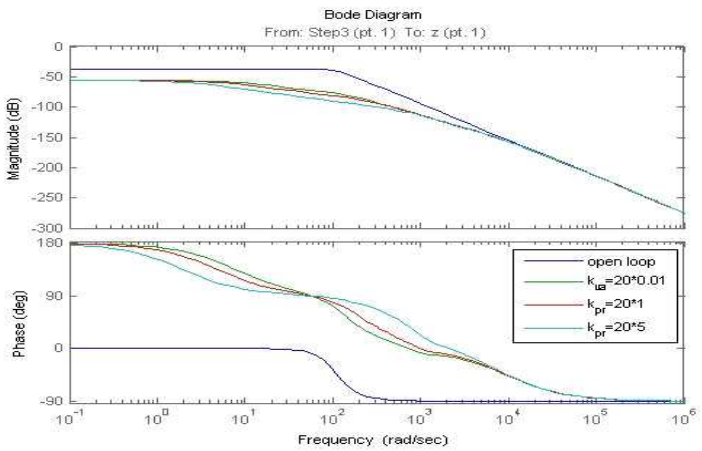
· kpr 에 따른 bode 선도




[그림 221 ]kpr 변화에 따른 bode 선도

위 그림에서 kpr이 클수록 DC 값이 작아지는 이유는 전달함수의 분모에서 특성 방정식의 상수항에 이 관련되어 있기 때문이다. 개루프보다 폐루프의 band width가 좁은 것은 시스템 특성이며 개루프의 band width를 가능한 유지하면서 폐루프를 설계하는 것이 바람직하며 kpr은 stability가 유지되는 한 키우는 것이 유리하다.

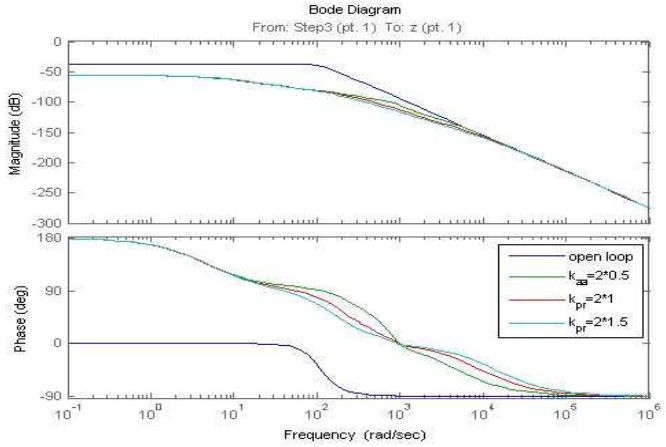
· kva 에 따른 bode 선도




[그림 222 ]kva 변화에 따른 bode 선도

위 그림에 나타낸 것처럼 kva를 키울수록 특정 주파수에서 bode plot의 진폭 응답을 아래로 가져갈 수 있다.

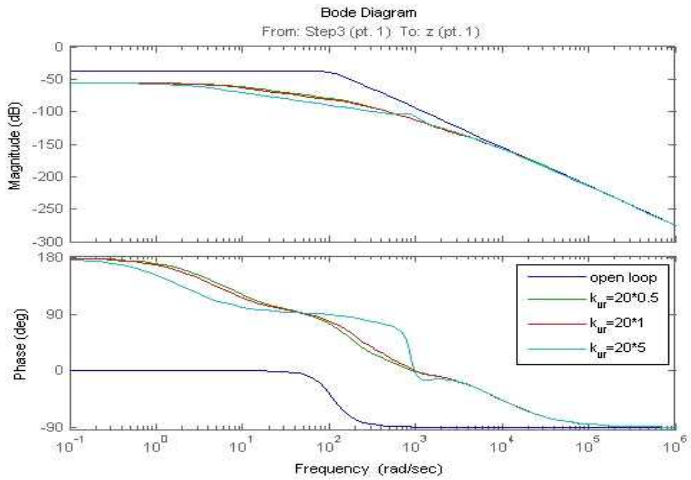
· kaa 에 따른 bode 선도




[그림 223 ]kaa 변화에 따른 bode 선

위 그림에 나타낸 것처럼 kaa를 키울수록 BW가 넓어지며 특정주파수에서 진폭 응답을 위로 가져갈 수 있다.

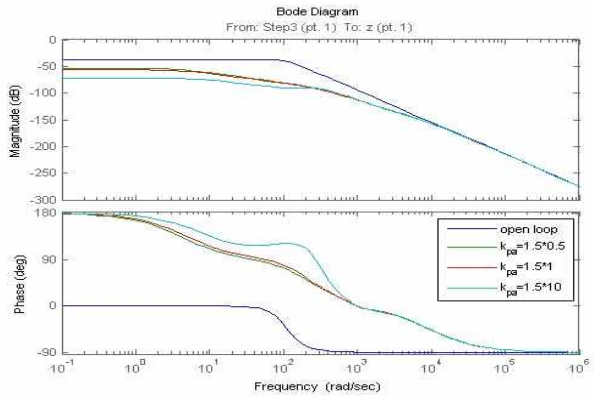
· kvr 에 따른 bode 선도




[그림 224 ]kvr 변화에 따른 bode 선도

위 그림에 나타낸 것처럼 kvr를 키울수록 BW가 좁아지며 특정 주파수에서 진폭응답을 아래쪽으로 가져갈 수 있다.

· kpa 에 따른 bode 선도




[그림 225 ]kpa 변화에 따른 bode 선도

위 그림에 나타낸 것처럼 kpa를 키울수록 BW가 넓어지며 특정 주파수에서 진폭응답을 아래쪽으로 가져갈 수 있다.

라) 결론

지금까지 제어기 이득에 따른 bode 선도의 변화를 분석하였다. 이는 실용화차량의 부상제어기를 튜닝하는 guideline이 된다.

2) 레일 다이나믹스 시뮬레이션 결과

가) 개요

차량이 guideway를 일정 속도로 통과할 때 guideway 처짐 정도를 파악하기 위한 시뮬레이션 결과에 관한 것이다.

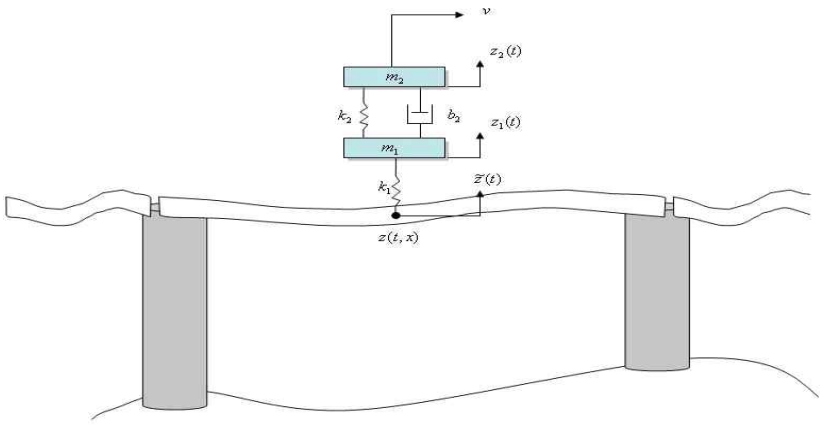
나) 차량과 guideway의 상호 작용 수식 유도

아래 그림은 가이트웨이와 single point suspension을 간략히 나타내었다. 가이드웨이 움직임으로 생기는 suspension 다이나믹스를 기술하는 수식은 다음과 같다.

$$m_2\ddot{z}_2(t)+b_2[\dot{z}_2(t)-\dot{z}_1(t)]+k_2[z_2(t)-z_1(t)]=0$$
$$m_2\ddot{z}_2(t)+m_1\ddot{z}_2(t)+k_1[z_1(t)-\tilde{z}(t)]=0$$

여기서, $\tilde{z}(t)$ 는 $\tilde{z}(t)=z(t,x)+z_0(x)$ 로 가이드웨이 표면 거칠기 $z_0(x)$ 와 상하로 움직이는 거리 $z(t,x)$ 의합이다. 본 시뮬레이션에서는

균일 표면으로 가정했다. 즉 $z_0(x)=0$ 이다.




[그림 226 ]Single-point suspension 개략도

움직이는 차량으로 생기는 가이드웨이의 동적인 휘어짐은 Bernoulli-Euler 빔 방정식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$EL\frac{\delta^4 z(t,x)}{\delta x^4}+\rho A\frac{\delta^2 z(t,x)}{\delta t^2}+b\frac{\delta z(t,x)}{\delta t}=f(t)w(t,x) \qquad (1)$$

여기서,

$EI$ = Flexural rigidity of the guideway
$\rho$ = Beam mass density
$A$ = Beam cross-sectional area
$b$ = Structural damping constant
$f(t)$ = Interacting reaction force pad,
$w(t,x)$ = Reaction force pad

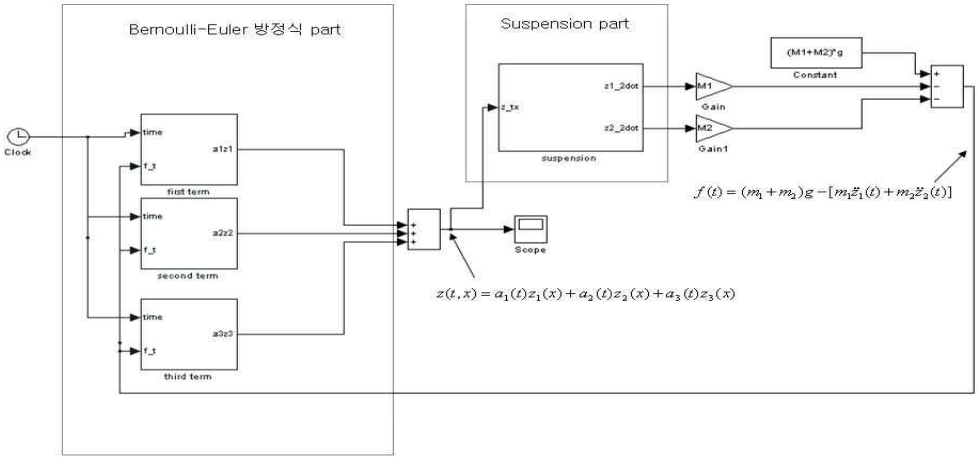
$$w(t,x)=\begin{cases}1\rightarrow \text{ for } (vt-\frac{d}{2})\le x\le (vt+\frac{d}{2})\\ 0\rightarrow \text{ for x outside the above range}\end{cases}$$

Boundary condition은 다음과 같다.

$$z(t,0)=z(t,l)=\frac{\delta^2 z(t,0)}{\delta t^2}=\frac{\delta^2 z(t,l)}{\delta t^2}=0 \qquad (2)$$

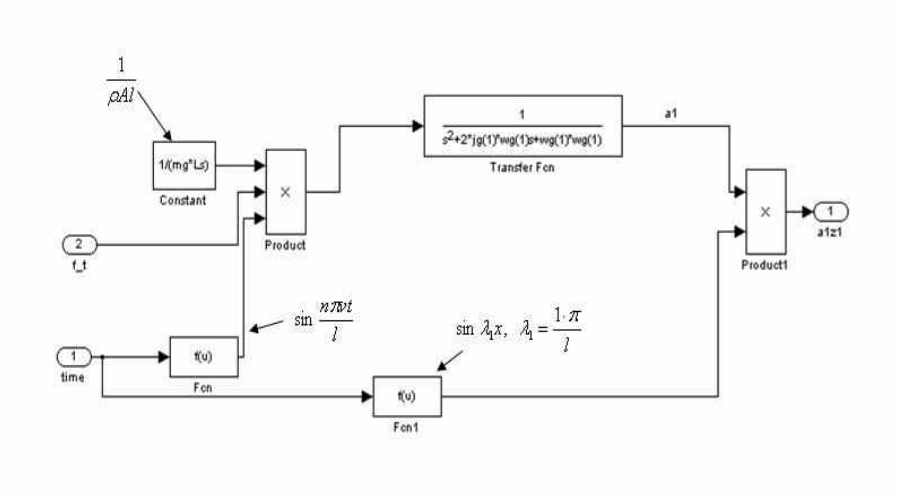
(1), (2)를 만족하는 해를 구하면, 차량과 guideway 간의 상호 작용을 파악할 수 있다.

전체 시뮬레이션 블록선도는 아래 그림과 같다.



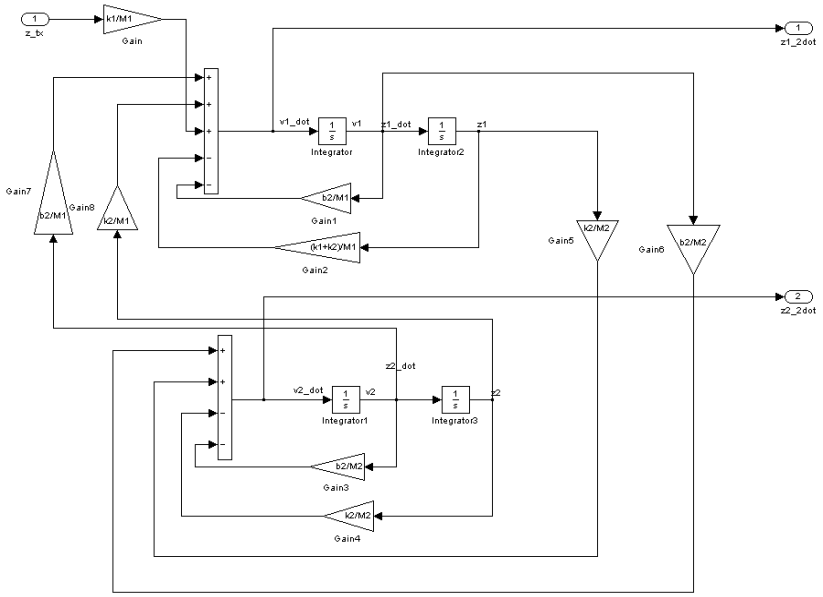

[그림 227 ]시뮬레이션 블록 선도

Bernoulli-Euler 방정식 part를 구하는 부블록 아래와 같다.




[그림 228 ]시뮬레이션 블록 선도

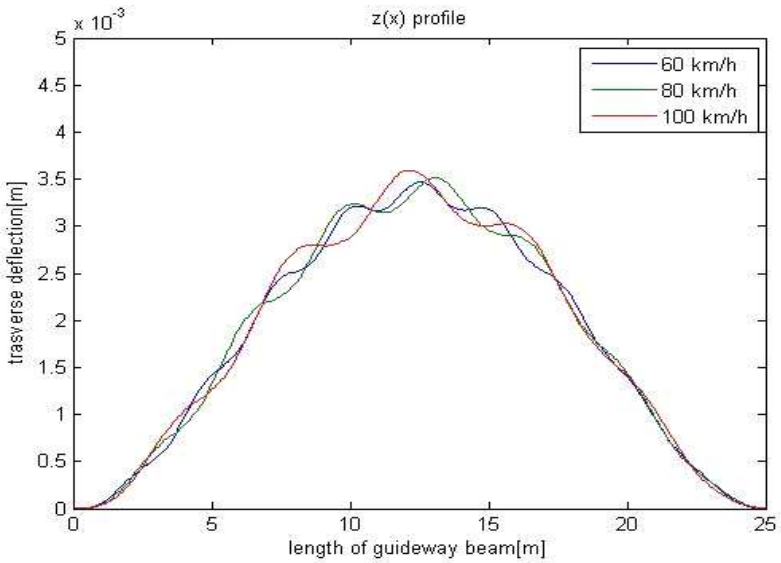
Suspension part를 구현한 부블록은 다음과 같다.




[그림 229 ]suspension 부분 블록도

다) 시뮬레이션 결과

· 차량 속도에 따른 $z(x)$ 형태



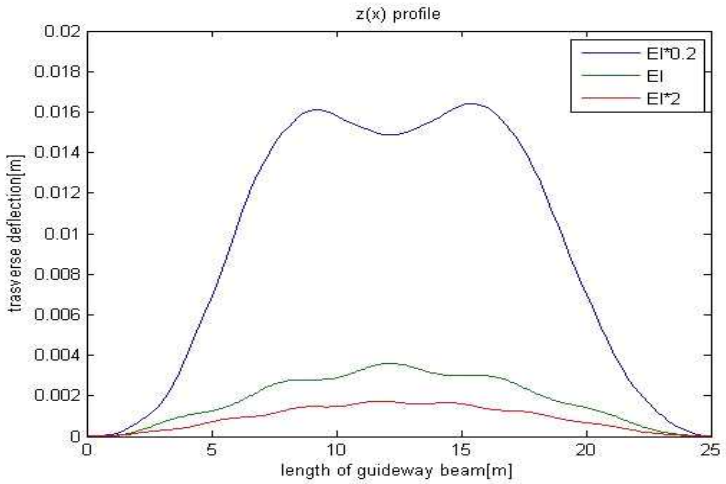

[그림 230 ]차량 속도에 따른 수직방향 변위

위 그림과 같이 차량속도에 대해서 수직방향 처짐 정도는 속도가 증가할수록 커지지만 급속도로 증가하지는 않음을 알 수 있다.

· $EI$ :flexuralrigidityoftheguideway(E=elasticmodulusandI=momentofinertia)의 변화에 따른 guideway 처짐 분석

시뮬레이션 조건은 차량 속도는 100 km/h이며 $EI$ 외 다른 조건 동일하다고 가정한다.

nominal 값: $EI = 9.50 \times 10^9$ 일 때, $EI \times 0.2$ , $EI$ , $EI \times 2$



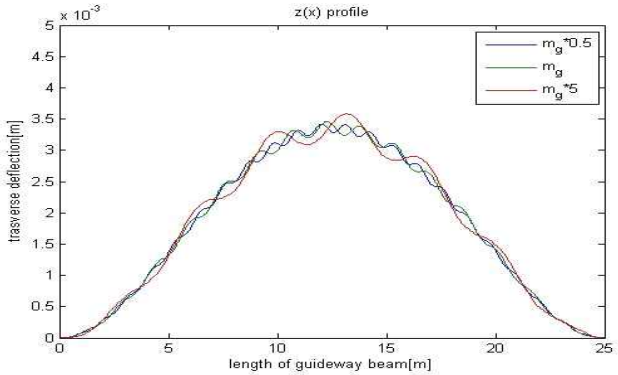

[그림 231 ]EI변화에 따른 수직방향 변위

위 그림에 나타난 것처럼 EI가 작아질수록 수직방향으로 급격히 처짐을 알 수 있다.

· 단위 길이당 Guideway mass: $m_g = \rho A$ 변화에 따른 guideway 처짐 분석

시뮬레이션 조건은 차량 속도: 100 km/h이며 $m_g$ 외 다른 조건 동일하다.

Nominal 값: $m_g = 1.5 \times 10^3$ 일 때, $m_g \times 0.5$ , $m_g$ , $m_g \times 5$



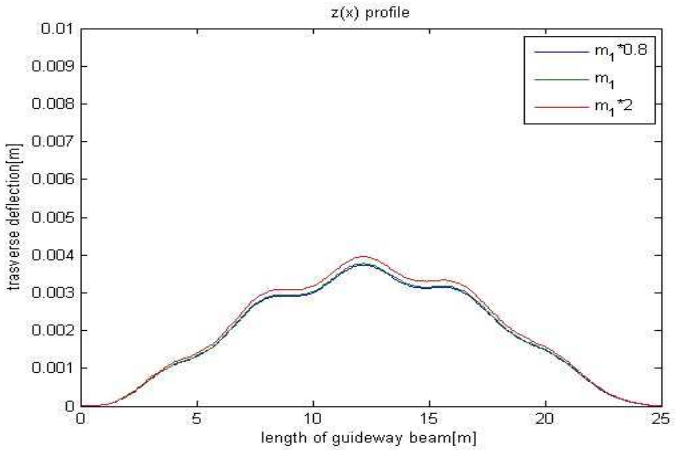

[그림 232 ] $m_g = \rho A$ 변화에 따른 수직방향 변위

위 그림에 나타낸 것처럼 단위 길이당 가이드웨이의 질량이 증가하면 수직방향 처짐이 증가하지만 급격하지는 않다.

· first suspension mass: $m_1$ 변화에 따른 guideway 처짐 분석

시뮬레이션 조건은 차량 속도: 100 km/h $m_1$ 외 다른 조건 동일하다.

Nominal 값: $m_1 = 1.016 \times 10^3 kg$ 일 때, $m_1 \times 0.8$ , $m_1$ , $m_1 \times 2$




[그림 233 ] $m_1$ 변화에 따른 수직방향 변위

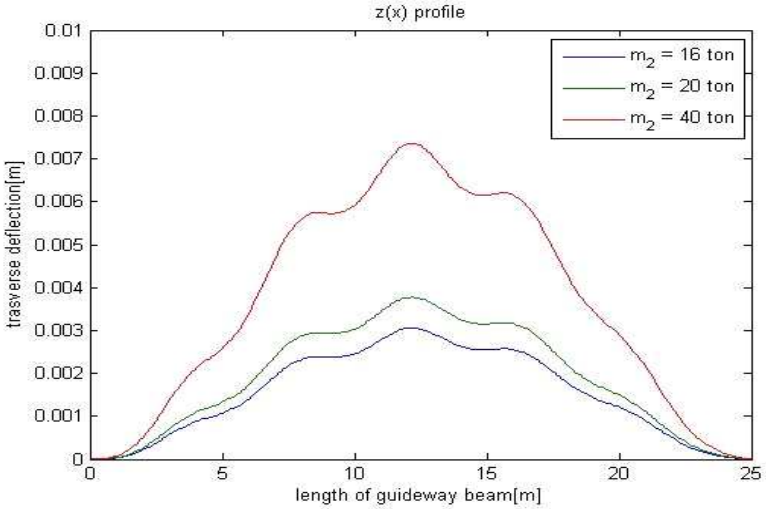
위 그림에 나타낸 것처럼 first suspension 질량이 증가하면 수직방향 처짐이 증가하지만 급격하지는 않다.

· Secondary suspension mass: $m_2$ 변화에 따른 guideway 처짐 분

석

시뮬레이션 조건은 차량 속도: 100 km/h $m_2$ 외 다른 조건 동일하다.

Nominal 값: $m_2 = 20.0 \times 10^3 kg$ 일 때, $m_2 \times 0.8$ , $m_2$ , $m_2 \times 2$




[그림 234 ] $m_2$ 변화에 따른 수직방향 변위

위 그림에 나타낸 것처럼 second suspension 질량이 증가하면 수직방향 처짐이 증가하고 그 변화는 다소 급격하다.

라) 결론

차량과 guideway간의 상호 작용을 파악하기 위한 시뮬레이션 결과를 기술하였다. 시뮬레이션이 실제 현상을 비교적 정확하게 모사하기 위해서는 시뮬레이션에 사용되는 변수들이 정확하여야 하며, 본 시뮬레이션에서는 각 변수들이 가질 수 있는 값들의 가능한 넓은 구간을 택해 최소값, 보통의 값, 최대값을 택해 시뮬레이션을 수행했다. 시뮬레이션 결과를 참조하면 각 변수들이 guideway 처짐에 미치는 경향성을 파악할 수 있을 것이다. 본 시뮬레이션 결과들은 향후 차량과 guideway의 상호작용을 고려하여 제어기를 설계하는 데 유용한 자료로 사용될 것이다.

(라) 부상제어시스템 용 센서 선정

1) 갭 센서

갭 센서는 차량의 레일과 대차 사이에 간격을 측정한다. 갭 센서의 구동

전압은 220VAC이며, 출력 신호로 0 ~ 10Vdc의 레벨을 가진다. 500Hz의 저역 통과 필터회로를 구성하여 입력 받으며, 500KHz이상의 Sampling Frequency를 가진 AD 컨버터를 사용하여 초당 10만 번 이상의 AD 변환을 통하여 Raw 데이터를 취득한다.

[표 74 ]갭 센서 사양

| 고려 항목 | 기준 |
|---|---|
| 측정범위 | 0~20mm |
| 출력전압범위 | 0~10V |
| 분해능 | 8 um 이하 |
| 선형성 | 0.5% F.S. 이하 |
| 센서간이격거리 | 120mm 이하 |
| 응답성 | ● DC~20KHz(-3dB)<br>● Cutoff frequency에서phase shift 45 deg 이내 |
| 동작온도범위 | ● Probe: -20~120 (℃)<br>● Cable:-20~105(℃)<br>● Converter: -10~50(℃) |

2) 가속도 센서

가속도 센서는 시험 대차의 수직 방향 가속도를 측정한다. 가속도 센서의 구동전압은 220VAC이며, 출력 신호로 -10 ~ +10VDC의 레벨을 가지고 있다. 500Hz의 저역 통과 필터 회로를 구성하여 입력 받으며, 40KHz이상의 Sampling Frequency를 가진 AD컨버터를 사용하여 초당 5천번 이상의 AD 변환을 통하여 Raw 데이터를 취득한다.

[표 75 ]가속도 센서 사양

| 고려항목 | 기준 |
|---|---|
| 정격용량 | ● ±3 G<br>● 동작용량: ±2 G |
| 출력전압범위 | ±10V |
| Sensitivity | 200mV/G |
| 선형성 | ±1% F.S. |
| 반복성 | ±1% F.S. |
| 응답성 | ● DC~500 Hz<br>● 100Hz에서 phase shift 5deg이내 |
| 동작온도범위 | -20 ~ 50℃ |
| 허용과부하 | 300% |

3) CT(Current Transformer)

CT는 코일 전류값을 측정한다.

[표 76 ]CT 사양

| 고려항목 | 기준 |
|---|---|
| 적용전류 | 0~50Arms(50/60Hz) |
| 최대허용전류 | 150Arms |
| 최대출력전압 | 10V |
| 동작온도범위 | -20 ~ 50℃ |

4) PT(Potential Transformer)

PT는 코일 전압값을 측정한다.

[표 77 ]PT 사양

| 고려항목 | 정량적 기준 |
|---|---|
| 적용전압 | 0~300Vrms |
| 최대허용전압 | 1000Vrms |
| 최대출력전압 | 10V |
| 동작온도범위 | -20 ~ 50℃ |

(마) 이중화 부상제어기 설계 및 시제품 제작

1) 개요

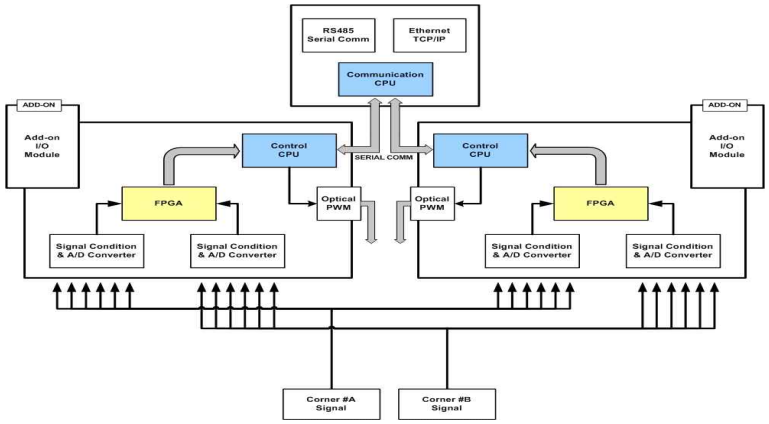
마그네트 드라이버는 가속도센서 및 갭 센서 등으로부터 신호를 받아 부상용 전자석에 필요한 전류를 공급함으로써 자기부상열차의 부상을 제어하는 장치이다.

마그네트 드라이버는 각종센서의 아날로그 전 처리회로, DSP(Digital

Signal Processor) 및 디지털회로, 전자석 전류구동회로 등을 포함한다. 제어기와 전원공급장치를 이중화로 구성하여 시스템의 안정성과 신뢰도를 향상하였다.

2) 제어기의 구성

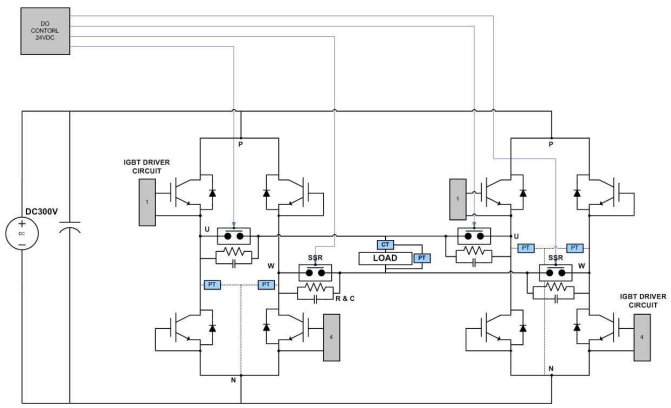
마그네트 드라이브의 제어기는 그림 1.5.1과 같이 2개의 MLC(Magnetic Levitation Controller)와 각각의 MLC카드에 Add-on되는 I/O Stack과 이중화된 전원공급장치, Interface카드로 구성한다.




[그림 235 ]마그네트 드라이브 제어기 블록도

3) 초퍼의 구성

초퍼는 그림 1.5.2와 같이 IGBT로 구성된 완성된 하나의 IGBT 브릿지가 이중화된 구성으로 독립적으로 구성된 두 개의 전력 절체회로에 의해서 이중화 되어서 구성되며, 각 초퍼의 Power stack은 제어기에서 고장유무를 판정하여 사용유무를 판단하게 된다. 이러한 구성이 마그네트 드라이브에 2개가 구성되어 각각의 코너에 전류를 공급하도록 한다.




[그림 236 ]이중화된 초퍼 블록도

4) 마그네트 드라이브의 전원

가) 전원의 입력

마그네트 드라이브는 차량으로부터 100VDC를 공급받아 전원으로 사용하며, 운전 조건에 따라서 60Vdc ~ 140Vdc의 전원하에서도 정상적으로 동작하여야 한다.

나) 전원의 출력

마그네트 드라이브는 차량으로 센서용 전원을 출력할 수 있도록 설계되어야 하며 +15VDC와 -15VDC가 같은 그라운드로 출력되어야 한다. 각 출력은 10%이내에서 안정화 되어야 한다.

5) 입력 신호의 처리

가) GAP 센서

GAP센서의 출력 신호로 0 ~ 5Vdc의 레벨을 가지고 있으며, 500Hz의 저역 통과 필터회로를 구성하여 입력 받으며, 500KHz이상의 Sampling Frequency를 가진 A/D컨버터를 사용하여 초당 10만 번 이상의 A/D 변환을 통하여 RAW데이터를 취득하여야 하며, 필터링 이전의 입력 신호를 1:1로 출력하여 모니터링 할 수 있는 회로가 구성되어야 한다.

나) ACC 센서

ACC센서의 출력 신호로 -10 ~ +10Vdc의 레벨을 가지고 있으며, 500Hz의 저역 통과 필터회로를 구성하여 입력 받으며, 40KHz이상의 Sampling Frequency를 가진 A/D컨버터를 사용하여 초당 5천 번 이상의 A/D 변환을 통하여 RAW데이터를 취득하여야 하며, 필터링 이전의 입력 신호를 1:1로 출력하여 모니터링 할 수 있는 회로가 구성되어야 한다.

다) 변압기 (Hall PT)

Hall PT의 출력 신호로 PT구성에 따라서 전류로 입력되며, -10 ~ +10Vdc의 전압으로 변환하여 500Hz의 저역 통과 필터회로를 구성하여 입력 받으며, 40KHz이상의 Sampling Frequency를 가진 A/D컨버터를 사용하여 초당 5천 번 이상의 A/D 변환을 통하여 RAW데이터를 취득하여야 하며, 필터링 이전의 입력 신호를 1:1로 출력하여 모니터링 할 수 있는 회

로가 구성되어야 한다.

라) 변류기 (Hall CT)

Hall CT의 출력 신호로 PT구성에 따라서 전류로 입력되며, -10 ~ +10Vdc의 전압으로 변환하여 500Hz의 저역 통과 필터회로를 구성하여 입력 받으며, 40KHz이상의 Sampling Frequency를 가진 A/D컨버터를 사용하여 초당 5천 번 이상의 A/D 변환을 통하여 RAW데이터를 취득하여야 하며, 필터링 이전의 입력 신호를 1:1로 출력하여 모니터링 할 수 있는 회로가 구성되어야 한다.

마) 제어/감시용 아날로그 AUX 신호

이중화된 상대방의 제어기(MLC)에서 출력되는 DA컨버터 출력으로 -10 ~ +10Vdc의 전압레벨을 가지고있으며 500Hz의 저역 통과 필터회로를 구성하여 입력 받으며, 40KHz이상의 Sampling Frequency를 가진 A/D컨버터를 사용하여 초당 5천 번 이상의 A/D 변환을 통하여 RAW데이터를 취득하여야 한다.

6) 제어기의 I/O

가) Analog Output

100KHz이상의 Sampling Rate를 가진 Analog출력 회로를 구성하며, -10~+10V 의 출력전압을 만족하여야 한다. MLC에는 4개의 채널이 구성되며, 이중 2개는 이중화된 상대방의 제어기로, 나머지 2개는 모니터링용으로 상위 제어기로 출력된다. I/O stack을 장착할 시에 12채널의 Analog출력이 모니터링용으로 추가된다.

나) Digital Output

100VDC레벨의 Digital 출력이 4채널 구성되며, 상위 제어기와의 제어용으로 사용된다. 그리고 24VDC레벨의 Digital 4채널이 구성되어 이중화 초퍼의 제어용으로 사용된다. 단, I/O stack을 장착하였을 때는 총 16채널의 24VDC레벨의 Sourcing방식의 Digital Output이 추가된다. 각각의 채널은 2500Vac이상 절연되어야 한다.

다) Digital Output

100VDC레벨의 Digital 입력이 4채널 구성되며, 상위 제어기와의 제어용으로 사용된다. 단, I/O stack을 장착하였을 때는 총 16채널의 24VDC레벨의 Sourcing방식의 Digital Input이 추가된다. 각각의 채널은 2500Vac이상 절연되어야 한다.

라) Sync Digital Input/Output

24VDC레벨의 Digital 입출력이 각각 4채널 구성되며, 이중화된 제어기간의 제어용으로 사용된다. 각각의 SDIO end-to-end 입출력 인식 속도는 제어 주기의 5배 이상이 되어야 한다. 각각의 포인트는 LED등으로 현시 가능하여야 한다.

마) Heart Beat Signal Input/Output

24VDC레벨의 Digital 구성되며, 이중화된 제어기간의 제어용으로 사용된다. 각각의 SDIO end-to-end 입출력 인식 속도는 제어 주기의 5배 이상이 되어야 한다. 입력 및 출력의 상태가 LED등으로 현시 가능하여야 한다.

바) PWM

PWM은 광신호로 출력되며, 초퍼에서 전류를 제어하기 위한 신호로 사용된다. PWM주파수는 5KHz이상이어야 하며, 12Bit이상의 해상도를 가지고 있으며, 이중화된 업데이트방식으로 구성되어야 한다.

사) CPU 및 메모리의 구성

① CPU

TI사의 TMS320vc33-150 혹은 그 이상의 Performance를 만족하는 CPU를 사용하며, 75MIP (Million Instruction per Second) 이상의 속도로 데이터를 처리할 수 있어야 한다. CPU의 I/O레벨은 최소 3.3V이상이어야 하며, 내부에 32K Word 이상의 SRAM이 있어서 고속으로 연산이 가능하여야 한다.

② SRAM

SRAM은 Asynchronous SRAM을 사용하며, Access Time이 최소 15nS

이상의 고속 형을 사용한다. 최소 4M Word의 공간을 가지고 있으며, 마그네트 드라이브가 연산처리 하는데문제가 없도록 구성되어야 한다.

③ Flash메모리

플래시 메모리는 크게 3가지의 플래시가 사용되어야 하며, 모든 플래시 메모리의 타입은 NOR플래시를 기본으로 한다. 4Mbit이상의 크기를 가진 BOOT-LOADER용 플래시 메모리, 4MBit이상의 크기를 가진 Main Program Download용 플래시 메모리, 그리고 16Mbit이상의 크기를 가진 이벤트 Data Logging용 플래시가 필요하다.

④ NVRAM (Non-Volatile SRAM: 비 휘발성 SRAM)

마그네트 드라이브에는 32KBye이상의 크기를 가지는 NVRAM이 필요하며, 파라메터 저장용으로 사용된다. 단, NVRAM은 PC용 Emulator와 호환이 되어 PC에 저장된 파라 미터가 Initial동안 Down load되도록 구성되어야 한다.

⑤ FPGA

○ 제어용 FPGA

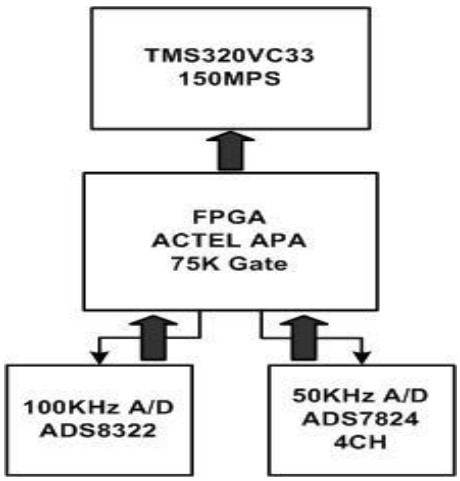
ACTEL Pro ASIC Plus시리즈 혹은 그 이상의 사양을 만족시키는 FPGA를 사용 하되, Flash메모리 타입의 FPGA를 사용하며, 운전조건이 Industrial급 이상을 만족하여야 한다. 사용되는 I/O의 수를 충족하기 위해서 TQ144 Package이상을 사용한다. I/O전원은 3.3VDC이상이어야 하며, FPGA 프로그래밍 시에 Programming POD에 별도의 전원을 공급하지 않도록 설계한다.

○ AD컨버전용 FPGA

ACTEL Pro ASIC Plus시리즈 혹은 그 이상의 사양을 만족시키는 FPGA를 사용하되, Flash메모리 타입의 FPGA를 사용하며, 운전조건이 Industrial급 이상을 만족하여야 한다. 사용되는 I/O의 수를 충족하기 위해서 PQ208 Package이상을 사용한다.

○ A/D Conversion Mechanism의 설계

마그네트 드라이브의 A/D컨버전 구성은CPU의 연산시간을 최소화 하고, 하드웨어 자원을 최대한 사용하기 위한 방식을 사용하며, FPGA가 A/D컨버전을 담당하고, DSP는 결과값만을 읽어서 내장프로그램에 적용하는 방식을 취한다. 이 방식을 아래 비에서 도시하였다.




[그림 237 ]A/D 변환 개략도

FPGA는 정해진 Sequence에 따라서 각 A/D컨버터에 컨버전 명령을 내리고, 또한 출력 되는 Data를 읽어와서, 각 아날로그 신호의 성격에 따라서 Arithmetic 명령을 수행하며, 최종적인 값을 자신의 레지스터에 저장한다. CPU는 이 최종적인 데이터만을 읽어와서 내장 프로그램에 사용하게 되며, 이로서 CPU는 A/D컨버전에 필요한 제어부분에서 해방되며, 고속으로 연산을 수행하기 위해서 필수적으로 적용되어야 한다. 또한, 제어용CPU의 연산주기를 유지하기 위해 A/D컨버전 만을 위한 CPU의 추가 증설을 막을 수 있다. 이를 위해서 FPGA는 A/D컨버전 및 그 데이터를 저장 할 충분한 공간을 가지고 있어야 하며, 고급 연산처리를 위해서 중요 부분에서 VHDL로 설계되어야 한다.

⑥ 통신

○ MLC (주제어 보드)

주 제어 보드는 하나의 통신 방식을 가지고 있으며, Dual Port UART를 이용한 RS232C방식의 시리얼 통신을 한다. 이 두 채널 중 하나는 사용자의 디버깅 및 내부환경을 보기 위한 Console로 사용되며 또 한 채널은 Interface카드인 MLIB 카드와의 통신용으로 사용된다. 통신 방식은 표준

RS232C방식에 준하며, 비동기 방식을 사용한다.

○ MLIB (Interface 보드)

MLIB보드는 MLC보드에서 오는 RS232C통신 및 RS485, TCP/IP통신을 담당하며, 이중화된 두 개의 제어기로부터 RS232를 통하여 전달받은 운전 Data를 485나 TCP/IP통신을 통하여 상위 제어기 혹은 DAS(Data Acquisition System)으로 전달하는 통신을 한다. RS232 및 RS485는 표준 시리얼 통신방식을 사용하며, 485통신은 4선식으로 구성한다. TCP/IP는 10BASE-T에 적합하도록 설계 한다.

⑦ 전류구동 (Chopper)

○ 입력전압 (DC Link)

마그네트로 출력되는 초퍼 전압은(DC Link전압이라 한다) DC300V이며, 마그네트 드라이브는 이 전압이 고용량의 캐패시터가 포함된 전력회로로 입력될 때의 돌입 전류를 막기 위한 구성을 가지고 있어야 한다.

○ 전류 출력

마그네트 드라이브의 전류 출력은 병렬로 구성된 마그네트를 동시에 구동하는 방식이며, 이에 각 마그네트에 전달되는 전류의 2배로 전류를 출력할 수 있는 초퍼 구성이 필요하다. 각 초퍼에서 담당하는 공칭 전류량은 50A이며 초기 부상 시 전류의 최대 값은 75A이상이다. 마그네트의 초퍼는 이 전류를 충분히 부담할 수 있도록 전력회로를 구성해야 하며, 전력소자의 발열을 조절하여 외기방식으로 방열이 충분하도록 하여야 한다.

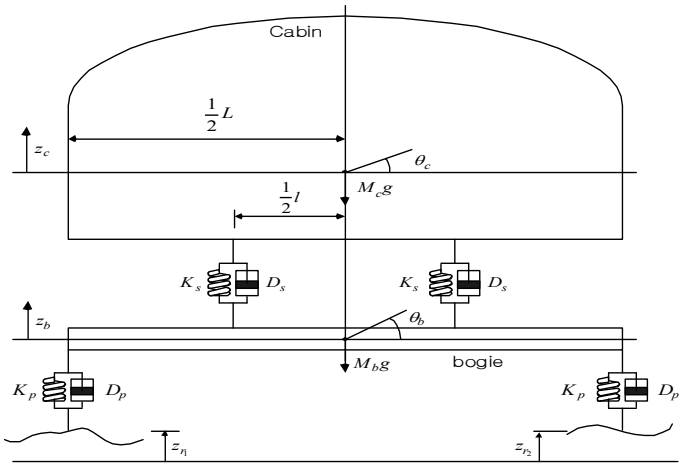
○ 초퍼의 이중화 구성

각 초퍼는 내장 IGBT의 고장유무를 판단 할 수 있는 구성을 하고, 해당 채널의 IGBT가 고장이라고 판단될 경우에 예비로 구성된 초퍼로 전력출력을 운전 중에 절체할 수 있도록 하는 이중화 구성을 가지고 있어야 하며, 최대 20ms이내에 해당 이중화 채널로 절체가 이루어 져야 한다.

(바) 자기부상시스템의 2차 현가장치가 부상계에 미치는 영향 평가

1) 개요

흡인식 자기부상시스템의 부상계와 2차 현가장치계를 2-자유도(two degree-of-freedom) 질량-스프링-댐퍼(mass-spring-damper) 시스템으로 모델링하고 레일의 irregularity에 따른 시뮬레이션을 수행하여 2차 현가장치계의 위치가 부상계에 미치는 영향을 분석한다.




[그림 238 ]Step 응답(8mm→16mm)

위 그림과 같이 자기부상계와 2차 현가장치를 2-자유도 질량-스프링-댐퍼로 모델링을 하고 차체 및 보기의 병진운동과 회전운동에 관한 방정식을 유도하여 상태방정식으로 표현한다.

2) 모델링

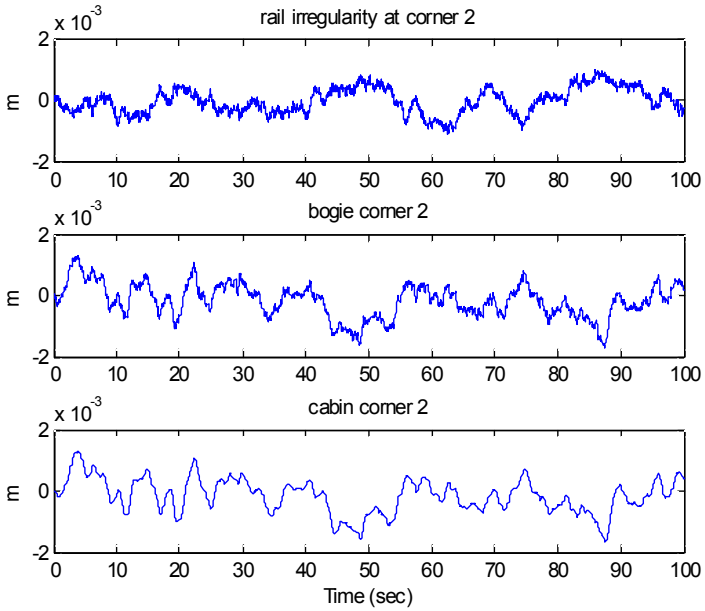
3) 시뮬레이션

시뮬레이션 파라메타는 다음 표 78과 같다.

[표 78 ]시뮬레이션 파라메타

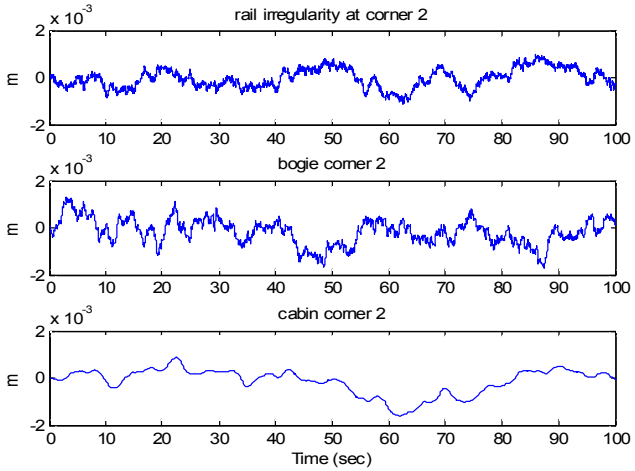
| 변수 | 심볼 | 값 | 단위 |
|---|---|---|---|
| 차체 질량 | Mc | 32000 | Kg |
| 보기 질량 | Mb | 3000 | Kg |
| 차체 길이 | L | 24 | m |
| 2차 댐핑 상수 | Ds | 21500 | N-s/m |
| 2차 스프링 상수 | Ks | 22600 | N/m |
| 레일irregularity | Rf | 0.01 | 1/m |
| 1차 댐핑 상수 | Dp | 21500 | N-s/m |
| 1차 스프링 상수 | Kp | 22600 | N/m |
| 열차 속도 | V | 70 ~ 100 | Km/h |
| 2차 현가장치 위치 | l | 1 ~ 24 | m |

아래 그림은 속도가 100km/h이고 현가장치의 위치가 24m로 맨 끝에 위치시켰다고 했을 때 시뮬레이션 파형이다. 그림은 위로부터 레일의 irregularity, 보기의 코너 2의 진동, 차체의 코너 2의 진동을 나타낸다. 그림에서 보면 보기의 저주파 진동이 그대로 차체에 전달되는 것을 알 수 있다.



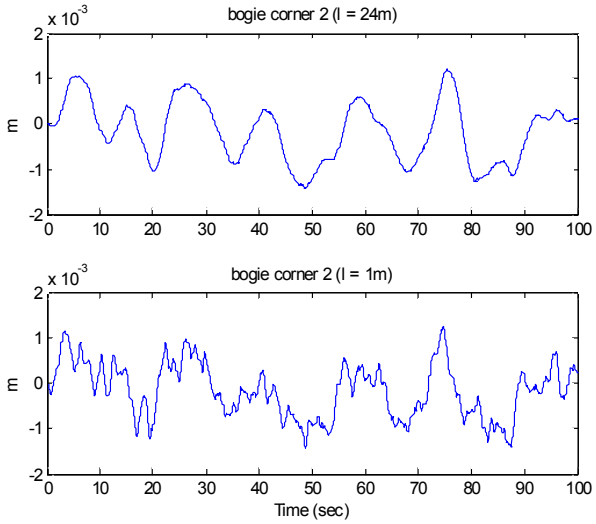

[그림 239 ]속도 100Km, l=24m일때의 시뮬레이션 결과

다음 그림은 속도가 100km/h이고 현가장치의 위치가 1m로 거의 중앙에 위치시켰다고 했을 때 시뮬레이션 파형이다. 그림에서 보면 차체의 진동이 그림 239보다 훨씬 줄어든 것을 알 수 있다.



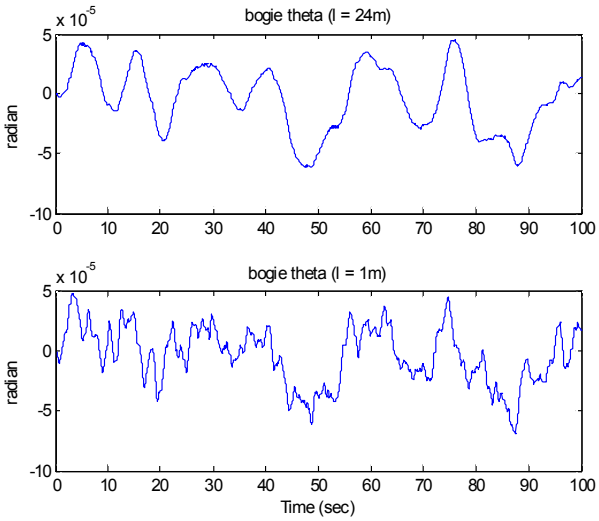

[그림 240 ]속도 100km, l=1m일때의 시뮬레이션 결과

다음 그림은 속도가 100km/h이고 현가장치의 위치가 중앙인 경우와 끝인 경우에 보기의 움직임을 나타낸 파형이다. 그림에서 2차 현가장치를 중앙쪽에 설치하면 보기의 진동이 심해지는 것을 알 수 있다.




[그림 241 ]보기의 코너 2에서 비교 파형

다음 그림은 속도가 100km/h이고 현가장치의 위치가 중앙인 경우와 끝인 경우에 보기의 회전각을 나타낸 파형이다. 그림 239과 마찬가지로 보기의 회전각을 보면 2차 현가장치가 중앙쪽에 있는 것이 보기에는 상당한 고주파 외란으로 작용하는 것을 알 수 있다.




[그림 242 ]보기의 회전각 비교

4) 결론

본 시뮬레이션에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 2차 현가장치가 중앙에 가까워지면 레일의irregularity가 보기에 미치는 영향은 커진다.
- 2차 현가장치가 중앙에 가까워지면 레일의 irregularity가 차체에 미치는 영향은 커진다.

즉, 현가장치가 중앙에 가까워지면 승차감은 좋아지지만 부상계에 미치는 외란은 커지고 양쪽 끝으로 멀어지면 부상계에 미치는 외란은 줄지만 승차감은 떨어질 수 있다.

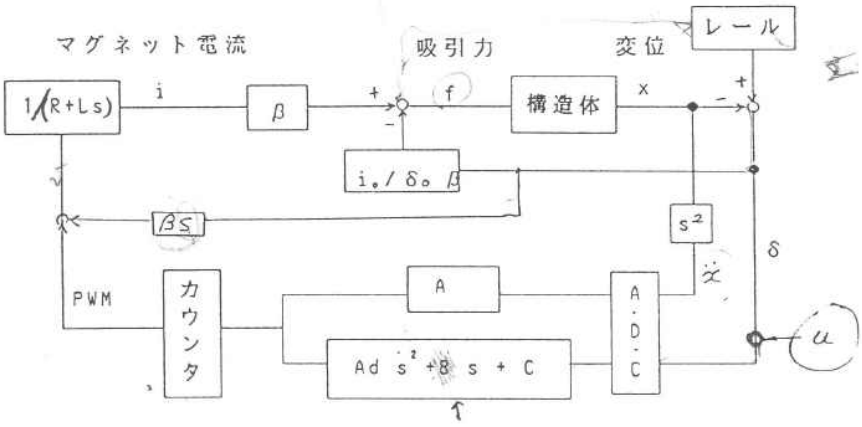
(사) HSST-100형 자기부상열차제어기 분석

1) 개요

"HSST-100型車兩の浮上制御" 논문에 기술된 제어기를 분석한 결과를 기술한다.

2) 모델

아래 그림은 HSST-100에 사용된 제어기의 블록도이며 가속도 센서, 갭센서를 사용하며 갭센서의 두 번 미분 값과 한 번 미분값을 PWM 계산에 사용하는 것을 특징으로 한다.



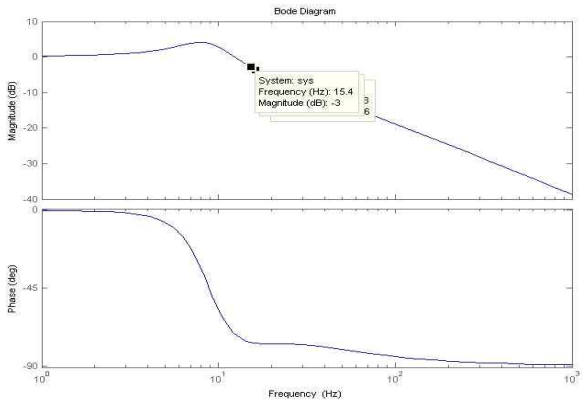

[그림 243 ]부상제어 블록도

3) Pole Placement에 의한 설계

4) Simulation Result

가) 보드 선도

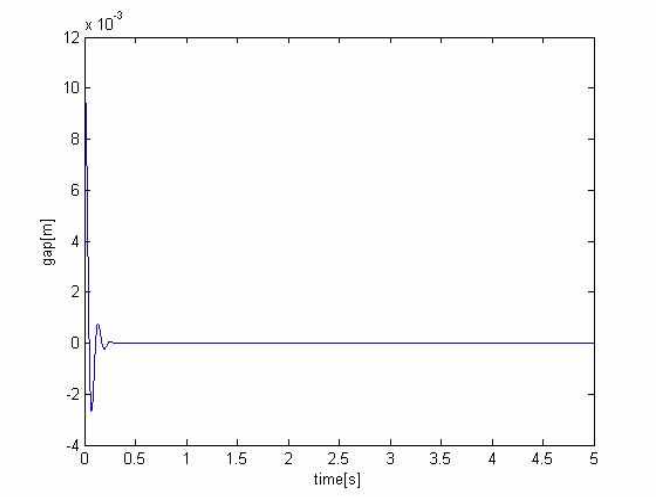
아래 그림 갭출력/갭ref에 대한 보드 선도이며 BW는 약 15.4[Hz]이다.




[그림 244 ]보드 선도

나) 갭 프로파일

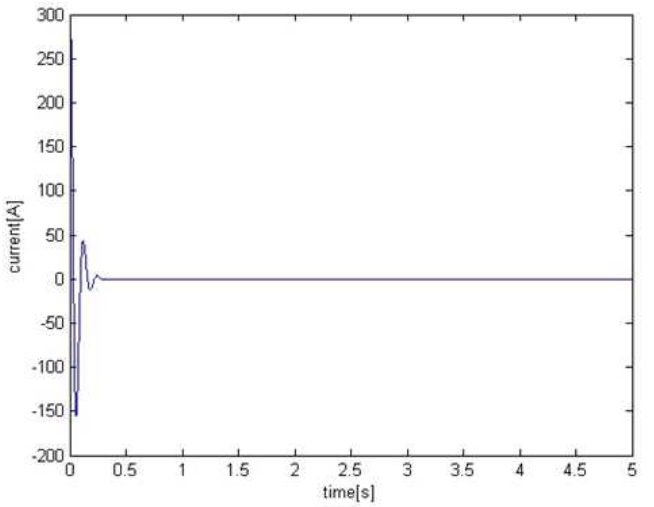
아래 그림은 갭 파형으로 settling time은 약 0.3초 짧은 편이며, overshoot는 20% 이상으로 다소 큰 편이다.




[그림 245 ]갭 프로파일

다) 전류 프로파일

아래 그림은 전류 파형을 나타낸 것으로 부상 시 약 50[A]의 전류가 투입된다.



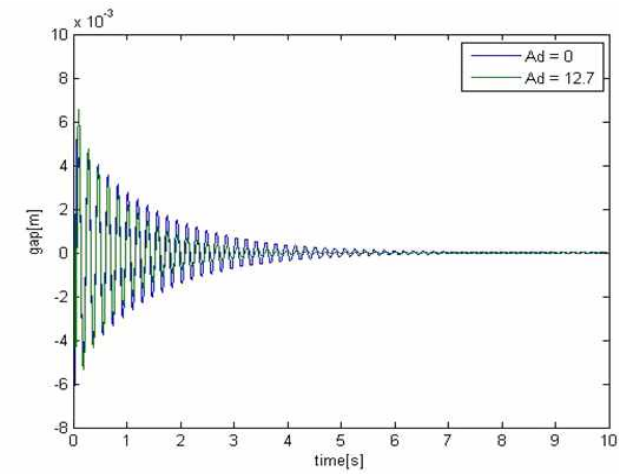

[그림 246 ]전류 프로파일

라) 레일 프로파일을 고려하는 경우

레일 외란을 고려하여 부상제어기 성능을 확인하였다. 레일은 2차 모델과 step 형태의 레일을 가정하였다.

- $f = m\ddot{x} + B\dot{x} + kx$ 형태의 rail

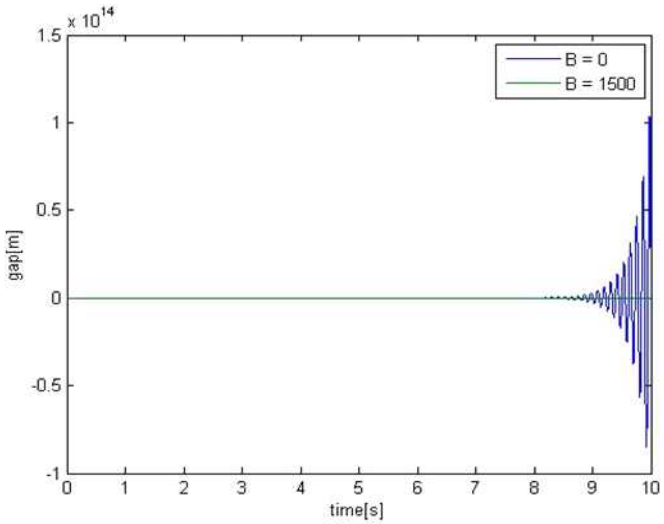
① Ad gain 영향




[그림 247 ]Ad 게인의 영향

Ad gain에 의해 위 그림처럼 fluctuation 폭이 줄고 settling time이 줄어든다. 하지만 Ad는 공극 신호를 두 번 미분한 값으로 노이즈 영향 때문에 이득을 크게 가져갈 수는 없다.

② B gain 영향



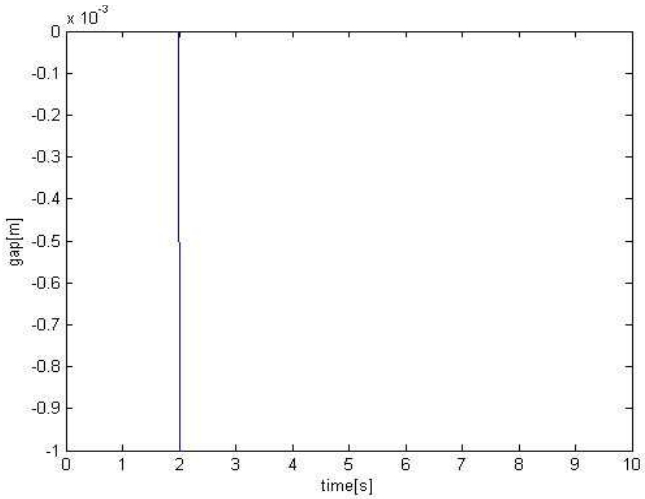

[그림 248 ]게인의 영향

위 그림은 B gain의 영향에 따른 공극 파형을 나타낸 것으로 B gain이 0일 경우 시스템이 불안정해지며 안정도 보장을 위하여 vertical velocity 항이 필수적이다.

・step 형태의 레일

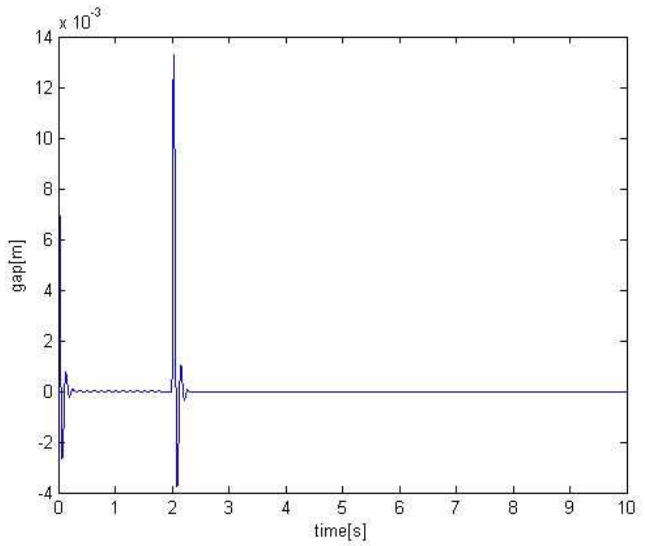
아래 그림은 스텝 형태의 레일을 나타낸 것으로 2초에 1[mm] step 레일

을 나타낸다.



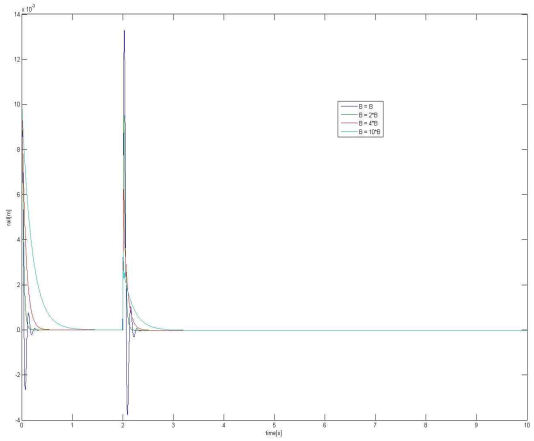

[그림 249 ]스텝 형태의 레일

2초에 1mm rail 단차를 만났을 경우의 응답은 아래 그림과 같다.



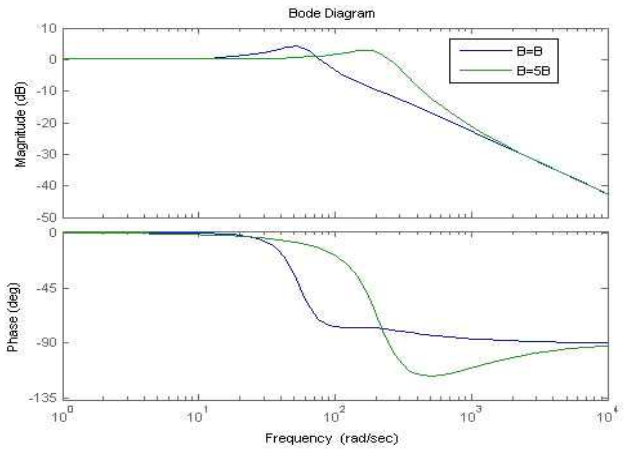

[그림 250 ]2초에 1㎜ 레일 단차를 만난 경우의 응답

제어 알고리즘이 갭 1회 미분한 것과 2회 미분한 것을 사용하기 때문에 2초 근처에서 상당히 큰 gap deviation이 발생한다. 레일 단차의 영향을 줄이기 위해서는 B 게인을 키우면 된다. 아래 그림은 B 이득에 따른 공극 파형을 나타내었다.



[그림 251 ]게인 변화에 따른 응답

수직방향 속도 이득을 키우면 공극 변화가 줄어드는 것은 보드선도에서 확인할 수 있다. B 이득에 따른 보드 선도를 아래 그림에 나타내었다. 보드선도에서 진폭의 peak 값이 줄어들기 때문에 레일 단차를 만날 때 공극 변화가 작아진다.




[그림 252 ]B 게인 변화에 따른 보드 선도

그러나 B 게인을 키우면 제어 전류가 커지거나 공극을 미분한 값을 사용하기 때문에 노이즈에 취약한 단점이 있기 때문에 키우기가 힘들 경우도 있다. 그렇게 때문에 B 게인을 크게 키우지 않고 B 게인을 키우는 효과를 얻을 수 있는 제어 방법들의 고안이 필요하다.

(아) 부상제어시스템 근궤적 분석

1) 개요

실용화 차량에 사용될 부상 제어 알고리즘은 상태 feedback 형태를 가진다. 상태 feedback gain이 부상 안정성에 미치는 영향을 부상제어 시스템의 근궤적 분석을 통해서 파악하고, 부상될 전체 질량의 변화, 전자석의 시정수가 부상 안정성에 미치는 영향을 분석한다.

2) 모델

모델링 및 구체적 전개

3) 결론

- 부상 질량이 클수록 특성방정식의 근이 원점에 가깝게 분포한다. 부상 질량의 변화를 보상할 수 있는 제어기에 대해 향후 심층적으로 연구한다.
- 전자석 시정수가 클수록 특성방정식의 근이 원점에 가깝게 분포하여 부상 안정성이 떨어지지만 시정수를 줄인다하더라도 부상 안정성을 현저하게 개선할 수는 없다.
- 제어기 bandwidth를 늘리는 방법으로 Kpr, Kpa gain을 크게 하는 방법을 생각할 수 있지만 근궤적 분석 결과에 의하면 Kpr, Kpa gain이 지나치게 크면 특성방정식의 근이 원점 근처에 분포하게 되고 부상 안정성이 떨어진다.

(자) Flux Feedback 제어기 성능 분석

1) 개요

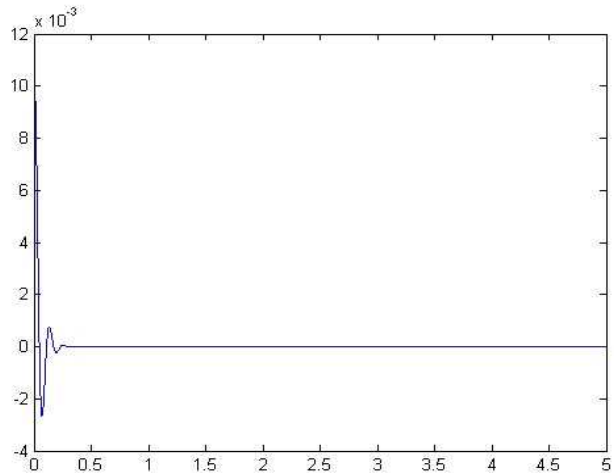
HSST-100에 사용된 알고리즘의 문제점은 절대속도와 상대 공극 게인이 너무 커서 controlled voltage가 크고 따라서 전류 값이 지나치게 높다는 것이다. 이를 해결하기 위해 flux feedback 제어기를 제안하고 flux feedback이 부상 특성에 미치는 영향을 분석한다.

2) 모델

Simulation에 사용된 Gain은

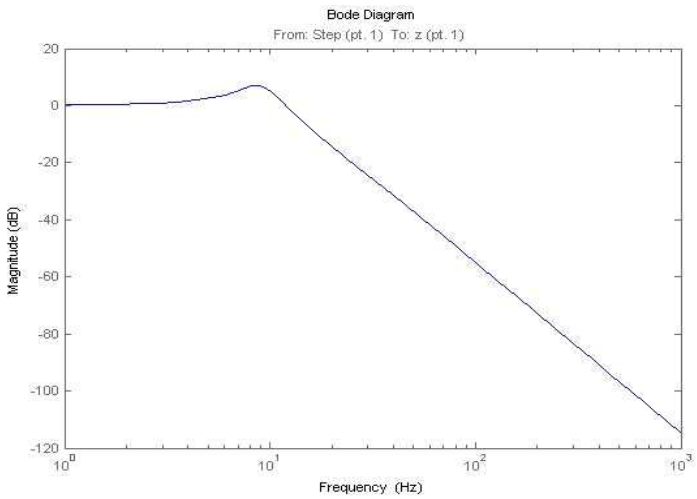
$$A = 12.74$$
$$\mathrm{Ad} = 12.74$$
$$\mathrm{B} = 1549$$
$$\mathrm{C} = 78597$$

이며 B,C gain이 상당히 큰 문제점이 있다. 그 때의 gap profile은 다음과 같다.



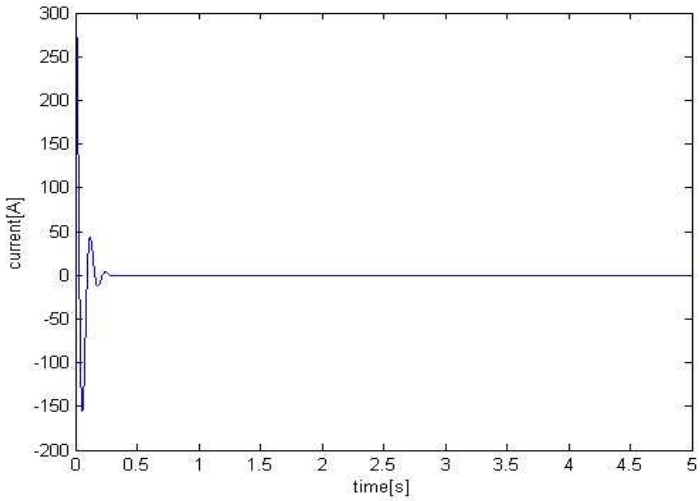

[그림 253 ]Flux Feedback이 없는 조건의 갭

Bode plot은 다음과 같다.



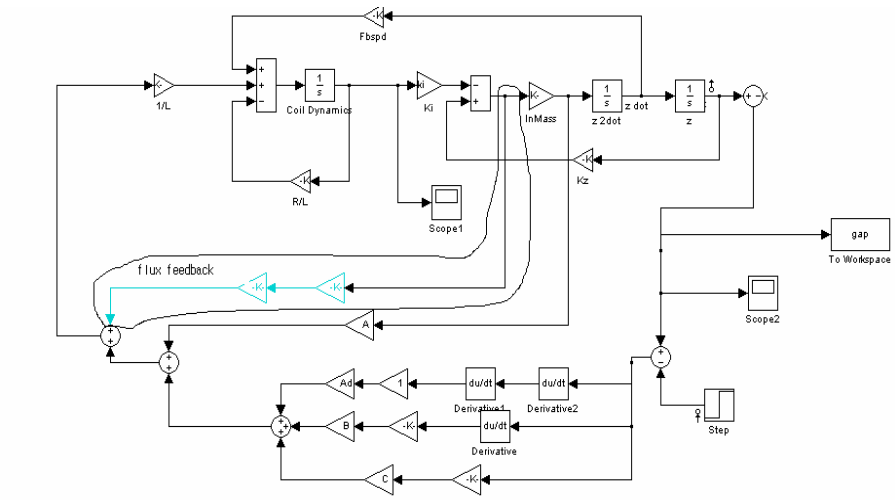

[그림 254 ]Flux Feedback이 없는 조건의 보드 선도

전류 profile은 다음과 같다.




[그림 255 ]Flux Feedback이 없는 조건의 전류 프로파일

Flux Feedback을 사용하여 얻고자 하는 목적은 B,C gain을 줄여서 controlled current 값을 낮추면서 flux feedback을 사용하지 않았을 때의 주파수 응답 특성을 얻는 것이다. Flux feedback을 사용한 시뮬레이션 diagram은 다음과 같다.




[그림 256 ]Flux Feedback을 사용하는 시뮬레이션 다이어그램

$$B = 1549$$
$$C = 78597$$
$$K_f = 300/5000$$

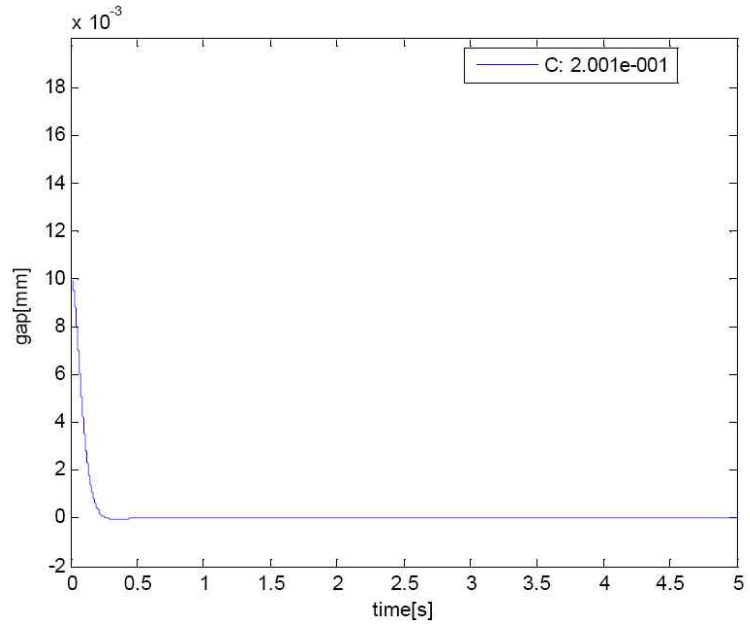
을 기준으로 scale을 조정한다.

3) 시뮬레이션 결과

B,C gain을 낮추면서 gap response을 확인한 후 다음과 같은 적정 gain을 선택한다.

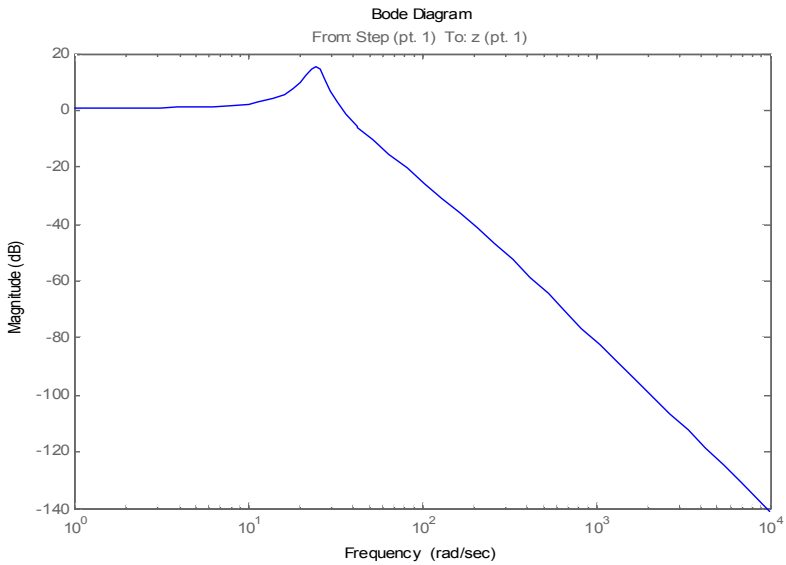
$$B = 0.81 * B$$
$$C = 0.2 * C$$
$$K_f = 0.1 * K_f$$

Gap profile은 다음과 같다.



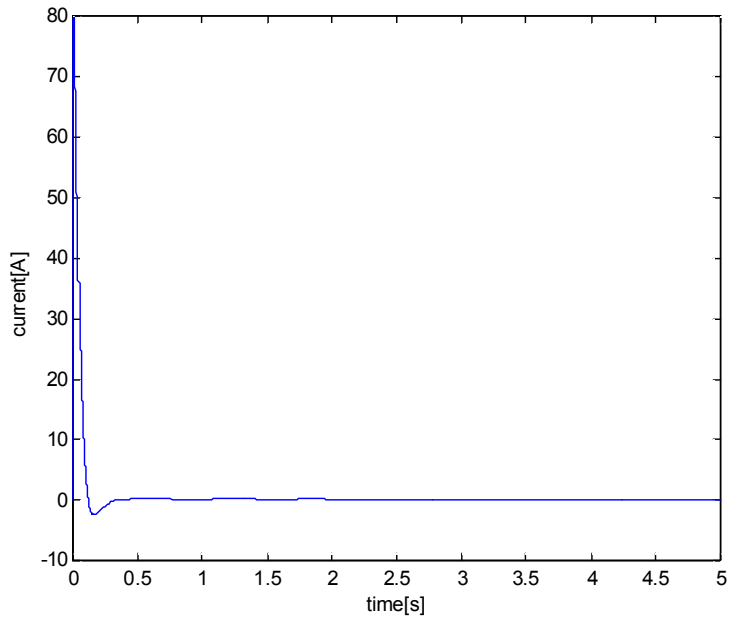

[그림 257 ]갭 파형

그때 bode plot은 다음과 같다.




[그림 258 ]Flux Feedback이 없는 조건의 보드 선도

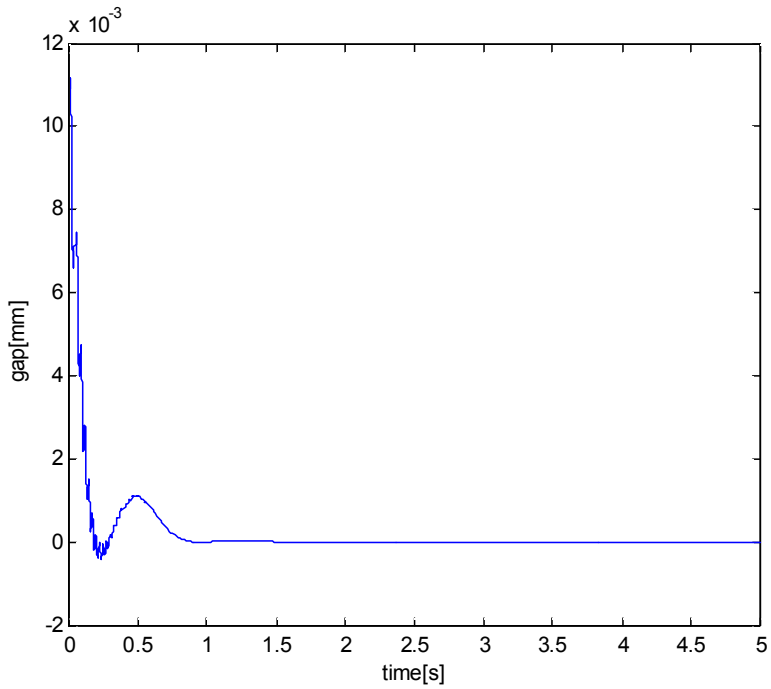
전류 profile은 다음과 같다.



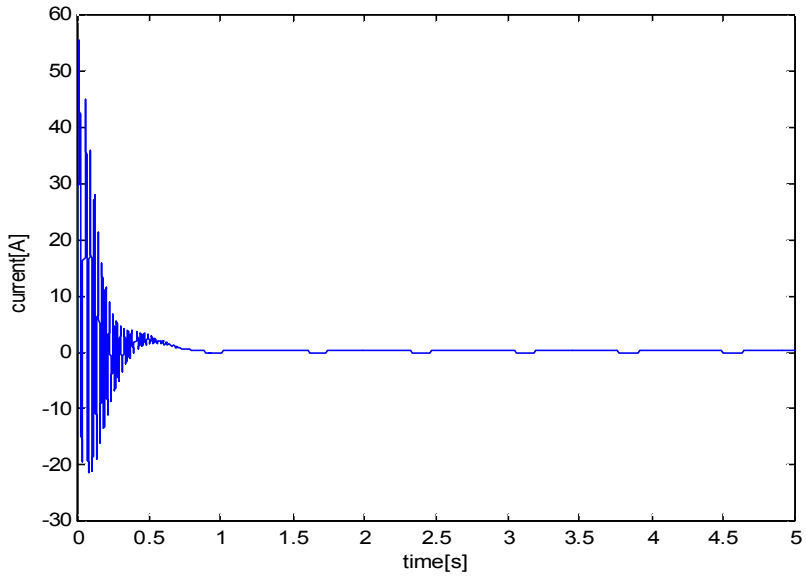

[그림 259 ]Flux Feedback이 없는 조건의 전류 프로파일

① UTM01 적용 결과

· flux feedback을 적용하지 않는 경우

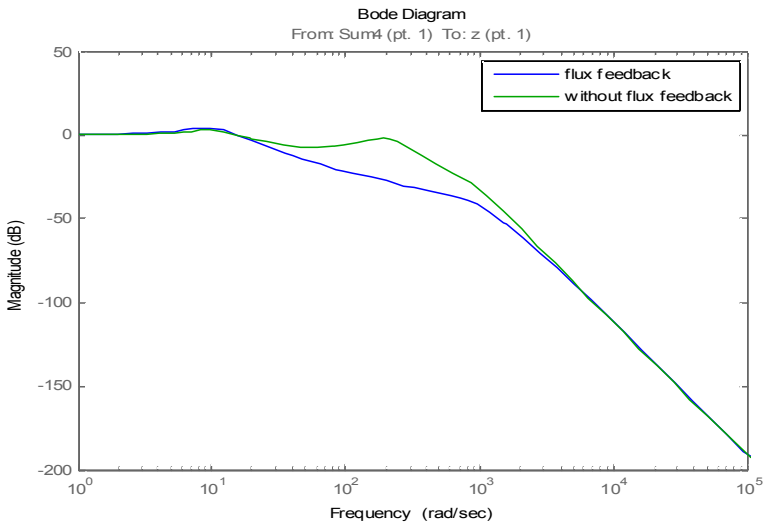



[그림 260 ]Flux Feedback이 없는 조건의 UTM01 갭 프로파일




[그림 261 ]Flux Feedback이 없는 조건의 UTM01 전류 프로파일

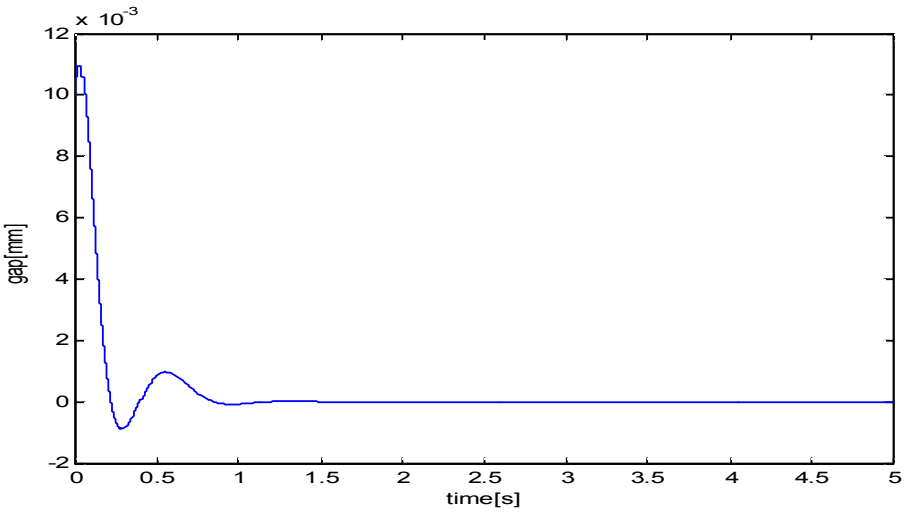
② flux feedback을 적용하는 경우



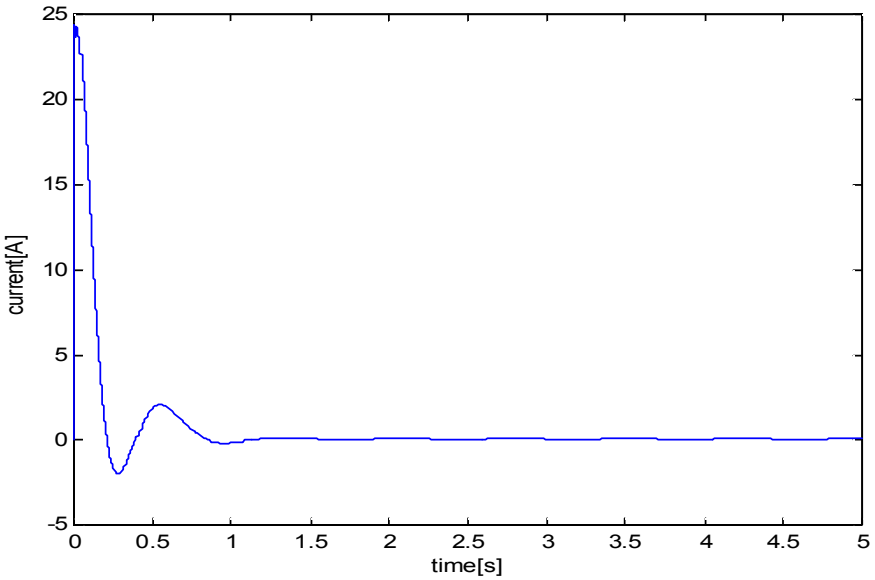

[그림 262 ]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 보드 선도

위 그림에서 보듯이 Flux feedback을 사용하였을 때 bandwidth가 줄어드는 것을 알 수 있다.

$\Delta v = k_{pr}c^* + k_{vr}\dot{c}^* + k_{pa}z_1^* + k_{va}\dot{z}_1^* + k_{aa}\ddot{z}_1^*$ 에서 $k_{vr}$ , $k_{va}$ 를 줄이는 것에 초점을 맞추고 $k_f = 300/50000$ 를 적용하였을 때를 적용한 case1의 결과는 다음과 같다.



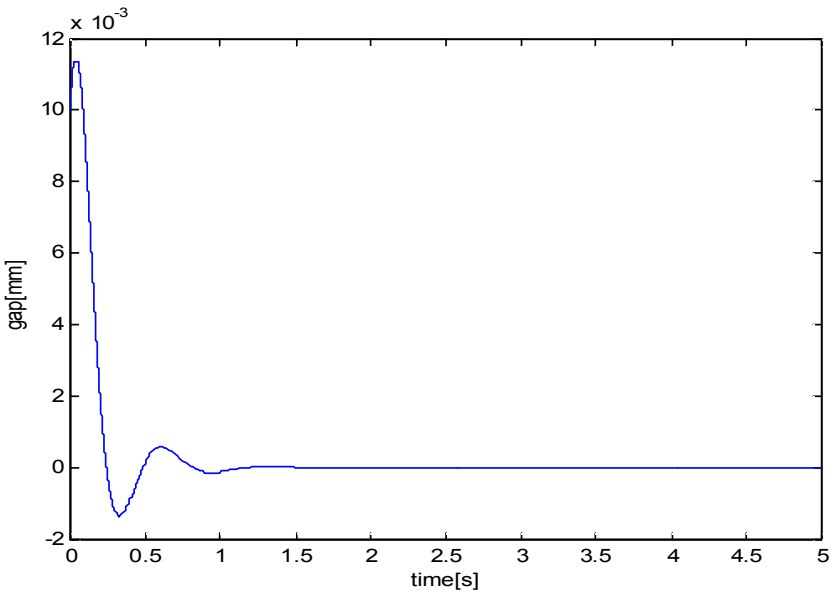

[그림 263 ]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 갭 프로파일(case1)



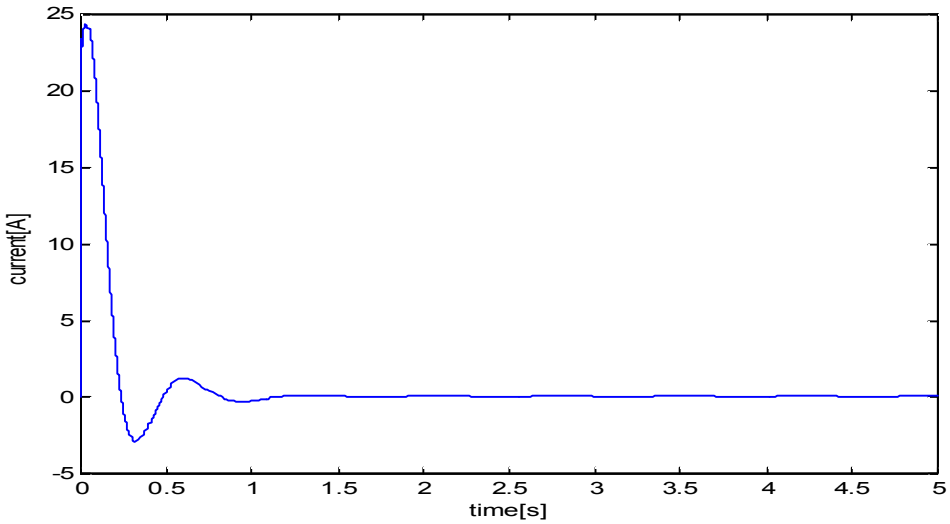

[그림 264 ]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 전류 프로파일(case2)

위 그림에서 볼 때, 갭 프로파일은 flux feedback이 없는 경우와 비슷하나 전류 프로파일 특성이 최대 전류와 스위칭 빈도 측면에서 좋아지는 것을 알 수 있다.

$k_{vr} = 0.1 * k_{vr}$ , $k_{va} = 0.9 * k_{va}$ , $k_f = k_f$ , $k_{pr} = 0.9 * k_{pr}, k_{pa} = 0.9 * k_{pa}$ 인 경우의 case2의 결과는 다음과 같다.




[그림 265 ]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 갭 프로파일(case2)




[그림 266 ]Flux Feedback을 적용한 경우의 UTM01 전류 프로파일(case2)

4) 결과

- flux feedback을 사용하여 절대속도, 상대공극 게인을 줄일 수 있고 따라서 controlled current를 줄이면서 부상시스템의 stability를 확보할 수 있다.
- flux feedback을 사용하면 bandwidth가 다소 줄어드는 단점이 있고 있는 state feedback gain을 조절하여 bandwidth를 늘린다.
- Flux feedback 을 사용하여 $k_{vr}$ , $k_{va}$ gain을 줄일 수 있고

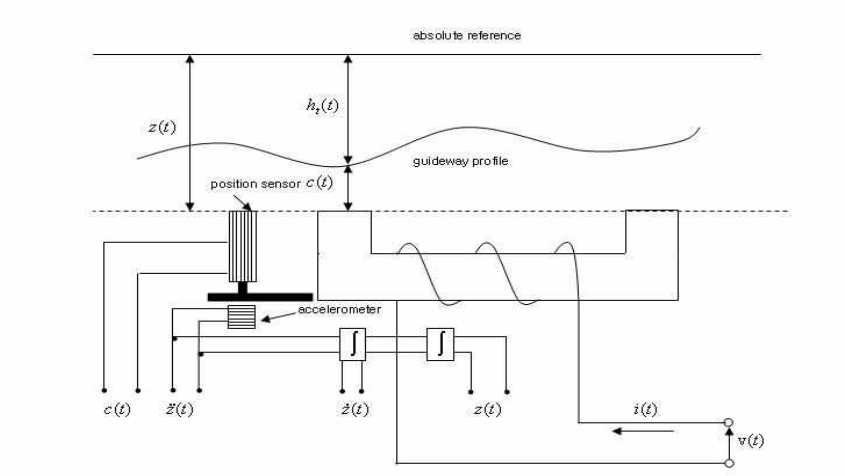
controlled current를 줄이면서 부상시스템의 stability를 확보할 수 있다.

(차) 레일을 고려한 시뮬레이션 수행

1) 개요

단순화된 레일 모형을 포함한 부상 제어기 특성을 살펴보기 위한 시뮬레이션을 수행한다.

2) 시스템 모델링




[그림 267 ]System configuration with an absolute reference

코일에 인가되는 전류 $i(t)$ 는 다음 식으로 제어된다.

$$v(t) = Ri(t) + \frac{\mu_0 N^2 A}{2c(t)}\frac{di(t)}{dt} - \frac{\mu_0 N^2 Ai(t)}{2[c(t)]^2}\frac{dc(t)}{dt} \qquad (1)$$

여기서, R은 회로의 총 저항, N은 코일을 감은 횟수, A는 magnet pole의 면적, $\mu_0$ 는 공기 중 투자율이며 $c(t)$ 는 그림 1.10.1에 나타내었다.

인가된 전류에 의해 발생되는 자기력과 중력에 의해 발생되는 힘의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$
\begin{aligned}
m\ddot{z}(t) &= -F(i,c) + mg \\
F(i,c) &= \frac{\mu_0 N^2 A}{4}[\frac{i(t)}{c(t)}]^2 \\
c(t) &= z(t) - h_t(t)
\end{aligned}
\tag{2}
$$

Equilibrium point에서 수식 2를 선형화 하면,

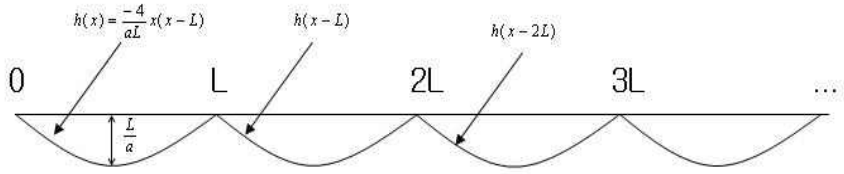
$$
\begin{aligned}
m\Delta\ddot{z}(t) &= -k_i\Delta i(t) + k_c\Delta c(t) \\
\Delta\dot{i}(t) &= \frac{k_c}{k_i}\Delta\dot{c}(t) - \frac{R}{L_0}\Delta i(t) + \frac{1}{L_0}\Delta v(t) \\
\Delta\dot{c}(t) &= \Delta\dot{z}(t) - \Delta\dot{h}_t(t)
\end{aligned}
\tag{3}
$$

여기서, $k_i = \frac{\mu_0 N^2 A i_0}{2z_0^2}$ , $k_c = \frac{\mu_0 N^2 A i_0^2}{2c_0^3}$ 이다.

수식 3을 이용하여 상태 방정식으로 나타내면 다음과 같다.

$$
\begin{bmatrix} \Delta\dot{c}(t) \\ \Delta\ddot{z}(t) \\ \Delta\dot{i}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ \frac{k_c}{m} & 0 & -\frac{k_i}{m} \\ 0 & \frac{k_c}{k_i} & -\frac{R}{L_0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta c(t) \\ \Delta\dot{z}(t) \\ \Delta i(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{1}{L_0} \end{bmatrix} \Delta v(t) + \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ -\frac{k_c}{k_i} \end{bmatrix} \Delta\dot{h}_t(t) \tag{4}
$$

3) 레일 모델링




[그림 268 ]2차로 단순화된 레일 모형

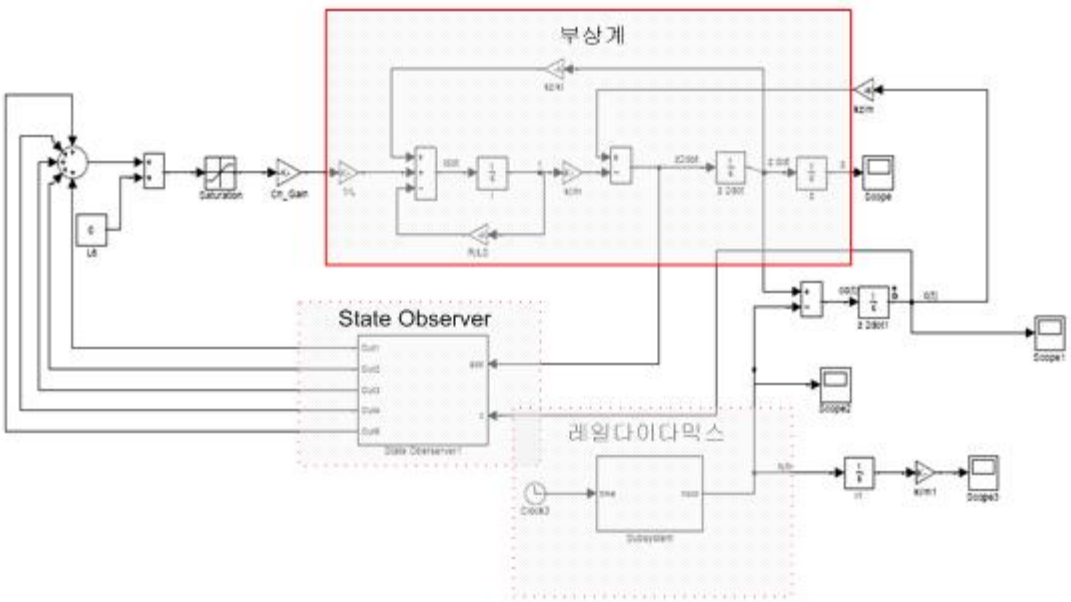
레일은 위의 그림과 같이 단순화하여 모델링할 수 있고 이를 수식으로 나타내면, 다음과 같다.

$$h_t(x) = \frac{-4}{aL}x(x-L), 0 \le x \le L$$
$$h_t(x-L), L \le x \le 2L$$
$$\cdots$$

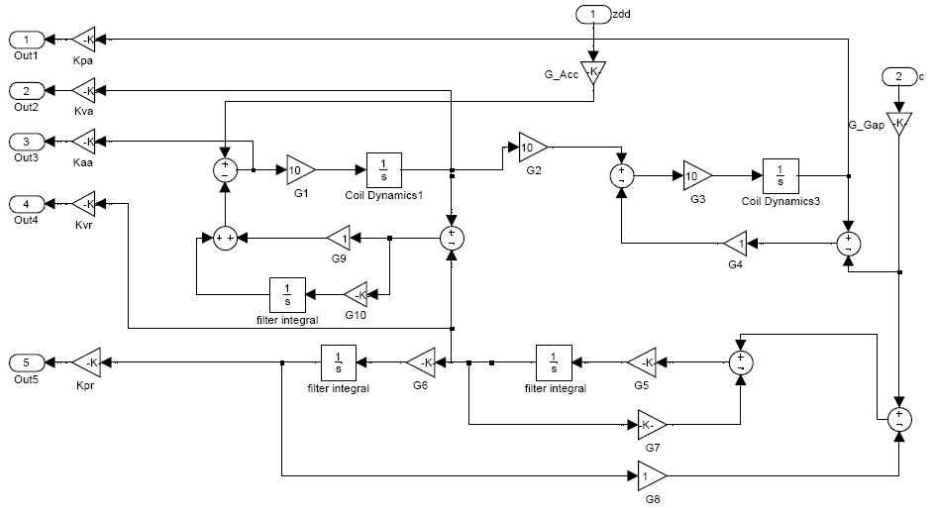
$$\dot{h}_t = \frac{dh}{dx}\frac{dx}{dt} = \frac{-4}{aL}(2x-L)v, 0 \le x \le L$$
$$\dot{h}_t(x-L), L \le x \le 2L$$
$$\cdots$$

$$\dot{h}_t = \frac{dh}{dx}\frac{dx}{dt} = \frac{-4}{aL}(2x-L)v, 0 \le x \le L$$
$$\dot{h}_t(x-L), L \le x \le 2L$$
$$\cdots$$

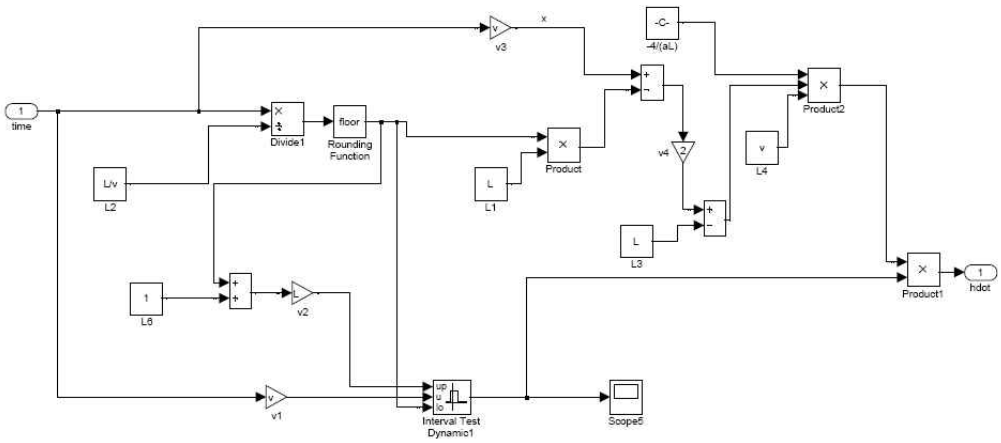
4) 블록 다이어그램과 시뮬레이션 파라미터




[그림 269 ]레일을 포함한 부상제어 시스템 블록선도




[그림 270 ]State Observer 블록선도




[그림 271 ]레일 deflection 블록선도

시뮬레이션에 사용된 parameter들은 다음과 같다.

% Basic Parameters

mu0 = 4*pi*10^(-7) ;

u0 = mu0;

N = 198*2;

A0 = 0.59*0.032;

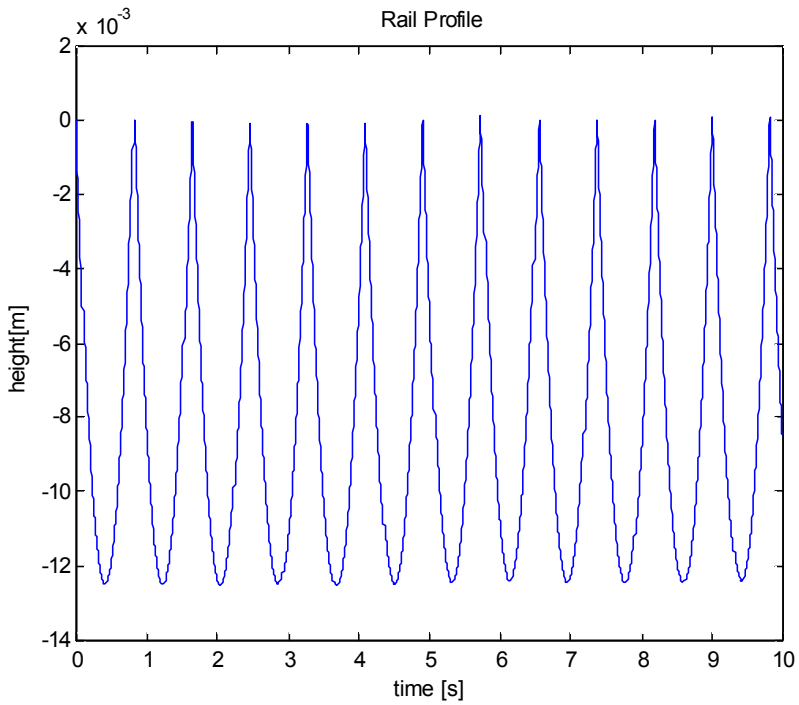
z0 = 0.008;

i0 = 26.9;

m = 27000/32* 1.27182383279002; % to make F0 = mg, multiply 1.27182383279002

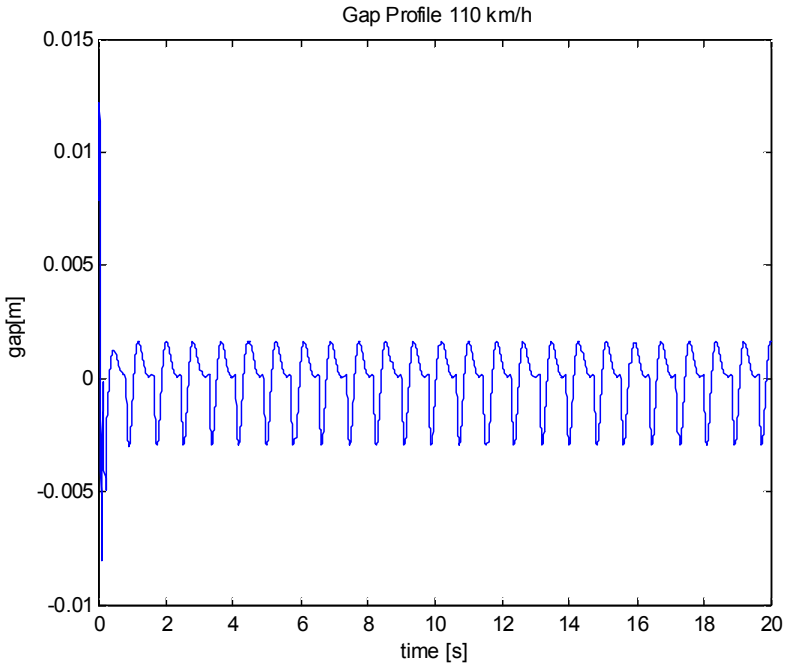
```
R = 0.396*2;
L = 25; % 25 meters
a = 2000;
v = 110*1000/3600; % 110 km / hour
t = L/v;
g = 9.8;
v0 = i0*R;
% Calculated Parameters at the nominal operating point
L0 = mu0*N^2*A0 / (2*z0);
ki = mu0*N*N*A0*i0/(2*z0*z0) ; % N/A
kz = mu0*N*N*A0*i0*i0/(2*z0*z0*z0)  ; % N/m
Fbspd = kz/ki;
InMass = 1/m;
F0 = u0*N^2*A0/4*(i0/z0)^2;
```

아래 그림은 레일 프로파일을 보여 준다.

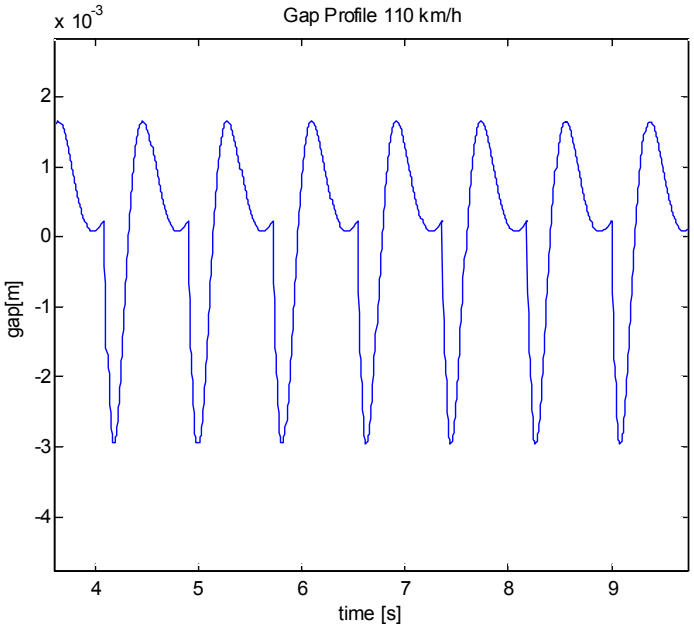



[그림 272 ]레일 프로파일

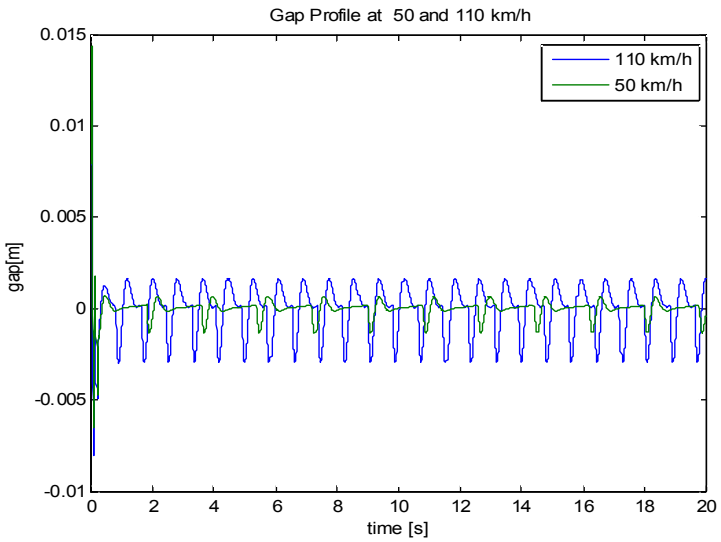
5) 시뮬레이션 결과




[그림 273 ]레일 deflection 블록선도




[그림 274 ]110 km/h에서 갭 프로파일(확대파형)




[그림 275 ]50 km/h 와 110km/h 속도에 따른 갭 프로파일

6) 결론

· 속도가 증가할수록 gap fluctuation이 커진다.

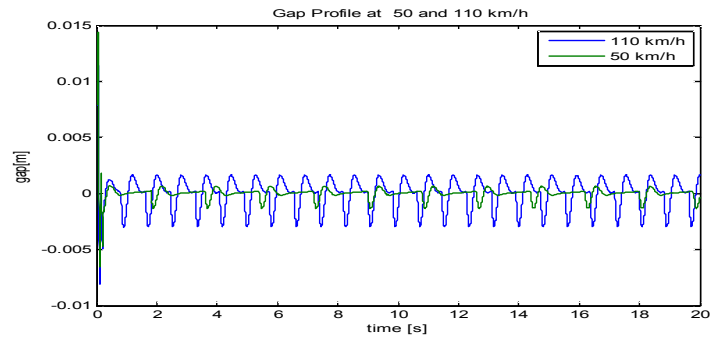
· 레일 처짐 L/2000에서 속도 110km/h에서 +1.5mm, -2.9mm gap fluctuation이 생긴다.

(카) 외란에 따른 부상 제어기 특성

1) 개요

부상 제어기에 영향을 미치는 외란에 따른 부상 제어기 특성을 기술한다.

2) 레일 deflection에 의한 영향




[그림 276 ]속도에 따른 rail deflection 응답 파형

3) cross arm 외란

[그림 277 ]cross arm 형상

Gap 외란으로 여기지는 요소는 그림 1.11.2에 나타난 cross arm에 의한 gap 변동이다.

$$t_{ca} = \frac{L_{ca}}{v} = \frac{1.25}{\frac{110*1000}{3600}} = 0.0409$$
$$\mathrm{f_{ca}} = 1/t_{ca} = 24.44\ \mathrm{Hz}$$

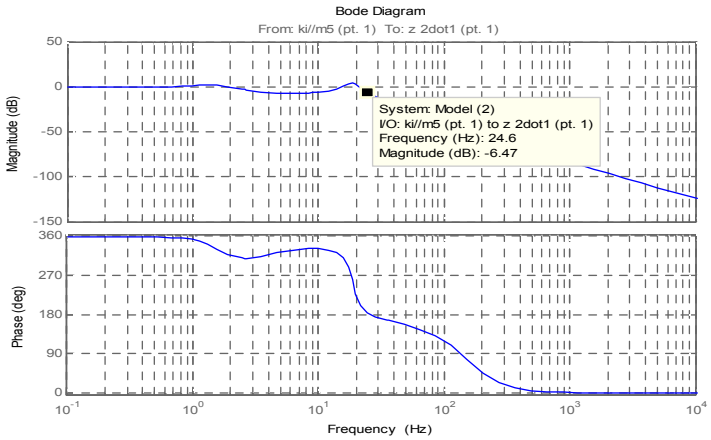
외란을 $\mathrm{gap_d} = \mathrm{A_{ca}}\sin(2\pi \mathrm{f_{ca}})$ 로 나타내고 $\mathrm{A_{ca}}$ 가 1mm조건에서 시뮬레이션 한다. 관측기가 settling된 2초 후 외란이 영향을 미친다.

우선 외란에 대한 출력을 이론적으로 구하기 위해 $G_g(s) = \frac{|gap|}{|gap_d|} = \frac{num(s)}{den(s)}$ 를 시뮬레이션에 사용한 블록으로 구하면,

$$num(s) = \text{-2450s\^{}6 - 2.507e006s\^{}5 + 4.895e009s\^{}4}$$
$$\text{+1.962e011s\^{}3 + 3.608e012s\^{}2 + 2.411e013s + 6.216e013}$$

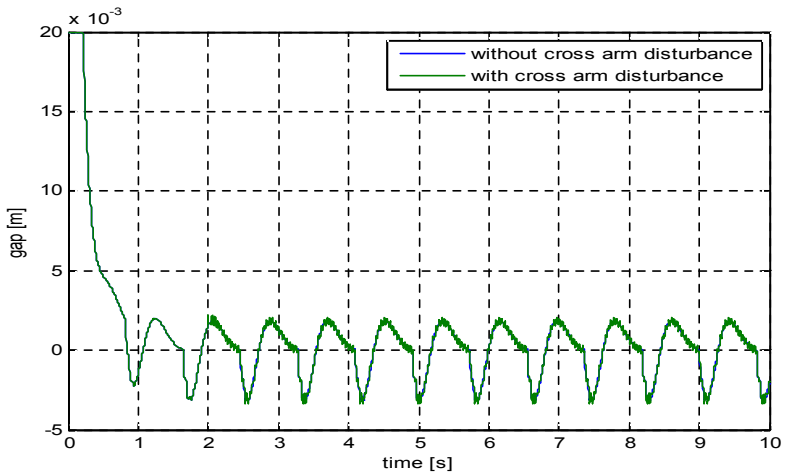
$$den(s) = \text{s\^{}8 + 1059s\^{}7 + 1.066e006s\^{}6 + 6.643e007s\^{}5 + 1.517e010s\^{}4 + 3.531e011s\^{}3 +}$$
$$\text{+ 4.104e012s\^{}2 + 2.656e013s + 6.216e013}$$

상태 관측자를 포함하여 총 8차의 전달함수가 된다. $G_g(s)$ 를 사용하여 보드 선도를 그리면 다음 그림과 같다.



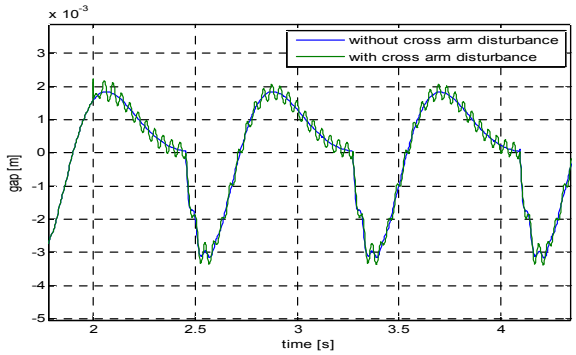

[그림 278 ]외란에 대한 주파수 응답 특성

위 그림에서 보면 24.4Hz의 외란으로 $|gap_d| = A_{\mathrm{ca}} 10^{-6.4/20} \cong 0.2A_{ca} = 0.48mm$ 가 공극 출력에 더해 질 것이 예상된다. 그림 1.11.4는 cross arm 외란에 의한 공극의 응답 그래프로 외란이 없는 경우와 비교하여 24.44Hz의 공극 흔들림이 더해진 것을 알 수 있고, 아래 그림는 그림 1.11.5를 확대한 그림으로 약 0.5mm가 더해 진 것을 알 수 있다.




[그림 279 ]cross arm 외란에 의한 갭 응답

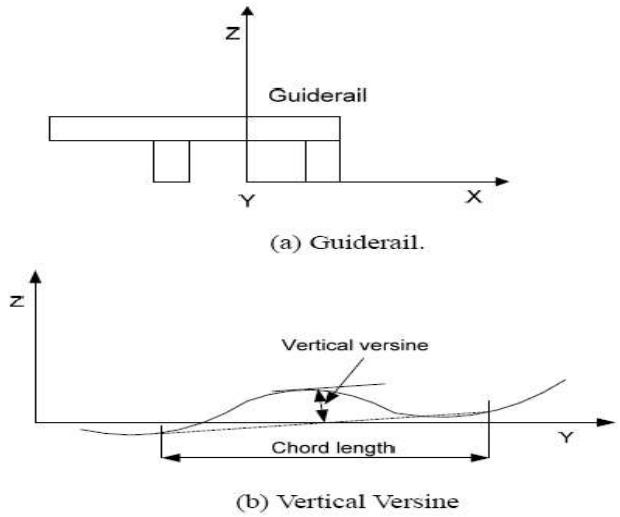
이상의 결과로 알 수 있는 사실은 cross arm 외란의 영향을 줄이기 위해서는 24.4Hz 부근에서 $G_g(s)$ 의 gain을 줄여주는 제어기를 설계하여야 한다는 것이다.




[그림 280 ]확대한 파형]

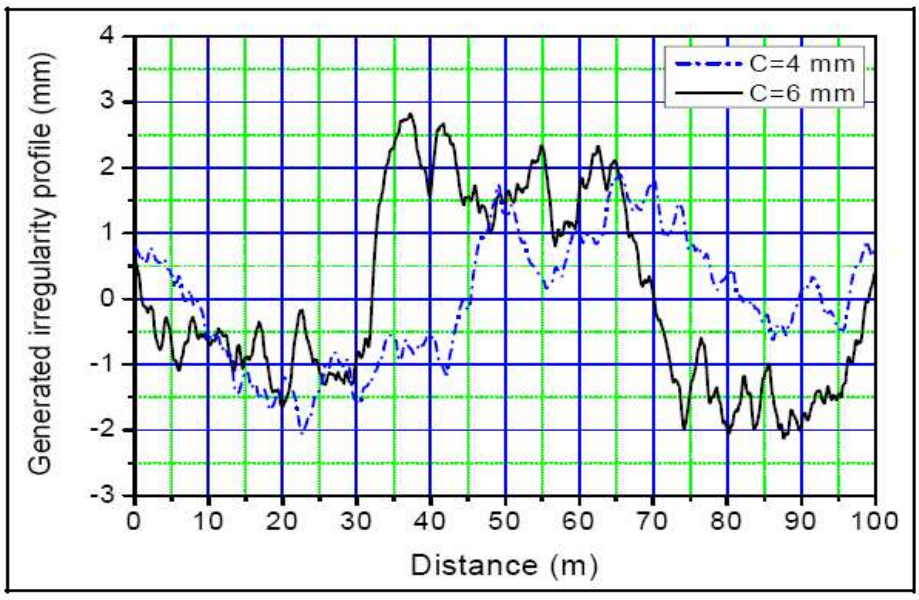
4) Guide rail 표면 조도에 의한 영향

전자석에 대응하는 가이드레일 표면 조도는 아래 그림과 같이 정의할 수 있다.




[그림 281 ]표면 조도

아래 그림은 100 미터 레일에 4 mm에서 6 mm의 표면 조도가 생긴다고 가정하고 임의로 생성한 표면 조도 형상이다.




[그림 282 ]표면 조도 형상

표면 조도 외란에 의한 주파수는

$$t_{rs} = \frac{L_{rs}}{v} = \frac{100}{\frac{110*1000}{3600}} = 3.272$$

$$\mathrm{f_{rs}} = 1/t_{rs} = 0.305\,\mathrm{Hz}$$

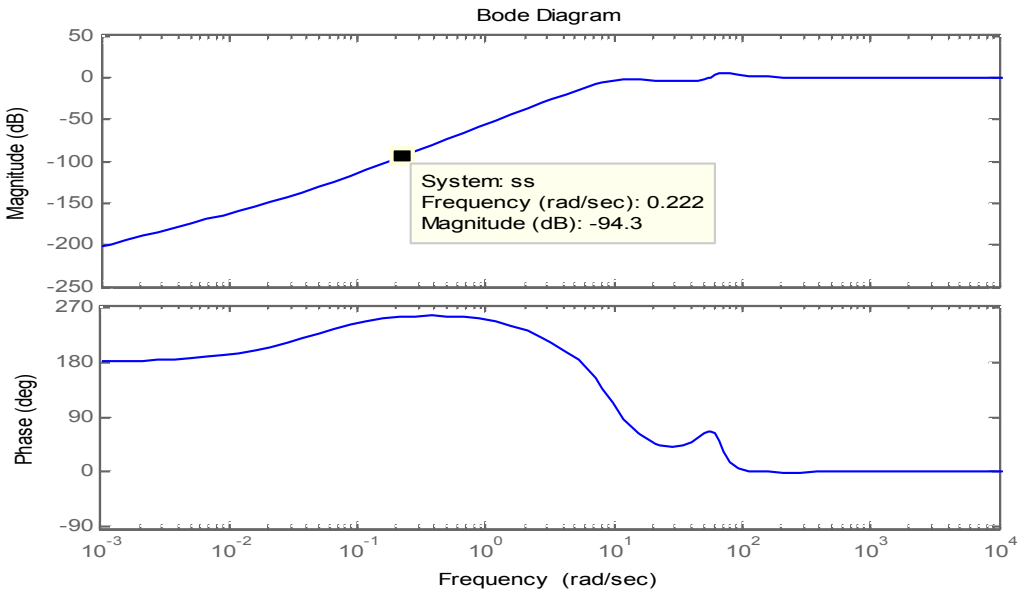
외란을 $\mathrm{h_{rs}} = \mathrm{A_{rs}}\sin(2\pi \mathrm{f_{rs}})$ 로 나타내고 $\mathrm{A_{rs}}$ 가 2mm, 3mm 조건에서 시뮬레이션 한다. 관측기가 settling된 2초 후 외란이 영향을 미친다.

우선 외란에 대한 출력을 이론적으로 구하기 위해 $G_h(s) = \frac{|gap_{rs}|}{|h_{rs}|} = \frac{num(s)}{den(s)}$ 를 시뮬레이션에 사용한 블록으로 구하면,

$$num(s) = \mathrm{s}^8 + 1055\,\mathrm{s}^7 + 1.058\mathrm{e}006\,\mathrm{s}^6 + 5.82\mathrm{e}007\,\mathrm{s}^5 + 3.426\mathrm{e}009\,\mathrm{s}^4 + 4.362\mathrm{e}010\,\mathrm{s}^3 + 1.926\mathrm{e}009\,\mathrm{s}$$

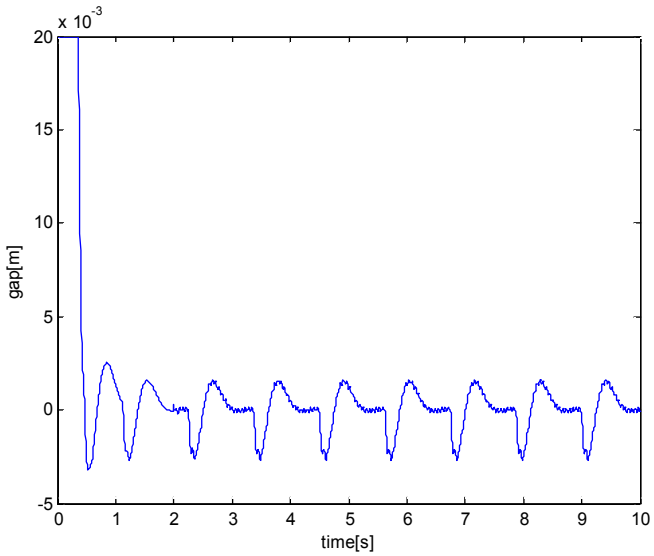
$$den(s) = \mathrm{s}^8 + 1055\,\mathrm{s}^7 + 1.057\mathrm{e}006\,\mathrm{s}^6 + 5.743\mathrm{e}007\,\mathrm{s}^5 + 5.795\mathrm{e}009\,\mathrm{s}^4 + 1.304\mathrm{e}011\,\mathrm{s}^3 + 1.51\mathrm{e}012\,\mathrm{s}^2 + 9.886\mathrm{e}012\,\mathrm{s} + 2.5\mathrm{e}013$$

상태 관측자를 포함하여 총 8차의 전달함수가 된다. $G_g(s)$ 를 사용하여 보드 선도를 그리면 다음 그림과 같다.



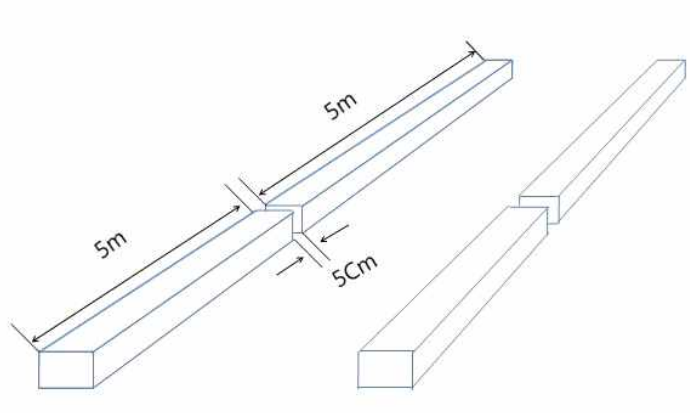

[그림 283 ]표면 조도에 외란에 대한 공극 보드 선도

위 그림에서 보면 $G_g(s)$ 가 high pass filter 이기 때문에 0.22Hz의 외란으로 $|gap_{rs}| = A_{rs}10^{-94.3/20} \cong 0mm$ 로 거의 영향이 없음을 알 수 있다.




[그림 284 ]표면조도에 의한 공극

5) 수직 단차에 의한 영향



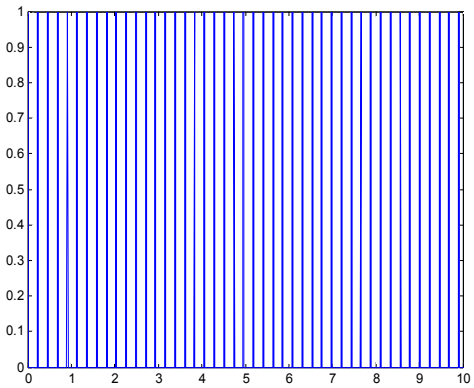

[그림 285 ]레일 연결 형상

위 그림과 같이 레일이 5m 마다 연결 되었다고 가정하고, 이음매의 최대 길이가 50cm라고 할 때

$$t_{rd} = \frac{L_{rd}}{v} = \frac{5}{\frac{110*1000}{3600}} = 0.16363$$

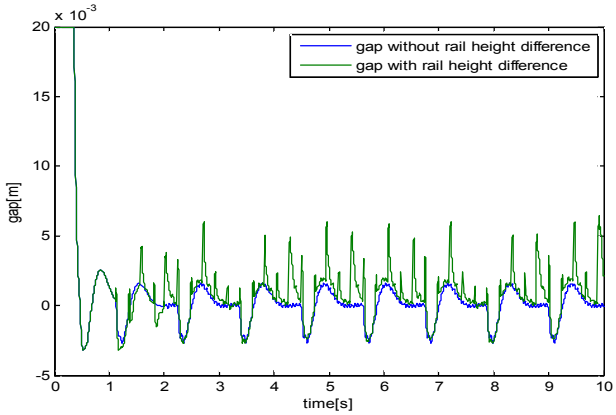
$$\mathrm{f_{rd}} = 1/t_{rd} = 6.1\,\mathrm{Hz}$$

이음매 지속시간은, $$t_j = \frac{L_j}{v} = \frac{0.05}{\frac{110*1000}{3600}} = 0.0016$$ 로 구할 수 있다. 아래 그림에서 pulse 간격은 0.16363이 되며 지속 시간은 0.0016363가 된다.



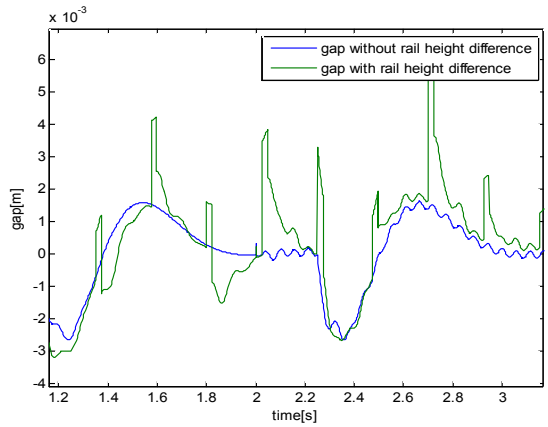

[그림 286 ]수직 단차 파형

아래 그림은 수직 단차 외란 영향을 받을 때 공극 변화를 그린 것으로 최대 6mm 정도 공극 변화가 생기는데 이는 pulse에 존재하는 고주파 성분의 영향을 받은 것이다.




[그림 287 ]레일 이음매 수직 단차에서 공극 변화

아래 그림은 위 그림을 확대한 것으로 수직 단차를 만났을 경우 짧게는 0.9초에서 길게는 1.89초 정도의 settling time이 소요되는 것을 알 수 있다. 제어기 settling time보다 짧은 시간에 수직 단차를 계속해서 만나게 되면 부상 안정성에 악영향을 미치기 때문에 제어기 settling time이 레일 이음매 불연속 시간보다 짧게 설계될 것이 요구된다.




[그림 288 ]수직 단차에서 settling time 관찰

6) 결론

지금까지 rail deflection, cross arm, 레일 표면 조도, 레일 단차 외란 요소에 의한 부상 제어기 특성을 기술하였다. L/2000 rail deflection 조건에서 +- 3mm 범위 안에 갭 변동이 생기며, cross arm은 비교적 고주파 외란으로 제어기에 따라 감쇠가 가능하며 현재 알고리즘으로 2mm cross arm 외란이 0.5m 정도의 갭 변동을 유발한다. 레일 표면 조도의 영향은 크게 받지 않으며, 시뮬레이션에서는 이상적인 pulse 신호에 존재하는 고주파 성분

때문에 실제보다 더 큰 영향을 받았지만 실제에서도 다른 외란보다 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다. 갭 단차 영향은 이음매 신호 처리 방식으로 개선이 가능하다.

(2) 부상시스템 신뢰성 개선

(가) 내고장성 초퍼 설계 및 1차 시제품 제작

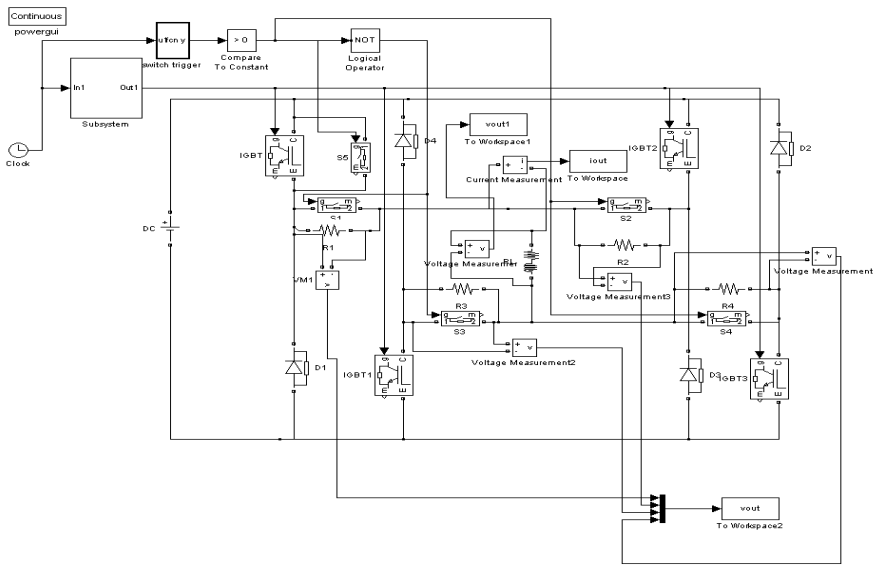
1) 개요

“이중화 부상제어기 설계 및 시제품 제작”에서 언급한 것처럼 MD는 이중화되어 부상제어의 신뢰성을 보장할 수 있게 설계되어 있고 이와 함께 부상제어기의 주 고장 구성 요소인 초퍼의 이중화 회로를 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 동작을 검증한다.

2) chopper 이중화 회로 및 시뮬레이션

가) 회로도

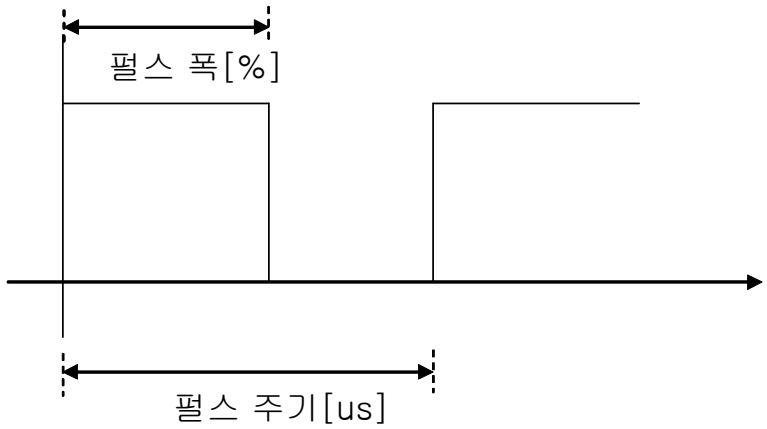
아래 그림에 이중화된 초 회로를 나타내었다.




[그림 289 ]이중화 초퍼 회로

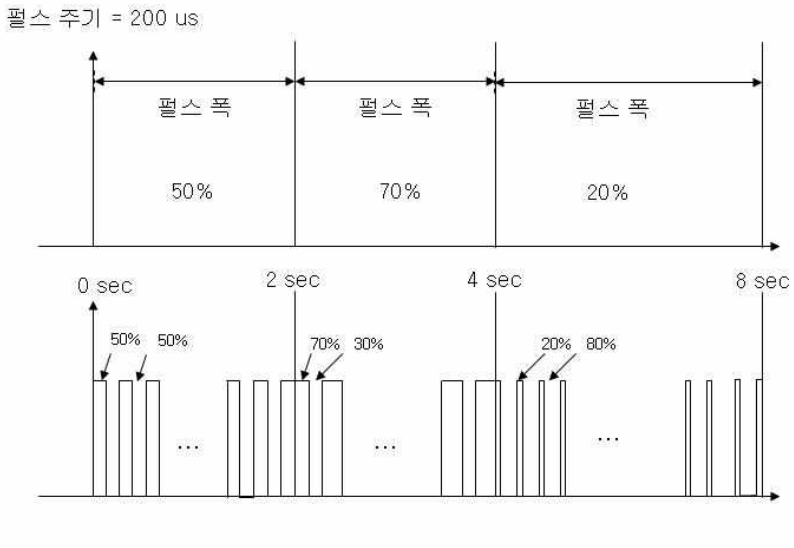
나) 게이트 신호 정의

펄스 폭의 정의는 아래 그림과 같다.




[그림 290 ]펄스 폭 정의

IGBT 게이트 신호 파형은 아래 그림과 같다.

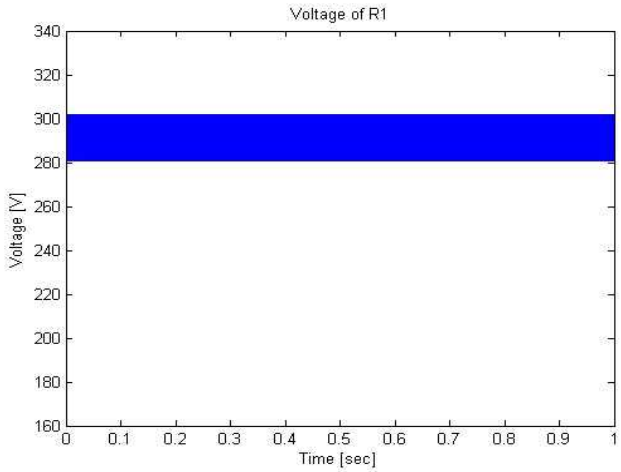



[그림 291 ]IGBT 게이트 신호 파형

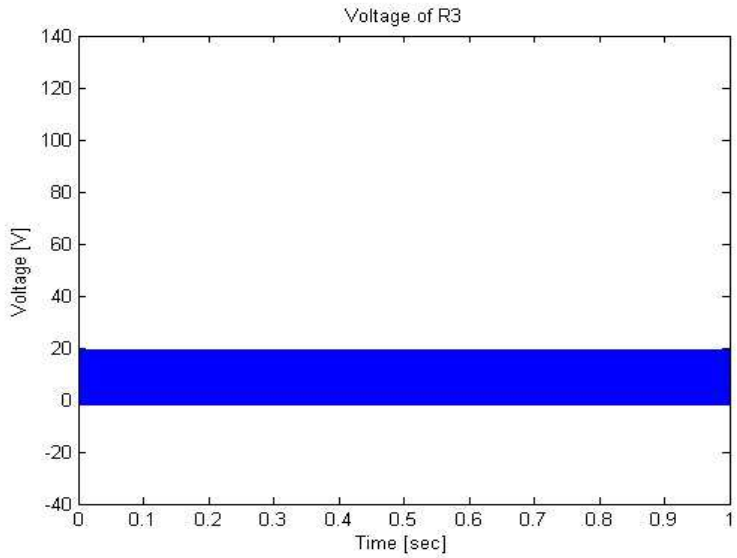
다) 고장 진단 시뮬레이션 결과

정상상태에서 R1, R2, R3, R4의 전압이 정상 기준 전압이다. 아래 그림들은 그 전압들이다.

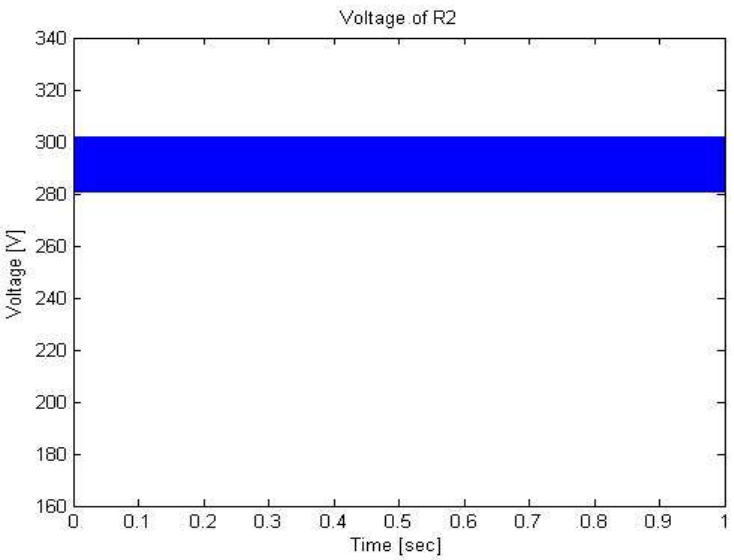
- S1, S3, S2, S4 초기 상태 동작
- SSR1, SSR3: OFF, SSR2, SSR4: OFF



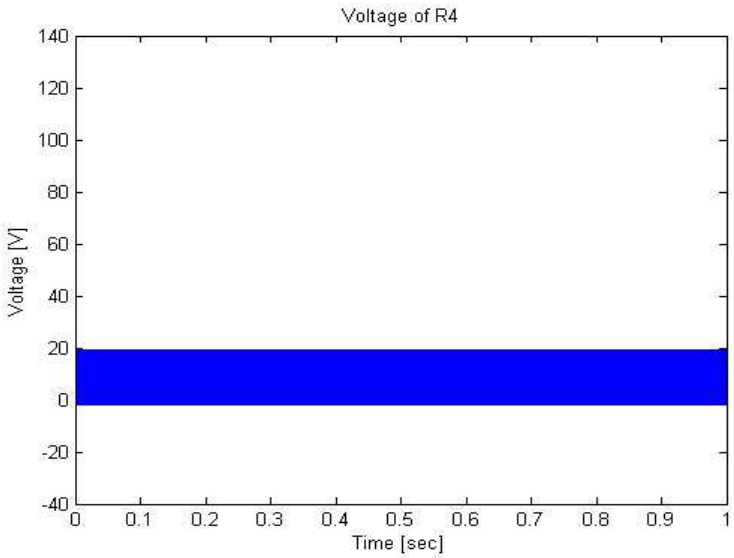

[그림 292 ]R1 정상 전압




[그림 293 ]R2 정상 전압



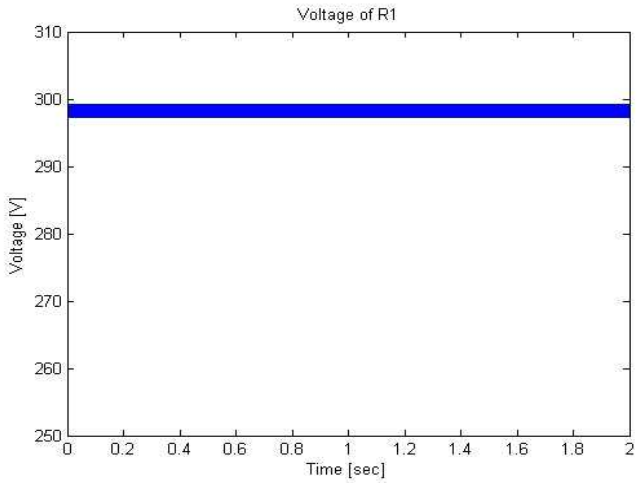

[그림 294 ]R3 정상 전압



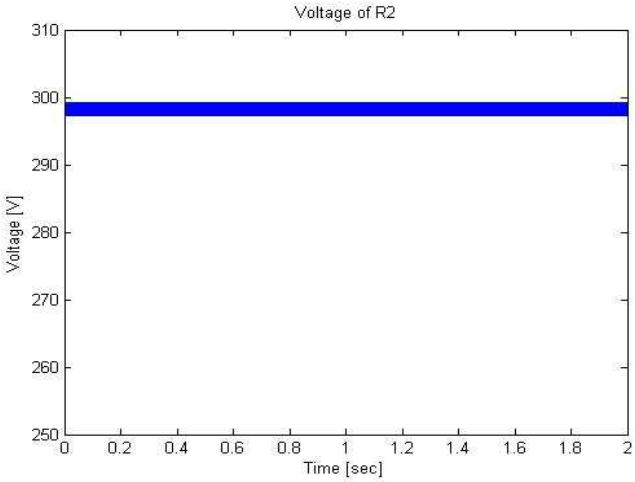

[그림 295 ]R4 정상 전압

만약 R1, R2, R3, R4가 없다면 아래 그림과 같은 전압이 관측될 것이다.

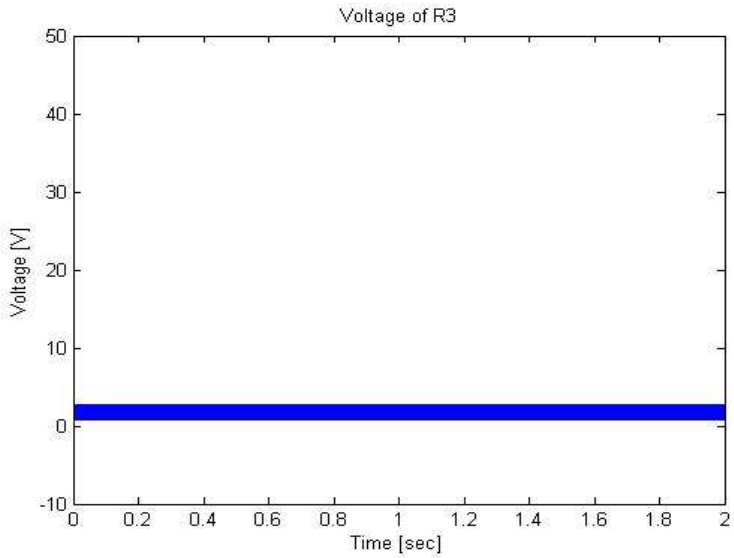
- S1, S3, S2, S4 초기 상태 동작(R1, R2, R3, R4가 없을 경우 동작)
- SSR1, SSR3: OFF, SSR2, SSR4: OFF



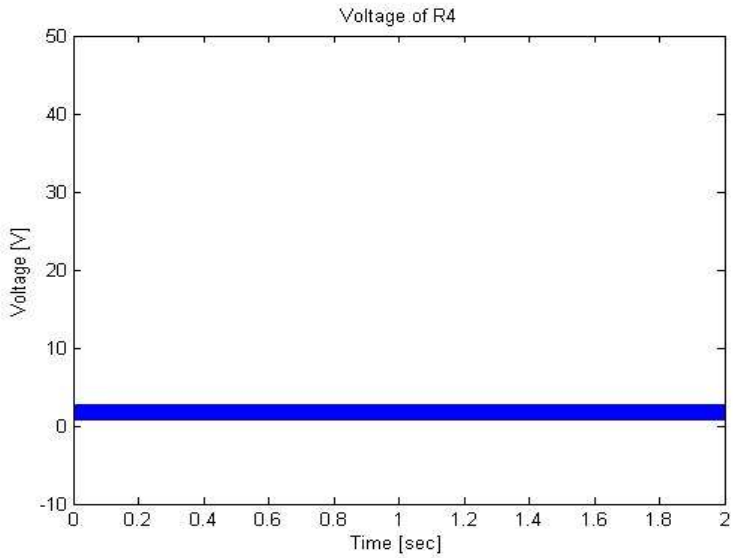

[그림 296 ]R1 지점 전압




[그림 297 ]R2 지점 전압




[그림 298 ]R3 지점 전압

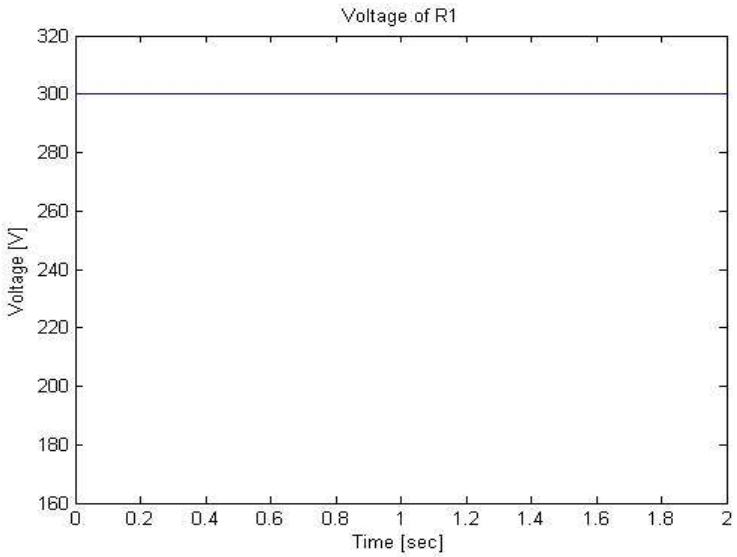



[그림 299 ]R4 지점 전압

R1, R2, R3, R4가 있을 때와 비교하여 정상 상태 전압 레벨이 낮아 노이즈 레벨과 구분 되지 않는 수준이기 때문에 R1, R2, R3, R4가 없으면 정상 상태 검출이 안됨.

・초기 상태에서 S1 고장일 때 동작

S1이 고장일 때 아래 그림과 같은 파형이 나타난다.

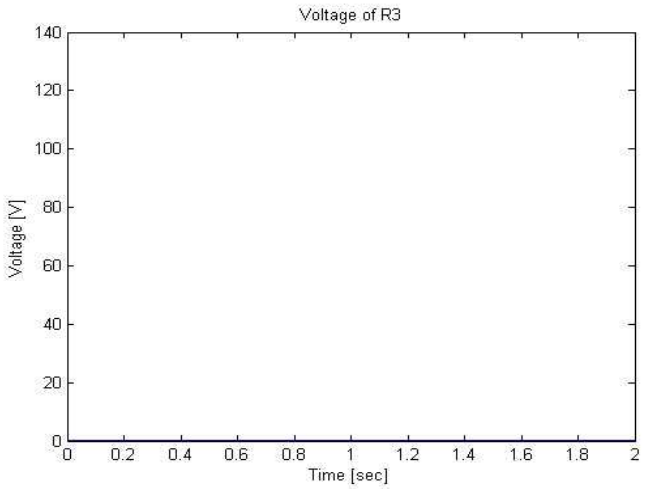



[그림 300 ]S1 고장 파형

S3, S2, S4는 초기 상태와 동일한 파형

・초기 상태에서 S3 고장일 때 동작

S3가 고장일 때 아래 그림과 파형이 생성된다.

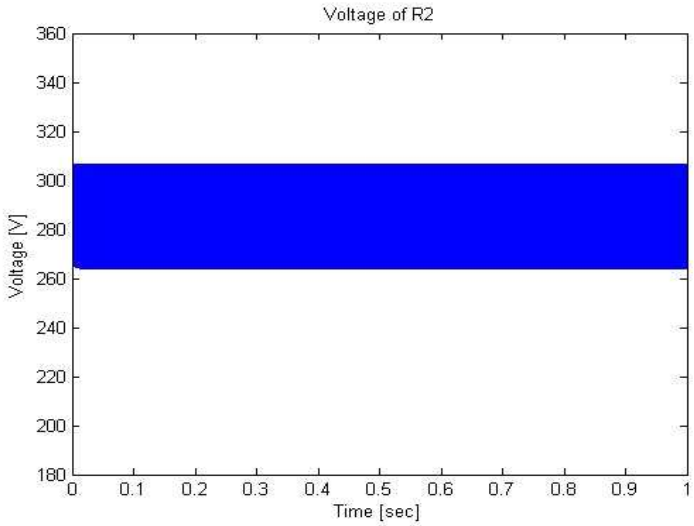



[그림 301 ]S3가 고장시 파형

· S1, S3 동작 중 S2, S4 정상 상태 검출 방법

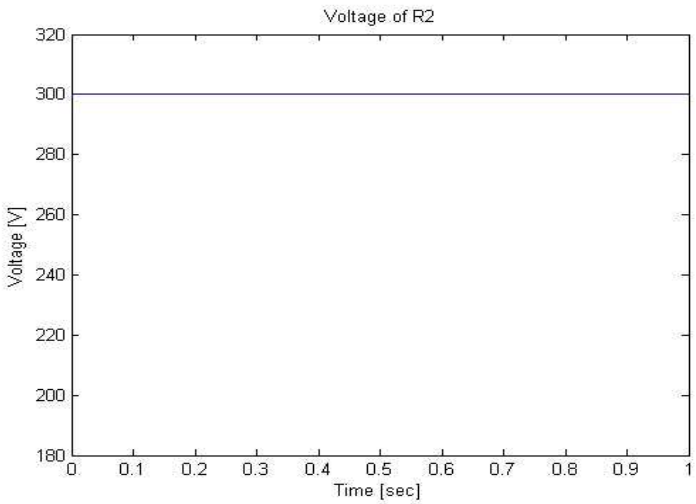
· SSR1, SSR3:ON, SSR2, SSR4: OFF

S2가 고장인 경우 파형는 아래 그림과 같다.



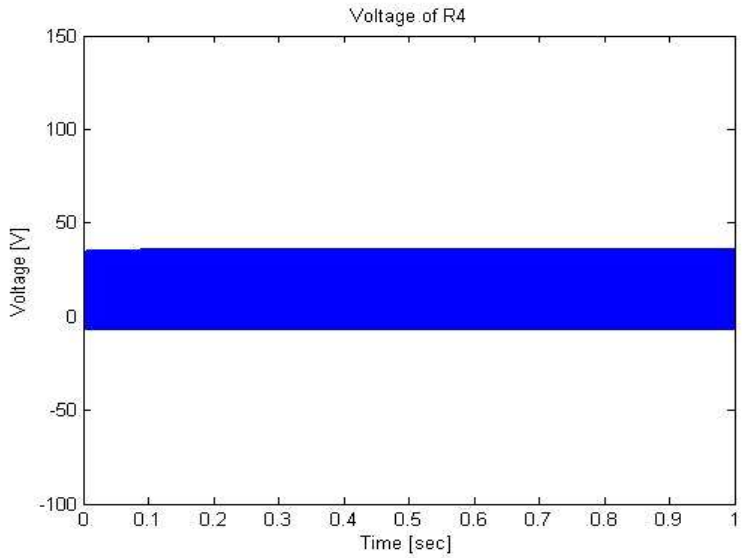

[그림 302 ]S2가 고장시 파형

반면, S2가 정상상태 파형은 그림 303과 같다.



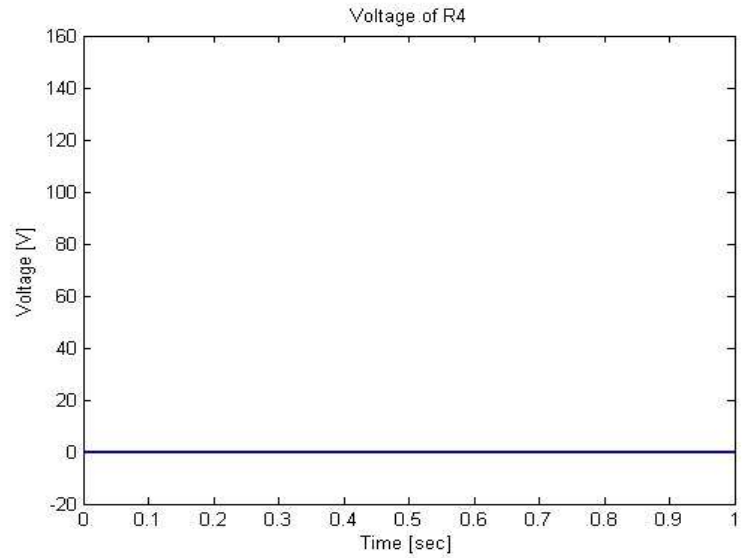

[그림 303 ]S2가 정상상태 파형

S4 가 고장 상태의 파형은 아래와 같다.




[그림 304 ]고장 상태 파형

반면, S4의 정상상태 파형은 다음과 같다.

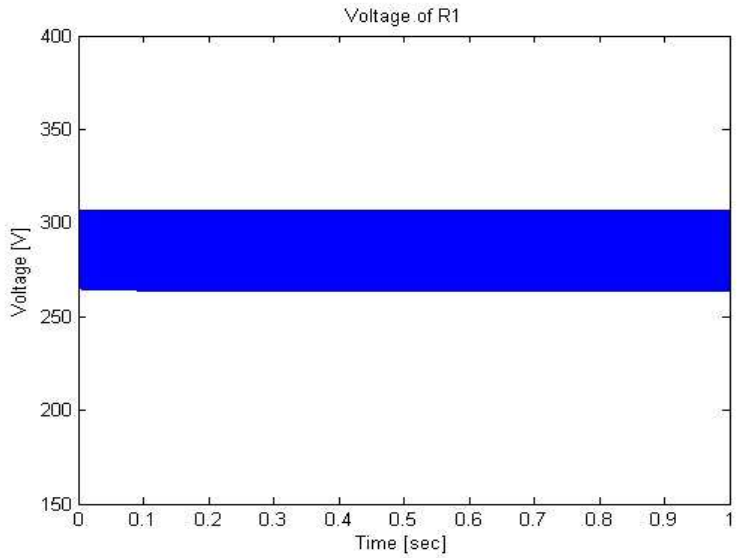



[그림 305 ]S4 정상 상태 파형

S2, S4 동작 중 S1, S3 정상 상태 검출 방법

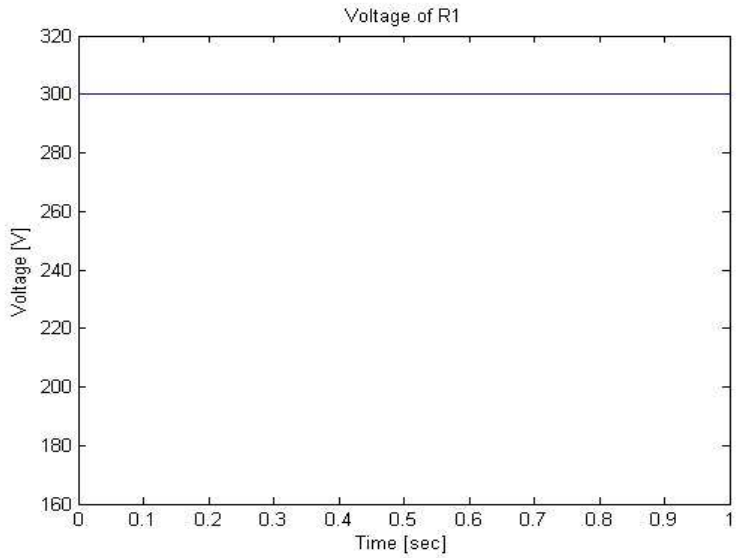
・SSR1, SSR3 : OFF, SSR2, SSR4 : ON

S1 고장 상태 파형은 다음 그림과 같다.



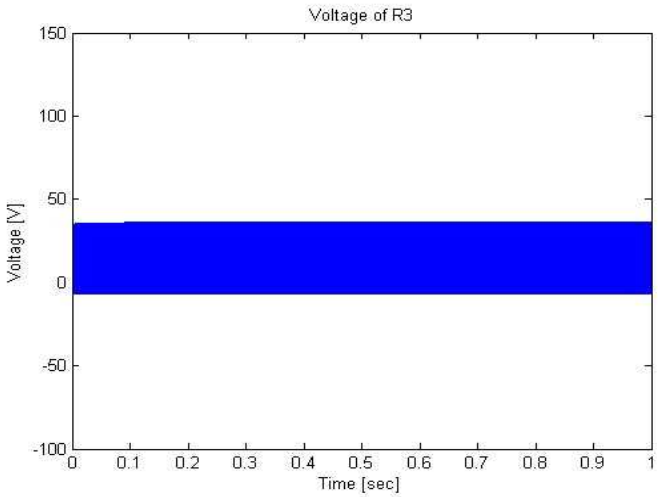

[그림 306 ]S1 고장 상태 파형

S1 정상상태 파형은 그림 2.1.19와 같다.



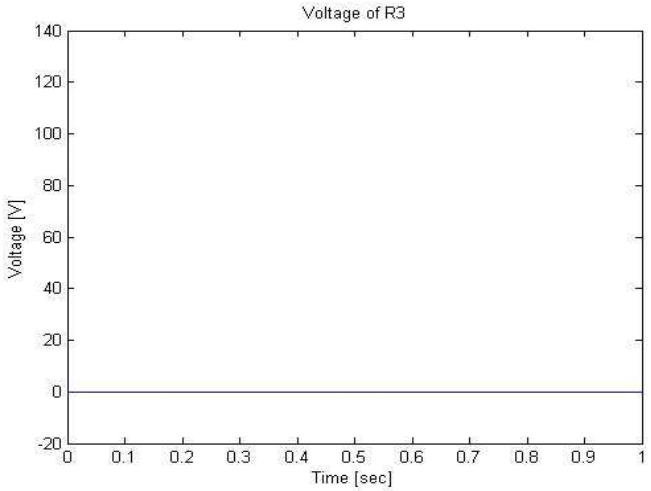

[그림 307 ]S1 정상 상태 파형

S3 고장 상태 파형은 다음 그림과 같다.



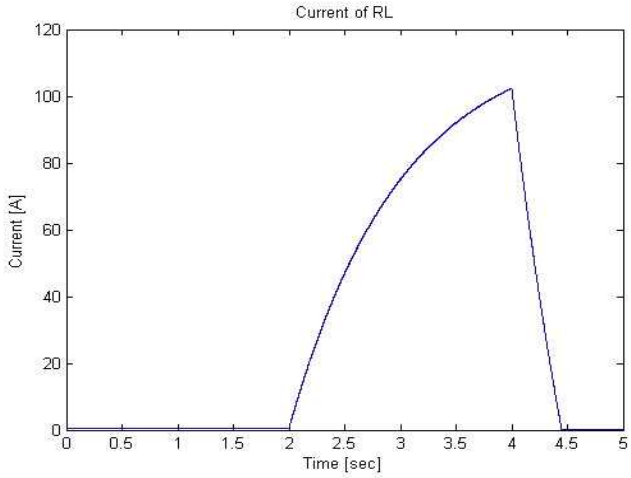

[그림 308 ]S1 고장 상태 파형

S3 정상상태 파형은 아래 그림과 같다.




[그림 309 ]S3 정상 상태 파형

S1, S3 동작 중 정상  RL load 전류 파형은 다음 그림과 같다.

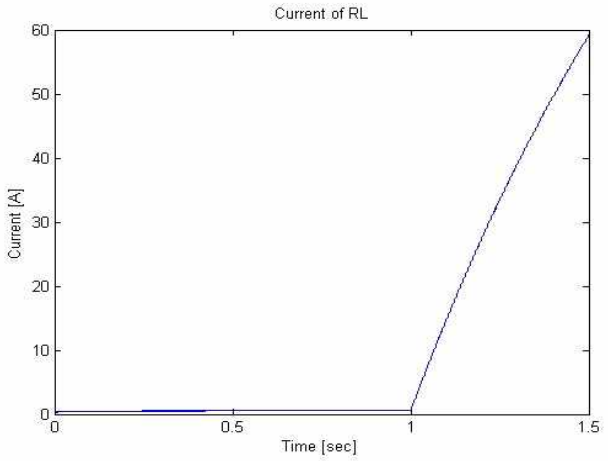



[그림 310 ]정상 동작 중 RL load

· S1, S3 동작 중 S1의 고장 검출 방법

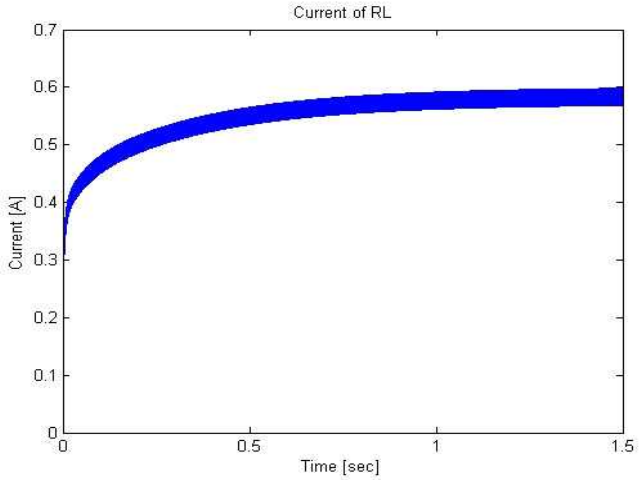
· SSR1, SSR3 :ON, SSR2, SSR4 :OFF

1초 후 SSR1 고장 후 이상 동작 파형은 아래 그림과 같다.



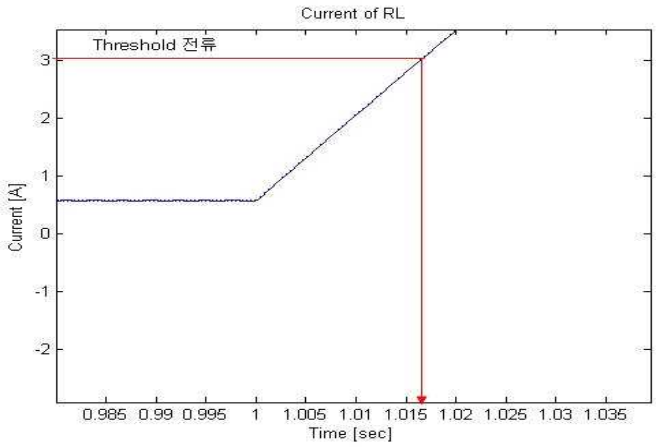

[그림 311 ]이상 동작 파형

다음은 정상동작 파형이다.




[그림 312 ]정상동작 파형

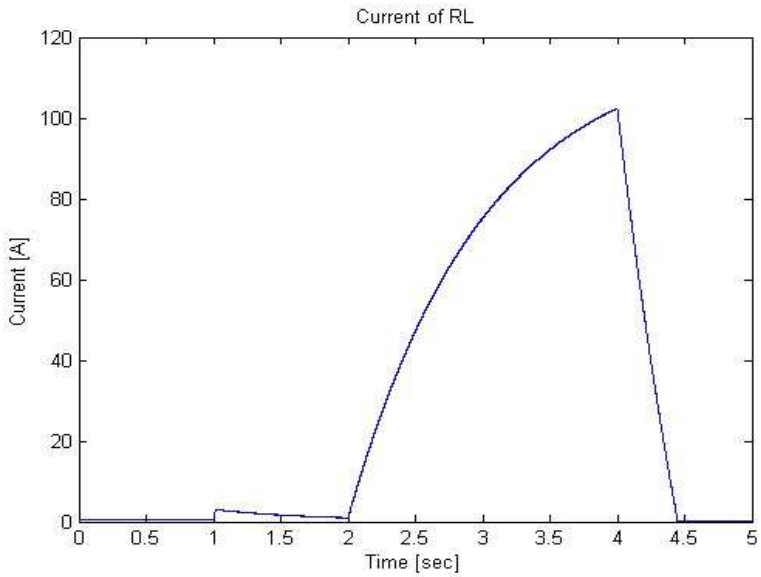
다음 그림은 RL current 증가 후 threshold 3A를 넘는 시간 관계를 나타낸 전류 파형이다.




[그림 313 ]고장 검출과 전류 threshold 관계 파형

고장 검출에 걸린 시간은 0.016초임.

다음 그림은 S1, S3 동작 중 S1의 고장 검출 후 S2, S4로 전환 후 전류 파형이다.




[그림 314 ]고장 검출 후 절체 후 파형

라) 결론

chopper 이중화를 위해 고안된 회로 시뮬레이션 결과를 기술하였다. 시뮬레이션 결과 chopper 1과 chopper 2로 이루어 진 이중화 chopper 회로가 고장 진단 후 다른 한쪽으로 절체되어 성공적으로 동작함을 확인하였다. 본 시뮬레이션 결과는 향 후 이중화 chopper를 제작하고 성능을 검증하는 guideline 역할을 할 것이다.

(나) 이중화 부상제어기 성능 개선 및 초파 1차 시제품 성능 개선

1) 개요

마그네트 드라이브 개발에 있어서 마그네트 드라이브의 1차 시제품에 대한 수정사항 및 성능 개선을 위한 사항에 대해 기술한다.

2) 마그네트 드라이브 통합 성능개선 사항

- 제어함의 크기가 매우 크므로, 이를 작게 제작할 필요가 있으며 구체적인 사이즈의 guide-line은 2차 시제의 사양 확정시에 같이 고려하도록 한다.
- 제어기가 장착된 제어함과, 별로로 제작된 초퍼를 합한 무게가 로템에서 제시한 무게를 상회하므로, 이를 줄여야 한다.
- 초퍼가 제어함에 들어가 있지 않고 별로로 제작된 Base에 장착이 되어 있으므로, 이를 제어함 안에 설치하여야 한다.

3) 제어기 성능개선 사항

가) 전체 제어기

제어기의 구성이 기구물에 각각의 보드가 장착되어 있는 형태를 가지고 있고, 각 보드별로 케이블이 연결되어 장/탈착이 매우 어려우며 유지보수가 쉽지 않은 구성을 하고 있으므로, 유지보수가 쉽게 이루어 질 수 있으며, 케이블을 줄일 수 있는 방안을 모색하여야 한다.

- 하나의 Back Plane에 모듈별로 체결하는 방식으로 구성하며, 각각의 케이블은 PCB 패턴으로 대체하여, 작업성을 올리고 유지보수를 쉽도록 한다. 또한 외부와 연결된 커넥터 등은 Back Plane에서 연결하여, 각각의 모듈을 탈부착 시에 케이블 배선을 빼거나 제거할 필요성이 없도록 구성한다.
- 부상시스템 MMI와 연결되는 통신은 MLIB보드에서 TCP/IP방식 혹은 RS485방식으로 수행하며 MLIB가 각 MLC와 RS232방식으로 통신하는 것을 기본으로 한다.
- 제어기에서 마그네트 드라이브의 각 방열판의 온도를 측정할 센서를 연결하여 전력소자의 과열 시 PWM 출력을 제한하는 등의 자체 고장검출 장치가 필요하다.
- 각 외부로 나가는 M/S 커넥터와 연결된 케이블에는 Common mode 필터(페라이트 원형 타입)를 부착하여, 외부에서 발생되는 노이즈에 대한 대책을 수립한다.
- Back Plane에 Dip Switch를 달아서 각 코너별로 ID를 부여 할 수 있도록 한다.

나) MLC (Magnetic Levitation Controller)

- 시험 운전 중에 필요한 여유 AD채널이 없으므로 최소 2채널이상의 AD채널을 증설한다.
- AD 컨버전의 Sampling 주파수가 고속이기는 하나 제어기의 제어주기와 Sync되지 않으므로 PWM주파수와 Sync시키는 방식이나 제어기의 CPU 제어주기와 연동하는 방식 중에서 택하여, AD 컨버터의 FPGA 설계를 변경할 필요가 있다.
- MLC의 상태를 표시하는 Indicator가 미비하므로, 시인성이 뛰어난

LED를 부착하거나, 7 segment 등을 부착하여 운용하는 사람이 현재 제어기의 상태를 쉽게 알 수 있도록 구성하여야 한다.

- U24의 PCB Library교체
- 고장 파형의 저장을 위한 대용량 Flash 메모리를 장착하고, 제어기가 저장된 파형을 통신으로 송신할 수 있어야 한다. (최소 16Mb이상)

다) MLIB (Maglev Interface Board)

- DC100V Digital I/O의 PCB 이격거리 조정한다. (환경시험 대비)
- 독립된 24V-5V DC/DC의 방열 구성 변경한다. (하부장착 -> 상부장착+방열판)
- RS232는 제거하고 Debug 용으로 RS485을 사용한다.

라) MLIO (Maglev I/O Board)

- Analog GND와 Digital GND는 Bead를 사용하지 않고 직결한다.
- Digital IO용 24VDC는 별도의 커넥터를 사용하지 않고 Piggy Back으로 연결된 96핀 커넥터에서 입력받는다.

마) PSM (Power Supply Unit)

- 별도로 구성된 100VDC입력 보드를 PSM에 구성하여, 완전히 독립적으로 전원을 만들어내는 전원장치를 설치할 필요성이 있다.
- 전원의 건전성을 표시하는 Indicator의 시인성이 떨어지므로, PCB상에 Silk 등의 방법으로 추가적인 조치를 취해줄 필요성이 있다.

4) 초퍼 성능개선 사항

- 초퍼의 H-Bridge용 IGBT모듈의 nominal current가 100A로서 정상적인 운전조건에는 부합하나 110km/h속도까지 출력을 내기 위해서는 160Anom(220Amax)의 IGBT모듈 (IXYS MDI/MID 145-12 A3급)이 사용되어야 하므로 변경이 요망된다.
- 초퍼 및 입력전압의 전압과 전류를 측정하기 위한 Hall Effect CT/PT의 모양이 설치에 적합하도록 변경되어야 하며, PCB형태에 Support를 통해서 고정된 현재의 방식에서 기구적인 Case에 PCB가 고정되도록 설계를 변경하여야 한다.

- 3DC Link전압 입력단에 In Rush 전류를 방어할 회로가 꾸며져 있지 않으며, 차량에 표준적인 전압입력 회로를 초퍼에 설치할 필요가 있으며 이는 Magnet Contact 및 저항으로 이루어진 전류제한 회로를 제어기에서 Sequential하게 제어하는 방식으로 이루어져야 한다.
- IGBT 드라이버 보드의 PCB 면적이 직접화 되어야 하며, IGBT로 가는 출력선의 케이블이 비교적 길어서 선로 사이에 노이즈에 의한 오동작이 우려됨으로 이를 줄일 수 있는 방안이 구상되어야 한다.
- 초퍼의 스너버 회로가 명확하게 설계되어 있지 않아서 유명무실한 RC회로가 장착되어 있으므로, DC-Link단에 대용량 Capacitor를 장착하여 유연하게 전력소비를 조절할 만한 회로를 구성해야 한다.
- LPD보드의 전원은 DCP 시리즈를 지양하고 별도로 Transformer를 감아서 제작한다. 또한 Inverter 회로를 각 보드별로 장착하여 독립적으로 운용될 수 있도록 한다.

(다) 마그네트 드라이브 2차 시제품

1) 구성

마그네트 드라이버는 각종센서의 아날로그 전 처리회로, DSP(Digital Signal Processor) 마이크로 제어 및 메모리 회로, IGBT구동회로, 전자석 전류출력회로 등을 포함한다. 특히, 제어기와 제어전원공급장치를 이중화로 구성하여 시스템의 안정성과 신뢰도를 향상하였다.

마그네트 드라이버는 크게 아래의 두 부분으로 나누어진다.

- 제어기 : 이중화된 마이크로컴퓨터 보드와 각 제어보드 별 전원회로, 사용자 모니터링 보드 및 통신 인터페이스 보드를 포함한다.
- 초퍼부 : IGBT를 구동하기 위한 드라이버 보드 및 전력 스위칭 모듈이 포함된다.

2) 제어기의 구성

마그네트 드라이브의 제어기는 2개의 마이크로컴퓨터 제어보드(MLC : Magnetic Levitation Controller)와 각각의 MLC카드에 Add-on되는 I/O Stack(MLIO : Magnetic Levitation I/O)과 이중화된 전원공급장치(PSM : Power Supply Module), 통신 및 Interface 카드(MLIB : Magnetic

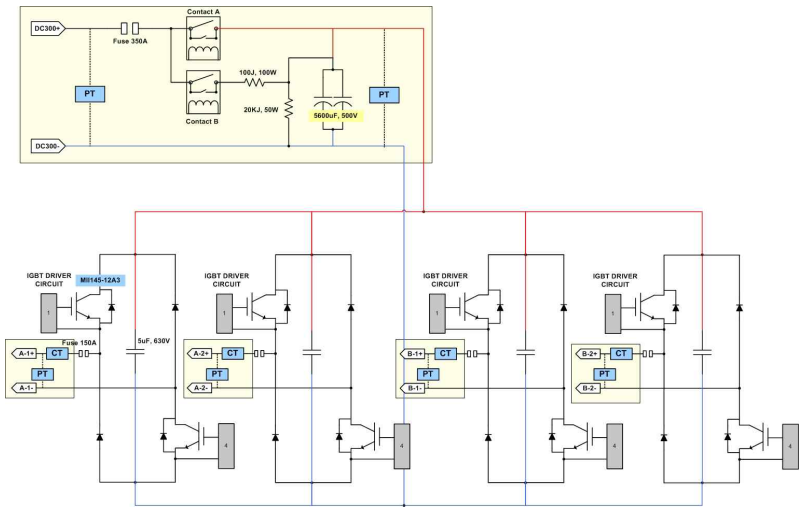
Levitation Interface Board)및 각 모듈이 삽입되는 Base Board인 MLBP(Magnetic Levitation Back Plane)으로 구성된다.

제어기 구성모듈은 다음과 같다.

- MLC ---------- 2 EA
- MLIB ---------- 1 EA
- PSM ---------- 2 EA
- MLIO ---------- 2 EA (optional)
- MLBP ---------- 1EA

3) 초퍼부의 구성

초퍼부는 아래와 같이 IGBT로 구성된 H-브릿지가 하나의 코일에 전압을 공급하게 되고, 이러한 독립된 H-브릿지가 4개가 구성되어, 2코너, 즉 한 대차 사이드를 담당한다. 초퍼는 크게 DC-Link 전압 입력부 및 스위칭부로 나뉘며, 각 초퍼의 Power stack(한 코너 분)은 자체적으로 고장을 판정하여 사용유무를 판단한다.




[그림 315 ]초퍼부 블록도

초퍼부의 구성모듈은 다음과 같다.

- LPD ---------- 4EA (코너당 2EA)
- IGBT MODULE -------- 8EA (1200V, 160A)
- 커패시터 충전회로 ----- 1식 (Magnet Contact, 전류제한 저항 등)

· 고용량 커패시터 ------ 2EA (5600uF, 500V)

· 변류/변압 모듈 ------- 2식 (Hall Effect PT/CT : 코너당)

4) 규격

가) MLC 규격

[표 79 ]MLC 규격]

| 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|
| 외관 | o 275mm x 215mm x 1.6mm<br>oPCB 1.6t, Glass-EPOXY(FR-4) | |
| CPU | o TMS320VC33-150(연산속도 150 MFLOPS)<br>oInternal boot-loader | |
| SRAM Memory | o Samsung K6R40161VIC (4 Mbit)<br>oFully static operation | |
| Flash Memory A | o AT49LV040 TTSOP (4 Mbit)<br>oData write time : 10,000 write per min<br>oMain code storage | |
| Flash Memory B | o AT49LV16 TTSOP(16 Mbit)<br>oEvent Data Logging | |
| EPROM | o AT49BV040 PLCC (4 Mbit)<br>oBoot code storage | |
| NVRAM | o 8 kbyte of user NVRAM(Non-volatile)<br>o10 years data retention | |
| Serial Port | o TL16c752 Dual port<br>o 64 byte FIFO<br>oBaud rate upto 115.2 kbps<br>oTwo RS232 port, One RS485 port | |
| D/A Converter | o Channel count 4 channel<br>o12 bit resolution<br>oSetting time 10 us / ch<br>oInput range -10 to +10V | |

나) MLIB 규격

[표 80 ]MLIB 규격

| 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|
| 외관 | o 330mm x 150mm x 1.6mm<br>oPCB 1.6t, Glass-EPOXY(FR-4) | |
| CPU | o TMS320VC33-150(연산속도 150 MFLOPS)<br>oInternal boot-loader | |
| SRAM Memory | o Samsung K6R40161VIC (1 Mbyte)<br>oFully static operation | |
| Flash Memory A | o AT49LV040 TTSOP (4 Mbit)<br>oData write time : 10,000 write per min<br>oMain code storage | |

| | | |
|---|---|---|
| Flash Memory B | o AT49BV040 PLCC (4 Mbit)<br>oBoot code storage | |

다) MLIO 규격

[표 81 ]MLIO 규격

| 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|
| 외관 | o 153mm x 134mm x 1.6mm<br>oPCB 1.6t, Glass-EPOXY(FR-4) | |
| FPGA | o ACTEL ProASIC_plus Serise<br>oGate count 75kgate | |
| Digital Output | o Channel count 16 channel<br>oOutput type 24VDC<br>oElectrical Isolation | |
| Digital Input | o Channel count 16 channel<br>oOutput type 24VDC<br>oElectrical Isolation | |
| D/A Converter | o Channel count 12 channel<br>o12 bit resolution<br>oSetting time 10 us / ch<br>oInput range -10 to +10V | |
| 환경 조건 | o 동작온도 0 - 55°C : 보관온도 -20 - 75°C<br>o 동작습도 0 - 95%RH(NO CONDENSATION) | |

라) PSM 규격

[표 82 ]PSM 규격

| 항목 | 규격 | 비고 |
|---|---|---|
| 외관 | o Nominal Rating : DC100V<br>o Input Guarantee : DC70 ~ 120V | |
| Input Voltage | o135mm x 200mm x 1.6mm<br>oPCB 1.6t, Glass-EPOXY(FR-4) | |
| 100VDC<br>To 24VDC | o VICOR VI-J00 DC-DC Converter<br>o 100W Output, 3000V Isolation<br>o VE-AIM Input Attenuator Module Apply | |
| 5VDC | o COSEL CBS5024-5<br>o 50W DC/DC Converter 1500V Isolation<br>oMax 100mVpp Ripple Voltage | |
| +15VDC | o COSEL CBS5024-15<br>o50W DC/DC Converter 1500V Isolation<br>oMax 300mVpp Ripple Voltage | |
| -15VDC | o COSEL CBS5024-15 (Reverse)<br>o50W DC/DC Converter 1500V Isolation<br>oMax 300mVpp Ripple Voltage | |

(라) 부상시스템 S/W 품질 확보(2,3차년도 수행)

1) 개요

- 소프트웨어 개발문서 작성
- 소프트웨어 확인 및 검증
- 이중화 부상제어기 및 초파 시제품 환경시험(교통시스템 기준): 3차년도 예정

2) 소프트웨어 개발 문서 작성

가) 자기부상제어기 소프트웨어 요구사항 명세서(SRS)

① 개요

부상제어기에 탑재될 소프트웨어를 작성할 때 개발자 임의로 작성하게 되면, 소프트웨어의 신뢰성이 떨어지고 소프트웨어의 유지, 보수에 문제가 생긴다.

소프트웨어를 개발하기 이전에 소프트웨어 요구사항 명세서를 작성하여 소프트웨어가 달성하여야 할 스펙을 정의한다. IEEE Standard-830, 1998에 준하여 작성 된다.

나) 자기부상제어기 소프트웨어 설계 설명서(SDD)

① 개요

소프트웨어 요구사항 명세서 상에 명시된 소프트웨어 설계 요건들을 반영하여 설계하는 구체적인 방법을 설명한다.

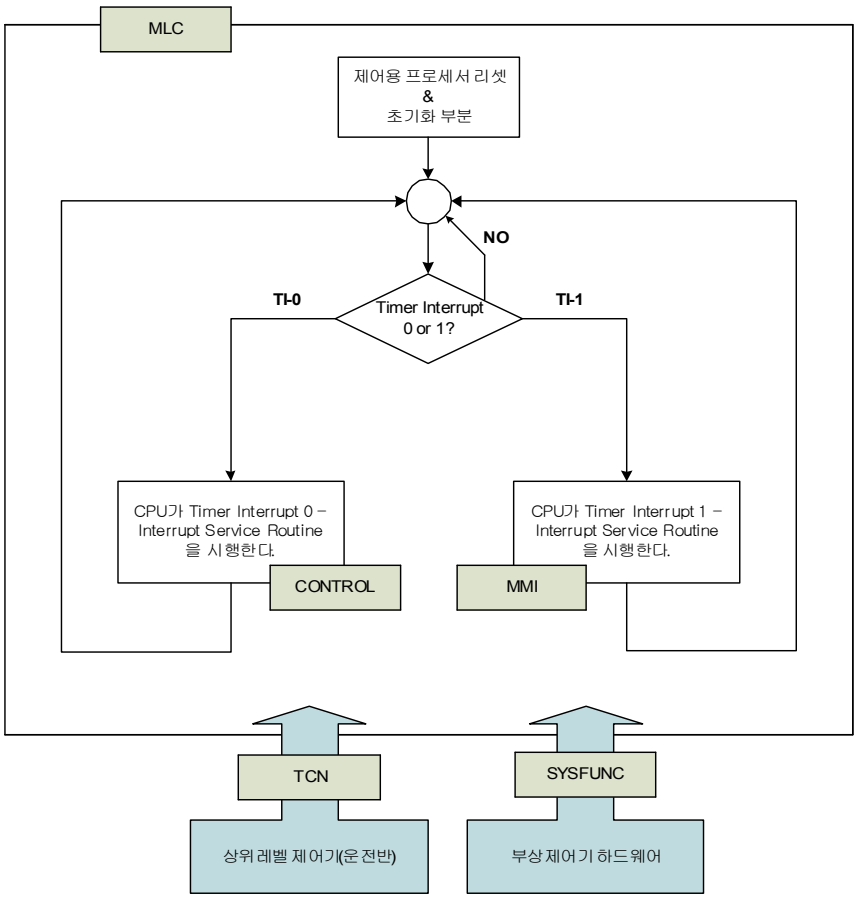
② 프로그램 구성

아래 그림은 전체 프로그램의 구성을 보여준다. 각 모듈 별 역할은 다음과 같다.

- MLC.c: main 함수가 있으며 제어용 프로세서를 리셋하고 초기화 하는 부분과 timer interrupt를 발생
- CONTROL.c: gap 센서 값과 가속도 센서 값으로부터 상태(state)를 추정하고 추정된 상태 값으로 state feedback으로 투입 전압 값을 계산하고 PWM 신호를 발생하는 주제어 프로그램을 구현한다.
- MMI.c: gain 조절 및 debugging 용으로 사용하는 MMI를 위한 인

터페이스를 구현한다.

- TCN.c: 상위레벨 제어기인 운전반의 작업 지시를 및 부상제어기 상태를 전송하기 위한 통신 모듈을 구현한다.
- SYSFUNC.c: 메모리 및 I/O를 handling하는 부분을 구현한다.




[그림 316 ]전체 프로그램 구성도

(마) 부상제어기 신뢰성 평가

1) 개요

항공 우주분야 등과 같은 Mission-critical 시스템에서 제어기가 갖추어야 할 가장 중요한 요소 중의 하나가 제어시스템의 신뢰성이다. 자기부상열차와 같은 Mission-critical 시스템은 Safety-critical 시스템으로 분류될 수 있으며 따라서 관련제어시스템에 대해서는 일반적으로 필수적으로 Safety를 포함하는 RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety)에 대한 요구 기준에 대한 만족 여부가 실용화에 중요한 평가요소가 된다.

그런데 자기부상열차의 운행제어 및 차량통제 시스템 등은 고장 등으로 인한 큰 인명사고(예: 충돌사고)의 발생과 직결되어 있으므로

Safety-critical 제어시스템으로 분류될 수 있으나 부상제어시스템의 경우 부상제어기 고장이 인명피해와는 직결되지 않고 오히려 운행에 지장을 초래하는 등의 문제점을 유발하므로 Non-safety 시스템으로 분류할 수 있으며 따라서 장시간 제어 성능을 유지할 수 있는 신뢰성이 중요한 요소가 되므로 여기에서는 부상제어기의 하드웨어 신뢰성 평가를 통해 전체 시스템 관점에서 자기부상시스템에 요구하는 신뢰성 수준을 만족할 수 있도록 시스템을 구현하기 위한 일련의 평가 작업들에 대해 기술한다.

2) 부상제어기 신뢰도 예측

신뢰도를 다음 표와 같이 정리할 수 있다.

| 분류 | 모듈명 | 고장율(@25℃) |
|---|---|---|
| MLC | Magnetic Levitation Controller | $5.61*10^{-6}$/시간 |
| MLIO | Magnetic Levitation I/O | $2.48*10^{-6}$/시간 |
| PSM | Power Supply Module | $0.43*10^{-6}$/시간 |
| MLIB | Magnetic Levitation Interface Board | $1.74*10^{-6}$/시간 |

로 고신뢰 필수 산업 요구기준에 적정한 값으로 평가됨

3) 결론

자기부상 제어기를 구성하는 각 모듈별 부품의 고장률 및 모듈의 온도에 따른 고장률 변화에 대한 정량적인 평가를 실시하였다. 이것은 설계단계에서의 부상제어기 하드웨어의 모듈별 신뢰성 예비 평가이며 앞으로 부상제어기가 만족하여야 할 신뢰성 목표 값이 요건으로 주어지면 만족 여부를 검토할 예정이며 요건 불만족 시에는 신뢰성에 지배적인 영향을 주는 소자(즉, 고장률이 현저히 높은 소자)를 신뢰성이 높은 소자로 대체하여 부상제어기의 신뢰성을 향상시켜 최종 신뢰성 요건을 충족할 계획이다.

또한 자기부상열차 시스템 차원에서의 유지보수 관련 요건 및 가용성 요건을 바탕으로 상기 결과와 종합하여 가용성의 정량적 도출 및 요건 만족 여부를 평가할 예정이다.

(3) 검증용 환경구축

(가) Single Magnet 시험장치 설계/제작/시험 결과서

1) 개요

개발된 MD를 테스트하고 부상제어 프로그램의 동작 및 부상제어 알고리즘을 개발하기 위한 용도로 single magnet 부상 장치를 제작한다.

2) 장치 세부 사양

아래 그림은 제작된 시험장치 전경으로 장치는 전원장치, 마그네트, 마그네트 지그, 마그네트 드라이브, 갭센서, 가속도 센서로 이루어져 있다.

[그림 317 ]single 마그네트 시험 장치 전경

마그네트 사양은 다음 표와 같다.

[표 83 ]자기부상 마그네트사양

| 항목 | 수치 | 비고 |
|---|---|---|
| 최대 부상력 [N] | 12,000 | |
| 정격전압 [V] | 380 | |
| 정격전류 [A] | 20 | |
| 총 중량 [kg] | 385 | |

장치 상세 사양은 다음가 같다.

○ 갭 가변 : 0-10mm(Gap_L, Gap_R의 상이치 0.5mm 이하)

○ 부하 중량 : 800kg±10kg(탈 부착 가능한 구조)

○ 갭 측정 센서

- 종류 : 비접촉 변위 센서
- 측정범위 : 0 - 20 mm
- 분해능 : 10 ㎛
- 출력: 0-10V
- 응답 주파수 : 0- 10 Hz

○ 힘 측정 센서

- 종류 : 로드셀
- 측정범위 : 0 - 2,000kgf
- 분해능 : 5 kg
- 응답 주파수 : 0 - 1kHz

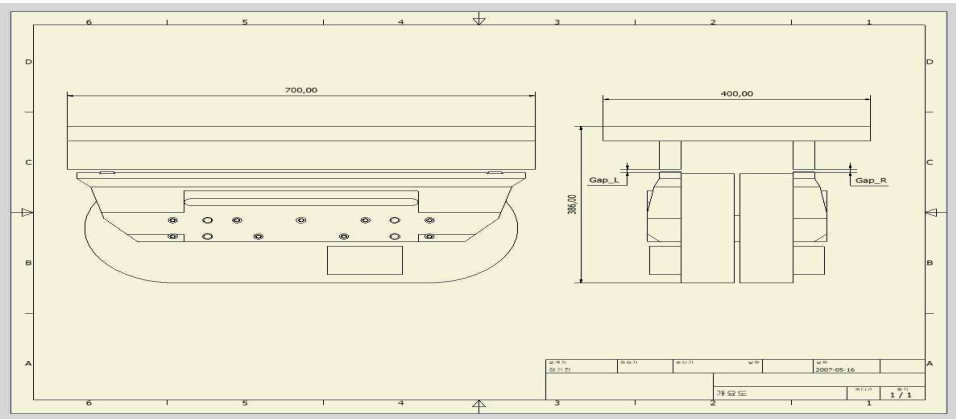
○ 마그네트 스윙 폭 : 0.5mm 이내

○ 정특성 측정 시 마그네트 고정 후 부상력 1,200 kgf 일 때 갭 변화 없음.

○ 정특성 시험 시 갭 조정을 수동으로 가능

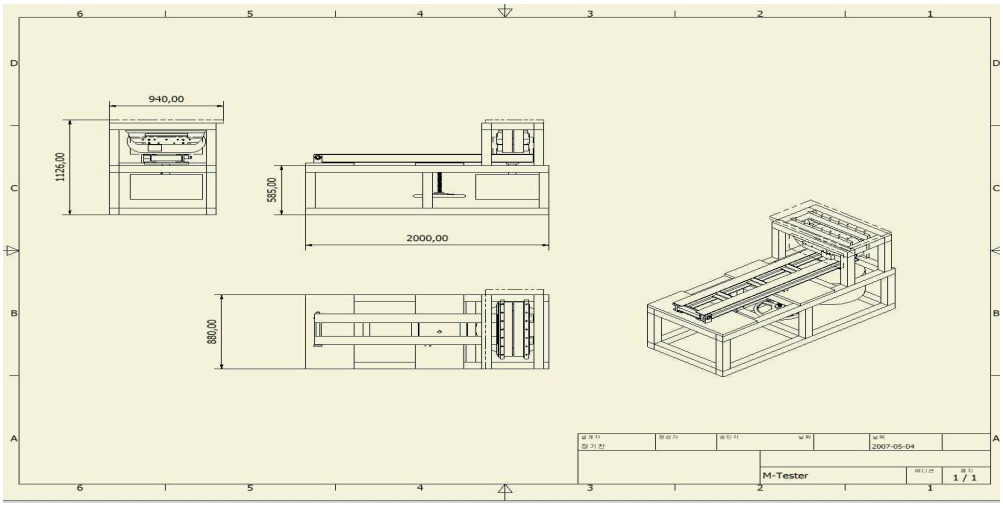
○ 동특성 시험 시 장치의 진동이 0.2mm 이내

다음 그림 는 전자석을 포함하고 있는 외관 도면이다.




[그림 318 ]전자석 외관 도면

다음은 장치의 기본 설계 도면이다.




[그림 319 ]장치의 기본 설계 도면

(나) 자기부상 제어기 용 MMI 설계 제작

1) 개요

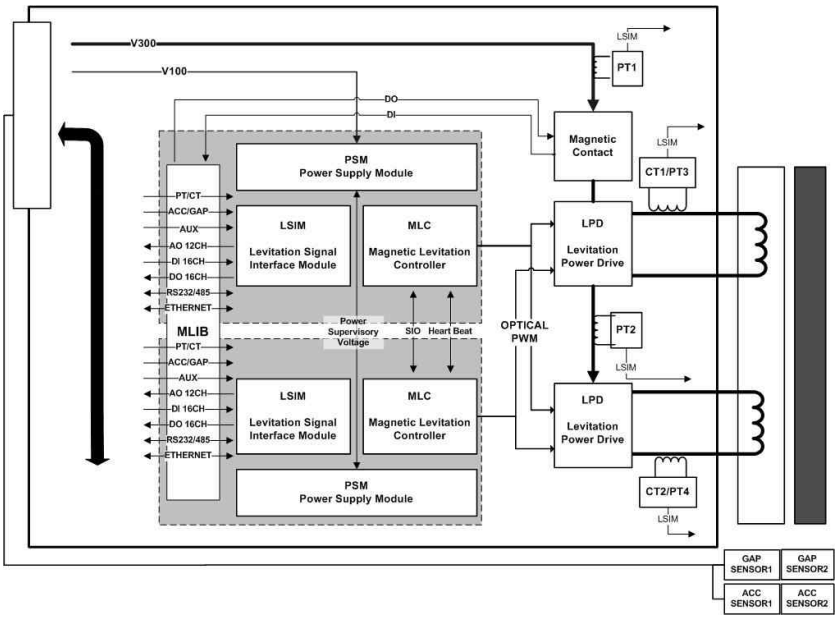
DMLC는 가속도센서 및 갭 센서 등으로부터 신호를 받아 부상용 전자석에 필요한 전류를 공급함으로써 자기부상열차의 부상을 제어하는 장치이다.

이중화 자기부상 제어기 MMI시스템용 소프트웨어는 제어기의 운전 파라메터 및 운전상태의 표시기능과 연속적인 상태관측기를 포함하며, 운전시 코일의 전압/전류/제어신호의 감시기능을 수행한다. 또한 통신점검 기능이 첨가되어 안정성을 더하였다.

2) MMI 설계/제작

가) DMLC의 구성

DMLC는 아래 그림과 같이 2개의 MLC(Magnetic Levitation Controller)와 LSIM(Levitation Signal Interface Module), MLIB(Magnetic Levitation Inter-connection Board), LPD(Levitation Power Drive) 및 PSM(Power Supply Module)로 구성한다.




[그림 320 ]이중화자기부상 제어기 개략도

DMLC감시 소프트웨어는 다음의 기능을 구성한다.

- ○ 통신(RS232C)포트의 설정
- ○ DMLC운전 파라메터 Up-Load및 Down-Load
- ○ DMLC운전 상태 표시
- ○ 운전 상태관측기
- ○ 코일 전압/전류/제어신호 감시기
- ○ Self-Diagnostic 통신점검

나) DMLC감시 소프트웨어의 메인화면

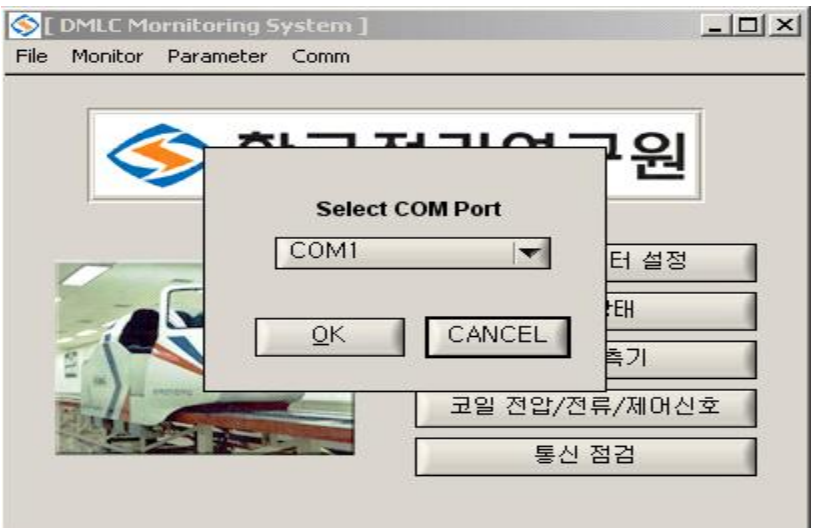
DMLC 감시소프트웨어의 메인화면은 그림 3.2.2와 같이 크게, 기능을 선택할 수 있도록 한 메뉴와 간단하게 원하는 기능을 바로 수행할 수 있도록 하는 커맨드 버튼으로 구성되어 있다. 메뉴는 총 4가지이며, 시스템메뉴와 모니터링 메뉴, 파라메터 설정 메뉴와 통신용 메뉴로 나뉘어져 있다. 그리고 우측에는 각각의 메뉴에 있는 기능을 바로 사용할 수 있도록 한 퀵커맨드 버튼이 있다. 각 버튼을 누르면, 사용자는 바로 기능을 사용할 수 있도록 하였다.

[그림 321 ]MMI 메인 화면

이때, File메뉴의 Quit메뉴를 선택하면 프로그램을 종료한다.

다) DMLC 감시 소프트웨어의 통신설정 화면

DMLC 감시 소프트웨어의 통신설정 화면은 그림 3.2.3과 같다. 사용자 PC에 할당된 시리얼포트를 설정하여 OK라고 적힌 커맨드 버튼을 클릭하면 자동으로 통신이 설정되게 된다. 만약, 설정을 원치 않는다면 CANCEL 버튼을 클릭한다.




[그림 322 ]DMLC 감시 소프트웨어의 통신설정 화면

만약 CANCEL버튼을 클릭하면 메인 화면으로 빠져 나오게 된다.

라) DMLC감시 소프트웨어의 운전 파라메터 설정 화면

DMLC 감시 소프트웨어의 파라메터 설정은 아래 그림 3.2.4와 같이 이중화 제어기의 A / B제어기 각각 설정할 수 있도록 구성되어 있으며, 각 제어기의 파라메터들은 사용자가 설정할 수도 있으며, 설정되어 있는 파라메터를 다운로드 받을 수 있도록 구성되었다. 하단의 UpLoad/DownLoad버튼을 클릭하면 상기한 기능을 수행한다.

또한, 좌측 하단에 현재 제어기와 소프트웨어가 설치된 PC간의 통신상태를 표시해 주는 Indicator가 있다. 우측하단의 버튼을 클릭하면 메인화면으로 이동하게 된다.

[그림 323 ]DMLC감시 소프트웨어의 운전 파라메터 설정 화면

각각의 파라메터는 제어기 고유의 수치를 Default값으로 가지고 있으며, 화면을 로딩하면서 자동으로 제어기로부터 파라메터 값을 읽어서 사용자에게 알려주게 된다.

마) DMLC감시 소프트웨어의 운전 상태 모니터링 화면

DMLC 감시 소프트웨어의 운전상태 표시는 아래의 그림 3.2.5과 같이 이중화된 제어기를 각각 표시하도록 구성되어 있으며, 크게 부상공극과 전자석 전류를 동시에 표시하도록 구성된다. 이때의 표시는 바 그래프형태와 함께, 수치를 표시하도록 되어 있다.

그리고 각각의 제어기에 할당된 ON/OFF 스위치가 있어서 사용자가 원하는 제어기의 동작을 제어하도록 구성되었다.

또한, 좌측 하단에 현재 제어기와 소프트웨어가 설치된 PC간의 통신상태를 표시해 주는 Indicator가 있다. 우측하단의 버튼을 클릭하면 메인화면으로 이동하게 된다.

[그림 324 ]DMLC감시 소프트웨어의 운전 상태 모니터링 화면

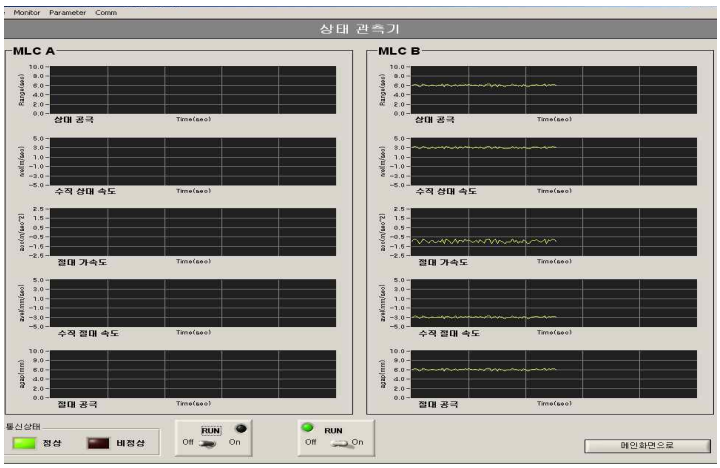
프로그램상에서 사용자가 RUN버튼을 ON상태로 두지 않으면 프로그램은 대기상태에 있으며, 사용자가 명령을 내리면, 내부적인 구성으로부터 표시요소를 읽어 들여 표시를 하게 된다.

바) DMLC감시 소프트웨어의 상태관측기 화면

DMLC 감시 소프트웨어의 상태관측기 화면은 아래 그림 3.2.6과 같이 이중화 제어기 각각의 상태를 표시하도록 구성되어 있으며, 관측 요소는 상대공극, 수직상대 속도, 절대 가속도, 수직 절대 속도, 절대 공극으로 구성되며 실시간으로 제어기로부터 요소들을 읽어와서 사용자에게 표시해 주게 된다. 또한, 하단의 RUN스위치를 사용자가 조작함으로써 제어기로부터의 통신을 제어하게 된다.

또한, 좌측 하단에 현재 제어기와 소프트웨어가 설치된 PC간의 통신상태

를 표시해 주는 Indicator가 있다. 우측하단의 버튼을 클릭하면 메인화면으로 이동하게 된다.



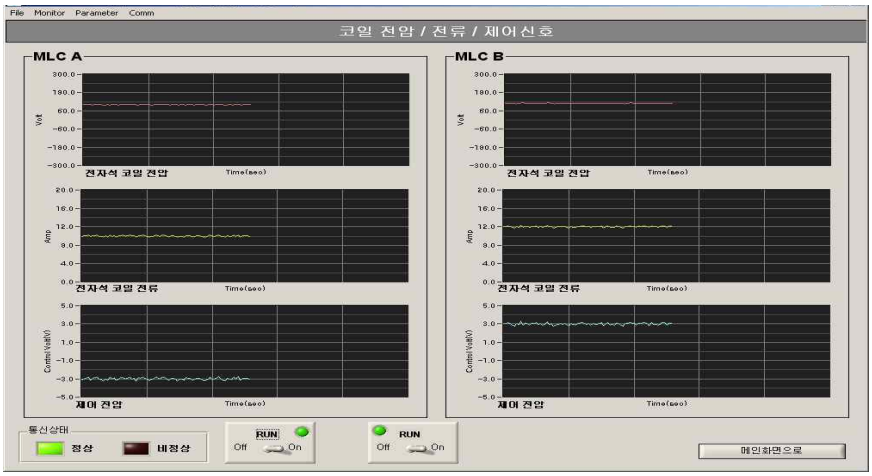

[그림 325 ]DMLC감시 소프트웨어의 상태관측기 화면

프로그램상에서 사용자가 RUN버튼을 ON상태로 두지 않으면 프로그램은 대기상태에 있으며, 사용자가 명령을 내리면, 내부적인 구성으로부터 표시요소를 읽어 들여 표시를 하게 된다.

사) DMLC감시 소프트웨어의 코일전압 / 전류 / 제어신호 화면

DMLC 감시 소프트웨어의 코일전압 / 전류 / 제어신호 화면은 아래 그림과 같이 각각의 제어기를 구별하여 볼 수 있도록 되어있으며, 실시간으로 각 제어기내의 감시요소를 측정하여 사용자에게 알려주게 된다. 감시요소는 코일의 전압과 코일전류, 그리고 제어전압으로 구성되며, 특히 아래의 RUN버튼으로 감시를 제어할 수 있도록 하였다.

또한, 좌측 하단에 현재 제어기와 소프트웨어가 설치된 PC간의 통신상태를 표시해 주는 Indicator가 있다. 우측하단의 버튼을 클릭하면 메인화면으로 이동하게 된다.

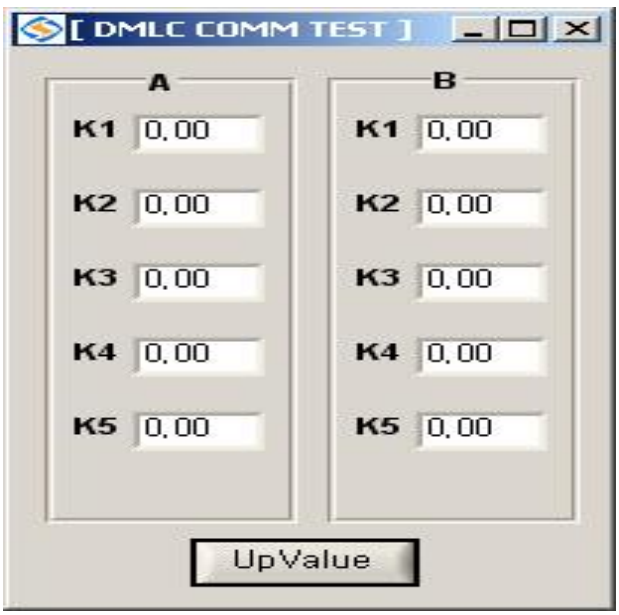



[그림 326 ]DMLC감시 소프트웨어의 코일전압 / 전류 / 제어신호 화면

프로그램상에서 사용자가 RUN버튼을 ON상태로 두지 않으면 프로그램은 대기상태에 있으며, 사용자가 명령을 내리면, 내부적인 구성으로부터 표시요소를 읽어 들여 표시를 하게 된다.

아) DMLC감시 소프트웨어의 시리얼 통신 시험화면

DMLC 감시 소프트웨어의 시리얼 통신 시험화면은 아래그림과 같이 각각의 제어기를 따로 시험할 수 있도록 구성되어 있으며, 아래의 UpValue 버튼을 클릭하여 시험 동작을 수행하도록 구성되어 있다.




[그림 327 ]DMLC감시 소프트웨어의 시리얼
통신 시험화면

(다) 대차 단위 부상/추진 시험용 DSA 시스템 구축

1) DAS 요구 조건

가) 입력신호조건

○ 입력신호 종류: gap sensor 신호 * 2, 가속도 신호 * 1, state 신호 * 5, 전자석 전압 * 1, 전자석 전류 * 1, guidance sensor관련*3 / 한 코너

○ 입력신호 개수: (13개 + spare 3) * 12 코너 + 차량 속도 + DC-DC 전압 = 약 200 개

○ 입력 신호 범위: ± 10V, 0~10V 전압

나) Sampling 조건

○ 채널 당 1 khz 이상

○ Precision: 12 bit 이상

다) 확장성 조건

○ 향후 전체 차량의 DAS 시스템과의 호환성 유지를 위해 200개 * 6 수준으로 확장성 유지

○ 각 모듈의 측정시간을 동기화시키기 위한 Hardware 트리거 단자가 내장되어 있어야 함

라) 운영 소프트웨어

○ 모니터링 소프트웨어 : 240채널 실시간 모니터, 추가 50채널 실시간 연산 모니터링

○ 모니터 항목: 디지털표시/아날로그 trend/ I/O port 제어, 실시간 연산 값 표시를 위한 그래픽작업

○ 데이터 보관 소프트웨어: 저장된 데이터를 데이터베이스화

○ Raw Data 변환 : Excel , Matlab , Famos형식으로 변환

○ 데이터 분석 소프트웨어: 저장된 데이터에 대한 FFT/ Rainflow Counting,통계 연산 등의 작업을 수행

마) 기타 하드웨어 조건

○ 모니터링 PC 및 캐비닛 , 케이블 등은 규격서가 첨부되어야 하는 정품을 사용할 것이며 PC인 경우 산업용 표준으로 진동, 환경시험을 거

친 장치를 사용하여야 한다.

○ 일정 수준의 내구성 조건을 만족

○ 모든 채널은 Differential 입력

○ 정확도: 0.05% +10uV이상

○ Self calibration 기능 내장

○ CMRR Filter: 1kHz 100dB /channel

○ 입력 코넥터 방식 : Banana 플러그 또는 스크류 터미널

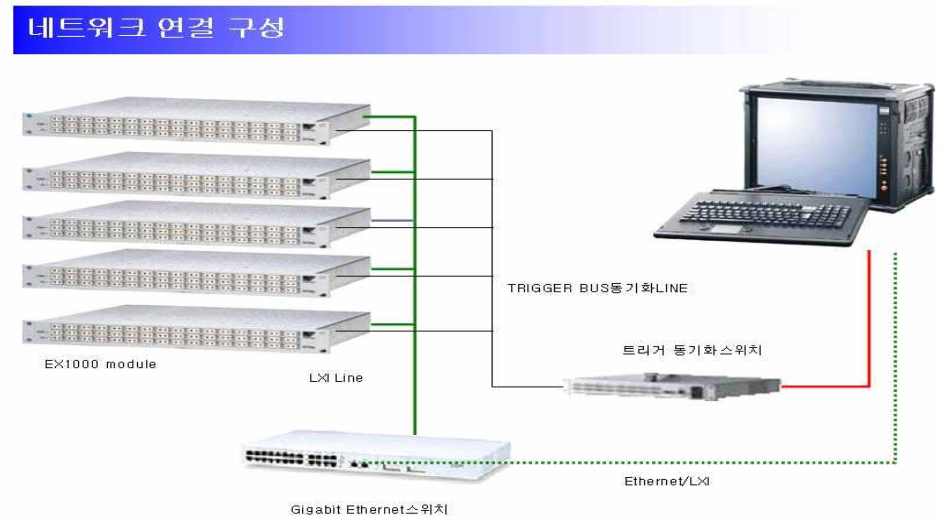
○ 사용전원 : DC12V 또는 AC220V사용

○ Digital I/O port 내장

○ 1000mm rack에 장착 가능한 size

2) DAS 시스템 구성

아래 그림은 DAS 시스템의 구성을 보여주고 있다.




[그림 328 ]DAS 시스템 구성

3) DAS 시스템 구축

아래 그림은 실제로 구축된 DAS 시스템 전체 모습을 보여 준다.

전면 옆면

[그림 329 ]제작된 DAS 실물 사진

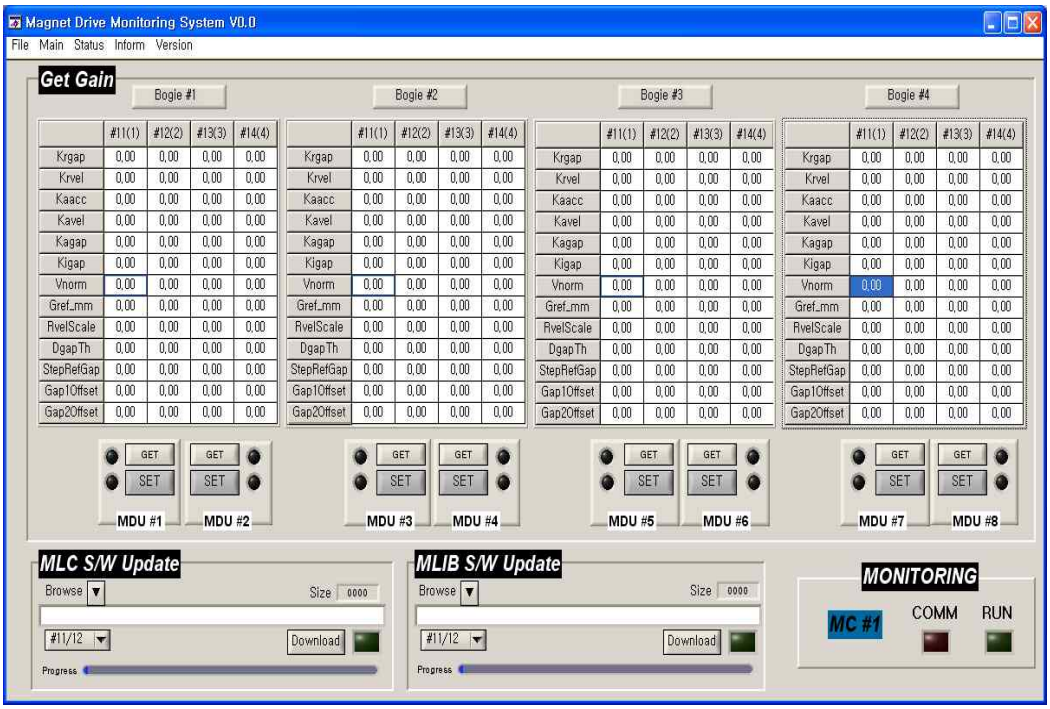
(라) 대차단위 시험용 환경 구축

1) 대차단위 부상/추진 시험용 MMI 시스템 구축

시험에 사용될 MMI와 MD는 TCP/IP 통신 방식으로 통신이 되며 MMI의 주요 기능은 다음과 같다.

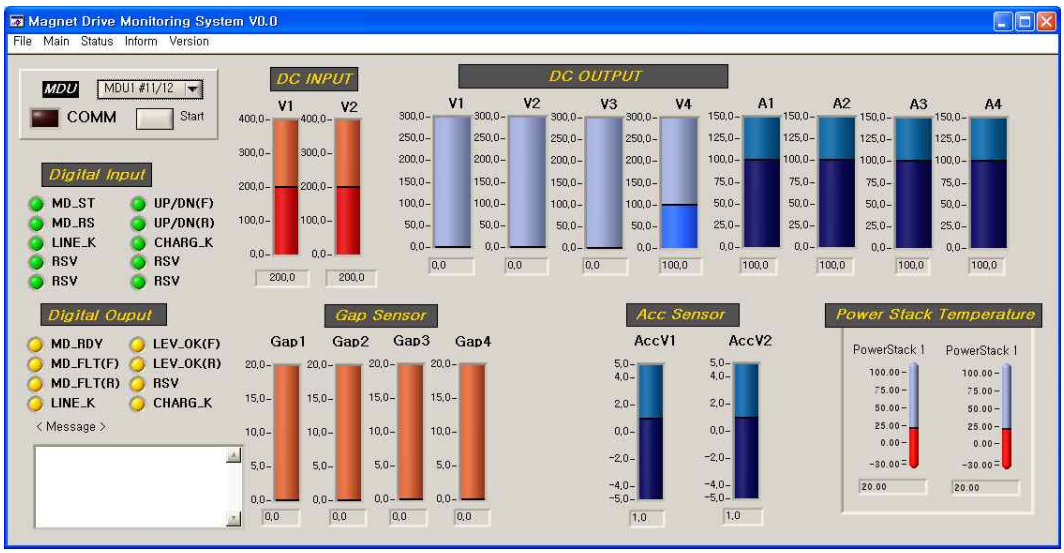
○ 부상제어 프로그램 download
○ 부상제어 gain upload/download
○ sensor offset 조정
○ MD 상태 모니터링
○ 대차단위 상태 모니터링
○ analog sensor 모니터링
○ Digital 상태 통합 모니터링

아래 그림은 MMI main 화면으로 부상제어 프로그램 및 통신용 프로그램을 download 할 수 있고 부상제어 gain을 upload/download 할 수 있다. MD의 상태를 확인하기 위해서는 상태 메뉴바의 status 메뉴를 클릭한다.



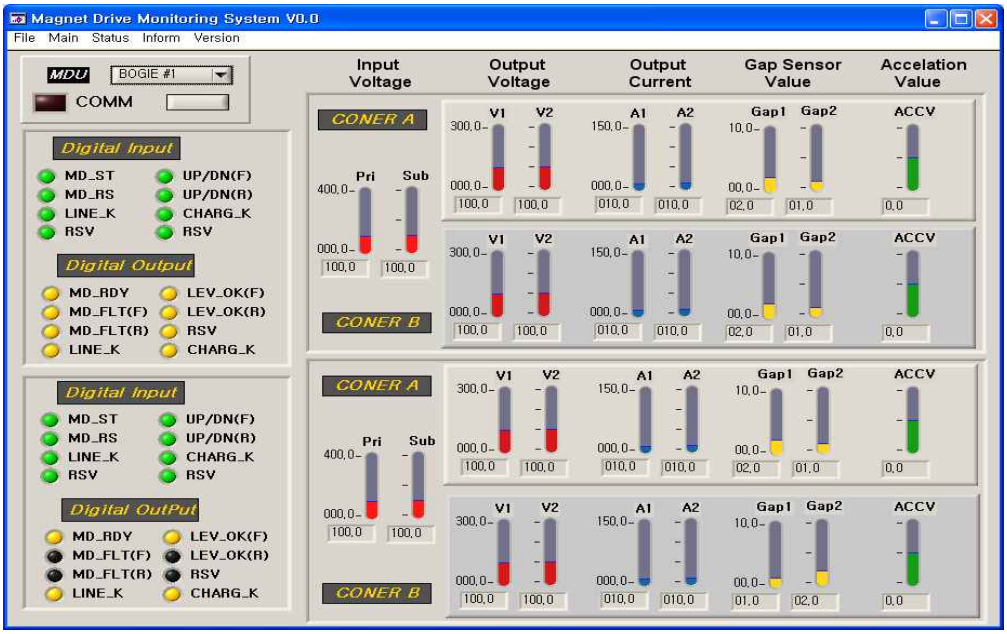

[그림 330 ]MMI main 화면

아래 그림은 MD 상태를 모니터링 하기 위한 화면으로 DI/DO과 analog sensor 상태를 모니터링 할 수 있으며 MD 별로 구성되어 있다.



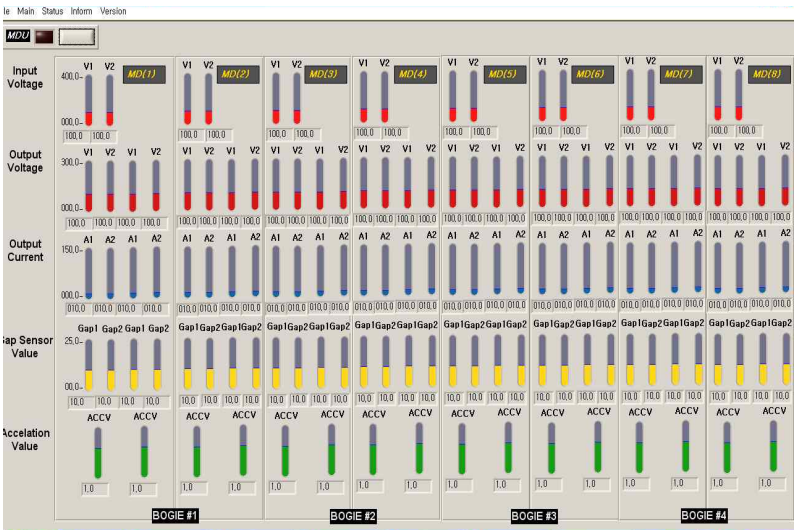

[그림 331 ]MD 상태 모니터링 화면

다음은 대차 단위로 DI/DO과 analog sensor 상태를 모니터링 할 수있고 통합한 화면이다.



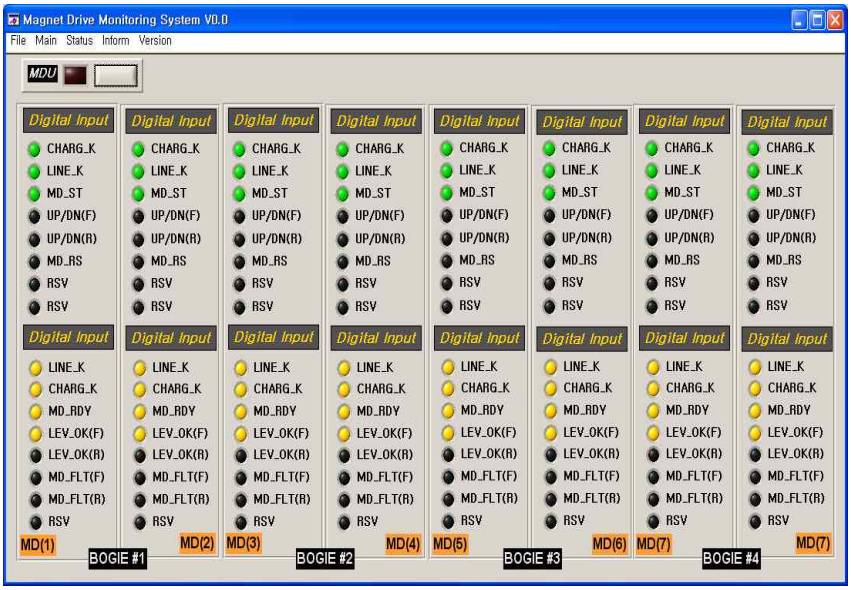

[그림 332 ]대차상태 모니터링 화면

다음은 analog sensor 값을 통합적으로 모니터링 하기 위한 화면이다.




[그림 333 ]analog sensor 모니터링

다음은 DI/DO을 통합적으로 모니터링 하기 위한 화면이다.




[그림 334 ]digital 상태 모니터링

2) 대차단위 부상/추진 시험용 DAS 시스템 구축

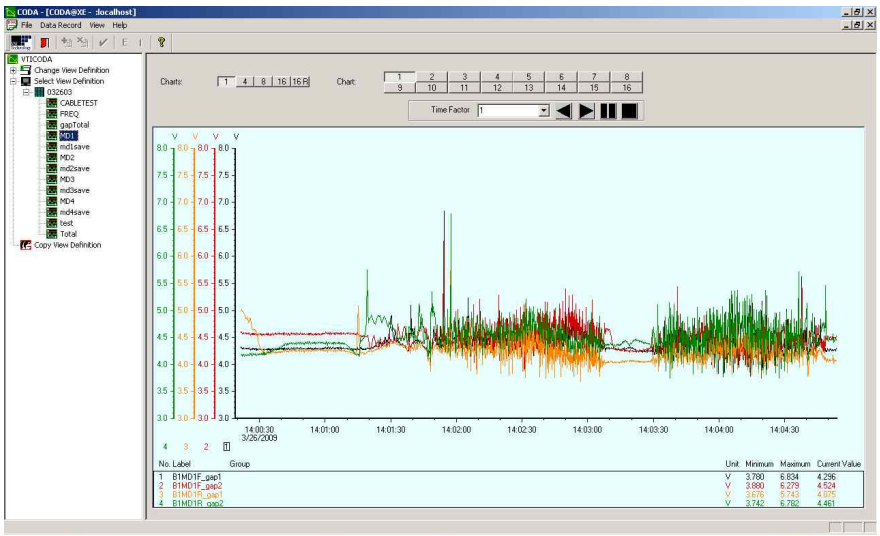
개발 과정에서 가장 중요한 환경 중 하나가 DAS이며 2차년도에는 기본적 기능 및 시스템이 구축 되었고 3차년도에는 대차 시험을 위한 환경을 구축하였다. 아래 그림은 구축된 DAS의 전면부 사진으로 모두 6개의 모듈이 있고 한 모듈당 48 채널의 analog 입력을 받을 수 있다. 6개의 모듈은 time이 동기화 되어 있다. 비상전원을 구비하고 있다.

[그림 335 ]DAS 전면부

MD 하나에서 DAS로 전달하는 analog 신호는 다음과 같다.

○ gap1(F), gap2(F), gap1(R), gap2(R), acc(F), acc(R) 등의 센서 신호
○ c(F), cd(F), z(F), zd(F), z2d(F) 등의 front 코너 제어 상태 신호
○ c(R), cd(R), z(R), zd(R), z2d(R) 등의 rear 코너 제어 상태 신호
○ v(F), v(R) 등의 MD가 계사하는 제어 입력
○ master/slave 상태
○ DC-DC 전압 레벨
○ 주파수 응답을 위한 외부 외란 신호(F 두 채널, R 두 채널)
○ 센서 loop back 신호(gap 센서 4 채널, 가속도 2채널, DC-DC 전압, 코일 입력 4채널)

DAS 프로그램은 상용 프로그램인 coda를 이용하며 user의 의도에 따라 화면 디자인이 가능하다.




[그림 336 ]DAS 화면

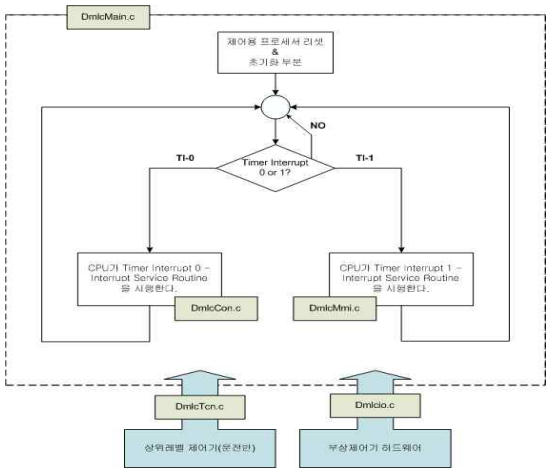
위 그림은 DAS 화면 구성을 나타낸 것으로, 화면 왼쪽은 탭은 MD 개별 상태를 모니터하거나 data로 export하거나 MD 모두를 통합하여 모니터링 할 수 있게 분류하였으며 화면 오른쪽은 선택된 MD에 대해 의미있는 데이터로 그룹화하여 모니티링할 수 있게 구성하였다.

(마) 대차단위 부상제어 프로그램 작성

아래 그림은 부상제어 프로그램 구성도를 나타내었다. 부상 프로그램은

DmlcMain.c, Dmlccon.c, Dmlcio.c, Dmlcmmi.c, DmlcTcn.c로 구성되어 있으며 DmlcTcn.c는 구현 예정에 있다. 각 프로그램의 기능은 다음과 같다.

○ DmlcMain.c: main 함수가 있으며 제어용 프로세서를 리셋하고 초기화 하는 부분과 timer interrupt를 발생
○ DmlcCon.c: gap 센서 값과 가속도 센서 값으로부터 상태(state)를 추정하고 추정된 상태 값으로 state feedback으로 투입 전압 값을 계산하고 PWM 신호를 발생하는 주제어 프로그램이 구현됨.
○ DmlcMmi.c: gain 조절 및 debugging 용으로 사용하는 MMI를 위한 인터페이스가 구현됨
○ DmlcTcn.c: 상위레벨 제어기인 운전반의 작업 지시를 및 부상제어기 상태를 전송하기 위한 통신 모듈이 구현됨.
○ Dmlcio.c: 메모리 및 I/O를 handling하는 부분이 구현됨.



[그림 337 ]부상제어 프로그램 구성도

(4) 검증 결과

(가) Single Magnet에서의 부상 시험을 통한 부상시스템 성능 검증

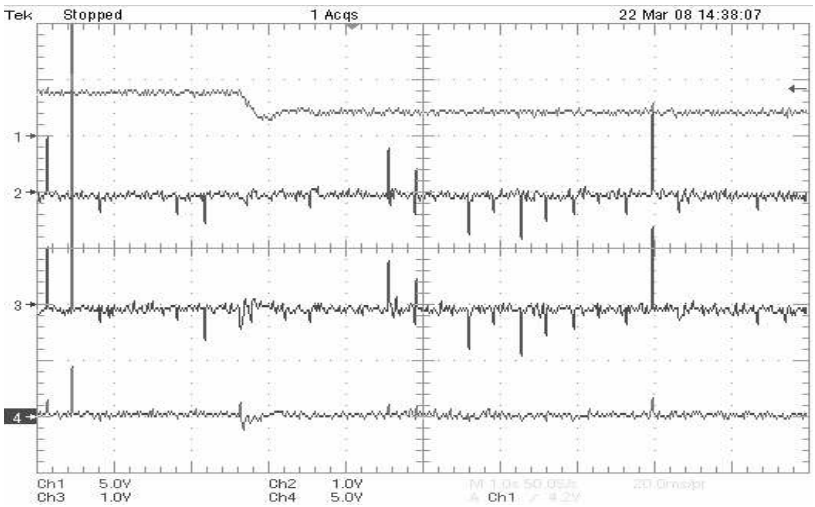
1) 개요

실용화 차량에 사용될 마그네트 드라이버의 기능, 성능 확인을 위하여 1차 연도에 제작한 single magnet 시험 장치에서의 부상시험을 실시한다. 본 시험을 통하여 마그네트 드라이버 1차시제품의 H/W 개선사항 도출, 부상제어 알고리즘을 포함한 부상제어용 S/W 개발 및 MMI 시스템 개발과 같은 개발환경 구축 등의 작업이 이루어지게 된다.

2) Single magnet 부상시험

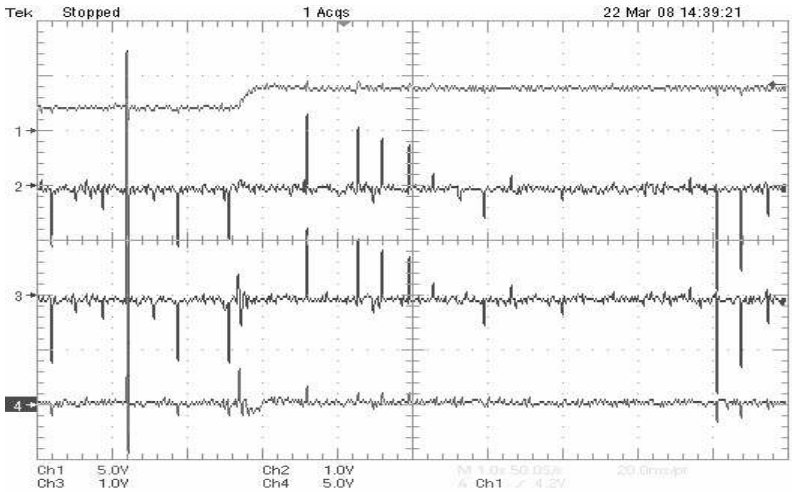
마그네트 드라이버 H/W의 기능 확인과 부상제어용 S/W 작성 및 MMI 시스템 구축을 완료한 후 single magnet에서의 부상제어 시험을 실시한다. 부상제어 특성 시험은 time domain과 주파수 domain에서 실시하였으며 time domain에서의 시험은 부상제어기의 공극 지령으로 계단파(Step Command)를 입력하였을 때 마그네트의 응답 특성을 관찰하여 비교적 양호한 응답 특성을 나타내는 제어 파라메터를 추출하기 위한 시험이며, 주파수 domain에서의 시험은 time domain에서 얻어진 제어 파라메터를 사용하여 그때의 부상시스템이 외란 주파수에 어떻게 반응하는지를 확인하는 시험으로 그 결과는 아래와 같다.

○ Step응답 특성 시험(Step입력;16mm→8mm)



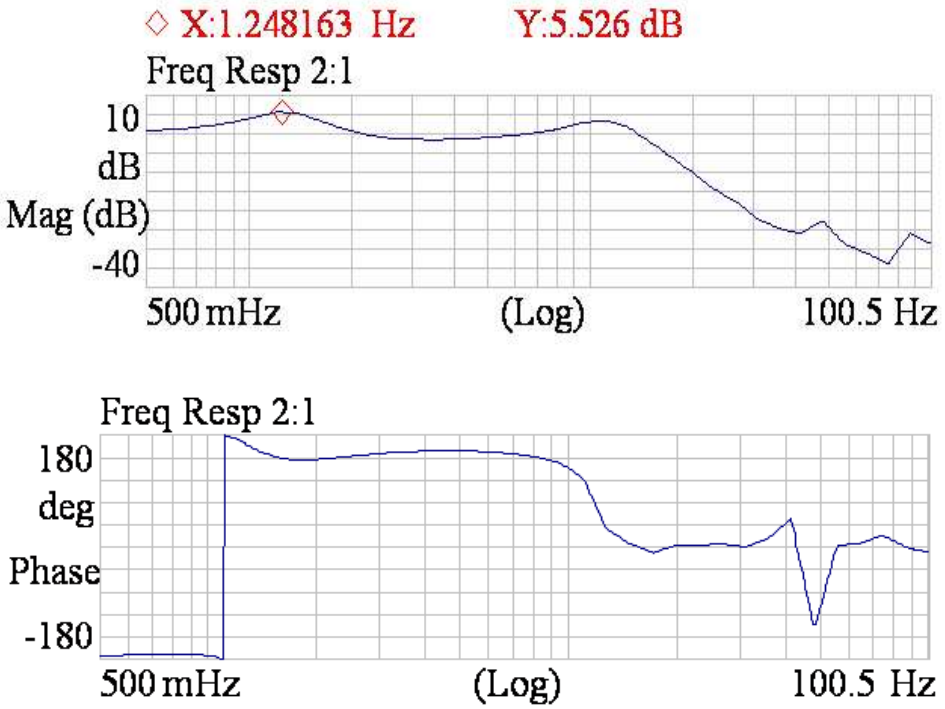

[그림 338 ]Step 응답(16mm→8mm)

○ Step응답 특성 시험(Step입력;8mm→16mm)




[그림 339 ]Step 응답(8mm→16mm)

○ 주파수 응답 특성 시험(Control Bandwidth: 13Hz)




[그림 340 ]주파수 응답 결과

3) 결과

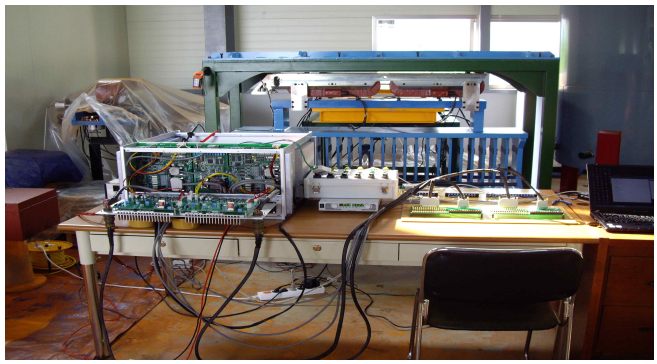
○ time domain 시험 파형에서 Step down(16mm→8mm) Command를 입력하였을 때 마그네트의 응답 특성은 20%정도의 overshoot와 0.6초 가량의 settling time을 가지고 있으나 Step up(8mm→16mm) Command 입력의 경우에는 3% 이내의 overshoot와 0.4초 이내의 settling time을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이 시험을 통하여 알 수 있듯이 부상시스템은 매우 큰 비선형 특성을 나타내고 있으며, 따라서 제어 파라메터는 레일을 포함한 전체시스템의 안정도를 고려하여 설정되어야 한다.

○ 주파수 domain 시험 파형에서 외란 입력 주파수를 100Hz까지 인가한 경우 마그네트의 응답특성을 관찰하였다. 주파수 응답특성 시험을 통하여 부상시스템이 갖는 제어 주파수 대역(13Hz)과 각 주파수 입력에 대한 부상시스템의 응답 특성(최대 크기:5.5dB at 1.6Hz)을 확인할 수 있다.

(나) Single Magnet 시험장치를 이용한 부상시스템 성능 확인

아래 그림은 대차단위 부상 추진 시험에 사용될 MD를 테스트하기 위한

single magnet 시험 장치 전경이다. 2 대차에 탑재될 MD는 4대이며 spare 이면서 single magnet 시험장치 용도의 MD 1대를 포함하여 5대의 MD가 있다.

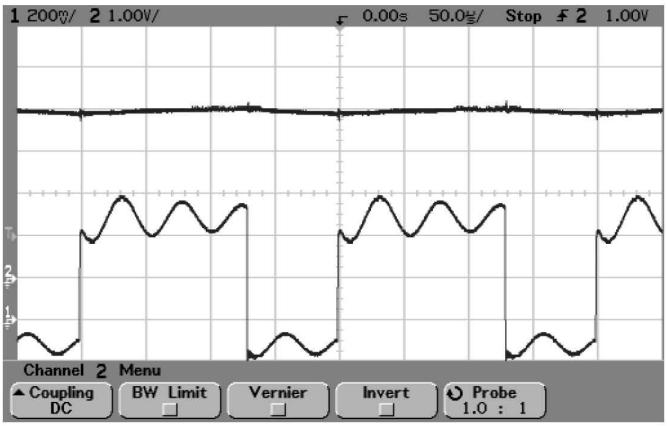


[그림 341 ]single magnet 시험 장치

대차 시험 전 single magnet에서 5대의 MD를 대상으로 다음의 항목을 테스트 함. 한 MD는 2 corner를 제어하기 때문에 이에 해당하는 센서를 확인함. 실제 시험 장치는 한 코너만 구현되어 있기 때문에 코일 출력을 교체하면서 확인한다.

- ○ observer 및 제어 변수들이 저장된 Nvram 확인
- ○ MMI 통신 test
- ○ DAS 출력 확인
- ○ A/D channel 확인: gap 1 & 2, 3&4 sensor, acc 1, 2 sensor, DC-DC 입력 1차측, 2차측, 코일 전압(1~4), 코일 전류(1~4)
- ○ DI 확인: MD start, up/down(F), up/down(R), line K, charge K
- ○ DO 확인: MD ready, levitation OK(F), levitation OK(R), MD fault(F), MD fault(R), line K, charge K
- ○ 고전류 시험(100A 10분)

아래 그림은 100A 통전 시험시 전류 파형이다.

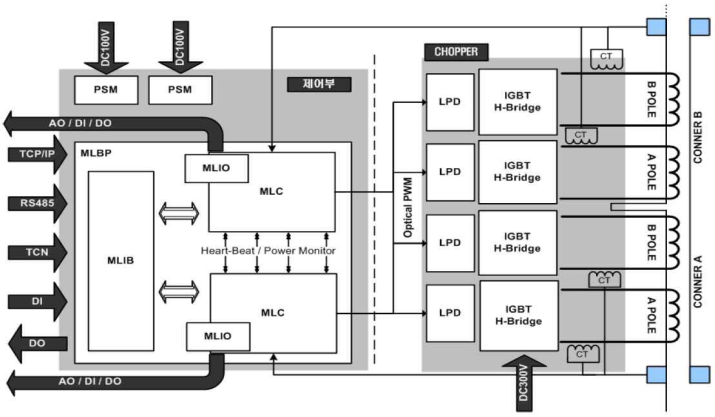



[그림 342 ]100A 통전 시험 파형 (20A/div)

○ 부상 시험을 통한 부상제어 알고리즘 동작 상태 확인
○ DSP 점유율 확인: 200 us 중 150 us 점유 중

(다) 이중화 부상제어기 기능/성능 확인

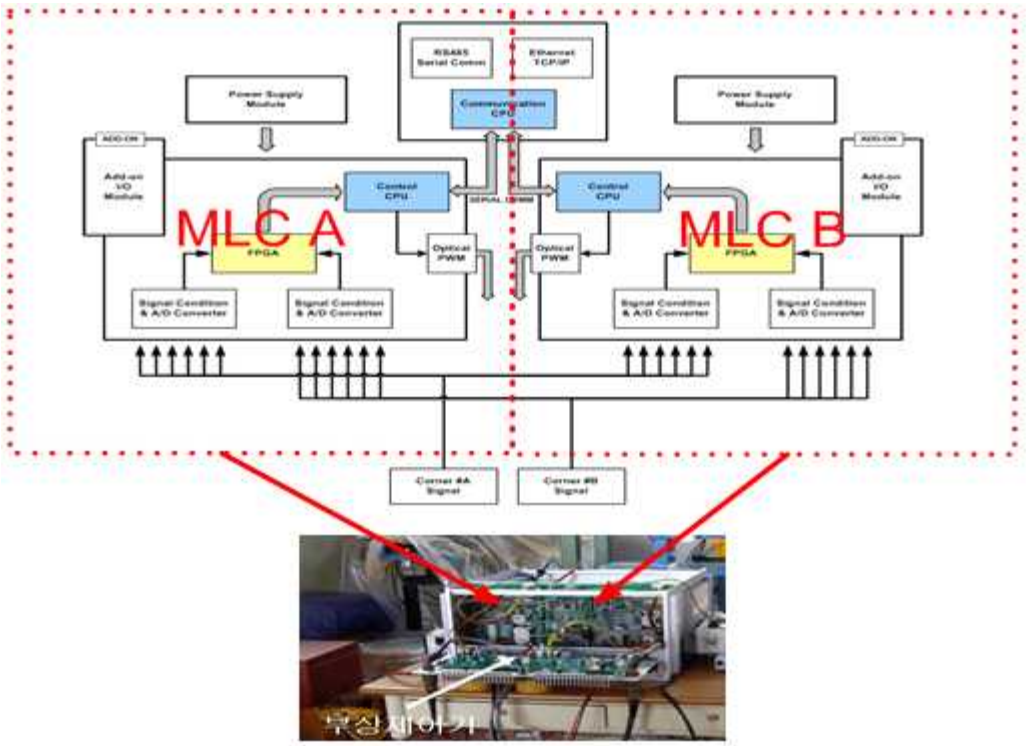
아래 그림은은 마그네트 드라이브(MD) 블록도로 그림에서 제어부의 핵심은 이중화된 MLC(Magnetic Levitation Controller)이다.




[그림 343 ]마그네트 드라이브 블록도

이중화된 MLC를 MLC A, MLC B라고 명칭하고 MLC A, MLC B는 heart beat 신호에 의해 상대방 제어기의 Alive 유무를 판단할 수 있다. 이중화 제어기는 동작 권한에 따라 Master Mode와 Slave Mode로 동작하며 여러 가지 판단 로직에 의해 Master Mode 권한을 가지기도 하고 상대방

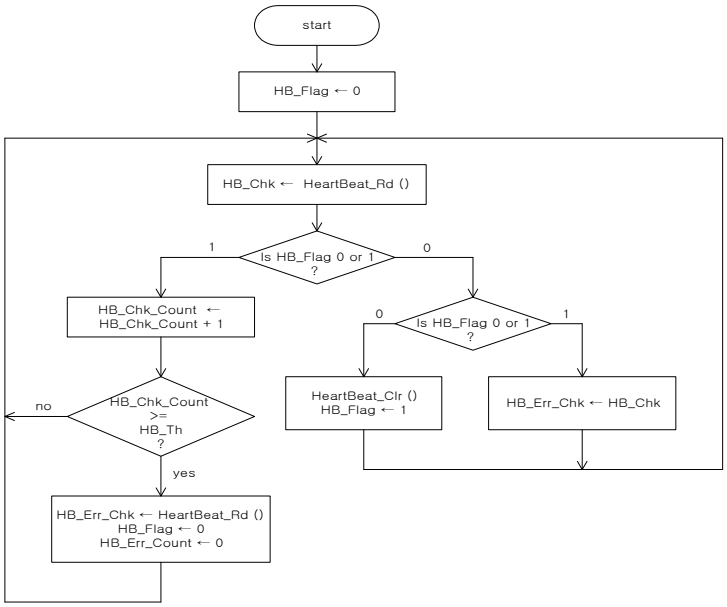
제어기에 내어주기도 한다. 그림 6.2.2는 이중화 부상 제어기 및 실물 사진을 비교하여 나타내었다. MLC A, MLC B는 동일한 software가 탑재되어 있고 같은 시간에 Master Mode 혹은 Slave Mode 중 한 모드에서만 동작하도록 프로그램 되어 있다. 동일한 공극 신호와 가속도 신호로부터 부상 알고리즘이 동작하여 최종 전자석 입력 전압을 결정하는 PWM이 계산되며 Master Mode 권한을 가진 제어기만 PWM 출력을 한다. 동일한 공극신호와 가속도 신호라 하더라도 각 제어기의 A/D converter 특성이 다를 수 있기 때문에 각 제어기가 계산한 제어 전압은 다를 수 있고 이 차이 때문에 Master Mode에서 Slave Mode로 절체하는 순간 부상 공극에 약간의 변동이 있을 수 있고 이중화 부상제어기의 성능을 우수하게 발휘하게 위해서는 갭 변동을 최소화하는 것이 중요하다.




[그림 344 ]이중화된 제어기 블록도 및 MD 실물

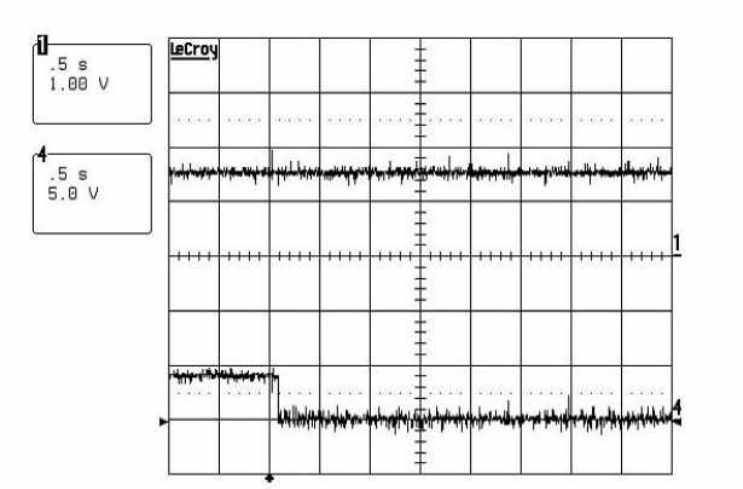
아래 그림은 이중화된 MLC에서 heart beat 신호에 의해 상대방 제어기의 Alive 유무를 판단하는 software의 로직을 flowchart로 나타내었다. 상대방 제어기가 보내는 heart beat 신호를 check하여 heart beat error가 확인되면 바로 heart beat error flag를 set하지 않고 빈도수를 도입하여 반복적(3번)으로 발생하면 HB error flag를 set한다. 이렇게 하는 이유는 noise

에 의한 빈번한 M/S 절체를 방지하기 위해서이다.




[그림 345 ]heart beat check flowchart

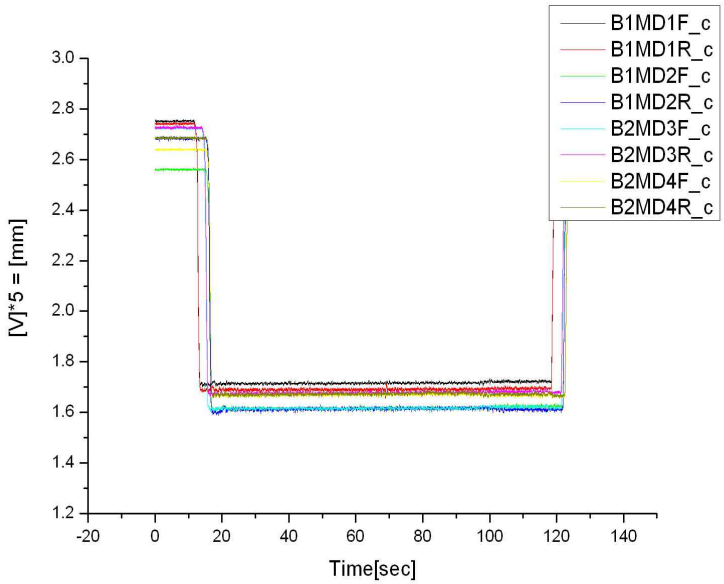
다음 그림은 정지 부상 중 이중화 절체가 발생할 때 부상 공극 파형을 나타낸 것이다. 파형 하단이 Master에서 Slave로 전환됨을 보여주며 파형의 상단이 공극 신호인데 절체 순간 공극의 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다.




[그림 346 ]정지부상 중 이중화 절체 시험 파형

(라) 대차단위 정지 부상시험 및 부상 특성 평가

1) 대차단위 정지 부상시험




[그림 347 ]정지부상 공극 profile

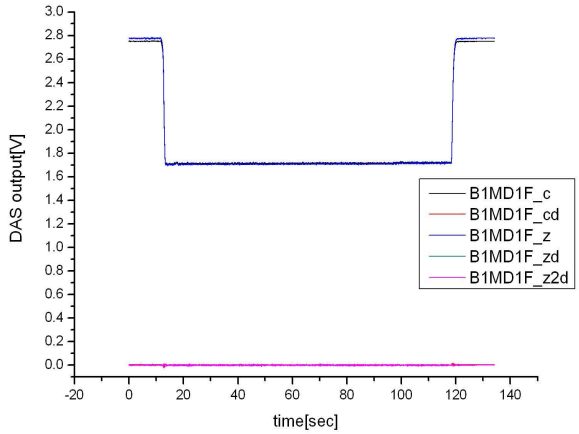
위 그림은 정지부상 공극 파형을 나타낸 것으로 y축은 MD에서 DAS로 출력한 전압 값으로 전압*5.0을 하면 실제 공극이 된다. 시험대차의 8개 코너의 갭이 8 mm ~ 8.5 mm 범위에 제어됨을 알 수 있다.

전자석에 흐르는 전류를 제어하는 전압은 다음 수식으로 나타낼 수 있다.

$$v = Krgap(gap_{ref} - c) + Krvel \cdot cd + Kacc \cdot acc + Kavel \cdot zd + Kagap \cdot (gap_{ref} - z)$$

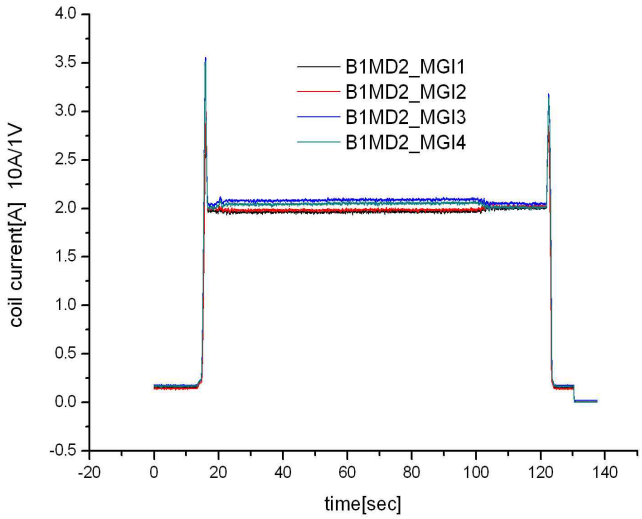
위의 수식으로 계산되는 제어 전압을 전 코너에 대하여 그려보면 그림 7.3.2와 같다. 부상시 제어전압의 범위는 0.1[V]~0.6[V]로 5[V]에 full duty 임을 감안할 때 정지 부상 중 제어 전압이 full duty가 될 때까지 여유가 많은 바람직한 영역임을 알 수 있다.

제어 전압을 계산하는 사용되는 다섯가지의 상태(state)는 공극 센서와 가속도 신호를 입력으로 상태관측기를 통해 만들어진다. 다음과 같다.




[그림 348 ]제어 전압에 사용되는 상태 파형

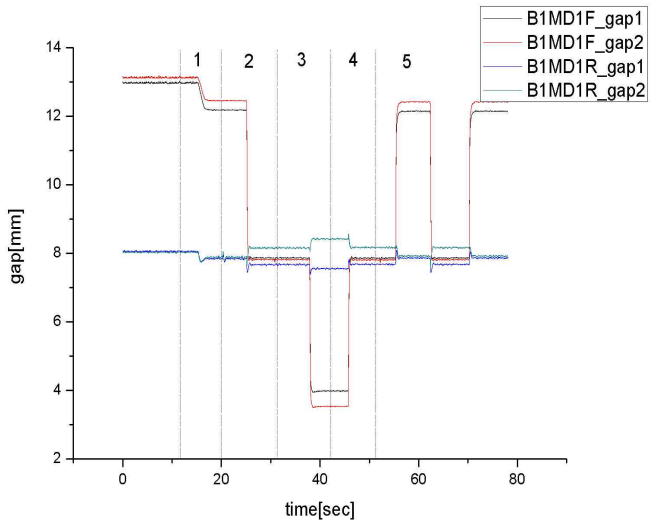
관측기가 상태들을 올바르게 관측하는 지의 여부는  위 그림의 '0' 근처 하단 그래프를 확대하면 판단할 수 있지만 정지부상 시에는 위상 관계를 파악하기 어렵다. 이를 위해서는 주파수 응답 시 다양한 주파수 외란에 대하여 상태들이 어떻게 나타나는지 확인하는 것이 더 바람직한 방법이다. 제어전압을 인가하였을 때 생성되는 전류는 그림 7.3.3과 같다.




[그림 349 ]정지 부상 시 전류 파형

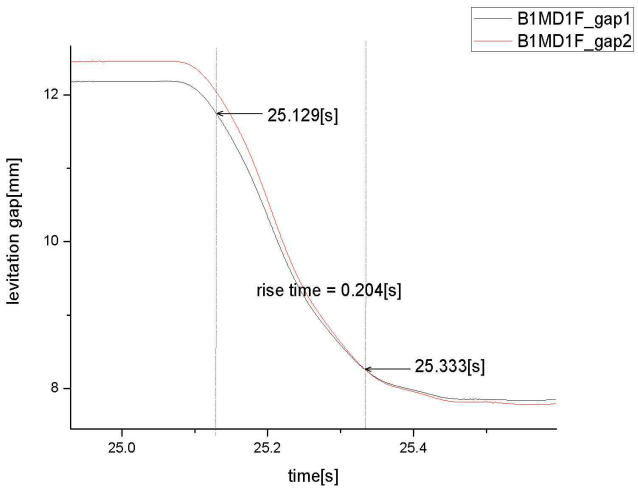
정지 부상 시 부상 시점에서 40[A]이하 부상 상태 8[mm] 공극에서 17[A]~22[A] 임이 관찰되었다. 이를 기준으로 추진 시 전류 변화를 비교한다.

가) step 응답 특성




[그림 350 ]step 응답 파형

위 그림은 step 응답 파형이다. rear 코너를 부상한 다음 front 코너의 부상 reference를 변화 시키면서 부상 공극의 변화를 관찰한다. 1은 13[mm]에서 12[mm] 부상, 2는 12[mm]에서 8[mm] 부상, 3은 8[mm]에서 4[mm], 4는 4[mm]에서 8[mm] 착지, 5는 8[mm]에서 12[mm] 착지 파형이다. 이들 파형에서 알 수 있는 제어 spec은 overshoot로서 약 5% overshoot가 있음을 알 수 있다. rise time을 관찰하기 위해 2구간을 확대하면,




[그림 351 ]rise time을 구하기 위해 확대된 파형

위에서 표시된 바와 같이 rise time은 0.204초로 계산됨.

나) 주파수 응답 특성

시험 조건은 다음과 같다.

○ 대상MD: MD3, front 코너

○ 부상조건: Bogie 2 전체 부상

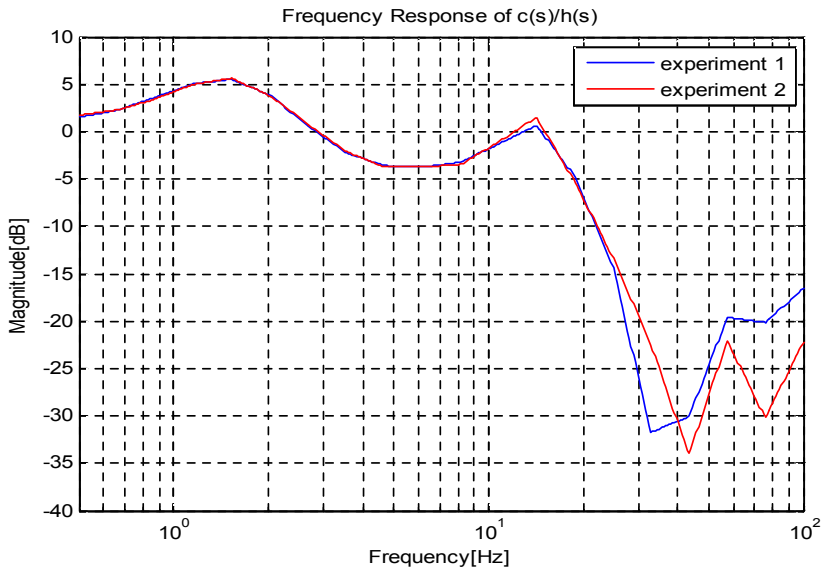
○ Sine 폭: 0.5 [mm]

○ DC입력: 325

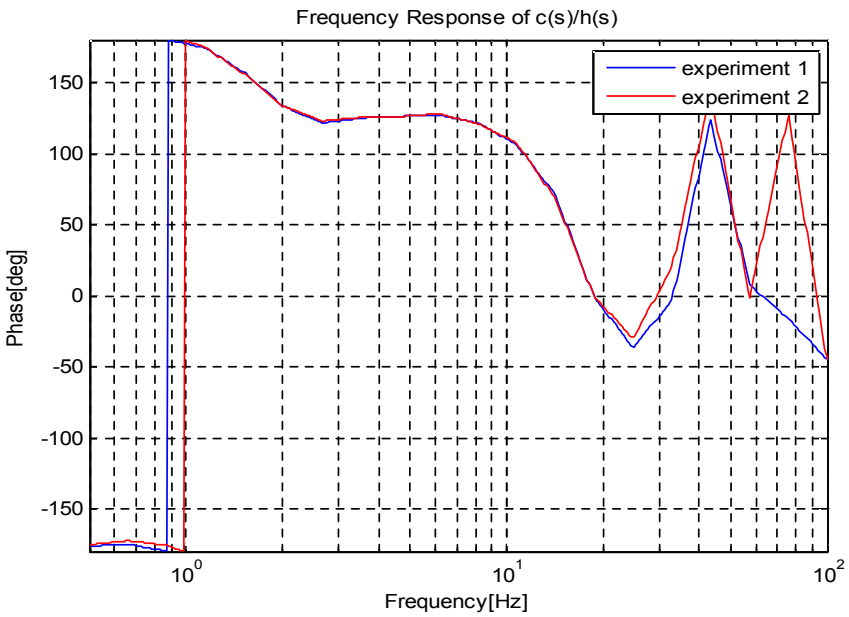
두 가지 gain에 대하여 각각 반복 시험을 하고 서로 비교한다.

| Gain 1 | Gain 2 |
|---|---|
| *Krgap* : 0.4 | *Krgap* : 0.3 |
| *Krvel* : 7.0 | *Krvel* : 6.0 |
| *Kacc* : 1.0 | *Kacc* : 1.0 |
| *Kavel* : 14.0 | *Kavel* : 12.0 |
| *Kagap* : 0.8 | *Kagap* : 0.4 |

Gain 1에 대하여 반복 시험한 주파수 응답은 다음 그림과 같다.

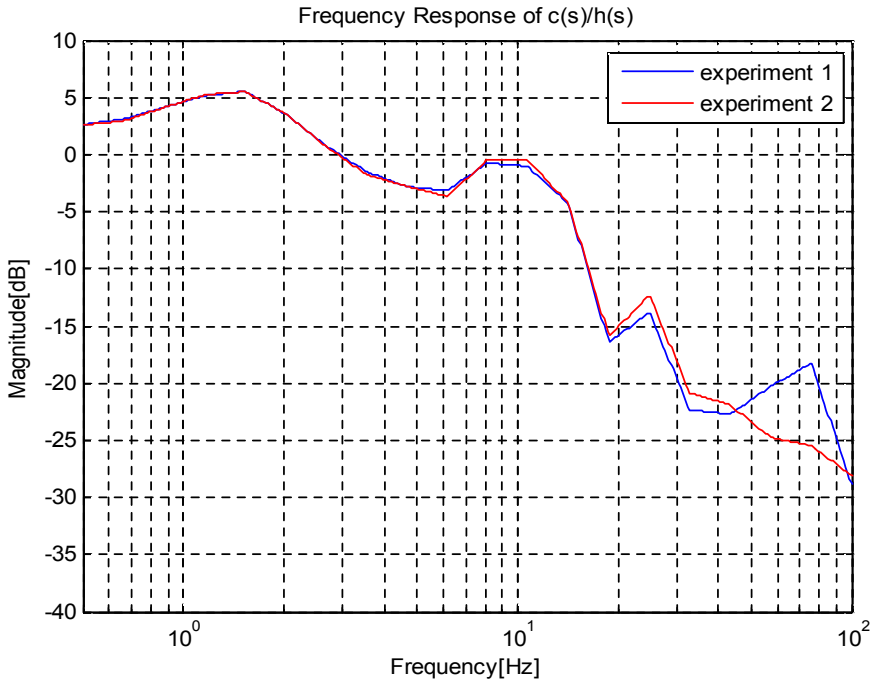



[그림 352 ]조건에서 주파수 응답(진폭)

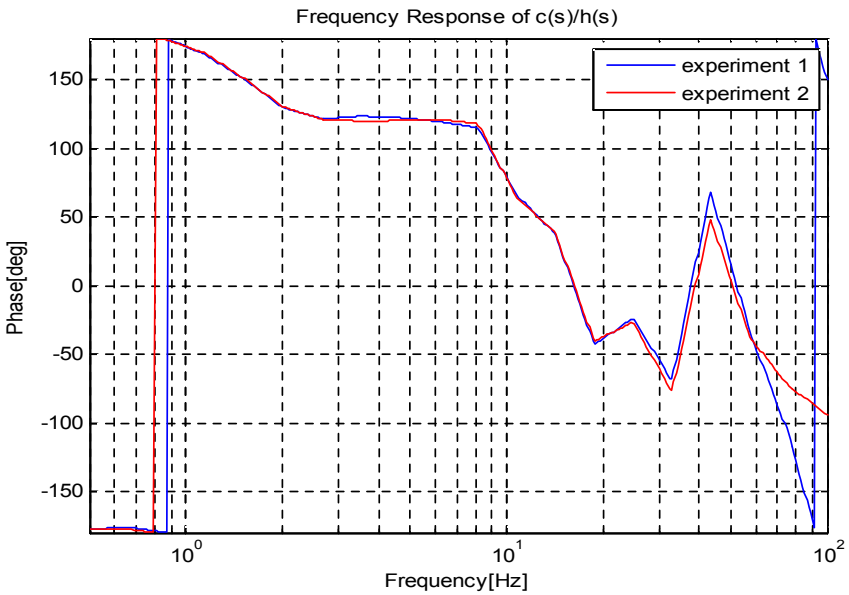



[그림 353 ]Gain 1 조건에서 주파수 응답(phase)

Gain 2에 대하여 반복 시험한 주파수 응답은 다음 그림과 같다.

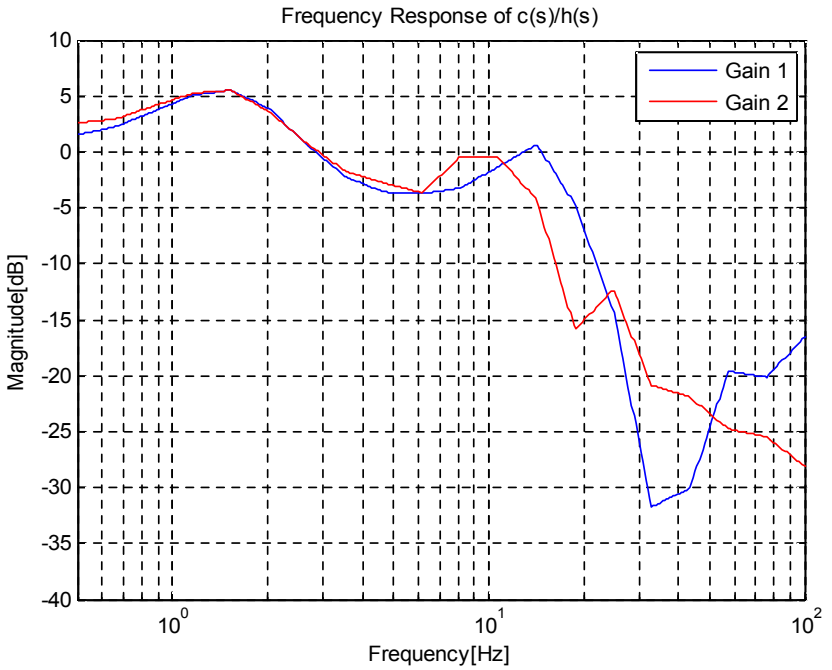



[그림 354 ]Gain 1 조건에서 주파수 응답(진폭)

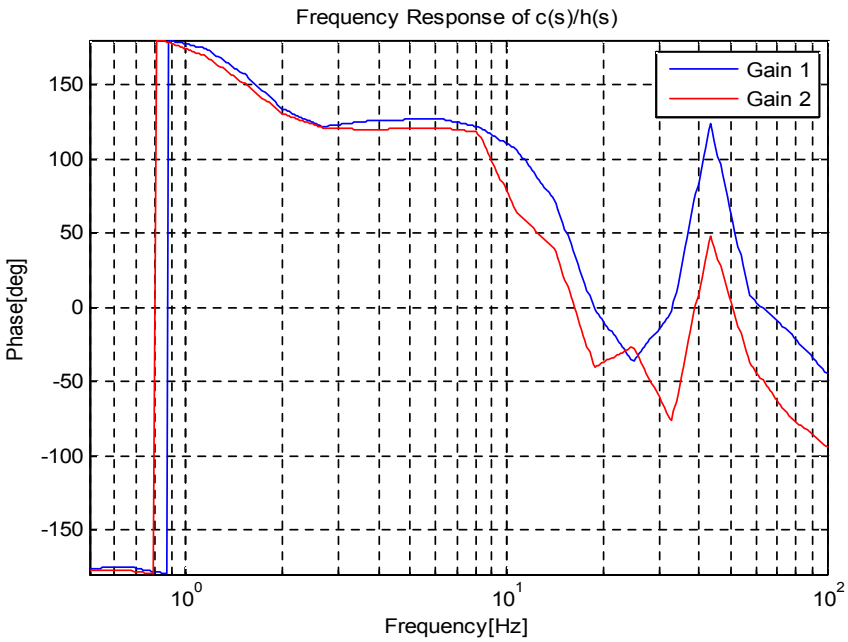



[그림 355 ]Gain 1 조건에서 주파수 응답(phase)

Gain 1 결과와 Gain 2를 비교한 그림은 다음과 같다.




[그림 356 ]이득에 따른 주파수 응답(진폭)




[그림 357 ]이득에 따른 주파수 응답(phase)

위에서 주파수 응답 통해 다음과 같은 사실을 알 수 있다.

○ Band width는 약 3Hz이다.

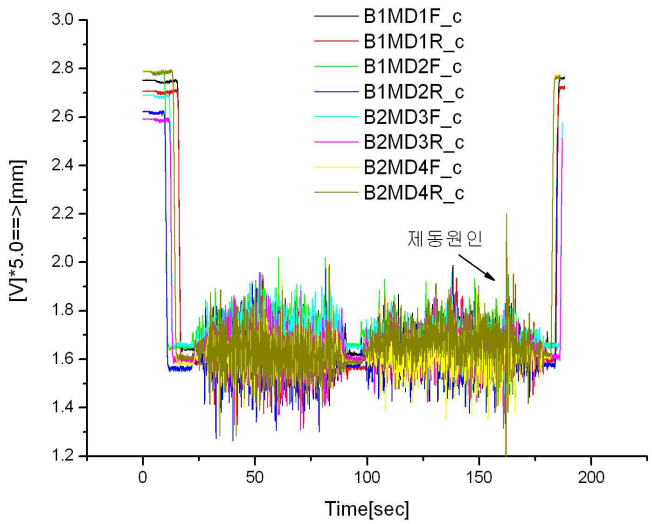
○ 7 ~ 8Hz의 외란에 대한 특성은 gain set 1이 주행 특성이 좋다.

○ 11 ~ 20Hz의 외란에 대해 gain set 2의 주행 특성이 좋다.

○ 50 ~ 100 Hz의 외란에 대해 gain set 2의 고주파 특성이 좋다.

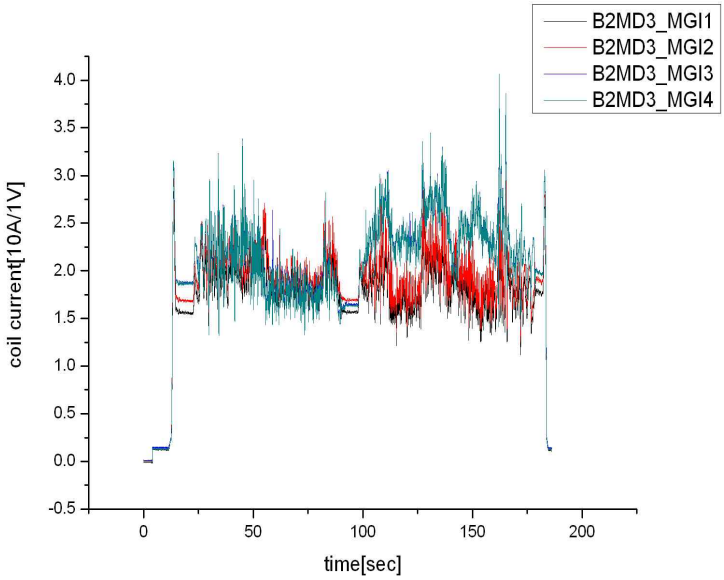
2) 추진 주행 특성 평가

아래 그림은 추진 시 공극 파형을 나타낸 것으로 8[mm]-2[mm] ~ 8[mm]+2[mm] 범위에 있음을 알 수 있다.



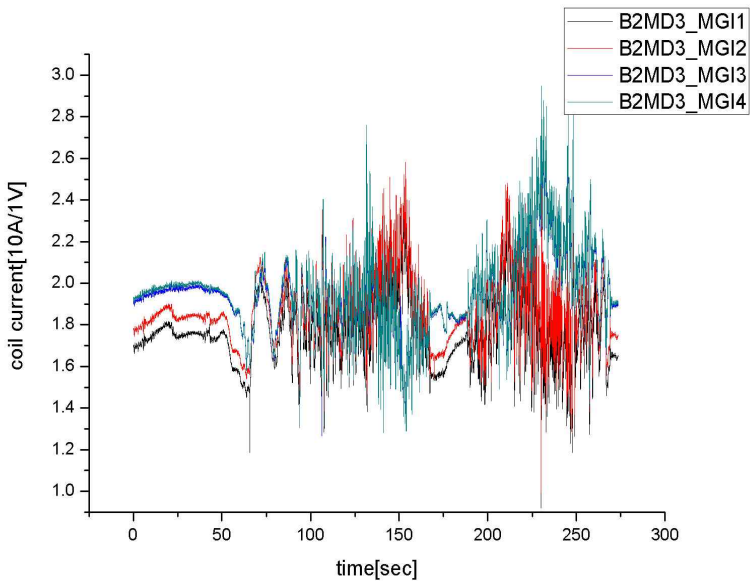

[그림 358 ]추진 시 공극 파형(최대속도 30㎞/h)

다음은 추진 시 전류 파형을 나타낸 것으로 vector 제어 방식에서 추진 시 28[A]의 전류가 증가며 최대 40[A] 전류가 코일에 유기됨.




[그림 359 ]추진 시 전류 파형(최대속도 30㎞/h)

다음 그림은 slip 주파수 제어 방식일 때 전류 파형으로 추진 시 24[A], 최대 30[A]로 vector 제어 방식에 비해 부상계에 normal force 외란이 줄어드는 것을 알 수 있다.

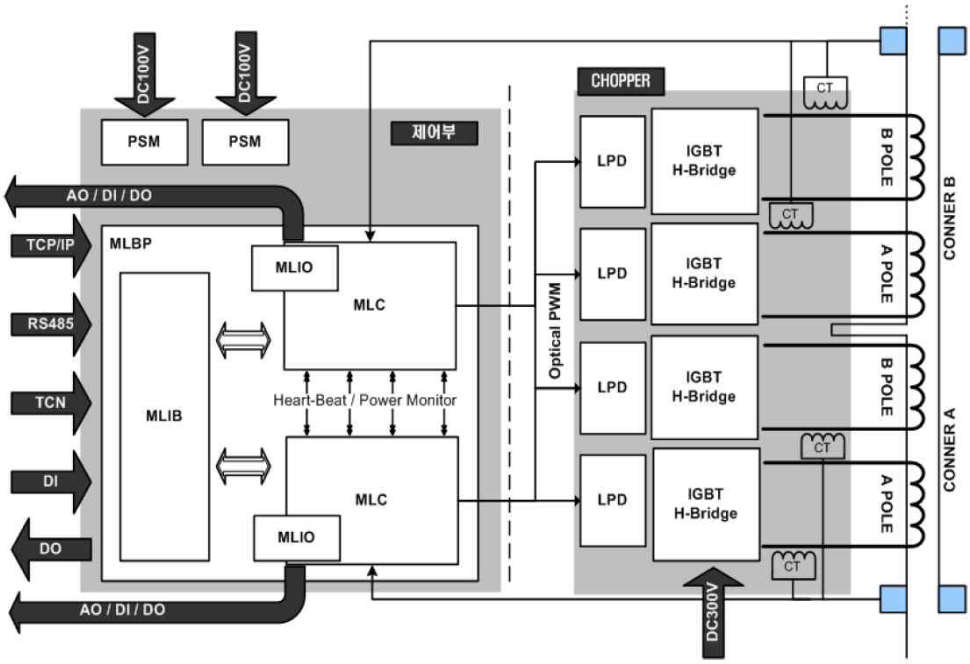



[그림 360 ]lip 주파수 제어 방식 추진 시 전류 파형

(마) 정지부상 및 추진 시 이중화 부상제어기 성능 확인

1) 시스템 구성

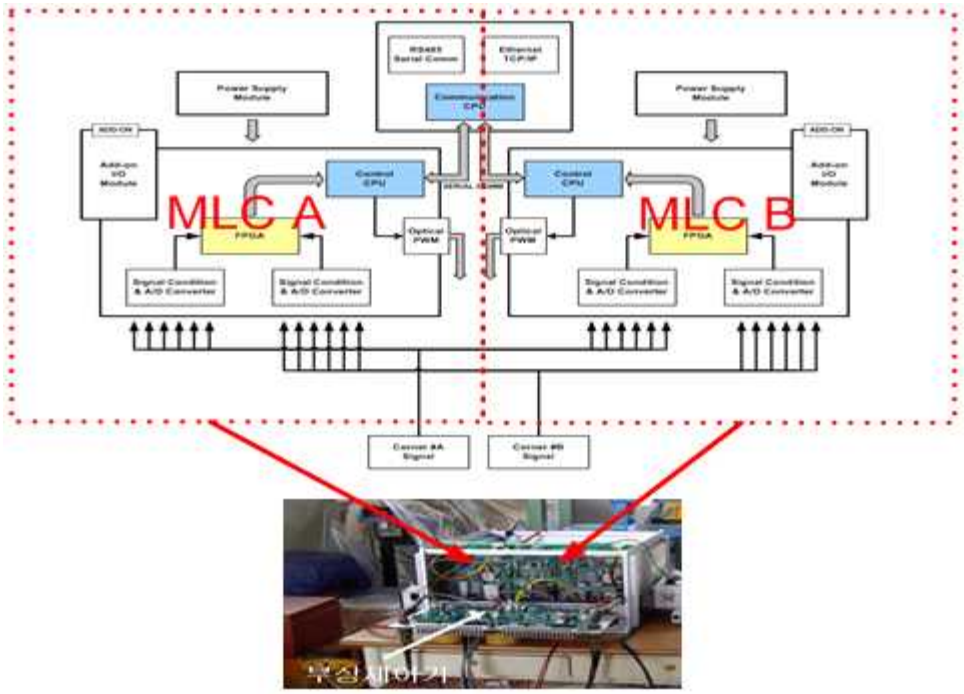
아래 그림은 마그네트 드라이브(MD) 블록도로 그림에서 제어부의 핵심은 이중화된 MLC(Magnetic Levitation Controller)이다.




[그림 361 ]마그네트 드라이브 블록도

이중화된 MLC를 MLC A, MLC B라고 명칭하고 MLC A, MLC B는 heart beat 신호에 의해 상대방 제어기의 Alive 유무를 판단할 수 있다. 이중화 제어기는 동작 권한에 따라 Master Mode와 Slave Mode로 동작하며 여러 가지 판단 로직에 의해 Master Mode 권한을 가지기도 하고 상대방 제어기에 내어주기도 한다. 그림 362는 이중화 부상 제어기 및 실물 사진을 비교하여 나타내었다. MLC A, MLC B는 동일한 software가 탑재되어 있고 같은 시간에 Master Mode 혹은 Slave Mode 중 한 모드에서만 동작하도록 프로그램 되어 있다. 동일한 공극 신호와 가속도 신호로부터 부상 알고리즘이 동작하여 최종 전자석 입력 전압을 결정하는 PWM이 계산되며 Master Mode 권한을 가진 제어기만 PWM 출력을 한다. 동일한 공극신호와 가속도 신호라 하더라도 각 제어기의 A/D converter 특성이 다를 수 있기 때문에 각 제어기가 계산한 제어 전압은 다를 수 있고 이 차이 때문에 Master Mode에서 Slave Mode로 절체하는 순간 부상 공극에 약간의 변동이 있을 수 있고 이중화 부상제어기의 성능을 우수하게 발휘하게 위해

서는 갭 변동을 최소화하는 것이 중요하다.

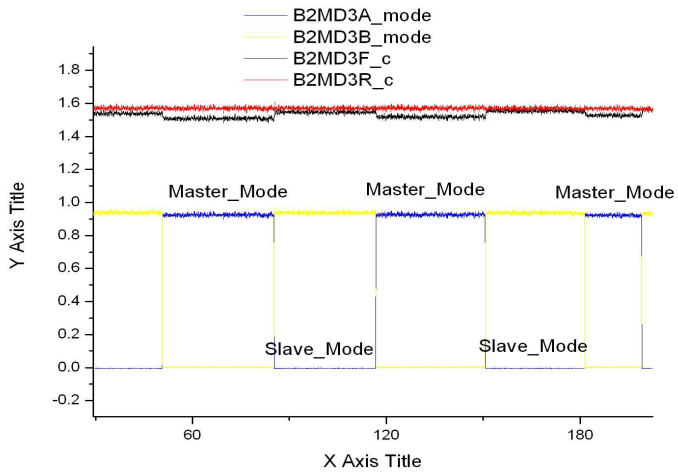



[그림 362 ]이중화된 제어기 블록도 및 MD 실물

이중화 실험을 위해서 MMI를 외부 trigger로 이용하여 MLC A가 Master Mode 혹은 Slave Mode로 강제적으로 동작을 시키면서 공극 변동을 관찰한다.

2) 이중화 부상 제어기 특성

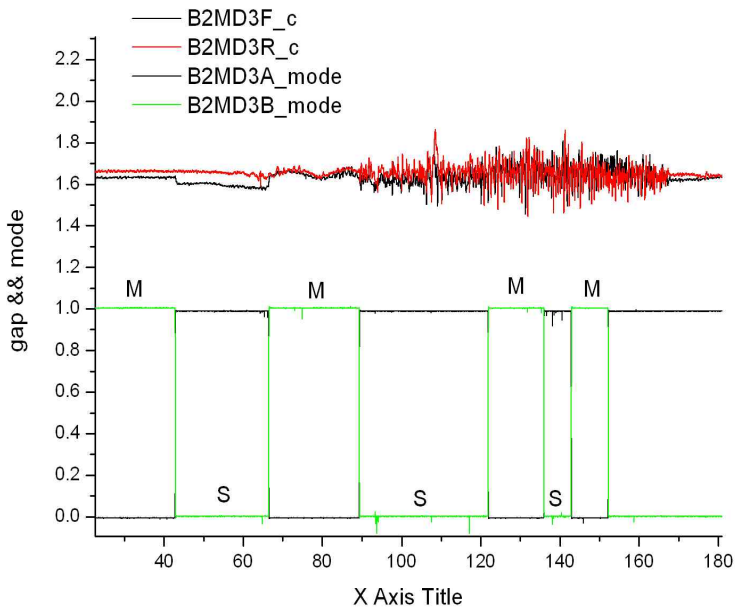
가) 정지부상 특성




[그림 363 ]정지부상에서 이중화 절체 시 공극 파형

위 그림은 정지 부상 시 이중화 절체가 수행될 경우 공극 파형이다. 그림에서 파란색선과 노란색 선은 MLC A, MLC B에서 DAS로 출력하는 신호이며 Master Mode이면 1.0[V], Slave Mode이면 0.0[V]를 출력한다. 빨간색 선과 검정색 선은 공극이며 곱하기 5.0을 하면 실제 공극의 [mm] 값이다. 두 개의 제어기 중 Master Mode로 동작하는 제어기가 PWM 출력을 내고 있고 Slave Mode로 동작하는 제어기는 제어 출력을 연산하면서 PWM 출력을 대기하고 있다. Master Mode로 동작하는 제어기가 Master Mode권을 내어주고 Slave Mode로 동작하면 상대방 제어기가 Master Mode가 되면서 부상제어를 담당하게 된다. 파형에서 알 수 있듯이 절체 순간 MD 3의 rear corner는 공극의 변화가 거의 없다. 반면, MD 3의 front corner에서 절체 순간에 약 0.3[mm]의 gap 변화가 있음을 알 수 있다. 이는 Master 제어기와 Slave 제어기의 A/D board의 offset 차이 때문에 발생한다.

나) 추진 부상 특성




[그림 364 ]추진 시 이중화 절체 발생 공극 파형

위 그래프는 추진 시 이중화 절체 파형을 나타낸 것으로 그림에서 7번의 Master/Slave mode 절체가 발생하였다. 정지 부상 시 이중화 절체 특성과 거의 유사하며 추진 시 공극 변동도 약 0.3[mm]이다.

3) 결론

대차 단위 부상 추진 시 이중화 부상 제어기 특성 시험을 통해 이중화 절체 시 약 0.3[mm]의 공극 변화가 발생하며 이는 부상 안정성에 크게 영향을 주는 정도가 전혀 아니므로 이중화 제어기가 성공적으로 동작함을 알 수 있다. 이중화 절체 시 공극 변화는 각 제어기의 A/D 특성 차이 및 제어기 동기화에 기인함으로 이중화 제어기 성능을 확보하기 위해서는 A/D 특성 차이를 줄이고 제어기를 동기화 시킨다.

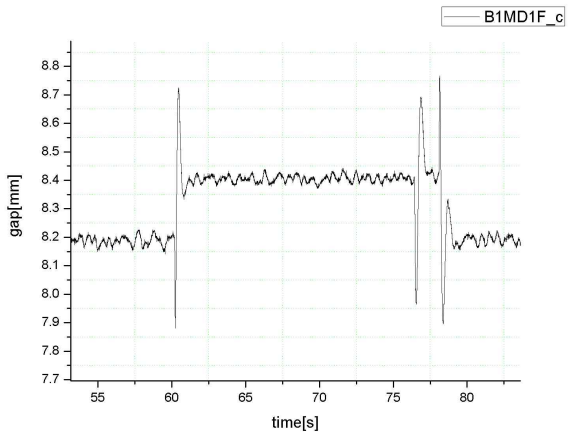
(바) 레일 이음매 통과 특성 평가

레일 이음매 통과 특성은 주파수 응답에서 힌트를 얻을 수 있다. 이음매의 step 단차에 모든 주파수 영역이 포함된다고 보면, 주파수 응답에서 1.5Hz 근방의 5.2[dB]의 최대값을 갖는데 이때 이음매 영향을 받은 공극을 계산할 수 있다.

5.2[dB] = 20 log (이음매 공극출력/이음매단차)

이음매 공극출력 = 이음매단차 * 105.2/20

이음매 단차를 1[mm]로 가정할 경우, 위의 식에 따라서 이음매 공극출력은 1.82[mm]가 된다. 즉 8[mm] 부상 상태에서 1[mm] 이음매 단차를 통과할 때 약 9.82[mm]까지 공극 처짐이 발생할 수 있다. 이를 정지부상 상태에서 모의하기 위해 gap offset을 조정하는 기능으로 부상상태에서 get offset을 1[mm] 빼 주고 더해주는 동작을 할 경우 공극의 변화를 관찰한다.




[그림 365 ]1㎜ 수직 단차에서 공극 파형
(갭 offset으로 모의)

위 그림에서 공극처짐이 약 0.5[mm] 발생함을 알 수 있고 이는 이론치보다 작다.

(사) 이음매 처리 방법

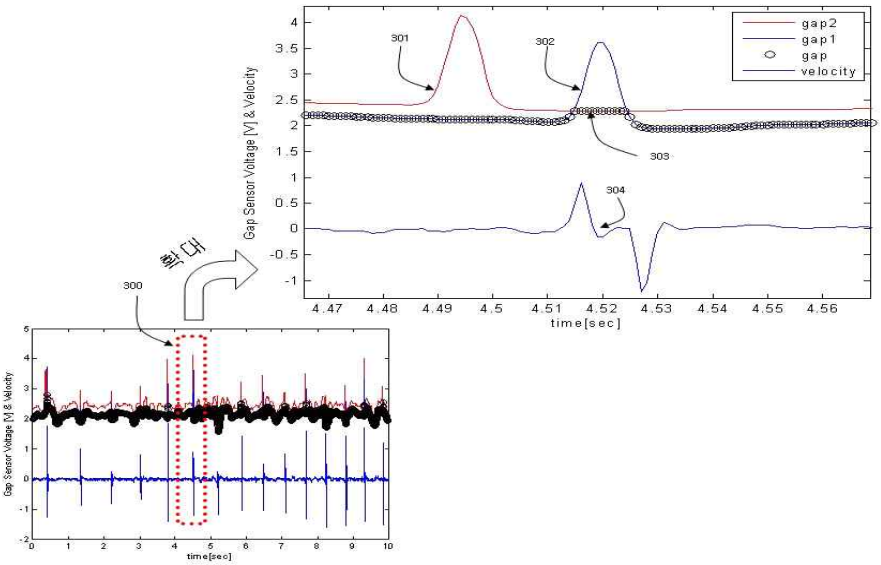
1) 필요성

부상제어 성능에 영향을 미치는 제어기 외란에는 일정 길이 레일의 연결부분인 이음매에서의 과도한 공극이 있다. 레일 이음매에서 과도한 공극 문제 해결을 위해 공극 센서를 두 개 설치하고 차량진행방향으로 앞에 위치한 센서를 gap1, 뒤에 위치한 센서를 gap2라고 하면, 종래에는 공극선택기에서 이음매를 지나기 전 gap1과 gap2 중 작은 값을 gap으로 선택한 후 gap1이 이음매를 통과하는 동안 과도한 출력 값의 영향을 받아 gap1이 gap2 보다 크지는 순간에 gap2 신호를 gap으로 선택하여 gap 값이 이음매에서 과도해지는 문제를 해결하였다.

선택된 gap값과 가속도 센서 값인 acc를 입력으로 상태관측기는 필터된 공극, 수직방향 속도, 필터된 가속도를 출력하게 되고 부상하려고 하는 공극 기준 값과 필터된 공극 값과의 차이, 수직방향 속도와 필터된 가속도를 입력으로 전압계산기에 의해 수식 1으로 제어 전압이 계산되어 전자석에 인가된다.

$$v = K_g \cdot gap_e + K_v \cdot vel_f + K_a \cdot acc \quad \text{---- 수식 1}$$

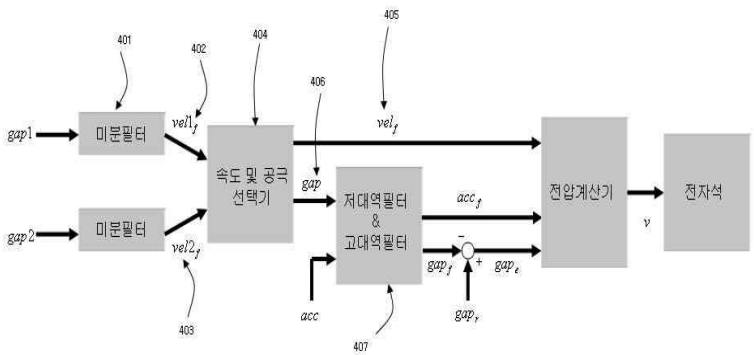
아래 그림은 종래의 공극 선택 신호 및 수직 방향 속도 신호를 나타낸 것으로 좌측 하단에 있는 그래프의 수직방향 속도 신호는 레일 이음매에서 반복적으로 상당히 큰 양의 값과 음이 값이 교차하는 것이 관찰된다. 그래프의 특정영역(300)을 확대해 보면, 선택된 공극(303)은 이음매 이전에 gap1(301) 신호이며 gap1이 과도한 값을 가지며 gap2 보다 커지는 순간에 gap2의 값을 가진다. 선택된 공극이 이음매에서 과도한 값을 갖지는 않지만 이음매 이전과 이후의 불연속점 때문에 선택된 값의 미분 값인 수직방향 속도(304)는 상당히 큰 값을 가지면서 수식 1로 표현되는 제어 전압에 악영향을 미칠 수 있고 부상 안정성이 훼손될 수 있다. 이를 해결하는 이음매 처리 방법의 고안이 필요하다.




[그림 366 ]공극 선택 신호 및 수직방향 속도 신호

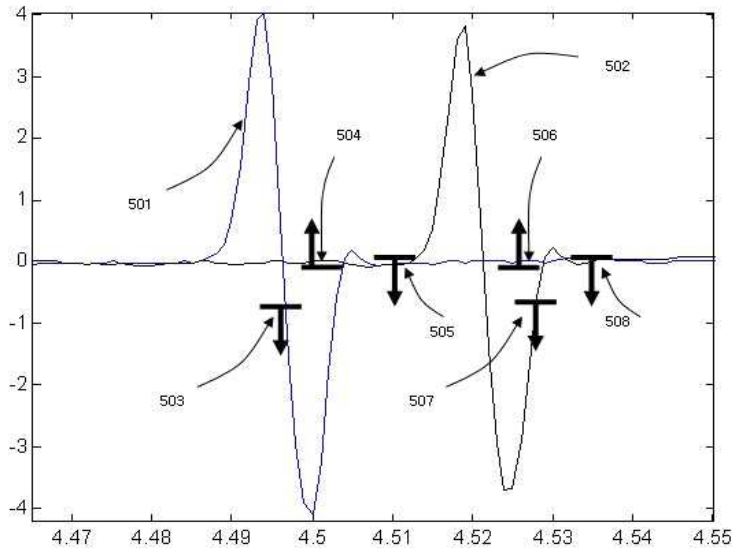
2) 해결 방법

기존의 방법이 공극센서 1과 공극센서 2에서 공극을 선택하고 이를 상태 관측기 입력으로 사용하여 수직 방향 속도를 구하면서 선택 공극의 불연속점에서 문제가 발생 하였다. 제안된 방법에서는 그림 367에서와 같이 공극센서 1 출력이 미분필터(401)를 거친 수직방향 속도(402)와 공극센서 2 출력이 미분필터를 거친 수직방향 속도(403)를 입력으로 속도 및 공극 선택기(404)는 선택 알고리즘에 의해 선택 수직방향 속도(405)와 선택 공극(406)을 출력하고 선택된 공극은 저대역필터를 거치고 기준 공극값과의 차이 값을 구하고, 가속도 센서 값은 고대역필터를 거친 값을 이용해 전압계산기 입력으로 사용한다. 속도 및 공극 선택기에 사용되는 알고리즘은 다음과 같다.




[그림 367 ]고안된 부상제어기 블록도

아래 그림은 두 개의 공극 신호로부터 각각의 미분필터를 통해 생성된 두 개의 수직방향속도로부터 수직 방향 속도와 공극을 선택하는 과정을 설명하는 파형이다. 세 개의 조건을 체크하여 수직방향 속도와 공극을 변경하는 이유는 노이즈에 의해 빈번하게 변경되는 것을 방지하여 확실한 경우 변경을 하기 위해서이다.

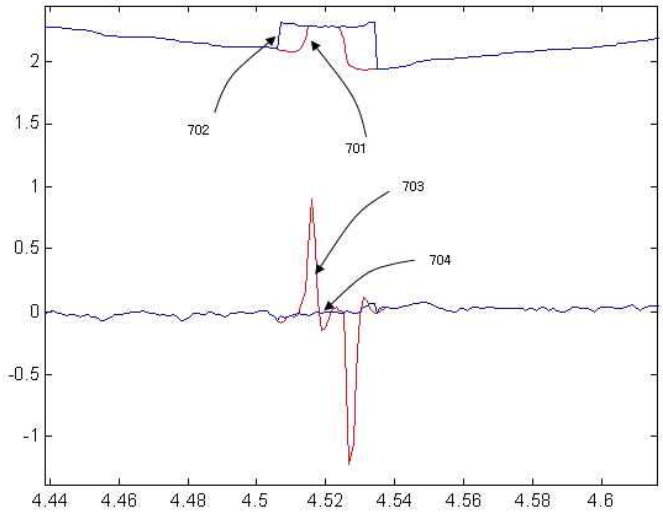



[그림 368 ]수직방향속도 선택과정 설명 파형

우선 선택된 수직방향 속도는 수직방향 속도 2의 값을 갖는다. 공극센서 1의 출력이 peak값이면 수직방향 속도는 '0'이 되며 '0'이 된 후 일정 시점(503) 이 후 수직방향 속도 1의 값이 일정 값(예를 들어 -0.8) 이하가 되는 것이 일정 횟수(예를 들어 2회) 반복되면 첫 번째 조건이 만족된다. 첫 번째 조건이 만족된 후 수직 방향 속도가 '0' 근처의 일정한 값 이상(예를 들어 -0.05) 되는 것이 2회 반복되면 두 번째 조건이 만족된다. 두 번째 조건이 만족된 후 바로 수직방향 속도 1로 전환하게 되면 공극센서 1이 이음매를 빠져나와서 정상(steady) 상태가 되는 순간 변화량을 선택된 수직방향 속도가 가질 수 있기 때문에 세 번째 조건을 체크한다. 두 번째 조건이 만족한 후 수직방향 속도가 다시 일정 값 이하(예를 들어 0.01)로 떨어지는 것이 2회 반복되면 선택된 수직방향 속도는 수직방향속도 1의 값을 갖게 된다. 이제는 수직방향 속도 2를 이용하여 상기 과정을 반복하여 공극센서 2가 이음매를 빠져 나오면 선택된 수직방향 속도는 수직방향 속도 2를 갖게 된다. 선택된 수직방향 속도가 2에서 1로 1에서 2로 전환하는 시점에서

선택된 공극신호로 2에서 1로 1에서 2로 전환하게 된다.

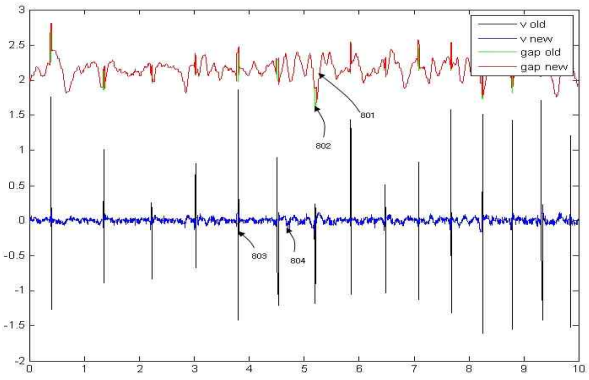
다음 그림은 기존방법과 고안된 방법에서의 선택된 수직방향 속도와 선택된 공극신호를 비교하여 나타내었다. (701)은 기존의 방법으로 선택된 공극 신호이며, (702)는 고안된 방법으로 선택된 공극 신호이며 (701)과 비교할 때 선택 시점이 빠르다는 장점이 있고 이는 부상 안정성에 대응할 여유가 생기기 때문에 유리한 측면이 있다. (703)은 기존방법으로 선택된 공극신호로부터 생성된 수직방향속도이며 (704)는 고안된 방법으로 선택된 수직방향 속도로 (703)과 비교해 볼 때 (703)에 존재하는 급격한 속도 변화가 (704)에는 존재하지 않음을 알 수 있다.




[그림 369 ]기존 방법과 고안된 방법에서의 선택된 수직방향 속도와 선택된 공극신호

3) 효과

아래 그림은 위의 그림 보다 넓은 영역을 도식화한 것으로 (802)는 기존방법으로 선택된 공극이며 (801)은 고안된 방법으로 선택된 공극신호이다. 진폭은 고안된 방법이 더 작으며 선택되는 시점도 고안된 방법이 빠르다. (803)은 기존 방법의 수직방향 속도 신호이며, (804)는 고안된 방법으로 선택된 수직방향 속도이다. 기존방법은 이음매에서 일정간격으로 큰 진폭의 불연속점이 발생하며 이는 제어 전압을 일정간격으로 불필요하게 변화시켜 부상제어를 불안정하게 만드는 요인이 된다. 반면에 고안된 방법은 이음매에서 수직방향 속도에 큰 진폭의 불연속점이 발생하지 않으며 이는 부상제어의 안정성을 확보한다.




[그림 370 ]기존 방법과 고안된 방법의
비교 파형

(아) 대차 단위 부상/추진 시험 결과 분석을 통한 부상시스템 보완

1) MD

마그네트 드라이브에서 수정 보완될 사항은 다음의 표와 같다.

[표 84 ]MD 수정 보완 사항

| 항목 | 내용 | 보완/수정 작업 | 개선사항 |
|---|---|---|---|
| MD 기구물 개선 | 차량 마운트 방식 변경 | 기구물 설계 변경 | 탈부착 등의 유지보수 개선 |
| | 외부 인터페이스 커넥터 변경 | 기구물 설계 변경 케이블제작 | 유지보수 편의성 개선 |
| | MD 내부 배선 변경 | 기구물 설계 변경 | 고압선/소신호 이격 배선 |
| | 외함 구성(프레임 형태)의 개선 | 기구물 설계 작업 | 먼지 및 방수 성능 개선 |
| | 내부 제어기와 초퍼간의 격벽구조의 기구물 개선 : 중판 두께 증가 | 기구물 설계수정 | 방사노이즈 방어 |
| | 방열구조 개선 : heat sink의 방열면적 증가 | 기구물 설계 및 heatsink 설계 | 방열 효율의 개선 |
| 전원회로 개선 | DC100V노이즈필터 회로 개선 | 회로설계 및 제작 | EMC/EMI 성능 개선 |
| | - 센서용 전원 regulation회로 추가 | 회로설계 및 제작 | 부상 신뢰성 개선 |
| 제어특성 평가용 회로 보완 | - 부상제어 특성 평가용 회로 수정/추가 | 회로설계 및 제작 | 부상 제어성능 평가 |

2) MMI 시스템 보완

○ software DI 접점 마련

○ parameter setting에 spare field 5개 마련

○ 부상 제어기 이중화 관련 기능/성능 시험이 가능하도록

○ 통신의 개통될 때 변수 값을 get하는 기능(실수로 '0' data를 download

할 수있음)

3) DAS

○ 채널에 noise 제거 문제

○ data를 text 파일로 변환하는 문제

○ user interface 효율 증대

4) 이중화 발굴

○ 부상제어기 이중화 기능/성능 확인을 위한 고장 모드 발굴

## 나. 현대로템

(1) 추진성능 검토

(가) 추진성능사양

○ Condition

- Line voltage : 1,500V
- Weight : 26.5ton
- Acceleration : 4km/h/s

○ Max. Tractive effort : 60,400N(per Train)

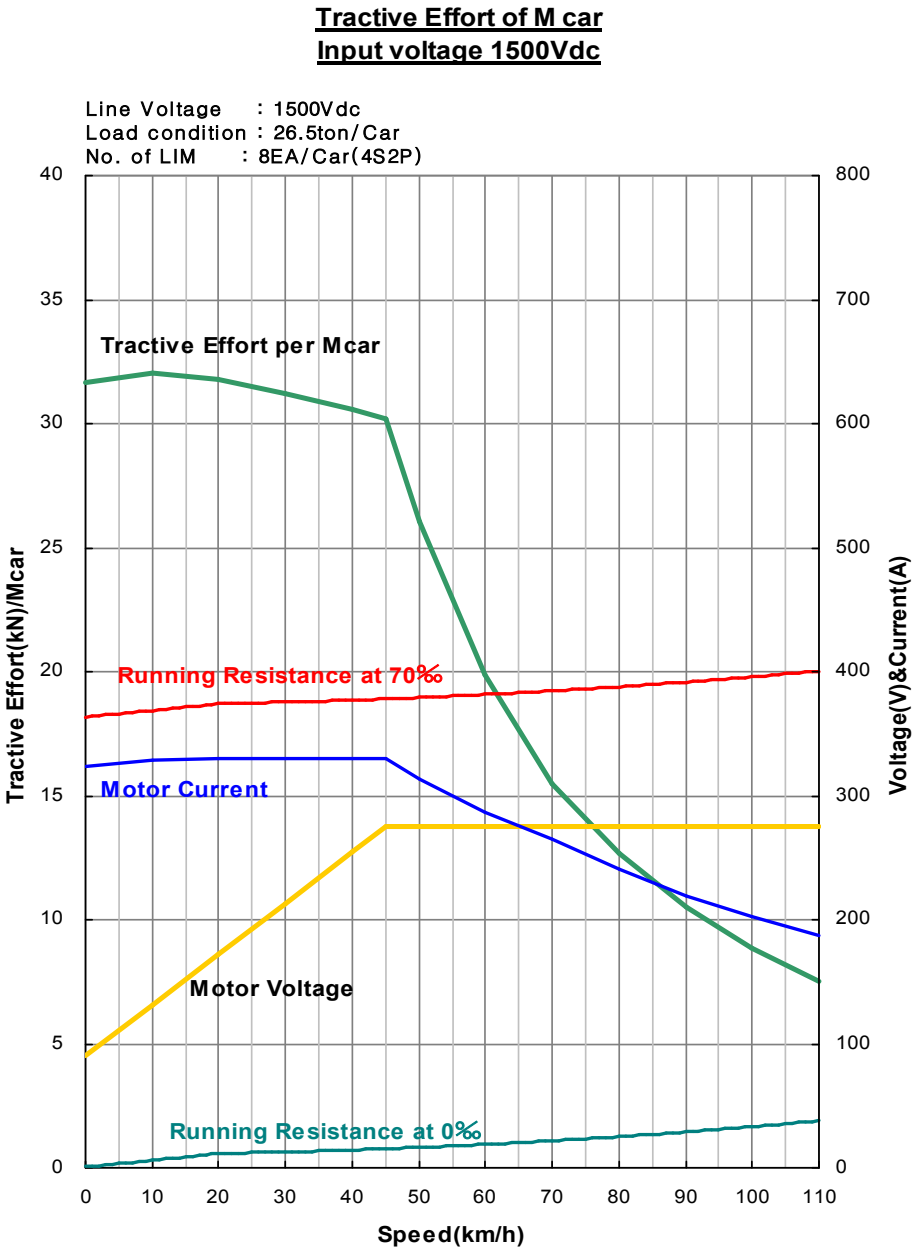
○ Inverter output voltage : 1,100V

○ Motor current : Max. 380A

○ 최대구배 : 7%

(나) 주행 저항 특성

아래 그림에서 보이는 것과 같이 평탄 설로에서의 110km/h 시 최고 주행 저항은 차량 당 약 4kN으로 최고 속도 110km/h까지 주행할 수 있는 것을 알 수 있다. 또한 7% 구배에서의 110km/h 시 최고 주행저항은 차량 당 약 20kN으로며 이때 균형 속도(Balance Speed)는 약 62km/h로 최대 구배 조건에서도 약 62km/h까지 가속 할 수 있다.




[그림 371 ]성능 및 주행 저항 곡선

(다) 주행 저항 계산

전체 주행 저항(Total Drag Resistance)

= Dc(Power collector drag) + Dm(Magnetic drag) + Da(Aerodynamic drag) + Dg(Gradient drag)

Dc = 41.68*n[N]

Dm1 = 3.354* V*(n*W)[N] (V <5.56 m/s )

Dm2 = (18.221+0.0741* V)( n *W)[N] (V ≥5.56 m/s)

Da=(1.6522+0.572*n) V2[N]

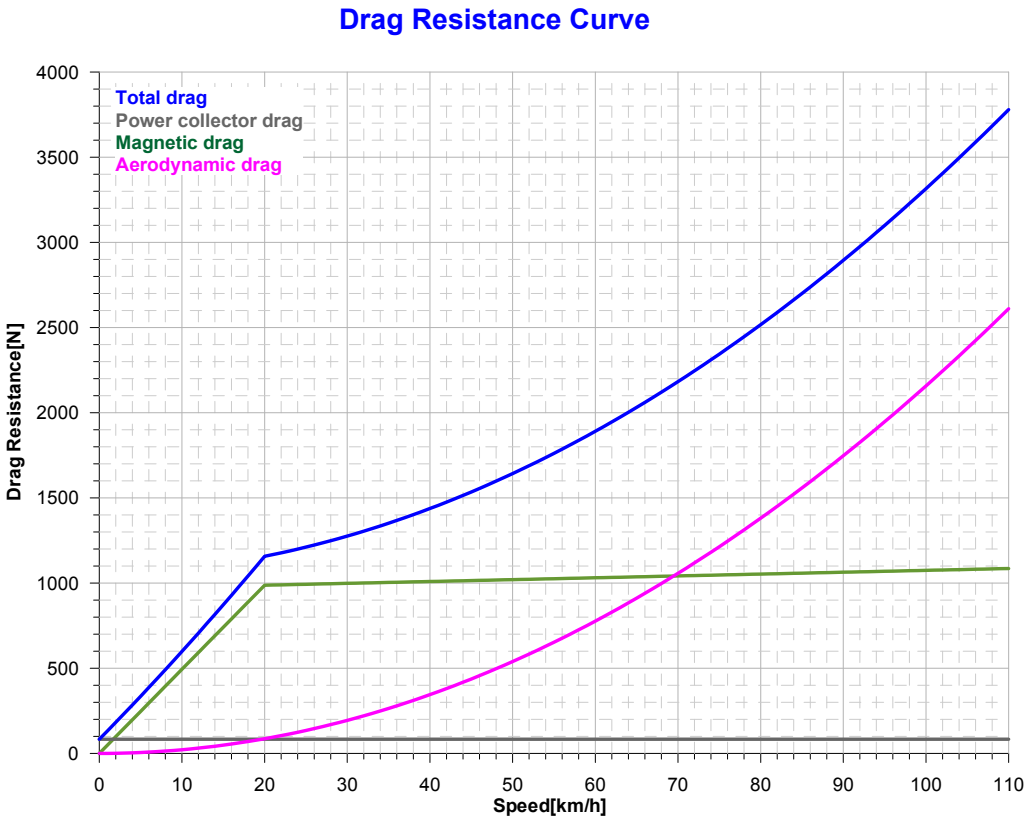
Dg=n(W*g)sin(Θ)

n : Number of cars

W : Single car weight

V : Speed

g : gravity acceleration




[그림 372 ]주행 저항 곡선

(라) 구원 운전 성능

1) 조건별 차량의 주행 저항(20km/h)

| 부하 조건 | 주행저항 [N/car] | 주행저항(7%) [N/car] | 주행 저항(4%) [N/car] |
|---|---|---|---|
| 공차(20톤) | 458 | 14,144 | 8,291 |
| 만차(26.5톤) | 579 | 18,713 | 10,958 |

2) 착지시의 비상 롤러에 의한 주행저항 계수 : 0.035(예상치)

3) 착지시의 조건별 주행 저항

| 부하 조건 | 주행저항 [N/car] | 주행저항(7%) [N/car] | 주행 저항(4%) [N/car] |
|---|---|---|---|
| 공차(20톤) | 6,864 | 20,550 | 14,698 |
| 만차(26.5톤) | 9,095 | 27,230 | 19,475 |

4) 구원 모드에서의 견인력 : 5193N/LIM @20km/h

5) 부상/추진 장치 고장 조건별 추진 가능성 (만차, 7% 조건)

| | Mc1 | Mc2 | 가속도[m/s$^2$] | 구원가능 여부 |
|---|---|---|---|---|
| 추진 | 정상 | 고장 | 0.078 | 가능 |
| 부상 | 정상 | 정상 | | |
| 추진 | 정상 | 정상 | 0.701 | 가능 |
| 부상 | 정상 | 고장 | | |
| 추진 | 정상 | 정상 | 0.540 | 가능 |
| 부상 | 고장 | 고장 | | |

6) 부상/추진 장치 동시 고장시 조건별 추진 가능성

F : 만차(Fully Laden) 조건

E : 공차(Empty) 조건

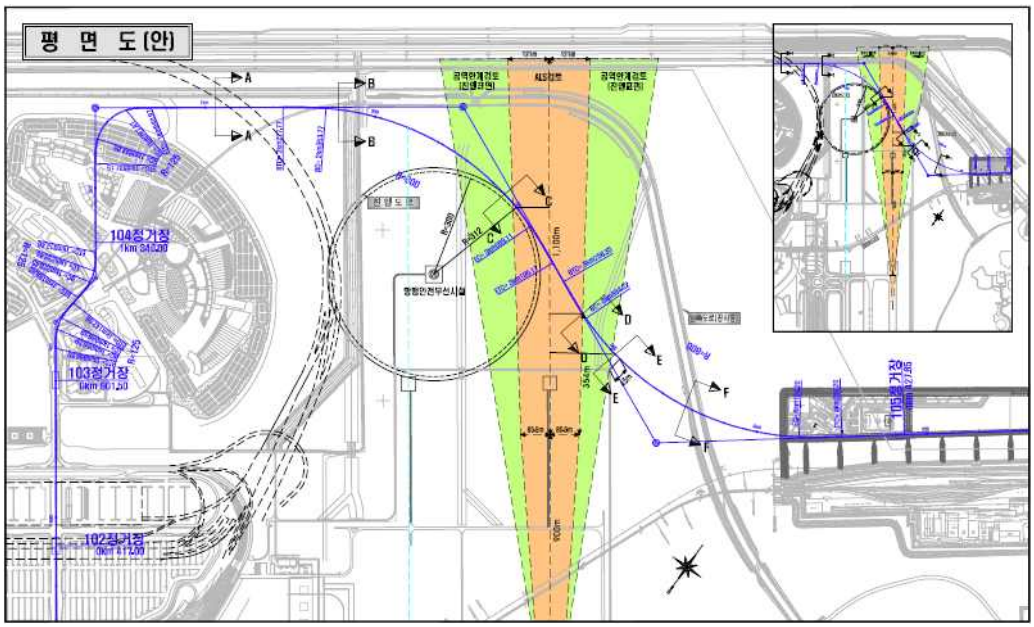
| 구배 조건 | Configuration | | 가속도 [m/s2] | 구원가능 여부 |
|---|---|---|---|---|
| | Mc1 (Healthty) | Mc2 (Disabled) | | |
| 평탄 | F | F | 0.601 | 가능 |
| | F | E | 0.733 | 가능 |
| | E | F | 0.688 | 가능 |
| | E | E | 0.856 | 가능 |
| Gradient(7%) | F | F | -0.083 | 불가능 |
| | F | E | 0.049 | 어려움 |
| | E | F | 0.004 | 어려움 |
| | E | E | 0.171 | 가능 |
| Gradient(4%) | F | F | 0.210 | 가능 |
| | F | E | 0.342 | 가능 |
| | E | F | 0.296 | 가능 |
| | E | E | 0.464 | 가능 |

7) 타차 구원 운전

| 구배 조건 | Configuration | | 가속도 [m/s2] | 구원가능 여부 |
|---|---|---|---|---|
| | Train1 (Healthy) | Train2 (Disabled) | | |
| 평탄 | F | F | 0.601 | 가능 |
| Gradient(7%) | F | F | -0.083 | 불가능 |
| | E | F | 0.004 | 어려움 |
| | F | E | 0.049 | 어려움 |
| | E | E | 0.171 | 가능 |
| Gradient(4%) | F | F | 0.210 | 가능 |
| | E | F | 0.296 | 가능 |
| | F | E | 0.342 | 가능 |
| | E | E | 0.464 | 가능 |

(마) 열차성능 시뮬레이션(TPS)

아래 그림과 같은 역 정보 및 트랙 정보를 이용한 시뮬레이션 결과 거리에 따른 고도(Altitude), 경사(Gradient), 곡선반경(Curve), 제한속도(Speed limit)도 같이 나타난다.

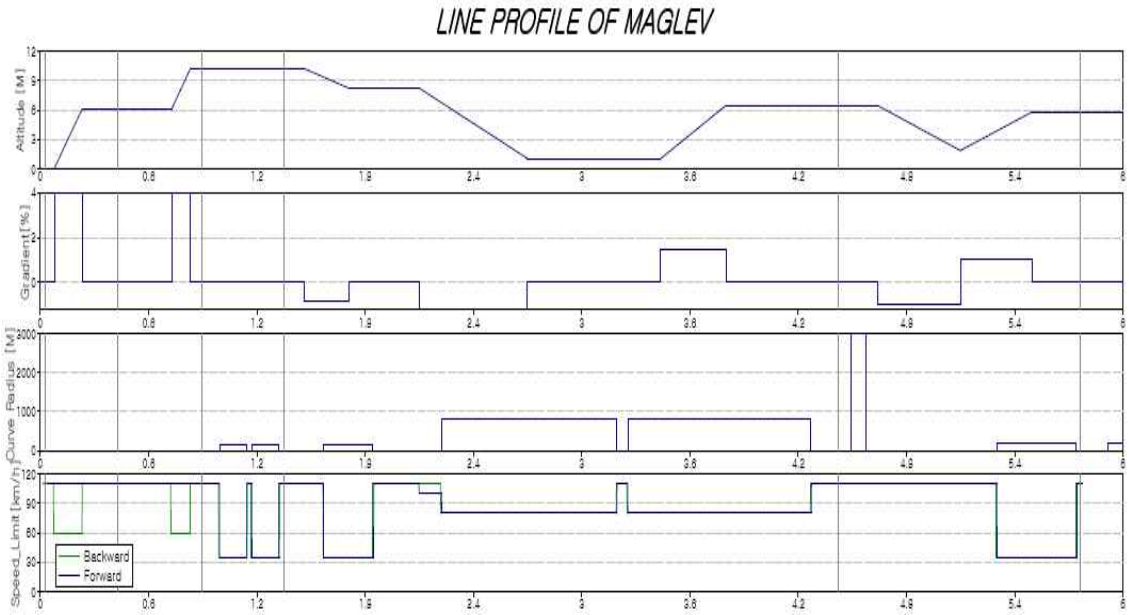



[그림 373 ]선로 평면도

시뮬레이션에 적용된 곡선반경에 따른 제한속도 및 구배에 따른 제한속도는 아래의 표와 같고 표정 속도는 35km/h로 설정하였다.

| 곡선반경[m] | | 제한속도[km/h] |
|---|---|---|
| 60 | 100 | 30 |
| 100 | 200 | 35 |
| 200 | 300 | 40 |
| 300 | 400 | 45 |
| 400 | 500 | 50 |
| 500 | 600 | 60 |
| 600 | 700 | 70 |
| 700 | 800 | 80 |
| 800 | 900 | 90 |
| 900 | 1,000 | 100 |
| 1,000 | 이상 | 110 |

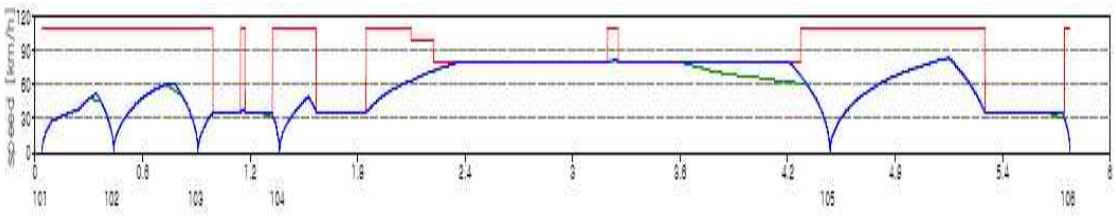
| 구배[%] | | 제한속도[km/h] |
|---|---|---|
| 이하 | 6.0 | 30.0 |
| 5.0 | 5.5 | 40.0 |
| 4.5 | 5.0 | 45.0 |
| 4.0 | 4.5 | 50.0 |
| 3.5 | 4.0 | 60.0 |
| 3.0 | 3.5 | 70.0 |
| 2.0 | 3.0 | 80.0 |
| 1.0 | 2.0 | 100.0 |
| 1.0 | 이상 | 110.0 |



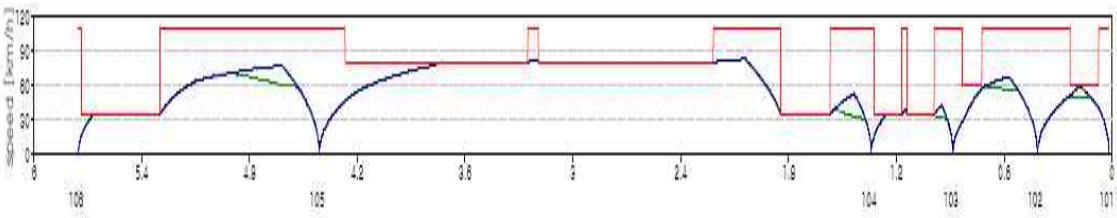

[그림 374 ]라인 프로파일

곡선반경 및 구배에 따른 제한속도 조건을 적용한 시뮬레이션 결과 현재의 트랙 조건에서 위 그림의 Speed limit 그래프와 같이 최고 속도는

110km/h인 것을 알 수 있다. 하지만 아래 그림에서 보는 것과 같이 101 정거장에서 106 정거장을 포함한 운행 시뮬레이션에서 운행 중 최고 속도는 80km/h인 것을 알 수 있다.




[그림 375 ]정방향 운행 속도




[그림 376 ]역방향 운행 속도

(바) 추진성능 검토 결과

가선조건, 중량, 선로 정보 등을 고려했을 경우 가속도, 구배기동, 최대 속도 등의 성능을 구현하기에 충분한 추진성능을 가지도록 설계되었으며 시험을 통한 검증 및 튜닝이 필요하다.

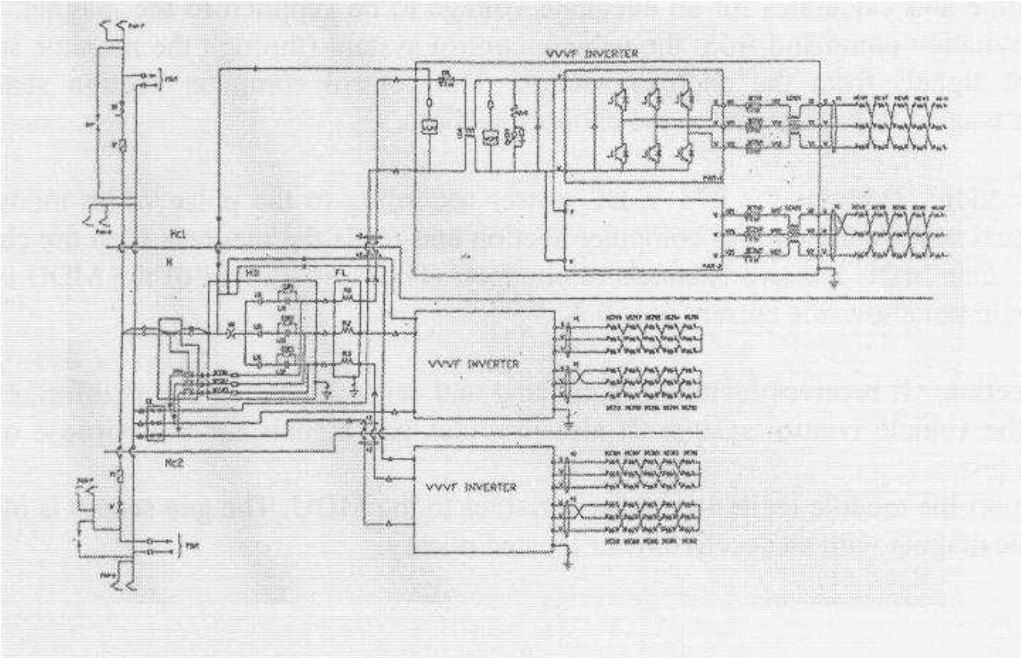
(2) 선형유도전동기

(가) 국내외 차량에 적용된 기술분석

1) 문헌 조사를 통한 Linimo 차량의 기술 분석

가) 일본의 HSST-100L(Linimo 차량의 모태) 추진 시스템 분석

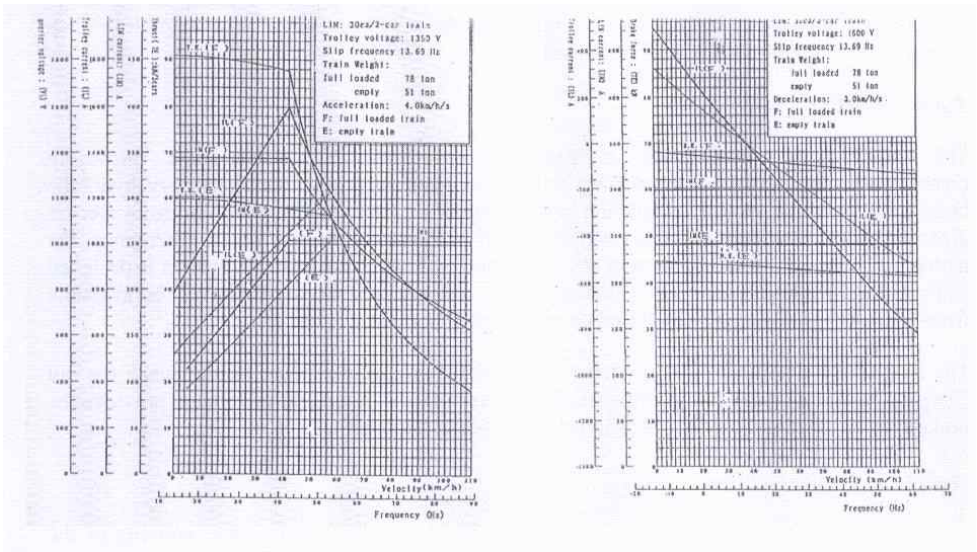
① 주요 일반 사양




[그림 377 ]HSST 100L 주요 회로도

② LIM의 주요 제원

- 제어대수 : 10대/량, 5S2P 접속
- 2최대정격출력 : 39.8 kW (AC226V, 344 A)
- 극수 : 8
- 극간격 : 0.2025 m
- 냉각방식 : 자연냉각
- 코일절연 : H종
- 2차측 도체판 두께 : 4 mm



[그림 378 ]LIM의 추진 특성

(나) 도시형 자기부상열차 추진용 선형유도전동기의 해석

1) 해석 프로그램의 검증

일본의 동경도영 지하철(Linear Metro) 12-000형 차량용 LIM의 실험값과 해석값의 비교를 통한 1차 검증 실시함.

극수 P = 8, 길이 L = 2,476[m], 극간격 $\tau$ = 280.8 [mm], 1차 철심 적층폭 h=300[mm], 정격속도 V = 36.9 [km/h], 주파수 f = 22[Hz].

아래 표와 같이 주요특성이 6% 이내의 오차를 가짐.

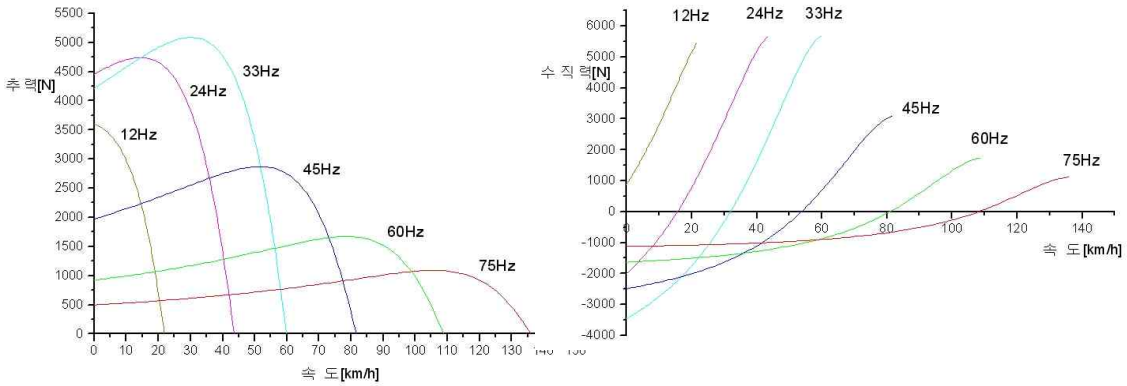
[표 85 ]해석 프로그램의 검증 결과

| | 실험값 | 해석값 | 오차 |
|---|---|---|---|
| 추력 | 12,211 [N] | 12,697 [N] | +2.9% |
| 흡인력 | * | 24,032 [N] | * |
| 전류 | 208 [A] | 195.5 [A] | -6% |

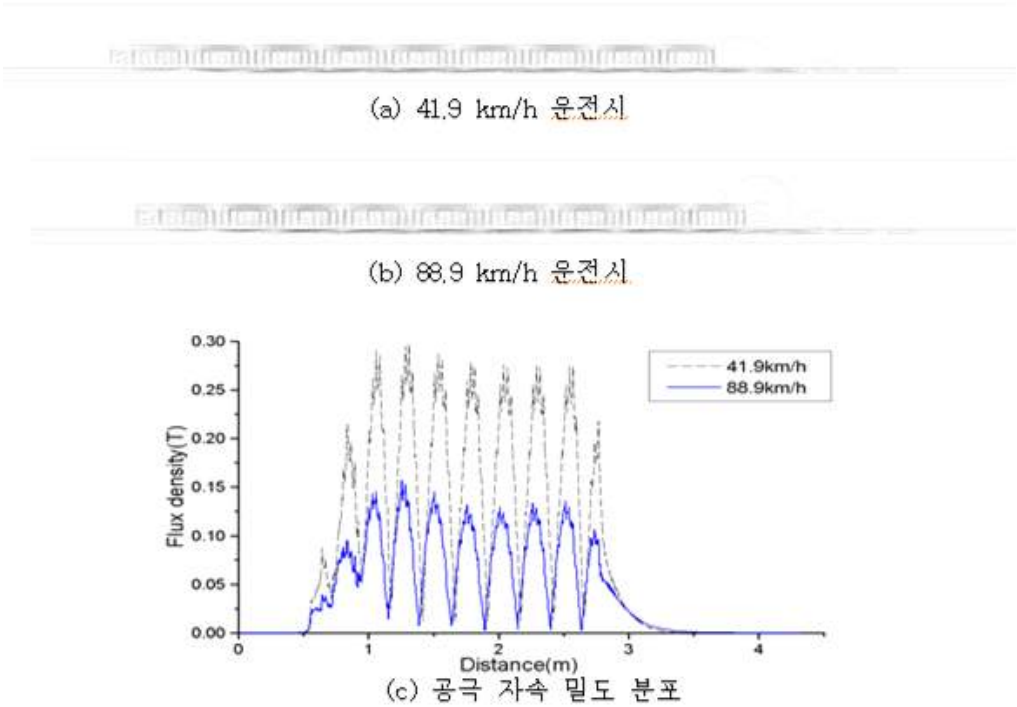
* 1차측 권선 및 2차측 도체의 온도 : 75도

2) 산자부 자기부상열차 추진용 LIM의 특성 해석 결과

(a) 추력 특성 (b) 수직력 특성(+:흡인력, -:반발력)




[그림 379 ]추력 및 수직력 특성 해석 결과
($f_1 < 33$Hz 에서 $\sqrt{3}\, V_1/f_1 = const.$)




[그림 380 ]산자부 자기부상 열차 추진용 LIM의 자속분포도(FEM 해석 결과)

(다) 선형유도전동기 설계

1) 3대차 방식에서 성능 만족을 위한 제약 조건하에서 경량화 설계

가) 성능 개선 목표

- 최대 출력 증가 : 65 kW (산자부 LIM (55kW) 사양 대비 18% 증가)
- 정격 추력 : 5.2 kN (산자부 LIM (4.8kN) 사양 대비 8.3% 증가)
- 중량 감소율 30% 이상

나) 설계상의 기계적 제약 조건

- 모터길이 < 2 [m], 1차측 적층폭 < 230 [mm], 1차측 높이 < 70 [mm]

(다) 경량화 설계 결과 : 산자부 모델 대비 33.4% 중량 감소됨.

[표 86 ]3대차 방식에서 개선된 LIM 해석비교표

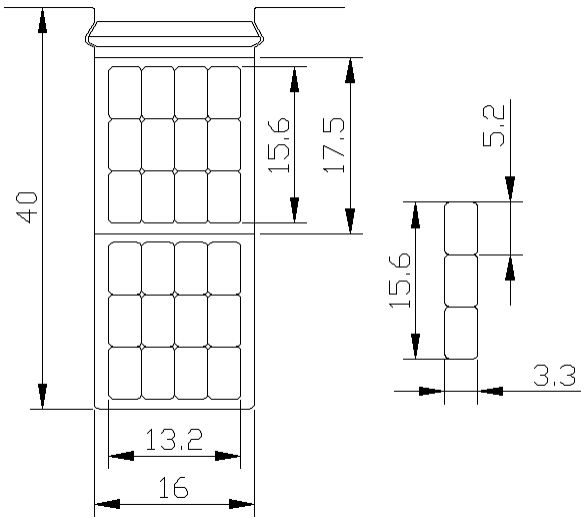
| 구 분 | 항 목 | 단 위 | 산자부모델 | 개 선 모델 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| LIM 정격 | 출력 | kW | 50.8 | 68.4 | 3 4 % 증가 |
| | 선간전압 | V | 367 | 367 | |
| | 1차전류 | A | 290 | 333 | |
| | 용량 | kVA | 184.4 | 211 | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 주파수 | $f_1$ (Hz) | 34 | 41.3 | |
| | 슬립주파수 | $f_2$ (Hz) | 13 (s=0.382) | 12.1 (s=0.293) | |
| | 정격추력/LIM | N | 4,800 | 5,200 | 8.3% 증가 |
| 1차 철심 | 모터길이 | mm | 2,221 | 1,984 | |
| | 철심 적층길이 | h (mm) | 230 | 230 | |
| | 철심높이 | $d_a$ (mm) | 71 | 55 | |
| | 극수 | P | 8 | 8 | |
| | 총슬롯수 | $N_{ss}$ | 79 | 79 | |
| | 매극매상 슬롯수 | Q | 3 | 3 | |

| 구분 | 항 목 | 단위 | 산자부모델 | 개선모델 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1차 권선 | 단절율 | $\beta$ | 7/9 | 7/9 | |
| | 코일당 턴수 | $N_{ct}$ | 5 | 4 | |
| | 코일당 단면적 | $q_{sc}$ ($mm^2$) | 58.59 | 51.48 | |
| | 1턴당 평균길이 | $l_a$ (m) | 1.244 | 1.16 | |
| | 1상의 직렬턴수 | $N_{ph}$ | 120 | 96 | |
| 2차측 | Back iron 두께 | $d_1$ (mm) | 15 | 15 | |
| | Back iron 폭 | $h_1$ (mm) | 239 | 245 | |
| | Reaction plate 두께 | $d_2$ (mm) | 6 | 5 | |
| | Reaction plate cap 폭 | $t_{ov}$ (mm) | 6 | 5 | 도면참조 |
| | Reaction plate cap 두께 | $w_{ov}$ (mm) | 20 | 18 | 도면참조 |
| 공극 | 공극길이 | g (mm) | 12 | 11 | |

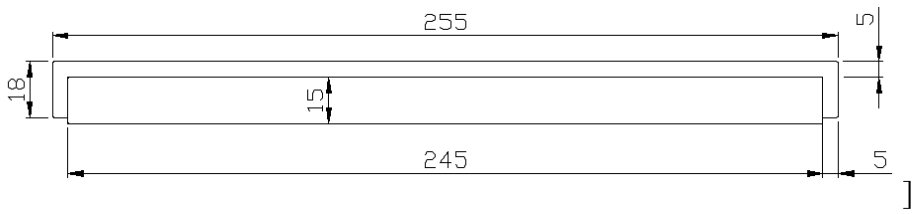
| 구 분 | 항 목 | 단위 | 산자부모델 | | | | 개선모델 | | | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 부 하 별 | 부하 | % | 50 | 75 | 100 | 125 | 50 | 75 | 100 | 125 | 산자부모델 : |
| | 출력 | kW | 35.1 | 47. | 50. | - | 42. | 53. | 68. | 55 | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 특성 | | | | 4 | 8 | | 1 | 9 | 4 | | 125% 부하 운전 불가능 |
| | 슬립 | % | 14.7 | 23.2 | 38.2 | - | 12.9 | 19.5 | 29.3 | 54.5 | |
| | 슬립 주파수 | Hz | 5 | 7.89 | 13 | - | 5.33 | 8.05 | 12.1 | 22.5 | |
| | 입력 전류 | A | 197 | 230 | 290 | - | 249 | 279 | 333 | 446 | |
| | 효율 | % | 67.9 | 62.3 | 48.4 | - | 67.9 | 65.1 | 56.5 | 33.4 | |
| | 역률 | % | 41.3 | 52.1 | 57.0 | - | 39.2 | 50.6 | 57.3 | 58.1 | |
| | 추력 | N | 2400 | 3600 | 4800 | - | 2600 | 3900 | 5200 | 6500 | |
| | 수직력 | N | 4684 | 3606 | 1463 | - | 5934 | 5073 | 3376 | -618 | |

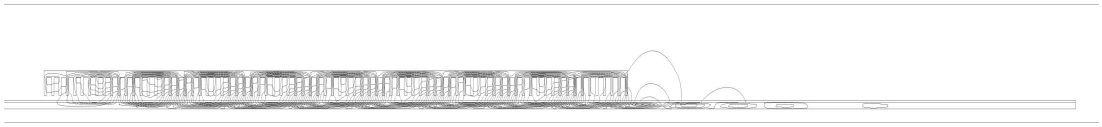



[그림 381 ]개선 모델의 슬롯 형상

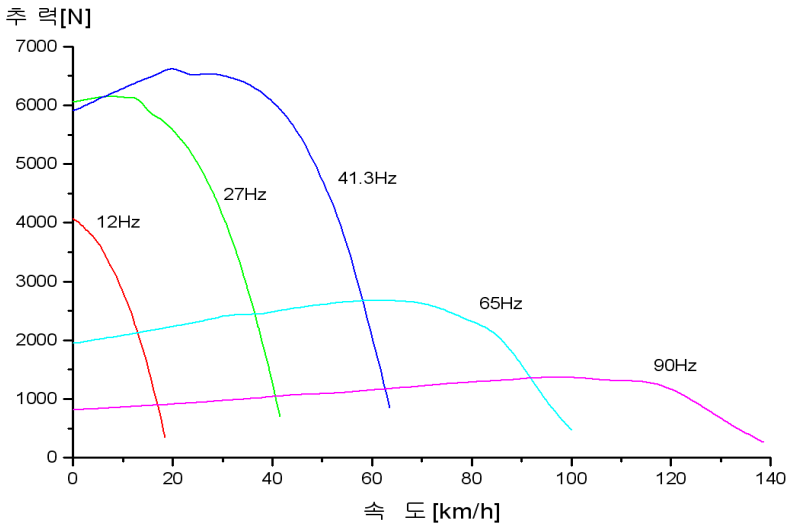
(총 슬롯수 : 79, 1차철심 높이 : 55 mm, 모터길이 : 1,984 mm)



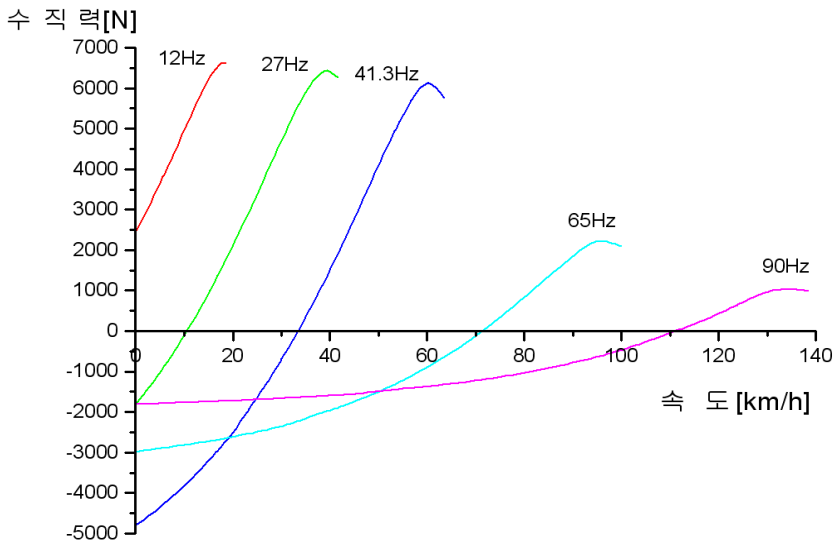

[그림 382 ]개선 모델의 2차측 형상



[그림 383 ]개선 모델의 자속 분포도
(속도 : 47.3km/h, 슬립주파수 : 12.1 Hz, 모터길이 : 1984 mm)




(a) 추력



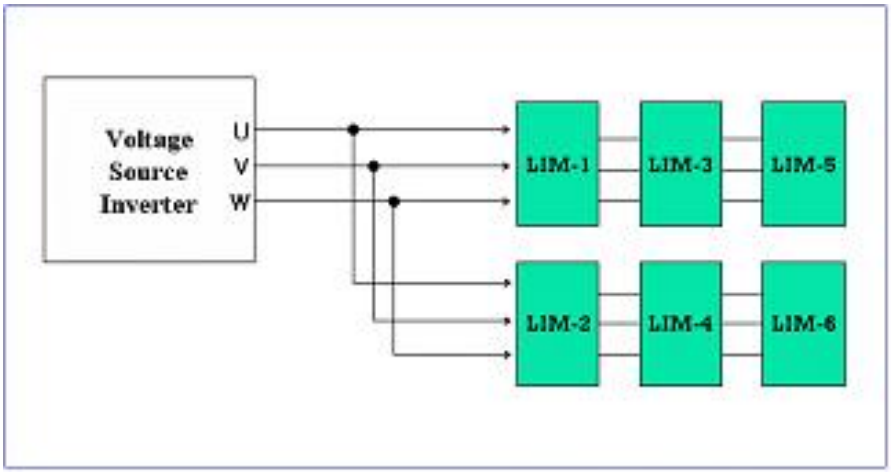

(b) 수직력

[그림 384 ]개선 모델의 추력 및 수직력 특성 해석 결과

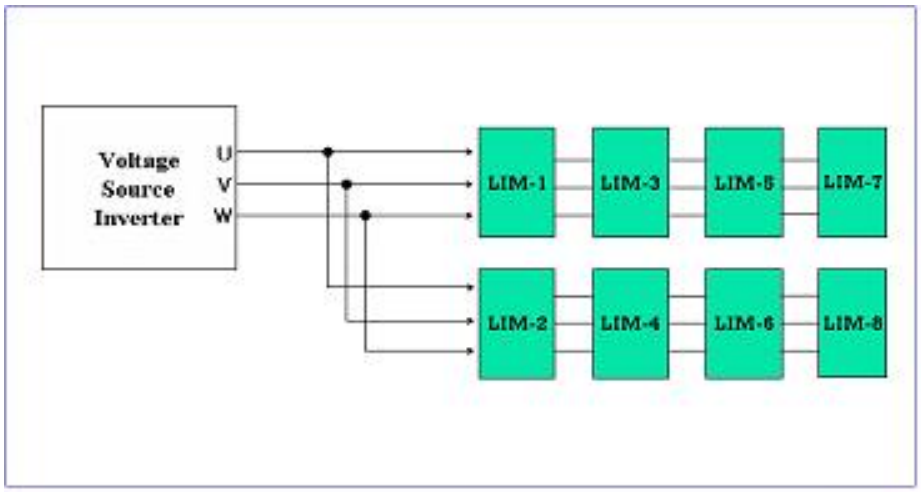
($f_1 < 41.3$ Hz 에서 $\sqrt{3}\, V_1/f_1 = const.$)

2) 1량에 장착되는 대차 수량 변경

차량 1량에 장착되는 대차의 수량이 3sets에서 4sets로 변경됨에 따라 1차 년도에 설계된 선형유도전동기의 사양이 변경됨




[그림 385 ]산자부 LIM 배치도 3S2P방식

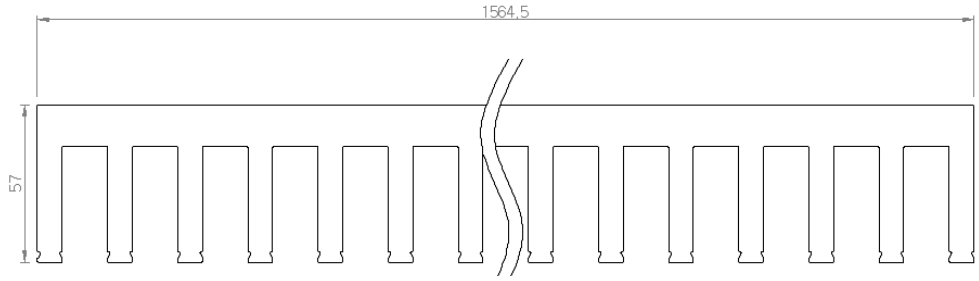



[그림 386 ]변경된 LIM 배치도 4S2P방식

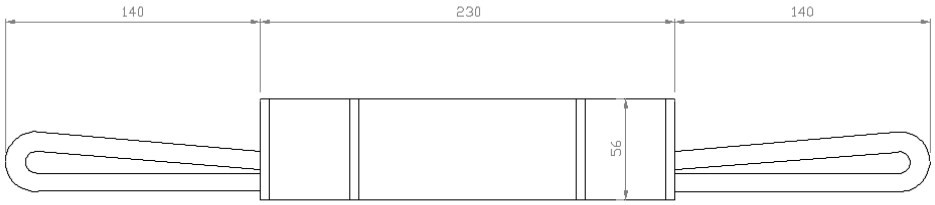
가) 대차 한계길이 변경

차량 1량에 장착되는 대차 수량 4sets로 변경 시 제안된 대차 한계길이는 1600mm였고, 이에 6극 1565mm로 해석 및 설계를 완료하였으나 대차 한계길이가 1800mm로 변경됨.

① 대차 한계길이 1600mm에 따른 설계안

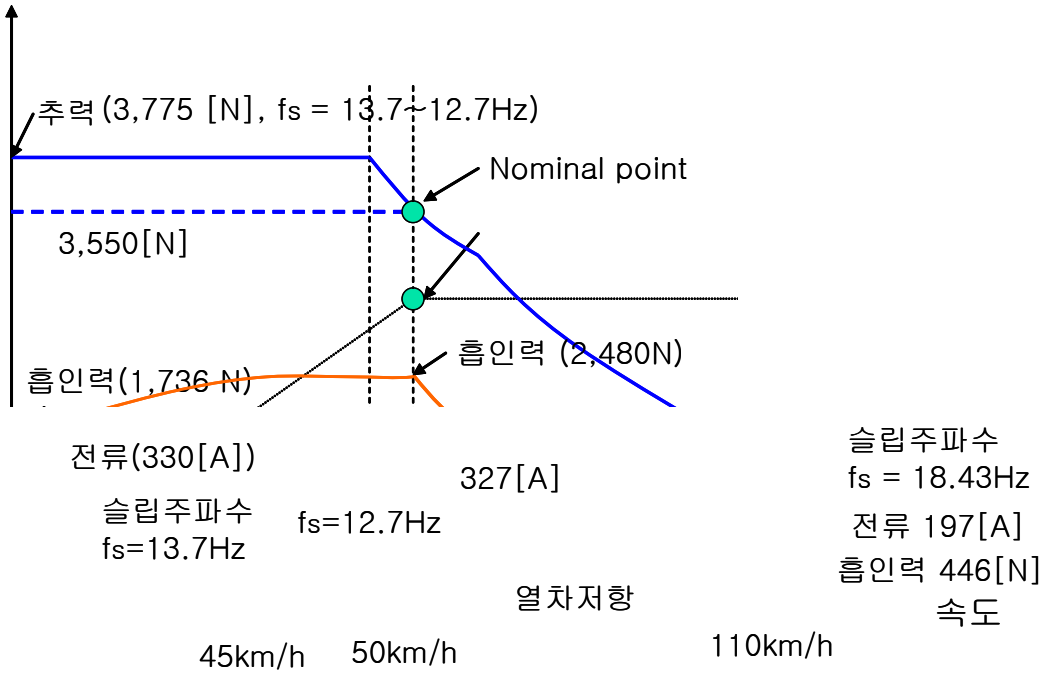



[그림 387 ]대차 한계길이 1600mm용 LIM Core 형상




[그림 388 ]대차 한계길이 1600mm용 LIM 측면 형상

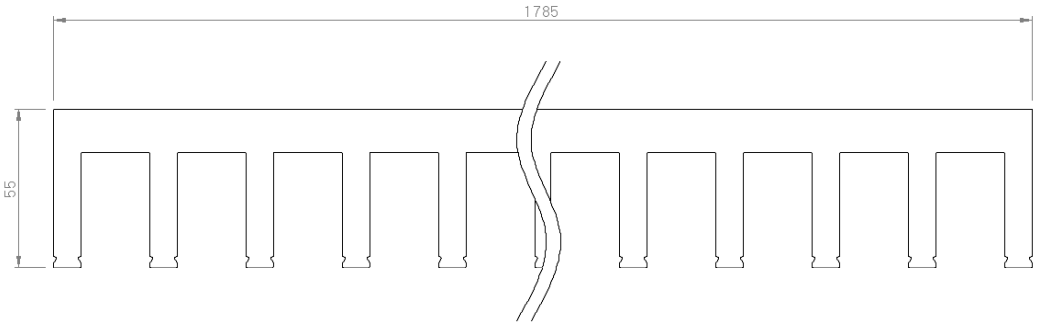
- 전체길이 : 1,564.5 [mm]
- 극수 : 6
- 총슬롯수 : 61
- 1코일당 턴수 N : 4
- 치폭 : 9 mm
- 슬롯폭 : 16.5mm
- Reaction plate 두께 : 5 mm
- Reaction plate overhang 높이 : 15mm




[그림 389 ]대차 한계길이 1600mm용 LIM 가속 성능곡선

② 대차 한계길이 1800mm에 따른 1차 설계안

대차 한계길이 1800mm변경에 따라 재설계된 1차 사양은 다음과 같다.

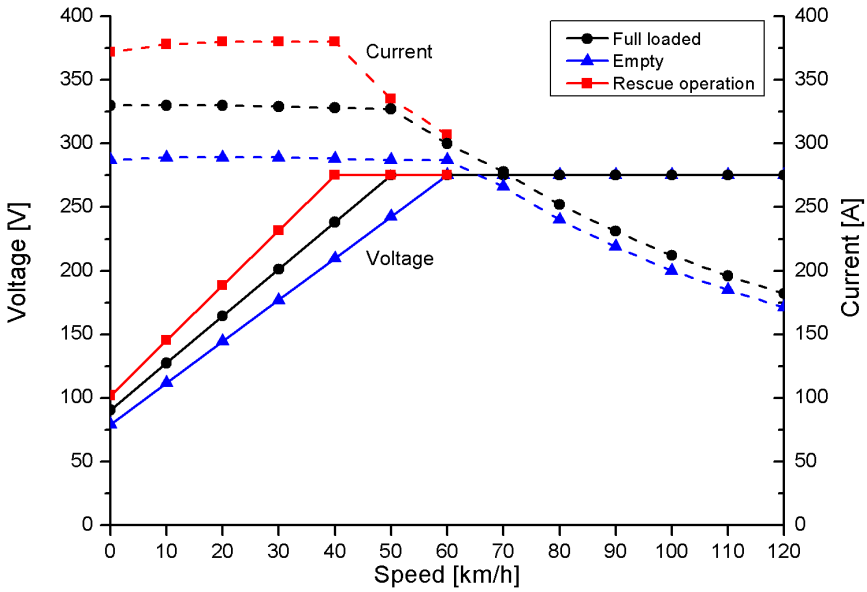



[그림 390 ]대차 한계길이 1800mm용 LIM Core 형상(1차안)

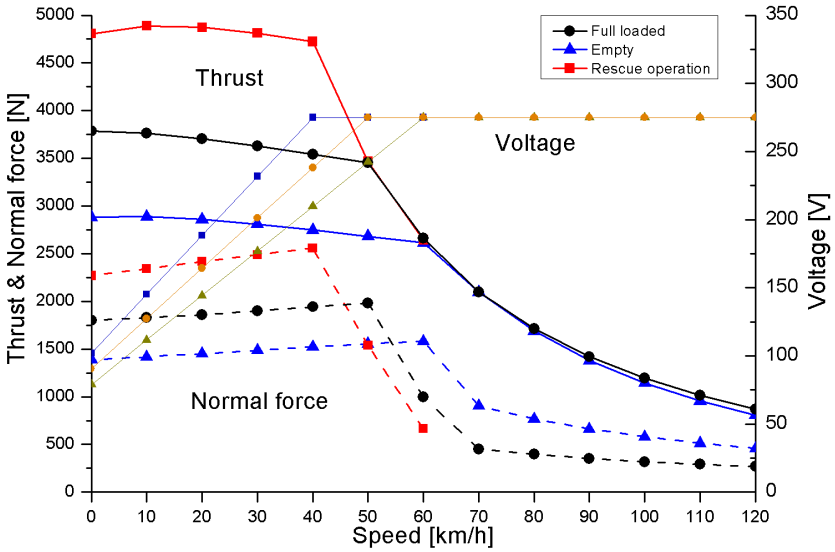
[그림 391 ]대차 한계길이 1800mm용 LIM 측면 형상(1차안)

- 전체길이 : 1,785 [mm]

- 극수 : 8
- 총슬롯수 : 53
- 1코일당 턴수 N : 4
- 치폭 : 9.5 mm
- 슬롯폭 : 24mm
- Reaction plate 두께 : 5 mm
- Reaction plate overhang 높이: 20mm



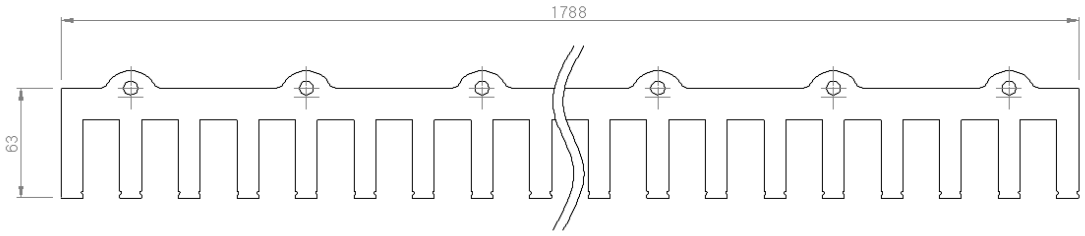

[그림 392 ]대차 한계길이 1800mm용 LIM 전압 전류특성



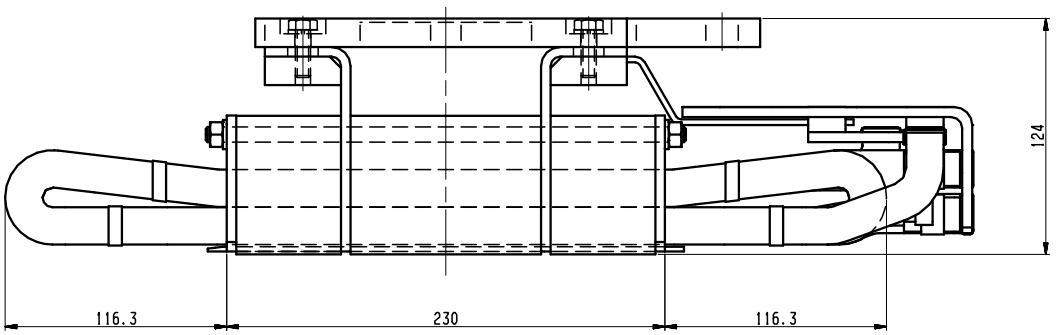

[그림 393 ]대차 한계길이 1800mm용 LIM 추력 및 수직력 특성

③ 대차 한계길이 1800mm에 따른 개선 설계안

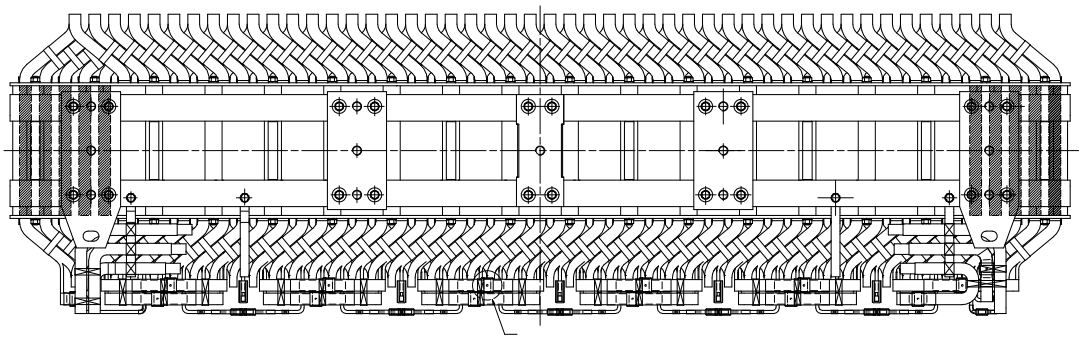
1차 설계안은 슬롯 폭이 24mm로 크고 코일의 턴수가 4턴이어서 코일의 성형작업 및 삽입 작업이 어렵고 치폭이 9.5mm로 작아 자기 소음이 증가할 수 있다. 이에 개선 설계안은 슬롯 폭을 21mm로 줄이고 턴수를 5턴으로 늘려 작업성을 개선하였고, 치폭을 9.5mm에서 12.5mm로 늘려 떨림 현상을 줄여 자기 소음을 개선하였다. 최종 설계된 사양은 다음과 같다.




[그림 394 ]LIM Core 형상




[그림 395 ]LIM Core 조립 측면도



[그림 396 ]LIM 총 조립도

- 전체길이 : 1,785 [mm]

- 극수 : 8
- 총슬롯수 : 53
- 1코일당 턴수 N : 5
- 치폭 : 12.5 mm
- 슬롯폭 : 21mm
- Reaction plate 두께 : 5 mm
- Reaction plate overhang 높이: 20mm

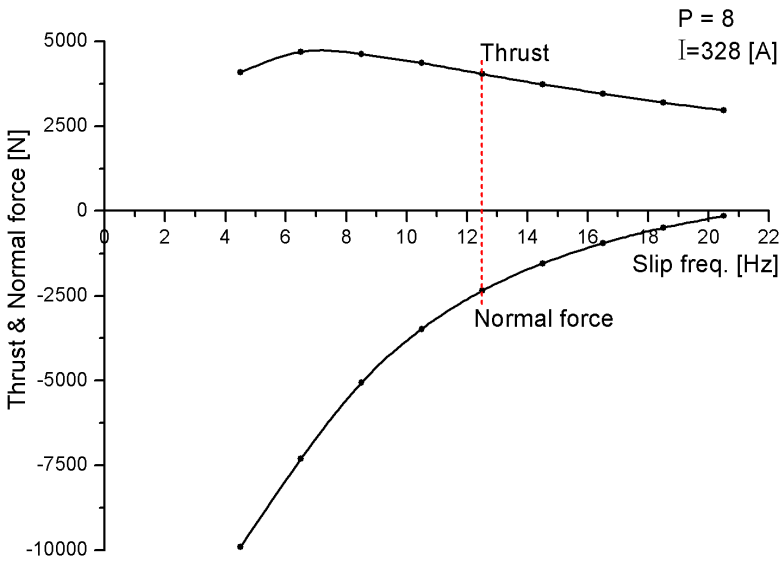
④ 대차 한계길이 1800mm에 따른 개선 설계안의 등가회로 계산

계산 조건
- f=43.6 Hz(base speed : 45 km/h), VL = 275 [V]
- 1차측 권선 온도 : 75 ℃, Reaction plate 온도 : 50 ℃

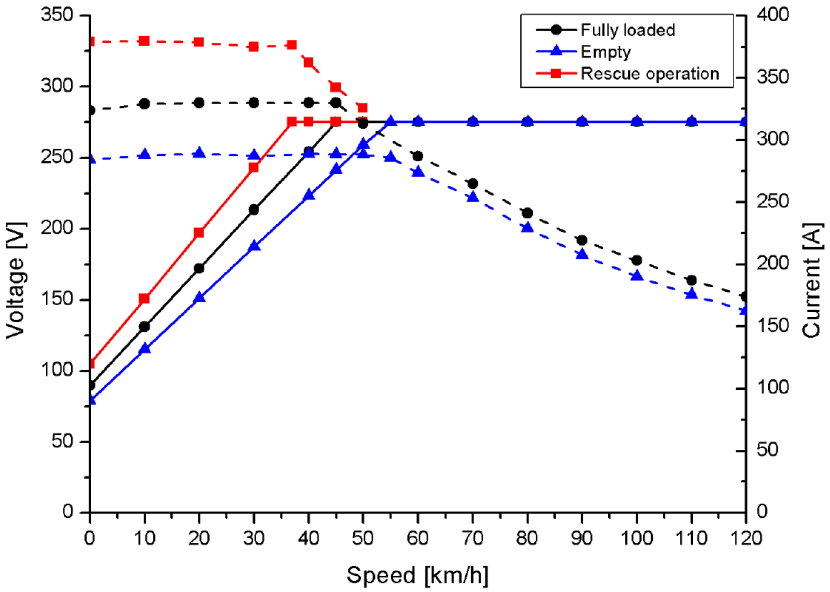
회로정수
- 1차측 저항 : R1 = 0.04611 [ohm]
- 1차측 누설리액턴스 : X1 = 0.18777 [ohm]
- 여자 리액턴스 : Xm = 0.58413 [ohm]
- 2차측 누설리액턴스 : X2 ' = 0.13134 [ohm]
- 2차측 저항 : R2 ' = 0.11932 [ohm]

전류밀도 : 5.36 [A/mm2] (326 [A])
(FEM 해석시 : 5.42 [A/mm2] (330[A]))

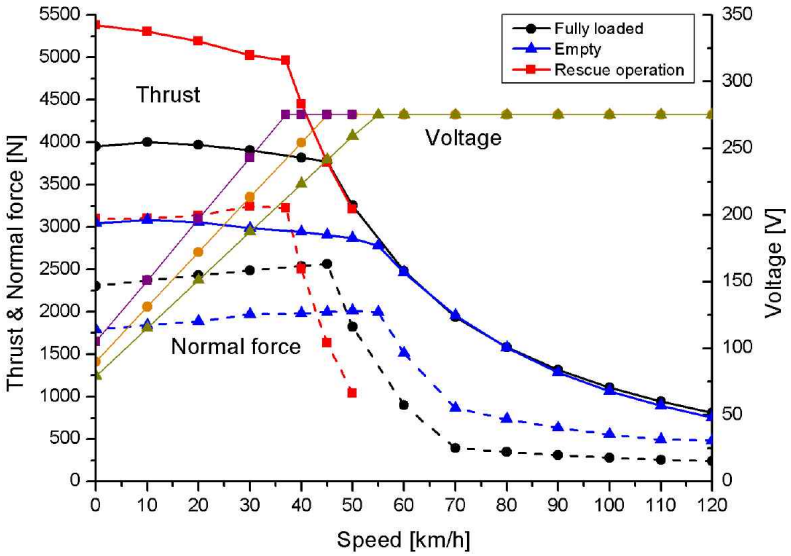
1차측 권선 온도 상승 : 79 ℃ (권선온도 104 ℃)
(Schedule speed = 40km/h 로 가정하여 산출)



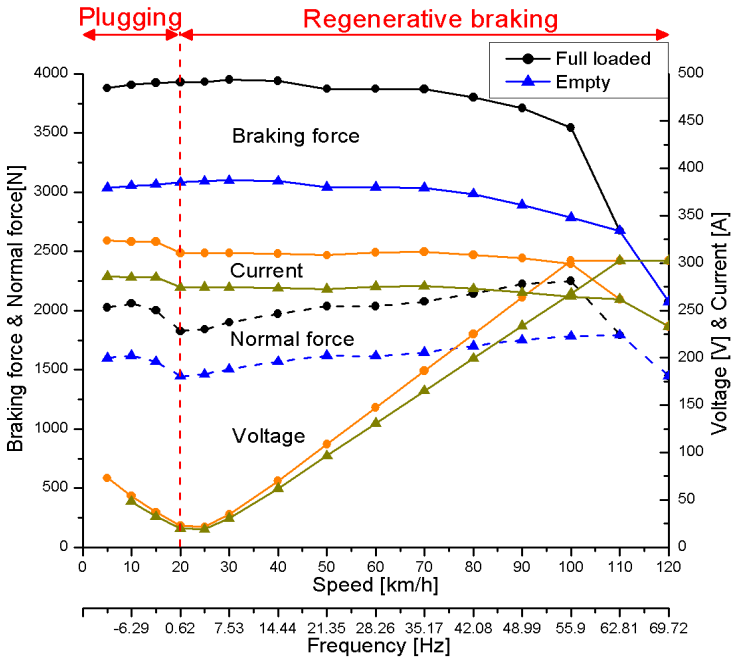

[그림 397 ]슬립 주파수 결정




[그림 398 ]전압 전류 특성




[그림 399 ]추력 및 수직력 특성




[그림 400 ]회생제동 특성

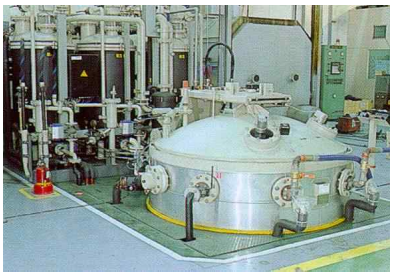
⑤ 최종 설계안 확정

| 항목 | 산자부모델(산자부과제) | 대차 한계길이 | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1600mm | 1800mm | | |
| 전체길이(mm) | 2223 | 1564.5 | 1,785 | 1,785 | |
| 극수 | 8 | 6 | 8 | 8 | |
| 중량(kg) | 300 | - | - | 200 | |
| 총 슬롯수 | 79 | 61 | 53 | 53 | |
| 1코일당 턴수 | 5 | 4 | 4 | 5 | |
| 치폭 | 9 | 9 | 9.5 | 12.5 | |
| 슬롯폭 | 19 | 16.5 | 24 | 21 | |
| 1차 저항 | - | - | 0.04345 | 0.04611 | |
| 1차측 누설리액턴스 | - | - | 0.18548 | 0.18777 | |
| 여자리액턴스 | - | - | 0.62858 | 0.58413 | |
| 2차측 누설리액턴스 | - | - | 0.14711 | 0.13134 | |
| 2차측저항 | - | - | 0.12138 | 0.11932 | |

(라) 선형유도전동기 제작

Stator assy 조립

코일 삽입 및 결선



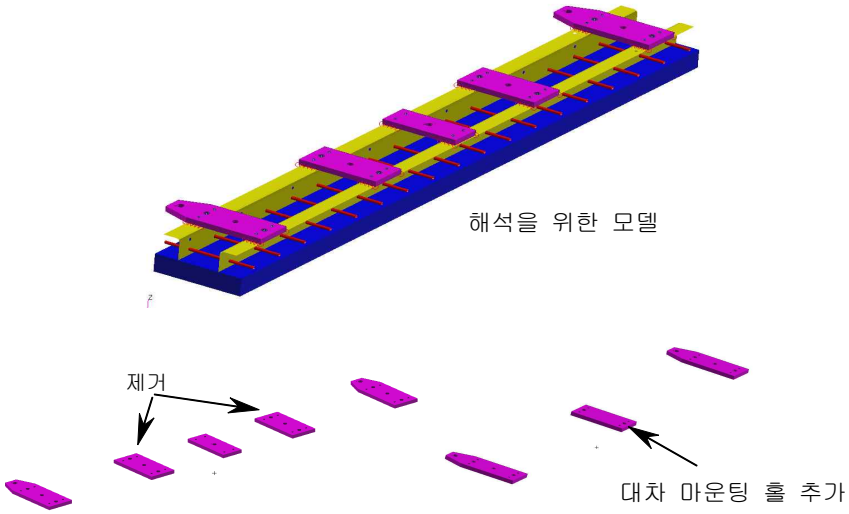
함침 및 건조

LIM 도장 및 커넥터 작업

[그림 401 ]선형유도전동기 제작공정

(마) 선형유도전동기 취부개선

1) 선형유도전동기 취부개선 해석

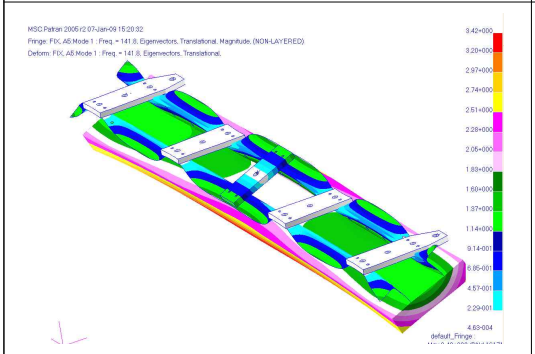
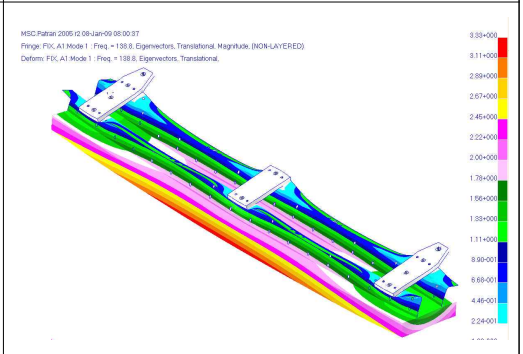
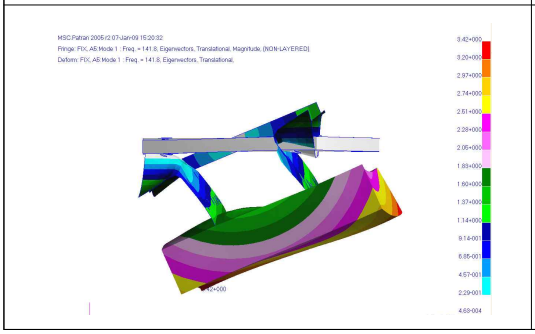
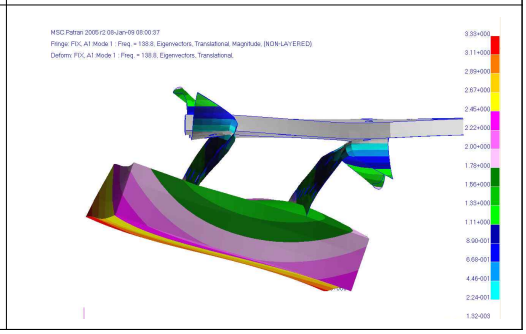



[그림 402 ]해석을 위한 모델링

- 대차 사이드프레임 마운팅 브라켓 4개중 가운데 2개를 삭제하고 센터의 추진력 전달 플레이트를 마운팅 기능을 포함한 브라켓 형태로 변경함

가) Modal Analysis

[표 87 ]Modal Analysis

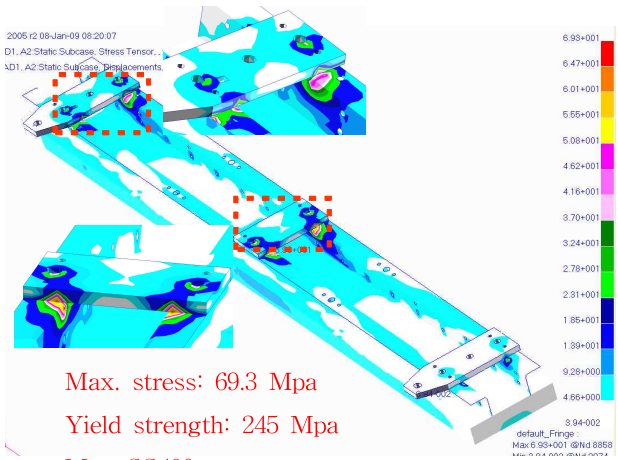
| 5 Bracket Model (Fixed) | 3 Bracket Model (Fixed) |
|---|---|
|  |  |
|  |  |

- 결과 : 마운팅 브라켓을 3개로 가져가더라도 진동 강성의 저하가 없음

나) Static Analysis

- Thrust force(5399.8N × 4) + Normal force(18257.4N) 상기하중을 리니어모터 상당 volume에 균일 분포하중으로 입력

| f(Hz) | THRUST(N) | NORMAL FORCE(N) | VOLTAGE(V) |
|---|---|---|---|
| 2.0 | 4321.8 | 18257.4 | 35.0 |
| 4.0 | 5370.4 | 11760.0 | 51.1 |
| 6.0 | 5399.8 | 7830.2 | 63.2 |
| 8.0 | 5056.8 | 5341.0 | 72.6 |
| 10.0 | 4674.6 | 3694.6 | 80.5 |
| 12.0 | 4351.2 | 2577.4 | 87.8 |
| 12.5 | 4292.4 | 2352.0 | 89.5 |
| 14.0 | 4037.6 | 1754.2 | 94.3 |
| 16.0 | 3704.4 | 1038.8 | 100.0 |
| 18.0 | 3459.4 | 607.6 | 106.0 |
| 20.0 | 3224.2 | 225.4 | 111.7 |
| 22.0 | 3038.0 | -58.8 | 117.7 |
| 24.0 | 2881.2 | -274.4 | 123.5 |
| 26.0 | 2695.0 | -499.8 | 128.5 |
| 28.0 | 2538.2 | -656.6 | 134.0 |
| 30.0 | 2410.8 | -803.6 | 139.5 |
| 32.0 | 2234.4 | -960.4 | 145.0 |
| 34.0 | 2126.6 | -1097.6 | 150.7 |




[그림 403 ]Static Analysis

- 결과 : 마운팅 브라켓을 3개로 가져가더라도 강도상의 문제가 발생하지 않음.

(바) 선형유도전동기 개선설계 결론

선형유도전동기의 성능개선 설계 및 해석을 통해 요구되는 추력 및 추진성능에 대해 개선 설계하였으며 취부 형상 및 중량을 절감하여 완성차에서도 유사한 추력 및 특성을 가질것으로 예상된다. 추후 2차측에 대한 선로 완성후 완성차에서의 성능 검증이 필요하다.

성과물 : 관련 도면 5종(coil configuration, core detail, Primary core lamitation, Primary core, slot & coil)

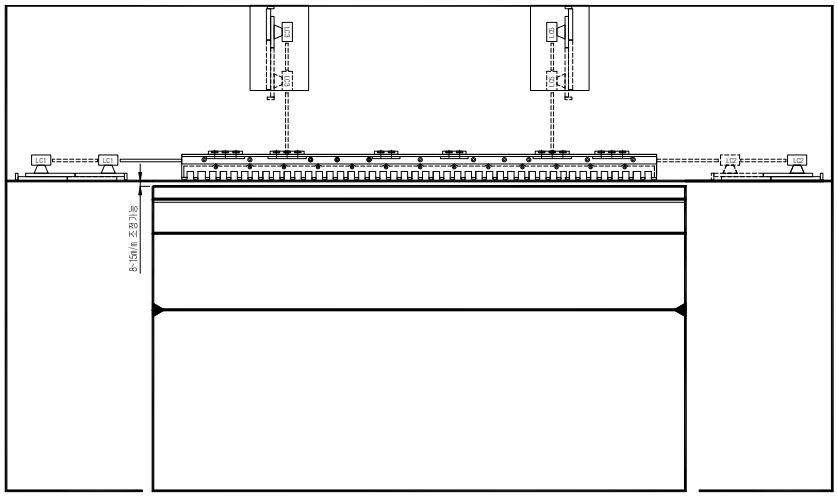
(3) 정지형 추력시험기

회전형 전동기의 시험설비는 피시험용 전동기 반대편에 커플링을 이용하여 다이나모를 연결하고 커플링에 연결된 토크 센서를 통해 힘을 측정하며 속도 또한 회전수 측정을 통해 유추할 수 있다. 그러나 자기부상 열차용 LIM은 회전형 전동기와는 달리 2차 측이 Reaction plate와 Back iron으로 구성된 레일이므로 온도상승시험 및 정격 부하조건 시험을 위해서는 레일이 구비되어 있어야 한다. 그러나 LIM시험만을 위해 레일을 구축하는 것은 불가능 하므로 제한된 공간 내에서 시험을 위한 여러 가지 방법이 제안되었다. 이러한 시험방법 중 하나로 2차 측 레일 일부를 제작 하고

LIM을 정지 상태에서 시험하기위한 정지형 추력시험기를 제작하였다.

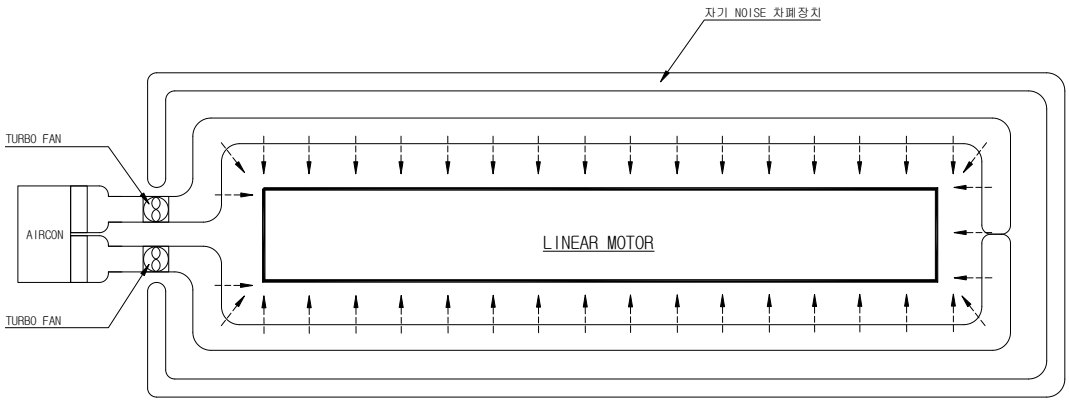
(가) 개념설계

1) 정지 추력 및 수직력 측정



[그림 404 ]정지 추력 및 수직력 측정용 LOAD CELL 배치

2) 냉각 구조

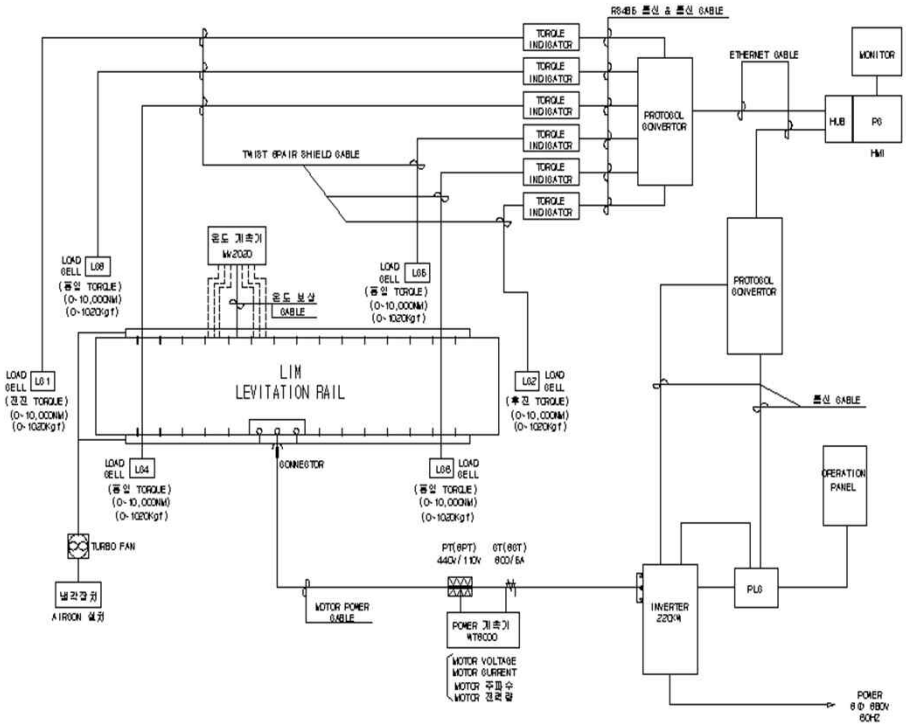



[그림 405 ]선형유도전동기 냉각설비 개략도

(나) 상세설계

1) System 구성도

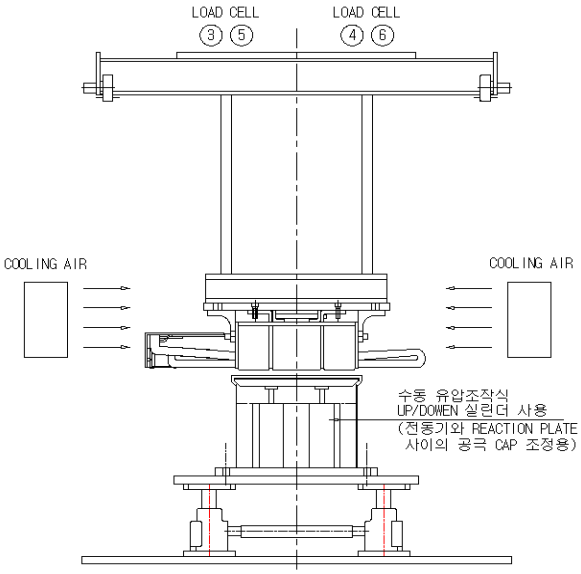
정지형 추력시험기의 System 구성도는 아래 그림과 같다.




[그림 406 ]System Block Diagram

2) 냉각 구조도

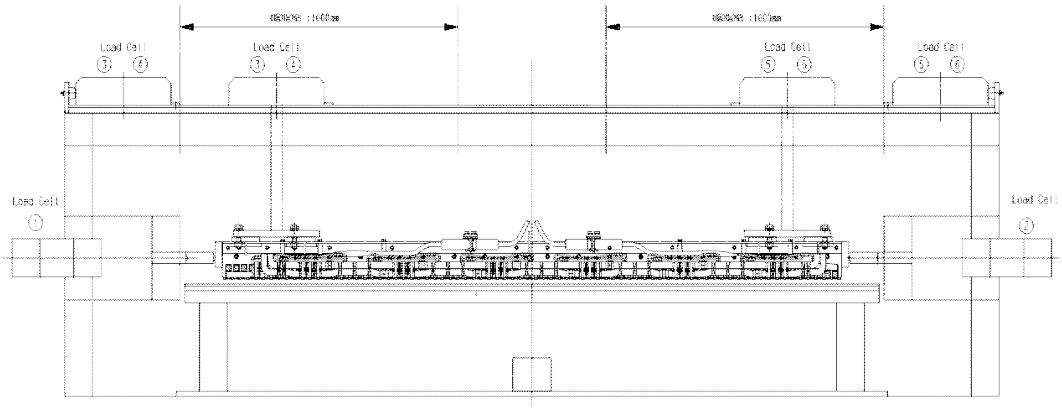
정지형 추력시험기의 냉각 구조는 아래 그림과 같이 양 옆에서 냉각공기를 불어 넣어 선형유도전동기와 2차측을 냉각시키는 구조로 되어 있다.




[그림 407 ]정지형 추력시험기의 냉각 구조도

3) 정지형 추력시험기의 구성도

정지형 추력시험기의 구성도는 아래 그림에서 보는 것과 같은 구조로 되어있다.




[그림 408 ]정지형 추력시험기의 구성도

(다) 제작

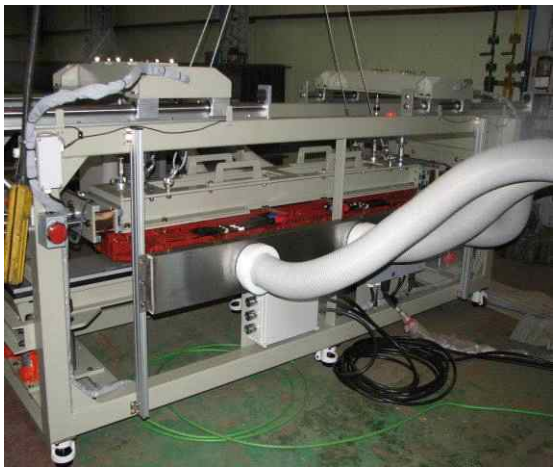
1) 정지형 추력시험기의 제작

아래 그림은 시험기에 전원을 공급하기 위한 인버터 및 DBR 판넬과 추력시험 중 2차측 냉각을 위한 냉풍기를 나타낸 것이다.

[그림 409 ]인버터 및 DBR 판넬

[그림 410 ]냉풍기 장착모습

아래 그림은 시험을 위해 LIM 장착하는 모습과 LIM 시험 조작반을 나타낸 것이다.



[그림 411 ]LIM 장착 작업

[그림 412 ]조작반

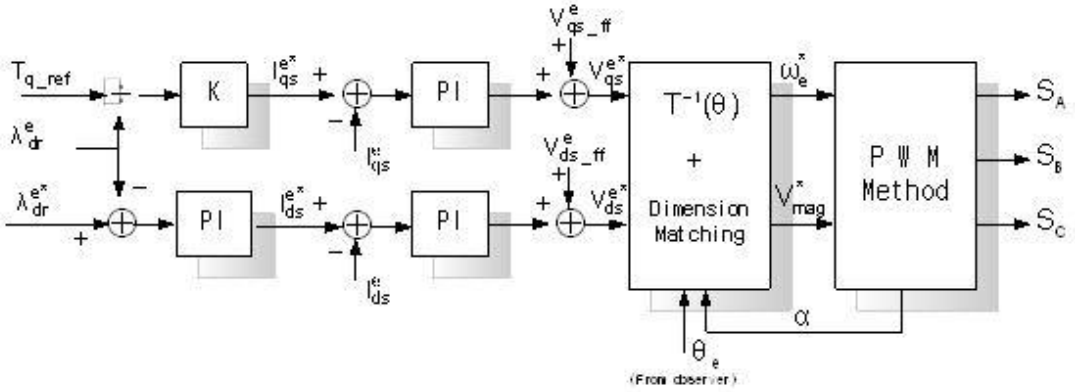
(4) 추진제어 알고리즘

(가) 추진제어 알고리즘 연구 및 개념설계

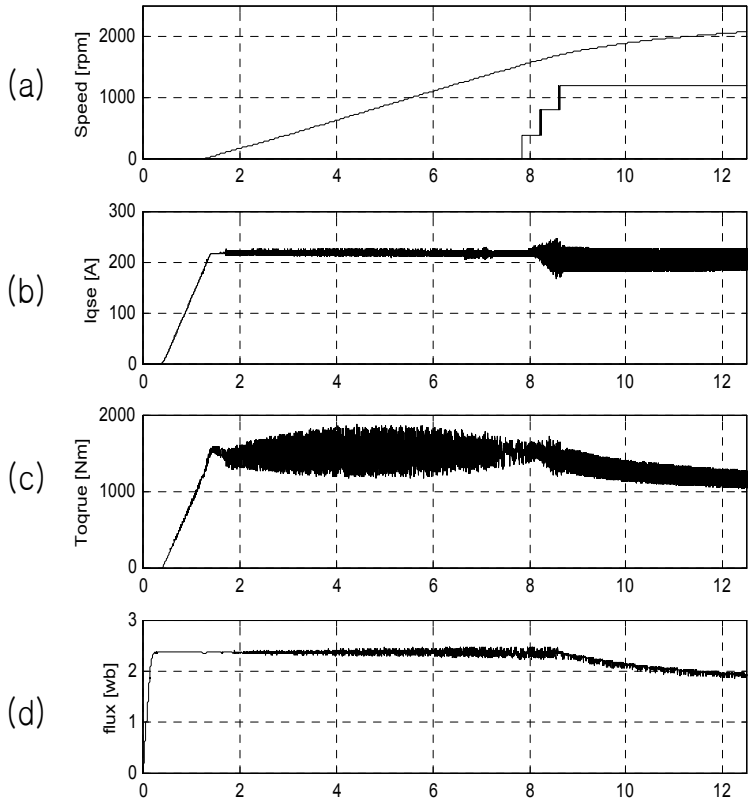
차량의 경량화 및 효율 향상을 통한 성능 향상을 위해 가속도를 산자부 3.6km/h/s에서 4.0km/h/s 로 변경하고, 견인력을 4.8kN에서 5.1kN으로 향상, 최대출력은 55kW에서 65kW로 증대하고 이에 따른 최적 추진제어 알고리즘 구현을 위한 이론적 개념연구를 실시하고 시뮬레이션 한다. 또한 각종 보호 동작을 정의하여 고장 검출 및 비상조치 방안을 마련한다.

1) 제어 알고리즘 연구/시뮬레이션

인버터 제어는 필요한 토크를 얻기 위하여 인버터에 의해 발생된 출력전압으로 전동기 전류를 제어하고 스위치 주파수의 활용을 최대화하여 전동기전류의 고조파성분을 최소화하고 이상적인 인버터 제어를 하는데 목적이 있다. 본 연구에서는 토크 제어 성능이 우시하고 순시 토크 제어가 가능한 벡터제어와 1펄스 모드 운전 구간에서의 슬립 주파수 제어 방안을 혼용하는 방안을 연구한다. 또한 제어기의 안정성을 향상시키기 위해 제어계의 구성을 직렬 접속으로 구성하고, 각 센서의 출력신호는 인터페이스 장치를 거쳐 해당 제어기의 피드백 신호로 사용되며, 속도제어 루프와 전류 제어 루프의 순서대로 점차 안쪽 루프를 형성하도록 설계한다. 마이너 루프의 교차각 주파수를 바깥쪽 루프의 교차각 주파수보다 높임으로서 바깥쪽 루프 제어기를 쉽게 설계 할 수 있도록 한다. 아래 그림은 벡터제어 블럭도 및 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

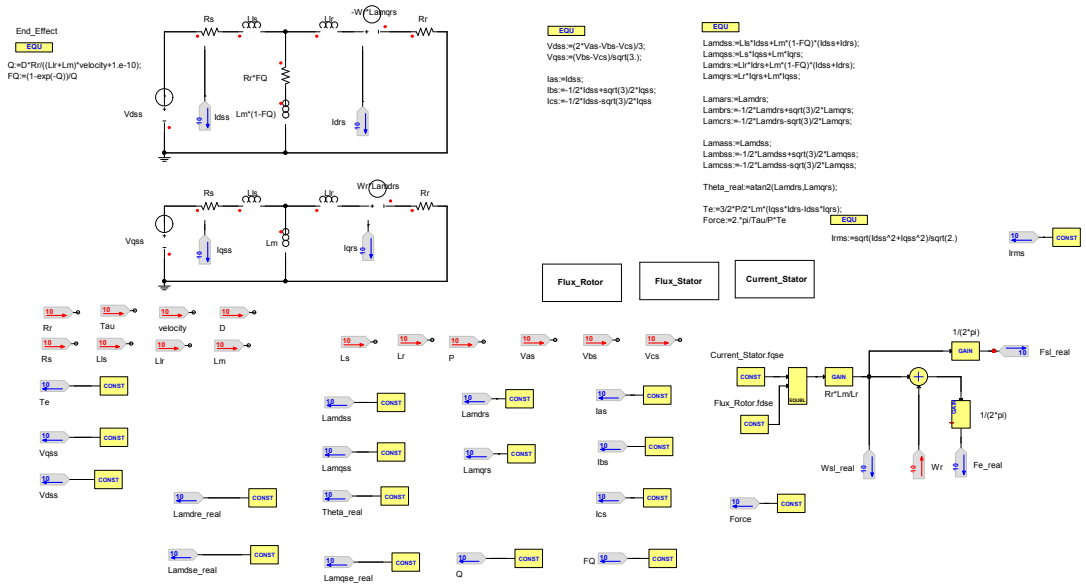



[그림 413 ]벡터제어 블록도




[그림 414 ]시뮬레이션 결과 파형

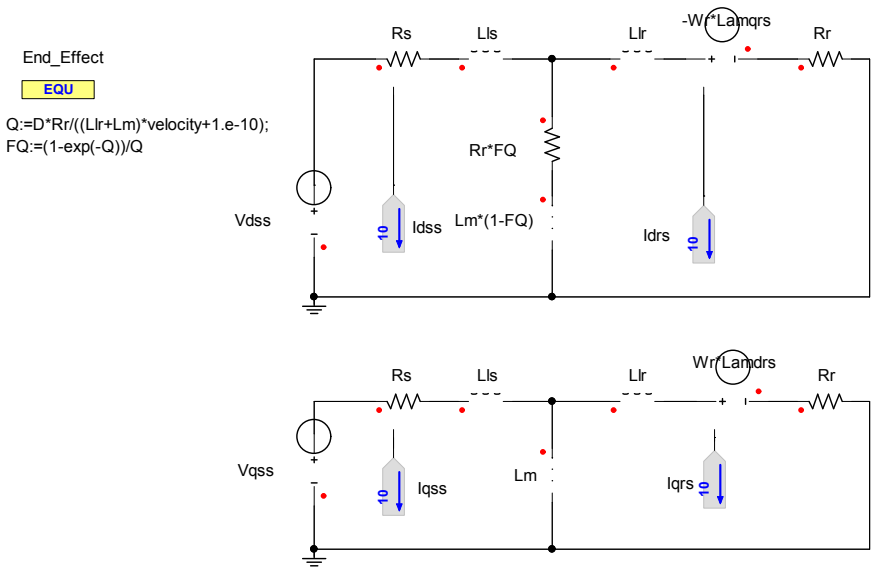
가) Simplorer를 이용한 시뮬레이션 모델 개발




[그림 415 ]LIM 시뮬레이션 모델

위 그림에서는 개발된 LIM(Linear Induction Motor)의 모델을 나타내었다.

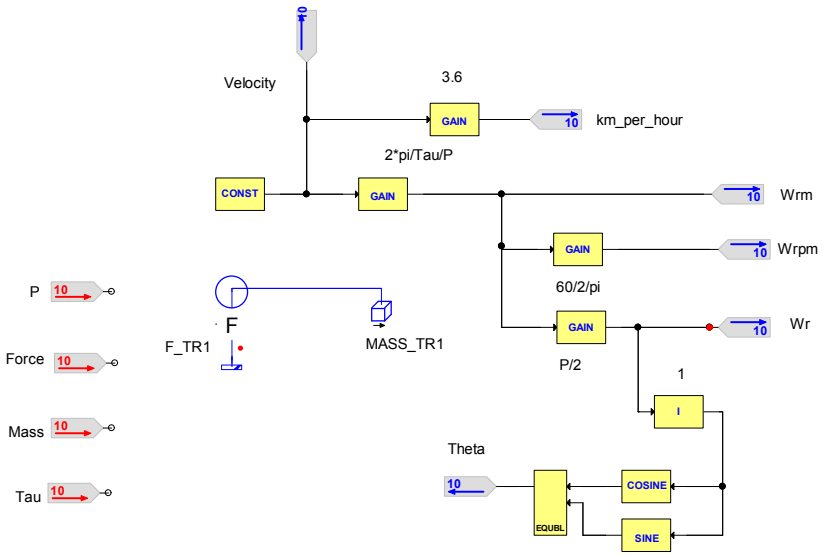
아래 그림에서는 단부 효과를 고려한 선형 유도전동기 모델을 나타내었다. 회로 및 수식을 기반으로 하여 동기좌표계에서의 모델링을 수행하고 각 부분의 디버깅 요소를 위해 OUTPUT PIN을 이용하여 모델링을 수행 하였다.




[그림 416 ]회로와 수식을 기반으로 한 선형 유도전동기 모델

모델링은 회로 컴포넌트를 이용하여 회전형 유도전동기와 유사한 등가 모

델을 작성한 후에 단부효과에 관한 요소를 수식과 회로 컴포넌트를 이용하여 수행하였다.

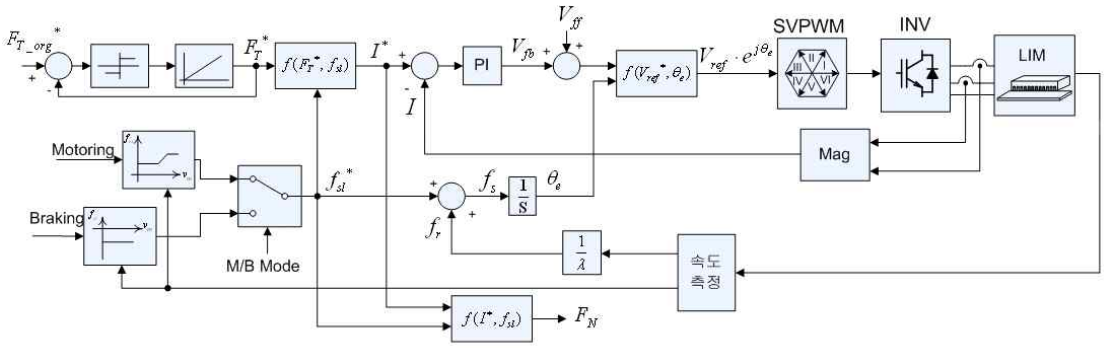



[그림 417 ]기계 부하 시스템 모델

위 그림은 기계 부하 시스템의 모델링을 나타내었다. 회전형 전동기와는 달리 횡방향으로 이동하는 부하의 특성을 고려하여 Translation Force를 입력으로 하는 Mass 모델을 선정하고 각 부분의 결과 출력을 위해 수식을 이용하여 모델링을 수행하였다.

나) 선형 유도전동기 제어 알고리즘

앞에서 살펴본 LIM의 특성을 고려하면 슬립주파수를 일정한 양상으로 제어하는 상태에서 전동기 인가전류를 제어하면 전동기의 발생 추력을 제어할 수 있으며, 수직력을 일정 범위내로 제한할 수 있다. 한편 SLIM의 슬립에 따른 추력과 수직력 특성 곡선으로부터 슬립을 일정 값 이상으로 제어하여 과도한 수직력이 발생하는 것을 방지하도록 한다. 아래 그림은 이러한 개념에 근거한 LIM의 제어 알고리즘을 블록도로 나타낸 것이다.




[그림 418 ]슬립주파수 제어 개념에 근거한 LIM의 제어 알고리즘 블록도

추력 지령치가 주어지면 추력, 슬립주파수, 전류 관계식을 이용하여 전류 지령치를 계산한다. 그리고 슬립주파수와 전류 지령치를 이용하여 수직력을 계산한다. 전류제어기에서는 측정한 전류와 전류 지령치를 이용한 PI제어기를 사용하여 전압 지령치를 구하고 공간벡터 PWM방법을 이용하여 구현한다. 구동모드와 제동모드에 따라 슬립주파수를 다르게 설정하며, 전동기의 속도에 해당하는 2차측 주파수를 구하여 인가전압의 주파수를 구하고, 이를 적분하여 위상각을 구한다. 추력 지령치가 갑자기 바뀌는 경우에 수직력도 급격하게 변할 수 있기 때문에 이를 제한하기 위해 지령치 변화율 제한기를 사용한다.

위 그림의 추력 및 수직력 식은 각각 다음과 같다.

$$F_T = \frac{l\lambda\mu_0}{2}\frac{R_m S}{(\sinh\beta g)^2 + (R_m S\cosh\beta g)^2}(Z_m I_m)^2$$

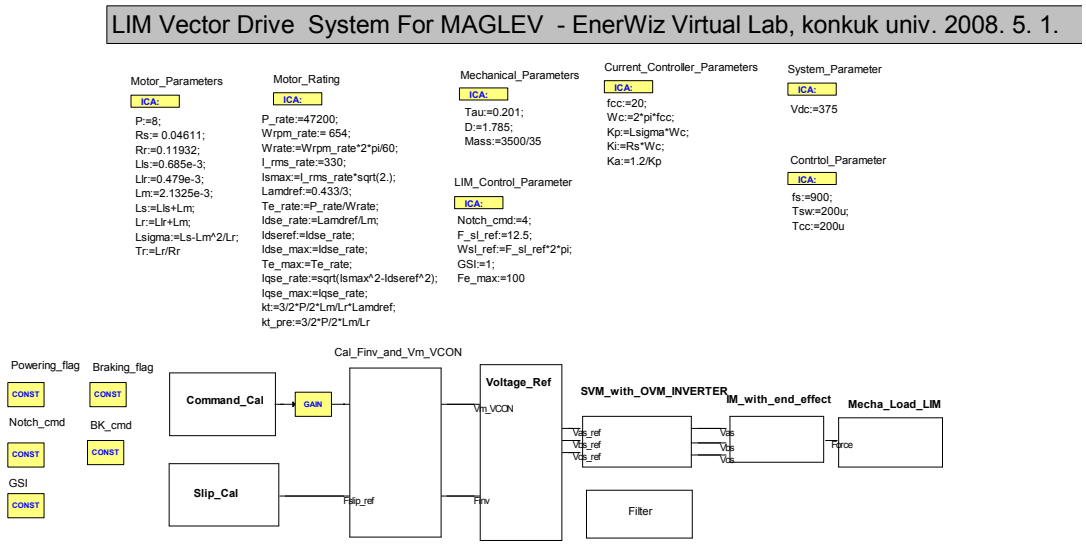
$$F_N = \frac{l\lambda\mu_0}{4}\frac{1-(R_m S)^2}{(\sinh\beta g)^2 + (R_m S\cosh\beta g)^2}(Z_m I_m)^2$$

여기서, $R_m = \sigma_t \mu_0 \lambda f$ 은 자기적 레이놀즈수(magnetic Reynolds number), $\sigma_t = \sigma t_{eff}$ 은 유효 도전율, $\beta g = \frac{2\pi}{\lambda} g$ 은 공극파장비율(air-gap-wavelength ratio), $S = 1 - \frac{V_m}{V_{sy}} = \frac{f_{sl}}{f}$ 은 슬립, $Z_m$은 최대권선밀도, $I_m$은 최대전류($\sqrt{2}I$ ), $g$는 유효공극, $\lambda = 2\tau$, $\tau$는 극간격, $t_{eff}$은 2차측 도체의 유효 두께, $f$는 전원주파수, $\sigma$는 2차측 도체의 도전율, $f_{sl}$은 슬립주파수, $l$은 1차측 철심의 폭이다.

그리고 추력에 대한 수직력의 비는 다음과 같다.

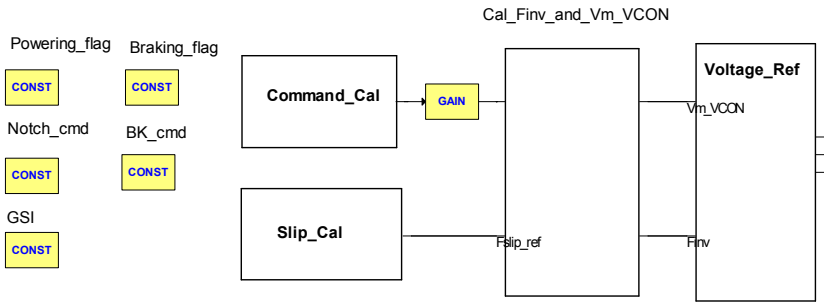
$$\frac{F_N}{F_T} = -0.5\left(R_m S - \frac{1}{R_m S}\right)$$

아래 그림에서는 슬립 주파수 제어를 적용한 시뮬레이션 전체 모델을 나타내었다.




[그림 419 ]슬립주파수 제어를 적용한 시뮬레이션 전체 모델

기본적인 전동기, 기계 부하, PWM 기법에 대한 모델링은 벡터제어를 적용한 시스템과 동일한 모델을 사용하여 모델링 하였다.



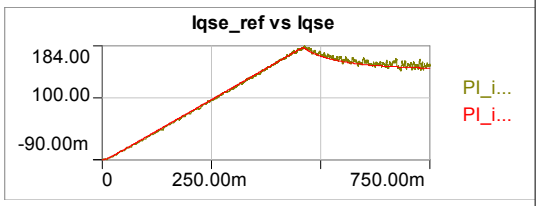

[그림 420 ]슬립 주파수 제어 시뮬레이션 전체 모델

다) 제어 방법에 따른 시뮬레이션

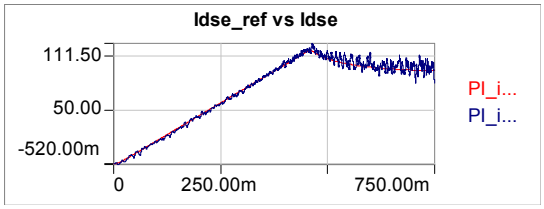
슬립 주파수 제어 및 벡터제어에 따른 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

벡터 제어시 아래의 결과에서 알 수 있듯이 각 기준전류를 줄여주는 구간에서도 실제 전류가 5% 미만의 오차를 가지고 추종하는 것을 확인 할 수 있다.

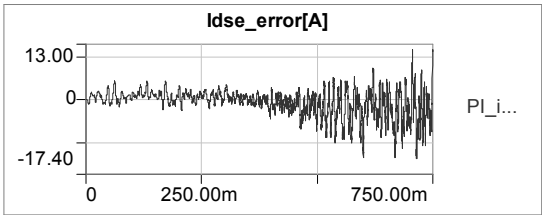
동기좌표계 q축과 d축 전류의 오차를 나타낸 결과 그래프는 아래 그림과 같다.



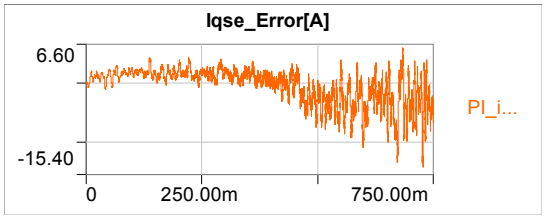

동기 좌표계 q축 기준전류와 실제전류




동기 좌표계 d축 기준전류와 실제전류

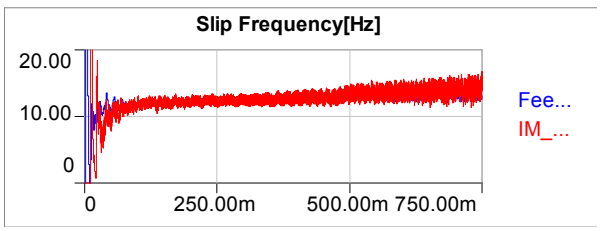



동기 좌표계 q축 전류의 오차



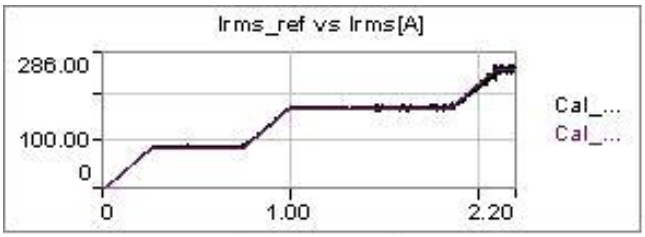

동기 좌표계 d축 전류의 오차

아래 그림에서는 현재 수행되어진 모델링의 실행 구간에서 슬립주파수가 일정함을 나타내었다.



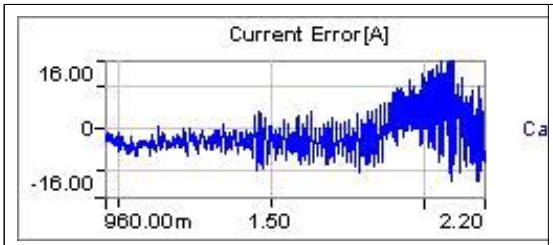

[그림 421 ]슬립 주파수 [Hz]

아래 그림은 슬립주파수 제어시의 전류 실효값 지령과 실제 전류의 실효값을 나타낸 결과 그래프이다. 가속 구간이 변함에 따라 실제 전류가 전류 지령에 잘 추종함을 볼 수 있다.

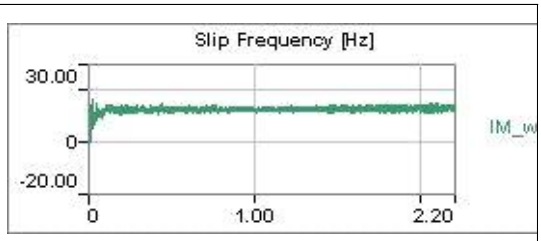



[그림 422 ]실효치 전류 지령 및 실효치 전류

아래 그림에서 슬립 주파수 제어에서 전류 실효값의 오차가 5% 미만임을 알 수 있으며, 이때 슬립 주파수가 일정함을 나타내고 있다.




전류 실효값에 대한 오차

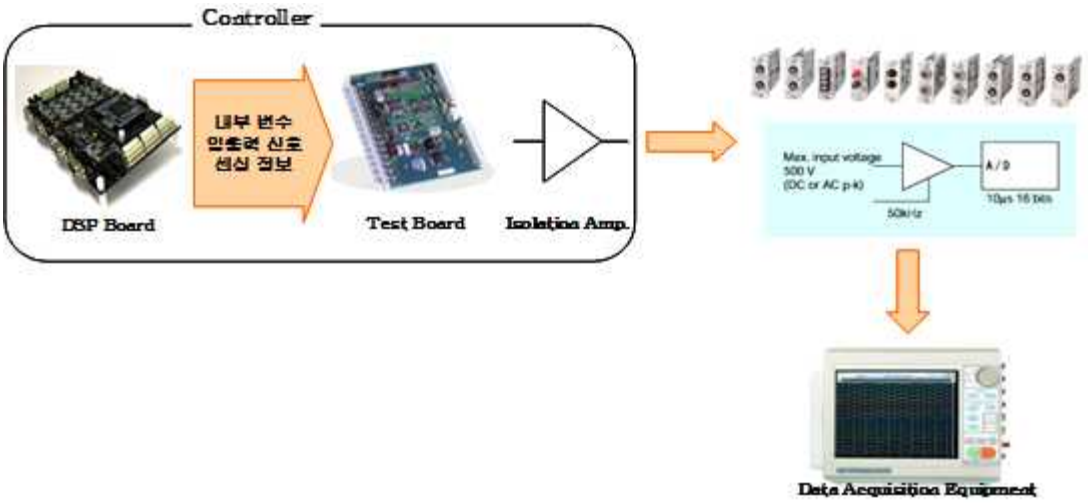



슬립주파수

(5) 실시간 모니터링 시스템 설계

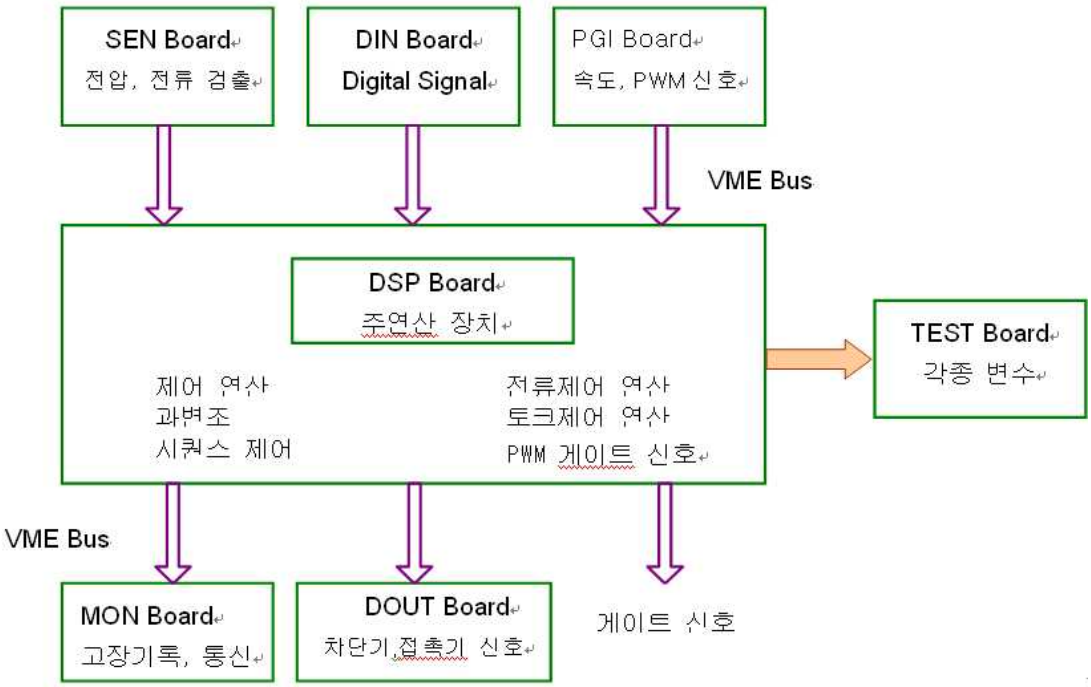
(가) 실시간 모니터링 시스템 개요

추진시스템의 상태 및 입출력 신호를 실시간으로 모니터링하고 파형을 분석하기 위한 장치로 제어기 내부의 DSP 보드에서 연산된 데이터와 모니터링 보드를 통해 입력되어진 각종 센서 신호를 TEST 보드를 통해 외부에서 측정 및 분석이 가능한 데이터로 출력한다. 데이터 수집 장비는 차동 모드로 노이즈를 최대한 억제하고 필요시 노이즈 필터를 사용할 수 있도록 한다. 아래 그림은 시스템의 구성을 나타낸다.




[그림 423 ]모니터링 시스템 구성도

(나) 제어 유닛 구성




제어기는 입출력 데이터 및 연산되어진 데이터를 TEST 보드를 통해 모니터링 가능한 구성으로 설계되어진다.

(다) 활용 계획

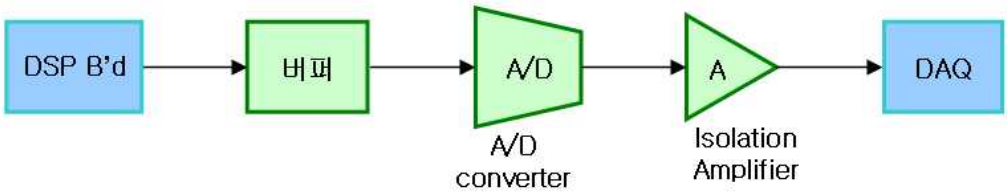
- 추진 인버터 제작 후 알고리즘 및 시스템 검증을 위한 시험 시 입출력 신호를 실시간으로 모니터링하여 성능을 확인 한다.
- 현차 시험에서 추진 시스템의 상태 및 입출력 신호를 실시간 모니터링하고 파형을 분석하여 성능을 검증한다.
- 성능 향상 및 파라메터 설정을 위한 데이터로 활용한다.
- 이상 동작 및 고장시 고장분석 데이터로 활용한다.
- 각종 파형을 기록 분석하고, 보고서 작성에 활용한다.

(라) 모니터링 파라메터

- 가선 전압(V_line)
- FC 전압(Vfc)
- 입력 전류(I_line)
- 출력 전압(MM)
- 출력 전류(Ias)
- 토크전류 지령치(Iqse_ref)

- 자속(LAMdre)
- 속도(Wrm)
- 기타 내부 변수 및 모니터링 필요 항목

(마) 모니터링 보드 다이어그램




TEST 보드에서는 DSP 보드를 통해 획득한 데이터가 버퍼를 통해 AD Converter에 입력되고 변환된 데이터는 다시 Isolation Amp.를 거쳐 출력되어 데이터 수집 장비로 모니터링 가능하다.

(바) 모니터링 보드 주요 사양

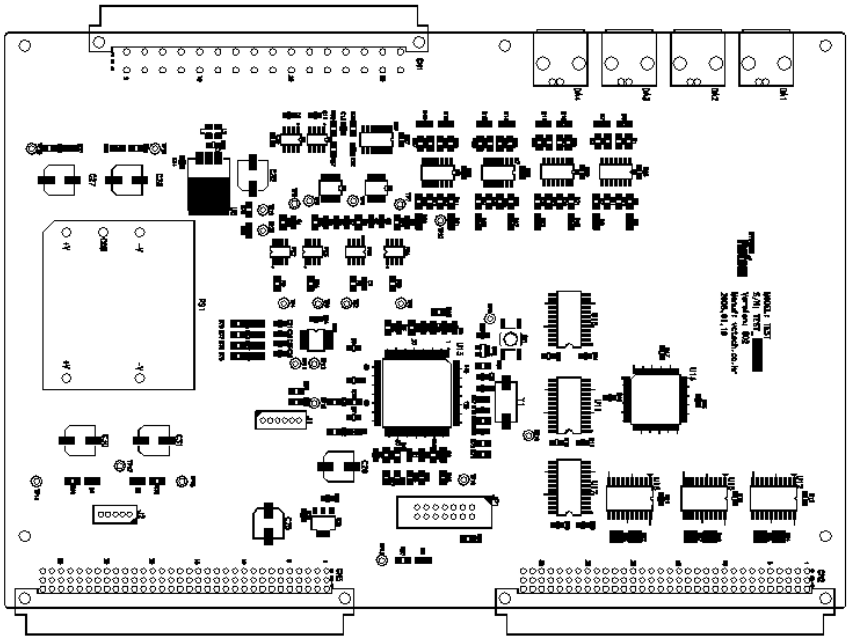
1) CPU : TMS320LF2407
   - 25ns instruction cycle time
   - 32K words x 16bit Flash
   - 10bit ADC
   - SCI/SPI
   - Real-time JTAG-compliant scan based emulation
2) Memory : CY7C024
   - True dual ported memory cells
   - 4K x 16
   - Access time : 15ns
3) DA Converter : MAX5306
   - Channel : 8 ch
   - Resolution : 10bit
   - SPI/QSPI, DSP-compatible serial interface
4) 통신
   - 보드간 : dual port memory
   - 출력 데이터 : SPI(Serial Peripheral Interface)

(5) 출력 : 16 channel

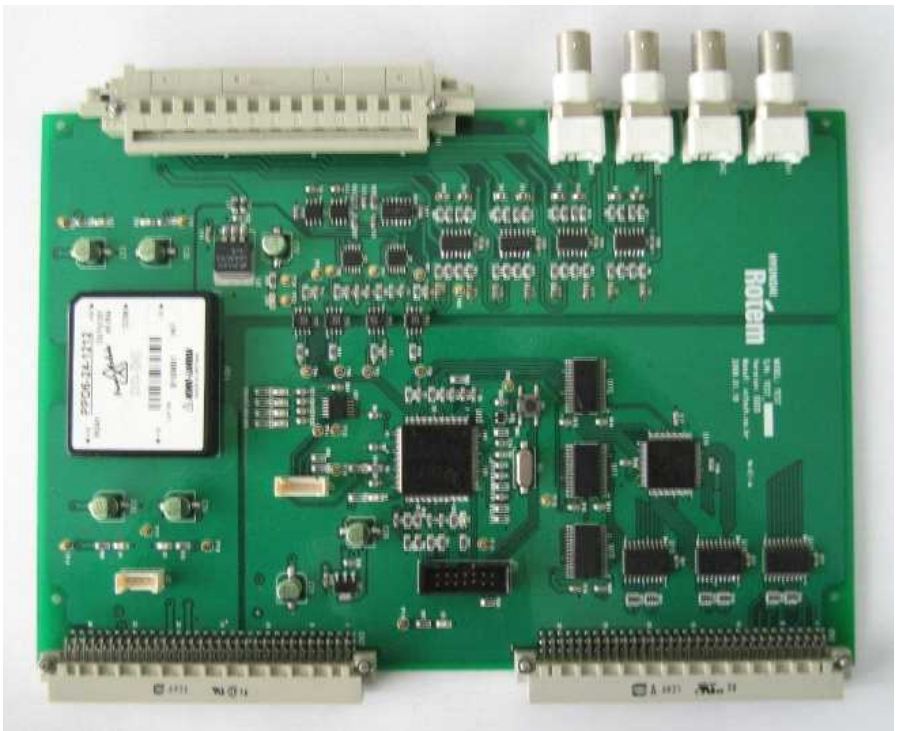
(6) Connector

- DIN connector를 이용한 보드간 신호 인터페이스
- 보드와 계측기간 BNC 케이블 적용

(사) 모니터링 보드 아트웍 및 사진



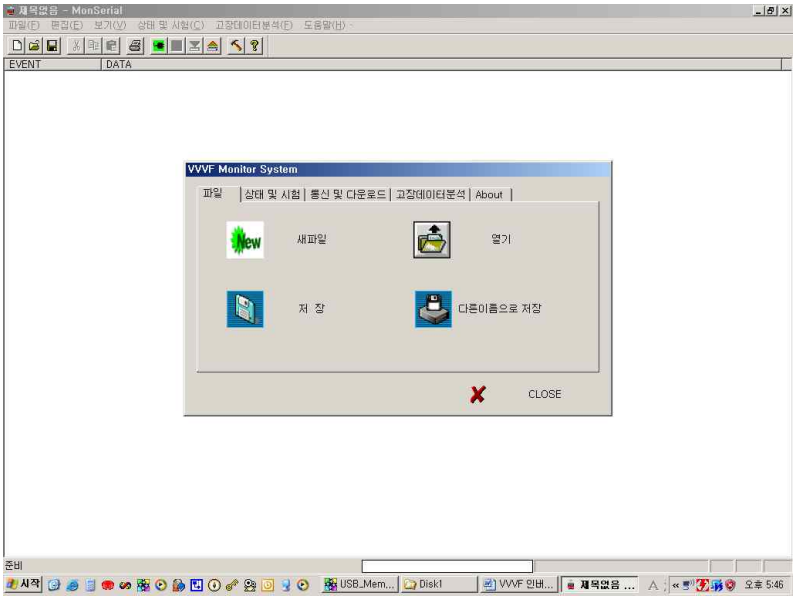
[그림 424 ]모니터링 보드 아트웍 실크



[그림 425 ]모니터링 보드 사진

(아) 모니터링 프로그램

제어기의 모니터링 보드를 통해 시리얼 통신(RS232)을 이용하여 고장 데이터 분석 및 다운로드, 모니터링이 가능한 PC 기반의 모니터링 프로그램.




(자) 고장검출 및 비상조치 방안

- 전원, 온도, 입출력 과전압, 과전류 검지

추진제어기의 안정적 동작을 위해 각종 보호동작 방안을 마련하고 대책을 수립한다.

- Contactor/Sequence 고장 및 비상조치 방안

전원 입력 라인의 이상은 시스템에 치명적인 손상을 줄 수 있으므로 이상 검지 및 시퀀스를 모니터링 함으로써 이상을 검지하고 고장을 예상하도록 설계한다.

(6) 시험결과

(가) 추력시험기를 통한 선형유도전동기 성능시험

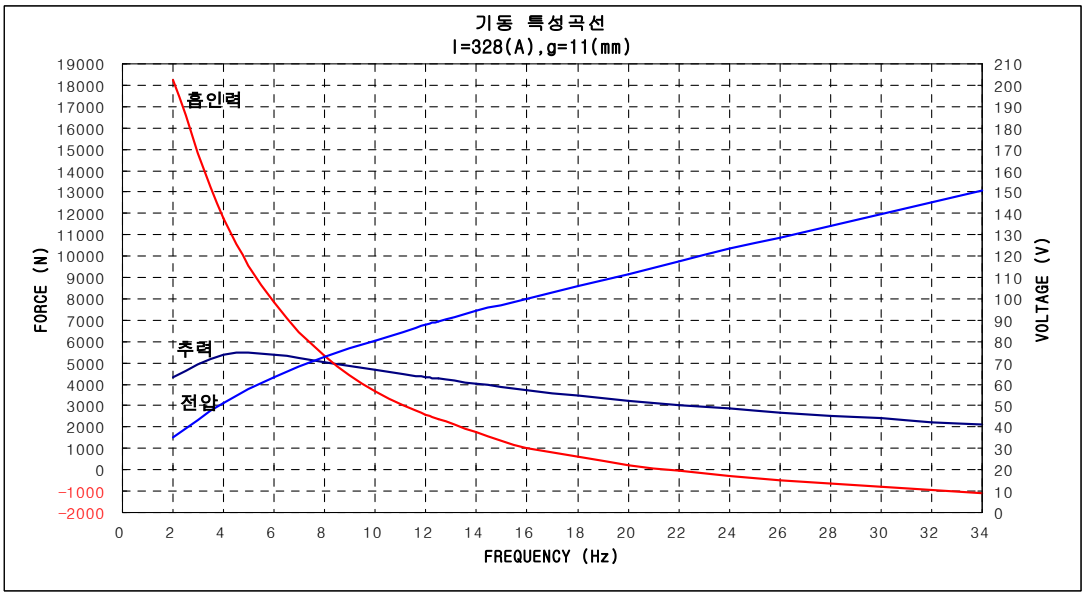
1) 시험조건

- 인가전압 : 기동 시 정격전류 328A가 흐르도록 전압을 조정
- 정격전류 : FEM해석과 등가 회로법에 의한 해석결과 정격전류 330A와 326A 중간 값인 328A를 인가
- 슬립 주파수 : 해석결과에서 제안된 12.5Hz를 인가

- 공극 : 11mm로 하여 측정

2) 시험결과

| 항목 | 추력[N] | 흡인력[N] | 입력전류 [A] | 입력전압 [V] | 중량 [kg] | 시험결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 요구조건 | 3775 이상 | 2500 이하 | 330 | - | 220 | | |
| 설계치 | 3954.0 | 2308.0 | 324 | 90 | 220 | | |
| 1호기 | 4380.0 | 2469.0 | 327.9 | 94.6 | 219 | 양호 | |
| 2호기 | 4292.4 | 2361.8 | 328.9 | 94.2 | 218 | 양호 | |
| 3호기 | 4292.4 | 2420.6 | 328.3 | 93.9 | 220 | 양호 | |
| 4호기 | 4292.4 | 2352.0 | 328.8 | 94.0 | 219 | 양호 | |
| 5호기 | 4243.4 | 2312.8 | 327.6 | 93.8 | 220 | 양호 | |

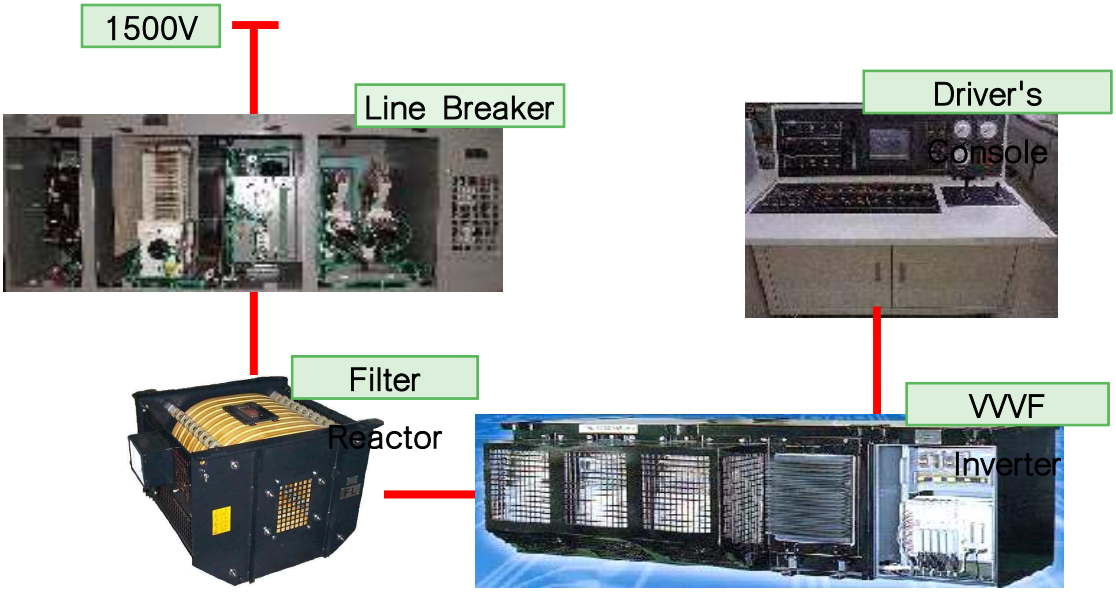



추력 및 흡인력 측정결과

정지형 추력시험기를 이용한 선형유도전동기의 추력 및 흡입력 측정결과 요구조건을 모두 만족하게 나왔으며 시뮬레이션 결과와도 유사하게 측정되어 선형유도전동기에 대한 1차 검증이 완료 되었으며 추후 완성차 시험에서 최종 성능을 검증하여 비교 분석이 필요하다.

(나) 추진 인버터 기능시험

2-1 협동 과제에서 진행 중인 추진인버터에 대한 하드웨어 검증을 마친 후 제어기에 추진제어 알고리즘, 보호기능, 시퀀스 기능이 포함된 프로그램을 다운로드하여 동작 및 기능을 확인한다.




[그림 426 ]추진인버터 고압 및 기능 시험 구성도

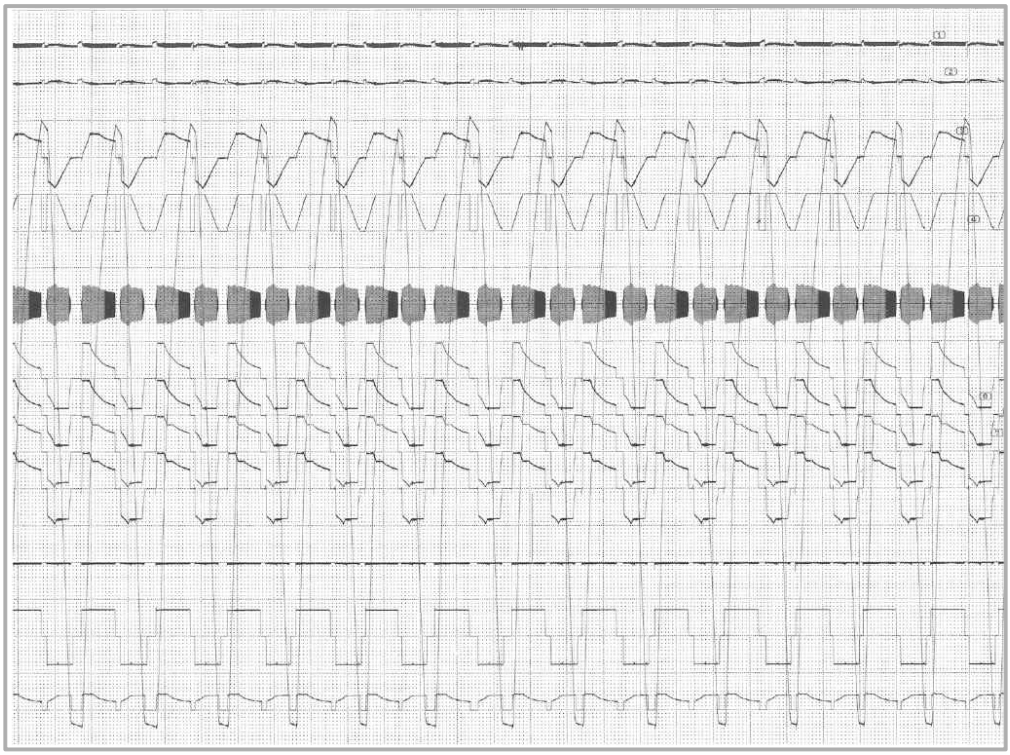
1) 회전형 유도전동기를 이용한 조합시험 실시

- 시험 구성품 : VVVF Inverter, LB box, Filter reactor
- 시험 항목 : 인터페이스 확인시험, 저압/고압 시퀀스 확인 시험, 보호동작 확인 시험, 온도 상승 시험

조합 시험

제어기 인터페이스

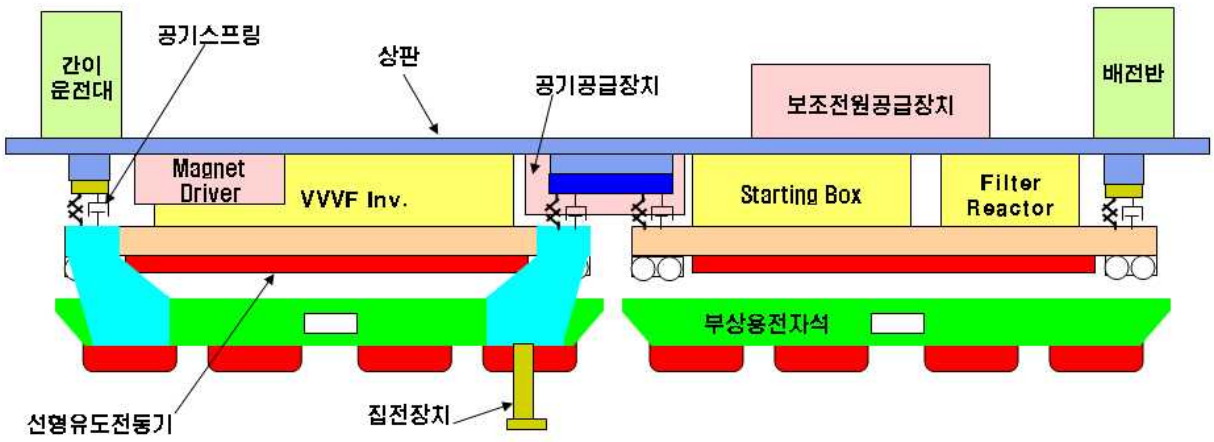
2) 회전 시험파형 모니터링 및 계측



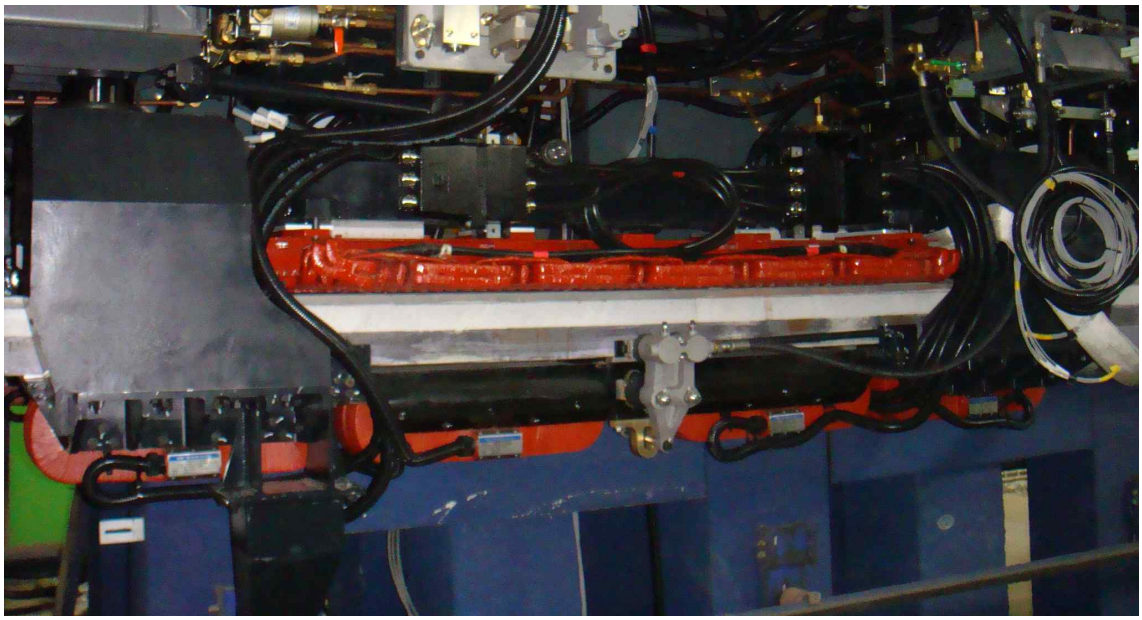
[그림 427 ]온도상승시험 파형

(나) 대차 단위 성능시험

아래 그림과 같은 대차를 구성하여 대차 단위에서 TCMS 및 제동장치 등과의 주요 인터페이스를 확인하고 추진 및 제동 시험을 통해 성능을 검증, 결과를 분석하여 알고리즘을 최적화 한다.



1) 선형유도전동기 시험대차 장착



[그림 428 ]시험대차에 장착된 선형유도전동기

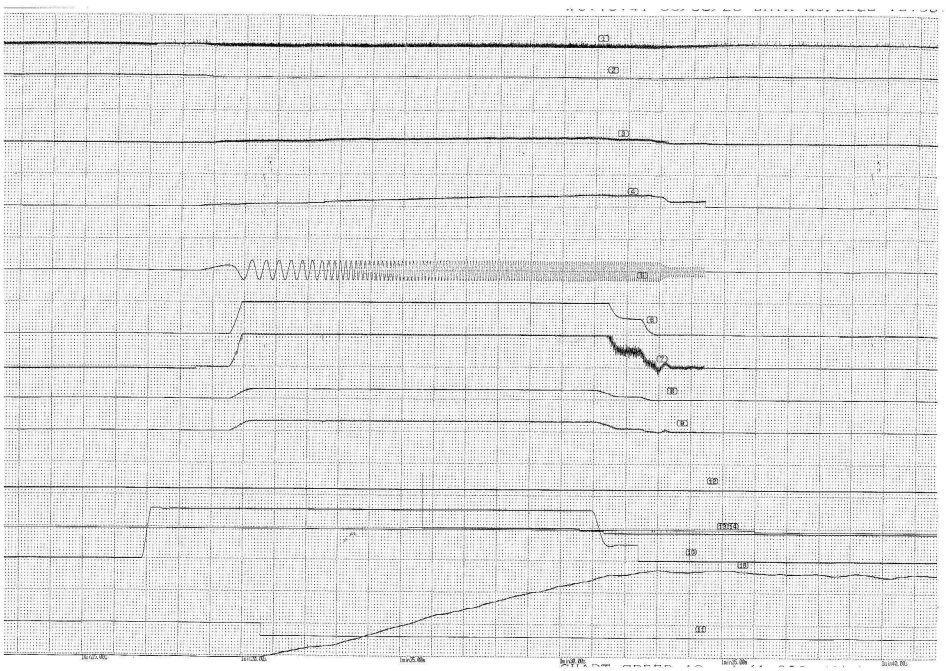
2) 시험대차 성능 시험

가) 벡터 제어 알고리즘 적용 시험

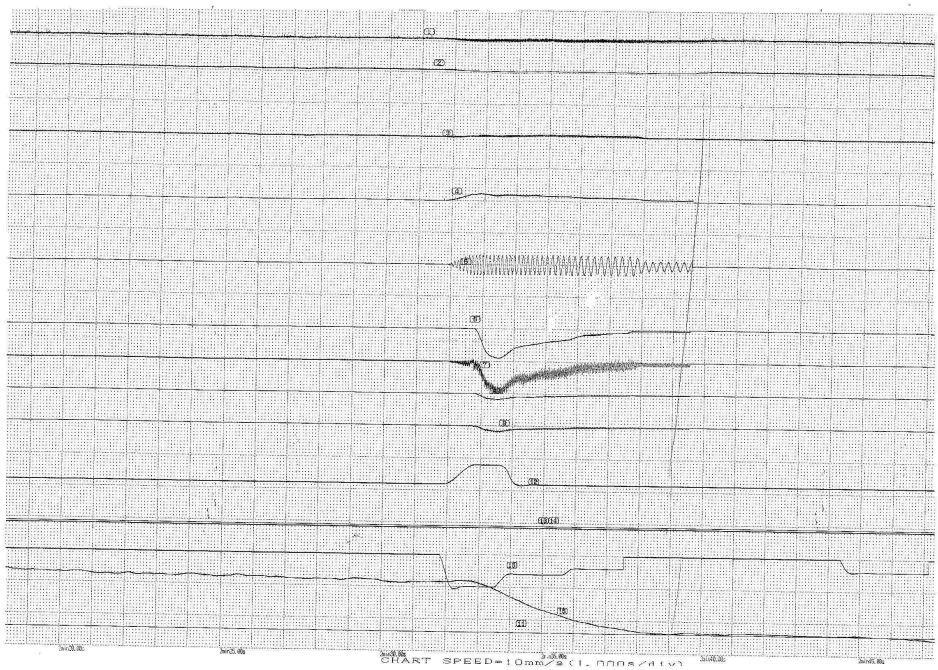
시험대차에서 벡터제어 방식을 이용한 추진 알고리즘 적용 시험

최대 속도 : 약 30km/h 이상

응하중 조건 : 약 13톤(만차 26.5톤으로 만차 조건과 유사)



[그림 429 ]역행 시험 파형



[그림 430 ]제동 시험 파형

시험 결과

- 추력 지령치에 대한 달성치가 추종
- 초기 추력 및 순시 토크 특성 우수
- 공극 및 레일 조건에 따른 자속의 변화에 의해 실제 추력을 예측하기 어렵고 파형이 흔들리는 현상이 있음.
- 추진특성은 양호하나 추력에 따라 슬립주파수가 변화하므로 부상에 부하로 작용할 수 있음.
- 레일 조건에 따라 추력이 민감하게 변화 될 수 있음.

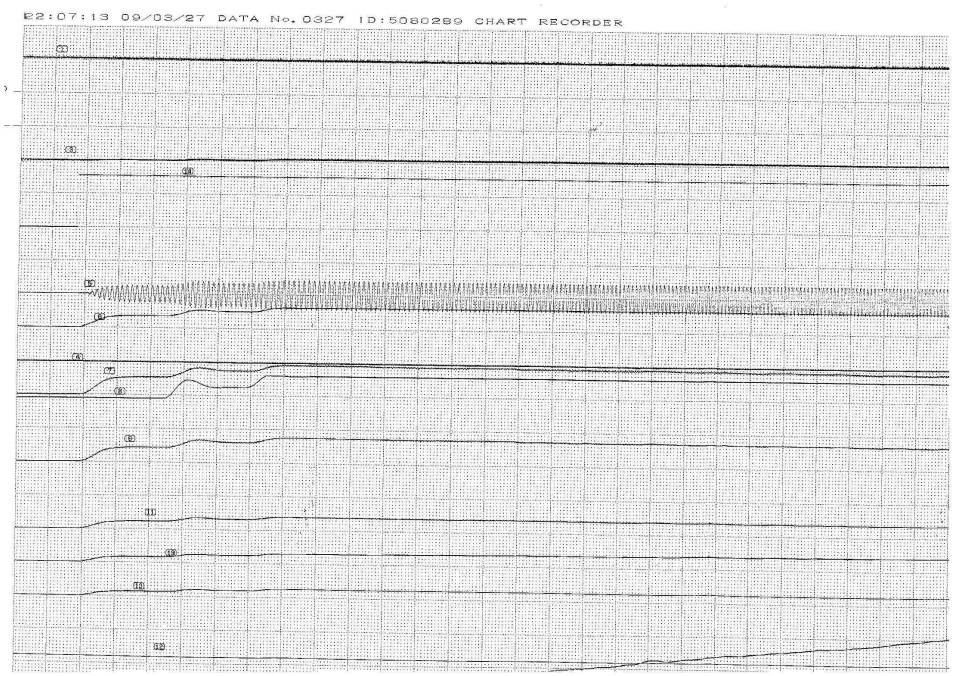
나) 슬립주파수 일정 알고리즘 적용 시험

최대 속도 : 약 30km/h 이상

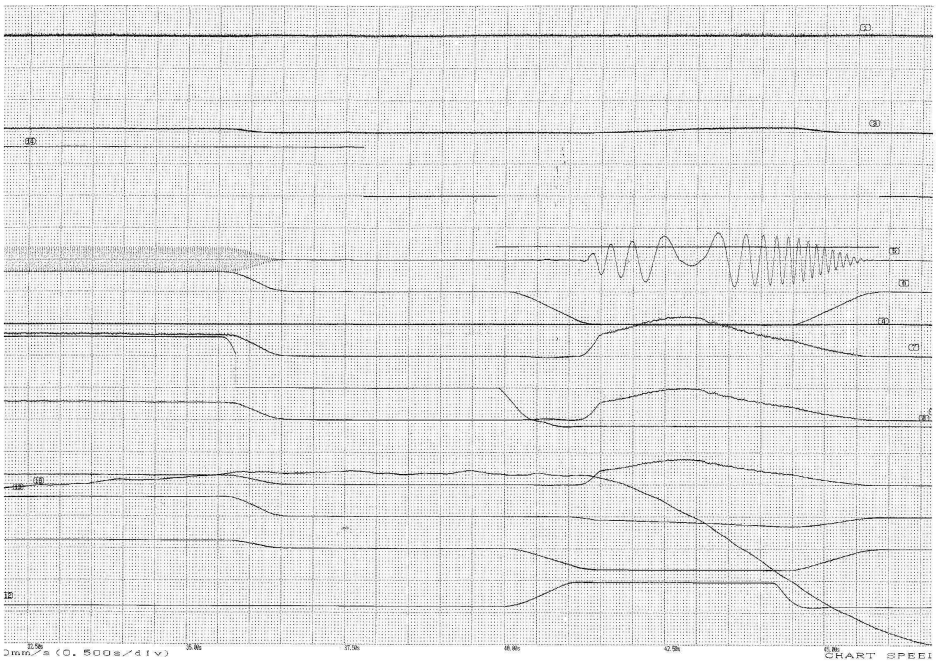
응하중 조건 : 약 13톤(만차 26.5톤으로 만차 조건과 유사)

추진시 슬립주파수 : 12.5Hz

제동시 슬립주파수 : 13.7Hz




[그림 431 ]슬립주파수 일정제어 역행시험 파형



[그림 432 ]슬립주파수 일정제어 제동시험 파형

시험결과

- 양호한 추력발생하며 노치별 전류에 따른 추력 발생을 확인.
- 제동시 슬립주파수 영역에서 역상제동을 이용하여 제동력 발생하여 저속 영역까지 전기제동 가능함.

- 실용화 자기부상열차의 2차측 레일 적용하였을 경우의 추력 및 회생력 측정 필요.

다) 알고리즘 비교 및 적용 방안

벡터제어 알고리즘 적용시 순시추력 특성 및 초기 특성이 우수하나 레일 상태나 공극의 조건에 따라 자속이 변화하여 승차감이 떨어질 수 있다. 반면 슬립주파수 일정제어 방식은 부상 시스템에 영향을 최소화 하면서 요구 추력을 발생할 수 있으며 초기 추력 부족분에 대해서는 부스팅 기능을 이용하여 초기 추력을 향상시킬 수 있다. 또한, 제동시에는 역상 제동을 이용하여 낮은 속도 영역까지 전기 제동을 적용하므로서 기계제동을 최소화 할 수 있다.

따라서, 실차에서는 슬립주파수 일정제어 방식을 적용하고 부상 갭의 변화 및 레일 조건 등을 고려하여 필요시 벡터제어의 장점을 일부 적용하는 방안을 검토해야 할 것이다.

(7) 단계 연구성과 및 향후 계획

(가) 단계연구 성과

| 항 목 | 산자부사양 (산자부 과제) | 목표 사양 | 시험 결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 견인력 | 28.8KN/량 | 30.2KN/량 | 34KN/량 | 18% 향상 |
| 흡인력 | - | 2500N 이하 | 2450N | 사양만족(산자부 사양은 전류, 슬립주파수 조건이 상이하여 비교 불가) |
| 중량 | 1800kg/량 | 1600kg/량 | 1600kg/량 | 12.5% 감소(Terminal Connection 제외) |
| 최대속도 | 100km/h | 110km/h | 35km/h | 시험 레일 길이의 제약으로 최대속도 약 35km/h까지 가속. |
| 등판능력 | 60‰ | 70‰ | - | 설계치로 약 60km/h까지 가속 가능하나 구배 레일 부재로 시험하지 못함. |
| 가속도 | 3.6km/h/s | 4km/h/s | 1.5km/h/s | 다음과 같은 사유로 최대 가속도 시험 불가. |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | - 시험 레일의 길이 한계로 인해 안전을 위해 가속도 제한함.<br>- 시험대차 구성이 모터의 결선 방법 및 차량구조에 의한 오차 존재<br>- 부정확한 응하중 정보<br>- 2차측 레일 설계치와 상이 |

(나) 향후계획

1) 대차시험의 한계

- 차량의 응하중, 선형 유도전동기 결선 및 차량구조, 2차측 레일 등의 조건이 실제 차량과 상이하여 향후 실차량에서 튜닝 필요.
- 레일 길이 한계에 따른 가속도, 최고속도 등의 시험 불가.
- 고속에서의 성능 확인 필요.
- 차량 및 장치간 신호 인터페이스가 필요한 부분에 대한 반영 필요.
- 단기간의 시험대차 시험으로 모든 성능을 최적화하기 어려움.

2) 향후 시험 계획

- 지식경제부 차량에 슬립주파수 제어 알고리즘을 적용하여 대차시험시의 결과와 비교 및 알고리즘 개선
- 실용화자기부상열차상에서 가속도, 등판능력, 초고속도 등의 시험을 통해 해석 결과와 비교 분석.
- 고속 영역에서의 성능 검증 및 알고리즘 튜닝.
- 각종 인터페이스 최적화.

## 다. WSM

(1) 차량 운전조건 분석

(주)로템의 차량 및 궤도의 주요사양[차량 요구사양서(M-20-CV-T-001)]의 차량 운행조건, 선로조건, 하중조건, 차량 및 궤도의 주요제원에서 부상용 전자석 설계 및 제작에 반영되어야할 항목은 다음과 같다.

○ 차량운행조건:

- -25℃～+40℃ 온도범위에서 모든 기기는 정상적 기능을 가져야 한다.
- 강우량이 1일 500mm까지 운행이 가능하여야 한다.
- 먼지, 눈 염분에 대한 대비책이 충분히 고려되어야 한다.

○ 선로조건: 최소 곡선반경 60mR

○ 하중조건: 만차중량 26.5ton

○ 운전조건:

- 설계 최고속도: 110km/h
- 부상공극: 8mm
- 곡선반경 통과능력: 50mR

○ 차량 주요제원

- 대차 수량: 3대/량
- 대차 길이: 3,400mm

○ 전자석: 빈번한 부상, 착지, 차량의 진동 및 터널 내 먼지 등 악조건 하에서도 견딜 수 있도록 한다.

- 수량: 24대/량
- 냉각방식: 자연냉각
- 절연등급: H종 이상
- 취부방식: 대차 장가식

○ 기타:

- 경량화 및 에너지 이용효율 증대
- 유지관리의 편리성 및 무보수화 확대
- 25년 이상의 내구성 확보

○ 공통 특기사항:

- 본 사양서에 의하여 제작되는 모든 기기 및 부품은 동일 도면에 의

하여 제작되고, 호환성을 가져야 하며, 모든 부품은 유지보수에 지장이 없도록 차량의 내구연한 동안 생산/공급이 가능하여야 한다.

- 차량에 적용되는 모든 기기의 재료는 한국 산업규격(KS M 3015A : 열경화성 플라스틱의 일반시험방법)의 불연성 재료를 사용하여 제작함을 원칙으로 하되, 구조 및 기능상 불연성으로 할 수 없는 경우에 한하여 자기소화성 재료를 사용할 수 있다. 또한 차량의 제작과정 및 향후 차량 폐차시를 고려하여 재활용이 가능한 재질을 최우선 사용하여야 한다.
- 차량의 각종 제어장치는 검증된 전자기술을 적용하여 소형, 경량, 무접점화하며, 신뢰성을 향상시키고 유지보수가 용이하도록 가능한 한 관련 부품별 모듈화 하여야 한다.
- 차량에 적용되는 컴퓨터 설비는 하드웨어와 소프트웨어 모두 장래 확장성이 충분히 고려되어야 한다.
- 컴퓨터 프로그램의 모든 출력정보 표시 및 기록은 한글을 기본으로 하며, 데이터형식은 출력상태의 재편집이 가능하도록 저장 및 기록되어야 한다.
- 차량의 기기 및 부품의 진동시험은 KS R 9144(철도 차량 부품의 진동시험 방법)의 1종 B, 5종 B 및 6종 B 또는 동등 이상의 진동시험방법에 의하여 시험을 실시하여 차량 시험 시 진동이나 충격 등에도 양호한 성능을 발휘하여야 한다.

상기의 차량 및 궤도의 사양과 운전조건을 만족하도록 부상용 전자석의 설계조건은 다음과 같다.

- 내구성 및 안전성 확보를 위해 방진, 방수구조로 설계 제작 한다.
- 내구성 확보를 위해 철심은 산에 강한 크롬도금 한다.
- 곡선반경 50mR에서도 부상력을 유지할 수 있도록 한다.
- 초기공극 14mm에서 차량을 부상시키고, 부상공극 8mm에서 만차하중 26.5 ton의 부상력을 발생한다.
- 설계 최고속도 110km/h의 주행에서도 부상력을 유지하여야 한다.
- 대차길이 3,400mm에 적용할 수 있도록 단위 부상용 전자석의 길이를 720mm 이내로 한다.
- 3대차 방식 24대의 부상용 전자석으로, LIM의 수직력, 차량의 동하

중을 반영한 정격하중 30ton의 부상력을 유지하여야 함에 따라, 단위 부상용 전자석의 부상력은 1,250kgf으로 설계한다.

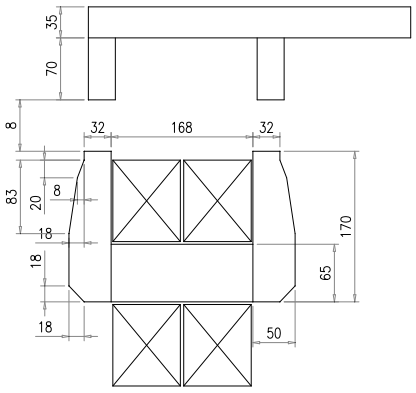
- 부상용 전자석의 전기코일의 절연계급은 H종 이상을 사용하고, 정격전류를 연속으로 공급하여 전기코일의 표면포화온도가 주변온도 +45℃에서 180℃ 이하가 되도록 설계한다.
- 진동에도 견딜 수 있고, 대차에 용이하게 설치할 수 있도록 고장력 BOLT로 체결토록 한다.
- 단위 부상용 전자석의 자중을 120kg 이하로 한다.(특기사항)
- 승차감 및 부상제어의 용이함을 위해 부상용 전자석의 응답속도를 기존 중기거점기술개발사업용에 비해 20% 이상 개선한다.(특기사항)

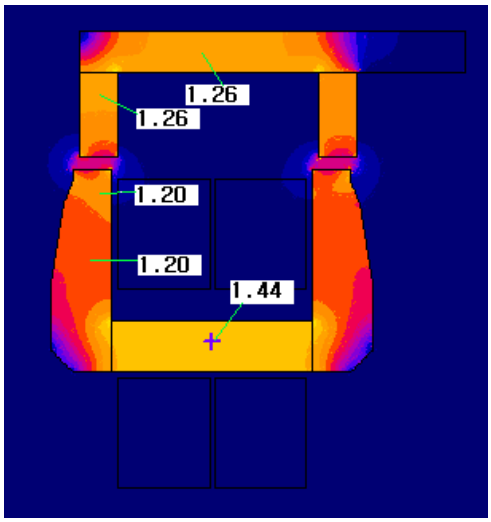
상기의 설계조건을 반영하여 대차높이와 부상용 전자석의 자중과 응답속도를 개선하기 위한 최적의 조건을 토출하기 위해 다양한 분석과 해석을 실시하였으며, 주요 연구내용은 다음과 같다.

(2) 부상용 전자석 특성 분석

(가) 중기거점기술개발사업용

[표 88 ]중기거점기술개발사업용 부상용 전자석의 주요특성

| 주요 항목 | | 단위 | 사양 | 단면도 |
|---|---|---|---|---|
| 차량 중량 | | ton | 28 |  |
| 부상 공극 | | mm | 10 | |
| 스태거 량 | | mm | 5 | |
| 대 차 수량/량 | | 대 | 3 | |
| 마그네트 | 길이 | mm | 670 | |
| | 기자력 | AT | 14,735 | |
| | 저항 | Ω | 1.28 | |
| | 인덕턴스 | H | 1.25 | |
| | 시정수 | sec | 0.98 | |
| | 전류 | A | 21.7 | |
| | 부상력 | kg | 1,167 | |
| | 표면온도 | ℃ | 118 | |

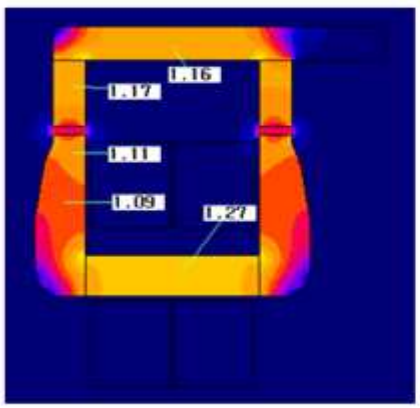



[그림 433 ]부상용 전자석의
철심내부의 자속밀도분포

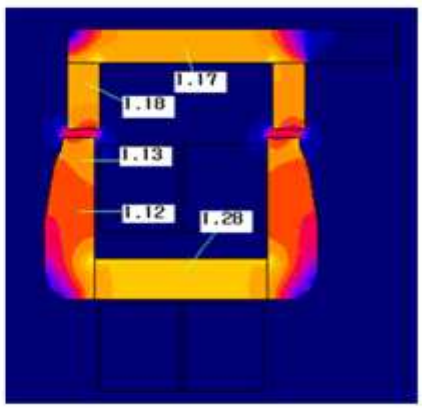
(나) 미래도시철도기술개발사업용

[표 89 ]3대차 및 5대차 방식 부상용 전자석의 주요특성

| 주요 항목 | | 단위 | 3대차 방식 | | 5대차 방식 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 스태거 5mm | 스태거 0mm | 스태거 5mm | 스태거 0mm |
| 차량 중량 | | ton | 26.5 | | | |
| 부상 공극 | | mm | 8 | | | |
| 마그네트 | 길이 | mm | 670 | | 400 | |
| | 기자력 | AT | 11,759 | 11,476 | 11,759 | 11.476 |
| | 저항 | Ω | 1.28 | | 0.96 | |
| | 인덕턴스 | H | 1.39 | 1.41 | 0.83 | 0.85 |
| | 시정수 | sec | 1.09 | 1.10 | 0.87 | 0.88 |
| | 전류 | A | 17.3 | 16.9 | 17.3 | 16.9 |
| | 부상력 | kg | 1,104 | | 662.5 | |
| | 표면온도 | ℃ | 95 | 89 | 91 | 89 |




부상공극 8mm, 횡변위 0mm

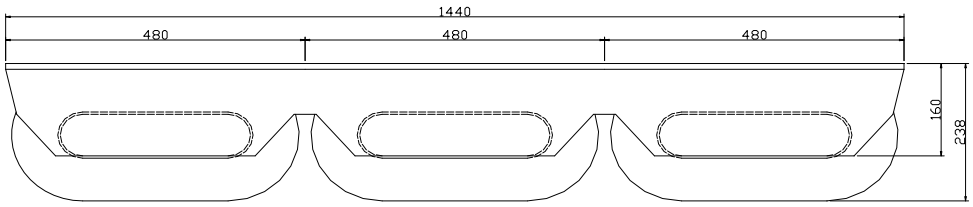



부상공극 8mm, 횡변위 5mm

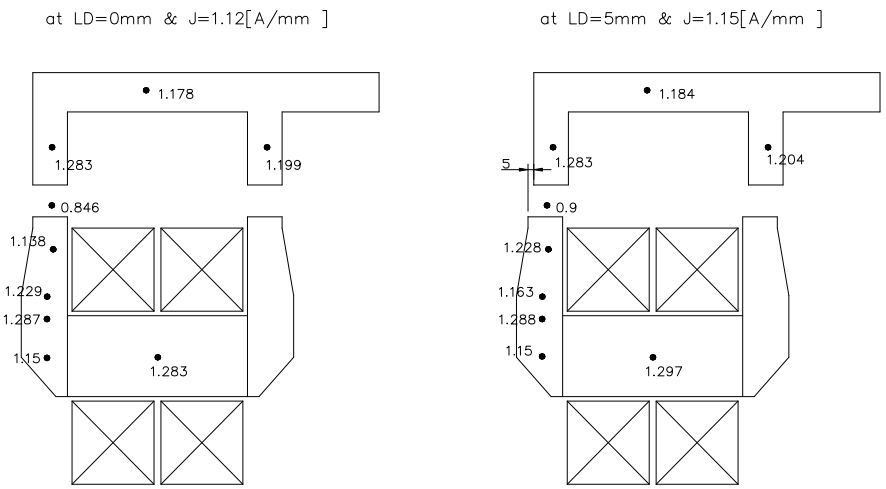
[그림 434 ]3대차 및 5대차 방식 전자석의 철심내부의 자속밀도분포

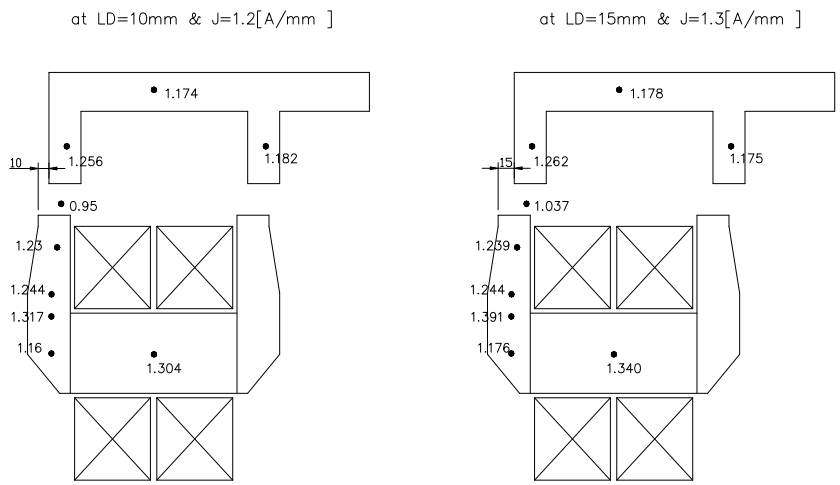
상기의 본 과제용은 중기거점기술개발사업용에 비해 기자력 개선을 개선할 수 있어, 부상용 전자석과 부상용 레일 내부의 자속밀도를 개선하고, 응답속도(시정수)를 개선할 수 있음을 보여주고 있다.

(3) 3대차 방식 부상용 전자석(1pole 3yoke) 설계 및 해석

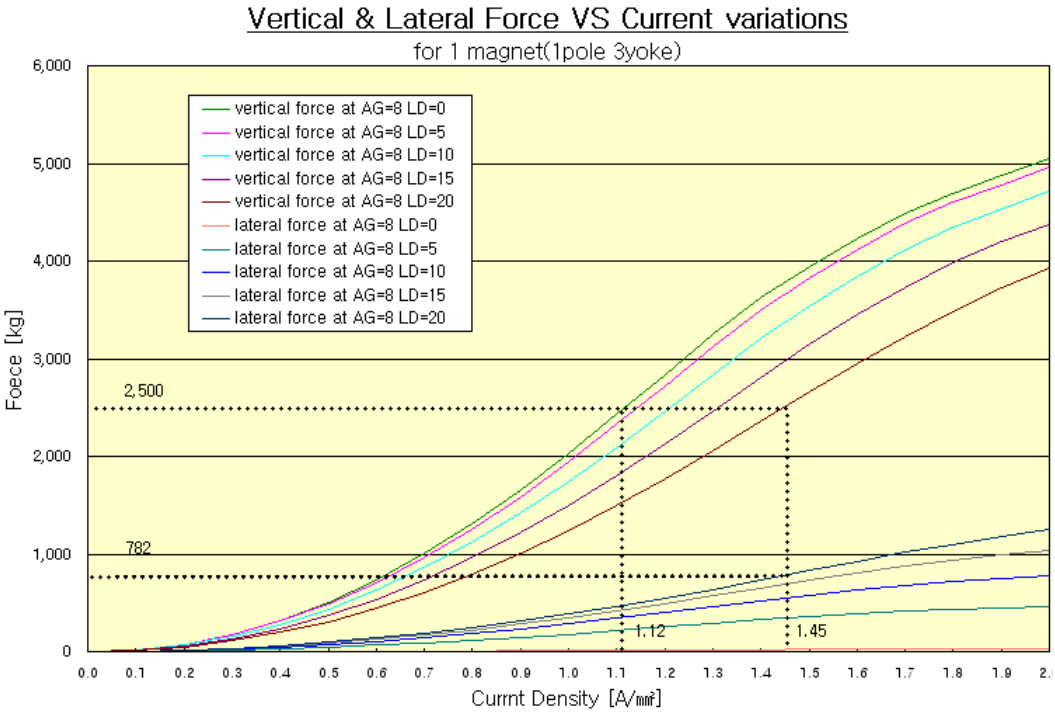



[그림 435 ]1pole 3yoke 방식의 철심 내부의 자속밀도 분포




[그림 436 ]1pole 3yoke 방식의 각부 자속밀도 분포




[그림 437 ]3대차 방식(1pole 3yoke)의 부상 및 안내력 특성

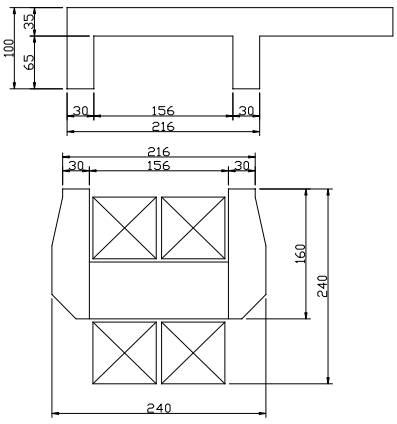
[표 90 ]1pole 3yoke 방식의 부상용 전자석의 주요특성

| 주요 항목 | | 단위 | 사양 | 단면도 |
|---|---|---|---|---|
| 정격 부상력 | | tonf | 30.0 | |
| 최대 안내력(20mm) | | tonf | 9.3 | |
| 전자석 수량 | | 대 | 12 | |
| 스태거 량 | | mm | 0 | |
| 마그네트 | 길이(3yoke) | mm | 1,440 | |
| | 기자력(1coil) | AT | 5,885 | |
| | 저항(2coil) | Ω | 0.862 | |
| | 인덕턴스(2coil) | H | 0.670 | |
| | 시정수(1magnet) | sec | 0.777 | |
| | 전류(2coil) | A | 21.1 | |
| | 부상력(1magnet) | kgf | 2,500 | |
| | 표면온도(1coil) | ℃ | 118 | |
| | 자중(1magnet) | kg | 275 | |

상기의 1pole 3yoke의 3대차 방식은 부상용 전자석의 자중은 17%, 응답속도는 20% 정도 개선할 수 있음을 보여주고 있다.

(4) 4대차 방식 부상용 전자석 설계 및 해석

[표 91 ]4대차 방식 부상용 전자석의 주요특성

| 주요 항목 | | 단위 | 사양 | 단면도 |
|---|---|---|---|---|
| 정격 부상력 | | ton | 27.5 |  |
| 최대 안내력 | | ton | 6.6 | |
| 전자석 수량 | | 대 | 32 | |
| 스태거 량 | | mm | 5 | |
| 마그네트 | 길이 | mm | 500 | |
| | 기자력 | AT | 5,936 | |
| | 저항 | Ω | 0.922 | |
| | 인덕턴스 | H | 0.722 | |
| | 시정수 | sec | 0.783 | |
| | 전류 | A | 20.8 | |
| | 부상력 | kg | 860 | |
| | 표면온도 | ℃ | 116 | |
| | 자중 | kg | 106 | |

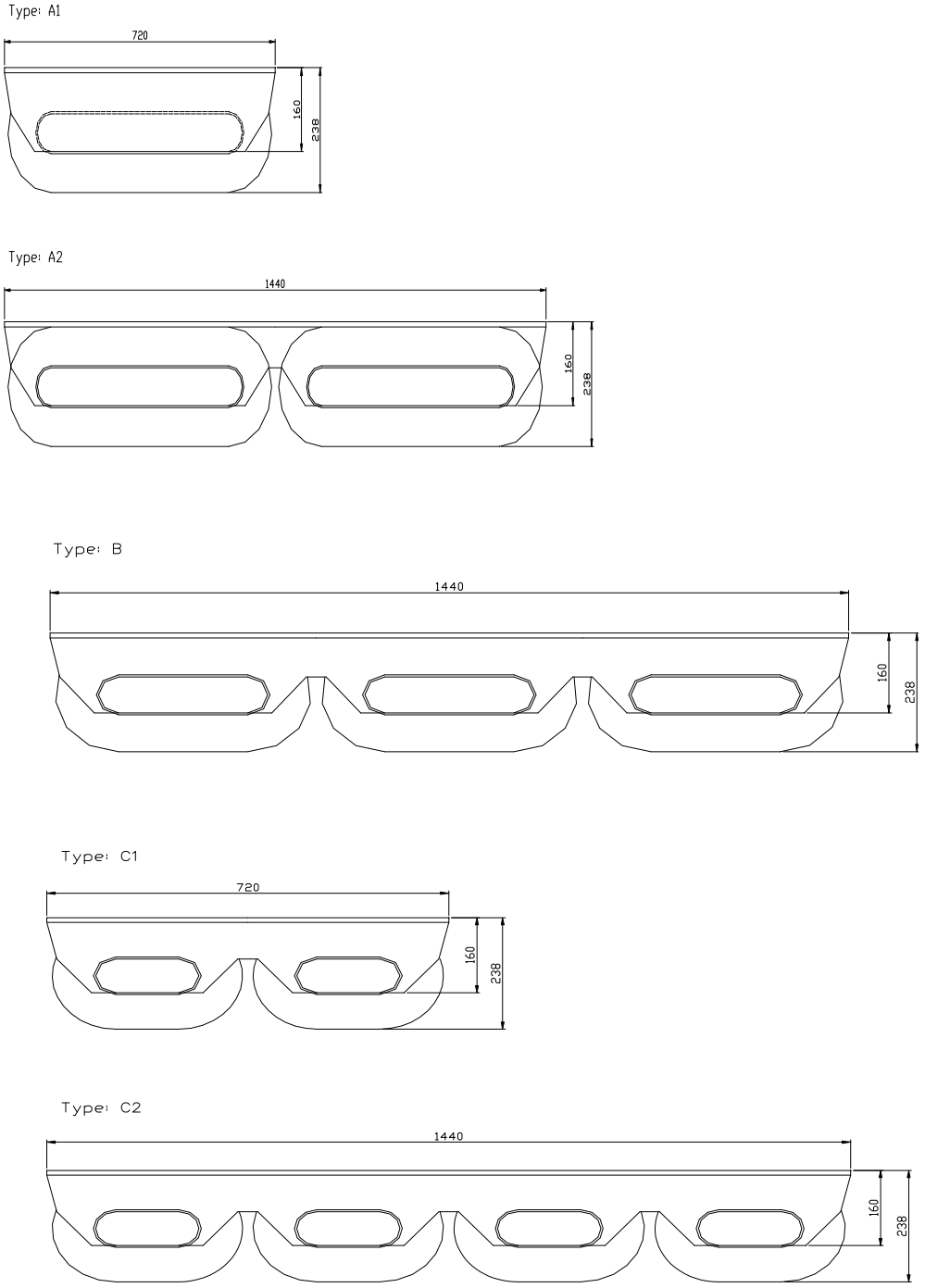


[표 92 ]중기거점기술개발사업용과 4대차 방식의 전자석 주요특성 비교

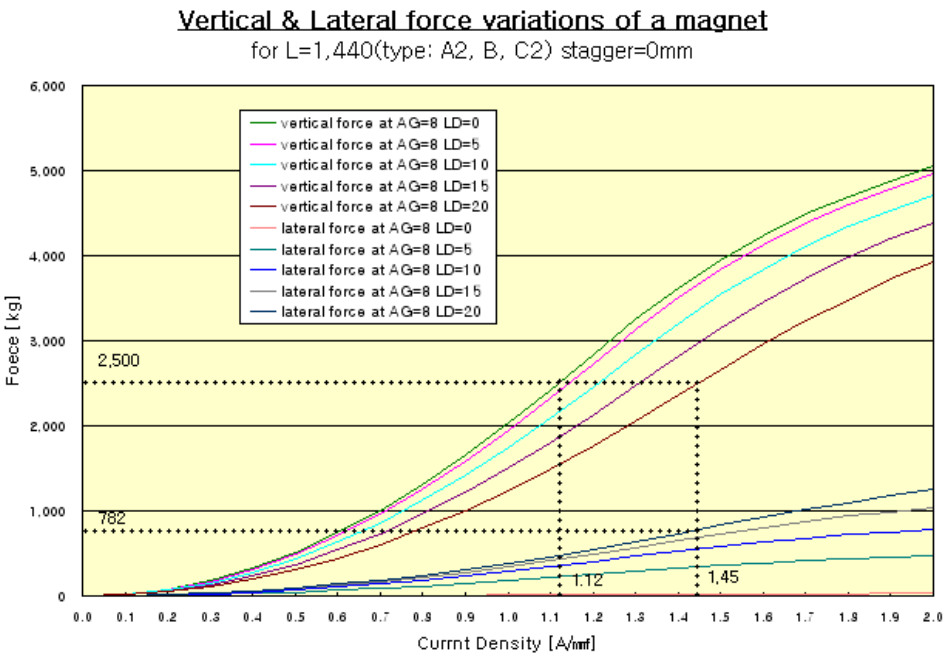
| 주요 항목 | 단 위 | 중기거점사업용 | 본 사업용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 정격 부상력 | N | 12,250 | 8,422 | 1 마그네트에 대해 |
| 최대 안내력 | N | 73,039 | 64,758 | 1차량에 대해 |
| 정격 부상공극 | mm | 10 | 8 | |
| 철심 폭 | mm | 232 | 216 | 가이드 레일 폭과 동일 |
| 철심 높이 | mm | 170 | 160 | 가이드 레일 폭과 동일 |
| 단위 자중 | kg | 165 | 106 | 전자석 부속품 포함 |
| 총 자중 | kg | 3,960 | 3,392 | 1차량에 대해 |
| 코일표면온도 | ℃ | 118 | 116 | 주행/포화 시 |
| 시정수 | sec | 0.98 | 0.78 | |
| LTWR | ton/ton | 7.07 | 8.11 | |
| PTLR | Kw/ton | 0.423 | 0.463 | |

상기 4대차 방식의 경우, 3대차 방식 1pole 3yoke의 부상용 전자석과 마찬가지로 중기거점기술개발사업용에 비해 자중과 응답속도를 개선할 수 있으나, 4대차 방식은 32대의 부상용 전자석으로 부상력을 분산할 수 있음에 따라 철심의 높이를 10mm, 부상용 전자석의 총 높이는 35mm 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

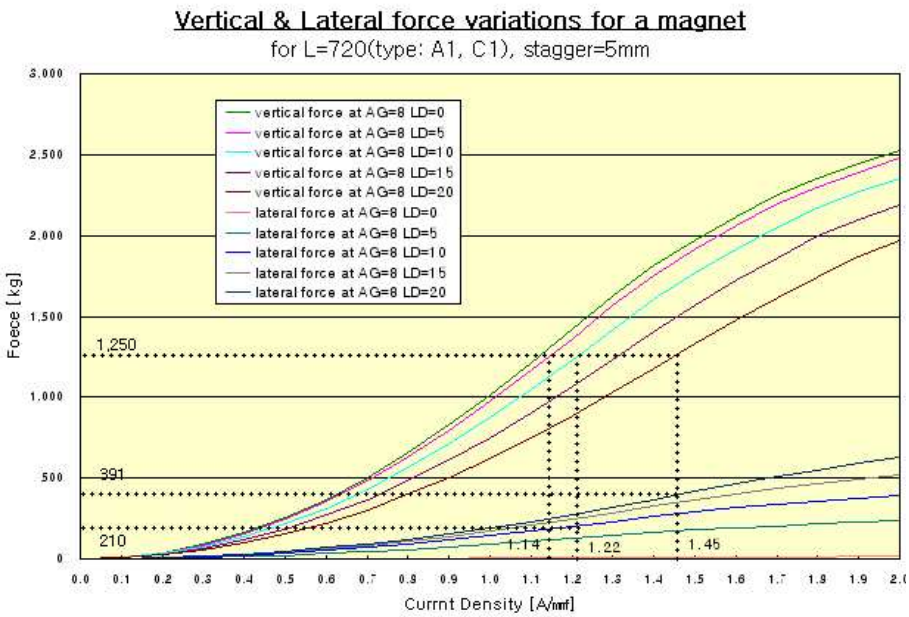
(5) 3대차 방식 부상용 전자석 특성 비교분석




[그림 438 ]3대차 방식의 부상용 전자석 구조




[그림 439 ]A2, B, C2 type의 부상 및 안내력 특성




[그림 440 ]A1, C1 type의 부상 및 안내력 특성

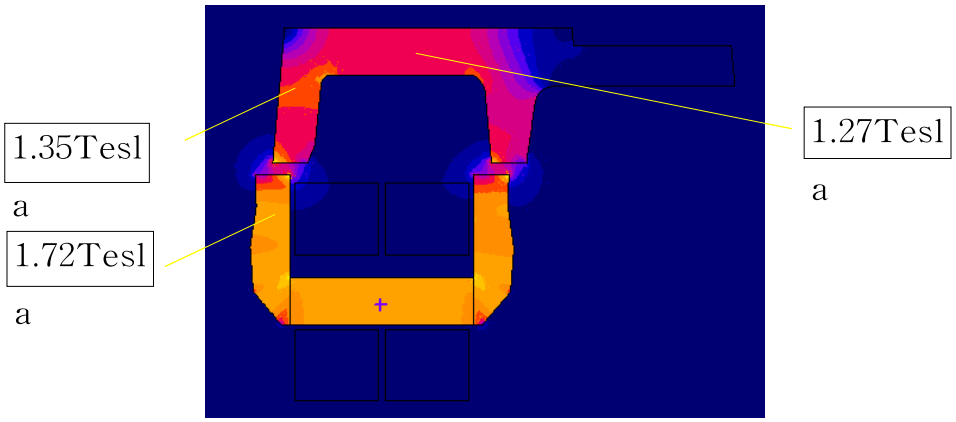
[표 93 ]부상용 전자석의 각 방식에 대한 특성 비교

| 주요 항목 | 단위 | 중기거점 기술개발사업용 | 도시형 자기부상열차 실용화 사업용 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | A1 | A2 | B | C1 | C2 |
| Pole 길이 | mm | 670 | 720 | 1,440 | 1,440 | 720 | 1,440 |
| Yoke 수량 | 개 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| Pole 높이 | mm | 170 | 160 | 160 | 160 | 160 | 160 |
| 전기코일 수량 | 개 | 2 | 2 | 4 | 6 | 4 | 8 |
| 차량 당 마그네트 수량 | 대 | 24 | 24 | 12 | 12 | 24 | 12 |
| Stagger | mm | 5 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| 정격 부상력/magnet | N | 11,433 | 12,250 | 24,500 | 24,500 | 12,250 | 24,500 |
| 최대 안내력/차량 | N | 73,039 | 71,736 | 92,404 | 91,953 | 71,736 | 92,404 |
| 정격 부상공극 | mm | 10 | 8 | ← | ← | ← | ← |
| 철심 폭 | mm | 232 | 216 | ← | ← | ← | ← |
| 철심 높이 | mm | 170 | 160 | ← | ← | ← | ← |
| 단위 자중 | kg | 165 | 149 | 304 | 275 | 130 | 269 |
| 총 자중 | kg | 3,960 | 3,576 | 3,650 | 3,300 | 3,120 | 3,228 |
| 코일저항/coil | Ω | 0.62 | 0.65 | ← | 0.43 | 0.32 | ← |
| 직렬저항/2coil | Ω | 1.24 | 1.30 | ← | 0.86 | 0.64 | ← |
| 정격전류/2coil | A | 21.1 | 21.1 | ← | ← | ← | ← |
| 정격전압/2coil | V | 26.2 | 27.4 | ← | 18.2 | 13.5 | ← |
| 소비전력/2coil | W | 553 | 578 | ← | 384 | 286 | ← |
| 2coil 직렬 수량/magnet | 개 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| 코일표면온도 | ℃ | 118 | ← | ← | ← | ← | ← |
| 해석 시정수(20℃) | sec | 0.98 | 0.764 | 0.774 | 0.774 | 0.764 | 0.774 |
| LTWR | ton/ton | 7.07 | 8.39 | 8.22 | 9.10 | 9.62 | 9.29 |
| PTLR | Kw/ton | 0.423 | 0.463 | ← | 0.461 | 0.458 | ← |
| 중기거점대비 중량개선 | % | 100 | 90.3 | 92.2 | 83.3 | 78.8 | 81.5 |

장기간에 걸쳐, 대차방식과 대차방식에 따른 부상용 전자석의 특성을 분석 검토하여 3대차 방식으로 결정하고, 부상용 전자석의 자중을 최대로 개선할 수 있고 경우에 따라 Stagger량을 조절할 수 있는 “C1” 방식으로 결정하였다.

(6)부상용 레일의 기술 분석

부상용 레일의 상판에는 부상용 전자석에 의해 발생된 자속과 LIM에 의해 발생된 자속은 직교자속으로, 부상용 전자석과 LIM의 특성에 서로 영향을 주지는 않지만, 부상용 레일의 상판에는 2개 자속의 합으로 나타나며, 2개 자속의 합은 레일 소재가 갖는 자기포화영역 아래에 있어야 한다. 실제 동작되는 자속밀도가 포화영역으로 접어들수록 부상용 전자석과 LIM의 동일한 부상력과 추진력을 발생하기 위해 보다 큰 기자력과 큰 소비전력이 필요함에 따라 레일 상판의 두께 결정은 부상용 전자석과 LIM의 열적특성을 고려하여야하며, 부상용 전자석 측면에서는 주행 시 발생되는 동하중과 Eddy Current에 의한 Drag Force, 전자석 혹은 Chopper의 고장 시에 발생되는 최대 악조건에서의 부상력을 고려하여야 한다.




[그림 441 ]공극 11mm, 횡변위 15mm, 레일 상판 40mm,
최대부하의 자속밀도

RFP에서 규정된 부상공극 8± 3mm의 최대 조건인 11mm에서 풍력 및 원심력에 의해 최대 횡변위 15mm가 발생되는 경우, 부상용 전자석에 의해 레일 상판(45mm)에 발생되는 자속밀도는 1.27[Tesla], LIM에 의해 발생되는 자속밀도를 0.5[Tesla]로 가정하는 경우 그 합은 1.77[Tesla]가 발생되며, 상판을 2mm 줄여 43mm로 하는 경우, 부상용 전자석에 의해 발생된 자속밀도는 1.33[Tesla], LIM 0.5[Tesla]가 발생되고 그 합은 1.83[Tesla]가 발생된다.

부상용 레일 상판에서의 자속밀도를 1.77[Tesla]로 운전할 것이냐? 혹은 1.83[Tesla]로 운전할 것이냐?는 레일 소재의 자기특성에서 포화영역에 있

느냐? 그렇지 않느냐?로 판단하여야 한다. 따라서 레일 상판에서의 운전 자속밀도를 높이기 위해선 레일 소재의 자기특성이 보다 우수한 소재를 사용하여야 한다.

(7) 차량의 주행에 따른 Drag Force 기술 분석

차량의 주행에 따른 부상력 및 Darg Force를 검토하기 위한 Yamamura-Ito의 해석모델은 다음과 같다.

$$F_z(V) = F_z(0) \cdot \frac{8}{\pi^2}\left[1-\frac{1}{\alpha_{ec}}(1-e^{-\alpha_{ec}})\right] \quad \text{------} \ (1)$$

$$\alpha_{ec} = \frac{2\pi^2 g L}{\mu_0 \sigma l_p^2 w_r V}$$

$$F_z(0) \simeq \frac{\mu_0 (NI)^2 L l_p}{4 g^2} \quad \text{-------} \ (2)$$

상기의 (1)식은 차량의 주행속도에 따른 부상력 저감에 관한 것으로, 속도 증가에 따라 레일에서 발생되는 eddy current는 증가하고, eddy current의 방향은 Lenz's law에 의해 결정되며, 결국 eddy current의 크기에 따라 drag force가 변하게 된다.

상기의 식에서 drag force를 저감하기 위한 방법으로, 차량 설계에 의해 대차의 길이가 고정되고, 전자석 길이(L)가 고정되었다고 가정하는 경우, 레일 소재의 도전율(σ), 전자석 pole 폭(lp)을 가능한 작게 하여, 즉 가늘고 길이가 긴 pole이 drag force 저감에 유리하다.

그러나 상기 (2)식에서 전자석의 pole 폭(lp)을 작게 하는 경우 전자석의 작용단면적(L*lp)이 작게 되어 속도가 0[km/h]인 초기 부상력이 작아짐에 따라 동일한 부상력을 유지하기 위해 보다 큰 기자력(NI)가 요구되며, 기자력이 클수록 전기코일에서 발생되는 Joule Heat가 높아져 전기코일 내부온도를 일정온도 이하로 유지하기 위해 많은 코일 량이 필요하게 되고, 전자석의 높이와 자중이 증가하게 된다.

$$I_e(V) = \frac{I_e(0)}{\sqrt{f_{ec}(V)}} \quad \text{----------} \ (3)$$

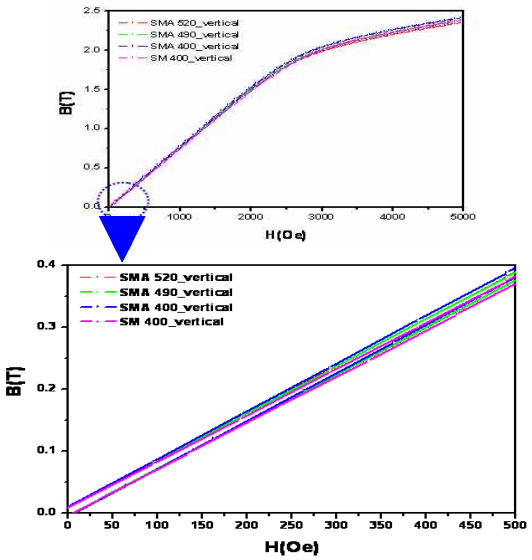
$$I_e(0) = \sqrt{\frac{4 F_z(0) g^2}{\mu_0 N^2 L l_p \alpha(g)}}$$

상기 (3)식에서, 전자석 pole 폭(lp)이 감소하는 경우 부상력을 유지하기 위해 기자력 증가에 따라 공극 자속밀도가 증가하게 되고, 공극의 자속밀도 증가는 레일 내부의 자속을 증가하게 되며, 결국 레일 내부에서 발생되는 eddy current는 증가하고 drag force는 증가하게 된다.

따라서 본 과제의 차량이 100[km/h]로 주행하는 경우 부상력 저감을 포함한 drag force는 대략 10%~15% 사이에 있을 것으로 예측되며, 차량의 주행에 따른 drag force를 저감하기 위해서 전자석의 pole 폭을 작게 하는 것보다는 레일 소재의 전기고유저항을 크게 하여, eddy current를 가능한 작게 하는 것이 가장 바람직한 방법이라 할 수 있다.

(8) 부상용 레일소재에 따른 기술 분석

생산기술연구원에서 현재 검토 중인 부상용 레일소재((SMA400계열)의 자기특성은 다음과 같다.




[그림 442 ]현재 검토 중인 부상용 레일의 자기특성

생산기술연구원 검토의뢰서에는 자장의 세기에 대한 자속밀도 값이 누락되어 있어, 상기 그림에서 개략적으로 측정된 결과와 (주)현대로템에서 제시한 부상용 레일소재(ST37계열)의 자기특성은 다음과 같다.

[표 94 ]SM400 계열의 자기특성표

| H[0e] | 15 | 25 | 50 | 100 | 300 | 400 | 500 | 4000 | 5000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B[Tesla] | 0.02 | 0.04 | 0.5 | 0.09 | 0.25 | 0.32 | 0.38 | 2.2 | 2.3 |

[표 95 ]ST37 계열의 자기특성표

| H[0e] | 15 | 25 | 50 | 100 | 300 | 400 | 500 | 4000 | 5000 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B[Tesla] | 1.3 | 1.52 | 1.66 | 1.94 | 2.04 | 2.1 | 2.13 | - | - |

상기 2개의 자기특성표에서와 같이 15[Oe]에서 SM400 계열은 0.02[Tesla], ST37 계열은 1.3[tesla]로 약 65배, 500[Oe]에서 0.38[tesla], 2.13[Tesla]로 약 5.6배의 차이가 발생되며, 그 차이만큼 자기특성이 저급한 소재임을 의미한다.

같은 자장의 세기[H]에서 자속밀도가 작다는 것은 그 만큼 자기저항(Reluctance)이 크다는 것을 의미하며, 부상용 전자석에 동일한 기자력을 인가하여도 부상용 전자석과 부상공극과 부상용 레일의 총 합성자기저항의 크기에 의해 부상용 전자석에서 발생되는 자속 량은 변하게 된다.

$$\phi = \frac{F}{(R_m + R_g + R_r)} \quad \text{----------} \quad (1)$$

여기서 F: 기자력[AT]

Rm: 부상용 전자석의 자기저항

Rg: 공극의 자기저항

Rr: 레일의 자기저항

부상용 레일은 차량을 부상하여 지지하는 역할 뿐만 아니라 부상용 전자석의 특성을 결정하는 중요한 요소로, 부상용 전자석과 더불어 자기특성이 우수한 소재를 사용하여야 한다.

[표 96 ]전기적 특성비교표

| | 고유저항[μΩ•m] |
|---|---|
| ST37 계열 | 0.167 |
| SM400 계열 | 0.207∽0.268 |

따라서 금번 생산기술연구원에서 검토한 소재는 전기적특성은 상당히 우수하나, 자기적 특성은 상당히 저급한 소재로 본 과제의 자기부상열차 부상용 레일로 사용할 수 없다.

(9) 최종 확정 안(4대차 Long Pole 방식)에 대한 설계 및 해석

1차년도에서 확정된 3대차 방식이 2차년도 초반에 4대차 방식으로 변경됨에 따라 4대차 방식의 차량에 적용될 부상용 전자석 설계해석결과는 다음과 같다.

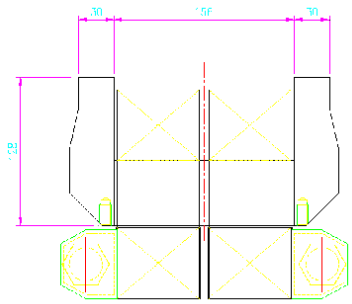
[입력조건]

| 주요 항목 | 단위 | 사 양 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 공차 중량 | ton | 20.0 | |
| 만차 중량 | ton | 26.5 | |
| 주행 최대하중 | ton | 41.7 | |
| 주행 최대속도 | km/h | 110 | |
| 대차 수량 | 대 | 4 | |
| 정격 부상공극 | mm | 8 | |
| 최대 횡변위 | mm | 15 | 미 확정 |
| 전자석 단위 주행최대하중 | N | 12,789 | 41.7ton/32magnet |
| 전자석 단위 길이 | mm | 589 | |

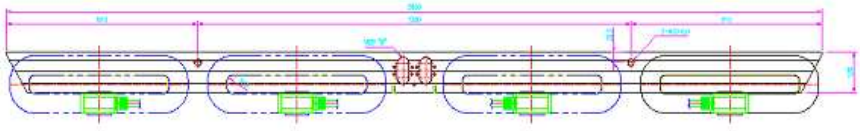
[해석조건]

| 주요 항목 | 단위 | 사 양 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 마그네트 철심 | - | 저탄소강 | 0.05%C |
| 부상용 레일 | - | 탄소강 | 0.1%C |
| 부상용 레일 구조 | - | Roll Forming | |
| 전기코일 | - | 산화피막 | A1050 |
| 절연재 임계온도 | ℃ | H종(180℃) | |

본 설계해석에서는, 주행 시 발생될 수 있는 동하중 조건에서도 철심의 각부는 자기특성에서 선형부분에 존재하고, 자중을 최소로 줄이기 위해 가능한 불필요한 철심을 제거하여 확정된 부상용 전자석의 형상은 다음과 같다.

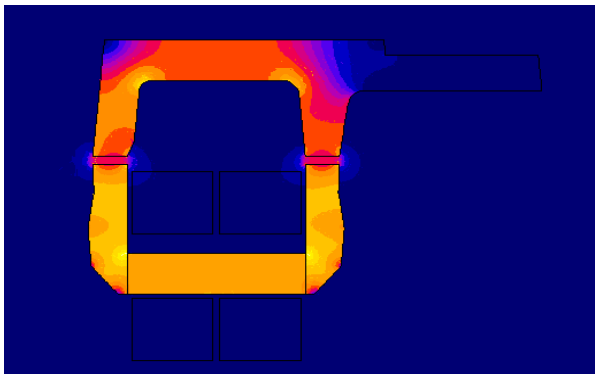


[그림 443 ]부상용 전자석 단면 형상



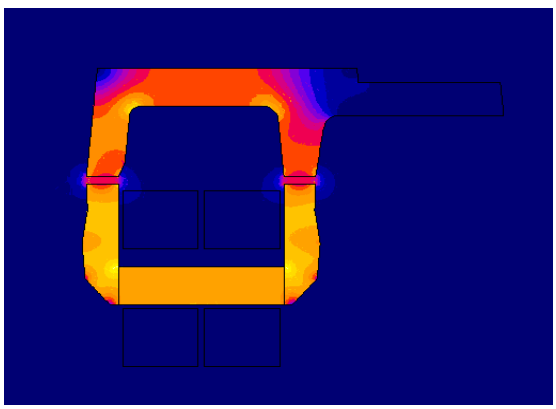
[그림 444 ]부상용 전자석 측면 형상

다음은 정격상태 조건인 부상공극 8mm와 횡변위 0mm, 정격상태에서 최대안내력이 발생되는 부상공극 8mm와 횡변위 15mm, RFP 상에서 부상공극 변화 조건인 ±3mm를 적용한 최악 조건인 부상공극 11mm와 횡변위 10mm에 대한 철심내외부의 자속밀도 분포는 다음과 같다.



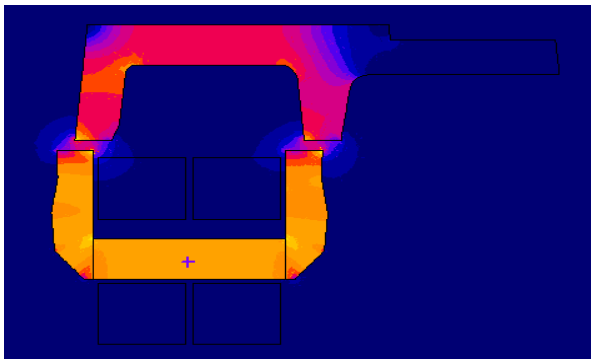
[그림 445 ]공극 8mm, 횡변위 0mm,
만차하중 조건에서의 자속밀도

상기의 그림은, 공극 8mm, 횡변위 0mm에서 만차 하중 26.5ton을 부상하는 경우, 전자석 및 레일의 자속밀도는 전자석 Yoke에서는 1.17[tesla], 전자석 Pole에서는1.22[tesla], 레일 Pole에서는 0.99[tesla], 레일 Base에서는 0.92[tesla] 정도 발생되며, 자기특성곡선 상의 선형부분에서 운전되고 있음을 보여주고 있다.



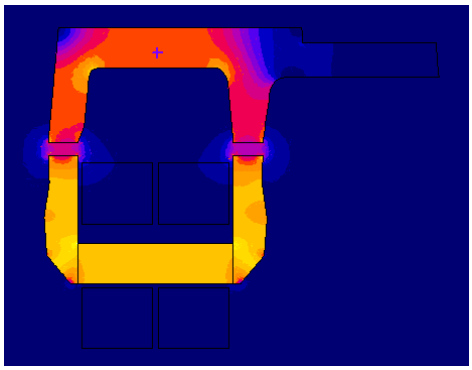
[그림 446 ]공극 8mm, 횡변위 0mm,
최대하중 조건에서의 자속밀도

상기 그림은, 주행 동하중을 포함한 최대 하중 41.7ton (12,789N*32대 = 409kN)에 대해, 공극 8mm로 부상되어 있는 상태에서 15mm의 횡변위가 발생되는 경우, 즉 정격 공극 8mm에 있어 최악의 조건에 대해 해석한 것으로, 전자석 및 레일의 자속밀도는 전자석 Yoke에서는1.52[tesla], 전자석 Pole에서는 1.53[tesla], 레일 Pole에서는 1.22 [tesla], 레일 Base에서는 1.14[tesla] 정도 발생되며, 자기특성곡선 상의 선형부분에서 운전되고 있음을 보여주고 있다.



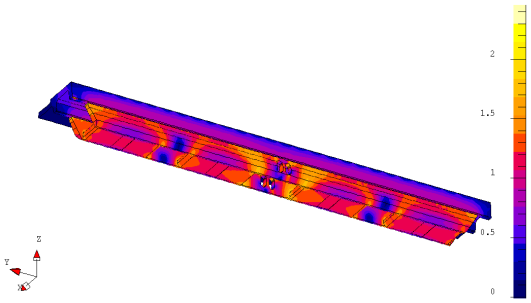
[그림 447 ]공극 11mm, 횡변위 15mm,
최대하중 조건에서의 자속밀도

상기 그림은, 주행 동하중을 포함한 최대 하중 41.7ton(12,789N*32대 = 409kN)에 대해, RFP 상의 최대 공극 11mm, 횡변위 15mm로 부상되어 있는 상태, 즉 운전 최대 공극 11mm에 있어 최악의 조건에 대해 해석한 것으로, 전자석 및 레일의 자속밀도는 전자석 Yoke에서는 1.79[tesla], 전자석 Pole에서는 1.72[tesla], 레일 Pole에서는 1.35[tesla], 레일 Base에서는 1.27[tesla] 정도 발생되며, 자기특성곡선 상의 선형부분에서 포화부분으로 접어드는 곳에서 운전되고 있음을 보여주고 있다.

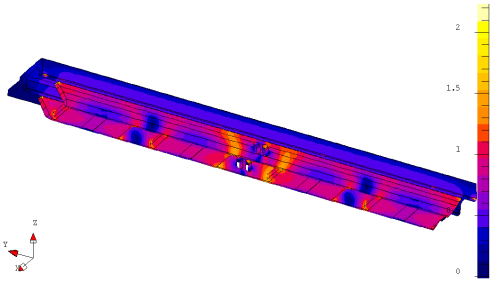


[그림 448 ]초기공극 및
만차하중 조건에서의 자속밀도

상기 그림은, 만차 하중 26.5ton의 차량이 착지상태 즉 공극 14mm, 횡변위 0mm에서 부상하기 위한 상태에 대한 것으로, 전자석 및 레일의 자속밀도는 전자석Yoke에서는 1.47[tesla], 전자석 Pole에서는 1.40[tesla], 레일 Pole 에서는 1.10[tesla], 레일 Base에서는 1.04[tesla] 정도 발생되며, 자기특성 곡선 상의 선형부분에서 운전되고 있음을 보여주고 있다.

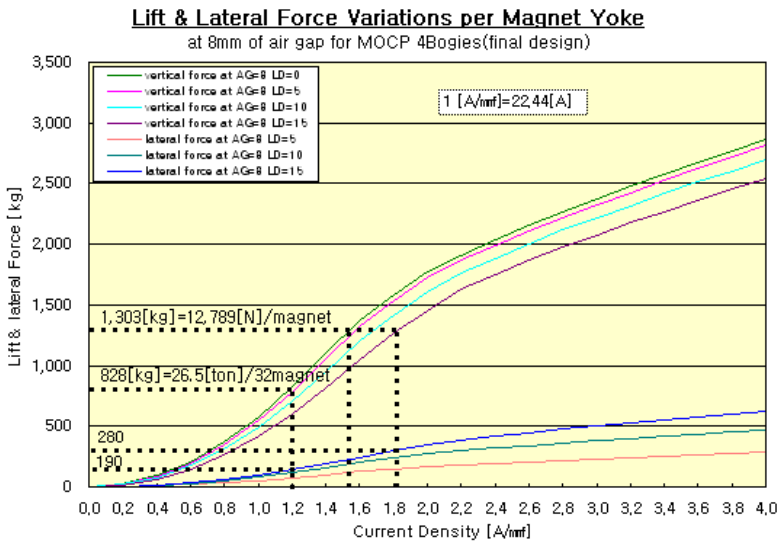


[그림 449 ]3차원 해석결과
(부상공극 8mm, 횡변위 0mm)



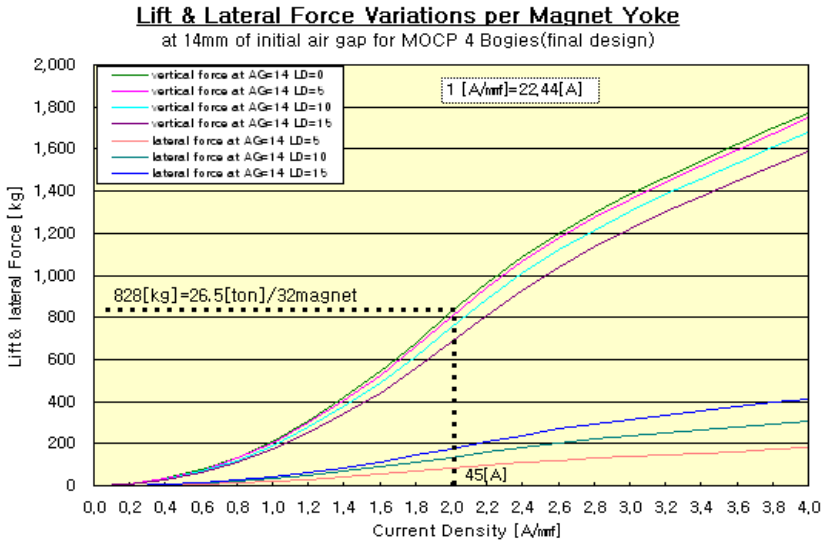
[그림 450 ]3차원 해석결과
(부상공극 14mm, 횡변위 10mm)

정격 부상공극 8mm에서 횡변위를 0mm에서 15mm까지 5mm 단위로 변화시켰을 경우 부상안내력 특성곡선은 다음과 같다.



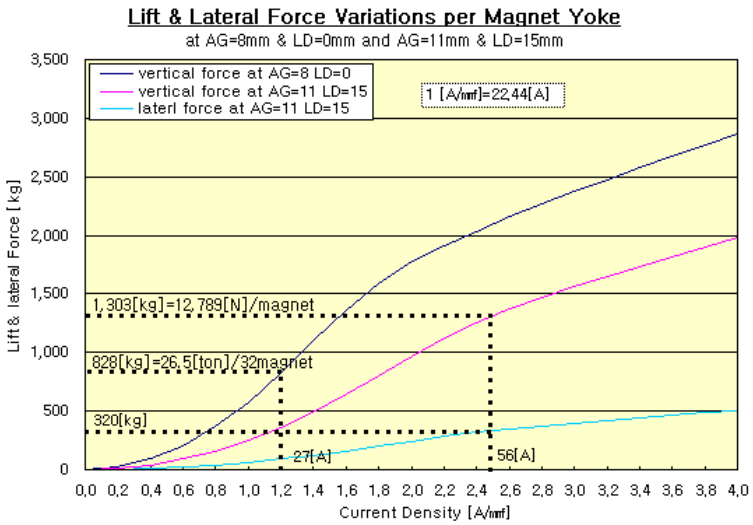

[그림 451 ]부상공극 8mm에서의 부상안내력 특성

다음은 초기부상공극 14mm에 대한 부상력 특성곡선으로, 만차중량 828[kg]/magnet에 해당하는 부상력은, 횡변위 0mm에서 전류밀도 2.0[A/㎟]에서 발생되며, 그 때의 안내력은 320[kg]/magnet 정도 발생되며, 주행최대하중은 부상력 특성곡선 상의 선형부분에서 있음을 알 수 있다.



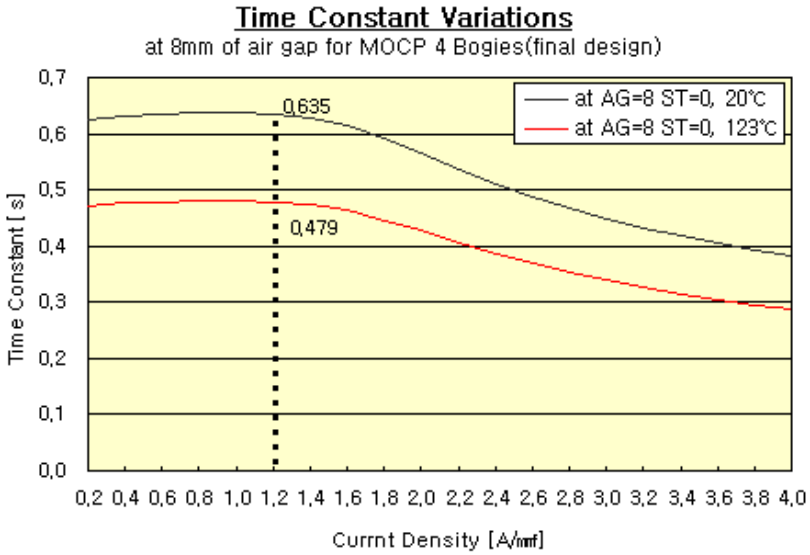

[그림 452 ]초기부상공극 14mm에서의 부상력 특성

다음은 차량의 부상이후 주행 시 발생될 수 있는 동하중을 포함한 최악조건에서의 부상력 을 발생하기 위한 전류변화를 예측하기 위한 것으로, 초기부상공극 14mm에서 부상하여 정격 부상공극 8mm에서 27A의 전류가 공급되고, 최악의 조건인 주행최대하중, 부상공극 11mm, 횡변위 15mm에서 부상력을 유지하기 위해서는 56A의 전류가 공급되어야 함에 따라 차량의 주행 시 27A에서 56A까지 변화될 것으로 예측된다.




[그림 453 ]주행에 따른 전류변화 특성

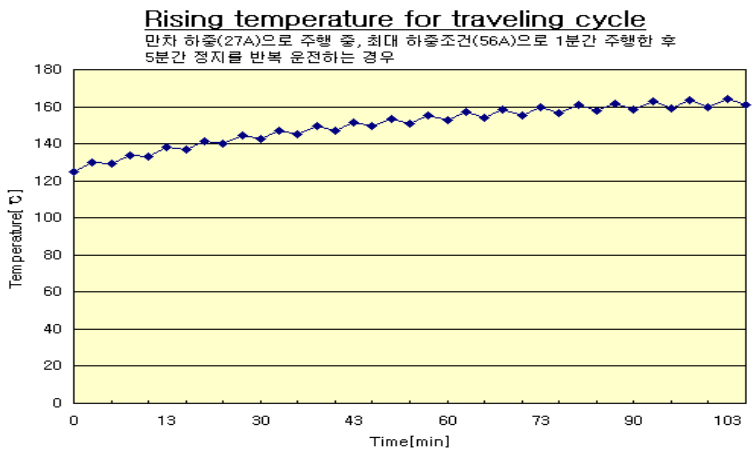
원활한 부상제어를 통해 승차감을 개선하기 위해선 전자석의 응답속도(Time Constant, 시정수)를 개선하여야 하며, 전류밀도에 따른 시정수 변화특성은 다음과 같다.




[그림 454 ]전류밀도에 따른 시정수 변화특성

상기의 그림에서, 부상공극 8mm, 횡변위 0mm, 상온, 만차중량 조건에서 시정수는 0.635[sec], 주행을 통해 전기코일의 온도가 포화온도에 도달하는 경우 시정수는 0.479[sec]로 기존 자기부상열차 차량에 비해 상당히 개선되었음을 알 수 있다.

상업운전 시, 전기코일의 내부 최대포화온도는 125℃ 부근에서 운전될 것으로 예측됨에 따라, 포화온도로 주행 중 주행최대하중이 1분간 발생되는 경우 온도특성은 다음과 같다.




[그림 455 ]주행최대하중으로 운전되는 경우의 온도특성

상기 그림은 전기코일이 포화온도에 있고, 주행최대하중이 1분간 발생하고, 5분간 착지하는 주기로 반복운전 경우에 대한 것으로, 전기코일의 내부최대온도가 165℃ 부근에 있을 것으로 예측된다.

3대차 방식의 중기거점사업용 부상용 전자석과, 본 과제의 4대차 방식의 부상용 전자석의 주요사양 비교는 다음과 같다.

[표 97 ]부상용 전자석의 주요 특성 및 비교

| 주요 항목 | 단 위 | 중기거점사업용 | 도시형 실용화사업용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 정격 부상력 | N | 11,651 | 8,124 | 1 마그네트에 대해 |
| 최대 안내력 | KN | 73(횡변위 15mm) | 100(횡변위 15mm) | 1차량에 대해 |
| 정격 부상공극 | Mm | 10 | 8 | |
| 철심 폭 | mm | 232 | 216 | 공극부에서 |
| 철심 높이 | mm | 170 | 128 | |
| 단위 자중 | kg | 165 | 94 | Lead Cable 포함 |
| 총 자중 | kg | 3,960 | 3,000 | 1차량에 대해 |
| 코일내부온도 | ℃ | 118 | 125 | 주행 시 최대온도 |
| 해석 시정수 | sec | 0.98 | 0.635 | 상온에서 |
| | | - | 0.479 | 주행 포화온도에서 |
| LTWR | ton/ton | 7.07 | 8.83 | |
| PTLR | kw/ton | 0.423 | 0.536 | |

‘중기거점사업’용 차량은 3대차 1pole 1yoke 방식으로, 4대차 1pole 4yoke 방식인 본 연구개발과제 ‘도시형 실용화사업’용 차량과 직접적 특성 비교는 어려우나, 정격 부상공극이 10mm에서 8mm로 감소함에 따른 기자력 감소효과와 부상용 전자석의 최적설계를 통해 철심높이를 42mm 개선(24.7%)하였으며, 량 당 전자석 자중을 960kg 개선(24.2%)하였으며, 부상용 전자석의 성능 판단 기준인 LTWR(Lift force To Weight Ratio, 단위 자중에 대한 부상력)를 7.07 [ton/ton]에서 8.33[ton/ton]으로 개선(15%)하였으며, 또한 승차감 개선과 직결되는 전자석의 응답속도(시정수)를 0.98[s]에서 0.635[s]로 개선(35.2%)하였다.

차량의 경량화를 위해 부상용 전자석의 자중을 감소하여야 함에 따라 코일내부온도는 5.9% 증가하였으며, PTLR(Power consumption To Lift force Ratio, 단위 부상력을 발생하기 위해 필요한 소비전력)은 26.7% 증가하게 되었다.

(10) 확정 안(4대차 Long Pole 방식)에 대한 특성시험

상기의 설계는, 실제 인천공항에서 설치 및 운행될 실차용 자기부상열차에 탑재되는 것으로, 한국기계연구원 선로에서 시험운전 가능하도록 Yoke의 크기, Pole Profile, 전기코일 사양은 동일하게 유지하되 Pole Width, Pole과 Pole의 간격을 변경하여 Half model(길이 1,300mm)을 제작 및 시험하였으며, 그 주요사양은 다음과 같다.

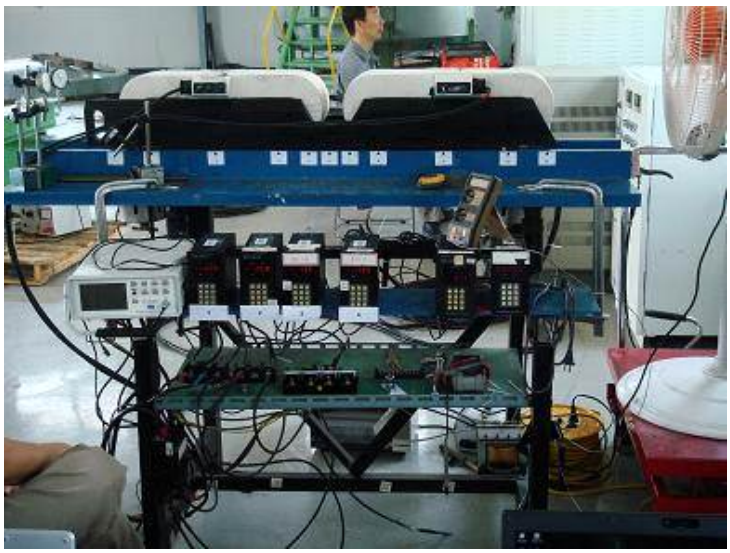
[표 98 ]한국기계연구원 선로 시험대차용 부상용 전자석 주요사양

| 주요 항목 | UNIT | SPEC. | REMARK |
|---|---|---|---|
| Pole 길이 | mm | 1,300 | half model |
| Pole 폭 | mm | 32 | |
| Pole 높이 | mm | 128 | |
| 자중 | kg | 197 | |
| 전기코일 수량 | ea | 4 | 2coils/yoke |

[표 99 ]시험장치의 주요사양

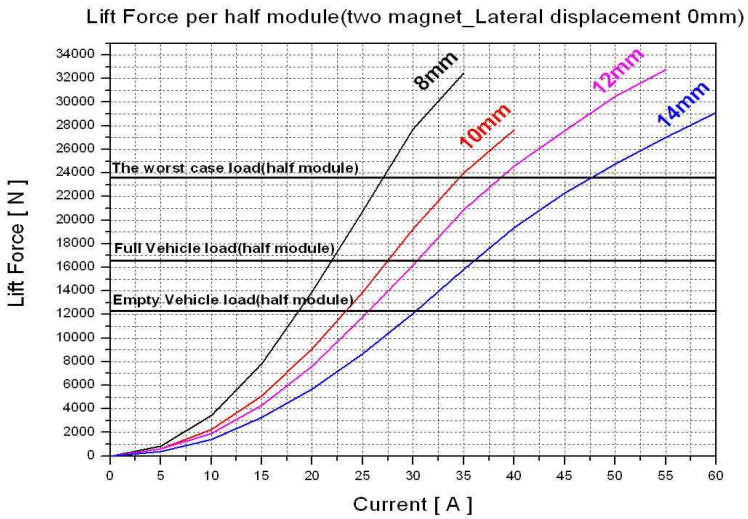
| 주요 구성품 | 수량 | 주요 사양 | REMARK |
|---|---|---|---|
| DC Power Supply | 1대 | 500VDC, 200A | |
| Chopper | 1대 | 300VDC, 100A | |
| Magnet | 1대 | L1,300 | half model |
| Load Cell | 4대 | 1ton | 부상력 측정(4point) |
| 〃 | 2대 | 1ton | 안내력 측정(2point) |
| Computer | 2대 | Note Book | Data 취득 및 출력 |
| Current meter | 2대 | 500A | 전류/전압 측정 |
| Temp. meter | 1대 | 1000℃, 2Pot | 온도 측정 |
| Gauss meter | 1대 | 20,000gauss | 자속밀도 측정 |
| Load cell indicator | 6대 | 2ton | 부상/안내력 측정 |
| Dial gauge | 2대 | analog type | 횡변위 측정 |
| Height gauge | 2대 | 〃 | 수직공극 측정 |

본 시험에 사용될 시험 장치는, 한국기계연구원의 지그와 로드 셀, (주)현대로템의 쵸퍼와 데이터 취득 장치, 당사의 전자석과 직류전력공급장치 등을 구성한 시험장치는 다음과 같다.



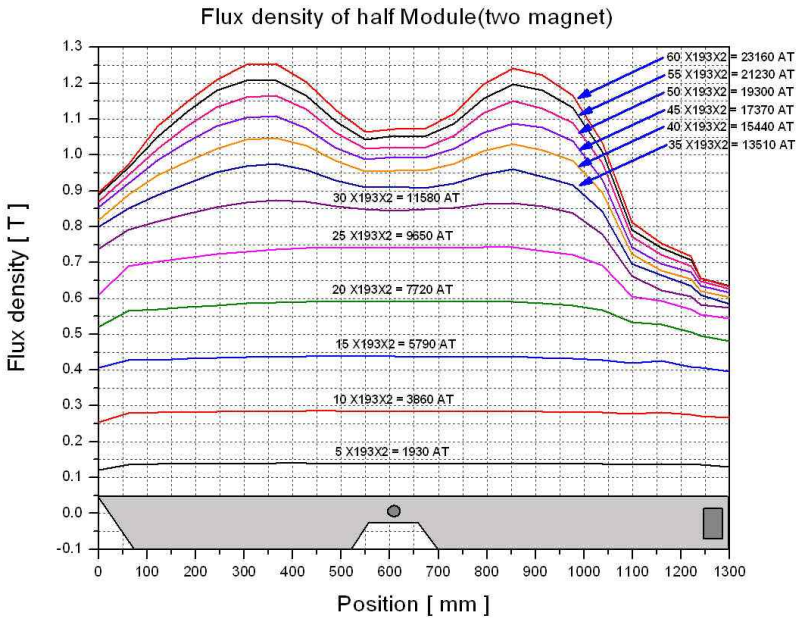
[그림 456 ]전자석 시험지그 및 측정 장비

횡변위 0mm에서 부상공극 8mm, 10mm, 12mm, 14mm에 대한 부상력 시험결과는 다음과 같다.



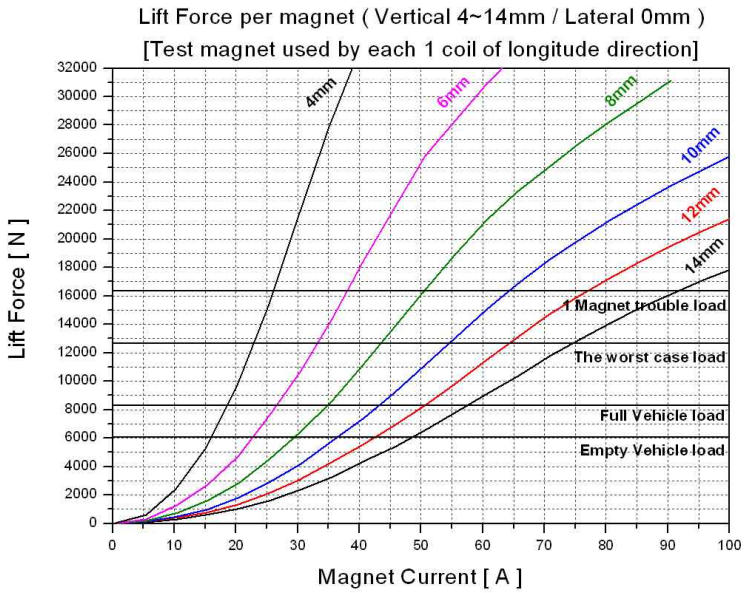

[그림 457 ]공극 및 전류변화에 대한 부상력 특성

공극 8mm, 횡변위 0mm에서, 전자석 길이 천체에 대해 공극자속밀도의 측정결과는 다음과 같다.

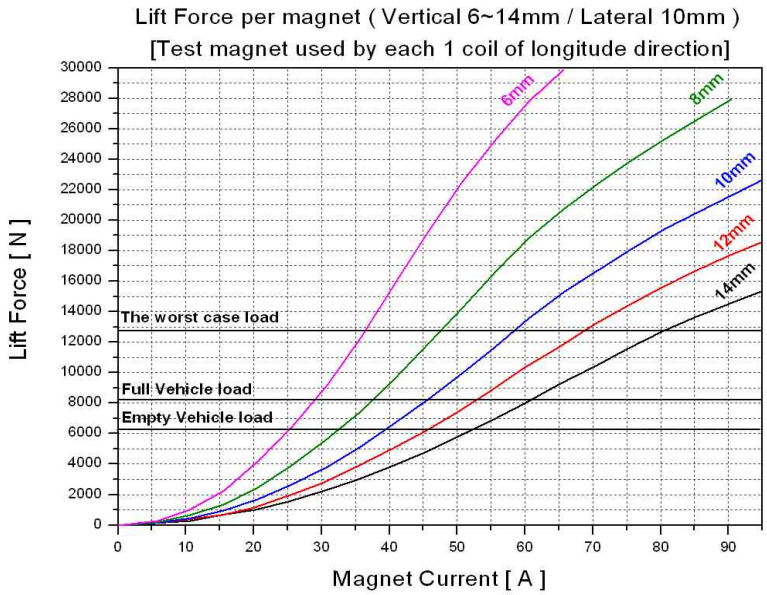



[그림 458 ]전류변화에 따른 공극자속밀도

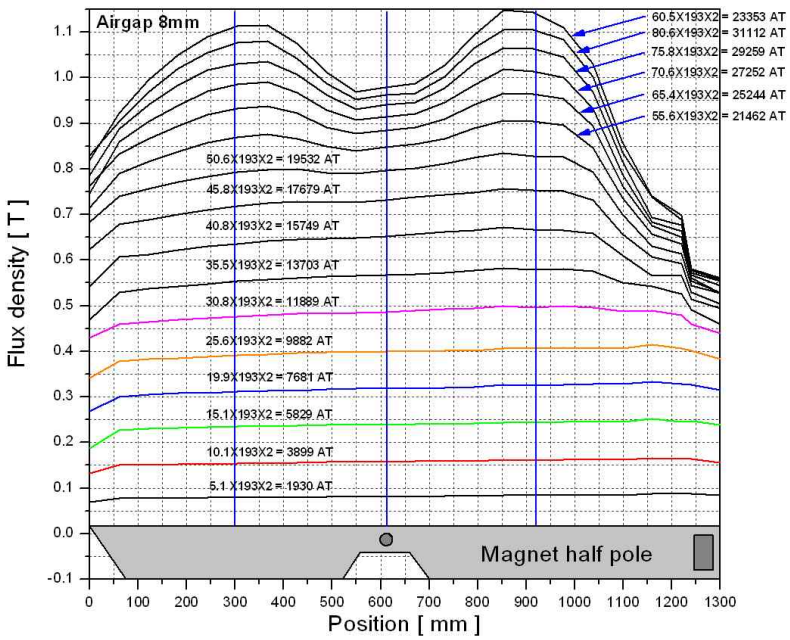
쵸퍼 혹은 부상용 전자석이 고장일 경우, 인접한 부상용 전자석은 최대 2배의 부상력을 발생하여 운전될 수 있도록 2대의 전자석의 전기코일을 길이방향으로 각 1대를 직렬로 결선하여 시험한 결과는 다음과 같다.




[그림 459 ]1magnet 고장 시, 부상력 특성

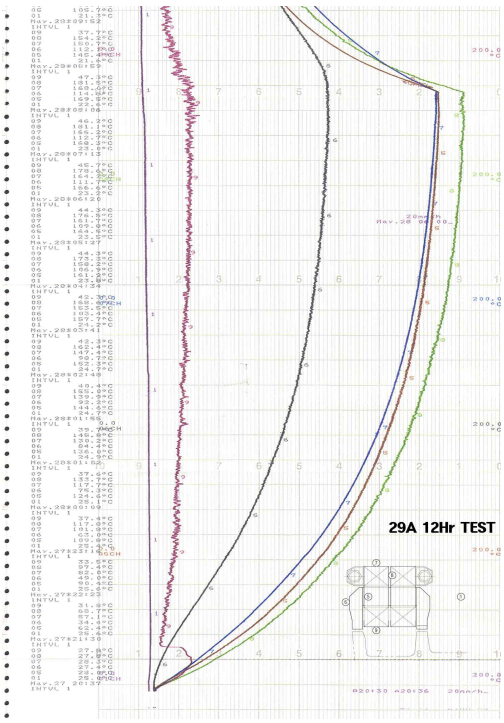



[그림 460 ]1magnet 고장 시, 횡변위에 따른 부상력 특성

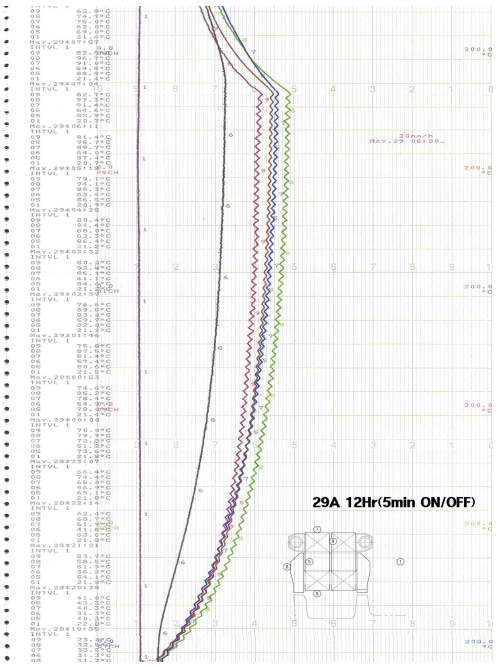



[그림 461 ]1magnet 고장 시, 전류변화에 따른 공극자속밀도

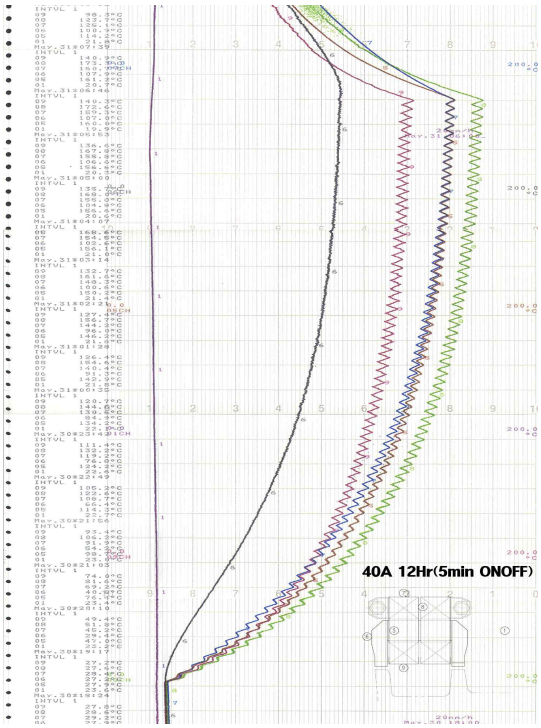
전류 및 운전율에 따른 온도특성시험 결과는 다음과 같다.




[그림 462 ]29A 전류를 연속 공급시, 온도특성(최대 180℃)

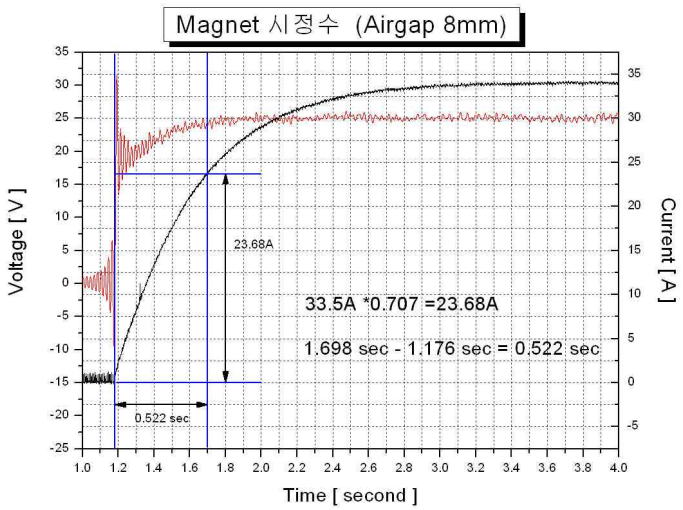



[그림 463 ]29A 전류로 “5분 운전, 5분 정지”시, 온도특성(최대 100℃)

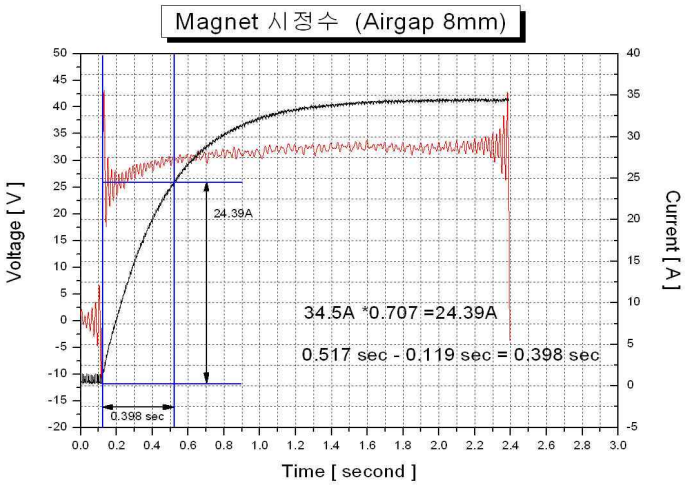



[그림 464 ]40A 전류로 “5분 운전, 5분 정지”시, 온도특성(최대 170℃)

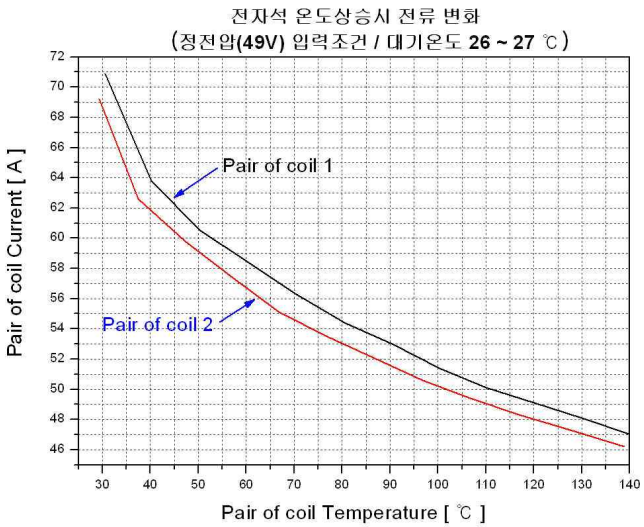
시정수 측정결과는 다음과 같다.




[그림 465 ]전기코일 온도 30℃에서 시정수 측정




[그림 466 ]전기코일 온도 120℃에서 시정수 측정




[그림 467 ]온도상승에 따른 전류감소 특성

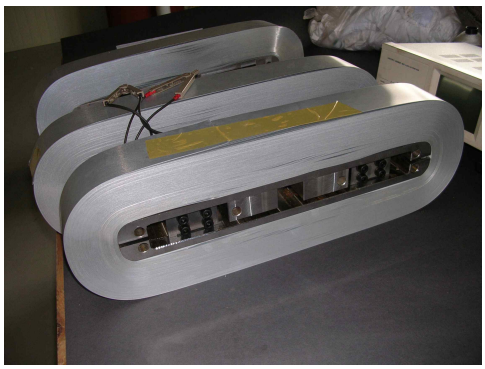
[표 100 ]온도에 따른 전기저항 변화특성

| 전기코일 온도 | 전기저항 | 비 고 |
|---|---|---|
| 28℃ | 0.354Ω | 전기코일 4개를 직렬로 연결하여 전기저항을 측정한 후, 평균값 산출(14㎟*3m*2C Lead Cable 전기저항 제외) |
| 140℃ | 0.439Ω | |
| 170℃ | 0.528Ω | |

(11) 기계연구원 선로 시험대차용 부상용 전자석 제작(Half Model)

한국기계연구원 선로 시험대차 부상용 전자석을 2set 제작하였으며, 1대는

특성시험용, 또 다른 1대는 한국전기연구원 Single Magnet 부상시험 지원용으로 제작하였으며, 주요 공정은 다음과 같다.



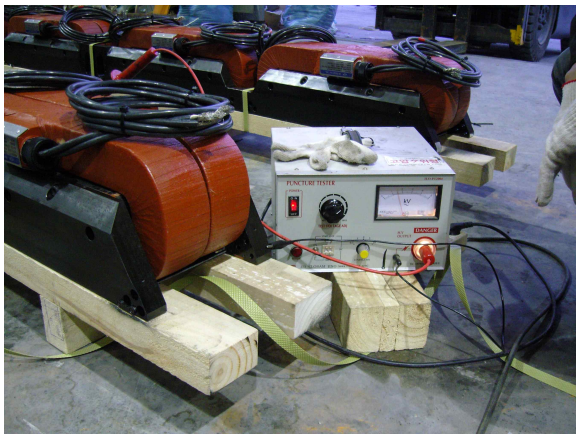
[전기코일]

[Long Pole]

[Yoke]

(12) 기계연구원 선로 시험대차용 부상용 전자석 제작

상기의 Half Model을 제작하여 특성시험을 거친 후 개선/보완하여, Full Model 2대차용을 제작 및 특성시험 후 인도하였으며, 다음은 시작품의 최종 시험(절연저항, 내전압, 극성) 및 조립장면이다.



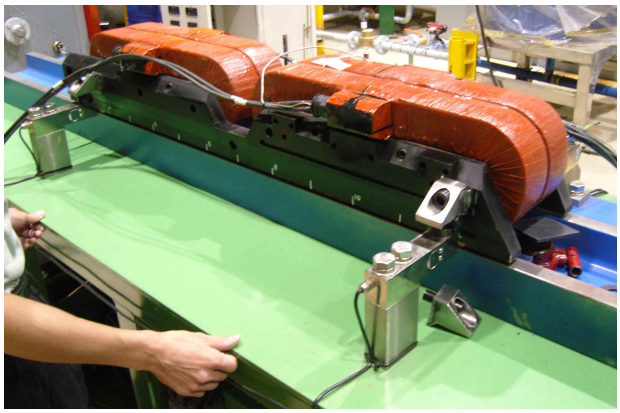
[그림 468 ]부상용 전자석 내전압시험

[그림 469 ]전기상수 및 온도측정

[그림 470 ]조립검사

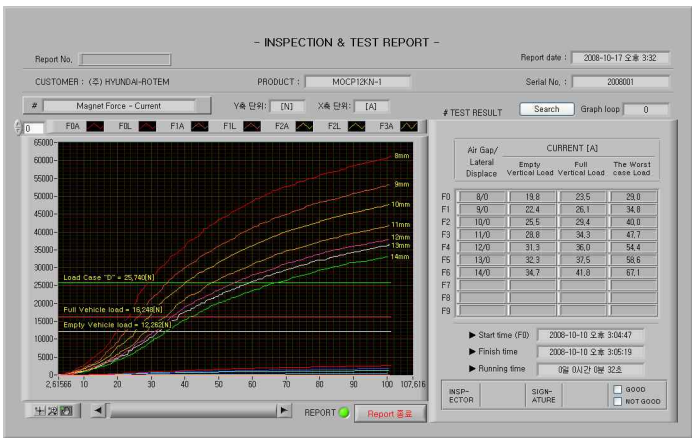
(13) 인천공항 운행용 부상용 전자석(4대차 Long Pole 방식)의 특성시험

인천공항 운행용 부상용 전자석(Pole Width: 30mm)의 Half Model, Roll Forming 방식의 부상용 레일, 시험 지그를 제작하여, 횡변위(0mm/5mm /10mm/15mm) 및 부상공극 (8mm/9mm/10mm/11mm /12mm /13mm/14mm)에 대해 측정된 부상안내력 및 시정수 특성은 다음과 같다.

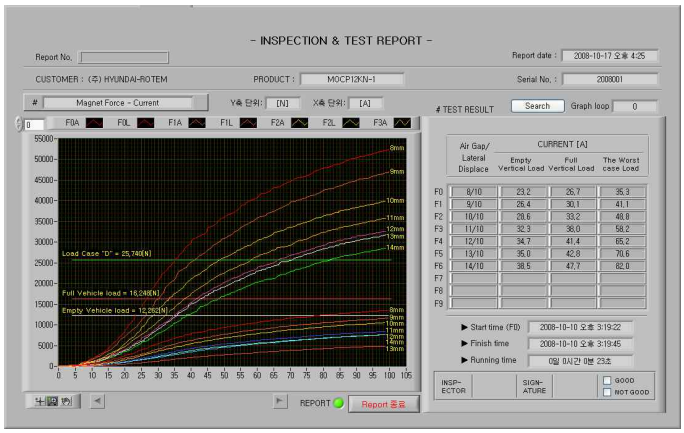


[그림 471 ]Half Model 시험 전경

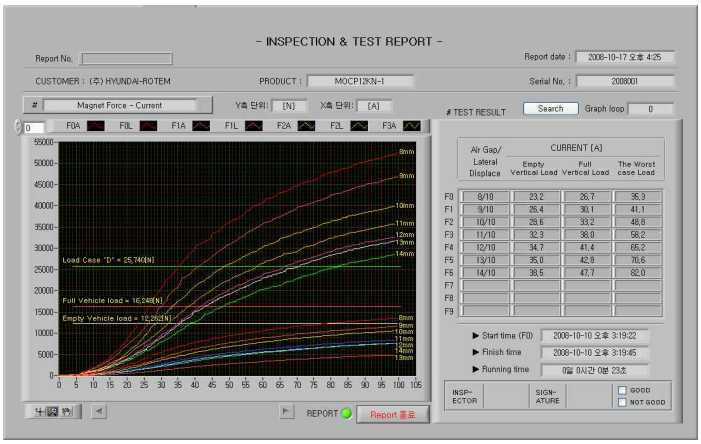
[그림 472 ]Full Model 시험 전경



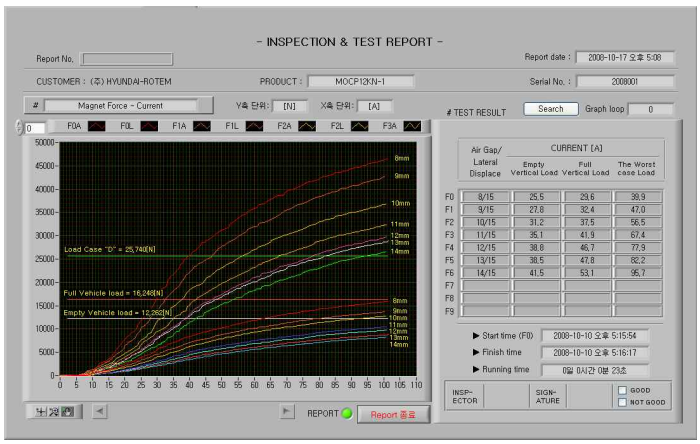

[그림 473 ]횡변위 0mm에서 전류 및
공극변화에 대한 부상력 특성



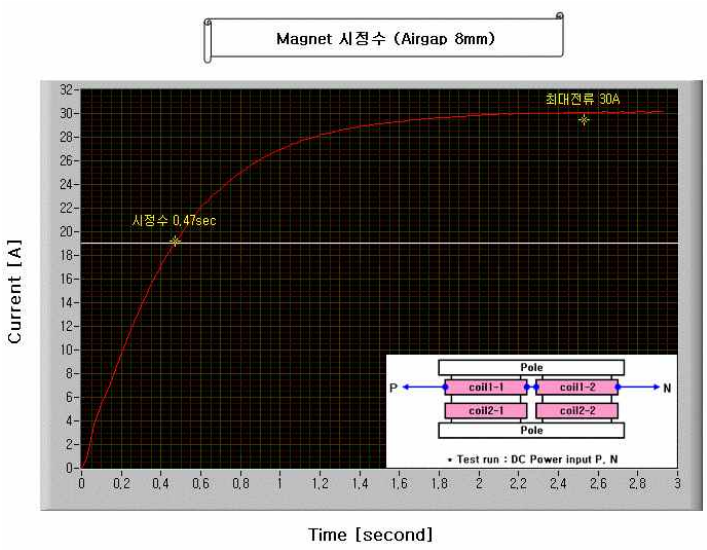

[그림 474 ]횡변위 5mm에서 전류 및 공극변화에 대한 부상/안내력 특성



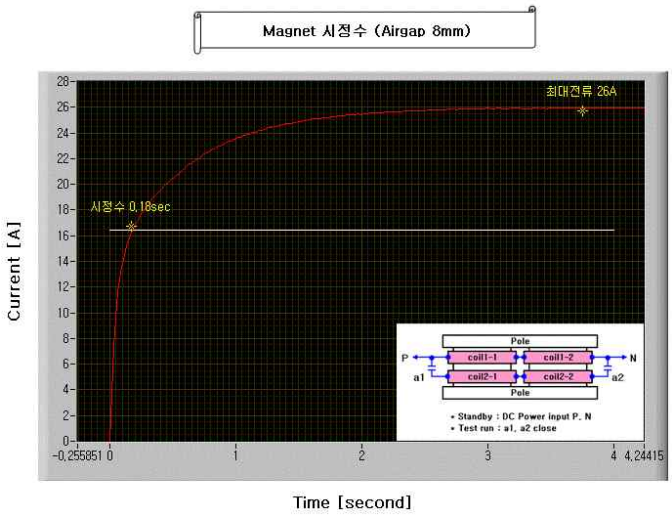

[그림 475 ]횡변위 10mm에서 전류 및 공극변화에 대한 부상/안내력 특성




[그림 476 ]횡변위 15mm에서 전류 및 공극변화에 대한 부상/안내력 특성




[그림 477 ]인접 전기코일의 직렬결선 시,
시정수 특성(1)

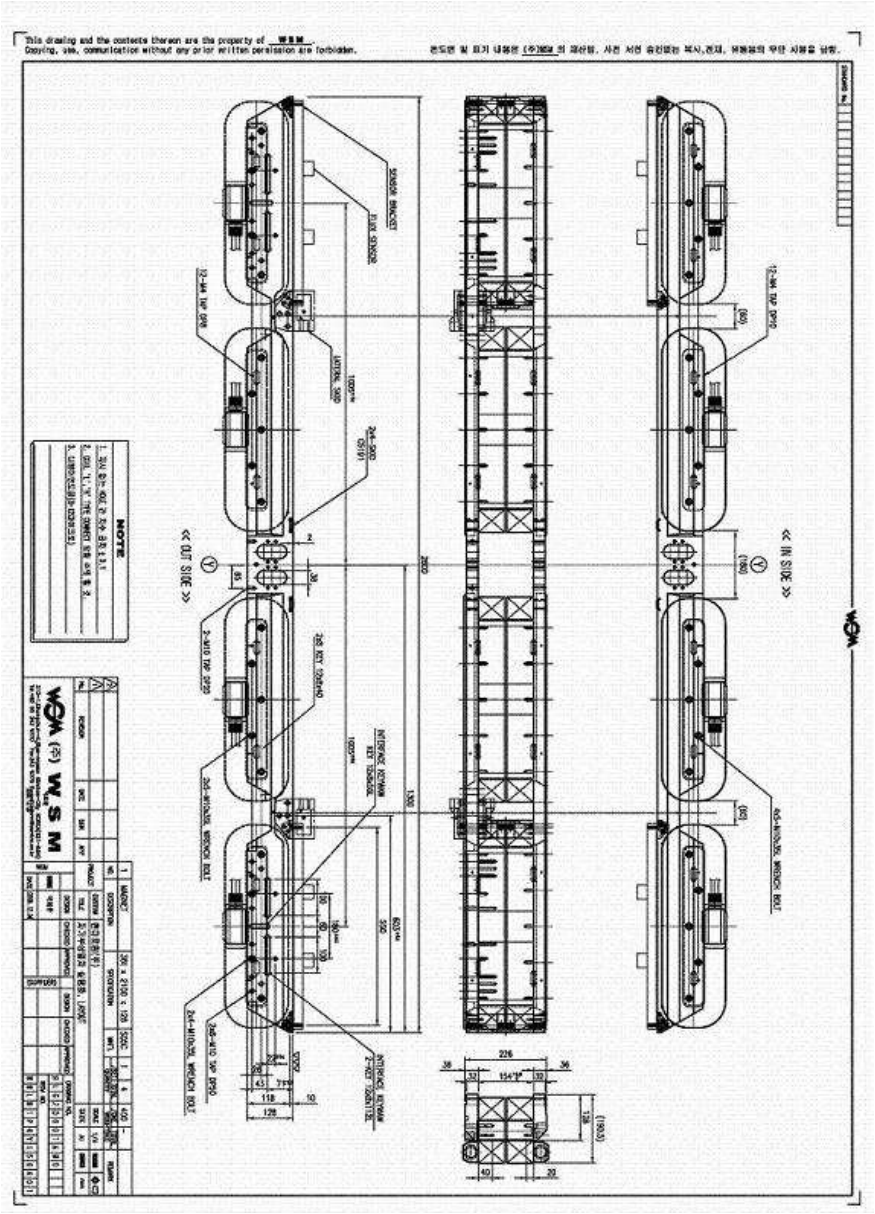



[그림 478 ]인접 전기코일의 직렬결선 시,
시정수 특성(2)

상기의 전류변화에 대한 부상력 및 안내력 특성은 설계치와 잘 일치하고, 주행 중 최악의 부하조건에 대해서 충분한 부상력을 확보하고 있음을 보여주고 있다. 주행 중 부상제어가 용이하고, 승차감 향상에 직결되는 부상용 전자석의 시정수는 0.18[sec] ~ 0.47[sec] 사이에서 변화됨을 알 수 있다.

3차년도 수행 도중, 부상용 레일의 Pole Width(32mm)와 부상용 전자석의 Pole Width(30mm)의 차이에서 발생될 수 있는 차량의 사행운전 요인을 제거하고, 부상력을 더욱 개선하기 위해 부상용 레일과 부상용 전자석의 Pole

Width를 동일(32mm)하게 설계 변경하여, 현재 Full Model(길이 2,600mm)을 제작 중에 있으며, 당해 연구기간 내에 모든 특성시험을 수행할 예정이다.



[그림 479 ]인천공항용 부상용 전자석(Pole Width: 32mm) 조립도면

1단계 총 3개년 간 연구수행 결과는 다음과 같다.

[표 101 ]최종 확정 사양의 부상용 전자석 개발결과

| 주요 항목 | 단위 | 중기거점 기술개발사업용 | 도시형 자기부상열차 실용화 사업용 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 차량 당 중량 | ton | 28.5 | 26.5 | 만차중량 |
| 정격 부상공극 | mm | 10 | 8 | |
| 차량 당 대차 수량 | 대 | 3 | 4 | |
| 차량 당 전자석 수량 | 대 | 24 | 32 | |
| 전자석 총 높이 | mm | 275 | 191 | 84mm(30.5%) 개선 |
| 전자석 총 자중 | kg | 3,960 | 3,050 | 33% 개선 |
| 전기코일 표면온도 | ℃ | 118 | 126 | 6.8% 증가 |
| 코일 표면과 내부 온도 편차 | ℃ | 150 | 15 | 90% 개선 (최종 목표: 80℃) |
| 방수 | - | 불완전 | 완전 | |
| 시정수 | sec | 0.98 | 0.18~0.47 | 52% ~ 82% 개선 (최종 목표: 0.65) |
| LTWR(자중 대비 부상력) | ton/ton | 7.07 | 8.69 | 22.9% 개선 |
| PTLR(부상력 대비 소비전력) | kw/ton | 0.423 | 0.536 | 26.7% 증가 |

## 라. 이투에스

(1) 마그네트 드라이브 신호 특성 연구

(가) 마그네트 드라이브 신호 특성

1) 마그네트 드라이브 신호의 종류

○ GAP(간극)센서 및 ACC(가속도)센서 출력

○ 전자석 전류, DC-Link전압 및 전압 출력CT(변류)/PT(변압) 신호

○ 감시 제어용 아나로그 신호 및 모니터링 용 아나로그 신호

○ 감시 제어용 디지털 신호 2) 마그네트 드라이브 신호의 특성

○ GAP센서신호 : 저주파, 고왜란

○ ACC센서신호 : 고주파, 저왜란

○ CT/PT 2차 변류 신호 : 고정밀 계측형 신호

(나) 센서출력 및 입력 방식

1) GAP센서 출력신호

○ 단위길이(mm)당 전압 비율로 간극의 거리 측정

○ EMI/EMC 구성의 고주파 LPF형 보호 회로단 구성

○ Balanced Differential Amplifer구성

○ 감시제어용 아나로그 출력을 위한 Impedance Matching Buffer구성

○ 저주파 Fc(Cut-Off Freqency) 능동 필터

2) ACC센서 출력신호

○ 가속도형 전압비 출력 측정

○ EMI/EMC 구성의 고주파 LPF형 보호 회로단 구성

○ 감시제어용 아나로그 출력을 위한 Impedance Matching Buffer구성

○ 중저주파 Fc(Cut-Off Freqency) 능동 필터

3) 변류/변압 출력신호

○ 고정밀 Shunt저항으로 전류비 대비 전압 구성

○ EMI/EMC 구성의 고주파 LPF형 보호 회로단 구성

○ 감시제어용 아나로그 출력을 위한 Impedance Matching Buffer구성

○ 저주파 Fc(Cut-Off Freqency) 능동 필터

(다) 전자 장애 패턴 파악

○ 마그네트 드라이브는 고속의 IGBT스위칭 노이즈에 의한 기중 전자파 전도와 밀폐된 제어함이라는 악조건으로 인해, 매우 높은 전자 장애 환경을 견뎌야 하는어려운 문제에 직면해 있으며, 이는 강도 높은 환경영향 평가를 통해서 개선되어야 한다.

○ 대략적으로 가장 중요한 전자 장애는 바로 IGBT의 스위칭 노이즈로, 그 크기는 5KHz~10KHz사이이며, 일반적으로 근거리 무전기의 세기와 비슷한 EMC세기를가진다.

○ 마그네트 드라이브가 이러한 노이지한 환경에서 정상적인 동작을 유지 하려면 적절한 EMI/EMC 회로구성이 필수적이며, 각각의 환경에 따라 미묘하게 구성이 틀려지게 되지만, 대체적으로 Capacitor, Reactor및 저항으로 구성되는Normal모드 구성과 Capacitor, 저항 및 바리스터로 구성되는 Common모드 구성으로 이루어진다.

(2) 아나로그 필터설계 및 특성연구

(가) 아나로그 필터 설계

1) 센서(GAP / ACC) 신호입력 필터 회로

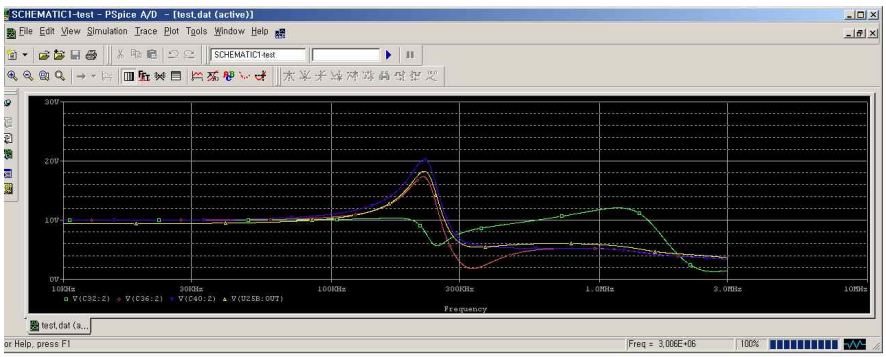
○ 저주파Fc(Cut-Off Frequency) 능동 필터

○ 2차 LPF (Low Pass Filter) 바터워쓰 필터 적용

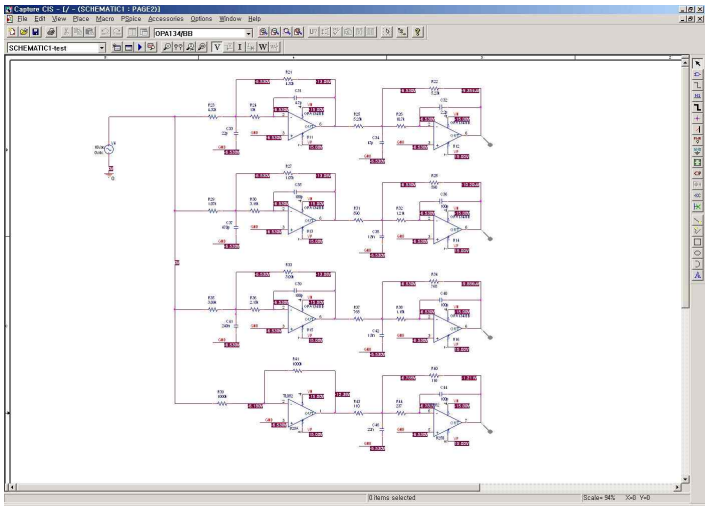
○ 저주파 Fc(Cut-Off Frequency) 능동 필터

○ 2차 LPF (Low Pass Filter) 바터워쓰 필터 적용

(나) Filter시험용 PCB제작



(다) 시뮬레이션 (PSPice)를 이용한 필터 품질 개선



[그림 480 ]PSPice를 이용한 시뮬레이션 모델 및 감쇄파형

(3) 1차 시제품 개념설계 및 블록도면 작성

(가) 제어기의 개념설계 및 블록도면 작성

1) 이중화 제어기의 개념

가) 자기부상열차의 부상제어를 담당하는 부상제어기는 크게

○ 센서 및 변류신호 입력부, 2)디지털신호처리부, 3)중앙처리장치 및 메모리, 4)PWM출력-전류제어부, 5)통신부 등으로 나누어지며, 각각의 기능등이 독립적으로 구성되어야 이중화 되었다고 말할 수 있다. 주제어모듈은 신호처리 및 고속 연산을 수행하고, 각각의 독립적인 전원장치와 그 전원의 감시장치를 탑재하고 있으며, 각각 연산한 결과를 중앙의 인터페이스 모듈을 통하여 상위와 고속으로 통신하여 주고받을 수 있도록 되어있다. 또한 각각의 독립된 부상제어기에서 출력된 PWM 신호는 광출력으로 초퍼부로 전달되어, 이중화된 각각의 초퍼에서 처리 하도록 된다.

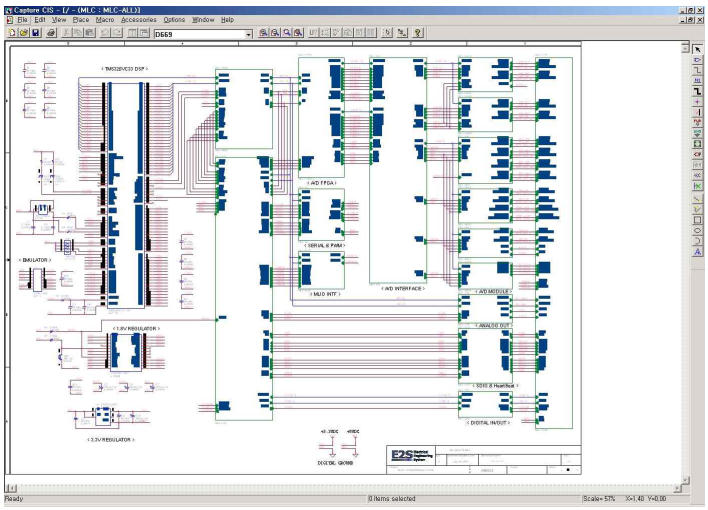
(4) 마그네트 드라이버 1차 시제품기본설계

(가) 회로도면의 작성

1) 이중화 제어기의 회로도면

○ 이중화 제어기는 크게 주제어부인 MLC(Magnetic Levitation Controller) 및 MLIB(Magnetic Levitation Interface Board),

MLIO(ML Input/Output), PSM(Power Supply Unit)으로 나누어지며, 각각의 회로도면이 작성되고 출력물로 BOM, NET리스트 등이 산출되었다.



[그림 481 ]MLC(주제어보드)의 대표도

2) 이중화 초퍼 드라이버의 회로도면

○ 이중화 초퍼 드라이버(LPD)의 회로도면 작성은 고압의 초퍼구동 전압의 절연관계를 고려하여 각 IGBT를 유기적으로 연동할 수 있는 점을 중점적으로 고려하여 작성되었으며, 특히 노이즈가 심하고 출력에 직접적으로 연관된 부분인 만큼 신호의 안정화 방안으로 광신호 인터페이스, 전원의 안정화 등이 고려되었다.

(나) PCB아트워크 도면 작성

1) 이중화 제어기의 PCB도면 작성 및 거버 데이터 생성

○ 이중화 자기부상 제어부의 PCB아트워크는 작성된 회로도면에 따라 진행되었으며, 일반적인 MIL-STD사양(IPC-2221/MIL_STD_275E등)에 준하는 기준에 의거해 작성되었다.

(5) 1차 시제품의 제작

(가) 이중화 제어기의 제작

1) 이중화 자기부상 제어기의 1차 시제품은 위의 사진으로 보다시피 기구도

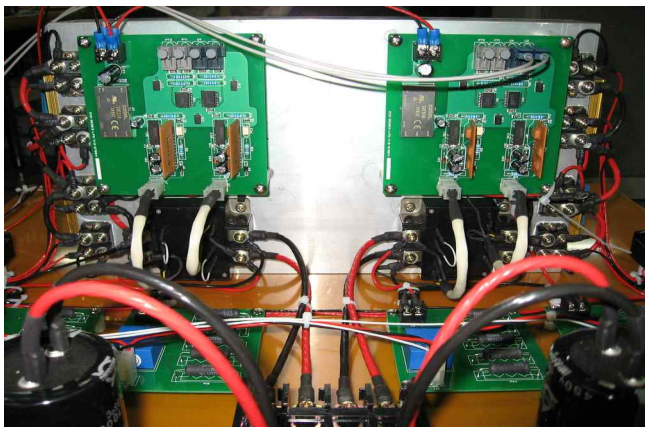
○ 면에 설치된 그대로의 배치이며, 통신 및 두 제어보드의 인터페이스

를 위한 MLIB보드가 중앙에 배치되고, 전원을 공급하고 그 건전성도 판정하는 PSM보드가 상측에 배치되는데, 그것은 바로 전면에 부착되는 방열 판으로 발열소자인 DC/DC 컨버터를 위치시키기 위함이다. 주 제어기는 같은 형태의 보드가 양쪽으로 배치되게 되며, 케이블을 이용해서 MLIB에 각각 입력과 출력을 연결하게 된다. 여기서 사용자에게 모니터링용 신호를 제공해 주는 MLIO보드는 MLC보드위에 Figgy-Back형태로 부착이 되며, 독립된 커넥터를 통해서 외부로 출력이 되게 되는데, 이때 사용하지 않을 경우 착탈이 가능하여, 분리한 상태에서도 운전이 가능할 수 있도록 하였다.

[그림 482 ]이중화 자기부상 제어기의 시제품

(나) 이중화 초퍼의 제작

○ 1차년도 activity였던 이중화 쵸퍼의 실용화 가능성에 대한 과제로서 이중화 초퍼를 제작하여, 이중화 초퍼의 출력안정성 및 절체 등을 시험하였으며, 세부과제 연구목적을 달성하기위한, 기술지원을 진행하였다.



[그림 483 ]이중화 자기부상 제어기의 시제품

(6) 1차시제품 수정사항 도출

○ 제어카드 및 신호처리 카드 모니터링 카드 시험보고서 작성

○ 성능 개선 목록 작성

○ DC Link입력단 회로분석 및 개선사항 도출

(7) 세부주관 state-of-art 분석결과적용

○ 세부사양 재정립

(8) 2차 시제품 기본/상세 설계

1) 기본설계 및 블록도면 작성

2) 마그네트 드라이브 MMI 요구사항 분석

3) 회로도면 작성

가) 전원공급장치(HPM) 회로설계 및 환경시험사양서 작성

① 전원공급장치(HPM) 회로설계

○ 3종의 철도차량용 DC/DC컨버터를 선정하여 회로설계 진행.

○ 전원공급회로 중 환경성능 및 내성(EMI/EMC)성능이 우수하며, 경제적인 전원공급회로를 선택하기 위해서 실제모듈을 제작하여 시험.

② 환경시험 사양서 및 기능시험 절차서 작성

○ 내환경 시험사양 작성

○ 내성 시험사양 작성

○ 내진동 시험사양 작성

○ 기능시험 절차서 작성

나) 마그네트 드라이브 초퍼 회로도면 작성

○ 초퍼회도로면 작성

다) 마그네트 드라이브 초퍼 기구도면 작성

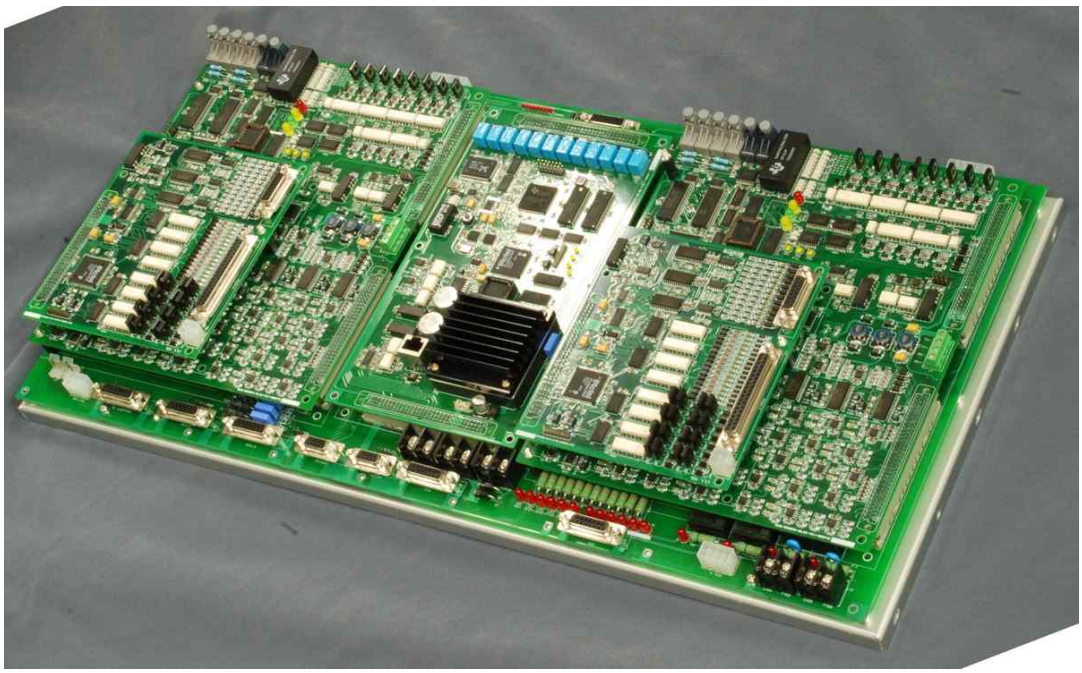
① Power Stack 제작용 도면작성

○ 마그네트 드라이브 초퍼의 각각 단일 power stack용 도면 작성.

(9) 2차 시제품 제작 및 기능 검증

(가) 2차시제품 제작

1) 2차 시제품 제어모듈제작



[그림 484 ]마그네트드라이브 제어모듈

가) 고속제어 알고리즘 구현을 위한 고집적 제어모듈제작

○ 집적도를 위해 6Layer이상의 PCB제작

○ 고속 메모리인터페이스를 위한 Route Layout구현 : 최대 75MHz 신호 속도

○ 전자기 보호를 위한 보호회로 내장 및 각 제어신호 및 센서입력 신호를 위한 감쇄보정 회로가 포함된 입출력 구성

나) 이중화 제어기 구현

○ Fault Tolerant 기능이 탑재된 이중화 제어모듈

○ 통신 및 아날로그/디지털 신호를 통한 이중화 제어기 상호간의 상시 건전성 유지

○ PWM 광출력 및 센서신호와 초퍼에서 입/출력되는 모든 신호를 동일하게 처리

다) 유지보수가 용이한 Stackable구조 (적층구조)

○ 별도의 케이블 없이 4~2개의 고정자에 의해서 체결이 완료되는 구조로

현장적용시에 간단하게 교체가 가능하며, 모든 보드의 상태를한눈에 살펴 볼 수 있도록 펼쳐져 있는 구성.

○ 옵션으로 사용자가 마그네트의 상태를 모니터링 할 수 있는 I/O모듈을 제공하여 착탈이 손쉬운 마그네트 드라이브의 상태확인 장치로 활용할 수 있음.

○ 마그네트 드라이브 전면 판넬을 제거하고 차량에 장착한 상태에서 유지보수 가능.

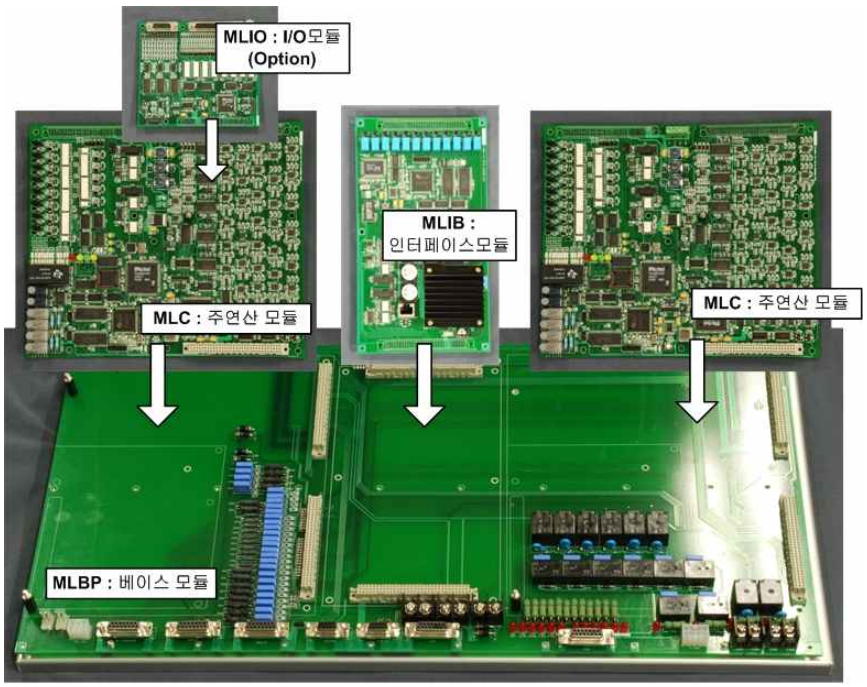
라) 안정적인 제어전원 공급장치 제작

○ DC60V ~ 140V 입력범위를 가진 파워컨버터 모듈

○ 공냉방식의 기구구성으로 발열을 최대한 억제하고, 안정적인 전원을 공급.

○ 제어전원의 건전성을 감시하고 실시간으로 제어기로 전달

○ 이중화 전원공급장치 구현



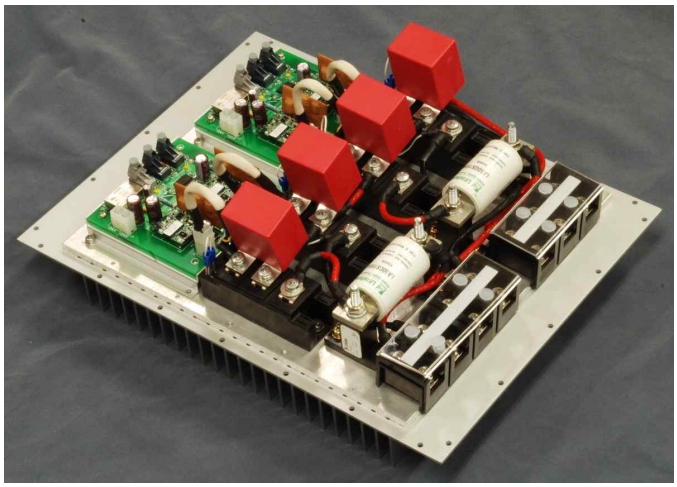

[그림 485 ]적층형 제어기 구조

2) 2차 시제품 외함제작 및 Power Stack

가) 유지보수가 용이한 Power Stack 의 구현

○ 독립된 구성의 Power Stack모듈의 구현 : 코너별로 하나의

Powerstack을 사용하며 각 Power Stack모듈은 동일한 구성으로 서로 교체하여 장착하여도 되는 구성



[그림 486 ]독립된 Power Stack 모듈

○ 300VDC/100A용량의 Power Stack및 자체 보호회로 내장된 드라이버 보드

○ 고속 스위칭 시 DC 전원의 swing을 방지하기위한 고용량 스너버 회로 내장

○ IGBT스위칭을 위한 독립된 고용량 Isolation DC/DC컨버터 내장

나) DC Link전압입력 및 입/출력 전압전류 감시회로

○ DC Link전압입력시 고용량 커패시터의 초기상태를 고려한 마그네트 컨택트의 구성

○ DC Link전압 및 마그네트 출력 전압/전류의 상태를 감시하기 위한 Hall Effect Sensor의 구성.

3) 2차 시제품 완성사진

가) 2차시제품 구성

○ 이중화 제어기와 초퍼를 하나의 제어함에 구성함

○ 2개의 Power Stack을 양쪽면에 배치하여 방열구성을 극대화함

○ 제어부의 전원공급장치인 PSM을 기구적으로 방열이 되도록 전면에 배치하여 안정적으로 외부DC100V전압을 제어기에서 필요한 전압으로 변환하도록 함.

○ Military표준인 MS커넥터를 사용하여 방수/방진에 우수하도록 구성.

4) FirmWare 및 FPGA 작성

가) 마그네트 드라이브 FPGA도면 작성

① 주제어기용 FPGA 도면작성

○ 고속 DSP운용을 위한 기본적인 Logic Schematic도면 작성.

○ 고신뢰성 PWM출력을 위한 VHDL혼용 디자인 설계.

② 고속 AD 컨버터 운용을 위한 FPGA 도면작성

○ 고속 Analog-To-Digital변환을 위한 FPGA Logic설계.

○ 동시 Sampling이 가능하며, 각 채널간의 cross-talk가 최소화되도록 하며, 설계의 집적화를 위해 80%이상의 logic은 HDL코드를 이용하여 작성함

○ 고신뢰성의 Design Tool및 FPGA코어를 선택하여 한계주행 시에도 정상동작이 이루어 질 수 있도록 하였음. (ACTEL社 Libero IDE 및 APA Core사용 : M급)

○ 75,000 및 300,000gate급의 초고집적(ultra-High density) FPGA를 사용하여, 하나의 IC에서 신호를 처리함으로서 전체 제어모듈의 집적도와 크기를 줄였으며, 여러개의 FPGA를 사용하는 것보다 신뢰성이 있고 제작비용이 절감되는 효과가 있음.

나) 마그네트 드라이브 F/W 작성

① 주제어기용 FirmWare (하드웨어용 내장프로그램)

○ 주 제어cycle주기를 줄이기 위해서 C코드와 Assambly코드를 혼용하여 사용.

② 인터페이스 모듈 FirmWare (하드웨어용 내장프로그램)

○ MMI프로그램과 연동을 위한 TCP/IP스택 및 TCP 소켓 프로그램 설계.

(10) 2차 시제품 모의시험기 연동 시험 및 기능개선

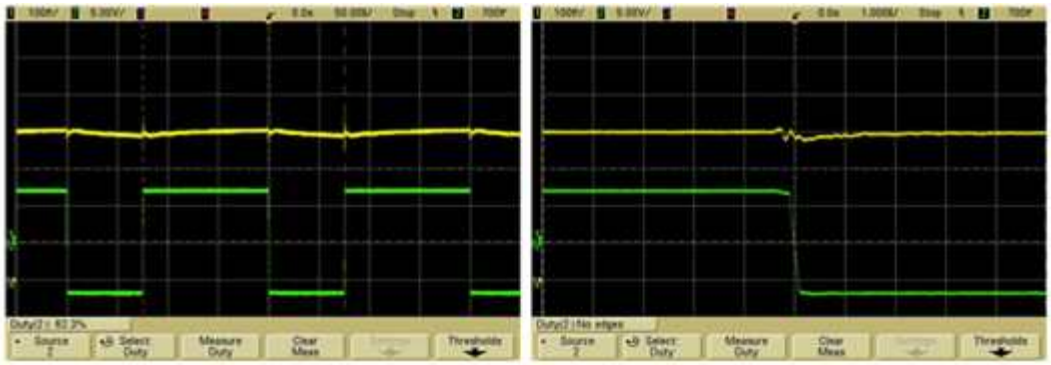
(가) 모의시험기 연동 결선 및 시험구성

1) 전기연구원 모의부하시험기 시험

가) 부하시험기와 2차 시제품 초퍼간의 구성

나) 전류 통전시험

① 20KW급의 DC전원공급기로 최대 40A에서 전류시험을 진행하였다.



[그림 487 ]모의 부하 시험기에서 초퍼시험

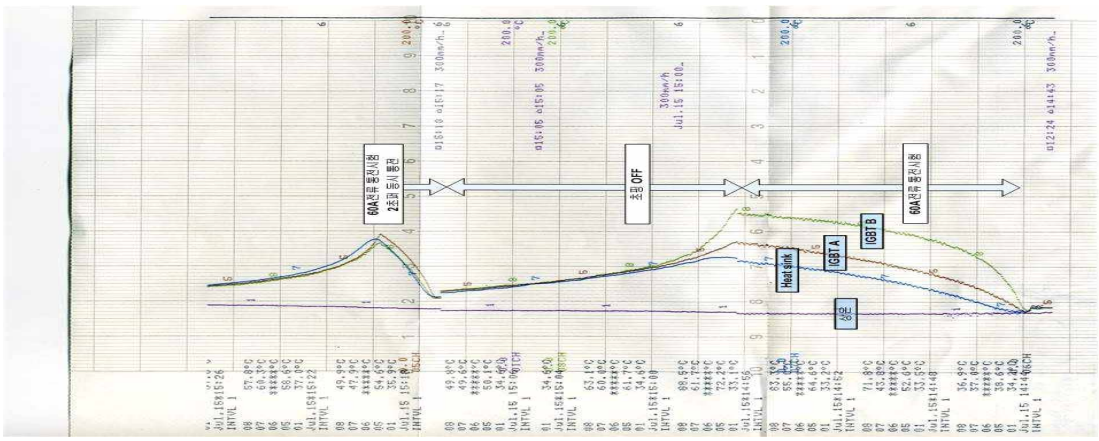
2) 1차 ~ 3차 2차시제품 초퍼시험 보고서 작성

가) 대차시험용 마그네트를 이용한 100A통전시험

○ 실부하인 대차시험용 마그네트에서 100A까지 통전시험 진행.

나) 대차시험용 마그네트에서 온도상승시험

○ 60A에서 온도상승 시험진행(IGBT모듈 및 방열판).



(11) 시험차량용 마그네트 드라이브 제작

○ 2차년도 과제목표였던 시험차량용 마그네트 드라이브 5SET를 제작하여, 기능시험 및 실부하 시험을 진행하고, 세부과제의 시뮬레이터에서 동작시험을 진행하여, 실차에 적용할 수 있도록 제작 진행함.

[그림 488 ]제작된 시험차량용 마그네트 드라이브

[그림 489 ]제작된 시험차량용 마그네트 드라이브

실차량용으로 제작된 마그네트 드라이브는 2개의 코너를 동시에 구동할 수

있도록 설계되었으며, 이중화 제어기를 적용하여, 신뢰성을 향상시켰다. 또한 2차시제품에서 개선사항을 적용하여, 고전류 타입의 케이블 및 방열구조를 적용시켰고, 고용량의 IGBT모듈(1200V / 200A)을 장착하여 100A이상의 통전상태에서도 정상적인 특성을 유지하도록 설계되었다.

또한, 차량에 장착될 브라킷을 개선하여, 보다 강인하게 진동 및 충격을 견딜 수 있도록 보강하였다.

실제 차량의 시험용으로 제작되어 방수 및 방진 요건을 더욱 만족시키도록 하였고, 주요 전력선들을 단자대로 찰탁이 용이하도록 하여, 유지부수 시에 걸리는 시간을 단축할 수 있도록 하였고, 초퍼공간을 확충하여 방열 및 부품 교체가 편하게 제작되었다.

회로적으로는 마그네트 드라이브의 상태를 외부에서 쉽게 관측할 수 있도록 아나로그 신호(24채널) 및 디지털 신호(입출력 48채널)을 설치하고, 외부 데이터 관측기인 DAS(Data Aquisition System)과의 인터페이스를 마련하였다.

[그림 490 ]유지보수가 용이하도록 개선된 전류출력부

(가) 각 보드별 기능 확인

1) MLC (Magnet Levitation Control)

마그네트 드라이브의 제어모듈로, 고속 DSP칩이 내장되어 있는 보드이다. 부상제어 알고리즘을 고속으로 제어하기 위한 DSP칩과 메모리 및

FPGA설계를 검증하기 위해 에뮬레이터(emulator)및 콘솔 명령어를 사용하여, 각 기능의 건전성을 시험하였다.
또한 각 센서(Gap/Acc) 및 변류신호(전압/전류)를 제어기가 명확하게 인식하는지에 대해서 고속 AD컨버터를 사용하여 FPGA 레지스터에 접근하여, 디지털화된 아나로그 신호의 신뢰성을 장기간 테스트를 통해서 확인하였다.

2) MLIB (Magnet Levitation Interface Board)
통신을 위한 마그네트 드라이브의 인터페이스 모듈로, 고속의 통신을 위한 TCP/IP 기능과 안정적인 제어를 위한 RS485통신을 시험하였다. 또한, 시험차량에서의 통신확인을 위해서 Hub를 통한 MMI소프트웨어와의 통신시험을 진행하였다.

3) MLIO (Magnet Levitation I/O)
마그네트 드라이브의 상태를 외부에서 관측하기 위한 모니터링 보드로서의 기능을 확인하였으며, 각각의 아나로그 채널을 이용하여, 부상시 혹은 착지 동작에서의 상태변수 및 제어변수를 모니터링 하였다.

4) PSM (Power Supply Module)
마그네트 드라이브를 구동하기 위한 전원 공급 모듈로서 차량의 DC100V를 입력받아, 제어기가 사용하기위한 각각의 전원으로 변환하고, 센서 전원을 만들어 정확한 계측이 가능하도록 유지하는 기능을 시험하여, 각 동작 시에 육안으로 확인가능한 현시용 LED 및 제어기가 입력받는 알람 신호 등을 시험하였다.

5) LPD (Levitation Power Driver)
마그네트 드라이브의 초퍼를 구동하는 모듈로서, 각 부상 및 착지동작 수행시에 일정한 제어기의 제어신호(PWM)을 받아서 정해진 전류값을 출력하는지의 여부를 확인하였다. 또한, 고전압 출력 시에 보호회로의 동작상황을 점검하였다.

(나) 신호단위의 입/출력 기능 확인

1) 공극센서 및 가속도 센서

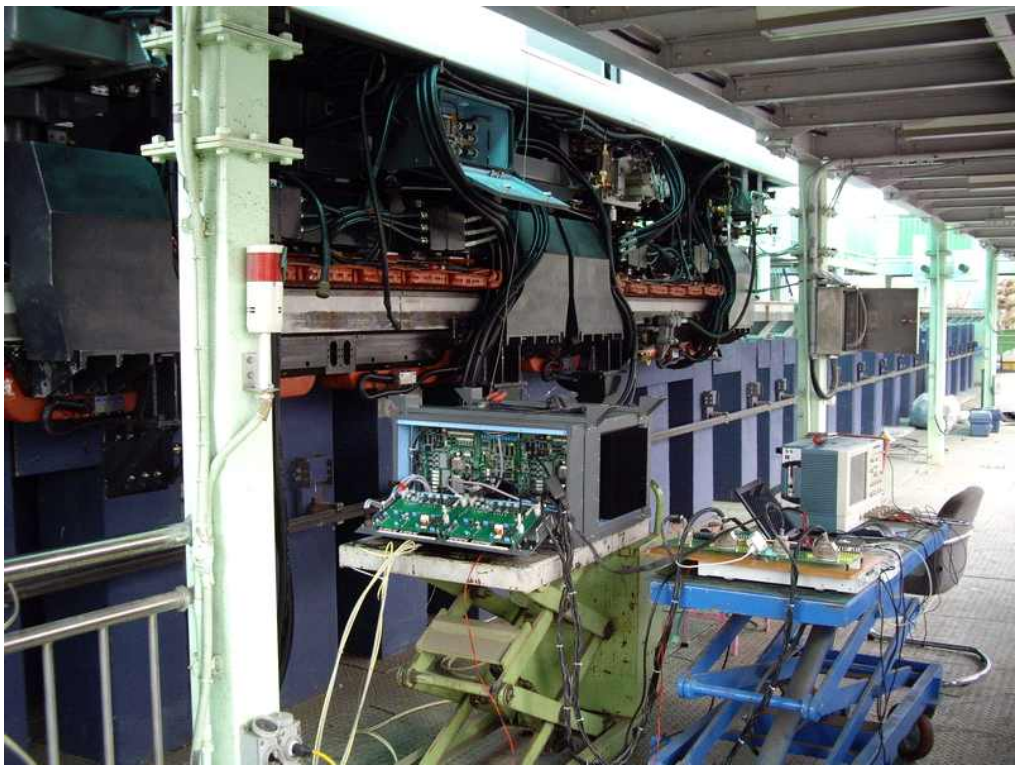
차량에 설치된 공극센서 및 가속도 센서의 입력을 DAS(Data Aquisition system)을 통해 확인하여, 건전성과 정확성을 판단함.

2) 변류 및 변압신호

마그네트 드라이브 내부에 설치된 변류기 및 변압기의 신호를 제어기에서 읽어 실제 측정(외부 계측기 이용)값과의 오차값을 비교하여 시험함. 특히 마그네트 출력전류 및 전압을 실시간으로 취득하고 MMI상에 표시하여 부상시험 시에 마그네트 드라이브의 건전성 판단기준으로 사용함.

다. 전류 출력시험

마그네트 드라이브를 시험용 차량에 연결하여, 실제 센서신호를 입력받고, 부상제어시험을 진행하며, 전류출력을 정상적으로 발생시키는지 시험함.



[그림 491 ]시험차량에 연결된 마그네트 드라이브

(다) MMI프로그램 간의 통신성능 개선 및 추가기능 설계 및 시험적용

2차년도 과제목표였던 MMI소프트웨어를 가지고 실제차량의 시험시에 적용하고, 시험과정에서 도출된 수정사항을 개선하고, 추가적인 기능을 설계하여, 주행시험간에 적용하였음. 사용된 MMI소프트웨어는 정지 부상 상태 및 주행간에 사용 가능하도록 TCP/IP 통신방식으로 구성하였으며, 고속의 Data 통신이 가능하도록 설계되었다.

기존에 구성되어 있던 제어 파라미터 다운로드 기능 및 상태 모니터링 기능 이외에 주제어모듈(MLC)및 통신모듈(MLIB)의 프로그램 업데이트 기능을 추가 하였음. 또한 각 마그네트 드라이브의 통신 건전성을 평가하기 위한 테스트 기능을 추가함.

[그림 492 ]MMI소프트웨어를 사용한 제어파라미터 입력

(라) 이중화 제어기 신뢰성 시험

세부주관인 한국전기연구원에서 진행한 이중화 제어기 시험을 효과적으로 지원하기위한 하드웨어 장치를 설계 및 개선하였으며, 이중화 통신을 위한 RS232C통신 기능과 각각의 기능별 디지털 신호채널 및 아나로그 신호 이중화 설계를 검증하였음.

(마) 차량단위 통신(TCN)에 적합한 통신 프로토콜(MVB)작성 및 통신시험

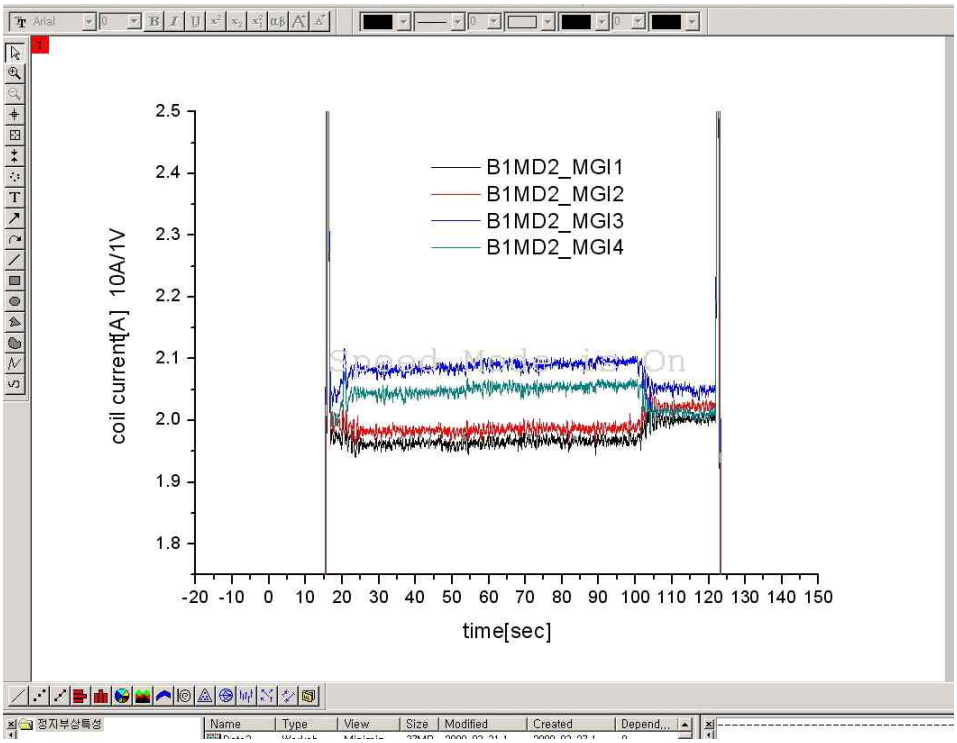
(12) 초퍼 구동시험

(가) 정지부상 및 저속 주행 시 특성입력 및 성능개선

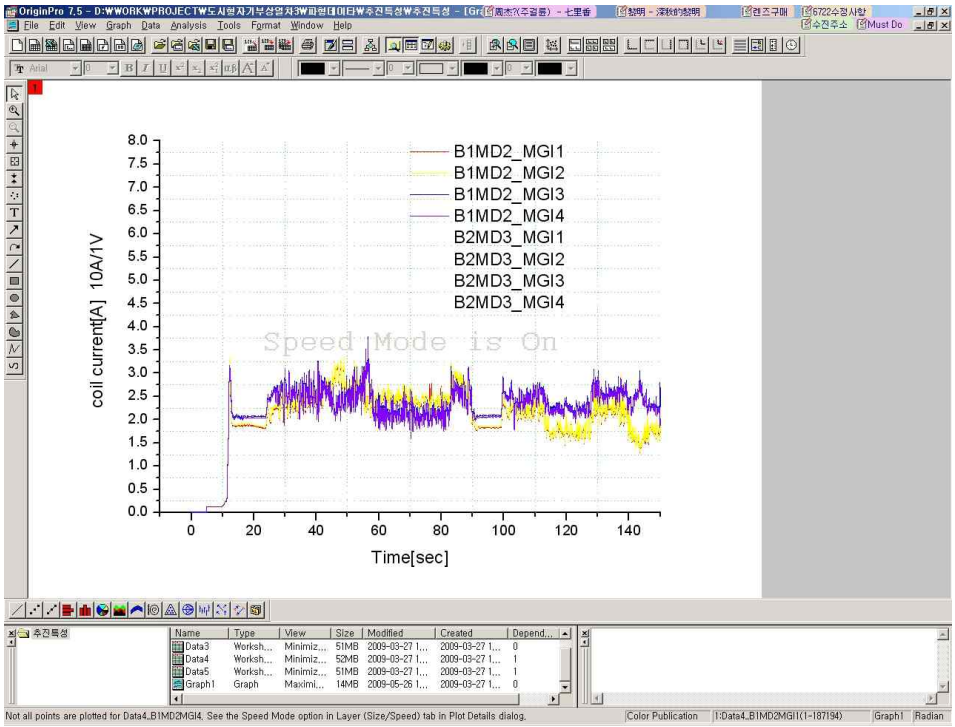
차량에 마그네트 드라이브를 장착하고, 정지 부상 및 저속주행 시에 마그네트 드라이브의 특성을 파악하고, 성능을 개선하기 위해 설계내용을 변경하여 특성을 개선하는 시험을 진행하였다. 이때의 저속 주행은, 부상 상태에서 사람의 힘으로 밀어 움직이는 경우와, 차량의 인버터를 동작시켜 주행시키는 동작 모두를 포함하였다. 실제 초퍼의 출력의 경우, 코너 당

하나의 마그네트에 흐르는 전류가 부상동작 시 40A가량이었으며, 부상정지 상태에서 22A가량을 평균적으로 유지하였으며, 이때의 동작특성은 DAS를 통해 저장되어, 부상알고리즘을 개선하는 작업에 사용되었다. 또한 특성 개선을 위해서 FPGA내에 built-in된 AD컨버터의 컨트롤러의 설계를 변경 하였으며, 주 제어기의 FW 라이브러리를 수정하여, 세부 과제의 과제진행에 기술적인 지원을 진행하였다.

[그림 493 ]부상시험 중인 마그네트 드라이브




[정지부상 전류 파형의 출력]




[추진부상 전류 파형의 출력]

(13) 내환경 및 신뢰성 평가

(가) 내환경 시험 및 결과보고서 작성

KOLAS인증기관인 전기연구원 전기기기평가단에 기 작성된 환경시험

사양서를 기준으로 시험등록 및 진행. 아래의 항목들에 대해서 시험을 진행하였음.

가. 온습도 Cycle 시험
나. 내한성
다. 내열성
라. 절연저항
마. 상용주파수 내전압(Dielectric Strength)
바. 충격파 내전압
사. 급과도 영향 시험
아. 정전기 방전시험 Electrostatic Discharge(ESD)
자. 진동성 서지 시험 (Surge Withstand Capability Test)
차. 고주파 전자계 유도성 시험
카. 고주파 전자계 방사성 시험

(나) 신뢰성 평가 및 보고서 작성

실용화 차량의 고장률 및 신뢰성 분석을 위한 자료인 RAMS문건을 작성하여, 신뢰성에 대한 객관적인 자료를 작성하고, 아울러 실차에서 동작했을 경우의 유지보수를 위한 자료로서 활용하기 위한 지표로 삼았다. 아래는 마그네트 드라이브의 신뢰도 평가를 위해 작성한 RAMS문건의 일람이다.

가. 고장률 분석
나. 구성품의 고장이 장치 상호간 미치는 영향 분석
다. 구성품별 유지보수 방법 및 유지보수 비용 분석
라. 각 구성품의 고장이 열차에 미치는 위험도 분석

(14) 성능개선항목 정리

| 구분 | 항목 | 중기거점용 | 실용화차량용 |
|---|---|---|---|
| 시스템 사양 | 제어 코너 수 | 1코너 / 1SET | 2코너 (1사이드) / 1SET |
| | 제어기의 형태 | 단일제어기 | 이중화 제어기 |
| 전기 사양 | 입력전압 | 300Vdc | 340Vdc |
| | 기동전류 | 50A | 40A * 2CH / 1코너 |
| | 부상전류 | 25A (10mm) | 25A * 2CH / 1코너 |
| | 최대제한전류 | 150A | 100A * 2CH / 1코너 |
| 제어성능 | Main CPU | TMS320C31-50 | TMS320VC33-150 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | 25MIPS | 75MIPS (3배 연산속도) |
| | AD컨버터 | 12Bit Normal AD | 16Bit 200KHz Fast Type |
| | 모니터링용 I/O | N/A | Analog Out 24CH<br>Digital Out 32CH<br>Digital Input 32CH |
| 기타 | | | 유지보수가 용이한 Power Stack의 독립구성.<br>차량 장착 시에도 디버깅이 가능 하도록 한 제어구조.<br>경량화 : 중기거점용 2코너 분에 대해서 50%이상 절감 |