기획보고서

미래철도기술개발사업

R&D / 10PRTD-C056147-01

EMS기반의 초고속철도시스템 원천기술개발 기획

2011. 04

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

R&D / 10PRTD-C056147-01

EMS기반의 초고속철도시스템 원천기술개발 기획

2011

[redacted]

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 "EMS기반의 초고속철도시스템 원천기술개발 기획" 과제의 최종 보고서로 제출합니다.

2011 . 4 . 7

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원
주관연구책임자 : 신 승 권 선임연구원
연 구 원 : 한 영 재 책임연구원
" : 강 부 병 선임연구원
" : 권 혁 빈 선임연구원
" : 장 승 엽 선임연구원
" : 이 창 영 선임연구원
" : 조 정 민 선임연구원
" : 여 인 호 책임연구원
" : 장 동 욱 선임연구원
" : 안 성 권 선임연구원

<목 차>

제 1 장 서 론 ····· 1

제 2 장 국내외 기술동향 및 시장 ····· 5

제1절 국외 기술 동향 분석 ····· 5
제2절 국내 기술 동향 분석 ····· 77
제3절 관련 기술의 특허 분석 ····· 83

제 3 장 정책적 타당성 ····· 121

제1절 사업추진의 시의성 ····· 121
제2절 정부지원의 타당성 및 추진근거 ····· 124
제3절 상위계획과의 부합성 ····· 125
제4절 기존 과제와의 중복성 및 차별성 ····· 128

제 4 장 기술적 타당성 검토 ····· 153

제1절 시스템 통합 ····· 153
제2절 부상/안내 시스템 ····· 199
제3절 추진시스템 ····· 220
제4절 궤도구조물 및 분기기 시스템 ····· 252
제5절 신호통신시스템 ····· 274
제6절 전력시스템 ····· 281
제7절 결론 ····· 288

제 5 장 경제적 타당성 ····· 311

제1절 과학기술적 파급효과 ····· 311
제2절 사회경제적 파급효과 ····· 335
제3절 경제성 분석 ····· 343
제4절 향후 시장예측 ····· 346

제 6 장 세부과제별 상세기획 ····· 367

제1절 최종목표 및 내용 ····· 367
제2절 세부연구별 연차별 목표 및 예산 ····· 378
제3절 추진체계 및 전략 ····· 393
제4절 TEST-BED 구축 및 시험평가 방법 ····· 394
제5절 세부연구별 성과지표 ····· 399
제6절 단계별 및 세부연구별 로드맵 ····· 403
제7절 RFP ····· 407

참고 문헌 ····· 415

<그림 목차>

[그림 2-1] M-Bahn ····· 6
[그림 2-2] 독일의 자기부상열차 Transrapid 05 및 07 ····· 6
[그림 2-3] 독일의 자기부상열차 Transrapid 08 ····· 6
[그림 2-4] Shanghai 영업 노선 ····· 8
[그림 2-5] Munich 프로젝트 노선 및 차량 개념도 ····· 9
[그림 2-6] Transrapid의 부상 시스템 ····· 9
[그림 2-7] Transrapid의 추진 시스템 ····· 10
[그림 2-8] Transrapid의 선로전환기 ····· 11
[그림 2-9] Transrapid와 ICE의 사용 에너지 및 발생소음 비교 ····· 12
[그림 2-10] Transrapid의 자기장 및 환경성 비교 ····· 12
[그림 2-11] Transrapid의 건설비용 및 유지보수비용 비교 ····· 13
[그림 2-12] 선로구조 ····· 14
[그림 2-13] 선로전환기 구조의 설명도 ····· 14
[그림 2-14] 상하이 시범선의 3개 선로전환기 ····· 15
[그림 2-15] 부상 프레임 ····· 16
[그림 2-16] 독일 TVE 시험소 공장(Test Center) ····· 22
[그림 2-17] TVE 시험선 ····· 23
[그림 2-18] 일본 초고속 자기부상열차 시제 차량 ····· 25
[그림 2-19] LSM 방식에 의한 추진 원리 ····· 26
[그림 2-20] 추진 및 부상·안내 코일 배치 ····· 27
[그림 2-21] 부상 및 안내 원리 ····· 28
[그림 2-22] 1,026km/h 교차 주행 시험 모습 ····· 29
[그림 2-23] 초전도 마그넷 구조 ····· 30
[그림 2-24] 고온 초전도 마그넷 탑재 주행 시험 모습 ····· 31
[그림 2-25] 신형 가이드 웨이 및 지상코일의 개발 ····· 32
[그림 2-26] 야마나시 시험선 개요 ····· 34
[그림 2-27] 야마나시 시험 추진 성과 및 계획 ····· 35
[그림 2-28] 도쿄-오사카 추오신칸센 노선도 ····· 38
[그림 2-29] CMS-03형 중저속 자기부상 실험차 ····· 40
[그림 2-30] 창샤 중저속 자기부상열차의 중간단계 시험기지 실험선의 일부현황 ··· 40
[그림 2-31] 4t의 자기부상차 및 그 실험선 ····· 41
[그림 2-32] 고온의 초전도식 자기부상열차 시스템 실험장치 ····· 41
[그림 2-33] 중저속 자기부상열차 직선형 전동기 및 서스펜션 자석의 종합 실험대 ··· 42
[그림 2-34] 3 자성 전향차 자기부상차 및 S형 실험궤도 ····· 42
[그림 2-35] 칭청산(青城山) 자기부상열차 및 그 시험조정 궤도 ····· 43

[그림 2-36] 칭청산 자기부상열차 공정 실험 시범선 ····· 43
[그림 2-37] Zhonghua 06 ····· 46
[그림 2-38] 중국 Shanghai 자기부상철도 개통 포스터 ····· 47
[그림 2-39] Shanghai 프로젝트 추진 일정 ····· 49
[그림 2-40] 유지보수기지 ····· 49
[그림 2-41] 자기부상 궤도거더 제작기지 ····· 51
[그림 2-42] 중·독 상하이 자기부상철도 프로젝트 계약 조인 모습 ····· 51
[그림 2-43] 상하이 자기부상철도 프로젝트 착공식 ····· 52
[그림 2-44] 상하이 자기부상철도 첫번째 궤도거더 운송 ····· 52
[그림 2-45] 롱양루역 외부 모습 ····· 53
[그림 2-46] Shanghai 자기부상열차 선로 ····· 55
[그림 2-47] 선로 구조 ····· 56
[그림 2-48] 선로전환기 구조 ····· 56
[그림 2-49] SMT 차량 차체 ····· 57
[그림 2-50] SMT 선형발전기 및 차상 전력변환장치 ····· 58
[그림 2-51] 부상 프레임 ····· 59
[그림 2-52] 전력공급 시스템의 로직 ····· 61
[그림 2-53] 운행 제어 센터와 자기부상열차의 기타 시스템에 대한 상호관계 ···· 63
[그림 2-54] 상하이 노선의 운행 제어 센터 ····· 64
[그림 2-55] 미국 내 자기부상열차 개발 예상지역 ····· 66
[그림 2-56] Pennsylvania 프로젝트 예상 노선도 ····· 67
[그림 2-57] Baltimore-Washington 프로젝트 예상 노선도 ····· 68
[그림 2-58] California-Nevada Interstate 프로젝트 예상 노선도 ····· 69
[그림 2-59] Karachi시 프로젝트 노선도 ····· 70
[그림 2-60] Inductrack ····· 72
[그림 2-61] 고도에 따른 압력변화에 상응한 안전대책 ····· 75
[그림 2-62] Swissmetro 실용화 노선 계획 A ····· 76
[그림 2-63] Swissmetro 실용화 노선 계획 B ····· 76
[그림 2-64] Swissmetro 실용화 예비 노선 제안 (제네바-로잔 구간) ····· 77
[그림 2-65] 자기부상 관련 특허의 연도별 출원 현황 ····· 83
[그림 2-66] 자기부상 관련 특허의 도메인별 출원 현황 ····· 84
[그림 2-67] 자기부상 관련 특허의 출원인 국적별 출원 현황 ····· 84
[그림 2-68] 자기부상 관련 특허의 도메인별 출원 비율 ····· 85
[그림 2-69] 자기부상 관련 특허의 국가별 출원 현황 ····· 86
[그림 2-70] 자기부상 관련 특허의 출원인별 출원 현황 ····· 87
[그림 2-71] 자기부상 관련 출원인의 특허 출원 현황 ····· 87
[그림 2-72] 자기부상 관련 상위 출원인의 연도별 특허 출원 추이 ····· 88

[그림 2-73] 자기부상 관련 출원인의 특허 출원 현황 ····· 89
[그림 2-74] 선로 관련 특허의 연도별 출원 현황 ····· 92
[그림 2-75] 선로 관련 특허의 도메인별 출원 현황 ····· 93
[그림 2-76] 선로 관련 특허의 출원인 국적별 출원 현황 ····· 93
[그림 2-77] 선로 관련 특허의 도메인별 출원 비율 ····· 94
[그림 2-78] 선로 관련 특허의 국가별 출원 현황 ····· 95
[그림 2-79] 선로 관련 특허의 출원인별 출원 현황 ····· 96
[그림 2-80] 선로 관련 출원인의 특허 출원 현황 ····· 96
[그림 2-81] 선로 관련 상위 출원인의 연도별 특허 출원 추이 ····· 98
[그림 2-82] 선로 관련 출원인의 특허 출원 현황 ····· 98
[그림 2-83] Vehicle 관련 특허의 연도별 출원현황 ····· 101
[그림 2-84] Vehicle 관련 특허의 연도별 출원 추이 ····· 102
[그림 2-85] Vehicle 관련 특허의 도메인별 출원비율 ····· 103
[그림 2-86] Vehicle 관련 특허의 출원인 국적별 분포 ····· 104
[그림 2-87] Vehicle 관련 특허의 출원인별 특허 추이 ····· 105
[그림 2-88] Vehicle 관련 특허 상위 출원인 연도별 특허 출원 추이 ····· 106
[그림 2-89] Vehicle 관련 특허의 상위 5개 출원인의 도메인별 출원 현황 ····· 107
[그림 2-90] Vehicle 관련 특허의 IPC 분류별 출원 동향 ····· 109
[그림 2-91] 세부 IPC 분류별 출원 동향 ····· 110
[그림 2-92] LSM 기술의 연도별 출원 현황 ····· 113
[그림 2-93] LSM 기술의 연도별 출원 추이 ····· 113
[그림 2-94] LSM 기술의 도메인별 출원비율 ····· 114
[그림 2-95] LSM 기술의 출원인 국적별 분포 ····· 115
[그림 2-96] LSM 기술의 출원인별 특허 출원 추이 ····· 115
[그림 2-97] LSM 기술의 상위 4개 출원인의 도메인별 출원 현황 ····· 116
[그림 2-98] LSM 기술 상위 출원인 연도별 특허 출원 추이 ····· 117
[그림 2-99] LSM 기술의 IPC 분류별 특허건수 ····· 117
[그림 3-1] 교통기술개발 관련 부처별 연계 및 지원 ····· 125
[그림 3-2] 한국기계연구원에서 개발 중인 초고속 자기부상열차 개념도 ····· 131
[그림 3-3] 초고속 자기부상열차의 부상/추진 핵심 기술 ····· 132
[그림 3-4] 초고속 자기부상열차의 연구개발 로드맵 (2단계) ····· 133
[그림 3-5] 회전형 초고속 자기부상열차 부상 및 추진 시험동 구축 ····· 135
[그림 3-6] 한국형 초고속 자기부상열차 제안(2008) ····· 135
[그림 3-7] 축소형 하이브리드 자기부상 제어 시험기 ····· 136
[그림 3-8] 정지형 하이브리드 자기부상 추진 시험기 ····· 137
[그림 3-9] 선형추진 구간제어(Section Control) 시험기 ····· 137
[그림 3-10] 단거리(~12m) 1/4 축소형 초고속 부상/추진 방식 자기부상열차 138

[그림 3-11] 초고속 튜브 트레인 개념도 ····· 139
[그림 3-12] 초고속 튜브트레인 기술 개발 분야 ····· 142
[그림 3-13] 초고속 튜브트레인 시스템 인터페이스 분석 ····· 145
[그림 3-14] 초고속 튜브트레인 기술 아키텍터 분석 ····· 146
[그림 3-15] 추진 시스템 설계 및 추진-부상 인터페이스 시험 장치 ····· 146
[그림 3-16] 튜브 트레인 공력 해석 프로그램 및 해석 모델 ····· 147
[그림 3-17] 고진공 터널주행 튜브트레인 공기역학 시험장치 ····· 148
[그림 3-18] 루프형 LSM 소형시험장치 개념도 ····· 149
[그림 3-19] 차량·궤도시스템간의 인터페이스 시험장치 개념도 ····· 149
[그림 4-1] Transrapid 부상 샤시 유닛 ····· 159
[그림 4-2] Transrapid 부상 및 안내 시스템의 단면도 ····· 159
[그림 4-3] MLX 대차 시스템 ····· 161
[그림 4-4] GA 대차 시스템 ····· 162
[그림 4-5] MagneMotion 대차 시스템 ····· 163
[그림 4-6] Transrapid 차체 ····· 166
[그림 4-7] MLU001(3량 1편성 열차) ····· 167
[그림 4-8] 공기역학제동 시험중인 MLU001 ····· 168
[그림 4-9] MLU002 ····· 168
[그림 4-10] MLU002N ····· 169
[그림 4-11] MLU002의 공기역학제동장치 ····· 170
[그림 4-12] MLX01 선두차량(aero-wedge) ····· 171
[그림 4-13] MLX01 선두차량(double cusp) ····· 171
[그림 4-14] MLX01-901의 선두차량 ····· 171
[그림 4-15] 가상시제 기반 UTM-02 동역학 해석 ····· 178
[그림 4-16] 가상시제 기반 UTM-02 곡선 주행 해석 ····· 178
[그림 4-17] 가상시제 기반 실용화차량 분기기 통과 해석 ····· 179
[그림 4-18] 구조동역학을 이용한 자기부상열차 주행해석 모델 ····· 180
[그림 4-19] TRANSRAPID의 단면 구조 ····· 182
[그림 4-20] 부상 샤시 유닛 ····· 182
[그림 4-21] 초전도반발식 대차 시스템 ····· 183
[그림 4-22] 반능동형 현가장치 구성 ····· 184
[그림 4-23] 가변댐퍼(adjustable damper)의 구조 ····· 184
[그림 4-24] 초전도자기부상열차의 다 자유도 해석 모델(단면) ····· 185
[그림 4-25] 초전도자기부상열차의 다 자유도 해석 모델(측면) ····· 186
[그림 4-26] 초전도자기부상열차의 가상시제 기반 모델 ····· 186
[그림 4-27] General Atomics의 자기부상열차 대차 ····· 187
[그림 4-28] General Atomics사의 다 자유도 해석 모델 적용 예 ····· 188

[그림 4-29] 부상을 위한 기본적이 코일 배열 ····· 200
[그림 4-30] 부상력과 제동력 특성의 예 ····· 201
[그림 4-31] 안내의 원리 ····· 201
[그림 4-32] 와전류의 발생 원리 개념도 ····· 202
[그림 4-33] Halbach 배열 영구자석 자기 부상 모델 ····· 203
[그림 4-34] 피드벡 제어기반의 불안정 시스템의 표준도 ····· 204
[그림 4-35] 부상 및 안내 시스템의 구조 ····· 205
[그림 4-36] Transrapid(SMT)의 보기 ····· 206
[그림 4-37] 부상 및 안내 시스템의 단면도 ····· 206
[그림 4-38] 자기 회로 ····· 207
[그림 4-39] 페일세이프 초퍼 ····· 207
[그림 4-40] 자기적 공극 제어 루프 ····· 208
[그림 4-41] 마그네트 시험장치 ····· 208
[그림 4-42] 부상 및 안내 마그네트 ····· 210
[그림 4-43] 자기부상열차용 초전도마그네트의 구조 ····· 211
[그림 4-44] 초전도코일의 구조 ····· 212
[그림 4-45] 야마나시 시험선로 차량(MLX01)용 초전도마그네트 ····· 214
[그림 4-46] GA社에서 적용한 double Halbach array 부상용 영구자석 ····· 215
[그림 4-47] GA社에서 개발한 대차와 궤도의 단면구조 ····· 216
[그림 4-48] 독일 자기부상열차 시스템의 추진 방식 결정 ····· 222
[그림 4-49] Transrapid 시스템 구성도 ····· 222
[그림 4-50] 추진 및 부상용 전자석 ····· 223
[그림 4-51] Transrapid 부상 및 추진 전자석 도면 ····· 224
[그림 4-52] 유한요소 해석 결과 ····· 224
[그림 4-53] Transrapid 부상 및 추진 전자석 ····· 225
[그림 4-54] 전자석과 고정자 코어 구조 ····· 226
[그림 4-55] Transrapid 권선도 1 ····· 226
[그림 4-56] Transrapid 권선도 2 ····· 227
[그림 4-57] 권선의 삽입 형태 및 내부 구조 ····· 227
[그림 4-58] 권선의 삽입 형태 및 내부 구조 ····· 227
[그림 4-59] Transrapid 의 3상 권선 1 ····· 228
[그림 4-60] 엠슬란트 시험선로의 추진 섹션도 ····· 229
[그림 4-61] 디텐트력 저감 설계 ····· 230
[그림 4-62] Transrapid 추진시스템의 디텐트력 ····· 230
[그림 4-63] TR 06 - Tractive Resistance Curve ····· 232
[그림 4-64] 영구자석형 선형 동기전동기 단면도 (GA) ····· 233
[그림 4-65] PMLSM 측면도 1 ····· 233

[그림 4-66] 영구자석 Halbach Array - 90 degrees ····· 234
[그림 4-67] 2차측 강자성체의 유무에 따른 영구자석 Halbach Array 의 자속분포 특성 ··· 234
[그림 4-68] 영구자석 Halbach Array - 45 Degrees ····· 235
[그림 4-69] 선형 동기 전동기 - 영구자석, 고정자 권선, 적층 고정자 코어 ····· 235
[그림 4-70] 부상 추진 공극 설정 ····· 236
[그림 4-71] Optical Position Tape ····· 237
[그림 4-72] 센서 입력 및 LSM 위치 데이터 ····· 238
[그림 4-73] 위치 센서와 Litz 트랙에 설치되어 있는 Optical Position Tape ··· 238
[그림 4-74] 적층 규소강판으로 이루어진 선형 동기전동기 고정자 ····· 239
[그림 4-75] 고정자 코어 및 권선 형상 ····· 239
[그림 4-76] 고정자 권선 제작 사진 ····· 239
[그림 4-77] 영구자석 Halbach Array 를 갖는 선형 동기전동기 제어 ····· 240
[그림 4-78] LSM 속도제어 블록도 ····· 241
[그림 4-79] 추력 제어 블록 다이어그램 ····· 241
[그림 4-80] 수직력 제어 블록 다이어 그램 ····· 242
[그림 4-81] PWM Waveform ····· 242
[그림 4-82] Actual Current Waveform ····· 242
[그림 4-83] 위치, 전압, 전류 파형 ····· 243
[그림 4-84] 추력 및 부상력 실험 및 시뮬레이션 결과 ····· 244
[그림 4-85] 초전도 반발식 자기부상열차 구조 1 (일본 MLX) ····· 245
[그림 4-86] 초전도 반발식 자기부상열차 구조 2 (일본 MLX) ····· 245
[그림 4-87] 일본 초전도 자기부상열차의 초전도 마그네트의 구조 ····· 246
[그림 4-88] 초전도 자석 상세 구조 ····· 247
[그림 4-89] 초전도 자기부상열차 (MLX01) 의 부상 추진 시스템 단면도 ····· 248
[그림 4-90] 부하선과 온도에 따른 초전도코일 임계전류의 변화 ····· 248
[그림 4-91] 초전도 자석에 의한 자속 흐름도 ····· 249
[그림 4-92] 3상 추진 코일 배치 ····· 249
[그림 4-93] 초전도 자석과 3상 추진 코일의 힘 발생 원리 ····· 250
[그림 4-94] 3상 전류 인가 파형 및 최대 추력 타이밍 ····· 251
[그림 4-95] 궤도의 종류와 궤도 측면부의 구조 ····· 252
[그림 4-96] 직선과 곡선구간에 대한 분기장치의 설정 형상 ····· 254
[그림 4-97] 영구자석 반발식 시스템의 대차 및 궤도형상 ····· 255
[그림 4-98] 엠슬란트 Transrapid 시스템의 시험선로 평면도 ····· 256
[그림 4-99] 엠슬란트 시험선로에 적용된 Girder Beam ····· 257
[그림 4-100] 1차 건설시에 적용된 강재거더의 단면 ····· 259
[그림 4-101] 2차 건설시에 적용된 강재거더의 단면 ····· 259
[그림 4-102] 남쪽루프에 설치된 분기구간을 통과하는 Transrapid06 ····· 260

[그림 4-103] 분기장치 구동부에서의 거더 단면 ····· 261
[그림 4-104] 북쪽루프 진출입구간에 설치된 전기기계적인 구동장치 ····· 261
[그림 4-105] 남쪽루프에 적용된 분기장치 개념도 ····· 262
[그림 4-106] 남쪽루프에 적용된 유압구동장치 ····· 262
[그림 4-107] 상하이-푸동공항 노선에 적용된 하이브리드 거더 형태1 ····· 263
[그림 4-108] 상하이-푸동공항 노선에 적용된 3방향 동작 분기장치 개념도 ···· 264
[그림 4-109] 상하이-푸동공항 노선에 적용된 3방향 동작 분기장치 ····· 264
[그림 4-110] 상하이-푸동공항 노선에 적용된 분기장치의 위치 ····· 264
[그림 4-111] 상하이-푸동공항에 적용된 분기장치의 록킹과 구동장치 ····· 265
[그림 4-112] 미야자키 시험선로의 종단선형과 평면선형 ····· 266
[그림 4-113] 미야자키 시험선로에 설치된 분기장치 ····· 267
[그림 4-114] 야마나시 시험선로의 종단선형 ····· 268
[그림 4-115] 야마나시 시험선로의 궤도 ····· 268
[그림 4-116] 야마나시 시험선로에 설치된 저속형 분기장치 ····· 269
[그림 4-117] MLX 시스템의 고속주행용 분기장치 개념도 ····· 269
[그림 4-118] MLX 시스템의 저속주행용 분기장치 개념도 ····· 270
[그림 4-119] 120m 설치된 궤도의 형상 ····· 271
[그림 4-120] 상용화시에 적용될 궤도의 형상 ····· 272
[그림 4-121] LSM의 전력변환제어 ····· 284
[그림 4-122] 미야자키 실험선의 전력공급 시스템 ····· 285
[그림 4-123] 순환전류식 사이클로 컨버터의 구성 ····· 286
[그림 4-124] 브릿지 방식 인버터의 주회로 구성 ····· 288
[그림 4-125] 유지보수비용 비교 ····· 296
[그림 4-126] 부상방식별 최고속도 ····· 297
[그림 4-127] 부상기술 분류 ····· 303
[그림 4-128] 하이브리드 부상기술 분류 ····· 305
[그림 5-1] 시스템 개발활동의 단계별 영향 ····· 311
[그림 5-2] 시스템 엔지니어링의 역할 ····· 312
[그림 5-3] 프로젝트 수행 비용에 있어서 시스템 엔지니어링의 영향 ····· 313
[그림 5-4] 사업관리와 시스템 엔지니어링 관계 ····· 318
[그림 5-5] 시스템 엔지니어링의 효과 ····· 318
[그림 5-6] 전세계 OLED TV시장의 확대(2013년 700조원대) ····· 319
[그림 5-7] 세계 우주개발의 정부투자 추이 : 1980~2006 ····· 321
[그림 5-8] 세계 우주산업의 분야별 매출 ····· 323
[그림 5-9] 분야별 2005년 매출 비중 ····· 323
[그림 5-10] 미국 NASA의 StarTram PJT ····· 326
[그림 5-11] 초고속 자기부상 우주 엘리베이터 구상도 ····· 327

[그림 5-12] 차량 구조물 설계 ····· 327
[그림 5-13] 자동차 구조물 경량화 설계 및 경량구조 제작 기술 ····· 328
[그림 5-14] 자동차의 공기역학 해석 결과 ····· 328
[그림 5-15] 전기 추진장치를 장착한 각종 특수차량 제작 설계 ····· 329
[그림 5-16] 선형 전동기 ····· 329
[그림 5-17] 무접촉 에너지 전달방식 ····· 330
[그림 5-18] 무접촉 지상급전 전기차량 ····· 330
[그림 5-19] 각종 전동기 설계 ····· 330
[그림 5-20] 축전지 ····· 331
[그림 5-21] 발전기 ····· 331
[그림 5-22] 복잡한 구조물의 이상 진단기술 ····· 331
[그림 5-23] 미국에서 초고속 자기부상 철도 도입이 가능한 교통축 ····· 348
[그림 5-24] 중국의 대륙통과축 및 북경~상해 교통축 ····· 350
[그림 5-25] 브라질의 브라질리아～상파울로 교통축 ····· 351
[그림 5-26] 러시아의 페데르부르크～모스크바～블라디보스톡 교통축 ····· 352
[그림 5-27] 일본의 가고시마～삿뽀르 교통축 ····· 353
[그림 5-28] 한국의 X형태의 교통축 ····· 354
[그림 5-29] TER의 교통축 ····· 355
[그림 5-30] TAR의 교통축 ····· 356
[그림 5-31] TAR 중 싱가폴～쿤밍간 교통축 ····· 357
[그림 5-32] 한일해저터널 교통축 ····· 358
[그림 5-33] 한중해저터널 교통축 ····· 358
[그림 5-34] 목포-제주 해저터널 교통축 ····· 359
[그림 5-35] 중국-대만해저터널 교통축 ····· 359
[그림 5-36] 영불 해저터널 교통축 ····· 360
[그림 5-37] 철도분야별 시장구조 분담율 ····· 362
[그림 6-1] 추진체계 ····· 393
[그림 6-2] 시험차량의 속도변화에 따른 이동거리 ····· 394
[그림 6-3] (주)Magnemotion 시험대차 및 트랙 ····· 395
[그림 6-4] GA사 시험트랙 ····· 396

<표 목차>

<표 2-1> 속도에 따른 곡선반경 ····· 11
<표 2-2> TVE 시험소 사양 ····· 22
<표 2-3> 초고속 자기부상차량용 초전도 마그넷 제원 ····· 31
<표 2-4> 리니어 신간선과 기존신간선의 비교 ····· 36
<표 2-5> 중국 Shanghai 프로젝트 ····· 47
<표 2-6> 국내 관련계획 및 기술개발 현황 ····· 78
<표 2-7> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교 ····· 88
<표 2-8> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교 ····· 97
<표 2-9> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교 ····· 108
<표 2-10> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교 ····· 116
<표 3-1> 반도체, IT, 조선분야 성공요인 분석 ····· 123
<표 4-1> 자기부상 방식에 따른 시스템 특성 ····· 157
<표 4-2> MLU001의 제원 ····· 167
<표 4-3> MLU002의 제원 ····· 169
<표 4-4> MLU002N의 제원 ····· 170
<표 4-5> MLX01의 제원 ····· 172
<표 4-6> UIC evaluation scale ····· 174
<표 4-7> 자기부상열차 공력 관련 내용 ····· 189
<표 4-8> 자기부상열차 부분별 공력저항에 대한 비율 ····· 189
<표 4-9> 추진 시스템 핵심기술2. 사례분석 ····· 220
<표 4-10> Transrapid 전자석 사양 ····· 226
<표 4-11> Transrapid 고정자 사양 ····· 228
<표 4-12> 추진 전력 시스템의 주요 사양 ····· 229
<표 4-13> TR-06 : Linear Motor ····· 231
<표 4-14> 미국 GA의 영구자석형 선형동기전동기 추진시스템 사양 ····· 234
<표 4-15> 초전도 자석의 사양 ····· 247
<표 4-16> 추진 코일의 사양 ····· 250
<표 4-17> 열차의 주행속도 400km/hr와 500km/hr에 대한 궤도의 설계자료 ··· 258
<표 4-18> 상전도 흡인식 궤도시스템의 장단점 ····· 273
<표 4-19> 초전도 반발식 궤도시스템의 장단점 ····· 273
<표 4-20> 영구자석 반발식 궤도시스템의 장단점 ····· 274
<표 4-21> 국외 통합동신시스템의 비교 ····· 280
<표 4-22> 분야별 핵심 기술 ····· 288
<표 4-23> 기존 시스템 장단점 비교 ····· 291
<표 4-24> 향후 연구 방향 ····· 294

<표 4-25> 독일 ICE와 상하이 자기부상열차 에너지 소비전력 비교 ····· 296
<표 4-26> 기계연 중점연구사업 요약 ····· 298
<표 4-27> 철도연 기본연구사업 요약 ····· 299
<표 4-28> 국토부 기술료사업 요약 ····· 300
<표 4-29> Transrapid(상전도 흡인식)와 MLX(초전도 반발식) 비교 ····· 304
<표 4-30> 부상방식별 특징 비교 ····· 306
<표 5-1> 주요국의 달 및 행성탐사 계획 ····· 322
<표 5-2> 세계 위성체 제작과 발사서비스 ····· 324
<표 5-3> 국내 우주개발 R&D 예산 ····· 325
<표 5-4> 분야별 파급효과 ····· 332
<표 5-5> 기술 개발시 예상되는 국내 산업계 기술파급 효과 ····· 335
<표 5-6> 한국은행의 산업분류 ····· 336
<표 5-7> 2007년 철도차량의 산업부문별 생산유발계수 ····· 339
<표 5-8> 2007년 철도차량의 산업부문별 생산유발효과 ····· 340
<표 5-9> 철도차량 부문의 부가가치유발계수 ····· 341
<표 5-10> 철도차량 투자를 통한 부가가치유발효과 ····· 341
<표 5-11> 철도차량 투자로 인한 고용유발효과 ····· 342
<표 5-12> 경제적 파급효과 ····· 343
<표 5-13> 연차별 투입비용 ····· 344
<표 5-14> 핵심기술 개발로 인한 편익 ····· 345
<표 5-15> 경제성 분석 결과 ····· 346
<표 5-16> 미국 내 초고속 자기부상 철도 도입이 가능한 4개축 ····· 348
<표 5-17> 초고속 초고속 자기부상 철도 적용가능 사업노선 ····· 361
<표 5-18> 철도산업구조별 시장전망 ····· 363
<표 5-19> 지역간 여객 수단선택의 효용함수 파라미터 값 ····· 365
<표 5-20> 초고속 자기부상 철도 미 도입시 교통수단분담율 ····· 365
<표 5-21> 초고속 자기부상 철도 도입시 교통수단분담율 ····· 366
<표 5-22> 초고속 자기부상 철도 도입시 교통수단 분담율 증가분 ····· 366
<표 6-1> 사업 총 예산 ····· 367
<표 6-2> 세부연구별 관련기술 분야의 기술수준 ····· 375
<표 6-3> 세부연구별 관련기술 분야의 인프라수준 ····· 375
<표 6-4> 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발 소요예산 ····· 381
<표 6-5> 초고속 차량 핵심기술개발 소요예산 ····· 381
<표 6-6> 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발 소요예산 ····· 382
<표 6-7> 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발 비목별 총 소요예산 ····· 382
<표 6-8> 초고속철도 통합 및 성능평가 기술개발 1차년도 비목별 소요예산 ···· 383
<표 6-9> 초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축 1차년도 비목별 소요예산 ···· 383

<표 6-10> 초고속철도 통합 및 성능평가 기술개발 2차년도 비목별 소요예산 ·· 384
<표 6-11> 초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축 2차년도 비목별 소요예산 ·· 384
<표 6-12> 초고속철도 통합 및 성능평가 기술개발 3차년도 비목별 소요예산 ·· 385
<표 6-13> 초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축 3차년도 비목별 소요예산 ·· 385
<표 6-14> 초고속 차량 핵심기술개발 비목별 총 소요예산 ····· 386
<표 6-15> 초고속 부상 및 대차개발 1차년도 비목별 소요예산 ····· 386
<표 6-16> 초고속 차체 및 전장품 개발 1차년도 비목별 소요예산 ····· 387
<표 6-17> 초고속 부상 및 대차개발 2차년도 비목별 소요예산 ····· 387
<표 6-18> 초고속 차체 및 전장품 개발 2차년도 비목별 소요예산 ····· 388
<표 6-19> 초고속 부상 및 대차개발 3차년도 비목별 소요예산 ····· 388
<표 6-20> 초고속 차체 및 전장품 개발 3차년도 비목별 소요예산 ····· 389
<표 6-21> 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발 비목별 총 소요예산 ····· 389
<표 6-22> 추진 및 전력시스템 기술개발 1차년도 비목별 소요예산 ····· 390
<표 6-23> 초고속 LSM 제어기술 개발 1차년도 비목별 소요예산 ····· 390
<표 6-24> 추진 및 전력시스템 기술 개발 2차년도 비목별 소요예산 ····· 391
<표 6-25> 초고속 LSM 제어기술 개발 2차년도 비목별 소요예산 ····· 391
<표 6-26> 추진 및 전력시스템 기술 개발 3차년도 비목별 소요예산 ····· 392
<표 6-27> 초고속 LSM 제어기술 개발 3차년도 비목별 소요예산 ····· 392

제 1 장 서 론

자기부상열차는 레일과 바퀴의 마찰 없이 열차가 전자기력으로 떠서 추진되는 시스템으로 기존 철도시스템의 기술을 획기적으로 발전시킨 차세대 수송기술이다. 특히 초고속 자기부상열차 시스템의 건설은 철도 교통시스템의 현대화를 이룩할 수 있는 효과 뿐 아니라 차량, 기계부품, 전기 및 전자 기술, 제어, 정보통신, 재료, 토목 등의 기술이 종합적으로 집약된 거대 복합기술의 특성을 가지며 시스템설계 및 엔지리어링이 요구되어 관련산업에의 기술적 파급효과가 지대하여 기술 개발이 이루어질 경우 국내 관련산업의 기술을 획기적으로 향상시킬 수 있는 장점이 있는 사업이다.

특히 자기부상열차 개발의 선진국이라 할 수 있는 독일과 일본이 자기부상열차 상용화를 성공하여 새로운 자기부상열차 상용화시대가 개막된 현 시점은 해당 기술의 경쟁이 심화되고 있다. 독일의 경우 상전도 전자석으로 차량을 10mm 부상시켜 추진시키는 고속형 자기부상열차인 Transrapid 기술을 상용화 시켰으며 일본은 전자석으로 차량을 부상시켜 추진시키는 도시형 자기부상열차인 HSST 기술을 상용화시켜 8mm의 부상높이로 운전되는 Linimo를 개발하였다. 일본은 동시에 동경-오사카 구간의 제2 신간선 건설을 목표로 고속 자기부상열차의 개발도 진행해오고 있는데 현재 MLX라는 모델명으로 야마나시현에 설치된 야마나시 자기부상열차 시험선로에서 상용화준비를 위한 시험을 활발히 진행 중 이다. MLX는 초전도마그네트를 이용하여 차량을 100mm 부상시켜 추진시키는 자기부상열차로써 최고 속도는 시속 581km로써 기네스북의 인정을 받았으며 교차시험에서 상대속도 1,000km/h 이상의 주행실적을 가지고 있다.

세계적으로 원천기술을 태동시킬 수 있는 미래 신성장동력의 확보를 위한 전쟁이 치열하다. 과거 국내 제조업의 경우, 해외에서 이미 개발된 선진기술을 모방하고 개선함으로써 국가경쟁력을 유지해 왔다. 그러나 원천기술의 부족으로 고부가가치, 고기술 제품 구조로 향상시켜 나갈수록 로열티 비용이 크게 늘어나는 구조적인 문제에 봉착하고 있다. 따라서 국제표준은 물론 해외시장 선점이 가능한 원천기술의 확보가 절실한 상황이다.

철도분야의 경우 기존 고속철의 속도한계를 벗어날 경우, 공기저항과 소음·진동이 커지고 터널에서 차체와 터널 사이의 간섭을 줄이기 위해 터널 단면적이 증가하는 등 문제가 발생하고 있다. 따라서 초고속열차 개발을 위해 이런 문제점들을 해결할 수 있는 고유기술 개발이 필요하고 이런 첨단 원천기술에 기반한 국가 신성장동력 창출은 향후 국가 경제에 크게 기여할 것이다.

환경적 측면에서도 환경친화적인 전기에너지를 사용한 초고속교통망 네트워크 구축은 환경 문제를 해결할 수 있는 대안으로 많은 나라에서 연구되고 있다. 지구온난화 및 원유 공급 감소 또는 고갈로 일상 주요 에너지원이 점차 화석에너지로부터 신재생·원자력·핵융합 등 친환경에너지로 옮겨가고 있는 추세로, 기존의 에너지 공급 및 수급 체계가 이에 따른 재편이 이루어지고 있다. 화석에너지의 과도한 사용을 피함으로써 지구온난화와 같은 피해를 제거할 수 있으며, 철도는 이산화탄소 배출량이 적고 에너지 효율성이 높아 그 자체만으로도 저탄소·녹색성장을 주도할 수 있다. 유력한 차세대 주요 에너지원인 원자력, 핵융합에너지의 경우, 최종단계에서 전기에너지로 변환된다는 공통점을 지니고 있다. 이런 가운데 전기에너지 기반의 초고속 교통 시스템에 대한 요구는 증대 할 것이다.

환경적인 이유에서 뿐만 아니라 지속가능한 교통시스템의 확보 차원에서도 전기에너지 기반의 초고속 교통 시스템에 대한 요구도 증가하고 있다. 원유자원의 감소 또는 고갈에 따른 중·장거리 이동용 교통수단의 필요성이 증대하고 있는 것이다. 기존의 교통·물류 체계 역시 향후 발생할 대대적인 유류난에 대비해야 하고, 특히 원유 의존이 불가피한 기존 항공 및 선박 수요를 흡수할 수 있는 대륙 간 또는 국가 간 중·장거리 신개념 이동 수단을 개발해야 한다. 원자력 및 핵융합에서 얻어지는 에너지는 전기에너지로서 현재로서는 항공 및 선박을 추진하는 것이 거의 불가능하며, 핵잠수함처럼 원자로를 탑재하고 운항하는 경우를 생각해 볼 수 있지만 안전 및 경량화 측면에서 비효율적인 방법이다 장차 초대용량을 가진 초소형 배터리가 개발되거나 획기적인 분사용 바이오연료 또는 태양열을 이용한 항공수단이 개발된다 하더라도 개발에 따른 리스크의 fail-safe 차원에서 교통수단 개발의 이중화가 필요하다.

초고속 자기부상 열차의 핵심기술로서 요구되는 추진시스템은 현재의 바퀴식(휠-레일 방식)으로는 그 원리상 초고속용으로 요구되는 급가속이나 초고속 주행에는 적용하기 어려운 단점이 있다. 현재의 바퀴식 추진방식의 한계를 극복하고 초고속

추진이 가능한 핵심 기술로서 리니어 추진시스템과 초고속 주행에 따른 자기부상 시스템, 그리고 관련 공력설계 기술 및 차량 설계 기술이 필요하다.

LSM(Linear Synchronous Motor)은 리니어 모터의 한 종류로서, 입력전원주파수에 따른 동기속도로 운전이 가능하기 때문에 종래 중저속 도시형 자기부상열차의 추진방식인 LIM(Linear Induction Motor)방식에 비해 급가속 및 대용량 추진이 가능한 모터이다. 국내의 LSM 기술은 주로 반도체 이송 공정용으로 소형, 소용량 장치가 사용 중에 있으나, 철도차량용 초고속 추진 장치로 적용하기 위한 대용량 시스템으로의 기술 개발이 필요하다.

초고속 자기부상시스템은 독일이 주도하는 EMS(Electro-magnetic Suspension) 방식과 일본 및 미국에서 주도하는 EDS(Electro-dynamic Suspension)방식이 각기 다른 기술적 장단점을 가지고 초고속 자기부상열차의 자기부상기술의 양대 축으로 자리하고 있으며, 국내에서는 철도연과 기계연이 실험실 규모의 기초기술을 연구 중에 있다.

초고속 자기부상 차량은 부상/추진 장치 설계 기술, 동역학적 설계 기술, 공기역학적 설계 기술 등의 다양한 기술들이 융복합된 첨단 시스템으로서 현재까지 구현 사례가 없고 선진국에서도 일부 국가에서만 기초기술을 확보하고 있다. 따라서 해당 분야의 세계적 기술 선도를 위해서는 핵심 요소기술의 확보를 위한 체계적인 연구개발이 필요하다.

전 세계적으로 친환경 고속 운송수단에 대한 관심 고조로 초고속 자기부상 기술에 대한 기술개발이 더욱 심화될 것으로 판단되며, 이에 따라 리니어 추진시스템 기술의 대용량화, 초고속화, 고효율화 등이 지속적으로 이루어질 것으로 예상된다. 친환경 녹색성장을 위한 교통수단의 에너지 소모 감소 노력이 세계적으로 이루어질 것으로 보이며, 이를 위하여 초고속 운송 분야에서는 공기저항을 감소하는 공력설계기술 및 에너지 절감 기술이 관련 산업을 좌우하는 핵심기술로 자리매김할 것으로 전망된다. 특히 기술의 세계화로 인하여 관련 시장이 더욱 확대될 것이며, 보다 체계적인 기술개발 방법론을 도입하여 확보된 원천기술이 경쟁력을 갖게 될 것이다.

본 기획 연구에서는 타 초고속 자기부상열차에 비하여 경제적이면서도 안정한 시스템을 개발하기 위하여 관련 기술 동향에 대한 조사/분석이 요구된다. 따라서, 초고속자기부상 관련 핵심기술조사, 기존 사례의 원리 및 장단점 분석, 한국형 초고속 자기부상열차 개념 제안, 향후 본 과제 추진시 집중 연구 내용을 도출하고자 한다.

제 2 장 국내외 기술동향 및 시장

제1절 국외 기술 동향 분석

1. 초고속 자기부상철도 기술개발 현황

1.1 독일의 초고속 자기부상열차 기술 동향

○ 1970년대부터 자기부상열차에 관한 활발한 연구를 진행해온 독일은 중저속용으로 M-Bahn과 초고속용으로 Transrapid를 개발하였음

○ 70년대부터 현재까지의 초고속 자기부상열차에 대한 정부와 민간의 일관적인 노력과 투자로 인하여, 세계 최초로 상용화에 성공한 기술을 가지게 되었음

○ 1970년대 중반 베를린 정부는 Gleisdreieck로부터 북쪽으로 몇 블록에 기존의 길옆으로 구간을 만들고 중저속 자기부상열차를 운행하기로 결정하였으며, 이것이 현재에 M-Bahn이라 불리게 되었음

○ 베를린에서 M-Bahn은 1980년대에 기관사가 없는 자기부상 시스템 1.6km 트랙을 3개의 기차역에 걸쳐 연결하였으며, 1989년 8월에 여객 수송 테스트를 시작하였고, 1991년 7월에 정기적인 운행을 하였음

○ 베를린 장벽이 무너진 이후에 교통이 바뀌었기 때문에 두 달 후에 라인의 해체가 시작되었고 1992년 3월에 완료되었으나 그 노선은 정기적인 지하철 노선으로 대체되었음



[그림 2-1] M-Bahn

○ 독일은 자기부상열차의 기술개발을 시작하면서 기술의 가능성을 타진하는 한편, 여러 차례의 시제열차 제작 및 시험을 실시하였고, 1977년 연방정부는 자기부상열차를 선형동기전동기(LSM, long stator) 추진방식의 흡인식 부상 시스템(EMS)으로 결정하고, 반발식 부상시스템의 개발을 중단함

○ 이후 독일은 초고속형의 흡인식 선형동기전동기 방식의 자기부상열차 개발에만 주력하게 되어 오늘에 이르렀으며, 독일 서북부 국경지역인 Emsland 지역에 31.5km의 세계 최장의 시험선을 건설(1987년 완공)하여, 현재 시제차량인 Transrapid 09를 시험운행하고 있음





[그림 2-2] 독일의 자기부상열차 Transrapid 05 및 07



[그림 2-3] 독일의 자기부상열차 Transrapid 08

○ 독일은 도시 간 획기적인 여행시간 단축요구가 증대되고 에너지 소비 저감 및 친환경적 시스템을 필요로 하면서 자기부상열차 개발에 힘쓰게 되었음

○ 1989년 Transrapid 07이 436km/h로 당시 세계 최고속도를 기록하면서 연방정부는 콜로네(Cologne) 공항과 뒤셀도르프(Dusseldorf) 공항 사이 연결노선을 결정하였으나, 통독 후 취소되었음

○ 또한 1992년 연방 교통종합계획에 베를린~함부르크 간 300km의 노선에 초고속 자기부상열차 시스템을 포함시키는 한편, 1994년 초고속 자기부상열차 실용화를 결정하였으나 2000년 경제성을 이유로 노선 실현불가를 발표하면서 취소되었음

○ 이무렵 중국은 주룽지 총리 및 상하이 시장, 독일 연방교통장관 등 고위 관료들이 Transrapid 08을 시승하는 등, 자기부상열차 도입에 대한 기술조사와 함께 마침내 상하이~푸동공항 간 30km 거리에 독일의 초고속 자기부상열차를 도입하였음

○ 이 노선은 2002. 12. 31 세계 최초의 초고속 자기부상열차 노선이 되었으며, 501km/h의 속도로 영업철도로서는 세계 최고속도를 기록하였고 결국 독일은 애써 개발한 기술을 자국 내에서 실용화하지 못하고, 중국에 수출되어 세계 최초의 초고속 자기부상열차 영업노선 개통 및 영업열차의 최고속도 신기록 타이틀도 함께 빼앗기게 되었음

○ 독일은 상하이 프로젝트를 통하여 이미 중국 측에 선로분야 기술을 이전하였으며, 이를 토대로 상업운행을 개시하였고 중국은 상하이 프로젝트의 2단계/3단계로 2010년도에 항조우에서 개최되는 세계무역박람회를 위해 약 180km의 상하이~항조우 간을 자기부상열차 시스템으로 구축하는 것을 검토 중임

○ 이 프로젝트가 추진될 경우 선로전환기 및 추진시스템, 차체 정도의 기술이전까지 고려하고 있으나, 차량의 부상기술 및 운영 소프트웨어 부분은 기술이전에서 제외되고 있음

- 노선 연장 30km, 역사 2개, 최고운행속도 430km/h, 2003.12.31 개통
- 영업철도로서 세계 최고운행속도, 세계 최고속도 기록(501km/h)



[그림 2-4] Shanghai 영업 노선

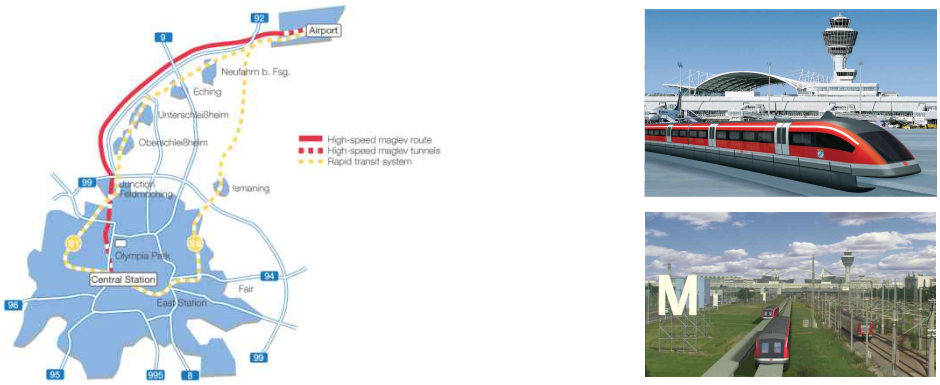
○ 이에 대하여 독일 내에서 비판과 자성의 목소리가 높아지면서 뮌헨 공항과 뮌헨 도심을 연결하는 뮌헨 프로젝트가 추진되었음

○ 뮌헨 프로젝트용으로 제작된 TR09가 공개되었는데, 독일철도청의 기능설명서를 참고하고 뮌헨에 사용할 차량으로 여러 특수조건을 고려하였을 때 이전 모델인 TR 08을 다소 변형시켰음

○ 차량구조, 차체문, 에어컨, 디자인, 인테리어가 바뀌었고, 그뿐만 아니라, 버팀용 지상코일, 2차 완충장치, 기관실에너지공급, 자기장조정, 기관실 차량조정 등을 개선하였음

○ 새로운 차량의 제작비용은 BMVBS의 자기부상열차 개발프로그램이 지원하였음

○ TR 09의 3 세션의 내부는 고급 인테리어로 꾸밀 예정이며 TR 09를 위해 개발한 압력이 가해지지 않는 승하차 도어에는 1350mm의 틈이 있고 각 세션의 1/4 지점에 설치되어 있어 승객이 신속하게 승하차 할 수 있도록 하여 승강장이 붐비지 않도록 하였고, 내부는 TR08과 비교해서 약 15cm 높일 수 있었으며, TR 09는 자동운전이 가능함



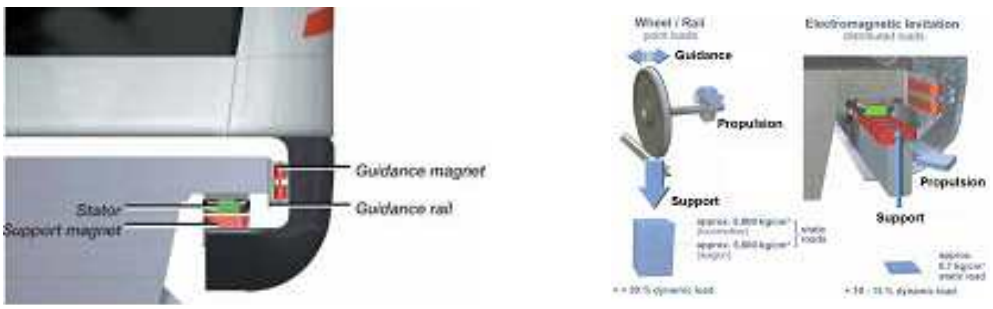
[그림 2-5] Munich 프로젝트 노선 및 차량 개념도

○ Transrapid는 바퀴, 축, 변속기, 판토그래프 등을 가지고 있지 않으며, 회전하지 않고 공중을 떠다니는, 초기 철도차량 이래로 철도공학에 있어서 최초의 근본적인 기술혁신으로 평가되고 있음

○ 바퀴와 레일 대신에 비접촉 전자석에 의한 부상, 안내, 추진시스템을 사용함

○ 전자시스템으로 제어되는 부상시스템은 차량 양측면에 지지용 전자석이 설치되어 있으며, 차량을 선로 하부에 설치된 강자성의 고정자(stator)까지 끌어당기는데, 부상 시 약 10mm의 간격으로 일정하게 유지시킴

○ 자력조정기는 최대 100kHz로 부상 전자석의 전류를 변화시키며, 자력제어회로의 고유 주파수는 약 30Hz로 선로를 추종하도록 하고 있음



[그림 2-6] Transrapid의 부상 시스템

○ 이러한 부상을 위한 전력은 차량의 에어컨 장치보다도 작고, 차상의 축전지에서 공급받으며, 외부 에너지 없이 한 시간 동안 부상할 수 있는 용량을 갖추고 있음

○ 차상의 축전지는 운행 중 지지용 전자석에 통합 설치된 선형발전기로 충전되며, 추진시스템과는 독립적임

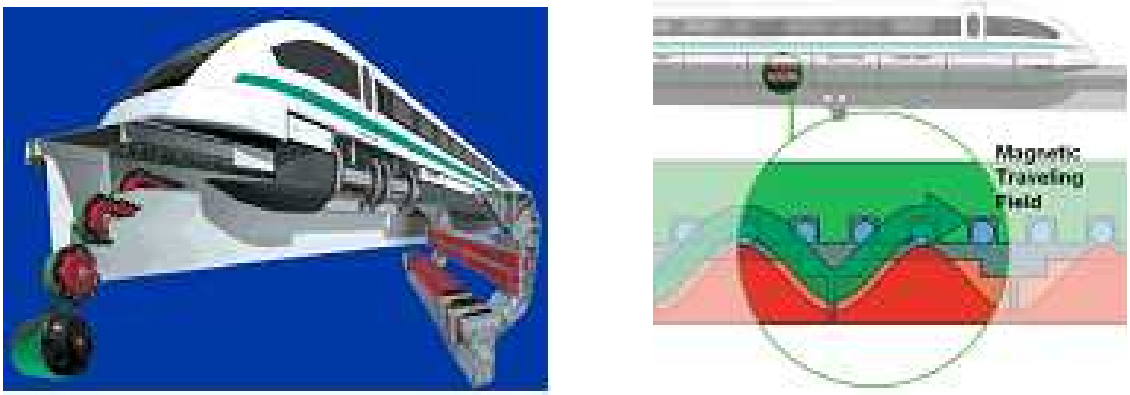
○ 차량 양 측면에 설치된 안내용 전자석은 선로에서 차량의 측면을 유지하며 이와 같이 차량이 선로를 감싸는 구조로 되어있어 실질적으로 탈선이 불가능 함

○ Transrapid의 추진시스템은 선형동기전동기(LSM, Linear Synchronous Motor)로서 회전형 전동기와 같은 기능을 하는데, 추진과 제동에 모두 사용됨

○ 전동기 권선에 교류를 인가하면 자장이 생성되고, 차량의 부상용 전자석이 계자의 기능을 하여 차량을 접촉 없이 움직임

○ 자장의 방향이 반대로 되면 전동기는 발전기가 되며, 차량을 멈추게 하고, 이러한 제동 에너지는 재사용 가능하며 전력망으로 귀환되며, 전동기 속도는 교류 주파수를 조절하여 제어함

○ 이러한 비접촉식 추진 방식은 에너지 소비를 대폭 줄일 수 있는데, ICE와 같은 바퀴차륜 시스템은 정지/출발에서 300km까지 가속하는데 약 30km의 거리가 필요하나, 초고속 자기부상열차인 Transrapid는 5km의 거리밖에 필요하지 않고, 지상에서 전력이 공급되는 추진시스템의 특성상 다른 차량과의 충돌이 기술적으로 배제되어 있음



[그림 2-7] Transrapid의 추진 시스템

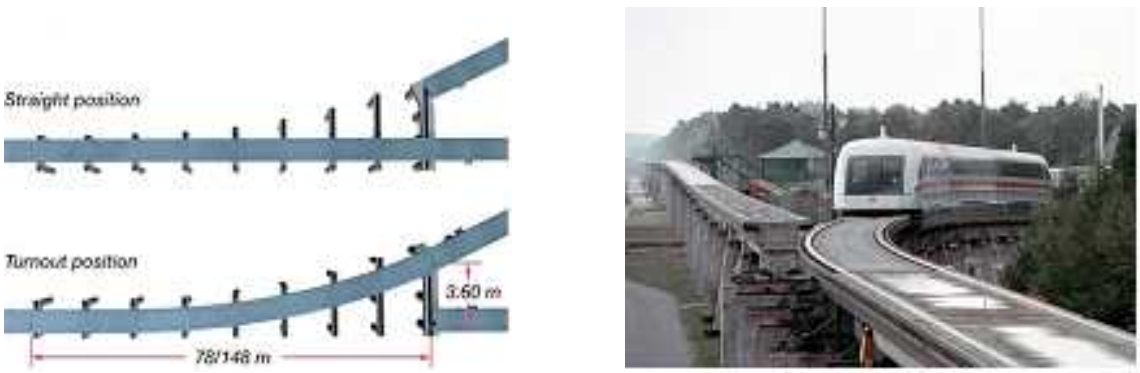
○ Transrapid 시스템의 선로는 지면 위나 고가형으로 설치할 수 있으며, 2.8m 게이지의 강철 또는 콘크리트 빔을 사용함

○ 특히 선로전환기는 구부릴 수 있는 강철 재질로서, 78m~148m 길이의 강철 박스 빔으로 구성되어 있음

○ 선로전환기 빔은 진로방향으로 휘어지며, 전환된 후 쇄정됨. 직선구간에서는 속도제한 없이 분기기를 통과할 수 있고, 선로 변경구간에서는 200km/h(고속용), 또는 100km/h(저속용)로 제한됨. Transrapid의 구배 등판능력은 10%(기존 철도차량 4%), 곡선한계는 시속 300km/h에서 1,950m(기존 철도차량 3,200m) 임

<표 2-1> 속도에 따른 곡선반경

속도	최소 곡선반경	선로간 간격	비고
	350 m		캔트 12°~16°
200km/h	750m	4.4m	
300km/h	1,950m	4.4m	
400km/h	2,825m	4.8m	
500km/h	4,415m	5.1m	



[그림 2-8] Transrapid의 선로전환기

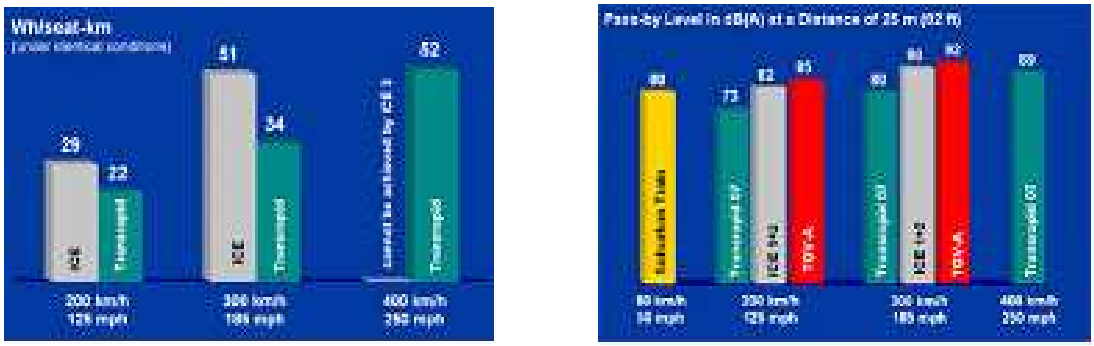
○ Transrapid 차량은 차량당 90석 규모로 최소 2량(51m, 180석)으로 이루어지며, 최대 10량(전,후 차량과 8개의 중간 차량, 900석)까지 편성될 수 있고,

고속 화물 운송을 위해 객차와 결합된 특별 화물칸이나 전용 화물차량(유효 탑재량 15톤/량)이 있으며, 추진시스템은 선로에 존재하기 때문에 차량의 길이나 유효 탑재량이 가속력에 영향을 미치지 않음

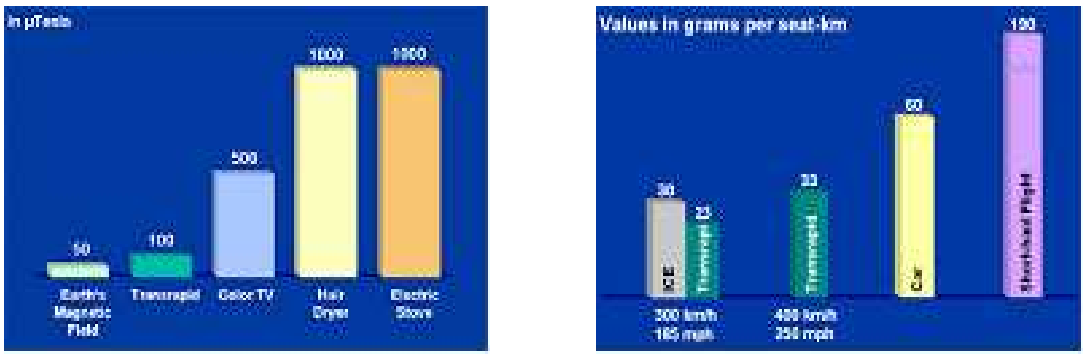
○ 운행제어시스템은 열차운행을 제어하고 시스템의 안정성을 보장하는 기능을 수행하며, 차량이동이나 분기기 위치 등, 안전기능 및 운영기능을 보호하고, 차량위치는 선로에 있는 부호화된 디지털 위치표식을 차상에서 검지하여 파악하며, 중앙통제실과 차량사이의 통신을 위해 무선전송 시스템을 사용함

○ 선로는 전용의 보수차량으로 점검하고 감시하는데, 보수차량에는 선로장치(stator packs, 케이블, 안내 레일)의 변화를 파악하는 감시시스템이 있음

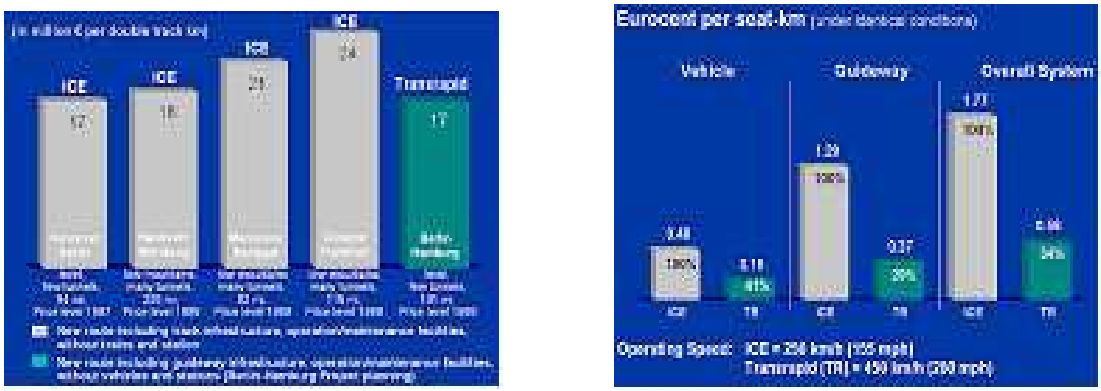
○ 부식과 같은 표면상태를 검사하기 위해 디지털 사진 해독법을 사용하는 광학시스템이 있으며, 운행 중 센서 데이터를 평가하여 선로 특정위치의 변화를 파악하도록 함



[그림 2-9] Transrapid와 ICE의 사용 에너지 및 발생소음 비교



[그림 2-10] Transrapid의 자기장 및 환경성 비교



[그림 2-11] Transrapid의 건설비용 및 유지보수비용 비교

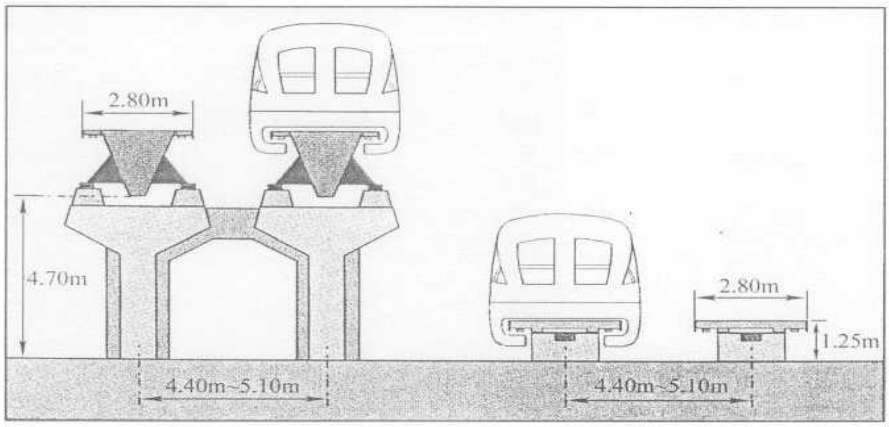
○ 자세한 Transrapid의 시스템 구성을 살펴보면, 선로, 차량, 전력공급, 운행제어 시스템 등 4가지 부분으로 구성됨

- 선로

· 선로는 열차를 정해진 길로 유도하는 역할뿐만 아니라, 열차의 하중을 감당하여 목표지점까지 운송하게 하는 기초 역할을 수행하며 선로상부의 구조는 긴 고정자를 정밀하게 용접시킨 강철 구조나 철근 콘크리트 구조의 지지 거더를 연결하여 이용하고 하부구조는 철근 콘크리트를 이용, 버팀과 기초의 역할을 함

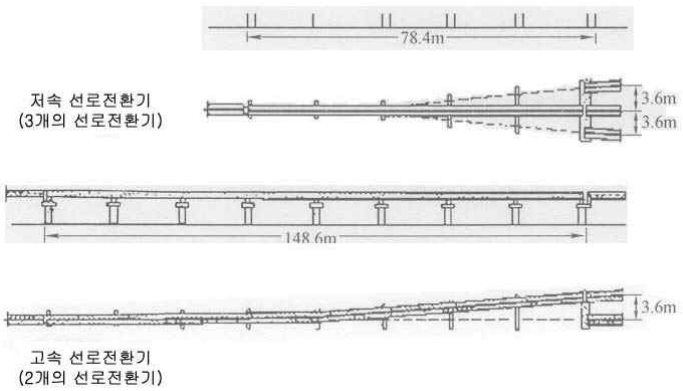
· 지지거더 자체는 기계적 하중을 담당하며 전통적인 토목공사의 간단한 구조의 버팀 형교(桁橋, girder bridge)나 연속 형교의 거더부분과 똑같으며 그 상부에는 필요한 자기부상 시스템의 고정자 코일과 철심을 설치해야 하기 때문에 제조와 시공에 있어서 높은 정밀도를 요구함

· 자기부상열차와 선로간의 인터페이스 때문에 자기부상 철도의 선로는 반드시 일정한 높이로, 거더식 구조를 채택해야 하며 선로는 고가(高架)나 지형에 따라 직접 거더를 지상 (저치(low implantation)선로라고 함)에 고정시킬 수 있고, 교량이나 터널 구역에서는 교량과 터널의 기초구조가 기본적으로 완성된 상태에서 저치선로의 방식을 이용해 지지거더를 상부에 설치함



[그림 2-12] 선로구조

- 선로의 또 다른 중요 구성 부분은 선로전환기로서 자기부상철도의 '궤도'는 강도가 상당히 크기 때문에 선로전환기의 설계와 시공이 비교적 복잡함
- 자기부상철도의 선로전환기는 수평방향으로 철제 거더에 걸쳐있기 때문에 선로전환기 측면방향은 차량속도 측면에서 견뎌야 하며 측방향 속도가 ≤200km/h로 통과하면 고속 선로전환기라 하고, 측방향 속도가 ≤100km/h로 통과하면 저속 선로전환기라 함
- 길이는 각각 148.6m와 78.4m로 구별되며 최근 ThyssenKrupp 회사가 간선 분기의 특수지역에 사용될 수 있는 초고속 선로전환기를 개발하였으며 그 측면방향 차량통과 속도는 400km/h에 달하고, [그림 2-13]은 2분기 선로전환기와 3분기 선로전환기의 구조도임



[그림 2-13] 선로전환기 구조의 설명도



[그림 2-14] 상하이 시범선의 3개 선로전환기

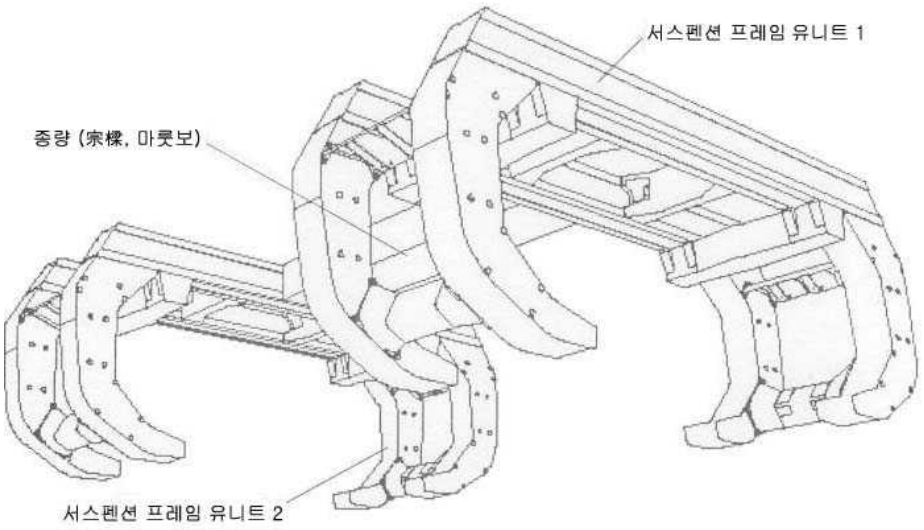
- 차량

· 차량은 고속자기부상 여객운송 시스템 중에서 가장 중요한 부분으로서 차량에는 부상 프레임 및 그 위에 설치한 전자석, 2차 부상 시스템과 객차를 포함하고 그밖에 탑재 축전지, 비상제동 시스템과 부상 제어 시스템 등의 전기설비가 있음

· 부상 프레임: 부상 프레임의 역할은 전자석을 탑재하고 열차가 순조롭게 곡선과 고갯길을 통과시키는 능력을 갖출 수 있도록 해야 하며, 각 객차마다 4개의 부상 프레임이 설치되어 있고, 부상 프레임마다 차체의 양측 밑 부분에 각각 부상 전자석이 설치되어 있음

· 인접하고 있는 두 개의 부상 프레임 사이에도 부상 전자석이 연결되어 있으며 각 부상 전자석의 양끝은 두 개의 독립된 제어 단위로 나뉘어져 있으므로 만약 전자석의 제어 단위 고장이 생기더라도 또 다른 제어 단위에 문제없이 전자석이 계속 동작할 수 있도록 제어해 주며 이것은 통상적으로 말하는 이중화 설계로서 시스템의 신뢰성을 높여 줌

· 그 밖에 부상 전자석은 차량의 양측에 밀집하여 분포해 있기 때문에 한 열차에 몇 개의 전자석이 동시에 작동하지 않더라도 남아있는 전자석으로 충분한 부상력을 제공하여 열차의 안전운행을 유지함



[그림 2-15] 부상 프레임

- 부상 전자석의 설치와 대응하여 차량 부상 프레임의 측면에는 가이드 전자석이 설치되며 그 중 일부 개소(매 두 개의 전자석 프레임의 중간마다)에는 와류제동기가 설치되고 여분으로 설계되기 때문에 개개의 가이드 전자석이 고장 날 경우에도 열차운행의 중단을 초래하지 않음
- 2차 부상 시스템: 2차 부상 시스템의 역할은 객차의 하중을 부상 프레임에 전달하는 것이며 이때, 진동 감소 장치를 통해 차량이나 선로의 경계를 이루는 면 사이에서 발생하는 진동을 객차에 전달하기 전에 감쇄시키기 위하여 공기 스프링을 비롯한 진동장치와 출렁임을 방지하는 안정기를 포함하고 있고, 2차 부상 시스템은 부상 프레임과 객차 사이에서 상대적으로 수평방향과 수직방향 변위가 가능하기 때문에 곡선과 고갯길에서 열차의 운행을 가능하게 함
- 객차의 진동 감소 장치에는 두 층이 있는데, 제 1층의 진동 감소 장치는 전자석과 부상 프레임 사이의 스프링으로서 공기 스프링은 차체와 궤도 사이에 제공되어 제 2층의 진동 감소 장치의 작용을 하고 각 차의 객차와 부상 프레임 사이에 16개의 공기 스프링(각 스프링의 탑재량은 2t)을 설치함
- 열차 운행 중 측방향 풍력을 만나거나 평형 원심의 가속도가 아닐 때 객차는 좌우로 흔들리는 현상이 나타나는데 차량이 좌우로 흔들리는 것

을 줄이기 위해 객차와 부상 프레임 사이의 로크샤프트(rockshaft)에 붙어 있는 팔모양의 흔들대(rocker)에 흔들림을 방지하는 안정기를 설치함

- 객차: 객차는 알루미늄소재의 거더와 샌드위치 벌집모양의 알루미늄판에 용접이나 리벳(rivet) 방식으로 만들어지는데, 각 부분은 여러 가지 소재 가운데서 가장 우수한 것을 선택하여 설계한 외형과 매끄러운 표면을 갖추고 있고, 측면의 창문은 이중의 유리로 구성되어 각각 내부와 외부로 차체에 고정돼 있음
- 앞쪽 유리는 3층 경화학으로 굳어진 움직이는 유리판으로 돼 있고 차체의 강도를 더하기 위해 차문은 차량의 끝부분에 설치되어 있는데, 차 내부장치는 항공방제 기준에 따라 설계되어 짐
- 전기 설비: 탑재전기설비에는 부상, 가이드, 긴급제동, 탑재 제어 시스템, 조명, 에어컨디셔너 및 전원 설비 등을 포함함
- 탑재 전원은 차안에 있는 선형 발전기를 통해 전기 에너지를 얻으며 탑재 축전지에 저장되는데 열차 운행 시에 발전기 고정자 코일에서 유도전위가 생겨나고 열차가 일정한 속도(100km/h 정도)에 도달 하면 충분한 전기 에너지를 차체에 공급할 수 있는 유도전위가 생기고, 동시에 탑재 축전지에도 충전됨
- 열차가 긴급하게 정차할 상황일 때는 탑재한 전기와류 제동기를 사용하며, 부상과 가이드 제어 시스템은 전자석과 궤도 사이의 정상적인 갭을 유지할 수 있도록 함
- 자기부상열차의 조립부품 대부분은 전기·전자장치로 설계되어있고 여분의 설계를 충분히 하여 차량운행의 신뢰성을 크게 높이며 그 밖에 부품 대부분은 모듈화로 설계되어있기 때문에 교체가 편리함
- 고장진단 시스템이 고장난 부품을 모니터링하면 신속하게 교체 할 수 있고 단시간 안에 수리가 가능하기 때문에 시스템의 이용효율이 높음

- 전력공급 시스템

- 전력공급 시스템에는 변전소, 외부 전력공급 케이블, 스위치 터미널 및 기타 전력공급 설비를 포함함
- 자기부상열차 전력공급 시스템은 지상에 긴 고정자 코일을 통해 열차운행에 필요한 전기 에너지를 제공하는데 먼저 110kV의 전력망으로부터

AC 고압전류를 끌어들려 감압변압기를 통해 20kV나 1.5kV까지 내린 후, 정류기로 통하여 DC로 변화시키고 다시 인버터로 0~300Hz의 교류 전류로 바꿔 전압을 높인 후 전력 케이블과 스위치 터미널을 통해 선로 상의 긴 고정자 코일에 공급되어 고정자와 탑재 전자석 사이의 견인력(traction)을 형성함

- 변전소: 변전소 내에 고압 AC전류의 감압과 정류, 그리고 다시 역으로 0~300Hz의 AC전류로 변환시키기 때문에 변전소 내 설비에는 감압변압기, 정류변압기, 정류기, 인버터 및 입력변압기가 있음
- 변전소는 일반적으로 선로 옆에 설치되어 있고 한 선로에 여러 개의 변전소를 설치하는데 매 변전소는 양 옆의 선로구역에 전력을 공급하며 두 개의 변전소 사이에 있는 선로는 단지 한 열차밖에 운행할 수 없기 때문에 변전소의 거리에 따라 실제로 전 구간의 열차운행밀도를 제어하고 있음
- 전력공급 케이블: 전력공급 케이블은 견인 전동기에 대한 긴 고정자에 전력을 공급하는데 쓰이며 매 자기부상선로에는 2조나 3조의 상호 독립된 3상 케이블이 있어 선로 양측의 긴 고정자에 전력을 공급함
- 스위치 터미널: 스위치 터미널은 선로를 따라 분포해 있고 동일한 전력공급 구간의 전동기 지상 고정자는 몇몇 작은 구간(수백미터)으로 나누어져 있으며 열차가 통과할 때마다 번갈아 switching 된고, 스위치 터미널의 설치 목적은 고정자 구간에서 공급할 전류의 전력손실을 줄이기 위함이며 그 설치 거리는 기술과 경제 분석에 근거하여 확정함
- 기타 전력공급 설비: 긴 고정자에 대한 전력공급 이외에 관련 선로전환기, 데이터 전송 안테나, 정류장 혹은 정차소의 정지열차 등에 대해서도 전력공급이 필요함

- 운행 제어 시스템

- 운행 제어 시스템은 모든 자기부상 교통 시스템에 대한 정상운행을 근본적으로 보장해야하며 안전보호, 제어, 집행 및 계획을 위한 H/W를 포함해 H/W 사이의 상호 통신으로도 사용됨
- 자기부상열차의 고속과 안전한 운행을 보장하려면 운행 중의 차량이나 선로의 상황에 근거해 언제든지 운행계획을 조정할 수 있어야 하며 운

행 중의 각종 돌발 사고에 대해서도 신속하게 대처하여야 하므로 열차의 운행 제어는 반드시 자동화로 진행되어야 함

- 운행 제어 센터: 운행 제어 센터는 운행계획을 조정하고, 운행차트의 편성을 담당하는 곳이며 또한, 선로조건에 근거하여 계획에 따라 열차를 발차하는 곳이기도 함
- 고장이나 충돌이 생길 때, 상황의 변화에 따라 계획을 바꾸거나 무산시키고 예정계획과 실제운행 상황을 비교하여 모든 시스템의 최적화 운행을 실현시키며 계획의 정상적인 수행을 보장하기 위해 제어센터는 데이터 전송장치를 통해 부속분산 제어 시스템으로부터 각종 정보를 얻어 분석하고 운행 조정계획을 수립하며 아울러 운행 제어 센터는 각종 기술 데이터의 저장과 업그레이드된 통계를 분석하고 고장을 진단하는데도 관여하고 그 밖에 승객에게 열차운행 정보를 알려주는 역할도 수행함
- 분산 제어 시스템: 분산 제어 시스템은 열차의 제어와 운행에 직접 관여하고 해당 구역 내 열차의 운행안전을 보장하며 해당 구역의 각종 장비 상황에 대해 감독, 제어, 보호하는 기능을 하며, 각종 정보는 운행 제어 센터에 전달되어 비계획된 상황에서 운행 제어 센터의 지시대로 집행하고 장비 상황과 열차운행에 대해 인위적으로 관여함

○ 자기부상열차의 운송능력은 매 차량의 정원, 열차편성, 발차간격 및 매일 열차시간에 맞추어 보낼 수 있는지에 따라 결정됨

○ 바퀴식 교통 시스템의 운송능력은 일반적으로 정거장 분포와 혼잡구간에 따라 제한을 받는데, 운행 차트 주기나 열차추종 시간에 의해 결정되며 마찬가지로, 자기부상 시스템의 변전소 간격, 운행속도는 정차구역의 운행방식과 정거장 시간 등, 자기부상 시스템에 대해 최소 추종시간이 열차에 결정적인 영향을 줌

○ 여기서 언급한 정차구역 운행 방식은 열차가 드나드는 역의 속도 제한을 가리키며 이것은 열차사이의 허용시간 간격과 여행 시간에 대해 중요한 영향을 미침

○ 안전 운행의 요구에 따라, 자기부상열차의 추종 시간 간격에 다음 상황을 포함함

- 구간열차 최소 추종시간 간격
- 전방열차가 간선 정차역일 때의 추종시간 간격
- 전방 측선 정차시의 열차 추종시간 간격
- 열차가 정거장에서 나오는 추종시간 간격

○ 실제운행중의 열차 추종시간 간격은 상기 언급한 각 사항의 추종시간 간격에 대한 요구를 동시에 만족시켜야 하며, 추종시간 간격은 다음의 기술 매개변수에 의해 결정 됨
- 열차의 가속과 감속의 특성은 즉 가속도와 제동 감속도의 한정치임
- 열차의 정상 운행의 최고속도
- 선로전환기 허용 통과 속도
- 정거장 전력공급 지역과 구간 전력공급 지역의 길이
- 역내의 정차가 위치할 곳은 차량의 앞부분이 역에 들어오는 선로전환기 끝부분의 거리임

○ 자기부상철도의 통과능력은 매일 특정 단면을 통과하는 열차의 대수(對數)나 열수(列數)이며, 고속여객 전용선에 대해 여행속도를 보장하기 위해서는 일반적으로 복선궤도를 채택하고, 통과능력은 매일 매 방향에 통과할 수 있는 열차의 열수임

○ 수송능력은 교통 시스템 설계 중에서 가장 중요한 지표이며, 통과능력에 대한 일정한 조건하에서 열차 편성 차량수와 매 차의 승객 탑승 능력에 따라 수송능력이 결정됨

○ 고속 여객운송 시스템의 설계는 시장 수요로부터 출발하는데 여행객의 여행시간을 가능한 줄여야하기 때문에 일반적으로 소편성과 고밀도의 원칙을 따름

○ 현재 이미 상용화 중인 Transrapid는 유럽의 인문사회 환경을 충분히 고려하여 10대로 편성하는 것이 충분히 시장의 수요를 만족시킨다고 보고 있으며 따라서 자기부상시스템은 현재 10대를 최대 편성으로 잡고 있음

○ 자기부상철도의 수송능력을 반영하는 또 다른 중요 요소는 매 차량의 정원

으로서, 독일의 TR08 자기부상 차량 내 폭은 3.43m이고, 자리 편성은 일등석이 4석/열, 이코노미석이 6석/열로 되어 있으므로 자기부상열차의 차체가 비교적 넓어 휠 트랙 고속 차량보다 더 많은 좌석을 설치할 수 있음

○ 또 다른 관점에서 보면, 교통 시스템 설계 시, 여행 시간이 비교적 짧을 때, 승차공간크기에 대한 사양을 적당히 줄일 수 있는데, 예컨대, 속도가 비교적 빠른 비행기에서 1인당 평균 차지하는 좌석공간은 휠 트랙 고속 철도의 상응치보다 작으며, 이 논리대로 자기부상열차는 속도가 비교적 높기 때문에 여행시간을 현저히 줄일 수가 있게 되므로, 촘촘한 좌석이 적당할 수 있고, 이 원리는 열차의 길이를 늘이지 않은 상황에서 약 10%의 정원을 늘릴 수 있음

○ 초고속 자기부상열차에 있어서 에너지 소모는 매우 중요함

○ 고속 운행 조건에서 공기항력은 열차가 받는 항력 중에서 가장 크며 공기항력은 속도의 제곱과 정비례하여 운행속도의 향상에 따라 공기항력이 빠르게 증대 되고 열차의 에너지 소모도 확실히 늘어나기 때문에 고속자기부상 철도 운송 에너지 소모의 영향에 대한 운행속도를 반드시 분석하여 자기부상 철도 건설 항목의 기술경제 분석을 위한 증거로 제공함

○ 독일은 최대속도에 대한 기술적 제한은 거의 없으나, 더 높은 속도를 위해 필요한 비용에 이익이 비례하는 것은 아니기 때문에 가장 큰 속도제한 항목으로 경제성을 꼽았음

○ 독일이 500km/h를 운행속도로 설정한 이유는, 1일 여행권으로 환승구간이나 목적지에서 최소 6시간의 체류와 3시간 이하의 여행시간을 갖도록 하는 독일 연방정부의 요구에 따라 Transrapid 시스템 개발은 400km/h의 설계속도를 기초로 하였음

○ 독일의 자기부상열차 시험소인 TVE(Transrapid Versuchsanlage Emsland)는 자기부상열차에 있어서 세계에서 가장 큰 시험 시설이며, TVE에서 Transrapid 기술을 상용운행과 가까운 조건하에서 계속 시험하고 있음



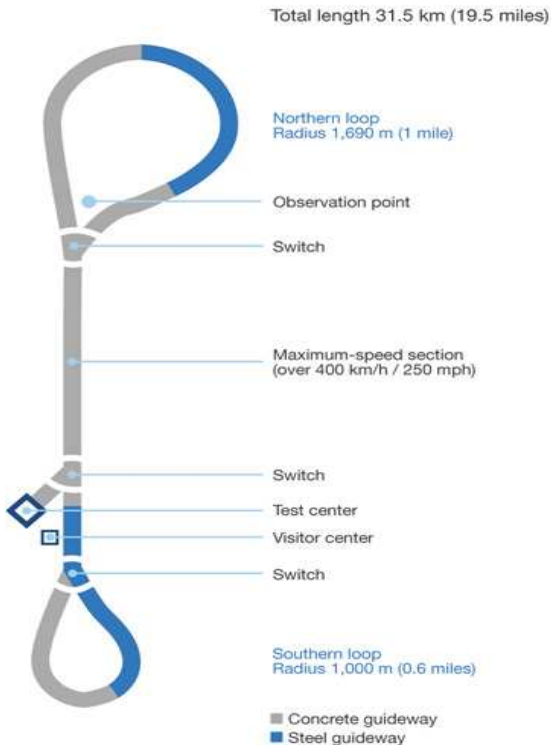

[그림 2-16] 독일 TVE 시험소 공장(Test Center)

○ 연장 31.5km의 TVE 시험선은 남북으로 길게 건설되어 있으며, 선로의 남북쪽 양 끝에 루프가 있고 두 루프가 12km의 직선 선로로 연결되어 있는 형태로 선로전환기는 2개의 루프에 1개씩, 시험소로 연결되는 유치선과 직선 선로와의 교차점에 1개, 모두 3개가 설치되어 있음

○ 선로는 시험을 위하여 18가지 방식으로 구분 시공되었으며, 선로마다 승차감, 진동, 소음 내역이 다름

<표 2-2> TVE 시험소 사양

총길이	31.5 km (19.5 mile)
직선 구간	12 km
북쪽루프의 곡선반경	1,690 m
남쪽루프의 곡선반경	1,000 m
캔트	9 ~ 12 도



[그림 2-17] TVE 시험선

○ 독일의 자기부상열차 역사

- 1922 : Hermann Kemper가 전자기적으로 부상하는 열차의 개념발명
- 1971 : Ottobrunn에 있는 MBB(MesserschmittBölkow-Blohm) 회사에서 원리적인 유인용 차량 제시. EMS 부상과 안내 시스템 사용
- 1972 : Transrapid 03. 초전도를 이용한 EDS 방식 사용
- 1977 : EMS 방식 채택, EDS 연구 중단
- 1979 : Hamburg 세계 교통 박람회에서 세계 최초의 승객탑승용 자기부상열차 전시 (Transrapid 05)



- 1983 : Transrapid 06 작동. 총길이 54m, 102t, 192좌석. EMS LSM 방식, 차량탑재용 리니어 발전기사용



- 1988 : 세계신기록 412.6km/h 달성
- 1992 : Berlin-Hamburg간 자기부상시스템을 포함하는 연방교통국 결정

- 2000 : 독일과 미국 간 Transrapid 자기부상 기술 협력각서 체결 (목적 : 두 나라 사이의 기술교류, 공동시스템 설립, 안전, 환경적인 기준 마련 등)
- 2001 : 세계최초의 상업용 자기부상 열차인, 중국 상하이시와 푸동공항을 연결하는 Transrapid 계약 체결
- 2003 : 중국 상하이시와 푸동공항을 연결하는 Transrapid 개통
- 2005 : 2월, 총 250만명의 승객수송 총 운행거리 128만7천 km



1.2 일본의 초고속 자기부상열차 기술 동향

○ 기술 개발 배경 및 현황

- 일본은 토카이도 신칸센 노선(도쿄～오사카)의 포화로 대체선로의 필요성이 증가하면서 추오 신칸센 계획을 수립(신칸센 철도정비법 제4조)하고, 1970년도부터 500km/h 이상의 초고속 자기부상철도에 대한 연구개발을 진행함
- 국가 대동맥으로서 지진 등에 의해 차단되는 경우 국가 전체의 사회, 경제 활동에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 생각하고, 재해시의 대체 보완 방법을 확보하기 위해 추오 신칸센을 구축함으로서 토카이도 신칸센과 이중화시켜 지진 등의 재해에 대한 위험 분산이 가능하도록 국가적인 차원에서 추진함
- 1962년 리니어모터에 의한 추진시스템의 조사를 시작으로 당시 JR부설연구소에 초고속철도연구회를 설치하고, 종래의 바퀴식 철도의 속도 한계를 극복하기 위한 다양한 추진방식에 대한 조사 및 모의실험과 함께 차량의 지지를 위한 공기부상, 영구자석 또는 초전도 자석에 의한 반발식 자기부상 등의 기초 연구를 시작함

- 이러한 기초연구를 통하여 초고속 자기부상열차를 구현하기 위한 기술로서 초전도 반발식 자기부상방식으로 결정하였고 1970년 당시 일본 교통성의 지원하에 본격적인 연구개발에 착수함
- 1972년에는 초전도 자기부상 LSM(Linear Synchronous Motor) 추진 실험차인 LSM200과 초전도 자기부상 LIM (Linear Induction Motor) 추진 실험차인 ML100으로서 자기부상주행실험에 성공함으로서 초전도에 의한 초고속 자기부상 열차의 실현 가능성을 확인함
- 1977년에는 500km/h의 주행가능성을 확인하기 위하여 미야자키현에 길이 7km의 실 규모에 가까운 시험선을 건설하고, 시험차인 ML500에 의한 주행 시험을 실시하여 1979년에 목표 최고속도인 500km/h를 초과한 무인 517km/h의 속도를 달성함



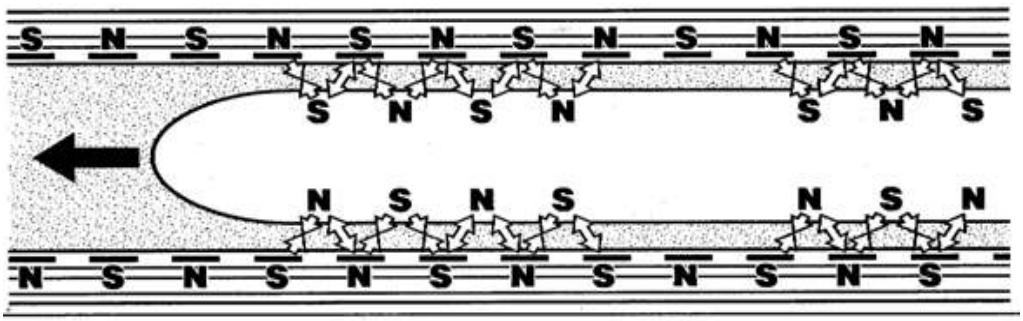
[그림 2-18] 일본 초고속 자기부상열차 시제 차량

- 또한 효율적인 추진 및 부상 안내 방식을 개발하여 가이드웨이 단면형상을 역T에서 U로 개조하고, 승객의 탑승이 가능하도록 실제 차량에 가까운 유인형 시험차인 MLU001, MLU002, MLU002N을 제작하여 2량 또는 3량 편성 주행에 따른 승차감등의 시험을 실시함

- 차량개발와 함께 또한 분기기의 연구, 초전도 마그넷 및 냉각시스템 성능평가, 비접촉 집전장치 및 전력공급장치 특성평가 등 실제 운행 차량과 궤도의 설계를 위한 데이터를 확보함
- 1996년에는 야마나시 시험선을 건설하고 실제 주행 환경에서의 시제차량에 대한 신뢰성 및 내구성 평가, 공력특성 개선, Cost 저감 등 초전도 자기부상열차의 실용화를 위한 기술개발을 진행함
- 야마나시 시험선은 당초 42.8km 규모의 시험 구간을 계획하였으나 용지매수지연, 주행시험의 조속시행의 필요성 등으로 인해 18.4km구간을 우선 건설 하였으며, 시험차량(MLX)은 전두부 형상을 달리한 3종의 선두차량과 표준 및 장대 중간 객차를 3량 또는 5량 편성하여 1997년부터 주행시험을 개시하여 현재에 이르고 있음

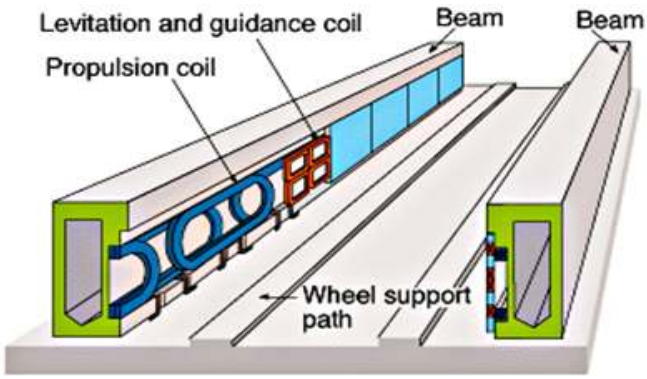
○ 초전도 자기부상열차의 원리 및 주요 기술

- 일본의 초고속 자기부상열차는 지상코일과 차상의 초전도 자석 사이에 작용하는 전자기력에 의한 반발력으로 열차를 부상시키고 선형동기전동기(LSM : Linear Synchronous Motor)방식으로 열차를 추진시킴
- LSM은 선형유도전동기 (LIM : Linear Induction Motor)에 비해 효율 및 출력특성이 뛰어나기 때문에 고속주행용에 적합하며 독일의 Transrapid도 LSM에 의한 추진 방식을 적용하고 있음
- 일본의 LSM 방식은 차량에 탑재된 초전도 마그넷에 의해 추력에 충분한 공극자속밀도를 만들 수 있기 때문에 철심이 없는 공심형 1차 계자코일을 사용하고 있으며 이 때문에 궤도의 경량화가 가능한 장점이 있음

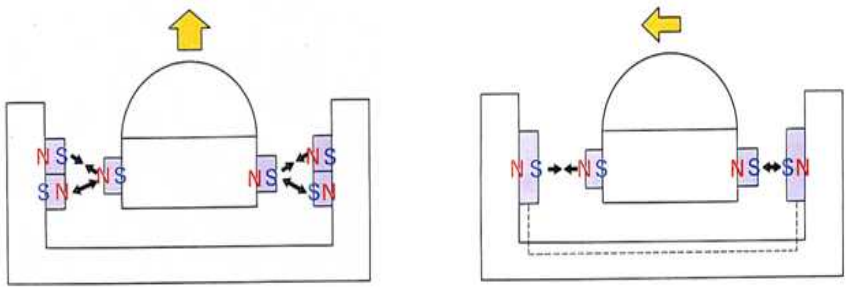


[그림 2-19] LSM 방식에 의한 추진 원리

- 독일의 초고속 자기부상열차(Transrapid)와 구별되는 일본의 초고속 자기부상열차의 가장 큰 특징은 EDS (Electro-dynamic Suspension)방식에 의한 부상 및 안내 원리에 있음
- EDS 방식이란 마그넷을 코일에 가까이 할 때 코일과 마그넷사이에 발생하는 로렌쯔 힘에 의한 반발력을 부상력으로 이용하는 원리로서 마그넷을 탑재한 차량이 코일이 설치된 지상궤도를 따라 주행함으로서 부상력을 얻음
- 독일식에 비해 부상과 안내를 위한 별도의 제어장치가 필요하지 않으며 부상 간격이 100mm이상으로 충분히 크기 때문에 주행 신뢰성이 뛰어남
- 충분한 부상력을 얻기 위해서는 바퀴식으로 일정 속도 이상으로 주행시켜야 하며 차량에 강력한 자기장을 만들 수 있도록 초전도 마그넷의 탑재가 필요함
- 안내는 궤도 양측면에 안내용 코일을 Null Flux방식으로 연결하여 차량의 초전도마그넷과 궤도에 근접하는 측면에서는 반발력이, 멀어지는 측면에서는 흡인력이 작용하도록 함으로서 안내를 유지하도록 함
- 미야자키 시험선에서는 별도의 안내코일을 두었으나 야마나시 시험선에서는 8자형 지상코일이 부상 및 안내를 겸하고 있으며, 현재에는 궤도건설 비용 저감을 위하여 추진, 부상, 안내가 하나의 코일에서 가능한 일체형 코일시스템을 개발 중에 있음



[그림 2-20] 추진 및 부상·안내 코일 배치



(a) 부상 (b) 안내

[그림 2-21] 부상 및 안내 원리

- 차량에 탑재되는 초전도 마그넷은 초전도체 현상에서 나타나는 영구전류 운전모드에 의해 외부 전원의 공급 없이도 강력한 마그넷 작용이 가능한 특징이 있음
- 초기 시제 차량에 탑재된 초전도 마그넷은 초전도 MRI에 상용화 되어 사용 중인 니오브티탄(NbTi) 금속합금계 초전도 선재를 사용하고 영하 269도까지 냉각시키기 위한 액체 헬륨 냉각시스템을 사용하는 저온초전도 마그넷으로 개발함
- 2005년에 차량의 탑재, 최고속도 553km/h의 주행 시험에 성공. 이로서 초전도 마그넷의 제작에 소요되는 비용을 획기적으로 저감

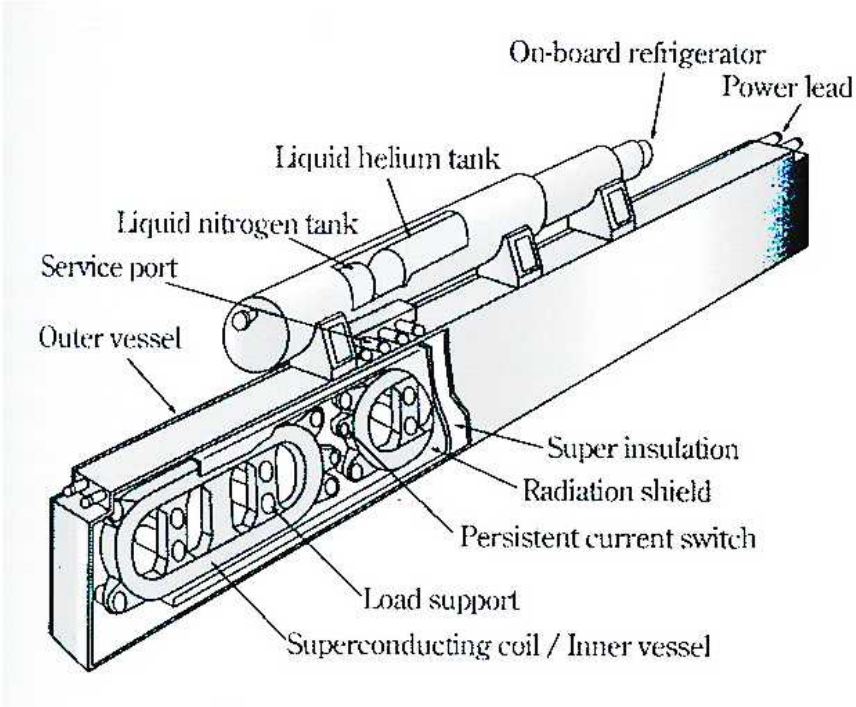
○ 실용화 주요 기술 개발

- 1990년도에 수립된 초전도자기부상방식철도기술개발기본계획에 따라 제1기에서는 기본성능 및 종합성능시험 위주로 진행되었고 제2기부터 현재까지는 고속 반복 주행 시험을 통한 신뢰성 및 내구성의 검증 위주로 진행되고 있음
- LSM 추진을 위하여 변전소로부터 공급되는 구분전원공급장치의 신뢰성 시험, 대피·추월 등의 제어성능을 검증하는 복수열차제어시험 등, 영업선에서 필요로 하는 각종 기능이 검증되었음
- 특히 열차가 서로 지나칠 때의 차량운동을 검증할 목적으로 상대속도 1,026km/h의 교차주행을 실시하여 영업선의 500km/h에서의 차량 교차 운행어서도 문제가 없다는 것이 확인됨

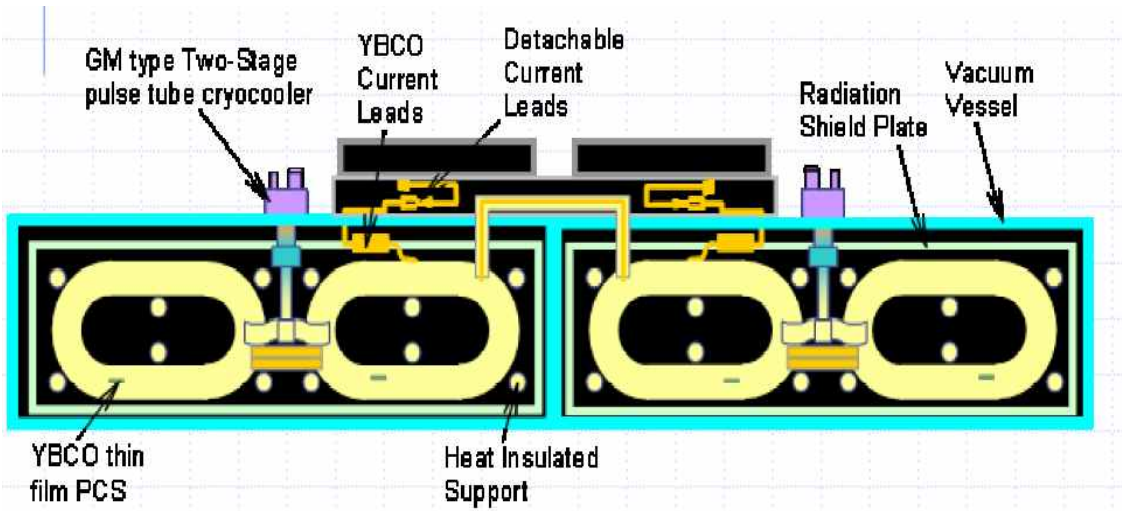


[그림 2-22] 1,026km/h 교차 주행 시험 모습

- 이 외, 장대편성의 중간차의 차량운동을 검증하기 위해 5량 편성 주행시험도 실시하여 552km/h를 기록하였고, 2003년 12월 2일에는 영업속도 및 야마나시실험선의 설계최고속도를 크게 넘는 581km/h를 기록함
- 기존 영업선은 1편성당 1일의 평균주행거리를 2,500km정도로 상정되지만, 이것을 넘는 2,876km/일의 주행거리(야마나시실험선을 89왕복주행)을 기록하여, 충분한 신뢰성・내구성을 보유하고 있는 것을 확인함
- 또한 영업선에서 각종 이상상태가 발생하는 것을 가정한 특수시험으로서 주행불능이 된 편성을 별도의 편성에 연결해서 주행하는 구조차 연결주행시험, 차량의 저속 주행시 사용하는 고무타이어가 펑크가 났거나 부상지지장치의 상태가 좋지 않을 경우 외접 보조륜 및 긴급착지륜 등에 의한 부상착지주행 시험, 차량에 낙뢰가 떨어졌을 때의 영향을 확인하는 낙뢰 시험등을 실시하여 어떠한 시험에서도 성능에 문제가 없다는 것이 확인됨
- 2005년에는 초전도 마그넷의 비용절감을 목적으로 액체 헬륨 냉각 방식을 적용하지 않는 세라믹계 고온초전도체(BSCCO)를 사용한 마그넷을 개발하여 차량에 탑재, 최고속도 553km/h의 주행시험에 성공함



(a) 저온 초전도 마그넷

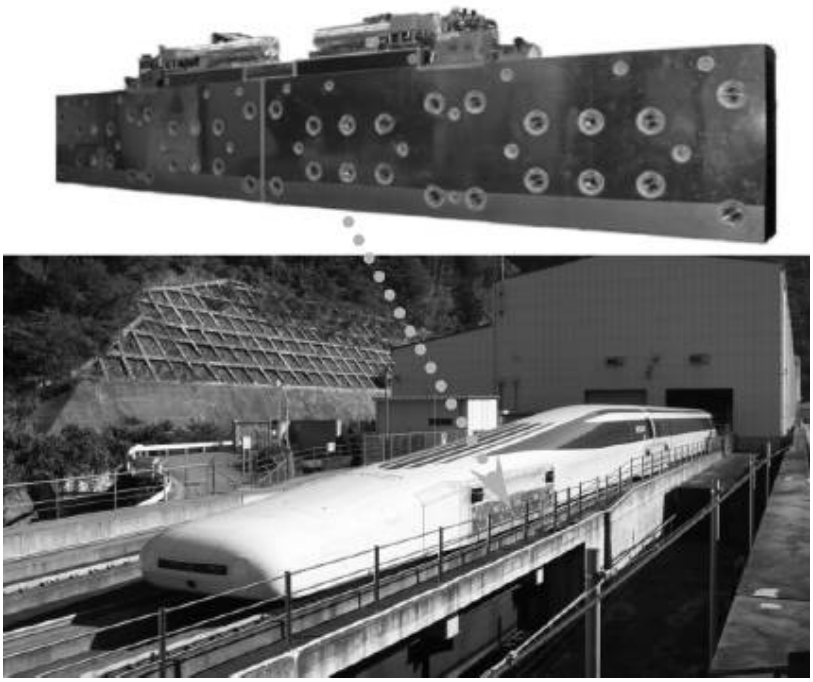


(b) 고온 초전도 마그넷

[그림 2-23] 초전도 마그넷 구조

<표 2-3> 초고속 자기부상차량용 초전도 마그넷 제원

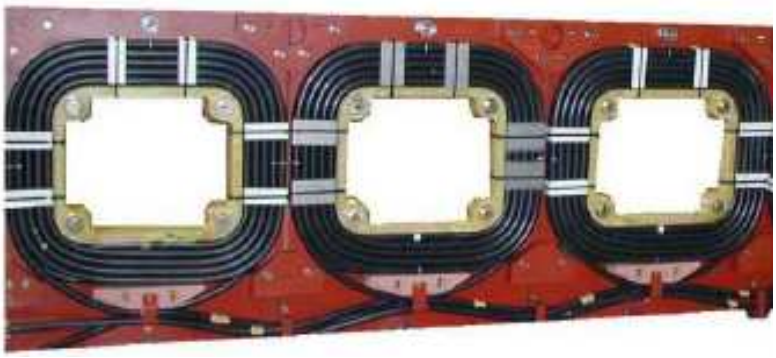
	고온초전도 마그넷	저온초전도 마그넷
코일수	4 개	4 개
기자력	750kA	700-750kA
코일크기	1.070 X 500mm	1.070 X 500mm
코일 직선부 길이	570mm	570mm
코일정격전류	544 A	500A
코일 턴수	1,380	1,400-1,500
초전도체	BSCCO	NbTi
전류감쇄율	<1%/day	<0.1%/day
냉각온도	<20 K	4.2 K
냉각방식	전도냉각	액체헬륨냉각



[그림 2-24] 고온 초전도 마그넷 탑재 주행 시험 모습



(a) 신형 가이드 웨이



(b) 케이블형 지상코일

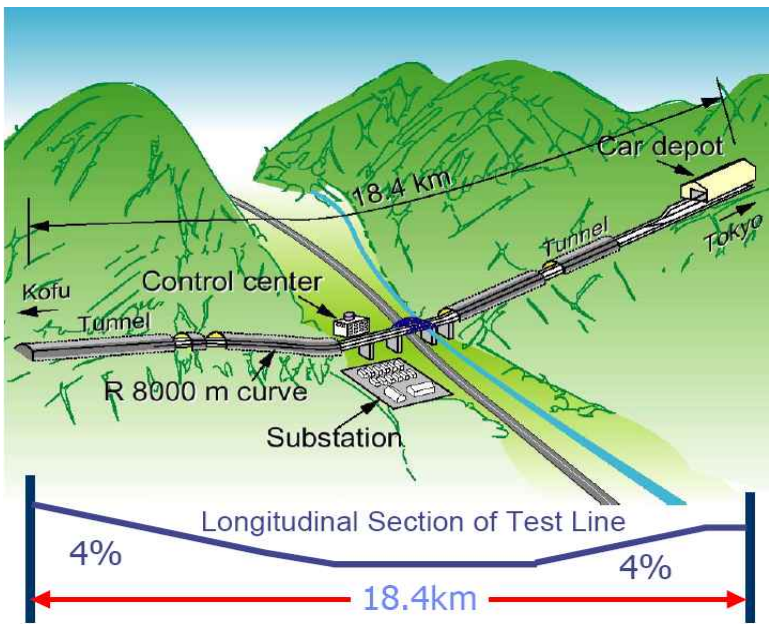
[그림 2-25] 신형 가이드 웨이 및 지상코일의 개발

- 지상 가이드웨이는 자립식(Free-standing RC) 가이드웨이로서 단면이 역T형상으로 자립이 가능한 프리캐스트구조의 측벽으로 되어있고 그 체결구조에 대해서 개량을 행한 것으로서 본체중량의 경감에 의한 작업성(시공성, 보수성)의 향상 및 비용 절감이 가능함
- 지상코일은, 종래 2층의 추진코일과 부상안내코일을 가이드웨이에 부착한 구성으로 되어있지만, 비용 절감을 위해 일체형지상코일과 케이블형 추진코일을 개발함
- 일체형지상코일은 추진코일과 안내부상코일을 일체 성형하는 것으로 코일의 수량을 줄이고, 설치비용의 절감이 가능하고 케이블형추진코일은, 전력케이블을 사용함으로서 제작비용을 줄일 수 있음

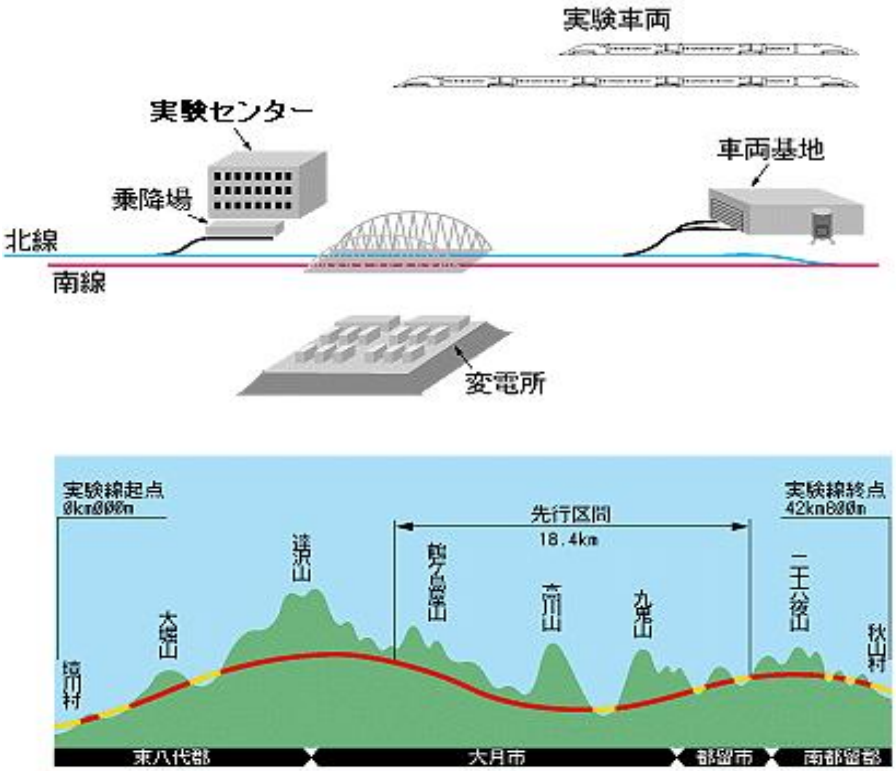
- 이 코일들은 와전류손실의 절감에 의한 운영비용의 절감, 코일 장치구조의 개선이나 케이블접속부의 삭감에 의한 신회성, 보수성의 향상도 가능
- 전력변환기에는 전력변환소자로서 GTO(Gate Turn Off)사이리스터를 이용하고 있지만, 전력변환기의 건설 및 운전비용의 절감을 목적으로 설비의 소형화, 저손실화가 가능한 전력변환소자를 이용한 고효율전력변환기를 개발함. 그 결과, 설비는 약 1/2로 소형화되어, 손실은 약 1/3로 절감 가능을 확인

○ 야마나시 시험선 개요

- 건설년도 : 1996년
- 위치 : Sakaigawa ~ Akiyama
- 노선길이 : 18.4km(12.8km 이중 트랙)
- 터널 구간 길이 : 16.0 km
- 교각 구간 길이 : 2.4 km
- 커브반경 : 8 ~ 20 km
- 최대 구배 : 4%
- 관제소 및 급전소 각 1개소



(a) 선행 노선 구간

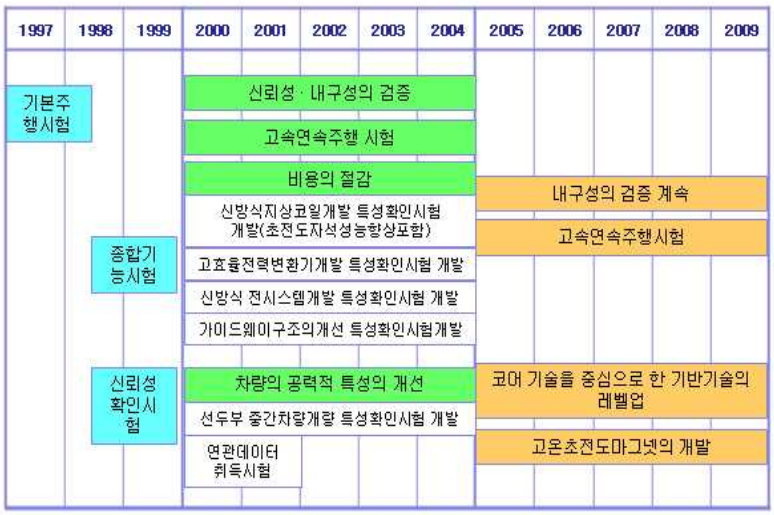


(b) 시험선 구성 설비 및 전체 노선

[그림 2-26] 야마나시 시험선 개요

- 야마나시 시험선에서는 시속 500km/h 이상의 운행 속도를 가지는 초전도 자석을 사용하는 초고속 자기부상열차의 시험을 수행하고 실제 주행환경에서의 시제차량에 대한 신뢰성 및 내구성 평가, 공력특성 개선, 비용 저감 등 실용화를 위한 기술개발 진행함
- 시험은 크게 제1기 시험기간(1997~1999)과 제2기 시험기간(2000~2004)으로 나누어지며 시제편성차량에 대한 장기신뢰성의 평가를 비롯하여 실용화에 요구되는 다양한 기술 및 구성품의 개발을 중심으로 진행됨
- 2003년에는 3량 편성 MLX로서 유인 세계최고기록인 581km/h의 주행속도를 달성
- 2004년도 말에는 8년에 걸친 야마나시 시험선에서의 기술개발성과에 대해서 일본 국토교통성 산하 '초전도 자기부상식 철도 실용 기술 평가위원회'에서 『초전도자기부상식철도에 대해서 실용화의 기반기술이 확립되었다』는 최종 평가를 내림

- 야마나시 시험선에서의 연장시험과 노선 변경에 관한 계획을 담은「초전도자기부상식 철도기술개발 기본계획」과 「초전도자기부상식철도 야마나시실험선 건설계획」을 국토교통성으로부터 승인받음



[그림 2-27] 야마나시 시험 추진 성과 및 계획

- 2005년도부터 2009년도까지 5년 더 연장하여 실용노선에 투입될 차량의 장기내구성에 대한 검증과 영업선에 적용할 설비사양의 검토 실시예정
- 2006년에는 현 야마나시 시험선을 당초 계획구간인 42.8km로 연장 건설하기로 발표함

○ 추오 신칸센 개요

- 도쿄와 오사카 간 약 500km 구간을 초전도 자기부상열차로 약 1시간 내에 주파하는 노선 계획이며, 전체노선 중 1단계 우선사업으로서 도쿄에서 나고야까지 약 290km 구간을 2025년까지 건설 완료하는 것을 목표로 함
- 전체 노선에서는 Tokyo, Kanagawa, Yamanashi, Nagano, Kifu, Aichi, Mie, Nara, Osaka 등 9개 역이 예정되어 있으며 야마나시 시험선이 이 노선의 일부로 포함되어 건설됨
- 공사비용은 170억~180억 엔/km 정도로, 전체 약 7조 7,000억~9조 2,000억 엔이 소요될 것이며, 차량의 경우에 8억 엔/량 정도로 전체 차량 비용은 6,000억~7,000억 엔 정도 될 것으로 추산

<표 2-4> 리니어 신간선과 기존신간선의 비교

	리니어신간선(A)	신간선(B)	A/B
최고속도(km/시간)	500km	300km	1.7
운행시간(도쿄~오사카)	1시간	2시간 30분	0.4
수송능력(열차당)	900명	1,345명	0.7
수송능력(단방향/시간)	1만명	1.5만명	0.7
수송능력(1일)	25.3만명	38만영	0.7
비용(억 엔/km)	154~184억 엔	118~140억 엔	1.3
차량크기	높이 : 3.3미터 차폭 : 2.9미터	높이 : 4.0미터 차폭 : 3.38미터	0.8
차량중량	23톤	37.5톤(700계)	2.6
구배	4%	1.5%	2.6

○ 추오 신칸센 실용화 추진 전망

- 그간 일본정부에서 1965년 이후 리니어 신간선의 연구비를 계속 부담하고 있고, 기술적인 문제는 해결된 것으로 판단함
- 실용화에 있어서는 기술적인 문제보다는 비용이 큰 문제로 현재 도쿄~오사카구간의 수송수요는 1일 철도수요는 24만 명, 도로 12만 명, 항공 7만 명인데 결국 항공수요가 리니어 신간선으로 이전되어야 경제성이 확보될 것으로 전망함
- 앞으로 새로운 여건변화에 맞게 추진논리를 세련화 시키고, 실용화를 위한 재원조달 등의 문제가 구체적으로 검토 중에 있음

○ 일본의 경우 추오 신칸센 건설에 따라 다음과 같은 국가적 효과를 예상하고 있음

- 최대의 이점은 고속성에 있으며 도쿄~오사카간의 1시간대로 연결함으로써 정치, 경제 및 국민 생활에 1일 행동권이 확대가 가능할 것으로 예상함 (예를 들면 오사카 사람이 도쿄돔에서 프로야구 야간게임을 마지막까지 관전하고 오사카에 있는 자기 집으로 그날로 귀가하는 것, 또는 도쿄 사람이 오사카에서 늦은 밤까지 거래처 사람과 비즈니스를 하여도 그날 밤 귀가가 가능)
- 최대 경제 파급 효과는 건설에 따른 투자효과를 들고 있으며, 건설로 인한 투자는 건설, 전기, 기계, 철강, 수송기계 등 직접적으로 수요가 발생하는 산업뿐만 아니라, 금융, 부동산, 서비스 등 관련 산업에도 파급효과를 시켜 새로운 고용창출이 가능함
- 일본 초전도 자기부상열차는 기존의 수송수단과 비교할 때 새롭고 혁신적인 기술을 포함하고 있으며 각 분야에서의 개념설계를 개량하면서, 다른 상품이나 산업에 기술적인 파급효과를 갖는 기술적 진보가 상당히 많이 잠재되어 있음
- 도시 간 수단인 항공, 자동차의 교통 인구가 자기부상열차로 이동함으로서 화석 에너지 고갈 및 환경오염 등의 문제를 경감시킬 것으로 예상함

○ 향후 계획

- 전술한 대로 일본의 초전도 자기부상열차는 실용화를 위한 기반기술이 확립된 상황에 있으며, 야마나시시험선은 현재 선행구간의 주행시험개시로부터 12년째를 맞이함
- 2008년 4월에는 도쿄-나고야를 연결하는 추오신칸센 자기부상열차를 준비하기 위하여 현 18.4km의 야마나시시험선을 42.8km로 연장하기 위한 터널 시범공사를 시작
- 또한 장대편성차량에 의한 500km/h에서의 장거리 주행 등을 실시하기 위하여 차량 14량을 새로 제작 중에 있으며 장대편성에 대비한 지상코일 및 전기설비를 준비 중



[그림 2-28] 도쿄-오사카 추오신칸센 노선도

<그림자료 : MT-19, 2005, JR 발표자료>

- 최근에는 추오신칸센의 도쿄 시발역을 시나가와역으로 정하는 등 구체적인 노선 계획도 함께 진행. 그러나 전체 사업을 위한 구체적인 재원마련 계획에 있어서 아직 해결해야함. 하지만 약 40년에 걸쳐 기술개발을 완료한 일본의 초전도자기부상열차는 더 이상 꿈의 열차가 아닌 상용노선으로서의 실현을 눈앞에 두고 있음

1.3 중국의 초고속 자기부상열차 기술 동향

○ 기술개발 개요

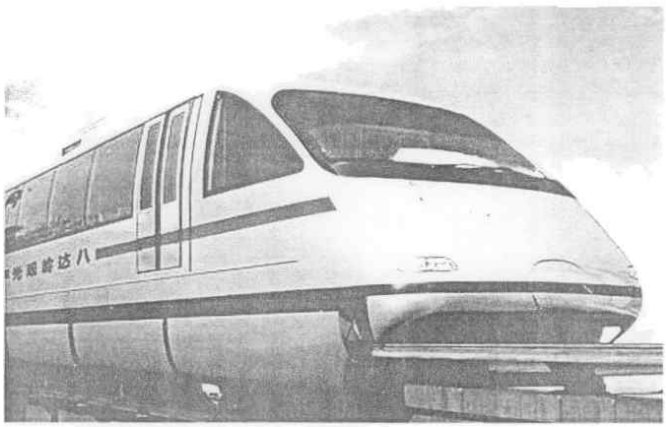
- 중국은 1970년대부터 국가프로젝트로서 자기부상 시스템 기술연구를 추진하였고, 일부 대학과 연구기관에서 기초연구를 함께 진행. 국방과학기술 대학이나 중국과학원, 시난(西南)교통대학, 철도과학연구원 등에서 자기부상의 원리 탐구나 시제품 제작 등이 이루어졌음
- 특히 국가과학위원회, 과학기술부 등에서는 “제8차 5개년 계획”, “제9차 5개년 계획” 등에 자기부상철도 기술연구를 포함하여 계속적인 현지 조사 등의 기술탐색, 분석, 시제품 제작, 실차 실험, 검증 등을 수행.

- 또한 국외 전문가와의 기술교류와 함께 자국내 기술그룹을 결성하여 일본과 독일에 특파해 자기부상열차에 대한 현지조사를 진행하였으며, 일본의 초전도식 고속 자기부상열차와 독일의 고속 자기부상열차 및 일본의 저속 HSST 자기부상열차에 대한 연구를 특별주제로 하여 분석함

○ 국방 과학기술대학의 연구 상황

- 국방 과학기술대학의 자기부상기술에 대한 연구작업은 1980년대부터 시작하여 전후로 몇 개의 소형 자기부상 실험 시스템을 개발
- 1989년에는 서스펜션 가이드와 추진기를 하나로 모아 무게 약 80kg의 소형 자기부상 모형의 열차를 성공적으로 연구제작하여 10m 길이의 궤도에서 왕복 운행할 수 있게 하였음
- 이 시스템은 창샤(長沙)와 베이징에서 전시되어 정부부문의 지도자들과 만 명에 가까운 참관자들이 참가하였고, 1991년 3월에는 장쩌민(江澤民) 주석이 시찰해 이 시스템의 시범을 관람하였으며, 1991년 5월에는 항목 입안건으로 국가 과학 위원회 조직의 논증을 거쳐 1992년에 정식으로 국가의 “제8차 5개년 계획”과학기술의 난관돌파 계획에 들어갔음
- 과학기술의 난관돌파를 통해, 1995년에는 단일 전향차 자기부상열차 시스템을 개발
- 자기부상 전향차는 자기부상열차 차량의 최소 기능 unit으로서 독립적인 서스펜션과 가이드 및 추진기와 제동 등의 기능을 갖추고 있음
- 이 시스템은 4세트의 독립적인 서스펜션 제어 시스템(8개의 전자석, 4세트의 제어기 포함)과 1세트의 추진 시스템(한 쌍의 전동기 포함), 상응하는 2차 서스펜션 시스템, 3m × 3.3m의 객차 머더보드를 갖추고 있어 40여명을 태우고 10m 길이의 궤도 위를 왕복으로 안전하게 운행
- 국방 과학기술대학은 “제8차 5개년 계획”의 과학기술 난관 돌파 계획에서 얻은 진전으로 베이징 지주회사와 공동으로 중저속 자기부상열차의 기술을 더욱 개발할 수 있도록 연구진행에 대한 협정을 체결
- 창샤(長沙) 중저속 자기부상열차의 중간단계 시험기지에는 있는 CMS-03형 실험차의 첫차 길이는 15m이고, 중간차 길이는 14m, 폭은 3m이며

100명 정도 탑승할 수 있으며 차체는 4그룹의 전향차로 구성되며 2001년 7월에 조립을 마쳤음



[그림 2-29] CMS-03형 중저속 자기부상 실험차

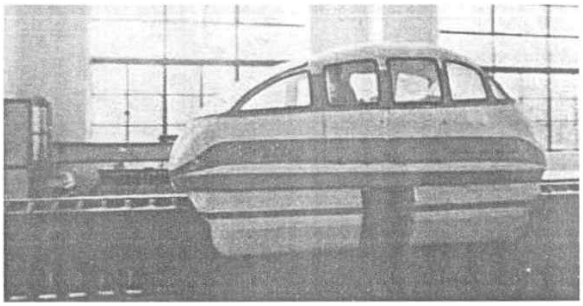
- 실험선로의 길이는 204m, 트랙의 커브 반경은 100m, 경사도는 4.0%이고 수직곡선 반경은 1000m
- 선로부분은 2001년 5월에 완성되었으며 9월초부터 시작된 시스템 실험은 11월에 전문가의 검수를 통해 2002년 6월까지 이미 2500km를 넘게 운행



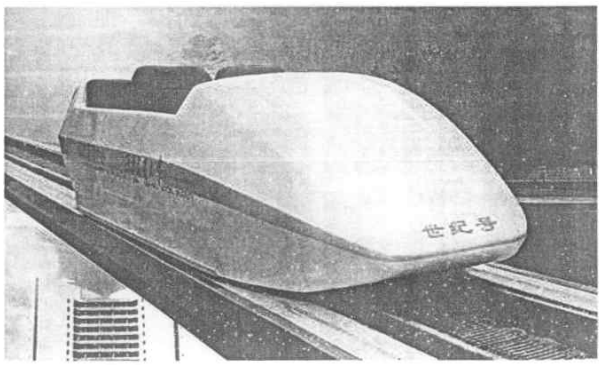
[그림 2-30] 창샤 중저속 자기부상열차의 중간단계 시험기지 실험선의 일부현황

○ 서남 교통대학의 연구 상황

- 서남 교통대학은 1986년부터 자기부상열차의 기술에 대한 연구를 시작하여 1994년에 처음으로 사람을 태울 수 있는 4t의 자기부상열차와 그 실험선 개발에 성공

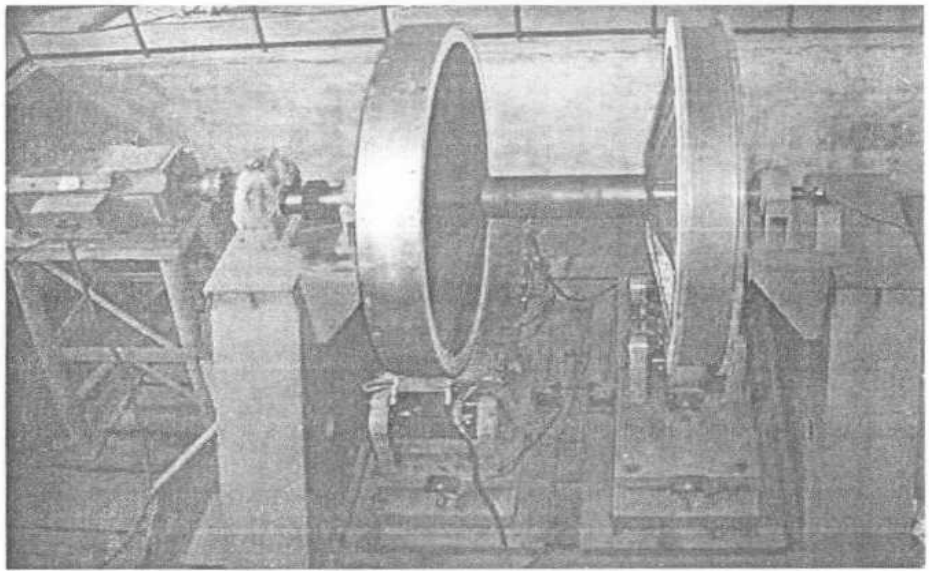


[그림 2-31] 4t의 자기부상차 및 그 실험선

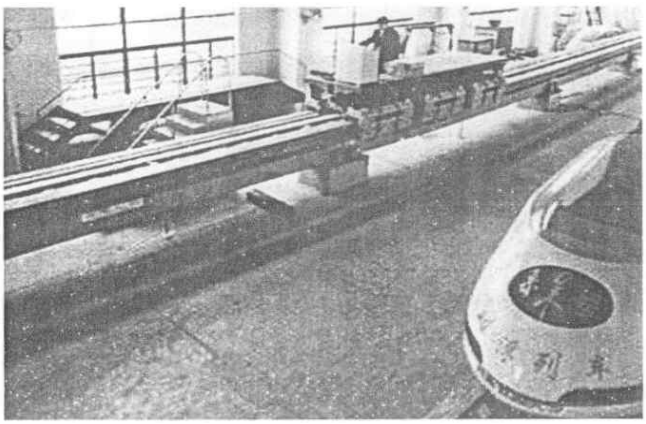


[그림 2-32] 고온의 초전도식 자기부상열차 시스템 실험장치

- 이 성과로 1996년도에 철도부과학기술 진보2등상과 1997년도에 국가과학기술 진보3등상을 수상
- 이로써 “제8차 5개년 계획” 기간에 국가 중점 난관돌파 프로젝트인 “상전도식 짧은 고정자 자기부상열차 공사의 핵심기술 연구”와 국가 고기술 연구발전계획(863) 프로젝트인 “고온 초전도식 자기부상열차 시스템의 실험장치”를 담당
- 베이징에서 개최된 “건국 50주년 성과전”, “눈부신 5년 성과전”에 대표로 참가하여 자기부상열차의 과학연구 성과에 당과 국가 지도자 및 사회 각계의 광범위한 관심과 지지를 받음



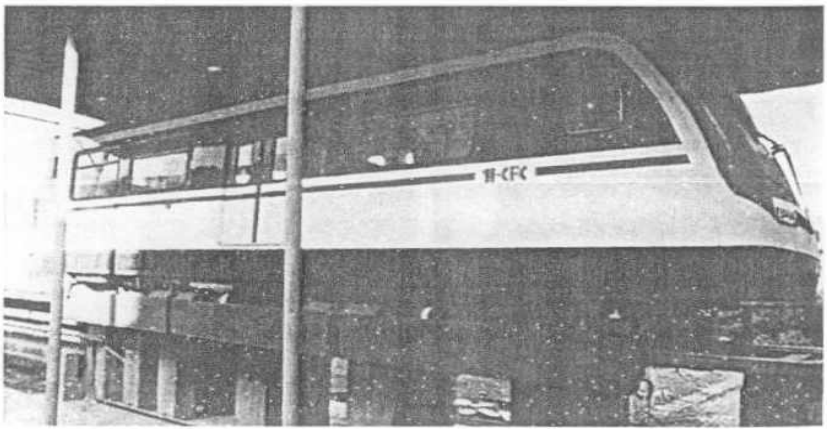
[그림 2-33] 중저속 자기부상열차 직선형 전동기 및 서스펜션 자석의 종합 실험대



[그림 2-34] 3 자성 전향차 자기부상차 및 S형 실험궤도

- 1996년에 전기공정, 토목공정, 기계공정의 세 개의 일급 학과를 기초로 하여 “서남 교통대학 자기부상열차 공정 연구 센터”를 설립하고, 센터아래 “자기부상열차와 자기부상 기술 연구소” 및 “자기부상열차와 자력 응용 공정 실험실”을 설립하였으며 실험실은 사천성 중점 실험실과 사천성 청년 과학기술 창조 시범기지로 확정
- “제8차 5개년 계획” 기간에는 국가 “211 공정”의 건설 프로젝트인 “자기부상열차 기초 연구설비 및 실험선”을 완성

- 이 프로젝트에는 자기부상열차 전기 실험 시스템, 중저속 자기부상열차 동기형 직선형 전동기와 서스펜션 자석 종합 실험대, 3 자성 전향차 자기부상차 및 S형 실험선이 포함되어 중저속 자기부상열차 기초 실험기지의 초보적인 건설을 마침



[그림 2-35] 칭청산(青城山) 자기부상열차 및 그 시험조정 궤도



[그림 2-36] 칭청산 자기부상열차 공정 실험 시범선

- 서남 교통대학의 자기부상열차 기술을 실제에 응용시키기 위해 학교는 장춘(長春) 객차공장과 주조우(株洲) 전기 기관차 연구소와 연합하였으며 자기부상열차의 연구제작을 위해 산업체, 학교, 연구소가 서로 결합하여 상호 보조적인 수평적 연합 경영체를 설립
- 또한, 지방의 여러 회사와 설계하고 공정단위와의 합자(合資)를 통해 칭청 자기부상열차 공정 발전 유한회사를 조직하여 칭청산 자기부상열차 공정 실험 시범선의 건설과 실험을 담당

- 칭청산 자기부상열차 차량의 길이는 11.2m, 폭은 2.6m 무게는 18t, 적재량은 4t, 좌석은 30석, 최대시속은 100km/h임
- 짧은 고정자 비동기(非同期)형 직선형 전동기를 이용해 견인하며, 제동시스템은 전동기 저항 제동과 액체 압력(hydraulic pressure) 제동이 서로 결합한 혼합 시스템
- 열차는 자동 운행 제어 시스템과 기관사 조종 제어 시스템을 이용하며 선로 길이는 425m, 최대 경사도는 2.0%, 최소반경은 250m임
- 선로 궤도거더는 전부 속빈콘크리트(hollow concrete) 거더구조를 이용하고 교차 유도회선 위치확인 장치, 측속(測速)장치와 통신장치를 이용

○ 중국과학원 전기공학소의 연구 상황

- 서남 교통대학은 1986년부터 자기부상열차의 기술에 대한 연구를 시작하여 1994년에 처음으로 사람을 태울 수 있는 4t의 자기부상열차와 그 실험선 개발에 성공
- 중국과학원 전기공학소는 1970년대 초에 직선형 전동기에 대한 연구를 전개하였으며 당시의 핵심은 짧은 고정자 직선형 유도전동기였는데 직선형 유도전동기의 세로방향과 가로방향 양끝 반응과 짧은 고정자 양끝 데드 슬롯(dead slot) 반응에 대한 이론분석과 실험연구에 깊이 파고들어 그것의 산출공식을 내는 등, 비교적 만족할만한 성과를 얻었음
- 이외에 직선형 유도전동기의 설계에 대한 연구를 하였으며 직선형 유도전동기 가속기(100kVA, 추진력 4820N, 속도 15m/s)를 개발하여 항공 조립부품 실험 장치에서 만족스러운 응용을 얻었음
- 또한, 철로 자동 편성 추진 화물차 차량의 직선형 전동기(추진력 1940N, 동기속도 7.2m/s, 12대 전동기를 직렬 연결하여 차를 미는 동력단위로 구성)를 개발
- “제8차 5개년 계획”의 “자기부상열차 핵심기술”에 대한 과학기술의 난관돌파 프로젝트 중에서 전기공학소는 직선형 전동기에 대한 연구제작을 담당
- 견본기계의 설계와 연구제작으로, 견본기계 공률 93kW, 규정속도 60km/h를 완성
- 견본기계는 중국철도과학원에서 임시 주도하에 개발한 6t의 자기부상차

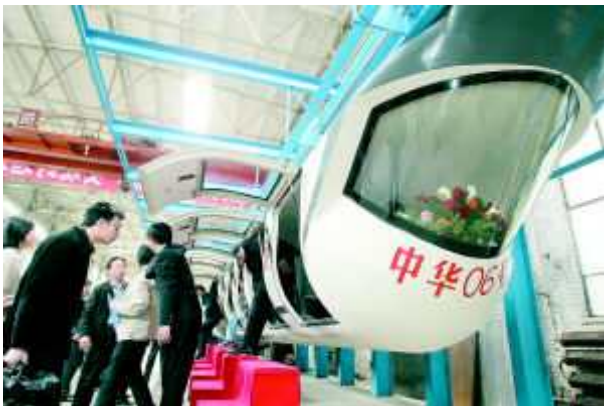
에 설치하였으며, 실험실에 짧은 고정자 직선형 유도전동기 실험대를 만들어 자기부상열차의 짧은 고정자 직선형 유도전동기의 특성과 설계계산을 적용하여 이론과 실험연구를 진행

- 초전도 반발식 자기부상열차에 대해 중국과학원의 전기공학소는 그 복잡한 다회로와 공심형의 전자 시스템에 대한 이론 연구를 진행
- 전로 회로법을 이용해 공간자장을 연구하였고, 추진력과 서스펜션력 및 가이드력을 산출
- 고온 초전도체 반발식 자기부상에 대해 독일 Braunschweig 대학의 전기전동 연구소 및 중국 서북 비철금속 연구소와 합작하여 1997년에 고온 초전도식 자기부상열차의 원리를 이용한 모델차를 개발
- 모델차의 무게는 약 7kg으로, 유효 하중은 20kg이고 고리형 궤도의 둘레는 10cm
- 긴 고정자 공심형 동기형 직선형 전동기의 구동을 이용해 각 구역에 전력을 공급하며 이 실험장치는 1997년 국제 제 15회 초전도 자성체 기술회의에 전시
- 아울러 모델의 정태와 동태적 특성에 대해서도 이론분석과 실험연구를 계속하여 고온 초전도식 자기부상의 시스템 구조에 대한 분석과 연구를 진행

○ 1996년 중국 과학기술부는 저속 자기부상철도 집중연구에 대한 성과평가와 함께, 국외 전문가와 기술교류를 추진하였고, 일본·독일 자기부상철도에 대하여 조사 검토하며 중국 내 발전 가능성과 기본방향에 대한 연구와 더불어, Shanghai의 고속 자기부상철도 노선의 가능성 연구를 진행

○ 1999년 말 중국과학기술부는 집중연구 과제인 "중국 최초 고속자기부상철도 시험선에 대한 가능성 연구"와 함께, 독일의 상전도 흡인식 초고속 자기부상철도(Transrapid) 기술을 검토

○ 국립 자기부상철도 기술센터를 설립하여 기술을 집중하고, 고온 초전도 자기부상열차 대차 개발 등 중저속형, 초고속형 자기부상철도에 대한 자체기술력 확보를 위한 노력과 함께 다양한 시스템의 독자 개발 (Zhonghua 06 시속 530㎞ 모의주행, 2006) 추진 중



[그림 2-37] Zhonghua 06

○ 상하이 자기부상열차 프로젝트

- 중국은 영토가 넓고 인구가 많기 때문에 800~1,500km 거리의 여객운송 시장의 잠재력은 거대하며, 경제력의 지속적 급속 발전과 생활수준의 향상에 따라 대량의 고속수송 수단에 대한 요구가 증가되고 있음에 따라 지속발전 가능한 육상 고속교통시스템의 요구와 서로 부합되는 상황임
- 중국은 독일의 초고속 자기부상철도 기술개발의 성숙함과 육상교통수단으로서 세계 최고속도라는 관점에서 자국의 육상 고속교통시스템에 대한 정책범위에 추가하고, 공산당 및 국무원 등에서 독일의 기술도입 결정과 함께 세계 최초로 상하이에 초고속 자기부상열차 상용화 운행선을 건설하였음
- 중국은 Shanghai 프로젝트 수행을 위하여 자체적으로 SMTDC(Shanghai Maglev Transportation Development Co., SMT)라는 기술 공단을 구성하여 독일로부터 기술을 전수받는 것과 동시에 자체적으로 기술 개발을 추진하였음
- 이에 따라 중국은 Shanghai 프로젝트를 통해 자기부상 선로 기술을 완전 이전 받았고, 22개월에 걸친 극히 단기간에 세계 최초의 초고속 자기부상철도 시스템을 건설하는 기염을 토하여 세계를 놀라게 하였으며, 2002년 12월 31일 단선 시운행을 실시하면서 공식 개통식을 가졌음



[그림 2-38] 중국 Shanghai 자기부상철도 개통 포스터

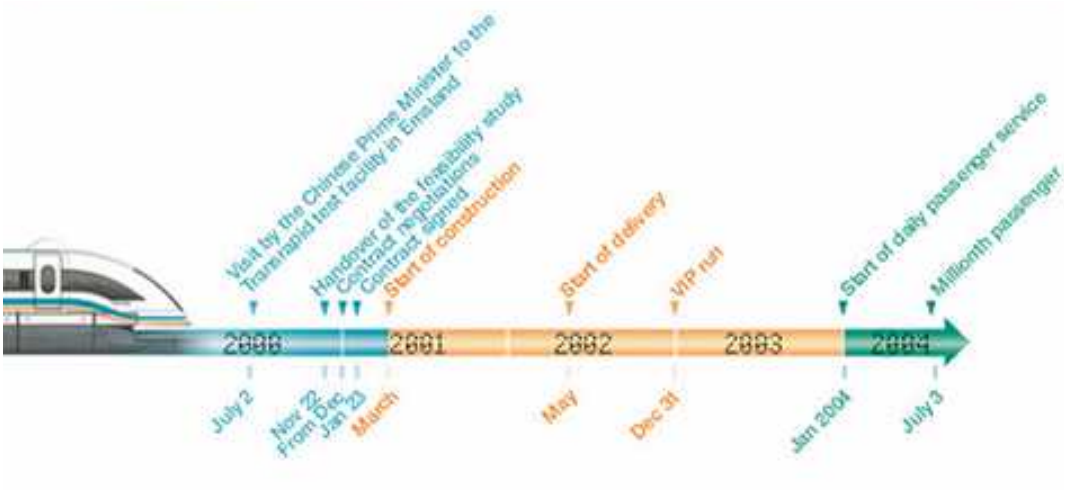
<표 2-5> 중국 Shanghai 프로젝트

총 구간	30 ㎞ 복선 및 3.5 ㎞ 보조 선로
총 여행 시간	8 분
운행 속도	430 ㎞/h
배차 시간	10 분
정차역	2 개
차량	3 편성 (5량 1편성)
연간 예상 승차 인원	3,350만 명
예상 투자 비용	35억 달러
공급자	Siemens, TyssenKrupp Transrapid International

- 중국은 2010년 Shanghai 세계무역박람회를 위하여 그 전까지 현재의 자기부상철도 노선을 Hangzhou까지 약 175㎞ 노선을 연장 건설하여 개통하고자 함
- Hangzhou는 Shanghai에서 서쪽 내륙 쪽으로 약 180여㎞ 떨어져 있는 상업도시로, 연장건설을 통하여 독일의 차량 및 운행기술을 모두 전수받고 자국 기술화하려는 의도를 가지고 있으며, 최소 차량 제작기술까지는 기술이전이 가능할 것으로 예상하고 있음
- 아울러 중국은 연장노선에 대하여 자체 개발한 차량을 투입하면서 운행 최고속도를 시속 500 ㎞로 향상시킬 계획임

○ 추진 과정

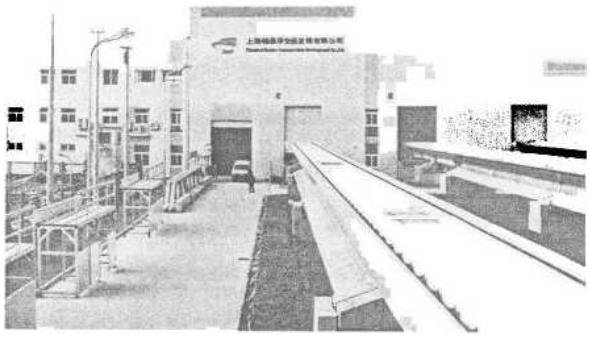
- 1999년 중국은 베이징～상하이 고속철도 타당성연구를 논증하는 과정에서 일부 전문가들은 고속 자기부상철도 시스템이 무접촉 운행, 높은 속도, 빠른 기동, 저 에너지 소비, 환경에 적은 영향 등의 특징이 있음을 감안함과 동시에 독일의 고속 상전도식 자기부상 실험선이 이미 10여년의 운행을 경험한 것을 고려해야 하며 누계 안전운행 거리가 60만 km를 넘어야 한다고 평가
- 독일 정부도 고속 자기부상철도 시스템 기술이 이미 성숙한 상황에 이르렀다고 공표함으로써 개발도상국의 기술을 충분히 활용해 높은 궤도교통의 발전을 이뤄내기 위해서는 베이징·상하이 간선에서 고속 자기부상철도 기술을 이용할 것을 국가에 건의해야 한다고 보고
- 대부분의 철도전문가들은 이와 상반된 의견을 제기. 바퀴식의 고속철도 시스템 기술이 수십 년간의 실행을 거쳐 이미 완전히 성숙한 단계에 이르렀고, 자국 내에 바퀴식 고속철도 기술의 개발도 이미 큰 진전을 거두었다고 주장
- 고속 자기부상 기술 보유자들이 많다는 장점이 있더라도 세계의 많은 나라들이 모두 연구를 전개하고는 있지만 실험단계는 멈추고 있는 상황이며, 또한 상용화 운행 실천이 부족하고, 그 기술성과 안전성 및 경제성이 아직도 진일보한 검증을 못하고 있다는 의견을 제기
- 격렬한 논쟁을 거쳐 전문가들은 최종적으로 공감대를 이룸. 먼저 상용화 운행 시범선을 건설한 후 고속 자기부상철도 시스템의 성숙성, 사용 가능도, 경제성 및 안전성을 검증할 것을 제기
- 국무원 지도자의 관심과 지지를 얻어 즉시 베이징, 상하이, 선전 등 3개 지역에서 경합을 벌였으나 2000년 6월에 최종적으로 상하이에 건설하기로 확정됨



[그림 2-39] Shanghai 프로젝트 추진 일정

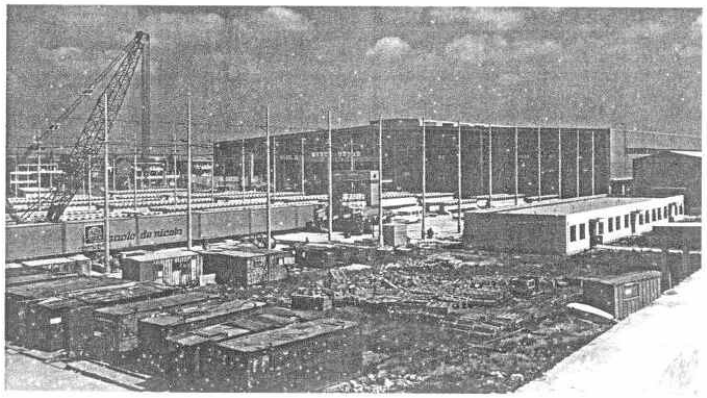
○ 프로젝트 개요

- 상하이 자기부상열차 시범 운행선은 '15' 기간에 상하이시 교통 발전의 가장 큰 프로젝트로서, 세계에서 최초로 상용화 운영되어 교통, 전시, 여행관광 등 여러 기능을 갖춘 상하이의 랜드마크로서 조성
- 상하이 자기부상열차 시범 운행선 프로젝트는 상하이 경제와 사회발전의 수요를 고려하여 푸동 신해방구 지하철의 주요 역인 롱양로역에 선로를 설정하여, 주로 푸동 국제 항공과 시내지역을 연결하여 대수송량 고속 교통의 수요를 해결
- 노선의 전체길이는 30km이며, 3.5km의 보조선로가 있음. 그 밖에 터미널 2개, 변전소 2개, 운행제어센터(롱양로역 내부에 설치) 1개 및 유지보수 센터 1개가 있음



[그림 2-40] 유지보수기지

- 최고운행속도는 430km/h로 설계되었으며, 단방향 운행시간은 약 8분, 운행 간격은 10분. 노선은 푸동 신해방구의 화무(花木), 장지앙(張江), 순치아오(孫橋), 황로(黃樓), 추안샤(川沙), 공항 등의 요충지 및 남후이취(南匯區)의 캉치아오(康橋) 개발구 등을 거침
- 이 프로젝트는 2002년 12월 31일에 단선 3량1편성 열차의 시운전 운행과 함께 개통되었고, 2003년 9월 전 노선을 개통하면서 복선궤도로 운행됨
- 상하이 자기부상열차 프로젝트는 대체적으로 차량, 제어, 구동(전력공급), 선로(궤도거더 및 토목건축 공사 포함) 등 4부분으로 나눌 수 있음
- 궤도거더는 독일 측 기술 이전을 기초로 하여 중국이 설계, 제조, 토목건축 공사 및 설비장착을 책임지고 수행
- 전체 운행 시스템의 설비는 차량을 포함하여, 제어 시스템, 구동 시스템 및 궤도거더 상에 고정자 철심과 코일 케이블 전체를 독일측이 세트 설비 방식에 따라 공급하고 있고, 시스템 조절 테스트도 독일측이 책임 수행
- 자기부상 선로 및 궤도거더의 설계, 제조기술(선로 설계이론 및 산출 소프트웨어, 콘크리트 강철 복합거더 설계 산출이론 및 소프트웨어 등)은 독일측이 다년간 연구한 전문 기술
- 독일 정부는 중국 자기부상 선로의 노선 선정과 궤도거더의 건설기술을 파악하는데 도움을 주었고, 두 차례 기부금을 제공하여 기술이전비로 지불
- 자기부상 궤도거더는 열차의 하중을 견디는 구조이자 열차운행의 안내 구조로서, 제작 정밀도 요구는 매우 높아 거더형태의 가공과 조립은 모두 항온 작업장에서 진행
- 자기부상 궤도거더의 생산 및 가공을 위해 특별히 푸동 신해방구에 자기부상 궤도거더 생산기지를 건설



[그림 2-41] 자기부상 궤도거더 제작기지

○ 상하이 자기부상철도 프로젝트 추진일정

- 2000. 6. 30. 중·독 정부는 상하이 자기부상철도 프로젝트 타당성연구에 대해 정식으로 합작 체결
- 2000. 8. 상하이 선통(申通)그룹 유한공사 등 6개 회사가 연합해 출자 등록하여 상하이 자기부상교통발전 유한회사(SMTDC) 설립
  국가계획위원회는 국무원 동의로 프로젝트 건의서 비준
- 2000.10. 상하이시 위원회·시청은 상하이시 자기부상철도 공사지휘부 설립을 비준
- 2000.11.20. 중·독 쌍방 합작 편제 완성 및 타당성연구 보고,
  상하이시 계획위원회는 국가계획위원회에 보고, 심사비준
  중국은 독일 컨소시엄과 설비공급 및 서비스 계약 협상



[그림 2-42] 중·독 상하이 자기부상철도 프로젝트 계약 조인 모습

- 2001. 1.23. 중·독 상하이 자기부상철도 프로젝트 계약 조인
- 2001. 2. 상하이 자기부상철도 프로젝트 타당성연구 보고를 기초로 확충공사의 초안설계를 완성
  국무원은 타당성연구 보고와 착공 보고에 대해 상하이시 계획위원회와 건설위원회에 확충공사 초안설계 비준을 회답
- 2001. 3. 1. 상하이시 위원회, 시청에서 상하이 자기부상철도 공사 착공식을 주관, 거더제작 기지 구축, 공사의 정식 착공을 선포



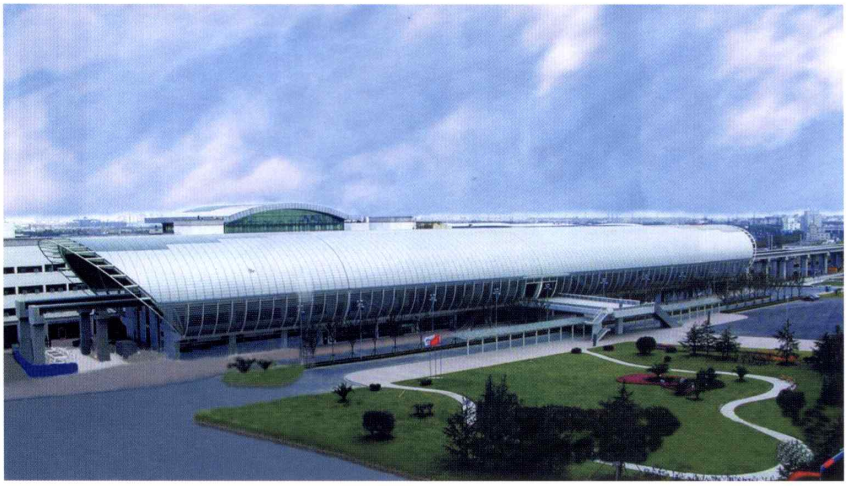
[그림 2-43] 상하이 자기부상철도 프로젝트 착공식

- 2001. 3. 푸동 신해방구·남후이(南匯)현청의 협조로 토지징수, 이주작업의 기초 완성, 공사의 전면적인 착공 조건을 구성함
- 2001. 5. 상하이 자기부상교통발전 유한공사에 운영 사전기획준비부 설립, 각 항목별 준비작업에 착수, 운영기술·관리인원을 독일에 파견해 훈련·양성시켜 시스템의 학습·훈련에 적극 돌입
- 2001. 6.10. 본선공사 시공 시작, 시공 준비의 정식 착수단계 진입



[그림 2-44] 상하이 자기부상철도 첫번째 궤도거더 운송

- 2001. 7.12. 첫 번째 장비의 상하이 도착
- 2001. 7.21. 첫 번째 궤도거더 주조완성
- 2001.11. 2. 공사 첫 조립으로 고정자 철심의 완제품인 궤도거더를 운송,도리스 슈뢰더(Doris Schroder) 독일 총리부인은 주룽지 총리와 부인의 동행 하에 현장 운송식 참석
- 2002. 2. 시스템 설비의 장착 시작
- 2002. 5.31. 롱양루 변전소에서 110kV 전기 수전
- 2002. 7. 2. 전체노선에 전기 공급, 롱양루 변전소에서 전체노선에 고압 전원을 투입, 시스템 조정 테스트 단계 진입



[그림 2-45] 롱양루역 외부 모습

- 2002. 9. 5. 모든 궤도거더의 가설 완성
- 2002. 9. 첫 열차의 설치 완성, 종합 조정시험 실시
- 2002. 12.31. 중국 주룽지 총리와 독일 슈뢰더 총리 등 현장 시험운행 커트식 및 자기부상열차 시승, 최고속도 430km/h 도달

○ 상하이 자기부상철도의 부상 및 안내 시스템

- 상하이 자기부상철도의 전자석은 모듈화 하여 분해·조립 등 유지보수가 용이하도록 구성되었으며, 차량의 부상용 프레임에 설치됨

- 부상을 위한 전자석은 길이가 약 3m, 수직방향 자속 제어용 전자석 12개, 부상 간격 센서 4개 등으로 구성되어 있으며, SMT의 부상·안내 시스템은 독일의 Transrapid 시스템과 동일함
- 부상·안내 시스템은 전자석과 선로 및 측면 안내 레일 사이에 적정 간극을 유지하면서 비접촉 운행을 위한 것이며, 부상 전자석과 선로 사이 간격(gap)은 차량 동하중이나 선로 공차, 곡선 및 구배에 의한 수직·수평 가속도 등으로 인해 편차가 발생하나 10㎜이내로 유지되도록 제어됨
- 또한 차량에 와전류 제동용 전자석을 차량 당 2개씩 장착하여 500～10㎞/h 사이에서 동작가능하며, 10㎞/h 이하에서는 내려 앉아 미끄러지면서 정차하도록 설계되어 있음

○ 상하이 자기부상철도의 전기 시스템
- 추진 시스템은 선로를 계층적 모듈화 구조의 시스템으로 5개의 구동제어지역으로 나누어지며, 구동제어지역은 1~2개의 추진블록으로 나뉘어 공급규칙에 따라 전력이 인가됨
- 차량이 블록 내에 있을 경우에만 추진전력이 인가되는, 폐색시스템과 유사하며, 추진블록은 컨버터와 추진 제어장치, 진단장치, 데이터 전송장치 등으로 구성됨
- 전력공급 변전소는 정차시간 등을 고려하여 열차의 주행시간에 따라 설계되어 선로 양 끝에 있는 변전소에서 110kV를 공급하며, 한 쪽 전원에 장애가 발생할 경우에는 스위치기어를 통하여 연장급전이 이루어짐
- 운행제어 시스템은 집중화 시스템, 분산 컴퓨터, 차상장치, 통신망 등으로 구성되며, 자기부상열차 관련 시스템의 운전 및 감시, 안전을 담당함
- 모든 열차는 무인 자동 운전되며, 사령원만이 장애 관련 조작을 할 수 있음
- 차상 컴퓨터와 차량 및 역 구내 설비간의 통신을 위한 무선장치가 있으며, 운행제어 데이터나 전자석의 현재 각도, 위치정보, 진단 데이터, 승객정보 등과 같은 데이터를 전송함

○ 상하이 자기부상철도의 선로

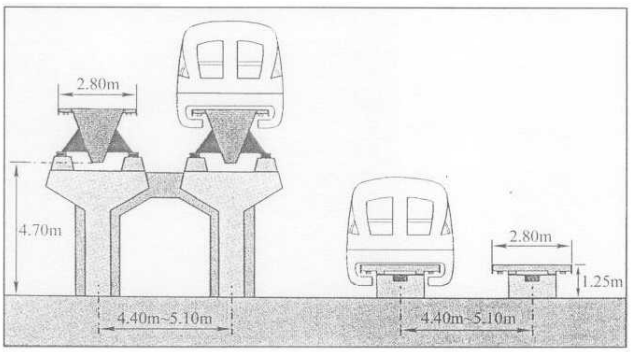
- 고가형 선로로, TVE의 합성 빔을 개량하여 설치하였으며, 경제성 등을 위해 선로와 차량, 운행, 환경 등과의 상호작용을 고려하였음
- 2개 역간에 175ton에 달하는 24m 길이의 거더를 2,551개 사용하였음
- 또한 중국은 이를 바탕으로 독일로 자기부상철도 선로 제품의 수출을 고려하고 있음



[그림 2-46] Shanghai 자기부상열차 선로

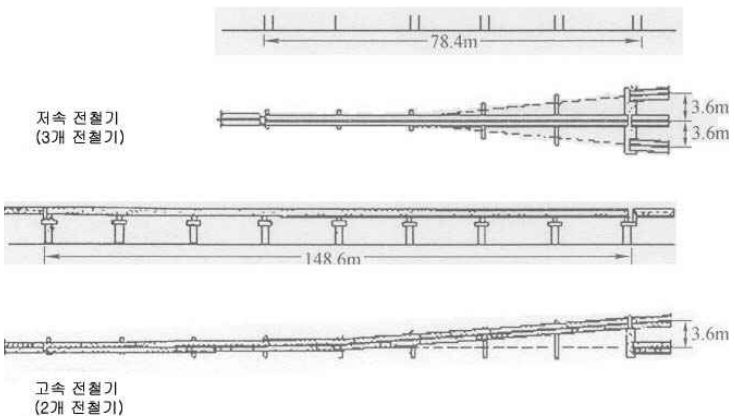
- 선로는 열차를 정해진 길로 유도하는 역할뿐만 아니라, 열차의 하중을 감당하여 목표지점까지 운송하게 하는 기초 역할을 수행
- 선로상부의 구조는 장계자를 정밀하게 용접시킨 강철 구조나 철근 콘크리트 구조의 지지거더를 연결하여 이용
- 하부구조는 철근 콘크리트를 이용하여 버팀과 기초의 역할
- 지지거더 자체는 역학성질에서의 전통적인 토목공사의 간단한 버팀 형교(桁橋, girder bridge)나 연속 형교의 거더부분과 같음
- 상부에 자기부상 시스템의 고정자 코일과 철심을 설치해야 하기 때문에 제조와 시공에 대한 정밀도의 요구가 높은 편이
- 자기부상열차와 선로의 상호관계 때문에 자기부상 선로는 반드시 일정한 높이의 거더식 구조를 채택해야 함
- 선로는 고가(高架)나 지형에 따라 직접 거더를 지면(저치(low implantation) 선로라고 함)에 고정시킬 수 있음
- 교량이나 터널 구역에서 교량과 터널의 기초 구조가 기본적으로 완성된 상태에서 저치선로의 방식을 이용해 지지거더를 1차 지지 구조에 고정

- [그림 2-47]은 고가 및 저치 선로의 구조에 대한 것임



[그림 2-47] 선로 구조

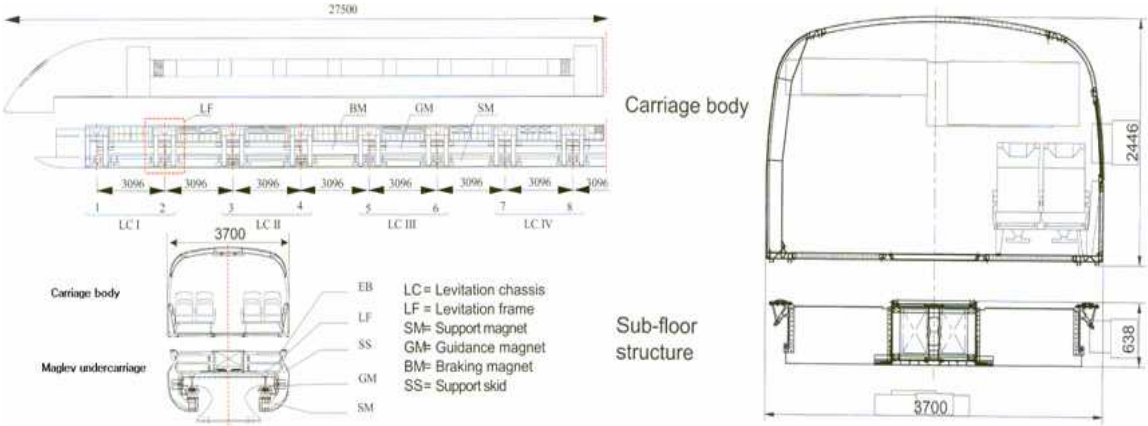
- 선로의 또다른 중요 구성 부분은 선로전환기임. 자기부상철도의 '궤도'는 강도가 비교적 크기 때문에 선로전환기의 설계와 시공이 비교적 복잡함
- 자기부상철도의 선로전환기는 연속적으로 철제 거더에 걸쳐있기 때문에 선로전환기 측방향은 속도와 관련됨
- 측방향 속도가 200km/h 이상이면 고속 선로전환기라 하고, 속도가 100km/h 이하이면 저속 선로전환기라 함
- 길이는 각각 148.6m와 78.4m로 구분됨
- ThyssenKrupp 회사는 특수지역에 사용될 수 있는 초고속 선로전환기를 개발하였는데, 그 측방향 속도는 400km/h에 달함
- [그림 2-48]는 양개 선로전환기와 3로개 선로전환기의 구조에 대한 것임



[그림 2-48] 선로전환기 구조

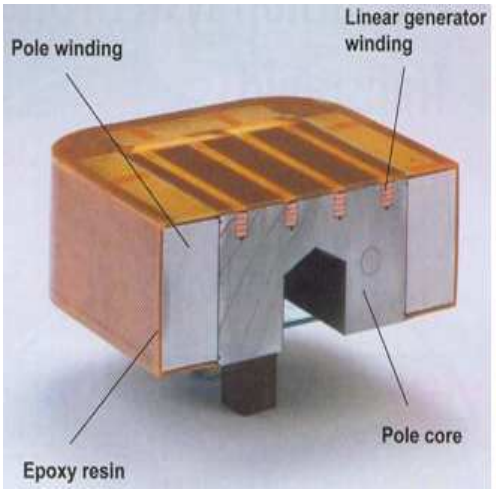
○ 상하이 자기부상철도의 차량

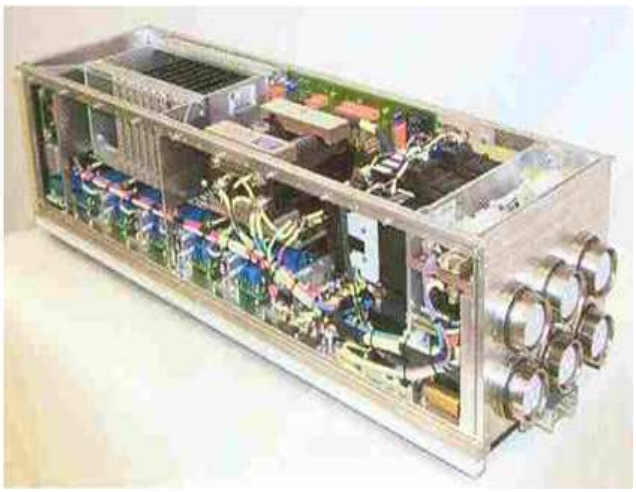
- 독일 연방철도청이 상용성을 인증한 TR07 차량 이후, Berlin~Hamburg 프로젝트를 위해 선행 개발한 TR08 차량은 경제성, 생산성, 승차감 향상 등에 대한 차량기술을 최적화하였음
- 중국은 Shanghai 프로젝트 차량으로 이미 검증된 Transrapid 08 사양을 가능한한 변경하지 않고 적용할 것을 요구하였고, 이에 따라 극히 일부분만을 수정하여 적용한 차량을 도입하였음



[그림 2-49] SMT 차량 차체

- 차량 전력은 차량에 탑재된 선형발전기에서 차상의 전력을 공급함
- 선형발전기는 지지용 전자석에 장착되며, 한 차량에 약 160개까지 장착되는데 여기서 유도되는 교류 전압을 전력변환장치에서 정류하여 공급하며, 차상의 축전지 충전도 담당함
- 차량은 초고속 자기부상철도 시스템 중에서 가장 중요한 부분임. 차량에는 서스펜션 프레임 및 그 위에 설치한 전자석, 2차 서스펜션 시스템과 객차를 포함하며, 그밖에 차상 축전지, 비상제동 시스템과 부상제어 시스템 등의 전기설비가 있음

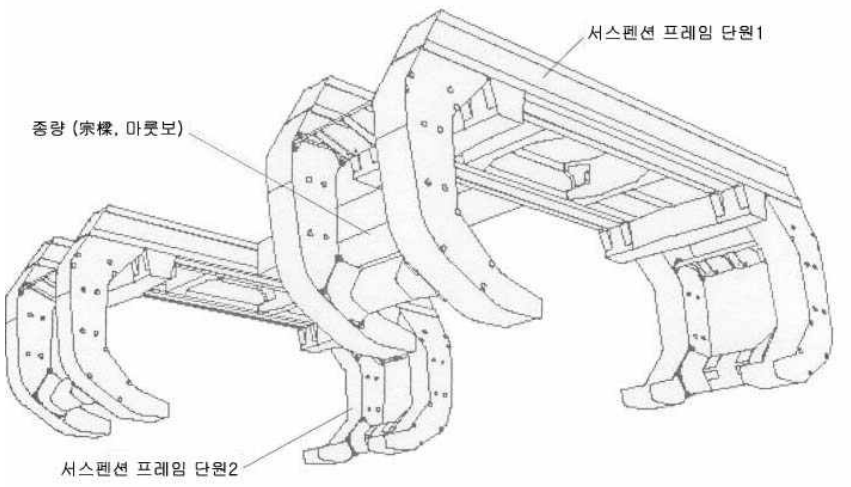




[그림 2-50] SMT 선형발전기 및 차상 전력변환장치

○ 서스펜션 프레임

- 서스펜션 프레임의 역할은 전자석을 설치하기 위한 것이고 열차가 순조롭게 곡선과 고갯길을 통과시키는 능력을 갖출 수 있도록 보장하는 것임
- 객차마다 4개의 서스펜션 프레임이 있고, 서스펜션 프레임마다 차체의 양측 밑부분에 각각 부상 전자석이 설치되어 있음
- 인접하고 있는 두 개의 서스펜션 프레임 사이에도 부상 전자석이 연결되어 있음
- 부상 전자석의 양끝은 두 개의 독립된 제어 유니트로 나뉘고, 만약 전자석의 어떤 제어 유니트에 고장이 생긴다 해도 또 다른 제어 유니트에 지장을 주지 않고 그 전자석이 여전히 계속 작업할 수 있도록 제어해 줌
- 여분 설계로 시스템의 신뢰성을 높임
- 그 밖에 부상 전자석은 차량의 양측에 가득 분포해 있기 때문에 심지어 한 열차에 몇 개의 전자석이 동시에 기능을 잃게 되더라도 남아있는 전자석으로 충분한 부상력을 제공하여 열차의 안전운행을 보장함



[그림 2-51] 부상 프레임

- 부상 전자석의 설치 대응과 차량 서스펜션 프레임의 측면에는 안내 전자석을 설치함 그 중 일부 위치(두 개의 전자석 프레임의 중간마다)에는 와류제동기를 설치함. 여분의 설계를 사용하기 때문에 개개의 안내 전자석의 고장으로 열차운행의 중단이 이루어지지 않음

○ 2차 서스펜션 시스템

- 2차 서스펜션 시스템의 역할은 객차의 하중을 서스펜션 프레임에 전달하는 것임
- 이때, 진동 감소장치를 통해 차량이나 선로의 경계를 이루는 면 사이의 진동이 객차에 전달하기 전에 감쇠되도록 그 조립 부품에는 공기 스프링을 비롯하여 진동장치와 출렁임을 방지하는 안정기 등이 포함되어 있음
- 2차 서스펜션 시스템은 서스펜션 프레임과 객차 사이에 상대적인 수평방향 및 수직방향 변위가 가능하여 곡선과 경사 노선에서 열차의 운행이 가능해짐
- 객차의 진동 감소장치에는 두 층이 있는데, 제 1층의 진동 감소 장치는 전자석과 서스펜션 프레임 사이의 스프링임
- 이 공기 스프링은 차체와 궤도사이에 제공되어 제 2층의 진동 감소 장치의 작용하고 매 차의 객차와 서스펜션 프레임 사이에 16개의 공기 스프링(매 스프링의 차상량은 2t)을 설치함

- 열차 운행중 측방향 풍력을 만나거나 평형 원심의 가속도가 아닐 때 객차는 좌우로 흔들리는 현상이 나타남
- 차량이 좌우로 흔들리는 것을 줄이기 위해 객차와 서스펜션 프레임 사이의 로크샤프트(rockshaft)에 붙어 있는 팔모양의 흔들대(rocker)에 흔들림을 방지하는 안정기를 설치함
- 이런 액체 압력 장치는 객차의 흔들림을 줄이는데 매우 효과적임

○ 객차

- 객차는 알루미늄 형태의 거더와 샌드위치 벌집모양의 알루미늄판에 용접이나 리벳(rivet)의 방식을 통해 만들어짐
- 각 부분은 여러 가지 요소 가운데서 가장 우수한 것을 선택하여 설계한 외형과 매끄러운 표면을 갖춤
- 측면의 창문은 이중의 유리로 구성되고 각각 내부와 외부로 차체에 고정됨
- 앞쪽 유리는 3층으로 경화된 움직이는 유리판으로 돼 있고 차체의 강도를 더하기 위해 차문은 차량의 끝부분에 설치됨 차 내부장치는 항공방화(防火) 기준에 따라 설계

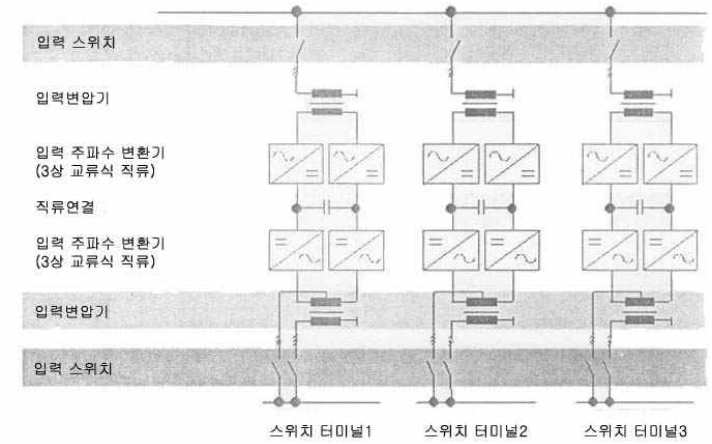
○ 전기설비

- 차상 전기설비에는 부상, 안내, 긴급제동, 차상제어 시스템, 조명, 에어콘 및 차상 전원설비 등이 있고 차상 전원은 차안에 있는 선형발전기를 통해 전기 에너지를 얻으며 차상 축전지에 저장
- 열차 운행시에 발전기 고정자 코일에서 유도전위가 생기는데, 열차가 일정한 속도(100km/h 정도)에 도달하면 이 유도전위로 차상으로 전기 에너지를 공급하여 전기로 쓰이도록 하고 동시에 차상 축전지에 충전
- 열차가 긴급하게 정차할 상황일 때 차상 전기와류 제동기를 사용
- 부상 및 안내 제어 시스템은 전자석과 궤도 사이의 정상적인 틈을 유지하는 것을 보장해 주는 역할함

- 자기부상열차의 조립부품 대부분은 전기와 전자로 설계
- 여분의 설계를 충분히 하여 차량운행의 신뢰성을 크게 높임
- 자기부상열차의 부재(部材) 대부분은 모듈화 설계를 적용하기 때문에 교체가 편리함
- 고장진단 시스템이 고장난 부재를 모니터링하면 신속하게 교체 할 수 있고 단시간 안에 수리가 가능하기 때문에 차 전체 이용률이 높음

○ 전력공급 시스템

- 전력공급 시스템에는 변전소, 경계선 전력공급 케이블, 스위치 터미널 및 기타 전력공급 설비 등이 있음
- 자기부상열차 전력공급 시스템은 지상의 장계자 코일을 통해 열차운행에 필요한 전기 에너지를 제공
- 먼저 110kV의 공용 전력망에서 교류 고압전류를 끌어들려 강압 변압기를 통해 20kV나 1.5kV까지 내림
- 다음 직류 전류로 정류하여 다시 인버터로 0~300Hz의 교류 전류로 바꿔 전압을 높인 후 서로 전력 케이블과 스위치 터미널을 통해 선로상의 장계자 코일에 공급되어 고정자와 차상 전자석 사이에 견인력을 형성
- 전력공급 시스템의 로직은 [그림 2-52]와 같음



[그림 2-52] 전력공급 시스템의 로직

- 자기부상열차 시스템의 정류, 변류 및 전동기 고정자 등의 설비는 모두 지상에 있어 설비의 부피와 무게, 항진동 성능 등에 대해 엄격한 요구가 없음

○ 변전소

- 변전소에서는 고압의 교류전류를 강압·정류 등을 통하여 다시 0~300Hz의 교류 전류로 변하는데, 이 터미널 내 설비에는 강압변압기, 정류변압기, 정류기, 인버터 및 입력변압기가 있음
- 변전소는 일반적으로 선로옆에 설치되어 있고 한 선로에 수 개의 변전소를 설치
- 각 변전소는 양 옆의 선로구역에 전력을 공급
- 두 개의 변전소 사이에 있는 선로는 단지 한 열차밖에 운행할 수 없기 때문에 변전소의 거리는 실제로 전 구간의 열차운행밀도를 제어
- 그 설계는 운송수요, 열차 편성 및 기술 제약에 맞춰 종합적으로 고려하여 설계하고 기술경제 분석을 거친 후 확정함

○ 전력공급 케이블

- 전력공급 케이블은 견인 전동기의 계자에 전력을 공급하는데 쓰임 각 자기부상 선로에는 2조나 3조의 상호 독립된 3상 케이블이 있어 선로 양측의 장계자에 전력을 공급함

○ 스위치 터미널

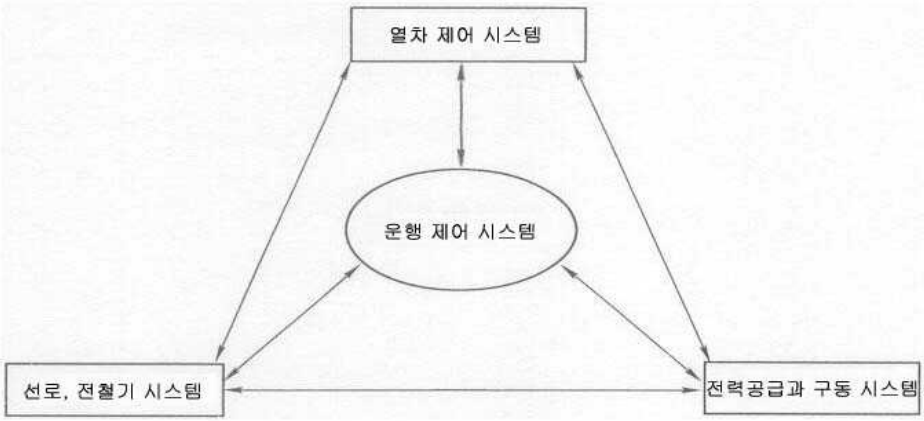
- 스위치 터미널은 선로를 따라 분포함. 동일한 전력공급 구간의 전동기 장계자는 수개의 작은 구간(수백 미터)으로 나누어져 있어 열차가 통과할 때마다 번갈아 ON 되고 스위치 터미널의 설치 목적은 고정자 구간에서 공급할 전류의 전력손실을 줄이기 위함. 설치 거리는 기술 분석 및 경제 분석에 근거하여 확정함

○ 기타 전력공급 설비

- 장계자에 대한 전력공급 이외에 관련 전기 선로인 선로전환기, 차상-지상 데이터 전송 안테나, 정류장 혹은 정지점에서의 정지열차 등에 대해서도 전력공급이 필요함

○ 운행제어 시스템

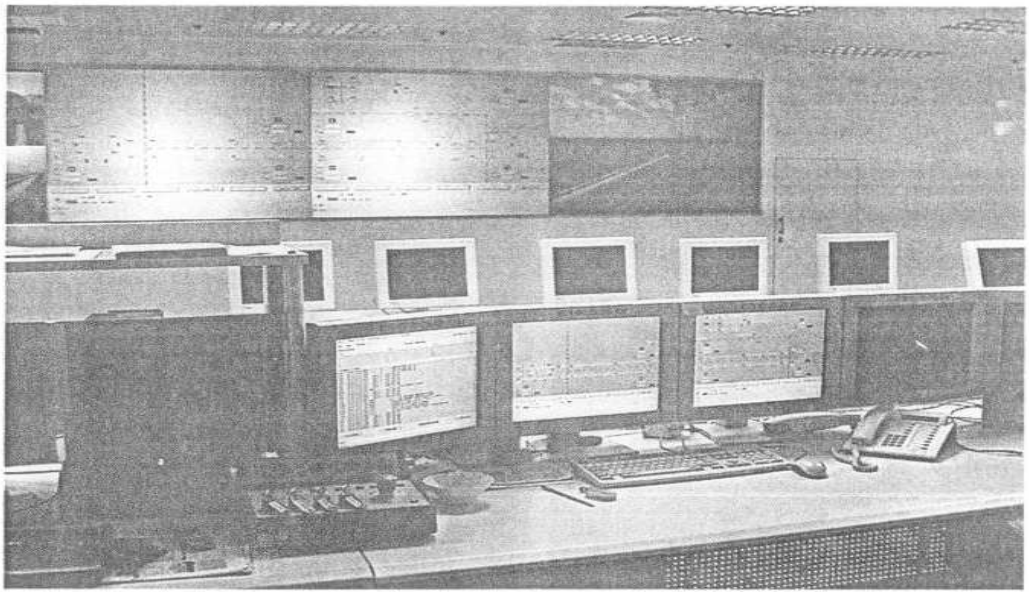
- 운행 제어 시스템은 모든 자기부상철도 시스템에 대한 정상운행의 근본적인 보장임
- 안전보호, 제어, 집행 및 계획에 대한 설비로 쓰이는 것을 포함해 설비사이의 상호 통신으로도 쓰임
- 운행 제어 시스템은 운행 제어 센터, 통신 시스템, 분산 제어 시스템, 그리고 차상 제어 시스템으로 구성
- 운행 제어 센터와 자기부상열차의 기타 시스템 사이에 대한 상호 관계는 [그림 2-53]과 같음



[그림 2-53] 운행 제어 센터와 자기부상열차의 기타 시스템에 대한 상호관계

- 자기부상열차의 고속과 안전적인 운행을 보장하려면 운행 중의 차량이나 선로의 상황에 근거해 언제든지 운행계획을 조정할 수 있어야 하며, 운

행 중의 각종 돌발사고에 대해서도 신속하게 대처하기 때문에 열차의 운행 제어는 반드시 자동화로 진행되야 함. 상하이 노선의 운행 제어 센터는 [그림 2-54]와 같음



[그림 2-54] 상하이 노선의 운행 제어 센터

○ 운행제어 센터

- 운행 제어 센터는 운행계획을 안배하고, 운행차트의 편성을 담당하는 곳이며 선로조건에 근거하여 계획에 따라 열차를 발차하는 곳임
- 고장이나 충돌이 생길 때, 상황의 변화에 따라 계획을 바꾸거나 취소시키고, 예정계획과 실제운행 상황을 비교하여 시스템의 최적화 운행을 실현시킴
- 계획의 정상 수행을 보장하기 위해 데이터 전송장치를 통해 하부 분산제어 시스템으로부터 각종 정보를 얻어 분석하고 운행 조정계획을 제기
- 운행 제어 센터는 각종 기술 데이터의 보존을 맡고 갱신된 통계를 분석하고 고장을 진단하는데도 관여
- 그 밖에 승객에게 열차운행 정보를 알려주는 역할도 하고 있음

○ 분산 제어 시스템

- 분산 제어 시스템은 열차의 제어와 운행에 직접 관여하고 해당 구역내 열차의 운행안전을 보장하며 구역의 각종 장비 상황에 대해 감독, 제어, 보호하는 기능
- 각종 정보는 운행 제어 센터에 전달되어 비계획된 상황에서 운행 제어 센터의 지시대로 수행하고 장비 상황과 열차운행에 대해 인공적으로 관여

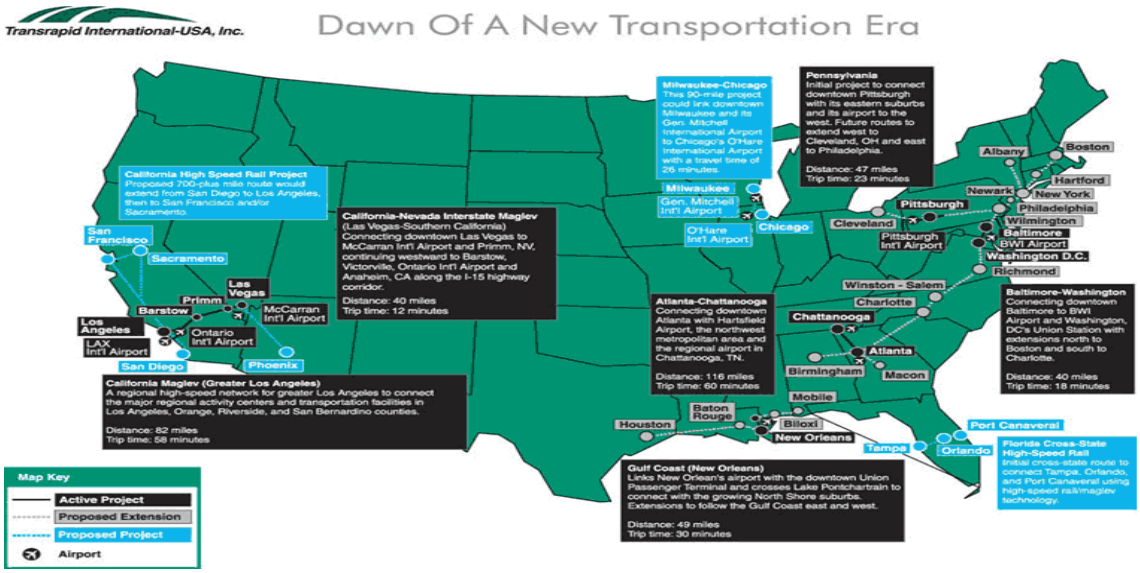
○ 차상 제어 시스템

- 차상 제어 시스템은 각종 차상 설비에 대해 검사하고 제어하여 정상업무를 보장하는 것이 그 주요임무
- 이동무선 전송을 통해 차의 열차 보호 시스템은 분산 제어 시스템과 시종 연결을 유지
- 동시에 운행 제어 센터와 무선통신으로 연락을 유지하면서 수시로 열차의 운행상황 데이터를 운행 제어 센터에 전해 받아 운행 계획에 대한 조정명령을 내림
- 차상 제어 시스템의 감독제어 설비는 직면한 운행 데이터와 계획한 운행 데이터를 수시로 비교
- 양쪽의 차이가 허용범위를 초과하면 열차보호 시스템이 작동하여 열차가 신속해지거나 감속 혹은 멈춤
- 자기부상철도의 운행 제어 시스템의 비용은 총 투자의 4%정도 차지하지만 그것은 각종 하이테크놀로지(검사측정기술, 유선과 무선 통신기술, 데이터 처리기술 및 자동제어기술 등을 포함)의 집성으로, 자기부상교통 시스템에서 매우 중요한 위치를 차지함

1.4 미국의 초고속 자기부상열차 기술 동향

○ 1998년 미 의회에서는 21세기를 위한 교통법령(Transportation Equity Act, TEA21)에서 자기부상열차개발 프로그램(Maglev Deployment Program, MDP) 으로서, 미전역에서 7개의 추진사업을 계획하고, 그중에서 하나의 프로젝트를 선정하는데 10억불 이상을 할당하였음

○ 다음은 가선정된 7개의 사업이며, 현재 확정된 사업은 없음

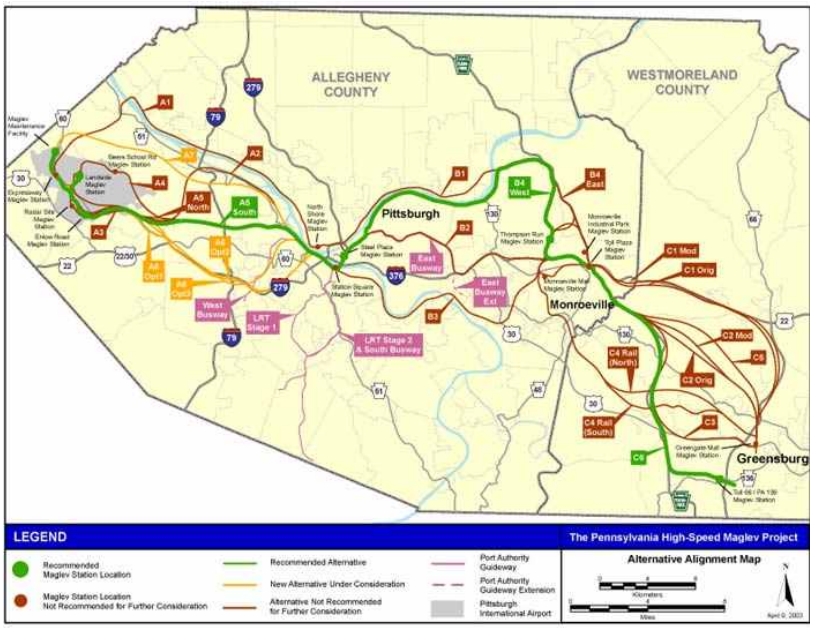


[그림 2-55] 미국 내 자기부상열차 개발 예상지역

- California : Ontario 공항과 LA 공항을 연결하는 7개 역, 70mile 구간
- Florida : 3개역 20mile 구간
- Georgia : 4, 5개 역 32mile 구간
- New Orleans : 4개역 48mile 구간
- Maryland : 4개역 40mile 구간
- Nevada : 2개역 42mile 구간
- Pennsylvania : 4개역 54mile 구간

○ Pennsylvania 프로젝트

- Pittsburgh 국제공항과 시내, 도시동쪽의 외곽지대를 연결하는 계획. 추후, 동으로 Philadelphia와 서쪽으로 Cleveland와 그 외곽으로의 연장안을 가지고 있으며, 주요사항은 다음과 같음
- 총 구간 : 86.9 km / 54 miles
- 총 여행시간 : 35 분
- 배차시간 : 7.5 분
- 정차 역 : 5 개
- 차량 : 8 개 (각각 3 량)
- 연간예상승차인원 : 33.5 백만명
- 예상투자비용 : 35억 불



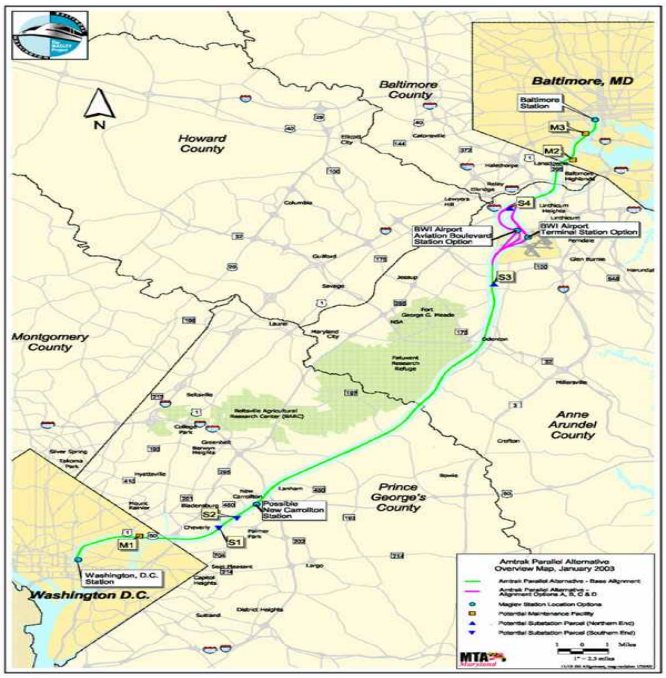
http://www.maglevpa.com

[그림 2-56] Pennsylvania 프로젝트 예상 노선도

○ Baltimore-Washington 프로젝트(Maryland)

- BWI 공항을 포함하여 5개의 정거장을 가지는 두 도시 간을 연결하도록 계획하였으며, 추후에는 그 연장안이 북으로 Boston에서부터 남으로 Atlanta를 연결하고 있으며 주요사항은 다음과 같음

- 총 구간 : 62.8 km / 39 miles
- 총 여행시간 : 18.5 분
- 배차시간 : 12 분
- 정차 역 : 3 개
- 차량 : 7 개 (각각 3 량)
- 연간예상승차인원 : 12.9 백만명
- 예상투자비용 : 37억 불



http://www.bwmaglev.com/

[그림 2-57] Baltimore-Washington 프로젝트 예상 노선도

○ California-Nevada Interstate 프로젝트

- 자기부상열차 개발프로그램에 선정되지는 않았지만, Las Vegas와 Los Angeles 시는 McCarran 국제공항과 LA국제공항을 연결하는 자기부상열차노선을 계획 중이며, 주요사항은 다음과 같음
- 총 구간 : 56 km / 35 miles
- 총 여행시간 : 11 분
- 정차 역 : 2 개

- 차량 : 3 개 (각각 8 량)
- 예상투자비용 : 13억 불



[그림 2-58] California-Nevada Interstate 프로젝트 예상 노선도

○ 현재 미국에 있는 대표적인 자기부상열차 회사는 American Maglev Technology (AMT), Transrapid international USA, Magna Force, Maglev, General Atomics 등이며, 각 회사들은 그들 나름대로의 기술력을 가지고 시장가능성이 풍부한 미국의 자기부상열차 건설에 적극 참가중이며, 현재 여러 지역에서의 자기부상열차 사업에서 경쟁중. 이들이 주장하는 자기부상열차 사업의 지역주민에 대한 긍정적인 면은 다음 사항들을 들 수 있음

- 고속도로 교통정체와 지연 감소
- 공항 교통정체와 지연 감소
- 공항과 다른 근교도시와의 연장
- 새로운 일자리, 새로운 산업, 부동산, 지역 개발등의 경제적 성장
- 교통정체로 인한 시간지연을 줄이므로써, 교외 통근자들의 삶의 질 개선

- 공해감소로 인한 공기의 질 개선
- 도시와 도시사이의 교역과 물류이동의 개선
- 고기술 교통 시스템의 설치에 관한 기술적 명성으로인한 지역주민과 공동체로의 관심뿐만 아니라, 이를 이용한 국가적 대회나 관광유치 가능

○ 미국의 자기부상열차 개발 현황을 말하기 위해서는 이들 회사들을 언급할 필요가 있음

- American Maglev Technology

· AMT는 Dominion 에너지회사, Lockneed Martin, Old Dominion 대학, Siemens로 컨소시엄을 이룬 회사로서 독일의 기술력을 가지고 있으며, 독일과 일본처럼 기술위주의 시스템보다는 저가로 건설 및 구동하는 것을 목표로 연구하고 있음

· 2001년에 버지니아 주정부 교통과로부터 연구개발 자금을 받아 Old Dominion 대학 안에 시험선로를 설치하고 시험운행 하여 2004년 12월 파키스탄의 Karachi 시에 약 18 km의 선로를 수행하는 프로젝트를 계약한 바 있으며, 이것은 대략 US 20억 달러규모의 Karachi 시의 대량교통계획발전 6단계 중 그 첫 단계이나 현재 진행 중이지 않음



[그림 2-59] Karachi시 프로젝트 노선도

- Magna Force Inc

· 1993년 설립된 자기커플링 회사로서 LEVx라는 초전도나 전자석을 이용하는 일반적인 자기부상 시스템과 달리 영구자석을 사용하여 부상 및 추진을 하는 시스템을 개발하였으나 사업화된 것은 없음

- Maglev Inc

· 1987년 카네기 멜론대학의 고속철센터를 모태로 하여 자기부상열차의 개발을 위해 1990년 Pennsylvania에 설립된 회사로서 1991년 자기부상 실험을 수행한 후, 1995년부터 Pennsylvania에서의 자기부상열차 적합성에 관한 조사를 하였음

· 1997년 Transrapid international 과의 기술제휴 이후, 미국 내의 7개 자기부상열차 사업(Pennsylvania, Nevada, California, Georgia, Florida, Baltimore-Washington, Louisiana)을 계획하였으며, 2001년 두 개(Baltimore-Washington, Pennsylvania)로 축소하여 현재 미국연방철도회로부터 Pittsburgh의 초고속 자기부상열차 사업(Pennsylvania project)을 얻어내기 위해 노력중임

· Pennsylvania 프로젝트는 Pittsburgh 국제공항과 도심, Monroeville, Greensburg 도시를 연결하는 자기부상열차사업으로서, 총 노선구간은 87km이며, 소요시간은 35분 이내임

- 다음은 Pennsylvania 프로젝트에 제시된 각 구간의 소요시간임

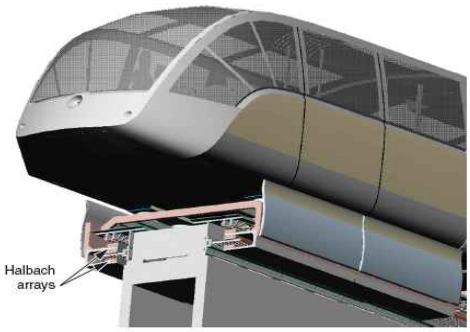
Airport (landside) to Airport (commuter)	1.5 min
Airport (commuter) to Downtown	8 min
Downtown to Monroeville	12 min
Monroeville to Greensburg	9 min

- General Atomics

· 독일, 일본과 달리 1990년대 중반 영구자석을 이용하는 Inductrack 이라 불리는 도시형 자기부상열차를 개발, 기존의 영구자석으로는 부상력이 충분하지 않았으나, 새로운 Halbach 영구자석배열과 Nd계열의 자석발달

로 인하여 영구자석과 속도기전력의 반발력으로 부상을 이루고, 추진은 선형동기전동기방식을 사용함

- 본 연구는 미 항공우주국의 로켓 발사를 위한 발사대로 사용되도록 연구되어졌으나, 이후 2000년 General Atomics사가 연방교통국으로부터 도시형 자기부상열차의 계약을 체결하게 되었음
- 2003년 5월 San Diego에 120m 길이의 시험선로 제작을 시작하였으며, 2004년부터 열차를 시험 중임



(a) 모형도



(b) 시험선로에 있는 실제크기의 시험기

[그림 2-60] Inductrack

○ 미국의 MSNBC에 의하면, 2008년 8월 초 조지 부시 미국 대통령은 캘리포니아 애너하임과 네바다 라스베가스에서 운행할 최고 시속 498km의 자기부상열차을 연구하기 위한 예산 4천5백만불을 포함한 대중교통법안을 통과시켰음

○ 3년의 연구기간이 끝나면 아메리칸 매그라인 그룹은 건설비용으로 120억불을 받게 될 것이며, 네일 커밍스(아메리칸 매그라인 그룹의 회장)는 이 캘리포니아 네바다 사이 열차가 빠르면 2015년에 개통할 수 있을 것이라 발표하였음

○ 미국에서 가장 빠른 열차의 건설을 지연시키는 장애는 엄청난 기초 건설비용이라고 할 수 있으며, 연방정부에서 받는 4천5백만불로는 환경검사를 비롯한 아주 기본적인 사전단계만을 진행할 수 있음

○ 하지만 최근 엄청난 유가 상승과 교통난 그리고 항공기 가격 상승에 따라 자기부상열차가 유력한 대안으로 떠올랐음

○ 캘리포니아 애너하임에서 라스베가스로 가는 항공기의 탑승 가격은 150불이지만, 초고속 자기부상열차는 55불이면 될 것이라고 하며 공해를 유발하지 않으며 에너지 효율이 높고, 보수유지비용이 많이 들지 않는다고 홍보함

○ 폴 사포(실리콘밸리 기술 예측전문가)는 디즈니랜드와 라스베가스라는 매력적인 장소를 잇는 미국의 고속열차가 흑자를 기록할 조건을 갖췄다고 평가함

1.5 스위스의 튜브트레인 기술 동향

○ 기술개발 추진 배경은 TGV나 ICE와의 경쟁이 아닌 진공을 이용한 항공기 대신이라는 개념으로 연구 개발을 시작함

○ 특히 스위스의 경우 환경적으로 산악지형이 많음에 따라 지하터널의 건설 필요성이 높기 때문에 튜브트레인의 타당성이 크다고 판단함

○ 스위스에서는 산악지형에 적합한 초고속 지상운송수단 개발을 위하여 1987년부터 스위스메트로(Swissmetro) 프로젝트를 시작하여 2000년대 초반에 연구개발을 완료하였음

○ 스위스메트로의 가장 흥미로운 특이사항은 비행기, 고속열차, 메트로 및 지하철 혹은 자기부상열차와 같은 잘 알려진 분야의 기술들을 특별한 환경에서 조합하였다는 점임

○ 신뢰성 측면과 총체적인 안전 측면에서 이미 입증된 기술들의 조합이라는 관점에서 보면 스위스메트로 기술은 기술적 및 경제적인 면에서 기회의 분야라고 말할 수 있음

○ 연구개발 경위

- 1974년 : 로돌파 니즈가 스위스의 인구 밀집지역을 고속으로 연결하는 스위스메트로의 개념을 제창

- 1981년 : 로잔 연방공과대학 교수 그룹을 중심으로 타당성 연구 착수
- 1985년 : 제네바의 로벨트 듀크레 그리고 치치노주의 세르지오 살라비오니가 연방의회에서 지지를 표명함
- 1988년 : 타당성 연구결과가 보고되었으며, 독일의 도르니에사가 연방의회에서 실용화 가능성을 설명
- 1989년 : 50만 스위스 프랑이 예비조사를 위해 지출됨
- 1990년 : 연방정부 관료인 아돌프 오기가 뮌헨에서 개최된 교통박람회에서 알프스 횡단을 위한 교통기관 유로메트로 설립 공표
- 1992년 : Swissmetro 설립 및 정부로부터 설립 인가
- 1993년 : 예비연구 결과 발표
- 1994년 : 핵심연구가 시작됨(1,500만 스위스 프랑, 공공자금+민간자금) 연구의 목적은 기술적 방법론 확정, 필요성, 사회적 편익, 환경측면에서의 편익, 재정적 가능성, 안전성 등에 대한 분석임
- 1995년 : 스위스메트로 진흥협회 설립
- 1997년 11월 : 제네바-로잔간 실증선(60km, 32억 스위스 프랑) 건설을 위한 허가 신청

○ 연구이력

- 1988-1992년 : 예비연구 (50만 스위스프랑)
- 1994-1999년 : 핵심연구 (1,500만 스위스 프랑, 공공자금+민간자금)
- 1999-2002년 : 바젤-취리히 공항 연결 노선에 대한 타당성을 검토하여 90km를 50억 스위스 프랑을 투입하여 건설하는 계획을 제안함

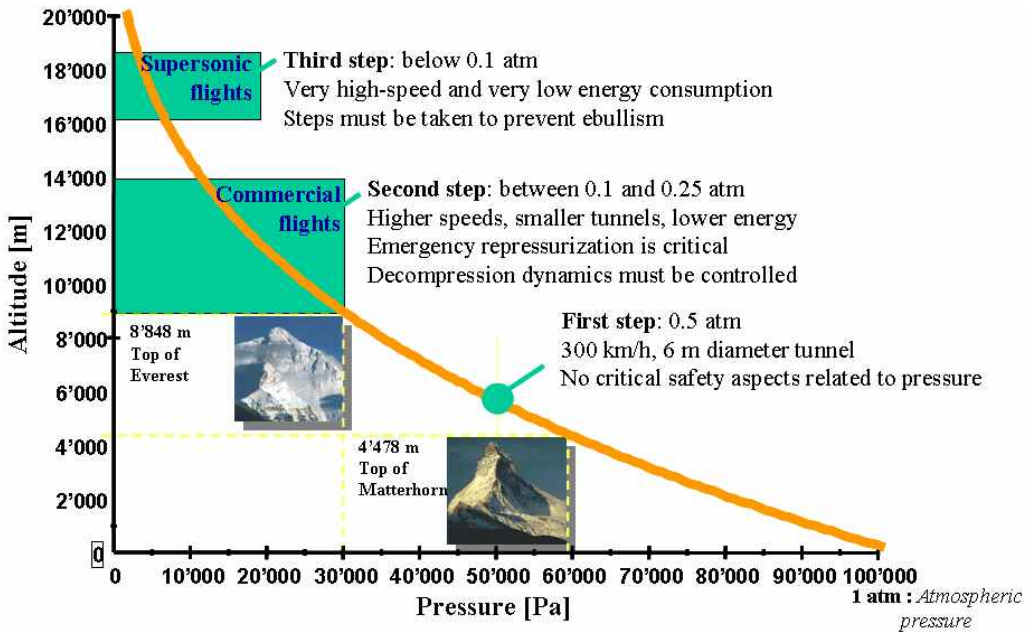
○ 시스템의 기본방식은 직선성확보, 기개발지역과의 경합회피, 환경친화성의 확보를 위하여 인프라가 지하에 건설되는 것을 기본으로 함

○ 아진공 환경에서의 차량은 여객기가 운행되는 환경과 동일한 환경에 노출되어 운행되기 때문에, 항공기 수준의 안전성과 신뢰성을 유지하기 위한 연구가 중요함

○ 스위스메트로 시스템은 다음과 같은 핵심기술을 가짐

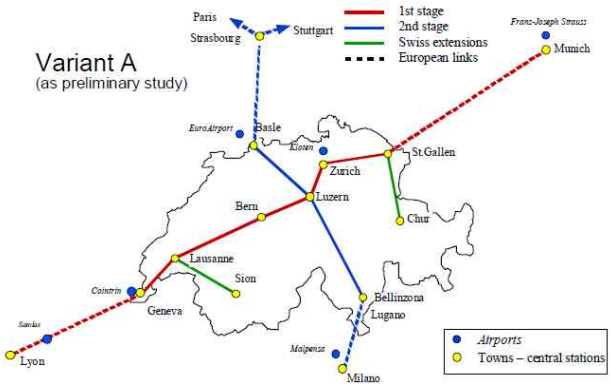
- 내경 5m의 양방향 두 개의 터널을 갖는 완전한 지하 구조물
- 추진에 소요되는 에너지소모를 줄이기 위하여 터널내압을 아진공으로 유지 가능
- 500km/h 이상의 속도로 주행 가능한 선형전동기를 이용한 추진시스템
- 선로와 직접적인 마찰이 없도록 전자기 부상 및 제어 방식
- 추진방식은 리니어 모터를 사용하며(추진파워는 최고 약 6MW) 터널내 유지보수를 간편하게 하기 위하여 차상 1차형을 고려하고 있으며, 이를 실현하기 위하여 무접촉 에너지 전달장치 기술을 도입함
- 자기부상 및 자기안내로 지지(갭:20mm±2.5mm), 집전, 추진, 부상, 안내가 모두 독립적으로 설계됨
- 전체 투자비용의 70-75%가 튜브인프라 건설비용으로 예상함
- 승객당 에너지 소비량이 자동차의 1/3 수준이며 비행기와 비교할 때 1/5 수준에 불과함

○ 비상시 차량 내 압력변동을 보상해주는 안전 시스템의 설계 사양이 제안되었고, 비상시에 사용될 차량 내 산소 공급장치와 공기 오염도 조절장치안도 제안함

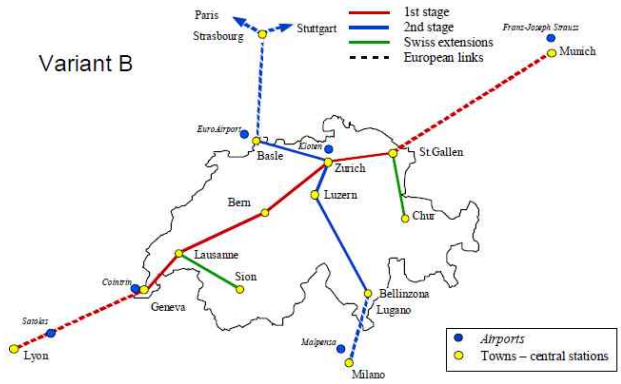


[그림 2-61] 고도에 따른 압력변화에 상응한 안전대책

○ 여러 다양한 적용 노선을 검토하였는데 [그림 2-62]의 실용화 노선 계획 A는표준 노선망이고, [그림 2-63]의 실용화 노선 계획 B는 취리히(Zurich)에서 교차되는 노선망이며, 초기 실용화 예비 노선으로서 제네바에서 로잔에 이르는 약60km(32억 스위스 프랑,1997년 기준) 구간에 대하여 검토가 실시되었음



[그림 2-62] Swissmetro 실용화 노선 계획 A



[그림 2-63] Swissmetro 실용화 노선 계획 B

○ 차량의 각 부분의 에너지 소비율을 바탕으로 수행된 에너지 종합평가 결과를 보면 스위스의 에너지 총 소비량과 비교하여 볼 때 스위스메트로의 직접 에너지 소비량은 적음

○ [그림 2-64]에 나타낸 제네바에서 쌩-갈을 연결하는 동서노선의 경우 수송능력을 완전 가동하였을 때의 에너지 소비량은 스위스 총 에너지 소비량의 0.18%~0.24%에 불과함으로 스위스메트로는 스위스의 에너지 수급 전략에 있어 미미한 영향을 미치고 있음



[그림 2-64] Swissmetro 실용화 예비 노선 제안 (제네바-로잔 구간)

○ 스위스메트로의 타당성 분석 결과에 따르면 지상점유 면적, 소음 수준, 에너지 소모량, 터널 건설비 등 측면에서 튜브 트레인 시스템이 타 교통 기관보다 우세한 장점을 가지고 있음

제2절 국내 기술 동향 분석

□ 국내 초고속 자기부상철도 기술 개발 현황

○ 국내에서는 초고속 철도기술에 대한 연구가 일부 추진되었으나 현재까지 구체적인 연구실적은 없음

- 1998~1999년 자기부상열차 개발 기초연구(철도연 수행) 등으로 기술 내용·동향 파악
- 2005년부터 2008년까지 초고속 자기부상열차 부상·추진 기술 연구 진행중(기계연 수행)
- 2006 자기부상철도 기술기반 연구(철도연 수행)와 함께 2007년부터 5개년 계획의 튜브 운송 기술 연구(철도연 수행)를 통한 개념설계 진행 중
- 그 외 초고속 자기부상철도 요소기술 연구(철도연 수행), 초고속 철도 핵심기술개발 기획(철도연 수행), 초고속 튜브 트레인 시험설비 구축방안 기획(철도연 수행) 등 진행 중

○ 2005년 중반, 철도기술 중장기계획 수립과 함께 초고속 자기부상철도에 대한 기술로드맵 연구에 착수하여 완료 (건교부)

- 경전철형 중저속 자기부상열차 개발(과기부 주관) 이후 실용화모델 개발 (산자부 주관)
- 도시형 중저속 자기부상철도 실용화사업 추진 중 (건교부 주관)
- 세계적인 초고속 철도 개발 동향에 따라 관련 기술로드맵 정비

○ 국내에서는 철도연·기계연에서 초고속 자기부상열차 핵심요소기술에 대한 연구를 수행하고 있으나, 기술 검증 및 실용화 기술에 대한 연구개발은 아직 시작조차 못하고 있는 수준에 머무르고 있음

○ 우리나라의 해당기술 관련 정책·프로그램 및 프로젝트 내용

<표 2-6> 국내 관련계획 및 기술개발 현황

정책·프로그램명	주요 내용
제4차 국토종합계획 수정계획 (2006-2020), 대한민국정부	전국주요도시에서 행정중심복합도시까지 2시간 이내에 접근할 수 있는 교통체계를 구축
국가철도망구축계획 (2006~2015), 건설교통부	안전성과 친환경성 및 쾌적성 등을 향상시켜 인간과 환경 중심적 교통수단으로서 역할을 강화 고속철도는 설계속도 370km/h이상, 주요 간선철도는 설계속도 200 km/h 이상으로 고속화하여 다른 교통수단과의 경쟁력을 대폭 강화
Top Brand	초고속 자기부상열차 개념설계
전문연구사업	초고속 자기부상열차 부상 추진 핵심요소기술 개발
과기부 국책연구	상전도 선형유도추진방식의 UTM-01 개발
산자부 중기거점	과학관 노선의 UTM-02 개발
국토해양부 실용화사업	110km/h급 자기부상열차 개발 및 인천공항 시범노선 건설 (4,500억원)

○ 우리나라가 보유한 기술수준 달성원인 및 최고기술 대비 격차발생 원인

핵심 기술명	세계 최고 대비 기술 수준 (%)	우리나라의 기술수준 달성원인 및 최고기술대비 격차발생 원인						
		전문 인력 규모	연구 자금 규모	정보·인프라 구축정도	제도·정책지원 구축정도	산·학·연 협력 정도	국제 협력 정도	기타 중요 원인
차량시스템 기술	50%	O	O	O		O	O	
신호통신 및 운행제어 기술	70%		O	O		O		
전력시스템 기술	30%	O	O	O		O	O	
궤도 및 선로건설기술	50%	O	O	O		O		
시스템엔지니어링기술	30%	O						
종합	46%	일본의 65%이내 수준	90년 초 이후 연구개발비 약 200억원 투입	시험선 확충 필요	지속적인 지원 미흡	긴밀한 협력체계 보유	미흡	관련산업 기술수준 열위
종합의견	- 바퀴식 고속철도 기술과 도시형 자기부상열차 기술 개발을 경험으로 극복 가능 - 요소기술 및 인프라 확충을 위한 투자 필요							

□ 연구수행을 위한 인프라 및 기반역량 분석

○ 국내 기술보유기관 및 주요 연구 활동

핵심기술명	기관명	기관분류	연구자명	주요 연구 활동
부상·추진 기술	기계연	연	성호경외	초고속 부상 및 추진 시스템 설계
	충남대	학	장석명외	고속 선형전동기 설계 및 제어
	철도연	연	이형우외	부상 및 선형전동기 설계 및 제어, 적용
차량기술	(주)로템	산	김국진외	도시형 자기부상열차 차량시스템 개발 경험
	철도연	연	김기환외	350/400 km/h급 고속철도 시스템 개발
	철도연	연	목재균외	바이모달 수송시스템 개발
	철도연	연	한성호외	틸팅열차 시스템 개발
	철도연	연	김길동외	차세대 전동차 연구개발
	철도연	연	류상환외	한국형 경량전철 시스템 개발
시스템 통합	철도연	연	김기환외	350/400km/h 급 고속철도 시스템 통합
	철도연	연	한성호외	틸팅열차 시스템 통합
	철도연	연	목재균외	바이모달 수송시스템 통합
	철도연	연	류상환외	한국형 경량전철 시스템통합
	철도연	연	김길동외	차세대 전동차 시스템 통합
	기계연	연	김동성외	도시형 자기부상열차 시스템 엔지니어링
공력기술	철도연	연	권혁빈외	공력 기술 분석 및 개념설계
노선·궤도	철도시설공단	산	류승균외	도시형 자기부상열차 시스템 선로 구축
	철도연	연	양신추외	350 km/h급 고속철도 선로구축물 기술개발

○ 초고속 자기부상 시스템 구축을 위한 각 요소기술의 기술수준은 평균 40% 수준

- 전문 인력 보유 50% 이하, 인프라 구축정도 또한 30% 이하
- 연구 인프라 및 역량의 보강이 필요한 분야임

세부항목	기술수준 (%)	전문인력 보유정도(%)
시스템 엔지니어링 기술	30	20
차량 시스템 기술	60	50
공력 기술	20	20
신구조 공법 및 첨단시공기술	60	60
신호 제어 및 운영 기술	40	30
전력 시스템 기술	70	70
유지보수 및 설치 기술	10	10
시험 및 평가 기술	30	20

□ 선진국 대비 국내 경쟁력 분석

○ 국내 초고속 자기부상 시스템 기술의 국제경쟁력

핵심 기술명	세계최고 현황	세계최고 기술의 발전단계	국내 현황	국내 기술의 발전단계	기술 수준 (%)
차량 시스템 기술	독일, 일본	성숙기	흡인식, LSM/LSRM 연구 중	개발기	50
신호통신 운행제어 기술	독일, 일본	성숙기	도시철도 중심 연구 중	개발기	70
전력 시스템 기술	독일, 일본	성숙기	비접촉 전력공급장치 연구 중	개발기	30
궤도 및 선로건설 기술	독일, 일본	성숙기	km 당 비용을 줄이는 연구	개발기	50

○ 독일, 일본이 주도하고 있는 초고속 자기부상철도 기술은 선진국이 월등히 앞서 있는 상황임

○ 그러나 독일 시스템은 고가이며, 일본 시스템은 초전도기술이 접목되어 기술완성 및 실용화가 비교적 요원한 실정이며, 미국 또한 초전도기술 및 영구자석을 이용한 다양한 시스템 개발이 이루어지고 있으나 주로 도시형에 주력

○ 중국의 경우 상기 제시된 모든 시스템에 대한 연구개발의 추진과 함께 가장 위협적으로 기술개발에 매진하고 있으나, 이보다 앞선 기술완성 및 실용화를 통하여 우리나라의 경쟁력 확보가 가능할 것임

항목 / 기술명	인력보유 정도	자금지원 수준	연구개발시스템 (설비, 장비, 체제 등)	기타 고려사항
시스템 엔지니어링 기술	아주 낮음	아주 낮음	낮음	도입단계
차량 시스템 기술	보통	높음	높음	한국형 고속전철 기술개발 경험
튜브 인프라 기술	높음	보통	보통	기술수준 높음
신구조 공법 및 첨단시공기술	보통	낮음	보통	설계기준 개발 필요
신호 제어 및 운영 기술	낮음	보통	낮음	한국형 기술 시스템개발 필요
전력 시스템 기술	높음	보통	보통	기술수준 높음
유지보수 및 설치 기술	낮음	보통	낮음	실용화 기술수준 낮음
시험 및 평가 기술	보통	보통	보통	

□ 국내 초고속 철도산업 동향

○ 국내 초고속 철도시장은 현재 최고운행속도 300km/h의 고속열차인 KTX가 개통된 지 4년여 정도 되어, 비교적 최근에 고품질의 수송 서비스가 제공되기 시작하였음

○ 400km/h 이상의 초고속 수송 서비스가 요구되기까지는 많은 시간이 소요될 것으로 예상되나 이미 시작된 고품질 수송서비스 및 해외 초고속 추세로 인한 국내 철도시장은 점점 초고속화로 변화될 것으로 예상됨

○ 특히 남북통일, 또는 중국·러시아를 거쳐 유럽대륙으로 연결되는 철도개발과 함께 대량 고속 수송의 요구가 증폭될 것으로 예상되며, 지역간 초고속 연결로 거대 경제권역의 형성과 함께 전국 반일생활권 추구 등의 요구에 따르는 초고속 철도의 시장이 형성될 것으로 예상됨

제3절 관련 기술의 특허 분석

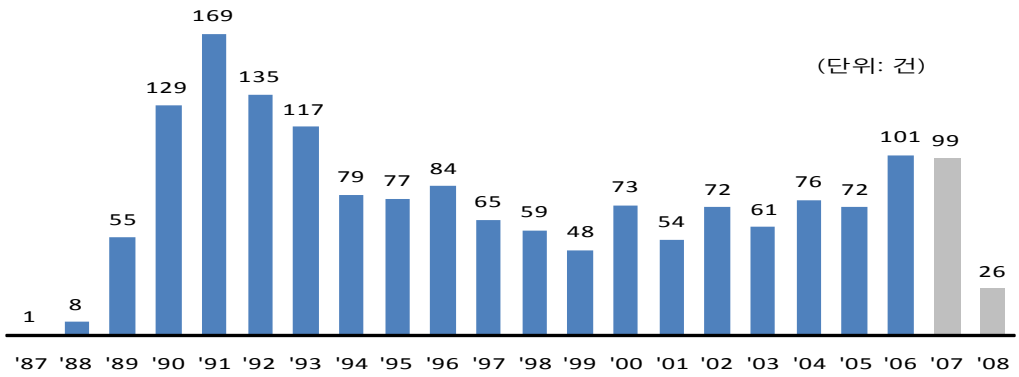
1. 특허 내용 분석

1.1 자기부상

1) 연도별 출원 현황

○ 자기부상에 관련된 기술은 1990년대 초반 특허 출원이 가장 활발하였고 2000년대 초 감소하다가 최근 다시 특허 출원이 활발히 진행되고 있음

- 1987년 자기부상 관련 특허 출원이 시작되어 최근까지 꾸준하게 특허가 출원되고 있음



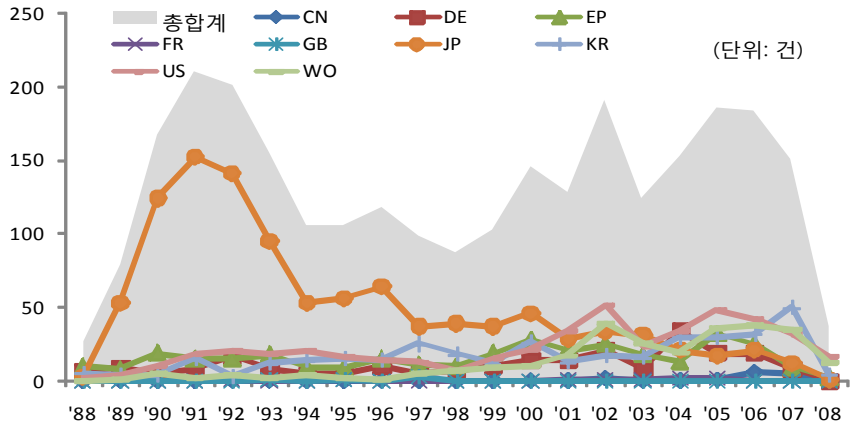
주1) '07~08 년 데이터는 특허 출원 후 공개되기까지 시간이 소요되므로 실제 특허 건수보다 적을 수 있음

주2) 특허패밀리 수(1665건)

[그림 2-65] 자기부상 관련 특허의 연도별 출원 현황

○ 1990년 초반 일본에 많은 특허가 출원되었으며 최근에는 미국과 한국, PCT 출원이 활발함

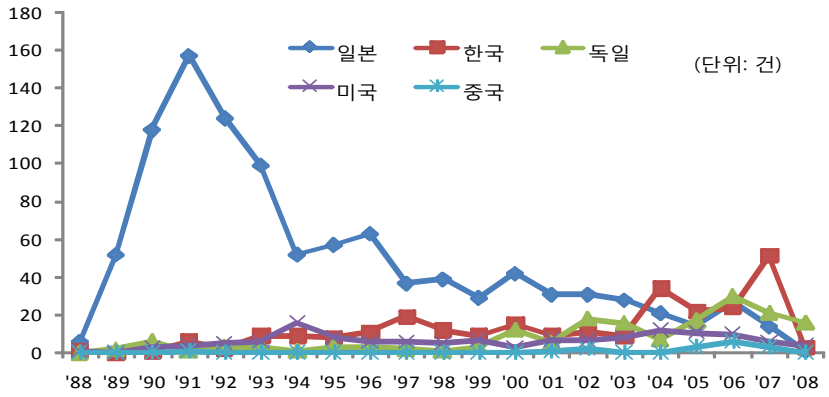
- 전체 특허수의 경우 1990년대 초반과 2000년대 후반에 큰 차이는 없으나 90년대 초반에는 일본에 특허출원이 집중되었고 2000년대 후반에는 일본 외 세계 각국의 여러 나라에서 비슷하게 특허를 출원하는 경향을 보임



주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(2802건)

[그림 2-66] 자기부상 관련 특허의 도메인별 출원 현황

○ 출원인 국적별로 자기부상 관련 특허를 살펴보면 90년대 초반 일본의 특허 출원이 활발히 진행되었으며 최근에는 한국과 독일의 특허 출원이 상대적으로 활발히 이뤄지고 있음

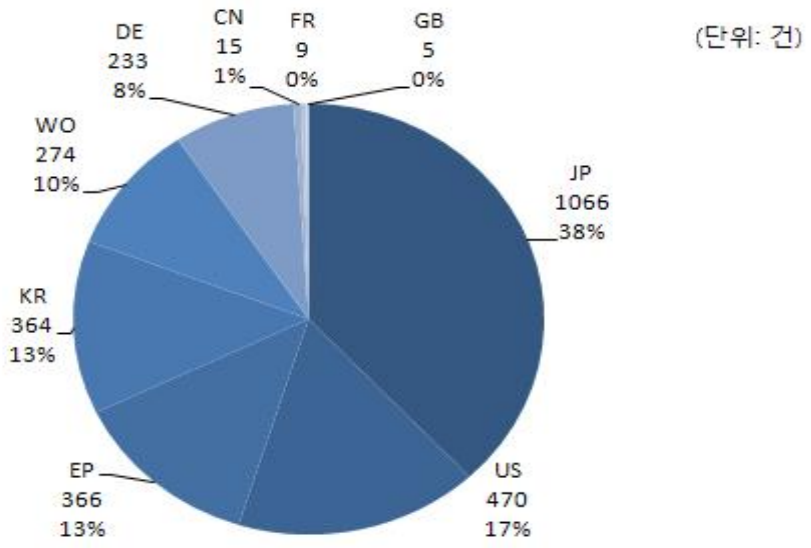


주) 특허패밀리 수(1665건)

[그림 2-67] 자기부상 관련 특허의 출원인 국적별 출원 현황

2) 국가별 출원 동향

○ 자기부상 기술의 도메인별 특허 출원건수를 살펴보면, 일본, 미국, 유럽, 한국에 특허 출원이 활발히 진행되고 있음

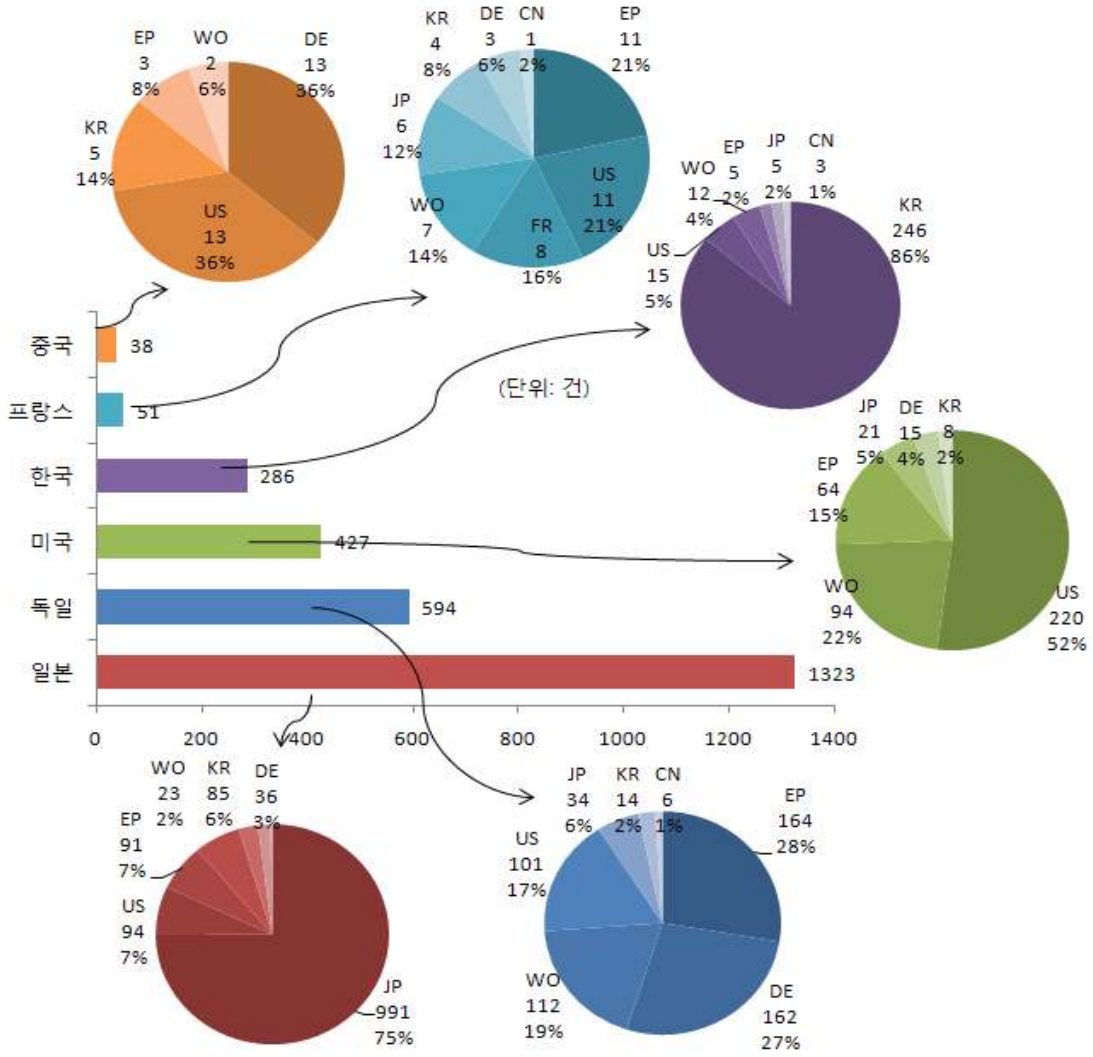


주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(2802건)

[그림 2-68] 자기부상 관련 특허의 도메인별 출원 비율

○ 출원인 국적별로 자기부상 관련 특허의 출원 현황을 살펴보면 가장 많은 특허를 보유한 일본의 경우 일본에 75%에 달하는 특허를 자국에 출원함

- 독일은 유럽특허청과 독일특허청, WIPO에 특허를 다수 출원함
- 미국은 52%의 특허를 미국 자국에 출원하였으며 WIPO와 유럽에도 다수 출원함
- 한국은 전체 특허 출원의 86%에 달하는 특허를 한국특허청에 출원하고 있어 세계 다른 국가로의 지재권 획득 전략이 이뤄져야 할 것으로 분석됨
- 프랑스는 유럽 특허청과 미국 특허청에 많은 특허를 출원함
- 중국은 중국내 특허 출원 보다 독일과 미국에 특허를 다수 출원하였으며 한국에도 14%의 특허를 출원함



주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(2802건)

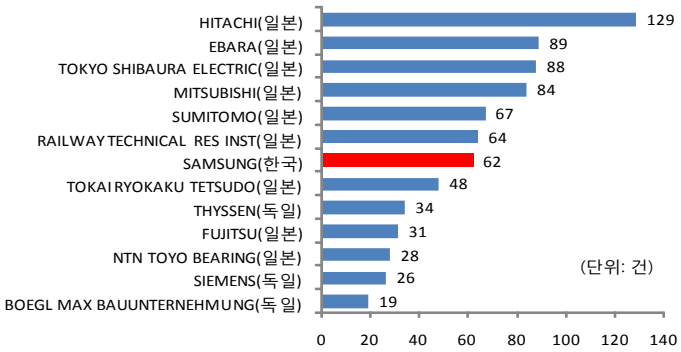
주2) 원형 그래프는 선형 그래프의 해당 국적 출원인이 어떤 도메인에 특허를 주로 출원했는지를 나타냄

[그림 2-69] 자기부상 관련 특허의 국가별 출원 현황

3) 출원인별 출원 동향

○ 일본의 HITACHI에서 가장 많은 129건의 특허를 출원하였고 특허 출원 상위권 대부분이 일본 기업으로 나타남

- 자기부상 전반에 관련된 특허를 검색하였기 때문에 자기부상열차 관련 특허 외에 하드디스크 등 리코더 관련 특허 등도 많이 검색됨
- 한국 기업인 삼성은 자기디스크 등 하드디스크 관련 자기부상 특허가 대부분을 차지함

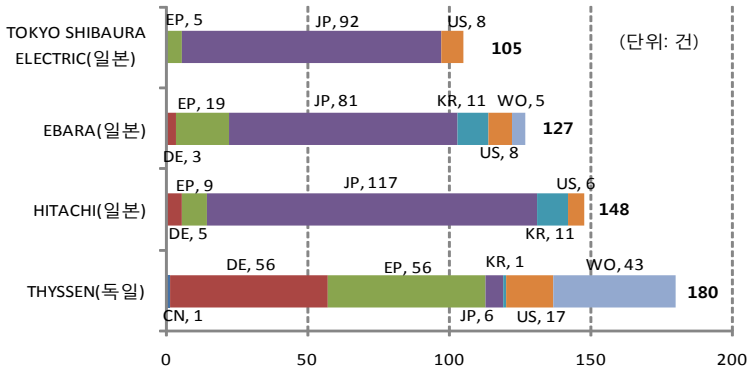


주) 같은 모기업 하에 있는 다른 회사의 경우 하나의 명칭으로 통일함

[그림 2-70] 자기부상 관련 특허의 출원인별 출원 현황

○ 자기부상 관련 가장 많은 출원을 진행한 기관의 출원 현황을 살펴보면 독일 THYSSEN에서 가장 많은 특허를 출원하였고 독일, 유럽, PCT 등 출원이 활발함

- HITACHI, EBARA 등 일본기업은 대부분 일본에 특허 출원을 하고 있음
- THYSSEN의 경우 패밀리특허를 1개로 셈하여 분석하면 9위에 불과하나 패밀리 특허를 모두 합하면 1위에 랭크됨



주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(2802건)

[그림 2-71] 자기부상 관련 출원인의 특허 출원 현황

○ 자기부상 관련 특허의 상위 출원인은 HITACHI, EBARA 등 일본기업으로 나타났으며 연평균 피인용도가 높아 질적으로 우수한 특허를 보유하였다고 판단되는 기관은 HUGHES AIRCRAFT, IBM 등으로 나타남

- 상대적으로 자기부상 열차 관련 특허 보다 자기디스크 분야의 피인용도

가 높은 것으로 나타남

- 개인 출원인의 연평균 피인용도가 상대적으로 높음

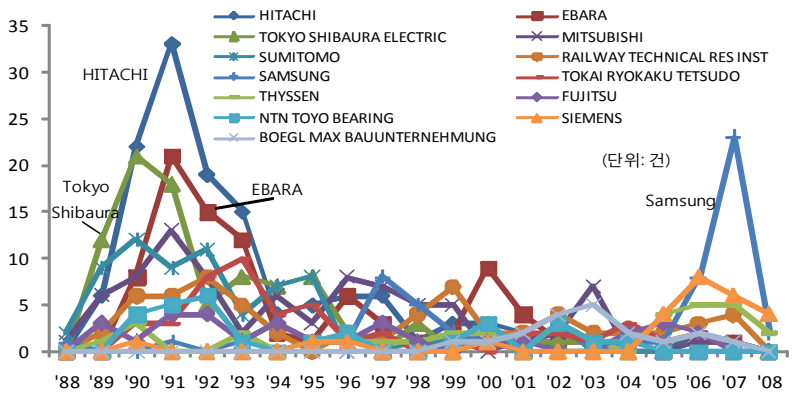
<표 2-7> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교

특허 출원 건수 상위 10위 출원인		연평균 피인용도 상위 10위 출원인	
HITACHI	129	HUGHES AIRCRAFT CO	7.33
EBARA	89	MILLER; KENNETH C	3.87
TOKYO SHIBAURA ELECTRIC	88	BERGSTROM GARY	3.33
MITSUBISHI	84	IBM	2.43
SUMITOMO	67	SATCON TECHNOLOGY INC	1.92
RAILWAY TECHNICAL RES INST	64	STULL; MARK A	1.86
SAMSUNG	62	SVENSSON; EINAR	1.83
TOKAI RYOKAKU TETSUDO	48	PARK SQUARE TECHNOLOGY LTD	1.54
THYSSEN	34	EUV LLC	1.44
FUJITSU	31	SUPPES GALEN J	1.28

주) 질적 지표로 연평균피인용도를 활용하였으나 절대적인 지표는 아님

○ 출원인별로 특허 출원 추이를 살펴보면 1990년대 초에 HITACHI, EBARA, TOKYO SHIBAURA ELECTRIC의 특허 출원이 활발하였으며 2000년대 초반 EBARA, RAILWAY TECHNICAL RES INST 등 일본 출원인의 특허 출원이 활발함

- 2000년대 후반에는 한국의 삼성에서 자기부상 관련 특허를 다수 출원함



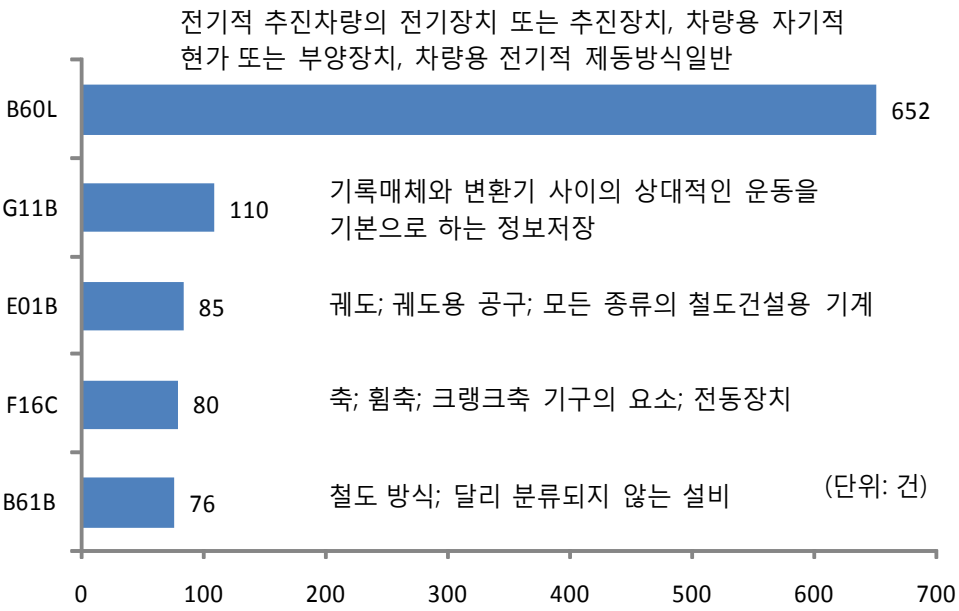
주) 특허패밀리 수(1665건)

[그림 2-72] 자기부상 관련 상위 출원인의 연도별 특허 출원 추이

4) IPC 분류별 출원 동향

○ 자기부상 관련 특허들을 국제특허분류(IPC) 별로 구분하면 B60L이 대부분을 차지함

- B60L은 전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양장치, 차량용 전기적 제동방식일반에 관련된 IPC이며 자기부상 열차 관련된 분야임
- G11B는 기록매체와 변환기 사이의 상대적인 운동을 기본으로 하는 정보저장 관련 IPC로 하드디스크 등 자기디스크에 관련된 분야임



주) 특허패밀리 수 (1665건)

[그림 2-73] 자기부상 관련 출원인의 특허 출원 현황

5) 주요특허리스트

○ 연평균 피인용도가 높은 특허, 패밀리특허가 많은 특허 등을 주요특허로 선별하였으며 2000년 이후 최근 특허는 모두 검토하여 연구팀에서 요청한 자기부상 관련 주요 특허를 선별함

NO.	특허번호	출원인	명칭
1	US5146566A	IBM(미국)	Input/output system for computer user interface using magnetic levitation
2	US5445347A	HUGHES AIRCRAFT CO(미국)	Automated wireless preventive maintenance monitoring system for magnetic levitation (MAGLEV) trains and other vehicles
3	US5417537A	MILLER; KENNETH C(미국)	Wafer transport device
4	US6249418B1	BERGSTROM GARY(미국)	System for control of an electromagnetic actuator
5	US5722326A	UNIV CALIFORNIA(미국)	Magnetic levitation system for moving objects
6	US5467718A	DAIFUKU KK(일본)	Magnetic levitation transport system with non-contact inductive power supply and battery charging
7	US5818137A	SATCON TECHNOLOGY INC(미국)	Integrated magnetic levitation and rotation system
8	US5473233A	STULL; MARK A(미국)	Electromagnetically propelled high-speed high-capacity transportation system for short-distance travel in urban and suburban areas
9	US5845581A	SVENSSON; EINAR(미국)	Monorail system
10	US6418857B1	AGENCY IND SCIENCE TECHN(일본)	Superconductive magnetic levitation transportation system
11	US6983701B2	MAGNEMOTION INC(미국)	Suspending, guiding and propelling vehicles using magnetic forces
12	US6044770A	PARK SQUARE TECHNOLOGY LTD(미국)	Integrated high speed MAGLEV system
13	US5093754A	SEIKO SEIKI KK	Control system for a magnetic levitation body
14	US20060152309 A1	MINTCHEV, MARTIN(미국)	Magnetic levitation of intraluminal microelectronic capsule

NO.	특허번호	출원인	명칭
15	US7293506B2	ALSTOM(프랑스)	Structural system comprising a track for a magnetic levitation transport system powered by a linear electric motor
16	US6492067B1	EUV LLC(미국)	Removable pellicle for lithographic mask protection prothpro pro
17	US5094173A	HITACHI LTD(일본)	Superconducting magnetic levitated train, train system method of controlling the same, and superconducting coil for magnetic levitated train
18	US5146853A	SUPPES GALEN J(미국)	Compact magnetic levitation transportation system
19	US6286434B1	SIEMENS AG(독일)	Propulsion system for a magnetic levitation vehicle
20	US6374746B1	FISKE ORLO JAMES(미국)	Magnetic levitation transportation system and method

6) 결론 및 시사점

○ 자기부상 관련 특허는 크게 자기부상열차 관련 자기부상원리에 대한 특허와 컴퓨터 및 기록장치인 하드디스크 및 자기디스크의 자기부상원리에 관련된 특허로 분류됨

○ 자기부상 관련 특허는 1990년 초반에 가장 활발히 출원되었다가 최근 다시 특허출원이 활발히 이뤄지고 있음

- 1990년대 초반에는 일본의 특허 출원이 대부분을 차지하였으나 최근에는 독일, 한국, 유럽 등 세계 각국에서 특허를 출원하고 있음
- 1990년대 HITACHI, EBARA, TOKYO SHIBAURA ELECTRIC의 특허 출원이 활발하였으며 2000년대 초반 EBARA, RAILWAY TECHNICAL RES INST 등 일본 출원인의 특허 출원이 활발함

○ 자기부상 관련 특허를 가장 많이 보유한 일본의 경우 75%의 특허를 자국에 출원하고 있으며 HITACHI 에서 가장 많은 129건의 특허를 출원함

- 독일은 유럽특허청과 독일특허청, WIPO에 특허를 다수 출원하였으며, 미국은 52%의 특허를 미국에 출원하였으며 WIPO와 유럽에도 다수 출원함

- 한국은 전체 특허 출원의 86%에 달하는 특허를 한국특허청에 출원하고 있어 세계 다른 국가로의 지재권 획득 전략이 이뤄져야 할 것으로 분석됨
- 일본의 기업들과 같이 상위권에 랭크된 삼성의 경우 하드디스크의 자기 부분의 부상 관련 특허가 많이 검색되었으나 자기부상열차 관련 특허는 아님
- 프랑스는 유럽 특허청과 미국 특허청에 많은 특허를 출원함
- 중국은 중국내 특허 출원 보다 독일과 미국에 특허를 다수 출원하였으며 한국에도 14%의 특허를 출원함

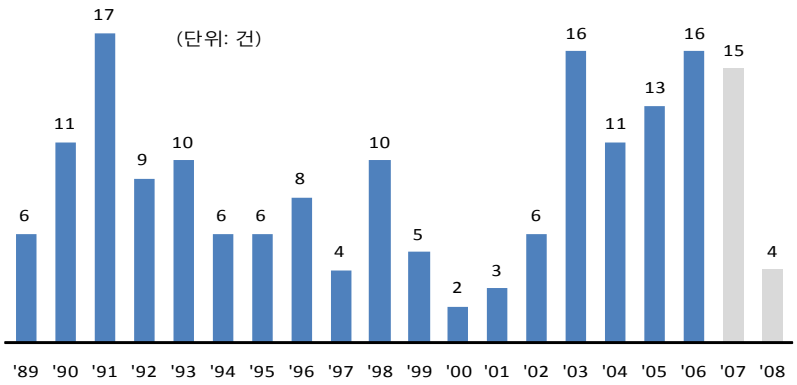
○ '전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양장치, 차량용 전기적 제동방식일반'에 관련된 IPC인 B60L에 포함하는 특허가 가장 많이 검색됨

1.2 선로

1) 연도별 출원 현황

○ 자기부상열차 선로에 관련된 기술은 1990년대 초반 특허 출원이 가장 활발하였고 2000년대 초 감소하다가 최근 다시 특허 출원이 활발히 진행되고 있어 자기부상 특허의 추이와 같은 형태로 출원됨

- 많은 수의 특허가 출원되고 있지는 않으나 2000년 이후 급격히 특허출원이 증가함



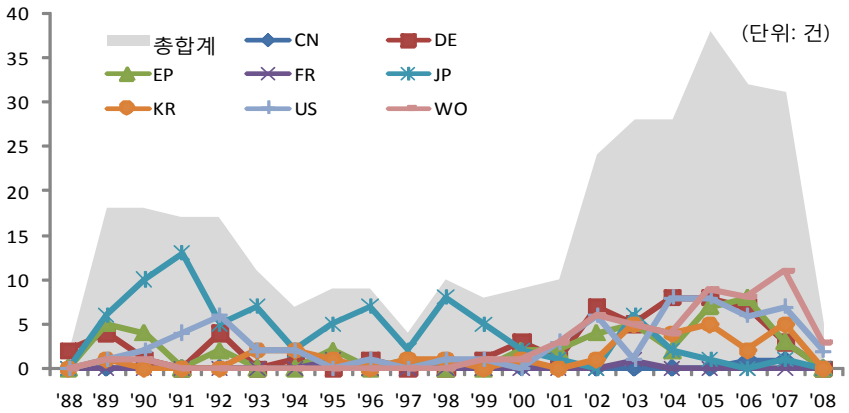
주1) '07~08 년 데이터는 특허 출원 후 공개되기까지 시간이 소요되므로 실제 특허 건수보다 적을 수 있음

주2) 특허패밀리 수(178건)

[그림 2-74] 선로 관련 특허의 연도별 출원 현황

○ 1990년 초반 일본에 많은 특허가 출원되었으며 최근에는 특정한 국가에 집중되지 않고 미국과 PCT, 한국에 출원활동이 활발히 이루어짐

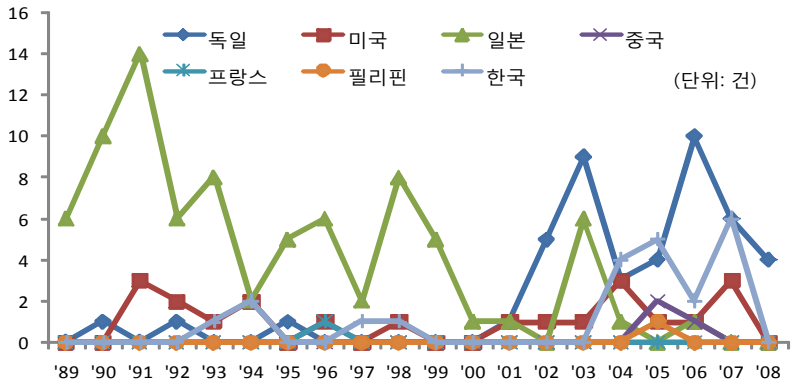
- 1990년대 초에는 상대적으로 일본의 특허가 대부분을 차지하였으나 1990년대 다른 국가의 특허 출원이 적어 총 건수는 2000년 중반의 총 건수보다 적으며 양적으로는 2000년대 중반 특허가 월등히 많이 출원됨
- 2000년대 중반 이후 미국, 유럽, 한국, 독일 등의 특허 출원이 활발히 진행되었으며 일본의 특허 출원은 1990년대에 비해 특허출원이 감소함



주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(335건)

[그림 2-75] 선로 관련 특허의 도메인별 출원 현황

○ 출원인 국적별로 자기부상 선로 관련 특허를 살펴보면 90년대 초반 일본의 특허출원이 활발히 진행되었으며 최근에는 한국과 독일의 특허 출원이 상대적으로 활발히 이뤄지고 있음



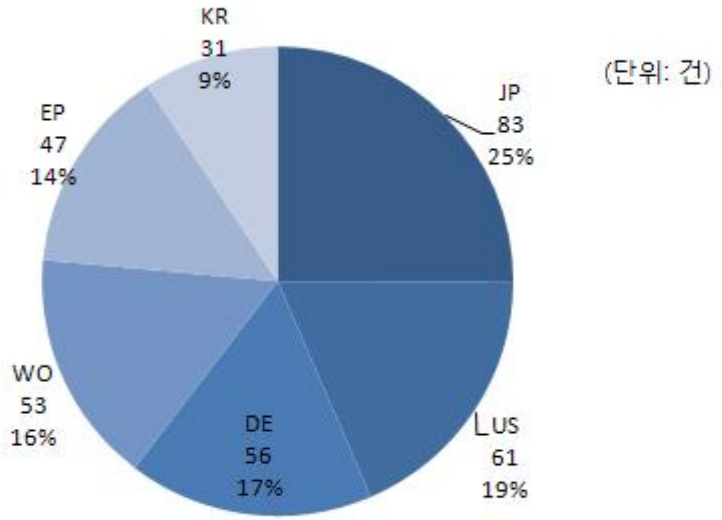
주) 특허패밀리 수(178건)

[그림 2-76] 선로 관련 특허의 출원인 국적별 출원 현황

2) 국가별 출원 동향

○ 자기부상 선로 관련 기술 특허를 도메인별로 살펴보면, 일본에 가장 많은 특허가 출원되었으나 일본을 포함하여 대체적으로 15~25%로 고루 특허를 출원하고 있는 것으로 나타남

- 자기부상 기술과 달리 선로 기술의 시장은 상대적으로 여러 국가에 형성되어 있는 것으로 추측됨

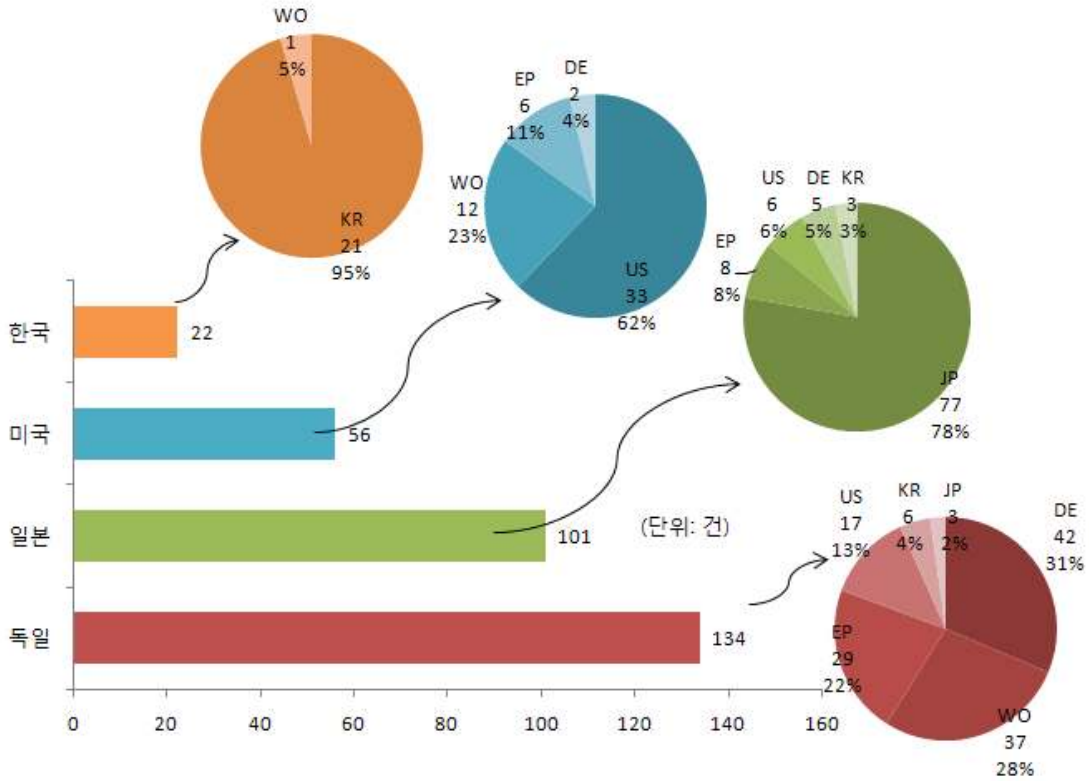


주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(335건)

[그림 2-77] 선로 관련 특허의 도메인별 출원 비율

○ 출원인 국적별로 자기부상 선로 관련 특허의 출원 현황을 살펴보면 가장 많은 특허를 보유한 독일의 경우 자국 내에 31% 특허를 출원하고 PCT 28%, 유럽에 22%의 특허를 출원함

- 일본은 일본에 78%의 특허를 출원하였으며 유럽 8%, 미국 6%의 특허를 출원함
- 미국은 미국 내에 62%의 특허를 출원하였으며 PCT 출원은 33%에 달함
- 한국은 95%의 특허를 한국에 출원함



주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(335건)

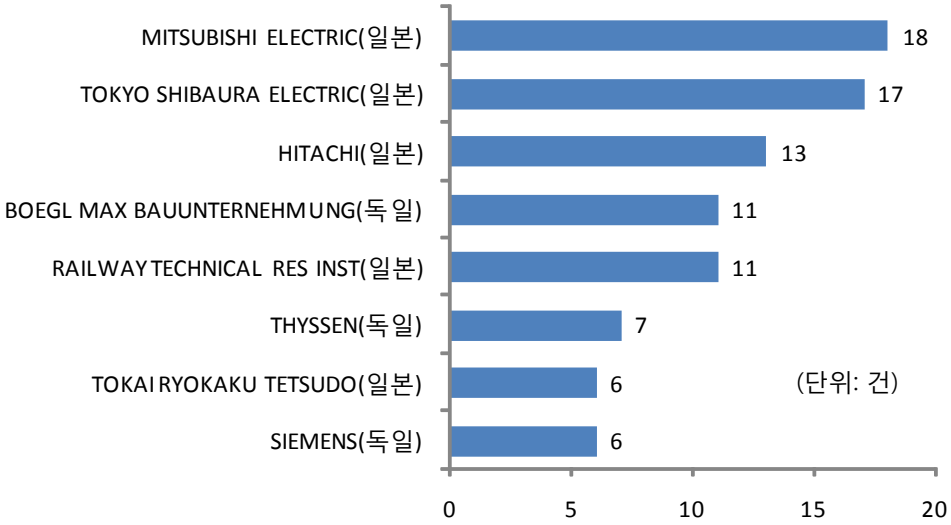
주2) 원형 그래프는 선형 그래프의 해당 국적 출원인이 어떤 도메인에 특허를 주로 출원했는지를 나타냄

[그림 2-78] 선로 관련 특허의 국가별 출원 현황

3) 출원인별 출원 동향

○ 일본의 MITSUBISHI에서 가장 많은 18건의 특허를 출원하였으며 1~3위까지 모두 일본기업으로 나타남

- 일본과 독일 기업들이 특허를 다수 출원하고 있음

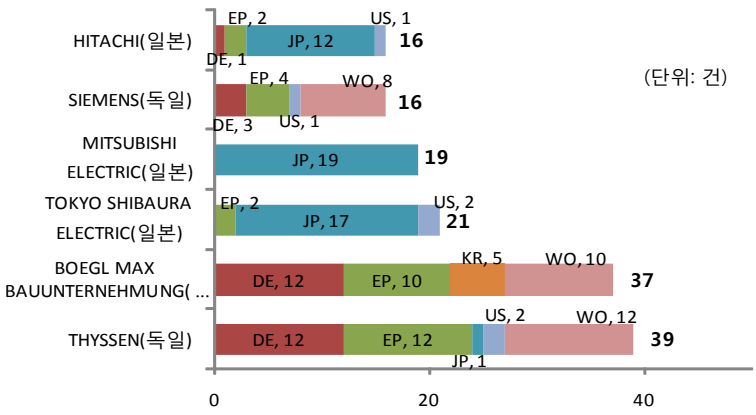


주) 같은 모기업 하에 있는 다른 회사의 경우 하나의 명칭으로 통일함

[그림 2-79] 선로 관련 특허의 출원인별 출원 현황

○ 자기부상 선로 관련 패밀리 특허 포함 가장 많은 출원을 진행한 기관은 자기부상 분야와 마찬가지로 독일 THYSSEN 이며 독일, 유럽, PCT 등에 특허를 많이 출원함

- HITACHI, EBARA 등 일본기업들은 대부분 일본에 특허 출원을 하고 있음
- 일본의 기업들보다 THYSSEN 등 독일 기업들이 패밀리특허를 다수 출원하고 있음



주) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터(335건)

[그림 2-80] 선로 관련 출원인의 특허 출원 현황

○ 선로 관련 특허의 상위 출원인은 MITSUBISHI, TOKYO SHIBAURA 등 일본기업으로 나타났으며 연평균 피인용도가 높아 질적으로 우수한 특허를 보유하였다고 판단되는 출원인은 LICHIUS LINA, US ARMY 등으로 나타남

- 자기부상 등 다른 기술들과 비교하여 상대적으로 특허들 간의 인용관계가 적음

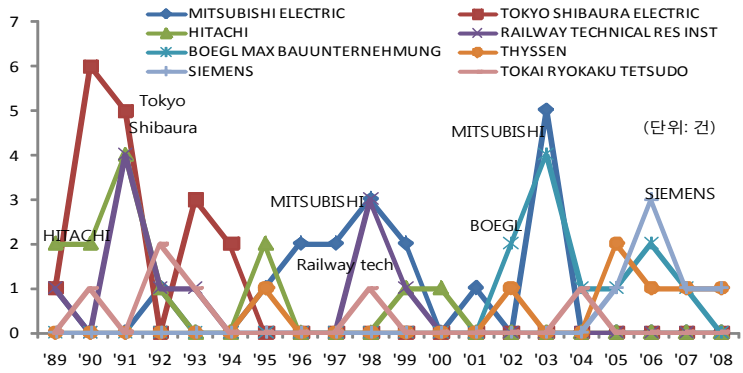
<표 2-8> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교

특허 출원 건수 상위 10위 출원인		연평균 피인용도 상위 10위 출원인	
MITSUBISHI ELECTRIC CORP	18	LICHIUS LINA	0.86
TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO	17	US ARMY	0.83
HITACHI LTD	13	MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY	0.69
RAILWAY TECHNICAL RES INST	11	US ENERGY	0.61
BOEGL MAX BAUUNTERNEHMUNG GMBH	11	GRUMMAN AEROSPACE CORP	0.39
THYSSEN	7	MAGLEV INC	0.38
SIEMENS AG	6	LI LINGQUN	0.25
TOKAI RYOKAKU TETSUDO KK	6	MAGNETBAHN GMBH	0.17

주) 질적 지표로 연평균피인용도를 활용하였으나 절대적인 지표는 아님

○ 출원인별로 특허 출원 추이를 살펴보면 1990년대 초에 TOKYO SHIBAURA, HITACHI 등의 일본 기업의 특허 출원이 활발하였으며 2000년대 초반 BOEGL, SIEMENS 등 독일 기업들의 특허 출원이 활발히 진행됨

- 2000년까지는 일본의 많은 기업들에서 특허 출원이 활발히 진행되었으나 2000대 이후 대부분 MITSUBISHI의 특허가 출원됨



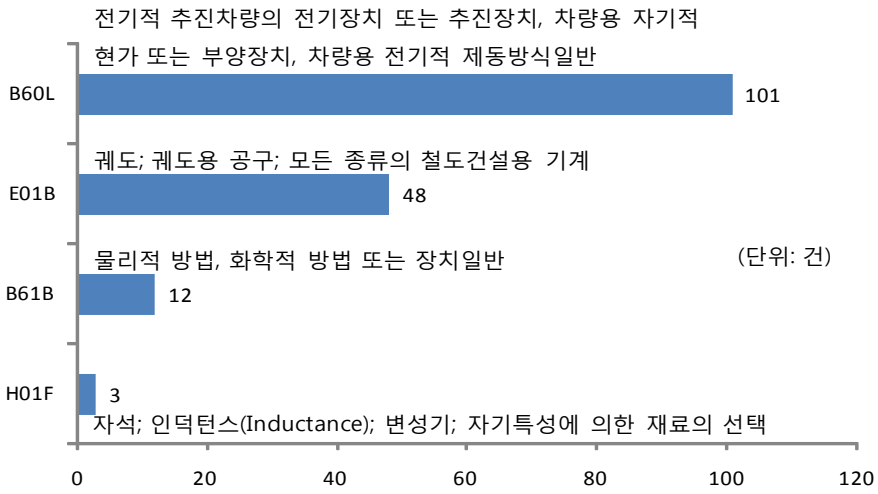
주) 특허패밀리 수 (178건)

[그림 2-81] 선로 관련 상위 출원인의 연도별 특허 출원 추이

4) IPC 분류별 출원 동향

○ 자기부상 선로 관련 특허들을 국제특허분류(IPC) 별로 구분하면 B60L이 대부분을 차지함

- B60L은 전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양장치, 차량용 전기적 제동방식일반에 관련된 IPC이며 자기부상 열차 관련된 분야임
- E01B는 궤도 등 철도건설용 기계 관련 IPC이며 자기부상 열차의 선로에 관련된 분야임



주) 특허패밀리 수 (178건)

[그림 2-82] 선로 관련 출원인의 특허 출원 현황

5) 주요특허리스트

○ 연평균 피인용도가 높은 특허, 패밀리특허가 많은 특허 등을 주요특허로 선별하였으며 2000년 이후 최근 특허는 모두 검토하여 연구팀에서 요청한 자기부상열차에 관련 선로 기술 특허의 주요특허 리스트로 선별함

NO.	특허번호	출원인	명칭
1	US5517924A	US ARMY(미국)	Double row loop-coil configuration for high-speed electrodynamic maglev suspension, guidance, propulsion and guideway directional switching
2	WO2002075051A2	LICHIUS LINA(독일)	GUIDEWAY FOR TRACK-GUIDED VEHICLES
3	JP2001054211A	MITSUBISHI ELECTRIC CORP(일본)	GROUND COIL APPARATUS FOR MAGNETIC LEVITATION RAIL-WAY
4	US5253591A	US ARMY(미국)	High speed maglev design
5	US5388527A	MASSACHUSETTS INST TECHNOLOGY(미국)	Multiple magnet positioning apparatus for magnetic levitation vehicles
6	US5215015A	HITACHI LTD(일본)	Track system and vehicle having both magnetic and aerodynamic levitation, with wings on the vehicle carrying the whole weight at normal operating speeds
7	US5184557A	US ENERGY(미국)	Expansion joint for guideway for magnetic levitation transportation system
8	US5253592A	US ARMY(미국)	Magnetic levitation configuration incorporating levitation, guidance and linear synchronous motor
9	US5274904A	GRUMMAN AEROSPACE CORP(미국)	Guideway coil of laminated foil construction for magnetically levitated transportation system
10	US5823114A	MAGLEV INC(미국)	Utility distribution system incorporating magnetic levitation vehicle guideways

6) 결론 및 시사점

○ 자기부상 선로 관련 특허는 많은 수가 출원되지는 않았으나 자기부상 관련 특허와 같이 최근 특허 출원이 급속도로 증가하고 있음

- 2000년대 중반 이후 미국, 유럽, 한국, 독일 등의 특허 출원이 활발히 진행되었으며 일본의 특허 출원은 1990년대에 비해 특허출원이 감소함

○ 일본에 가장 많은 특허가 출원되었으나 일본 포함 세계의 여러 나라에서 15~15% 정도의 특허가 출원되고 있음

- 자기부상 기술과 달리 선로 기술의 시장은 상대적으로 여러 국가에 형성되어 있는 것으로 추측됨

○ 가장 많은 특허를 보유한 독일의 경우 자국 내에 31% 특허를 출원하고 PCT 28%, 유럽에 22%의 특허를 출원함

- 일본은 일본에 78%의 특허를 출원하였으며 유럽 8%, 미국 6%의 특허를 출원함
- 미국은 미국 내에 62%의 특허를 출원하였으며 PCT 출원은 33%에 달함
- 한국은 95%의 특허를 한국에 출원함

○ 자기부상 선로 관련 특허는 일본의 기업에서 많은 특허를 출원하고 있는 것으로 나타났으며 가장 많은 특허를 출원한 기업은 MITSUBISHI로 분석됨

- 패밀리 특허를 모두 포함하면 가장 많은 출원을 한 기업은 독일의 THYSSEN이며 독일, 유럽, PCT 등에 많은 특허를 출원함
- 일본의 기업들은 독일에 비해 상대적으로 패밀리 특허 출원을 적게 하고 있으며 일본기업은 일본에 특허 출원을 대부분 하고 있음

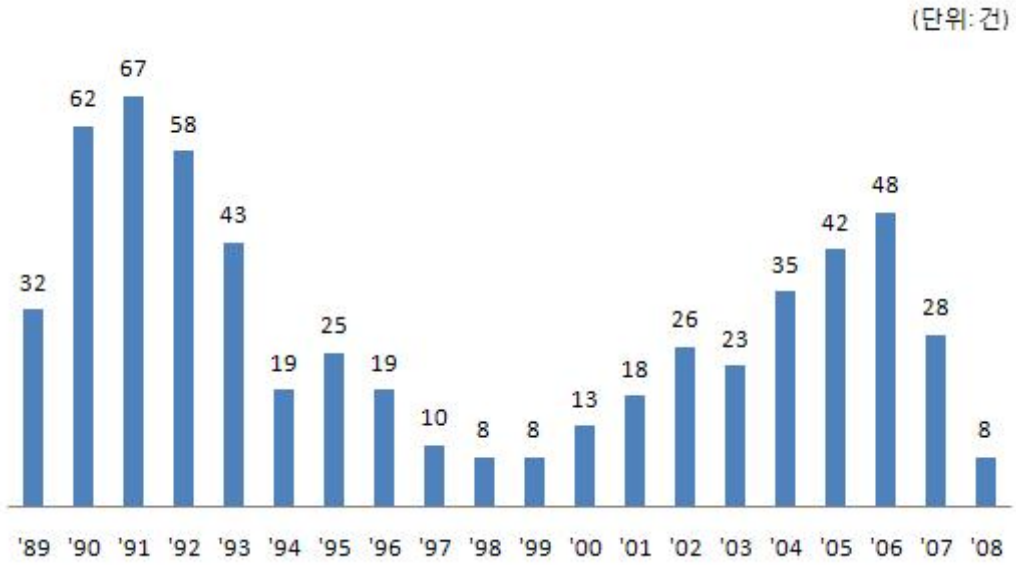
○ 1990년대 초에 TOKYO SHIBAURA, HITACHI 등의 일본 기업의 특허 출원이 활발하였으며 2000년대 초반 BOEGL, SIEMENS 등 독일 기업들의 특허 출원이 활발히 진행됨

- 일본은 많은 기업들에서 특허 출원이 활발히 진행되었으나 2000대 이후 대부분 MITSUBISHI의 특허가 출원됨

1.3 Vehicle

1) 연도별 출원 현황

○ 연도별 출원 현황을 살펴본 결과, Vehicle 관련 특허 출원은 1990년대 후반까지 하락하는 추세였으나 2000년대 초반 이후 다시 출원이 증가하여 현재까지 증가추세가 지속되고 있음

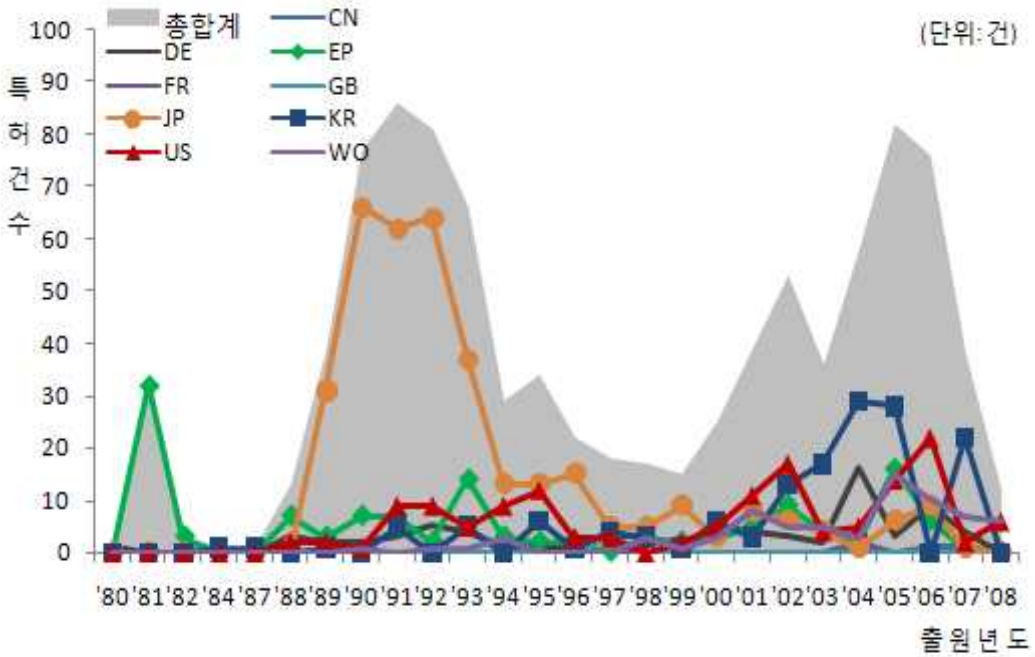


주1) '89년 이전에 출원된 특허 4건은 추세와 무관하다고 판단해 분석에서 제외하였음

[그림 2-83] Vehicle 관련 특허의 연도별 출원현황

- '91년을 기점으로 침체되던 Vehicle 관련 연구개발이 '00년을 기점으로 다시 활발해짐에 따라 특허출원 또한 증가추세를 나타내고 있음
- '00년 이후 관련 특허 출원의 증가추세가 뚜렷하고, 출원의 증가양상 또한 일정한 양상을 보이고 있어 현재도 증가추세가 지속되고 있는 것으로 판단됨
- 그래프 상에서 '06년도 이후의 특허 출원은 감소하고 있는 것으로 나타나나, 이는 출원된 특허가 공개되기까지 시간적 갭이 존재하기 때문에 발생하는 현상으로 실제 특허의 출원 추세를 반영한다고 볼 수 없음

○ 도메인별로 Vehicle 관련 특허의 연도별 출원 추이를 살펴본 결과, 자기부상열차의 차체와 관련된 특허의 출원은 일본 중심으로 출원이 이루어진 과거와 달리 한국을 포함한 다양한 국가에서 특허 출원이 진행되고 있음



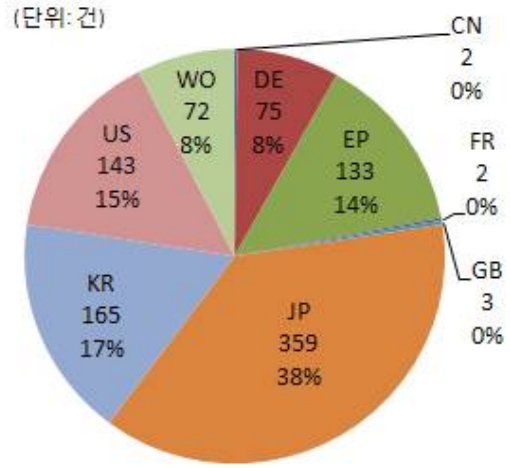
주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터 (954건)

[그림 2-84] Vehicle 관련 특허의 연도별 출원 추이

- 1991년을 전후로 출원된 관련 특허는 대부분 일본 특허였으며, 당시의 특허 출원 증가 및 감소 추세 또한 일본 특허의 출원 추이에 크게 영향을 받아 일본이 기술개발을 주도하였음을 확인할 수 있음
- 2000년 이후 관련 특허의 출원추이는 특정 국가의 영향을 받지 않고 있으며 다양한 국가에서의 전반적인 출원 증가가 전체 특허 출원의 증가추세를 이끌고 있음이 확인됨
- 출원 추이에 거의 변화가 없었던 한국에서도 세계적 추세를 반영하듯 특허 출원이 증가하고 있고, 뿐만 아니라 점차 다른 국가들보다 많은 특허를 출원하고 있어 활발한 기술개발이 진행되고 있는 것으로 판단됨
- '90년대 초반 특허 출원의 급격한 성장을 보였던 일본의 경우, 2000년 이후에 특허 출원의 증가추이를 찾아볼 수 없으며 매년 10건 미만의 특허만이 꾸준히 출원되고 있음

2) 국가별 출원 동향

○ 도메인별로 Vehicle 관련 특허의 출원건수를 비교분석한 결과, 일본에 가장 많은 특허가 출원되었고, 그 뒤로 한국, 미국, 유럽에 각각 비슷한 양의 특허가 출원되었음이 확인됨

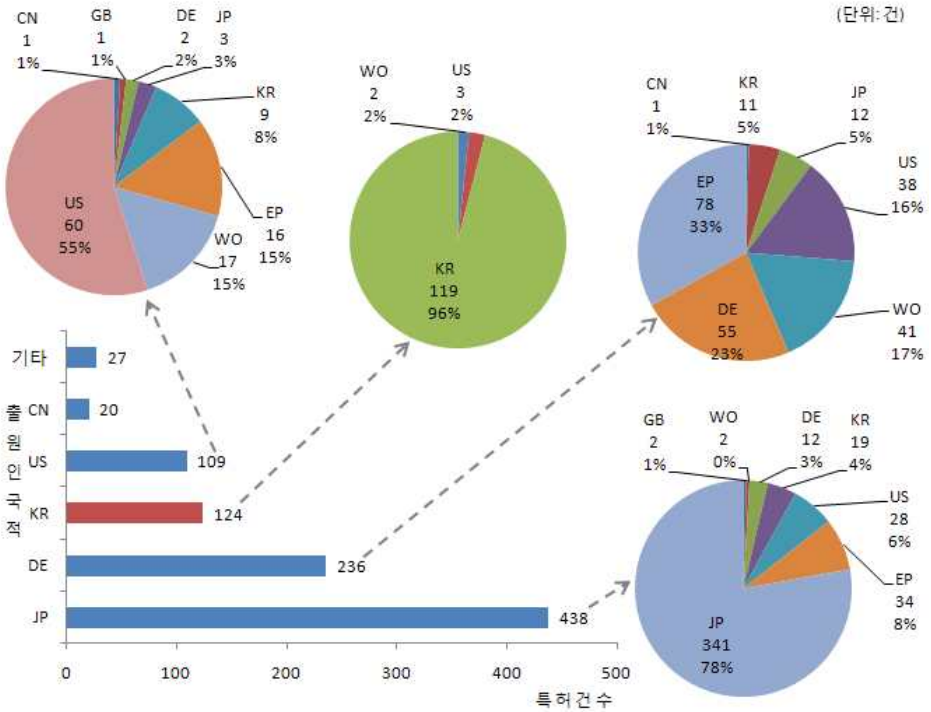


주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터 (954건)

[그림 2-85] Vehicle 관련 특허의 도메인별 출원비율

- 일본의 경우 최근의 특허 출원 추이는 상대적으로 저조한 편이나, '90년대 초반을 전후로 한 특허 출원의 급격한 증가가 현재까지 영향을 미치고 있음
- 한국의 경우 다른 나라에 비해 상대적으로 특허 출원의 증가가 뒤늦게 일어난 편이나, 꾸준한 출원 증가를 통해 일본 다음으로 많은 특허를 출원하였음
- Vehicle과 관련하여 일본에서 가장 많은 359건(전체 출원의 약 38%)이 출원되었고, 한국과 미국, 유럽에서는 각각 약 15%에 달하는 특허를 출원하였으나 최근의 추세를 통해 짐작했을 때 한국이 차지하는 비중이 점차 더 높아질 것으로 판단됨

○ 출원인의 국적별로 Vehicle 관련 특허 출원 현황을 살펴본 결과, 일본 국적의 출원인이 가장 많은 특허를 출원하였고 그 뒤를 이어 독일, 한국, 미국의 순으로 특허 출원이 주로 이루어지고 있었음



주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터 (954건)

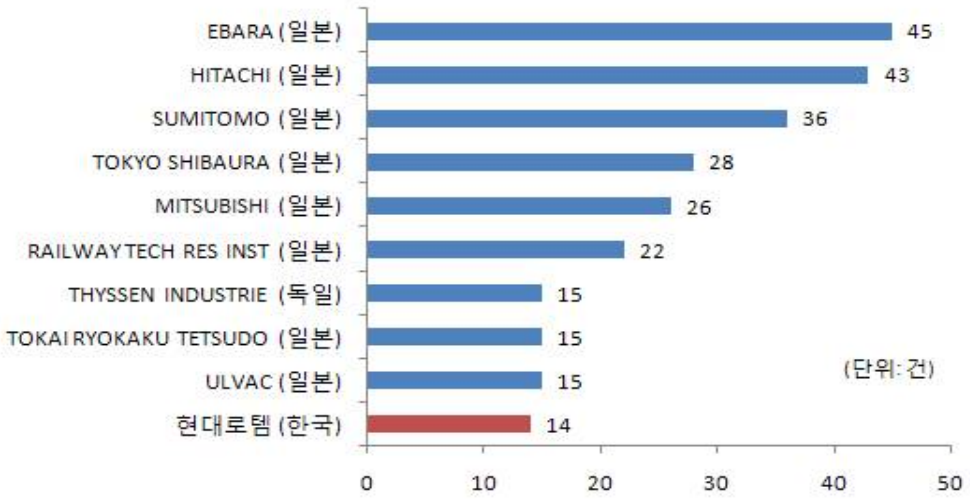
주2) 원형 그래프는 선형 그래프의 해당 국적 출원인이 어떤 도메인에 특허를 주로 출원했는지를 나타냄

[그림 2-86] Vehicle 관련 특허의 출원인 국적별 분포

- 일본 국적의 출원인들은 대부분(약 78%) 자국에 관련 특허를 출원하고 있으며, 이외에 유럽이나 미국에도 특허를 출원하나 비중은 낮은 편임
- 독일과 미국 국적의 출원인들은 자국뿐만 아니라 유럽, PCT, 미국 등에 고르게 특허를 출원하고 있으며 한국 및 일본에도 특허를 출원하고 있음
- 한국 국적의 출원인들은 아직 자국의 특허출원에 집중(약 96%)하고 있어 다른 국가에의 지식 재산권 확보를 추진하는 것이 필요하다고 판단됨

3) 출원인별 출원 동향

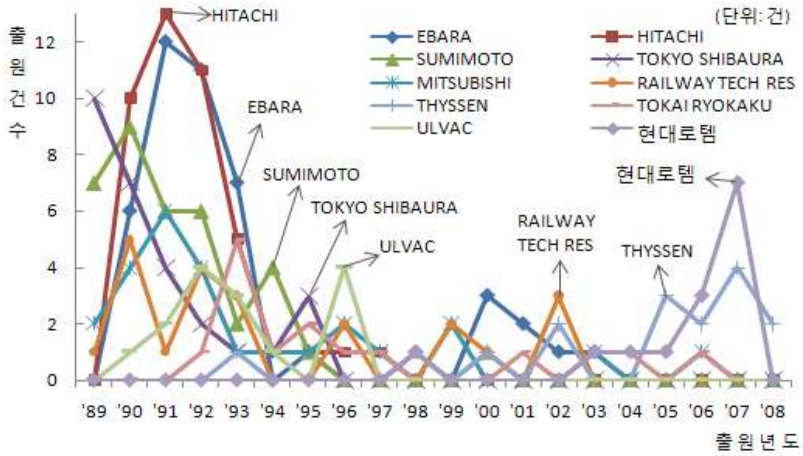
○ 출원인별로 Vehicle 관련 특허의 출원현황을 살펴본 결과, 일본의 EBARA가 가장 많은 45건의 특허를 출원하고 있으며 상위 10위권 출원인 가운데 대부분의 출원인이 일본회사임이 확인됨



주1) 같은 모기업 하에 있는 다른 회사의 경우 하나의 명칭으로 통일하였음

[그림 2-87] Vehicle 관련 특허의 출원인별 특허 추이

- 일본의 철도종합연구소(Railway Technical Research Institute)를 제외한 주요 출원인들이 대부분 기업이며, 전기, 중공업 분야의 기업들인 것으로 확인됨
  - 1987년 일본의 JNR이 JR 회사로 법인화됨에 따라 이에 소속된 철도종합연구소(RTRI)는 엄밀히 말해 회사 부설 연구소이나, JR의 특성 및 정부보조금을 통한 연구를 진행한다는 점에서 연구소로 분류하였음
- 이외에 THYSSEN INDUSTRIE, 현대로템도 상위 10위권인에 포함되어 있음
  - THYSSEN은 1999년 KRUPP과 통합하여 ThyssenKrupp이 되었으며, 관련 특허에서 KRUPP의 특허는 찾지 못해 편의상 THYSSEN으로 약칭함
  - 현대로템은 2001년 현대자동차 그룹으로 편입된 이후 (주)로템으로 특허를 출원하였으며, 2007년 다시 사명을 현대로템(주)로 변경하였음
- 도메인별 출원 동향 분석을 통해 일본의 특허가 대부분 90년대 초반에 출원되었음을 알 수 있기에, 최근의 출원인별 출원 동향을 이해하기 위해서는 출원인별로 연도별 특허 출원 추이를 파악할 필요가 있음
- 출원인별로 연도별 특허 출원 추이를 살펴본 결과, 도메인별 특허 출원 추이 분석에서와 같이 1990년대 초반을 전후로는 일본의 출원인이, 2000년 이후로는 다른 나라의 특허 출원이 주를 이루고 있음이 확인됨

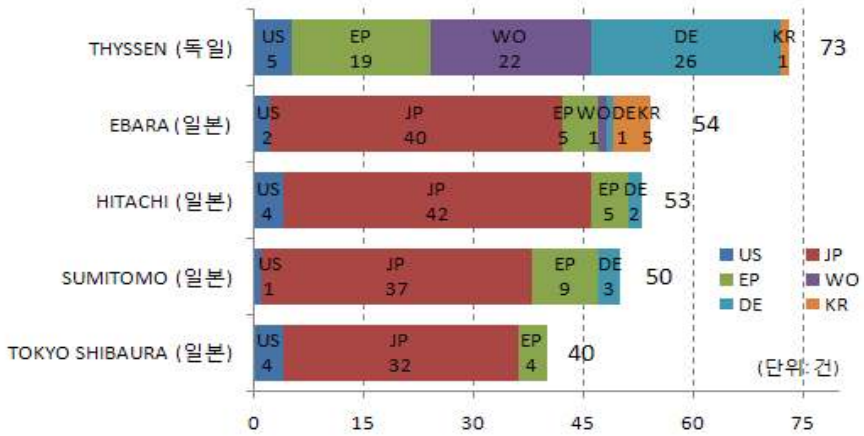


[그림 2-88] Vehicle 관련 특허 상위 출원인 연도별 특허 출원 추이

- 90년대 초에는 HITACHI, EBARA, TOKYO SHIBAURA 등의 일본기업이 활발하게 특허를 출원하였으나, 이들의 출원은 90년대 말 이후 저조해져 그래프 상에 거의 나타나지 않고 있음
  - 다만 RITI의 경우 비교적 꾸준히 특허를 출원하고 있는 것으로 보임
  - EBARA는 2000년 3건의 특허를 출원하였으나 이후로는 거의 특허를 출원하지 않고 있으며 MITSUBISHI와 TOKYO SHIBAURA가 간간히 1건의 특허만을 출원하고 있음
- 2000년 이후로는 독일의 THYSSEN과 한국의 현대로템만이 특허 출원추이에서 증가하는 모습을 보이고 있음
  - THYSSEN과 현대로템은 90년대 초반 전후로는 거의 특허 출원이 없었음
  - THYSSEN이 기복은 있지만 점차 증가하는 양상을 나타내고 있다면, 현대로템은 특허출원이 거의 없던 상황에서 갑자기 특허출원이 급증하는 양상을 보이고 있음
  - 이러한 맥락에서 향후 현대로템의 출원추이를 지켜볼 필요가 있다고 판단됨

○ 특허패밀리를 모두 포함한 데이터를 기준으로 Vehicle 관련 특허 상위 5개 출원인의 도메인별 특허 출원 현황을 살펴본 결과, 출원인 국적별 특허 출

원 양상과 비슷하게 일본기업들은 대부분의 자국에의 특허 출원에 집중하고 있는 것으로 나타남



주1) 특허패밀리를 모두 포함한 데이터 (954건)

[그림 2-89] Vehicle 관련 특허의 상위 5개 출원인의 도메인별 출원 현황

- 특허패밀리를 모두 포함할 때 가장 많은 73건의 특허를 출원한 독일의 THYSSEN은 유럽, PCT, 독일에 걸쳐 고르게 특허를 출원하였으며 한국에도 1건의 특허를 출원한 것으로 나타났음
- EBARA를 비롯한 일본의 주요 출원인들은 출원한 특허의 90% 가량이 모두 자국 특허인 것으로 나타남
  - 그래프에는 나타나지 않았으나 현대로템을 비롯한 국내 출원인 역시 한국 을 제외한 도메인에의 특허 출원이 저조한 것으로 나타남
- 많은 기업이 미국, 일본, 유럽 등 주요 도메인뿐만 아니라 독일에도 특허를 출원하고 있는 점에서 다른 기술분야와 차이가 있음
  - 현재까지의 출원현황으로 미루어볼 때 차츰 한국에도 외국 출원인의 특허 출원이 증가할 것이라 전망됨

○ Vehicle과 관련하여 질적으로 우수한 특허를 보유한 출원인은 일본의 AIST (Agency of Industrial Science and Technology)를 비롯한 주요 출원인 기업과 미국의 PARK SQUARE TECHNOLOGY, Mark A. Stull 등이 있었음

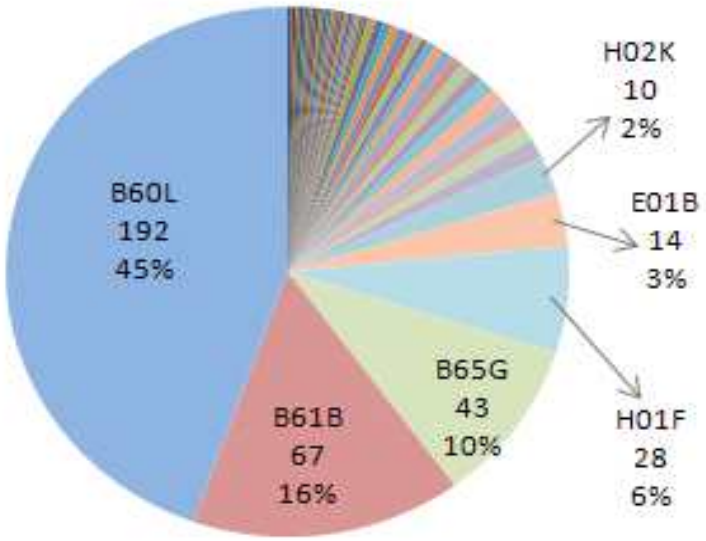
<표 2-9> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교

특허 출원 건수 상위 10위 출원인		연평균 피인용도 상위 10위 출원인	
EBARA	45	AGENCY IND SCIENCE TECHN	2.34
HITACHI	43	PARK SQUARE TECHNOLOGY	2.31
SUMIMOTO	36	MARK STULL	2.00
TOKYO SHIBAURA	28	ORLO JAMES FISKE	1.50
MITSUBISHI	26	SUMIMOTO	1.39
RAILWAY TECH RES INS	22	US ARMY	1.35
THYSSEN	15	SEIKO SEIKI	1.35
TOKAI RYOKAKU TETSUDO	15	HITACHI LTD	1.31
ULVAC	15	TOKYO SHIBAURA	1.25
현대로템	14	UNKNOWN	1.24

- 연평균 피인용도가 높은 특허들은 대부분 Vehicle을 포함한 자기부상열차 시스템 전반을 다루고 있음
- 2.34로 가장 높은 연평균 피인용도를 기록한 AIST의 특허 US6418857 (특허제목: Superconductive magnetic levitation transportation system, 패밀리 특허로 EP1080982A1, JP2001063556A가 있음)은 2000년에 출원된 특허로, 초전도체를 이용한 자기부상 운송시스템에 대한 내용에 대해 권리를 주장하고 있음
- 높은 연평균 피인용도를 가진 특허의 출원인 가운데 미군(US ARMY)이 있으며, 미군은 Vehicle과 관련된 특허로 지금까지 총 3건(US5517924A, US5253591A, US5586504A)의 특허를 출원한 것으로 확인됨
- 본 보고서에서는 질적 우수성을 측정하는 지표로 연평균 피인용도를 활용하였으나, 이는 절대적인 지표는 아니며 상대적으로 최근에 출원된 특허는 낮은 연평균 피인용도를 기록할 수밖에 없다는 한계가 있음

4) IPC 분류별 출원 동향

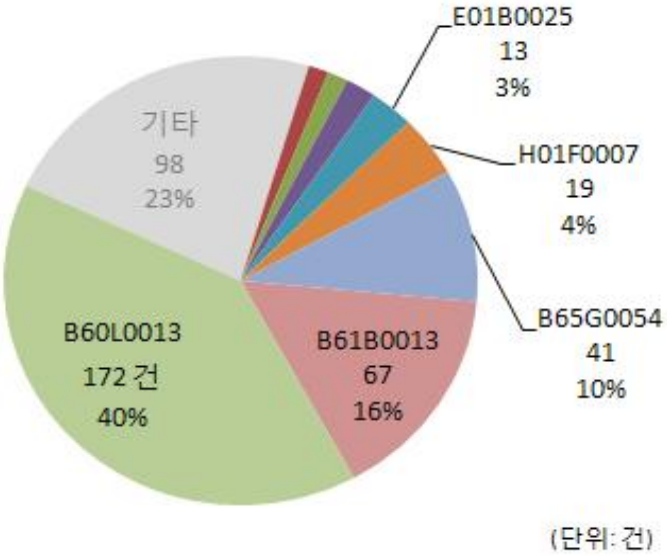
○ Vehicle 관련 특허의 IPC 분류들을 살펴본 결과, 절반가량의 특허가 B60L(전기적 추진차량의 전기장치 또는 추진 장치, 차량용 자기적 현가 또는 부양 장치)의 분류로 출원되었고, 이후로 B61B(철도 방식), B65G(운반 또는 저장 장치), H01F(자석, 인덕턴스, 변성기 등)의 분류 순으로 특허가 출원되었음



(단위: 건)

[그림 2-90] Vehicle 관련 특허의 IPC 분류별 출원 동향

○ 세부 IPC 분류별로는 B60L 13/00(모노레일차량, 차체현가차량, 랙(rack)식 철도를 위한 전기적 추진 장치 차량용 자기 현가 또는 부양)과 B61B 13/00(다른 철도 방식 - 접동 또는 부양 장치 등), B65G 54/00(전기적 또는 자기적인 콘베이어) 분류의 순으로 특허가 출원되었음



[그림 2-91] 세부 IPC 분류별 출원 동향

5) 주요특허리스트

○ 연평균 피인용도가 높은 특허를 주요특허로 선별하였으며, 2005년 이후에 출원된 최근 특허는 모두 검토하여 Vehicle 관련 주요특허 리스트로 선별함

NO.	특허번호	출원인	명칭
1	US6418857B1	AIST (일본)	Superconductive magnetic levitation transportation system
2	US6044770A	PARK SQUARE TECHNOLOGY (미국)	Integrated high speed MAGLEV system
3	US5473233A	MARK A. STULL (미국)	Electromagnetically propelled high-speed high-capacity transportation system for short-distance travel in urban and suburban areas
4	US6374746B1	FISKE ORLO JAMES (미국)	Magnetic levitation transportation system and method
5	US4906609A	SUMITOMO ELECTRIC (일본)	Fabrication of superconducting oxide wires by powder-in-tube method
6	US5517924A	US ARMY (미국)	Double row loop-coil configuration for high-speed electrodynamic maglev suspension, guidance, propulsion and guideway directional

NO.	특허번호	출원인	명칭
7	US5288199A	SEIKO SEIKI (일본)	Transporting device of magnetically floating type
8	US5094173A	HITACHI (일본)	Superconducting magnetic levitated train, train system method of controlling the same, and superconducting coil for magnetic levitated train
9	US5251741A	TOKYO SHIBAURA ELECTRIC (일본)	Carrying apparatus having carrier levitated by magnetic force
10	US20060152309 A1	UNKNOWN	Magnetic levitation of intraluminal microelectronic capsule
11	WO2008028450 A1	THYSSENKRUPP TRANSRAPID (독일)	MAGLEV VEHICLE HAVING GUIDANCE MAGNETS
12	JP2008005652A	MITSUBISHI ELECTRIC (일본)	MAGNETIC LEVITATION VEHICLE
13	US7472786B2	KYUSHU INST. OF TECHNOLOGY (일본)	Non-contact conveying device using superconducting magnetic levitation
14	WO2008110478 A2	SIEMENS AG (독일)	SYSTEM FOR A VEHICLE, COMPRISING A LINEAR MOTOR WITH A LONG STATOR ALONG THE TRACK
15	KR20070095667 A	한국철도기술연구원	선형전동기 및 비접촉 급전시스템을 이용한 철도차량시스템

6) 결론 및 시사점

○ Vehicle과 관련한 특허로 총 598건이 검색되었으며 패밀리 특허를 모두 포함하여 총 954건의 특허를 분석대상으로 선정하였음

- 연구팀의 요청으로 키워드 Vehicle을 통해 검색된 특허 중 Vehicle의 내용을 포함한 자기부상열차 시스템 관련 특허, Vehicle의 부품으로 검색된 특허 리스트를 모두 포함하여 분석하였음

○ Vehicle 관련 특허의 약 38%가 일본에 출원되어 있었으며 한국과 미국, 유럽에도 각각 약 15%의 특허가 출원되었음

- 일본의 경우 최근의 특허 출원은 상대적으로 저조하나 1991년을 전후로 기업들의 활발한 특허출원이 이루어져 현재까지 Vehicle과 관련해 가장 많은 특허를 보유하고 있음
- 2000년 이후로는 한국, 미국, 유럽의 특허가 모두 고르게 출원되었고 일본의 특허 출원이 전체 추세에 영향을 미치던 90년대와는 달리 모든 도메인의 특허 출원이 비슷하게 증가하는 양상을 나타내고 있음
- 비교적 최근 출원이 증가하기 시작한 한국과 독일의 특허가 상위권에 랭크되고 있어 현재에도 활발한 연구개발이 진행되고 있는 것으로 분석됨

○ EBARA, HITACHI, SUMIMOTO 등 일본 기업의 특허 출원이 전체 특허 출원의 절반 이상을 차지하고 있으나 대부분 90년대에 출원한 특허들이며, 2000년대 이후에는 THYSSENKRUPP, 현대로템 등의 기업에서 특허를 다수 출원함

- 특히 현대로템은 특허출원이 거의 없던 상황에서 특허출원이 급증하는 양상을 보이고 있어 앞으로의 출원추이를 지켜볼 필요가 있는 것으로 판단됨

○ 여러 도메인에 고르게 출원하는 미국 및 유럽의 특허들과는 달리 일본과 한국의 특허는 대부분 자국에만 출원되어 있어 세계적 지식재산권 확보를 위한 움직임이 필요한 것으로 사료됨

- 특히 한국의 경우 해외에 특허를 출원할 경우 반드시 특허 침해 회피를 위한 전략을 수립해야 할 것으로 판단되며, Vehicle에 대한 특허뿐만 아니라 시스템 전반을 다루는 특허들에 대해 심도 있는 분석을 시행해야 함

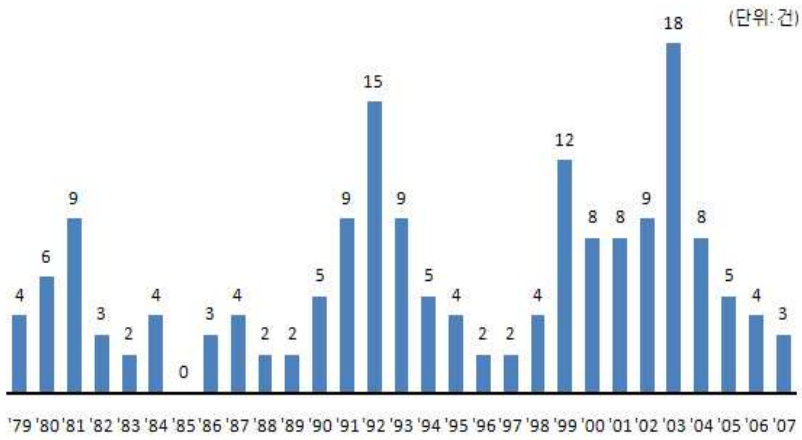
1.4 Linear Synchronous Motor

1) 연도별 출원 현황

○ LSM 관련 기술은 1970년대부터 꾸준히 발전해왔으며 1990년대 초와 1990년대 말에 상대적으로 많은 특허 출원이 시작되어 2003년에는 가장 많은 18건의 특허가 출원됨

- 1990년대 말 자기부상열차에 관련된 연구가 활발해 져서 다시 특허출원이 활발해진 것으로 판단됨

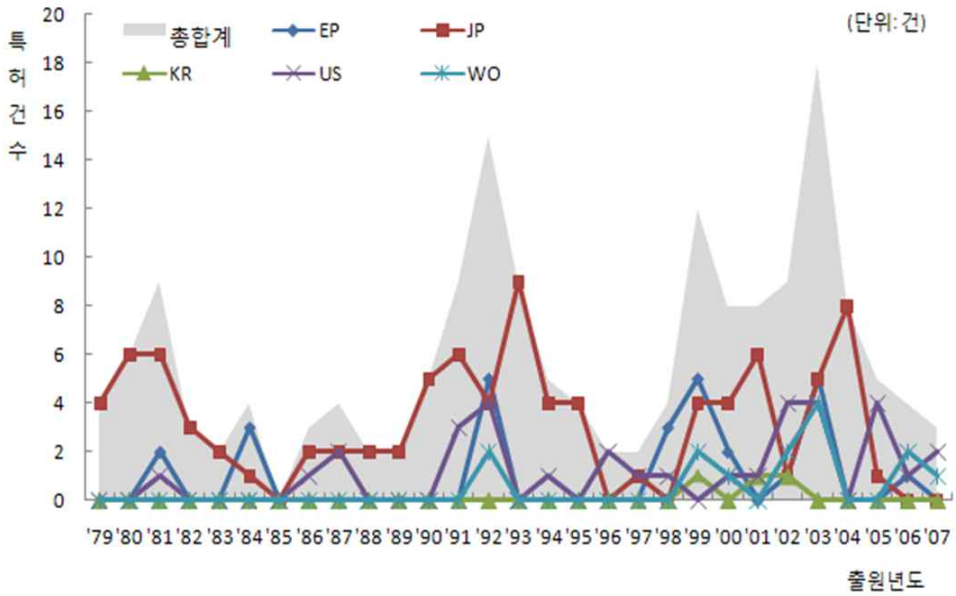
- 2006년도 이후 특허 출원수가 감소하는 것은 특허 출원 후 공개되기까지 시간이 소요되기 때문임



[그림 2-92] LSM 기술의 연도별 출원 현황

○ [그림 2-92]을 살펴보면 LSM 기술은 일본에서 높은 특허 출원율을 보이며 2000년대 중반에 가장 많은 특허를 출원함

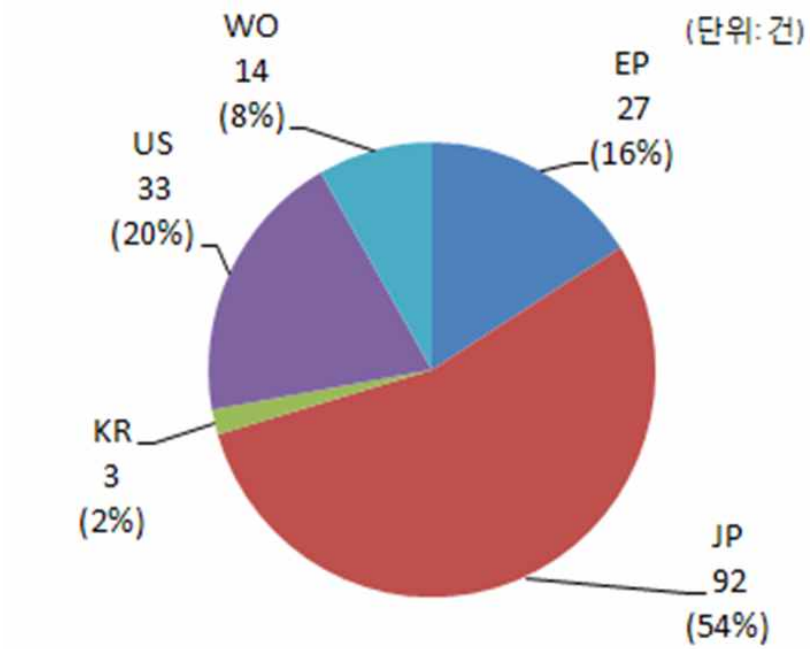
- 미국과 유럽의 경우 특허 출원 추이는 비슷하며 2000년대 초에 미국에 특허출원이 활발해짐



[그림 2-93] LSM 기술의 연도별 출원 추이

2) 국가별 출원 동향

○ LSM 기술 관련 도메인별 특허 출원건수를 살펴보면, LSM 기술은 일본에 많은 특허를 출원하고 있음을 알 수 있으며 미국과 유럽에 비슷한 출원 건수를 출원함

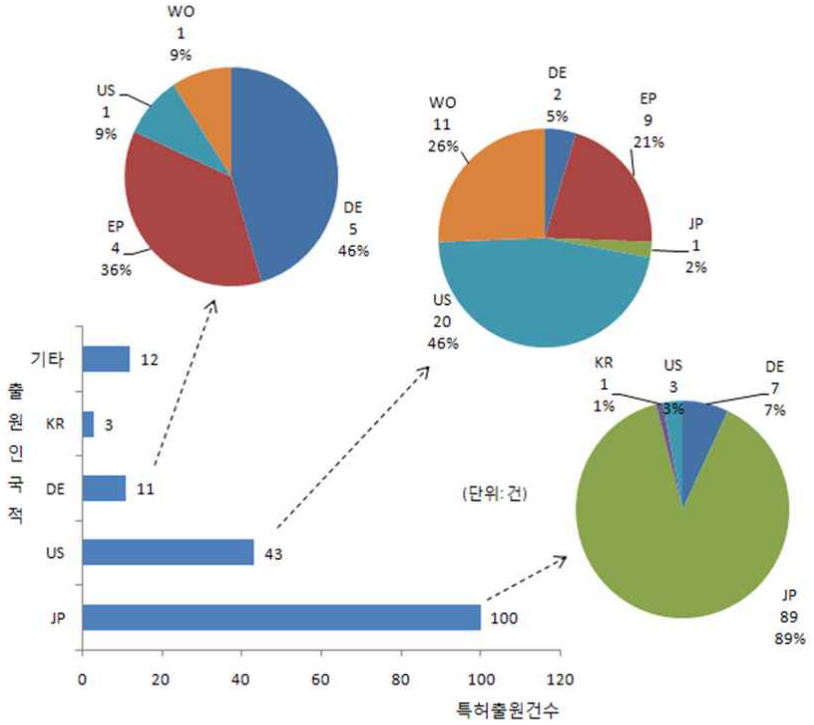


[그림 2-94] LSM 기술의 도메인별 출원비율

- LSM 기술은 일본에 가장 많은 54%인 92건을 출원하고 있고 유럽과 미국에 출원하는 특허가 비슷하나 유럽이 4%정도 앞서고 있으며 한국에는 2%의 특허를 출원함

○ 출원인 국적별 특허 출원현황을 살펴보면 일본 출원인이 가장 많은 LSM 기술 관련 특허를 출원하였고 미국, 독일 순으로 특허를 많이 출원함

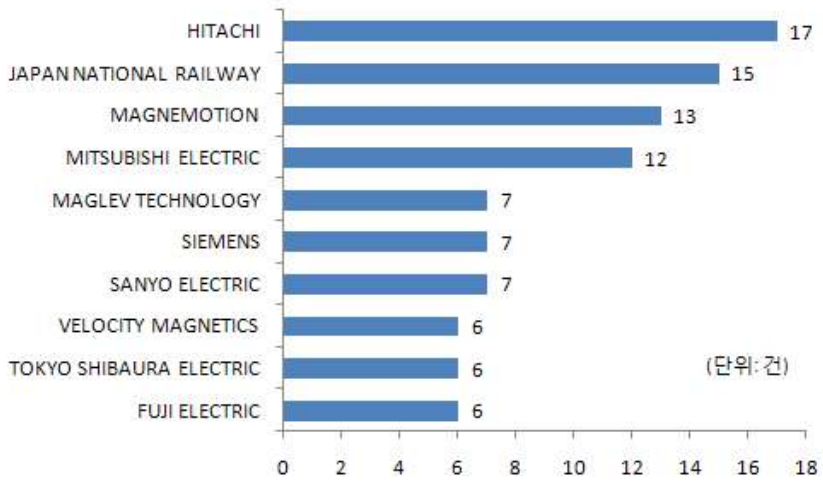
- 가장 많은 특허를 출원한 일본은 자국내 특허 출원이 가장 많고 독일, 미국 등에 특허를 출원함
- 미국과 독일의 출원인도 자국의 특허출원을 많이 하는 경향을 보였으나 상대적으로 고르게 각 국가에 출원하고 있는 것으로 분석됨



[그림 2-95] LSM 기술의 출원인 국적별 분포

3) 출원인별 출원 동향

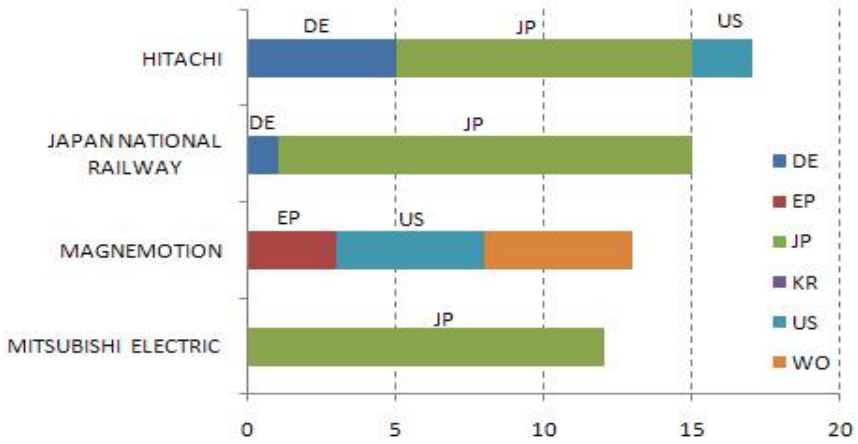
○ LSM 기술의 출원인별로 특허 출원현황을 살펴보면 일본의 HITACHI 사가 가장 많은 17건의 특허를 출원하였으며 MAGNEMOTION을 제외하고는 거의 일본회사가 상위권에 랭크됨



[그림 2-96] LSM 기술의 출원인별 특허 출원 추이

○ LSM 기술의 상위 4위 출원인의 도메인별 특허 출원 현황을 살펴보면 대부분 자국에 특허를 많이 내고 있지만 독일과 미국에도 특허를 출원하고 있음

- 출원건수가 가장 많은 일본의 HITACHI 社의 경우 전체 17건 중 독일에 5건, 일본에 10건, 미국에 2건을 출원하였음
- Japan National Railway의 경우 독일과 일본에 출원하는 모습을 보임



[그림 2-97] LSM 기술의 상위 4개 출원인의 도메인별 출원 현황

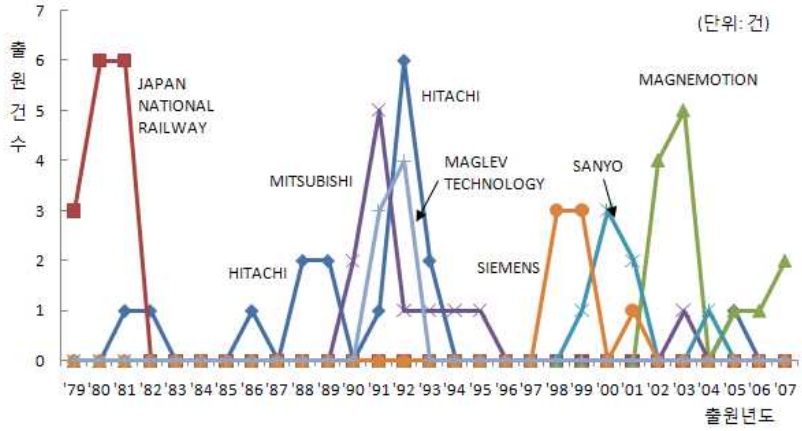
○ LSM 기술 관련 특허를 양적으로 많이 보유한 출원인은 HITACHI, JNR, MAGNEMOTION 등이고 질적으로 우수한 특허를 보유한 출원인은 MAGLEV TECHNOLOGY, SIEMENS, SANYO 등으로 나타남

<표 2-10> 특허건수와 연평균 피인용도 상위 10위 출원인 비교

특허 출원 건수 상위 10위 출원인		연평균 피인용도 상위 10위 출원인	
HITACHI	17	MAGLEV TECHNOLOGY	3.41
JAPAN NATIONAL RAILWAY	15	WAVRE; NICOLAS	3.38
MAGNEMOTION	13	SIEMENS	3.21
MITSUBISHI ELECTRIC	12	SANYO ELECTRIC	2.62
SANYO ELECTRIC	7	HITACHI	1.92
SIEMENS	7	MAGNEMOTION	1.10
MAGLEV TECHNOLOGY	7	CIMARRON TECHNOLOGY	0.98
FUJI ELECTRIC	6	OTIS ELEVATOR	0.80
TOKYO SHIBAURA ELECTRIC	6	BOEING	0.71
VELOCITY MAGNETICS	6	POWER PARAGON	0.64

주) 질적 지표로 연평균피인용도를 활용하였으나 절대적인 지표는 아님

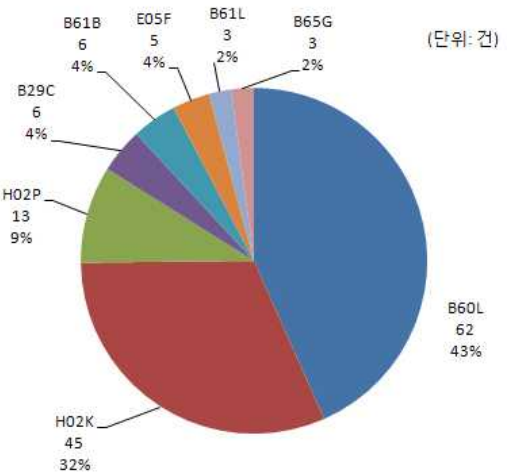
○ 출원인별로 특허 출원 추이를 살펴보면 90년대 초에는 HITACHI MITSUBISHI 등 일본기업들의 특허 출원이 활발하였으나 2000년대에는 SIEMENS, MAGNEMOTION 등 독일과 미국 기업의 특허출원이 활발함



[그림 2-98] LSM 기술 상위 출원인 연도별 특허 출원 추이

4) IPC 분류별 출원 동향

○ LSM 기술 관련 특허들의 IPC 분류들을 살펴보면 B60L(전기적 추진차량의 전기장치)와 H02K(발전기, 전동기)의 분류가 75%를 차지하며 H02P(전동기, 발전기 제어/조정), B61B(철도 방식) 등의 순서로 높은 비율을 차지함



[그림 2-99] LSM 기술의 IPC 분류별 특허건수

5) 주요특허리스트

○ 연평균 피인용도가 높은 특허, 패밀리특허가 많은 특허 등을 주요특허로 선별하였으며 2000년 이후 최근 특허는 모두 검토하여 연구팀에서 요청한 자기부상열차에 관련한 LSM 특허에 대한 특허를 중점적으로 주요특허 리스트로 선별함

NO.	특허번호	출원인	명칭
1	JP2003052164A	UNIV NIHON	MAGNETICALLY LEVITATED TYPE XY PLANAR LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR
2	US5208496A	MAGLEV TECHNOLOGY	Linear synchronous motor having variable pole pitches
3	JP2003116262A	SHOWA ELECTRIC	LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR
4	JP2007089260A	HITACHI	LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR
5	JP2005224074A	TOKAI RYOKAKU TETSUDO	FEEDER CONTROL SYSTEM AND METHOD FOR LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR VEHICLE
6	US5253592A	UNITED STATES OF AMERICA DEPARTMENT OF ENERGY	Magnetic levitation configuration incorporating levitation, guidance and linear synchronous motor
7	US5910691A	WAVRE; NICOLAS	Permanent-magnet linear synchronous motor
8	US6917136B2	MAGNEMOTION	Synchronous machine design and manufacturing
9	WO2007108586A1	KOREA RAILROAD RES INST	SYSTEM OF RAILWAY VEHICLE USING LINEAR MOTOR AND NON-CONTACT ELECTRIC POWER SUPPLY SYSTEM
10	WO2008005428A2	MAGNEMOTION	LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR POWER CONTROL SYSTEM AND METHODS

NO.	특허번호	출원인	명칭
11	JP2005237079	TOSHIBA MACHINE	LINEAR SYNCHRONOUS MOTOR
12	KR20000072874A	학교법인 포항공과대학교	양측식 선형동기모터{LINEAR SYNCHRONIZING MOTOR}
13	KR20030066321A	가부시키가이샤 야스카와덴키	영구자석형 동기 리니어모터{Permanent magnet synchronous linear motor}

6) 결론 및 시사점

○ LSM 기술 관련한 특허는 모두 169건이 출원되었으며 패밀리 특허를 제외하면 108건이 출원됨

- LSM 기술 특허 중 54%의 특허가 일본에 출원되었으며 미국과 유럽에도 약 20% 씩 출원되었음
- 1990년대 일본 기업들의 출원이 활발하였고 2000년도에는 미국, 유럽, 일본 기업의 특허가 고르게 출원되는 경향을 보임
- 유럽 중 독일의 특허가 상위권에 랭크되어 연구개발이 활발히 이뤄지고 있는 것으로 분석됨

○ LSM 기술의 경우 전체 특허 출원 수는 HITACHI가 가장 많으나 1990년도에 출원한 특허가 대부분이며 2000년대 이후에는 MAGNEMOTION, SEIMENS 등 기업에서 특허를 다수 출원함

○ LSM 기술 특허 대부분이 LSM의 구성 부분에 대한 설명과 원리를 설명하는 방식으로 권리범위를 한정하여 특허를 출원하는 경향을 보임

○ 우리나라의 경우 LSM에 대한 특허가 많지 않아 특허문제를 야기할 가능성은 적으나 일본이나 미국에 특허를 출원할 경우 특허 침해 회피를 위한 전략이 수립되어야 할 것으로 판단됨

제 3 장 정책적 타당성

제1절 사업추진의 시의성

□ 글로벌 환경문제 대두 및 고유가 시대를 맞이하여 미국, 일본 등 여러 나라에서 장거리 교통수요를 대폭적으로 흡수할 수 있는 초고속 교통망 건설에 대한 연구가 진행 중임

○ 일본은 도쿄~오사카 구간을 연결하는 초고속 추오신간선 건설을 추진 중에 있으며 시험선을 건설하여 10여년간 시험을 계속하고 있음

○ 독일은 중국이 아닌 자국 내 초고속 실용화 노선에 대한 검토를 지속적으로 수행하고 있음

○ 미국은 애너하임~라스베가스 구간에 대한 3년 연구기간이 끝난 후에는 120억 달러를 투자하여 실제 초고속 노선 건설을 추진할 예정임

○ 중국은 상하이~푸동공항을 연결하는 초고속 철도를 현재 운영 중이며, 이 노선을 항조우까지 연결하는 확장 건설계획을 가지고 있음

○ 자원고갈에 따른 고유가 상황에서 장거리 대륙 간 운송 수단이 필요함

□ 선진국의 기술개발 현황과 비교해 아직 기술개발도 시작하지 못한 국내의 상황은 이미 너무 늦은 상태로, 현재 상태가 지속된다면 향후 국제 시장에서의 주도권 상실 및 기술 종속으로 인하여 발생한 손실은 막대할 것으로 예상됨

○ 초고속 자기부상 철도는 국내뿐만 아니라 해외시장 개척을 염두에 두고 철도 시스템을 개발해야 하는데, 실용화를 다른 여러 나라에서 이룬 뒤에 기술개발을 시작한다면 첨단기술을 주도하기 위해 20년이 넘는 시간을 투자해야 함

- 초고속 자기부상 철도의 실용화까지 최소 12년의 장기간이 소요될 것으로 예상되므로 실용화를 위한 본격적인 개발을 앞선 기초기술 개발에 관한 연구는 빠른 시일 내에 착수되어야 할 것임

○ 세계 각국이 초고속 철도의 실용화를 위해 최선의 노력을 다하고 있는 상황에서 빠른 시일 내에 국내 시스템 개발이 추진되지 않을 경우 선진국에 기술 종속이 심화되어 기술적 우위 확보가 어려울 수 있음

○ 기술개발 시기가 늦춰질수록 다양한 철도 시스템 연구가 여러 나라에서 시도되기 때문에, 국내 독자기술로 개발 가능한 분야가 대폭적으로 축소될 수밖에 없으며, 이에 따라 외국 기술에 대한 의존도가 더욱 심화됨

○ 국제 시장환경이 초기경쟁에서의 패자나 후발진입기업은 시장진입이나 생존 자체가 어려워지는 승자독식 또는 수확체증의 법칙이 발생할 가능성이 커짐

○ 현재 국내에서 350km/h급 고속열차를 개발한 상태지만 이미 국제 시장을 선점하고 있는 TGV, ICE, 신간선과의 경쟁이 치열하여, 국제시장 진입에 어려움을 겪고 있으며 향후 초고속열차 시장에서도 반복될 수 있음

○ 무엇보다도, 자원이 고갈될수록 새롭게 각광받고 있는 초고속열차 시장에 대한 주도권을 기술 선진국의 기업·연구소들에게 계속 빼앗길 수밖에 없음

□ 반도체, IT, 조선 분야에서 경험한 것과 같이 후발 주자로서 어려움도 있지만 선진국들의 시행착오를 분석하고 전략적으로 접근하여 빠른 시일 내에 기술차이를 극복하면 세계시장을 선점할 수 있음

○ 우리나라는 반도체, IT, 조선 분야에서 후발 주자로 기술개발을 시작했지만 세계시장의 환경변화를 잘 예측하고 적응해 오면서 결국 세계시장을 선점했음

○ 반도체, IT, 조선 분야의 성공 요인을 보면 공통점이 시의 적절한 투자, 정부의 강력한 육성 의지, 인력 양성과 연구개발 이라는 것을 알 수 있음

<표 3-1> 반도체, IT, 조선분야 성공요인 분석

분야	성공 요인
조선	- 시설 및 인력 확보를 위한 과감한 대규모 투자로 성장과 발전의 기반 구축 - 상상력이 빚어낸 창조 경영 : 다양한 요구사항을 탄력적으로 수용하여 목표를 달성 (육상 건조법, 메가블록 공법 등을 통한 비용 감소 및 일정 단축) - 지속적인 연구개발을 통한 신기술 확보 및 적용으로 부가가치 및 경쟁력 향상 - 핵심 기자재의 자체 생산, 협력업체 확보 등 후발주자와 차별화
반도체	- 확고한 리더십을 바탕으로 하는 과감한 투자 - 인력 양성과 연구개발 투자 - 브랜드에 대한 과감한 투자 등 차별화된 마케팅 추진 - 정부의 확고한 산업 육성 의지
IT	- 인력 확보 및 과감한 연구개발 투자 - 산업의 국가 발전전략과 연계 - 정부의 확고한 산업 육성 의지 및 인프라 구축 - 제품 및 성능의 차별화

□ 지구온난화에 따른 글로벌 환경문제의 대두로 CO2를 저감할 수 있는 환경친화적인 전기에너지를 사용하는 미래형 장거리 교통수단의 필요성은 더욱 증가하고 있음

○ 무분별한 화석연료의 사용으로 지구온난화가 가속화되어 지진, 가뭄, 태풍 등의 빈도가 크게 늘어나 CO_2를 저감하기 위한 교통수단 개발에 세계 각국이 경쟁적으로 뛰어들고 있음

□ 남북교류 활성화 및 동북아 시대에 대비한 대륙간 교통수단이 필요함

○ 북한의 개방에 대비하고 한국・일본・중국의 동북아시대를 대비하며, 더 나아가 대륙횡단으로 유럽까지 연결이 가능한 초고속열차 개발이 조속히 이루어져야 함

제2절 정부지원의 타당성 및 추진근거

□ 장기간에 걸친 대규모 사업에 대한 민간투자는 불가능함

○ 초고속 자기부상 철도 사업은 공공성이 강한 국가 인프라 확충 사업임

○ 특히 본 연구는 기초기술 및 모형개발에 약 3년, 216억원이 소요되고 실용화까지 약 12년이 소요될 것으로 예상되는 장기간의 대규모 사업으로 민간투자는 현실적으로 불가능함

○ 사적 고정 자산에 비해 투자비용 회수 기간이 장기적임

○ 이에 따른 리스크 가능성도 많아 민간투자가 곤란하며 정부지원이 타당함

□ 신성장 동력으로서 원천기술개발 및 실용화를 위한 정부지원 필요

○ 원천기술 개발과 표준시장 장악을 위한 정부의 신속한 지원 필요

○ 원천기술은 응용잠재력과 파급효과가 크지만 불확실한 시장성 때문에 투자위험 부담이 큰 것이 특징임으로 민간보다는 공공 부문이 담당하여 개발하는 것이 타당함

○ 원천기술은 투자위험 부담이 높기 때문에 민간에 맡겨 둘 경우 투자가 저조하거나 안 돼 기술개발 속도가 늦거나 개발이 안 될 경우 사회적으로 큰 손실이 발생하거나 후생 수준이 떨어질 가능성이 있음

○ 중국은 이미 장기간 초고속 자기부상 철도기술개발을 해온 상태로 신속하게 지원하여 연구를 시작하지 않으면 중국에게 시장 주도권을 내어줄 가능성이 높음

○ 교통기술 분야에 있어서도 기술 개발 패러다임을 원천기술 확보 및 세계표준 장악으로 시급히 전환하지 못하면 국제경쟁에서 낙오자가 될 수 있음

○ 원천기술 개발과 표준시장 장악을 위해서는 빠른 추종자(fast follower) 전략 대신 시장·기술 선도자 전략으로 방향을 바꾸어 원천기술 확보에 주력해야 함

○ 새로운 편익, 비용 항목 등의 신뢰성을 높이기 위한 정부지원 필요

○ 효율적인 사업 추진 및 정부차원의 마케팅 전략수립을 위한 정책적 R&D 지원이 필요

□ 국가 인프라 확충 및 국민 삶의 질 향상을 위한 것으로 정부지원 필요

○ 초고속 자기부상 철도는 철도시스템의 하나로 국가의 중요 인프라에 해당

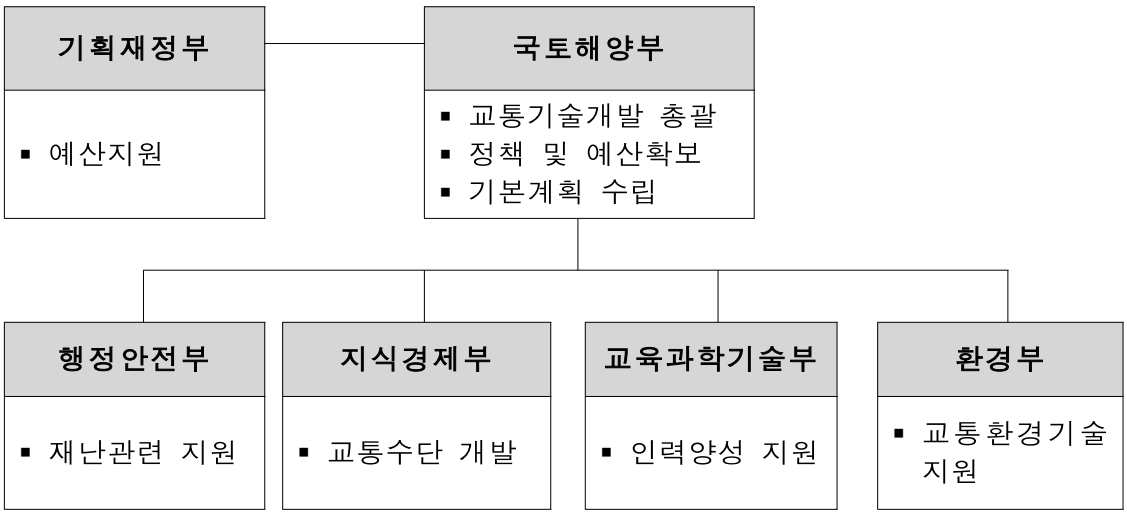
○ 초고속 철도를 통하여 국가 산업의 부흥 및 국민 삶의 질 향상 추구

○ 국가 전반에 걸쳐 막대한 파급효과를 가진 인프라로서 정부지원이 타당함

제3절 상위계획과의 부합성

1. 제2차국가교통기술개발계획

○ 교통기술개발 관련 부처별 연계 및 지원은 다음과 같음



[그림 3-1] 교통기술개발 관련 부처별 연계 및 지원

○ 철도관련 기관으로부터 조사로부터 도출된 신규 및 계속 과제의 추진내용 및 목표를 검토하여, 앞서 비전 및 기술개발 방향에 따라 도출한 중점 기술개발 추진분야와의 정합성을 검토하여 각 분야별로 분류하였음

○ 국가교통기술개발계획이 지향하고 있는 전략적 비전 목표와 부합 여부를 종합적으로 검토하여 기존 추진과제 및 신규도출 과제 이외에 반드시 기술개발이 필요한 분야 및 세부과제를 추가 도출하였음

○ 국토해양부 관련 부서 및 관련부처, 그리고 철도 각계 전문가 등의 전문가의 검토를 통하여 중점 추진분야 분류 및 각각의 세부과제에 대한 적합성 및 중복성 검토를 수행함

○ “초고속 철도시스템 개발”이라는 중점 기술개발 추진분야에, 초고속 튜브 트레인 시스템 기초기술개발이 포함되어 있음

○ 사업내용은 초고속 추진시스템 및 튜브 트레인 기초기술개발, 튜브 트레인 시스템 축소모형 제작 및 시험, 그리고 시스템 및 핵심장치 사양기술 개발로 구성되어 있음

2. 과학기술기본계획 577 Initiative(2008.8)

○ 577 과학기술 기본계획은 2012년 7대 과학기술강국 실현을 목표로 GDP대비 5% R&D투자, 7대 기술분야 육성, 7대 시스템 선진화·효율화 추진을 내세우고 있음

○ 초고속 자기부상 철도기술은 전략적 투자를 추진하여 기초과학과 원천기술, 거대기술을 개발하겠다는 577 과학기술 기본계획의 방향과도 일치함

○ 초고속 자기부상 철도 기술개발 과제는 2012년까지 기초원천연구 투자를 정부 R&D 예산의 50%로 확대하고 출연(연)의 원천기술 창출을 위한 기초 원천연구 지원을 확대하겠다는 계획과도 부응하는 과제임

○ 초고속 자기부상 철도기술은 7대 기술 분야 중 4번째 분야인 국가주도 기술분야와 관련하여 민간의 투자가 어려운 건설교통 분야 기술과 연계됨

○ 7대 기술 분야 중 세계적 관심사인 에너지 환경 문제와 관련되어 있으므로 6번째 분야인 글로벌 이슈분야와도 관련됨

○ 친환경 교통 시스템의 연구 개발을 목표로 하고 있으므로 과학기술기본계획에서 추진되고 있는 21세기 핵심기술로 부상한 신·재생에너지 등 친환경 기술과도 관련됨

○ 기초·원천 연구역량 강화로 핵심기술의 해외의존 탈피하고자 하는 정부의 의지를 반영하고 있음

○ 산학연 협동 연구 형태로 추진되며 해외 우수 인력을 활용할 계획을 세우고 있으므로 창조형 혁신을 주도할 핵심 과학기술인재의 양성·활용과 창의적·도전적 연구지원 강화를 목표로 하는 방향과도 부응하고 있음

3. 저탄소 녹색성장" 국가 비전 선포(2008.8)

○ 경제를 우선시했던 정책에서 기술혁신을 통해 에너지 효율을 높이고 대외 경쟁력을 강화시키는 방향으로 선회

○ 경제만이 아닌 환경과 경제가 상생할 수 있는 방안 모색

4. 국가지속가능발전지표 시범적용결과(국가지속가능발전위원회, 2008)

○ 최근 5년간('02~'06) 우리나라 지속가능발전지표는 사회·경제분야를 중심으로 전반적으로 개선추세에 있으나, 경제성장이 국토환경자원의 훼손과 에너지·자원 소비증가를 동반하고 있어 이의 연계차단이 필요한 것으로 나타남

5. 기 타

□ 국가기간교통망계획 및 국가철도망계획구축

○ 6대 추진 전략 중 "네트워크형 인프라의 구축전략"에 부합

- 개방 및 다핵연계형 국토구조 형성을 위한 종합기간 교통망 구축
- 합리적인 수송분담과 연계를 통한 통합교통체계 구축
- 반일생활권의 국가기간교통망 구축
- 자립형 지역발전 지원을 위한 교통체계를 구축

○ 전국토의 대도시 이동 속도를 대폭 향상시킨 초고속화된 철도망 달성
- 전국을 X자형으로 연결하는 초고속 국가철도망을 구축
- 수송수요가 높은 구간에 대해 기존선을 초고속화 추진

□ 교통체계 효율화법과의 연관성

○ 교통체계효율화법은 크게 국가교통시설투자 효율화, 교통체계 지능화, 교통기술의 진흥, 국가교통위원회 설립 및 운영에 관한 사항으로 이루어 짐

○ 국가기간교통망 계획에 초고속열차에 대한 내용이 포함되어야 함

○ 국가기간교통망 계획 제19조2항에는 국가교통기술개발계획을 수립하도록 명시하고 있고 제21조3항에는 신교통기술의 지정과 활용에 대해 설명하고 있으며 제21조4항에는 신교통기술의 시범사업 계획에 대한 근거를 제시하고 있으므로 이러한 법 조항을 기초로 초고속열차시스템의 신교통 기술화가 필요함

제4절 기존 과제와의 중복성 및 차별성

1. 도시형 자기부상열차 실용화 사업

○ 도시형 자기부상열차는 대도시나 중소도시의 교통문제 해결 및 연계교통수단으로 기존 철도와 버스의 중간정도의 수송용량(5,000~30,000명/시간)을 가짐

○ 자기부상열차로 선형전동기에 의한 비점착으로 주행하며, 최고속도110km/h를 목표로 개발 중임

○ 이 사업은 중저속으로 운행되는 자기부상열차 시스템 기술개발을 목표로 연구 중인 것으로, 본 사업에서 궁극적으로 추구하는 목표속도인 500km/h이상과는 많은 기술적 차이가 있음

○ 추진시스템의 경우, 중저속 자기부상열차는 LIM을 채용하여 차상에서 속도를 제어하는데 반하여, 초고속열차는 LSM을 이용하여 지상에서 속도를 제어하고 있음

○ 차상에서 필요한 보조전원과 부상전력을 공급하기 위해서, 중저속 열차는 집전장치를 이용하여 전력을 수전하고 있으나, 초고속열차는 접촉하지 않고 전원을 공급받고 있음

○ 또한 초고속열차의 경우에는 섹션절환 기법을 이용하여 전력공급을 지상에서 효과적으로 수행하고 있음

2. G7 한국형 고속열차 실용화 사업

○ 20량 편성 또는 11량 편성시의 주요 기능 및 성능을 확인할 수 있도록 제작되어 7량1편성으로 구성되어 있음

○ 최고운행속도 350km/h로 주행가능한 동력집중식 열차임

○ 프랑스로부터 도입한 KTX-I을 기본으로 하여, 모터블럭, 보조블럭 등 대부분의 핵심장치를 국내 기술로 개발함

○ 바퀴식으로 개발된 열차로 호남선 및 전라선에 운행될 KTX-II의 모체가 된 열차임

○ KTX-II는 10량1편성으로 이루어져 있으며, 한국형 고속열차의 핵심장치를 수정, 보완하여 제작함

○ 추진, 부상, 제동 등 여러 요소기술이 자기부상식과는 매우 다른 기술들을 적용하고 있음

3. 차세대 고속철도 개발사업

○ 한국형 고속열차의 개발 경험을 토대로 미래 수요에 대비하고 국내 고속철도 산업의 해외진출을 위하여 신성장 동력 육성을 위한 지속적 고속철도 분야 R&D를 추진함

○ 해외 고속철도 선진국의 신기술 적용 초고속열차 개발 경쟁에 적극적으로 대응하고, 고속철도의 해외진출 및 속도향상을 위한 기술적 토대 구축을 위해 본 사업이 필요함

○ 또한 고속철도(KTX) 개통 이후 주요 핵심부품의 해외 의존도가 높고 부품 확보에 어려움이 발생하는 등 유지보수 비용의 절감과 독자적인 기술 확보를 위해서 주요시스템과 핵심부품의 국산화가 절실하게 요구됨

○ 최고 430km/h급 동력분산형 고속열차 시스템을 개발하고, 기반기술개발을 통한 지속적인 원천기술 확보와 유지보수 장치의 국산화를 이룩함

○ 본 사업은 최고 430km/h 바퀴식 고속열차를 개발하는 국가연구개발사업으로 초고속 자기부상철도 개발을 통해 이루려는 최고 시속 500km 이상과는 속도차이가 매우 큼

○ 속도 증가에 따른 공력저항, 공력소음의 증가 등으로 인해 바퀴식 시스템의 안전속도 대역은 400km/h 내외임

○ 그리고 바퀴식과 자기부상식 열차는 추진, 전력공급, 신호, 통신 등 각 분야의 핵심기술들이 다른 부분들이 많기 때문에 이에 대한 충분한 연구가 이루어져야 함

4. 기계연 중점연구사업 및 창의형 연구과제

4.1 연구개발 최종목적

○ 시속 550 km 이상인 초고속(super-speed) 도시간 자기부상열차 부상/추진 핵심 기술 개발



[그림 3-2] 한국기계연구원에서 개발 중인 초고속 자기부상열차 개념도

4.2 연구개발 필요성

○ 기존고속철도와 항공기의 수요에 대처하는 미래 녹색 초고속 운송 수단으로서 초고속 자기부상열차의 수요가 점차적으로 일고 있음

○ 기존 철제차륜 방식으로는 마찰력과 전력공급의 한계로 시속 400 km 이상의 속도로 연속 주행하기 어려움

○ 자기부상열차는 강력한 추진 장치를 궤도에 설치하고 비접촉 전력 공급이 가능하여 기존 철제차륜의 속도 한계를 극복하여 초고속 실현 가능 (현재 Transrapid(독)는 시속 500 km, MLX(일)는 581 km 시험 주행완료)

○ 가장 기술완성도가 높은 상전도 흡인식 초고속 자기부상열차인 Transrapid (독)는 중국 상하이 시내와 푸동국제공항을 연결하는 30 km 복선 구간에서 2004년 1월 실용화

○ 스위스는 Berne-Nurich 간 114km 노선에 Transrapid을 적용하여 2017년까지 완공할 계획임

○ 일본은 2025년 도쿄-오사카 구간 초전도식 초고속 자기부상열차(MLX) 개통을 목표로 하고 있으며 이를 준비하기 위하여 시험선을 30 km에서 40 km로 확장 공사 중

○ 중국은 현재 운행 중인 상하이 노선을 항조우로의 확장이 진행 중

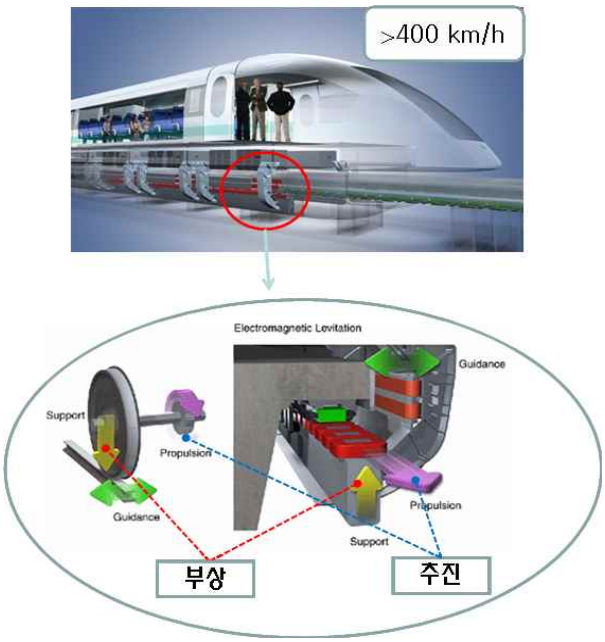
○ 미국은 California-Nevada 노선 건설이 연방정부 승인을 받은 상태임

○ 따라서, 국내에서의 핵심기술 개발로 국외 자기부상열차 도입에 의한 국외 기술 종속 방지 필요

○ 관련 응용 기술의 산업화로 새로운 산업 및 부가가치 창출 필요

4.3 한국기계연구원에서의 연구 방향

○ 국내 고유의 초고속 자기부상열차 기술개발을 목표로 하나 시속 550 km 이상인 초고속(Super-speed) 도시간 자기부상열차의 핵심 기술인 부상(차량 지지), 추진(견인) 기술을 대상으로 함



[그림 3-3] 초고속 자기부상열차의 부상/추진 핵심 기술

4.4 추진 계획

○ 1단계 (2005.11～2008.12, 총연구비 약 50억원)

: 초고속 자기부상열차 부상 추진 핵심 요소 기술개발

○ 2단계 (2009.01～2011.12, 총연구비 약 24억원)

: 초고속 자기부상열차 부상/추진 기술개발



[그림 3-4] 초고속 자기부상열차의 연구개발 로드맵 (2단계)

4.5 연구 개발 성과

○ 1단계:

1) 과제 개요

- 목표: 초고속 자기부상열차 부상 추진 핵심 요소 기술개발
- 기간 : 2005.11.1~2008.12.31 (3년 2개월), 연구비 : 50억
- 주요 연구 내용 :
  - 자기부상 및 추진시스템의 선진 기술동향 분석
  - 부상, 추진, 대차 및 궤도 시스템의 방식별 특장점 검토
  - 부상 및 추진방식별 이론·실험적 결과 도출 및 비교평가
  - 한국형 초고속 자기부상열차의 부상/추진 방식 선정 및 개념설계

2) 주요 연구 성과물

- 시속 550 km 급 영구자석/초전도 반발식 회전형 부상 시험기 구축
- 부상방식 별 부상특성 파악 및 이론적 연구 검증에 이용
- 초고속 자기부상열차를 위한 영구자석/초전도 반발식 부상 시스템의 설계 및 성능시험 기술 확보



[그림 3-5] 회전형 초고속 자기부상열차 부상 및 추진 시험동 구축

- 시속 550 km 급 자기부상시험기, LSM 회전형 추진 시험기 설계
- 추진장치 설계 및 제어 검증
- 초고속 자기부상열차를 위한 선형동기전동기 추진 시스템의 설계 및 성능시험 기술 확보
- 한국형 초고속 자기부상열차 부상/추진 방식 제안 및 개념 설계
  - 최고 속도 : 시속 550 km 급
  - 부상 방식 : 영구자석-전자석 혼합(하이브리드)형 부상 방식
  - 추진 방식 : 선형 동기전동기 추진
  - 장점: 부상 공극 확대(10mm→20mm)에 의한 선로 건설비 감축



[그림 3-6] 한국형 초고속 자기부상열차 제안(2008)

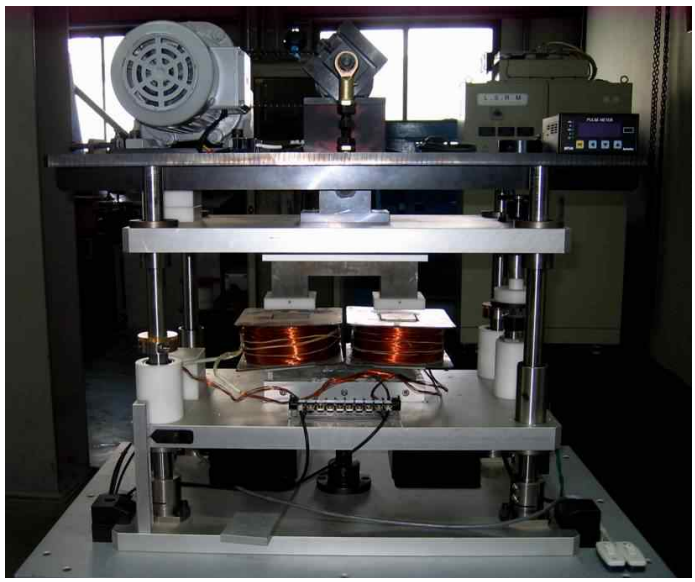
○ 2단계:

1) 과제 개요 (현재 3차년도 진행 중)

- 목표 : 초고속 자기부상열차 부상/추진 기술 개발
- 기간 : 2009.1.1～2011.12.31 (총3년), 연구비 : 약 24억
- 주요 연구 내용 :
  - 하이브리드(영구자석+전자석) 방식 부상/추진 장치 설계 및 시험기 개발
  - 소형 하이브리드 방식 부상/추진 시스템 설계 및 제어기 개발
  - 단거리(～10 m) 소형 부상/추진 자기부상 차량개발

2) 주요 연구 성과물

- 하이브리드 방식 부상제어 시험기 (궤도가진형, 축소형)
  - 시속 550 km 궤도진동 모의 구현 및 주행안정성 특성분석

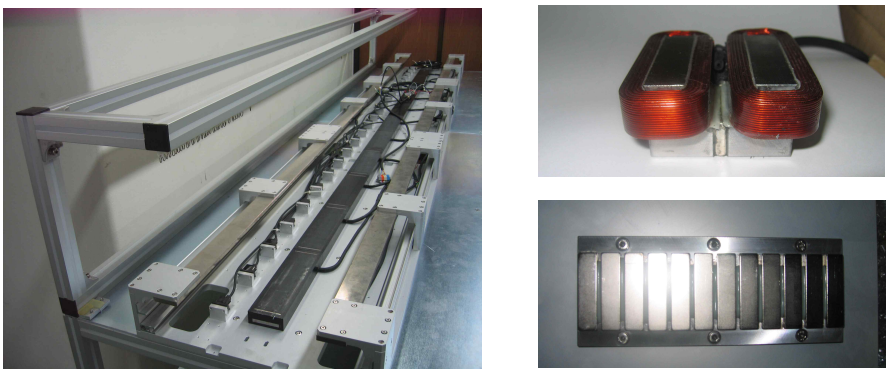


[그림 3-7] 축소형 하이브리드 자기부상 제어 시험기
(시속 550 km 모의구현 궤도 가진형)

- 하이브리드 방식 부상 및 추진 정특성 시험기
  - 실차급 자기부상/추진 장치의 설계
  - 3-DOF 힘측정 시험기, 자기부상제어 동특성 시험기 개발
  - 시속 550km 가상운전 시스템 구축 완료
- 선형추진 구간제어(Section Control) 시험기
  - 자기부상 및 LSM 추진 축소형 시험기 제작 및 시험
  - 지상형 LSM 의 섹션전환제어 기법 시험



[그림 3-8] 정지형 하이브리드 자기부상 추진 시험기



[그림 3-9] 선형추진 구간제어(Section Control) 시험기

- 1/4 축소형 하이브리드 방식 초고속 자기부상 추진 시스템 개발
  - 1/4 축소형 하이브리드 방식 전자석 설계 및 해석
  - 지상 급전형 LSM 추진 시스템 설계 및 해석
  - 자기부상용 4상한 전자석 드라이버(초퍼) 설계 및 제작
  - 지상 급전형 추진 인버터 제어시스템 설계 및 제작
- 1/4 축소형 초고속 자기부상열차 대차 및 궤도 시스템 개발
  - 초고속 자기부상열차 1/4 축소형 대차 시스템 설계 및 제작
  - LSM 취부형 저진동 궤도 시스템 설계 및 제작 (궤도길이 12 m)
- 지상급전형 LSM의 구간제어(Section Control) 기법 개발

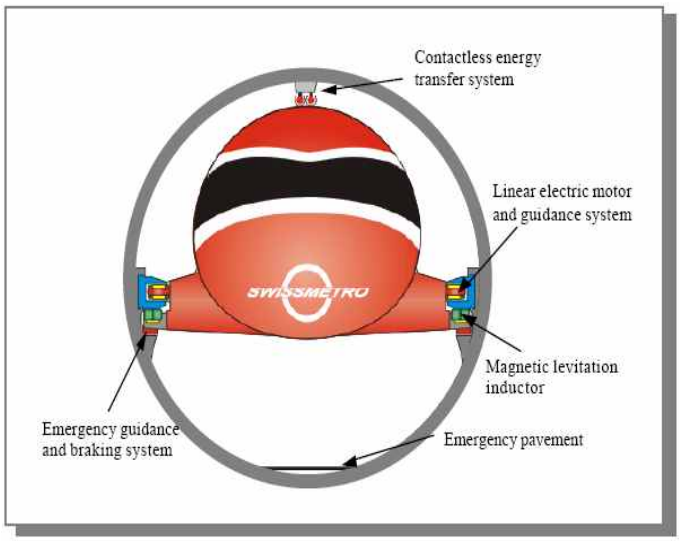


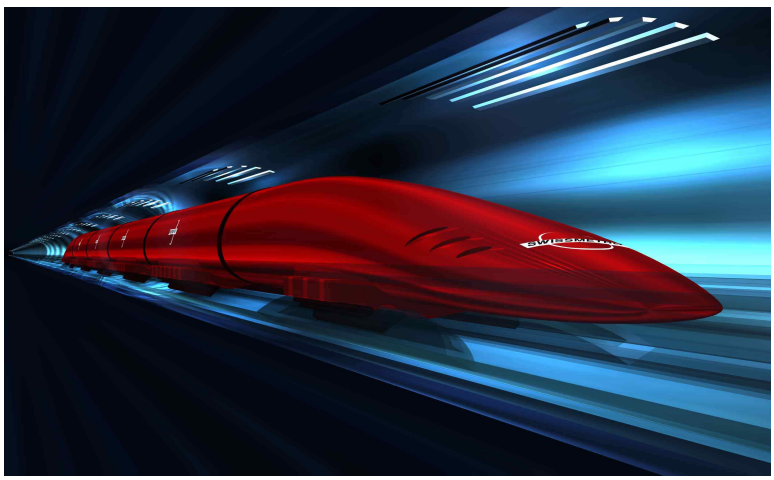
[그림 3-10] 단거리(~12m) 1/4 축소형 초고속 부상/추진 방식 자기부상열차

5. 철도연 기본사업(초고속튜브트레인 개발사업)

5.1 연구개발 최종목적

○ 시속 700 km급 초고속튜브트레인 차량 핵심 기술 개발





[그림 3-11] 초고속 튜브 트레인 개념도

5.2 연구개발 필요성

○ 초고속 튜브트레인 시스템의 핵심기술로서 요구되는 추진시스템은 현재의 바퀴식(휠-레일 방식)으로는 그 원리상 초고속용으로 요구되는 급가속이나 초고속 주행에는 적용하기 어려운 단점이 있음

○ 본 연구에서는 현재의 바퀴식 추진방식의 한계를 극복하고 초고속 추진이 가능한 핵심 기술로서 리니어 추진시스템과 초고속 주행에 따른 자기부상시스템, 그리고 관련 대차 설계 기술을 확보하고자 함

○ LSM(Linear Synchronous Motor)은 리니어 모터의 한 종류로서, 입력전원주파수에 따른 동기속도로 운전이 가능하기 때문에 종래 중저속 도시형 자기부상열차의 추진방식인 LIM(Linear Induction Motor)방식에 비해 급가속 및 대용량 추진이 가능한 모터임

○ 국내의 LSM 기술은 주로 반도체 이송 공정용으로 소형, 소용량 장치가 사용중에 있으나, 철도차량용 초고속 추진 장치로 적용하기 위한 대용량 시스템으로의 기술 개발이 필요함

○ 자기부상시스템은 독일이 주도하는 EMS(Electro-magnetic Suspension) 방식과 일본 및 미국에서 주도하는 EDS(Electro-dynamic Suspension)방식이 각기 다른 기술적 장단점을 가지고 초고속 자기부상열차의 자기부상기술의 양대 축으로 자리하고 있으며, 국내에서는 초고속 관련 보유 기술이 전무한 상태임

○ 튜브트레인 시스템에서의 전체 에너지 소모는 공기저항을 극복하기 위한 에너지와 진공을 유지하는 에너지의 합으로 볼 수 있으며, 이 중 공기저항의 정확한 평가는 시스템의 최상위 파라메타인 진공도와 요구추력을 선정하기 위한 필수 조건임

○ 또한, 공기저항은 진공도 뿐만 아니라 열차의 단면적과 길이, 터널의 단면적과 재질, 열차 속도 등에 따라 변화하므로, 최적의 파라메타를 찾기 위하여

다양한 파라메타에서의 공기저항의 해석이 필요함

○ 특히, 터널 단면적과 진공도는 전체 시스템 비용의 대부분을 좌우하는 요소이기 때문에 공력해석을 통한 가장 비용-효율적인 파라메타의 선정이 시스템의 성패를 좌우하는 결정적인 요소임

○ 공기저항에 대한 기본적인 파라메타 이외에 전두부 형상과 표면의 재질은 공기저항을 좌우하는 요소이며, 이를 최적화 시킬 경우 공기저항의 저감이 가능하여 전체적인 시스템 성능의 향상이 기대됨

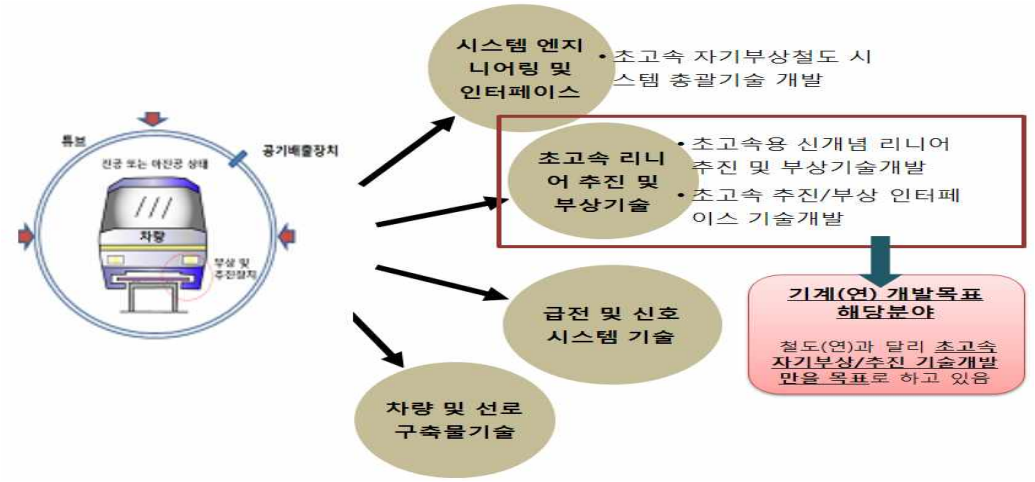
○ 튜브 내는 밀폐된 공간으로서 공기마찰 및 추진장치로 인한 열이 내부에 지속적으로 축적될 경우 시스템의 성능에 심각한 영향을 미칠 수 있으므로, 이에 대한 공력해석 및 공기흐름을 고려한 환기기술이 필요함

○ 초고속 튜브 철도 기술은 부상/추진, 대차, 공력 등 복합 시스템으로, 현재까지 구현 사례가 없고 기술개발 위험부담이 큼에 따라 요구사항에 기반하는 체계적인 연구개발 프로세스 확보가 필요함

5.3 철도기술연구원에서의 연구 방향

○ 시스템 엔지니어링 및 인터페이스 기술 개발을 연구 목표로 하고 있으며, 시스템 개념 설계 및 인터페이스에 필요한 기술적 성능 사양을 도출하기 위하여 차량, 급전 및 신호, 궤도 및 선로 구축물 등 각 세부 시스템별 핵심 요소기술 개발을 병행함

○ 차량은 초고속 자기부상열차를 기반으로 하며 차량의 주요 핵심 기술로서 700km급 추진-부상 기술을 필요로 하기 때문에 현재의 독일 및 일본의 초고속 자기부상 기술을 능가할 수 있는 신개념 추진 부상시스템에 대한 기술개발을 목표로 함



[그림 3-12] 초고속 튜브트레인 기술 개발 분야

5.4 년차별 연구 계획 및 내용(차량 분야)

1) 1차년도(2009, 11.2억)

- 시스템 인터페이스 연구
  - 핵심 요소기술 분석 및 기술트리 작성
  - 기술개발 로드맵 작성
- 철도차량용 대용량 LSM 추진시스템 연구
  - 추진시스템 기술 조사
  - 추진시스템 요구사양 및 Type 분석
  - 설계 프로세스 개발 및 검증
  - LSM 해석 기법 정립
  - 대용량 LSM 기초 설계(안) 제시
  - 추진제어 알고리즘 기술조사
  - 추진제어 알고리즘 개발 툴 정립
  - 대용량 LSM 추진 메커니즘 파라미터 연구 및 DB 구축

- 하이브리드 자기부상 시스템 연구
  - 하이브리드 자기부상 시스템 기초 컨셉(안) 도출
  - 초전도 마그넷 기술 조사
  - 초전도 마그넷 기본 컨셉(안) 도출
  - 자기부상제어기 연동 동특성 해석 모델링
  - 유연체 모델을 이용한 대차 동특성 해석 기초 연구
- 튜브트레인 시스템 공력설계 및 해석 기술 연구
  - 튜브트레인 전산유체해석 기법 및 최적화 설계 프레임웍 개발
  - 공기저항 파라미터(속도, 공기밀도, 면적비) 연구 및 DB 구축
  - 공력 계측시스템 및 고성능 진공펌핑 시스템 설계 및 제작 (기존 터널주행 열차모형 시험기를 업그레이드)
  - 발사식 튜브트레인 실험장치 시운전 및 검증
  - PIV를 이용한 풍동시험 기법 연구

2) 2차년도(2010, 11.9억)

- 시스템 인터페이스 연구
  - 시스템 인터페이스 분석
  - 시스템 요구사항 및 아키텍처 분석
- 철도차량용 대용량 LSM 추진시스템 연구
  - 대용량 LSM 상세 설계(안) 도출
  - LSM 제어 알고리즘 제시
  - 동특성 모의 실험을 통한 제어 기법 검증
- 하이브리드 자기부상 시스템 연구
  - 초전도 하이브리드 부상 전자석 모델 설계 및 시작품 제작
  - 하이브리드적용 초전도 마그넷 초기 성능 평가

▪ 하이브리드 제어에 따른 부상시스템 동작 특성 평가

→ 하이브리드 제어 알고리즘 검증

▪ 모의 부상 동특성 시험장치 제작 및 설치완료

- 튜브트레인 시스템 공력설계 및 해석 기술 개발

▪ 독립 GUI 기반 튜브트레인 3차원 공력해석 프로그램 개발 및 검증

▪ 공기저항 파라미터(속도, 공기밀도, 면적비) 최적화 연구

→ 진공도에 대한 최적 튜브 직경 도출

(개활지 대비 공기저항 10% 감소 효과 적용)

▪ 발사식 시험장치를 이용한 튜브 내 진공도에 따른 공기저항 저감효과 실험 실시 (진공도 : 0.5기압, 열차속도 200km/h~520km/h)

3) 3차년도(2011, 7억)

- 튜브 인프라-차량 인터페이스 연구

▪ 시스템 인터페이스 설계 로직 분석

▪ 튜브인프라-차량 인터페이스 파라메터 분석 및 영향 평가

· 튜브트레인용 차량의 인터페이스 파라메터 분석

· 자기부상 차량에 의한 전자기 환경 영향 분석

· 추진/부상용 차량 마그넷과 튜브 인프라간의 인터페이스를 위한 파라메터 분석 및 상호 설계 영향 평가

▪ 차량-튜브인프라 인터페이스 모델 구축

- 시스템 설계 기반 기술 및 기초 데이터 확보

▪ 튜브트레인 저기압 공력해석 기법 고도화 및 프로그램 완성

· 역사, 진공펌프시스템을 고려한 비정상유동해석 기법 개발

· 시스템 Integration 및 프로그램 업그레이드

· 실주행 조건에서의 저기압튜브 내 비정상 유동장 해석 결과 도출

▪ 터널주행 튜브트레인의 저기압(0.4기압) 공기역학 실험연구

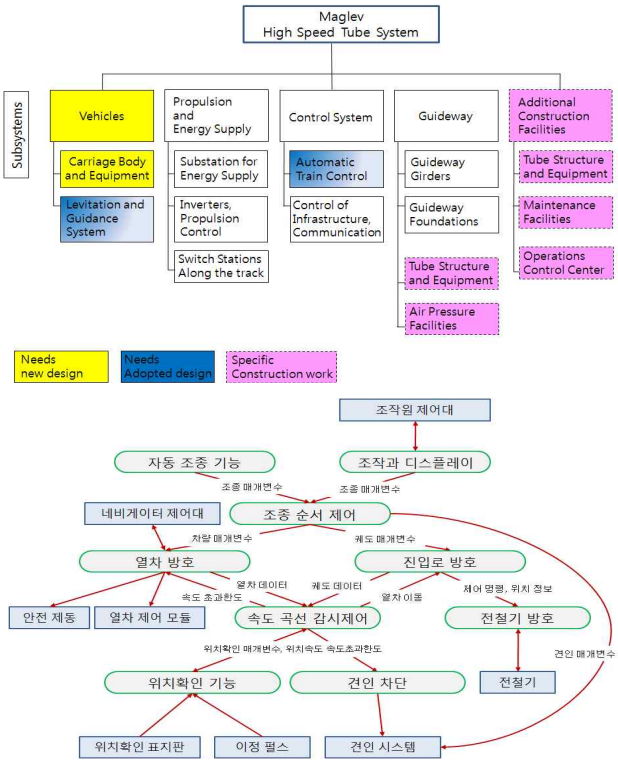
· 저기압 튜브내 공력저항 저감효과 실험 DATA 확보

· 기압 및 트레인 추진력에 대한 튜브내 압력 변동량 분석

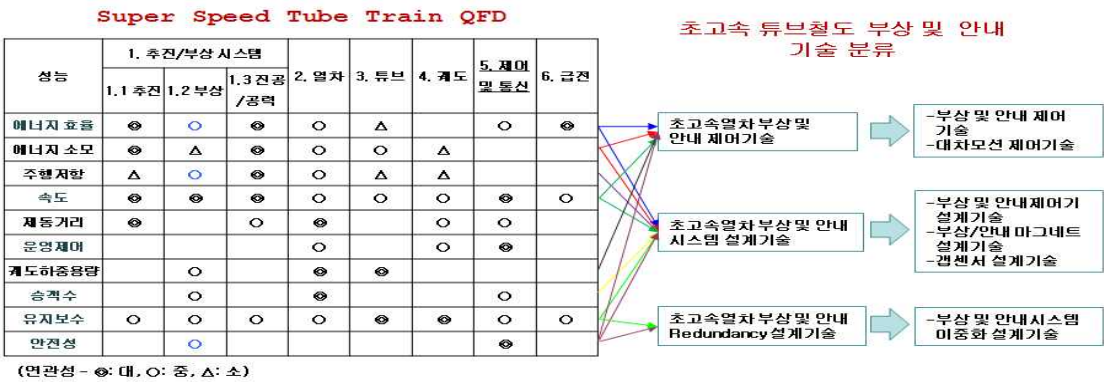
5.5 연구 개발 성과

1) 시스템 인터페이스 연구

- 시스템 인터페이스 분석 완료
- 시스템 요구사항 및 아키텍처 분석 완료



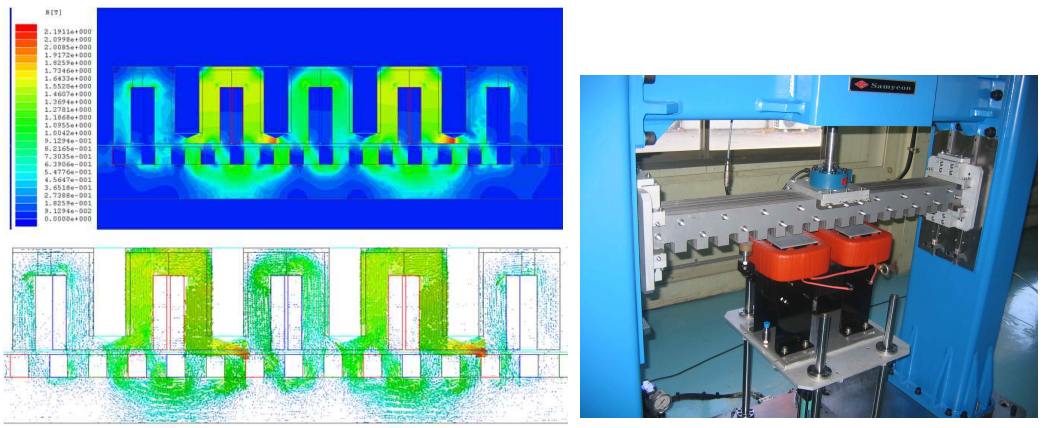
[그림 3-13] 초고속 튜브트레인 시스템 인터페이스 분석



[그림 3-14] 초고속 튜브트레인 기술 아키텍터 분석

2) 700km/h급 추진 및 자기부상 시스템 기술 개발

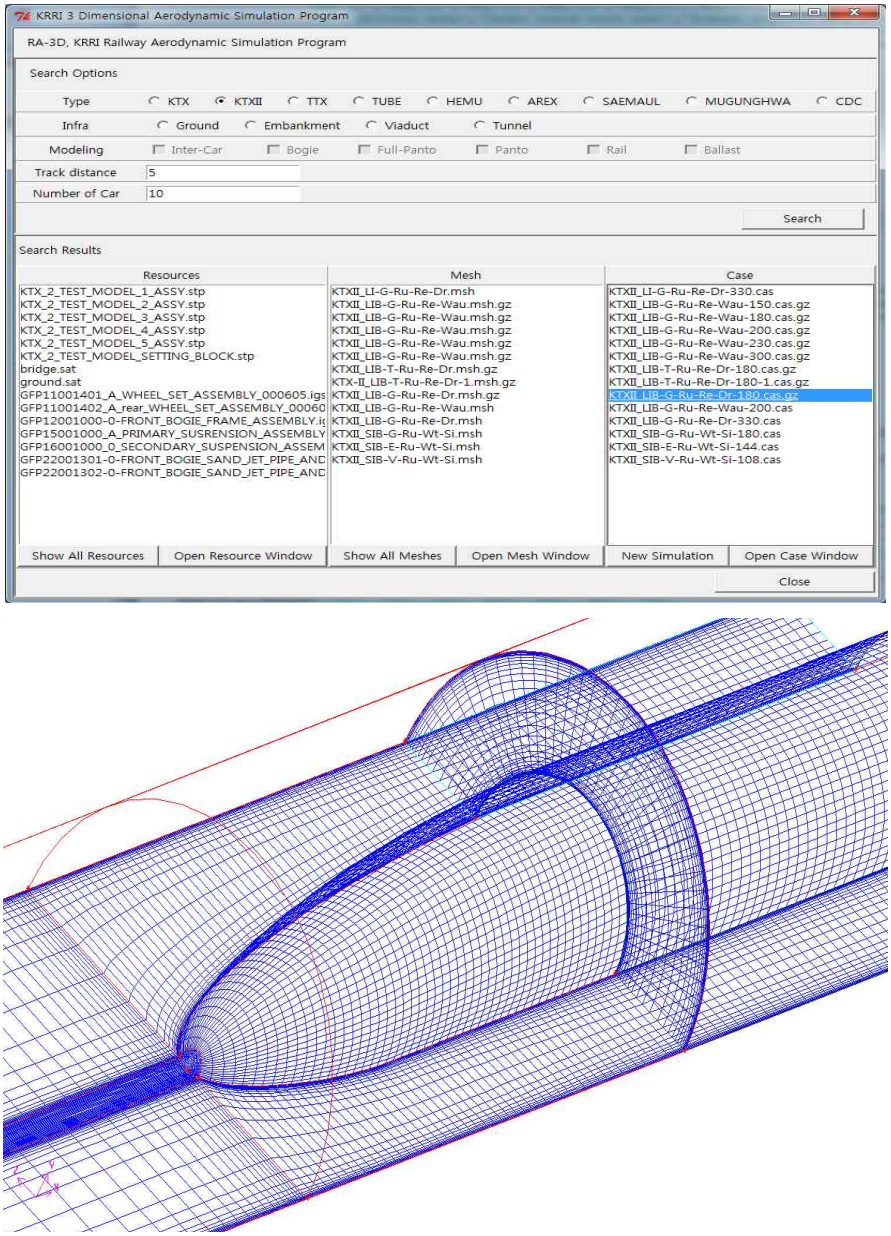
- 700[km/h]급 초고속 리니어모터 상세 설계(안) 도출 완료
- 추력 리플 저감을 위한 MPSS 기법 개발 및 적용 완료
- 초고속 리니어모터 제어 알고리즘 제시
- 제어 기법의 동특성 모의실험 및 검증 완료
- 초전도 하이브리드 부상 전자석 모델 제작 완료
- 하이브리드 부상제어기 제작 및 시운전 평가완료
- 초전도 전자석 초기 성능 평가 완료



[그림 3-15] 추진 시스템 설계 및 추진-부상 인터페이스 시험 장치

3) 튜브트레인 시스템 공력설계 및 해석

- 독립 GUI 기반 튜브트레인 3차원 공력해석 프로그램 개발 및 검증 완료
- 최적 진공도 및 튜브 직경 계산 완료(개활지 대비 공기저항 10% 저감 설계 완료)



[그림 3-16] 튜브 트레인 공력 해석 프로그램 및 해석 모델

4) 초고속 튜브 내 진공도에 따른 공기저항 저감효과 실험연구

- 터널 내 압력변동, 온도변화 계측 완료
- 발사식 시험장치를 이용한 튜브 내 진공도에 따른 공기저항 저감효과 실험 (열차속도189km/h~602km/h), 진공 0.61기압에서 계측 달성(목표 초과달성)



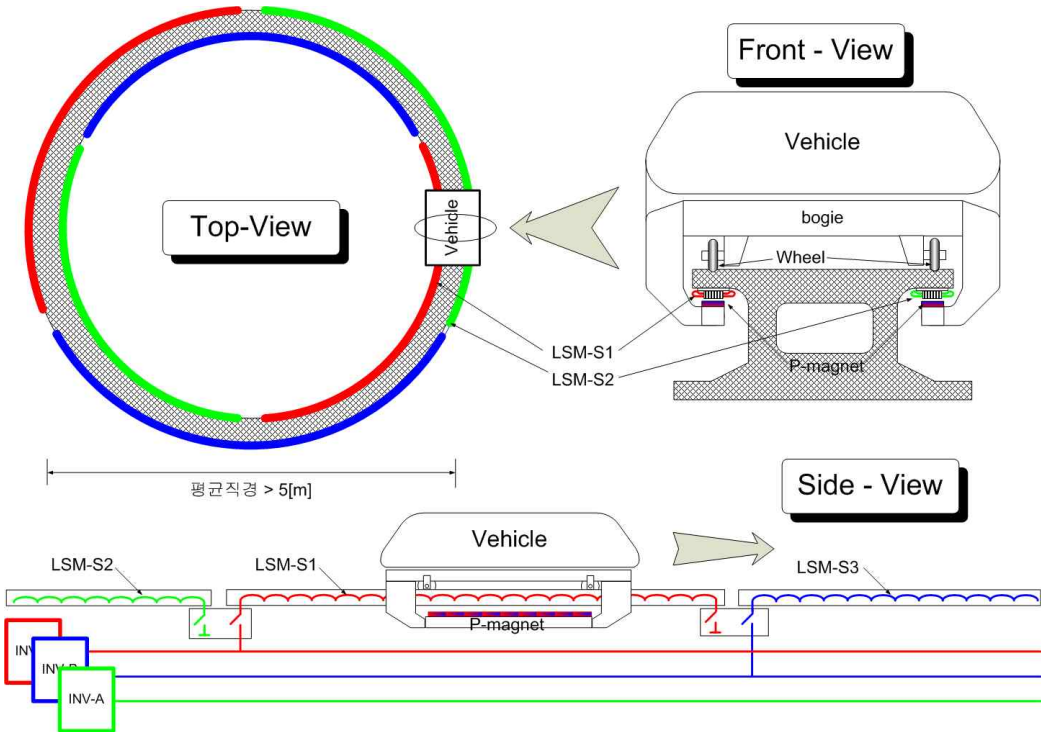
[그림 3-17] 고진공 터널주행 튜브트레인 공기역학 시험장치

6. 철도연/기계연 국토부 기술료 사업

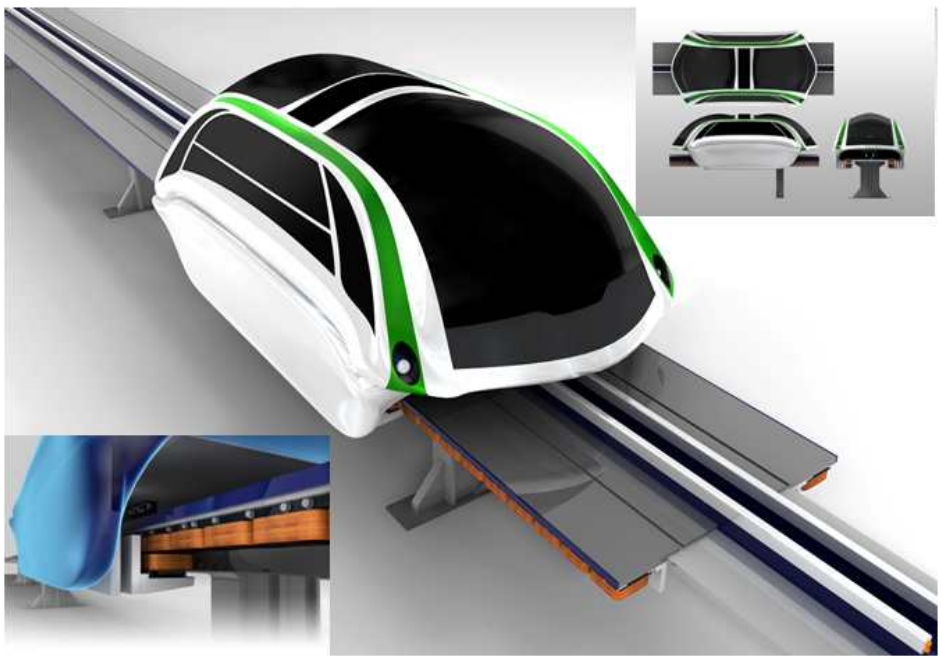
6.1 연구개발 최종목적

○ 무한주행이 가능한 초고속열차용 LSM 섹션전환시스템 시험장치개발

○ 차량·궤도 시스템간의 인터페이스 기술개발 및 시험장치 개발



[그림 3-18] 루프형 LSM 소형시험장치 개념도



[그림 3-19] 차량・궤도시스템간의 인터페이스 시험장치 개념도

6.2 연구개발 필요성

○ 초고속자기부상열차는 초고속 주행시 발생될 수 있는 점착마찰계수의 한계, 차상의 추진전력공급의 어려움, 탈선문제, 주행소음문제등을 해소하기위해 자기부상식의 지상1차 LSM(선형동기모터)추진장치를 기반으로 하는 차세대 운송시스템임

○ LSM은 궤도를 따라 길게 설치되기 때문에 자기부상차량의 주행을 위해서는 전 구간 추진전력 공급이 필요

○ 상기 방식은 전 선로에 추진전력을 공급함에 의에 에너지 손실이 크고, 긴 선로에 의한 LSM 임피던스가 증가하여 추진전원을 극단적으로 높여야하는 문제가 있기 때문에 LSM을 특정구간별로 나누어 차량이 위치한 LSM섹션에만 추진전력을 공급하는 기술 개발이 필요함

○ 따라서 차량의 연속운전을 통한 LSM 추진시스템의 성능평가 및 LSM 섹션 통과시 추력 져크가 없는 제어 기술개발을 위해 루프형 LSM 소형시험장치 개발이 필요함

○ 부상시스템은 가이드웨이의 처짐 및 불균일도(Irregularity) 그리고 추진시스템에 의한 흡인력과의 상호작용에 대한 조합성능 평가 및 인터페이스 기술 정립을 요구하는 시스템임으로 실 대형 장비 제작에 앞서 축소시험장치 개발이 필요

○ 부상·추진시스템과의 인터페이스 기술 정립은 궤도건설에 대한 합리적인 기준사양 제시를 통해 자기부상열차 궤도 건설비를 대폭적인 절감시킬 수 있을 것으로 예상됨

6.3 연차별 연구목표 및 내용

□ 1차년도(2010.11.26~2011.11.25)

○ 루프형 LSM 시험장치 설계 및 단품 제작

- 섹션전환용 LSM 상세설계 및 해석
- 섹션전환 시험용 시뮬레이션 모델개발
- 추진 전력시스템 상세설계 및 해석
- 시스템 구성품 제작

○ 차량·궤도시스템간의 인터페이스 시험용 축소차량 설계 및 단품제작

- 부상/안내시스템, 추진시스템, 대차, 위치검지시스템, 외형 등에 대한 상세설계
- 차량 위치 검지 기법 연구
- 추진전력 제어알고리즘 개발
- 급전시스템 설계 및 제작

○ 차량·궤도시스템간의 동적상호작용 분석

- 동적 상호작용 해석기술 및 프로그램 개발
- 축소차량 동적 상호작용 해석에 으한 시스템 동적성능 예측 및 개선

□ 2차년도(2011.11.26~2012.11.25)

○ 루프형 LSM 시험장치 제작 및 시험평가

- System Integration
- 단위 부품별 시험평가

- 조합시험 및 평가
- 섹션전환 알고리즘 적용 및 평가
- 루프형 LSM 시험장치 제작을 통한 유도급전기술 연구기반 구축

○ 차량·궤도시스템간의 인터페이스 시험용 축소차량제작 및 시험평가
- System Integration
- 단위 부품별 시험평가
- 차량위치 제어를 위한 통시기술 시험
- 조합시스템 안정화 및 시험, 평가
- 시스템별 인터페이스 사양 정립

○ 차량·궤도시스템간의 동적상호작용 분석
- 시뮬레이션 기반 실제 차량·궤도시스템간의 요구사항 정립

6.4 연구 성과 활용계획

○ “초고속 튜브철도 차량핵심기술개발”과제를 통해 연구된 여러 분야의 시스템 기초설계 기술에 대하여 기술평가 및 조합성능평가에 활용

○ 본 사업『EMS기반의 초고속철도시스템 원천기술개발』의 실 대형 시험장치 구축에 선행하여 축소모형 시스템 개발을 통한 설계기술 검증에 활용

○ 실규모 테스트베드 제작시 시스템간의 인터페이스 설계 등에 기초자료로 활용

○ 신규 제어기술 개발시 실 규모 대형시험장치 적용에 따른 사고위험부담을 최소화하기위해 축소모형 시험 장비를 통한 알고리즘 검증에 활용

제 4 장 기술적 타당성 검토

타 초고속 자기부상열차에 비하여 경제적이면서도 안정한 시스템을 개발하기 위하여 관련 기술 동향에 대한 조사/분석이 요구된다. 본 장은 관련 핵심기술조사, 기존 사례의 원리 및 장단점 분석, 한국형 초고속자기부상열차 개념 제안, 향후 본 과제 추진시 집중 연구 내용을 도출하고자 함

제1절 시스템 통합

1. 대차기술

1.1 대차

대차는 차량의 지지, 안내, 승차감 유지 등 크게 3가지의 기능을 수행함

○ 대차는 차량을 지지하는 기능을 가지고 있다. 차량의 지지는 자기부상 방식에 따라 흡인식과 반발식으로 이루어짐
○ 차량이 정해진 궤도를 따라가도록 안내하는 기능을 가짐
○ 궤도불규칙에 의한 진동으로부터 차체와 승객을 절연시켜 안락함을 유지시키는 것임

대차의 기능은 구체적으로 다음과 같은 주행성능과 곡선추종성능으로 평가할 수 있음

○ 주행성능

- 일반적으로 주행성능을 평가하기 위하여 계측되는 항목들은 차체와 대차의 가속도, 대차와 궤도의 수직, 수평 간극(gap), 차체와 대차의 상대 변위,

견인바 하중, 궤도의 처짐, 궤도의 진동들이며 이러한 항목을 이용하여 주행성능인 승차감, 곡선 추종성, 안정성을 평가함

- 진동에 의한 승차감은 주로 저주파수인 2차 현가장치에 의하여 제어하며 UIC 513에 의하여 평가할 수 있으나 2차 현가장치만으로는 승차감 확보에 한계가 있어 1차 현가장치의 감쇠력을 제어하기도 함

○ 곡선추종성능

- 곡선추종성은 대차의 자기부상모듈이 레일과의 횡방향 간극이 허용치 이상으로 발생하는 현상이다. 적은 곡률반경을 가능한 한 고속으로 간극 이탈 없이 주행할 수 있도록 하기 위하여 대차의 메커니즘을 설계하거나 횡방향 감쇠력을 제어하기도 함

○ 안정성

- 안정성은 임계속도로 대차와 궤도의 공진현상이 발생하는 속도이고 궤도는 유연하기 때문에 차량 주행시 진동을 일으키며 이 진동과 대차의 진동이 공진을 일으키지 않도록 제어기 및 대차를 이루는 현가요소의 설계가 요구되는 것임

1.2 대차 설계시 고려 사항

○ 동적 특성

자기부상열차는 다음과 같은 동적 특성을 가짐

- 초전도 반발식은 부상력의 제어가 필요 없으나 동시에 1차현가(부상력)의 감쇠력이 부족

- 상전도 흡인식 역시 1차현가의 감쇠력이 부족
- 전형적으로 자기부상차량은 요 감쇠가 부족
- 선형모터에 의하여 종방향 진동이 유발
- 궤도(guideway)의 형상에 불규칙이 존재
- 초전도 반발식의 경유 궤도에 설치된 코일의 위치에 오차가 있어 이로 인하여 부상력, 안내력에 불규칙이 존재하고 이로 인하여 진동이 유발
- 고속 운행시 공기에 의한 진동이 발생
- 궤도의 처짐에 의하여 궤도와 대차와의 동적 상호작용으로 인한 불안정성이 존재
- 레일의 유연성으로 인하여 레일이 진동
- 차체의 유연성이 승차감에 영향을 미칠 수 있음

○ 대차 메커니즘

- 곡선 주행 시 원활한 추종을 위해서는 모든 자기부상 모듈이 레일을 추종하도록 하며 이를 위해서는 자기부상이 설치된 프레임이 링크 시스템이 되도록 설계함
- 특히, 도심을 주행하는 경전철 자기부상 열차는 해당 선로의 곡률이 작을 가능성이 높기 때문에 효과적인 대차 메커니즘에 대한 설계가 필요함

○ 수직, 횡방향 간극 제한

- 대차와 궤도와의 수직방향, 횡방향 간극의 변화 크기 제한은 매우 중요하며 이 두 간극이 제한치를 초과하면 대차의 자기부상 모듈과 궤도가 물리적으로 접촉하게 됨
- 물론, 제어기가 주로 간극을 제어할 수 있으나 능동 또는 수동의 현가요소를 부가하여 제어하고 간극의 초과가 발생했을 경우를 대비하여 수직방향, 횡방향으로 대차에 휠을 설치해야 함

○ 승차감 확보

- 동적 특성을 고려하여 진동에 의한 승차감을 확보해야하며 이를 위하여 대차와 궤도와의 진동과 대차와 차체와의 진동 절연이 요구됨
- 이를 위하여 2단계 또는 3단계의 진동절연 장치 즉 현가장치가 이용되며 1차 현가는 2차 현가에 비하여 상대적으로 고주파수이며 2차 현가는 1~2 Hz의 범위를 갖도록 함

○ 안정성 확보

- 궤도와 대차가 전 운전속도 영역에서 공진을 일으키지 않도록 설계해야 함은 물론, 부상제어기에서 근본적으로 이를 방지해야 하나 부수적으로 현가요소를 추가하여 이를 보완할 수 있음

○ 선형모터에 의한 진동

- 선형모터는 코일과의 상호작용에 의하여 주행속도에 따라 주파수가 증가하는 진동을 유발

1.3 대차개발 사례분석

- 자기부상열차는 부상, 추진 조합에 따라 고유한 동적 특성이 나타나기 때문에 그에 적합한 대차가 개발되어야 함
- <표 4-1>은 현재 개발 중이거나 개발 완료된 차량에 대하여 각 시스템이 가지고 있는 특성을 부상방식별로 정리한 것임

<표 4-1> 자기부상 방식에 따른 시스템 특성

방식 / 항목	상전도흡인식-LSM	초전도반발식-LSM	영구자석반발식-LSM
대표적인 시스템	Transrapid(독일)	MLX(일본)	Induced Track(미국 General Automics 社)
부상방식	상전도흡인	초전도반발	영구자석반발
부상갭	10 mm	100 mm 이상	25 mm
추진방식	LSM	LSM	LSM
초기부상속도	0 km/hr	130 km/hr 정도	11km/hr
안내방식	전자석흡인에 인한 능동제어	초전도반발에 의한 수동제어	—
집전방식	유도전류에 의한 선형유도발전	유도전류에 의한 선형유도발전	—
대차의 구조	T형 궤도를 감싸는 구조	U형 궤도 상부에 위치	T형 궤도를 감싸는 구조

■ 상전도흡인식-LSM 시스템(Transrapid 대차)

○ 대차의 주골조는 부상샤시(levitation chassis unit)와 부상샤시를 연결하는 종방향 프레임으로 구성되어 있음

○ 부상샤시에는 마그네트, 지지 스키드, 공기스프링 등이 설치됨

○ 대차의 필요한 운동은 진동감쇠 탄성베어링으로 부상 샤시를 프레임에 연결하여 얻어지며 즉, 부상 샤시와 프레임의 연결부에 유연성이 존재하도록 하여 작은 범위에서 상대운동이 가능하게 됨

○ 모든 부상, 추진, 제동, 안내력 자석을 부상 샤시에 설치하여 결과적으로 [그림 4-1]의 부상 샤시에 모든 힘이 전달되게 됨

○ 부상 샤시로 구성된 부상 샤시 유닛은 주행방향으로 차체에 차동링크에 의하여 고정되며, 나머지 모든 자유도는 구속되지 않음

○ 부상 샤시 유닛은 차량의 각 측면에 쌍으로 연결되는 4개의 프레임으로 구성되는데 이 프레임은 차량에 연결되고 횡단 빔에 의하여 연결괴어 궤도를 감싸는 형상을 만듬

○ 각 하단 끝 부분에 자석을 부착한 부상 프레임은 추진, 제동, 안내를 독립적으로 수행함

○ 마그네트는 유지보수가 필요 없는 조인트를 이용하여 부상 샤시에 고정되어 있음

○ 마그네트는 대차에 수평 및 수직으로 체인형태로 장착되어 있음

○ 마그네트는 2 자유도의 힌지구조로 부착되어 있어 회전운동이 가능함

○ 마그네트는 중량물의 비탄성 거동을 최소화하기 위하여 선형가이드와 약 1.5 Hz의 낮은 주파수를 갖는 고무스프링을 사용하고 있음

○ 차량을 지지하기 위한 수직 현가장치는 부상 샤시의 횡단 빔에 설치됨

○ 수직 현가장치는 대차 프레임과 차체 사이에 설치된 공기 스프링을 사용함

○ 공기 스프링은 16단으로 제어되며, 차체에 수직 안내장치가 있음

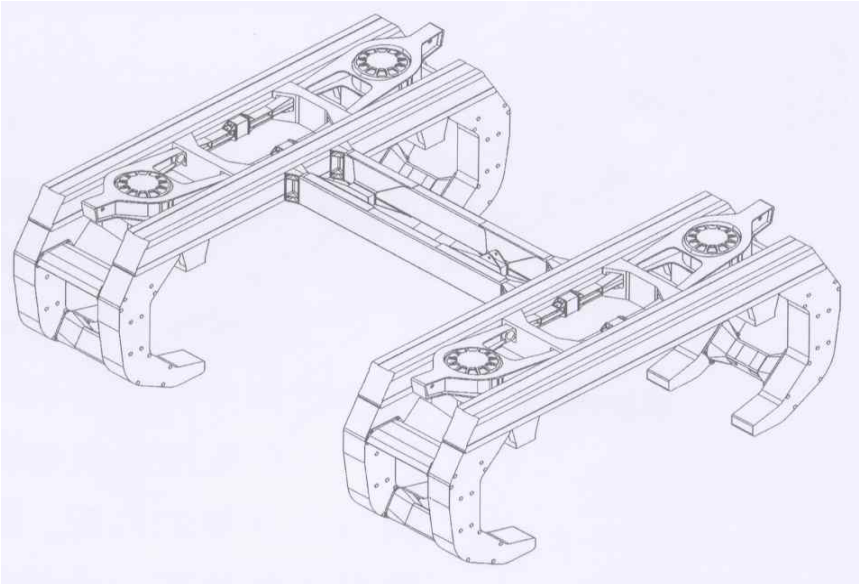
○ 안내 시스템에는 차체와 수평으로 스프링이 연결되어 있어, 곡선주행시 공기스프링 기능에 영향을 주지 않으면서 차체와 부상프레임의 자유로운 횡방향 운동을 허용함

○ 기계적 안정화바가 있어서 차체의 롤 운동을 감쇠시킴

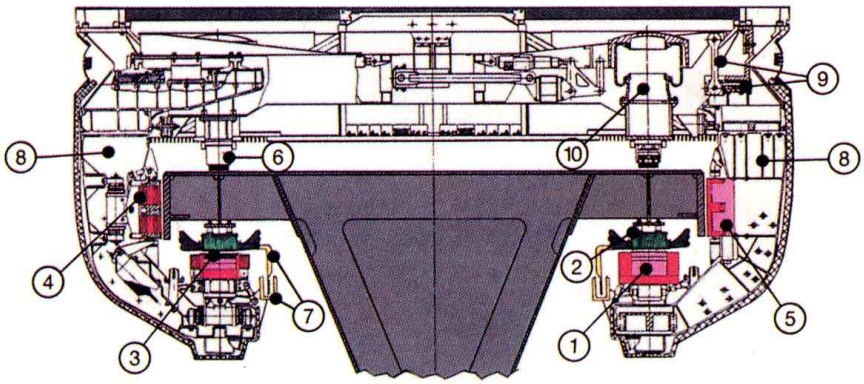
○ 정지 상태를 위한 지지 스키드가 횡단 빔에 설치됨

○ 대차의 프레임들간 진동을 절연시키기 위하여 강하고 유지보수가 필요없는 탄성(금속-고무) 베어링이 연결에 이용됨

○ 궤도 중심 횡제어 시스템의 도입과 안내 전석과 제동자석이 동일한 인터페이스로 인하여 제동자석을 위한 프레임이 필요 없어, 전체적으로 질량을 줄일 수 있음



[그림 4-1] Transrapid 부상 샤시 유닛



[그림 4-2] Transrapid 부상 및 안내 시스템의 단면도

① 종방향 플럭스 마그네트(support magnet, longitudinal flux magnet) : 모터 기동부를 여기시키며 궤도를 따라 설치되어 있으며, 고정자와 3상 케이블 권선으로 구성되어 있음

② 고정자와 3상 케이블 권선

③ 선형 발전기 권선 : 차량의 요구전력은 종방향 플럭스 마그네트 폴에 있는 선형 발전기 권선을 통하여 비접촉으로 집전되며 종방향 플럭스 마그네트와 고정자 사이 거리를 전자제어하여 비접촉 지지기능을 가능하게 하였음

④ 안내 마그네트(횡방향 플럭스 마그네트) : 전자제어 되며, 차량의 비접촉 안내를 위하여 차량에 횡방향으로 배열시킴. 가이드웨이의 측면에는 전기자 레일을 설치함

⑤ Eddy-current brake magnet : 선형전동기 고장시 적절한 제동력을 확보하기 위하여 차상에 설치함

⑥ 지지 스키드(support skid) : 차량전력 또는 추진력 상실시, 차량을 지지하거나 정지시키기 위하여 설치됨

⑦ INKREFA sensor : 차량 위치, 동기식 모터(long-stator)의 전극위치 조절, 시스템 제어 운전의 안전성 및 역에서의 정위치 정차를 위하여 설치됨

⑧ 부상 대차

⑨ Cabin suspension

⑩ 공기스프링

■ 초전도반발식-LSM 시스템(MLX 대차)

○ 부상시스템은 차량에 탑재된 초전도마그네트와 가이드웨이에 설치된 단락된 부상코일로 구성됨

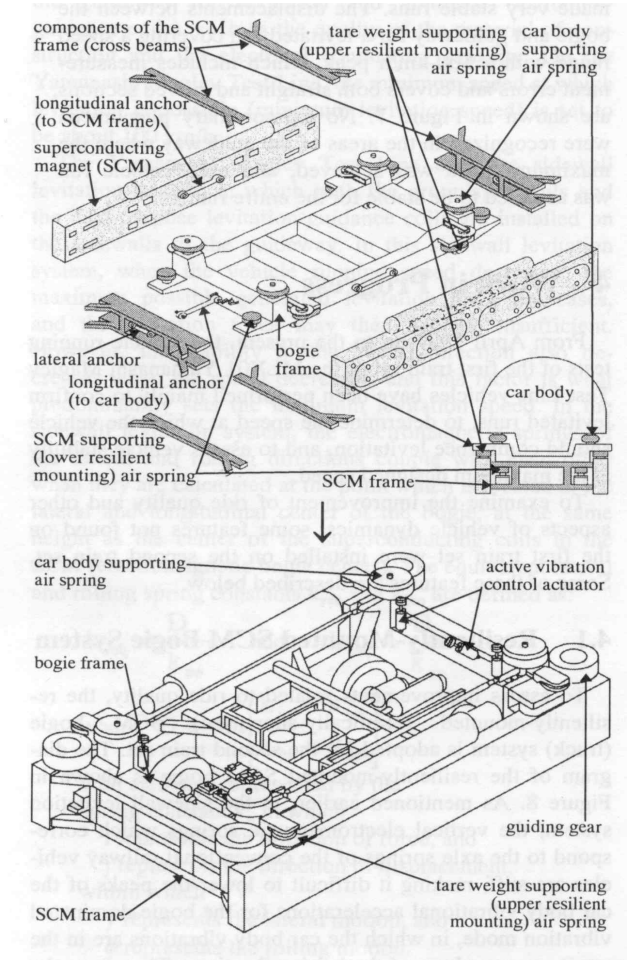
○ 각 대차 당 두개의 초전도 마그네트가 탑재되어 있다. 야마나시 시험선로에서 운행되는 차량의 초전도 마그네트는 각각 4개의 초전도코일로 구성되어 있음

○ 대차프레임은 초전도자석 설치프레임과 다른 부품의 설치프레임으로 나누어지고 대차프레임이 초전도프레임에 탄성지지되는 구조임

○ 승차감 향상을 위하여 대차가 초전도자석(SCM)으로 탄성 지지되어 있음

○ 대차 프레임(bogie frame) : 차체의 하중

○ Components of the SCM frame(cross beams) : 좌우 초전도 마그네트를 연결하는 가로 빔



[그림 4-3] MLX 대차 시스템

■ 영구자석반발식-LSM 시스템(GA 대차)

○ 동특성 측면에서 자기부상 모듈이 설치된 프레임을 관절 조인트로 분리시켜 곡선 주행시 공극 이탈이 최소가 되도록 한 것이 특징임

○ 관절조인트를 약 1회전이 가능하도록 하여 곡선 주행시 공극침투를 2 mm이하로 줄였음

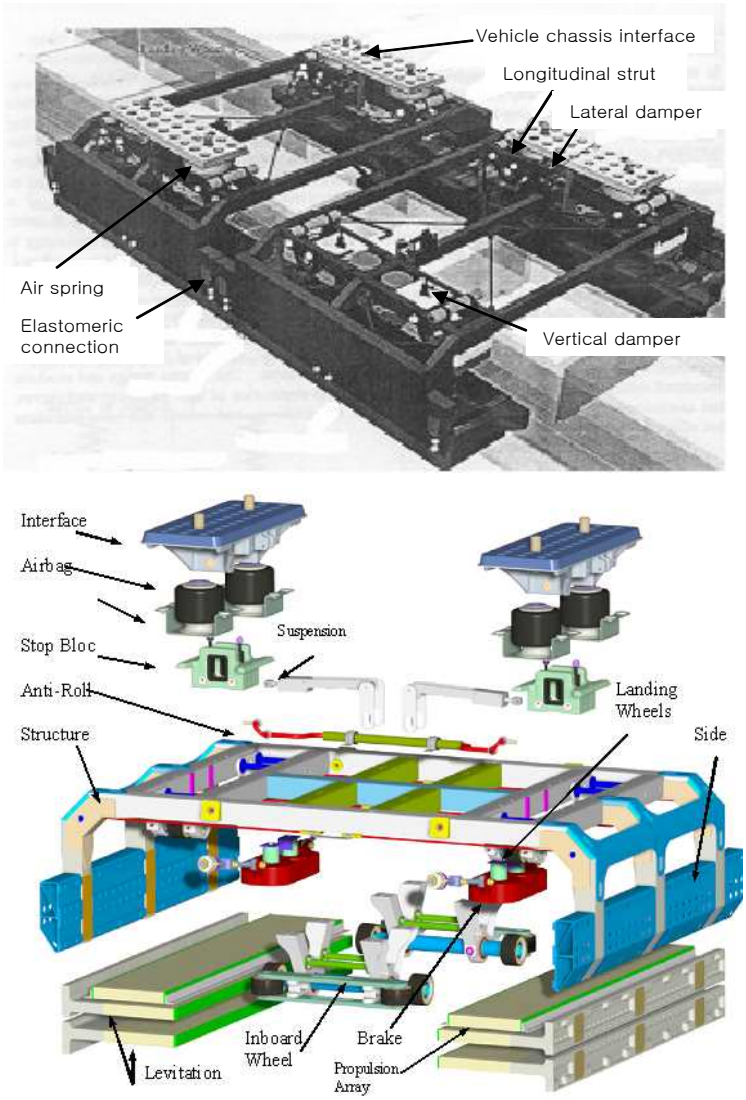
○ 2차 현가장치에는 대차당 8개의 공기 스프링과 8개의 공기 감쇠기, 4개의 횡 공기 감쇠기가 설치되어 있음

○ 안티롤 바를 설치하여 주행시 롤링을 방지하였음

○ 부상구조물과 차체는 높은 종방향 강성을 제공하기 위하여 두 구조물을 연결하는 정지 블록(stop block)을 이용하여 설계되고 조립됨

○ 부상구조물과 차체사이의 상대적 각운동은 조절이 가능한 횡방향 공기 스프링과 자석발 유동 댐퍼(magneto-rheological damper)에 의해 제어됨

○ 수직 공기스프링은 롤링을 제한하기 위하여 제어됨



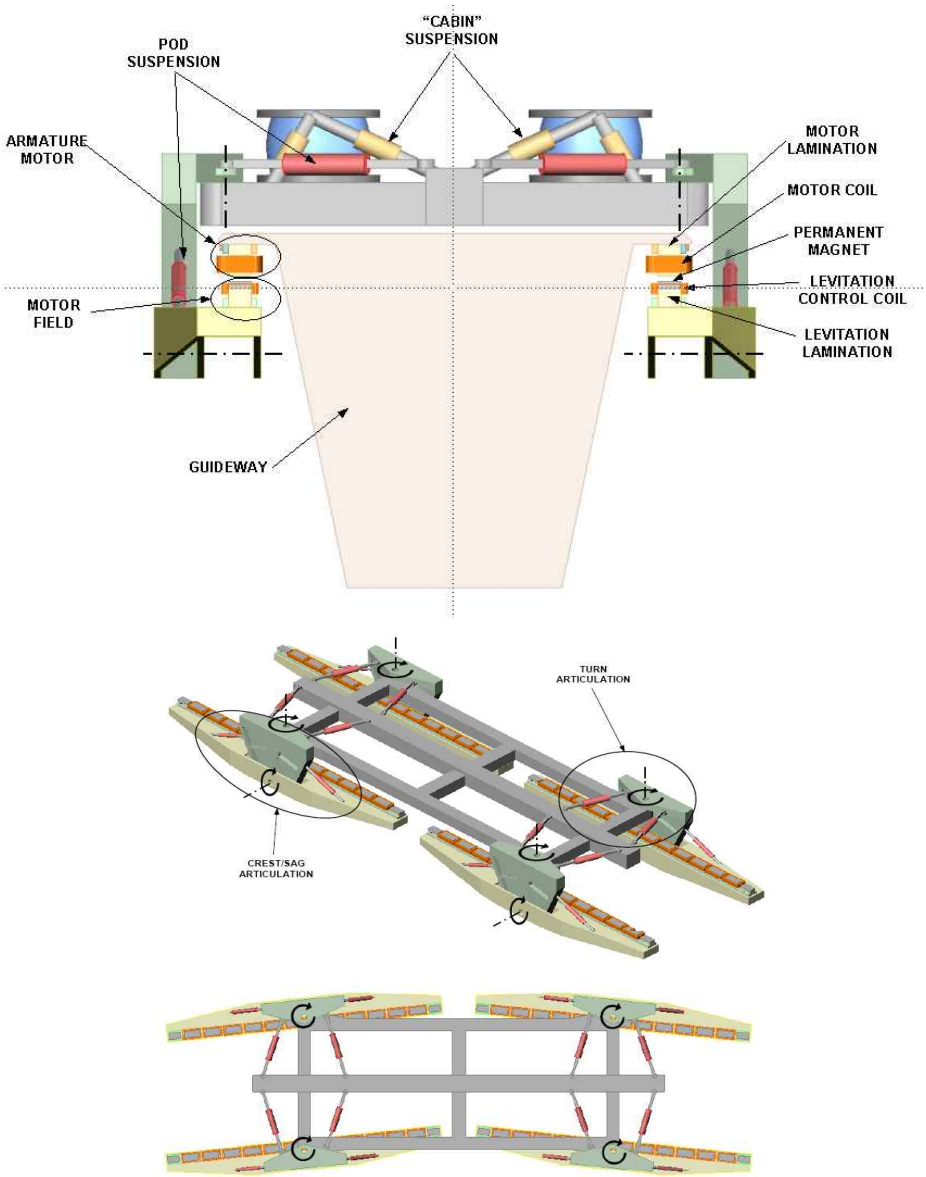
[그림 4-4] GA 대차 시스템

■ 영구자석흡인식-LSM 시스템(MagneMotion 대차)

○ 수평 및 회전관절 구조를 도입하여 짧은 곡선반경 및 등판 주행에 유리한 메카니즘 설계(수평반경, 18.3 m 수직반경 300 m)

○ 대차 전후방에 pivot 구조의 수평 및 수직 pod suspension 16개(수평 : 8개, 수직 8개)를 설치하여 수평 및 수직 회전시 승차감을 높일 수 있도록 완충장치를 둠

○ 대차와 차체 사이에 cabin suspension을 설치하여 주행시 승차감을 높일 수 있도록 함



[그림 4-5] MagneMotion 대차 시스템

2. 차체

2.1 차체설계시 고려사항

○ 초고속 자기부상열차의 차체 설계에 고려되어야 할 사항은 구조적 강성, 경량화 및 경제성 관점에서 일반 중저속 차량과 거의 동일하게 적용되고 있으나, 초고속 자기부상열차에 적용되는 차체는 500 km/h 이상의 속도로 가이드웨이를 주행하기 때문에 고성능의 전두부 형상을 가져야함

○ 이는 차체의 전두부 노우즈(nose)의 형상이 공기역학 성능이 뛰어나야 하며 특히, 터널에서 공기역학적 견인력, 소음 및 압력파에 대하여 성능이 우수해야 함

○ 공기역학적 견인력은 일반적으로 대차 견인력(대차 공기역학 + 가이드웨이 간섭 견인력), 차체 외판 마찰 견인력(비에 젖은 차체의 점성 전단응력), 차체 지붕 장치 견인력(냉방장치, 발전기 장치 등에 기인), 압력 견인력(차체의 전두부와 후두부 형상에 기인)등으로 결정되며 이러한 점이 중저속과는 달리 초고속 자기부상열차의 차체설계에 특별히 고려되어야 할 사항임

○ 경제적 관점에서 차체비용은 주로 구조물 설계나 제작에 의해 결정되며 차체 설계는 선행연구자의 경험에 기초로 하여 결정된다. 전두부 형상을 최적화하고, 공기역학적 데이터를 결정하기 위하여 축소 모델에 대한 풍동실험이 수행되기도 함

○ 규정에 정의된 하중조건에서 허용응력과 변형량은 유한요소계산법에 의해 결정되며, 이 유한요소 모델로부터 차체구조의 주파수해석과 고유 진동모드도 구함

다음은 자기부상열차의 차체 설계시 고려해야 할 사항임

○ 경량화

○ 공기역학을 고려한 설계

○ 높은 구조 강성

○ 유지보수 및 조립부재의 접근 용이성

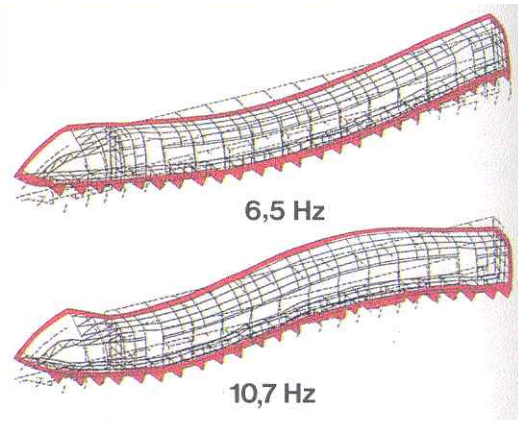
○ 소음, 열 및 화재 보호를 위한 차체 구조 설계 및 재료 선정
○ 대량 생산방법에 기초한 저비용 제조

2.2 차체개발 사례분석

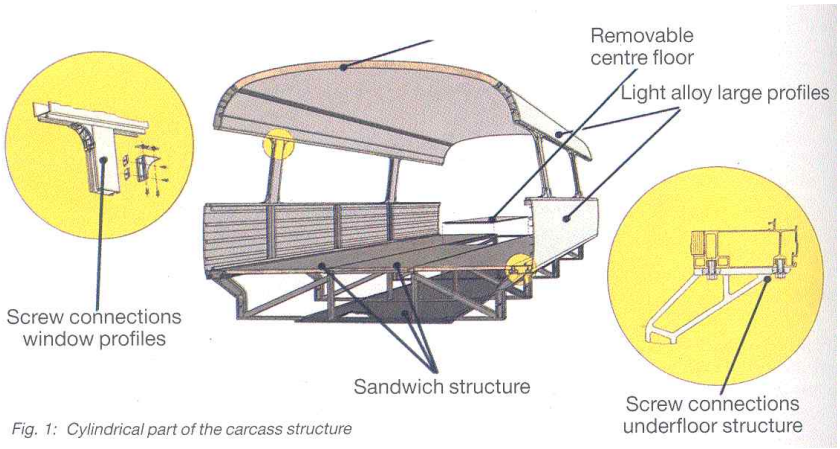
■ Transrapid

○ 차체 구체의 단면형상은 트러스형태로 되어 있으며, 바닥프레임의 중심 및 끝단 측면을 T 너트에 의해 체결된 강성 증강 하부바닥 구조로 되어있음
○ 횡단 구조물은 알루미늄 부재와 주조부재가 용접된 트러스 조립구조로 되어 있으며, 이들의 하부는 샌드위치 형태로 접작된 하부바닥판과 연결되어 있으며 이들 공간에는 차량운행에 필요한 장치나 부품들을 설치하는데 활용하고 있음
○ 특히, 바닥 프레임의 강건한 측면단면과 후방끝단 가로부재는 지지력과 안내력을 흡수할 수 있도록 설계되어 있고 이들은 나사 잠금용 홈과 2차 현가장인 압축공기의 종방향 분배를 위하여 두 개의 사각 중공단면을 가짐
○ 중앙의 종방향 바닥 프레임 부재의 단면형상은 최적화되어 왔으며, 동시에 후방측벽 부재 및 출입문 프레임의 형상으로 사용됨
○ 측면벽은 대형 알루미늄 부재로 구성되며, 창문기둥에 나사와 특별하게 제작된 주조각과 창문기둥의 홈과 종방향 부재의 홈을 연결할 수 있는 클램핑 도구로 체결되어 있음
○ 하부바닥, 천장, 후방측벽 및 바닥은 샌드위치 적층판으로 되어 있고 중앙 바닥판은 제거가 가능하며, 하부바닥 구조의 가운데 경로로 접근할 수 있음
○ 차량 노우즈(nose)의 윗부분은 유리섬유의 샌드위치 쉘로 제작되었으며, 바닥프레임과 차체의 원통부에 부착되며 분리가능한 하부의 노우즈도 유리섬유의 샌드위치 쉘로 되어 있으며 측면 노우즈 덮개와 가이드웨이를 감싸고 탈착가능한 부분은 단일 유리섬유로 제작됨
○ 차체구체의 모든 샌드위치 요소는 코어의 기본 재료로 페놀 수지 접착의 아라미드 섬유의 하니콤(honeycomb)이 사용되어 왔다. 하니콤 코어는 동일한

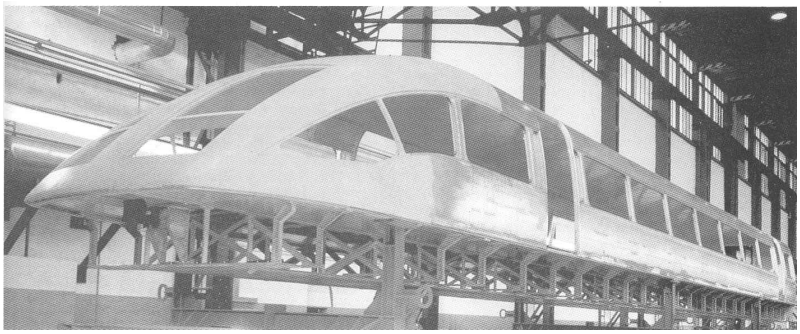
크기의 실험적 비교에서 압력과 굽힘강도 및 중량효과 결과를 얻었으나, 이 재료는 화재에 대한 엄격한 법규를 적용받음



(a) 차체 진동모드



(b) 구체의 원통부



(c) TR07 차체의 구체

[그림 4-6] Transrapid 차체

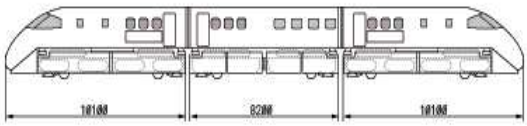
■ MLU001

○ 미래의 장거리 운송을 위한 MLU001은 승객운송용 객차를 위해 설계되며 역 T 형 가이드웨이에 의한 지장이 없도록 승객을 운송하기 위한 공간은 대차 위에 위치하여야 하였는데 이 때문에 차량이 커짐

○ 이러한 이유로 역 T 형 가이드웨이 대신에 U 형 가이드웨이가 적용되어 박스 형태의 차체가 되고 MLU의 U는 U 형 가이드웨이로의 변화를 의미함

○ 이들 차량에는 중간차량이 포함되고 MLU001을 이용하여 고의로 주어진 가이드웨이의 불규칙과 3량 편성 차량의 초전도 자기부상차량의 시험 운행으로 차량의 동적 특성이 조사됨





[그림 4-7] MLU001(3량 1편성 열차)

<표 4-2> MLU001의 제원

Carbody dimension (m) Length×width×height	Weight (t)	Number built	Seating capacity
Head cars : 10.1×3.0×3.3 Middle car : 8.2×3.0×3.3	10.0	Head cars : 2 Middle car : 1	Head cars : 8 Middle car : 16
Superconducting Coil(SC coil) Magnetomotive force(kA)×poles×rows	Max. speed (km/h)	Site of run	Year completed
700×4×2	2-car : 405 3-car : 352	Miyazaki Maglev Test Track	1980-82



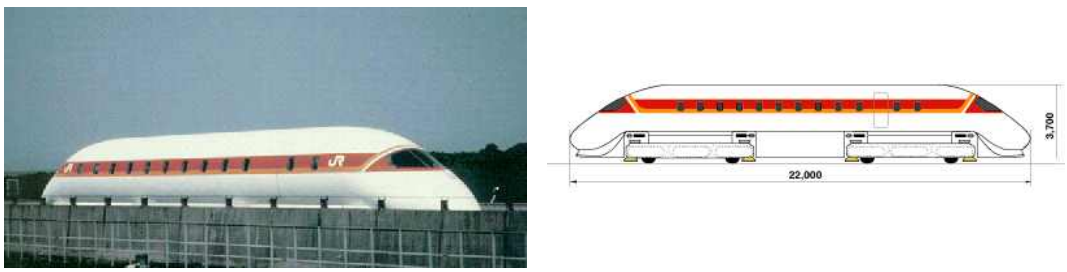
[그림 4-8] 공기역학제동 시험중인 MLU001

○ MLU002가 등장한 이후에도 MLU001은 1987년 비상착지제동시험을 위해 남아있었고, 재구성 이후에 1989년에 공기역학제동시험을 다시 하였음

■ MLU002

○ MLU002는 MLU001을 대신하는 시험차량이며 미래의 상용화 차량의 기본 설계를 마련하기 위한 시제 형태의 대차로 제작되며 시험시승 동안에 44명의 탑승객을 위한 좌석이 마련됨

○ MLU002는 출차분기시험, 저속에서의 자기 제동(magnetic drag)을 줄이기 위한 측벽 부상성능시험 및 승차감을 향상시키기 위한 탄성체를 사용하여 초전도 마그네트를 탑재한 대차(resiliently-mounted SCM bogie)의 성능시험을 수행하며 1991년 MLU002는 불행히도 시험운행 중 사고로 인하여 화재로 전소되었음



[그림 4-9] MLU002

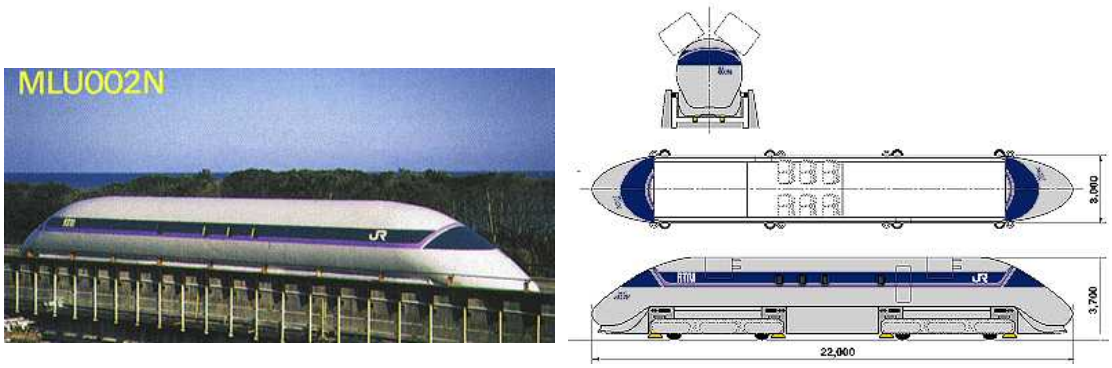
<표 4-3> MLU002의 제원

Carbody dimension (m) Length×width×height	Weight (t)	Number built	Seating capacity
22.0×3.0×3.7	17.0	1	44
Superconducting Coil(SC coil) Magnetomotive force(kA)×poles×rows	Max. speed (km/h)	Site of run	Year completed
700×6×2	394	Miyazaki Maglev Test Track	1987

■ MLU002N

○ MLU002와 거의 같은 차체를 한 MLU002N은 디스크 제동장치, 공기역학 제동장치 및 탄성체를 사용하여 초전도 마그네트를 탑재한 대차(resiliently-mounted SCM bogie)를 가진 보다 상업적화 개발에 접근한 시험용 차량임

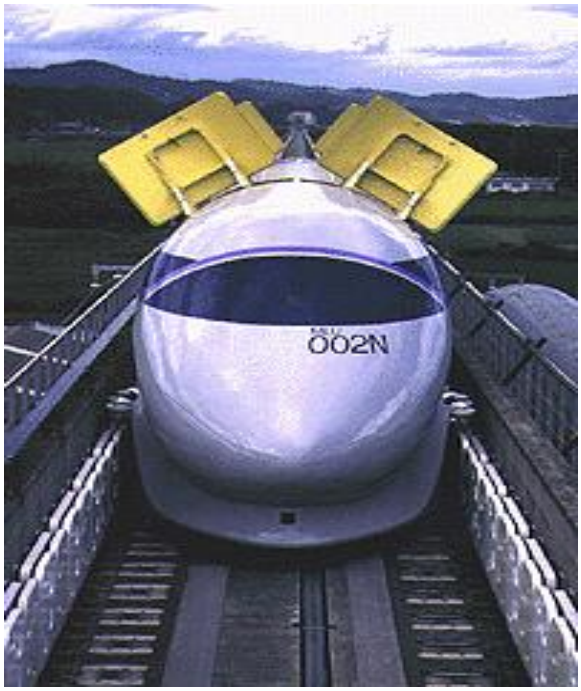
○ 본 차량은 기계적 제동시험, 추진, 부상 및 안내를 담당하는 단일측벽코일인 PLG 코일의 추진/부상/안내 기능확인시험을 수행하며 1995년 MLU002N은 미야자키 시험선로에서 유인주행시험으로 가장 빠른 속력인 411 km/h을 성공적으로 기록함



[그림 4-10] MLU002N

<표 4-4> MLU002N의 제원

Carbody dimension (m) Length×width×height	Weight (t)	Number built	Seating capacity
22.0×3.0×3.7	19.0	1	12
Superconducting Coil(SC coil) Magnetomotive force(kA)×poles×rows	Max. speed (km/h)	Site of run	Year completed
700×6×2	unmanned: 431 manned: 411	Miyazaki Maglev Test Track	1993



[그림 4-11] MLU002의 공기역학제동장치

■ MLX01

○ 시험을 의미하는 X 이니셜을 갖는 MLX01은 야마나시 시험선로에서 운행되기 위하여 제작된 자기부상열차(최대 5량으로 편성)이며 선두차는 고속운전에서의 공기역학저항을 줄이기 위하여 aero-wedge, double cusp 및 new MLX01-901의 세가지 형태로 설계됨

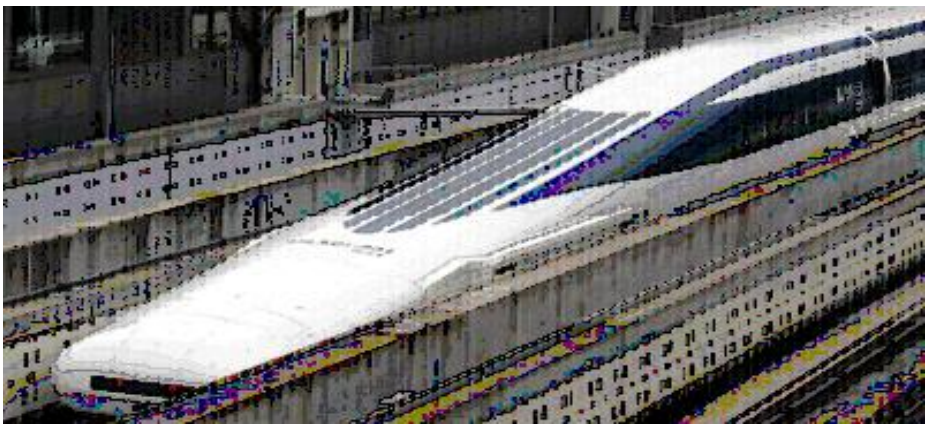
○ 그리고 시승을 예상하여 중간차량에 좌석공간을 제공하며 MLX01은 내장백업제동 즉, 미야자키 시험선로의 MLU001과 MLU002N에서 충분히 증명된 공기역학제동과 디스크제동장치로 완성됨



[그림 4-12] MLX01 선두차량(aero-wedge)



[그림 4-13] MLX01 선두차량(double cusp)



[그림 4-14] MLX01-901의 선두차량

<표 4-5> MLX01의 제원

Carbody dimension (m) Length×width×height	Weight (t)	Number built
leading car : 28.0×2.90×3.32 standard intermediate car : 21.6×2.90×3.32 long intermediate car : 24.3×2.90×3.32	long intermediate car : 68	leading car: 5 standard intermediate car: 2 long intermediate car: 2
Superconducting Coil(SC coil) Magnetomotive force(kA)×poles×rows	Max. speed (km/h)	Site of run
700×4×2	581(result)	1996-2002

3. 주행성능향상 기술

○ 주행성능은 최종적으로 승객이 직접 느끼게 되는 성능으로, 이 성능에 따라서 대중으로부터 수용여부가 결정될 수 있고 주행성능은 차량의 최종 성능으로 시스템적은 응답에 의하여 결정되기 때문에 다양한 요인과 관련이 있음

○ 주행성능을 향상시키기 위해서는 궤도, 차량 모두 성능이 향상되어야하며 본 절에서는 주로 동특성에 의한 주행성능에 중점을 두고 조사, 분석함

3.1 핵심기술

○ 주행성능은 차량의 동특성에 의하여 기본적으로 평가며 자기부상열차의 주행성능에 포함되는 성능 종류에 대하여 명확하게 정의된 것은 없고 본 보고서에서 열거한다면 다음과 같은 성능들이 주행성능에 포함될 것이라 생각함

- 부상안정성
- 승차감(저크 포함)
- 실내소음
- 곡선추종성
- 가감속 성능

○ 이와 더불어 주행성능을 만족하면서도 경제적인 가이드웨이를 건설할 수 있도록 다음과 같은 가이드웨이 설계 규격을 결정하는 것이 중요함

- 고가궤도의 스팬거리, 강성, 질량 설계
- 고가궤도 건설 공차 한계 평가
- 고가궤도 동하중 예측

○ 이상에서 열거한 것과 같은 자기부상열차의 주행성능 향상과 고가궤도 건설비 절감에 있어서 핵심적인 기술은 차량동역학이며 차량의 동역학적 특성은 차량 측면에서는 대차, 궤도 측면에서는 궤도의 불규칙 형상과 궤도의 유연성에 의하여 주로 결정됨

○ 그러므로 자기부상열차의 차량 주행 성능 즉 운동 성능 향상을 위한 핵심 기술은 대차 시스템 설계와 차량/궤도의 동적 상호작용 해석/평가 기술로 압축된다고 할 수 있음

○ 특히, 자기부상열차는 유연한 고가 궤도에서 운행되기 때문에 일반 철제 차륜보다 차량과 궤도와의 동적 상호작용에 대한 해석, 평가 및 설계 기술이 자기부상열차의 실용화에 있어서 중요하다고 할 수 있고 최근에는 가상시제(Virtual prototyping) 기술이 자기부상열차 개발에 있어서도 응용되고 있는데 차량동역학은 가상시제 기술의 적용에 있어서 가장 중심에 있기 때문에 새로운 자기부상열차 시스템 개발 시 개념 설계 단계에서부터 차량동역학의 적용이 요구됨

3.2 주행성능 평가

○ 자기부상열차의 동특성은 주행성능으로 평가하게 되며 일반적으로 주행성능을 평가하기 위하여 측정되는 항목들은 차체와 대차의 가속도, 대차와 궤도의 수직 공극, 대차와 궤도의 횡 공극(gap), 차체와 대차의 상대 변위, 견인바 하중, 궤도의 처짐, 궤도의 진동, 궤도의 동하중들임

○ 이러한 측정 항목을 이용하여 주행성능인 승차감, 곡선 추종성능, 안정성, 궤도 구조 안전성을 평가하게 됨

○ 승차감 및 진동 평가

일반적으로 진동 가속도에 의한 승차감은 수직, 횡, 종 방향 가속도를 이용하여 평가하며 가속도를 이용한 승차감 평가는 일반 철도차량의 경우 UIC 513이나 ISO 2631에 의하여 평가할 수 있음

○ 현재, 자기부상열차를 위한 승차감 평가 절차나 방법에 대한 특별한 규정은 없으므로 기존 철도차량에서의 규격을 이용할 수 있다고 할 수 있고 일반적으로 기존 철도차량에 적용되는 시험에 의한 승차감 평가는 국내의 기술에 의하여 이루어지기 때문에 UIC 513, ISO 2631에 의한 승차감 평가는 이미 확보된 기술이라고 할 수 있음

○ <표 4-6>은 UIC 513에서 정의하는 승차감 지수에 대한 승차감 평가를 보여줌

<표 4-6> UIC evaluation scale

Ride index(Nmv)	Ride comfort
~ 1	Very comfortable
1 ~ 2	Comfortable
2 ~ 4	Medium
4 ~ 5	Uncomfortable
5 ~	Very uncomfortable

○ 진동 평가는 도시철도의 경우 “도시 철도차량의 성능시험에 관한 기준”에서 정의하고 있다. 현재, 자기부상열차의 진동시험에 대한 기준은 없는 상태임

○ “도시철도차량의 성능시험에 관한 기준”을 적용한다면 이미 국내에서 수행되도 있는 시험이기 때문에 국내에서 평가가 가능하다고 할 수 있음

○ 안정성 평가

주행 안정성은 차량의 임계속도를 의미한다. 임계속도는 차량과 궤도와의 공진에 의하여 부상력이 발산하는 속도임

○ 현재, 개념적으로 안정성 평가 방법이 알려져 있으나 규격화되지는 않았으며 단지, 최고 운행속도보다 높은 주행속도까지 안정성이 보장되도록 개발해야 할 것임

○ 이론적으로는 차량/궤도의 통합 운동방정식의 고유치해석이나 시간영역에서의 응답으로 평가하게 된며 시험에 의한 평가는 차량의 주행 속도를 증가시키면서 대차의 가속도나 공급 응답으로 평가할 수 있음

○ 차량이 최고 운행속도에 이르기 까지 속도를 증가시키면서 주행하더라도 궤도와의 공진에 공극의 발산이 일어나지 않도록 해야 하며 이론적으로 안정성을 평가하는 기술은 이미 알려진 기술임

○ 시험에 의한 안정성 평가는 방법적인 측면에서는 확립된 기술이나 현재 국내에 설치된 시험 노선의 길이가 짧은 관계로 최고 설계속도 까지 시험하지는 못한 상태이며 시험에 의한 주행 안정성 평가 기술은 국내에서 확보된 기술이라고 할 수 있음

○ 이론적인 안정성 평가는 이미 알려진 기술이나 신규 차량의 개발 시 차량의 특성 변화를 반영한 체계적인 적용이 필요하다고 할 수 있음

○곡선 추종 성능 평가

곡선에서 궤도와 대차의 물리적 접촉이 없이 선회가 가능한지에 대한 평가는 전자석과 궤도와의 횡 공극으로 평가할 수 있음

○ 이 공극은 엄격하게 제어되어야 한다. 이 곡선 추종 성능에 대한 시험에 의한 평가는 전자석과 궤도의 공극 측정에 의하여 평가할 수 있으며 국내 기술로 전자석과 레일의 공극을 직접 측정하여 곡선 추종 성능을 평가할 수 있다고 평가함

○차량 한계 만족 평가

차량은 규정된 차량 한계 내에서 운동을 해야 함

○ 즉, 역이나 궤도 측면에 있는 설치물들과 접촉이 발생하면 안 되고 차량한계 즉 차량 한계 평가는 차량의 자세를 측정하면 알 수 있으므로 차량 한계에 대한 규격이 정해진다면 국내 기술로 평가가 가능할 것으로 사료됨

○동하중 평가

주행 중의 각 연결부에 작용하는 동하중을 평가하기도 함

○ 이러한 동하중의 측정은 구조안전 측면에서 요구될 수 있고 일반적으로 동하중 측정은 확립된 기술이므로 필요시 국내 기술로 평가가 가능함

3.3 차량동역학 해석 및 시험

○ 자기부상열차의 주행성능 즉 동역학적 특성은 차량-제어기-궤도의 동적 상호작용에 의하여 결정되기에 때문에 새로운 차량의 개발에 있어서 개념설계 단계부터 시뮬레이션에 의한 시스템적인 동역학 특성 즉 주행성능 평가가 필요함

○ 특히, 실물 제작 없이 가상의 차량, 궤도를 이용한 시뮬레이션 기반 설계는 주행성능 향상 및 고가궤도 건설비용 축소에 효과적으로 이용될 수 있음

○ 차량/궤도 동적 상호작용 해석 기술은 목적에 따라 다음과 같이 모델링 접근법으로 대별할 수 있음

- 저 자유도 해석적(analytical) 모델링
- 다 자유도 동역학 모델링
- 가상시제 기반 동역학 모델링
- FEM을 이용한 구조동역학 모델링

상기의 모델링 기법으로 분류하여 국내의 기술현황을 살펴본다.

○ 저 자유도 해석적 모델링

이 모델링 기법은 제어기의 설계/평가를 목적으로 함

○ 이론적 접근으로 설계 파라메타의 변화에 따른 동적 응답 경향을 명확하게 평가할 수 있는 장점을 갖으며 국내에서는 UTM-01 개발단계에서 이 모델링 기법이 적용되었다. 구체적으로 다음과 같은 모델이 이용됨

- 유연한 궤도를 주행하는 힘에 의한 해석 모델
- 2 DOF 차량/제어기 해석 모델

○ 이 두 해석 모델을 이용하여 기본적인 차량/궤도 동적 성능을 평가하며 이 해석 모델을 이용하여 부상제어기를 설계하기도 하였다. 이러한 모델링 기법의 유용성은 여전하기 때문에 실용화차량 개발 시에도 필요함

○ 다 자유도 동역학 모델링

다자유도 모델링은 주로 전체차량을 대상으로하며 수직면(평면운동)에 대한 모델링이 가장 일반적이며, 때로는 곡선추종성능을 평가하기 위하여 수평면 모델이 이용되기도 함

○ 이러한 모델링은 주행안정성, 승차감, 부상제어기 평가, 차간 연결기 평가 등에 이용될 수 있고 국내에서도 이미 다자유도 동역학 해석 프로그램 ODYN/Maglev를 개발하여 도시형 자기부상열차 실용화 사업에 활발히 적용하고 있음

○ 가상시제 기반 동역학 모델링

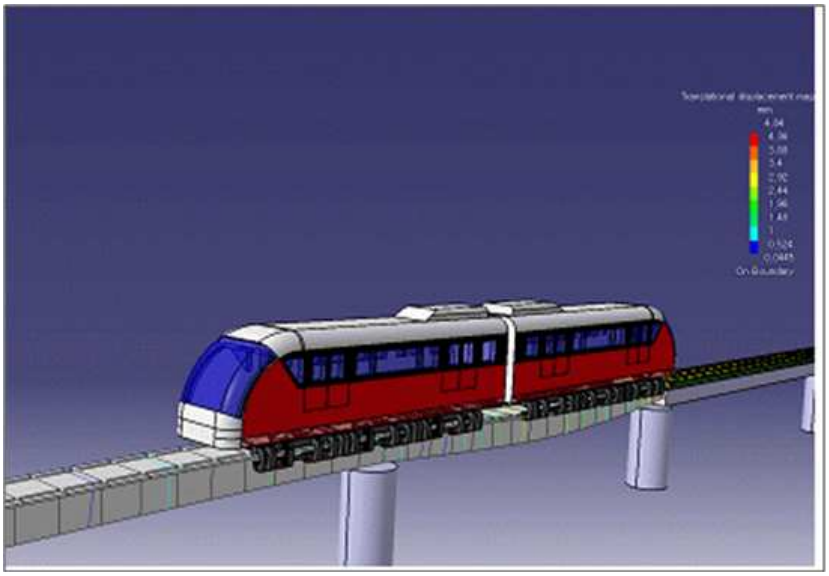
컴퓨터의 발전과 공학용 해석 프로그램의 발전으로 실물 시제품의 제작 없이도 성능을 평가하고 설계에 반영하여 개발 기간의 단축과 시제품 제작비용을 줄이는 가장시제 기술이 다양한 분야에 응용되고 있음

○ 가상시제 기반의 동역학 모델링의 장점은 단순화를 최소화하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 물리적인 시제품을 대체하는 것이며 가상시제 기반의 동역학 모델링의 장점은 또한 다양하고 상세한 해석 결과를 얻을 수 있음

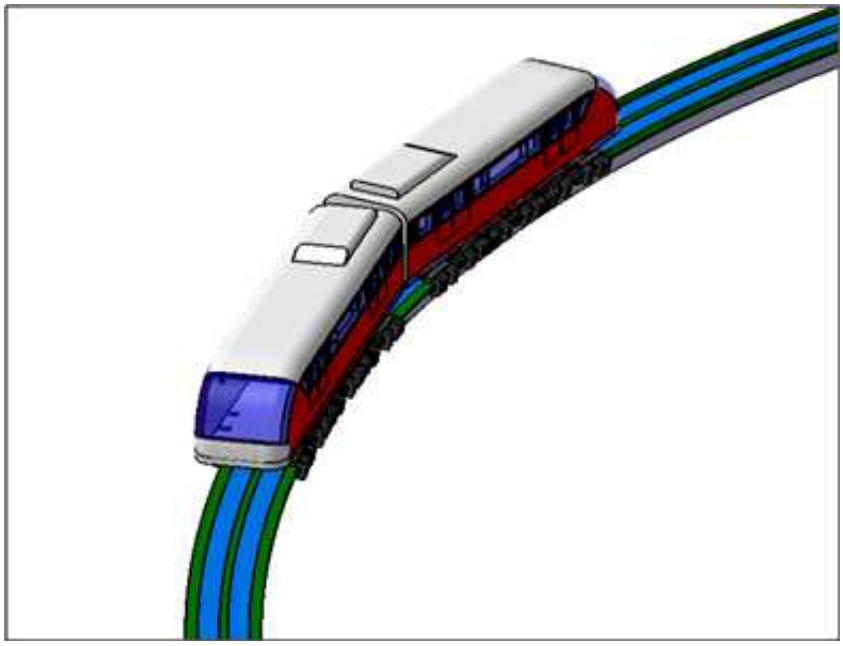
○ 더 나아가 타분야 해석 프로그램과의 인터페이스 또는 통합 해석이 가능한 장점을 갖으므로 이러한 접근법은 향후 활발히 적용될 것으로 기대됨

○ 동역학 모델링에 있어서 가상시제 응용의 중심에는 다물체 동역학이 자리하고 있으며 다물체 동역학에서는 실제 제품과 유사하게 모델하기 위하여 모든 물체(부품)을 고려하고 그 물체들은 기구학적 조인트나 고무, 스프링 같은 힘 요소들로 연결됨

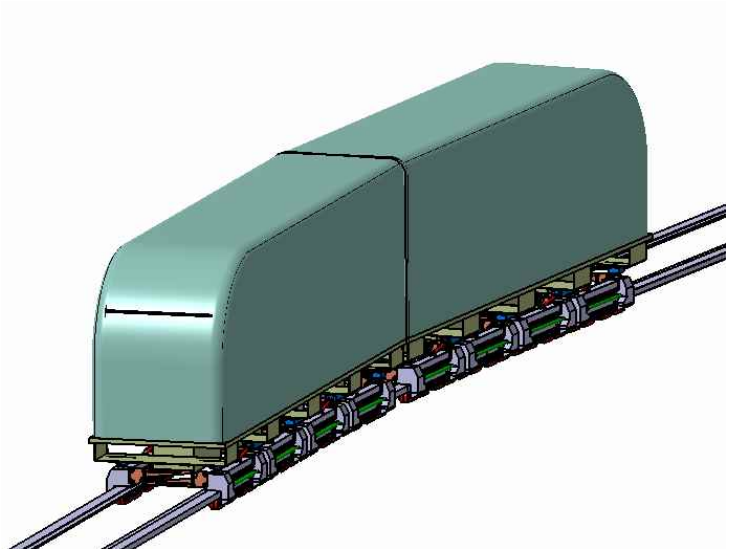
○ 가상시제 기반의 동역학 모델링은 국내에서 개발되어 도시형자기부상열차 실용화사업에 활발히 적용하고 있으며, 현재 세계 최고 수준에 도달하여 있고 [그림 4-15] [그림 4-16]에서는 국내에서의 가상시제 기반 주행성능 시뮬레이션 모델을 보여줌



[그림 4-15] 가상시제 기반 UTM-02 동역학 해석



[그림 4-16] 가상시제 기반 UTM-02 곡선 주행 해석



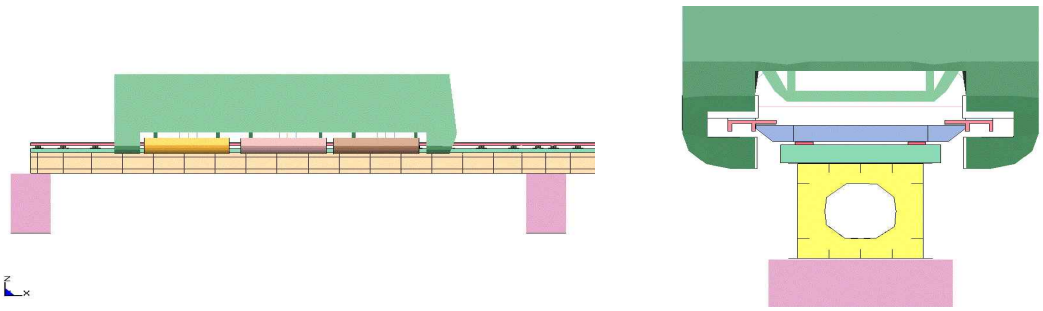
[그림 4-17] 가상시제 기반 실용화차량 분기기 통과 해석

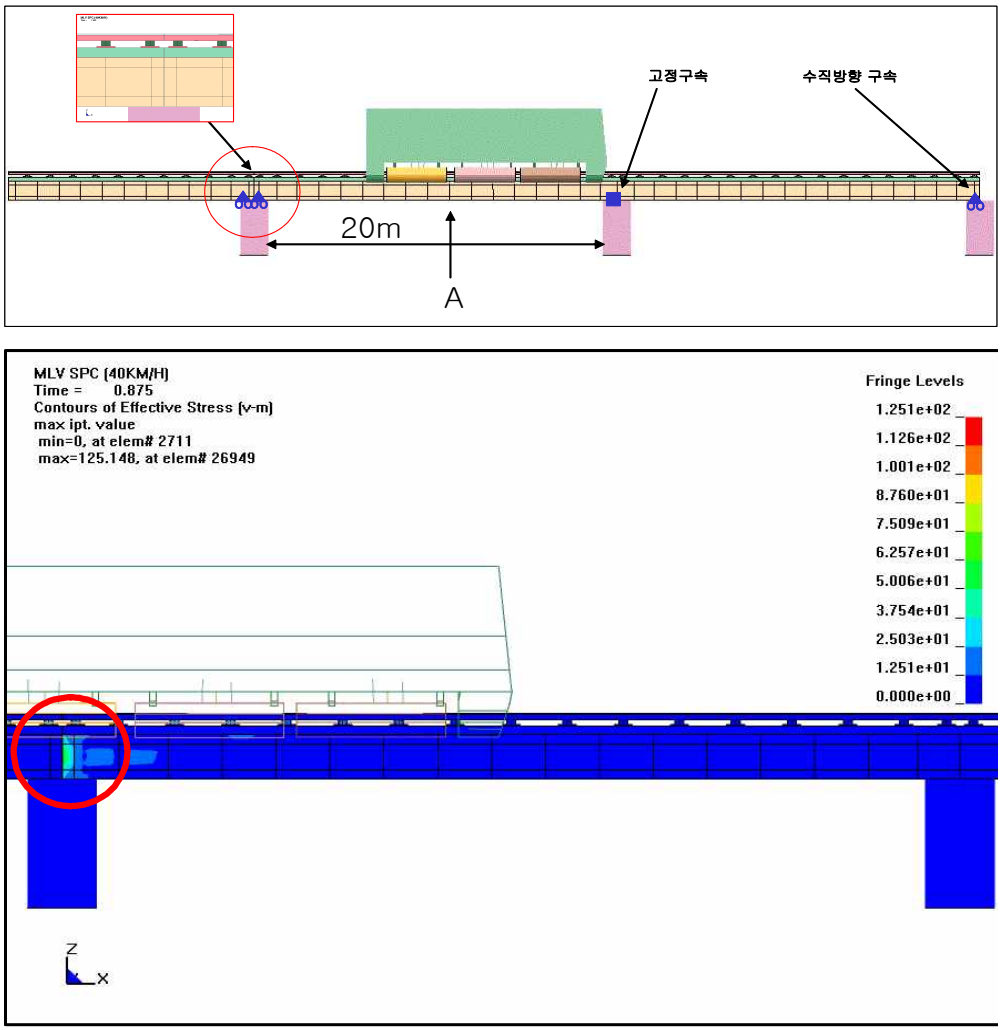
○ FEM을 이용한 구조동역학 모델링

FEM(유한요소법)을 이용하는 구조동역학은 모든 부품을 유연체로 표현할 수 있는 장점을 갖으며 복잡한 구조를 갖는 궤도 및 차량을 모두 유연체로 모델 할 수 있는 장점이 있음

○ Han은 FEM을 이용하여 UTM-01에 적용하는 연구를 2004 ~ 2005년에 수행하며 Han에 의한 이 연구에서는 [그림 4-17]에서와 같이 차량과 궤도를 모두 유한요소로 모델함

○ 이러한 모델을 이용한 동특성 해석은 궤도 설계에 있어서 유용하게 이용될 수 있음





[그림 4-18] 구조동역학을 이용한 자기부상열차 주행해석 모델

3.4 사례분석

○ 본 절에서는 이러한 차량동역학 기술 분야의 국내외 기술현황을 분석하여 국내 기술의 수준과 장단점을 파악하고자 하며 이를 위하여 차량동역학 분야를 차량의 주행성능을 지배하는 차량/궤도 동적 상호작용 평가 기술현황을 분석함

■ 독일

○ [그림 4-19]는 독일에서 개발한 TRANSRAPID의 대차로 이 열차는 고속형이면서 EMS 상전도 흡인식이 것이 특징임

○ 이 열차는 [그림 4-19]에서와 같이 부상력을 위한 전자석과 안내를 위한 전자석이 분리되어 있는 것이 특징이며 TRANSRAPID은 상대적으로 장기간에 걸쳐 다음과 같은 내용으로 최적화되었음

- 개별 부품의 수를 줄이고 모듈화
- 유지보수 비용 저감
- 승차감 향상
- 낮은 공기저항 및 공기역학적 소음 저감
- 차량 무게 감소

○ 모든 자석은 유지보수가 필요 없는 조인트를 이용하여 [그림 4-20]와 같은 부상 샤시에 고정되며 그런 후 필요한 운동은 진동감쇠탄성 베어링으로 부상 샤시를 프레임에 연결하여 얻어짐

○ 즉, 부상 샤시와 프레임의 연결부에 유연성이 존재하도록 하여 작은 범위에서 상대운동이 가능하게되며 모든 부상, 추진, 제동, 안내력 자석을 부상 샤시에 설치하여 결과적으로 [그림 4-20]의 부상샤시에 모든 힘이 전달되게 됨

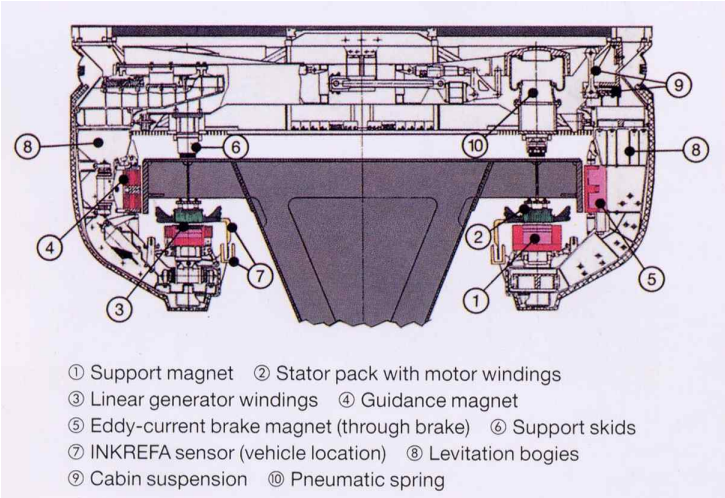
○ 이 부상 샤시로 구성된 부상샤시 유닛은 주행방향으로 차체와 차동링크에 의하여 고정되며 나머지 모든 자유도는 구속되지 않음

○ 각 부상샤시 유닛은 차량의 각 측면에 쌍으로 연결되는 4개의 프레임으로 구성되는데, 이 프레임은 차량에 연결되고 또한 횡단 빔에 의하여 궤도를 감싸는 형상을 만들며 각 하단 끝 부분에 자석을 부착한 부상 프레임은 추진, 제동, 안내를 독립적으로 수행함

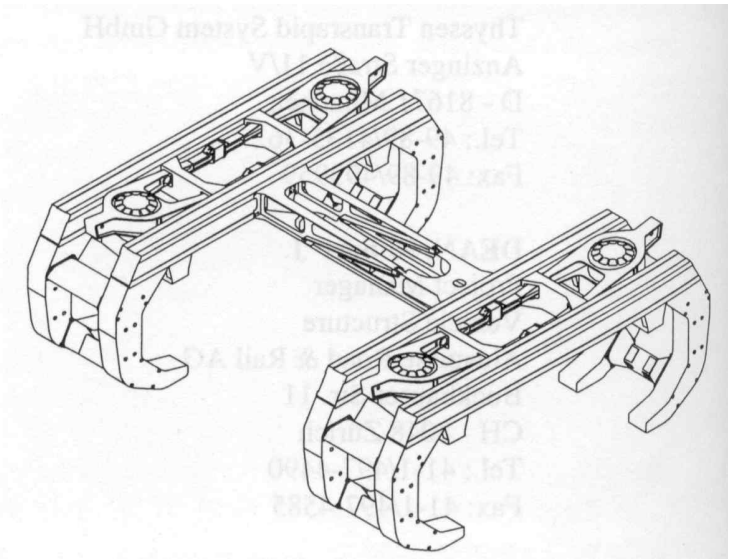
○ 차량을 지지하기 위한 공기 현가장치는 부상샤시의 횡단 빔에 설치되며 기계적 안정화바가 있어서 차체의 롤 운동을 감쇠시키도록 하였음

○ 정지 상태를 위한 지지 스키드가 횡단 빔에 설치되며 대차의 프레임들 간 진동을 절연시키기 위하여 강하고 유지보수가 필요 없는 탄성(금속-고무) 베어링이 연결부에 이용됨

○ 궤도 중심의 횡 방향 제어 시스템의 도입과 안내자석과 제동자석이 동일한 인터페이스로 인하여 제동자석을 위한 프레임이 필요 없어 전체적으로 질량을 줄일 수 있었다고 함



[그림 4-19] TRANSRAPID의 단면 구조



[그림 4-20] 부상 샤시 유닛

■ 일본

○ 일본은 초고속형인 초전도반발식 대차와 도시형 상전도 흡인식 대차를 개발하였으며 초전도 반발식인 MLX는 대표적인 고속형 초전도 반발식 자기부상열차로 최고 속도 561 km/h를 기록함

○ 초전도 반발식은 EDS 방식으로 기본적으로 1차 현가 즉 부상, 안내력에 감쇠가 부족한 특성을 갖고 또한 궤도에 설치된 코일의 위치에 오차가 있어 이로 인하여 진동이 유발됨

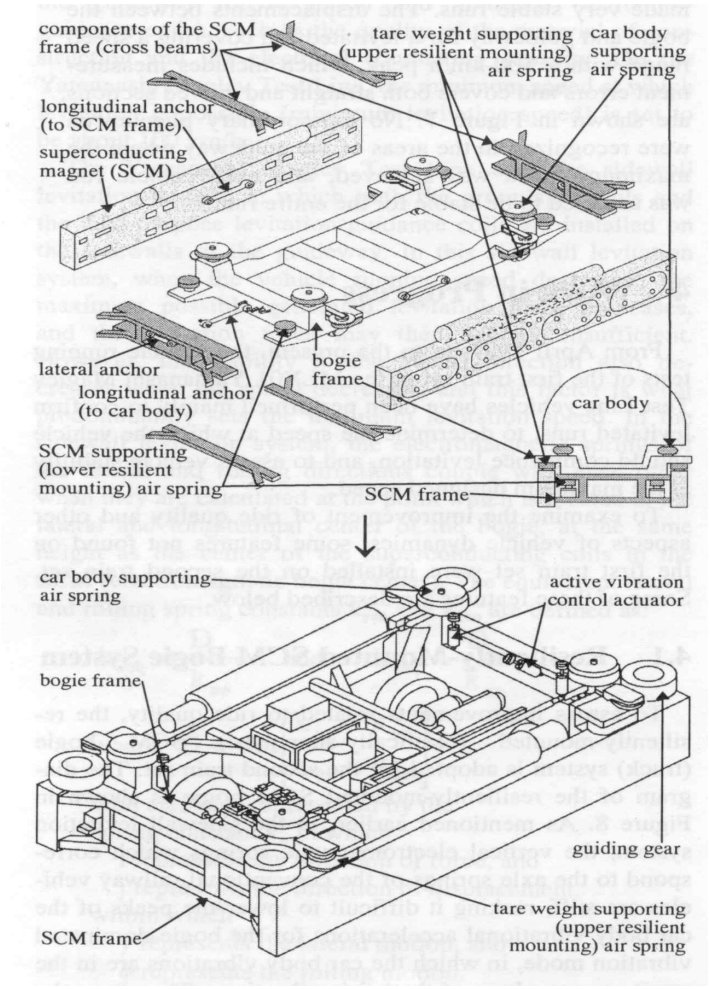
○ 또한 선형동기모터, 공기 저항력에 의하여 진동이 발생하며 이러한 특성을 반영한 MLX의 대차 구조를 [그림 4-21]에서 보여주고 있음

○ MLX의 대차는 승차감 향상을 위하여 초전도자석(SCM)이 탄성 지지된 대차인 것이 특징이며 자기부상력의 등가 강성은 상대적으로 크기 때문에 이로 인한 대차의 진동 모드에 대한 차체의 가속도 크기를 줄이는 것은 어렵움

○ 경우 차체의 진동은 대차의 진동과 역 위상을 갖아서 대차 프레임을 초전도자석이 설치된 프레임과 다른 부품이 설치된 대차 프레임으로 나누었음

○ 그런 후 대차 프레임이 초전도 프레임에 탄성 지지되는 구조이며 이러한 구조로 궤도 불규칙으로 인한 진동을 줄이기 위하여 초전도자석을 포함한 SCM 프레임의 질량과 다른 부품이 설치된 대차 프레임의 질량비가 작아야함

○ 예로, 1 또는 1보다 작은 비로 설계하여 차체의 진동을 줄이는 효과를 얻었음

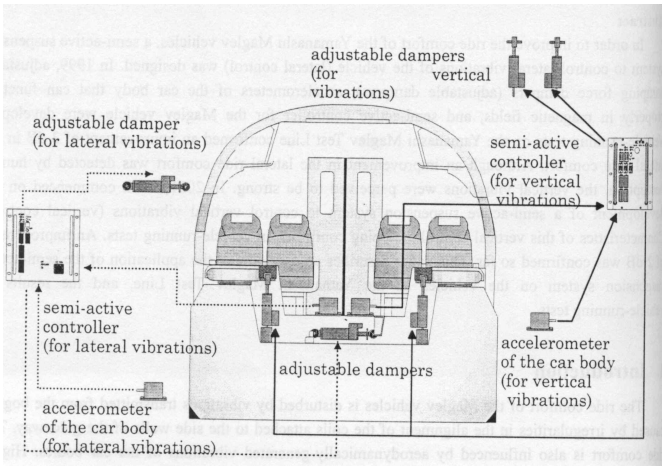


[그림 4-21] 초전도반발식 대차 시스템

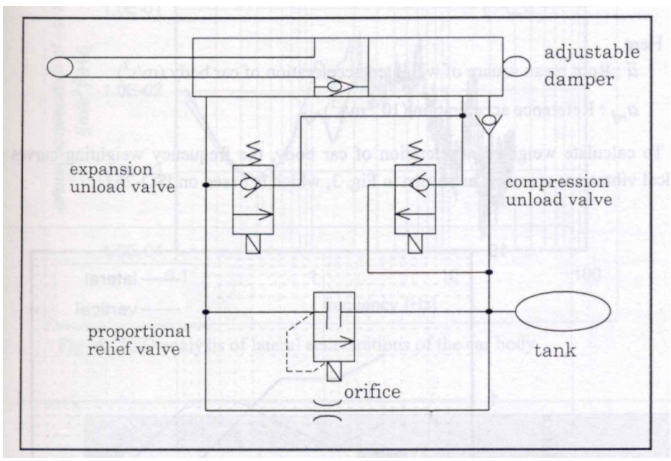
○ 초전도반발식의 승차감을 향상시키기 위하여 많은 노력을 기울이고 있으며 2차 현가 및 1차 현가의 감쇠력을 제어하기 위하여 선형유도모터를 이용한 감쇠력을 제어하는 시도가 이루어지고 있음

○ 다른 한 방법으로는 [그림 4-22]과 같이 횡방향, 수직방향 반능동형 현가장치(semi-active suspension)을 적용하여 시험하며 이 현가에서는 [그림 4-23]와 같은 가변 댐퍼를 이용하였음

○ 이러한 반능동형 현가장치를 적용한 결과 횡방향으로 3 dB, 수직방향으로 2 dB의 감소를 얻었다고 함



[그림 4-22] 반능동형 현가장치 구성



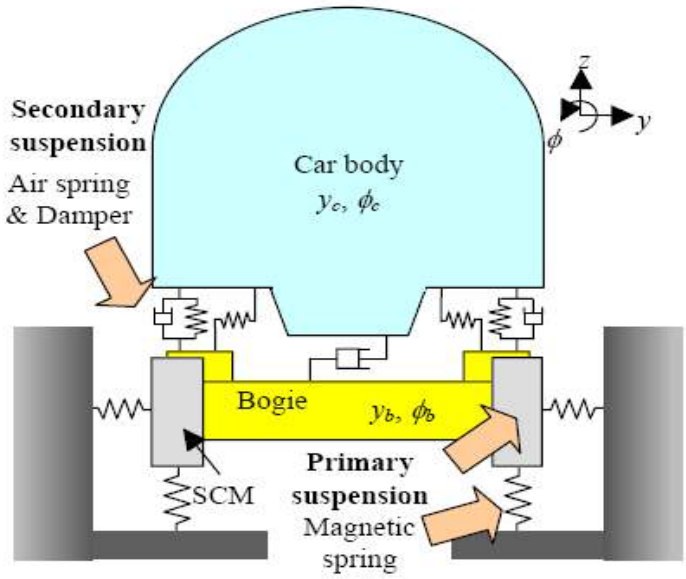
[그림 4-23] 가변댐퍼(adjustable damper)의 구조

○ 전술한 저 자유도 해석적(analytical) 모델링 기술의 확장으로 다자유도 동역학 모델링에 대한 연구가 가장 많이 이루어져 왔고 Kusagawa 등은 초전도 잔기부상열차의 승차감을 향상을 위하여 [그림 4-24], [그림 4-25]과 같은 다자유도 해석 모델을 이용하였음

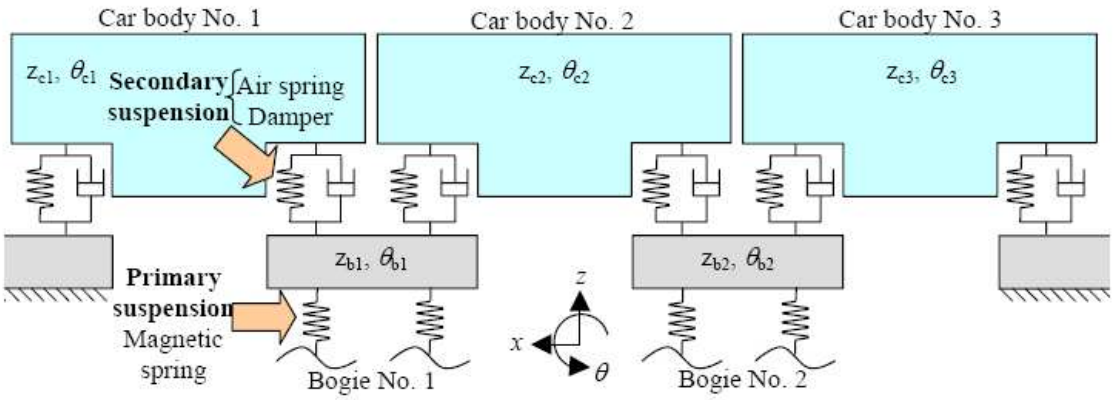
○ 초전도 차량은 승차감 향상이 필요하다. 2차 현가 제어만으로 2차 현가로부터의 상대적인 고주파수 진동을 절연시키는 데는 부족고 그동안 1차 현가의 진동을 제어하지 못하였음

○ 그래서 최근에 집전 시스템을 이용한 1차 현가 진동 제어를 실험하고 있으며 1차 현가에 직접 감쇠력을 부가하기 때문에 최적의 고주파수 진동 제어 기법이라고 할 수 있음

○ 이러한 해석 모델을 이용하여 새로운 승차감 향상 제어기의 설계 및 평가를 수하였으며 그 결과 1, 2차 현가의 제어기를 설계하여 승차감 향상을 얻었다고 함



[그림 4-24] 초전도자기부상열차의 다 자유도 해석 모델(단면)

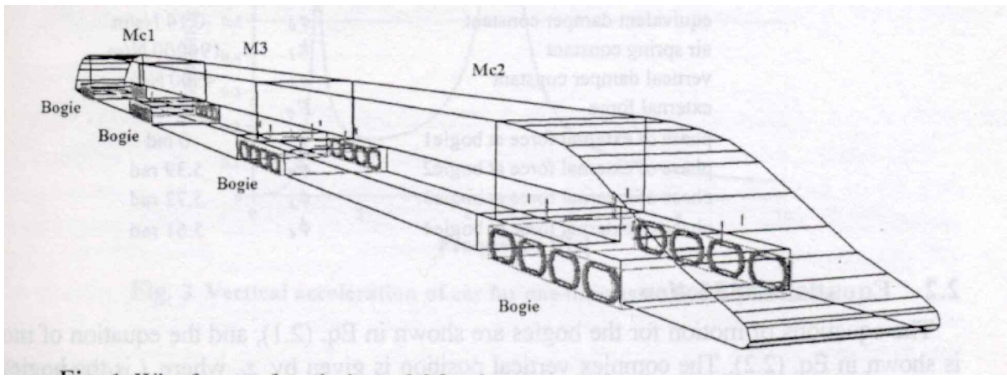


[그림 4-25] 초전도자기부상열차의 다 자유도 해석 모델(측면)

○ 부상코일의 불규칙이 승차감에 어떤 영향을 미치는지 알기 위하여 일본 Yamanashi 시험선로의 자기부상열차에 대한 동역학 해석을 수행하였으며 이용된 해석 프로그램은 SIMPACK으로 SIMPACK 역시 가상시제에 적합한 다물체동역학 해석 프로그램이다. 차량은 물체, 조인트 및 힘 요소로 상세하게 모델함

○ SIMPACK을 이용한 해석 모델은 [그림 4-26]에서와 같고 궤도의 불규칙 형상은 패널의 배치를 일정한 불규칙, 랜덤 불규칙으로 배치하여 고려하였음

○ 이러한 모델링 기법을 이용하여 승차감을 평가하였다. 향후에는 차체의 유연성을 고려하여 승차감을 보다 정확하게 평가하고자 하는 것으로 알려져 있음



[그림 4-26] 초전도자기부상열차의 가상시제 기반 모델

■ 미국

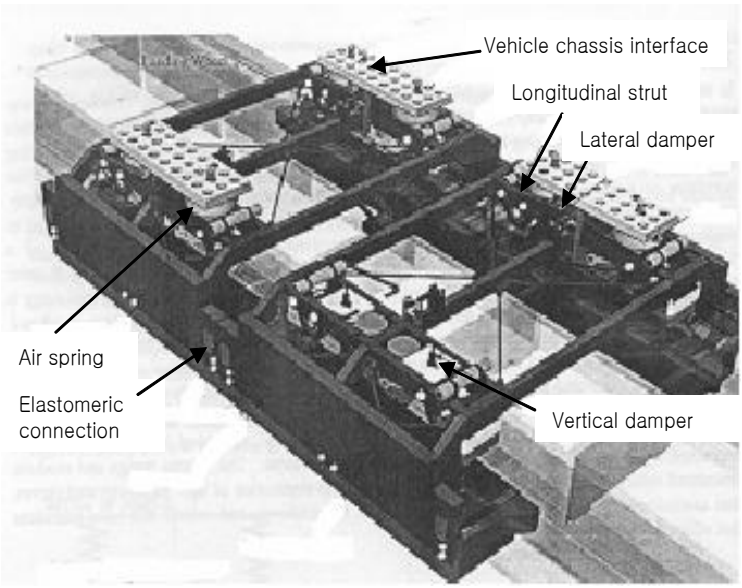
○ 미국은 상용화된 대차가 없고 개념 설계단계이거나 실험용 대차뿐이며 General Atomics사는 전술한 자기부상열차들과 다르게 영구자석을 이용하여 부상하는 개념을 적용하고 있으며, [그림 4-27]은 그러한 시스템의 대차를 보여주고 있음

○ 동특성 측면에서 자기부상 모듈이 설치된 프레임을 관절 조인트로 분리시켜 곡선주행 시 공극 이탈이 최소가 되도록 한 것이 특징이며 관절조인트를 약 1회전이 가능하도록 하여 곡선 주행 시 공극 침투를 2 mm 이하로 줄였음

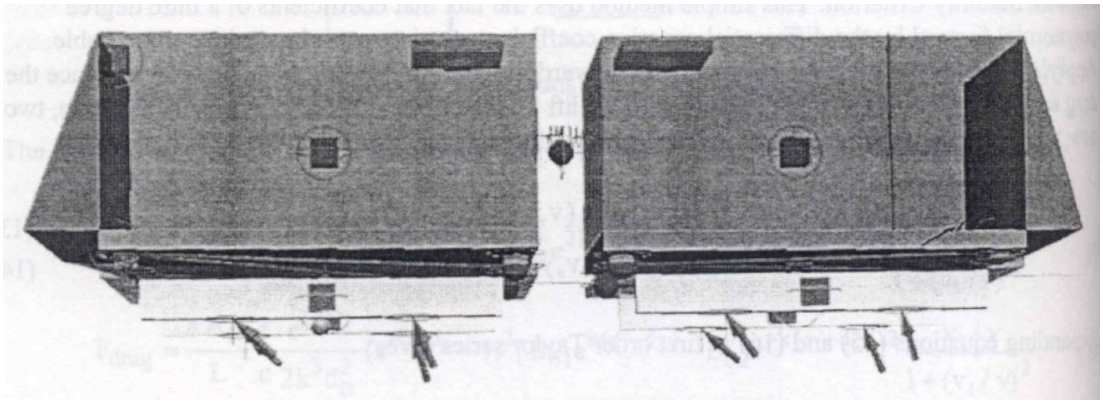
○ 이를 통하여 목표로 하는 최소 곡률반경은 18.3 m으로 매우 작다고 할 수 있으며 2차 현가장치에는 대차 당 8개의 공기 스프링과 8개의 공기 감쇠기, 4개의 횡 공기 감쇠기가 설치되어 ISO 2631 승차감 조건을 만족하도록 하였음

○ Doll 등은 General Atomics의 영구자석을 이용한 자기부상열차의 승차감을 평가하기 위하여 MSC/NASTRAN을 이용한 다자유도 동역학 해석을 수행하였으며 차량 모델은 [그림 4-28]와 같음

○ 영구자석에 의한 힘은 공극에 따른 방정식을 적용하였고 이 해석 모델을 이용하여 속도 증가에 따른 부상력과 저항력을 해석하였으며 또한 승차감을 ISO 2631에 따라 평가하였음



[그림 4-27] General Atomics의 자기부상열차 대차



[그림 4-28] General Atomics사의 다 자유도 해석 모델 적용 예

■ 중국

중국에서도 주행성능 시뮬레이션에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나 국내 수준에 도달하지는 못하고 있다고 사료됨

4. 공력설계 기술

4.1 핵심기술

○ 고속철도와 마찬가지로 자기부상열차도 속도가 증가함에 따라 열차저항(train resistance) 중에 공기적 저항(aerodynamic drag)에 의한 부분이 점점 커지게 되며 예를 들어 400km/h 고속철도의 경우 공기적 저항은 전체 추진력의 80%를 차지하게 됨

○ 바퀴와 궤도 사이의 접촉에 의한 저항이 없는 자기부상열차의 경우 전체 추진력에서 이러한 공력저항을 감당하기 위한 비율은 더 크다고 볼 수 있음

○ 다음과 같은 분야가 공력설계 부분에서 고려되어야 하는 주요 핵심기술임

<표 4-7> 자기부상열차 공력 관련 내용

주요핵심기술	주요 연구내용
공력저항 (Aerodynamic Drag)	공기에 의한 여러 저항 성분을 분석
측풍 (Crosswinds)	일반 고속철도와 마찬가지로 가장 큰 영향을 주는 성분
압력파 (Pressure Wave)	일반 고속철도와 마찬가지로 터널로 진입할 때 발생하는 문제
공력 소음 (Aerodynamic Noise)	고속 운행에 따라 차량 및 궤도를 따라 발생하는 소음문제
공력 제동 (Aerodynamic Braking)	압력저항을 오히려 제동력으로 활용하는 방안
공력 제어 (Control of Aerodynamic Effects)	위의 문제들을 측정하고 해결하기 위한 방안
공력 설계 (Aerodynamic Design)	설계 단계에서 위의 문제들을 최대한 줄이기 위한 방안

4.2 공력저항(Aerodynamic Drag)

○ Peters는 공력저항을 일으키는 4개의 주요 부분으로 나뉨

<표 4-8> 자기부상열차 부분별 공력저항에 대한 비율

주요 부분	전체 공력저항의 비율(%)
대차 저항(Bogie Drag)	38-66
표면 마찰 저항(Skin Friction Drag)	27-30
지붕 전장품 저항(Roof Equipment Drag)	8-20
압력 저항(Pressure Drag)	8-13

○ 대차 부분은 대차 형상에 의해 발생하는 저항과 궤도와의 간섭(interference)에 의한 저항으로 나뉘며 이러한 궤도와 대차 사이의 간섭에 의한 저항은 궤도와 차량 사이의 난류(turbulent flow)에 의해 발생함

○ 표면마찰 부분은 차량표면을 따라 점성(viscosity)에 의해 발생하는 전단력(shearing stress)에 의해 발생하며 차량 표면적에 비례하며 차량 형상, 운행속도, 차량의 운행속도에 해당하는 레이놀즈수(Reynolds number) 특성에 따라 달라짐

○ 지붕 전장품 저항은 에어컨, 발전기, 급전 장치 등에 의해 발생하며 압력저항은 차량의 전두부(nose)와 후미부(tail)의 형상에 의해 발생하며, 차량의 길이와는 별 영향이 없음

○ 중요한 것은 전두부를 따라 흐르는 유체가 표면에서 와류(vortex)를 발생하지 않도록 설계하는 것임

○ V라는 속도로 운행 중인 차량의 개활지(open area)와 터널내부에서의 공력저항 F_d는 다음과 같음

개활지에서

$$F_d = 0.5\rho A C_{D_o} V^2 + 0.5\rho P L C_{f_o} V^2$$
$$= 0.5\rho A C_D V^2 \qquad (4.1)$$

ρ : 공기밀도(air density)

A : 차량 단면적(cross sectional area)

P : 차량 단면 둘레(vehicle perimeter)

C_{D_o} : 압력저항계수(pressure drag coefficient)

C_{f_o} : 표면마찰계수(skin friction coefficient)

만약 횡각도(yaw angle) Ψ가 존재한다면,

$$F_d = (0.5\rho A C_{D_o} V^2 + 0.5\rho P L C_{f_o} V^2)(1 + k\Psi) \qquad (4.2)$$

k : 횡보정계숙(yaw correction factor)

터널에서,

$$F_d = 0.5\rho[\frac{A(C_{D_o}+R)(u-V)^2}{(1-R)^2} - \frac{P'LC_{f_o}'R(u-RV)|u-RV|}{(1-R)^2} + \frac{PLC_{f_o}(u-V)^2}{(1-R)^3}]$$

$$R = \frac{A}{A'}$$

$$b_1 = [\frac{P'C_{f_o}'(L'-L)}{A'} + C_O](1-R)$$

$$b_2 = \frac{(1-R)(C_{D_o}+R)+\frac{PLC_{f_o}}{A}}{R}$$

$$u = VR - \frac{V(1-R)R(b_1-b_2)}{(1-R)b_1+Rb_2+[(b_1b_2+P'LC_{f_o}'|b_1-b_2|/A']^{0.5}} \quad (4.3)$$

u : 차량이 터널로 진행함에 따라 유도되는 공기의 속도

A' : 터널 단면적

L' : 터널 길이

P' : 터널 단면 둘레

C_{f_o}' : 표면마찰계수

C_O : 터널 입·출구에서의 압력손실계수

앞전에 난류 경계층을 가진 평판의 표면 마찰 저항계수은 다음과 같음

$$C_{f_o} = \frac{0.455}{(\log_{10}Re)^{2.58}} \quad (4.4)$$

1/76, 1/40 영국 고속열차 축소모형에 대해 Brockie와 Baker가 산출한 표면 마찰 저항계수는 다음과 같음

$$C_{f_o} = \frac{\alpha_1}{(\log_{10} Re)^{\alpha_2}} \qquad (4.5)$$

α_1 = 0.128, α_2 = 1.814

설계 시 C_D를 0.2 까지 낮출 수는 있으나 실제적으로는 문, 창문 등 다양한 외부장치들로 인해 0.3 보다 작도록 하기는 어렵음

다음과 같은 이유로 저항계수를 산정하는 데는 어려움이 따름

(1) 표면마찰저항은 레이놀즈 수에 의존함
(4) 차량의 경계층은 3차원 성격이 강함.
(3) 지상 표면에 근접하여 운행하기 때문에 항공기와는 특성이 다름

4.3 측풍(Cross Winds)

○ Cross wind 혹은 Side gust aerodynamic loading 이라는 불리는 측풍은 차량 및 궤도 형상, 바람의 속도 및 방향과 관계가 있으며 150~500 km/h 의 운행 속도에서 공력에 의한 궤도-서스펜션-차량(Guideway-Suspension-Vehicle)의 동적 응답은 원하는 안정성(Stabilbity) 및 성능(Performance)을 달성하기 위한 대차(bogie) 및 서스펜션(suspension) 구조 및 형상 설계를 위해 매우 중요함

○ 또한 돌풍하중(gust loads)에 대비한 설계가 서스펜션 설계 및 부상·안내 제어에 중요한 요소가 되므로 측풍이 가해지는 차량에 대한 공력과 모멘트를 산출하는 것은 매우 중요하며 이를 위하여 일반적으로 풍동 내에서 정적모델에 대한 시험이 수행됨

○ Robinson 등이 풍동 내에서 움직이는 차량에 대한 시험을 수행한 바 있으나 차량과 지상의 상대운동까지 고려하지는 않으며 이는 공력 및 모멘트가 길이, 크기, 난류의 세기(intensity)등에 강하게 영향을 받기 때문에 풍동 내에서 대기 경계층(atmospheric boundary layer)을 모사하는 것은 매우 어렵기 때문임

○ 측력(side force)계수 C_S, 양력(lift force)계수 C_L, 요잉 모멘트(yawing moment) 계수 C_Y, 피칭 모멘트(pitching moment) 계수 C_P는 각각 다음과 같음

$$C_S = F_S / 0.5\rho V^2 A \tag{4.6}$$

$$C_L = F_L / 0.5\rho V^2 A \tag{4.7}$$

$$C_Y = M_Y / 0.5\rho V^2 A h \tag{4.8}$$

$$C_P = M_P / 0.5\rho V^2 A h \tag{4.9}$$

F_S : 측력(side force)

F_L : 양력(lift force)

M_Y : 요잉 모멘트(yawing moment)

M_P : 피칭 모멘트(pitching moment)

A : 측 면적(reference side area)

h : 차량 높이(reference height of vehicle)

서스펜션 설계를 위한 측력 F_S 및 요잉모멘트 M_y는 다음과 같음

$$F_S = 0.5\rho V_r^2 A (C_{SS} + C_{SC}) \tag{4.10}$$

$$M_Y = 0.5\rho V_r^2 A l_V (C_{YS} + C_{YC}) \tag{4.11}$$

C_{SS} : side force coefficient due to slender body part

C_{SC} : side force coefficient due to crossflow

C_{YS} : yaw moment coefficient due to slender body part

C_{YC} : yaw moment coefficient due to crossflow

l_V : length of vehicle

차량이 속도 V로 움직이고 있고, 측풍이 V_C의 속도로 불고 있을 때 바람의 상대속도 V_r는 다음과 같음

$$V_r = (V^2 + V_C^2)^{1/2} \tag{4.12}$$

차량에 대해 side slip angle β로 바람이 불 때 slender body part에 의한 side force coefficient C_{SS}와 yaw moment coefficient C_{YS}는 다음과 같음

$$\beta = \tan^{-1}(V/V_C) \tag{4.13}$$

$$C_{SS} = \begin{cases} 2\beta x(2-x) & x < 1 \\ 2\beta & x \geq 1 \end{cases} \tag{4.14}$$

$$C_{YS} = \frac{1}{2} C_{SS} - \begin{cases} 2\beta(\lambda_1/\lambda)x^2(1-2x/3) & x < 1 \\ 2\beta(\lambda_1 - \lambda)/3 & x \geq 1 \end{cases} \tag{4.15}$$

$x = V\ t/l_1$

t : 돌풍 진입 후 시간

l_1 : 차량 전두부의 길이

$\lambda_1 = l_1/h$

$\lambda = l_V/h$

side slip angle β가 증가함에 따라 viscous crossflow의 영향은 커지며 그 효과는 다음과 같은 side force coefficient(C_{SC})과 yaw moment coefficient(C_{YC})에 반영됨

$$C_{SC} = \begin{cases} \left(\frac{2k\beta}{\pi}\right)\int_0^{\beta\lambda z} g(\sigma)d\sigma & z < 1 \\ \left(\frac{2k\beta}{\pi}\right)\int_0^{\beta\lambda} g(\sigma)d\sigma & z \geq 1 \end{cases} \tag{4.16}$$

$$C_{YC} = \frac{1}{2} C_{SC} - \begin{cases} \left(\frac{2k}{\pi\lambda}\right)\int_0^{\beta\lambda z} \sigma g(\sigma)d\sigma & z < 1 \\ \left(\frac{2k}{\pi\lambda}\right)\int_0^{\beta\lambda} \sigma g(\sigma)d\sigma & z \geq 1 \end{cases} \tag{4.17}$$

$z = V t / l_V$

k : configuration factor

$g(\sigma)$: modified Bryson function

configuration factor k는 차량의 단면적과 전두부 형상에 관련이 있으며, modified Bryson function $g(\sigma)$는 층류(laminar)인지 난류(turbulent)인지에 따라 결정EHJLA

4.4 압력파

○ 고속 차량이 터널을 진입할 때 압력파가 차량의 앞쪽 터널 안에서 발생하며, 차량 뒤에는 압력 감소가 발생한다.압력파가 터널 출구를 통과할 때 압력 펄스(pulse)의 방출로 인한 충격음(boom)이 발생하며. 저주파 영역에서는 충격음이 크기는 터널 출구에서의 압축파 압력구배에 비례하며, 차량이 지나가는 터널 단면적의 양과도 관련이 있음

○ 이러한 과도상태에서의 압력변화는 승객의 귀에 불편을 일으키게 되며 이러한 터널 출구에서의 충격음은 차량 전두부 면적의 급격한 변화를 피하므로써 줄일 수 있으며, 터널 단면적을 크게 함으로써(double track에 대해 $100m^2$정도) 이를 해결할 수 있으나 터널 공사에 많은 비용이 들어가게 됨

4.5 공력소음 (Pressure Noise)

○ 공력 소음은 흐름 이탈(flow separation)에 의한 와류진동(vortex shedding)에 의해 발생하며, 고속운행 차량 주위의 난류경계층(turbulent boundary layer)도 이를 발생함

○ 그 크기는 속도의 6승에 비례하며, 주소음원은 차량 사이의 공극에서도 발생하며, 이러한 고려가 초기 설계단계부터 고려되어야 함

○ 미국 FRA(Federal Railroad Administration)에서는 차량 중심으로부터 15m 떨어진 곳에서의 전체 차량소음을 73dB 이하로 규정짓고 있으며 공력소음을 줄

이기 위해서는 궤도의 코일의 불규칙한 면을 평평하게 만드는 것, 전두부와 후미부의 형상을 부드럽게 설계하는 것, 소음벽을 설치하는 것 등의 방법이 있음

○ 예를 들면 전두부를 부드럽게 설계할 경우 10 dB 정도의 소음을 줄일 수 있으며 독일에서는 공기 흐름 가시화, 마이크로폰 배열을 통한 소음 측정, 풍동시험을 통하여 공력소음을 줄이고자 하는 연구가 Alscher에 의해 수행되었음

○ Transrapid 06의 경우 차량 중심으로부터 25m 떨어진 곳에서 84 dB 이하로 소음이 발생하도록 요구하며 Schmitz는 Transrapid 07에 대해 100-440 km/h의 속도로 운행되는 조건에서 마이크로폰 배열(linear array, triple combined linear array, cross array)을 이용하여 소음을 측정하였음

○ 부드러운 형상, 마찰요인(no sharp edges, no bogies, no pantograph, no coiling vans and inlets)의 감소 등을 통해 Transrapid 07의 소음은 현저히 감소되었으며 저속에서는 주로 기계적인 소음이 주요하고, 고속에서는 흐름이탈(flow separation)과 같은 공력소음이 주요한 원인이며 난류경계층은 고속영역에서 그리 중요한 요인은 아니었음

○ 측정결과 주요한 소음원은 차량 앞쪽 아래 쪽에 부상 및 추진 시스템을 덮고 있는 플랩(flap)에서 발생하는 것을 알 수 있었으며, 길이를 따라 일정하지는 않았음

○ 상대적으로 위쪽은 소음이 그리 심하지 않았으며, 심지어 400km/h에서도 난류경계층은 그리 주요한 소음원이 아니었음

4.6 공력제동(Pressure Braking)

○ 공력에서 의한 압력 저항(Pressure drag 또는 form drag)은 속도의 제곱과 정면적(frontal area)에 비례하며, 이 힘을 제동력으로 사용할 수 있음

$$F_d = 0.5\rho A C_{D_o} V^2 \qquad (4.18)$$

○ 일반적인 자기부상열차의 제동시스템은 전기적 장치를 이용한 회생제동(regenerative braking)이며, 이것이 실패했을 경우를 대비하여 기계적인 마찰

에 의한 제동시스템을 backup 시스템으로 갖추고 있으며 공기력을 이용한 제동시스템은 상대적으로 간단하며 큰 제동 효율을 제공하기 때문에 고속 운행에 효과적임

○ 일반적으로 안전을 위하여 $-0.2g$ 정도를 최대 감속가속도로 설정하며, 6km 이내에 정지할 수 있도록 설계되어야 하며 이를 위하여 다음과 같은 점들을 고려해야 함

- 여러 설계변수를 고려하기 위해 공력제동은 풍동에서 시험되어야 함
- 차량의 제동 특성은 컴퓨터 시뮬레이션이나 실크기 모델(full scale model)에서 검토되어야 함
- 차량은 수직(vertical) 방향이나 측(lateral) 방향으로 정해진 거리 이상으로 움직여서는 안됨

일본에서는 공력제동판을 가진 1/25 크기의 자기부상열차 모델이 풍동 내에서 시험 되었으며, MLU 001과 MLU 002N의 실크기 모델이 Miyazaki 시험 노선에서 350km/h 까지 시험되었음

4.7 공력제어(Control of Aerodynamic Effects)

○ 속도의 3제곱에 비례하는 터널에서 생성되는 압력파의 압력구배를 감소하기 위해서 터널 입구에 별도의 hood를 설치하며 이 hood가 터널을 진입할 때 차량에 가해지는 공기력을 감소시키는 역할을 함

○ 터널 안에서는 bypass와 side branch가 압력구배를 감소시키는데 사용될 수 있으며, 소음흡수재료가 터널 벽에 설치될 수도 있음

○ 몇 가지 방법들이 Sanyo-Shinkansen 노선 및 자기부상열차 시험차량에 적용되었고 공력소음을 줄이기 위해 소음흡수재료가 차량 아래 부분에 설치될 수 있으며, 궤도와 차량을 표면을 최대한 매끄럽게 설계하는 방법이 있음

○ 이러한 방법들이 TR 06과 TR 07에 적용되었다. 공기적 저항(aerodynamic drag)을 줄이기 위해 차량부분에서 할 수 있는 것은 최대한 표면마찰저항을

줄이는 것이며 이를 위해 긴(longer) 형태보다는 좀 더 폭이 넓은(broader) 형태의 차량과 터널을 만드는 것이 유리함

○ 하지만 1량인 경우 길고 가느다란(long slender) 형태가 유리한다. 자기부사열차의 공력문제에 있어서는 기존의 바퀴식과는 달리 셔스펜션(suspension) 시스템이 상대적으로 유순한(compliant) 것이 특징이어서 이러한 연구를 350-500km/h 속도 영역까지 수행해야 할 것임

3.8 공력설계 (Aerodyanmic Design)

○ 공기적 저항을 줄이기 위하여

- 갑작스런(sharp) 압력분포를 피해야 함
- 대차 프레임에서 와류(vortex)가 분리되는 막아야 함

○ 공력소음을 줄이기 위해

- 흐름을 최대한 층류(laminar)로 유지해야 한다.
- 도출된 장치를 최대한 설치하지 말아야 한다.
- 공기 덕트(air duct)를 설치하여 소음을 줄여야 한다.

○ 압력파를 줄이기 위하여

- 전두부 단면적 형상의 갑작스런 변화를 최대한 줄여야 한다.

○ 승차감을 위하여

- 차량 후미부 흐름이 분리(separation)되는 것을 감소시켜야 한다.
- 교차주행 시 상대 차량을 가해지는 힘을 감소시켜야 한다.

○ 이러한 것을 해결하기 위해 전사유체역학(Computational Fluid Dynamics)이 사용되며 다음과 같은 요소로 구성되어 있음

- 형상 정의(geometry definition) : 정확한 수학적 모델링이 요구됨

- 격자 생성(grid generation) : 대상체 형상주위의 유한한 3차원 유체공간을 해석하기 위하여 이산화(discretization)시키기 위한 격자를 생성함
- 해석기(Flow solver) : Navier Stokes 방정식과 같은 해를 풀기 위해 유한 차분법(finite difference scheme)을 이용함
- 그래픽 결과(Graphic result) : 시뮬레이션이 수행한 결과를 좀 더 사용자에게 의미(meaningful)있고 직관적(intuitive)으로 제공되야 함

제2절 부상/안내 시스템

1. 핵심기술

자기부상시스템	MLX-XX (일본)	Transrapid-07 (독일)
센 서	► 저전압, 고전류형 ► 극저온온도측정	► 공극: 유전체 형 (Capacitance Type) ► 가속도: 진자균형 형 (Servo balancing type)
전자석	► 초전도 자석 ► Coreless 형	► 자석형상: 횡축형 (진행방향과 자속방향 일치)
액츄에이터	► 극저온 냉각 (페루프형)	► 초퍼방식: 2 상한 ► 냉각방식: 자연냉각
부상/안내 제어	► 측벽에 의한 부상/ 안내 겸용 ► Null Flux 방식 ► 제어 불필요	► 대차단위제어 ► 부상/안내 독립제어 ► 4각 수직/6자유도제어 (4 Edge/ 6 D.O.F. control) ► 냉각방식: 자연냉각 ► 내 고장성제어: 있음 (Fail-safe control)

2. 초전도 반발식 부상원리

○ 부상시스템은 차량에 탑재된 초전도마그네트와 가이드웨이에 설치된 단락된 부상코일로 구성되며 지상에 단락코일을 설치하는 방법 이외에 가이드웨이에 금속 막을 설치하는 방법도 있음

○ 두가지 모두 같은 원리이고 차량이 움직일 때 가이드웨이의 부상코일에 전류가 유기되며 이 회로에 인덕턴스가 있으면 전류가 유기된 전압에 뒤지게 되고 평균 부상력이 발생됨

○ 수평방향으로 설치된 부상코일의 예가 [그림 4-29]에 나타나 있으며 회로에 저항만 있는 경우 평균부상력은 0이 되고 자기저항력(주행저항)이 발생됨

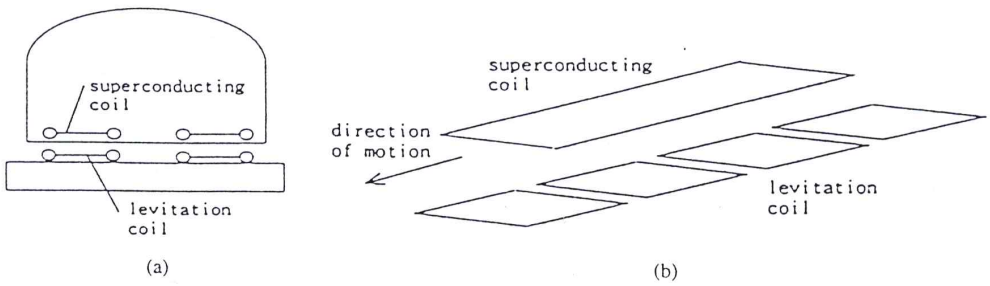
○ 반면에 인덕턴스만 있는 경우, 자기저항은 0이 된다. 일반적인 부상코일은 부상력과 자기저항력을 같이 발생하며 [그림 4-30]는 속도에 따른 부상력 및 자기저항을 나타냄

○ 본 특성은 초전도마그네트와 부상코일 사이가 일정하게 유지되는 조건으로 얻어졌으며 기본원칙은 가이드웨이 코일에 유기된 전류이기 때문에 속도가 0일 때에는 부상력이 발생하지 않음

○ 부상력은 차량속도와 비례하여 증가하지만 일정속도 이상에서는 조금씩 증가하며 차량은 이륙속도라고 부르는 일정한 속도 이상에서 부상하므로 이 속도 이하에서 차량을 추진하기위한 바퀴가 필요함

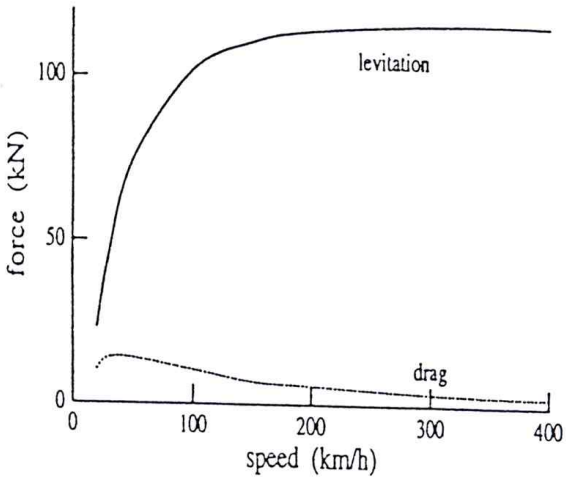
○ 자기저항은 특정한 저속에서 최대치를 나타내나 속도의 증가에 반비례하며 이는 속도와 무관하게 부상코일의 손실이 일정하다는 것을 의미함

○ 이외에 부상시스템은 측면의 힘을 발생시키는데 이 힘 또한 고려되어야 함



(a) 단면 (b) 상대적 위치

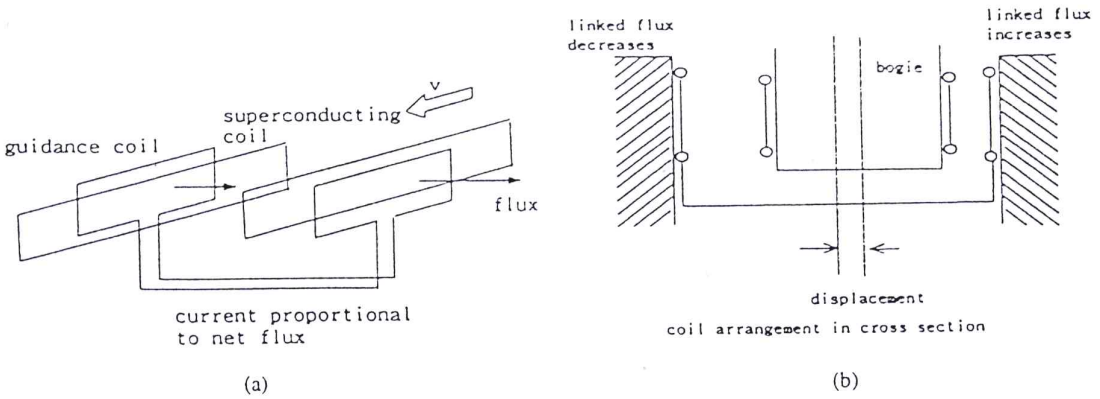
[그림 4-29] 부상을 위한 기본적이 코일 배열



[그림 4-30] 부상력과 제동력 특성의 예

○ 안내시스템은 부상시스템과 같은 원리로 동작한다. 부상시스템은 차량의 무게를 지지하기 위한 부상력을 언제나 발생시켜야 하는 반면 안내시스템은 차량에 측면 변위가 발생하였을 경우에 안내력을 발생시켜야 함

○ 따라서 안내를 위한 회로는 통상적으로 [그림 4-31]과 같이 가이드웨이 양쪽 벽에 설치된 코일이 연결된 형태가 되며 차량이 가이드웨이의 중심부로 운행되고 있을 때에는 안내를 위한 자속은 쇄교되지 않고 따라서 이 코일에 유기되는 전류도 없음



(a) 안내의 원리 (b) 단면적으로 본 코일 배치

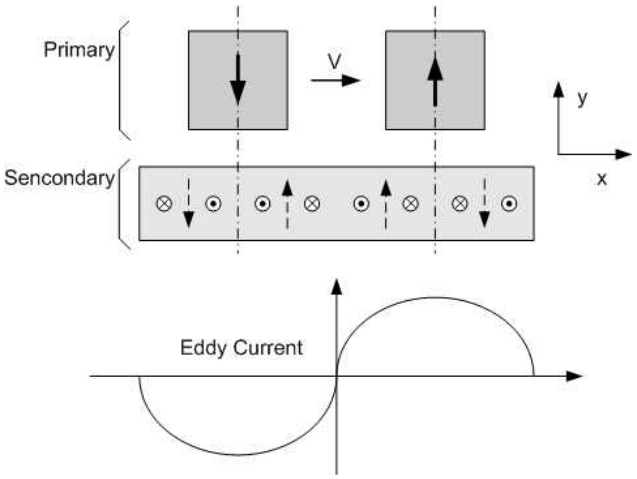
[그림 4-31] 안내의 원리

3. 영구자석 반발식 부상원리

○ [그림 4-32]은 와전류의 발생 원리를 설명하기 위한 개념도이며 그림에서 1차측은 영구자석으로 구성되어 있으며 실선 화살표 방향으로 자화되어 있음

○ 2차측은 도전율을 갖는 재질로 구성되어 있으며 1차측과 2차측은 일정간격으로 이격되어 있으며 1차측의 영구자석이 x-축 방향으로 V의 속도로 이동하면 2차측의 도체판에는 점선 화살표 방향으로 영구자석에 의한 자계의 변화를 방해하려는 자계가 형성되고, 이 자계는 도체판에 와전류를 발생시킴

○ 이와 같은 와전류를 속도 기전력에 의한 와전류라고 하며, 식 (3.1)과 같이 표현됨.



[그림 4-32] 와전류의 발생 원리 개념도

$$J = \sigma(V \times B) = \sigma \begin{bmatrix} a_x & a_y & a_z \\ V_x & 0 & 0 \\ B_x & B_y & 0 \end{bmatrix} = \sigma V_x B_y a_z \qquad (3.1)$$

○ 식 (3.1)에서 와전류의 크기는 도체판의 도전율과 속도 및 자속밀도의 법선 성분 크기에 비례한 것을 알 수 있으므로 와전류의 발생을 크게 하려면, 도전율이 좋은 재질을 선택해야 하며, 속도 및 법선 성분 자속밀도의 크기를 크게 하여야 함

○ [그림 4-32]와 같이 정지된 도체판에 와전류가 발생하면 Lorentz의 힘방정식에 의하여 식 (3.2)와 같은 힘이 발생하게 됨

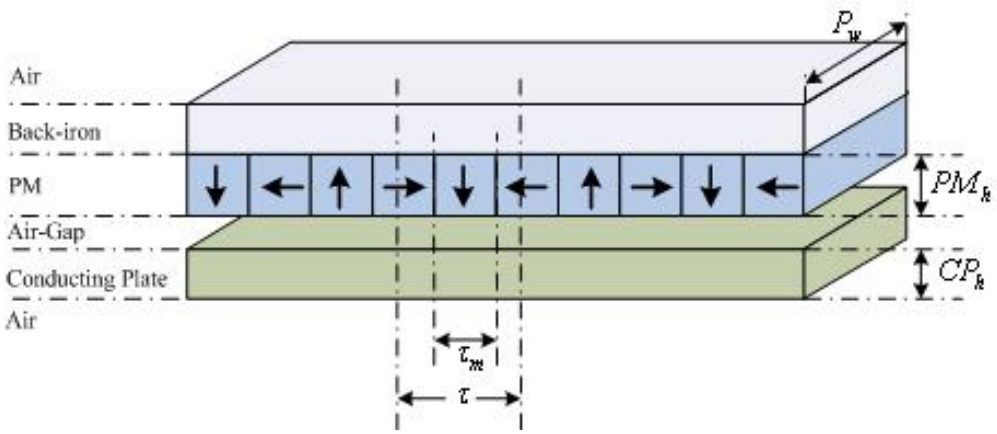
○ [그림 4-32]에서 와전류는 도체판을 따라 흐르게 되므로 식 (3.2)에서는 와전류의 x-성분도 고려하며 (3.2)에서 영구자석이 받는 힘은 z-성분의 전류 밀도와 y-성분의 자속 밀도에 의하여 x-성분의 제동력이 발생하며, z-성분 전류 밀도와 x-성분 자속 밀도에 의하여 y-성분의 부상력이 발생하게 된다. 또한 x-성분 전류 밀도와 y-성분 자속 밀도에 의하여 z-성분의 힘이 발생하게 되며 이것은 진동의 원인이 됨

$$F = J \times B = \begin{vmatrix} a_x & a_y & a_z \\ J_x & 0 & J_z \\ B_x & B_y & 0 \end{vmatrix} = -J_z B_y a_x + J_z B_x a_y + J_x B_y a_z \quad (3.2)$$

○ 따라서 부상력을 최대로 하며 제동력을 최소로 하기 위해서는 z-성분의 전류 밀도와 x-성분 자속 밀도를 크게 하여야 하며, y-성분의 자속 밀도를 작게 하여야 함

○ [그림 4-33]는 Halbach 배열 영구자석 부상 시스템을 도시하고 있으며 그림에서 1차측은 Halbach 배열 영구자석과 Back-iron으로 구성되어 있음

○ Halbach 배열은 자기 차폐 특성으로 인해 Back-iron이 필요하지 않으나, Back-iron을 삽입하므로서 자기 저항을 줄여 공극 자속밀도를 약간 상승시킬 수 있음



[그림 4-33] Halbach 배열 영구자석 자기 부상 모델

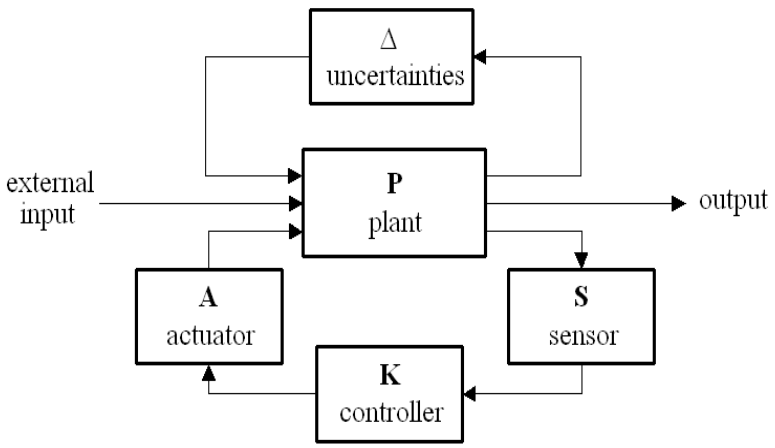
4. 상전도 전자석 흡인식 부상원리

○ 흡인식 자기부상 시스템은 마그네트와 가이드 레일사이에 일정한 공극을 유지하기 위해서 아주 섬세한 부상제어를 필요로 한다. 흡인력으로 일정한 부상공극을 유지하기 위해서 흡인식 자기부상시스템의 동특성은 불안정성(uncertainties)과 외란(disturbances)에 따라 변하게 됨

○ 공극외란은 질량이 변하거나 알 수 없는 동력학관계(unknown dynamics), 필수적인 부분(actuator나 센서와 같은)의 고장상태에서 종종 발생해서 흡인식 자기부상 시스템 제어는 불안정성(uncertainties)과 외란의 발행에 대하여 강인성을 갖추어야 하며, 부품고장에 대한 신뢰성을 요구됨

○ 질량변화와 외부입력과 같은 알 수 없는 다이나믹스와 공극외란과 같은 일정치 않은 외부적인 입력이라는 두 가지 주된 항목에 의해 나타나게 되며 궤한제어에서 불안정한 시스템의 기본형태는 [그림 4-34]에서 볼 수 있음

○ 고장은 actuator 그리고/또는 랜덤 노이즈의 전자기적 간섭으로 인한 센서고장과 같은 다양한 형태로 나타나며 이러한 특성에 따라서 불안정성은 정현적이고 변칙적인 신호와 같은 외란으로 표현하고, 순시변동과 output zeroing과 같은 것을 각각 soft-type과 hard- type의 고장으로 표현함



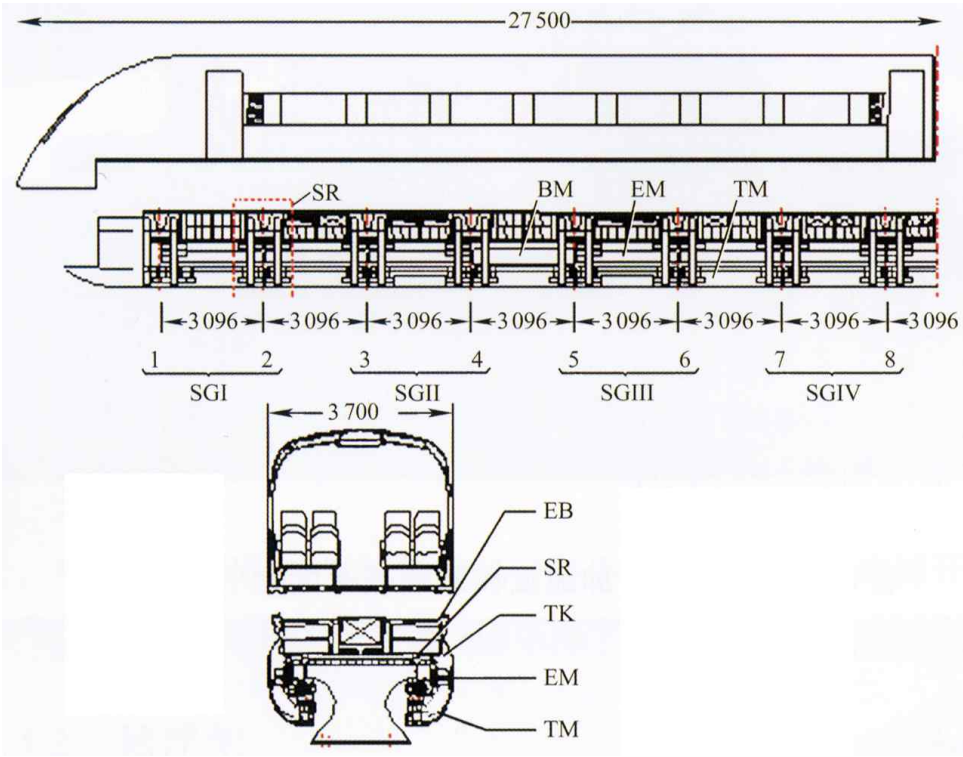
[그림 4-34] 피드백 제어기반의 불안정 시스템의 표준도

5. 사례분석

5.1. 상전도 흡인식

■ 기계적 구조

○ Transrapid의 부상 및 안내 시스템은 마그네트를 취부하는 것이 체인모양으로 배열되어 있고 부상 프레임과 객차가 2차 현가장치를 통해 연결된다는 것에 그 특성이 있음

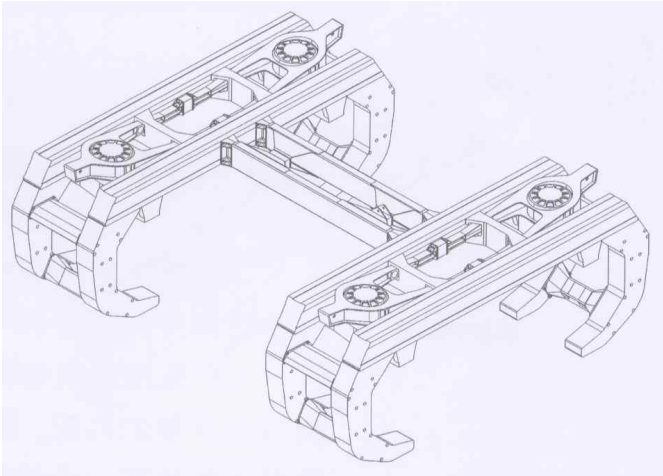


[그림 4-35] 부상 및 안내 시스템의 구조

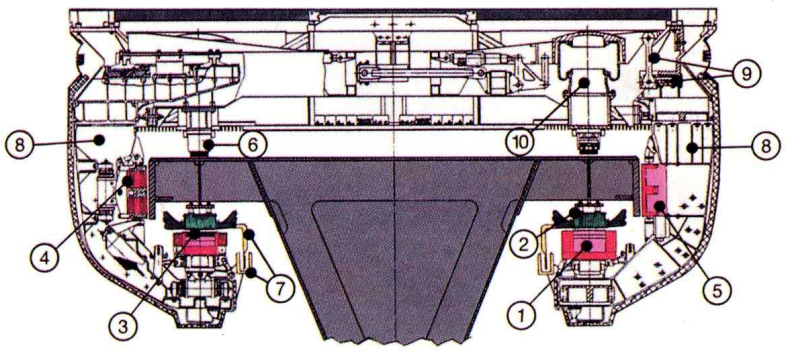
○ 탄성없는 중량물을 최소화하기 위하여 1.5Hz의 낮은 주파수를 가지는 선형 가이드와 고무스프링을 사용하여 부상마그네트는 수평으로 매달려있고 안내 마그네트는 수직으로 매달려있으며 객차 몸체의 수직 현가장치는 16단계로 제어되는 공압 스프링이 장착된 2차 현가장치로 구성됨

○ 안내 시스템에도 객차 몸체와 수평 스프링으로 연결되어 있어 부상 시스템과 독자적으로 곡선 주행 시 차량의 수평방향 안내를 담당하며 부상과 안내 시스템의 구조는 각 요소의 적절한 배치와 설계로 리던던시(redundancy) 역할을 함

○ 즉, 공극 제어를 위한 각각 요소가 고장이 나거나 망가지더라고 운행 상태에 즉각적인 영향을 미치지 않으며 전원장치를 위한 차량의 전기설비와 실패안전(fail/safe) 역할을 하는 제어요소 등의 다른 요소들도 적절히 배치되어 있음

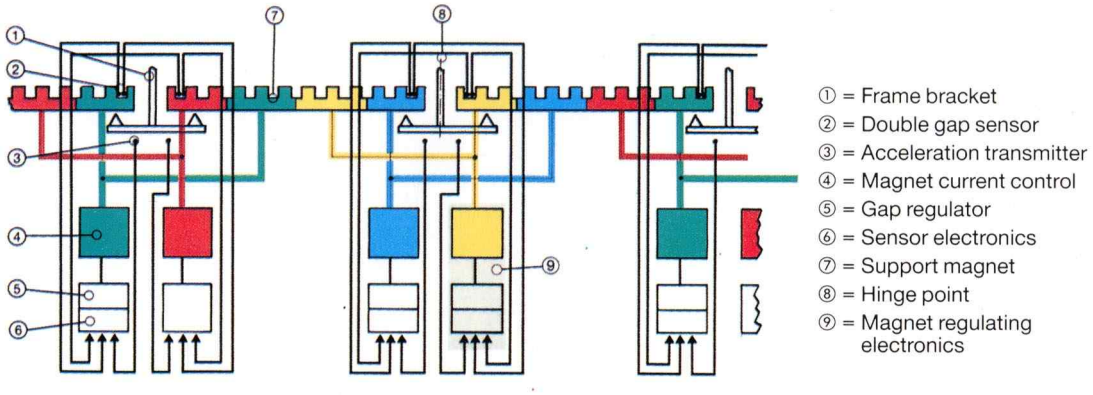


[그림 4-36] Transrapid(SMT)의 보기

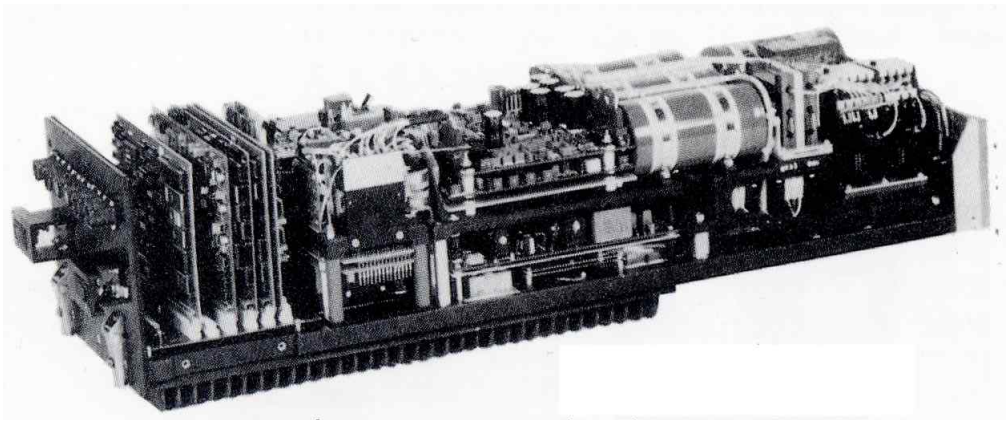


[그림 4-37] 부상 및 안내 시스템의 단면도

■ 부상 및 안내 초퍼



[그림 4-38] 자기 회로



[그림 4-39] 페일세이프 초퍼

○ 자장코일은 마그네트 공극 제어기의 전류명령에 의해 다양한 전류를 공급받으며 공극제어기는 부상 및 안내 시스템에 독립된 초퍼를 가지고 있음

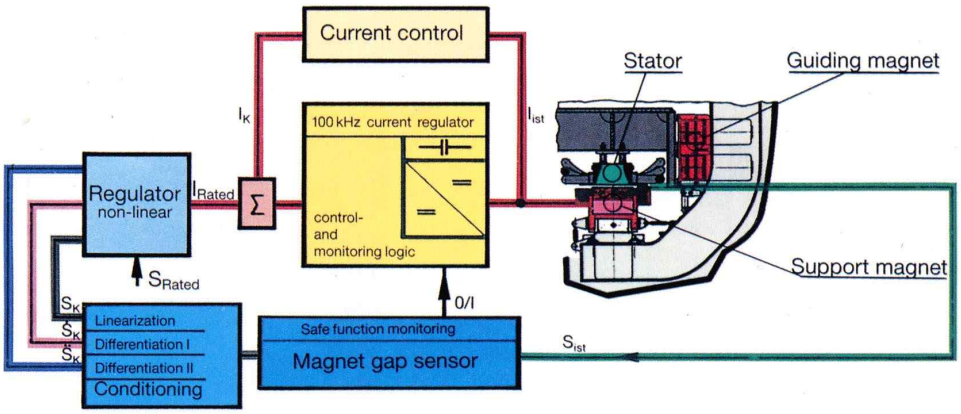
○ 힌지 포인트를 연결하는 두 코일의 그룹이 언제나 분리된 초퍼에 의해 전류를 공급받도록 마그네트의 전기회로는 힌지(hinge) 점에 인접하고 있으며 이러한 배열은 힌지 점에서의 부상 및 안내 역할이 병렬도 연결된 제어 루프에 고장이 발생하더라도 그 동작이 확실히 이루어지도록 하기 위함임

○ 초퍼는 높은 동적 특성을 가진 최대 출력 48kW의 2상한(two-quadrant) 트랜지스터 초퍼를 가지고 있고 샘플링 주파수는 100kHz이며 매우 높은 샘플링 주파수 때문에 차량의 안정화를 위해 요구되는 마그네트 전류의 순간적인 값들에 거의지연이 없도록 할 수 있음

○ 초퍼는 “제어할 수 없는 마그네트 전류” 상태를 막는 적절한 안전 특성을 가지고 있고 모든 동작상태에서 안전하기 스위칭할 수 있음

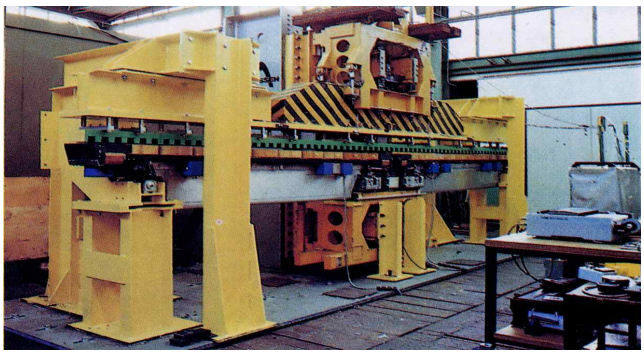
■ 마그네트 제어루프

○ 마그네트 제어루프의 임무는 [그림 4-40]과 같이 마그네트에서 발생하는 전자기력을 변화시켜 마그네트와 가이드웨이 사이의 부상 공극을 설정한 값으로 유지시키는 것임



[그림 4-40] 자기적 공극 제어 루프

○ 마그네트 전류, 마그네트 가속도 및 공극을 측정하여 이 값들에 의한 제어기의 출력으로 초퍼를 통해 적절한 마그네트 전류값을 내보내며 제어기의 구조는 시뮬레이션 프로그램으로 연구되었고 실질적인 시험은 [그림 4-41]과 같은 마그네트 시험장치에서 이루어짐



[그림 4-41] 마그네트 시험장치

○ 각 센서, 마그네트, 초퍼, 제어기 장치는 모두 보완을 위하여 2배로 설치되어 있으며 제어기 고장 등의 원인에 의해 마그네트와 가이드웨이가 붙는 것을 방지하기 위하여 마그네트 전류는 마그네트 공극 여유에 대하여 2채널의 고장안전 기술의 모니터링 회로에서 정하는 순간적인 최대값으로 제한됨

■ 부상 및 안내 마그네트

○ Transrapid의 개발에서 높은 마그네트 하중 대비 자기부상력을 가지는 마그네트를 개발하는 것이 목표였으며 누설자속을 최소한으로줄이는 것이 동적 특성을 향상시키는 데에 기여함

○ 마그네트의 온도특성, 환경에 대한 영향 및 높은 신뢰성을 가지는 것도 중요하며 마그네트 폴의 높이를 줄이면 마그네트의 질량이 감소함

○ 부상 마그네트에서 돌출된 폴을 제거한 것 이외에 폴의 높이를 줄인 것은 열전달 특성을 향상시키며 낮은 높이를 가지는 부상 및 안내 마그네트의 필요 강인성은 [그림 4-42]과 같이 박스 프로파일로 개발된 중량을 감소시키는 뒤쪽의 강인구조로 얻어짐

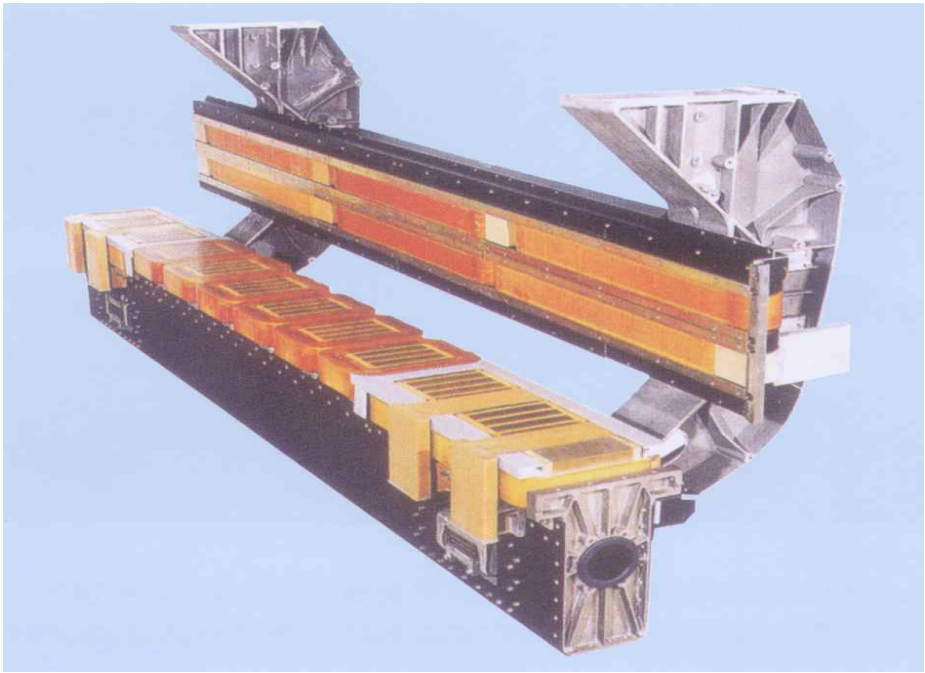
○ 이러한 결과로 힘:하중의 비율 10:1이 얻어졌다(TR07). 기존 시스템에 비해 누설자속은 30%에서 10%로 줄어들었음

■ 센서

○ 부상마그네트의 폴 끝쪽 부분에 설치된 갭센서는 비접촉으로 마그네트와 가이드웨이 사이의 거리를 측정하며 전기적 갭 신호는 갭 제어의 기본이 되기 때문에 갭 신호는 이중으로 결정됨

○ 이러한 목적을 위하여 전기적, 자기적으로 독립적인 두 개의 코일 시스템이 각 센서 취부에 관계되며 두 개의 갭 신호는 공간적으로 떨어진 두 개의 독립된 신호로부터 결정됨

○ 두 개의 독립적인 갭 신호는 측정 오류를 방지하기 위하여 확장된 가이드웨이와의 갭 신호는 무시하며 부상마그네트와 가이드웨이 사이의 접촉을 막기 위하여 센서는 고장안전 제어의 기능을 가짐



[그림 4-42] 부상 및 안내 마그네트

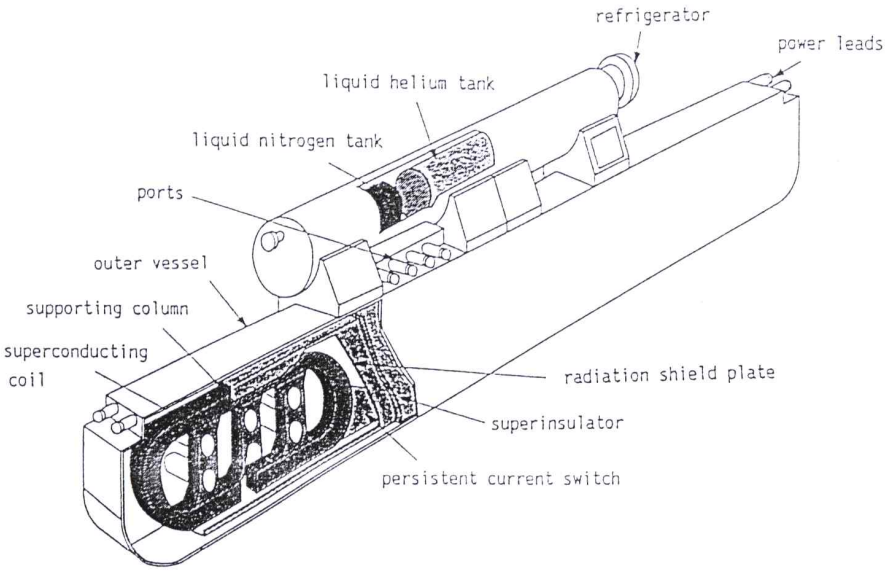
5.2. 초전도 흡인식

■ 초전도마그네트의 구조

○ [그림 4-43]는 자기부상열차를 위한 초전도마그네트의 구조를 보여주며 초전도마그네트는 하부와 상부로 나뉘어짐

○ 하부는 4개의 저온초전도코일 유니트로 구성되어 있고 상부는 냉동기를 탑재한 액체헬륨탱크로 구성되어 있고 코일 유니트에서 기화된 헬륨 가스는 냉동기에 의해 재응축됨

○ 따라서 지상 보충설비의 보충 없이도 액체헬륨의 양은 복원되며 각 초전도코일은 수직으로 배열되어 있고 헬륨탱크로부터 공급된 앨체헬륨에 담겨져서 초전도상태를 유지함(Nakao 등 1989, Tsuchishima와 Herai 1991, Suzuki 등 11992).



[그림 4-43] 자기부상열차용 초전도마그네트의 구조

○ 초전도마그네트는 아래와 같은 요소들로 이루어져 있다.

■ 초전도코일

○ [그림 4-44]은 초전도코일의 구조를 나타내며 초전도코일은 전자기력을 견뎌야 하기 때문에 레이스트랙형으로 설계됨

○ 부상력은 코일의 직선부분에 작용하고 추진력은 곡선부분에 작용하며 마그네트의 초전도코일은 단단히 감겨진 코일을 에폭시로 함침하여 제작함

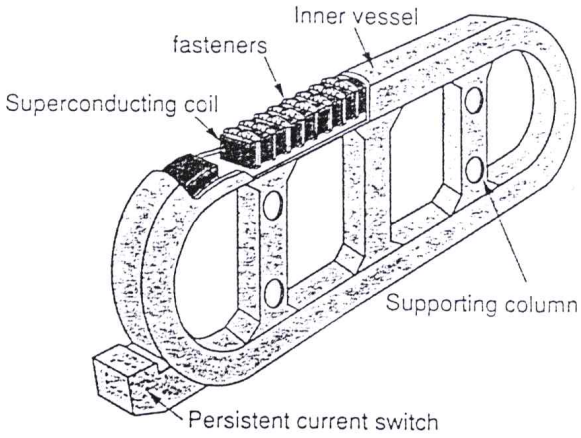
○ 사용하는 초전도선재는 높이 1mm, 너비 2mm의 단면적을 가진 NbTi 선재이이며 미야자키 자기부상열차 시험선로에서 사용된 초전도마그네트의 정격 기자력은 700kA이고 최대 자속밀도는 약 5T임

■ 내부용기

○ 초전도코일은 후프력(hoop force)에 의해 원형으로 코일이 풀어지는 것을 막기 위한 틀구조가 포함된 내부용기 속에 단단히 고정되어 있으며 코일과 내부용기 사이의 좁은 공간에 액체 헬륨을 채워 매우 낮은 온도인 4.2-4.5K으로 코일이 초전도성을 유지할 수 있도록 함

○ 그림에 나타낸 바와 같이 초전도코일은 조이는 금속구로 단단히 고정되어있어서 코일은 모두가 압착되어 있어 기계적 진동이나 코일이 풀리는 경우에도 미끄러짐 현상이 발생하지 않음

○ 이 구조는 코일의 성능에 영향을 주는 가장 중요한 구조임



[그림 4-44] 초전도코일의 구조

■ 전류리드

○ 초전도코일을 충방전하기 위해서는 마그네트를 전원장치와 연결하여야 하며 극저온에서부터 상온부로 연결되도록 영구히 설치된 전류리드는 낮은 열전도도과 높은 전기전도도의 두가지 조건을 만족하여야 함

○ 따라서 마그네트의 내부용기로의 열유입양은 이들 전류리드의 성능에 크게 영향을 받으며 전류리드는 마그네트에서 증발되는 소량의 차가운 기체에 의해 냉각되어 500-600A의 충전전류를 흘릴수 있어야 함

■ 영구전류스위치

○ 영구전류스위치는 초전도코일에 부착되어 코일의 충·방전 시 이용되며 이 스위치는 자기부상열차에 장착된 초전도코일의 영구전류모드를 유지시키기 위해 꼭 필요한 요소임

○ 영구전류스위치를 오픈한 상태에서 전언장차로부터 전류를 상승시켜 필요한 전류를 초전도마그네트에 충전시킨 후 영구전류스위치를 닫은 상태에서 전원장치의 전류를 줄여 영구전류모드운전을 시작함

○ 자기부상열차 개발의 초창기에는 두가지 종류의 영구전류스위치가 사용되었고 하나는 'on' 시에 접촉하고 'off' 시에 분리되는 금속의 접촉을 이용한 기계적 방식이었고 다른 하나는 초전도선을 가열하거나 냉각하는 효과로 얻어지는 on-off 효과를 이용한 열적으로 제어되는 방식임

○ 정밀점검과 시험 수에 후자의 영구전류스위치만을 자기부상열차에 적용하였으며 충·방전의 시간과 스위치에 발열되는 주울열을 줄이기 위하여 'off'시의 저항은 만들수 있는 최대값으로 하였고 MLU002N 시험차량의 초전도마그네트에 설치된 영구전류스위치의 저항값은 50Ω임

■ 지지 기둥

○ 부상, 추진 및 안내에서 발생하는 모든 힘이 초전도코일에 작용되며 지지기둥은 이러한 힘을 초전도마그네트를 지지하는 보기의 프레임으로 전달하는 중요한 역할을 함

○ 이들 기둥의 요구조건들은 본질적으로 충분한 강도를 가지는 것과 액체헬륨 영역으로의 열유입을 최소한으로 줄이는 것이며 지지 기동은 좁은 공간에서 긴 열전도 경로를 제공하기 위하여 동심의 여러 유닛으로 구성됨

○ 강도 조건을 만족하기 위하여 낮은 열전도율과 가벼운 GFRP, CFRP와 AIFRP와 같은 섬유강화 플라스틱이 이들 기둥을 구성함

■ 외부용기와 방사차폐 판

○ 액체헬륨 온도로의 열유입을 방지하기 위하여 방사차폐 판이 초전도코일 주위를 완전히 감싸고 있고 이 판으로 액체질소를 공급하여 방사열로부터 초전도코일을 차폐시킴

○ 외부용기는 이 판을 감싸고 내부의 진공을 유지시키며 외부용기와 방사차폐 판은 가볍고 지상코일의 자장 변동에 의한 내부용기가 가열되는 것을 막기 위하여 보통 알루미늄으로 제작됨

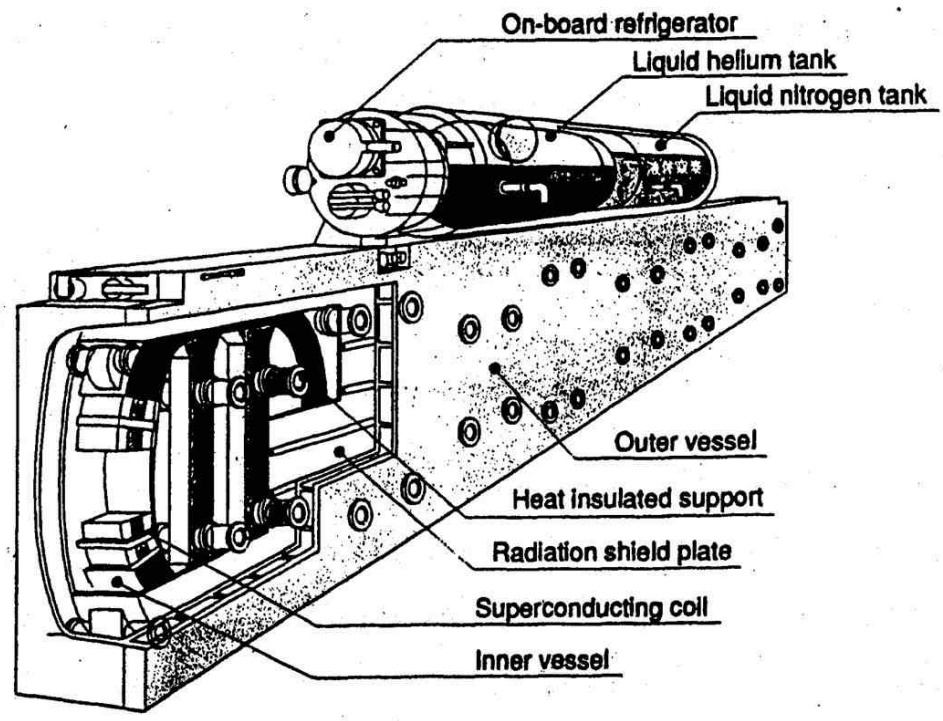
■ 야마나시 시험선로 차량(MLX01)용 초전도마그네트

○ [그림 4-45]은 야마나시 시험선로에서 시험되는 차량(MLX01)에 탑재된 저온초전도마그네트를 나타내며 각 마그네트의 무게는 약 1.4t이며 보기의 양쪽에 설치됨

○ 관절식 보기 시스템을 가진 MLX01의 보기 수가 줄었기 때문에 각 마그네트의 부상 부하는 증가하며 이 초전도마그네트는 냉동기가 탑재된 헬륨 탱크와 4개의 초전도코일로 구성된 수직형태임

○ 초전도코일은 700kA의 기자력, 4.23T의 중심자속밀도, 1350mm 피치를 가지며 NbTi 선재로 레이스트랙 형태로 권선하였으며 초전도마그네트는 주행동안 큰 외란에 노출되어 있음

○ 자기장 변동에 의한 열부하 증가를 억제하고 여러 외란에 대해서 초전도성의 안정성을 유지하도록 굉장히 많은 노력이 투입되었고 초전도마그네트 구조의 여러 개선접이 시도되었으며 본 마그네트는 열부하와 안정성에 미치는 영향을 매우 줄였다는 것을 증명함(Suzuki 등 1993)



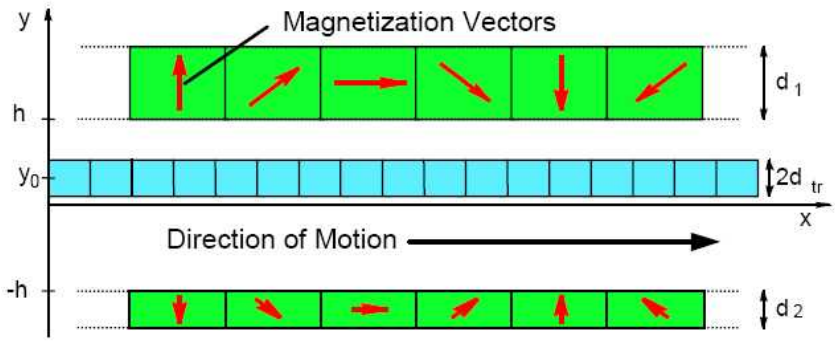
[그림 4-45] 야마나시 시험선로 차량(MLX01)용 초전도마그네트

5.3. 영구자석 반발식

■ 부상력 : Inductrack 방식으로 고자기장(1.4 Tesla) NdFeB 영구자석 육면체를 2중 Halbach 배열로 배치

○ Halbach 배열 : 자기장이 궤도에만 집중되고 승객영역에서는 자기장 방비대책이 없어도 안전범위를 만족시킴

○ 원천적인 감쇠력 부족으로 인한 승차감 저하

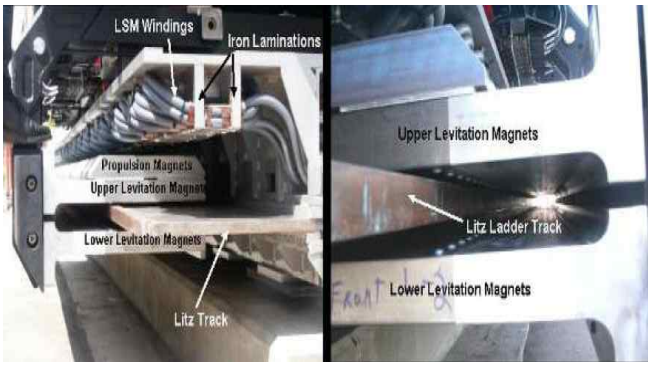


[그림 4-46] GA社에서 적용한 double Halbach array 부상용 영구자석

○ 대차와 궤도의 간극이 25mm 정도로 EMS 시스템(10mm 정도)에 비하여 상대적으로 크므로 궤도건설에 유연성이 있음

○ EDS 시스템이므로 부상력이 3~4m/sec에서 발생, 정거장을 나갈 때 부상 가능

- 안내력은 차량에 설치된 추진용 영구자석에 의하여 수동적으로 발생
- 부상력과 안내력의 제어없이 안정한 시스템임
- 저항력은 3 m/sec 정도까지 증가하나 그 이상에서는 속도가 증가함에 따라 감소
- 영구자석이 1차 현가장치이지만 상대적으로 감쇠가 작음으로 승차감은 수동형 2차 현가장치에 좌우됨
- 영구자석에 대한 대항체로 Ritz Ladder Track 적용



[그림 4-47] GA社에서 개발한 대차와 궤도의 단면구조

5.4. 사례별 장단점 비교

■ 상전도 흡인식 부상시스템

장 점	단 점
• 430km/h 급이 상용화 되었다. • 승차감이 좋다. • 부상과 안내가 가능하다. • 가이드웨이 구조가 간단하다. • 정지 시 부상이 가능하다.	• 부상높이가 낮다. (TR08: 부상 10mm, 안내 10mm) • 제어가 필요하다. • 차량이 무겁다. • 분기기 구조가 복잡하다. • 부상용 전원을 계속 공급하여야 한다.

■ 영구자석 반발식 부상시스템

장 점	단 점
• 중저속 형으로 상용화 준비중이다. • 제어가 필요 없다. • 부상용 전원이 필요 없다.	• 차량에 대한 개발 사례가 없다. • 고속에서의 개발 사례가 없다. • 안내력에 대한 개발 사례가 없다. • 승차감이 나쁘다. • 차량이 무겁다. • 가이드웨이 구조가 복잡하다. • 분기기는 개발 사례 없음 • 마그네트 구조가 복잡하다. • 정지 시 부상이 불가능하다. • 탈자기 현상으로 마그네트의 주기적 교체가 필요하다. • 발생가능 자장이 작다. (최대 1.7 T)

■ 초전도 반발식 부상시스템

장 점	단 점
• 500km/h급으로 상용화 준비중이다. • 세계최고 속도 방식이다. (581km/h) • 차량이 가볍다. • 구조가 간단하다. • 제어가 필요없다. • 운행 시 부상용 전원이 필요 없다. • 분기기 구조가 비교적 간단하다. • 충분한 부상높이가 보장된다. (일본 MLX: 부상 100mm, 안내 80mm) • 발생 자장이 크다. (4 T 이상 가능)	• 승차감이 나쁘다. • 가이드웨이 구조가 복잡하다. • 초전도체에 퀜치가 발생할 수 있다. • 마그네트 비용이 현재까지는 비싸다. • 정지 시 부상이 불가능하다. • 자장 차폐가 필요하다.

6. 미래동향

■ 속력

○ 기존의 열차에서 차량에 탑재된 전동기가 철제 바퀴를 회전시켜 레일을 밀어냄에 따라 차량이 추진력을 가지게 되므로 바퀴와 레일 사이의 마찰력은 필요 불가결한 것임

○ 저속에서는 이 마찰력이 크지만 속도가 증가함에 따라 마찰력도 감소하며 반대로 차량의 저항력은 속도가 증가함에 따라 감소함

○ 어떤 속도 이상에서는 매우 강력한 전동기가 없이는 차량이 더 이상 가속되지 못하며 이 임계속도는 레일이 젖어 있는 상태 혹은 말라있는 상태 또한 깨끗한 상태 오염되어 있는 상태 등 레일의 상태에 따라 달라짐

○ 초전도 자기부상열차는 선형전동기에 의해 자기적으로 추진되므로 어떠한 속력에서도 추진력을 가질 수 있으며 선형전동기 코일이 가이드웨이를 따라 설치되어있고 이 코일로부터 추력이 만들어지기 때문에 높은 전력이 요구되는 고속시스템에서도 자기부상열차는 컴팩트하고 가볍게 만들 수 있다. 따라서 500km/h로 운전되는 상용화 노선이 가능함

■ 안전성

○ 가이드웨이 구조 때문에 자기부상열차는 탈선될 염려가 없으며 자기부상열차는 많은 부상코일에 의해 동시에 받쳐지고 있기 때문에 하나의 코일이 고장난 경우에도 열차는 영향을 많이 받지 않음

○ 부상과 안내 특성 역시 고속에서 매우 안정되었으므로 초전도 자기부상 열차는 매우 안전한 운송시스템임

■ 유지보수

○ 기존의 고속열차 시스템에서 선로와 트롤리선의 유지보수는 매우 큰 문제거리이나 초전도 자기부상열차에서는 가벼운 차량이 여러 코일과 작용하여 동시에 부상되기 때문에 접촉이 없음

○ 초전도자기부상열차는 트롤리를 사용하지 않기 때문에 트롤리의 유지보수에 대한 문제도 없다. 따라서 자기부상열차 선로의 유지보수 비용은 매우 작음

■ 공해

○ 고속 전차는 공해의 관점에서 볼때 자동차나 항공기에 비해 뛰어난 시스템이며 초전도자기부상열차는 작은 주위 소음과 낮은 진동으로 고속전차보다도 공해 문제에서 뛰어남

○ 노이즈에 있어서 신간선의 최고 소음원은 트롤리로부터의 집전인데 자기부상열차는 트롤리가 없으며 게다가 가벼운 열차는 진동을 보다 작게 발생시킴

■ 부상높이

○ 현재 500km/h의 속력을 달성한 자기부상열차 시스템은 상전도흡인식의 독일 Transrapid와 초전도반발식의 일본 MLX이며 독일의 Transrapid는 2004년 중국 상하이에서 430km/h 급으로 상용화된 바 있음

○ 일본의 MLX는 현재 상용화를 위한 시험운행을 수행하고 있으며 Transrapid의 부상높이는 10mm이며 공차는 ±2mm이다. MLX01의 부상높이는 100mm이며 공차는 ±6mm임

○ 550km/h 초고속 자기부상열차의 부상에 대한 기준은 현재 마련되지 않고 있으나 주행안전성을 고려하기 위하여 80mm 이상의 부상높이를 제안하는 논문이 IEEE에 발표된 바 있음

○ 흡인식 시스템을 사용할 경우 80mm 이상의 부상을 구현하는 것은 현실적으로 힘든 상황이며 현실적으로 80mm 이상의 부상을 구현할 수 있는 시스템은 반발식 자기부상시스템임

○ 반발식 자기부상시스템은 현재 일본의 초전도반발식, 미국의 영구자석반발식이 개발되고 있으며 일본의 초전도반발식 자기부상열차는 2003년 12월 581km/h의 속도를 달성하였음

○ 미국의 영구자석반발식은 최고속도 160km/h, 평균속도 50km/h로 개발되고 있으며 약 50km/h 이후에서 부상높이의 안정화가 이루지지만 70km/h 주행시 안정화되고 포화된 부상높이는 공차 시 약 29mm, 만차 시 약 27mm로 초고속 운행을 위한 부상높이로는 부족한 점이 있음

○ 40mm 이상의 부상높이를 구현할 수 있는 시스템은 1995년 미국의 GE 및 Northrop Grumman에서 개발한 초전도마그네트와 상전도마그네트를 이용한 흡인식 자기부상시스템이 있음

○ 초전도마그네트를 이용한 흡인식 자기부상시스템은 독일의 Transrapid와 같은 흡인식 부상시스템의 부상력을 증가시켜 보다 높은 부상높이를 제공함으로써 상대적인 제어기 운용의 용이성이 있으며 초전도마그네트를 이용한 EMS 시스템은 미국 뿐 아니라 중국에서도 연구되고 있음

■ 안내력

○ 초고속 자기부상열차의 부상시스템은 부상 뿐 아니라 측면 안내력도 동시에 구현되어야 하며 도시형 자기부상열차의 경우 별도의 측면안내를 위한 제어 및 시스템을 가지고 있지 않으나 초고속의 경우 측면안내가 꼭 필요함

○ 상전도 흡인식인 Transrapid 시스템의 경우 측면안내를 위한 별도의 마그네트를 채용하고 있으며 일본의 초전도 반발식 시스템의 경우 고자장을 발생할 수 있는 초전도마그네트와 U형 가이드웨이의 벽면에 설치된 좌우 부상겸용의 안내코일을 연결하여 차량변위가 발생하였을 경우 자동적으로 안내력이 발생하도록 되어있음

○ 500km/h 이상의 고속 주생의 변위를 고려한 MLX 차량 측면과 지상코일 사이의 여유 거리는 80mm임

○ 영구자석 반발식 자기부상 시스템은 현재 중저속의 도시형 자기부상열차가 개발되고 있어 측면안내력에 대한 연구가 진행되지 못하였으며 특히 할박(Halbach) 배열로 영구자석마그네트가 발생시킬 수 있는 최대 발생자속은 약 1.7T 정도로써 이정도의 자장으로써 초고속 주생을 위한 안내력의 제공이 가능한 지에 대한 검증이 필요함

제3절 추진시스템

1. 핵심기술

○ 차세대 자기부상열차의 추진시스템 구성 기술의 상세분류는 <표 4-9> 과 같음

<표 4-9> 추진 시스템 핵심기술2. 사례분석

소분류	상세분류 1	상세분류2	핵심기술
지상 1 차 (선형동기전동기 방식)	전자석 방식 추진 기술 (Transrapid)	차상기술	전자석 설계 - 극수, 극간격, 중량 등 (부상 고려)
			전자석 DC 전력 제어 기술(부상 기술임) - 차상 전력 변환 장치
			비접촉 위치/속도 검출 기술
		지상기술	지상 전동기 코어 및 권선 설계 기술 - Back-EMF - Section 의 길이 등의 결정
			추진 제어 기술 - 지상 전력 변환장치 (벡터제어)
		공통기술	효율 향상 설계, 단가 절감 설계 디텐트력 저감 설계 기술
	영구자석 방식 추진 기술 (GA)	차상기술	추진 영구자석 설계 - 극수, 극간격, 중량 등 - 부상 영구자석에 의한 저항력 고려
			비접촉 위치/속도 검출 기술
		지상기술	지상 코어 및 권선 설계 - Back-EMF - Section 의 길이 등의 결정
			추진 제어 기술 -지상 전력 변환 장치 (벡터제어)
		공통기술	효율 향상 설계, 단가 절감 설계 디텐트력 저감기술

	초전도자석 방식 추진 기술 (MLX)	차상기술	초전도 자석의 설계 - 초전도체 설계 기술 - 냉각장치 및 냉각용기 설계 기술 - 초전도 자석에 의한 저항력 고려
		지상기술	지상 전동기 권선 설계 기술 - Back-EMF - Section 의 길이 등 결정
			추진 제어 기술 - 지상 전력 변환 장치 (벡터제어)

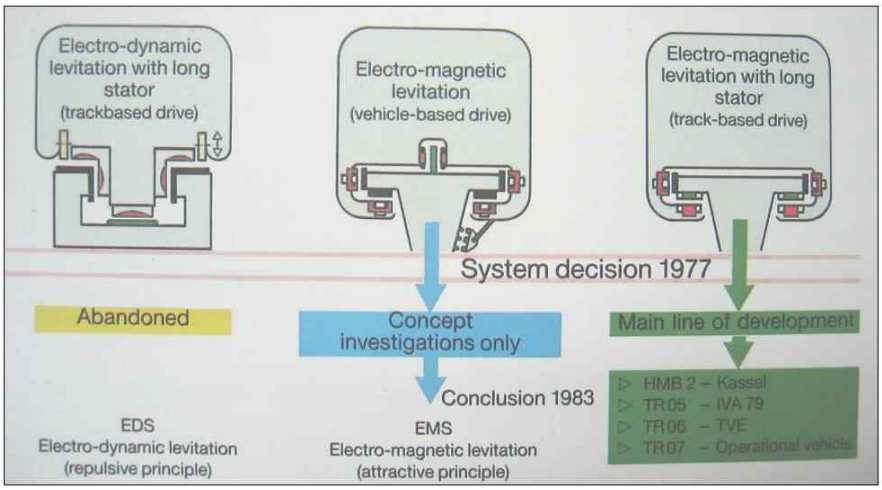
2.1 전자석형 자기부상열차의 추진 기술 (Transrapid)

■ 구조 및 사양

○ 독일은 자기부상열차의 기술개발을 시작하면서 기술의 가능성을 타진하는 한편, 여러 차례의 시제열차 제작 및 시험을 실시하였고, 1977년 자기부상열차를 긴 1차측 고정자 (Long-Primary Stator)를 갖는 선형 동기전동기를 이용한 추진방식과 흡인식 부상 시스템으로 결정하고, 이에 대한 연구 개발을 지속적으로 수행함

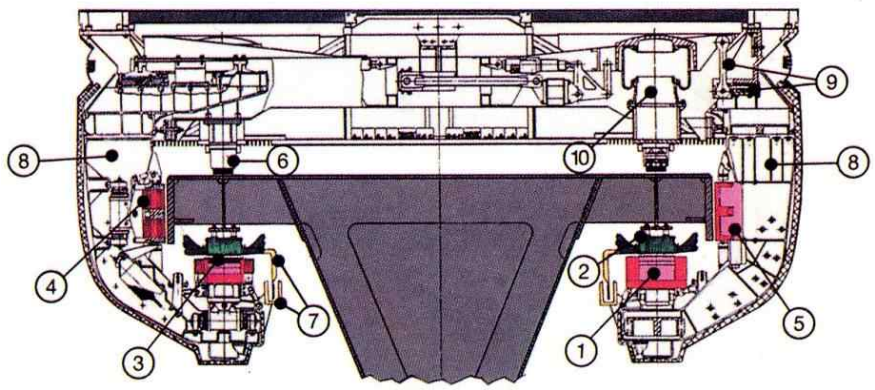
○ 독일의 기술에서 채용한 방식과 같이, LSM을 적용한 자기부상열차의 추진 시스템을 긴 1차측 고정자로 구현할 경우 짧은 1차측 고정자를 갖는 시스템보다 더 많은 소요경비를 요구하나 차량 내부로의 전원 공급을 위한 전력수급장치가 필요없게 되는 장점이 있어 초고속 추진을 위한 자기부상시스템에서 주로 사용되고 있음

○ [그림 4-48]은 독일의 자기부상열차 방식으로 고려된 몇 가지 시스템을 나타냄



[그림 4-48] 독일 자기부상열차 시스템의 추진 방식 결정

○ 상전도 흡인 방식의 자기부상열차인 독일 Transrapid의 전체 시스템 구성을 [그림 4-49]에 나타내며 그림에서 보여지는 바와 같이, 자기부상열차의 추진을 담당하는 부분은 ① 부상 전자석 (Support Magnet) 과 ② 권선을 갖는 고정자 (Stator pack with motor windings) 임



[그림 4-49] Transrapid 시스템 구성도

○ 추진시스템인 선형 동기전동기 (Linear Synchronous Motor : LSM) 의 계

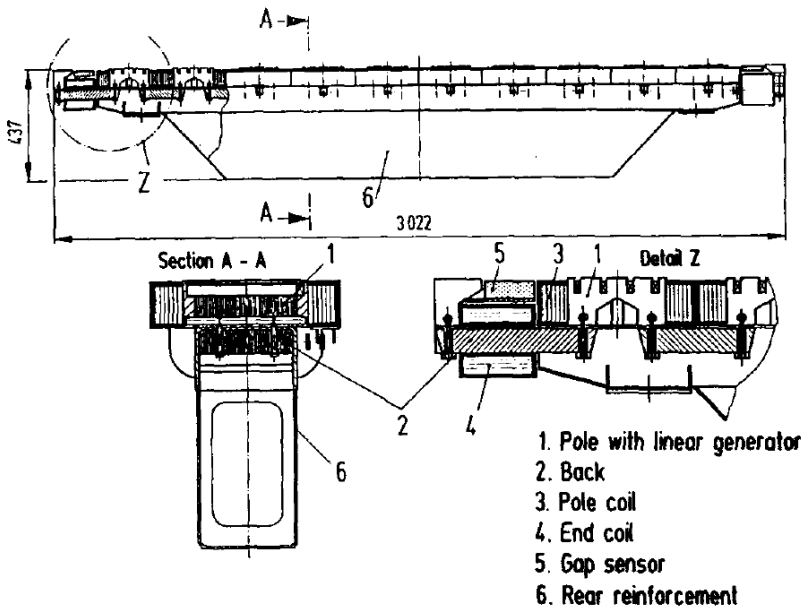
자측인 전자석은 차량의 하부에 부착되어 부상과 추진을 동시에 담당하고 추진 및 부상용 전자석의 사양은 [그림 4-49] 에 나타내어진 바와 같음

1) 차상 기술

■ 전자석

○ 독일의 자기부상열차 Transrapid 가 갖는 추진 부상용 전자석은 [그림 4-50] 과 같은 구조를 갖는다. 이 전자석의 다음 사항과 같은 특징을 갖음

- 전자석의 코일은 알루미늄임
- 알루미늄에서 발생한 열은 전자석 코어와 하부 구조물에 의해 전도됨
- 전자석 높이의 최소화에 중점을 둔 설계를 수행하였음



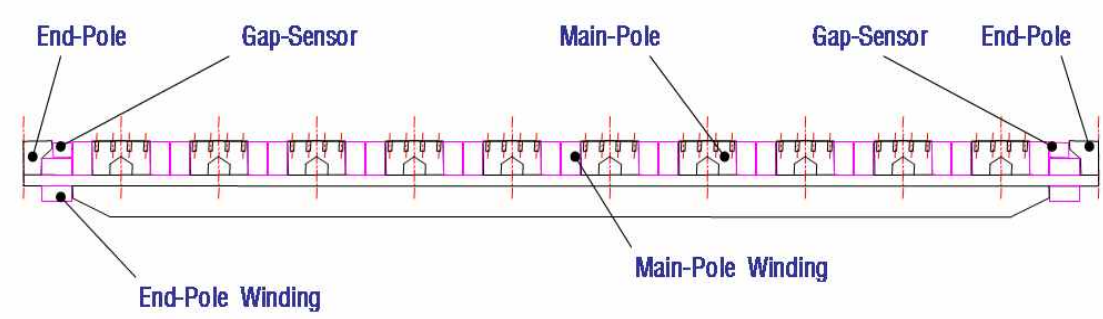
[그림 4-50] 추진 및 부상용 전자석

(전자석 1-set 의 길이 3022 mm)

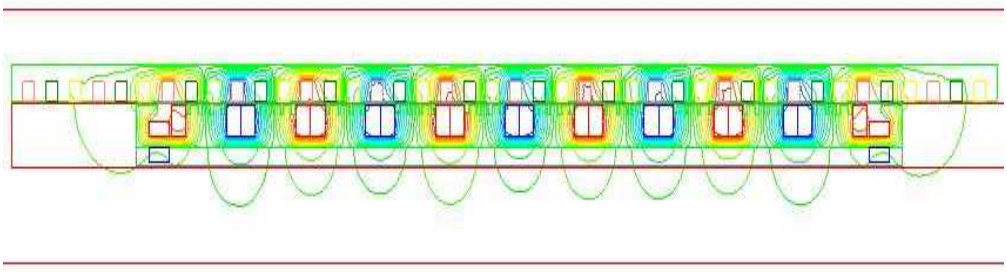
○ [그림 4-50] 에서 세부 명칭은 다음과 같음

- 1. 전자석 극 및 선형 발전기 부
- 2. 백아이언

- 3. 전자석 코일
- 4. End 전자석 코일
- 5. 공극 센서 (갭센서)
- 6. 하부 구조물



[그림 4-51] Transrapid 부상 및 추진 전자석 도면



[그림 4-52] 유한요소 해석 결과

○ [그림 4-52]는 Transrapid 부상 및 추진 전자석의 상세 구조를 나타낸 도면을 나타내며 그림에서 보여지는 바와 같이 전자석은 12 극(Pole)을 갖고 있으며, 10개의 주 극(Main Pole) 과 양 끝에 끝 극(End Pole)을 갖음

○ 앞서 언급된 바와 같이 전자석의 설계는 폴의 높이를 줄여 차량의 무게를 감소시키는데 설계 주안점을 두었고 [그림 4-50]은 유한요소 해석에 의한 Transrapid 전자석의 자속 분포도를 나타냄

■ 극피치 (Pole Pitch)

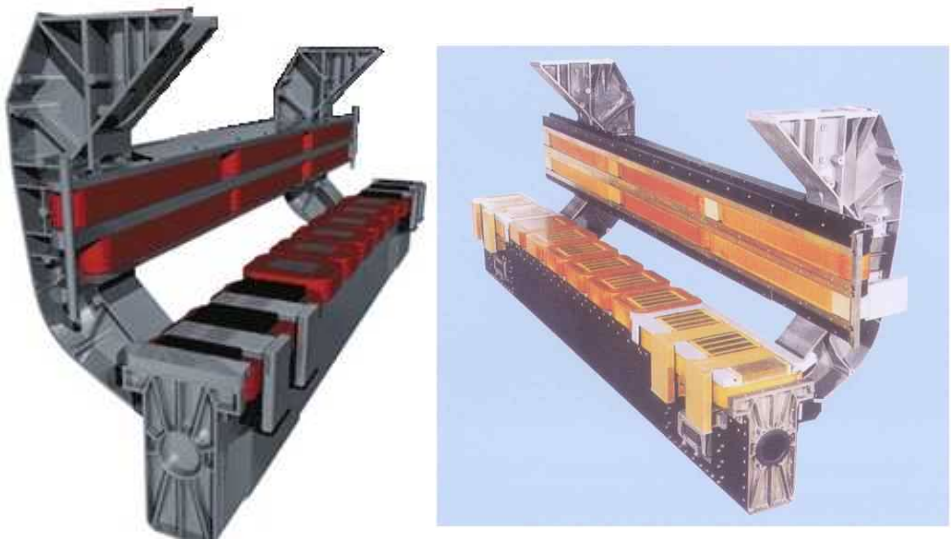
○ 선형 동기전동기의 극피치 ($\tau = \lambda/2$) 와 속도 (v)는 식(4.1)의 관계를 갖음

$$v\ [\mathrm{m/s}] = 2 \times \tau\ [\mathrm{m}] \times f\ [\mathrm{Hz}] \qquad (4.1)$$

○ Transrapid의 극피치가 258 mm 이므로, 약 400 km/h 로 주행시 운전주파수는 약 215 Hz 정도임

■ 극수 (Pole Number)

○ 자기부상열차에 적용되는 선형 동기전동기에서 극피치가 결정되면 극수에 따라 대차 (Bogie) 의 길이, 차량의 길이 등이 결정되며 특히 극수는 전동기의 출력을 결정하는 중요한 요소이므로, 대차 및 차량의 길이 등과 연계되어 신중하게 선정되어야 함



(a) (b)

[그림 4-53] Transrapid 부상 및 추진 전자석

■ 전자석 사양

○ Transrapid 부상 및 추진 전자석의 구체적 사양은 <표 4-10>와 같음

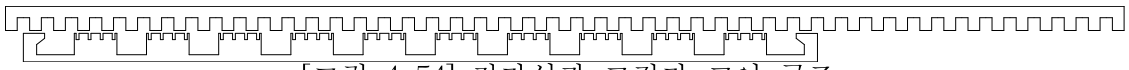
<표 4-10> Transrapid 전자석 사양

항 목	사 양	항 목	사 양
극 수	12 개 / 1 모듈	코어 형태	적층구조
주극 (Mail Pole)	10개	폭	200 mm
끝극 (End Pole)	2개	길이	3022 mm
1-코일 단면적	3587 mm2	극피치	258 mm
턴수	-	공극	10 mm

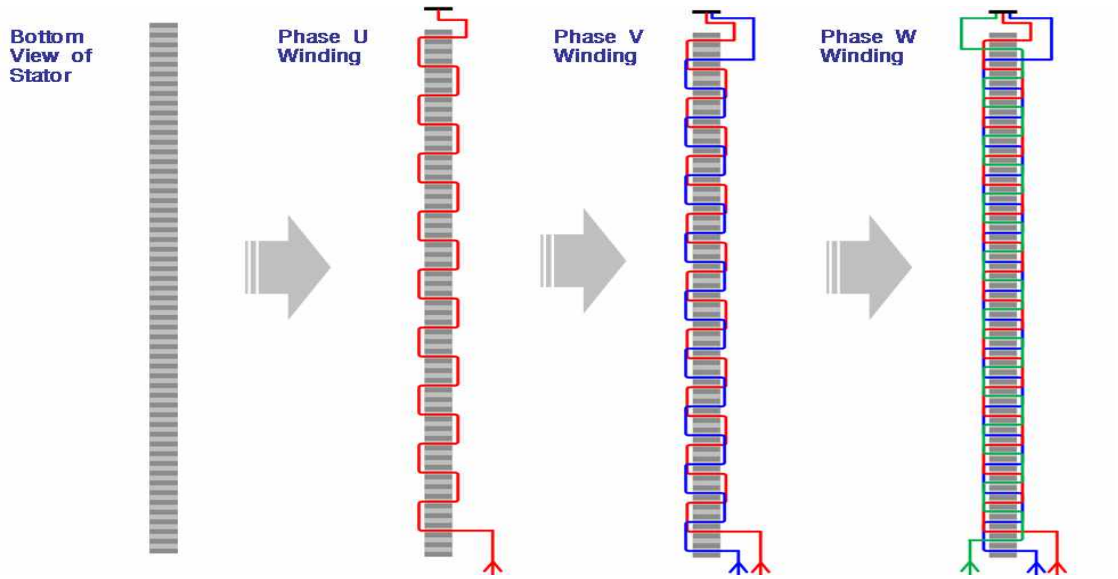
2)지상 기술

가. 3상 권선

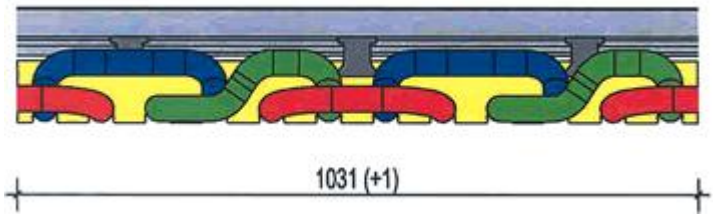
○ Transrapid의 추진 시스템인 선형 동기 전동기의 고정자 코어는 [그림 4-54]과 같이 전자석에 대응하여 선로상에 설치되며 전자석과 마찬가지로 극피치는 258 mm 이며, 이는 고정자 코어의 3-슬롯에 해당하는 길이이고 3상 권선은 일반 직류기의 파권 형태로 [그림 4-55]과 같이 구성됨



[그림 4-54] 전자석과 고정자 코어 구조



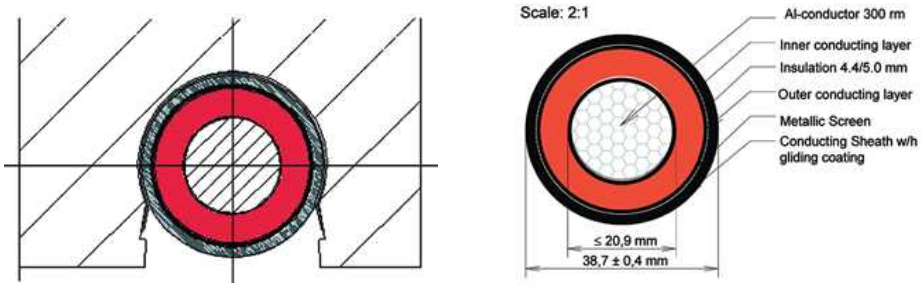
[그림 4-55] Transrapid 권선도 1



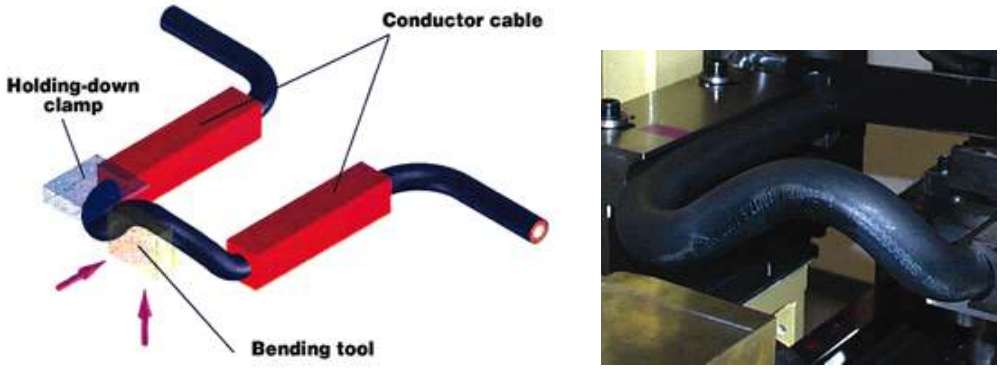
[그림 4-56] Transrapid 권선도 2

○ Transrapid 의 긴 고정자 (Long-stator) LSM 코어는 0.5t 규소강판 360 장이 이 적층되어 길이 1m 의 1-번들(bundle) 형태로 제작되고, [그림 4-56]와 같은 형태로 3상 권선이 고정되고 고정자 코어는 선로의 좌, 우 평행하게 설치되며, 각 코어 번들은 점착성 재료에 의해 코팅됨

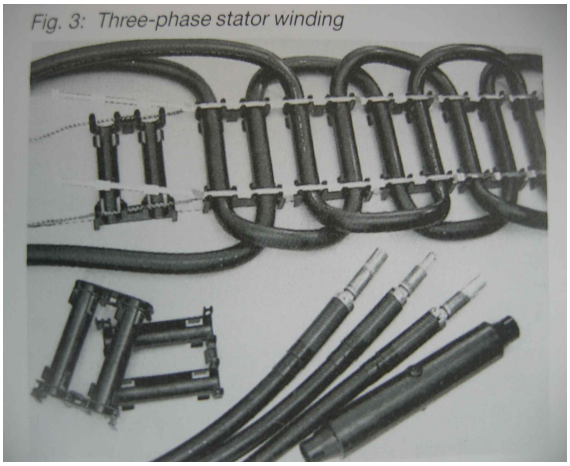
○ 독일에서는 [그림 4-57], [그림 4-58]에서 보여지는 바와 같이 3상 고정자 권선 작업을 위하여 전기적 현상 뿐만 아니라 권선의 형상, 구조와 대형/대량 생산 및 조립을 위한 여러 가지 연구가 수행됨



[그림 4-57] 권선의 삽입 형태 및 내부 구조



[그림 4-58] 권선의 삽입 형태 및 내부 구조





[그림 4-59] Transrapid 의 3상 권선 1

○ [그림 4-57]은 3상 코일로 사용된 도체의 상세도이며, [그림 4-58]은 [그림 4-56]와 같이 권선 작업을 수행하기 위한 권선의 굽힘 및 굽힘량에 따른 권선의 특성 시험 사진을 보여줌

○ [그림 4-59] 는 Transrapid 의 3상 권선이 시행된 사진을 나타내며, <표 4-11>는 Transrapid의 고정자 코어 및 코일을 포함하는 선로측 시스템의 사양을 나타냄

<표 4-11> Transrapid 고정자 사양

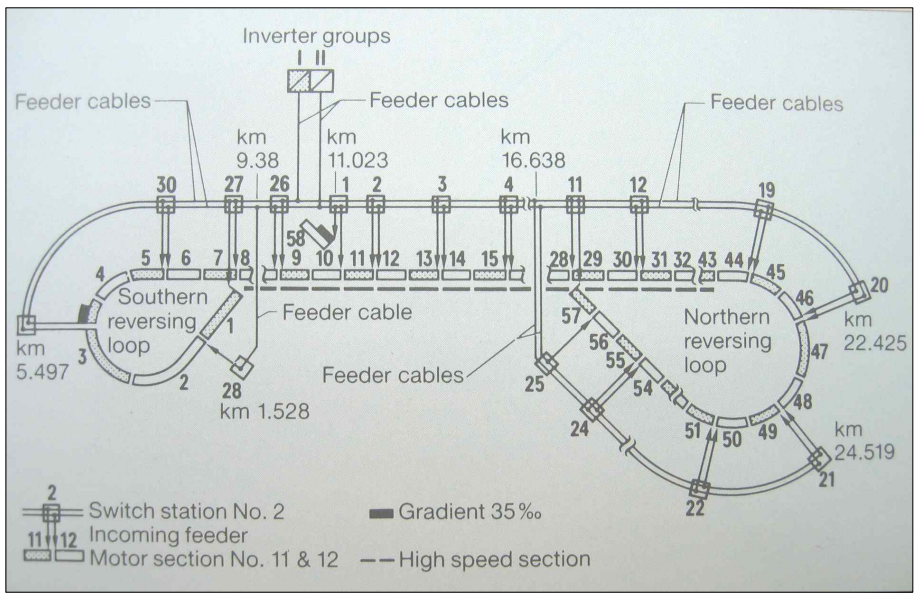
항 목	사 양	항 목	사 양
극피치	258 mm	코어 형태	적층구조
슬롯피치	86 mm	폭	200 mm
슬롯 면적	1980 mm2	길이	∞
코일 형태	Solid Wire	턴수	1

나. 추진 제어 및 전력 변환

○ <표 4-12>은 Transrapid 의 추진 제어용 전력변환장치의 사양을 나타낸다.

<표 4-12> 추진 전력 시스템의 주요 사양

항 목	사 양
high-voltage transformer	31.5 MVA, 110/20kV
rectifier transformer	2*5.6 MVA, 20/1.2kV
rectifiers	2*3300 A, 2*1300 V
inverters (per motor input system)	8*2.2 MVA, 0~2027 V (meshed), 680 A 0~215 Hz
braking circuit	4*2 MW, 4*800 A
output transformers (per motor input system)	4*1.8 MVA, max. 4500 V/phase 55~215 Hz

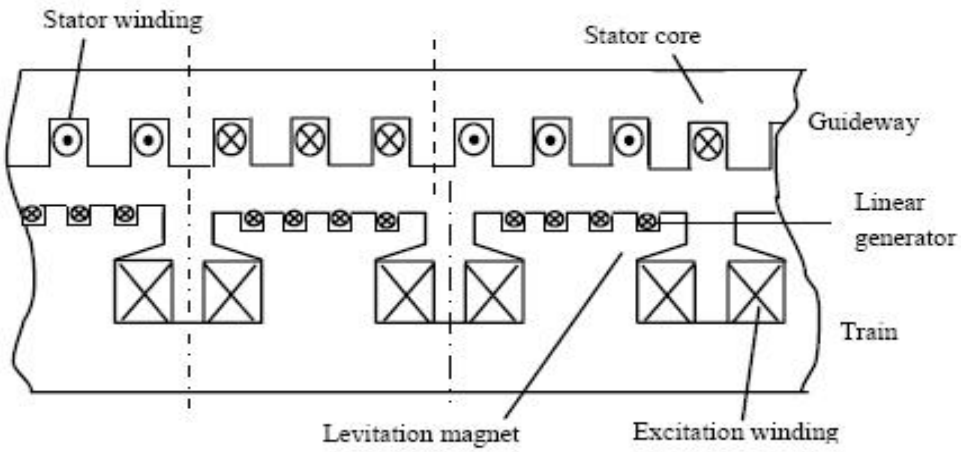


[그림 4-60] 엠슬란트 시험선로의 추진 섹션도

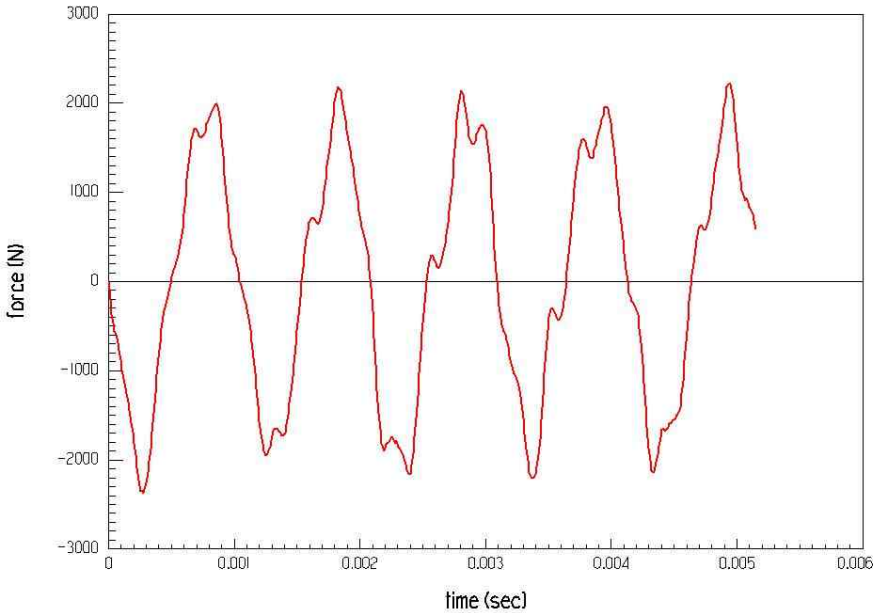
4) 디텐트력 (Detent Force) 저감 및 효율 향상 설계

○ Transrapid 의 경우 차량측 전자석 형태와 고정자의 형태가 모두 슬롯구조로 되어있어 디텐트력 (Detent Force) 의 영향을 매우 크게 받으며

Transrapid 에서는 이러한 디텐트력의 영향을 줄이기 위하여 전자석의 극피치를 고정자의 극피치보다 크게 하여 마치 회전형 기기에서의 스큐(Skew)를 적용한 것과 같은 효과를 얻게 하였음



[그림 4-61] 디텐트력 저감 설계



[그림 4-62] Transrapid 추진시스템의 디텐트력

<표 4-13> TR-06 : Linear Motor

Max. Thrust	85 kN / 량 (850 kN/10 량)
Motor Current	1200 A
Motor Voltage	4250 V
Frequency	0 ~ 215 Hz
Pole Pitch	258 mm
Winding Cable	mat Cu 150 mm2
	mat Al 300 mm2

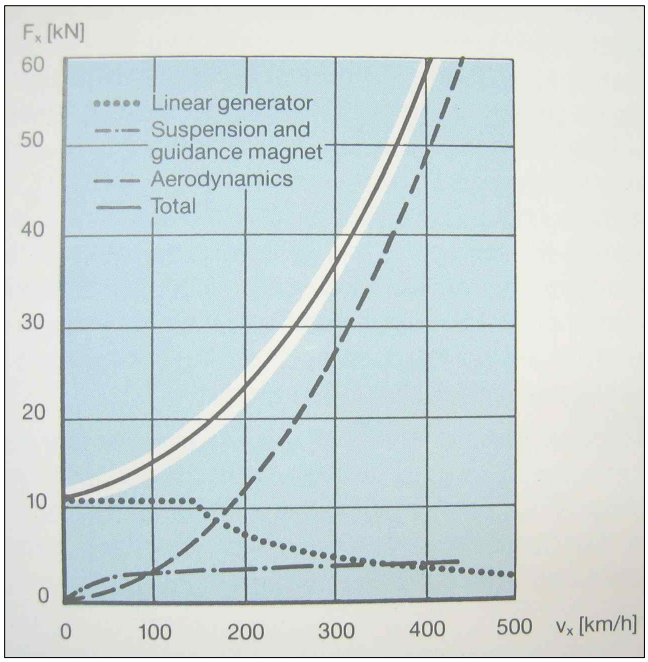
Max. acceleration	0.85 m/sec2
Mean. acceleration	0.60 m/sec2
Residual acceleration	0.23 m/sec2
Max. motor active power	11.5 MW
Max. motor apperent power	15
Max. motor active thrust	85~100

5) 주행 저항

○ TR06 은 2개의 차체로 구성된 54 m 길이의 차량으로 구성되며, 200 명의 승객이 탑승할 경우 122 ton의 무게를 갖으며 추진 시스템의 경우 연속 주행속도가 300 km/h 로 설계되었으며, 108 ton 으로 전체 중량이 감소할 경우 최대 속도는 400 km/h 까지 가능함

○ TR06 차량의 주행 저항은 [그림 4-63]과 같으며 여기서 주행저항은 다음과 같은 사항에 의하여 발생함

- 안내 전자석과 선로상의 자성체 사이에서 발생하는 와전류
- 차상 전원 공급을 위한 선형 발전기 부하 제동력
- 공력 저항 : 가장 큰 주행 저항 성분으로, 고속영역에서 급격히 증가함



[그림 4-63] TR 06 - Tractive Resistance Curve

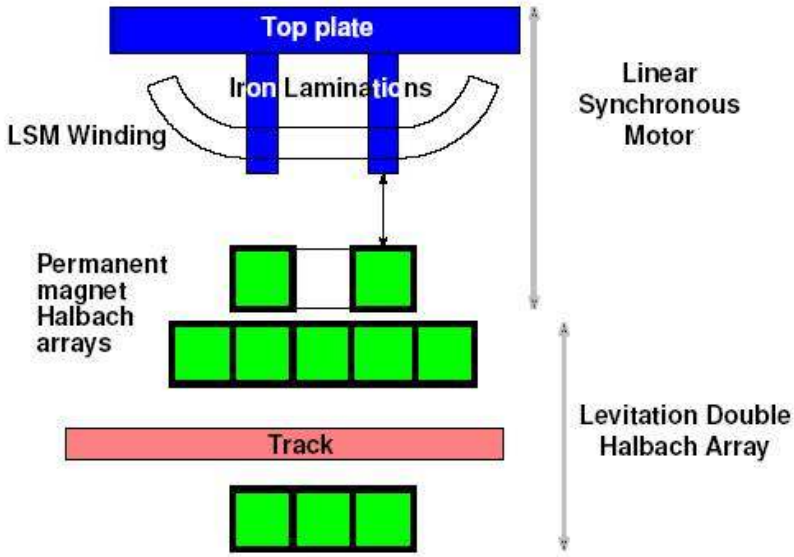
2.2. 영구자석형 자기부상열차의 추진기술

1) 구조 및 사양

○ 영구자석 반발식 시스템은 미국에서 중저속용으로 개발을 수행하고 있는 시스템으로 경제적이며 신뢰성이 높고 친환경적인 도시형 대중교통시스템을 전자기적으로 부상하는 기술을 적용하여 개발이 추진하고 있음

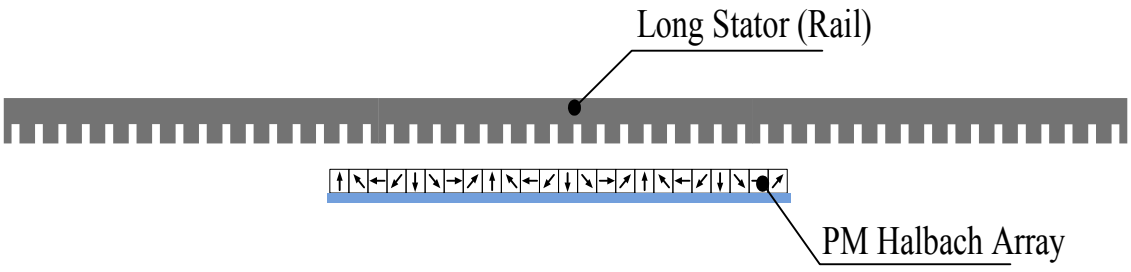
○ 시스템은 완전 수동적이며 영구자석을 사용하여 부상을 수행하고 추진은 궤도에 있는 고효율의 선형동기전동기에 전원을 공급하여 주는 시스템이며 이 시스템은 25mm 정도의 큰 공극과 안정된 부상을 위하여 피드백제어가 필요치 않은 유일한 시스템이며 부상용 자석의 소형화로 18.3m의 매우 작은 곡률반경을 주행할 수 있도록 하였음

○ 미국 GA 의 영구자석형 선형 동기전동기(Permanent Magnet Linear Synchr onous Motor : PMLSM) 는 [그림 4-64]과 같은 형태를 갖고, 측면도는 [그림 4-65]과 같음



[그림 4-64] 영구자석형 선형 동기전동기 단면도 (GA)

(Permanent Magnet Linear Synchronous Motor : PMLSM)



[그림 4-65] PMLSM 측면도 1

<표 4-14> 미국 GA의 영구자석형 선형동기전동기 추진시스템 사양

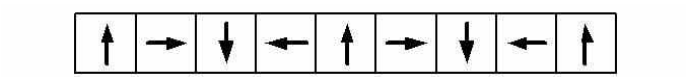
항 목	사 양	항 목	사 양
극피치	216 mm	코어 형태	적층구조
슬롯피치	72 mm	폭	125 mm
슬롯 면적	540 mm2	고정자 길이	∞
LSM 모듈 길이	15.096 m	도체	15.82 mm2
코일 형태	Solid Wire (구리)	턴수	2 turns/slot
공극	25 mm	소선(가닥)수	4

2) 차상 기술

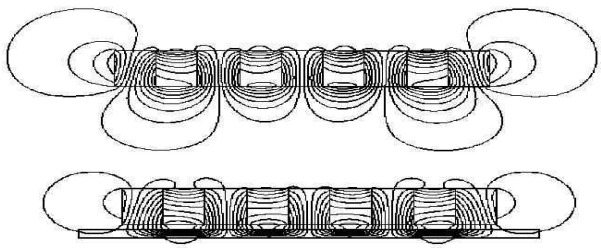
가. 영구자석 Halbach Array

○ [그림 4-66] 는 90 도의 자화각 배치를 갖는 영구자석 Halbach Array 의 형상을 나타내며 Halbach Array 는 자속을 발생시키고자 하는 방향으로는 일반 자석 배열의 $\sqrt{2}$ 배 크기를 갖는 자속을 발생시키고 반대 방향으로는 이론상 0 인 자속을 발생함

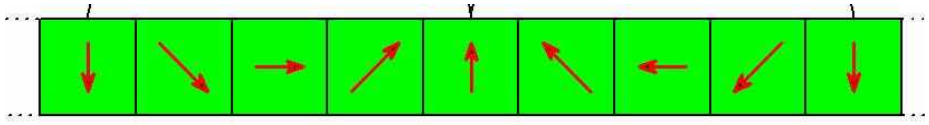
○ 따라서, 최근 영구자석을 사용하는 전기기기에서 제작의 어려움이나 단가의 상승에도 불구하고 Halbach Array 가 적용되는 사례를 많이 찾아볼 수 있음



[그림 4-66] 영구자석 Halbach Array - 90 degrees



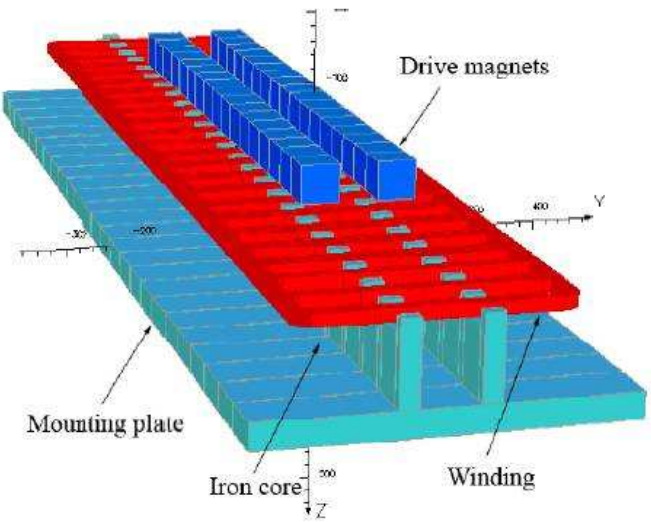
[그림 4-67] 2차측 강자성체의 유무에 따른 영구자석 Halbach Array 의 자속분포 특성



[그림 4-68] 영구자석 Halbach Array - 45 Degrees

○ [그림 4-67] 은 2차측 강자성체의 유무에 따른 영구자석 Halbach Array 의 자속분포 특성을 나타내며 그림의 자속 패턴에서 보여지는 바와 같이 자속이 발생하는 방향으로는 강한 자계가 형성되며, 반대 방향으로는 자기차폐 기능을 갖는 것을 확인 할 수 있음

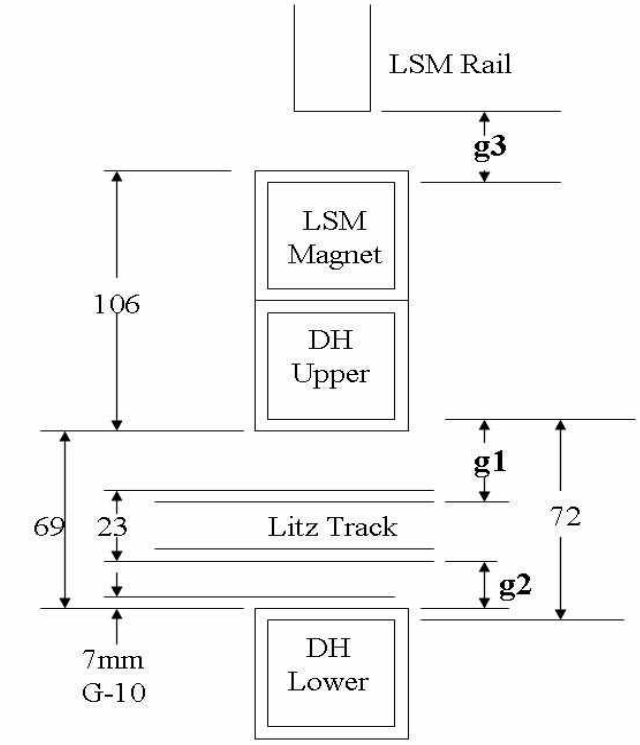
○ [그림 4-68] 는 45도의 자화 배치각을 갖는 영구자석 Halbach Array 를 나타내며 Halbach Array 의 제작에 있어 자화 배치각을 작게 하면 작게 할수록 공극에서의 자속밀도 분포가 정현파에 더욱 가까워지며, 자계의 강도를 높이는데 유리함



[그림 4-69] 선형 동기 전동기 - 영구자석, 고정자 권선, 적층 고정자 코어

○ [그림 4-69] 는 영구자석형 선형 동기전동기 해석 모델을 나타내며 영구자석과 고정자 권선, 적층 고정자 코어의 상세 구조를 나타내기 위하여 실제 형상을 뒤집어 표현 된 것임

○ 그림에서 보여지는 바와 같이, 영구자석과 고정자 코어의 자기회로가 U-형태로 이루어져 있어 자체 복원력이 발생하므로, GA 와 같이 중저속용으로 활용 할 경우 별도의 능동형 안내장치가 불필요하게 됨



g1=	**17**	**20**	**25**	**30**	**35**	**40**	**47.5**
g2 =	**30.5**	**27.5**	**22.5**	**17.5**	**12.5**	**7.5**	**0**
g3=	**36**	**33**	**28**	**23**	**18**	**13**	**5.5**

[그림 4-70] 부상 추진 공극 설정

○ [그림 4-70] 은 고정자 적층 코어 (LSM Rail), 추진용 영구자석(LSM Magnet), 부상용 영구자석 (Double Halbach - DH Upper), 리츠 트랙 (Litz Track), 부상용 영구자석 (DH Lower) 의 공극 설정 및 주행시 공극 변화에 따른 상호 구조물 간의 간극 변화를 나타내며 그림에서 보여지는 바와 같이, 각 공극의 설정은 다음 제한 조건에 의하여 수행 되었음

g1 + g3 = 53 mm

g1max = 47.5 mm

g3min = 5.5 mm

g2min = 0 mm

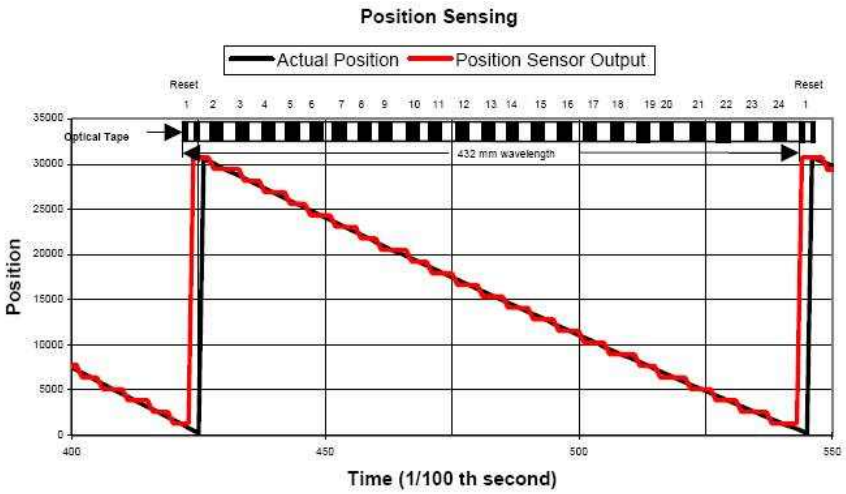
나. 비접촉 위치/속도 검출 기술

○ 선형 또는 회전형 운동형태를 갖는 동기형 전동기는 모두 가동자의 위치에 대한 정확한 정보를 통해 제어가 수행되며 GA 의 영구자석 방식 자기부상 열차에서는 차량이동의 정확한 위치정보 수집을 위하여 차체에 광위치 센서 (Optical Position Sensor)를 설치하고 선로의 Litz Track 상에는 광위치 테이프 (Optical Position Tape) 를 부착하여 정밀한 위치 정보를 취득 하였음

○ [그림 4-71] 는 Litz Track 상에 설치된 광위치 테이프를 보여주며, [그림 4-72] 는 수집된 위치 정보 데이터를 나타냄



[그림 4-71] Optical Position Tape



[그림 4-72] 센서 입력 및 LSM 위치 데이터



[그림 4-73] 위치 센서와 Litz 트랙에 설치되어 있는 Optical Position Tape

○ [그림 4-73] 은 위치 센서와 Litz Track 에 설치되어 있는 광위치 테이프를 보여주고 있음

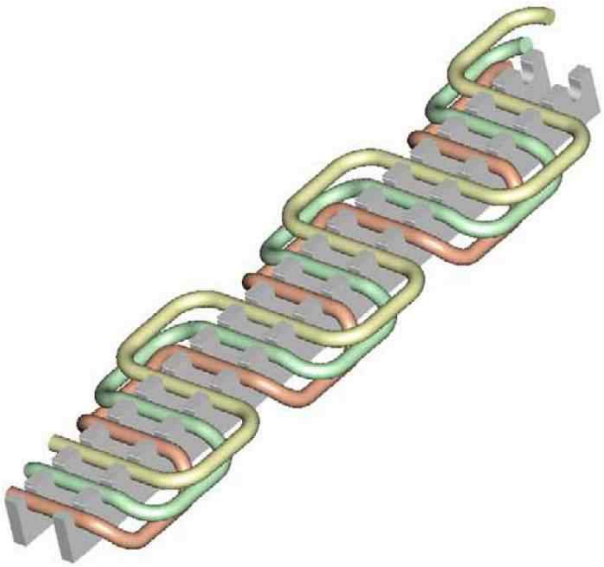
3) 지상 기술

가. 3상 권선

○ [그림 4-74] 은 적층 규소강판으로 이루어진 영구자석형 선형 동기전동기 고정자 제작 형상을 나타냄

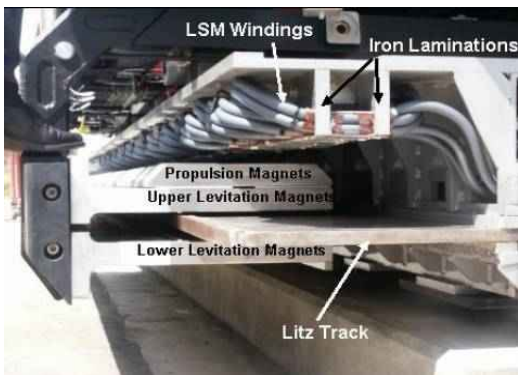


[그림 4-74] 적층 규소강판으로 이루어진 선형 동기전동기 고정자



[그림 4-75] 고정자 코어 및 권선 형상



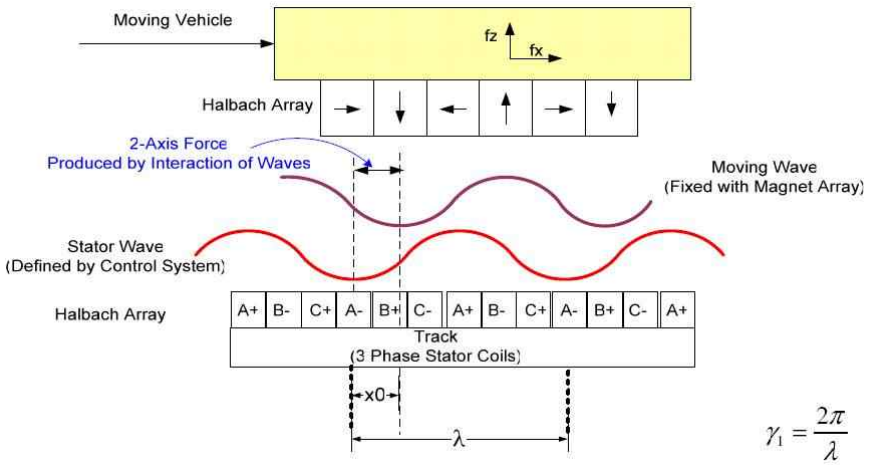


[그림 4-76] 고정자 권선 제작 사진

○ 3상 권선은 [그림 4-75] 에서 보여지는 바와 같이 감겨지고, [그림 4-76] 는 제작된 3상 권선 및 고정자 코어와 실제 트랙상에 설치된 고정자 및 추진 시스템 전체를 보여줌

나. 추진 제어

○ 영구자석형 선형 동기전동기의 추진 시스템 제어는 기존 동기 전동기의 벡터제어 원리를 따르며 [그림 4-77] 은 차상에 영구자석을 갖고 지상에 3상 코일을 갖는 추진 시스템의 자속 발생 패턴 및 추진력의 발생원리를 간략히 나타내며, 그림과 같이 정렬된 상태에서 최대 추력이 발생함

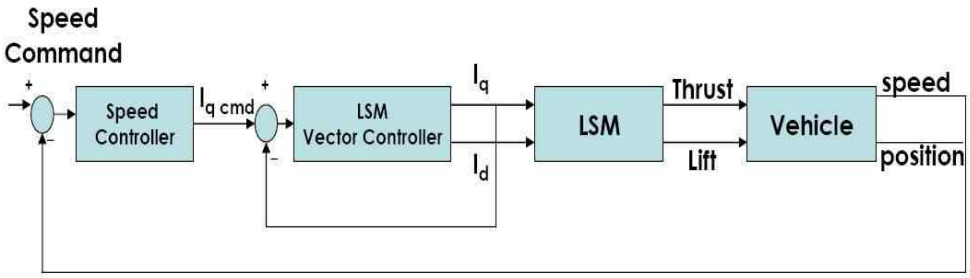


[그림 4-77] 영구자석 Halbach Array 를 갖는 선형 동기전동기 제어

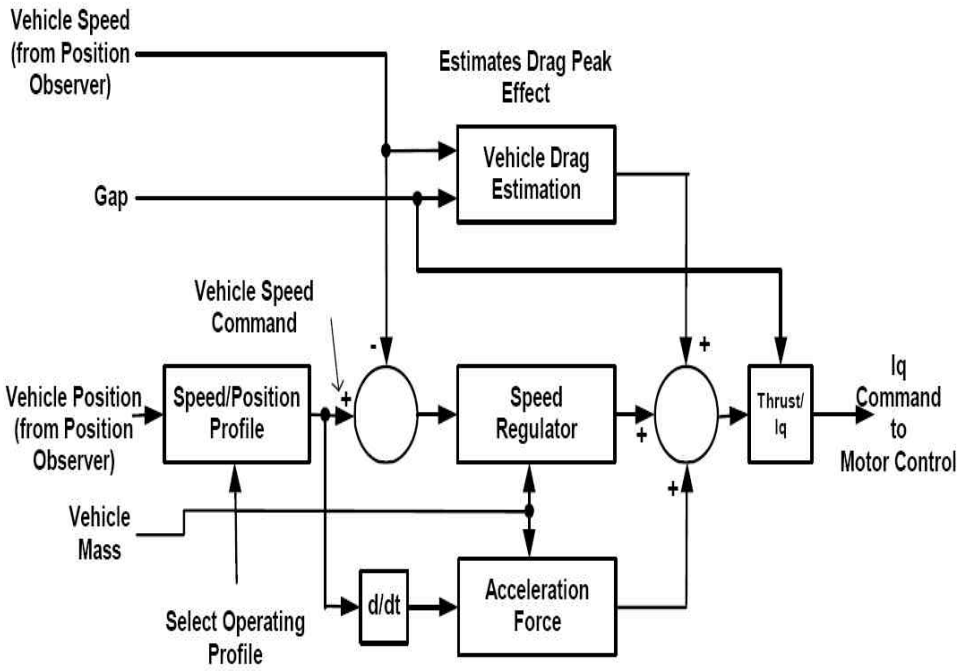
○ [그림 4-78] 과 [그림 4-79] 는 영구자석 LSM 의 속도 제어 및 추력 제어 블록 다이어그램을 나타내고 전동기의 추력은 q-축 (q-axis) 전류에 의해 발생하게 되므로, 차량의 속도, 공극, 차량의 위치 등의 수집된 데이터를 기준으로 하여 속도제어, 전류제어가 수행됨

○ [그림 4-80] 은 영구자석형 LSM 이 갖는 수직력의 제어 블록 다이어그램을 나타내며 영구자석 반발식 부상시스템은 차량의 무게, 공극, 속도 등 여러 물리량의 변화에 의하여 불안정한 거동을 갖는데, 그림과 같이 LSM 의 d-

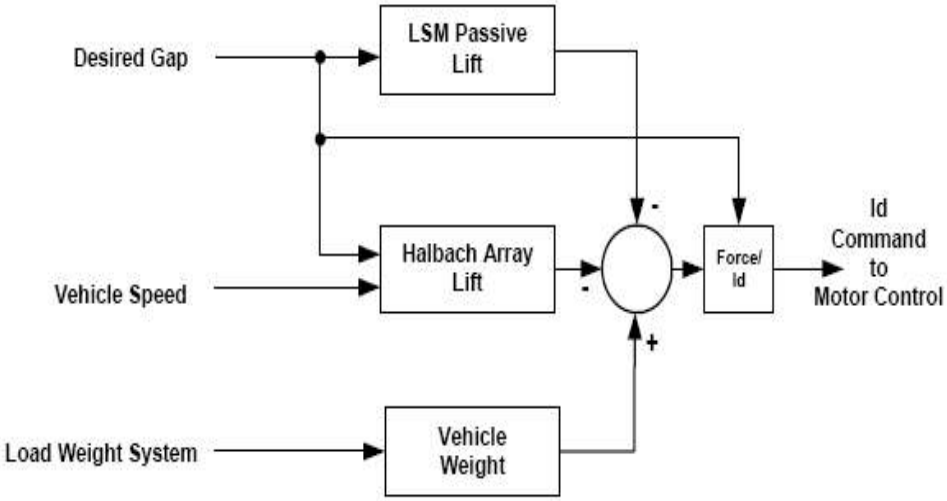
축 (d-axis) 전류 제어를 통해 수직력 제어가 일부 가능하게 되고, 부상 강성(Stiffness)를 높이는데 일부 기여할 수 있음



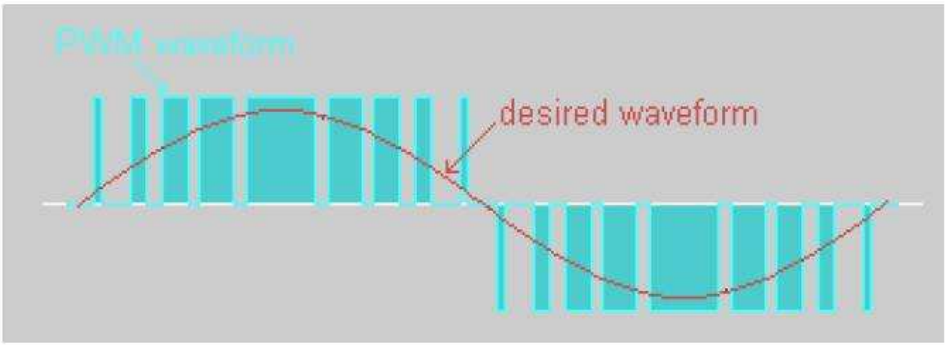
[그림 4-78] LSM 속도제어 블록도



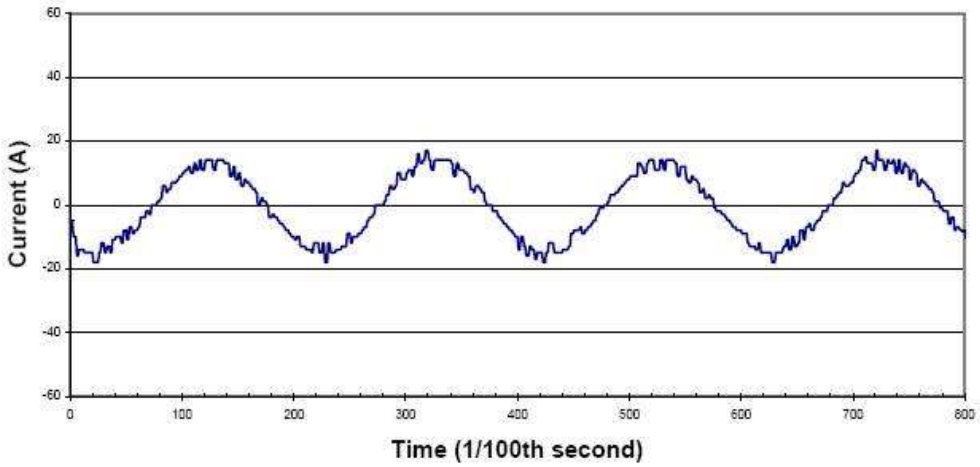
[그림 4-79] 추력 제어 블록 다이어그램



[그림 4-80] 수직력 제어 블록 다이어 그램



[그림 4-81] PWM Waveform



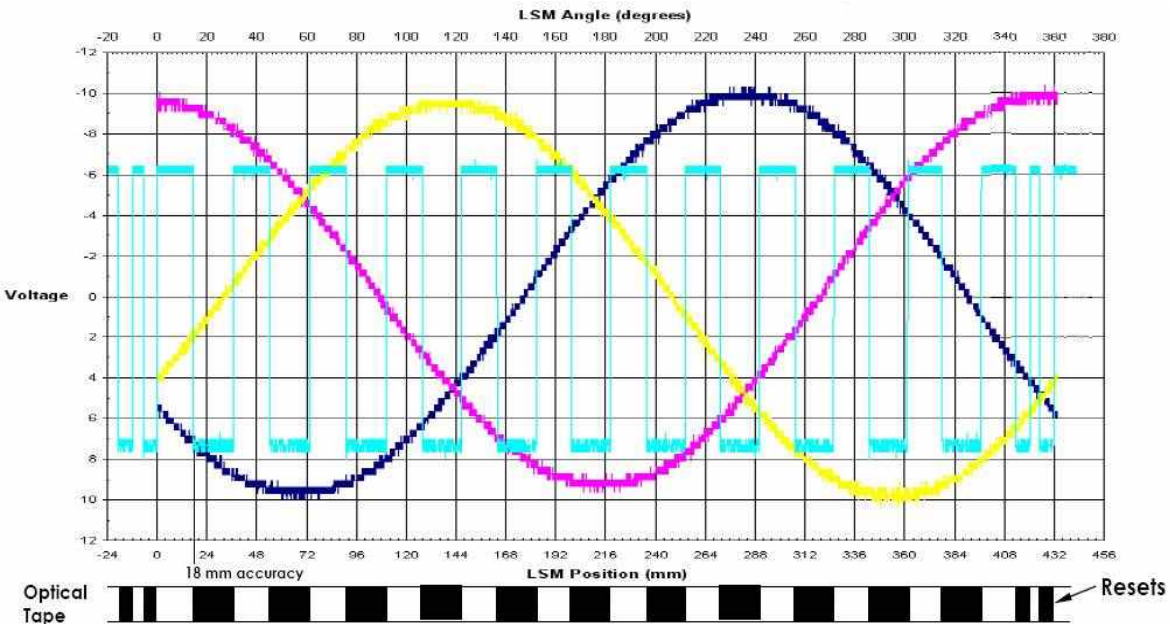
[그림 4-82] Actual Current Waveform

○ [그림 4-81] 는 LSM 의 제어를 수행하기 위하여 전력변환장치에 인가되는 PWM 전압 파형을 나타내고, [그림 4-82] 는 PWM 전압이 전동기에 인가될 때 구현되는 실제 사인파 전류를 나타낸다. 이러한 속도 및 전류제어 주기는 다음과 같음

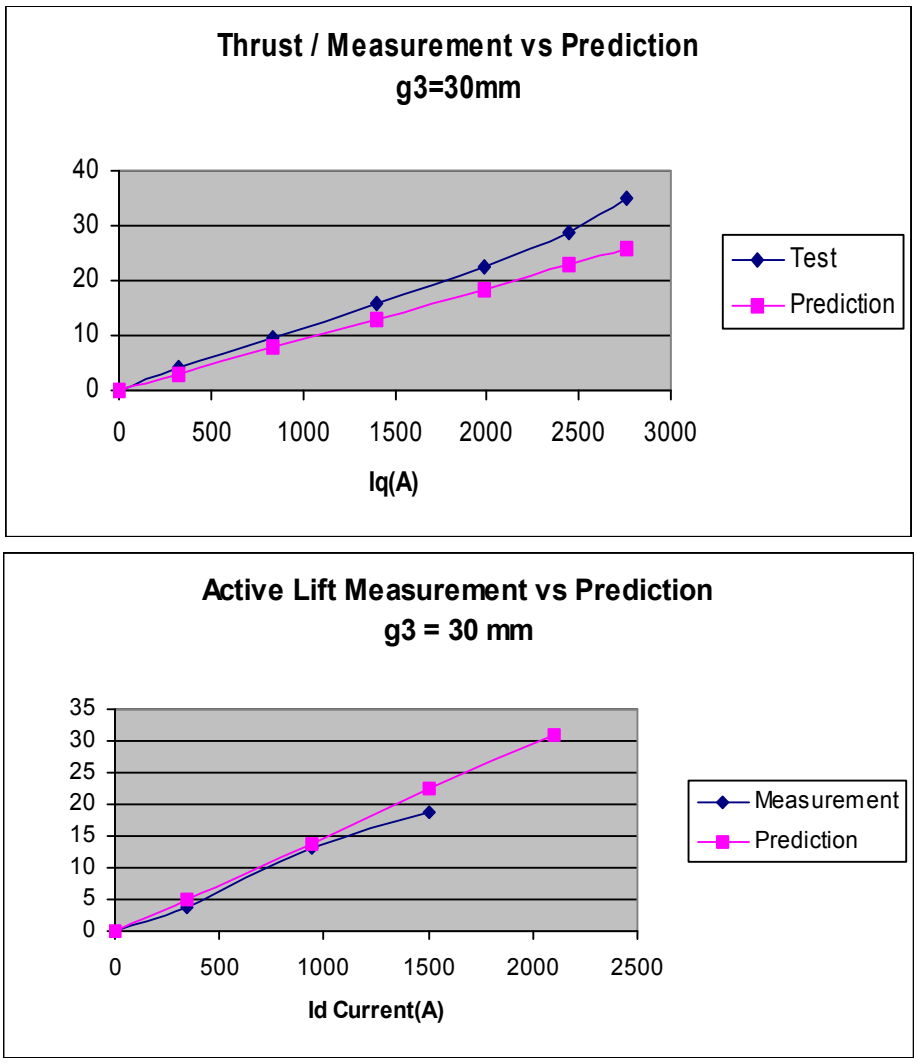
- Inner Current Loop : τ = 0.5 ms
  : 능동 부상력 및 추진 전류의 제어

- Outer Current Loop : τ = 5 ms
  : 속도 제어

○ [그림 4-83] 은 위치, 전압, 전류 파형을 동시에 보여주고 있음



[그림 4-83] 위치, 전압, 전류 파형

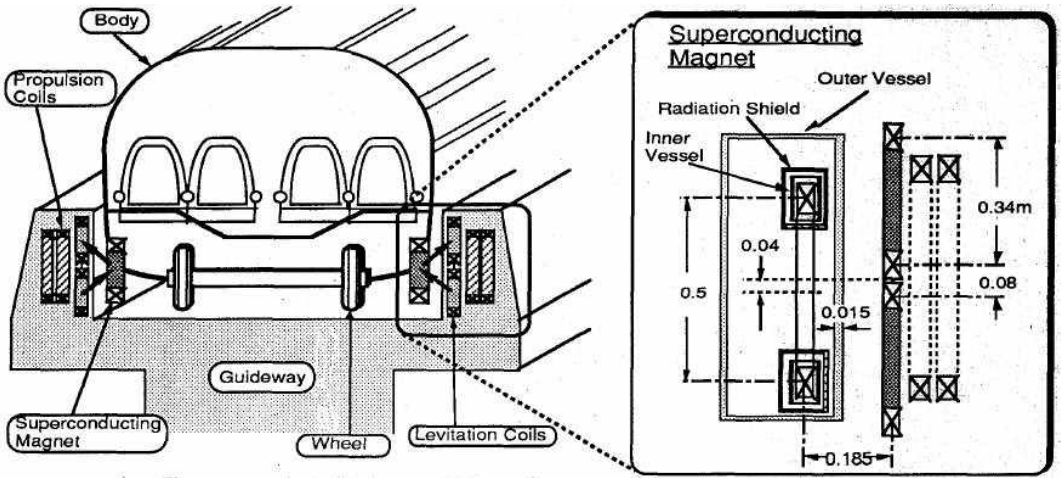


[그림 4-84] 추력 및 부상력 실험 및 시뮬레이션 결과

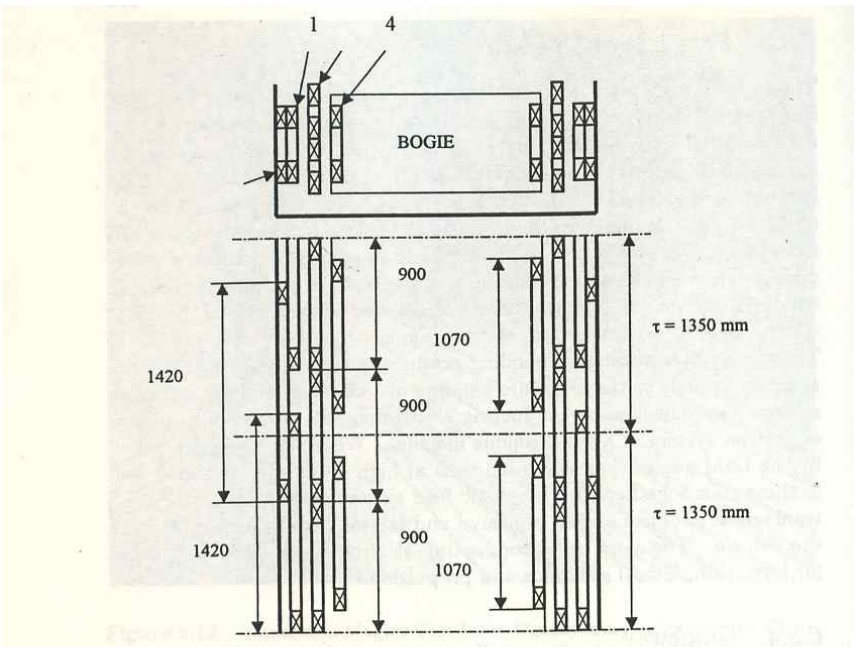
2.3 초전도 자석형 자기부상열차 추진기술

1) 구조 및 사양

○ [그림 4-85] 은 초전도 반발식 자기부상열차 시스템의 구조와 주요 기계적 사양을 나타냄



[그림 4-85] 초전도 반발식 자기부상열차 구조 1 (일본 MLX)



[그림 4-86] 초전도 반발식 자기부상열차 구조 2 (일본 MLX)

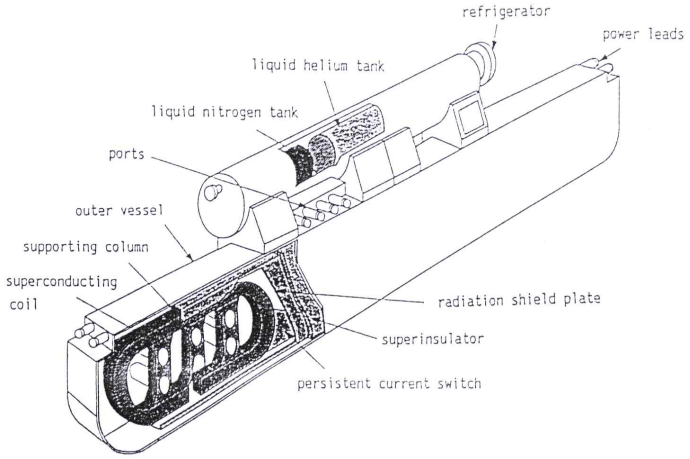
2) 차상기술

가. 초전도 자석

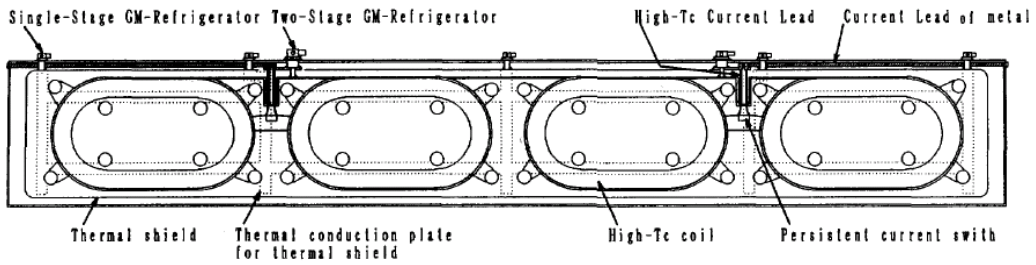
○ [그림 4-87] 은 자기부상열차를 위한 초전도마그네트의 구조를 보여주며 초전도마그네트는 하부와 상부로 나뉘어져 있음

○ 하부는 4개의 저온초전도코일 유니트로 구성되어 있고 상부는 냉동기를 탑재한 액체헬륨탱크로 구성되어 있으며 코일 유니트에서 기화된 헬륨 가스는 냉동기에 의해 재응축됨

○ 따라서 지상 보충설비의 보충 없이도 액체헬륨의 양은 복원되며 각 초전도코일은 수직으로 배열되어 있고 헬륨탱크로부터 공급된 앨체헬륨에 담겨져서 초전도상태를 유지함



(a)



(b)

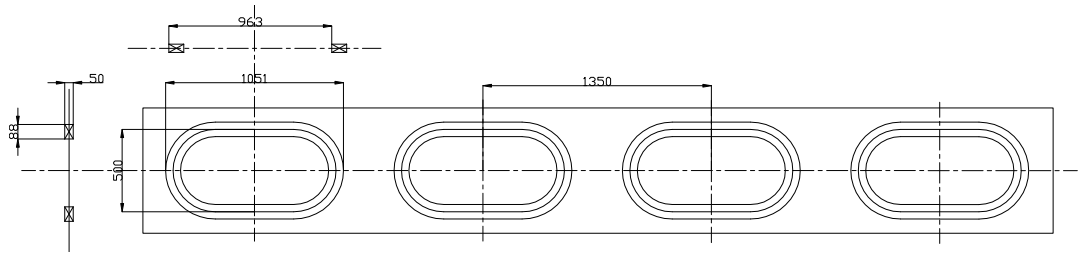
[그림 4-87] 일본 초전도 자기부상열차의 초전도 마그네트의 구조

○ 초전도 방식의 자기부상열차의 추진 시스템은 차량에 설치된 초전도 자석과 선로상에 설치된 3상 추진 코일로 이루어 지며 [그림 4-88]은 차량에 설치되는 초전도 자석의 형상을 나타고 극피치는 1350 mm 이며, 1 모듈당 4 개의 초전도 코일로 이루어짐

○ 초전도코일은 전자기력을 견뎌야 하기 때문에 레이스트랙형으로 설계되며 부상력은 코일의 직선부분에 작용하고 추진력은 곡선부분에 작용함

○ 마그네트의 초전도코일은 단단히 감겨진 코일을 에폭시로 함침하여 제작하며 사용하는 초전도선재는 높이 1mm, 너비 2mm의 단면적을 가진 NbTi 선재이고 미야자키 자기부상열차 시험선로에서 사용된 초전도마그네트의 정격 기자력은 700kA이고 최대 자속밀도는 약 5T 정도임

○ <표 4-15> 은 초전도 자석의 사양을 나타냄

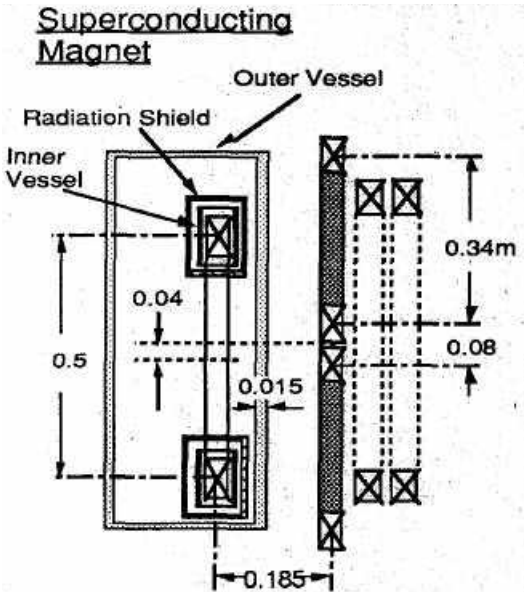


[그림 4-88] 초전도 자석 상세 구조

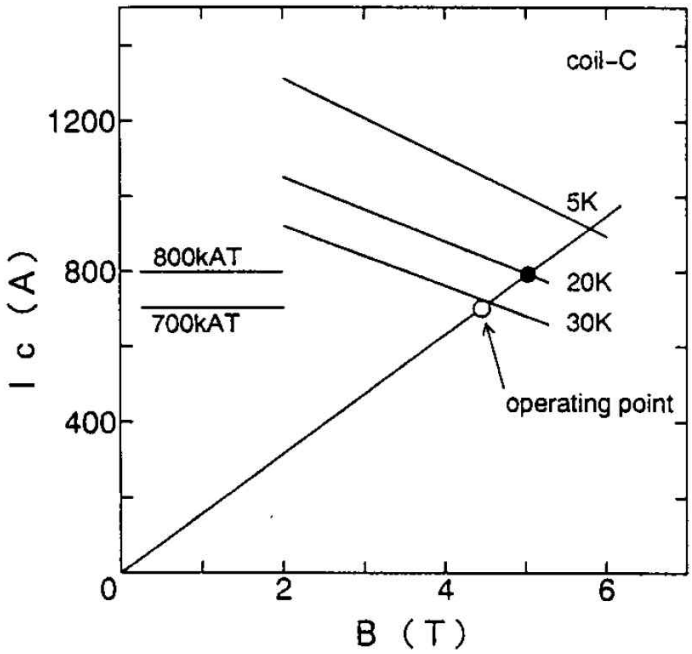
<표 4-15> 초전도 자석의 사양

항 목	사 양
Dimensions of SCM	5.32 m (L) * 1.17 m (H)
Weight of SCM	Less than 1400 kg
M.M.F	700 kA
Number of coils	4
Pole Pitch	1.350 m
Max. empirical Magnetic Field	4.23 T
Lev. Force per magnet	115.5 kN

※ H. Tsuchishima, T. Mizutani, T.Okai, M.Nakauchi, "Characteristics of superconducting magnets and cryogenic system on yamanashi test line," Maglev 98, pp.237-243

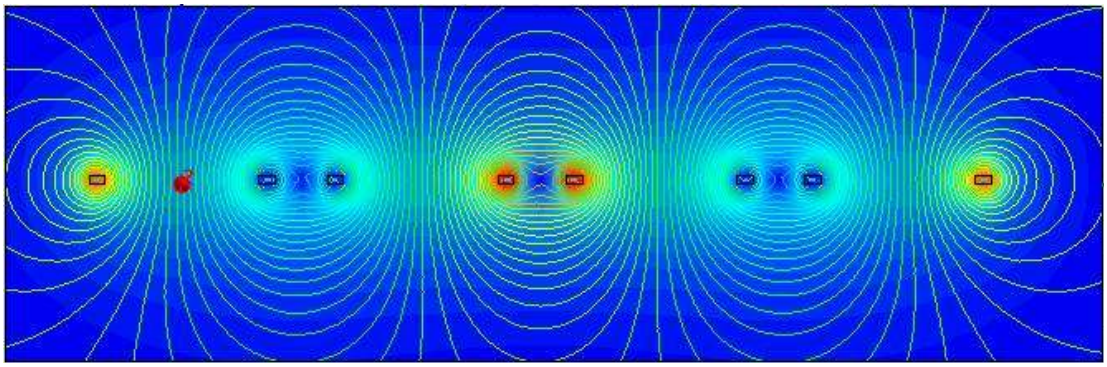


[그림 4-89] 초전도 자기부상열차 (MLX01) 의 부상 추진 시스템 단면도



[그림 4-90] 부하선과 온도에 따른 초전도코일 임계전류의 변화

○ [그림 4-89] 는 초전도 자기부상열차 (MLX01)의 부상 추진 시스템 단면도를 나타내며, [그림 4-90] 은 초전도 자석의 임계전류와 자속밀도, 주변온도와의 관계를 보여줌



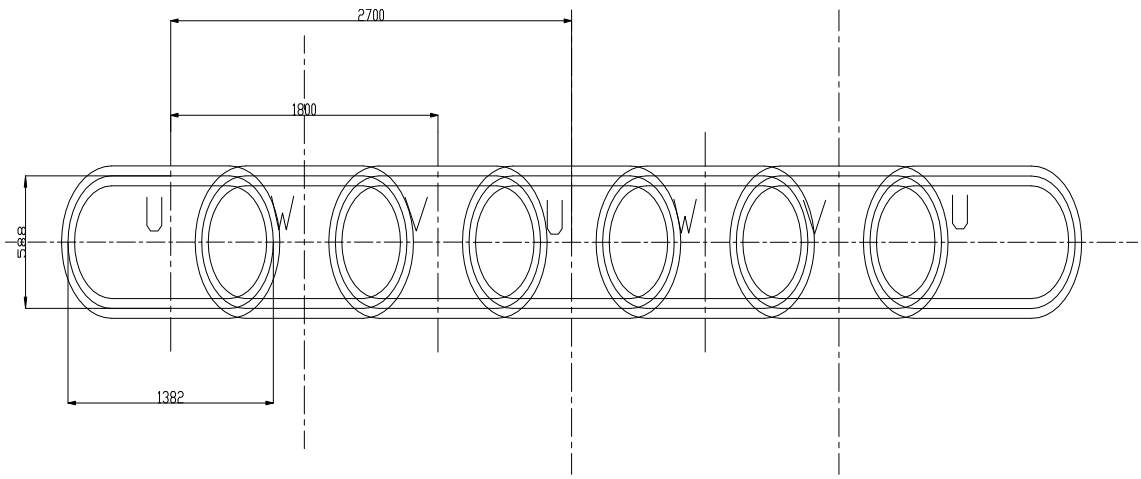
[그림 4-91] 초전도 자석에 의한 자속 흐름도

○ 그림은 초전도 자석에 인가되는 전류의 크기에 따른 자속밀도의 크기를 나타내며 그림에서 보여지는 바와 같이, 초전도 자석의 표면에서 약 4.3 T 의 자속밀도가 발생함을 알 수 있음

○ 이는 실험에 의한 결과와 거의 일치하며 또한, 유한요소해석에 의한 초전도 코일에 약 700 kA 가 인가될 경우 코일로부터 185 mm (부상코일의 취부 위치) 떨어진 지점에서 약 2.97 T 의 자속밀도가 발생하는 것을 알 수 있음

○ [그림 4-91] 는 초전도 자석에 의한 자속밀도의 분포 및 자속 흐름도를 나타냄

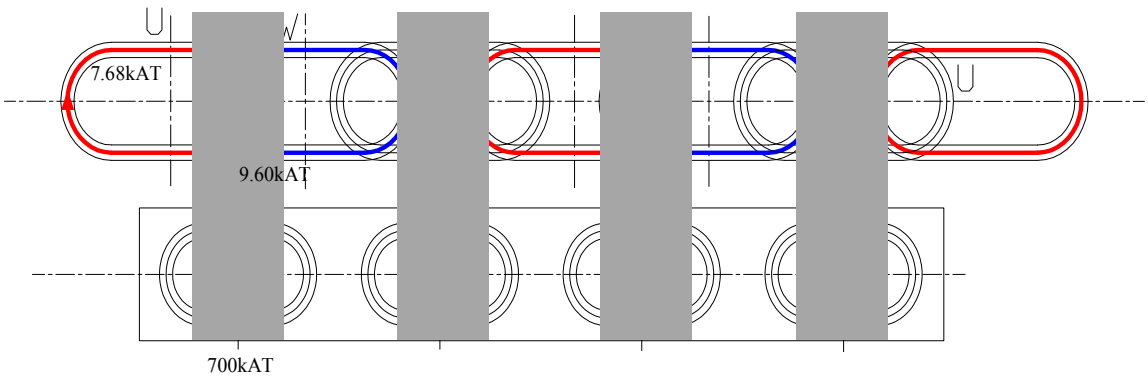
3) 지상기술



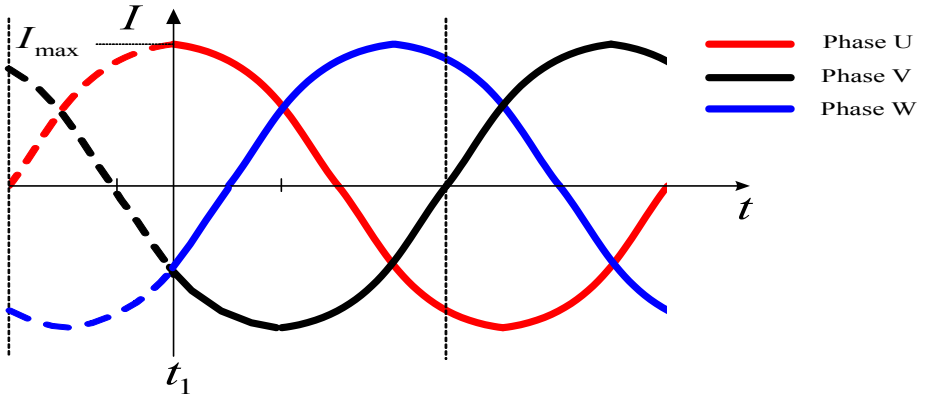
[그림 4-92] 3상 추진 코일 배치

<표 4-16> 추진 코일의 사양

	S.C.Coils	Arm.Coils Inner/Outer
Pitch (m)	1.35	1.80
Size		
Length(m)	0.963	1.294
Width(m	0.50	0.60
Cross section		
Thick(m)	0.088	
Width(m)	0.050	
Spacing to		
S.C. (m)		0.23/0.28
MMF (kA)	700.0	7.68/9.60



[그림 4-93] 초전도 자석과 3상 추진 코일의 힘 발생 원리



[그림 4-94] 3상 전류 인가 파형 및 최대 추력 타이밍

○ 힘의 발생은 로렌쯔 힘 계산식에 의해 간단히 산출된다. 그림에서 추진코일에 해당하는 위치에서의 자속밀도가 평균 약 2.5 T 라고 가정하면,

$$\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B} \qquad (4.2)$$

F_x = 2.5 T × (7.68 kAT + 9.6 kAT) × 4 Poles × 0.5 m

= 86 kN

4) 극피치와 운전 주파수

○ 선형 동기전동기의 극피치 ($\tau = \lambda/2$) 와 속도 (v)는 식(4.3)의 관계를 갖음

$$v \text{ [m/s]} = 2 \times \tau \text{ [m]} \times f \text{ [Hz]} \qquad (4.3)$$

○ 따라서, LSM 의 운전 주파수는 LSM 의 극피치를 얼마로 결정하는가에 의해 결정되며 피치를 1350 mm (일본 MLX 와 동일) 라고 가정하면, 최대속도 550 km/h 로 주행시 운전주파수는 약 56.5 Hz 임

제4절 궤도구조물 및 분기기 시스템

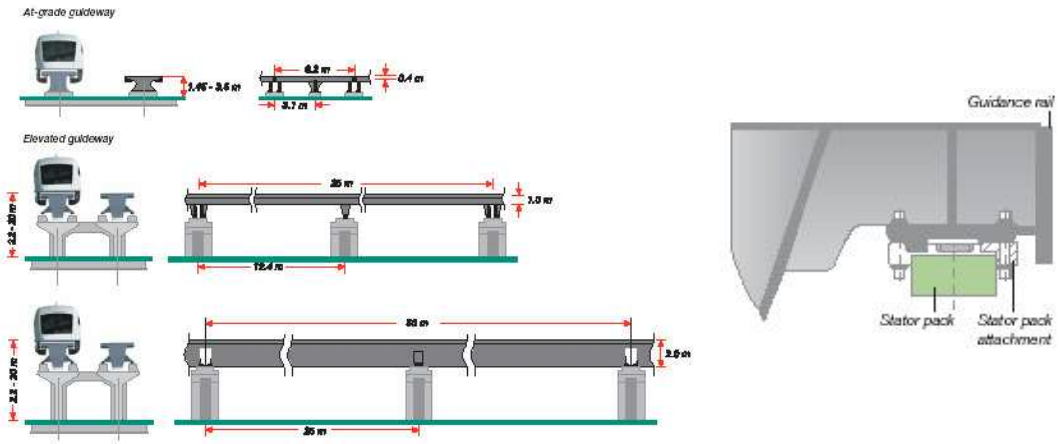
1. 핵심기술

○ Transrapid는 다른 궤도교통시스템과 비교하여 상대적으로 조용하며, 비용 대비 효율이 높고 에너지 소모가 적으며, 궤도의 설치시 점유하는 공간이 적고 기존 지형에 적용하는 데에 유연성이 있음

○ Transrapid 시스템의 중요한 특징은 다음과 같음

- 비접촉식 부상 및 무마모식 안내와 마찰과 무관한 추진기술
- 궤도에 부착된 선형동기전동기로 인한 적은 에너지 소모와 낮은 운영비용
- 모든 주행속도구간에서의 시스템의 안전성과 높은 승차감
- 시스템의 가속력과 제동력이 높음
- 작은 곡률반경과 큰 구배등판능력으로 인한 궤도 선형 결정의 유연성
- 지상궤도나 고가궤도 설치시 궤도의 최소 토지 점유율

○ 현재까지 설치되어진 Transrapid용 궤도에서는 길이가 6~62m에 이르는 단선과 복선형태의 궤도보가 강재와 콘크리트, 혼합형으로 건설되어졌고 지형적 상황에 따라 지상궤도나 고가궤도로 건설되었음



[그림 4-95] 궤도의 종류와 궤도 측면부의 구조

○ 복선궤도의 중심간 거리는 300km/hr로 주행할때는 4.4m, 500km/hr로 주행할때는 5.1m를 필요로 하며, 궤도의 궤간의 2.8m일 경우 주행통과한계는 300km/hr로 주행할 때는 10.1m이고 500km/hr로 주행할 때는 11.4m가 필요로 됨

○ 고가궤도는 새로이 건설되는 Transrapid 선로에 의하여 기존의 교통시스템들이 영향을 받지 않고 특히 환경적이나 농업에 의하여 분리되지 않아야 하는 지역에 유리함

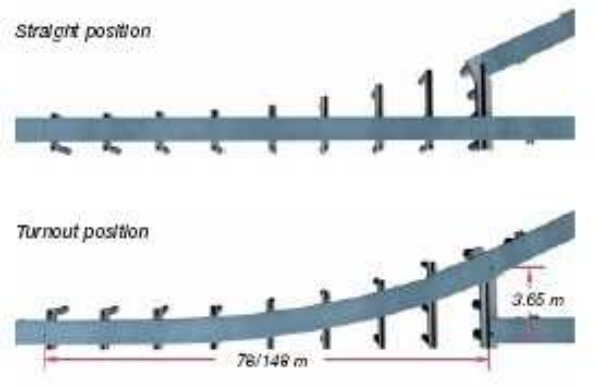
○ 최고 20m로 제작되는 다양한 높이의 교각들과 최대 31m인 표준 보길이가 궤도의 건설시 지형에 맞출 수 있는 유연성을 제공해주며 지상궤도가 설치되는 주된 지역은 절개지와 터널, 다리나 역 등 주된 토목구조물이 존재하는 곳뿐만 아니라 기존의 교통시스템과 공유되는 장소 등임

○ 표준 보의 길이는 6~12m이고 설치높이는 1.45~3.5m 사이로 [그림 4-95]의 가장 위의 그림처럼 특별한 형상을 지니고 있음

○ Transrapid 자기부상열차 시스템의 분기장치는 강재의 굽힘형 분기기를 사용하여 선로를 절체동작을 수행하고 있으며 분기장치는 78m와 148m 길이의 연속적인 강재박스보로 구성되어있고 전자기적인 설정장치를 통하여 탄성에 의하여 굽혀지며 정해진 위치에 도달 시 안전장치에 의하여 고정되어지도록 되어 있고 모든 기능은 전기적으로 제어되고 안전장치를 가지고 있음

○ 굽힘형 분기장치는 지상궤도나 고가궤도에 관계없이 2방향이나 3방향으로 절체 될 수 있도록 설계되어졌고 직선구간에 설정되어 있을 경우에는 차량은 주행속도에 제한없이 분기구간을 통과할 수 있으나 곡선구간에 설정되어 있을 경우에는 주행속도가 고속주행형 분기장치에서는 200km/hr, 저속주행행 분기장치에서는 100km/hr 이하로 통과되도록 주행속도가 제한되어짐

○ 정차나 유지보수공간에서는 선로가 이동테이블을 통하여 이동되어져 다양한 선로에 접근하기 위하여 직선궤도가 횡방향으로 이동되도록 조작되어짐



[그림 4-96] 직선과 곡선구간에 대한 분기장치의 설정 형상

○ 초전도 자기부상열차는 차상의 초전도자석과 궤도의 지상코일로 구성된 선형동기전동기에 의하여 구동되어지고 초전도자석과 지상에 있는 부상용 코일사이에 작용하는 전자기력에 의하여 지상으로부터 부상되어짐

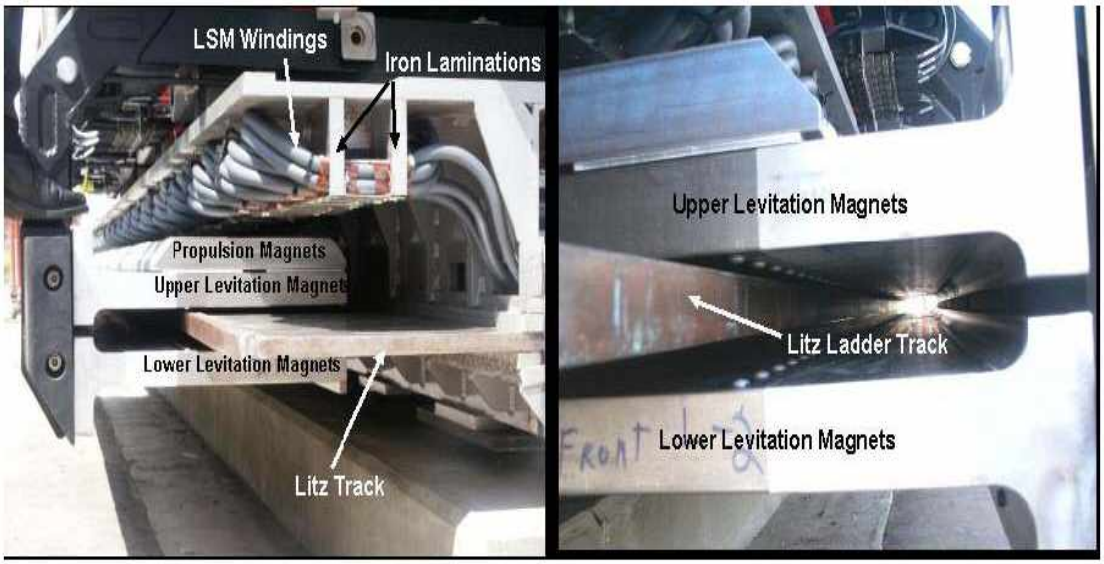
○ 초전도 자기부상방식에서의 궤도는 일반적인 철도에서의 선로에 해당하는 구조물과 전동기에 해당하는 지상코일들로 구성되어 있음

○ 영구자석 반발식 시스템의 장점으로는 주행 중 소음이 적고 급구배 등판능력과 적은 곡률반경의 주행이 가능하며 어떤 기후조건하에서도 운행이 가능하고 유지보수비가 저렴하며 급가속이 뛰어나고 고속형으로 확장이 용이하다는데 있음

○ 부상시스템은 차량에 취부된 영구자석의 이중 Halbach 배열을 사용하고 있으며 두개의 Halbach 배열 중 강한 쪽이 궤도의 사이에 위치토록 되어 있음

○ 안내력은 궤도에 있는 적층된 선형동기전동기의 권선과 상호작용하는 차량에 있는 추진자석에 의하여 수동적으로 제공되어지며 궤도에는 추진과 부상, 안내 및 제동을 위하여 선형동기전동기의 권선과 리츠트랙이 부착되어 있음

○ 궤도와 이중 Halbach 배열을 포함하는 차량의 단면을 [그림 4-97]에 나타내었으며 추진에는 선형동기전동기가 선형유도전동기에 비하여 반발식 부상시스템에 적합하고 대용량의 수송시스템에 대하여 더욱 경제적이므로 선형동기전동기를 궤도에 취부하여 추진에 사용하는 방법을 채택하였음



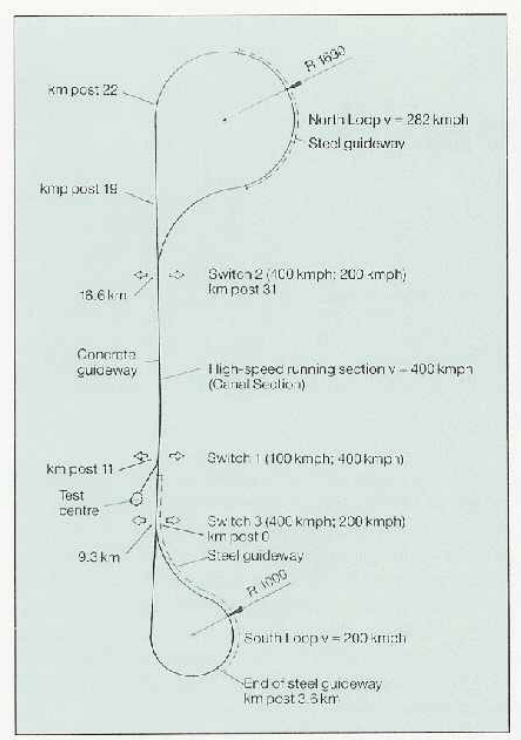
[그림 4-97] 영구자석 반발식 시스템의 대차 및 궤도형상

2. 사례분석

2.1 상전도 흡인식 궤도구조물 및 분기기

1) 엠슬란트 시험선로

○ 엠슬란트 시험선로는 [그림 4-98]와 같이 적어도 1km 구간 이상에서 400km/hr 이상의 주행속도로 주행이 가능토록 12km의 직선구간 설치되도록 설계되어졌고 연속적인 주행을 위하여 양 끝단에 루프구간을 설치하였음



[그림 4-98] 엠슬란트 Transrapid 시스템의 시험선로 평면도

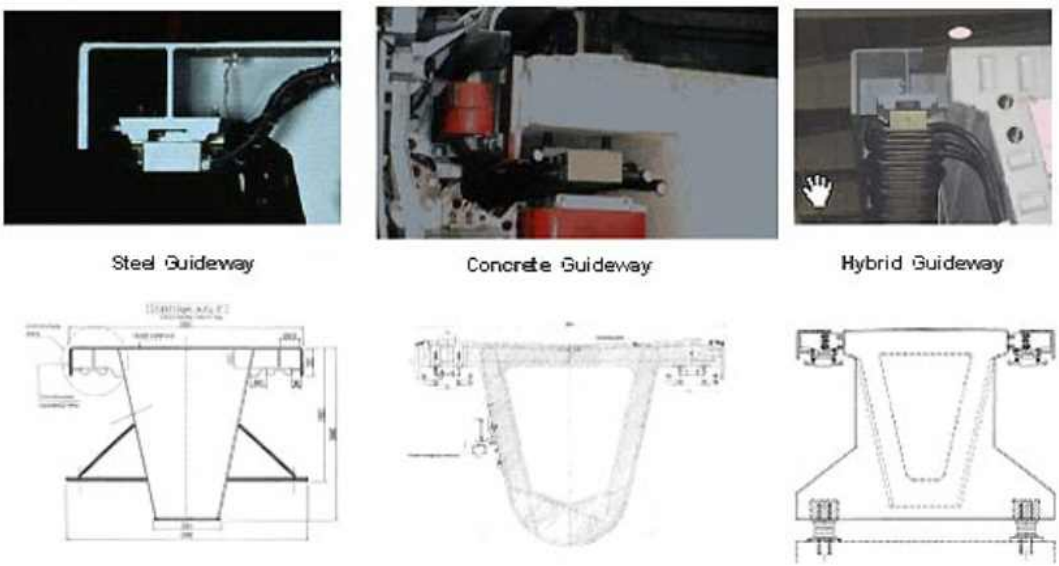
○ 엠슬란트에 건설된 시험선로는 건설비 등의 문제로 단선으로 설치되었으며 다른 교통시스템이나 건축물들과의 간섭을 피하기 위하여 평균 5m 이상의 여유를 갖는 고가궤도로 설치하여 1km당 640m2의 토지를 점유율하도록 점용면적을 감소시켰고 고가궤도의 하부에 존재하던 농작물 경작지는 궤도 건설 이후에도 농작물의 경작이 가능토록 배려되었음

○ 엠슬란트 시험선로의 전체길이는 31.5km로서 양 끝단에 2개의 루프구간이 존재하며 각각의 루프구간 진출입부에는 고속주행용 분기장치를 구비하였고, 시험센터 진입부에는 시험센터 진출입을 위한 저속주행용 분기기가 설치되어있고 모든 분기장치는 유연성이 있는 강재 구조물로 제작되어졌음

○ 각 루프구간에서의 곡률반경은 북쪽루프가 1,690m이고 남쪽루프가 1,000m로 건설되었으며 300km/hr 이상의 범위에서 연속적인 주행시험을 가능토록 주행속도 profile 산출하였고 적어도 1km 구간 이상에서 400km/hr로 주행하기 위하여 12km의 직선구간을 설치하였음

○ 엠슬란트 시험선로에는 시험운행을 통하여 상용운행에 대한 상황을 검증하기 위하여 아래와 같이 서로 다른 재질과 형태의 궤도를 건설하였음

- Prestressed Concrete Girder와 단경간의 절반길이 및 2경간의 절반길이를 갖는 Steel Girder 적용



[그림 4-99] 엠슬란트 시험선로에 적용된 Girder Beam

- 보의 길이는 표준경간이 25m를 사용하였고, 지형에 따라 경간이 31m와 37m가 되는 보를 사용
- A자 형태의 교각을 적용
- 분기장치는 기계적인 방식과 유압방식을 적용
- 궤도는 평면을 이루고 구배는 35‰(1:286)을 적용
- 루프구간 등에서 서로 다른 곡률반경의 적용
- 5m의 여유공간을 갖는 고가궤도의 표준구조물뿐 아니라 지형 및 상황에 따라 여유공간이 작은 지상궤도와 여유공간이 13.5m 이르는 교각 적용

○ 엠슬란트 시험선로의 궤도는 생소한 하중조건의 가정과 제작과 조립 중에 일반적이지 않은 높은 정도의 정밀도를 요구하고 있으며 400km/hr로 주행하는 직선구간에서의 선로에 작용하는 동적하중은 정적하중의 1.81배로 가정되었으며 캔트 12°가 필요한 횡방향작용력은 수직으로부터 58° 기울어진 작용하중으로부터 기인된 수치이므로 다른 궤도교통시스템에서 사용되어지는 캔트에 비하여 상당히 높은 값을 지니고 있음

○ 제동력은 직선구간에서는 차량하중의 51%이고 곡선구간에서는 56%로 가정되었으며 25m 보에서의 탄성처짐은 6mm를 넘지 않게 하였고 지상고정자형 전동기와 횡방향 레일 등 기능적인 요소들의 위치편차는 ±2mm를 넘지 않도록 하였음

○ 아주 작은 위치편차의 범위안에서 지지부들이 온도와 소성변형에 의한 변형들을 감당토록 설계되어졌음

○ 엠슬란트 시험선로를 건설함으로써 얻어진 상용화시 열차의 주행속도 400km/hr와 500km/hr에 대한 궤도의 설계자료는 <표 4-17>과 같음

<표 4-17> 열차의 주행속도 400km/hr와 500km/hr에 대한 궤도의 설계자료

항 목	400km/hr	500km/hr
최대 캔트	12°	12°
최소 곡률반경	4,180m	6,530m
최소 수직구배곡선	24,700m	38,580m
수직방향 최소 처짐곡선	12,350m	19,290m
최대 구배	10%	10%

○ 1차 건설과 2차 건설 시에 적용된 강재거더는 서로 다른 형태를 지니고 있으며 1차 건설시에는 2구간 연속보 형태로 제작, 설치되어 인장과 강성사이에 상대적인 균형을 유지토록 되어있고 강재거더의 하부구조가 베어링설치를 제외하고는 콘크리트 거더의 하부구조와 기본적으로는 동일하도록 설계되어 시험선로의 북쪽루프에 적용되어졌음

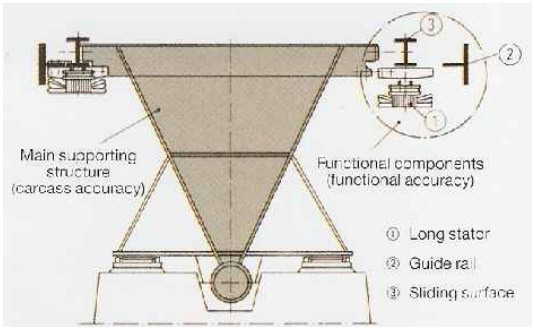
○ 1차 건설시의 강재거더는 거더와 궤도요소가 분리된 형태로서 거더는 일반적인 제작정도를 가질 수 있으며 궤도요소들은 자기부상시스템이 요구하는 정밀도를 가질 수 있다는 장점이 있음

○ 강재거더는 안정된 형상인 삼각형 모양의 단면을 적용하여 별도의 횡격막이 필요치 않다는 제작상의 장점이 있으며 1차로 건설된 북쪽루프의 강재거더는 총 건설길이가 5,020m로 경간 24.664m가 198개, 30.856m가 12개 적용되었음

○ 거더의 수량은 24.466m의 2경간 거더가 87개 설치되었고 24.664m와 30.856m의 2경간 거더가 8개 설치되었으며 30.856m의 2경간 거더가 4개 설

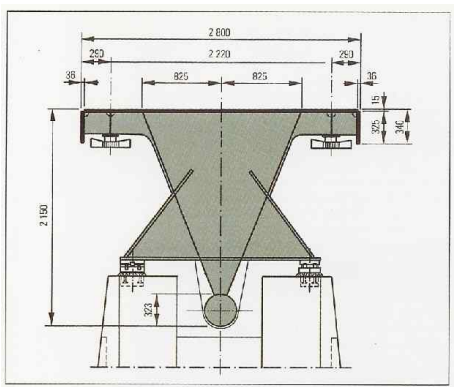
치되었으며 최소곡률반경은 1,690m이고 캔트는 12° 적용하였고 곡선구간 진입 시에는 완화곡선을 적용하여 곡률반경과 캔트의 값이 진행길이에 따라 변화되도록 하였음

○ 2차 건설시의 강재거더는 남쪽루프구간에 적용되어 북쪽루프구간의 강재거더에 비하여 기능의 개선과 제작비 절감을 목표로 개발되어졌으며 부상과 안내시스템의 개선이 지상고정자의 취부에 대한 단순한 방법을 제공하여 횡방향 안내레일과 비상 미끄럼면의 취부에 나사를 사용하지 않고 공장에서 용접을 수행함으로써 조립의 복잡함을 경감시킬 수 있도록 되었음



[그림 4-100] 1차 건설시에 적용된 강재거더의 단면

○ 남쪽루프에는 5,314m의 강재거더가 제작, 설치되었으며 217개의 단경간 보 중 211개는 24.238m의 길이를 지니고 있고 6개는 각각 12m, 16m, 18m의 길이를 지니고 있다. 궤도의 형상은 초고속으로 주행할 수 있는 선형과 구배를 구비하고 있으며 66개의 거더는 직선으로 제작되었고 51개의 거더는 곡률반경이 1,700m로 53개의 거더는 곡률반경이 1,000m로 제작되어졌다. 그 이외의 거더는 완화곡선구간에 적용되었으며 최대캔트는 12°를 적용하였음



[그림 4-101] 2차 건설시에 적용된 강재거더의 단면

2) 엠슬란트 시험선로의 분기기

○ 엠슬란트 시험선로에는 차량이 원하는 목적지로 가기 위해서 필요한 분기장치가 설치되어있으며, 초고속 상전도 흡인식 자기부상열차의 구조상 가장 적합한 형태인 굽힘식 분기장치로 설치하였음

○ 엠슬란트 시험선로에는 3개의 분기장치가 설치되어 있으며 분기장치에는 크기가 작은 강재 상자형 거더를 적용하였고 여러 개의 기초에 의하여 지지되는 연속된 용접구조물의 형식을 갖고 있다. 첫 번째 분기장치는 길이가 67.1m이고 생성곡률반경이 500m로 본선에서 시험동으로 진입시 사용되어지며 간격이 13m인 6개의 콘크리트 교각으로 지지되어지고 있음

○ 궤도에 설치된 부상과 안내, 추진에 관련된 레일요소들은 1m 단위로 제작되어 침목으로 고정되므로 굽힘시에는 어떤한 역할도 감당치 않도록 고안되어졌으며 궤도요소의 한 쪽은 침목에 완전 고정시키고 다른 쪽은 축방향 베어링을 적용하여 굽힘시에 내외측의 길이가 변경되도록 하여 굽힘시에 호의 생성에 방해가 되지 않도록 하였음

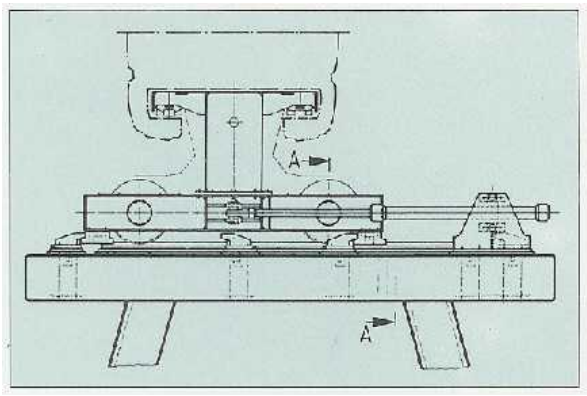
○ 구동장치로는 각각의 지지점에 부착된 전기기계적인 구동장치를 사용하여 굽힘이 발생되도록 적용하였음



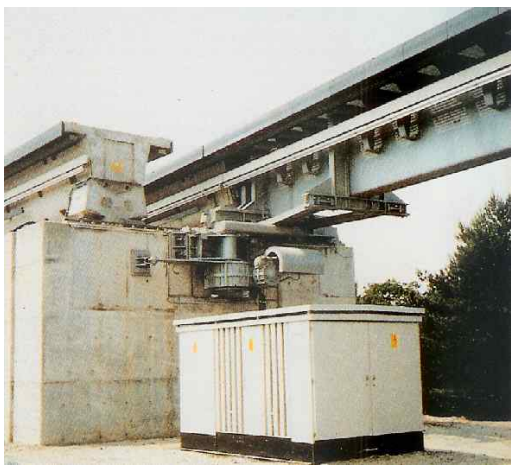
[그림 4-102] 남쪽루프에 설치된 분기구간을 통과하는 Transrapid 06

○ 두 번째 분기장치는 북쪽루프의 진출입구간에 설치되었으며 곡률반경은 1,815m이고 200km/hr로 주행이 가능토록 하였고 강재 상자형 거더는 횡경막과 좌굴방지판등이 용접된 구조로 길이는 132.1m이고 18.5m 간격의 8개의 콘크리트 교각 위에 설치되어졌음

○ 침목이 상부궤도요소들을 취부하기 위하여 사용되어졌고 구동장치로는 전기기계적인 구동장치를 적용하였고 끝단부에서는 기계적으로 고정되는 구조를 채택하였음



[그림 4-103] 분기장치 구동부에서의 거더 단면



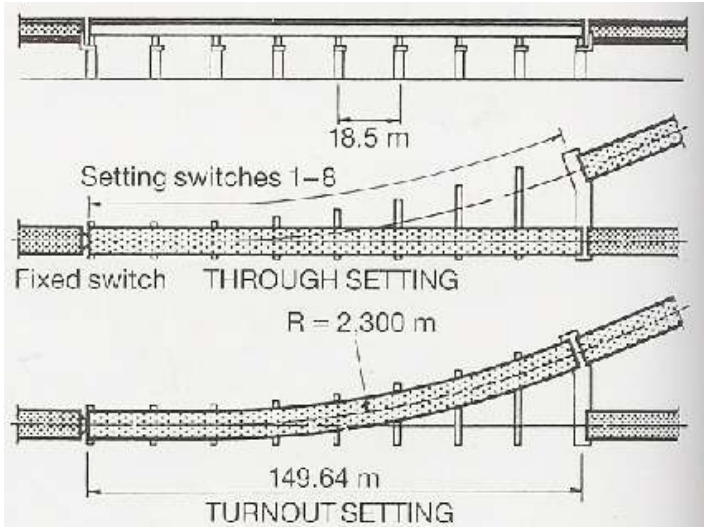
[그림 4-104] 북쪽루프 진출입구간에 설치된 전기기계적인 구동장치

○ 세 번째 분기장치는 남쪽루프 진출입구입에 설치되었으며 상자형 거더의 높이는 1.697m이고 폭은 0.976m로 8개의 연속적인 거더가 용접된 구조물로 전체길이가 149.64m임

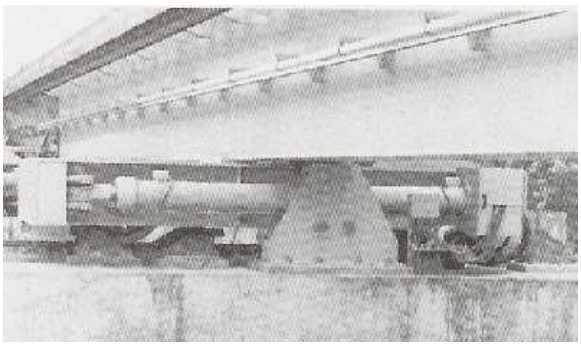
○ 직선으로 설정시에는 400km/hr의 속도로 주행이 가능하고 곡선으로 설정된 경우에는 200km/hr로 주행이 가능하며 허용가능 횡방향가속도는 1.5m/sec2이며 허용저크량은 5m/sec임

○ 자중으로부터의 수직과 수평하중, 차량통과하중, 풍력 등을 고려하여 교각의

간격은 18.5m로 하였으며 구동장치로는 유압장치가 사용되었음



[그림 4-105] 남쪽루프에 적용된 분기장치 개념도



[그림 4-106] 남쪽루프에 적용된 유압구동장치

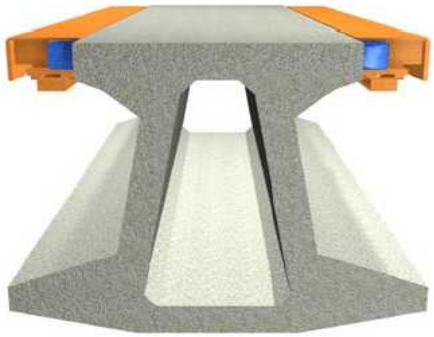
3) 상하이 – 푸동공항간 상용선

○ 상하이 시내에서 푸동공항간 30km 구간이 최초로 상용화 된 선로로 단선으로 된 유지보수설비 진입구간 3km를 제외하고는 복선으로 제작, 설치되어졌음

○ 설정노선의 주변 지형이 두 개의 강에 둘러쌓인 충적토양으로 되어있어 타당성연구 결과 내구성 측면과 경제성 측면에서 하이브리드 궤도의 적용이 유리하다고 결론지어졌으며 적용된 하이브리드 거더는 2개의 형태로 구성되어졌음

○ 형태 1은 중공상자형 거더로서 베를린－함부르크 선로의 타당성 조사 결과 산출된 제원으로서 온도변화에 대한 거더의 단면변화 고려하여 기존 31m 거더를 25m로 축소시켜 놓은 형태를 적용하였음

○ 하이브리드 거더 형태 2는 중공상자형이 아닌 완전히 채워진 형태로 지상궤도의 윤곽의 투명성을 최대한 강조하기 위하여 높이가 1.2m로 제한되어 적용되었음



[그림 4-107] 상하이-푸동공항 노선에 적용된 하이브리드 거더 형태 1

4) 상하이 － 푸동공항간 상용선의 분기기

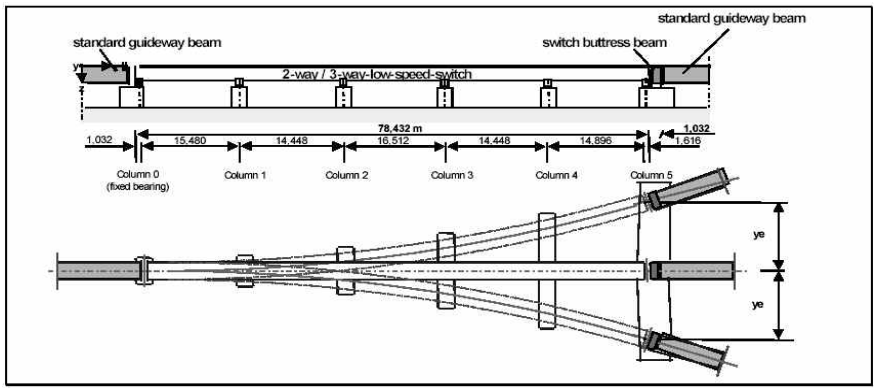
○ 상하이-푸동공항간 Transrapid 시스템에는 2방향 분기장치와 3방향 분기장치가 이론적인 검증과 인증절차를 거쳐 제작을 수행함으로써 개발되고 적용되어졌음

○ 상하이－푸동공항간 Transrapid 시스템에 적용된 분기장치는 엠슬란트 시험선로에 설치된 분기장치에 기초를 둔 것으로 경제적인 효율성과 동작의 유용성을 강화시킨 시스템으로서 처음으로 직선선형에 대하여 우측방향과 좌측방향에 대한 분기가 가능한 3방향 동작형 분기장치가 도입되어 곡선선형으로 설정시에는 100km/hr로 저속주행토록 하였고, 직선으로 설정되었시에는 500km/hr의 고속주행이 가능토록 하였음

○ 3방향 저속형 분기장치의 설치길이는 약 78m이며 굽힘을 받는 보의 개념도와 평면을 [그림 4-108]와 [그림 4-109]에 보이고 있으며 생성되는 최소 곡률반경은 658m이고 6개의 교각에 의하여 지지되어 있음

○ 상하이에는 굽힘식 분기장치가 8개소 설치되어 있으며 설치위치를 [그림

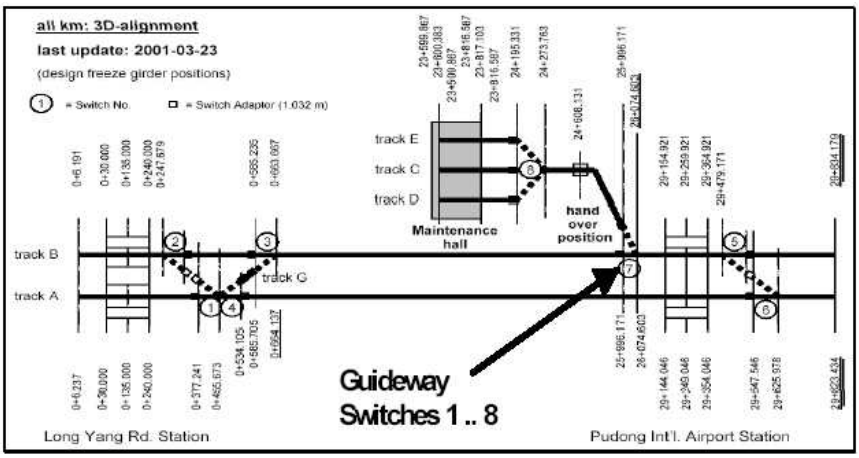
4-110]에 나타내며 분기장치 1~7은 2방향 동작형이며, 분기장치 8은 3방향 동작형임



[그림 4-108] 상하이-푸동공항 노선에 적용된 3방향 동작 분기장치 개념도



[그림 4-109] 상하이-푸동공항 노선에 적용된 3방향 동작 분기장치



[그림 4-110] 상하이-푸동공항 노선에 적용된 분기장치의 위치

○ 상하이에 적용된 분기장치들은 구조물의 안전성과 피로강도에 대한 입증, 작동성에 대한 검증, 내구성과 강인성, 제어의 안전성, 환경에 대한 영향 등이 평가되어졌으며 상하이에 적용된 자기부상열차는 주행중에 차량 자체의 센서들을 사용하여 지상고정자와 궤도에 대하여 위치와 변형 등을 측정하는 궤도의 모니터링시스템을 구비하고 있어 실시간으로 궤도에 발생한 문제점들을 분석하고 대처할 수 있는 시스템을 갖추고 있음



[그림 4-111] 상하이-푸동공항에 적용된 분기장치의 록킹과 구동장치

5) 장단점

○ 상전도 흡인식 궤도구조물 및 분기기의 장점은 다음과 같음
- 곡률반경이 작고 구배능판능력 등이 좋으므로 선형결정 유리
- 고가궤도 형태로 건설비가 저렴하며 토지점유율이 낮고 환경적인 영향이 적음
- 궤도의 구조가 상대적으로 간단
- 궤도의 유지보수비용 저렴
- 부상시 주행바퀴용 레일 불필요
- 상하이에 430km/hr급으로 상용화를 하여 안전성 입증

○ 상전도 흡인식 궤도구조물 및 분기기의 단점은 다음과 같다.
- 궤도 구성품 제작시 정밀도가 높음
- 부상공극이 작으므로 궤도구성품 제작과 설치시 정밀도가 상대적으로 높음

- 차량이 무거우므로 궤도의 강성 증가
- 분기장치 구조 복잡

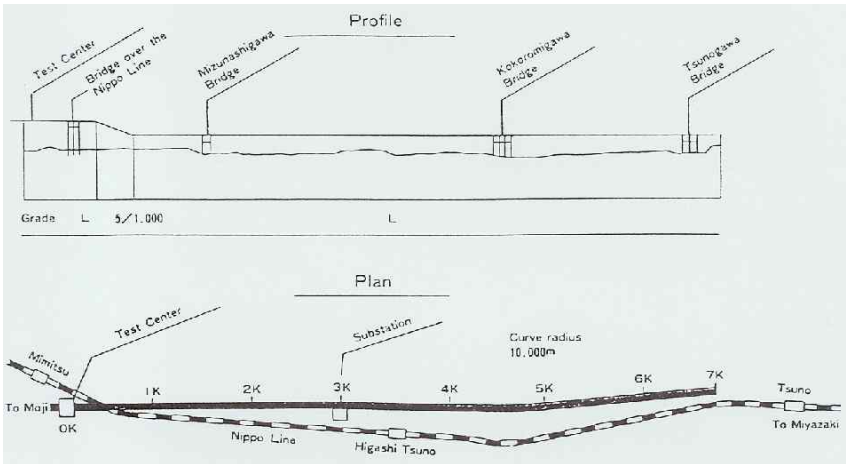
2.2 초전도 반발식 궤도구조물 및 분기기

1) 미야자키 시험선로

○ 미야자키 시험선은 일본 규슈섬의 미야자키현에 건설된 것으로 1977년에 1.3km의 구간이 건설되었고 3단계에 걸쳐 선로가 증설되었음

○ 1979년에는 전체길이가 7km로 확장되었으며 시험센터로부터 1km 정도의 일부 구간만 5/1,000의 구배를 가진 언덕으로 되어 있고 거의 모든 구간이 평평하도록 되어있으며 평면상에서의 최소곡률반경은 10,000m로 되어있다. 지상의 추진코일에 전류를 공급하는 것은 주파수변환장치에 의하여 수행되어짐

○ 승객을 수송할 수 있는 실제적인 자기부상열차 모델인 3량 1편성의 MLU-001이 1980년도에 도입되었으며 차량의 내부공간을 늘이기 위하여 궤도의 단면이 'U'자형으로 변환되어졌고 역 'T'자형 궤도의 중앙빔에 설치된 추진코일이 해체되었고 새로이 측벽방식이 도입되었음



[그림 4-112] 미야자키 시험선로의 종단선형과 평면선형

○ 1987년에 MLU-002가 개발되어 5월부터 주행시험을 시작하였으며 부상용 코일이 'U'자형 궤도의 하부에 설치되었고 차량은 지상코일과 차량의 초전

도자석 사이의 반발력에 의하여 부상되어졌으며 후에 'Null Flux' 부상시스템이 발명되어 부상력뿐만 아니라 횡방향 안내력까지 제공하는 '8'자형의 부상용 코일이 궤도의 측벽에 설치되어졌음

2) 미야자키 시험선로의 분기기

○ 미야자키 시험선에 있는 분기장치는 몇 개의 제안된 대안에 의하여 논의의 대상이 되었지만 직선구간과 곡선의 지선구간을 번갈아 이동시키는 횡단형 방식을 사용하였으며 구동장치로는 유압장치를 적용하였음



[그림 4-113] 미야자키 시험선로에 설치된 분기장치

○ 미야자키에 있는 분기장치는 선로의 시작점에서 1.3km 떨어진 곳에 위치하고 있으며 1990년 3월에 완공되었고 횡단구간의 길이는 80m이며 6개의 거더로 구성되어있고 본선의 직선구간으로 설정된 6개의 거더들이 약간씩 각도를 주어 이동을 하면 곡선의 지선과 연결되도록 되어있음

3) 야마나시 시험선로

○ 야마나시 시험선로는 1990년에 건설의 착수가 결정되어져 1996년에 시험센터가 건설되었으며 1997년에 시험선 건설이 완료되어 4월부터 주행을 시작하였음

○ 1998년에 고속주행을 포함한 일반적인 주행성능시험이 시작되었으며 1999년 2월 3일에 5량 1편성의 주행을 시작하였고 4월 12일에 552km/hr로 주행을 성공하여 세계에서 가장 빠른 주행기록을 수립하였음

○ 11월 16일에는 교행시 상대속도가 1003km/hr로 주행하였고 2000년 3월 9일에는 정부기관으로부터 초전도 자기부상기술을 이용한 고속 대량수송교통시스템으로서 승인을 받았고 2002년 2월 20일에는 총 주행거리가 200,000km를 기록하였고 7월 25일에 새로운 형태의 차량이 도입되었음

○ 2003년 11월 7일에는 하루에 2,876km를 주행하였으며 12월 2일에 581km/hr의 주행속도를 기록하였으며 2004년 10월 28일에 총 누적주행거리가 400,000km를 넘어섰으며 11월 16일 교행시 상대속도가 1,026km/hr를 기록하였음



[그림 4-114] 야마나시 시험선로의 종단선형



[그림 4-115] 야마나시 시험선로의 궤도

4) 야마나시 시험선로의 분기기

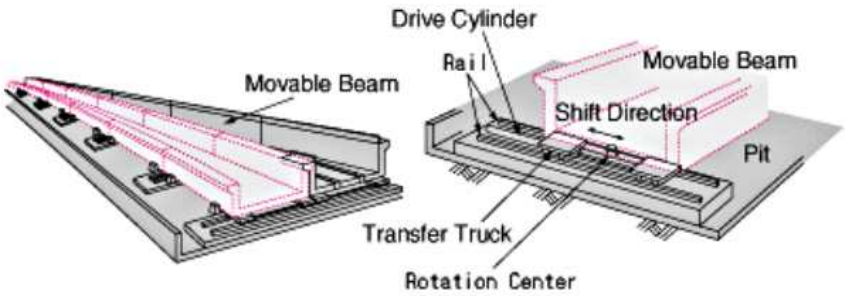
○ 야마나시 시험선로 역시 열차의 진로를 결정하는 분기장치가 필수적이므로 열차의 주행속도에 대하여 고속주행용, 저속주행용, 차고지용 등 3가지로 분류되는 초전도 자기부상열차의 분기장치가 야마니시 시험선에 모든형태에 대하여 시험을 목적으로 설치되어 있음



[그림 4-116] 야마나시 시험선로에 설치된 저속형 분기장치

○ 고속주행용 분기장치로는 횡단형 분기장치가 채택되어 직선구간에서 부상하여 고속으로 주행하고 곡선의 지선구간에서는 바퀴로 저속주행하는 곳에 적용되어 졌으며 고속주행용에서는 궤도가 횡방향으로 이동가능한 조각들로 나뉘어지고 분기경로를 따라 분기가 수행됨

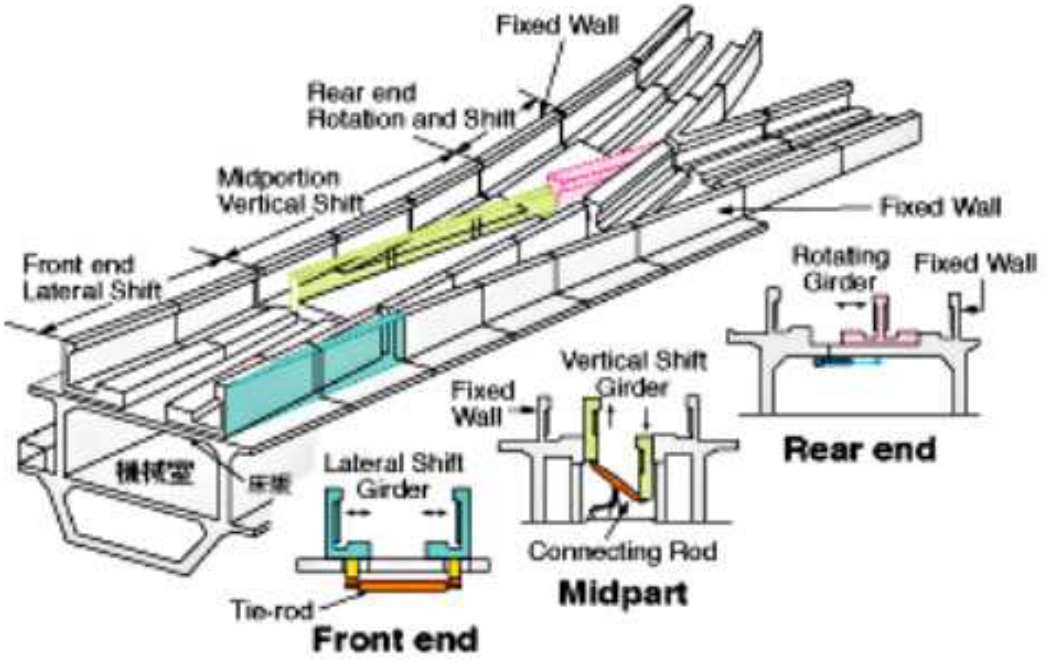
○ 야마나시시험선에는 전기와 유압을 사용하는 2개의 구동장치가 설치되어 시험되어지고 있음



[그림 4-117] MLX 시스템의 고속주행용 분기장치 개념도

○ 저속주행용으로는 측벽이동형이 개발되어 선로가 시작되고 끝나는 터미널 구간에 적용되었고 저속의 바퀴식 주행에 의하여 직선의 본선이나 곡선의 지선으로 진입할 수 있도록 되어있음

○ 이러한 형태에서는 분기경로가 거더 자체가 이동하는 것 대신에 측벽의 상하좌우로 이동하도록 되어있어 앞부분과 뒷부분은 측벽이 좌우로 이동하도록 되어 있고 중간부에서는 측벽이 상하로 이동하도록 되어있음



[그림 4-118] MLX 시스템의 저속주행용 분기장치 개념도

○ 야마나시 시험선에는 견인차에 의하여 차량이 지상에서 궤도를 따라 안내되는 형태의 차고지용도 설치가 되어 있음

■ 장단점

○ 초고속 반발식 궤도구조물 및 분기기의 장점은 다음과 같다.

- 궤도의 유지보수비용 저렴
- 궤도 설치시 조정이 상대적으로 용이
- 차량이 가벼우므로 궤도에서 상대적으로 작은 강성 요구
- 야마나시 시험선로에서 500km/hr 이상의 지속적 주행시험을 통한 안전성 입증

- 초전도자석의 계속적인 발달로 건설비가 점진적으로 감소되는 추세임

○ 초고속 반발식 궤도구조물 및 분기기의 단점은 다음과 같음

- 곡률반경 등이 크므로 선형결정에 불리
- 궤도의 구조가 상대적으로 복잡
- 분기장치 구조 복잡
- 궤도구성품 제작시 정밀도가 높음
- 터널과 교량구간이 많아 건설비 증가
- 부상시 주행바퀴용 레일 필요

2.3 영구자석 반발식 궤도구조물 및 분기기

○ 2002년도 11월에 General Automics사의 영구자석 반발식 시스템에 대하여 120m 길이의 선로를 건설키로 결정하여 단위길이가 15m인 8개의 부분궤도에 의하여 전체궤도가 조립되어졌음

○ 안내장치를 검증하기 위하여 궤도에 곡률반경이 50m인 곡선구간이 설치되었고 선로는 건설비용을 절감하기 위하여 지상궤도 형태로서 콘크리트 기초와 강재 궤도로 구성되어 있음

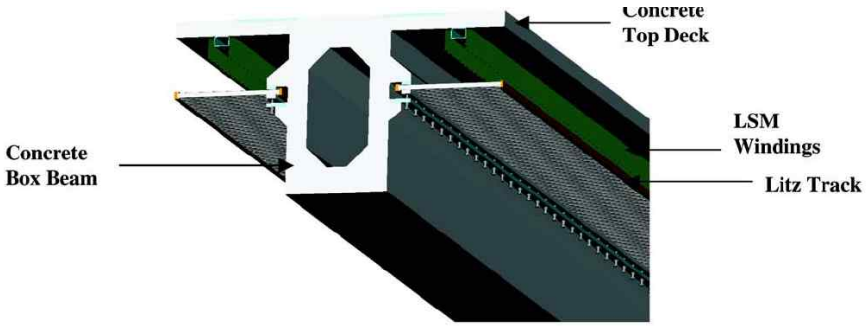
○ [그림 4-119]는 120m 설치된 궤도를 나타냄



[그림 4-119] 120m 설치된 궤도의 형상

○ 영구자석 반발식 시스템의 궤도의 경우 선형동기전동기의 권선과 리츠트랙이 공장에서 강재거더에 부착되는 하이브리드 형태로서 중량이 가볍고 비용이 적게 소요되며, 제작공차를 줄일 수 있는 장점이 있음

○ 상용화시에는 콘크리트 기초가 교각에 의하여 지지되는 거더의 형태로 대체될 것이며 궤도가 콘크리트 거더로 제작시에는 선형동기전동기의 권선은 상부 콘크리트 데크의 상부에 설치되고 리츠 트랙은 거더의 측벽에 부착되어지며 강재판이 상부 콘크리트 데크의 상면에 설치되며 이는 정지시 차량의 바퀴가 구름운동을 할 수 있도록 함



[그림 4-120] 상용화시에 적용될 궤도의 형상

■ 장단점

○ 영구자석 반발식 궤도구조물 및 분기기의 장점은 다음과 같다.
- 곡률반경이 작고 구배능판능력이 좋으므로 선형결정에 유리
- 고가궤도 형태로 건설비가 저렴하며 토지점유율이 낮고 환경적인 영향이 적음
- 차량이 가벼우므로 궤도에서 상대적으로 작은 강성 요구
- 궤도의 유지보수비용 저렴

○ 영구자석 반발식 궤도구조물 및 분기기의 단점은 다음과 같다.
- 궤도의 구조가 상대적으로 복잡
- 부상공극은 25mm 정도이나 차량과 궤도의 특성상 궤도구성품 제작과 설치시 정밀도가 높음
- 부상시 주행바퀴용 레일 필요
- 현재는 중저속형으로 개발중이므로 초고속형에 적용시 안전성 입증 필요
- 초고속형에 적합한 분기장치 적용시 구조가 복잡해질 가능성이 높음

2.4 사례별 궤도구조물 및 분기기 장단점 비교

<표 4-18> 상전도 흡인식 궤도시스템의 장단점

장 점	단 점
• 곡률반경이 작고 구배능판능력 등이 좋으므로 선형결정 유리 • 고가궤도 형태로 건설비가 저렴하며 토지점유율이 낮고 환경적인 영향이 적음 • 궤도의 구조가 상대적으로 간단 • 궤도의 유지보수비용 저렴 • 부상시 주행바퀴용 레일 불필요 • 상하이에 430km/hr급으로 상용화를 하여 안전성 입증	• 궤도 구성품 제작시 정밀도가 높음 • 부상공극이 작으므로 궤도구성품 제작과 설치시 정밀도가 상대적으로 높음 • 차량이 무거우므로 궤도의 강성 증가 • 분기장치 구조 복잡

<표 4-19> 초전도 반발식 궤도시스템의 장단점

장 점	단 점
• 궤도의 유지보수비용 저렴 • 궤도 설치시 조정이 상대적으로 용이 • 차량이 가벼우므로 궤도에서 상대적으로 작은 강성 요구 • 야마나시 시험선로에서 500km/hr 이상의 지속적 주행시험을 통한 안전성 입증 • 초전도자석의 계속적인 발달로 건설비가 점진적으로 감소되는 추세임	• 곡률반경 등이 크므로 선형결정에 불리 • 궤도의 구조가 상대적으로 복잡 • 분기장치 구조 복잡 • 궤도구성품 제작시 정밀도가 높음 • 터널과 교량구간이 많아 건설비 증가 • 부상시 주행바퀴용 레일 필요

<표 4-20> 영구자석 반발식 궤도시스템의 장단점

장 점	단 점
• 곡률반경이 작고 구배능판능력이 좋으므로 선형결정에 유리 • 고가궤도 형태로 건설비가 저렴하며 토지점유율이 낮고 환경적인 영향이 적음 • 차량이 가벼우므로 궤도에서 상대적으로 작은 강성 요구 • 궤도의 유지보수비용 저렴	• 궤도의 구조가 상대적으로 복잡 • 부상공극은 25mm 정도이나 차량과 궤도의 특성상 궤도구성품 제작과 설치시 정밀도가 높음 • 부상시 주행바퀴용 레일 필요 • 현재는 중저속형으로 개발중이므로 초고속형에 적용시 안전성 입증 필요 • 초고속형에 적합한 분기장치 적용시 구조가 복잡해질 가능성이 높음

제5절 신호통신시스템

○ 본 절은 자기부상열차의 기술 분야 중 통신분야에 대한 다루고 있으며 자기부상열차에 적용될 수 있는 국내외 통신분야 기술을 분석정리하고, 추후 본 과제에서 개발하고자 하는 초고속 자기부상열차에 필요한 기술을 도출하는데 보고서의 목적이 있음

■ 용어 및 약어 정의

○ ARS (Automatic Route Setting) : 자동진로설정
○ ATO (Automatic Train Operation) : 열차자동운전
○ ATP (Automatic Train Protection) : 열차자동방호
○ ATR (Automatic Train Regulation) : 자동열차조정
○ ATS (Automatic Train Supervision) : 열차자동감시
○ ATT (Automatic Train Tracking) : 자동열차추적
○ CBTC (Communication-Based Train Control) : 통신기반 열차제어

○ CTC (Centralized Traffic Control) : 열차집중제어

○ DCC (Depot Control Center) : 기지제어센터

○ FMECA (Failure Mode Effect and Criticality Analysis): 고장모드 효과 및 중요도 분석

○ FTA (Fault Tree Analysis) : 결함나무분석

○ LDP (Large Display Panel) : 대형 표지판

○ MBS (Moving Block System) : 이동 폐색방식

○ MCS (Manual Cab Signal) : 수동 운전모드

○ RF(Radio Frequency)-CBTC : 무선통신기반 열차제어

○ TTC : 종합관제설비

■ 신호시스템과 관련된 규정

○ 도시철도 신호시스템 표준화 사양: 한국철도기술연구원 추진 중

○ IEEE Standard 1474.1TM-2004: Communication Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements

1. 국내외 신호통신시스템 구축사례

■ 중기거점차량개발사업 (자기부상열차설치사업)

○ 운행조건

- 완전무인운전
- 최고속도 80 km/h
- 제3궤도 급전방식 (궤도 양측에 설치)
- 전압 DC 1,500 V
- 2량 1편성

○ 전송망 설비

- 전송방식: Gigabit 전송방식

- 주 전송로: 광 케이블
- 관로: 강재 구조물하부 (케이블 트레이)

○ 열차무선 설비(통합관제)
- 무선통신기반 열차제어시스템 (RF-CBTC)
- 영상정보 및 열차정보 실시간 무선전송 (역사 및 차량)
- 음성통화기능 (역사 및 차량)

○ 자동방송 설비(차상)
- 자동 안내방송
- 공지사항 전달방송
- 비상방송 및 비상인터폰

○ CCTV 설비
- 차내, 승강장, 역사, 선로변 CCTV 감시
- 실시간 전송 (사령실 ↔ 역사 ↔ 차상)
- 무선 주파수: 2.4 GHz 대역

■ 용인경량전철건설 민간투자사업

○ 운행조건
- 완전무인운전
- 최고속도 80 km/h
- 제3궤도조
- 철제 차륜
- 1량 1편성

○ 전송망 설비
- 전송방식: 디지털 다중 (SDH/STM-16 Level, MSPP)
- TDM 방식
- 광케이블 32 core 환형 이중화
- IP/이더넷 지원

○ 열차무선 설비
- TETRA 방식 (800 MHz 대역)

- 음성 및 데이터 통신 제공
- 양방향 통신기능

○ 방송 설비(차상)
- 비상시 승객과 사령실간 비상통화
- 승객 안내방송

○ CCTV 설비
- 승강장, 역사, 선로변 CCTV 감시
- 영상 데이터 저장 및 실시간 유선전송 (사령실 ↔ 역사)
- WDM 방식/MPEG4 압축 방식

■ 부산-김해간 경량전철건설 민간투자사업

○ 운행조건
- 완전무인운전
- 평균속도 40 km/h
- 제3궤조 급전방식
- 철제 차륜
- 2량 1편성

○ 전송망 설비
- ADM 환형망 구조
- 전송속도: 622 Mbps

○ 열차무선 설비
- Digital TRS 방식의 TETRA 방식 (800 MHz 대역)
- 시분할방식 (TDMA) 적용
- 양방향 통신기능

○ 방송 설비(차상)
- TDM digital 방식
- 열차무선을 통한 쌍방향 통신

○ CCTV 설비
- 쌍방향 통신
- 무선랜 방식 송수신
- MPEG4 압축 방식

■ 서울특별시 도시철도 9호선 1단계 구간 민간투자사업

○ 운행조건

- 최고속도: 100 km/h, 운행속도: 80 km/h
- 4량 1편성
- 직류 1,500 V

○ 전송망 설비

- Digital 다중 전송방식 (SDH STM-4 Level, MSPP)
- 전송속도: 622.08 Mbps

○ 열차무선 설비

- Digital TRS 방식의 TETRA 방식 (800 MHz 대역)
- 시분할방식 (TDMA) 적용

○ 방송 설비(차상)

- 열차 무선시스템과 자동방송시스템과 연동 운용가능

○ CCTV 설비

- 단방향 통신
- 무선 방식: 2.4 ~ 5.8 GHz ISM 전파 사용
- 안테나 송수신 거리: 600 ~ 800 m

■ 신분당선 전철(강남-정자) 민간투자사업

○ 운행조건

- 최고속도 90 km/h / 표정속도 65 km/h

○ 전송망 설비

- Ring topology 구성
- 광전송 방식
- STM-1급(155 Mbps) 전송장비

○ 열차무선 설비

- Digital TRS 방식의 TETRA 방식 (주파수 공용통신 trunked radio system)
- 국가통합통신망과 연결
- 전이중방식 통화기능

○ 방송 설비(차상)

- 열차무선설비을 통한 단방향 통신

○ CCTV 설비

- 시분할 다중전송
- 실시간 전송
- 단방향 통신
- 5.8 GHz 대역의 무선 공간파 사용
- 무선 LAN 방식
- NTSC 방식

■ 인천국제공항철도

○ 운행조건

- 유인운전(무인운전가능)
- 8량 기준
- 최대속도 120 km/h
- 운행속도 100 ~ 110 km/h

○ 전송망 설비

- Digital 다중 전송방식
- 전송속도: STM-1급(155 Mbps)
- 화상전송용, 신호용, SCADA 통합시스템용 별도의 망 구축

○ 열차무선 설비

- Digital TRS 방식의 TETRA (800 MHz) 방식
- 공간파 방식 적용
- 양방향 통신기능

○ CCTV 설비

- 단방향 통신
- 무선 전송
- 누설 전파방식 50.5 MHz

■ 상해 Transrapid

○ 운행조건

- 최고 운전속도 430 km/h
- 5량 편성

○ 전송망 설비

- Siemens사의 open transport network (OTN) 데이터 통신시스템
- 광섬유로 구성된 두 개의 링구조

○ 열차무선 설비

- Digital 라디오 통신시스템 38 GHz
- 선로변 라디오안테나로 데이터 송수신
- Digital 양방향 음성통신

■ 국외 통합통신시스템의 비교

<표 4-21> 국외 통합동신시스템의 비교

		프랑스: VAL (무인운전기반)	독일: Siemens (무인운전기반)	프랑스: 알스톰 (무인운전기반)	벨기에: 알카텔 (무인운전기반)
통신 시스템	TERA/GSM-R	GSM-R	Hybrid radio	GSM-R	TERA/GSM-R
	DATA	SDH	SDH	SDH	SDH
	Voice N/W	PABX 운영	PABX 운영가능	수용가능	PABX 운영가능
정보 시스템	시각 정보	운영	지원	수용가능	수용가능
	행선지 정보	운영	지원	수용가능	수용가능
제어 시스템	SCADA	운영	지원	수용가능	수용가능
	통합감시	운영	지원	수용가능	수용가능
보안 시스템	비상 전화	운영	지원	수용가능	수용가능
	영상 감시	운영	지원	수용가능	수용가능
망관리	운영 관리	사령실 원격조정	사령실 원격조정	차상원격지령 차상운영관리	사령실 원격조정 서비스기반 통신망

제안망 구조	고정망/이동망	이동망	고정망/이동망	고정망/이동망
표준화 지원방식	ITU-T/유럽전기통신	고정망/이동망	ITU-T/유럽전기통신	ITU-T/ITU-T
통신서비스 지원방식	SDH/GSM-R	Hybrid Radio	SDH/GSM-R	MSPP,WDM/ Multi service
특징 및 비교	운행중 영상감시 시스템 미구축	양방향 이동화상전송 지원	음성만 양방향	유선전송설비만 지원

○ 신호, 통신 및 제어시스템 분야는 열차검지 및 속도검지 기술 등 일부를 제외하고는 기존 철도기술의 적용이 가능함

○ 도시형 자기부상열차에 도입될 정보통신시스템은 기존의 일반철도, 지하철 등 기 구축되어 운용중이거나 향후 지하철, 경량전철 등에 새로이 구축 예정인 시스템과 대부분 유사함

○ 이를 무인운전체계의 자기부상열차 정보통신시스템에 적용하여도 문제없이 구축이 가능한 것으로 조사 분석됨

○ 정보통신시스템에 구축된 장비 중 일부 설비를 제외하고는 대부분 국산화가 가능한 것으로 조사됨

○ 해외의 철도통신시스템은 국내 지하철 시스템과 유사 또는 동일한 시스템의 구성되어 운용중에 있으며, 국내 기술과 큰 차이가 없는 것으로 조사됨

○ 국내의 축적된 기술력으로도 충분히 구축이 가능한 것으로 분석됨

제6절 전력시스템

○ 일반적으로 자기부상열차의 경우 기존 철도에 적용되고 있는 전력시스템과 크게 다를 것이 없으며 국내의 경우 철도시스템에 적용되고 있는 사례는 일반 전기철도 시스템이며, 도시철도의 전력시스템은 중저속 자기부상시스템과 거의 유사함

○ 고속철도의 전력시스템은 많은 대중이 이용하는 수송수단이어서 고속철도의 전력공급은 장기적으로 안정적이고 신뢰성 있게 검토되어야 하고 어떠한 사

고 시에도 인명피해가 없도록 설계되어야 함

○ 초고속 자기부상열차의 경우 최고 운행속도 시속 500km 이상을 유지하기 위해서는 다음과 같은 사항이 고려되어야 함

1. 전원

1.1 전력 수요 추정

○ 초고속 자기부상열차에 소요되는 전력은 열차의 에너지 소모량 및 운행간격, 운행속도, 변전소의 설치간격 등에 의해 좌우되어서 초고속 자기부상열차의 전력수요를 추정하기 위해서는 몇 가지의 가정이 필요하고 이 가정은 실제 계획과 가능한 한 근접해야만 실효성이 있게 됨

항 목	가 정
최 고 속 도	550 km/h
운 행 시 격	? 분
전 력 소 비	? MW/km

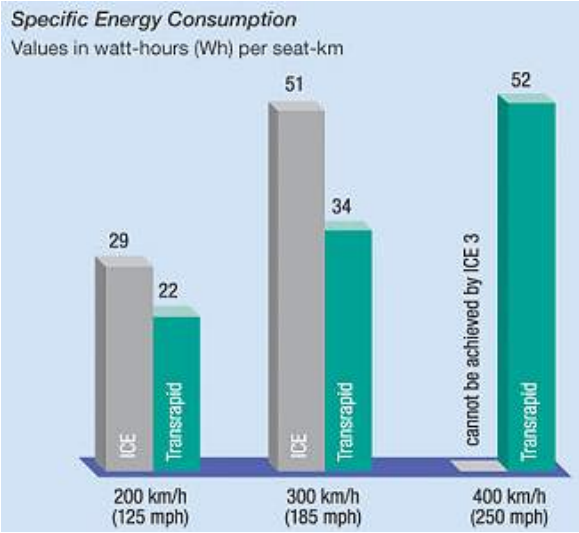
○ 초고속 자기부상열차의 전력소비량은 부상 및 추진 방식에 따라 크게 좌우될 것이며 이는 추진 방식이 LSM인 경우를 검토해 본다. 그 예로 고속전철 선진국의 전력소비를 검토해보면 다음과 같음

○ 고속전철의 추진방식은 TGV의 경우 동기전동기 방식을 채택하고 있으며, 한국형 고속전철의 경우 유도전동기 방식을 사용하고 있음

고속전철의 전력소비량

국명	차량명	편성	편성당 출력 (KW)	최대속도 (km/h)	소비전력 (MW/km)
일 본	신간선 100계	10M6T	40×300	270	1.067
프랑스	TGV-A	2M10T	8×1100	300	0.704
	TGV-TMST	2M18T	12×1100	300	1.056
독 일	ICE	2M12T	8×1200	280	0.823

* 출처 : 고속철도 기술개발(철도연)



독일의 ICE와 TR의 소비전력 비교표

1.2 전력설비

○ 상기 표에서 전력소비량은 대체로 1.0MW/km를 전후해서 나타나고 있으며 부상방식이 영구자석반발식의 경우 적절한 전력소비량으로 추정해도 무리가 없을 것으로 판단됨

○ 이와 병행하여 송전계통은 345kV급, 약 1,000MW로 확보하면 큰 어려움이 없다고 판단됨

1.3 전용발전설비

○ 초고속 자기부상열차의 안정적인 전력공급을 위해서는 초고속 철도 전용 발전설비를 갖추어야 한다.

전용 발전설비 현황

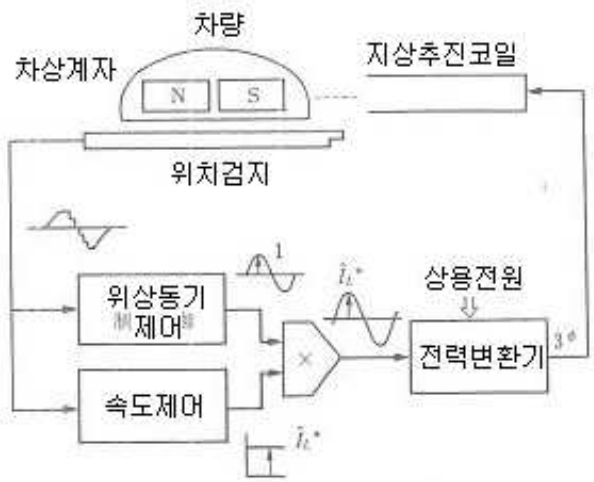
국 명	철 도 명	전용발전	비 고
일 본	JNR	31%	
프 랑 스	SNCF	30%	
독 일	DB	30%	

2. 일본의 초전도 반발식 MLX의 전력시스템

○ 부상식 철도에서는 지상1차 리니어동기모터(LSM)를 사용하고 있으며 이 지상1차 LSM의 전력변환제어의 흐름을 [그림 4-121]에 나타냄

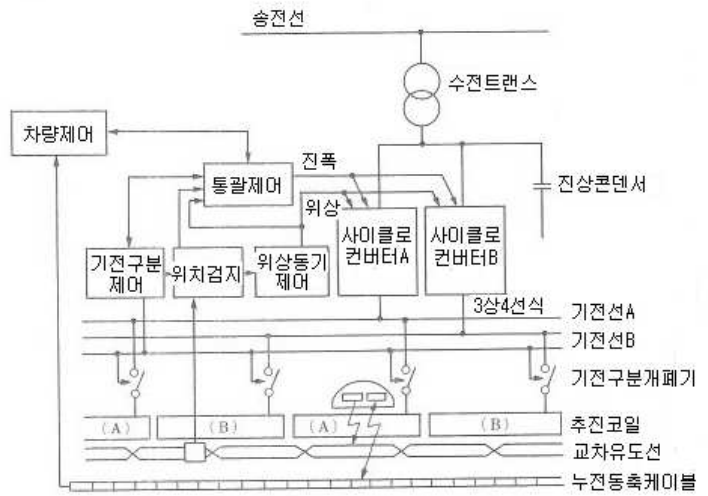
○ 위치검지장치로 차량(차상계자)의 위치를 검지하여 이 위치신호로 위상동기제어부에서 차량에 동기한 유니트 정현파를 작성하며 또한 속도제어부에서는 주행에 필요한 LSM전류의 진폭(추력)을 연산함

○ 이 진폭 값과 유니트 정현파는 승산되어 전력변환기의 출력전류목표치가 되며 전력변환기는 상용전력을 목표치대로의 전류파형을 가진 교류전력으로 변환하여 추진 코일에 공급함



[그림 4-121] LSM의 전력변환제어

○ 이렇게 LSM에서는 차상계자에 동기한 가변진폭·가변주파수의 교류전류를 추진코일에 통전하여 그 진폭을(경우에 따라서는 위상도) 바꾸므로 차량의 속도를 제어하고 있으며 이러한 운전방식은 LSM이 가진 능력을 최대로 이용할 수 있고 차량 진폭도 발생하지 않기 때문에 미야자키 실험선에서 채용되고 있음



[그림 4-122] 미야자키 실험선의 전력공급 시스템

○ 미야자키 실험선의 전력공급시스템을 [그림 4-122]에 나타내며 여기서는 전력변환기로서 순환전류식 사이클로 컨버터를 채용하고 있음

○ 이 순환전류식 사이클로 컨버터는 A계, B계 2조로 설치되어 지시된 진폭과 주파수(위상)의 3상 교류전류를 LSM에 통전하도록 전류 피드백 제어되고 있으며 사이클로 컨버터의 입력 측에 발생하는 지상무효전력을 취소하기 위해 입력 측에는 진상콘덴서가 설치되고, 사이클로 컨버터의 동작 상태에 따라 필요한 용량만큼 콘덴서를 투입함

○ 추진코일은 전체 선에 걸쳐 부설되는데, 효율과 역률을 향상시키기 위해 추진 코일을 일정 거리마다 전기적으로 구분하고, 차량에 대향하는 구간에만 급전하게 하고 있음

○ 또한 차량이 어느 구간에서 다음 구간으로 이동할 때에 그 추력에 변동이 생기지 않도록 코일군을 A, B2계통으로 나누어 급전계도 2계통을 설치하고 차량의 이동에 맞추어 순차기전구분개폐기로 바꾸어 나가도록 하고 있음

○ 이 2계통의 급전회로를 가진 기전방식을 이중기전방식이라 함

○ 차량의 위치검지에는 교차유도선을 사용한 유도무선방식도 채용하고 있고 또한 차상~지상간의 정보전송에 누전동축케이블을 사용한 무선방식을 채용하고 있으며 차상기기의 감시·제어는 이를 매개로 하여 지상의 차량제어부에서 이루어짐

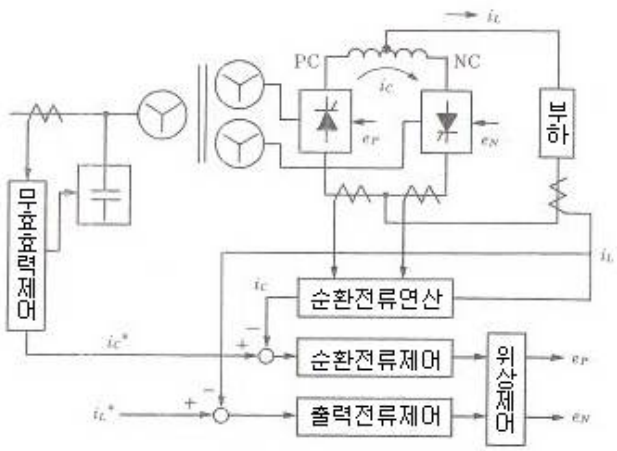
○ 변전소의 총괄제어부는 이상의 각 장치를 담당하는 것으로 만머신 기능도 겸해 갖고 있음

○ LSM의 구동을 위해서는 구동력에 상당한 진폭을 갖고 차량속도에 대응한 주파수를 가진 전류를 LSM에 공급해야 하며 차량 운전에 수반하여 이 전류의 진폭과 주파수는 시시각각 변화하므로 VVVF(Variable Voltage Variable Frequency) 전원이 필요하게 됨

2.1 순환전류식 사이클로 컨버터

○ 순환전류식 사이클로 컨버터의 구성을 [그림 4-123]에 나타내고 정군 컨버터 PC와 부군 컨버터 NC는 순환전류억제용 리액터에 의해 상호 접속되며 그 평균전압에서 출력전류 iL을, 차전압에서 순환전류 iC를 제어하고 있음

○ 순환전류는 직접 검출할 수 없으므로 정군 컨버터 전류와 부군 컨버터 전류를 검출하여 이들과 출력전류에서 연산하여 구하고 있음



[그림 4-123] 순환전류식 사이클로 컨버터의 구성

○ 순환전류와 출력전류는 각각 그 목표치와 비교되고 여기에 일치하도록 제어되며 앞서 서술했듯이 이 출력전류목표치는 속도제어부에서 연산된 전류진폭치와 위상동기제어부에서 구한 유니트 정현파를 승산한 것임

○ 이 두 가지 전류제어신호에서 각 컨버터의 위상제어신호 eP, eN을 작성하였으며 컨버터는 일종의 파워앰프로, 입력전압파형을 사일리스터로 떼 내어 주어진 신호파형에 따라 고전압파형을 작성함

○ 사이클로 컨버터의 입력측에 발생하는 지상무효전력과 고주파전류에 대해서는 고주파 필터 기능을 가진 진상 콘덴서를 삽입하여 이것을 취소하도록 하고 있으며 이 동작 상태에 따라 진상 콘덴서의 투입 뱅크 수를 교체하고 있음

○ 또한 투입 뱅크 수에 따라 진상무효전력은 계단 모양으로 변화하므로 정군~부군 컨버터 사이를 흐르는 순환전류의 크기를 조정하여 종합무효전력이 “0”이 되도록(수전력률이 1이 되도록) 제어하고 있음

2.2 인버터(INVERTER)

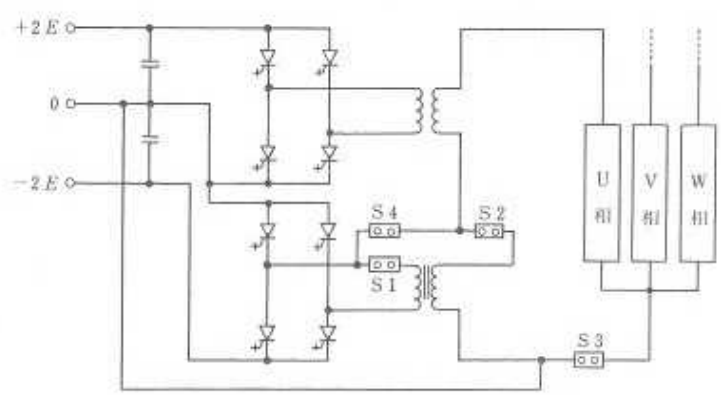
○ 사이클로 컨버터는 가격이 저렴한 것과 자연전류방식 때문에 동작이 안정적이라는 것 또한 대용량기를 제작하기 쉽다는 것 등의 장점을 갖고 있으나 출력주파수에 상한이 있다는 것과 입력역률이 낮다는 점 등의 단점도 아울러 갖고 있어 출력주파수가 높고 전원계통이 약한 지구에도 적용할 수 있는 새로운 전력변환장치로서 GTO 사일리스터(Gate Turn Off Thyristor)를 이용한 인버터의 개발이 추진되고 있음

○ LSM 구동용 인버터로는 현재 두 가지 PWM(Pulse Width Modulation)제어 인버터가 연구되고 있으며 한 가지는 브릿지 방식으로, 이 주회로구성을 [그림 4-124]에 나타냄

○ LSM 구동용 인버터는 직류를 포함한 폭넓은 주파수역에서 운전해야 하므로 열차의 속도에 따라 주회로를 교체하도록 하고 있으며 또한 중·고속역에서는 개폐기 S1, S2, S3을 ON으로 하여 트랜스를 매개로 두 가지 풀 브릿지 유니트를 직렬로 접속하고 있음

○ 또한 스타트를 포함한 저속시에는 S4를 ON으로 하여 풀 브릿지와 하프 브릿지를 직렬로 접속하고 있음

○ 이렇게 고속 시에는 인버터의 출력측에 트랜스를 삽입하도록 하여 인버터 본체와 LSM의 정격전압·정격전류를 각각 최적으로 설계할 수 있게 하고 있음



[그림 4-124] 브릿지 방식 인버터의 주회로 구성

○ 저속 시와 고속 시에 주회로를 교체하기 위한 개폐기로서는 다빈도동작·고신뢰도의 기전구분개폐기를 유용하고 있으며 또한 이 교체는 연선의 기전구분개폐기의 교체 타이밍에 동기하여 실시하도록 하고 있음

○ 브릿지 방식 인버터의 동작원리를 나타낸 것이 [그림 4-124]있으며 여기서는 1유니트 분에 대해 표시하고 있음

○ 모드(A)와 같이 GTO를 ON으로 했을 때, 부하에는 +2의 전압이 인가되지만 모드(B), (C)와 같이 ON으로 했을 때에는 전압이 인가되지 않으며 그림에 나와 있듯이 각 모드를 반복함으로서 방형파형의 전압파형을 발생시켜 각 모드의 시간 폭을 제어하여 정현파형의 평균전압을 작성하고 있음

제7절 결론

1. 핵심기술

<표 4-22> 분야별 핵심 기술

중 분 류	소 분 류	핵심 기술
시스템 통합	- 대차 및 차체	- 동적특성 : 감쇠력, 진동, 승차감 - 대차메카니즘 : 레일추종성 - 간극제한 : 간극초과시 대체장치 - 안전/안정성확보 : 구조강도,공진

시스템 통합	- 주행성능 향상	- 주행성능 시뮬레이션 - 차량/궤도 동적 상호작용 해석 - 능동현가장치 기술 - 부상안정성 해석/개선 - 승차감 평가 및 개선 - 실내소음 평가 및 개선 - 곡선추종성 평가 및 개선 - 경제적 궤도 설계 규격 설정
	- 공력 설계	- 공력저항(Aerodynamic Drag) - 측풍(Crosswinds) - 압력파(Pressure Wave) - 공력 소음(Aerodynamic Noise) - 공력 제동(Aerodynamic Braking) - 공력 제어(Control of Aerodynamic Effects) - 공력 설계(Aerodynamic Design)
부상/안내 시스템	- EMS (Hybrid 포함)	- 전자석 최적 설계기술 - 전자석 전력제어기술 - 강인한 부상/안내 제어기술 - Fault Tolerance 한 부상/안내 제어기술 - 부상공극 신호처리기술
	- EDS	- 영구/초전도자석 최적 설계기술 - 자석과 레일의 경제적 구조설계기술 (부상력/제동력비 증대) - 초전도 냉각제어기술
추진 시스템	- 지상 1차	- 선형전동기 설계 및 해석 기술 - 비접촉 위치 및 속도 검출기술 - 추진 제어 기술 - 효율 향상 설계 기술 (차량 길이 및 섹션의 길이) - 디텐트력 저감 기술
전력 시스템	- 전력 공급 시스템	- 비접촉 전력 전달 기술
	- 전력 변환 시스템	- 순환식 사이클로 컨버터 기술 - 브릿지 방식 인버터 기술

궤 도	- 궤도 구조물	- 고가궤도구조물의 장점 활용 극대화 기술 - 부상/추진/급전에 대한 궤도의 설치정밀도 확보기술 - 궤도구조물의 경제성 확보기술 - 시스템 방식에 따른 궤도선형과 구조의 유연성 및 경직성 판별 및 적용기술 - 일반구간 및 터널구간 등에서의 주행 안전성 확보기술 - 유지관리 및 보수의 용이성 향상기술
	- 분기기	- 구동장치 및 이송장치의 정위치제어 확보기술 - Locking 장치 동작의 정확성 확보기술 - 끝단연결장치 적용기술 - 곡선구간 설정시 생성선형의 정확성 확보기술 - 분기구간 통과시 차량의 주행 안정성 평가기술
신호 통신	- 신호 시스템	- 종합운행제어관리기술 - 전자연동제어기술 - 열차무선데이터 전송기술 - 열차위치 검지기술 - 열차간력제어기술 - 열차진로제어 기술
	- 통신 시스템	- 전송망설비기술 - 열차무선설비 기술 - 방송설비 기술 - CCTV 설비기술

2. 기존 시스템 비교 분석

<표 4-23> 기존 시스템 장단점 비교

중 분 류	소분류	Transrapid	MLX
시스템 통 합	- 대차 및 차체	- 마그네트는 2 자유도의 힌지구조로 부착되어 회전운동 가능한 장점이 있음 - 안내시스템에 차체와 수평으로 스프링이 연결되어 있어 곡선주행시 공기스프링 기능에 영향을 주지 않으면서 차체와 부상프레임의 자유로운 횡방향 운동 허용하고 있음. - 기계적 안정화바가 있어 차체의 롤운동을 감쇠시키는 구조로 주행 안전성 및 승차감을 높일 수 있음. - 궤도 중심 횡제어 시스템의 도입과 안내자석과 제동자석이 동일한 인터페이스로 인하여 제동자석을 위한 프레임이 필요없어 전체적으로 질량을 줄일 수 있음.	- 초전도자석 프레임-대차프레임, 대차 중량 지지스프링 등 다수의 현가장치를 이용한 승차감을 향상시키는 구조로 되어있음. - 대차 전후에 능동제어 진동 엑츄에이터를 설치하여 상하방향 및 횡방향의 진동 제어가 가능함. - 부재간 탄성체 지지로 인하여 현가장치의 구조가 복잡함.
	- 주행성능 향상	- 작은 공극 유지 및 엄격]한 궤도 설치 공차 관리로 승차감 양호 - 안내전자석이 있어 곡선추종성이 좋음	- 수동형 현가 및 등가 강성이 작아 공극변동이 커 승차감이 나쁨 - 수동형 안내력으로 곡선추종성 TR보다 나쁨 -능동현가장치 구현 중
	- 공력 설계	- 터널 진출 시 압력파 저감을 위한 장치 설치	- 공력저항을 줄이기 위한 전두부 설계 - 터널 진출 시 압력파 저감을 위한 장치 설치 - 공력제동 장치

부상/안내 시스템	- EMS(Hybrid 포함)	- 정지시 부상가능 - 상전도 방식으로 경제적 구조를 가짐 - 부상/안내 제어기술 필요 - Zero Power 부상/안내 제어기술	
	- EDS		- 정지시 부상 불가능 - 초전도 방식으로 비경제적 임 - 부상/안내 제어기술 불필요 - 냉각장치 및 제어기술 필요
추진 시스템	- 지상 1차 - 차상 1차	- 비교적 적은 비용으로 고속주행 가능 - 전자석 폴에 선형 발전기 취부가 용이	- 높은 자계 특성을 갖는 고추력 시스템 - 극피치가 크므로 스위칭 주파수 낮음
전력 시스템	- 전력 공급 시스템	- 지상에서 대용량 대전력을 인버터를 통해 비접촉 전력전달장치로 공급 - 전력 전달효율 개선 필요	- 싸이클로 컨버터 방식 - 순환전류 기술
	- 전력 변환 시스템	- 자상에 설치된 대용량 인버터로 지상 코일에 공급하며, 속도 및 구간에 따라 자상에 연속적으로 설치 장소 필요	- 브릿지 방식의 인버터

궤도	- 궤도 구조물	- “T”형 PSC 거더 및 강상자거더 - 선형동기전동기가 상부궤도 하부에 부착되어 부상과 추진, 급전에 활용 - 상부궤도 측면에 안내전자석에 대한 별도의 대향레일 필요 - 정지위치에서 부상하여 추진 가능 - 부상공극이 작아 상대적으로 높은 궤도 정밀도 요구 - 시스템 특성상 상대적으로 작은 곡률반경과 높은 경사도 적용이 가능하여 선형결정에 유연성 제공 - 궤도의 구조상 탈선가능성 적음 - 궤도의 설치시 모듈화가 어려우나 궤도건설비는 상대적으로 저렴	- “U”형 PSC 거더 및 프리캐스트 side wall 방식 - PLG 코일이나 부상용 “8”자 코일과 추진코일이 side wall에 부착되어 부상과 안내, 추진, 급전에 활용 - 안내에 대한 별도 대향레일 불필요 - 부상에 일정속도까지 rolling 방식의 시스템이 필요하여 별도의 접촉용 주행레일 확보 필요 - 부상공극이 크므로 상대적으로 낮은 궤도 정밀도 요구 - 시스템 특성상 상대적으로 큰 곡률반경과 작은 경사도를 요구하여 선형결정이 상대적으로 어려움 - 궤도의 구조상 탈선가능성 적음 - 궤도의 설치시 모듈화가 용이하나 궤도건설비는 상대적으로 고가
	- 분기기	- “T”형 강상자거더이므로 강제굽힘식 적용 - 격납고 진출입 등의 저속구간에서는 분기기의 길이가 80m 정도로 상대적으로 짧으나 고속구간에서는 140m 내외임 - 강재박스로 제작되고 구조는 간단하나 고속구간 적용시 캔트가 필요할 경우 처리 등에 고난도의 기술 요구 - 동력원은 전기전동기나 유압시스템 양자 모두 활용 가능	- “U” 거더이므로 주행구간에서는 관절형 굴절식을 적용하고 진입구간에서는 관절형 굴절식과 상하대체식 혼용 - 주로 저속구간에 적용되며 궤도 자체가 큰 곡률반경을 요구하므로 분기기의 길이가 길어짐 - 분기기 시스템 자체의 동작은 상대적으로 단순 - 동력원은 주로 유압시스템 활용

3. 향후 연구 방향(제안)

<표 4-24> 향후 연구 방향

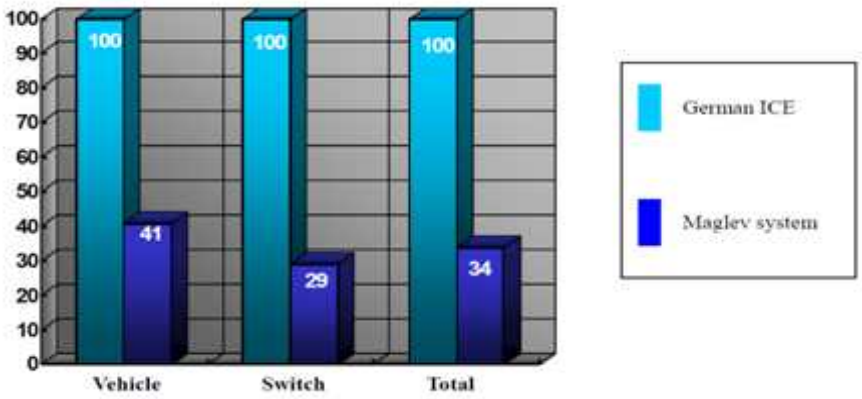
중 분 류	소 분 류	내용
시스템 통합	- 대차 및 차체	- 레일추종 성능 향상을 위한 대차메커니즘 기술개발 - 승차감 확보를 위한 진동저감 기술개발 - 횡방향 간극 초과시 대차 안내시스템 기술개발 - 주행시 대차의 롤링 및 요잉운동 감쇠 기술개발 - 대차 및 차체 경량화 기술개발
	- 주행성능 향상	- 주행성능 시뮬레이션 기술 - 시험에 의한 주행성능 평가 및 개선 기술
	- 공력 설계	- 공력저항 분석 - 터널 진출 시 압력파 저감, 터널 내 소음 및 여압 문제 - 공력-구조 연계 설계
부상/안내 시 스 템	- EMS (Hybrid 포함)	- Fault Tolerance 부상시스템 설계기술 - 강인 신뢰형 부상/안내제어기술 - 공극신호 처리기술
	- EDS	- 자석과 레일형상에 따른 최적화 기술 - 초전도 부상시스템기술
추진 시스템	- 지상 1차	- 선형전동기 해석 및 설계기술 - 선형전동기 제어 및 시험/평가 기술

전력 시스템	- 전력 공급 시스템	- 지상전력공급장치 성능개선 확보 - 지상전원의 차상 공급에 대한 비접촉 전력 전달장치 개선 기술
	- 전력 변환 시스템	- 대전력 변환용 기술 확보 - 대용량 대전력 차단기술 도입 필요 - 대용량 대전력 인버터기술
궤 도	- 궤도 구조물	- 상부궤도부의 설치정밀도 및 경제성 확보 기술 - 상부궤도부의 유지관리 및 보수의 용이성 향상기술
	- 분기기	- 구동장치 및 이송장치의 정위치제어 확보기술 - Locking 장치 동작의 정확성 확보기술 - 끝단연결장치 적용기술 - 곡선구간 설정시 생성선형의 정확성 확보기술 - 분기구간 통과시 차량의 주행 안정성 평가기술
신호 통신	- 신호 시스템	- 무선통신기반 열차제어 (RF-CBTC)
	- 통신 시스템	없음

4. 최종 목표속도 선정

초고속 자기부상 철도시스템은 비접촉 부상, 추진으로 마찰, 소음 및 분진이 작은 친환경 교통수단이며, 가이드웨에에 추진코일을 설치하여 강력한 추진력 생성이 가능하여 초고속 실현이 가능하지만, 단점으로는 선로의 정밀시공을 요하고, 가이드웨이에 추진코일을 설치하기 때문에 경제성 확보에 난제가 있음.

초고속자기부상 철도시스템의 경우 기존 바퀴식 열차에 비해 300km/h이상의 속도에서는 약 40%이상의 에너지 저감효과가 있으며, 유지보수 비용도 바퀴식에 비해 50-60% 절감되는 효과가 있음.



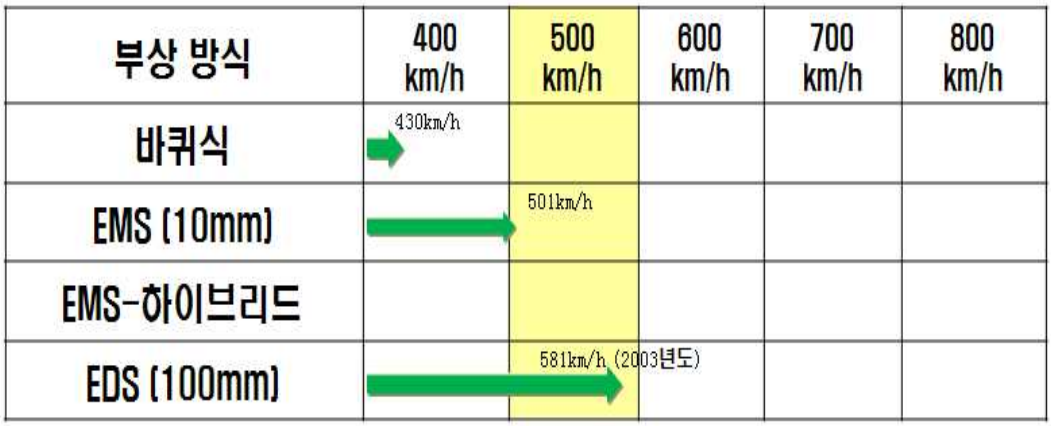
[그림 4-125] 유지보수비용 비교

<표 4-25> 독일 ICE와 상하이 자기부상열차 에너지 소비전력 비교(wh/seat-km)

운영속도(km/h)		200	250	300	350	400	430	450
독일에서 측정 및 계산 값	휠-레일방식 ICE	41	57	74				
	자기부상열차 Transrapid	33	37	45		63		
상하이 라인에서 측정 및 계산 값		29	34	43	55	66	72	77

출처 : TRI (Tranrapid International) 자료

[그림 4-126]를 참고하면, 차세대 고속철도개발사업으로 차륜-레일방식의 430km/h급 HEMU-430시스템이 개발 중에 있음. 하지만 기존 판토그래프 방식의 전력공급시스템과 차륜-레일 방식으로 일시적으로 달성할 수 있으나, 차륜-레일 마모, 판토그래프의 습동판 마모, 차축열 발생 등으로 연속적으로 달성하기는 어려운 속도임. 초고속 자기부상열차의 경우는 EMS방식의 독일 Transrapid가 501km/h 주행을 성공하였으며, EDS방식의 일본의 MLX가 2003년도에 581km/h를 달성하였음.



[그림 4-126] 부상방식별 최고속도

국내의 경우는 기계연 중점연구사업(2005년~2011년, 약 74억원)으로 550km/h급 초고속 자기부상열차 부상추진 핵심요소기술개발을 수행하고 있으며, 철도연 기본연구사업(2009년~2011년, 약 95억원)으로 700km/h급 초고속 튜브철도 핵심기술을 개발하고 있음.

<표 4-26>는 한국기계연구원 중점연구사업, <표 4-27>은 한국철도기술연구원 기본연구사업의 연구내용 및 연구성과를 정리하였으며, <표 4-28>은 국토부 기술료사업 루프형 LSM소형시험장치 및 차량궤도시스템 간의 인터페이스 기술개발(2010~2012, 24억원)의 연구내용을 정리하였음.

<표 4-26> 기계연 중점연구사업 요약

연구명	연구기간	예산	주요 연구내용 및 성과	
초고속 자기부상 열차 부상추진 핵심요소 기술개발 (1단계)	2005.11~2008.12 (3년 2개월)	50 억원	연구 내용	-자기부상 및 추진시스템의 선진 기술동향 분석 -부상, 추진, 대차 및 궤도 시스템의 방식별 특장점 검토 -부상 및 추진방식별 이론, 실험적 결과 도출 및 비교평가 -한국형 초고속 자기부상열차의 부상/추진 방식 선정 및 개념설계
			연구 성과	-시속 550 km 급 영구자석/초전도 반발식 회전형 부상 시험기 구축 -부상방식별 부상특성 파악 및 이론적 연구검증에 이용 -초고속 자기부상열차를 위한 영구자석/초전도 반발식 부상 시스템의 설계 및 성능시험 기술 확보
초고속 자기부상 열차 부상 /추진 기술개발 (2단계)	2009.01~2011.12 (3년)	24 억원	연구 내용	-하이브리드(영구자석+전자석) 방식 부상/추진 장치 설계 및 시험기 개발 -소형 하이브리드 방식부상추진 시스템 설계 및 제어기 개발 -단거리(10 m) 소형 부상/추진 자기부상 차량 개발
			연구 성과	-하이브리드방식 부상제어시험기궤도가진형, 축소형) -하이브리드방식 부상 및 추진 정특성 시험기 -선형추진구간제어시험기

<표 4-27> 철도연 기본연구사업 요약

연구명	연구기간	예산	주요 연구내용 및 성과	
초고속 튜브철도 차량 핵심기술 개발	2009~ 2011 3년	37 억원	연구 내용	-초고속 튜브트레인 시스템인터페이스기술 -초고속 리니어 추진시스템 및 자기부상시스템 개발 -튜브트레인 시스템 공력설계 및 해석
			연구 성과	-초전도 하이브리드 부상전자석및제어시스템 설계, 제작 및 평가 -부상시스템모듈성능시험기구축 -초고속 튜브내 진공도에 따른 공기저항 저감 효과 시험
초고속 튜브철도 급전 및 신호시스템 핵심기술 개발	2009~ 2011 3년	29 억원	연구 내용	-초고속 튜브철도 급전시스템 및 열차제어 핵심기술 요구사항 분석 -초고속 튜브철도 급전시스템 및 열차제어/통신시스템 핵심기술 모델 구성 및 해석 -초고속 튜브철도 급전시스템 기술 검증
			연구 성과	-IPS연구 및 시제품 제작 -초고속 튜브철도 열차방호프로파일 시나리오 및 설계기술개발
초고속 튜브철도 인프라 핵심기술 개발	2009 ~2011 3년	29 억원	연구 내용	-튜브철도 인프라 핵심요구사항 분석 -튜브철도 인프라 요구성능 정의 -튜브철도 인프라시스템 요구성능 확보방안 제시
			연구 성과	-대심도 초장대 터널기술개발 -진공튜브 요구성능 및 가이드웨이 요구성능 정의

<표 4-28> 국토부 기술료사업 요약

년도	예산	연구명	연구내용
1차년도 (2010.11.26 ~2011.11.25)	14 억원	루프형 LSM 시험장치 설계 및 단품 제작	-섹션전환용 LSM 상세설계 및 해석 및 섹션전환 시험용 시뮬레이션 모델개발 -추진 전력시스템 상세설계 및 시스템 구성품 제작
		차량·궤도시스템간의 인터페이스 시험용 축소차량 설계 및 단품 제작	-부상/안내시스템, 추진시스템, 대차, 위치검지시스템, 외형 등에 대한 상세설계 -차량 위치 검지 기법 연구 -추진전력 제어알고리즘 개발 -급전시스템 설계 및 제작
		차량·궤도시스템간의 동적상호작용 분석	-동적상호작용 해석기술 및 프로그램 개발 -축소차량 동적 상호작용 해석에 의한 시스템 동적성능 예측 및 개선
2차년도 (2011.11.26 ~2012.11.25)	10 억원	루프형 LSM 시험장치 제작 및 시험평가	-단위 부품별 시험평가 및 조합시험 및 평가 -섹션전환 알고리즘 적용 및 평가 -루프형 LSM 시험장치 제작을 통한 유도급전기술 연구기반 구축
		차량··궤도시스템간의 인터페이스 시험용 축소차량제작 및 시험평가	-단위 부품별 시험평가 -차량위치 제어를 위한 통시기술 시험 -조합시스템 안정화 및 시험, 평가 -시스템별 인터페이스 사양 정립
		차량·궤도시스템간의 동적상호작용 분석	-시뮬레이션 기반 실제 차량·궤도시스템간의 요구사항 정립

본 기획과제에서는 LSM 부상추진으로 최고속도 500km/h ~ 700km/h도 가능하지만, 육상교통 수단의 최고속도는 공기저항과 공력소음을 고려하여 500km/h 내외로 판단하였음

- 공기저항은 속도제곱에 비례
- 공력소음은 속도의 약 4-5승에 비례

평균속도 500km/h ~ 700km/h로 주행할 경우, 공력저항 및 소음을 감소시키기 위해 아진공 상태(0.1기압)의 튜브가 필요하며, 현재의 기술수준 및 상용화측면을 고려하려, 최고 설계속도 550km/h(최고 운행속도 500km/h)로 기획과제 연구목표를 결정하였음

5. 부상방식 선정

○ 독일 Transrapid와 일본 HSST의 상전도 흡인식 개발 배경

- 반발식의 특성상 충분항 부상공급(100mm)으로 인해 흡인식에 비해 매우 강력한 자석이 필요하고, 따라서 초전도 자석이 필요
- 전자석으로도 반발식을 구현할 수 잇으나, 흡인식으로 구현하는 것보다 몇 배의 강력한 전자석을 만들어야 하고, 이는 차량에 큰 하중을 안김으로 인해 비경제적임
- 독인은 1969년 당시 자국의 자국의 과학 및 산업기술력으로 구현 가능한 흡인식(10mm)으로 개발하였음
- 1년 뒤에 개발에 착수한 일본 RTRI는 지진 등을 고려하여 초전도 자석기술을 활용하여 부상공극(100mm)이 높은 초전도 반발식을 개발함
- 1970년도 중반 일본 나리타 공항건설로 인해 동경시내를 고속으로 연결하기 위해, 당시 기술적으로 완성단계에 있는 독일 TR-04 설계기술으로 토입하여 상전도 방식의 도시형 자기부상열차 모델(HSST)를 개발함

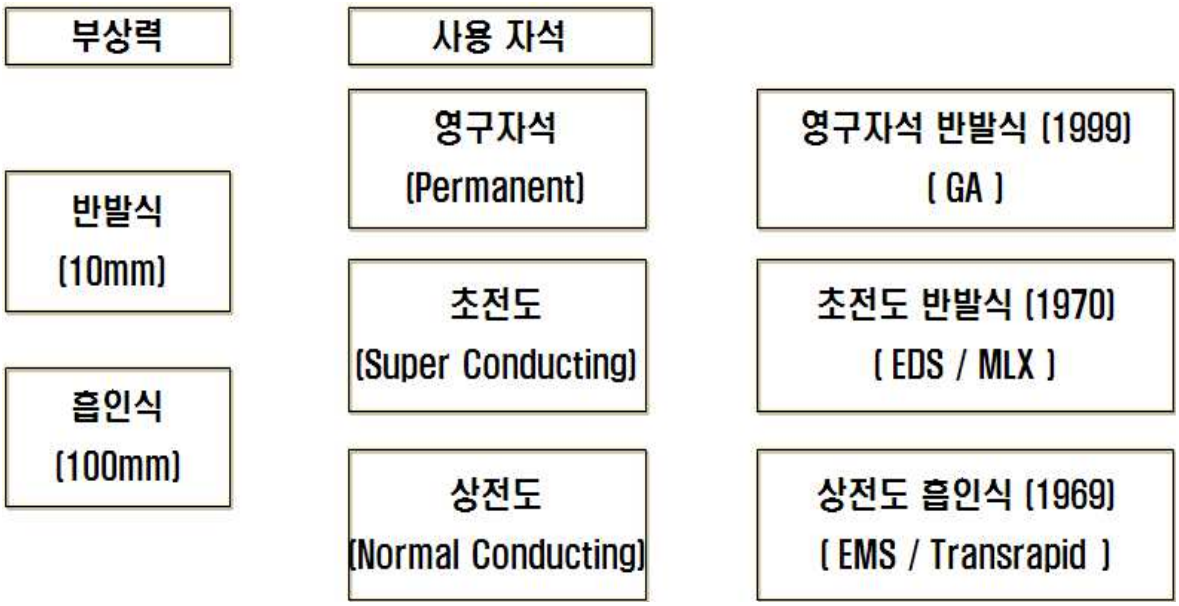
○ 국내 상전도 흡인식 자기부상열차 개발배경

- 1989년 12월 국책연구 출범시 개발목표는 상전도 흡인식(단기적)과 초전도 반발식(장기적)으로 2원화됨
- 당시 국책연구의 중간 목표로 엑스포('93)에 자기부상열차 전시 운행계획이 있었으며, 불과 3년 앞의 전시운행 목표를 달성하기 위해 거의 완성단계이 있는 일본 흡인식 HSST 모델을 모방할 수 밖에 없었음
- 상전도 흡인식방법은 상대적으로 반발식에 비해 저렴하면서 국내 기술력으로 단기간에 접근 가능한 방식임
- 국책연구 1단계 기간(~93년) 중에는 이러한 장기계획(초전도 반발식)이 유지되었으나, 국책연구 2단계(기업참여) 입안시 초고속 자기부상 개발계획은 제외됨
- 이후, 국내 차륜식 고속철도건설사업(G7사업)이 추진되는 과정에서, 기술잠재력 및 예산 등의 문제로 초전도 반발식 자기부상열차 개발을 시도하기 어려웠음

○ 부상기술 분류

- [그림 4-127]과 같이 부상력에 따라 반발식, 흡인식으로 분류할 수 있으며 사용자석에 따라 영구자석, 초전도, 상전도 방식으로 구분될 수 있음
- 상전도 흡인식 부상시스템은 2003년 중국 상하이에서 430km/h급으로 상용화되었으며, 최근 최고 운행속도 501km/h를 달성하였음
- 반발식 부상시스템은 현재 일본의 초전도 반발식, 미국의 영구자석 반발식이 개발되고 있음
- 미국의 영구자석 반발식은 최고속도 160km/h, 평균속도 50km/h로 개발되고 있으며, 약 50km/h이후에서 부상높이의 안정화가 이루어지고 있음. 또한 영구자석 반발식 부상시스템은 현재 중저속의 도시형 자기부상열차로 개발되고

있으며, 할박(Halbach) 배열로 영구자석 마그넷이 발생시킬 수 있는 최대 발생자속은 약 1.7T 정도로서 초고속 주행을 위한 안내력 공급이 현재까지는 어려움



[그림 4-127] 부상기술 분류

○ 상전도 흡인식과 초전도 반발식 비교

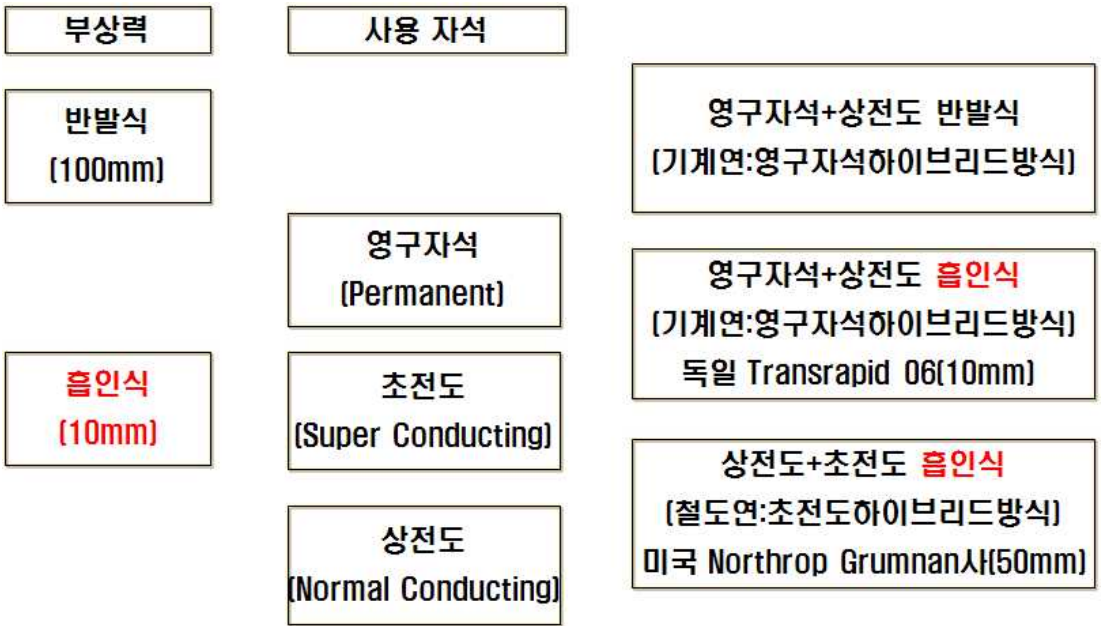
- 현재 500km/h의 속력을 달성한 자기부상열차 시스템은 상전도 흡인식의 독일 Transrapid와 초전도 반발식의 일본 MLX뿐임.
- 상전도 흡인식의 대표 시스템인 독일의 Transrapid와 초전도 반발식의 대표 시스템인 일본의 MLX의 장단점을 비교하면 <표 4-29>와 같음

<표 4-29> Transrapid(상전도 흡인식)와 MLX(초전도 반발식) 비교

	장 점	단 점
TR 09 철심형 LSM 가감속력 1.5m/s2 3량 1편성 주행소모전력 16MVA 수송중량:250t	-430km/h 급 상용화 -승차감이 좋음 -부상과 안내 제어 가능 -가이드웨이 구조 간단 (T형) -정지시 부상 가능 -곡률반경이 작고 구배 등판능력 등이 좋아 선형결정 유리 -초전도반발식에 비해 건설비가 저렴하고, 환경적인 영향이 적음 -부상시 주행바퀴 불필요	-부상높이가 낮음 (TR08: 부상 10mm, 안내 10mm) -차량이 무거움 -분기기 구조가 복잡 -부상용 전원을 계속 공급해야 함 -가이드웨이 부착 강자성체 설치 공차 정밀가 높음 -차량이 무거우므로 가이드웨이 강성 증가
MLX 01 공심형 LSM 가감속력 2.5m/s2 5량 1편성 주행소모전력 38MVA 수송중량:120t	-500km/h급으로 상용화 준비 중 세계최고 속도 방식(581km/h) -차량이 가벼움 -부상/추진 일체형으로 구조간단 (부상용 전원이 필요 없음) -분기기 구조가 비교적 간단 -발생 자장이 큼 (4T 이상) -궤도 설치시 조정이 상대적으로 용이 -초전도자석의 계속적인 발달로 건설비가 점진적으로 감소되는 추세임	-승차감이 나쁨 (부상/안내 공극 : 100mm) -가이드웨이 구조가 상대적으로 복잡 (U형) -초전도 자석 제작비용이 현재까지는 고가 -정지시 부상이 불가능 (약 180km/h이상 주행시 부상) -자장 차폐가 필요 -곡률반경이 크므로 선형결정에 불리 -부상시 주행바퀴 필요하므로 차량 설계 복잡

○ 하이브리드 부상기술 분류

- [그림 4-128]와 같이 부상력과 사용 자석에 따라 여러 가지 조합이 나올 수 있으나, 연구개발이 구체화된 조합은 영구자석+상전도 흡인식(기계연 중점연구사업)과 상전도+초전도 흡인식 방법(철도연 기본연구사업)이 연구되고 있음.
- 이 두 가지 방법은 모두 흡인식이며, 흡인식 부상시스템의 부상력을 영구자석 또는 초전도 자석을 이용하여 부상력을 증가시켜 보다 높은 부상높이을 제공함으로서, 가이드웨이 설치 공차를 좀 더 키워, 토목 공사비 절감을 목적으로 함



[그림 4-128] 하이브리드 부상기술 분류

- 영구자석+상전도 흡인식의 경우 독일의 Transrapid 06(부상높이 10mm)에 기술이 적용되었는데 전력변환장치가 흡인식에 비해 2배가 필요하고, 안전상 Fail-Safe 기능에 문제가 있어 Transrapid 07에서는 다시 상전도 흡인식으로 개발을 수행함
- 40mm이상의 부상 높이를 구현하기 위해 1995년 미국 Northrop Grumman사에서는 상전도 마그넷과 초전도 마그넷을 이용하여 흡인식 자기부상시스템을 개발하였으나 현재까지는 예산상의 문제로 축소형 모형에만 적용하였음
- 흡인식 하이브리드 방식의 경우 부상공극을 20mm ~ 50mm 증대시 궤도 건설비 감소가 가능하지만, 하이브리드 방식으로 인해 시스템 구성이 복잡해지고, 상용화시 유지보수 비용이 증가될 것으로 예상되며, 실규모의 제작 및 적용 사례가 없음
- 부상방식은 상전도 흡인식, 초전도 반발식, 하이브리드 방식을 고려하였으며, 각각의 부상방식별 특징을 비교분석 하여 <표 4-30>에 정리하였음

<표 4-30> 부상방식별 특징 비교

원리	상전도 흡인식	초전도 반발식	영구자석 반발식	영구자석 +상전도 흡인식	상전도 +초전도 흡인식
최고구현속도 (km/h)	501 Transrapid	581 MLX	40-50 GA	-	-
고유 안정성	불안정	안정 사행운동 MLU-02화재	안정 사행운동	불안정	불안정
부상제어 필요성	있다	없다	없다	있다	있다
부상 공극(mm)	10	100-150	20-25	10-20 독일(10mm)	10-50
공극자계 세기	하	최강	중	중	강
가이드웨이 설치공차	매우 작다	매우 크다	중간	중간	크다
궤도설치비용 (전자석 비용포함)	낮음 Slim, 정밀시공	높음 Heavy	가장 저렴	-	-
차량 제작성	중간 (Skid장비)	복잡 (차륜/안내륜)	복잡 (차륜/안내륜)	복잡	복잡
유지보수성	좋음	매우 나쁨 (냉각)	나쁨	-	- (냉각)
승차감	상	하 (Active Suspension)	중	중	중
실내 전자파	하	최상 (pacemaker 문제)	중	중	상

최고구현 속도측면에서는 초전도 반발식 부상방식이 가장 유리하지만, 기존 중저속 자기부상열차개발에서 약 23년 동안의 축적된 상전도 흡인식 방식의 Know-How를 활용가능한 측면, EMS방식의 Transrapid-08 상용화사례, 국토부 기술료 사업(축소형 루프형 LSM 소형시험장치 및 차량궤도시스템간의 인터페이스 기술)과의 연계성 측면에서는 상전도 흡인식 부상방식이 유리함.

초전도 반발식 부상방식을 개발하기 위해서는 4T급 초전도 마그넷이 필요하나 국내의 초전도 마그넷 기술은 2008년 전기연에서 냉매를 사용하지 않는 전도냉각방식의 2T급 고온 초전도 마그넷을 개발하였음(현재까지 상전도 마그넷에 비해 고가). 또한 고자장 발생으로 인해 인공심장 등 안전성 문제가 있으며, 초기 운전시 바퀴식 운전을 한 후 약 150km/h ~180km/h에서 부상이 가능하여 실사이즈 제작시 최소 18km의 시험선이 필요함

본 기획과제에서 부상방식은 최고속도측면, 비용측면, 소모전력, 수송중량, 환경측면, 상용화 측면, 승차감 측면, 기존 연구 연계성 측면, 연구개발 성공가능성 측면을 종합적으로 고려하려 EMS방식(100% 전자석)으로 결정하였음

항 목		비 고
최고 속도측면	초전도 반발식 유리	Transrapid : 501km/h MLX : 581km/h
비용측면	상전도 흡인식 유리	부상높이10mm+T궤도+상전도마그넷 < 부상높이 100mm+U궤도+초전도마그넷
소모전력	상전도 흡인식 유리	Transrapid : 16MVA MLX : 38MVA
수송중량	상전도 흡인식 유리	Transrapid : 250ton MLX : 120ton
환경측면	상전도 흡인식 유리	MLX 고자장 발생(4T)
상용화측면	상전도 흡인식 유리	Transrapid-08 중국 상용화사례
승차감측면	상전도 흡인식 유리	MLX 사행동
기존 연구 연계성 측면	하이브리드방식 또는 상전도 흡인식	하이브리드방식 : 기계연 중점연구사업 및 철도연 기본연구사업 상전도 흡인식 : 중저속 자기부상열차 사업 및 국토부 기술료 사업
연구개발 성공가능성 측면	상전도 흡인식 유리	약 23년의 축적된 상전도 흡인식 Know-How 활용가능

○ 기존 선행연구와의 차별성

과제별/기관별 관련사업내용 및 차별성

구 분	기본사업		기술료 사업	본 사업
	철도연	기계연		
사업명	▪ 미래원천기술 선점을 위한 초고속 철도 기반기술연구	▪ 부상/추진핵심기술개발	▪ 루프형 LSM 소형 시험장치 및 추진부상시스템 인터페이스 기술개발	▪ EMS기반의 초고속철도시스템 원천기술개발
연구기간	2009년 - 2011년(3년)	2006년 - 2011년(6년)	2010년 - 2011년(2년)	2011년 - 2013년(3년)
연구목표	▪ 초고속 튜브철도 시스템 전반의 시스템 기술개발	▪ 초고속 자기부상열차용 부상/추진핵심기술개발	▪ 무한주행이 가능한 LSM 추진시스템 소형시험장치개발 ▪ LSM 추진형 부상시스템 통합기술개발	▪ 초고속 자기부상열차 핵심 기초기술 개발 ▪ 설계기술 평가 및 정립을 위한 100m 규모의 테스트베드 구축
주요기술 개발내용	▪ 리니어 추진시스템 설계기술개발 ▪ 대용량 LSM 설계기술개발 ▪ 초전도 하이브리드 부상시스템 기술개발 (궤도 구축비용을 저감을 위한 자기 부상시스템 기술개발)	▪ 부상방식별 기술특징 분석 ▪ 영구자석 하이브리드 부상시스템기술개발(부상시스템 경량화 기초기술개발)	▪ LSM 설계 및 제작을 통한 성능검증 ▪ LSM 섹션 전환 기법개발 ▪ 부상/추진 통합시험 시스템 개발을 통한 인터페이스 기술 검증	▪ 실규모 LSM 추진시스템 개발 ▪ 초고속자기부상열차형 시험차량 개발 ▪ 실 모델 추진 시험선로 설계 및 제작 기술개발
연구 성과물	▪ 부상 동특성 시험기 구축 ▪ 초전도 하이브리드 부상시스템 개발 ▪ LSM 추진시스템 설계기술 정립 ▪ 0.5기압, 500km/h급 공력시험장치개발	▪ 회전형 LIM, LSM 시험장치 구축 ▪ 영구자석 반발식 부상시험기 구축 ▪ 축소모형 자기부상시스템 개발 (LIM추진, 영구자석 하이브리드 EMS부상, 10m 선로)	▪ 루프형 축소 LSM 트랙 및 차량 ▪ 축소형 초고속형 자기부상시스템 모델 (차량중량 : 300kg, 선로길이:10m내외)	▪ 실모델 LSM 시험선로(100m 내외) ▪ 초고속자기부상 차량 (2대차) ▪ 초고속자기부상열차용 전력인프라

※ 기본 사업은 초고속 자기부상열차의 주요핵심기술에 대한 **설계 및 해석기술개발**임

※ 기술료 사업은 **주요 핵심기술의 설계기술에 대한 검증 및 조합성능 시험**을 위한 축소모형시스템을 개발사업임

※ 본 사업은 550km/h급 초고속자기부상열차 테스트 베드 구축을 통해 **실규모의 부상, 추진, 궤도시스템 인프라의 설계기술 정립**을 위한 연구개발 사업임

○ 기존 선행연구와의 연관성

◆ 기본사업과 기술료 사업과의 연관성

- 철도연 및 기계연의 기본사업은 500km/h급 이상의 초고속자기부상시스템에 대한 설계 및 해석기술 중심으로 연구개발을 수행하였으며, 일부 기술(부상 및 공력)에 대해서는 특수한 목적의 성능평가를 위한 시험기를 제작하여 설계안의 타당성 검증함
- 기술료 사업은 기본사업을 통해 개발된 주요 핵심기술별 설계기술을 축소형 LSM 추진형 부상시스템 제작에 반영하여, 주요 핵심기술의 조합성능 시험 및 평가를 통해 해석기술 및 설계안의 정립을 목표로 함
- 또한 기술료 사업은 상기 조합성능 시험/평가를 통해 얻어진 시험결과 DB를 기초로 각 시스템간의 인터페이스 설계기술을 개발하는 사업임

◆ 기술료 사업과 본사업과의 연관성

- 기술료 사업은 본 사업 진행에 앞서 초고속자기부상시스템의 주요핵심기술을 반영한 축소모형자기부상시스템을 제작 및 시험평가를 통해 실 규모 시스템 제작시 발생될 수 있는 문제점에 대하여 사전에 인지하고 이에 대한 보완책을 마련하는 것이 목적임
- 기술료 사업을 통해 구축된 축소모형 시험 장치는 신규 제어기술 개발시 적극 활용하여, 실 규모 대형 시험장치에 미완의 신기술 적용에 따른 사고위험부담을 최소화할 수 있음
- 루프형 LSM 소형시험장치는 LSM 섹션전환기술을 주로 연구할 수 있는 시험장치로서, 상기 장치로 부터 얻어 진 시험 DB는 본 사업의 LSM 선로 구축시 기초설계자료로 활용 예정임

제 5 장 경제적 타당성

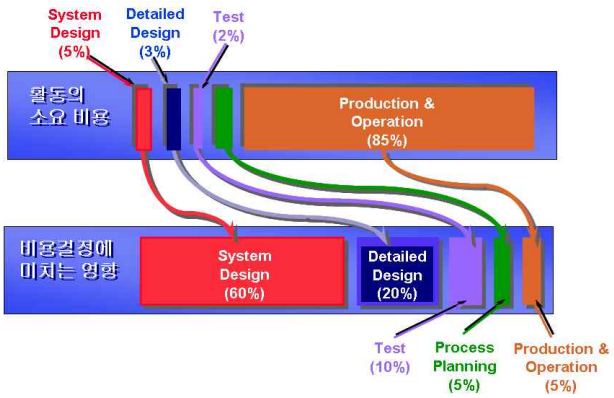
제1절 과학기술적 파급효과

○ 초고속 자기부상 철도시스템 개발은 첨단 복합 기술의 종합적인 설계 능력과 핵심 부품 생산 기술을 크게 향상시킬 수 있으며, 첨단 건설기술, 해양 플렌트 사업, 군사 및 항공우주분야, 그리고 자동차 및 첨단 부품 사업 등 국내 관련 산업계의 기술 발전에 크게 기여할 것으로 전망됨

1. 시스템 엔지니어링 분야

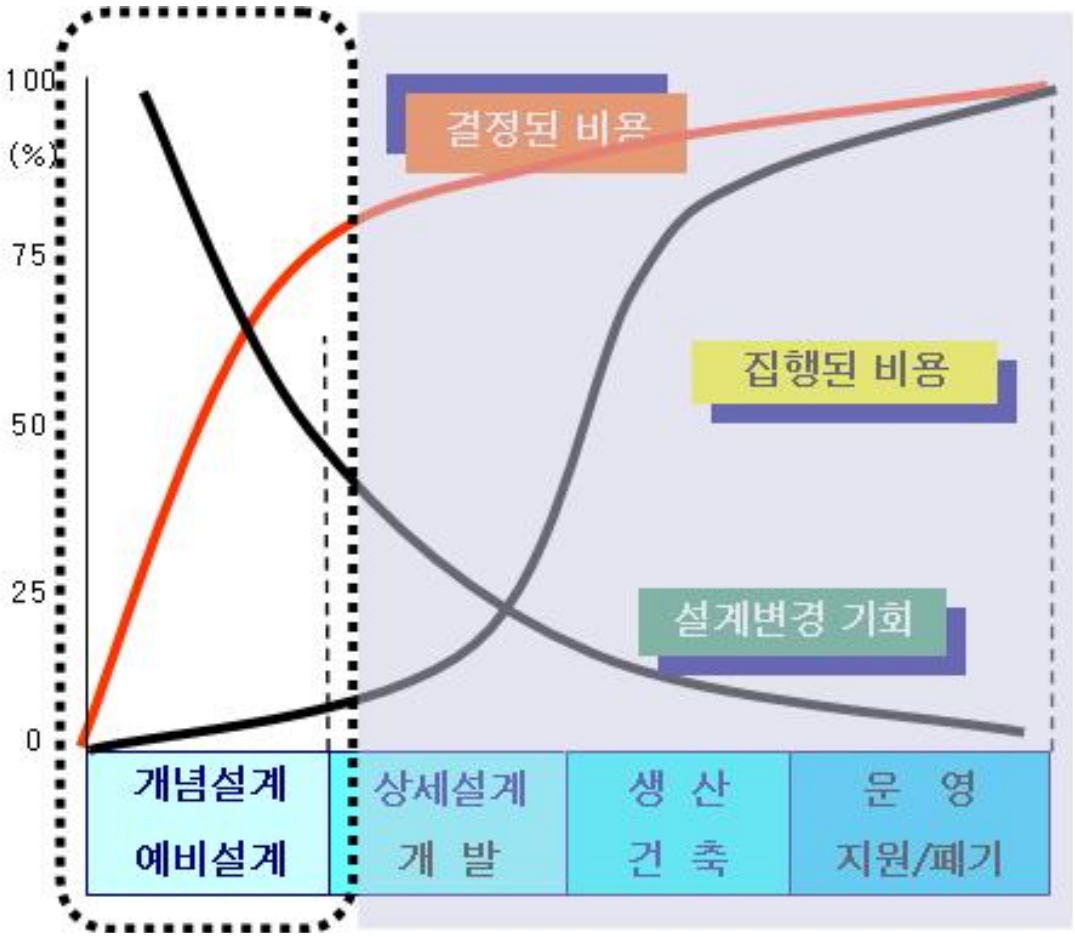
○ 초고속 자기부상 철도시스템 기술개발을 통하여 시스템 개념 도출부터 기본 기술의 개발 등 기술개발 초기 단계의 시스템 엔지니어링 적용 경험을 통하여 보다 새로운 시스템 개발을 위한 자신감 및 기반을 확보함으로써 타 분야의 기술개발 적용에 크게 기여할 것으로 전망됨

○ 통상 시스템 개발에 소요되는 비용의 약 8%에 해당하는 활동이 전체 개발 비용의 약 80%를 결정하므로, 시스템 엔지니어링을 통하여 시스템 개발 초기에 모든 문제를 정의하고 시스템 수명주기를 통한 모든 데이터의 추적관리가 가능하도록 하므로 성공적인 프로젝트를 수행함



자료 : Andesen Consulting in Aviation Week & Space Technology, January 4, 1993

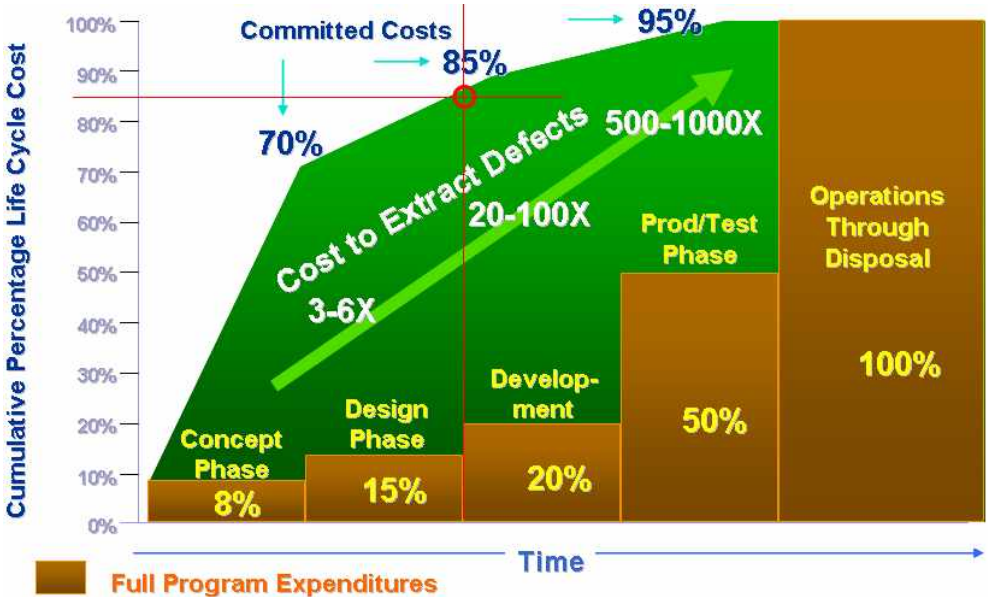
[그림 5-1] 시스템 개발활동의 단계별 영향



[그림 5-2] 시스템 엔지니어링의 역할

○ 이와 같이 시스템엔지니어링의 목적은 고객·사용자의 운용 요구들을 시스템 요구사항으로 변환하고, 비용, 일정, 성능 목표를 충족시키기 위해 모든 기술적 학문분야를 조율·적용하는 것임

○ 이에 따라 시스템 요소간 인터페이스 호환성 확보, 분석·시험을 통한 위험의 식별 및 감소 등을 통하여 모든 체계의 요구사항은 고객·사용자의 원천적인 운용 요구에 순응토록 도출하고, 총 수명주기 비용 감소 및 시스템 개발의 성공확률을 극대화시키기 위함



자료 : Defense Systems Management College - 9/1993

[그림 5-3] 프로젝트 수행 비용에 있어서 시스템 엔지니어링의 영향

○ 시스템이란 설정된 요구사항을 충족시키기 위하여 공통적인 목적아래 함께 작동하는 상호 연관된 요소들의 집합을 의미하는 것으로, 정의된 목적을 달성하기 위해 함께 작용하는 요소들의 결합체로서, 여기에는 하드웨어, 소프트웨어, 펌웨어, 인원, 정보, 기술, 설비, 용역 및 기타 자원요소들이 포함됨

○ 시스템엔지니어링은 일반 전문공학과는 달리, 최초 필요성이 도출된 시기로부터 생산과정을 거쳐 이를 고객이 사용하도록 할 때까지 시스템을 형성하는 전반적인 설계 및 개발 프로세스에 포함된 노력 일체를 말함

○ 시스템엔지니어링기술은 궁극적으로 보다 체계적이고 효율적인 시스템의 획득을 목적으로, 기술적 인터페이스 구축이 요구되며, 이미 개발된 각종 해석도구를 통하여 개발할 차량과 시설물(전차선, 선로 등)에 대한 적합성을 검토하는 기술로 주행 안전성, 열차 성능 평가 검증을 위해 위험요소 관리기법 체계 개발과 병행하여 연구됨

○ 현대에 직면하고 있는 시스템 개발환경은 일반적으로 시스템의 기능 및 성능에 대한 복잡도가 증가하면서 대부분의 시스템은 성능, 효과 및 수명주기

비용 측면에서 고객의 요구를 충족시키지 못하고 있는 것이 현실임

○ 시스템의 수명주기를 연장시키기 위해 끊임없는 신기술이 요구되고 있고, 이를 위한 개발기간은 점차 증가하고 있고, 가용자원의 부족현상도 점점 더 심각해지고 있으며, 국가 상호간의 국제협력이 급격히 증대됨에 따라 날이 갈수록 국제경쟁 또한 더욱 더 심화되어 가고 있음

○ 미국 등 선진국에선 이미 오래전부터 시스템엔지니어링을 표준과 필수사항으로 선언하여 산업전반을 이끌어 가고 있으나, 현재 국내 국방분야에서 국방 시스템 연구개발 및 해외구매사업 등에 대한 시스템엔지니어링 적용지침을 마련(방위사업청 훈령)하고 업계 등의 관심과 투자를 유도하고 있는 현실임

○ 따라서 종래와는 다른 시각에서 '시스템' 고찰의 필요성이 대두되고 있으며, 과거 대부분의 시스템 개발실패 사례를 통하여 요구사항을 충족시키기 위하여 잘 숙련된 시스템 접근방법의 미확보에서 비롯되고 있다고 분석되며, 이는 대상시스템의 요구사항이 사전에 적절하게 제기되지 않는다는 것과, 필요성을 충족시켜야 한다는 목표 제시에 감응하지 않는다는 것, 또한 대부분의 시스템 개발의 경우에 '먼저 만들고 나중에 고친다'는 개념이 팽배해 있다는 것임

○ 전통적으로 엔지니어들은 요구사항을 식별하는 시점에 설계연관사항을 충분히 고려하지 못해 막바지에 수많은 설계변경을 초래해 왔으며, 이러한 설계변경은 품질면에서 매우 위험할 뿐만 아니라 비용면에서도 큰 손실을 초래함

○ 이를 방지하기 위해서는 시스템 개발 초기단계부터 시스템 개념의 형성과 함께, 이해관계자의 요구사항이 시스템 요구사항으로 잘 정의되고 이를 검증하고 시험하는 제반 규격이 개념형성 초기에 명확히 정의되어야 함

○ 이는 전통적으로 수행해 오던 시스템정의가 제대로 되지 않은 상태에서 설계를 바로 착수하던 방식을 시스템개발 초기에 시스템 정의 비용을 투자하여 개념형성을 반듯하게 한 다음 설계단계를 진행하는 방식으로 변화시켜, 종래 방식보다 결과적으로 더 많은 비용을 절감하고 개발기간도 단축할 수 있음

○ 엔지니어링이란 자연계에서의 힘의 원천을 일류를 위하여 혹은 인류의 편익을 목적으로 이용하기 위한 기술활동 개념으로, 국내 엔지니어링 기술 진흥에서는 법과학기술의 지식을 응용하여 사업 및 시설물에 관한 기획, 타당성

조사, 설계, 분석, 구매, 조달, 시험, 감리, 시운전, 평가, 자문 기타 활동과 그 활동에 대한 사업관리로 정의됨

○ 미국의 경우 엔지니어링이란 소기의 기능, 조업의 경제성, 생명이나 재산의 안전성을 염두에 두면서 과학적 원리를 창조적으로 적용하여 구조물, 기계장치, 생산 공학, 그리고 이들을 단독으로 혹은 복합화 하여 만드는 공장 등을 설계 또는 개발하는 것, 그리고 설계에 기초하여 그것들을 건설하고 조업하는 것이고 특정한 조업조건하에서의 상황을 예측하는 것으로 정의함

○ 일본 엔지니어링 진흥협회에서는 엔지니어링이란 생산설비나 사회시설의 프로젝트를 하나의 시스템으로 다루어, 형상이 있는 것으로서 완성시키기 위하여 필요한 기술개발, 사전컨설팅으로부터 견적, 계약, 기본설계, 조달, 검사, 수송, 시운전, 조업보전에 이르는 일련의 업무의 전부 또는 일부를 제고하는 것으로 정의함

○ 엔지니어링 산업이 제품 및 시스템의 설계·개발·운영을 목표로 이미 개발되고 검증된 개별 요소기술들을 실용화하는 복합 시스템 기술 산업임을 고려할 때 엔지니어링 활동 그 자체는 제조활동이라기 보다는 고부가가치의 두뇌집약적인 서비스 활동의 성격을 가지고 있음

○ 따라서 엔지니어링의 업무범위는 사업의 타당성검토와 기본계획에서부터 시운전, 유지보수까지 사업 수행의 전 범위와 관련됨

- 타당성검토 : 프로젝트에 대한 사전검사 및 조사로 엔지니어링 업무의 가장 기본이자 시발점이 되어 이를 통하여 프로젝트의 개요를 확정지으며, 각종 기술적, 경제적, 사회적 분야의 다양하고 폭넓은 정보수집 및 관리능력의 구비가 선결요건으로 이들 자료의 분석을 통한 기술적 타당성을 검토하고 투자와 수익을 예측함으로써 합리적인 투자 및 사업추진계획의 밑바탕을 이룸
- 기본계획 : 발주자와의 수주계약에서 오고 간 조건들과 수주 후 엔지니어링기업으로서의 기본방침 등을 조화시키기 위해 프로젝트 수지계획의 작성과 실행계획표 및 인원 물자, 자금, 기술 등의 자원투입계획을 작성함
- 기본설계 : 통일된 하나의 목표를 향한 시스템 구축을 위하여 질서정연하게 실행되도록 하기 위한 청사진으로 전체적인 프로젝트의 방향을 결정짓는 중요한 단계임

- 구매조달 : 사업수행에 필요한 기기, 자재 등의 구매계획과 견적을 통한 발주 및 입찰의 과정이 포함됨
- 감리 : 시공계획 및 공정표, 시공도면, 품질 및 규격관리, 시험성과, 구조적 안전성, 설계도면의 변경 등의 업무를 말함
- 유지보수 및 이전 : 예상부품의 공급, 배치, 공정의 개선, 나아가 현지 운전원의 훈련 및 기술 노하우의 이전 등을 담당하는 단계임
- 사업관리 : 프로젝트의 시작에서 끝까지 다수의 조직 활동을 합리적으로 계획, 지휘, 통괄하는 기능 및 활동을 말함

○ 엔지니어링 산업은 고부가가치 지식산업으로, 전문기술과 노하우가 중시되는 기술집약적이고 두뇌집약적인 산업으로 사회간접자본 및 산업설비 등의 건설과정 중에서 제작과 시공 설치만을 제외한 모든 영역(타당성조사, 설계, 분석, 조달, 감리, 사후관리 등)을 포괄하고 있음

○ 특히, 최근 세계적으로 정보통신 환경 에너지 등의 고부가가치 분야에서 첨단기술이 접목된 엔지니어링 산업의 시장이 확대되고 프로젝트도 대형화 되어가고 있는 추세임

○ 엔지니어링산업은 국가경제에 미치는 영향이 지대하며, 산업설비 및 사회간접자본시설, 지역 및 도시개발 등 광범위한 분야에 걸쳐 있어 국가경제에 미치는 영향이 매우 큰 광역형 산업으로 특히, 건설 석유화학 전력 등에 대한 파급효과가 큰 전략산업임

○ 엔지니어링산업은 설비 시설의 안전을 좌우하는 핵심요소인 만큼 엔지니어링산업의 최종 성과물인 산업설비와 사회간접자본시설의 품질과 성능은 국민의 생명과 직결된 중요한 사항임

○ 따라서 엔지니어링산업은 학계에서 연구개발된 결과를 산업계에 응용, 활용시 종합적인 설계기술과 핵심부품 생산 및 시험·평가기술을 향상시켜 자동차 및 항공산업, 컴퓨터 및 통신산업, 조선산업과 국방산업 분야의 설계기술 발전에도 파급효과가 예상됨

○ 시스템 엔지니어링 기술은 철도차량의 설계 및 제작기술 외에도 기계, 전기·전자, 신호, 통신, 제어, 토목기술 분야의 체계적인 정립을 통해 획기적인

기술 파급효과가 있을 것으로 기대되며, 지상구조물 기술은 건축, 방음·방진 설비, 철강 및 콘크리트, 궤도부품, 토목시공, 건축설계, 건축재료, 전력기기, 전기소재부품, 전력공급계통, 금속소재, 전력설비 등 구조기술 분야에, 열차 자동제어 및 통신기술은 전자, 정보·통신기기, 통신 서비스, 교통신호, 교환기, 전자부품, 자동제어, 음향기기, 컴퓨터 및 관련 소프트웨어, 열차통신기기, 안전감시 및 모니터링 설비, 계측기 등 첨단산업기술 분야에 파급효과가 매우 클 것으로 전망됨

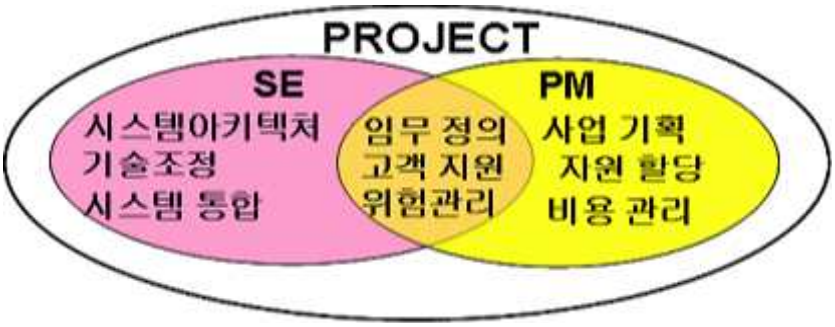
○ 초고속 자기부상 철도 시스템은 전반적 시스템구성에 대한 기술적 연계성을 고려해야 하므로 한층 더 업그레이드 된 시스템 엔지니어링 및 설계기술의 확보를 가능하게 할 것이며, 또한 구조물과 추진시스템 간의 인터페이스 기술은 첨단 교통 시스템의 개발에 필수적인 기술로서 관련 산업기술 향상에 크게 기여할 것으로 전망됨

○ 또한 시스템 요구사항 및 시스템 사양 개발, 시스템 분석, 검증, 시험평가, 인증, 위험관리, 품질관리, 형상관리, 기술관리 등 시스템 개발 전 수명주기에 걸친 시스템 엔지니어링 관련 데이터, 수행 경험 및 역량 확충이 가능하여 유사 시스템 개발 및 대형 복합 시스템 개발에 대한 효과성·효율성의 극대화가 가능함

○ 시스템 설계 및 분석 확보와 함께 체계적 기술개발 환경 구축, 시스템 엔지니어링 인력 양성, 시스템적 사고 확산 등으로 기술개발 및 시스템 개발 관련 산업의 기술 혁신에 크게 기여할 것으로 전망됨

○ 사업관리란 목표를 달성하기 위하여 필요한 자원(재료, 사람, 기계, 방법 등)을 조화롭게 할당하고 운영하는 모든 노력을 말하며, 자원을 활용하여 사업을 달성하는데 중점을 두는 반면, 시스템 엔지니어링 기술은 품질(성능, 기능)을 확보하는 기술적인 성과를 성취하는데 중점을 두고 있음

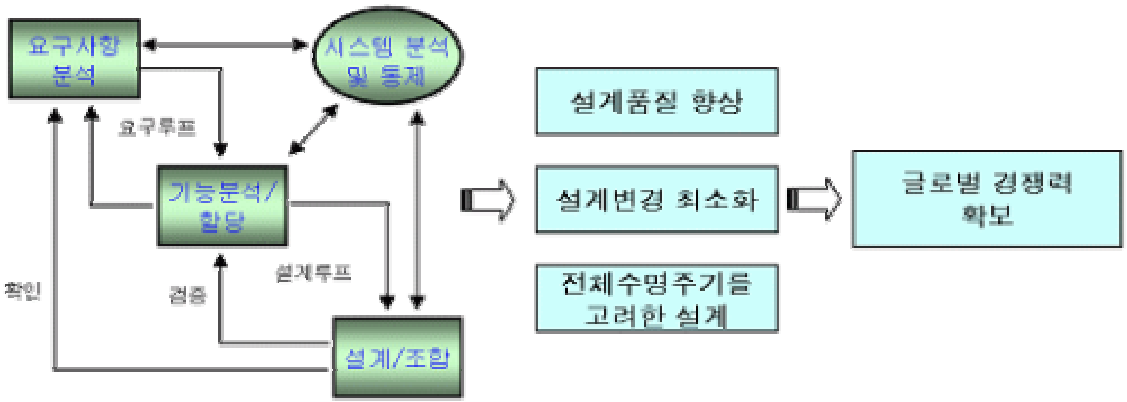
○ 시스템 엔지니어링 기술은 사업관리 기법과 상호 보완적 협력으로 더욱 큰 시너지 효과를 거양할 수 있으며, 초고속 자기부상 철도 기술개발을 통하여 확보되는 시스템 엔지니어링 기술을 바탕으로 글로벌 경쟁력을 갖춘 전문기업으로의 도약을 위한 사업 기반이 될 것으로 전망됨



[그림 5-4] 사업관리와 시스템 엔지니어링 관계

○ 따라서 시스템 엔지니어링 기술을 통하여 관계 법령등과 전문 기술사항, 이해관계자들의 요구사항을 빠짐없이 도출하고 각각의 최적 대안을 선정, 설계에 반영함으로써 설계품질을 높일 수 있으며, 설계변경 또한 최소화할 수 있어 설계변경으로 인한 추가 소요비용을 대폭 감소시킬 수 있음

○ 아울러 시스템의 전체수명주기를 고려한 설계를 통하여 향후 운영·유지관리에 소요되는 시간과 비용 등 자원투입이 최소화되고 효율적이고 경제적인 서비스 제공이 가능해 짐



[그림 5-5] 시스템 엔지니어링의 효과

○ 따라서 그동안 상당부분 부족한 시스템 엔지니어링 기술의 대폭적인 향상으로 가치공학, 설계검토, 인터페이스 관리, RAMS(Reliability, Availability, Maintainability, Safety) 등 고도의 특수엔지니어링 분야, 전체수명주기 관점에서의 총체적 설계, 통합, 요구사항 수집·분석 및 정립 등을 통하여 종합적이고 체계적인 시스템 엔지니어링 환경에서 공사별·사업단계별·분야별 향

후 신규 프로젝트에 조정적용이 가능함

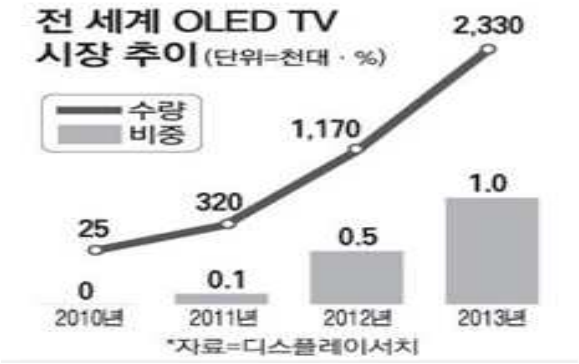
○ 또한 관련 기술 수준의 향상, 인력 양성, 투명성·효율성·전문성 및 국제 경쟁력 강화 등을 위한 시스템엔지니어링 프로세스 확보를 통하여 '더 좋은(Better) 제품을 더 빨리(Shorter), 더 싸게(Cheaper)'라는 적용효과를 기대할 수 있으며, 보다 비용 효과적이고 효율적인 시스템 개발이 이루어질 뿐만 아니라 모든 프로세스가 선진국과 같이 관련 산업에 파급되어 국제경쟁력을 지속적으로 향상시키게 될 것이며, 이는 다시 우리나라 산업재도약의 원동력이 될 것임

2. 자기부상을 이용한 청정 물류 이송시스템 분야

2.1 클린 무빙시스템(수평이송용)

○ 반도체 및 LCD 생산라인에서 요구하는 물류시스템의 조건 중의 하나는 분진(particle)이 발생하지 않는 클린 물류시스템으로 자기부상식 반송장치가 연구가 국내외적으로 연구 중이며 국내에서는 2011년 실용화를 목표로 하고 있음

○ 반도체 장비에 대한 2008년 8월 세계시장 현황을 살펴보면 100억 달러이며, 한국이 차지하는 비중은 20억 달러이다. 이 중에서 물류이송시스템이 차지하는 비율을 1퍼센트로 적용하더라도 2,000만 달러의 창출효과가 있음



[그림 5-6] 전세계 OLED TV시장의 확대(2013년 700조원대)

2.2. 자기부상식 클린 리프트(수직이송용)

○ 자기부상식 클린 리프트는 LCD 글래스 등을 수직으로 이송하거나 자기부상식 초고속 엘리베이터에 필요한 기술로써 현재 국내에서도 상업 모델에 대한 연구 중임

○ 2008년 크린 리프트 관련 기술의 세계시장현황은 2000억원 규모이고 한국시장은 400억원 규모이며, OLED와 같은 고청정을 요구하는 클린룸에 적용한다면 50억원 내외의 수익창출효과가 예상됨

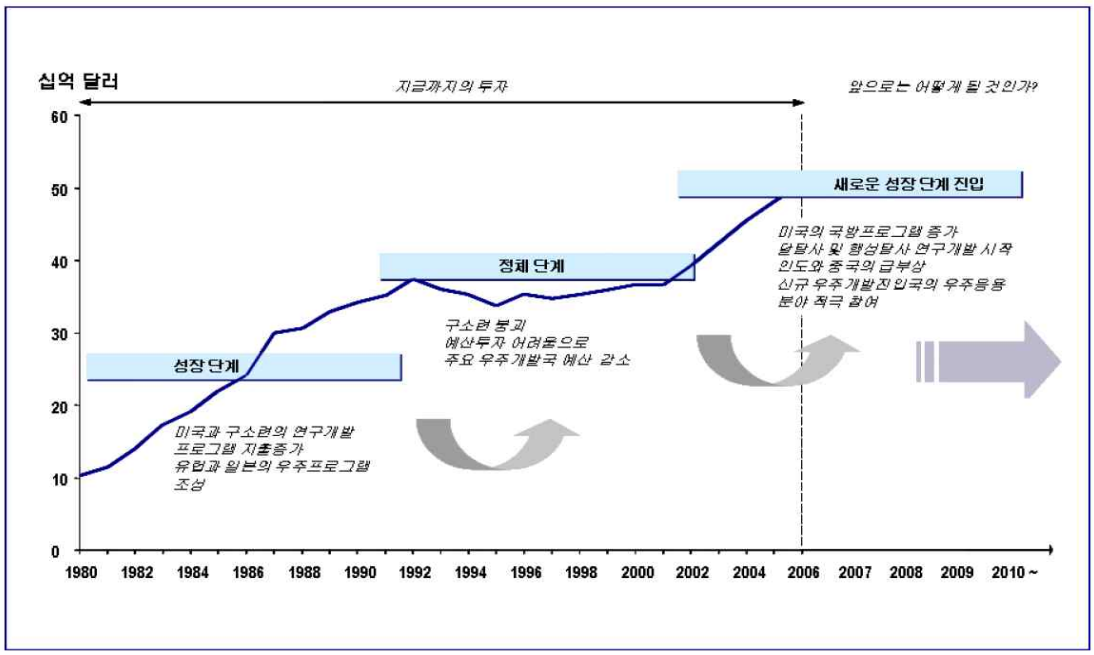
3. 항공우주산업 분야

3.1 항공우주산업의 동향

○ 항공우주산업은 광범위한 기술력을 고도의 높은 수준에 이르지 않고서는 성립할 수 없는 산업이며, 타 산업의 기술 수준을 끌어 올릴 수 있는 기술파급효과가 가장 큰 첨단 기술 산업임

○ 또한 항공우주산업의 발달은 전적으로 군사적 이용이 선도적 역할을 해왔으며 따라서 매출액 전체에서 군수가 차지하는 비중이 높아, 민간수요가 왕성한 미국에서조차도 약 30% 이상을 차지하고 있음

○ 항공우주 산업의 매출액에 있어서는 미국이 압도적인 시장점유를 나타내, 세계 주요 6개국(미국, 영국, 프랑스, 독일, 캐나다. 일본)의 약 60%를 차지하고 있음



자료 : Euroconsult. 2006

[그림 5-7] 세계 우주개발의 정부투자 추이 : 1980~2006

○ 전 세계 우주프로그램의 정부투자도 2006년 총 50.36십억 달러로 역사상 최고점을 기록하고 있으며, 지난 5년간 우주분야 정부 지출의 증가는 특히 미국의 군수분야 지출의 증가와 러시아의 투자확대에 기인한 것으로, 러시아의 정부투자는 지난 5년간 평균 20%씩 증가함

○ 1990년대 초부터 2000년대 중반까지 구소련의 붕괴와 예산 투자의 저조로 정체기에 접어들었던 우주개발은 최근 달 및 행성탐사와 같은 새로운 연구개발 움직임과 중국, 인도 등 새로운 우주 강자의 부상으로 현재 신성장기를 맞이하고 있으며 미국의 우주탐사 계획에 버금가는 탐사 계획들을 잇따라 발표하였음

<표 5-1> 주요국의 달 및 행성탐사 계획

국가명	주요 내용
미 국	▪ 오리온 유인탐사선(CEV) 개발 완료(2012) ▪ 로봇을 이용한 달탐사(2014) ▪ 달 유인탐사, 화성 무인탐사(2018) ▪ 행성탐사(2020)
유 럽	▪ Aurora 프로그램(2001～2030) - ExoMars, NEXT, MSR 프로젝트
일 본	▪ 달탐사 기술개발 및 실증(2015) ▪ 무인 달탐사(2016) ▪ 유인달기지 건설(2025～2030)
러시아	▪ 달 및 행성탐사 진행(2010～2016) - Fobos-Grund 프로그램, Lunar-Globe, Venera-D - Coronas-Foton, Reconance and Intergelic-Zond
중 국	▪ 달탐사 프로젝트 '창어'작수(2003) ▪ 달착륙선 발사(2017)
인 도	▪ 무인 달 탐사선 개발(2007) ▪ 무인우주선 화성탐사(2012) ▪ 유인우주선 발사(2014)

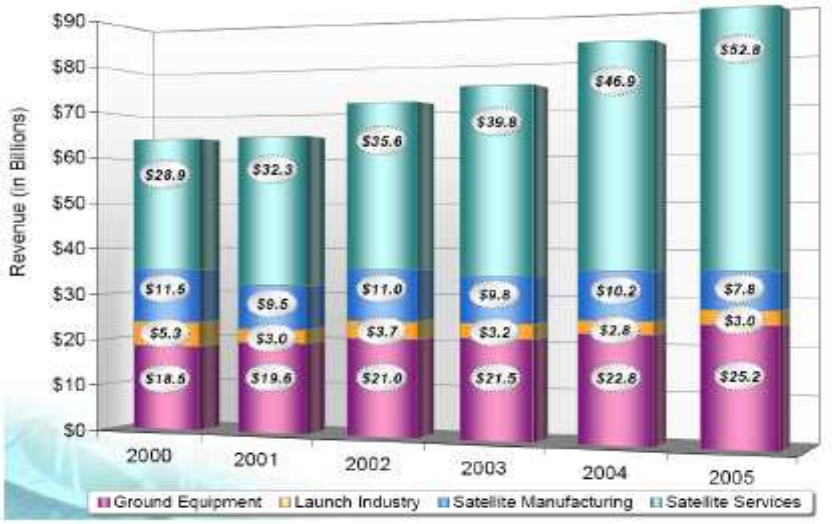
자료 : 한국항공우주연구원 정책개발팀. 2007

3.2 항공우주산업의 핵심 기술 분야

○ 전 세계 우주개발연구개발 분야를 보면, 위성체 개발, 우주과학 및 탐사 기술개발, 그리고 우주 발사체 개발로 구분되며 연구개발 투자 비중은 (미국의 예산을 제외한 경우), 지구관측, 통신, 항법용도의 위성체 개발이 48%로 가장 비중이 높음

○ 2005년 우주산업 매출은 총 88.8십억 달러로 위성서비스 분야의 증가에 따라 지속적으로 성장하고 있으며, 이중 위성체와 발사체, 그리고 발사서비스의 매출 비중은 전체의 약 40%를 차지하고 있음

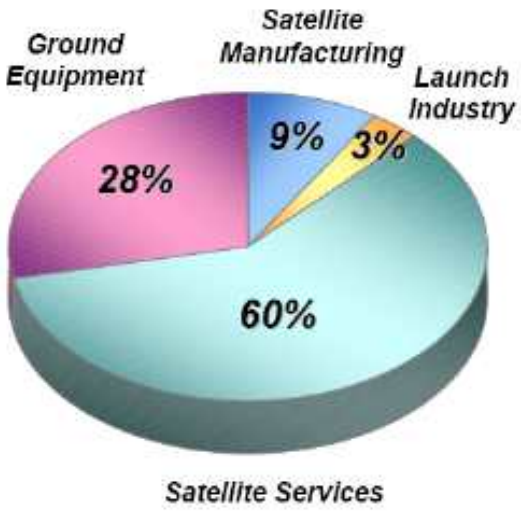
(단위: 십억 달러)



연도	2000	2001	2002	2003	2004	2005
매출액	64.2	64.4	71.3	74.3	82.7	88.8

자료 : Futron Corp.. 2006

[그림 5-8] 세계 우주산업의 분야별 매출



자료 : Futron Corp.. 2006

[그림 5-9] 분야별 2005년 매출 비중

○ 위성체와 발사체 시장에 대한 전망을 살펴보면, 지난 10여년 동안 평균 47기의 위성이 발사되던 추세를 조금 상회하여, 평균 62기의 정부 수요가 발생할 것으로 예상되며, 2007년 ~2016년 동안에는 상업용 위성 616기, 군용 위성이 221기 발사될 것으로 예상됨

○ 따라서 위성체 및 발사체 산업은 향후 항공우주산업의 핵심 산업으로 자리할 것임

<표 5-2> 세계 위성체 제작과 발사서비스

구 분	1997~2006 (발사 완료)	2007~2016 (전망)	성장률(%)
위성체	900기	960기	6.7
위성체 시장	800억 달러	1,045억 달러	31
발사서비스 시장	360억 달러	405 달러	12

자료 : Euroconsult, 2007

3.3 위성 발사체 기술 개발 현황

○ 발사체 분야는 2차 대전 이후 달탐험, 통신위성이나 기상위성 등 고도 35,800km의 지구 정지궤도 위성, 대형 저궤도 위성 등의 수요의 증가로 추력이 강한 위성이 요구됨에 따라 계속 발전하고 있음

○ 스페이스 셔틀이 개발되기 이전의 우주로켓은 발사 후 재사용이 불가능한 소모성 로켓(ELV:Expendable Lanch Vehicle)인 반면, 현재는 대형화물의 운송 및 기존 소모성 로켓의 발사비용 절감을 위하여 재사용 가능한 발사체(RLV:Reusable Lanch Vehicle)의 개발이 추진되고 있음

○ 이러한 예로, 일본의 HOPE, 미국의 X-33, X34 계획 등을 들 수 있으며, 저궤도 이동통신 사업을 위한 저,중궤도 위성용 소모성 발사체 개발도 병행 추진되고 있음

3.4 국내의 위성 발사체 기술 개발 현황

○ 국내의 항공우주산업은 아직 기반 구축 초기 단계로서 2006년 생산 실적도 전년보다 감소하고 있는 추세이며 국가 연구개발 예산에서 차지하는 비중도 저조함

<표 5-3> 국내 우주개발 R&D 예산

연도별	정부R&D예산(A)	우주개발R&D예산(B)	B/A(%)
2003	65,154	1,353	2.0
2004	70,827	1,710	2.4
2005	77,996	1,893	2.4
2006	89,096	3,125	3.5
2007	97629	2,934	3.0

자료 : 과학기술부, 2007

○ 1990년대 말에 100% 국산 기술로 국내 최초의 액체 로켓(KSR-III)을 개발하였으나 우리의 기술 수준은 우주발사체 시스템 분야에서 이미 1970년대 초반에 인공위성을 발사한 일본이나 중국에 비해 30년 이상 뒤떨어진 상태임

○ 따라서 항공우주분야의 획기적인 기술 개발이 없이는 미래 시장 성장 잠재력이 큰 항공우주산업에 뛰어들기가 불가능한 실정임

3.5 초고속 자기부상 철도 시스템 기술의 항공우주산업으로의 파급 분야

○ 초고속 자기부상 철도 시스템의 초고속 자기부상 추진 기술은 항공우주 산업에 있어서 현재의 화학연료를 이용한 발사체 추진을 대체하여 위성체를 궤도로 보내기 위한 비용을 획기적으로 저감시킬 수 있는 기술임

○ 현재 미국 NASA를 중심으로 초전도 자기부상 추진 시스템을 이용하여 발사체 개발 프로젝트(StarTram)가 검토되고 있음

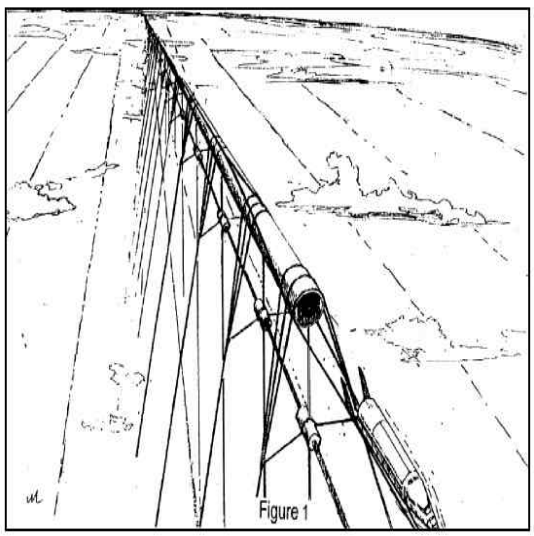
○ 초고속 자기부상 철도 시스템의 공력 저감 기술 및 관련 진공제어 기술은

위성체 및 발사체의 형상 개발 및 대기권 밖에서의 제어 기술과 접목시킬 수 있는 첨단 기술임

○ 또한 탄소 나노튜브를 이용한 우주 엘리베이터에 관한 연구와 관련해서도 초고속 자기부상 철도 시스템 기술과의 융합이 가능함

○ 초고속 자기부상 철도 시스템 기술로서 확보할 수 있는 시험 평가 기술은 항공우주기술개발의 특징인 지상과 다른 특수한 사용 환경조건(무중력, 고진공, 고강도 방사선, 높은 온도차 경량화, 전력제한, 고신뢰성)에서의 비행체를 실증시험 평가에도 활용이 가능함

○ 유럽, 미국, 일본 등 선진 국가들을 주축으로 추진 중인 국제우주정거장 건설에 참여할 수 있는 핵심 기술을 보유함으로서 국가 신성장 동력으로 국내 항공우주산업이 도약할 수 있는 발판을 마련함



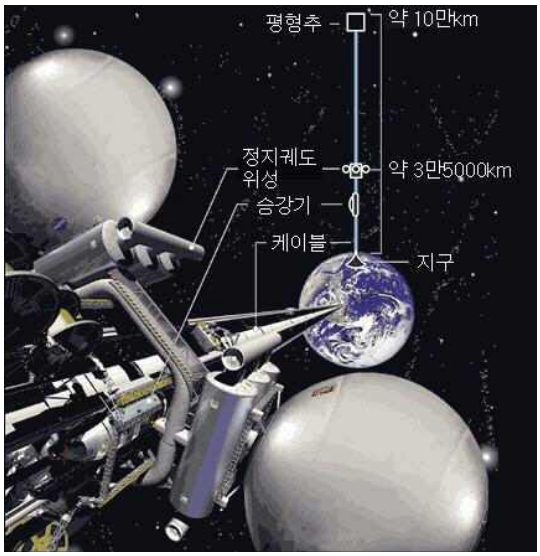
Gen-1 System

- Cargo only, non reusable vehicle
- High acceleration (30 G)
- Short acceleration tunnel (~100 km @ 8 km/sec)
- Launch from surface into atmosphere @ high elevation (≥ 4000 meters)
- Coast upwards thru atmosphere to orbit
- Substantial aerodynamic deceleration (~10 G) and heating rates (~25 KW/cm² at Stagnation Point)
- Near term (next 10 to 20 years)

Gen-2 System

- Passenger & cargo reusable spacecraft
- Low acceleration (~2 to 3 g)
- Long acceleration tunnel (~1000 km @ 8 km/sec)
- Launch into atmosphere @ ≥ 20 km altitude
- Coast upwards thru magnetically levitated, evacuated launch tube to ≥20 Atm before entering atmosphere
- Modest aerodynamic deceleration (~1G) and heating rates (~3 KW/cm² at Stagnation Point)
- Longer term (20 to 30 years)

[그림 5-10] 미국 NASA의 StarTram PJT

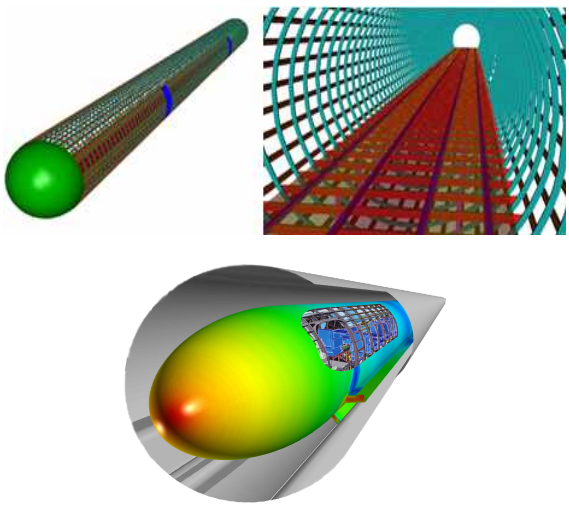


[그림 5-11] 초고속 자기부상 우주 엘리베이터 구상도

4. 자동차 및 관련 산업 분야

4.1 추진 기술로부터의 파급

○ 설계 기술 : 최신의 공기 역학적 구조설계 기법은 철도차량, 자동차 및 항공 산업에 파급효과

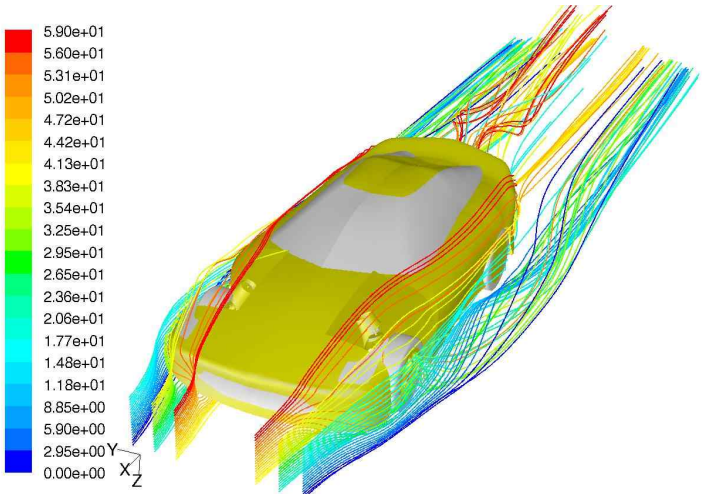


[그림 5-12] 차량 구조물 설계

○ 경량화 기술 : 알루미늄, 복합재료 등 비철금속 소재산업 및 신소재 개발 및 경량화를 위한 신 제조공법 개발



[그림 5-13] 자동차 구조물 경량화 설계 및 경량구조 제작 기술



[그림 5-14] 자동차의 공기역학 해석 결과

○ 공기역학 설계 기술: 공기역학 설계기술이 적용되는 자동차, 항공, 조선 분야 등에 기술 파급

○ 용접, 접합기술 : 철도차량, 항공, 고층용 엘리베이터 산업 등 용접구조물 및 복잡한 구조물 적용 분야에 기술파급 기대

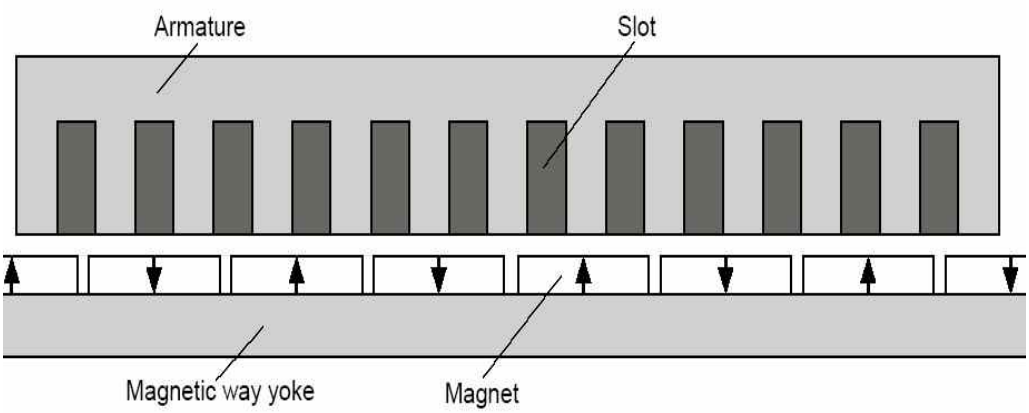
○ 주행 장치 기술 : 국내외 철도차량 및 각종 차량의 주행 장치의 독자설계 및 제작으로 차량 제작업계의 국제 경쟁력 확보가능



[그림 5-15] 전기 추진장치를 장착한 각종 특수차량 제작 설계

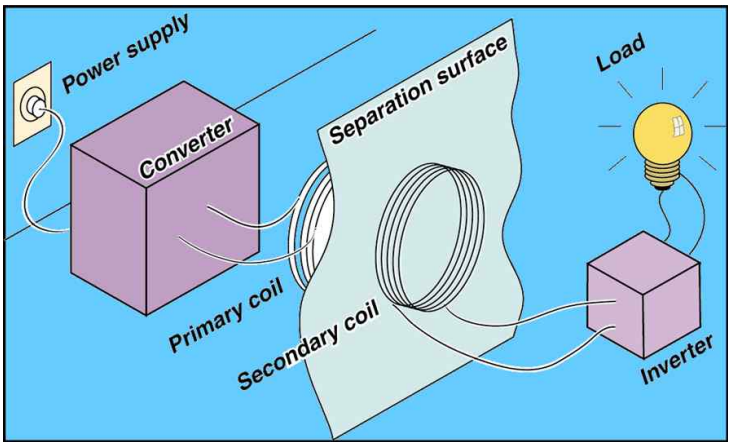
○ 소재 및 부품 설계 기술 : 진공 기밀용 특수 소재 및 정밀제어기계의 기술 향상 기여

○ 선형 전동기 기술 : 초고속 대용량 선형 전동기 설계 및 제어기술의 개발로 각종 산업용 전동기 등의 제어기술 향상과 전자제어산업의 파급효과기대

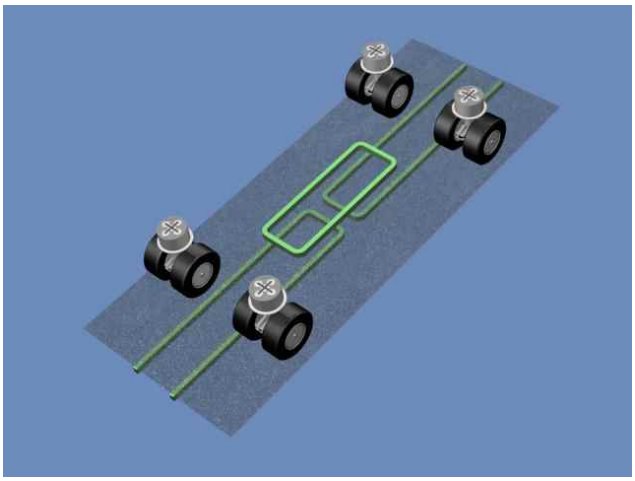


[그림 5-16] 선형 전동기

○ 무접촉 에너지 전달 장치는 배터리 없이 작동하는 자동 전기차량을 포함한 다양한 분야에 적용 가능함



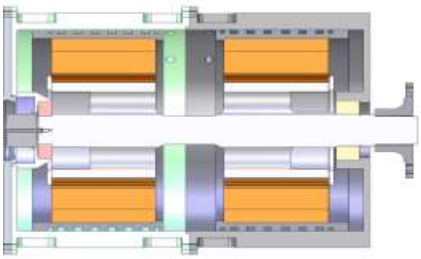
[그림 5-17] 무접촉 에너지 전달방식



[그림 5-18] 무접촉 지상급전 전기차량

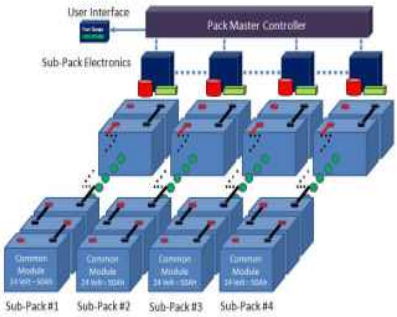
○ 자기부상열차 시스템에 들어가는 각종 전력전자 부품과 관련한 기술은 산업 분야에 파급되어 사용가능하며 특히 전기자동차, 하이브리드 자동차, 전기버스 등 전기에너지를 기반으로하는 각종 교통시스템에 적용 가능함



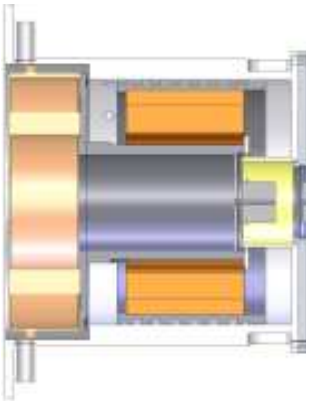


[그림 5-19] 각종 전동기 설계

○ 자동차등에 사용되는 각종 첨단 전장품의 설계 및 생산 기술을 확보 할 수 있음

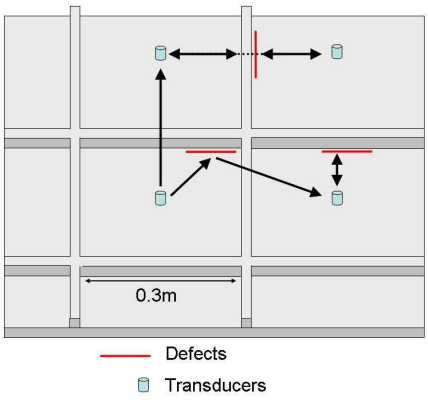


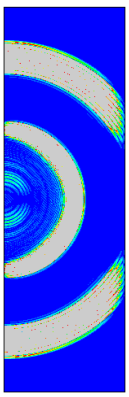
[그림 5-20] 축전지



[그림 5-21] 발전기

○ 구조물 진단 및 유지보수 기술: 다른 교통시스템 및 구조물 안전 진단 및 유지보수에 사용될 수 있음





[그림 5-22] 복잡한 구조물의 이상 진단기술

○ 정밀 측정 및 제어 기술: 자동차산업 분야를 포함한 전 산업분야에 기술적 파급효과가 큼

5. 전력 기술 분야

○ 대규모 용량의 급전 시스템 설계 기술의 독자적 시스템 개발 및 기술 확립은 전력 산업계의 기술적 발전에 미치는 공헌도가 클 것으로 예상됨

○ 급전시스템의 신뢰성 요구에 부응하기 위해 급전시스템의 설계에서부터 정확한 예측 계산 기술의 확립 및 산업계로의 파급이 예상됨

○ 유도급전시스템의 경우, 산업계와 한국전기연구원이 공동으로 연구 개발하여 중저속용으로서 공작기기에 적용된 바가 있으나, 철도차량과 같은 고속 대용량에 관하여 연구된 바가 없음

○ 따라서 초고속 자기부상 철도 유도급전 기술의 경우는 배터리 재충전 등을 위해 요구되어지는 무접촉 유도급전 발전시스템을 사용함으로, 소형궤도 열차의 저속 소용량 유도급전 시스템에 용응 및 산업계 파급 효과가 클 것으로 예상됨

○ 현재 건설교통 국가 R&D의 후보 과제인 PRT(소형궤도열차)의 경우 전원공급을 유도급전 방식으로 실시함으로 이 분야에는 바로 적용 될 수 있음

○ 초고속철도 전철시스템의 경우 대규모, 대용량 장거리 급전 방식이고, 3상 급전 방식이므로 전력 산업계에 대하여 케이블, 전선, 변전소 기기 등의 산업 분야 발전에 미치는 영향이 지대할 것으로 예상됨

<표 5-4> 분야별 파급효과

세부 분야	기술 파급 기대
시스템 엔지니어링	- 시스템 엔지니어링 기술의 습득 - 공정 및 사업비 관리 등 사업관리 기법의 습득 - 사업관리의 전산화
설계기술	- 차체구조기술의 습득 - 주행, 제동 및 추진동력기술의 습득 - 시스템 종합 설계기술의 습득 - 시스템 구성기술의 습득
전기기기 기술	- 차량전기 기기의 국산화 - 추진제어시스템 설계 및 제작기술의 습득 및 파급 - 전기 기기의 첨단 소재, 복합 소재 적용 기술의 습득 및 파급
전기설비 시공기술	- 신공법 적용 및 관리의 체계화 - 국내 경험축적이 없는 첨단공법의 습득 - 시공의 기계화, 자동화 기술의 습득 - 공사관리 기술의 습득
전력설비 기술	- 전력설비 요소기기의 국산화 - 전력계통의 해석 및 설계기술 습득 - 최적시스템 구성기술의 습득 - 송전손실의 최소화 및 변전효율 향상 기술의 습득 - 전력설비의 자동화 기술향상 및 표준화 확보 - 원격.감시 제어기술의 향상
감시 및 진단기술	- 자동진단 및 모니터링 설비기술의 습득

○ 상세 기술별 파급효과는 다음과 같음

5.1 전력변환 및 제어기술

○ 고전압 대용량의 효율적인 스위칭 소자의 개발로 반도체 업계의 파급효과
○ 전력집전기술의 향상으로 인한 산업전반에 걸친 전력계통의 효율화에 따른 전기 및 전자부품업계에 파급영향
○ 원격감시 제어기술의 향상으로 인한 통신설비업계 및 자동화 업계의 기술향상 기대
○ 고부가가치의 중전기 개발 기술습득으로 인한 중전기 업계의 기술수준 제고
○ 전력변환 장치 등의 냉각 기술개발로 냉장고, 에어컨 등 가전업계에 파급효과 기대
○ 각종 조명기기 등의 고효율화 등에 따른 조명기기 업계의 기술수준 향상기대
○ 크기, 중량, 내구성 및 내진성을 고려한 급전 기기의 설계기법의 향상으로 인한 전기산업계와 중전기업계로의 파급효과 기대
○ 각종 산업용 전력변환, 전력 공급 및 중전기 기기 등의 제어기술 향상으로 인한 전자 및 자동제어 산업에 파급효과 기대

5.2 급전 계통 및 전력 설비 기술

○ 송변전기기, 변압기, 차단기 등 요소기기들의 기술발전 동기 부여를 통한 전기 및 전력기기 산업에 기여
○ 각종 애자 및 완철, 송전선 등의 효율적인 설계 및 생산으로 인한 전기기기 부품 및 소재산업의 파급효과
○ 전력계통의 해석기술 및 최적투자 설계기술 등 기반기술의 습득으로 인한 전력공급 계통 산업계의 효율화 및 최적화에 기여
○ 변전기기 자동화 및 표준화를 통해 전력기기업계의 기술수준 향상에 기여
○ 초고속 철도 전기 계통의 시공기술은 고도의 정밀도가 요구되므로 선진기술

의 습득을 통한 기술수준의 향상을 기대할 수 있으며, 노반, 터널 및 교량 시공에 대한 새로운 공법의 적용과 해석기술의 습득효과를 기대가 가능함

○ 건설기술의 고급화, 다양화, 자동화 등에 대한 기술, 연구개발을 통해 관련 기술의 습득을 기대할 수 있음

○ 전력 설비 분야에서도 요소기기(변압기, 송변전기기, 차단기 등)의 기술향상이 가능하며 전력계통의 해석기술 및 최적투자 설계기술 등 국산화 기반기술의 습득이 예상되고, 첨단기술 분야인 자동화 원격제어기술 등 전력설비 관련기술 발전의 파급효과가 전망됨

5.3 설비 및 장치의 모니터링 기술

○ 정보의 수집 및 분석기능들에 대한 기술향상으로 감시기술의 파급효과 기대

○ 각종 표시기기 및 기록기기 등의 개발로 인한 부품산업 등 정보기기업계의 파급효과 기대

○ 열악한 환경속에서의 고속 및 신뢰도 높은 통신기술 습득으로 인한 공장 자동화용 제어기기 업계의 파급효과 기대

○ 정보수집 및 분석기법에 의한 미래 도로교통 자동화 기술향상

5.4. 중앙 감시 제어기술

○ 컴퓨터화된 집중제어 장치 등의 기술습득으로 인한 각종 산업설비의 자동화 및 빌딩자동화 등에 대한 컴퓨터, 전자산업 및 자동 제어업계에 파급효과 기대

5.5 고장 자기진단 기술

○ 각종 진단 장치와 관련된 산업용시스템의 설계 및 제작에 대한 전자, S/W, 자동제어 및 모니터링 설비업계의 기술수준 향상 기대

○ 고장 진단 장치에 의한 사전예방 기술 습득으로 인해 철도차량, 자동차, 항공업계와 정비 분야에 파급 효과

○ 각종 진단기법들에 대한 신기술 습득으로 의료기기 생산업계 및 계측기 생산업계 등의 분야에 파급효과 기대

○ 최근 전기 사용이 모든 산업 및 기술 분야에서 빠르게 확대되고 있어, 최근 빈번하게 발생하는 단락 사고 등의 전기적 사고에 신속히 대처하는 기술의 확보 및 사전 예방 방법의 확립 및 산업계로 파급이 기대됨

<표 5-5> 기술 개발시 예상되는 국내 산업계 기술파급 효과

분야	파급산업(관련기술)
유도 발전 시스템	- 각종 이동체 기기에 전력을 공급하는 산업 - 신재생에너지 활용 산업 - 배터리 충전 기기 분야
전장부품	- 산업용 대용량 드라이브 장치 설계 기술(시스템 설계) - 내진동 설계기술(정량 설계)
전력 기기/중전기	- 전력 중전기 산업 - 대용량 전력 공급 기기 산업 - 차량용 중전기 산업
급전 제어 및 전력 품질 관리 기술	- 지하철, 항공기, 발전설비, 기존철도 (주전산기, 입출력 관련 장치, 역설비, 궤도변 설비, 소프트웨어)

제2절 사회경제적 파급효과

1. 분석의 개요

○ 초고속 자기부상 철도시스템 핵심기술개발을 위한 사전기획연구로서 초고속 자기부상 철도 차량투자에 따른 경제적 파급효과를 분석함

○ 경제적 파급효과는 생산유발효과, 부가가치유발효과, 고용유발효과로 구분하여 분석함

- 생산유발효과: 초고속 자기부상 철도 차량투자가 증가함에 따라 각 산업부문에서 직접·간접적으로 생산되는 산출액

- 부가가치유발효과: 초고속 자기부상 철도 차량투자가 증가함에 따라 국내에 미치는 부가가치 유발의 정도
- 고용유발효과: 초고속 자기부상 철도 차량투자가 증가함에 따라 산업생산을 유발하고 그 생산이 다시 노동수요를 유발하는 노동의 파급효과

○ 2007년 산업연관표(한국은행, 2009년 발행)를 이용하여 초고속 자기부상 철도 차량투자에 따른 경제적 파급효과를 분석함

○ 초고속 자기부상 철도 차량은 산업분류표 168부문 중 철도차량 부문에 속하는 것으로 간주함

- 철도차량 투자액 200억원을 기준으로 함

<표 5-6> 한국은행의 산업분류

통합대분류(28부문)	통합중분류(77부문)	통합소분류(168부문)
15 수송장비	48 자동차 및 부분품	109 자동차
		110 자동차엔진 및 부분품
		111 트레일러 및 콘테이너
	49 선박	112 선박
	50 기타 수송장비	**113 철도차량**
		114 항공기
		115 기타 수송장비

주: 철도차량 부문은 기관차, 객차, 화차 등 각종 철도차량 및 그 부분품과 수리활동을 포괄

2. 분석과정

2.1 분석방법

○ 산업연관분석을 사용하였는데 산업연관분석은 소득이 발생하는 배후의 생산과정에 주목하여 산업부문 간의 기술적 상호의존관계를 각 산업단계별로 포착하면서 국민경제에 미치는 여러 가지 파급효과를 분석하는 방법

○ 산업연관표란 일정기간(보통 1년)동안 국민경제 내에서 발생하는 재화 및 서비스의 모든 거래내역을 기록한 통계표로써, 세로(열) 방향은 원재료, 노동, 자본 등 생산요소의 투입을 나타내는 투입구조를, 가로(행) 방향은 생산

된 생산물이 중간재나 최종재로 판매된 내역을 나타내는 배분구조를 의미

○ 산업연관분석을 이용하면 최종수요에 의한 생산, 고용, 소득 등 각종의 파급효과를 산업부문별로 나누어 분석할 수 있어서 구조적 측면에서 산업간 연관관계를 파악할 수 있는 장점이 있음

2.2 투입계수 및 생산유발계수

○ 투입계수는 각 부문 생산물 1단위 생산에 필요한 각종 중간재 및 부가가치의 단위로 각 산업부문의 생산기술구조, 즉 투입과 산출의 생산함수를 의미함

○ 한국은행 발행 산업연관표에는 소분류(168부문), 중분류(77부문), 대분류(28부문) 별로 투입계수표(국산 투입계수표, 수입 투입계수표)가 이미 계산, 작성되어 있음

○ 생산유발계수표는 투입계수를 이용하여 무한히 계속되는 생산파급효과를 역행렬이라는 수학적 방법을 사용하여 도출

○ 생산유발계수표는 수입의 취급방법에 따라서 국산과 수입을 구분하지 않는 경쟁수입형 (I-A)-1형류와 국산과 수입을 구분하는 비경쟁수입형 (I-Ad)-1 형으로 구분

○ 순수한 국내 생산유발효과와 수입으로 인해 해외로 유출되는 부분을 구분하기 위하여 (I-Ad)-1형 생산유발계수표를 사용함

2.3 생산유발효과

○ 초고속 자기부상 철도 차량투자가 증가함에 따라 각 산업부문에서 직접·간접적으로 생산되는 산출액으로 생산유발계수에 최종수요 증가량을 곱하여 생산유발효과를 구함

○ 생산유발계수는 최종수요가 1단위 증가하였을 때 이를 충족하기 위하여 각 산업부문에서 직·간접적으로 유발되는 산출단위로, 1단위의 최종수요가 주어지는 경우에 각 산업의 생산에 미치는 직·간접의 파급효과를 나타내는 누적승수의 의미를 가짐

2.4 부가가치유발효과

○ 초고속 자기부상 철도 차량투자가 증가함에 따라 국내에 미치는 부가가치 유발의 정도를 나타내는 것으로 최종수요의 증가량에 부가가치유발계수를 곱하여 부가가치유발효과를 구함

○ 최종수요의 발생이 국내생산을 유발하고 생산활동에 의해서 부가가치를 창출하기 때문에 결과적으로 최종수요의 발생이 부가가치 창출의 원천

○ 부가가치유발계수는 최종수요가 한 단위 증가할 때, 국내에 가져오는 부가가치 유발의 정도를 나타냄. 따라서 부가가치계수 행렬에 생산유발계수 행렬을 곱하여 부가가치유발계수 행렬을 구함으로써 부가가치유발효과를 추정

2.5 고용유발효과

○ 초고속 자기부상 철도 차량투자가 증가함에 따라 산업생산을 유발하고 그 생산이 다시 노동수요를 유발하는 노동의 파급효과를 나타내는 것으로, 최종수요의 증가량에 취업유발계수를 곱하여 노동유발효과를 구함

○ 노동량은 취업자(피용자, 자영업주 및 무급가족종사자 포함)와 피용자의 두 가지로 나누어 파악하며, 최종수요가 주어졌을 때 이를 충족하기 위해 필요한 노동량을 구함

○ 고용유발계수를 산출하기 위해서는 생산활동에 투입된 산업별 노동량을 산업별 총산출액으로 나눈 취업계수를 계산하고, 이 취업계수와 생산유발계수를 기초로 취업유발계수를 구함

3. 분석결과

3.1 생산유발효과

○ 철도차량의 전국 생산유발계수에 철도차량 투자액을 곱하여 산출

○ 철도차량의 전국 생산유발계수는 1.929991로 나타나며, 각 산업부문별로 철도차량의 생산유발계수는 표와 같음

<표 5-7> 2007년 철도차량의 산업부문별 생산유발계수

구분	산업부문	철도차량 생산유발계수
1	농림수산품	0.003764
2	광산품	0.001133
3	음식료품	0.006457
4	섬유 및 가죽제품	0.024994
5	목재 및 종이제품	0.015037
6	인쇄 및 복제	0.003011
7	석유 및 석탄제품	0.029714
8	화확제품	0.081436
9	비금속광물제품	0.008600
10	제1차 금속제품	0.174983
11	금속제품	0.064975
12	일반기계	0.048101
13	전기 및 전자기기	0.072056
14	정밀기기	0.011529
15	수송장비	1.087542
16	기타제조업제품	0.006084
17	전력,가스 및 수도	0.024752
18	건설	0.001807
19	도소매	0.066623
20	음식점 및 숙박	0.012805
21	운수 및 보관	0.028992
22	통신 및 방송	0.015082
23	금융 및 보험	0.026409
24	부동산 및 사업서비스	0.071965
25	공공행정 및 국방	0.000476
26	교육 및 보건	0.007321
27	사회 및 기타서비스	0.008598
28	기타	0.025744
계	철도차량의 산업부문 생산유발계수	1.929991

○ 생산유발효과는 약 386억원으로 나타남

○ 각 산업별로 미치는 생산유발효과는 각 산업의 생산유발계수를 곱하여 구하

며, 수송장비 부문 약 218억원, 제1차 금속부문 약 35억 순이며 산업부문별로는 다음 표와 같음

<표 5-8> 2007년 철도차량의 산업부문별 생산유발효과

구분	산업부문	생산유발효과(억원)
1	농림수산품	0.8
2	광산품	0.2
3	음식료품	1.3
4	섬유 및 가죽제품	5.0
5	목재 및 종이제품	3.0
6	인쇄 및 복제	0.6
7	석유 및 석탄제품	5.9
8	화확제품	16.3
9	비금속광물제품	1.7
10	제1차 금속제품	35.0
11	금속제품	13.0
12	일반기계	9.6
13	전기 및 전자기기	14.4
14	정밀기기	2.3
15	수송장비	217.5
16	기타제조업제품	1.2
17	전력,가스 및 수도	5.0
18	건설	0.4
19	도소매	13.3
20	음식점 및 숙박	2.6
21	운수 및 보관	5.8
22	통신 및 방송	3.0
23	금융 및 보험	5.3
24	부동산 및 사업서비스	14.4
25	공공행정 및 국방	0.1
26	교육 및 보건	1.5
27	사회 및 기타서비스	1.7
28	기타	5.1
계	-	386.0

3.2 부가가치유발효과

○ 부가가치유발효과는 철도차량의 전국 부가가치유발계수에 철도차량 투자액을 곱하여 산출

○ 철도차량의 전국 부가가치유발계수는 0.554474로 나타나며, 이를 세분하면 피용자보수 0.283, 영업잉여 0.138, 고정자본소모 0.075 등으로 구성됨

<표 5-9> 철도차량 부문의 부가가치유발계수

구 분	철도차량 부문 부가가치유발계수
피용자보수	0.283209
영업잉여	0.137952
고정자본소모	0.074634
생산세	0.061112
(공제)보조금	-0.002434
부가가치유발계수	0.554474

○ 철도차량이 미치는 부가가치유발효과는 철도차량 투자액 200억원에 부가가치유발계수 0.554474를 곱한 개략 약111억원으로 분석됨

<표 5-10> 철도차량 투자를 통한 부가가치유발효과

구 분	부가가치유발효과(억원)
피용자보수	56.6
영업잉여	27.6
고정자본소모	14.9
생산세	12.2
(공제)보조금	-0.5
합 계	110.9

3.3 고용유발효과

○ 철도차량이 전국에 미치는 고용유발계수에 철도차량 투자액을 곱하여 산출

○ 철도차량의 전체산업 고용유발계수는 10.6404 명/10억원으로 나타나며, 이는 자영업주와 무급가족종사자를 제외한 피용자를 추정한 것임

○ 철도차량 투자로 인한 고용유발효과는 총 245명으로 분석됨

<표 5-11> 철도차량 투자로 인한 고용유발효과

구 분	산업부문	고용유발효과 (인)
1	농림수산품	3
2	광산품	0
3	음식료품	1
4	섬유 및 가죽제품	4
5	목재 및 종이제품	1
6	인쇄 및 복제	1
7	석유 및 석탄제품	0
8	화확제품	4
9	비금속광물제품	3
10	제1차 금속제품	3
11	금속제품	1
12	일반기계	12
13	전기 및 전자기기	8
14	정밀기기	2
15	수송장비	126
16	기타제조업제품	1
17	전력,가스 및 수도	1
18	건설	1
19	도소매	0
20	음식점 및 숙박	34
21	운수 및 보관	15
22	통신 및 방송	2

23	금융 및 보험	3
24	부동산 및 사업서비스	17
25	공공행정 및 국방	0
26	교육 및 보건	2
27	사회 및 기타서비스	3
28	기타	0
합 계		245

○ 초고속열차 기초기술 및 모형개발을 위해 200억원을 투입시 사회경제적 파급효과는 생산유발효과 386억원, 부가가치유발효과 111억원, 고용유발효과 245명으로 분석되었음

<표 5-12> 경제적 파급효과

구 분	생산유발효과	부가가치유발효과	고용유발효과
파급효과	386억원	111억원	245명

제3절 경제성 분석

1. 분석의 전제

○ 본 연구인 초고속 초고속열차에 관한 기초기술 및 모형개발로 인해 도출되는 최종결과는 상업용으로 실용화가 가능한 초고속 초고속열차 시스템이 아니고 실용화 시스템을 만들기 위한 원천 기술개발임

- 차량의 실용화가 아닌 차량, 기반시설 등을 모두 포함하는 새로운 철도시스템 개발을 위한 원천기술 확보임

○ 경제성 분석 기간은 통상 철도관련 사업이 30년을 가정하는데 반해 본 연구와 같은 철도관련 신기술 개발이란 관점에서 특허기간 등을 고려하여 20년을 보고 있으나 본 연구에서는 보다 보수적인 방법을 적용하여 개발 후 10

년 동안만을 고려함

○ 사회적 할인율은 “도로 및 철도 사업 예비타당성조사 지침 5판(KDI, 2008)에 따라 5.5%을 사용함

2. 비용 및 편익의 산출

2.1 비 용

○ 초고속철도시스템 핵심기술 개발에 소요되는 비용은 약 200억으로 추정됨

○ 기초기술 개발에 필요한 비용을 구체적으로 살펴보면 차량개발비용, 기반기술개발비용, Test-Bed구축, system engineering비용, 총괄비용 등으로 구분할 수 있고 앞 절에서 제시한 바와 같이 연차별 2011~2013년까지 3년 동안 투입된다고 가정하였음

<표 5-13> 연차별 투입비용

(단위 : 억원)

구분	2011	2012	2013	계
비용	74.0	75.0	51.0	200.0

2.2 편 익

○ 연구개발사업의 편익은 사업의 성격과 내용에 따라 매우 다양하므로 편익항목을 정하는 것도 항상 논란의 대상이 되고 편익항목으로 정하더라도 계량화가 가능해야 경제성분석에 반영할 수 있음

○ 일반적으로 실용화를 목적으로 개발된 철도차량의 편익은 경제적 타당성 분석시 차량의 시장점유를 고려한 매출예상액을 산출하고 이에 따른 순부가가치를 편익으로 간주하여 분석함

○ 그러나, 본 과업은 실용화된 차량개발이 목표가 아니라 새로운 철도시스템

의 기초기술 확보가 최종목표가 되므로 매출예상액을 고려하는 것은 적절치 않다고 판단됨

○ 따라서 본 연구에서는 관련기술의 개발로 인한 각 산업적 파급효과를 대상으로 하되 계량화가 가능한 항목을 편익으로 간주하여 분석함

○ 초고속 초고속열차 기술은 최첨단의 복합기술로서 산업적 파급효과는 앞 절에서 언급한 바와 같이 종합적인 설계 능력, 물류이송시스템 분야, 첨단건설기술 분야, 군사 및 항공우주분야, 자동차 및 첨단부품분야 등 폭넓은 파급효과가 있을 것으로 보임

- 많은 분야에 파급효과가 있을 것으로 예상되지만 직접적으로 계량화되지 않거나 중복성이 있는 것은 제외하고 반영할 필요가 있음

○ 본 연구에서는 앞 절에서 언급한 바와 같이 개략적으로나마 계량화가 가능한 클린 무빙시스템, 클린 리프트분야 등을 대상으로 편익을 산정함

○ 편익의 계량화는 핵심기술의 파급효과가 있을 것으로 예상되는 분야의 시장성을 분석하고 본 연구개발로 인한 시장점유율을 가정하여 도출된 순부가가치를 기준으로 함

- 여기서 논쟁이 되는 것은 기술개발로 인한 시장점유율을 산정하는 것인데 연구개발에 의한 산업파급효과분야와 시장점유율을 구하는 것은 매우 불확실하므로 본 연구에서는 보수적인 수치로 가정하여 산출함

○ 대형국가연구개발 실용화사업의 철도관련 부문에 부가가치비율은 2005년 5월 대형국가연구개발 실용화사업 예비타당성 조사결과 보완회의에서 철도관련 부가가치를 한국과학정책연구원의 제안에 따라 40%로 결정했음을 고려하여 0.4로 적용함

<표 5-14> 핵심기술 개발로 인한 편익

구분	관련분야 세계시장	국내시장	기술개발로 인한점유율1)	기술개발로 인한 점유	부가가치2)
클린 무빙시스템(수평용)	100억달러	20억달러	0.4%	8백만달러	37억원
클린 리프트(수직용)	2,000억원	400억원	0.4%	1.6억원	0.64억원

주) 1. 보수적으로 단순가정

2. 부가가치 비율을 0.4로 적용(대형국가연구개발 실용화사업 예비타당성 조사결과 보완회의(2005.5))

3. 경제성 분석결과

○ 경제성 분석결과, 기술개발로 인한 시장 점유 규모를 0.4%로만 가정하여도 비용편익비(B/C)는 1.2로 초고속열차 시스템 원천기술 개발로 인한 경제적 타당성은 확보되는 것으로 분석됨

<표 5-15> 경제성 분석 결과

구분	B/C	NPV	IRR
시장점유 0.4%가정시	1.20	3,437 백만원	7.90%

제4절 향후 시장예측

○ 초고속 자기부상 철도가 도입될 만한 지역은 대부분 여객수요일 것으로 판단하고 있는 바, 여객교통수요가 충분하면서 항공수요가 주로 담당한 지역이 적합할 것임

○ 예를 들면, 메가시티(Mega-City) 밀접지역으로 중국 동부, 미국 동부, 호주, 유럽, 극동아시아 등이 유력하고 섬나라로서 항공이 발달한 인도네시아, 일본 등이 유력함

○ 특히, 초고속 자기부상 철도가 500km/h이상의 속도로 이동한다는 점에서 상기 지역 중 아래와 같은 교통축이 유력할 것으로 판단함

- 한 국가 내 대도시를 지나는 교통축
- 인접 국가간 교통량이 많은 연결축
- 해안을 맞대고 있는 지역 연결축

1. 한 국가 내 대도시를 지나는 교통축

○ 선진국이면서 대도시가 많은 국가는 대도시를 따라가면서 교통축이 형성되어 있는 바, 이들 대도시를 잇는 교통수단으로 초고속 자기부상 철도인 적합할 것임

○ 영토가 넓은 국가나 길쭉한 형태의 국가가 여기에 해당하며 미국, 중국, 브라질, 러시아, 일본, 한국 등이 여기에 속함

1.1 미 국

○ 1998년 미 의회에서는 21세기를 위한 교통법령(Transportation Equity Act for the 21st Century, TEA21)에서 자기부상열차개발 프로그램(Maglev Deployment Program, MDP) 을 계획하고 있음

○ 'Transport Equity Act for the 21st Century'의 주된 내용은 자기부상시스템을 갖춘 교통수단의 타당성(feasibility)과 안전성(safety)을 증명할 수 있는 국가단위의 사업을 재정적으로 지원하는 Magnetic Levitation Transportation Development Program으로 볼 수 있음

○ 이 프로그램에 의해 Transportation Secretary는 하나 또는 두개의 사업을 선택하여 preconstruction planning 활동에 재정적으로 디자인, 엔지니어링, 건설 활동 등을 지원함

○ 미국에서 가장 빠른 자기부상 초고속 자기부상 철도의 건설을 지연시키는 장애는 엄청난 기초 건설비용이라고 할 수 있으나, 최근의 급속한 유가 상승과 교통난 그리고 항공기 가격 상승에 따라 자기부상열차가 유력한 대안으로 떠올랐음

○ 이러한 관점에서 미국의 동부지역과 서부지역의 남북축이 대도시가 밀접 되어 있어 초고속 자기부상 철도 도입이 적합한 지역임



[그림 5-23] 미국에서 초고속 자기부상 철도 도입이 가능한 교통축

<표 5-16> 미국 내 초고속 자기부상 철도 도입이 가능한 4개축

구분	지역/구간	연장
미국 동부지역	① 보스턴-뉴욕-워싱턴-리치먼드-애틀란타 축	1,935Km
	② Tampa-Orlando-Miami 축	624km
미국 서부지역	③ Eugene-Portland-Seattle-Vancouver,B.C. 축	766km
	④ San Diego-Los Angeles-San Francisco Bay Area 축	2,082km

○ 상기의 4개축이 약 5,400Km에 달하며 이외에도 미국 중동부 남북축, 동서축으로 약 10,000Km의 초고속 자기부상 철도가 도입될 가능성이 있음

1.2 중 국

○ 중국은 영토가 넓고 인구가 많기 때문에 중장거리 여객운송시장의 잠재력은 거대하며, 경제력은 지속적으로 급속히 발전하고 이에 따른 생활수준도 향상됨에 따라 대량의 고속수송 수단에 대한 요구가 증가되고 있음. 따라서 지속발전이 가능한 육상 고속교통시스템의 요구가 서로 부합되는 상황임

○ 중국은 독일의 초고속 자기부상철도 기술개발의 완성도와 육상교통수단으로서 세계 최고속도라는 관점에서 자국의 육상 고속교통시스템에 대한 정책범위에 포함하고, 공산당 및 국무원 등에서 독일의 기술도입을 결정하였으며 이와 동시에 세계 최초로 상하이에 초고속 자기부상열차 실용화 운행선을 건설하였음

○ 중국은 Shanghai 자체적으로 SMTDC(Shanghai Maglev Transportation Development Co., SMT)라는 기술 공단을 구성하여 독일로부터 기술을 전수받는 것과 동시에 자체적으로 기술 개발을 추진하였음

○ 이에 따라 중국은 Shanghai 프로젝트를 통해 자기부상 선로 기술을 완전 이전 받았고, 22개월에 걸친 극히 단기간에 세계 최초의 초고속 자기부상철도 시스템을 건설하는 기염을 토하여 세계를 놀라게 하였으며, 2002년 12월 31일 단선 시운행을 실시하면서 공식 개통식을 갖음

○ 중국에서 초고속 자기부상 철도가 도입될 가능성이 가장 높은 지역은 동부 상하이 삼각주 지역임

○ 상기 지역의 북경～상해간 고속철도 구간은 3개 직할시와 4개성(북경, 천진, 하북, 산동, 안휘, 강소)을 관통하는 주요 교통로이므로 초고속 자기부상 철도 도입을 검토할 만한 지역으로 평가됨

○ 상기의 북경～상해 축이 약 1,330km이며 경제상황에 따라 동서, 남북축으로 약 20,000Km의 초고속 자기부상 철도가 도입될 가능성이 있음



[그림 5-24] 중국의 대륙통과축 및 북경~상해 교통축

1.3 브라질

○ 브라질은 남미의 신흥 부흥국가의 하나로서 초고속 자기부상 철도 도입가능성이 보이는 국가임

○ 해안에 위치한 상파울로는 브라질의 제2의 도시로서 교통, 해양, 경제의 중심지이며 내륙에 위치한 브라질리아는 정치, 문화의 중심지로서, 초고속 자기부상 철도의 주요 대상축으로 검토할 수 있을 것임

○ 브라질리아~상파울로 축은 약 1,000km 연장을 가짐



[그림 5-25] 브라질의 브라질리아~상파울로 교통축

1.4 러시아

○ 러시아는 1990년까지만 하더라도 화물은 미국의 1급 화물 철도회사 16개 회사의 수송량 합계에 2.5배 이상, 여객 수송에서는 프랑스와 독일, 이탈리아, 스위스를 합친 수송량의 약 2배가 넘는 세계 제일의 철도 강국이었음

○ 러시아 연방 이후 철도는 가장 중요한 교통기관으로, 러시아 철도는 파이프라인을 제외한 화물 수송의 4분의 3 이상, 여객 수송의 거의 절반을 차지하고 있음

○ 그러나 구 소련의 붕괴 후 수송 구조의 변화와 함께, 다른 수송기관에 점유율을 빼앗겨 수송량은 큰 폭으로 감소하고 있음

○ 그럼에도 불구하고 러시아 철도의 노선 연장은 미국 다음으로 세계 2위, 전철화 연장은 세계 1위임

○ 러시아는 광대한 국토만큼이나 장거리 노선이 많아, 국내에서 Moskva와 Vladivostok 사이의 9,288km를 묶는 세계 최장의 시베리아 철도는 우등열차 '러시아호'가 매일 1개 노선씩, Moskva와 Vladivostok를 출발해서 약 7박 8일의 시간동안 이동하고 있음

○ 러시아의 발전 잠재력을 감안할 때 장기적으로 페테르부르크~모스크바~블라

디보스톡 축 약 10,000km는 초고속 자기부상 철도의 도입이 예상되는 교통축임



[그림 5-26] 러시아의 페데르부르크~모스크바~블라디보스톡 교통축

1.5 일 본

○ 일본은 2005년에 초전도 마그넷의 비용절감을 목적으로 액체 헬륨 냉각 방식을 적용하지 않는 세라믹계 고온초전도체(BSCCO)를 사용한 마그넷을 개발하여 차량에 탑재, 최고속도 553km/h의 주행시험에 성공한 바 있음

○ 특히 열차가 서로 지나칠 때의 차량운동을 검증할 목적으로 상대속도 1,026km/h의 교차주행을 실시하여 영업선의 500km/h에서의 차량 교차 운행에서도 문제가 없다는 것이 확인됨

○ 이 외, 장대편성의 중간차의 차량운동을 검증하기 위해 5량 편성 주행시험도 실시하여 552km/h를 기록하였고, 영업속도 및 야마나시 실험선의 설계최고속도를 크게 넘는 581km/h를 기록함

○ 따라서 일본은 초고속 자기부상 철도 실현 가능성이 높은 국가이며 도입이 예상되는 교통축은 남규슈의 중심도시인 가고시마현에서 홋카이도의 정치·경제·문화 및 교통의 중심지인 삿뽀로까지 일 것으로 예상되고 있음

○ 가고시마~삿포로 축 약 2,000km에 달함



[그림 5-27] 일본의 가고시마～삿뽀르 교통축

1.6 한 국

○ 우리나라의 경우 통일이 되면 남북을 보다 신속하게 연결하는 교통수단이 필요함

○ 남북을 연결하는 주요 교통축으로 신의주-서울-부산축과 청진-서울-목포축이 있는데 이들 교통축은 1,000Km을 초과함

○ 이들 교통축에서 부산, 목포는 지리적으로 TCR, TSR의 시종착 지점의 역할을 할 가능성이 높을 것임

○ 청진～목포 축과 신의주～부산 축은 각각 약1,000km에 달하는 노선으로 초고속 자기부상 철도의 주요 대상축으로 검토할 수 있을 것임



[그림 5-28] 한국의 X형태의 교통축

2. 인접 국가간 교통량이 많은 연결축

2.1 유럽내 연결축 (TER)

○ 유럽의 경우 EU출범 후 하나의 국가와 같이 왕래가 많은 지역으로 이들 국가 간에는 초고속 자기부상 철도의 도입이 매우 유력함

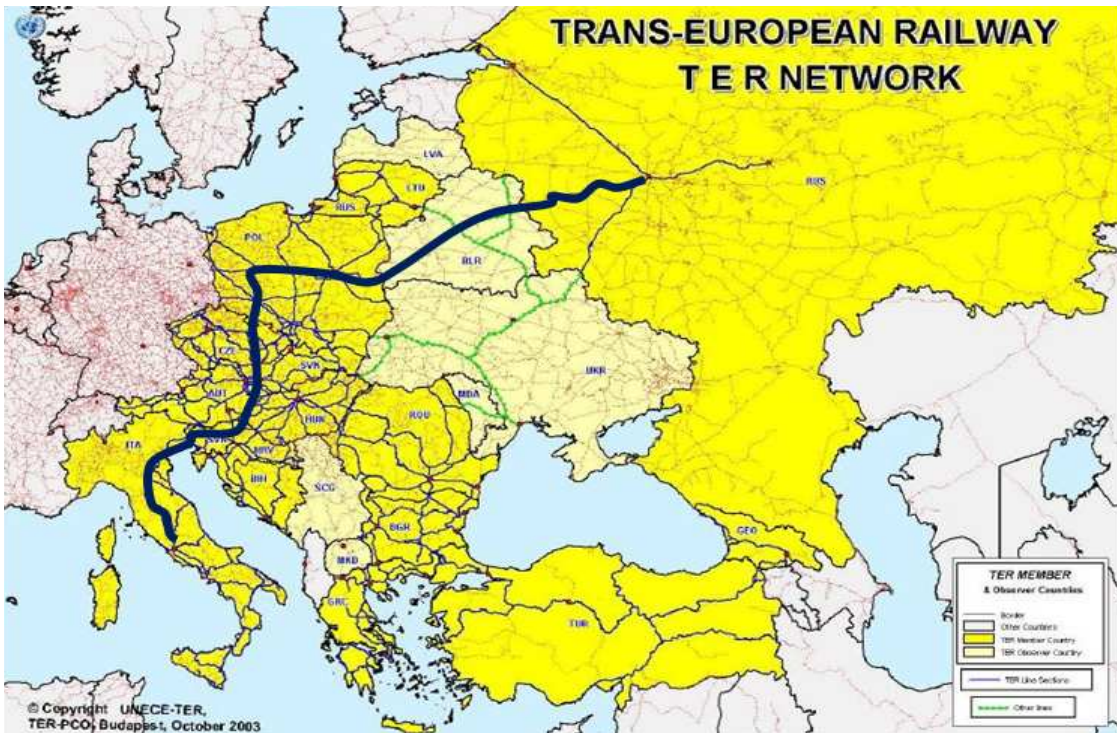
○ 대표적인 것이 유럽횡단철도(Trans-Europe Railway : TER)인데 유럽 국가들의 철도망 근대화 사업 추진 및 철도시스템의 통일된 기준 마련의 취지로 출범한 철도프로젝트임

○ 효율적인 철도시스템과 연계수송망을 구축하고 유럽 수준에 맞는 수송망 건설을 목적으로 시작된 이 사업은 중·동부 유럽에 위치해 있는 대부분의 국가들이 참여하고 있음

○ 각국은 자국에서 사용되고 있는 차량규격의 표준화 작업을 시도하고 있으며, 통일된 기준 제작은 각국 간 철도시스템의 비교 및 성능개선을 가능하게 하였음

○ 이상에서 보는 바와 같이 TER 프로젝트는 유럽을 묶는 중요한 사업으로서 향후 이축을 보다 신속하게 연결할 수 있는 초고속 자기부상 철도의 잠재시장으로 손색이 없다고 할 수 있음

- 모스크바~로마 축 약 4,220km
- 앙카라 ~ 이스탄불 ~ 부다페스트 ~ 베를린 축 약 3,500Km
- 리스본 ~ 마드리드 ~ 파리 ~베를린 ~ 바르샤바 축 약 5,000Km



[그림 5-29] TER의 교통축

2.2 TAR 등

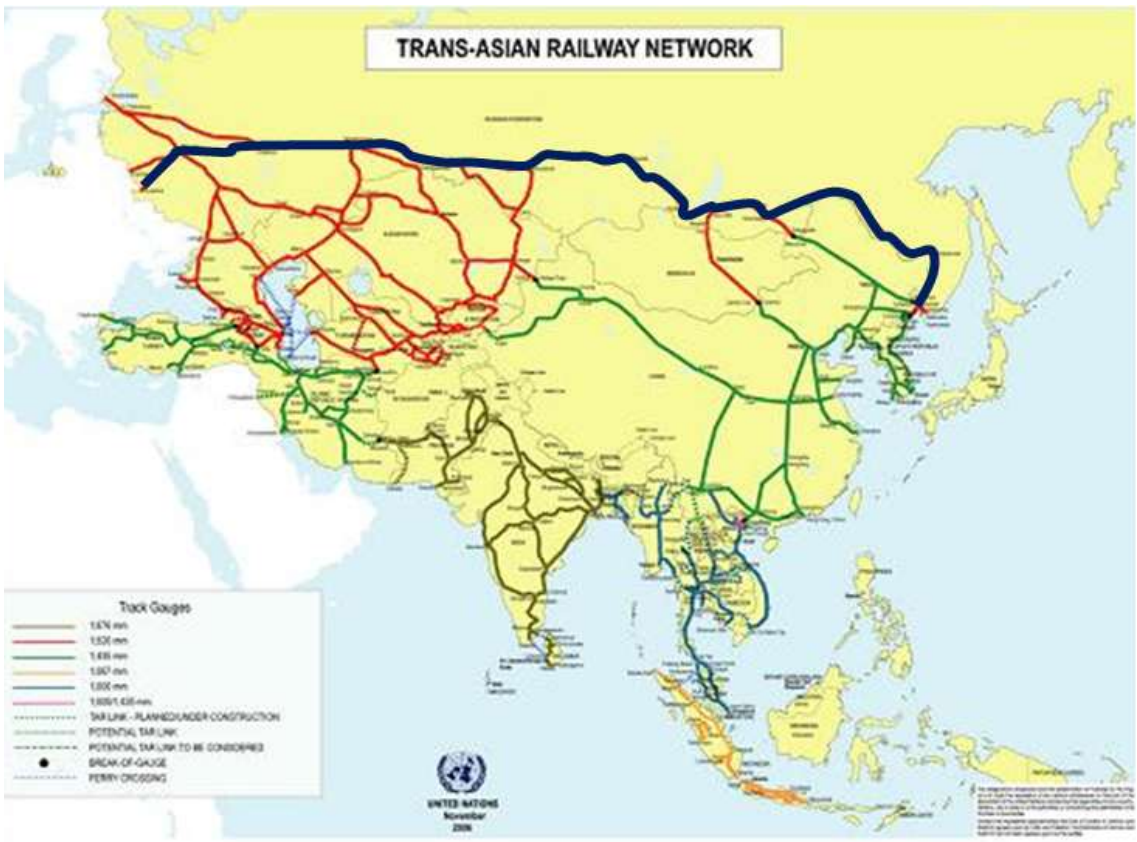
○ ‘80년대 이후 동유럽 국가들의 독립과 시장경제의 채택은 물동량 증가를 가져왔고 경제 자유화로 인해 중유럽과 동유럽에 많은 변화가 일어났으며 유럽공동체의 범위가 확장되기 시작하였음

○ 아시아와 유럽 간 무역이 성장함에 따라 컨테이너 물동량도 증가하여 ‘99년 5천 9백만 TEU이던 것이 연간 6.3%씩 증가하고 있음

○ 이처럼 대륙 간에 활발한 교역은 향후 전 세계 교통과 커뮤니케이션에 많은 변화를 불러 올 것으로 예측되는 바, 국가 간 효율적인 철도연계 마련이 이루어져야 할 것임

○ 이러한 측면에서 아시아를 횡단하는 TAR(Trans Asia Railway: TAR) 철도는 장기적인 관점에서 초고속 자기부상 철도의 잠재시장으로 판단됨

- TAR에서 초고속 자기부상 철도를 고려할 만한 구간은 약 20,000Km에 달함



[그림 5-30] TAR의 교통축

○ 이 중 TSR(러시아횡단철도)와 TCR(중국횡단철도)와 연계되는 중국 서남부 쿤밍에서 싱가포르까지 6개국 5,500km를 잇는 범아시아 철도도 초고속 자기부상 철도의 잠재시장이 될 것으로 판단하고 있음

○ 쿤밍~하노이~호찌민(이상 베트남)~프놈펜(캄보디아)~방콕(태국)~콸라룸푸르(말레이시아)~싱가포르까지가 초고속 자기부상 철도 차량 도입을 검토할 만한 지역으로 평가됨



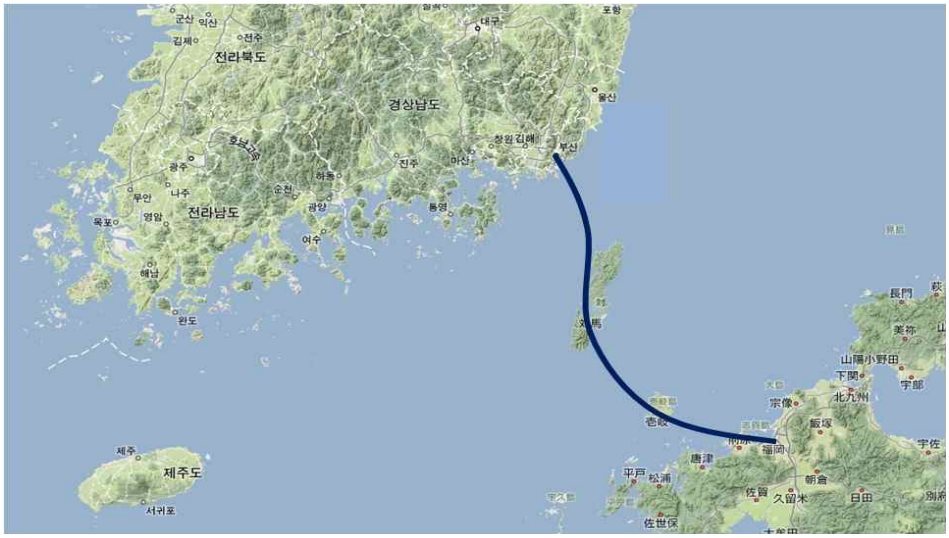
[그림 5-31] TAR 중 싱가폴~쿤밍간 교통축

3. 해안을 맞대고 있는 지역 연결축

○ 해안을 맞대고 있어 거리가 짧아도 불가피하게 항공을 주로 이용했던 지역은 초고속 자기부상 철도 도입이 아주 적합할 것으로 판단하고 있음

3.1 한・일 해저터널

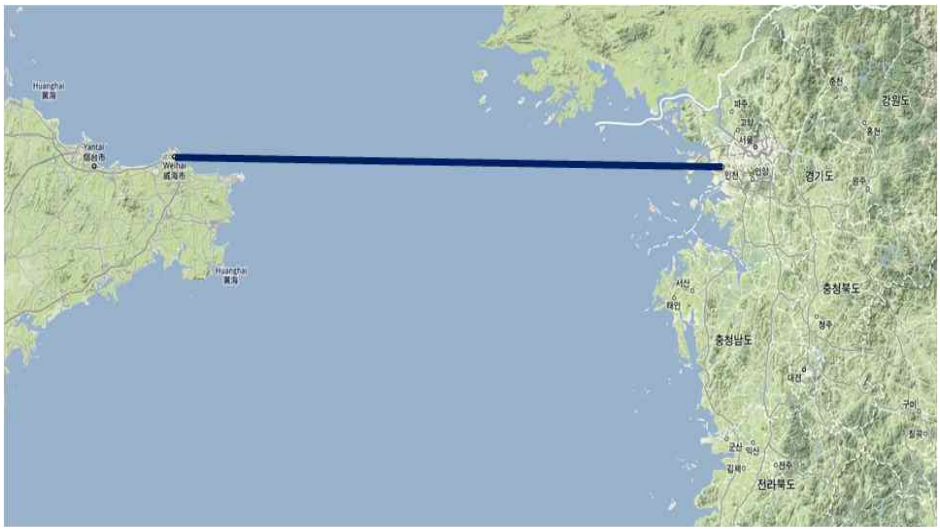
○ 한・일 해저터널은 부산~후쿠오카 축 약 222km에 달하는 구간으로 유력한 초고속 자기부상 철도의 잠재시장으로 평가됨



[그림 5-32] 한일해저터널 교통축

3.2 한・중 해저터널

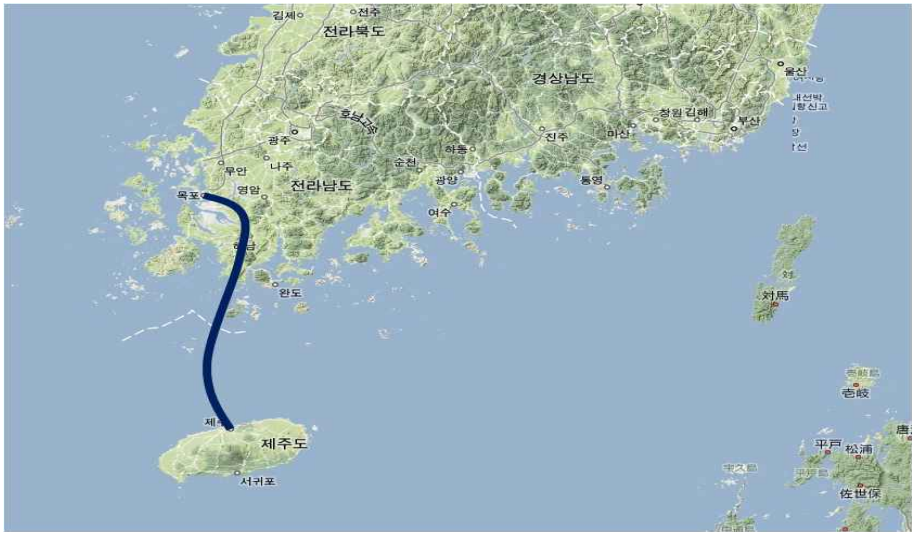
○ 한・중해저터널인 Weihai~인천 축 약 410km도 유력한 초고속 자기부상 철도의 잠재시장으로 평가됨



[그림 5-33] 한중해저터널 교통축

3.3 목포-제주 해저터널

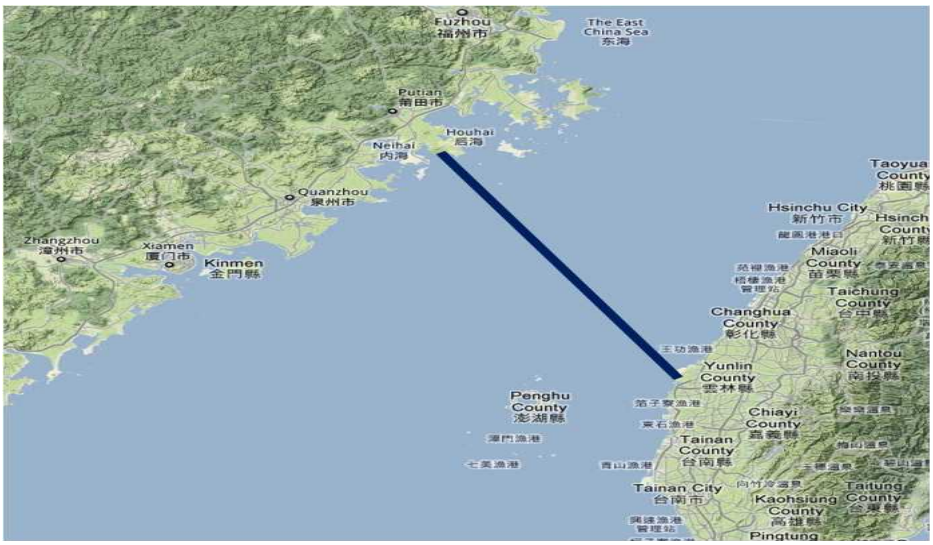
○ 한국 내 목포~제주 노선 약 172km도 유력한 초고속 자기부상 철도의 잠재시장으로 평가됨



[그림 5-34] 목포-제주 해저터널 교통축

3.4 중국-대만 해저철도

○ 중국 본토와 대만을 잇는 약 192km의 중국-대만 해저 철도도 유력한 초고속 자기부상 철도의 잠재시장으로 평가됨



[그림 5-35] 중국-대만해저터널 교통축

3.5 영불해저터널

○ 유럽대륙(파리)과 영국(런던)을 잇는 730km의 영불 해저 철도도 유력한 초고속 자기부상 철도의 잠재시장으로 평가됨



[그림 5-36] 영불 해저터널 교통축

4. 기타 지역

○ 상기에 언급된 지역이외에도 초고속 자기부상 철도가 도입될 가능성이 있는 지역이 존재함

○ 대표적인 지역이 아프리카에 위치한 남아프리카 공화국, 오스트레일리아, 캐나다 등임

- 오스트레일리아: 약 10,000Km
- 남아프리카 공화국: 약 3,000Km
- 이집트 : 약 1,000Km
- 캐나다: 약 10,000km

5. 초고속 자기부상 철도 시장전망

5.1 초고속 자기부상 철도 도입 가능지역

○ 지금까지 검토한 초고속 자기부상 철도 도입가능지역을 대륙별 국가별 사업구간별로 세분하여 정리해보면 소극적 전망시 약25,000km, 적극적 전망시 약89,000km이고 아래와 같음

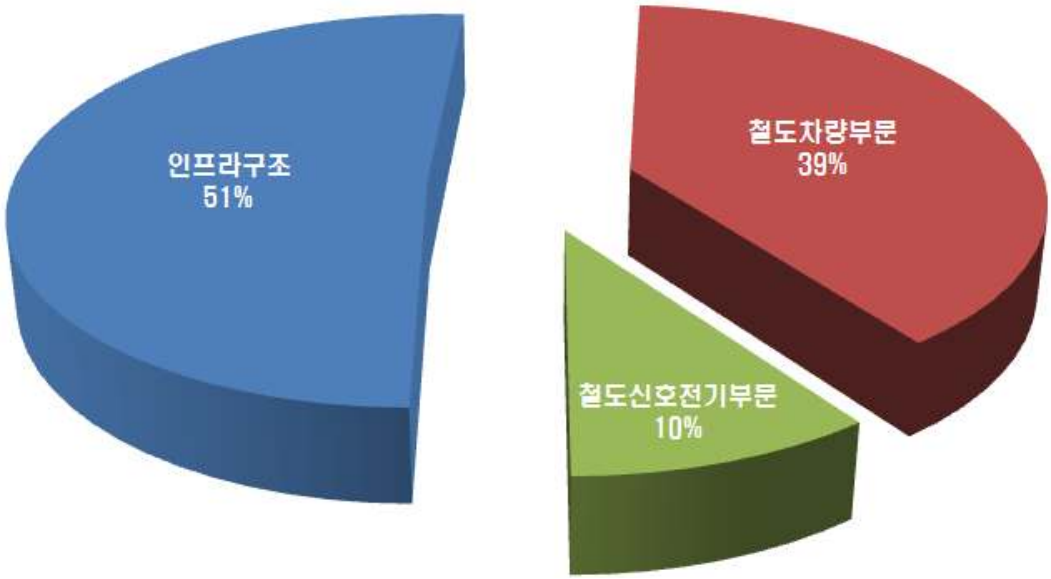
<표 5-17> 초고속 초고속 자기부상 철도 적용가능 사업노선

대륙	국가	지역/구간	연장(Km)	
			소극적 전망	적극적 전망
북미	미국	보스턴-뉴욕-워싱턴-리치먼드-애틀란타 축	1,935	
		Tampa-Orlando-Miami 축	624	
		Eugene-Portland-Seattle-Vancouver,B.C. 축	766	
		San Diego-Los Angeles-San Francisco Bay Area 축	2,082	
		기타 중동부지역의 동서, 남북축		10,000
	캐나다	동서축		10,000
남미	브라질	브라질리아-상파울러	1,000	
아시아	중국	북경-상해 축	1,330	
		전국 4*4 철도교통축		20,000
		한중터널	410	
		중국-대만 해저터널	192	
	일본	가고시마-삿뽀르	2,000	
		한일 해저터널	222	
	한국	X 축	2,000	
		목포-제주	172	
유럽	러시아	피테스부르크-블라딕보스톡		10,000
	대륙전체	모스크바~로마 축	4,220	
		앙카라~이스탄불~부다페스트~를린 축	3,500	
		리스본~마드리드~파리~베를린~바르샤바 축	5,000	
아프리카	이집트	-		3,000
	남아공	-		1,000
호주	호주	-		10,000
계			25,453	64,000

5.2 철도산업구조

○ 세계철도시장구조는 크게 인프라부문, 철도차량부문, 전기·신호시스템 부문으로 대별됨

○ 이중 인프라부문이 51%를 차지하고 있고 다음으로 철도차량부문이 39% 이며 나머지는 철도전기·신호부문으로 약 10%를 차지하고 있음



[그림 5-37] 철도분야별 시장구조 분담율

5.3 시장규모 전망

○ 초고속 자기부상 철도 시장은 총 연장 약 89,500Km에 이를 것이며 초고속 초고속 자기부상 철도 시스템의 건설비는 차량, 전기, 신호 등 기타 부분을 모두 고려하여 약 550~750억원/km로 예상됨

○ 따라서 시장규모는 소극적인 전망시 1,654조원, 적극적인 전망시 5,814조원에 이를 것으로 예상됨

○ 철도분야별 시장구조를 현재의 비중대로 인정한다면 초고속 자기부상 철도 시장규모는 다음과 같음

<표 5-18> 철도산업구조별 시장전망

(단위: 원)

구 분	소극적 전망	적극적 전망
인프라부문	844조	2,965조
철도차량부문	645조	2,268조
전기·신호부문	165조	581조
합 계	1,654조	5,814조

○ 현재 세계 고속철도차량 시장점유율의 경우 프랑스의 알스톰(44%), 독일의 지멘스와 캐나다의 봄바르디아(34%), 일본의 가와사키와 히타치(19%) 순으로 공급시장을 형성하고 있으며 최근 스페인, 이탈리아 등도 주요시장으로 성장하고 있음

○ 한국의 로템은 2.1%의 시장점유율로 세계 8위 수준을 형성하고 있음

5.4 경쟁수단과의 시장경쟁력 분석

5.4.1 분석 방법

○ 장래 초고속 자기부상 철도가 도입 시 경쟁수단이 되는 항공, 승용차 등과의 경쟁력분석은 이동거리별 수단의 효용함수에 기반한 수단분담모형을 사용하는 것이 적정할 것으로 판단함

- 수단분담은 출발지 i에서 목적지 j로의 통행량을 수단별로 분담하는 과정임

○ 효용함수에 기반 한 수단분담 모형으로는 통행자 개개인의 통행행태 특성을 파악하여 수단분담율을 예측하는 개별 통행행태 모형 중 로짓모형이 주로 이용함

○ 『도로・철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정・보완 연구(제5판), 한국개발연구원, 2008. 12』에서 역시 이에 따라 다음과 같은 형태의 로짓모형을 제시하고 있음

$$P(K) = \frac{\exp(U_K)}{\sum_{i}^{n} \exp(U_i)}$$

여기서, U_K= 수단 K의 효용

U_i= 수단 i의 효용

n= 수단의 수

○ 위에서 효용함수 U_i는 다음과 같은 형태를 지님

$$U_{ijm} = \alpha_1 (T_{time})_{ijm} + \alpha_2 (T_{cost})_{ijm} + Dummy + (\text{상수항})_m$$

여기서, U_{ijm}=수단 m의 교통죤 i와 j간의 효용함수

$(T_{time})_{ijm}$=수단 m의 교통죤 i와 j간의 총 통행시간

$(T_{cost})_{ijm}$=수단 m의 교통죤 i와 j간의 총 통행비용

$Dummy$=상수항 이외 설정한 더미변수

$(\text{상수항})_m$=수단 m의 더미

○ 즉, 효용함수는 수송수단별 통행 및 접근시간, 수송수단별 운임, 그리고 특성을 표현하는 더미를 고려하여 추정됨

- 총통행시간은 이미 구축된 연도별 도로망에 통행배정을 하여 산출
- 도로부문 이용 수단은 부하된 통행량 기반의 이용자 균형상태 도출을 통한 경로 통행시간을 사용
- 철도부문 이용 수단은 지역 간 철도부문의 시설 수준과 관련하여 전철화, 복선화 등 용량확충 사업의 효과를 반영하기 위해 노선운행 자료를 기반으로 산출.

○ 총통행비용 산출 시에는 버스와 철도는 현재 요금을 기준으로 계산하며, 승용차는 km당 평균 차량운행비용을 이용함

- 철도 운임은 해당 열차 또는 여러 열차의 운행회수를 고려한 가중 평균치를 사용
- 철도 운임의 산정은 철도요금 구조인 기본구간 요금과 초과구간에 대한 요율 적용을 통해 도출하거나 링크 기반의 단위 km당 운임을 이용하여 산출

○ 앞서의 효용함수에서 각각의 파라미터 값은 다음과 같으며 항공의 경우 철도와 동일하게 보았으며 대신에 상수항을 제로로 처리하였음

<표 5-19> 지역간 여객 수단선택의 효용함수 파라미터 값

(단위: 천분, 천원)

구 분	T_{time}	$T_{\cos t}$	D_{metro}	상수항
승용차	-2.54	-0.0243	-0.864	-
버 스	-2.54	-0.0733	-	-1.326
철 도	-2.54	-0.1150	-	-1.797
항공	-2.54	-0.1150	-	-

자료: 도로·철도부문 사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완 연구(제5판), 한국개발연구원, 2008. 12

5.4.2 분석결과

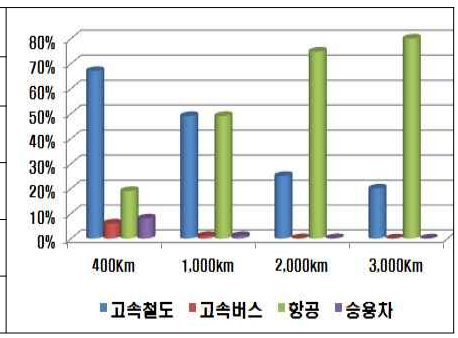
○ 초고속 자기부상 철도가 도입되지 않았을 시, 즉 기존철도 또는 현재의 시속 200~300km의 고속철도만을 운영하였을 경우 거리별로 철도의 경쟁력은 상당히 차이가 나는 것으로 분석되었음

○ 우선 400km이동거리를 기준으로 고속철도는 교통수단 분담율이 약 2/3을 차지하는 중요한 교통수단이 되나, 이동거리 2,000km에서는 교통수단 분담율이 1/4 정도로 떨어지는 것으로 분석되었음

- 최근 국가교통DB자료(2007년 실적)를 기준으로 고속철도가 운행 중인 서울-부산간 408km구간에서 철도 분담율은 73.2%임

<표 5-20> 초고속 자기부상 철도 미 도입시 교통수단분담율

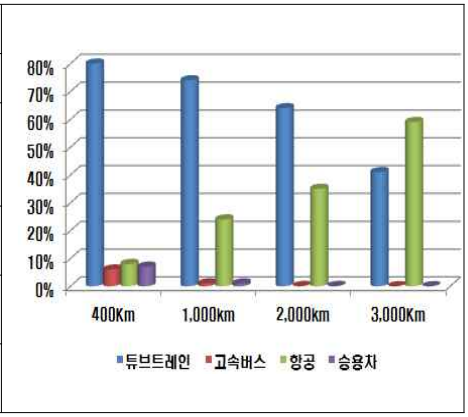
수단	이동거리			
	400Km	1,000km	2,000km	3,000Km
고속철도	67 %	49 %	25 %	20 %
고속버스	6 %	1 %	0.1 %	0 %
항공	19 %	49 %	74.8 %	80 %
승용차	8 %	1 %	0.1 %	0 %



○ 하지만, 초고속 자기부상 철도를 도입할 시에는 2,000Km의 이동거리에서도 철도(초고속 자기부상 철도)의 교통수단분단율은 2/3 수준을 유지하는 것으로 분석되었음

<표 5-21> 초고속 자기부상 철도 도입시 교통수단분담율

수단	이동거리			
	400Km	1,000km	2,000km	3,000Km
초고속 자기부상 철도	80 %	74 %	64 %	41 %
고속버스	6 %	1 %	0.1 %	0 %
항공	8 %	24 %	35 %	59 %
승용차	7 %	1 %	0.1 %	0 %

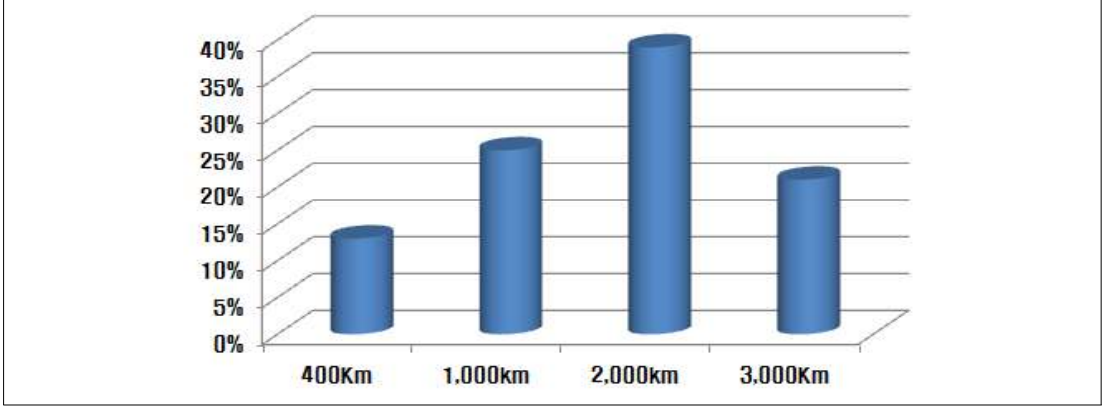


5.4.3 경쟁수단간 시장경쟁력 분석

○ 초고속 자기부상 철도의 경쟁력은 이동거리별로 상이하게 나타나는 바, 일반적으로 이동시간이 2~3시간 이내의 거리인 2,000km 내외에서 가장 경쟁력이 있는 것으로 분석되었음

<표 5-22> 초고속 자기부상 철도 도입시 교통수단 분담율 증가분

수단	이동거리			
	400Km	1,000km	2,000km	3,000Km
초고속 자기부상 철도	13 %	25 %	39 %	21 %



제 6 장 세부과제별 상세기획

제1절 최종목표 및 내용

1. 최종 목표

○ 상전도 흡인식 초고속철도 핵심기술 확보

바퀴식 철도의 고속화에 따른 추진시스템의 낮은 효율, 유지보수비 증가, 그리고 도심에서의 소음 문제 등으로 인해, 초고속 자기부상열차에 대한 관심이 점차 증가되고 있어 이에 대한 기술 개발이 필요함에 따라 본 과제에서는 초고속철도 시스템의 핵심기술개발을 위해 다음과 같은 목표를 3년 기간 내에 달성하고자 함

- 550km/h급 초고속 자기부상철도 시스템 설계기술 확보
- 550km/h급 초고속 자기부상철도 시스템 설계기술의 검증 및 조합성능평가를 위한 약 100m 길이의 실규모 단거리 시험선 구축

○ 연구개발 기간 : 총 3년

○ 사업 총 예산 : 200억원 (정부출연금 : 166.5억원, 민간부담금 : 33.5억원)

<표 6-1> 사업 총 예산

단위 : (백만원)

년도	정부 출연금	민간부담금	총 소요예산
1차년도	6,025	1,375	7,400
2차년도	6,288	1,212	7,500
3차년도	4,337	763	5,100
합계	16,650	3,350	20,000

2. 세부연구별 기술개발 목표 및 내용

2.1 (세부연구1) : 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발

○ 기술개발 목표

- 초고속철도 통합 및 인터페이스 기술개발
- 초고속철도 시스템 성능평가기술 개발
- 초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축

○ 주요연구내용

- 초고속철도 시스템 통합 및 평가 기술개발
  - 초고속 철도시스템 기술개발의 통합 및 총괄운영관리 체계 구축
  - 시스템 인터페이스 내용 분석
  - 시스템 요구사항 분석 및 정의
  - 성능평가 시험계획 및 절차 수립
  - 초고속 자기부상 시스템 성능시험 기준 제시
  - 상시 계측시스템 설계 및 구축
  - 전체시스템 고장진단 연구

- 초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축
  - 단거리 시험선용 가이드웨이 설계/제작
  - 차량 유지보수설비 설계/구축
  - 차량 제어실 설계/구축
  - 추진전력용 변전시스템 설계/시설

· 차량 유지보수설비용 전력설비 설계/시설

· 차량 제어실용 전기설비 설계/시설

· 단거리 시험선의 가이드웨이 시험 및 평가

→ 궤도의 정적 처짐 한계 및 열에 의한 변형 평가

→ 차량의 주행에 의한 동적하중에 대한 가이드웨이 평가

2.2 (세부연구2) : 초고속 차량 핵심기술개발

○ 기술개발 목표

- 초고속 부상시스템 및 대차 개발
- 초고속 차체 및 전장품 개발

○ 주요연구내용

- 초고속 부상시스템 및 대차 개발

· 자기부상/안내/와전류제동용 마그네트 설계/해석/제작

· 자기부상/안내/와전류제동용 마그네트 드라이버 설계/해석/제작

· Fail-Safe를 고려한 자기부상방식 대차 설계/제작

· 공압분배시스템(Pneumatic & Air Distribution System) 설계/제작

· 초고속 부상시스템 및 대차 시험 및 평가

→ 자기부상/안내/와전류제동장치 성능평가

→ 대차시스템 성능평가

- 초고속 차체 및 전장품 개발

· 30kW급 이상 HF(High Frequency) DC/DC 컨버터 설계/제작

· 비접촉 전원장치의 Pick-up 시스템 요구사항 제시/구축

· 차량 제어시스템 설계/제작

· 소형·경량의 보조전원장치 설계/제작

· 차체 설계/제작

· 기계적 제동시스템 설계/제작

· 차량시스템 통합(System Integration)기술 개발

· 초고속 차체 및 전장품 시험 및 평가

→ 30kW급 이상 HF(High Frequency) DC/DC 컨버터 시험 및 평가

→ 차량 제어시스템 성능평가

→ 소형·경량의 보조전원장치 성능평가

→ 기계적 제동시스템 성능평가

2.3 (세부연구3) : 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술 개발

○ 기술개발 목표

- 추진 및 전력시스템 기술개발
- 초고속 LSM 제어 기술개발

○ 주요연구내용

- 추진 및 전력시스템 기술개발

· 비접촉 전원공급시스템 구축

· 변전소 보호 시스템 설계/구축

· 추진용 전력변환기 상세설계/제작

· 추진용 LSM 설계/제작

· 추진시스템용 positioning System 구축

· 추진전력시스템 시험 및 평가

→ 추진용 전력변환기 시험평가

→ 추진용 LSM 시험평가

- 초고속 LSM 제어 기술개발

  · 추진용 전력변환시스템 개념설계 및 요구사항 정립

  · 초고속 LSM 제어기술 개발

  · 단거리 시험선을 이용한 추진제어시스템 시험 및 평가

    → 단거리시험선 시험주행을 통한 고속주행 가능성 분석

    → LSM 제어기술 시험 및 평가

  · 추진시스템 전력감시장치 설계/구축

3. 세부연구별 연구일정

○ 연구일정 - (세부연구1) : 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발

연구내용 \ 년 도	1차년도	2차년도	3차년도
초고속철도 통합 및 성능평가 기술개발			
- 초고속 철도시스템 기술개발의 통합			
- 초고속 철도시스템 총괄운영관리 체계 구축			
- 시스템 인터페이스 내용 분석			
- 시스템 요구사항 분석 및 정의			
- 성능평가 시험계획 및 절차 수립			
- 초고속 자기부상시스템 성능시험 기준 제시			
- 상시 종합계측시스템 설계 및 구축			
- 전체시스템 고장진단 연구			
초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축			
- 단거리 시험선용 가이드웨이 설계/제작			
- 차량 유지보수설비 설계/구축			
- 차량 제어실설계/구축			
- 추진전력용 변전시스템 설계/시설			
- 차량 유지보수설비용 전력설비 설계/시설			
- 차량 제어용 전기설비 설계/시설			
- 단거리 시험선 가이드웨이 시험 및 평가			

○ 연구일정 - (세부연구2) : 초고속 차량 핵심기술개발

연구내용 \ 년 도	1차년도	2차년도	3차년도
초고속 부상시스템 및 대차 개발			
- 자기부상/안내/와전류제동용 마그네트 설계/해석/제작			
- 자기부상/안내/와전류제동용 마그네트 드라이버 설계/해석/제작			
- Fail-Safe를 고려한 자기부상방식 대차 설계/제작			
- Pneumatic &Air Distribution System 설계/제작			
- 초고속 부상시스템 및 대차 시험평가			
초고속 차체 및 전장품 개발			
- 30kW급 HF DC/DC 컨버터 설계/제작			
- 비접촉 전원장치 Pick-Up 시스템 요구사항제시/구축			
- 차량제어용 컨트롤시스템 설계/제작			
- 차체 설계/제작			
- 기계적 제동시스템 설계/제작			
- 소형/경량의 보조전원장치 설계/제작			
- 차량시스템 통합(System Integration)기술 개발			
- 단거리 시험선 차체 및 전장품 시험평가			

○ 연구일정 - (세부연구3) : 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발

연구내용 \ 년 도	1차년도	2차년도	3차년도
추진 및 전력시스템 기술개발			
- 비접촉 전원공급시스템 요구사항 정리/구축			
- 변전소 보호시스템 및 감시장치 설계/구축			
- 추진용 전력변환기 상세설계/제작			
- 추진용 LSM 설계/제작			
- 추진시스템용 Positioning System 설계/제작/시설			
- 전력시스템 시험 및 평가			
초고속 LSM 제어 기술개발			
- 추진용 전력변환시스템 개념설계 및 요구사항 정립			
- 초고속 LSM 제어 기술개발			
- 단거리 시험선을 이용한 추진제어시스템 시험 및 평가			

4. 세부연구별 기술수준 및 인프라 수준

<표 6-2> 세부연구별 관련기술 분야의 기술수준

기 술 명	기술수준 (%)	전문인력 보유정도(%)	인프라 구축정도(%)
초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발	75%	80%	80%
초고속 차량 핵심기술개발	70%	65%	70%
초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발	70%	60%	65%

<표 6-3> 세부연구별 관련기술 분야의 인프라수준

기 술 명	인력보유 정도	자금지원 수준	연구개발시스템 (설비, 장비, 체제 등)	기타 고려사항
초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발	높음	보통	보통	-
초고속 차량 핵심기술개발	보통	보통	보통	-
초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발	보통	보통	낮음	-

5. 세부연구별 기존 연구화 차별성

○ (세부연구1) : 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발

- 시스템 엔지니어링 기술은 초고속철도 시스템에 대한 원하는 성능의 최종성과물을 얻기 위해서 시스템 요구사항을 분석하여 개념설계로부터 기본 및 상세설계에 이르기까지 반복적으로 설계 범위를 확대 개선하고 요구사항 및 개발과정 관리를 통하여, 최종적으로 가장 경제적이면서도

요구되는 성능을 발휘하는 시스템임

- 초고속철도 시험평가와 관련된 성능시험기준은 각 시스템에 대한 설계 과정부터 시작하여 최종적으로 인증과정에 이르기까지 매우 중요한 수단과 지침이 되고 있고, 최종적인 기술 수준을 의미하게 되므로 성능평가기술을 확보해야 함
- 초고속철도 시스템 개발시 위험 요소들을 사전에 파악하여 관리함으로써 설계 변경에 의한 비용 증가 및 공기 지연의 위험을 최소화할 수 있도록 함
- 초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축과 관련된 기술은 바퀴식과 중저속에 대한 궤도 연구만 수행해 온 연구내용과 차별화됨

○ (세부연구2) : 초고속 차량 핵심기술개발

- 기계연 주요사업은 부상과 추진 요소기술을 개발 중이나 부상방식이 영구자석과 전자석의 복합식이고, 안내제어는 이루어지지 않고 있음. 본 과제에서는 부상과 안내 모두 포함되고 전자석을 이용한 방식을 고려중임
- 도시형 자기부상열차 실용화사업은 추진방식에서 가장 큰 차이가 있음. 도시형 자기부상열차의 추진시스템은 선형유도전동기로 저비용이나 초고속 응용에서는 저효율, 추진전력 급전의 어려움 등으로 적용이 힘듦
- 본 과제에서는 추진을 위해 선형동기전동기가 쓰이게 되며 선형유도전동기와 달리 부상계와 추진계가 일체로 이루어져 부상제어에 보다 많은 어려움이 존재함
- 초고속 차량 적용 제동 및 현가장치가 고려된 적이 없어 신규개발 필요함
- 결과적으로 본 방식에서는 전자석을 이용한 부상/안내를 포함하고 선형동기전동기를 이용하여 추진하게 되며, 국내에서는 이러한 방식으로 실차스케일로 제작되어 주행성능 평가까지 이루어진 연구사례가 전무함

○ (세부연구3) : 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발

- 초고속열차용 LSM 추진시스템은 중저속 자기부상열차의 차상용 LIM 추진시스템과 달리, 추진용 동기모터가 궤도를 따라 길게 설치되어 LIM의 임피던스가 매우 큼으로 이를 구동하는 추진용 인버터는 고전압 대전류의 인버터가 필요함
- 추진용 전력변환시스템은 LSM의 입력전압을 부하가 요구하는 전류를 충분히 공급할 수 있도록 높은 전압을 발생시키기 위하여 다수의 인버터의 출력단에 각각의 단상 변압기를 연결하고, 그 출력단을 직렬로 구성함으로 고전압을 발생시킴
- 따라서 저주파수에서는 인버터 출력단의 변압기 포화현상을 해소하기위한 고난이도의 제어기술 개발임
- 추진시스템의 추력은 부상시스템의 흡인력에도 직접적인 영향을 미칠 수 있음으로 추력의 변화에도 일정한 흡인력을 갖도록 제어하는 기술개발이 요구됨
- 추진제어를 위한 위치정보시스템(Positioning System)은 회전형 모터와 달리 궤도를 따라 길게 설치되어 있는 시스템으로부터 차량에서 위치정보를 검출하여 지상의 추진용 전력변환장치에 송출할 수 있는 위치정보시스템으로 국내에서 연구개발 사례가 전무함

제2절 세부연구별 연차별 목표 및 예산

1. 세부연구별 연차별 목표

1.1 (세부연구1) : 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발

구 분	1차년도	2차년도	3차년도	계
초고속 철도 통합 및 성능평가 기술개발 (I-1) 연구내용	• 세부과제의 총괄적 조정 및 일정 관리 • 연차별 사업내용 조정 및 보완 • 성과목표 및 성과지표 관리 • 인터페이스 기술관리 체계 구축 • 인터페이스 시험·시운전 방안 연구 • 성능시험평가 종합 시험계획 및 절차 수립 • 상시 계측시스템 설계 • 국내외 관련 규격 분석 연구 • 초고속 자기부상 시스템 기준(안) 연구	• 세부과제의 총괄적 조정 및 일정 관리 • 연차별 사업내용 조정 및 보완 • 인터페이스 기술관리 체계 구축 • 인터페이스 시험·시운전 방안 연구 • 상시 계측시스템 설계 및 구축 • 시스템 고장진단 및 신뢰성 연구 • 초고속 자기부상 시스템 기준(안) 연구 • 초고속철도 성능시험 기준(안) 제시	• 세부과제의 총괄적 조정 및 일정 관리 • 성과목표 및 성과지표 관리 • 인터페이스 검증체계 구축 • 인터페이스 시험항목, 절차 시행 및 관리 • 상시 계측시스템 구축 • 시스템 고장진단 및 신뢰성 연구 • 초고속철도 성능시험 기준(안) 제시	
예산(억원)	8.0	9.5	11.5	29
초고속 철도 TEST -BED 가이드웨이 구축(I-2) 연구내용	• 단거리 시험선 기본계획 수립 • 부지선정 및 설계 • 검수시설 설계 • 제어시설 설계 • 궤도시스템 설계 • 변전시스템 설계	• 검수시설 제작 • 제어시설 제작 • 궤도시스템 제작 • 변전시스템 제작 • 단거리 시험선 전체 시스템 조합	• 단거리 시험선 가이드웨이 시험평가 • 제어 및 검수시설 보완	
예산(억원)	11.0	15.0	8.0	34
세부과제 총예산 (억원)	19.0	24.5	19.5	63

1.2 (세부연구2) : 초고속 차량 핵심기술개발

구분	1차년도	2차년도	3차년도	계
초고속 자기부상 및 대차 개발 (Ⅱ-1) 연구내용	• 실차스케일 초고속 자기부상/안내 시스템 설계 및 제작 • 자기부상/안내 시스템 성능해석 • 초고속 자기부상 방식 대차와 궤도 시스템 설계 • 대차와 궤도시스템 제작 • 기계제동장치 및 2차 현가장치 설계 • 초고속 자기부상열차 가상시제 주행성능 시뮬레이터 개발	• 실차스케일 초고속 자기부상/안내 시스템 제작(계속) • 자기부상/안내 고추종성 외란 제어기 설계 및 정지부상과 주생 성능 예측 • 대차와 궤도시스템 제작(계속) • 기계제동장치 및 2차 현가장치 제작 • 주행성능 시뮬레이션에 의한 대차-궤도 상호간 동특성 예측/평가	• 주행시 자기부상/안내 추종 성능 평가 및 제어 보완 • 실차스케일 대차 주행성능시험 및 성능 입증 • 기계제동장치 및 2차 현가장치 성능 평가	
예산(억원)	11	10	10	31
초고속 차체 및 전장품 개발 (Ⅱ-2) 연구내용	• 차상 전력변환시스템 개념설계 및 요구사항정립 • 각각의 전력변환시스템 상세설계	• 각각의 전력변환시스템 제작 및 성능평가(Lab TEST) • 주요 시스템에 대한 해석 및 시험결과와의 비교 분석	• 전력변환시스템 조합시험을 통한 성능평가 • 주요 전장품의 설계기준정립	
예산(억원)	12	7	6	25
세부과제 총예산 (억원)	23	17	16	56

1.3 (세부연구3) : 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발

구분	1차년도	2차년도	3차년도	계
추진 및 전력시스템 기술 개발 (III-1) 연구내용	• 시스템 각 분야별 요구사항 정리 및 기능 분석 • 시스템 통합을 위한 인터페이스 개념 설계 • 시스템 제어구성도 작성 • 시스템 설계를 통한 운영체계 분석 및 종합(인터페이스 및 구성체계도 작성/기능분석, 시스템 성능완성도 체계구축) • 개발 목표 사양 설정	• 고효율 LSM 추진시스템 설계 및 제작 • 하이브리드형 전력시스템 설계 및 제작 • 변전소 제어장치 상세 설계 • 변전소 보호 시스템 및 감시 장치 설계 및 제작	• 추진 및 전력시스템의 성능 시험 • 차량시스템과의 연계시험	
예산(억원)	23.5	27	8.5	59
초고속 LSM 제어기술 개발 (III-2) 연구내용	• 초고속 LSM 제어기술 조사 및 분석 • 추진용 전력변환시스템 분석 및 시뮬레이션 모델 개발(I) • 추진전력시스템 설계 및 제작(Lab TEST용)	• 추진용 전력변환시스템 분석 및 시뮬레이션 모델 개발(I) • 추진제어 알고리즘 개발 • 추진전력시스템 설계 및 제작 (TEST BED용)	• LSM 추진제어시스템 시험 및 평가 • LSM 추진제어기술 정립	
예산(억원)	8.5	6.5	7	22
세부과제 총예산 (억원)	32	33.5	15.5	81

2. 세부연구별 예산 산출

2.1 (세부연구1) : 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발

<표 6-4> 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발 소요예산

단위 : (백만원)

년도	정부 출연금	민간부담금	총 소요예산
1차년도	1,900	-	1,900
2차년도	2,450	-	2,450
3차년도	1,950	-	1,950
합계	6,300	-	6,300

2.2 (세부연구2) : 초고속 차량 핵심기술개발

<표 6-5> 초고속 차량 핵심기술개발 소요예산

단위 : (백만원)

년도	정부 출연금	민간부담금	총 소요예산
1차년도	1,725	575	2,300
2차년도	1,275	425	1,700
3차년도	1,200	400	1,600
합계	4,200	1,400	5,600

2.3 (세부연구3) : 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발

<표 6-6> 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발 소요예산

단위 : (백만원)

년도	정부 출연금	민간부담금	총 소요예산
1차년도	2,400	800	3,200
2차년도	2,512.5	837.5	3,350
3차년도	1,162.5	387.5	1,550
합계	6,075	2,025	8,100

3. 세부연구별 비목별 소요예산

3.1 (세부연구1) : 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발

○ 총 예산

<표 6-7> 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발 비목별 총 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		1,218		1,218	19.33
직접비	연구 장비 재료비	3,315.09		3,315.09	52.62
	연구 활동비	716.08		716.08	11.37
	연구 수당	243.6		243.6	3.87
위탁연구개발비		150		150	2.38
간접비		657.24		657.24	10.42
합계		6,300		6,300	100

인건비 기준 : 한국물가정보(www.kpi.or.kr)
초급기술자 : 3.82 / 중급기술자 : 5.23 / 고급기술자 : 6.1 / 특급기술자 : 7.75 / 기술사 : 9.61

○ 1차년도 비목별 예산

<표 6-8> 초고속철도 통합 및 성능평가 기술개발 1차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		184		184	23%
직접비	연구 장비 재료비	231.83		231.83	29%
	연구 활동비	164.15		164.15	21%
	연구 수당	36.8		36.8	5%
위탁연구개발비		50		50	6%
간접비		133.22		133.22	17%
합계		800		800	100%

<표 6-9> 초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축 1차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		90		90	8.18
직접비	연구 장비 재료비	894		894	81.27
	연구 활동비	53.59		53.59	4.87
	연구 수당	18		18	1.64
위탁연구개발비					
간접비		44.41		44.41	4.04
합계		1,100		1,100	100

○ 2차년도 비목별 예산

<표 6-10> 초고속철도 통합 및 성능평가 기술개발 2차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		307		307	32%
직접비	연구 장비 재료비	240		240	25%
	연구 활동비	131.74		131.74	14%
	연구 수당	61.4		61.4	6%
위탁연구개발비		50		50	5%
간접비		159.87		159.87	17%
합계		950		950	100%

<표 6-11> 초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축 2차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		128		128	8.53
직접비	연구 장비 재료비	1,237.11		1,237.11	82.47
	연구 활동비	56		56	3.73
	연구 수당	25.6		25.6	1.71
위탁연구개발비					
간접비		53.29		53.29	3.55
합계		1,500		1,500	100

○ 3차년도 비목별 예산

<표 6-12> 초고속철도 통합 및 성능평가 기술개발 3차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		435		435	38%
직접비	연구 장비 재료비	162		162	14%
	연구 활동비	220.61		220.61	19%
	연구 수당	87		87	8%
위탁연구개발비		50		50	4%
간접비		195.4		195.4	17%
합계		1150		1150	100%

<표 6-13> 초고속철도 단거리 시험선 가이드웨이 구축 3차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		74		74	9.25
직접비	연구 장비 재료비	550.15		550.15	68.77
	연구 활동비	90		90	11.25
	연구 수당	14.8		14.8	1.85
위탁연구개발비					
간접비		71.05		71.05	8.88
합계		800		800	100

3.2 (세부연구2) : 초고속 차량 핵심기술개발

<표 6-14> 초고속 차량 핵심기술개발 비목별 총 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		564	337.5	901.5	16.1
직접비	연구 장비 재료비	2,995	287.5	3,282.5	58.62
	연구 활동비	577.75		577.75	10.32
	연구 수당	112.5		112.5	2.01
위탁연구개발비		360		360	6.43
간접비		365.75		365.75	6.53
합계		4,975	625	5,600	100

인건비 기준 : 한국물가정보(www.kpi.or.kr)
초급기술자 : 3.82 / 중급기술자 : 5.23 / 고급기술자 : 6.1 / 특급기술자 : 7.75 / 기술사 : 9.61

○ 1차년도 비목별 예산

<표 6-15> 초고속 부상 및 대차개발 1차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		188		188	17.09
직접비	연구 장비 재료비	560		560	50.91
	연구 활동비	71.5		71.5	6.50
	연구 수당	37.5		37.5	3.41
위탁연구개발비		120		120	10.91
간접비		123		123	11.18
합계		1,100		1,100	100

<표 6-16> 초고속 차체 및 전장품 개발 1차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비			162	162	13.5
직접비	연구 장비 재료비	720	138	858	71.5
	연구 활동비	171		171	14.25
	연구 수당				
위탁연구개발비					
간접비		9		9	0.75
합계		900	300	1,200	100

○ 2차년도 비목별 예산

<표 6-17> 초고속 부상 및 대차개발 2차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		188		188	18.8
직접비	연구 장비 재료비	475		475	47.5
	연구 활동비	67.5		67.5	6.75
	연구 수당	37.5		37.5	3.75
위탁연구개발비		120		120	12
간접비		112		112	11.2
합계		1,000		1,000	100

<표 6-18> 초고속 차체 및 전장품 개발 2차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비			94.5	94.5	13.5
직접비	연구 장비 재료비	420	80.5	500.5	71.5
	연구 활동비	99.75		99.75	14.25
	연구 수당				
위탁연구개발비					
간접비		5.25		5.25	0.75
합계		525	175	700	100

○ 3차년도 비목별 예산

<표 6-19> 초고속 부상 및 대차개발 3차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		188		188	18.8
직접비	연구 장비 재료비	460		460	46
	연구 활동비	82.5		82.5	8.25
	연구 수당	37.5		37.5	3.75
위탁연구개발비		120		120	12
간접비		112		112	11.2
합계		1,000		1,000	100

<표 6-20> 초고속 차체 및 전장품 개발 3차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비			81	81	13.5
직접비	연구 장비 재료비	360	69	429	71.5
	연구 활동비	85.5		85.5	14.25
	연구 수당				
위탁연구개발비					
간접비		4.5		4.5	0.75
합계		450	150	600	100

3.3 (세부연구3) : 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발

<표 6-21> 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발 비목별 총 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		726	789.5	1,515.5	18.71
직접비	연구 장비 재료비	3,965.5	685.5	4,651	57.42
	연구 활동비	1,058.76		1,058.76	13.07
	연구 수당	145.2		145.2	1.79
위탁연구개발비		300		300	3.70
간접비		429.54		429.54	5.30
합계		6,625	1,475	8,100	100

인건비 기준 : 한국물가정보(www.kpi.or.kr)
초급기술자 : 3.82 / 중급기술자 : 5.23 / 고급기술자 : 6.1 / 특급기술자 : 7.75 / 기술사 : 9.61

○ 1차년도 비목별 예산

<표 6-22> 추진 및 전력시스템 기술개발 1차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비			314	314	13.36
직접비	연구 장비 재료비	1,295	273.5	1,568.5	66.74
	연구 활동비	302.5		302.5	12.87
	연구 수당				
위탁연구개발비		150		150	6.38
간접비		15		15	0.64
합계		1,762.5	587.5	2,350	100

<표 6-23> 초고속 LSM 제어기술 개발 1차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		200		200	23.53
직접비	연구 장비 재료비	350		350	41.18
	연구 활동비	109		109	12.82
	연구 수당	40		40	4.71
위탁연구개발비					
간접비		151		151	17.76
합계		850		850	100

○ 2차년도 비목별 예산

<표 6-24> 추진 및 전력시스템 기술 개발 2차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비			358	358	13.26
직접비	연구 장비 재료비	1,580	317	1,897	70.26
	연구 활동비	328		328	12.15
	연구 수당				
위탁연구개발비		100		100	3.7
간접비		17		17	0.63
합계		2,025	675	2,700	100

<표 6-25> 초고속 LSM 제어기술 개발 2차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		220		220	33.85
직접비	연구 장비 재료비	200		200	30.77
	연구 활동비	70.54		70.54	10.85
	연구 수당	44		44	6.77
위탁연구개발비					
간접비		115.46		115.46	17.76
합계		650		650	100

○ 3차년도 비목별 예산

<표 6-26> 추진 및 전력시스템 기술 개발 3차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비			117.5	117.5	13.82
직접비	연구 장비 재료비	453	95	548	64.47
	연구 활동비	127.75		127.75	15.03
	연구 수당				
위탁연구개발비		50		50	5.88
간접비		6.75		6.75	0.79
합계		637.5	212.5	850	100

<표 6-27> 초고속 LSM 제어기술 개발 3차년도 비목별 소요예산

단위 : (백만원)

비 목		정부 출연금	민간부담금	계	비율
인건비		306		306	43.71
직접비	연구 장비 재료비	87.5		87.5	12.5
	연구 활동비	120.96		120.96	17.28
	연구 수당	61.2		61.2	8.74
위탁연구개발비					
간접비		124.34		124.34	17.76
합계		700		700	100

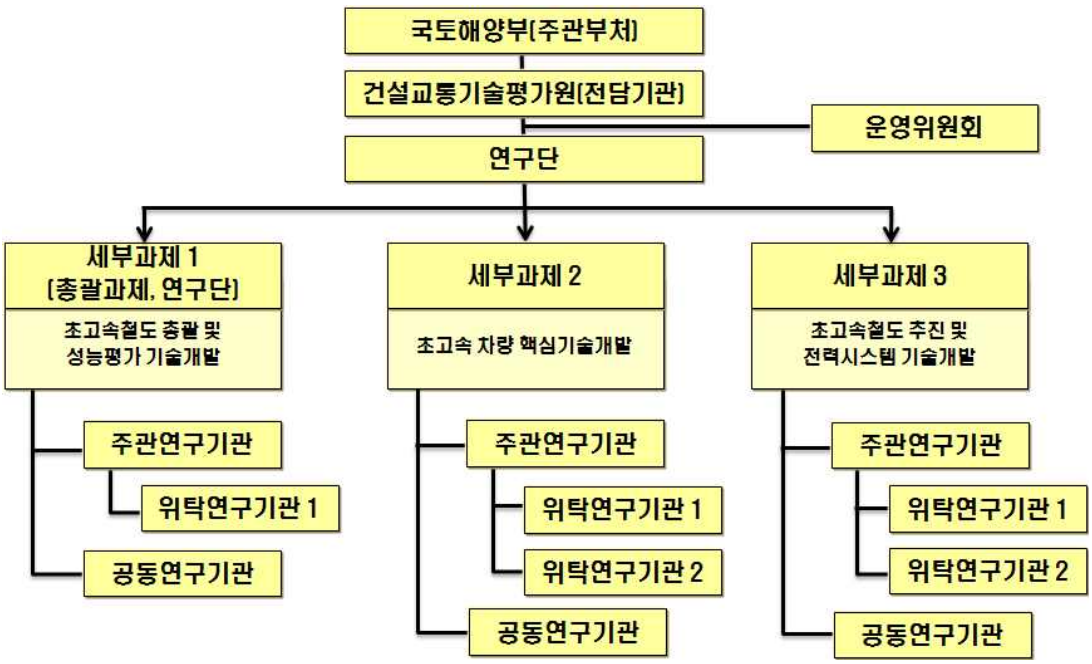
제3절 추진체계 및 전략

○ 전체 3년으로 과제를 진행하도록 하며, 각각의 요소기술 또는 전략의 개발이 완료 되는대로 2차년도부터 단거리 시험선을 본격적으로 구축하여 제작된 시험차량에 대한 성능시험평가를 수행하도록 함

○ 시험선로상의 성능평가 및 검증에서 도출되는 문제점들은 상시 계측시스템을 통해 원인을 찾아낸 후 빠른 시일 내에 해결할 수 있도록 함

○ 초고속철도 시스템 관련 전문가 및 사업에 참여한 전문가를 초빙, 산·학·연 등 관련 기관들과 유기적인 협력체계 구축을 통하여 완성도 높은 초고속철도 시스템 개발 전략을 도출하고, 이를 구현할 수 있는 단거리 시험선을 구축하여 빠른 시일 내에 초고속철도 시스템이 상용화될 수 있도록 함

○ 본 과제의 기술개발을 위하여 철도산업계, 관련 공학 및 시스템 기반기술 연구진을 확보한 학계 및 연구원을 중심으로 성과 발표회/기술 세미나를 개최하여 국민적인 관심을 적극적으로 유도하도록 함

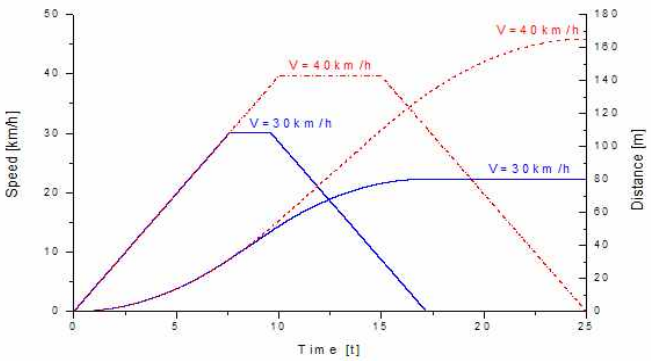


[그림 6-1] 추진체계

제4절 단거리 시험선 구축 및 시험평가 방법

○ 100m길이의 실 규모 단거리 시험선 구축 배경

- 550km/h급 초고속 자기부상철도시스템의 설계기술 확보를 위해서는 실 규모의 단거리 시험선에서 각 시스템에 대한 조합 성능평가시험이 필수적임
- 자기부상열차의 1.1m/s^{2}의 가(감)속 성능을 평가하기위해서는 대략 5초 이상의 가(감)속 시간이 소요됨으로 차량의 최소 요구 속도는 대략 30km/h 이상임
- LSM 추진용 인버터는 차량의 속도와 비례하여 출력전압주파수가 변하며, 대략 30km/h(출력전압주파수: 20hz내외)이하의 속도에서는 인버터의 출력이 LSM에 직접 인가되고, 30km/h이상의 속도에서는 2대 이상의 인버터가 조합되어 출력전압을 발생시킴으로 30km/h의 속도부근에서 인버터의 모드변화에 따른 추력의 Dead-time이 요구됨
- 상기 내용을 기초로 인버터 모드변환에 필요한 Dead-Time에 5초를 반영하고, 역전기 추진 및 감속을 위한 모드변환에 2초를 반영하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 자기부상차량이 1.1m/s^{2}의 가속도로 최대 30km/h의 속도까지 증속 및 감속하는데 필요한 단거리 시험선의 길이는 최소 80m이나, 40km/h 이상의 차량증속을 위해서는 165m이상의 선로가 필요하기 때문에 건설비용이 급증함



[그림 6-2] 시험차량의 속도변화에 따른 이동거리

- 상기 시뮬레이션 결과로 부터 자기부상시스템 성능평가를 위한 최소한의 선로길이는 대략100m이며 과제의 수행기간 및 단거리 시험선 건설비용을 고려하여 단거리 시험선의 길이는 100m로 정함

○ LSM 추진 및 자기부상방식의 해외 단거리 시험선 구축 사례

- (주)Magnemotion은 LSM 추진성능 및 영구자석하이브리드 부상시스템의 성능평가를 위해서 80feet(대략 262m) 콘크리트 빔 2개 길이의 시험선로(대략 50m)를 구축하고 만차 중량이 대략 10ton인 자기부상대차를 최대속도 35km/h까지 주행시험을 수행함



[그림 6-3] (주)Magnemotion 시험대차 및 트랙

- (주)GA은 LSM 추진성능 및 영구자석반발 부상시스템의 성능평가를 위해서 130m가량의 시험선로를 구축하였으며, 10km/h의 속도에서 부상이 가능하고 40km/h의 속도까지 시험운행



[그림 6-4] GA사 시험트랙

- 독일 트랜스라피드의 시험선로구축 및 최고속도 달성사례
  - ◆ 1979년 차체중량 30.8ton의 LSM 추진형 자기부상열차(Transrapid 05)를 개발하여 908m 트랙에서 최고속도 75km/h 주행



  - ◆ 1980년 TR06(설계최고속도 400km/h) 시험을 위한 시험트랙 구축을 시작, 1987년 31.5km 길이의 선로를 구축하여 392km/h 속도 달성

○ LSM 추진시스템 시험평가방법

- LSM 추진시스템의 추력 평가를 위해서는 크게 정적인 성능시험과 동적인 성능시험으로 구분할 수 있음

- LSM 추진시스템의 정적인 성능평가 방법은 가이드웨이 끝단에 설치된 Stopper에 로드셀을 이용한 추력 측정장비를 설치하고, 차량을 로드셀에 인접하여 위치시킨 후 로드셀 방향으로 차량의 최대 추진력을 발생시켜 로드셀에 나타난 추력을 측정하는 방법임
- LSM 추진시스템의 동적 성능평가 방법은 차량의 최대 가속력을 측정하는 방법으로, 차량의 주요 위치에 주행 방향쪽으로 가속도 센서를 사전 설치한 후 차량을 최대 추력으로 수초이상 가속하여 얻어진 가속도 데이터 값을 확인하는 방법으로 추진시스템의 조합성능 평가 결과를 얻을 수 있음

○ 부상시스템 시험평가방법

- 부상시스템의 부상성능평가를 위해서는 부상마그네트의 정격부상공극 10mm에서 마그네트 서스팬션의 대역폭은 8Hz이상, 댐핑비는 0.7이하로 함
- 차량 주행시 주행품질(차체 가속도)에 대하여 ISO2631을 기준으로 평가

○ 단거리 시험선 주요 사양

- 궤도시스템
  - ▪ 궤도 길이 : 100m이상
  - ▪ 궤도 너비 : 2.5m내외
  - ▪ 궤도 처짐한계 : 1/4800이내
  - ▪ 급전 방식 : 비접촉전원장치 및 제 3궤조 전원공급장치
- 차량시스템
  - ▪ 차량 중량 : 20ton 내외
  - ▪ 정격 부상공극 : 10mm
  - ▪ 부상 방식 : 상전도 흡인식(EMS, Electromagnetic Suspension)
- 추진시스템
  - ▪ 최고 가(감)속도 : 1.1m/s^2 이상
  - ▪ 최고 속도 : 550km/h이상
  - ▪ 추진 모터 : Linear Synchronous Motor

○ 시험선을 통한 검증 가능한 기술

- 1.1m/s^{2}의 차량 가(감)속력
- 30km/h 속도 주행을 통한 주행특성 분석 및 고속주행 특성 가능성 예측
- 궤도시스템 설계 기반기술
- 차량·궤도시스템 인터페이스 설계 기반기술
- LSM 추진시스템 설계 기반기술
- LSM 일체형 부상시스템 설계 기반기술
- 초고속자기부상차량 설계 기반기술

○ 시험기 및 해석 툴을 통한 검증 가능한 기술

- Load Cell을 통한 LSM의 추력측정
- 부상시스템의 Sweep Sine 외란 입력을 통한 동특성 분석
- 모의 고속주행을 통한 위치검지시스템 특성분석

제5절 세부연구별 성과지표

1. 전체 성과지표

성과지표		세부 연구 1	세부 연구 2	세부 연구 3	합계
1차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	3	2	2	7
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	4	3	3	10
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	4	2	2	8
	개발/현장시험 건수		2	2	4
	성능시험 기준 건수	3			3
	연구개발 홍보건수	2	2	1	5
2차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	6	3	3	12
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	5	3	2	10
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	6	2	3	11
	개발/현장시험 건수	4	1	2	7
	성능시험 기준 건수	3			3
	연구개발 홍보건수	4	2	3	9
3차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	6	3	4	13
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	6	3	3	12
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	6	4	4	14
	개발/현장시험 건수	4	2	2	8
	성능시험 기준 건수	3			3
	연구개발 홍보건수	3	1	2	6
합계	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	15	8	9	32
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	15	9	8	32
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	16	8	9	33
	개발/현장시험 건수	8	5	6	19
	성능시험 기준 건수	9			9
	연구개발 홍보건수	9	5	6	20

2. (세부연구1) : 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발

성과지표		세세부 연구 1	세세부 연구 2	세세부 연구 3	합계
1차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	1	1	1	3
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	1	2	1	4
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	1	2	1	4
	개발/현장시험 건수				
	성능시험 기준 건수		3		3
	연구개발 홍보건수	1	1		2
2차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	2	2	2	6
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	1	2	2	5
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	1	4	1	6
	개발/현장시험 건수		1	3	4
	성능시험 기준 건수		3		3
	연구개발 홍보건수	2	1	1	4
3차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	2	2	2	6
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	2	2	2	6
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	1	4	1	6
	개발/현장시험 건수		2	2	4
	성능시험 기준 건수		3		3
	연구개발 홍보건수	2	1		3
합계	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	5	5	5	15
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	4	6	5	15
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	3	10	3	16
	개발/현장시험 건수		3	5	8
	성능시험 기준 건수		9		9
	연구개발 홍보건수	5	3	1	9

3. (세부연구2) : 초고속 차량 핵심기술개발

성과지표		세세부 연구 1	세세부 연구 2	합계
1차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	1	1	2
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	1	2	3
	시제품(알고리즘,S/W 포함) 제작	1	1	2
	개발/현장시험 건수	1	1	2
	연구개발 홍보건수	1	1	2
2차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	2	1	3
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	1	2	3
	시제품(알고리즘,S/W 포함) 제작	1	1	2
	개발/현장시험 건수		1	1
	연구개발 홍보건수	1	1	2
3차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	2	1	3
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	2	1	3
	시제품(알고리즘,S/W 포함) 제작	2	2	4
	개발/현장시험 건수	1	1	2
	연구개발 홍보건수	1		1
합계	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	5	3	8
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	4	5	9
	시제품(알고리즘,S/W 포함) 제작	4	4	8
	개발/현장시험 건수	2	3	5
	연구개발 홍보건수	3	2	5

4. (세부연구3) : 초고속철도 추진 및 전력시스템 기술개발

성과지표		세세부 연구 1	세세부 연구 2	합계
1차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	1	1	2
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	1	2	3
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	1	1	2
	개발/현장시험 건수	1	1	2
	연구개발 홍보건수	1		1
2차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	2	1	3
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	1	1	2
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	1	2	3
	개발/현장시험 건수	1	1	2
	연구개발 홍보건수	2	1	3
3차 년도	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	2	2	4
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	2	1	3
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	2	2	4
	개발/현장시험 건수	1	1	2
	연구개발 홍보건수	2		2
합계	학술지 게재 논문건수(국내/국외)	5	4	9
	특허 출원 및 등록 건수(국내/국외)	4	4	8
	시제품(알고리즘,s/w 포함) 제작	4	5	9
	개발/현장시험 건수	3	3	6
	연구개발 홍보건수	5	1	6

제6절 단계별 및 세부연구별 로드맵

□ 전체 로드맵

○ 개요

- 초고속철도시스템 실용화 기술을 개발하기 위한 전체 로드맵은 3단계로 구성됨
- 1단계는 '11~'13년까지 3년 동안 초고속철도시스템 핵심기술개발사업으로 진행하며, 세부분야는 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발, 초고속 차량 핵심기술개발, 초고속 추진 및 전력시스템 기술개발 과제로 구성됨
- 2단계는 초고속철도시스템 인프라 및 시험선 구축 기술개발사업으로 '14~'17년까지 4년간 진행될 예정이며, 초고속철도 SE 기술개발, 차량 및 핵심장치 개발, 인프라 기술 및 시험선 구축 과제로 구성될 계획임
- 이 단계에서는 200km/h 주행이 가능한 약 3km 시험선을 구축하는 것이 포함될 예정임
- 3단계는 '18~22년까지 5년 동안 550km/h급 초고속철도시스템 실용화 기술개발사업으로 수행될 예정이며, 초고속 실용화 차량개발 외 3개 세부과제로 이루어짐
- 3단계에서는 설계최고속도 550km/h 달성을 위한 약 22km 시험선로를 구축하는 것이 반영될 계획임

○ 1단계 로드맵 : 초고속철도시스템 핵심기술개발('11~'13)

세부분야	1차년도	2차년도	3차년도
초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발	시스템 개념 설계 및 사양결정 ↔	단거리 시험선용 가이드웨이 및 인프라 구축 ↔	가이드웨이 구축 및 시험평가 ↔
초고속 차량 핵심기술개발	차량시스템 기본설계 ↔	기본 및 상세설계, 단품제작 및 성능평가 ↔	차량조립 및 성능평가 ↔
초고속 추진 및 전력시스템 기술개발	추진 및 전력시스템 기본설계 ↔	상세설계, LSM 추진제어시스템 시험평가 ↔	추진, 전력시스템 제작 및 시험평가 ↔

○ 2단계 로드맵 : 초고속철도시스템 인프라 및 시험선 구축('14~'17)

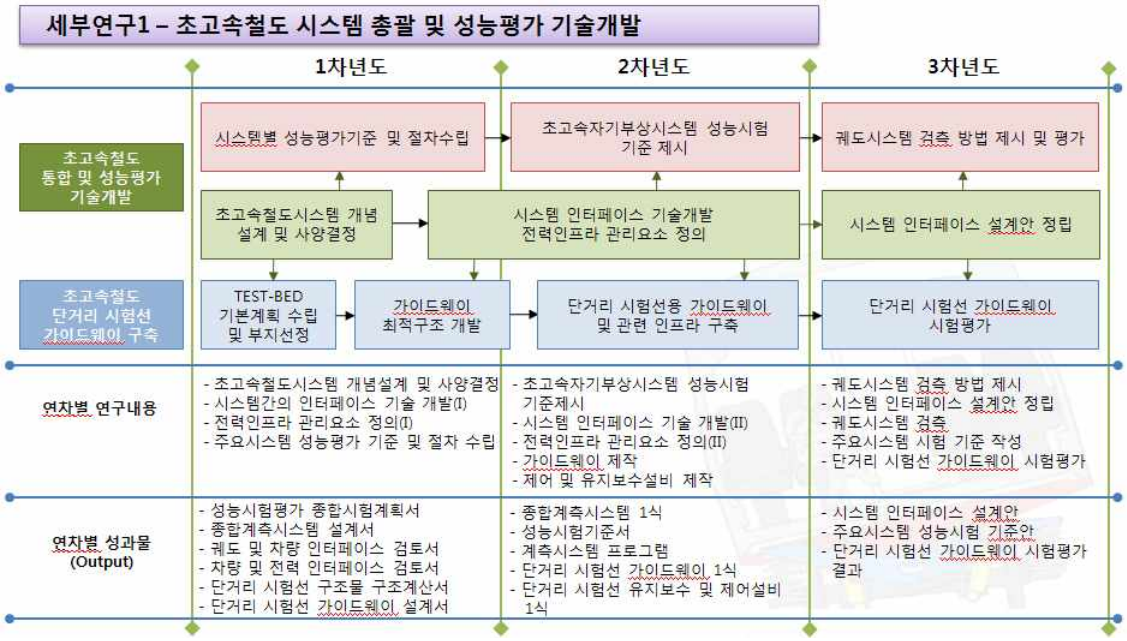
세부분야	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도
초고속철도 SE 기술개발	전체시스템 개념 설계 ↔	시험평가 및 고장진단 기술개발 ↔	종합평가시스템 구축 및 신뢰성기법 연구 ↔	전체시스템 시험평가 ↔
차량 및 핵심장치 개발	차량시스템 기본 설계 및 핵심장치 사양결정 ↔	차량시스템 상세설계 및 핵심장치 제작 ↔	차량시스템 제작 및 핵심장치 시험 ↔	차량시스템 시험평가 ↔
인프라 기술 및 시험선 구축	인프라 기술개발 및 시험선 확보 방안 수립 ↔	3km시험선 설계 및 구축 ↔	분기기 연구개발 및 시험선 구축 완료 ↔	시험선 종합시험평가 ↔

○ 3단계 로드맵 : 550km/h급 초고속철도시스템 실용화 기술개발('18~'22)

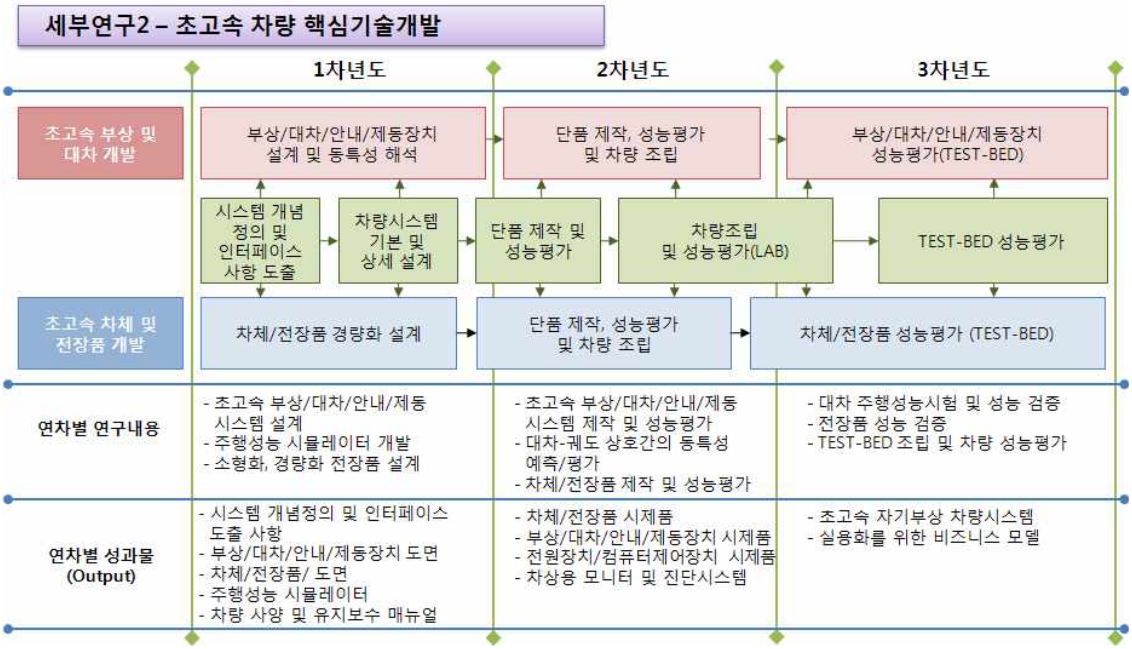
세부분야	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
초고속철도 통합 및 총괄 기술개발	시스템 개념 및 사양결정 ↔	고장진단기법 및 시험기준 작성 ↔	상시계측 시스템 구축 ↔	종합시험계획 및 신뢰성연구 ↔	전체시스템 종합시험 ↔
초고속 실용화 차량개발	차량시스템 기본설계 ↔	차량시스템 상세설계 ↔	차량제작 및 단차시험 ↔	공장내 편성시험 ↔	차량 종합 시운전시험 ↔
초고속 기반기술개발	추진시스템 기반기술개발 ↔	전력시스템 기반기술개발 ↔	신호시스템 기반기술개발 ↔	위치검지 시스템 기반기술연구 ↔	시스템 인터페이스 연구 ↔
실용화를 위한 시험선 구축	시험선 부지 선정 및 인프라 기술개발 ↔	시험선 기본 및 상세설계 ↔	시험선 구축 ↔	시험선 구축 완료 ↔	시험선 시험평가 ↔

□ 1단계 세부연구별 로드맵

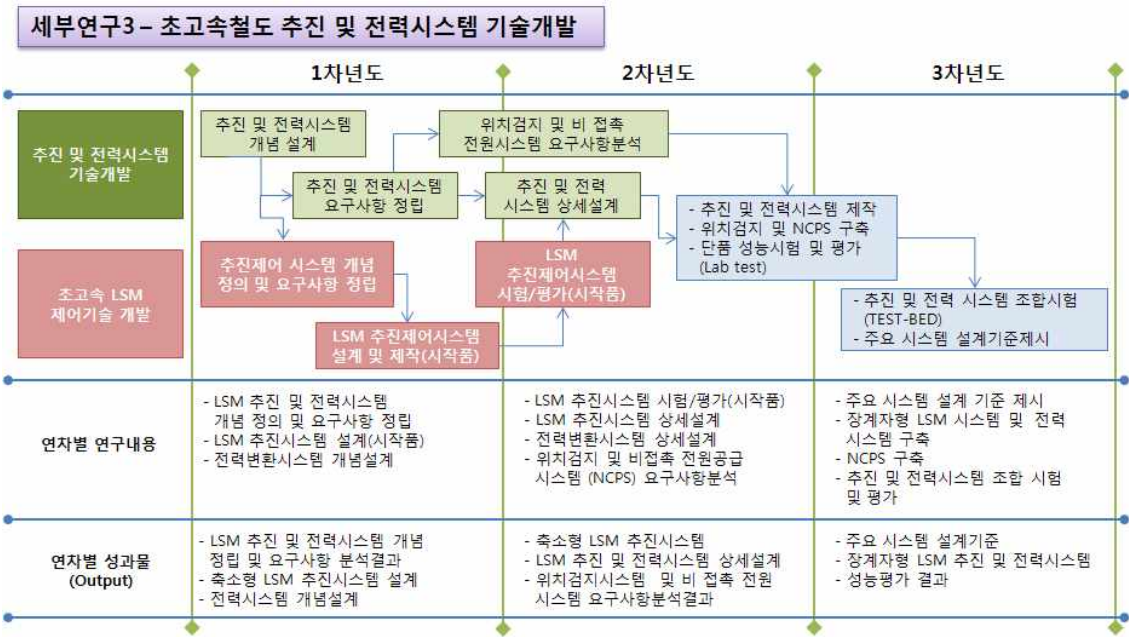
○ (세부연구1) 초고속철도 총괄 및 성능평가 기술개발



○ (세부연구2) : 초고속 차량 핵심기술개발



○ (세부연구3) 초고속 추진 및 전력시스템 기술개발



제7절 RFP

연구과제명	상전도 흡인식 초고속철도 핵심기술개발
1. 연구개발 목표	
	○ 550km/h급 초고속 자기부상철도시스템 설계 기술 확보 ○ 550km/h급 초고속 자기부상철도시스템 설계기술의 검증 및 조합성능평가를 위한 길이 100m 내외 실 규모 단거리 시험선 구축
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□연구개발의 필요성	○ 바퀴식 철도는 점착견인력, 접촉식 전력공급 방식 사용으로 초고속화에 한계가 있고 추진시스템의 낮은 효율, 유지보수비 증가, 도심을 통과할 때의 소음 문제 등으로 인해 초고속 자기부상철도의 필요성 대두 ○ 차상 LIM(Linear Induction Motor) 추진방식의 자기부상철도는 주행속도 증대 시 추진효율 저하, 차상 추진 장치의 대형화, 추진전력의 급전문제 등으로 인해 고속화에 제한이 있음으로, 차량의 고속화를 위해서는 지상 1차 LSM(Linear Synchronous Motor)형태의 추진시스템 개발 필요

	○ 초고속 자기부상철도의 LSM 추진시스템은 고전압, 대전류의 전력변환기 및 추진전력제어를 위한 기술개발 필요 ○ 초고속 자기부상철도는 추진, 부상, 신호, 궤도 등 다양한 분야에 첨단 기술이 필요하여 기술 개발시 관련 산업계 파급효과 기대 ○ 상전도 흡인식(EMS, Electromanetic Suspension) 자기부상열차는 국내 중저속 자기부상열차의 실용화를 통해 관련 기술 저변이 확고하게 구축되어져 있어 단기간에 기술개발 성공가능성이 높으며, 장거리 운송수단으로써의 역할 뿐만 아니라 단거리(공항간 연계셔틀노선)에도 기대효과가 높은 고속운송시스템이기 때문에 이에 대한 기술개발 필요
□ 기술동향	○ 독일의 초고속 자기부상열차 기술동향 - 1969~1973 : (Krauss-Maffei) Transrapid 01~04호 개발 - 1977 : Federal Ministry에서 상전도 흡인식만 집중 연구 결정 - 1982~1999 : Transrapid 05~08호 개발 - 1987 : Emsland 시험선 건설 (총 31.5km, 약 7,000억원) - 독일은 40여년의 기술개발과 함께 최고운행속도 430km/h 초고속 자기부상열차의 실용화 달성 (최고속도기록 : 501km/h, 2003) ○ 일본의 초고속 자기부상열차 기술동향 - 1970~1972 : ML100 개발 - 1977 : ML500 개발, 미야자끼 시험선(7km)에서 주행시험 개시 - 1979 : 목표속도 초과한 무인 517km/h 달성 - 1989 : MLU002 개발 (유인형 시험차) → 2량/3량 편성 주행에 따른 승차감 시험 - 1996 : 야마나시 시험선 건설 (총 43 km 중 18.4 km) - 1997 : MLX-01 개발 및 주행시험 (3량 또는 5량 편성) 실시 - 2003 : 세계 최고속도인 유인운전 581km/h 기록 ○ 중국은 SMT기술 공단을 구성하여 독일 Transrapid 기술을 전수받아 상하이 프로젝트에 적용하였으며, 정부중심으로 상전도, 초전도, 영구자석식 등 대부분의 자기부상시스템에 대한 시제품 제작 및 시험수행 ○ 미국은 1960년대부터 다양한 연구개발을 시도했으나, 지속적인 정부지원의 부재로 연구의 연속성이 없었으며, 민관별도 다양한 시스템을 개발 ○ 국내에서는 한국철도기술연구원, 한국기계연구원에서 초고속 자기부상철도 핵

	심요소기술에 대해 축소형 모델로 연구를 수행하고 있으나, 기술 검증 및 실용화 기술에 대한 연구개발은 아직 미진한 상태임
3. 연구개발내용	

□ 세부과제 1 : 초고속철도 총괄 및 성능평가기술 개발

○ 초고속 철도시스템 통합 및 평가기술 개발
- 초고속 철도시스템 기술개발의 통합 및 총괄운영관리 체계 구축
- 시스템 인터페이스 내용 분석
- 시스템 요구사항 분석 및 정의
- 성능평가 시험계획 및 절차 수립
- 초고속 자기부상 시스템 성능시험 기준 제시
- 상시 계측시스템 설계 및 구축
- 전체시스템 고장진단 연구

○ 초고속철도 가이드웨이 기술개발 및 단거리 시험선 구축
- 단거리 시험선용 가이드웨이 설계/제작
- 차량 유지보수설비 설계/구축
- 차량 제어실 설계/구축
- 추진전력용 변전시스템 설계/시설
- 차량 유지보수설비용 전력설비 설계/시설
- 차량 제어실용 전기설비 설계/시설
- 단거리 시험선의 가이드웨이 시험 및 평가
  · 궤도의 정적 처짐 한계 및 열에 의한 변형 평가
  · 차량의 주행에 의한 동적하중에 대한 가이드웨이 평가

□ 세부과제 2 : 초고속 차량 핵심기술개발

○ 초고속 부상시스템 및 대차 개발
- 자기부상/안내/와전류제동용 마그네트 설계/해석/제작
- 자기부상/안내/와전류제동용 마그네트 드라이버 설계/해석/제작
- Fail-Safe를 고려한 자기부상방식 대차 설계/제작
- 공압분배시스템(Pneumatic & Air Distribution System) 설계/제작
- 초고속 부상시스템 및 대차 시험 및 평가
  · 자기부상/안내/와전류제동장치 성능평가
  · 대차시스템 성능평가

○ 초고속 차체 및 전장품 개발
- 30kW급 이상 HF(High Frequency) DC/DC 컨버터 설계/제작

- 비접촉 전원장치의 Pick-up 시스템 요구사항 제시/구축
- 차량 제어시스템 설계/제작
- 소형·경량의 보조전원장치 설계/제작
- 차체 설계/제작
- 기계적 제동시스템 설계/제작
- 차량시스템 통합(System Integration)기술 개발
- 초고속 차체 및 전장품 시험 및 평가
  · 30kW급 이상 HF(High Frequency) DC/DC 컨버터 시험 및 평가
  · 차량 제어시스템 성능평가
  · 소형·경량의 보조전원장치 성능평가
  · 기계적 제동시스템 성능평가

□ 세부과제 3 : 초고속 추진 및 전력시스템 기술개발

○ 추진 및 전력시스템 기술개발
- 비접촉 전원공급시스템 구축
- 변전소 보호 시스템 설계/구축
- 추진용 전력변환기 상세설계/제작
- 추진용 LSM 설계/제작
- 추진시스템용 positioning System 구축
- 추진전력시스템 시험 및 평가
  · 추진용 전력변환기 시험평가
  · 추진용 LSM 시험평가

○ 초고속 LSM 제어기술 개발
- 추진용 전력변환시스템 개념설계 및 요구사항 정립
- 초고속 LSM 제어기술 개발
- 단거리 시험선을 이용한 추진제어시스템 시험 및 평가
  · 단거리 시험선 시험주행을 통한 고속주행 가능성 분석
  · LSM 제어기술 시험 및 평가
- 추진시스템 전력감시장치 설계/구축

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 초고속 자기부상차량 및 추진전력 시스템 개발을 위하여 실용화 자기부상열차(중저속형)개발 전문가 및 초고속 자기부상철도 요소기술 개발자들의 기술자문을 통해 수집된 정보를 초고속 자기부상철도시스템 설계시 반영

○ 주요 핵심부품 기술개발은 국외 관련 업체와의 기술용역을 통해 개발 가능

○ 정부 및 관련 기업 공사 등 기술수요처와 유기적 협조체제 구축
- 연구성과를 현장에 적용시킬 수 있도록 관련 기술수요처 의견 수렴
- 현장 애로사항 및 의견을 연구개발에 반영

○ 관련분야 전문가 자문
- 각종 유사 선진시스템 및 적용 사례에 대한 조사
- 과제성공률 제고를 위한 자문회의 등 내·외부 전문가 의견 수렴

○ 기 수행(종료과제, 중단과제) 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구개발결과와의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함
(www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr 참조)

□ **추진체계**

○ 본 연구단은 산·학·연 공동연구를 기본으로 하며, 필요시 선도적 위치에 있는 해외기관 및 전문가와 공동연구를 추진할 수 있음

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모할 것

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고 필요

5. 최종성과물

□ **주요 최종 성과물**

□ 세부과제 1 : 초고속철도 총괄 및 성능평가기술 개발

○ 초고속철도시스템 단거리 시험선의 가이드웨이
- 차량 유지보수설비
- 차량 제어실
- 전력용 변전시스템
- 100m내외의 초고속철도시스템용 단거리 시험선의 가이드웨이
(가이드웨이 처짐 : 경간장(L)/4800이내)

○ 시스템 인터페이스 설계안 및 주요 시스템 성능시험 기준안
- 초고속철도 시스템 요구사항분석 및 정의
- 시스템 인터페이스 내용 분석
- 성능평가 시험계획 및 절차서
- 초고속 자기부상 시스템 성능시험 기준안
- 궤도시스템 설계사양서, 도면 및 시험성적서
- 상시 계측시스템

□ 세부과제 2 : 초고속 차량 핵심기술개발

○ 초고속 차량시스템
- 자기부상/안내/제동시스템
- 초고속 자기부상철도용 대차 및 Pneumatic & Air distribution System
- HF DC/DC 컨버터 (30kW급이상)
- 소형·경량의 보조전원장치(30kW이상)
- 비접촉 전원장치의 Pick-up 시스템 (50kW이상)
- 차량 제어시스템

○ 차량시스템 관련 설계사양서, 설계도면 및 시험성적서
- 자기부상/안내/시스템 설계사양서, 설계도면, 시험성적서
- 대차시스템 설계사양서 및 설계도면
- 차량 제어시스템 설계사양서, 설계도면 및 시험성적서
- 소형·경량의 보조전원장치 설계사양서, 설계도면 및 시험성적서
- 차체 설계사양서 및 설계도면
- 기계적 제동시스템 설계사양서, 설계도면 및 시험성적서

□ 세부과제 3 : 초고속 추진 및 전력시스템 기술개발

○ 초고속 추진시스템용 지상설비
- 추진용 전력변환장치
- 추진제어용 Positioning System

○ 전력 인프라
- 100m이상 길이의 비접촉 전원공급장치
(유도급전간극 10mm내외, 효율 80%이상)
- 변전소 보호시스템 및 감시 장치

○ 추진 및 전력시스템 관련 설계사양서, 설계도면 및 시험성적서
- 변전소 보호 시스템 설계사양서, 설계도면 및 시험성적서
- 추진용 전력변환기 설계사양서, 설계도면 및 시험성적서
- 추진용 LSM 설계사양서, 설계도면 및 시험성적서

6. 기대효과 및 파급효과

○ 기술적 파급효과
- 초고속 자기부상 철도시스템 개발은 첨단 복합 기술의 종합적인 설계 능력과 핵심 부품 생산 기술을 크게 향상시킬 수 있으며, 첨단 건설기술, 해양 플렌트 사업, 군사 및 항공우주분야, 그리고 자동차 및 첨단 부품사업 등 국내 관

련 산업계의 기술 발전에 크게 기여할 것으로 전망됨
- 초고속 자기부상 철도시스템 설계기술 및 성능평가를 위한 단거리 시험선 구축시 향후 실용화 기반조성에 기여함

○ 정책적/공공적 파급효과
- 지구온난화에 따른 글로벌 환경문제의 대두로 CO2를 저감할 수 있는 환경친화적인 전기에너지를 사용하는 미래형 장거리 교통수단의 필요성에 대응 가능함
- 남북교류 활성화 및 동북아 시대에 대비한 대륙간 교통수단에 활용가능
- 본 과제 추진시 생산유발효과/ 부가가치유발효과/고용유발효과
  · 생산유발효과 : 총 386억원
  · 부가가치유발효과 : 총 111억원
  · 고용유발효과 : 총 245명

○ 경제적 파급효과
- 초고속철도시스템 핵심기술 개발에 소요되는 비용이 200억원 일 경우, 비용편익비(B/C)는 1.2, 순현재가치(NPV)는 3,437백만원, 내부수익률(IRR)는 7.9%임

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2011.10 ~ 2014.10 (3년)
- 1차년도 연구기간 : 2011.10 ~ 2012.8 (10월)
- 2차년도 연구기간 : 2012.8 ~ 2013.8 (1년)
- 3차년도 연구기간 : 2013.8 ~ 2014.10 (1년 2월)

○ 총 정부출연금 : 160억원 이내
- 1차년도 연구개발비 : 정부출연금 57.79억원 이내

※ 1차년도 이후 연차별 연구개발비는 제시된 총 정부출연금 범위 내에서 편성
※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부 예산 사정에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타	

○ 과제별 주요 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 “과제제안요구서(이하 ‘RFP’)”를 참조하여 작성

- 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 가감할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시

※ 총 정부출연금 및 연차별 정부출연금은 향후 선정평가 결과, 정부예산 사정 등에 따라 조정될 수 있음

○ 연구관리 전문기관(한국건설교통기술평가원)은 필요시 선정된 동 과제 연구책임자와 협의를 거쳐 연구개발계획서를 수정·보완(연구기간 변경, 연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음

○ 성과목표(지표)별 연차별 정량적·정성적 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제안하여야 하며, 이는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

- 제시한 성과지표에 미래철도기술개발사업 성과지표를 사전검토, 선정평가를 통해 조정(추가) 가능

○ 연구개발 성과물의 현장시험을 통한 검증 및 향후 추진계획을 필히 제시해야 함

○ 국제공동연구 또는 전문가 활용방안

- 필요시 관련 기술 해외 선도기관과의 공동연구 추진방안 및 전문가 활용계획을 연구계획에 포함

○ 연구개발계획서에는 구체적 연구방법론이 반드시 제시되어야 함

○ 매년 기술 및 시장 동향조사를 실시하여 차년도 연구계획에 반영

○ 기 수행되었거나 현재 수행중인 공모과제 관련 연구개발결과의 구체적인 연계·통합 및 활용방안을 연구계획에 포함

○ 기 수행하였거나 현재 수행중인 유사과제와 연구내용이 중복되지 않도록 연구개발계획서를 작성하여야 함

※ www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr의 유사과제목록 참조

- 제안된 연구내용이 타 유사과제와 연구방법이나 목표 등에서 차별화되는 경우에는 포함하여도 무방하되, 그 근거를 명확히 해야 함

※ 연구개발 수행 도중 과제의 중복성이 사후에 발견되거나 연구개발목표가 다른 연구개발에 의하여 성취되어 연구개발을 계속할 필요성이 없어진 때에는 협약을 해약할 수 있음

참고 문헌

[1] 현대정공(주), "미래지향적 교통수단으로서의 자기부상열차", 1992

[2] 한국철도기술연구원, "자기부상철도의 기술개발 및 실용화 현황", 2005

[3] 한국철도기술연구원, 한국기계연구원, "과학기술기본계획 577전략 세부기술 동향 보고서 (자기부상열차기술)", 2008

[4] TÜV, Assessment activities of joint task group TÜV Transrapid during commissioning of the Shanghai Maglev line, 2005

[5] Mark L. Nagurka, "EMS maglev Vehicle-Guideway Controller Model," Proceedings of the American Control Conference Seattle, Washington, June 1995

[6] Huiguang DaI, " Dynamic Behavior of maglev Vehicle/Guideway System with Control," Case Western Reserve University, August, 2005

[7] JAYAWANT, B. V., and SINHA, P. K. ' Low speed vehicle dynamics and ride quality using controlled d.c. electromagnets," Automatica, 1977, 13, pp. 605-610

[8] EN50126, Railway applications- The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety

[9] RTRI, 浮上式鐵道開發の現況と展望, 2006.

[10] ZHENG Shubin, LIN Guobin, LIAO Zhiming, LI Te(2004), “Ride comfort of TRANSRAPDID in Shanghai”, Maglev2004, pp.554-558.

[11] Toshikatsu Nakanishi, Hideyuki Takizawa, Kenichi Kato(2004), “Test results on the new vehicles of the JR-Maglev”, Maglev2004, pp.584-589.

[12] Hideyuki Takizawa, Hajime Takami, Ken Watanabe, Kimiaki sasaki, Hironori Hoshino, Yasushi Karino, Toshikatsu Nakaishi(2004), “Semi-active suspension system for the yamanashi maglev vehicles”, Maglev 2002.

[13] Minoru Morita, Mitsuru Iwaya, Masaaki Fujinom(2004), "The characteristics of the levitation system of linimo(hsst)", Maglev2004, pp.525-532.

[14] 한국철도기술연구원, 초고속 튜브철도 차량 핵심기술개발, 2010

[15] 한국교통연구원, 초고속(튜브) 트레인 시스템 기초기술 및 모형개발 사전기획연구, 2010

[16] 한국기계연구원, 초고속 자기부상열차 부상추진 핵심요소기술개발, 2006