광역철도용 2층 전동객차 적용을 위한 기술개발 기획연구
- 최종보고서 -

2015. 6

Infrastructure
R&D Report

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

이 보고서를 “광역철도용 2층 전동객차 적용을 위한 기술개발 기획연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.

2015. 6.

주관연구기관명 : 한국철도기술연구원

주관연구책임자 / 책임연구원 이 호 용

박기준

창상훈

정종덕

이찬우

김민수

홍희록

/ 수석연구원 창 상 훈
/ 수석연구원 정 종 덕
/ 책임연구원 이 찬 우
/ 책임연구원 박 기 준
/ 선임연구원 김 민 수
/ 연구원 홍 희 록

요 약 문

Ⅰ. 기획연구배경 및 목적

일반적으로 철도차량은 타 운송수단에 비해 녹색수송 수단으로 에너지 효율 및 친환경성에 대하여 우월성을 가지고 있지만, 타 운송수단에 비해 승객 1인을 수송하기 위해 부가적으로 이동시켜야 하는 차량의 중량이 큰 상태이다. 이러한 비효율적인 부분을 보완하기 위하여 철도차량 경량화에 대한 연구를 지속적으로 진행하고 있으며, 이와 더불어 2층 열차와 같은 동일 차량 중량대비 수송력을 증대하는 방안에 대한 연구가 진행될 필요가 있다. 2층 열차를 통한 수송력 증대 및 공간 확대는 수송수단으로써 에너지 효율을 극대화하는 방안일 뿐만 아니라 승객 편의공간을 확보를 통해 이동간의 편안함과 안락함을 극대화 시키는 수송수단으로 역학을 할 수 있게 될 것이다.

광역철도용 2층 열차(200km/h 급) 시스템 사양 결정 및 시스템 통합/인터페이스 최적(안) 도출과 광역철도 2층 전동객차 기술개발을 위해 필요한 핵심기술 확보를 통한 시제열차 제작, 광역철도용 2층 전동객차 시제열차실용화 모델 제시를 통하여 광역철도의 대용량 승객 수송 및 광역 이용승객의 장거리 이동 편의성 증진을 위한 광역철도용 2층 전동객차(200km/h 급)의 핵심기술을 개발하고자 한다.

Ⅱ. 기획연구 내용 및 범위

기획 내용	주요 기획 범위
◈ 기술동향 조사 및 분석을 통한 운영 전략 제시	-해외 2층 전동차 운영 등 기술개발 사례 분석 -국내외 2층 전동차 기술 현황 분석 -국내외 2층 전동차 기술개발에 대한 SWOT 분석 -광역철도 노선 확대 등 환경변화에 따른 노선별 운영전략 제시 -객관적인 경제성 분석과 요금체계 제시

◈국내 환경변화에 대응 가능한 2층 전동객차 실용화 모델 제시	-국내외 실용화 요건 검토 -M-car, T-car 등 2층화 방안 제시 -최소 곡선반경 및 기존 승강장 PSD 등과의 인터페이스 검토
◈핵심기술 도출	-차체 경량화 및 구조강도 확보기술 제시 -주요 전장품 및 제동장치에 대한 소형화 및 경량화 제시 -안전성 확보를 위한 설계기술 및 기기배치 제시 -추진시스템 및 전력시스템 기술 제시
◈실용화를 위한 전략수립 및 Test Bed 구축계획 제시	-실용화를 위한 관련 법 제·개정(안) 도출 -실용화를 위한 운영기관 역할 정의 및 구체적인 참여방안 마련 -Test Bed 추진 전략 제시
◈핵심기술 도출	-비전 및 목표 -기술개발에 따른 미래상 -연구개발 과제 구성 -성과의 활용방안
◈사전타당성 검토	-정책적 타당성 -기술적 타당성 -기술적·운영적 측면의 경제적 타당성 -타당성 검토 종합
◈소요예산 산정	-전체사업 소요예산 -소요예산 산정 및 기술로드맵

Ⅲ. 기획연구 결과

1. 연구개발 필요성

① 수도권 등 대도시권의 광역화로 인해, 도로교통의 체증현상 심화와 수도권 전철 이용객의 지속적인 증가에 따른 수도권 광역철도 혼잡이 가중되고 있고, 향후 광

역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동수요의 지속적인 증가 예상.

※대도시권 광역화로 1시간 이상 출 · 퇴근자 증가율(`05년→`10년, 통계청)

: 수도권34%(246만명→329만명), 7대 특 · 광역시 27%(189만명→240만명)

② 광역철도용 2층 열차의 특성은 운용조건 및 운용노선이나 철도 인프라 등에 의해 지배적인 영향을 받으므로, 주요기기 간 원활한 인터페이스 및 기기배치의 효율성, 차체 경량화 및 주요 기기의 경량 · 소형화, 수송효율 극대화를 위한 차량구조 설계 등과 함께 시설물 인터페이스 검토 필요함.

③ 광역철도용 2층 열차의 안정적 주행을 위한 대차 및 부속기기 설계 기술과 쾌적한 실내 환경 조성을 위한 냉난방 기술 및 실내 소음저감 기술 등의 개발 필요함.

2. 기술동향 분석

① 국내외 기술개발 동향: 일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 쾌적하면서도 효율적인 수송량 증강수단인 2층 열차를 점차 활용하고 있는 추세이며, 특히, 알스톰사는 2층 열차를 운영목적과 투입노선의 성격에 따라 여러 종류의 차량편성을 가질 수 있게 설계하고 있음. 투입노선의 성격에 따라 4가지 성격의 2층 열차를 제작하는데 Urban, Suburban, Regional, Intercity급등 4등급으로 나누어 차량편성 및 운행속도 대역을 맞추어 설계하고 있음.

② 국내외 관련 시장 동향: 글로벌 철도시장 동향을 살펴보면, 아시아지역이 2010년부터 2014년까지 평균시장규모는 한화 약 63조원으로 시장규모가 가장 크며, 2013년부터 2018년까지 연평균복합성장률(CAGR) 4% 성장할 것으로 예상됨. 특히, 2층 전동객차에 대한 시장은 꾸준히 증가되고 있음.

③ 국내외 관련 산업동향: 글로벌 철도시장동향을 살펴보면, 아시아지역의 최근 시장규모는 약 63조원으로 가장 크며, 글로벌 고속철도의 경우 유럽 제작 모델이 선도하고 있으나, 향후 중국/일본 모델의 경쟁 가속화 할 것으로 기대됨.

④ 국내 기업 및 연구기관 기술수준: 특허(Patent) 측면에서 현재까지 총 127건의 관련 유효특허가 출원되고 있으며, 중국이 54%로 최다이며, 한국의 경우 대부분의 지수전무한 수준(2층 열차 출원 Bombardier, Transp, GMBH, Alstom, Toshiba, Siemens 등 자국특허 수준). 논문(Paper)은 1990년부터 현재까지 총 14건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 전반적으로 미미한 수준의 논문이 발표되고 있음.

⑤ 기타 특이사항: 일본, 프랑스등 철도 선진국에서는 선로 사용률이 높은 구간에서는 보다 손쉬운 수송량 증강방법인 2층 열차를 활용하고 있는 추세임. 차고 4.1m 내외의 2층 열차 차량개발까지도 가능하므로 우리나라의 광역철도망에서 2층 열차 운행은 가능함.

3. “광역철도용 2층 전동객차 핵심기술 연구개발” 연구목표 및 추진전략

연구목표	주요 연구내용
◈광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 연구	-국내 환경에 적합한 2층 전동객차 요구사항 분석 및 목표사양 도출 -2층 전동객차 차체 및 핵심장치 인터페이스 기술 개발 -2층 전동객차 용량 및 기기 배치 최적설계 기술 개발 -2층 전동객차 차량/인프라 인터페이스 설계 -2층 전동객차 핵심장치 완성품 시험·평가 -2층 전동객차 실용화를 위한 경제적 모델 개발 -2층 전동객차 실용화를 모델 구현을 위한 Test-bed 노선 연구(실용화를 위한 목표주행거리(10만km 달성))
◈광역철도용 2층 전동객차 차체 설계 제작 기술 개발	-수송수요 증대를 위한 2층 차체 설계 기술개발 -광역철도용 2층 전동객차 차체 경량화 및 안정화 기술개발 -2층 전동객차용 연결기 등 부품 슬림화 및 모듈화 기술 개발

	-2층 전동객차 차체 구성품 시험(정하중 및 피로하중) 평가
◈광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발	-슬림화 및 경량화를 위한 전장품 및 제동장치 설계 -2층 전동객차 제동장치 기술 개발 -2층 전동객차용 전장품 및 제동장치 구성품 시험·평가
◈광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발	-하중 증가에 따른 주행장치 설계 -2층 전동객차 능동조향대차 적용성 검토 -2층 전동객차 대차 핵심장치 설계 및 제작

추진 전략은 아래 그림과 같다.

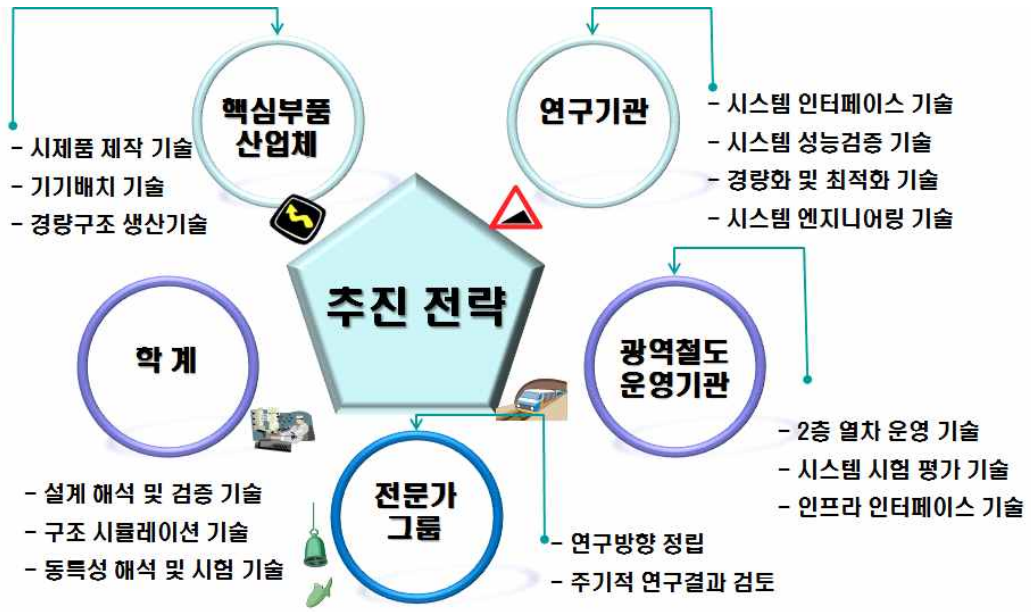


그림 2층 열차 개발과제 산학연 추진전략

4. 사전타당성 검토

① 광역철도용 2층 전동객차의 주목적인 수송 인원의 증가에 따른 수송능력 확대와 원거리 통근으로 인한 승객 편의성 및 승객 요구에 부응할 수 있는 서비스 질적 향상을 위한 2층 객차의 개발에 대한 기술대책이 필요함.

② 2층 구조에 따라 객차의 크기 및 중량이 증가하게 되므로 이에 대한 경량화 방안 및 경량화에 따른 구조적인 강성 및 강도 확보를 위한 형상의 연구가 필요함.

③ 2층 구조에 의한 차고의 증가 및 객차 중량의 증가로 인하여 무게중심이 높아짐에 따라 주행 시 발생하는 횡력에 대한 안정성을 확보하는 설계기술 및 해석이 필요함.

④ 객차 중량의 증가 및 전고가 높아짐에 따라 제동시의 제동 특성이 바뀌는 것을 고려하여 충돌안전성 대책 및 제동력, 비상 제동거리 등 기준을 만족하는 제동장치의 연구가 필요함.

⑤ 객실 공간이 협소함에 따라 소음, 진동 및 승차감 기준을 만족하기 위한 기술적인 검토 및 대책과 2층 전동객차의 평가를 위한 시험평가 기준이 필요함.

5. 연구개발 소요기간 및 예산

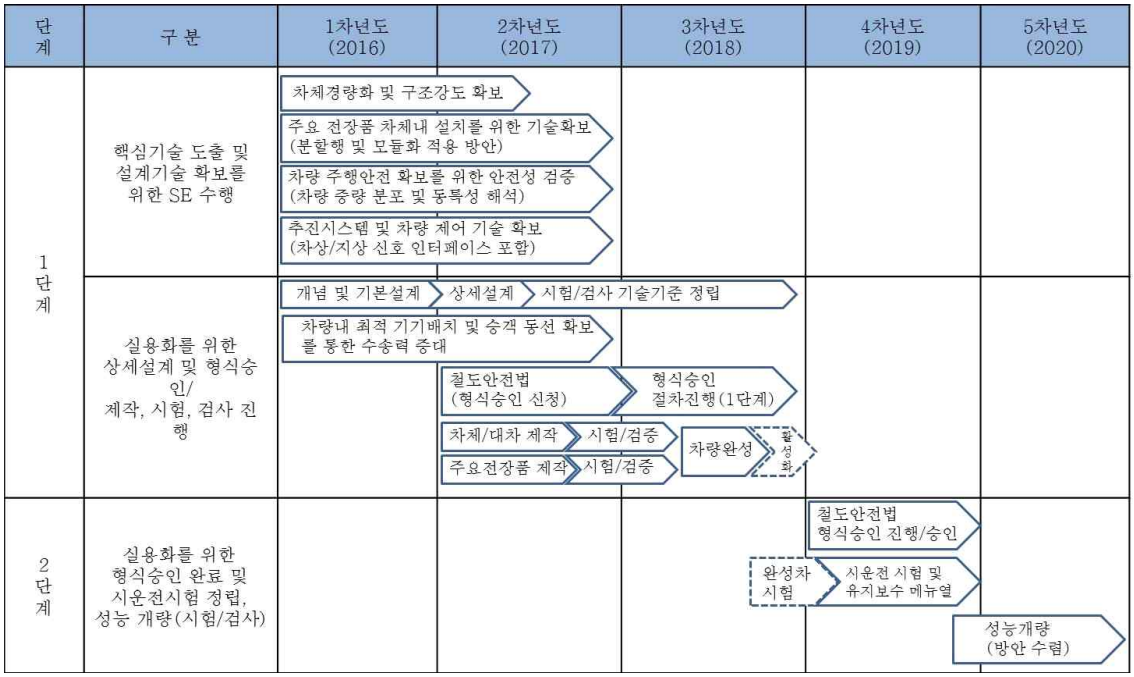
전체 사업일정은 5년으로 개발하고 단계별 추진하는 방법으로 수행 될 계획이다. 이는 핵심기술과 운영을 포함한 일정을 구분하여 추진하고 1단계에서는 3년간 2층 차체 및 주행장치, 전장품 등 핵심기술 개발을 목표로 수행한다. 또한 2단계에서는 2년간 1단계에서 완료된 결과물을 운영노선에 투입하여 신뢰성 및 안전성을 확인하여 실용화 요건을 갖추도록 추진한다. 전체 사업 일정은 5년간 개발하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

(정부출연금 기준, 단위: 백만원)

중점 추진 분야	세 부 과 제	소요 연구비	1 단계			2 단계	
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
1세부 : 광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 연구		7,600	900	2,200	2,500	1,000	1,000
1	2층 전동객차 목표사양 도출	135	135				
2	차체 및 핵심장치 인터페이스 기술	990	190	600	200		
3	용량 및 기기 배치 최적설계 기술	1,100	250	550	300		

중점 추진 분야	세 부 과 제	소요 연구비	1 단계			2 단계	
			1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도
4	차량/인프라 인터페이스(동적거동 등) 기술	550	150	400			
5	핵심장치 완성품 시험·평가	1,470		180	800	200	200
6	실용화를 위한 경제적 모델 개발	955	75	200	700		
7	Test-bed 노선 연구	2,400	100	200	500	800	800
2세부 : 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술 개발		11,800	1,000	4,000	2,800	3,000	1,000
1	광역철도용 2층 차체 설계 기술	4,250	50	1,150	750	2,300	
2	차체 경량화 및 안정화 기술	1,220	120	650	450		
3	연결기 등 부품 슬림화 및 모듈화 기술	3,330	830	1800	700		
4	차체 및 주요 구성품 시험(정하중 및 피로시험) 평가	3,000		400	900	700	1,000
3세부 : 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발		6,300	600	3,000	2,500	200	
1	전장품 및 제동장치 경량화 제작 기술	1,670	70	600	1,000		
2	전장품 슬림화 및 모듈화 기술	850	200	450	200		
3	고출력 제동장치 기술	650	200	450			
4	영구작석용 동기전동기 적용 기술	980	130	550	300		
5	전장품 및 제동장치 시제품 평가	2,150		950	1,000	200	
4세부 : 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발		4,300	500	2,400	1,200	200	
1	광역철도용 주행장치 설계 기술	750	50	200	500		
2	능동조향대차 적용 기술	300	50	250			
3	주행장치 최적설계	700	400	300			
4	대차 핵심장치 설계 및 제작	1,550		1,150	400		
5	대차 구성품 및 완성품 시험·평가	1,000		500	300	200	
합 계			8,000	10,900	8,600	500	500

다음은 기술개발에 대한 로드맵을 보여 주고 있다.



Ⅳ. 연구개발결과의 기대효과

① 통근형 광역철도 서비스 제공으로 도시-도시간 교통 체증 완화 및 수도권 경제 활성화와 선로 용량 증대로 광역철도 수송효율 증대 및 대국민 서비스 질 향상.

② 전동차의 수송량 증대로 혼잡률 문제를 해결할 수 있으며, 수송집 중 시간대의 혼잡을 최소화하여 쾌적한 환경 조성과 광역철도 수요 중대로, 도로 중심에서 철도 중심으로 지속가능한 광역대중교통체계 수립.

③ 광역철도 2층 전동객차 핵심기술 확보를 통해, 국내 광역철도용 2층 열차 제작·운영 가능으로 선진기술을 선도하고 해외 광역철도시장 진출 시 다양한 전동차용 2층 열차 모델 제공으로 시장 진입 가능성 제고.

④ 전장품 및 차체 등 차량 경량화 기술에 대한 항공 및 자동차 산업에 적용 가능.

⑤ 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동 수요의 지속적인 증가 예상으로, 장거

리 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대로 교통수요정책 마련.

⑥ 우리나라 최근 이용교통수단별 평균 출·퇴근 시간은 철도가 1시간 이상으로 최장(OECD국가 중 두 번째로 최장 수준)으로, 국토교통부 및 지방자치단체의 교통정책과 신도시 건설계획 시, 구축비용을 최소화할 수 있는 기술을 제공함으로써 도시교통 정책 수립 시 탄력성 부여.

⑦ 원활한 수송수요 처리방안(열차 운영체계의 개선)을 모색하기 위해 효과적 교통수단으로서 철도의 장점을 최대한 살리고 철도를 더욱 탄력적으로 운용 가능함으로써 효율적 국토운영과 대국민 서비스 질 향상을 도모할 수 있음.

목 차

제 1 장 기술동향 조사 및 분석을 통한 운영전략 제시 ····· 1
1절 해외 2층 전동차 운영 등 기술개발 사례 분석 ····· 1
2절 국내외 2층 전동차 기술 현황 분석 ····· 25
3절 국내 2층 전동차 기술개발에 대한 SWOT 분석 ····· 30
4절 광역철도 노선 확대 등 환경변화에 따른 노선별 운영전략 제시 ····· 34
5절 객관적인 경제성 분석과 요금체계 제시 ····· 43

제 2 장 국내 환경변화에 대응 가능한 2층 전동객차 실용화 모델 제시 ····· 97
1절 국내외 실용화 요건 검토 ····· 97
2절 M-car, T-car 등 2층화 방안 제시 ····· 118
3절 최소 곡선반경 및 기존 승강장 PSD 등과의 인터페이스 검토 ····· 126
4절 PSD 안전성 및 승객 승하차시간 분석 ····· 150

제 3 장 핵심기술 도출 ····· 154
1절 차체 경량화 및 구조강도 확보기술 ····· 154
2절 주요 전장품 및 제동장치에 대한 소형화 및 경량화 ····· 187
3절 안전성 확보를 위한 설계기술 및 기기배치 ····· 226
4절 추진시스템 및 전력시스템 기술 ····· 230

제 4 장 실용화를 위한 전략수립 및 Test Bed 구축계획 제시 ····· 243
1절 실용화를 위한 관련 법 제·개정(안) 도출 ····· 243
2절 실용화를 위한 운영기관 역할 정의 및 구체적인 참여방안 마련 ····· 256
3절 Test Bed 추진 전략 제시 ····· 263

제 5 장 연구개발과제 구성 및 추진전략 ····· 273
1절 비전 및 목표 ····· 273
2절 기술개발에 따른 미래상 ····· 279
3절 연구개발 과제 구성 ····· 281
4절 세부과제별 주요내용 및 추진체계 ····· 288
5절 성과의 활용방안 ····· 305

제 6 장 사전타당성 검토 ····· 307
1절 정책적 타당성 ····· 307
2절 기술적 타당성 ····· 319
3절 기술적 · 운영적 측면의 경제적 타당성 ····· 334
4절 타당성 검토 종합 ····· 360

제 7 장 소요예산 산정 ····· 364
1절 전체사업 소요예산 ····· 364
2절 소요예산 산정 및 기술로드맵 ····· 370

제 8 장 과제 제안 요구서 ····· 379

표 목 차

<Table 1.1.1> 동일본 철도 교외선 215계 주요제원 ····· 4
<Table 1.1.2> Z2N 및 MI2N 차량의 편성 ····· 9
<Table 1.1.3> 각국의 전동차 주요치수 비교표 ····· 24
<Table 1.3.1> 2층 전동차 기술개발에 대한 SWOT 분석 ····· 33
<Table 1.4.1> 노선별 data 값 ····· 35
<Table 1.4.2> 수송량에 따른 영업수익 ····· 36
<Table 1.5.1> 국가연구개발사업의 총 비용분석을 위한 분류체계 ····· 47
<Table 1.5.2> 총사업비와 총비용의 구분 ····· 48
<Table 1.5.3> 신뢰할만한 비용추정의 기본특성 ····· 49
<Table 1.5.4> R&D사업 예비타당성 조사의 비용분석을 위한 원칙 ····· 51
<Table 1.5.5> 예비타당성조사 부문별 편익 항목과 산출방식(예시) ····· 53
<Table 1.5.6> 연구개발활동 파급 분류와 예비타당성조사 반영 여부 ····· 57
<Table 1.5.7> 연구개발부문 예비타당성조사 편익 항목 ····· 58
<Table 1.5.8> 편익 추정방법의 분류 ····· 60
<Table 1.5.9> 광역철도 2층 열차 도입을 위한 편익 항목 구성 ····· 65
<Table 1.5.10> 타 수단 이용자 통행시간절감 편익 산정 ····· 66
<Table 1.5.11> 차량 1대당 평균 통행시간가치(전국권) ····· 67
<Table 1.5.12> 도로교통수단 이용자 운행비용절감 편익 산정 ····· 68
<Table 1.5.13> 차종별·속도별 차량운행비용 ····· 69
<Table 1.5.14> 환경비용 절감 편익 산정 ····· 70
<Table 1.5.15> 차종별·속도별 대기오염 비용 ····· 71
<Table 1.5.16> 교통사상사고 중 직무사상 사고 피해감소인원 추정 ····· 73
<Table 1.5.17> 사고예방편익 산정 ····· 73
<Table 1.5.18> 철도의 통행시간 신뢰성 지표 원단위 ····· 74
<Table 1.5.19> 철도의 통행시간 신뢰성 가치 원단위 ····· 74
<Table 1.5.20> 신뢰성 증가 편익 산정 ····· 75
<Table 1.5.21> 지역 내 산업연관표의 기본구조 ····· 78
<Table 1.5.22> 지역 간 산업연관표(IRIO)의 기본구조 ····· 79
<Table 1.5.23> 성과물 목표점유율에 따른 수요예측관련 시나리오 유형 ····· 80
<Table 1.5.24> 경제적 효과 계수 ····· 81

<Table 1.5.25> 생산유발효과 ····· 81
<Table 1.5.26> 부가가치유발효과 ····· 81
<Table 1.5.27> 고용유발효과 ····· 82
<Table 1.5.28> 연구개발사업의 편익 ····· 82
<Table 1.5.29> 요금정책목표의 평가기준 및 측정방법 ····· 85
<Table 2.1.1> 일반철도 차량의 적합성평가 ····· 98
<Table 2.1.2> 국내에서 제작 운용중인 추진제어장치의 현황 ····· 109
<Table 2.1.3> ITX-청춘 2층 열차의 설계중량 분포 ····· 114
<Table 2.1.4> 년차별/단계별 세부 과제 목표 및 연구내용 ····· 116
<Table 2.2.1> 2층 열차 개념설계 주요제원 ····· 119
<Table 2.3.1> 궤도 구조기준 ····· 126
<Table 2.3.2> 선로 구조기준 ····· 127
<Table 2.3.3> 철도건설규칙 기준[철도의 건설기준에 관한 규정 제6조] ····· 129
<Table 2.3.4> 서울특별시 도시철도 기준(도시철도건설규칙 기준) ····· 129
<Table 2.3.5> 건축한계와 차량한계 ····· 130
<Table 2.3.6> PSD 무선 인터페이스 종류 ····· 133
<Table 2.3.7> PSD 무선 시스템 인터페이스 종류 ····· 134
<Table 2.3.8> 차상 장치의 연결 ····· 135
<Table 2.3.9> 차상 PSD FR장치 외관 구성 일람표 ····· 136
<Table 2.3.10> 차상 PSD 무선(RF)장치 조작반 외관 구성 일람표 ····· 137
<Table 2.3.11> 내/외선 채널당 할당 주파수 표 ····· 142
<Table 2.3.12> 전동차 출입문 검지반 센서 ····· 145
<Table 2.3.13> 출입문 검지반 인터페이스 종류 ····· 146
<Table 2.3.14> 출입문 개폐 판독을 위한 기준점 알고리즘(개선방안) ····· 149
<Table 2.3.15> 출입문 검지 센서의 자기진단기능 ····· 150
<Table 3.1.1> 측정항목 ····· 159
<Table 3.1.2> 운행조건에 따른 차량분류 ····· 172
<Table 3.1.3> 충돌사고각본의 충돌속도 ····· 174
<Table 3.1.4> 대형장애물 충돌사고각본의 충돌속도 ····· 174
<Table 3.1.5> 소형장애물로 표현되는 정적하중 크기 ····· 176
<Table 3.1.6> 운행속도에 따른 에너지 흡수량 ····· 181
<Table 3.1.7> Data of Orthogonal Arrays of 3-level ····· 184
<Table 3.2.1> 제동제어장치의 적용호선 및 특징 ····· 211

<Table 3.2.2> 제동장치 관련 표준 규격 ····· 215
<Table 3.2.3> 보조제동이 없는 철도차량 ····· 216
<Table 3.4.1> 차량 평균운행속도 증대 방안의 비교(차량 중량이 일정한 경우) ····· 233
<Table 3.4.2> 6호선 열차의 제원 ····· 235
<Table 3.4.3> 6호선의 운전 데이터 ····· 236
<Table 3.4.4> 시뮬레이션 별 조건 ····· 237
<Table 3.4.5> 각 시뮬레이션 별 결과 요약 ····· 237
<Table 3.4.6> 각 시뮬레이션 별 상세 결과 파일 ····· 241
<Table 4.1.1> 국가철도차량기술개발사업 및 실용화 현황 ····· 244
<Table 4.1.2> 외국의 철도차량 기술개발 및 실용화 현황 ····· 246
<Table 4.1.3> 국가연구개발 결과 실용화를 위한 법령 개정 방안 ····· 253
<Table 4.1.4> 연구개발결과 실용화를 촉진을 위한 사업화 지원 방안(안) ····· 254
<Table 4.1.5> 연구개발결과 사업화를 위한 철도산업발전기본법령의 개정 안 ····· 255
<Table 4.2.1> 철도차량 연구개발사업 정부 및 운영기관의 역할 및 활동 ····· 258
<Table 4.2.2> 철도산업발전기본계획과 연구개발사업의 실용화를 위한 구체적인 참여 방안 ····· 262
<Table 4.3.1> Test Bed 본선시운전 시험 항목 ····· 264
<Table 4.3.2> 경춘선 운용현황 ····· 266
<Table 4.3.3> 경의선, 중앙선 및 경의중앙선 현황 ····· 270
<Table 4.3.4> GTX 광역급행철도 현황 ····· 272
<Table 5.1.1> 기술개발과제별 기술수준과 기존 기술수준 ····· 277
<Table 5.3.1> 중점 추진 분야1 : 광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 기술개발 ····· 283
<Table 5.3.2> 중점 추진 분야2 : 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계 · 제작 기술 개발 ····· 284
<Table 5.3.3> 중점 추진 분야3 : 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발 ····· 284
<Table 5.3.4> 중점 추진 분야4 : 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발 ····· 285
<Table 5.3.5> 연구개발 과제 중요 검토 사항 및 종합평가 ····· 285
<Table 5.4.1> 세부과제별 주요내용 ····· 288
<Table 5.4.2> 중점 추진 분야1 : 광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 연구 ····· 301

<Table 5.4.3> 중점 추진 분야2 : 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술‥302
<Table 5.4.4> 중점 추진 분야3 : 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발‥303
<Table 5.4.5> 중점 추진 분야4 : 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발‥304
<Table 6.1.1> 철도기술사업 주요 연구내용 및 현황(참고)‥313
<Table 6.1.2> 광역철도 2층 전동객차 기술 직·간접 기술적 파급효과의 추정‥317
<Table 6.2.1> 우리나라 지하철의 지하부분 건축한계 및 차량한계‥321
<Table 6.2.2> 세계에서 운행 중인 2층 객차의 크기 비교‥322
<Table 6.2.3> 차체 재질에 대한 구체중량 비교‥323
<Table 6.2.4> 탈선의 주요 원인‥326
<Table 6.2.5> 도시철도법에 따른 운영환경에 대한 안전기준 및 규정‥330
<Table 6.2.6> 해외 2층 열차 노선의 운영환경에 대한 주요 안전기준 및 규정‥330
<Table 6.2.7> 도시철도차량의 성능시험 기준‥331
<Table 6.2.8> 성능시험의 종류‥332
<Table 6.2.9> 구조체 하중시험의 종류와 측정항목‥333
<Table 6.2.10> 시험하중의 크기‥333
<Table 6.2.11> 하중시험의 평가기준‥334
<Table 6.3.1> 비용 및 편익분석의 항목‥335
<Table 6.3.2> 비용산출 기준‥336
<Table 6.3.3> 통행시간 절감편익 산출기준(2011년 기준)‥336
<Table 6.3.4> 좌석안락감 편익 산출기준‥336
<Table 6.3.5> 타당성 검토를 위한 설정방안‥337
<Table 6.3.6> 2층 전동차 편성당 수송용량‥338
<Table 6.3.7> 기존전동차와 2층 전동차 수송용량 비교‥339
<Table 6.3.8> 10량 1편성당 좌석편익 비교‥339
<Table 6.3.9> 10량 1편성당 통행시간 절감 편익 비교‥340
<Table 6.3.10> 철도사업 신규투자시의 일반적인 편익항목‥341
<Table 6.3.11> 철도사업 신규투자시의 일반적인 비용항목(2)‥342
<Table 6.3.12> 비용 및 편익분석의 항목‥346
<Table 6.3.13> 비용산출 기준(차량구입비 및 차량전력비)‥347
<Table 6.3.14> 비용산출 기준(차량보수비)‥347
<Table 6.3.15> 통행시간 절감편익‥348

<Table 6.3.16> 좌석안락감 편익 ····· 348
<Table 6.3.17> 노선별 수송수요 예측자료 ····· 349
<Table 6.3.18> 경인선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 km당 가치 변화 ····· 350
<Table 6.3.19> 경부선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 km당 가치 변화 ····· 352
<Table 6.3.20> 경원선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 km당 가치 변화 ····· 353
<Table 6.3.21> 경의선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 km당 가치 변화 ····· 354
<Table 6.3.22> 경춘선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 km당 가치 변화 ····· 356
<Table 6.3.23> 신분당선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 km당 가치 변화 ··· 357
<Table 6.3.24> 신안산선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 km당 가치 변화 ··· 358

그 림 목 차

<Fig. 1.1.1> 프랑스 파리 2층 전동열차 사례 ····· 1
<Fig. 1.1.2> 교외선 운영 215계 2층 열차 노선도 ····· 3
<Fig. 1.1.3> 교외선 215계 EMU ····· 5
<Fig. 1.1.4> 교외선 215계의 Leading Car(Mc) ····· 5
<Fig. 1.1.5> 교외선 215계의 동력차(M) ····· 5
<Fig. 1.1.6> 교외선 215계의 Mc1차 ····· 6
<Fig. 1.1.7> 교외선 215계의 Ts차(사로215형) ····· 6
<Fig. 1.1.8> 교외선 215계의 Ts′차(사로215형) ····· 6
<Fig. 1.1.9> 교외선 215계의 T차 ····· 7
<Fig. 1.1.10> 교외선 215계의 T′차 ····· 7
<Fig. 1.1.11> Z2N형 차량 편성 ····· 9
<Fig. 1.1.12> Z2N형 2층객차의 내부 ····· 10
<Fig. 1.1.13> MI2N 2층 열차 ····· 10
<Fig. 1.1.14> MI2N 내부 ····· 11
<Fig. 1.1.15> Z2N 2층 열차 ····· 11
<Fig. 1.1.16> 파리 노선도(1) ····· 12
<Fig. 1.1.17> 파리 노선도(2) ····· 13
<Fig. 1.1.18> 파리 노선도(3) ····· 14
<Fig. 1.1.19> 출근 시 2층 열차(MI2N)의 내부 전경 ····· 15
<Fig. 1.1.20> MI2N의 2층 내부 전경 ····· 17
<Fig. 1.1.21> MI2N의 차량구조 및 좌석 배치도 ····· 17
<Fig. 1.1.22> 2층 열차의 1층 창문형상 및 차량연결 구조 ····· 20
<Fig. 1.1.23> 2층 지분형상 및 실내배치와 1층 지붕형상 및 실내배치 ····· 21
<Fig. 1.1.24> 발판이 펴진 상태 및 2층 계단과 1층 지붕 연결부위 ····· 22
<Fig. 1.1.25> 미국의 2층 열차(CDT) ····· 23
<Fig. 1.1.26> 미국의 2층 열차(Metra) ····· 23
<Fig. 1.1.27> 네덜란드 2층 열차 차량구조 및 좌석배치도 ····· 23
<Fig. 1.1.28> 네덜란드 2층 열차 및 내부구조 ····· 24
<Fig. 1.2.1> 광역철도용 2층 열차 분야 특허 출원년도 및 국가별 출원추이 ····· 25
<Fig. 1.2.2> 주요 출원인 연도별 출원동향 ····· 26

<Fig. 1.2.3> 광역철도용 2층 열차 분야 주요논문 등재 저널 ····· 26
<Fig. 1.2.4> 광역철도용 2층 열차 분야 특허기술 연계 기술발전 추이 ····· 27
<Fig. 1.2.5> 광역철도용 2층 열차 분야 논문 발표 연계 기술발전 추이 ····· 28
<Fig. 1.2.6> Market volume and market growth by product segment ····· 28
<Fig. 1.2.7> 2013~2018 글로벌 철도시장 동향 ····· 29
<Fig. 1.2.8> Top 10 countries by market volume in EUR billion(1) ····· 29
<Fig. 1.2.9> Top 10 countries by market volume in EUR billion(2) ····· 30
<Fig. 1.4.1> 1호선 노선표 ····· 40
<Fig. 1.4.2> 경부선의 대피선 유무 ····· 40
<Fig. 1.4.3> 새로 개통된 노선과 개통 예정인 노선도 ····· 42
<Fig. 1.5.1> NASA의 R&D(R&T portfolio project)사업 관리의 표준화 WBS사례 ···· 47
<Fig. 1.5.2> R&D사업의 비용추정절차 ····· 50
<Fig. 1.5.3> 세부 R&D활동법 원가추정절차 ····· 50
<Fig. 1.5.4> Griliches(1958)에서 제시하고 있는 R&D 편익 ····· 54
<Fig. 1.5.5> Mansfield et al.(1977)에서 제시하고 있는 R&D 편익 ····· 55
<Fig. 1.5.6> Spender에 의해 정의된 국가R&D투자의 편익추정 범위 ····· 56
<Fig. 1.5.7> 한계원가로 인한 공급 촉진 ····· 90
<Fig. 1.5.8> 한계원가로 인한 손실 ····· 90
<Fig. 1.5.9> 광역철도용 2층 전동객차 운행요금 검토 방향 ····· 96
<Fig. 2.1.1> 대형전동차 규격 ····· 105
<Fig. 2.1.2> 철도공사 KRCS 0826 01 ····· 107
<Fig. 2.1.3> 교차형 ····· 108
<Fig. 2.1.4> 싱글암형 ····· 108
<Fig. 2.1.5> 국내 운영 중인 ITX-청춘 2층 차량 ····· 111
<Fig. 2.1.6> ITX-청춘 2층 전동객차의 내부 조건(1) ····· 111
<Fig. 2.1.7> ITX-청춘 2층 전동객차의 내부 조건(2) ····· 112
<Fig. 2.1.8> 해외(Desiro)의 2층 전동객차 ····· 112
<Fig. 2.1.9> 국내 ITX-청춘 2층 열차 출입문 구조 ····· 113
<Fig. 2.1.10> 미국 SCRRA 2층 열차 출입문 구조 ····· 113
<Fig. 2.1.11> 2층 전동객차 실용화를 위한 기술 로드맵 ····· 115
<Fig. 2.2.1> T-car Schematics ····· 119
<Fig. 2.2.2> M-car Schematics ····· 120
<Fig. 2.2.3> Mc-car Schematics ····· 120

<Fig. 2.2.4> M'-car Schematics ····· 121
<Fig. 2.2.5> 열차제어시스템 모듈화를 통한 다양한 신규 인터페이스 요구사항 대응 ····· 122
<Fig. 2.2.6> 열차제어시스템 모듈화 개발(comcept) ····· 123
<Fig. 2.2.7> 접촉식 유압제동 ····· 124
<Fig. 2.2.8> 와전류 레일제동 ····· 124
<Fig. 2.2.9> 와전류 디스크제동 ····· 124
<Fig. 2.2.10> 보잉787 Electric Brake System ····· 125
<Fig. 2.3.1> 건축한계와 차량한계표 ····· 131
<Fig. 2.3.2> PSD 무선 시스템 전체 구성도 ····· 133
<Fig. 2.3.3> 차상 장치 구성 ····· 135
<Fig. 2.3.4> 차상 PSD FR 무선장치 외관 ····· 135
<Fig. 2.3.5> 차상 PSD 무선(RF)장치 조작반 ····· 137
<Fig. 2.3.6> 무선(RF)장치에 의한 동작 Flow ····· 138
<Fig. 2.3.7> 전동차 All Door Close(도어 등) 개요 ····· 139
<Fig. 2.3.8> 전동차 All Door Close(도어 등)와 PSD의 연동 ····· 140
<Fig. 2.3.9> LSR과 PSD 무선(RF) 장치 연동 구성도 ····· 141
<Fig. 2.3.10> RF 통신 구조 ····· 143
<Fig. 2.3.11> 출입문 검지반의 전동차 출입문 감시 ····· 144
<Fig. 2.3.12> 전동차 출입문 검지반 ····· 144
<Fig. 2.3.13> 전동차 출입문 검지센서 케이스 ····· 144
<Fig. 2.3.14> 전동차 출입문 검지반 구성도 ····· 145
<Fig. 2.3.15> 출입문 검지반 설치 위치 ····· 146
<Fig. 2.3.16> 출입문 검지반 설치 개념도 ····· 147
<Fig. 2.3.17> 출입문검지센서의 배열과 설치(개선 방안) ····· 147
<Fig. 2.3.18> 출입문검지센서의 검지 간격과 검지 영역(개선 방안) ····· 148
<Fig. 2.3.19> 전동차 출입문 이동방향과 센서 신호 변화 ····· 149
<Fig. 2.4.1> 승하차 시간의 도수분포 현황 ····· 152
<Fig. 3.1.1> 구조체 지지방법(1) ····· 160
<Fig. 3.1.2> 시험하중 부하방법 ····· 160
<Fig. 3.1.3> 구조체 지지방법 및 시험하중 부하방법 ····· 161
<Fig. 3.1.4> 구조체 지지방법(2) ····· 162
<Fig. 3.1.5> 시험하중 부하방법(1) ····· 162

<Fig. 3.1.6> 시험하중 부하방법(2) ····· 163
<Fig. 3.1.7> 차체 해석 모델(예시) ····· 164
<Fig. 3.1.8> 차체 변위 해석 결과(예시) ····· 165
<Fig. 3.1.9> 전단 하중을 받는 체결품 ····· 165
<Fig. 3.1.10> T-slot에 장착된 볼트 및 전체 조립도 ····· 166
<Fig. 3.1.11> 볼트 체결 및 풀림 해석 ····· 167
<Fig. 3.1.12> 균질화법에 사용되는 복합재 미세구조 ····· 168
<Fig. 3.1.13> SIMP model due to p ····· 169
<Fig. 3.1.14> Elastic body structure ····· 169
<Fig. 3.1.15> 초기 전두부 모델(예시) ····· 170
<Fig. 3.1.16> 위상 최적화 결과(예시) ····· 171
<Fig. 3.1.17> 대형장애물 형상 ····· 175
<Fig. 3.1.18> 대형장애물의 충돌하중-변위 특성 ····· 175
<Fig. 3.1.19> 운전석 생존공간 ····· 180
<Fig. 3.1.20> 충돌 시나리오를 적용한 유한요소모델 ····· 182
<Fig. 3.1.21> 기기의 무게중심과 볼팅 부 치수 및 간격 ····· 185
<Fig. 3.2.1> 전기제동의 발생원리 ····· 188
<Fig. 3.2.2> 답면제동의 발생원리 ····· 189
<Fig. 3.2.3> 디스크제동의 발생원리 ····· 189
<Fig. 3.2.4> 제동장치 ····· 190
<Fig. 3.2.5> 제동제어장치의 공기계통도 ····· 191
<Fig. 3.2.6> 제동제어장치의 공기흐름 ····· 191
<Fig. 3.2.7> 디스크제동 ····· 192
<Fig. 3.2.8> 답면제동 ····· 192
<Fig. 3.2.9> 경춘선 2층 객차의 제동제어장치 ····· 193
<Fig. 3.2.10> 제동블렌딩 구성 ····· 195
<Fig. 3.2.11> 활주방지제어 시스템 구성 ····· 195
<Fig. 3.2.12> 251계 차량(1) ····· 197
<Fig. 3.2.13> 251계 차량(2) ····· 198
<Fig. 3.2.14> 프랑스의 2층 열차 ····· 200
<Fig. 3.2.15> 독일의 2층 열차 ····· 200
<Fig. 3.2.16> 이탈리아의 2층 열차 ····· 201
<Fig. 3.2.17> 스페인의 2층 열차 ····· 201

<Fig. 3.2.18> 스위스의 2층 열차 202
<Fig. 3.2.19> 핀란드의 2층 열차 202
<Fig. 3.2.20> 스웨덴의 2층 열차 203
<Fig. 3.2.21> 덴마크의 2층 열차 203
<Fig. 3.2.22> 네덜란드의 2층 열차 204
<Fig. 3.2.23> 벨기에의 2층 열차 204
<Fig. 3.2.24> 룩셈부르크의 2층 열차 205
<Fig. 3.2.25> 포르투갈의 2층 열차 205
<Fig. 3.2.26> 오스트리아의 2층 열차 206
<Fig. 3.2.27> 체코의 2층 열차 206
<Fig. 3.2.28> 미국의 통근열차(2층 EMD F40PH) 207
<Fig. 3.2.29> 가와사키(Kawasaki)사 바이레벨 코치(2층 열차, Bi Level Coach) 207
<Fig. 3.2.30> 봄바르디어(Bombardier)사의 바이레벨 코치(Bi Level Coach) 208
<Fig. 3.2.31> 현대로템이 제작한 스카라 전동차 208
<Fig. 3.2.32> 스카라 전동차 제동제어장치(제동판넬) 209
<Fig. 3.2.33> 제동제어유니트의 변화 과정 210
<Fig. 3.2.34> 제동전자제어유니트의 변화 과정 211
<Fig. 3.2.35> 소형 모듈화된 해외 제동제어장치 216
<Fig. 3.2.36> 제동제어장치 인터페이스 구성 217
<Fig. 3.2.37> Manifold형 EP-Brake Control Unit 217
<Fig. 3.2.38> 대차에 근접 설치된 제동제어장치 217
<Fig. 3.2.39> 제동제어장치와 제동실린더 사이의 배관 차이(예) 218
<Fig. 3.2.40> 제동실린더 용적이 작은 경우의 제동압력 특성 218
<Fig. 3.2.41> 출력용량이 부족한 경우의 제동압력 특성 219
<Fig. 3.2.42> 유속이 빠른 경우의 제동압력 특성 219
<Fig. 3.2.43> 과도응답 220
<Fig. 3.2.44> 소형 경량화된 제동밸브 221
<Fig. 3.2.45> 소형 경량화된 제동제어판넬 221
<Fig. 3.2.46> 기능 추가에 따른 콤팩트 모듈화(1) 222
<Fig. 3.2.47> 기능 추가에 따른 콤팩트 모듈화(2) 222
<Fig. 3.2.48> 중계밸브 223
<Fig. 3.2.49> 해외 2층 객차에 적용된 제동디스크, 경춘선 2층 객차 차륜디스크 224
<Fig. 3.2.50> 해외 차량의 COMPACT CALIPER UNITS 225

<Fig. 3.2.51> 국내 차량의 COMPACT CALIPER UNITS····· 225
<Fig. 3.4.1> Case 1의 속도-시간 특성, 가감속도=2v/t로 일정····· 231
<Fig. 3.4.2> Case 2의 속도-시간 특성, case-1 경우에서 중간 역사 2개가 추가됨·· 232
<Fig. 3.4.3> Case 3의 속도-시간 특성, case-1 경우에서 최대속도가 2v에서3v로 증가됨····· 232
<Fig. 3.4.4> Case 4의 속도-시간 특성, casse-1 경우에서 가감속도가 2v/t에서 4v/t로 증가됨····· 233
<Fig. 3.4.5> 6호선 차량 견인모터 추진특성, 변경 전····· 234
<Fig. 3.4.6> 6호선 차량 견인모터 추진특성, 변경 후, 최고운행속도=120km/h 차량최대중량 120% 증가····· 235
<Fig. 3.4.7> Case 1, 기존의 모타 추진 특성을 사용하여 최고 속도가 120km/h에 도달하지 못함····· 238
<Fig. 3.4.8> Case 2, 역사 간격이 평균 2배로 증가함으로 속도가 향상····· 238
<Fig. 3.4.9> Case 3, 역사 간격이 평균 3배로 증가함으로 속도가 향상····· 239
<Fig. 3.4.10> Case 4, 변경된 모타 추진 특성을 사용(1)····· 239
<Fig. 3.4.11> Case 5, 변경된 모타 추진 특성을 사용(2)····· 240
<Fig. 3.4.12> Case 6, 변경된 모타 추진 특성을 사용(3)····· 240
<Fig. 3.4.13> 불광여겡서 새절역까지의 주행곡선····· 242
<Fig. 4.1.1> 국내외 철도차량기술개발 및 실용화 흐름도····· 248
<Fig. 4.1.2> 국가연구개발법규 체계 및 실용화 관련 내용····· 249
<Fig. 4.1.3> 국가연구개발사업 수행절차 흐름도····· 251
<Fig. 4.2.1> 철도차량 연구개발사업 추진 체계····· 257
<Fig. 4.2.2> 철도산업발전기본계획(또는 도시철도법)과 국가연구개발사업의 실용화사업 연계 방안····· 260
<Fig. 4.2.3> 철도산업발전기본계획과 연구개발사업의 실용화 추진 체계····· 261
<Fig. 4.3.1> 경춘선 완행열차····· 265
<Fig. 4.3.2> 경춘선 ITX 청춘급행열차····· 265
<Fig. 4.3.3> ITX 청춘 운행 노선도····· 265
<Fig. 4.3.4> 경춘선 노선도····· 266
<Fig. 4.3.5> 청량리역 스크린도어····· 266
<Fig. 4.3.6> 경춘선 상봉역 고상홍 정거장····· 266
<Fig. 4.3.7> 경의선 전동차····· 267
<Fig. 4.3.8> 경의선 누리호 객차····· 267

<Fig. 4.3.9> 중앙선 전동차 ····· 267
<Fig. 4.3.10> 중앙선 전동차 내부 ····· 267
<Fig. 4.3.11> 경의선 문산역 ····· 267
<Fig. 4.3.12> 중앙선 용문산역 ····· 267
<Fig. 4.3.13> 수도권 경의중앙선 전동차 ····· 268
<Fig. 4.3.14> 경의선 일반, 급행 및 특급 열차 정차역 ····· 268
<Fig. 4.3.15> 경의선 노선도(1) ····· 269
<Fig. 4.3.16> 경의선 노선도(2) ····· 269
<Fig. 4.3.17> 수도권 경의중앙선 전철 노선도(1) ····· 269
<Fig. 4.3.18> 수도권 경의중앙선 전철 노선도(2) ····· 270
<Fig. 4.3.19> GTX 광역급행철도 열차 조감도 ····· 271
<Fig. 4.3.20> 광역급행철도 동탄~삼성 노선도 ····· 271
<Fig. 4.3.21> GTX 광역급행철도 정거장 조감도 ····· 272
<Fig. 5.1.1> 비전 및 연구개발 전략 ····· 273
<Fig. 5.3.1> 2층 열차 개발과제 산학연 추진전략 ····· 282
<Fig. 5.3.2> 핵심기술 개발 도출 개념도 ····· 283
<Fig. 6.1.1> 국가철도망 구축계획 ····· 309
<Fig. 6.1.2> 철도기술사업의 비전, 목표 및 전략 ····· 310
<Fig. 6.1.3> 철도 수송력 향상 기술분야 중장기 추진방향 ····· 311
<Fig. 6.1.4> 철도 안전·편의 향상 기술분야 중장기 추진방향 ····· 311
<Fig. 6.1.5> 철도 건설·운영비 절감 기술분야 중장기 추진방향 ····· 312
<Fig. 6.1.6> 철도 소재·부품·장치 고도화 기술분야 중장기 추진방향 ····· 312
<Fig. 6.2.1> 국내외 2층 열차 현황 ····· 321
<Fig. 6.2.2> 차륜의 답면 구배 ····· 324
<Fig. 6.2.3> 1축의 사행동 ····· 324
<Fig. 6.2.4> Nadal's limit ····· 325
<Fig. 6.2.5> Nadal's Limit에 대한 계산결과 ····· 325
<Fig. 6.2.6> Attrack angle ····· 327
<Fig. 6.2.7> Influence of critical speed and wear index on the primary yaw stiffness ····· 328
<Fig. 6.2.8> 충돌 전, 후의 모습 ····· 329
<Fig. 6.3.1> O-D간 수요데이터의 역간 재할당 ····· 338
<Fig. 6.3.2> 비용편익분석 과정 흐름도 ····· 340

제 1 장 기술동향 조사 및 분석을 통한 운영전략 제시

1절 해외 2층 전동차 운영 등 기술개발 사례 분석

1. 광역철도용 2층 전동객차의 정의 및 필요성

(1) 광역철도용 2층 전동객차의 정의

매년 증가하는 수송수요에 대응하고 승객 편의성 향상을 위한 원거리 통근 대책으로서 편성 전체를 2층 구조로 구현하고 교외 구간 운영을 위해 광역철도용 전동차보다 빠른 200km/h(설계최고속도)인 차량시스템으로 정의한다.

(2) 2층 전동객차의 필요성

철도는 대량의 화물과 여객을 신속하고 정시에 수송할 수 있는 장점이 있어 우리나라의 경제발전에 크게 기여하여 왔으며 최근의 고속전철 개통 및 경전철, 틸팅열차 개발 등으로 철도에 대한 관심이 그 어느 때보다도 커지고 있다. 그러나 인구 및 교통수요의 국부적 집중 현상으로 일부 지역을 중심으로 도로교통 체증현상이 점차 심화되고 있고 철도 이용객 증가에 따라 역내 및 차내 혼잡이 가속화되고 있는 실정이어서 쾌적하고 원활한 대중교통 수송수요 처리방안 모색의 필요성이 점차 대두되고 있다. 승객 수송량 향상을 위해 열차 시격 단축이나 편성 차량 수 증가 등의 방법도 고려해 볼 수 있지만 열차 시격 단축은 복잡한 신호시스템 개발 및 제동거리 단축이 필요하고 시격 단축 자체도 한계가 있으며 편성 차량 수의 증가는 역사 증축 등 부가적인 시설비의 투자가 요구되므로 일본, 프랑스 등 많은 나라에서 선로 사용률이 높은 구간에서 여객 수송효율의 극대화를 위해 2층 열차(double deck train)를 활용하고 있는 추세이다.



Fig. 1.1.1 프랑스 파리 2층 전동열차 사례

2. 해외 2층 전동차 현황

(1) 일본의 2층 열차 현황

본 연구에서는 교외선 2층 차량을 많이 운용하고 있는 동일본 철도(East Japan Railway)를 주로 검토하였으며, 현재까지 조사된 바에 의하면 도심 내에서 운행되는 지하철(Subway)용이 아니라 중·장거리 및 도시 간(intercity)이나 교외지역(광역철도망) 출 퇴근자를 위한 운행이 주목적으로 차량의 타입은 우리나라의 새마을이나 무궁화호급의 차량으로, 수송량은 좌석승객 기준으로 되어 있다. 차고 기준으로 볼 때, 우리 실정에 적합한 차종으로는 동일본 철도에서 운행하고 있는 교외선 EMU 415, 215계 등이 있다.

일본의 경우, 과거에는 대도시 인구 밀집지역이 주거지 선호대상 1순위였으나 현재는 쾌적한 주거환경을 더 중시하여 교외 주거지역이 급속히 팽창하고 있는 추세이다. JR 동일본에서는 원거리 통근의 '쾌속성 향상' 시책을 추진하기 위하여 특히 수송수요가 높은 동해도 본선 Tokyo구의 특실차(Green car)를 1988년도에 시제차로 제작한 Mock-up을 기본으로 한 2층 열차를 노령화한 사로 110, 111형의 교체차량으로 1989년도부터 투입하였다.

1986년 11월 다이아그램의 개정으로 등장한 Shonan liner에서 매년 증가하는 수송수요에 대응하여 다이아그램 개정할 때마다 차량을 증가 배치해 왔다. 그러나 차량의 증가로는 불충분하여 선로용량, 차량운용 등도 고려된 근본적인 수송력 증강시책으로서 대폭적인 좌석정원을 늘린 2층 전차가 요구되어 1991년에 215계가 등장하였으며, 승무원교육 등의 실시 후인 1992년 4월부터Tokyo-Atami 구간을 주 노선으로 영업운전을 개시하였다. 따라서 JR 동일본은 수도권 주택지의 근교화 진행에 따른 원거리 통근 대책으로서 차 전체를 2층 구조로 한 215계 근교형 2층 열차를 도입함으로써 좌석수를 더 증가하게 되었고, 또 착석해서 통근할 수 있는 기회를 늘리게 되었다.

동일본 철도의 교외선 운영 215계 2층 열차는 두 개 노선에서 운용되고 있다. 이 두 노선은 동해도 본선의 근교 통근 쾌속구간으로써 1992년 4월 20일 개통된 Tokyo와 Odawari 구간 83.9 km와 2001년 12월 1일에 개통된 Shinjuku와 Odawari 구간 87.7km이다. 이 두 노선은 통근형으로 급행운행을 하고 있다.



Fig. 1.1.2 교외선 운영 215계 2층 열차 노선도

최고 120 km/h로 운용되는 215계 2층 열차의 편성은 Mc – M' – T– T' – T' – Ts – Ts' – T – M' – Mc의 순으로 되어있다. 차량편성의 양쪽 끝에 위치하고 있는 Mc 차량은 2층에만 객실이 있고 1층에는 메인컨트롤러, 인버터 등 주요장비를 탑재하고 있는 기계실로 활용하고 있으며 동력차(M')는 부수차량(T)과 마찬가지로 1, 2층 모두를 객실로 활용하는 형태(120석)로 되어있지만 차이점은 부수차량과 달리 차장실과 화장실이 없는 점이다. 차량편성의 중간에 위치한 부수차량 6량중 2량은 특실(Ts)로 운용하고 있다(출입문 폭:0.9m).

215계 차량편성(10량, 4M6T)은 좌석수 기준으로 1,010석을 갖추고 있으며, Mc 차를 제외한 나머지 차량들의 단면섹션(Section)은 대체로 유사한데 차량의 측 출입구 주변의 양 끝단(차체와 대차와 연결부위)은 대차가 위치하고 있는 관계로 단일층으로 구성되어 있고 대차사이의 가운데 부분은 2층으로 되어있다.

215계의 Mc 차량에는 전장품이 집중적으로 배치되며 차량하부(상하)에는 Compressor 및 저항기, 전기부품이 탑재되고 차량바닥과 객실바닥 사이공간에는 공기통 및 ATS/ATC, Brake Controller가 탑재된다. 가선에서 공급받는 전력은 DC 1,500 V이며 SIV를 통해 AC440V 및 254V로 변환하여 사용한다. 본 차량은 모터 용량이 대당 120 KW에 불과한데 이는 가속도가 2.3km/h/s로 낮기 때문이며 차량은 211계를 기본으로 하여 제작하였는데 대폭적으로 수정하지 않았다. 하지만, 차고가 높기 때문에 주행 시 운동특성이 기존차량에 비해 불리하므로 차량의 롤링 모션을 감쇠시키기 위해(동적 안전성을 유지하기 위해) 차체와 차체, 대차와 차체를 연결하는 댐퍼(Anti–Rolling Bar)를 부가적으로 설치하였다.

215계는 전량 2층 열차로 편성되어 좌석 승객만이 탑승하도록 되어 있는데 이는 승하차 시간 지연문제 등으로 도심내부에서는 2층 열차의 투입이 불가능하기 때문에 수송량 증대보다는 승객서비스(쾌적성) 향상에 초점을 맞춘 차량으로 볼 수 있다.

Table 1.1.1 동일본 철도 교외선 215계 주요제원

<table>
<tr><td colspan="2">항 목</td><td colspan="8">내 용</td><td>비 고</td></tr>
<tr><td colspan="2">편성</td><td colspan="8">아래 그림 참조</td><td>기본 10량 4M6T
부속 5량 2M3T
계 15량 6M9T</td></tr>
<tr><td colspan="2">최고운전속도</td><td colspan="8">120km/h(곡선 공과 + 15km/h)</td><td>Cant부족 60mm</td></tr>
<tr><td colspan="2">형식</td><td>T_c</td><td>M_c,
M_{cl}</td><td>M′,
M_1′</td><td>T</td><td>T′</td><td>T_s</td><td>T_s′</td><td rowspan="2">기본정원 1010 명
부속정원 512 명
계 1522명</td></tr>
<tr><td colspan="2">정원(인)</td><td>96</td><td>64</td><td>120</td><td>111</td><td>120</td><td>90</td><td>90</td></tr>
<tr><td colspan="2">중량(t)</td><td>35이하</td><td>42</td><td>38</td><td>35</td><td>34.5</td><td>35</td><td>34.5</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">차체</td><td>길이(mm)</td><td colspan="5">200000(연결면간)</td><td colspan="3">20500(연결면간)</td><td rowspan="4">스테인레스 차체, 차단 댐퍼부 중간의 연길기는 봉연, ⑤-⑥ 찻간 ▲는 밀연,
선두부는 밀연+자동전연, 완충기는 신형초압 0 타입 탈취(脫臭)장치부</td></tr>
<tr><td>폭(mm)</td><td colspan="8">2900</td></tr>
<tr><td>높이(mm)</td><td colspan="8">4070(판토그라프 절곡 높이 3890)</td></tr>
<tr><td>대차중심 간 거리</td><td colspan="5">14000</td><td colspan="3">14150</td></tr>
<tr><td colspan="2">냉방장치</td><td colspan="8">AU714(20000$kcal/h$) * 2대</td><td>난방은 시즈선히터</td></tr>
<tr><td colspan="2">안전장치</td><td colspan="8">ATS-SN·P,EB/TE장치 열차무선 · 방호무선부</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">기타</td><td>좌석배치</td><td colspan="5">4인 box seat(Bp = 1500mm)</td><td colspan="2">2+2회전링크식
($S_p = 970mm$)</td><td>측출입구
폭900mm × 편측2</td></tr>
<tr><td>화장실</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>○</td><td>-</td><td>○</td><td>(차장 업무용실)</td><td>서양식 화장실</td></tr>
<tr><td>차내 전화</td><td>-</td><td>-</td><td>○</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>○</td><td>全車 FM, A 송신 서비스 부</td></tr>
</table>



Fig. 1.1.3 교외선 215계 EMU



Fig. 1.1.4 교외선 215계 의 Leading Car(Mc)



Fig. 1.1.5 교외선 215계의 동력차(M)



Fig. 1.1.6 교외선 215계의 Mc1차



Fig. 1.1.7 교외선 215계의 Ts차(사로215형)

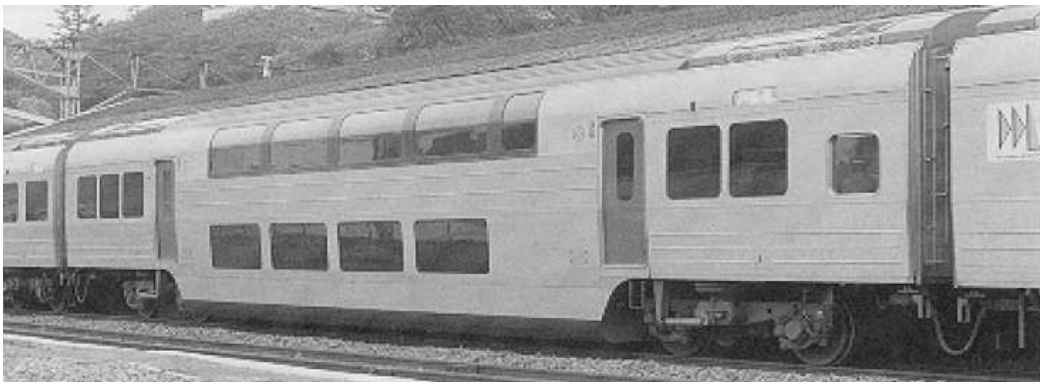


Fig. 1.1.8 교외선 215계의 Ts'차(사로215형)



Fig. 1.1.9 교외선 215계의 T차



Fig. 1.1.10 교외선 215계의 T'차

2층 열차는 승하차 시 소요되는 시간이 길어 도심 내 운행 및 완행열차로 운행하는 것이 불가능하기 때문에 인터시티 차량으로 운행하고 있는데 215계는 현재 4편성(40량)이 운용되고 있으며 승객들의 반응이 좋은 편이다. 1, 2층 간의 열차요금은 차이가 없으나 승객들의 선호도가 2층이 높다. 215계 2층 열차는 기존 차량보다 구입가격 측면에서 대략 1.5배정도 비싸나 유지보수 비용에서는 기존 차량과 큰 차이는 없다. 이는 2층 열차라고 해서 기존 차량보다 많은 전장품이 사용되는 것은 아니기 때문이다. 2층 열차는 더 많은 좌석을 승객들에게 제공함으로써 대 승객서비스 개선 효과가 있고 요금은 특실요금을 별도를 받기 때문에 부가적 수입이 발생한다.

1929년에 설립된 다마찌 차량정비 사무소의 근무자는 총 143명이며 동경 교외선에 투입되는 215계 2층 열차를 여기서 검수하고 있는데 215계 차량은 기존차량을 부분적으로 설계 변경한 것이므로 전체적인 차량높이나 폭이 큰 차이가 없어 동일한 검수 설비를 이용한다. 본 기지에 배치된 차량은 251계(40량), 215계(40량), 185계(80량), 211계(10량편성차 140량, 5량편성차 70량)이며 211와 215계는 통근형 차량이다. 본 기지에서 수행하는 검수는 사업검수(검수주기 6일)와 교번검수(주기

90일)이며 그 이상의 검수(요부 검수: 48개월, 전반 검수:96개월)는 정비창에서 시행한다. 휠 삭정은 매년(또는 150,000 ㎞) 실시하며 3번째까지는 기지에서 삭정하나 4번째는 요부검수에 해당되므로 정비창에서 삭정하게 된다.

215계 2층 열차 수송능력 및 편의성을 살펴보면, 보통 차의 좌석은 모두 복층 배치로 좌석의 편안함을 향상하기 위해 한 사람씩 좌석을 독립시킨 분리형(separate type)으로 하고 있다. 보통차 1,2층의 좌석 상부에는 짐을 두기 위한 장소 확보를 위해 침목 방향으로 선반을 설치하고 있다. 2,4,9호차에는 전화를 3,5,8호차에 화장실과 세면실을 설치하였다. 보통차에는 세면실의 온수기 등을 간소화하고 공간을 만들어 남자용 화장실을 만들었다. 보통차의 화장실 옆의 박스석을 일인용으로 줄여 빈자리를 휠체어 자리로 하고 좌석의 측면에는 휠체어 고정용 벨트를 설치했다. 특실차는 기본적으로 동해도선의 2층 특실차와 같이 하고 있는데, 화장실, 세면실이나 차장실이 있고, 좌석배치, 정원 등을 공통으로 하고 있다.

실내공간의 구성 중 창유리는 차내 온도 상승방지와 눈부심을 완화하기 위해서 모든 차를 가시광 투과율을 억제한 착색 필름을 삽입하여 짙은 유리로 하였다. 커텐은 롤 블라인드로 하고, 2층도 곡면의 유리에 따라 내리는 구조로 하고 있다. 냉방은 차량 전후의 지붕에 탑재한 냉방장치에서 덕트로 각 객실에 분배하고 있다. 특실차에는 별도로 스팟(spot) 공조 취구를 설치하고 있는데, 이 냉방장치는 환기장치도 겸하고 있기 때문에 연중 운전된다.

(2) 프랑스의 2층 열차 현황

RER(lle-de-France)의 라인A는 1969년부터 운용되어 왔으나 80년대 이후 엄청나게 늘어난 유동 승객들로 인해 이들의 쾌적한 수송문제가 큰 고민거리로 지적 되어왔다. RATP(파리권 대중교통 공사)에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 철도차량의 신뢰성을 높이고 추가선로를 건설하는 등 여객 수송량을 향상시키기 위한 노력을 끊임없이 기울여 왔으나 기존 철도시설물에 대한 큰 투자 없이 수송량을 늘리는 방법으로 검토된 것은 2층 객차이다.

현재, GEC Alsthom에서는 Z2N 및 MI2N 등 2층 열차를 제작하고 있는데 쾌적한 승차감을 유지하면서 승객 수송량이 기존차량에 비해 30~35%정도 크기 때문에 철도에 대한 투자비나 운영비가 줄어들 것으로 보고 있다.

Z2N 형식의 최대속도는 140 km/h로 레일상면으로부터의 높이가 4.32m 이고 차량 폭은 2.82 m, 동력차의 길이는 25.1m, 부수 차량의 길이는 26.4m이며 동력차에는 가선으로부터 전기를 공급받을 수 있는 집전장치가 설치되어 있고 차량의 양 끝단에 전장품 등 장비가 설치되는 공간이 있다. 측 출입문은 편성에 속한 모든 차

량의 양쪽에 2개씩 설치되어 있으나 동력차(2등실)의 경우는 탑승 승객수가 적으므로 문의 폭을 1.3m로 하였고 나머지 차량은 승객들의 승하차를 용이하게 하기 위하여 1.8m로 하였다. Z2N 형식은 4량이나 5량을 한 편성으로 하여 운용되고 있는데 자세한 차량 편성 내용은 Table 1.1.2와 같다.

Table 1.1.2 Z2N 및 MI2N 차량의 편성

구분	편성	편성길이	좌석	승객수	하중
Z2N	동력차(2량)+2등실(1량) +1,2등혼합실(1량)	103m	600	1,064	298.7톤
	동력차(2량)+2등실(2량) +1,2등혼합실(1량)	129.4m	804	1,413	366.2톤
MI2N (RATP)	2등실(운전실 포함)+동력차(2등실) +동력차(1,2등실)+동력차(2등실) +2등실(운전실)	112m	550	1,282	306톤

MI2N 형식(운행 최대속도 120 ㎞/h)은 5량 편성으로 운용되고 있는데 SNCF(프랑스 철도공사) 차량편성은 2등실(운전실 포함)+동력차(2등실)+2등실(부수차량)+동력차(1,2등실)+2등실(운전실)이고 RATP 차량편성은 2등실(운전실 포함)+동력차(2등실)+동력차(1,2등실)+동력차(2등실)+2등실(운전실)로 구성되어 있다. RATP는 1996년 2월 MI2N 차량을 처음 도입하여 차량 적용시험을 거친 후 현재 운용 중에 있는데 차량편성의 길이는 112 m, 하중은 360톤으로 Z2N의 5량 편성의 경우와 비슷하다. 좌석 승객 수는 550명, 입석 승객 수(4명/m^2)는 732명으로 총 승객 수는 1,282명인데 이는 같은 노선에서 운행되고 있는 다른 차량에 비해 승객 수송량이 30%정도 향상된 것이다. 출입문은 승객들의 승하차를 쉽게 하기 위하여 폭을 2m로 대폭 확장하여 적용하였다.

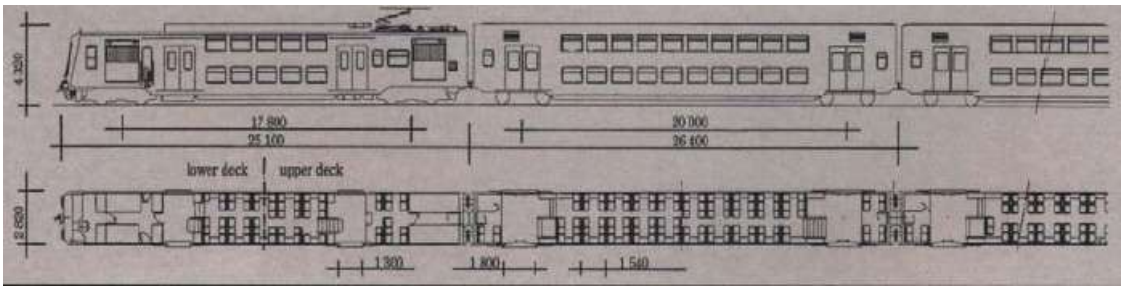


Fig. 1.1.11 Z2N형 차량 편성



Fig. 1.1.12 Z2N형 2층객차의 내부



Fig. 1.1.13 MI2N 2층 열차



Fig. 1.1.14 MI2N 내부



Fig. 1.1.15 Z2N 2층 열차

RER(lle-de-France)는 파리 도심지를 X자 형태로 관통하여 파리 외곽에서 파리 외곽으로 연결되는 노선은 파리의 RER Line A와 B이다. 하지만 파리도심 내부에서의 이동은 RER의 Line A 및 B와 연계된 거점 역에서 METRO를 이용하여야 한다. Fig. 1.1.16 ~ 1.1.18은 파리의 노선도를 나타내고 있다.

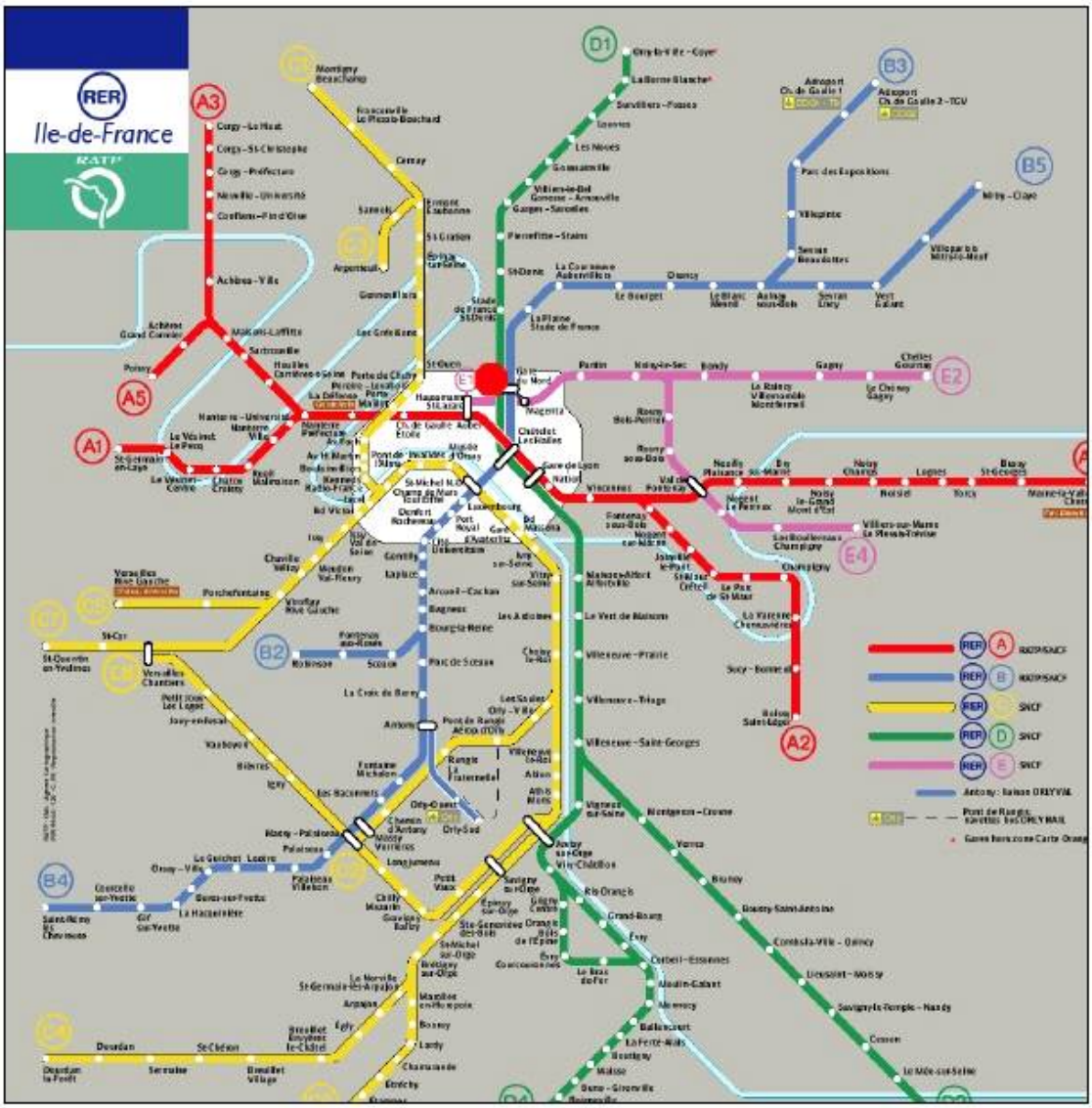


Fig. 1.1.16 파리 노선도(1)

프랑스 파리에서 운행되는 2층 열차의 실태조사를 위해 RER의 Line A를 대상으로 하여 운행상황을 파악하였다. 이 노선에서는 기존의 1층 전동차와 2층 열차인 MI2N 차량이 혼합되어 운용을 하고 있는데 2층 열차의 경우, 1층뿐만 아니라 2층에도 상당수의 입석승객이 있어 2층 열차의 투입 시 2층 열차 구조 특성상 불가피한 승하차 시간지연에 대해 고심한 흔적이 많은 것으로 보였다. 결국 이 노선에 투입되는 2층 열차는 다소의 공간을 희생한 차량측면 당 문 3개짜리 MI2N이 운용되고 있었다. 이러한 MI2N은 SNCF와 RATP에서 발주를 받아 제작되기 시작했으며 SNCF(프랑스 철도공사) 차량편성은 2등실(운전실 포함)+동력차(2등실)+2등실(부수차량)+동력차(1,2등실)+2등실(운전실)이고 RATP(파리권 대중교통공사) 차량편

성은 2등실(운전실 포함)+동력차(2등실)+동력차(1,2등실)+동력차(2등실)+2등실(운전실)로 구성되어있다.

프랑스의 경우도 한국과 비슷한 실정으로 파리 도심지는 집값이 교외지역에 비해 엄청나게 비쌀 뿐만 아니라 파리시내의 유적지 보호측면에서 개발이 전면적으로 제한되어 있으므로 시내 각 도로의 혼잡은 극심한 상황이다. 따라서 많은 사람들이 파리 외곽지역에서 출퇴근을 하는 실정인데 30~40분 이상 여행하는 사람들은 대부분 앉아서 여행하고 싶어 한다. 이러한 추세에 맞춰 도입된 2층 열차는 좋은 호평을 받게 되었고 프랑스에서는 MI2N을 비롯한 2층 열차의 운행 효율성을 인정받아 점차 그 수가 늘고 있는 추세이며 2층 열차 운영의 성공적 케이스로 평가되고 있다.

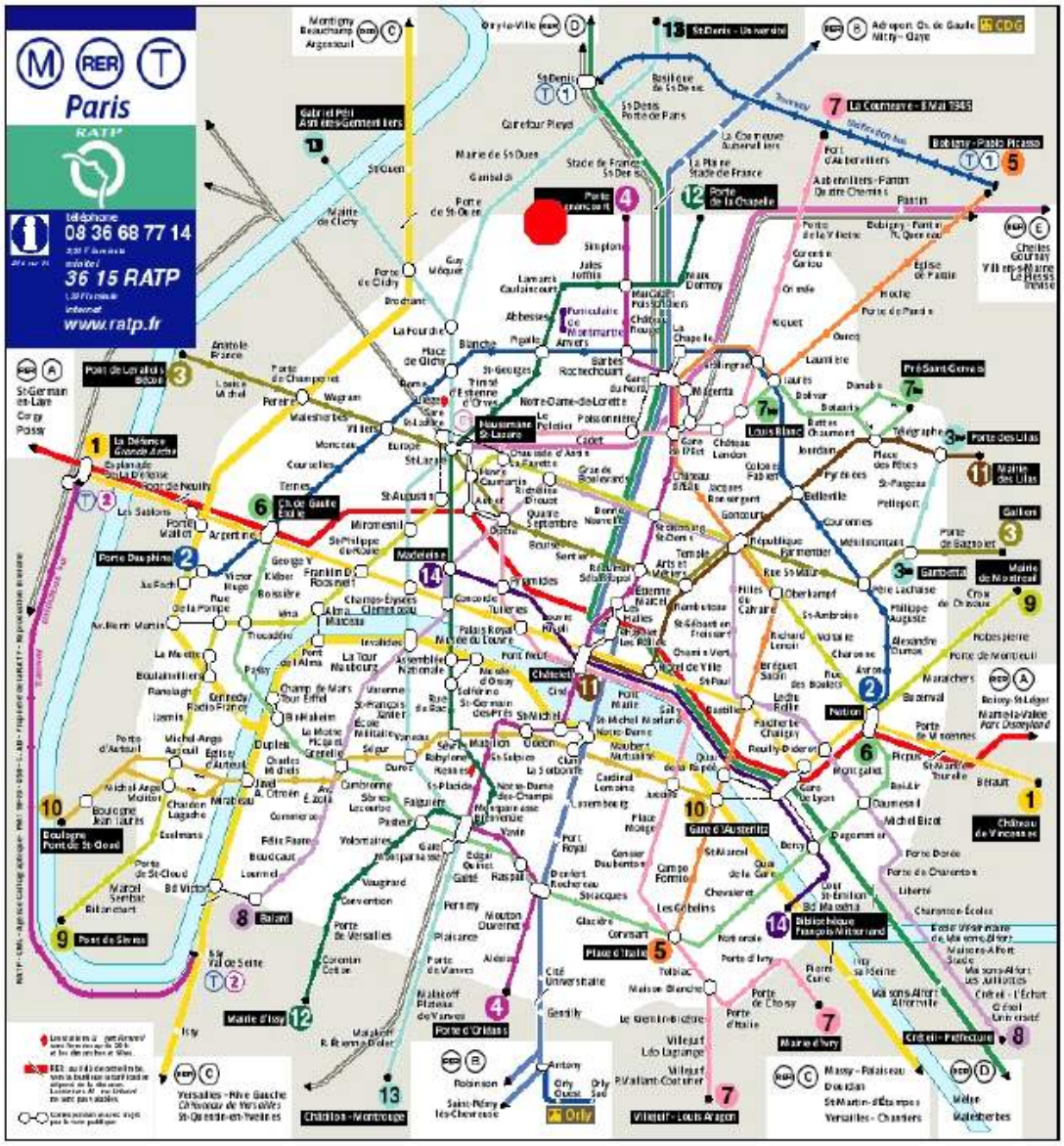


Fig. 1.1.17 파리 노선도(2)

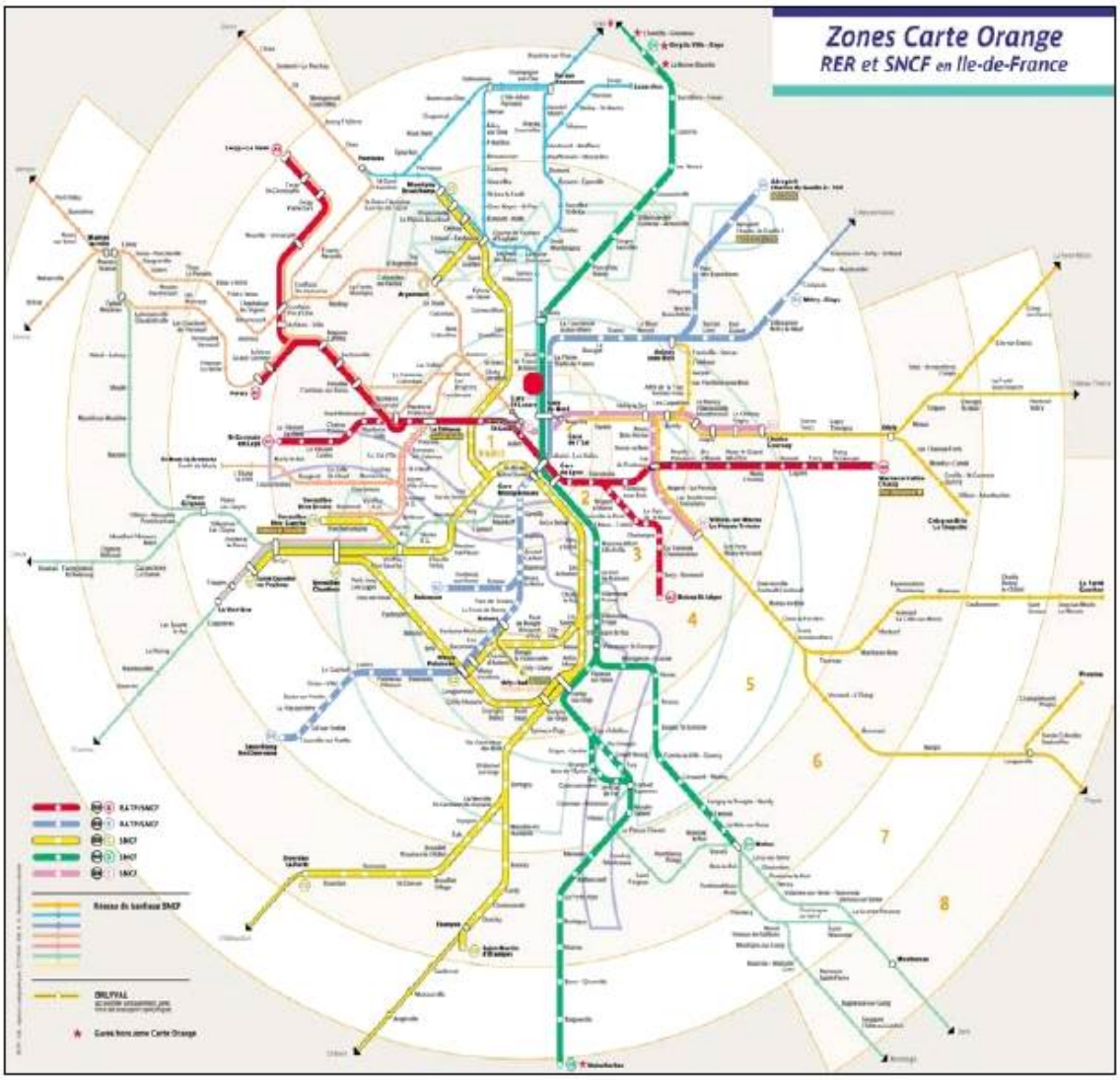


Fig. 1.1.18 파리 노선도(3)



Fig. 1.1.19 출근 시 2층 열차(MI2N)의 내부 전경

파리의 광역철도망에 운용되고 있는 2층 열차(MI2N)의 차체는 Steel로 제작되고 있는 상황이다. 철도차량의 재질선정에 주된 인자로 작용하는 것이 차량가격 및 유지보수비 등인데 알루미늄 압출재를 사용하면 차량가격 및 유지보수비용이 다소 상승할 것으로 알스톰사는 예측하고 있다. 또 하나의 요인은 경량화 부분인데 광역철도망 운용을 위한 2층 열차의 경우, 이러한 제작 및 유지보수비 상승을 감수할 정도로 경량화의 필요성이 시급하게 인식되지 않고 있다. 즉, 고속철도에 비해 상대적으로 저속으로 운용되고 있는 광역철도망 운용을 위한 2층 열차(열차 최고속도 120km/h~140km/h)의 축중 규제는 고속철도에 비해 까다롭지 않기 때문이다.

또한, 자국의 산업 및 노동자 보호도 하나의 요인이 되는 것으로 비춰진다. 즉, 프랑스의 경우 현재 알루미늄 압출재는 스위스의 알루스위스사 등에서 제공을 받는데 알루미늄 압출재는 차량을 조립하기 전 단계까지 제작되어 알스톰사로 공급되므로 프랑스의 노동자가 해야 할 일이 많지 않게 된다.

열차편성은 4량 내지 5량을 1편성하는 것을 기본으로 하며 수송용량은 5량 1편성인 경우 최대 좌석 수는 550석(량당 110석)이며, 입석 승객수는 730명(4명/m^2 기준) 이다. 이는 동일 노선에서 운용되는 1층짜리 EMU인 MI84 1편성(4량)의 총 수송량 880명(좌석 216, 입석 664)에 비해 량당 총 수송량기준으로는 16%정도 증가하는데 그치나 량당 평균 좌석 수는 2배정도 증가하는 것으로 나타나 승객 편의성 측면에서 크게 기여하는 것으로 나타났다.

차량 측면에 설치되는 출입문은 2층 열차의 구조특성(1층 및 2층으로 이동하기 위한 계단이 설치됨)상 승하차 시간이 오래 걸리는 단점을 보완하기 위해 출입문의 폭을 2m로 대폭 확장하고 차량의 각 측면에 문을 3개 설치함으로서 해결을 하였으나 가운데 출입문 부위에 역시 계단을 설치하여야 하기 때문에 차량 가운데 부분의 일부는 쓸 수없는 공간이 발생하며, 가운데 출입문 좌우측에 존재하는 2층객 실 부분도 서로 차단되어 2층에서 상호 이동이 불가능한 구조로 되어 있다.

차량의 바닥면은 2층 부위의 경우, 장비 설치 공간이 전무하므로 주요 전장품을 설치하기 위한 기계실을 차량의 양 끝단에 배치하였으며 Heating과 Ventilation은 기본으로 하고 에어컨디션은 옵션으로 하여 차량의 지붕 끝단에 설치하도록 하였으며, 계단 및 접이식 의자 뒤쪽 등 공간이 생기는 부분에 전장품을 배치하여 공간을 최대한 활용하였다. Intercity용 등 장거리 열차와 달리 광역교통망에서 운행되는 2층 열차는 대부분의 승객이 1시간 내외의 거리를 출퇴근하는 사람들이어서 많은 짐을 가지고 다니지 않기 때문에 1,2층 모두 짐을 실을 수 있는 선반을 배치하지는 않고 있다.

MI2N 차량의 공차 시 차량중량은 68.5톤(축중 17.1톤)이며 최대 축중은 22.5톤(차량중량 90톤)으로 되어있어 축중 16톤(차량중량 64톤) 이하로 제한되어 있는 우리 실정의 전동차와 비교하면 상당히 크고 무거운 차량이라고 볼 수 있다. 1층객실의 천정은 평평한 구조로 되어 있으며 2층차량의 천정은 차량게이지 등을 고려해 둥글게 라운드 되어 있다. 출입문 부위의 손잡이는 출 퇴근 시 많은 승객들이 출입문 부위에 밀집되는 현상을 감안, 가운데 부분을 2중으로 하여 승객들이 잡기 편하도록 배려하였으며, 추진장치는 Traction-braking system with chopper/current inverter 방식을 사용하며, 2층 열차의 설계 최대속도는 140km/h이다. 급전장치는 1,500 Vdc/25kV, 50Hz이며 전체 차량편성에서 동력화(motorization) 비율은 40%에서 60%까지 조정 가능하다. 열차의 가감속 성능은 가속도인 경우 0.9 m/s^2 이고, 감속도는 1.1m/s^2 이다.



Fig. 1.1.20 M12N의 2층 내부 전경

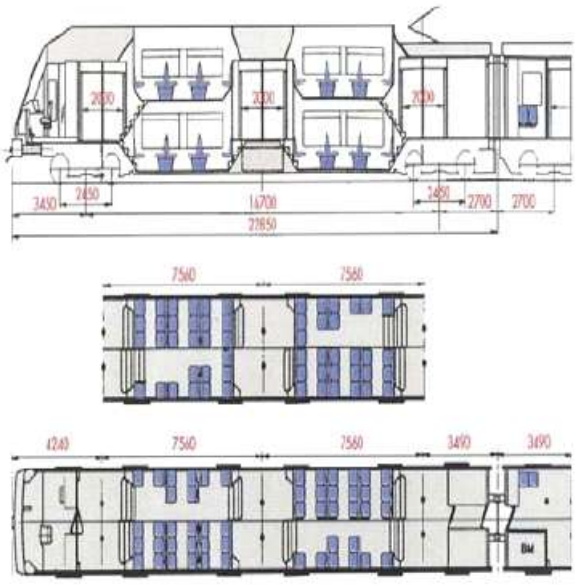


Fig. 1.1.21 M12N의 차량구조 및 좌석 배치도

UIC(International Union of Railway)에서는 2층 열차에 대한 특별한 규정을 채택하여 사용하고 있지는 않다. 다만 차량한계에 대해서는 관련 UIC의 규정

(regulation)을 만족하면 되므로 이를 위해 세심한 차량 설계가 필요한데 2층 열차 설계 시 주로 문제가 될 소지가 있는 부분이 차량 상부에서 지붕으로 연결되는 부위이다. 또한 차량의 축중에 따라 A(16톤), B(18톤), C(20톤), D(22.5톤)급으로 선로를 구분하고 있으며 MI2N 2층 열차의 최대 축중이 22.5톤이므로 D급의 선로에서 운행이 가능하다.

RATP(파리권 대중교통공사)에서는 파리 외곽지역의 승객을 수송하기 위해 RER Line A와 B에 MS61, MI79, MI84와 MI2N 차량을 투입하고 있다. 이 중 MI2N 차량은 1997년 이래로 수송량 증강 및 승객편의성 향상(더 많은 좌석 제공)을 위해 RER Line A에 파리근교 거주자의 출퇴근을 원활히 하기 위해 투입되었으며 Line A의 거점 역에서 파리도심권을 운행하는 METRO와 연계하여 운행되고 있었다.

RATP(파리권 대중교통공사)가 2층 열차를 운행하게 된 경위는 기존의 단층전동차로는 출퇴근 피크타임 시에 승객을 원활히 수송하는데 한계가 있었기 때문이다. 즉, 파리도 우리나라와 마찬가지로 출 퇴근 시에는 상당히 큰 혼잡도를 보이고 있었고 출근 시에는 실제로 2층 열차의 경우 출입문 주변은 상당히 혼잡하고 2층까지 입석승객이 차있는 것을 볼 수 있었다. 파리에도 혼잡한 출 퇴근 시에는 푸쉬맨(Push man)이 승차를 돕고 있었으며, 출 퇴근 시 승객수송량은 60,000명/hr이다.

RER A의 표정속도(commercial speed)는 50 km/h이다. 1997년형 2층 열차 MI2N의 최대설계속도는 140km/h이나 이는 옵션상의 문제(견인전동기 용량이 달라질 수 있음)로 현재 일반적으로 운용되는 MI2N 차량의 최대 속도는 120km/h이며 RER Line A 및 B에 투입되는 단층열차인 MI84의 최대 설계속도와 같으며 최소 운전시격은 2분이다. 기본적으로 RER Line A에서 운용되는 1층열차 및 2층 열차의 승하차시간은 차이가 없으며. 차량의 구조는 1997년형 2층 열차 MI2N의 경우 차량 높이 4.32m, 차량길이 22.85m, 폭 2m짜리 출입문 3개이고 1984년형 단층열차 MI84인 경우는 차량높이 4.18m, 차량길이 26m, 폭 1.3m짜리 출입문 4개이다.

승하차시간은 승하차 인원에 따라 다르지만 최대한 50초까지였는데 이 값은 신호제어 측면에서 현재 최대한 짧게 운행되고 있었다. 파리시내 운행의 경우 출근시간에는 단층차량 2-3대마다 1대 꼴로 2층차량이 투입되어 동일노선에서 동일하게 운행되고 있었으며 승객이 적은 파리 교외의 경우는 열차 운행 다이아그램을 확인해보니 skip-stop하는 역들이 있었다. 이러한 운행이 가능하게 된 것은 2층 열차인 MI2N 차량에도 폭(2m)이 넓은 출입문이 차량 양 끝단 및 중앙부위에 총 3개의 문이 설치되어 승하차 시간을 단축한 결과인데 MI2N 차량이 우리나라의 수도권 전동차보다 3m정도 길고 MI2N 차량의 최대 예상 혼잡율도 우리보다 떨어지는 150%정도여서 가능한 것이다.

2층 열차의 가격은 옵션에 따라 다르다. 동력장치, 제동장치, 공기조화 장치 등이 성능 좋은 최신형을 장착했을 때 대략 한화 약 120억원/train-set(5 cars) 이고 성능이 떨어지는 장치들을 장착했을 때의 가격은 위의 가격보다 30%정도 떨어진 5량 1편성당 84억원 정도로 낮아질 수 있는데 차량가격은 실제 차량 사양과 요구조건에 따라 많이 달라질 수 있다. RATP(파리권 대중교통공사)에서는 최근 2층 열차 만을 구입했으며 향후에도 차량구입은 모두 2층 차량으로 할 계획이므로 최근에 구입이 없었던 단층차량 구입비용을 현시가로 2층 열차 가격과 비교하는 것은 무리가 있지만 개략적으로 볼 때 87년~88년에 구입한 단층차량은 1차량당 구입비용이 한화 약 14억4천만원 정도이고, 2층 열차는 한화 약 16억2천만원~23억4천만원 이다. 동력은 1997년형 2층 열차인 MI2N의 5량1편성인 경우 3,900KW이고, 1984년형 단층 열차 MI84의 4량1편성인 경우는 4,200KW이다.

차량의 교체에는 여러 가지 이유가 있겠으나 첫째는 차량의 운용상 안전성 기준, 둘째 정책적으로 실업율을 줄이기 위해 차량 생산 공장을 가동하기 위해 신형차량으로 교체되는 경우이다. 차량의 운용년수가 같다고 하더라도 모든 차량이 동일한 상태를 유지하는 것이 아니므로 획일적인 기준을 정하여 운용하고 있지는 않다. RATP(파리권 대중교통공사)에서는 대체로 차량의 상태에 따라 30~50년 동안 차량을 사용하며 차량의 사용기간이 25~30년이 경과하면 중수선(Heavy Overhaul)을 행한다.

유지보수는 예측보수 (predictive maintenance)와 각 부품들이 이상이 발생했을 때 하자보수(corrective maintenance)를 병행한다. 대략 모터의 경우는 신품인 경우 2,400,000km마다 한 번씩, 구형인 경우 800,000km마다 한번 유지보수 한다. 2층 열차의 경우 80,000~120,000km 마다 한번 씩 차륜삭정을 하고 차륜수명까지 3~4번의 차륜삭정을 한다. 차량의 경량화가 크게 문제가 되지 않는다면 유지보수 측면에서 볼 때, 차량재질은 스틸이 더 바람직하다고 판단된다.

(3) 독일의 2층 열차 현황

독일 DB(Deutsche Bahn)의 쾰른~하노버 간 운행 중인 2층 열차



Fig. 1.1.22 2층 열차의 1층 창문형상 및 차량연결 구조



Fig. 1.1.23 2층 지붕형상 및 실내배치와 1층 지붕형상 및 실내배치





Fig. 1.1.24 발판이 펴진 상태 및 2층 계단과 1층 지붕 연결부위

(4) 미국의 2층 열차 현황(기관차 견인형 객차)

미국에서 운행되고 있는 2층 열차는 기관차 견인형 객차이며, Fig. 1.1.25과 Fig. 1.1.26과 같이 CDT(California Department of Tranportation)와 Metra에서 운행하고 있다.



Fig. 1.1.25 미국의 2층 열차(CDT)

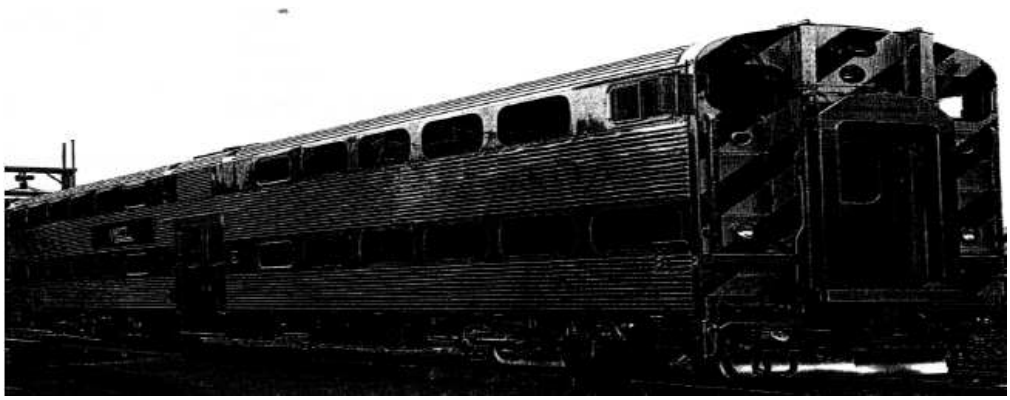


Fig. 1.1.26 미국의 2층 열차(Metra)

(5) 네덜란드의 2층 열차 현황

네덜란드의 제작사는 Bombardier이며, 운영부서는 Netherlands Railways이다.

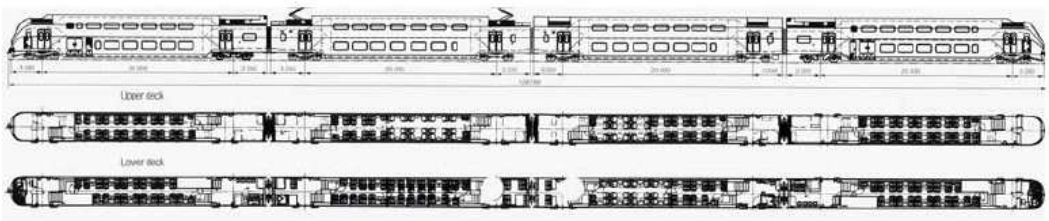


Fig. 1.1.27 네덜란드 2층 열차 차량구조 및 좌석배치도



Fig. 1.1.28 네덜란드 2층 열차 및 내부구조

(6) 각국의 전동차 주요치수 비교표

Table 1.1.3 각국의 전동차 주요치수 비교표(단위: mm)

노선별 / 크기		한국					일본						프랑스
		1호선	2호선	3,4호선	5호선	과천 일산 분당	101계 통근형	151계 근교형	153계 동해형	157계 일광형	401계 교직 양용	근기 철도 (2층)	MI2N
길이	연결 면간	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,500	20,000	20,700	
	차체 길이	19,500	19,500	19,500	19,500	19,500							25,100
대차중심거리		13,800	13,800	13,800	13,800	13,800							
차체폭		3,120	3,120	3,160 (최대폭) 3,120 (출입문)	3,120	3,120	2,870	2,950	2,950	2,950	2,950	2,800	2,820
객실바닥 (레일면에서)		1,200	1,150	1,150	1,150	1,150							
실내높이 (객실바닥에서)		2,350	2,346	2,350	2,200	2,350							
지붕높이		3,800	3,750	3,750	3,600	3,750						4,065	4,320
냉방기카바 (레일면에서)		4,200	4,170	4,288	4,000	4,196	3,939	3,899	3,899	4,090	3,919		

2절 국내외 2층 전동차 기술 현황 분석

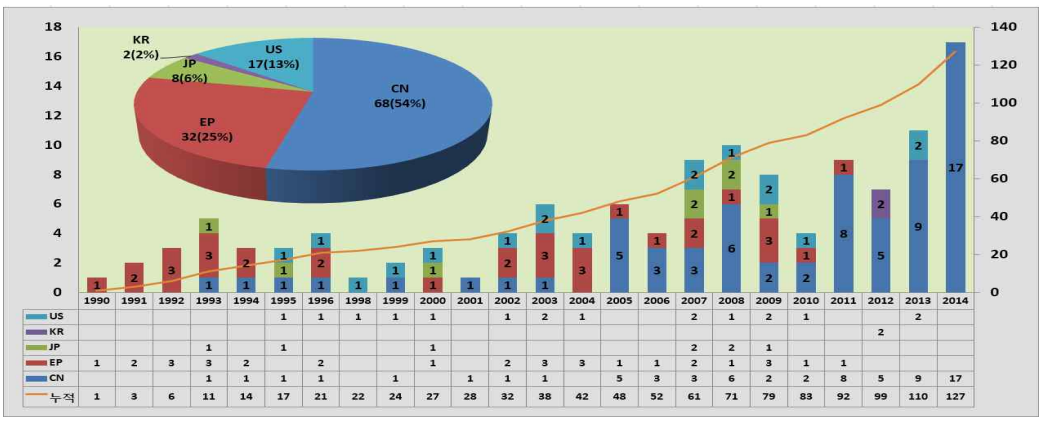
1. 광역철도용 2층 열차 분야의 기술동향

(1) 국내 2층 전동차 운영 현황

2012년 2월 28일 국내 최초로 ITX-청춘 2층 열차가 경춘선에 개통되었으며, 이 열차는 최대 시속 180km(준고속 열차)이지만 실제 운행에서는 110km~157km 사이의 속도로 운행하고 있으며, 실질적으로 전체 8칸 중 2칸이 2층 객차로 구성됨. 열차 도입 후 신속하고 수용용량 증가 및 객실환경 개선으로 경춘선 이용 승객이 30% 이상 증가하였다고 평가된다.

(2) 특허(Patent) 분석

광역철도용 2층 열차 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 127건의 관련 유효특허가 출원되고 있다.



	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
US						1	1	1	1	1		1	2	1			2	1	2	1			2	
KR																						2		
JP				1		1				1							2	2	1					
EP	1	2	3	3	2		2			1		2	3	3	1	1	2	1	3	1	1			
CN				1	1	1	1		1		1	1	1		5	3	3	6	2	2	8	5	9	17
누적	1	3	6	11	14	17	21	22	24	27	28	32	38	42	48	52	61	71	79	83	92	99	110	127

Fig. 1.2.1 광역철도용 2층 열차 분야 특허 출원년도 및 국가별 출원추이

국가별로는 중국이 54%(68건)로 최다이며, 유럽, 일본, 미국, 한국의 순으로 출원되고 있음. 우리나라는 2012년 이후 출원 특허가 전체 특허의 대부분을 차지하는 등 최근 관련 분야 관심이 증가하고 있다고 보여 지며, 중국은 2005년 이후 전체 특허의 88% 이상을 출원하는 등 최근의 기술 상승세가 매우 높게 나타나고 있다.

특허를 많이 출원한 상위 5개의 출원인(Top 5 Assignee)을 살펴보면, BOMBARDIER TRANSP GMBH, ALSTOM, TOSHIBA, INVENTIO, SIEMENS 등이 많은 출원을 하고 있으며, 이 분야 다 출원인들은 BOMBARDIER, ALSTOM,

TOSHIBA, SIEMENS를 제외하고 대부분 자국 특허에 국한되어 출원한 것을 통해, 국제 기술 경쟁이 가속화되지는 않은 것으로 볼 수 있다.

상위 5개 다 출원인들은 2007년 가장 많은 특허를 출원하며 정점을 찍었다가 최근에는 기술개발이 감소되는 추세임을 확인할 수 있음. 다만, Bombardier는 최근 3년간 꾸준하게 특허출원이 이뤄지고 있어 기술개발이 활발하게 수행되고 있음을 알 수 있다.

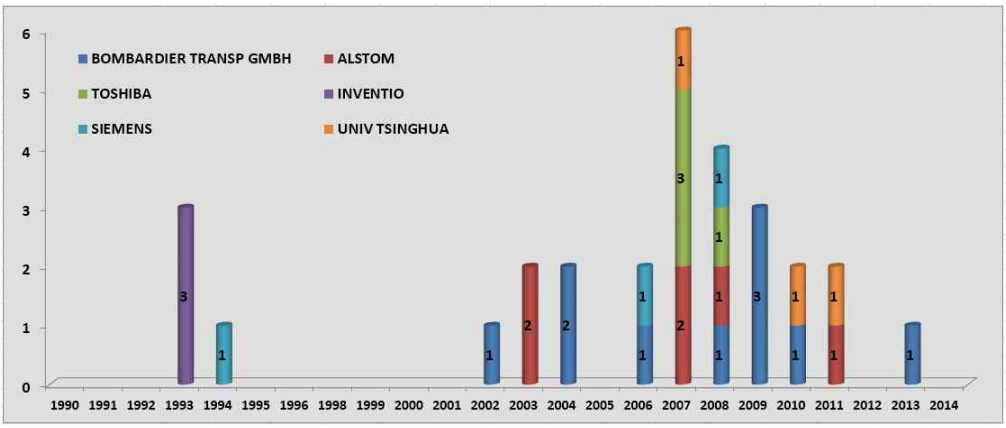


Fig. 1.2.2 주요 출원인 연도별 출원동향

(3) 논문(Paper) 분석

광역철도용 2층 열차 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 총 14건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 대체적으로 미미한 수준의 논문이 발표되고 있는 실정이며, 주요 저널별로는 IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC, ELSEVIER SCIENCE BV, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD NATL RESEARCH COUNCIL 등 유럽, 미국의 저널에서 많은 논문이 발표되고 있다.

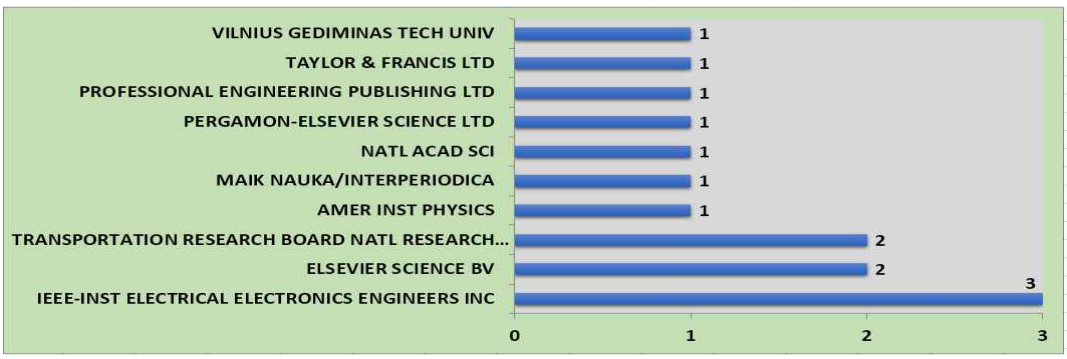


Fig. 1.2.3 광역철도용 2층 열차 분야 주요논문 등재 저널

최근 3년 內 발표 논문 중 피인용수가 높은 논문(Hot Paper)을 보면 피인용이 높은 논문은 도시철도의 에너지 소비를 절감하기 위한 효율적인 운용 및 방법 중 하나로서 최적의 솔루션을 찾기 위해서 계산시간 알고리즘이 실시간 제어를 위한 자동열차 운전 장치(Automatic train operation) 시스템과 관련한 연구내용이 주로 발표되고 있어, 이 분야 연구가 최근 주목받고 있는 것을 알 수 있다.

(4) 기술수준 분석을 통한 시장발전단계

광역철도용 2층 열차 분야의 특허 출원/공개 및 논문발표 추이 분석을 통해 시장발전단계 위치를 추정해 보면, 전반적으로는 기술 도입이후 특허기술 관점에서 2013년 이후 성장기로 진입을 하여 활발한 기술발전이 이뤄지고 있어 성장기로 판단할 수 있다. 즉, 90년대 초반부터 등락을 반복하며 특허출원이 증감을 반복하는 추세에 있다가 2007년 이후 급격이 기술이 성장하는 단계에 진입하고 있다고 판단되며, 특히 2012년 이후 출원대비 해외 공개기술이 더 많이 나타나는 것을 볼 때 최근 해외시장에서 중요한 기술로 부각되고 있는 양상을 보이고 있다.

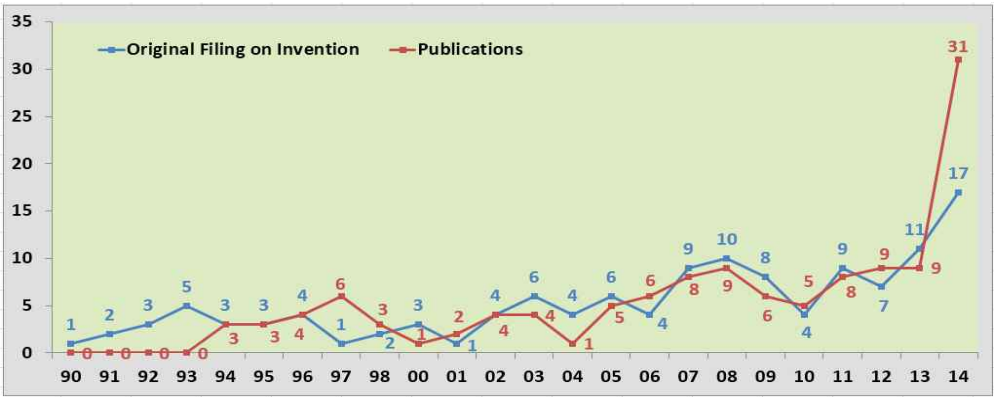


Fig. 1.2.4 광역철도용 2층 열차 분야 특허기술 연계 기술발전 추이

광역철도용 2층 열차 분야의 논문 발표추이를 보면 일부 감소한 구간도 있지만, 2000년대 이후 학술연구가 1~3건씩 서서히 이루어지면서 전반적으로 우상향하는 추세를 보이고 있어, 최근 3년간의 특허기술과 연계해 볼 때 2013년 이후 증가세를 보이고 있어 성장기에 있는 기술 분야임을 추정 할 수 있다.

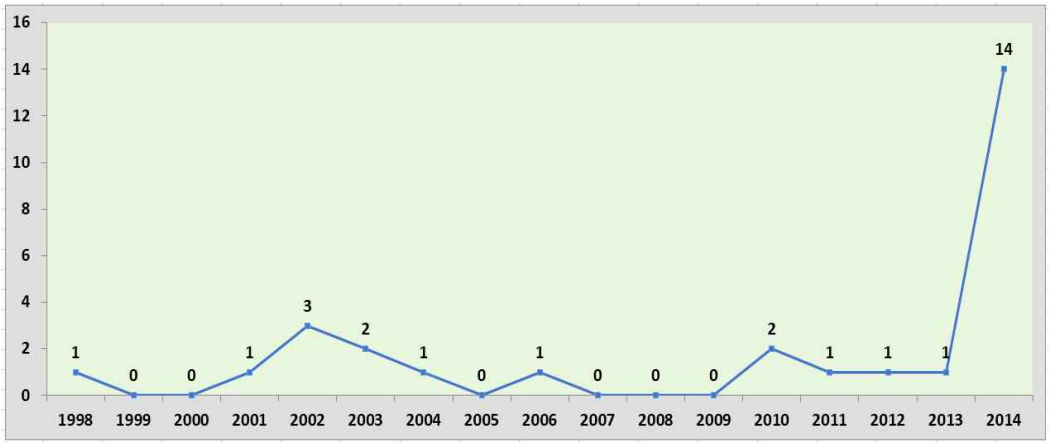


Fig. 1.2.5 광역철도용 2층 열차 분야 논문 발표 연계 기술발전 추이

2. 국내외 시장동향 및 산업동향

(1) 글로벌 철도시장 현황

글로벌 철도시장 규모는 한화 약 221조원으로 전체 시장점유율 중 철도차량이 60%를 차지하고 있으며, 2018년까지 3개 기술 군(Infrastructure, Systems technology, Rolling stock)에서 매년 3.4% 소폭 증가할 것으로 예상됨. 향후 도시화, 기후 및 환경적 목표, 자원요구의 증가 등으로 장기적으로 철도개발 전망은 긍정적이다. (참고자료 : THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)

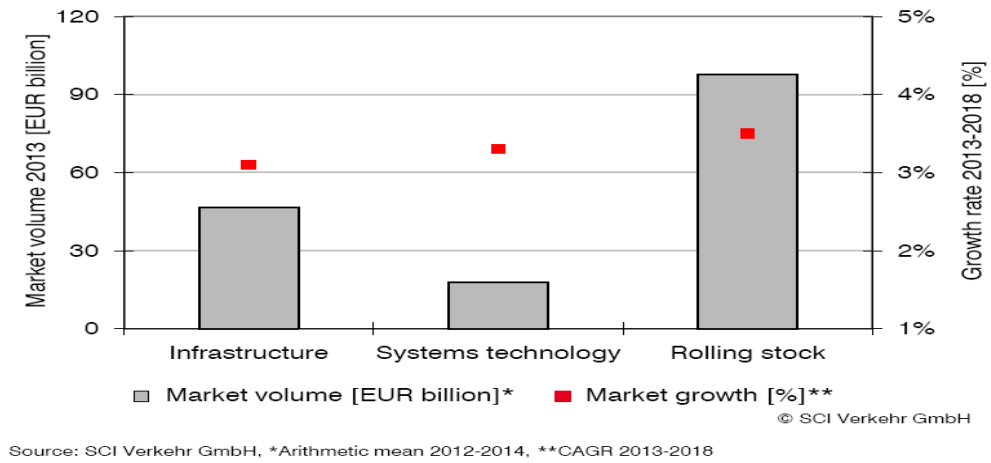


Fig. 1.2.6 Market volume and market growth by product segment

글로벌 철도시장 동향을 살펴보면, 아시아지역이 2010년부터 2014년까지 평균시

장규모는 한화 약 63조원으로 시장규모가 가장 크며, 2013년부터 2018년까지 연평균복합성장률(CAGR) 4% 성장할 것으로 예상된다. (출처 : THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)

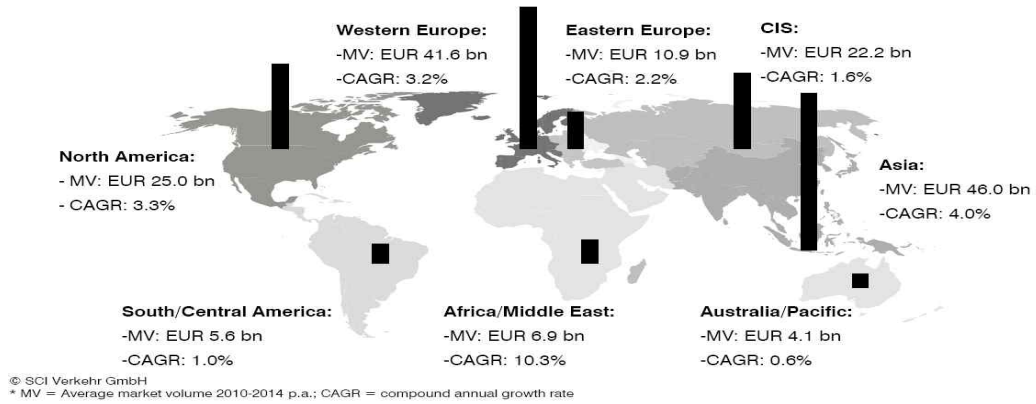


Fig. 1.2.7 2013-2018 글로벌 철도시장 동향

(2) 주요국가의 철도시장 현황

주요국가의 현황을 살펴보면, 중국 철도시장 규모가 세계 1위로 철도차량관련 판매후(After-sales) 시장이 급속도로 성장하고 있으며 최근에는 고속철도시장에서 도시 간(intercity) 간선철도, 도시철도 및 화물철도로 전환하여 집중되고 있는 실정이다. TOP3인 중국, 미국, 러시아 시장이 가장 중요한 철도시장이며, 유럽 철도시장의 경우 긍정적 성장 전망 하에 공공부문 투자정책 위주로 추진되고 있으며 스페인만 유일하게 부정적 시장 전망을 내놓고 있다. (출처 : THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)

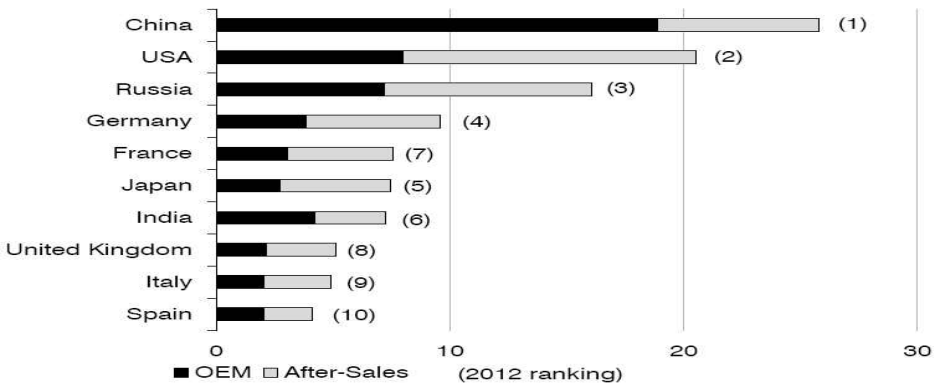


Fig. 1.2.8 Top 10 countries by market volume in EUR billion(2012~2014)

주요국가의 철도차량 제작시장은 중국의 북차(CNR)와 남차(CSR)가 세계시장의 1,2위를 차 지하며 강력한 경쟁우위를 보이고 있으며, 중국의 북차(CNR)와 남차(CSR)는 중국 내수시장만의 주문량으로도 가장 큰 수익을 창출하고 있다.

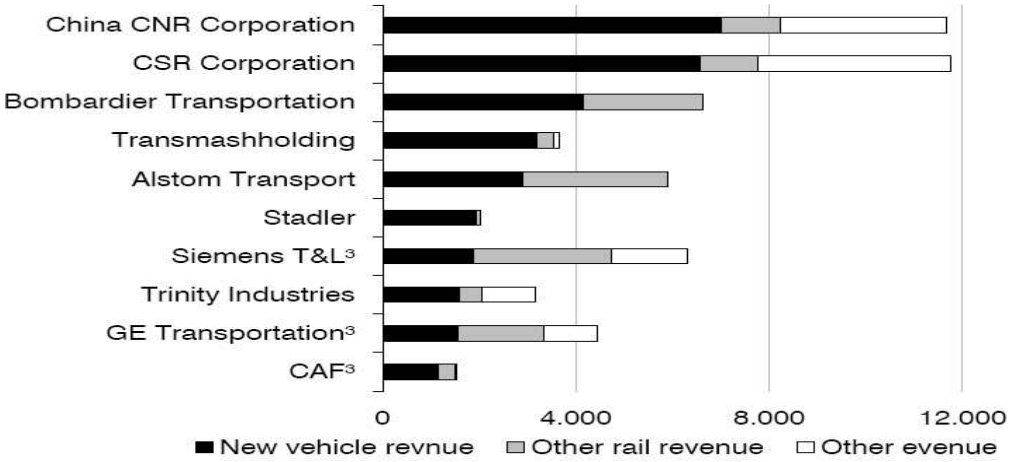


Fig. 1.2.9 Top 10 countries by market volume in EUR billion(2012~2014)

유럽의 Alstom과 Bombardier는 시장 점유율이 감소하고 Transmashholding 및 Stadler는 Siemens를 앞지르고 있음. 최근 중국은 내수시장 포화를 대비하고 해외 신규 철도기술 제품시장 수요에 따라 수출중심의 시장정책으로 전환하고 있는 실정임 (출처 : THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)

3절 국내 2층 전동차 기술개발에 대한 SWOT 분석

1. 기회/위협 요인

(1) 기회(Opportunity) 요인

① 도심지 집값 상승에 따른 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대 필요

② 도로 교통의 체증현상 심화

③ 수도권 전철구간의 이용객 증가에 따라 역내 및 차내 혼잡이 가중
④ 국민소득의 증가로 인해 대중교통수단의 고급화에 대한 요구가 증대
⑤ 지구온난화 방지와 기후변화협약의 실행을 위한 배기가스 감축과 도로교통의 혼잡함을 근원적으로 해결하기 위해 기술개발 필요
⑥ 교통약자의 이동편의 증진, 도시환경의 개선 등의 측면에서 광역철도용 2층 전동객차가 대중교통수단의 대안으로 부각될 수 있음
⑦ 미국, 유럽, 일본 등 해외의 많은 나라에서 여객 수송효율을 극대화하기 위한 가장 효율적인 방법으로 2층 열차(double-deck train)를 도입 운영 중에 있음

(2) 위협(Threat) 요인
① 국외 철도선진국에서는 도시철도의 운행역사도 길고 유럽, 일본 등 내수시장이 크므로 관련 산업의 경쟁력이 높고 친환경적인 교통수단으로서 도시철도의 적용이 확대되고 있음
② 기술지표(특허출원, 논문건수)와 시장상황을 토대로, 중국의 최근 기술 상승세가 매우 높게 나타나고 있음.
③ 정부의 다양한 복지정책 도입 및 추진에 의해 철도와 같은 기간산업에 대한 투자 감소 현상

2. 강점/약점 요인

(1) 강점(Strength) 요인
① 광역철도용 2층 전동객차 관련 기획연구 등 축적된 연구경험 Know-how 활용 가능
② 다양한 독자적 모델개발과 자체 개발 생산기술 보유
③ 33년 이상의 도시철도 유지보수 경험을 통하여 실질적인 기술개발 가능
④ 국가 연구 프로젝트로 수행하므로 체계적인 계획에 의한 연구개발을 수행할 수 있음
⑤ 충분한 연구비와 기간 투자로 관련기초기술의 확보 및 기술개발 후 시장적용에도 유리함
⑥ 개발된 기술은 국내시장 뿐 아니라 확대되고 있는 동남아시아 등 지리적 이점이 있는 제3국에 수출도 가능

(2) 약점 요인

① 2층 전동객차의 기존 도시철도 구간을 운행 시 차량의 제원, 급전방식, PSD 위치 등 호환성 및 경량화가 요구됨

② 국내 실정에 접합한 2층 열차 모델 관련 기술을 보유하고 있지 않아 해외 선진국의 기술종속 및 전시장으로 전락할 우려

③ 국내에서는 경춘선에 ITX 청춘의 부수차량에 2층 열차를 운행 중에 있으나, 기술적인 문제로 8량 1편성 중 6량은 일반열차로 운행하고 있음

④ 수도권 광역철도에 운용되는 2층 전동차를 도입하기 위한 기술적인 연구 전무(도심 내부에서 운행되기 보다는 수도권 외곽지역에서 도심으로 연계하는 근거리 intercity용 열차 모델 기초연구는 수행된 바 있음)

Table 1.3.1 2층 전동차 기술개발에 대한 SWOT 분석

SWOT 분석을 통한 전략방향 도출	O(기회)	T(위협)
	◦ 수도권 전철구간 이용객 증가에 따른 역내 및 차내 혼잡 가중 ◦ 도심지 집값 상승에 따른 외곽지역 거주자 증가 ◦ 철도에 대한 국민적 관심 집중 ◦ 국민소득 증가로 대중교통 수단 고급화 요구 증대 ◦ 수송량 향상 위한 해결방안 적용 어려움 ◦ 도로교통 체증현상 심화	◦ 세계철도사업의 경쟁 심화 ◦ 중국 고속철도 기술 급상 ◦ 복지정책에 따른 국내철도 투자 감소 현상 ◦ 일본, 프랑스 등 원천기술 보유기업의 시장선점
S(강점)	SO전략	ST전략
◦ 고속철도, 일반철도 등 사업관리 경험 보유 ◦ 광역철도용 2층 전동객차 관련 연구경험 Know-how 축적 ◦ 독자적 모델개발과 자체 개발생산기술 보유 ◦ 국내 운영기관에 대한 안정된 시장 확보 ◦ 철도유관기관 협조체계 ◦ 국내 연구기관 및 학계의 높은 기술경쟁력	◦ 광역철도용 2층 전동객차 연구경험을 활용하여 광역철도용 2층 전동객차 개발에 활용 ◦ 2층 전동객차 적용을 통해 시격단축 및 편성 차량 수 증가로 발생하는 문제 해결 ◦ 계획 수립단계부터 철도유관기관 및 국내 운영기관과 긴밀한 협조	◦ 현장데이터의 적극 활용으로 국내실정에 적합한 기술개발 ◦ 외국 기업의 핵심기술 의존 도를 줄이고 국내 기술을 이용한 시스템 개발 ◦ 산학연 협동체계구축을 통한 효과적 기술 활용
W(약점)	WO전략	WT전략
◦ 다양한 운영환경(광역구간 및 도시철도 구간)에 따른 설계 제약 문제(차량제원, 급전방식, PSD위치 등) ◦ 관련 산업체 취약 ◦ 국내 2층 전동객차 운영 한계 극복방안 필요 ◦ 광역철도용 2층 전동객차 기술연구실적 미약	◦ 국내외 실용화요건(기술, 제도, 시장) 검토를 통한 국내환경에 적합한 모델 제시 ◦ 산학연 협동체계구축을 통한 효과적 기술 활용 ◦ 유지보수경험을 Know-base로 활용	◦ 기초 연구수행으로 기술기반 확보 ◦ 철도유관기관과의 협조체계를 통한 조속한 개발기술 적용 ◦ 국내 ITX를 이용하여 관련기관 및 대국민 홍보 강화

4절 광역철도 노선 확대 등 환경변화에 따른 노선별 운영전략 제시

1. 검토의 필요성

① 수도권 외곽에서 서울도심까지 출퇴근하는 통근여객의 경우 출발역에서 좌석에 앉는 경우를 제외하면 대부분 입석으로 이용해야 하는 불편함에도 불구하고 공로의 교통체증을 극복할 수 있는 유일한 교통수단인 수도권전철의 출퇴근 시 혼잡한 상황이 대부분 노선에서 지속되고 있다.

- 완행열차가 대부분인 안산선의 상록수역에서 서울역까지 출퇴근 시 이용한다면 1시간 정도의 시간을 서서 가야하고 매일 마다 이러한 상황에 반복되고 있다.
- 이 문제는 출퇴근 시간대 열차운행횟수가 포화상태일 경우 열차당 편성량 수를 늘리거나, 차량내 좌석 수를 대폭 확대하는 것이 해결책이나, 편성량 수를 늘리는 방법은 타는 곳의 개량 및 증축이 필요하므로 대대적인 시설투자비가 요구됨. 따라서 2층 열차 등 차량내 좌석 수를 늘리는 것이 편성량 수를 늘리는 것보다는 효과적인 대안이다.

② 광역철도 노선의 운행거리가 장거리화 됨에 따라 운임을 더 지불하더라도 운행속도가 더 빠르고 지정된 좌석을 이용하고 싶은 고객의 욕구가 증가하고 있다.

- 2011년 광역철도 노선으로 개통된 경춘선은 용산역에서 춘천역까지 각역 정차하는 일반전철을 이용하면 1시간 28분(88분)이 소요되므로 운임수준이 높더라도 빠르고 편리한 좌석급행열차가 필요할 것으로 판단되어 우리나라 최초로 광역철도 노서에 좌석급행열차 도입이 추진된 노선이다.
- 2012년 경춘선에 국내 최초로 ITX-청춘 좌석급행열차가 도입되었다. itx-청춘은 현재 주말(토,일,공휴일)에는 대부분의 좌석이 매진되고 있고, 평일도 90%이상 좌석이 활용되는 등 장거리 광역철도 운행노선의 좌석급행열차 필요성을 증명하고 있으며, 좌석 수를 대폭 확대할 수 있다면 2층 객차 투입도 고려해 볼만하다.

2. 광역철도 운영 현황

① 2015년 1월 현재 코레일 수도권 광역철도는 12개 노선, 231개역, 525.8km의

엽업거리를 보유하고 있으며, 평일 기준 2,315회의 전동열차를 운행 중이다. 2014년 말 경의선이 용산~문산 간 전 구간 개통되었고, 수인선이 인천~수원간 전 구간 개통되는 '17년(예정)에는 코레일 운영 광역철도 노선의 대부분이 완성될 것이다.

- 코에일 수도권 광역철도는 1호선, 3호선, 4호선에서 코레일과 서울메트로 상호간 직결 연락운송 중으로 열차운행횟수 2,315회 중 코레일 1,891회, itx-청춘 40회, 서울메트로는 384회임.
- 급행전동열차는 8개 노선에 평일 327회를 운행 중으로 전체 열차운행횟수에서 14.1% 수준임.

Table 1.4.1 노선별 data 값

구 분	계	경부선 (장항선)	경인선	경원선	중앙선	안산·과천선	분당선	일산선	경의선	수인선	경춘선	
											전철	ITX-청춘
구 간	-	서울~천안 (진영)	구로~인천	소요산~청량리 (지하)	용산~용문	오이도~남태령	왕십리~수원	지축~대화	서울(용산)~문산	오이도~송도	상봉~춘천	용산~춘천
거 리 (㎞)	525.8	116.0 (19.4)	27.0	42.9	71.2	40.4	52.9	19.2	46.3 (8.7)	13.0	81.3	(98.0)
역 수 (개)	231	45 (6)	20	24	26	21	34	10	18	8	19	(28)
소요시분 (분)	695.5	140 (21)	46.5	66	89	58.5	85.5	27.5	60	21	81	69

② 코레일 수도권 광역철도 노선의 1일 평균 수송량은 2014년 기준 1일 평균 311만명이며, 영업수익은 1일 평균 21.3억원이다.

Table 1.4.2 수송량에 따른 영업수익

(단위 : 천명, 백만원)

년도	수송량		영업수익		비 고(신설 개통)
	연간	1일평균	연간	1일평균	
2012	1,027,181	2,810	676,153	1,852	ITX-청춘, 수인선(오이도~송도), 분당선(왕십리~선릉, 기흥~망포), 경의선(공덕~DMC), 별내역
2013	1,098,363	3,009	721,820	1,994	분당선(망포~수원), 경춘선(천마산, 신내)
2014	1,134,689	3,109	775,800	2,125	경의선(용산~공덕), 강매역, 원흥역, 달월역

③ 코레일 수도권 광역철도 보유차량은 총 2,522량으로 전동열차는 2,458량(284편성), itx-청춘 64량(8편성), 휴차 18량을 보유하고 있으며 전동열차의 1편성당 량수는 4량, 8량, 10량의 세가지 패턴으로 운용 중임.

3. 2층 전동객차 도입 시 예상 문제점 및 한계

① 광역철도 노선에 2층 전동객차 투입은 좌석 편의성과 수송 증대 효과만 본다면 왜 활성화되지 않았는지 의문이 될 정도이나, 이러한 장점에도 불구하고 기존노선의 차량 및 시설 특성과 이용객의 혼잡도 수준을 고려하면 쉽게 도입해야한 다는 결론을 내리기가 어렵다.

② 일본 대도시 광역철도의 경우를 보면, 노선마다 차량당 출입문 수가 다양하나, 코레일에서 운영 중인 광역철도 노선의 차량은 1량 당 4개의 출입문을 가지는 획일적인 형태로 유지되어 왔다.

- 경부선, 경인선 등 광역철도는 대량 수송과 승하차 시간 단축에 가장 적합하도록 1량당 4개 출입문이라는 획일적인 형태가 채택되었지만, 최근 도입 필요성이 제기되는 2층 또는 좌석열차는 좌석 수 확보를 위하여 차량 당 출입문 수를 1량당 2개소 또는 3개소로 줄여야 한다.
- 광역철도(서울시 도심구간을 포함)의 자살사고 증가에 따라 광역철도 운행 노선에 스크린도어 설치가 지속적으로 확대되고 있으며, 기존 출입문 형식(1량 4개)의 스크린도어가 설치된 노선에는 다양한 형태의 신규차량 투입이 제한적일 수 밖에 없다.

③ 서울 도심구간을 통과하는 경부선, 경인선, 경원선, 3호선, 4호선 등은 출퇴근 시 혼잡도가 상당히 높다. 특히, 대량 수송에 적합하도록 롱시트 형태의 차량이 운행되고 있음에도 불구하고, 주요역과 환승역은 일시에 수요가 집중됨에 따라 출퇴근 시간대에는 승하차 지연이 발생하고 있다.

- 광역철도 구간에 좌석열차를 투입하기 위해서는 정거장에 도착한 후 좌석에 앉은 승객이 입석 승객들을 피해서 내릴 수 있을 정도 혼잡도가 유지될 수 있는 노선이어야 하고 정거장에서 최대 30초 이내에 승하차가 완료되어야 한다.
- 2층 좌석전동열차의 경우 1층 승객과 2층 승객이 차량 내 계단과 통로 부분에서 합쳐지게 되므로 승하차시간 지연에 따른 열차의 혼잡도가 가중되어 열차정시 운전에 심한 지장을 초래할 것으로 예상된다.
- 따라서, 광역철도 노선 중 도시철도 형태 구간은 정거장 수가 많고, 역간거리가 짧으며 출퇴근 시간대 극심한 혼잡도가 발생하므로 2층 좌석전동열차 도입이 어렵다고 보아야 한다.

④ 경춘선과 같이 장거리 광역철도 노선은 도시철도 형태와 달리 출퇴근 시간대 수요집중으로 인한 혼잡 문제는 각역정차 및 롱시트 형태의 일반전동열차로 해소하면서 경춘선 itx-청춘과 같은 좌석급행열차를 투입하여 상호보완적인 기능을 부여한다면 2층 좌석전동열차 투입이 오히려 노선 경쟁력과 편리성을 강화시킬 수 있다고 판단된다.

- 경춘선의 경우는 출퇴근 수요 외에도 장거리 관광수요가 많은 노선으로 개통 초기부터 좌석전동열차를 투입해도 큰 무리가 없었으나, 출퇴근 및 일상수요 위주의 광역철도노선에 좌석열차를 투입할 경우에는 장거리 이용수요가 얼마나 존재하느냐가 관건임.

⑤ 2층 전동객차 도입은 건설 기본계획 수립 시부터 전제 조건으로 설정하여 노선의 각종 시설 및 장비와 조화를 이루도록 추진하는 것이 가장 바람직할 것으로 판단한다.

4. 2층 전동객차 도입 대상노선 검토

① 2층 전동객차는 차내 혼잡도, 승하차 시간 및 최대 좌석 수 등을 고려할 때 급행 및 좌석운임제를 기본 전제로 하여야만 광역철도 노선에 도입 가능할 것으로 판

단된다.

② 광역철도 노선 중 경인선, 경원선, 일산선, 안산과천선, 분당선은 주요역 및 환승역에 일시 수요가 집중되어 출퇴근시 혼잡도가 급증하는 등 도시철도의 특성을 가지고 있으므로 2층 좌석급행열차 대상노선에서 제외하여야 한다. 특히, 1호선, 3호선, 4호선은 서울메트로와 연락운송구간으로 운영기관 간 사전 협의 없이는 좌석 운영이 곤란하다.

③ 경춘선은 이미 좌석급행열차인 itx-청춘 열차가 운행 중이며, 중앙선은 기존 새마을호, 무궁화호 등 간선열차가 운행되고 있고, 장거리 통근 통학수요 부족으로 영업권이 중복되므로 제외되어야 한다.

④ 2층 좌석전동열차 도입 검토가 가능한 노선(또는 열차)은 경부선 급행전동열차를 2층 좌석급행열차로 전환, 경춘선 itx-청춘 열차의 경의선 직결 운행, 분당수인선 직결 노선 등으로 볼 수 있다.

5. 2층 좌석급행열차 운임수수방식 검토

① 2층 좌석급행열차는 원활한 운임수수를 위해 정거장 내에서 일반전동열차와 급행전동열차의 고객 동선을 구분하여 주는 것이 원칙이나, 기존의 광역철도 노선들은 대부분 일반과 급행의 여객 동선 구분없이 건설되었으므로, 무분별한 부정승차 원천적인 방지를 위해서는 열차승무원 배치가 고려되어야 한다.

② 좌석요금 징수방식으로는 첫번째, 좌석지정 승차권방식으로 스마트폰 또는 인터넷 등을 활용하여 사전 예약하는 방법과 간선열차 승차권을 발매하는 역이나 여행사에서 직접 구입하는 방법이 있음. 현재 코레일 간선열차에서 사용하고 있는 승차권예약발매 시스템에 2층 좌석급행열차를 추가하면 가능하다.

- 승차권 자동발매기 및 승차권 자동발매단말기 등 별도의 발매설비를 아예 설치하지 않고 고객 자율로 스마트폰 앱이나 인터넷으로 발권 지정좌석을 이용하도록 하여 열차승무원 없이도 고객들 스스로 차내 이용질서 유지가 될 것이라는 의견도 있으나, 고객 간 다툼 발생 시 즉시 해결이 불가능 한 점 등 구조적인 문제점 해소가 전제되어야 한다.

③ 두 번째, 기존 일반전동열차의 운임시스템과 직접 연계가 가능하도록 좌석마다 RF선후불교통카드를 좌석 주변의 단말기에 태그하여 본인의 좌석임을 확인하는 방식.

- 전동열차 고객들의 이용편의성은 높으나 테그기 설치에 따른 투자비와 유지보수비 등 높은 비용이 발생하게 되고, 고정 열차승무원이 배치되지 않을 경우에는 기동검표를 자주 하더라도 무임 입석승차 등 부정승차를 근본적으로 해소하기는 어려움.

④ 세 번째, 차량 출입문에 자동개집표구 및 테그기를 설치하고 열차승무원을 생략하는 방식을 고려할 수 있음. 이 경우는 승하차객 모두 게이트를 통과해야 하고 사소한 이례사항만 발생해도 승하차 시간 지연으로 연결되기 때문에 관리운영이 쉽지 않다.

- 버스는 단독운행이기 때문에 후속 버스 운행에 지장을 주지 않지만 광역철도는 선행 열차의 지연이 후속 열차의 지연으로 이어지기 때문에 차량내 원활한 승하차 동선 확보가 승하차 지연을 방지하는 굉장히 중요한 요소임.

⑤ 네 번째, 10일, 20일, 1개월, 3개월 등 단위 정기 좌석권 이용고객들에게 지정좌석을 판매하는 방식도 고려할 수 있으나, 정기 좌석권만으로 좌석열차를 운용하기에는 좌석 미판매시 좌석운용 효율성이 문제가 되므로 도입이 어렵다.

6. 광역철도 노선별 운영 전략

(1)경부선

① 2015년 1월 현재 광역철도 경부선의 총 열차횟수는 377회이며, 이 중 급행열차는 1일 38회(서울~천안 구간 6회, 용산~천안 구간 32회) 운행 중이다.

② 경부선의 급행전동열차는 서울급행과 용산급행의 2개 패턴으로 운행 중인데, 서울급행은 서울역에서 천안역까지 전 구간을 간선열차 전용선(경부 1선)을 이용하고 있음, 용산급행은 용산역에서 구로역 간은 급행전동열차 전용선(경부 3선), 구로역에서 안양역 간은 전동차 전용선(경부 2선), 안양역부터 수원역 간은 간선열차 전용선(경부 2선), 수원역부터 천안역 간은 전동차 전용선(경부 2선)을 이용하는 등 상당히 복잡한 경로로 운행 중이다.

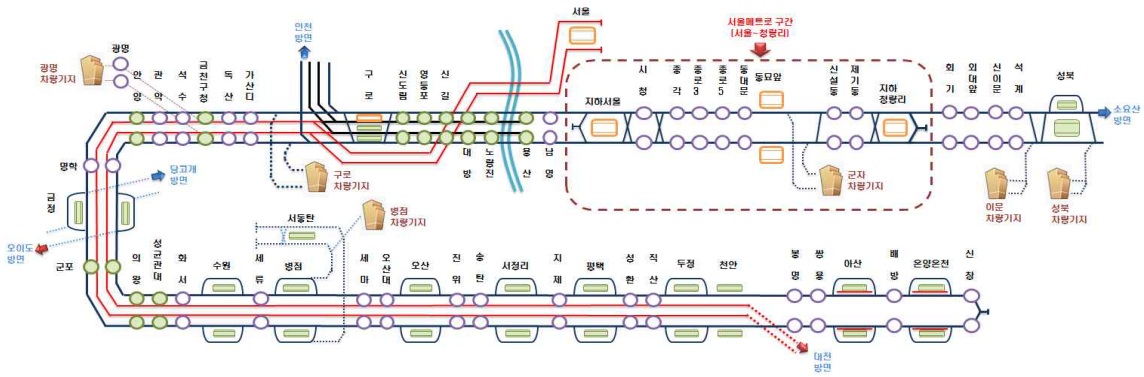


Fig. 1.4.1 1호선 노선표

③ 수원역~천안역 간은 주요역마다 대피선이 별도로 부설되어 있어 급행전동열차가 완행전동열차를 추월할 수 있으나, 수원역~구로역 간은 대피선이 없으므로 급행전동열차 운행을 위하여 간선철도 전용선(경부 1선)을 추월선으로 이용하고 있다.

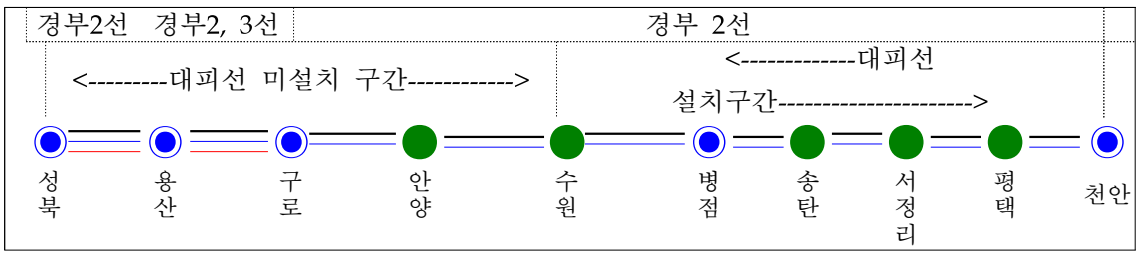


Fig. 1.4.2 경부선의 대피선 유무

④ 경부선의 전동차 전용선(경부 2선) 중 수원역~서울역~지하청량리역~광운대역 구간은 출퇴근 시 극심한 혼잡구간이므로 기존의 노후차량을 대체하는 방식으로 2층 전동객차를 투입하는 것은 혼잡도 추가 증가로 인해 어려움이 있다.

- 혼잡도만을 고려하면 차량을 추가 제작하여 투입하여야 하지만, 구로역~지하청량리역 구간에서 3개 노선(경부선, 경인선, 경원선)이 동일선로를 사용하고 최소 시격으로 운행하고 있기 때문에 3개 노선 공용구간에서는 출퇴근 시간대 기존 운행열차 외에 열차를 추가 투입하는 것도 어려움이 있다.

⑤ 2층 좌석전동차는 타 교통수단과의 경쟁력 우위를 위해 급행 운행이 기본이며. 기존노선의 운행열차 외 추가로 투입하는 경우에는 신호기 이격거리 단축, 신호기 교체 등 시설개량이 수반되어야 하고, 열차운행횟수 증가 시 신규차량 도입(편도 1회 증편 시 1편성 추가) 및 승무인력 증원이 필요하다.

⑥ 경부선에 2층 좌석전동차를 투입하기 위해서는 현재의 급행전동열차를 대체하여 투입하는 것이 현실적인 방안이라고 볼 수 있다.

⑦ 경부선 서울급행을 좌석열차로 대체하는 것은 좌석운임 추가부담 및 수송가능인원 감소에 따른 민원 발생이 예상됨. 경부선이 일반전동열차를 병행하여 운영하고 있음에도 불구하고 서울급행 열차의 좌석운임 관련 반발이 예상되는 사유는 운임이 저렴한 완행전동열차와 운임이 비교적 높은 간선열차의 중간상품 형태로서 출퇴근 시간대 운행하고, 운임이 저렴하면서도 운행속도가 빠른 서울급행의 특성에 기인함.

⑧ 경부선 서울급행은 현재 서울역에서 시종착하고 있으나, KTX노선 신설, 원강선 등 영향으로 서울역의 선로 공간이 갈수록 부족해지고 있어 용산역, 노량진역 등으로 서울급행의 시종착역 변경이 요구되고 있는 실정임. 따라서 2층 좌석급행열차로의 전환은 서울급행의 존폐, 대체 또는 운행구간 조정 요구 등을 고려하여 종합적인 검토가 필요하다.

⑨ 경부선 용산급행은 출퇴근 시간대를 벗어난 평상시간대 운행하고 있으므로, 2층 좌석전동열차로 전환으로 인한 효과가 있을 것으로는 예상되나, 경부선에는 이미 무궁화 등 간선열차들이 운행하고 있어 급행좌석의 역할을 겸하고 있으므로, 용산급행의 2층 좌석급행열차로의 전환이 수요, 재무성 등에서 타당한지에 대한 사전 검토가 필요하다.

(2)경춘선 itx-청춘 열차의 경의선 연장 운행

① 2015년 1월 광역철도 경춘선의 열차운행횟수는 평일기준 1일 175회이며, 이 중 itx-청춘 열차는 용산~춘천역 간 1일 40회 운행 중이다.

② 경의선의 열차운행횟수는 평일기준 1일 180회이며, 이 중 급행열차는 서울역~문산역 간 1일 4회, 용문(덕소)역~문산역 간 1일 8회로 총 12회 중임. 경의선의 급행열차는 문산에서 용산역 간에만 급행으로 운행하고 있으며, 중앙선 용산~용문역 간은 각역정차로 운행 중이다.

③ 용산~춘천역간 경춘선 itx-청춘 열차를 경의선까지 연장운행하기 위해서는 itx-청춘 차량을 추가구입하여야 하나, 경의선의 다소 낮은 수요 수준을 고려할 때, 재무적 타당성 확보가 가능할지는 검토가 필요하다.

- itx-청춘 추가투입 타당성 미확보로 인해 기존 경의선 급행열차를 itx-청춘 열차로 대체하게 되면 서비스 수준과 동시에 운임 수준이 높아지게 되므로 입석형일지라도 낮은 운임수준의 급행열차를 원하는 지역주민의 요구가 발생하게 될 것으로 예상됨.

■ 일본 광역철도의 운영 사례를 들어 우리나라의 광역철도 노선들도 급행열차의 횟수를 대폭 늘리는 것이 신규 수요창출 및 수익 증대에 가장 효과적으로 보고 급행열차 확대를 추진하고 있으나, 수도권 외곽으로 갈수록 급행열차보다는 열차 정차횟수를 더 중요시하는 경향을 보이고 있음.

④ 경춘선 itx-청춘열차의 경의선 연장 운행은 필요한 사업이나, 현재 경의선 수요로는 itx-청춘 추가투입에 따른 재무적 타당성이 확보가 어려울 것으로 예상되므로 경의선과 경춘선 간 OD분석 등 지속적인 수요변화 모니터링이 필요하다.

(3) 분당선 수인선 직결

① 분당선과 수인선은 현재 계획으로는 수인선 복선전철 전 구간이 완공되는 2017년 이후에 직결 운행될 것으로 예상된다.

② 2015년 현재 분당선은 왕십리~수원역간 52.9km를 평일기준 1일 352회 운행중이며, 이 중 1일 12회만이 죽전역~수원역간 급행열차로 운행 중임. 나머지 왕십리역~오리역간은 당초 급행열차 운행을 고려하지않고 건설되었기 때문에 대피선으로 활용할 수 있는 역이 없다.

③ 수인선 복선전철은 현재 건설 중인 노선으로 1단계 구간인 오이도역~송도역간 13km를 2012년 영업개시하여 평일기준 1일 115회 운행 중임. 2단계 구간인 오이도~인천역간 7.3km는 2016년 상반기에 개통될 예정이며, 3단계 구간인 한대앞역~수원역간 19.9km는 2017년에 전구간 개통될 예정이다.

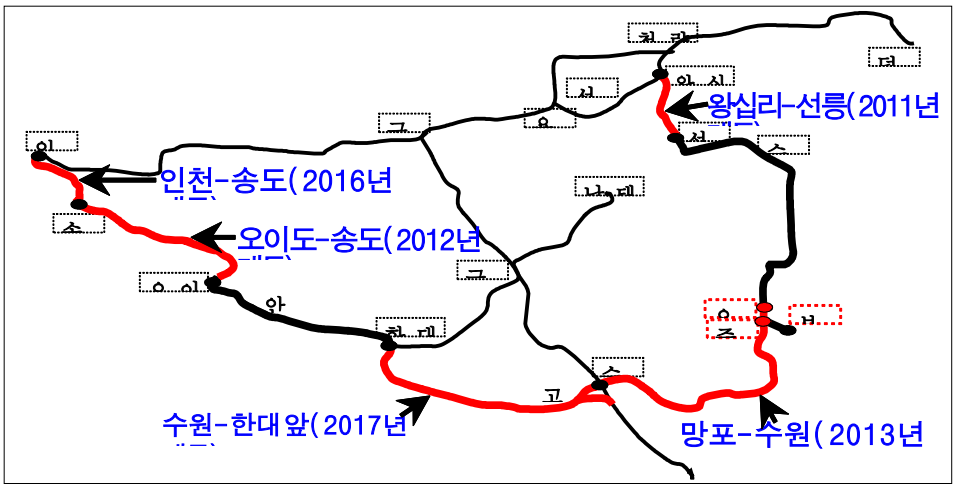


Fig. 1.4.3 새로 개통된 노선과 개통 예정인 노선도

④ 향후, 분당선과 수인선 간 전동열차를 직결운행하게 되면 왕십리역에서 출발하여 수원역, 한대앞역, 안산역, 오이도역, 송도역, 인천역까지 104.6km를 운행하게

됨. 왕십리역에서 인천역까지 각역 정차를 하게되면 약 158분, 고색에서 인천역은 88분이 소요될 것으로 예상되므로 급행열차 운행이 필요한 노선이다.

⑤ 분당선과 수인선 간 직결 시 급행열차 운행을 위해서는 대피선이 필요하나, 왕십리~죽전역간, 한대앞역~안산역 간은 대피가 가능한 역이 없고, 한대앞역~오이도역 간은 안산선 열차와 동일선로를 사용하는 관계로 급행열차 운행에는 제약이 따르게 된다.

- 왕십리~인천 간 일반전동열차 운행시 158분 소요되나, 현재의 노선 여건에서 급행열차로 운행 시에는 131분이 소요되어 약 27분의 단축 효과가 있을 것으로 예상됨.

⑥ 또한, 수인선은 분당선에 비해 이용수요가 그리 높지 않을 것으로 예상하고 있고, 수인선 전구간 개통 초기에는 모두 입석형 일반전동차로 구입을 추진하고 있다.

⑦ 분당선과 수인선 간 직결운행 시 2층 좌석급행열차 운행의 필요성은 있으나, 수인선 이용수요의 저조 예상 등 불확실성으로 인해 개통 초기부터 도입은 어렵고 개통 이후 수요 증가 추이를 고려하여 도입을 추진하는 것이 바람직하다.

5절 객관적인 경제성 분석과 요금체계 제시

1. 경제성 분석

(1) 경제성 분석의 개요

① 경제성 분석의 의미

정부의 재정은 부족한 재원을 효율적으로 투자하여 사회경제적 차원에서 최대의 편익을 창출하는 것이 정부의 주요 관심사일 수 있겠다. 특히 대형 SOC사업이나 기타 재정투입 사업의 경우 합리적인 선택이 이루어지지 못했을 경우 그 파급효과의 영역은 사회경제적으로 미칠 뿐만 아니라 시간적으로는 장기적으로 발생할 수 있다. 이와 같이 정부의 재정투입은 타부분에도 경쟁적인 공공투자기회의 긍정적인 효과와 부정적인 효과가 발생함으로 체계적이고 합리적으로 이의 효과를 평가하고 가능한 한 이들을 계량화하여 정책적 차원에서 최적의 선택이 이루어져야 한다.

경제적 타당성을 평가하는 방법은 다양하며 대상사업에 따라 적용기법이 다를 수 있다. 본 연구과제와 관련한 경제적 타당성 평가방법 대표적인 기법으로는 비용편익분

석 기법을 들 수 있겠다. 이는 장기적인 시간성과 광역적 파급효과 차원에서 사업의 바람직한 정도를 판단할 수 있는 실용적인 방법으로, 관련된 비용과 편익들을 추정하여 평가하는 방법이다.

본 연구과제와 같은 연구개발부문의 경제적 타당성 평가에 있어서 주의해야 할 사항은 건설, 토목 등 SOC 사업분야와는 달리 장기적 수요추정에 기반한 편익 산출보다는 비시장재에 대한 가치를 측정하는 방법으로서 현시선호접근이나 진술선호접근을 적용한 다양한 방법들이 있다. 연구개발부문에 내재된 계량화의 어려움과 분석과정에 도입된 가정의 합리성과 현실성에 따른 산출결과와 여건 변동에 따른 민감도차원에서 경제적 타당성 평가 결과를 도출하는 것이 현실성 관점과 합리적인 것으로 판단된다.

② 경제성 분석의 개요

- 본 과제는 광역철도용 2층 전동객차 개발과 실용성을 위한 기술개발을 위해 투입되는 개발비에 따른 직접 편익차원에서 효용성의 파생정도에 대한 경제적 분석을 통해 본 사업의 타당성여부를 가늠해 볼 필요가 있다.
- 다만, 본 연구개발의 결과물이 향후 광역철도 및 일반철도에 적용할 경우를 고려할 때, 투입될 구축비용에 따른 경제적 타당성의 여부에 따라 연구개발에 대한 당위성이 보다실용적일 것으로 판단되어야 한다.
- 본 연구개발 사업인 광역철도 2층 전동객차 개발에 소요되는 각종 비용항목을 파악하고, 이의 개발과 실용성으로 인해 파급되는 교통부문의 다양한 편익을 도출하고, 국내시장은 물론, 국제시장에서의 파급효과를 계량화 차원에서 경제적 타당성 분석을 기준년도를 근간으로 최종 목표연도를 설정하여 수행함.

③ 경제성 분석의 전제

- 본 연구에서는 최근 KDI에서 적용하고 있는 『연구개발 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)』의 지침을 준용하여 비용항목과 편익항목을 설정하여 경제성 분석에 임하는 것을 전제하되, 철도부문의 국가 산업연관표 등에서 발표된 지표 등을 적용하여 고용효과, 기타 긍정적인 파급효과를 도출하여 대안별로 평가함.
- 분석기간은 일반 철도노선 등 SOC사업 차원의 경제성 분석기간이 30-40년인데 비해 광역철도용 2층 전동객차는 내구년한 등을 감안하고 신기술이란 관점에서 통산 경제적 타당성의 threshold 기간을 20년으로 하고 있는 지침을 준용하는 것이 바람직할 것으로 사료됨.

■ 또한 전동객차 개발 사업비(기술개발바+시범노선 운행사업비)를 비용으로 간주하고 광역철도용 2층 전동객차 국내외의 매출과 관련된 파급효과로 순 부가가치는 국가적 차원에서 창출되는 규모를 긍정적 편익으로 간주하여 분석 실시.

④ 경제성 분석의 항목 구성 및 관점

본 연구개발 사업과 같은 기술개발에 투입되는 정확한 비용 추정에는 한계가 없지 않으며, 이와 더불어 사업 추진을 통해 산출되는 기술과 지식이 창출되어 파급되는 편익이나 효과의 식별 및 계량화에는 고정된 틀이 없으므로 보편적 타당한 항목을 대상으로 한다. 산출된 비용과 편익에 따른 경제성과 사회경제적으로 파급되는 효과를 종합하여 경제적 타당성분석에 적용된 방법을 기준으로 결과를 판단할 필요성이 있다.

여타 항목들도 마찬가지이나 예비타당성조사 등에서와 마찬가지로 정량적 결과로 제시되는 것을 기본으로 하는 경제적 타당성에 있어서 계량화를 측정하는 방안과 이들의 규모를 척도하는 방법은 중요한데, 여기서 측정하고자 하는 특성을 수치나 기호로 할당하는 규칙을 정하는 것도 방법에 따라 다를 수 있으므로 상당히 중요하다. 이때 규칙은 ①반드시 일대일 대응관계, 즉 하나의 특성이 하나의 수치나 기호로 표현되어야 하고 ②측정규칙은 모든 대상에 일관성 있게 적용되어 야 한다는 것이다. 이는 정해진 체계(Closed System)에서 측정대상의 위치를 나타내기 위해 척도가 적용되어야 하며, 척도는 명목척도(nominal scale), 서열척도(ordinal scale), 등간척도(interval scale), 비율척도(ratio scale) 등이 있는데 측정의 정밀성의 정도(精度)에 따라 서열척도, 등간척도, 비율척도의 순서로 고도화되기 때문이다. 즉, 연구대상의 특성이 다른 연구대상의 특성과 비교하여 높은지는 판단하는 상대적인 위치만을 나타내는 서열척도에서 측정된 차이의 정도를 정량적으로 비교할 수 있는 정보와 체계가 확립되면 등간척도를 적용할 수 있고 절대적인 기준 설정이 가능하면 비율척도를 적용할 수 있다.

연구개발부문의 경제적 타당성 평가는 비용편익분석으로 대변되는 화폐단위로서 계량화되는 편익에 대한 분석이 이루어진 경우와 비용효과분석으로 지칭되는 화폐단위가 아닌 가치적 차원에서 정성적 효과에 대한 분석이 이루어진 경우로, 이들 항목을 세부적으로 구분하고 예비타당성조사와 같은 사업별 분석단위에 대한 사항을 각각의 항목에 제시한다. 사업의 비용분석에서 제시된 항목들이 이중계상되거나 누락됨이 없이 세부적으로 구분되어 각각의 항목에 배치되도록 하되 그 합리성과 논리성에도 상당한 비중이 없지 않다.

비용편익분석은 비율척도로서 1을 기준으로 한 가치판단이 가능한데 반해 비용효과

분석은 상대적인 위상만을 나타내고 있어서 절대적인 기준은 설정되지 않다는 차이점이 있다. 현재 적용되고 있는 예비타당성조사 일반지침에 따르면 경제적 타당성 분석에 있어서 비용편익분석을 적용할 경우에는 현재가로 환산한 비용 대비 편익의 비율이 1.0 이상이면 경제성이 있다고 판단하며, 비용효과분석을 적용할 경우에는 비교 대안별로 대비하여 상대적 가치에 근거하여 사업이 효용성을 판단한다.

⑤ 국가 R&D 사업의 경제적 타당성 조사 쟁점

본 연구개발사업과 같은 기술개발사업은 기술개발이란 차원의 문제에서 실용화시에 이용성을 대표하는 비교 용량성을 중심으로 교통부문에서의 긍정적 파급효과의 대응논리를 개발해야하는 요인이 내재되어 있으므로 이는 본 과제 수행시에 도출되어야 할 것이다.

(2) 비용추정

① R&D사업의 총사업비와 총비용

「총사업비 관리지침」267)에서는 「국가재정법 시행령」268)에서 규정하는 사업의 추진에 소요되는 모든 경비로 총사업비를 정의하고 있는 반면, 「예비타당성조사 운용지침」제6조 제3항에서는 각 중앙관서의 장이 제시한 금액269)을 총사업비로 상이하게 정의하고 있다. 연구개발사업은「총사업비 관리지침」상의 관리대상 사업에 포함되지 않으나, 2년 이상의 기간 동안 총사업비 500억 원 이상인 토목 및 정보화사업이나 총사업비가 200억 원 이상인 건축사업(전기·기계·설비 등 부대공사비 포함)이 포함된 경우에는 총사업비 관리대상 여부270)가 검토될 수 있다.

지침에서는 「예비타당성조사 운용지침」제6조 제3항에서 규정된 총사업비의 정의를 따르며, 총사업비를 제안된 사업기간 내에 포함되는 모든 비용으로 정의한다. 경제적 타당성 평가를 위해서는 목표가 달성되기 위하여 소요되는 생애주기비용(life-cycle cost)에 대한 추정이 필수적이며, 이를 총비용이라 정의한다. 그리고 사업목표달성을 위해 반드시 필요하나, 사업기간 내에 소요되지 않아 총사업비에는 반영되지 않는 숨은 비용(hidden cost)을 사후비용으로 정의한다. 숨은 비용은 추정가능한 범위에서 최대한 반영하는 것을 원칙으로 하는데 대표적인 것으로는 사업기간 이후에 사업과 관련된 인력의 소속이나 도입된 시설·인프라에 대한 자산귀속이나 처분 등에 의하여 비용분담에 대한 쟁점이 발생할 수 있는 경우가 있다. 총비용을 산출하는 기간은 30년을 최대기간으로 하며, 기술의 진부화를 고려하여 목표가 달성되는 기간까지 소요되는 비용을 합산한다. 경제성 분석을 수행하는 경우에는 편의상 사업의 효과(또는 편익)가 최종적으로 발생하는 해의 말까지 소요되는 모든 비용을

총비용으로 본다.

Table 1.5.1 국가연구개발사업의 총 비용분석을 위한 분류체계

과제 성격	분 류 기 준
연구개발	연구시설·장비 구입 및 유지비, 연구관리비를 제외한 모든 연구개발비
연구시설 · 장비구입 및 유지비	연구시설 구축 및 유지비, 연구장비 구입 및 유지비, 시설·장비의 차입금 상환 등
연구관리	연구과제 평가 및 관리비, 국공립연구소와 출연연구소의 인건비, 경상비, 연구개발관련 사무국 운영비 등

자료: 한국과학기술기획평가원, 『연구개발 사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제1판)』, 2012.

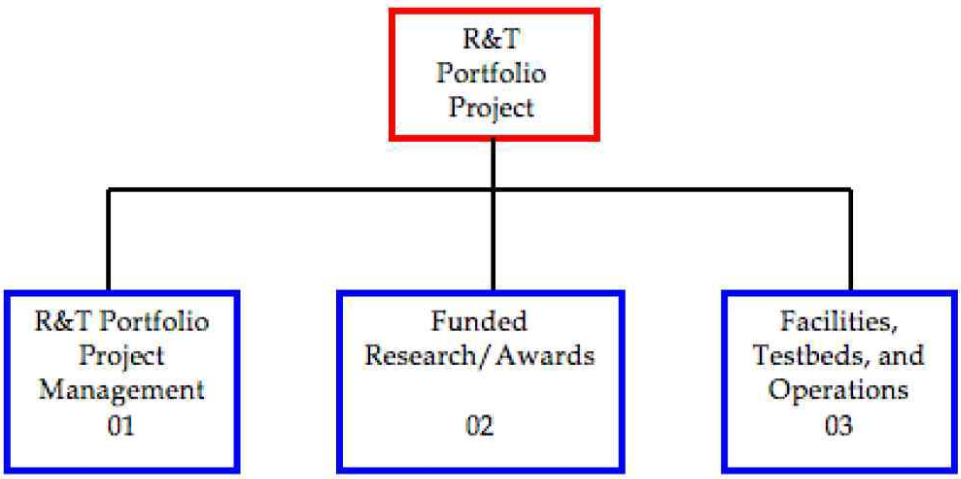


Fig. 1.5.1 NASA의 R&D사업(R&T portfolio project)관리의 표준화 WBS사례

Table 1.5.2 총사업비와 총비용의 구분

구분	사업기간 내 소요(1)	사업기간 이후 소요(2)
연구개발(A)	○(A1)	△(A2)
연구시설·장비구입 및 유지비(B)	○(B1)	○(B2)
연구관리(C)	○(C1)	△(C2)
합계(D)	○(D1)	△(D2)

※ 총사업비 = D1, 사후 운영비 = D2, 총비용 = D1 + D2
1) A2가 존재하는 경우 : 국·공립 연구소나 출연연구소의 기본연구비
2) B2가 존재하는 경우 : 시설·장비를 구축하면, 반드시 존재
3) C2가 존재하는 경우 : 종료 후 인력의 소속이나 자산의 귀속 등에 문제가 발생하는 경우
4) D2가 존재하는 경우 : 종료 후 인력의 소속이나 자산의 귀속 등에 문제가 발생하는 경우

주) 사업기간 내 소요비용으로 제안서에 누락된 사항이 있을 경우 총비용에 합산

② 분석의 관점 및 기준: 신뢰할만한 비용추정의 요건

미국 회계감사원(GAO: Governmental Accountability Office)에서는 효과적인 비용추정의 기본적 성질에 대한 연구를 수행하고 1972년도에 그 결과에 대하여 보고한 바 있다. 40여년이 지난 오늘날에도 이러한 기준은 여전히 유효하게 적용될 수 있으나, 연구개발사업의 경우 이를 만족시킬 수준의 비용분석법이 보고된 바 없다. 본 지침에서는 이를 비용추정의 신뢰성 제고를 위한 이상적인 기준으로 소개한다. 향후 연구개발사업에 대하여 더 신뢰성 높은 비용추정 방법이 개발될 경우 새로운 지침에 반영하여야 하며, 이의 지침은 연구개발사업의 예비타당성조사를 위하여 개발된 일련의 방법론을 종합 정리하면 아래 표와 같다.

Table 1.5.3 신뢰할만한 비용추정의 기본특성(GAO, 1972)

특성	설명
1. 작업에 대한 명확한 규정	비용분석 연구자가 사업의 세부사항, 분석을 위한 기준 및 가정, 기술적 특성과 성과특성, 비용분석의 제약조건에 대하여 구체적으로 제시하는 것
2. 비용추정 과정에 폭넓은 참여	기획과정에서 정책적 임무의 결정 및 구체적 인자와 사업특성을 정의하는 과정에 모든 관련 주체가 참여하여야 한다는 것
3. 자료의 가용성	적절하고, 관련되며, 이용 가능한 다양한 자료를 사용하는 것
4. 추정의 표준화 양식	최대로 분화된 표준 WBS를 사용하는 것
5. 사업의 불확실성에 대한 대비	사업추진과정에서 발생하는 불확실성에 대하여 충분하게 인지되고 있는지, 그리고 그것이 예비비의 범위 내에서 감당할 수 있는 것인지에 대한 분석
6. 경제변화의 인지	인플레이션과 같은 경제적인 변화를 인식하여, 수명주기비용(life-cycle cost)의 산정과정에 적절하고 현실적으로 반영되어야 한다는 것
7. 총비용에 대한 고려	비목에서 누락된 항목 없이 합리적인 논거를 근거로 수명주기비용의 관점에서 추정
8. 추정에 대한 독립평가	활용되는 자료가 정확하고 완성되고 신뢰할 수 있는지에 대하여 독립된 평가로 입증
9. 중요한 사업변화를 위한 추정갱신	사업의 추진과정에서 실제 집행되는 사항과 비교·검토할 수 있어야 하며, 초기 계획과 추 진과정에서 변화에 따른 비용의 변동을 회계감사의 관점에서 검토할 수 있도록 체계화

③ 분석절차

일반적인 비용추정의 절차는 12단계로 구분할 수 있으나, 연구개발사업의 비용추정은 현실적인 한계를 고려하여 5단계로 간소화된다. 12단계의 절차는 분석목적의 규정, 분석계획의 수립, 사업특성의 규정, 분석방법 결정, 기초자료 인식 및 가정 수립, 자료수집, 점 추정(point estimate) 결과 도출, 민감도 분석, 위험 및 불확실성 분석, 결과 문서화, 보고 및 승인, 집행 후 갱신 등이다. 이 중 집행 후 갱신은 예비타당성조사가 사전 분석임을 고려할 때 불필요한 절차이며, 민감도 분석이나 위험 및 불확실성 분석은 이를 수행할 수 있을 정도로 비용추정법이 성숙되어 있지 않다는 한계가 있다.

비용추정의 실질적인 작업은 원가 변화의 결정, 과제별 원가추정방법론 결정, 분석결과 도출로 요약할 수 있다. 다만 연구개발사업의 비정형성으로 인해 비용추정의 분류체계를 획일적으로 적용하기 어렵다. 따라서 비용분류체계를 결정하는 작업이

예비타당성조사의 비용추정에 포함되기도 하는데 이는 아래 그림과 같다.



Fig. 1.5.2 R&D사업의 비용추정절차

④ R&D사업의 비용분석방안

연구개발사업 예비타당성조사에서 신뢰성 있고 표준화된 비용추정결과를 도출하기 위하여 비용추정에서 준수하여야 할 대원칙은 이하 정리된 표와 같이 요약되는데 본 과제에서도 이를 준용하되 여건에 따라 조정하도록 한다.

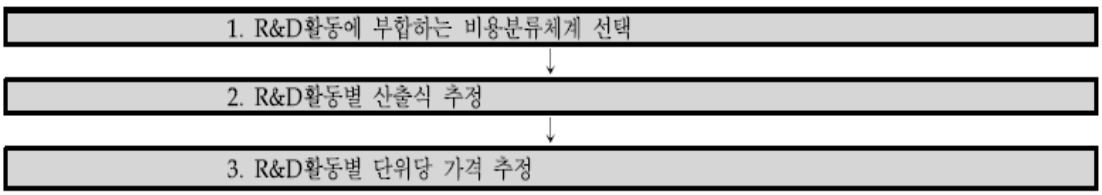


Fig. 1.5.3 세부 R&D활동별 원가추정절차

Table 1.5.4 R&D사업 예비타당성 조사의 비용분석을 위한 원칙

번호	내용
1	R&D사업 특성에 맞는 비용분류체계를 사용하여야 한다.
2	비용분석은 주관부처에서 제출한 제출안(원가계산서에 근거한)과 예비타당성조사 연구진이 분석한 검토안을 비교하여 제시하는 것을 원칙으로 한다.
3	예비타당성조사 연구진이 비용추정을 위해서는 물량규모(과제의 규모, 참여인력의 질/규모, 장비 사양/수량, 개발 사양/수량 등)에 대한 확정이 전제되어야 한다.
	예비타당성조사 연구진은 기술적 타당성과 정책적 타당성의 분석 결과, 이슈가 존재하여 예비타당성조사에서 물량규모를 확정할 수 없는 경우에는 구체적인 비용추정을 생략하고 해당부분에 이슈가 존재함으로 표시할 수 있다.
	예비타당성조사에서 물량규모를 확정할 수 없는 경우, 예외적으로 예비타당성조사 연구진에 의한 최적규모 도출이 가능한 경우에는 연구진이 분석한 최적안을 검토안에 제시할 수 있다.
4	비용추정은 비용분류체계를 구성하는 가장 하부 구성요소(세분류)를 기준으로 실시한다.
	비용분류체계를 구성하는 가장 하부 구성요소는 주관부처에서 제출한 원가계산서와 연계되어야 하며, 제출된 원가계산서의 구체화 정도에 맞추어 비용분석을 수행한다.(원가계산서가 없을 경우, 비용산정 근거 없음으로 처리할 수 있다.)
5	비용추정방법에 있어서 적용 가능한 규정이 존재할 때에는 관련 규정을 적용한다.
	관련 규정을 적용하기 곤란할 때에는 연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침에서 제시하는 추정방법론 중 적용가능하고 신뢰성 높은 방법론을 적용한다.
6	단위당 가격기준의 신뢰성 정도는 국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행규칙 제7조의 우선순위와 같으며, 비용추정은 신뢰성의 우선순위에 따라 적용한다.
7	총비용은 경제적 타당성 분석이 수행되는 기간의 수명주기비용의 관점에서 분석하여야 한다.
	이전지출(제세공과금 등)은 경제적 타당성 분석 총비용에서 제외되어야 한다.

(3)편익추정

① 국가R&D사업 편익

경제적 타당성 평가는 공공투자사업의 시행여부 판단에 있어서 사업을 시행할 경우에 발생하는 편익을 사업이 추진되지 않는 경우와 비교하는 것이다. 그러므로 사업 전후(before and after)가 아닌 유무(with and without) 비교를 통하여 사회후생적 차원에서 그 차이를 분석하는 것이 주목적이다. 연구개발 사업의 예비타당성조사는 비용과 편익을 고려하여 보다 큰 규모의 편익을 얻을 수 있는 방안을 선택한다는 후

생경제학에 이론적 기반을 두고 있으므로, 비용과 편익은 그 자체만으로 사회적 가치 창출로 간주하기 때문에 이를 구체적으로 누구에게 귀속되는가에 대해서는 관심을 두지 않는다. 즉 이는 순편익의 발생이란 사업으로 인한 국민의 후생 개선이 사업으로 인한 손실을 보상하고도 남을 경우를 의미한다.

예비타당성조사 일반지침에 따르면 편익[1] 여러 유형으로 분류될 수 있다. 첫 번째 분류는 실질적인(real) 편익과 금전적인(pecuniary) 편익의 구분이다. 실질적인 편익은 공공사업에 의해 발생한 진정한 편익으로, 국민생산 또는 사회후생의 증가를 통해 국민들이 실제로 받는 혜택을 의미한다. 금전적 편익은 공공사업에 의해 빚어진 화폐적 가격의 변화 때문에 발생한 편익이며, 돈으로 측정될 수 있다는 의미가 아니라 순전히 화폐적 현상에 의한 효과라는 의미로 '실질적' 인 것과 구별되는 개념이다. 예비타당성조사의 편익추정부분에서는 실질적인 편익만을 고려하며, 금전적 편익을 계산에 포함시키면 이중계산 또는 과대계산의 과오를 범하게 될 가능성이 있다. 두 번째 분류는 편익이 내부적(internal)으로 발생하는지 혹은 외부적(external)으로 발생하는지에 따른 구분으로, 어느 쪽이건 실질적인 편익이라면 편익추정 범위에 포함된다. 마지막으로 공공투자사업의 일차적인 목적과 관련된 직접적 편익과 2차적인 목적, 즉 부산물의 성격을 가지고 있는 간접적 편익으로 구분되는데 이는 통상 외부효과로 나타날 수 있다.

한편 일반적인 사업유형별 경제적 편익의 형태는 다음과 같이 3가지로 요약될 수 있다. 첫째, 농업사업 및 제조사업처럼 최종산출물의 형태가 확실하고 이것이 소비자들에게 최종소비재로서 사용될 경우, 이것의 시장가치 중 부가가치가 사업편익이 된다. 둘째, 교통사업이나 공익사업처럼 산출물이 중간재(intermediary goods)의 성격을 강하게 가질 경우 이 산출물에 의해 발생한 비용절감효과(cost-saving effects)가 사업의 편익이 될 수 있다. 셋째, 사회정책사업처럼 산출물이 질적 개념일 경우에는 비용효과분석을 이용하여 편익측정 문제를 해결할 수 있다.

예비타당성 조사의 객관성을 담보하며 분석자의 주관이나 선호에 따라 동일한 사업의 비용대비 편익 비율이 변화하는 것을 방지하고 일관성을 담보하기 위해서는 편익의 범위와 추정 방법을 간단하고 정확하게 규정화할 필요성이 있다. 예비타당성조사의 부문별 지침에는 다양한 편익항목을 제시하고 각 항목별 산출방법에 대해 설명하고 있으며 이와 더불어 편익산출에서 제외되는 항목을 제시함으로써 제도적인 일관성을 기하고 있다.

예비타당성조사에서 고려되는 편익은 재무적 편익이 아닌 경제적 편익이며, 금전적 편익에 해당하는 파급효과이거나, 계량화가 곤란하거나, 측정방법론이 정립되지 않았

1) 여기서의 편익은 효과를 포함한 의미임

거나, 편익의 기준이 부재하거나, 편익의 산정에 논란이 있는 경우에는 제외하고 있다.

Table 1.5.5 예비타당성조사 부문별 편익 항목과 산출방식(예시)

구분	예타 편익 반영	설명
도로·철도	차량운행비용 절감편익 - 사업 시행 전후의 차종별 교통량과 평균속도 차이로부터 산출	통행거리 단축과 통행속도 증가에 따른 고정비(차량감가상각비)와 변동비(유류비, 엔진오일비, 타이어 마모비, 유지관리비) 감가상각비: 속도별 차종별 단위운행 거리 당 비율 값을 제시 유류비: 유류소비량은 차종별 주행속도의 함수, 유류비는 주유소 평균 판매액에서 세금을 제외한 실질가격 엔진오일비, 타이어 마모비, 유지관리비는 차종별 주행 속도별 소모량, 마모율, 유지관리비율
	통행시간 절감편익	업무통행시간가치: 시간당 임금에 인건비성 경비를 더한 비용을 적용 비업무통행시간가치: 업무 통해 시간가치 대비 비율 값을 차종별로 적용 전체 통행을 업무와 비업무로 구분(권역별, 차종별 정보 적용)하여 가치를 산정
	교통사고 감소편익	차종별 통행량의 차이와 도로유형별 사고건수 및 사망자 정보와 사고 1건당, 사상자 1명당 교통사고비용 정보를 적용(고통과 심리적 피해 PGS 포함시킴)
	환경비용 절감편익	오염물질: CO, HC, NOx, PM, CO2 차종별 통행량의 차이와, 오염물질별 단위 거리당 배출량(차종 및 속도별 물리량), 물질별 대기오염비용(단위 질량당 화폐단위)을 적용하여 산출
	주차비용 절감편익(철도)	목적통행에 의한 주차량이 감소되는 양과 주차비를 곱하여 산출
	공사에 따른 부의 편익	공사 중 도심구간 혼잡, 철도완공 후 도로 축소, 통행시간 및 차량 운행비용 증가를 적용

② 편익산정의 원리

연구개발투자가 가져오는 경제적인 수익 또는 효과에 대한 연구들에서는 연구개발투자의 사회적 수익률이라는 개념을 다루고 있다. 이러한 기존 연구들 중에서 Griliches(1958)[2]의 연구는 연구개발투자의 편익을 정의하고 정량적으로 추정되는 것에 대한 내용을 수록하고 있다. Griliches는 연구개발투자로 인하여 발생하는 소비자 잉여의 증가분을 편익으로 정의하며, 이러한 소비자 잉여의 증가분은 연구개발사업으로 인하여 발생한 혁신 또는 기술이 새롭게 형성하는 시장균형(시장규모)을 토대로 정의되었다.

2) Griliches(1958).

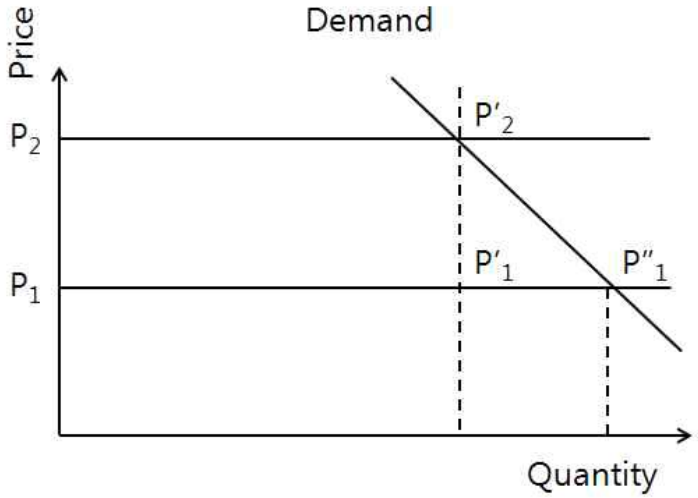


Fig. 1.5.4 Griliches(1958)에서 제시하고 있는
R&D 편익

위 Fig. 1.5.4에서 연구개발사업을 통한 혁신 또는 기술에 의하여 시장의 평균가격이 하락($P_2 \rightarrow P_1$)하게 되며, 평균가격의 하락으로 인하여 새롭게 발생하는 시장균형(P''_1)과 기존의 시장균형(P'_2)의 차이에 의해 소비자 잉여의 증가분이 발생한다. 추가적으로 발생한 소비자 잉여의 증가분은 그림에서 $\square P_2P'_2P''_1P_1$의 넓이이며, 이렇게 증가한 소비자 잉여의 증가분을 연구개발사업의 사회적인 편익으로 정의하고 있다.

한편 Mansfield et al.(1977)[3]의 경우에는 Griliches의 연구에 추가적으로 혁신으로 인하여 발생하는 생산자 잉여를 편익의 범위에 추가시켜 연구개발사업의 편익을 정의하고 추정한다. 또한 Mansfield et al.은 기업은 국가연구개발사업으로 인하여 발생한 혁신과 기술에 의하여 시장 내에서 경쟁력을 얻게 되며, 이를 통하여 생산자 잉여가 발생함을 강조하였다. 혁신을 이용하여 생산자가 획득하는 기술 혹은 제품 단위당 이익은 완전경쟁시장[4]이 아니라는 가정이 있어야만 가능하며, 여기서 언급된 단위당 이익이 생산자 잉여를 결정하는 것으로 정의하였다. 따라서 이렇게 발생한 생산자 잉여를 민간편익(private benefit)이라는 개념으로 전체 편익에 포함하여 추정한다.[5]

---

3) Mansfield et al.(1977).

4) 한계비용과 평균비용이 일치하는 상황의 가격이 시장에 형성됨.

5) Mansfield et al.(1977)이 수익률을 도출하기 위해 설정한 분석:
$C = X \times [\frac{1}{(1+i)^n} + \frac{1}{(1+i)^{n+1}} + \ldots + \frac{1}{(1+i)^k}]$
C: 특정 연도의 연구개발투자, X: 투자로부터 발생하는 연간 편익, i: 연구개발투자에 대한 수익률, n: 편익이 발생하기까지 지연기간, k: 편익이 소멸하는 시점

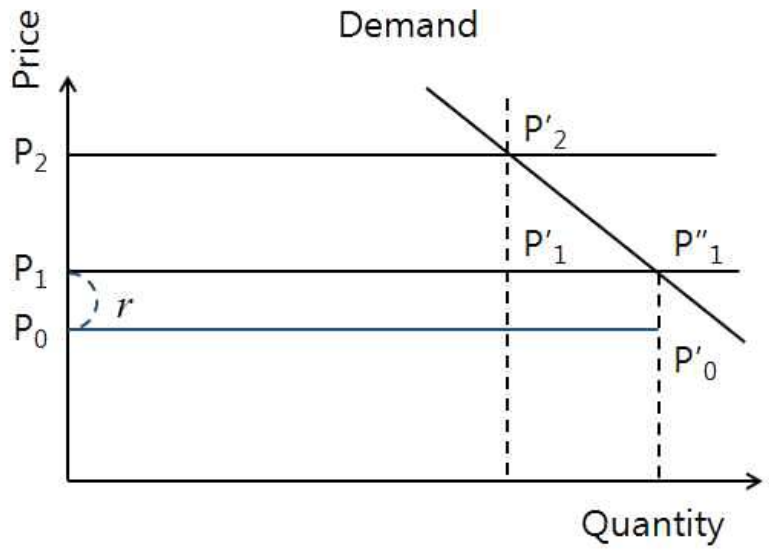


Fig. 1.5.5 Mansfield et al.(1977)에서 제시하고 있는 R&D 편익

위의 Fig. 1.5.5에서와 같이, Mansfield et al.은 Griliches의 소비자 잉여(□$P_2P'_2P''_1P_1$)에 r이라는 단위당 이익의 개념을 추가하여 생산자 잉여(□$P_1P''_1P'_0P_0$)를 정의하고 추정한다.

연구개발사업의 편익에 대한 Griliches와 Mansfield et al.의 미시경제학적 정의 이후에도 국가연구개발투자 편익 범위에 대한 정의는 다양하게 소개되었으며, 연구개발사업을 통해 사회적으로 발생할 수 있는 파급효과까지 포함한 편익의 범위가 소개되기도 하였다. 이와 관련하여 Hall (1995)은 연구개발사업의 효과를 사회적 수입과 사회적 비용의 차이로 정의하고, 사회적 수익은 연구개발투자로 인해 사회에 발생하는 이익으로 정의하였다. 또한 연구개발로 인한 파급효과를 직접적으로 분석한 연구들도 추가적으로 수행되었다(Oxera, 2006; Fogarty et al., 2006). 이 중에서 Griffith et al.(2001)은 OECD International Sectoral Database의 자료를 활용하여 연구개발사업으로 인한 파급효과를 사회적 수익을 추정하기 위한 효과로 제시한 바 있으며, Griffith et al.(2003)은 기업 연구개발사업 설문자료와 연간 생산 자료를 활용하여 영국 제조산업의 생산성에 연구개발사업이 미치는 영향과 이로 인한 파급효과를 분석하였다. 또한 Trajtenberg(1990)는 특허의 인용빈도로 연구개발사업으로 인한 파급효과를 측정하는 방법을 제안하였다.

다양한 연구 중에서 Spender(1996)[6]는 국가연구개발투자사업의 편익을 과학기술 지식, 민간의 수익, 파급효과 등의 세 가지로 구분하여 정의하였다.

Spender가 소개한 국가연구개발투자 편익의 정의는 미국 Advance Technology Program(이하 ATP)[7]에서 적용하고 있는 국가연구개발투자 편익의 정의에 기반이 되었다.

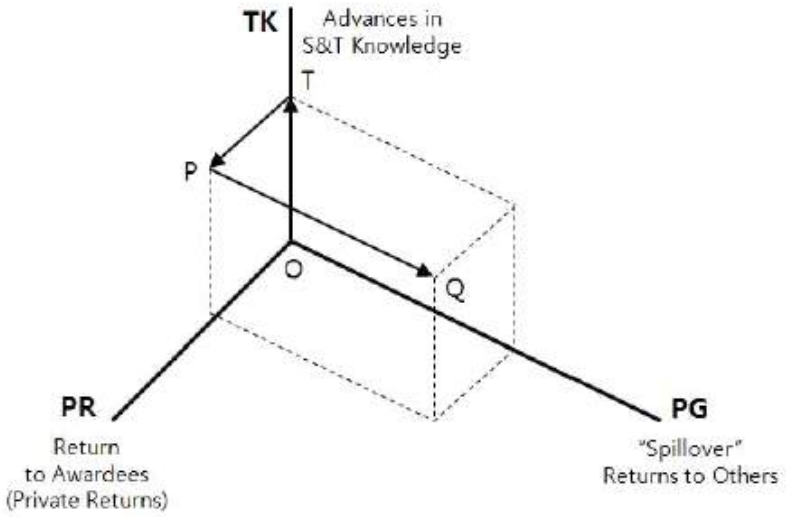


Fig. 1.5.6 Spender에 의해 정의된 국가R&D투자의
편익추정 범위

이상을 정리하면, 미시적인 시각으로 접근한 Griliches와 Mansfield et al.의 연구에서부터 거시적으로 접근한 Spender에 이르기까지 연구개발의 편익은 연구자에 따라 다르게 규정되어 왔다는 사실을 알 수 있다. 하지만 그 주요한 개념은 Griliches, Mansfield et al.과 Spender에서 벗어나지 않는다.

실질적으로 국가연구개발사업의 편익을 추정한 선진사례[8]의 경우 연구개발 추진을 통한 수혜를 파급의 관점[9]에서 지식파급, 시장파급, 네트워크 파급으로 구분하여 설명하고 있다. 지식파급은 지식의 창출자와 사용자가 다른 경우로서 발생방법은 역설계, 발간, 특허공개, 연구자 이동 등의 방식으로 발생한다. 시장파급은 시장 기능에 의해 여타 주체들에게 제품이나 공정상의 편익을 전달해주는 것으로서 추가기능의 구비, 가격의 인하, 저렴한 제품 및 서비스 제공 등의 형태로 발생한다. 네트워크 파급은 신기술이 연관된 기술들의 집합적 기능을 제고함으로

6) Spender(1996).
7) Advanced Technology Program(ATP): 미국 상무부(US Department of Commerce) 산하의 비규제기관인 미국 국립표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology, 이하 NIST)에서 운영하는 산업분야의 연구개발지원 프로그램.
8) 미국 ATP의 경제성 분석(Jaffe, 2004; Powell, 2006; Tassey, 2003).
9) Spender(1996)가 제시한 국가연구개발의 편익 범위를 기반으로 구성되었음.

가치를 갖게 되는 경우에 해당되는데 단일 기술이 다수 기술들의 조합을 통해 향상된 기능이 제공될 경우에 발생한다.

세 가지 파급 중에서 시장파급은 시장정보를 통해 계측이 가능하고 화폐단위로서 표현할 수 있으며 비용편익분석을 통해 결과를 얻을 수 있으며, 지식파급은 계측은 일부 가능하지만 화폐단위로 표현하기 어렵고 네트워크 파급은 계측이 불가능하다는 특징이 있다. 예비타당성조사의 편익반영에서 중요한 기준은 객관적인 계량화의 용이성이므로 시장파급은 비용편익분석, 지식파급은 비용효과분석으로 경제적 타당성 평가에 반영하는 것을 원칙으로 한다. 또한 경제적 타당성 평가에는 사업기간 중의 비용과 편익이 아닌 실질적인 사업수행에 소요되는 총비용과 사업수행을 통하여 발생하는 순편익을 반영한다. 다만, 사업 이후 추가 비용추정을 위한 객관적인 자료가 없을 때에는 부득이하게 사업에 의한 산출물의 기여부분[10]만을 편익추정에 고려할 수 있다.

Table 1.5.6 연구개발활동 파급 분류와 예비타당성조사 반영 여부

구분	정의 및 특성	예비타당성조사 반영 여부
지식 파급 (knowledge spillovers)	● 지식의 창출자와 사용자가 다른 경우 발생 ● 역설계 발간, 특허공개, 연구가 이동 등을 통해 발생 ● 계측 가능 ● 화폐환산 불가	● 사업 목표와 직접적으로 연결되고 객관적 산출이 가능할 경우 경제적 타당성의 효과분석에 반영
시장 파급 (Market spillovers)	● 시장 기능에 의해 여타 주체들에게 제품이나 공정상의 편익을 전달해주는 것 ● 추가기능의 구비, 가격의 인하, 저렴한 제품 및 서비스 제공 등으로 발생 ● 계측 가능 ● 화폐환산 가능	● 사업 목표와 직접적으로 연결되고 객관적 산출이 가능할 경우 경제적 타당성의 편익분석에 반영
네트워크 파급 (Network spillovers)	● 관련기술들의 집적을 통해 기능 향상을 도출됨. ● 각각 기술들의 개발 주체가 분산되어 있어서 개별 주체별로 투자를 망설임 ● 계측 불가 ● 화폐환산 불가	● 경제적 타당성에서 미반영 ● 정책적 타당성 특수평가에서 반영 가능

10) 새롭게 창출된 부가가치 중에서 분석대상 연구개발이 기여한 정도를 비용편익분석 시 R&D기여율로 고려하는 것이 권고됨.

Table 1.5.7 연구개발부문 예비타당성조사 편익 항목

구분	예비타당성조사 비용편익분석 시 편익 반영	예비타당성조사 비용편익분석 시 편익 미반영	
정(+)의 가치 증가	● 부가가치 증대 - 신기술 적용을 통한 생산량 증가 ● 기술거래 - 기술이전에 의한 로열티 수입	● 과학기술 지식(논문, 특허 등)† ● 국민의 과학기술 이해도 향상 ● 과학기술자의 교육훈련 ● 국가위상의 제고 ● 지역개발효과 ● 시장권의 확대	● 지역산업구조 개편 ● 생산유발효과 ● 부가가치 유발효과 ● 고용유발효과 ● 수입유발효과 ● 수출유발효과 ● 소득분배효과 ● 취업유발효과
부(-)의 가치 감소	● 비용 절감 - 생산투입 자원 및 시간의 절감 - 연구기간, 출장회수 등의 연구수행 비용 절감 - 물류비용 절감 ● 피해 비용 감소 - 자연재해로 인한 피해 감소 ● 질병비용절감‡ ● 환경비용절감‡		

† 논문이나 특허는 비용효과분석으로 반영할 수 있음.
‡ 질병비용절감과 환경비용절감은 사업이 기여한 부분만의 산출과 이중계산 배제에 제약이 있을 경우 비용편익분석이 아닌 비용효과분석으로 수행.

③ 편익의 추정방법

재화와 서비스에 대한 경제적 가치는 사람들이 원하는 것으로부터 얻는 만족감의 정도, 즉 선호(preferences)와 선택(choices)에 기초한다. 공공투자사업의 편익 추정을 위해서는 재화나 서비스가 직접적이든 간접적이든 시장 수요의 추정이 필수적이다. 이러한 시장 수요의 추정에 의한 편익추정을 시장수요접근법(market demand approach)이라고 하며 개인들의 재화나 서비스에 대한 선호가 시장에서 구매행동에 현시되어 화폐단위로 측정할 수 있다는 점이 장점이다.

직접적인 시장자료가 없다면 비시장재화와 연관이 있는 대리시장(surrogate market)을 찾아서 간접적인 시장을 분석해내는 현시선호접근법(revealed reference approach)을 적용할 수 있다. 대리시장의 정보 확보에 제약이 있을 경우 가상의 시장을 설정하여 선호도를 조사하는 진술선호접근법을 적용한다. 이러한 행태적 연계의 방법과는 별도로 물리적 연계의 방식을 적용할 수 있는데 손해함수접근법, 대체비용접근법, 비용절감 접근법 등의 측정 방법이 적용된다.

편익을 추정하는데 시간, 비용, 자료 등의 제약이 있을 경우에는 대용가능한 간편법

을 사용할 수 있으며, 이런 경우에는 국내외 분석사례를 참고하여 해당 상황에 맞게 조정하는 편익이전(benefit transfer)작업을 해야 한다. 편익이전도 어려울 경우에는 대체비용 접근법[11]을 이용하여 구한 값을 편익의 대용값으로 삼는 것을 고려할 수 있으나 근거자료로서의 객관성은 경제학적 추정방법에 비해 낮아지며 왜곡된 결과를 초래할 수 있으므로 주의가 필요하다.

기술개발을 통해 시간을 단축시킬 경우 노동시장을 대리시장으로 정하여 단축된 시간을 업무에 사용하여 생산성을 증가시킬 수 있는 것으로 보아 한계생산성인 시간당 임금률을 사용할 수 있다.[12] 또한 개발된 기술을 활용하여 일산화탄소나 미세먼지와 같은 대기오염물질을 배출을 감소시키고, 이로 인해 개인들의 호흡기 질환이나 조기사망 감소로 연결될 수 있으며 이를 환경피해비용감소로 추정한다. 이는 물리적 변화가 건강이나 생산량의 변화에 미치는 영향을 금전적 가치로 환산하므로 피해함수 접근법(damage function approach)의 일종이다. 환경오염으로 인한 피해를 사후에 원상회복하기 위한 비용을 측정하고 이 비용을 환경개선편익으로 간주하는 대체비용 접근법의 적용도 가능하다. 사고나 재해로 인한 손실규모를 추정하여 편익으로 적용하는 손실비용접근법을 적용할 수 있다. 단, 인간생명의 가치추정의 경우 특성가격접근법, 보상임금접근법, 회피행동접근법 등의 현시선호접근법과 진술선호접근법을 활용하여 산출된 연구결과들이 있는데 진술선호접근법에 의해 추정된 편익과 현시선호접근법에 의해 추정된 편익을 합산하는 경우에는 이중계산의 우려가 있으므로 주의를 요한다. 각각의 방법을 통해 산출된 편익의 합산에 대한 문제보다 선행되어 고민해야할 사항은 진술선호접근법을 통해 편익을 산출할 경우 응답자에게 연구개발사업을 통해 기술이 개발된다는 점을 충분히 주지시켜야 한다는 점이다. 가령 국민건강 개선에 기여할 수 있는 기술개발사업의 경우 응답자에게 사업의 성격을 충분히 주지시킬 없는 경우 국민건강을 직접적으로 개선하는 실무형 사업과 연구개발사업과의 구분이 모호해짐으로써 과대추정의 가능성이 있으며 사업 시행의 경우와 미시행의 경우에 대한 구체적이고 적절한 인지가 없을 경우 왜곡된 결과가 도출된다.

이렇듯 국가연구개발사업과 같은 공공투자사업의 편익은 공공재의 성격을 띠고 있거나 외부효과가 커서 시장에서 거래되지 않는 비시장재(non-marketed goods)가 많고 이러한 경우에 적용하기 위한 다양한 법론들이 개발되어왔다.

---

11) 연구장비의 편익을 추정하는 경우 외국 연구장비를 사용할 때 지불하는 비용, 연구센터의 편익을 추정할 때 해외 연구센터를 이용할 때 소요되는 비용 등.

12) 단축된 시간이 업무가 아닌 여가시간으로 활용될 수 있으며 이 경우 임금대비 할인/할증에 대한 논란이 있음.

Table 1.5.8 편익 추정방법의 분류

구분		가치측정방법	비고
물리적 연계		손해함수접근법(damage function approach) 대체비용접근법(Replacement cost approach) 비용절감접근법(Cost of Savings Approach)	소비자선택이론에 근거하지 않음
행태적 연계	시장	시장수요접근법(market demand approach)	
	현시선호접근법	여행비용접근법(Travel cost approach) 특성가격접근법(Hedonic price approach) 회피행위접근법(Averting Behavior approach)	간접적 대리시장을 활용함 선호되는 접근법 시장에서의 거래행위 관찰 사후적 평가법
	진술선호접근법	조건부가치접근법(contingent Valuation method) 조건부순위접근법(contingent ranking method) 조건부행위접근법(contingent behavior method)	현시선호접근법의 적용이 어려운 경우 보완적 적용 가상적 시장 이용 사전적 평가법
	편익이전	가치이전, 함수이전, 메타분석	

편익분석에서 주의할 점은 금전적인 편익과는 구분되는 실질적인 편익만을 고려한다는 것이다. 여기서 금전적이라는 용어는 화폐로 측정될 수 있다는 의미가 아니라 순전히 화폐적 현상에 의한 것으로 실질적인 것과 구별되는 개념이다. 가령 국가연구개발사업을 진행하여 참여자의 임금이 상승하게 될 경우 참여자 입장에서는 이익이지만 이러한 상승 때문에 정부가 재원조달을 위해 타 부문에 고율의 세금을 부과하게 되어 생산을 위축하고 임금하락으로 이어진다. 결국 이러한 임금의 상승은 타 부문에서 임금하락으로 상쇄되어 국가 전체로 보아서는 이득이 없으므로 생산성과 관련이 없다면 금전적 편익에 불과하고 사회 전체의 입장에서 과대편익계산의 우를 범하게 된다. 이처럼 국가사업을 통해 한 부문의 편익이 다른 부문으로 이전될 경우에는 증가와 감소가 상쇄되므로 편익분석에 반영시켜서는 안 되며 직접적 편익과 간접적 편익의 계산에 있어서도 금전적인 성격을 갖는 부분을 배제함으로써 이중계산이나 과대계산의 오류를 피해야 한다(김동건, 2008).

도로나 철도와 같은 건설사업에 대한 예비타당성조사에서는 장래 불확실한 계획을 분석에서 제외함으로써 수요예측의 정교함을 확보하려 하나 연구개발사업의 경우 내재된 불확실성의 제외는 어렵다. 또한 연구개발사업의 편익은 기능을 구현하는 유형

의 산출물이 있는 건설사업과 달리 사업 종료 시점 이전부터 발생할 수 있다는 특징이 있다. 기존에 진행되어온 국가연구개발사업들이 사업 종료시점을 미리 설정하지 않고 계속사업으로서 진행될 수 있었던 점이나 추진 중간 단계에 진행과 성과를 근거로 지속이나 예산 규모 조정을 판단할 수 있으며 경우에 따라서는 소규모로 시행하여 그 효과성에 따른 후속 활동을 결정하는 일종의 정책실험(policy experiment)이 용이한 것도 이러한 특성에 기인한다. 따라서 연구개발사업에 대한 편익 추정 결과는 불확실한 정보의 적용과 다수의 가정 적용이 필수적이며 이를 감안하여 최종 결과에 반영하여야 한다.

편익 추정은 편익의 항목과 범위를 세분화해서 추정한 뒤 이를 모두 합산하는 상향식(bottom-up) 접근법과 세분화하지 않고 전체의 관점에서 분석하는 하향식(top-down) 접근법이 있다. 상향식 접근법과 하향식 접근법을 모두 적용하여 각각 편익을 추정한 후 비교에 의한 조정을 거치는 것이 이상적이나 연구개발사업 예비타당성조사에서는 우선적으로 상향식 접근법을 적용하고 이러한 세분화에 제약이 클 경우 하향식 접근법을 적용한다. 어떠한 경우에도 편익 추정과정에 적용되는 가정, 즉 회임기간으로 인한 투입과 편익 발생시점의 차이, 편익 발생 기간, 편익의 범위, 편익 수혜 집단의 범위 등 불확실한 사항의 적절한 처리를 위한 모형 및 가정의 적용이 필요하다.

연구개발 시설의 경우 사용료의 개념이 적용될 수 있으나 사용자의 지불의사액에 입각하여 책정되어야 한다. 객단가의 추정을 위해 시설의 성격과 건립목적 검토, 국내외 유사시설의 분석자료 활용, 입지할 지역의 여건 등을 고려해야 한다. 이러한 객단가는 정책이나 경영 관점에서 산출된 금액이 아니고 이용자의 지불의사액이 반영되어야 한다. 해외 자료를 활용할 경우 국가의 소득규모, 국민의 선호도 차이, 문화 및 사회적 여건 차이 등을 반영해야 국내자료와의 비교분석이 가능하다.

사업의 편익 분석에 있어서 기본적으로 고려되는 직접적 편익은 연구개발사업에서 당초 제시한 목표와 관련된 편익을 의미한다. 이것의 간접적 편익은 부산물의 성격을 지니고 있음으로 인해 중요도에 있어서 직접적 편익보다 낮다는 것을 의미하는 것은 아니며, 구체적인 사안에 따라 연구진의 판단으로 반영여부를 결정할 수 있다. 단 간접적 편익의 추정에 있어서 직접적 편익과 이중계산의 문제가 발생하지 않도록 적절한 통제가 필수적이며, 간접적 편익의 달성을 위해 추가적으로 투입되어야 하는 비용을 산정하여 총비용에 합산하는 작업이 필요하다.

(4) 경제성 분석

① 편익 및 비용의 현재가치 추정방법

㈎비용-편익비(B.C Ratio)

비용-편익비의 산정식은 다음과 같다.

$$\text{비용·편익비(B/C비율)} = \sum_{n}^{N} BPV_n / \sum_{m}^{M} CPV_m = TBPV / TCPV$$

여기서, $BPVn$: n항목 편익의 현재가치

$CPVm$: m항목 비용의 현재가치

n,N : 편익 항목의 종류

m,M : 비용 항목의 종류

위의 식에 적용되는 각 편익항목 및 비용항목의 현재가치 산정식은 다음과 같이 산정한다.

$$BPV_n = \sum_{t=0}^{T} \frac{B_{nt}}{(1+r)^t}$$

여기서, $BPVn$: n항목 편익의 현재가치,

T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

Bnt : 기준 연차로부터 t년째의 n항목의 편익

r : 사회적 할인율, n : 편익의 종류

$$CPV_n = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_{nt}}{(1+r)^t}$$

여기서, $CPVn$: n항목의 비용의 현재가치

T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

Cnt : 기준 연차로부터 t년째의 n항목의 비용

r : 사회적 할인율, n : 비용의 종류

㈏순현재가치(NPV)

순현재가치(NPV)의 산정식은 다음과 같다.

$$\text{순현재가치(NPV)} = \sum_{t=0}^{T} \frac{\sum_{i=n}^{N} B_{it} - \sum_{j=m}^{M} C_{jt}}{(1+r)^t}$$

여기서, Bit : i항목의 t연도 편익

Cjt : j항목의 t연도 비용

n,N : 편익 항목의 종류

m,M : 비용 항목의 종류

T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

㈐내부수익률(IRR)

일반적으로 공공교통시설 개발사업의 경우 비용이 평가대상 기간의 초기에 집중되고 편익이 시설 완성 후와 평가대상 기간 내에 지속적으로 발생한다.

경제적 내부수익률이 크다는 것은 미래의 편익을 낮게 평가함에도 불구하고 사업의 효과가 있다는 것을 의미하는 것이므로 경제적 내부수익률이 큰 공공교통시설 개발사업은 우량한 사업이라 할 수 있으며, 산정식은 다음과 같다.

$$\text{내부수익률(IRR)} = \sum_{t=0}^{T} \frac{\sum_{i=n}^{N} B_{it} - \sum_{j=m}^{M} C_{jt}}{(1+ir)^t} = 0$$

여기서, Bit : i항목의 t연도 편익

Cjt : j항목의 t연도 비용

n,N : 편익 항목의 종류

m,M : 비용 항목의 종류

T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

ir : 내부수익률

② 투자사업의 채택기준

■ 비용-편익비(B/C Ratio)

비용-편익비가 1.0을 초과할 경우 대상 공공교통시설 개발사업은 사회적으로 가치가 있다고 판단되어 채택할 수 있으나, 편익과 비용의 추정에 어느 정도 불확실성이 포함되어 있기 때문에 민감도 분석에서 대부분의 경우에 비용-편익비가 1.0 이상이 되는 사업을 채택하도록 한다.

■ 순현재가치(NPV)

순현재가치(NPV)는 교통시설에 대한 투자를 통해 얻을 수 있는 효과의 대소를 나

타내므로 순현재가치가 정의 값(+)일 때는 대상 투자사업이 사회적으로 실시할 가치가 있다고 판단한다.

이 지표를 우선 순위 판단에 적용할 경우 큰 규모의 사업에 우선 순위가 주어지는 문제가 있으므로 이 지표는 참고 자료로만 사용하도록 한다.

각 대안의 검토에 있어서 순현재가치가 큰 것이 사회적으로 우선 순위가 높다고 판단한다.

■ 내부수익률(IRR)

일반적으로 비용-편익비와 경제적 순현재가치가 사업의 채택조건을 충족시킨다고 할 때 경제적 내부수익률은 사회적 할인율 보다 높은 값을 가지며, 이 값이 채택기준이 된다.

내부수익률 수준이 사회적 할인율보다 큰 경우에는 해당사업의 타당성이 존재하는 것으로 판단한다.

③ 투자사업의 최종선택

개별사업의 타당성 평가기준은 원칙적으로 경제적 타당성 분석결과를 이용하여야 한다.

경제적 타당성은 비용-편익비(B/C Ratio)를 기준으로 평가하되, 분석가의 판단 하에 순현재가치(NPV), 내부수익율(IRR) 등도 종합적으로 고려하여 결정할 수 있다. 단, 예외적으로 국가기간교통망계획 및 중기교통시설투자계획에 포함된 사업인 경우, 해당 사업의 경제적 타당성이 낮은 것으로 분석되었더라도 그 사유를 명시하고 네트워크 효과, 지역균형발전, 환경영향 등 정책적 분석결과를 참고적으로 고려하여 사업의 추진여부를 결정할 수 있다.

개별사업의 정책적 분석은 '제7장 종합평가방법, 제2절 정책적 고려항목' 에서 제시하는 환경영향평가, 지역경제 파급효과, 지역균형발전지표 등의 정책적 고려항목을 이용하여 분석한다.

④ 편익추정

■ 편익항목

본 사업에 의해 개발된 광역철도 2층 열차 기술이 국내 철도에 구축되기 위해서는 광역철도 2층 열차에 대한 수요에 관한 연구가 선행되어야 하며, 따라서 광역철도 2층 열차 기술 개발 완료 후 시스템 구축이 이루어지는 경우의 편익에 대한 경제성 분석이 이루어질 필요가 있다. 이에, 본 연구에서는 추진하는 열차제어 · 무선통신 시

스템의 구축 시에 발생하는 추가적인 편익을 추정한다.

추가되는 편익 항목으로는 철도의 수송용량증대에 따른 편익, 사고예방에 따른 편익, 정시성 향상에 따른 편익, 시설투자 및 운영비용 절감 편익, IT서비스 제공에 따른 편익을 산정하고 각 항목별 세부 항목을 설정하였다.

Table 1.5.9 광역철도 2층 열차 도입을 위한 편익 항목 구성

편익 항목	세부 항목
철도의 수송용량 증대에 따른 편익	철도 수송용량 증대에 따른 타수단 이용자의 통행시간 절감편익
	철도 수송용량 증대에 따른 타수단 이용자의 운행비용 절감편익
	환경비용 절감편익
사고예방에 따른 편익	철도 인적사고 절감편익
	철도 물적사고 절감편익
정시성 향상에 따른 신뢰성 증가 편익	정시성 향상에 따른 신뢰성 증가 편익

■ 철도 수송용량 증대에 따른 편익

-개요

본 연구에서는 수송용량이 증대되어 열차가 증편되어 첨두시 등 열차 이용자가 증가하면서 타수단(도로교통) 이용자의 수가 감소함에 따라 통행속도가 증가함으로 타수단 이용자의 시간절감 편익, 타수단 이용자의 운행비용 절감편익, 환경비용 절감 편익을 철도 수송용량 증대에 따른 편익으로 산출된다.

철도로의 수단전환에 의한 교통수요 분석에는 국가교통DB센터에서 제공하는 수도권 및 광역권 기종점통행량과 분석용 네트워크를 사용하여 범용적으로 사용하고 있는 종합 교통계획 분석모형인 EMME/3를 이용하여 분석을 수행하도록 한다.

-철도 수송용량 증대에 따른 타수단 이용자의 통행시간절감 편익

철도의 수송용량이 증대되고 열차 이용자가 증가하면 타수단인 승용차, 버스 등 도로교통수단의 이용자의 수가 저감되므로 기존 도로상에서 교통량이 감소하면 혼잡 등이 저감되고 통행속도가 증가하므로 이용자의 통행시간 및 그 비용이 감소되는 효과가 발생한다.

선로용량은 여러 가지 시나리오를 가정하여 증가하는 것으로 가정하되 이는 본

연구개발 사업의 특성을 고려하여 하도록한다. 하지만 승객요구가 많고 열차가 이미 많은 지역에서 추가로 열차를 증편하기 쉽지 않고, 또 일부 지역에서는 수요가 크지 않아 증편에 대한 요구가 크지 않을 경우도 있을 수 있으므로, 증가된 선로용량만큼 철도이용자의 수가 증가할 것으로 예상하는 것은 기술개발의 여건과 상황을 고려하여 반영 여부를 결정하도록 한다.

따라서 본 연구에서는 수송용량 증대에 따른 철도로의 수단 전환량이 변동할 수 있는 것으로 볼 수는 있으나 객차의 용량이 기존에 비해 어느 정도 증가하느냐에 있으므로 이는 향후 개발될 객차를 근간으로 하도록한다. 다만 기존의 객차에 비해 용량 증분이 비관적인 상황에서는 철도로의 수단 전환량이 수송용량 증가의 10%, 중립적인 상황에서는 철도로의 수단 전환량이 수송용량 증가량의 20%, 낙관적인 상황에서는 수송용량 증가량의 30% 수준으로 감안한 대안을 수립하여 분석하도록 한다.

본 연구에서는 광역철도 2층 열차의 운행연장의 연차별 비율을 연차별 시스템 구축비율로 보고, 연차별 시스템 구축 정도를 반영한 편익을 산출하도록 한다. 광역철도 2층 열차는 도입년도부터 선로의 설치나 운행구간에 따라 해당연도의 시스템 구축비율은 다음해의 편익 산정에 적용되는 것으로 계산하도록 한다.

Table 1.5.10 타 수단 이용자 통행시간절감 편익 산정

구분	내역
철도 수송용량 증대	10%(비관적 상황) 20%(중립적 상황) 30%(낙관적 상황)
철도로의 수단 전환율	10%(비관적 상황) 20%(중립적 상황) 30%(낙관적 상황)
연차별 시스템 구축비율	0~1(2018~2027)
도출방안	(사업시행전 타수단(도로) 이용자 총통행시간) - 사업시행후 타수단(도로) 이용자 총통행시간)

본 연구에서는 통행시간가치 산출에 「교통시설투자평가지침(제4판)」에서 제시하는 전국권 통행목적별 시간가치, 권역별·차종별 재차인원을 적용하였으며, 그 값은 아래 표와 같다.

Table 1.5.11 차량 1대당 평균 통행시간가치(전국권)

구분	승용차		버스		화물차		철도(1인당)	
	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무
재차인원(인)	0.44	1.11	2.35	7.63	1.00	0.00	0.13	0.87
시간가치(원)	18,626	6,01	10,288(1인) 18,626(1.35인)	3,036	16,571	-	18,626	3,729
시간가치(원/대·시)	8,245	6,744	35,401	23,161	16,571		2,341	3,260
평균 시간가치(원/대)	14,990		58,561		16,571		5,602	

자료 : 교통시설 투자평가지침(제4판), 국토해양부, 2011

-철도 수송용량 증대에 따른 도로교통 이용자의 운행비용 절감편익

전술한 바와 같이 철도의 수송용량이 증대되고 열차 이용자가 증가하면 승용차, 버스 등 도로교통수단의 이용자의 수의 감소로 도로용량의 확보로 통행속도가 증가하고, 이에 따라 이용자의 차량운행비용이 감소되는 효과가 발생한다.

도로교통 이용자의 운행비용절감 편익에 대해서는 도로교통 이용자의 통행시간절감 편익 산정에서와 마찬가지로 수송능력 증대에 따른 철도로의 교통수단 전환량이 변동할 수 있다고 볼 수 있으며, 중립적인 상황에서는 철도로의 교통수단 전환량이 수송용량 증가량의 20%, 낙관적인 상황에서는 수송용량 증가량의 30%, 비관적인 상황에서는 수송용량 증가량의 10% 수준에서 이루어질 것으로 가정할 수 있다.

광역철도 2층 열차는 도입년도부터 설치가 시작되므로 도로 교통으로의 수단전환을 통한 도로 교통수단 이용자의 시간절감 편익은 그 다음 해부터 발생하는 것으로 가정하도록 한다. 또한, 광역철도 2층 열차의 도입연장의 연차별 비율을 연차별 시스템 구축비율로 보고, 연차별 시스템 구축 정도를 반영한 편익 산출이 필요하다.

Table 1.5.12 도로교통수단 이용자 운행비용절감 편익 산정

구분	내역
철도 수송용량 증대	10%(비관적 상황) 20%(중립적 상황) 30%(낙관적 상황)
철도로의 수단 전환율	10%(비관적 상황) 20%(중립적 상황) 30%(낙관적 상황)
연차별 시스템 구축비율	0~1(2018~2027)
도출방안	(사업시행전 타수단(도로) 이용자 총통행시간) - 사업시행후 타수단(도로) 이용자 총통행시간)

차량운행비용은 통상 고정비와 변동비로 구분되며, 이 중 고정비는 차량의 감가상각비, 보험료 및 제세공과금으로 구성되고, 변동비는 유류비, 엔진오일비, 타이어 마모비, 유지관리비 등으로 구성된다. 이 가운데 제세공과금은 단순한 이전지출로서 경제적 비용이 아니고, 보험료는 교통사고의 발생가능성에 대비한 비용으로 차량운행비용 절감편익에서는 제외한다.

본 연구에서는 통행시간가치 산출에 「철도시설 투자평가지침(제4판)」에서 제시하는 차종별·속도별 차량운행비용을 편익 산정에 적용하며, 그 값은 아래 표와 같다.

Table 1.5.13 차종별 · 속도별 차량운행비용

(단위 : 원/km)

차종	속도	유류비	엔진 오일비	타이어 마모비	유지 관리비	감가 상각비	합계
승용차	10	86.33	8.76	0.6	10.12	263.13	368.94
	20	52.05	7.29	1.11	11.95	224.26	296.65
	30	44.28	6.33	1.7	14.16	191.38	257.85
	40	39.99	5.34	2.49	14.7	161.46	223.98
	50	40.85	5.34	3.15	16.55	137.54	203.45
	60	42.4	5.34	4.01	17.47	124.08	193.32
	70	44.74	5.34	4.95	18.38	113.62	187.04
	80	45.84	4.87	5.97	20.23	101.66	178.6
	90	49.86	4.38	7.26	20.77	94.19	176.48
	100	53.76	5.34	8.64	22.06	87.61	177.41
	110	58.16	6.81	10.51	24.46	80.14	180.08
	120	65.21	10.21	12.48	26.67	70.87	185.43
소형 버스	10	102.89	8.9	0.47	10.16	614.51	736.92
	20	67.94	8.05	0.86	11.47	507.65	595.97
	30	53.03	7.21	1.39	12.64	416.81	491.06
	40	51.45	6.35	1.93	13.03	347.34	420.1
	50	43.2	6.35	2.49	14.33	299.24	365.59
	60	46.96	5.93	3.09	14.98	264.51	335.49
	70	49.64	5.51	3.86	15.64	237.79	312.44
	80	51.45	5.1	4.72	16.94	213.76	291.95
	90	56.42	4.67	5.71	18.64	196.12	281.56
	100	60.34	4.67	6.8	20.06	181.69	273.54
	110	67.94	5.1	8.26	21.76	165.66	268.71
	120	76.06	5.93	10.05	23.44	152.3	267.78
대형 버스	10	249.88	17.41	1.23	15.77	381.53	665.83
	20	174.91	14.86	1.98	18.1	332.3	542.16
	30	114.7	12.71	2.91	20.19	270.76	421.25
	40	83.3	11.61	4.05	20.88	221.53	341.38
	50	78.62	10.53	5.43	23.89	188.3	306.76
	60	81.36	9.8	7.04	26.67	166.15	291.02
	70	92.06	9.06	8.89	27.84	151.38	289.21
	80	102.87	8.34	11.33	32.48	135.37	290.4
	90	114.7	9.43	14.16	35.5	119.38	293.15
	100	132.02	11.25	17.52	37.8	107.07	305.68
	110	155.47	13.78	21.28	40.13	97.23	327.88
소형 트럭	10	101.41	9.42	0.7	14.31	275.84	401.68
	20	67.92	8.52	1.28	16.13	227.87	321.74
	30	52.61	7.62	2.09	17.78	187.1	267.23
	40	49.97	6.73	2.91	18.35	155.92	233.86
	50	56.41	6.73	3.73	20.18	134.31	221.37
	60	64.78	6.28	4.68	21.09	118.73	215.56
	70	78.62	5.84	5.84	22	106.74	219.02
	80	107.65	5.39	7.12	23.85	95.95	239.94
	90	112.84	4.94	8.63	26.23	88.04	240.66
	100	134.56	4.94	10.27	28.25	81.54	259.55
중형 트럭	10	101.41	12.93	2.65	30.96	391.23	539.17
	20	67.92	11.68	4.19	32.99	331.04	447.8
	30	52.61	10.42	5.95	35.02	290.91	394.91
	40	49.97	9.17	8.15	37.22	245.77	350.28
	50	56.41	8.34	10.79	41.1	215.67	332.33
	60	64.78	7.51	13.42	43.98	193.09	322.79
	70	78.62	7.09	16.28	49.4	175.55	326.93
	80	107.65	6.25	20.24	54.14	160.5	348.77
	90	112.84	7.09	24.21	60.05	146.97	351.15
	100	134.56	7.94	29.04	64.29	136.93	372.74
대형 트럭	10	318.01	15.77	3.12	36.93	359.71	733.55
	20	249.88	14.1	5.43	46.65	295.47	611.53
	30	179.39	12.08	8.21	55.4	244.08	499.16
	40	132.02	10.75	11.66	58.32	205.55	418.29
	50	127.22	9.9	15.29	61.23	170.86	384.5
	60	142.79	8.9	20.22	68.04	147.74	387.67
	70	162.7	7.88	25.3	68.04	132.32	396.26
	80	189.09	6.55	32.22	77.75	115.62	421.21
	90	225.7	7.05	40.6	90.4	113.06	476.79
	100	269.09	7.88	49.8	100.11	101.49	528.37

자료 : 교통시설 투자평가지침(제4판), 국토해양부, 2011

-철도 수송용량 증대에 따른 환경비용 절감 편익

철도의 수송용량이 증대되고 열차 이용자가 증가하면 승용차, 버스 등 도로교통 수단의 이용자의 수가 감소하게 된다. 도로의 교통량이 감소하면 자동차 운행에 따라 발생하는 대기오염물질의 배출량이 줄어들게 된다.

대기오염비용은 기본적으로 다음 3단계를 거쳐서 산정되는데, 첫째, 자동차 주행으로 인해 발생하는 오염물질별 배출계수를 산정하며, 둘째로, 오염물질별 대기오염비용 원단위를 산출하고, 마지막으로, 사업 시행으로 인한 오염원별, 오염물질 배출량의 변화를 산정하고, 이를 오염물질별 대기오염비용 원단위를 곱하여 화폐가치화 한다.

대기오염비용은 분석대상 사업의 직·간접 영향권 내 연계되는 링크를 대상으로 통행배정작업의 결과로 산출된 주행속도와 교통량을 이용하여 주행속도에 따른 대기오염비용 원단위를 적용하여 산정한다.

환경비용 절감편익에 대해서는 도로교통 이용자의 통행시간 절감편익 및 운행비용 절감편익 산정에서와 마찬가지로 수송능력 증대에 따른 철도로의 교통수단 전환량이 변동할 수 있다고 보고 있으며, 중립적인 상황에서는 철도로의 교통수단 전환량이 수송용량 증가량의 20%, 낙관적인 상황에서는 수송용량 증가량의 30%, 비관적인 상황에서는 수송용량 증가량의 10% 수준에서 이루어질 것으로 가정하였다.

Table 1.5.14 환경비용 절감 편익 산정

구분	내역
철도 수송용량 증대	10%(비관적 상황) 20%(중립적 상황) 30%(낙관적 상황)
철도로의 수단 전환율	10%(비관적 상황) 20%(중립적 상황) 30%(낙관적 상황)
연차별 시스템 구축비율	0~1(2018~2027)
도출방안	(사업시행전 타수단(도로) 이용자 총통행시간) - 사업시행후 타수단(도로) 이용자 총통행시간)

본 연구에서는 통행시간가치 산출에 「교통시설 투자평가지침(제4판)」에서 제시하는 차종별·속도별 차량운행비용을 편익 산정에 적용하였으며, 그 값은 아래 표와 같다.

Table 1.5.15 차종별 · 속도별 대기오염 비용

(단위 : 원/km)

차종	속도	CO	NOx	HC	PM	CO_2	합계
승용차	10	37.85	11.84	7.26	0.00	17.87	74.82
	20	16.70	6.79	2.49	0.00	12.08	38.07
	30	10.35	4.91	1.35	0.00	9.61	26.22
	40	7.36	3.89	0.85	0.00	8.18	20.29
	50	5.66	3.26	0.62	0.00	7.21	16.74
	60	4.57	2.80	0.45	0.00	6.50	14.34
	70	3.81	2.48	0.35	0.00	5.97	12.6
	80	3.26	2.22	0.3	0.00	5.54	11.31
	90	2.84	2.03	0.25	0.00	5.19	10.29
	100	2.49	1.87	0.22	0.00	4.89	9.46
소형 버스	10	9.69	18.78	2.26	6.79	18.63	56.16
	20	6.72	12.57	1.33	4.86	12.78	38.24
	30	5.42	9.93	0.97	3.99	10.32	30.64
	40	4.66	9.09	0.76	3.48	9.04	27.04
	50	4.14	8.40	0.65	3.31	8.21	24.7
	60	3.77	8.31	0.55	3.54	7.86	24.03
	70	3.48	8.82	0.49	3.8	7.98	24.58
	80	3.24	9.94	0.44	4.04	8.56	26.22
	90	3.05	11.69	0.41	4.29	9.6	29.05
	100	2.88	14.03	0.37	4.57	11.16	32.99
대형 버스	10	35.41	75.49	13.11	20.65	23.7	168.36
	20	23.03	49.61	8.37	11.97	18.24	111.22
	30	17.91	38.81	6.43	8.71	13.96	85.81
	40	14.99	32.60	5.33	6.94	10.85	70.71
	50	13.05	28.48	4.61	6.37	8.90	61.41
	60	11.65	25.52	4.11	5.96	8.14	55.37
	70	10.59	23.25	3.73	5.96	8.55	52.06
	80	9.76	21.44	3.41	6.37	10.14	51.10
	90	9.06	22.97	3.16	7.19	12.9	55.28
	100	8.49	29.68	2.95	8.42	16.84	66.38
소형 트럭	10	64.14	264.64	18.00	45.65	49.68	442.11
	20	45.06	199.99	11.27	33.11	38.7	328.12
	30	36.65	169.78	8.58	27.44	33.45	275.88
	40	31.65	151.14	7.07	24.01	30.15	244.01
	50	28.25	138.12	6.08	21.64	27.82	221.9
	10	11.95	25.74	2.34	7.12	20.3	67.44
	20	9.14	15.78	1.63	6.00	13.75	46.31
	30	7.82	11.85	1.33	5.43	10.95	37.38
	40	7.00	9.16	1.15	5.06	9.42	31.79
	50	6.41	7.81	1.02	4.81	8.72	28.75
	60	5.98	6.86	0.93	4.59	8.45	26.82
	70	5.64	6.33	0.85	4.43	8.61	25.86
	80	5.35	6.19	0.80	4.27	9.22	25.85
	90	5.12	6.47	0.75	4.17	10.25	26.76
	100	4.91	7.15	0.72	4.05	11.72	28.55
중형 트럭	10	57.41	125.91	23.94	26.48	30.97	264.72
	20	36.11	85.92	15.26	17.67	25.42	180.37
	30	27.53	69.63	11.73	13.95	20.82	143.66
	40	22.71	60.49	9.73	11.8	17.17	121.93
	50	19.56	53.16	8.42	10.35	14.51	106.01
	60	17.33	47.65	7.49	8.78	12.82	94.07
	70	15.62	43.97	6.78	7.86	12.10	86.34
	80	14.28	42.11	6.2	7.34	12.34	82.28
	90	13.21	42.09	5.75	7.23	13.53	81.83
	100	12.32	43.89	5.37	7.55	15.69	84.82
대형 트럭	10	70.00	349.49	24.15	77.73	147.54	668.91
	20	41.88	268.88	16.31	58.12	112.6	497.79
	30	31.01	230.65	12.97	49.00	96.16	419.78
	40	25.05	206.87	10.62	43.43	85.95	371.91
	50	21.23	190.11	9.71	39.54	78.8	339.38
	60	18.55	177.45	8.76	36.63	73.38	314.77
	70	16.56	167.4	8.03	34.34	69.11	295.43
	80	14.99	159.15	7.44	32.46	65.60	279.63
	90	13.74	152.22	6.95	30.90	62.66	266.46
	100	12.70	146.26	6.57	29.54	60.13	255.21

주 : 대형버스는 시내버스를 의미하며, 시내버스 이외의 대형버스는 대형트럭의 배출계수를 적용함

자료 : 교통시설 투자평가지침(제4판), 국토해양부, 2011

■ 철도사고 예방 편익

－개요

국가철도 통합무선제어시스템이 도입되면, 열차의 제어 능력 등의 향상으로 열차의 안전성이 향상되고 사고발생률이 감소하는 효과가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 철도사고 중 물적피해와 인적피해로 구분하여 예방가능한 사고 건수 및 피해액을 산정할 수 있다. 그러나 2층객차 도입 효과에 따른 사고부문은 추후에 보다 더 정밀한 검토가 요망된다.

－철도 인적사고 예방 편익

철도 인적사고는 교통사상사고, 안전사상사고로 크게 구분되며, 각기 세부적으로 여객사상, 공중사상, 직무사상으로 구분된다. 인적사고 예방 편익은 철도 종합 지령망을 활용하여 사고를 사전에 예방함으로써 발생하는 편익으로, 본 연구에서는 철도안전 정보종합 포털 사이트의 최신 통계자료를 기준으로 산출한 철도사고 피해 건수 및 피해액을 기준으로 예방 가능한 편익을 산출, 매년 평균적으로 발생할 것으로 가정하여 산출한다.

인적사고 중 직무사상은 철도전용 통합무선망의 지휘통신 기능 등을 활용하여 사전에 예방이 가능한 항목이 있으나, 여객사상과 공중사상은 사전에 예방하기 어려운 것으로, 본 연구에서는 직무사상의 사고 예방 편익만을 고려한다.

교통사고 원인 중 예방가능한 사고는 부주의한 행동으로 인한 사고로, 전체 사고 원인 중 부주의한 행동으로 인한 사고는 46%로 나타나고 있다.

Table 1.5.16 교통사상사고 중 직무사상 사고 피해감소인원 추정

구분	피해원인	2008	2009	2010	2011	합계	평균	비중
피해인원 (명)	소계	22	14	16	14	66		
	사망	6	2	7	6	21		
	중상	13	5	7	7	32		
	경상	3	7	2	1	13		
사고원인 (건)	소계	19	13	16	9	57		1.00
	미승인작업	1		6	1	8		0.14
	열차방호 소홀	4	5	3	3	15		0.26
	부주의한 행동	9	7	6	4	26		0.46
	시설/설비 결함							-
	기타	5	1	1	1	8		0.14

자료 : 철도안전정보종합포털

사례를 보면, KRTCS구축에 따른 연차별 시스템 구축비율을 반영하여 편익이 도출되었으며, 열자체어시스템이 완공된 이후부터 15년 동안은 구축비율을 100%로 설정하고 편익을 산정하는 것으로 되어 있는데 본 과제에서도 이를 분석하여 고려할 수 있는 방안이 있는지를 검토하도록 한다.

Table 1.5.17 사고예방편익 산정

구분	내역
사고예방 기여도	20%(비관적 상황) 30%(중립적 상황) 40%(낙관적 상황)
연차별 시스템 구축비율	0~1(2018~2027)
도출방안	(연간 평균 철도인적사고 피해액) x (사고예방 기여도) x (연차별 시스템 구축비율)

■ 정시성 향상에 따른 신뢰성 증가 편익

철도는 자동차, 버스 등의 도로교통에 비해 높은 정시성을 가진다. 정시성이 준수되면 통행시간에 대한 이용자의 불확실성이 감소하는 한편, 신뢰성이 높아지고, 이는 통행자의 신뢰성 가치 증가로 이어진다. 열차제어 · 통신시스템 사업 시행을 통해 철

도의 수송용량이 증대되고 도로에서 철도로의 교통수단전환이 이루어지면, 전환 된 철도 수요만큼의 통행시간 신뢰성이 개선되며 신뢰성 가치 편익이 발생한다.

본 연구에서는 「교통시설 투자평가지침(제4차 개정)」에서 제공하는 철도의 통행시간 신뢰성 지표 및 통행시간 신뢰성 가치 원단위를 적용하여 통행시간 신뢰성 가치를 화폐가치화를 반영토록하되 본 과제의 성격을 고려할 필요성이 있다.

Table 1.5.18 철도의 통행시간 신뢰성 지표 원단위

(단위 : 초/km)

구분		통행시간 신뢰성 원단위
지역 간 통행	고속철도	0.268
	일반철도	0.384
도시부 통행	광역 및 도시철도	2.303

자료 : 철도투자평가편람 전면개정 연구, 한국철도시설공단, 한국교통연구원, 2010

Table 1.5.19 철도의 통행시간 신뢰성 가치 원단위

(단위 : 초/km)

구분	고속철도		일반철도		광역/도시철도
	업무	비업무	업무	비업무	
통행목적비율(%)	38.4	61.6	17.5	82.5	100.0
신뢰성 가치(원/인・시)	8,313	2,790	8,313	2,790	8,561
가중평균 신뢰성 가치(원/인・시)	4,911		3,757		8,561

주 : 소비자물가지수를 이용하여 2009년 가치로 환산함
자료 : 철도투자평가편람 전면개정 연구, 한국철도시설공단, 한국교통연구원, 2010

철도의 통행시간 신뢰성 비용은 편익 산정의 일반적 절차에 따라 신뢰성 지표, 신뢰성 가치, 수요의 곱으로 산정하며 시간당 철도의 통행시간 신뢰성 비용 산출 식은 아래와 같으며, 제시된 식을 바탕으로 첨두 및 비첨두의 지속시간 및 비중을 고려하여 1일 편익을 산출하고, 여기에 365를 곱하여 연간 통행시간 신뢰성 편익을 산정한다.

$$VOR_r = \sum_l \sum_{k=1}^{3} \left\{ \left(\frac{1}{3{,}600} \cdot R_l^k \right) \times P^k \times D_l \cdot Q_l^k \right\}$$

R_l^k = 링크 l의 열차등급 k의 통행시간 신뢰성 지표(초/km)
P^k = 열차등급 k의 통행시간 신뢰성 가치(원/인 • 시)
D_l = 링크 l의 길이(km)
Q_l^k = 링크 l의 열차등급 k의 교통량(인/시)
k = 차종(1 : 고속철도, 2 : 일반철도, 3 : 광역/도시철도)

본 연구에서는 광역철도 2층 열차가 도입되면, 승객요구가 많고 열차가 이미 많은 지역에서 추가로 열차를 증편하기 쉽지 않고, 또 일부 지역에서는 수요가 크지 않아 증편에 대한 요구를 분석할 필요가 있으며, 증가된 선로용량만큼 철도이용자의 수가 증가할 것으로 예상할 수는 없을 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 수송능력 증대에 따른 철도로의 교통수단 전환량이 변동할 수 있다고 보았으며, 중립적인 상황에서는 철도로의 교통수단 전환량이 수송용량 증가량의 20%, 낙관적인 상황에서는 수송용량 증가량의 30%, 비관적인 상황에서는 수송용량 증가량의 10% 수준에서 이루어질 것으로 가정하도록 하며, 광역철도 2층 열차자 순차적으로 구축되므로 연차별 시스템 구축비율을 반영하여 편익을 산정한다.

Table 1.5.20 신뢰성 증가 편익 산정

구분	내역
철도 수송용량 증대	10%(비관적 상황) 20%(중립적 상황) 30%(낙관적 상황)
철도로의 수단 전환율	10%(비관적 상황) 20%(중립적 상황) 30%(낙관적 상황)
연차별 시스템 구축비율	0~1(2018~2027)
도출방안	(사업시행전 통행시간 신뢰성 비용) - (사업시행후 통행시간 신뢰성 비용)

2. 파급효과 분석

산업연관모형(Input Output Model)이란 한 경제에서 생산되는 재화와 서비스의

산업간 거래관계, 즉 일정기간 중 생산된 모든 재화와 서비스의 각 산업간 거래(최종수요와 산업 간의 거래 및 원초적 투입요소와 산업 간의 거래)를 일정한 체계에 따라 정리한 일반균형 통계체제를 말한다.[13)]

산업연관모형(Input Output Model)을 한 국가경제를 대상으로 하지 않고 그 국가 내의 특정지역을 대상으로 작성하게 되면 '지역산업연관모형(Regional Input Output Model)'이 된다. 한 국가경제를 대상으로 하는 '산업연관모형'의 경우는 산업간 거래가 국내 산업간 거래와 국외 거래뿐이지만, 한 국가 내의 특정지역을 대상으로 하는 '지역산업연관모형'의 경우는 지역 내 산업간 거래와 국외 거래 이외에 국내 다른 지역 간의 거래가 추가된다는 특징이 있다.

(1) 한국은행 지역간산업연관 모형(IRIO) 개요[14)]

① 작성 현황

한국은행은 지역통계의 확충과 통계서비스 강화를 위하여 2007년 3월에 2003년 기준의 6개 권역[15)] 지역 간 산업연관표(IRIO)를 작성·발표하였다. 동 표는 우리나라 최초로 실지조사를 통해 작성한 공식적인 지역산업연관표이다. 이후 지방자치단체를 비롯한 연구기관 및 학계에서 권역 세분화 및 최신 경제구조 반영을 요청함에 따라 한국은행은 2009년 8월에 2005년 기준의 16개 시도 지역 간 산업연관표를 작성·발표한 바 있다. 다만, 한국은행은 실측 지역 간 산업연관표 작성 시 막대한 인력과 예산이 소요되고 작업 기간의 장기화를 고려하여 2005년 지역 간 산업연관표는 실측이 아닌 2003년 지역 간 산업연관표의 연장표로 작성한다.

② 작성 기준

2005년 지역 간 산업연관표는 작성방식에 있어 2003년 지역 간 산업연관표를 연장한 간접추정방식를 이용하며, 산업연관표의 표의 형식은 이입 및 수입 분리형 지역 간 산업연관표(IRIO)이다. 지역의 구분은 전국을 16개 시도 행정구역으로 구분하였고, 부문분류는 168부문으로 2005년 실측 전국산업연관표 부문분류와 동일하다.

③ 지역산업연관표의 기본구조

산업연관표는 행렬 형식으로 되어있기 때문에 보는 방향에 따라 경제구조를 다양하게 파

13) 영어의 'Input Output Model'을 산업연관모형 혹은 투입산출모형 등으로 부르고 있는데, 여기서는 한국은행의 관례(전국 '산업연관표' 등)를 따라 전자의 방식을 채택하기로 한다.
14) 한국은행, 『2005년 지역산업연관표』, 2009의 내용을 인용 정리하였음을 밝혀둔다.
15) 수도권(서울, 인천, 경기), 강원권, 충청권(대전, 충북, 충남), 전라권(광주, 전북, 전남, 제주), 경북권(대구, 경북), 경남권(부산, 울산, 경남) 등을 의미한다.

악할 수 있다. 산업연관표의 세로(열: column) 방향은 각 산업부문이 재화 및 서비스를 생산하기 위하여 지출한 생산비용의 구성을 나타내는 투입구조이다. 투입구조는 생산 활동에 사용한 원·부재료의 구성을 나타내는 중간투입과 노동 자본 등 본원적 생산요소의 투입내역을 나타내는 부가가치로 구성된다. 가로(행: row) 방향은 각 산업부문이 생산한 재화 및 서비스가 어떤 부문에 사용되기 위해 판매되었는지를 나타내는 배분구조를 나타낸다. 배분구조는 다른 산업의 생산 활동에 원·부재료로 판매된 것을 나타내는 중간수요와 소비 투자 수출 등으로 판매된 것을 나타내는 최종수요로 구성된다. 중간투입과 중간수요는 산업간 거래내역을 나타내는데 이를 내생부문이라고 하며, 부가가치와 최종수요를 외생부문이라고 한다.

지역산업연관표도 전국산업연관표와 같이 행렬 형식으로 되어 있어 지역산업연관표를 이용하는 방법도 기본적으로 전국산업연관표와 동일하다. 다만 지역산업연관표가 특정 지역만을 대상으로 하는 지역 내 산업연관표와 여러 지역으로 나누어진 지역간 산업연관표로 구분되므로 지역 내인지 지역 간인지에 따라 표의 구성 형식이 다르다.

지역 내 산업연관표의 투입구조는 전국산업연관표의 구성과 동일하나 각 산업부문의 배분구조는 전국산업연관표에서 해외부문과의 거래를 나타내는 수출 및 수입처럼 국내의 다른 지역과의 거래관계를 나타내는 이출과 이입이 추가되는 것이 전국산업연관표와 다르다. 지역 내 산업연관표에서 국내의 타 지역으로 이출되는 생산품은 수출과 동일하게 최종수요에 포함되며, 중간수요와 최종수요의 합계를 총수요라고 하는데 총수요에서 수입과 이입을 공제한 것이 지역 내 총산출액이 된다.

총산출액 = 총투입액

총투입액 = 중간투입 + 부가가치 [투입구조]

총산출액 = 중간수요+최종수요(소비+투자+수출+이출)−수입−이입[배분구조]

총수요(= 총공급)

타 지역 생산품(이입품)과 수입품을 구분하지 않은 지역 내 산업연관표의 일반적인 형식은 다음과 같다.

Table 1.5.21 지역 내 산업연관표의 기본구조

		내생부문				외생부문					수입(공제)	이입(공제)	지역내산출액
		산업1	…	산업n	중간수요계	소비	투자	수출	이출	최종수요계			
내생부문	산업1	X_{11}	투입구조	X_{1n}	W_1	C_1	I_1	E_1	O_1	Y_1	M_1	N_1	X_1
	⋮			→ 배분구조									
	산업n	X_{n1}		X_{nn}	W_n	C_n	I_n	E_n	O_n	Y_n	M_n	N_n	X_n
	중간투입계	U_1		U_n									
외생부문	피용자보수	R_1		R_n									
	영업잉여	S_1		S_n									
	고정자본소모	D_1		D_n									
	순생산세	T_1		T_n									
	부가가치계	V_1	↓	V_n									
지역내산출액		X_1		X_n									

동 산업연관표의 세로 방향은 특정 지역의 산업 1부문이 생산 활동을 위해 자기부문 및 타부문에서 생산된 중간재와 본원적 생산요소인 부가가치 $V_1(=R_1+S_1+D_1+T_1)$을 구입하였음을 나타낸다. 가로 방향은 산업 1부문이 자기지역에서 산출한 $X1$과 해외에서 수입한 $M1$ 및 타 지역에서 이입한 $N1$을 합한 총공급액(=$X1+M1+N1$)이 자기지역의 산업 1부문 및 타부문으로 만큼 중간수요로 판매되고 소비 투자 수출 및 타 지역 이출로 $Y1$(=C1+$I1+E1+O1$)만큼 최종수요로 판매되었음을 나타낸다. 지역 내 산업연관표에서 타 지역으로 이출된 제품은 해외로 수출된 것과 마찬가지이기 때문에 타 지역에서 중간재 또는 최종재로 사용되었는지를 구분하지 않고 일괄하여 이출로 처리하는 것이다.

지역 간 산업연관표는 타 지역으로 이출된 제품이 타 지역의 생산 활동에 중간재로 사용된 것과 소비 및 투자의 최종재로 사용된 것을 구분하여 작성하기 때문에 지역 간 산업연관표의 최종수요 항목에는 이출이 포함되지 않는다. 지역 간 산업연관표(IRIO)의 일반적인 형식은 다음과 같다.

Table 1.5.22 지역 간 산업연관표(IRIO)의 기본구조

			중간수요			최종수요			지역내산출액
			지역 1	…	지역 n	지역 1	…	지역 n	
			산업1 … 산업n	산업1 … 산업n	산업1 … 산업n	소비 투자 수출	소비 투자 수출	소비 투자 수출	
국산투입	지역1	산업1 ⋮ 산업n	Z_{11}	투입구조	Z_{1n}	Y_{11}^{d}	…	Y_{1n}^{d}	X_1
	⋮	산업1 ⋮ 산업n			배분구조				
	지역n	산업1 ⋮ 산업n	Z_{n1}		Z_{nn}	Y_{n1}^{d}	…	Y_{nn}^{d}	X_n
수입투입			M_1		M_n	Y_1^{m}	…	Y_n^{m}	
부가가치			V_1		V_n				
지역 내 산출액			X_1		X_n				

지역 간 산업연관표에서 세로 방향은 특정 지역이 생산 활동을 위해 자기지역 및 타 지역과 해외로부터 중간재를 구입한 재화와 서비스의 투입내역과 임금 이윤 생산세 등의 본원적 생산요소의 투입내역을 나타낸다. 위 그림에서 지역 1의 세로 방향은 지역 1이 생산 활동을 위해 지역 내에서 생산된 중간재($Z11$), 타 지역에서 생산되어 이입된 중간재($Z21 + \cdots + Zn1$), 해외에서 생산되어 수입된 중간재($M1$) 그리고 노동 및 자본 등의 본원적 생산요소 ($V1$)를 투입하였음을 나타내고 있다. 지역 간 산업연관표의 가로 방향은 특정 지역에서 생산된 생산물이 자기지역 및 타 지역의 생산 활동에 원·부재료로 판매된 내역과 자기지역 또는 타 지역의 소비와 투자로 판매되거나 해외로 수출된 내역을 나타낸다.

위 그림에서 지역 1의 가로 방향은 지역 1에서 생산된 제품은 자기지역의 생산 활동에 사용된 중간수요($Z11$) 및 타 지역의 생산 활동에 사용된 중간수요($Z12 + \cdots + Z1n$)와 자기지역의 소비 투자 수출(해외)로 사용된 최종수요($Yd11$) 및 타 지역의 소비 투자로 사용된 최종수요($Yd12 + \cdots + Yd1n$)로 배분되었음을 나타낸다.

본 과제 종료 후 성과물에 의한 국내 철도시장 목표점유율 변화에 따른 경제적 파급효과의 규모를 파악하는 것은 거시적 경제 메카니즘 차원에서 국가의 각종 산업에 미치는 영향과 해외 수출에 따른 부가가치 창출이란 차원에서 국부와 직결되는 중요한 요소로 꼽을 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 한국은행에서 발표하는 산업연관표를 이용한 산업연관효과 분석을 수행한다. 이는 각 산업간 상관관계효과를 고려한 산업부문별 생산유발효과와 부가가치 창출효과 등을 고려하여 작성된 것으로 국내

산업부문별 그 효과를 추론할 수 있다.

산업연관표상에서는 403개의 기본 산업부문으로 유형별로 구분되어 있는데, 본 연구에서는 철도차량과 관련된 분야로서 ' 310 지하철시설 '을 선정하여 2009년 발표된 2007년 산업연관표를 이용하여 산업연관효과분석을 수행한다.

(2)시나리오 선정

본 연구의 성과로서 도출되는 광역철도 2층 열차의 도입은 기존 도시철도의 구형 차량 개량화 사업 및 국외 신규 도시철도 시장 진입을 목표로 하고 있다. 본 연구에서는 국내의 경제적 파급효과를 대상으로 하므로, 본 성과물이 국내 도시철도 분야에서 점유하는 비율을 전술한 시나리오에 따라 낙관적(50%), 중립적(35%), 비관적(20%)으로 나누어 분석하는 것을 전제하나 본 과제를 수행하면서 그 비율을 설정하도록 한다. 이는 국산화 광역철도 2층 열차에 대한 시장분위기와 정책적 차원에서의 지원 등을 고려하여 시나리오를 구성하는 것을 전제하기 때문이다.

① 본 연구 성과물의 목표점유율에 따른 수요예측

앞서 산정한 국내 광역철도시장 규모를 바탕으로 목표점유율 시나리오에 따른 본 과제 성과물의 수요규모를 산정하도록하며, 앞에서 언급한 국내 광역철도시장 또한 사업시행정도에 대한 시나리오에 따라 산정된 바 국내 광역철도시장 시나리오별로 목표점유율에 따른 본 과제 성과물의 수요규모를 추정토록 한다.

Table 1.5.23 성과물 목표점유율에 따른 수요예측관련 시나리오 유형

목표 점유율 별 수요예측		본 과제 성과물의 광역철도시장 목표점유율		
		낙관적 (30%)	중립적 (20%)	비관적 (10%)
국내도시 철도시장의 사업시행여부	낙관적	-	-	-
	중립적	-	-	-
	비관적	-	-	-

② 경제적 효과계수 측정

위에서 언급한 산업연관표 상의 경쟁수입형 생산자가격표의 투입계수를 이용하여 도출된 경제적 효과 계수는 다음 표와 같다. 그리고 고용유발계수는 한국개발연구원(KDI)의 '철도부문사업의 예비타당성 조사 표준지침 연구(제3판), 2001' 에서 제

시하고 있는 값을 이용하되 최근 자료를 근간으로 하도록 한다.

Table 1.5.24 경제적 효과 계수

생산유발	부가가치	고용유발(억원당)
2.547965	0.769538	2.870

③ 경제적 파급효과 규모

본 과제 성과물의 광역철도시장 목표점유율과 국내 도시철도시장의 사업시행에 따라 낙관적·중립적·비관적 시나리오를 적용하여 생산유발효과를 산정한다. 이 때, 광역철도시장 목표점유율은 낙관적으로, 중립적, 비관적으로 정의하되 그 비율은 본 과제의 성격에 따라 정하도록 한다.

Table 1.5.25 생산유발효과

생산유발효과 (억원)		본 과제 성과물의 광역철도시장 목표점유율		
		낙관적 (30%)	중립적 (20%)	비관적 (10%)
국내도시철도 시장의 사업시행여부	낙관적	-	-	-
	중립적	-	-	-
	비관적	-	-	-

부가가치유발효과 또한 상기한 과정으로 통해 수행하되 각 시나리오 별로 추정토록 한다.

Table 1.5.26 부가가치유발효과

부가가치유발효과 (억원)		본 과제 성과물의 광역철도시장 목표점유율		
		낙관적 (30%)	중립적 (20%)	비관적 (10%)
국내도시철도 시장의 사업시행여부	낙관적	-	-	-
	중립적	-	-	-
	비관적	-	-	-

상기와 같은 방법으로 각각의 낙관적·중립적·비관적 시나리오를 적용하여 모두 9가

지의 시나리오에 따른 고용유발효과를 추정한다.

Table 1.5.27 고용유발효과

고용유발효과 (명)		본 과제 성과물의 광역철도시장 목표점유율		
		낙관적 (30%)	중립적 (20%)	비관적 (10%)
국내도시철도 시장의 사업시행여부	낙관적	-	-	-
	중립적	-	-	-
	비관적	-	-	-

(3)편익 및 비용 관련 쟁점사항

Table 1.5.28 연구개발사업의 편익

편익			세부 설명
연구개발사업의 편익	경제적 편익	부가가치 창출편익	연구개발 사업의 결과로 새로운 제품이나 서비스가 개발되고 상업화되어, 해당 제품 또는 서비스가 실제 거래되어 발생하는 편익
		비용절감 편익	연구개발사업의 목표가 기존 기술의 개선 및 개량, 혹은 새로운 생산 공정 기술의 개발 등으로 제시도니 경우에 적용되는 항목임. 해당 기술의 개발과 적용으로 인해 투입 요소 대체 등을 통해 생산의 효율성이 증가하여 동일한 양의 산출에 드는 비용이 기존에 비해 감소할 때 발생하는 편익
	과학기술적 편익		연구개발사업을 통해 획득하는 새로운 과학기술적 지식이나 성과를 의미하나, 객관적 화폐환산이 가능하지 않으므로, 경제성 분석에서는 제외

① 국가 R&D 사업 예비타당성 조사의 편익 산정 시 유의점

- 생산유발효과, 고용 및 취업유발효과, 수입유발효과, 수출유발효과 등의 연구개발에 따른 유발효과는 경제적 타당성 분석 과정에서 산입 시 논란 발생 우려가 높아 비용편익분석을 평가방법으로 하는 경제적 타당성 분석에는 편익으로 산입하지 않는다.
- R&D 사업화 성공률: 상업화를 목표로 추진되는 연구개발사업의 결과물이 경제적 편익이 발생 가능한 상태인 제품 또는 서비스로서 시장에 출하되거나 수요자에게 공급될 수 있는 상태로 전환되는 비율로서 정부의 공신력 있는 과거 통계자료를 이용토록 한다.

■ 부가가치율: 매출액 중 실제 새롭게 창출된 경제적 편익이 차지하는 비율을 의미하며, 지침에서는 한국은행의 산업연관표를 적용하는 것을 원칙으로 한다.
■ 편익발생시점: 연구개발 후 이를 통한 경제적 효과가 발생하기 위해서는 상당한 시간(회임기간)이 소요되며, 이 기간 내에는 경제적 편익이 발생하지 않는 것으로 본다.(기초연구 평균 5년, 개발응용연구 3년, KDI)
■ 편익발생기간: 특별한 방법이 없을 경우 기술수명기간(Technology Cycle Time, TCT)[16]을 기준한다.
■ 주요 편익추정방법
  - 가치창출부문(시장수요접근법): 미래 시장 또는 수요에 의해 발생하는 부가가치 중 해당 R&D에 해당하는 비율을 적용한다.
  - 비용감소부문(생산비용접근법): 생산(내수, 수출)과 관련된 모든 과정에 투입되는 비용의 절감액 추정하여 반영토록 한다.
    가) 국가 R&D 사업 예비타당성 조사의 비용 산정시 유의점
■ 총사업비 정의: 「예비타당성조사 운용지침」 제6조 제3항에 규정된 총사업비의 정의를 따르며, 전술한 바와 같이 총사업비를 제안된 사업기간 내에 포함되는 모든 비용으로 정의한다.
■ 비용산정기간: 사업의 효과(편익)이 최종적으로 발생하는 해의 말까지 소용되는 모든 비용을 총비용으로 고려한다.
■ 비용산정기간: 사업의 효과(편익)이 최종적으로 발생하는 해의 말까지 소용되는 모든 비용을 총비용으로 고려한다.
■ 비용의 분류: 「과학기술기본법」 제12조 조사분석 중 과제비의 성격에 따라 구분하는 분류체계 적용한다.

3. 요금체계

(1) 요금체계의 목표와 전략

① 요금정책의 목표

■ 요금정책의 목표

- 교통요금 의사결정의 4가지 기본요소는 요금정책, 요금전략, 요금구조, 요금지불수단임.

16) 기술수명시간은 특허의 서지정보를 이용해 정량적으로 산출되는 지표 중 하나로서, 인용된 특허들의 발행연도와 인용한 특허의 발행연도의 차이값들의 중간값, 즉 인용-피인용 특허 시차의 중앙값으로 정의

- 요금정책: 공공성과 수익자부담원칙의 우선순위 목표를 설정
- 요금전략기 일반적인 요금징수와 요금구조, 균일요금, 차별요금(거리, 시간, 서비스 차별), 시장기본요금 혹은 할인요금, 환승요금
- 요금구조: 하나 이상의 요금전략 조합
- 요금지불수단: 요금형태(현금, 토큰, 회수권, 카드 등)와 다양한 요금형태를 수집하고 정산할 수 있는 기술 및 장치

■ 고객측면의 목표
- 승객 수 증가: 최대 허용 가능한 수입 감소의 조건 내에서 승객 수 최대화를 의미
- 사회적 형평성 최대화: 교통운영기관의 동일요금에 대한 동일수준의 이동성 보장 능력을 의미하며, 승객이 요금구조로 인한 불이익을 받지 않아야 하고 서비스 비용 기준 요금 및 편익 기준요금에 대한 결정이 필요하며, 할인 요금을 제공해야 함.
- 사용편리성 증가: 시스템 사용의 편리성과 관련된 개념으로 선불요금수단이 있는지, 요금발급기 및 단말기 사용이 편리한지, 요금선택수단의 구매 빈도수가 적은지에 대한 검토
- 요금선택 수단 증가: 다양한 요금선택수단(선불요금, 할인요금 등)을 제공하여 승객의 욕구가 가장 충족될 수 있도록 함.
- 복잡성 감소: 요금시스템(정책, 가격, 수단)을 승객이 쉽게 이해하고 사용할 수 있도록 단순하게 만드는 것임.

■ 재정측면의 목표
- 수입증가: 승객 수 감소를 최소화하면서 수입 증대(혹은 일정 수입 목표 달성)을 추구
- 요금징수비용 감소: 선불요금카드 판매, 요금 수입 수집 및 계산 비용을 포함하며, 현금사용 감소는 수집 및 계산 비용을 감소
- 요금누수 및 탈루 감쇠 수입금 통제 향상 - 승객이 요금을 적게 내거나 전혀 내지 않는 것을 어렵게 만듦으로써 수입 증가시키며, 직원들의 요금수입 부정, 절도 등을 감소시키기 위해 수입 통제 및 안정성을 향상시킴으로써 수입증대 및 운영기관의 책임성을 지원

■ 제도측면의 목표
- 수단 간, 지역 간 연계성 향상: 동일 시스템 내에 다른 수단(시내버스, 광역버스, 지하철) 간 연계와 동일지역 내에서 다른 대중교통 운영기관 사이(버스운송업체,

지하철공사 등)의 연계를 향상시킴

- 이행 용이성 최대화: 새로운 요금시스템 도입 시 요금구조 및 기술의 복잡성 정도, 승객 및 공무원의 수용 정도를 의미하며, 향후 요금 증가 및 기술 발전으로 인한 요금시스템 변화 수용 정도를 의미함.
- 요금수입회수비율 목표 및 조건 달성: '비용-효과성' 정도를 요금회수비율(요금수입/운영비용)로 측정하며, 요금회수비율은 목표가 될 수도 있고, 법률상의 필요조건이 될 수도 있음.

Table 1.5.29 요금정책목표의 평가기준 및 측정방법

정책목표		평가기준	측정방법	
고객측면	승객 수 증가	- 승객 수 증가 능력승객 수 감소 최소화 능력	- 총 승객 수 변화	정량
	사회적 형평성 증대	- 동일비용(요금)에 대한 동일수준의 이동성 보장 능력	- 중요 그룹별 평균지불요금 및 통행분담	정량
	사용의 편리성 증대	- 사용의 편리성/용이성	- 시스템 사용 제약조건 평가: 선불결제수단의 이용가능성	정성
	요금선택수단 증대	- 요금선택수단의 유형	- 요금선택수단의 다양성 평가	정성
	복잡성 감소	- 이해의 용이성	- 요금구조의 단순성 평가	정성
재정측면	수입금 증가	- 요금수입의 영향	- 요금수입 변화	정량
	요금징수비용 감소	- 요금전략관련 관리 및 운영비용 최소화 능력: 장치, 시설, 재료 등 포함	- 요금징수비용 변화	정량
	요금누수/탈루 감소: 수입금통제향상	- 승객의 요금누수/탈루 최소화 - 종업원 요금탈루 감소 및 안전	- 요금누수 및 탈루 용이성	정량
제도측면	수단 간, 지역 간 연결성 향상	- 실제 요금가격 및 환승요금 정책	- 요금결제수단 및 장비의 호환 가능성 : 지역간, 복합통행요금평가	정량
	이행의 용이성 증대	- 새로운 요금구조 및 요금변화에 대한 이행 어려움	- 다양한 부서/운영기관 간 노력의정도	정성
	요금수입회수비율 목표 및 요구조건 충족	- 실제 요금선택수단 가격	- 수입금 변화	정량

자료 : 서울시정개발연구원, 『통합요금제 시행에 따른 서울시 대중교통 요금정책 연구』, 2006.

② 요금정책의 전략

■ 균일요금(Flat fare)

균일요금은 가장 단순하고 일반적인 요금구조로 승객의 통행거리, 시간, 서비스 속도 및 질에 상관없이 동일요금을 부과하는 것을 말한다.

균일요금제는 관리와 이해가 쉬운 반면, 단거리 이용자의 상대적인 요금부담이 커 불공평하고, 요금 인상 시 승객 수 감소가 크다. 균일요금제의 효율성 증진을 위해서는 선불요금결제수단과 연계해서 시행하는 것이 바람직하다.

■ 서비스차별요금(Service based differential)

수단별, 속도별 차별요금[17](예 : 지역서비스보다 고속서비스에 높은 요금부과)은 고속서비스(장거리통행 및 첨두서비스)에 제공되는 높은 운영비용과 높은 서비스 수준을 반영하는 수단으로 사용된다.

비교적 이해하기 쉽고, 높은 서비스에 높은 비용을 부과한다는 측면에서 공평하지만, 높은 비용서비스를 이용해야 하는 이용자와 복잡한 환승을 하는 이용자에게는 호응도가 낮은 단점이 있다.

■ 거리차별요금 및 구간요금(Distance-based or zonal pricing)

거리차별요금[18](구간요금 혹은 특정 거리 초과 부과요금)은 장거리 통행자가 더 많은 요금을 지불하는 요금 방식이다.

수입금 증가 및 장거리 통행자가 높은 비용을 지불한다는 측면에서 공평한 요금제이지만 승객과 교통운영기관 모두에게 가장 복잡한 요금구조이며, 이를 관리하기 위해 부가적인 시설이 필요하다.

■ 시간차별요금(Time based differential)

시간차별[19](첨두/비첨두) 요금 부과 방법은 다음과 같은 2가지 이유로 고려된다.

- 첨두시장이 일반적으로 가격에 덜 민감하고 요금 증가에 대해 지불할 능력이 더 크다.
- 첨두시 부가적인 승객을 탑승시키고 서비스를 제공하는 비용이 비첨두시보다 높다.

---

17) 교외고속통근서비스를 제공하는 거의 모든 미국의 교통운영기관은 서비스차별요금제를 채택하고 있음. Dallas, Phoenix, Tampa에서 시행하고 있음

18) 미국 교통운영기관의 약 1/3은 거리차별요금 혹은 구간요금을 채택하고 있음. Washington D.C(WMATA), San Francisco(BART)의 철도거리비례제, Seattle과 Los Angeles의 고속버스 구간요금제를 시행함

19) 미국 교통운영기관의 단지 6%만 시간차별요금을 채택함. Minneapolis와 Seattle에서 시행함

비첨두시 이용을 증가시켜 승객 수가 증가할 수 있고, 비첨두시 수요를 이동시켜 수요 관리에 도움이 될 수 있지만, 전환되는 수요가 크지 않고 승객과 운송업체의 복잡성이 증가한다.

■ 시장기본요금(Market based pricing)

가장 광범위하게 사용되고 있는 차별요금전략의 한 형태가 시장기본 혹은 고객기본 요금이며, 균일요금이나 차별요금과 함께 사용된다.

패스 및 할인티켓을 통해 사용빈도 및 선불지불의사에 따라 차별요금을 제공하며, 다른 승객시장(정기적인 사용자 대 비정기적인 사용자)의 가격을 구별하는 방법으로 사용한다. 선불요금을 증가시킴으로써 현금 취급 시 제약조건들을 감소시킬 수 있다.

통행당 요금이 저렴하고 지불이 편리하고 운송업체의 현금처리비용이 감소하며, 요금 인상 시 세분화된 몇몇 시장에서는 승객 수 손실을 최소화할 수 있는 장점이 있지만 수입금이 감소할 수 있고 요금 탈루의 위험이 있으며, 요금결제수단 도입에 따른 비용 및 분배비용이 발생한다는 단점이 있다.

③ 요금결정과정

우리나라의 철도요금은 「물가안정에 관한 법률」(제4조2항)에 의해 버스(고속 및 시외), 의료수가 등의 요금과 마찬가지로 공공요금의 일환으로 정부의 규제를 받고 있다. 철도요금 결정과정은 위 법률과 「국유철도의 운영에 관한 특례법」(제10조1항)에 의해 한국철도공사장은 국교부장관에게 인가를 요청하고, 국교부장관은 재정경제부장관과 협의 후에 인가하고 있다.

즉, 철도요금의 결정 및 조정절차는 1단계로 전년도 물가상승률, 원가수준 및 경영개선 계획 등을 감안하여 운임조정안을 작성하여 국교부장관에게 인가를 요청하면, 2단계로 국교부장관은 인가전 재경부장관과 협의를 거쳐 공고 후 시행하는 절차를 취하고 있다. 위와 같은 법률상의 절차는 요금이 최종적으로 결정되기 위한 형식상의 요건이며, 실제 요금결정은 기획예산처의 한국철도공사에 대한 예산편성과정에서 요금인상폭에 대한 기본적인 결정이 이루어진다. 즉, 실질적으로는 예산당국의 한국철도공사 손익계정세출예산안이 확정되면, 철도시설 공급량, 수송량, 기존요금(요율) 대비 영업수입의 결정이 이루어지고, 요금수입외임대수입등 경상외수입 추가한 손익계정 세입예산안이 결정된후, 세출예산 대비 세입예산 부족분에 대한 철도요금 인상, 또는 보조금 형식으로 충당되고 있는 실정이다.

이와 같이 예산편성과정에서 요금인상기본안이 결정되면 한국철도공사는 이를 토대로 재경부와 구체적인 요금인상을 위한 협의를 거쳐 요금인상이 확정되며 협의과정

에서 예산편성시 고려된 요금 인상이 유예되거나 인상수준이 삭감되는 경우가 있다. 이와 같은 요금결정과정을 보면 운영자인 한국철도공사나 요금결정 합의기관인 재경부 모두 합리적인 교통운임의 시각보다는 정부예산사정이나 물가정책과 같은 거시차원의 정책운용에 지배되고 있음을 보여주고 있다.

(2) 요금결정이론

공공요금을 결정하는 단계는 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 첫 번째가 요금수준의 결정이고, 두 번째가 요금체계의 결정이다.

- 요금수준 결정 : 요금의 총액을 결정하는 것으로 공익사업 영역에서의 요금수준 결정과 비공익사업 영역에서의 요금수준으로 구분된다.
- 요금체계 결정 : 서비스사용자가 부담하는 개별 요금을 결정하는 것이다.

①공공요금수준의 결정

공공분야의 요금결정원칙은 대부분 원가보상주의이나 실제로 원가보상의 내용은 명확하지 않다. 명확한 개념 정립을 위해 사기업 형태를 취하는 공익사업에서의 요금결정원칙을 살펴볼 필요가 있다.

②공익사업 영역에서의 요금수준 결정

■ 총괄원가방식

가장 일반적으로 사용되고 있는 요금결정방식으로 사업 수행에 필요한 원가[20]를 기초로 하여 그 원가를 보상하는 수익을 요금 수입의 기준으로 하는 것이다.

장점 : 매우 단순하여 이해하기 쉽고, 적자가 발생하지 않는다.

단점 : 자본이자의 고저에 상관없이 지불이자를 보상해야 하고, 주식배당도 사전에 예상되어 있으므로 자본비용을 낮추어 경영능률을 향상하고자 하는 동기부여가 되지 않는다.

■ 공정보수방식

공정보수방식은 일정한 규제 하에서 어느 정도 경영 인센티브를 기대할 수 있다. 즉 공공서비스 소비자의 편익을 위해 사용되고 있는 자산의 공정가치에 대해 공정보수를 얻도록 하는 경우 요금은 적정하다고 보는 것이다.

$$R = E + (V - D) \times r$$

20) 총괄원가란 영업비, 감가상각비, 제세 등 공익사업의 운영에 필요한 일체의 비용을 집계한 것에 사채이자, 차입금이자, 예정주식배당금까지 합한 총액을 의미함.

여기서, R = 공익사업 기업이 모든 수요자로부터 획득해야 할 총수익
E = 감가상각비 및 제세를 포함한 영업비
V = 건설 당초 사업재산의 공정가치
D = 당해 재산의 소모액
r = 사업재산에 대해 허용될 보수율

따라서 총수익은 영업비에 사업재산의 공정보수를 더한 것으로 총수익을 판매량으로 나누면 요금단가가 산출된다. 공정보수[21] 방식을 채택함으로써 영업비 삭감을 위한 경영 노력이 기대되며 비용을 절감하는 자극이 되고, 경영 인센티브를 높이는 효과가 있다. 또한 적정 이익 수준에서 공익사업의 유지 발전이 가능하게 한다.

■ 자본코스트방식

자본코스트방식은 협의의 경영원가를 보상하는 것 외에 합리적 경영에 필요한 자본코스트(공공적 필요 잉여)[22]를 포함한 광의의 원가를 보상하는 것이다.

총수입 = 영업비용 + 자본비용
자본비용 = 지불이자 + 자본코스트
자본코스트 = (이자부담+자본) × 총자본코스트율 − 이자 및 채무 취급액

공공적 필요 잉여는 유보되어 서비스 개선, 연구개발 지출, 가격 인하, 임금 인상, 노동조건 개선 등에 사용될 수 있다.

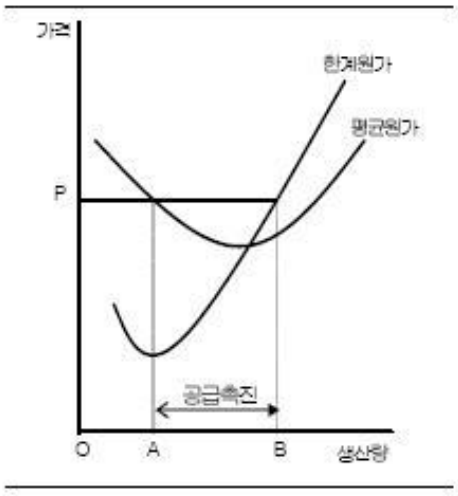
■ 한계원가가격방식

한계원가[23]를 기준으로 요금을 결정함으로써 자원의 효율적 이용을 촉진하고 가격의 신축성을 확보할 수 있다. 즉 Fig. 1.5.7에 의하면 일정한 가격 P에서 평균원가에 의할 때에 OA만큼 공급되지만 한계원가에 의할 때에는 OB만큼 공급되어 AB만큼 공급이 증가하므로 자원의 효율적 이용이 촉진된다.

그러나 한계원가로 요금을 결정하는 경우에는 손실이 발생한다. 즉 <그림 10>에서와 같이 평균원가에 의해 가격을 결정하면 OP 이상에서 결정하게 되어 손실은 발생하지 않지만, 한계원가에 근거하여 가격을 결정하게 되면 OP 이상이 되므로 P ABP의 손실이 나타난다. 따라서 한계원가론자들은 한계원가로 인해 생기는 손실은 일반

21) 공정보수란 기업이 사업자산에 대해 이득할 것이 용인되는 보수임. 서울시 버스개혁 이후 원가계산 시, 업체의 수익률 결정 시 일부 반영하고 있음
22) 여기서 말하는 공공적 필요잉여는 자본출자자에 분배되는 이윤만이 아니라 공기업이 제공하는 서비스의 개선 및 확충에 대한 사회적 요청에 부응하기 위해 공기업 내부에 재투자해야 하는 자본 조성을 위한 잉여를 말함
23) 1938년 미국의 호텔링(H.Hotelling)에 의해 제기되었음

세금에 의해 보조금으로 보상되어야 한다고 주장한다.



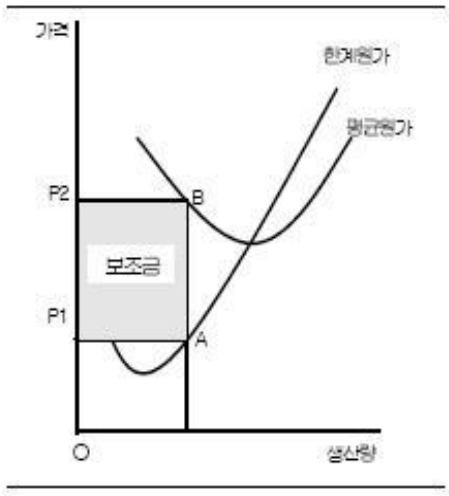


Fig. 1.5.7 한계원가로 인한 공급 촉진 Fig. 1.5.8 한계원가로 인한 손실

일반적으로 공공사업은 비용체감산업[24]이므로 한계원가를 적용할 경우 손실이 발생하게 되어 사업이 장기적으로 유지되기 어렵다. 그러므로 한계원가와 평균원가가 일치하는 점(최적생산량) 근처에서 생산량을 결정할 때 수익 관점에서는 문제가 없다.

그러나 생산량을 증가시켜 평균원가와 한계원가의 차이가 발생할 때는 적자가 발생하고 이 부분에 대해서는 외부(정부 및 지자체 등)로부터의 보전이 이루어져야 하며 그렇지 않을 경우 적자를 면치 못하므로 기업성 측면에서 받아들여질 수 없다.

평균원가와 한계원가의 차이를 보조금 형태로 보전할 경우 공공분야의 적자를 일반세금으로 충당하는 것이 타당한 것인지에 대한 문제가 발생한다. 한계원가론자들은 생산량이 증대됨으로써 얻게 되는 편익이 보조금을 초과하므로 문제가 없다고 하나, 그것만으로는 불공평을 완전히 정당화할 수는 없다.

■ 가격상한규제

가격상한규제는 이윤의 규모를 규제하는 것이 아니라 가격을 제한하는 것이다. 즉 가격은 규제하지만 이윤은 규제하지 않는 방식으로 요금이 지나치게 상승함으로써 소비자에게 부담을 주지 않도록 하는 범위 내에서 사업자가 자유롭게 요금을 결정토록 하는 것이다.

그러나 가격과 비용의 연계성이 낮아 서비스의 품질 저하와 장기투자의 소홀 등으

24) 비용체감산업이란 규모의 경제가 나타나는 사업을 의미하며, 이는 생산규모를 확대해 생산량을 증가시킬수록 평균원가가 체감하는 것을 말함

로 단기적인 이윤을 추구하고, 경영의 성과가 소비자에게 배분되지 못하는 문제점 때문에 변형된 가격상한 규제 방식 RPI−X 방식을 제안한다.

RPI−X 방식은 소매물가지수(RPI)에서 기술 향상 및 경영 효율 향상 등으로 인한 비용 절감의 추정치인 X%를 차감한 만큼을 가격 상한선으로 규제하는 것이다. 그러나 이를 위해서는 요금규제자가 충분한 원가정보를 지니고 있어야 하며, 가격규제 기준의 일방적 설정보다는 충분한 의견 수렴절차를 거쳐 적정한 기준을 마련하고, 이를 지속적으로 이끌어 나갈 수 있는 정책적 일관성이 전제되어야 한다.

③ 비공익사업 영역의 요금결정

■ 완전경쟁형 산업

동일 산업에 다수의 기업이 존재하며 각 기업의 평균비용곡선이 U자형이며 가격탄력적인 산업을 말한다. 시장에서 정해지는 가격이 가장 바람직한 가격이나 공공분야에서는 실질적으로 존재하지 않는 유형이다.

■ 과점형 산업

소수의 독점력을 지닌 기업으로 구성된 과점형 산업에 공기업이 존재하는 경우이며, 공기업이 그 산업에서 차지하는 비중이 무거우면 공기업의 가격정책이 다른 기업의 가격정책에도 크게 영향을 끼쳐 부당한 가격 인상을 저지할 수 있다.

이러한 산업에서의 공기업의 가격정책은 산출량을 현재의 기술 하에서 평균비용 최저 수준까지 증대시키고, 한계비용=평균비용에 가장 가까운 점에서 가격을 정하고, 다른 기업의 수요의 가격탄력성을 크게 하는 것을 목표로 삼아야 한다. 즉 이러한 종류의 산업에서 공기업의 가격정책의 목적은 독점을 타파하고 유효경쟁을 가능케 하는 데 있다.

■ 자연독점형 산업

자연독점형 산업은 자본의 회전이 느리고 고정비가 현저하게 커 독점적인 경향을 지니게 되며, 그 서비스가 일상생활에 필수불가결한 특징을 지닌다.

■ 개발형 산업

초기에는 연구 개발비가 많이 소요되므로 평균비용은 높으나 장기적으로는 기술 진보에 따른 대규모 설비화 효과로 평균비용이 체감하는 산업을 말한다. 원자력산업과 신산업 등이 이에 속하며, 이 경우의 가격 결정수준은 장기한계비용이어야 한다.

■사양형 산업

사양형 산업은 장기평균비용이 체증할 뿐만 아니라 수요의 증가율이 낮은 산업으로서 석탄산업이 그 좋은 예이다. 장기평균비용에 의하여 가격을 정할 경우 산출량은 증가하나, 장기한계비용에 가까운 가격을 정할 경우 산출량은 감소한다. 즉 공기업의 요금결정원칙은 공공분야의 요금결정원칙을 도입함과 동시에 한편으로는 산업 영역마다 서로 다른 결정원칙이 채택되어야 한다.

④ 공공요금 체계의 결정

■서비스 원가주의

서비스의 이용자가 부담하는 요금을 서비스의 생산 공급에 소요되는 원가[25]를 기준으로 결정하는 것으로 일반적으로 사용되는 원리이다. 원가 개념을 중시하므로 원가 이하로 서비스를 공급하는 것은 불가능하며, 따라서 이 원칙은 요금결정의 하한선을 설정한다.

이 원칙은 가격기구의 적용이 가능한 분야에서는 실효성이 있으나, 의료산업과 같이 원가계산이 어려운 분야에는 적용하는 데 어려움이 있다.

■서비스 가치주의

서비스 원가와 상관없이 서비스가 지니고 있는 가치, 다시 말해 이용자가 느끼고 있는 서비스 가치를 기준으로 가격을 결정하는 원리이다.

이 방식에 의하면 서비스 제공을 받는 사용자의 수요의 정도에 따라 요금이 결정되며 사용자가 인정하는 가치 이상으로 가격을 결정하지 않으므로 서비스가치주의는 요금결정의 상한선을 설정한다. 또한 사용자 그룹별로 서비스 가치를 나타내는 수요탄력성이 발생하므로 차별가격정책의 근거가 된다.

■경쟁가격주의

공익사업의 서비스 시장이 경쟁 상태에 있다고 가정하고 가상적인 경쟁가격을 기준으로 시장기구에 의해 가격이 결정되는 방식이다.

공기업은 자연 독점성을 특징으로 하기 때문에 경쟁 상태에 있을 수 없으나 경쟁상태에 있다는 가설 하에 서비스의 수요곡선과 공급곡선이 일치하는 점에서 요금을 결정하려고 한다. 그러나 독점성을 지닌 공익사업에 경쟁원리를 도입한다는 것은 현실적으로 매우 어렵다.

---

25) 사업운영에 필요한 모든 비용과 사업 확장에 소요되는 추가 자본을 유지할 수 있는 이윤을 포함하는 총괄원칙이기 때문에 회계학상의 원가개념과 구별됨

■ 부담능력주의

서비스 요금은 서비스 이용자가 부담할 수 있는 능력을 기준으로 결정하는 원리이다. 서비스 원가와 관계없이 이용자의 부담능력, 지불능력에 따라서 책정되는 것이다.

예를 들면 시내버스요금에서 학생들의 할인제, 저소득층의 요금을 낮게 책정하는 것 등은 사회적 원칙에 의한 것이다. 그러나 차별요금을 부과하기 위해서는 개인 간 소득격차를 명확히 규명할 수 있어야 할 뿐만 아니라 차별요금 부과에 따른 행정관리상의 문제가 발생한다. 아울러 개인적으로 차별을 받을 경우 저소득층이 갖는 심리적 문제가 나타날 수 있다.

■ 복지확산주의

복지확산주의란 서비스의 원가보다 서비스 이용으로 얻게 될 사회 전체적인 가치를 고려하여 주민 전체의 복리를 증진시킬 수 있도록 요금을 책정하는 방식이다.

예를 들어 대도시의 전철에 있어서 원가 이하의 요금으로 결정하는 것은 대중교통의 이용 증진으로 노면 교통의 혼잡을 예방하려는 사회적 목적을 갖고 있다고 할 수 있다. 그러나 계속되는 적자에는 장기적인 양질의 서비스 제공이 어려워질 수 있기 때문에 다른 방법으로 재정적 지원이 이루어져야 할 것이다.

4. 본 연구과제의 요금체계 검토 방향

(1) 개요

대중교통은 그 정의에서 보듯이 행정당국에 의해 인가된 노선을 운행하면서 불특정 다수에게 서비스를 제공하며, 정해진 역이나 정류장에 정차하며 승객 수요에 의해 인가받은 배차시격으로 운행하면서 정해진 요금을 받으면서 운행하는 교통서비스를 의미한다.

여기서 보듯 대중교통은 행정당국에 의해 인가받은 요금체계를 수용하면서 이용객을 대상으로 요금에 의해 수익성을 일차적으로 담보하며, 적자노선 등에 대해서 의존통행자(Captive Rider)인 시민들의 경제활동 및 사회활동에 필요한 자연법적 교통권을 보장해주기 위해 보조금 등을 지급하여 운영회사의 수익성을 보존해주고 있다. 서울의 현행 버스 운행방안인 준공영제 등을 대표적인 사례로 들 수 있다.

대중교통 요금체계는 전술한 바와 같이 요금정책의 전략 차원에서 정책적 차원에서 제시할 수 있는 다양한 요금구조가 있으며, 이의 목표를 달성하기 위해 요금을 결정하는 이론 또한 관점에 따라 다양할 수 있다. 이는 대중교통이란 운행 인허가권을

갖고 있는 행정당국의 정책적 사안에 따라 결정되며 여기에는 생활물가수준, 사회적 형평성, 시민들의 소득수준, 생활권 양상, 운행권역, 대중교통 운영자의 수익성 등 다양한 요인을 고려하고 있는 실정이다.

그러나 본 연구과제에서의 요금체계는 일반 대중교통 요금체계와는 그 궤를 달리할 수밖에 없다. 왜냐하면 본 연구과제에 적용되는 연구대상이 광역철도용 2층 전동객차의 운행을 위한 기본전제가 본 연구의 범위로 한정되기 때문이다.

따라서 본 연구과제에서 광역철도용 2층 전동객차의 운행은 광역철도의 법적 · 제도적 개념의 틀에서 볼 때 많은 제약조건이 내재되어 있으며 이에 따라 운행노선 선정, 운행방안, 기존 철도운행과의 용량문제, 도시철도구간에서의 Screen Door 등과의 정치성 등 다양한 조건과 운행주체에 따라 달라질 소지가 있으며 본 과제에서는 요금체계 검토 방향에 대해 제시하는 것을 목적으로 한다.

(2) 광역철도용 2층 전동객차 운행 요금 검토 전제 및 목표

전술한 바와 같이 일반 대중교통수단의 요금체계는 사회적 형평성을 고려하여 보편성 원리 하에 사회적 합목적성을 근간으로 결정하는 것이 일반론이다. 통상 대중교통수단은 서비스를 제공하는 운영행태와 체제에 따라 요금체계가 다를 수 있다.

우리나라의 경우 크게 운영주체인 민자 규모에 의한 수익성 보존 관점에서 민자운영이냐 재정운영이냐에 따라 요금체계가 다르며, 대중교통수단의 종류에 따라 도시철도, 도시형 버스, 마을버스 등에 따라 요금적용체계가 다르다. 특히 도시형 버스 등은 도시의 권역 단위로 균일제 등이 적용되고 수도권에서는 거리비례제 등이 적용되며 도시철도의 경우 권역단위와 거리비례제가 적용되고 있는 실정이다. 특히 운행속도, 서비스의 쾌적성 등 서비스의 질적 차원에서도 요금의 차별화가 적용되고 있다.

본 연구에서는 앞에서 언급한 바와 같은 일반적이고 보편적인 요금구조와 요금체계를 경제학적 측면에서 다양한 이론을 고찰하여 대중교통분야에서의 적용성을 검토하는 것을 일차적인 목적으로 한다. 그리고 2차적으로 대중교통분야를 대상으로 현행되고 있는 사례를 조사·분석하고 이를 바탕으로 본과제의 범위와 특성에 맞는 대중교통의 요금체계의 전반적인 이론과 구조를 검토하여 본 과제에서 그 적용과 문제점을 규명하고 그 적절성을 도출하는 것을 전제한다.

특히 본과제의 성격이 광역철도란 관점과 2층 전동객차운행이란 점에 초점을 이용객의 요구에 부합할 수 있는 서비스의 질적 제고라는 관점에서 사회적 형평성을 감안하여 다양한 요금구조를 검토하여 본 과제에 적정성을 도출하는 것을 최종 목표로한다.

현재 광역철도란 관점에서는 철도의 건설비 관점에서 국가와 지자체의 분담비율과 관련된 내용이 주된 사항이며 운행이나 요금체계 등은 기존의 철도운행과 그 맥락을

같이하고 있는 실정이다. 특히 광역2층 전동객차 운행이라는 점에서 볼 때 대중교통 이용객서비스 욕구에 부응하기 위한 서비스의 질적 제고에 그 무게를 둘 수밖에 없는 점을 간과할 수 없다. 그러나 운행시간대에 따라 일반철도차량과의 혼용편성이나 2층 전동객차의 전용편성 등으로는 요금 차별화의 대안은 우리나라의 물가정책 등을 감안할 경우 제반 여건상 사실상 쉽지 않을 것으로 사료된다.

그러나 최근 철도의 민영화 등으로 인한 요금차별화의 파급영향과 최근 대중교통이용자들의 서비스에 대한 강력한 질적 요구사항을 감안할 경우 부정적인 측면만 있는 것은 아닐 것으로 사료되는데, 이는 본 과제 수행 시 SP조사를 수행하여 도출되는 예상되는 결과에 기인할 사항이다. SP조사는 대중교통 이용객의 다양한 행태를 조사하여 본 과제에 반영할 수 있도록 조사항목 설계 시에 현실적 내용을 작성하여 현재의 사회적 여건을 도출할 수 있도록 고려할 필요가 있으며, 이를 위해서는 SP조사가 필히 수반되어야 할 것으로 사료된다.

향후 본 과제를 수행하는 방안도 대중교통에 제공되는 서비스의 유형에 따른 이용객의 선택적 사항으로 사회적 형평성에 대응할 수 있는 정책적 전략으로 적용할 수 있는 요금체계를 도출하는 것도 본 과제의 성격에 비춰 볼 때 바람직할 것으로 여겨진다.

따라서 본 연구과제에서의 요금체계 검토범위는 전술한 바와 같이 본 과제 수행시에 2층 전동객차를 투입할 수 있는 전용운행노선 선정, 운행방안의 차별화, 기존철도와의 용량 등에 따른 이용자 편의성 등 서비스 질적 수준, 도심구간에서 기존 도시철도 역사와의 정치성 등 다양한 제약조건을 고려하여 기술적인 문제점과 더불어 요금체계를 검토하는 것을 전제한다.

① 본 연구과제에서의 운행요금 검토 방안

■ 현행 광역철도 운행 요금체계와의 차별화 검토

- 운행여건 검토-광역철도 개념 및 법적 · 제도적 사안
- 현행 대중교통수단 요금체계의 일반론 검토
- 광역철도 2층 전용객차 운영방안 검토
- 혼용편성 운영에 따른 문제점 검토
- 광역 2층 전동객차전용편성 운영 방안

■ 전용노선 선정 및 투입의 적정성 검토

- 첨두 및 비첨두시 운행 방안
- 혼잡구간 투입 운행방안
- 광역철도 구간의 전 편성 및 부분편성 운영방안

– 광역구간 및 일반 철도구간 운행성 검토

■ 기존 운행차량과의 차별화 검토

– 사회경제적 차원에서 편익성 검토

– 용량 증가 여부에 따른 공로교통의 소통성 검토

– 승객 편의성 등 서비스 질적 제고에 따른 사회적 형평성 검토

■ SP조사 방법론 및 조사

■ 운영주체에 따른 수익성 및 재무적 타당성 검토

– 민자운영 및 재정운영 방안

■ 현황조사 및 제 외국 사례 검토

– ITX 2층 차량 운행에 따른 요금체계

– 일본, 프랑스 등 제 외국 사례 검토

(3) 광역철도용 2층 전동객차 운행요금 검토 방향

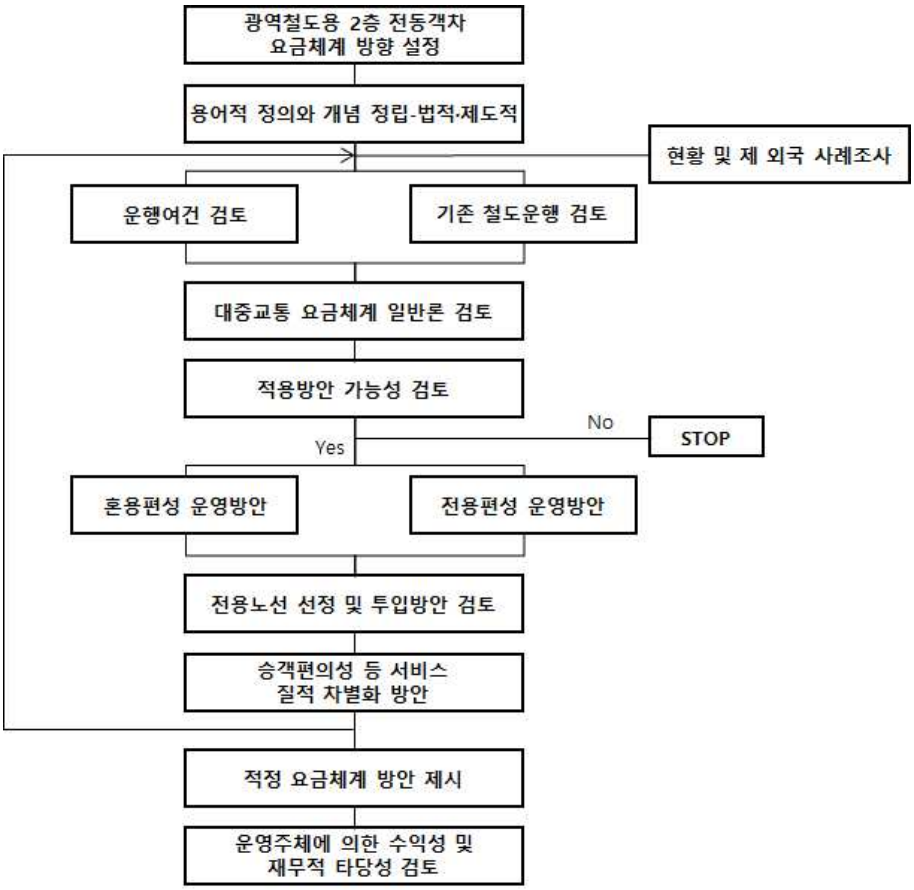


Fig. 1.5.9 광역철도용 2층 전동객차 운행요금 검토 방향

제 2 장 국내 환경변화에 대응 가능한 2층 전동객차 실용화 모델 제시

1절 국내외 실용화 요건 검토

1. 기술적 요건

- 2층차량의 국내 실용화를 위한 전제 조건으로는 광역도시철도차량 운행 구간에 대한 차량 한계 및 터널단면의 비교를 통한 차량의 1층구간 및 2층구간에서 승객이 활용 가능한 공간적 검토가 필요 함.
- 주요장치 기술력 보유에 대한 검토가 필요 함.
- 전체 계획 편성에 대한 차량내 기기배치 적정성을 확인 하고 승객의 탑승 공간대비 기기배치의 방향을 검토 필요함.
- 2층차량은 차량의 전체적인 중량분포가 일반차종에 대비 높은 위치에 위치 할 것이므로 차량제작 후 운행시 승객의 진동, 승차감에 대한 기술적 기준 검토가 필요 함.

2. 법 · 제도적 요건

(1) 차량 제작, 시험 · 검사 입증을 위한 철도안전법 검토

① 적용 기술기준의 선정

국내 철도차량 제작을 위한 제반 법령에 관하여는 2014년 3월 19일자 개정 발효된 철도안전법의 검토가 필요하며 검토대상의 선정은

- 과제명 : 도시간 운행위한 광역철도용 전동객차라는 점
- 차량의 분류기준 부분 : 철도차량기술기준 Part1 “총칙”의 2절 “정의” 25)항, 26항)의 정의에 따라 200km/h 미만의 차량이므로 “일반철도차량”으로 해석 가능한 점

상기 ①항, ②항의 사항으로 본 과제의 적용대상 철도차량 기술기준은 “일반철도차량 기술기준 Part 41”을 적용 할 수 있다.

② 기술기준 Part 41의 적용을 위해서는 해당 기술기준의 [별표1]에 관한 사항이 모두 확인 되어야하며 기술기준의 전체 구성이 일반1층 전동차량을 기준으로 제정된 점을 고려한다면 2층에 관해 특별히 제고 되어야 할 부분을 선별하여 특별히 고려되어야 할 것으로 판단되며 해당 아래 Table 2.1.1의 항목 중 그 대상은 별도로 표기 하고자 한다.

Table 2.1.1 일반철도 차량의 적합성평가

적합성 평가 항목	추가 고려 사항 여부	비 고
제 1장 개요		
1.1 목적	불필요	
1.2 적용범위	불필요	
1.3 주요내용	불필요	
제2장 적합성평가		
제3장 필수요구사항		
3.1 일반사항	불필요	
3.2 안전	불필요	
3.2.1 차량한계		
1) 차량한계	불필요	
2) 차량중량	불필요	
3) 중량분포	불필요	별도 동특성해석 필요
4) 차량구조	불필요	
5) 차량표시	불필요	
3.2.2 주행안전		
6) 차량-선로 작용력	불필요	
7) 윤중 감소량	불필요	
8) 횡압	불필요	
9) 탈선계수	불필요	
10) 전복방지	불필요	
3.2.3 충돌안전		
11) 충돌안전설계	불필요	
12) 철도차량의 연결	불필요	

적합성 평가 항목	추가 고려 사항 여부	비 고
3.2.4 화재안전		
13) 화재안전설계	불필요	
14) 화재위험등급	불필요	
15) 화재예방	불필요	
16) 화재전파 방지	불필요	
17) 화재감지 및 경보	불필요	
18) 화재발생시 대피	불필요	
19) 화재진압설비	불필요	
20) 화재안전설비의 작동상태 표시	불필요	
3.2.5 전기안전		
21) 전기안전	불필요	
22) 절연거리확보	불필요	
23) 전기차단	불필요	
24) 전류귀환 및 접지	불필요	
25) 전자기유도장애의 억제	불필요	
26) 오조작방지	불필요	
27) 배선 및 전기기기의 배치	불필요	
3.2.6 위험도분석		
28) 화재안전 위험도	불필요	
29) 충돌안전 위험도	불필요	
30) 탈선안전 위험도	불필요	
3.2.7 철도소프트웨어		
31) 소프트웨어 설계	불필요	
32) 소프트웨어 구현	불필요	
33) 소프트웨어 시험	불필요	
34) 소프트웨어 설치	불필요	
35) 소프트웨어 유지보수	불필요	
3.3 성능		
3.3.1 운행조건		
36) 기후조건	불필요	

적합성 평가 항목	추가 고려 사항 여부	비 고
37) 하중조건	불필요	
38) 운전조건	불필요	
3.3.2 운행성능		
39) 최고속도	불필요	
40) 역행성능	불필요	
41) 제동성능	불필요	
42) 집전성능	불필요	
43) 열차주행저항	불필요	
44) 진동	불필요	
45) 승차감	불필요	
3.4 인터페이스		
3.4.1 차량-전력		
46) 전압 및 주파수 범위	불필요	
47) 회생제동	불필요	
48) 집전장치 정적 접촉력	불필요	
49) 전차선과의 동적 거동	불필요	
50) 집전장치 배열	불필요	
51) 절연구간 주행	불필요	
52) 집전장치 절연	불필요	
3.4.2 차량-신호		
53) 지상신호장치와 인터페이스	불필요	
54) 차상신호장치와 인터페이스	불필요	
3.4.3 차량-통신		
55) 승객정보시스템	불필요	
56) 차내방송장치	불필요	
57) 통신장치	불필요	
58) 승객경보	불필요	
59) 열차운행정보 저장장치	불필요	
3.4.4 차량-궤도		
60) 선로조건	불필요	

적합성 평가 항목	추가 고려 사항 여부	비 고
61) 캔트 부족	불필요	
62) 레일 좌면부 경사	불필요	
63) 궤도에 가해지는 하중	불필요	
3.4.5 차량-기관사		
64) 운전제어대	불필요	
65) 운전석	불필요	
66) 운전실 조명	불필요	
67) 기관사 시야확보	불필요	
68) 디스플레이 장치와 스크린	불필요	
69) 제어장치와 표시장치	불필요	
70) 기관사 감시	불필요	
71) 운전실 표시	불필요	
72) 운전실 차상도구와 휴대용 장비	불필요	
73) 운전실 환경	불필요	
3.5 운영 및 유지관리		
3.5.1 유지보수 기준 - 74)	불필요	
3.5.2 유지보수를 위한 자료		
75) 일반자료	불필요	
76) 유지보수 자료	불필요	
77) 운행관련 자료	불필요	
78) 리프팅 도해 및 지침	불필요	
79) 구조 관련자료	불필요	
3.6 운용한계		
3.6.1 안전운행 - 80)	불필요	
3.6.2 보건 - 81)	불필요	
3.6.3 소음		
82) 정차소음 측정	불필요	단, 기계실 별도 고려 필요
83) 주행소음 측정	불필요	단, 기계실 별도 고려 필요
84) 출발소음 측정	불필요	단, 기계실 별도 고려 필요
85) 제동소음 측정	불필요	

적합성 평가 항목	추가 고려 사항 여부	비 고
86) 환경소음 측정	불필요	
3.6.4 구원운전 - 87)	불필요	
제4장 주요장치별 기준		
4.1 일반사항		
4.2 차체 및 설비		
88) 구조체 설계	불필요	
89) 구조체 안전	불필요	
90) 실내설비	불필요	
91) 리프팅	불필요	
92) 장애물 제거기	불필요	
93) 부식억제	불필요	
94) 출입문	불필요	
95) 승무원출입문	불필요	
96) 차량간 통로문	불필요	
97) 냉난방환기장치	불필요	
98) 등구류	불필요	
99) 의자 및 선반	불필요	
100) 전면유리창	불필요	
101) 측면유리창 및 기타 유리창	불필요	
102) 운전실 및 비상탈출구	불필요	
103) 승객용 비상 출구	불필요	
104) 경적	불필요	
105) 열차비상용품	불필요	
106) 고압가스 운송차량 특수장치	불필요	
4.3 주행장치		
107) 주행장치 설계	불필요	
108) 주행장치틀	불필요	
109) 윤축 및 차륜특성	불필요	
110) 축상조립장치	불필요	
111) 현가장치	불필요	

적합성 평가 항목	추가 고려 사항 여부	비 고
112) 차체지지장치	불필요	
113) 구동장치	불필요	
4.4 제동장치		
114) 제동장치 설계	불필요	
115) 제동 요구사항	불필요	
116) 비상제동	불필요	
117) 상용제동	불필요	
118) 주차제동	불필요	
119) 기초제동	불필요	
120) 압축공기 공급장치	불필요	
121) 활주방지	불필요	
122) 제동상태 표시	불필요	
4.5 추진장치		
123) 설계 요구사항	불필요	
124) 인버터/컨버터	불필요	
125) 견인전동기	불필요	
126) 내연기관 구조	불필요	
127) 내연기관 장치	불필요	
128) 집전장치	불필요	
129) 비상운전	불필요	
4.6 보조전원장치		
130) 보호기능	불필요	
131) 연장급전	불필요	
132) 축전지	불필요	
4.7 차상신호장치		
133) 시스템 일반	불필요	
134) 자동열차정지장치(ATS)	불필요	
135) 자동열차방호장치(ATP)	불필요	
4.8 종합제어		
136) 종합제어장치의 설계	불필요	
137) 운행상태 확인장치	불필요	

적합성 평가 항목	추가 고려 사항 여부	비 고
138) 출입문제어	불필요	
4.9 연결장치		
139) 연결기	불필요	
140) 통로연결장치	불필요	

상기와 같이 기술기준 만족을 위한 기술기준의 내용은 항목별 별도의 기술기준이 존재하지 않더라도 현재의 기술기준을 적용 가능 할 것으로 판단 됨.

3. 요건별 주요 검토 내용

(1) 차량한계 검토

광역도시철도라인 운행을 위한 차량에 관한 사항이므로 이는 도시철도구간 및 일반철도구간을 병행 운행하는 차량이므로 도시철도 차량한계 및 일반철도의 차량 한계를 함께 고려하여 검토 되어야 하며, 도시철도차량에 대한 차량 한계는 비록 2014년 철도안전법 개정에 따라 도시철도법 제 22조의 2 삭제되기는 하였으나 기존 건설된 구간이 이미 존재하여 기존선로에 차량이 운행을 하여야 하므로 당시 도시철도 차량 안전기준에 관한 규칙에서 정의한 차량한계의 적용 및 신규 개정 철도안전법의 기술기준 KRTS-VE-PART41과 KRTS-VE-PART51의 3.2.1절에 관한 사항이 검토 되어야 한다.

① 도시철도차량 안전기준에 관한 규칙

“제2조(정의) 3. "차량한계"라 함은 차량의 안전을 확보하기 위하여 궤도위에 정지된 상태에서 측정한 차량의 길이·너비 및 높이의 한계를 말한다. ” 로 정의하고 있고

“ 제5조(차량한계) 1) 직선궤도위에서의 차량한계는 별표 1과 같다. 다만 경량전철의 차량한계는 특별시장 · 광역시장 · 도지사 · 특별자치도지사 · 시장 또는 군수(이하 “지방자치단체장”이라 한다)가 별도로 정한다. 2) 차량이 곡선궤도위의 중심선에서 어느 한쪽으로 기울게 되는 경우에는 차량의 각 부분이 Fig. 2.1.1의 규정에 의한 차량한계에 도시철도건설규칙 제21조제2항의 규정에 의한 치수를 가산한 범위 이내이어야 한다. “ 이며

■ 차체길이: 1만9천500밀리미터. 다만, 제어차량의 차체길이는 운행노선의 최소 곡

선반경을 고려하여 확대할 수 있다.

■ 연결면간거리: 2만밀리미터. 다만, 제어차량의 연결면간거리는 운행노선의 최소 곡선반경 을 고려하여 확대할 수 있다.

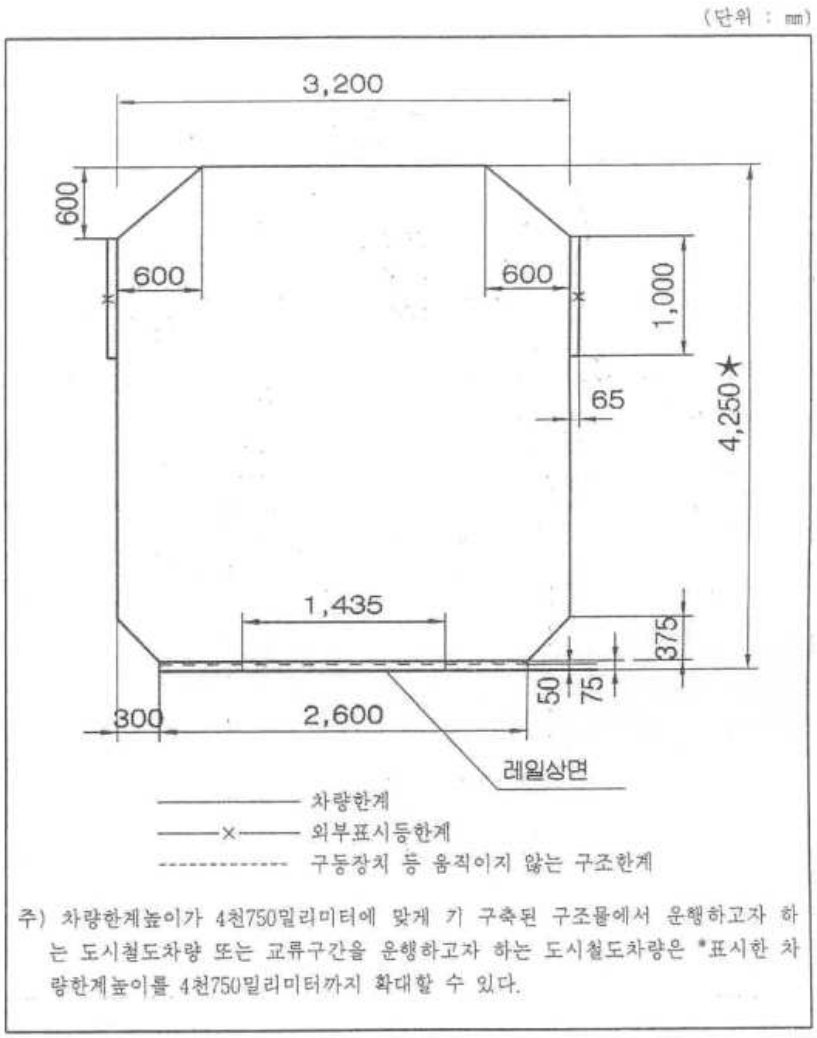


Fig. 2.1.1 대형전동차 규격

상기 Table 2.1.2에서 주어진 한계도에 따르면

- 차고의 높이는 한계 4,250mm 와 일반 장대물 제작공차 ±10mm 및 차량 제작에 소요되는 기본 Camber 값 (약25mm)을 고려하면 4,215mm 이내에서 설계 되어져야 하며, 전동차량인 경우를 고려하면 차량의 전원을 공급해주는 집전장치의 작동범위등이 고려 되어 차량의 최고 높이가 선정 되어야한다.
- 차폭의 경우 한계 3,200mm에서 일반 제작공차 ±10mm 고려 3,180mm 이내에서 설계 되어져야 한다. 그러나 차량의 형태에 따라 차폭을 결정 짓는 요소인 출입문의 형태, 운전자 및 승객의 편이를 고려한 승하차 보조 설비인 손잡이등이

고려되는 경우 3,180mm에서 추가적인 설계치수의 축소가 필요하다.

②개정 철도안전법 차량기술기준

“기술기준 PART 1 총칙의 2절 정의에 따르면 ”34) "차량한계"라 함은 차량의 안전을 확보하기 위하여 차량의 정적한계를 고려한 너비 및 높이의 한계를 말한다. “로 정의하고 있으며 일반철도차량 기술기준 PART 51의 3.2.1.1 차량한계는

- 차량한계는 해당 일반철도 차량의 설계 및 제작의 적합성, 궤도시설에 대한 안전성, 차체와 차체 그리고 차체와 대차 사이의 간섭이 발생하지 않음을 보장해야 한다.
- 차량과 선로구조물과의 간섭유무 확인 시에는 철도차량의 동적거동을 고려하여야 한다.(최소곡선반경, 차량의 최대 변위, 최대 캔트 부족량, 하중 및 속도조건, 차륜의 마모, 틸팅각 등 을 고려한다)
- 하중 고려 시 각종 부가 하중(승객, 화물, 연료, 모래 등을 고려한다.
- 해당 철도차량은 모든 경우의 동적거동이 건축한계 내에 있도록 설계되어야 하며, IEC 62486, EN 15273-1, EN 15273-2, EN 15273-3, UIC 505-1 등을 참고할 수 있다.
- 신청자는 정적한계의 경우 차량한계 측정시험으로 입증하고, 동적한계의 경우는 계산서(또는 해석서)를 이용하여 입증할 수 있다.

로 정의 구체적인 한계 형상을 정의하지 않고 있으며, 국내 일반철도 노선은 한국철도공사 운용중인 노선이 전부인 현실을 감안하면 철도공사에서 차량발주를 위해 제시하고 있는 차량 한계를 적용 할 수 있다 그 차량 한계는 아래 Fig. 2.1.2와 같다.

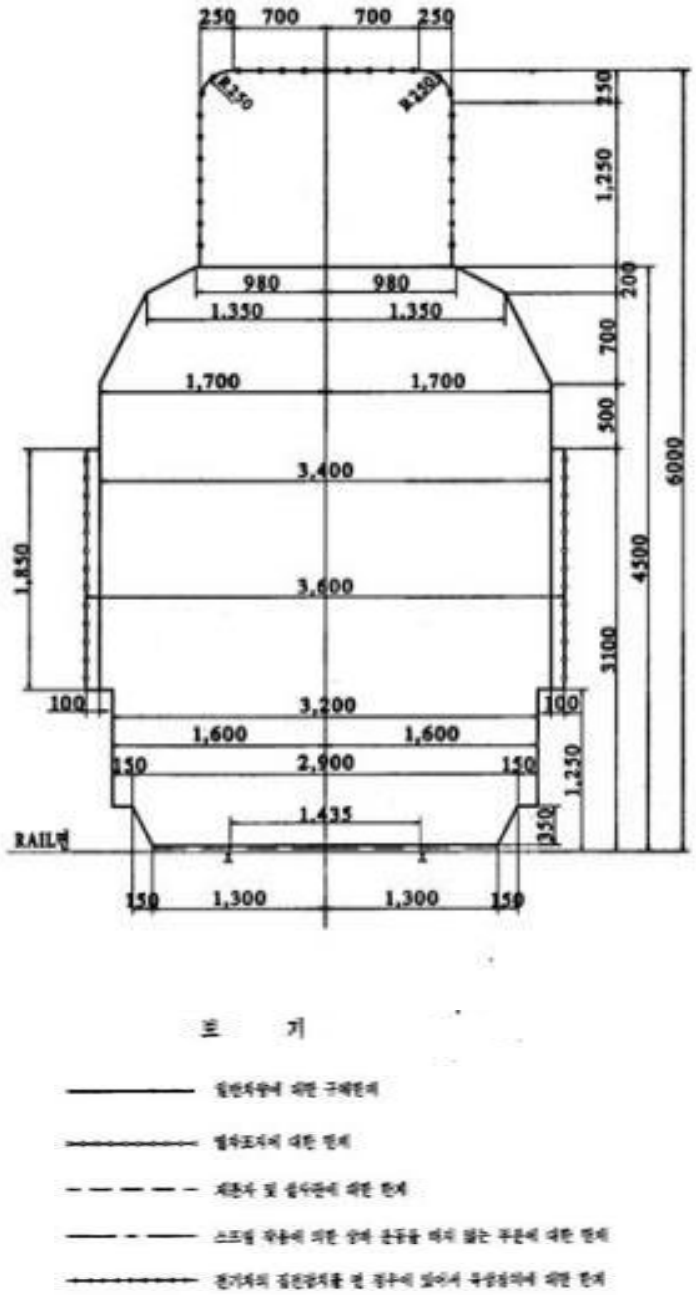


Fig. 2.1.2 철도공사 KRCS 0826 01

Fig. 2.1.2를 기준으로

- 차고의 높이는 한계 4,500mm 와 일반 장대물 제작공차 ±10mm 및 차량 제작에 소요되는 기본 Camber 값 (약25mm)을 고려하면 4,465mm 이내에서 설계 되어져야 하며, 전동차량인 경우를 고려하면 차량의 전원을 공급해주는 집전

장치의 작동범위등이 고려 되어 차량의 최고 높이가 선정 되어야한다.

– 차폭의 경우 한계 3,400mm에서 일반 제작공차 ±10mm 고려 3,380mm 이내에서 설계 되어져야 한다. 그러나 차량의 형태에 따라 차폭을 결정 짓는 요소인 출입문의 형태, 운전자 및 승객의 편이를 고려한 승하차 보조 설비인 손잡이등이 고려되는 경우 3,380mm에서 추가적인 설계치수의 축소가 필요하다.

(2) 주요장치 기술력 보유 검토

① 집전장치

차량의 집전장치는 국내 주요 차량제작사의 제작납품 및 운영사의 운영실적을 근간으로 볼 때 일반전동차의 교차형 집전장치와 일반차량 및 고속차량에 적용 중인 싱글암형 집전장치로 대별할 수 있으며, 이는 차량에 범용으로 설치되어 운행 중 이므로 충분한 기술력을 보유 하고 있다고 할 수 있다.

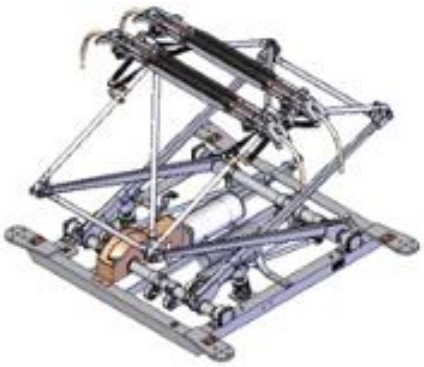


Fig. 2.1.3 교차형



Fig. 2.1.4 싱글암형

② 추진제어장치

추진제어장치는 차량이 전동객차인점을 고려한다면 편성내 차량의 조합형태를 그룹(Unit)개념의 형태로 운용하는 것이 각종 제어를 위한 효율적운용 형태이며 최소단위의 그룹에서 소요되는 용량에 따라 그 크기가 선정되며, 또한 차량의 속도 및 취부 방식에 따라 냉각형태가 고려되어지게 된다.

Table 2.1.2 국내에서 제작 운용중인 추진제어장치의 현황

구 분	경전철용	일반전동차용	150km/h급	180km/h급	250km/h급	300km/h급	430km/h급	비고
용량	125kw x 2대	200~210kw x 4대	250kw x2 대	250kw x 2대	설계중	1100kw x 2대	410kw x4 대	
냉각방식	강제냉각	자냉각	자냉식	자냉식	강제냉각	강제냉각	강제냉각	

Table 2.1.2와 같이 추진제어장치는 국내 기술보유 제작/운용이 일반화 되어 있어 충분한 기술력을 보유하고 있음을 알 수 있다.

③ 보조전원장치

차량의 각종 제어 및 안전을 위한 보조전원장치 역시 2)항의 차량구성에 보조전원을 공급하기위한 시스템설계가 완료, 제작되어 탑제되어 있어 기술적력이 확보되어 있는 상태이다.

④ 제동장치

제동장치는 차량의 편성 중량과 속도에 기인하는 요인이 주요 설계요소이나 전동차의 축중한계 16톤에 대한 설계가 자유롭게 구현가능한 기술 보유 상태이며 금번 2층전동차량을 제작한다고 하더라도 축중의 한계는 동일한 16톤을 적용하여야 하며 축당 최대한계 16톤인 경우 량당 최대 중량이 64톤이므로 현재의 일반 전동차 공차 최대중량이 약 44톤인 점을 고려하면 설계에 관하여 구현의 어려움이 없는 정도이다. 예로서 경춘선 좌석형 2층객차(T-CAR)의 공차 중량이 약41톤으로 전동객차인 경우 최대 추가 가능한 주요장치설치 중량은 AC 차량인 경우 주변압기 2톤, 주변환장치 약2.2톤, 견인전동기 및 변속기 약4톤(최대4대), 외 기타 전기장치품의 관련 회로 및 제어 구성을 위해 약 1톤, 종합적으로 약 9톤정도의 중량이 추가 된다고 할 수 있으며 잔여 14톤의 중량이 승객 탑승능력으로 환산 될 수 있고, 이를 평균 체형 65kg/인 경우 215명/량 승객 정원까지 가능한 중량이라 할 수 있다 , 그러나 실제 객실에 배치되는 의자등의 배치에 따르면 실제적인 승객중량은 작은 중량으로 작용될 수 있다.

⑤ 상기 ①~④항을 제외한 2층 차량을 설계하기 위한 추가 고려될 장치는 신호장치

와 승객의 서비스를 고려한 장치를 생각해 볼 수 있으나, 신호장치의 경우 특성이 차량의 형태로부터 설계적 제한을 받는 장치가 아니며 신호장치 독립적으로 차량과 지상과의 인터페이스를 이루는 장치이며 국내에서 운용중인 ATS, ATC, ATO, ATP 및 CBTC 방식등 모든 신호시스템이 이미 사용 운행 중이므로 기술적 검토 대상으로 고려할 필요가 없는 장치이다.

따라서 상기 ①~⑤항까지의 결과로써 알 수 있는 것은 2층 전동객차 설계 및 제작을 위한 장치별 기술력은 이미 보유하고 있다고 판단된다.

(3) 기기배치 검토

①기기배치 검토 기준

2층 전동객차의 운영효율을 향상하기 위해서는 차량의 기기배치가 무엇보다도 중요한 인자로 작용할 수 있다. 이는 2층 차량인 점을 고려하면 가장먼저 기존 일반전동차와 같이 Under Floor하면 기기배치 형태가 어려운 형태가 될 것이며, 1층과 2층을 이동하기 위한 승객 동선의 구현 등이 무엇보다도 중요한 설계적 요소가 될 것으로 보인다. 또한 기기배치의 결과에 따라 차량에 탑승 가능한 승객의 수를 확정하기 때문이다. 따라서 전기전동차인 점을 고려한다면

- 주요전장품(고압기기장치, 추진제어장치, 보조전원장치 등)의 배치 공간 검토
- 제동장치 중 설치품의 부피가 대형인 제동제어장치 및 각종 Reservoir류 등의 배치
- 승객서비스의 기기중 냉난방환기장치의 배치
- 승객 출입문의 위치에 따른 승객 동선 고려
- 위항의 승객 출입문 위치에 따른 차간 Jumper 형태 등이 주요 검토 사항이며, 이외에도 운영 노선에 따라 승객을 위한 화장실 설비의 구현 및 승무원 이용을 위한 승무원실 구현등 추가적으로 수요자 입장에서 고려되어야 할 다양한 고려 사항이 있을 수 있다.

②주요전장품의 배치

먼저 국내 운영 중인 차량인 ITX-청춘 2층 차량을 기준 설계적 고려 사항을 검토하여 보면



Fig. 2.1.5 국내 운영 중인 ITX-청춘 2층 차량

ITX-청춘의 2층 전동객차는 Trailer-car 로서 전동차량의 주요장치인 전장 및 전기장치품이 탑재되어 있지 않으며 차량의 형태는 아래와 같다.

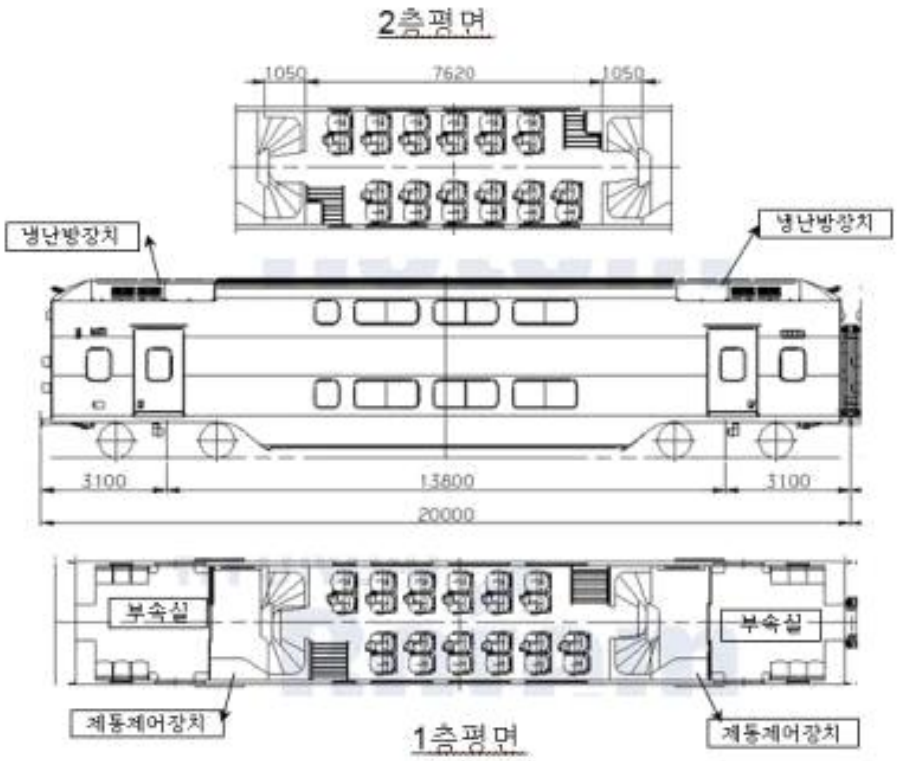


Fig. 2.1.6 ITX-청춘 2층 전동객차의 내부 구조(1)

Fig. 2.1.6에서 보듯이 주요 전기장치품등이 설치가 되어 있지 않는 순수 객차의 형태로 구현되어 있으며 ITX-청춘은 총 8량 중 잔여6량(일반전동차)에 전기 장치품등이 Under Floor 하면에 부착 운영 되고 있는 상태이다. 따라서, 이와 같은 객차의 기능에 전동차의 전기장치품의 설치를 위해서는 아래와 같이 승객탑승과 승객의 차량간 이동을 저해하지 않는 공간에 편성 중 일부를 선택 기계실화 하여 운용이 불가피한 상태이다.

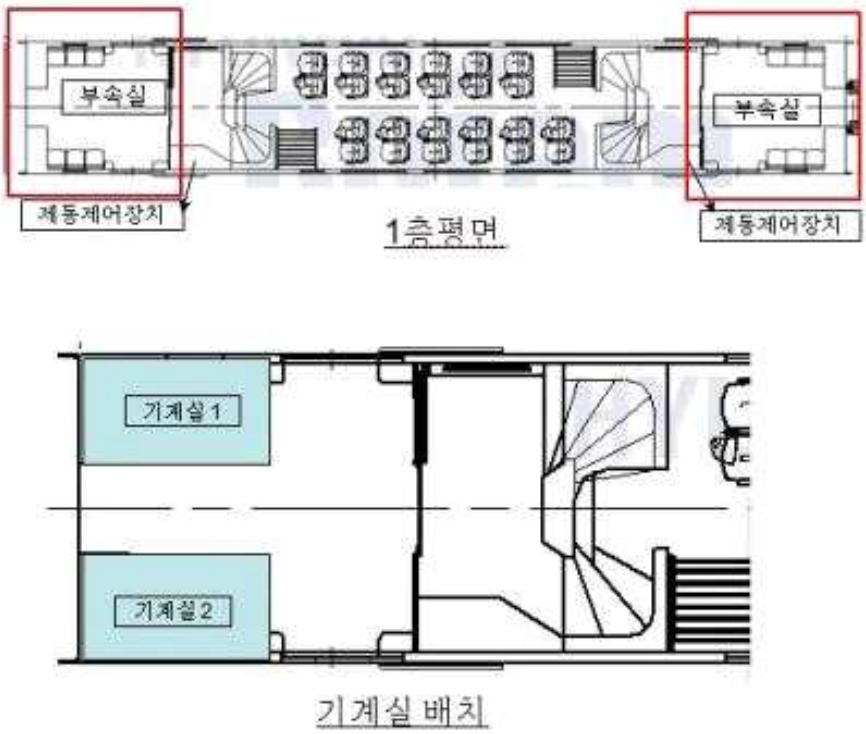


Fig. 2.1.7 ITX-청춘 2층 전동객차의 내부 구조(2)

해외 사례의 경우 아래 Fig.2.1.8과 같이 열차간 연결부 대차 상부가 승객을 탑승시키지 않는 기계실로 이루어져 있는 상태 이다.



Fig. 2.1.8 해외(Desiro)의 2층 전동객차

③출입문 배치등에 따른 승객동선의 검토

승객 동선의 검토는 출입문의 위치 및 승객탑승공간(좌석 및 입석 배치)을 고려한 배치가 이루어져야 하며 아래의 그림은 각각 그 배치에 따른 형태가 달라질 수 있음

을 보여 주는 사례들이 될 수 있다.

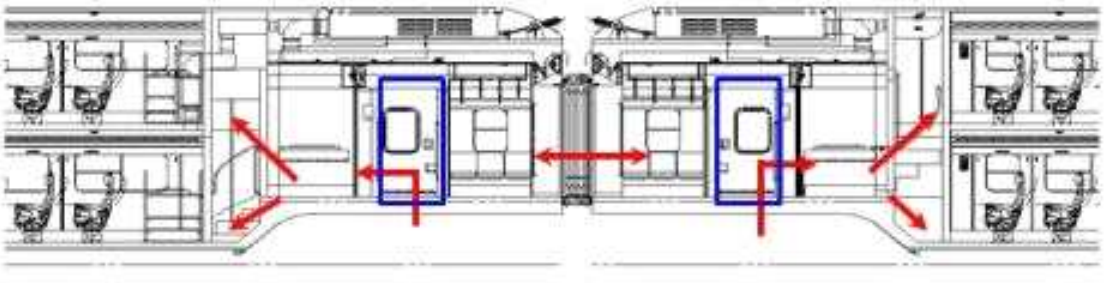


Fig. 2.1.9 국내 ITX-청춘 2층 열차 출입문 구조

국내 ITX-청춘의 경우 출입문의 위치와 1층, 2층 계단까지의 사구간이 많아 실질적으로 더 많은 승객 수송을 위한 배치에는 부족함이 있다.

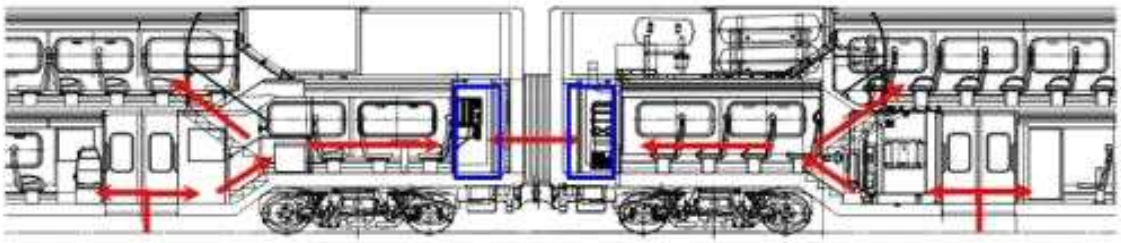


Fig. 2.1.10 미국 SCRRA 2층 열차 출입문 구조

미국SCRRA 이층객차의 경우 DOOR의 위치를 차량 단부측에 최대한 위치 시키고 대차상부 중간 Floor를 승객이 차량간 이동을 위한 이동통로 및 좌우를 승객좌석을 배치 승객 수송 효율을 향상시킨 사례가 될 것이다. 초기 차량에 대한 Lay-out 구성시 차량에 대한 승객운송능력, 승객의 동선을 고려한 차량의 설비배치가 이루어져야 한다.

(4) 차량 중량분포의 검토

2층 차량인 경우 먼저 차체의 형태가 2층으로 구성되며, 주요 전기장치 및 중량물인 기기들이 Under Floor 상부로 설치되게 되므로 차량의 중량중심 인 Gravity 전체적으로 높아질 수 있으며 이는 아래와 같은 간단한 비교자료로써도 확인 할 수 있다.

Table 2.1.3 ITX-청춘 2층 열차의 설계중량 분포

차종	중량	무게중심		
		X축	Y축	Z축
TC1	43,873.3kg	-246.7mm	12.4mm	1332.1mm
M1	46,437.9kg	-104.1mm	1.6mm	1256.8mm
M2	46,550.9kg	74.4mm	5mm	1401.3mm
M'1	48,245.9kg	145.2mm	0.2mm	1278.8mm
M'2	48,245.9kg	237.3mm	-7.1mm	1278.8mm
T	42,978.8kg	-2.2mm	14.4mm	1593.9mm
TC2	43,873.3kg	-248.3mm	-2.5mm	1332.1mm

Table 2.1.3에서 보는 것과 같이 T-CAR 이외의 차량은 일반(일층)전동차이며 T-CAR 만이 2층 객차인 ITX-청춘 차량이다, 상기 DATA는 단순 객차임에도 불구하고 2층 차량으로 구성 그 증량분포가 Z-축으로 타차종에 비해 높은 위치에 존재하고 있음을 알 수 있으며 이는 설계 후 반드시 동특성 해석을 통해 차량의 주행 안정성이 검증 되어야 함을 나타내는 결과이다.

4. 과제별 · 연차별 기술 로드맵

(1) 기술로드맵

2층 전동객차의 주요 기술은 위에서 언급한 것과 같이 세부 장치별 기술 구현은 상세설계 단계에서 구현이 가능한 기술력을 보유 하고 있으며, 다만 실제 차량의 적용을 통한 안전 및 성능을 입증 확인하는 과정이 필요하며, 이를 위해서 아래와 같은 선행적 검토 및 기술 확인이 필요 할 것으로 판단되며, 최종 제작 성능 확인 후 추가적인 성능 개량을 위한 단계로 구분 개방 업무가 진행 되는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

①핵심기술 도출 및 설계기술 확보를 위한 SE 수행

②실용화를 위한 상세설계 및 제작기술 개발

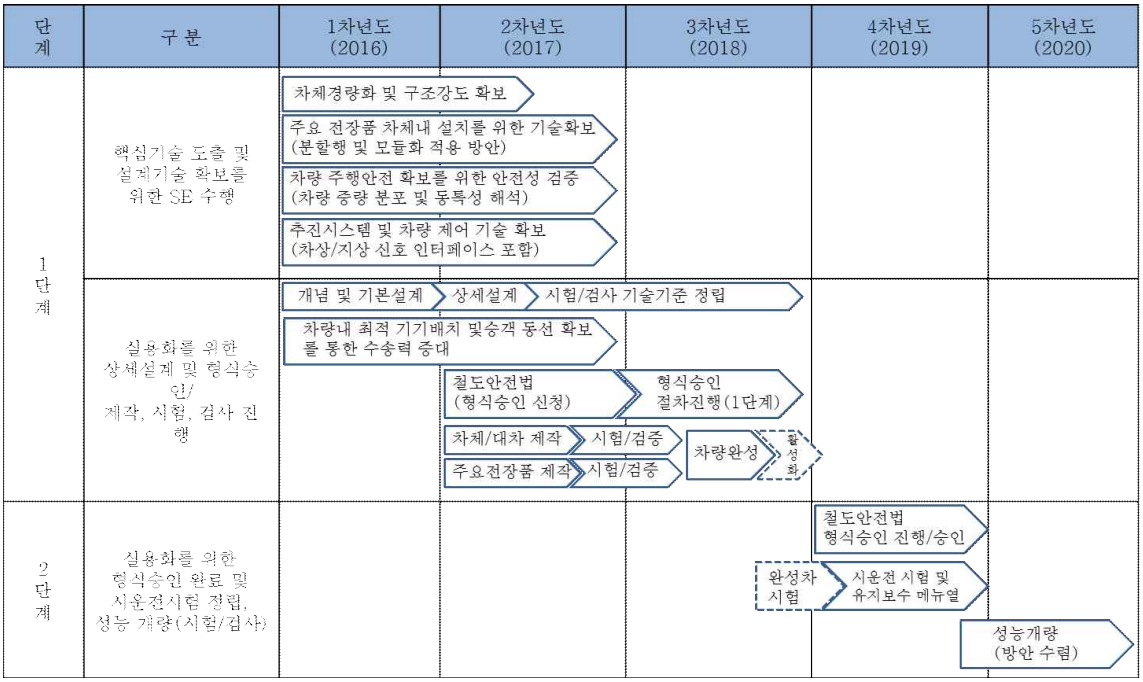


Fig. 2.1.11 2층 전동객차 실용화를 위한 기술 로드맵

■ 1단계 과제 : 핵심기술개발, 설계 및 제작 , 성능시험 및 형식승인 착수 단계

1차년도 주요 시행 기술개발 사항은 차량 구성을 위한 전체적인 개념설계가 수행이 필요하며 이단계에서는 차량제작을 위한 초기 단계의 외형과 내부의 모형 확정을 위한 조감도 업무를 포함한 장치별 주요 설계방안 및 설계방향을 확정하는 단계이며, 정의된 차량의 개념에 대해 차체의 구조를 정의하고 2층 차량의 약점으로 분석 되는 차량 중량에 관한 문제를 해결하고 동일 추진력 대비 최대의 성능구현을 위한 경량화 방안이 제시 될 것이다. 그러나 이경우라도 철도안전법의 기술기준으로 요구 되어지는 최소한의 안전 확보를 위한 구조안전 및 주행안전 에 대한 해석 및 강도 확보를 위한 업무가 착수 추진 될 것이다.

추가적으로 차량 전반에 걸친 고압/저압 및 제어회로에 대한 개념 정립이 필요하며, 충분한 승객동선 및 기기배치 적정성을 검토하여 최적의 기기배치안과 승객 수송율 증대를 위한 동선이 함께 고려되어 차량의 Lay-out 이 구성 될 것이다.

2차년도 단계는 1차년도 개념 및 기본 설계를 바탕으로 차량의 각 부위별, 장치별 상세설계가 진행 되어야 하며, 본 단계에서도 1차년도의 내용 중 기본 설계에 관한 부분의 지속 진행이 필요한 단계이다. 또한 본 단계에서는 1차년도 기본설계 및 상세설계의 구체화 결과물을 기준으로 차체 및 대차의 초도품 제작 진행이 필요하며, 초도품의 경우 최초 부품/구성품인 경우를 감안하면 충분한 제작기간의 확보가 필요 할 것으로 판단된다. 본 단계에서는 상세설계 및 부품/구성품 초도품 제작 후 시

험/검증용 기술기준의 정립을 위한 기술문서 작성 및 시험/검증 업무가 추진 될 것으로 판단된다.

3차년도 2018년도의 주요 과제 추진 내역은 차량의 완성 및 완성차량시험이 주요 사항으로 진행되며, 완성차량시험 및 예비주행, 시운전 시험을 위한 기술기준 정립의 마지막 단계가 될 것으로 판단된다.

■ 2단계 과제 :

4차년도(2단계 과제의 1차년도) 시행은 3차년도 완성차량시험의 마무리와 예비주행 및 시운전을 위한 과제 진행 및 시운전 시험을 통한 차량의 안전과 성능이 입증 되어 질 것으로 판단된다. 또한, 본 단계에서는 차량을 충분히 시운전 선로의 운행을 통한 신뢰성 확보를 확인할 필요가 있다. 본 과제를 통해 개발 된 차량에 대한 유지보수에 관한 각종 기준의 정립이 필요하며, 최종 유지보수 메뉴얼 완성을 통해 과제 전체에 대한 결과 정리가 되어 질 것으로 판단된다.

5차년도(2단계 과제의 2차년도) 는 과제의 마무리 단계로 1단계의 1~3차년도의 과제 결과 물 및 2단계과제의 4차년도 과제 수행 결과를 통해 안전 및 성능에 관한 개선 사항의 도출 및 유지보수 등 종합 적인 검토를 통해 설계적 개선 사항을 도출 향후 실용화를 위한 궁극적인 차량 완성을 목표로 하는 전체적인 과제 진행이 필요 할 것으로 판단된다.

(2) 년차별 단계별 과제목표 및 연구내용

2층전동 객차의 주요 로드맵을 기준한 각 년차별/단계별 세부 과제 목표 및 연구내용은 아래 Table 2.1.4와 같다.

Table 2.1.4 년차별/단계별 세부 과제 목표 및 연구내용

년차	성 과 지 표		성 과 목 표
1차년도 (2016)	기술적 지표	● 개념설계 - 시스템 요구사항 분석 - 차량 외형 및 내부 형상 - 주요장치 설계 구성안 ● 기본설계 - 주요장치 설계방안 - 차량 Lay-out - 경량화/장치별 기본사양 ● 철도안전법 형식승인 - 형식승인 신청	- 차량 제작 사양서(안) - 차량 조감도 - 중량 계산서 (초안) - 차량 Lay-out - 경량화 방안 - 주요 장치별 설계방안 - 형식승인 신청 (입증계획서 포함)

2차년도 (2017)	기술적 지표	● 상세설계 - 시스템 요구사항 정립 - 구조 요구강도 정립 - 주행안전 기술 분석 - 차량 시스템 분석 - 주요장치 상세설계 안 - 차량 완성 상세설계 안 - 주요인터페이스 결과 ●형식승인 진행 - 기술기준 입증 ●부품/구성품 제작 - 차체 및 대차 제작 - 주요 구성품 제작 - 부품/구성품 성능입증 ● 시험/검사 착수 - 시험/검사 기술기준 정립	- 차량제작 사양서 (최종안) - 중량계산서 (변경안) - 각종 강도 계산서 - 동특성 및 해석자료 - 주요장치 상세설계 도면 - 주요장치 기술정의 사양서 - 차량상세설계 도면 - 부품/구성품 구매사양 - 부품/구성품 제작 - 성능시험 절차서 및 검사기준 - 형식승인 절차 진행 (법적 관련 서식 기준)
3차년도 (2018)	기술적 지표	● 차량 제작 - 차량 제작 완성 ● 시험/검사 - 시험/검사 기술기준 정립 - 완성차량 시험 ● 형식승인 입증 - 완성차량 시험 입증	- 완성차량 - 완성차량시험 및 시운전시험 절차서 및 기준서 - 완성차 시험/검증 입증
4차년도 (2019)	기술적 지표	●시험/검사 및 형식승인 - 완성차시험 입증 - 예비주행 분석 - 시운전시험 입증 ●유지보수 매뉴얼 - 유지보수 매뉴얼	- 완성차시험 결과 - 예비주행 결과 - 시운전시험 결과 - 형식승인 취득 - 유지보수 매뉴얼 완성
5차년도 (2020)	기술적 지표	● 안전 및 성능 개선 - 신뢰성/가용성 측정 - 안전성 증대 - 에너지효율 증대 - 유지보수성 개선	- 주행시험:누적거리 달성 - 중량저감 방안 수립 - 성능개선 대상 선정 및 방안 수립 - 유지보수성 증대방안

위 Table 2.1.4와 과제 완성 및 결과 도출을 위한 년차별 단계별 기술 지표를 구성 하였으며, 차량 완성 및 성능 입증을 통한 형식승인취득까지 과제의 전반적인 연구 내용을 기록 한 것이며, 형식승인 후 차량의 지속적인 주행을 통한 주행거리 목표 달성 및 에너지 효율 증대 및 유지보수성 개선을 위한 설계안을 수립하여 후속

실용화시 개선 된 차량을 제작 운행에 안정을 기할 수 있을 것으로 판단된다.

2절 M-car, T-car 등 2층화 방안 제시

1. 2층 열차의 4종 차체에 대한 개념설계

(1)2층 열차 차종에 따른 차체의 개념설계

2층 열차의 설계제원은 T-car와 M-car, 그리고 Mc-car와 M'-car가 다소의 차이가 있으나 차량의 폭과 너비, 길이등 기본제원은 Table 2.2.1과 같다고 할 수 있다. 여기에 나타낸 모든 설계 제원은 차량과 터널의 인터페이스를 고려하여 1~4호선 기준의 차량한계 이내에서 외국의 2층 열차 차량을 벤치마킹하여 국내 실정에 맞게 결정하였다. 따라서, 차체길이 및 폭은 역내 시설을 고려하여 기존열차들과 동일하게 19,500 ㎜, 3,120 ㎜으로 결정하였다. 차량높이는 승객들이 입석 시 이동의 불편이 없도록 하기 위하여 기존 전동차의 차체높이에 공조장치 높이를 감안하여 4,190 ㎜(레일상면기준)까지 증가시켰다. 1·2층 실내의 높이는 외국의 2층 열차 사례를 참고로 하여 1920 ㎜, 1974.5 ㎜로 결정하였다.

또한, 2층의 경우에는 터널내의 인터페이스와 성인 좌석승객과 입석승객의 동선을 동시에 고려하여 1,300 ㎜ 기준 이상의 부분부터 곡면으로 설계하였다. 이외도 출입문의 사이즈는 1층과 2층 승객의 원활한 출입을 위하여 기존열차보다 폭이 넓은 2,000 ㎜, 높이 1,880 ㎜으로 설계하였다. 하지만 출입문의 위치는 기존 승강장의 높이를 고려하여, 국유철도건설규칙에서 정해진 바와 같이 레일상면 기준으로 1,150 ㎜ 높이에 출입문을 설치하였다. 또한 국유철도건설규칙의 전파선 높이 5,200 ㎜(최고 5,400~최저 5,000 ㎜)와 건널목 위험방지 시설 높이 5,500 ㎜을 충족시키기 위하여 2층 열차의 양쪽끝단을 1층 구조로 설계하여 그 지붕에 판토그래프와 공조장치를 설치하였다. 2층 열차 각 차량의 설계단면도는 Fig. 2.2.1 ~ 2.2.4와 같다. 본 연구의 2층 열차 개념설계에서 T-car와 M-car는 1·2층 모두 객실로서 승객들이 계단을 이용하여 이동하도록 설계하였으며, Mc-car와 M'-car는 1층을 기계실로 설계하여 계단을 이용하여 승객들이 2층에만 탑승할 수 있도록 개념 설계하였다.

Table 2.2.1 2층 열차 개념설계 주요제원(단위 : mm)

항목(Item)		2층 열차		표준전동차	차량한계 (1~4호선)
차체길이		19,500		19,500	–
차체높이	h_1(1층)	1,920	4,190	3,600	4,750
	h_2(2층)	7,974.5			
차체폭		3,120		3,120	3,200
대차간 거리		13,800		13,800	–
엔드빔 끝단과 대차중심간		2,850		2,850	–
출입문 설치 높이		1,150		1,150	–

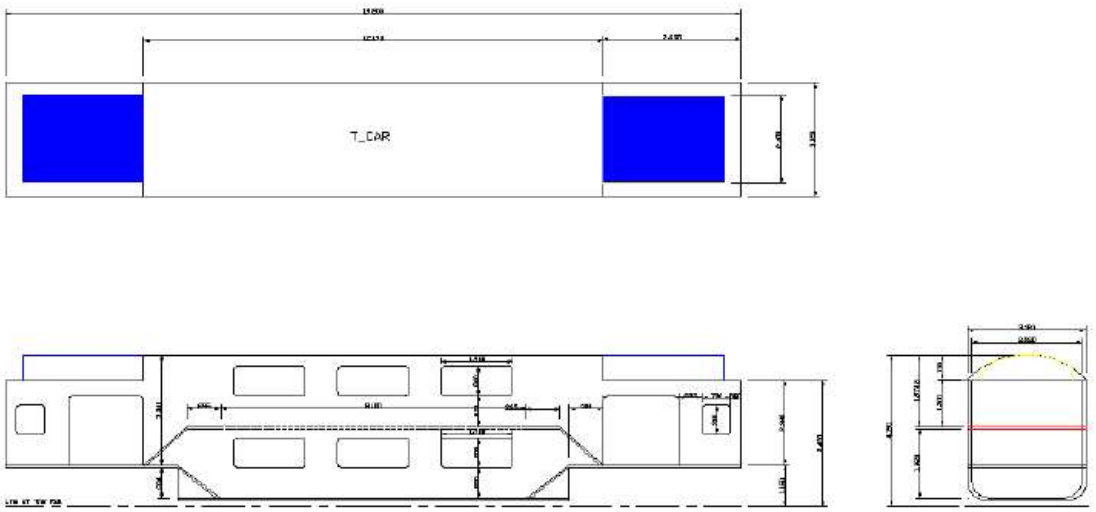


Fig. 2.2.1 T-car Schematics

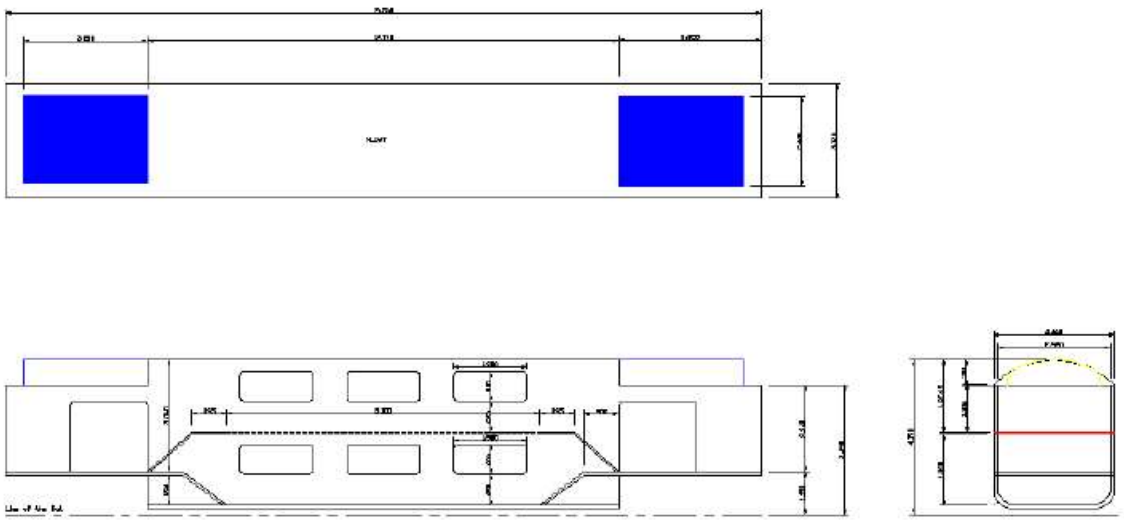


Fig. 2.2.2 M-car Schematics

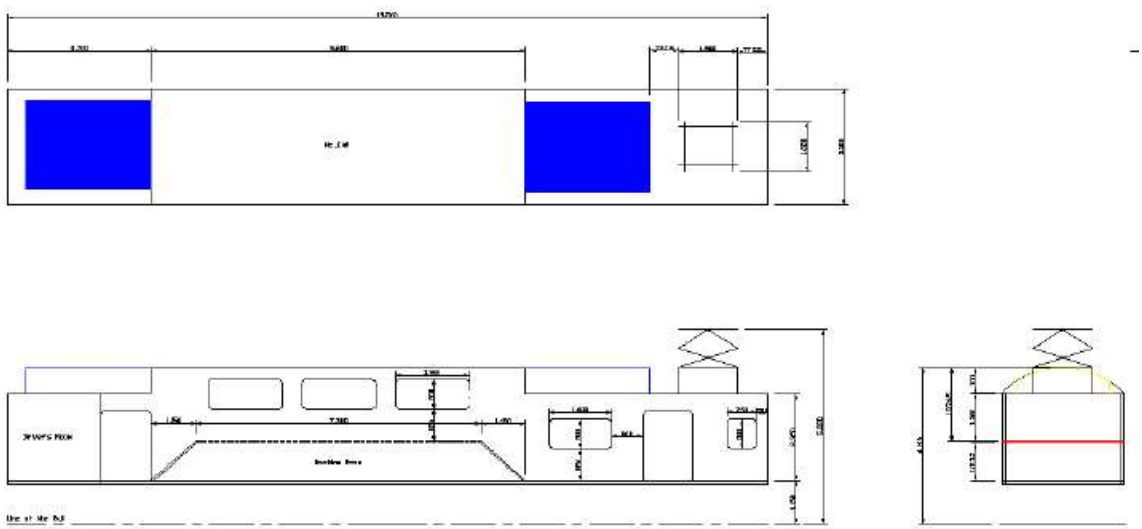


Fig. 2.2.3 Mc-car Schematics

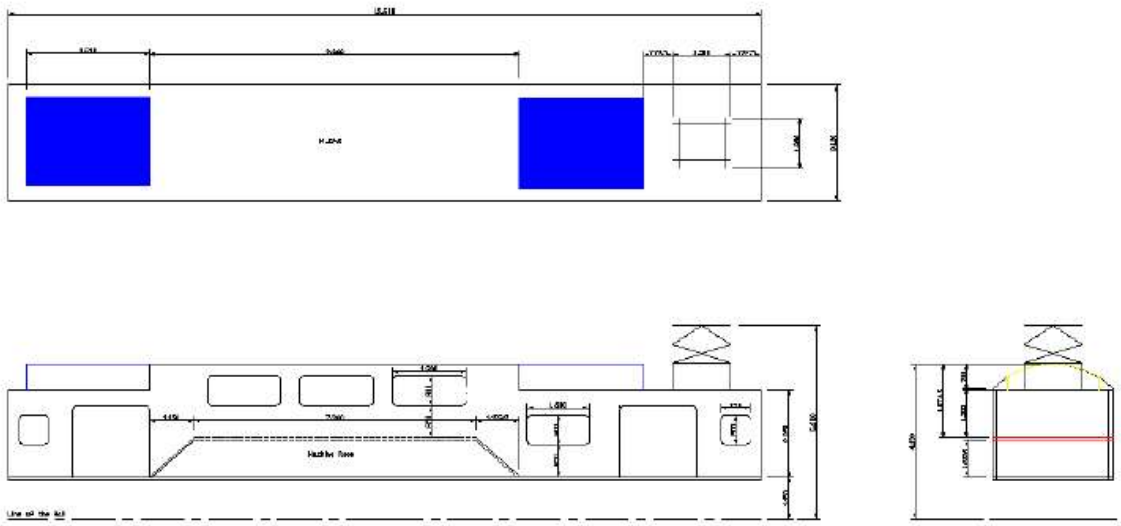


Fig 2.2.4 M′ -car Schematics

2. 제동장치의 연구개발 배경 및 필요성

(1) 제동장치의 연구개발 배경

①철도차량에는 상대적으로 출력이 낮은 접촉식 제동장치로 공압식 제동장치가 적용되고 있으며 이러한 이유는 철도선진국에서 공압식 제동장치를 도입한 이후 이를 지속적으로 개선하여 적용해 왔다.

②제동초속도가 100km/h일 때 열차는 1초에 약 27.8m를 주행하며, 제동초속도가 150km/h일 때는 1초에 약 41.7m를 주행하게 된다. 따라서 빠른 응답특성을 갖는 제동장치를 통해 비상 시 공주시간을 단축시키면 제동거리를 상당히 감소시킬 수 있으며 이러한 고성능 제동시스템은 승객의 안전과 관련된 핵심 기술이다.

③따라서 공압식(2초)보다 응답특성이 10배 정도 빠른 유압식(0.2초) 또는 전기모터식 제동장치에 대한 연구가 필요하다.

(2) 열차제어시스템 모듈화 핵심기술 개발

①열차제어시스템은 차량, 전력, 궤도토목, 역사 및 시설물 등과 상호 유기적으로 동작하는 하나의 철도 운영시스템이면서 동시에 승객안전을 보장해야하는 안전시스템으로서 개발의 설계단계부터 제작 및 시험평가까지 철저한 안전성활동과 평가과정을 거쳐야하므로 막대한 개발비용과 함께 시간과 인력투입이 요구된다.

②현재의 열차제어시스템의 경우 신규 인터페이스 요구사항 발생 시 그 구조적인 문제로 인해 인터페이스가 불가능하거나 만약 가능하더라도 제한적이거나 시스템 전반적으로 영향을 미침으로 인해 또 다시 일련의 안전성 활동프로세스를 수행해야함으로써 막대한 비용과 시간이 소요된다.

③열차제어시스템의 인터페이스는 1) UTO/DTO등 도입으로 인한 새로운 safety facilities와의 인터페이스, 2) 신규 R&D에서 추가되는 다양한 장치와의 인터페이스, 3) 재난방지 대책으로 개발한 다양한 장치와의 신규 인터페이스가 예상되므로 이러한 요구사항을 수용할 수 있는 열차제어시스템 모듈화 기술이 요구된다.

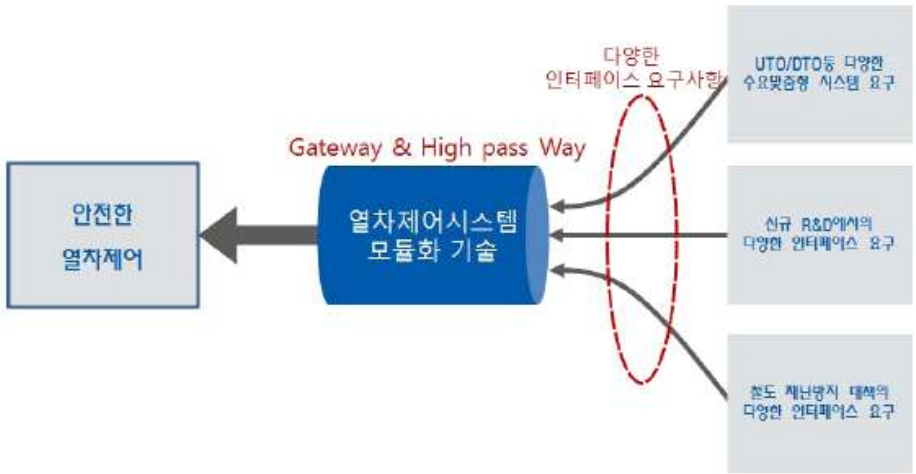


Fig. 2.2.5 열차제어시스템 모듈화를 통한 다양한 신규 인터페이스 요구사항 대응

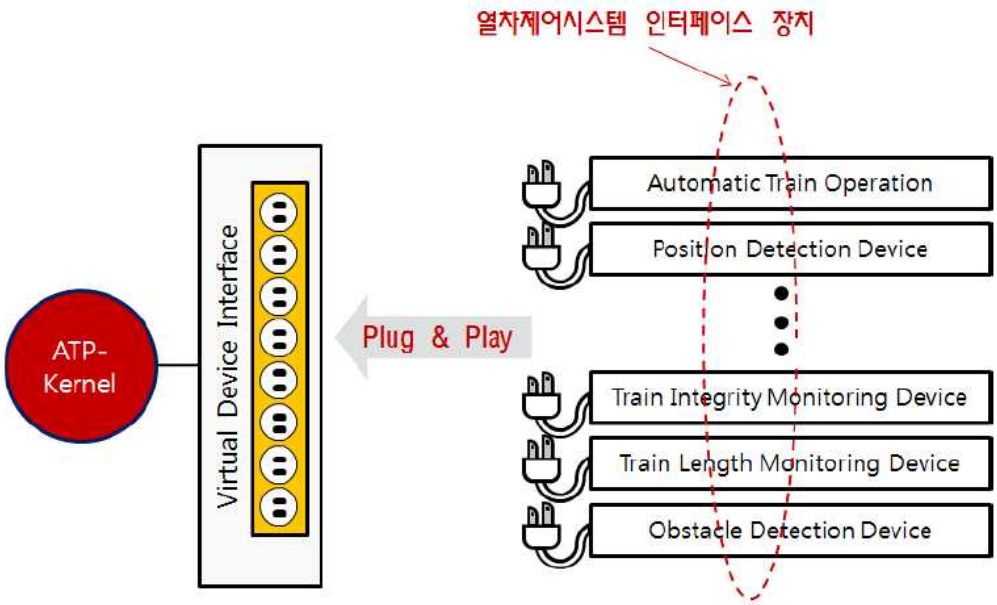


Fig. 2.2.6 열차제어시스템 모듈화 개발(concept)

(3) 제동장치의 기술동향 및 연구의 필요성

①제동장치의 기술동향

■ 접촉식 유압 제동

-공기제동과 동일한 마찰 제동방식이나 공압이 아닌 유압을 이용하여 차륜 또는 디스크에 마찰재를 접촉시키는 방법으로 일 본 및 유럽에서 연구가 수행됨

-문제점

㈎ 유압 컴포넌트의 누유 및 작동유로 인한 화재발생 가능성

㈏ Fail-safe 방식 및 작동유의 청정동 유지 문제, 공기제동에 비해 상대적으로 높은 초기/설비 비용

■ 와전류 레일 및 디스크 제동

-전자석과 궤도의 상대 운동에 의해 유기된 와전류에 의해 발생되는 힘을 제동력으로 사용하는 방식

-독일(ICE) 및 일본(신칸센)에서 1980년대부터 연구를 진행해 왔음

-문제점

㈎ 궤도회로와의 간섭

㈏ 큰 여자전류가 필요하며, 레일 또는 디스크의 변형/손상 발생

㈐ 70km/h 이상의 고속에서만 제동력을 얻을 수 있음

㈑ 레일과 차상의 브레이크와의 간격에 따라 제동력이 크게 변하고, 충분한

제동력을 얻을 수 없음

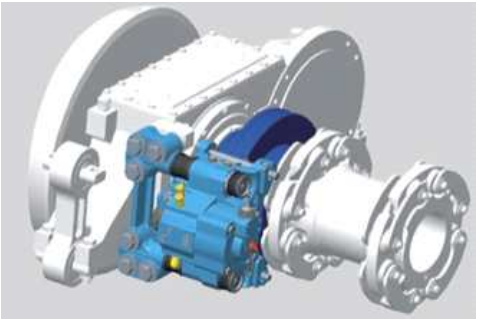


Fig. 2.2.7 접촉식 유압제동



Fig. 2.2.8 와전류 레일제동



Fig. 2.2.9 와전류 디스크제동

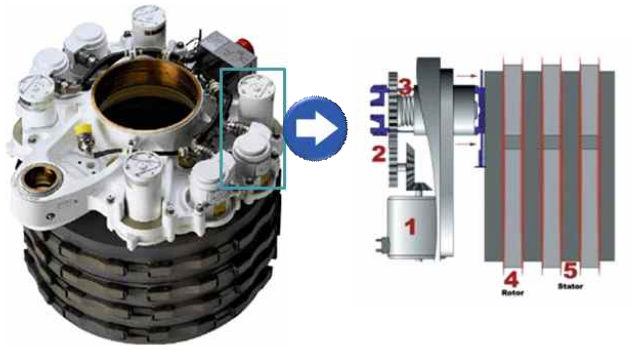
②연구의 필요성

■ 'Brake By Wire' 개념의 부품호환이 가능한 모듈형 제동시스템 구현

신호장치(ATP, ATO 등), 제동작용장치(BOU: Brake Operating Unit), 제동전자제어장치(EOD: Electric Operating Device) 및 활주방지제어장치(ASCU: Anti-Skid Control Unit)의 전기출력을 전공/공전 변환 장치 없이 곧바로 제동장치(캘리퍼, 엑츄에이터, 패드 등)로 전달

■ 자동차 및 항공 분야의 제동기술을 철도분야로 확장

각 분야에서 적용되어 성능이 입증된 제동기술을 철도분야에 접목함으로써 철도차량 제동기술의 진보에 대한 시너지효과 창출



1) Electric motor 2) Reduction gear 3) Ball screw and nut
4) Rotor carbon disc 5) Stator carbon disc

Fig. 2.2.10 보잉787 Electric Brake System

(4) 기대효과 및 성과확산

①활용방안

■ 신뢰도를 갖는 제동 핵심기술 개발을 통한 무인/자동/수동 운전에서의 정위치 정차율 향상

■ 제동부품의 대한 원천기술 확보

■ 빠른 응답특성을 갖는 제동시스템의 개발을 통한 열차의 분리결합 시 열차의 정밀 위치제어 구현

②기대효과(기술적, 사회적, 경제적)

■ 기술적 측면

-신뢰도를 갖는 제동 핵심기술 개발에 따른 무인/자동/수동 운전에서의 정위치 정차율 향상과 제동부품에 대한 원천기술 확보

-제동부품 간소화, 경량화를 통한 차량하부 부품배치의 여유확보(유지보수비용 절감)

- 'Brake By Wire' 개념의 모듈형 제동시스템 구현(기존 부품과의 호환성 확보)

■ 경제적 측면

-도시철도 운영기관의 애로사항 해결

㈎ 정위치정차율 향상에 따른 운영효율화 제공

㈏ 동절기 실린더 결빙에 따른 장애 해결

-도시철도 운영기관의 애로사항 해결

㈎ 전동차 유지보수비용 저감

㈏ 모듈화 및 경량화에 따른 광역 도시철도차량 7,985량에 대해 유지보수비용 저감 약 33억/년 절감, 차량 내구연한 25년간 약 825억 절감

3절 최소 곡선반경 및 기존 승강장 PSD 등과의 인터페이스 검토

1. 곡선반경의 검토

(1) 선로(線路)의 구조(構造)

선로는 운전속도 및 수송량 등의 하중조건에 의하여 몇 개의 등급으로 나누고, 등급에 따라 선로의 선형이나, 부담력(負擔力)에 소정의 규격을 마련하는 것이 열차 운전 안전상 필요로 하며, 경제적으로도 유리하다.

선로를 건설하고, 궤도를 부설하기 위하여는 선로의 성능이나 강도 등이 전 구간 균등하여 열차가 안전하고 원활하게 하는 것이 필수 조건이다. 따라서, 선로 시설물 등이 어떠한 조건을 구비하도록 명확히 하기 위하여 도시철도 건설규칙을 제정해 놓았다.

Table 2.3.1 궤도 구조기준

<table>
<tr><th colspan="3">항 목</th><th colspan="3">기 준</th><th>비 고</th></tr>
<tr><td colspan="3">레 일</td><td colspan="3">레일의 중량은 m당 50㎏ 이상</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="3">침 목
(20m당 침목수)</td><td colspan="2">지하본선</td><td colspan="2">고가본선</td><td rowspan="3">교량 : 50
차량기지 : 30</td></tr>
<tr><td>W.T</td><td>P.C.T</td><td>W.T</td><td>P.C.T</td></tr>
<tr><td>34</td><td>34</td><td>35</td><td>34</td></tr>
<tr><td colspan="3">구 분</td><td colspan="2">도상 두께</td><td colspan="2">너 비</td><td rowspan="6">건설 시 ;
(RL에서 FL)
자갈도상 두께
지상, 고가 : 600
지하 : 700
콘크리트 : 500</td></tr>
<tr><td colspan="3">콘크리트 도상</td><td colspan="2">120</td><td colspan="2">3,150</td></tr>
<tr><td rowspan="4">자 갈
도 상</td><td colspan="2">지하 및 고가부</td><td colspan="2">250</td><td colspan="2">3,200</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지상부</td><td>단선</td><td colspan="2">250</td><td>도상 위</td><td>3,200</td></tr>
<tr><td>복선</td><td colspan="2">250</td><td>도상 위</td><td>7,200</td></tr>
<tr><td colspan="2">차량기지</td><td colspan="2">170</td><td colspan="2">3,200</td></tr>
</table>

※최소 곡선반경 적용

도시철도차량의 열차운행에 있어서 안전운행을 위한 기준을 적용하는 한계로 철도차량과 건축물과의 구조를 적용하여 열차운행이 곡선을 안전하게 코너링 하도록 최소한의 곡선기준을 말한다.

Table 2.3.2 선로 구조기준

항 목		기 준			비 고
차량한계 (폭×고)		3,200×4,750㎜			
건축한계 (폭×고)		3,600×5,150(5,500)㎜ 지하,(지상)			
최소 곡선 반경	구 분	1호선	2호선	1,2호선 외	
	정거장외 본선	160(135)	180(140)	250(180)	( )부득이한 경우
	정거장내 본선	400	400	400	
	측선	120(-)	120(-)	120(90)	( )부득이한 경우
	분기부대	145	145	150	
기 울 기 한도	정거장밖 본선	35/1000 곡선인경우 곡선보정기울기			
	정거장안	3/1000 차량분리. 연결 유치하는 경우			
		8/1000 (10/1000)이외의 경우			( )부득이한 경우
	측선	3/1000			
		45/1000 차량을 유치하지 않는 측선			
종곡선		기울기변화5/1000초과 경우 R3000m이상			
열차하중		차량의 축중 16톤이하			

(2) 궤간(軌間 : Gauge)

① 궤간의 정의

차륜은 2개의 레일에 의해서 그 직각 방향으로 벗어날 수 없도록 유도되어 주행한다. 차륜이 레일에 접하는 답면과 윤연면에는 좌우로 상대하고 있는 차량이 상시 궤도의 중심에 따라 주행토록 기울기(踏面勾配)가 붙여져 있다.

이와 같은 상태로 차량이 주행하면 차륜과 레일의 접촉부에는 상호에 마찰이 발생하여 변형되고, 또한 양차와 공차(公差) 영향도 있어서 접촉 위치는 상시 변화한다. 그러나 차륜이 안전하고 쾌적하게 주행토록 하기 위해서는 이 접촉 위치를 어느 범위 내로 한정시켜야 한다. 이 접촉 위치의 양측 레일간의 최단거리를 궤간이라고 한다.

도시철도 건설규칙에서는 다음과 같이 규정하고 있다.

"궤간이라 함은 레일의 맨 위쪽 부분으로부터 14밀리미터 아래지점에 위치한 양쪽레일의 안쪽간의 최단거리를 말하고, 궤간의 치수는 1천435밀리미터로 한다." 라고 정의한다. 여기서 최단거리라 함은 레일 후로우(flow)와 마모를 고려한 것이며, 하방 높이 14㎜는 레일 두부형상과 차륜플랜지의 상관관계에서 상시 접촉하는 상시 접촉하는 범위가 통상적으로 10 ~ 11㎜ 범위내에 있고 50kg·N과 60kg 레일의 두부 반경이 13㎜인 관계로 여기에 약간의 여유를 두어 14㎜로 한 것이다.

② 궤간의 종류와 특징

궤간의 종류에는 광궤간(Broad gage), 표준궤간(Standard gage), 협궤간(Narrow gage)이 있으며, 표준궤간은 영국에서 1825년 개통된 철도가 1,435㎜(4' 8½")를 채용하여 1845년 영국의회에서 철도의 궤간을 1,435㎜(4' 8½")로 정하였고, 이 궤간이 그 후 구미 각국에서 채용, 보급되고 1886년 스위스 베른 철도회의에서 1,435㎜를 표준 궤간으로 제정하였다.

표준 궤간인 1,435㎜를 채택한 것은 물론 기존 국유철도와의 직통 운전도 감안된 것이지만, 이 표준궤간 보다 적은 협궤에 비하여 차륜의 주행 안정성이 높고 고속도라고 하는 점에서 직선의 경우나 곡선의 경우를 불구하고 다 같이 유리하고 궤도의 강도면이나 대량 수송면에서도 우수하기 때문이다. 궤간은 크기에 따라서 운전속도, 수송량, 주행 안전성, 건설비등에 영향을 준다.

■ 곡선의 종류

평면곡선에는 단곡선(Simple curve), 복심곡선(Compound curve), 반향곡선(Reverse curve), 완화곡선(Transition curve)등이 있으며 철도에서는 단곡선과 완화곡선이 많이 이용되고 구배의 변화점에는 종곡선을 삽입한다.

■ 곡선의 표시(indication of curve)

철도 선로는 가능하다면 직선이라야 하나 지형과 구조물 등으로 방향을 전환하는 지점에는 곡선을 삽입하여야 한다. 곡선은 보통 원곡선을 사용하며 일반적으로 곡선반경을 R로 표시한다.

■ 최소 곡선반경(minimum radius of curve)

곡선반경은 운전 및 선로 보수상 가능한 한 큰 것이 좋으나 불가피하게 반경이 작은 곡선을 두어야 할 때가 많다. 최소 곡선반경은 궤간, 열차속도, 차량의 고정거리(Rigid Wheel Base)등에 따라 결정된다.

Table 2.3.3 철도건설규칙 기준 [철도의 건설기준에 관한 규정 제6조]

일반본선			정거장 전후 등 부득이한 경우		전기동차전용선
설계속도 V(km/h)	최소곡선반경(m)		설계속도 V(km/h)	최소곡선반경(m)	
	자갈도상 궤 도	콘크리트 도상궤도			
350	6,100	5,000	200<V≤350	운전속도고려 조정	
200	1,900	1,700	150<V≤200	600	
150	1,100	1,000	120<V≤150	400	250
120	700	600	70<V≤120	300	
V≤70	400	400	V≤70	250	

※ 부본선, 측선 및 분기기에 연속되는 경우 200m까지 축소 가능

Table 2.3.4 서울특별시 도시철도 기준(도시철도건설규칙 기준)

구 분		1호선	2호선	1,2호선외의 선로
정거장외의 본 선	일반의 경우	160	180	250
	부득이한 경우	135	140	180
정거장내의 본선		400	400	400
측 선	일반의 경우	120	120	120
	부득이한 경우	-	-	90
분 기 부 대		145	145	150

■ 완화곡선(transition curve)

열차가 직선에서 원곡선으로 바로 진입하거나 원곡선에서 바로 직선으로 진입 할 경우에는 열차의 주행 방향이 급변함으로써 차량의 동요가 심하여 원활한 운전을 할 수 없으므로 직선과 원곡선 사이에 완화곡선(transition curve)을 삽입한다.

－완화곡선의 종류

㈎ 크로소이드(clothoid) : 곡률 반경이 곡선길이에 반비례하는 나선(spiral)의 하나로 자동차의 핸들을 등각속도로 돌렸을 때 자동차의 주행궤적에 일치하는 곡선으로 도로와 지하철에서 사용

㈏ 3차포물선(cubic Parabola) : 곡률 반경이 완화곡선의 시점에서의 횡거에 반비례한다. 계산식이 간단하며 곡선설치가 쉬우므로 철도와 지하철에서 사용.

－완화곡선 길이의 고려사항

㈎ 차량의 고정축거로 3점 지지에 의한 차량의 부상경향이 있으므로 캔트의 체감을 완만하게 하여 부상으로 인한 탈선의 위험이 없도록 한다.

㈏ 주행차량이 받는 단위시간당의 캔트량의 변화와 캔트 부족량의 변화는 승차기분이 나쁘지 않은 범위내에서 일정한 값 이상이여야 한다. 따라서 완화곡선의 길이는 열차 운전속도에 비례하여 길이를 정하게 된다.

(3) 건축한계와 차량한계

철도는 주행하는 차량과 그 통로에 접근하여 건축되는 구조물과 상당한 여유를 두어 주행차량에 위험이 없도록 해야 한다. 따라서 엄격한 구조물의 최소 공간제한(건축한계)과 차량의 최대 공간제한(차량한계)은 열차안전 운행확보에 절대적인 조건이다.

①차량한계(車輛限界)

차량을 제작(製作) 할 때 일정한 크기 안에서 제작토록 규정한 공간으로, 건축한계 보다 좁게 하여 차량과 철도 시설물과 접촉을 방지하는 것이다.

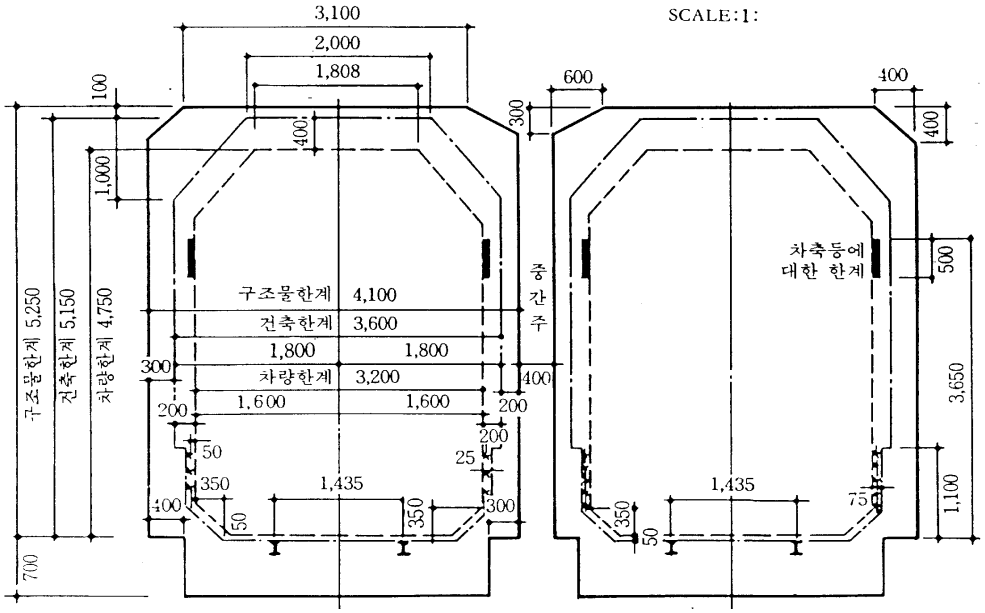
②건축한계(建築限界)

차량한계 내의 차량이 안전하게 운행될 수 있도록 선로 상에 설정한 일정한 공간을 말한다. 곡선에서는 직육면체의 차량 운행으로 인한, 편기에 대한 확폭 치수와 캔트에 의한 차량의 기울기 및 스랙을 감안하여 직선구간 건축한계 보다 넓게 확대 하여야 한다.

Table 2.3.5 건축한계와 차량한계

구 분	폭	높이	승강장 높이	직선 승강장		곡선부 확폭
				궤도중심폭	간격	
건축한계	3,600	5,150	1,100	1,650	50	$\frac{24,000}{R}$
차량한계	3,200	4,750	-	1,600		

지하부분 건축한계도 (직선)



지상부분 건축한계도 (직선)

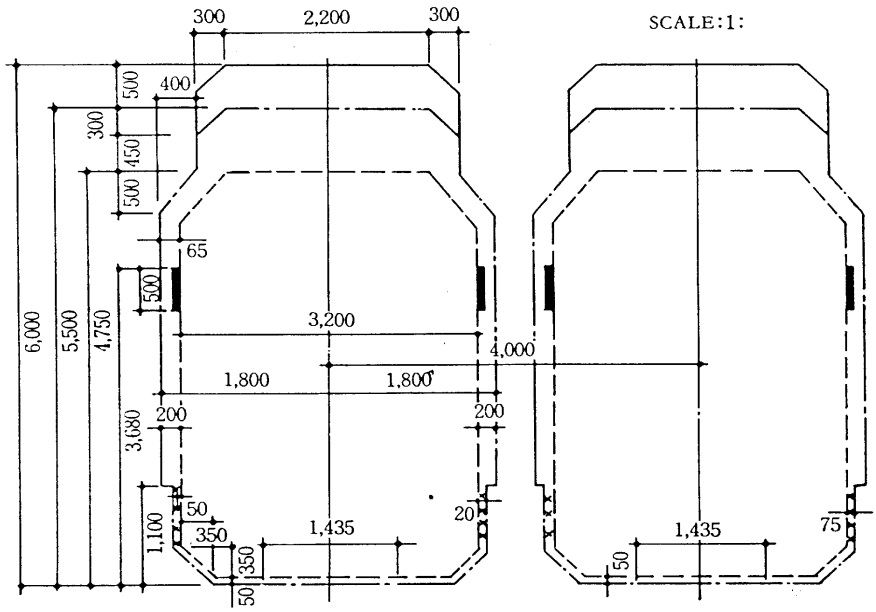


Fig. 2.3.1 건축한계와 차량한계표 (단위 : ㎜)

2. 기존 승강장 PSD등과 인터페이스 검토

■ 기존선 승강장 연단높이(표준1100mm) 에서 광역2층 열차의 운행은 승강장의 승하차에 지장이 없도록 출입문이 설계되어야 한다.

■ 기존선에서 광역2층 열차와 출입문 위치와 개수가 상호 같을시 제어 작동을 일괄해 서 가능하게 구현할 수 있다.

■ 광역2층 열차와 출입문 위치와 개수가 서로 상이할 경우 출입문 검지 제어에 불일치 현상이 발생되어 매우 안전에 위험요소로 출입문위치와 PSD위치가 맞아야 한다. 출입문위치와 PSD위치가 같을 경우 출입문과 PSD 제어를 연동제어가 가능토록 구현할 수 있다

(1) 출입문 연동장치(PSD 무선(RF) 시스템)

① 개요

PSD 무선(RF) 장치는 전동차에 차상 PSD 무선(RF) 장치를 부착하고 승강장에는 지상 PSD 무선(RF) 장치를 설치하여 전동차가 역사에 진입하여 정차할 경우, 승강장에 설치된 PSD 시스템과 연동하여 전동차 출입문 개/폐 동작에 따라 스크린도어가 개/폐 될 수 있도록 하는 장치로서 전동차의 원활한 운행 및 안전사고를 사전에 방지할 수 있다.

PSD 무선(RF) 장치는 특별한 이상이 없는 한 별도의 조작이 필요 없으며 기존 CRS 취급 방식과 동일하게 운영되며 PSD 시스템이 설치된 역사에서도 동일한 근무 환경을 제공한다. PSD 무선(RF) 장치는 전동차 운행 방식이 ATO 시스템으로 바뀌게 되면 필요 없거나 ATO 시스템의 백업 장치로 동작 할 수 있으나 현 수동운영 방식(ATS) 에서는 절실히 요구되는 장치이다.

② 목적

■ PSD 무선(RF) 장치는 전동차의 정차 정위치인 ‘양호’ 구간에서만 전동차 출입문과 스크린도어 개/폐 동작을 연동(Inter Lock)하여 승하차 승객의 안전에 만전을 기한다.

■ PSD 무선(RF) 장치는 전동차의 출입문과 스크린도어를 연동(Inter Lock)하여 전동차 전체 출입문과 전체 스크린도어가 닫힘을 완료 하여야만 전동차가 출발할 수 있도록 하여 안전한 전동차 운영에 만전을 기한다.

■ PSD 무선(RF) 장치는 전동차 출입문 개/폐 동작에 따른 스크린도어 개/폐 동작의 지연을 최소화 한다.

③ 구성

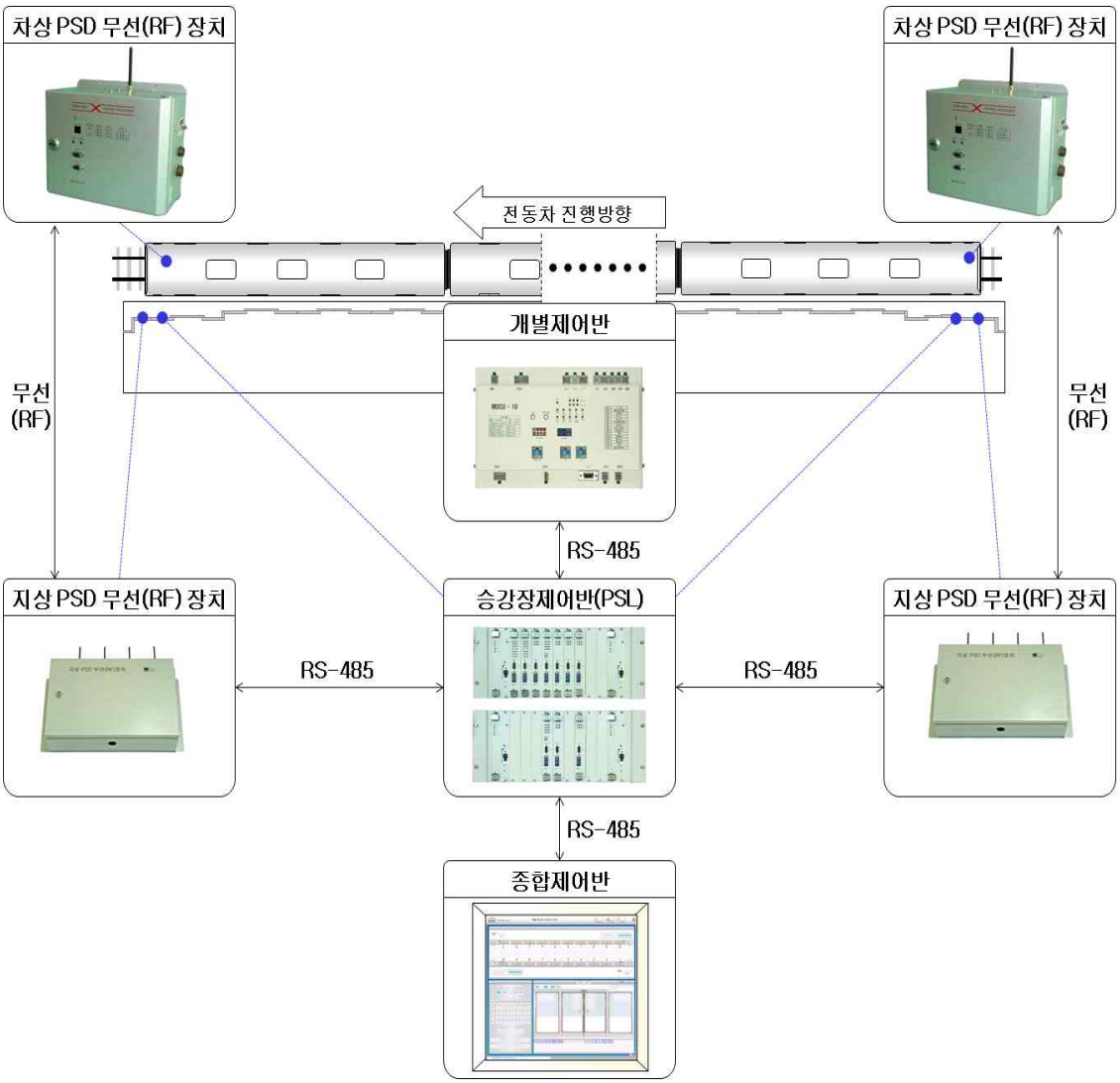


Fig. 2.3.2 PSD 무선 시스템 전체 구성도

Table 2.3.6 PSD 무선 인터페이스 종류

순번	항 목	인터페이스	비 고
1	차상 ↔ 지상	RF	
2	기관사측 RFCU ↔ PSL	RS-485	
3	차장측 RFCU ↔ PSL	RS-485	
4	PSL ↔ 종합 제어반	RS-485	
5	PSL ↔ DCU	RS-485	

Table 2.3.7 PSD 무선 시스템 인터페이스 종류(PSD 무선(RF)장치 시스템 구성품)

외 관	명 칭	내 용
	RFU	차상과 지상간 RF통신을 위한 RF Modem
	차상 PSD 무선(RF)장치	전동차에 설치되는 PSD 무선(RF)장치
	PSD 차상 조작반	PSD 차상 조작반
	지상 PSD 무선(RF) 장치	지상 RFU와 통신하여 전동차 출입문 조작 데이터를 수집한다.
 	승강장 제어반 PSL (Platform Screen Door Controller)	RFCU에 저장된 전동차 출입문 조작 데이터는 PSL로 집중화 된다.

④ 차상 PSD 무선(RF) 장치

전동차에 부착된 차상 PSD 무선(RF)장치는 전동차의 문 열림/닫힘 정보를 승강장

의 지상 PSD 무선(RF)장치에 송신하여 PSD가 열리거나 닫힐 수 있도록 하는 장치이다.

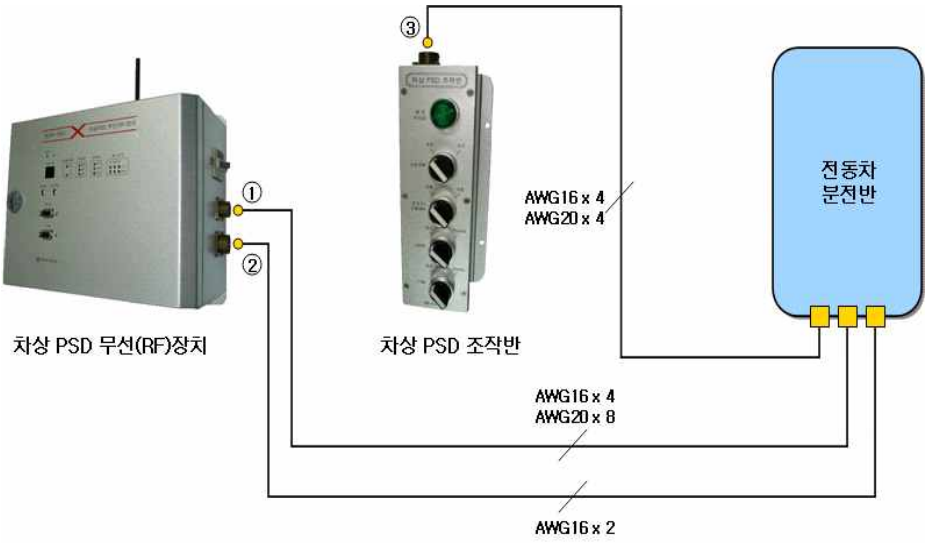


Fig. 2.3.3 차상 장치 구성

Table 2.3.8 차상 장치의 연결

순번	품명	규격	비고
1	커넥터 PLUG	MS3116E12-3P	Pin Type
2	커넥터 PLUG	MS3116E14-12P	Pin Type
3	커넥터 PLUG	MS3116E14-12P	Pin Type

■ 기능과 용도

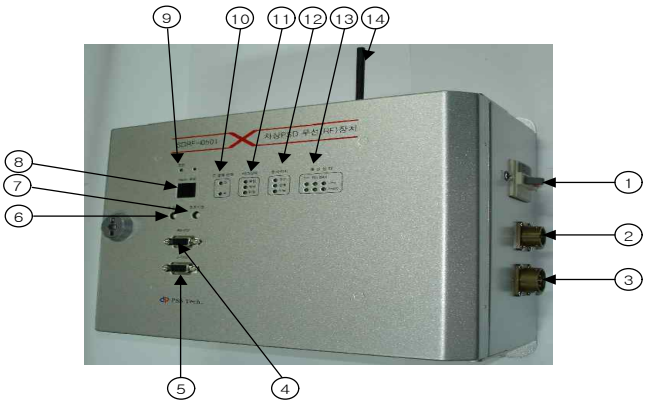


Fig. 2.3.4 차상 PSD RF 무선장치 외관

Table 2.3.9 차상 PSD RF장치 외관 구성 일람표

NO	명 칭		기 능
①	PSD무선 차상장치 (RF)	전원스위치	차상 PSD 무선(RF)장치 전원 스위치(ON/OFF용)
②		전원 연결 커넥터	차상 PSD 무선(RF)장치 전원 입력용 커넥터.
③		조작반 연결 커넥터	차상 PSD 무선(RF)장치 조작반 연결용 커넥터
④	모니터연결 커넥터 (RS-232)		차상 PSD 무선(RF)장치의 점검을 위한 제작 사용 모니터 포트
⑤	프로그램 다운로드용 연결 커넥터		차상 PSD 무선(RF)장치의 프로그램 업그레이드를 위한 포트 (J-Tag)
⑥	PSD 무선용 차상장치 버튼	무선(RF)장치 재동작용	■ 차상 PSD 무선(RF)장치를 재 동작용 버튼
⑦		무선(RF)장치 램프 시험용	■ 차상 PSD 무선(RF)장치에 부착된 램프점검용 버튼
⑧	PSD 무선(RF) 차상장치 Radio 연결채널 표시기		■ 지상 PSD 무선(RF)장치와 연결될 경우 연결된 채널을 전시
⑨	PSD 무선(RF) 차상장치 전원램프		■ 차상 PSD 무선(RF)장치의 전원을 ON할 경우 점등
⑩	전동차 문 열림 명령 (좌,우)램프		■ 전동차 출입문이 좌,우측 문 열림 개별명령에 따라 좌,우측문 열림 점등된다.
⑪	PSD 상태		■ 현재 승강장의 PSD 시스템의 스크린도어가 열림, 닫힘 또는 장애인지를 전시한다.
⑫	전동차 정차위치 상태		■ 승강장에 정차한 전동차가 '미달','양호','초과' 위치에 정차 하였는지를 전시한다.
⑬	통신상태		■ 차상 PSD 무선(RF)장치와 승강장의 지상 PSD 무선(RF)장치간 통신상태를 전시
⑭	안테나		■ 안테나

■ 차상 PSD 무선(RF) 장치 조작반(승무원용 조작 스위치)

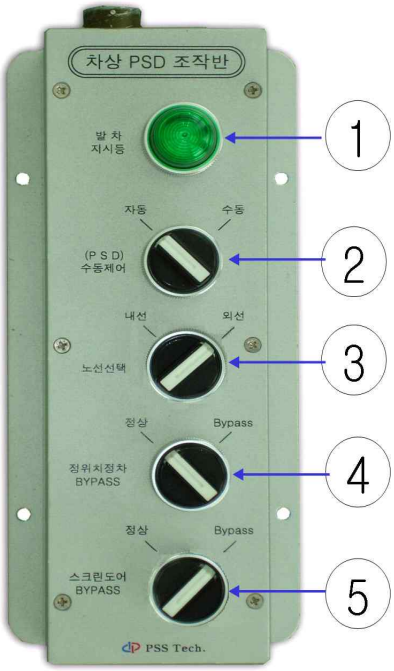


Fig. 2.3.5 차상 PSD 무선(RF)장치 조작반

Table 2.3.10 차상 PSD 무선(RF)장치 조작반 외관 구성 일람표

NO	명 칭	용 도
①	발차 지시등	전동차 출입문이 모두 닫히고 PSD가 정상 닫힘의 위치에 있어야 만점등 된다.(기관사측 Door등과 연동됨)
②	차상 PSD 무선(RF)장치 자동/수동 제어	정상 운행시 자동의 위치에서 운행하여야 하며 '초과','미달' 또는 긴급상황 발생 시 수동의 위치로 전환한다.
③	노선선택	내선 운행일 경우 '내선'의 위치에, 외선 운행일 경우 '외선'의 위치로 전환하고 운행한다.(반드시 노선방향과 일치해야 함)
④	정 위치 정차 Bypass	정 위치 정차 조건을 무시하고 전동차 출입문을 열려면 Bypass 위치로 전환한다.
⑤	스크린 도어 Bypass	PSD를 완전 무시하려면 Bypass 위치로 전환한다.

■ 무선(RF) 시스템 동작 순서도

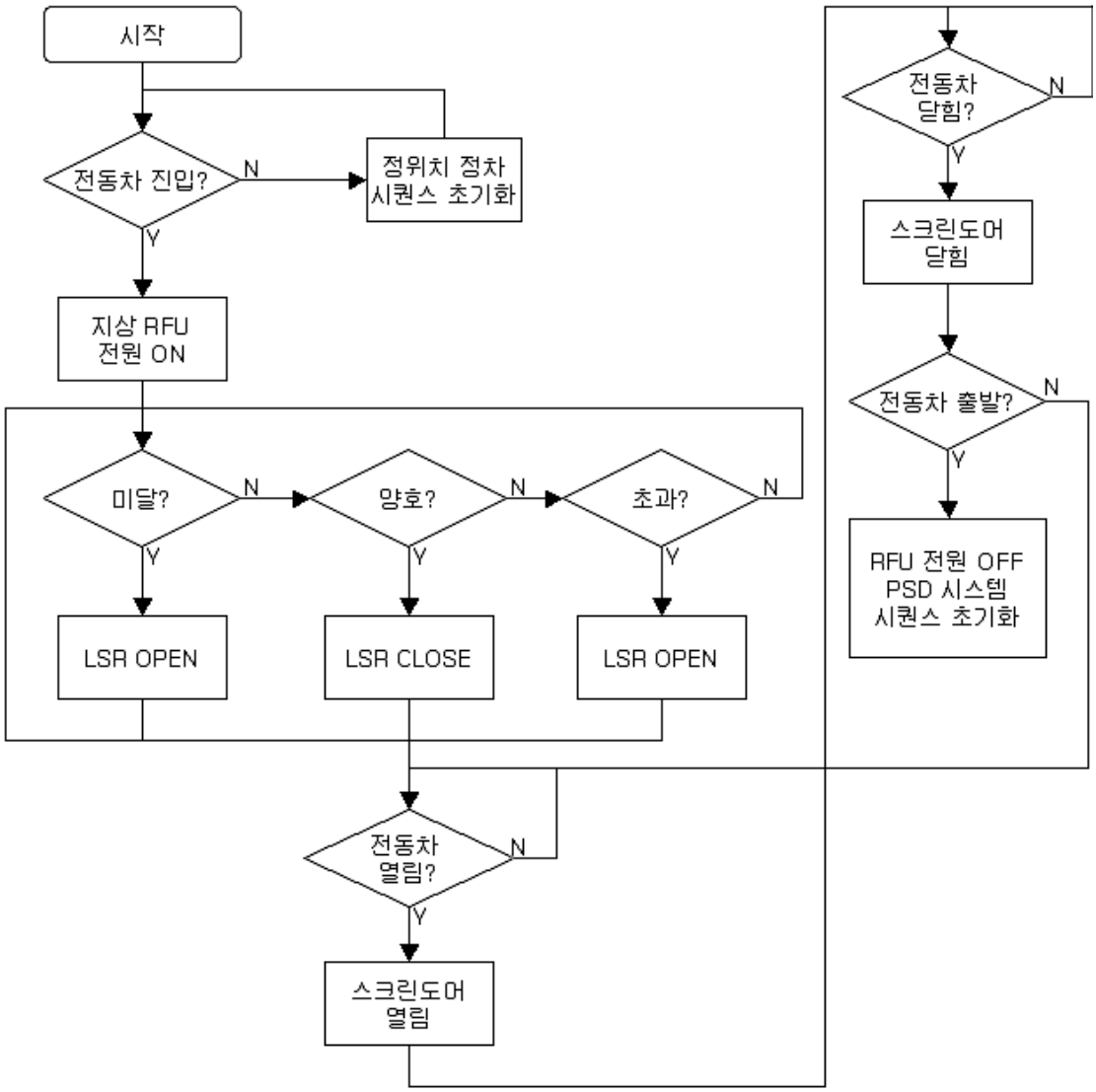


Fig. 2.3.6 무선(RF)장치에 의한 동작 Flow

- PSD 시스템은 전동차가 승강장에 없을 경우 계속 전동차의 진입을 기다린다. 이 때 지상 PSD 무선(RF) 시스템의 RFU에 전원 공급이 차단되어 무선(RF) 장치는 동작하지 않는다.
- PSD 시스템이 전동차가 진입하고 있음을 검지하게 되면 지상 무선(RF) 장치의 RFU에 전원을 공급하여 차상 PSD 무선(RF) 장치와의 통신을 시도 한다.
- 지상 무선(RF) 장치와 차상 PSD 무선(RF) 장치간 통신이 정상적으로 이루어질 경우 PSD 시스템은 출입문 검지반 시스템을 무시한다. PSD 시스템이 출입문 검지반 시스템을 무시하는 경우는 차상 지상간 무선(RF) 장치가 기관사측 및 차장측 모두 연결 되어야 하며 기관사 또는 차장측 한곳만 연결될 경우 PSD 시

스템은 무선(RF)장치에 의한 시스템 연동을 포기하고 출입문 검지반 시스템에 의해 스크린도어를 연동한다.

- 전동차가 '미달' 또는 '초과' 구간에 있을 경우 전동차의 LSR 계전기로부터 CRS로의 급전을 차단하여 전동차 출입문 개폐 동작이 불가능 하다.
- 전동차가 '양호' 구간일 경우에는 LSR 계전기로부터 CRS로의 급전을 수행하여 전동차 출입문 개폐 동작이 가능 하다.
- 승무원이 CRS를 취급하여 전동차 출입문을 열 경우 차상 PSD 무선(RF) 장치는 CRS 신호를 입력받아 이를 지상 PSD 무선(RF) 장치로 전송하며, 지상 PSD 무선(RF) 장치는 수신된 데이터를 각 DCU로 전송하여 스크린도어를 개방한다.
- 승객을 모두 승, 하차 시킨 후 승무원이 CRS를 취급하여 전동차 출입문을 닫을 경우 닫힘 CRS 신호는 차상 PSD 무선(RF) 장치로 전송하며, 지상 PSD 무선(RF) 장치는 수신된 데이터를 각 DCU로 전송하여 스크린도어를 닫는다.
- 전동차 출입문 및 스크린도어가 모두 닫히면 All Door Close 램프(도어 등, 발차지시등)가 점등하고 전동차는 출발하게 되며 전동차의 출발은 인지한 PSD 시스템은 해당 승강장의 모든 RFU의 전원을 OFF 한다.
- 전동차의 출발을 PSD 시스템이 인지하면 PSD 시스템은 초기화 하여 다음 전동차의 진입을 기다린다.

⑥ 동작 설명

■ 전동차 도어 스위치(도어 등)

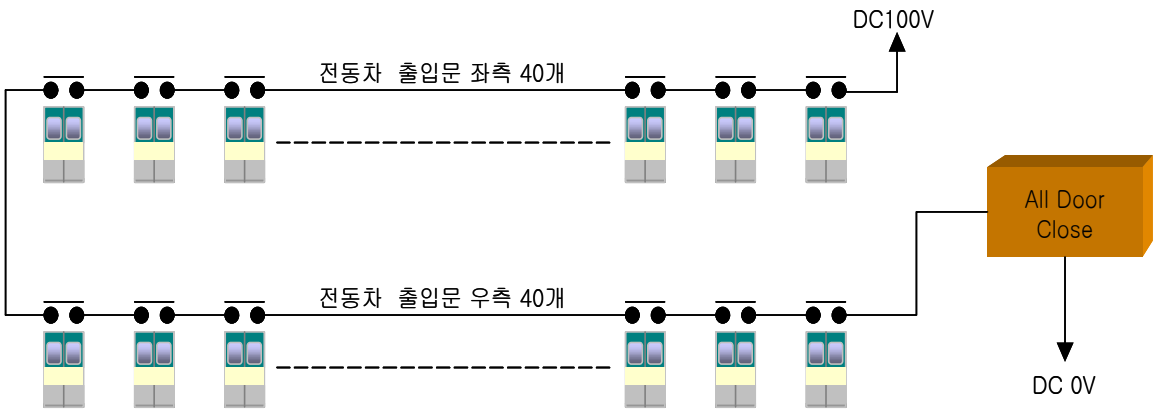


Fig. 2.3.7 전동차 All Door Close(도어 등) 개요

- 전동차는 전동차 출입문이 모두 닫혔음을 기관사가 인지해야만 출발할 수 있다. Fig. 2.3.7는 전동차 출입문과 All Door Close 램프(도어 등)와의 연동관계를 간단하게 그림으로 나타낸 것으로서 각각의 전동차 출입문은 스위치(DS –

Door Switch)가 있으며 전동차 출입문이 열렸을 경우 스위치는 OPEN 상태이고 닫혔을 경우 CLOSE 상태가 된다. 이러한 각각의 스위치는 전동차 10량 기준으로 좌, 우측의 전동차 출입문이 모두 직렬로 연결되어 있으며 전동차에서 사용하고 있는 전원인 100Vdc(디씨 백 볼트)가 스위치를 경유하여 All Door Close 램프(도어 등) 및 역행회로에 입력 된다. All Door Close 램프(도어 등)의 다른 극성은 전동차 전원인 GND에 연결되어 있으며 전동차 출입문이 모두 닫혔을 경우 100Vdc는 각 출입문에 설치된 스위치(DS)를 통하여 All Door Close 램프(도어 등)에 입력되므로 All Door Close 램프(도어 등)가 점등하게 된다. 그러나 만일 전동차 출입문 중 1개의 출입문이 닫히지 않았을 경우에는 All Door Close 램프(도어 등)에 전원이 공급되지 못하므로 램프는 점등되지 않는다.

- 전동차 10량의 경우 스위치(DS)는 모두 80개가 된다. All Door Close 램프(도어 등)가 소등된 상태에서는 전동차 역행회로에도 급전이 차단되어 전동차가 출발 할 수 없다.

■ 전동차 도어 스위치(도어 등)와 PSD의 연동

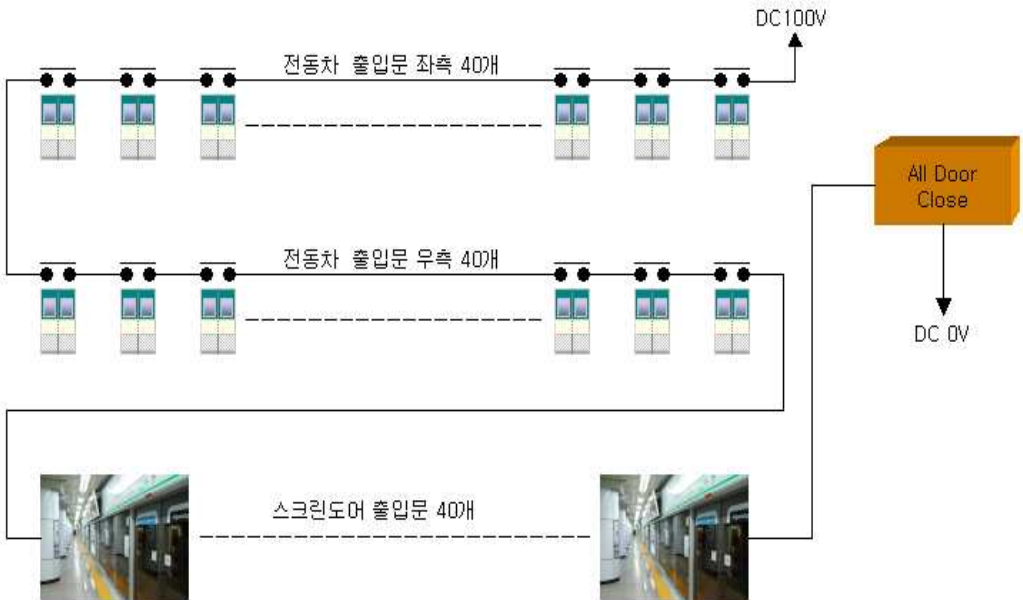


Fig. 2.3.8 전동차 All Door Close(도어 등)와 PSD의 연동

- Fig. 2.3.8은 전동차의 All Door Close 램프가 스크린도어와 연동된 것을 보여준다. 그림에서와 같이 기존 80개의 전동차 출입문에 의해 점등된 All Door Close 램프(도어 등)는 스크린도어가 설치된 승강장에서 점등 되려면 전동차 출

입문 외에 해당 노선의 스크린도어가 모두 닫혀야만 점등될 수 있다.

- 기존 전동차 출입문 80개에 스크린도어 40개가 직렬로 연결되어 전동차 출입문이 모두 닫히고 스크린도어가 모두 닫혀야만 All Door Close 램프(도어 등)가 점등되고 전동차 역행회로에 급전이 이루어져 전동차가 출발 할 수 있게 된다.
- 차상 PSD 무선(RF)장치 조작반의 '스크린도어 Bypass'는 Fig. 2.3.8에서 스크린도어를 제외시켜 Fig. 2.3.7과 같이 운영하는 것을 의미한다.

■ 목 적

- 전동차 출입문이 모두 닫혀도 스크린도어가 한 개라도 닫혀있지 않으면 안전사고를 방지하기 위하여 All Door Close 램프(도어 등)가 점등되지 않고, 전동차의 역행 회로에 급전이 차단되어 전동차가 출발할 수 없도록 하는 것이다.

■ 전동차 출입문과 스크린도어의 연동



Fig. 2.3.9 LSR과 PSD 무선(RF) 장치 연동 구성도

- Fig. 2.3.9는 차량의 저속도 계전기(LSR)을 통해 CRS에 입력되는 신호선을 차상 PSD 무선(RF)장치에 입력하여 장치 내부의 정차정위치 계전기(K1)로 하여금 CRS에 공급되는 DC100V를 차단하거나 공급할 수 있도록 하기 위한 구성도이다.
- PSD 무선 장치는 전동차가 승강장에 진입하여 지상과 차상 간 통신이 이루어질 경우 전동차가 정차 정 위치에 있지 않으면 정차정위치 계전기(K1)를 여자 하여 LSR 로부터 CRS로의 급전을 차단하여 승무원의 CRS 조작에 의해 전동차 출입문이 열리지 않도록 한다.
- 전동차가 승강장에 없음을 PSD 시스템이 검지하면 지상 PSD 무선(RF)장치중 RFU의전원을 OFF 하여 동작을 중지한다.
- Fig. 2.3.10과 같이 전동차가 진입하면 PSD 시스템은 이를 검지하고 지상 PSD

무선(RF)장치 중 RFU의 전원을 ON 하여 차상 PSD 무선(RF)장치와의 통신을 개시한다.

- 통신이 개시되면 전동차의 정차 정위치 계전기(K1)를 여자 하여 LSR 계전기로부터 CRS로의 급전을 차단하고 전동차가 '양호' 위치에 정차하면 정차 정위치 계전기(K1)를 소자하여 LSR 계전기로부터 CRS에 급전하여 승무원의 CRS 취급시 전동차 출입문의 개.폐 제어가 가능하다
- 전동차가 '미달', '초과' 위치에 정차할 경우에는 차상 PSD 무선(RF)장치의 정차 정위치 계전기(K1)를 여자하여 LSR 계전기로부터 CRS로의 급전을 차단하여 승무원이 CRS를 취급하여도 전동차 출입문이 열리지 않도록 제어한다.
- 차상 PSD 무선(RF) 장치 조작반의 '정 위치 정차 Bypass'는 Bypass 취급 시 Fig. 2.3.11과 같은 구조에서 차상 PSD 무선(RF) 장치를 제외한 Fig. 2.3.10과 같이 차량 회로로의 복귀 동작을 하게 한다.

■RF 채널 주파수 할당

Table 2.3.11 내/외선 채널당 할당 주파수 표

순번	항 목			할당 주파수	비 고
1	주파수 (447.6000MHz ~ 447.8500MHz)	외선	Ch1	447.8125MHz	
			Ch2	447.8250MHz	
			Ch3	447.8375MHz	
			Ch4	447.8500MHz	
		내선	Ch9	447.6000MHz	
			Ch10	447.6125MHz	
			Ch11	447.6250MHz	
			Ch12	447.6375MHz	

- 내선 및 외선에 할당된 채널은 Table 2.3.11와 같이 4개씩 할당되어 있다.
- 내선 및 회선의 채널 주파수를 달리 함으로서 주파수 혼신을 방지한다.

RF 통신 구조

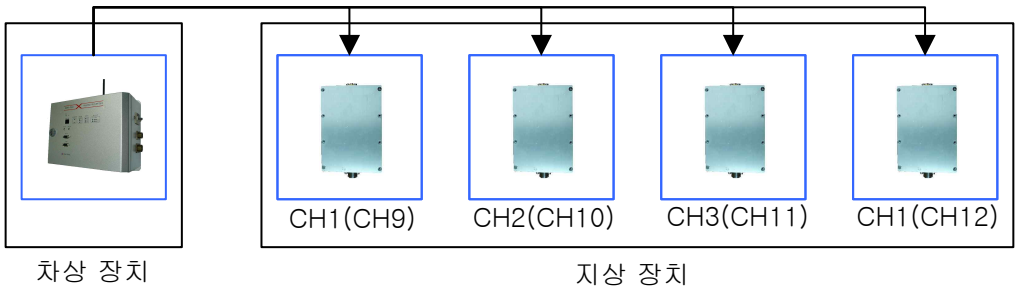


Fig. 2.3.10 RF 통신 구조

- PSD 무선(RF) 장치는 외부 혼신을 방지하기 위하여 지상 장치에 4개의 채널을 이용 하는데 지상 장치에서 CH1, 2, 3, 4를 순차적으로 폴링 하는 구조이다.
- 만일 1번 채널의 통신이 이루어지지 않을 경우 차상 장치는 채널을 2번으로 설정하고 지상 PSD 무선(RF)장치와의 통신을 요구하며 계속 통신이 이루어지지 않을 경우 차상장치의 채널은 3번→4번→1번→2번→3번→4번 형태로 지속적으로 채널을 바꿔 통신을 시도하게 된다.
- 전동차가 승강장에 없을 경우 지상 PSD 무선(RF) 장치는 전원이 OFF 되므로 RF 혼신에 대한 우려는 없으나 전동차가 승강장에 진입할 경우 지상 PSD 무선(RF)장치는 전원이 ON 되므로 이때 타 무선 장치에 의한 혼신이 발생할 경우 차상 PSD 무선(RF)장치는 채널을 변경 하여 통신을 재개함으로서 전동차 및 PSD 시스템이 안정적으로 동작할 수 있도록 한다.

(2) 출입문 검지 센서 시스템

①개요

출입문 검지반 시스템은 수동운전 구간에서 전동차 출입문과 스크린도어의 개폐를 연동하는 시스템이다. 서울메트로 1,3,4호선에서는 출입문 검지반 시스템을 주 연동 시스템으로서 적용하고 있고, 2호선에서는 PSD 무선(RF) 시스템의 보조 시스템으로 적용하고 있다.

출입문 검지반은 아래 그림과 같이 전동차 출입문의 개/폐 동작을 광센서로 감시하여, 전동차 출입문의 개폐 동작 시 스크린도어 개폐 지령을 생성한다.

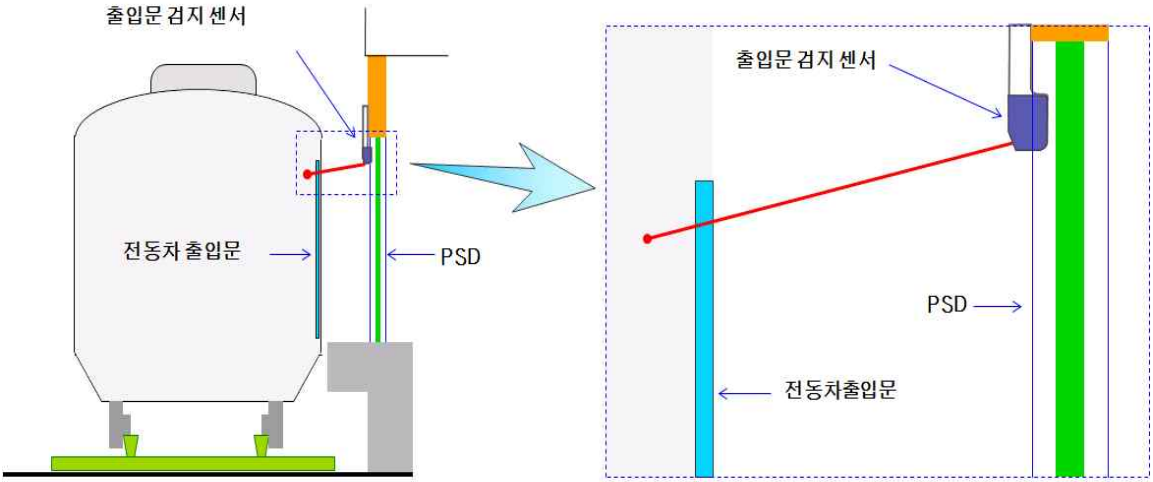


Fig. 2.3.11 출입문 검지반의 전동차 출입문 감시

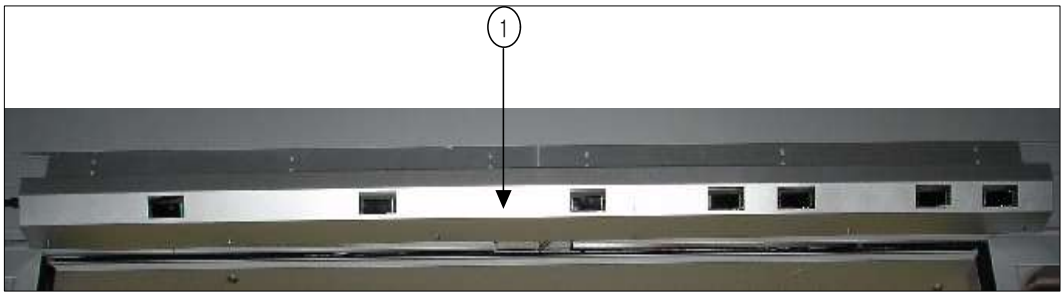


Fig. 2.3.12 전동차 출입문 검지반

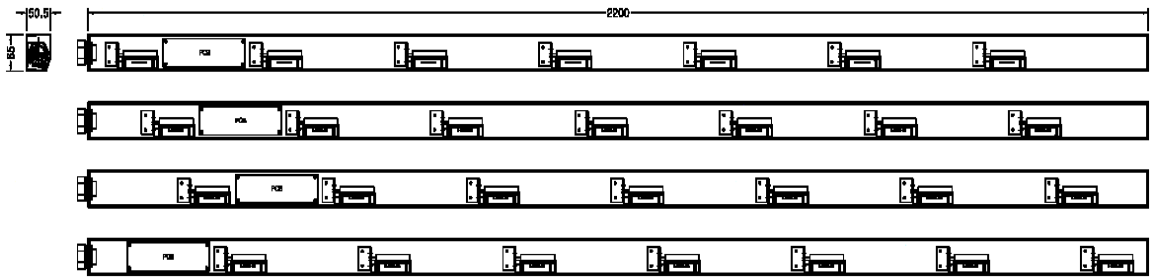


Fig. 2.3.13 전동차 출입문 검지센서 케이스

○ 전동차 출입문 검지반

출입문 검지반은 전동차 출입문의 열림과 닫힘을 검지하여 스크린도어 열림 명령과 닫힘 명령을 생성하는 장치이다. 즉 전동차 출입문의 개폐상태를 광센서로 검지하여 스크린도어를 개폐를 연동하기 위한 장치이다.

출입문 검지반은 서울메트로 1,3,4호선인 경우에는 7개의 센서로 이루어진 출입문 검지반이 8개소에 설치되어 총 56개의 센서가 설치되어 전동차 출입문을 감시한다.

Table 2.3.12 전동차 출입문 검지반 센서

구 분	1, 3, 4호선	2호선
센서수	56개	14개
설치장소(출입문검지반 수)	8개소 (1량 4개소와 10량 4개소의 센서로 전동차 출입문 8개 검지)	
출입문검지반 당 센서수	7개	
출입문검지반 센서 간격	300mm	360mm
출입문검지반 검지 영역	1800mm	2160mm
센서 검지 간격	75mm	90mm
전체 검지 영역	2100mm	2500mm
출입문검지반 패턴	4개 패턴	
센서 인식 방식	1개 그룹(4패턴)의 출입문 검지반을 동일 센서 배열로 인식 센서의 열림/닫힘 신호 패턴으로 열림/닫힘 판독	

② 시스템의 구성

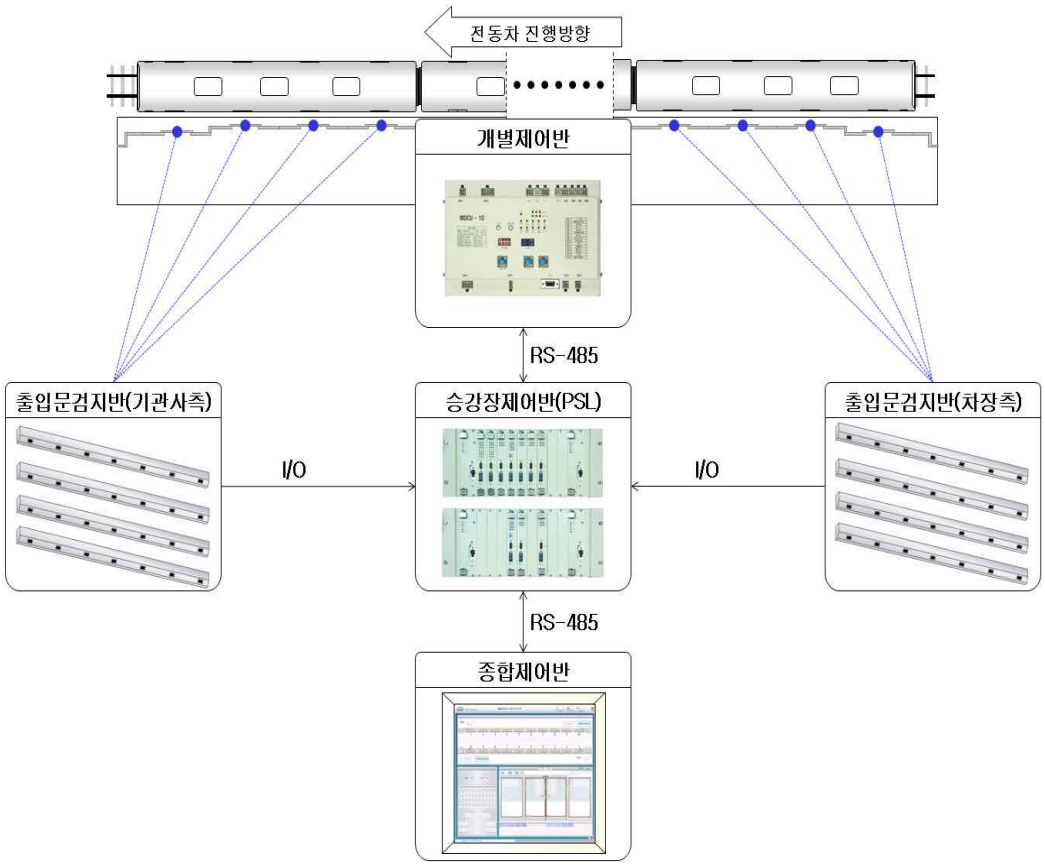


Fig. 2.3.14 전동차 출입문 검지반 구성도

Table 2.3.13 출입문 검지반 인터페이스 종류

순번	항 목	인터페이스	비 고
1	출입문 검지반 센서 → PSL(TDU)	I/O	
2	PSL(TDU) → PSL(LMCU)	RS-485	
3	PSL(LMCU) ↔ 종합 제어반	RS-485	
4	PSL(LMCU) ↔ DCU	RS-485	

③ 출입문 검지반 설치 및 배치

■출입문 검지반 설치

서울 메트로 1,3,4,호선의 경우 전동차 출입문과 스크린도어의 연동방식으로 출입문 검지센서 연동방식으로 채택하였다. 출입문 검지센서 연동 방식은 PSD 선로측(전동차 출입문 방향) 상부에 출입문 검지센서를 설치하고, 전동차 출입문의 개폐 상태를 판독한 후, PSD 출입문 개폐명령을 생성하여 PSD 출입문을 개폐하는 방식이다. 출입문 검지센서는 아래의 그림과 같이 반사형 광전(Optical) 센서를 이용하였다. 출입문 검지센서는 1개 트랙당 56개의 센서를 7개씩 8개소(1-1, 1-2, 1-3, 1-4, 10-1, 10-2, 10-3, 10-4)에 설치한다.

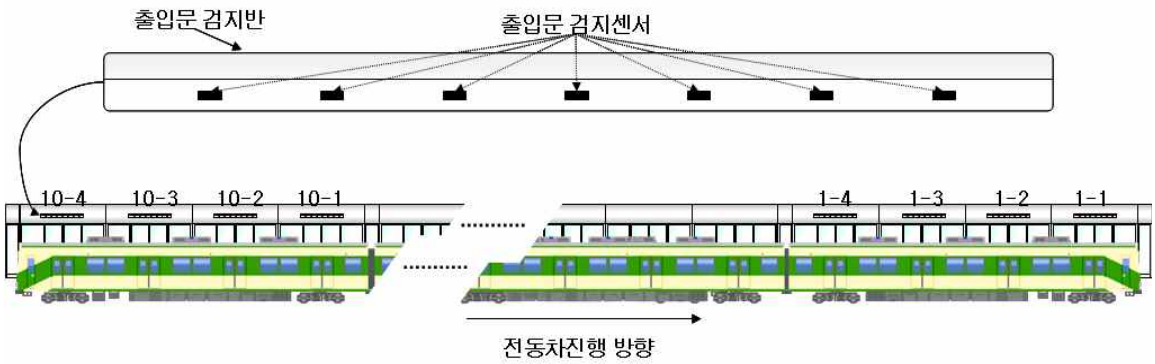


Fig. 2.3.15 출입문 검지반 설치 위치

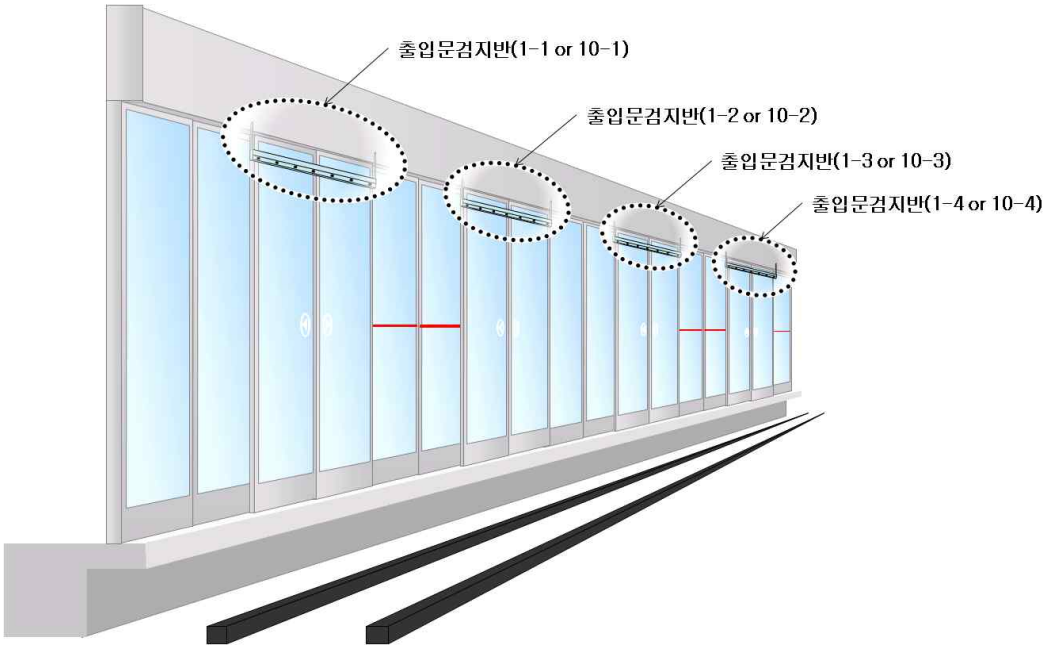


Fig. 2.3.16 출입문 검지반 설치 개념도

④ 출입문 검지 센서의 배치

출입문 검지센서 방식의 PSD출입문 신호반응시간 개선을 위하여, 센서의 검지 간격을 줄이고 개폐 판단 알고리즘을 개선하여야 한다. 기존 방식의 센서 배열은 2가지 패턴을 가진다. 본 연구에서는 설치장소별로 4가지의 패턴을 가지는 설치 방식을 채택하였고, 각 출입문검지반 센서의 배열은 Fig. 2.3.17과 같다.

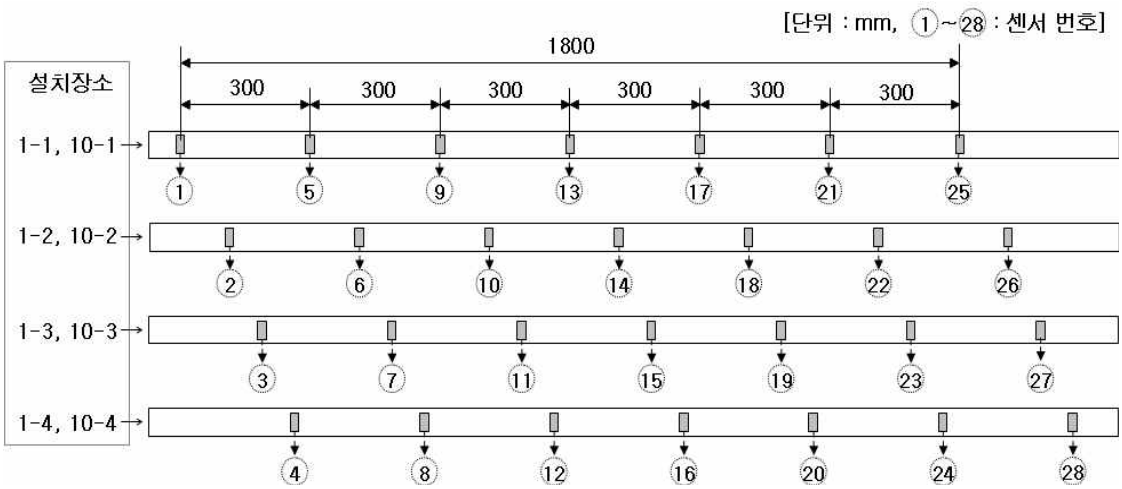


Fig. 2.3.17 출입문검지센서의 배열과 설치(개선 방안)

각 출입문 검지반의 센서 간격은 300mm로 동일하다. 그리고 전동차가 승강장에서 정위치 정차시, 첫 번째 차량(1량)에 해당하는 출입문 검지반 그룹(1-1, 1-2, 1-3, 1-4)과 마지막 차량(10량)에 해당하는 출입문 검지반 그룹(10-1, 10-2, 10-3, 10-4)으로 나눌 수 있다. 1개의 출입문 검지반 그룹은 1개의 센서 배열로 인식하도록 하였다.

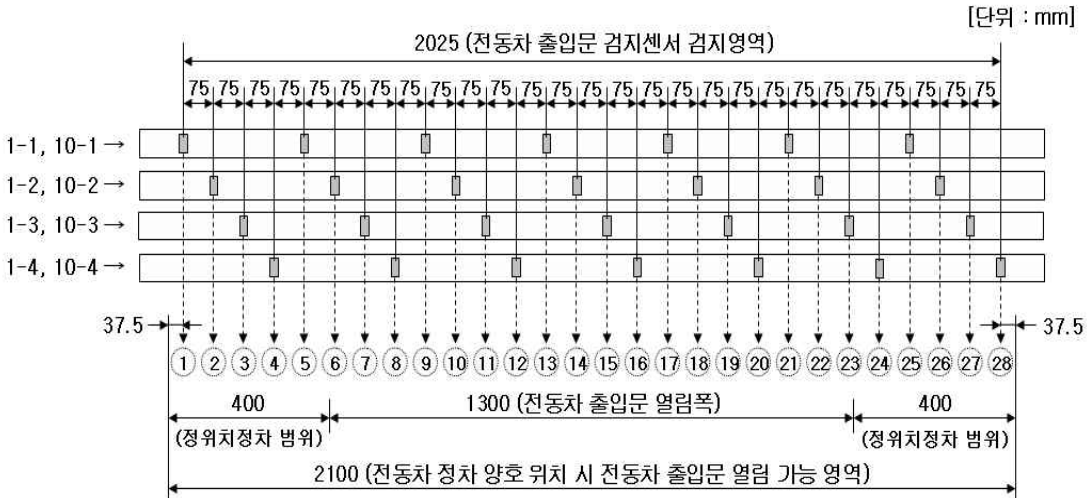


Fig. 2.3.18 출입문검지센서의 검지 간격과 검지 영역(개선 방안)

즉, Fig. 2.3.18과 같이 ① ~ ㉘번 센서를 동일한 센서 배열로 인식하도록 하여 센서의 검지 간격을 75mm로 축소하였다. 또한 전동차 출입문 검지 영역을 2,025mm로 확대하여, 전동차의 정위치 정차 범위인 (±400mm)내 전동차 출입문의 열림 가능 영역(2,100mm)을 커버하도록 하였다.

⑤ 출입문 검지 시스템의 개폐 판독 알고리즘

출입문 검지 시스템의 개폐 판독 알고리즘으로 기준점 판독 알고리즘을 적용하였다. 기준점 판독 알고리즘은 열림 시 최초 검지된 센서(기준점)에서 양방향 인접센서로 신호가 변화하고, 닫힘시 최종 검지된 센서에서 기준점 방향으로 신호가 변화하는 특성을 이용한 것이다. 이러한 특성을 그림으로 나타내면 아래의 Fig. 2.3.19와 같다.

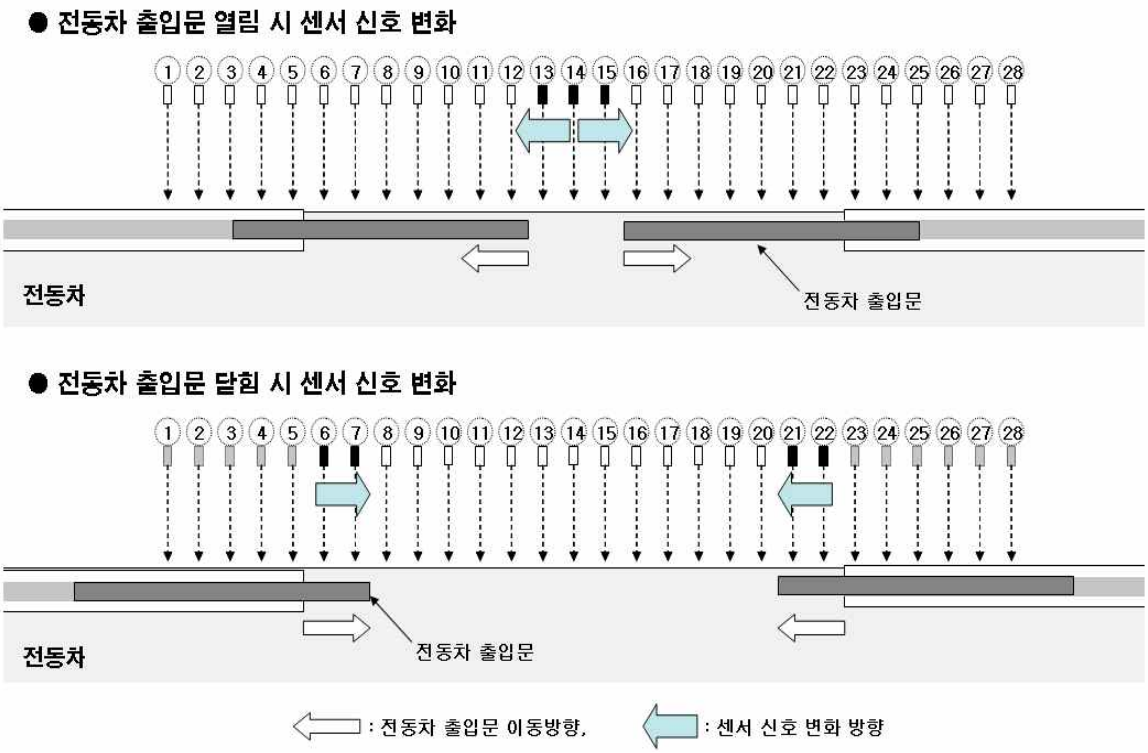


Fig. 2.3.19 전동차 출입문 이동방향과 센서 신호 변화

기준점 알고리즘을 적용 할 경우, PSD 출입문 신호반응시간을 개선할 수 있을 뿐만 아니라 센서의 오검지로 인한 개폐 판독 오류를 방지할 수 있다.

Table 2.3.14 출입문 개폐 판독을 위한 기준점 알고리즘(개선방안)

구 분	판 단 조 건
열림 판독	최소 열림 신호(On→Off)을 발생한 후, 그 센서 기준으로 양방향(좌우 방향) 센서가 열림 신호(On→Off)를 검지하였을 경우, 열림으로 판단한다.
닫힘 판독	양측(좌우측)의 최종 열림 검지센서가 닫힘 신호(Off→On)를 발생한 후, 기준점 방향(중심 방향)의 센서가 닫힘 검지(Off→On) 신호를 검지하였을 경우, 닫힘으로 판단한다.
채터링방지	센서 신호 변화 후 200ms 이상 지속된 센서입력만 유효값으로 처리한다.

⑥ 출입문 검지센서 자가진단 기능

- 센서의 고장을 확인하기 위한 자가진단은 센서 출력이 단락된 상태와 단선된 상태 두 가지를 진단해야 한다.
- 출입문 검지 Unit 센서는 반사형 센서로서 자가진단을 실시하기 위해서는

반사체가 있어야 한다. 이를 위해 전동차를 반사체로 이용하여 자가진단을 실시한다.

Table 2.3.15 출입문 검지 센서의 자가진단기능

순번	항 목	진단	내 용
1	전동차 대기 상태	센서 검지 상태	▪ 전동차가 승강장에 없는 경우 검지센서의 신호가 지속적으로 출력될 경우 장애로 판단하고 보고한다. ▪ 본 검사는 검지센서의 신호출력이 단락 되었는지를 진단하는 알고리즘이다.
2	전동차 검지상태	센서 미검지 상태	▪ 전동차가 승강장에 진입하고 출발 하였음에도 전동차를 1회이 상 검출하지 못한 센서가 있을 경우 장애로 판단하고 보고한 다. ▪ 본 검사는 검지센서의 신호출력이 단선 되었는지를 진단하는 알고리즘이다.

4절 PSD 안전성 및 승하차시간 분석 검토

1. PSD 안전성 검토

기존선 승강장 연단높이(표준1100mm) 에서 광역2층 열차의 운행은 승강장의 승하차에 지장이 없도록 출입문이 설계되어야 하고 기존선에서 광역2층 열차와 출입문 위치와 개수가 상호 같을시 제어 작동을 일괄해 서 가능하게 구현할 수 있다.

광역2층 열차와 출입문 위치와 개수가 서로 상이할 경우 출입문 검지 제어에 불일치 현상이 발생되어 매우 안전에 위험요소로 출입문위치와 PSD위치가 맞아야 한다. 출입문위치와 PSD위치가 같을 경우 출입문과 PSD 제어를 연동제어가 가능토록 구현할 수 있다. 출입문 개수를 기존 지하철도 동일하게 설치하기가 곤란하기 때문에 위치를 일부 출입문만 일치시키는 구조로 설계해서 2층 열차 역사 진입시 신호에서 연동하여 작동하도록 구성하여야 한다.

PSD 무선(RF) 장치는 전동차에 차상 PSD 무선(RF) 장치를 부착하고 승강장에는 지상 PSD 무선(RF) 장치를 설치하여 전동차가 역사에 진입하여 정차할 경우, 승강장에 설치된 PSD 시스템과 연동하여 전동차 출입문 개/폐 동작에 따라 스크린도어가 개/폐 될 수 있도록 하는 장치로서 전동차의 원활한 운행 및 안전사고를 사전에 방지할 수 있다.

PSD 무선(RF) 장치는 특별한 이상이 없는 한 별도의 조작이 필요 없으며 기존 CRS 취급 방식과 동일하게 운영되며 PSD 시스템이 설치된 역사에서도 동일한 근무 환경을 제공한다. PSD 무선(RF) 장치는 전동차 운행 방식이 ATO 시스템으로 바뀌게 되면 필요 없거나 ATO 시스템의 백업 장치로 동작 할 수 있으나 현 수동운영 방식(ATS) 에서는 절실히 요구되는 장치이다. PSD 무선(RF) 장치는 전동차의 정차 정위치인 '양호' 구간에서만 전동차 출입문과 스크린도어 개/폐 동작을 연동(Inter Lock)하여 승하차 승객의 안전에 만전을 기하도록 설계하여야 한다. 또한 PSD 무선(RF) 장치는 전동차의 출입문과 스크린도어를 연동(Inter Lock)하여 전동차 전체 출입문과 전체 스크린도어가 닫힘을 완료 하여야만 전동차가 출발 할 수 있도록 하여 안전한 전동차 운영에 만전을 기한다. 운영상에 발생한 안전사고에도 대응할 수 있다. PSD 무선(RF) 장치는 전동차 출입문 개/폐 동작에 따른 스크린도어 개/폐 동작의 지연을 최소화해서 승하차 시간을 절약으로 운행시격을 제어할 수 있다.

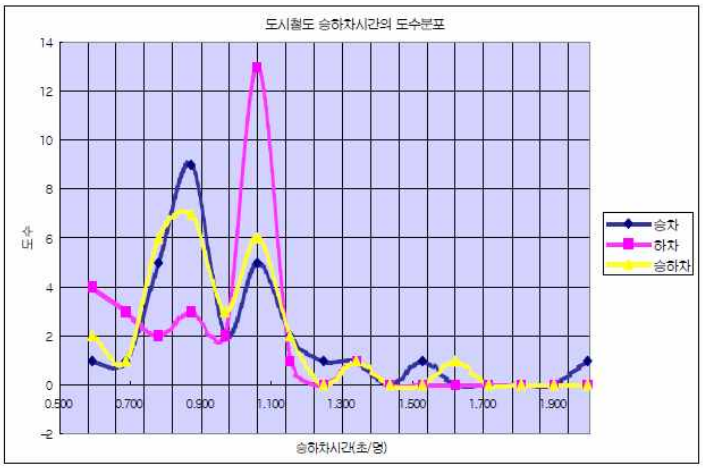
2. 승객 승하차시간 영향 분석

일반적으로 열차의 정차시간은 열차의 운행시격을 구성하는 중요한 3가지 요소 중의 하나이다. 일반적으로 광역도시철도에서 열차의 운행 시격을 구성하는 3가지 요소를 나타낸다. 식은 정차시간 = 승객의 승하차시간 + 출입문 작동시간 + 문이 닫힌 후 출발신호 대기시간과 같이 나타낼 수 있다. 승하차 시간이 열차의 정차시간에 미치는 영향은 해당 열차의 승하차 승객수의 따라 다르게 나타난다. 여기서 승하차 시간의 정확한 정의는 다음과 같다.(참고 : 2층 급행열차 운행을 위한 기술개발 및 설계기준 연구 보고서)

> (정의) 승하차 시간 = 승하차 승객 1명이 (단일 차량, 단일 출입문, 단일 승하차열을 통하여) 출입문을 가로질러 탑승하거나 하차하는데 소요되는 시간 (초). 『Time in second for a single passenger to cross the threshold of the rail transit car doorway, entering or exiting, per single stream of doorway width.』

보고서에 따르면 승하차 시간의 비율이 승하차 승객수가 증가함에 따라 승하차 시간이 정차시간에서 차지하는 비율이 높아지는 사실을 알 수 있다. 따라서, 수도

권 광역철도의 혼잡도가 높은 역들은 승하차 시간이 전체 정차시간에 큰 영향을 미치는 것으로 평가되었다.



승하차 시간의 도수분포 현황

출입문수와 열차의 정차시간과의 관계를 파악하기 위해 2층·급행열차의 경제성분석 대상노선의 총 129역에서 발생하는 2005년 역간 수요데이터를 이용하여 승하차 시간을 분석하였다. 서울시 지하철 공사 구간에 대해서 실측한 평균 승하차 시간(0.83초/명)을 기준으로 각 역의 총 승하차 인원이 승하차에 소요되는 시간을 측정하였다. 이 분석에서는 실측값에 근거한 평균 승하차 시간을 근거로 분석하였으므로, 차내 혼잡의 영향을 고려하지는 못하였다. 일반적으로 차내 혼잡을 고려하는경우 소요 정차시간이 추가적으로 길어지는 경향을 나타낸다. 앞서 정의한 정차시간 중 출입문 작동시간은 모든 경우에 대해 상수로 4초를 적용하였는데 출입문 작동시간 4초는 실측 연구에서 실측한 결과이다. 정차시간 중에서 운행여유에 해당하는 "문이 닫힌 후 출발신호 대기시간"은 고려하지 않았다. 운행여유를 고려하는 경우 소요 정차시간은 추가적으로 길어지게 된다.

현재 검토된 2층·급행열차는 출입문의 수를 2개인데 정차 소요시간을 보완하기 위해 출입문의 폭을 2 m로 설정하였다. 이것은 기존 전동차의 출입문 폭 1.4 m 보다는 크고, 마이애미의 Metromover와 동일본 철도 주식회사의 2.4 m 광폭 출입문보다는 작은 선택이다. 설계(안)의 출입문 폭을 2 m로 함으로써 승하차열을 3열 흐름으로 유도하여 정차시간 부족분을 보완하기 위한 것이다. 그러나 출입문 폭의 확대에 따른 승하차열은 3열 흐름에서도 자연적으로 2열 또는 4열 흐름으로 바뀌는 경우가 많다. 따라서, 출입문 폭의 확대를 통하여 출입문 수 증가의 효

과를 충분히 얻을 수 있을 것인가에 대한 연구는 향후에도 계속 추구되어야 하는 부분이다.

검토 결과 광역철도용 2층전동객차의 정차패턴에 따른 운행시간 단축효과는 노선에 관계없이 충분히 크게 나타나며, 노선연장이 길수록 효과는 큰 것으로 검토되었음을 확인되었으며 수도권 시내구간의 전철이 운영되는 노선들은 대체로 EL-18 하중규정을 따르므로, 2층 전동객차의 출입문의 수가 2개로 제한되는 등 설계의 유연성이 제한되었다. 또한 2층 열차의 차량설계(안)에 따른 차량이 수도권 시내구간을 운행할 경우, 출·퇴근의 피크시간대에는 정차시간이 증가하여 열차운행에 혼선을 야기할 가능성이 높다. 따라서 광역철도용 2층 열차는 출입문을 광폭으로 설계(2m)하고 3개로 설계할 경우 가능성이 있으며 도심외곽으로부터 위성도시를 연결하는 기능을 담당하도록 하는 것이 가장 적합한 것으로 검토되었다.

비상시 안전성과 승하차시간을 종합적으로 검토한 결과이며 경춘선을 실제 적용시 입석승객보다는 1층과 2층 모두 좌석으로 배치하여 승하차 시간 지연 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

- **비상시 안정성 검토**

  일반전동차에 비하여 비상탈출에 대한 이동시간은 2층구조로 되어 있어 탈출에 시간이 더 소요되어 안정성이 다소 낮아지는 것으로 사료되며 출입문이 개수가 일반전동차에 비해 적어 비상탈출에 대한 안정성은 부족함.

- **승하차 시간 검토**

  일반전동차에 비하여 출입문개수에 비례하기 때문 평시는 문제가 없으나 출퇴근 혼잡시는 다소 지연(5~7초)되는 것으로 검토됨.

  *** 이동속도 소요시간: 2층에서 1층으로 이동소요 시간**

- **경춘선 실용화 모델 제시(한국철도공사 의견)**

  출퇴근 시간대 수요집중 문제는 일반전동열차로 해소하면서 경춘선 itx-청춘과 같은 좌석급행열차를 투입하여 상호보완적인 기능을 부여한다면 오히려 노선 경쟁력을 강화시킬 수 있는 계기도 될 수 있음.

제 3 장 핵심기술 도출

1절 차체 경량화 및 구조강도 확보기술

1. 연구개발의 목적 및 필요성

(1) 연구 개발 목적

도로 교통의 체증현상 심화, 수도권 전철구간의 이용객 증가에 따라 역내 및 차내 혼잡이 가중되고 있다. 이에 따라 역내 및 차내 혼잡이 가중되고 있어 수도권 인구의 효율적 분산책 및 무분별한 난개발 방지책의 일환으로 정부에서 외곽의 택지개발을 정책적으로 시행하게 되었으나 서울외곽의 신도시들은 자체적으로 자급자족의 기능을 갖추지 못하고 있는 실정이다. 이런 변화는 수도권의 구간별 수요변화로 이어져 서울외곽에서 서울과 연결되는 도로는 출퇴근 시 극심한 정체구간으로 변하고 있으며 이로 인한 물류비용의 증가는 국가 경제에도 큰 손실로 이어지고 있다. 이에 따라 효과적 교통수단으로서 철도의 장점을 최대한 살리고 철도를 더욱 탄력적으로 운영하기 위해 2층 전동차 기술개발이 필요한 실정이다. 2층 열차의 운용 타당성을 분석하고 문제점 해결을 위한 2층 열차 모델 기초연구는 수행된 바 있으나 수도권 광역철도에 운용되는 2층 전동차를 도입하기 위한 기술적인 연구는 수행되지 않았다. 이에 따라 광역 철도용 2층 전동객차 핵심기술로 차체 경량화 및 구조강도 기술에 대한 방법이 검토되어야 한다. 2층 전동객차는 그 구조가 1층 전동객차에 비해서 복잡하고, 경량화와 높은 강도, 강성 등을 확보하기 위해서 재료적인 측면과 구조설계 측면 모두 복합적으로 살펴봐야 한다. 특히 차량의 경량화를 위해 사용되는 복합재의 경우 기존 강재 및 알루미늄 재료에 비해 높은 비강성과 비강도 특성을 지니지만, 철도 안전법에서 요구하는 구조안전성 및 충돌안전도를 만족시키기 위해 금속 프레임을 보강해야 하며 결과적으로 무게 절감효과가 크지 않을 수 있다. 구조물의 보강을 위해 고가의 탄소섬유 복합재 등을 적용하게 되면 경량화를 이룰 수 있지만 비정상적으로 제작 비용 및 공정수가 증가하는 등 생산에 소요되는 비용이 커지는 문제가 발생할 수 있다. 따라서 기존의 금속재 차체 구조가 가지고 있는 우수한 제작성, 재료비용의 절감 그리고 높은 구조 특성의 장점과 신소재 복합재 차체 구조의 경량화 장점을 활용한 차체 설계 및 개발이 요구된다.

또한, 다른 구조적 문제로는 차체 체결부의 풀림 문제가 있을 수 있다. 차체 체결부 볼트 또한 경량화 안정성 문제가 상반되게 존재한다. 볼트 체결부가 풀림이 발생하

게 되면 안전에 치명적인 문제가 발생할 수가 있다. 안전성을 위해 볼팅 숫자를 늘리게 되면 비용적인 측면이나 경량화 측면이나 악영향을 미치게 되며 그 반대로 개수를 줄이게 되면 두 측면에서 이득이나 안전성 측면에선 문제가 될 수가 있다. 그래서 볼트 또한 중요한 이슈가 될 수 있다.

차체 전두부 설계에 대한 문제도 또 다른 이슈이다. 전두부는 중앙부와 달리 하중이 직접 가해지는 부위로 구조적인 형상이 복잡할 뿐 아니라 응력의 집중도 많이 발생한다. 따라서 일정한 부재 배치를 가정하고 단순히 치수만을 변경하거나, 혹은 부재 배치의 간격을 조절하는 방법 등으로는 구조적 성능을 향상시키면서 차체의 경량화 및 고 강성을 달성하기 어렵다. 특히 철도 차량 전두부는 운전자를 보호할 수 있는 생존 공간이 확보되어야 하며, 허니콤 및 연결기 등이 충돌 시 피해를 저감하기 위해 매우 복잡하게 구성되어 있다. 그러므로 충돌 피해 저감을 위해 전두부 하프 프레임 구조의 안전성 및 신뢰성을 확보해야 한다.

따라서 광역철도 2층 전동객차의 차체 경량화 및 구조강도를 확보하기 위해서는 우선적으로 철도안전법 등의 요구조건을 만족하는 설계안을 제시하여야 하며, 재료적 측면과 구조적 측면을 고려한 최적설계 기법의 사용이 요구된다. 최적설계는 주어진 요구조건을 만족시키면서 차체구조물의 경량화를 달성할 수 있는 방안으로, 새로운 개념의 차체 구조물의 설계 도출에 가장 적합한 방법으로 판단된다.

(2) 연구개발의 필요성

① 기술적 측면

구조물에 대한 최적화 기법은 1960년대 이후부터 많은 발전을 가져오고 있다. 초기 구조물에 대한 최적화 기법은 이론에 대한 검증을 위해 간단한 구조물에 의해 적용되었으나, 현재는 자동차 및 기타 타 분야에서 많이 활용되고 있다. 특히 자동차 분야에서는 부품 및 외장재 등에 최적화 기법을 통해 고강성 및 경량화를 이룩하였다. 그러나 철도 차량의 경우 안전성이 가장 우선 시 되는 대형 시스템으로 고강성만을 고려하여 발전하였다. 따라서 충돌 시 피해를 최소화하기 위한 재료 및 소재 개발 등에 주된 연구가 진행 되고 있다.

따라서 철도 차량 충돌 피해 저감을 위해 본 연구에서는 다양한 최적화 기법을 철도 차량에 적용하여, 충돌 시 승객의 생존 가능성을 증대하고 철도 차량에 대한 최적화 기법의 프로세스를 설명하고자 한다. 그리고 또한 경량화하기 위해 복합재와 알루미늄 압출재 차체와 알루미늄 구조의 T-slot 볼트 최적화 방법에 대해 서술 하고자한다. 이를 바탕으로 철도 차량의 충돌 안전 성능평가 기술에 대해 인프라를 구

축할 수 있으며 실질적인 철도 안전 확보, 경량화를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

② 경제·산업적 측면

기계·전기적으로 매우 복잡한 구조를 가진 철도 차량의 경우, 충돌 시 많은 인명사고(운전자) 초래 및 경제적으로 막대한 비용이 요구된다. 현재 국,내외적으로 예상치 못한 기계의 오작동 및 운전자의 부주위로 인해 높은 사고율이 나타나고 있다. 철도 차량의 충돌 사고는 전체 철도 차량 사고의 15~20%의 낮은 수치를 차지하지만 충돌에 의한 사고에 의한 영향력은 기타 사고에 비해 매우 크다고 볼 수 있다.

따라서 운전자 생존 공간을 유지하고, 충돌 피해 저감의 최소화하기 위해 최적화 및 충돌 해석 기법을 적용함으로써 예상하지 못한 충돌 사고로 인해 발생하게 되는 인명 사고 및 차량의 최소 붕괴로 인해 열차운행중단, 열차운행지연 등 서비스 측면의 경제손실을 최소화하고자 한다. 본 연구를 통해 개발된 최적의 철도 차량 하부구조는 충돌안전도 제품개발을 통한 관련 산업의 대외 경쟁력 향상을 도모할 수 있으며, 해외기술 대체 및 해외 경쟁력 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

또한 확립된 최적화 방법론을 통해 경량화와 구조강도를 확보하게 된다면 생산 비용의 경쟁력과 에너지 효율이 향상되어 보다 더 친환경적인 운영이 가능하다고 판단된다.

③ 사회·문화적 측면

국내에서는 이미 철도 안전법을 기반으로 철도차량안전기준을 제정하였으며, 충돌안전기준을 수행하기 위한 세부규격들이 연구를 통해서 만들어 지고 있다. 또한, 선진국 수준의 충돌안전대책을 마련하기 위한 국가 주도적 프로젝트가 추진 중에 있다. 이러한 대처는 지금까지의 연구동향 분석을 통해 보면 매우 긍정적인 판단을 내릴 수 있다. 한국의 대부분 제조업이 독자적인 국내 시장만으로 생존하기 힘들고 반드시 세계시장으로 뻗어나가야만 살아남는 구조를 태생적으로 갖고 있다면, 제3세계 시장과 미국시장에서 유럽과 경쟁하기 위해서 철도차량의 충돌안전도 역량을 국제적인 강제기준에 맞추어야 한다. 이제 한국철도의 Global Standard 지향은 국가안전기준과 철도산업육성 측면에서 필수불가결한 선택이 되었다.

그리고 경쟁력을 가지고 광역 2층 전철을 보급을 한다면 효과적 교통수단으로서 철도의 장점을 최대한 살리고 철도를 더욱 탄력적으로 운영하여 교통난 해소에 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

2. 국내·외 기술개발 현황

(1) 연구사례 조사

① 외국사례

철도산업 선진국에서는 충돌, 탈선, 화재 등 중대사고의 안전기술에 대한 과감한 투자와 기술개발로 체계적인 안전기술을 확보하여 적용하고 있으며, 우리나라에서도 철도 안전법을 제정하고 철도 종합 안전기술 개발 사업을 추진하는 등 철도환경의 변화에 능동적으로 대처하기 위해 노력하고 있다. 특히, 유럽에서는 국가 간에 더욱 고속화되는 열차운행이 빈번하게 됨에 따라 유럽의 충돌안전연구에 대한 공동 작업의 필요성이 부각되었으며, 유럽연방위원회는 TRAINCOL(1991-1995), SAFETRAIN (1997-2001), TRAINSAFE (2002-2004) 의 대규모 열차충돌 안전연구 프로젝트를 지속적으로 추진하여 왔다. 이러한 연구에서 사고통계를 분석하고 충돌사고 시나리오를 조사하여 충돌안전 피해저감기술이 열차안전도를 향상하는데 매우 중요한 비중이 있음을 우선적으로 밝혀내었다.

A.Zinno 등은 시험과 해석적 방법을 통해 얻은 결과를 바탕으로 모듈화 샌드위치 복합재 루프를 철도차량에 적용하여 경량화 효과를 얻었으며, Jean Paul 등은 복합재와 금속재를 적용한 하이브리드 모듈화 선체 구조물의 구조안전성 평가를 수행하여 금속재 선체와 동등한 수준의 강성 및 강도를 갖는 경량화된 선체 구조물을 제시하였다. 계속된 연구에서는 충돌안전도가 향상된 구조 및 장치들을 개발하여 안전향상 효과를 증명하였고, 실제 충돌시험을 통하여 이론적인 모델링과 예측기술들을 검증하였다.

② 국내사례

구정서 등에 의해 한국형 도시철도 차량의 충돌안전 기준에 관한 연구가 이루어지고 있다. 국내 도시철도 차량의 충돌안전도 규정안 분석을 통하여 충돌변형부의 제한과 충돌안전성 평가를 위하여 충돌 설계 가이드라인을 제시하였다. 제시한 충돌 설계 가이드라인에 충돌안전도 해석모델의 적용을 통하여 현재 국내 도시철도의 충돌성능을 검증하였다.

또한 정현승 등은 LS-dyna를 이용하여 철도차량 연결 충돌해석에 관한 연구를 하였다. 철도차량의 충돌해석 모델에 적합한 모델을 생성하기 위하여 적합한 재료 특성과 마찰특성을 부여하였으며, 특히 완충기의 특성을 모델링하기 위하여 비선형 재료모델의 적용을 통하여 사실적으로 표현하였다. 이를 통하여 연결기 완충장치의 위

치별 흡수에너지의 분포와 도시철도차량 연결 충돌해석 에너지선도를 획득하였으며, 이를 해외의 충돌해석 사례와 비교하여 해석모델과 충돌해석 결과를 검증하였다.

신금철 등은 철도차량 루프 부분에 적층복합재를 적용하기 위해 금속재와 복합재의 접착조인트 연구를 수행하였으며, 축소모델의 시험과 해석을 통해 조인트부의 안전성을 검증하였다.

그리고 경량화를 위해 사용되는 복합재의 경우 국내에선 오트클레이브(Autoclave) 공법을 통해 일체 성형으로 제작하고 있다. 이러한 차체 제작 공법은 대형 성형몰드 장비 등의 고비용 성형제를 필요로 한다. 이에 생산에 송료되는 비용이 비정상적으로 상승하여 차량의 경쟁력을 감소 시키는 요인으로 작용하고 있으며 열변형 치수오차 등의 문제로 인해 완성차에 잔류응력이 발생하는 문제점이 발생하고 있다.

③ 조사연구개발사례에 대한 평가

국내외 철도 차량의 충돌안전도 규정안이 발표되어있다, 이를 새로 개발될 차량과 현재 개발된 철도차량의 충돌안전도를 평가하는 연구가 주를 이루고 있다. 충돌시나리오를 적용한 실차 실험과 더불어 많은 CAE를 통한 해석적 연구가 주를 이루고 있으며, 실차 실험의 비용과 시간을 절약하기 위한 해석적 연구에 많은 투자와 인력이 투입되고 있다. 하지만 국내의 해석적 연구의 상황은 아직 국외에 비해 뒤쳐져 있는 실정이며, 또한 해석을 위한 해석모델의 개발에 대한 연구와 사례는 부족하여 더 많은 연구가 필요할 것이다.

3. 차체 구조강도 평가 기법 개발

(1) 차체 구조해석

본 절에서는 국내 철도 차량 성능 평가 시험 규격을 적용한 복합재와 알루미늄 압출재로 구성된 광역철도 2층 전동 객차의 차체를 개발하기 위해 유한요소법을 이용한 구조 해석을 수행하였다. 이를 위해 차체 구조물에 대한 성능 평가 기준을 정리하고, 차체 구조물의 유한요소모델 및 시험 규격의 해석적 구현을 통해 구조 강도를 평가한다.

① 철도 차량 성능 평가 기준

국토교통부는 도시철도차량의 성능 시험에 관한 기준을 통해 차체 구조물에 대한 하중 시험법을 고시하였다. 이 규정은 차체의 강도 및 고유진동수를 확인하기 위한 정하중 시험으로 실시되며, 유럽규격인 EN12663 및 EN15085, UIC566, 국내 규

격인 KS R 9223과 KS R 9228을 참고하여 제정되었다. 시험의 종류는 수직하중시험, 수평압축하중시험, 비틀림 하중 시험, 3점 지지시험, 굽힘 고유진동수 측정시험, 비틀림 고유진동수 측정시험이 있으며, 각 측정항목은 Table 3.1.1와 같다.

Table 3.1.1 측정항목

시 험 종 류	측 정 항 목			
	응력	변위량	진동수	시험하중
수직하중시험	◦	◦		◦
수평압축하중시험	◦	◦		◦
비틀림하중시험	◦	◦		◦
3점지지시험	◦	◦		◦
굽힘고유진동수 측정시험			◦	
비틀림고유진동수 측정시험			◦	

각 시험하중은 아래와 같다.

■ 수직하중 시험 : (운전정비 상태일 때의 하중 + 최대승객하중 − 대차하중) × 상하진동가속도(1.2g) − (구조체 하중 + 시험기 하중)
■ 수평압축하중시험
 −압축하중 : 345 ~ 490kN. 다만, 대형 및 중형 전동차인 경우 : 490kN
 −수직하중 : (운전정비 상태 일때의 하중) − (대차하중) −(구조체 하중+시험기 하중)
■ 비틀림 하중 시험 : 39.2kN−m
■ 3점 지지시험 : (운전정비 상태 일때의 하중)−(대차하중)−(구조체하중+시험기하중)
■ 굽힘 고유진동수 측정시험 : 진동이 가능한 부하하중
■ 비틀림 고유진동수 측정시험 : 진동이 가능한 부하하중

구조체의 지지방법 및 시험하중의 부하방법은 아래와 같다.
■ 수직하중시험
 −구조체의 지지방법

구조체의 지지방법은 대차에 의한 지지방식과 동일하게 지지한다. 구조체 지지방법의 예를 Fig. 3.1.1에 표시한다.

-시험하중의 부하방법

㈎ 시험하중은 물탱크, 주물블록, 유압 등을 사용하여 수직하중을 부하한다.

㈏ 부하는 바닥면적 등분포부하이다.

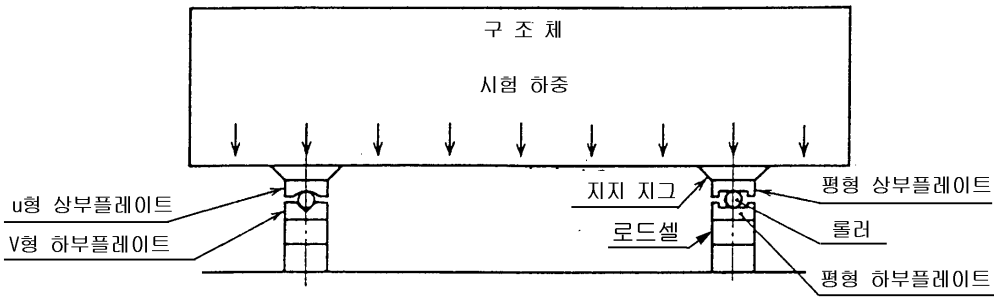


Fig. 3.1.1 구조체 지지방법(1)

■ 수평압축하중시험

-구조체의 지지방법

구조체의 지지방법은 수직하중시험의 지지방법과 같다.

-시험하중의 부하방법

㈎ 시험하중은 유압 잭키에 의한 압축하중으로 한다.

㈏ 구조체의 연결기설치 부위는 임의의 시험용 압봉을 조립하여 구조체의 한쪽에서 유압 잭키로 부하한다.

㈐ 수직방향으로는 수직하중의 부하 방법으로 부하한다. 시험하중의 부하방법 예를 Fig. 3.1.2에 표시한다.

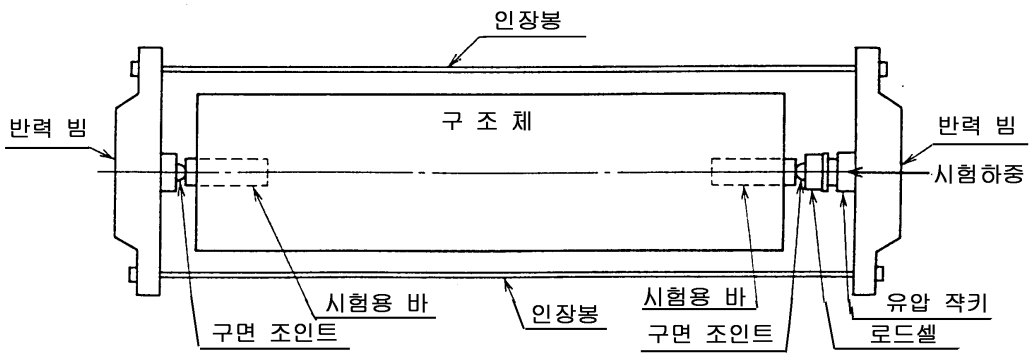


Fig. 3.1.2 시험하중 부하방법

■ 비틀림 하중시험

-구조체의 지지방법

구조체의 지지는 Fig. 3.1.3의 예와 같이 구조체 한쪽의 차체 볼스타(Body bolster) 중심선상의 2개소를 지지대로 지지한 후 고정프레임으로 고정하고, 반대편 구조체의 차체 볼스타(Body bolster) 중심위치에 비틀림 프레임을 넣고 나이프 엣지(Knife edge)로 지지대를 지지한 후 지지점 부근에 하중을 부하한다.

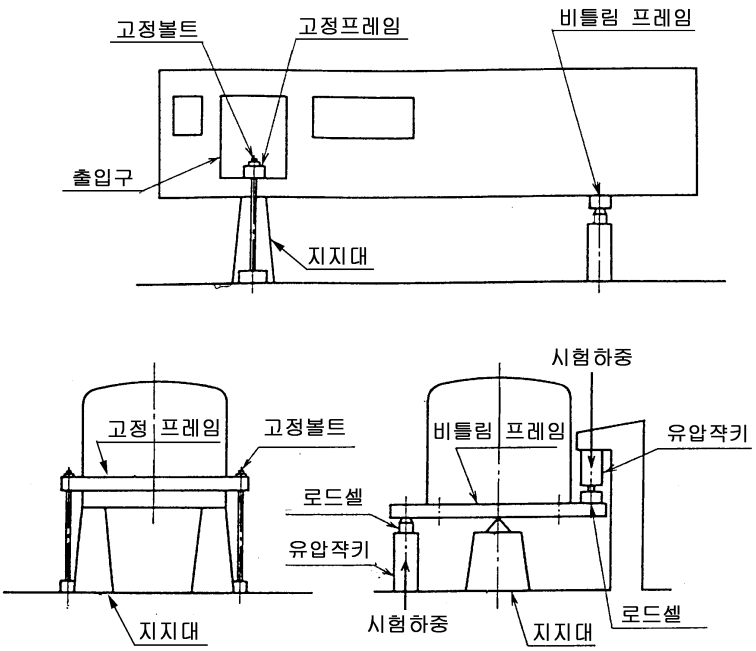


Fig. 3.1.3 구조체 지지방법 및 시험하중 부하방법

-시험하중의 부하방법

시험하중의 부하방법은 Fig. 3.1.3에 나타낸 바와 같이 우력에 의한 비틀림 모멘트가 구조체에 가해지는 부하이다.

■ 3점 지지시험

-구조체의 지지방법

구조체의 지지 방법는 Fig. 3.1.4의 예와 같이 차체 볼스터(Body bolster) 부근의 쟉키 받침 부 4개소를 정점으로 로드셀로 수평으로 지지하고 그 4개 지점 중 한 개의 로드 셀 아래에 쟉키를 설치한다.

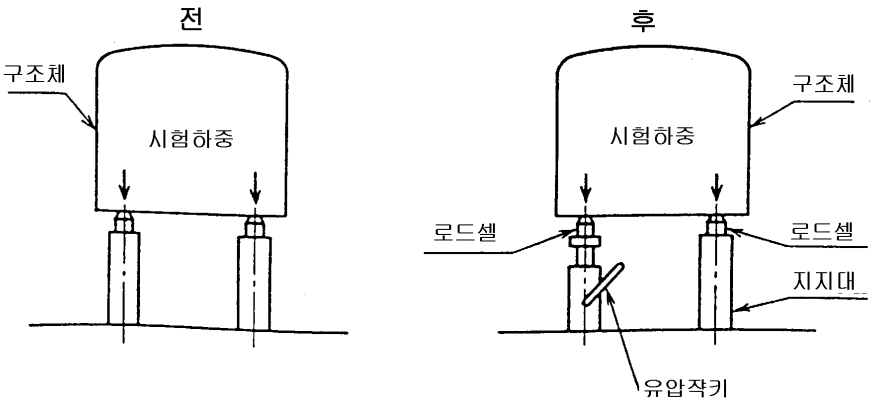


Fig. 3.1.4 구조체 지지방법(2)

-시험하중의 부하방법

㈎ 시험하중은 수직하중의 부하 방법으로 부하한다.

㈏ 구조체의 4지점 중에 유압 잭키를 설치한 1개 지지 점을 하강시켜 3점지지로 한다.

■ 굽힘 고유진동수 측정시험

-구조체의 지지방법

구조체의 지지방법은 수직하중시험과 같은 지지대를 사용한다.

-시험하중의 부하방법

시험하중의 부하는 Fig. 3.1.5의 예와 같이 구조체 중앙부의 아래에 부하를 가하고 순간적으로 부하를 제거하여 구조체에 자유진동을 발생시키는 방법 또는 강제가진기를 사용하는 방법 중 하나로 한다.

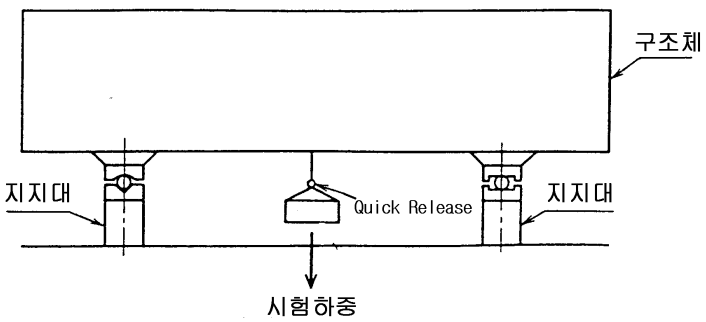


Fig. 3.1.5 시험하중 부하방법(1)

■ 비틀림 고유진동수 측정시험

-구조체의 지지방법

구조체의 지지방법은 비틀림 하중시험과 동일하게 한다.

-시험하중의 부하방법

시험하중의 부하방법은 Fig. 3.1.6의 예와 같이 비틀림 프레임의 한쪽에 부하를 가하고 순간적으로 부하를 제거하여 구조체에 자유진동을 일으키는 방법 또는 강제 가진기를 사용하는 방법 중 하나로 한다.

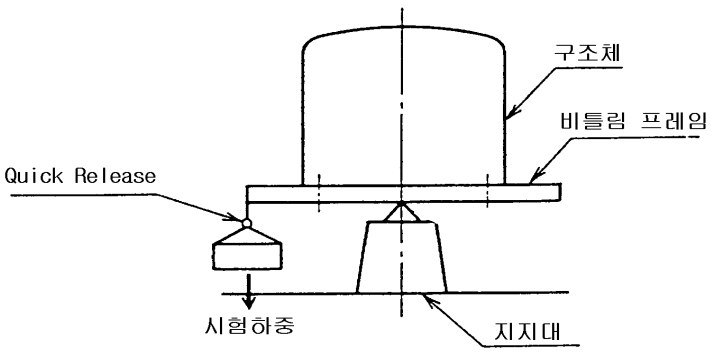


Fig. 3.1.6 시험하중 부하방법(2)

각 하중 시험의 평가 기준은 아래와 같다.

- 수직하중시험 : 수직하중을 부하하여 측정한 응력 값이 재료의 항복응력 미만이어야 한다.
- 수평압축하중시험 : 수평압축하중을 부하하여 측정한 응력 값이 재료의 항복응력 미만이어야 한다.
- 비틀림 하중시험 : 비틀림 하중을 부하하여 측정한 응력 값이 재료의 항복응력 미만이어야 한다.
- 3점 지지시험 : 영구변형이 발생하지 않아야 한다.
- 굽힘 고유진동수 측정시험 : 측정된 고유진동수는 대차와의 공진을 피하기 위해 10Hz 이상이어야 한다.

② 시험 규격에 따른 구조해석

전동차 차체의 구조 강도를 평가하기 위해서 시험 규격을 적용한 구조 해석을 수행한다. 차체는 복합재와 알루미늄 압출재로 구성되어 있기 때문에 복합재의 구조 해석 기법을 적용한 해석 기법의 개발이 요구된다.

일반적으로 복합재의 구조 해석은 복합재료의 상세 모델링 또는 등가 모델링을 이용한다. 상세 모델링을 이용한 해석에서는 복합재를 구성하는 각 요소의 물성을 입력하여 해석을 수행하며, 단순 적층구조의 복합재에 적용 가능하다. 등가 모델링을 이용한 해석은 불균일한 연속체의 물성을 균일한 연속체의 물성으로 등가 변환하여 해석을 수행하며, 구조가 복잡한 복합재 모델에 주로 적용되고 있다. 최근에는 ABAQUS, LS-Dyna 등의 상용 구조해석 프로그램에서 지원하는 복합재 재료 모델을 이용한 해석도 많이 수행되고 있다.

광역철도 2층 전동객차의 유한요소모델을 상용 전처리 프로그램 Hypermesh를 이용하여 구성한다. 차체를 Shell element로 모델링 하고, 두께를 정의하여 해석 수행 시 해석의 편의는 도모하되 두께를 갖는 모델을 구성하도록 한다. 여기서 2층 열차의 설계제원은 T-car, M-car, Mc-car, M' -car가 다소 차이가 있으나 차량의 폭과 너비, 길이 등의 기본제원은 기존의 1층 표준전동차와 같다고 할 수 있다. 이는 외국의 2층 열차 차량을 벤치마킹하여 국내 실정에 맞게 결정되었다. 차량높이는 기존 전동차의 차체높이에 공조장치 높이를 감안해서 증가하게 된다. 또한, 국부적으로, 연결기 설치 플레이트, 리프팅 패드 등의 부품에는 Solid element를 사용한다.

유한요소 모델링 후 3.1.1에서 정리한 시험 규격을 해석적으로 구현한다. 각 하중 시험 별 지지방법과 시험 하중의 부하 방법 등을 모사하여 해석을 수행하게 된다. Fig. 3.1.7은 구조해석을 수행하기 위한 차체 해석 모델의 예시이다.

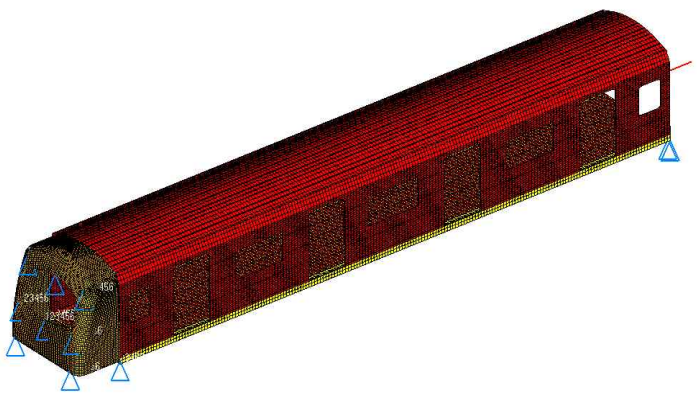


Fig. 3.1.7 차체 해석 모델(예시)

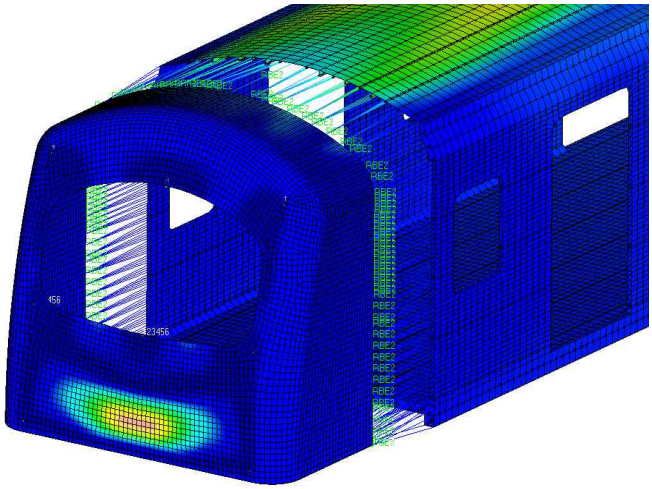


Fig. 3.1.8 차체 변위 해석 결과(예시)

(2) 알루미늄 압출재의 체결부 풀림해석

① 체결부 풀림 메커니즘

볼트는 만약 두 가지 조건을 만족한다면 풀림이 진행된다 : (1) 풀림방향으로 접촉면에 작용하는 힘이 최소 하나 이상 있을 때, (2) 접촉면의 접선방향으로 마찰력을 극복하는 힘이 작용하고 있을 때. Fig. 3.1.9와 같이 체결된 볼트가 있다. 이 체결품은 전단하중을 받게 된다. 전단하중과 같은 외력이 존재하지 않는다면 체결에 의한 반력으로 풀림 모멘트가 존재하는 헬리컬 나사산 형상 때문에 첫 번째 풀림 조건을 만족하게 된다.

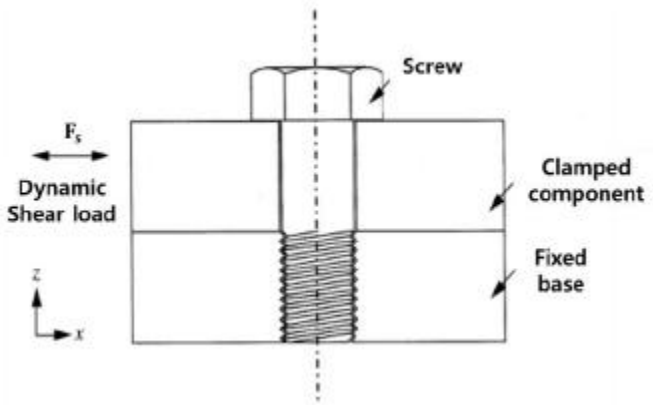


Fig. 3.1.9 전단 하중을 받는 체결품

슬립을 발생시키는 가장 큰 요소는 전단하중 때문이다. 외력 부재 시 체결품은 풀림 모멘트를 저항하는 마찰력의 존재 때문에 풀림이 진행이 되지 않고 유지하게 된다.

그러나 전단하중이 적용하게 되면 접촉면의 힘의 방향이 변화하게 되어 마찰력이 감소하게 된다. 결과적으로 볼트의 머리와 나사산에 슬립이 발생하여 체결이 풀리는 쪽으로 진행이 되게 된다.

② T-slot 볼트 상세해석 기법 개발

철도차량의 언더프레임 하부에는 많은 기기들이 장착되어 있다. 이러한 기기들은 부라켓 또는 알루미늄 압출제인 T-slot 볼트로 체결이 이루어진다. 만일 차량하부에 장착되는 기기가 제대로 체결을 유지하지 않는 다면 선로위에 떨어지는 문제를 발생시킬 수 있으며 이는 차량의 안전에 큰 문제를 야기 시킨다. 일반적으로 철도차량 하부에는 볼트와 브라켓을 사용하여 주로 전장품을 장착시킨다. 만약 알루미늄 압출제를 사용한 차체인 경우 Fig. 3.1.10처럼 T-slot에 볼트 너트로 체결하게 된다.

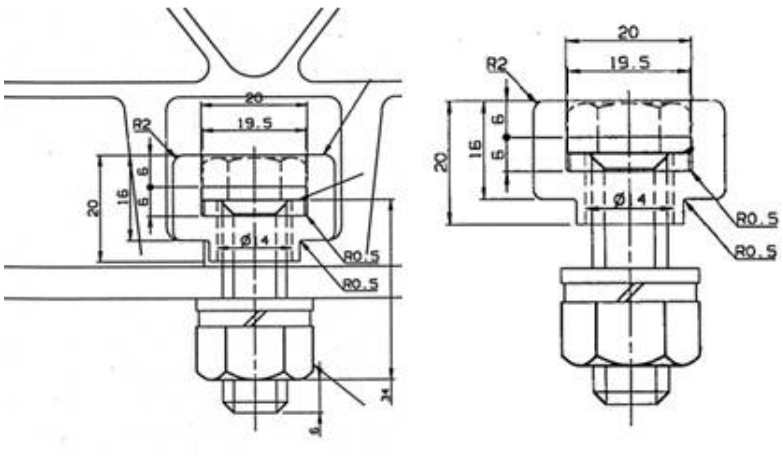


Fig. 3.1.10 T-slot에 장착된 볼트 및 전체 조립도

T-slot 볼트 상세해석을 진행하기 위해서 유한요소모델을 구성하게 된다. 유한요소모델을 구성하기 위해서 T-slot 볼트와 체결품 상세모델을 3D CAD의 상용프로그램을 이용하여 구성하며 구성한 모델은 Solid type으로 구성하게 된다. 그리고 볼트와 너트, 체결품의 접촉 부분에 접촉조건을 부여하도록 한다. 1단계로 볼트에 토크를 부여하여 체결력을 구현하게 된다. 2단계로 토크를 제거하게 되며 이때 풀림모멘트는 존재하나 마찰력으로 인해 체결을 유지하게 된다. 그리고 Body2에 반복적 횡 하중을 부여하여 풀림을 구현하게 된다. 그리고 횡 하중의 크기에 따라 풀림해석을 진행하여 풀림한계 하중을 도출하게 된다.

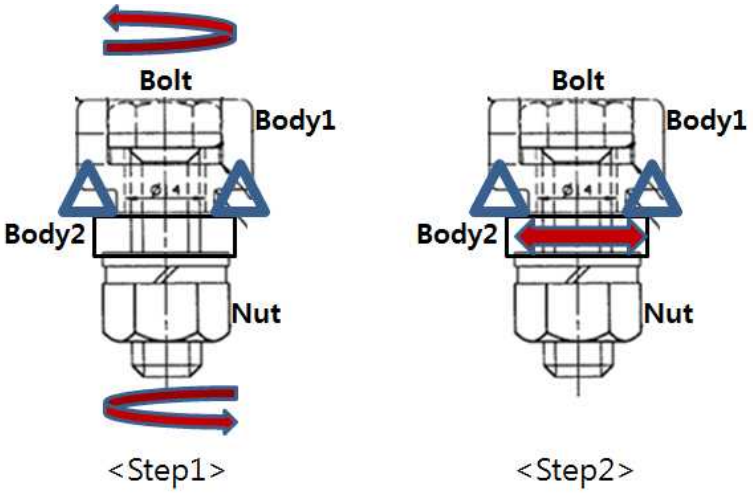


Fig. 3.1.11 볼트 체결 및 풀림 해석

4. 경량화 및 강도를 확보하기 위한 최적설계

(1) 복합재와 알루미늄 압출재 차체의 위상최적화

① 위상최적화

최적설계 기법은 크게 치수최적설계, 형상최적설계, 위상최적설계 등의 세 가지 기법으로 구분된다. 치수 및 형상 최적화는 구조물의 연결구조는 고정시키고, 부재의 치수를 변경하거나 형상을 변경하는 기법이며, 위상최적화는 주어진 하중 및 경계조건에 대한 최적의 재료배치를 찾는 기법이다. 철도 차량 차체 전두부는 중앙부와 달리 정면충돌 시 하중이 직접 가해지는 부위로 구조적인 형상이 복잡할 뿐 아니라 응력의 집중도 많이 발생한다. 따라서 일정한 부재 배치를 가정하고 단순히 치수만을 변경하거나, 혹은 부재 배치의 간격을 조절하는 방법 등으로는 구조적 성능을 향상시키면서 차체의 경량화를 달성하기 어렵다. 그러므로 설계 단계에서 가장 구조적 성능이 우수한 부재 배치를 찾아내는 것이 중요하다. 위상 최적화는 구조물 초기 설계 단계에서 작용하는 하중 조건 및 설계 목적과 설계 영역만을 가지고 최적의 위상을 얻을 수 있으므로 초기 설계 단계에서 매우 유용한 기법이다. 특히, 광역철도 2층 전동 객차의 설계는 1층 객차보다 더 복잡한 구조를 가지기 때문에 최적화 기법을 통한 차체 설계는 매우 중요하다.

위상최적화 관련 이론으로는 균질화법과 밀도법이 있다. 균질화법은 Benseo와 Kikuchi에 의해 제안된 기법이다. 이 방법은 연속체 구조물이 미시적으로 직교이방성 공극재료(microscopically orthotropic porous material)로 이루어진 것으로 가정한다. 이러한 재료는 Fig. 3.1.12과 같이 가운데에 구멍이 뚫린 사각형 단위 구조

로 이루어져 있다. 탄성체는 이러한 미세구조가 주기적으로 반복되는 복합재로 표현된다. 이러한 복합재의 물성치는 공극의 크기와 방향에 따라 균질화 이론에 의해 결정된다.

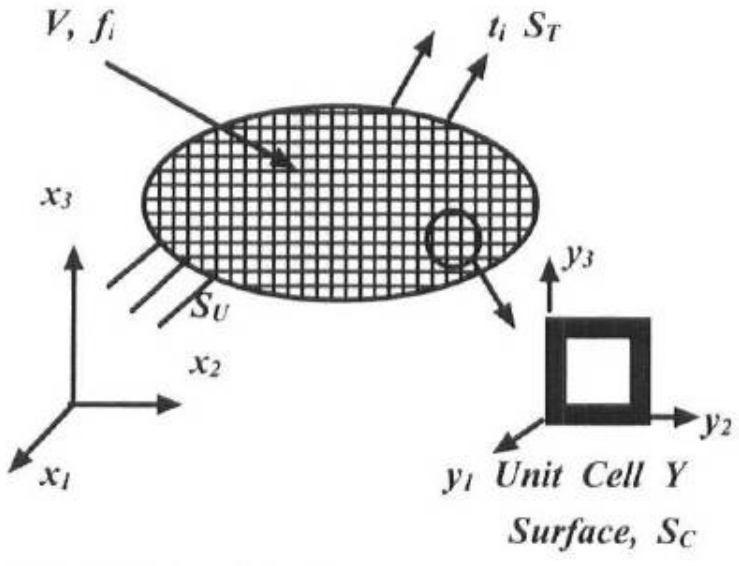


Fig. 3.1.12 균질화법에 사용되는 복합재 미세구조

밀도법은 Mlejnek에 의해 제안된 방법이다. 밀도법은 균질화법에서 사용되는 재료 물성치가 밀도의 지수함수 관계로 표현되는 것을 보고, 재료를 가상의 등방성 재료로 가정하여 밀도(ρ)와 탄성계수(E)와의 관계를 다음 식과 같이 간단한 지수함수로 가정하는 것이다.

$$E = \rho^P E_0$$

여기서 E_0는 재료의 실제 탄성계수이다. 이러한 재료 모델은 SIMP(Simple Isotropic Microstructure with Penalization)라고도 불린다. Fig. 3.1.13은 지수 p에 따른 SIMP 재료 모델을 보여주고 있다. 지수 p의 값이 커질수록 위상최적 설계 결과는 중간 값보다는 0과 1의 밀도값을 갖게 되는 경향을 띈다. 일반적으로 위상최적설계에서 지수 p는 2에서 4사이의 값이 사용된다.

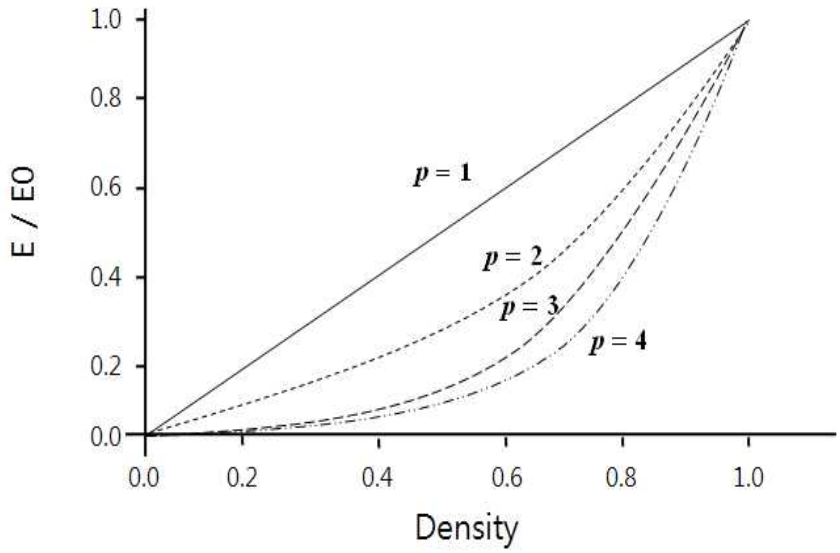


Fig. 3.1.13 SIMP model due to p

탄성체 구조물에 대한 강성 설계 위상 최적화 문제와 같이 다음과 같은 컴플라이언스 최소화 문제로 표현된다.

$$min \;\; C = \int_{\Omega} b_i \, z_i \, d\Omega + \int_{\Gamma_t} T_i \, z_i \, d\Gamma$$

$$subject \;\; to \int_{\Omega} \rho \, d\Omega \;\leq\; V$$

여기서, C 는 컴플라이언스, b_i 는 몸체력, T_i 는 경계하중, z_i 는 변위장, Ω 는 구조물 영역, V 는 허용 체적, ρ 는 재료 밀도를 나타낸다.

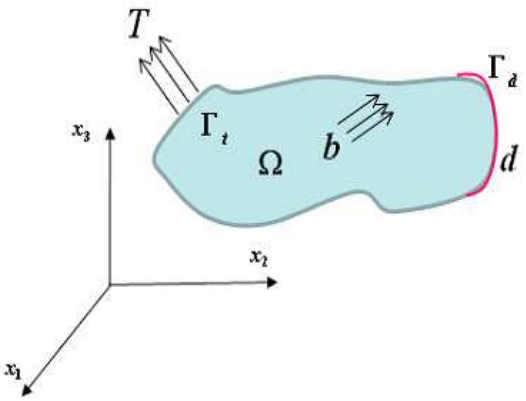


Fig. 3.1.14 Elastic body structure

where Ω : Domain

Γ_t : Traction boundary

Γ_d : Displacement boundary

T : Boundary tractions

d : Boundary displacement

b : Body forces per unit volume

특히, 차체의 전두부는 에너지 흡수부로서 충돌 시 작용하는 1차적인 정면충돌 에너지와 2차적으로 뒤따라오는 객차의 충돌 에너지로부터 운전자를 보호할 수 있는 공간이어야 한다. 따라서 위상 최적화 기법을 적용하여 주어진 하중 상태에 따라 차체의 전두부의 최적의 주요 부재 배치 및 구조를 제시하며, 이를 통하여 고강성과 경량화를 동시에 만족하는 안정적이며 경제적인 구조물을 만들기 위한 위상 최적설계의 방법론을 제시한다. Fig. 3.1.16는 Fig. 3.1.15의 초기 전두부 해석 모델에 작용 하중을 적용시켜 40%의 재료를 제거하여 획득한 위상최적화 결과 예시이다.

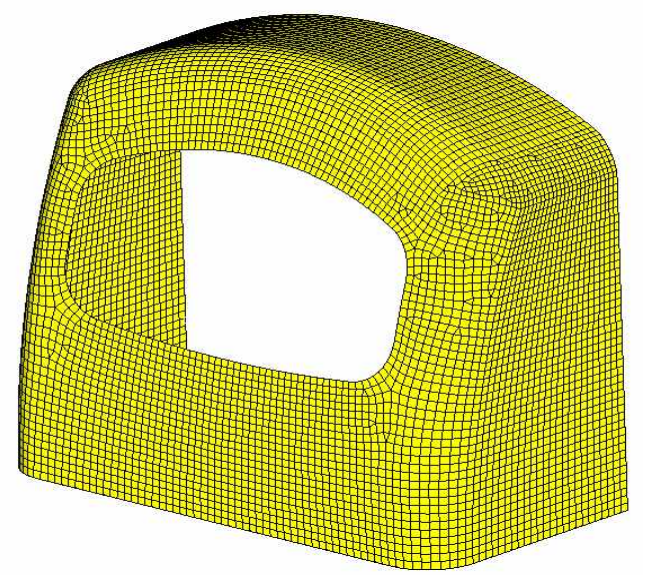
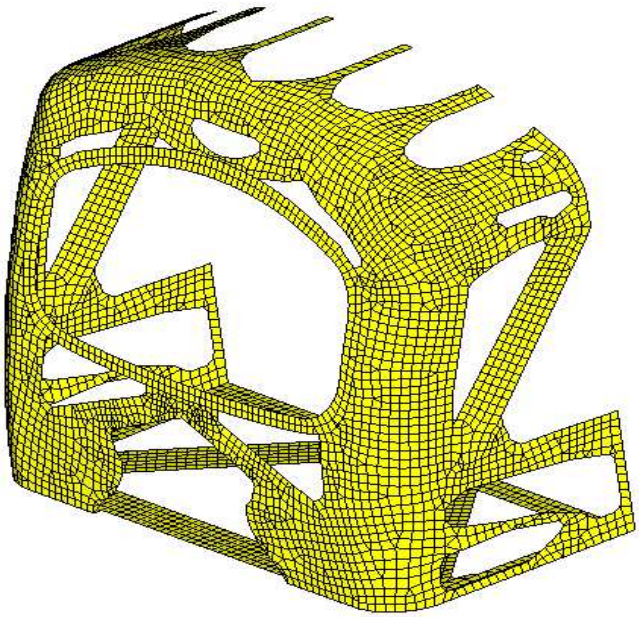


Fig. 3.1.15 초기 전두부 모델(예시)



평가에 적용된다.

㈐ 운행조건에 따른 철도차량의 분류 기준은 Table 3.1.2과 같다.

Table 3.1.2 운행조건에 따른 차량분류

차량분류	운행조건
제1종	일반철도 및 고속철도 노선에서 여객 등이 탑승하여 운행되는 경우
제2종	도시철도차량 중 제1종 노선과 혼합 운행되는 경우
제3종	도시철도차량 중 전용 노선에서만 운행되는 경우
제4종	도로교통수단과 혼합 운행되는 경우

■ 용어의 정의

– 용어

㈎ 압괴(Crush)

구조체의 용적이 원상태에 비해 현저히 줄어드는 과도한 소성 변형

㈏ 강체(Rigid Body)

현상을 쉽게 기술하기 위해 도입한 것으로, 외력을 가해도 크기나 형태가 변하지 않는 이상적인 물체

㈐ 변형구역(Collapse zone)

충돌사고 발생 시 충돌에너지 흡수를 위해 구조적으로 약하게 설계된 차체부위(통상적으로 차체 종단부)

㈑ 생존 공간(Survival space)

충돌사고 발생 시 탑승자를 보호하기 위해 압괴되지 않고 유지되어야 하는 차체의 내부 공간

㈒ 충돌안전설계 장치

열차충돌 시 피해저감을 목적으로 장착되었으며, 차체에 분리 독립될 수 있는 장치

㈓ 충돌안전설계 부재

열차충돌 시 피해저감을 목적으로 설치되었으며, 차체의 일부분으로 분리 독립될 수 없고, 구조의 구성요소를 이루는 부재

㈔ 충돌안전설계 구조

열차충돌 시 피해저감을 목적으로 설치되었으며, 차체와 분리될 수 없고, 부재와 장치를 구성요소로 하여 종합적인 기능을 수행할 수 있는 구조

㈋ 검증시험

충돌안전설계 장치, 부재, 구조 등의 에너지흡수 성능을 검증하고 시뮬레이션 모델을 교정(Calibration)하기 위해 수행되는 실물크기의 시험

㈌ 최종 평가 시뮬레이션

열차의 충돌안전설계를 최종적으로 평가하기 위하여 정해진 검증절차에 따라 신뢰성이 확보된 시뮬레이션 모델을 사용하여 표준충돌사고각본에 따라 사고상황을 재현하는 시뮬레이션

㈍ 검증 시뮬레이션

시뮬레이션 모델의 신뢰성을 확보하기 위하여 시뮬레이션 모델의 핵심 구성요소인 장치, 부재, 구조를 검증시험하고 그 결과와 상호비교하기 위하여 수행되는 시뮬레이션이며, 시뮬레이션 모델은 검증시험상황이 잘 재현될 때까지 교정

㈎ 충돌안전 성능평가용 표준열차

제어차, 기관차, 발전차, 객차 등 개별차량의 충돌안전 성능평가를 위해 사용되는 열차

㈏ 충돌 무게

50%의 착석 승객 수가 가산된 운행차량의 공차중량

㈐ 타고오름 방지장치

충돌사고 시 철도차량 간 올라타는 현상을 방지하기 위해 설치되는 장치

㈑ 완충차막이

선로의 종단에 설치되어, 차량이 선로의 종단을 돌파하는 사고 발생시 차량의 운동학적 에너지를 효율적으로 소산시켜 충돌차량, 승객, 시설물 등을 안전하게 보호하는 장치

■ 표준충돌사고각본

－정면 충돌사고각본

㈎ 충돌조건

㉠ 피충돌체 : 충돌체와 동일한 편성의 열차

㉡ 선로조건 : 직선평탄선로

㉢ 제동상태 : 제동 미체결

－충돌속도

Table 3.1.3 충돌사고각본의 충돌속도

차량분류	충돌속도
제1종	36 km/h
제2종	36 km/h
제3종	25 km/h
제4종	15 km/h

㈀대형장애물 충돌사고각본

㈁ 충돌조건

1) 피충돌체 : 대형장애물

2) 선로조건 : 직선평탄선로

3) 제동상태 : 제동 미체결

㈂ 충돌속도

Table 3.1.4 대형장애물 충돌사고각본의 충돌속도

차량분류	충돌속도
제1종	110 km/h
제2종	110 km/h
제3종	40 km/h
제4종	25 km/h

주) 제1종 및 제2종의 경우, 건널목에서 운행속도가 160km/h에 미치지 못한다면, 철도 건널목 최고운행속도 보다 50km/h 낮은 속도를 충돌속도로 한다. 단, 충돌속도는 40km/h 보다 낮을 수 없다.

㈃ 제1종, 제2종 및 제3종의 대형장애물 정의

1) 형상 : 그림 3-6 참조

2) 질량 : 15,000kg

3) 무게중심 : 선로 상단 위 1,750mm

4) 밀도분포 : 무게중심을 고려하여 Part별로 각각 균일한 밀도분포

5) 마찰조건 : 표면마찰 무시

6) 강성(stiffness) : 균일한 강성

7) 충돌 특성 : 지름 3m, 질량 50,000kg의 구가 30m/s의 속도로 부딪칠 때 Fig. 3.1.17과 같은 충돌하중-변위 특성을 가짐

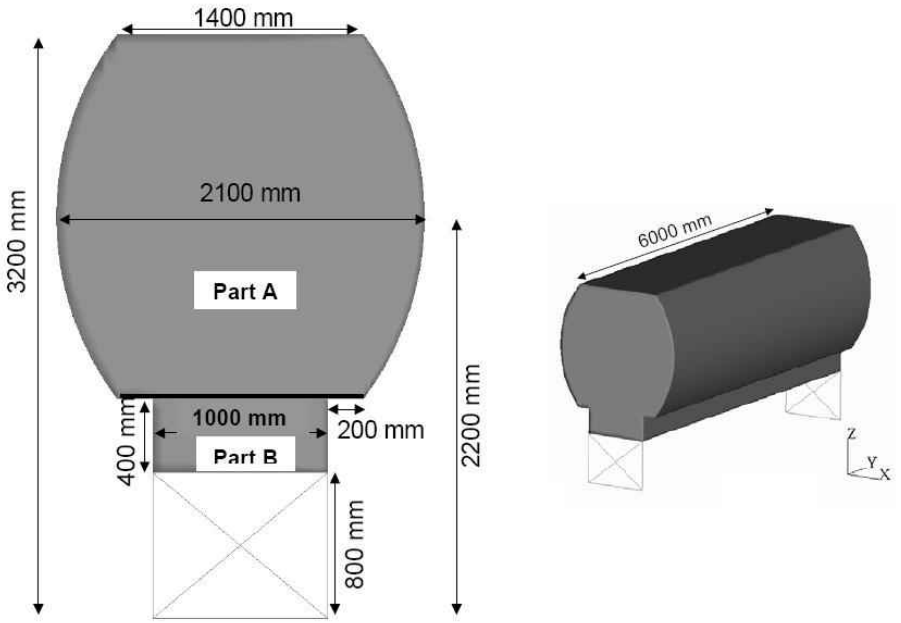


Fig. 3.1.17 대형장애물의 형상

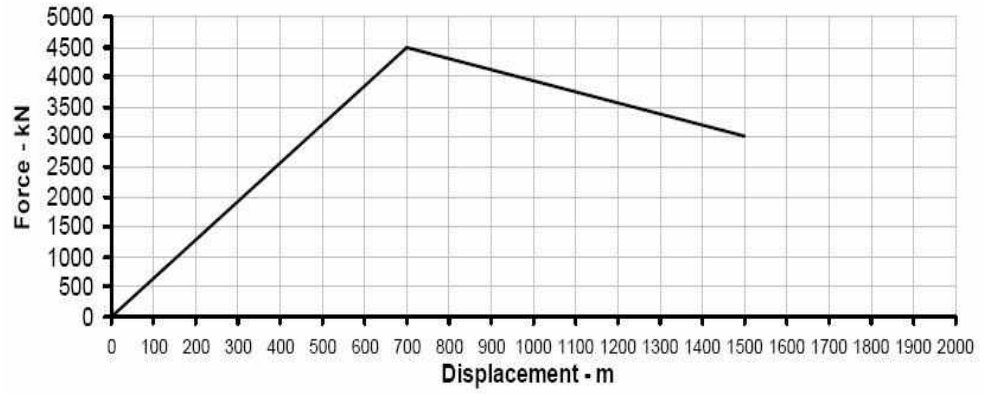


Fig. 3.1.18 대형장애물의 충돌하중-변위 특성

㈑ 제4종의 대형장애물 정의

1) 형상 : 수직벽

2) 질량 : 3,000kg

3) 충돌 접촉면 : 장애물과 차량이 45경사짐

- 소형장애물 충돌사고각본

㈎ 충돌조건

㈀ 피충돌체 : 소형장애물((3)항에서 정의)

㈁ 선로조건 : 직선평탄선로

㈂ 제동상태 : 제동 미체결

㈏ 충돌속도

제1종, 제2종 및 제3종의 충돌속도는 운행속도로 한다. 제4종의 경우는 본 충돌사고각본의 적용을 받지 않는다.

㈐ 소형장애물 정의

소형장애물은 운행속도에 따라 다음과 같이 정의되는 정적하중을 말한다.

㈀ 장애물 형태 : 장애물제거기의 하단으로부터 가해지는 정적하중으로 표현된다.

㈁ 장애물 타입 : 중심선에서의 정적하중(a type)과 중심선에서 측면으로부터 750mm 벗어난 지점의 정적하중(b type)의 두 종류로 나뉜다.

㈂ 하중 분포 : 0.5m의 높이와 0.5m의 폭의 영역에 가해지는 정적 분포하중으로 표현된다.

㈃ 하중 중심 : 하중의 작용선은 수평이며 하중영역의 중심을 통과해야 하고 철로 상단 위쪽으로 최대 500mm 이내에 있어야 한다.

㈄ 하중 크기 : 최대 최소 한계치는 Table 3.1.5과 같으며 운행속도에 맞게 선형 보간하여 사용한다.

Table 3.1.5 소형장애물로 표현되는 정적하중 크기

하중 타입	운행속도 160km/h 이상	운행속도 80km/h 이하
a type	300kN	60kN
b type	250kN	50kN

- 표준충돌사고각본의 예외적 적용

㈎ 운행노선의 특성상 표준충돌사고각본 중 일부가 발생할 수 없는 것이 증명된 경우에는 해당 충돌사고각본을 제외할 수 있다.

㈏ 열차 종간의 혼합 운행이 되는 경우는 다른 편성 간 충돌사고각본을 고려하여야 한다. 제2종 열차는 아래 충돌사고 각본을 고려하여 제1종 열차와의 충돌 시 안전을 확보하여야 한다.

㈎ 피충돌체 : 본 세부기준에 의해 충돌안전이 검증되었거나 혹은 검증된 모델이 없는 경우에는 부록 “나” 에 정해진 표준열차로 구성된 최소 125톤 이상의 제1종 편성열차

㈏ 선로조건 : 직선평탄선로

㈐ 제동상태 : 제동 미체결

㈑ 충돌속도 : 10km/h

㈐ 표준충돌사고각본 이외에 시설물과의 충돌, 피충돌체와의 측면충돌 등의 충돌 위험도가 심각하게 존재하는 운행노선의 경우에는 위험도 분석 결과에 따라 추가적인 충돌사고각본을 고려할 수 있다.

■ 충돌안전 성능평가

– 평가방법

㈎ 개요

㈎ 열차의 최종적 충돌안전성능은 표준충돌사고각본에 따른 최종 평가 시뮬레이션을 통해 확인하여야 한다.

㈏ 최종 평가 시뮬레이션의 신뢰성을 확보하기 위해서는 변형구역의 필수적인 장치, 부재, 구조들에 대해서 검증시험과 검증 시뮬레이션을 비교하여야 한다.

㈐ 검증시험과 검증 시뮬레이션 결과를 정해진 오차범위내로 일치시키야하며, 필요시 시뮬레이션 모델을 교정하여야 한다.

㈑ 본 세부기준에 의해 입증되지 않은 구조로 변형구역이 제작된 차량의 경우에는 차량 전두부 및 단부 구조 검증시험이 최소한 한차례 이상 실시되어야 한다.

㈒ 검증시험과 검증 시뮬레이션의 결과를 공학적으로 입증하기 위해서 검증계획안이 마련되어야 한다.

㈓ 검증 계획안은 재료특성에서부터 장치 및 부재의 검증시험, 최종 평가 시뮬레이션을 포함하여 검증 절차의 모든 단계를 다루는 기술적 보고서를 포함해야 한다.

㈏ 에너지 흡수 장치 및 부재의 검증 : 1 단계

㈎ 변형구역을 구성하는 장치와 부재들의 충돌안전성능은 개별적으로 검증되어야 한다.

㈏ 장치 및 부재의 검증은 검증시험과 검증 시뮬레이션 결과를 오차범위내의 일치시킴으로 이루어지며 필요시 시뮬레이션 모델을 교정하여 결과를 일치시킨다.

㈐ 검증시험의 적절성은 다음의 사항에 의하여 결정된다.

1) 시나리오 재현의 정확성

2) 시뮬레이션 모델 교정에의 활용 가능성

3) 에너지 흡수 용량 최대치의 달성 여부

4) 설계 시 의도된 충돌거동의 확인 가능 여부

㈑ 차량 간 에너지 흡수 장치, 타고오름 방지장치, 연결기의 에너지 흡수 장치 등의 거동은 개별적으로 검증한다.

㈒ 검증시험을 준정적(quasi-static)시험으로 할 수 있는 경우는 장치 및 부재의 에너지 흡수 특성이 충돌속도에 무관(rate independent)하거나 준정적시험으로도 동적 특성이 정확히 파악할 수 있음이 검증된 경우이다.

㈐ 에너지 흡수 구조의 검증 : 2 단계

㈎ 변형구역의 구성요소인 전두부 및 차량 단부 구조 등은 별도로 충돌안전 성능이 검증되어야 한다.

㈏ 검증 시 구조 전체 거동 표현, 소성변형 발생 영역 및 순차적 에너지 흡수메커니즘 작동의 정확성을 검증하여야 한다.

㈐ 검증 시 구조 주요지점의 힘과 변위를 전체충돌시간동안 분석하여야 한다.

㈑ 에너지 흡수 구조의 검증은 검증시험과 검증 시뮬레이션 결과를 비교하여 상기 ㈏ 및 ㈐항의 내용을 오차범위내로 일치시킴으로 이루어지며 필요시 시뮬레이션 모델을 교정하여 결과를 일치시킨다.

㈒ 상기 ㈏ 및 ㈐항의 내용을 다른 방법으로 입증할 수 있는 경우, 그 방법으로 검증시험을 대체할 수 있다.

㈓ 신뢰성 있는 최종 평가 시뮬레이션을 위해 상기 검증과정을 통하여 획득한 시뮬레이션 모델을 사용하여야 한다.

㈑ 최종 평가 시뮬레이션 : 3 단계

㈎ 영구변형이 발생하는 차량 구조의 시뮬레이션 모델은 모두 3차원 형상으로 만들어져야 한다.

㈏ 전체차량의 시뮬레이션 모델에는 2 단계에서 만들어진 전두부 구조 혹은 차량 단부 구조의 교정 모델이 필수적으로 포함되어야 한다.

㈐ 2단계에서 만들어지지 않은 차량 구조는 집중 질량과 스프링 시스템으로 표현될 수도 있다. 단, 전체편성의 3차원 거동을 완전하게 표현하도록 보장되어야

한다.

㈑ 충돌안전 성능평가의 합격 여부는 최종 평가 시뮬레이션을 통해 판정하게 되며, 표준충돌사고각본은 최종 평가 시뮬레이션에 대해서 적용한다.

㈒ 고정편성용 차량이 아니라 다양한 편성열차에 조성될 수 있는 개별 차량의 경우(제어차, 기관차, 객차, 발전차 등)에는 부록에서 정의된 표준열차를 사용하여 최종 검증 시뮬레이션을 수행하여야 한다.

㈓ 검증 절차의 생략 및 축소

㉠ 본 세부기준에 의해 이미 검증된 장치, 부재 및 구조는 검증시험 및 검증시뮬레이션을 생략할 수 있다.

㉡ 본 세부기준에 의해 검증된 장치, 부재 및 구조를 수정한 경우는 수정내용이 충돌안전성능을 근본적으로 변경하지 않거나 혹은 안전 여유가 충분함을 증명할 경우 검증절차를 생략 혹은 예외적으로 축소할 수 있다.

-평가항목 및 판단기준

㈎ 타고오름 현상 방지

㉠ 열차 충돌 시 타고오름 방지장치의 원활한 기능 작동을 위해서는 연결기의 변형길이가 타고오름 방지장치의 작동을 방해하지 않는 정도로 충분히 할당되거나 연결기 고정이 끊어져야(Shear-off) 한다.

㉡ 타고오름 방지를 위해 정면 충돌사고각본에서 수직방향으로 40mm 비껴 충돌 시뮬레이션을 수행하였을 때 각 대차 당 최소한 하나의 윤축이 선로와의 접촉을 유지해야 한다.

㉢ 타고오름 방지장치가 부착된 경우, 상기 ②항의 수치 시뮬레이션은 생략할 수 있으며, 이 장치가 견뎌야 하는 수직전단하중은 수치시뮬레이션을 통해 결정하거나 가장 무거운 차량의 공차하중의 절반 값(최대 150kN)을 사용한다.

㈏ 생존 공간 유지

㉠ 변형구역이 완전히 압괴되는 동안 생존 공간은 과도한 소성변형이나 좌굴현상이 없어야 한다. 단, 승객과 운전자의 생존공간을 심각하게 감소시키지 않는 국부적 소성 변형과 국부적 좌굴은 허용된다.

㉡ 변형구역이 완전히 압괴되는 동안 철도차량의 차체구조물 등이 생존 공간내로 침입하지 않아야 한다.

㉢ 표준충돌사고각본에서 승객 생존공간의 부피 감소는 5m 이상의 영역을 기준으로 원래 길이의 1% 이하이어야 한다. 승하차 구역의 길이 감소량은 원래 길이의 30% 또는 300mm 중 작은 값을 초과할 수 없다.

㈑ 사고 후 탈출을 위해 모든 생존 공간에서 비상구로의 접근이 가능해야 한다.

㈐ 운전실의 경우에는 길이와 폭이 적어도 0.75m 이상 또는 운전실 원래 길이의 80% 이상인 생존 공간이 확보되어야 한다. 운전실 생존 공간의 높이는 원래 운전실 공간 높이의 80% 이상이어야 한다.

㈑ 만약 생존공간이 운전자석을 포함하고 있다면 아래 그림처럼 좌석 앞의 빈공간도 포함하여야 한다.

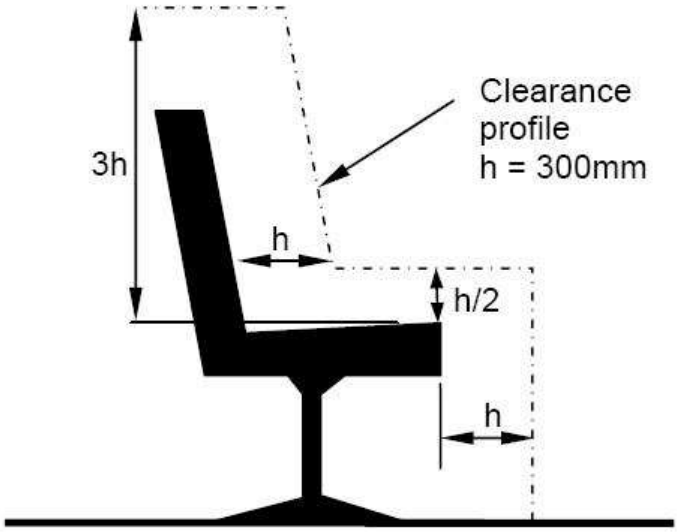


Fig. 3.1.19 운전석 생존공간

㈒ 만약 빈 공간을 위의 그림처럼 할 수 없는 경우에는 운영기관이 동의하고 즉시 대피 가능하다는 조건하에 운전석 인접지역에 생존공간이 배치될 수 있다.

㈓ 충돌에너지 분산 흡수

㉠ 모든 표준충돌사고각본에 대하여 차량이 설계의도대로 거동하도록 충돌에 너지를 충분히 흡수하여야 한다.

㉡ 충돌에너지는 차량의 모든 에너지 흡수구조 및 장치에서 순차적이고 체계적으로 흡수되어야 한다.

㉢ 에너지 흡수는 변형이 증가함에 따라 붕괴하중이 증가하는 형태로 흡수되어야 한다.

㉣ 충돌 시 붕괴하중에서 5/1000 초보다 작은 시간동안 발생하는 하중은 중요하지 않는 것으로 간주된다.

㈔ 충돌 감속도

㉠ 승객이 탑승한 생존 공간에서 평균 충돌 감속도는 5g이하이어야 하고 최대 감속도는 7.5g이하 이어야 한다. 여기서, g는 중력가속도 9.81㎨ 이다.

㉡ 운전석에서의 충돌 감속도는 더 높은 값을 허용한다.

㈐ 평균 충돌 감속도의 계산은 충돌시뮬레이션에서 접촉하중이 발생한 후 소멸되기까지의 시간을 기준으로 한다.

㈑ 장애물 충돌 에너지 흡수

㉠ 소형장애물 충돌사고각본에 의한 정적하중이 부과된 경우, 장애물제거기와 차체가 연결되는 고정 장치에는 어떠한 소성변형도 발생하지 않아야 한다.

㉡ 소형장애물 충돌사고각본에 의해 규정된 정적강도를 초과하여 Table 3.1.6의 에너지를 흡수할 때까지 장애물제거기가 탈락하거나 열차에 위험을 초래하지 않는 형태로 소성변형이 발생해야 한다.

㉢ 이때, 최소한 아래 표에 제시된 수치 이상의 에너지를 흡수하여야 한다.

Table 3.1.6 운행속도에 따른 에너지 흡수량

하중 타입	속도 160km/h 이상	속도 80km/h 이하
a type	36kJ	7kJ
b type	30kJ	6kJ

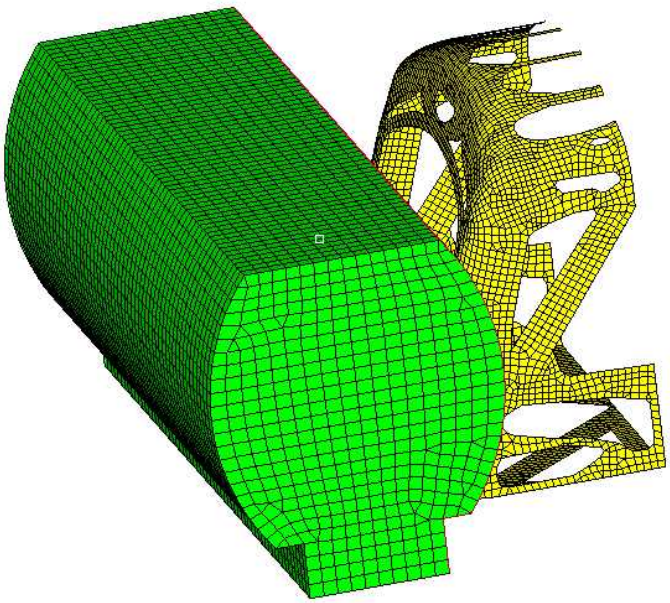
주) 운행속도가 80km/h이상 160km/h이하인 경우에는 상기 표를 기준으로 선형보간하여 사용한다.

표준 충돌사고 시나리오는 신규 제작, 조립되는 열차 또는 동력차, 객차에 대한 표준 충돌 사고 시나리오의 방법을 결정하며, 충돌 사고 발생 시 에너지를 흡수하는데 필요한 압괴량이 작아지게 되므로 더 많은 생존공간을 확보할 수 있다. 반면, 압괴강도가 커져서 동일한 에너지를 흡수하는데 필요한 압괴량이 작아지면, 승객이 받는 가속도가 증가되어 탑승자의 부상 가능성이 높아지게 된다.

따라서 충돌에너지 흡수영역을 설정하고 적절한 압괴 강도를 확보해야 한다. 운전실을 포함하는 전두부의 경우에는 충돌 시 초기 전두부 길이의 80% 이상인 생존공간이 확보되어야 하며, 운전실 생존 공간의 높이는 원래 운전실 공간 높이의 80% 이상을 확보해야 한다.

최적화된 해석 모델을 이용하여 표준 충돌사고 시나리오에 입각한 충돌안전도 기준의 만족 여부를 평가한다. 상용 전처리 프로그램인 Hypermesh를 사용하여 충돌 시나리오를 해석적으로 구현하고, 상용 구조해석 프로그램인 LS-Dyna를 사용하여 충돌해석을 수행한다. Fig. 3.1.20는 대형장애물과 최적 차체 모델을 적용한 충돌 모

델의 예시를 보여준다. 충돌 해석 수행 후, 충돌 안전성 기준 만족 여부와 최적화된 모델의 유용성을 판단한다.



형화된 표를 사용하기 때문에 해석 작업의 수행 횟수가 적다. 또한 전처리 및 후처리 작업이 필요하지 않아 사용이 편리하다.

3수준계의 직교배열표(Tables of orthogonal arrays)는 일반적으로 아래 식과 같이 나타낸다.

$$L_{3^m}(3^{(3^m-1)/2})$$

여기서 m은 2이상의 정수이며

는 직교배열표

의 열의 수를 나타낸다. Table 3.1.7의

은 실험의 크기,

형 직교배열표는 다음과 같은 의미

를 갖는다.

(a) 실험횟수는 9이다.

(b) 열의 수는 4이고 각 열의 자유도는 2이다.

(c) 표 중의 숫자 0, 1, 2는 각각 수준을 표시한다.

(d) 기본표시에는 a, b, ab, ab^2으로 나누어져 있으며, 만약 요인을 할당한 열의 성분을 a, b라 한다면 교호작용은 ab, ab^2이라는 성분을 갖는 열에서 구해진다.

(e) 4요인의 모든 요인을 구하려면 실험의 크기는 3^4=81회가 되어야 한다. 그러나 교호작용과 오차가 무시되면 9회의 실험에서 4요인까지 해석가 가능하다. 2열은 1열과 2열의 수준을 합해어 3으로 나눈 나머지로 얻은 것이다. 예를 들어, 실험번호 9에서는 2+2=4에서 3으로 나눈 나머지 1이 3열의 값이다. 4열은 1열을 2배한 후 2열을 더해어 3으로 나눈 나머지로 구성된다. 따라서 기본표시는 ab^2으로 쓰는 것이 타당하다. 그러나 기본표시에서는 제곱한 것도 같은 것으로 간주하여

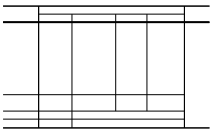
으로 4열의 기본 표시를 적어 놓은 것이다.

3수준계에서는

로 간주한다.

(f) 굳은 분할구 설계에 사용하기 위하여 나누어 놓은 것이다.

Table 3.1.7 Data of Orthogonal Arrays of 3-level $L_9(3^4)$



다음으로 본 연구에서 적용한 27회의 실험으로 13개의 요인배치가 가능한

형 직교배열표를 살펴보자. 3수준계의 직교배열표를 사용하여 실험계획을 구성하는 몇 가지 원칙을 살펴보면 다음과 같다.

(a) 임의의 각 열에 각각 하나씩의 요인이 배치된다. 따라서 2요인 교호작용이 없는경우에는 열의 수만큼 요인을 배치할 수 있다. 그러나, 이 경우는 오차를 구할 수 없으므로 가능하면 오차의 열을 남겨 놓는 것이 좋다.

(b) 2요인 교호작용이 기술적으로 존재할 것이라고 생각되는 경우에는 교호작용이 주효과 또는 다른 교호작용과 겹치지 않도록 배치시켜야 한다. 2요인 교호작용은 자유도가 4가 되므로 2개의 열에 배치되어야 한다. 만약 2개의 열의 성분(기본표시)을 X, Y라 하면, 2열의 교호작용은 성분이 XY인 열과 XY^2인 열에 나타난다. 예로써 Table 2.2의

형에서 4열(기본표시

)에 A를

9열(기본표시

)에 B를 배치했으면

의 교호작용은 다음 아래식

와 같이 7열과 11열에 나타난다.

(c) 랜덤화의 방법은 직교배열표 중의 숫자 0, 1, 2에 요인의 3수준을 랜덤하게 정하여 대응시키고,

② 최적모델 체결부 안전성 평가

기본 모델에 대해서 철도차량 성능 평가 기준에 따라 해석을 진행하여 현 체결부 수준에 대해서 파악을 한다. 아래 Fig. 3.1.21은 기기의 무게중심과 볼팅 부 위치를 나타낸 예시 사진이다. 각 지지점을 구속 시킨 후 Table 3.1.1에 설명한 성능평가 기준에 근거하여 구조해석을 진행을 하도록 한다. 이때 볼팅 부에 걸리는 하중을 추출하게 된다. 그리하여 걸리는 하중을 바탕으로 현 수준을 파악하게 된다. 그 후 모든 T-slot 볼트 체결부가 체결 안전성을 가지도록 최적설계를 진행하게 된다. 예를 들면 설계변수는 체결부의 위치, 개수가 될 수 있으며 목적함수는 각 체결부의 체결 안정성이 된다. 이에 따라 직교배열표를 구성하여 해석을 진행을 하여 최적의 설계 수준을 찾는다.

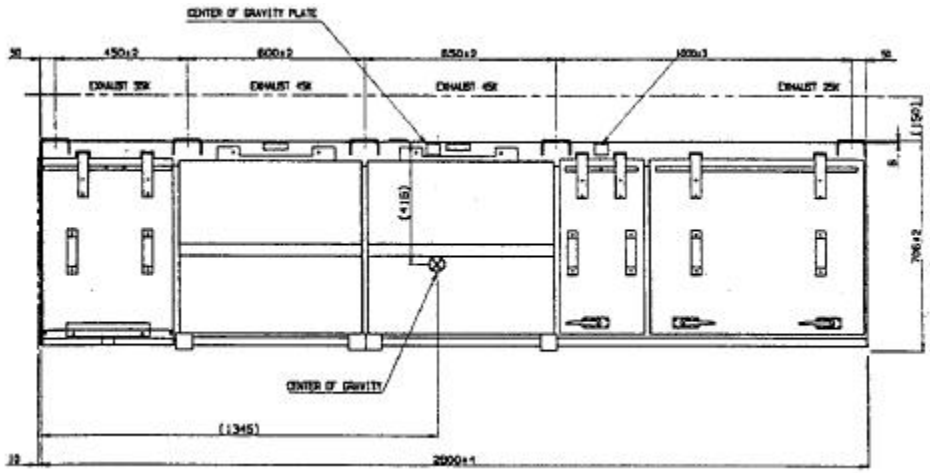


Fig. 3.1.21 기기의 무게중심과 볼팅 부 치수 및 간격

5. 기대효과

(1) 각 분야의 기대효과

① 기술적 측면

구조물에 대한 최적화 기법은 1960년대 이후부터 많은 발전을 가져오고 있다. 초기 구조물에 대한 최적화 기법은 이론에 대한 검증을 위해 간단한 구조물에 의해 적용되었으나, 현재는 자동차 및 기타 타 분야에서 많이 활용되고 있다. 특히 자동차 분야에서는 부품 및 외장재 등에 최적화 기법을 통해 고강성 및 경량화를 이룩하였다. 그러나 철도 차량의 경우 안전성이 가장 우선 시 되는 대형 시스템으로 고강성만을 고려하여 발전하였다. 따라서 충돌 시 피해를 최소화하기 위한 재료 및 소재

개발 등에 주된 연구가 진행 되고 있다.

따라서 철도 차량 충돌 피해 저감을 위해 다양한 최적화 기법을 철도 차량에 적용하여, 충돌 시 승객의 생존 가능성을 증대하고 철도 차량에 대한 최적화 기법의 프로세스를 정립하여 2층 광역철도 차량의 충돌 안전 성능평가 기술에 대해 인프라를 구축할 수 있으며 실질적인 철도 안전 확보가 가능할 것으로 판단된다. 그리고 또한 복합재와 알루미늄 압출재 차체와 알루미늄 구조의 T-slot 볼트 최적화 방법론을 바탕으로 철도 차량의 경량화를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

② 경제·산업적 측면

기계·전기적으로 매우 복잡한 구조를 가진 철도 차량의 경우, 충돌 시 많은 인명사고(운전자) 초래 및 경제적으로 막대한 비용이 요구된다. 현재 국, 내외적으로 예상치 못한 기계의 오작동 및 운전자의 부주위로 인해 높은 사고율이 나타나고 있다. 철도 차량의 충돌 사고는 전체 철도 차량 사고의 15~20%의 낮은 수치를 차지하지만 충돌에 의한 사고에 의한 영향력은 기타 사고에 비해 매우 크다고 볼 수 있다.

따라서 운전자 생존 공간을 유지하고, 충돌 피해 최소화하기 위해 최적화 및 충돌해석 기법을 적용함으로써 예상하지 못한 충돌 사고로 인해 발생하게 되는 인명 사고 및 차량의 최소 붕괴로 인해 열차운행중단, 열차운행지연 등 서비스 측면의 경제손실을 최소화하고자 한다. 본 연구를 통해 개발된 방법론으로 광역철도 2층 전동객차의 경량화를 통해 해외기술 대체 및 해외 경쟁력 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 확립된 최적화 방법론을 통해 경량화와 구조강도를 확보하게 된다면 생산비용의 경쟁력과 에너지 효율이 향상되어 보다 더 친환경적인 운영이 가능하다고 판단된다.

③ 사회·문화적 측면

한국의 대부분 제조업이 독자적인 국내 시장만으로 생존하기 힘들고 반드시 세계시장으로 뻗어나가야만 살아남는 구조를 태생적으로 갖고 있다면, 제3세계 시장과 미국시장에서 유럽과 경쟁하기 위해서 철도차량의 충돌안전도 역량을 국제적인 강제기준에 맞추어야 하며, 우리가 미국의 충돌안전기준까지도 만족시킬 수 있도록 충돌안전 설계부분의 역량을 키워야 할 것이다. 이제 한국철도의 Global Standard 지향은 국가안전기준과 철도산업육성 측면에서 필수불가결한 선택이 되었다. 그리고 경쟁력을 가지고 광역 2층 전철을 보급을 한다면 효과적 교통수단으로서 철도의 장점을 최대한 살리고 철도를 더욱 탄력적으로 운영하여 교통난 해소에 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

(2) 활용방안

충돌 시뮬레이션을 통하여 차량 간 추돌 또는 외부 물체와의 충돌 시 차량의 변형으로부터 운전자 및 승객을 보호하기 위한 차체 구조 설계 및 보강 방안을 위한 자료로 활용할 수 있다. 또한 충돌 시 차량 각 부분의 충돌가속도 등 충돌 시 차량 내부의 손상정도를 파악할 수 있다. 이를 통하여 충격흡수에너지 및 변형 거동에 근거하여 실차 충돌시험을 대신하는 충돌안전성 평가 기술을 개발할 수 있으며, 충돌사고 발생 시의 피해저감대책 개발은 국내 철도 차량 안전성 향상을 극대할 것이며, 피해저감 기술의 확보로 대형사고시 물적/인적 손실 방지할 것으로 예상된다.

최적화를 통해 전산해석을 통한 검증된 전두부 충돌에너지 흡수구조 표준모듈 Mock-up을 개발하여, 이를 철도차량으로의 적용을 통한 철도차량 전두부의 에너지 흡수부의 기준을 마련하고 복합재와 알루미늄 차체와 볼트 배치 최적화를 통해 향후 광역철도 2층 전동객차 개발의 큰 경쟁력을 기대할 수 있다.

2절 주요 전장품 및 제동장치에 대한 소형화 및 경량화

1. 기술의 정의 및 필요성

(1) 기술의 정의

철도차량은 저비용 고효율적인 수송수단으로 레일과 차륜의 수직 중량에 대한 점착계수에 의존하며 주행하고 정지하게 되는데 이때, 운동하고 있는 열차의 운동에너지를 다른 에너지(전기, 마찰, 열)로 변환하여 운동을 멈추게 하는 작용을 제동(制動,braking)이라고 하며, 이를 제어하는 장치를 제동장치라고 한다. 1825년 영국 최초의 영업열차는 탄수차(증기기관차 뒤에 연결하여 석탄과 물을 싣는 차량) 및 완급차(차량의 일부에 차장실을 두어 사고가 났을 경우에 열차를 정차시킬 수 있도록 제동기를 설비한 객차나 화차)에만 수동제동을 사용하였고, 1833년 영국의 스티븐슨은 기관차에서 발생한 증기를 증기통(제동실린더)으로 보내고 피스톤을 밀어 연결된 지레를 통해 제동자를 내리누르는 구조의 증기를 동력으로 하는 증기제동을 개발하였고, 1869년 미국의 조지 웨스팅하우스는 기관차의 증기로 공기압축기를 기동하여 압축공기를 만들고 이를 주공기통에 비축해두었다가 기관사가 삼방코크를 다루면

압축공기를 제동관에서 제동실린더로 보내는 직통식 공기제동장치를 개발하여 1893년에는 미국의 모든 열차에 의무적으로 자동공기제동기를 설치하도록 철도안전장치 규정화로 철도차량의 속도혁명이 가능하게 되었다.

차량은 속도를 내기 위한 동력과 속도를 조절하거나 또는 정지하기 위한 제동력이 필요하며, 아무리 뛰어난 동력을 얻더라도 제동력이 따르지 않으면 차량의 성능을 충분히 발휘할 수 없으므로 운전 중인 차량을 언제 어떠한 경우에도 신속하고 안정적으로 정차 또는 속도를 조절할 수 있는 제동장치가 고려되어야만 열차는 안전하게 운전할 수 있다.

제동장치는 제동지령 방식에 따라 BP(brake pipe) 제동시스템과 EP(electro-pneumatic) 제동시스템으로 구분하며, 매개체에 따라 유체(공기제동, 유압제동, 증기제동, 진공제동), 전기 전자(발전제동, 전력회생제동, 와전류제동), 기계(수용(Hand)제동)의 힘을 이용하고 있다.

운동에너지를 전기에너지로 변환 전기제동에는 발전기로 구동하여 발생 전력을 다른 차량 또는 집전설비에 흐르게 하여 회전저항을 일으켜 제동력을 얻는 회생제동과 발전기로 구동하여 발생 전력을 차량 내부의 저항기에 흐르게 하여 발열로 소비시켜 모터에 회전저항을 일으켜 제동력을 얻는 발전제동이 있다.

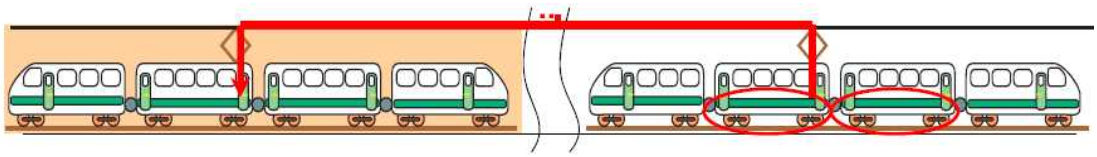


Fig. 3.2.1 전기제동의 발생원리

운동에너지를 마찰(열)에너지로 변환하는 기계제동으로는 차륜을 직접 압착하는 답면제동과 차축 또는 차륜에 제동디스크 부착하여 디스크면을 압착하는 디스크제동으로 구분하며, 기계제동장치는 열차속도, 차량중량, 하중, 전기제동과 공기제동의 분

담률, 마찰계수, 대차구조에 따라 결정된다.

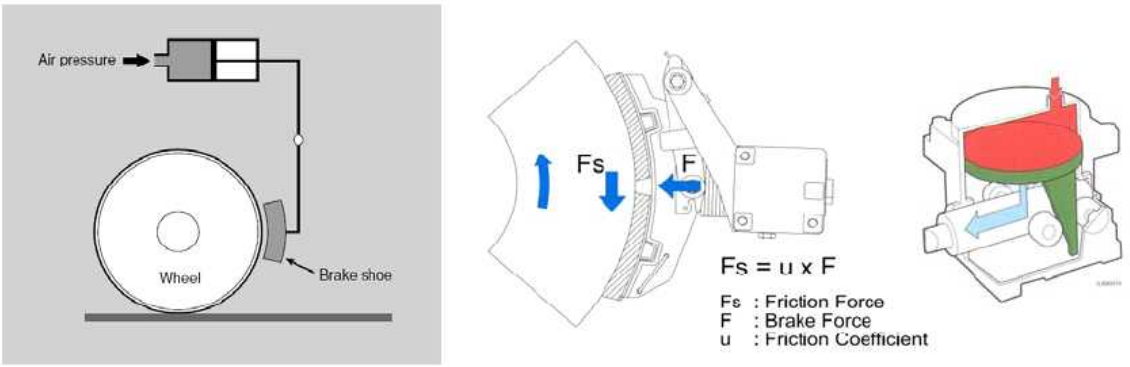


Fig. 3.2.2 답면제동의 발생원리

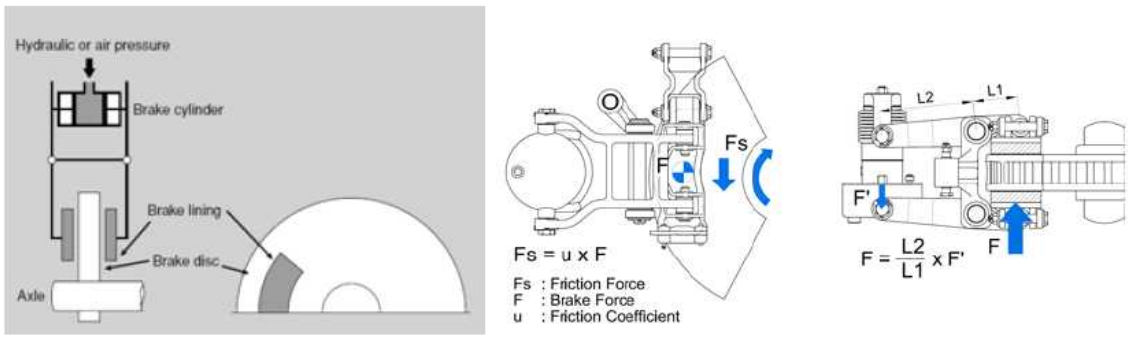


Fig. 3.2.3 디스크제동의 발생원리

열차에서 안정성과 신뢰성이 무엇보다 중요한 제동장치의 필요조건으로는

1) 제동 및 완해 작용이 신속하고 확실하게 이루어질 것
2) 열차 차량 전체의 제동과 완해가 평등하게 이루어지며 동기가 취해질 것
3) 요구하는 제동거리 내에서 정차할 수 있을 것
4) 취급이 쉬울 것
5) 제동력을 광범위하게 임의로 가감할 수 있을 것
6) 열차가 분리될 때에는 자동으로 차량 전체에 제동이 작용 할 것
7) 위험을 인지한 때에는 운전실 이외의 장소에서도 쉽게 차량 전체에 제동을 체결 할 수 있을 것
8) 짧은 주기로 제동 작용을 반복할 수 있을 것
9) 고장이 적고 보수가 쉬울 것

(2) 기술의 필요성

철도차량은 대중 교통수단의 핵심으로 산업과 경제발전의 근간이 되어 있으며 최근

국가적으로 지역의 균형적 발전을 위한 지방 활성화 정책, 고유가 시대를 맞아 에너지 정책에 따른 동력차들의 전철화사업 등으로 철도 차량에 많은 변화와 혁신을 일으키고 있다. 속도 향상에 따라 300km/h급 고속열차를 상용화하여 운행하고 있으나 고속열차의 수요 급증으로 인하여 수송능력 부족이 가중됨에 따라 300km/h급 고속열차의 도입 필요성이 대두되어 연구 개발을 진행하고 있으며, 광역 차량도 도로 교통의 체증현상 심화 및 이용객 증가에 따라 역내 및 차내 혼잡이 가중되고 있어 이용자의 편의성 증진 및 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대를 위하여 2층 전동차 기술 개발의 필요성이 요구되어지고 있으며, 열차에서는 무엇보다 중요하고 안전성이 검증되어야할 부분은 제동장치 분야이고, 2층 열차의 경우 장치에 대한 공간적인 제한이 크므로 신뢰성과 함께 공간 확보가 용이한 소형 경량화된 콤팩트한 제동장치가 요구되어 진다.

2. 국내외 기술 동향 분석

(1) 국내의 연구개발 및 운용현황

① 광역철도차량 신분당선

2011년 10월에 개통한 국내 최초의 중전철 무인운전 차량으로, ATO 운전에 적합한 빠른 응답과 고성능을 갖춘 마이크로프로세서 제어 전공 아날로그 제동시스템이다. 기존의 전동차와 동일한 차량시스템을 구성하고 있으며, 6량 1편성으로 설계 최고속도는 120km/h, 최고 운행속도는 110km/h(지상)이다. 제동제어장치는 기존과 동일하게 회로판 접합형식을 사용하여 박스 형태로 차량 하부에 량당 1개씩 취부되어 있으며, 동력차(M차)는 답면제동을 부수차(T차)는 디스크제동을 사용하고 있다.



Fig. 3.2.4 제동장치

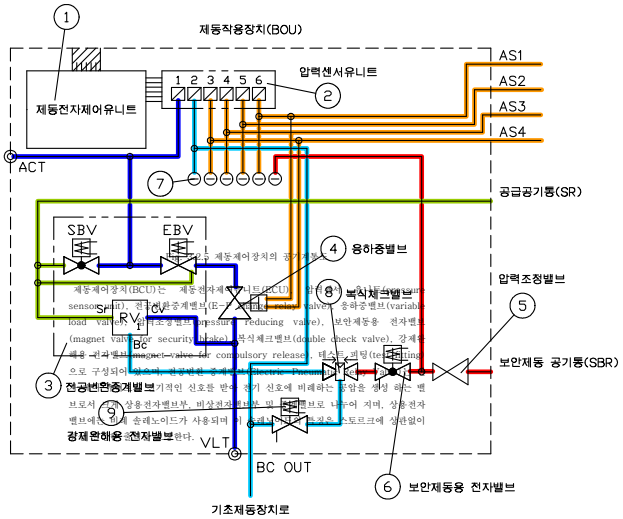

1
제동작용장치(BOU)
제동전자제어유니트
1 2 3 4 5 6
압력센서유니트
2
AS1
AS2
AS3
AS4
ACT
7
공급공기통(SR)
SBV
EBV
4 용하중밸브
8 복식체크밸브
압력조정밸브
5
SV
RV
CV
Bc
3 전공변환중계밸브
보안제동 공기통(SBR)
9
강제완해용 전자밸브
VLT
BC OUT
6 보안제동용 전자밸브
기초제동장치로



Fig. 3.2.7 디스크제동

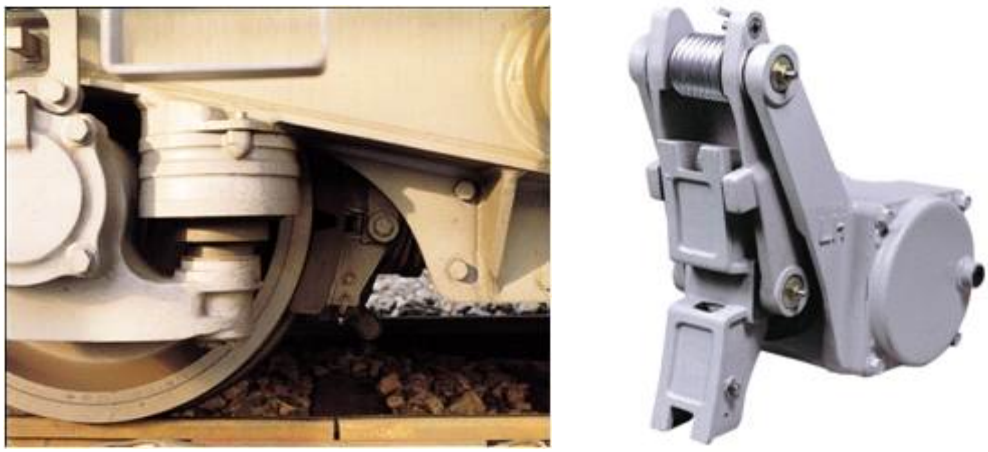
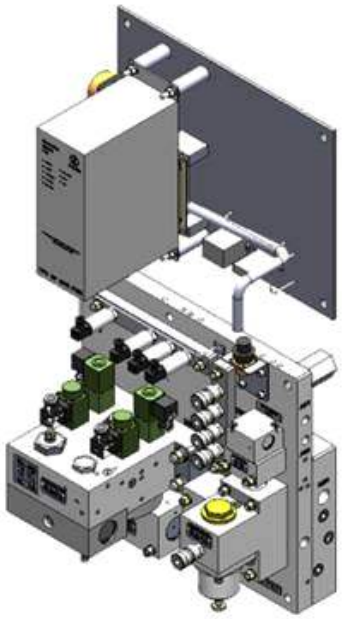


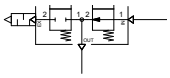
Fig. 3.2.8 답면제동

② 경춘선 좌석형 2층 열차

2012년 2월 28일 국내 최초로 ITX-청춘 경춘선 좌석형 2층 전기동차가 상업 운전을 시작하였으며, 이 열차의 최고 설계속도는 198km/h, 최고 운행속도는 180km/h급의 준고속열차로 4M4T로 구성된 8량 1편성 차량으로 중간에 있는 객차 2량만 2층으로 되어 있다.







크밸브는 보안전자밸브에서 출력하는 보안제동과의 고위우선을 적용되고 강제완해밸브를 최종 경유하여 제동실린더로 제동압력을 출력하게 된다.

 경춘선 2층 객차의 제동제어장치 차량상태	2층 계단 통로의 내부에 설치되어 있는 제동제어장치는 취부 공간을 고려하여 제어장치부와 공압판넬부를 분리하였고, 주공기 입력부에는 공기필터, 하부에는 주공기통(SR), 유지보수를 위한 각종 차단 콕크가 설치되어 있으며, 배기부는 차량 하부로 연결되어 있다.
 활주방지밸브 전기결선 BOX	제동제어장치의 실내 장착으로 제동제어장치와 제동실린더 사이의 배관 길이가 길어지면서 활주제어 시 제동압력을 배기시키는 시간이 지연되는 것을 예방하기 위하여 활주방지밸브를 차량 하부에 설치하였고, 유지보수의 편리성을 위하여 차량 전선부와 밸브를 연결시키는 전기결선 BOX로 되어있다.
 차륜디스크 및 속도센서	M차 T차 모두 차륜디스크를 적용하였고, 활주제어를 위한 차량 속도를 검지하기 위하여 M차 T차 동일하게 제동장치 전용의 차축용 속도센서가 취부되어 있으며, 제동실린더는 상용제동 캘리퍼와 주차제동 기능을 포함하는 주차제동 캘리퍼로 구분되어있다.

공기제동과 전기제동은 대차 단위로 독립적으로 제동작용을 수행하며, M차 제동장

치는 추진장치와의 상호작용으로 제동블렌딩을 통하여 전기제동에 우선권을 부여하고 부족분에 대하여 파트너 객차에 공기제동을 먼저 분담하고 추가 부족분에 대하여 M차에 분담하는 방식으로 일반 전기동차와 동일한 제동블렌딩 방식이나 대차 단위로 이루어진다는 것에서 상이하고 추진장치는 1C2M으로 되어있다.

Fig. 3.2.10 제동블렌딩 구성

활주방지시스템에서 제어장치는 전자제어유니트에 내장되어 있으며, 기존의 전기동차와 달리 동력차 객차 모두 제동장치용 속도센서를 개별 장착하였으며, 활주상태를 정확히 검지하기 위하여 축 속도 입력에 대하여 인접대차의 개념을 적용하였으나 활주방지 밸브의 제어용으로는 활용하지 않는다.

Fig. 3.2.11 활주방지제어 시스템 구성

③ 광역철도용 2층 전동객차 및 고속화물복합열차 기술개발

고속열차의 수요 급증으로 수송능력이 부족하고 물류분야에는 물류와 사람이 함께 이동할 수 있는 편익성 향상을 위하여 광역철도용 2층 전동객차 및 고속복합화물열차 개발이 2013년부터 진행되고 있다. 2층 객차로 변동 하중에 따라 제동성능에 미치는 영향을 고려하여 고속열차로는 처음으로 응하중제어가 이루어지고, 제동장치의 공간적 제한으로 인하여 차량 내부에 설치 가능한 고속차량용 제동제어장치를 개발하고 있으며, 다른 차량과는 다르게 동력집중식 고속열차이므로 공기압축기 및 기타 공기공급시스템이 동력차 동력실 내부에 탑재되므로 소음 및 진동으로부터 많은 부분이 동력분산형보다는 유리한 점이 많다.

(2) 해외의 연구개발 및 운용현황

① 일본

도쿄 중심부의 팽창이 가속화되면서 50~80km 떨어진 오다와라나 히라츠카 등 쇼난시 지역에서 출근하는 사람이 점점 증가했다. 그러나 기존 전동차는 롱시트 아니면 세미크로스시트였기 때문에 많은 사람들이 의자에 앉지 못하고 매일매일 서서 출퇴근해야만 했기 때문에 상당히 불만이 많았는데, 그래서 JR은 1991년부터 2층 차량에 대한 연구를 시작해 1.5층의 차체크기에 2층을 집어넣는 복층구조(Bilevel)의 415계 1900번대를 만들어 테스트에 들어갔으며 1992년에 본격적으로 출퇴근 러시때의 혼잡을 줄이기 위해 Mc카 유닛(선두차량)을 제외한 전차량을 2층구조로 제작한 215계를 선보였다.

215계는 최초에 도카이도본선의 쾌속 <아크티>에 진출했으며, 오오미야-오후나를 연결하는 쇼난신주쿠라인의 라이너열차로 활동했다. 라이너열차란, 출퇴근시의 혼잡을 싫어하는 승객을 위해 비싼 요금을 받고 전차량 좌석제로 운행하는 통근열차를 말한다. 215계는 211계의 구조를 계승하고 있어서, 211계와 같은 스테인리스 차체나 볼스터리스 대차, 회생제동이 가능한 계자첨가 여자제어 방식과 직류직권전동기 MT61(120kW) 등을 채택하고있다. 이 차량은 10량 고정편성인데, 1,2호차와 9,10호차가 동력차 부분이고 나머지 3~8호차가 부수차로서, 4M 6T의 MT비를 이루고 있으며, 상당히 무겁기 때문에 기동가속도가 1.7km/h/s정도 밖에 되지 않지만 최고시속은 120km/h까지 나온다. 원래는 장기적으로 5량 부속편성을 더하여 15량 편성으로 할 생각도 있었지만, 부속편성은 생산하지 않았다. 각종 제어기기가 전부 양 선두차인 1, 10호차에 몰려있는데 팬터그래프는 선두차 지붕 뒷쪽에 짜투리 공간을 만들어 장비했으며 주저항기와 공기압축기 등 소음이나 열이 많은 기기는 차체하부에 배치되고 쵸퍼, SIV, 필터리액터 등은 차체 내부에 설치되었다. 따라서 1호차와 10호차는 2층에만 객실이 있으며 1층 부분은 전부 전장품으로 채워져 있다. 2,9호

차는 동력차이나 이 부분에는 대차에 견인전동기만 갖춰져 있기 때문에 복층구조이며 3~8호차까지는 전부 복층구조로 되어있다.

동력분산형 차량이 일반적으로 동력차의 비율이 많거나 동등 이상인 것을 고려하면 4M 6T(Mc-M′ -T-T′ -T′ -Ts-Ts′ -T-M′ -Mc)의 편성 구성은 기기배치 및 최소의 동력으로 최대 수송 능력을 고려한 것으로 제동장치 측면에서는 상용제동 감속도 수준 또는 회생제동에 있어 동력차와 부수차의 제동블렌딩을 최적화할 수 있는 제어 알고리즘이 필요하다.



Fig. 3.2.12 251계 차량(1)

215계의 선두차는 1층에는 전장품이 탑재되고 2층만 객차로 되어있다. 선두차 구석에 있는 팬터그래프. 211계에 기초하므로 커다란 능형 팬터그래프지만 크기는 슬림하게 줄였다.

215계는 2층차량인 관계로 상당히 많은 인원을 수용할 수 있는데, 10량 편성의 185계가 800명 정도를 싣고, 크로스시트의 211계가 700명 정도를 싣는 반면에, 215계는 보통차 830명에 그린샤 180명, 도합 1010명이라는 편성당 최대 인원을 수용한다. 그렇기 때문에 보통 215계는 낮에는 별로 사용되지 않으며, 출퇴근 시간의 쇼난 라이너나 쇼난신주쿠라이너 등 러시대응으로 많이 사용된다.

현재 다마치 전차구에서 소속되어 활동중이며, 4편성 40량이 만들어져 있다. 215계 2차 투입분은 1차 투입분에 비해 여러 가지가 달라졌는데, 우선 요코스카선 구간에 투입되기 위해 ATC대응으로 제작했다. 그리고 츄오선 타카오 이서지방의 소단면 터널(높이가 낮은 터널)에 대응하고 요코스카선의 도쿄지하역에도 들어갈 수 있도록 팬터그래프를 특수제작하였다. 즉, 팬터그래프를 편 상태에서도 3980mm의 높이를 유지할 수 있었다. 그래서 2층차량이 츄오선의 소단면 터널을 통과하는 진기한 일도 발생하게 되며, ATC구간인 요코스카선 시나가와 이북구간에도 운행할 수 있게 되었다.(ATC는 소부쾌속선 지하구간(킨시쵸-도쿄-시나가와)이 ATS-P로 변경됨에 따라 현재는 사용하고 있지 않다)



Fig. 3.2.13 251계 차량(2)

- 영업개시 : 1992년
- 길이/폭/높이 : 20000(선두차는 20100) / 2900 / 4070
- 편성 : 10량편성(4M 6T, Mc-M′ -T-T′ -T′ -Ts-Ts′ -T-M′ -Mc)

- 영업최고속도 : 120km/h
- 설계최고속도 : 120km/h
- 편성정원 : 1,010명(특실 180명 포함)
- 궤간 : 1067mm
- 전기방식 : 직류 1.5kV
- 주전동기 : 직류직권전동기 MT61(120kW)
- 편성출력 : 120kW * 4 * 4량 = 1,920kW(10량편성시)
- 기어비 : 5.19
- 제어장치 : 계자첨가 여자제어
- 대차 : 동력대차 DT56C
  부수대차 TR241A(경량 에어스프링 볼스터리스대차, 안티롤링장치 탑재)
- 브레이크방식 : 회생브레이크 병용 전기지령식 공기브레이크 / 억속브레이크
- 신호장치 : ATS-Sn / ATS-P / ATC

② 프랑스(France)

프랑스 국철(SNCF)의 지역수송용으로 봄바르디어에서 제작한 'Regio2N' 2층 전동차로 KTX-산천과 같은 관절대차로 6량 1편성이며, 최고속도는 160 ~ 200km/h이다.





Fig, 3.2.14 프랑스의 2층 열차

③ 독일(Germany)

주요 역에 정차하는 지역 내의 열차인 레기오날 익스프레스(Regional Express, RE)로 많이 운행한다.





Fig. 3.2.15 독일의 2층 열차

④ 이탈리아(Italy)



Fig. 3.2.16 이탈리아의 2층 열차

⑤ 스페인(Spain)

대도시 근교를 연결하는 통근열차인 세르카니아스(Cercan□as)에 2층으로 된 전동차



Fig. 3.2.17 스페인의 2층 열차

⑥ 스위스(Switzerland)

주요 도시를 연결하는 인터시티(InterCity, IC)나 지역 간을 연결하는 인터레기오날(Interregional, IR)에 2층 객차를 사용하고 있다. 독일처럼 가장 뒤에 있는 객차에는 운전실이 있어서 전기기관차를 제어할 수 있다.



Fig. 3.2.18 스위스의 2층 열차

⑦ 핀란드(Finland)

주요 도시를 연결하는 인터시티(InterCity, IC)에 2층 객차가 연결되어 있다. 인터시티 이외에도 야간 열차에도 2층 차량인 침대차가 연결되어 있다.



Fig. 3.2.19 핀란드의 2층 열차

⑧ 스웨덴(Sweden)

수도 스톡홀름(Stockholm)을 중심으로 근교 도시를 연결하는 레기오날(Regional, Reg) 열차에 2층 전동차가 운행하고 있다.



Fig. 3.2.20 스웨덴의 2층 열차

⑨ 덴마크(Denmark)

수요가 많은 금요일과 주말에 주로 운행하는 인터레기오날(Interregional, IR)과 코펜하겐 주변 지역을 연결하는 레기오날(Regional, Reg) 열차에 2층 객차가 운행하고 있다. 가장 뒤의 객차에는 운전실이 있어서 기관차를 제어할 수 있다.



Fig. 3.2.21 덴마크의 2층 열차

⑩ 네덜란드(Netherlands)

2층 전동차가 도시 주변을 연결하는 레기오날(Regional) 열차로 주로 운행하고 있다. Bombardier 제작하고 Netherlands Railways이 운영하고 있는 4량 1편성 2층

열차로 최대속도 160km/h의 EMU type으로 감속도는 상용제동 $0.66m/s^2$, 비상제동 $1.05m/s^2$으로 우리나라 전동차보다는 요구조건이 낮게 설정되어 있다.



Fig. 3.2.22 네덜란드의 2층 열차

⑪ 벨기에(Belgium)

오래된 2층 객차와 신형 2층 객차가 있으며 역시 레기오날(Regional) 등급으로 주로 운행한다.



Fig. 3.2.23 벨기에의 2층 열차

⑫ 룩셈부르크(Luxembourg)

독일, 벨기에, 프랑스 사이에 있는 나라이므로 독일과 오가는 열차는 독일과 동일한

2층 객차를 사용하고 있고 프랑스를 오가는 열차는 프랑스와 동일한 2층 전동차를 사용하고 있다.



Fig. 3.2.24 룩셈부르크의 2층 열차

⑬ 포르투갈(Portugal)

수도 리스본(Lisboa, Lisbon)에서 근교를 연결하는 통근 열차인 우르바노(Urbano)에 2층으로 된 전동차가 운행하고 있다.



Fig. 3.2.25 포르투갈의 2층 열차

⑭ 오스트리아(Austria)

지역 내에서 운행하는 레기오날(Regional, R)이나 주요 역만 정차하는 레기오날 익스프레스(Regional EXpress, REX)에서 2층 객차를 사용하고 있다. 다른 나라와는 달리 객차 뒤에 운전실이 없는 경우가 많아서 종착역에서는 우리나라에서 흔한

기관차를 떼어서 반대 방향에 붙이는 작업을 한다.



Fig. 3.2.26 오스트리아의 2층 열차

⑮ 체코(Czech Republic)

수도인 프라하(Praha, Prague) 근교를 연결하는 에스코프라하(Esko Prague)에서 2층 전동차가 운행하고 있다.



Fig. 3.2.27 체코의 2층 열차

⑯ 미국



Fig. 3.2.28 미국의 통근열차(2층_EMD F40PH)



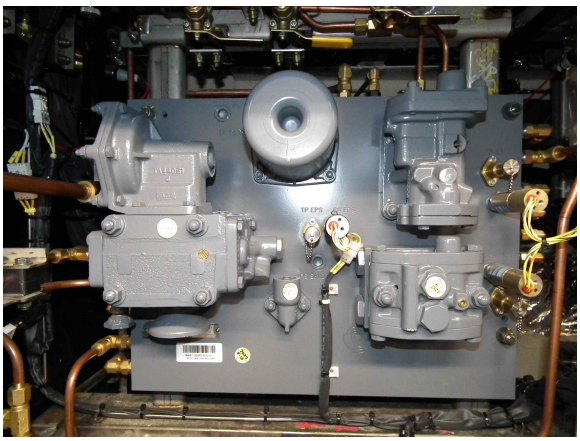
Fig. 3.2.29 가와사키(Kawasaki) 사 바이레벨 코치(2층 열차, Bi Level Coach)



Fig. 3.2.30 봄바르디어(Bombardier)사의 바이레벨 코치(Bi Level Coach)



Fig. 3.2.31 현대로템이 제작한 스카라 전동차



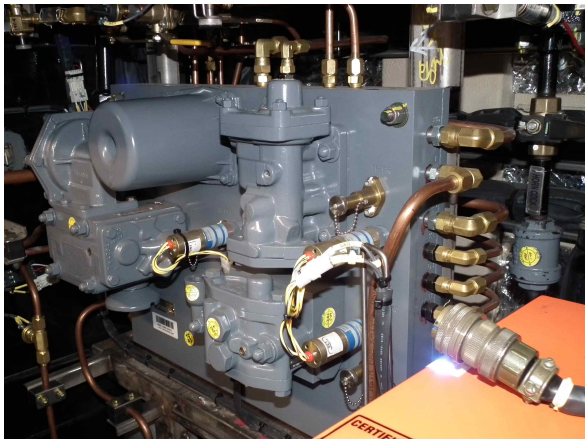


Fig. 3.2.32 스카라 전동차 제동제어장치(제동판넬)

3. 소형화 및 경량화 방안

(1) 제동제어장치

① 제동제어장치의 발전과 변화

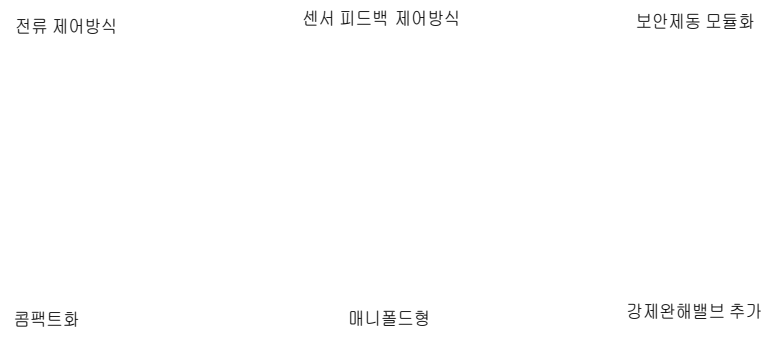
인버터제어방식(VVVF)의 전기동차 도입은 기존의 기계식 제동제어방식에서 전자제어 방식으로 시대적인 발전이 이루어지면서 중량은 가벼워지고 제어 또한 간편해지기 시작했다. 전자제어 방식의 제동제어장치는 회생제동을 사용하는 M차의 제동제어장치에 마이크로프로세서가 내장되어 있는 제동전자제어유니트를 설치하여 제동력 연산을 자기 차량인 M차와 파트너 차량인 부수차의 제동력을 합산하여 회생제동을 제어하고 부수차의 요구제동력은 전공변환밸브에 전류 신호를 보내어 전류에 비례하는 제동압력을 생성하여 제동력을 제어하였다.

이러한 전류제어 방식은 마이크로프로세스에 의한 전자제어 방식이지만 기계식 제동제어장치에 비교하여 공압밸브의 구성품 수량 및 중량의 차이는 크지 않았다. 하지만, 1990년 중반에 도입된 압력센서를 이용한 센서피드백 제어방식의 도입은 제동제어장치 구성품의 수량을 대폭 감소시키고, 기존의 전류제어보다 제어 측면에서 간소화되었다.

센서피드백 제어방식은 제동력을 전류에 비례하여 출력에만 의존하는 방식과는 다르게 제동력에 해당되는 제동압력을 목표치 대비 실제 달성 압력이 동일하도록 압력을 피드백 받아 제어하는 방식으로, 제동제어장치(BCU)는 전공(electro- pneumatic)제어와 자기진단 및 감시에 필요한 기능을 수행하는 제동전자제어유니트(ECU), 제동제어에 필요한 압력을 압력센서로부터 전기신호로 변환하여 제동전자제어유니트(ECU)에 출력하는 4개(BC, AC, AS1, AS2)의 압력센서로 구성된 압력센서유니트(PSU),

상용전자밸브부분, 비상전자밸브부분, 중계밸브부분의 3개 기능으로 구성되어 있는 전공변환중계밸브(E-P change relay valve), 차량의 변동하중을 압력으로 입력 받아 기계적으로 보상하는 기능을 수행하는 응하중밸브(variable load valve), 보안제동(security brake)에 사용하는 일정한 설정압력(4.0kgf/㎠)으로 조정해주는 압력조정밸브(pressure regulating valve), 압력조정밸브에서 공급되는 공기압력을 제어압력으로 출력하는 기능을 수행하는 보안제동용 전자밸브(magnet valve for security brake), 전공변환중계밸브의 출력압력 또는 보안제동 출력압력을 제동압력으로 공급하며 전공변환중계밸브의 출력압력이 보안제동 출력부분으로 또는 보안제동의 출력압력이 전공변환중계밸브의 출력부분으로 공기가 공급되지 않도록 방지하는 고위우선과 역지밸브 기능을 수행하는 복식체크밸브(double check valve), 제동시스템의 신뢰성 및 안전성 확보를 위하여 제동불완해발생시 강제적으로 제동압력을 배기하여 제동불완해(non-release brake)를 해소시키는 강제완해용 전자밸브(magnet valve for compulsory release), 각종 압력을 압력게이지(pressure gauge)를 이용하여 확인할 수 있는 테스트피팅(test fitting)으로 구성되어 있다.

센서피드백 제어방식은 처음에는 단일 비례밸브를 이용하여 전류량에 따른 위치제어를 사용하다가 최근에는 온도특성 및 제어특성을 고려하여 공급 및 배기의 독립된 2개의 ON/OFF 전자밸브를 사용하고 있다.



되어 있었으나 마이크로프로세스의 발전에 따라 일체형으로 공급되어 중량 저감 및 공간 확보가 용이하게 되었다.

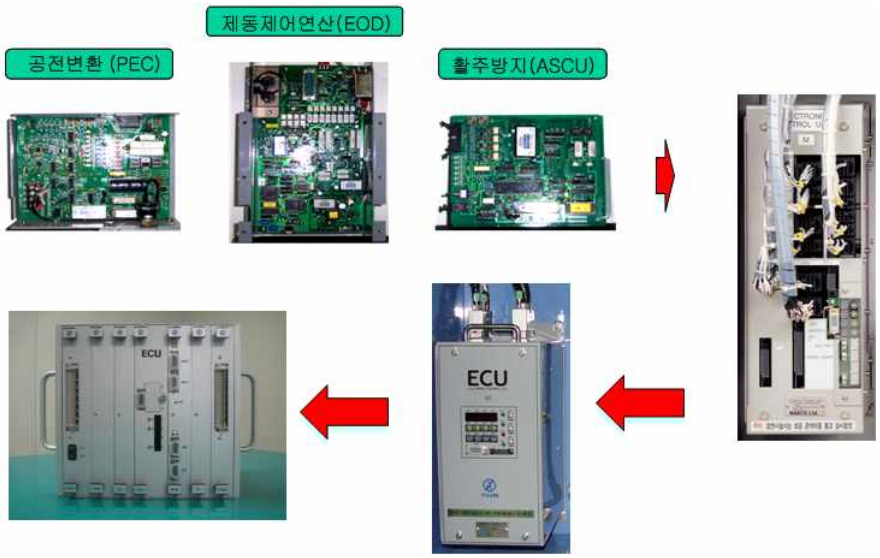
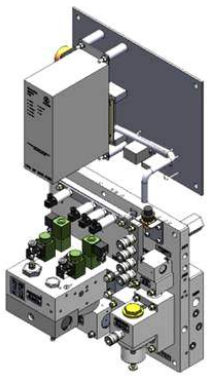
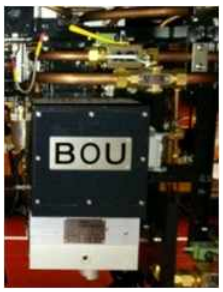


Fig. 3.2.34 제동전자제어유니트의 변화 과정

Table 3.2.1 제동제어장치의 적용호선 및 특징

제동제어장치 외형	적용호선	특징
	코레일 일반형 전동차 서울4호선 서울7 &8호선(1단계) 대구1호선	전류제어방식 M차에서 T차 제동력 제어 독립된 활주제어장치 제동제어장치가 기능별로 분리됨(EOD, PEC, ANTI-SKID) 중량 : 약 218kg 크기: 1283(W) X 740(H) x 616(D)mm
	부산2호선 인천2호선 서울6호선 서울7 &8호선(2단계) 광주1호선	센서피드백제어방식 M차 T차 개별 제동력 연산 제동제어장치 기능 통합(EOD, PEC, ANTI-SKID) 중량 : 약 125kg

	대구2호선	센서피드백제어방식 M차 T차 개별 제동력 연산 제동제어장치 기능 통합(EOD, PEC, ANTI-SKID) 보안제동 모듈화 중량 : 약 150kg 크기: 904(W) X 550(H) x 502(D)mm
	부산3호선 대전1호선 신분당선 서울2호선 코레일공항철도 서울3호선 부산4호선	센서피드백제어방식 M차 T차 개별 제동력 연산 제동제어장치 기능 통합(EOD, PEC, ANTI-SKID) 보안제동 모듈화 강제완해밸브 추가 중량 : 약 125kg
	코레일 간선형	매니폴드형 적용 중량 : 약 75kg
	코레일 경춘선(좌석형)	제동판넬용 적용 중량 : 약 74kg

	인천2호선 우의-신설 경전철	매니폴드형 대차제어용 중량 : 40kg

제동제어장치의 소형화 및 경량화는 철도 차량의 발전과 더불어 끊임없이 추진되어 왔다. 최초에는 제동제어에 필요한 밸브들을 하나의 판넬에 집약하여 제동 판넬에 압축공기가 흐를 수 있는 관로를 가공하고 가공된 회로판과 덮개 회로판을 서로 접합하는 방식을 사용하여 알루미늄의 원소재 무게와 공정상의 내부 공간 확보로인하여 회로판의 무게와 크기가 증가하였으며, 공압 밸브들이 모두 주물형으로 구성되어 있어 200kg을 초과하는 중량물이었다.

하지만 최근에는 가공 기술의 발전과 전자밸브의 소형화로 인하여 복잡한 공합밸브도 가공 type이 가능하게 되면서 회로판도 접합형식에서 가공 type인 매니폴드형으로 구성하면서 제동제어장치의 고성화가 이루어지게 되었다.

② 제동제어장치와 관련된 표준 규격

제동제어장치의 소형화 및 경량화는 제동모드에 대한 요구사항에 따라 공기제동장치의 밸브 및 회로 구성에 의하여 모든 것이 결정되므로 관련 규격에 대하여 확인이 필요하다. 도시철도차량표준 사양에 따르면 각 차종별로 아래와 같은 규격이 있다.

■ 전동차 표준사양

– 공기브레이크장치

– 일반

㈎ 공기브레이크장치는 상용 및 비상브레이크장치, 브레이크제어기, 보안브레이크장치, 주차브레이크장치, 활주방지장치, 구원브레이크장치 및 압축공기 공급장치와 공기통, 공기배관, 밸브, 기기, 피팅류 및 각종 전기부품으로 구성 한다.

㈏ 공기브레이크장치는 상용브레이크, 보안브레이크, 비상브레이크, 주차브레이크 및 정차브레이크기능을 갖도록 한다.

3.4.2.2 보안브레이크

㈀ 보안브레이크는 상용 및 비상브레이크와는 독립적으로 작용되도록 하고 공급되는 공기원도 분리하며 주공기통의 압력이 부족할 때 보안브레이크용 공기통로부터 브레이크 실린더로 직접 공기를 공급할 수 있도록 한다.

㈏ 보안브레이크는 운전실내 보안브레이크스위치 조작을 받아 보안브레이크지령선에 의해 각 차의 보안전자밸브가 작동하여 체결되도록 하고, 응하중제어는 하지 않는 것으로 하며 운전실에 있는 브레이크완해스위치에 의해 완해될 수 있도록 한다.

㈐ 보안전자밸브는 무여자시 차단상태, 여자시 브레이크상태를 유지하도록 한다.

■ 경전철표준사양

– 브레이크 장치

– 일반

브레이크 장치는 상용브레이크, 비상브레이크, 보안브레이크, 주차브레이크 및 정차브레이크 기능을 갖도록 한다.

– 보안브레이크

㈎ 보안브레이크는 상용 및 비상브레이크와 독립된 제어계통을 가져야 하며, 상용 또는 비상제동력 부족시 자동으로 체결되어야 한다.

㈏ 보안브레이크는 다른 브레이크의 체결상태에서도 중복작용이 가능하여야 한다.

도시철도차량표준사양에는 제동모드가 상용제동, 비상제동, 보안제동, 주차제동, 정차제동 기능을 갖도록 되어 있으나, 국내 일부 차량 및 해외 차량에서는 보안제동이 없는 차량도 운행이 되고 있으며, 국내 고속차량에도 보안제동모드는 없다. 보안제동은 일본에서 예전에 주로 예비제동으로 본래의 공기제동장치가 어떠한 원인으로 파손되어 그 능력이 극심하게 저하했을 때를 고려하여 안전을 확보하기 위한 제3의 제동으로 설치된 장치로 전기제동과 연동되어 전기제동 중에는 작동하지 않는 것이 특징이다.

보안제동은 일정한 압력을 출력하므로 승차감 제어 및 변동 하중이 고려되지 않아 위급 상황에서 보안제동을 취급한다고 하여도 비상제동보다 짧은 정지거리를 기대할 수 없고 승차감에도 큰 저해요소가 된다.

철도차량 안전기준의 제동장치 요구조건에서 “ 제동시스템은 전기제동 · 공기제동 및 그 밖의 보조적인 제동기능을 구성되어야하고, 그 기능이 독립적으로 또는 혼합되어 작용될 수 있어야하며, 혼합되어 작용될 경우에는 각 제동기능의 작동이 원활하게 이루어져야 한다.” 라고 되어 있다.

최근 철도차량 기술기준(안)에서의 제동 요구사항은 비상제동, 상용제동, 주차제동에 대하여 의무적으로 설치하게 되어 있으며, 보안제동의 경우 “ 그 밖에 보안제동, 정차제동 등은 발주자의 요구사항에 따른다.” 라고 되어있다.

상용제동과 비상제동의 신뢰성이 높아지고, 제동시스템이 발전하면서 보안제동을 별도의 공기계통이 아닌 보조적인 기능으로 구현할 경우 제동제어장치는 현재 보다 더 소형 경량화할 수 있다고 본다.

Table 3.2.2 제동장치 관련 표준 규격

구분	전동차	철제차륜형식 경전철	고무차륜형식 경전철	고속열차 (KTX-산천)
차량최대 축중	16ton	10.8 ton	9.0 ton	17ton
최대구배	본선 : 35‰ 측선 : 45‰	48‰	58‰	35‰
중량	최대차량중량 A형: 39ton, B형: 36ton 이하	공차: 21 Ton 만차: 31 Ton	공차: 12Ton이하 만차: 18Ton이하	동력차 68 ton 객차 34ton 단부 51ton
최대승객 하중	20ton/량 16ton/량	10 Ton/량 15 Ton/량	6 ton 이상 9 ton 이상	차량전체 27ton
성능 최고속도	100km/h 이상	80 ㎞/h 이상	70 ㎞/h 이상	350㎞/h 이상
최고 운행속도	80km/h 이상	70 km/h 이상	60 ㎞/h 이상	300㎞/h 이상
감속도	상용 : 3.5km/h/s 비상 : 4.5km/h/s	4.68 ㎞/h/s	상용 : 3.5km/h/s 비상 : 4.5km/h/s	상용(비상) 3.8㎞/h/s 이상
져크한계	0.8m/sec^{3}이 하	0.8m/sec^{3}이 하	0.8m/sec^{3}이 하	0.58m/sec^3 이하
브레이크 방식	회생브레이크 병용, 전기지령식 공기브레이크 (응하중부)	회생 브레이크 병용, 전기지령식 공기 브레이크 (응하중부)	회생 브레이크 병용, 전기지령식 공기 브레이크(응 하 중부)	회생브레이크 병용, 전기지령식 공기 브레이크
제동모드	상용제동 비상제동 정차제동 보안제동 주차제동	상용제동 비상제동 정차제동 보안제동 주차제동	상용제동 비상제동 정차제동 보안제동 주차제동	상용(비상)제 동 정차제동 긴급제동 주차제동

Table 3.2.3 보조제동이 없는 철도차량

감속도		운행 최고속도	차량편성	국적
상용제동	비상제동			
$1.35m/s^2$	$1.40m/s^2$	80km/h	6M2T	홍콩
$1.10m/s^2$	$1.30m/s^2$	80km/h	4M2T	네덜란드
$1.20m/s^2$	$1.20m/s^2$	100km/h	3M	스페인
$1.20m/s^2$	$1.44m/s^2$	80km/h	4M	브라질
$1.20m/s^2$	$1.20m/s^2$	100km/h	6M3T	이집트
$0.97m/s^2$	$1.25m/s^2$	100km/h	3M3T	한국
$1.34m/s^2$	$1.43m/s^2$	80km/h	3M	미국
$1.20m/s^2$	$1.40m/s^2$	90km/h	3M1T	싱가폴
$0.97m/s^2$	$0.97m/s^2$	100km/h	2M	일본
$1.00m/s^2$	$1.30m/s^2$	80km/h	2M2T	인도

③해외 제동제어장치의 소형 경량화

제동모드는 상용제동과 비상제동으로만 구성되어 제동 응답시간을 고려하여 대차에 근접하도록 설치하여 대차제어를 기본으로 적용하고 있으나, 축별 활주제어를 기본으로 차량제어용으로도 사용하고 있으며, 제동장치의 고장으로 제동압력의 손실이 발생하면 제동장치 자체 네트워크를 통해 다른 제동제어장치에서 보상제어를 수행하도록 되어있다.



Fig. 3.2.35 소형 모듈화된 해외 제동제어장치

유연한 모듈 설계로 콤팩트하고 가벼우며(W213 mm x D263 mm x H330mm, 22.8kg), 모듈화로 유지보수 비용과 MTTR이 낮아 사용 수명이 높은 것이 특징이다.

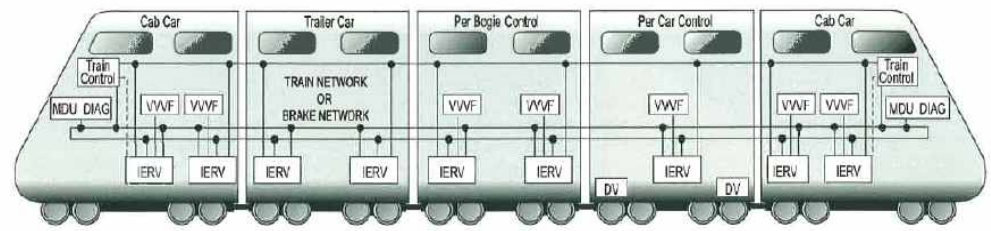


Fig. 3.2.36 제동제어장치 인터페이스 구성

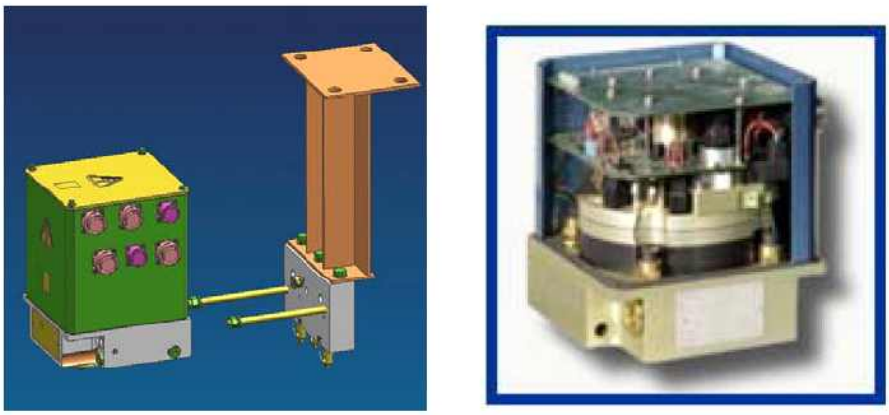


Fig. 3.2.37 Manifold형 EP-Brake Control Unit



Fig. 3.2.38 대차에 근접 설치된 제동제어장치

④ 제동제어장치 소형화에 대한 고려사항

제동제어장치는 차량제어용 또는 대차제어용으로 구분할 수 있으나, 공통적으로 차량에 취부할 경우에는 제동압력의 응답시간 및 상승시간을 고려하여 가능하면 제동실린더와의 배관 길이가 동일하도록 설치하는 것이 고려되어 한다. 하지만, 차량에서는 장치간의 간섭 또는 피치 못할 사정으로 인하여 제동실린더와의 배관 길이가 상이하거나 또는 많은 차이가 발생할 경우가 발생한다. 이러한 경우에는 제동장치에는 제어상의 치명적인 결함 또는 제어의 어려움이 발생하게 되므로 설계 단계에서 이러한 경우까지 고려하여 제동밸브의 설계가 이루어져야 한다. 아래 그림과 같은 차량 배관으로 구성될 경우 최대 배관길이 8,600mm일 경우 용적은 2.4L , 최소 배관길이 2,200mm일 경우 용적은 0.6L로 4배의 용량 차이가 발생하게 되고, 용량 차이에 따라 제동압력의 응답특성은 큰 차이를 보이게 된다.

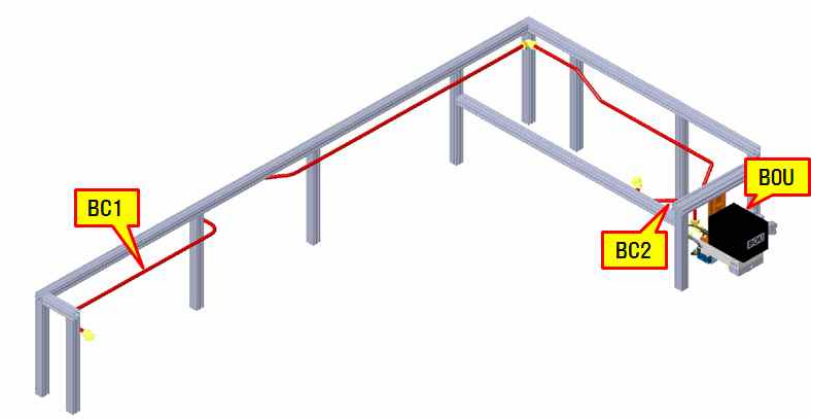


Fig. 3.2.39 제동제어장치와 제동실린더 사이의 배관 차이(예)

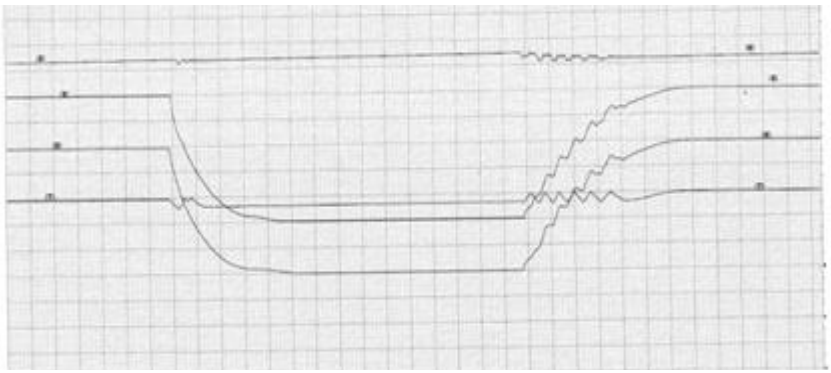


Fig. 3.2.40 제동실린더 용적이 작은 경우의 제동압력 특성

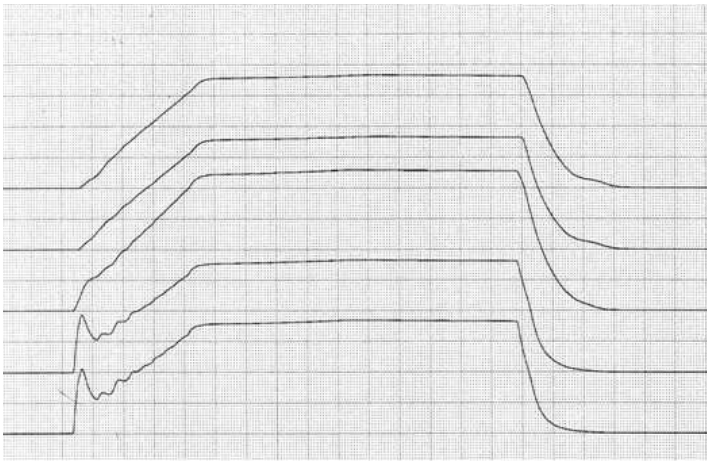


Fig. 3.2.41 출력용량이 부족한 경우의 제동압력 특성

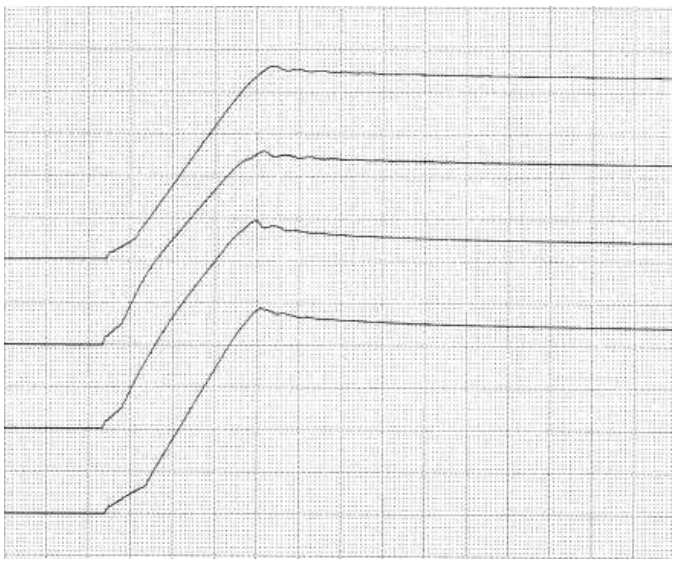


Fig. 3.2.42 유속이 빠른 경우의 제동압력 특성

제동제어장치의 소형화 및 경량화에서 밸브의 응답특성은 매우 중요한 부분이며, 과도응답에 대한 정의는 아래와 같다.

- 상승시간(Rise time, tr) : 임계감쇠 는 10% → 90% 도달 시간, 부족감쇠는 0% → 100% 도달 시간
- 피크시간(Peak time, tp 또는 tmax) : 오버슈트의 첫 번째 봉우리에 도달하는데 걸리는 시간
- 최대(퍼센트) 오버슈트(Maximum overshoot, Mp) : 응답곡선의 최대 봉우리에서 1을 뺀 값
- 정착시간(Setting time, ts) : 응답이 최종 값의 절대 퍼센트(보통 2% ~ 5%)

내의 범위에 들어온 후 계속 이 범위 내에 머물게 되는데 걸리는 시간

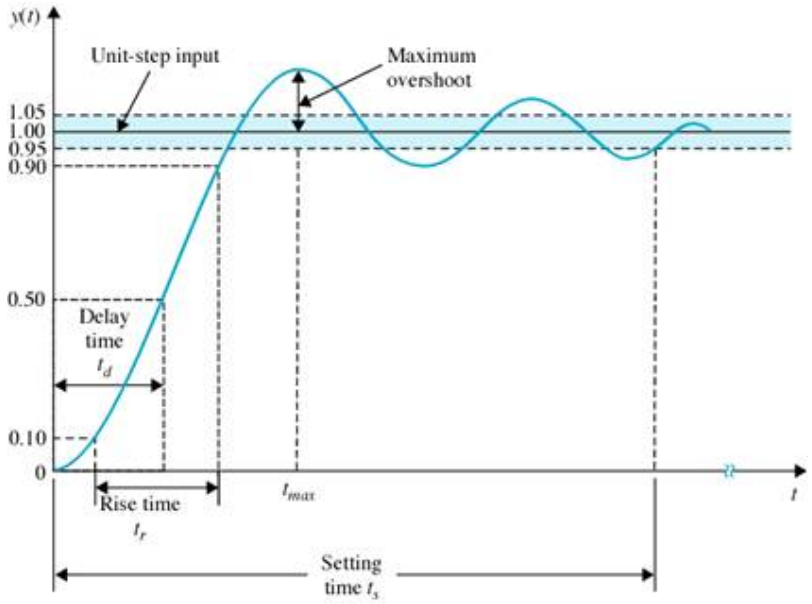
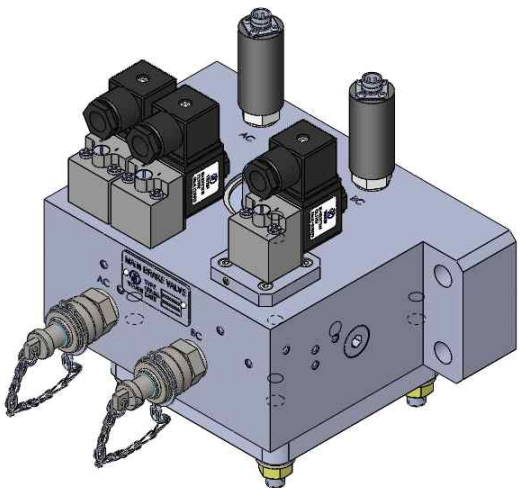
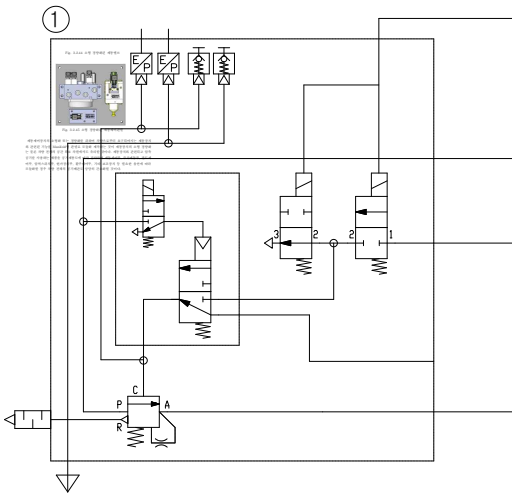


Fig. 3.2.43 과도응답 (過渡應答, Transient Response)

제동장치의 발전에 따라 소형화 및 경량화의 실현은 큰 변화가 이루어졌으나 고속 및 준고속차량으로 속도에 따른 신뢰성 확보 또는 경량전철로 제동장치의 설치 수량에 대한 신뢰성 확보 차원에서 모두 대차제어용으로 개발 및 적용되고 잇다.

위에서 검토한 내용과 같이 대차제어용으로 개발 적용된 제품을 차량제어로 사용하기에는 제어 특성상 불가한 부분이 많으므로 현재의 최소화된 제동모듈 방식을 이용하여 차량제어에 적합한 용량의 콤팩트한 제동판넬형 제동제어장치를 적용할 필요가 있다.




①
C
P
A
R

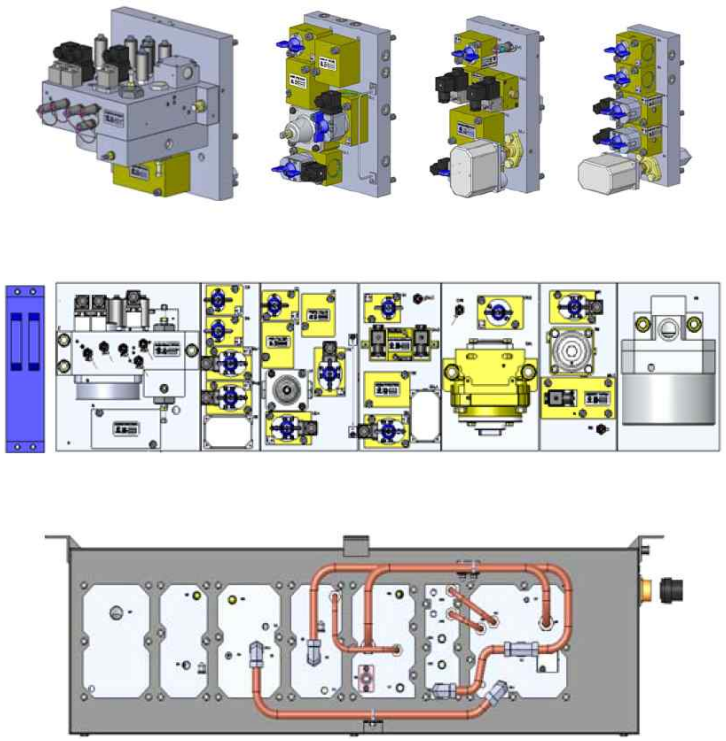


Fig. 3.2.46 기능 추가에 따른 콤팩트 모듈화(1)



Fig. 3.2.47 기능 추가에 따른 콤팩트 모듈화(2)

보조제동의 사용이 불가피할 경우 아래 그림과 같이 여러 가지의 기능을 가지고 있는 복합 중계밸브를 적용한다면 제동장치의 구성품을 추가적으로 간소화할 수 있어 중량 저감 및 경량화 할 수 있으나 국내에 적용 또는 개발된 사례가 없으므로 개발이 필요하다.

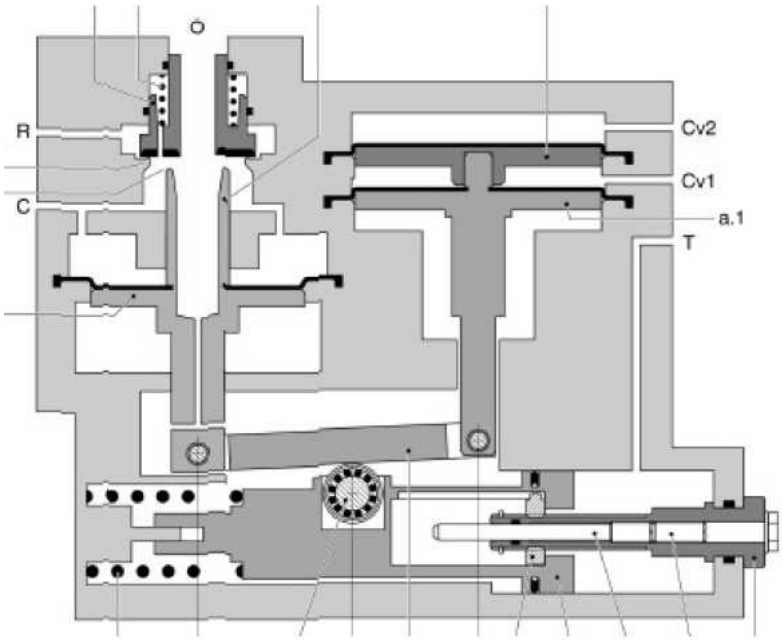


Fig. 3.2.48 중계밸브

(2) 기초제동장치

①제동디스크

국내 2층 객차인 경춘선 좌석형 열차는 구동차(M차) 및 객차 모두 차륜디스크를 사용하였다. 하지만 해외 차량의 경우 차축디스크를 사용하는 사례가 많고, 국내 광역철도용 2층 전동객차 개발 사업에서도 2층 객차의 디스크를 차축디스크로 개발을 진행하고 있다.

차축디스크는 차륜디스크보다 제동력 확보 및 유지보수성이 우수하므로 광역철도용 2층 전동객차 적용에 있어 승객 하중의 변동을 고려하여 제동에너지를 흡수할 수 있고, 비교적 짧은 구간에서의 연속적인 제동에 대하여 열 냉각효과가 우수하여 제동 성능에 악영향을 미치지 않는 저 중량의 제동디스크 적용이 요구되어진다.

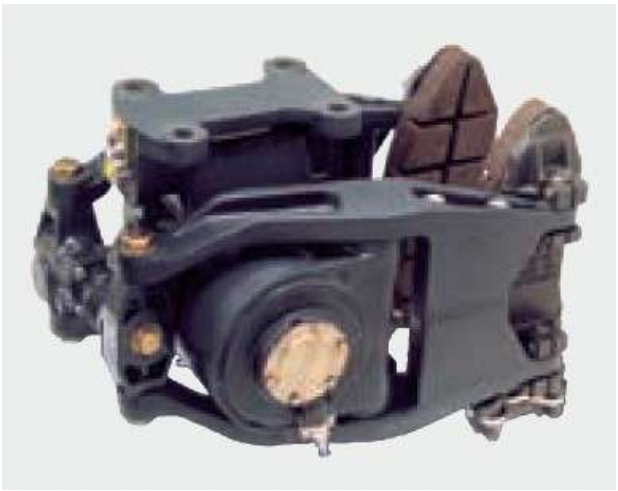
BRAKE CALIPER

BRAKE PANEL

BRAKE DISC







low forces_wheel mounted(max. 50kN)　　high forces_wheel mounted(max. 90kN)

Fig. 3.2.50 해외 차량의 COMPACT CALIPER UNITS

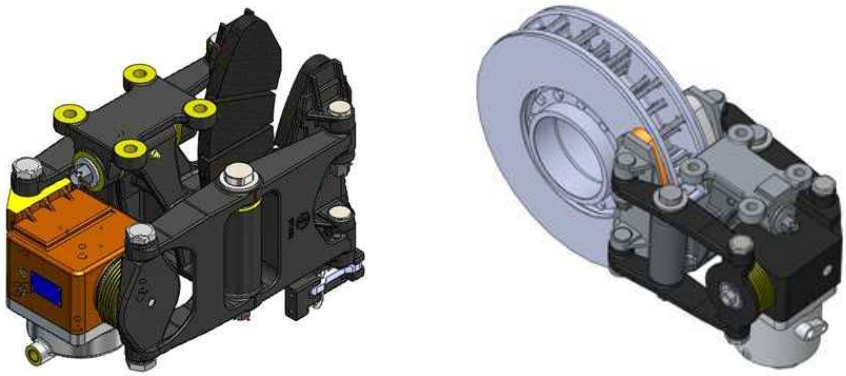


Fig. 3.2.51 국내 차량의 COMPACT CALIPER UNITS

3절 안전성 확보를 위한 설계기술 및 기기배치

1. 개요

국내 적용된 ITX 청준 열차의 경우 하부 기기가 적은 부수차만 2층으로 제작하였기 때문에 제작에 큰 어려움이 없다. 하지만, 기기 구성이 복잡한 제어차, 동력차를 2층으로 구현하기 위해서는 각종 전장품의 기기배치를 를 전면 재검토 하여야 한다. 2층 열차의 경우 주변압기, 주변환장치, 보조전원장치 및 주변장치 등을 열차 하부 공간에 설치 할 수 없으므로 옥상공간을 이용하여야하나, 옥상 공간 또한 전고가 높은 2층 객실부에는 전장품을 설치 할 수 없으며, 열차 단부 출입문, 대차 등으로 2층 구현이 불가능한 부분의 공간 만 이용 할 수 있기에 공간적 여유가 없다. 열차의 단부 또한 통로, 출입문, 계단, 기타 부품들을 함께 설치하여야 하므로 충분한 공간을 확보 할 수 없다.

따라서, 절대적인 부품 설치 공간이 부족하고 옥상 취부 전장품이 필수적인 2층 열차의 특성을 감안한 전장품의 개발 방향을 제시한다.

2. 전장품 개발 방향

(1) 소형, 경량화 설계기술

전장품 설치 공간이 제한되므로 공간 이용 효율 극대화가 가능하도록 소형화 하여야하며, 옥상용 전장품의 경우 차량 한계 제한 및 전차선과의 절연거리 확보를 위해 기기의 높이 또한 제한되므로 슬림화하여야 한다.

또한, 고중량의 주변압기, 주변환장치, 보조전원장치 등이 옥상에 집중 설치되어 열차의 무게 중심이 높아지면 열차의 곡선 주행 속도, 하부 현가장치에 악영향이 있으므로 경량화를 동시에 추진되어야 한다.

①효율적인 구조 설계기술

■ 모듈화

주변압기, 주변환장치, 보조전원장치 등 주요 전장품은 프레임 하부에 비교적 여유로운 공간에 설치되었지만 2층 열차용 전장품은 공간을 최대로 활용할 필요가 있기 때문에 모듈화 설계를 강화하여야 한다. 모듈화의 장점은 설치/조립이 용이하고 공간효율성을 증대하여 소형화가 가능한 점에 있다. 반면에 모듈 내부 구성

이 너무 복잡할 경우 유지/보수 점검에 불리한 구조가 될 수 있다. 2층 열차용 전장품의 설치 위치가 변동됨으로 인하여 기구 구조, 시스템 등 전면 재설계가 필요하므로 각 모듈 자체에서 부품의 유니트 단위 교환이 용이하면서도 공간 효율성을 극대화 시킬 수 있는 설계 기술이 필요하다. 이에 더하여 주회로 차단기, 주퓨즈, 피뢰기 등 고압 주변기기도 모듈화하여 공간 활용성을 높일 필요가 있다.

■ 일체형 불가시 부품 부산 배치

옥상용 전장품의 경우 슬림형으로 제작하여야 하나 내부 부품의 기본 크기, 구조로 인하여 일체형으로 제작이 어렵거나 공간부족으로 대형 모듈의 수용이 어려울 경우 회로 특성별로 부품을 분산 재배치하여 자투리 공간을 활용할 수 있게 하여 2층 열차 내 부족한 전장품 공간 활용성을 높이는 설계기술이 필요하다.

②고효율 냉각 시스템 설계기술

기존 전동차의 주변압기는 주로 유입식/ 강제냉각식으로, 주변환장치와 보조전원장치 등은 공랭식, 자연 냉각 방식을 적용하여 제작된다. 전동차용 변압기 모듈의 냉각시스템은 2층 열차에 적용하기에는 기기 구성이 복잡하고 사이즈가 커서 옥상 또는, 차상에 설치가 용이하지 않으므로 절연유의 순환방식 및 냉각방식 등 열교환기 전반을 재검토할 필요가 있고 냉각구조, 부품의 배치, 효율을 개선하기 위한 설계기술이 필요하다.

그리고, 주변환장치 및 보조전원장치의 히트파이프와 냉각핀을 이용한 자연 냉각방식은 냉각효율이 떨어져서 냉각 장치 자체의 사이즈가 커서 2층 열차에 적용하기에 어렵다. 기기의 발열량과 냉각 장치의 용량 및 효율을 재검토하여 소형/ 경량/ 고효율 냉각 시스템 설계기술을 개발하여 전장품 전체의 소형/ 경량화를 달성하여야 한다. 또한, 옥상 공간부족으로 열차 내부 기기실을 추가하여 그 내부에 설치되는 전장품의 경우 발열 대책 및 냉각 시스템의 적용 등이 사전 검토되어야 한다.

③부품 소형화 설계기술

■ 소형 경량 부품 적용

통상 열차 단부에 설치되는 배전반 등 판넬류, 각종 제어기 함류는 많은 수량의 기계적 구조가 복잡한 대형 릴레이, 접촉기 등으로 구성되고 이런 부품을 적용한 전장품은 크기가 커질 수밖에 없다. 전장품 내부 부품은 시스템 상의 요구 성능

의 한도 내에서 최신의 소형/경량 부품을 적용하고, 표면실장 설계 강화 등을 통하여 전장품의 소형/ 경량화를 추진한다.

■ 마이크로컴퓨터 제어 적용

차량 제어 회로 구성 시 종래의 계전기 등을 이용한 하드웨어 회로는 논리를 구현하기 위해 많은 기기가 소요되고 회로 자체가 복잡하기 때문에 전장품 구성에 큰 공간을 필요로 한다. 따라서 2층열차에서는 열차 보안 및 안전에 직결되는 회로부와 신뢰성 확보가 절대적인 추진/제동 관련 회로를 제외한 서비스 제어 회로부는 하드웨어 회로 대신에 마이크로컴퓨터 제어 회로로 구성하여 부피/중량을 최소화해서 적용하여야 한다.

■ 경량 제어/비상용 2차전지 적용

전동차용 비상 배터리로 주로 사용되는 니켈-카드뮴 축전지나 납축전지는 단위 중량당 에너지 용량이 낮아 공간을 많이 차지한다. 최근 전기차용 2차 전지의 개발 추세에 맞추어 단위 중량당 에너지 용량이 높은 2차 전지를 적용하여 소형/경량화를 추진할 필요가 있다. 추가적으로 리튬계열 2차전지의 경우 BMS(Battery Management System)를 통하여 배터리 셀을 실시간으로 감시할 수 있어서 배터리 수명과 안전성을 최대화 할 수 있고 마이크로 컴퓨터 제어기와 각종 센서를 통해 축전지 자체 또는 외부로부터의 위험으로부터 자체적으로 보호할 수 있도록 제작되고 있으므로 전동차용으로 도입하면 유지/보수 면에서도 장점이 있다.

(2) 사용 환경 특성 고려 설계 요소

①상부 점검 특성 반영 설계기술

일반 전동차Ip의 경우 고압, 중량 전장품은 언더프페임 하부에 설치되므로 지상 열차 측방향에 배치되는 점검구를 이용해 유지보수/점검하는 형태로 제작 되지만, 옥상 취부기기는 측면에서 접근하기가 어려우므로 옥상위에서 점검이 가능하도록 부품 및 점검 커버 배치할 필요가 있다.

②옥상 환경 특성에 따른 설계 기술

옥상 취부 기기는 바닥 지지로 설치가 가능하므로 하부 취부 기기에 비하여 구조적인 측면에서 장점이 있으므로 박스 외형을 경량화 할 수 있다. 반면에 강우, 직사광선등에 직접 노출 되는 옥상에 설치되므로 IP 보호레벨을 강화하여야 하며, 직사광선에 대한 단열 설계 기술이 검토 되어야 한다.

(3) 안전/성능 강화 설계기술

①저소음화 설계기술

2층 열차의 경우 부족한 공간으로 인해 기존 옥상에 설치되는 공조기와 냉각용 팬을 가지는 주변압기, 주변환장치, 보조전원장치 등 의 각종 팬-모터 등의 소음원이 옥상 일부 공간 또는 기계실내부에 집중된다. 기본적으로 옥상용의 경우 루프 프레임을 통해, 기기실 용은 분리 파티션을 통해 소음 차단이 가능하지만 기기 집중에 따른 전체적인 소음 레벨이 증가 될 수 있고 소음이 완전 차단이 불가능하면 객실 내부로 소음이 유입될 수 있다. 따라서 소음원의 소음을 적극적으로 낮추기 위한 저소음 설계 기술이 필요하다.

②절연성능 강화 설계 기술

각 장치의 소형/경량화, 모듈화 설계에 따라, 전장품내 부품들이 조밀하게 설치되면 절연물의 연면거리, 충전부와 충전부 또는 접지부의 공간거리가 줄어듦으로 인하여 절연 성능이 약화 될 수 있다. 계통 전압, 회로 구성품 특성 및 도체 구조에 따른 전계 강도의 확인 및 필요 절연 강도 확인을 통한 절연물 선정, 추가 절연 확보, 구조적 환경적 특성을 고려한 절연물 적합성 검토를 통한 최적의 절연설계 기술을 적용할 필요가 있다.

③감시 및 보호동작 및 로거 기능 개선

전장품이 소형화/모듈화 되면서 공간에 기기가 집중되어 있으므로 사고발생 시 고장의 확산 범위가 커질 수 있다. 특히, 고압 회로의 경우 신속한 고장 검지가 이루어지지 않을 경우 화재 등 2차 사고로 이어질 확률도 높다. 따라서, 주변압기, 주변환장치, 보조전원장치의 제어 시스템을 마이크로컴퓨터로 구성하고 각종 센서를 이용하여 주회로 전압, 전류, IGBT 소자, 발열부 온도, 냉각매체 온도, 방열장치 온도 등 냉각 시스템 각 구성부를 상시 감시할 수 있도록 하며 보호동작특성을 강화하고 트러블 발생시 트러블 전후의 주요 기록을 μs 샘플링 속도 이상으로 저장할 수 있는 로거 시스템을 구성할 필요가 있다. 특히 각 전장품의 강제냉각장치의 경우 냉각장치 이상 시 장치의 온도가 순간적으로 상승되어 장치 손실, 전동차 화재로 확산될 수 있으므로 냉각 시스템 감시 및 보호동작 기능을 더욱 강화할 필요가 있다.

4절 추진시스템 및 전력시스템 기술

1. 개요

(1) 목적

검토 중인 2층 객차 도입 시에 기존의 전력공급시스템 및 차량의 추진시스템에 미치는 영향을 분석한다.

(2) 2층 전동열차의 정의

2층 구조로서 최고운영속도는 120km/h 로 검토되고 있다.

(3) 검토 내용

①2층 객차 정의에 제시된 대로 최고 운행속도를 기존 도시철도의 80km/h에서 120 km/h 로 향상시키는 방안을 검토하고 이를 위해서 변경되어야 하는 차량의 견인 모터 추진특성을 분석한다.

②표정속도를 향상과 견인전력 공급시스템 용량과의 관계를 분석하고 시뮬레이션을 통해 검증

③기존 도시철도 노선을 예로 시뮬레이션을 통하여 분석된 내용을 확인한다.

2. 속도 향상방안

열차의 평균 속도 향상 방안으로는 일반적으로 다음의 3가지 방법이 고려될 수 있다.

(1) 역간 간격의 증가

Fig. 3.4.1은 열차가 시발역에서 종착역까지 이동하는 한 가지 방안을 보여준다 (Case1). 그림1에서 열차는 등가속도 ($\alpha = \frac{2v}{t}$)로 가속하고 최대 운영속도에 도달 후 등속도로 타행운전하다가 등감속도 ($\beta = \frac{2v}{t}$) 로 감속하여 종착역에 도착하는 주행방법을 보여준다. Fig. 3.4.1에서 속도 곡선, 즉 (A), (B), (C), (D)가 만드는

사다리꼴 도형의 면적은 시발역과 종착역 사이의 거리이다. 그러므로 총 주행거리는 식 (1)과 같이 $6tv$가 되고 평균속도는 식(2)와 같이 $1.5v$가 된다. Fig. 3.4.2에서는 동일한 시발역에서 동일한 종착역까지 도달하는 또 다른 방안을 보여주는 데, 차이점은 시발역에서 종착역 사이에 중간역이 2개 더 있다는 것이다(Case 2). Fig. 3.4.2에서 속도 곡선, (A)~(G),에 둘려 쌓인 도형의 면적이 Case-1에서와 같이 $6tv$가 되어야 하므로 동일한 감가속도 조건하에서 주행시간이 Fig. 3.4.2에서와 같이 $4t$에서 $6t$로 늘어나게 되어 주행거리는 식(3)과 같이 $6tv$가 되어 Case 1 경우와 같아진다. 따라서 평균속도는 식(4)와 같이 $1.0v$가 되어 중간 역사의 수가 많을수록 평균속도는 감소하게 되는 것을 보여준다.

$$\text{주행거리}1 = \frac{(4t+2t)\times 2v}{2} = 6tv \qquad (1)$$

$$\text{평균속도}1 = \frac{6tv}{4t} = 1.5v \qquad (2)$$

$$\text{주행거리}2 = 3(\frac{2t\times 2v}{2}) = 6tv \qquad (3)$$

$$\text{평균속도}2 = \frac{6tv}{6t} = 1.0v \qquad (4)$$

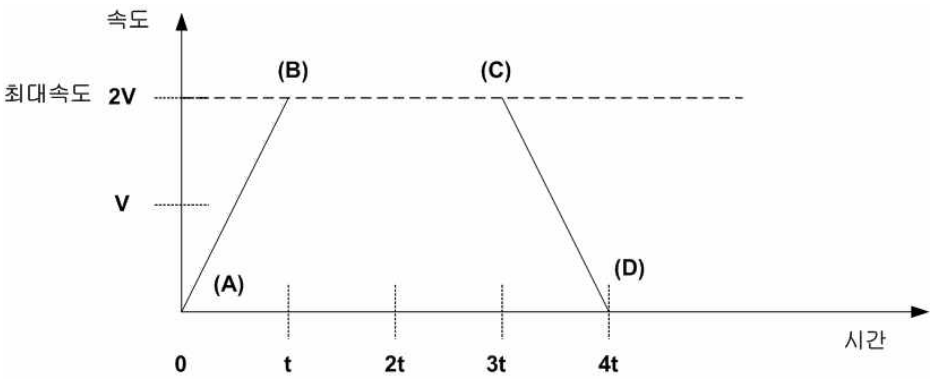


Fig. 3.4.1 Case 1의 속도-시간 특성, 가감속도=$2v/t$로 일정

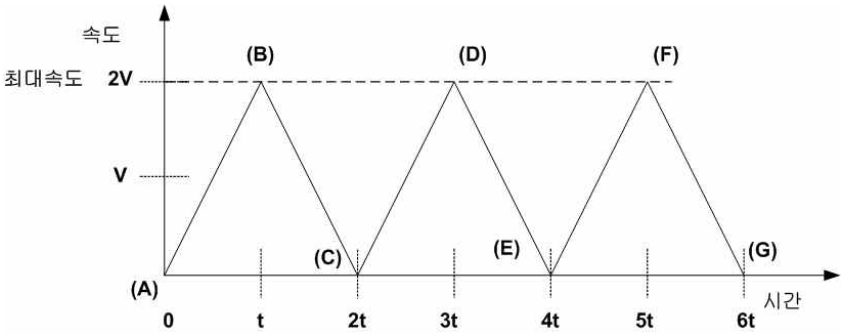


Fig. 3.4.2 Case 2의 속도-시간 특성, case-1 경우에서 중간 역사 2개가 추가됨

(2) 최대 운행속도의 증가

최대 운행속도의 증가도 평균 주행속도를 향상시키는 방안이 된다. 그러나 이 방법은 차량 내 견인 모터 특성에 따라 좌우되므로 견인모터의 특성이 함께 검토되어야 한다. Fig. 3.4.3은 차량의 최대운행속도가 $2v$에서 $3v$로 50% 증가되었을 경우(Case-3)의 속도-시간 특성곡선이다. 주행거리는 식(5)와 $6tv$가 되어 Case-1 경우와 동일하며 평균속도는 식(6)과 같이 $1.71v$가 되어 Case-1의 $1.5v$에서 증대되었다.

$$\text{주행거리}3 = \frac{(3.5t + 0.5t) \times 3v}{2} = 6tv \qquad (5)$$

$$\text{평균속도}3 = \frac{6tv}{3.5t} = 1.71v \qquad (6)$$

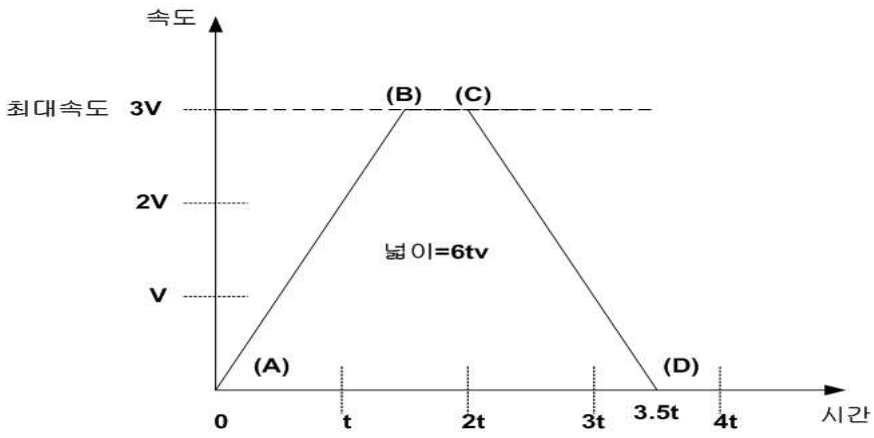


Fig. 3.4.3 Case 3의 속도-시간 특성, case-1 경우에서 최대속도가 $2v$에서 $3v$로 증가됨

(3) 차량 감가속도의 증가 (case 4)

차량 감가속도의 증가도 평균 주행속도를 향상시키는 방안이 된다. 그러나 이 방법은 차량 내 견인 모터 특성에 따라 좌우되므로 견인모터의 특성이 함께 검토되어야 한다. 또한 가감속도의 증가는 차량 부하의 증가를 의미하므로 견인전력 공급시스템의 용량도 함께 검토되어야 한다. Fig. 3.4.4는 차량의 가감속도를 $\frac{2v}{t}$에서 $\frac{4v}{t}$로 2배 증가시킨 경우의 속도-시간 특성을 나타낸다. Fig. 3.4.4에서 주행거리는 식(7)과 같이 $6tv$로 case 1과 동일하며 주행시간이 $4t$에서 $3.5t$로 단축되어 평균주행속도는 식(8)에 의해 $1.71v$가 되어 case 1의 $1.5v$보다 증대된다.

$$\text{주행거리}4 = \frac{(3.5t + 2.5t) \times 2v}{2} = 6tv \qquad (7)$$

$$\text{평균속도}1 = \frac{6tv}{3.5t} = 1.71v \qquad (8)$$

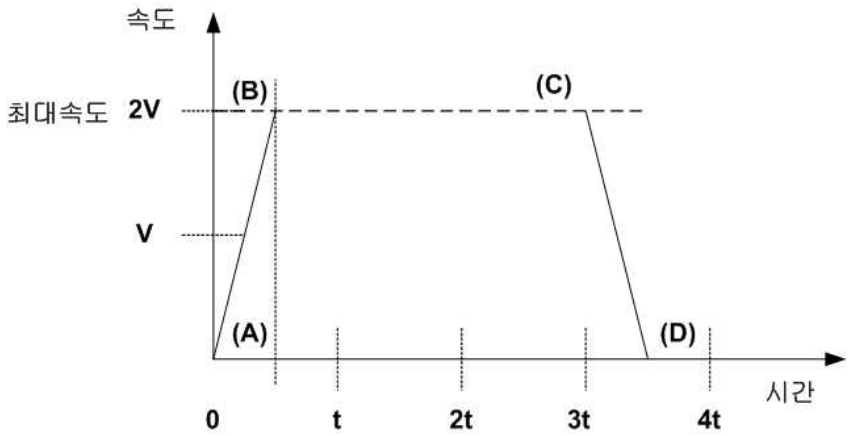


Fig. 3.4.4 Case 4의 속도-시간 특성, case-1 경우에서
가감속도가 $2v/t$에서 $4v/t$로 증가됨

Table 3.4.1 차량 평균운행속도 증대 방안의 비교(차량 중량이 일정한 경우)

Case		견인 모터	전력공급 시스템	건축한계	비 고
2	역간 간격 증대	검토 불필요	검토 불필요	검토 불필요	노선 선정 시 함께 결정됨. 가장 효과적인 방안
3	최대 운행 속도 증가	검토 필요	검토 불필요	검토 필요	
4	운영 최대 감가속도 증가	검토 필요	검토 필요	검토 필요	

3. 차량 중량의 증가와 견인 전동기

(1) 추진특성 곡선(Powering Curve)

모터의 추진특성 곡선은 일반적으로 3개의 속도구간으로 구분되어 운전된다. 첫 번째 구간은 일정토크 구간으로 아래 Fig. 3.4.5에서는 속도가 0에서 40km/h 구간까지를 의미한다. 이 구간에서의 추진토크는 일정하며 그 크기는 열차정지 상태에서 운행 조건에서 제시된 가속도로 출발할 수 있는 추진토크보다 커야한다. 현재 6호선 차량 견인 모터의 일정토크 구간의 견인력은 식 (9)와 같이 계산 된다. 식 (9)에서 TE는 견인력을 의미한다. 따라서 동일한 조건하에서 차량의 무게가 증가한다면 견인력/motor 또한 증가되어야 하며, 전력공급 기기의 용량 또한 증가되어야 한다.

$$TE = [28.35 \times (432 + 156 \times 0.14 + 116 \times 0.06) \times 3 + 4 \times 432] \times \frac{1}{16} = 2558\ [kgf/motor] \qquad (9)$$

Fig. 3.4.5에는 열차의 주행저항에 대해 구배가 0%인 경우와 구배가 1.166% 인 경우의 2가지 경우에 대한 주행저항곡선이 그려져 있다. 6호선 차량의 설계최고속도는 100km/h 로 제시되어 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 0% 구배에서 주행저항(@ 100km/h)은 열차 추진력보다 작으므로 열차는 충분히 100 km/h 이상의 속도를 낼 수 있다(설계속도 100km/h를 만족함). 1.166% 구배에서의 주행저항(@ 100km/h)이 열차의 견인력과 같다. 즉 구배가 1.166% 보다 클 경우는 설계속도(100km/h)까지 속도를 증가시킬 수 없음을 나타내고 있다.

따라서 6호선 열차의 최고 운행속도를 증가하고자 한다면 모터의 견인력 곡선을 오른 쪽으로 혹은 위 방향으로 그만큼 이동시키어야 하며 이는 모터 출력의 증가를 의미하며 또한 전력공급시스템 기기용량의 증가를 필요로 하게 된다.

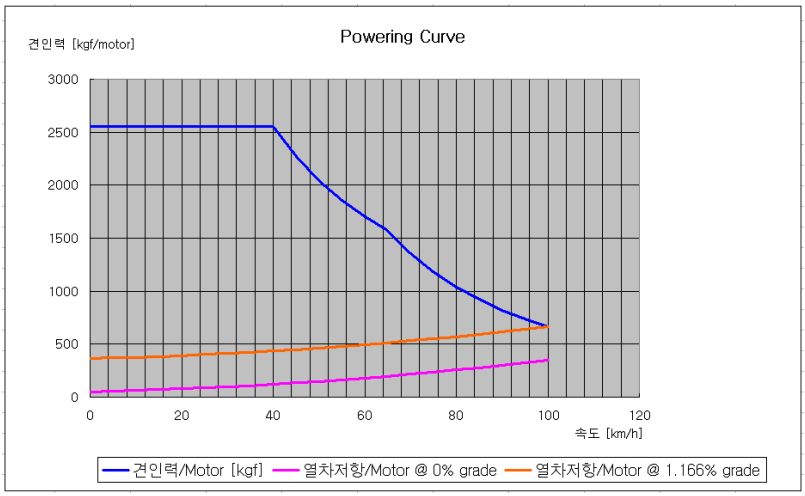


Fig. 3.4.5 6호선 차량 견인모터 추진특성, 변경 전

Table 3.4.2 6호선 열차의 제원

항목	조 건	비 고
1. Train Formation	4M 4T (Tc-M1-M2-T1-T2-M1-M2-Tc)	
2. Tare Weight	Tc; 30ton/car, T1,T2; 28ton/car M1,M2; 39ton/car	
3. Load Condition	Max. Passenger Weight(20ton/car)	
4. Total Weight	432 ton/8car train	
5. Max. Speed	80 km/h for operation 100 km/h for design	
6. Acceleration Rate	3.0km/h/s	
7. Deceleration Rate	3.5km/h/s	
8. Train Resistance	R=1.867+0.0359v+0.000745v*v [kgf/ton] v ; train speed [km/h]	
9. Inertia	14% for M car, 6% for T car	
10. Starting Resistance	4kgf/ton	

(2) 추진특성 곡선(Powering Curve)의 변경, 중량 120% 증가, 설계속도 100-> 150km/h

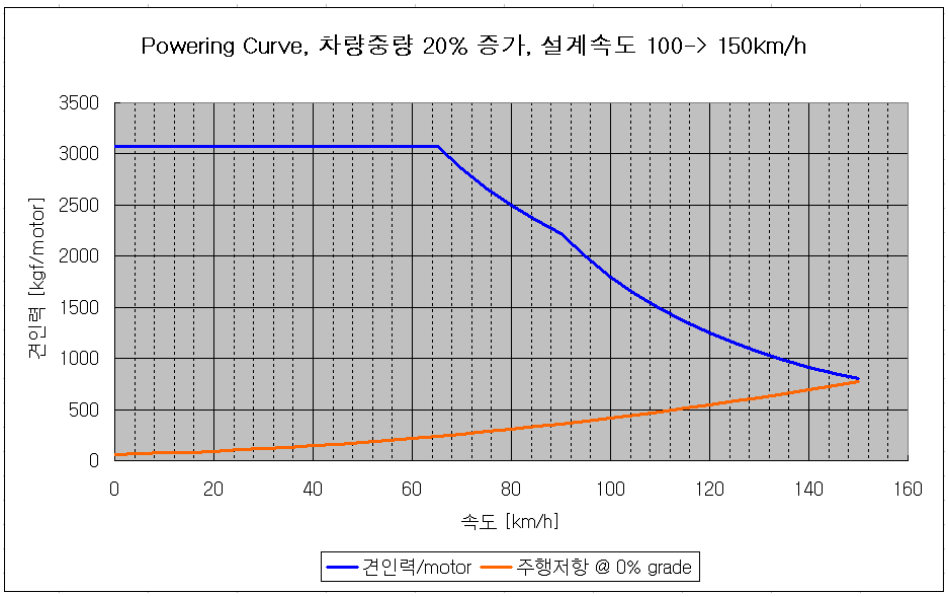


Fig. 3.4.6 6호선 차량 견인모터 추진특성, 변경 후,
최고운행속도=120km/h, 차량최대중량 120% 증가

(3) 모터의 용량 변화

현재 6호선 견인모터의 peak power 용량은 그림 5의 특성 곡선에 의해 식 (10)과 같이 계산된다. 특성 곡선 변경 후 모터 용량은 식 11과 같이 계산된다. 모터

용량이 278.5kw에서 543kw로 거의 2배 증가되었다. 이 경우에는 전력공급 기기 용량도 거의 2배 증가될 것이다. 다기 말하면 모터의 견인곡선이 변하면 전력 공급 기기의 용량도 함께 변화됨을 말한다.

$$power rating_{peak} = \text{견인력} \times \text{속도} = 2558 \times 9.8 \times 40 \div 3.6 = 278.5\,[kw] \quad (10)$$

$$power rating_{peak,\,\text{변경후}} = \text{견인력} \times \text{속도} = 3070 \times 9.8 \times 65 \div 3.6 = 543\,[kw] \quad (11)$$

4. 시뮬레이션

본 시뮬레이션에서는 각 조건 별로 최고운행속도 120km/h의 만족 여부와 이에 따른 에너지 사용량을 분석한다.

(1) 시뮬레이션 조건

① 노선은 지하철 6호선 라인을 대상으로 하되 역사 간격을 증대시키기 위해서는 2개 역사 중 1개 역사를 제외하는 경우와 3개 역사 중 2개를 제외시키는 경우 나누어 진행한다.

② 차량의 운행 모의는 'All Out Mode'로 수행한다. 즉 차량은 가지고 있는 모든 성능을 활용하여 추진 및 감속 한다. 그러므로 결과로 나오는 평균속도로 기관사가 실제 운행할 수는 없다. 실제 운행가능 최대속도는 'All Out Mode' 결과값에 75%를 적용한다.

③ 최고 운행 속도를 80->120km/h 로 증가

④ 차량의 중량은 현재 6호선 차량 중량의 120% 적용

⑤ 차량의 견인 모터 추진특성은 현재 자료를 그대로 적용하는 경우 Fig.3.4.5와 변경된 추진 특성 Fig.3.4.6을 적용하는 경우로 나누어 진행한다.

⑥ 그 외 자료는 현재 6호선 운전 자료를 그대로 사용한다.

Table 3.4.3 6호선의 운전 데이터

항 목	적용 데이터	비 고
1편성 최대 중량	518.4 ton	4M 4T, 승객 24ton/car
최대 운행 속도	120 km/h	
가속도	3.0 km/h/s	
감속도	3.5 km/h/s	
관성질량	14% for M car, 6% for T car	기존 자료와 동일
역 정차시간	30초	
추진시스템 효율	88%	
회생제동시스템 효율	88%	

(2) 시뮬레이션 수행

① 시뮬레이션은 Table 3.4.4의 6가지 경우에 대하여 수행되었다.

Table 3.4.4 시뮬레이션 별 조건

Case	역사 수	모터 추진 특성	역 평균거리	비 고
1	40	기존 특성	945m	기존 역사 그대로
2	20	기존 특성	1876m	2개 역사 중 1개 제외
3	14	기존 특성	2834m	3개 역사 중 1개 제외
4	40	변경된 특성	945m	기존 역사 그대로
5	20	변경된 특성	1876m	2개 역사 중 1개 제외
6	14	변경된 특성	2834m	3개 역사 중 1개 제외

② 시뮬레이션 결과 요약

■ 시뮬레이션 수행 결과는 아래 Table 3.4.5에 요약 되어 있으며 상세 결과는 표6의 별첨 파일을 참고.

Table 3.4.5 각 시뮬레이션 별 결과 요약

Case	평균 속도 [km/h]	추진 전력 [kwh]	회생 전력 [kwh]	전력공급 추진-회생 [kwh]	가능 최대 표정 속도 [km/h]	비 고
1	33.68	3976	1846	2130	25.26	
2	48.28	3257	1281	1976	36.21	
3	56.68	3121	1076	2045	42.51	
4	35.66	5265	3096	2169	26.75	5.9% 속도 증가
5	52.70	4471	2313	2158	39.53	9.2% 속도 증가
6	62.60	4156	1914	2242	46.95	11.0% 속도 증가

■ 각 case 별 주행곡선 비교

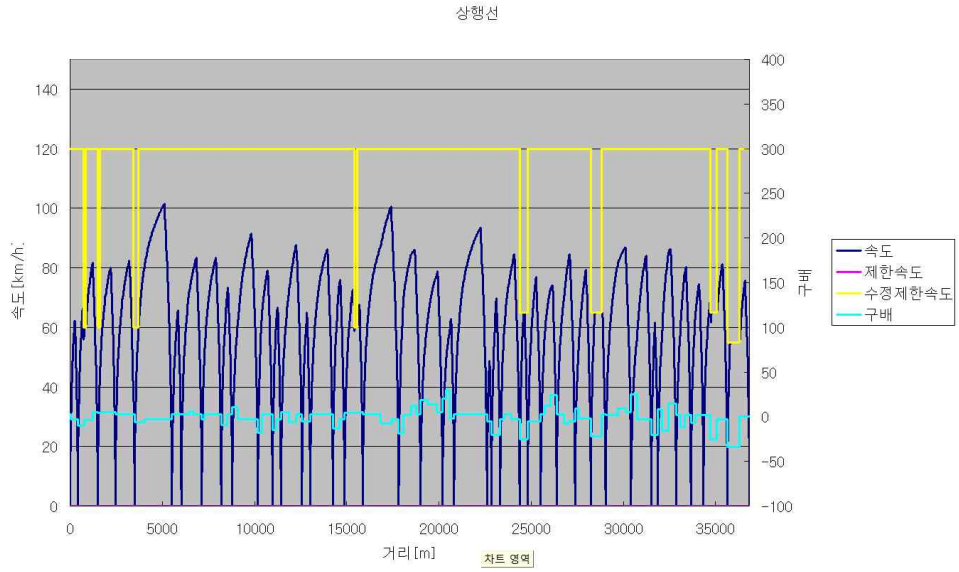


Fig. 3.4.7 case 1, 기존의 모타 추진 특성을 사용하여 최고 속도가 120km/h에 도달하지 못함

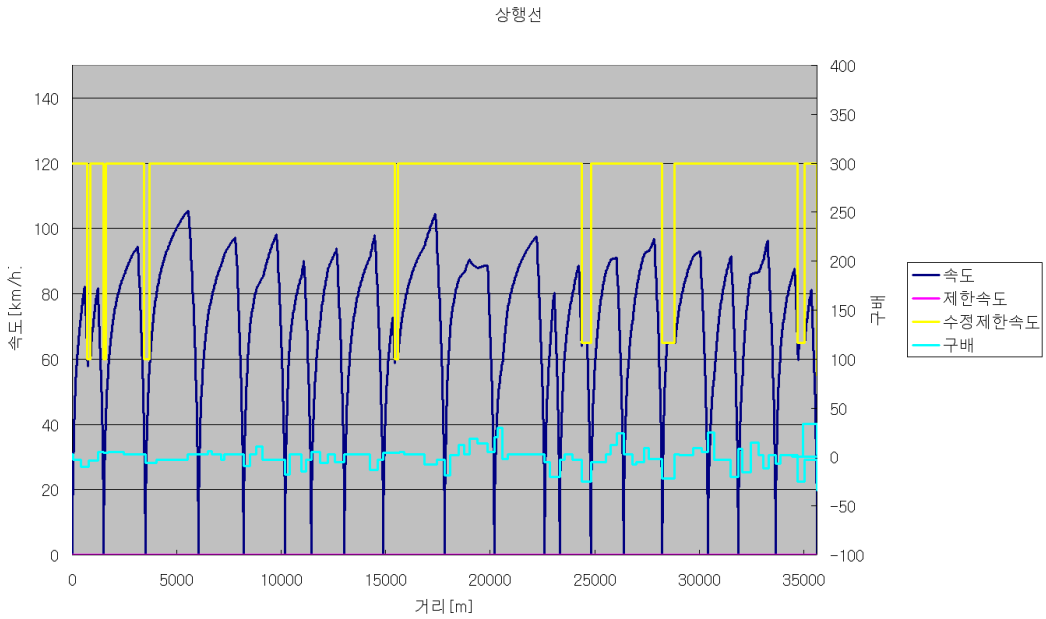


Fig. 3.4.8 case 2, 역사 간격이 평균 2배로 증가함으로 속도가 향상

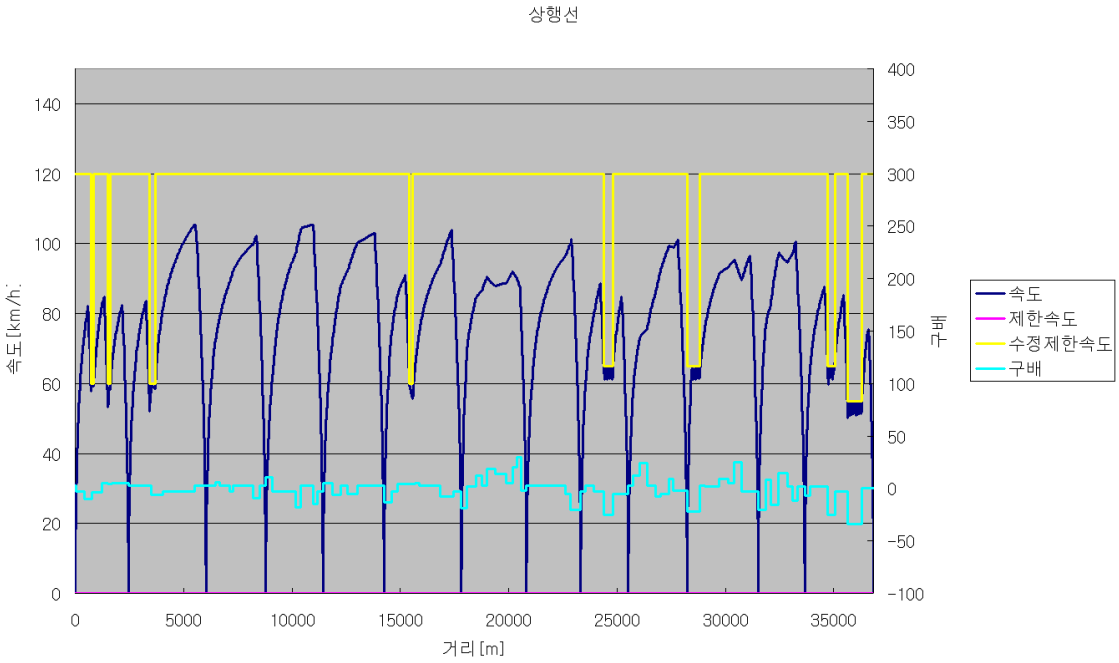


Fig. 3.4.9 case 3, 역사 간격이 평균 3배로 증가함으로 속도가 향상

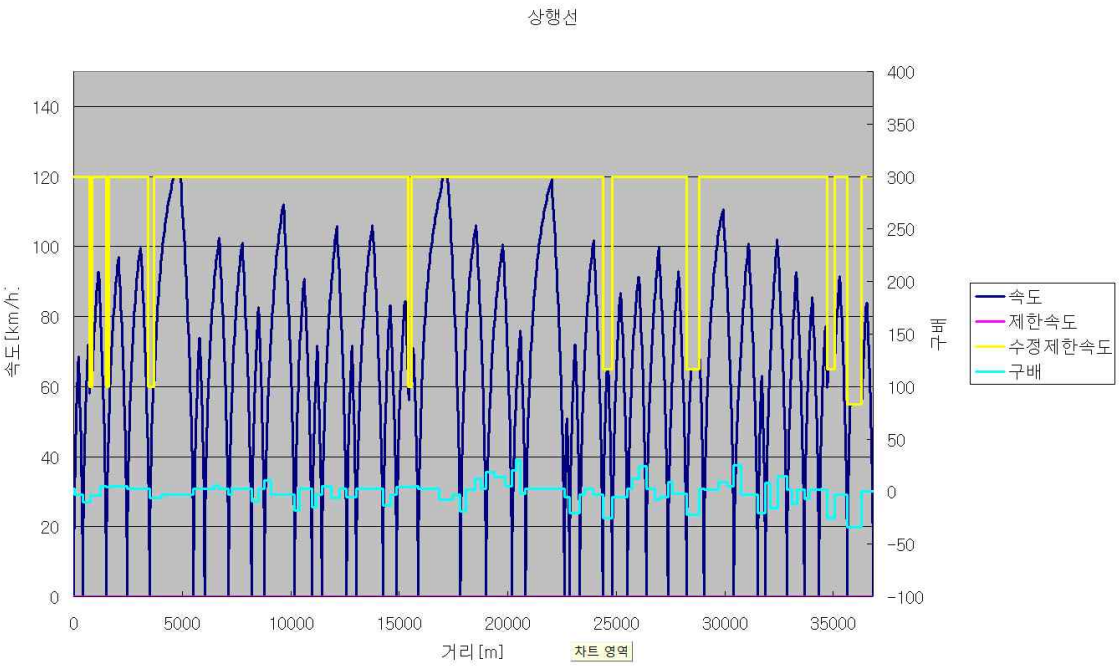


Fig. 3.4.10 case 4, 변경된 모타 추진 특성을 사용(최고 속도가 120km/h에 도달하나 역간 거리가 짧으므로 대부분의 경우에 120km/h에 도달하지 못함)

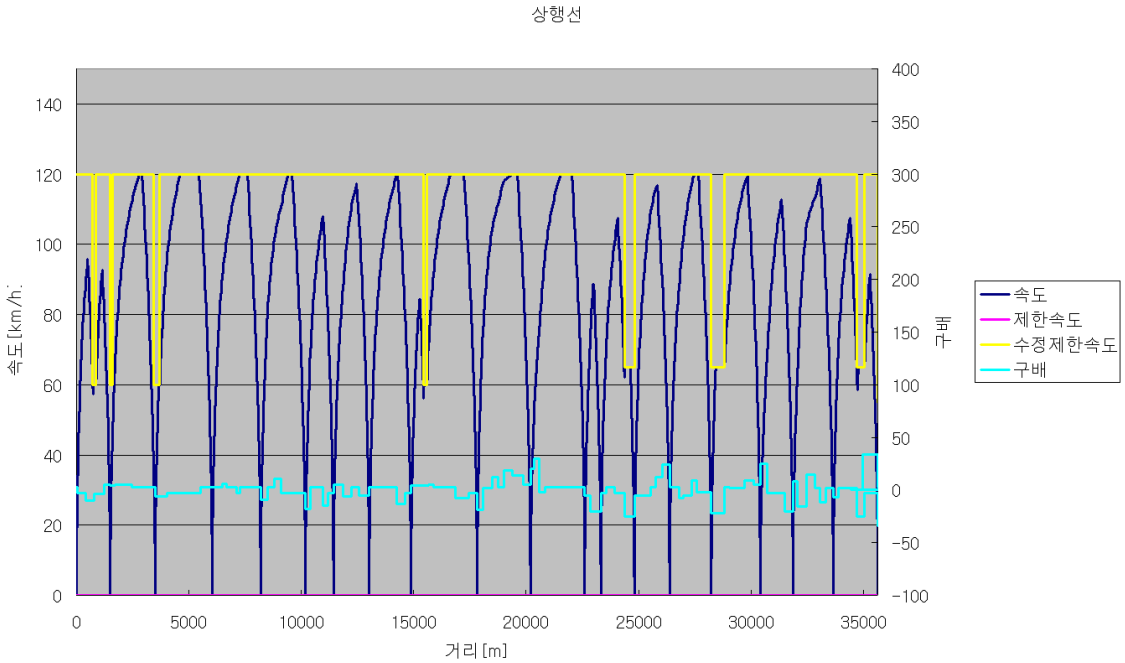


Fig. 3.4.11 case 5, 변경된 모타 추진 특성을 사용(역간 거리가 2배로 넓어져서 대부분의 경우 최고 속도가 120km/h에 도달하고 있음)

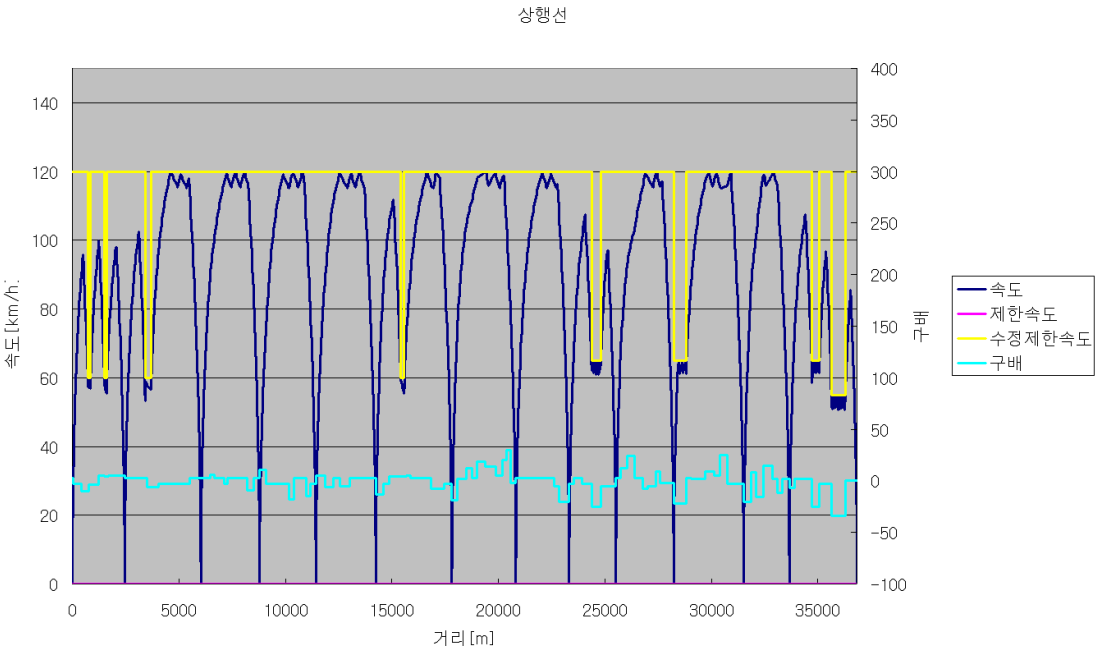


Fig. 3.4.12 case 6, 변경된 모타 추진 특성을 사용(역간 거리가 3배로 넓어져서 대부분의 경우 최고 속도가 120km/h에 도달하고 있음)

■ 시뮬레이션 상세 결과 (별첨 파일)

Table 3.4.6 각 시뮬레이션 별 상세 결과 파일

Case	별첨 텍스트 출력 파일 명	별첨 운행 곡선 그라프 파일
1	text1	graph1
2	text2	graph2
3	text3	graph3
4	text4	graph4
5	text5	graph5
6	text6	graph6

③ 결과 분석

■ Table 3.4.3 및 Table 3.4.4에서 보듯이 역사 간 평균거리가 운행 속고를 증가시키는데 결정적 요소가 된다. 그러나 노선이 정해지면 역사 또한 정해지므로 시스템 설계자로서는 이 부분에 대해 선택의 폭이 크지 않다.

■ 변경된 모터 추진특성을 적용할 경우 평균 속도의 증가는 6~11%로 크게 영향을 주지 않는다. 그러나 추진에 소요되는 전력량은 30% 이상 소요된다. 비록 추진전력량에서 회생전력량을 뺀 순수 공급전력량은 거의 변화 없다하여도 이는 회생 시스템의 효율, 운전 시격 등에 영향을 받으므로 모터 추진특성 변경 시에는 전력공급시스템 용량 검토도 함께 수행되어야 한다.

노선의 선형을 개량하면 혹은 틸팅시스템을 적용하면 속도 향상을 기할 수 있다. 한 예로 아래 Fig. 3.4.13은 불광역에서 새절역까지의 주행곡선을 보여준다. 운행최고속도는 120km/h 이나 2번에 걸쳐 60km/h로 운행최고 속도가 제한되었으며 이로 인해 운행시간이 늘어나게 됨을 보여준다. 이것은 2개의 구간에 곡률반경이 268m, 298m 이기 때문이다. 곡률반경이 300m 이하가 되면 최대 운행 최고속도가 60km/h로 제한된다.

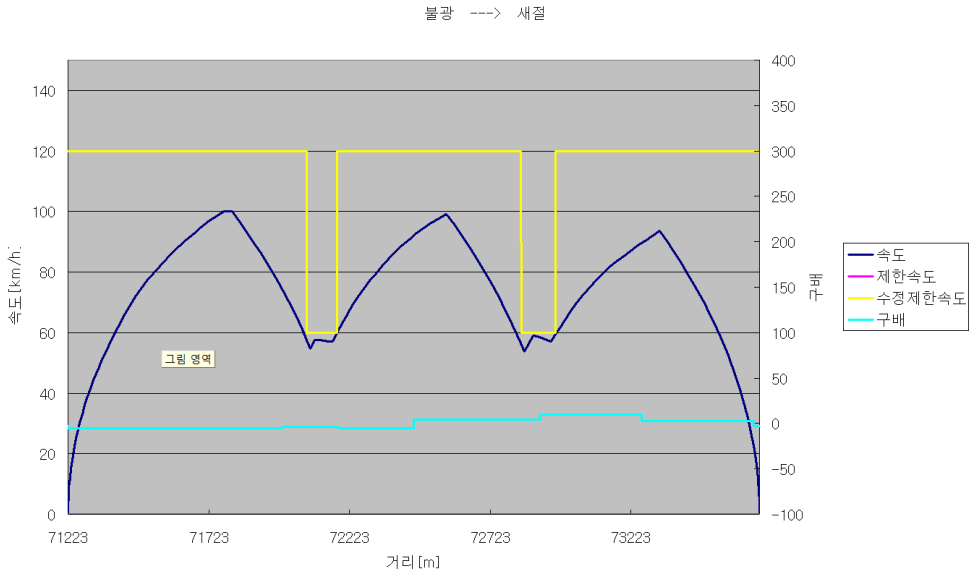


Fig. 3.4.13 불광여겡서 새절역까지의 주행곡선

제 4 장 실용화를 위한 전략수립 및 Test Bed 구축계획 제시

1 절 실용화를 위한 관련 법 제·개정(안) 도출

1. 개요

현재 우리나라에서 국책과제로 수행하고 있는 철도기술연구개발사업은 기술개발에 중점 목표를 두고 사업을 추진하고 있다. 기 기술개발사업이 수행된 한국형고속전철 기술개발사업, 표준전동차기술개발사업, 한국형경전철기술개발사업, 틸팅열차기술개발사업, 도시형자기부상열차기술개발사업, 차세대전동차기술개발사업, 차세대고속열차기술개발사업, 바이모달트램기술개발사업, 무가선트램기술개발사업 등 대부분의 기술개발사업은 차량기술개발을 추진하여 시운전시험을 수행 한 후 종료 되었다.

국가연구기술개발사업 수행 후 실용화된 사례를 살펴보면, 한국형고속전철의 경우는 호남선 전라선 등의 소요로 실용화가 이뤄졌으며, 표준전동차의 경우는 광주, 대전, 인천 등의 광역시에서 중형전동차의 소요로 실용화가 가능했고, KAGT 한국형경전철의 경우는 부산 도시철도 4호선에 소요에 의해 실용화가 되었다. 하지만 실용화 된 것은 정부의 정책이나 계획에 의해 된 것이 아니라 대부분 개발기술 후에 자체적인 소요에 의해 실용화가 된 것이다.

그 외 대부분의 연구기술개발사업은 정부의 제도적 실용화 정책이나 법령이 수립되어 있지 않아 기술개발 후 개발된 기술이 활용되지 못하고 있다. 대표적인 사례로 틸팅열차, 차세대전동차, 차세대고속열차, 바이모달트램, 무가선트램 등은 실용화 계획이 없어, 연구기술개발 된 차량의 기술이 사용되고 못하고 있는 상태이다.

본 연구에서는 국내외 철도차량기술개발 및 실용화 현황과 우리나라에서 국가 R&D 과제로 수행되는 연구기술개발사업의 관련 법령의 체계를 살펴 보고자 한다. 아울러서 국가연구기술개발사업으로 개발 된 철도차량의 실용화를 위한 관련 법규 제 · 개정 방안(안)을 도출 하고자 한다.

2. 국내외 철도차량기술개발 및 실용화 현황

(1) 개요

우리나라에서 국가 R&D 과제로 수행된 한국형고속열차기술개발사업, 표준형전동차기술개발사업, 한국형경량전철기술개발사업, 틸팅열차기술개발사업, 무가선트램기술개발사업, 도시형자기부상열차기술개발사업 등 대부분의 철도차량기술개발은 연구개발이 완료 된 이후에는 사업이 종료된다.

따라서, 개발되는 철도차량은 한국철도공사 등 운영기관의 소요에 의해 상용화가 되고 있어, 국책연구개발사업과 실용화는 별개로 추진되고 있다. 실제로 국가연구개발사업으로 기술개발 되어 실용화된 차량은 한국형고속열차, 표준전동차, 한국형경량전철 등으로 많은 국가연구개발사업에 비하여 실적이 미흡한 상태이다. 그 외 개발된 차량은 운용할 노선이 없어, 실용화는 기대하기 어려워 차량기술개발과 실용화 사업이 비효율적으로 이뤄지고 있다.

선진국에서는 철도차량이 개발 시는 운용될 노선에 맞는 차량시스템 요구사항을 정의하고, 그에 적합한 차량시스템을 기술개발 하여, 성능시험과 시운전시험을 통해 차량, 시스템 및 인프라의 성능, 기능, 신뢰성, 안전성 등에 대한 검증을 시행한 후 양산품을 제작하여, 상업운영에 투입하는 과정으로 수행하고 있는 것으로 조사 되었다.

즉 노선 신규노선 건설 또는 기존노선에 신규차량 소요가 결정되면, 신규 소요차량에 대한 차량 요구기술사양을 정의하여 신규차량을 기술개발 함으로써 개발된 차량은 곧 실용화(상용화)로 이어져 효율적인 기술개발이 추진되고 있는 것으로 조사 되었다.

(2) 국내외 철도차량 기술개발 및 실용화 현황

①우리나라의 철도차량기술개발사업 및 실용화 현황

Table 4.1.1에 나타나 있는 바와 같이 정부 국책과제로 수행된 10개의 철도차량 R&D 개발사업은 모두 계획대로 추진되어 연구개발의 목적을 대부분 성공적으로 달성한 것으로 조사 되었다.

Table 4.1.1 국가철도차량기술개발사업 및 실용화 현황

사업명	정부기관	주관기관	기간	수량	연구비	현재 상태	실용화
도시자기부상열차	미래과학창조부	기계연구원	1994~1998	1편성(2량)	180억원	대전엑스포 전시 후 폐기	X
	기획재정부		1999~2002	1편성(2량)	-	한국기계 시험선 보관	X

한국형고속전철	국토교통부 산업통상자원부 미래과학창보부	철도기술연구원	1996~2002	1편성(7량)	2100억원	국제입찰 : 한국철도공사 KTX 산천 190량 공급	O
			2002~2007	시운전	515억원		
한국형표준전동차	산업통상자원부	철도기술연구원	1995~1998	1편성(6량)	344억원	입찰 : 광주/대전 지하철 공급	O
			1999~2005	시운전			
한국형고무차륜형식경량전철	국토교통부	철도기술연구원	1999~2002	1편성(2량)	503억원	입찰 : 부산반송선 102량 공급	O
			2002~2005	시운전			
한국형틸팅열차	국토교통부	철도기술연구원	2001~2006	1편성(6량)	400억원	시운전 후 보관 중	X
			2007~2010	-	376억원		
도시자기부상열차실용화	기획재정부	(주)로템	2003~2006	1편성(2량)	123억원	대전과학공원 운용 중	X
		기계연구원	2006~2008	4편성(2량)	4,500억원	인천국제공항 시범노선건설 중	X
바이모달저상관절차량	국토교통부	철도기술연구원	2003~2009	1량(CNG)	435억원	밀양 한국화이버 시운전 중	X
			2008~2010	1량 (연료전지)			
차세대전동차	국토교통부	철도기술연구원	2005~2011	1편성(6량)	522억원	대불공단 시험선에서 시운전 중	X
차세대고속전철	국토교통부	철도기술연구원	2007~2012	1편성(6량)	960억원	경부고속철도에서 시운전 중	X
무가선트램	국토교통부	철도기술연구원	2009~2013	1편성(5량)	369억원	오송시험선 시운전 중	X

하지만, 개발된 차량의 실용화에 대한 정부 정책이나 법령 등 제도적인 추진방안이 준비되어 있지 않아 연구개발 이후에 운영기관이나 지자체의 철도차량 소요에 의해 단지 3개의 기술개발사업만이 상용화가 이뤄졌다. 그러나 나머지 7개의 완료된 기술개발사업은 실용화 사업 계획이 없어 개발기술이 활용되지 못하고 있다. 아울러서 현재 개발 중인 광역철도용 2층 전동객차 및 고속화물열차 의 경우에도 실용화 사업 계획이 준비되어 있지 않은 상태이다.

따라서 이번에 기획되는 “광역철도용 2층 전동객차 적용을 위한 기술개발 기획연구” 에서는 연구기술개발뿐만 아니라 실용화에 대한 방안을 수립하여 법령에 대한 제·개정을 통해 사업을 수행 할 필요성이 절실히 요구되고 있다.

②외국의 철도차량기술개발 및 실용화 현황

외국의 철도차량 기술개발 및 실용화 현황이 대하여 Table 4.1.1에 나타나 있다.

Table 4.1.1에 따르면 외국의 철도운영기관은 상업운영을 노선을 선정하고, 대상 노선에서 운용될 차량시스템 요구사항을 정의하여 차량을 개발하고 있는 것으로 조사되었다.

Table 4.1.2 외국의 철도차량 기술개발 및 실용화 현황

사업명	운영기관	기술개발기관	기술개발목적	개발상태	실용화
WIN350	서일본철도	서일본철도	300km/h로 산요신간선서 운용	완료	산요신간선에서 신간선 500계로 운행
신간선 700계	도카이도철도	도카이도철도	285km/h로 하카타~도쿄신간선 운용	완료	하카타~도쿄신간선에서 운행
신간선 800계	큐슈철도	큐슈철도	280km/h로 규슈신간선 운용	완료	규슈신간선에서 운용
FASTECH 360	동일본철도	동일본철도	360km급 고속열차 기술개발	완료	신간선 E5계로 도호쿠신간선에 운행
TGV-POS	SNCF	알스톰사	320km로 고속열차 기술개발 유도전동기/집중식/관절차체	완료	파리~스트라스브르그 노선 운용
AGV	SNCF	알스톰사	360km급 고속열차 기술개발 동기전동기/분산식/관절차체	완료	이탈리아 밀라노~나폴리 노선 AGV 이탈로 운용
ICE 3	DB	지멘스	320km/h로 퀼른~프랑크프르트 노선 운용	완료	퀼른~프랑크프르트 노선 운용
ICE T	DB	지멘스	250km/h로 기존선 운용을 위한 틸팅차량	완료	함브르그~뮌헨 노선에서 운영
Velaro E	스페인철도	지멘스	350km/h 스페인철도 운용	완료	바로셀로나~레알마드리드 노선에서 운영
CHR380A	중국철도	중국철도차량사	CHR2A(E-1000) 250km/h를 380km/h로 개량	완료	북경~하얼빈에서 운영
CRH380BL	중국철도	중국철도차량사	CHR3C(Velaro) 350km/h를 380km/h로 개량	완료	북경~상하이에서 운영
Pandolino	중국철도	알스톰사	250km/h로 기존선 속도 향상	완료	CHR5로 북경~하얼빈에서 운용
CHR500	중국철도	중국철도차량사	400km/h급 고속열차 자체기술개발	완료	상하이~북경노선 등에서 운영예정
ETR500	이탈리아철도	안살도	300km/h 집중식 고속열차 기술개발	완료	피렌체~로마 노선에서 운영
ETR480	이탈리아철도	안살도	250km/h 틸팅열차	완료	밀라노~로마 등의 노선에서 운용

Table 4.1.2에 나타나 있는 기술개발 된 차량은 실용화가 되어 상업운용노선에서 운용되고 있다. WIN 350은 서일본철도에서 산요신간선의 운용을 목적으로 350km/h급으로 개발하여, 실제 차량은 신간선 500계로 불리며, 300km/h로 상업운

용을 시작하였다. Fastech 360은 동일본철도에서 360km/h급 열차로 기술개발 하여, 신간선 E5계로 도호쿠신간선에서 320km/h로 운행하고 있다.

알스톰사가 개발한 AGV는 유럽철도네트워크에 운용을 위하여 360km/h급 동력분산식으로 개발한 차량으로 밀라노~나폴리 노선에서 360km/h로 운용하고 있다. Pandolino는 북경~하얼빈 노선에서 CHR 5 차량으로 제작되어 운용 중에 있다.

중국의 CHR380A는 CHR2A(E-1000, 신간선)를 열차의 속도를 250km/h에서 380km/h로 증속하여 개발한 차량이며, 북경~하얼빈 노선에서 운용중이고, CRH380BL는 CHR3C(Velaro)의 350km/h를 380km/h로 증속하여, 상하이~북경 노선에서 운용하고 있다. CHR500은 중국철도가 자체적으로 400km/h 운용을 위해 개발하는 차량으로 고속철도 노선에서 운영하게 되어 있다.

그 외에 신간선 700계, 800계, TGV-POS, ICE 3, ICE T, Velaro E, ETR 480, ETR 500 등은 계획된 노선이나, 기존노선에 운영을 위해서 기술개발 된 차량이다.

앞에서 살펴 본 바와 같이 외국의 대부분의 철도차량의 기술개발은 운용될 노선을 정의 하고, 그 노선에 적합한 차량시스템 요구사항을 정의하여, 차량을 개발함으로써 실용화를 위해 차량기술개발이 체계적으로 이뤄지고 있음을 알 수 있다.

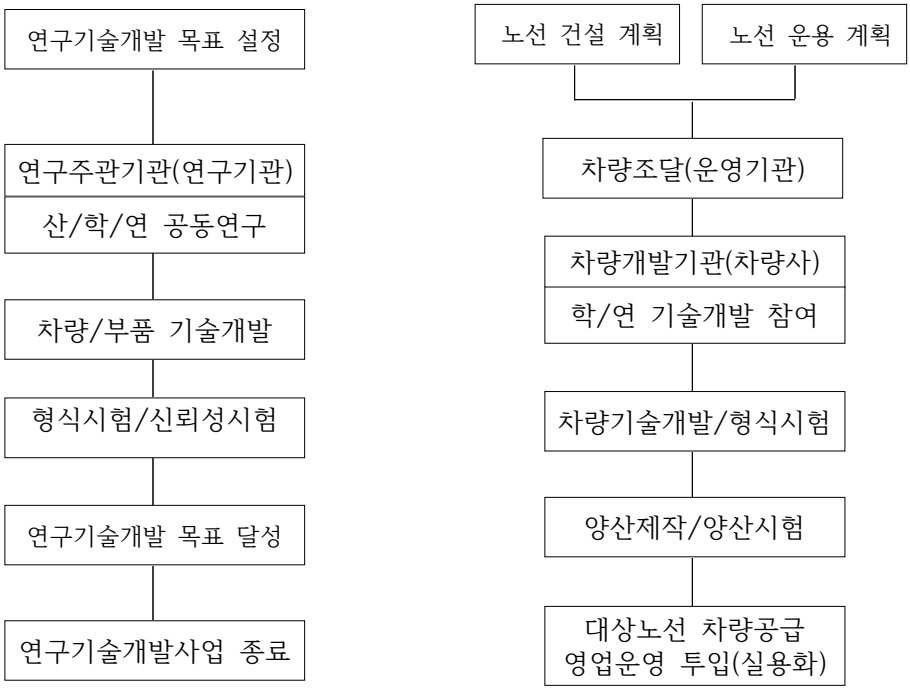
(3) 국내외 철도차량기술개발 및 실용화 현황 분석 및 검토 의견

Table 4.1.1에 나타나 있는 바와 같이 우리나라의 철도차량기술개발은 대부분 기획연구를 통해 차량의 연구기술개발 목표를 설정하고, 철도차량기술개발사업단(연구기관)을 선정하여 차량에 대한 연구기술개발을 수행하여, 차량의 시스템의 형식시험과 신뢰성 시험(시운전)을 통해 연구기술개발의 목표가 달성되면 사업이 종료되는 과정으로 추진되고 있다.

즉 국가 R&D 과제로 기술개발 된 철도차량은 특정 노선에서 상업운영을 위한 실용화는 고려되고 있지 않는 것으로 조사 되었다.

주요 외국의 경우는 철도차량기술개발은 새로 건설되는 노선 또는 기존 노선에 새로운 서비스 계획을 수립하고, 각 노선에 적합한 차량에 대한 조달을 통해 기술개발기관(차량제작사)을 선정하여 차량기술개발을 추진해 각종 부품과 시운전 형식시험을 통해 시스템 성능과 기능을 검증하고, 시험내용에 의거 보완을 실시해 양산차량에 반영하여 제작 공급해, 대상 노선의 상업운영을 위해 투입한다. 즉 차량기술개발은 상업운영 노선에 투입(실용화)을 목표로 하고, 차량기술개발과 상용화(실용화)를 동시에 추진하고 있는 것으로 조사되었다.

따라서 본 기획과제로 제안되는 “광역철도용 2층 전동객차 개발”은 실용화를 전제로 기술개발이 수행되도록 관련 법규의 제 · 개정이 필요한 것으로 검토 되었다.



우리나라의 연구기술개발 흐름도　　선진국의 차량기술개발 흐름도

Fig. 4.1.1 국내외 철도차량기술개발 및 실용화 흐름도

3. 국가연구개발 관련 법규 체계 및 실용화 관련 내용 조사

(1) 개요

우리나라에서 국가 R&D 과제로 기술개발 되는 철도차량의 실용화 방안을 도출하기 위하여, 국가연구개발 관련 법규 체계를 검토 하였다.

철도차량시스템에 속도향상, 신기술, 첨단기술, 특수기술 등을 적용하여, 선진국과 경쟁력 있는 철도차량에 대한 연구기술개발을 추진하기 위한 국가연구개발 관련 법규는 미래창조과학부의 “과학기술기본법(법률 제12869호, 2014. 12. 30)”과 그 법의 하위법령인 “국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정(대통령령 제25544호, 2014. 8. 12)”, “국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(훈령 제9999호, 2013. 8. 13)” 그리고 “철도산업발전기본법”을 검토하였다.

(2) 국가연구개발 법규 체계 및 실용화 관련 내용 검토

①국가연구개발 법규 체계

우리나라의 국가연구개발 법규 체계 구성은 가장 상위법이 과학기술기본법(법률 제12869호)으로 되어 있고, 그 하위 법령으로 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규

정(대통령령 제25544호) 및 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(훈령 제9999호)이 있다. 국가연구개발법규 체계는 Fig. 4.1.2에 나타나 있다.

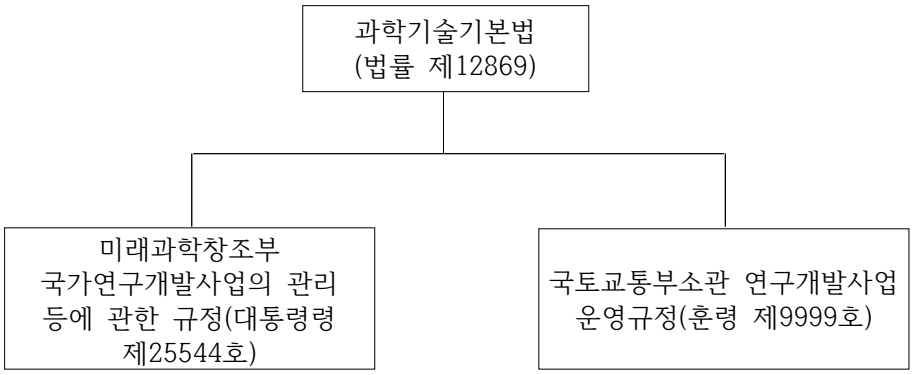


Fig. 4.1.2 국가연구개발법규 체계 및 실용화 관련 내용

②국가연구개발 법령의 주요 내용 검토

국가연구개발 관련 법령에 대하여 목적, 연구개발성과 활용 등에 대한 주요 내용을 아래와 같이 검토하였다. 이는 과학기술기본법, 미래과학창조부 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정(대통령령 제25544호) 및 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(훈령 제9999호)에 대하여 연구개발의 목적 및 범위, 연구개발성과 소유 및 활용 등의 실용화 관련 주요 내용을 아래와 같이 조사하였다.

○ 과학기술기본법

- 목적 :
  . 제1조(목적) : 과학기술발전 기반을 조성하여 과학기술 혁신으로 국가경쟁력 강화
- 과학기술연구개발 추진 및 연구개발성과의 활용 :
  . 제11조(국가연구개발사업)-① : 각 부처에서 기본계획에 따라 국가연구개발사업과 시책을 세워 추진
  -②-4 : 연구개발로 얻은 지식 및 기술 등을 공개해 성과 확산하고, 실용화 촉진
  . 제11조의3(국가연구개발사업성과의 소유·관리 및 활용촉진)-③ : 연구개발사업성과의 소유, 관리 및 활용촉진은 대통령으로 정함
  . 제16조의3(연구개발성과의 확산, 기술이전 및 실용화) : 연구개발성과의 확산, 기술이전 및 실용화 촉진을 위한 각 기관, 기업, 학교, 단체 등에 관련 사업 수행에 비용 전부 또는 일부 출연 보조할 수 있다.

○ 미래과학창조부 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정(대통령령 제25544호)

– 목적 :

· 제1조(목적) : 과학기술기본법 제11 및 제16조에 따른 국가연구개바사업의 기획, 관리, 평가 및 활용 등에 필요한 사항 규정

– 연구개발성과의 귀속 및 활용촉진

· 제21조(연구개발성과의 활용촉진) : 연구개발성과는 소유기관장 또는 전문기관장은 연구개발성과를 대상으로 기술실시계약 체결 등 연구개발성과 활용에 필요한 조치-->참여기업 또는 정부에서 그 외자가 실시할 필요가 인정하는 경우

– 기술료의 징수 및 사용 ;

· 제22조(기술료의 징수)-3 : 대기업 정부출연금의 40%

· 제23조(기술료의 사용)-3 : 연구개발 재투자, 기관운영경비 등

○ 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(훈령 제9999호)

– 목적 :

· 제1조(목적) : 과학기술기본법 등 철도관련 법에 따른 국토교통부소관 연구개발사업을 효율적으로 운영, 관리하기 위하여 필요한 세부 사항 정함

– 연구개발사업의 범위 :

· 제3조(연구개발사업의 범위)-3 : 자동차, 도로, 철도, 항공 등 교통분야의 구개발

– 연구개발성과의 소유와 활용

· 제41조(연구개발결과물의 소유) : ① 연구개발결과물 등은 주관연구기관 또는 협동연구기관장 소유

· 제42조(연구개발결과물의 촉진) : ① 소유기관과 전문기관은 연구결과물 대상 기술실시계약 맺는 조치를 취해야 함. 기술실시 능력이 있는 자를 계약체결 대상자 우선 고려

⑤ 기술이전, 사업화 업무전담조직구성 운영/기술이전, 사업화 촉진에 관한 법률 의거

⑥ 개발된 기술 활용 촉진을 위해 후속 연구개발, 사업화 지원, 전문회사의 육성, 인프라 운영지원 등의 사업을 추진할 수 있다.

· 제43조(기술실시계약) : ① 연구개발결과물 소유기관은 참여기업 등 활용하고자 하는 자와 기술실시계약을 맺어야 한다.

③-4 그 밖에 정부가 참여기업 외자 실시할 필요가 있다고 인정하는 경우

・제44조(기술료의 징수)-3 : 대기업 정부출연금의 40%

・제46조(기술료의 사용)-3 : 연구개발 재투자, 기관운영경비 등

(3) 국가연구개발법규의 실용화 관련 내용 검토 및 분석

①국가연구개발에 대한 절차

국가연구개발에 대한 수행절차 흐름도가 Fig. 4.1.3에 나타나 있다. 국가과학기술기본법에서는 연구개발사업 대상에 대한 타당성조사를 통해 수행하도록 되어 있으며, 연구개발성과의 확산, 기술이전 및 실용화를 위한 시책을 추진하도록 되어 있고, 연구개발성과의 실시권 계약을 체결하여 기술료 징수를 추진하는 절차를 거친다.

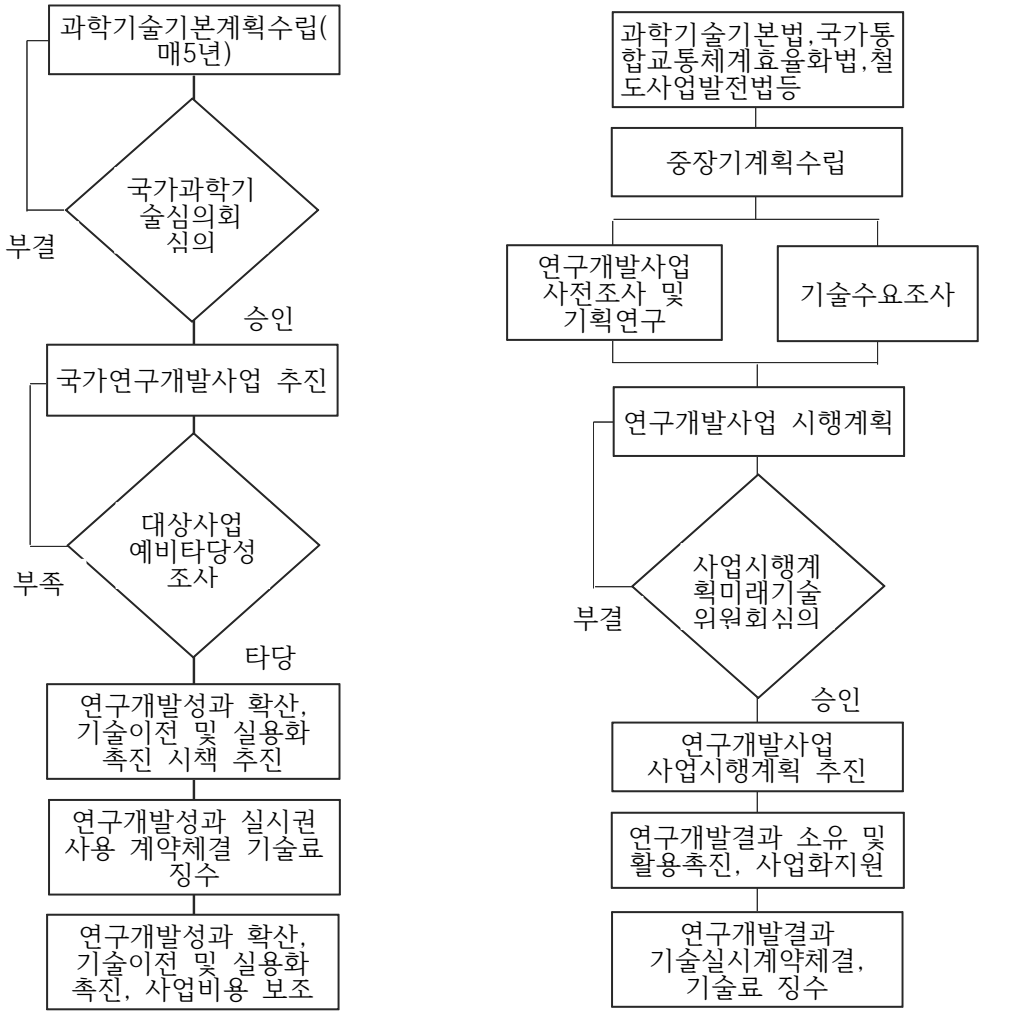


Fig. 4.1.3 국가연구개발사업 수행절차 흐름도

국토교통부 연구개발사업 운영규정에는 중장기계획을 세우고, 연구개발사업 사전조사와 기획연구, 기술수요조사를 통해 연구개발사업 시행계획을 세워 미래교통위원회 심의를 거쳐 연구개발사업 시행계획을 추진하고, 연구개발결과에 대한 기술이전 사업화 활용 촉진을 통해 기술실시계약을 체결하여 기술료를 징수의 절차를 거친다.

4. 실용화를 위한 관련 법 제·개정(안) 도출

(1) 개요

우리나라는 과학기술기본법에 따라 국가연구개발로 수행된 철도차량기술개발사업은 철도차량이 연구개발에 성공으로 판정 후, 연구개발결과 활용 촉진은 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(훈령 제9999호)에 “사업화 지원”의 사업을 추진할 수 있도록 되어 있다.

그러나 앞에 제4장 2절-2)-나)-(1)항의 “우리나라 및 외국의 철도차량 기술개발 및 실용화 현황”과 Table 4.1.1에 국가 철도차량기술개발사업 및 실용화 현황에 나타나 있는 바와 같이 대부분의 사업은 연구개발 후 실용화로 이어지지 못하고 있다. 일부 운영기관의 자체 소요에 따라 조달을 통해 KTX 산천, 표준형전동차 및 KAGT 한국형고무차륜경전철 상업노선에 투입되었다.

하지만, 해외의 경우는 신설노선에 투입되는 차량과 기존 노선에 투입할 목적으로 차량을 조달하면서 차량을 개발하여 상용노선에 투입함으로서 상용화가 이뤄지고 있다.

본 기획과제로 추진될 광역철도용 2층 전동객차를 국가연구개발사업으로 추진 후에 실용화를 위한 사업화 지원 방안에 대하여, 우리나라 국가연구개발사업 법령에 따른 개선방안과 외국에서 추진하고 있는 프로젝트에 대한 지원방안에 검토하여 제시하고자 한다.

(2) 국가연구개발 결과의 실용화 지원방안

①국가연구개발 결과의 실용화 촉진을 위한 법령 개정 방안

국가연구개발사업으로 수행하여 기술개발에 성공한 철도차량에 대하여 실용화 촉진을 위하여 과학기술기본법의 제16조의 3-2 또는 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정(훈령 제9999호)의 제42조-6에 명시된 사업화 지원에 따라 기업 또는 운영기관에 사업의 규모에 따라 실용화 촉진을 위한 사업화 자금을 일정기간에 동안 지원하는 연구개발결과의 실용화 촉진법령을 제정하는 방안을 제시한다.

■ 실용화를 위한 법령 개정 방안

국가연구개발사업으로 기술개발에 성공한 연구개발결과 실용화를 위한 법령 개정 방안은 Table 4.1.3에 나타나 있는 바와 같이 과학기술기본법의 제16조의 3(연구개발성과의 확산, 기술이전 및 실용화)-2 또는 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정의 제42조(연구개발결과의 활용 촉진)-6에 규정되어 있는 연구개발결과 활용 촉진을 위해 사업화 지원할 수 있도록 되어 있다.

따라서 이항에 추가하는 연구개발결과의 실용화 촉진을 위하여 사업화 지원을 위한 내용으로 개정 방안을 수립하였다.

Table 4.1.3 국가연구개발 결과 실용화를 위한 법령 개정 방안

관련 법명	개정 전	개정 후	비고
과학기술기본법의 제16조의 3(연구개발성과의 확산, 기술이전 및 실용화)	2 중앙행정기관의 장은 제1항의 시책에 따른 사업을 추진할 수 있으며, 기업, 교육기관, 연구기관 및 과학기술 관련 기관·단체 등에 관련 사업을 수행하게 하고 해당 사업 수행에 드는 비용의 전부 또는 일부를 출연하거나 보조할 수 있다.	2 중앙행정기관의 장은 제1항의 시책에 따른 사업을 추진할 수 있으며, 기업, 교육기관, 연구기관 및 과학기술 관련 기관·단체 등에 관련 사업을 수행하게 하고 해당 사업 수행에 드는 비용의 전부 또는 일부를 출연하거나 보조할 수 있다. 연구개발성과 실용화 촉진을 위하여 사업화 지원에 필요한 세부 사항은 대통령령으로 정한다.(또는 세부 시책을 세워 추진한다.)	내용추가
국토교통부소관 연구개발사업 운영규정의 제42조(연구개발결과의 활용 촉진)	6 장관은 개발된 기술의 활용을 촉진하기 위하여 개발된 기술의 후속 연구개발, 사업화 지원, 전문회사의 육성, 인프라 운영지원 등의 사업을 추진할 수 있다.	6 장관은 개발된 기술의 활용을 촉진하기 위하여 개발된 기술의 후속 연구개발, 사업화 지원, 전문회사의 육성, 인프라 운영지원 등의 사업을 추진할 수 있다. 연구개발결과의 실용화 촉진을 위하여 사업화 지원에 대한 내용은 별표 5와 같다.	내용추가

■ 실용화를 촉진을 위한 사업화 지원 방안(안)

Table 4.1.4 별표 5 연구개발결과 실용화를 촉진을 위한 사업화 지원 방안(안) 수립하였다. 사업화 를 위한 지원방안(안)의 주요 내용은 국가연구개발사업으로 성공한 결과물에 대하여 사업화를 위하야 기업은 생산시설 투자비용과 공공기관에서 공공사업용으로 조달되는 구입비용을 무상과 유상지원을 위해 3,000~5,000억원 규모의 사업화 자금을 확보와 기술료 징수를 면제하는 방안을 제시한다.

Table 4.1.4 연구개발결과 실용화를 촉진을 위한 사업화 지원 방안(안)

구분	사업화 지원 내용	비고
지원 대상	- 연구개발결과의 사업화를 위한 생산시설 및 시험시설 투자에 소요되는 자금의 지원 - 연구개발결과의 사업화를 위해 공공사업용으로 공급되는 제작품 구입비용의 지원	
사업화 자금 지원 및 운용	- 사업화 자금 운용 규모 : 3,000~5,000억원 - 지원 대상 : 과학기술기본법,연구개발사업 운영규정 등에 따라 국가연구개발사업의 성공으로 평가된 결과물 - 지원범위 : . 사업화를 하기 위한 생산, 시설, 시험 등의 시설 투자 자금 . 공공사업용으로 운용되는 제품의 조달 자금 - 지원방안 : . 무상지원 : 총사업비의 20~30% 규모에 따라 차등지원 ‘ . 유상지원 : 총사업비의 30~40% 규모에 따라 차등지원 - 지원한도 : . 기업 : 300~800억원 . 공공기관 : 2,000~3,000억원 - 융자조건 : 8년 거치 및 공공대출금리 0.553% 차감 .	
기술료 면제	- 실용화 촉진을 위해 사업화 되는 제품의 기술료 징수 면제	

(3) 철도산업발전기본계획과 철도차량기술개발의 연계 수행방안

① 개요

철도산업발전기본법 제5조에는 국토교통부장관은 철도산업의 육성과 발전을 촉진하기 위하여 매 5년 단위로 철도산업발전기본계획을 수립하여 시행하도록 규정되어 있고, 동조 2-7항에는 철도기술의 개발 및 활용에 관한 사항이 규정되어 있다. 동법 제8조에는 국가는 철도산업의 육성·발전을 촉진하기 위하여 철도산업에 대한 재정·금융·세제·행정상의 지원을 할 수 있다.

본 연구개발성과 활용 촉진을 위해 철도산업발전기본계획 수립 시에 연구개발결과를 실용화 할 수 있도록 기본계획을 수립하고, 정부가 재정지원을 할 수 있도록 법규 개정 방안을 수립하고자 한다.

따라서 신규로 건설되는 노선이나 기존에 운영 중인 간선철도에 수송량 증대를 위해 신규 차량을 도입 시에 국가연구개발결과로 기술개발 완료된 철도차량을 제도적으로 활용하도록 하는 방안을 수립하여 제시 하고자 한다.

② 연구개발결과 사업화를 위한 철도산업발전기본법령의 개정 안

국가연구개발사업으로 기술개발 된 철도차량의 실용화를 위하여 철도산업발전기본법 제5조(철도산업발전기본계획의 수립 등) 항을 추가하여 기본계획 수립 시에 연구

개발결과 활용방안을 포함하여 수립하도록 하였다. 또한 동법 제8조(철도산업의 지원)에 실용화 사업을 위한 조달자금을 지원할 수 있도록 제시하였다.

Table 4.1.5 연구개발결과 사업화를 위한 철도산업발전기본법령의 개정 안

조항	개정 전	개정 후	비고
제5조 (철도산업발전기본계획의 수립 등)	①국토교통부장관은 철도산업의 육성과 발전을 촉진하기 위하여 5년 단위로 철도산업발전 기본계획(이하 "기본계획"이라 한다)을 수립하여 시행하여야 한다. ②기본계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. 1. 철도산업 육성시책의 기본방향에 관한 사항 2. 철도산업의 여건 및 동향전망에 관한 사항 3. 철도시설의 투자·건설·유지보수 및 이를 위한 재원확보에 관한 사항 4. 각종 철도간의 연계수송 및 사업조정에 관한 사항 5. 철도운영체계의 개선에 관한 사항 6. 철도산업 전문인력의 양성에 관한 사항 7. 철도기술의 개발 및 활용에 관한 사항 8. 그 밖에 철도산업의 육성 및 발전에 관한 사항으로서 대통령령이 정하는 사항 . . ⑦제6항의 규정에 의한 연도별 시행계획의 수립 및 시행절차에 관하여 필요한 사항은 대통령령으로 정한다.	①국토교통부장관은 철도산업의 육성과 발전을.. . . . ⑧국토교통부장관은 기본계획을 수립 하고자 할 때에는 과학기술기본법과 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정에 의해 기술 개발되는 철도차량의 활용방안을 포함시켜 수립하여야 한다.	추가
제8조(철도산업의 지원)	국가 및 지방자치단체는 철도산업의 육성·발전을 촉진하기 위하여 철도산업에 대한 재정·금융·세제·행정상의 지원을 할 수 있다.	①국가 및 지방자치단체는 철도산업의 육성·발전을 촉진하기 위하여 철도산업에 대한 재정·금융·세제·행정상의 지원을 할 수 있다. ②국가연구개발사업으로 기술개발 되는 철도차량의 실용화 사업을 위한 자금을 지원할 수 있다.	추가

2절 실용화를 위한 운영기관 역할 정의 및 구체적인 참여방안 마련

1. 개 요

국가연구개발사업으로 기술개발 된 철도차량은 대부분 연구개발사업이 완료 되어, 성공으로 평가를 받으면, 차량시스템의 안정화를 위해 약 3년 정도 시운전시험을 통해 각종 차량시스템의 성능 및 기능시험, 시스템 및 부품의 개선/보완, 시스템/부품의 신뢰성 평가 등을 수행하고, 사업이 종료된다.

과학기술기본법 및 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정에는 연구개발결과에 대한 활용 촉진 등의 규정이 있지만, 대부분 사업들이 종료되면 실용화, 사업화 등은 미미한 활동을 하고 있다. 사업관리기관은 연구개발결과의 사업화를 위한 기술계약과 기술료 징수에 관한 일들이 주 업무가 되고 있다.

본 항에서는 국가연구개발사업으로 기술개발 된 철도차량의 실용화를 위한 주무부처, 운영기관, 연구기관, 차여기업 등의 역할을 정의하고, 구체적인 실용화 활동에 대한 참여방안을 수립하여 제시하고자 한다.

2. 국가연구개발사업 운영기관 역할 정의

(1) 연구개발사업 추진 체계

우리나라의 철도차량의 연구개발사업은 과학기술기본법에 의해 추진되며, 사업의 운영관리는 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정을 따라 수행하도록 하고 있다.

Fig. 4.2.1에 철도차량 연구개발사업 추진 체계에 나타나 있는 바와 같이 국토교통부가 주관부처이고, 미래과학창조부와 산업통상자원부는 협조부처이다. 국토교통과학기술진흥원은 국토교통부로부터 국가연구개발사업에 대한 관리업무를 위임 받아 연구개발사업의 수행과 평가 업무를 수행한다. 주관기관은 대부분 연구기관이 수행하고 있으며, 철도차량의 기술개발사업은 한국철도기술연구원이 많은 사업의 주관기관을 담당하며 기술개발사업을 총괄하고 있다. 한편 차량의 기술개발, 차량 및 부품제작은 대부분 기업이 참여하여 수행하고 있다.

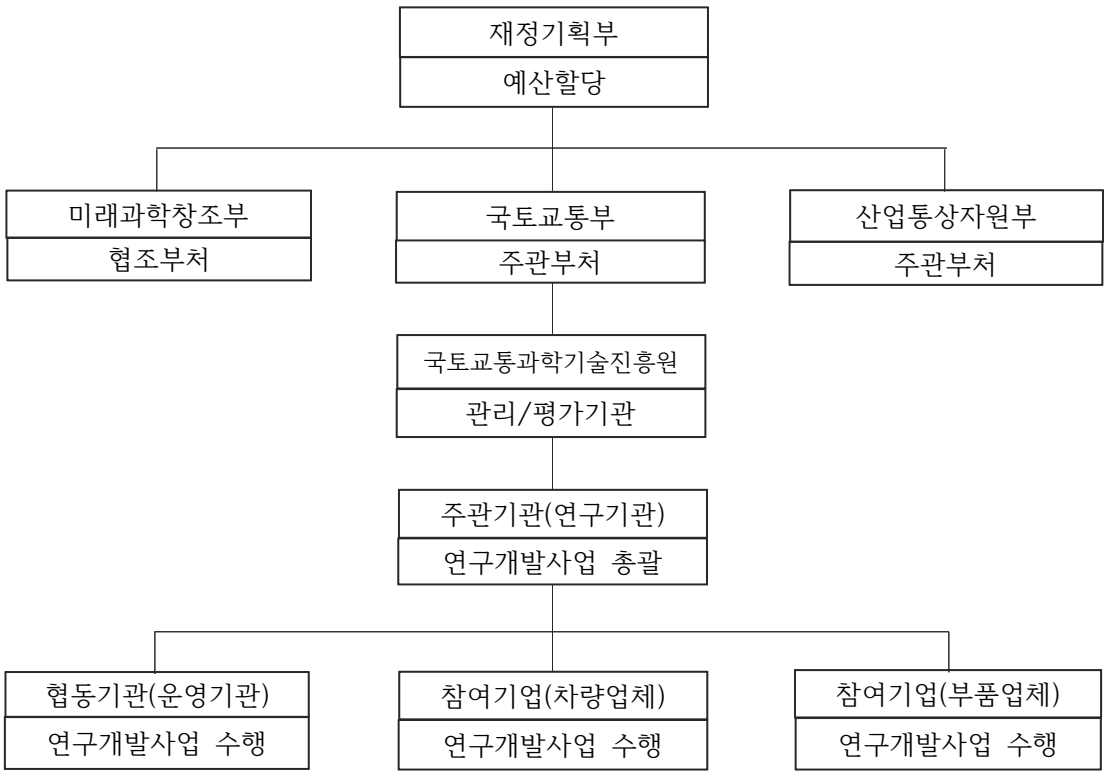


Fig. 4.2.1 철도차량 연구개발사업 추진 체계

(2) 실용화를 위한 운영기관 역할 정의 및 활동

Table 4.2.1에 철도차량 연구개발사업에 대한 정부기관. 사업운영/관리기관, 연구개발사업 주관기관, 협동기관, 참여기업 등에 대하여 역할 정의 및 활동 현황에 대하여 정리하였다.

Table 4.2.1에 나타나 있는 바와 같이 정부는 재정기획부에서 연구개발 예산을 할당하고, 미래과학창조와 산업통상자원부는 철도차량 연구개발사업의 개발되는 특성에 따라 일정한 연구개발비를 지원하고 있다. 국토교통부는 연구개발사업의 주무기관으로 예산 수립 및 확보와 실용화 사업을 추진한다. 운영관리기관인 국토교통과학기술진흥원은 연구개발사업 예산 수립, 운영/관리/평가, 기술이전, 실시계약, 기술료 징수 등을 수행하고, 연구개발사업의 주관기관인 한국철도기술연구원 등은 연구개발사업의 총괄, 차량 성능시험 및 시운전시험을 수행한다.

Table 4.2.1 철도차량 연구개발사업 정부 및 운영기관의 역할 및 활동

수행 기관	기관명칭	역할 및 활동내용	법규개정 및 개선 활동	비고
정부 기관	재정기획부	-연구개발 예산 할당	-개발된 철도차량의 사업화 예산의 할당	
	국토교통부	-연구개발사업 주무기관 -연구개발사업 예산 수립 및 확보 -실용화 사업 추진	-연구개발사업으로 개발된 철도차량 실용화가 가능 하도록 법규 개정 및 자금지원	
	미래과학창조부	-철도차량 연구개발사업 재정지원		
	산업통상자원부	-철도차량 연구개발사업 재정지원		
운영/ 관리 기관	국토교통과학 기술진흥원	-연구개발사업 예산 수립 -연구개발사업 운영/관리/평가 등 -연구개발결과 기술이전, 실시계약, 기술료 징수 등	-철도차량기술개발사업은 철도산업발전기본계획에 따라 소요되는 차량의 기술개발 시행 -국가연구개발사업으로 기술개발 된 철도차량을 실용화 사업예산 수립 및 시행	
주관 기관	연구기관 (한국철도기술 연구원, 기계연구원 등)	-연구개발 기획 업무 -연구개발사업 총괄 -핵심요소기술 연구 -철도차량 성능평가 및 시운전 시험		
협동 기관	코레일	- 차량운영방안 연구 - 시운전시험 지원	-사업화 노선 선정 및 차량도입계획(개발차량 활용) 수립 -또는 기존 운영차량 새로운 차량(개발차량 활용) 신규 도입계획 수립	
참여 기업	(주)현대로템	- 차체, 의장/차량설비, 주행장치, 추진/제어장치, 차량제어장치 등 기술개발		
	(주)우진산전	- 전장품기술개발		
	(주)유진기공	- 제동장치기술개발 - 연결기기술개발		
	(주)동양강철	- 알루미늄합금 형재개발		

협동기관인 코레일 등은 연구개발사업을 수행하면서 철도차량의 운영방안 수립과 기존 노선에서 시운전시험을 지원하고 있다. 참여기업은 차량개발, 추진장치, 주행장치, 전장품, 제동장치, 알루미늄 합금 압출형재 개발 등의 기술개발을 수행하며, 차량제작 업체인 (주)현대로템, (주)우진산전 등과 부품업체인 (주)유진기공, (주)동양강철, 대원강업, 캐리어 등이 참여하고 있다.

국가연구개발사업의 주무기관인 국토교통부는 철도산업발전기본법과 국토교통부소관 연구개발사업 운영규정을 개정하여 기본계획을 수립 시 실용화 사업을 포함하여

추진하도록 하고, 또한 사업화 자금을 지원할 수 있도록 하여야 한다. 아울러서 재정기획부는 사업화 추진을 위한 예산을 할당하여 원만한 실용화가 이뤄지도록 해야 한다.

(3) 실용화 사업의 구체적인 참여 방안

① 개요

국가연구개발사업으로 500~1,000억원 정도의 막대한 자금을 투자하여, 최신차량기술 적용 및 제작기술 향상 등으로 성능, 기능, 신뢰성 등이 향상시키는 차량시스템을 개발하고 있다. 그런데 대부분의 기술개발 된 차량은 개발에 성공한 후 안전성 및 신뢰성 향상에 대한 보완 연구기술개발 활동을 수행 후 대부분 실용화나 사업화로 이어지지 못하고 종료되고 있다. 대규모 자금을 투자하여 연구개발한 기술을 활용하지 못하는 사례가 빈빈하게 발생하고 있다.

이러한 일들은 부처 간에 업무가 체계적으로 이뤄지지 않아 일어나는 것으로써 법규나 제도를 개선하여 효율적으로 이뤄지도록 해야 한다. 국토교통부는 철도산업발전 기본계획을 수립부터 국가연구개발사업과 사업화를 일체화 시키는 계획이 수립되어 추진되어야 한다. 즉 기본계획 수립 시에 특정 노선의 신선 건설계획이나, 선로개량 계획을 수립 시에 도입 되어야 하는 차량 수와 차량시스템요구사항을 정의하고, 국가연구개발사업은 철도산업발전기본계획의 신선 건설이나 개량노선 또는 노후차량 대체 계획에 의거 소요되는 차량에 대해 기술개발계획을 수립하여, 연구개발사업과 사업화 예산을 수립하여 수행하여야 한다.

② 실용화 사업의 구체적인 참여 방안

Table 4.2.1에 나타나 있는 바와 같이 철도산업발전법의 기본계획과 국가연구개발서업을 연계시키는 방안이 도시되어 있다. 현재 국가연구개발사업은 국토교통부소관 운영규정에 의한 사전조사, 기획연구 및 기술수요 조사를 거쳐 시행계획 수립과 공모하여, 사업자를 선정해 차량기술개발을 실행하고, 시운전시험과 안정화사업을 거친 후 사업이 종료하였다. 따라서 실용화사업은 정부 예산이 운영기관에 지원되지 않아 개발된 철도차량이 실용화 하지 못하고, 비용을 많이 들여 개발된 기술이 사장되고 있다.

Table 4.2.2에 철도산업발전기본계획(또는 도시철도법)과 국가연구개발사업의 실용화사업 연계 방안에 제안되어 있는 바와 같이 철도산업발전기본법(도시철도법)의 따라 기본계획수립 시 신규건설노선 또는 선로 개량노선 또는 노후차량대체 계획 수립하여, 신규노선, 선로개량노선, 노후차량대체 등에 대한 차량시스템 요구사항 정의하여, 국가연구개발사업에서 차량시스템 요구사항에 따라 기술개발을 수행하여, 시운

전시험을 통해 성능과 기능을 검증하여, 신규건설노선 또는 선로개량노선 또는 노후차량대체 사업에 신규개발 된 차량을 투입하는 방안이 제시되어 있다.

국토교통부에서 철도산업발전기본법에 따라 기본계획수립 시 특정 신규노선 건설 및 선로 개량계획을 수립하고, 그 노선에 운영을 위한 차량시스템 요구사항을 정의하여 국가연구개발사업을 통해 차량을 개발하여 사업노선에 투입하는 방향으로 추진하는 방안이다.

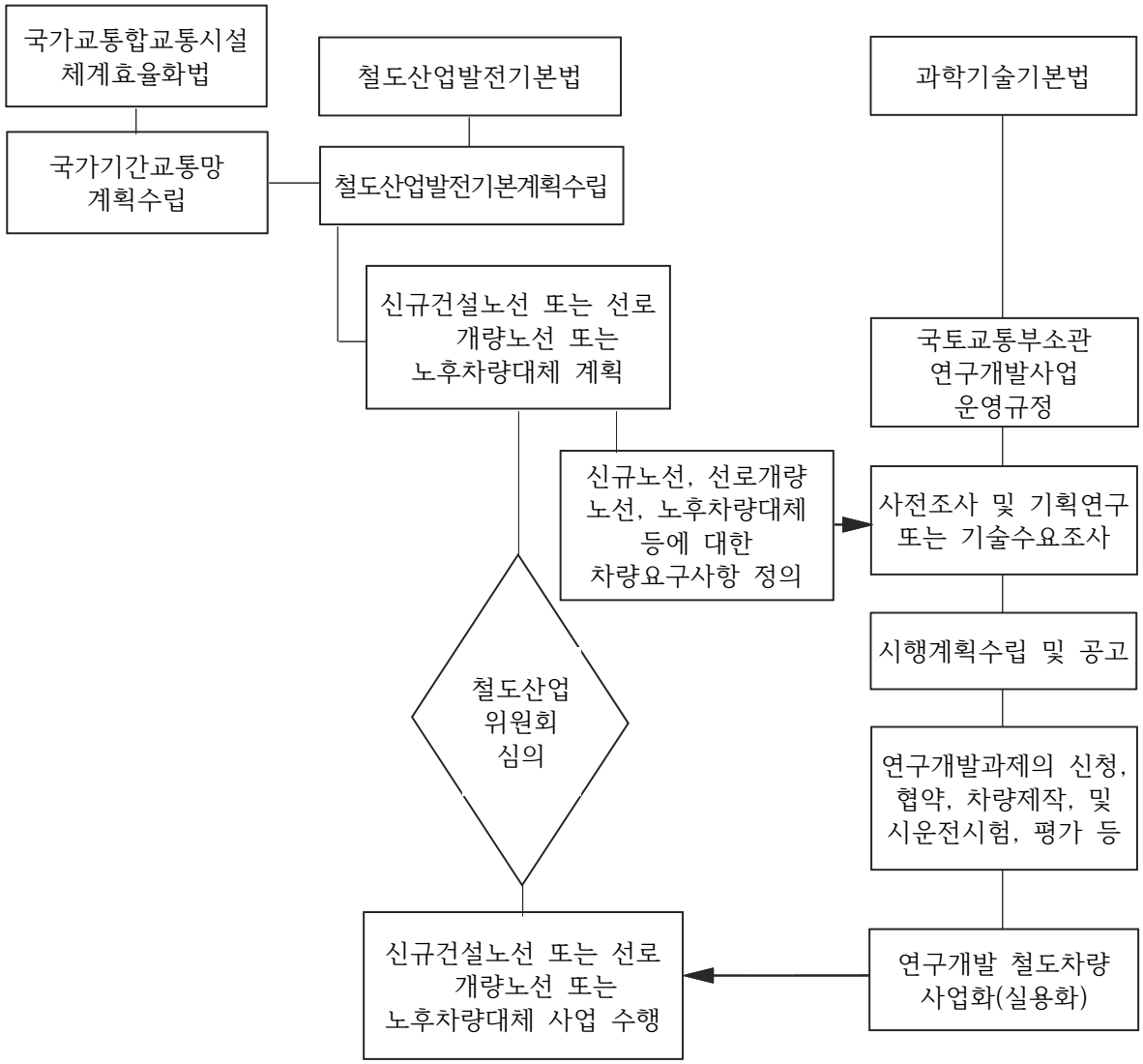


Fig. 4.2.2 철도산업발전기본계획(또는 도시철도법)과 국가연구개발사업의 실용화사업 연계 방안

③ 국가연구개발사업과 실용화 추진체계 수립

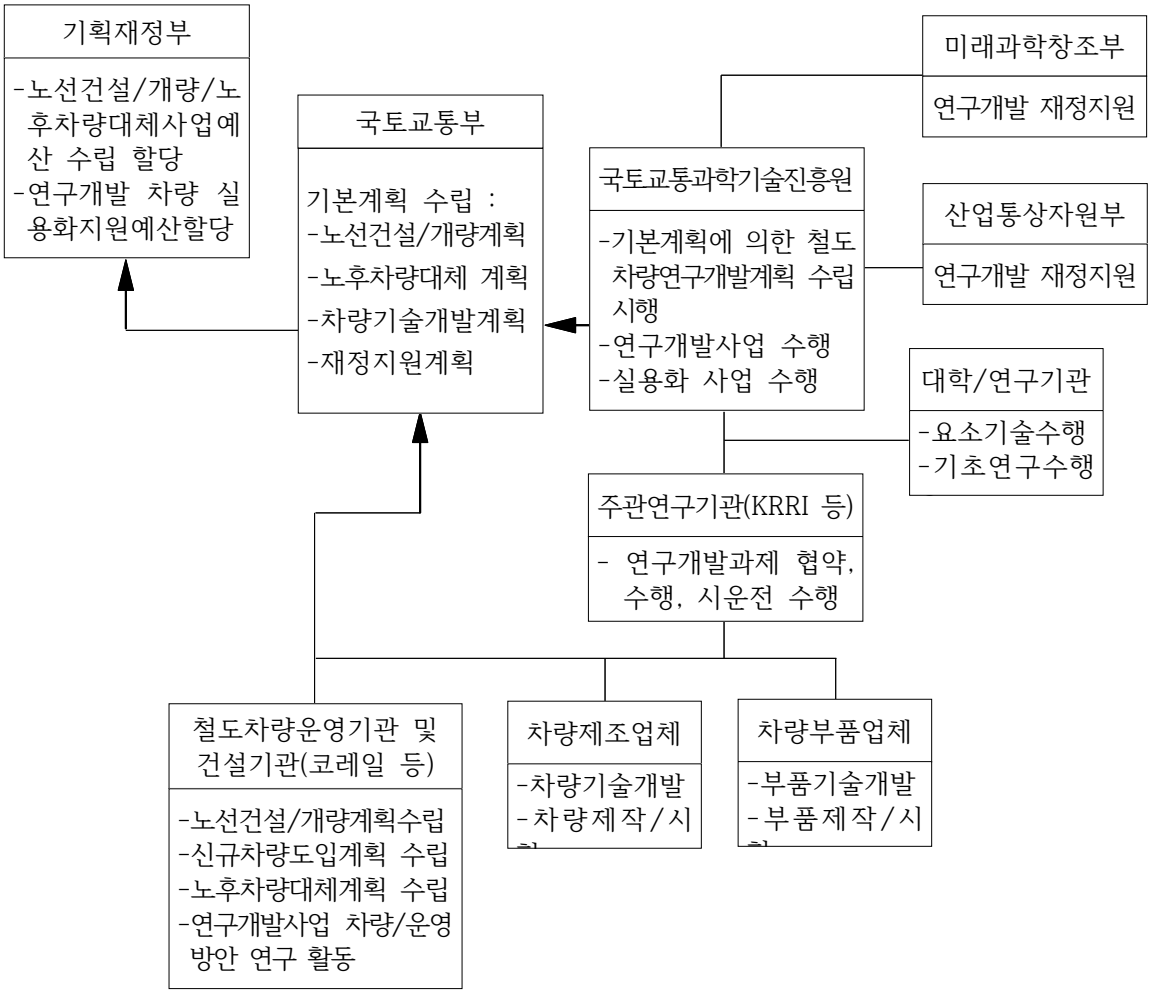


Fig. 4.2.3 철도산업발전기본계획과 연구개발사업의 실용화 추진 체계

Fig. 4.2.3에 철도산업발전기본계획과 연구개발사업의 실용화 추진 체계가 도시되어 있다. 이 체계에 의하면 철도차량 연구개발사업은 철도산업발전기본계획에 의거 수행되어야 하고, 개발된 차량은 기본계획에 의거 건설되는 노선이나, 운영노선에 대체 차량으로 투입되어야 한다. 개발차량의 실용화를 위하여 도입되는 비용은 국토교통부에 기획재정부에 건설/개량 노선 사업예산과 실용화사업으로 도입되는 차량예산을 수립하여야 하는 내용으로 추진체계를 갖추었다.

철도차량운영기관은 국토교통부에서 연구개발차량의 실용화를 위하여 노선 건설/개량계획, 노후차량 대체계획을 수립하여 국토교통부에 제출하여 기본계획과 연구개발이 같은 내용으로 추진할 수 있도록 지원 하여야 한다. 또한 개발차량의 운영계획. 차량시스템 요구사항을 정의하여 기술개발에 활용되어야 한다.

Table 4.2.2 철도산업발전기본계획과 연구개발사업의 실용화를 위한 참여 방안

해당기관	관련법령	구체적인 참여 방안
기획재정부	국가재정법	- 대형 신규건설/개량사업 타당성조사, 예산 할당 - 국가연구개발사업의 개발철도차량 실용화 예산 할당
국토교통부	철도산업발전기본법, 도시철도법	- 기본계획은 다음 내용을 포함하여 수립, 심의 승인 . 노선건설/개량계획 . 노후차량대체 계획 . 차량기술개발계획 . 재정지원계획
국토교통과학기술진흥회	과학기술기본법, 철도산업발전기본법, 도시철도법, 연구개발 운영규정	- 기본계획에 의한 철도차량연구개발계획 수립 시행 - 연구개발과제 공모, 협약, 수행 및 평가 - 실용화 사업의 수행 및 예산 수행
운영기관 (코레일, 시설공단, 도시철도 운영기관 등)	철도산업발전기본법, 도시철도법	- 노선건설/개량계획수립 - 신규차량도입계획 수립 - 노후차량대체계획 수립 - 연구개발사업 차량/운영 방안 연구
연구개발사업 주관기관(KRRI, KIM 등)	과학기술기본법, 연구개발 운영규정 등	- 연구개발과제 협약, 수행, 시운전시험 등 수행 - 협동기관, 참여기업 인터페이스 및 사업관리
차량제조사	연구개발 운영규정 등	- 연구개발 차량의 기술개발, 차량제작, 시험 등
부품제작사	연구개발 운영규정 등	- 연구개발 부품의 기술개발, 제작, 시험 등

Table 4.2.2에는 연구개발사업의 실용화를 위하여 정부부처 및 해당기관에서 적용해야 하는 관련 법령과 구체적인 참여 방안이 수립되어 있다. 이러한 수행방안은 국가교통합교통시설체계효율화법, 철도산업발전기본법, 도시철도법에 근간이 되어 개발차량의 실용화 사업을 위하여 앞에서 제안 내용으로 법령을 개정을 통해 해당기관별로 정의된 구체적인 참여 방안을 수행하여야 한다.

3절 Test Bed 추진 전략 제시

1. 광역철도용 2층 전동객차의 정의 및 필요성

국가연구개발사업으로 개발되는 광역철도용 2층 전동객차는 광역철도에서 원활한 운행을 위하여 Test Bed에서 예비주행 5,000km 주행하여 시스템 안정화 과정을 걷친 후 최고운행속도 역행, 제동, 가속도 및 감속도 시험, 소음/진동, 승차감, 탈선계수 등의 선로 시운전 시험을 시행하여야 한다. 또 주해안정성, 시스템 내구성 및 신뢰성을 향상하기 위하여 각종 주행시험과 40,000km/h 이상 주행시험을 실시해야 한다.

아울러서 도시철도차량의 운영환경에 적합한 각 정거장에 승강장과 스크린도아, 궤도, 터널 등 인프라시설 및 시스템과 적합한 인터페이스를 확인할 수 있도록 각종 검증시험을 실시하여야 한다.

본 항에서는 광역철도용 2층 전동객차의 본선 주행시험을 위하여 적정한 Test Bed 구축 추진전략을 수립하여 제시하고자 한다.

2. Test Bed 적합노선 검토

(1) Test Bed 기본 요건

일반적으로 철도차량의 시험선(Test Bed)에서는 기본적으로 열차의 주행성능, 각종 시스템의 성능 및 기능, 인프라시설과 시스템과의 인터페이스 등의 시험을 수행하지만, 본 광역철도용 2층 전동객차의 본선시운전 시험은 정거장 스크린도아와 인터페이스, 승객의 승하차 동선 등의 운영환경을 검토하여야 한다.

광역철도용 2층 전동객차의 본선시운전 시험의 기본적으로 갖춰야 할 Test Bed의 기본 요건은 다음과 같은 사항이 고려되어 선정되어야 한다.

■ 열차 운행선로 시운전시험

광역철도용 2층 전동객차의 본선시운전 시험의 기본적으로 갖춰야 할 Test Bed의 기본 요건은 “철도차량성능시험시행지침(국토교통부 제 2008-607호, 2008.10.29.) 제3조(성능시험의 대상항목) 제1항 제4호 철도차량 운행선로의 대상항목 별표 4” 에 따라 Table 4.3.1과 같은 시험항목이 고려되어 선정되어야 한다.

광역철도용 2층 전동객차의 Test Bed 본선시운전 시험 항목은 Table 4.3.1에 나타나 있는 바와 같이 본선 시운전시험은 본 시험 전에 예비주행 5,000km를 실시하여 차량시스템의 안정화 과정을 거친 후에 실시해야 한다. 주요 시험내용은 역행, 제동, 최고속도, 집전, 소음/진동, 승차감, 가속도/감속도, 냉난방장치, 지상설비 연계, 기기온도, 구배기동 등의 본선 시험을 수행하여야 한다.

Table 4.3.1 Test Bed 본선시운전 시험 항목

시험항목	시험내용
예비주행	- 5,000km 이상
본시험	- 예비주행시험 마친 후 시행
역행시험	- 최고운행속도 180km/h의 주행 성능측정 - 가속 성능 측정
제동시험	- 최고운행속도 180km/h에서 제동성능 측정 - 감속 성능 측정
최고속도시험	- 최고속도 200km/h의 주행성능 시험
집전시험	- 집전성능 및 이선율 측정
유도장애	- EMI / EMC 측정
보호장치 작동 확인 시험	- 각종 보호장치의 기능 및 작동 확인 시험
소음시험	- 최고운행속도 180km/h의 주행시 객실운전실 소음 측정
진동시험	- 최고운행속도 180km/h의 주행시 대차 및 차체 진동 측정
승차감시험	- 최고운행속도 180km/h의 주행시 객실 승차감 측정
주행저항시험	- 최고운행속도 180km/h의 주행시 열차주행 저항 측정
냉난방기시험	- 최고운행속도 180km/h의 주행시 냉방난방 및 환기 측정
지상설비 연계 동작시험	- ATP, ATC, ATS 지상설비 인터페이스 확인
주요 기기온도 및 상태시험	- 주요기기 온도 측정 및 작동상태 확인
구배기동시험	- 최급구배 구동성능 시험

■ 기존시설과의 차량의 인터페이스 시험

-스크린도어 인터페이스 확인

-승객의 승하차 시간 및 이동 동선 측정

■ 열차 운행 신뢰성 시험

-2층 전동객차의 주행안전성, 시스템의 내구성 및 신뢰성 확보를 위하여 40,000km 이상 주행 시험

(2) Test Bed 적합지 검토(안)

①1안 춘천선

춘천선은 2010년 12월 21일 월부터 망우역~춘천역간 복선 전철이 개통되어 급행전동차가 상업운행을 시작하였다. 2012년 2월 28일부터 ITX 청춘 열차가 투입되면서 용산역에서 춘천역까지 연장98km 노선에서 최고운행속도 170km/h로 상업운행을 하고 있다. 경춘선에는 총 20개역을 운용 중에 있고, 최고운행속도는 170km/h 이고, 총연장은 80.7km이다.



Fig. 4.3.1 경춘선 완행열차



Fig. 4.3.2 경춘선 ITX 청춘급행열차

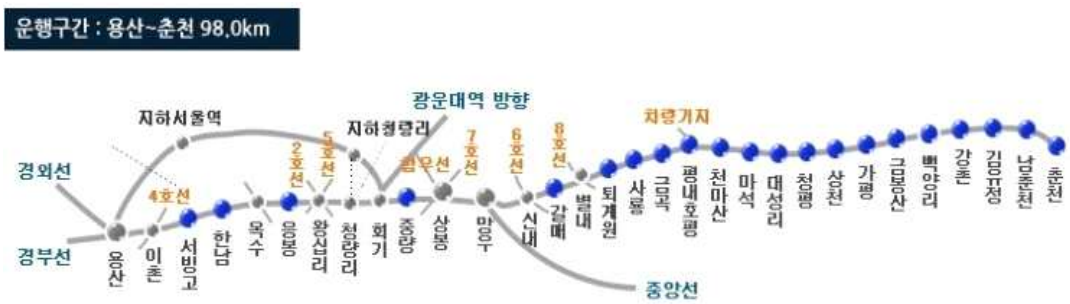


Fig. 4.3.3 ITX 청춘 운행 노선도



Fig. 4.3.4 경춘선 노선도

Table 4.3.2 경춘선 운용현황

항목	내용
운용노선	망우역~춘천역
개통년도	- 최초 1939년 7월 25일, - 노선 전철화 : 2010년 12월 21일
영업 총연장	80.7km
건설기간	1999.12 ~ 2010. 12
건설비	2조 7483억원
궤간	1,435mm
최고운행속도	170km/h(4개소 총 18.6km) 150km/h(61km)
선로 수	복선선로
전원공급	AC 25KV 60Hz
정거장	20개역(ITX 청춘 10개역 정차)
차량기지	평내 호평역
운용차량	- 일반열차(전동차) : 상봉역~춘천역, 15~30분 간격 운행(21개역 정차), - ITX 청춘급행열차 : 용산~춘천역, 30분~1시간 간격 운행(16개역 정차)
소요시간	- 상봉~춘천 : 급행 : 47분



Fig. 4.3.5 청량리역 스크린도아



Fig. 4.3.6 경춘선 상봉역 고상홍 정거장

②2안 수도권 경의중앙선 전철

경의선 2009년 7월 1일부터 문산역에서 DMC역까지 연장 40.6km를 복선전철로 개통함으로서 문산역~서울역까지 총연장 50.4km의 19개역으로 운행을 시작하였다. 같은 해 12월 1일부터는 특급열차를 투입해 문산역에서 서울역까지 최고운행 속도 110km/h의 급행 52분이 43분으로 단축되었다. 2014년 12월 27일 용산선 공덕~용산이 개통되어 경의선은 폐지되고, 수도권 경의중앙선 전철로 변경되었다.



Fig. 4.3.7 경의선 전동차



Fig. 4.3.8 경의선 누리호 객차



Fig. 4.3.9 중앙선 전동차



Fig. 4.3.10 중앙선 전동차 내부



Fig. 4.3.11 경의선 문산역



Fig. 4.3.12 중앙선 용문산역

중앙선은 용산역에서 용문역까지 총연장 71.2km의 28개역으로 2005년 12월 16일 복선전철이 최고운행속도 110km/h로 개통함으로써 수도권 중앙선 전철로 변경되었다.

수도권 경의중앙선 전철은 기존에 운행되고 있던 경의선과 중앙선을 연결한 노선으로 문산역에서 용문역까지 총연장 118.7km에 52개역으로 2014년 12월 27일부터 최고운행속도 110km/h로 영업을 시작하였다. 문산역에서 용문역까지는 소요시간은 급행은: 2시간 16분, 완행은 2시간 38분에 운행하고 있다. 수도권 경의중앙선 전철 노선에서 최고운행속도는 110km/h로서 최고운행속도 시험노선으로서는 적합하지 않으나, 광역철도의 시험운행과 상업노선으로는 적합한 것으로 보인다.



Fig. 4.3.13 수도권 경의중앙선 전동차

역 명	운산	파주	월롱	금촌	금릉	운정	탄현	일산	풍산	백이	곡산	대국	능곡	행신	회전	수색	디엠시	가좌	신촌	서울	정 차
일 반	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	전역
급 행	●			●	●		●	●		●		●		●			●		●	●	11역
특 급	●			●				●		●		●		●			●			●	8역

문산역~서울역 운행시간 : 일반 : 59분(20개역), 급행 : 48분(11개역),
특급 : 43분(8개역)

Fig. 4.3.14 경의선 일반, 급행 및 특급 열차 정차역

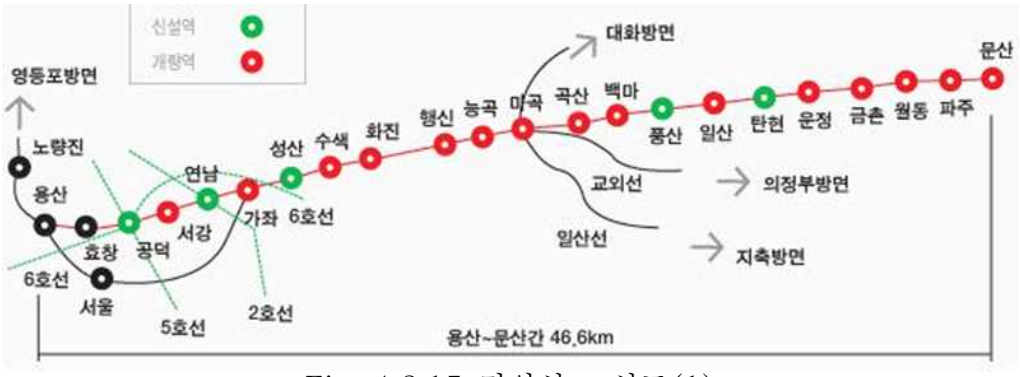


Fig. 4.3.15 경의선 노선도(1)

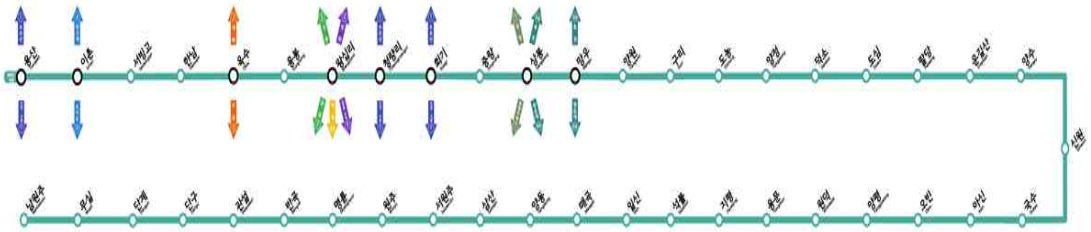


Fig. 4.3.16 경의선 노선도(2)

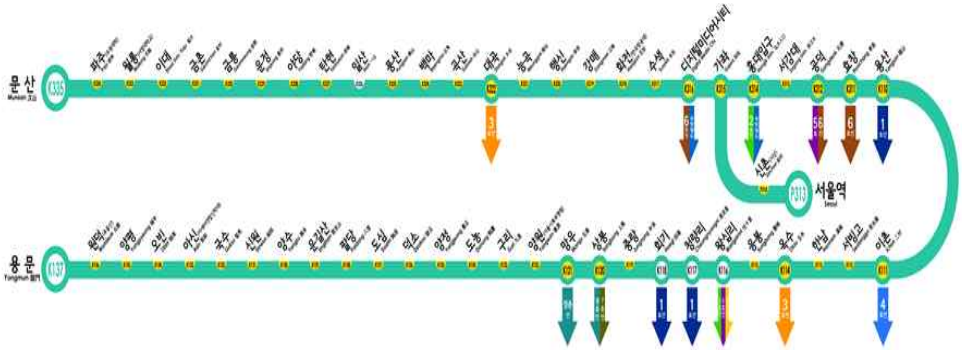


Fig. 4.3.17 수도권 경의중앙선 전철 노선도(1)



Fig. 4.3.18 수도권 경의중앙선 전철 노선도(2)

Table 4.3.3 경의선, 중앙선 및 경의중앙선 현황

항목	경의선	중앙선 전철	경의중앙선 전철
운용노선	문산역~서울역	용산역~용문역	문산역~용문역
개통년도	2009년 7월 1일 (2014년 12월 26일 폐지)	2005년 12월 16일 (2014년 12월 26일 폐지)	2014년 12월 27일
영업 총연장	50.4km	71.2km	118.7km
궤간	1,435mm	1,435mm	1,435mm
최고운행속도	110km/h	110km/h	110km/h
선로 수	복선선로	복선선로	복선선로
전원공급	AC 25KV 60Hz	AC 25KV 60Hz	AC 25KV 60Hz
신호장치	ATS	ATS	ATS
정거장	20개역	28개역	52개역
차량기지	문산차량사업소	용문차량사업소	용문차량사업소
운용차량	새마을 및 통근열차, 전동차(4량, 6량, 8량)	전동차, 4량 편성, 6량 편성, 8량 편성	전동차, 1편성 8량
운행시격	일일 162회	1일 58회(2012)	출퇴근 9~15분 평상시 20~30분
소요시간	일반 : 59분, 급행 : 48분, 특급 : 43분	1시간 35분	급행 : 2시간 16분 완행 : 2시간 38분

③3안 동탄~삼성 광역급행철도

광역철도용 2층 전동객차의 최고운행속도와 설계속도를 주행하기 위해서는 동탄~삼성간 광역급행철도는 국토교통부에서 2021년 개통을 목표로 사업을 수행하고 있는 노선을 고려해 볼 필요가 있다. 이 노선에서는 최고운행속도 180km/h와 설계속도 200km/h 주행시험이 가능하다. 또한 광역철도에서 시험운행 및 상업운행 노선으로 적합하다.

동탄~삼성간 광역급행철도는 고속철도 평택에서 수서까지 노선 중에서 동탄에서 수서까지 고속철도노선을 이용하고, 수서와 삼성구간은 9.8km 연장과 5개역을 건설하여 연장 37.9km를 운영하는 것이다.



Fig. 4.3.19 GTX 광역급행철도 열차 조감도



Fig. 4.3.20 광역급행철도 동탄~삼성 노선도



Fig. 4.3.21 GTX 광역급행철도 정거장 조감도

Table 4.3.4 GTX 광역급행철도 현황

항목	내용
운용노선	동탄~삼성
개통년도	2021년 개통 예상
영업 총연장	37.9km(동탄~수서 : 28.1km, 수서~삼성 : 9.8km)
건설기간	1066 ~ 2021
건설비	1조 5,547억원
궤간	1,435mm
최고운행속도	180km/h
선로 수	복선선로
전원공급	AC 25KV 60Hz
신호장치	ATP
정거장	5개역
차량기지	수서차량사업소
운용차량	GTX 급행열차
소요시간	20분

제 5 장 연구개발과제 구성 및 추진전략

1절 비전 및 목표

1. 비전 및 연구목표

– 비전 : 신개념 광역철도 2층 전동객차 운영 효율화 및 기술 선도

연구개발 목표	광역철도의 대용량 승객 수송 및 광역 이용승객의 장거리 이동 편의성 증진을 위한 광역철도용 2층 전동객차 핵심기술 개발



Fig. 5.1.1 비전 및 연구개발 전략

철도차량은 타 운송수단에 비해 녹색수송 수단으로 에너지 효율 및 친환경성에 대하여 우월성을 가지고 있지만, 타 운송수단에 비해 승객 1인을 수송하기 위해 부가적으로 이동시켜야 하는 차량의 중량이 큰 상태이다. 이러한 비효율적인 부분을 보완하기 위하여 철도차량 경량화에 대한 연구를 지속적으로 진행하고 있으며, 이와 더불어 2층 열차와 같은 동일 차량 중량대비 수송력을 증대하는 방안에 대한 연구가 진행되어져야 한다. 2층 열차를 통한 수송력 증대 및 공간 확대는 수송수단으로써 에너지 효율을 극대화하는 방안일 뿐만 아니라 승객 편의공간의 확보를 통해 이동간

의 편안함과 안락함을 극대화 시키는 수송수단으로 역할을 할 수 있게 될 것이다. 2층 열차의 수송력 증대를 실현하기 위해서는 필수적으로 경량화 기술을 확보하여야 하며 고속주행에 대한 안전성 및 주행저항 감소에 대한 기술이 요구되어진다. 수송력의 증대 및 2층 구조를 통한 차체부피 증가에도 불구하고 차량중량을 유지하기 위해서는 국내의 경량화 기술을 차체 및 차량시스템 차원에서 활용하는 경량화 최적화 기술이 요구되어 진다. 또한 승객의 증가에 따른 승하차 시간 단축 및 복층 구조를 통한 이동 경로를 고려한 출입문 및 계단 등의 차체구조 설계는 승객의 수, 정차역간의 거리 및 플랫홈의 형태 등을 반영하는 인터페이스 설계기술을 요구하게 된다. 그 외에도 철도 구조물과의 인터페이스를 고려한 외부형상에 대한 검토 및 성능검증 예측 기술이 요구되어진다. 2층 열차의 무게중심의 상승은 열차의 주행안전성 확보 측면에서 면밀히 검토되어야 하는 측면이며 높이의 증가는 공력 및 주행안정성 측면에서 인프라를 고려하여 국내의 축적된 검증 및 예측 기술을 통해 평가되어져야 한다. 또한 표면적의 증가 및 단면적의 증가는 열차 주행저항 측면에서 회피하여야 부분이기에 공기저항의 증가에 대한 감소 방안 연구를 본 기술개발과 함께 이루어져야 할 것이다.

수송력 증대를 위한 2층 열차 시장의 세계적인 확장 추세를 따라잡기 위해서는 국내 열차의 개발기술 및 축적된 경량화 기술을 기반으로 2층 열차에 대한 국내 기술 확보가 반드시 이루어져야할 것이다. 이는 열차 시장을 해외로 확대시키는 기술을 확보하게 할 뿐만 아니라, 더 나아가 차세대 2층 열차 기반기술을 확보하게 함으로써 세계의 타 2층 열차 보다 우월한 경쟁능력을 가지는 기회를 제공하게 될 것이다.

2. 광역철도 2층 열차 핵심 기술요소

(1) 광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 기술개발

차량개발을 위해 전체적인 추진 계획/일정을 총괄적으로 관리하여 설계/제작/시험/조립의 단계에 필요한 성능예측 및 평가가 적절하게 추진될 수 있도록 사업전체를 관리하는 역할을 수행한다. 본 기술에서는 시스템 요건/분석을 통해 제공된 조건을 고려하여, 기존의 열차 기술개발을 통하여 축적된 기술 및 기반기술을 적용하여 차량시스템 및 하위시스템의 사양을 결정한다. 해외 2층 열차의 개발 추의를 지속적으로 모니터링하여 연구 방향을 보완하며 국내의 경제적 및 사회적 변화에 부합되는 연구 결과물을 창출할 수 있는 관리를 수행한다.

(2) 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계 · 제작 기술 개발

철도시스템 인터페이스 기술은 통합설계 시스템을 적용하여 차량시스템을 설계 할 때 차량의 각 하위시스템간의 인터페이스를 고려하는데 필요한 기술이다. 즉, 차체/대차, 제동시스템/추진시스템, 차체/HAVC시스템, 판토그라프/전차선 및 차상/지상 신호 사이의 인터페이스를 고려하는 설계 기술로 전체시스템의 성능요건 결정 및 하위시스템간의 요구조건 할당에 필수적이다. 국내의 차량개발의 축적된 차량시스템 설계 기술을 기반으로 국내의 실정에 부합한 최적의 2층 열차를 구현하기 위한 개념설계를 수행한다. 충분한 인터페이스를 고려하고 개념설계 기술은 설계공정을 단축하는데 크게 기여하며 최적의 차량개발의 기본 틀의 역할을 수행한다.

(3) 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계 · 제작 기술 개발

수송력 증대를 위한 2층 열차의 연구의 성패를 좌우할 수 있을 정도의 중요 기술로써 차체 부피 증가 및 승객 증가에도 불구하고 열차의 축중 17ton을 만족하는 경량화 기술은 가장 필수적인 기술이라고 할 수 있다. 차체 골조구조의 경량화를 포함하여 용접 및 접합의 경량화, 객실 설비의 경량화 및 구성품의 경량화를 위해 차량 제작의 전 과정 동안 SE와 더불어 지속적으로 추진되어야 한다. 경량화 기술은 설계 및 해석의 단계에서 뿐만 아니라 제작 및 조립 그리고 성능검증의 단계까지 타 기술과의 연계성을 유지하여야 한다. 2층 열차의 승객 수송능력을 결정하는 가장 중요한 기술이며 세계적인 2층 열차 개발로 세계시장에 경쟁력을 확보하기 위해서는 차체구조의 시스템 분석을 통한 최적 골조설계를 도출하여야 한다. 또한 충분한 강도를 유지하면서 차량연결간의 하중 지지부의 설계를 최적화 하여야 한다. 부속실의 배치 및 객실설비의 배치에도 경량화 기술을 활용하여야 하며 작은 부품까지도 최대한의 경량화를 구현할 수 있도록 하여야 한다. 유지보수 및 호환성을 고려하여 구성품의 부품은 기존의 부품을 활용하지만 구성품의 외함 등은 차량하부의 배치가 아니 객실 내 배치를 고려하여 경량화 재질을 활용한다.

(4) 개발차량에 대한 성능 및 안정성 예측 평가 기술

본 기술은 설계의 단계에서 설계 오류를 미연에 방지하는 기술로써 설계(안)을 통한 사양을 최종결정하는 기술이라고 말할 수 있다. 크게는 차량의 형상부터 작게는 부속장치의 사양까지 검토하여 차량시스템 성능과 안정성을 평가하게 된다. 차량의 정적 및 동적 특성 및 거동, 형상에 따른 공력의 특성, 무게중심의 변화에 따른 주행안정성 평가, 경량화 차체구조의 강도특성을 포함하여 탈선안전도, 주행저항, 실내환

기등의 성능 및 안정성을 설계의 단계에서 예측 평가하게 된다. 본 기술의 평가기술은 단 분야의 성능예측에 국한되지 않고 차량시스템 및 인프라 시스템과의 인터페이스를 고려하여 진행되어야하며 이를 위해서는 철도시스템 전반에 걸친 지식을 보유한 전문 인력에 의해 수행되는 것이 바람직하다.

(5) 차량과 인프라간 인터페이스 검토기술

2층 공간의 확보를 위한 차량 높이의 증가에 따른 2층 열차의 차량한계에 대한 검토 및 저상 플랫홈에 적합한 승강문 및 1층 차량 바닥 높이 등에 대한 검토를 위해 요구되는 기술이다. 또한 터널내 미기압파의 변동 특성 및 터널내 후부 판토그라프의 공력특성에 대한 압상력 변동특성의 검토가 본 기술을 통해 수행되어져야 한다. 객실의 부속공간과 계단의 배치의 주요인자인 승강문의 위치를 결정하는 플랫홈의 높이가 1층 floor의 높이보다 다소 높은 관계로 개념설계 단계부터 면밀한 검토가 진행되어져야 할 것이다.

(6) 차량 및 구성품 성능평가 기술

개발된 차량은 실제 운행에 들어가기 전에 부품레벨에서부터 시스템레벨까지 성능 및 안전성에 대한 시험 평가가 이루어져야 한다. 2층 열차 시스템은 많은 부분에서 기존 열차 차량에 적용된 공장 내 시험 및 시운전 시험 절차에 따라 시험을 수행하고 평가할 수 있다. 하지만 형상의 증가와 2층 구조에 따른 일부 시험평가 방법 및 기준에 대해서는 국제 기준 등을 기반으로 2층 고속차량에 적합한 시험절차 및 평가기준의 확립이 필요하다. 효율적인 시운전시험을 위해 첨단 IT 및 스마트센서 등의 기술을 적용한 종합계측 시스템 및 모니터링 시스템의 개발이 필요하다.

(7) Test Bed을 통한 차량 신뢰성 평가 기술

국내의 경량전철 K-AGT, G7 시험운전, 틸팅열차 시험운전 등의 축적된 경험을 통해 Test Bed에서 시제열차의 신뢰성을 단계별로 검증하고 평가하는 기술로써 상업화를 위해 신뢰성을 확보하여야 하는 2층 열차의 기술개발사업에 필수적이다. 차량의 주행성능 및 안정성을 확인하고 신뢰성을 평가하기 위해 구축되는 계측시스템을 통한 자료 수집 기술과 자료 분석 기술을 포함한다. 또한 시험인증에 필요한 2층 열차의 시험절차 구축 및 단계별 시험을 수행하는 증속시험을 총괄하는 핵심 기술이다.

(8) 광역철도 2층 열차의 사양 및 설계기준 제시 기술

본 연구를 통해 국내의 환경을 고려하여, 추후 발생되는 발주 편성에 대한 제작 사양 및 설계기준을 구축하여야 한다. 또한 일반 열차와의 상이함을 고려한 시험절차에 대한 기준을 제시하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 설계 초반부터 구축된 사양서에 대한 지속적인 관리를 통해 국내의 조건에 적합한 사양을 보완하여 최종 설계기준(안)을 제시할 수 있어야 한다.

3. 기술개발과제별 목표 기술수준

Table 5.1.1 기술개발과제별 기술수준과 기존 기술수준

구분	목표 기술수준	기존 기술수준
광역철도용 2층 전동객차 신개념 형상 설계 기술	· 광역철도용 2층 전동객차 신개념 형상 설계 도출(충돌, 미려도, 접근성 및 안전성 향상)	· 고속철도 2층 열차 개발중(객차만 개발) · 경춘선 ITX 2층 열차(국제적 수준을 만족 못함)
인터페이스 및 기기 배치 최적화 기술	· 광역2층 열차 차량-궤도, 차량-E&M, 궤도-신호, 신호-통신 인터페이스 설계 기술 · 동력차에 대한 기기 배치 최적화 기술(제작편의성 및 유지보수성 30% 향상)	· 국내에서는 동력차를 2층화한 사례는 없음. · 제한된 공간내에 모든 설비를 구축 미비 및 제작비 상승
차량인프라 거동해석 기술	· 기존 건축한계 변경 없이 운행가능한 차량 설계 기술 · 중량 증대 및 무게 중심 변동에 따른 주행 안전성 확보 기술	· 일반 차량시스템에 대한 동적 거동에 대한 해석 기술 보유 · 국내에서는 고속전철 2층 열차를 개발하고 있으나 고속철도 운영 노선에 한정됨.
실용화를 위한 완성품 시험 평가 기술	· SE 기법을 활용한 신뢰성 검증 기술 · 시스템 종합성능평가기술	· 일반적으로 연구개발품의 성능확인 수준이며 개발과 동시에 활용 가능한 방법은 적용한 사례가 없음.

실용화를 위한 경제적 모델 개발 기술	· 실용화를 위한 요금체계 합리화 기술 · 실용화 경제적 운영 모델 구현 기술	· 기존 연구개발은 성능 및 내구성에 한정하여 연구개발함. · 개발과 동시에 운영 가능한 모델을 제시한 사례는 거의 없음. · 영국(UCL)에서는 다양한 철도시스템에 대한 수요 및 투자평가 지침 보유
Test-Bed 노선 실용화 모델 기술	· 광역철도 2층 열차 운영 노선 확보 기술 · 개발과 동시에 실용화 모델 및 해외 진술 요건 확보	· 한국철도기술연구원에서 경량전철 고무차륜형 전용 및 차세대 전동차 대불 시험선 보유 · 독일, 프랑스 등에서는 각 시스템별 성능평가 기술 보유 · 연구개발 결과물을 제작과 동시에 국내외 실용화 요건을 만족한 사례는 없음
광역철도 2층 차체 제작 기술	· 200km/h 급 광역철도 2층 열차 제작 기술	· 국내 150km/h 급 2층 열차 운행 중(객차만 개발 수준) · 프랑스 및 일본의 광역철도용 2층열차의 설계속도는 120-140km/h급 2층 열차 운행 중(동력차 및 객차 개발 수준)
2층 열차 경량화 및 안정화 기술	· 2층 열차 충돌 안전성 확보 기술 · 중량 집중에 따른 중량분포 및 경량화 기술 · 축당 하중을 국내 수준(16톤)을 만족시키는 해외 기술대비 10% 경량화 기술	· 국내 광역철도용 2층 열차 제작 경험이 없음. · 일본 215계, 프랑스 Z2N/MI2N 등 해외에서는 운영되고 있음. · 해외 2층열차의 축당 하중 최대 18톤임.
슬림화 및 모듈화 기술	· 2층 높이를 기존 광역철도 건축 한계내에 운행 가능한 슬림화 기술 · 유지보수 및 제작비 절감을 위한 모듈화 기술 · 해외 2층 열차 차량시스템 대비 10% 경량화	· 2층 전동차량시스템 전체에 대한 슬림화 및 모듈화를 목표로 개발된 사례는 없음. · 해외 2층 열차시스템은 모두 좌석 기준으로 개발됨.
2층	· 저탄소 차량설계 기술	· 환경친화형 재료기술 미적용

전동객차 환경친화형 재료기술	· 환경규제 적합소재 적용기술 · 광역철도 2층 전동객차의 친환경인증 기술	· 차량 친환경인증 미적용
전장품 및 제동장치 지능화/경량화 기술	· 도시철도 및 광역철도 전장품 및 제동장치 대비 10% 경량화 기술 · 도시철도 및 광역철도 전장품 및 제동장치 대비 지능화(자기성능확인) 기술	· 국내 2층 전동객차용 제동장치 및 전장품에 대한 제작기술 미보유 · 일본 및 유럽 등에서는 전장품 및 제동장치 기술보유
고출력 전기식 제동 성능 향상 기술	· 고출력 전기식 제동장치 기술(부피 및 경량화 20% 절감)	· 국내외 적으로 고출력 전기식 제동장치 제작기술을 적용한 사례는 없음. 따라서 세계 최초 기술임.
영구자석용 동기전동기 적용기술	· 고효율 경량형 전동기 2층 전동객차 적용기술(IPMSM)	· 경전철 및 산업용으로 일부 적용된 사례는 있으나 2층 전동차에는 적용된 바가 없음.
광역철도 2층 전동객차 주행장치 설계 기술	· 저상형 능동조향기능을 적용한 스퀼 소음 저감 기술	· 저상형 2층 전동객차 주행장치의 조향기술 미적용 · 전동차용 능동조향 기술개발 중에 있음.
차량 소음·진동 저감기술	· 소음저감형 휠 설계 기술 · 차체 소음 차단 기술 적용	· 스퀼 소음 저감기술 보유(도시철도 차량시스템의 대차에 미적용)

2절 기술개발에 따른 미래상

수도권 등 대도시권의 광역화로 인해, 도로교통의 체증현상이 심화되고 수도권 전철 이용객이 지속적으로 증가하는 등 현재 수도권 광역교통 혼잡이 극심한 상황이며 향후 더욱 가중될 것으로 예측되어, 대용량 수송이 가능한 광역교통수단 필요에 따라 정부의 국가교통망구축계획에 반영되어야 한다. 현재 운행되고 있는 경춘선 광역급행철도(ITX)는 동력분산식 8량 1편성으로 제작된 180km/h 급행열차이며 중앙 2개 부수객차만 2층 열차로 개발되어 운행되고 있으나 기술적 한계에 도달하였다.

현대로템의 국내 기술로 제작된 ITX 2층 객차는 동력 분산식 부수객차이며 일반대차를 사용하고 전동차와 동일한 고상 플랫홈에 적합한 승강문 높이를 가지고 있다. 개발하고자 하는 2층 객차는 운영시나리오에 따라 1층은 입석과 2층에 좌석형으로 구성되어 있으며 관절대차에 비해 대차간의 간격이 짧아서 2층의 객실이 길이가 충분하지 않아서 실직적인 좌석을 통한 수송량 증대량은 크지 않을 것으로 예상된다.

국가 철도망 구축에 따른 출퇴근 생활권을 확대 시킬 것이며 대 도시간의 일정시간대 사업상의 이동량이 급증하는 경향이 발생될 것이다. 이에 대응하는 최선의 방안인 2층 열차의 적용은 광역철도망 확대 될 것이며 시장 전망은 아주 높게 평가되고 있다. 또한, 통근형 광역철도 서비스 제공으로 도시와 도시간 교통 체증 완화 및 수도권 경제 활성화가 이루어져 서울과 수도권과의 균형 있는 발전을 도모할 수 있다. 광역철도 2층 열차의 핵심은 선로 용량 증대로 광역철도 수송효율 증대 및 대국민 서비스 질 향상시키고 현재 전동차의 수송량 증대로 혼잡률(200%) 문제를 해결할 수 있으며, 수송집중 시간대의 혼잡을 최소화하여 쾌적한 환경 조성할 수 있을 것으로 예상된다. 이에 정부는 광역철도 수요 증대로, 도로 중심에서 철도 중심으로 지속가능한 광역대중교통체계 수립을 효율적으로 이끌어 낼 수 있을 것이다.

3절 연구개발 과제 구성 및 종합평가

1. 연구 추진전략

(1) 산학연의 협력을 통해 연구를 추진

광역철도용 2층 열차 설계에 있어서, 주요기기들의 중량 및 크기, 설치위치도 설계에 영향을 미치므로 구체의 경량화와 더불어 배치공간의 효율적 활용을 위해 주요기기의 소형화가 병행하여 이루어져야 하며, 기기배치는 열차편성 형태(2층 차량 조성 비)나 차량구조에 따라 다르게 개발되도록 연구방향 설정하여 추진한다.

광역철도용 2층 열차의 기술적 특성은 운용조건 및 운용노선이나 철도 인프라 시설 등에 의해 지배적인 영향을 받으며 주요기기 간 원활한 인터페이스 및 기기배치의 효율성, 주요 기기의 경량화/소형화, 수송효율 극대화를 위한 차량구조 설계 등이 필요하다. 이에 연구개발과제의 기본 추진전략은 산학연의 공동참여를 통해 광역철도 2층 열차의 실용화에 주안점을 두고 연구를 추진하고자 한다.

산업체는 시제품의 설계 및 제작에 중점적으로 참여하며 학교는 성능검증 예측을 위한 해석연구에 정부출연연구기관은 SE 및 인터페이스 기술과 성능검증 및 핵심기술 개발에 중점을 두고 연구를 진행하도록 하고자 한다.

① 철도시스템에 관한 전문지식을 본 연구를 위해 활용(철도시스템의 이해도와 전문지식을 보유한 연구기관을 통해 수행) ; 광역철도 2층 열차 시스템 및 인터페이스 관련 기술 연구, 시스템 성능검증 기술 연구 그리고 경량 최적화 기술 연구

② 전문적인 해석 및 예측기법에 대한 전문지식을 활용(전문분야별 학계의 연구진) ; 광역철도 2층 열차의 설계(안)에 대한 성능검증 해석 기술연구

③ 핵심기술 검증을 위한 시제품 제작과 설계 및 디자인 도면 제작기술을 활용하는 연구 분야(산업체의 연구인력을 활용)

④ 시험 평가 및 실용화를 위한 운영기관의 유지보수 및 운용 전문인력 활용(실용화 요건 충족 및 적용성에 대한 평가에 전문인력을 활용)

⑤ 광역철도는 차량, 전력, 신호, 궤도 및 통신 등 다양한 분야가 적용되는 복잡한 시스템이므로 해당 전문가들의 인력을 활용

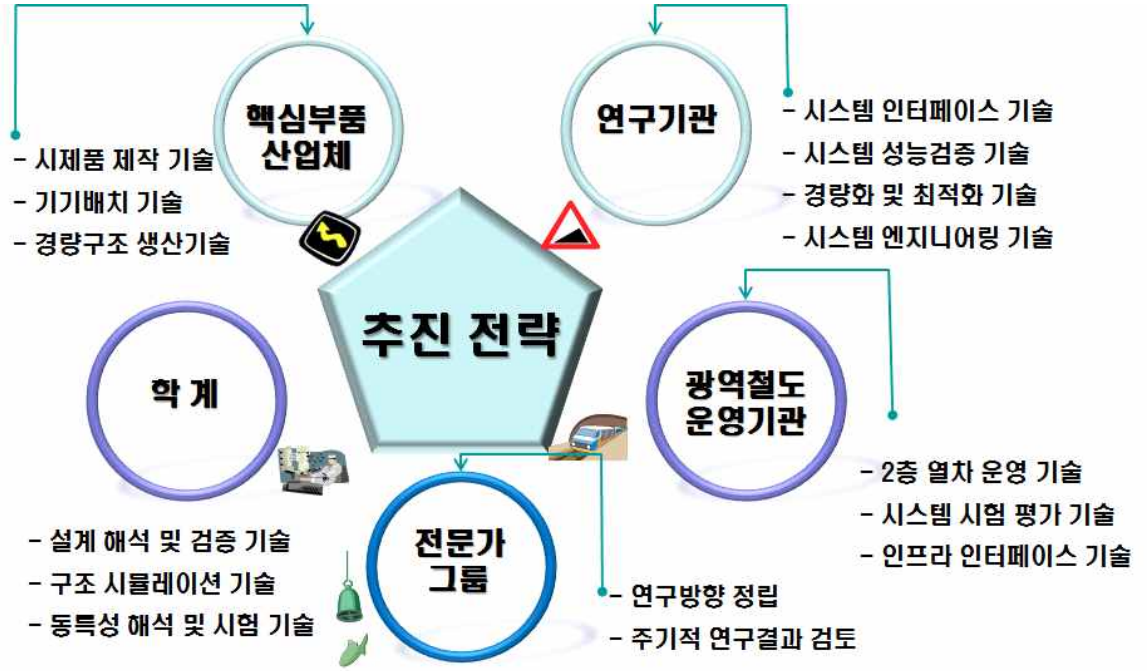


Fig.5.3.1 2층 열차 개발과제 산학연 추진전략

2. 연구목표 및 범위

(1) 연구 목표

출퇴근 생활권 확대에 따른 출퇴근 시간대 수송력 증대를 위한 광역철도용 2층 열차설계기반 핵심기술 개발

- 광역철도용 2층 전동객차/인프라 I/F 설계 및 성능 검증
- 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술 개발
- 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발
- 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발

본 연구에 대한 비전은 광역철도용으로 직장이나 학교가 있는 많은 거주자 및 직장인들을 빠르고 저렴한 광역철도용 2층 열차가 삶의 패턴을 바꾸어 주는 역할을 바로 광역철도용 2층 열차 개발을 통해 이루고자 하는 것이 비전이다.

연구의 전략적 목표로는 광역철도 2층 열차 기술개발을 위해 필요한 핵심기술인 '전동객차/인프라 I/F 설계 및 성능 검증', '2층 전동객차 차체 기술 개발', '2층 전동객차 전장품 및 제동장치 기술 개발' 그리고 '2층 전동객차 주행장치 기술 개발' 확보하고자 함.

(2) 세부 연구 목표 및 범위

수송력 증대를 위한 2층 열차 시장의 세계적인 확장 추세를 따라잡기 위해서는 국내 열차의 개발기술 및 축적된 경량화 기술을 기반으로 2층 열차에 대한 국내 기술 확보가 반드시 이루어져야할 것이다. 이는 열차 시장을 해외로 확대시키는 기술을 확보하게 할 뿐만 아니라, 더 나아가 광역철도용 2층 열차 기반기술을 확보하게 함으로써 세계의 타 2층 열차 보다 우월한 경쟁능력을 가지는 기회를 제공하게 될 것이다.



Fig. 5.3.2 핵심기술 개발 도출 개념도

Table 5.3.1 중점 추진 분야 1 : 광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 기술개발

개발목표	◦광역철도용 2층 전동객차/인프라 I/F 설계 및 성능 검증
주요 연구내용	◦국내 환경에 적합한 2층 전동객차 목표사양 도출 ◦2층 전동객차 차체 및 핵심장치 인터페이스 기술개발 ◦2층 전동객차 용량 및 기기 배치 최적설계 기술 개발 ◦2층 전동객차 차량/인프라 인터페이스(동적거동 등) 설계 ◦2층 전동객차 핵심장치 완성품 시험·평가 ◦2층 전동객차 실용화를 위한 경제적 모델 개발 ◦2층 전동객차 실용화 모델 구현을 위한 Test-bed 노선 구축
기술개발방향성	◦대국민 서비스질 향상을 위한 광역철도용 2층 전동객차 기술 확보 ◦성능 및 신뢰성 확보로 해외 기술시장 리드

Table 5.3.2 중점 추진 분야 2 :광역철도용 2층 전동객차 차체 설계 · 제작 기술 개발

개발목표	◦광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술 개발
주요 연구내용	◦수송수요 증대를 위한 2층 차체 설계사양 도출 ◦2층 전동객차 차체 경량화 및 안정화 기술 개발 ◦2층 전동객차 연결기 등 부품 슬림화 및 모듈화 기술 개발 ◦2층 전동객차 차체 설계 및 제작 ◦2층 전동객차 차체 구성품 시험(정하중 및 피로시험) 평가 ◦2층 전동객차 차체 시제품 제작(4량: 2 M-car, 2 T-car)
기술개발방향성	◦차체 경량화 및 수송효율 극대화를 위한 차량구조 설계 ◦기존 인프라 호환이 가능한 차량 제작

Table 5.3.3 중점 추진 분야 3 : 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계 · 제작 기술 개발

개발목표	◦광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발
주요 연구내용	◦슬림화 및 경량화를 위한 전장품 및 제동장치 설계사양 도출 ◦2층 전동객차 전장품 슬림화 및 모듈화 기술 개발 ◦2층 전동객차 제동장치 기술 개발 ◦2층 전동객차 주요 핵심장치 설계 및 제작 ◦2층 전동객차용 전장품 및 제동장치 구성품 시험·평가 ◦2층 전동객차용 전장품 및 제동장치 시제품 제작(4량: 2 M-car, 2 T-car)
기술개발방향성	◦설치공간 최적화를 위한 2층 전동객차 핵심기술 확보 ◦전장품 및 제동장치 성능/신뢰성 확보로 해외 기술시장 리드

Table 5.3.4 중점 추진 분야 4 : 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계 · 제작 기술 개발

개발목표	◦광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발
주요 연구내용	◦하중 증가에 따른 주행장치 설계사양 도출 ◦2층 전동객차 능동조향대차 적용성 검토 ◦2층 전동객차 대차프레임 최적설계 기술 개발 ◦2층 전동객차 견인전동치 인터페이스 검토 ◦2층 전동객차 대차 핵심장치 설계 및 제작 ◦2층 전동객차 시제품 제작(4량: 2 M-car, 2 T-car) ◦2층 전동객차 대차 구성품 및 완성품 시험·평가
기술개발방향성	◦속도향상 및 주행안전성 확보를 위한 2층 전동객차 기술 확보 ◦성능 및 신뢰성 확보로 해외 기술시장 리드

3. 연구개발 과제 중요 검토 사항 및 종합평가

Table 5.3.5 연구개발 과제 중요 검토 사항 및 종합평가

구분	세부 중점 사항	중요도 (상,중,하)	관련 근거
시장성	시장규모	중	○ 철도시장은 지속적으로 성장(4% 이상)하고 있으며 광역 철도용 2층 전동객차에 대한 수요는 유럽을 기점으로 증대되고 있음. ○ 광역철도용 2층 전동객차의 기술은 전장품 슬림화 및 경량화를 위한 첨단기술개발이며 이를 활용한 범위는 도시철도 뿐만 아니라 일반 철도 등에도 널리 사용될 수 있음. ○ 해외시장에서는 최근 급행화 및 수송량 증대를 위한 2층 전동객차 발주가 되고 있음.
	시장경쟁 가능성	중	○ 해외시장에서는 광역철도용 2층 전동객차에 대한 요구사항으로써 경량화 및 슬림화를 강조하고 있으며 또한 승객의 쾌적성, 편의성 및 접근성이 우수한 시스템을 요구하고 있음. ○ 핵심기술은 기존 건축 및 차량한계에서도 2층화가 가능하도록 기술개발을 추진하는 것으로 성공적인 기술개발이 된다면 선진국 기술대비 경쟁 우위 요소를 충분히 확보할 수 있음. ○ 철도분야는 국제 성능 규격 및 운영실적을 만족한다면 시장 진입 장벽에 대한 특별한 제약조건이 없음.
	시장진입 최적시기	상	○ 해외에서는 광역철도용 2층 전동객차의 수요는 이미 발생되고 있으며 그러나 국내에서는 경춘선 ITX 일

			부차량(T car)만 2층으로 운행되고 있음. ○ 따라서 해외 시장 진입 최적시기는 2년 이후로 예상되며, 국내 시장 진입 최적시기는 5년 이후로 검토됨. 이를 위해 국내 수요기관과 연계된 기술개발로 운영실적을 확보할 수 있는 방안 마련 필요
	시장의 신기술/제품 수용성	상	○ 철도분야에서의 신기술은 슬림화 및 경량화가 최우선 과제이기 때문에 현장의 신기술 수용성은 매우 높음. ○ 광역철도용 2층에 대한 현장적용의 장애요소는 시스템 기술이기 때문에 운영실적에 대한 요구로 기술개발 후 시범노선 확보 필요
	국내 실용화 가능성	상	○ 국내뿐만 아니라 국외 실용화를 위해서는 운영실적을 확보하는 것이며 이를 위해 운영노선에서 성능 및 신뢰성을 확보한다면 실용화가 가능함. ○ 국내 철도차량 업계에서는 전동차 핵심장치에 대한 경량화 및 슬림화를 위한 적극적인 의지를 보이고 있음. ○ 2층 전동객차는 30%이상의 수송량 증대를 목표로 개발하는 것으로 차량가격의 수준은 수요처의 요구를 만족시킬 수 있을 것으로 예상됨.
기술성	기술의 진보성	중	○ 광역철도용 2층 전동객차의 핵심기술은 슬림화 및 경량화이며 이는 기술적 진보성을 확보하고 있음. ○ 이는 출퇴근 시간대의 혼잡율을 최소화시킴으로 인해 사회적 문제를 해결할 수 있고 전장품 및 대차 등에 대한 기술개발로 과학시술발전에 이바지할 수 있음.
	기술의 차별성	중	○ 해외 광역철도용 2층 전동객차에 대한 기기배치를 검토한 결과, 가장 효과적으로 시스템을 구축 여부에 따라 결정되기 때문에 기기장치에 대한 슬림화 및 경량화를 필수적 요소임. ○ 핵심기술은 수송수요 증대를 위해 기존 인프라의 개조 없이 가능한 기술이며 해외 선진기술보다 20%이상 경량화 시킬 수 있을 것으로 판단됨.
	기술개발 난이도	중	○ 국내에서는 광역철도에 대한 기술 및 인력은 충분하며 시장의 요구가 꾸준히 증대됨으로 인해 산학연에서는 충분한 개발의지가 있음. ○ 국내에서 전동객차의 기술은 지속적으로 개발하고 있으며 이를 2층 전동객차에 적용하는 것으로 100% 우리 기술로 개발이 가능할 것으로 판단됨. ○ 2층 전동객차에 대한 3P(특허, 논문, 생산)분석 결과 경재업체 소유기술 등에 대한 문제없이 요소기술이 도입이 가능한 것으로 판단됨. ○ 개발기술 검증을 위해 국제 수준의 성능규격을 만족하도록 개발하여 검증이 가능하도록 추진함.

	기술에 따른 사회의 변화 (긍정적 변화 가능성)	중	○수도권 등 대도시권의 광역화로 인해, 도로교통의 체증현상 심화로 수도권 전철 이용객의 지속적인 증가에 따른 수도권 광역철도 혼잡을 해결하고 쾌적한 환경을 제공함으로 인해 사회/문화적으로 긍정적인 변화가 예상됨.
	기술의 부정적 영향	하	○2층으로 인해 승하차 시간을 지연 및 불편이 예상되며 비상시 대피시간 확보를 위한 방안이 마련 ○1층 승객들의 조망권 및 자리 확보 미흡, 장애인들의 이동성 등에 불편이 예상됨.
정책성	정부정책 부합성	상	○정부의 교통 및 도시정책 수립의 방향 제시 ○광역철도용 2층 전동객차 기술을 세계적인 수준으로 향상시키고, 국내 실용화 및 해외 수출 할 수 있는 선진화 산업 정책 방향 필요
	정책적 우선순위	상	○국토교통부 및 지방자치단체의 교통정책과 신도시 건설계획 시, 구축비용을 최소할 수 있는 기술을 제공함으로써 도시교통 정책 수립 시 탄력성 부여 ○현재의 통근형 광역철도 서비스 제공으로는 광역도시권역 내 가중되는 교통 체증 문제와 수송량 증대로 인한 혼잡률 문제 해결을 위한 정책적 판단이 필요함.
	정부주도 불가피성	중	○기존 도심 철도의 문제점을 해결할 수 있는 핵심기술을 개발함으로써 국가 교통 기술 경쟁력 확보와 해외 기술 선도 ○수송량 향상을 위한 열차운행시격 단축 및 편성차량수의 증가는 신호 등 설비 개량과 역사 증축 등 부가적인 시설비의 막대한 투자가 요구되며, 수요에 대응한 광역철도 증설은 재정적 부담이 큼에 따라 이를 정부주도로 개발할 필요가 있음.
종합 평가			○<u>정부의 교통 및 도시정책 수립의 방향 제시</u> : 국토교통부 및 지방자치단체의 교통정책과 신도시 건설계획 시, 구축비용을 최소할 수 있는 기술을 제공함으로써 도시교통 정책 수립 시 탄력성 부여 ○<u>세계적인 기술수준으로의 도약, 연구개발 방향 등의 주도</u> : 광역철도용 2층 전동객차 기술을 세계적인 수준으로 향상시키고, 국내 실용화 및 해외 수출 할 수 있는 선진화 산업 정책 방향 필요 ○<u>철도시스템의 기술혁신사업으로 창조 경제 구현</u> : 기존 도심 철도의 문제점을 해결할 수 있는 핵심기술을 개발함으로써 국가 교통 기술 경쟁력 확보와 해외 기술 선도 ○<u>대국민 편의성 및 서비스 질 향상 도모</u> : 장거리 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대 방안 마련을 위해 반드시 필요한 기술개발임.

4절 세부과제별 주요내용 및 추진체계

1. 세부과제별 주요내용

Table 5.4.1 세부과제별 주요내용

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="5">광역철도용 2층 전동객차 신개념 형상 설계 기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>기초/원천</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="7">○ 광역철도용 2층 전동객차의 형상설계를 위해 충돌에 안전성을 확보할 수 있는 형상설계가 필요
○ 기존 터널 및 운영노선에서 기존 전동차와의 인터페이스를 위해 고상 플렛폼과의 조화로운 설계 필요
○ 운전실의 위치 및 미려도를 확보하기 위한 신개념 형상설계를 연구개발 필요</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="7">광역철도용 2층 전동객차 신개념 형상 설계 도출(충돌, 미려도, 접근성 및 안전성 향상)</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="7">
<table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요기업 평가</td><td>시제품 신기술 검증.인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가.관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="7">○ 국내 환경에 적합한 모델 구조 도출(개념 형상 설계)
○ 2층 전동객차 목표사양 도출
○ 국외 환경에 적합한 모델 개념 설계
○ 형상 설계에 대한 철도법 등 관련 법규 검토 등</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td colspan="2">최종성과물</td><td colspan="5">○ 2층 전동객차 형상 설계도
○ 목표사양서 도출(표준화 모델 개발 및 구현)
○ 국내외 표준모델 제시 등</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용방안</td><td colspan="5">○ 국내 실용화 표준모델로 활용
○ 해외 수출 실용화 및 상용화 모델 활용
○ 국내외 관련 법규 2층 열차 제도 정립</td></tr>
<tr><td rowspan="6">8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>135</td><td>200</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>135</td><td>200</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">335</td><td rowspan="2">총 연구기간</td><td colspan="2" rowspan="2">2 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">335</td><td>연도별 평균소요인력</td><td colspan="2">3 명</td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="7">○ 국내 환경에 적합한 2층 전동객차 실용화 표준모델 제시로 대국민 서비스질 향상
○ 해외 2층 열차 충돌 및 경량화 10% 달성</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="3">시스템 인터페이스 및 기기 배치 최적화 설계기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>기초/원천</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="5">○ 광역철도용 2층 전동객차는 인프라 설비의 변경 없이 수송수요 증대 및 승객의 안락함을 제공하기 위해서는 기존 인프라설비와의 최적화된 새로운 개념의 시스템이 요구됨.
○ 최적화된 차량-궤도 표준 인터페이스 설계기술의 개발이 필요함.
○ 최적화된 차량-E&M 인터페이스 설계기술의 개발이 필요함.
○ 최적화된 차궤도-신호 인터페이스 설계기술의 개발이 필요함.
○ 최적화된 신호-통신 인터페이스 설계기술의 개발이 필요함.</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="5">○ 광역2층 열차 차량-궤도, 차량-E&M, 궤도-신호, 신호-통신 인터페이스 설계 기술
○ 동력차에 대한 기기 배치 최적화 기술(제작편의성 및 유지보수성 30% 향상)</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="5">
<table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론/실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요기업 평가</td><td>시제품 신기술 검증 인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화/인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="5">○ 차량-주행장치 인터페이스 설계
○ 차량-인버터 등 전장품 인터페이스 설계
○ 차량-제동장치 인터페이스 설계
○ 차량-전력 등 인터페이스 설계
○ 기기 배치 최적설계 기술
○ 수송량 증대를 위한 차체 설계 기술
○ 좌석 및 입석 배치 기술
○ 차종별 기기 배치 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>최종성과물</td><td colspan="4">○ 차량-주행장치 인터페이스 설계서
○ 차량-인버터 등 전장품 인터페이스 설계서
○ 차량-제동장치 인터페이스 설계서
○ 차량-전력 등 인터페이스 설계서
○ 인터페이스 설계 및 관리 기술서
○ 기기 배치 최적설계 설계서
○ 좌석 및 입석 배치 설계서
○ 차종별 기기 배치 설계서</td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td colspan="4">○ 광역철도 2층 열차를 운영하고자 하는 기관에 활용</td></tr>
<tr><td rowspan="6">8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>440</td><td>950</td><td>500</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>440</td><td>950</td><td>500</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">1,890</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">3 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">6 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">1,890</td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="5">○ 광역철도용 2층 전동객차의 성능 및 안전성, 효율성 향상에 기여
○ 시설물 증설 없이 수송량 30% 이상 향상
○ 최적화된 광역철도용 2층 전동객차 설계·운영을 통한 유지관리비 10% 절감 기대</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="2">차량 및 인프라 거동해석 기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>기초/원천</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="4">○ 일반 차량시스템에 대한 동적 거동에 대한 해석 기술 보유가 필요
○ 국내에서는 고속전철 2층 열차를 개발하고 있으나 고속철도 운영 노선에 한정되어 광역철도에 적용할 수 있는 차량 설계기술 확보가 필요
○ 시스템 운영에 필요한 안전성 확보할 수 있는 기술 필요
○ 철도안전법 등 관련 법규를 만족할 수 있는 차량 및 건축한계에 대한 근거 마련이 필요</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="4">시설물 등 인프라 시스템 변경 없이 운행 가능한 차량 설계 및 무게 중심 변동에 따른 주행 안전성 확보 기술</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="4"><table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요업 평가</td><td>시제품 신기술 검증·인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가·관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="4">○ 차량 단면 및 차량한계 검토
○ 주행동특성 모델링 및 주행안전성 해석
○ 중량 증대 및 무게 중심 변동에 따른 해석 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>최종성과물</td><td colspan="3">○ 차량 단면 및 차량한계 검토서
○ 차량 단면 및 차량한계 설계 도면
○ 주행동특성 모델링 및 주행안전성 해석 결과 보고서
○ 중량 증대 및 무게 중심 변동에 따른 해석 결과 보고서</td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td colspan="3">○ 광역철도용 2층 열차를 건설·운영하고자 하는 기관에 활용
○ 광역철도용 2층 열차 제작 및 설계하는 기업에서 활용</td></tr>
<tr><td rowspan="6">8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>150</td><td>400</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>150</td><td>400</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">550</td><td rowspan="2">총 연구기간</td><td colspan="2" rowspan="2">2 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">550</td><td>연도별 평균소요인력</td><td colspan="2">3 명</td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="4">○ 광역철도용 2층 전동객차의 성능 및 안전성, 효율성 향상에 기여
○ 시설물 증설 없이 수송량 30% 이상 향상
○ 최적화된 광역철도용 2층 전동객차 설계 표준화로 설계 개발비 10% 절감 기대
○ 최적화된 광역철도용 2층 전동객차 동적거동에 대한 설계 기술 확보로 제작비 10% 절감 기대</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="2">실용화를 위한 완성품 시험 평가 기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td colspan="5">기초/원천</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="8">○ 일반적으로 연구개발품의 성능확인 수준이며 개발과 동시에 활용 가능한 방법은 적용한 사례가 없어 이를 해결할 수 있는 방안 마련이 필요
○ 광역철도용 2층 전동객차 차량시스템의 종합 성능을 평가할 수 있는 방법 및 절차에 대한 개발이 필요</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="8">SE 기법을 활용한 안정적이고 높은 신뢰도를 갖춘 광역철도용 2층 전동객차 성능검증 기술 확보</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="8"><table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요기업 평가</td><td>시제품 신기술 검증 인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="8">○ 단위 구성품 성능검증 기술 연구
○ 시스템 성능검증방법 및 절차 연구
○ 시스템 종합성능검증 기술개발</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td colspan="2">최종성과물</td><td colspan="6">○ 단위 구성품 성능평가 방법 및 절차서
○ 광역철도용 2층 전동객차 차량시스템 종합성능평가 방법 및 절차서</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용방안</td><td colspan="6">○ 광역철도용 2층 전동객차 차량시스템성능 평가시 활용</td></tr>
<tr><td rowspan="6">8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td></td><td>180</td><td>800</td><td>200</td><td>200</td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td></td><td>180</td><td>800</td><td>200</td><td>200</td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">1,380</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">4 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">8 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">1,380</td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="8">○ 광역철도용 2층 전동객차의 성능 및 안전성 확보에 기여
○ 철도안전법의 광역철도용 2층 전동객차 성능시험 절차서 등에 활용</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="3">실용화를 위한 경제적 모델 개발</td><td>2. 기술개발단계</td><td>기초/원천</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="5">○ 기존 연구개발은 성능 및 내구성에 한정하여 연구개발 되어 실용화를 시킬 수 있는 방안 마련이 필요
○ 개발과 동시에 운영 가능한 모델을 제시할 수 있는 연구가 필요하고 이와 더불어 실용화를 성공시킬 필요가 있음.
○ 영국(UCL)에서는 다양한 철도시스템에 대한 수요 및 투자평가 지침 보유하고 있으며 연구개발 시 실용화가 연동되는 구조임. 이에 연구개발을 실용화할 수 있는 경제적 모델 개발이 필요</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="5">○ 실용화를 위한 요금체계 합리화 및 실용화 경제적 운영 모델 구현 기술
○ 광역철도용 2층 전동객차의 특성을 정량적으로 반영할 수 있는 수요 예측모형 개발 및 시스템의 장점을 극대화 시킬 수 있는 최적 운영전략 수립 방법론 개발
○ 광역철도용 2층 전동객차 특성을 반영한 효율적인 투자평가 기술 개발</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="5"><table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요기업 평가</td><td>시제품 신기술 검증 인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>■</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="5">○ 개발품 실용화를 위한 관련 법규 검토
○ 수요예측 및 투자평가 효과분석 기술 개발
○ 실용화사업을 위한 예비타당성 조사분석</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td colspan="2">최종성과물</td><td colspan="3">○ 개발품 실용화를 위한 관련 법규 고시(안) 마련 및 고시 지원
○ 수요예측 및 투자평가 효과분석 기술 보고서
○ 실용화사업을 위한 예비타당성 조사분석 보고서
○ 광역철도용 2층 전동객차의 특성을 반영한 수요관련 이용자 행태분석 결과 및 정량화 된 지표 산출(편의성, 접근성, 환경친화성 등)
○ 광역철도용 2층 전동객차 중심의 대중교통 수요예측 기술 보고서</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용방안</td><td colspan="3">○ 광역철도용 2층 전동객차와 같은 신교통수단 특성이 고려된 효율적 투자평가 분석
○ 광역철도용 2층 전동객차 도입 가능여부에 대한 신속하고 정확한 정책적 의사결정 지원 가능</td></tr>
<tr><td rowspan="6">8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차년도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>75</td><td>200</td><td>700</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>75</td><td>200</td><td>700</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">955</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">3 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">4 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">955</td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="5">○ 효과적인 경제적 모델 구축으로 광역철도용 2층 전동객차의 안전성, 신뢰성 향상
○ 광역철도용 2층 전동객차의 특성을 반영한 수요관련 이용자 행태분석 결과 및 정량화 된 지표(편의성, 접근성, 환경친화성 등)를 통해 대중교통 수요예측과정의 정확성 향상
○ 신교통체계의 특성을 반영한 대중교통 수요예측 기술 향상으로 교통시설 도입 의사결정의 신뢰성 향상
○ 효율적인광역철도용 2층 전동객차 도입방법론 제시를 통한 신속한 시스템 실용화 도모</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="3">Test-Bed 노선 실용화 모델 기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>기초/원천</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="5">○ 운영노선을 TEST BED화 할 수 있는 경제적 모델을 구현하고 운영기관을 참여시켜 국내외 실용화 요건을 만족시킬 필요가 있음.
○ 기존 연구개발은 성능 및 내구성에 한정하여 연구개발 되어 실용화를 시킬 수 있는 실용화 노선 발굴이 필요
○ 개발과 동시에 운영 가능한 모델을 제시할 수 있는 연구가 필요하고 이와 더불어 실용화를 성공시킬 필요가 있음.
○ 연구개발 시 실용화할 수 있는 경제적 모델 노선 개발이 필요하고 신뢰성 및 안전성을 확인할 수 있는 노선이 필요함.</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="5">○ 광역철도 2층 열차 운영 노선 확보
○ 개발과 동시에 실용화 모델 및 해외 진술 요건 확보</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="5"><table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요/업 평가</td><td>시제품 신기술 검증 인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>■</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="5">○ 시험선 후보지 도출(경제성 및 기대효과 분석)
○ 실용화를 위한 요건 도출
○ 시스템 종합 성능시험(내구성 및 신뢰성 시험, 10만㎞ 달성)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td colspan="2">최종성과물</td><td colspan="3">○ 개발품 실용화를 위한 노선 발굴
○ 국내외 실용화를 위한 요건 도출
○ 시스템 종합 성능시험 결과서(내구성 및 신뢰성 시험, 10만㎞ 달성)</td></tr>
<tr><td colspan="2">활용방안</td><td colspan="3">○ 광역철도용 2층 전동객차 시스템 운영기관 활용
○ 광역철도용 2층 전동객차 도입 가능여부에 대한 신속하고 정확한 정책적 의사결정 지원 가능</td></tr>
<tr><td>8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="5"><table>
<tr><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차년도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>100</td><td>200</td><td>500</td><td>800</td><td>800</td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>100</td><td>200</td><td>500</td><td>800</td><td>800</td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">2,400</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">5 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">7 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">2,400</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="5">○ 신개념 2층 열차시스템 체계의 특성을 반영한 대중교통 수요예측 기술 향상으로 교통시설 도입 의사결정의 신뢰성 향상으로 국가 정책결정에 기여
○ 광역철도용 2층 전동객차 기술개발의 경제성 확보를 통한 시장내 실용화 조기 달성
○ 효율적인 광역철도용 2층 전동객차 도입방법론 제시를 통한 신속한 시스템 실용화 도모</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="2">광역철도 2층 차체 제작 기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>개발</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="4">○ 국내 150㎞/h 급 2층 열차 운행 중(객차만 개발 수준)에 있지만 실용화하기에는 부족하여 지속적인 연구개발이 필요
○ 프랑스 및 일본의 광역철도용 2층열차의 설계속도는 120-140㎞/h급 2층 열차 운행 중(동력차 및 객차 개발 수준)에 있어 기술 선도를 위해 중고속급 2층 전동객차 개발이 필요
○ 광역철도용 2층열차의 설계는 구조적인 최적설계가 필요하며 2층 객차를 위해 반드시 확보해야하는 기술임.</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="4">200㎞/h 급 광역철도 2층 열차 제작 기술 확보</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="4"><table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가및 수요업 평가</td><td>시제품 신기술 검증 인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가.관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="4">○ 차체 기본설계
○ 차체 상세설계
○ 차체 시험품 제작
○ 완성차 시작품 제작 및 평가(4량 1편성)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>최종성과물</td><td colspan="3">○ 차체 기본설계서
○ 차체 상세설계서
○ 차체 시험품(4량 1편성)
○ 완성차 시작품 제작 및 시제품 성능평가서</td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td colspan="3">○ 신규 국가 R&D 창출(대중교통 혁신 사항 도출)
○ 미래 원천기술확보 및 대차 생산 전문 기업 양성 등 광역철도용 2층 전동객차 신산업 창출
○ 광역철도용 2층 전동객차 기술이전 및 기술전파</td></tr>
<tr><td>8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="4"><table>
<tr><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>50</td><td>1,150</td><td>750</td><td>2,300</td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">4,250</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">4 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">20 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">4,250</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="4">○ 미래 성장동력 및 신규 국가 R&D 창출(대중교통 혁신 사항 도출)
○ 미래 원천기술확보 및 대차 생산 전문 기업 양성 등 광역철도용 2층 전동객차 신산업 창출
○ 광역철도용 2층 전동객차 기술이전 및 기술전파
○ 해외 광역철도용 2층 전동객차 기술 선점 및 수출 기대효과 2,000억원/년
○ 해외 광역철도용 2층 전동객차 제작 기술은 기존의 철도차량 부품에도 동일하게 적용될 수 있으므로 인해 국내 철도차량 제작 기술이 한 단계 Up Grade 된 계기가 될 것으로 예상됨.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="3">2층 열차 경량화 및 안정화 기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>개발</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="5">○ 친환경 녹색성장을 위한 교통수단의 에너지 소모 감소 노력이 세계적으로 이루어질 것으로 보이며, 이를 위하여 광역철도용 2층 전동객차의 수송량 증대에 따른 출력밀도를 향상시키는 기술이 관련 산업을 좌우하는 핵심기술로 자리매김할 것으로 전망됨
○ 독립 운행체인 교통수단의 경우 자동차, 선박, 항공 등에서는 이미 고출력밀도를 위하여 많은 연구를 수행하였으나, 선진국에서도 고출력에 대한 집중적으로 연구된 바 없음
○ 일본 215계, 프랑스 Z2N/MI2N 등 해외에서는 운영되고 있으나 해외 2층열차의 축당 하중 최대 18톤으로 국내기준 16톤을 만족하지 못하므로 경량화에 대한 기술개발이 절실함.
○ 2층 열차에 대한 시장성이 확산됨에 따라 경량화 및 점유공간을 최소화 할 수 있는 고출력밀도 추진시스템 요구 증대</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="5">○ 2층 열차 충돌 안전성 확보 기술
○ 중량 집중에 따른 중량분포 및 경량화 기술
○ 축당 하중을 국내 수준(16톤)을 만족시키는 해외 기술대비 10% 경량화 기술</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="5">
<table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요업 평가</td><td>시제품 신기술 검증 인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="5">○ 차량 경량화 및 중량분포 기술
○ 차량 안정화 및 충돌해석 기술
○ 차량 및 주요 핵심장치간 인터페이스 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>최종성과물</td><td colspan="4">○ 차량 경량화 및 중량분포 기술 검토서
○ 차량 안정화 및 충돌해석 보고서
○ 차량 및 주요 핵심장치간 인터페이스 기술 검토서</td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td colspan="4">· 철제차륜 전기철도의 최대경사 노선 활용
· 전기철도 추진시스템의 경량화 및 소형화
· 철도차량 제작업체 및 수요처 기술 이전</td></tr>
<tr><td>8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="5">
<table>
<tr><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>120</td><td>650</td><td>450</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>120</td><td>650</td><td>450</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">1,220</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">3 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">7 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">1,220</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="5">○ 경량형 광역철도 2층 전동객차를 개발함으로써, 도심지 노선 설계가 유연해져 건설비 저감 가능 및 교통 편익 증대 효과 기대
○ 차량의 실내 이용 공간 증대 및 그에 따른 전체 시스템 효율 증대
○ 미래형 교통수단에 대한 일본, 독일, 미국 등 선진국과 강력한 후발주자인 중국의 기술선점 및 특허장벽에의 극복
○ 유관기관 공동연구 참여에 따른 조기 실용화 및 기술료 수입과 관련시장 형성에 따른 철도산업 성장</td></tr>
</table>

1. 과제명	슬림화 및 모듈화 기술	2. 기술개발단계	개발

3. 연구개발 배경 및 필요성

○ 터널 단면에서 2층화는 안전과 직결되는 핵심기술로서 차량 단면을 승객 편의성을 확보한 최대한 축소할 수 있는 연구가 필요함.
○ 기존 광역철도 건축한계내에 2층화를 위해서는 경량화 및 슬림화 할 수 있는 연구가 필요함.
○ 도시철도 차량시스템의 전장품들은 경량화 및 슬림화 하는 기술이 부족하여 이를 해결하는 연구가 필요함.

4 연구개발목표

○ 기존 도시철도차량 전장품의 크기의 20% 이상 슬림화
○ 2층 높이를 기존 광역철도 건축 한계내에 운행 가능한 슬림화 기술
○ 유지보수 및 제작비 절감을 위한 모듈화 기술
○ 해외 2층 열차 차량시스템 대비 10% 경량화

5. 대상 과제의 TRL 분류

사업화 기술	기초이론/실험	실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립	실험실 규모의 기본성능 평가	실험실 규모의 핵심 성능평가	확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가	파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가	신뢰성 평가 및 수요기업 평가	시제품 신기술 검증 인증 및 표준화	사업화
공공기술	현상규명	DB구축	시스템 및 모델개발	시스템 및 모델의 적용	표준 가이드라인 제시	통합시스템 개발적용 및 평가관리 기술	제도개선 (안) 등 도출	통합적 모델 및 시스템의 표준화/인증	정책 등 활용
현재시점	□	■	□	□	□	□	□	□	□
개발완료 시점	□	□	□	□	□	■	□	□	□

6. 연구개발내용 및 범위

○ 저상 2층 차량용 연결기 설계 및 제작
○ 케이블 등 기기간 연결 케이블 경량화 기술 및 제작
○ 유니소재 철도차량재료 친환경성 적용 및 제작
○ 제작~폐기 전과정 친환경성 평가
○ 운전실 및 기기 등 설비 제작

7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안

최종성과물	○ 저상 2층 차량용 연결기 설계도 및 시작품 ○ 케이블 등 기기간 연결 케이블 경량화된 시작품 ○ 유니소재 철도차량재료 친환경성 적용된 시작품 ○ 운전실 및 기기 등 설비 시작품
활용방안	○ 광역철도 및 도시철도 건설시 차량시스템으로 활용 ○ 광역철도 차량시스템의 경량화 및 소형화에 활용 ○ 철도차량 제작업체 및 수요처 기술 이전

8. 연구개발 과제의 규모

구분		1차연도	2차연도	3차연도	4차연도	5차연도
연차별 연구비 (백만원)	정부	830	1800	700		
	민간(추정)					
합 계						

총연구비 (백만원)	정부	3,330	**총 연구기간**	3 **년**
	민간			
	총합계	3,330	**연도별 평균소요인력**	6 **명**

9. 연구성과의 확산 및 기대효과

○ 광역철도 및 도시철도 차량시스템 제작시 슬림화 및 모듈화 기술이전
○ 광역철도 차량시스템의 경량화 및 소형화로 유지보수비 10% 이상 절감
○ 국내외 철도차량 제작업체 및 수요처 기술 이전으로 기술료 발생

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="2">2층 전동객차 환경친화형 재료기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>개발</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="4">○ 철도차량 제작업체 및 수요처 기술 이전으로 기술료 발생 자원고갈과 기후변화의 영향으로 환경친화형 철도차량 소재를 개발, 적용을 위한 국제적인 표준이 제정되고 있으며, 대량 자원 소비 산업 및 희유금속 사용 산업을 위주로 재활용 관련 산업이 급속하게 팽창하고 있음.
○ 철도차량 제작업체 및 수요처 기술 이전으로 기술료 발생 친환경 교통수단으로서 저심도 철도차량의 환경성을 공개적으로 검증하기 위해서, 환경친화적 소재 기술을 개발하여 적용할 필요가 있으며, 환경친화적 소재에 대한 기준 및 인증 기준과 그 시스템을 구축할 필요가 있음.</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="4">○ 광역철도 2층 차량용 내/외장재에 유니소재 도입으로 재활용성 향상
○ 탄소배출량 저감 및 친환경성 인증 기술 확보</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="4">
<table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가및 수요기업 평가</td><td>시제품 신기술 검증,인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="4">○ 재활용 소재 외장재 적용 기술 개발
○ 내장재 재활용을 위한 모듈화 평가
○ 철도차량 유해물질 함유제한 기준 개발
○ 전과정 탄소배출평가를 통한 환경친화형 소재 적용 차량의 환경성 개선 성과 평가
○ 철도차량 환경성(저탄소 및 재활용) 인증 기준 개발
○ 철도차량 환경성 인증 체계 구축</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>최종성과물</td><td colspan="3">○ 외장소재 재활용 기술 기준서
○ 내장재 유니소재화 기술 기준서
○ 유해화학물질 관련 환경규제 대응 매뉴얼
○ 저탄소 소재 기술 보고서
○ 친환경 인증 기술 보고서</td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td colspan="3">○ 철도차량 재활용 소재 사용율 중량대비 15%까지 제고
○ 국제적 수준의 유해화학물질 규제 대응
○ 철도차량 전과정 탄소배출량 10% 저감
○ 광역철도 2층 전동객차시스템의 친환경 인증 시스템 구축</td></tr>
<tr><td>8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="4">
<table>
<tr><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>400</td><td>900</td><td>700</td><td>1,000</td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>400</td><td>900</td><td>700</td><td>1,000</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">3,000</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">4 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">3,000</td><td>연도별 평균소요인력</td><td colspan="2">10 명</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="4">○ 광역철도차량 친환경 재활용 소재 사용율 10% 달성(재활용 소재 5%, 유니소재 5%)
○ 철도차량 내장재의 친환경소재화 및 기존 차량 대비 전과정 탄소배출량 10% 저감
○ 철도차량에 재활용 소재 적용 증가로 온실가스 배출량 저감
○ 유니소재의 철도차량 적용 확대로 재활용 비용 저감 및 재활용율, 재활용 가능율 증대
○ 재활용 및 탄소배출량을 성과지표로 하는 전과정 친환경 철도차량 인증 체계 구축을 통하여 철도차량의 친환경성을 홍보할 수 있음.</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="3">전장품 및 제동장치 지능화/경량화 기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>개발</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="5">○ 국내 2층 전동객차용 제동장치 및 전장품에 대한 제작기술 미보유로 기술개발이 필요
○ 일본 및 유럽 등에서는 2층 전동객차를 제작하기 위한 전장품 및 제동장치 기술보유하고 있어 기술 추격이 필요
○ 도시철도 차량시스템의 전장품들은 경량화 및 슬림화 하는 기술이 부족하여 이를 해결하는 연구가 필요함.</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="5">○ 도시철도/광역철도의 전장품 및 제동장치 대비 10% 경량화 기술
○ 도시철도/광역철도 전장품 및 제동장치 대비 지능화(자기 성능확인) 기술</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="5">
<table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요기업 평가</td><td>시제품 신기술 검증,인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가.관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="5">○ 전장품 지능화 기술
○ 전장품 경량화/모듈화 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>최종성과물</td><td colspan="4">○ 전장품 지능화 기술
○ 전장품 경량화/모듈화 기술</td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td colspan="4">○ 광역철도 급행화 및 도시철도 차량제작시 활용
○ 철도차량 제작업체 및 수요처 기술 이전
○ 도시철도 및 광역철도 운영기관 유지보수에 활용</td></tr>
<tr><td rowspan="6">8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>200</td><td>450</td><td>200</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>200</td><td>450</td><td>200</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">850</td><td rowspan="2">총 연구기간</td><td colspan="2" rowspan="2">3 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">850</td><td>연도별 평균소요인력</td><td colspan="2">6 명</td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="5">○ 광역철도 및 도시철도 차량시스템 제작시 전장품 및 제동장치 기술이전 및 기술료 발생
○ 광역철도 차량시스템의 주요 전장품 경량화 및 지능화로 예방정비시스템 구축</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="2">전기식 제동성능 향상 및 고출력
동기전동기 적용기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>개발</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경
및 필요성</td><td colspan="4">○ 전 세계적으로 친환경 운송 및 교통수단에 대한 관심 고조로 전기철도차량에 대한 기술개발이 더욱 심화될 것으로 판단되며, 이에 따라 광역철도용 2층 전동객차 기술의 고효율화, 고출력밀도화, 소형화 등이 지속적으로 이루어질 것으로 예상됨
○ 국내외 적으로 고출력 전기식 제동장치 제작기술을 적용한 사례는 없음. 따라서 세계 최초 기술이며 기술개발이 필요한 부분임.
○ 경전철 및 산업용으로 일부 적용된 사례는 있으나 2층 전동차에는 적용된 바가 없어 핵심기술 개발이 필요함.</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="4">○ 고출력 전기식 제동장치 기술(부피 및 경량화 20% 절감)
○ 고효율 경량형 전동기 2층 전동객차 적용기술(IPMSM)</td></tr>
<tr><td>5. 대상
과제의 TRL
분류</td><td colspan="4"><table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요기업 평가</td><td>시제품 신기술 검증 인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용
및 범위</td><td colspan="4">○ 중량 증대에 따른 제동기술 검토
○ 제동장치 소형화 및 경량화 기술
○ 고출력 IPMSM 전동기 적용 검토</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발
최종성과물 및
활용방안</td><td>최종성과물</td><td colspan="3">○ 중량 증대에 따른 제동기술 보고서
○ 제동장치 소형화 및 경량화 기술 보고서
○ 고출력 IPMSM 전동기 및 전기식 제동장치 시작품</td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td colspan="3">○ 광역철도 급행화 및 도시철도 차량제작시 활용
○ 철도차량 제작업체 및 수요처 기술 이전
○ 도시철도 및 광역철도 운영기관 유지보수에 활용</td></tr>
<tr><td>8. 연구개발
과제의 규모</td><td colspan="4"><table>
<tr><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>330</td><td>1,000</td><td>300</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>330</td><td>1,000</td><td>300</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">1,630</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">3 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td rowspan="2">연도별 평균소요인력</td><td colspan="2" rowspan="2">11 명</td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">1,630</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의
확산 및 기대효과</td><td colspan="4">○ 고출력 및 경량화된 제동장치와 전동기를 광역철도 2층 전동객차에 적용 및 개발함으로써, 안전성 확보 및 교통 편익 증대 효과 기대
○ 고출력 및 고효율 제동장치 및 전동기를 적용함에 따라 전체 시스템 효율 증대
○ 미래형 교통수단에 대한 일본, 독일, 미국 등 선진국과 강력한 후발주자인 중국의 기술선점 및 특허장벽에의 극복
○ 유관기관 공동연구 참여에 따른 조기 실용화 및 기술료 수입과 관련시장 형성에 따른 철도산업 성장</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>1. 과제명</td><td colspan="3">광역철도 2층 전동객차 주행장치 설계 기술</td><td>2. 기술개발단계</td><td>개발</td></tr>
<tr><td>3. 연구개발 배경 및 필요성</td><td colspan="5">○ 저상형 2층 전동객차 주행장치의 조향기술 미적용으로 기술개발이 절실함.
○ 전동차용 능동조향 기술이 국가 R&D로 개발 중에 있어 이 기술을 적용성을 검토할 필요가 있음.
○ 따라서 전동차용 능동조향 기술은 곡선부에서 소음저감을 위해 개발되고 있는</td></tr>
<tr><td>4 연구개발목표</td><td colspan="5">○ 저상형 능동조향기능을 적용한 스퀼 소음 저감 기술(최적설계 및 설계 및 제작)</td></tr>
<tr><td>5. 대상 과제의 TRL 분류</td><td colspan="5">
<table>
<tr><td>사업화 기술</td><td>기초이론 /실험</td><td>실용목적 아이디어 특허 등 개념 정립</td><td>실험실 규모의 기본성능 평가</td><td>실험실 규모의 핵심 성능평가</td><td>확정된 시스템의 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>파일롯 규모 시작품 제작 및 성능 평가</td><td>신뢰성 평가 및 수요업 평가</td><td>시제품 신기술 검증 인증 및 표준화</td><td>사업화</td></tr>
<tr><td>공공기술</td><td>현상규명</td><td>DB구축</td><td>시스템 및 모델개발</td><td>시스템 및 모델의 적용</td><td>표준 가이드라인 제시</td><td>통합시스템 개발적용 및 평가관리 기술</td><td>제도개선 (안) 등 도출</td><td>통합적 모델 및 시스템의 표준화 /인증</td><td>정책 등 활용</td></tr>
<tr><td>현재시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td></tr>
<tr><td>개발완료 시점</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>□</td><td>■</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>6. 연구개발내용 및 범위</td><td colspan="5">○ 주행장치 기본 및 상세 설계
○ 주행장치 완성품 제작
○ 능동조향대차 적용성 검토
○ 중량 증대에 따른 주행 안전성 및 곡선 추종성 검토
○ 대차 프레임 강도 및 동특성 향상을 위한 강성 최적설계
○ 주행장치 구성품 경량화 및 1차/2차 스프링 장치 설계 및 제작
○ 중량 증대에 따란 윤축 설계 및 제작
○ 조향장치 인터페이스 설계 및 제작
○ 감속기 및 차량지지장치 설계 및 제작</td></tr>
<tr><td rowspan="2">7. 기술개발 최종성과물 및 활용방안</td><td>최종성과물</td><td colspan="4">○ 주행장치 기본 및 상세 설계도
○ 주행장치 시작품(8대)
○ 능동조향대차 적용성 검토 보고서
○ 중량 증대에 따른 주행 안전성 및 곡선 추종성 검토 보고서
○ 주행장치 구성품 및 1차/2차 스프링 장치 시작품
○ 중량 증대에 따란 윤축 시작품
○ 조향장치 인터페이스 설계 보고서 및 시작품
○ 감속기 설계 보고서 및 시작품
○ 차량지지장치 설계 보고서 및 시작품</td></tr>
<tr><td>활용방안</td><td colspan="4">○ 광역철도 급행화 및 도시철도 차량제작시 활용
○ 철도차량 제작업체 및 수요처 기술 이전</td></tr>
<tr><td rowspan="6">8. 연구개발 과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차연도</td><td>2차연도</td><td>3차연도</td><td>4차연도</td><td>5차연도</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별 연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td>500</td><td>2,400</td><td>1,200</td><td>200</td><td></td></tr>
<tr><td>민간(추정)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">총연구비 (백만원)</td><td>정부</td><td colspan="2">4,300</td><td>총 연구기간</td><td colspan="2">4 년</td></tr>
<tr><td>민간</td><td colspan="2"></td><td></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>총합계</td><td colspan="2">4,300</td><td>연도별 평균소요인력</td><td colspan="2">40 명</td></tr>
<tr><td>9. 연구성과의 확산 및 기대효과</td><td colspan="5">○ 광역철도용 2층 전동객차의 주행장치 조향 및 경량화 기술 선점을 통한 시장내 투자우위성 확보
○ 효율적인 주행장치 기술의 도시철도 및 광역철도 적용을 통한 실용화 도모
○ 저비용 고효율 주행시스템 적용을 통한 건설비 및 운영비 10%이상 절감</td></tr>
</table>

2. 세부과제별 추진체계

Table 5.4.2 중점 추진 분야1 : 광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 연구

중점 연구분야	세부핵심기술	구성기술(성과검증 방안)
광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 기술	**2층 전동객차 목표사양 도출**	
		국내 환경에 적합한 모델 구조 도출(개념 형상 설계)
		국외 환경에 적합한 모델 개념 설계
	차체 및 핵심장치 인터페이스 기술	
		차량-주행장치 인터페이스 설계
		차량-인버터 등 전장품 인터페이스 설계
		차량-제동장치 인터페이스 설계
		차량-전력 등 인터페이스 설계
		인터페이스 설계 및 관리 기술서
	용량 및 기기 배치 최적설계 기술	
		기기 배치 최적설계 기술
		수송량 증대를 위한 차체 설계 기술
		좌석 및 입석 배치 기술
		차종별 기기 배치 기술
	차량/인프라 인터페이스(동적거동 등) 기술	
		차량 단면 및 차량한계 검토
		주행동특성 모델링 및 주행안전성 해석
		중량 증대 및 무게 중심 변동에 따른 해석 기술
	핵심장치 완성품 시험·평가	
		시스템 성능검증방법 및 절차 연구
		시스템 종합성능 성적서 마련
	실용화를 위한 경제적 모델 개발	
		개발품 실용화를 위한 관련 법규 검토
		수요예측 및 투자평가 효과분석 기술 개발
		실용화사업을 위한 예비타당성 조사·분석
	Test-bed 노선 연구	
		시험선 후보지 도출(경제성 및 기대효과 분석)
		실용화를 위한 요건 도출
		시스템 종합 성능시험(내구성 및 신뢰성 시험, 10만km 달성)

Table 5.4.3 중점 추진 분야2 : 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계 · 제작 기술

중점 연구분야	세부핵심기술	구성기술(성과검증 방안)
광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술	**광역철도용 2층 차체 설계 기술**	
		차체 기본설계
		차체 상세설계
		차체 시험품 제작
		완성차 시작품 제작 및 평가(4량 1편성)
	차체 경량화 및 안정화 기술	
		차량 경량화 및 중량분포 기술
		차량 안정화 및 충돌해석 기술
		차량 및 주요 핵심장치간 인터페이스 기술
	연결기 등 부품 슬림화 및 모듈화 기술	
		저상 2층 차량용 연결기 설계 및 제작
		케이블 등 기기간 연결 케이블 경량화 기술 및 제작
		유니소재 철도차량재료 친환경성 적용 및 제작
		제작~폐기 전과정 친환경성 평가
		운전실 및 기기 등 설비 제작
	차체 및 주요 구성품 시험(정하중 및 피로시험) 평가	
		차체 구조물 정하중 및 피로시험
		주요 구조물 정하중 및 피로시험
		완성차 종합평가 시험

Table 5.4.4 중점 추진 분야3 : 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계 · 제작 기술 개발

중점 연구분야	세부핵심기술	구성기술(성과검증 방안)
광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술	**전장품 및 제동장치 경량화 제작 기술**	
		전장품 및 제동장치 설계가이드 및 시방서 도출
		전장품 및 제동장치 기본 설계
		전장품 및 제동장치 상세 설계
		전장품 및 제동장치 시제품 제작
	전장품 지능화 및 모듈화 기술	
		전장품 지능화 기술
		전장품 경량화/모듈화 기술
	고출력 제동장치 기술	
		중량 증대에 따른 제동기술 검토
		제동장치 소형화 및 경량화 기술
	영구작석용 동기전동기 적용 기술	고출력 IPMSM 전동기 적용 검토
	전장품 및 제동장치 시제품 평가	
		전기장치 완성품 조립 및 검사
		제동장치 완성품 조립 및 검사
		종합시험 지원

Table 5.4.5 중점 추진 분야4 : 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계 · 제작 기술 개발

중점 연구분야	세부핵심기술	구성기술(성과검증 방안)
광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술	**광역철도용 주행장치 설계 기술**	
		주행장치 기본 설계
		주행장치 상세 설계
		주행장치 완성품 제작
	능동조향대차 적용 기술	
		능동조향대차 적용성 검토
		중량 증대에 따른 주행 안전성 및 곡선 추종성 검토
	주행장치 최적설계	
		대차 프레임 강도 최적설계
		동특성 향상을 위한 강성 최적설계
		구성품 경량화를 위한 설계
	대차 핵심장치 설계 및 제작	
		1차/2차 스프링 장치 설계 및 제작
		중량 증대에 따란 윤축 설계 및 제작
		제동장치 인터페이스 설계
		조향장치 인터페이스 설계 및 제작
		감속기 설계 및 제작
		차량지지장치 설계 및 제작
	대차 구성품 및 완성품 시험·평가	
		주행장치 완성품 조립 및 제작 검사
		주행장치 완성품 시험 평가
		종합시험 평가 지원

5절 성과의 활용방안

1. 활용 및 실용화 방안

본 과제는 광역철도용 2층 전동객차의 운영 타당성을 기술적 관점에서 검토하고 정부정책 반영에 기여하기 위한 수행된 기획연구이다. 연구수행은 철도청과 철도 정책 수립 및 운영 부처, 철도차량 제작사 등 타 연구소, 학계의 관련 전문가 및 담당자로 구성된 자문위원회 및 각종 설명회를 통해 광역철도용 2층 전동객차에 대한 관심유도 및 연구내용에 내실을 기하고 의견수렴을 통해 진행하였다.

차량의 운용측면에서는 수도권 전철 구간 중 추가 투자를 최소화 하면서 급행운행이 가능한 특선 전철화 구간을 기준으로 검토하였다. 수송량 증대 측면에서 볼 때는 좌석위주의 기존 전동차를 운행하는 국내실정에서 좌석위주 2층 열차의 수송량 증강이 쉽지는 않다. 또한 외국의 사례에 비춰볼 때 2층 열차에 광폭의 출입문을 장착한다고 해도 150% 이상의 차내 혼잡율에서 승하차 지연은 피하기 어려울 것으로 판단된다. 전동차의 수송량 증대로 혼잡률 문제를 해결할 수 있으며, 수송집중 시간대의 혼잡을 최소화하여 쾌적한 환경 조성할 수 있다.

광역철도 2층 전동객차 핵심기술 확보를 통해, 국내 광역철도용 2층 열차 제작·운영 가능으로 선진기술을 선도하고 해외 광역철도 시장 진출 시 다양한 전동차용 2층 열차 모델 제공으로 시장 진입 가능성 제고할 수 있다.

광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동 수요의 지속적인 증가 예상으로, 장거리 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대로 교통수요정책 마련하여 우리나라 최근 이용교통수단별 평균 출·퇴근 시간은 철도가 1시간 이상으로 최장(OECD국가 중 두 번째로 최장 수준)으로, 국토교통부 및 지방자치단체의 교통정책과 신도시 건설계획 시, 구축비용을 최소할 수 있는 기술을 제공함으로써 도시교통 정책 수립 시 탄력성 부여할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 기술적 파급효과

본 연구를 통해서 광역철도 2층 열차 핵심 기술개발 사업의 성과물은 연구 과정에서부터 국가의 정책에 부합되는 광역철도용 2층 열차 모델을 구축하고 제공하는데 활용되어진다. 원활한 수송수요 처리방안(열차 운영체계의 개선)을 모색하기 위해 효과적 교통수단으로서 철도의 장점을 최대한 살리고 철도를 더욱 탄력적으로 운용가능함으로써 효율적 국토운영과 대국민 서비스질 향상을 도모할 수 있다.

운영시스템에서는 2층 전동객차를 운영할 경우, 여러 가지 운영환경에서 다양한 정

차패턴에 따른 운행시간의 단축효과를 유도하고 광역철도용 2층 전동객차 실용화시 교통사고의 감소 편익과 환경비용 감소 편익 증가 및 핵심기술개발로 중소기업 육성과 지역개발 효과 등 파급효과가 클 것으로 예상된다.

본 연구를 통해서 확보되는 2층 열차 국내 제작기술은 국내 수요시장뿐만 아니라 열차 해외 시장 진출을 위한 경쟁력을 확보하는데 기여하게 될 것이다. 해외 열차 시장의 확대는 서두에서도 언급하였으며 수송력 증대와 편의 공간 확보를 위해 2층 열차 시장이 확대되는 추세에 발맞추어 2층 열차 국내 제작기술 확보는 해외 열차 시장의 주도권을 확보하는데 크게 기여하게 될 것이다. 또한 차세대 2층 열차의 기반기술의 역할을 통해 2층 열차의 이동 편위성을 극대화함으로써 편안하고 여유 있는 교통수단이며 환경보존과 에너지 효율 증대에 부합하는 최상의 녹색 교통수단을 제공하게 될 것이다. 이는 일본 및 프랑스의 2층 열차 제작기술 기 확보 국가와의 경쟁에서 우위를 차지하는 기술로써 세계적인 차세대 2층 열차의 선두국가로 자리매김 하는데 기여하게 될 것이다.

제 6 장 사전타당성 검토

1절 정책적 타당성

1. 상위 · 유관계획과의 일치성

(1) 추진 근거 및 연계

① 국가정책

■ 국정과제

– (국가 과학기술 혁신역량 강화) 광역철도용 2층 전동객차 기술은 기계, 전기, 전자 및 토목 등 모든 학문이 상호 유기적인 대형 복합시스템으로써 국가 과학기술 혁신역량 강화

– (건전 재정기조 정착) 수도권 및 대도시 수송수요 증대에 따른 신규노선 건설에 국가 및 지자체에서 경제적인 부담으로 작용함으로 인해 시설개량에 부담이 없는 광역철도용 2층 전동객차를 운행함으로 인해 건전 재정기조 유지

■ 창조경제 실현과제

– (과학기술을 통한 창조산업 육성) 광역철도용 2층 전동객차 개발은 일본, 프랑스 등 해외 선진국에서도 핵심 기술확보를 위해 지속적으로 투자하고 있으며 국내에서도 광역철도용 2층 열차의 핵심기술개발로 창조산업을 육성

■ 경제혁신 3개년 계획

– (역동적인 혁신경제) 미래 도시교통수단의 발전을 위해서는 기존의 광역철도에서 미래 지향적인 새로운 광역철도의 비젼이 필요하고 이는 미래 대비 투자를 국가 R&D를 통해 핵심기술을 확보와 중소/중견기업의 참여를 통해 기업 경쟁력 강화

② 법정계획

■ 제3차 과학기술기본계획(’13～’17)

– (스마트 물류·교통시스템 구축) 기존 교통체계와 첨단 ICT 기술 접목을 통해 교통시스템의 편리성 향상 및 안전성 확보

③ 부처방침 등

■ 기술이전 및 사업화 촉진에 관한 법률 15조

– 정부는 기술이전·사업화의 지원, 사업화와 연계된 기술개발의 지원 등 기술이전·사업화 촉진사업을 추진

■ 국토부 철도정책 2010(운영/건설비용 절감)

- 광역철도 운영/건설 전방의 비용 절감 및 효율화를 위한 기술개발 추진
- 속도 경쟁력을 갖춘 효율적 광역 및 도시철도망 구축으로 광역 생활권에 따른 편의성 및 수송량 증대할 수 있는 기술개발 마련

(2) 제3차 국가철도망 구축계획('16~'25)

철도연장 증가 등 건설 · 공급자 위주에서 철도수송 분담률 향상 등 운영과 이용자 중심의 철도망 구축체계로 전환 및 장래 열차운영 및 수급계획을 바탕으로 철도망 구축계획을 수립

①전국 주요거점을 하나의 도시권으로 통합하기 위한 중점 추진과제 설정
- ■ 전국 주요거점을 고속 KTX망으로 연결
- ■ 대도시권 30분대 광역·급행 철도망 구축
- ■ 녹색 철도물류체계 구축 등

②철도망 확충에 총 88조원 소요재원 조달
- ■ 고속철도 16조원, 일반철도 46조원, 광역철도 26조원
- ■ 국비 59조원, 지방비 3조원, 민자유치·공기업·기타 26조원 등

③철도중심의 교통·물류체계로 전환(저탄소 녹색성장 기반구축)
- ■ 철도 여객수송 분담률은 현재 15.9%('08)에서 2020년 27.3%로 증가
- ■ 화물수송 분담률은 8.0%('08) → 18.5%('20)로 확대
- ■ 연간 6.8조원의 사회적 편익과 774만톤의 CO_2 감축 효과가 기대

철도관련 상위계획은 권역간 통행량을 분석하고 사회경제적 편익, 시간가치, 지역균형발전 등을 종합 감안하여 국토를 최단으로 연결하는 "X" 자형과 해안권을 연결하는 "□" 자형 결합노선을 도출하였다. 특히 정부의 국정목표도 본 계획에 있는 사업내용을 반영하고 있어서 철도정책의 일관성을 갖고 있다. 정부의 철도분야 국정목표는 다음과 같다.

- GTX(수도권 광역급행철도) 추진
- 수서발 KTX노선 의정부까지 연장
- 인천경제자유구역 활성화 및 접근성 제고
- 남해안 철도고속화 사업 단계적 추진
- 호남 KTX(송정-목포) 건설사업 추진
- 김천~거제간 남부내륙철도 추진
- 중부내륙철도 고속 · 복선화 추진

- 충청권 광역철도망 대전구간 전철화사업 조기착공 추진
- 충청권 광역철도(논산~대전~세종~청주)건설
- 춘천~속초 동서고속화철도 조기착공 추진
- 여주~원주간, 원주~강릉간 복선전철 추진

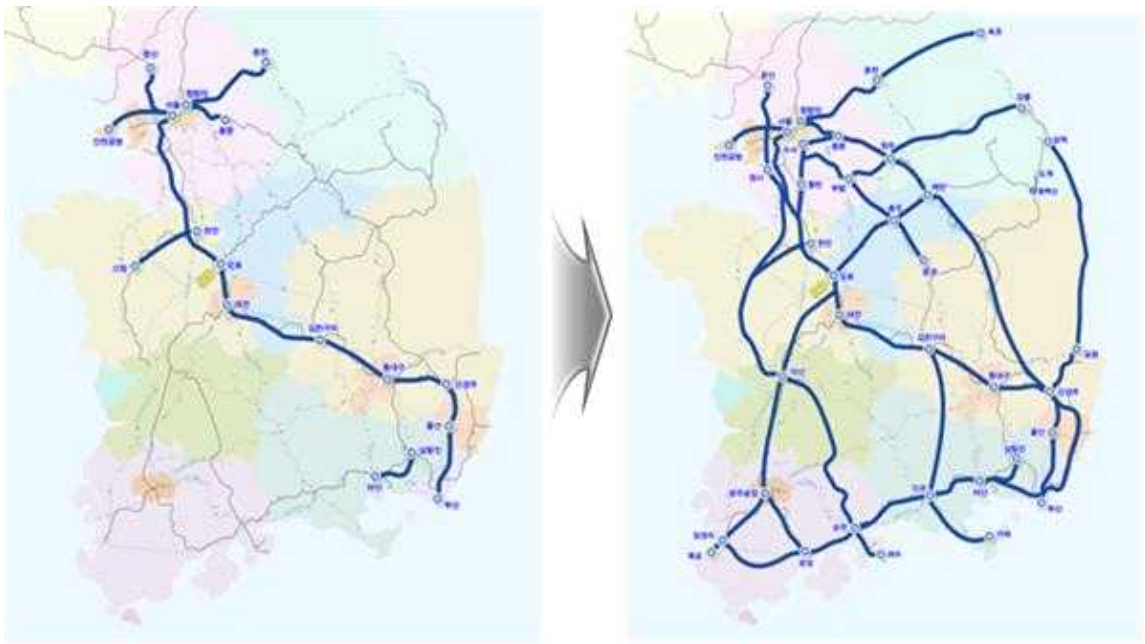


Fig. 6.1.1 국가철도망 구축계획

2. 기존사업과의 차별성

(1) 2015년 철도기술연구사업 추진 현황

① 사업목적

■ 국민 행복을 위한 빠르고 안전하고 경제적인 철도 개발 및 철도산업을 고부가가치 창조형 신성장 동력으로 육성하는 것으로 광역철도 2층 열차 기술개발의 비전과 목표와도 일치한다.

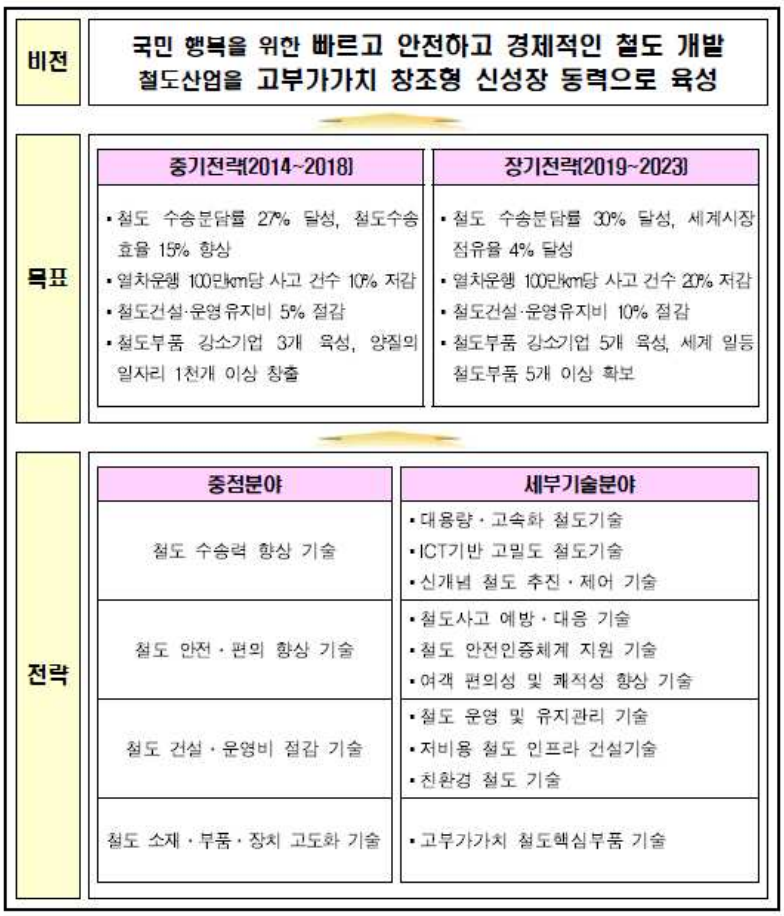


Fig. 6.1.2 철도기술사업의 비전, 목표 및 전략

② 분야별 중장기 추진방향

■ 철도 수송력 향상 기술

– 철도 수송분담률 제고를 위해 고속철도 속도향상을 위한 차량 및 인프라 핵심기술 개발 및 실증(관련성 있음)

* 과제명 : 2층 고속열차 및 고속화물열차, 고속철도 차량 및 인프라 기술 등

→ 검토 : 2층 고속열차 및 고속화물열차의 추진방향은 동력 집중식이며 객차만 2층화하는 것이며 본 과제의 2층 열차는 동력분산 방식이며 동력차와 부수차를 동시에 2층화하는 과제로 중복성은 없음.

– 고밀도 운행을 통한 철도 수송력 향상을 위해 ICT기반 열차 제어시스템 실용화 (연관성 없음)

* 과제명 : 도시 고속 일반철도 무선열차제어시스템 기술, 철도 차량간 자동연결 기술 등

– 자기부상 및 배터리 방식 등 신교통시스템 실용화를 통해 해외 시장 진출(연관성 없음)

* 과제명 : 도시철도 무선급전 실용화, 도시형 자기부상철도 안정화 및 성능향상 등

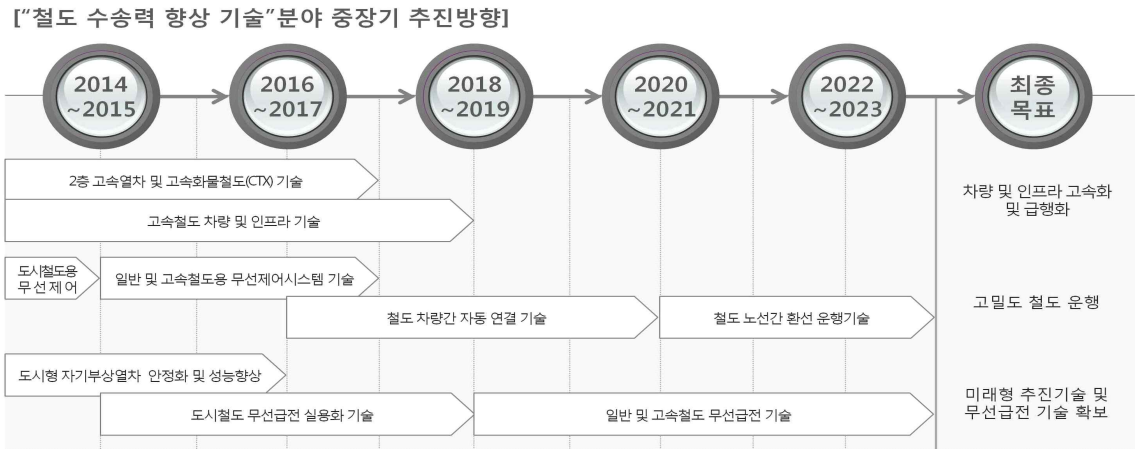


Fig. 6.1.3 철도 수송력 향상 기술분야 중장기 추진방향

■ 철도 안전·편의 향상 기술

– 철도사고 예방을 위한 실시간 안전감시체계 및 철도안전/인증 체계구축을 위한 철도차량·용품 형식인증 기반 마련(연관성 없음)

* 과제명 : 실시간 철도안전 감시 및 철도사고 긴급 복구 기술, 철도 재난·재해 대응기술, 철도시스템 성능평가 및 철도차량·용품 인증체계 고도화 등

– 철도이용 편의성·접근성 개선 및 소음진단 저감 등 철도 이용객의쾌적성 향상(연관성 없음)

* 과제명 : 승하차 인터페이스 개선 및 무환승 교통 기술, 나노기술을 이용한 지하구간오염물질 제거 기술 등

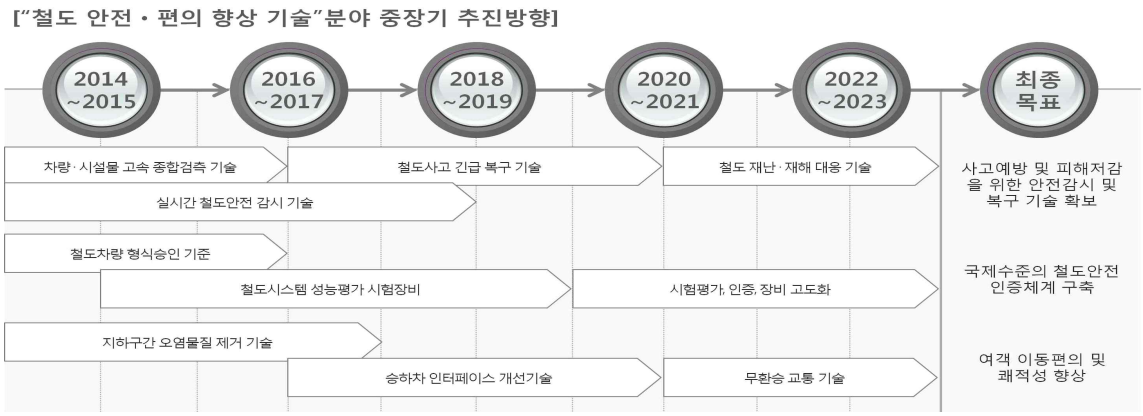


Fig. 6.1.4 철도 안전 · 편의 향상 기술분야 중장기 추진방향

■ 철도 건설·운영비 절감 기술

– ICT 기술 융복합을 통한 철도운영 및 유지보수 관리와 철도 인프라 최적화 및

건설비 저감을 통해 경제적인 철도 건설 구현(연관성 없음)

* 과제명 : 철도인프라 생애주기관리 고도화, 철도 인프라 설계·시공 최적화 기술, 자갈궤도 유지보수 저감 기술, 철도차량 내부장치간 무선연계 기술 등

– 친환경 철도 차량·인프라 기술 개발을 통해 환경비용 부담을 저감 할 수 있는 친환경 철도기술 개발(연관성 없음)

* 과제명 : 첨단소재 활용 철도차량 경량화 기술, 기후변화 대비 철도교통분야 대응기술, 철도에너지 효율 극대화 기술 등

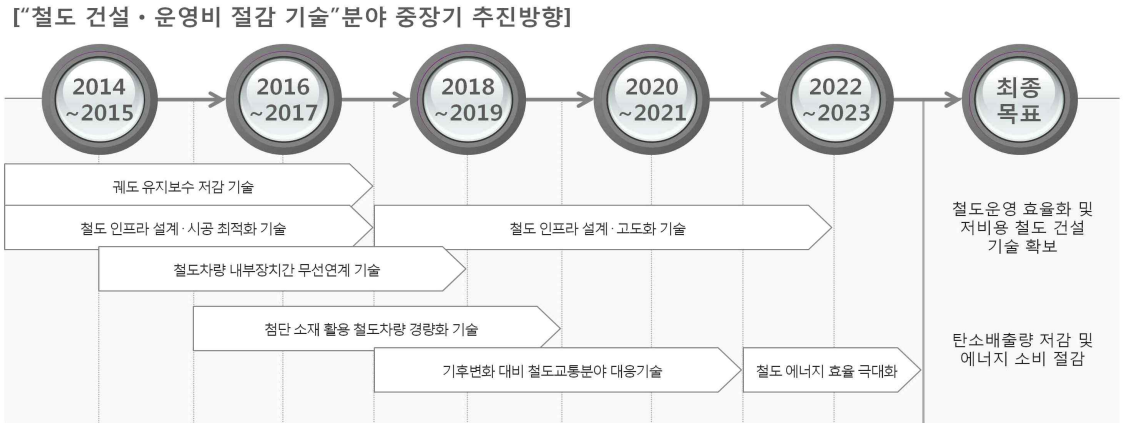


Fig. 6.1.5 철도 건설 · 운영비 절감 기술분야 중장기 추진방향

■ 철도 소재·부품·장치 고도화 기술

– 철도 핵심부품·장치 설계 및 제작기술, 신뢰성 확보 기술 등의 국산화 및 성능개선

* 과제명 : 철도/도시철도 핵심부품/장치(베어링, 댐퍼, 유압제동장치 등) 기술, 도시철도부품호환 및 표준모듈 등(일부 부품에 대한 적용성은 추후 검토 필요함.)



Fig. 6.1.6 철도 소재 · 부품 · 장치 고도화 기술분야 중장기 추진방향

Table 6.1.1 철도기술사업 주요 연구내용 및 현황(참고)

[단위:백만원]

사업/분야/과제명	주관 연구기관	최초 협약	최종 협약	총 연구비	'12	'13	'14	'15	'16~	비고
철도기술연구사업					127,194	97,627	102,475	97,589	268,341	[수행체계] 연구내용
○철도 수송력 향상 기술					101,487	56,932	50,688	40,214	66,246	
1[신규] 도시철도 무선급전 실용화 기술 개발	-	'15	'18	20,000	-	-	-	750	19,250	[연구내] 경전철(최대출력500kW)용 무선급전시스템 실용화 기술 개발
2[계속] 2층 고속열차 기술 개발	한국철도기술연구원	'13.11	'16.11	29,000	-	2,900	8,000	9,600	8,500	[연구내] 300km/h급 2층 고속열차 인터페이스 및 운영기술 개발, 2층 고속열차 설계, 차량 제작 제작기술 개발
3[계속] 고속화물열차 및 여객/화물 복합열차 기술 개발	한국철도기술연구원	'13.11	'17.11	19,000	-	1,500	4,650	3,400	9,450	[연구내] 300km/h급 고속화물열차, 여객/화물 복합열차 및 상하역 핵심기술 개발
4[계속] 도시형 자기부상철도 시범노선 안정화 지원 및 성능 향상 기술 개발	한국기계연구원	'13.12	'16.6	19,400	-	3,300	6,550	6,900	2,650	[연구내]도시형자기부상열차 운영안정화 및 최적화 연구, 선로구축물 및 차량 성능개선, 시험규격 및 기술기준 개발 등
5[계속] 고속열차 효율향상 핵심기술 개발	한국철도기술연구원	'13.12	'16.12	15,000	-	3,900	3,900	3,400	3,800	[연구내] 동력집중식 고속열차의 성능·효율 향상을 위한 핵심기술(추진, 공력, 주행성능) 및 시험평가 기술 개발
6[계속] 급곡선/급구배 차량시스템 기술 개발	한국철도기술연구원	'13.12	'16.12	12,940	-	2,600	4,344	2,400	3,596	[연구내] 산악 지역에 적용이 가능한 급구배 추진시스템의 핵심기술인 대차추진시스템, 경량구조체, 궤도시스템 개발 및 곡선 구간 주행 시 철도차량 차륜/레일 마모, 소음 저감을 위한 친환경 능동조향 대차 기술 개발
7[계속] 일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어 시스템 실용화 (幅, 250km/h급 무선제어시스템 실용화)	한국철도시설공단	'14.12	'16.12	27,000	-	-	4,000	4,000	19,000	[연구내] 일반 및 고속철도용 LTE 기반 철도 통신시스템(LTE-R) 최적화 기술 개발, 일반 및 고속철도용 무선통신기반 열차제어시스템 기술 개발 등
8[종료] 고정밀 철도교통 위치검지 기술 개발	한국철도기술연구원	'13.5	'15.5	11,870	-	3,600	3,770	4,500	-	[연구내] 철도 위치 정보의 정확성을 높여 위치정보의 활용성을 증대하기 위한 세계 최고 수준의 고정밀(±1m@400km/h) 철도교통위치검지 기술 개발

사업/분야/과제명	주관 연구기관	최초 협약	최종 협약	총 연구비	'12	'13	'14	'15	'16~	비고
9.[종료] 고속철도용 분기기 국산화 및 성능개량 기술 개발	한국 철도기술 연구원	'13.5	'15.5	4,800	-	2,300	1,800	700	-	[연구단] 고속철도용 분기기의 운영 안전성 향상을 위해 분기기 국산화 기술, 성능개량 기술 및 관리운영시스템 개발
10.[종료] 무가선 저상트램 실용화 개발	한국 철도기술 연구원	'13.9	'15.9	18,564	-	7,000	7,000	4,564	-	[연구단] 무가선 저상트램의 실용화를 위한 차량시스템 신뢰성 확보, 국내 도시 운행을 위한 인프라 및 운영기술 개발
○철도 안전·편의 향상 기술					4,650	18,598	21,712	24,190	81,070	
11.[신규] 철도시스템 성능평가 시험장비 개발	-	'15	'19	25,000	-	-	-	750	24,250	[일반] 철도안전성 및 성능검증을 위해 국가 차원에서 우선 구축이 필요한 대형복합 시험장비 구축
12.[계속] 철도 인프라의 유지보수를 위한 고속 종합검측 기술 개발	한국 철도기술 연구원	'13.5	'16.5	19,800	-	4,000	5,500	5,200	5,100	[연구단] 고속(300km/h)으로 주행하면서 궤도, 전차선 등 시설물의 상태를 동시에 검측할 수 있는 종합검측 기술 개발
13.[계속] 철도차량 형식승인을 위한 시험규격 정비 및 기술 기준 개발 (旧, 철도차량 형식 승인을 위한 시험규격 정비 및 기술 기준 개발)	한국 철도기술 연구원	'13.5	'16.11	6,960	-	1,700	1,960	1,800	1,500	[연구단] 철도차량 형식승인 제도 적용에 따라 철도차량의 설계검증, 기술기준, 형식승인 검사, 제작사 승인, 완성차 검사 등 형식승인을 위한 시험규격 정비 및 기술기준 개발
14.[계속] 도시철도 역사 이용객 편의성 향상기술 개발	한국 철도기술 연구원	'13.12	'16.8	19,112	-	3,700	5,212	4,200	6,000	[연구단] 도시철도 역사를 이용하는 이용객의 이동·환승시간 단축, 혼잡도 완화, 역사 내 쾌적성 및 편의성 향상을 위한 역사 인프라의 구체적 개선 기술 개발
15.[계속] 철도 소음진동 저감 기술 개발	한국 철도기술 연구원	'13.12	'16.6	23,000	-	5,800	5,040	4,740	7,620	[연구단] 철도 선로변 수음지에서의 소음 저감 기술, 철도차량 운행 시 외부방사 소음, 차내소음 저감기술 등 국제 수준의 철도 저소음 저진동 기술, 친환경 고효율 방음기술, 저소음 전동차 기술, 역사 구조물 소음/진동 저감기술 개발 및 실용화 등

사업/분야/과제명	주관 연구기관	최초 협약	최종 협약	총 연구비	'12	'13	'14	'15	'16~	비고
16.[계속] 기존 안전 검지 장치 및 현장 운영 데이터 기반 실시간 철도 안전 통합 감시 제어시스템 개발 (통, 실시간 철도 안전 통합 감시 제어시스템 개발)	한국 철도기술 연구원	'14.8	'18.4	20,600	-	-	1,000	2,000	17,600	[연구단] 실시간 철도 안전 관제시스템 개발, 실시간 철도안전 의사결정 지원시스템 개발 등 실시간 철도 안전 통합 감시·제어시스템 구축 및 시범운영을 통한 검증 및 보완
17.[계속] 나노기술을 적용한 실시간 지하구간 오염 물질 제거기술	한국 철도기술 연구원	'14.9	'17.5	15,000	-	-	1,000	3,500	10,500	[연구단] 금속나노 구조체와 자기장방식을 활용한 궤도 부분 오염물질 집진기술, 운행차량 부착형 궤도 오염물질 제거기술 등 나노기술을 적용한 실시간 지하구간 오염물질 제거기술 개발
18.[계속] ICT기반 철도 이용객 정보 제공기술 개발 (통, ICT 기반 승객 이동 정보 제공 기술 개발)	한국 철도기술 연구원	'14.11	'17.11	12,500	-	-	2,000	2,000	8,500	[연구단] 철도 이용객 정보 표준화 및 경로정보제공시스템 개발
○철도 건설·운영비 절감 기술					2,770	15,900	22,059	24,226	67,984	
19.[신규] 철도차량 내부장치간 무선연계 기술	-	'15	'18	7,000	-	-	-	750	6,250	[미정] 도시철도차량 내부장치간 무선연계 기술 적용기술, 도시철도차량 내부장치간 고신뢰성, 고안전성 무선연계 시스템 개발 및 제도화 등
20.[신규] 철도 인프라 생애주기 관리를 위한 표준기술 및 운영체계 개발	-	'15	'18	10,000	-	-	-	750	9,250	[연구단] 철도인프라 생애주기(계획-설계-시공-운영 유지보수-폐기)에 걸쳐 관련 주체들간 정보 생성과 협업을 도모하고 성능향상·비용절감·일정관리 등을 위한 BIM 기반의 운영체계를 위한 표준기술 개발
21.[계속] 고속철도 자갈궤도 구간 유지보수 저감을 위한 궤도 개량기술 개발	한국 철도기술 연구원	'13.6	'17.6	24,000	-	1,500	2,950	5,726	13,824	[연구단] 고속철도(350km/h) 또는 고속화 노선(300km/h 미만)에서 열차 운행의 지연 없이 최소 100m/일의 시공속도(운행차단시간 2.5시간 이내)를 확보할 수 있는 궤도 개량기술 개발

사업/분야/과제명	주관 연구기관	최초 협약	최종 협약	총 연구비	'12	'13	'14	'15	'16~	비고
22.[계속] 도시철도 역사 운영 효율화 및 상태 기반 유지보수 기술 개발	한국교통 연구원	'13.12	'16.6	17,000	-	2,800	5,000	5,000	4,200	[연구단] RPSD 국제표준 인증 및 실용화 기술, 도시철도 역사 에너지 절감 기술 개발 및 표준화, 상태기반 스마트 유지보수 핵심기술 등 도시철도 차량 및 시설물의 운영, 유지보수 및 성능개선 관련 기술 개발
23.[계속] 저심도 도시철도시스템 기술 개발	한국 철도기술 연구원	'13.12	'16.6	21,200	-	3,300	5,940	6,000	5,960	[연구단] 기존 경전철 대비 건설비와 운영유지비를 절감하고, 에너지 소비량 및 탄소 배출량을 줄이고 승객의 접근성과 쾌적·편의성을 향상시키기 위한 저심도(5~7m)로 경제적으로 건설하고 운영이 가능한 차량, 인프라 핵심 기술의 개발
24.[계속] 철도노반 성능 및 건설비 최적화 기반 기술 개발	한국 철도기술 연구원	'13.12	'17.6	18,950	-	2,100	3,850	4,000	9,000	[연구단] 콘크리트궤도/철도교량의 신뢰도기반 설계법 개발, 철도선형기준 개선, 궤도교량상호작용 저감 기술 등 KTX 중심 철도 고속화에 대응하여 철도인프라의 성능을 향상하고, 건설비를 절감하기 위한 설계/시공기술 개발
25.[계속] 철도 운영 및 유지보수 효율화 기술 개발	(주) 다원시스	'14.12	'17.6	22,500	-	-	1,000	2,000	19,500	[연구단] 철도역사 서비스 표준화 및 안전관리 자동화 기술개발, 철도차량 핵심부품 진단 및 고장예지기술 개발 등 유지보수 효율화 기술개발
○ 철도 소재·부품· 장치 고도화 기술					18,287	6,197	8,016	8,959	53,041	
26.[신규] 도시철도 부품호환 및 표준모듈 개발	-	'15	'19	25,000	-	-	-	750	24,250	[연구단] 철도차량 부품 표준 호환성 및 유연성 확보를 위한 표준 인터페이스 기술개발
27.[계속] 도시철도 핵심부품 및 장치 고도화 개발 1단계	(주)우진 산전	'13.12	'16.6	22,916	-	2,700	4,216	5,209	10,791	[연구단] 도시철도분야 핵심부품/장치(도시철도차량용 차축베어링, 주전력변환장치, 고휘도 LED 전조등, 차상 회생에너지 저장장치) 고도화
28.[계속] 철도 핵심부품/장치 기술개발 2단계	한국 철도공사	'14.8	'17.4	24,000	-	-	3,000	3,000	18,000	[연구단] 일반·고속차량용 차축베어링 기술, KTX 및 8,200호대 전기기관차용 댐퍼류 기술, 교류철도용 보호계전기 기술, 고속용 강체 전차선로, 유럽표준형 연결기 시스템 개발 등 철도차량용 핵심부품/장치의 세계일류 수준 기술 등 개발

3. 과학기술적 파급효과

광역철도 2층 전동객차의 상용화 사업에 의한 기술개발 및 완성과정에서 기술적 파급효과가 매우 다양한 분야에 직·간접적으로 발생할 것으로 사료된다. 우선 해외에 의존하던 핵심장치개발로 해외기술의 종속에서 탈피함과 동시에 철도산업의 기술경쟁력 재고 및 개발품에 대한 응용기술 확대를 기대할 수 있다.

또한 표준화 기준 제정으로 제작 시 표준사양, 법적시험인 성능시험 등이 활용될 수 있으며 이를 계기로 국내 철도의 편의성 및 신뢰성이 확보된다. 따라서 광역철도 2층 전동객차를 통해 향후 신규노선 및 기존차량의 개량 시 적용할 수 있으며 기존 외국에 의존하던 2층 전동객차 분야 핵심기술이 확보됨으로써 외국기술의 종속에서 탈피하여 기술 자립 및 유지관리 측면에서의 비용절감 등 상당한 효과가 기대된다. 파급효과를 직접효과와 간접효과로 분류하여 분석한다.

Table 6.1.2 광역철도 2층 전동객차 기술 직·간접 기술적 파급효과의 추정

직접효과		간접효과	
기존기술	신기술	기존기술	신기술
ITX 청춘 2층 전동객차 도입	국내기술 광역철도 2층 열차 도입	-	세계표준화를 통한 광역열차 기술 수출

또한 종합적인 설계기술과 핵심부품 생산 및 시험·평가기술을 향상시켜 자동차 및 항공산업, 컴퓨터 및 통신산업, 조선산업과 국방산업 분야의 설계기술 발전에도 직·간접적으로 상당한 파급효과가 기대된다. 광역철도 2층 전동객차의 표준화는 IT 강국이란 명성에 걸맞게 다양한 산업부문에서 선도할 수 있을 것으로 판단되며, 국제 표준화 부문에 IT를 활용하여 선도할 수 있을 것으로 사료되며 국가경쟁력 제고에 기여할 수 있는 전진거점산업으로 육성된다면 직·간접 파급효과는 물론 고용창출, 기술적 측면에서 원천기술을 보유할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 국고 지원의 적합성

○ 국가지원 필요성

- 정부의 교통 및 도시정책 수립의 방향 제시 : 국토교통부 및 지방자치단체의 교통정책과 신도시 건설계획 시, 구축비용을 최소할 수 있는 기술을 제공함으로써 도시교통 정책 수립 시 탄력성 부여
- 세계적인 기술수준으로의 도약, 연구개발 방향 등의 주도 : 광역철도용 2층 전동객차 기술을 세계적인 수준으로 향상시키고, 국내 실용화 및 해외 수출 할 수 있는 선진화 산업 정책 방향 필요
- 철도시스템의 기술혁신사업으로 창조 경제 구현 : 기존 도심 철도의 문제점을 해결할 수 있는 핵심기술을 개발함으로써 국가 교통 기술 경쟁력 확보와 해외 기술 선도

○ 예산 반영 시급성

- 도로 교통의 체증현상 심화, 수도권 전철구간의 이용객 증가에 따라 역내 및 차내 혼잡이 가중되고 있고 향후 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동 수요의 지속적인 증가 예상으로, 장거리 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대 방안 마련이 시급함.

- 우리나라 평균 출·퇴근시간(55분)은 OECD국가 중 두 번째로 최장 수준이며, 최근 이용교통수단별 평균 출·퇴근 시간은 철도가 1시간 이상으로 최장으로, 광역 2층 열차의 완·급행 운행 등 광역도시권내 수송교통 대책 마련이 시급함.

○ 예산 미반영시 문제점

- 수송량 향상을 위한 열차운행시격 단축 및 편성차량 수의 증가는 신호 등 설비 개량과 역사 증축 등 부가적인 시설비의 막대한 투자가 요구되며, 수요에 대응한 광역철도 증설은 재정적 부담이 큼.

- 현재의 통근형 광역철도 서비스 제공으로는 광역도시권역 내 가중되는 교통 체증 문제와 수송량 증대로 인한 혼잡률 문제 해결이 불가함.

2절 기술적 타당성

1. 사전타당성 검토의 목적과 필요성

(1) 사전타당성 검토의 목적

교통인구의 증가와 교통수단의 발달은 서로 불가분의 관계를 가지고 있다. 2층 전동객차가 교통인구의 보다 신속한 이동과 편의성을 제공하는 데 큰 역할을 하고 있는 여러 나라의 예를 볼 때 우리나라에서도 2층 전동객차의 개발은 최적의 현안과제가 되었다. 이전에도 2층 객차의 개발에 대한 검토가 임기응변식으로 이루어진 적이 있지만 보다 체계적이고 기술친화적으로 적극적인 개발에는 본 과제가 사실상 시작이라 할 수 있다.

개발에 앞서 2층 전동객차를 운행하는 여러 나라의 개발과정 및 현황을 알아보고 우리나라에서 개발하는 과정에서의 시행착오를 줄이며 목표로 하는 결과를 얻기 위해 정책적인 측면, 기술적인 측면, 경제적인 측면에 대한 타당성 검토를 실시한다.

(2) 기술적 타당성 검토의 필요성

① 광역철도용 2층 전동객차의 주목적인 수송 인원의 증가에 따른 수송능력 확대와 원거리 통근으로 인한 승객 편의성 및 승객 요구에 부응할 수 있는 서비스 질적 향상을 위한 2층 객차의 개발에 대한 기술대책이 필요함.

② 2층 구조에 따라 객차의 크기 및 중량이 증가하게 되므로 이에 대한 경량화 방안 및 경량화에 따른 구조적인 강성 및 강도 확보를 위한 형상의 연구가 필요함.

③ 2층 구조에 의한 차고의 증가 및 객차 중량의 증가로 인하여 무게중심이 높아짐에 따라 주행시 발생하는 횡력에 대한 안정성을 확보하는 설계기술 및 해석이 필요함.

④ 객차 중량의 증가 및 전고가 높아짐에 따라 제동시의 제동 특성이 바뀌는 것을 고려하여 충돌안전성 대책 및 제동력, 비상 제동거리 등 기준을 만족하는 제동장치의 연구가 필요함.

⑤ 객실 공간이 협소함에 따라 소음, 진동 및 승차감 기준을 만족하기 위한 기술적인 검토 및 대책이 필요함.

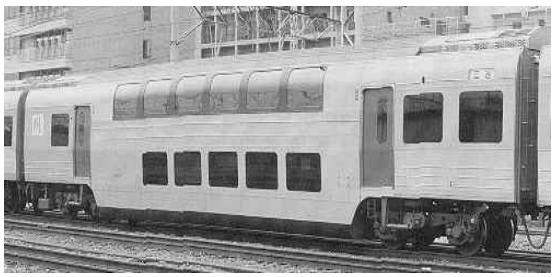
⑥ 2층 전동객차의 평가를 위한 시험평가 기준이 필요함.

2. 국내외 기술개발 현황

세계에서 일반화되어 운행 중에 있는 2층 전동객차는 그 나라의 수송환경과 목적에 따라 여러 가지 형태로 나타난다. 우리나라에서는 2012년부터 서울-춘천간 경춘선에서 2층 청춘열차를 일부 편성하여 운행하고 있다. 현대로템에서는 2층 객차를 제작해 외국에 수출하고 있으나 기존의 철도제작 기술로 보편적 대중교통으로서의 실용화에는 한계점이 없지 않은 것으로 사료된다.



<신간선 (일) >



< 동일본교외선 (일) >



< Z2N (프) >



< Mi2N (프) >



< Metra (미) >



< 네덜란드 >



< 스페인 >



< 이스라엘 >



< iTX (한국) >



< 현대로템 (한국) >

Fig. 6.2.1 국내외 2층 열차 현황

3. 기술타당성 검토

(1) 구조적 측면

우리나라의 차량 및 건축한계를 만족하고 외국의 개발 사례를 비교하여 볼 때 운행할 수 있는 2층 객차의 크기는 높이 4.2m 내외, 폭 3m 내외가 될 것으로 예상된다. 이것은 2층 객차가 도심까지 운행하여 기존의 지하철 시설을 활용하는 경우를 가정한 것으로 아래 표와 같이 지하철의 차량한계 기준에서 알 수 있다.

Table 6.2.1 우리나라 지하철의 지하부분 건축한계 및 차량한계

항 목		지하철(1,4호선) 지하	지하철(5,8호선)지하
건축한계	높이(m)	5.15	4.65
	폭 (m)	3.6	3.6
차량한계	높이(m)	4.75	4.25
	폭 (m)	3.2	3.2

2층 객차의 높이를 4.2m로 예상할 때 기존 객차의 높이 3.6m와 비교하면 0.6m 높아지지만 2층 공간 확보를 위해 바닥이 기존 객차보다 더 내려가야 하는 구조가

되어야 한다.

Table 6.2.2 세계에서 운행 중인 2층 객차의 크기 비교

크기	표준 전동차	신간선	동일본 교외	Z2N(프)	Mi2N (프)	네덜란드	미국	스페인	이스라엘
길이(m)	19.5	25	20.5	26.4	25.1	27	25.9	7.5~9.0	26.8
높이(m)	3.6	4.49	4.09	4.32	4.32	4.67	4.84	4.6~4.95	4.63
폭(m)	3.12	3.38	2.9	2.82	2.82	3.02		2.85~3.3	2.77

위 표에서와 같이 현재 운행되고 있는 2층 객차의 크기는 기존의 표준 전동차와 비교하여 볼 때 높이에서 0.49~1.35m의 차이를 보인다. 이는 2층 구조가 그 나라의 여건에 맞도록 설계되었다는 것을 의미한다.

더 나아가 프랑스의 알스톰사는 고객의 요구에 따라 운전실, 전방출입구, 후방출입구, 차량내부의 배치, 차폭 및 높이를 변경할 수 있도록 맞춤식 차량설계(Optionable Design) 기술을 확보하고 있다. 차량의 앞부분은 도시근교형, 도시간 급행열차 등 운행속도에 따라 서로 다른 형상을 가질 수 있으며 차량 내부에서도 좌석배치, 좌석수를 운행여건에 맞게 조절할 수 있도록 하여 고객이 요구하는 조건을 만족할 수 있도록 한다. 우리나라에서도 이와 같이 2층 전동객차의 운행여건에 따라 구조를 변경할 수 있는 유연성을 확보하는 설계가 전제되어야 할 것이다. 2층 구조에 따라 승객이 2층에서 이동시 바닥의 강성이 부족한 경우 불안감을 느낄 수 있으므로 하중에 대한 변위량도 검토하여야 할 것이다.

이와 같이 2층 전동객차의 구조를 설계하기 위해 차량의 운행 목표(도심 외곽의 연결지점까지 운행, 도심까지 통과 운행), 탑승인원수, 탑승인원의 동선, 기존 시설의 공용사용, 운행지역의 주행여건 등을 고려하여야 한다.

(2) 경량화

기존의 객차 크기가 비슷하므로 구체중량을 비교하여 보면 사용재질에 따라 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다. Mild steel을 사용한 1호선의 경우 가장 무겁게 나타나고 STS를 사용한 객차는 Mild steel을 사용한 경우와 비교해 약 13~21%가 가벼워진 것을 알 수 있다. 알루미늄 재질을 사용한 표준전동차의 경우에는 중량이 무려 41% 감소한다. 알루미늄 합금 재질은 강에 비해 가볍지만 강도가 상대적으로 작으므로 이를 보완하기 위해 샌드위치 압출재와 같은 형상으로 제작된다.

2층 전동객차의 경우에도 기존의 전동객차보다 크기가 커지고 승차인원 증가에 따

른 부하하중이 증가하므로 전체중량을 줄이는 것이 필요하다. 이를 위해 알루미늄과 같은 재질을 적용하여 강도와 강성을 만족하면서 경량화를 이룰 수 있다고 본다. 경량화의 효과를 극대화하기 위해서는 최적설계에 의한 검토가가 이루어 져야 한다.

Table 6.2.3 차체 재질에 대한 구체중량 비교

노선 / 구분	1호선	4호선	7,8호선	과천 분당선	일산선	과천선	표준 전동차
차체 재질	SS41	STS301L	STS301L	STS301L	STS301L	STS301L	A6005A
길이(m)	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
폭(m)	3.12	3.12	3.12	3.16	3.12	3.12	3.12
높이(m)	3.8	3.75	3.6	3.75	3.75	3.75	3.6
구체중량 (kgf)	11,240	9,340	8,851	9,510	9,100	9,760	6,640

(3) 주행특성

철도차량의 주행특성의 요소는 차체, 대차 등의 질량요소와 관련된 무게, 무게중심, 관성 모멘트 등의 물성치와 차량의 1차, 2차 현가계와 관련된 치수, 스프링 강성, 감쇠력 등이 있다.

특히 2층 전동객차의 차체 구조가 2층으로 구성되어 승객 및 차량 부속기기로 인하여 하중작용 위치가 차체 상부로 이동함에 따라 차체의 운동중심이 높아져 곡선주행시 원심력에 의한 과도한 차체경사 작용(Roll motion)으로 터널 및 시설물과의 간섭문제가 발생할 수 있으며 탈선을 일으킬 수 있다. 이와 같이 차고가 높아짐에 따라 주행시 기존 차량에 비해 롤링 모션 등이 크게 나타나게 되므로 이러한 모션을 감소시키기 위해 차체와 차체, 차체와 대차사이에 안티 롤 바(anti-roll bar)를 설치한 예를 볼 수 있다.

2층 전동객차의 동특성 해석을 통해 차체의 거동을 파악하고 무게중심 높이, 롤 강성 등이 기준을 만족할 수 있도록 하는 방안을 연구하여 설계에 반영해야 한다.

①주행 안정성(stability)

정해진 궤도를 따라 주행하는 철도차량은 궤도 중심으로 복원되도록 하기 위해 차륜의 답면부에 구배(테이퍼)가 주어져 있다. 차륜의 답면 구배는 이와 같이 직선상에서는 좌우 한쪽으로 치우쳐 주행하는 것을 막는 기능을 하며 아울러 곡선통과 시 외측 차륜의 접촉직경이 내측 차륜보다 커지게 함으로써 슬립(slip) 없이 곡선통과

를 유도하는 기능도 한다.

차륜 진행상의 위상 차이를 복구하려는 현상은 횡방향 자려진동(self-excited vibration)을 유발하게 되는데, 그 모습이 뱀과 같다하여 사행동(snake motion)으로 불리기도 하며 동역학적으로는 운동학모드(kinematic mode)라 불린다.

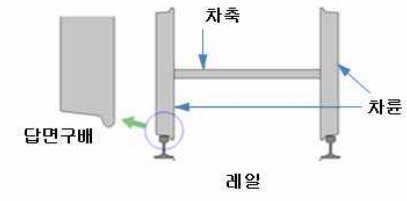


Fig. 6.2.2 차륜의 답면 구배

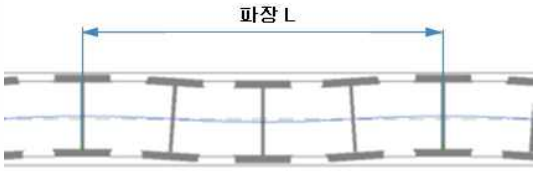


Fig 6.2.3 1축의 사행동

■ 사행동의 파장 L

$$L = 2\pi\sqrt{\frac{er}{\lambda}}$$

여기서 e : 좌우 차륜간격의 1/2, r : 차륜반경, λ : 답면구배

차량의 주행속도가 증가하여 일정속도에 이르면 차체와 대차의 상당감쇠력(equivalent damping force)이 저하되어 주기적인 횡진동이 발생하게 된다. 이 때의 속도를 임계속도(critical speed)라 하며 차량이 안정하게 주행할 수 있는 최고한계속도를 의미한다.

임계속도는 대차 1차 현가계 특성, 차륜과 레일간 마찰계수, 기하학적 형상 및 차량속도 등과 관계가 있다.

■ 사행동을 감소시키는 방안

- 답면구배를 작게 한다. → 너무 작으면 곡선 주행시 문제가 되므로 최소곡선 반경 등을 고려하여 정한다.
- 윤축을 지지하는 스프링 상수를 공진 발생이 되지 않도록 선정한다.
- 요댐퍼(yaw damper)를 차체와 대차에 연결시켜 상대운동을 억제한다.

차량 현가장치 설계에 있어서 차량의 운전 목표속도 보다 임계속도가 위에 있도록 하는 것이 중요하다. 이와 같은 주행 안정성은 철도차량의 횡방향 운동과 밀접하게 관련되어, 임계속도를 예측하는 데 있어 횡방향 동역학 해석이 일반적으로 사용되고 있다.

②주행 안전성(Safety)

주행 안전성의 가장 중요한 요소는 탈선 안전도이며 탈선은 차륜 후렌지 접촉 시 횡방향의 힘이 커져 차륜이 레일상면으로 주행하는 과정으로 진행되며 여기에는 횡방향 힘의 크기와 레일과의 상대각인 공격각(α : attack angle)의 두 가지 기본적인 요소가 고려되어야 한다.

이에 대한 제한치는 상하방향 힘(P)에 대한 좌우방향 힘(Q)의 비로 표현되는 Nadal's limit가 기본적으로 사용되며 다음과 같다.

$$\frac{Q}{P}=\frac{\tan\alpha-\mu}{1+\mu\tan\alpha}$$

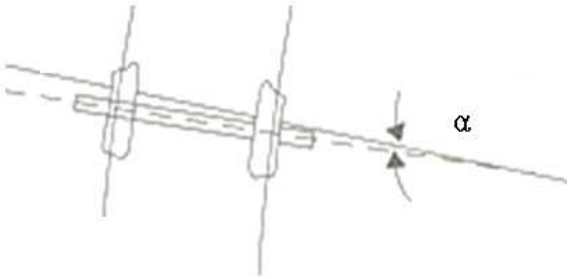


Fig. 6.2.4 Nadal's limit

여기서 α는 레일에 대한 차륜 후렌지각(공격각), μ는 마찰계수이며 이에 대한 계산결과는 아래 그림과 같다.

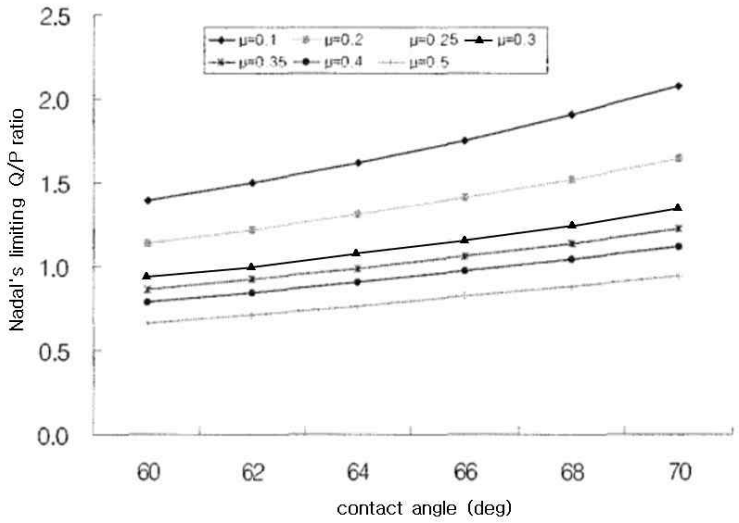


Fig. 6.2.5 Nadal's Limit에 대한 계산결과

공격각 α=60°, 마찰계수 μ=0.3으로 하면 Q/P=0.94가 되고, 이 경우 하중의 94%정도 이상의 횡압이 작용하면 차륜의 후렌지가 레일 측면을 구르면서 타고 오른다. 그러나 이 타오름이 발생하는 것에는 일정 이상의 횡압 작용시간(약 1/20초)이 필요하고 작용시간이 순간적인 경우는 Q/P값이 비교적 크게 되어도 탈선에 이르지 않는다. 이 Q/P(횡압/윤중비)를 탈선계수(coefficient of derailment)라고 부른다.

Table 6.2.4 탈선의 주요 원인

요 인	내 용
운전관계	· 곡선 및 분기점의 과속 · 하구배에서의 비상제동 · 화물의 과적, 편적 및 적재고의 과대 · 열차 편성의 부적합
궤도관계	· 궤도 비틀림 과대 · 구배변화와 종곡선 반지름의 부적합 · 캔트량 부적합 · 캔트체감 배율 과대 · 완화 곡선장 과소 및 슬랙량 부적합 · 레일 침하량 과대
차량관계	· 전후좌우의 중심편기 · 전후좌우의 차륜 지름차 과대 · 차량 중심고 과대 · 차륜 플랜지의 마모 · 차륜 답면의 찰상과 편마모

2층 전동객차는 기존의 궤도간격 및 차량 폭이 같은 조건에서 높이가 커짐에 따라 차량의 무게중심이 올라가게 된다. 이와 같은 문제는 차량 탈선의 원인이 될 수 있으므로 차량 동역학 해석을 통하여 적합성 유무를 파악해야 한다.

③곡선 추종성(curving performance)

아래 그림은 곡선궤도에서 강체(rigid) 대차의 전형적인 정상 상태 자세를 보여주고 있다. 여기에서 두 차축은 강한 현가장치에 의해 평행이 유지되고 있으며, 이는 선두 차축이 곡선 반경방향과 큰 공격각(attack angle)을 형성함을 보여주고 있다. 따라서 대차의 곡선 접선방향 주행은 순수 구름운동만으로는 안되며 횡방향 슬립이

중첩되어야 가능하다. 이 횡방향 슬립은 큰 횡압을 유기시키게 되는데 이는 원심력과는 별개인 차륜을 곡선으로 안내하는 안내힘(guiding force, steering force)으로써 아주 저속으로 곡선을 통과할 경우에도 발생한다. 차륜 후렌지 마모를 감소시키고, 탈선의 위험도를 완화시키기 위해서는 이 횡압의 크기를 줄이는 것이 꼭 필요하다. 횡압은 윤축(wheelset)을 방사상의 라인(radial line)에 가깝게 정렬되도록 함으로써 저감시킬 수 있다. 즉 공격각이 작을수록 유기되는 횡압도 줄어든다. 윤축은 종단면이 원뿔형이기 때문에 현가장치에 의해 너무 강하게 구속되지 않는다면 스스로 반경방향으로 정렬하는 경향이 있다. 이는 곡선 진입 시 윤축이 곡선외측으로 밀리면, 답면 구배에 의해 곡선외축의 구름반경이 내측보다 크게 되기 때문이다.

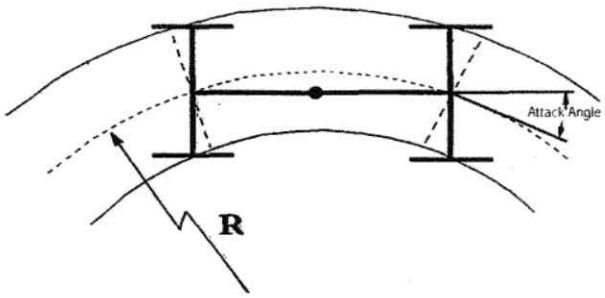


Fig. 6.2.6 Attack angle

곡선 추종성능 향상, 즉 횡압을 감소시키기 위해서는 현가장치의 윤축 구속 특히 1차 현가장치 요강성(yaw stiffness)을 낮추는 것이 효과적이다. 그러나 요강성을 낮추더라도 윤축의 중심(rolling line offset)이 곡률과 함께 증가하게 되므로 차륜 플렌지 유격(flange way clearance)과 같게 되는 반경, 대략 150m 미만의 곡선에서는 후렌지 접촉이 불가피하다.

윤축의 요강성을 줄이는 것은 직선부 고속주행 안정성의 직접적 저하를 초래하기 때문에 이와 적절히 조화를 이루도록 최적화 하여야 한다. 비선형 곡선부 이론(non-linear curving theory)은 곡선부에서의 움직임을 예측하고 윤축에 작용하는 힘을 계산하는데 사용되어 왔다. 윤축과 레일의 경계에서 차륜/레일이 마모되는 양은 접선력(tangential force)과 크리이프 힘(creep force)에 비례하며 접촉면적(contact area)에 반비례한다는 것이 실험에 의해 밝혀졌다.

아래 그림은 전형적인 1차 현가장치 요강성에 대한 임계속도와 마모지수의 변화를 나타낸다. 그림에서 본 듯이 요강성이 증가하면 임계속도가 증가하여 고속화가 가능해지는 반면, 곡선추종성능의 한 척도인 마모지수는 저하됨을 알 수 있다.

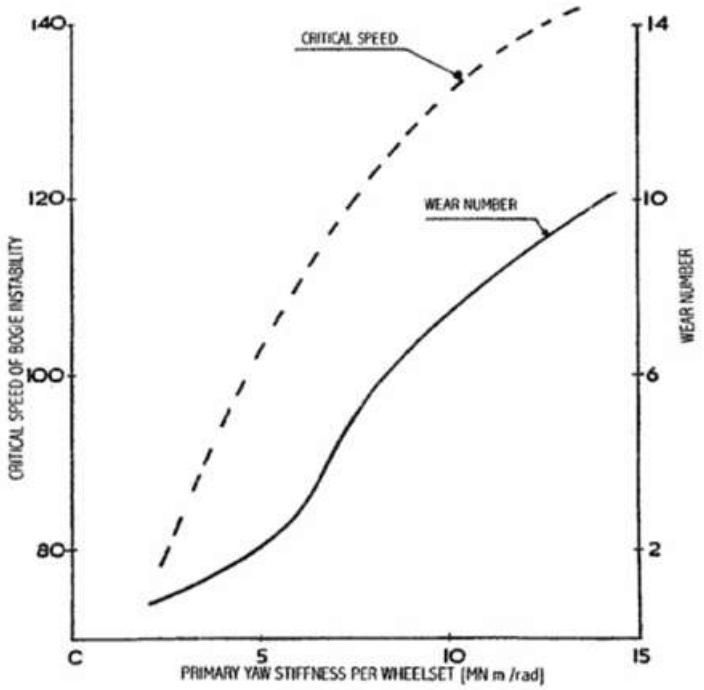


Fig. 6.2.7 Influence of critical speed and wear index on the primary yaw stiffness

(4) 충돌대책

2층 전동객차에도 충돌에 대한 안정성 확보를 위한 대책이 필요하다. 중량과 크기의 증가는 긴급 상황에서의 제어를 상실할 가능성이 커지며 이로 인한 충돌로 연결될 수 있다. 객차간의 충돌, 객차와 물체간의 충돌 등을 고려해야 한다.

현대 로템에서는 충돌에너지관리시스템 (CEM : Crash Energy Management)을 장착한 2층 객차를 제작, 수출하여 충돌사고에서 인명을 보호한 사례도 있다.

프랑스의 알스톰사의 경우 고속열차(TGV)에 적용되는 충돌대책기술을 2층 객차에도 적용하고 있다.

■ 주요 충돌안전 대책

- 안티 크라이밍 장치 (anti-climbing device)
- 고충격 에너지 흡수용 완충기
- 강화된 객차 차체

■ 충돌시험 예

- 강체장애물과의 충돌시험 : 장애물 하중 15ton, 충돌속도 90km/h
- 변형장애물과의 충돌시험 : 장애물 하중 30ton, 충돌속도 110km/h
- 차량간 충돌 : 주행속도 36km/h



(충돌 전)



(충돌 후)

Fig. 6.2.8 충돌 전, 후의 모습

(5) 공조

공조는 실내 환경에 따라 승객들에게 쾌적한 환경을 만들어 주는 동시에 승객의 건강과 직접 관계가 있다.

기존 객차에서 운용중인 공조장치는 대부분 천장 취부식 구조로 되어있어 차체의 무게중심을 높이게 하고 천정에서의 응결수 낙하와 공조 소음에 따른 불쾌감을 승객에게 줄 수 있다. 이에 대한 개선안으로 공조장치를 차량 하부에 배치하는 하부식 공조장치가 개발되어 선진국에서는 철도차량에 장착되고 있다. 하부식 공조장치는 천정식 공조장치의 단점을 해결할 수 있지만 차량하부에 장착에 따른 다른 기기와의 간섭문제와 차체설계 등의 문제가 발생한다.

2층 전동객차에 설치하는 공조장치는 공간이 기존 객차에 비해 크기 때문에 공조장치의 부피 또한 커서 객차 하부에 설치하기가 곤란할 수 있다. 이에 대한 대안으로 1층과 2층을 분리하여 각각의 공조장치를 설치하는 것도 검토할 수 있다.

객실 내 온도분포와 공기의 순환량(유동량), 열흐름 등의 유동해석을 통해 실내의 구조, 공조기의 용량 및 최적위치, 단열재의 적용 등을 파악한다.

(6) 평가기준 및 방법

①2층 객차 운행시 운영환경과 관련한 안전기준 및 규정

■ 국내의 철도관련 운영환경에 대한 주요 안전기준 및 규정

도시철도법에 따라 제정된 철도관련 운영환경에 대한 주요 안전기준 및 규정은 크게 두 가지가 있다.

Table 6.2.5 도시철도법에 따른 운영환경에 대한 안전기준 및 규정

규 정	제 정	비 고
도시철도법	법률 제 3167호	법률 제12248호
도시철도법시행령	대통령령 제9641호	
도시철도운전규칙	건설교통부령 제32호	
도시철도차량 안전기준에 관한 규칙안	건설교통부령 제231호	
도시철도차량 관리에 관한 규칙	건설교통부령 제82호	

■ 도시철도운전규칙
- 총칙
- 선로 및 설비의 보전
- 열차등의 보전
- 운전
- 폐색방식
- 신호 등에 관련된 규칙

■ 도시철도차량 안전기준에 관하 규칙안
- 총칙
- 구조안전기준
- 장치별 안전기준에 관련된 규칙

Table 6.2.6 해외 2층 열차 노선의 운영환경에 대한 주요 안전기준 및 규정

국 명	철도정책담당조직	철도안전법률	철도사고조사기구
미국	연방교통부 연방철도국(FRA)	철도안전법 (US code 49)	국가교통안전위원회 (NTSB)
스웨덴	교통부 철도감독국	철도안전법 (Railway Safety Act 1990)	교통부 철도감독국
캐나다	교통청 철도해운국	철도안전법 (Railway Safety Act 1990)	국가교통안전위원회 (CTSB)
호주	주정부 철도감독국	철도안전법 (Railway Safety Act 1990)	국가교통안전위원회 (ATSB)
영국	보건안전부(HSC) 철도감독국(HMRI)	철도법(Railway Act 1993) 철도안전규정 (Railway Safety CAse 1994)	철도감독국 (HMRI)
프랑스	환경교통지역부	철도안전일반규정	운영회사(SNCF)

	육운국 철도안전과	(RGS)	사고조사위원회 (필요시)
독일	연방교통건설주택부 연방철도국(EBA)	일반철도법 철도운영규칙 철도신호규칙	연방철도국(EBA)
네덜란드	교통부 철도감독국	철도법(Railway Act)	철도안전위원회(TOR)
일본	국토교통성 철도국	철도영업법, 철도사업법, 항공철도사고위원회 설치법	항공철도사고위원회 (철도부회)

■ 국내 2층 전동객차 운행시 필요한 안전규칙 및 규정

국외에서는 2층 열차가 기존선로의 시설조건에 맞추어 운행하고 있기 때문에 2층 열차에 대한 특별한 안전기준이나 규정을 제정하고 있지 않다. 국내에서도 2층 열차를 운행할 때 기존선로의 시설조건을 따른다면 2층 열차에 대한 별도의 안전기준이나 규정을 제정할 필요는 없을 것이다. 그러나 차량이 2층 구조로 크기와 중량이 증가하므로 하구배나 곡선 주행시 제한속도를 낮추는 것이 바람직할 수 있다. 이 또한 주행조건과 환경에 따라 시뮬레이션을 통한 기준을 정하고 세부적인 검토가 선행되어야 할 것이다.

②국내의 전동차의 주요 시험 기준 및 규정

차량의 각종 시험기준 및 규정은 국내 도시철도법과 이에 따른 도시철도법시행령을 따르고 있다. 이 규정에 따라 제정된 차량의 시험기준은 도시철도차량의 성능시험에 관한 기준이다.

Table 6.2.7 도시철도차량의 성능시험 기준

규 정	내 용	
	주요내용	세부내용
도시철도차량의 성능시험에 관한 규정	총 칙	목적
		용어 정의
	성능시험	구성품 시험
		완성차 시험
		본선 시운전
		동일차량 확인
		기타
	성능시험자	성능시험자의 지정 등

Table 6.2.8 성능시험의 종류

대분류	소분류
구성품 시험	구조체 하중시험
	대차시험
	추진제어장치시험
	보조전원장치시험
	신호보안장치시험
	종합제어장치시험
완성차 시험	외관구조검사
	측정에 의한 검사
	차체 누수시험
	차체 리프팅 시험
	추진제어장치시험
	신호보안장치시험
	종합제어장치시험
	기타 조합된 차량의 기능 및 동작측정시험
본선 시운전	역행시험
	가속도시험
	제동시험
	감속도시험
	최고속도시험
	집전시험
	유도장애시험
	보조장치 동작확인시험
	소음 및 진동시험
	승차감 및 주행저항시험
	지상설비 연계작동시험
	기타 주요기기 온도 및 상태시험

위 표의 각 시험기준이나 규정에서 2층 객차와 관련 있는 것은 대표적으로 '구조체 하중시험' 이다. 이것은 차체의 형상이 2층 구조로 차체가 높고 바닥이 두개이기 때문이다.

구조체 하중시험에 대해 알아보면 시험의 목적은 도시철도차량 구조체의 강도 및 고유진동수를 확인하기 위한 정하중 시험이다.

Table 6.2.9 구조체 하중시험의 종류와 측정항목

시험종류	측정항목			
	응력	변위량	진동수	시험하중
수직하중시험	o	o		o
수평압축하중시험	o	o		o
비틀림하중시험	o	o		o
3점지지시험	o	o		o
굽힘고유진동수 측정시험			o	o
비틀림고유진동수 측정시험			o	

Table 6.2.10 시험하중의 크기

하중시험의 종류	시험하중의 크기
수직하중시험	(운전정비상태일 때의 하중 + 최대승객하중 - 대차하중) × 상하진동가속도(1.2g) - (구조체하중+시험기하중)
수평압축하중시험	압축하중 : 490,000 N 수직하중 : (운전정비상태일 때의 하중) - (대차하중) - (구조체하중 + 시험기 하중)
비틀림하중시험	39,200 Nm
3점지지시험	(운전정비상태일 때의 하중) - (대차하중) - (구조체하중 + 시험기 하중)
굽힘고유진동수 측정시험	진동이 가능한 부하하중
비틀림고유진동수 측정시험	진동이 가능한 부하하중

Table 6.2.11 하중시험의 평가기준

하중시험의 종류	평가기준
수직하중시험	하중조건에 맞는 수직하중을 부과하여 측정한 응력값이 재료의 항복응력 미만이어야 한다.
수평압축하중시험	하중조건에 맞는 수평압축하중을 부과하여 측정한 응력값이 재료의 항복응력 미만이어야 한다.
비틀림하중시험	하중조건에 맞는 비틀림하중을 부과하여 측정한 응력값이 재료의 항복응력 미만이어야 한다.
3점지지시험	3점 지지시험은 영구변형이 생기지 않아야 한다.
굽힘고유진동수 측정시험	측정된 고유진동수는 대차와의 공진을 피하기 위하여 10Hz 이상이어야 한다.

해외에서 현재 2층 열차를 운행중인 나라에서 사용하고 있는 규정들은 2층 열차에 대한 별도의 안전규정이 없는 것으로 파악된다. 이는 2층 열차가 일반 열차와 비교하여 크기에서 조금 크고 바닥면이 2개인 것을 제외하고는 동일하므로 2층 열차에 대한 별도의 기준이나 시험규정을 제정할 필요성이 없거나 2층 열차의 운영이력이 오래되지 않았기 때문으로 생각된다.

국내에서 2층 열차의 운행을 위한 안전규정은 해외의 안전규정을 더 조사하여 적용성 여부를 검토하여야 하며 국내 실정에 맞는 안전 규정의 제정을 위해 관련기관과 협의가 이루어져야 한다.

3절 기술적·운영적 측면의 경제적 타당성

1. 개요

건설교통부 “2층 급행열차 운행을 위한 기술개발 및 설계기준에 관한 연구”(2004)의 연구내용을 인용 및 발취하여 검토하였다. 교통시설 건설의 일반적 타당성 분석 절차는 해당 건설의 사회·경제적 효과를 측정하여 타당성을 검증하고, 건설 및 시스템 도입에 따른 예상문제점들을 분석하여 사업의 사회·경제적 효과를 극대화할 수 있도록 최적의 건설시기와 건설방법을 검토하는 것이다. 그러나 본 과제에서 수행한 경제적 타당성 기초 검토는 2층 열차 기술분야 타당성과 병행하여 2

층 열차 전반에 대한 광범위한 내용을 다루는 기초 연구 중 하나로 진행되었고 수도권 광역 철도망이나 중거리 도시간 통근용으로 2층 전동차를 운행하게 될 때 시설의 개량 없이(기존 시설물을 사용하는 2층 열차를 위해 별도의 시설비 투자가 없다는 전제 조건임) 기존 전동차 대신 2층 전동차를 단순 대체 투입하였을 경우의 타당성을 검토하는 것이 본 과제의 연구범위이다. 따라서 주로 차량관련 비용, 좌석편익 및 통행시간 절감측면에서 검토하였으며 향후 2층 열차의 도입 및 운용노선이 정책적으로 결정되면 심도 있는 후속연구를 추진하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 특히 본 절에서 경제적 타당성 조사는 1장 5절에 언급된 내용을 전제하되 2층객차의 기술적 · 용량적 · 운영적 측면에서 검토하는 것으로 한다.

(1)경제적 타당성 기초 검토 기준

본 과제에서 고려하는 비용과 편익항목과 비용산출 기준은 다음과 같다. 표에서 보는 바와 같이 노선 개량에 관련된 비용은 전술한 바와 같이 기존 노선을 대상으로 한다는 전제이므로 검토에서 제외되었다.

Table 6.3.1 비용 및 편익분석의 항목

구분	항목	신규투자 검토시 적용항목	본 과제 적용항목	비 고
비용	직접 비용	○ 공사설계 및 감리 비용		
		○ 본선 및 정차장 건설비용		
		○ 용지보상비		
		○ 시설 유리관리지		
		○ 차량구입비	●	차량 신규구입비
		○ 차량 운영비	●	운행 전력비
		○ 차량 보수비	●	검수비용
편익	직접 편익	○ 도시철도 이용자의 통행시간 절감	●	승객의 시간절감
		○ 도로이용자의 차량 운행비 절감	●	수단전환으로 인한 편익
		○ 편리성, 안락감, 안정성 증진	●	좌석에 의한 안락감
		○ 교통사고 감소로 인한 사고비용 절감		
	간접 편익	○ 환경개선으로 인한 환경비용 절감		
		○ 지역개발 및 시장권 확대		
		○ 지역산업 구조개편		

Table 6.3.2 비용산출 기준

번호	구 분	항 목	내 용	비 고
1	차량구입비	기존 전동차 구입비(량당)	1,050,000천원	
		이층 전동차 구입비(량당)	1,589,000천원	
2	차량전력비	기존 전동차 완행운행시(kWh/km-편성)	19.5	주1)
		기존 전동차 급행운행시(kWh/km-편성)	13.2	주2)
		이층 전동차 완행운행시(kWh/km-편성)	15.8	
3	차량보수비	기존 전동차 일상검수비(10량1편성당)	600천원	주3)
		기존 전동차 일상검수비(10량1편성당)	7,700천원	
		기존 전동차 중정비검수비(10량1편성당)	180,000천원	
		이층 전동차 일상검수비(10량1편성당)	660천원	
		이층 전동차 월상검수비(10량1편성당)	8,470천원	
		이층 전동차 중정비검수비(10량1편성당)	198,000천원	

주1) 서울9호선 기본설계보고서, 서울지하철건설본부

주2) 인천국제공항철도 기본계획보고서, 공항철도(주), p7-13

주3) 전동차 중정비 검수업무 외주화 방안연구, 한국철도공사, p208

Table 6.3.3 통행시간 절감편익 산출기준(2011년 기준)

구분	고속철도		일반철도		광역도시철도	
	업무	비업무	업무	비업무	업무	비업무
통행비율(%)	38.4	61.6	17.5	82.5	7.6	92.4
시간가치 (원/시)	20,718	5,621	20,718	4,839	20,718	4,839
시간가치 (원/인・시)	7,956	3,463	3,626	3,992	1,575	4,472
평균시간가치 (원/인)	11,419		7,618		6,047	

자료 : 철도투자평가편람 전면개정 연구, 한국철도시설공단, 한국교통연구원, 2010

Table 6.3.4 좌석안락감 편익 산출기준

번호	구분	항목	내용	비고
1	편의성, 안락감	좌석으로 인한 편의성 및 안락감 (단위:원/인 • km)	13,96원/(인 • km)	주1)

본 과제에서 경제적 타당성 검토는 각 노선에 대하여 다음과 같은 대안을 설정하여 비교하는 것으로 하였다.

Table 6.3.5 타당성 검토를 위한 설정방안

구분	방안에 대한 설명	비고
기준안	수송수요 증가에 대하여 기존 전동차를 완행으로만 증편 운영하는 방안	
참조안	수송수요를 50 : 50으로 각각 완행과 급행으로 분담 운영하되 기존전동차만 운행하는 방안	
분석1안	수송수요를 50 : 50으로 각각 완행과 급행으로 분담 운영하되 검토 초기년도 이후 급행의 증가수요에 대해서 2층 전동차가 분담하는 방안	
분석2안	수송수요를 50 : 50으로 각각 완행과 급행으로 분담 운영하되 급행수요는 모두 2층 전동차를 운행하는 방안	

- 광역철도용 2층 전동객차의 운행방법은 “수도권전철 이용효율 증대를 위한 광역전철 운행체계 개선방안 연구”에 있는 대안1(P200, P271)과 같이 급행운행방식으로 하였다.
- 경제적 타당성 분석은 전동차의 수명과 도입 검토기간을 고려하여 기존 급행운행중인 경인선과 경부선은 2005년부터, 경원선은 2006년부터, 경의선은 2009년부터, 경춘선과 신분당선은 2010부터, 신안산선은 2015년부터 25년간으로 하였다.

(2) 경제적 타당성 검토를 위한 수요데이터

본 연구에서는 광역철도용 2층 전동객차 운영의 경제성 분석에서 보다 정확한 수요데이터를 사용하기 위해, 이와 같이 직접 연관되는 해당 선행연구의 연구기관과 협조하였다. 본 연구에서는 해당 선행연구에서 적용한 최적 급행열차 운행체계를 적용했을 경우의 각 O-D(Origination-Destination)간 수요를 입수하여 선행연구에서 제시한 O-D간 수요데이터를 용도에 맞게 역간 수요데이터로 변환하였다.

본 연구에서 O-D간 수요데이터를 역간 수요데이터로 변환한 방법은 해당 선행연구에서 수행한 방법과 같이 EMME/3 상용 프로그램을 이용하여 입수한 O-D간 데이터를 역간 수요데이터로 재할당하는 방법을 사용하였다. 다음 그림은 O-D간 수요데이터를 역간 수요데이터로 재할당하는 과정을 보이기 위해 2020년의 O-D간 수요데이터를 역간 수요데이터로 재할당하는 과정을 나타낸다.

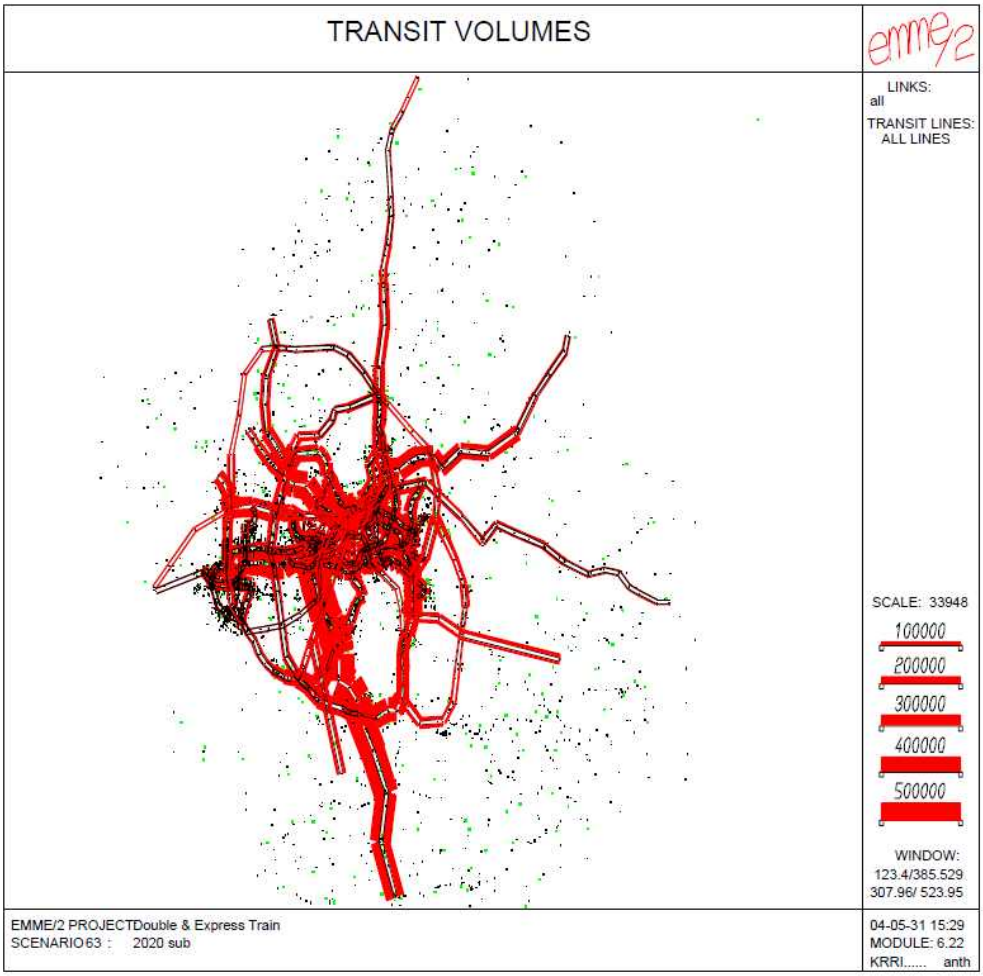


Fig. 6.3.1 O-D간 수요데이터의 역간 재할당

(3) 전동차 편성당 수송용량

본 과제에서 제시한 2층 전동차의 편성당 수송용량과 10량 1편성을 기준으로 한 기존전동차와의 수송용량의 비교는 아래 표와 같이 나타내었다.

Table 6.3.6 2층 전동차 편성당 수송용량

편성당 량수	좌석 수(석)	정원시(명)	만차시(명)	비고
6량	446	1,002	1,558	
8량	626	1,435	2,246	
10량	806	1,868	2,930	

주) 만차시는 입석 혼잡률 200%를 기준으로 하였음.

Table 6.3.7 기존전동차와 2층 전동차 수송용량 비교

구분	항목	기존전동차	2층 전동차	용량증감	증감비율(%)
정원시	좌석수	528	806	+278	+52.7
	입석수	1,048	1,062	+14	+1.3
	계	1,576	1,868	+292	+18.5
만원시 (200%)	좌석수	528	806	+278	+52.7
	입석수	2,096	2,124	+28	+1.3
	계	2,624	2,930	+306	+11.7

주) 10량 1편성기준임. 만차시는 입석 혼잡률 200%를 기준으로 하였음

(4) 좌석 안락감 편익 산출 기준

전동차 이용시 입석승객이 좌석에 착석함으로써 갖게 되는 좌석안락감은 좌석에 대한 지불의사를 금액으로 환산하여 산출의 기초로 하였다. 승객의 연령별, 성별, 노선별, 경제적 여유정도 등에 따라 지불의사의 금액환산정도는 약간의 차이가 있으나 이용자에 대한 현지 설문조사결과를 근거로하여 산출하였으며 기존전동차 및 2층 전동차의 10량 1편성시의 좌석수를 기준으로 하여 산출된 ㎞당 좌석편익은 아래와 같다.

Table 6.3.8 10량 1편성당 좌석편익 비교

구분	편성당 좌석 수	좌석편익 단가	편성당 좌석편이	비고
기존전동차	528	13,96원/인 • km	7,370원/km	
2층 전동차	806	13,96원/인 • km	11,252원/km	
증감률(%)			+52.7%	

(5) 통행시간 절감편익 산출기준

전동차 이용시 각 역을 정차하는 완행을 탑승하는 것보다 직행을 이용함으로써 승객이 기대할 수 있는 통행시간 절감을 금액으로 환산하여 통행시간 절감편익으로 하였다. 승객의 직업, 연령에 따라 달라질 수 있으나 공공 교통시설 개발사업에 관한 「투자평가지침」(2002. 1. 건설교통부)을 기준으로 하여 산출의 기초로 하였으며 기존전동차 및 2층 전동차의 10량 1편성시의 정원을 기준으로 하여 산출된 시간당 통행시간 절감편익은 아래와 같다.

Table 6.3.9 10량 1편성당 통행시간 절감 편익 비교

구분	편성당 좌석 수	좌석편익 단가	편성당 좌석편이	비고
기존전동차	1,576	9,413원/시간	14,835천원/시간	
2층 전동차	1,868	9,413원/시간	17,583천원/시간	
증감률(%)			+18.5%	

2. 경제성 평가방법의 개요

(1) 평가방법의 선택

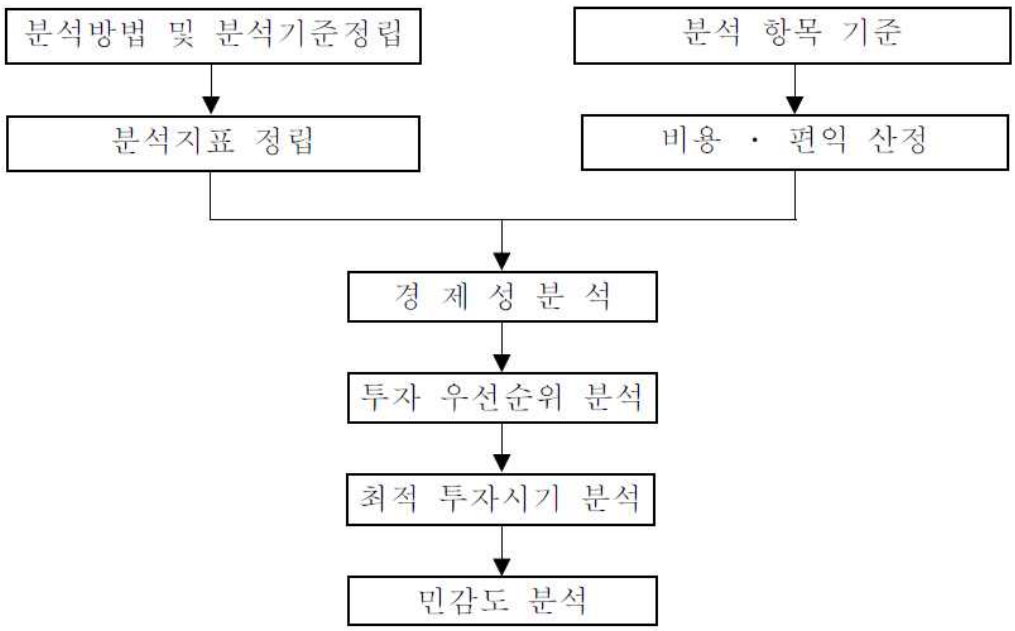


Fig. 6.3.2 비용편익분석 과정 흐름도

공공 투자사업을 계획함에 있어서 최적안을 도출하고 투자효과를 측정하기 위하여 실시하게 되는 평가기법에는 비용편익분석법(Cost Benefit Analysis), 대차대조표 작성법(Balance Sheet Approach), 비용효과분석법(Cost Effectiveness Analysis) 및 목표성취도 분석법(Goal Achievement Analysis) 등이 있다.

이 중 비용편익분석법은 분석과정 중 평가자의 주관이 개입될 여지가 비교적 적고, 화폐가치 환산방법이 비교적 객관적이어서 공공 투자사업에 적합하여 널리 사용되고 있으며 평가의 일반적인 절차는 위의 그림과 같다.

(2) 비용편익 분석 방법의 평가기준 및 산출근거

①편익의 추정

철도사업에 따른 편익은 원칙적으로 부정적인 효과의 감소로 정의되고 있으며 사업 전후의 사용자 비용에서 감소가 있었다면 그 감소분만큼이 사업에 따른 편익이 된다는 개념이다. 철도 이용자를 포함한 모든 교통수단 이용자가 받게 되는 직접적인 편익과 철도건설 및 운영으로 인하여 파생되는 부차적인 효과인 간접편익을 포함할 수 있으나 주로 직접적이고 계량화가 가능한 편익항목을 대상으로 편익을 산출한다. 신규건설을 전제로 한 철도사업에 있어서의 일반적인 편익항목은 아래와 같다.

Table 6.3.10 철도사업 신규투자시의 일반적인 편익항목

구 분	편 익 항 목	세 부 항 목	비고
직접편익	도로, 항공, 항만 부분의 편익	타 교통수단에서 철도로의 전환에 따른 편익	
	통행시간 감소편익	업무 및 비업무 통해 시간가치	
	차량운행비 절감편익	고정비용 절감, 운영비용 절감	
	편리성, 안락도, 안전성 증진	수송서비스 향상으로 유발되는 무형편익	
간접편익	교통사고의 감소편익	도로부문의 사상사고 감소	
	환경비용 감소편익	배기가스 감소, 교통소음 감소	
	개발효과 편익	고용창출 및 지역개발 효과	

②비용의 추정

비용항목은 철도노선의 계획, 건설, 운영 단계에서 투입되는 제반비용을 포함하며, 건설운영계획에서 산출된 비용을 적용한다. 철도사업 경제성 평가할 때 적용되는 비용의 항목 및 구성요소는 Table 6.3.11과 같다.

Table 6.3.11 철도사업 신규투자시의 일반적인 비용항목(2)

구 분	항 목	내 용	비고
건설투자비	설계비	용지비를 제외한 순공사비 규모에 따라 요율을 적용하여 산출	
	공사 및 용지 보상비	신규건설 및 개량시 건설단가 적용	
차량구입비	차량구입비	차량소요계획에 의한 연도별 차량구입비용	
유지보수비	인건비	완공 후 운영단계에서 소요되는 인건비	
	동력비	시스템 운영에 소요되는 동력과 역사 및 차량기지에 필요한 각종 동력비	
	시스템 유지관리비	철도의 각종 시스템의 유지 보수비용	
잔존가치	차량잔존가치	차량의 내용연수에 의한 산출	
	시설잔존가치	노반 궤도 전차선등 내용 연수 감안 산출	

③관련지표

교통사업의 신규투자시 적용지침으로서 건설교통부의 「투자평가지침」(2002.1)에 의하면 경제적 타당성 분석을 위한 관련지표로서 사회적 할인율은 7.5%를 적용토록 되어 있으며 일반적으로 건설공사를 포함한 신규노선 건설시 분석기간은 총 39년(공사준비기간 4년, 공사기간 5년, 운영기간 30년)을 적용토록 되어 있다. 기준시점으로서 가격들의 기준시점은 분석 해당 연도 1월 1일로, 공사기간 시작 및 완료는 각각 1월 1일 및 12월 31일을 기준으로 하도록 되어 있다.

④편익·비용의 현재가치 추정방법

■ 편익항목의 현재가치는 다음 식으로 산출토록 한다.

$$BPV_n = \sum_{t=0}^{T} \frac{B_{nt}}{(1+r)^t}$$

여기서, BPV_n : n항목 편익의 현재가치,

T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

B_{nt} : 기준 연차로부터 t년째의 n항목의 편익

r : 사회적 할인율, n : 편익의 종류

■ 비용항목의 현재가치는 다음 식으로 산출토록 한다.

$$CPV_n = \sum_{t=0}^{T} \frac{C_{nt}}{(1+r)^t}$$

여기서, CPV_n : n항목의 비용의 현재가치

T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

C_{nt} : 기준 연차로부터 t년째의 n항목의 비용

r : 사회적 할인율, n : 비용의 종류

■ 비용 − 편익비(B/C Ratio)는 다음 식으로 산출토록 한다.

$$\text{비용−편익비(B/C비율)} = \sum_{n}^{N} BPV_n / \sum_{m}^{M} CPV_m = TBPV / TCPV$$

여기서, $BPVn$: n항목 편익의 현재가치

$CPVm$: m항목 비용의 현재가치

n,N : 편익 항목의 종류

m,M : 비용 항목의 종류

■ 순현재가치(NPV)는 다음 식으로 산출토록 한다.

$$\text{순현재가치(NPV)} = \sum_{t=0}^{T} \frac{\sum_{i=n}^{N} B_{it} - \sum_{j=m}^{M} C_{jt}}{(1+r)^t}$$

여기서, B_{it} : i항목의 t연도 편익

C_{jt} : j항목의 t연도 비용

n,N : 편익 항목의 종류

m,M : 비용 항목의 종류

T : 기준연차로부터 평가대상기간 최종 연차까지의 연수

t : 기준 연차를 0으로 하는 연차

3. 2층 전동차 기술적 측면의 경제적 타당성 검토의 전제 조건

2층 전동차 운행의 타당성 검토 결과의 객관성을 제고하고 상대적 비교의 명확성을 부여하기 위해 다음과 같은 전제조건을 설정하였다.

■ 2층 전동차 도입 검토 구간은 수도권 광역철도의 통근형 전철구간을 대상으로 하고 현재 전철화 건설 중인 노선 및 신설계획노선 2곳을 포함하여 통행시간 절감과 승객편의성 증진 측면에서 유리하다고 판단되는 7개 노선 대안에 대하여 검토하였다.

■ 현재의 수도권 전동차의 차량한계를 준수하는 2층 전동차를 제안하여 2층 전동차 도입에 따른 시설물에 대한 투자는 없는 것으로 하였다.

■ 2층 전동차의 운행방법은 '수도권전철 이용효율 증대를 위한 광역전철 운행체계 개선방안 연구' 에 있는 대안1(P200, P271)과 같이 급행운행방식으로 하였다. 2층 전동차가 정차하는 정차역에서의 승하차 시간은 급행보다 20초 더 길게 하였다.

■ 경제적 타당성 분석은 전동차의 수명과 도입 검토기간을 고려하여 기존 급행운행중인 경인선과 경부선은 2005년부터, 경원선은 2006년부터, 경의선은 2009년부터, 경춘선과 신분당선은 2010부터, 신안산선은 2015년부터 25년간으로 하였다.

■ 신규 건설되는 노선에 대한 경제적 타당성 평가기법은 비용편익분석법을 많이 사용되고 있으며, 비용에 대한 편익이 1.3~2 정도면 경제적 타당성이 있는 것으로 판단하고 있다. 그러나 본 과업에서는 비용과 편익항목을 선정할 때 신규노선의 건설시 비용 중에서 큰 비중을 차지하는 선로건설비를 제외하였기 때문에 비용에 대한 편익비가 상대적으로 과다하게 산출되므로 비용대비 편익비율(B/C비)의 산출보다는 편익에 대한 비용의 차이인 순현재가치로 경제적 타당성의 기초적인 사항을 평가하기로 하였다.

■ 운행방안은 아래와 같이 [기준안], [참조안], [분석1안] 및 [분석2안]의 4개 방안으로 설정하였다.

- [기준안] : 수송수요 증가에 대하여 기존 전동차를 완행으로만 증편 운영하는 방안
- [참조안] : 수송수요를 50 : 50으로 각각 완행과 급행으로 분담 운영하되 기존 전동차만 운행하는 방안
- [분석1안] : 수송수요를 50 : 50으로 각각 완행과 급행으로 분담 운영하되 검토 초기년도 이후 급행의 증가수요에 대해서 2층 전동차가 분담하는 방안
- [분석2안] : 수요를 50 : 50으로 각각 완행과 급행으로 분담 운영하되 급행수요는 모두 2층 전동차를 운행하는 방안

※단, 현재 건설을 검토 중에 있는 신분당선과 신안산선은 [기준안]은 제외하고 나머지 3개안을 가정하여 검토하였다.

4. 비용 및 편익분석의 항목 설정

경제학적으로 비용은 현재의 사업에 사용되는 재원이 다른 사업에 이용되었을 경우 향후 발생할 것으로 예상되는 효용의 증가분, 즉 기회비용으로 보며 편익은 현재의 사업으로 인해 발생할 것으로 예상되는 효용을 의미한다. 그러나 현재까지의 교통부문 투자사업과 관련된 주요비용항목은 정확한 기회비용의 산출이 현실적으로 불가능하기 때문에 최초투자에 해당되는 건설투자비와 건설 후 매년 발생하는 유지관리비 및 운영비 등 투자사업에 사용되는 재원의 합을 할인율에 적용시켜줌으로써 산출하게 된다.

더구나 본 연구는 건설비 등 추가적인 시설투자가 일어나지 않는다는 가정 하에 기존 전동차에 대한 2층 전동차를 대체 투입하는 경우이므로 실제 적용되는 비용항목은 차량의 구입비, 운영비, 보수비 등으로 설정할 수 있다. 차량 구입비는 기존전동차 및 2층 전동차의 신규 구입시 소요되는 비용으로 하였으며 차량 운영비는 운영인건비 및 간접비용은 동일한 것으로 하고 차량 대체 투입에 따른 운행 전력비를 주요대상으로 하였다. 차량보수비는 차량 검수비용을 주대상으로 하였다.

비용과 마찬가지로 해당 투자사업에 대해 얻어지는 편익을 산정하는 데는 많은 어려움이 있다. 그 이유는 교통투자사업으로 인해 발생되는 편익의 범위가 기간적으로나 타 부문과의 관련성의 정도가 매우 광범위하여 정확한 예측이 어렵고 계량화가 불가능한 항목이 존재하기 때문이다.

투자심사편람에서 교통시설사업의 편익항목으로 제시하고 있는 것은 필수항목으로 도시철도 이용자의 통행시간 절감, 도로이용자의 통행시간 절감, 도로이용자의 운행비 절감 등이 있고, 고려항목으로 교통사고 감소로 인한 사고비용 절감, 환경개선으로 인한 환경비용 절감, 경제적 파급효과, 편리성, 안락감, 안전성 증진 등이 있다.

이렇게 편익을 측정하는 항목 및 방법들이 제시되고 있지만 분석에 이들 모두를 포함시키는 것은 현실적으로 불가능하다. 또한 각 항목간의 교차효과로 인해 중복 계산되는 경우가 발생할 가능성이 높기 때문에 대부분의 경우 몇몇 항목만을 대표적 분석대상으로 삼고 있다.

대표적인 분석대상 항목으로는 다른 항목의 대표성이 인정되는 차량 운행비 절감항목과 통행시간 단축항목이지만 본 연구에서는 기존전동차를 2층 전동차로 대체 할 경우의 편익이므로 전동차 이용자의 통행시간 단축과 편리성, 안락감, 안전성 증진이 편익항목으로 설정될 수 있다. 따라서 본 연구에서도 이들 주요한 두 항목에 대한 편익을 중점적으로 산정하기로 하였다. 직접편익으로서 도로이용자의 차량 운행비 절감과 교통사고 감소로 인한 사회적 비용절감 효과가 있으며, 간접편익으로서 도로

교통 감소로 인한 환경비용 절감, 지역개발효과 등이 있으나 이러한 효과는 도로교통만 존재하는 지역에 철도사업을 신규투자 할 경우에 주요한 편익항목으로서 본 과업에서와 같이 기존의 철도서비스가 실시되고 있는 상태에 차량만 2층으로 대체 할 경우에는 신규노선 건설에 따른 유발효과보다 상대적으로 작을 것으로 판단되어 본 연구에서는 제외하도록 하였다.

Table 6.3.12 비용 및 편익분석의 항목

구분	항목	신규투자 검토시 적용항목	본 과제 적용항목	비 고
비용	직접 비용	○ 공사설계 및 감리 비용		
		○ 본선 및 정차장 건설비용		
		○ 용지보상비		
		○ 시설 유지관리비		
		○ 차량구입비	●	차량 신규구입비
		○ 차량 운영비	●	운행 전력비
		○ 차량 보수비	●	검수비용
편익	직접 편익	○ 도시철도 이용자의 통행시간 절감	●	승객의 시간절감
		○ 도로이용자의 차량 운행비 절감		
		○ 편리성, 안락감, 안정성 증진	●	좌석에 의한 안락감
		○ 교통사고 감소로 인한 사고비용 절감		
	간접 편익	○ 환경개선으로 인한 환경비용 절감		
		○ 지역개발 및 시장권 확대		
		○ 지역산업 구조개편		

5. 비용 및 편익산출의 기초

(1) 비용산출 기초

비용항목은 앞에서 언급하였듯이 차량구입비, 차량 운영비에 있는 차량 전력비, 차량 보수비 등을 고려하였다. 이 중 기존전동차의 구입비는 최근 국내에 발주된 AL 전동차의 량당 발주가 10억 5000만원을 적용하였으며 2층 전동차의 구입비는 국내의 사례가 없으므로 프랑스 RER 2층 전동차 조사가격을 참고로 하여 차량크기 등을 고려하여 국내 적용시의 가격을 추정하여 적용하였다.

차량운행 전력비 중 완행으로 운행할 때는 서울3기 지하철 인버터차량에 대한 시뮬

레이션 결과를 이용하였고, 급행운행은 인천 신공항 철도 기본설계시의 완행대비 급행의 주행전력 감소비율을 원용하였으며, 2층 급행은 차체중량 증가분을 고려하여 비례 산출하였다.

Table 6.3.13 비용산출 기준(차량구입비 및 차량전력비)

구 분	항 목	내 용	비 고
차량 구입비	기존 전동차 구입비(량당)	1,050,000천원	
	이층 전동차 구입비(량당)	1,589,000천원	
차량 전력비	기존 전동차 완행운행시(kWh/km-편성)	19.5	주1)
	기존 전동차 급행운행시(kWh/km-편성)	13.2	주2)
	이층 전동차 급행운행시(kWh/km-편성)	15.8	

주1) 서울9호선 기본설계보고서, 서울지하철건설본부
주2) 인천국제공항철도 기본계획보고서, 공항철도(주), p7-13

Table 6.3.14 비용산출 기준(차량보수비)

구 분	항 목	내 용	비 고
차량 보수비	기존 전동차 일상검수비(10량 1편성당)	600천원	주1)
	기존 전동차 월상검수비(10량 1편성당)	7,700천원	
	기존 전동차 중장비검수비(10량 1편성당)	180,000천원	
	기존 전동차 일상검수비(10량 1편성당)	660천원	
	기존 전동차 월상검수비(10량 1편성당)	8,470천원	
	기존 전동차 중장비검수비(10량 1편성당)	198,000천원	

주1) 전동차 중정비 검수업무 외주화 방안연구, 한국철도공사, p208

(2) 편익산출 기초

시간절감편익은 교통시설의 신설 및 개선의 가장 중요한 목적이며, 일반적으로 총 편익의 가장 큰 비중을 차지한다. 시간절감편익은 사업 미시행시 기존 전동차 이용자의 총통행시간에서 사업시행시의 기존전동차와 2층 전동차 이용자의 총통행 시간의 차이를 구하고 여기에 시간당 평균임금 또는 시간의 기회비용으로 계산된 시간가치를 곱해서 산출하였다. 도시철도 이용자의 시간당 임금으로 볼 수 있는 시간가치는 건설교통부「투자평가지침」(2012.1)을 기준으로 9,413원/시간을 적용하였으며 편의성 및 안락감은 경부선 오전 첨두시를 기준으로 이용자에 대해 실시한 현지 설문조사 결과를 적용하였다.

Table 6.3.15 통행시간 절감편익

구분	항 목	내용		비고
		업무	비업무	
철도의 통행시간 절감편익	재차인원(원/인·시)(A)	2.07	2.31	
	시간가치(원/인·시)(B)	9,306	3,042	
	시간가치(원/인·시)(C)	19,263	7,027	$C = A \times B$
	평균 값(원/인·시)	9,413		주1)

주1) 공공교통시설 개발사업에 관한 「투자평가지침」(2012.1, 건설교통부)

기존 완행전동차를 이용하는 승객이 2층 전동차의 좌석에 착석함으로 인한 편의성 및 안락감은 현지조사를 실시하여 거리에 대한 편의성을 산출하였으며, 아래 표와 같은 기준으로 계량화하였다. 현지 설문조사로부터 산출한 거리에 대한 좌석편의성은 13.96원/인·㎞이었으며, 각 노선의 좌석편의성은 거리에 대한 좌석편의성에 전 구간의 거리를 곱하여 구하였다.

Table 6.3.16 좌석안락감 편익

구 분	항 목	내 용	비 고
편의성, 안락감	좌석으로 인한 편의성 및 안락감 (단위:원/인·km)	13.96원/(인·km)	주1)

6. 노선별 수송수요 예측 전제내용

수송수요를 정확히 예측하는 것은 타당성 분석의 기본이 되며 분석결과의 객관성을 부여하는 중요한 기초자료가 된다.
본 연구과제에서 타당성 분석을 위해 선정된 7개 노선은 기존 수행된 수송수요 예측 자료로 이는 2층객차 운행을 전제했을 때 가변적 수요패턴과 이와 관련된 제반사항을 참고하기 위한 것이다.

Table 6.3.17 노선별 수송수요 예측자료

노선명	수송수요 예측자료	발행처	평가기관	채택
경인선	경인선 복선전철 건설사업 교통영향 평가 보고서	철도청	유신 코퍼레이션	기준안
	수도권 종합 교통체계조사	철도운영정보 연구팀		참조안 분석안
	수도권전철 이용효율 증대를 위한 광역전철 운행체계 개선방안 연구	철도청	교통개발 연구원 외 2	
경부선	2001년 수도권 전철 정기 교통량 조사	철도청	한국산업 관계연구원	기준안
	수도권 종합 교통체계조사	철도운영정보 연구팀		참조안 분석안
	수도권전철 이용효율 증대를 위한 광역전철 운행체계 개선방안 연구	철도청	교통개발 연구원 외 2	
경원선 경의선 경원선 경춘선 신분당선 신안산선	수도권 종합 교통 체계조사	철도운영정보 연구팀		기준안 참조안 분석안
	수도권전철 이용효율 증대를 위한 광역전철 운행체계 개선방안 연구	철도청	교통개발 연구원외 2	

본 과제에서의 수송수요를 참고하는데 활용된 자료는 「수도권전철 이용효율 증대를 위한 광역전철 운행체계 개선방안 연구」와 「수도권 종합 교통체계 조사」를 기본으로 채택하였으며, 경인선과 경부선의 [기준안]에 대해서는 「교통영향 평가 보고서」와 「수도권 전철 정기 교통량 조사」의 결과를 참고하는 것으로 하였다.

「수도권전철 이용효율 증대를 위한 광역전철 운행체계 개선방안 연구」는 한국철도공사가 전문기관을 통하여 건설 중인 광역전철 노선과 기존 전철노선에서 급행열차운행 등 속도향상을 통한 경쟁력 향상으로 교통편익 증대 및 수익성 향상을 위하여 광역전철 운행체계 개선을 위한 마스터플랜을 수립한 것이다.

관련 「교통영향 평가 보고서」는 각 노선별로 복선전철 신규사업 시행에 앞서 한국철도공사가 전문기관에 위탁으로 실시한 것으로 신뢰성이 있는 자료로, 「수도권전철 정기 교통량 조사」는 교통량 변동추세를 분석하기 위하여 한국철도공사에서 각 노선별 모든 역 구내에서 토요일, 일요일, 월요일 3일간의 대표 객차 1~2량에 대하여 RH시간대의 혼잡도 및 재차 인원의 조사결과임을 전제하였다.

7. 노선별 2층 전동차 운행 경제적 타당성 검토

대상 노선은 상기한 바와 같이 수요가 일정 규모 이상이 되며 기존 수행된 각종 자료가 본 과제의 분석 특성에 맞는 노선별 특정구간을 대상으로 하였다. 그리고 2층 전동객차 투입과 관련하여 예상되는 가치적 상태를 고려하였으며 각 노선별 특성을 보면 다음과 같다.

(1) 경인선

①복복선 구간(14.9km) 구간이 완공되어 이미 급행 서비스가 이루어지고 있는 노선이다.

②출퇴근 피크시 기존의 완행운행은 한계에 도달하고 있으므로 계속적인 급행운행의 확대가 불가피한 노선이다.

③급행운행의 확대방안으로 기존전동차를 급행과 완행으로 구분하여 수송수요를 50 : 50으로 분담시켜 운행하는 방안[참조안], [참조안]에서 2층 전동차를 급행 수송수요 증가분에 대해 대체 투입하는 방안[분석1안] 및 [참조안]에서 기존급행전동차를 광역철도 2층 전동객차로 완전히 대체하는 방안[분석2안]으로 구분하여 검토하였으며 각 방안별, 검토조건별 ㎞당 순현재가치는 Table 6.3.18과 같이 산출되었다.

Table 6.3.18 경인선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 ㎞당 순현재가치 변화

(단위: 백만원)

2층 전동차 정차시분	검토방안	좌석편의성				
		1배	1.25배	1.5배	1.75배	2배
50초	기준안	135,730	148,637	161,538	174,438	187,339
	참조안	**141,686**	**156,107**	**170,529**	**184,951**	**199,373**
	분석1안	134,592	150,423	166,254	182,086	197,917
	분석2안	123,639	141,001	158,363	175,725	193,087
30초	기준안	135,736	148,637	161,538	174,438	187,339
	참조안	141,686	156,107	170,529	184,951	199,373
	분석1안	142,278	157,896	173,515	189,133	204,751
	분석2안	**147,871**	**164,581**	**181,291**	**198,300**	**214,710**

④상기 표는 검토 대상이 되는 4가지 방안에 대하여 운전시분을 기존전동차는 30

초로 고정하고, 2층 전동차는 50초와 30초의 2가지 경우로 하여 좌석 편의성을 증가시킬 때 산출되는 각 방안별 ㎞당 순현재가치를 나타내고 있으며 다음사항을 확인하였다

■ 2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우, [참조안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 기존전동차 급행운행에 분담시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다.

■ 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우는 [분석2안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 전량 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 판단되었다.

⑤또한 2층 전동차의 정차시분을 30초로 할 경우는 수송분담률 50%에 대해 증가분량에 대해서만 2층 전동차로 투입하는 [분석1안]도 [참조안]보다 높은 값으로 산출되어 경인선의 경우 출퇴근시 혼잡률이 높고 좌석에 대한 선호도가 높다고 판단되므로 2층 전동차의 정차시분을 기존전동차와 동일하게 30초로 할 경우 충분한 경제적 타당성이 있는 것으로 사료된다. 그러나 혼잡률이 높은 구간에서의 승하차 시간 단축방안에 대한 면밀한 검토가 필요하다.

(2) 경부선

①현재 경부선은 서울과 수원 사이에 이미 급행 서비스가 이루어지고 있고 수원과 천안 사이는 전철화 사업이 건설 중에 있는 노선이다.

②경인선에 비해 출퇴근시 혼잡도는 다소 떨어지고 급행 분담 수송수요도 상대적으로 적으나 비교적 장거리 운행 승객이 많아 편의성 등 승객서비스 개선이 요구되는 노선이다.

③급행운행의 확대 방안으로 기존전동차를 급행과 완행으로 구분하여 수송수요를 50 : 50으로 분담시켜 운행하는 방안[참조안], [참조안]에서 이층급행전동차를 급행수송수요 증가분에 대해 대체 투입하는 방안[분석1안] 및 [참조안]에서 기존급행전동차를 광역철도 2층 전동객차로 완전히 대체하는 방안[분석2안]으로 구분하여 검토하였으며 각 방안별, 검토조건별 ㎞당 순현재가치는 다음 표와 같이 산출되었다.

Table 6.3.19 경부선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 ㎞당 순현재가치 변화

(단위: 백만원)

2층 전동차 정차시분	검토방안	좌석편의성				
		1배	1.25배	1.5배	1.75배	2배
50초	기준안	29,269	34,164	39,059	43,954	48,850
	참조안	**37,458**	**45,554**	53,651	61,747	69,844
	분석1안	36,600	45,381	54,161	62,941	71,721
	분석2안	35,133	44,716	**54,299**	**63,882**	**73,446**
30초	기준안	29,269	34,164	39,059	43,954	48,850
	참조안	37,458	45,554	53,651	61,747	69,844
	분석1안	37,838	46,535	55,232	63,929	72,626
	분석2안	**38,753**	**48,145**	**57,536**	**66,928**	**76,320**

④상기 표는 검토 대상이 되는 4가지 방안에 대하여 운전시분을 기존전동차는 30초로 고정하고, 2층 전동차는 50초와 30초의 2가지 경우로 하여 좌석 편의성을 증가시킬 때 산출되는 각 방안별 ㎞당 순현재가치를 나타내고 있으며 다음사항을 확인하였다

- 2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성이 1.25배가 될 때까지는 [참조안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 기존전동차 급행운행에 분담시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났으나, 좌석편의성이 1.5배 이상 증가하게 되면 [분석2안]이 가장 높은 값으로 산출되어 50%의 급행수송수요를 전량 2층 전동차를 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 나타났다.
- 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우는 [분석2안]이 좌석편의성에 관계없이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 전량 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 판단되었다.

⑤또한 2층 전동차의 정차시분을 30초로 할 경우는 수송분담률 50%에 대해 증가분량에 대해서만 2층 전동차로 투입하는 [분석1안]도 [참조안]보다 높은 값으로 산출되어 경부선의 경우도 경인선과 같이 출퇴근시 혼잡률이 높고 좌석에 대한 선호도가 높다고 판단되므로 2층 전동차의 정차시분을 기존전동차와 동일하게 30초로 할 경우 충분한 경제적 타당성이 있는 것으로 사료된다.

(3) 경원선

①현재 의정부~동두천간은 10편성의 전동차로 운행수요를 충당하고 있으며, 복선전철화 작업이 2006년 완료되어 복선전철이 개통되었다. 경원선은 수도권 중북부 지역주민의 교통편의 증진뿐만 아니라 남북교류의 확대개선과 대륙철도와 연계되는 국제 철도시대를 대비하여 능동적으로 대응되어야하는 중요한 노선이다. 또한 동두천 - 연천간 20.3km 철도건설의 체계적인 정비사업을 추진 중에 있다.

②복선 전철화 공사가 완료됨으로써 기존의 역내 측선을 대피선으로 이용할 경우 시설에 대한 추가투자 없이 2층 전동차의 급행운행이 가능한 노선이다.

③급행운행의 확대방안으로 기존전동차를 수송수요기준 50 : 50으로 완행과 급행으로 나누어 운행하는 방안[참조안]과, [참조안]에서 급행수송수요 증가분에 대해서만 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 방안[분석1안], [참조안]에서 기존급행전동차를 광역철도 2층 전동객차로 완전히 대체하는 방안[분석2안]으로 구분하여 검토하였으며 각 방안별, 검토조건별 ㎞당 순현재가치는 Table 6.3.20와 같이 산출되었다.

Table 6.3.20 경원선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 ㎞당 순현재가치 변화

(단위: 백만원)

2층 전동차 정차시분	검토방안	좌석편의성				
		1배	1.25배	1.5배	1.75배	2배
50초	기준안	9,790	15,261	20,733	26,205	31,676
	참조안	**25,154**	30,241	35,328	40,415	45,502
	분석1안	24,649	**30,325**	**36,001**	**41,677**	**47,353**
	분석2안	20,424	26,607	32,791	38,974	45,158
30초	기준안	9,790	15,261	20,733	26,205	31,676
	참조안	25,154	30,241	35,328	40,415	45,502
	분석1안	**25,606**	**31,188**	**36,771**	**42,353**	**47,935**
	분석2안	23,465	29,388	35,311	41,235	47,158

④상기 표는 검토 대상이 되는 4가지 방안에 대하여 운전시분을 기존전동차는 30초로 고정하고, 2층 전동차는 50초와 30초의 2가지 경우로 하여 좌석 편의성을 증가시킬 때 산출되는 각 방안별 ㎞당 순현재가치를 나타내고 있으며 다음사항을 확인하였다

■ 2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성을 1배 그대로 유지하는 경우를 제외하고는 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%의 급행

수요 증가분에 대해 2층 전동차를 투입시켜 기존전동차와 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다.

■ 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우도 좌석편의성에 관계없이 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어, 50초인 경우와 동일하게 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 기존전동차와 2층 전동차를 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 판단된다.

⑤또한, 2층 전동차의 운전시분에 관계없이 [분석1안]이 가장 유리하고 기존전동차를 급행으로 운행하는 [참조안]이 그 다음으로 높은 값을 나타내고 있어 경원선의 경우는 출퇴근시 혼잡률이 다소 낮아 기존전동차만의 급행운행도 충분히 경제적으로 유리한 것으로 사료된다.

(4) 경의선

①용산~문산간 복선 전철화(48.6km)를 2012년 개통 되었다. 정차역의 측선을 대피선으로 할 경우 시설에 대한 추가투자 없이 광역철도 2층 전동객차 운행이 가능한 노선이다.

②현재 국철노선으로 1시간에 편도 1회의 운행이 이루어지고 있으며, 전철화 완료 후 수요증대에 대비가 필요한 노선이다.

③급행운행의 확대방안으로 기존전동차를 수송수요기준 50 : 50으로 완행과 급행으로 나누어 운행하는 방안[참조안]과, [참조안]에서 급행수송수요 증가분에 대해서만 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 방안[분석1안], [참조안]에서 기존급행전동차를 광역철도 2층 전동객차로 완전히 대체하는 방안[분석2안]으로 구분하여 검토하였으며 각 방안별, 검토조건별 km당 순현재가치는 Table 6.3.21과 같이 산출되었다.

Table 6.3.21 경의선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 ㎞당 순현재가치 변화

(단위: 백만원)

2층 전동차 정차시분	검토방안	좌석편의성				
		1배	1.25배	1.5배	1.75배	2배
50초	기준안	11,944	18,244	24,544	30,844	37,144
	참조안	27,145	33,115	39,086	45,056	51,026
	분석1안	**27,197**	**33,736**	**40,274**	**46,813**	**53,352**
	분석2안	24,585	31,595	38,605	45,615	52,625
30초	기준안	11,944	18,244	24,544	30,844	37,144
	참조안	27,145	33,115	39,086	45,056	51,026
	분석1안	**27,411**	**33,935**	**40,459**	**46,982**	**53,506**
	분석2안	24,999	31,904	38,809	45,714	52,618

④상기 표는 검토 대상이 되는 4가지 방안에 대하여 운전시분을 기존전동차는 30초로 고정하고, 2층 전동차는 50초와 30초의 2가지 경우로 하여 좌석 편의성을 증가시킬 때 산출되는 각 방안별 ㎞당 순현재가치를 나타내고 있으며 다음사항을 확인하였다

■2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성의 증감관계 없이 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 2층 전동차를 투입시켜 기존전동차와 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다.

■2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우도 좌석편의성에 관계없이 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 50초인 경우와 동일하게 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 기존전동차와 이층 전동차를 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 판단된다.

⑤또한, 2층 전동차의 운전시분에 관계없이 [분석1안]이 가장 유리하고 기존전동차를 급행으로 운행하는 [참조안]이 그 다음으로 높은 값을 나타내고 있어 경원선의 경우도 경원선과 마찬가지로 출퇴근시 혼잡률이 다소 낮아 기존전동차만의 급행운행도 충분히 경제적으로 유리한 것으로 사료된다.

(5) 경춘선

①청량리~춘천간 복선 전철화로 기존 정차역의 측선을 대피선으로 할 경우 시설에 대한 추가투자 없이 급행 및 이층급행전동차 운행이 가능한 노선이다.

②급행운행의 확대방안으로 기존전동차를 수송수요기준 50 : 50으로 완행과 급행으로 나누어 운행하는 방안[참조안]과, [참조안]에서 급행수송수요 증가분에 대해서만 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 방안[분석1안], [참조안]에서 기존급행전동차를 광역철도 2층 전동객차로 완전히 대체하는 방안[분석2안]으로 구분하여 검토하였으며 각 방안별, 검토조건별 ㎞당 순현재가치는 다음 표와 같이 산출되었다.

Table 6.3.22 경춘선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 km당 순현재가치 변화

(단위: 백만원)

2층 전동차 정차시분	검토방안	좌석편의성				
		1배	1.25배	1.5배	1.75배	2배
50초	기준안	5,696	8,724	11,752	14,780	17,808
	참조안	**10,051**	13,016	15,981	18,947	21,912
	분석1안	9,956	**13,217**	**16,478**	**19,738**	**22,999**
	분석2안	8,621	12,155	15,688	19,222	22,756
30초	기준안	5,696	8,724	11,752	14,780	17,808
	참조안	10,051	13,016	15,981	18,947	21,912
	분석1안	**10,304**	**13,536**	**16,767**	**19,998**	**23,230**
	분석2안	9,101	12,580	16,060	19,540	23,019

③상기 표는 검토 대상이 되는 4가지 방안에 대하여 운전시분을 기존전동차는 30초로 고정하고, 2층 전동차는 50초와 30초의 2가지 경우로 하여 좌석 편의성을 증가시킬 때 산출되는 각 방안별 ㎞당 순현재가치를 나타내고 있으며 다음사항을 확인하였다

■ 2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성을 1배 그대로 유지하는 경우를 제외하고는 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 2층 전동차를 투입시켜 기존전동차와 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다.

■ 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우도 좌석편의성에 관계없이 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 50초인 경우와 동일하게 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 기존전동차와 이층 전동차를 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 판단된다.

④또한, 2층 전동차의 운전시분에 관계없이 [분석1안]이 가장 유리하고 기존전동차를 급행으로 운행하는 [참조안]이 그 다음으로 높은 값을 나타내고 있어 경춘선의 경우도 경원선과 마찬가지로 출퇴근시 혼잡률이 다소 낮아 기존전동차만의 급행운행도 충분히 경제적으로 유리한 것으로 사료된다.

(6) 신분당선

①현재 신분당선은 2016년에 개통예정에 있으며 기존 분당선 전철이 성남 및 수서로 우회하고 있음에 따라 시간절감을 위해 분당~양재간의 도로 교통수요가 많아

전철건설시 급행수요가 많을 것으로 예상되는 노선이다.

②아울러 수지 신도시를 끼고 백궁~수지~수원역을 연결하는 신분당선 연장도 적극 검토되고 있어 서울로의 출퇴근 수요는 계속 증가 될 것으로 예상되며 건설이 완료되는 시기의 이 지역 주민의 서비스 질 향상 욕구가 클 것으로 예상된다.

③급행운행의 확대방안으로 기존전동차를 수송수요기준 50 : 50으로 완행과 급행으로 나누어 운행하는 방안[참조안]과, [참조안]에서 급행수송수요 증가분에 대해서만 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 방안[분석1안], 기존급행전동차를 광역철도 2층 전동객차로 완전히 대체하는 방안[분석2안]을 구분하여 검토하였으며 각 방안별, 검토조건별 ㎞당 순현재가치는 다음 표와 같이 산출되었다.

Table 6.3.23 신분당선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 ㎞당 순현재가치 변화

(단위: 백만원)

2층 전동차 정차시분	검토방안	좌석편의성				
		1배	1.25배	1.5배	1.75배	2배
50초	참조안	10,625	14,030	17,435	20,840	24,245
	분석1안	**10,877**	**14,788**	**18,699**	**22,610**	**26,521**
	분석2안	10,500	14,684	18,868	23,025	27,236
30초	참조안	10,625	14,033	17,439	20,845	24,251
	분석1안	11,407	15,309	19,207	23,106	27,005
	분석2안	**13,820**	**17,851**	**21,878**	**25,904**	**29,931**

④상기 표는 검토 대상이 되는 4가지 방안에 대하여 운전시분을 기존전동차는 30초로 고정하고, 2층 전동차는 50초와 30초의 2가지 경우로 하여 좌석 편의성을 증가시킬 때 산출되는 각 방안별 ㎞당 순현재가치를 나타내고 있으며 다음사항을 확인하였다

■ 2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성 1.25배까지는 [분석1안]이 가장 높은 값을 나타내었으며 1.5배보다 큰 경우는 [분석2안]이 가장 높아 50%의 급행수송수요에 2층 전동차를 투입하는 것이 유리한 것으로 판단된다.

■ 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우는 [분석2안]이 좌석편의성에 관계없이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 전량 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 판단되었다.

⑤또한 2층 전동차의 정차시분을 30초로 할 경우는 수송 분담률 50%에 대해 증가

분량에 대해서만 2층 전동차로 투입하는 [분석1안]도 [참조안]보다 높은 값으로 산출되어 신분당선의 경우 출퇴근시 혼잡률이 높고 좌석에 대한 선호도가 높다고 판단되므로 2층 전동차의 정차시분을 기존전동차와 동일하게 30초로 할 경우 충분한 경제적 타당성이 있는 것으로 사료된다.

(7) 신안산선

①현재 신안산선은 계획 중에 있으며 국토부는 시설사업기본계획을 고시한 뒤 민간사업자 제안서를 받을 예정이다. 2017년 하반기 착공하면 2023년에 1단계(43.6km) 공사가 완료될 예정이다. 완공된 후 기존 정차역의 측선을 대피선으로 할 경우 시설에 대한 추가투자 없이 급행 운행이 가능한 노선이다.

②급행운행의 확대방안으로 기존전동차를 수송수요를 50 : 50으로 완행과 급행으로 나누어 운행하는 방안[참조안]과, [참조안]에서 급행수송수요 증가분에 대해서만 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 방안[분석1안], 기존급행전동차를 광역철도 2층 전동객차로 완전히 대체하는 방안[분석2안]으로 구분하여 검토하였으며 각 방안별, 검토조건별 km당 순현재가치는 Table 6.3.24와 같이 산출되었다.

Table 6.3.24 신안산선 좌석편의성 및 정차시분 변화에 따른 ㎞당 순현재가치 변화

(단위: 백만원)

2층 전동차 정차시분	검토방안	좌석편의성				
		1배	1.25배	1.5배	1.75배	2배
50초	참조안	9,134	12,095	15,057	18,018	20,980
	분석1안	**9,633**	**13,022**	**16,411**	**19,800**	**23,189**
	분석2안	8,555	12,040	15,525	19,010	22,495
30초	참조안	9,134	12,095	15,057	18,018	20,980
	분석1안	9,865	13,245	16,626	20,006	23,387
	분석2안	**10,611**	**14,026**	**17,441**	**20,856**	**24,271**

③상기 표는 검토 대상이 되는 4가지 방안에 대하여 운전시분을 기존전동차는 30초로 고정하고, 2층 전동차는 50초와 30초의 2가지 경우로 하여 좌석 편의성을 증가시킬 때 산출되는 각 방안별 ㎞당 순현재가치를 나타내고 있으며 다음사항을 확인하였다

■ 2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성에 관계없이 [분석1안]이

가장 높은 값을 나타내어 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 2층 전동차를 투입시켜 기존전동차와 함께 급행운행을 시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다.

■ 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우는 [분석2안]이 좌석편의성에 관계없이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 전량 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 판단되었다.

④ 또한 2층 전동차의 정차시분을 30초로 할 경우는 수송 분담률 50%에 대해 증가분량에 대해서만 2층전동차로 투입하는 [분석1안]도 [참조안]보다 높은 값으로 산출되어 신안산선의 경우도 신분당선과 마찬가지로 출퇴근시 혼잡률이 높고 좌석에 대한 선호도가 높다고 판단되므로 2층 전동차의 정차시분을 기존전동차와 동일하게 30초로 할 경우 충분한 경제적 타당성이 있는 것으로 사료된다.

4절 사전타당성 검토 종합

1. 광역철도용 2층 전동객차의 운행에 따른 정책적 타당성 검토

본 연구과제는 전술한 광역철도용 2층 전동객차 개발과 실용성에 대한 내용으로 수도권을 비롯한 광역 지자체 대상의 광역철도에 운행될 수 있는 차량개발에 초점이 맞춰져 있다. 특히 수도권의 노선별 첨두시 등 특정시간대에 과밀 혼잡으로 대중교통 이용객의 서비스 질적 제고 측면에서 그 궤를 함께 하며, 이의 기술적 개발여건과 운행방안 차원에서 볼 때 정책적 일관성에는 충분한 근거를 가지고 있다.

특히 최근 수도권 및 광역지자체의 공로교통의 과중한 혼잡 등으로 국가경쟁력 저하를 감안할 경우 전용 통행권을 갖는 교통수단의 활성화는 기상 등에도 영향을 덜 받는 전천후 교통수단으로 그 역할이 기대되는 현실이다.

2. 광역철도용 2층 전동객차의 운행에 따른 기술적 타당성 검토

2층 전동객차의 도입은 도시공간 구조의 입체화의 개념을 교통부문에 적용할 수 있는 방안으로 기존 선형적 단층차량의 과밀혼잡을 해소할 수 있는 목적으로 이용객의 서비스 질적 제고 차원으로 유도할 수 있는 대안으로 떠오르고 있다. 도시인구의 급증과 토지이용의 과밀화에 따른 주거공간이 점점 도심을 벗어나 교외로 이동함에 따라 교외와 도심을 연결하는 장거리 교통수단으로 승객의 편의성과 안락성 등의 측면에서 큰 장점을 가지고 있다. 기존의 철도시설을 이용하면서 2층 전동객차를 개발하기 위해서는 수용인원의 증가에 따라 차체의 Dimension 및 중량이 커지면서 발생할 수 있는 안전, 신속성, 정치성 등의 문제들을 세밀하게 검토하여 대응책을 마련해야 하는 사안이 중요한 이슈로 부각될 수 있다.

차체 크기가 커짐에 따라 강도와 강성에 대한 면밀한 검토가 필요하며 중량 증가에 따른 경량화가 이루어져야 한다. 차량의 무게중심이 높아지면서 주행안정성 확보가 필히 요구되며, 2층 전동객차에 대한 성능시험 평가를 위해 기존의 전동차와 별도의 기준과 규정이 마련되도록 연구가 이루어져야 할 것으로 사료되며 이와 더불어 기술적, 운영적 측면에서 법적 제도적 사안의 검토가 사전에 충분히 이루어 져야할 것으로 판단되는데 이는 본 과제 수행 시에 충분한 검토가 요망된다.

3. 광역철도용 2층 전동객차의 운행에 따른 경제적 타당성 검토

전술한 바와 같이 차량구입 및 유지보수비와 통행시간 절감 및 좌석편익을 감안하여 2층 전동객차의 투입이 고려될 수 있는 대상노선에 대한 일차적으로 선정하였으며 이들 노선의 각 현안별 기초적인 특성을 검토하여 도출된 경제적 타당성을 노선대별로 개략적으로 검토한 결과는 다음과 같다.

(1) 경인선

2층 전동객차의 정차시분을 50초로 할 경우, 상기의 본문에서 제시된 [참조안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 기존전동차 급행운행에 분담시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다. 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우는 상기의 본문에서 제시된 [분석2안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 전량 이층급행전동차로 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 잠정적으로 도출되었다.

(2) 경부선

2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성이 1.25배가 될 때까지는 상기의 본문에서 제시된[참조안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 기존전동차급행운행에 분담시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났으나, 좌석편의성이 1.5배 이상 증가하게 되면 상기의 본문에서 제시된[분석2안]이 가장 높은 값으로 산출되어 50%의 급행수송수요를 전량 2층 전동차를 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 나타났다. 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우는 상기의 본문에서 제시된 [분석2안]이 좌석편의성에 관계없이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 전량 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 잠정적으로 도출되었다.

(3) 경원선

2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성을 1배 그대로 유지하는 경우를 제외하고는 상기의 본문에서 제시된 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 2층 전동차를 투입시켜 기존전동차와 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다. 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우도 좌석편의성에 관계없이 상기

의 본문에서 제시된 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어, 50초인 경우와 동일하게 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 기존전동차와 이층 전동차를 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 잠정적으로 도출되었다.

(4) 경춘선

2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성을 1배 그대로 유지하는 경우를 제외하고는 상기의 본문에서 제시된 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 2층 전동차를 투입시켜 기존전동차와 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다. 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우도 좌석편의성에 관계없이 상기의 본문에서 제시된 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 50초인 경우와 동일하게 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 기존전동차와 이층 전동차를 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 잠정적으로 도출되었다.

(5) 경의선

2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성의 증감관계 없이 상기의 본문에서 제시된[분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 2층 전동차를 투입시켜 기존전동차와 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다. 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우도 좌석편의성에 관계없이 [분석1안]이 가장 높은 값이 산출되어 50초인 경우와 동일하게 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 기존전동차와 이층 전동차를 함께 급행운행을 병행시키는 방안이 가장 유리한 것으로 잠정적으로 도출되었다.

(6) 신분당선

2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성 1.25배까지는 상기의 본문에서 제시된 [분석1안]이 가장 높은 값을 나타내었으며 1.5배 보다 큰 경우는 상기의 본문에서 제시된 [분석2안]이 가장 높아 50%의 급행수송수요에 2층 전동차를 투입하는 것이 유리한 것으로 판단된다. 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우는 [분석2안]이 좌석편의성에 관계없이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 전량 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 잠정적으로 도출되었다.

(7) 신안산선

2층 전동차의 정차시분을 50초로 할 경우 좌석편의성에 관계없이 상기의 본문에서 제시된 [분석1안]이 가장 높은 값을 나타내어 수송수요 50%의 급행수요 증가분에 대해 2층 전동차를 투입시켜 기존전동차와 함께 급행운행을 시키는 방안이 가장 유리한 것으로 나타났다. 2층 전동차의 정차시분을 30초로 줄여 기존전동차와 동일하게 운행할 경우는 상기의 본문에서 제시된 [분석2안]이 좌석편의성에 관계없이 가장 높은 값이 산출되어 수송수요 50%를 전량 광역철도 2층 전동객차로 대체 투입하는 것이 가장 유리한 것으로 잠정적으로 도출되었다.

제 7 장 소요예산 산정

1절 전체사업 소요예산

전체 사업일정은 5년으로 개발하고 단계별 추진하는 방법으로 수행 될 계획이다. 이는 핵심기술과 운영을 포함한 일정을 구분하여 추진하고 1단계에서는 3년간 2층 차체 및 주행장치, 전장품 등 핵심기술 개발을 목표로 수행한다. 또한 2단계에서는 2년간 1단계에서 완료된 결과물을 운영노선에 투입하여 신뢰성 및 안전성을 확인하여 실용화 요건을 갖추도록 추진한다. 전체 사업 일정은 5년간 개발하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

출퇴근 생활권 확대에 따른 출퇴근 시간대 수송력 증대를 위한 광역철도용 2층 열차설계기반 핵심기술 개발로 세부과제 4개로 구성

1세부 : 광역철도용 2층 전동객차/인프라 I/F 설계 및 성능 검증

2세부 : 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술 개발

3세부 : 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발

4세부 : 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발

1. 전체사업 인력투입계획 및 예산

- 전체사업 투입계획

(단위 : 명)

구 분	1단계			2단계		합계
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
책임 연구원	6	15	15	8	5	49
연구원	8	24	25	10	7	74
연구보조 (박사과정)	3	6	5	3	3	20
연구보조 (석사과정)	4	10	10	5	5	34

- 전체 소요 예산 및 항목

예산항목	세부항목	예 산 항 목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균인원/참여율	1단계			2단계		소계	
				1차년	2차년	3차년	4차년	5차년		
인건비	책임연구원	0.9	10/60	4.9	7.0	7.0	3.8	2.7	25.4	8.5
	연구원	0.7	15/75	6.3	11.6	11.0	4.2	3.7	36.8	12.3
	연구보조(박사과정)	0.4	4/100	1.6	3.2	2.4	1.2	0.8	9.2	3.1
	연구보조(석사과정)	0.3	7/100	2.1	3.3	3.3	1.2	1.2	11.1	3.7
	소 계			14.9	25.1	23.7	10.4	8.4	82.4	27.5
직접비	연구장비 재료비			6.7	70.5	48.7	25.5	6.8	158.2	52.7
	연구활동비			3.5	6.2	5.9	2.4	1.8	19.7	6.6
	연구수당			2.3	3.8	3.5	1.6	1.3	12.5	4.2
	소 계			12.5	80.5	58.1	29.4	9.9	190.4	63.5
간접비				2.7	10.5	8.2	4.0	1.8	27.2	9.1
합 계				30	116	90	44	20	300	100.0

2. 세부과제별 인력투입계획 및 예산

○ 중점추진분야 1: 광역철도용 2층 전동객차/인프라 I/F 설계 및 성능 검증

- 1세부 인력투입 계획

(단위 : 명)

구 분	1단계			2단계		합계
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
책임연구원	4	6	8	3	3	24
연구원	3	8	10	5	5	31
연구보조(박사과정)	1	4	3	1	1	10
연구보조(석사과정)	2	5	4	1	2	14

예산항목	세부항목	예 산 항 목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균인원/참여율	1단계			2단계		소계	
				1차년	2차년	3차년	4차년	5차년		
인건비	책임연구원	0.9	5/60	2.2	3.2	4.3	1.6	1.6	13.0	17.1
	연구원	0.7	6/75	1.6	4.2	5.3	2.6	2.6	16.3	21.4
	연구보조(박사과정)	0.4	2/100	0.4	1.6	1.2	0.4	0.4	4.0	5.3
	연구보조(석사과정)	0.3	3/100	0.6	1.5	1.2	0.3	0.6	4.2	5.5
	소 계			4.7	10.6	12.0	5.0	5.2	37.6	49.3
직접비	연구장비 재료비			1.7	5.2	6.0	2.1	2.1	17.1	22.5
	연구활동비			1.1	2.6	2.9	1.2	1.0	8.8	11.6
	연구수당			0.7	1.6	1.8	0.8	0.8	5.6	7.4
	소 계			3.5	9.4	10.7	4.1	3.9	31.5	41.5
간접비				0.8	2.0	2.3	0.9	0.9	6.9	9.1
합 계				9.0	22.0	25.0	10.0	10.0	76.0	100

○ 중점추진분야 2: 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계 · 제작 기술 개발

(단위 : 명)

구 분	1단계			2단계		합계
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
책임연구원	2	2	2	2	2	10
연구원	4	5	5	2	2	18
연구보조(박사과정)	1	2	1	1	1	6
연구보조(석사과정)	3	2	3	2	2	12

예산항목	세부항목	예 산 항 목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균인원/참여율	1단계			2단계		소계	
				1차년	2차년	3차년	4차년	5차년		
인건비	책임연구원	0.9	2/60	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	5.4	4.6
	연구원	0.7	4/75	2.1	2.6	2.6	1.1	1.1	9.5	8.0
	연구보조(박사과정)	0.4	2/100	0.4	0.8	0.4	0.4	0.4	2.4	2.0
	연구보조(석사과정)	0.3	3/100	0.9	0.6	0.9	0.6	0.6	3.6	3.1
	소 계			4.4	5.0	4.9	3.1	3.1	20.6	17.7
직접비	연구장비 재료비			2.9	29.4	18.6	22.9	4.7	78.5	66.5
	연구활동비			1.1	1.2	1.3	0.8	0.8	5.2	4.4
	연구수당			0.7	0.8	0.7	0.5	0.5	3.1	2.6
	소 계			4.7	31.4	20.6	24.2	6.0	86.8	73.6
간접비				0.9	3.6	2.5	2.7	0.9	10.6	9.0
합 계				10.0	40.0	28.0	30.0	10.0	118.0	100

○ 중점추진분야 3: 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발

(단위 : 명)

구 분	1단계			2단계		합계
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
책임연구원	2	3	2	1	0	8
연구원	3	5	4	0	0	12
연구보조(박사과정)	1	1	1	1	0	4
연구보조(석사과정)	1	3	2	1	0	7

예산항목	세부항목	예 산 항 목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균인원/참여율	1단계			2단계		소계	
				1차년	2차년	3차년	4차년	5차년		
인건비	책임연구원	0.9	2/60	1.1	1.6	1.1	0.5	0.0	4.3	6.9
	연구원	0.7	3/75	1.6	2.6	2.1	0.0	0.0	6.3	10.0
	연구보조(박사과정)	0.4	1/100	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0	1.6	2.5
	연구보조(석사과정)	0.3	2/100	0.3	0.9	0.6	0.3	0.0	2.1	3.3
	소 계			3.4	5.5	4.2	1.2	0.0	14.3	22.7
직접비	연구장비 재료비			0.8	19.5	16.8	0.2	0.0	37.3	59.2
	연구활동비			0.8	1.4	1.1	0.2	0.0	3.5	5.6
	연구수당			0.5	0.8	0.6	0.2	0.0	2.1	3.4
	소 계			2.1	21.7	18.5	0.6	0.0	42.9	68.0
간접비				0.5	2.7	2.3	0.2	0.0	5.7	9.0
합 계				6.0	30.0	25.0	2.0	0.0	63.0	100.0

○ 중점추진분야 4: 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발

(단위 : 명)

구 분	1단계			2단계		합계
	1차년	2차년	3차년	4차년	5차년	
책임연구원	1	2	1	1	0	5
연구원	2	4	2	1	0	9
연구보조(박사과정)	1	1	1	0	0	3
연구보조(석사과정)	1	1	2	0	0	4

예산항목	세부항목	예 산 항 목								비율(%)
		단가(연급여)	연평균인원/참여율	1단계			2단계		소계	
				1차년	2차년	3차년	4차년	5차년		
인건비	책임연구원	0.9	1/60	0.5	1.1	0.5	0.5	0.0	2.7	6.3
	연구원	0.7	3/75	1.1	2.1	1.1	0.5	0.0	4.7	11.0
	연구보조(박사과정)	0.4	1/100	0.4	0.4	0.4	0.0	0.0	1.2	2.8
	연구보조(석사과정)	0.3	1/100	0.3	0.3	0.6	0.0	0.0	1.2	2.8
	소 계			2.3	3.9	2.6	1.1	0.0	9.8	22.8
직접비	연구장비 재료비			1.3	16.4	7.3	0.3	0.0	25.3	58.7
	연구활동비			0.6	1.0	0.6	0.3	0.0	2.5	5.7
	연구수당			0.3	0.6	0.4	0.2	0.0	1.5	3.4
	소 계			2.2	17.9	8.3	0.7	0.0	29.2	67.8
간접비				0.5	2.2	1.1	0.2	0.0	4.0	9.3
합 계				5.0	24.0	12.0	2.0	0.0	43.0	100.0

2절. 소요예산 산정 및 기술로드맵

1. 예산 산정내역

(정부출연금 기준, 단위: 백만원)

중점 추진 분야	세 부 과 제		소요 연구비	1 단계												2 단계							
				1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
1세부 : 광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 연구			7,600			900				2,200				2,500				1,000				1,000	
1	2층 전동객차 목표사양 도출		135			135																	
		국내 환경에 적합한 모델 구조 도출(개념 형상 설계)				85																	
		국외 환경에 적합한 모델 135개념 설계				50																	
2	차체 및 핵심장치 인터페이스 기술		990			190				600				200									
		차량-주행장치 인터페이스 설계				30				100													
		차량-인버터 등 전장품 인터페이스 설계				30				100													
		차량-제동장치 인터페이스 설계				30				100													
		차량-전력 등 인터페이스 설계				50				100													
		인터페이스 설계 및 관리 기술서				50				200				200									
3	용량 및 기기 배치 최적설계 기술		1,100			250				550				300									
		기기 배치 최적설계 기술				100				200				300									
		수송량 증대를 위한 차체 설계 기술				50			150														
		좌석 및 입석 배치 기술				50			100														
		차종별 기기 배치 기술				50			100														
4	차량/인프라 인터페이스(동적거동 등) 기술		550			150				400													
		차량 단면 및 차량한계 검토				50																	
		주행동특성 모델링 및 주행안전성 해석				50				200													
		중량 증대 및 무게 중심 변동에 따른 해석 기술				50				200													
5	핵심장치 완성품 시험·평가		1,470							180				800				200				200	
		시스템 성능검증방법 및 절차 연구								80				400				100					
		시스템 종합성능 성적서 마련								100				400				100				200	
6	실용화를 위한 경제적 모델 개발		955			75				200				700									
		개발품 실용화를 위한 관련 법규 검토				25																	

중점 추진 분야	세 부 과 제		소요 연구비	1 단계												2 단계							
				1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
		수요예측 및 투자평가 효과분석 기술 개발				25				100				350									
		실용화사업을 위한 예비타당성 조사·분석				25				100				350									
7	Test-bed 노선 연구		2,400			100				200				500				800				800	
		시험선 후보지 도출(경제성 및 기대효과 분석)								100				400				800				800	
		실용화를 위한 요건 도출				100				100				100									
		시스템 종합 성능시험(내구성 및 신뢰성 시험, 10만km 달성)																800				800	
2세부 : 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술 개발			11,800			1,000				4,000				2,800				3,000				1,000	
1	광역철도용 2층 차체 설계 기술		4,250			50				1,150				750				2,300					
		차체 기본설계				50																	
		차체 상세설계								100													
		차체 시험품 제작									50		250										
		완성차 시작품 제작 및 평가(4량 1편성)									1,000			500				2,300					
2	차체 경량화 및 안정화 기술		1,220			120				650				450									
		차량 경량화 및 중량분포 기술				120																	
		차량 안정화 및 충돌해석 기술								250			250										
		차량 및 주요 핵심장치간 인터페이스 기술								400				200									
3	연결기 등 부품 슬림화 및 모듈화 기술		3,330			830				1800				700									
		저상 2층 차량용 연결기 설계 및 제작				150				200				100									
		케이블 등 기기간 연결 케이블 경량화 기술 및 제작				80				350				200									
		유니소재 철도차량재료 친환경성 적용 및 제작				300				350				200									
		제작~폐기 전과정 친환경성 평가				300				400				300									
		운전실 및 기기 등 설비 제작								500				200									
4	차체 및 주요 구성품 시험(정하중 및 피로시험) 평가		3,000							400				900				700				1,000	
		차체 구조물 정하중 및 피로시험								300				400				200					
		주요 구조물 정하중 및 피로시험								100				300				200					
		완성차 종합평가 시험												200				300				1,000	

중점 추진 분야	세 부 과 제		소요 연구비	1 단계												2 단계							
				1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
3세부 : 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발			6,300			600				3,000				2,500				200					
1	전장품 및 제동장치 경량화 제작 기술		1,670			70				600				1,000									
		전장품 및 제동장치 설계가이드 및 시방서 도출				50				100													
		전장품 및 제동장치 기본 설계				20																	
		전장품 및 제동장치 상세 설계								100													
		전장품 및 제동장치 시제품 제작									400			1,000									
2	전장품 지능화 및 모듈화 기술		850			200				450				200									
		전장품 지능화 기술				100				200													
		전장품 경량화/모듈화 기술				100				250			200										
3	고출력 제동장치 기술		650			200				450													
		중량 증대에 따른 제동기술 검토				50				100													
		제동장치 소형화 및 경량화 기술				150				350													
4	영구작석용 동기전동기 적용 기술		980			130				550				300									
		고출력 IPMSM 전동기 적용 검토				130				550				300									
5	전장품 및 제동장치 시제품 평가		2,150							950				1,000				200					
		전기장치 완성품 조립 및 검사								500				500									
		제동장치 완성품 조립 및 검사								350				300									
		종합시험 지원									100			200				200					
4세부 : 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발			4,300			500				2,400				1,200				200					
1	광역철도용 주행장치 설계 기술		750			50				200				500									
		주행장치 기본 설계				50																	
		주행장치 상세 설계								200													
		주행장치 완성품 제작												500									
2	능동조향대차 적용 기술		300			50				250													
		능동조향대차 적용성 검토				50																	
		중량 증대에 따른 주행 안전성 및 곡선 추종성 검토								250													

중점 추진 분야	세 부 과 제		소요 연구비	1 단계												2 단계							
				1차년도				2차년도				3차년도				4차년도				5차년도			
				1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4	1/4	2/4	3/4	4/4
3	**주행장치 최적설계**		700				400				300												
		대차 프레임 강도 최적설계					150																
		동특성 향상을 위한 강성 최적설계					150				200												
		구성품 경량화를 위한 설계					100				100												
4	**대차 핵심장치 설계 및 제작**		1,550								1,150				400								
		1차/2차 스프링 장치 설계 및 제작									150				70								
		중량 증대에 따란 윤축 설계 및 제작									200				80								
		제동장치 인터페이스 설계									200				60								
		조향장치 인터페이스 설계 및 제작									200				60								
		감속기 설계 및 제작									250				80								
		차량지지장치 설계 및 제작									150				50								
5	**대차 구성품 및 완성품 시험·평가**		1,000								500				300				200				
		주행장치 완성품 조립 및 제작 검사									500				150								
		주행장치 완성품 시험 평가													100								
		종합시험 평가 지원													50				200				
합 계				8,000				10,900				8,600				500				500			

2. 기술개발 차별성 및 최종 성과물

구분	과제명	주요내용	기존 기술과의 차별성	소요 연구기간 (착수시기)	최종 성과물	최종 수요처	활용방안	기술개발에 따른 기대효과	국토부 지원 필요성	총예산(백만원)			과제 우선순위
										정부	민간	합계	
1세부과제	광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 연구	• 국내 환경에 적합한 2층 전동객차 요구사항 분석 및 목표사양 도출 • 2층 전동객차 차체 및 핵심장치 인터페이스 기술 개발 • 2층 전동객차 용량 및 기기 배치 최적설계 기술 개발 • 2층 전동객차 차량/인프라 인터페이스 설계 • 2층 전동객차 핵심장치 완성품 시험·평가 • 2층 전동객차 실용화를 위한 경제적 모델 개발 • 2층 전동객차 실용화를 모델 구현을 위한 Test-bed 노선 연구	• 기존 연구는 부수차 형식만 2층화하였으나 본 연구는 동력차와 연계한 2층화하는 것임. • 연구개발과 동시에 실용화가 가능하도록 운영노선에서 시험과 실용화 요건을 갖추도록 연구개발함.	5년/ 1차년도	• 국내 환경에 적합한 2층 전동객차 설계 규격서 • 세계 수준의 2층 전동객차 차량 최적설계 보고서 • 2층 전동객차 핵심장치 완성품 시험·평가서 • 2층 전동객차 실용화를 위한 경제적 모델 개발 • 2층 전동객차 실용화를 모델 구현을 위한 Test-bed 마련 • 실용화를 위한 제도적 법규 마련(지원) • 실용화를 위한 목표주행거리(10만km 달성)	• 국내 철도 운영기관 • 국내 철도 부품 차량제작사 • 해외 2층 열차 운영기관 • 해외 2층 열차 제작사	• 광역철도 2층 전동객차를 통해 향후 신규 노선 및 기존 차량의 개량 시 적용 가능 • 시스템 설계 능력향상으로 해외 2층 열차 시장 선점 • 종합시스템 성능 검증 후 협동참여기관(운영기관)에서 개발시스템 관리	• 해외에 의존하던 핵심장치개발로 해외기술의 종속에서 탈피함 • 철도산업의 기술경쟁력 재고 및 개발품에 대한 응용기술 확대를 기대 • 실용화 및 해외 수출을 위한 요건 확보로 해외 시장 선점 • 다양한 노선을 운영하여 서비스질 다변화	• 전동차의 수송량 증대로 혼잡률 문제를 해결할 수 있으며, • 수송집중 시간대의 혼잡을 최소화하여 쾌적한 환경 조성과 광역철도 수요 중대로, 도로 중심에서 철도 중심으로 지속가능한 광역대중교통체계 수립 가능함.	7,600	2,280	9,880	1 4
2세부과제	광역철도용 2층 전동객차 차체 설계 제작 기술 개발	• 수송수요 증대를 위한 2층 차체 설계 기술개발 • 광역철도용 2층 전동객차 차체 경량화 및 안정화 기술개발 • 2층 전동객차용 연결기 등 부품 슬림화 및 모듈화 기술 개발 • 2층 전동객차 차체 구성품 시험(정하중 및 피로하중) 평가	• 전동차를 2층화하기 위해서는 모든 장치들의 배치 효율화 기술 개발 • 안전적인 차체설계를 위해서는 충돌 및 안정성에 대한 기술 확보 • 무게 중심 변화에 따른 동특성 등 인프라 인터페이스 기술 개발	5년/ 1차년도	• 2층 차체(4량 1편성) 제작 • 2층 전동객차용 연결기 등 부품 슬림화 및 모듈화 부품 제작 • 2층 전동객차 차체 구성품 성능 성적서 • 수송력 30% 이상 실용화 모델 완성 (4량 + 6량)	• 국내 철도 운영기관 • 국내 철도 부품 차량제작사 • 해외 2층열차 운영기관 • 해외 2층 열차 제작사	• 고용창출, 기술적 측면에서 원천기술을 보유할 수 있을 것으로 판단 • 경제성 및 유지보수성 30% 이상 향상	• 기존 도심 철도의 문제점을 해결할 수 있는 핵심기술을 개발함으로써 국가 교통 기술 경쟁력 확보와 해외 기술 선도 • 인프라 추가 설치 없이 수송력 향상	• 세계적인 기술수준으로의 도약, 연구개발 방향 등의 주도 : 광역철도용 2층 전동객차 기술을 세계적인 수준으로 향상 • 국내 실용화 및 해외 수출 할 수 있는 선진화 산업 정책 방향 필요	11,800	3,540	15,340	2 4

구분	과제명	주요내용	기존 기술과의 차별성	소요 연구기간 (착수시기)	최종 성과물	최종 수요처	활용방안	기술개발에 따른 기대효과	국토부 지원 필요성	총예산(백만원)			과제 우선순위
										정부	민간	합계	
3세부과제	광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발	• 슬림화 및 경량화를 위한 전장품 및 제동장치 설계 • 2층 전동객차 제동장치 기술 개발 • 2층 전동객차용 전장품 및 제동장치 구성품 시험·평가	• 전동차를 2층화하기 위해서는 전장품에 대한 슬림화를 반드시 필요하고 이는 기존 연구개발과 차별적인 요소임. 또한 전장품 설치에 따른 인터페이스도 중요한 요소임. • 무게 증가에 따른 제동력 증가와 장치의 슬림화는 기존 구조와 다른 제동장치를 개발하여야 함.	4년/ 1차년도	• 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 시작품(4량 1편성용) • 2층 전동객차 제동장치 시작품(4량 1편성용) • 2층 전동객차용 전장품 및 제동당치 구성품 시험 성적서 • 기존 전장품 중량 대비 30% 감량	• 국내 철도 운영기관 • 국내 철도 부품 차량제작사 • 해외 2층 열차 운영기관 • 해외 2층 열차 제작사	• 광역철도용 2층 전동객차 기술을 세계적인 수준으로 향상시키고, 국내 실용화 및 해외 수출할 수 있는 선진화 산업 정책 반영	• 철도시스템의 기술혁신사업으로 창조 경제 구현 가능함. • 기존 도심 철도의 문제점을 해결할 수 있는 핵심기술을 개발함으로써 국가 교통 기술 경쟁력 확보와 해외 기술 선도	• 수송량 향상을 위한 열차운행시격 단축 및 편성차량 수의 증가는 신호 등 설비 개량과 역사 증축 등 부가적인 시설비의 막대한 투자가 요구됨에 따라 수요에 대응한 광역철도의 재정적 부담 해결	6,300	1,890	8,190	3 4
4세부과제	광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발	• 하중 변동에 따른 주행장치 설계 기술(스마트 대차 핵심 기술 개발) • 2층 전동객차 능동조향 대차 적용성 검토 • 2층 전동객차 저상대차 핵심장치 설계 및 제작	• 전동차 높이를 낮추기 위해 대차설계는 매우 중요한 기술이며 국내 전동차에서는 처음으로 시도하는 기술임. • 무게 증가에 따른 주행안전성/마모 등의 효과를 극대화하는 기술개발이 필요함.	4년/ 1차년도	• 하중 증가에 따른 주행장치 제작(4량 1편성) • 2층 전동객차 능동 조향대차 기술개발 보고서 • 2층 전동객차 대차 핵심장치 설계 및 시작품 • 주행시스템 무게 기존 대차 대비 30% 감량	• 국내 철도 운영기관 • 국내 철도 부품 차량제작사 • 해외 2층 전동객차 운영기관 • 해외 2층 열차 제작사	• 광역철도용 2층 전동객차의 주행장치 기술을 세계적인 수준으로 향상하여 해외 기술 시장 선점	• 2층 구조에 의한 무게중심이 높아짐에 따라 주행시 발생하는 횡력에 대한 안정성을 확보하는 설계기술 확보 • 해외 2층 전동객차의 주행 시스템 기술 선도	• 현재의 통근형 광역철도 서비스 제공으로는 광역도시권역 내 가중되는 교통 체증 문제와 수송량 증대로 인한 혼잡률 해결할 수 있는 수단 마련 • 저진동/저소음 기술개발로 국민 서비스질 개선	4,300	1,290	5,590	1 4
합 계										30,000	9,000	39,000	

3. 연구시설 및 장비투입 계획

- 연구시설및장비비산출내역(B)-3천만원이상장비

주요 Activity	연차	장비명	용도	비용(원)	합계
1. 광역철도용 2층 전동객차/인프라 I/F 설계 및 성능 검증	1차년도	3D CAD S/W 및 H/W	설계 제작용	60,000,000	135,000,000
		인터페이스 검증용 S/W	설계 검증용	40,000,000	
		3D 프린터기	개념설계 검증용	35,000,000	
	2차년도	구조해석용 S/W 및 H/W	기본설계 검증용	190,000,000	470,000,000
		구조및기기배치 최적설계S/W	I/F 시뮬레이션	80,000,000	
		동특성 S/W 및 H/W	기본설계 동적 거동	200,000,000	
	3차년도	완성품 검증용 H/W	상세설계 검증용	430,000,000	582,800,000
		신뢰성 평가 S/W	신뢰성 평가 검증	80,000,000	
		시스템 I/F 검증용 S/W	종합 평가 Simu.	72,800,000	
	4차년도	3D Anim. 디자인 S/W	가상 Simu.	110,000,000	210,000,000
		운영환경 검증 S/W	종합시스템I/F	100,000,000	
	5차년도	종합운영 환경 S/W 및 H/W	운영환경 검증	210,000,000	210,000,000
2. 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술 개발	1차년도	전장품 해석용 S/W	회로 분석	40,000,000	240,000,000
		피로해석용 S/W	구조 피로 해석	60,000,000	
		설계제작용 3D CAD S/W	구조 설계용	70,000,000	
		RAMS 분석 S/W 및 H/W	전주기 분석용	70,000,000	
	2차년도	전장품 I/F H/W	시스템 설계	50,000,000	120,000,000
		충돌해석용 S/W 및 H/W	충돌안전성 해석	70,000,000	
	3차년도	완성품 검증용 H/W	완성차 검증용	50,000,000	114,000,000
		친환경 부품 검사장비	환경 재료 평가	64,000,000	
	4차년도	실동응력 검사 장비	완성품 검사	114,000,000	164,000,000
		승차감 검사 장비	승차감 측정용	50,000,000	
	5차년도			-	-

3. 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발	1차년도	견인전동기 Simu. H/W	견인전동기 설계	56,000,000	56,000,000
	2차년도	제동 장치 검증용 장비	제동장치 설계 검증	60,000,000	120,000,000
		열해석 S/W 및 장비	제동 열응력 해석용	60,000,000	
	3차년도	제동 인터페이스 정검 장비	인터페이 검증	40,000,000	80,000,000
		인버터 등 제어계측 장비	전장품 검증	40,000,000	
	4차년도				-
	5차년도				-
4. 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발	1차년도	동응력해석 S/W 및 H/W	주행안전성 해석	80,000,000	135,000,000
		최적설계 S/W	형상 최적화 해석	55,000,000	
	2차년도	감속기 해석용 S/W	다단 감속 해석	45,000,000	45,000,000
	3차년도				-
	4차년도				-
	5차년도				-

ㅇ연구시설및장비비 산출내역 - 3천만원미만장비

연차		주요내역	금액	합계
1. 광역철도용 2층 전동객차/인프라 I/F 설계 및 성능 검증	1차년도	- 전력 시뮬레이션 S/W	20,000,000	30,000,000
		- 외형 설계를 위한 3D S/W	10,000,000	
	2차년도	- 차량 및 건축한계 S/W	25,000,000	50,000,000
		- 중량 배치 검토용 S/W	25,000,000	
	3차년도	- 완성품 검증용 장비	20,000,000	20,000,000
	4차년도		-	-
	5차년도		-	-
2. 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술 개발	1차년도	- 디자인 검증 S/W	25,000,000	50,000,000
		- 2D 전기 도면 작성용 S/W	25,000,000	
	2차년도	- 도면 복사기	28,000,000	50,000,000
		- 성능 분석기	22,000,000	
	3차년도		-	-
	4차년도	- 피로 계측용 H/W	22,000,000	22,000,000

	5차년도	- 소음 측정장비	22,000,000	22,000,000
3. 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발	1차년도	- 제동장치 시뮬레이션 S/W	20,000,000	20,000,000
	2차년도	- 중량분포 해석용 S/W	23,000,000	23,000,000
	3차년도	- 전장품 신호분석 S/W	20,000,000	20,000,000
	4차년도			-
	5차년도			-
4. 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발	1차년도			-
	2차년도			-
	3차년도			-
	4차년도			-
	5차년도			

○시작품제작비산출내역(B)-1천만원이상시작품제작

주요 Activity	연차	시작품명	주요기능	비용(원)	합계
1. 광역철도용 2층 전동객차/인프라 I/F 설계 및 성능 검증					
2. 광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술 개발	1차년도				-
	2차년도	알루미늄 차체, 연결기 등	2층 전동객차 구조체 등	2,257,000,000	2,257,000,000
	3차년도	2량 1편성 차체 ass'y	M1, T1 car 완성차	1,220,000,000	1,220,000,000
	4차년도	추가 2량 1편성 제작	M2, T3 car 완성차	1,552,000,000	1,552,000,000
	5차년도	완성차 4량 1편성 조립	기존 6량 + 4량 조립	378,000,000	378,000,000
3. 광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발	1차년도				-
	2차년도	인버터, 보조전원장치, 전장품, 견인전동기 4 set	2량 차량 전장품	1,277,000,000	1,277,000,000
	3차년도	냉난방 장치, TCMS 등	운전실 전장품 등	1,262,000,000	1,262,000,000
	4차년도	추가 2량 1편성 조립 부품	추가 조립 부품	15,000,000	15,000,000
	5차년도				-
4. 광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발	1차년도				-
	2차년도	대차프레임, 센터피봇 등	주행장치4set	1,239,000,000	1,239,000,000
	3차년도	1/2차 스프링, 조향장치 등	스프링, 윤축 등	600,000,000	600,000,000
	4차년도	2편성 추가 부품 등	추가 조립 부품	21,000,000	21,000,000
	5차년도				-

제 8 장 과제 제안 요구서

1절. 과제 제안요구서(RFP)

연구과제명	광역철도용 2층 전동객차 인프라 인터페이스 및 신뢰성 검증 연구
1. 연구개발 목표	
○ 광역철도의 대용량 승객 수송 및 광역 이용승객의 장거리 이동 편의성 증진을 위한 광역철도용 2층 전동객차(200km/h 급) 핵심기술 개발 - 2층 열차(200km/h급) 시스템 사양 결정 및 시스템 통합/인터페이스 최적(안) 도출 - 광역철도 2층 전동객차 기술개발을 위해 필요한 핵심기술 확보를 통한 시제열차 제작 - 광역철도용 2층 전동객차 시제열차 실용화 모델 제시(운영전략 등)	
2. 연구개발 필요성 및 기술동향	
□ 연구개발 필요성	◦ 수도권 등 대도시권의 광역화로 인해, 도로교통의 체증현상 심화와 수도권 전철 이용객의 지속적인 증가에 따른 수도권 광역철도 혼잡이 가중되고 있고, 향후 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동수요의 지속적인 증가 예상 ※ 대도시권 광역화로 1시간 이상 출·퇴근자 증가율(`05년→`10년, 통계청) : 수도권 34%(246만명→329만명), 7대 특·광역시 27%(189만명→240만명) ◦ 광역철도용 2층 열차의 특성은 운용조건 및 운용노선이나 철도 인프라 등에 의해 지배적인 영향을 받으므로, 주요기기 간 원활한 인터페이스 및 기기배치의 효율성, 차체 경량화 및 주요 기기의 경량·소형화, 수송효율 극대화를 위한 차량구조 설계 등과 함께 시설물 인터페이스 검토 필요. ◦ 특히, 광역철도용 2층 열차의 안정적 주행을 위한 대차 및 부속기기 설계 기술과 쾌적한 실내 환경 조성을 위한 냉난방 기술 및 실내 소음저감 기술 등의 개발 필요.
□ 기술동향	◦ 국내외 기술개발 동향 - 일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 쾌적하면서도 효율적인 수송량 증강수단인 2층열차를 점차 활용하고 있는 추세이며, 특히, 알스톰사는 2층열차를 운영목적과 투입노선의 성격에 따라 여러 종류의 차량편성을 가질 수 있게 설계하고 있음. 투입노선의 성격에 따라 4가지 성격의 2층열차를 제작하는데 Urban, Suburban, Regional, Intercity급등 4등급으로 나누어 차량편성 및 운행속도 대역을 맞추

어 설계하고 있음.

◦ 국내외 관련 시장 동향

- 글로벌 철도시장 동향을 살펴보면, 아시아지역이 2010년부터 2014년까지 평균시장규모는 한화 약 63조원으로 시장규모가 가장 크며, 2013년부터 2018년까지 연평균복합성장률(CAGR) 4% 성장할 것으로 예상됨. 특히, 2층 전동객차에 대한 시장은 꾸준히 증가되고 있음.

◦ 국내외 관련 산업동향

- 글로벌 철도시장동향을 살펴보면, 아시아지역의 최근 시장규모는 약63조원으로 가장 크며, 글로벌 고속철도의 경우 유럽 제작 모델이 선도하고 있으나, 향후 중국/일본 모델의 경쟁 가속화 할 것으로 기대됨.

◦ 국내 기업 및 연구기관 기술수준

- 특허(Patent) 측면에서 현재까지 총 127건의 관련 유효특허가 출원되고 있으며, 중국이 54%로 최다이며, 한국의 경우 대부분의 지수 전무한 수준(2층 열차 출원 Bombardier, Transp, GMBH, Alstom, Toshiba, Siemens 등 자국특허 수준)
- 논문(Paper)은 1990년부터 현재까지 총 14건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 전반적으로 미미한 수준의 논문이 발표되고 있음.

◦ 기타 특이사항 등

- 일본, 프랑스등 철도 선진국에서는 선로 사용률이 높은 구간에서는 보다 손쉬운 수송량 증강방법인 2층열차를 활용하고 있는 추세임. 차고 4.1m 내외의 2층열차 차량개발까지도 가능하므로 우리나라의 광역철도망에서 2층열차 운행은 가능함.

3. 연구개발 내용

○ 국내 환경에 적합한 2층 전동객차 요구사항 분석 및 목표사양 도출

- 국내 환경에 적합한 모델 구조 도출(개념 형상 설계)
- 국외 환경에 적합한 모델 개념 설계
- 광역철도용 2층 전동객차 제작을 위한 SE 기술 연구

○ 2층 전동객차 차체 및 핵심장치 인터페이스 기술개발

- 차량-주행장치 인터페이스 설계
- 차량-인버터 등 전장품 인터페이스 설계
- 차량-제동장치 인터페이스 설계
- 차량-전력 등 인터페이스 설계
- 광역철도망 인터페이스 설계 및 관리 기술서

○ 2층 전동객차 용량 및 기기 배치 최적설계 기술 개발

- 기기 배치 최적설계 기술
- 수송량 증대를 위한 차체 설계 기술

- 좌석 및 입석 배치 기술
- 차종별 기기 배치 기술

○ 2층 전동객차 차량/인프라 인터페이스(동적거동 등) 설계

- 차량 단면 및 차량한계 검토
- 주행동특성 모델링 및 주행안전성 해석
- 중량 증대 및 무게 중심 변동에 따른 해석 기술

○ 2층 전동객차 핵심장치 완성품 시험·평가

- 시스템 성능검증방법 및 절차 연구
- 시스템 종합성능 성적서 마련

○ 2층 전동객차 실용화를 위한 경제적 모델 개발

- 개발품 실용화를 위한 관련 법규 검토
- 수요예측 및 투자평가 효과분석 기술 개발
- 실용화사업을 위한 예비타당성 조사·분석

○ 2층 전동객차 실용화 모델 구현을 위한 Test-bed 노선 연구

- 시험선 후보지 도출(경제성 및 기대효과 분석)
- 실용화를 위한 요건 도출

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 광역철도용 2층 전동객차 개발 비용 최소화 전략
- 경춘 ITX 2층 열차 설계의 문제점 및 개선사항을 도출
- 기존의 전동객차를 활용하여 객차 제작 및 시험평가
  ; 동력차 및 부수차를 각각 2량(4량)을 시험/제작하고 기존의 전동차를 연결하여 10량 1편성으로 가능하도록 설계/제작

○ 실용화 및 상용화 목표 중심의 연구(Commercialization)
- 개발기술의 상용화에 주안점을 둔 연구개발 추진
- 연구개발 초기부터 기술수요처 및 사업화 주체가 적극 동참토록 하여 연구개발 후 사업모델을 명확히 설정

○ 시스템 최적화를 통한 비즈니스모델 창출 (System of Systems)
- 개별 요소 시스템의 조합을 최적화하는 System of Systems형 기술개발을 통한 새로운 철도차량 비즈니스모델 제시
- 각 세부 과제간 긴밀한 연계를 통해 시스템 기술개발의 효율성 제고

○ 과제 종료 후, 실용화를 위한 시험선 도출 후 운영기관 참여 유도하고 2단계(신뢰성시험 등)에 필요한 소요기간 및 예산 반영(실용화 모델 제시)

○ 세부과제별 추진전략

철도차량시스템 엔지니어링 기술 및 성능예측/평가 기술활용을 통한 광역철도용 2층 전동객차 핵심기술 확보 극대화

□ 추진체계

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추

진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

○ 세부과제별 기업부담금 비율과 연구의 특성을 고려하여 1세부과제는 연구원과 학교의 컨소시엄을 추천하며 2세부과제는 산업체가 주도하는 추진체계 구축

○ 참여연구기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축

○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 산학연 공동연구 추진방안을 모색

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고

5. 최종 성과물

□ 주요산출물

○ 국내 환경에 적합한 2층 전동객차 요구사항 분석 설계서

○ 국내 환경에 적합한 모델 설계서(개념 형상 설계)

○ 2층 전동객차 차체 및 핵심장치 인터페이스 설계서

○ 2층 전동객차 용량 및 기기 배치 설계서

- 기기 배치 최적설계 설계서
- 수송량 증대를 위한 차체 설계서
- 좌석 및 입석 배치 설계서
- 차종별 기기 배치 설계서

○ 2층 전동객차 차량/인프라 인터페이스(동적거동 등) 설계서

- 차량 단면 및 차량한계 검토서
- 주행동특성 모델링 및 주행안전성 해석 결과서
- 중량 증대 및 무게 중심 변동에 따른 결과 분석서

○ 2층 전동객차 핵심장치 완성품 시험·평가 성적서

○ 2층 전동객차 실용화를 위한 경제적 모델 개발

- 개발품 실용화를 위한 관련 법규 검토서
- 수요예측 및 투자평가 효과 기법 및 정량적 지표 산출서
- 실용화사업을 위한 예비타당성 조사·분석

○ 실용화 모델 시험선 후보지 도출(경제성 및 기대효과 분석)

○ 2층 전동객차 실용화 모델 구현을 위한 Test-bed 노선 연구

- 시험선 후보지 및 실용화를 위한 요건 도출
- 실용화를 위한 목표주행거리(10만km 달성)

6. 기대효과 및 파급효과

○ 기대효과

- 경제적 효과

· 통근형 광역철도 서비스 제공으로 도시-도시간 교통 체증 완화, 수도권 경제 활성화

· 선로 용량 증대로 광역철도 수송효율 증대 및 대국민 서비스 질 향상
· 전동차의 수송량 증대로 혼잡률 문제를 해결할 수 있으며, 수송집중 시간대의 혼잡을 최소화하여 쾌적한 환경 조성
· 광역철도 수요 증대로, 도로 중심에서 철도 중심으로 지속가능한 광역대중교통체계 수립

- 기술적 효과
· 광역철도 2층 전동객차 핵심기술 확보를 통해, 국내 광역철도용 2층 열차 제작·운영 가능으로 선진기술을 선도하고 해외 광역철도 시장 진출 시 다양한 전동차용 2층 열차 모델 제공으로 시장 진입 가능성 제고
· 전장품 및 차체 등 차량 경량화 기술에 대한 항공 및 자동차 산업에 적용 가능

- 정책적 효과
· 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동 수요의 지속적인 증가 예상으로, 장거리 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대로 교통수요정책 마련
· 우리나라 최근 이용교통수단별 평균 출·퇴근 시간은 철도가 1시간 이상으로 최장(OECD국가 중 두 번째로 최장 수준)으로, 국토교통부 및 지방자치단체의 교통정책과 신도시 건설계획 시, 구축비용을 최소할 수 있는 기술을 제공함으로써 도시교통 정책 수립 시 탄력성 부여

○ 파급효과

- 직접적 파급효과
· 원활한 수송수요 처리방안(열차 운영체계의 개선)을 모색하기 위해 효과적 교통수단으로서 철도의 장점을 최대한 살리고 철도를 더욱 탄력적으로 운용 가능함으로써 효율적 국토운영과 대국민 서비스질 향상을 도모할 수 있음.

- 간접적 파급효과
· 운영시스템에서는 2층 전동객차를 운영할 경우, 여러 가지 운영환경에서 다양한 정차패턴에 따른 운행시간의 단축효과
· 광역철도용 2층 전동객차 실용화시 교통사고의 감소 편익과 환경비용 감소 편익
· 핵심기술개발로 중소기업 육성과 지역개발 효과 등

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2016.01 ~ 2020.12 (5년)
- 1차년도 연구기간 : 2016.01 ~ 2016.12 (12개월)

○ 총 정부출연금 : 7,600 백만원 이내

- 1차년도 정부출연금 : 900 백만원 이내

※ 각 단위과제별 정부출연금은 별첨 기획보고서의 예산편성에 준하여 제시할 것

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제 별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타

○ 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부주관연구책임자로 참여하여야 함

○ 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조하여 작성

- 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시

○ 제안서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발TRM을 기반으로 전체 연구단의 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성)

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서 및 성과점검기준표에 필히 제시

- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시

- 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안 제시(성과점검기준표 별도작성, 제출)

- 연구성과의 검증 계획을 반드시 제시해야 함

※ 성과목표·지표체계와 성과점검기준표는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구성과의 사업화 예상성과를 구체적으로 명시

- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시

- 연구성과의 사업화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시

- 연구성과의 사업화 달성전략을 구체화하여 제시

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이

명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 기 수행(종료과제, 중단과제) 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구개발결과와의 중복성 검토 및 연계·활용방안을 구체적으로 연구계획에 포함

- www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr 유사과제 참조

○ 추후 연구단 운영계획 및 연구개발계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
- 연구단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 기타 연구내용, 주요성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 '2층 고속열차 기술개발 기획' 최종보고서 참조

연구과제명	광역철도용 2층 전동객차 차체 설계·제작 기술 개발

1. 연구개발 목표

○ 광역철도의 대용량 승객 수송 및 광역 이용승객의 장거리 이동 편의성 증진을 위한 광역철도용 2층 전동객차(200km/h 급) 핵심기술 개발

- 2층 열차(200km/h급) 시스템 사양 결정 및 시스템 통합/인터페이스 최적(안) 도출
- 광역철도 2층 전동객차 기술개발을 위해 필요한 핵심기술 확보를 통한 시제열차 제작
- 광역철도용 2층 전동객차 시제열차 실용화 모델 제시(운영전략 등)

2. 연구개발 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

◦ 수도권 등 대도시권의 광역화로 인해, 도로교통의 체증현상 심화와 수도권 전철 이용객의 지속적인 증가에 따른 수도권 광역철도 혼잡이 가중되고 있고, 향후 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동수요의 지속적인 증가 예상

※ 대도시권 광역화로 1시간 이상 출·퇴근자 증가율(`05년→`10년, 통계청)
: 수도권 34%(246만명→329만명), 7대 특·광역시 27%(189만명→240만명)

◦ 광역철도용 2층 열차의 특성은 운용조건 및 운용노선이나 철도 인프라 등에 의해 지배적인 영향을 받으므로, 주요기기 간 원활한 인터페이스 및 기기배치의 효율성, 차체 경량화 및 주요 기기의 경량·소형화, 수송효율 극대화를 위한 차량구조 설계 등과 함께 시설물 인터페이스 검토 필요.

◦ 특히, 광역철도용 2층 열차의 안정적 주행을 위한 대차 및 부속기기 설계 기술과 쾌적한 실내 환경 조성을 위한 냉난방 기술 및 실내 소음저감 기술 등의 개발 필요.

□ 기술동향

◦ 국내외 기술개발 동향

- 일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 쾌적하면서도 효율적인 수송량 증강수단인 2층열차를 점차 활용하고 있는 추세이며, 특히, 알스톰사는 2층열차를 운영목적과 투입노선의 성격에 따라 여러 종류의 차량편성을 가질 수 있게 설계하고 있음. 투입노선의 성격에 따라 4가지 성격의 2층열차를 제작하는데 Urban, Suburban, Regional, Intercity급등 4등급으로 나누어 차량편성 및 운행속도 대역을 맞추어 설계하고 있음.

◦ 국내외 관련 시장 동향

- 글로벌 철도시장 동향을 살펴보면, 아시아지역이 2010년부터 2014년

까지 평균시장규모는 한화 약 63조원으로 시장규모가 가장 크며, 2013년부터 2018년까지 연평균복합성장률(CAGR) 4% 성장할 것으로 예상됨. 특히, 2층 전동객차에 대한 시장은 꾸준히 증가되고 있음.

◦ 국내외 관련 산업동향

- 글로벌 철도시장동향을 살펴보면, 아시아지역의 최근 시장규모는 약63조원으로 가장 크며, 글로벌 고속철도의 경우 유럽 제작 모델이 선도하고 있으나, 향후 중국/일본 모델의 경쟁 가속화 할 것으로 기대됨.

◦ 국내 기업 및 연구기관 기술수준

- 특허(Patent) 측면에서 현재까지 총 127건의 관련 유효특허가 출원되고 있으며, 중국이 54%로 최다이며, 한국의 경우 대부분의 지수 전무한 수준(2층 열차 출원 Bombardier, Transp, GMBH, Alstom, Toshiba, Siemens 등 자국특허 수준)
- 논문(Paper)은 1990년부터 현재까지 총 14건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 전반적으로 미미한 수준의 논문이 발표되고 있음.

◦ 기타 특이사항 등

- 일본, 프랑스등 철도 선진국에서는 선로 사용률이 높은 구간에서는 보다 손쉬운 수송량 증강방법인 2층열차를 활용하고 있는 추세임. 차고 4.1m 내외의 2층열차 차량개발까지도 가능하므로 우리나라의 광역철도망에서 2층열차 운행은 가능함.

3. 연구개발 내용

○ 수송수요 증대를 위한 2층 차체 설계 기술

- 안전성 등을 고려한 광역철도용 2층 전동객차 전두부 형상 설계
- 차체 기본 및 상세 설계 기술
- 완성차 시작품 제작 및 평가(2량: 1 M-car, 1 T-car)

○ 2층 전동객차 차체 경량화 및 안정화 기술 개발

- 차량 경량화 및 중량분포 기술
- 차량 안정화 및 충돌해석 기술
- 차량 및 주요 핵심장치간 인터페이스 기술

○ 2층 전동객차 연결기 등 부품 슬림화 및 모듈화 기술 개발

- 저상 2층 차량용 연결기 설계 및 제작
- 케이블 등 기기간 연결 케이블 경량화 기술 및 제작
- 유니소재 철도차량재료 친환경성 적용 및 제작
- 제작~폐기 전과정 친환경성 평가
- 운전실 및 기기 등 설비 제작

○ 2층 전동객차 차체 구성품 시험(정하중 및 피로시험) 평가

- 차체 구조물 정하중 및 피로시험

- 연결프레임 등 주요 구조물 정하중 및 피로시험
4. 연구개발 추진방법
□ 추진전략 ○ 광역철도용 2층 전동객차 개발 비용 최소화 전략 - 경춘 ITX 2층 열차 설계의 문제점 및 개선사항을 도출 - 기존의 전동객차를 활용하여 객차 제작 및 시험평가 ; 동력차 및 부수차를 각각 2량(4량)을 시험/제작하고 기존의 전동차를 연결하여 10량 1편성으로 가능하도록 설계/제작 ○ 실용화 및 상용화 목표 중심의 연구(Commercialization) - 개발기술의 상용화에 주안점을 둔 연구개발 추진 - 연구개발 초기부터 기술수요처 및 사업화 주체가 적극 동참토록 하여 연구개발 후 사업모델을 명확히 설정 ○ 시스템 최적화를 통한 비즈니스모델 창출 (System of Systems) - 개별 요소 시스템의 조합을 최적화하는 System of Systems형 기술개발을 통한 새로운 철도차량 비즈니스모델 제시 - 각 세부 과제간 긴밀한 연계를 통해 시스템 기술개발의 효율성 제고 ○ 과제 종료 후, 실용화를 위한 시험선 도출 후 운영기관 참여 유도하고 2단계(신뢰성시험 등)에 필요한 소요기간 및 예산 반영(실용화 모델 제시) ○ 세부과제별 추진전략 - 기존 확보된 광역철도 2층 열차 기술을 활용하여 수송량 증대를 위한 차체 및 기기배치 최적화가 가능하도록 연구추진
□ 추진체계 ○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모 ○ 세부과제별 기업부담금 비율과 연구의 특성을 고려하여 1세부과제는 연구원과 학교의 컨소시엄을 추천하며 2세부과제는 산업체가 주도하는 추진체계 구축 ○ 참여연구기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 산학연 공동연구 추진방안을 모색 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고
5. 최종 성과물
□ 주요산출물 **○ 수송수요 증대를 위한 2층 차체 설계 기술** - 안전성 등을 고려한 광역철도용 2층 전동객차 전두부 형상 설계 - 완성차 시작품 제작(2량: 1 M-car, 1 T-car) **○ 2층 전동객차 차체 경량화 및 안정화 기술 개발**

- 차량 경량화 및 중량분포 기술 보고서
- 차량 안정화 및 충돌해석 기술 보고서
- 차량 및 주요 핵심장치간 인터페이스 기술 보고서

○ 2층 전동객차 연결기 등 부품 슬림화 및 모듈화 기술 개발

- 저상 2층 차량용 연결기 설계서 및 시제품
- 케이블 등 기기간 연결 케이블 경량화 설계서 및 시제품
- 제작~폐기 전과정 친환경성 평가 보고서
- 운전실 및 기기 등 설계서 및 시제품

○ 2층 전동객차 차체 구성품 시험(정하중 및 피로시험) 평가

- 차체 구조물 정하중 및 피로시험 보고서
- 연결프레임 등 주요 구조물 정하중 및 피로시험 보고서

6. 기대효과 및 파급효과

○ 기대효과

- 경제적 효과
  · 통근형 광역철도 서비스 제공으로 도시-도시간 교통 체증 완화, 수도권 경제 활성화
  · 선로 용량 증대로 광역철도 수송효율 증대 및 대국민 서비스 질 향상
  · 전동차의 수송량 증대로 혼잡률 문제를 해결할 수 있으며, 수송집중 시간대의 혼잡을 최소화하여 쾌적한 환경 조성
  · 광역철도 수요 증대로, 도로 중심에서 철도 중심으로 지속가능한 광역대중교통체계 수립
- 기술적 효과
  · 광역철도 2층 전동객차 핵심기술 확보를 통해, 국내 광역철도용 2층 열차 제작·운영 가능으로 선진기술을 선도하고 해외 광역철도 시장 진출 시 다양한 전동차용 2층 열차 모델 제공으로 시장 진입 가능성 제고
  · 전장품 및 차체 등 차량 경량화 기술에 대한 항공 및 자동차 산업에 적용 가능
- 정책적 효과
  · 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동 수요의 지속적인 증가 예상으로, 장거리 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대로 교통수요정책 마련
  · 우리나라 최근 이용교통수단별 평균 출·퇴근 시간은 철도가 1시간 이상으로 최장(OECD국가 중 두 번째로 최장 수준)으로, 국토교통부 및 지방자치단체의 교통정책과 신도시 건설계획 시, 구축비용을 최소할 수 있는 기술을 제공함으로써 도시교통 정책 수립 시 탄력성 부여

○ **파급효과**

- 직접적 파급효과
  · 원활한 수송수요 처리방안(열차 운영체계의 개선)을 모색하기 위해 효과적 교통수단으로서 철도의 장점을 최대한 살리고 철도를 더욱 탄력적으로 운용 가능함으로써 효율적 국토운영과 대국민 서비스질 향상을 도모할 수 있음.
- 간접적 파급효과
  · 운영시스템에서는 2층 전동객차를 운영할 경우, 여러 가지 운영환경에서 다양한 정차패턴에 따른 운행시간의 단축효과
  · 광역철도용 2층 전동객차 실용화시 교통사고의 감소 편익과 환경비용 감소 편익
  · 핵심기술개발로 중소기업 육성과 지역개발 효과 등

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2016.01 ~ 2020.12 (5년)
- 1차년도 연구기간 : 2016.01 ~ 2016.12 (12개월)

○ 총 정부출연금 : 11,800 백만원 이내
- 1차년도 정부출연금 : 1,000 백만원 이내

※ 각 단위과제별 정부출연금은 별첨 기획보고서의 예산편성에 준하여 제시할 것

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제 별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타

○ 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부주관연구책임자로 참여하여야 함

○ 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조하여 작성
- 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시

○ 제안서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
- 기획보고서에서 제시한 기술개발TRM을 기반으로 전체 연구단의 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성)

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서 및 성과점검기준표에 필히 제시
- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
- 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안 제시(성과점검기준표 별도작성, 제출)
- 연구성과의 검증 계획을 반드시 제시해야 함

※ 성과목표·지표체계와 성과점검기준표는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구성과의 사업화 예상성과를 구체적으로 명시
- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
- 연구성과의 사업화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시
- 연구성과의 사업화 달성전략을 구체화하여 제시

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 기 수행(종료과제, 중단과제) 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구개발결과와의 중복성 검토 및 연계·활용방안을 구체적으로 연구계획에 포함
- www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr 유사과제 참조

○ 추후 연구단 운영계획 및 연구개발계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음
- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
- 연구단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 기타 연구내용, 주요성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 '2층 고속열차 기술개발 기획' 최종보고서 참조

연구과제명	광역철도용 2층 전동객차 전장품 및 제동장치 설계·제작 기술 개발

1. 연구개발 목표

○ 광역철도의 대용량 승객 수송 및 광역 이용승객의 장거리 이동 편의성 증진을 위한 광역철도용 2층 전동객차(200km/h 급) 핵심기술 개발

- 2층 열차(200km/h급) 시스템 사양 결정 및 시스템 통합/인터페이스 최적(안) 도출
- 광역철도 2층 전동객차 기술개발을 위해 필요한 핵심기술 확보를 통한 시제열차 제작
- 광역철도용 2층 전동객차 시제열차 실용화 모델 제시(운영전략 등)

2. 연구개발 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

◦ 수도권 등 대도시권의 광역화로 인해, 도로교통의 체증현상 심화와 수도권 전철 이용객의 지속적인 증가에 따른 수도권 광역철도 혼잡이 가중되고 있고, 향후 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동수요의 지속적인 증가 예상

※ 대도시권 광역화로 1시간 이상 출·퇴근자 증가율(`05년→`10년, 통계청)
: 수도권 34%(246만명→329만명), 7대 특·광역시 27%(189만명→240만명)

◦ 광역철도용 2층 열차의 특성은 운용조건 및 운용노선이나 철도 인프라 등에 의해 지배적인 영향을 받으므로, 주요기기 간 원활한 인터페이스 및 기기배치의 효율성, 차체 경량화 및 주요 기기의 경량·소형화, 수송효율 극대화를 위한 차량구조 설계 등과 함께 시설물 인터페이스 검토 필요.

◦ 특히, 광역철도용 2층 열차의 안정적 주행을 위한 대차 및 부속기기 설계 기술과 쾌적한 실내 환경 조성을 위한 냉난방 기술 및 실내 소음저감 기술 등의 개발 필요.

□ 기술동향

◦ 국내외 기술개발 동향

- 일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 쾌적하면서도 효율적인 수송량 증강수단인 2층열차를 점차 활용하고 있는 추세이며, 특히, 알스톰사는 2층열차를 운영목적과 투입노선의 성격에 따라 여러 종류의 차량편성을 가질 수 있게 설계하고 있음. 투입노선의 성격에 따라 4가지 성격의 2층열차를 제작하는데 Urban, Suburban, Regional, Intercity급등 4등급으로 나누어 차량편성 및 운행속도 대역을 맞추어 설계하고 있음.

◦ 국내외 관련 시장 동향

- 글로벌 철도시장 동향을 살펴보면, 아시아지역이 2010년부터 2014년까지 평균시장규모는 한화 약 63조원으로 시장규모가 가장 크며,

2013년부터 2018년까지 연평균복합성장률(CAGR) 4% 성장할 것으로 예상됨. 특히, 2층 전동객차에 대한 시장은 꾸준히 증가되고 있음.

◦ 국내외 관련 산업동향

- 글로벌 철도시장동향을 살펴보면, 아시아지역의 최근 시장규모는 약63조원으로 가장 크며, 글로벌 고속철도의 경우 유럽 제작 모델이 선도하고 있으나, 향후 중국/일본 모델의 경쟁 가속화 할 것으로 기대됨.

◦ 국내 기업 및 연구기관 기술수준

- 특허(Patent) 측면에서 현재까지 총 127건의 관련 유효특허가 출원되고 있으며, 중국이 54%로 최다이며, 한국의 경우 대부분의 지수 전무한 수준(2층 열차 출원 Bombardier, Transp, GMBH, Alstom, Toshiba, Siemens 등 자국특허 수준)
- 논문(Paper)은 1990년부터 현재까지 총 14건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 전반적으로 미미한 수준의 논문이 발표되고 있음.

◦ 기타 특이사항 등

- 일본, 프랑스등 철도 선진국에서는 선로 사용률이 높은 구간에서는 보다 손쉬운 수송량 증강방법인 2층열차를 활용하고 있는 추세임. 차고 4.1m 내외의 2층열차 차량개발까지도 가능하므로 우리나라의 광역철도망에서 2층열차 운행은 가능함.

3. 연구개발 내용

○ 슬림화 및 경량화를 위한 전장품 및 제동장치 설계

- 전장품 및 제동장치 설계가이드 및 시방서 도출
- 전장품 및 제동장치 기본 설계
- 전장품 및 제동장치 상세 설계
- 전장품 및 제동장치 시제품 제작(2량: 1 M-car, 1 T-car)
- 2층 전동객차 전장품 슬림화 및 모듈화 기술 개발

○ 2층 전동객차 제동장치 기술 개발

- 중량 증대에 따른 제동기술 검토
- 제동장치 소형화 및 경량화 기술

○ 2층 전동객차용 전장품 및 제동장치 구성품 시험·평가

- 전기장치 완성품 조립 및 검사
- 제동장치 완성품 조립 및 검사

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 광역철도용 2층 전동객차 개발 비용 최소화 전략

- 경춘 ITX 2층 열차 설계의 문제점 및 개선사항을 도출

	- 기존의 전동객차를 활용하여 객차 제작 및 시험평가 ; 동력차 및 부수차를 각각 2량(4량)을 시험/제작하고 기존의 전동차를 연결하여 10량 1편성으로 가능하도록 설계/제작 ○ 실용화 및 상용화 목표 중심의 연구(Commercialization) - 개발기술의 상용화에 주안점을 둔 연구개발 추진 - 연구개발 초기부터 기술수요처 및 사업화 주체가 적극 동참토록 하여 연구개발 후 사업모델을 명확히 설정 ○ 시스템 최적화를 통한 비즈니스모델 창출 (System of Systems) - 개별 요소 시스템의 조합을 최적화하는 System of Systems형 기술개발을 통한 새로운 철도차량 비즈니스모델 제시 - 각 세부 과제간 긴밀한 연계를 통해 시스템 기술개발의 효율성 제고 ○ 과제 종료 후, 실용화를 위한 시험선 도출 후 운영기관 참여 유도하고 2단계(신뢰성시험 등)에 필요한 소요기간 및 예산 반영(실용화 모델 제시) ○ 세부과제별 추진전략 - 1세부과제 : 철도차량시스템 엔지니어링 기술 및 성능예측/평가 기술 활용을 통한 광역철도용 2층 전동객차 핵심기술 확보 극대화 - 2세부과제 : 기존 확보된 광역철도 2층 열차 기술을 활용하여 수송량 증대를 위한 차체 및 기기배치 최적화가 가능하도록 연구추진 - 3세부과제 : 전장품 및 제동장치 등 주요전장품에 대한 경량화 및 슬림화 방안을 마련하여 1/2세부와 인터페이스 설계가 가능하도록 긴밀한 관계 유지 - 4세부과제 : 기존 기술중 곡선 주행성 향상을 위해 조향기술을 검토 후 광역철도용 2층 전동객차에 적용 가능토록 연구추진하고 경량화를 도출하도록 1/2/3세부와 긴밀한 관계 유지
□ 추진체계	○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모 ○ 세부과제별 기업부담금 비율과 연구의 특성을 고려하여 1세부과제는 연구원과 학교의 컨소시엄을 추천하며 2세부과제는 산업체가 주도하는 추진체계 구축 ○ 참여연구기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축 ○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 산학연 공동연구 추진방안을 모색 ○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고
5. 최종 성과물	

□ 주요성과물

○ 슬림화 및 경량화를 위한 전장품 및 제동장치 설계
- 전장품 및 제동장치 설계가이드 및 시방서
- 전장품 및 제동장치 기본/상세 설계서
- 전장품 및 제동장치 시제품 제작(2량: 1 M-car, 1 T-car)

○ 영구자석용 동기전동기 시작품

○ 2층 전동객차 제동장치 기술 개발
- 중량 증대에 따른 제동기술 검토서
- 제동장치 소형화 및 경량화 기술 보고서

6. 기대효과 및 파급효과

○ 기대효과

- 경제적 효과
  · 통근형 광역철도 서비스 제공으로 도시-도시간 교통 체증 완화, 수도권 경제 활성화
  · 선로 용량 증대로 광역철도 수송효율 증대 및 대국민 서비스 질 향상
  · 전동차의 수송량 증대로 혼잡률 문제를 해결할 수 있으며, 수송집중 시간대의 혼잡을 최소화하여 쾌적한 환경 조성
  · 광역철도 수요 증대로, 도로 중심에서 철도 중심으로 지속가능한 광역대중교통체계 수립
- 기술적 효과
  · 광역철도 2층 전동객차 핵심기술 확보를 통해, 국내 광역철도용 2층 열차 제작·운영 가능으로 선진기술을 선도하고 해외 광역철도 시장 진출 시 다양한 전동차용 2층 열차 모델 제공으로 시장 진입 가능성 제고
  · 전장품 및 차체 등 차량 경량화 기술에 대한 항공 및 자동차 산업에 적용 가능
- 정책적 효과
  · 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동 수요의 지속적인 증가 예상으로, 장거리 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대로 교통수요정책 마련
  · 우리나라 최근 이용교통수단별 평균 출·퇴근 시간은 철도가 1시간 이상으로 최장(OECD국가 중 두 번째로 최장 수준)으로, 국토교통부 및 지방자치단체의 교통정책과 신도시 건설계획 시, 구축비용을 최소할 수 있는 기술을 제공함으로써 도시교통 정책 수립 시 탄력성 부여

○ 파급효과

- 직접적 파급효과
  · 원활한 수송수요 처리방안(열차 운영체계의 개선)을 모색하기 위

해 효과적 교통수단으로서 철도의 장점을 최대한 살리고 철도를 더욱 탄력적으로 운용 가능함으로써 효율적 국토운영과 대국민 서비스질 향상을 도모할 수 있음.

- 간접적 파급효과
  · 운영시스템에서는 2층 전동객차를 운영할 경우, 여러 가지 운영환경에서 다양한 정차패턴에 따른 운행시간의 단축효과
  · 광역철도용 2층 전동객차 실용화시 교통사고의 감소 편익과 환경비용 감소 편익
  · 핵심기술개발로 중소기업 육성과 지역개발 효과 등

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2016.01 ~ 2019.12 (4년)
  - 1차년도 연구기간 : 2016.01 ~ 2016.12 (12개월)

○ 총 정부출연금 : 6,300 백만원 이내
  - 1차년도 정부출연금 : 600 백만원 이내

※ 각 단위과제별 정부출연금은 별첨 기획보고서의 예산편성에 준하여 제시할 것

※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정에 따라 조정될 수 있음

※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능

※ 연구단과제는 세부과제 별로 기업부담금 비율 준수

※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타

○ 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부주관연구책임자로 참여하여야 함

○ 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조하여 작성
  - 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시

○ 제안서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시
  - 기획보고서에서 제시한 기술개발TRM을 기반으로 전체 연구단의 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시
    ※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성)
  - 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서 및 성과점검기준표에 필히 제시
  - 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발

계획서에 제시

- 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안 제시(성과점검기준표 별도작성, 제출)
- 연구성과의 검증 계획을 반드시 제시해야 함

※ 성과목표·지표체계와 성과점검기준표는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구성과의 사업화 예상성과를 구체적으로 명시

- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
- 연구성과의 사업화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시
- 연구성과의 사업화 달성전략을 구체화하여 제시

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 기 수행(종료과제, 중단과제) 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구개발결과와의 중복성 검토 및 연계·활용방안을 구체적으로 연구계획에 포함

- www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr 유사과제 참조

○ 추후 연구단 운영계획 및 연구개발계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
- 연구단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 기타 연구내용, 주요성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 '2층 고속열차 기술개발 기획' 최종보고서 참조

연구과제명	광역철도용 2층 전동객차 주행장치 설계·제작 기술 개발

1. 연구개발 목표

○ 광역철도의 대용량 승객 수송 및 광역 이용승객의 장거리 이동 편의성 증진을 위한 광역철도용 2층 전동객차(200km/h 급) 핵심기술 개발

- 2층 열차(200km/h급) 시스템 사양 결정 및 시스템 통합/인터페이스 최적(안) 도출
- 광역철도 2층 전동객차 기술개발을 위해 필요한 핵심기술 확보를 통한 시제열차 제작
- 광역철도용 2층 전동객차 시제열차 실용화 모델 제시(운영전략 등)

2. 연구개발 필요성 및 기술동향

□ 연구개발 필요성

◦ 수도권 등 대도시권의 광역화로 인해, 도로교통의 체증현상 심화와 수도권 전철 이용객의 지속적인 증가에 따른 수도권 광역철도 혼잡이 가중되고 있고, 향후 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동수요의 지속적인 증가 예상

※ 대도시권 광역화로 1시간 이상 출·퇴근자 증가율(`05년→`10년, 통계청)
: 수도권 34%(246만명→329만명), 7대 특·광역시 27%(189만명→240만명)

◦ 광역철도용 2층 열차의 특성은 운용조건 및 운용노선이나 철도 인프라 등에 의해 지배적인 영향을 받으므로, 주요기기 간 원활한 인터페이스 및 기기배치의 효율성, 차체 경량화 및 주요 기기의 경량·소형화, 수송효율 극대화를 위한 차량구조 설계 등과 함께 시설물 인터페이스 검토 필요.

◦ 특히, 광역철도용 2층 열차의 안정적 주행을 위한 대차 및 부속기기 설계 기술과 쾌적한 실내 환경 조성을 위한 냉난방 기술 및 실내 소음저감 기술 등의 개발 필요.

□ 기술동향

◦ 국내외 기술개발 동향

- 일본, 프랑스 등 철도 선진국에서는 쾌적하면서도 효율적인 수송량 증강수단인 2층열차를 점차 활용하고 있는 추세이며, 특히, 알스톰사는 2층열차를 운영목적과 투입노선의 성격에 따라 여러 종류의 차량편성을 가질 수 있게 설계하고 있음. 투입노선의 성격에 따라 4가지 성격의 2층열차를 제작하는데 Urban, Suburban, Regional, Intercity급등 4등급으로 나누어 차량편성 및 운행속도 대역을 맞추어 설계하고 있음.

◦ 국내외 관련 시장 동향

- 글로벌 철도시장 동향을 살펴보면, 아시아지역이 2010년부터 2014년까지 평균시장규모는 한화 약 63조원으로 시장규모가 가장 크며,

2013년부터 2018년까지 연평균복합성장률(CAGR) 4% 성장할 것으로 예상됨. 특히, 2층 전동객차에 대한 시장은 꾸준히 증가되고 있음.

◦ 국내외 관련 산업동향

- 글로벌 철도시장동향을 살펴보면, 아시아지역의 최근 시장규모는 약63조원으로 가장 크며, 글로벌 고속철도의 경우 유럽 제작 모델이 선도하고 있으나, 향후 중국/일본 모델의 경쟁 가속화 할 것으로 기대됨.

◦ 국내 기업 및 연구기관 기술수준

- 특허(Patent) 측면에서 현재까지 총 127건의 관련 유효특허가 출원되고 있으며, 중국이 54%로 최다이며, 한국의 경우 대부분의 지수 전무한 수준(2층 열차 출원 Bombardier, Transp, GMBH, Alstom, Toshiba, Siemens 등 자국특허 수준)
- 논문(Paper)은 1990년부터 현재까지 총 14건의 관련 논문이 발표되고 있으며, 전반적으로 미미한 수준의 논문이 발표되고 있음.

◦ 기타 특이사항 등

- 일본, 프랑스등 철도 선진국에서는 선로 사용률이 높은 구간에서는 보다 손쉬운 수송량 증강방법인 2층열차를 활용하고 있는 추세임. 차고 4.1m 내외의 2층열차 차량개발까지도 가능하므로 우리나라의 광역철도망에서 2층열차 운행은 가능함.

3. 연구개발 내용

○ 하중 증가에 따른 주행장치 설계

- 주행장치 기본 및 상세 설계
- 대차프레임 최적설계 기술 연구
- 대차 프레임 강도 최적설계
- 동특성 향상을 위한 강성 최적설계
- 구성품 경량화를 위한 설계
- 주행장치 완성품 조립 및 시험평가
- 주행장치 완성품 제작(2량: 1 M-car, 1 T-car)

○ 2층 전동객차 능동조향대차 적용성 검토

- 능동조향대차 적용성 검토
- 중량 증대에 따른 주행 안전성 및 곡선 추종성 검토

○ 2층 전동객차 대차 핵심장치 설계 및 제작

- 1차/2차 스프링 장치 설계 및 제작
- 중량 증대에 따란 윤축 설계 및 제작
- 제동장치 인터페이스 설계
- 조향장치 인터페이스 설계 및 제작
- 감속기 설계 및 제작

- 차량지지장치 설계 및 제작

4. 연구개발 추진방법

□ 추진전략

○ 광역철도용 2층 전동객차 개발 비용 최소화 전략
- 경춘 ITX 2층 열차 설계의 문제점 및 개선사항을 도출
- 기존의 전동객차를 활용하여 객차 제작 및 시험평가
  ; 동력차 및 부수차를 각각 2량(4량)을 시험/제작하고 기존의 전동차를 연결하여 10량 1편성으로 가능하도록 설계/제작

○ 실용화 및 상용화 목표 중심의 연구(Commercialization)
- 개발기술의 상용화에 주안점을 둔 연구개발 추진
- 연구개발 초기부터 기술수요처 및 사업화 주체가 적극 동참토록 하여 연구개발 후 사업모델을 명확히 설정

○ 시스템 최적화를 통한 비즈니스모델 창출 (System of Systems)
- 개별 요소 시스템의 조합을 최적화하는 System of Systems형 기술개발을 통한 새로운 철도차량 비즈니스모델 제시
- 각 세부 과제간 긴밀한 연계를 통해 시스템 기술개발의 효율성 제고

○ 과제 종료 후, 실용화를 위한 시험선 도출 후 운영기관 참여 유도하고 2단계(신뢰성시험 등)에 필요한 소요기간 및 예산 반영(실용화 모델 제시)

○ 세부과제별 추진전략
- 1세부과제 : 철도차량시스템 엔지니어링 기술 및 성능예측/평가 기술 활용을 통한 광역철도용 2층 전동객차 핵심기술 확보 극대화
- 2세부과제 : 기존 확보된 광역철도 2층 열차 기술을 활용하여 수송량 증대를 위한 차체 및 기기배치 최적화가 가능하도록 연구추진
- 3세부과제 : 전장품 및 제동장치 등 주요전장품에 대한 경량화 및 슬림화 방안을 마련하여 1/2세부와 인터페이스 설계가 가능하도록 긴밀한 관계 유지
- 4세부과제 : 기존 기술중 곡선 주행성 향상을 위해 조향기술을 검토 후 광역철도용 2층 전동객차에 적용 가능토록 연구추진하고 경량화를 도출하도록 1/2/3세부와 긴밀한 관계 유지

□ 추진체계

○ 연구신청자는 과다한 기관수의 참여 및 연구계획 편성으로 인한 추진체계의 비효율성을 최대한 지양하고, 반드시 필요한 기관으로만 구성하여 연구추진의 효율성을 도모

○ 세부과제별 기업부담금 비율과 연구의 특성을 고려하여 1세부과제는 연구원과 학교의 컨소시엄을 추천하며 2세부과제는 산업체가 주도하는 추진체계 구축

○ 참여연구기관간 협력을 통한 기술개발 과제간 연계성 확보 및 협조체계 구축

○ 실용화 중심의 연구개발사업임을 감안하여 산학연 공동연구 추진 방안을 모색

○ 연구진의 연구 참여율을 높여 연구 집중도 제고

5. 최종 성과물

□ 주요성과물

○ 하중 증가에 따른 주행장치 설계

- 주행장치 기본 및 상세 설계서
- 대차 프레임 강도 최적설계 해석 보고서
- 동특성 향상을 위한 강성 최적설계 보고서
- 주행장치 완성품 조립 및 시험평가서 및 평가서
- 주행장치 완성품 시작품(2량: 1 M-car, 1 T-car)

○ 2층 전동객차 능동조향대차 적용성 검토

- 능동조향대차 적용성 검토서
- 중량 증대에 따른 주행 안전성 및 곡선 추종성 해석보고서

○ 2층 전동객차 대차 핵심장치 설계 및 제작

- 1차/2차 스프링 장치 설계서 및 시작품
- 중량 증대에 따란 윤축 설계서 및 시작품
- 제동장치 인터페이스 설계서 및 시작품
- 조향장치 인터페이스 설계서 및 시작품
- 감속기 설계서 및 시작품

6. 기대효과 및 파급효과

○ 기대효과

- 경제적 효과
  - · 통근형 광역철도 서비스 제공으로 도시-도시간 교통 체증 완화, 수도권 경제 활성화
  - · 선로 용량 증대로 광역철도 수송효율 증대 및 대국민 서비스 질 향상
  - · 전동차의 수송량 증대로 혼잡률 문제를 해결할 수 있으며, 수송집중 시간대의 혼잡을 최소화하여 쾌적한 환경 조성
  - · 광역철도 수요 증대로, 도로 중심에서 철도 중심으로 지속가능한 광역대중교통체계 수립
- 기술적 효과
  - · 광역철도 2층 전동객차 핵심기술 확보를 통해, 국내 광역철도용 2층 열차 제작·운영 가능으로 선진기술을 선도하고 해외 광역철도 시장 진출 시 다양한 전동차용 2층 열차 모델 제공으로 시장 진입 가능성 제고
  - · 전장품 및 차체 등 차량 경량화 기술에 대한 항공 및 자동차 산업에 적용 가능

- 정책적 효과
  · 광역도시권 확대에 따라 인근 도시간 이동 수요의 지속적인 증가 예상으로, 장거리 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대로 교통수요정책 마련
  · 우리나라 최근 이용교통수단별 평균 출·퇴근 시간은 철도가 1시간 이상으로 최장(OECD국가 중 두 번째로 최장 수준)으로, 국토교통부 및 지방자치단체의 교통정책과 신도시 건설계획 시, 구축비용을 최소할 수 있는 기술을 제공함으로써 도시교통 정책 수립 시 탄력성 부여

○ 파급효과

- 직접적 파급효과
  · 원활한 수송수요 처리방안(열차 운영체계의 개선)을 모색하기 위해 효과적 교통수단으로서 철도의 장점을 최대한 살리고 철도를 더욱 탄력적으로 운용 가능함으로써 효율적 국토운영과 대국민 서비스질 향상을 도모할 수 있음.
- 간접적 파급효과
  · 운영시스템에서는 2층 전동객차를 운영할 경우, 여러 가지 운영환경에서 다양한 정차패턴에 따른 운행시간의 단축효과
  · 광역철도용 2층 전동객차 실용화시 교통사고의 감소 편익과 환경비용 감소 편익
  · 핵심기술개발로 중소기업 육성과 지역개발 효과 등

7. 연구개발기간 및 소요예산

○ 총 연구기간 : 2016.01 ~ 2019.12 (4년)
  - 1차년도 연구기간 : 2016.01 ~ 2016.12 (12개월)

○ 총 정부출연금 : 4,300 백만원 이내
  - 1차년도 정부출연금 : 500 백만원 이내

※ 각 단위과제별 정부출연금은 별첨 기획보고서의 예산편성에 준하여 제시할 것
※ 정부출연금은 향후 선정평가 결과 또는 정부예산사정에 따라 조정될 수 있음
※ 기업참여시 기업부담금은 연차별로 “국토해양부소관 연구개발사업 운영규정”의 기준을 따르되, 추가 부담 가능
※ 연구단과제는 세부과제 별로 기업부담금 비율 준수
※ 연구비에 대한 구체적 산정내역을 제시해야 하며, 예산산정 근거가 불명확하거나 타당성이 부족할 경우 축소조정 가능

8. 기 타

○ 연구단컨소시엄 신청시 연구단장 신청자는 반드시 세부주관연구책임자로 참여하여야 함

○ 연구내용, 연구기간 및 연구개발비는 본 과제제안요구서(RFP)를 참조

하여 작성

- 과제의 목적 달성을 위해 필요하다고 판단되는 경우에는 세부연구 내용을 일부 추가할 수 있으나, 그 사유와 근거를 명확히 제시

○ 제안서에 세부과제간 연구내용 및 성과의 연계/활용을 위한 전략 제시

- 기획보고서에서 제시한 기술개발TRM을 기반으로 전체 연구단의 개발기술과 성과물간의 유기적 연계를 파악할 수 있는 체계 제시

※ (예시) 개발기술 상호간, 성과물 상호간, 개발기술-성과물간 연계성)

- 과학기술적 성과물을 포함하여 최종성과물을 구체화하여 제시

○ 연구개발 성과목표·지표 등을 연구개발계획서 및 성과점검기준표에 필히 제시

- 연구개발 성과목표·지표별 달성목표치 및 가중치 등을 연구개발계획서에 제시
- 개발된 기술·성과물의 목표수준 달성도를 확인할 수 있는 구체적 방안 제시(성과점검기준표 별도작성, 제출)
- 연구성과의 검증 계획을 반드시 제시해야 함

※ 성과목표·지표체계와 성과점검기준표는 과제선정 후 해당 연구책임자(기관)에 대한 진도점검·관리 및 성과평가 등의 근거자료로 활용

○ 연구성과의 사업화 예상성과를 구체적으로 명시

- 연구성과의 정량적·정성적 파급효과 제시
- 연구성과의 사업화로 예상되는 기술, 경제, 사회·문화적 파급효과 및 산출근거 제시
- 연구성과의 사업화 달성전략을 구체화하여 제시

○ 참여기업은 참여하고자 하는 과제와 관련된 연구 또는 사업 수행실적이 있고, 과제추진시 역할(자료·기술조사 또는 제공, 시험시공 현장제공 등)이 명확하여야 하며 연구개발결과를 직접 활용하고자 하는 기업에 한함

○ 기 수행(종료과제, 중단과제) 및 현재 수행중인 동 과제 관련 연구개발결과와의 중복성 검토 및 연계·활용방안을 구체적으로 연구계획에 포함

- www.kictep.re.kr 열린정보, http://rndgate.ntis.go.kr 유사과제 참조

○ 추후 연구단 운영계획 및 연구개발계획은 수정·보완될 수 있으며, 이에 따라 과제내 특정 기술개발에 대한 추진방식 등이 변경될 수 있음

- 본 과제의 연구기간은 추후 협약시 변경될 수 있음
- 연구단장 및 전문기관은 필요시 선정된 주관기관(연구책임자)과 협의를 거쳐 연구개발계획서의 수정·보완(연구목표, 내용 및 범위 등을 구체화·명확화)할 수 있음
- 연구추진과정에서 관련기술 환경변화에 따라 연구내용(연구비 포함)이 조정될 수 있음

○ 기타 연구내용, 주요성과물, 세부과제별 연구비(안) 등은 '2층 고속열차 기술개발 기획' 최종보고서 참조

2절. 평가기준 설정

1. 연구목표의 적절성, 연구개발 필요성 및 타당성 : 배점 30점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구목표의 적절성	연구목표의 적절성 및 제안요구서와의 부합성	10	8	6	4	2
연구개발의 필요성	연구추진 및 기술개발 필요성	10	8	6	4	2
연구개발의 타당성	정책/기술/경제적/정부지원 타당성	10	8	6	4	2
소계						

2. 연구계획의 적정성 : 배점 50점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구추진체계의 합리성	연구추진체계 및 추진일정의 합리성	10	8	6	4	2
연구추진전략의 적정성	목표 달성을 위한 연구추진전략의 적정성	10	8	6	4	2
연구성과목표 및 지표의 적정성	연구성과목표 및 지표의 적정성	10	8	6	4	2
연구성과의 활용성	연구성과의 실용성 및 활용성, 기대효과	10	8	6	4	2
연구비 편성의 적정성	연구내용대비 예산 규모, 예산 편성의 적정성	10	8	6	4	2
소계						

3. 연구기관의 적정성 : 배점 20점

세부항목	평가내용	배점				
		우수	양호	보통	미흡	불량
연구기관의 규모	연구기관의 규모, 연구인력 및 전문성	10	8	6	4	2
연구기관의 전문성	유사연구 수행실적 및 경험	10	8	6	4	2
소계						

기술동향분석보고서

광역철도용 2층 전동객차 적용을 위한 기술개발 기획연구 기술동향 분석보고서

2015. 2.

한국철도기술연구원

CONTENTS

1 분석개요

1-1. 기술의 정의 ····· 2

1-2. 기술의 구성 ····· 2

2 특허분석

2-1. 특허분석 범위 ····· 7

2-2. 기술분류 및 검색 조합식 ····· 7

2-3. 특허기술 동향 ····· 8

3 논문분석

3-1. 논문분석 범위 ····· 22

3-2. 기술분류 및 검색 조합식 ····· 22

3-3. 논문기술 동향 ····· 23

4 시장분석

4-1. 시장현황 ····· 29

4-2. 시장 발전단계 ····· 37

5 종합결론

5-1. 특허분석 결론 ····· 39

5-2. 논문분석 결론 ····· 40

5-3. 시장분석 결론 ····· 40

1

분 석 개 요

한국철도기술연구원
Korea Railroad Research Institute

기술동향 분석보고서

과 제 명	광역철도용 2층 전동객차 적용을 위한 기술개발 기획연구		
연구책임자	이호용	기간 및 예산	2014.12.23.~2015.06.22. (100,000천원)

1 기술 개요

1-1 기술의 정의

- 도로 교통의 체증현상 심화, 수도권 전철구간의 이용객 증가에 따라 역내 및 차내 혼잡이 가중되고 있으므로, 광역 출퇴근 이용자의 편의성 증진 등 양질의 서비스 제공과 수송용량 증대를 위한 2층 전동차 기술개발 필요
- 국내에서는 경춘선에 ITX 청춘의 부수차량에 2층 열차를 운행 중에 있으나, 기술적인 문제로 8량 1편성 중 6량은 일반열차로 운행하고 있음
- 기존 도시철도 구간을 운행 시 차량의 제원, 급전방식, PSD 위치 등 호환성 및 경량화가 요구됨에 따라 국내에 실정에 적합한 2층 열차 개발 필요
- 수송량 향상을 위하여 열차 시격단축이나 편성 차량 수 증가 등의 방안도 모색할 수 있으나, 열차 사격단축은 복잡한 신호시스템 개발 및 제동거리 단축이 필요하고, 시격 단축 자체도 한계를 가지고 있음 (편성차량 수의 증가는 역사증축 등 부가적인 시설비의 투자가 요구됨)
- 현재 미국, 유럽, 일본 등 해외의 많은 나라에서 여객 수송효율을 극대화하기 위한 가장 효율적인 방법으로 2층 열차(double-deck train)를 도입하고 있음 (프랑스, 일본에서는 2층 열차가 이미 운행 중이므로 따라서 국내에서도 국내 광역철도 인프라에 적합한 2층 전동객차 개발에 대해서 적극적인 검토가 필요함)

1-2 기술의 구성

- 본 과제는 출퇴근 여객의 폭발적 증가에 따른 국내 환경에 적합한 2층 전동객차 운영전략을 제시하고, 단위 부품 설계기준 및 핵심기술도출을 위한 전략수립과 실용화를 위한 관련법과 제도를 검토하고, Test Bed 구축 전략을 제시하는 기획 연구 과제로서, 총 4개의 세부 연구내용으로 구성되어 있음

1)국내외 운영전략 제시

2)광역철도용 2층 열차 실용화 모델 제시

3)광역철도용 2층 열차의 핵심기술 도출

4)광역철도용 2층 열차 설계 및 제작기술 제시

5)광역철도용 2층 열차의 성능 검증 기술과 인터페이스 기술 제시

기술 분류

대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)	키워드 (영문)
광역 철도용 2층 전동객차 (Double-Deck Train on the Metropolitan)	A. 국내외 운영전략 (Operational strategies in domestic and foreign)	AA. 해외 2층 전동차 운영 등 기술개발 사례 분석 (Analysis of technology development on management of double-deck electrical car in overseas)	double-deck electric car/double-deck train/technology/development/overseas
		AB. 광역철도 2층 전동차에 대한 SWOT 분석 (SWOT analysis of double-deck train on the metropolitan)	metropolitan/double-deck electric car/double-deck train/SWOT analysis
		AC. 광역철도 운영전략 (Operational strategies on the metropolitan)	metropolitan/operational strategies/management plan
		AD. 경제성 분석과 요금체계 제시 (Suggestion of fee system and analysis on economic efficiency)	economic efficiency/fee system/rate system

대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)	키워드 (영문)
광역 철도용 2층 전동객차 (Double-Deck Train on the Metropolitan)	B. 광역철도용 2층 열차 실용화 모델 (Practical model of double-deck train on the metropolitan)	BA. M-car, T-car 등 2층화 방안 제시 (Suggestion of double-deck plan to M-car and T-car)	Motor car/Trailer car/electric rolling stock/electric motor car/electric motor coach
		BB. 최소 곡선반경 및 기존 승강장 PSD 등과의 인터페이스 검토 (Review of interface of current platform(PSD) and minimum radius of curvature)	minimum radius of curvature/PSD/platform screen door/interface
		BC. 실용화 모델 제시(비상시 안전성 및 승하차 시간 지연 등 검토) (Suggestion for practical model)	practical model
	C. 광역철도용 2층 열차의 핵심기술 도출 (Deriving of core technology of double-deck train on the metropolitan)	CA. 차체 경량화 및 구조강도 확보기술 (Secure technology of structure strength and light weight car body)	car body/body of car/weight lightening/weight reduction of car/structure strength
		CB. 주요 전장품 및 제동장치에 대한 소형화 및 경량화 (Miniaturization and weight lightening to brake gear and the major electronics)	electronics/brake gear/miniaturization/weight lightening/running gear/transmission gear/driving gear
		CC. 안전성 확보를 위한 설계기술 및 기기배치 등 (Arrangement and design technology for the safety)	safety/design technology/arrangement

대분류 (영문)	중분류 (영문)	소분류 (영문)	키워드 (영문)
광역 철도용 2층 전동객차 (Double-Deck Train on the Metropolitan)	D. 광역철도용 2층 열차 설계 및 제작기술 (Production technique and design of double-deck train on the metropolitan)	DA. 2층 전동객차 설계 및 제작 (Production and design of double-deck train)	rolling stock gauge/vehicle gauge/car gauge/axle load/weight of loaded car/wheel load
		DB. 2층 전동객차의 공기조화 설계 (Design of air conditioning of double-deck train)	air conditioning equipment/ventilating device/ventilator/steam generator/ventilate/air duct/vent hole
		DC. 승강문 설계 및 제작 (Production and design of PSD)	PSD/platform/platform screen door
		DD. 차량 연결시스템 설계 및 제작 (Production and design of vehicle connection system)	car body/body of car/bogie/truck/connect/link/jakob/articulate
	E. 광역철도용 2층 열차의 성능 검증 기술과 인터페이스 기술 (Interface technology and performance verification technology of double deck train on the metropolitan)	EA. 2층 전동객차의 안정성검증과 성능·시험·특성 평가 (Performance·test·characteristic assessment and verification of stability of double-deck train)	evaluate/test/performance/quality/characteristic/safety/reliability
		EB. 2층 전동객차의 인프라-인터페이스 (Infrastructure-interface of double-deck train)	electric rolling stock/electric motor car/electric motor coach/infra/infrastructure/interface
		EC. 객차-대차의 인터페이스 (Interface of truck-bogie)	truck/bogie/interface/suspension

2

특 허 분 석

한국철도기술연구원
Korea Railroad Research Institute

2 특허 분석

2-1 특허 분석 범위

[표-2] 특허분석 기준

구 분	분석 기준				
특허검색 DB	Thomson Innovation				
검색국가	미국	유럽	일본	한국	중국
	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원, 등록	출원
분석구간	1990.01.01.~2015.01.27				
검색범위	Title, Abstract, Claim				

2-2 기술분류 및 검색 조합식

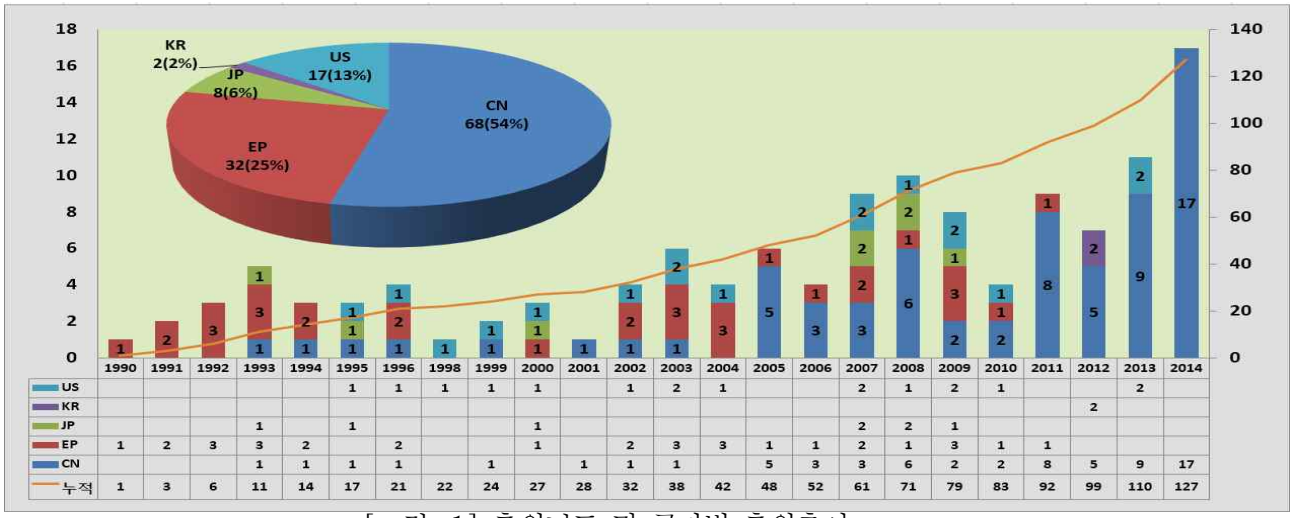
[표-3] 특허 검색 조합식

기술구분	검색 조합식	검색 특허	관련 특허
A기술	CTB=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon) or metro)) AND CTB=((Operat* or manage* or fee or economic*) near4 (strateg* or SWOT or analy* or system));	104	20
B기술	CTB=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or ((rail or motor or trailer) near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon))) AND CTB=(plan or radius or platform or practi*);	241	48
C기술	CTB=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon) or metro)) AND CTB=((reduct* or optimizat* or light* or miniaturiz* or (weight near3 reduct*)));	154	23
D기술	CTB=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon) or metro)) AND CTB=(Design or manufactur* or product*));	160	26
E기술	CTB=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon) or metro)) AND CTB=(Performance or test* or assess* or verifi* or interface));	177	10

2-3 특허기술 동향

(1) 출원년도 및 국가별 특허출원 동향

- 광역철도용 2층 열차 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 **현재까지 총 127건의 관련 유효특허가 출원**되고 있음



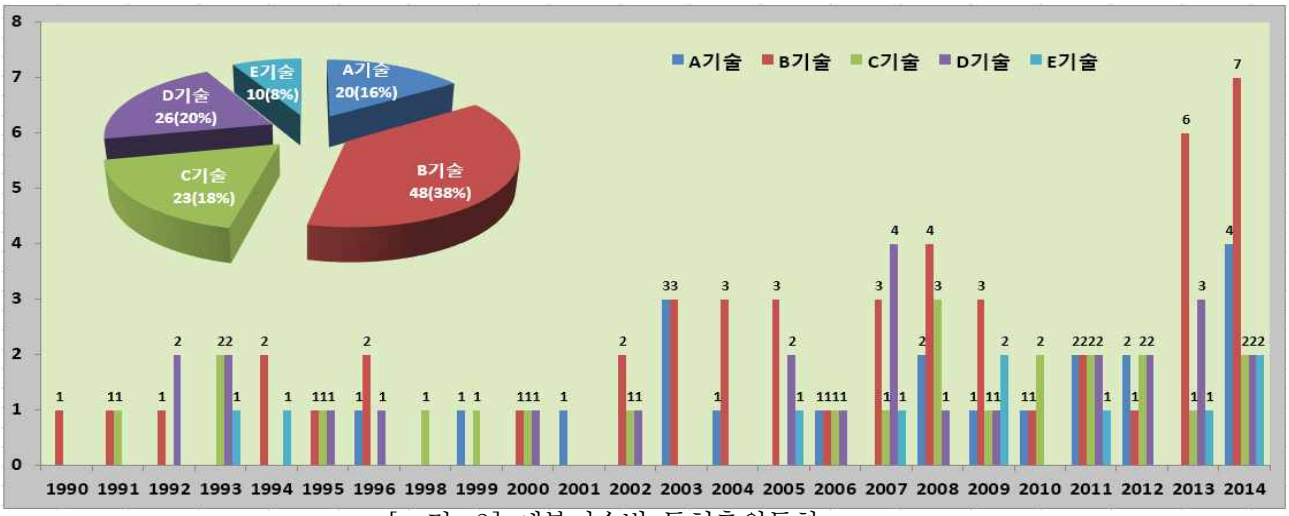
	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
US						1	1	1	1	1		1	2	1			2	1	2	1			2	
KR																						2		
JP				1		1				1							2	2	1					
EP	1	2	3	3	2		2			1		2	3	3	1	1	2	1	3	1	1			
CN				1	1	1	1		1		1	1	1		5	3	3	6	2	2	8	5	9	17
누적	1	3	6	11	14	17	21	22	24	27	28	32	38	42	48	52	61	71	79	83	92	99	110	127

[그림-1] 출원년도 및 국가별 출원추이

- 국가별로는 **중국이 54%(68건)로 최다**이며, 유럽, 일본, 미국, 한국의 순으로 출원되고 있음
- 우리나라는 2012년 이후 출원 특허가 전체 특허의 대부분을 차지하는 등 최근 관련 분야 관심이 증가하고 있다고 보여짐
- **중국은 2005년 이후 전체 특허의 88% 이상을 출원하는 등, 최근의 기술 상승세가 매우 높게 나타나고 있음**

(2) 세부기술별 특허출원 동향

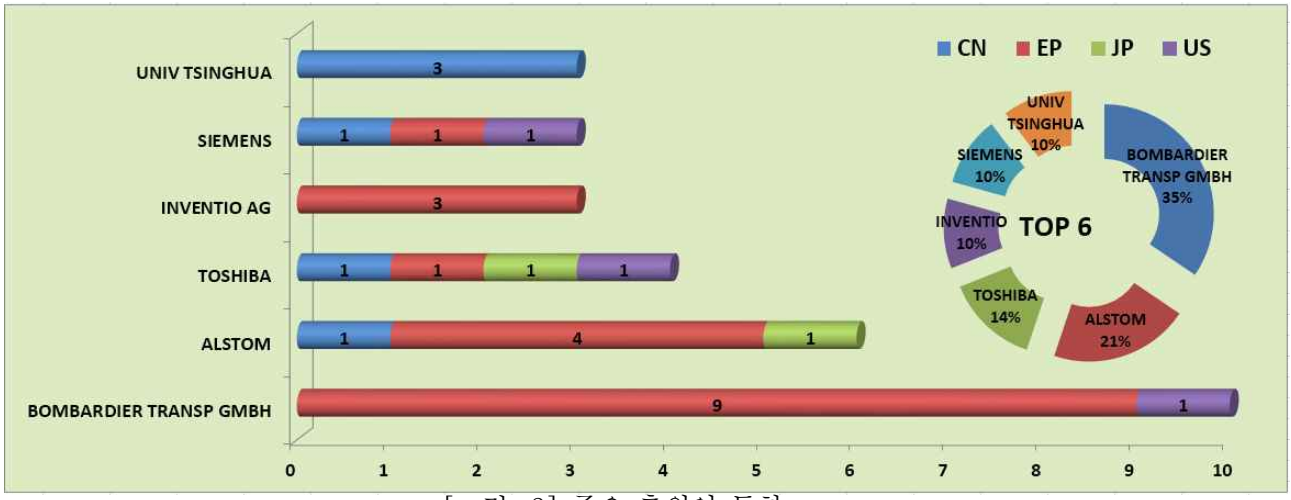
- 세부기술별 특허출원 동향을 보면, **광역철도용 2층 열차 실용화 모델(B기술)이 38%(48건)로 가장 많이 출원되고 있으며, 2005년 이후 광역철도용 2층 열차 설계 및 제작기술(D기술)의 특허가 지속적으로 증가 추세**에 있음



[그림-2] 세부기술별 특허출원동향

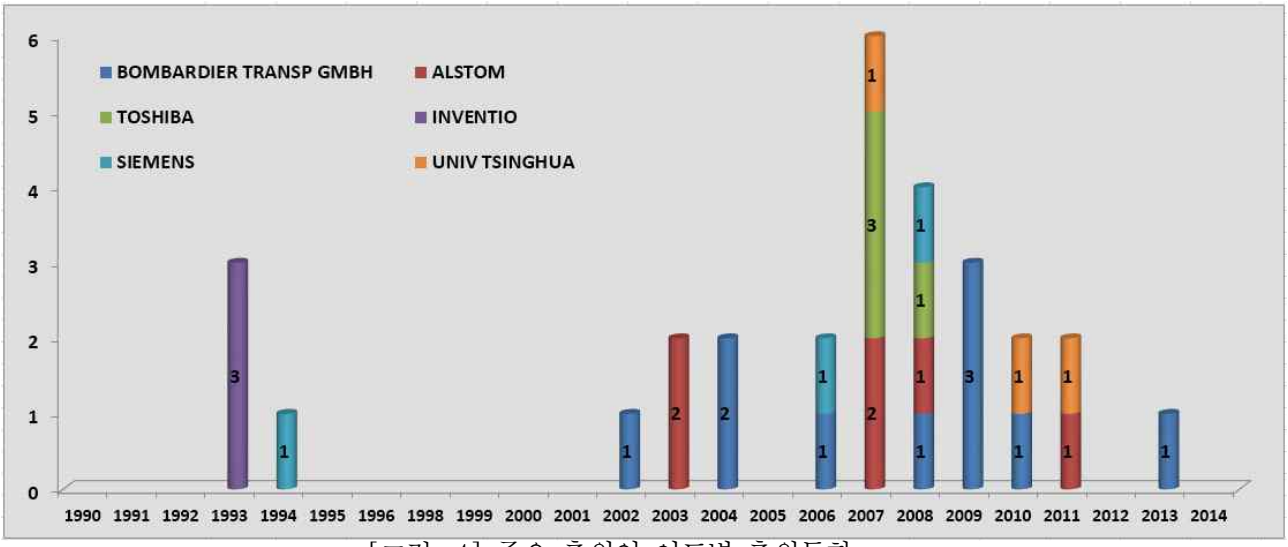
(3) 주요 출원인 분석

- 특허를 많이 출원한 상위 5개의 출원인(Top 5 Assignee)을 살펴보면, **BOMBARDIER TRANSP GMBH, ALSTOM, TOSHIBA, INVENTIO, SIEMENS 등이 많은 출원**을 하고 있음. 이 분야 다 출원인들은 BOMBARDIER, ALSTOM, TOSHIBA, SIEMENS를 제외하고 대부분 자국 특허에 국한되어 출원한 것을 통해, 국제 기술 경쟁이 가속화하지는 않은 것으로 보여짐



[그림-3] 주요 출원인 동향

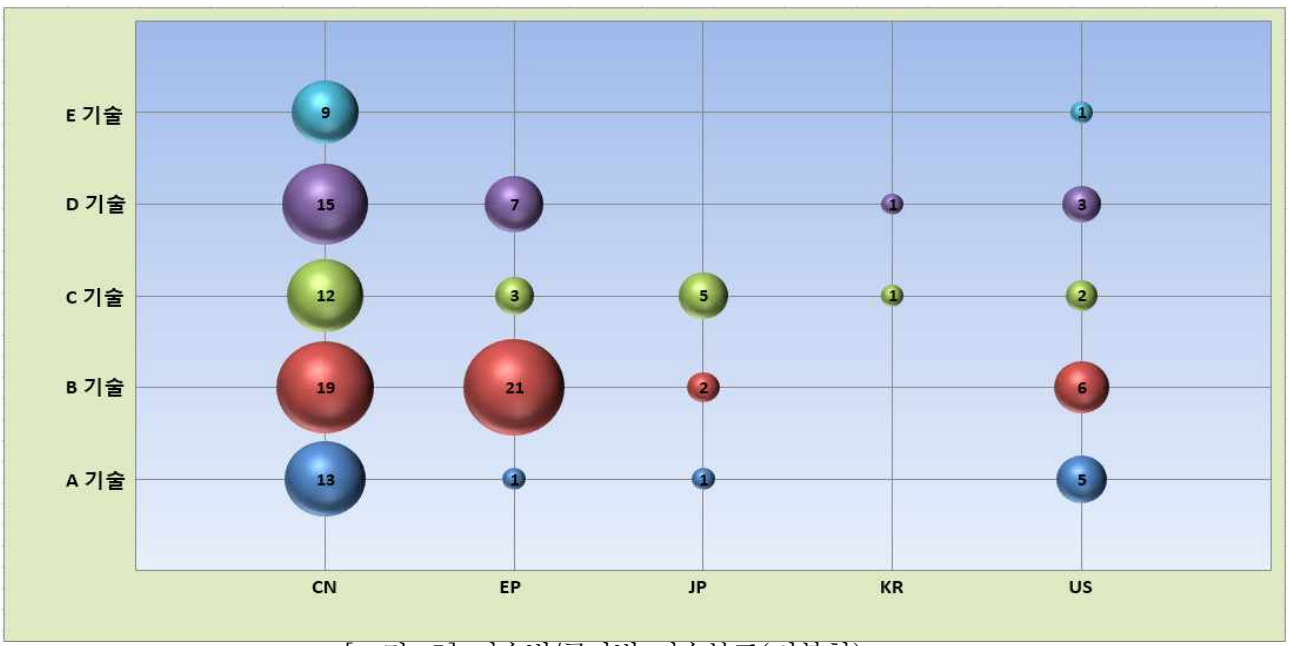
- 상위 5개 다 출원인들은 2007년 가장 많은 특허를 출원하며 정점을 찍었다가 최근에는 기술개발이 감소되는 추세임을 확인할 수 있음. 다만, **Bombardier는 최근 3년간 꾸준하게 특허출원이 이뤄지고 있어 기술개발이 활발하게 수행**되고 있음을 알 수 있음



[그림-4] 주요 출원인 연도별 출원동향

(4) 국가별 기술 분포

- 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴본 결과 **유럽, 중국이 광역철도용 2층 열차 실용화 모델(B기술) 분야 특허가 많이** 나타나고 있음. B기술 분야는 **유럽이 가장 많은 특허를 출원**하고 있는 것으로 나타남
- 최다 출원국가인 **중국의 경우도 광역철도용 2층 열차 실용화 모델(B기술) 특허를 가장 많이 출원** 하고 있음
- **중국의 최근 고속철도건설 확대와 함께, 이 분야에 대한 특허 상승세가 매우 높게** 나타나고 있는 것으로 판단됨. 유럽 및 중국이 최근 B기술에 대한 집중도가 높게 나타나는 것을 통해, 한국에서도 상대적으로 약한 B기술 분야에 대한 기술 확보가 필요할 것으로 판단됨

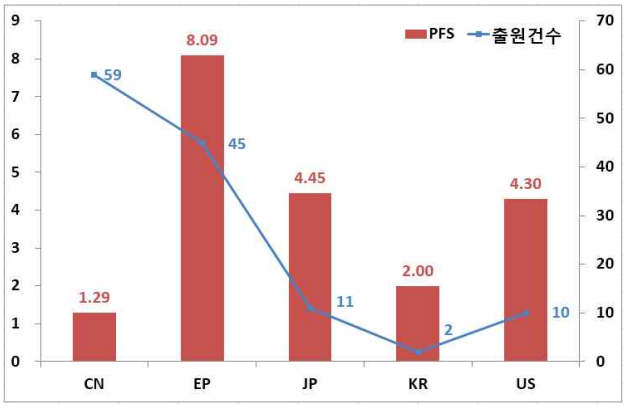


[그림-5] 기술별/국가별 기술분포(버블형)

(5) 우선권 국가 (Priority Country)별 특허분포 지수분석

(5-1) 시장확보지수 (PFS : Patent Family Size)

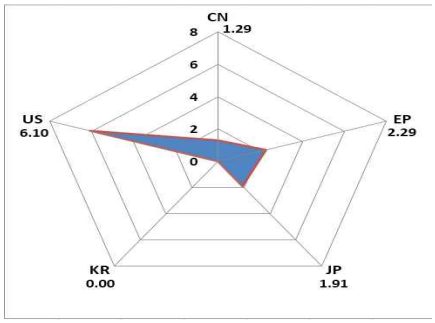
- **(지표 설명)** 특정 국가에서 상업적인 이익 또는 기술경쟁 관계에 있을 때 해외에 특허를 출원하므로, **Family Patent 數가 많을 때 특허를 통한 시장성이 크다고 판단**되어 이를 **시장확보력의 지표로 사용**함
- **(계산식) 국가별 시장확보지수(PFS)** = (∑ 해당국가 특허別 패밀리) / 해당국가 특허건수
- **(분석결과)**
  - **유럽의 시장확보지수(PFS)가** 8.09로 가장높지만, 특허건수가 매우 작아 일반화된 결론으로 보기는 어려움
  - 특허 건수가 많은 중국, 일본, 한국의 경우, 유럽 및 미국에 비하여 패밀리 특허가 매우 작은 수준임
  - 한국은 향후 해외시장을 고려한 해외 패밀리 특허의 확보가 요구됨



[그림-6] 국가별 출원건수 및 시장확보지수

(5-2) 인용도지수 (CPP : Cites Per Patent)

- **(지표 설명)** 특정 국가의 특허들이 이후 등록되는 특허들에 의해 인용되는 횟수가 많을수록 기술경쟁력이 높으므로, **인용도지수(CPP)가 클수록 원천특허/핵심특허를 많이 보유한 정도를 나타내는 지표**로 사용함
- **(계산식) 국가별 인용도 지수(CPP)** = (∑ 해당국가 특허別 피인용수) / 해당국가 특허건수
- **(분석결과)**
  - **미국의 인용도지수(CPP)가 6.10으로 가장 높게** 나타나 **원천특허/핵심특허를 많이 보유**한 것으로 판단할 수 있음
  - 이에 반해, **한국은** 유럽, 미국 등과 비교할 때, 특허건수에 비해 인용도지수(CPP)가 전무한 수준으로, **원천특허/핵심특허 비중이 전혀 없는 것으로 판단할 수 있음**



[그림-7] 국가별 인용도지수

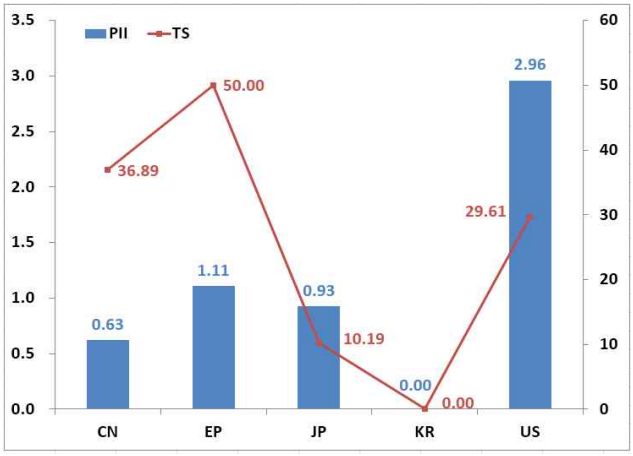
(5-3) 영향력지수(PII : Patent Impact Index) 및 기술력지수(TS : Technology Strength)

- **(지표 설명) 영향력지수는 특정 국가가 소유한 기술의 질적수준**을 측정하는 지수이며, **기술력지수는 특정 국가의 기술보유 양적수준(특허건수)과 영향력지수(질적수준)**을 함께 나타냄
- **(계산식)**

- **국가별 영향력 지수(PII)** = 해당국가 특허 인용도지수 / 전체(모든국가) 특허 인용도지수
- **국가별 기술력 지수(TS)** = 해당국가 특허건수 × 해당국가 영향력 지수

● **(분석결과)**

- **미국의 영향력지수(PII)가 2.96로 가장 높게** 나타나 질적 수준에서 우수하며, 양적 수준(특허건수)을 고려한 **기술력지수(TS)에서는 유럽이 50.00**으로 가장 우수함
- 다 출원국인 **중국은 특허건수가 많음에도 불구하고 기술력지수가 0.63으로** 한국을 제외하고 **가장 낮게 나타남**
- 우리나라는 **영향력지수, 기술력 지수 모두 전무한 것으로 나타나고 있음**



[그림-8] 국가별 영향력지수 및 기술력지수

(6) 기술분야 특허 분포도

(6-1) Text mining을 통한 특허 분포

● 광역철도용 2층 열차 분야 관련 검색결과 344건 중 검색 특허 중 **최종 127건의 유효 특허기술이 분포**함

● 등고선 꼭지점이 높은 Shaft/Wheel/Speed, Monitoring/Traffic/Sensor, Floor/Compartment /Level 등 3개 Text에 특허가 많이 분포하고 있어 관련 분야의 기술 집중도가 높은 것으로 판단 할 수 있음

● 특히, **2014년에 출원된 최신 특허들을 보면** Automatic transmission loading spectrum collecting and compiling method used for indoor bench test, Train broadband communication network architecture suitable for railway vehicle **등 광역철도용 2층 열차의 성능 검증 기술과 인터페이스 기술(E기술)**과 관련된 기술이 나타나고 있음

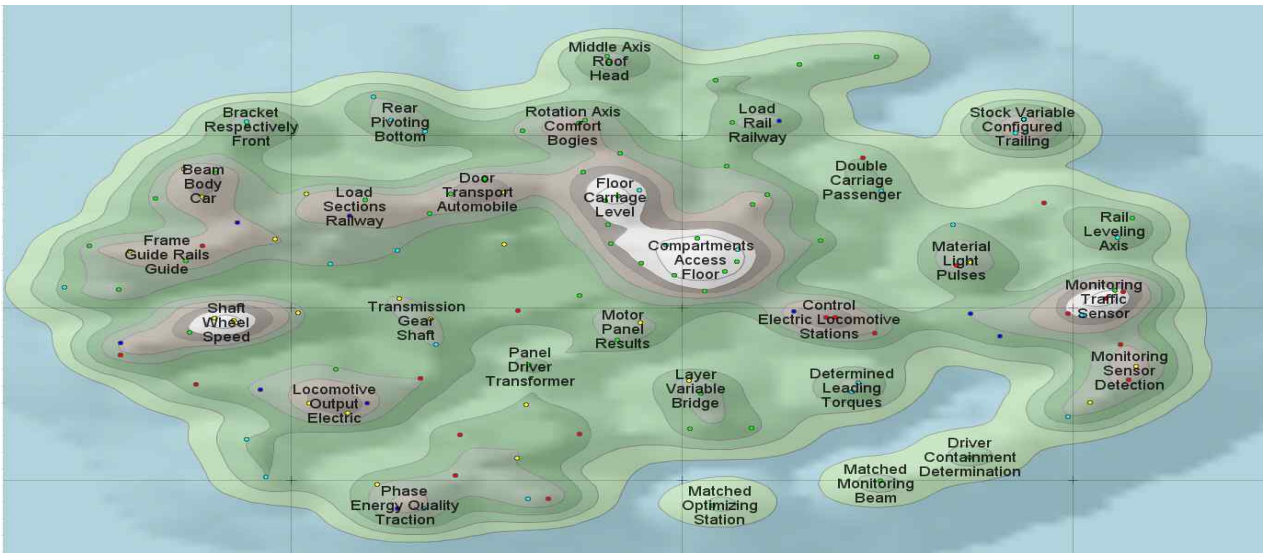


● 2010년 이후 ● 2000-2009 ● 1990-1999

[그림-9] 특허 등고선 맵

(6-2) 핵심기술(중분류 기준)을 통한 특허 분포

- **광역철도용 2층 열차 실용화 모델(B기술) 분야의 경쟁이 가장 치열**할 것으로 예상되며, **캐나다의 Bombardier, 프랑스의 Alstom 및 일본의 Toshiba**가 이 분야 기술을 주도하고 있음
- 한국의 경우 **한밭대에서 유일하게 2층 열차에 대한 경량차체 기술관련 광역철도용 2층 열차의 핵심기술 도출(C기술), 광역철도용 2층 열차 설계 및 제작기술(D기술)**에 집중하고 있는 것으로 나타나, **향후 경량화 기술 등과 연계하여 설계 및 제작기술(D기술) 대한 관심을 높여야 할 것**으로 판단됨



■ A.국내외 운영전략 ■ B. 광역철도용 2층 열차 실용화 모델 ■ C. 광역철도용 2층 열차의 핵심기술 도출 ■ D. 광역철도용 2층 열차 설계 및 제작기술 ■ E. 광역철도용 2층 열차의 성능 검증 기술과 인터페이스 기술

[그림-10] 세부기술별 특허 등고선 맵

(7) 주요 핵심특허 현황

- 광섬유 매체를 통해 디지털 데이터를 여러 인코딩 레벨에 따라 **임계치(thresholds)를 설정 및 결정하여 디지털 데이터를 수신하는 것에 대한 MARCONI COMM LTD의 유럽 공개특허 EP1085713A2건의 피인용 건수가 24건**으로 가장 많으며, **기타 전기전자 제어와** 관련된 특허들이 피인용 건수가 많아 이러한 특허들을 중심으로 주요 특허를 선정하여 핵심특허 권리 분석을 할 수 있음

[표-4] 주요 핵심특허 현황 (피인용수 順)

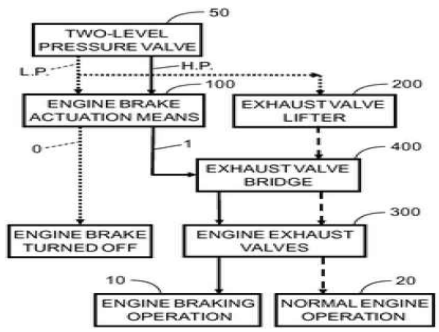
공개번호	발명의 명칭	출원인 정리	피인용수 (Forward)
EP1085713A2	Adaptive setting of decision thresholds	MARCONI COMM LTD	24
US20050195079A1	Emergency situation detector	COHEN D	18
US5562374A	Container system for one-level and two-level freight cars and double-deck coaches, especially for high-speed trains	INST SCHIENENFAHRZEUGE	18
CN101170284A	Single-phase integrated power quality controller for electric railway power supply	UNIV TSINGHUA	13
US6273004B1	Motor-vehicle carrying railcar with improved sidewall structure	THRALL CAR MFG COMPANY	12
CN1897393A	Compensator for electric-railway non-power compensation and electric-energy quality control	SIFANGQINGNENG ELECTRIC ELECTR	11
CN101110155A	Built-in intelligent fault diagnosing device based on data inosculating pattern recognition and method thereof	UNIV BEIJING JIAOTONG	11
US7984705B2	Engine braking apparatus with two-level pressure control valves	YANG ZHOU	11
US6940285B2	Method and apparatus for testing a micro electromechanical device	IBM	10
US6599080B1	Lifting device for railway vehicles	DAIMLER CHRYSLER AG	10

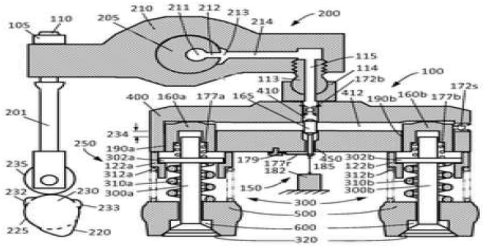
(8) 주요 핵심특허 심층 분석 (사례)

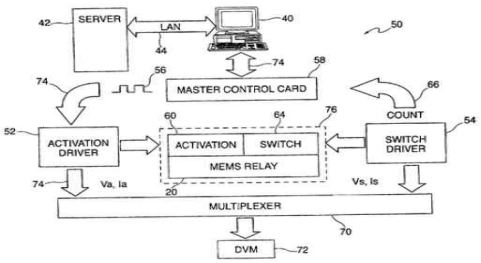
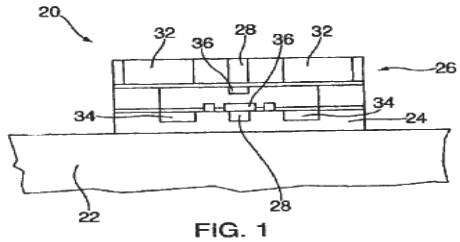
(8-1) 주요 핵심특허 심층분석 (권리성 분석)

- 2000년대 초반 기술의 영향력 및 인용도가 가장 높은 미국의 피인용수가 가장 많은 **COHEN D의 미국 공개특허 US20050195079A1건은 건물 화재로 인한 응급 상황시 소방관을 모니터링하여 스트레스 레벨 및 물리적 반응의 변화를 데이터로 검출하는 것에** 관한 기술이나 현재 특허 유지가 되지 않고 있으며, 2000년대 후반 출원특허 중에서는 **2단계 압력 제어밸브를 통한 엔진 제동장치에 대한 미국 공개특허 US7984705B2로 등록 유지가 되는 특허 중 피인용도가 가장 높게** 나타남.

[표-5] 주요 핵심특허 현황

<table>
<tr><td>1</td><td>기술 분류</td><td>E기술
(광역철도용 2층 열차의 성능 검증 기술과 인터페이스 기술)</td><td>특허번호 (출원번호)</td><td>US12348317</td><td>특허번호 (공개번호)</td><td>US7984705B2</td></tr>
<tr><td colspan="2">출원인</td><td>YANG ZHOU</td><td>출원일</td><td>2009-01-05</td><td>공개일</td><td>2011-07-26</td></tr>
<tr><td colspan="2">발명의 명칭</td><td colspan="5">Engine braking apparatus with two-level pressure control valves</td></tr>
<tr><td colspan="2">대표도면</td><td colspan="5"> 

 </td></tr>
<tr><td colspan="2">주요 내용</td><td colspan="5">- 자동차의 내연 기관의 제동 장치에 관한 기술로 엔진 브레이크 액츄에이터의 압력의 고저 수준으로 제어된 유체를 공급하는 유량 제어 밸브를 포함함
* 국제특허분류명 : F02D 013/004_기관을 브레이크로서 사용시키는 것</td></tr>
<tr><td colspan="2">주 요
개 요</td><td colspan="5">1. Apparatus for converting an internal combustion engine from a normal engine operation to an engine braking operation, the engine having an exhaust valve train comprising two valves, a valve bridge and a cam for cyclically opening and closing the two valves, said apparatus comprising:
(a) an actuator comprising two braking pistons slidably disposed in said valve bridge between an inoperative position and an operative position; in said inoperative position, a gap being formed between said valve bridge and each of the two valves for skipping the motion from the lower portion of the cam, and in said operative position, a linkage being formed between said valve bridge and each of the two valves so that the motion from the whole cam can be transmitted to the two valves;
(b) a flow control valve for supplying control fluid with two levels of pressure to said actuator, said two levels of pressure comprising a first level pressure and a second level pressure, and said first level pressure being lower than said second level pressure;</td></tr>
<tr><td colspan="2">법적상태
(회피전략)</td><td colspan="5">- 이 특허는 2009년 출원이후 지금까지 유지되고 있는 등록특허임. 본 특허와 유사한 특허는 1997년도 부터 특허 등록이 이루어지기 시작하였으며, 계속해서 특허 등록이 증가 추세를 보이고 있고 본 특허와 관련된 유사특허군에서 6%를 점유하고 있어 본 특허와 관련된 기술 분야에서 어느 정도 영향력을 가지고 있는 편임
- 이에 따라, 향후 관련 분야 연구를 진행함에 있어 해당 특허기술에 대한 면밀한 검토를 통해 해당기술을 침해하지 않고 회피하여 기술개발이 이루어질 수 있도록 하여야 할 것임</td></tr>
</table>

2	기술 분류	A기술 (국내외 운영전략)	특허번호 (출원번호)	US10250272	특허번호 (공개번호)	US6940285B2
출원인		IBM	출원일	2003-06-19	공개일	2005-09-06
발명의 명칭		Method and apparatus for testing a micro electromechanical device				
대표도면		  FIG. 1				
주요 내용		- RF통신 기술에 사용하기 위한 정전 마이크로 릴레이의 성능 특성 시험 시스템으로 디지털 마스터 제어 카드 및 스위치 구동부로 구성됨 * 국제특허분류명 : G01R 031/327_회로 단속기, 스위치 또는 차단기의 시험(스위치와의 구조적 관련 H01H)				
주 요 청구항		1. A system for testing performance characteristics of a micro electromechanical device, the micro electromechanical device having movable mechanical members, wherein the system comprises: an activation driver configured to receive and drive a waveform to an activation side of the micro electromechanical device, said activation driver configured to provide readback of an activation voltage and activation current drawn by activation of the micro electromechanical device; a switch driver configured to provide a load to a switch side of the micro electromechanical device, said switch driver configured to provide readback of a load voltage and a load current drawn by the micro electromechanical device; a master control card (MCC) configured to control said activation and switch drivers; a digital volt meter (DVM) in operable communication with the micro electromechanical device				
법적상태 (회피전략)		- 이 특허는 2003년 출원이후 지금까지 유지되고 있는 등록특허임. 본 특허와 유사한 기술분야의 특허는 1995년도 부터 특허 등록이 이루어지기 시작하였으며, 본 특허와 관련된 유사특허군에서 2%를 점유하고 있어 본 특허와 관련된 기술 분야에서 영향력이 아주 미미함. - 이에 따라, 향후 관련 분야 연구를 진행함에 있어 영향력이 미미한 점을 고려하여 해당 특허기술에 기술 개발시 해당기술을 침해하지 않고 회피할 수 있음				

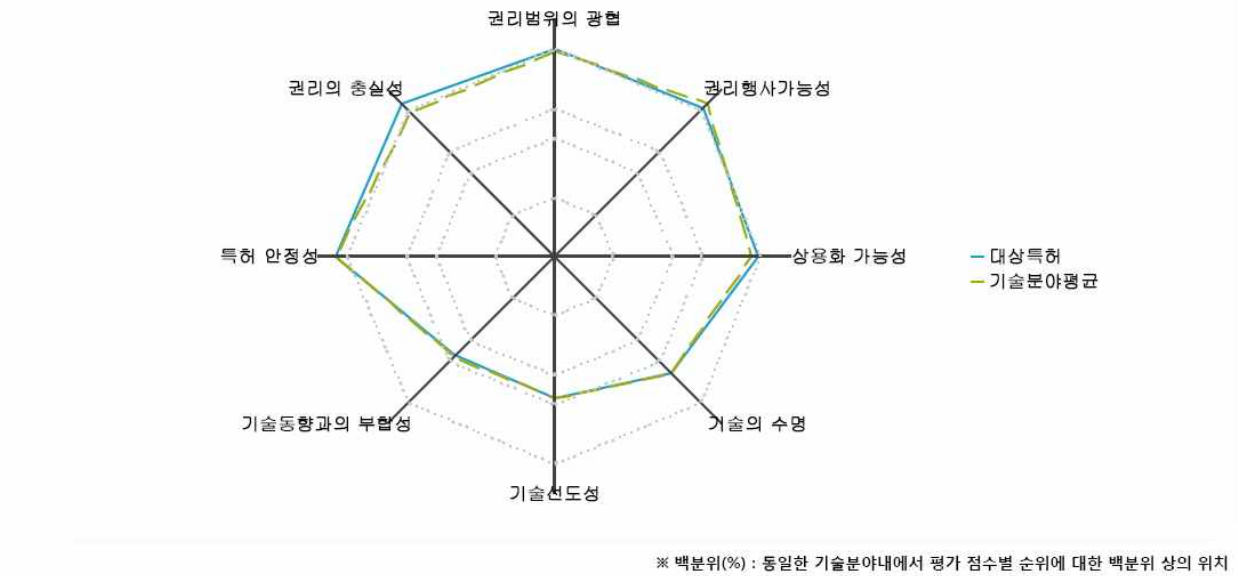
(8-2) 주요 핵심특허 심층 분석 (우수성 분석)

- 특허청 발명진흥회의 특허분석 평가시스템(SMART3)을 활용하여 **피인용수가 가장 높은 미국 공개특허(US7984705B2)에 대해 상세 분석**한 결과, **종합평가점수가 73.8점으로 A로 우수한 기술로 평가됨**

평가결과 세부내용

- **전체 미국 등록특허 中 상위 14.4%에 위치**하는 우수 특허로 피인용수가 높고 독립 청구항이 많아 권리범위가 넓고 세밀하게 잘 작성되었음
- 세부적으로 살펴보면, **권리성 28.5점, 기술성 15.3점, 활용성 30점**으로 기계분야 평균인 권리성 24.6점, 기술성 15.4점, 활용성 29.9점보다 모두 높게 평가되었음

평가지표	점수	등급	대분류(기계)			중분류(기계)			소분류(엔진/펌프/터빈)		
			백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차	백분위(%)	평균	표준편차
권리성 (40점)	28.5	AA	7.3	24.7	2.6	6.5	24.6	2.6	6.8	24.6	2.5
기술성 (20점)	15.3	BB	46.2	15.4	0.9	46.2	15.4	0.9	46.3	15.4	0.9
활용성 (40점)	30	BB	42.7	29.9	1.5	42.4	29.9	1.4	46.1	29.9	1.2
총점 (100점)	73.8	A	14.4	69.9	4.0	13.2	69.9	3.8	13.5	70.1	3.5



[그림-11] 핵심특허(US7984705B2) 평가결과

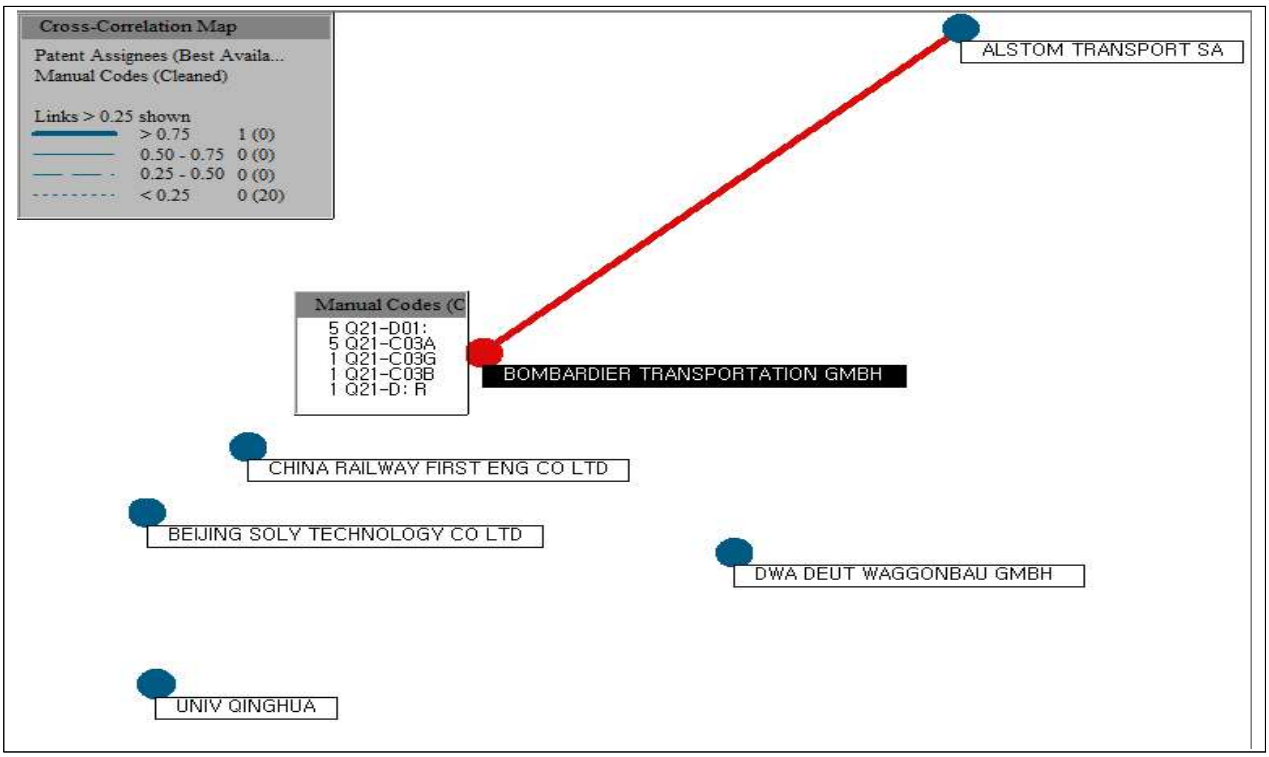
(9) 주요 출원인 심층 분석

(9-1) 주요 출원인 기술영역 분석을 통한 유사 경쟁기업 관계도 (TDA Cross-Correlation Map)

< 분석 지표 설명 >

- TDA Cross-Correlation Map은 **최다 출원인(Bombardier)이 출원한 특허**와 **기술영역(DWPI MANUAL CODE*)이 유사한 특허를 출원한 기관**을 상호 연결한 Map으로, **최다 출원인과 연구영역이 유사한 경쟁기업을 파악**할 수 있음

  ※ DWPI MANUAL CODE(Derwent World Patents Index) : Thomson Innovation의 고유 특허 지표로서, IPC(국제 특허 분류)의 단점을 보완한 기술 분류 코드



[그림-12] TDA Cross-Correlation Map

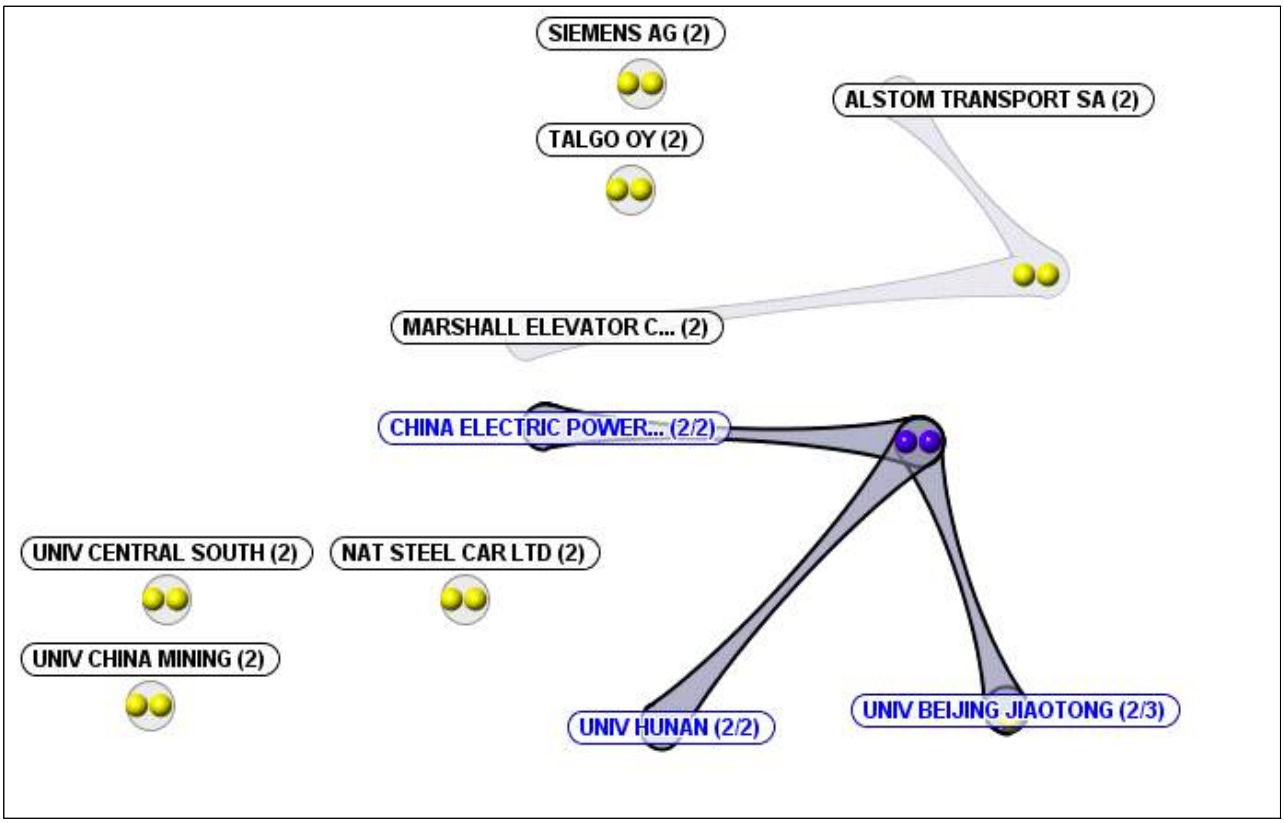
- TDA(Thomson Data Analyzer) Cross-Correlation Map을 통한 주요 출원인의 기술별 특허 출원 유사성을 살펴보면,
  - 최다 출원인인 **Bombardier**는 **Q21-D01**(Superstructures/ Includes wall panels, floors, bulkheads and roofs etc), **Q21-C03A**(Passenger carriages/ carriage superstructure itself or fittings such as windows, doors or bulkheads etc.), **Q21-C03G**(Tramway vehicles/ applied for novel trams per se.), **Q21-C03B**(Wagons or vans/ Includes freight wagons), **Q21-D: R**(Rail vehicle construction; fittings; Underframes; Suspension; Transmissions) **등 5개 기술 분야에 특허를 출원**하고 있으며,
  - 다 출원인인 **Bombardier** 기술과 유사 연구를 하는 경쟁기업으로는, **ALSTOM TRANSPORT SA**가 있음

(9-2) 주요 출원인 상호인용 분석을 통한 기술분야/업계 핵심특허 도출(TDA Aduna Map)

< 분석 지표 설명 >

- TDA Aduna Map은 주요 출원인의 **핵심특허 및 기술분야 관계를** 파악할 수 있는 Map으로, Citing Patent First Assignee (cleaned)*를 기준으로 작성함

※ 주1) **Citing Patent First Assignee (cleaned)**: Thomson Data Analyzer의 고유 특허 지표로서, 개별 특허에 대한 **Cluster Relevance** 관계를 통해서 경쟁기업간 핵심특허를 파악하는 지표임



[그림-13] TDA Aduna Map

- TDA(Thomson Data Analyzer) Aduna Map을 통해 주요 출원인의 상호분석을 통해 **핵심특허(기술분야, 업계)를 살펴보면,**

  - BEIJING SIFANG QINGNENG ELECTRIC & ELECT의 **핵심 특허 기술인** 중국특허(공개번호 CN1897393A)인 "Compensator for electric-railway non-power compensation and electric-energy quality control" 기술인 **전철화 구간에서 전력 품질 제어 관리 기술과** UNIV QINGHUA의 **핵심 특허기술인** 중국특허(공개번호 CN101170284A) "Single phase uniform electric energy quality controller for use in electrization railroad power supply, has single phase multi-winding transformer comprising primary winding and secondary winding, and voltage source converters" 기술은 **철도 전력 공급에 있어서의 에너지 품질 제어 관련 기술로서** CHINA ELECTRIC POWER, UNIV HUAN,

UNIV BEIJING JIAOTONG 등 3개 기관에 가장 많은 기술 영향을 미치고 있어 **핵심기술로 파악**할 수 있음

(10) 특허 출원 동향을 통한 집중/공백분야 등 전망

(10-1) 특허출원 기술분야별 집중/공백분야 전망

< 분석 지표 설명 >

- TDA Co-occurence matrix는 **모든 특허(127건)의 기술영역(DWPI MANUAL CODE)을 Matrix* 형태로 분석**한 것으로, **특허 출원이 많은 기술영역(집중기술)과 적은 기술영역(공백기술)의 분석**이 가능함
  ※ Matrix 분석 : x축과 y축에 기술영역(DWPI MANUAL CODE)을 두고, 상호 연관된 특허건수를 도출함으로써, 출원이 많은 영역과 적은 영역의 분석이 가능

Reset | Manual Codes | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20

Records | 10 | 9 | 7 | 6 | 6 | 4 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 2

Show Values >= 1 and <= 10

Cooccurrence # of Records

Manual Codes	# Records	Q21-D01	Q21-C03A	T01-J07D1	X21-A01F	X23-A05	A12-T04D	S02-J02	Q21-C03B	S02-J03	T01-J05B2B	T06-A04B7	U24-H	X12-H01A2	X21-A02A	X21-A03	X22-G01	A12-T04E	Q17-E01	Q21-C01B	Q21-C03G
1	10	10	5						2											1	2
2	9	5	9						1											1	
3	7			7	1						1						1				
4	6			1	6			1							1	3					
5	6					6		1		1	1			1							
6	4						4		1									2			
7	4				1	1		4		1											
8	3	2	1				1		3									1		1	
9	3					1		1		3											
10	3			1		1					3										
11	3											3									
12	3												3	1							
13	3					1							1	3							
14	3				1										3		1				
15	3				3											3					
16	3			1											1		3				
17	2						2		1									2			
18	2																		2		
19	2	1	1						1											2	
20	2	2																			2
21	2		2																		

[그림-14] TDA Co-occurence matrix (DWPI MANUAL CODES 비교)

- TDA(Thomson Data Analyzer) Co-occurence matrix를 통한 기술 분포를 살펴보면, **특허가 많이 나타나는 곳(적색 박스 교차점)을 기술개발이 활발하게 이루어지는 집중기술 영역**으로 볼 수 있으며, **빈칸으로 표시되는 곳을 공백기술 부분**으로 판단할 수 있음
  - 이 중, **철도차량 (Railways_Q21)**분야와 **관계가 많은 영역을** 좀 더 세밀하게

살펴보면, **승객 운송수단(Passenger carriages_Q21-C03A) (적색 박스 표시)과** 패널, 바닥, 지붕 등**의 슈퍼스트럭쳐 (Superstructures_Q21-D01)(적색 박스 표시)관련 특허 5건이 상대적으로 연구가 가장 집중되는 영역**으로 판단할 수 있음

- 그 외의 공백분야 및 건수가 작은 분야는 **상대적으로 연구가 부족한 분야**로 볼 수 있음

(10-2) 특허 출원인별 연계성 분석

< 분석 지표 설명 >

TDA Cross-correlation matrix는 **특허 다출원인 間 상관관계를 Matrix* 형태로 나타낸** 것으로, 출원건수가 많은 출원인 특허를 중심으로 **상호 연계하여 개발되는 기술영역의 핵심기업**을 제시하는 분석이 가능함

※ Matrix 분석 : x축과 y축에 특허 다출원인을 두고, 각 기술영역별 피어슨 상관계수 기재 (-1에 가까울수록 반비례, 1에 가까울수록 정비례 관계, 0은 상호 무관)

Reset		Patent Assignees (Best Available)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		# Records	11	5	4	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Patent Assignees (Best Available)	# Records	Show Values >= 0.00 and <= 1.00 Cross-Correlation Crossed With: Patent Assignees (Best Available) # of Records Pearson's r	BOMBARDIER TRANSPORTATION GME	BOMBARDIER TRANSPORT GMBH	ALSTOM TRANSPORT SA	TOSHIBA KK	UNIV QINGHUA	BROENDUM AS V	CHINA SOUTH LOCOMOTIVE & ROLLIN	DAIMLERCHRYSLER RAIL SYSTEMS TE	INVENTIO AG	BRONDUM AS V	CHRISTENSEN O V	DWA DEUT WAGGONBAU GMBH	ERICSSON AB	HITACHI LTD	LI X	MARCONI COMMUNICATIONS LTD	SIEMENS VAI METALS TECHNOLOGIES	THRALL CAR MFG CO	VAI CLECIM	VAI CLECIM SAS
1	11	BOMBARDIER TRANSPORTATION GMBH	1.000	0.930	-0.011	-0.011	-0.018	-0.019	-0.011	-0.018	-0.018	-0.019	-0.019	0.425	-0.016	-0.015	-0.011	-0.016	-0.019	-0.015	-0.019	-0.019
2	5	BOMBARDIER TRANSPORT GMBH	0.930	1.000	-0.012	-0.012	-0.019	-0.020	-0.012	-0.019	-0.019	-0.021	-0.021	0.269	-0.017	-0.016	-0.012	-0.017	-0.021	-0.016	-0.021	-0.021
3	4	ALSTOM TRANSPORT SA	-0.011	-0.012	1.000	-0.007	-0.011	-0.012	-0.007	-0.011	-0.011	-0.012	-0.012	-0.012	-0.010	-0.009	-0.007	-0.010	-0.012	-0.009	-0.012	-0.012
4	4	TOSHIBA KK	-0.011	-0.012	-0.007	1.000	-0.011	-0.012	-0.007	-0.011	-0.011	-0.012	-0.012	-0.012	-0.010	-0.009	-0.007	-0.010	-0.012	-0.009	-0.012	-0.012
5	4	UNIV QINGHUA	-0.018	-0.019	-0.011	-0.011	1.000	-0.019	-0.011	-0.018	-0.018	-0.020	-0.020	-0.019	-0.016	-0.015	-0.011	-0.016	-0.020	-0.015	-0.020	-0.020
6	3	BROENDUM AS V	-0.019	-0.020	-0.012	-0.012	-0.019	1.000	-0.012	-0.019	-0.019	0.980	0.980	-0.020	-0.017	-0.016	-0.012	-0.017	-0.021	-0.016	-0.021	-0.021
7	3	CHINA SOUTH LOCOMOTIVE & ROLLING	-0.011	-0.012	-0.007	-0.007	-0.011	-0.012	1.000	-0.011	-0.011	-0.012	-0.012	-0.012	-0.010	-0.009	-0.007	-0.010	-0.012	-0.009	-0.012	-0.012
8	3	DAIMLERCHRYSLER RAIL SYSTEMS TEC	-0.018	-0.019	-0.011	-0.011	-0.018	-0.019	-0.011	1.000	1.000	-0.020	-0.020	-0.019	-0.016	-0.015	-0.011	-0.016	-0.020	-0.015	-0.020	-0.020
9	3	INVENTIO AG	-0.018	-0.019	-0.011	-0.011	-0.018	-0.019	-0.011	1.000	1.000	-0.020	-0.020	-0.019	-0.016	-0.015	-0.011	-0.016	-0.020	-0.015	-0.020	-0.020
10	2	BRONDUM AS V	-0.019	-0.021	-0.012	-0.012	-0.020	0.980	-0.012	-0.020	-0.020	1.000	1.000	-0.020	-0.017	-0.017	-0.012	-0.017	-0.021	-0.017	-0.021	-0.021
11	2	CHRISTENSEN O V	-0.019	-0.021	-0.012	-0.012	-0.020	0.980	-0.012	-0.020	-0.020	1.000	1.000	-0.020	-0.017	-0.017	-0.012	-0.017	-0.021	-0.017	-0.021	-0.021
12	2	DWA DEUT WAGGONBAU GMBH	0.425	0.269	-0.012	-0.012	-0.019	-0.020	-0.012	-0.019	-0.019	-0.020	-0.020	1.000	-0.016	-0.016	-0.012	-0.016	-0.020	-0.016	-0.020	-0.020
13	2	ERICSSON AB	-0.016	-0.017	-0.010	-0.010	-0.016	-0.017	-0.010	-0.016	-0.016	-0.017	-0.017	-0.016	1.000	-0.013	-0.010	1.000	-0.017	-0.013	-0.017	-0.017
14	2	HITACHI LTD	-0.015	-0.016	-0.009	-0.009	-0.015	-0.016	-0.009	-0.015	-0.015	-0.017	-0.017	-0.016	-0.013	1.000	-0.009	-0.013	-0.017	-0.013	-0.017	-0.017
15	2	LI X	-0.011	-0.012	-0.007	-0.007	-0.011	-0.012	-0.007	-0.011	-0.011	-0.012	-0.012	-0.012	-0.010	-0.009	1.000	-0.010	-0.012	-0.009	-0.012	-0.012
16	2	MARCONI COMMUNICATIONS LTD	-0.016	-0.017	-0.010	-0.010	-0.016	-0.017	-0.010	-0.016	-0.016	-0.017	-0.017	-0.016	1.000	-0.013	-0.010	1.000	-0.017	-0.013	-0.017	-0.017
17	2	SIEMENS VAI METALS TECHNOLOGIES S	-0.019	-0.021	-0.012	-0.012	-0.020	-0.021	-0.012	-0.020	-0.020	-0.021	-0.021	-0.020	-0.017	-0.017	-0.012	-0.017	1.000	-0.017	1.000	1.000
18	2	THRALL CAR MFG CO	-0.015	-0.016	-0.009	-0.009	-0.015	-0.016	-0.009	-0.015	-0.015	-0.017	-0.017	-0.016	-0.013	-0.013	-0.009	-0.013	-0.017	1.000	-0.017	-0.017
19	2	VAI CLECIM	-0.019	-0.021	-0.012	-0.012	-0.020	-0.021	-0.012	-0.020	-0.020	-0.021	-0.021	-0.020	-0.017	-0.017	-0.012	-0.017	1.000	-0.017	1.000	1.000
20	2	VAI CLECIM SAS	-0.019	-0.021	-0.012	-0.012	-0.020	-0.021	-0.012	-0.020	-0.020	-0.021	-0.021	-0.020	-0.017	-0.017	-0.012	-0.017	1.000	-0.017	1.000	1.000

[그림-15] TDA Cross-correlation matrix

- TDA(Thomson Data Analyzer) Cross-correlation matrix를 통한 기술 분포를 살펴보면, **특허출원 건수(Records)가 많은 출원인 TOP 20 中,** 상관관계가 0.5 이상으로 높은 기업은 상호 연계하여 **핵심적으로 해당기술을 선도하는 기업영역**으

로 볼 수 있음

- INVENTIO AG 와 DAIMLERCHRYSLER RAIL SYSTEMS TEC등이 서로 상관관계가 1.000으로 가장 높은 것으로 분석되며, 양사 간에 기술경쟁관계가 가장 밀접하게 연계됨을 판단할 수 있음

- 향후 상호 연계성이 높은 분야를 고려하여, 핵심기업의 경쟁기술 관계를 파악할 필요가 있음

3

논 문 분 석

3 논문 분석

3-1 논문분석 범위

[표-6] 논문 분석 기준

구 분	분석 기준
논문검색 DB	Web of Science, Thomson Innovation
분석구간	1990.01.01.~2015.01.27.
검색범위	Title, Abstract

3-2 기술분류 및 검색 조합식

[표-7] 논문 검색 조합식

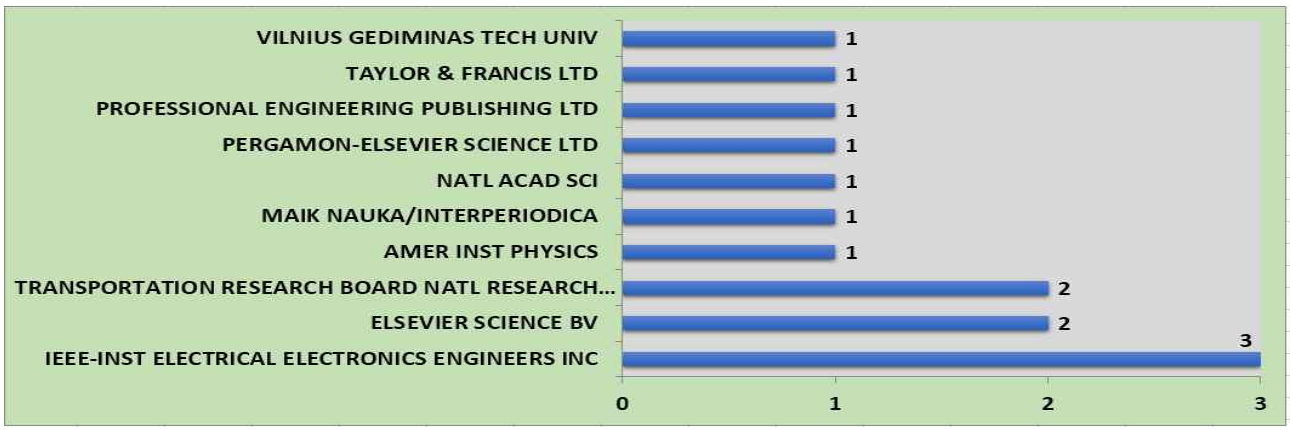
기술구분	검색 조합식	검색 논문	관련 논문
A기술	ALL=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon) or metro)) AND TI=((Operat* or manage* or fee or economic*) near4 (strateg* or SWOT or analy* or system));	49	7
B기술	TI=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or ((rail or motor or trailer) near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon))) AND ALL=(plan or radius or platform or practi*);	3	2
C기술	TI=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon) or metro)) AND ALL=((reduct* or optimizat* or light* or miniaturiz* or (weight near3 reduct*)));	6	3
D기술	TI=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon) or metro)) AND ALL=(Design or manufactur* or product*);	4	1
E기술	TI=(((Double adj deck*) or double*deck* or double*story or doubledeck* or (two adj level*)) AND ((railway or railroad or locomotive or train*1 or (rail near2 (car or vehicle)) or transit or tram or (rolling adj stock) or (rail* adj wagon*) or coach* or railwagon) or	12	1

기술구분	검색 조합식	검색 논문	관련 논문
	metro)) AND ALL=(Performance or test* or assess* or verifi* or interface);		

3-3 논문기술 동향

(1) 주요 등재저널 동향

- 광역철도용 2층 열차 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 **총 14건의 관련 논문**이 발표되고 있으며, **대체적으로 미미한 수준의 논문이 발표되고 있는 실정임**
- 저널별로는 IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC, ELSEVIER SCIENCE BV, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD NATL RESEARCH COUNCIL**등 유럽, 미국의 저널**에서 많은 논문이 발표되고 있음



[그림-16] 주요 등재 저널

(2) 주요 핵심논문 분석

(2-1) 주요 핵심논문 현황

- 펨토세컨드 모드에서 잠금 레이저 펄스(femtosecond mode-locked laser)와 2단계 원자의 상호 작용과 관련된 **Felinto, D (브라질 Univ Fed Pernambuco)의 논문이 피인용 47건**으로 가장 많음
- 기타 **최적화(Optimization)** 등과 관련된 논문이 피인용수가 높은 것으로 보아 관련 내용이 핵심 연구 분야임을 알 수 있음

[표-8] 주요 피인용 논문 현황

번호	논문제목	저 널 명	발표년도	피인용수
1	Coherent accumulation in two-level atoms excited by a train of ultrashort pulses	ELSEVIER SCIENCE BV	2003	47
2	A Subway Train Timetable	IEEE-INST	2013	14

번호	논문제목	저 널 명	발표년도	피인용수
	Optimization Approach Based on Energy-Efficient Operation Strategy	ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC		
3	Stabilization of mode-locked trains, and dark resonance of two-photon lambda-level structures	TAYLOR & FRANCIS LTD	2002	7
4	A TWO-LEVEL APPROACH TO THE PROBLEM OF RAIL FREIGHT CAR FLEET COMPOSITION	VILNIUS GEDIMINAS TECH UNIV	2010	5
5	Response of a double-decked metro tunnel to shield driving of twin closely under-crossing tunnels	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2012	4
6	Productivity analysis in heterogeneous operating conditions - Data envelopment analysis method applied to the US heavy rail industry	TRANSPORTATION RESEARCH BOARD NATL RESEARCH COUNCIL	2004	4
7	Two-level numerical optimization of ride comfort in railway vehicles	PROFESSIONAL ENGINEERING PUBLISHING LTD	2006	3
8	Influence of laser bandwidth and transit time on the excitation probability of a rovibrational two-level system	AMER INST PHYSICS	2003	3
9	Optimization of Multitrain Operations in a Subway System	IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC	2014	2
10	Simulation for influence of train failure on railway traffic flow and research on train operation adjusting strategies using cellular automata	ELSEVIER SCIENCE BV	2011	1

- **최근 3년 內 발표 논문 중 피인용수가 높은 논문(Hot Paper)을** 보면 피인용이 높은 논문은 **도시철도의 에너지 소비를 절감하기 위한 효율적인 운용 및 방법 중 하나로서 최적의 솔루션을 찾기 위해서 계산시간 알고리즘이 실시간 제어를 위한 자동 열차 운전 장치(ATO) 시스템과 관련한** 연구내용이 주로 발표되고 있어 관련 분야 연구가 최근 주목받고 있는 분야임을 알 수 있음

[표-9] 3년 內 발표논문 중 피인용수 높은 논문(Hot Paper) 현황

번호	논문제목	저널명	발표년도	피인용수
1	A Subway Train Timetable Optimization Approach Based on Energy-Efficient Operation Strategy	IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC	2013	14
2	Response of a double-decked metro tunnel to shield driving of twin closely under-crossing tunnels	PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD	2012	4
3	Optimization of Multitrain Operations in a Subway System	IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC	2014	2

(3-2) 주요 핵심논문 심층분석 (사례)

① SCI 논문 : A Subway Train Timetable Optimization Approach Based on Energy-Efficient Operation Strategy

- 저널명 : IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS
- 저 자 : Su, Shuai; Li, Xiang; Tang, Tao; Gao, Ziyou
- 기 관 : Beijing Jiaotong Univ, State Key Lab Rail Traff Control & Safety, Beijing 100044, Peoples R China
- 주요 내용 : 본 연구 결과는 도시철도의 에너지 소비를 절감하기 위한 효율적인 운용 및 방법 중 하나로서 **최적의 솔루션을 찾기 위해서 계산시간 알고리즘을 통해 실시간 제어**를 위한 자동 열차 운전 장치(ATO) 시스템과 관련 연구에 관한 논문임

· 초록 : Given rising energy prices and environmental concerns, train energy-efficient operation techniques are paid more attention as one of the effective methods to reduce operation costs and energy consumption. Generally speaking, the energy-efficient operation technique includes two levels, which optimize the timetable and the speed profiles among successive stations, respectively. To achieve better performance, this paper proposes to optimize the integrated timetable, which includes both the timetable and the speed profiles. First, we provide an analytical formulation to calculate the optimal speed profile with fixed trip time for each section. Second, we design a numerical algorithm to distribute the total trip time among different sections and prove the optimality of the distribution algorithm. Furthermore, we extend the algorithm to generate the integrated

timetable. Finally, we present some numerical examples based on the operation data from the Beijing Yizhuang subway line. The simulation results show that energy reduction for the entire route is 14.5%. The computation time for finding the optimal solution is 0.15 s, which implies that the algorithm is fast enough to be used in the automatic train operation (ATO) system for real-time control.

② SCI 논문 : Response of a double-decked metro tunnel to shield driving of twin closely under-crossing tunnels

- 저널명 : TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACE TECHNOLOGY
- 저 자 : Li, X. G. ; Yuan, D. J.
- 기 관 : Beijing Jiaotong Univ, Sch Civil Engn, Beijing 100044, Peoples R China
- 주요 내용 : 본 연구 결과는 **기존의 터널에서 쉴드(EPB shields) 터널링 유도 효과를 평가하고 유사한 조건 하에서 쉴드드 터널링을 안내하는 기준을 설정**에 관한 연구 논문임

·초록 : Twin tunnels on Shenzhen metro Shekou Line were driven by EPB shields through weathered granite gneiss closely under-crossing a double-decked tunnel embedded in strongly weathered granite gneiss on Luobao Line. The performance of the existing tunnel as affected by under-crossing tunnels was continuously monitored by means of an automatic high-performance total station measuring system. Displacements of the existing tunnel caused by under-crossing tunnels in different under-crossing stages were measured. The measured data were timely processed and fed-back to related operators to realize an information-oriented project. Based on the measured data discussions and analyses were carried out in terms of the impact of the under-crossing shield tunnelling on the existing tunnel, effect of rainfall infiltration on the performance of the existing tunnel, allowable deformations of the existing tunnel, possibility of reducing the number of measuring points in a monitoring cross section and the influence on the existing tunnel caused by twin tunnels. Thanks to the staggered single tunnel under-crossing and other favorable factors, the measured deformations of the existing tunnel were well below the predefined allowable values. Under the guidance of monitoring, the under-crossing project was smoothly completed without interruption of metro traffic. This is a valuable example for evaluating the shield tunnelling induced effects on adjacent existing tunnels and establishing criteria to guide shield tunnelling under similar conditions.

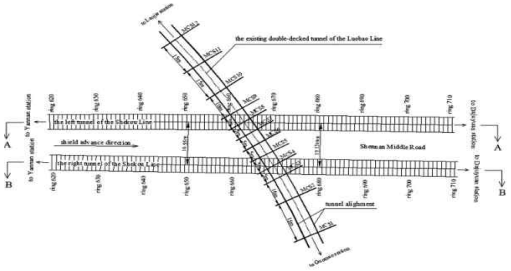


Fig. 1. Plan of construction site

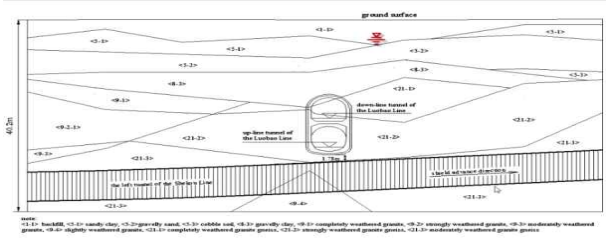


Fig. 2. Section A–A.

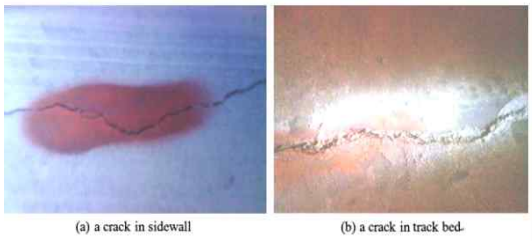


Fig. 3. Cracks in existing tunnel structure.

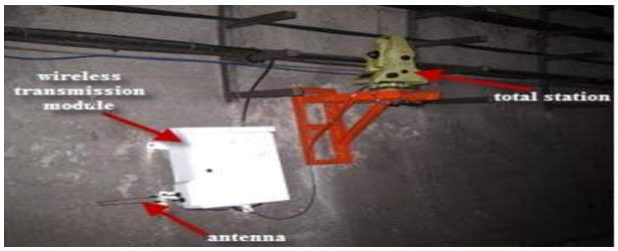


Fig. 4. Automatic monitoring system on tunnel sidewall.

[그림-17] 핵심논문 주요내용

(3-3) 주요 핵심논문 인용 분석

< 분석 지표 설명 >

1. **항목당 평균 인용 수**는 세트의 모든 항목에 대해 평균 인용 논문 수를 계산하는 간단한 공식으로 인용 횟수 합계를 찾은 검색결과 수로 나눈 값임.
(예: 인용 횟수 합계: 967 /찾은 검색결과: 55 = 17.58)
2. **h-index***는 인용 횟수를 기준으로 내림차순으로 순위 지정된 출판물 목록을 기반으로 하고 있어 h-index가 20이면 인용이 20건 이상인 항목이 20개가 있음을 의미하므로 이 지표는 **인용 횟수가 아주 많은 논문이나 인용된 적이 없는 논문의 불균형 비중을 줄이기** 때문에 유용논문 이용을 신뢰성 있게 파악할 수 있음

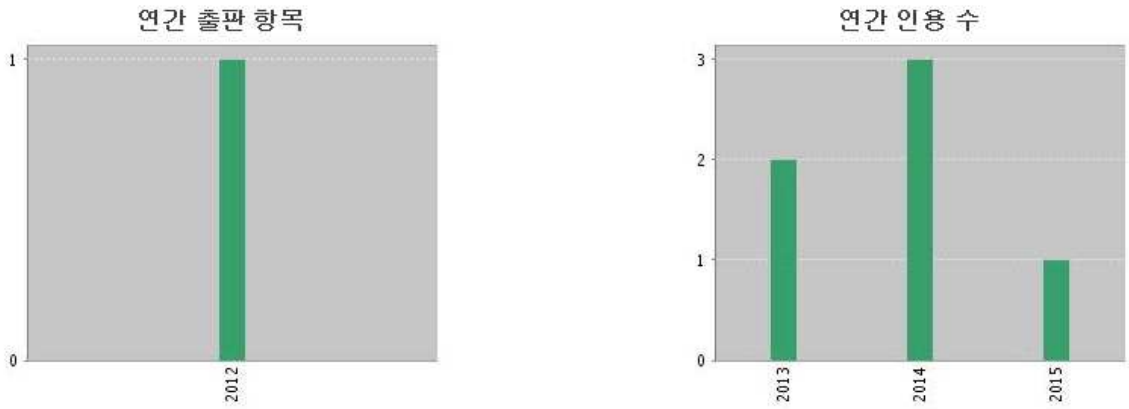
※ h-index는 J.E. Hirsch가 개발하여 2005년 11월 15일 자 Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 102 (46): 16569-16572에 발표

① 주요 핵심논문인 '**A Subway Train Timetable Optimization Approach Based on Energy-Efficient Operation Strategy**'는 색인 SCI-EXPANDED를 포함하여 **인용건수 14건으로 2014년 현재까지 인용횟수 합계 14건으로** 최근 5년간 **연간평균 인용수 4.67건**에 달하고, 또한 자기인용을 제외한 인용논문 합계 14건으로 **항목당 평균 인용수 14, h-index는 1**에 달함



[그림-18] 핵심논문 인용 분석

② 두 번째 주요 핵심논문인 'Response of a double-decked metro tunnel to shield driving of twin closely under-crossing tunnels'는 색인 SCI-EXPANDED를 포함하여 **인용건수 6건으로 최근 5년간 연간평균 인용수 1.50건**에 달하고, 또한 자기인용을 제외한 인용논문 합계 6건으로 **항목당 평균 인용수 6.00, h-index는 1**에 달함



[그림-19] 핵심논문 인용 분석

4

시 장 분 석

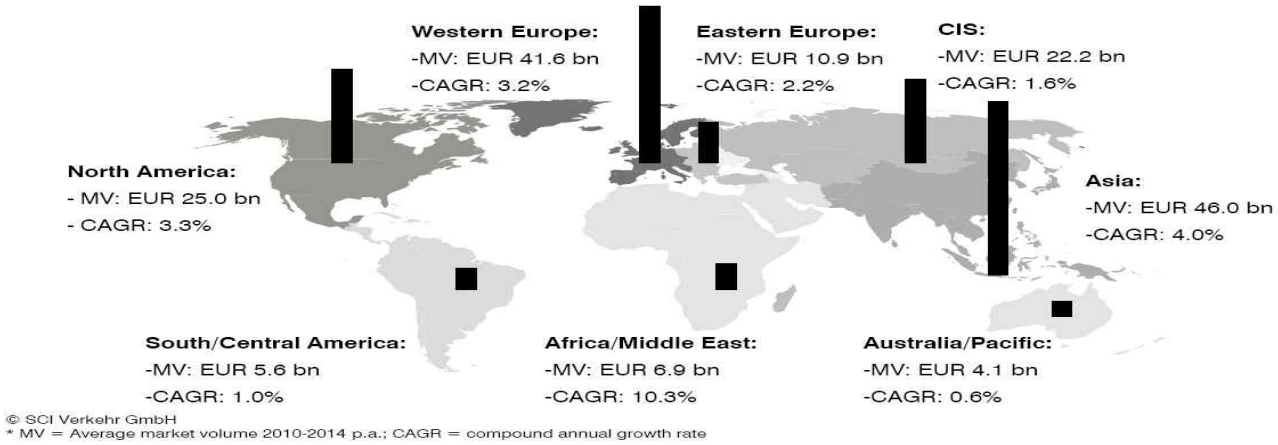
한국철도기술연구원
Korea Railroad Research Institute

4 시장 분석

4-1 시장 현황

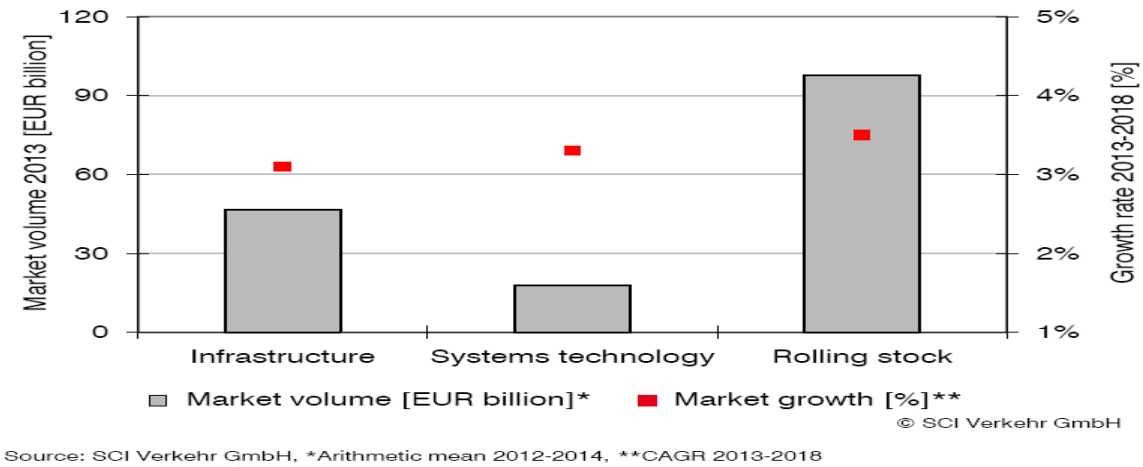
글로벌 철도시장 현황

- 글로벌 철도시장동향을 살펴보면, 아시아지역이 2010년부터 2014년까지 평균시장규모(MV) 460억유로(약 63조원)로 시장규모가 가장 크며 2013년부터 2018년까지 연평균복합성장률(CAGR) 4% 성장할 것으로 예상됨 (출처 : THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)



[그림-20] 2013-2018 글로벌 철도시장 동향

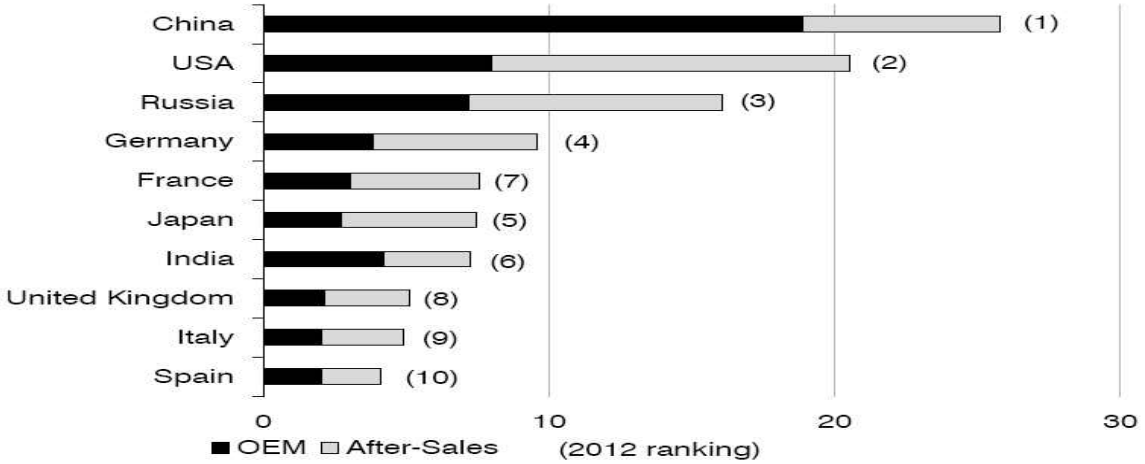
- 글로벌 철도시장 규모는 전체 1,620억유로(약 221조원)로 전체 시장점유율 중 철도차량이 60%를 차지함. 2018년까지 3개 기술군에서 매년 3.4% 소폭 증가할 것으로 예상됨. 향후 도시화, 기후 및 환경적 타겟, 자원요구의 증가 등으로 장기적으로 철도개발 전망은 긍정적임 (출처 : THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)



Source: SCI Verkehr GmbH, *Arithmetic mean 2012-2014, **CAGR 2013-2018

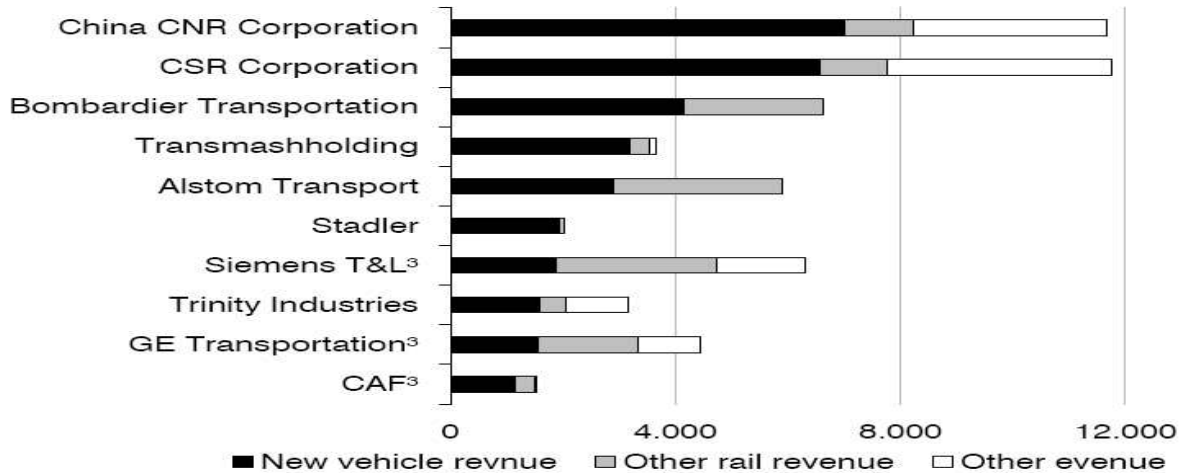
[그림-21] Market volume and market growth by product segment [2013, EUR billion/2013-2018, %]

- 중국 철도시장 규모가 세계 1위로 철도차량관련 판매후(After-sales) 시장이 급속도로 성장하고, 최근에는 고속철도시장에서 도시간 간선철도, 도시철도 및 화물철도로 전환하여 집중되고 있는 실정임. TOP3인 중국, 미국, 러시아 시장이 가장 중요한 철도시장이며, 유럽 철도시장의 경우 긍정적 성장 전망하에 공공부문 투자정책 위주로 추진되고 있으며 스페인만 유일하게 부정적 시장 전망을 내놓고 있음 (출처 : THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)



[그림-22] Top 10 countries by market volume in EUR billion [average 2012-2014]

- 글로벌 철도차량 제작시장은 중국의 북차(CNR)와 남차(CSR)가 세계시장의 1,2위를 차지하며 강력한 경쟁우위를 보이고 있음. 중국의 북차(CNR)와 남차(CSR)는 중국 내수시장만의 주문량으로도 가장 큰 수익을 창출하고 있으며, 유럽의 Alstom과 Bombardier는 시장점유율이 감소하고 Transmashholding 및 Stadler는 Siemens를 앞 지르고 있음. 최근 중국은 내수시장 포화를 대비하고 해외 신규 철도기술 제품시장 수요에 따라 수출 중심의 시장정책으로 전환하고 있는 실정임 (출처 : THE WORLDWIDE MARKET FOR RAILWAY INDUSTRIES 2014, SCI Verkehr GmbH, September 2014)



[그림-23] Top 10 countries by market volume in EUR billion [average 2012-2014]

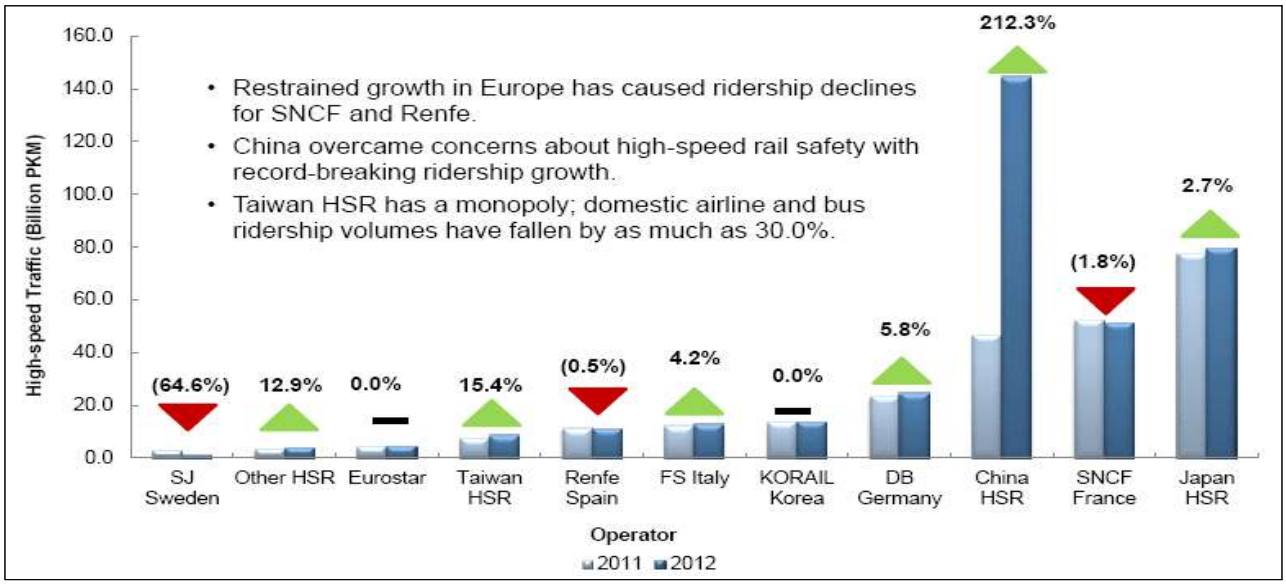
글로벌 고속철도시장 현황

- 글로벌 고속철도 시장에서, 유럽에서 제작되는 모델이 현재의 세계시장을 선도하고 있으나, 향후 중국과 일본 제작모델과의 경쟁이 가속화할 것으로 기대됨. 중국은 현재 자국 CRH모델 시리즈로만 구매를 하고 있으며, 일본 Hitachi는 영국에 합자회사인 Agility trains를 설립하여, 영국철도차량에 대한 독점권을 형성한 것으로 보여짐 (출처 : Executive Analysis of the Global Rail Industry 2014, Frost & Sullivan, 2014. 7)



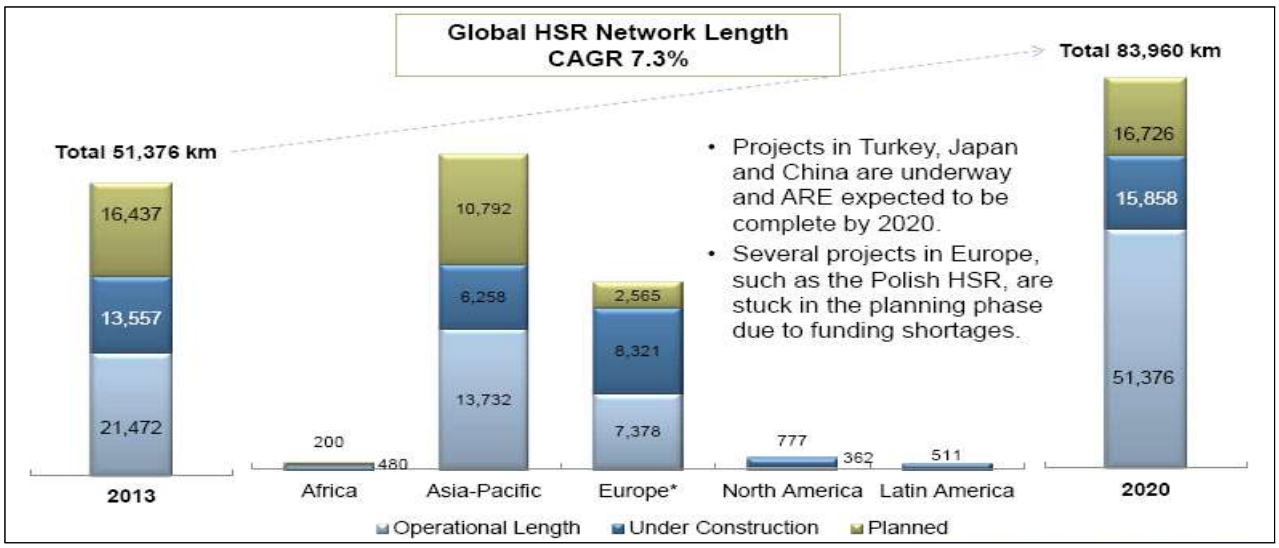
[그림-24] Rail Market : Market Positioning Of HSR Rolling Stock by Orders and Delivery Date, Global, 2012~2020

- 중국의 고속철도 여객수송이 2011~2012년에 급등하였으며, 스페인과 프랑스는 다소 감소한 것으로 나타남. 유럽의 경제위기가 SNCF, Renfe에서 여객수송 감소를 초래한 것으로 보이며, 중국은 기록적인 여객수송 증가에 따라 고속철도 안전에 대한 우려를 불식시킨 것으로 보임 (출처 : Executive Analysis of the Global Rail Industry 2014, Frost & Sullivan, 2014. 7)



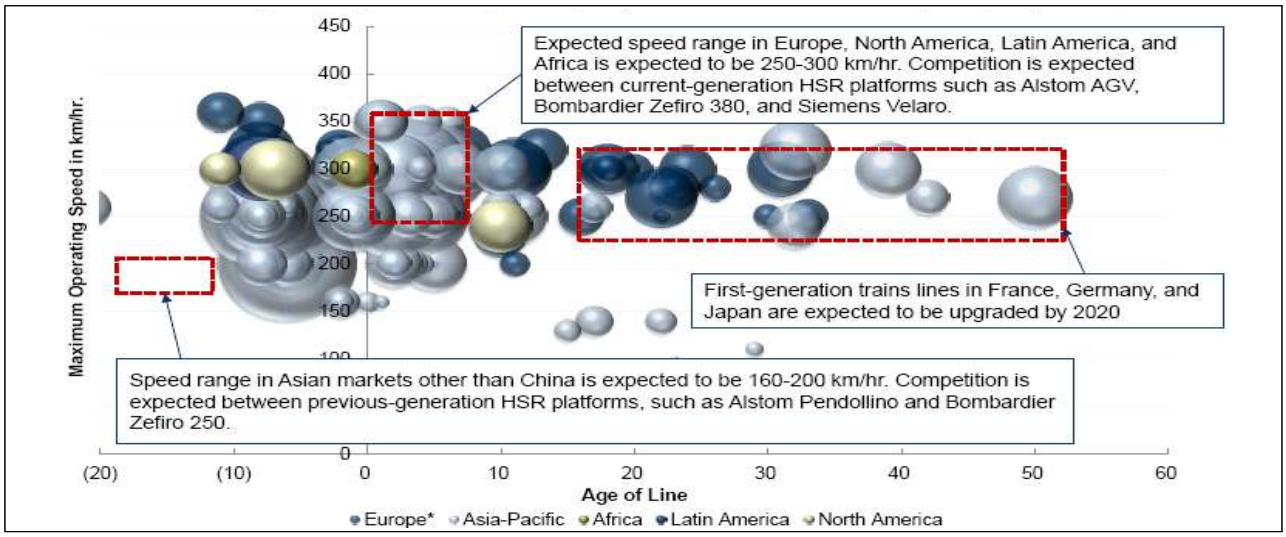
[그림-25] Rail Market : Top High-Speed Rail Operators, Global, 2011~2012

● 글로벌 고속철도 투자의 81.6%가 아시아·유럽지역에 집중되어 있으며, 2013년 2,278억 달러에서 2020년 2,466억 달러까지 투자가 확대될 것으로 예측됨. 2013년 총 연장 51,376km에서 年 평균 7.3% 성장하여, 2020년 83,960km로 성장할 것으로 예측됨 (출처 : Executive Analysis of the Global Rail Industry 2014, Frost & Sullivan, 2014. 7)



[그림-26] Rail Market : Length of High-Speed Rail Infrastructure by Region, 2013 and 2020

● 프랑스, 독일, 일본이 고속철도 차량과 인프라에서 1세대를 형성해왔으며, 2020년까지 업그레이드가 이루어질 것으로 기대되며, 중국은 2020년 이후 고속철도 세계동향을 지배할 것으로 기대됨. 유럽, 북미, 남미, 아프리카에서 는 250~300km/h 속도의 고속철도가 기대되며, 現 고속철도 플랫폼을 형성하는 Alstom AGV, Bombardier Zefiro 380, Siemens Velaro 間 경쟁이 예상됨. 중국을 제외한 아시아지역에서는 160~200km/h 속도의 철도가 기대되며, 과거 고속철도 플랫폼을 형성했던 Alstom Pendolino, Bombardier Zefiro 250 間 경쟁이 예상됨.(출처 : Executive Analysis of the Global Rail Industry 2014, Frost & Sullivan, 2014. 7)



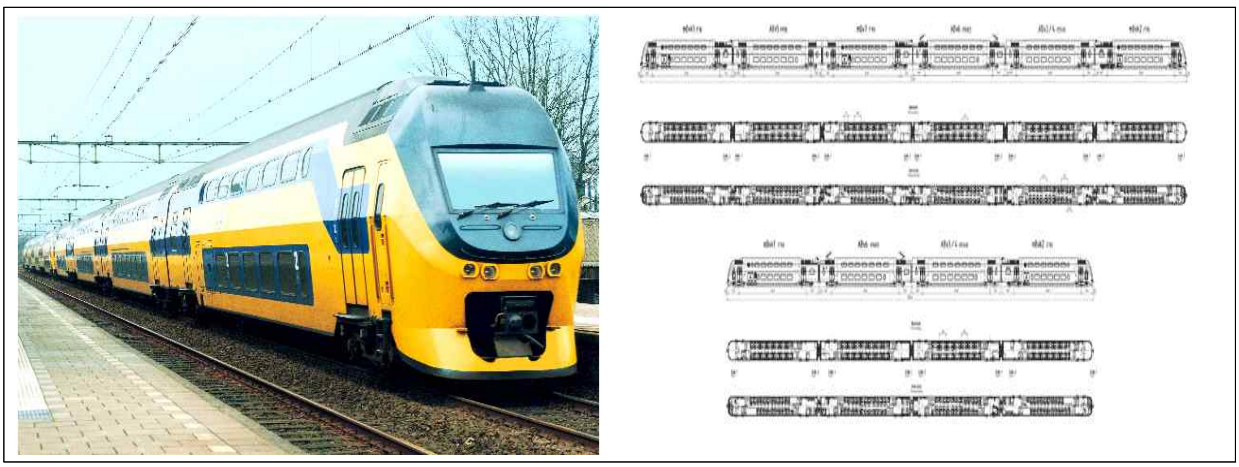
[그림-27] Rail Market : Length vs. Speed vs. Age of High-Speed Rail Infrastructure by Region, Global, 2013

해외 2층 준고속열차 현황

[표-10] Bombardier EMU 2층 열차 비교

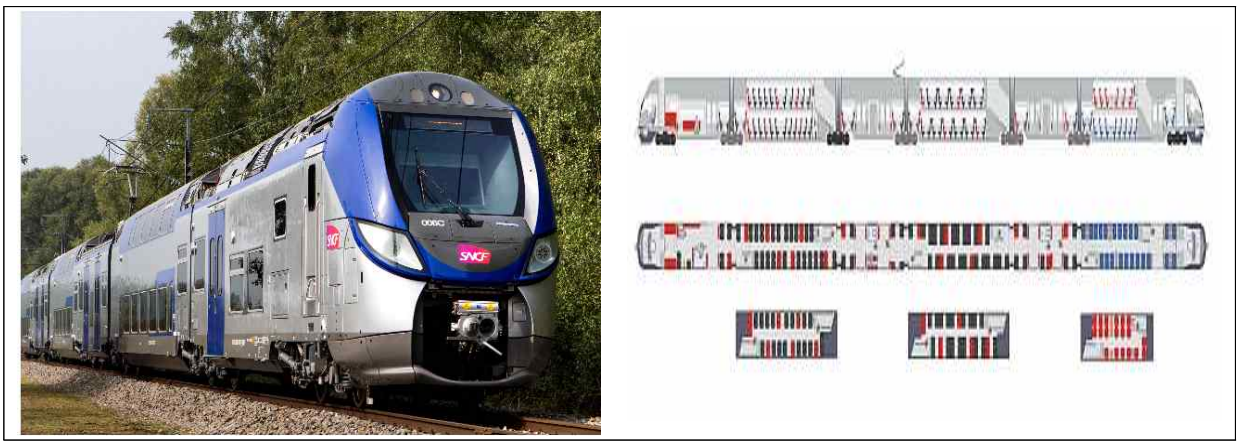
Operator	NS Reizigers BV	OMNEO	Swiss Federal Railways (SBB)
Length	108,560 mm (4-car unit)	80 to 135 m	200.6m (8-cars)
Width	3,020 mm	2,990 mm (double-deck cars) 3,050 mm (single-deck cars)	2,800 mm
Max. Speed	160 km/h	140 km/h - 200 km/h	200 km/h
Seated Passenger	407	360 to 780 (depending of length and seating arrangement)	625
Standees	186 (4 pass/m2)	680 to 1380 (depending of length and seating arrangement)	-

- 네덜란드 철도운영사 NS Reizigers의 VIRM EMU는 4량 편성의 시속 160km/h대의 2층 열차로서 좌석 수용량이 407석에 달함. 특히 VIRM은 낮은 소음 레벨, 완벽한 공조시스템, 일반 및 대면 좌석 배치, 투명 파티션과 수하물 및 자전거 적재 공간등 열차승객에게 많은 편리성을 제공함 (※ 출처 : Double-deck Electric Multiple Units, http://www. bombardier.com, bombaridier)



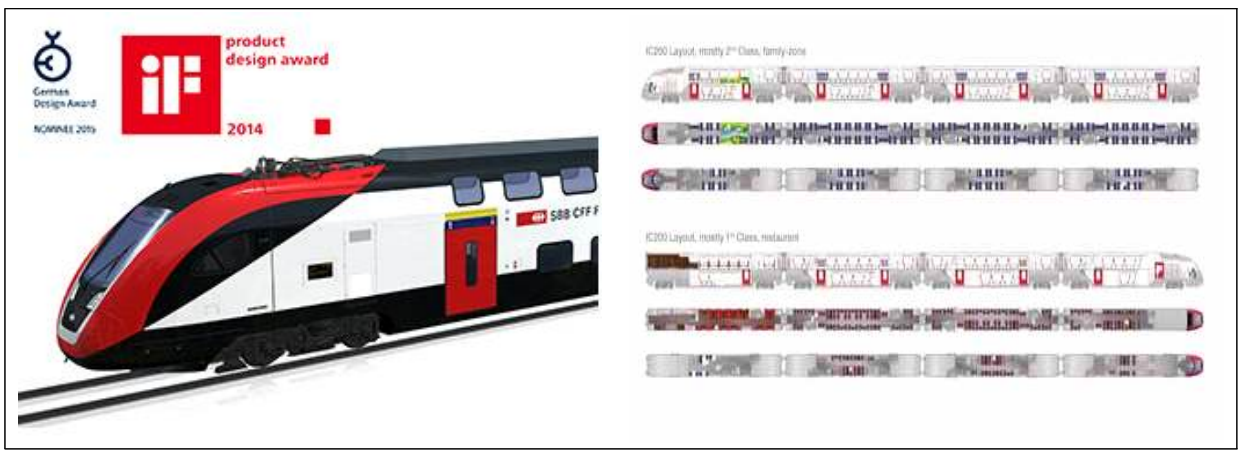
[그림-28] Double-Deck EMU VIRM - Netherlands

- 프랑스 OMNEO EMU는 시속 160km/h ~ 200Km/h로 운행되는 2층 열차로서 좌석 수용량이 360석~780석에 달함. 특히 OMNEO EMU는 세계 최초의 관절(articulated) 2층 열차로서 1층열차와 2층 열차를 기능을 달리하여 운영하고 있음(출처 : Double-deck Electric Multiple Units, http://www.bombardier.com, bombaridier)



[그림-29] OMNEO Platform - France

- 스위스 연방 철도(SBB)의 TWINDEXX 익스프레스는 2층 전기동차(EMU; Electric Mutiple Unit)로 4~8량으로 구성되어 있으며 최대 16량까지 확장할 수 있어 좌석 수용량이 625석에 달함. 또한, 최대 230Km/h의 준고속 차량으로 도시간 160Km/h ~ 189Km/h로 운행되고 있음. TWINDEXX 익스프레스는 MITRAC 영구자석 모터, ThermoEfficient 실내공기조절(Climatisation) 시스템, 에너지 관리 통제 시스템 등 ECO4 에너지 저장 기술들을 적용하여 소비전력 10%를 저감하고, FLEXX Tronic bogie platform의 일부 기술인 FLEXX TronicWAKO system 틸팅 기술을 적용하여 커브곡선에서 15% 속도를 향상시키고 있음(출처 : Double-deck Electric Multiple Units)



[그림-30] TWINDEXX Express Double-deck Trains, Switzerland

해외 2층 고속열차 현황

[표-11] 해외 2층 고속열차

Operator	SNCF TGV Duplex
Length	200m
Height	4,320mm
Max. Speed	320km/h (test: 350km/h)
Passenger	1,268 passengers

- 프랑스 SNCF TGV Duplex 기종인 Euroduplex 2층 열차는 시속 320km/h로 세계에서 가장 빠른 2층 고속 열차로서 현재 한번에 1,268명의 승객을 수송할 수 있는 장점을 갖고 있음. Euroduplex는 1층 열차의 20~40% 이상의 수송능력을 갖고 있으며, 1996년 이후 160대이상의 Duplex 차량이 5개 나라, 5개 국경지역에서 서비스 운행을 하고 있음 (※ 출처 : Euroduplex very high-speed train, http://www. Alstom.com, Alstom)

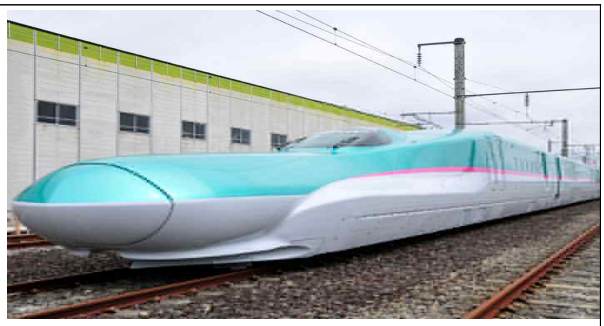


[그림-31] Euroduplex high-speed train - France

- 일본 JR East(East Japan Railway Company)는 신간센에서 지난 30년동안 운행하던 모든 고속 2층 열차를 속도 향상을 위해 은퇴시키고 있음. 2012년 MAX라 불리는 E4시리즈가 Tohoku Shinkansen에서 은퇴하고, E1시리즈는 완전히 은퇴하였음. E4시리즈는 2016년까지 완전히 은퇴하고 더 이상 2층 열차 운행계획은 없으며 1층 고속열차인 E5시리즈로 대체될 전망임 (※ 출처 : In need for speed, JR East retiring all double-decker Shinkansen, The Asahi Shinbun, June 06, 2014)



E4 series (240km/h_2층)



E5 series (320km/h_1층)

[그림-32] double-decker Shinkansen - Japan

- 모로코 ONCF(Moroccan National Railways)는 2010년 Alstom사로부터 TGV-Duplex타입 14대(10량 1편성)를 4억유로(약 4,956억원)에 계약하여 현재 2대의 차량이 프랑스에서 시험을 완료하였고 우선 2015년 2월에 모로코로 운송될 예정임. ONCF는 Tangiers-Kenitra 구간에 걸쳐 200km/h대 고속철도 인프라 공사를 구축중에 있으며, 기존선인 Casablanca 노선을 업그레이드하여 Tangiers - Casablanca구간에서 320m/h로 운행하여 기존 4시간 45분대에서 2시간 10분대로 줄일 예정임 (※ 출처 : French and Moroccans sign TGV maintenance deal, International Railway Jounal, 2015. 1. 9)



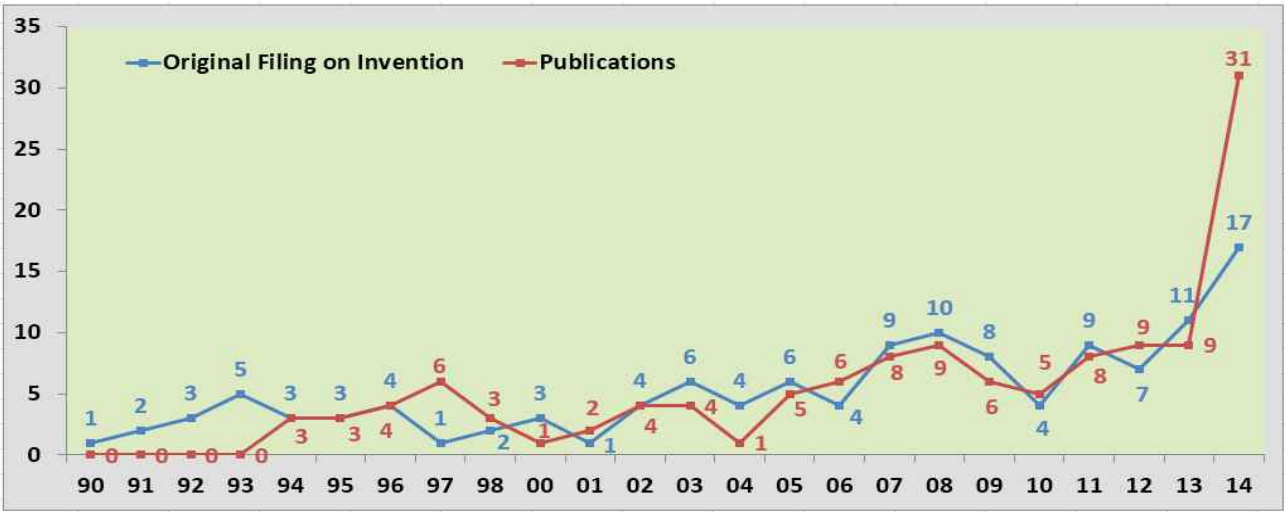


[그림-33] ONCF TGV Duplex - Moroco

4-2 시장 발전단계

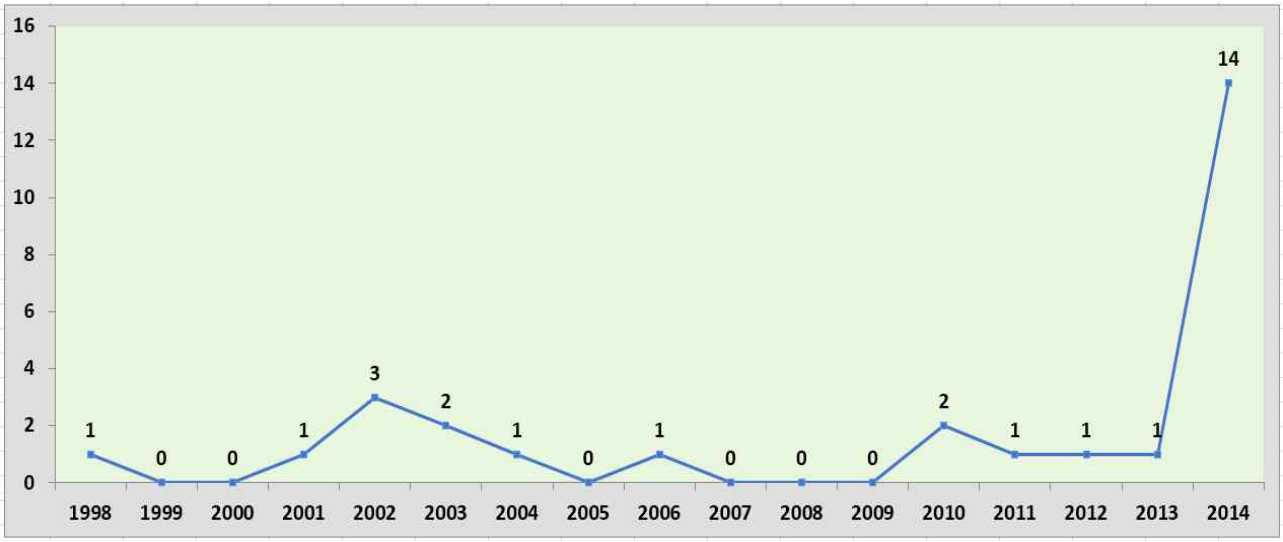
- 광역철도용 2층 열차 분야의 **특허 출원/공개 추이 및 논문 발표추이를 통해 시장 발전단계 위치를 추정**해 보면, 전반적으로는 기술 도입이후 **특허기술 관점에서 2013년 이후 성장기로 진입을 하여 활발한 기술발전이 이뤄지고 있어 성장기로 판단**할 수 있음
  - 광역철도용 2층 열차 분야의 **특허 출원/공개 추이**를 보면 90년대 초반부터 등락을 반복하며 **특허출원이 증감을 반복하는 추세**에 있다가 **2007년 이후 급격이 기술이 성장하는 단계에 진**입하였음. 특히 2012년 이후 출원대비 **해외 공개기술이 더**

많이 나타나는 것을 볼 때 최근 **해외시장에서 중요한 기술로 부각**되고 있는 양상을 보이고 있음



[그림-34] 특허기술 연계 기술발전 추이

- 광역철도용 2층 열차 분야의 논문 발표추이를 보면 일부 감소한 구간도 있지만, 2000년대 이후 학술연구가 1~3건씩 서서히 이루어지면서 **전반적으로 우상향하는 추세를 보이고 있어, 최근 3년간의 특허기술과 연계해 볼 때 2013년 이후 증가세를 보이고 있어 성장기에 있는 기술 분야임을 추정 할 수 있음**



[그림-35] 논문 발표 연계 기술발전 추이

5

종 합 결 론

한국철도기술연구원
Korea Railroad Research Institute

5 종합 결론

5-1 특허분석 결론

- 광역철도용 2층 열차 분야의 특허동향을 살펴보면, 1990년부터 **현재까지 총 127건의 관련 유효특허가 출원**되고 있으며, **중국이 54%(68건)로 최다**이며, 유럽, 일본, 미국, 한국의 순으로 출원되고 있음. 우우리나라는 2012년 이후 출원 특허가 전체 특허의 대부분을 차지하는 등 최근 관련 분야 관심이 증가하고 있다고 보여짐

- 세부 기술별로 보면, **광역철도용 2층 열차 실용화 모델(B기술)이 38%(48건)로 가장 많이 출원되고 있으며, 2005년 이후 광역철도용 2층 열차 설계 및 제작기술(D기술)의 특허가 지속적으로 증가 추세**에 있음. **특허를 많이 출원한 상위 5 출원인**(Top 5 Assignee)을 살펴 보면, **BOMBARDIER TRANSP GMBH, ALSTOM, TOSHIBA, INVENTIO, SIEMENS 등이 많은 출원**을 하고 있음. 이 분야 다 출원인들은 BOMBARDIER, ALSTOM, TOSHIBA, SIEMENS를 제외하고 대부분 자국 특허에 국한되어 출원한 것을 통해, 국제 기술 경쟁이 가속화하지는 않은 것으로 보여짐

- 출원국가별 세부기술 특허분포를 살펴보면, **유럽, 중국이 광역철도용 2층 열차 실용화 모델(B기술) 분야 특허가 많이** 나타나고 있음. B기술 분야는 **유럽이 가장 많은 특허를 출원**하고 있는 것으로 나타남. 최다 출원국가인 **중국의 경우도 광역철도용 2층 열차 실용화 모델(B기술) 특허를 가장 많이 출원** 하고 있음

- 지수 분석을 통해 국가별 경쟁력을 비교해보면, 해외 특허 시장확보력을 의미하는 **시장 확보지수(PFI)는 해외 출원 Family Patent가 많은 유럽이 높게** 나타나고 있으며, 원천/핵심 특허 보유와 관련이 높은 **인용도지수(CPP) 및 영향력지수(PII)** 및 양적 수준(특허건수)을 고려한 **기술력지수(TS)에서는 미국이 가장 높은 경쟁력**을 나타내고 있음. 이를 통해 볼 때, 향후 연구를 진행함에 있어 **質的으로 가장 우수한 미국 특허를 중심으로 세부 선행기술을 분석**하는 것이 필요할 것으로 판단됨

- 한국의 경우 특허건수, 시장확보력, 인용도 등 기술영향력과 관계된 **대부분의 지수에서 전무한 수준**을 보이고 있어 **향후 관련 분야 기술 확보가 시급히 요구**되는 상황임

- 유효특허 127건에 대한 Text mining을 통해 핵심 연구영역을 살펴보면, **Shaft/Wheel/Speed, Monitoring/Traffic/Sensor, Floor/Compartment /Level 등의 Text**가 특허 청구항 등에 많이 나타나고 있어, **해당 분야에 대한 기술 집중**

도가 높은 것으로 볼 수 있음. 특히 2014년에 출원된 최신 특허들을 보면 Automatic transmission loading spectrum collecting and compiling method used for indoor bench test, Train broadband communication network architecture suitable for railway vehicle 등 **광역철도용 2층 열차의 성능 검증 기술과 인터페이스 기술(E기술)**과 관련된 **기술이 최근 추세**임을 알 수 있음

5-2 논문분석 결론

- 광역철도용 2층 열차 분야 논문 추이를 살펴보면, 1990년부터 현재까지 **총 14건의 관련 논문**이 발표되고 있으며, **대체적으로 미미한 수준의 논문이 발표되고 있는 실정임**

- 저널별로는 **IEEE-INST ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS INC, ELSEVIER SCIENCE BV, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD NATL RESEARCH COUNCIL등 유럽, 미국의 저널**에서 많은 논문이 발표되고 있음

- **최근 3년 內 발표 논문 중 피인용수가 높은 논문(Hot Paper)을** 보면 피인용이 높은 논문은 **도시철도의 에너지 소비를 절감하기 위한 효율적인 운용 및 방법 중 하나로서 최적의 솔루션을 찾기 위해서 계산시간 알고리즘이 실시간 제어를 위한 자동 열차 운전 장치(ATO) 시스템과 관련한** 연구내용이 주로 발표되고 있어 관련 분야 연구가 최근 주목받고 있는 분야임을 알 수 있음

5-3 시장분석 결론

- 글로벌 철도시장동향을 살펴보면, 아시아지역이 2010년부터 2014년까지 평균시장규모(MV) 460억유로(약 63조원)로 시장규모가 가장 크며 2013년부터 2018년까지 연평균복합성장률(CAGR) 4% 성장할 것으로 예상됨

- **글로벌 철도시장 규모**는 전체 1,620억유로(약 221조원)로 전체 시장점유율 중 철도차량이 60%를 차지함. 2018년까지 3개 기술군에서 매년 3.4% 소폭 증가할 것으로 예상됨. 향후 도시화, 기후 및 환경적 타겟, 자원요구의 증가 등으로 장기적으로 철도개발전망은 긍정적임

- 글로벌 고속철도 시장에서, 유럽에서 제작되는 모델이 현재의 세계시장을 선도하고 있으나, 향후 중국과 일본 제작모델과의 경쟁이 가속화할 것으로 기대됨. 중국은 현재 자국 CRH모델 시리즈로만 구매를 하고 있으며, 일본 Hitachi는 영국에 합자회사인 Agility trains를 설립하여, 영국철도차량에 대한 독점권을 형성한 것으로 보여짐

- **중국의 고속철도 여객수송**이 2011~2012년에 급등하였으며, 스페인과 프랑스는 다소 감소한 것으로 나타남. 유럽의 경제위기가 SNCF, Renfe에서 여객수송 감소를 초래한 것으로 보이며, 중국은 기록적인 여객수송 증가에 따라 고속철도 안전에 대한 우려를 불식시킨 것으로 보임

- 프랑스, 독일, 일본이 고속철도 차량과 인프라에서 1세대를 형성해왔으며, 2020년까지 업그레이드가 이루어질 것으로 기대되며, 중국은 2020년 이후 고속철도 세계동향을 지배할 것으로 기대됨. 유럽, 북미, 남미, 아프리카에서 는 250~300km/h 속도의 고속철도가 기대되며, 現 고속철도 플랫폼을 형성하는 Alstom AGV, Bombardier Zefiro 380, Siemens Velaro 間 경쟁이 예상됨. 중국을 제외한 아시아지역에서는 160~200km/h 속도의 철도가 기대되며, 과거 고속철도 플랫폼을 형성했던 Alstom Pendollino, Bombardier Zefiro 250 間 경쟁이 예상됨

- **스위스 연방 철도(SBB)**의 TWINDEXX 익스프레스는 2층 전기동차(EMU; Electric Mutiple Unit)로 4~8량으로 구성되어 있으며 최대 16량까지 확장할 수 있어 좌석 수용량이 625석에 달함. 또한, 최대 230Km/h의 준고속 차량으로 도시간 160Km/h ~ 189Km/h로 운행되고 있음. TWINDEXX 익스프레스는 MITRAC 영구자석 모터, ThermoEfficient 실내공기조절(Climatisation) 시스템, 에너지 관리 통제 시스템 등 ECO4 에너지 저장 기술들을 적용하여 소비전력 10%를 저감하고, FLEXX Tronic bogie platform의 일부 기술인 FLEXX TronicWAKO system 틸팅 기술을 적용하여 커브곡선에서 15% 속도를 향상시키고 있음

- **모로코 ONCF(Moroccan National Railways)**는 2010년 Alstom사로부터 TGV-Duplex타입 14대(10량 1편성)를 4억유로(약 4,956억원)에 계약하여 현재 2대의 차량이 프랑스에서 시험을 완료하였고 우선 2015년 2월에 모로코로 운송될 예정임. ONCF는 Tangiers-Kenitra 구간에 걸쳐 200km/h대 고속철도 인프라 공사를 구축중에 있으며, 기존선인 Casablanca 노선을 업그레이드하여 Tangiers - Casablanca구간에서 320m/h로 운행하여 기존 4시간 45분대에서 2시간 10분대로 줄일 예정임

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.