

최종본 .09년

미래철도사업 최종보고서 요약

R&D/08 미래철도 기획B01

Construction & Transportation R&D Report

수송력 향상 철도시스템 기술개발 기획 최종보고서 (총괄)

2008. 11. 7.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

수송력 향상 철도시스템 기술개발 기획 최종보고서 (총괄)

2008. 11. 7.

주관연구기관 / 한국철도기술연구원

국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

제 출 문

국토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

본 보고서를 “수송력 향상 철도시스템 기술개발 기획(총괄)”의 최종 보고서로 제출합니다.

2008.11.7.

주관연구기관 : 한국철도기술연구원
주관연구기관장 : 최 성 규

■ 주관연구기관 연구책임자	/ 책임연구원	유원희	총괄
■ 주관연구기관 참여연구원	/ 선임연구원	문형석	총괄
	/ 책임연구원	함영삼	고속화차
	/ 책임연구원	이찬우	고속화차
	/ 책임연구원	허현무	고속화차
	/ 선임연구원	이동형	고속화차
	/ 선임연구원	박준혁	고속화차
	/ 선임연구원	민재홍	고속화차
	/ 책임연구원	문대섭	철도연계
	/ 선임연구원	노학래	철도연계
	/ 선임연구원	오석문	철도연계
	/ 선임연구원	이 준	철도연계
	/ 주임연구원	김경민	철도연계
	/ 선임연구원	김동희	철도연계
	/ 책임연구원	구동희	Flexible운용
	/ 수석연구원	양신추	Flexible운용
	/ 책임연구원	이재호	Flexible운용
	/ 책임연구원	홍순흠	Flexible운용

■ 자문위원	/ 한국철도공사	연구원	정인수	총괄
	/ 한국철도공사	연구원	최성균	총괄
	/ 한국철도공사	연구원	이영엽	총괄
	/ 한성대학교	교수	남두희	고속화차
	/ 서울시립대학교	교수	박동주	고속화차
	/ 서울산업대학교	교수	이희성	고속화차
	/ 한국철도공사	물류차량팀장	박승언	고속화차
	/ 한국철도공사	물류수송팀장	윤양수	고속화차
	/ 교통개발연구원	연구원	김연규	철도연계
	/ 우송대학교	교수	이용상	철도연계
	/ 서울산업대학교	교수	이종우	Flexible운용
	/ 홍익대학교	교수	지인호	Flexible운용
	/ 서울메트로	센터장	정수영	Flexible운용

목 차

개 요	1
제 1 편 화물 수송력 증대를 위한 고속화차 기술개발 기획 분야	3
제 1 장 서론	3
제 2 장 국내·외 기술개발 현황	3
1. 국내의 연구개발 및 운용현황	3
2. 해외의 연구개발 현황	4
3. SWOT 분석	5
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	6
1. 고속화차 특허MAP	6
2. 소요기술 분석	7
3. 소요인력 및 예산분석	9
4. 경제성 분석	22
5. 연구과제 RFP	22
제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	28
제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획	29
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	30
제 7 장 참고문헌	31

제 2 편 철도중심의 수송력 증대를 위한 최적의 철도연계시스템 구축 기술개발 기획 분야

제 1 장 서론	32
1. 연구개발의 필요성	32
2. 기획연구의 방향	32
3. 연구개발의 경제적 타당성 분석	32
제 2 장 연구개발의 중요성 및 국내외 기술현황 분석	34
1. 국내 관련정책 및 연구개발 중복성 검토	34
2. 국내외 기술개발 현황	37
3. SWOT 분석 및 국내 핵심기술 수준분석	40
제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과	43
1. 기획연구의 최종목표	43
2. 세부과제 정의 및 범위 설정	44
3. 연구개발 추진체계	46
4. 소요인력 및 예산분석	47
5. 연구과제 RFP	22
제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	52
제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획	54

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	61
제 7 장 참고문헌	62

제 3 편 Flexible 열차운영을 위한 기술개발 [FTO system 개발] 기획 분야

제 1 장 서론	64
1. Flexible 운영 정의 및 분야	65
2. 연구의 최종목표	66
제 2 장 국내외 관련 기술 조사 및 연구 동향	67
1. 국외동향	67
2. 국내동향	67
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	67
1. 시스템 개발 방향 및 목표	67
2. 주요 개발 항목 및 내용	68
3. 연구개발 소요예산 내역	72
4. 시범사업을 위한 현 운행노선 분석	74
5. 연구과제 RFP	22
제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도	79
제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획	80
제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보	81
제 7 장 참고문헌	82

<표 차례>

Table 1.3.1 조사 특허 기술 분류	7
Table 1.3.2 철도화물 고속화 기술 분류	8
Table 1.3.3 분야별 필요 연구인력 현황	13
Table 1.3.4 주요 소요예산 내용	14
Table 1.3.5 경제성 분석 결과	27
Table 2.2.1 SWOT분석: 세부과제 1	40
Table 2.2.2 SWOT분석: 세부과제 2	41
Table 2.2.3 세계 최고수준의 기술 대비 국내수준의 기술	42
Table 2.3.1 요소기술별 핵심역량 기관	46
Table 2.3.2 투입인력 내역	48
Table 2.3.3 사업 예산 총괄	49
Table 2.3.4 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 1-1	49
Table 2.3.5 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 1-2	50
Table 2.3.6 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 1-3	50
Table 2.3.7 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 2-1	50
Table 2.3.8 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 2-2	51

Table 2.5.1 연구결과의 최종 활용방안	60
Table 2.6.1 해외 관련 프로그램	61
Table 3.3.1 단계별 연구개발 목표 및 내용	70
Table 3.3.2 분야별 필요 연구인력 투입 과제	73
Table 3.3.3 과제별 필요 인건비 및 예상 M-year	74
Table 3.3.4 금정역 열차 운행 현황(예)	75
Table 3.3.5 천안 방향 열차 편성 수	76
Table 3.3.6 경부선 과천선 이용자의 금정역 환승실적	76

<그림 차례>

Fig. 1.3.1 화물 중별 수송실적 추이	23
Fig. 2.1.1 통행시간(차외) 절감 효과	33
Fig. 2.1.2 통행시간(차내) 단축 효과(2008년 기준)	33
Fig. 2.2.1 열차운행계획 수립체계에 따른 시스템자원 현황	36
Fig. 2.2.2 JR 동일본 신칸센의 사례	37
Fig. 2.2.3 PETER: 네덜란드의 철도연계 및 지연평가 프로그램	38
Fig. 2.3.1 철도연계 최적화 시스템 기본구성	43
Fig. 2.3.2 철도연계 최적화 시스템 최종 이미지	44
Fig. 2.3.3 사업 추진체계	47
Fig. 3.3.1 Flexible 열차운용 예	65
Fig. 3.3.2 도시철도네트워크의 구성	65
Fig. 3.3.3 차량편성 예	65
Fig. 3.3.4 열차주행 중 결합 및 분리	66
Fig. 3.3.5 좁은 공간에서의 분기기 설치방법	66
Fig. 3.3.6 금정역 선로 이용 현황(예)	75
Fig. 3.3.7 금정역 주변 선로	75
Fig. 3.3.8 금정역에서의 환승수요	77
Fig. 3.3.9 열차분리 결합 모델 및 적용가능 노선	78

개 요

정부는 2004년 4월 경부고속철도의 개통과 더불어 승객의 운송은 고속철도를 위주로 하고, 화물운송은 기존선을 위주로 하는 정책을 제시한 바 있다. 이러한 상황에서 기존선에서 화물열차가 효율적으로 운행되기 위해서는 화차의 속도를 고속화시킬 필요성이 대두되고 있으며, 이는 철도기술연구원의 사전 검토결과 최고속도가 150km/h 이상인 화차가 필요한 것으로 판단되었다. 따라서 경부고속철도 개통에 따른 기존선의 화물운송 전용화 효과를 최대화하기 위해서는 가능한 빠른 시기에 고속화차의 개발/투입이 필수적인 것으로 판단된다.

한편, 최종 목적지에 대한 양호한 접근성은 개인 교통수단의 실질적 장점중의 하나이다. 대중 교통시스템의 경우에도 해당 대중 교통수단을 이용하여 희망하는 모든 목적지에 다다를 수 있도록 네트워크가 구성되기를 요구하나, 목적지에 대한 접근성을 극대화함에 있어 목표상의 상충이 발생할 수 있다. 즉, 경제적/운영적 측면에서 대중 교통서비스는 간선 교통류에 집중적으로 제공되어야 하나, 또 다른 측면에서 교통수요가 적은 지역에 대해서도 직통연결 또는 가능한 한 네트워크 진입 및 접속지점에서 서로 연계되는 서비스가 제공되어야 한다는 것이다.

대규모 철도망에서는 수많은 종류의 서로 다른 열차가 모든 방향으로 서로 다른 지역을 경유하여 운행되며, 승객들은 직통열차를 이용하여 최종 목적 역에 바로 도착하기도 하나, 또 다른 승객들은 최종 목적 역에 도착하기 위해 다른 열차로 여러 번 환승하기도 한다. 이러한 환승은 철도 중심 역(railway center or junction)에서 동일한 등급의 열차노선망 또는 이를 보완하는 노선망 사이의 열차 간에 이루어진다. 승객에게 있어 환승은 불편하고 시간 소모적인 과정이므로 최적의 직통/환승연계 열차네트워크 개발과 환승역의 구내배선 및 환승시설의 신중한 계획과 구성은 환승연계 서비스 시스템이 적절한 기능을 발휘하기 위한 전제조건이 되며, 환승역의 구조 및 정차 플랫폼의 위치에 따른 최소 환승시분 및 지체패턴 등을 고려하여 승객에게 환승의 불편함을 최소화해주고 가능한 여행시간을 줄일 수 있는 열차시각표 작성이 필요하다.

열차시각표 상의 환승시간이나 연계 열차를 기다리는 대기시간이 너무 짧게 설정될 경우 고객에게 열차 연계서비스를 확실히 보장할 수 없으며 해당 고객은 다음 연계 열차를 기다려야 하는 불편함을 감수해야 한다. 한편, 대기 시간이 너무 길게

설정될 경우 통과승객의 여행시간이 길어지는 결과를 가져오게 되므로 열차 간 연계 서비스 도입 시 연계 기능을 확실히 보장하는 동시에 통과 및 환승객의 편의를 최적화 할 수 있는 완충시간 및 대기시간의 설정이 필요하며, 철도서비스 질의 향상과 비용절감 효과를 극대화하기 위한 효과적인 열차 간 연계시각표 작성 기술개발은 저비용/고효율의 국가교통체계 구축이라는 정책목표를 실현하는데 기여할 수 있다.

철도인프라를 효율적으로 사용하면서 증가하는 수송수요에 대처 가능한 철도연계 시스템 구축 기술개발을 추진하기 위해서는 연구개발의 성공가능성을 검토하고 연구 과제의 전략적 방향성과 세부 연구내용 및 실행방안을 제시할 사전기획이 필요하다.

한편, 우리나라의 주택은 대규모 아파트 단지를 건설하여 대도시의 Bed Town 개념으로 개발되어져 왔기 때문에 인구밀도가 매우 높다. 이러한 베드타운에서 발생하는 수송수요를 도로만으로 해결하는 것은 매우 어려우며, 막대한 비용이 필요로 한다. 철도는 대량 수송의 특징을 갖는 시스템으로서 대규모의 시설을 가지고 있으므로 이미 건설된 노선과 건설될 노선을 효율적으로 사용하는 것은 매우 중요하며, 철도 운용을 효율화시키기 위해서는 유연성 있는 열차운용을 필요로 한다.

철도는 자동차에 비해서 접근성이 떨어지는 상대적인 약점이 있으므로, 접근성을 향상시켜서 수송수요를 철도로 전환시킬 필요가 있다. 철도의 편리성의 향상은 육상교통수요를 철도로 수송수요를 흡수할 수 있으므로 에너지절약 및 환경부담 경감에 flexible 열차 운용을 필요로 한다.

이러한 관점에서 수송력 향상을 위해 고려해 볼 수 있는 방법은 여러 가지가 있을 수 있으나 현 상황에서 우선 검토되어야 하는 부분은 다음과 같다.

- 화물수송력 증대를 위한 고속화차 기술개발
- 최적의 철도연계시스템 구축 기술개발
- Flexible 열차운용이 가능한 철도시스템 기술개발

제 1 편 화물 수송력 증대를 위한 고속화차 기술개발 기획 분야

제 1 장 서 론

본 사업의 목적은 철도화물 수송의 경쟁력을 향상시키고 수송력을 제고하기 위함이다. 화물열차의 주행속도를 높임으로써 화물운송시간을 단축하여 물류의 철도분담률을 높이고 동북아 물류중심국으로 발돋움하는데 이바지할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 지금과 같은 고속철도시대에는 기존선이 주로 화물운송과 여객연계수단으로 이용될 것으로 예측되는데 여객열차 사이에 화물열차를 투입할 수 있을 정도의 화물운송속도를 향상시켜야 기존선을 효율적으로 이용할 수 있을 것이다.

국내의 화차 보유량은 13,000여대로 철도영업수입의 1/4를 차지하고 있어, 정책적 측면의 활성화 방안은 꾸준히 제시되고 있지만 실제 철도시설측면의 기술적 방안연구는 미흡한 실정으로 이에 대한 지원이 필요한 시점이다. 철도화물 이용자들의 까다롭고 다양한 욕구를 충족시키기 위해서는 화물의 고속운송이 필수적이며, 철도화물의 수송수요를 늘리기 위해서는 화물의 고속화 및 고속노선이 반드시 필요하다. 이것은 기존 노선의 선로용량을 효율적으로 활용하면서도 철도화물의 경쟁력을 향상시키기 위한 최적의 대안이라 할 수 있다. 국내의 기술개발현황 및 능력을 고려할 때 고속화물열차 개발은 경쟁력이 있고 실현 가능성이 높은 사업임이 분명하다.

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

1. 국내의 연구개발 및 운용현황

우리나라에서는 화물 열차의 고속화를 위하여 1991년부터 1993년까지 유럽의 Y25 보기를 기본으로 하는 고속화차용 용접대차를 제작하여 130 km/h 속도까지의 주행성능시험을 실시하고 실용화한 바 있다. 이를 토대로 1995년과 1996년에 걸쳐 기존 화차의 대차를 개량하였고, 1996년 이후부터 도입되는 모든 컨테이너 화차에 용접대차를 적용하였으며, 유개차와 무개차를 비롯한 다른 차종에 대해서도 점진적으로 용접대차를 적용하여 왔다. 그러나 저속차량과의 혼합편성문제 등 운용상의

여러 가지 문제로 고속화차로만 편성 시 110km/h, 기존차량과 혼용편성시 90km/h 까지로 운행속도를 제한하고 있으며, 유지보수가 주강대차보다 어려운 문제가 발생하고 있다.

2000년부터 2002년까지 미국의 Meridian Rail사에서 개발한 Swing Motion Bogie를 한국형으로 적용하는데 있어 문제점과 개선방안을 도출하는 연구를 수행한 바 있다. 이론해석을 통한 대차강도 평가, 대차 동특성 분석, 주행안전성 실차시험(최고속도 130 km/h, 탈선계수, 윤중감소율, 횡압허용한도, 진동가속도) 등의 연구결과를 종합해 볼 때 Swing Motion Bogie가 신차종 개발절차에 따라 모든 것을 검토한다면 한국형으로 적용이 가능한 것을 확인하였지만 국내 철도산업현황에 대한 인식 부족으로 완전히 정착되지 못하고 좌절되기도 하였다.

2. 해외의 연구개발 현황

세계 각국은 철도화물 수송의 장점을 살리고 단점을 보완하여 기술 개발과 함께 개선에 노력하여 철도와 자동차, 철도와 선박, 선박과 항공, 자동차와 선박 등 이중수송기관 각각의 장점을 결합하여 가장 경제적이고 효율적인 수송을 달성하는 방식인 협동 일관 수송(Intermodal Transportation)이 도모되고 있다. 철도와 자동차가 결합된 수송 방식으로는 자동차가 수송한 용기를 화차에 싣거나 자동차를 직접 화차에 싣는 방법과 자동차가 선로와 도로를 동시에 주행 할 수 있도록 철차륜과 고무 타이어를 갖춘 Bimodal 방식도 있다.

물류 수송의 시간 단축, 비용 절감 등의 효율화를 위하여 해외 철도선진국에선 기존 Y25형 화차 대차의 성능을 향상시킨 설계속도 140km/h, 160km/h급 고속화차를 개발, 운용 중에 있다. 또한 우편 수송이나 항공 화물 수송과 같이 경량이나 시급을 요하는 화물 수송을 위하여 여객용 고속열차를 개조한 고속 화물열차가 운용되고 있기도 하다.

고속용 화차대차는 영공차 하중 변동에 따른 고속 주행안정성 및 유지보수성 문제, 고속화에 따른 소음, 진동레벨 증가로 인한 환경 문제, 횡압 및 축중 증가에 의한 궤도 손상, 차량 및 시설보수비 증가 등과 같은 여러 기술적 난제를 극복하고 차량 주행안정성 향상, 곡선부 통과시 조향성능 향상, 점착성능 및 제동성능 개선, 차량 경량화 및 적재화물 증가, 궤도손상 저감을 위한 궤도친화성(Track Friendly) 향상, 비용 증가 억제와 환경 보전 등의 개발 개념 하에 꾸준한 연구 개발이 이루

어져 왔다. 대차개발의 형태는 Axiom Rail사의 TF25 대차와 같이 기존화차 개념을 초월하여 외견상 객차용 대차라 할 수 있는 궤도친화형 고속대차를 개발하는 경우와 ASF사의 LSA Bogie와 같이 기존 barber형 주강대차를 일부 개조하여 고속화를 기하는 경우도 있다. 신규 개발되고 있는 대차는 전자의 경우와 같이 H형 대차 프레임을 적용하고 진동 감쇠성능이 현저히 개선된 1차 현가계 요소의 개발, 적용에 따라 화물수송 용도를 고려한 다양하게 적용하는 추세를 보이고 있으며, 고속화에 따른 제동거리 확보를 위하여 차륜디스크 제동, 차축디스크 제동시스템과 같은 제동시스템을 적용한 사례도 있다. 화물 수송용 고속화차의 개발 개념은 첫째, 기존 최고속도 120km/h급 이하의 전통적인 화차 대차의 성능 개선을 통한 화차의 고속화와 둘째로는 고속 여객열차를 화물 수송 목적에 부합하게 개조하여 화물 수송의 고속화를 기하는 2가지 성격으로 구분할 수 있다.

160km/h급 이하의 화차용 대차는 Y25 대차 계열로서 최고속도 120km/h급인 대차 모델이 화물 수송 용도, 축중에 따라 설계, 운용 중에 있다. 최고속도 140km/h급 대차의 모델로는 DB627.1, Y25LD, Y27LDm, Y27D1, Y31B1, Y31B2, Y33A, Y33Am, Y35B 등이 있고, 160km/h급인 대차 모델은 Y37A, DB675(DRRS), Y25GVr, Y37B, Y30 등으로서 최대축중에 따라 다른 모델을 적용하고 있다. 최고주행속도 향상을 위하여 기존 Y25대차의 1차 및 2차현가계 구성요소에 대한 성능 개선 및 개발이 진행되어 왔으며 고속화에 따른 제동 성능 향상을 위하여 여객차량에서 주로 적용되고 있는 디스크 제동 방식이 적용되기도 한다.

3. SWOT 분석

강 점	약 점
· 최근 G7 고속전철, 경전철 등 국가 R&D를 통한 새로운 차량의 설계 및 제작 경험 축적 · 물류수송의 극대화, 철도서비스 향상	· 현대화 필요한 기존선 하부구조가 다수 존재함 · 국내 상업운행 중인 고속 화차 없음 · 철도차량 관련 국내시장 협소 · 연구기반 시설 및 장비 부족
기회요인	위협요인
· 수송수요에 부응하는 다양한 차종 개발 · 고속철도 건설, 전철화 및 현대화 등 철도에 투자 증대 · 물류비 절감의 최적대안으로 대두 · 동북아시아 철도망 진출로 거대 시장 기대됨	· 고속화에 따른 유지보수비의 증대 · 철도 인프라 개량 여부 · 철도기술에 대한 국민적 인식 낮음 · 속도향상 목표수준 선정에 재무성 사전 분석 필요

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 고속화차 특허맵

고속화차의 개발을 위해서 관련 핵심장치의 기술축적에 대한 검토를 행하고자 각국의 관련특허를 조사하였다. 특허의 검색방법은 Internet(영국의 Patent Office와 미국의 IBM Patent)을 통하여 수행하였고 특허출원국가와 출원시기, 특허제목명으로 분류하였다. 1차 검색을 통하여 얻은 특허자료를 국내특허DB기관에 원문자료를 요청하여 기술분석을 실시한 후 관련성 정도에 따라 재분류하고 미진한 자료는 추가 검색을 실시하여 삽입하였으며 최신 특허는 공보 및 공개를 포함하였다.

특허 검색 결과 1971년부터 2008년 7월까지의 관련특허가 총 1200여건이 검색되었다. 검색된 1200여건의 특허들을 분석, 요약하는 과정에서 관련성이 없는 특허는 제외되고 새로 발견되는 특허가 추가되는 과정을 거쳐 총 167건의 특허검색자료목록을 작성하였다. 요약된 특허를 장치별로 분류한 결과는 다음과 같다. 우선 전체 기술은 대차(B), 제동(D), 연결기(C)로 크게 3가지로 분류하였다. 각각의 분류항목에 관련된 세부장치는 대차(B)인 경우 볼스터(BB), 현가장치(BS), 사이드베어링(BSB), 휠세트(BW) 등이 있고 제동장치는 공기압력제어장치 및 센서(DP), 마찰재

(DD)로 구분할 수 있으며 장치별로 특성을 요약하면 다음과 같다.

Table 1.3.1 조사특허 기술 분류

순번	장치명	건수	경향
1	BRAKE	48	가장 활발하게 특허가 출원되고 있는 장치로서 EP제동장치와 영공차의 제동력을 조절하는 부분에서 여러 가지 아이디어가 제안되고 있다.
2	BOLSTER	36	복합재료를 사용하는 탄성마찰제, 경량화와 내구성 향상을 위한 방안이 주류를 이루고 있다.
3	SUSPENSION	33	고속화를 위한 현가장치로서 조향기능과 다양한 진동흡수장치가 강조되고 있으며 최근에 특허출원이 증가추세에 있다
4	COUPLER	12	최근의 자료는 연결기의 고유기능에 편의성을 부가하고 있다.
5	SIDE BEARINGS	3	탄성 사이드 베어링이 출원되었으며 최근 특허출원이 증가추세에 있다.
6	WHEELSET	4	차륜 답면 형상에 관한 자료이다.
7	BOGIE	31	용접대차 및 충격과 마모 개선 대차, 특히 스윙모션 대차와 관련한 사이드프레임과 액슬박스와의 인터페이스 방법에 대한 특허가 최근에 증가하였다.
	계	167	

고속화차의 개발 필요성이 대두되고 있는 시점에서 고속화차의 기술동향 및 시장의 추이, 타국 또는 타사의 주요 기술개발동향을 파악하였다. 대차와 제동장치 및 현가장치 등에서 활발한 연구가 진행되고 있음을 알 수 있었고, 미국에서의 대차 및 제동장치 관련부품 회사들이 세계시장에서 70% 이상의 지배적인 구조를 형성하고 있음을 알 수 있었다. 본 결과는 우리나라에서 한국형 고속화차 개발을 위한 기술개발 계획 수립 및 선진 기술에 대한 벤치마킹을 수행할 때 활용될 수 있을 것이다.

2. 소요기술 분석

소요기술은 철도기술표준분류체계에서 본 사업에 필요한 세부기술들을 추출하여 정리하였다. 본 사업에 필요한 기술군은 크게 분류할 때 시스템엔지니어링 기술, 차량기술, 철도시스템 안전방재기술, 등으로 압축할 수 있다. 철도화물 고속화에 필요한 기술군은 철도기술표준분류체계에서 다음과 같이 구분하였다.

Table 1.3.2 철도화물 고속화 기술 분류

대분류	중분류	소분류
시스템엔지니어링	철도시스템 분석 및 설계	철도시스템 요건분석기술 철도시스템 기능분석기술 철도시스템 설계기술 철도시스템 성능시뮬레이션기술
	철도시스템 평가 및 검증	철도시스템 시운전 시험 기술 철도시스템 시험 평가 및 검증
	철도시스템 인터페이스	선로구축물/차량 인터페이스 기술 전기신호/차량 인터페이스 기술
	RAM/LCA 기술	철도차량 RAM 기술 철도차량 LCA 기술
차량기술	차량시스템/차체 기술	차량시스템기술 차체 구조물 기술 연결기 및 완충장치
	대차기술	대차시스템기술 대차프레임기술 윤축기술 현가기술
	제동기술	제동시스템기술 기계제동기술 전기제동기술 특수제동장치기술
철도시스템 안전방재기술	시스템안전 엔지니어링기술	시스템안전 요건분석기술 시스템안전 아키텍처링기술 시스템안전 검증 및 인증기술
	위험도 평가 기술	철도시스템 위험(hazard) 분석기술 철도시스템 위험도(risk) 평가기술
	사고예방 및 저감 기술	충돌사고 예방 및 저감기술 탈선사고 예방 및 저감기술

3. 소요인력 및 예산 분석

3.1 소요예산 인력 추정

고속철도기술개발사업과 한국형 틸팅열차 기술개발사업에 투입되었던 연구인력 현황을 참조하여 고속화차 기술개발사업에서 필요로 하는 소요인력을 산출하여 보면 다음과 같다.

가. 연구내용별 투입 연구인력

(단위: Man-Year)

과제코드	과제 연구내용	합 계
1	시스템 통합 및 연계 기술	28.0
	○ 시스템엔지니어링 기술 - 과제간 인터페이스 및 협조체계 구축 - 과제별 주요 연구내용 조정 - 고속화차 시스템 사양 결정 - 위험요소 예측 및 관리기법 기술개발	10.0
	○ 차량설계 검증 기반기술 개발 - 고속화차시스템 사양 검증 및 설계 지원 - 부품간 인터페이스 적합성 검토 - 설계서 검토 및 시험평가 지원 - 차량 유지보수 매뉴얼 개발	11.0
	○ 철도물류망 고속화기술 개발 - 고속화차 적용노선 분석 - 철도물류간선망 설정 - 철도물류거점간의 고속연계시스템 개발	7.0
2	고속화차 성능평가 기술	30.0
	○ 열차시험 평가 및 안전성 평가 기술 개발 - 시스템 평가체계 구축 및 계측시스템 구축 - 주행안전성 평가 기술개발 - 신뢰성기반 설계검증 기술개발	20.0
	○ 고속화/중량화에 따른 선로구축물과의 적합성 검토 - 고속화/중량화에 따른 궤도부담력 및 교량구조물 안전성 검토 - 곡선부 선형조건에 따른 적합성 평가 - 궤도틀림 허용기준에 따른 적합성 평가 - 궤도노반, 구조물, 신호, 통신, 전철전력시스템의 적합성 검토 - 개발차량 시험운행시 현장측정 및 검증	10.0

과제코드	과제 연구내용	합 계
3	시제차량 설계 및 제작기술 개발	40.0
	○ 고속화차 설계 - 시스템 개념설계 및 기본설계 기술 개발 - 구성품 상세설계 - 관련부품 제작시방서 작성	18.0
	○ 시제차량 개발 - 고속화차용 대차 기술개발 - 고속화차용 제동장치 기술개발 - 고속화차용 차체 구조물 기술검토(내한성 포함) - 4량 편성 차량 개발	22.0
합 계		98.0

나. 연차별 투입 연구인력

(단위: Man-Year)

과제 코드	과제 연구내용	1차 ('09)	2차 ('10)	3차 ('11)	4차 ('12)	계
1	시스템 통합 및 연계 기술	10.0	7.0	5.0	6.0	28.0
	○ 시스템엔지니어링 기술 - 과제간 인터페이스 및 협조체계 구축 - 과제별 주요 연구내용 조정 - 고속화차 시스템 사양 결정 - 위험요소 예측 및 관리기법 기술개발	3.0	2.0	2.0	3.0	10.0
	○ 차량설계 검증 기반기술 개발 - 고속화차시스템 사양 검증 및 설계 지원 - 부품간 인터페이스 적합성 검토 - 설계서 검토 및 시험평가 지원 - 차량 유지보수 매뉴얼 개발	4.0	3.0	2.0	2.0	11.0
	○ 철도물류망 고속화기술 개발 - 고속화차 적용노선 분석 - 철도물류간선망 설정 - 철도물류거점간의 고속연계시스템 개발	3.0	2.0	1.0	1.0	7.0
2	고속화차 성능평가 기술	-	8.0	11.0	11.0	30.0
	○ 열차시험 평가 및 안전성 평가 기술 개발 - 시스템 평가체계 구축 및 계측시스템 구축 - 주행안전성 평가 기술개발 - 신뢰성기반 설계검증 기술개발	-	5.0	8.0	7.0	20.0
	○ 고속화/중량화에 따른 선로구축물과의 적합성 검토 - 고속화/중량화에 따른 궤도부담력 및 교량구조물 안전성 검토 - 곡선부 선형조건에 따른 적합성 평가 - 궤도틀림 허용기준에 따른 적합성 평가 - 궤도노반, 구조물, 신호, 통신, 전철전력시스템의 적합성 검토 - 개발차량 시험운행시 현장측정 및 검증	-	3.0	3.0	4.0	10.0
3	시제차량 설계 및 제작기술 개발	2	16.0	16.0	6.0	40.0
	○ 고속화차 설계 - 시스템 개념설계 및 기본설계 기술 개발 - 구성품 상세설계 - 관련부품 제작시방서 작성	2	10.0	4.0	2.0	18.0
	○ 시제차량 개발 - 고속화차용 대차 기술개발 - 고속화차용 제동장치 기술개발 - 고속화차용 차체 구조물 기술검토(내한성 포함) - 4량 편성 차량 개발	-	6.0	12.0	4.0	22.0
합 계		12.0	31.0	32.0	23.0	98.0

다. 소요 연구인력 현황

본 연구개발 사업에 필요한 연구인력은 앞에서 살펴 본 바와 같이 총 98 Man-Year 정도가 필요하며, 연차별로는 1차년도 12 Man-Year, 2차년도 31 Man-Year, 3차년도 32 Man-Year, 4차년도 23 Man-Year 정도가 필요하다. 필요한 연구인원에 대해 분야별로 살펴보면 아래 표와 같이 연구인력이 필요할 것으로 예상된다.

<분야별 필요 연구인력 현황>

	분야	필요 연구인력(Man-Year)
1	차량(기계/전기/소재)	81.0
2	교통계획 분야	7.0
3	궤도/토목 분야	10.0
	계	98.0

라. 소요 연구인력 확보방안

2004년 4월 개통된 경부고속철도 사업을 통해 철도기술 분야에서 상당 부분, 특히 고속철도의 운영기술, 고속철도 건설관련 토목/ 궤도 기술, 전차선 및 열차제어관련 전기/신호제어기술, 고속철도차량 제작 기술 등에서 기술 향상이 진행되었다. 또한, 고속철도 기술의 독립을 위해 정부 주도하에 진행된 고속철도기술개발사업을 통해 고속철도 기술의 설계, 해석, 제작 및 시험 평가 등의 원천기술에 대해서도 큰 발전이 있었다.

경부고속철도 사업의 기술이전을 통해 프랑스 알스톰으로부터 고속철도의 제작, 건설 및 운영과 관련하여 철도 운영처와 국내 철도업체에 대해 약 1,500명이 기술 훈련을 받았으며, 약 980명의 프랑스 기술인력이 상주하여 관련 국내 업체에 대한 기술지원이 진행되었다. 또한, 선도기술개발사업으로 연구가 진행된 고속전철기술개발사업(1996. 12. ~ 2002. 10.)은 2단계 6년 동안에 129개 연구기관(82개 기업, 18개 정부 출연 연구소, 29개 대학)에서 총 4,933.8명이 참여하였다.

이러한 인력은 한국형 고속열차 개발에 지속적으로 참여하여 초기 개념설계에서 실용화 설계 및 제작까지 연구개발의 전체 엔지니어링과 위험요소를 경험하였기 때문에 숙련된 연구인력으로 판단되고 있다. 철도기술과 관련하여 국내에는 경부고속철도사업과 고속철도기술개발사업 및 한국형 틸팅열차 기술개발사업을 통해 이론과

경험을 겸비한 풍부한 연구 인력을 이미 확보하고 있는 상태라고 판단할 수 있다. 이들의 풍부한 연구 인력을 충분히 활용하면서 정부와 산·학·연이 상호 협력하여 연구개발을 추진한다면 본 연구개발 사업은 성공할 가능성이 충분하다고 판단된다.

3.2 소요예산 예산 산출

고속화차 기술개발사업의 주요한 연구개발은 4량의 고속 시제차량 설계 및 제작이며 이에 따른 각종 핵심 응용 연구개발과 기존선의 선로구축물 유지보수 기법 개발이 병행하여 수행 될 계획이다. 따라서 이에 소요되는 주요 예산은 우선 시제차량 제작을 위한 재료비가 가장 크게 소요될 것으로 판단되며 시제차량임을 감안할 때 1량당 약 4억원 수준이 소요될 것으로 판단되어 총 4량에 대하여 16억원이 필요할 것으로 판단된다. 각종 핵심기술과 첨단기술 적용을 위한 응용연구개발에 소요되는 연구용 재료비(연구기자재비, 시제품 제작비 등)는 연간 8억원 수준으로 판단되어 착수연도에는 절반만 고려하여 연구기간 3.5년에 총 28억원이 요구되며, 연구 직접 활동비(여비, 수용비, 기술정보 활동비 등)는 투입 인력 1인당 약 0.2억원 소요 예상되어 총 19.6억원 정도가 필요할 것으로 판단된다. 전체 연구개발에 투입되는 인력에 대한 인건비는 총 98 M/Y에 대하여 평균연봉 0.5억원을 고려할 때 49억원 정도 소요될 것으로 판단된다. 또한 각 기관에 대한 간접 경비는 기업의 경우 5~10% 수준, 연구기관은 60~80 % 수준으로서 평균 30 % 적용 시 약 14.7억원이 예상된다.

<주요 소요예산 산출내용>

항 목	산출내역	금 액 (억원)
차량제작 재료비	4억/량 × 4량	16
연구용 재료비	8억/년 × 3.5년	28
연구 직접 활동비	98인 × 0.2억/인	19.6
인건비	98인 × 0.5억/인	49
간접 경비	인건비 × 30%	14.7
합 계		127.3

가. 총 연구 예산

□ 과제별 및 연차별 총 소요 예산

(단위: 억원)

과제코드	과제 연구내용	1차('09)	2차('10)	3차('11)	4차('12)	계
1	시스템 통합 및 연계 기술	13.0	9.1	6.5	7.8	36.4
2	고속화차 성능평가 기술	-	10.4	14.3	14.3	39.0
3	시제차량 설계 및 제작 기술개발	2.6	20.8	20.7	7.8	51.9
합 계		15.6	40.3	41.5	29.9	127.3

□ 과제별 및 연차별 정부 및 민간 분담금

- 총 액 : 127.3억원
- 정부출연금 : 106.6억원
- 민간분담금 : 20.7억원

(단위: 억원)

과제코드	과제 연구내용	1차('09)		2차('10)		3차('11)		4차('12)		계	
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
1	시스템 통합 및 연계 기술	13.0	0.0	9.1	0.0	6.5	0.0	7.8	0.0	36.4	0.0
2	고속화차 성능평가 기술	-	-	10.4	0.0	14.3	0.0	14.3	0.0	39.0	0.0
3	시제차량 설계 및 제작 기술개발	1.6	1.0	12.5	8.3	12.4	8.3	4.7	3.1	31.2	20.7
합 계		14.6	1	32	8.3	33.2	8.3	26.8	3.1	106.6	20.7

※ 공정성 및 객관성이 필요한 ‘시스템 통합 및 연계 기술’ 및 ‘고속화차 성능평가 기술’ 과제는 민간분담금 없이 정부주도로 추진하며, 그 외에 과제에 대해서는 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정에 의하여 결정함. 단, 위 표 “과제별 및 연차별 정부 및 민간 분담금”에서 ‘시제차량 설계 및 제작 기술개발’ 과제의 민간분담금 비율은 40%로 하여 계산하였음.

나. 과제별 상세 소요예산

□ 연구내용별 소요예산

(단위: 억원)

과제 코드	과제 연구내용	1차 ('09)	2차 ('10)	3차 ('11)	4차 ('12)	계
1	시스템 통합 및 연계 기술	13.0	9.1	6.5	7.8	36.4
	○ 시스템엔지니어링 기술 - 과제간 인터페이스 및 협조체계 구축 - 과제별 주요 연구내용 조정 - 고속화차 시스템 사양 결정 - 위험요소 예측 및 관리기법 기술개발	3.9	2.6	2.6	3.9	13.0
	○ 차량설계 검증 기반기술 개발 - 고속화차시스템 사양 검증 및 설계 지원 - 부품간 인터페이스 적합성 검토 - 설계서 검토 및 시험평가 지원 - 차량 유지보수 매뉴얼 개발	5.2	3.9	2.6	2.6	14.3
	○ 철도물류망 기술 개발 - 고속화차 적용노선 분석 - 물류간선망 설정 - 물류거점간의 고속연결시스템 개발	3.9	2.6	1.3	1.3	9.1
2	고속화차 성능평가 기술	-	10.4	14.3	14.3	39.0
	○ 열차시험 평가 및 안전성 평가 기술 개발 - 시스템 평가체계 구축 및 계측시스템 구축 - 주행안전성 평가 기술개발 - 신뢰성기반 설계검증 기술개발	-	6.5	10.4	9.1	26.0
	○ 고속화/중량화에 따른 선로구축물과의 적합성 검토 - 고속화/중량화에 따른 궤도부담력 및 교량구조물 안전성 검토 - 곡선부 선형조건에 따른 적합성 평가 - 궤도틀림 허용기준에 따른 적합성 평가 - 궤도노반, 구조물, 신호, 통신, 전철전력시스템의 적합성 검토 - 개발차량 시험운행시 현장측정 및 검증	-	3.9	3.9	5.2	13.0
3	시제차량 설계 및 제작기술 개발	2.6	20.8	20.7	7.8	51.9
	○ 고속화차 설계 - 시스템 개념설계 및 기본설계 기술 개발 - 구성품 상세설계 - 관련부품 제작시방서 작성	2.6	13.0	5.2	2.6	23.4
	○ 시제차량 개발 - 고속화차용 대차 기술개발 - 고속화차용 제동장치 기술개발 - 고속화차용 차체 구조물 기술검토(내한성 포함) - 4량 편성 차량 개발	-	7.8	15.5	5.2	28.6
합 계		15.6	40.3	41.5	29.9	127.3

과제코드	과제 연구내용	합 계
3	시제차량 설계 및 제작기술 개발	51.9
	○ 고속화차 설계 - 시스템 개념설계 및 기본설계 기술 개발 - 구성품 상세설계 - 관련부품 제작시방서 작성	23.4
	○ 시제차량 개발 - 고속화차용 대차 기술개발 - 고속화차용 제동장치 기술개발 - 고속화차용 차체 구조물 기술검토(내한성 포함) - 4량 편성 차량 개발	28.6
합 계		127.3

□ 연차별 소요예산

(단위: 억 원)

과제 코드	과제 연구내용	1차 (’09)	2차 (’10)	3차 (’11)	4차 (’12)	계
1	시스템 통합 및 연계 기술	13.0	9.1	6.5	7.8	36.4
	○ 시스템엔지니어링 기술 - 과제간 인터페이스 및 협조체계 구축 - 과제별 주요 연구내용 조정 - 고속화차 시스템 사양 결정 - 위험요소 예측 및 관리기법 기술개발	3.9	2.6	2.6	3.9	13.0
	○ 차량설계 검증 기반기술 개발 - 고속화차시스템 사양 검증 및 설계 지원 - 부품간 인터페이스 적합성 검토 - 설계서 검토 및 시험평가 지원 - 차량 유지보수 매뉴얼 개발	5.2	3.9	2.6	2.6	14.3
	○ 철도물류망 기술 개발 - 고속화차 적용노선 분석 - 물류간선망 설정 - 물류거점간의 고속연결시스템 개발	3.9	2.6	1.3	1.3	9.1
2	고속화차 성능평가 기술	-	10.4	14.3	14.3	39.0
	○ 열차시험 평가 및 안전성 평가 기술 개발 - 시스템 평가체계 구축 및 계측시스템 구축 - 주행안전성 평가 기술개발 - 신뢰성기반 설계검증 기술개발	-	6.5	10.4	9.1	26.0
	○ 고속화/중량화에 따른 선로구축물과의 적합성 검토 - 고속화/중량화에 따른 궤도부담력 및 교량구조물 안전성 검토 - 곡선부 선형조건에 따른 적합성 평가 - 궤도틀림 허용기준에 따른 적합성 평가 - 궤도노반, 구조물, 신호, 통신, 전철전력시스템의 적합성 검토 - 개발차량 시험운행시 현장측정 및 검증	-	3.9	3.9	5.2	13.0
3	시제차량 설계 및 제작기술 개발	2.6	20.8	20.7	7.8	51.9
	○ 고속화차 설계 - 시스템 개념설계 및 기본설계 기술 개발 - 구성품 상세설계 - 관련부품 제작시방서 작성	2.6	13.0	5.2	2.6	23.4
	○ 시제차량 개발 - 고속화차용 대차 기술개발 - 고속화차용 제동장치 기술개발 - 고속화차용 차체 구조물 기술검토(내한성 포함) - 4량 편성 차량 개발	-	7.8	15.5	5.2	28.6
합 계		15.6	40.3	41.5	29.9	127.3

다. 소요예산 확보방안 및 기술료 징수

본 연구사업의 소요예산은 총 127.3억원으로서 정부가 106.6억원을 출연하고 민간이 20.7억원을 분담하는 Matching Fund 방식 투자를 통해 정부(국토해양부) 출연금과 민간 분담금으로 확보할 수 있다. 또한 고속화차 기술개발사업에 투자되는 정부 출연금 중 사업의 민간 기업이 참여하는 연구과제에 지원된 정부출연금에 대하여는 「국가연구개발사업관리등에관한규정」에 따라 민간 참여(실시)기업으로부터 기술료를 징수함으로써 정부의 국고 투자제원을 회수할 수 있다. 다만, 연구결과로 인한 제품화가 예상되지 않거나 공정성과 객관성을 유지하기 위하여 민간분담금 투자를 배제하는 연구과제에 대해서는 기술료 징수를 면제하는 것을 원칙으로 추진되어야 한다.

□ 기술료 징수의 근거 규정

대통령령으로 정한 「국가연구개발사업관리등에관한규정」에 따르면, 국가연구개발사업을 통해 세부 연구과제에 참여한 기업이 연구과제 종료 후 연구개발의 결과를 실시, 즉 제품화하고자 하는 경우, 주관기관 또는 전문기관의 장은 기술 실시계약을 체결하고 정부출연금에 대한 기술료를 징수할 수 있도록 규정되어 있으므로 동 규정을 근거로 민간 참여기업에 지원된 정부 출연금에 대하여는 실시기업으로부터 지원금액의 100%를 기술료로 징수하여 정부 투자예산을 회수하는 계획이 추진하여야 한다.

<국가연구개발사업의관리등에관한규정>

제18조 (기술료의 징수) ①주관연구기관의 장 또는 전문기관의 장은 연구개발 결과를 실시하고자 하는 자와 기술실시계약을 체결하여 기술료를 징수할 수 있다.

②주관연구기관의 장 또는 전문기관의 장은 제1항의 규정에 의하여 기술료를 징수한 경우에는 중앙행정기관의 장에게 기술료징수결과보고서를 제출하여야 한다.

③주관연구기관의 장 또는 전문기관의 장은 연구기관의 장의 신청이 있는 때에는 그 타당성을 검토한 후 중앙행정기관의 장의 승인을 얻어 제1항의 규정에 의한 기술료를 감면할 수 있다.... (중략)

□ 기술료 징수대상 과제

「고속화차 기술개발사업 운영규정」이 고속철도기술개발사업 또는 특정연구개발사업 등 타 국가연구개발사업의 세부 사업운영규정과 동일 조건일 경우, 고속화차 기술개발사업의 기술료 징수 대상과제는 아래 표와 같이 기업참여 과제인 3과제(시제차량 설계 및 제작 기술개발 과제)가 해당되며 기술료는 이 과제에서 총 20.7억 원이 징수될 것으로 예상된다.

<기술료 징수 대상과제 및 대상 금액>

(단위: 억원)

과제 코드	과제 연구내용	1차('09)		2차('10)		3차('11)		4차('12)		계	
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
1	시스템 통합 및 연계 기술	13.0	0.0	9.1	0.0	6.5	0.0	7.8	0.0	36.4	0.0
2	고속화차 성능평가 기술	-	-	10.4	0.0	14.3	0.0	14.3	0.0	39.0	0.0
3	시제차량 설계 및 제작 기술개발	1.6	1.0	12.5	8.3	12.4	8.3	4.7	3.1	31.2	20.7
합 계		14.6	1	32	8.3	33.2	8.3	26.8	3.1	106.6	20.7

□ 기술료 징수의 예상시기 및 규모

「고속화차 기술개발사업 운영규정」의 기술료 관련 조항이 타 사업 운영규정의 기술료 징수 관련 조항과 동일하게 개발사업이 종료되는 2012년의 4년 후부터 5년 균등 상환하는 것으로 정해진다고 전제할 때, 본 사업의 연구개발 결과(기술)가 실시되는 시점도 2016년경이므로, 기술료가 징수되는 실제 시기는 아래 표와 같이 2016년부터 연차별로 징수될 것으로 예상되며, 기술료 징수액은 본 사업의 '시제차량 설계 및 제작 기술개발'과제를 통해 연차별로 정부출연금의 100%에 해당하는 금액인 총 31.2억 원이 연구개발 결과(개발기술)를 실시하는 기업들로부터 주관(전문)기관에 징수될 것으로 예상된다.

<과제별/연차별 기술료 징수 금액>

과제 코드	과제 명	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년	합 계
3	시제차량 설계 및 제작 기술개발	6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	31.2
합 계		6.2	6.2	6.2	6.3	6.3	31.2

4. 경제성 분석

4.1 철도화물운송 현황

철도운송이 갖는 한계인 운송단계의 복잡성과 이로 인한 비용 및 운송시간 증대와 더불어 우리나라 국토공간의 한계 등으로 장거리운송에 적합한 철도화물이 경쟁력을 확보하기가 어려운 상황이다. 도로위주의 물류수송체계는 사회적비용을 증가시키는 주요원인으로 작용하고 있어 환경친화적이고 에너지 효율적인 운송수단인 철도물류운송 증대 필요성이 제기되고 있는 상황이다. 대기오염물질 총배출량의 약 40% 가량이 도로부문에서 발생(트럭의 환경오염비용이 철도보다 4~12배 높음)하고 교통혼잡비용('05년)은 23조 7천억원으로 GDP 대비 3% 규모에 이른다. 교통사고비용('04년)은 14조 5천억원으로 GDP 대비 1.9% 규모(총 교통사고비용의 경우 도로가 철도보다 사고비용이 118배 높음)이며 전체 에너지소비량의 약 21%를 교통부문이 차지(트럭의 에너지소비량은 톤-키로 기준으로 철도에 비하여 26배 가량 높음)하고 있다. 그러나 국내 화물수송실적은 '90년 3억 3715만톤에서 '06년 6억 9,077만톤으로 2배 이상 증가하였으나, 철도화물운송은 동 기간 5,792만톤에서 4,167만톤으로 오히려 28%가량 감소하였고 도로화물운송의 경우 '90년 2억 1,523만톤에서 '06년에는 5억 2,900만톤으로 2.4배 이상 증가하여 도로화물 수송분담율은 동기간 63.8%에서 76.6%로 증대된 반면, 철도는 17.2%에서 6.2%로 감소하였다. 또한, 비영업용 트럭의 운송실적을 포함할 경우 철도의 수송분담율은 3% 이하로 감소한다.

우리나라 화물열차의 평균속도를 컨테이너 열차를 중심으로 살펴보면, 오봉역~부산진간은 59.7km/h, 오봉역~신선대간은 54.1km/h, 오봉역~광양항간은 47.9km/h에 불과하다. 열차속도는 열차성능 뿐만 아니라 노선여건(열차운영, 급곡선, 급구배, 교량 및 터널 등)에 의해서도 제한을 받고, 고속과 저속의 열차가 기존선을 혼용하게 되어 여객열차 위주의 열차운영이 불가피하여 운영적으로도 제한을 받고 있다. 현재 120km/h급 고속컨테이너 화차가 운행중이지만, 고속화시 견인량수가 줄어들기 때문에 화차수를 줄여 운행하는 문제가 있으므로 고성능 기관차가 필요하다. 화물의 고속서비스를 위해서는 기존선중에서 화물열차가 고속으로 운행할 수 있는 화물고속화 노선이 필요하며, 이를 위해서는 고속화차 운행노선의 설정과 이에 따른 신설건설 내지 기존선의 직선화 또는 복선화, 전철화, 그리고 고속화차(최고 150km/h

급)의 투입이 필요하다.

화물고속화 노선은, 시간경쟁력이 요구되는 화물인 컨테이너 위주의 품목이 대량 발생하는 지역간 노선을 대상으로 해야 할 것이다. 컨테이너의 주요 물류거점을 살펴보면, 경기지역은 오봉역, 중부지역은 조치원과 삼교역, 부강역, 호남지역은 광양항역, 북전주역, 적량역, 동익산역, 태금역, 영남지역은 부산진역, 신선대역, 사상역 등이 있다. 수송량이 가장 큰 경인지역과 물류거점인 부산항과 광양항을 연결하는 경부선과 전라선 및 호남선을 중심축으로 하고, 조치원, 동익산, 북전주 등의 지역 거점을 연결하는 물류축을 기본축으로 설정할 수 있다. 또한 부곡복합화물터미널, 양산복합화물터미널, 호남권복합화물터미널 등 복합화물터미널을 고려하여야 한다. 따라서 현재 컨테이너 물류거점을 연결하는 노선을 우선적으로 고속화노선으로 검토할 수 있으며, 경부선, 전라선, 호남선, 장항선, 군산선, 경전선이 이에 해당된다. 경부선은 반월, 시화, 석문, 아산, 평택, 천안, 부산등지의 산업단지를 연결하고 있고, 경부고속철도 개통이후 화물위주로 노선이 운영되고 있는 점을 감안하여 우선적으로 화물고속화가 요구되는 노선으로 판단된다. 특히 남북철도 연결 이후, 이들 노선을 대륙철도 운행노선으로 활용할 경우 화물고속화 노선으로서 경쟁력 확보에 용이할 것이다. 아울러 궤도에의 부담으로 인한 유지보수량의 증가도 감안하여야 하며, 고속용 전용화물열차를 별도로 설정하여 화차 dia의 원활화를 기하여야 할 것이다.

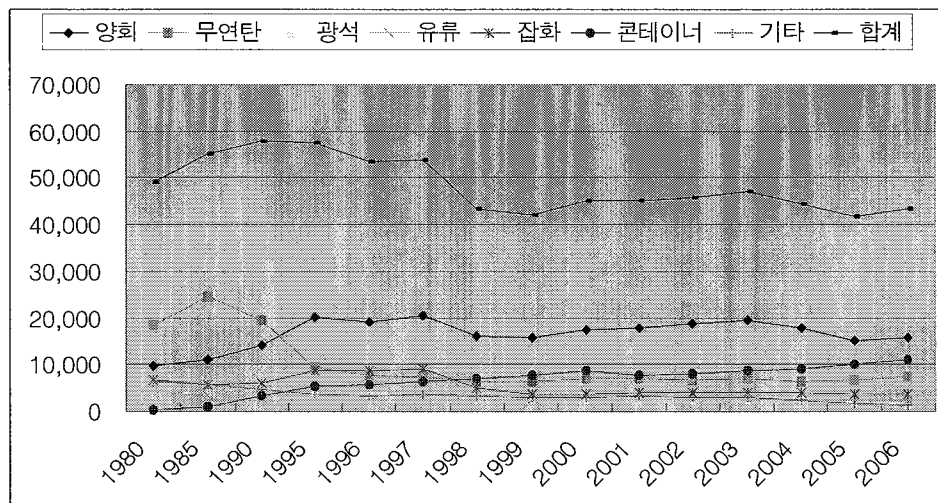


Fig. 1.3.1 화물 종별 수송실적 추이

4.2 비용/편익 분석

고속화차의 경제성 분석에 사용되는 비용으로는 화차/기관차 구입비 및 연구개발

비, 유지보수비를 산정하며, 편익으로는 고속화차 도입에 의한 용량증대에 따른 도로부문의 차량운행비용절감 및 상대적인 운행시간 절감으로 인한 편익을 기존 연구보고서에서 제시된 철도화물 시간가치를 적용하여 산출하도록 한다(교통투자사업의 경제성평가를 위한 화물운송의 시간가치산정-도로교통을 중심으로, 2007). 이 보고서에서 컨테이너의 시간가치는 SP분석법(정시성 고려)으로 11,524원/대.시간 으로 추정하였다.

경제성 분석을 위한 고속화차의 운영 시나리오 가정 사항은 다음과 같다. 경부축(오봉-부산진)만을 대상으로 분석을 수행하였다.

- 기관차 8100호대 전기기관차 + 고속화차 25량으로 구성된다.
- 고속화차는 40 ft 컨테이너 1개의 수송이 가능하다.(자중 20톤, 하중 50톤, 길이 12.5 m)
- 40 ft 컨테이너 평균 무게는 국가철도망기본계획에서 제시된 24톤 사용
- 오봉-부산진간의 현행 컨테이너 열차 운행시간은 6시간 10분 정도 소요되며, 고속화차 적용시 운행시간은 약 4시간 26분 정도 소요된다.
- 분석조건으로는 고속화차 운행시 조치원, 대전, 동대구 10분간 정차하는 것으로 한다.

비용 항목 중 고속화차의 구입비 및 연구개발비는 속도별로 차이가 있으나 120 km/h 화차는 약 1억원, 150 km/h 화차는 시제품의 경우 6억원, 양산품의 경우 1.5 억원으로 가정하며, 8100대 전기기관차 량당 45억원이다. 연구개발비는 4년간 200 억원으로 산정한다.

경제성 분석시 현행 운행하는 편도 17회에 대한 시간단축 효과(기관차 20량, 화차 490량 소요)만 존재할 경우도 별도 산정하였으며, 또한 이 경우 기존 화차를 대체 하므로, 기존 화차 및 기관차 잔존가치 고려(내용연수 20년 중 평균 10년 수명이 남았다 가정. 기존 기관차 7400 특대형 27억원)

유지보수비 산정은 속도별로 화차의 3년간 운행거리에 따른 비용을 기준으로 산정 하도록 한다.

- 120km/h 화차 3년간 운행거리 160,000 km 유지보수비 : 6M 2회 + A 1회 + 2Y 1회
 $= 489,857 \times 2 + 6,256,994 + 6,464,180 = 13,700,888 \text{원} / 3\text{년} \Rightarrow 4,566,963 \text{원} / \text{년}$

- 150km/h 화차 3년간 운행거리 200,000 km 유지보수비 : 6M 3회 + A 1회 + 2Y 1회
 $= 489,857 \times 3 + 6,256,994 + 6,464,180 = 14,190,745 \text{원} / 3\text{년} \Rightarrow 4,730,248 \text{원} / \text{년}$

(검종별 유지보수비 기준은 2007년도 코레일 사유화차 검수비용 적용)

궤도 유지보수 비용은 별도 산정된 자료가 없어 예비타당성조사 지침에 의한 유지보수비 산정식에서 궤도 및 주행거리와 관련된 비용계수만 25%($\because$ 120km/h $\rightarrow$ 150km/h) 상향 조정하여 산정하도록 한다.(예타지침 화물영업비용 산식 : 46,833천원*궤도km(260km) + 293천원*화물총수입(백만원) + 221원*열차km + 142,298천원*역수)

편익으로는 상대적인 용량증대 및 시간 절감 효과가 발생하게 되므로 이에 따른 용량증대 효과는 다음과 같다.

- 현행 화물열차 운행조건은 열차당 평균 화차 25량, 화차당 40ft를 운송하며, 고속화차 또한 화물열차와 동일한 조건으로 운행 한다.
- 현행 경부선 열차운행횟수(대전조차장-대전 구간, 하행)는 KTX 94회, 새마을 27회, 무궁화 51회, 화물열차 31회(오봉-부산진/신선대 17회)로 총 203회 운행되고 있다.
- 고속화차 투입에 따라 용량증대효과가 나타나며, 최소 편도 9회의 증대가 예상된다.

또한 추가 화차 및 기관차 소요량 산정은 다음과 같다.

- 오봉-부산진 컨테이너 열차 전량 대체시 현행 17회, 증가분 9회로 총 26회(왕복 52회)를 운행하게 되고, 기관차 반복시간을 고려하면 편도 5시간이 소요되게 된다.
- 기관차소요량 = 왕복운전시간(분) / 운전시격(분) * 여유율 = $600 / (20\text{시간} \times 60\text{분} / 26\text{회}) \times 1.15 = 15\text{량}$
- 화차소요량 : 기관차 왕복시간의 1.5배 소요되는 것으로 가정시 $15 \times 1.5 \times 25\text{량} \approx 563\text{량}$ 이 필요하다.

용량증대 9회에 대한 도로부문의 운행비용절감효과는 다음과 같다.

- 용량증대에 대한 화물차량 환산치는 18회(왕복) * 25대/량 = 450대, 즉 화물 트레일러 450대를 철도가 대체
- 예비타당성 표준지침에 의거 대형 화물차의 80km/h 주행시 운행비용은 대당

293.61원/km이고, 의왕-부산간 고속도로 통행거리는 373.3km 이므로, 293.61원/km * 450대 * 373.3km * 365일 ≒ 180억원/년

화물통행시간 절감편익 산정은 다음과 같다.

- 컨테이너 시간가치 = 11,524원/대시
- 화물통행량 = (기존운행회수+용량증대) * 평균화차량 * 왕복 = (17+9)*25*2 = 1,300
- 화물통행시간 절감 편익 = 화물 시간가치 * 통행시간감소 * 화물통행량 = 11,524 (원/대시)*1.733(시간)*1,300(대)*365 = 94.76억원/년이 된다.

기존 화차 및 기관차 잔존가치는 다음과 같다.

- 현행 컨테이너 열차 운행시 열차 소요량
 - 기관차 : 840분/(20시간*60분/17회) * 1.15 = 13.7 ≒ 14량
 - 화 차 : 1,680분/(20시간*60분/17회) * 1.15 ≒ 28열차, 700량 소요
- 화차 잔존가치
 - 평균차령 : 2006년 평균 6년, (2006년 말 현재 공사 소유 평판차 2,056량) → 2008년 기준 8년
 - 컨테이너차 도입단가 2006년 56,369천원.
 - 잔존내용년수 : 25년 - 8년 = 17년
 - 잔존가치 : 정액법 감가상각 가정 56,369*17/25≒38,330(천원)
 - 700량 * 38,330천원 = 26,831,000천원
- 기관차 잔존가치(7400호대 기준)
 - 평균차령 : 10년
 - 도입단가 : 2,662,000(천원)
 - 잔존내용년수 : 30년 - 10년 = 20년
 - 잔존가치 : 정액법 감가상각 가정 2,662,000*20/30≒1,774,667(천원)
 - 14량 * 1,774,667(천원) = 24,845,338(천원)

4.3 비용/편익 분석 결과

앞서 제시된 경제성 분석의 주요 전제 사항과 경부축을 고려한 시나리오에서 사업

기간을 20년으로 하였을 경우 총비용(연구비+차량구입비+유지보수비-잔존가치)은 약 1,016억원이고 총편익(화물시간절감+도로운행비용감소)은 약 2,987억원 으로 산출되었으며 편익/비용 비율은 2.94, 순현재가치는 약 1,970억원으로 산출되었다.

Table 1.3.5 경제성 분석결과

구분	판단기준	값
총 비용		101,662백만원
총 편익		298,718백만원
편익/비용비율(B/C)	$B/C \geq 1$	2.94
순현재가치(NPV)	$NPV \geq 0$	197,056백만원

이렇게 산출된 값은 경제성 분석 방법론에 의거 판단기준인 편익/비용 ≥ 1 또는 순 현재가치 ≥ 0 일 경우 경제성이 있다고 판단하게 되며, 본 시나리오에 따른 결과에서는 편익/비용($2.94 \geq 1$)이고 또한 순현재가치($1,970\text{억원} \geq 0$) 이므로 주어진 시나리오의 경우에 매우 경제성이 높다고 판단된다.

5. 연구과제 RFP

1 과제 : 시스템 통합 및 연계 기술

연구개발 목표	○ 고속화차 시스템 엔지니어링 기술개발 ○ 고속화차의 사양 검증 및 설계 지원을 위한 기반기술 개발 ○ 철도물류망 고속화기술 개발											
연구개발 필요성	○ 고속화차는 고속철도시대의 기존선 운행 뿐 만 아니라 남북철도와 대륙철도를 염두에 두고 개발되어야 하므로 향후 실용화에 경쟁력이 있는 차량을 개발하기 위해서는 현재의 국내외 기술수준을 고려하여 장기적인 관점에서 시스템의 수명주기까지를 고려한 차량시스템의 설계를 해야 한다. 차량시스템의 요건을 분석하고 설계하는 기술은 시스템엔지니어링에서 반드시 필요하다. ○ 새로운 철도시스템 또는 차량의 도입 시는 충분한 시험평가를 통하여 안전성과 동적 안정성 등 제반 주요 성능에 대한 검증이 있어야 한다. ○ 현행 철도물류망의 고속화를 통해 국가물류비 절감과 녹색성장을 실현하기 위한 고속화차의 적용노선별 효과, 고속화를 위한 철도간선망 설정, 수송거점간의 고속연계 기술 개발이 필요											
주요내용 및 범위	○ 시스템 요건과 기능 분석을 통한 시스템엔지니어링 기술 ○ 차량설계 검증 기반기술 개발 ○ 철도물류망 고속화기술 개발											
세부 연구내용	○ 시스템 요건과 기능 분석을 통한 시스템 엔지니어링 기술 - 과제간 인터페이스 및 협조체계 구축 - 과제별 주요 연구내용 조정 - 고속화차 시스템 사양 결정 - 위험요소 예측 및 관리기법 기술개발 ○ 차량설계 검증 기반기술 개발 - 고속화차시스템 사양 검증 및 설계 지원 - 부품간 인터페이스 적합성 검토 - 설계서 검토 및 시험평가 지원 - 차량 유지보수 매뉴얼 개발 ○ 철도물류망 고속화기술 개발 - 고속화차 적용노선별 효과 분석 - 철도화물 운송체계 분석 - 노선/품목별 고속화 방안 수립 - 노선/품목별 운전시간 분석 - 대안별 효과분석 및 우선순위 선정 - 철도물류간선망 설정 - 철도물류망 고속화에 따른 거점역 선정 - 화물취급역 정비와 고속화 간선망 구성 - 간선망에 따른 설비재배치 방안 구상 - 철도물류 거점간의 고속연계시스템 개발 - 고속화차 중심의 화물열차운영방안 수립 - 고속화차 중심의 열차조성방안 - 상하역과 연계수단을 고려한 화물 고속 연계시스템 개발											
추진방법	○ 철도 전문 연구기관의 주관하에 차량제작사, 학계, 연구소, 부품업체가 공동으로 차량시스템 개발 ○ 해외 고속화차 개발 사례 조사 및 전문가 활용을 통한 관련 기술 습득 ○ 애로 기술 극복을 위한 국내외 기술 네트워크 활용											
파급효과 및 활용방안	○ 화물 수송력 증대 ○ 고속화차 운행을 위한 상용화에 직접 활용											
연차별 연구개발	1년차	- 고속화차 시스템 사양 결정 및 검증 - 고속화차 적용노선별 효과분석, 철도물류망 고속화에 따른 거점역 선정										
	2년차	- 고속화차 설계 지원 - 화물취급역 정비와 고속화에 따른 간선망 구성										
	3년차	- 부품간 인터페이스 적합성 검토 - 설비재배치 방안 구상, 화물열차 운영방안 수립										
	4년차	- 통합 시스템 엔지니어링 - 상하역 및 연계수단을 고려한 화물고속연계시스템 구성										
	5년차											
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연		13.0	9.1	6.5	7.8						36.4
	공공기관											
	민간부담											
합 계		13.0	9.1	6.5	7.8						36.4	

2 과제 : 고속화차 성능평가 기술

연구개발 목 표	○ 고속화차의 시운전시 성능평가와 신뢰성 확보를 위하여 속도향상 운행 시의 시험 및 평가 기술 개발											
연구개발 필 요 성	○ 개발된 고속화물 차량에 대한 시험절차 및 평가기준을 확립하여 종합적인 성능평가가 필요하다. ○ 화물열차가 고속/중량으로 운행하게 되면 선로구축물에 가해지는 부담력이 커지게 된다. 특히 곡선부 고속주행에 따른 위험성은 더욱 커지게 되므로 고속화차와 기존 선로구축물과의 적합성 검토를 수행하여 운행가능여부 및 운행가능속도 등에 대한 검토가 필요하다.											
주요내용 및 범위	○ 열차시험 평가 및 안전성 평가 기술 개발 ○ 고속화/중량화에 따른 선로구축물과의 적합성 검토											
세부 연구내용	○ 열차시험 평가 및 안전성 평가 기술 개발 - 시험평가 항목 결정 및 평가기준 기술개발 및 기준안 제시 - 시스템 평가체계 및 계측시스템 구축 - 주행안전성 평가 기술개발 - 신뢰성기반 설계검증 기술개발 ○ 고속화/중량화에 따른 선로구축물과의 적합성 검토 - 고속화/중량화에 따른 궤도 부담력 및 교량구조물 안전성 검토 - 곡선부 선형조건에 따른 적합성 평가 - 궤도틀림 허용기준에 따른 적합성 평가 - 궤도, 노반, 구조물, 신호, 통신, 전철전력시스템의 적합성 검토 - 직복선화 여부 검토 - 개발차량 시험운행시 현장측정 및 검증											
추진방법	○ 고속화차 개발국의 시험 및 평가에 대한 사례조사를 통하여 기준안을 마련하고, 고속화물 차량에 대한 표준 시험 절차 및 기준 제시 ○ 철도운영기관 및 유관기관과의 긴밀한 협조체계 구축 ○ 관련 전문가 자문 및 시스템 개선(안) 제시											
파급효과 및 활용방안	○ 고속화차 운행을 위한 상용화에 직접 활용 ○ 고속화차의 안전성 검증에 활용											
연차별 연구개발	1년차											
	2년차	- 시스템 평가체계 및 계측시스템 구축 - 개발차량 모델을 이용한 선로구축물 안전성 검토(Ⅰ)										
	3년차	- 시험평가 기준안 제시 및 부품시험 - 개발차량 모델을 이용한 선로구축물 안전성 검토(Ⅱ) - 궤도선형의 적합성 검토 및 선로구축물 개량방안 제시										
	4년차	- 고속화차에 대한 종합적인 시운전 시험평가 및 보완 - 개발차량 시험운행을 통한 현장측정 및 검증										
	5년차											
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연		-	10.4	14.3	14.3						39
	공공기관											
	민간부담											
	합 계		-	10.4	14.3	14.3						39

3 과제 : 시제차량 설계 및 제작기술 개발

연구개발 목 표	○ 고속화차 설계 및 시제차량 개발											
연구개발 필 요 성	○ 수송력 향상을 위한 고속화차 개발의 핵심은 국내 선형특성에 적합하고 유지보수성이 우수한 고속대차와 제동장치 개발에 있음. ○ 고속주행 안전성, 보수성을 충족시킬 수 있는 대차설계 기반기술 확보 필요 ○ 대차프레임, 현가계, 제동장치, 차량시스템 등 관련기술 개발 필요											
주요내용 및 범위	○ 고속화차 설계 ○ 시제차량 개발											
세부 연구내용	○ 고속화차 개념설계 - 대차/차체 구조, 제동시스템 Lay-out 검토 - 차량 Lay-out 작성 - 차량한계 검토 ○ 고속화차 기본설계 - 차량 동특성 해석 - 차체/대차프레임 FEA 수행 - 제동계산 수행 - 차량의 주요구성품 확정 및 조립도 작성 ○ 고속화차 상세설계 - 대차프레임/차체언더프레임, 제동장치 등 주요구성품 상세설계 - 관련부품 제작시방서 작성 ○ 시제차량 개발 - 고속화차용 대차 기술개발 - 고속화차용 제동장치 기술개발 - 고속화차용 차체 구조물 기술검토(내한성 포함) - 4량 편성 차량 개발											
추진방법	○ 주관연구기관을 중심으로 차량제작사, 학계, 연구소, 부품업체가 공동으로 고속화차 설계 및 시제차량 개발 ○ 주요부품 설계 및 제작은 학계, 연구소의 설계 지원하에 차량제작사가 담당 ○ 요소부품 개발은 부품제작업체가 참여											
파급효과 및 활용방안	○ 국내·외 신규차량 개발시 활용 ○ 기존 철도차량의 애로점 개선을 위한 성능 해석 및 시험·평가 활용 ○ 국내 철도차량 개발 기술 확보로 인한 해외 경쟁력 제고 ○ 대차 관련 요소 개발에 활용											
연차별 연구개발	1년차	- 고속화차 개념설계										
	2년차	- 고속화차 기본설계 및 상세설계										
	3년차	- 시제차량 개발 및 구성품 시험										
	4년차	- 주행성능시험 및 시제품 보완										
	5년차											
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연		1.6	12.5	12.4	4.7						31.2
	공공기관											
	민간부담		1.0	8.3	8.3	3.1						20.7
합 계		2.6	20.8	20.7	7.8						51.9	

제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

항목	내용	기여도	달성도 (%)
1	기술동향 검토	- 국내외 기술동향 수집 및 특허맵 분석에 기여	100
2	연구내용 기획	- 본과제 수행에 대비한 연구내용 기획에 기여	100
3	기술적 타당성 검토	- 필요성 및 실현가능성 분석에 기여	100
4	경제적 타당성 검토	- 실용화/상업화 가능성 검토에 기여	100
5	전략 수립	- 연구목표 달성을 위한 추진전략 및 추진체계 수립에 기여	100
6	연구기간 및 예산	- 연구내용에 따른 연구기간 및 예산 수립에 기여	100
7	RFP 도출	- 과제 공모를 위한 RFP 도출에 기여	100
8	종합보고서 작성	- 기획보고서 작성에 기여	100

제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획

항목	내용	기여도
1	고속화차 특허맵	- 한국형 고속화차 개발을 위한 기술개발 계획 수립에 활용 - 선진 기술에 대한 벤치마킹을 수행할 때 활용
2	소요기술 분석	- 개발이 필요한 고속화차의 목표 및 주요 특성 분석에 활용 - 고속화차의 설계 요구사항을 만족시키기 위한 요소기술 분석에 활용 - 기술적 타당성 및 실현 가능성 분석에 활용
3	소요인력 및 예산 분석	- 소요 연구인력 확보방안 수립에 활용 - 적정 연구비 산정 및 예산 확보에 활용
4	철도화물 물동량 현황과 고속화 전망	- 철도화물 물동량 예측에 활용 - 화물 고속화 필요성 제기에 활용 - 화물 고속화 노선 선정에 활용 - 고속화차 수요 예측에 활용
5	고속화차 경제성 분석	- 고속화차 개발에 따른 비용/편익 분석에 활용 - 고속화차 개발 타당성 확보에 활용
6	추진전략 및 추진체계	- 산학연 연계방안 수립에 활용 - 체계적인 정책 추진방안 수립에 활용 - 해당 기관간 효율적인 역할 분담에 활용
7	과제별 RFP	- 과제 공모를 위한 RFP 도출에 활용
8	종합보고서	- 고속화차 개발(안) 작성에 활용

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- [1] High-speed rail freight
- [2] IRS(International Railway System)
- [3] American Steel Foundries Super Service Ride Control Bogie
- [4] On freight wagon dynamics and track deterioration
- [5] Enhancing freight railways for 30 tonne axle loads
- [6] A Survey of Railway Vehicle Dynamics Research
- [7] Freight car curving performance in braked conditions

제 7 장 참고문헌

- (1) International Railway Journal, April, 2000
- (2) 藤川憲一, 淺創康二, “近年の貨車の技術變遷について”, VOL. 43, NO. 5, JREA 2000
- (3) 日本機械學會編, 鐵道車輛のゲイナミクス”, (株)電氣車研究會, 1996
- (4) Jane's World Railways, 4th Edition, 1998
- (5) Mike Schafer with Mike McBride, Freight Train Cars, MBI Publishing Company
- (6) 함영삼 외, 화물수송용 철도차량 현가장치의 설계변수와 진동성능에 관한 연구, 대한기계학회 2001년도 춘계학술대회논문집 B, pp.507~512, 2001.6
- (7) 함영삼 외, 고속 컨테이너화차 차체의 구조강도 평가, 한국철도학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp.212~213, 2001.5
- (8) 유원희 외, 대차 메커니즘 설계 최적화 분야, 한국철도기술연구원, pp.Ⅱ-15~Ⅱ-30, 2001.12
- (9) Railway Gazette, September, 2000
- (10) 岡本 勲, 軌間可變車輛の世界の動向, RTRI Report, VOL. 14, NO. 10, 2000.10

제 2 편 최적의 철도연계시스템 구축 기술개발 기획 분야

제 1 장 서론

1. 연구개발의 필요성

- 장래 철도망의 신설 및 개량에 따른 환경 변화 대응
- 열차 서비스 종별 효율적인 연계체계 확보
- 철도연계성이 확보되는 철도노선 설계
- 복잡한 네트워크 및 열차 서비스 체계에서 효율적인 연계서비스 설계 및 평가

2. 기획연구의 방향

- 장래 복잡화 및 대규모화되는 철도망 환경에서 승객의 편의성을 최적화할 수 있는 철도 연계체계 구축과제 발굴
- 철도연계 체계의 실현 가능성 평가를 위한 미시적 시뮬레이션 프로그램 개발과제 발굴
- 현실에 직접 적용이 가능한 패키지 개발형 과제 발굴
- 상용 제품화가 가능한 방향으로 과제 발굴
- 명확한 투자 대비 효과성 (ROI, Return-Of-Investment) 제시

3. 연구개발의 경제적 타당성 분석

- 고속철도의 경우 통행시간의 가치를 시간당 10,913원, 일반철도의 경우 5,861원으로 산정
- 연계환승 최적화에 따라 나타나는 통행시간의 절감 효과 (차외 대기시간): 200억/5년

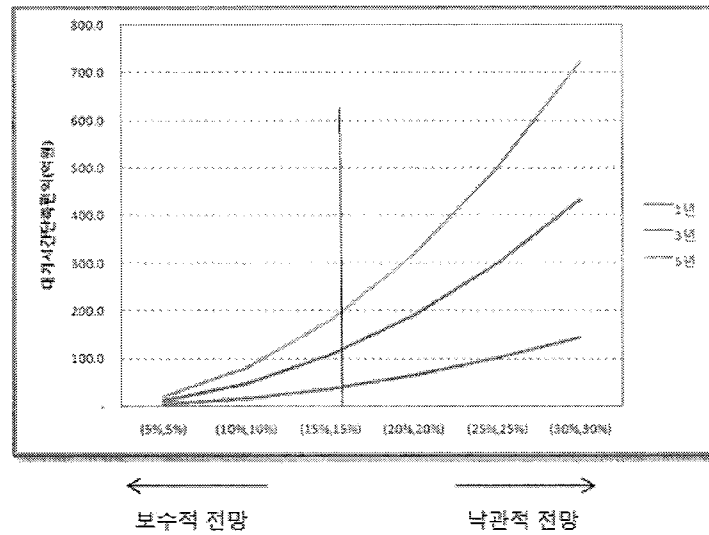


Fig 2.1.1 통행시간(차외) 절감 효과

- 철도연계 최적화에 의한 정차패턴 최적화 효과 (차내 대기시간): 900억/5년

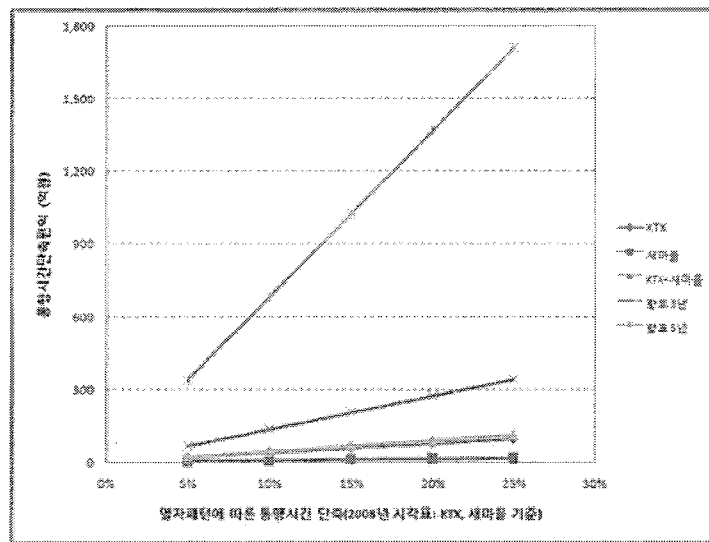


Fig 2.1.2 통행시간(차내) 단축효과 (2008년 기준)

- 철도연계 최적화에 의한 정차패턴 최적화 효과 (차내 대기시간)

철도연계 최적화 기대효과(보수적 산정)
 = 통행시간 단축효과 (통행시간 가치 산정)
 = 이중열차 연계 최적화 효과 (200억/5년) + 열차패턴 최적화 효과 (900억/5년)
 = 1,100억/5년

제 2 장 연구개발의 중요성 및 국내외 기술현황 분석

1. 국내 관련정책 및 연구개발 중복성 검토

1.1 국내 관련 정책의 연계성

- 제1차 철도산업발전 기본계획 (2006 - 2010, 건설교통부)

7대 중점분야	32개 추진과제
4. 철도연계 수송체계 구축 및 철도물류 효율화	가. 철도중심의 연계교통체계 구축
	나. 철도물류 복합일관 수송체계 구축
	다. 철도화물 취급역의 거점화
	라. 항만/산업단지 등의 철도인입선 건설
	마. 신개념 철도운송 시스템 도입
	바. 철도화물 경쟁력 제고를 위한 지원추진

- 국가정책에서는 철도중심의 연계교통체계의 중요성을 인식하고 관련 추진과제를 선정하여 진행 중에 있으나, 해당사업은 주로 ‘철도’ ⇔ ‘도로’와의 연계/환승에 집중하고 있어, 철도내부의 운영측면을 고려한 효율적 연계체계의 연구개발 필요

1.2 세부과제별 차별성

가. 교통연계 및 환승 시스템 기술개발 (교통연, 2006 - 2013)

관련과제	교통연계 및 환승 시스템 기술개발 (교통연, 2006-2013)	철도연계 최적화 시스템 개발
차별성	-‘철도’ ⇔ ‘도로’를 연계하는 복합 환승센터 설치	-철도내부에서 이종열차 (‘KTX’ ⇔ ‘새마을’ 등)간 연계를 위한 연 계역 중심
	-복합 환승센터의 건축물(주차장, 통로, 계단 및 에스컬레이터 등) 중심의 환승연계 시뮬레이션	-연계역에서 철도시설물의 구성 (구내배선 등)에 대한 연계 시뮬레 이션
	-복합 환승센터에 대한 운영체계	-이종 열차간 철도연계 서비스 최 적화

나. 경부고속철도 연계교통체계 구축 기본계획 수립 연구 (철도연, 2003)

관련과제	경부고속철도 연계교통체계 구축 기본계획 수립연구 (철도연, 2003)	철도연계 최적화 시스템 개발
차별성	-경부고속철도 수요예측 및 주요역별 공간적 연계교통체계	-이종 열차간 철도연계 서비스의 거 시적/미시적 최적화를 위한 상용 패키 지 개발

다. 철도역사에서 여객유동 평가 프로그램 개발 (철도연, 2006 - 2008)

관련과제	철도역사에서 여객유동 평가 프로그램 개발 (철도연, 2006-2008)	철도연계 최적화 시스템 개발
차별성	-철도 역사내 여객 유동현상을 파악 하고, 최적동선 구축과 역사구조 개선 안 제시	-이종 열차의 서비스 연계성 최적화 를 위한 철도시설물 설계에 대한 미 시적 시뮬레이션

1.3 기존 시스템에 대한 차별성 및 보완성

- KORAIL은 Fig. 2.2.1에서 보는 바와 같이 열차운영과 직접적으로 연관되는 시스템들에 대해서는 현재 직·간접적인 시스템들을 구축하여 운영하고 있으나, 비교적 상위단계의 철차인 수요예측과 노선서비스 계획 관련하여서는 해당 시스템을 구축하고 있지 않다.
- 따라서 본 과제에서 제안하는 시스템은 대중교통에 대한 국가적 필요성 뿐만 아니라 철도운영기관의 양호한 시각표 작성을 위한 도구로 활용 가능함

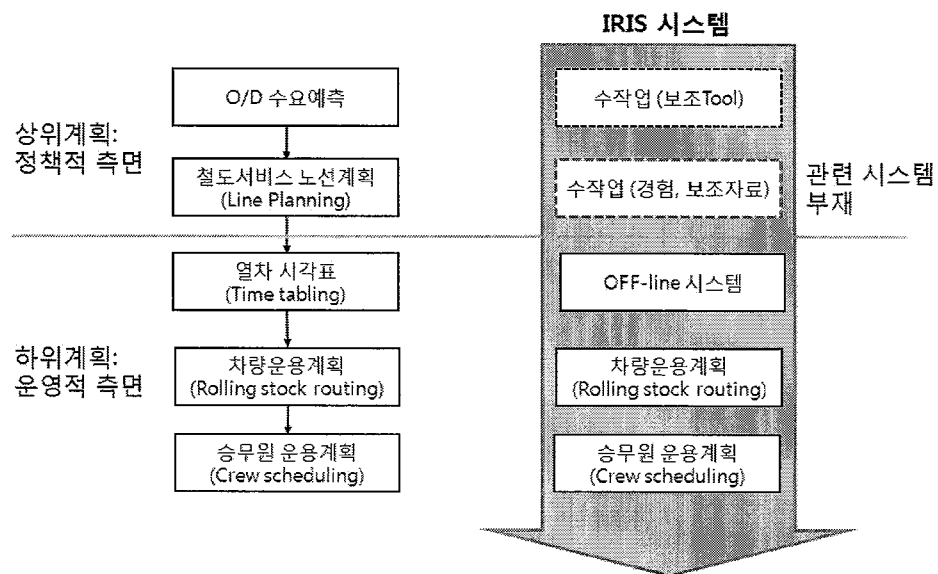


Fig 2.2.1 열차운행계획 수립체계에 따른 시스템 지원 현황

2. 국내외 기술개발 현황

2.1 세부과제 1

가. 해외연구 사례

○ JR 동일본의 신칸센 열차 연계 사례

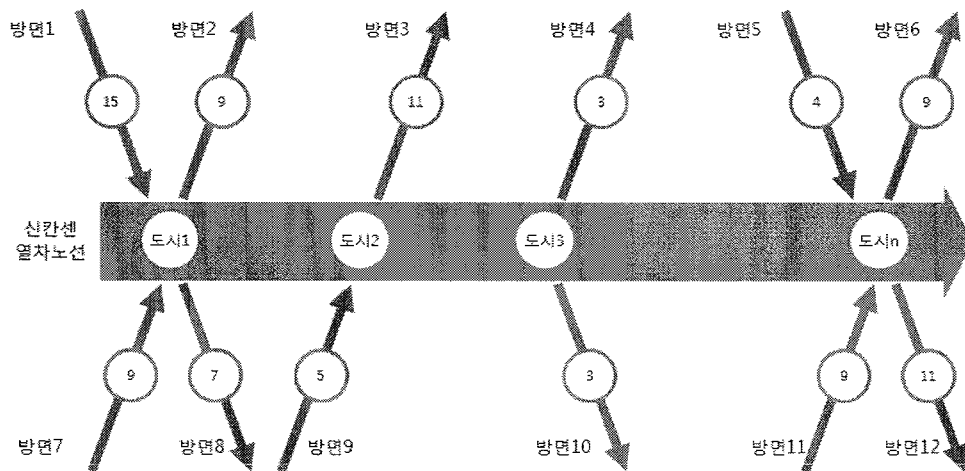


Fig 2.2.2 JR 동일본 신칸센의 사례

- Huang(1997)은 중국 철도수송에 있어 다중목적함수 네트워크 교통량 할당 최적화 문제를 제시함.
- Clasesens 등(1994, 1998)은 네덜란드 철도운영기관으로부터의 의뢰에 따라 운영자 비용절감을 목적으로 하는 새로운 형태의 노선계획 문제를 설정하고, 해당 문제의 수리적 모형과 해법을 제시
- Bussieck 등 (1996, 1998, 2003)은 철도의 노선계획 분야에서 가장 많은 연구 결과를 제하였으며, 특히 철도 노선계획 문제에 대한 조합 최적화 (Combinatorial Optimization)의 기반을 수립

나. 국내외 기존연구의 한계점 및 시사점

(1) 철도 서비스 노선계획 관련 기존 연구들의 한계

- 국내 연구의 경우 절대적인 연구실적의 부족.
- Oltrogge (1994)의 분류에 따르면 열차 서비스 노선계획이 4단계로 구성된 절차인데 국내 연구들은 이중 단계-3인 Line Optimization에 관련된 주제로 편중
- 국내외 전반적으로 전체 O/D를 수단 및 서비스 종별 O/D로 분할하는 System split에 대한 연구 실적이 부족
- 복수의 열차종별에 대한 적정 열차 노선계획 수립절차 및 결과물에 대한 평가절차에 대한 연구가 부진

(2) 철도 서비스 노선계획 연구관련 시사점

- 철도서비스 노선 계획 수립 및 평가를 위한 전문 S/W Tool 개발 필요
- System split 등 복수 열차종별에 대한 최적 수요분담 방법 검토

2.2 세부과제 2

가. 해외연구 사례

- 네덜란드의 철도연계 및 지연평가 프로그램

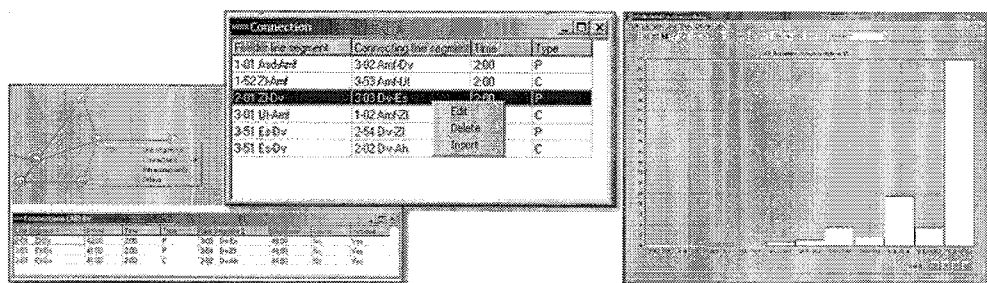


Fig 2.2.3 PETER: 네덜란드의 철도연계 및 지연평가 프로그램

- 철도수송계획 단계에서 시뮬레이션 기법을 활용하여 강인성이나 민감도분석을 통하여 서비스 신뢰도 혹은 트래픽분석, 네트워크용량평가 등을 수행한 연구 사례

- Barter는 시뮬레이션(RailPlan)을 이용하여 요인모수 및 외란을 이용하여 서비스 신뢰도 평가분석을 수행
- Bergmark(1996)는 스웨덴에서 시뮬레이션(Simon)을 이용하여 용량 및 트래픽 분석을 통해 애로구간 파악 및 향후 스케줄 조정
- Uccini(2000)는 스위스 알프스 남북철도에서 CAPRES란 시스템을 이용하여 시각표 작성 중 네트워크 용량을 평가

나. 기존 해외연구의 한계점 및 시사점

(1) 철도시설 연계 편의성 평가 시뮬레이션 관련 기존연구들의 한계

- 철도연계를 고려한 역내 승객 및 시설에 대한 분석 및 평가에 대한 연구는 부족
- 환승승객의 총 환승시간을 최소화하는 연계시각표 작성문제에 대한 연구 미흡

(2) 철도시설 연계 편의성 평가 시뮬레이션 관련 연구의 시사점

- 미시적 레벨에서 열차 서비스간 연계저항 최소화를 위한 구내배선 계획/평가 시뮬레이션을 위한 전문 S/W Tool 개발 필요
- 기존역의 연계체계 평가 및 신설역의 설계안 제시

3. SWOT 분석 및 국내 핵심기술 수준분석

3.1 세부과제별 SWOT 분석

○ 세부과제 1

Table 2.2.1 SWOT 분석: 세부과제 1

SWOT 분석을 통한 전략방향 도출	O(기회)	T(위협)
	◦ 국제적 에너지가격 상승 ◦ 환경규제 심화 ◦ 시간가치의 상승 ◦ 국내 IT산업 저변확대 ◦ 국내 국가철도망의 지속적 확장 ◦ 고객서비스 요구수준 상승 ◦ 세계화의 진행	◦ 소득수준 향상에 따른 승용차 이용자 증가 ◦ 고객서비스 요구수준 상승(역기능) ◦ 세계화의 진행(역기능)
S(강점)	SO전략	ST전략
◦ 철도 서비스 고유의 강점: 대규모 수송, 교통혼잡 영향 적음 ◦ 산출물의 활용가능성이 높음 ◦ 고부가가치 제품으로서, 별도의 시설 없이 개발 가능	◦ 철도연계 최적화 시스템 개발 ◦ 개발 시스템 국내외 적용 확대	◦ 산출물의 현지 적용성 극대화 개발 전략으로 고객 서비스 요구수준 역기능 해소 ◦ 고부가가치 제품화로 세계화의 역기능을 순기능으로 활용
W(약점)	WO전략	WT전략
◦ 소프트웨어 개발 과제가 갖는 고유의 단점: 중복성에 대한 논란 발생	◦ 연구과제의 필요성 및 차별성 명확히 제시	◦ 산출물의 차별성을 명확히 제시 ◦ 현실 적용방안 제시

○ 세부과제 2

Table 2.2.2 SWOT 분석: 세부과제 2

SWOT 분석을 통한 전략방향 도출	O(기회)	T(위협)
	◦ 다양한 철도서비스의 연계를 이용하는 철도수요에 대한 요구 증대 ◦ 환승시간에 대한 사회적 시간가치 상승 ◦ 시뮬레이션을 활용한 기타 교통수단 효율화 사례 증가	◦ 교통수단간 경쟁구조로 인한 철도내의 환승 수요 감소 ◦ 간선철도의 환승에 대한 국민적 인식 낮음
S(강점)	SO전략	ST전략
◦ 철도여객환승의 수리적 분석에 대한 요구 증가 ◦ 승객환승정보 수집 환경 보유	◦ 철도여객서비스 및 수송력에 대한 지속적인 향상이 가능한 체계 구축 ◦ 철도연계 체계를 현실적으로 모사하는 시뮬레이터 개발	◦ 다양한 철도연계 노선 개발
W(약점)	WO전략	WT전략
◦ 철도여객환승 관련 연구 미비 ◦ 기존인프라 및 운영정책의 변경 어려움 ◦ 철도관제 및 마케팅 관련분야 연계 기술 부재	◦ 해외 적용사례 벤치마킹 ◦ 철도 운영기관과의 협의를 통해 철도연계에 대한 운영 및 계획의 폐쇄성 극복	◦ 정량적 분석을 통한 철도연계 효과에 대한 홍보/이해 확대

3.2 국내 핵심기술 수준분석

- 철도연계시스템의 구축은 각 요소기술을 통합하는 시스템 구축기술 개발로서 요소기술의 수준은 평균 50% 수준이며 전문 인력의 보유 50% 이하, 체계종합이라 칭하는 기술의 정도는 50% 이하로서 체계종합기술 및 역량의 보강이 필요한 분야임.

Table 2.2.3 세계 최고수준의 기술 대비 국내수준의 기술

세부항목		세계최고수준 (보유국)	국내수준 (최고수준대비, %)
세부과제 1	철도연계 수요예측	미국	50
	네트워크 용량	UIC	60
	철도서비스 노선계획	네덜란드	50
세부과제 2	철도연계 시뮬레이션	네덜란드	50
	철도연계 시각표 작성	독일	60

제 3 장 연구개발 수행내용 및 결과

1. 기획연구의 최종목표

1.1 최종산출물의 기본구성

- 수송력 향상을 위한 철도연계시스템 구축 기술개발 의 최종목표는 철도연계 최적화 시스템 개발에 있다. 철도연계 최적화 시스템은 거시적 철도연계 최적화 시스템과 미시적 철도연계 시뮬레이션 시스템의 2 가지 서브시스템으로 구성

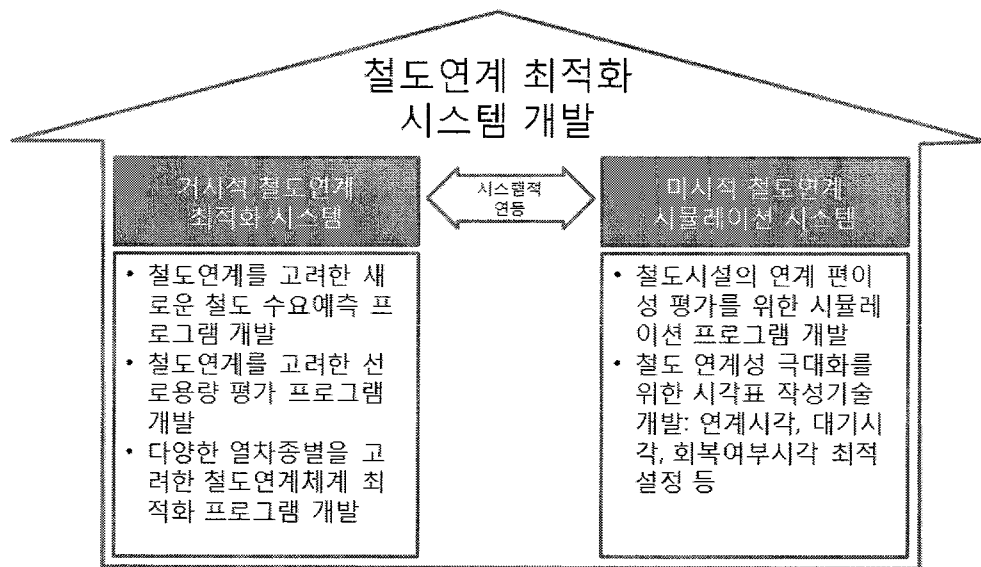


Fig. 2.3.1 철도연계 최적화 시스템 기본구성

1.2 최종산출물의 이미지

- 철도연계 최적화 시스템은 장래의 철도운영기관(예, KORAIL)이 이와 같은 복잡한 열차운영상황(즉, 격자화된 네트워크, 연계에 민감한 승객수요, 네트워크체계에서의 선로용량 등)하에서 고품질의 시각표 작성을 위한 기준과 분석 자료의 제공이 가능

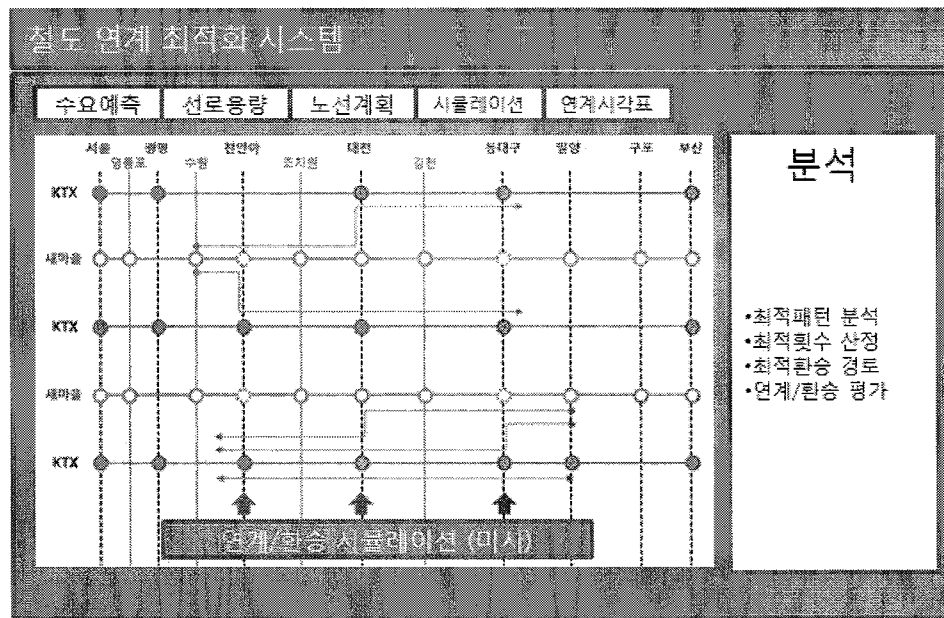


Fig. 2.3.2 철도연계 최적화 시스템 최종 이미지

2. 세부과제 정의 및 범위 설정

2.1 세부과제1: 거시적 철도연계 노선계획 최적화

가. 철도연계 최적화를 위한 수요예측

- 시스템 및 정차패턴별로 다양하게 나타나는 철도부문의 특성을 반영할 수 있는 철도부문만의 특화된 수요예측방법이 정립을 위한 연구항목
- 다양한 시스템 및 운행전략에 근거한 철도부문 정산방법론 연구
- 환승을 고려한 복합교통망에서의 대중교통통행배정모형 적용방안 연구
- 다양한 철도시스템별 철도통행비용함수 구축 및 검증

나. 철도연계 최적화를 위한 네트워크 용량설계 및 평가

- 네트워크의 각 분에 대한 투자 사업이 네트워크 전반에 걸치는 용량개선 효과를 분석/평가하는 기술개발

다. 철도연계 최적화 프로그램 개발

- 철도연계의 최적화는 격자형으로 구성된 복잡한 네트워크와 다양한 열차 서비스 종별에 대해서 모든 O/D간의 승객통행의 편이성을 최대화하는 열차별 서비스 패턴(즉, 시/종착역 선정, 정차역 선정 등) 및 각 서비스 패턴별 열차 횟수를 찾는 것으로 정의
- 철도연계 최적화 프로그램은 각 세부과제별 내용을 총괄하여 통합 시스템으로 개발

2.2 세부과제 2: 미시적 철도연계 시뮬레이션

가. 철도시설의 연계성 평가를 위한 시뮬레이션 시스템 개발

- 연계저항 최소화를 위한 구내배선 계획/평가 시뮬레이션 시스템

나. 철도연계 시각표 작성 기술개발

- 철도 시각표 연계성 평가: 주어진 시각표의 환승/접속 대기시간 및 열차의 여유시간 등 연계성 확보를 위해 주어지는 스케줄 요소의 평가
- 철도 연계 시각표 작성: 열차접속계획 변경 여부를 결정, 대기 및 지연으로 인한 철도네트워크상 파급효과를 예측 등에 대한 최적화기법을 바탕으로 하는 철도연계 시각표 작성

3. 연구개발 추진체계

3.1 요소기술 정의

가. 요소기술별 핵심역량 기관 정의

- 요소기술별 핵심역량을 가진 관련기관의 현황은 다음 Table 2.3.1과 같다

Table 2.3.1 요소기술별 핵심역량 기관

요소기술	관련 기관
◦ 철도교통 수요예측 기술 ◦ 철도교통 수요데이터의 통계분석 기술	연구소, 대학
◦ 각종 선로용량 분석 기술	연구소
◦ 문제정의에 대한 수리적 정형화 기술 (mathematical modeling) 및 요소기술에 대한 인터페이스	연구소
◦ 대규모 최적화 문제에 대한 효율적인 알고리즘 개발 기술	연구소, 대학
◦ 개발된 알고리즘의 라이브러리 구현 관련 최적화 프로그래밍 기술	연구소, 대학
◦ 확률모형에 대한 수리적 정형화 기술 (stochastic process modeling)	연구소, 대학, 전문업체
◦ 시뮬레이션 프로그래밍 기술	연구소, 대학, 전문업체
◦ 철도연계 시각표 작성관련 Calculus: MAXPlus Algebra	연구소, 대학
◦ SI 개발 방법론에 따른 S/W 개발 기술 ◦ 최적화 및 시뮬레이션 라이브러리 연동기술 ◦ 대규모 DB 작성 및 제어 기술 ◦ 철도시설 관련 공간설계 파일(CAD) 제어 기술	SI 개발 업체
◦ 시스템에 대한 주요 요구사항 및 적용방안 도출	정부, 시설관리기관, 운영기관, 컨설팅/엔지니어링 업체
◦ 장래 국가 철도망 발전방향 제시	정부, 시설관리기관
◦ 국내외 철도운영체계 조사 및 분석	운영기관, 연구소, 컨설팅/엔지니어링 업체
◦ 국내 철도연계 관련 시설 및 운영 데이터 제공 및 분석 참여	시설관리기관, 운영기관

3.2 연구개발 추진체계

○ 본 사업의 관·산·학·연 추진체계는 다음 Fig 2.3.3과 같다.

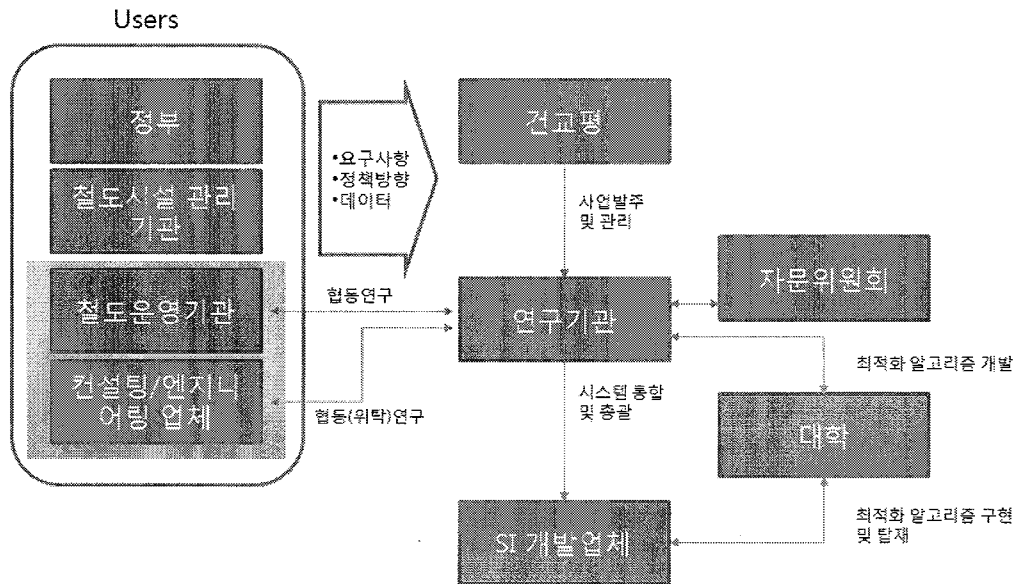


Fig. 2.3.3 사업 추진체계

4. 소요인력 및 예산분석

4.1 소요예산 인력 추정

- 철도연계 최적화 프로그램 개발을 위한 소요인력은 아래와 같이 추정된다.

Table 2.3.2 투입인력 내역 (단위: Man-Year)

과제코드	연구과제 내용	연차별 투입인력				
		계	1차	2차	3차	4차
합계		61.00	13.48	16.21	20.35	10.96
세부과제 I	거시적 철도연계 노선계획 최적화 프로그램 개발	37.00	13.41	16.18	20.43	10.97
I-1	철도연계 최적화를 위한 수요예측	5.00	7.99	9.87	12.62	6.51
I-2	철도연계 최적화를 위한 네트워크 용량설계 및 평가	10.00	1.31	1.31	0.79	1.60
I-3	철도연계 최적화 모형 및 핵심 알고리즘 개발	22.00	2.91	2.91	3.22	0.97
세부과제 II	미시적 철도연계 시뮬레이션	24.00	3.78	5.67	8.69	3.87
II-1	철도시설의 연계성 평가를 위한 시뮬레이션 시스템 개발	18.00	5.42	6.31	7.80	4.47
II-2	철도연계 시각표 작성 기술개발	6.00	3.78	4.63	6.52	3.08

4.2 소요예산 현황

- 철도연계 최적화 프로그램 개발을 위한 예산 현황은 아래와 같다.

Table 2.3.3 사업 예산 총괄

구분	과제명	소요예산 (억원)	산출근 거
세부과제 I	거시적 철도연계 노선계획 최적화 프로그램 개발	39.36	투입 M/M
- I-1	철도연계 최적화를 위한 수요예측	5.73	
- I-2	철도연계 최적화를 위한 네트워크 용량설계 및 평가	10.32	
- I-3	철도연계 최적화 모형 및 핵심 알고리즘 개발	23.30	
세부과제 II	미시적 철도연계 시뮬레이션	24.34	투입 M/M
- II-1	철도 연계성 평가를 위한 시뮬레이션 시스템 개발	19.07	
- II-2	철도연계 시각표 작성 기술개발	5.27	
총액		63.70	

Table 2.3.4 정부/민간 투자 예산

(단위: 억원)

세부 과제	과제 연구내용	1차('09)		2차('10)		3차('11)		4차('12)		계	
		정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간	정부	민간
1	철도연계노선 및 연계시각표 최적화 프로그램 개발	6.38	2.13	7.88	2.63	12.89	4.30	2.37	0.79	29.51	9.84
2	철도연계시설 시뮬레이션 프 로그램 개발	4.13	1.38	4.80	1.60	8.06	2.69	1.28	0.43	18.26	6.09
합 계		10.51	3.51	12.68	4.23	20.95	6.99	3.65	1.22	47.77	15.93

4.3 연차별 연구개발 계획

가. 세부과제 1

(1) 세세부과제 1-1

Table 2.3.5 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 1-1

연차별	연구목표	예산 (억원)
1차년도	철도부문 수요추정을 위한 정산방법론 개발	1.50
2차년도	환승을 고려한 복합교통망에서의 대중교통통행배정모형 개발	1.50
3차년도	다양한 철도시스템별 철도통행비용함수 개발	0.90
4차년도	현실 데이터 적용 시험	1.83
합계		5.73

(2) 세세부과제 1-2

Table 2.3.6 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 1-2

연차별	연구목표	예산 (억원)
1차년도	철도시스템 용량 표준체계 구축	3.00
2차년도	철도시스템 용량 분석기술 개발	3.00
3차년도	지원시스템 개발 및 주시스템과의 연계	3.32
4차년도	표준지침서 작성 및 확산방안 수립	1.00
합계		10.32

(3) 세세부과제 1-3

Table 2.3.7 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 1-3

연차별	연구목표	예산 (억원)
1차년도	철도연계 최적화 문제정의	4.00
2차년도	철도연계 최적화 핵심알고리즘 개발	6.00
3차년도	통합 응용프로그램 개발	9.20
4차년도	현실 데이터 적용시험	4.10
합계		23.30

나. 세부과제 2

(1) 세세부과제 2-1

Table 2.3.8 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 2-1

연차별	연구목표	예산 (억원)
1차년도	철도시설 연계성 평가 핵심 파라미터 연구	4.00
2차년도	철도시설 연계성 평가 시뮬레이션 핵심알고리즘 개발	4.90
3차년도	철도시설 연계성 평가 시뮬레이션 프로그램 인터페이스 개발	6.91
4차년도	현실데이터 적용시험	3.26
합계		19.07

(2) 세세부과제 2-2

Table 2.3.9 연차별 연구개발 계획: 세세부과제 2-2

연차별	연구목표	예산 (억원)
1차년도	철도연계 시각표 핵심파라미터 연구	1.50
2차년도	철도연계 시각표 시뮬레이션 연구	1.50
3차년도	통합 응용프로그램 인터페이스	1.00
4차년도	현실 데이터 적용시험	1.27
합계		5.27

5. 연구과제 RFP

1 과제 : 철도연계노선 및 연계시각표 최적화 프로그램 개발	
연구개발 목 표	○ 현재 운영중인 KTX 및 장래 도입예정인 KTX2 등 고속·간선 열차와 기존 지역 간 열차 사이의 역할 분담을 최적화할 수 있는 네트워크 기반의 철도 연계 체계 최적화 시스템 개발
연구개발 필 요 성	○ 국내 철도망 구조가 급속하게 복잡화 및 네트워크화 될 전망이다 ○ 철도의 연계서비스 품질향상을 위해 고속간선과 기존열차간 연계체계 최적화 필 요
주요내용 및 범위	○ 철도연계 최적화를 위한 수요예측 ○ 철도연계 최적화를 위한 네트워크 용량설계 및 평가 ○ 철도연계 최적화 모형 및 핵심 알고리즘 개발
세부 연구 내용	○ 사업 총괄 및 관리 ○ 철도연계 최적화를 위한 수요예측 - 철도부문 수요추정을 위한 정산방법 론 개발 - 환승을 고려한 복합교통망에서의 대 중교통통행배정모형 개발 - 다양한 철도시스템별 철도통행비용함 수 개발 - 철도연계 최적화를 위한 통행수요예 측 핵심알고리즘 개발 ○ 철도연계 최적화를 위한 네트워크 용 량설계 및 평가 - 철도시스템 용량 표준체계 구축 - 네트워크 기반의 철도시스템 용량 분 석기술 개발 - 표준지침서 작성 및 확산방안 수립 ○ 철도연계 최적화 프로그램 개발 - 철도연계 최적화 문제정의 - 철도연계 최적화 핵심알고리즘 개발 - 통합 응용프로그램 인터페이스 - 철도연계 시각표 핵심파라미터 연구 - 철도연계 시각표 시뮬레이션 연구 - 통합 응용프로그램 인터페이스 - 현실 데이터 적용시험 ○ 시스템 구축 및 구현 코드개발 - 응용 프로그램 개발 - H/W 구축 - 상용 S/W 구매 설치
추진방법	○ 국내외 전문인력을 활용하고, 유럽, 일본 등의 철도연계 체계에 대한 선행 연구기관과 협력 강화를 통하여 추진 ○ 철도연계 최적화 관련 수요예측, 네트워크 용량평가, 시뮬레이션 등의 분야 등 다양한 분야의 전공자들을 유연하게 활용할 수 있도록 사업구성 ○ 철도연계 최적화와 관련된 학계/산업계/연구계 전문가로 자문단을 구성하고 역할을 부여하여 연구에 참여시키고, 자문회의를 수시로 개최하여 전문가 의견을 연구에 적극 반영 ○ 상용 패키지형 통합 S/W개발을 목표로 직접 실용화가 가능한 방안으로 추진

파급효과 및 활용방안	○ 대중교통으로서 철도의 품질관리에 활용 ○ 철도연계성을 고려한 시각표 작성에 활용 ○ 철도연계서비스 품질향상을 통한 철도수송분담율 개선											
연차별 연구개발	1년차	○ 철도부문 수요추정을 위한 정산방법론 개발 ○ 철도시스템 용량 표준체계 구축 ○ 철도연계 최적화 문제정의										
	2년차	○ 환승을 고려한 복합교통망에서의 대중교통통행배정 모형 개발 ○ 철도시스템 용량 분석기술 개발 ○ 철도연계 최적화 핵심알고리즘 개발										
	3년차	○ 다양한 철도시스템별 철도통행비용함수 개발 ○ 지원시스템 개발 및 주시스템과의 연계 ○ 통합 응용프로그램 개발										
	4년차	○ 현실 데이터 적용시험 ○ 표준지침서 작성 및 확산방안 수립										
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연		6.38	7.88	12.89	2.37						29.51
	공공기관		-	-	-	-						
	민간부담		2.13	2.63	4.30	0.79						9.84
	합 계		8.50	10.50	17.19	3.16						39.36

2 과제 : 철도연계시설 시뮬레이션 프로그램 개발

연구개발 목 표	○ 거시적 철도연계 최적화에 따른 각 역별 철도연계시설의 연계 편이성 확보를 위 한 시뮬레이션 프로그램 개발											
연구개발 필 요 성	○ 거시적 철도연계 최적화에 따른 연계시설의 실행가능성 확보 필요 ○ 기존의 불합리한 플랫폼 및 배선구조에 대한 개량 프로그램 필요											
주요내용 및 범위	○ 철도시설의 연계성 평가를 위한 시뮬레이션 시스템 개발 ○ 철도시설의 연계성 확보를 위한 설계사양 제시											
세부 연구 내용	○ 철도시설의 연계성 평가를 위한 시뮬레이션 시스템 개발 - 철도시설 연계성 평가 핵심 파라미터 연구 - 철도시설 연계성 평가 시뮬레이션 핵 심알고리즘 개발 - 철도시설 연계성 평가 시뮬레이션 프 로그램 인터페이스 개발 - 현실 데이터 적용시험 ○ 시스템 구축 및 구현 코드개발 - 응용 프로그램 개발 - H/W 구축 - 상용 S/W 구매 설치											
추진방법	○ 국내외 전문인력을 활용하고, 유럽, 일본 등의 철도연계 체계에 대한 선행 연구기관과 협력 강화를 통하여 추진 ○ 철도연계 최적화 관련 수요예측, 네트워크 용량평가, 시뮬레이션 등의 분야 등 다양한 분야의 전공자들을 유연하게 활용할 수 있도록 사업구성 ○ 철도연계 최적화와 관련된 학계/산업계/연구계 전문가로 자문단을 구성하고 역할을 부여하여 연구에 참여시키고, 자문회의를 수시로 개최하여 전문가 의견을 연구에 적극 반영 ○ 상용 패키지형 통합 S/W개발을 목표로 직접 실용화가 가능한 방안으로 추진											
파급효과 및 활용방안	○ 장래 신선 건설 및 기존선 개량에서 철도연계성을 고려한 연계설비의 설계 감리 에 활용 ○ 열차운행관련 이벤트들의 확률적 처리 능력을 보완하여 장래 열차간의 연계성 평 가를 위한 도구로 활용											
연차별 연구개발	1년차	○ 철도시설 연계성 평가 핵심 파라미터 연구 ○ 철도시설 연계성 평가 시뮬레이션 모델 개발										
	2년차	○ 철도시설 연계성 평가 시뮬레이션 핵심알고리즘 개발 ○ 철도연계 시각표 시뮬레이션 연구										
	3년차	○ 철도시설 연계성 평가 시뮬레이션 프로그램 인터페이스 개발 ○ 통합 응용프로그램 인터페이스										
	4년차	○ 현실데이터 적용시험										
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연		6.38	7.88	12.89	2.37						18.26
	공공기관		-	-	-	-						
	민간부담		1.38	1.60	2.69	0.43						6.09
	합 계		5.50	6.40	10.74	1.70						24.34

제 4 장 목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

항목	내용	기여도	달성도 (%)
1	국내외 정책 및 기술현황 (동향 및 수준) 분석	- 중앙정부 및 철도운영기관의 중장기 정책을 통한 철도연계관련 국내 정책방향 조사에 기여 - 국외 문헌조사를 통한 해외 정책방향, 관련 기술수준 및 실용화/상업화 추진사례 조사에 기여 - 국내외 기술현황 및 수준 등 조사된 자료를 바탕으로 SWOT 분석 실시에 기여 - SWOT 분석에 따른 현행 보완 필요 기술의 정의 및 시사점 도출에 기여 - 전산 DB등을 활용한 관련 특허조사에 기여	100
2	기존 유관 연구개발 조사	- 본 사업의 최종목표 및 방향과 연계되는 기존연구의 조사에 기여 - 유사점 발견과제의 성과 활용방안 수립 (필요시)에 기여 - 연관된 기존연구와 범위 고찰 및 중복성 검토에 기여 - 연관된 기존연구의 추진체계 및 실행방안 조사 및 시사점 도출에 기여	100
3	연구개발 필요성 및 범위 설정	- SWOT 분석에 따른 필요과제의 정의 및 과제별 필요성 확립에 기여 - 국내외 현황조사 및 기존 유관 연구개발의 시사점에 따른 연구개발 주요내용 도출에 기여 - 세부과제의 성격에 따른 단계별 추진목표 및 범위 설정에 기여	100
4	추진체계 및 전략 분석	- 본 사업의 세부과제 성격 (예, 이론/학술 분야, S/W 개발 분야 등)에 따른 추진체계 정립에 기여 - 관련분야에 경험이 있는 철도운영기관과의 협조체계 구축에 기여 - 철도계획 및 운송분야의 이론적 및 경험적 접근이 가능한 전문가 참여에 기여	100

항목	내용	기여도	달성도 (%)
5	기술개발의 기술적/경제적 타당성 검토	- 신기술/요소기술 내용정립, 기술적 요구사항 및 현 기술수준 및 기술보완사항 분석에 기여 - 철도연계 관련 제품화 기술의 실용화/상업화 가능성 판단 및 시장파급 효과 분석에 기여 - 정책적 제언 및 정부지원의 타당성 검토	100
6	소요예산분석 및 연구개발 로드맵 작성	- 본 사업의 세부과제별 성격에 따른 예산소요내역 분석에 기여 - 본 사업의 철도연계 제품화 기술에 따른 S/W를 고려한 예산 소요내역 분석 및 산출근거 제시에 기여 - 본 사업의 최종목적 달성을 위한 세부과제별 로드맵 제시에 기여 - 자문회의를 통한 도출과제 및 세부추진계획의 점검 및 보완	100
7	본 사업 RFP작성 및 평가기준 작성	- 본 사업의 연구목표를 달성하기 위한 RFP 작성에 기여 - 관련 국가정책의 고려에 따른 RFP 작성에 기여 - 본 사업 추진을 위해 필요한 제반사항이 정의된 RFP 작성에 기여 - RFP에 대한 제안서 평가시 변별력을 확보하고, 우수한 제안서를 구분할 수 있는 평가기준 제시에 기여	100
8	종합보고서 작성	- 연구결과를 종합한 최종보고서 작성에 기여 - 한국건설교통기술평가원과의 협의를 통한 최종보고서 수정 및 제출에 기여	100

제 5 장 연구개발 결과의 활용 계획

항목	내용	기여도
1	연구개발 중복성 검토	- 국내 관련정책과 연관성 도출에 활용 - 기존 시스템과의 차별성 및 보완성 검토에 활용 - 기존 연구사업과의 차별성 검토에 활용
2	철도연계 요소기술 도출	- 철도연계 최적화 시스템의 핵심 기능 및 역할 검토에 활용 - 관련기관별 역할분담을 통한 역할정의 - 연구개발 추진체계 설계에 활용
3	거시적 철도연계노선 계획 최적화	- 철도연계 최적화를 위한 수요예측 방법론 도출에 활용 - 철도연계 최적화를 위한 네트워크 용량 설계 및 평가 검토에 활용 - 철도연계 최적화 시스템 개념설계에 활용
4	미시적 철도연계 시뮬레이션	- 철도시설 연계성 평가 시뮬레이션 시스템 개념설계에 활용 - 철도연계 시각표 작성기술개발 검토에 활용
5	기술적/경제 적 타당성 및 사업성 검토	- 연구개발 필요성 및 효과 검토에 활용 - 연구비용, 기간 등의 적절성 검토에 활용 - 연계환승 최적화로 인한 통행시간 절감 효과 홍보에 활용 - 정책적 제언 및 정부지원의 타당성 검토에 활용
6	보고서 작성	- 최적 철도연계시스템 개발안 작성에 활용

기관별 최종 활용방안은 다음 Table 2.5.1과 같다.

Table 2.5.1 기관별 최종 활용방안

사용자	활용방안
정부	◦ 대중교통으로서 철도서비스의 품질관리에 활용
철도시설 관리기관	◦ 장래 신선 건설 및 기존선 개량에서 철도연계성을 고려한 연계설비의 설계 감리에 활용
철도운영기관	◦ 철도연계성을 고려한 시각표 작성에 활용
컨설팅/엔지니어링 업체	◦ 장래 신선 건설 및 기존선 개량에서 철도연계성을 고려한 철도연계설비의 설계에 활용

본 연구결과의 해외 진출방안은 다음과 같다.

- 시스템 메뉴 및 설명서의 다국어화
- 개발된 핵심 알고리즘의 국제 특허 출원 및 등록 추진

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

1. 네트워크 용량분석 관련

Table 2.6.1 네트워크 용량분석 관련 해외 연구문헌

자료명	주요내용
Fransoo(2000)	복선을 집중적으로 운용하고 있는 네덜란드 철도를 대상으로 수송용량 증대를 위한 인프라 투자대안들에 대한 총괄모형을 제시하였으며, 2종의 열차혼합에 대한 최악(Worst Case)의 선로용량 분석을 수행
Parkinson(1996)	TCRP 보고서에서 북미 철도수송의 용량을 분석하고 결정하기 위한 기반체계 구축을 목적으로 연구를 수행하였음. 여기는 UIC 계산법과 유사하나 관련요소들의 체계적인 종합절차를 제시하고 있으며, 용량분석은 범위(Range)로 제시되어야 함을 시사
Abacoumkin(1994)	그리스 철도에서 기술적, 재정적 제약으로 인프라 이용률 증대를 통해 저비용 용량증대 대책의 필요성이 부각됨에 따라, 애로구간인 Tithorea 와 Domokos 구간(17개역)을 대상으로 UIC 방법 및 독일연방규격을 이용하여 선로용량을 분석하고 여러 가지 용량증대 시나리오에 대하여 분석
Jelaska	투자옵션 분석을 위한 모델과 단선 라인의 용량증대를 위한 연구를 수행하였으며, 경제성 평가를 위하여 내부수익률 계산과 민감도분석을 수행
Cosulich(1994)	단선구간 경량전철을 대상으로 운송용량 최대화 문제를 다루었으며, 운송용량에 관계되는 파라미터들을 지적하고 각 파라미터의 역할을 시뮬레이션으로 분석
Krueger(1999)	캐나다 국영철도에서 용량계획시 사용하는 모수기반모델 (Parametric Model)을 제시하였으며, 트랙 이용률 개선도구로서 서비스 신뢰도 증가 및 자본비용 감소효과 제시. 트랙용량을 이론용량, 실질용량, 사용용량, 가용용량으로 구분하고, “what-if” 분석을 통해 비용/이익 분석을 수행
Corazza(1994)	이태리 철도네트워크상의 역을 대상으로 트랙용량 평가 문제를 다룸
Hansen(2000)	네덜란드 철도를 대상으로 역 통과용량을 대기행렬이론을 이용하여 분석

Gill(2000)	도시철도의 경우 선로용량은 종단역 또는 중간역의 가능 회차 횟수에 종속적이라는 견해를 보이고 이의 분석을 위한 시뮬레이션 모델을 제시
Malavasi(2000)	주변 노드와 링크를 고려하면서 철도 네트워크의 여유용량에 대한 분석모델을 제시하고 로마 도시철도에 적용

2. 철도 노선서비스 계획 관련

Table 2.6.2 철도 노선서비스 계획 관련 해외 연구문헌

자료명	주요내용
Huang(1997)	중국 철도수송에 있어 다중목적함수 네트워크 교통량 할당 최적화 문제를 제시함. 전체 네트워크에서 용량을 균형적으로 사용하기 위해 어떻게 최적 수송경로를 선택하고 교통량을 이상적으로 할당하는가에 대한 문제를 다룸
Clasessens 등 (1994, 1998)	네덜란드 철도운영기관으로부터의 의뢰에 따라 운영자 비용절감을 목적으로 하는 새로운 형태의 노선계획 문제를 설정하고, 해당 문제의 수리적 모형과 해법을 제시하였음. 여기서 제시된 모형은 기존 Bussieck 등 (1996)의 기존 연구들과는 차별화된 방향을 제시하고 있으며, 현대적인 노선계획 문제에 대한 연구들은 대부분 Clasessens이 제시한 방향을 따르고 있음
Bussieck 등 (1996, 1998, 2003)	철도의 노선계획 분야에서 가장 많은 연구결과를 제하였으며, 특히 철도 노선계획 문제에 대한 조합 최적화 (Combinatorial Optimization)의 기반을 수립하였음. Bussieck 등은 승객의 편리성을 향상할 수 있는 방향으로 모형을 제시하였으며, 이러한 접근법은 도시철도 보다 지역간 철도에 잘 적용될 수 있다는 것이 현대 연구자들의 일반적인 견해

3. 철도 시뮬레이션 관련

Table 2.6.3 철도 시뮬레이션 관련 해외 연구문헌

자료명	주요내용
Barter	시뮬레이션(RailPlan)을 이용하여 요인모수 및 외란을 이용하여 서비스 신뢰도 평가분석을 수행
Bergmark(1996)	스웨덴에서 시뮬레이션(Simon)을 이용하여 용량 및 트래픽 분석을 통해 애로구간 파악 및 향후 스케줄 조정에 사용
Uccini(2000)	스위스 알프스 남북철도에서 CAPRES란 시스템을 이용하여 시각표 작성 중 네트워크 용량을 평가

제 7 장 참고문헌

- [1] Patz (1925), LPP관련 최초의 연구 (독일어)
- [2] Wegel (1974), 박사학위 논문: Introduced the notion of line frequency requirements for each edge (독일어)
- [3] Dienst (1978), 박사학위 논문: Introduces a branch-and-bound procedure for a slightly generalized problem (독일어)
- [4] Sonntag (1979), 박사학위 논문: A line must begin and end in a so called classification yard (독일어)
- [5] Simonis (1981), 서비스 노선계획 알고리즘 연구: Constructs a line plan iteratively starting with an empty line plan (독일어)
- [6] Pape et. al. (1995), 서비스 노선계획의 분해해법: Suggest a decomposition of the set of possible lines
- [7] Oltrogge (1994), 박사학위 논문: LPP에 대한 계층적 방법론 제시
- [8] M. Bussieck (1996), maximize the number of direct travelers
- [9] M. T. Clasessens, et. al. (1998), LPP의 지역간 철도에 적용
- [10] M. Bussieck (1998), 박사학위 논문: both maximize direct travelers and minimize operating cost
- [11] T. Lindner (2000), 박사학위 논문: LPP + TTP
- [12] Y. H. Chang et. al (TR-B, 2000), A multi-objective model for passenger train services planning; 대만 고속철도 운영체계 수립에 대한 응용
- [13] 김기현, 서선덕 (2002), “비선형 정수계획법을 이용한 운행전략에 따른 열차운영계획 수립”, 대한교통학회지, 20(7), 2002
- [14] 박범환, 오석문, 홍순흠, 문대섭, “다양한 정차패턴을 고려한 열차 노선계획의 수립”, 대한교통학회지, 2005
- [15] Jurjen S. Hooghiemstra, Maurice J.G. Teunisse “THE USE OF SIMULATION IN THE PLANNING OF THE DUTCH RAILWAY SERVICES”, Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference
- [16] Mads Andreas Hofman, Line Frølund Madsen “Robustness in train scheduling”, Master thesis
- [17] Dick Middelkoop, Michiel Bouwman “SIMONE: LARGE SCALE TRAIN NETWORK SIMULATIONS”, Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference
- [18] H. Dinga, A. Limb, B. Rodriguesc, Y. Zhub, “The over-constrained airport gate assignment problem”, Computers & Operations Research 32 (2005) 1867-1880
- [19] R. S. Mangoubi, Dennis F. X. Mathaisel, "Optimizing Gate Assignment At Airport Terminals", Transportation Science(Vol.19, 1985)
- [20] Nordeen, M. "Stability Analysis of Train Operation and Track Occupancy at Railway Stations", European Journal of Transport and Infrastructure Research, vol. 5(1996)

- [21] Middelkoop, D and Bouwman, M "Testing the Stability of the Rail Network", 2002
- [22] Nash, A and Hansen, I.A "Railroad Simulation Using Open Track", 2004
- [23] Radtke, A. and Hauptmann, D. "Automated Planning of Timetables in Large Railway Networks Using a Microscopic Data Basis and Railway Simulation Techniques", 2004
- [24] Groger, T.A "Timetable Simulation by sophisticated Conflict Resolution between Train Paths", 2004
- [25] Jacobs, J "Reducing Delays by Means of Computer-Aided 'on-the-spot' Rescheduling", 2004

제 3 편 Flexible 열차운영을 위한 기술개발[FTO system 개발]

기획 분야

제 1 장 서 론

우리나라의 주택은 대규모 아파트 단지를 건설하여 대도시의 Bed Town 개념으로 개발되어져 왔기 때문에 인구밀도가 매우 높다. 이러한 베드타운에서 발생하는 수용수요를 도로만으로 해결하는 것은 매우 어려우며, 막대한 비용이 필요로 함. 철도는 대량 수송의 특징을 갖는 시스템으로서 대규모의 시설을 가지고 있으므로 이미 건설된 노선과 건설될 노선을 효율적으로 사용하는 것은 매우 중요하며, 철도 운용을 효율화시키기 위해서는 유연성 있는 열차운영을 필요로 한다.

철도는 자동차에 비해서 접근성이 떨어지는 상대적인 약점이 있으므로, 접근성을 향상시켜서 수송수요를 철도로 전환시킬 필요가 있다. 철도의 편리성의 향상은 육상교통수요를 철도로 수송수요를 흡수할 수 있으므로 에너지절약 및 환경부담 경감에 flexible 열차 운용을 필요로 한다.

Flexible 열차 운용시스템은 네트워크로 구성된 철도망에서는 시점에서 각기 다른 방향을 동시에 편성을 하여, 방향 분기점에서 열차를 분리하여, 동일방향은 차량을 재편성하며 각 방향으로 운행할 수 있도록 하는 것이다. 열차의 자유로운 편성과 입환을 할 수 있도록 하며, 같이 편성된 열차는 분기점에서 다른 방향의 차량과 분리함으로써 유연성 있는 운영을 할 수 있다. 이러한 운영을 하기 위해서는 철도망의 Network화와 Network화된 철도망에서 자유롭게 열차 운용노선을 개발하여 운용할 수 있는 차량, 열차제어시스템 및 궤도시스템의 개발을 필요로 한다. 구체적으로는 수송수요 예측에 따른 OD(Originate /Destination)의 모델화, 열차의 모듈화, 열차의 자동커플링/디커플링, 열차운전의 무인화, 자동 입환을 할 수 있는 시설 및 운용기술 등의 개발이 필요하다.

1. Flexible 운영 정의 및 분야

1.1 Flexible 열차운용(안)

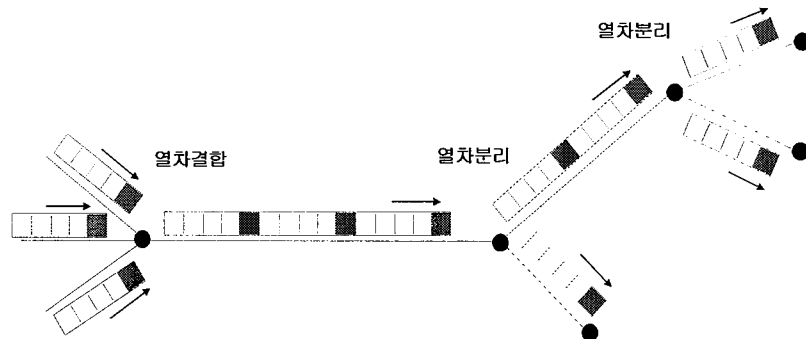


Fig. 3.3.1 Flexible 열차운용 예

1.2 Flexible 철도 기본구성

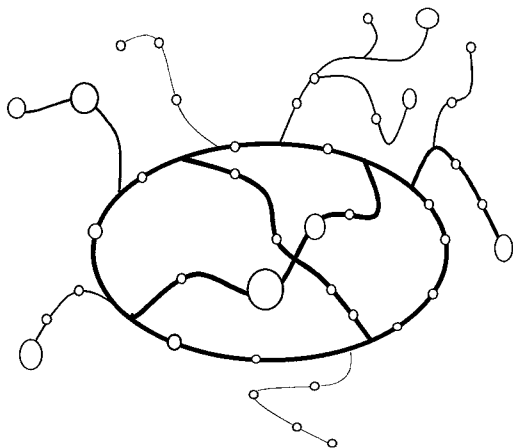


Fig. 3.3.2 도시철도네트워크의 구성

1.3 차량 구성

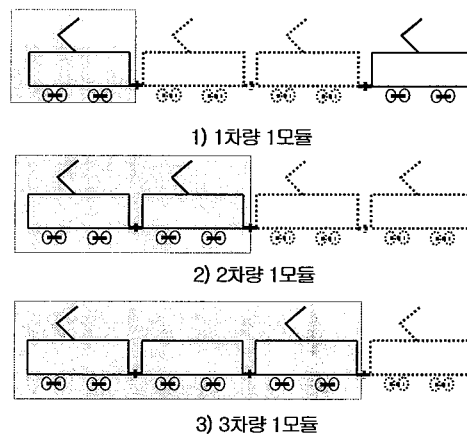


Fig. 3.3.3 차량편성 예

1.4 열차제어 시스템

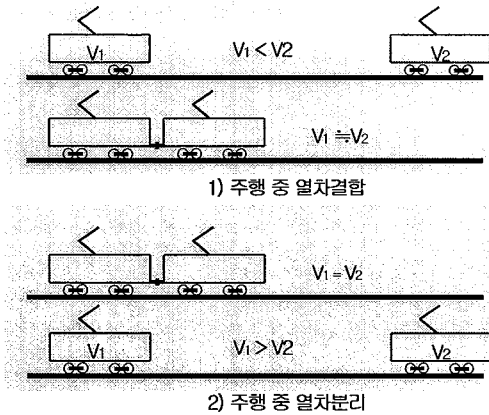


Fig. 3.3.4 열차주행 중 결합 및 분리

1.5 선로구축물분야

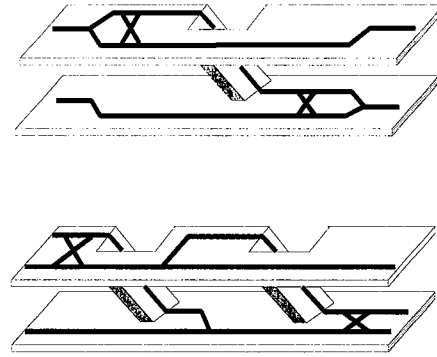


Fig. 3.3.5 좁은 공간에서의 분기기
설치방법

2. 연구의 최종목표

본 연구의 최종목표는 기존간선 및 도시내 운영시스템의 현재 운영시스템을 보완을 통해 네트워크 효율성 향상, 운영효율성 향상, 승객 서비스 향상에 목표를 두고 개발 사업을 수행하고자 한다.

이를 실현하기 위하여 다음과 같은 분야별 목표를 수립하여 수행하여야 한다.

- 노선(O-D) 간을 연결하여, 열차운용의 유연성높이는 철도 시스템의 개발
 - 네트워크 효율성 10% 향상(운행빈도수 향상, 승객 서비스 향상)
- 열차의 결합과 분리를 자동적으로 수행하는 열차의 개발
 - 모듈화 시스템 차량
- 무인운전열차 가능한 시스템의 개발
 - 분리운전 및 무인운전 운영시스템
- 진로설정을 자유자재로 하는 철도의 개발
- 단계별 연구와 병행된 시범사업
 - 1, 2 단계별 시범건설 사업 실시

제 2 장 국내·외 기술개발 현황

1. 국외동향

유럽의 독일에서는 열차의 유연성 운용을 하기 위한 열차운용 안을 제안하였다. 독일에서는 화물과 승객용을 위해서 개발이 시도되고 있다. ICE의 경우에는 미래의 flexible 운전을 위해 차량을 2량을 1 모듈화하여 개발하였다.

- 일본은 동경 지역/도시철도에서 복합조성열차 운행시간 및 승객 수요에 따라 탄력적으로 운행됨
- 프랑스는 리옹지역에 스위스 관광 열차 노선과 분리되어 운행됨
- 독일은 Hamm에서 Berlin-뒤셀도르프-에센-본행열차와 Berlin-하젠-쾰른행 열차가 분리되어 운행됨

2. 국내동향

현재 기존선에서 운영되는 복합연결기 열차는 새마을호인 PMC차량편성을 통해 이루어지고 있으며, 현재 호남선(용산출발 목포, 여수, 광주)에서 운용되고 있다. 복합조성열차 운용시 기존 PMC 차량 적용시 가장 큰 문제점은 복합 열차 분리 병합시 별도의 사람이 필요하고 시간이 20분 정도로 소요된다. 이러한 기술적인 문제점을 해결하고 여객서비스 향상을 위해 자동형 복합연결기를 개발하여 적용하고자 한 것이다.

제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

1. 시스템 개발 방향 및 목표

1.1 시스템 개발 목표

- Flexible 시스템은 기존 시스템의 운영 효율성을 향상시키기 위한 것이므로 시

범사업을 통한 네트워크 시스템 향상에 목표

- 본 시스템은 도시철도를 대상으로 시스템을 구축하며, 이에 맞는 시범사업 대상을 2개로 분리 추진
 - 타입 1 : 차량 개조, 운영 시스템 통합화
 - 타입 2 : 차량 개조, 운영 시스템 통합화, 시설분야 개량 (타입 1에 대한 시스템 문제점 검토 후 우선 추진후, 향후 활용성을 본후 타입 2에 대한 네트워크 구성)

1.2 시스템 개발 추진 방향

- 본 시스템 연구의 기본방향은 분야별 연구를 통해 시스템으로 통합하는 체계로 사업을 진행한다.
- 분야별 연구는 시스템통합 및 시범사업 운영 개발, 운영 및 정보시스템 개발, 차량 시스템 개발, 신호통신 시스템 개발, 토목궤도 시스템 개발 분야인 5개 분야 별로 수행 되어야 한다.
- 분야별 적용 가능한 개발품 또는 시스템 S/W에 개발 목표를 두고 시범사업에 적용할 제품 위주로 개발이 진행되어야 한다.
- 본 연구는 3단계의 연구단계(기초개발연구, 응용심화연구, 시스템적용연구)를 거쳐 최종적으로는 시범사업을 완성한다.
- 본연구는 개발품 및 시스템 S/W 위주로 개발이 이루어져야 하므로 산업체의 Fund(4개분야)가 기본적으로 이루어져야 하고, 단위분야별 산업체가 중심이 되어 사업이 이루어져야 한다.
- 최종적인 목표인 시범사업의 원활한 추진을 위해서는 시범사업에 시스템 목표를 두고 각 세부 연구가 진행되어야 한다.

2. 주요 개발 항목 및 내용

- 시스템 통합 및 시범사업운영 개발
 - 시범사업 운영을 위한 시스템 통합화 및 공정관리
 - 시스템 요구사항 도출 및 Simulation Tool 개발

- 시스템 기능 할당 및 시스템 설계안 도출
- 단계별(1단계, 2단계) 시범사업 실시
- 적용 가능 네트워크 사업성 및 적용성 분석
- 시스템 인터페이스를 위한 SE 분석 및 조정
- 시스템 성능 평가(안) 도출

○ 운영 및 정보시스템 분야

- 운행가능 노선 검토 및 선정
 - 여객 수요예측
 - 투입가능 노선의 기술적 검토
 - 경제성 분석을 통한 투입노선 선정
- 열차운용을 위한 요일별, 시간대별, 역별, 방향별 수요예측
 - Flexible 열차 Scheduling
 - 정시 운영 방안
 - 이례상황 발생 대처 방안
- Resources Scheduling
 - 인적자원 Scheduling
 - 차량 Scheduling
- 수요예측 결과에 따른 소요 열차편성수 산출
- 열차 운영 정보 시스템(차내, 역구내) 구축
- 시범사업에 필요한 운영 및 정보 시스템 설계/발주/시험

○ 차량 시스템 분야

- 적용 노선별 적정 차량 시스템 모듈화관련 보완 및 대안 수립
- Flexible 차량 시스템 적용위한 모듈화 차량 보완 및 개발
- 차량 자동 복합연결장치 적용 방안 기술적 검토 및 대안수립
- 자동복합연결기 개발품 설계/제작/종합시험
 - 연결장치 표준화
 - 고강도 연결장치
 - 제어정보 및 연결 Socket 표준화
 - 자동복합연결기 설계 및 제작

- 상업운용을 위한 개발품 보완 및 국산화
- 시범사업에 필요한 차량시스템 설계/발주/시험

○ 신호통신 시스템 분야

- 적용노선별 운영시스템(신호, 통신) 최적화 및 보완 수립
- 운전 및 무인운전 시스템 개발
 - 고정도 열차 위치 검지 시스템
 - 가변 속도 제어 시스템
- 열차결합 및 분리에 대한 열차제어 시스템 개발
 - Flexible 열차 진로제어 시스템
- 무선열차제어 시스템 개발
 - 실시간 열차 속도제어 시스템
- 진로제어시스템 개발
- 시범사업에 필요한 신호통신 시스템 설계/발주/시험

○ 토목궤도 시스템 분야

- 시범적용 노선에 대한 노선 및 선형 보완설계
 - 노선연결 방안, 선형설계
- 운영노선 소공간 최적 입체화 설계 개발
- Flexible 시스템을 위한 효율적 역사 보완 설계
- 적용 분기기 개발 또는 보완
- 시범사업에 필요한 토목궤도 시스템 설계/발주/시험

Table 3.3.1 단계별 연구개발 목표 및 내용

구분	연구개발 목표		연구내용
1단계 (2년) 기초개발 연구	시스템 통합 및 시범사업	시스템 총괄 시범사업(I)	· 시범사업 노선관련 시스템 I/F 연구 · 시스템 통합 총괄위한 체계구축
	운영 및 정보 시스템	운용노선의 선정	· flexible 열차 투입 시 수송수요 예측 · 경제성 분석을 통한 투입노선 선정
	차량 시스템	Feasibility 연구	· 차량시스템 SE · 관련하부시스템 SE · 관련 시뮬레이션 개발
	신호통신 시스템	운용안 개발	· 열차제어시스템 SE · 무선열차제어시스템 SE · 열차 연결 및 분리 운용안 개발 · 관련 시뮬레이션 개발
	토목궤도 시스템	노선연결안개발	· 선로연결SE · 분기기 SE · 관련 시뮬레이션 개발
2단계 (2년) 용용심 화 연구	시스템 통합 및 시범사업	시스템 총괄 시범사업(II)	· 시범사업 노선 선정 및 적용(I) · 시스템 통합 총괄
	운영 및 정보 시스템	열차운용안개발	· 소요 열차편성수 산출 · 연결 및 분리 운용안 · 평가안 개발
	차량 시스템	차량설계 및 시험운행	· 차량시스템설계 · 관련하부시스템설계 · 관련시스템 시험 · 평가안 개발
	신호통신 시스템	시스템 설계 및 시험운행	· 열차제어시스템설계 · 관련하부시스템설계 · 관련시스템 시험 · 평가안 개발
	토목궤도 시스템	시스템설계 및 시험부설	· 분기시스템설계 · 관련하부시스템설계 · 관련시스템 시험 · 평가안 개발

3단계 (2년) 시스템 적용연구	시스템 통합 및 시범사업	시스템 총괄 시범사업(II)	· 시범사업 노선 선정 및 적용(II) · 시스템 통합 총괄
	운영 및 정보 시스템	열차운용 계획수립	· 열차운용을 위한 요일별, 시간대별, 역별, 방향별 수요예측 · 열차운용계획 수립
	차량 시스템	차량제작 및 시운전	· 차량시스템제작 prototype · 관련하부시스템제작 · 관련시스템 시험 · 평가 개발
	신호통신 시스템	시스템 제작 및 시운전	· 차량시스템제작 prototype · 관련하부시스템제작 · 관련시스템 시험 · 평가 개발
	토목궤도 시스템	시범노선	· 분기기 시험부설 · 소형공간설계 · 관련시스템 시험 · 평가

3. 연구개발 소요예산 내역

가. 단계별 소요예산

(단위: 억원)

재원부담	1단계		2단계	3단계	계
	2009년	2010년	(2011-2012)	(2013-2014)	
정부	37	57	190	166	450
민간	8.1	13.5	46.5	42.3	110.4
계	45.1	70.5	236.5	208.3	560.4

재원부담		기초단계		심화단계		응용단계		계
		2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	
1과제	정부	10	12	15	15	15	10	77
	민간							0
2과제	정부	6	10	10	15	15	10	66
	민간	1.8	3	3	4.5	4.5	3	19.8
3과제	정부	6	10	15	15	10	6	62
	민간	1.8	3	3	4.5	3.0	1.8	17.1
4과제	정부	5	15	15	20	20	10	85
	민간	1.5	4.5	4.5	6	6	3	25.5
5과제	정부	10	10	20	50	50	20	160
	민간	3	3	6	15	15	6	48
계	정부	37	57	75	115	110	56	450
	민간	8.1	13.5	16.5	30	28.5	13.8	110.4

나. 연구개발 추진체계 및 추진일정

연구내용 \ 연도	1 단계		2 단계		3 단계		비 고
	1	2	1	2	1	2	
S E 활동 , Feasibility 시 험, 기본설계							
기본설계, 상세설 계, 제작							
제작 및 시험평가							

다. 연구내용별 투입 연구인력

본 사업은 도시형 지하철에서 분야별로 인력 투입이 되어야 하며, 차량뿐 아니라 시스템엔지니어링, 신호통신, 교통계획, 토목분야등의 인력이 전체적으로 참여하여 시범사업의 완성이 이루어져야 한다.

본 사업은 5개의 과제로 이루어지며, 전문분야별로 아래에 나타난 전문분야별 아래에 나타난 표에서 보듯 관련과제에 많은 참여가 이루어 져야하며, 특히 시스템엔지니어링 전문분야는 어느정도 각 과제에 공통적으로 참여하여 사업이 이루어 져야 한다.

Table 3.3.2 분야별 필요 연구인력 투입 과제

	전문 분야	관련 과제
1	시스템엔지니어링 분야	시스템통합 및 시범사업운영개발
2	교통 및 정책분야	운영 및 정보시스템 개발
3	기계 분야	차량시스템 개발
4	전기 신호제어 분야	제어 및 신호통신 시스템 개발
5	궤도/토목 분야	토목궤도 시스템 개발

본 사업에 참여하는 인력은 연구기관, 공공기관, 산업체, 대학이 공통으로 참여하는 사업 형태가 되어야 하며, 특히 공공기관은 시스템통합 및 시범사업 운영개발 과제나 운영 및 정보 시스템 개발 분야에 많은 인력이 투입되어야 한다.

대략 전문기술인력 투여는 사업비의 30%정도에서 투여될 예정이며, 제작의 시제품 성격보다 인력투여가 많은 과제의 경우 40%정도의 인력이 투여될 것으로 예상되며, 통상 인건비의 경우 0.5억원/년으로 환산하면 과제별 총 투여 예상인력은 아래와 같다. 5개 과제 총예산 560.4억원(정부:450억원, 민간 110.4억원)중 인건비 비중은 약162억원 정도로서 28.9%를 차지하며, 324 Man-Year정도가 투여될 것으로 보고 있다.

Table 3.3.3 과제별 필요 인건비 및 예상 M-Year

과제 코드	관련 과제	예상인력 인건비 (억)	인건비 비율(%)	Man-Year	비고
1	시스템통합 및 시범사업운영개발	30.0	39.0	60.0	SW적인 시스템엔지니어링이므로 인력투입이 많이 됨
2	운영 및 정보 시스템 개발	25.0	29.0	50.0	-
3	차량시스템 개발	24.0	30.0	48.0	-
4	제어 및 신호통신 시스템 개발	33.0	30.0	66.0	-
5	토목궤도 시스템 개발	50.0	24.0	100.0	인프라 제작비가 많이 예상
	총 계	162.0	28.9	324	

4. 시범사업을 위한 현 운행노선 분석

Flexible 시스템 적용을 위해서는 현재 구축된 지하철 선로에서 적용하기가 쉽지 않다. 사업의 특성상 네트워크 효율을 올리기 위해서 기존시스템의 개량이 수반되기 때문이다. 본 사업에서 기존 시스템을 일부 수정을 통해 가능한 노선을 검토하여 적정한 노선에 대한 교통효과 및 기술적 타당성을 알아보고자 경기권의 가능 노선에 대한 역사, 차량, 시설물에 대한 기본적인 조사를 수행하였다.

조사 대상 정거장은 현재 건설되어 있는 궤도구조물 등을 최대한 활용하기 위하여 국철(지상)구간 중심으로 아래 역에 대해 조사하였다.

금정역 : 경부선(청량리-수원-천안)과 4호선(당고개-오이도) 환승역
 시흥역 : 경부선(청량리-수원-천안)과 광명KTX 서틀열차(용산-광명)의 환승
 구로역 : 경부선(청량리-수원-천안)과 경인선(소요산-의정부-인천)의 환승
 회기역 : 경인선(소요산-의정부-인천)과 중앙선(용산-덕소-팔당)의 환승
 망우역 : 중앙선(용산-덕소-팔당)과 경춘선 복선전철(예정:망우-춘천)의 환승

Table 3.3.4 금정역 열차 운행 현황(예)

운행편수	1호선(청량리)	1호선(천안)	4호선(당고개)	4호선(오이도)
편성/일	140	140	137	137
출퇴근시간 편성/시간(회)	8, 10	8, 10	8,9,11	9,10,11
낮 시간대 편성/시간(회)	7 (9시~17시)	7 (9시~17시)	6 (10시~16시)	6 (12시~17시)

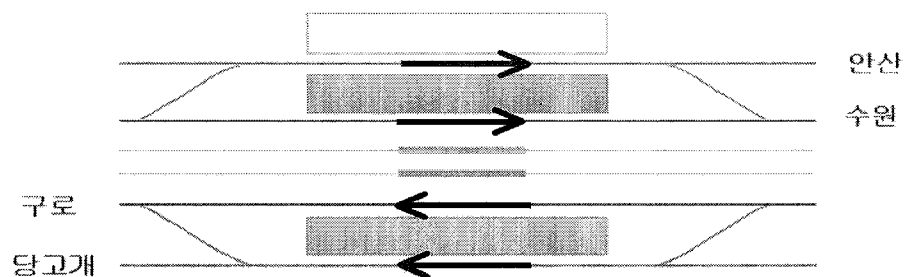


Fig. 3.3.6 금정역 선로 이용 현황(예)

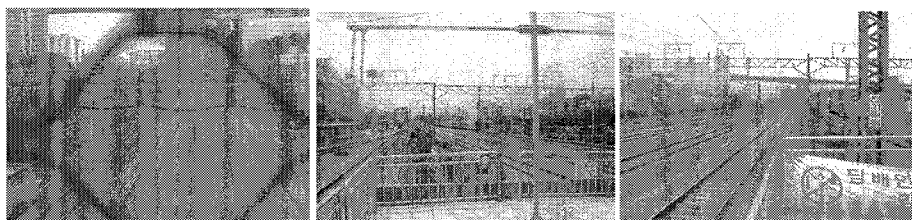


Fig. 3.3.7 금정역 주변 선로(예)

안산, 수원방면의 전동차 OD를 알아보면 메트로 1호선과 철도공사의 경부선, 경인선은 공동운영하며, 3호선과 일산선, 4호선과 과천·안산선도 마찬가지로 공동운영하고 있다. 서울메트로 2호선, 도시철도공사 4개 노선, 분당선, 인천공항철도 및 인천1호선은 별도로 운영되고 있다.

경부선 수도권전철의 하행열차 총 306회 중 군포-천안 구간에서 시종착하는 열차는 129회로 병점 종착이 72회, 천안 종착이 57회를 경부선(1호선) 하행 전체 열차의 50%에 미치지 못하는 실정이다.

과천·안산선(4호선)을 운행하는 하행열차(오이도 방향)는 모두 258회로 이 중 산본-오이도 구간에서 종착하는 열차는 모두 141회로 약 55%를 차지하고 있다.

° 천안방향 열차

Table 3.3.5 천안 방향 열차 편성 수

시발역	종착역	열차수
성북	병점	1
청량리	병점	5
동묘앞	병점	50
서울역	병점	16
청량리	천안	57

수도권전철구간에서 flexible 열차운영의 가능성을 살펴보기 위하여 검토 노선중 1호선과 4호선이 교차하는 금정에서의 환승 부분을 고려하여 수도권전철의 역간 수송실적을 기반으로 승객 O/D를 조사하였다.

- 조사내용 : 수도권전철 역간 수송실적
- 428개역 (약 18만 OD)의 여객실적 자료 분석
- 수요 4,937,088/1일

사례 분석한 노선은 경부선과 과천·안산선의 환승역인 금정역에서의 환승수요를 분석을 통하여 수도권전철 경부선과 과천·안산선의 flexible 열차운영 가능성을 알아보았다. 수도권 모든 역에서 출발하여 천안방향(군포-천안)과 안산방향(산본-오이도)으로 이동한 실적은 표 1과 같다. 금정역까지 접근하는 노선을 경부선(1호선)과 과천·안산선(4호선)으로 구분하여 금정역에서의 환승수요를 계산하였다.

Table 3.3.6 경부선 과천선 이용자의 금정역 환승실적

	천안방향	안산방향
과천선 이용자	(환승)25,288	(직결)35,492
경부선 이용자	(직결)62,657	(환승)13,437

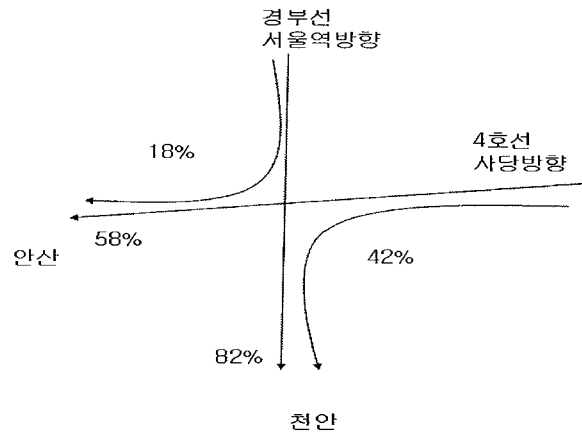
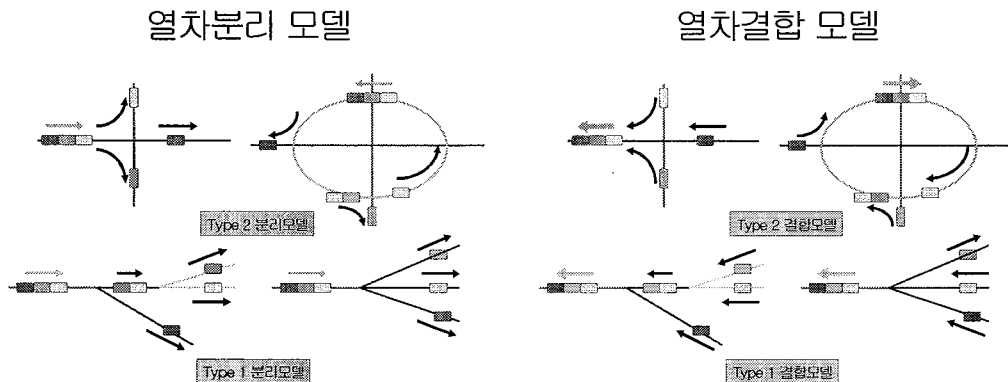


Fig. 3.3.8 금정역에서의 환승수요

분석결과를 보면

- 수도권 전역에서 4호선 사당쪽에서 금정역에 도착하는 승객의 약 42%(25,288명)가 천안방향으로 이동하기 위하여 금정역에서 경부선 전철로 환승하고 있으며, 경부선으로 접근하는 승객의 경우에는 약 18%(13,437명)만 안산방향으로 이동하기 위하여 환승하고 있다. 따라서 경부선 금정역에서 수요 측면에서 flexible 열차운영이 필요하다.



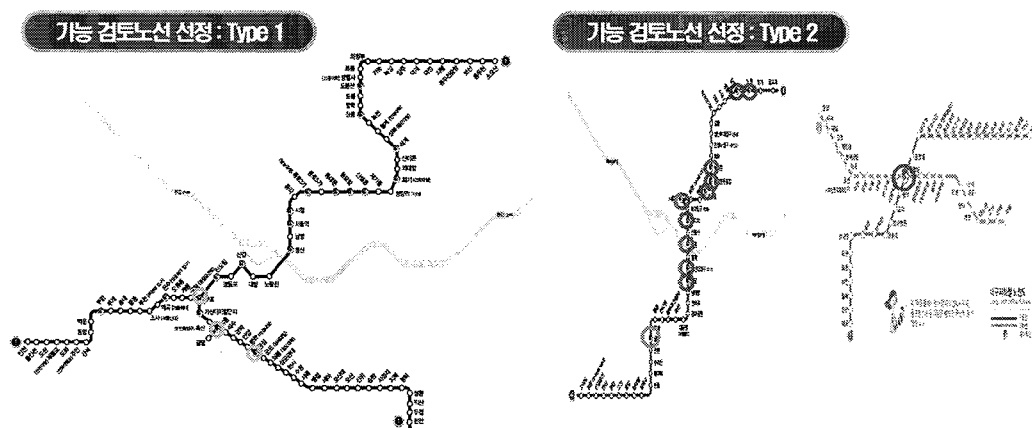


Fig. 3.3.9 열차분리 결합 모델 및 적용가능 노선

5. 연구과제 RFP

5.1 주요 개발 단계별 내용(RFP)

1단계 : Flexible 열차운용 기술개발 기초연구																																																																							
연구개발 목 표	○ 운영분야 : flexible 운용노선선정 ○ 차량 : flexible 운용에 적합한 차량 SE 활동 ○ 열차제어 : flexible 운용을 위한 열차제어 시스템 SE ○ 토목제도 : flexible 운용에 적합한 노선연결(안) 개발																																																																						
연구개발 필 요 성	철도는 대량 수송의 특징을 갖는 시스템으로서 대규모의 시설을 가지고 있다. 이미 건설된 노선과 건설하게 될 노선을 효율적으로 사용하는 것은 매우 중요하다. 효 율적인 철도 운영이 되기 위해서는 유연성 있는 운용이 필요하다.																																																																						
주요내용 및 범 위	○ 운영분야 : 운용노선의 선정 ○ 차량 : Feasibility 연구 ○ 열차제어 : 운용안개발 ○ 토목제도 : 노선연결안개발																																																																						
세부 연구 내용	○ 운영분야 - flexible 열차 투입 시 수송수요 예측 - 경제성 분석을 통한 투입노선 선정 ○ 차량 - 차량시스템 SE, - 관련하부시스템 SE - 관련 시뮬레이션 개발, ○ 열차제어 - 열차제어시스템 SE, - 무선열차제어시스템 SE - 열차 연결 및 분리 운용안 개발, - 관련 시뮬레이션 개발 ○ 토목제도 - 선로연결 SE, - 분기기 SE - 관련 시뮬레이션 개발																																																																						
추진방법	○ SE활동 ○ Feasibility 시험 ○ 기본설계 조사분석 SE작업 기본설계 Feasibility test																																																																						
파급효과 및 활용방안	○ 선로용량 포화 상태에서의 수송력 증강대안으로는 복합조성 열차를 운용되면 경 부선 P-P 열차 50편 및 호남선 열차 10 편을 1일에 적어도 10개 열차에 대한 열차 운 행여유가 발생 하여 여객 수요가 많은 대상 선구에 여객열차 증편이 가능 ○ 국내의 모든 철도에 활용																																																																						
연차별 연구개발	1년차	조사 분석 및 SE 작업																																																																					
	2년차	시뮬레이터 개발																																																																					
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원) <table><tr><td>구 분</td><td>'08</td><td>'09</td><td>'10</td><td>'11</td><td>'12</td><td>'13</td><td>'14</td><td>'15</td><td>'16</td><td>...</td><td>합계</td></tr><tr><td>정부출연</td><td></td><td>37</td><td>57</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>94</td></tr><tr><td>공공기관</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>민간부담</td><td>-</td><td>8.1</td><td>13.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>21.6</td></tr><tr><td>합 계</td><td></td><td>45.1</td><td>70.5</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>115.6</td></tr></table>											구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계	정부출연		37	57								94	공공기관												민간부담	-	8.1	13.5								21.6	합 계		45.1	70.5								115.6
구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계																																																												
정부출연		37	57								94																																																												
공공기관																																																																							
민간부담	-	8.1	13.5								21.6																																																												
합 계		45.1	70.5								115.6																																																												

2단계 : Flexible 열차운용 기술개발 심화연구

연구개발 목 표	○ 운영분야 : 운용 OD 개발노선선정 ○ 차량 : 차량설계 및 개발 ○ 열차제어 : 열차제어시스템 설계 및 개발 ○ 토목궤도 : 노선설계 및 부설											
연구개발 필 요 성	철도는 대량 수송의 특징을 갖는 시스템으로서 대규모의 시설을 가지고 있다. 이미 건설된 노선과 건설하게 될 노선을 효율적으로 사용하는 것은 매우 중요하다. 효 율적인 철도 운영이 되기 위해서는 유연성 있는 운용이 필요하다.											
주요내용 및 범위	○ 운영분야 : 열차운용안개발 ○ 차량 : 차량설계 및 시험운행 ○ 열차제어 : 시스템 설계 및 시험운행 ○ 토목궤도 : 시스템설계 및 시험부설											
세부 연구 내용	○ 운영분야 - 소요 열차편성수 산출 - 연결 및 분리 운용안 - 평가안 개발 ○ 차량 - 차량시스템설계 - 관련하부시스템설계 - 관련시스템 시험 - 평가안 개발 ○ 열차제어 - 열차제어시스템설계 - 관련하부시스템설계 - 관련시스템 시험 - 평가안 개발 ○ 토목궤도 - 분기시스템설계 - 관련하부시스템설계 - 관련시스템 시험 - 평가안 개발											
추진방법	○ 기본설계 ○ 상세설계 ○ 제작 조사분석 SF작업 기본설계 상세설계 제 작 Feasibility test 평가면작성											
파급효과 및 활용방안	○ 선로용량 포화 상태에서의 수송력 증강대안으로는 복합조성 열차를 운용되면 경 부선 P-P열차 50편 및 호남선 열차 10 편을 1일에 적어도 10개 열차에 대한 열차 운행 여 유가 발생 하여 여객 수요가 많은 대상 선구에 여객열차 증편이 가 능 ○ 국내의 모든 철도에 활용											
연차별 연구개발	1년차	관련문서수집										
	2년차	철도실무자와의 flexible 철도시스템의 운용안 개발										
	3년차	시뮬레이션 도구 개발 및 활용										
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연				75	115						190
	공공기관											
	민간부담				16.5	30						46.5
합 계				91.5	145						236.5	

3단계 : Flexible 열차운용 기술개발 응용연구

연구개발 목 표	○ 운영분야 : 운용 OD에 대한 schedule 및 수익성평가 ○ 차량 : 차량시험·평가 및 상용화 ○ 열차제어 : 열차제어시스템 시험·평가 및 상용화 ○ 토목궤도 : 노선부설 및 평가																																																													
연구개발 필 요 성	철도는 대량 수송의 특징을 갖는 시스템으로서 대규모의 시설을 가지고 있다. 이미 건설된 노선과 건설하게 될 노선을 효율적으로 사용하는 것은 매우 중요하다. 효율적인 철도 운영이 되기 위해서는 유연성 있는 운용이 필요하다.																																																													
주요내용 및 범 위	○ 운영분야 : 열차운용계획수립 ○ 차량 : 차량제작 및 시운전 ○ 열차제어 : 시스템 제작 및 시운전 ○ 토목궤도 : 시범노선																																																													
세부 연구 내용	○ 운영분야 - 열차운용을 위한 요일별, 시간대별, 역별, 방향별 수요예측 - 열차운용계획 수립 ○ 차량 - 차량시스템제작 prototype - 관련하부시스템제작 - 관련시스템 시험 - 평가 개발	○ 열차제어 - 열차제어시스템제작 prototype - 관련하부시스템제작 - 관련시스템 시험 - 평가 개발 ○ 토목궤도 - 분기기 시험부설 - 소형공간설계 - 관련시스템 시험 - 평가 개발																																																												
추진방법	○ 제작 ○ 시험평가 조사분석 ↓ 도적입 ↓ 기본설계 ↔ Feasibility test ↓ 상세설계 ↓ 제 작 ↔ 평 가 안 작 성 ↓ 시험평가																																																													
파급효과 및 활용방안	○ 선로용량 포화 상태에서의 수송력 증강대안으로는 복합조성 열차를 운용되면 경부선 P-P열차 50편 및 호남선 열차 10 편을 1일에 적어도 10개 열차에 대한 열차 운행 여 유가 발생 하여 여객 수요가 많은 대상 선구에 여객열차 증편이 가능 ○ 국내의 모든 철도에 활용																																																													
연차별 연구개발	1년차	world market 에서부품구입을 통한 시스템 구성																																																												
	2년차	각 국의 철도전문가의 활용하여 제작																																																												
	3년차	기존 철도를 활용한 시험																																																												
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원) <table><tr><td>구 분</td><td>'08</td><td>'09</td><td>'10</td><td>'11</td><td>'12</td><td>'13</td><td>'14</td><td>'15</td><td>'16</td><td>...</td><td>합계</td></tr><tr><td>정부출연</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>110</td><td>56</td><td></td><td></td><td></td><td>166</td></tr><tr><td>공공기관</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>민간부담</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>28.5</td><td>13.8</td><td></td><td></td><td></td><td>42.3</td></tr><tr><td>합 계</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>138.5</td><td>69.8</td><td></td><td></td><td></td><td>208.3</td></tr></table>		구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계	정부출연						110	56				166	공공기관												민간부담						28.5	13.8				42.3	합 계						138.5	69.8				208.3
구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계																																																			
정부출연						110	56				166																																																			
공공기관																																																														
민간부담						28.5	13.8				42.3																																																			
합 계						138.5	69.8				208.3																																																			

5.2 주요 개발 과제별 내용 (RFP)

1과제 : Flexible 시스템 통합 및 시범사업 운영 개발

연구개발 목 표	○ Flexible 시스템 SE 및 시범사업 I/F 통합											
연구개발 필 요 성	철도 운영 체계의 유연성 확보를 위한 차량개발·운영시스템 개발·인프라 시스템 개발간의 인터페이스 조정 및 시범사업을 총괄 운영통 통해 도시간 유연한 시스 템 정착을 위해 SE 활동 및 시스템 조정 활동 필요.											
주요내용 및 범 위	○ 시범사업을 위한 시스템 통합화 (SE) ○ 단계별 시범사업 Scheduling 및 공정관리 ○ 적용 가능 네트워크 사업성 및 적용성 분석											
세부 연구 내용	○ 시스템 통합 총괄위한 체계구축 - 각 시스템간 공정관리 - 통합 시스템 체계 구축(공정, 일정) ○ 시범사업 노선관련 시스템 I/F 연구 - 인터페이스관련 조정회의 - 시스템 인터페이스 DB 구축 - 인터페이스 엔지니어링 스케줄링 ○ 시범사업 노선 선정 및 적용 - 시범사업 노선 선정을 위한 조사 - 노선선정을 위한 경제성 분석 - 시범사업 운영에 따른 기술확목 도출 및 현황 해결											
추진방법	○ SE기법에 의한 시스템간 최적사양도출 ○ SE 기법에 의한 시스템별 모듈화 설계 및 평가방안 최적화 ○ 기술연구와 시범사업을 병행하여, 실제적인 적용시스템 구축 ○ 산학연 공동연구 및 적극적인 산업체 참여 유도											
파급효과 및 활용방안	○ 열차 운영 다이아 증설 효과 ○ 차량 편성수 증대 효과 및 경제적 차량 운영(전력비등) ○ 승객 편의성 증대											
연차별 연구개발	1년차	관련문서수집, 시범노선 타당성 조사, 경제성 분석										
	2년차	Flexible 시스템 선정, 선정노선에 대한 시스템 운영 개념설계										
	3년차	시스템 최적화 방안 도출, 시범사업 준비 및 협의										
	4년차	시범사업 SE 및 인터페이스 통합화 (I)										
	5년차	시운전 및 시험평가 (I), 시범사업 SE 및 인터페이스 통합화 (II)										
	6년차	시운전 및 시험평가 (II), 시범사업 SE 및 인터페이스 통합화 (III)										
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연		10	12	15	15	15	10				93
	공공기관											
	민간부담		-	-	-	-	-	-				
	합 계		10	12	15	15	15	10				93

2과제 : Flexible 운영 및 정보시스템 개발

연구개발 목 표	○ Flexible 열차운용시스템을 위한 열차운용계획 수립기술 개발 및 지원정보시스템 개발 ○ 시범시스템 구축 및 시험											
연구개발 필 요 성	○ Flexible 열차운용체계의 효과를 높이기 위하여서는 운용노선의 선정, 열차운용계획의 수립 및 계획수립의 근거가 되는 수요의 예측이 필요하며, ○ 기존의 고정적인 열차운행에 비하여 동일한 역에서 다양한 정차패턴을 가진 열차에 대한 실시간 정보를 정확하게 차상, 역사내 및 접근중인 여객에게 전달할 수 있는 정보체계 개발이 필요함											
주요내용 및 범위	○ Flexible 운용노선선정 ○ 운용 OD 개발 ○ 운용대상 OD에 대한 schedule 작성 및 수익성평가											
세부 연구 내용	○ Flexible 열차운용시스템 운용노선 선정 - flexible 열차 투입 시 수송수요 예측 - 열차운용을 위한 요일별, 시간대별, 역별, 방향별 수요예측 - 투입노선 선정을 위한 경제성 분석 ○ Flexible 열차운용계획 수립 - 소요 열차편성수 산출, 연결/분리 운용안 수립, - 운영/승객 평가지표 및 평가안 개발, 열차운용계획 수립 ○ 운영 및 승객정보시스템 개발 - 운영정보시스템 개발 : Flexible 열차운용 계획시스템, 열차운행제어시스템 개발 - 승객정보시스템 개발 : 다양한 열차정보를 실시간으로 승객에게 전달하기 위한 정보시스템 (열차운행현황안내, 역사안내, 승객유도, 차상안내, 휴대폰 안내) ○ 시범사업 - 시범사업에 필요한 운영정보시스템 설계, 발주, 종합시험											
추진방법	○ 한국철도공사, 서울메트로, 서울도시철도공사 등의 RFID카드 사용실적 분석을 통한 OD간 수송수요 분석 및 예측 ○ 수도권 및 국가철도망에서의 연계운용 실태 조사를 통한 운용대상 구간 설정 ○ 시범사업을 통한 개발시스템의 효과 검증 - 가장 효과적인 flexible 운용 노선 결정 및 철도공사와의 협조를 통하여 시범열차 운영 및 효과 검증											
파급효과 및 활용방안	○ Flexible 열차운행에 따른 차량운영경로 최적화로 차량소요량 및 운영비용 최소화 ○ 최소의 열차운행계획변경으로 최대의 직결수요 만족으로 승객의 환승을 최소로 하고 여행시간을 단축 가능											
연차별 연구개발	1년차	- Flexible 열차운용시스템 운용노선 선정										
	2년차	- Flexible 열차운용계획 수립										
	3년차	- Flexible 열차운행을 위한 운영정보시스템 개발										
	4년차	- 승객지원정보시스템 개발										
	5년차	- 시범사업을 위한 설계 및 시작품 제작										
	6년차	- 시범시스템 설치 및 시험										
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연		6	10	10	15	15	10				66
	공공기관											
	민간부담		1.8	3	3	4.5	4.5	3				19.8
	합 계		7.8	13	13	19.5	19.5	13				85.8

3과제 : Flexible 차량시스템 개발

연구개발 목 표	○ Flexible 차량시스템 최적 사양 및 자동복합연결기 개발											
연구개발 필 요 성	철도 운영 체계의 유연성 확보를 위해서는 열차의 자동 분리·병합이 가능한 차량 시스템을 개발하여 일부선로 병목구간 해소 및 열차 빈도수 적정 횟수 유지를 통해 승객 증감 따라 차량편성을 유연하게 할 수 있는 차량 시스템 절대 필요											
주요내용 및 범 위	○ 차량시스템 최적 사양 개발 ○ 차량별 모듈화 설계 기법 개발 ○ Flexible 차량 자동복합연결기 개발 ○ 차량 flexible 진단 및 안전제어장치 통합 장치 개발											
세 부 연 구 내 용	○ 차량시스템 최적 사양 개발 - 적용대상 차량선정 (KTX II, 무궁화열차, 도시형전동차) - 차량 편성(안) 도출 - 차량 성능기준 도출 - 차량 안전기준 도출 - 차량-신호 인터페이스 도출 - 차량-선로구축물 인터페이스 도출 - 차량-역사시설물 인터페이스 도출 ○ 차량별 모듈화 설계 기법 개발 - 운전실 모듈화 설계 - 관련하부시스템설계 - 관련시스템 시험 - 평가안 개발 ○ Flexible 차량 자동복합연결기 개발 - 개념설계 - 기본설계 및 상세설계 - 제작 및 성능시험 - 평가안 개발 ○ 차량 flexible 진단 및 안전제어장치 통합 장치 개발 - 진단 시스템 설계 - 안전제어 시스템설계 - 관련시스템 시험 - 평가안 개발											
추진방법	○ SE기법에 의한 차량시스템 최적사양도출(이해당사자종합협의) ○ SE 기법에 의한 차량별 모듈화 설계 및 평가방안 도출 ○ SE 기법에 의한 Flexible 차량 자동복합연결기 설계 및 평가방안 도출 ○ SE 기법에 의한 차량flexible 진단/안전제어장치 설계 및 평가안 개발 자료 및 요구분석 - 시스템 분석 - 기능분석 - 설계분석 - 성능분석 - 설계조합											
파급효과 및 활용방안	○ 선로용량 포화 상태에서 수송력 증강대안으로 복합조성 열차를 운용되면 경부선 구간열차 동대구-경주-포항+울산 열차 10편, 동대구-밀양-해운대+마산 10편, 대전-김천-동대구+영주 5편 외 20개 구간열차 및 호남선-전라선 열차 10편 등 적어도 60개 열차에 대한 열차 운행 여유가 발생 하여 철도수송력 증대 및 고속선 및 기존선 연결 구간에서의 여객수요 유발 효과가 크게 향상 되어짐											
연차별 연구개발	1년차	관련문서수집, 대상차량/시험노선 선정, 차량시스템 최적사양개발										
	2년차	Flexible 차량시스템 성능기준, 운전실 모듈화/연결기/진단장치 개념설계										
	3년차	Flexible 차량시스템 안전기준, 운전실 모듈화/연결기/진단장치 기본설계										
	4년차	Flexible 차량시스템 인터페이스검증, 운전실 모듈화/연결기/진단장치 상세설계										
	5년차	Flexible 차량시스템 통합 및 실차적용 방안 도출, 운전실 모듈화/연결기/진단장치 제작 및 평가방법 도출										
	6년차	Flexible 차량시스템 실차 적용시험 및 성능 검증										
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연		6	10	10	15	15	6				62
	공공기관											
	민간부담		1.8	3	3	4.5	4.5	1.8				18.6
합 계		7.8	13	13	19.5	19.5	7.8				80.6	

4과제 : Flexible 제어 및 신호통신시스템 기술개발

연구개발 목 표	○ Flexible 열차운영을 위한 열차제어시스템 기술개발											
연구개발 필 요 성	- Flexible 열차운영의 기반은 열차의 분리와 결합의 효율화를 추구하는 것으로 이러 한 방식의 운전에 있어서는 열차제어시스템의 역할이 아주 중요하다. 따라서 열차 의 결합 및 분리가 자유롭고, 열차운행의 안전을 확보하는 열차제어의 개념이 도입 되어야 한다. - 또한, 열차의 분리 및 결합에 따른 열차의 진로를 결정하는 연동장치도 이러한 Flexible 운영을 지원하여야 효율적인 열차운행이 가능할 수 있다. 따라서 현재 국 내외적으로 사용 중인 열차제어시스템의 분석을 통하여 Flexible 운영이 가능한 방 안을 도출하고 적용분야별(기존선, 도시철도 등)로 적합한 열차제어시스템 기술을 개발하는 것이 필요함.											
주요내용 및 범 위	- 국내외 열차분리 및 결합운행에 대한 분석 및 체계 개발 - Flexible 운영을 위한 열차제어시스템 요구사항 작성 - 열차제어장치 개발 및 인터페이스 방안 분석 - 시험을 통한 검증 및 적용성 연구											
세부 연구 내 용	- 국내외 열차분리 및 결합운행에 대한 분석 및 체계 개발 · 국내외 운영사례조사 분석, 기존 열차제어시스템 검토 및 분석 - Flexible 운영을 위한 요구사항 작성 · 운영형태 및 적용선로별 요구사항 검토, 열차제어장치별 요구사항 검토 · 열차분리 및 결합운행에 대한 분석 및 체계 개발, 모델 제시 및 시뮬레이션 - 적용노선에 필요한 열차제어시스템 개발/발주 및 인터페이스 방안 분석 · 열차제어장치 개발 및 발주, 안전성 분석 - 시험을 통한 적용성 검증 - 결과 정리 및 최종 열차제어시스템 사양서 작성											
추진방법	○산·학·연 공동연구를 통한 개발 -국내외 전문가 자문, -위탁 연구기관의 기술자료 조사 -연구결과를 이용할 운영기관의 참여											
파급효과 및 활용방안	○ Flexible 열차운영을 위한 열차제어시스템 구축 기술개발 ○ 철도승객의 목적지 도달시간 단축 및 이동시간 절감을 통한 대국민서비스 향상 ○ 외국철도시스템 적용 및 수출효과 ○ 연계운행에 대한 신호체계정립 ○ 향후 연계운행을 위한 기반구축 및 설계방안 제시											
연차별 연구개발	1년차	Flexible 열차운행을 위한 기 열차제어시스템 조사 분석										
	2년차	Flexible 운영을 위한 요구사항 작성 및 체계개발										
	3년차	적용노선에 필요한 열차제어장치 개발/발주 및 인터페이스 방안 분석										
	4년차	열차제어장치 상세설계 및 제작										
	5년차	기능 및 적용성 시험										
	6년차	성능평가 및 시스템 사양서 작성										
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원)											
	구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계
	정부출연		5	15	15	20	20	10				85
	공공기관											
	민간부담		1.5	4.5	4.5	6	6	3				25.5
합 계		6.5	19.5	19.5	26	26	13				110.5	

5과제 : Flexible 토목제도 시스템 개발

연구개발 목 표	○ flexible 운용에 적합한 노선연결(안) 개발 및 시험노선 설계/부설																																																																							
연구개발 필 요 성	Flexible 운용시스템의 적용을 위해서는 차량의 편성방식 및 운영계획에 따라 역구 내 배선의 적절한 설계가 필요하며 안전 및 운영의 효율화를 위해 정차역구내의 보완설계가 필요함																																																																							
주요내용 및 범위	- 시범적용 노선에 대한 역구내배선 및 선형 보완설계 - 적용 분기기시스템 보완 설계 - 운영노선 소공간 최적 입체화 설계 개발 - Flexible 시스템을 위한 효율적 역사 보완 설계 - 시범사업에 필요한 토목제도 시스템 설계/발주/시험																																																																							
세부 연구 내용	- Flexible 시스템 운영방식에 따른 노선설계(안) 제시 - 역구내 배선 및 분기기시스템설계 - 관련인프라시스템설계 - 관련시스템 시험 - 평가안 개발 - 분기기 시험부설 - 소형공간설계 - 관련시스템 시험 및 평가																																																																							
추진방법	국내외 자료조사분석 노선연결(안) 제시 대안별 노선설계(안) 제시 역구내 배선 및 관련 인프라시 스템 설계/검토 관련 전문가 자문 및 시스템 평가(안) 제시 시험노선 부설 및 평가																																																																							
파급효과 및 활용방안	- Flexible 시스템 적용에 따른 인프라시스템 최적설계기술 확보 - 도시철도 뿐만 아니라 일반철도 및 고속철도에도 활용가능																																																																							
연차별 연구개발	1년차	국내외 자료 조사 분석																																																																						
	2년차	노선연결(안) 제시																																																																						
	3년차	대안별 노선설계(안) 제시																																																																						
	4년차	관련 인프라시스템 설계/검토 및 평가안 제시																																																																						
	5년차	시험노선 부설																																																																						
	6년차	관련시스템 시험 및 평가																																																																						
연구기간 및 소요연구비	(단위:억원) <table><tr><td>구 분</td><td>'08</td><td>'09</td><td>'10</td><td>'11</td><td>'12</td><td>'13</td><td>'14</td><td>'15</td><td>'16</td><td>...</td><td>합계</td></tr><tr><td>정부출연</td><td></td><td>10</td><td>10</td><td>20</td><td>50</td><td>50</td><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td>160</td></tr><tr><td>공공기관</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>민간부담</td><td></td><td>3</td><td>3</td><td>6</td><td>15</td><td>15</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td><td>48</td></tr><tr><td>합 계</td><td></td><td>13</td><td>13</td><td>26</td><td>65</td><td>65</td><td>26</td><td></td><td></td><td></td><td>208</td></tr></table>												구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계	정부출연		10	10	20	50	50	20				160	공공기관												민간부담		3	3	6	15	15	6				48	합 계		13	13	26	65	65	26				208
구 분	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	...	합계																																																													
정부출연		10	10	20	50	50	20				160																																																													
공공기관																																																																								
민간부담		3	3	6	15	15	6				48																																																													
합 계		13	13	26	65	65	26				208																																																													

제 4 장 연구개발 목표달성도 및 관련분야에의 기여도

항목	내용	기여도	달성도 (%)
1	Flexible 운용 Scenario 도출	-선진사례조사에 기여 -문헌조사에 기여 -전문가 면담에 기여	100
2	시스템 기본(안) 도출	- 열차 운용 기본(안) 도출에 기여 - 운용시나리오 따른 차량시스템 기본(안) 도출에 기여 - 운용시나리오 따른 열차제어시스템 기본(안) 도출에 기여 - 운용시나리오 따른 궤도시스템 기본(안) 도출에 기여	100
3	시스템 구성(안) 도출	- 구성(안) 열차 운용(안) 도출에 기여 - 차량시스템 구성(안) 도출에 기여 - 열차제어시스템 구성(안) 도출에 기여 - 궤도시스템 기본(안) 도출에 기여	100
4	제안 시스템 성능검토	- 제안시스템 열차 운용(안) 도출에 기여 - 차량시스템 성능검토에 기여 - 열차제어시스템 성능검토에 기여 - 궤도시스템 성능검토에 기여	100
5	제안 시스템 개발안 제시	- 시스템 성능에 의한 열차 운용(안) 도출에 기여 - 차량시스템 성능검토에 기여 - 열차제어시스템 성능검토에 기여 - 궤도시스템 성능검토에 기여	100
6	기술적/경제적 타당성 및 사업성 검토	- 비용, 기간 등 검토에 기여 - 필요성 및 실현가능성 검토에 기여 - 실용화/상업화 가능성 및 시장파급 효과 분석에 기여 - 정책적 제언 및 정부지원의 타당성 검토에 기여	100
7	보고서 작성	- Flexible 운용 시스템 개발안 작성	100

제 5 장 연구개발 결과의 활용계획

항목	내용	기여도
1	Flexible 운용 Scenario 도출	-선진사례조사에 활용 -문헌조사에 활용 -전문가 면담에 활용
2	시스템 기본(안) 도출	- 열차 운용 기본(안) 도출에 활용 - 운용시나리오 따른 차량시스템 기본(안) 도출에 활용 - 운용시나리오 따른 열차제어시스템 기본(안) 도출에 활용 - 운용시나리오 따른 궤도시스템 기본(안) 도출에 활용
3	시스템 구성(안) 도출	- 구성(안) 열차 운용(안) 도출에 활용 - 차량시스템 구성(안) 도출에 활용 - 열차제어시스템 구성(안) 도출에 활용 - 궤도시스템 기본(안) 도출에 활용
4	제안 시스템 성능검토	- 제안시스템 열차 운용(안) 도출에 활용 - 차량시스템 성능검토에 활용 - 열차제어시스템 성능검토에 활용 - 궤도시스템 성능검토에 활용
5	제안 시스템 개발안 제시	- 시스템 성능에 의한 열차 운용(안) 도출에 활용 - 차량시스템 성능검토에 활용 - 열차제어시스템 성능검토에 활용 - 궤도시스템 성능검토에 활용
6	기술적/경제 적 타당성 및 사업성 검토	- 비용, 기간 등 검토에 활용 - 필요성 및 실현가능성 검토에 활용 - 실용화/상업화 가능성 및 시장과급 효과 분석에 활용 - 정책적 제언 및 정부지원의 타당성 검토에 활용
7	보고서 작성	- Flexible 운용 시스템 개발안 작성에 활용

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

- [1] New Rail Technology of Paderborn, University of Paderborn
- [2] IRSE(Colin Bailey), European Railway Signalling, A&C Block · London, 1995.
- [3] UIC(2007), Global Perspectives for ERTMS, UIC Report for the ERTMS Annual Conference Berne, 11-13, September
- [4] Integrating ETCS Level 2 with TVM430 on TGV Est, Railway Gazette International, March 2006.
- [5] Guy Bouchard, Francois BINET, Sylvain LE DOARE, "L'exploitation et la conduite d'une ligne mixte TVM/RETMS", Revue Generale des Chemins de Fer, 2004.
- [6] Gregor Theeg/Bela Viincze(2007), European train protection systems compared, SIGNAL+DRAHT(99) 7+8
- [7] B.C. Rapid Transit Company Ltd, On Track-The SkyTrain Story, 2003
- [8] 佐佐木英二 外3(2005), 最新의 列車制御 Systemと今後の動向, 日立評論, Vol.87, No.9
- [9] 奥谷 民雄(2003), 最近の ATC/ATS 技術の 潮流, 鐵道と車輛技術, No.82
- [10] Tamotsu Kato(2007), R&D on Signal Control Systems and Transport Operations Systems, JR EAST Technical Review, No.7

제 7 장 참고문헌

- [1] Dietmar Lubke, "Research Strategy of Deutsche Bahn AG", WCRR94
- [2] 김영태, "신호제어시스템", 테크미디어
- [3] 백남욱 외 2인, "철도기술총서, 골든벨
- [4] Jorn Pacht, "Systemtechnik des Schienenverkehrs", B.G. Teubner Stuttgart, 1994
- [5] 한국철도공사, 철도신호업무자료, 2005
- [6] 김영태, "신호제어시스템", 테크미디어
- [7] 이재호외, "고속철도 열차제어시스템 안정화기술개발 최종연구보고서, 한국철도기술연구원, 2007.
- [8] 이재호외, "철도시스템 Smart 기술연구", 한국철도기술연구원
- [9] 이재호 외, "기존선 및 고속선 신호시스템의 현재와 미래", 대한전자공학회지, 2008. 5.
- [10] 김종기외, 도시철도표준화사업 최종 연구보고서 : 도시철도 신호시스템 표준화 연구, 한국철도기술연구원, 2006
- [11] 김용규외, 기존선 속도향상을 위한 신호보안체계 최적구축방안 연구, 한국철도기술연구원, 2007

주 의 사 항

1. 본 보고서는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 미래철도 기술개발사업의 최종 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 미래철도기술개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니 됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311

■ 문의처 : 한국철도기술연구원 TEL 031)460-5206

R&D / 08 미래철도 기획X01

수송력 향상 철도시스템 기술개발 (총괄)

■ 발행일 / 2008 . 11. 7.

■ 발행처 / 한국철도기술연구원

437-757 경기도 의왕시 월암동 360-1

TEL : 031-460-5000(대)

■ 인쇄처 / 성균사