보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( ), 발간등록번호(11-B552989-000393-01)

철도기술연구사업 제3차 연도 최종보고서

R&D /
20RTRP-C148789-03

첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발 최종보고서

2021. 02.

주관연구기관 / ㈜지오엔티
공동연구기관 / 한국철도기술연구원
공동연구기관 / 경상대학교
위탁연구기관 / ㈜에스알

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

20RTRP-C148789-03

첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발

최종보고서

2021

국토교통부 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발'(연구개발 기간 : 2018.07.27 ~ 2020.12.31) 과제의 최종보고서 9부를 제출합니다.

2021. 2

주관연구기관명 : ㈜지오엔티 (대표자) 지 상 복 (인)

공동연구기관명 : 한국철도기술연구원 (대표자代) 조 용 현 (인)

공동연구기관명 : 경상대학교 산학협력단 (대표자) 강 상 수 (인)

위탁연구기관명 : ㈜에스알 (대표자) 권 태 명 (인)

주관연구기관책임자 : 지상복
공동연구기관책임자 : 강인석
공동연구기관책임자 : 오석문
위탁연구기관책임자 : 변준근

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	20RTRP-C148789-03	해당 단계 연구 기간	'18.07.27.-'20.12.31	단계구분	(3)/(3)
연구사업명	중사업명	철도기술연구사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발			
연구책임자	지상복	해당단계 참여연구원 수	총: 31명 내부: 31명 외부: 0명	해당단계 연구개발비	정부: 605,000천원 기업: 203,500천원 계: 808,500천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 42명 내부: 42명 외부: 0명	총 연구개발비	정부: 1,405,000천원 기업: 474,000천원 계: 1,879,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	㈜지오엔티 개발팀			참여기업명: 한국철도기술연구원, 경상대학교	
국제공동연구	상대국명: 해당없음			상대국 연구기관명: 해당없음	
위탁연구	연구기관명: ㈜에스알			연구책임자: 변준근	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호	Y	Y	N	N	N	Y	N	N	N	N	N

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설·장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

■ 첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발

◦ 열차운행계획 상용화 시스템 개발

◦ 열차운영계획 시스템 표준 업무정의를 통한 고속차량 운영최적화 기술개발

◦ 승무운영 최적화 및 정보관리체계 개발

◦ 테스트베드를 통한 실용화 검증

보고서 면수 : 258 페이지

요약문

연구의 목적 및 내용	◦ 열차운행계획 수립 업무의 신뢰성과 적용성을 높이기 위하여 통합프레임워크 기반으로 열차운행계획이 단위시스템별로 독립적으로 운용될 수 있도록 구축하고 수요처가 요구하는 성능시험 및 소프트웨어 공인인증을 통하여 신뢰성 확보 및 상용화 구현 ◦ 프레임워크 기반의 단위모듈별 시스템 제작 및 통합시스템 개발 - 열차운행계획을 구성하는 단위모듈(열차성능시뮬레이션, 열차다이아, 차량운영계획, 승무운영계획, 선로용량 산정)이 프레임워크 기반으로 독립 또는 통합적으로 운용되도록 개발 - 철도운영기관의 열차운행계획 관련 주요이슈 및 개선목표를 도출하여 상용화를 위한 단계적 고도화 개발 및 정보 간 인터페이스 개발 ◦ 열차운행계획의 업무/정보체계 분석 및 열차운행계획 핵심알고리즘 개발 - 열차운행계획 업무체계 정의 및 정보체계 개발 - 차량운영계획 최적화 알고리즘 개발 및 알고리즘 수행도 시험 - 승무운영계획 최적화 알고리즘 적정성 분석 및 검증 ◦ 시스템 시험을 통한 성능 및 신뢰성 검증 - 수요처((주)에스알)의 테스트베드를 통해 기능 활용성 및 실용화 검증 - 소프트웨어 성능평가를 위해 소프트웨어 품질 공인인증기관의 성능 및 신뢰성 평가를 통해 시스템 품질 인증
연구개발성과	◦ 열차운행계획 표준업무정의서 / 열차운행계획 정보체계정의서 ◦ 열차운행계획 상용화 시스템 - 열차성능시뮬레이션 시스템 - 열차다이아 시스템 - 차량/승무운영계획 시스템 - 선로용량 산정 시스템 - 통계/분석 시스템 ◦ 차량/승무운영계획 최적화 알고리즘 ◦ 열차운행계획 상용화 시스템 핵심모듈에 대한 소프트웨어 품질 인증
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	◦ 수요처 및 철도운영기관의 내부 열차운행계획시스템으로 활용 ◦ 패키지 구성에 따른 열차운영기관의 맞춤형 열차운행계획시스템으로 활용 ◦ 열차운행계획 시스템의 고도화로 기술이전 및 판매 활용 ◦ 패키지화를 통한 국내 시스템 활용성 및 범용성 확보 ◦ 종합적인 열차운행계획 수립 업무지원으로 철도운영기관의 업무 효율성 증대

국문핵심어 (5개 이내)	열차성능시뮬레이션(TPS)	열차운행계획	차량운영계획	승무운영계획	통합 프레임워크
영문핵심어 (5개 이내)	Train Performance Simulation	Train Operation Diagram	Train-Set Routing	Crew Operation Scheduling	Integrated Framework

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 ····· 13
가. 연구개발 목적 ····· 13
나. 연구개발의 필요성 ····· 14
다. 연구개발 추진체계 및 수행방법 ····· 16
(1) 연구개발 추진체계 ····· 16
(2) 연구개발 수행방법 ····· 17
라. 연구개발 목표 ····· 19
(1) 최종목표 ····· 19
(2) 최종목표의 성격 및 설정근거 ····· 20
마. 연구개발 범위 ····· 22
2. 국내외 기술개발 현황 ····· 23
가. 국가 연구개발 사업 유사연구 현황 ····· 23
나. 국내외 관련기술 현황 ····· 23
(1) 국내 열차운행계획시스템 개발 현황 ····· 23
(2) 국외 열차운행계획시스템 개발 현황 ····· 25
(3) 국내외 기술현황 분석의 시사점 ····· 26
다. 국내외 시장분석 및 산업동향 ····· 27
(1) 국내 철도시장 현황 및 전망 ····· 27
(2) 세계 철도운영 관련 시장현황 및 전망 ····· 28
3. 연구수행내용 및 성과 ····· 30
가. 연구수행 성과물 구성 ····· 30
(1) 열차운행계획 상용화 시스템 개발 ····· 30
(2) 열차운영계획 시스템 표준 업무정의를 통한 고속차량 운영최적화 기술개발 ····· 32
(3) 승무운영 최적화 및 정보관리체계 개발 ····· 34
(4) 실제 환경에서 테스트베드 수행을 통한 실용화 검증 ····· 36
나. 연구수행 내용 ····· 37
(1) 열차운행계획 상용화 시스템 개발 ····· 37
(가) 핵심성과 개요 ····· 37
(나) 핵심성과 연구내용 ····· 40
1) 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 개발 ····· 40
2) 열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 개발 ····· 48
3) 차량운영계획 기능 고도화 및 상용화 개발 ····· 57
4) 승무운영계획 기능 고도화 및 상용화 개발 ····· 63
5) 선로용량 산정 기능 고도화 및 상용화 개발 ····· 70

6) 통계 및 분석 기능 고도화 개발 ····· 75
7) 공인인증기관을 통한 열차운행계획 핵심모듈의 품질인증 ····· 81
8) 열차운행계획 시스템 운영 현황 및 사전 요구사항 분석 ····· 83
(2) 열차운영계획시스템 표준 업무정의를 통한 고속차량 운영최적화 기술개발 ····· 88
(가) 핵심성과 개요 ····· 88
(나) 핵심연구 성과내용 ····· 89
1) 표준업무 정의 및 선진사례 조사 · 분석 ····· 89
2) 철도차량 운영계획 최적화 문제 정의 및 인터페이스 정의 ····· 103
3) 단계적 해법 개발 ····· 111
4) 통합적 해법 개발 ····· 132
5) 철도차량 운영계획 최적화 알고리즘 실험 및 검증 ····· 153
6) 결론 ····· 160
(3) 승무운영최적화 및 정보관리체계 개발 ····· 162
(가) 핵심성과 개요 ····· 162
(나) 핵심연구 성과내용 ····· 163
1) 열차운행계획 정보관리체계 개발 및 수정 · 보완 ····· 163
2) 승무운영계획 최적화 알고리즘 작성 및 적정성 검증 ····· 174
(4) 테스트베드를 통한 실용화 검증 ····· 189
(가) 핵심성과 개요 ····· 189
(나) 핵심연구 성과내용 ····· 190
1) 열차운행계획시스템 현장 활용사례 조사 ····· 190
2) 성능 및 신뢰성 검증을 위한 테스트베드 수행계획 수립 ····· 194
3) 테스트베드 수행을 통한 실용화 검증 ····· 195
다. 연구개발 성과 ····· 203
(1) 국내 • 외 논문 게재 ····· 203
(2) 국내 및 국제학술회의 발표 ····· 205
(3) 지식재산권(특허) ····· 206
(4) 저작권(소프트웨어) ····· 207
(5) 인증서 ····· 211
(6) 사업화 현황 ····· 211
(7) 성과품 홍보 ····· 212
(8) 구매계획서 확보 ····· 222
(9) 수상 실적 ····· 223
라. 연구개발 추진체계 ····· 224
마. 연구개발 추진일정 ····· 225
4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 227

가. 평가의 착안점 및 기준 ····· 227
(1) 양적 성과목표 및 달성도 ····· 227
(2) 연구성과 총괄 ····· 228
(3) 연차별 연구성과 ····· 230
나. 관련 분야 기여도 ····· 232
(1) 기술적 측면 ····· 232
(2) 경제적 측면 ····· 234
5. 연구개발성과의 활용계획 ····· 236
가. 연구성과물의 활용방안 ····· 236
나. 타 연구와의 연계방안 ····· 237
6. 연구개발 사업화 실적 및 계획 ····· 238
가. 연구개발 사업화 실적 ····· 238
(1) 시스템 납품 ····· 238
(2) 연구개발과 관련된 시스템 개발사업 수주 및 이행 ····· 240
나. 향 후 사업화 계획 ····· 244
(1) 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인 ····· 244
(2) 목표 시장 구조 ····· 245
(3) 수익 확보 전략 ····· 245
(4) 향후 검토사항 및 유지보수 방안 ····· 247
7. 연구비 및 참여인력 현황 ····· 248
가. 최종 차년도 연구개발비 집행 실적 ····· 248
나. 최종 차년도 참여연구원 ····· 253

참고 문헌 ····· 255

< 그 림 목 차 >

그림 1 연구개발 목적 ····· 13
그림 2 연구개발 추진체계 ····· 16
그림 3 연구개발 단계별 상용화 개발 전략 ····· 17
그림 4 소프트웨어 품질인증 방법 및 평가 모델 ····· 18
그림 5 열차운행계획 상용화 시스템 연구개발 모형 ····· 19
그림 6 제3차 국가철도망 구축계획안(2016 ~ 2025) ····· 27
그림 7 철도계획 및 운영시장 현황의 전망 ····· 28
그림 8 세계 철도시장 전망(Unife_world Rail Market Study) ····· 29
그림 9 세계 철도관리 시장 전망 ····· 29
그림 10 프레임워크 기반의 열차운행계획시스템 구성 및 고도화 범위 ····· 30
그림 11 철도차량 운영계획 스케줄링 통합적 해법 개념도 ····· 32
그림 12 철도차량 운영계획 스케줄링 통합적 해법 증분법 개념 ····· 33
그림 13 열차운행계획 정보관리체계 개발 및 수정 · 보완 ····· 35
그림 14 승무운영계획 최적화 알고리즘 개발 및 적정성 분석 ····· 36
그림 15 열차다이아 데이터베이스 고도화 설계 ····· 41
그림 16 열차다이아 화면 UI 고도화 설계 ····· 42
그림 17 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 시스템 프로세스 ····· 43
그림 18 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 시스템 특징 ····· 43
그림 19 열차성능시뮬레이션 데이터베이스 고도화 설계 ····· 49
그림 20 열차성능시뮬레이션 화면 UI 고도화 설계 ····· 50
그림 21 열차성능시뮬레이션 시스템 모형 및 프로세스 ····· 51
그림 22 열차성능시뮬레이션 시스템 주요기능 ····· 51
그림 23 차량운영계획 시스템 데이터베이스 고도화 설계 ····· 58
그림 24 차량운영계획 시스템 화면 UI 고도화 설계 ····· 59
그림 25 차량운영계획 시스템 최적화 산출 모형 ····· 60
그림 26 승무운영시스템 데이터베이스 고도화 설계 ····· 64
그림 27 승무운영시스템 화면 UI 고도화 설계 ····· 65
그림 28 승무운영계획 시스템 모형 및 프로세스 ····· 66
그림 29 선로용량 산정 시스템 데이터베이스 고도화 설계 ····· 71
그림 30 선로용량 산정 시스템 화면 UI 고도화 설계 ····· 72
그림 31 선로용량 산정 시스템 시뮬레이션 모형 및 시스템 구성 ····· 73
그림 32 통계 및 분석 시스템 데이터베이스 고도화 설계 ····· 76
그림 33 통계 및 분석 시스템 화면 UI 고도화 설계 ····· 77
그림 34 통계 및 분석 시스템 주요 기능 ····· 78
그림 35 소프트웨어 품질평가를 위한 시험합의서 ····· 81

그림 36 소프트웨어 시험 및 인증절차에 따른 주요활동 ····· 82
그림 37 소프트웨어 품질인증서 획득 ····· 82
그림 38 기본 및 임시계획 업무절차 ····· 89
그림 39 차량 운영 편성수의 조합 ····· 92
그림 40 승무계획 교번제 vs 교대제 ····· 93
그림 41 승무계획 수립 기본절차 ····· 93
그림 42 승무원 업무수행 절차 ····· 93
그림 43 승무원 주간 근무패턴 ····· 94
그림 44 승무원 야간 근무패턴 ····· 94
그림 45 철도차량 운용계획 집합분할 모형, 철도연 2000 ····· 95
그림 46 열차 스케줄 예시, 김성호 2004 ····· 96
그림 47 철도차량 운용계획 집합분할 모형, 철도연 2004 ····· 96
그림 48 Arc Exchange Rule, 철도연 2005 ····· 97
그림 49 KTX 차량 운용계획 알고리즘 흐름도, 철도연 2005 ····· 98
그림 50 반복시간과 차량 편성 소요량 관계 연구, 기형서 2016 ····· 98
그림 51 Circulation 형태의 차량 반복, Schrijver 1993 ····· 100
그림 52 Local search 기반 알고리즘 흐름도, Zhao 2002 ····· 101
그림 53 열생성 기법 하부 문제의 그래프 모델 예시, Zhao 2002 ····· 102
그림 54 네덜란드 NS의 철도차량 운용계획, Zhao 2002 ····· 102
그림 55 덴마크 DSB S-tog 실험데이터, Zhao 2002 ····· 103
그림 56 철도차량 운용계획 업무절차 ····· 103
그림 57 철도차량 운용 Dia 스케줄 (예시) ····· 104
그림 58 1편성 차량 운행 행로 (예시) ····· 105
그림 59 다양한 조건에 따른 철도차량 운용 Dia 변화 예시 ····· 105
그림 60 배속/비 배속 차량 운용의 차이 ····· 106
그림 61 편성 단위로 운행하는 철도차량 운용 스케줄링 예시 ····· 107
그림 62 차량 운용 순서표 구성 예시 ····· 108
그림 63 철도차량 운용계획 문제 단계별 인터페이스 구성도 ····· 109
그림 64 차량과 열차 중심 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘 ····· 116
그림 65 철도차량 반복 (회차) 시분 개념도 ····· 117
그림 66 중간 회차 방식 개념도 ····· 118
그림 67 단계적 해법의 기술적 한계 ····· 133
그림 68 통합적 해법의 Complexity 이슈 ····· 134
그림 69 통합적 해법 노드 생성법 ····· 135
그림 70 통합적 해법 노드 생성 입출력 관계도 ····· 135
그림 71 통합적 해법 링크 생성법 ····· 136

그림 72 통합적 해법 링크 입출력 생성 관계도 ····· 136
그림 73 통합적 해법에 따른 최적해 예시: 차량 Dia 측면 표시 ····· 137
그림 74 통합적 해법에 따른 최적해 예시: 차량 순서표 측면 표시 ····· 137
그림 75 불확정성 극복을 위한 통합적 해법 구현 ····· 139
그림 76 통합적 해법 - 증분법 vs 뺄셈법 개념 비교 ····· 139
그림 77 통합적 해법 - 증분법 vs 뺄셈법 특징 비교 ····· 140
그림 78 철도운영 프로세스 ····· 165
그림 79 열차운행계획 통합시스템 정보체계 구성 방안 ····· 166
그림 80 승무다이아 작성 최적화 알고리즘 적용 절차 ····· 179
그림 81 승무교번 작성 최적화 알고리즘 적용 절차 ····· 181
그림 82 승무다이아 작성 최적화 알고리즘 실제 적용 과정 ····· 181
그림 83 각종 제약조건을 만족하는 열차 조합 선정과정 ····· 182
그림 84 최적화 알고리즘 적용에 따른 사업시간 그래프 변화 추이 ····· 183
그림 85 승무교번 작성 최적화 알고리즘 실제 적용 과정 ····· 184
그림 86 근무패턴 보정 과정 ····· 185
그림 87 광주승무센터 4월 기장 승무교번 초기해 생성 ····· 186
그림 88 교번 생성 과정 선택연산 - 품질 비례 룰렛 휠 ····· 186
그림 89 교번 생성 과정 교차연산 - 균등교차 ····· 187
그림 90 최적화 알고리즘 적용에 따른 오차 및 적합도 그래프 변화 추이 ····· 188
그림 91 코레일 열차다이아 기능 운용현황 ····· 190
그림 92 코레일 차량운영계획 기능 운용현황 ····· 191
그림 93 코레일 승무운영계획 기능 운용현황 ····· 193
그림 94 테스트 일지 작성예시 ····· 195
그림 95 산학기술학회 학술대회 우수논문상 수상 ····· 205
그림 96 특허결정서 ····· 206
그림 97 구매계획서 ····· 222
그림 98 수상실적 - 국토부장관 표창장, 2019.12 ····· 223
그림 99 프레임워크 기반 열차운행계획 통합시스템 활용 ····· 236
그림 100 열차성능시뮬레이션(TPS) 및 열차다이아 시스템 납품 구성 ····· 238
그림 101 열차운전곡선(운전선도) 구성 ····· 239
그림 102 한국철도공사 승무계획시스템 개발 사업 개요 ····· 241
그림 103 국가철도망 건설지원•선로배분시스템 통합 및 고도화 사업 개요 ···· 242
그림 104 TPS 연계를 통한 급전시뮬레이션 시스템 사업 개요 ····· 244
그림 105 향 후 사업화 모형 ····· 245

< 표 목 차 >

표 1 국내 열차운행계획시스템 현황 ····· 23
표 2 국외 열차운행계획시스템 현황 ····· 25
표 3 세계 철도시장 규모 ····· 28
표 4 참여기업 고속차량 증편 차량 운용 기본계획 지원(안) ····· 34
표 5 열차다이아 시스템 기능 구성 ····· 44
표 6 열차성능시뮬레이션 시스템 기능 구성 ····· 52
표 7 차량운영계획 시스템 기능 구성 ····· 60
표 8 승무운영계획 시스템 기능 구성 ····· 66
표 9 선로용량 산정 시스템 기능 구성 ····· 73
표 10 통계/분석 시스템 기능 구성 ····· 78
표 11 패키지형 S/W의 가변처리 기능 ····· 89
표 12 열차종별 열차번호 배정법 ····· 90
표 13 열차 운행도표 기재법 ····· 90
표 14 열차 운행도표 분목 작성법 ····· 91
표 15 차량 운영계획 적용 분야 구분 ····· 91
표 16 차량 운영계획 단계별 구분 ····· 91
표 17 차량 운영계획 조건별 구분 ····· 91
표 18 승무원 근무 인정 시간 ····· 94
표 19 입력① : 파라미터 정보 ····· 109
표 20 입력② : 열차 계획 정보 ····· 110
표 21 출력① : 차량 Dia 스케줄 ····· 110
표 22 출력② : 차량 운용 순서표 ····· 111
표 23 최적화를 위한 수리과학 모델 구성 ····· 112
표 24 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제 현실 조건 ····· 112
표 25 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 인덱스 집합 정의 ····· 112
표 26 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 입력 및 파라미터 정의 ····· 113
표 27 철도차량 운용 Dia 스케줄링 결정변수 정의 ····· 113
표 28 철도차량 운용 Dia 스케줄링 최적화 수리과학 모델 ····· 114
표 29 단계적 해법 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘 입력 데이터 ····· 122
표 30 RVRH-V 알고리즘 실행 결과 ····· 125
표 31 RVRH-T 알고리즘 실행 결과 ····· 128
표 32 단계적 해법 기반 알고리즘 수행도 비교 ····· 131
표 33 단계적 해법: 차량 운용 순서표 (2단계) 산출 결과 ····· 132
표 34 단계적 해법과 통합적 해법의 장단점 비교 ····· 132
표 35 단계적 해법과 통합적 해법의 연구 과정 ····· 133

표 36 통합적 해법 - 증분법 부호의 정의 ····· 141
표 37 통합적 해법 - 증분법 : 수송용량 극대화 ····· 141
표 38 통합적 해법 - 증분법 : 경정비 검수주기 위반 최소화 ····· 142
표 39 Test-1 검수 조건 설정 ····· 153
표 40 Test-1 차량 운용 순서표 산출 결과 ····· 154
표 41 Test-1 차량기지 유치용량 사용 결과 ····· 154
표 42 Test-2 차량 운용 순서표 산출 결과 ····· 156
표 43 Test-3 차량 운용 순서표 최적해 도출 결과 ····· 157
표 44 참여기업 고속차량 규격 ····· 158
표 45 참여기업 고속차량 증편 계획(안) ····· 158
표 46 Test-4 ③ 실험조건을 충족하는 최적해 ····· 160
표 47 국내 · 외 철도운영계획 시스템 조사 ····· 163
표 48 국내 · 외 철도운영 관련 모듈 및 시스템 제공 업체 ····· 164
표 49 수요처별 철도운영계획 작성 프로세스 ····· 165
표 50 TPS 모듈의 기능분류체계 정의서 ····· 167
표 51 차량운영계획 모듈의 기능분류체계 정의서 ····· 168
표 52 열차운영계획 모듈의 기능분류체계 정의서 ····· 168
표 53 승무운영계획 모듈의 기능분류체계 정의서 ····· 169
표 54 선로용량산정 모듈의 기능분류체계 정의서 ····· 170
표 55 열차성능시뮬레이션(TPS) 모듈 세부기능 수정 · 보완 ····· 171
표 56 열차성능시뮬레이션(TPS) 모듈의 기능분류체계 정의서 수정 · 보완 ····· 171
표 57 승무운영계획 모듈 세부기능 수정 · 보완 ····· 172
표 58 승무운영계획 모듈의 기능분류체계 정의서 수정 · 보완 ····· 172
표 59 선로용량산정 모듈 세부기능 수정 · 보완 ····· 173
표 60 선로용량산정 모듈의 기능분류체계 정의서 수정 · 보완 ····· 173
표 61 국내 승무운영관련 연구 사례 ····· 174
표 62 국외 승무운영관련 연구 사례 ····· 174
표 63 국내 철도 운영기관별 승무원 근로기준 ····· 175
표 64 국외 철도 운영기관별 승무원 근로기준 ····· 176
표 65 국내 철도운영기관의 승무일정계획 작성 절차 ····· 176
표 66 승무다이아 작성 시 제약조건 ····· 177
표 67 승무교번 작성 시 제약조건 ····· 178
표 68 승무다이아 작성 최적화 목적함수 ····· 178
표 69 승무교번 작성 최적화 목적함수 ····· 180
표 70 승무다이아 간 비교 결과표 ····· 183
표 71 수서승무센터 요일별 운영 기장 승무다이아 ····· 184

표 72 부산승무센터 요일별 운영 기장 승무다이아 ····· 184
표 73 광주승무센터 요일별 운영 기장 승무다이아 ····· 185
표 74 테스트베드 수행계획 일정표 ····· 194
표 75 기존 열차운행계획 기술과의 차별성 ····· 233

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발 목적

◦ **연구 목적 :** 본 연구는 한국철도공사, ㈜에스알, 지자체 운영사 등 철도운영기관에서 고속철도, 일반철도, 화물철도 및 도시철도 등 다양한 열차들의 효율적인 열차운영계획을 수립하는데 사용되는 열차운영계획시스템을 실용화하기 위해 본 연구진이 보유한 열차운영계획시스템 개발 기술을 체계화하여 독립 기능모듈로 제작 및 통합 프레임기반으로 개발하고, 이를 공인기관으로부터 체계적인 성능 및 신뢰성을 검증하여 실용화하는데 그 목적이 있음

◦ 또한 본 연구는 고속철도, 일반철도, 화물철도, 도시철도 등 다양한 형태의 열차운용환경에서 열차성능 및 열차다이아, 차량/승무운영계획, 선로용량 등을 체계적으로 관리하기 위한 열차운행계획 상용화시스템을 개발하고 시스템의 정확성, 안전성 및 신뢰성 검증을 통해 실용화하는데 그 목적을 둠



<그림 1 연구개발 목적>

◦ **연구 배경 :** 2004년 고속철도 국내 개통 이후, 철도산업의 급속한 발전으로 하드웨어적 철도 인프라 시설은 큰 발전을 이루었으나, 현재 한국철도의 열차운행계획시스템은 최신 IT기술에 비해 뒤떨어져 시스템 기능들이 크게 미흡한 실정임

◦ 현재 열차운행계획시스템은 열차운행계획 단계에서 데이터 생성 및 관리가 체계적이고 종합적인 비교·검증 없이 이루어지고 있으며 열차운행계획 업무 또한 소수 열차계획 업무담당자의 개인 역량에 크게 의존하고 있는 실정임

◦ 정부의 대규모 재원이 필요한 철도인프라 시설자원은 제한되어 있으며 이러한 제한된 자원 제약 하에서 최상의 운영효율을 도출하기 위해서는 열차운행계획시스템을 활용하여 수요와 자원제약을 고려한 최상의 열차운행계획을 수립하는 것이 중요함

나. 연구개발의 필요성

◦ **국내 상용화된 열차운행계획 시스템의 부재 :** 한정된 노선을 다수의 철도운영기관에서 운영해야 하는 국내 철도운영 특성상, 각 철도운영기관에서는 효율적인 열차운행계획을 수립하기 위해서는 열차운행계획시스템 도입이 필수적임. 현재 단일 기능 위주로만 상용화된 시스템이 일부 있으나 열차운행계획 전반의 업무를 지원할 수 있는 상용화된 시스템은 활용 사례가 없음

◦ 기존 열차운행계획시스템 개발은 일부 기능 개선이나 특정 철도운영기관의 맞춤형으로 개발되어 상용화되지 못하고 있음. 이에 열차운행계획시스템의 단위시스템 개발 및 통합 구축을 통해 철도운영기관별 상황에 맞게 사용할 수 있도록 개발함으로써 SI(System Integration) 사업 중심이 아닌 자체적 열차운행계획시스템으로 즉시 활용할 수 있도록 해야 함

◦ 또한 국내 철도운영 특성상, 한정된 노선을 다수의 철도운영기관에서 운영함으로 정확하고 신뢰성 있는 열차운행계획시스템 도입이 필수적이나, 현재 단일 기능 위주로만 상용화된 시스템이 존재할 뿐 열차운행계획 전반의 업무를 지원할 수 있는 시스템이 부재함으로 운영기관별 중복개발에 의한 예산을 방지하기 위해서는 열차운행계획 전반의 업무를 지원하는 시스템 개발이 필요함

◦ 스위스의 'Open track' 등 해외 철도운행계획시스템들이 개발되어 상용화되고 있지만, 상대적으로 국내에서는 열차운행계획 시스템 관련 기술투자가 미흡하여 상용화되지 못하고 있음. 또한 동일한 노선을 다수의 철도운영기관이 사용해야하는 국내 철도운영의 특성을 반영할 수 있는 기능들이 미흡함으로 국내 실정에 적합한 열차운행계획시스템 개발이 필요함

◦ **철도운영기관의 급속 확대 및 효율적 열차운행계획 수립의 신뢰성 확보 필요 :** 국가철도망 구축계획 등 국내외 정책변화와 국내외 철도시장규모 확대에 따라 기존 코레일 이외에 지자체 철도운영기관, 지하철 운영기관, 경전철 및 GTX 운영기관 등 신규 철도운영기관들이 급속도로 확대되고 있으므로 이를 위해 적합한 열차운행계획시스템 개발이 필요함

◦ GTX 등 민자사업자, 지자체 도시철도 등 신규 운영기관 참여로 효율적인 철도 운영을 위해서는 열차운행계획시스템 개발이 체계적이고 종합적으로 이루어져야 함. 특히 국내 철도산업 특성으로 인한 국가 예산 중복 방지를 위하여 상용화된 열차운행계획 시스템이 시급한 실정임

◦ 특히 열차운행시간에 따라 막대한 건설비용이 발생하기 때문에 신규노선 개설에 대한 효율적인 열차운행계획 수립이 필수이며, 이를 위해서는 정확하고 신뢰성이 높은 열차운행계획시스템 운영이 필요함

◦ **철도업무의 복잡화 및 전문화에 따른 시스템 개발 한계 :** 열차운행 업무의 특성상 차량, 토목, 궤도, 신호, 전기 등 여러 분야의 복합적인 요소를 포함하고 있기 때문에 이와 관련된 열차운행계획시스템을 개발하기 위해서는 유사 개발 경험실적이나 다양한 분야 전문가의 도움 없이는 개발이 불가능한 분야임으로 국가차원의 실용화 개발지원이 필요함

◦ **코레일 등 관련 기관 도입 및 대체 가능성 :** 현재 철도운영기관은 SI 시스템과 단일기능 시스템으로 운영되고 있음. 본 과제를 통한 열차운행계획 상용화 시스템 개발 성과물은 기존 철도운영기관 및 신규기관에서의 열차운행계획시스템 대체 및 신규 수요가 기대됨

◦ **해외 수출 가능성 :** 해외 활용중인 유사 프로그램의 기능 분석 및 고도화 된 프레임워크 기반의 열차운행계획 모듈 구현, 차량 및 승무계획에서의 보다 최적화 된 로직 적용 등으로 기존 열차운행계획시스템 대비 차별화된 기능을 갖춤으로써 향 후 해외 수출을 통한 철도운영기술의 국제 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대됨

◦ **철도차량 운영계획 알고리즘 필요성 :** 철도차량 운영계획 최적화 알고리즘을 반영한 프로그램 개발을 통해 철도 운영기관의 차량 자원 효율적 활용에 기여하고 열차다이아 전면 개편 시 다양한 대안 고려 가능성을 제공함으로써 철도차량 운영계획 수립 업무를 효과적으로 지원할 수 있는 체계가 필요함

◦ **열차운행계획 정보관리체계 개발 필요성 :** 기존에 개발된 시스템은 특정 철도운영기관의 업무 프로세스에 집중되어 있어 타 철도운영기관에서는 활용하기에 다소 불편한 점들이 있으며, 신규 철도운영기관에 적용하기 어려운 실정임. 따라서 대형 및 중·소형 철도운영사별로 적합한 열차운행계획시스템을 제공할 수 있도록 업무에 필요한 기능들을 모듈화하고, 이들을 패키지화할 수 있도록 각 기능별 정보정의서 체계가 필요함

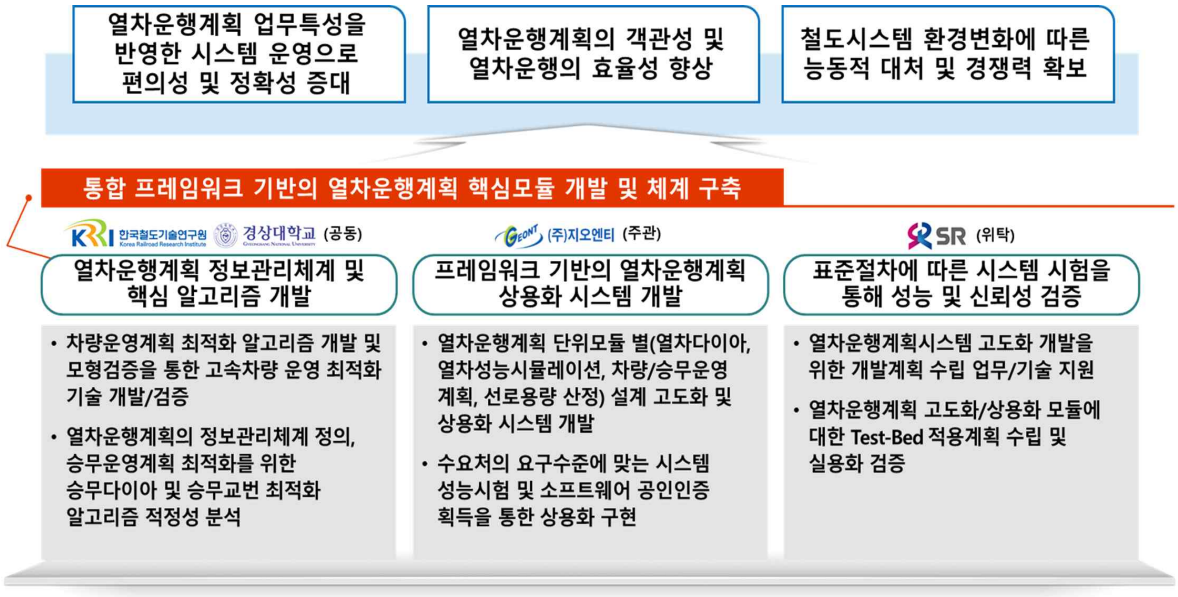
◦ **승무운영계획 알고리즘 필요성 :** 승무일정계획 작성은 많은 제약조건들과 근무규정으로 인하여 작성과정에 많은 시간이 소요될 뿐만 아니라 숙련된 작업인원의 경험적 지식을 동원하여 수립된 승무일정계획이 최적의 해인지 판별하기 어려운 실정임. 또한 오늘날까지 수작업으로 작성되고 있는 승무일정계획 방법은 근로기준 개정, 근로환경 개선 등 다양한 변화에 대응하기 어렵기 때문에 승무일정계획 작성 최적 알고리즘을 수립하여 복잡한 승무일정계획 작성 문제를 해결할 수 있는 방안이 필요함

다. 연구개발 추진체계 및 수행방법

(1) 연구개발 추진체계

◦ 본 연구개발은 통합프레임워크 기반으로 열차운행계획시스템을 개발하고 구현된 핵심 성과품에 대하여 공인인증기관으로부터 소프트웨어 품질인증을 획득하여 시스템을 상용화하는데 목적이 있음

◦ 열차운행계획 시스템 개발 및 상용화 구현을 위한 추진 연구진에 대하여 철도운영 및 열차운행계획 기술의 전문가 집단, 철도관련 학술기관, 열차운행계획 및 철도운영 부문의 시스템 개발 전문 개발인력 Pool로 구성하여 추진하였음. 이를 통해 실용화 및 상용화 등 본 과제의 목적에 최대한 부합하도록 하였고 성과물의 실질적 성능 검증을 통해 향후 수요기관에서 시스템을 전략적이고 효과적으로 도입할 수 있도록 하였음



<그림 2 연구개발 추진체계>

◦ 본 연구개발의 주관연구기관인 ㈜지오엔티는 열차운행계획 및 철도운영 IT 분야의 전문 개발 연구진이 참여하여 열차운행계획시스템 상용화 개발을 추진함으로써 연구 진행에 따른 시행착오를 최소화하였음

◦ 공동연구기관인 한국철도기술연구원과 경상대학교는 철도건설 및 열차운행계획 관련 전문가를 핵심 연구진으로 구성하여 수요기관에 대한 요구사항 및 시스템 정보체계, 표준업무절차 등을 도출하였으며 특히, 차량운영계획 및 승무운영계획에 대한 최적화 알고리즘 개발 및 적정성 분석을 통해 열차운행계획 상용화 시스템 개발을 위한 기반체계를 마련하였음

◦ 또한 수요처인 ㈜에스알이 본 연구 수행 시 위탁연구기관으로 참여함으로써 실용화에 필요한

요구사항을 지속적으로 수집/분석하여 이를 상용화 시스템 개발 시 반영하였으며, 테스트베드 수행을 통해 시스템의 활용성 및 신뢰성을 검증함으로써 연구성과물의 실용화를 촉진시켜 수요처의 내부시스템으로 활용할 수 있도록 하였음

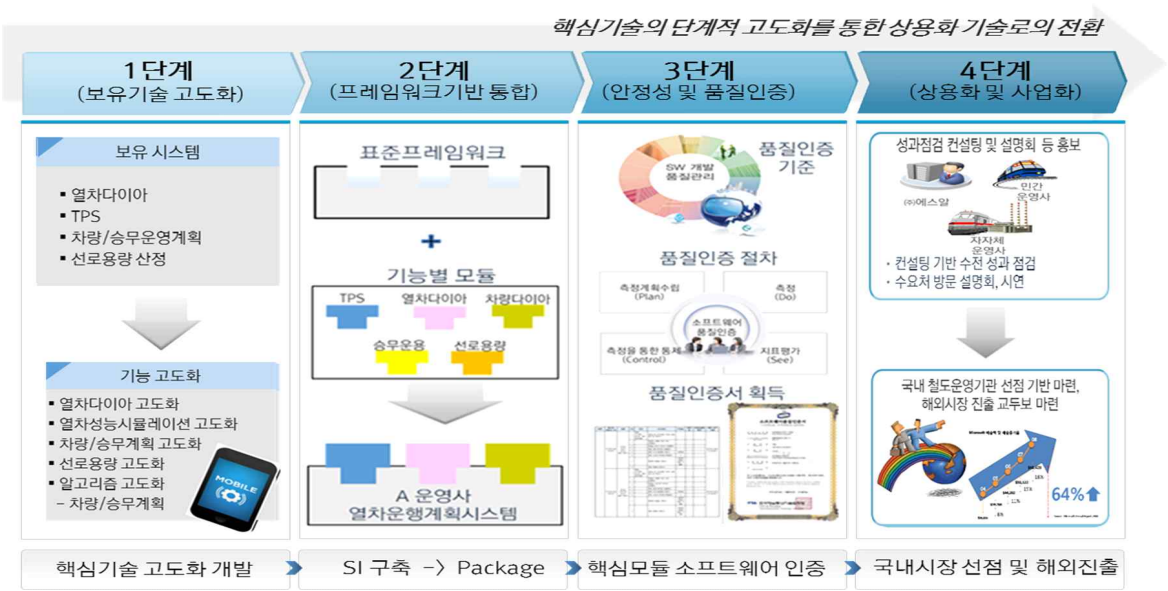
(2) 연구개발 수행방법

◦ <u>핵심기술의 단계적 고도화를 통한 열차운행계획시스템의 상용화 기술로 전환</u>

■ 1단계 : 보유기술의 고도화 (열차운행계획 보유기술 --> 기능 고도화 개발) :
보유중인 열차운행계획시스템에 대한 수요처의 요구사항을 정의하여 열차운행계획 및 차량/승무계획 등의 핵심기술 개발 시 기능을 고도화하여 개발함으로써 시스템의 업무 효율성을 극대화하고 보유기술의 상용화 기반을 마련하였음

■ 2단계 : 프레임워크 기반의 단위모듈 통합 (SI 구축 --> Package화) :
열차운행계획의 단위모듈(열차성능시뮬레이션, 열차운행계획, 차량/승무운영계획, 선로용량 산정 등)이 프레임워크 기반으로 독립 또는 통합적으로 운용되도록 개발하였으며, 수요처별 필요에 따라 시스템을 공급하고 유지관리 할 수 있는 체계를 구축함으로써 상용화의 기반을 마련하였음

■ 3단계 : 시스템 안정성 및 품질인증(공인인증 기관을 통한 품질 인증) :
본 과제를 통해 개발한 열차운행계획시스템에 대하여 수요처(㈜에스알)의 테스트베드를 통해 기능 적정성 및 활용성을 검증받았음. 또한 열차운행계획시스템의 핵심모듈에 대하여 소프트웨어 품질 공인인증기관으로부터 기능적합성, 성능효율성, 사용성, 신뢰성 등에 대한 평가를 통해 소프트웨어 품질인증을 획득하였음



<그림 3 연구개발 단계별 상용화 개발 전략>

■ 4단계 : 상용화 여건 확보 및 사업화

체계적인 연구진행으로 확보된 연구 성과물의 실용화 및 상용화 충족여건을 마련하기 위해 철도 건설·운영기관 관련 전문가를 통한 사업화 전략 컨설팅 및 시장맞춤형 컨설팅 기반 사전 성과점검, 수요처 방문 설명회 등을 통해 개발 성과품에 대한 우수성을 홍보하였음. 향후 대형 철도운영기관, 자체체 및 민간 철도운영사를 대상으로 연구성과물에 대한 지속적인 홍보 활동을 통해 사업화 추진을 수행하고 나아가 해외시장 진출의 교두보를 마련할 것임

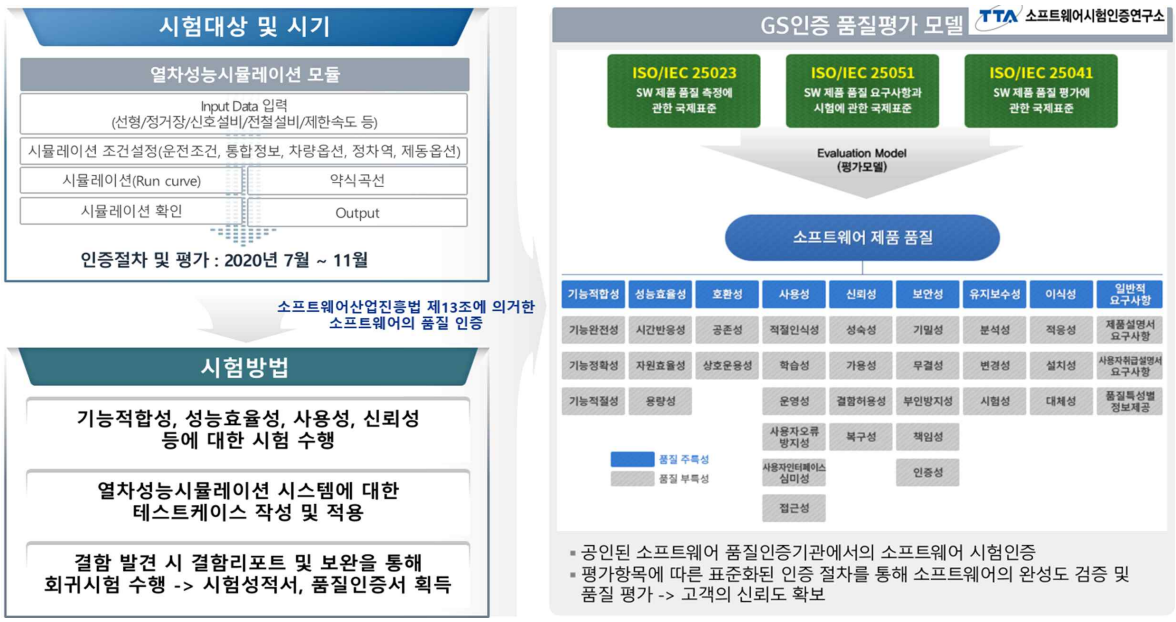
◦ <u>실제 열차운행기관((주)에스알) 연구참여에 의한 연구성과의 실용화 검증</u>

■ 수요처인 ㈜에스알의 직접적인 연구참여를 통해 실용화에 필요한 요구사항을 지속적으로 수집/분석하고 이를 열차운행계획시스템 고도화 개발 시 반영하였기 때문에 과제 성과물이 수요처의 내부 열차운행계획시스템으로 즉시 활용될 수 있도록 하였음

■ 단계적 실용화 검증은 본 연구를 통해 개발되는 열차운행계획시스템 성과물에 대해서 수요처(㈜에스알)가 테스트베드를 수행하면서 시스템 기능의 안정성 및 신뢰성, 활용성 등에 대한 검증을 실행하였으며 이는 시스템 운영 시 발생할 수 있는 개선사항 및 문제점을 사전에 해결하고 성과물의 성능을 향상시킴으로써 연구성과물의 실용화를 촉진시킴

◦ <u>공인기관을 통한 성과물의 체계적인 성능 및 신뢰성 검증</u>

■ 열차운행계획시스템의 핵심모듈인 열차성능시뮬레이션(TPS) 시스템에 대하여 소프트웨어 품질공인 인증기관(한국정보통신기술협회, TTA)으로부터 기능적합성 및 성능효율성, 사용성, 신뢰성 등에 대한 시험평가를 통해 개발성과품에 대한 완성도 및 품질을 공식적으로 확인받았음(소프트웨어 품질인증서, 1등급)



<그림 4 소프트웨어 품질인증 방법 및 평가 모델>

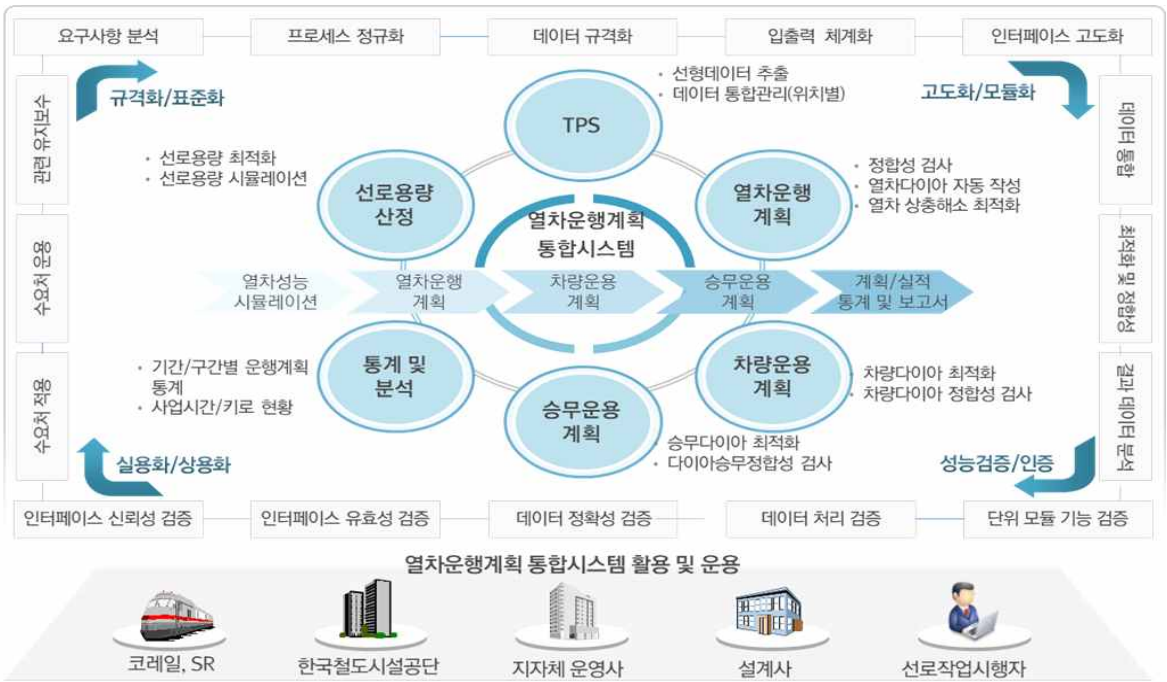
■ 소프트웨어 품질인증 절차로서 소프트웨어 품질 공인 인증기관(한국정보통신기술협회, TTA)에서 열차운행계획 핵심시스템(열차성능시뮬레이션)에 대하여 유형별 테스트케이스에 따라 시험을 진행하였고, 발견된 결함에 대해서는 결함리포트를 기준으로 연구 수행기관에서 시스템 보완을 완료한 후 인증기관이 회기시험을 진행하였음. 또한 시스템에 대한 품질을 종합적으로 평가한 후 인증심의위원회의 인증여부 결정을 통해 소프트웨어 품질인증서를 획득하였음

라. 연구개발 목표

(1) 최종목표

◦ **최종 목표 :** 본 연구는 열차운행계획 수립 업무의 신뢰성과 적용성을 높이기 위하여 통합프레임워크 기반으로 열차운행계획시스템이 단위시스템별 독립적으로 운용될 수 있도록 구축하고 수요처가 요구하는 성능시험 및 소프트웨어 공인인증을 통하여 신뢰성 확보 및 상용화 구현을 목표로 함

◦ 본 연구개발을 통해 개발된 통합프레임워크 기반의 열차운행계획 상용화 시스템의 최종 연구개발 모형은 다음과 같음



<그림 5 열차운행계획 상용화 시스템 연구개발 모형>

◦ **세부 목표 :**

■ 프레임워크 기반의 단위모듈별 시스템 제작 및 통합시스템 개발

– 열차운행계획을 구성하는 단위모듈(열차성능시뮬레이션, 열차다이아, 차량운영계획,

승무운영계획, 선로용량 산정)이 프레임워크 기반으로 독립 또는 통합적으로 운용되도록 개발

- 철도운영기관의 열차운행계획 관련 주요이슈 및 개선목표를 도출하여 상용화를 위한 단계적 고도화 개발 및 정보 간 인터페이스 개발

■ 열차운행계획의 업무/정보체계 분석 및 열차운행계획 알고리즘 개발

- 열차운행계획 업무정의 및 정보관리체계 분석
- 차량운영계획 최적화 알고리즘 개발 및 시험/보완
- 승무운영계획 최적화 알고리즘 적정성 분석 및 신뢰성 검증

■ 시스템 시험을 통한 성능 및 신뢰성 검증

- 수요처((주)에스알)의 테스트베드를 통해 기능 활용성 및 실용화 검증
- 소프트웨어 성능평가를 위해 소프트웨어 품질 공인인증기관의 성능 및 신뢰성 평가를 통해 시스템 품질 인증 획득

(2) 최종목표의 성격 및 설정근거

◦ **철도운영시스템의 안전성 및 신뢰성 확보에 필수 요소 :** 열차운행계획 수립을 위한 통합형 시스템은 한정된 철도시설물 인프라를 이용하여 효율적인 열차운행을 통해 국민에게 양질의 철도교통서비스를 제공하기 위한 열차운행업무의 중요한 수단이 됨. 이는 국민 복지 증진과 지역경제에 맞는 열차 패키지 상품 개발 등 복잡한 열차운행계획을 수립 시 다양한 유형의 열차시뮬레이션을 통한 정확한 사전 분석을 가능하게 함으로써 철도운영시스템의 안전성 및 신뢰성을 확보할 수 있음

◦ 정부의 대규모 제원이 필요한 철도인프라 시설자원은 제한되어 있으며 이러한 제한된 자원 제약 하에서 최상의 운영효율을 도출하기 위해서는 열차운행계획시스템을 활용하여 수요와 자원제약을 고려한 최상의 열차운행계획을 수립하는 것이 중요함

◦ 열차운행계획은 신규노선 계획 뿐 만 아니라 기존 노선 개량 및 유지보수 시 기존 열차 운영의 중단 없이 진행될 수 있도록 하기 위한 체계적이고 정확하며 신뢰성 높은 시스템 개발 기술이 필요함

◦ 특히 한국철도의 특성상 철도 영업거리에 비하여 열차운행 횟수가 많고, 여러 선로를 경유하는 복잡한 운전조건과 수도권을 중심으로 열차가 집중되는 특성을 반영하며 일반열차, 고속열차 및 화물열차 등 운행방식에 따른 다양한 열차운영 형태 등 복잡한 철도환경을 반영할 수 있는 열차운행계획 기술이 필요함

◦ **철도시설물의 적정 운영규모 결정에 필수 요소 :** 열차운행계획시스템을 통해 수립된 열차계획에 따라 선로용량 및 서비스 수준이 결정되기 때문에 교통서비스수준 뿐만 아니라 차량, 인력, 정거장 등 운영규모와 철도시설물의 적정규모를 결정하는 기준이 되므로 투자비용을 산출하는 근거가 됨

◦ 특히, 철도운영기관에서는 차량 등 운영 장비나 승무 등 소요인력을 결정하는 가장 중요한 기준이 되므로 열차운행계획은 무엇보다도 정확성과 신뢰성이 중요한 전제 조건이 됨

◦ 철도운영체계는 철도시설물, 차량, 신호, 하드웨어시스템에 운영기술을 기반으로 한 열차운행계획시스템이 수반되어야 효과적으로 운영할 수 있음

◦ **수요처 참여 및 요구사항 사전 분석 :** 과제 성과물의 실용화를 목적으로 수요처에 대한 열차운행계획시스템의 효율적인 도입을 위하여 수요처의 직접적인 연구 참여를 통해 실용화에 필요한 요구사항들을 지속적으로 수집하고 이를 시스템 고도화 개발 시 반영함으로써 과제 성과물을 수요처의 열차운행계획시스템으로 활용을 가능하게 함

◦ **철도차량 운영계획 수립 업무 지원 및 개선을 위한 활용성 제고 :** 철도 운영기관이 현실 업무에 활용이 가능할 뿐만 아니라 기존 업무절차의 개선에 도움이 되는 철도차량 운영계획(스케줄링) 최적화 알고리즘을 개발하여 시스템 구현에 반영함으로써 철도 차량 자원의 효율적 활용에 기여할 수 있음

◦ **신규 및 중·소형 열차운영기관의 특성에 맞는 시스템 부재 :** 열차운행계획 수립을 위한 체계적이고 정확하며 신뢰성 높은 열차운행계획 시스템의 중요성으로 인해 열차운영기관별 업무 특성에 맞게 적용 가능한 통합프레임워크 기반의 열차운행계획시스템 개발이 필요함

◦ 열차운행계획 시스템을 구성하는 각 모듈의 하위 기능을 정의하고 체계적으로 분류한 정보관리체계 기능정의는 각 열차운영기관의 규모에 적합한 열차운행계획 시스템 개발 시 유용하게 활용가능 함

◦ **복잡한 승무일정계획 작성 업무의 효율성 제고 :** 승무일정계획의 작성은 국가에서 제정한 노동관련 법규, 기관별로 상이한 근무기준 및 규정 등 수많은 제약조건들이 고려되어야 하는 복잡한 문제임. 따라서 승무일정계획의 작성업무는 고도로 숙련된 전문가가 할 수 있는 작업이며, 숙련된 전문가 작성을 하더라도 경험적 지식과 오랜 시간이 소요됨

◦ 하지만 승무일정계획 작성을 위한 시스템, 방법론 부재로 인해 오늘날까지 승무일정계획은

전문가들의 수작업으로 작성되고 있는 실정임. 이러한 문제로 인해 법률 개정, 근무기준 변경 등에 대한 유연한 대응이 어려울 뿐만 아니라 오랜 시간을 투자하여 생성된 승무일정계획이 최적의 해인지 판별하기 어려움

◦ 승무일정계획 최적화 알고리즘의 개발은 수많은 제약조건을 고려할 수 있고, 사용자가 설정하는 목적함수에 최적화 된 해를 제시해 줌은 물론 기존 수작업으로 진행되어오던 승무일정계획의 작성시간을 크게 단축시킬 수 있어 승무일정계획 작성 업무의 효율성을 제고할 수 있음

마. 연구개발 범위

◦ 본 연구는 통합프레임워크를 기반으로 열차운행계획시스템을 개발하고 구현된 핵심모듈에 대해서는 소프트웨어 품질 공인인증기관의 검증을 통해 신뢰성과 상용화를 확보하고자 함

◦ **열차운행계획 상용화 시스템 개발(주관연구기관, ㈜지오엔티)**

- 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발
- 열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발
- 차량/승무운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발
- 선로용량 산정 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발
- 통계 및 분석 기능 고도화 모듈 개발
- 공인인증기관을 통한 열차운행계획 핵심모듈 품질인증

◦ **열차운영계획 시스템 표준 업무정의를 통한 고속차량 운영최적화 기술개발 (공동연구기관, 한국철도기술연구원)**

- 열차운행계획시스템 표준업무정의서 개발
- 차량운영계획 최적화 알고리즘 모형 개발 및 검증
- 차량운영계획 최적화 알고리즘 개발 및 알고리즘 수행도 시험

◦ **승무운영 최적화 및 정보관리체계 개발(공동연구기관, 경상대학교)**

- 열차운행계획 정보체계정의서 개발 및 보완
- 승무운영계획 최적화 알고리즘 현황조사 및 적정성 분석
- 승무운영계획 최적화 알고리즘 검증

◦ **테스트베드를 통한 실용화 검증(위탁연구기관, ㈜에스알)**

- 테스트베드 수행을 위한 계획 및 수행체계 수립
- 테스트베드를 통한 열차운행계획시스템의 실용화 검증

2. 국내외 기술개발 현황

가. 국가 연구개발 사업 유사연구 현황

◦ 국가과학기술지식정보서비스(www.ntis.go.kr)를 활용하여 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토를 수행한 결과, 열차운행계획을 위한 단위모듈을 통합프레임워크 기반의 상용화 시스템 개발 관련 연구는 본 연구를 제외하고는 아직까지 없는 상태임

◦ 기존 유사과제는 시스템의 상용화 목적 보다는 기존 대형 철도운영기관에서 보유한 시스템의 노후화에 따른 일부 기능 고도화 중심으로 진행됨에 따라 성과물이 해당 운영기관의 업무 위주로 개발되어 타 철도운영기관으로 전파되지 못하고, 상용화가 되지 못하였음

◦ 유사과제를 통해 개발한 시스템은 열차운행계획에 필요한 통합된 기능을 포함하지 않았으며 (차량 및 승무운영계획시스템 제외), 일부 기능 보완을 위해 인터페이스 개발로 자체 보유한 내부시스템과 연계하여 활용하고 있음. 또한 입력정보는 수작업으로 진행되어 업무 효율성이 현저히 낮음

◦ 본 연구의 경우, 계획부터 관련 전문기관 및 인력으로 연구팀을 구성하였고, 수요처의 요구사항을 적극 반영하여 시스템 고도화를 수행하였으며, 개발된 핵심모듈에 대해서는 소프트웨어 품질 공인 인증기관으로부터 인증서를 획득함으로써 실용화 및 상용화를 위한 체계적인 연구개발을 수행하였음. 이는 열차운행계획시스템 상용화를 위해 수행한 국내 첫 '실용화 문턱 과제' 이며 통합프레임워크 기반의 열차운행계획시스템의 상용화의 관점에서 볼 때 기존 과제와의 차이를 가짐

◦ 본 연구의 경우, 차량 및 승무운영계획까지 포함한 열차운행계획시스템의 실용화 및 상용화 개발을 수행하였고, 연구수행 시 연구진의 보유기술을 수요처의 요구사항과 접목시켜 실무적 효율성을 극대화하여 상용화를 도모하였으므로 기존 과제와 차이를 가짐

나. 국내외 관련기술 현황

(1) 국내 열차운행계획시스템 개발 현황

◦ 2020년 기준으로 개략적으로 사용되고 있는 국내 열차운행계획시스템은 <표 1>와 같음

<표 1 국내 열차운행계획시스템 현황>

기관	시스템명	주요기능	구축연도
한국철도공사	IRIS	통합철도정보시스템 (열차운행계획, 차량운영계획, 승무원운영계획)	2004

	TOPS	열차운행계획시스템 일부 기능 고도화 (TPS, 열차다이아, 선로용량)	2014
한국철도기술연구원	Dr. Metro	열차운행계획(열차다이아, 열차스케줄링 등)	2014
공항철도	AREX 3.0	업무포털(ERP) 통합정보시스템 (열차운행관리, 차량검수, 시설물 관리, 제어설비)	2016
	ARGOS	기존시스템을 업그레이드한 통합정보시스템 (경영정보, 열차운행 및 차량운용계획, 승무원 운용 현황 관리, 차량검수계획, 승차권 판매 및 수송인원 관리)	2018

◦ 한국철도공사는 2011년부터 3년간 국토교통과학기술진흥원의 국가 R&D 사업으로 열차운행계획시스템(Train Operation Planning System, 이하 TOPS)을 개발하였음

◦ 열차다이아시스템은 1998년 LG히다찌(주)에서 개발한 시스템으로써 해당 시스템이 노후화되고 IRIS 내부에 단순한 열차설정의 기능으로만 수행할 수 있게 구축되어 복잡화된 한국철도의 운영계획 수립에 적용하기에 제한성이 많아짐으로써 이를 보완하기 위해 TOPS 개발이 진행되었음

◦ TOPS는 열차운행계획 수립에 필요한 열차계획정보, 운전선도 작성, 열차다이아 작성, 선로용량 산정 등 일련의 작업과정을 최대한 시스템화하여 효율적인 업무처리와 산출물에 대한 신뢰성 향상을 목적으로 개발되었으며, 열차운행계획에 필요한 1,556개의 상세기능을 적용하기 위해서 12개의 전처리 모듈로 구분하여 상호간 유기적으로 연계되어 운영될 수 있게 개발되었음

◦ 한국철도공사는 열차운행계획 수립을 위해 통합정보시스템(IRIS) 내에 열차다이아시스템을 활용하고 있음. IRIS는 열차운행계획의 수송예측, 운영관리, 예약발매 등을 수행하기 위한 마케팅시스템, 수송계획시스템, 운행관리시스템 등으로 구성되어 있음

◦ 최근 한국철도공사는 승무분야 계획업무 과정을 효율적으로 처리하고 사용자 편의성을 강화시킨 새로운 승무계획시스템을 개발하기 위해 통합정보시스템(IRIS)의 승무원운용계획업무와 철도운영정보시스템(XROIS)의 승무근무표관리 업무를 통합하여 별도 시스템으로 개발하였음

◦ 한국철도기술연구원에서는 민자철도 기반의 도시철도 및 경전철 운영기관을 지원하기 위하여 Stand-Alone 방식의 열차운행계획 시스템(Dr. METRO, Demand Responsive MEtro TRain Operation Program)을 개발하였음

◦ 이는 개인용 컴퓨터에서 자유롭게 설치하여 사용할 수 있게 구성되고, 일반 열차스케줄 뿐 만 아니라 급행/일반 열차가 혼합 운행하는 SKIP-STOP 스케줄을 수립하기 위하여 상용 최적화 툴의 하나인 Gurobi Optimizer를 탑재하여 열차 스케줄을 제시하고 있음

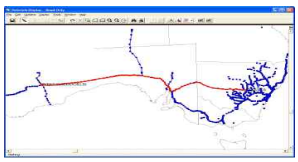
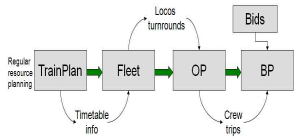
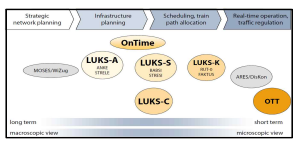
◦ 공항철도는 기존 시스템을 업그레이드하여 통합정보시스템(ARGOS)을 새롭게 구축하였으며 이는 웹표준모듈(Non Active-X) 기반의 HTML5 표준을 적용하여 개발하였음. 또한 열차 차량과 철도 시설물의 장애·고장 정보에 대한 신뢰성 분석을 강화하고, 역무자동화시스템과 연계되어 열차 내부와 승강장의 혼잡도를 분석하는 기능을 도입되었음

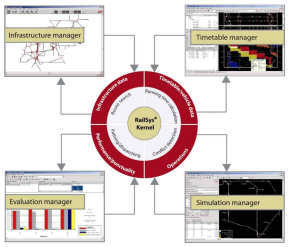
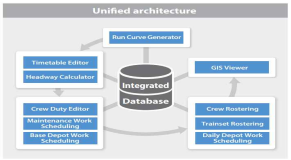
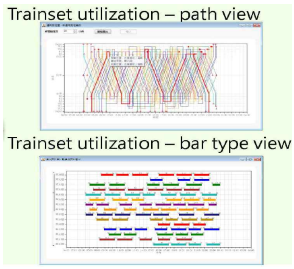
◦ ERT 엔지니어링은 'TPS 3.0-PRO' 라는 철도차량 운전성능 시뮬레이션 시스템을 개발하여 주행시분과 같은 차량 제작 시 요구되는 주행 성능을 확인할 뿐 아니라 신규노선의 적정성을 판단하고, 선정된 선로에서의 운전 조건을 제공하고 있음

◦ 주요 기능은 열차 추진방식, 무정차 정거장, 제한 속도 등 입력정보를 간소화하였고, 하나의 그래프 안에 여러 가지의 선으로 출력할 수 있게 구성하였음

(2) 국외 열차운행계획시스템 개발 현황

<표 2 국외 열차운행계획시스템 현황>

시스템 명		주요특징	주요내용	비고
캐나다	MultiRail	화물열차 중심의 열차운영계획 작성 및 운영시뮬레이션	• 화물 특성 입력(Origin/Destination, 품목타입, 등) • 화차 정보입력(화차, 무게, 길이, 수입 등) • Traffic Blocking 계획 수립 • 화물수요를 Block에 할당 • Block을 가지는 열차생성	 
독일	LUKS	DB-Netz 스케줄링 시스템(RUT-K)의 모태가 되는 열차운영계획 시스템	• LUKS는 작성된 시각표에 대한 시뮬레이션 및 infrastructure(junction, line)에 대한 capacity를 분석 • LUKS는 infrastructure planning을 수행하는 LUKS-A, Timetable을 작성하는 LUKS-K, Timetable에 대한 Compression을 하는 LUKS-C과 시뮬레이션을 수행하는 LUKS-S로 구분되어 있음	 
독일	Railsys	철도 운영계획 작성시 열차시각표의 강건성(Robustne	• 데이터 구조를 단순화한 최적 관리체계를 구축하기 위해 트랙 편집(track layout editing) • 열차시각표 작성(timetable	

		ss) 분석	construction) 및 운영 시뮬레이션 (operational simulation) • 통계평가(statistical evaluation) 모듈이 한 시스템 내에 통합 구현	
일본	True Line	Cloud 기반으로 개발된 열차운영계획 작성 프로그램으로 도시바의 DB서버 활용, 업무의 연속성 확보 가능	• Run Curve Generator – 가감속, 속도제한 고려 운전선도 작성 • Crew Duty Scheduler – 승무 스케줄링 (승무 사업 작성) • Depot Work Scheduler – 차량기지 입환 스케줄링 • Trainset Rostering – 차량 할당 계획 • Crew Rostering – 승무 사업 할당	 
대만	DDS	대만 고속철도 도입시 운영계획 작성을 지원하기 위하여 개발된 시스템	• 철도운영계획 수립 절차에 따라 크게 정차패턴 선정(Stopping pattern), 운행횟수 선정(Service frequency), 열차시각표 작성(Train scheduling) 및 열차반복계획(Train-set scheduling) 작성 4가지 모듈로 구성	

(3) 국내외 기술현황 분석의 시사점

◦ 한국철도공사, 공항철도 등 대형 철도운영기관에서는 자체적으로 열차운행계획시스템을 개발하여 운영하고 있으나, 이는 해당 운영기관의 업무 위주로 구축되어 신규로 진입하는 철도운영기관에서는 활용하기가 곤란한 실정임

◦ 국내에는 열차운행계획 업무 지원을 위한 상용화된 시스템이 미흡한 실정이며, ERT 엔지니어링에서 개발한 'TPS 3.0-Pro' 와 같이 일부 상용화된 제품도 있으나, 이는 열차운행계획 업무의 일부인 열차주행성능평가에 한정되어 있을 뿐 전반적인 열차운행계획 업무를 지원할 수 있는 상용화 시스템이 국내에는 없는 상황임

◦ 국외의 경우, 광범위한 연구를 바탕으로 스위스의 'Open track' 등 상용화된 다양한 열차운행계획시스템이 운영 중에 있으나 국내의 열차운행 업무 실정과 상의한 부분이 많아 직접적인 도입이 곤란할 뿐만 아니라 구매비용 또한 높음

◦ 이러한 국내외 현황을 감안할 때, 본 연구를 통해 개발된 프레임워크 기반의 열차운행계획시스템은 열차운행계획에 대한 전반적인 체계적 접근 방식으로 종합적인 열차운행계획 수립이 가능하고, 열차운행계획 모듈의 패키지화를 통해 대형 철도운영기관 및 지자체, 소형 민간철도운영기관들에 대한 효율적인 시스템 도입을 가능하게 함

◦ 또한 한국철도의 열차운행 특성 반영 및 열차운행계획 핵심 알고리즘의 독자적 개발을 통한 국내 최초의 열차운행계획 상용화 시스템을 개발하였으며 이는 열차운행계획의 원천기술 및 관련 기술 분야의 선도적 국가 경쟁력을 확보함

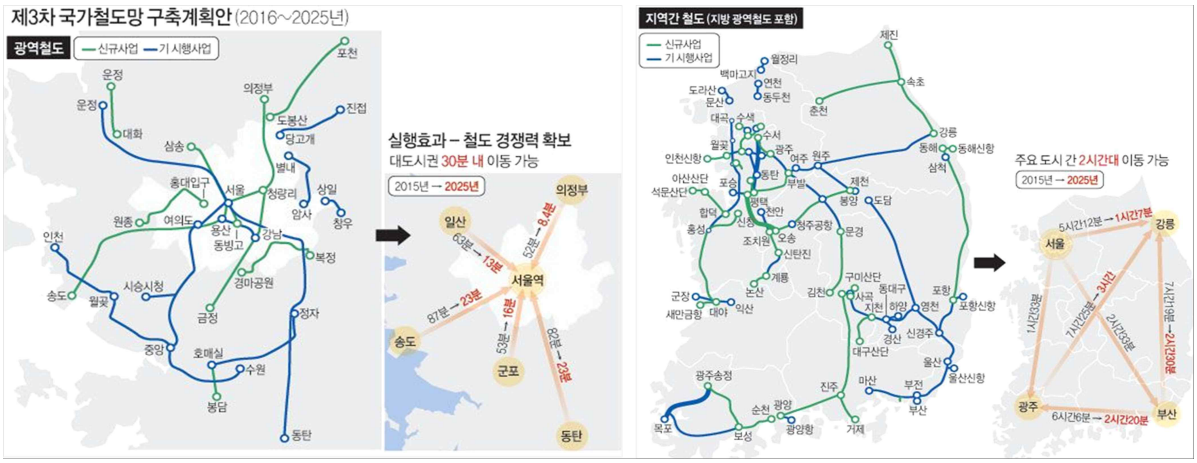
다. 국내외 시장분석 및 산업동향

(1) 국내 철도시장 현황 및 전망

◦ 국내의 경우, 제3차 국가철도망구축계획(2016~2025)으로 철도운영 연장이 2026년 기준으로 5,364Km를 달성하여 복선화율이 71%(3,813Km), 전철화율이 82%(4,421Km)가 되고, 철도 수송분담률을 2013년 20.8%에서 2026년에는 26.6%로 증대할 것으로 예상됨

◦ 제3차 국가철도망구축계획은 주요도시 간 2시간대, 대도시권 30분 이내 이동이 가능하게 하여 국민 삶의 질이 개선되는 광역권 생활교통의 혁신 및 철도경쟁력을 확보하고, 경원선과 동해선 등 남북철도 단절구간을 연결하여 통일을 대비한 철도망을 구축한다는데 목표가 있음

◦ 또한 제3차 국가철도망구축계획 수립을 통해 병목구간과 단절구간의 해소, 시설수준의 불일치 해소, 고속화 열차 운행의 증가, 주요간선의 시설수준의 일치로 철도운영의 효율성을 확보 할 것이며 고속철도, 고속화철도(준고속철도) 서비스를 전국으로 확대하여 고속철도서비스 인구비율을 46%에서 60%로 상향하고 고속화철도 서비스 인구비율을 5%에서 25%로 상향함으로서 고속이동서비스 지역을 확대 할 예정임



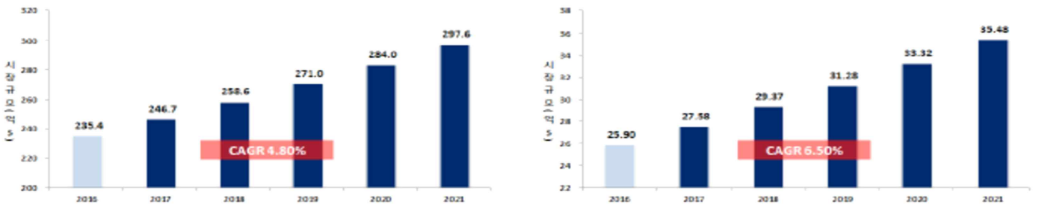
<그림 6 제3차 국가철도망 구축계획안(2016 ~ 2025)>

◦ 국가경제 발전의 신성장 동력으로써 철도산업 육성을 위한 “제3차 철도산업발전 기본계획(2016 ~ 2020)”을 수립하여 공공분야 거버넌스 개편, 철도운영, 철도건설, 철도안전, 철도산업 생태계 구축의 5대 분야별 추진 목표를 설정하였음. 특히 철도운영 부분에서 속도 중심의 국가 간선철도망 운영 및 철도물류 경쟁력 제고를 위해 이용자 중심의 철도운영 서비스

개선과 대량수송수단으로서의 철도물류 역할을 강화하였음

◦ 국내 철도계획·운영 및 신호·통신 시장은 각각 연평균 1.2%, 6.5% 성장이 전망되며 국내 철도 신호/통신 시장은 세계시장 대비 8.5%(2016년)를 차지하며 약 14.03억 달러의 시장을 형성하였음. 또한 국내 철도계획 및 운영 분야 시장은 세계 시장의 성장률(4.8%)을 상회하는 성장률(6.5%)를 보이며 2021년에는 35.48억 달러 규모로 성장할 것으로 예상됨

◦ <그림 7>와 같이 2019 국토교통 R&D 동향조사(철도교통분야)에 따르면 국내 철도 계획 및 운영 시장은 2016년 세계시장 대비 11%의 규모로 약 25.9억 달러를 형성함. 또한 국내 철도 계획 및 운영 분야 시장은 세계 시장의 성장률(4.8%)을 상회하는 성장률(6.5%)를 보이며 2021년 35.48억 달러 규모로 성장할 것으로 예측됨



(단위: 억 달러)

구분	2016	2017	2018	2019	2020	2021	CAGR('16-'21)
세계	235.4	246.7	258.6	271.0	284.0	297.6	4.80%
국내	25.90	27.58	29.37	31.28	33.32	35.48	6.50%

<그림 7 철도계획 및 운영시장 현황의 전망>

(2) 세계 철도운영 관련 시장현황 및 전망

◦ <표 3>과 같이 2019년에 발표한 국토교통 R&D 동향조사에 따르면 2020년도 세계 철도시장 규모는 약 1,729 달러인 것으로 나타났으며 2022년에는 약 1,831억 달러로 성장할 것으로 전망함

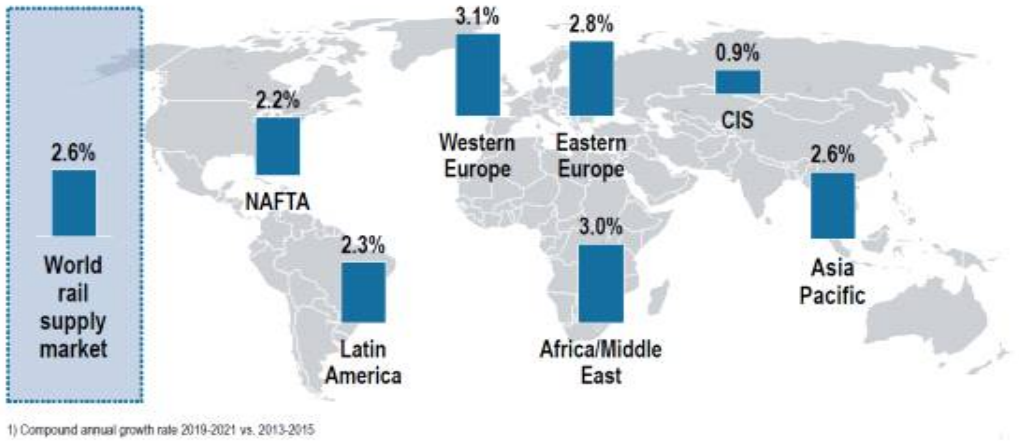
<표 3 세계 철도시장 규모>

<table>
<tr><th>구 분</th><th>현재의 시장규모(2020년)</th><th>예상 시장규모(2022년)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">산출 근거</td><td>약 1,729억 달러</td><td>약 1,831억 달러</td></tr>
<tr><td colspan="2">※ 2019 국토교통 R&D 동향조사(철도교통분야)
<table>
<tr><th>구분</th><th>2017</th><th>2018</th><th>2019</th><th>2020</th><th>2021</th><th>2022</th></tr>
<tr><td>세계 철도교통 시장</td><td>1,586</td><td>1,632</td><td>1,680</td><td>1,729</td><td>1,779</td><td>1,831</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

◦ 최근 세계 철도시장 동향을 보면 여객운송의 경우 도심철도보다는 광역철도가 지속적으로 증가하는 추세임. 철도물류수송(Fright Rail)의 경우, 2009년 세계경제침체 영향을 받아 제품생산

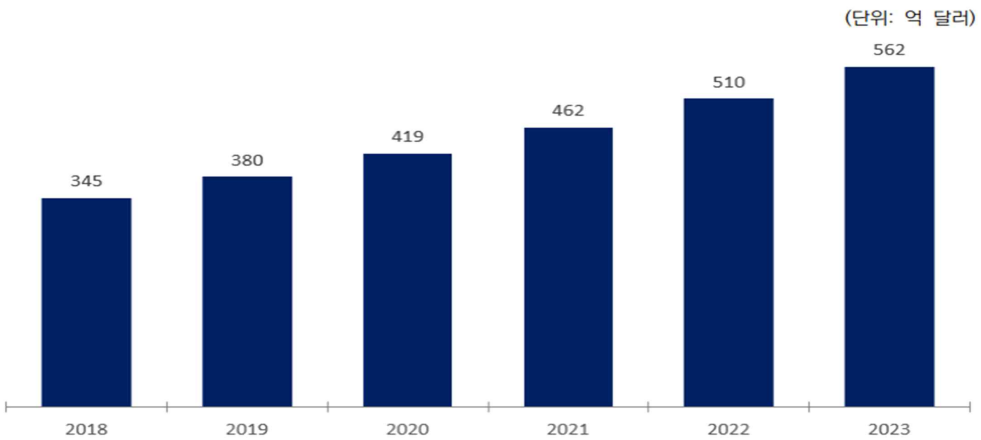
이 저조해지면서 큰 타격을 받았지만 중국 및 인도 등 아시아 국가에서 활발하게 진행된 철도 인프라 건설과 범세계적 기준이 되고 있는 유럽철도 표준화 정책 등으로 인하여 다시 부활함으로 인해 세계철도 연평균 성장률이 3%에 도달하였음

◦ 더불어 해외에서의 철도 시장은 <그림 8>에서와 같이 2020년에는 서유럽, 아프리카 및 중동 지역까지도 확장되어 성장하였으며 향후 다수 아프리카 국가에서도 철도 인프라 건설이 활발하게 이루어질 전망이지만 금융자본의 조달, 턴치 발주 및 구매, 제품/서비스 적절성 등에 따라 이들 철도시장 활성화 여부가 결정될 것으로 예측됨



<그림 8 세계 철도시장 전망(Unife_world Rail Market Study)>

◦ 세계 철도관리 시장은 2018년 345억 달러에서 연평균 10.2% 증가하여 2023년에는 562억 달러로 성장할 것으로 전망 됨. 철도관리 솔루션 중에서는 철도 교통관리 기술이 가장 크게 성장할 것으로 기대되며 아시아-태평양 지역은 급격한 경제성장과 기술혁신을 위한 정부 차원의 투자로 인해 2023년에는 가장 큰 철도관리 시장으로 성장할 것으로 예측됨



<그림 9 세계 철도관리 시장 전망>

3. 연구수행내용 및 성과

가. 연구수행 성과물 구성

(1) 열차운행계획 상용화 시스템 개발(주관연구기관, ㈜지오엔티)

◦ 본 연구개발을 통해 개발한 열차운행계획시스템 전체 구성은 아래 <그림 10>과 같으며 열차운영계획시스템을 실용화하기 위해 본 연구진이 보유한 기술을 체계화하여 독립 기능 모듈들로 제작 및 통합 프레임워크 기반으로 개발하였고 핵심모듈에 대해서는 소프트웨어 공인인증기관으로부터 품질인증을 획득함으로써 시스템의 신뢰성 및 활용성을 검증받았음



<그림 10 프레임워크 기반의 열차운행계획시스템 구성 및 고도화 범위>

◦ 본 연구에서 개발한 프레임워크는 개별 모듈들의 기능 구현이 가능하도록 하는 틀(frame)을 의미하고, 개별 모듈이란 열차성능시뮬레이션, 열차운행계획(열차다이아), 차량운영계획, 승무운영계획, 선로용량산정 등의 독립시스템을 의미하며, 독립된 시스템이 프레임워크 기반으로 열차운행계획 통합시스템을 구성하면 공통적 프레임을 이용하여 사용자가 필요로 하는 모듈에 대하여 선별적 활용 및 운영이 가능하도록 개발하였음

◦ <u>열차다이아 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발 :</u>

– 열차운행계획(열차다이아) 모듈은 역선로 및 선형정보, 차량정보 등 기초데이터와 운전조건 등 다양한 시뮬레이션 조건정보를 반영하여 작성된 표준운전시분를 기반으로 열차종류별 정차패턴(직통/급행/완행 등)별로 열차조합을 작성하고 첨두시간대와 비첨두 시간

대별 운행횟수를 달리 적용하여 열차다이아를 자동으로 작성할 수 있도록 구현하였음. 이를 통해 생성된 열차스케줄 결과를 최소 안전시격, 열차 간 경합 및 최근거리 등의 분석을 통해 데이터 정합성을 검사 할 수 있도록 하였음

- 또한 열차운행계획(열차다이아) 모듈은 열차성능시뮬레이션(TPS) 연계 및 열차패턴별 작성을 통해 열차운행계획 업무 특성에 적합한 열차다이아를 작성하고 열차시각표 자동생성, 열차다이아 편집 시 다이아 열차선과 열차시각표 DB와 연동 등 사용자 편의성을 위해 다양한 기능을 제공하고, 열차다이아 표시에 대한 다양한 표현을 통해 사용자의 가독성을 향상시켰으며 열차다이아 정합성 체크를 통해 열차경합 해소, 선·후행열차 간 최소시격 및 열차 안전시격 확보 등 데이터 신뢰성을 확보할 수 있도록 하였음

◦ <u>열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발 :</u>

- 열차성능시뮬레이션 모듈은 역선로 및 선형정보, 차량정보 등 열차운행에 영향을 줄 수 있는 기초데이터와 다양한 시뮬레이션 운전조건 정보를 반영하여 열차성능시뮬레이션을 수행함으로써 열차의 합리적/경제적 운행을 지원하고 철도시설의 적정성 검토 및 의사결정을 지원할 수 있도록 하였음

- 특히, 열차성능시뮬레이션 기능 고도화/상용화 모듈은 다양한 시뮬레이션 조건을 반영하여 열차주행 및 성능을 분석하도록 구현함으로써 철도차량 고속화 등 철도환경변화에 능동적으로 대응할 수 있도록 하였으며, 시뮬레이션 결과의 열차다이아 모듈 연계 및 속도곡선, 운행시간, 에너지소모량 등 다양한 분석데이터를 제공해 열차운행계획을 보다 효율적으로 수립할 수 있도록 하였음

◦ <u>차량운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발 :</u>

- 차량운영계획 모듈은 역선로 및 선형정보, 차량정보 등 기초데이터와 운전조건 등 다양한 시뮬레이션 조건정보를 반영하여 작성된 열차운영스케줄을 기반으로 편도열차운행 종료 후 다음열차 운행을 위한 반복열차를 지정하고 반복열차가 반영된 열차시각표 데이터를 기반으로 차량기본정보 및 차량운행정보를 반영한 차량다이아를 그래프형태로 자동으로 생성하게 함으로써 가용자원인 차량(편성)의 합리적/경제적 운영을 지원하고 차량자원의 적정성 검토 및 의사결정을 지원하도록 하였음

◦ <u>승무운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발 :</u>

- 승무운영계획 시스템은 역선로 및 선형정보, 차량정보 등 기초데이터와 운전조건 등 다양한 시뮬레이션 조건정보를 통해 작성된 열차성능시뮬레이션 결과를 반영한 열차운행계획이 확정되면 이 계획을 기반으로 승무계획을 작성하기 위하여 승무근무규정 등 각종 제약조건 및 최적화 시뮬레이션 조건을 설정하고 유전자알고리즘을 적용하여 승무계획 대안을 작성할 수 있도록 구현함으로써 가용 승무자원의 합리적/경제적 운용을 위한 적정

성 검토 및 의사결정을 지원하도록 하였음

◦ **선로용량 산정 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발 :**

– 선로용량 산정 모듈은 선로용량산정 구간 설정 기능, 대상열차 설정 기능, 선로용량 시뮬레이션 기능 등 선로용량 산정 기능을 구현하였고, 열차운영계획에서 설정한 열차종별 열차시각표를 바탕으로 설정된 열차패턴을 고려하여 선로용량 계산을 위한 인자 입력, 열차배열별 정보생성 후 열차도착 및 출발시격 최적화 시뮬레이션을 수행하도록 함으로써 선로용량을 산출하도록 구현하였음. 이때 직접 운행노선에서 실제 운행가능 한 열차배열의 시나리오를 통한 평균시격을 실시간으로 반영하여 최대용량을 산출하도록 하였음

◦ **통계 및 분석 고도화 모듈 개발 :**

– 열차운행계획통합시스템에서 통계 및 분석 모듈은 열차종별 역별 정차패턴에 따른 열차운행계획 분석, 대안별 열차운행계획 분석, 위치별 열차성능시뮬레이션 결과 분석, 절연구간 설정위치 적정성 검토 기능을 제공하도록 하여 열차성능시뮬레이션 및 열차운행계획 분석 등 열차운행계획에서 핵심적으로 필요한 데이터 분석 기능을 구현하였음

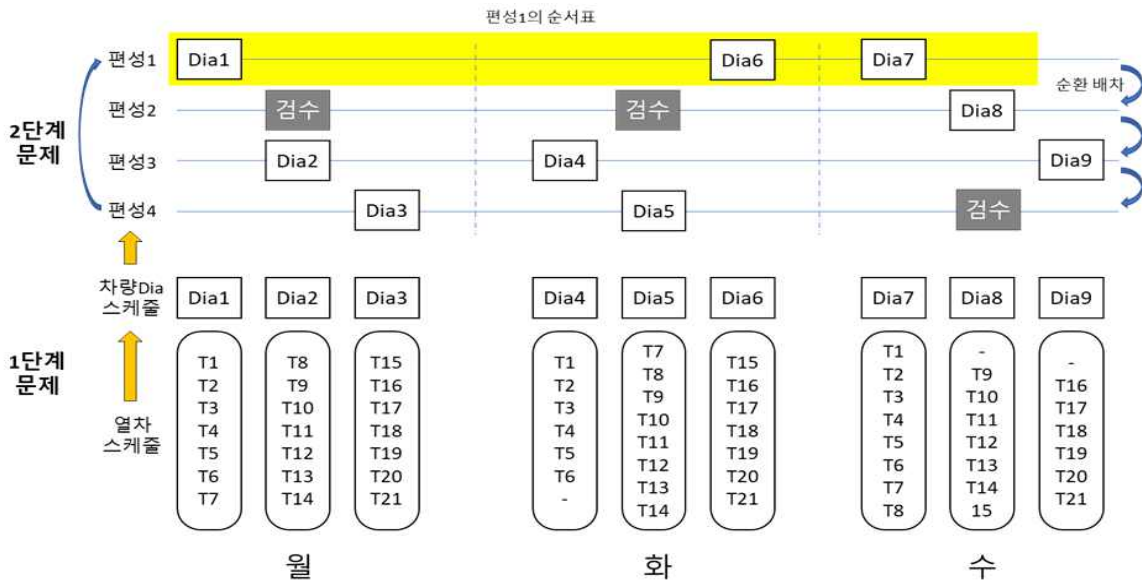
(2) 열차운영계획 시스템 표준 업무정의를 통한 고속차량 운영최적화 기술개발

(공동연구기관, 한국철도기술연구원)

◦ **열차 Dia 전면 개편 시 보유 편성 수 제약 오류 극복이 가능한 통합적 알고리즘 개발 :**

– 종래 기술은 1단계 (차량 Dia)와 2단계(차량 운용 순서표) 문제의 해를 단계적으로 도출하므로, 보유 편성 수 초과 오류 발생 가능

– 통합적 알고리즘은 단계적 해법의 한계를 극복하여 열차 Dia 개편 시에도 보유 편성 수 초과 오류 해소



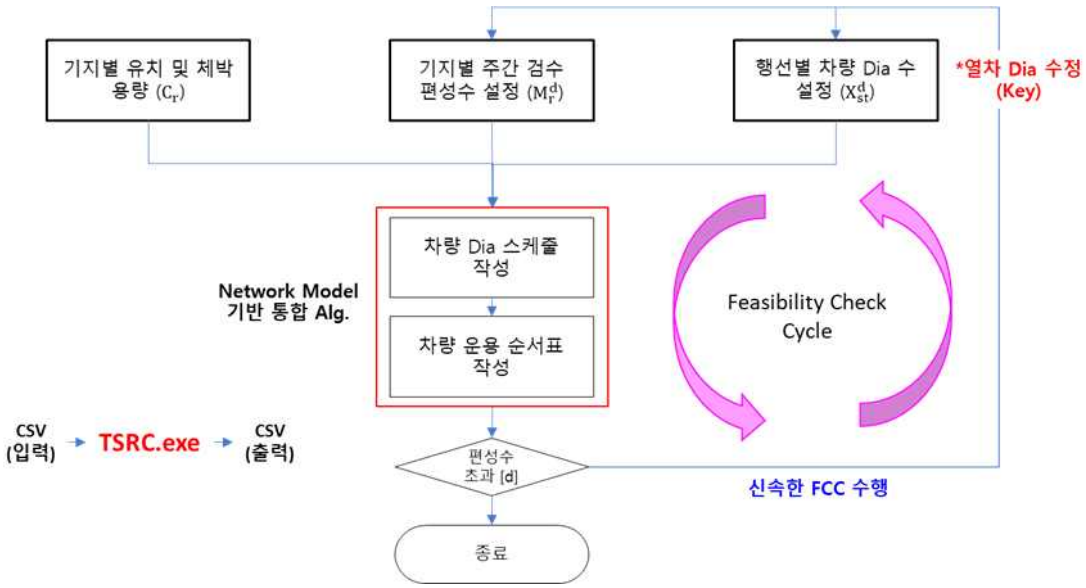
<그림 11 철도차량 운영계획 스케줄링 통합적 해법 개념도>

◦ **차량 운용 편성 수 증편 계획 수립시 입력 데이터 불확정성을 극복하는 '통합적 해법+증분법' 알고리즘 개발 :**

– 차량 운용 편성 수 증편을 목적으로 하는 열차 Dia 전면 개편시 입력 데이터인 열차 Dia 자체에 불확정성이 발생

※ 입력 데이터가 확정되지 않으면 해당 문제의 해를 구할 수 없음

– 기존 열차 Dia (입력 데이터)로부터 점진적인 보완을 통해 증편된 편성 수에 적합한 열차 Dia를 최적의 차량 운용계획과 동시에 결정할 수 있는 '통합적 해법+증분법' 알고리즘 개발



<그림 12 철도차량 운영계획 스케줄링 통합적 해법 증분법 개념>

◦ **'통합적 해법+증분법' 알고리즘을 활용하여 참여기업의 고속차량 증편 차량 운용 기본계획 (안) 도출 및 제공 :**

– 본 연구의 참여기업은 고속차량 운용 편성 수 증편 (예, 28편성 → 46편성) 사업 계획을 세우고 있음

– 본 연구에서 개발한 통합적 해법+증분법 알고리즘을 활용하여 고속차량 증편 차량 운용 기본계획 (안)을 도출하여 제공함

– 참여기업의 차량 증편사업 목표 달성까지 지속적인 기술적 협력 기반 구축

<표 4 참여기업 고속차량 증편 차량 운용 기본계획 지원(안)>

No	1	2	3	4	5	6	7	Next
1	BUS-K001-1-SUS	SUS-K002-2-SUS	SUS-K003-3-SUS	SUS-K004-4-SUS	SUS-K005-5-BUS	BUS-K006-6-SUS	SUS-K007-7-GJU	39
2	BUS-K008-1-SUS	SUS-K009-2-GJU	GJU-K010-3-SUS	SUS-K011-4-GJU	GJU-K012-5-SUS	SUS-K013-6-SUS	SUS-K014-7-GJU	29
3	BUS-K015-1-GJU	GJU-K016-2-SUS	SUS-K017-3-SUS	SUS-K018-4-SUS	SUS-K019-5-GJU	GJU-K020-6-GJU	GJU-K021-7-GJU	34
4	BUS-K022-1-GJU	GJU-K023-2-BUS	BUS-K024-3-GJU	GJU-K025-4-GJU	GJU-K026-5-BUS	BUS-K027-6-BUS	BUS-K028-7-GJU	44
5	BUS-K029-1-SUS	SUS-K030-2-BUS	BUS-K031-3-BUS	BUS-K032-4-GJU	GJU-K033-5-SUS	SUS-K034-6-BUS	BUS-K035-7-BUS	6
6	BUS-K036-1-GJU	GJU-K037-2-BUS	BUS-K038-3-GJU	GJU-K039-4-SUS	SUS-K040-5-SUS	SUS-K041-6-BUS	BUS-K042-7-SUS	12
7	BUS-MANT-1-BUS	BUS-MANT-2-BUS	BUS-MANT-3-BUS	BUS-MANT-4-BUS	BUS-K043-5-GJU	GJU-K044-6-GJU	GJU-K045-7-GJU	38
8	BUS-K046-1-GJU	GJU-K047-2-GJU	GJU-K048-3-GJU	GJU-K049-4-GJU	GJU-K050-5-GJU	GJU-K051-6-SUS	SUS-K052-7-BUS	24
9	SUS-K053-1-GJU	GJU-K054-2-SUS	SUS-K055-3-SUS	SUS-K056-4-SUS	SUS-K057-5-SUS	SUS-K058-6-GJU	GJU-K059-7-SUS	13
10	SUS-K060-1-SUS	SUS-K061-2-SUS	SUS-K062-3-GJU	GJU-K063-4-GJU	GJU-K064-5-GJU	GJU-K065-6-SUS	SUS-K066-7-BUS	5
11	SUS-K067-1-BUS	BUS-K068-2-GJU	GJU-K069-3-GJU	GJU-K070-4-GJU	GJU-K071-5-GJU	GJU-K072-6-SUS	SUS-K073-7-BUS	23
12	SUS-K074-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-K075-4-GJU	GJU-K076-5-BUS	BUS-K077-6-SUS	SUS-K078-7-GJU	19
13	SUS-K079-1-GJU	GJU-K080-2-BUS	BUS-K081-3-BUS	BUS-K082-4-GJU	GJU-K083-5-GJU	GJU-K084-6-SUS	SUS-K085-7-BUS	4
14	SUS-K086-1-SUS	SUS-K087-2-BUS	BUS-K088-3-GJU	GJU-K089-4-GJU	GJU-K090-5-GJU	GJU-K091-6-SUS	SUS-K092-7-GJU	37
15	SUS-MANT-1-SUS	SUS-MANT-2-SUS	SUS-MANT-3-SUS	SUS-MANT-4-SUS	SUS-K093-5-SUS	SUS-K094-6-GJU	GJU-K095-7-SUS	9
16	GJU-K096-1-GJU	GJU-K097-2-GJU	GJU-K098-3-SUS	SUS-K099-4-BUS	BUS-K100-5-SUS	SUS-K101-6-GJU	GJU-K102-7-SUS	14
17	GJU-K103-1-BUS	BUS-K104-2-GJU	GJU-K105-3-GJU	GJU-K106-4-BUS	BUS-K107-5-SUS	SUS-K108-6-BUS	BUS-K109-7-SUS	28
18	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-MANT-4-GJU	GJU-MANT-5-GJU	GJU-K110-6-GJU	GJU-K111-7-BUS	3
19	GJU-K112-1-SUS	SUS-K113-2-SUS	SUS-K114-3-SUS	SUS-K115-4-SUS	SUS-K116-5-BUS	BUS-K117-6-GJU	GJU-K118-7-GJU	35
20	SUS-K119-1-SUS	SUS-K120-2-GJU	GJU-K121-3-GJU	GJU-K122-4-BUS	BUS-K123-5-SUS	SUS-K124-6-BUS	BUS-K125-7-GJU	16
21	SUS-K126-1-GJU	GJU-K127-2-BUS	BUS-K128-3-SUS	SUS-K129-4-BUS	BUS-K130-5-GJU	GJU-K131-6-SUS	SUS-K132-7-GJU	22
22	GJU-K133-1-BUS	BUS-K134-2-SUS	SUS-K135-3-SUS	SUS-K136-4-BUS	BUS-K137-5-SUS	SUS-K138-6-GJU	GJU-K139-7-SUS	11
23	BUS-MANT-1-BUS	BUS-MANT-2-BUS	BUS-MANT-3-BUS	BUS-MANT-4-BUS	BUS-K140-5-GJU	GJU-K141-6-SUS	SUS-K142-7-BUS	2
24	BUS-MANT-1-BUS	BUS-MANT-2-BUS	BUS-MANT-3-BUS	BUS-MANT-4-BUS	BUS-K143-5-GJU	GJU-K144-6-GJU	GJU-K145-7-GJU	43
25	BUS-K146-1-GJU	GJU-K147-2-SUS	SUS-K148-3-BUS	BUS-K149-4-GJU	GJU-K150-5-SUS	SUS-K151-6-SUS	SUS-K152-7-GJU	33
26	SUS-K153-1-SUS	SUS-K154-2-GJU	GJU-K155-3-BUS	BUS-K156-4-SUS	SUS-K157-5-GJU	GJU-K158-6-SUS	SUS-K159-7-SUS	30
27	SUS-K160-1-SUS	SUS-K161-2-GJU	GJU-K162-3-BUS	BUS-K163-4-GJU	GJU-K164-5-SUS	SUS-K165-6-BUS	BUS-K166-7-BUS	1
28	SUS-K167-1-BUS	BUS-K168-2-GJU	GJU-K169-3-GJU	GJU-K170-4-SUS	SUS-K171-5-BUS	BUS-K172-6-SUS	SUS-K173-7-GJU	42
29	GJU-K174-1-GJU	GJU-K175-2-BUS	BUS-K176-3-GJU	GJU-K177-4-BUS	BUS-K178-5-GJU	GJU-K179-6-GJU	GJU-K180-7-SUS	15
30	SUS-K181-1-SUS	SUS-K182-2-SUS	SUS-K183-3-BUS	BUS-K184-4-GJU	GJU-K185-5-SUS	SUS-K186-6-BUS	BUS-K187-7-SUS	21
31	SUS-K188-1-SUS	SUS-K189-2-SUS	SUS-K190-3-GJU	GJU-K191-4-SUS	SUS-K192-5-BUS	BUS-K193-6-GJU	GJU-K194-7-SUS	10
32	GJU-K195-1-GJU	GJU-K196-2-SUS	SUS-K197-3-SUS	SUS-K198-4-SUS	SUS-K199-5-GJU	GJU-K200-6-GJU	GJU-K201-7-GJU	45
33	GJU-K202-1-BUS	BUS-K203-2-GJU	GJU-K204-3-SUS	SUS-K205-4-GJU	GJU-K206-5-BUS	BUS-K207-6-GJU	GJU-K208-7-SUS	26
34	GJU-K209-1-BUS	BUS-K210-2-GJU	GJU-K211-3-GJU	GJU-K212-4-GJU	GJU-K213-5-BUS	BUS-K214-6-GJU	GJU-K215-7-GJU	41
35	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-MANT-4-GJU	GJU-MANT-5-GJU	GJU-K216-6-GJU	GJU-K217-7-GJU	17
36	GJU-K218-1-SUS	SUS-K219-2-GJU	GJU-K220-3-SUS	SUS-K221-4-SUS	SUS-K222-5-SUS	SUS-K223-6-BUS	BUS-K224-7-GJU	36
37	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-K225-4-GJU	GJU-K226-5-BUS	BUS-K227-6-BUS	BUS-K228-7-GJU	32
38	GJU-K229-1-GJU	GJU-K230-2-BUS	BUS-K231-3-GJU	GJU-K232-4-GJU	GJU-K233-5-BUS	BUS-K234-6-BUS	BUS-K235-7-SUS	27
39	GJU-K236-1-SUS	SUS-K237-2-GJU	GJU-K238-3-BUS	BUS-K239-4-SUS	SUS-K240-5-SUS	SUS-K241-6-GJU	GJU-K242-7-BUS	8
40	GJU-K243-1-GJU	GJU-K244-2-GJU	GJU-K245-3-GJU	GJU-K246-4-GJU	GJU-K247-5-GJU	GJU-K248-6-BUS	BUS-K249-7-BUS	25
41	GJU-K250-1-BUS	BUS-K251-2-GJU	GJU-K252-3-BUS	BUS-K253-4-GJU	GJU-K254-5-BUS	BUS-K255-6-GJU	GJU-K256-7-GJU	40
42	GJU-K257-1-GJU	GJU-K258-2-SUS	SUS-K259-3-GJU	GJU-K260-4-BUS	BUS-K261-5-GJU	GJU-K262-6-SUS	SUS-K263-7-BUS	7
43	GJU-K264-1-GJU	GJU-K265-2-GJU	GJU-K266-3-SUS	SUS-K267-4-SUS	SUS-K268-5-GJU	GJU-K269-6-GJU	GJU-K270-7-SUS	31
44	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-K271-4-BUS	BUS-K272-5-GJU	GJU-K273-6-GJU	GJU-K274-7-SUS	20
45	GJU-K275-1-GJU	GJU-K276-2-GJU	GJU-K277-3-GJU	GJU-K278-4-SUS	SUS-K279-5-GJU	GJU-K280-6-GJU	GJU-K281-7-GJU	18
46	GJU-K282-1-GJU	GJU-K283-2-SUS	SUS-K284-3-SUS	SUS-K285-4-GJU	GJU-K286-5-GJU	GJU-K287-6-GJU	GJU-K288-7-GJU	46

(3) 승무운영 최적화 및 정보관리체계 개발(공동연구기관, 경상대학교)

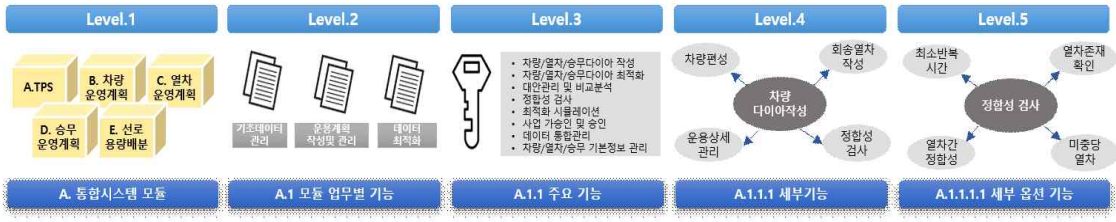
◦ **열차운행계획 정보관리체계 개발 :**

- 정보체계정의서의 구성은 열차성능시뮬레이션(TPS)모듈, 열차운행계획 모듈, 차량운용계획 모듈, 승무운용계획 모듈, 선로용량 산정 모듈 등에 대하여 해당 업무별기능, 주요기능, 세부기능, 세부옵션기능, 정의, 코드 등으로 구성하였으며, 열차운행계획 통합시스템 개발을 위한 세부 기능정의서 체계로 활용성을 갖출 수 있음

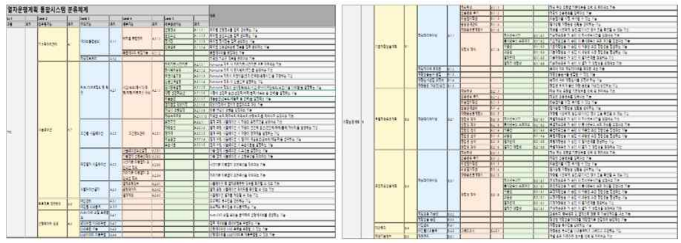
- 열차운행계획통합시스템 개발을 위한 세부 기능정의서는 각 모듈에 대한 기능들과 세부 정보체계를 구성하기 위해 WBS방식을 적용하여 단계별 체계적인 구성과 코드를 부여하여 관리됨. 단계별로 모듈의 대분류(Leve 1), 모듈의 업무별 기능(Level 2), 주요기능(Level 3), 세부기능(Level 4), 세부기능 옵션정보(Level 5)의 방식으로 구성되어 있으며, 각 단계별로 코드를 부여함

- 개발된 세부 기능정의서 정보체계가 열차운영기관의 특성과 규모에 적합한 시스템으로 구성되어 업무에 실질적으로 활용되기 위해서는 개발된 열차운행계획 정보관리체계의 신뢰성이 확보되어야 함. 이를 위해 실제 열차운영기관의 운영체계 매뉴얼 및 설계서와 기능정의서 정보체계를 비교·분석하여 수정 및 보완함으로써 신뢰성을 검증함

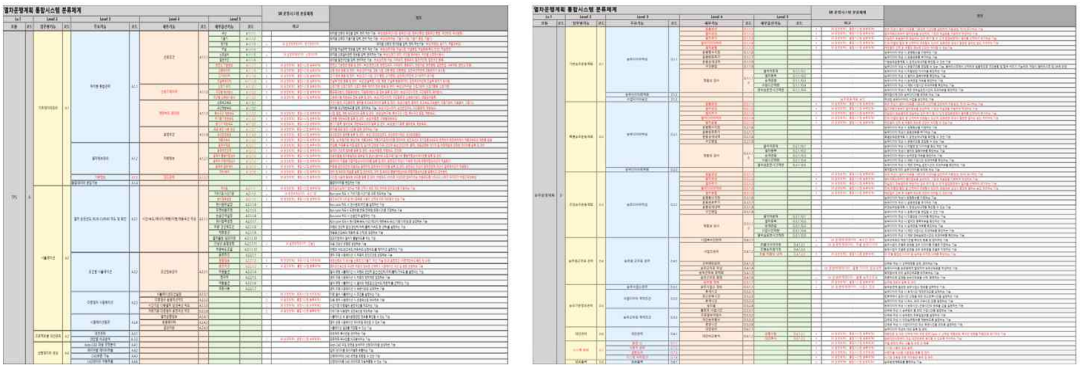
<열차운행계획통합시스템 개발을 위한 세부 기능정의서>



<모듈별 분류체계 구성>



<열차운행계획 정보관리체계 기능 정의>



<열차운행계획 정보관리체계 비교 검증을 통한 수정 및 보완>

<그림 13 열차운행계획 정보관리체계 개발 및 수정·보완>

◦ **<u>승무운영계획 최적화 알고리즘 적정성 분석 및 검증 :</u>**

– 승무일정계획의 작성은 근기법, 해당 철도운영기관에서 적용하고 있는 근무 내규 및 근무 작성기준, 노사합의 사항 등을 만족함과 동시에 운영하는 열차들이 차질 없이 운행될 수 있도록 작성되어야하기 때문에 매우 복잡하며, 작성과정에 오랜 시간이 소요되고 있음에도 불구하고 제약조건을 만족하지 않는 근무의 생성, 미할당 근무가 발생 등으로 인한 노사 갈등이 빈번함

– 이를 해결하기 위해 승무일정계획 작성 최적화 알고리즘을 개발하여 승무다이아 작성과 승무교번 작성 시 각종 제약사항들을 만족하며, 생성된 승무일정계획의 최적화를 보장할 수 있도록 하였으며, 실제 철도운영기관에서 사용하고 있는 승무다이아, 승무교번과의 비교 및 수요처의 승무계획 담당 전문가 검토를 통해 그 적정성을 검증함



<그림 14 승무운영계획 최적화 알고리즘 개발 및 적정성 분석>

(4) 실제 환경에서 테스트베드 수행을 통한 실용화 검증(위탁연구기관, ㈜에스알)

◦ **테스트베드 수행체계 마련**

– 연구개발 일정에 따른 테스트 일정 및 방안 마련을 통해 과제 수행기간 동안 효율적인 테스트베드를 수행하고, 열차운행계획 시스템 개발을 담당하는 연구개발 주관기관(㈜지오엔티)과의 긴밀한 소통을 통한 시스템 테스트, 보완사항 발굴 및 반영 방안 등 상용화 목적에 맞는 검증체계를 마련하였음

◦ **테스트베드를 통한 실용화 검증**

– 사용자 입장에서 모듈별 요구사항과 소프트웨어 성능(품질) 특성인 기능성, 신뢰성, 사용성, 효율성, 유지보수성, 이식성을 기준으로 개발 시스템 평가를 진행하였으며, 실제 환경에서 직접 모듈별 테스트베드 수행을 통해 열차운행계획 시스템에 대한 기능을 검증함

– 실제 환경에서 수행기본방향(모듈기능 테스트, 광역철도 시장성)을 고려하여 테스트베드를 수행하였으며, 실시간으로 발굴되는 보완점을 개발사와 긴밀한 소통을 통해 개선·고도화함으로써 현장 적용성 향상 및 제품 완성도 제고를 통해 혁신기술의 상용화를 촉진함

나. 연구수행 내용

(1) 열차운행계획 상용화 시스템 개발(주관연구기관, ㈜지오엔티)

(가) 핵심성과 개요

수행기관	㈜지오엔티
정 의	열차운행계획에 필요한 핵심모듈의 통합프레임워크 기반 상용화 시스템 개발
사용주체	철도운영사(ex. 코레일, ㈜에스알, 서울교통공사, 인천교통공사, 부산교통공사 등), 철도건설 설계사(ex. ㈜도화엔지니어링, ㈜케이알티씨, ㈜서현기술단, ㈜유신 등), 철도관련 교육기관 (한국교통대학교, 우송대학교, 배제대학교 등)
핵심성과 개요	**■ 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발** • 철도운영기관의 열차다이아 기능 분석 및 수요처 요구사항 분석 • 데이터베이스 및 User Interface 설계 고도화 • 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 개발 **■ 열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발** • 수요처 요구사항 분석 및 기능 적용성 검토 • 열차성능시뮬레이션 기능 구성 및 데이터베이스, User Interface 설계 고도화 • 열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 개발 **■ 차량운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발** • 철도운영기관의 차량계획 모듈 분석 및 수요처 요구사항 분석 • 차량운영계획 데이터베이스 및 User Interface 설계 고도화 • 차량운영계획 기능 고도화 및 상용화 개발 **■ 승무운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발** • 철도운영기관의 승무계획 모듈 분석 및 수요처 요구사항 분석 • 승무운영계획 데이터베이스 및 User Interface 설계 고도화 • 승무운영계획 기능 고도화 및 상용화 개발 **■ 선로용량 산정 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발** • 선로용량 모듈 선진사례 분석 및 수요처 요구사항 분석 • 선로용량 데이터베이스 및 User Interface 설계 고도화 • 선로용량 기능 고도화 및 상용화 개발 **■ 통계 및 분석 기능 고도화 모듈 개발** • 모듈 간 정보 인터페이스를 고려한 열차운행계획 분석 데이터 정의 • 통계/분석 기능 고도화 개발을 위한 데이터베이스 및 User Interface 설계 • 통계/분석 기능 고도화 개발 **■ 공인인증기관을 통한 열차운행계획 핵심모듈의 품질인증** • 열차운행계획 핵심모듈에 대한 품질인증 절차에 따른 품질시험 • 열차운행계획 핵심모듈에 대한 소프트웨어 품질인증서(GS 인증(1등급)) 획득

핵심연구 성과	■ **열차다이아 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발** • 철도운영기관 기존시스템의 열차다이아 모듈에 대한 프로세스 및 기능 분석 • 열차다이아 시스템에 대한 수요처((주)에스알) 요구사항 분석 • 열차다이아 고도화 개발을 위한 데이터 모델 및 ER-Diagram, DB Table 설계 • 열차다이아 고도화 개발을 위한 화면목록 정의 및 화면 Prototype 설계 • 기존 열차다이아 기능보완 및 개발(기본정보, 기본/특별/조정 열차운행계획 기능 보완 및 개발) • 열차다이아 고도화를 위한 추가기능 개발(열차다이아 자동 작성 및 성능 고도화, 열차다이아 편집 및 운용 편의기능 고도화, 열차운행계획 정합성 검증 등 기능 고도화 개발) • 열차다이아 고도화를 위한 입/출력 정보의 인터페이스 고도화 개발 • 열차다이아 시스템 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 사용자 매뉴얼 작성 • 열차다이아 시스템 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 소프트웨어 저작권 등록 - 열차스케줄 자동생성 프로그램(등록번호 : C-2018-034092) - 열차다이아와 열차시각표 정보 연동 프로그램(등록번호 : C-2020-039381/추가성과) • 연구개발 연관 제품납품 및 사업수주 실적 - 열차다이아시스템 단품납품(서현기술단, ㈜케이알티씨) - 국가철도망 선로배분시스템 유지보수 용역 수주(국가철도공단) ■ **열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발** • 열차성능시뮬레이션에 대한 수요처((주)에스알) 요구사항 분석 • 열차성능시뮬레이션 시스템 기능개선 및 고도화 개발 기능 정의 • 열차성능시뮬레이션 고도화 개발을 위한 데이터 모델 및 ER-Diagram, DB Table 설계 • 열차성능시뮬레이션 고도화 개발을 위한 화면목록 정의 및 화면 Prototype 설계 • 기존 열차성능시뮬레이션 기능보완 및 개발(시뮬레이션, 운전선도 작성 등) • 열차성능시뮬레이션 고도화를 위한 추가기능 개발(기초데이터의 위치기반 통합관리, 시뮬레이션 고도화 기능 등) • 열차성능시뮬레이션 고도화를 위한 입/출력 정보의 인터페이스 고도화 개발 • 열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 사용자 매뉴얼 작성 • 열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 소프트웨어 저작권 등록 - 위치데이터 DB기반 열차운전곡선 작성 프로그램(등록번호 : C-2019-028596) - 약식 열차운전곡선 작성 프로그램(등록번호 : C-2020-038977/추가성과) - 열차운전곡선 단일 및 복수열차 시뮬레이션 프로그램(등록번호 : C-2020-039386/추가성과) • 연구개발 연관 제품납품 및 사업수주 실적 - 열차성능시뮬레이션시스템 단품납품(서현기술단, ㈜케이알티씨) - 국가철도망 건설지원 선로배분시스템 통합 및 고도화 용역 수주(국가철도공단) ■ **차량운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발** • 철도운영기관 기존시스템의 차량운영계획 모듈에 대한 프로세스 및 기능 분석 • 차량운영계획에 대한 수요처((주)에스알) 요구사항 분석 • 수요처 요구사항을 반영한 차량운행계획 기능개선 및 고도화 개발 기능 정의 • 차량운행계획 고도화 개발을 위한 데이터 모델 및 ER-Diagram, DB Table 설계 • 차량운행계획 고도화 개발을 위한 화면목록 정의 및 화면 Prototype 설계 • 기존 차량운행계획 기능보완 및 개발(차량계획 작성, 차량다이아 작성 등) • 차량운영계획 고도화를 위한 추가기능 개발(차량계획 고도화 기능) • 차량운영계획 고도화를 위한 입/출력 정보의 인터페이스 고도화 개발

• 차량운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 사용자 매뉴얼 작성
• 차량운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 소프트웨어 저작권 등록
  - 차량운영계획 정보 기반 차량다이아 작성 프로그램(등록번호 : C-2019-033049)

■ 승무운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발

• 철도운영기관 기존시스템의 승무운영계획 모듈에 대한 프로세스 및 기능 분석
• 승무운영계획에 대한 수요처((주)에스알) 요구사항 분석
• 수요처 요구사항을 반영한 승무운행계획 기능개선 및 고도화 개발 기능 정의
• 승무운행계획 고도화 개발을 위한 데이터 모델 및 ER-Diagram, DB Table 설계
• 승무운행계획 고도화 개발을 위한 화면목록 정의 및 화면 Prototype 설계
• 기존 승무운행계획 기능보완 및 개발(승무계획 작성, 승무다이아 작성 등)
• 승무운영계획 고도화를 위한 추가기능 개발(승무계획 고도화 기능)
• 승무운영계획 고도화를 위한 입/출력 정보의 인터페이스 고도화 개발
• 승무운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 사용자 매뉴얼 작성
• 승무운영계획 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 소프트웨어 저작권 등록
  - 승무사업계획 정보 기반 승무근무표 작성 프로그램(등록번호 : C-2019-031047)
  - 유전자 알고리즘을 활용한 승무다이아 최적화 프로그램(등록번호 : C-2020-039634/추가 성과)
  - 유전자 알고리즘을 활용한 승무근무교번 최적화 프로그램(등록번호 : C-2020-039635/추가성과)
• 연구개발 연관 사업수주 실적
  - 승무계획시스템 개발 용역 수주(한국철도공사)

■ 선로용량 산정 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발

• 선로용량 산정에 대한 수요처((주)에스알) 요구사항 분석
• 수요처 요구사항을 반영한 선로용량 기능개선 및 고도화 개발 기능 정의
• 선로용량 산정 고도화 개발을 위한 데이터 모델 및 ER-Diagram, DB Table 설계
• 선로용량 고도화 개발을 위한 화면목록 정의 및 화면 Prototype 설계
• 기존 선로용량 모듈 기능보완 및 개발(구간별 선로용량 산정, 선로용량 시뮬레이션 대상 열차시각표 생성, 선로용량 시뮬레이션)
• 선로용량 산정 기능 고도화를 위한 입/출력 정보의 인터페이스 고도화 개발
• 선로용량 산정 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 사용자 매뉴얼 작성
• 선로용량 산정 기능 고도화 및 상용화 모듈 개발에 따른 소프트웨어 저작권 등록
  - 열차시각표 정보 기반 선로용량 시뮬레이션 프로그램(등록번호 : C-2020-031143)
  - 선로용량산정을 위한 시뮬레이션 기초자료 생성 프로그램
    (등록번호 : C-2020-049301)

■ 통계 및 분석 기능 상용화 모듈 개발

• 열차운행계획시스템 개발모듈 간 정보 인터페이스를 고려한 통계/분석 데이터 정의
• 통계 및 분석 고도화 개발을 위한 데이터 모델 및 DB Table 설계
• 통계 및 분석 모듈 고도화 개발을 위한 화면목록 정의 및 화면 Prototype 설계
• 열차운행계획 통계/분석 기능 고도화 개발(열차패턴별 열차운행계획 통계, 대안별 열차운행계획 통계 및 분석, 위치별 열차성능시뮬레이션 결과 분석, 절연구간 설정위치 적정성 검토)
• 통계 및 분석 모듈 개발에 따른 사용자 매뉴얼 작성

	■ 공인인증기관을 통한 열차운행계획 핵심모듈의 품질인증(GS 인증) • 열차운행계획 핵심모듈의 품질인증 절차별 세부자료 작성 - 열차성능시뮬레이션 기능리스트, 시험환경 및 시험기준, 시험규격서, 제품설명서, 사용자매뉴얼 등 작성 • 기능적합성, 성능효율성, 사용성, 신뢰성에 대한 품질시험 및 평가 - 시스템 품질검사 결함리스트 접수/보완 및 회귀시험 실시 • 열차운행계획 핵심모듈에 대한 소프트웨어 품질인증서(GS 인증(1등급)) 획득 - 시험결과 품질인증심의위원회 상정 및 심의를 통한 소프트웨어 품질인증서 획득 - 소프트웨어품질인증서 1등급(인증번호 : 20-0494, 2020.11.02, 한국정보통신기술협회)

(나) 핵심성과 연구내용

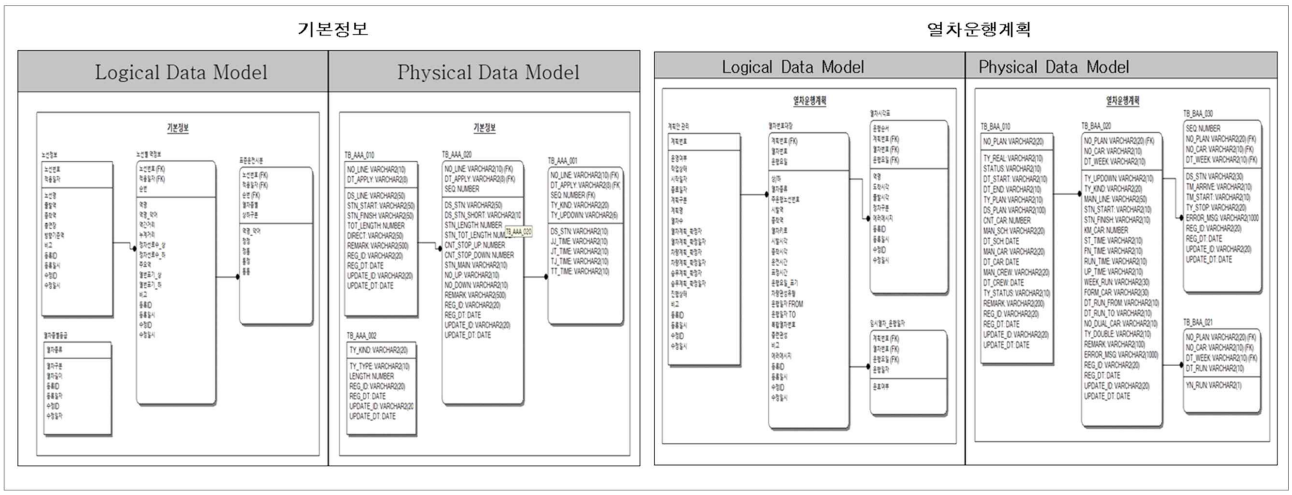
1) 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 개발

가) 열차다이아 고도화 개발을 위한 기능 분석 및 설계

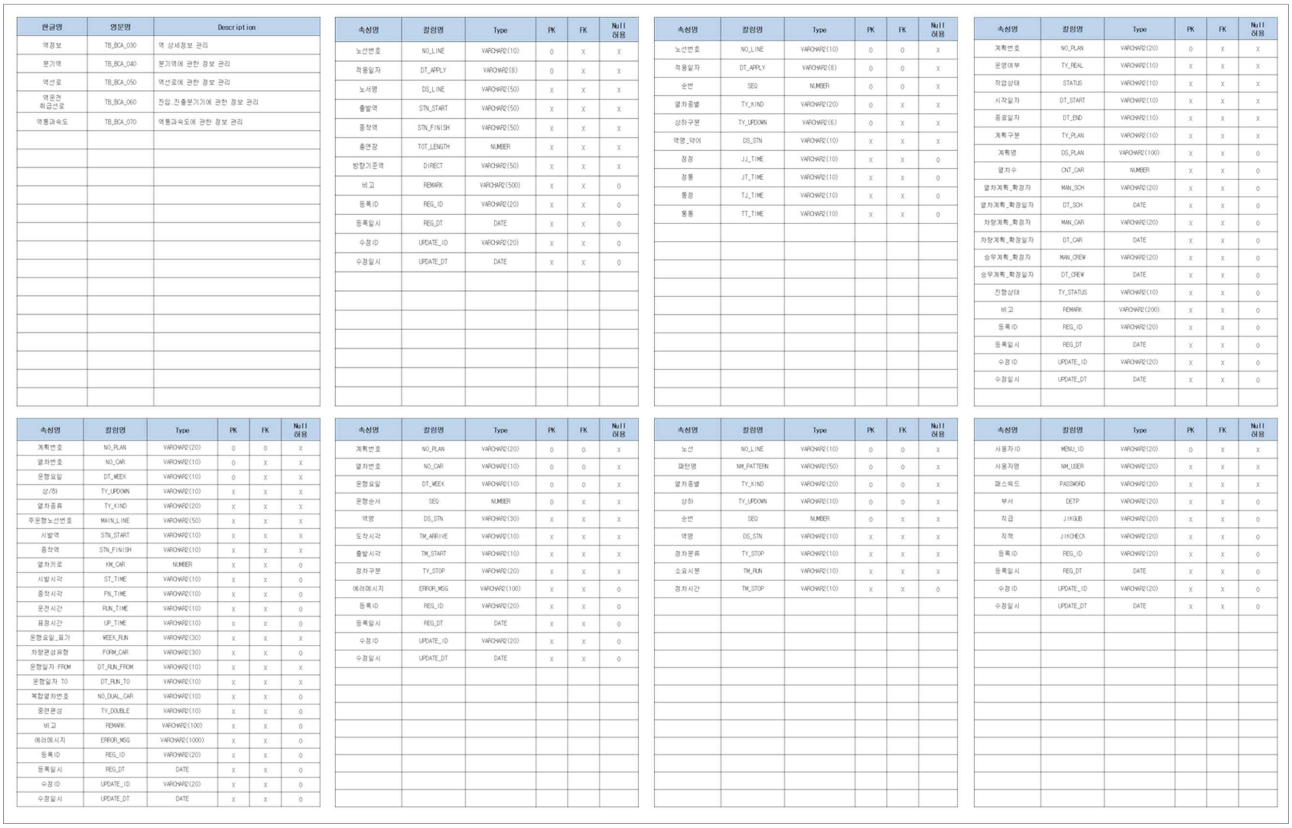
[핵심성과] A-1 열차다이아 고도화 설계서 참조

- 철도운영기관의 열차운행계획시스템(IRIS, TOPS)에 포함되어 있는 열차다이아 기능에 대하여 분석하였고 업무 활용 시 문제점 및 이슈사항 등을 도출하였으며 기능 요구사항에 대하여 수요처 요구사항을 분석하여 시스템 고도화 설계 시 반영하였음
- 열차다이아 작성 요건 및 기재 방법, 작성 시 고려사항 등 열차다이아 고도화 개발에 기초가 되는 기본적인 요소를 시스템 설계서 내용에 반영하였으며 열차다이아에 대한 수요처의 요구사항을 바탕으로 기존 열차다이아 시스템 고도화 개발을 위하여 기능별 보완사항과 추가 개발사항으로 분류하여 시스템 설계서에 반영하였음
- 열차다이아 시스템에 대한 수요처의 요구사항을 바탕으로 시스템 고도화 개발을 위한 데이터 모델 설계의 기본요소인 Conceptual Data Model을 정의하였고 이에 따라 Database ER-Diagram을 설계하였음
- Database ER-Diagram은 Logical Data Model과 Physical Data Model을 구분하여 작성하였고 각 Entity 항목별로 DB Table을 작성하였음
- 열차다이아 시스템에 대한 Database ER-Diagram(Logical Data Model, Physical Data Model) 설계는 기본정보, 열차운행계획, 열차운행 패턴관리 등으로 구분하여 설계하였고 Database ER-Diagram 설계 시 각 DB Table에 대하여 추가 및 변경, Table Key 및 Relation 구성을 보다 고도화 하여 설계하였음

ER-Diagram 설계

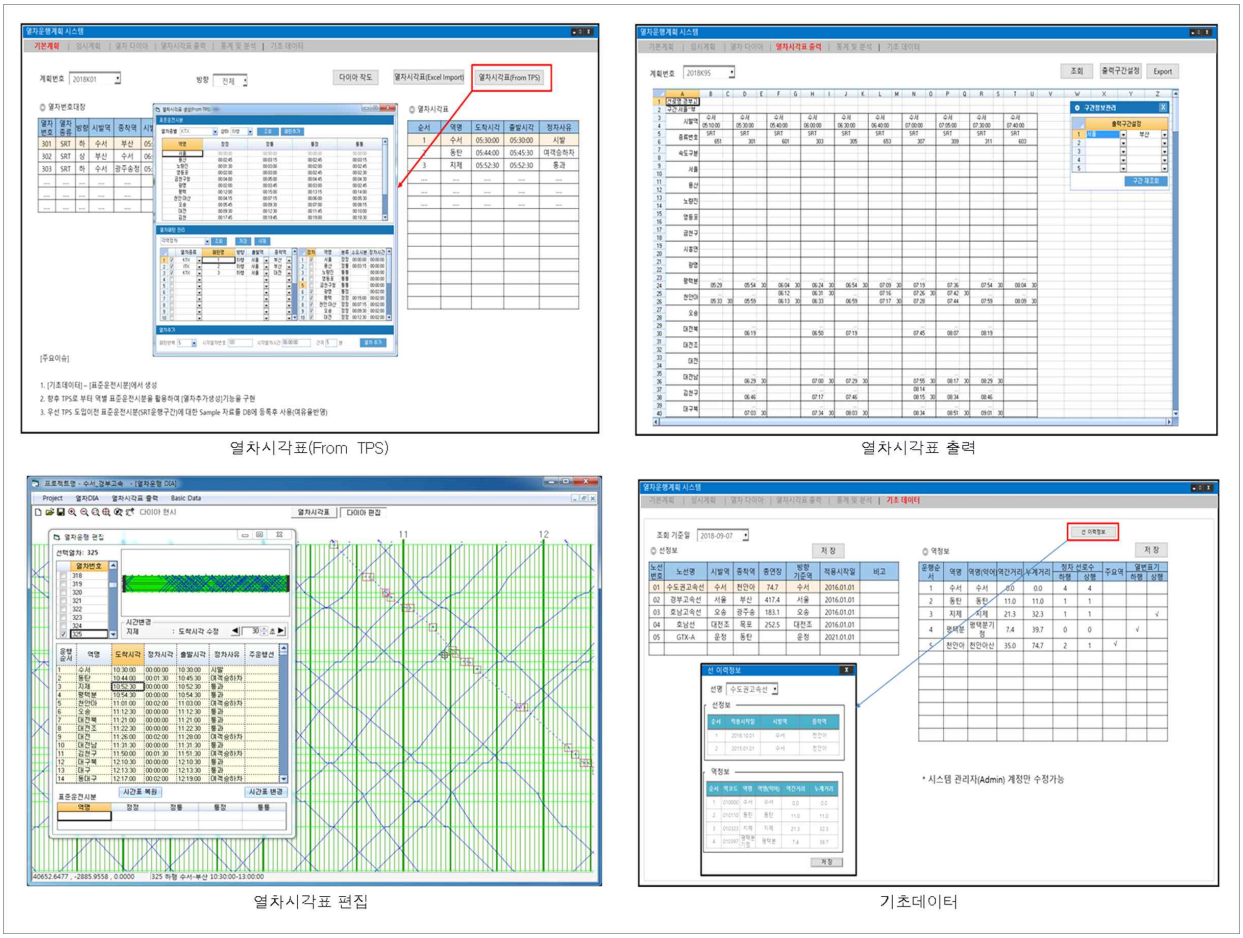


데이터베이스 Table 설계



<그림 15 열차다이아 데이터베이스 고도화 설계>

- 열차다이아 시스템 고도화 개발을 위해 기존 보유시스템의 기능개선 및 수요처의 요구사항을 반영한 추가적인 고도화 항목을 시스템 설계 시 반영하였고 이를 바탕으로 기능 및 메뉴구성을 도출하였음
- 기본정보 관리, 기본/특별/조정열차계획 작성, 열차다이아 작성 등 기존 모듈 기능에 대해서는 기능 개선을 위한 화면 User Interface를 수정하여 설계서에 반영하였고 열차다이아 작성 고도화 및 열차다이아 편집 등의 추가 개발요소에 대한 부분은 화면을 새롭게 설계하여 반영하였음

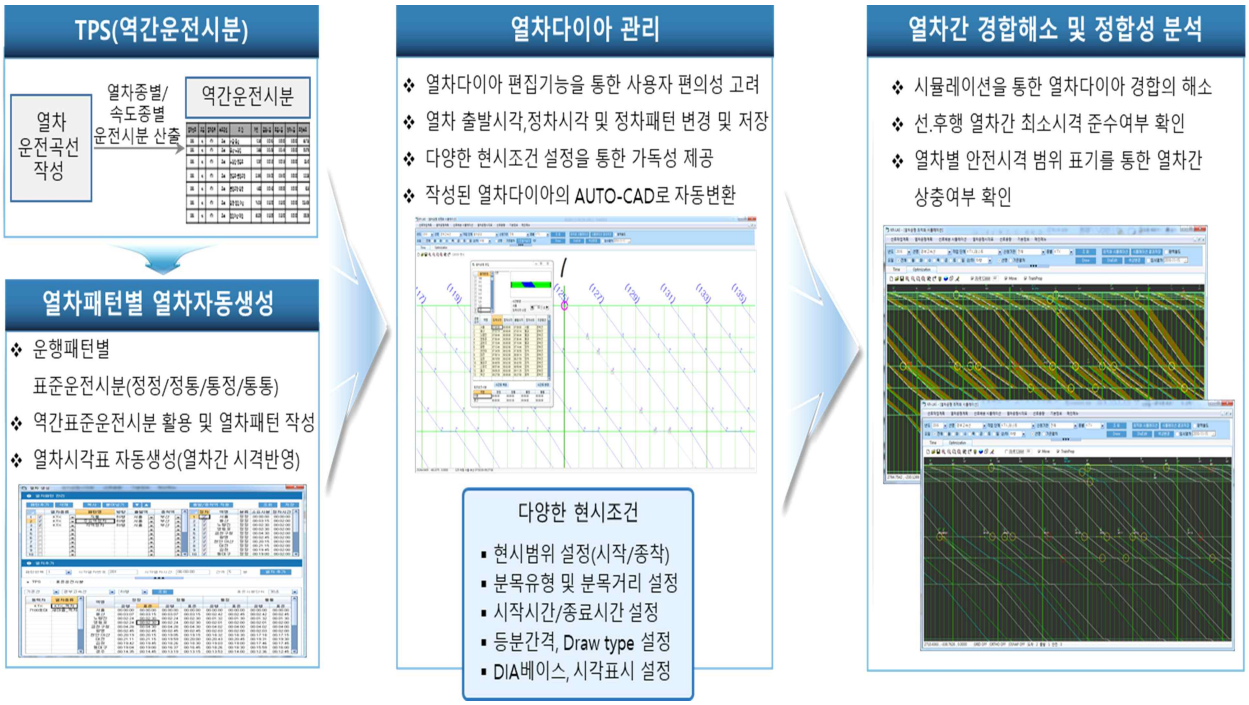


<그림 16 열차다이아 화면 UI 고도화 설계>

나) 열차다이아 시스템 기능 고도화 및 상용화 개발

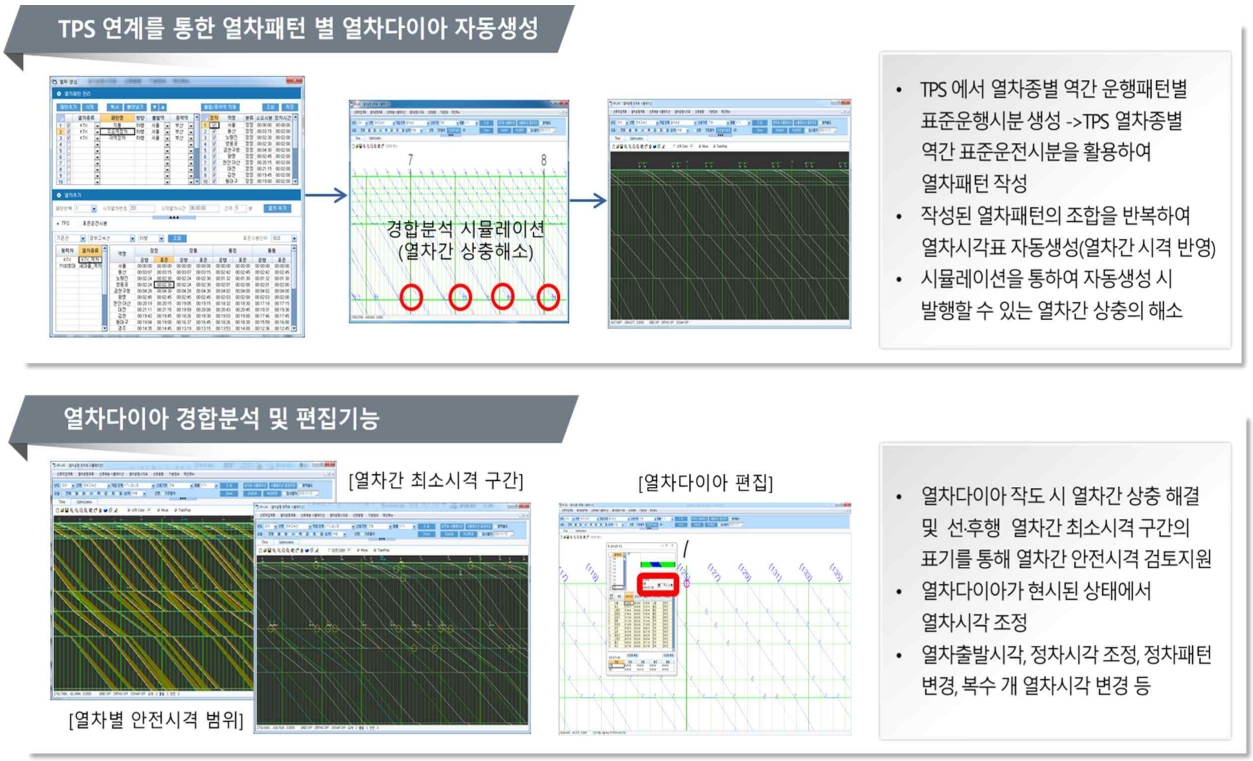
[핵심성과] A-2 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 모듈 구축(S/W 저작권)
[핵심성과] A-3 사용자 매뉴얼(열차다이아 시스템)

- 역간 표준운전시분 정보를 기반으로 열차종류별 정차패턴(직통/급행/완행 등)별로 열차 조합을 작성하고 첨두시간대와 비첨두 시간대별 운행횟수를 달리 적용하여 열차다이아를 자동으로 작성하도록 개발하였음. 또한 이렇게 작성된 열차스케줄 결과를 최소 안전시격, 열차 간 경합 및 최근거리 등의 분석을 통해 데이터 정합성을 검사 할 수 있도록 개발하였음
- 열차성능시뮬레이션(TPS) 연계 및 열차 패턴별 작성을 통해 열차운행계획 관리업무 특성에 적합한 열차다이아를 작성하고 열차시각표 자동생성, 열차다이아 편집, AutoCad 연계 등 사용자 편의성을 고려한 다양한 기능을 통해 열차다이아 작성의 효율성을 향상시킬 수 있도록 개발하였음
- 열차다이아 표시에 대한 다양한 현시조건 설정을 통해 사용자의 가독성을 향상시키고 시뮬레이션을 통한 열차다이아의 경합해소, 선 · 후행 열차간 최소시격 및 열차 안전시격 준수 등 열차다이아의 정합성을 보장함으로써 데이터 신뢰성을 확보함



<그림 17 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 시스템 프로세스>

- 특히 열차성능시뮬레이션(TPS) 연계를 통해 열차 패턴별 열차다이아를 자동으로 생성하는 기능 및 열차출발시각 및 정차시각, 정차패턴 등을 열차다이아가 현시된 상태에서 편집할 수 있도록 하는 기능은 열차운행계획 작업시간을 단축시키고 업무효율성을 향상시킴



<그림 18 열차다이아 기능 고도화 및 상용화 시스템 특징>

- 열차다이아 시스템 단위업무별 기능 구성은 아래와 같음

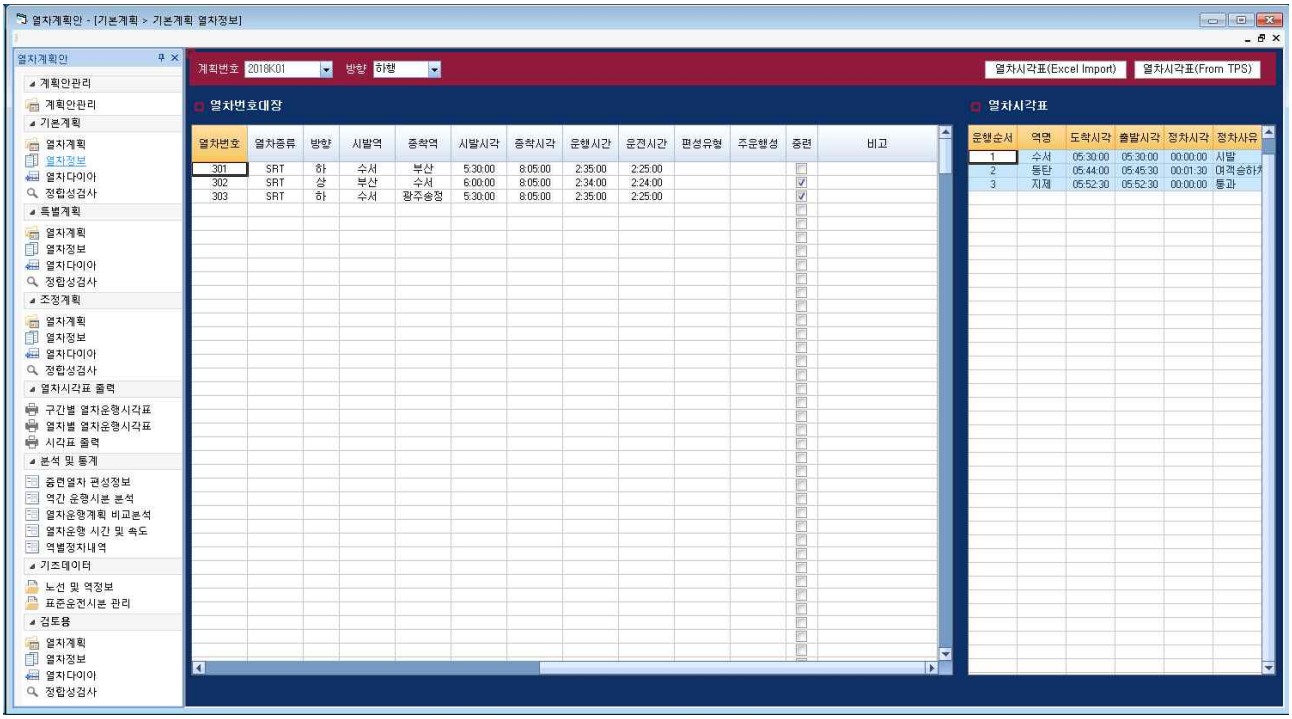
<표 5 열차다이아 시스템 기능 구성>

업무기능	단위업무	화면명	화면설명
계획안관리	계획안 관리	계확안관리	계획안(기본, 특별, 조정)에 대해 등록하고 확정 및 관리하는 기능
기본계획	열차계획 관리	열차계획	기본계획의 계획안에 대한 등록 및 관리
	열차시각표 관리	열차정보	계획안에 대한 열차번호대장 및 열차시각표 작성 및 관리하는 기능
	열차다이아 현시	열차다이아	해당 계획안에 대한 열차다이아 작성 및 편집
	열차정합성 검사	정합성검사	작성된 계획안에 대한 열차정합성 검사
특별계획	열차계획 관리	열차계획	특별계획의 계획안에 대한 등록 및 관리
	열차시각표 관리	열차정보	특별계획의 계획안에 대한 열차번호대장, 열차시각표 작성 및 관리
	열차다이아 현시	열차다이아	해당 특별 계획안에 대한 열차다이아 작성 및 편집
	열차정합성 검사	정합성검사	작성된 특별 계획안에 대한 열차정합성 검사
조정계획	열차계획 관리	열차계획	조정계획의 계획안에 대한 등록 및 관리
	열차시각표 관리	열차정보	조정 계획안에 대한 열차번호대장, 열차시각표 작성 및 관리
	열차다이아 현시	열차다이아	해당 조정계획안에 대한 열차다이아 작성 및 편집
	열차정합성 검사	정합성검사	작성된 계획안에 대한 열차정합성검사
열차시각표	구간별 열차운행 시각표 출력	구간별 열차운행 시각표	작성된 열차운행계획에 대하여 열차 운행구간별로 열차시각표를 출력하는 기능
	열차별 열차운행 시각표 출력	열차별 열차운행 시각표	작성된 열차운행계획에 대하여 열차별로 열차시각표를 출력하는 기능
	업무용 시각표 출력	업무용 시각표 출력	각종 통계 및 분석을 위한 열차시각표 출력 포맷
열차운행계획 분석 정보	중련열차 편성정보 관리	중련열차 편성정보	해당 열차운행계획데이터에서 중련 편성된 열차편성 정보를 확인 할 수 있는 기능
	역간 열차의 운행시분 분석	역간 운행시분 분석	열차운행계획 중 역간 운행시분이 정차패턴별 표준 운행시분과의 편차를 확인
	열차운행계획 비교분석	열차운행계획 비교분석	열차운행계획간 열차운행계획의 변경내역을 쉽게 확인 할 수 있는 기능
	열차운행 시간 및 속도	열차운행 시간 및 속도	해당 열차운행계획의 열차별 운행거리, 운행시간 및 운행 속도정보
	역별정차내역	역별정차내역	열차운행계획에 따른 역별정차율 통계
기초데이터	노선 및 역정보	노선 및 역정보	노선 및 역 기본정보 등록 및 관리
	표준운전시분 관리	표준운전시분 관리	역간 표준운전시분 등록 및 관리
검토용	열차계획	열차계획	검토용 계획안에 대한 등록 및 관리

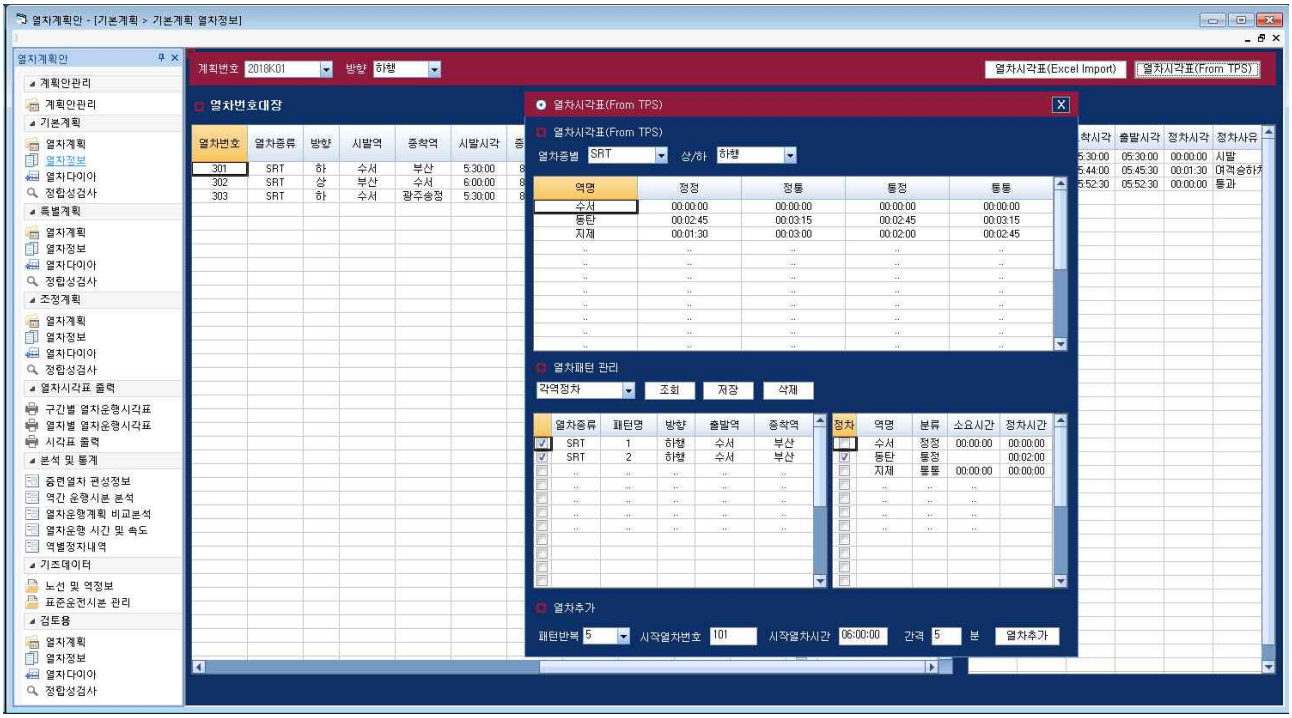
	열차정보	열차정보	검토용 계획안에 대한 열차번호대장, 열차시각표 작성 및 관리
	열차다이아	열차다이아	해당 계획안에 대한 열차다이아 작성 및 편집
	정합성검사	정합성검사	작성된 계획안에 대한 열차정합성 검사

■ 열차다이아 시스템 개발 주요 화면

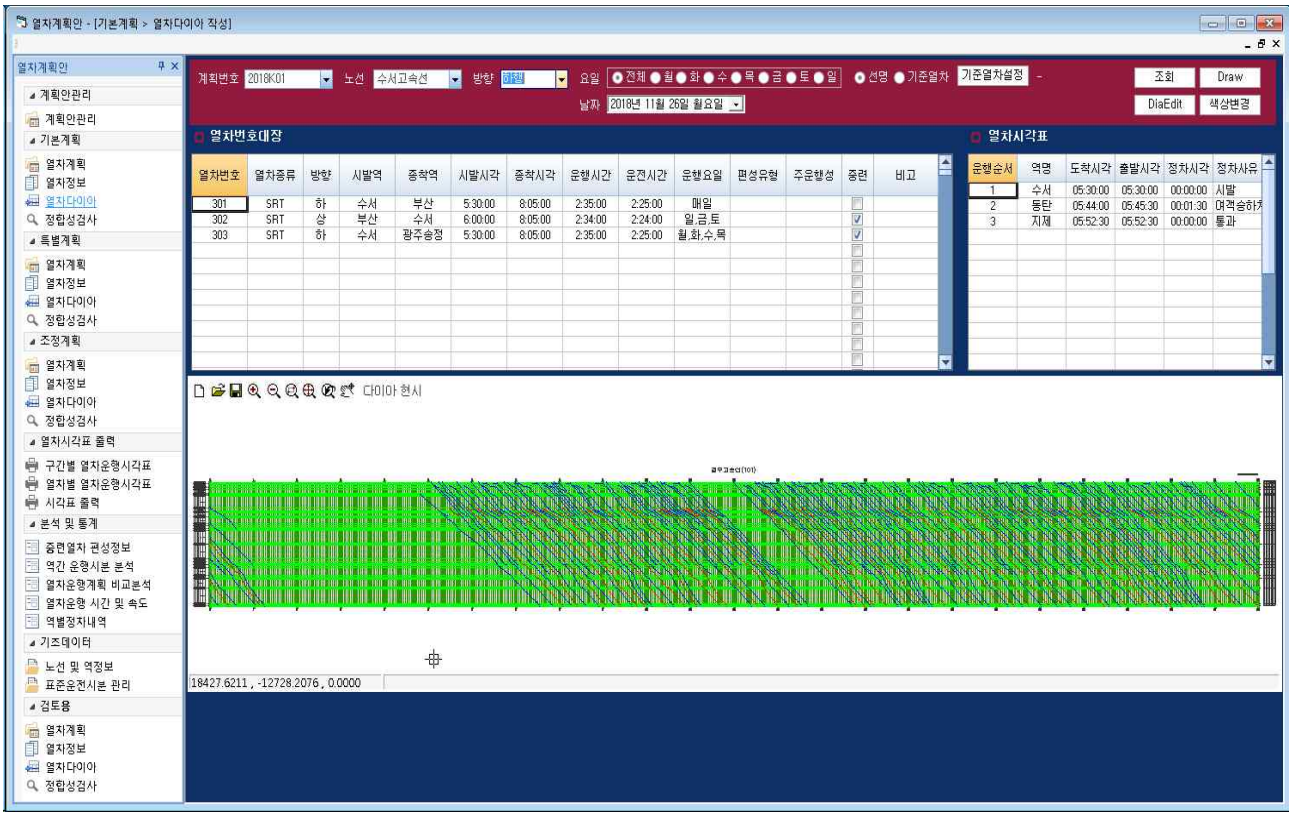
■ 기본(특별)계획 관리 - 열차시각표 관리



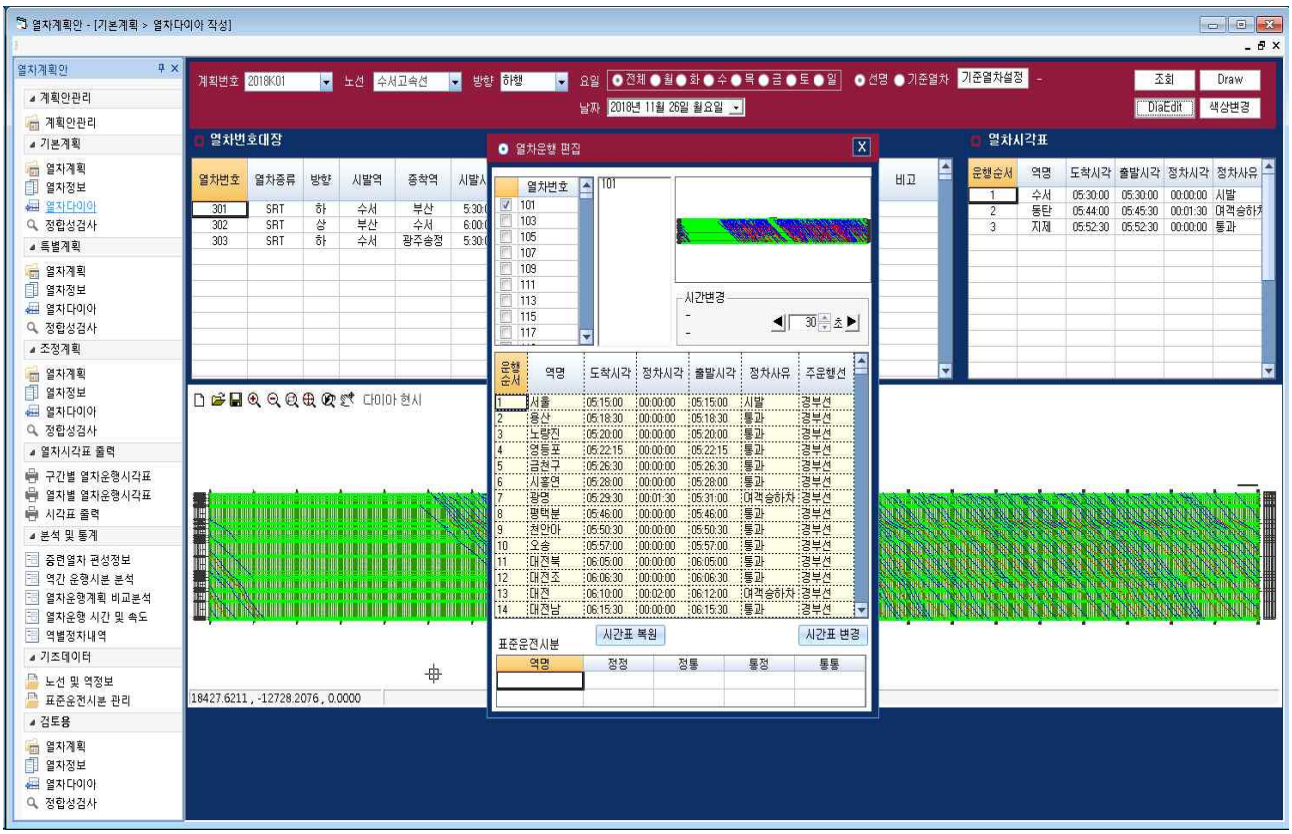
■ 기본(특별, 조정)계획 관리 - 열차시각표(TPS 정보연계)



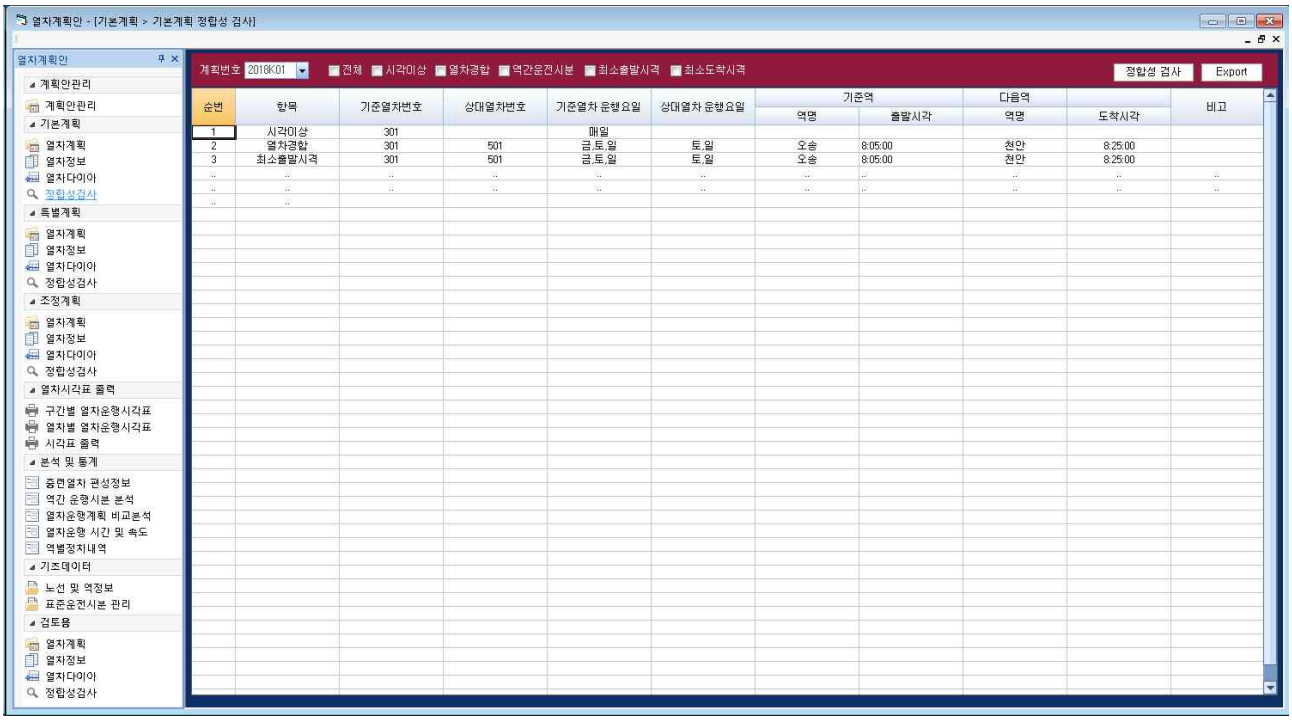
■ 기본(특별, 조정)계획 관리 - 열차다이아 현시



■ 기본(특별, 조정)계획 관리 - 열차다이아 편집

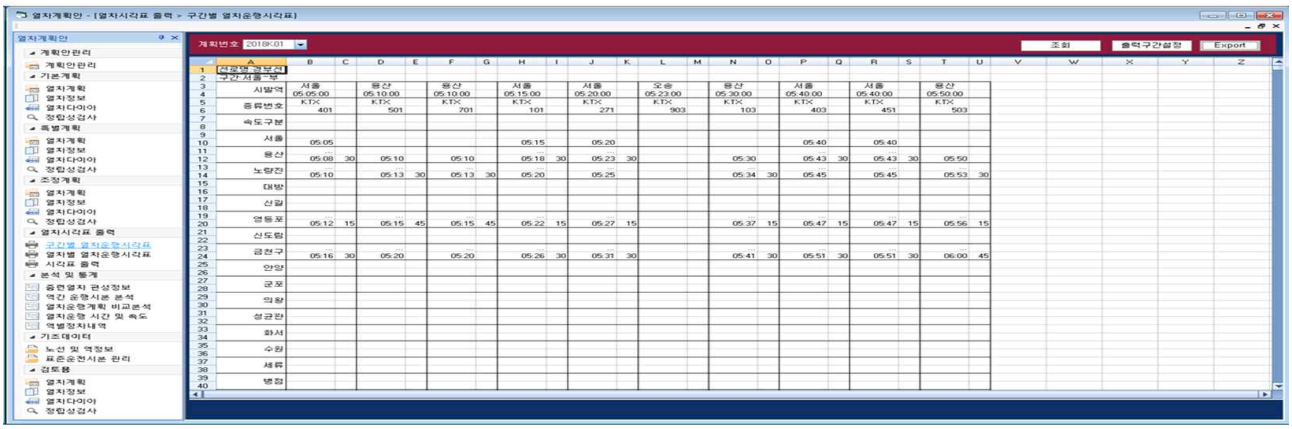


■ 기본(특별, 조정)계획 관리 - 정합성 검사



■ 열차시각표 출력 - 구간별/열차별 열차운행시각표 출력

구간별 열차운행시각표 출력



열차별 열차운행시각표 출력



■ 연구성과 제품납품 실적

No	납품처	납품 일시	내용	비고
1	㈜서현기술단	2019년 7월	열차다이아 시스템 단품 납품	철도전문설계사
2	㈜케이알티씨	2020년 5월	열차다이아 시스템 단품 납품	철도전문설계사

■ 연구성과 관련 시스템 개발사업 수주 및 이행

발주처	사업 기간	사업 명	사업 금액
국가철도공단	2020년 08월 ~ 2020년 12월	국가철도망 선로배분시스템 유지보수 용역	₩ 83,255,000

■ 소프트웨어 저작권 등록

저작권명	창작일	등록일	등록 번호	저작권자명
열차스케줄 자동생성 프로그램	2018.11.06	2018.11.20	C-2018-034092	㈜지오엔티
열차다이아와 열차시각표 정보 연동 프로그램	2020.08.04	2020.11.04	C-2020-039381	㈜지오엔티

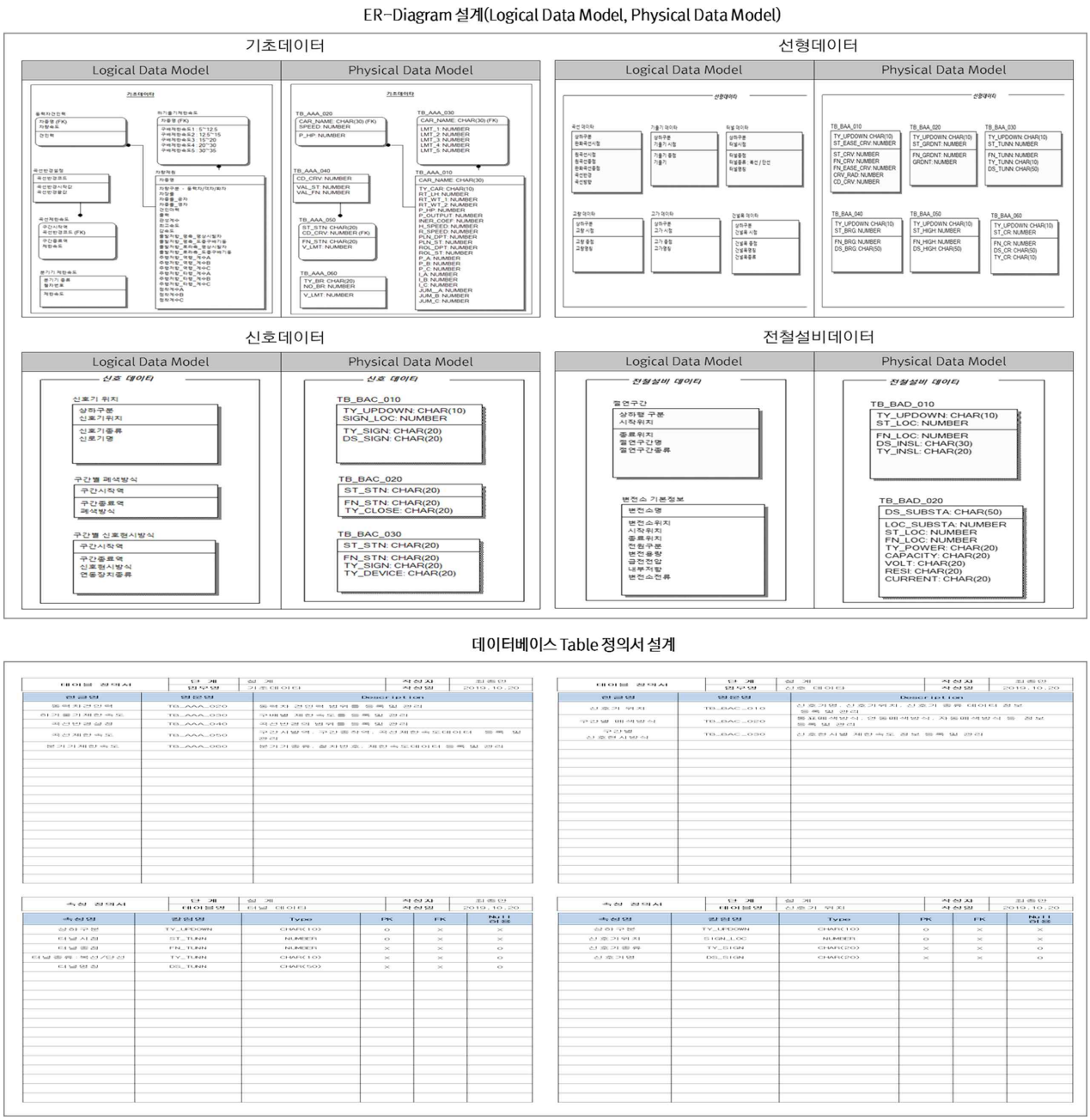
2) 열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 개발

가) 열차성능시뮬레이션 고도화 개발을 위한 기능 분석 및 설계

[핵심성과] I-1 열차성능시뮬레이션 고도화 설계서

- 기존 보유 열차성능시뮬레이션시스템의 기능 및 처리 프로세스, 시스템 구성의 적정성 등을 점검하였고 열차성능시뮬레이션의 기초데이터인 선로 정보, 정거장 정보, 신호설비 정보, 제한속도 정보, 차량 정보 등에 대한 이론적 체계를 분석하여 이를 시스템 설계서에 반영하였음
- 열차성능시뮬레이션 시스템 고도화 개발을 위해 수요처의 요구사항을 조사하여 분석하였고 요구사항은 기존 열차성능시뮬레이션 시스템을 기준으로 기능별 보완사항과 추가 개발사항으로 분류하여 시스템 설계에 반영하였음
- 열차성능시뮬레이션에 대한 수요처의 요구사항을 바탕으로 시스템 고도화 개발을 위한 데이터 모델 설계의 기본요소인 Conceptual Data Model을 정의하였고 이에 따라 Database ER-Diagram을 설계하였음
- Database ER-Diagram은 Logical Data Model과 Physical Data Model로 구분하여 작성하였고 각 Entity 항목별로 DB Table을 작성하였음
- 열차성능시뮬레이션에 대한 Conceptual Data Model 및 Database ER-Diagram(Logical Data Model, Physical Data Model) 설계는 기초 데이터,

신호 데이터, 선형 데이터, 전철설비 데이터, 제한속도 데이터 등으로 구분하여 설계하였고 Database ER-Diagram 설계 시 각 DB Table에 대하여 추가 및 변경, Table Key 및 Relation 구성을 보다 고도화 하여 설계하였음



<그림 19 열차성능시뮬레이션 데이터베이스 고도화 설계>

- 열차성능시뮬레이션 시스템 고도화 개발을 위해 기존 보유시스템의 기능 점검사항과 데이터베이스 고도화 설계내용을 바탕으로 시스템 고도화를 위한 기능 및 메뉴구성을 도출하였으며 열차성능시뮬레이션의 업무적 관점 및 시스템 활용성을 고려하여 보다 고도화 된 화면 User Interface 설계를 설계하였음
- 열차성능시뮬레이션 고도화 화면 UI 설계 시 메뉴구성은 기존 기능과 추가/개선 기능을 고려하여 기능 계층구조를 보다 조직화하여 구성하였고 열차성능시뮬레이션을 위한

정보의 입출력 및 사용자의 정보탐색, 논리적 정보흐름 등을 고려하여 보다 개선된 화면 User Interface를 설계하였음

- 기초데이터 관리, 차량 견인력 산정, 시뮬레이션 및 운전선도 작성, 표준운전시분 작성, 프로젝트별 대안관리 등 기존 모듈에 대해서는 기능 개선을 위한 화면 User Interface를 수정하였고 위치기반의 기초데이터 통합관리, 시뮬레이션 기능 고도화 및 검토 기능 등 추가 개발요소에 대한 부분은 화면을 새롭게 설계하였음

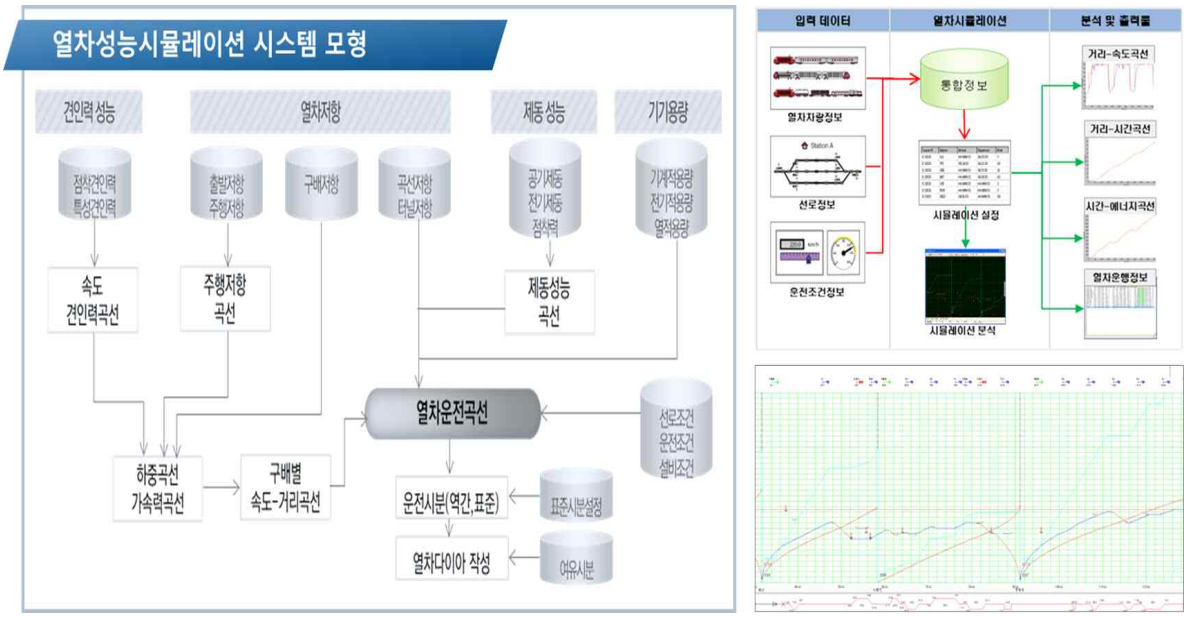


<그림 20 열차성능시뮬레이션 화면 UI 고도화 설계>

나) 열차성능시뮬레이션 시스템 기능 고도화 및 상용화 개발

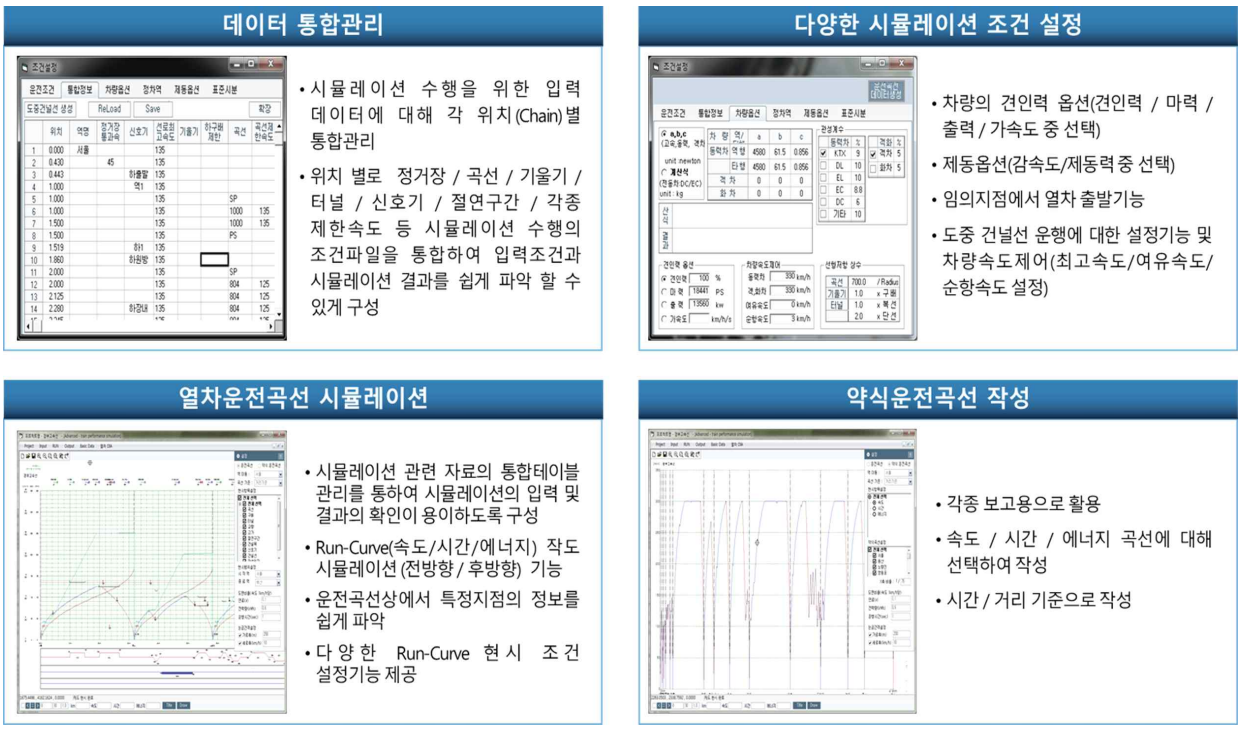
[핵심성과] I-2 열차성능시뮬레이션 기능 고도화 및 상용화 모듈 구축(S/W 저작권)
[핵심성과] I-3 사용자 매뉴얼(열차성능시뮬레이션 시스템)

- 열차성능시뮬레이션 모듈은 역선로 및 선형정보, 차량정보 등 열차운행에 영향을 줄 수 있는 기초데이터와 다양한 시뮬레이션 운전조건 정보를 반영하여 열차성능시뮬레이션을 시행하여 속도곡선, 운행시간, 에너지소모량 등 다양한 데이터를 정확하게 제공하도록 구현하였음
- 열차성능시뮬레이션에 영향을 줄 수 있는 정보는 차량의 제동력과 견인력 등 차량정보와 선로의 기울기, 곡선, 터널 등 선형정보가 있으며 기존운행선과 신규건설 노선의 선형정보와 기존에 운행되고 있는 차량과 신규로 제작되어질 신조차량의 정보를 쉽게 관리한 수 있도록 구현하였음. 또한 차량의 주행저항에 적용된 공식과 적용 결과를 확인할 수 있도록 하여 사용자로 하여금 시스템에 대한 신뢰성을 갖도록 구현하였음



<그림 21 열차성능시뮬레이션 시스템 모형 및 프로세스>

- 특히, 열차성능시뮬레이션 기능 상용화 모듈은 다양한 시뮬레이션 조건을 반영하여 열차주행 및 성능을 분석하도록 구현함으로써 철도차량 고속화 등 철도환경변화에 능동적으로 대응할 수 있도록 하였으며, 시뮬레이션 결과와 열차다이아 모듈 연계 및 속도곡선, 운행시간, 에너지소모량 등 다양한 분석데이터 제공을 통해 열차운행계획을 보다 효율적으로 운영할 수 있도록 하였음



<그림 22 열차성능시뮬레이션 시스템 주요기능>

- 시뮬레이션 결과인 운전선도는 운행구간의 길이에 따라 도면을 확인하고 전체적인 운행형태를 파악하기가 곤란하므로 노선의 길이에 관계없이 전체적인 노선 압축도면으로 운행형태를 파악할 수 있도록 하기위해 약식(압축)운전선도 기능을 구현하였음
- 또한 운전선도 작성 결과를 차종 또는 속도종별이 다른 열차 간에 비교가 가능하도록 시뮬레이션 결과를 천천히 진행하면서 도면의 그래프 변화를 확인할 수 있는 기능을 구현하였음
- 열차성능시뮬레이션시스템 단위업무별 기능 구성은 아래와 같음

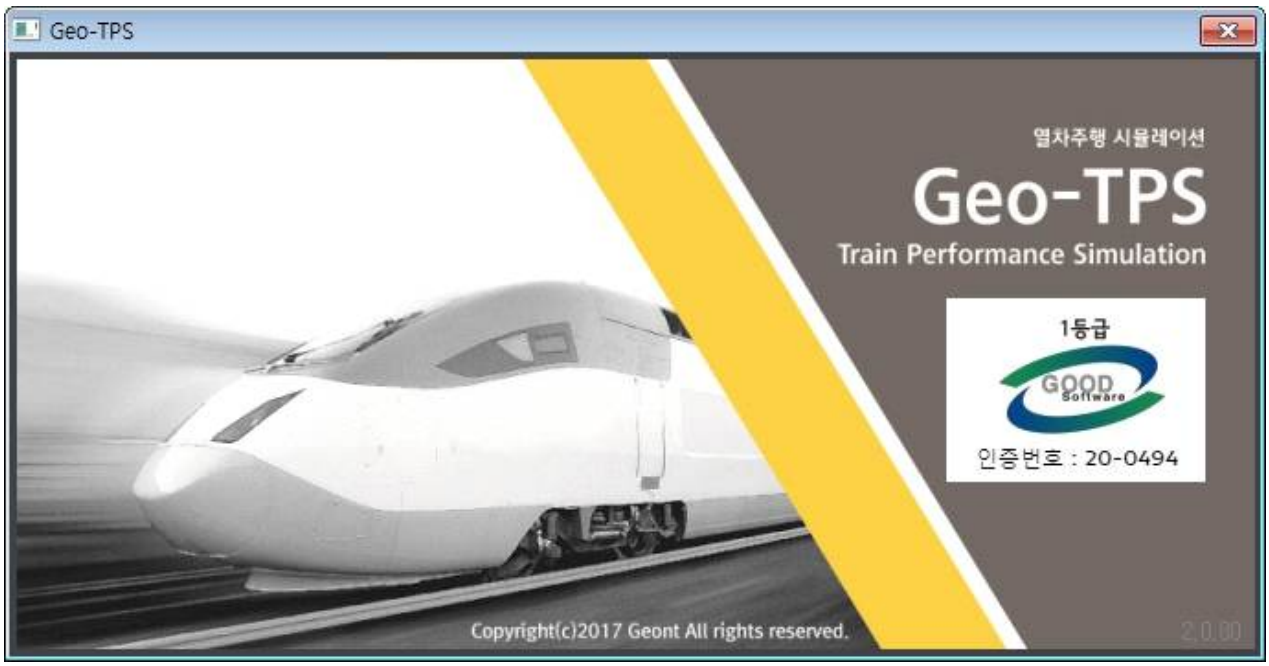
<표 6 열차성능시뮬레이션 시스템 기능 구성>

업무기능	단위업무	화면명	화면설명
Project	프로젝트 추가 및 삭제	프로젝트 관리	프로젝트 관리 화면에서 신규 프로젝트를 생성하거나 기존 프로젝트 전체내용을 복사하여 생성 가능
	대안 추가 및 삭제	대안 생성	신규 대안을 생성하거나 해당 프로젝트 내에 다른 대안의 전체내용을 복사하여 생성 가능
Input	선형데이터	곡선	완화곡선시점, 원곡선시점, 원곡선종점, 완화곡선종점, 곡선반경, 곡선방향 데이터 등을 입력하며 곡선반경은 운전곡선 작성 시 곡선데이터로 표시됨
		기울기	시점, 종점, 기울기데이터를 등록 및 관리하며, 운전곡선 작성시 기울기 저항값으로 적용되며 하기울기 제한속도와 연계됨
		터널	터널명, 시점, 종점, 터널 종류데이터를 등록 및 관리하며, 운전곡선에 터널 저항값으로 활용됨
		교량	교량명, 시점, 종점데이터를 등록 및 관리하며, 운전곡선 하단에 교량위치가 표시됨
		고가	고가명, 시점,종점 데이터를 등록 및 관리하며 운전곡선 하단에 고가위치가 표시됨
		건널목	건널목명, 시점, 종점, 건널목 종류데이터를 등록 및 관리하며, 운전곡선하단에 건널목 위치가 표시됨
		건널선	건널설명, 하행시점, 하행종점, 상행시점, 하행종점, 분기종류, 철차번호 데이터를 등록 및 관리하며, 분기기종류에 따라 제한속도를 받게 됨
	정거장데이터	역정보	역코드, 하행거리 누계, 상행거리 누계, 하행정차 위치, 하행정차 위치,상행정차 위치 등록 및 관리
		분기기	선로번호, 진출입 분기기 종류, 진출입 철차번호, 진출입 분기기 위치데이터를 관리하며, 운전곡선의 분기기 제한속도와 연계되어 철차번호에 따른 제한속도가 적용됨
		역통과속도	역명, 상/하행구분, 북남구분, 역통과속도 역통과지점 데이터를 관리하며, 운전곡선의 정거장 통과속도와 연계하여 해당위치에서 역통과속도의 제한을 받음
	신호설비데이터	신호기위치	신호기명, 신호기위치, 신호기 종류 데이터를 등록 및 관리
	전철설비데이터	절연구간	시작위치, 종료위치, 절연구간명, 절연구간 종류 데이터를 등록 및 관리
	제한속도 데이터	특수구간 제한속도	시점, 종점, 제한속도데이터 등록 및 관리

		선로최고 속도	구간시발역, 구간종착역, 열차별 최고속도데이터 등록 및 관리
Run	시뮬레이션 조건설정	운전곡선	열차운전곡선을 작성할 차량과 정보를 선택하고 시뮬레이션 구간 및 방향 설정
		통합정보	해당선로의 각 위치별 선로조건(기울기, 곡선, 터널 등)과 운전조건(각종 제한속도) 확인 및 수정
		차량옵션	열차운전곡선을 작성할 동력 및 객/화차의 주행 저항상수, 관성계수, 견인력 옵션, 차량 최고속도, 선형저항상수 확인 및 수정
		정차역	열차운전곡선을 작성할 구간의 정차역을 설정
		제동옵션	열차운전곡선에 적용할 제동방식을 설정하는 부분으로 감속도/제동력에 의한 제동곡선을 작성
		표준시분	열차운전곡선을 실행한 결과로 해당열차별 역간 운행시분과 표준시분 생성
Output	열차운행 정보	열차운행정보	운전곡선 작성 시 설정한 차량정보, 구간, 정차정보 등 각종 설정 값과 통합정보를 통하여 시뮬레이션에 반영된 Input 값들을 확인
		표준 운전시분	열차운전곡선을 실행한 결과로 저장된 해당열차별 역간운행시분 및 표준운전시분 확인
Basic Data	기본정보	차량정보	동력차의 제원, 견인력, 출발 저항상수, 주행 저항상수, 점착계수를 등록 및 관리
		제한속도 설정	곡선반경 설정, 곡선제한속도, 하기울기 제한속도, 분기기 제한속도를 등록 및 관리
		코드관리	시스템 사용 필요한 코드를 등록 및 관리

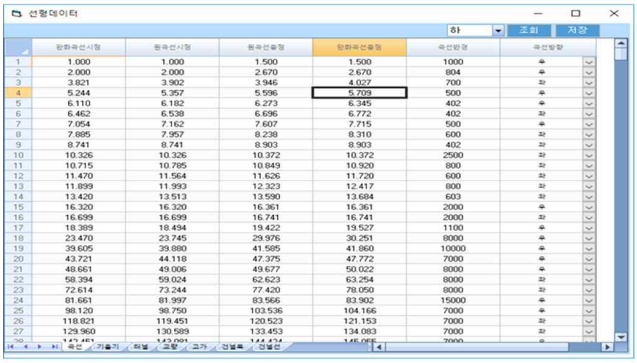
■ 열차성능시뮬레이션 시스템 개발 주요 화면

▪ 열차성능시뮬레이션 실행화면

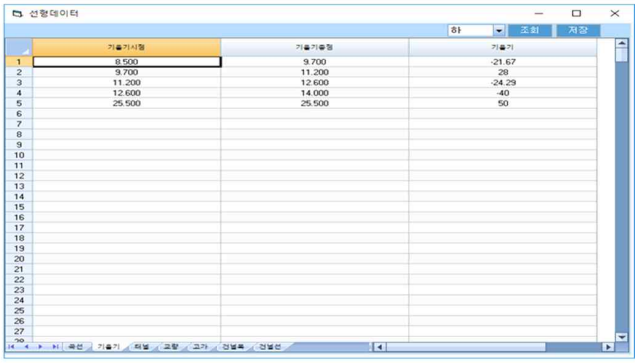


■ Input 데이터 관리

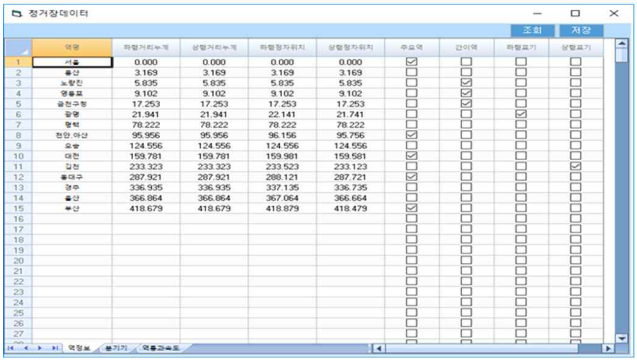
선형데이터(곡선)



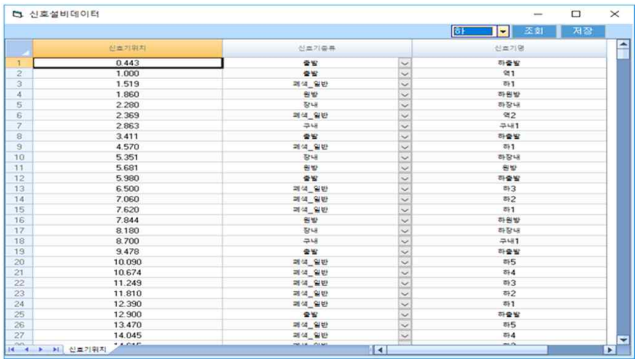
선형데이터(기울기)



정거장데이터



신호설비데이터



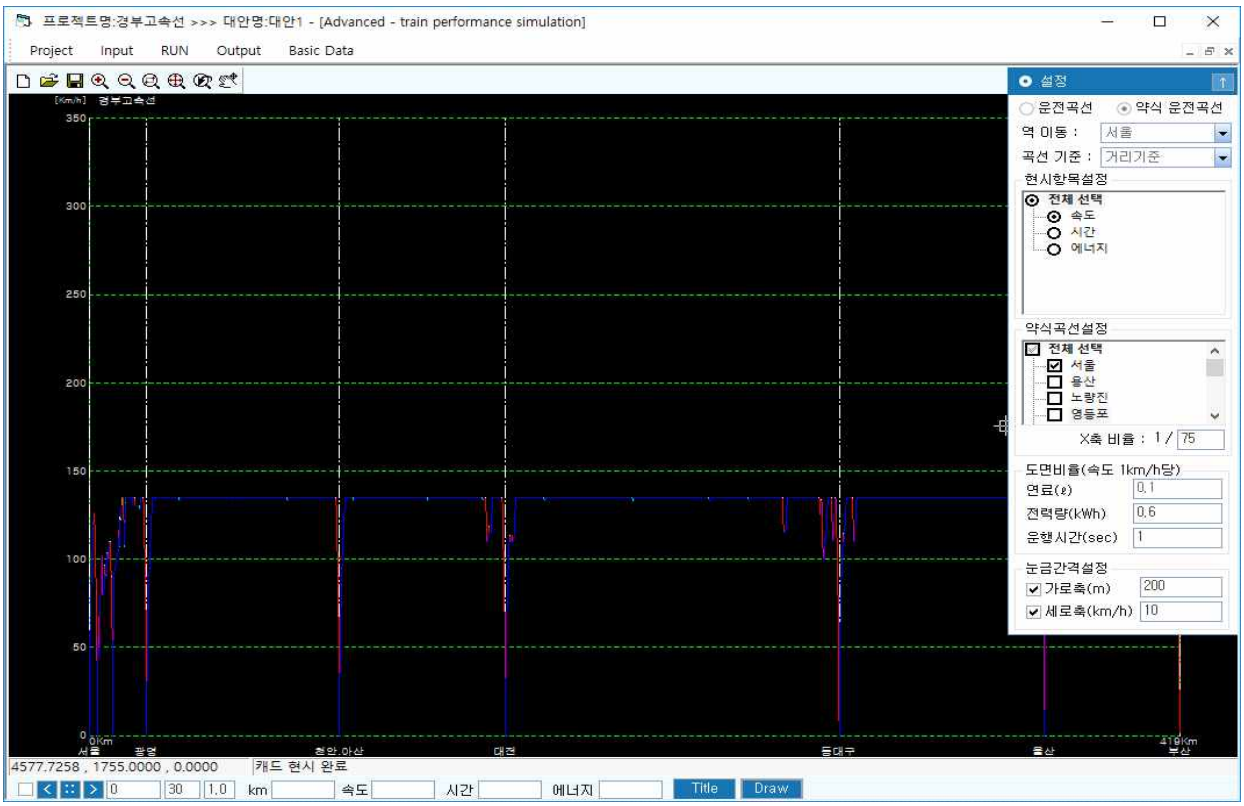
■ 운전조건 설정 - 통합정보 관리



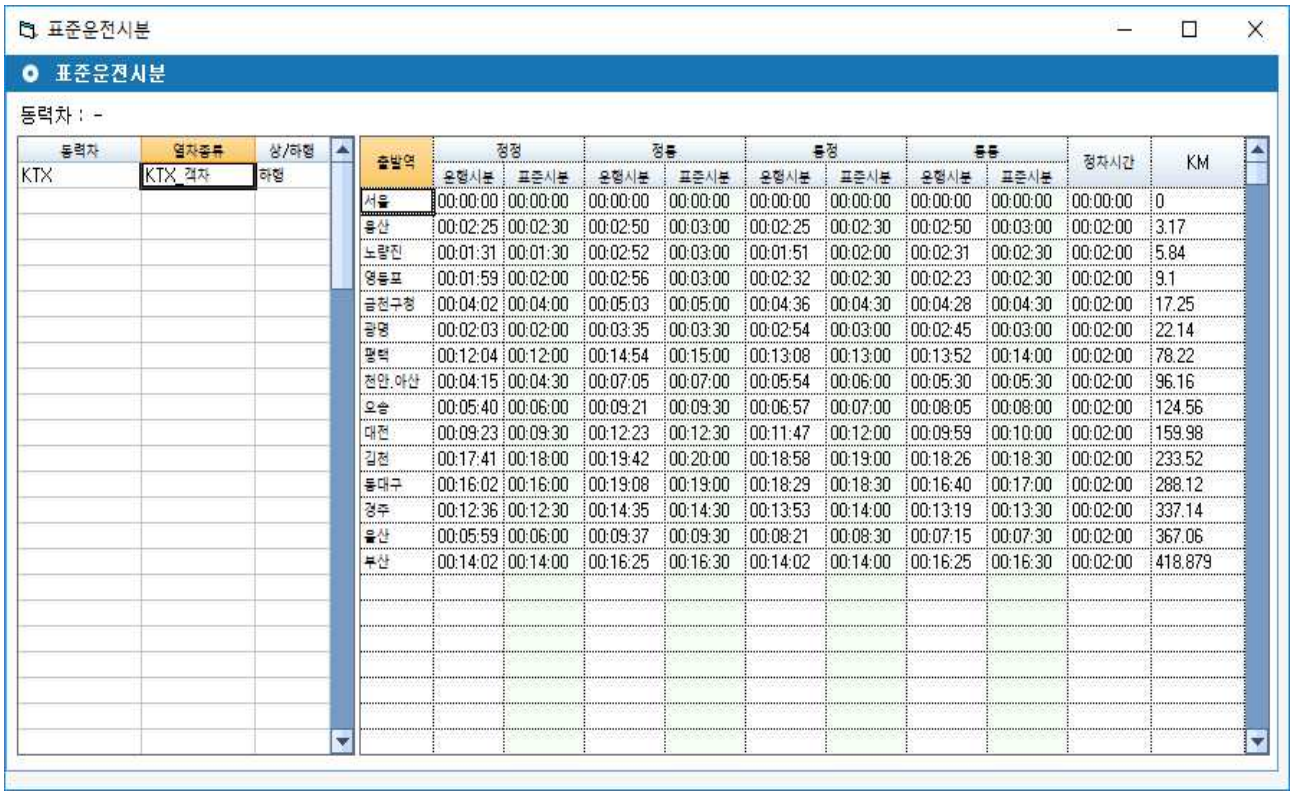
■ 열차운전곡선 작성



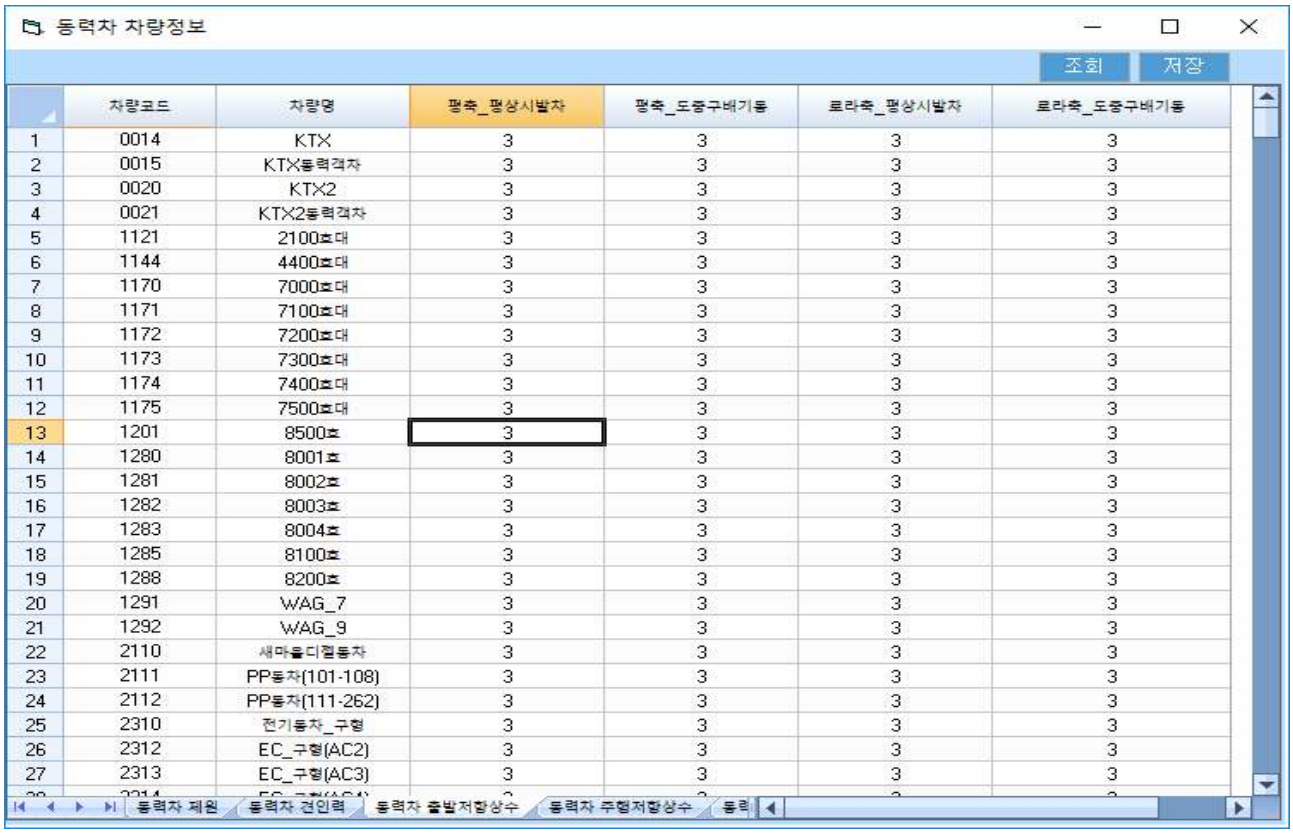
■ 열차운전곡선(약식곡선) 작성



■ 표준운전시분 관리



■ 기초데이터 관리 - 차량정보(동력차 출발저항 상수)



■ 연구성과 제품납품 실적

No	납품처	납품 일시	내용	비고
1	㈜서현기술단	2019년 7월	TPS(열차성능시뮬레이션) 시스템 단품 납품	철도전문설계사
2	㈜케이알티씨	2020년 5월	TPS(열차성능시뮬레이션) 시스템 단품 납품	철도전문설계사

■ 연구성과 관련 시스템 개발사업 수주 및 이행

발주처	사업 기간	사업 명	사업 금액
㈜디투엔지니어링	2019년 05월 ~ 2019년 12월	TPS 연계를 통한 급전시뮬레이션 시스템 개발	₩ 210,000,000
국가철도공단	2020년 06월 ~ 2021년 12월	국가철도망 건설지원•선로배분시스템 통합 및 고도화 용역	₩ 2,034,000,000

■ 소프트웨어 저작권 등록

저작권명	창작일	등록일	등록 번호	저작권자명
위치데이터 DB기반 열차운전곡선 작성 프로그램	2019.09.03	2019.10.16	C-2019-028596	㈜지오엔티
약식 열차운전곡선 작성 프로그램	2020.08.05	2020.11.02	C-2020-038977	㈜지오엔티
열차운전곡선 단일 및 복수열차 시뮬레이션 프로그램	2020.08.28	2020.11.04	C-2020-039386	㈜지오엔티

3) 차량운영계획 기능 고도화 및 상용화 개발

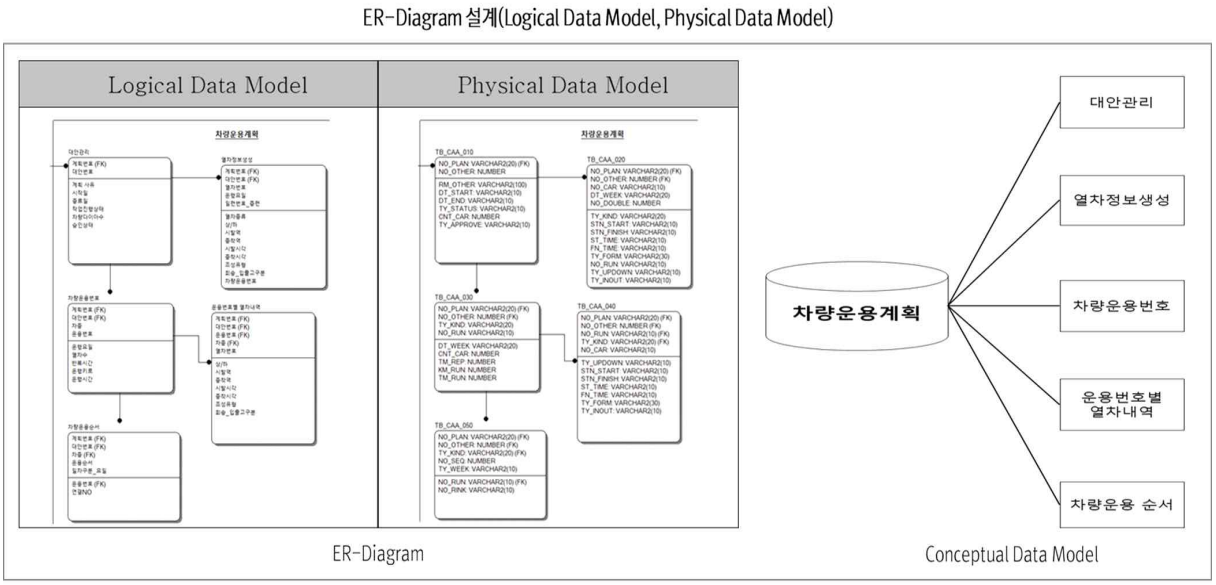
가) 차량운영계획 고도화 개발을 위한 기능 분석 및 설계

[핵심성과] G-1 차량운영계획 시스템 고도화 설계서

- 차량운영계획 시스템 고도화 개발을 위해 철도운영기관(코레일, ㈜에스알)의 방문조사를 통해 차량계획과 관련된 기 운용시스템 모듈의 기능 및 프로세스, 업무활용 등을 분석하였음
- 차량운영계획과 관련한 수요처의 요구사항을 분석하였고 요구사항에 대하여 고도화 개발을 위한 시스템 설계에 반영하였음
- 차량운영계획 시스템에 대한 수요처의 요구사항을 바탕으로 시스템 고도화 개발을 위해 열차정보생성, 조건 설정, 차량다이아 작성, 차량운용 순서표 작성 등에 대하여 Conceptual Data Model을 정의하였고 이에 따라 Database ER-Diagram을 설계하였음
- Database ER-Diagram은 Logical Data Model과 Physical Data Model을 구분하여 작성하였고 각 Entity 항목별로 DB Table을 작성하였음. 또한 차량계획을 위한 업무

절차 등을 포함한 기초이론 사항을 설계서 내에 포함하였음

- 특히 차량계획 최적화 알고리즘을 전산화하기 위해 필요한 데이터 항목 및 속성, 차량계획 생성, 시스템 입출력 정보 인터페이스 및 정보의 확장성 등을 고려하여 Database를 설계하였음





<그림 23 차량운영계획 시스템 데이터베이스 고도화 설계>

- 차량운영시스템은 수요처 요구사항 및 철도운영기관의 차량계획 모듈 분석사항을 반영한 데이터베이스 고도화 설계내용을 바탕으로 시스템 고도화를 위한 기능 및 메뉴구성을 도출하였으며 화면 User Interface를 설계하였음

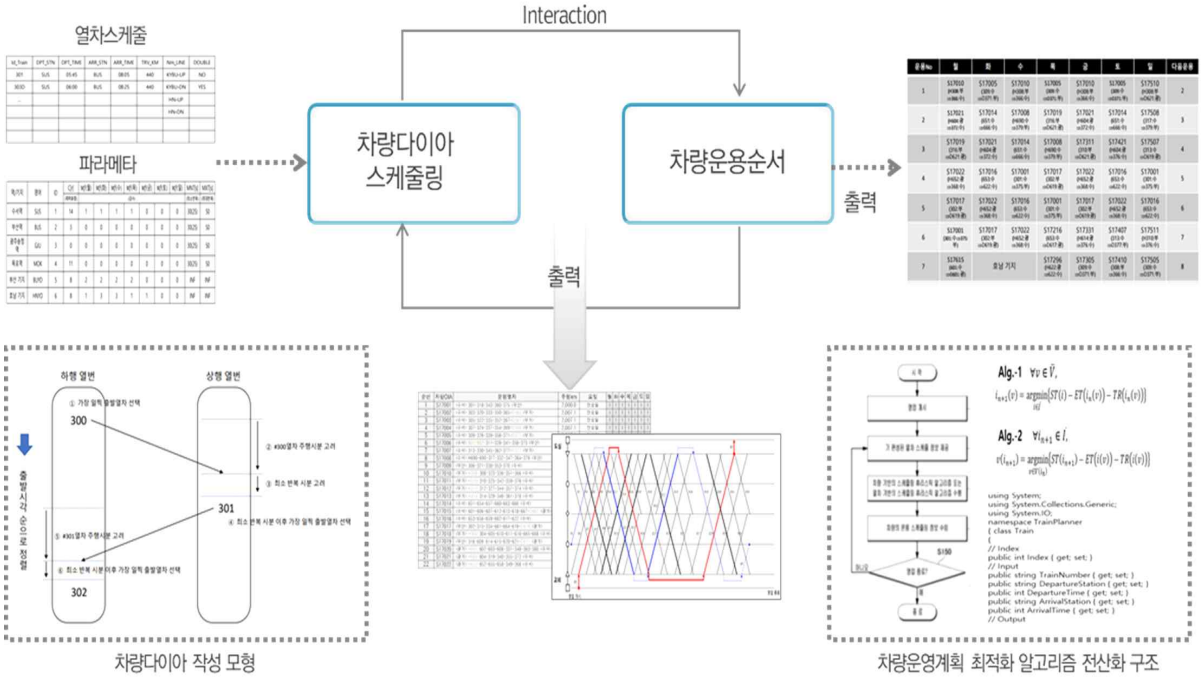


<그림 24 차량운영계획 시스템 화면 UI 고도화 설계>

나) 차량운영계획 시스템 기능 고도화 및 상용화 개발

[핵심성과] G-2 차량운영계획 시스템 기능 고도화 및 상용화 모듈 구축(S/W 저작권)
[핵심성과] G-3 사용자 매뉴얼(차량운영계획 시스템)

- 차량운영계획 시스템 고도화 개발을 위해 철도운영기관(코레일, ㈜에스알)의 방문조사를 통해 차량계획과 관련된 기 운용시스템 모듈의 기능 및 프로세스, 업무활용 분석 결과를 반영하여 구현하였음
- 열차시각표 및 열차다이아 정보를 활용하여 편도 열차운행 종료 후 다음열차 운행을 위한 반복열차를 지정하고 반복열차가 반영된 열차시각표 데이터를 기반으로 차량기본정보를 반영한 차량운영계획을 작성하도록 하였으며 차량다이아를 그래프형태로 생성하도록 구현하였음. 이를 통해 가용자원인 차량(편성)의 합리적/경제적 운영을 지원하고 차량자원의 적정성 검토 및 의사결정을 지원하도록 하였음
- 또한 차량운영계획 시스템은 차량운영계획 작성 시 열차스케줄 정보 및 차량계획 파라메타 정보를 반영하여 차량다이아 스케줄링 정보를 생성하고 이를 기반으로 차량운용정보가 산출되도록 개발하였음. 특히 차량다이아 스케줄 정보 및 차량운용 정보 산출 시 차량운영계획 최적화 알고리즘을 통해 데이터 정합성을 확보한 상태에서 결과데이터를 산출하도록 개발하였음. 이는 차량계획 업무 작업시간을 단축시키고 차량계획 담당자의 경험에 구속되지 않은 해를 구할 수 있는 장점이 있음



<그림 25 차량운영계획 시스템 최적화 산출 모형>

- 차량운영계획 시스템 단위업무별 기능 구성은 아래와 같음

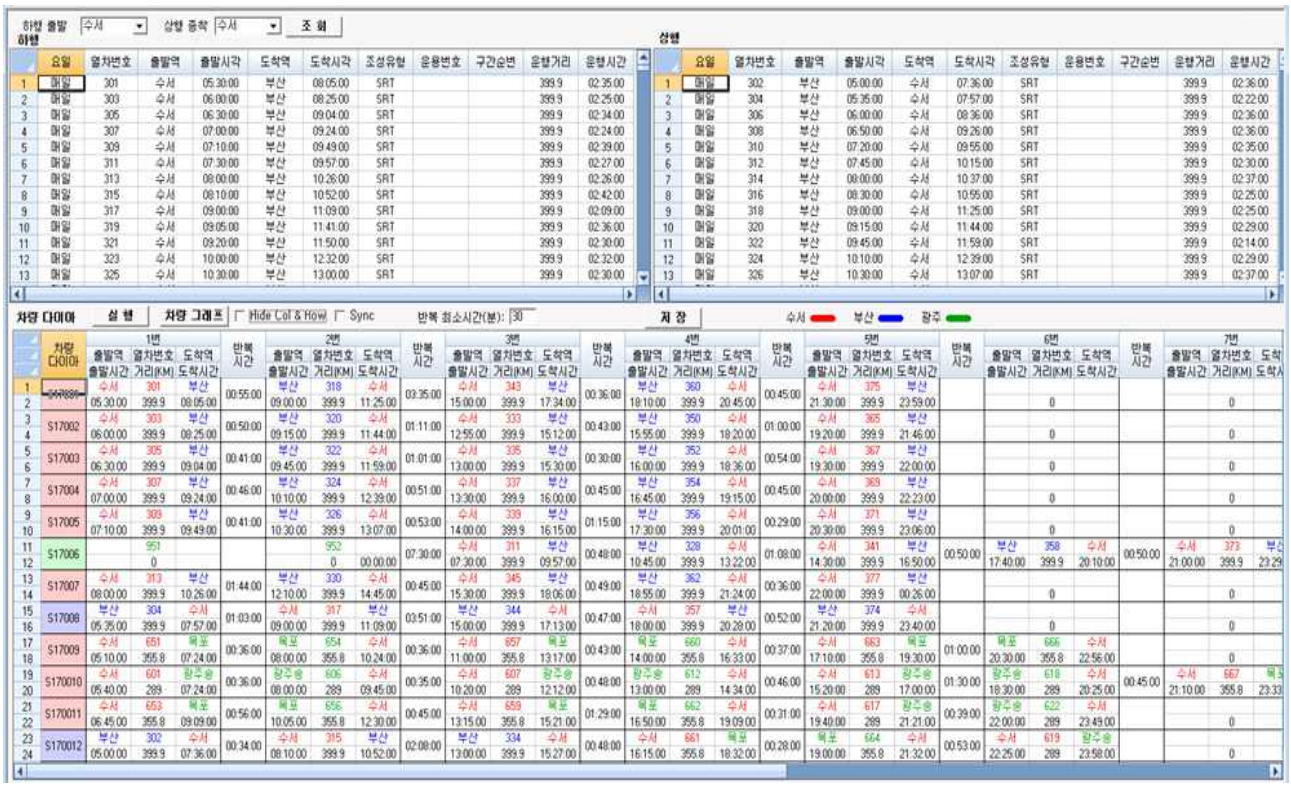
<표 7 차량운영계획 시스템 기능 구성>

업무기능	단위업무	화면명	화면설명
선정보	선정보 관리	역정보	역 정보 등록 및 관리(역명, 역구분, 역정보 등)
		기지정보	열차의 검수 및 체박을 할 수 있는 기지정보를 등록 및 관리
		지선역 정보	선정보의 본선에서 나누어지는 지선에 대한 정보 등록 및 관리
		신호기 정보	신호기 등록 및 관리(신호기명, 위치, 비고)
조건 설정	조건정보 등록 및 관리	열차다이아	프로젝트의 입/출력정보, 다이아 정보를 기반으로 열차 다이아 표출
		대피역 분석	열차 대피 선로를 설치할 역 분석
		정차역 분석	역간 수요 정보를 바탕으로 정차역 분석 및 선정
스케줄표 작성	스케줄표 작성 및 관리	기본 스케줄표 작성	설정된 분석 시간대 별로 패턴을 구성
		실행 스케줄표 작성	알고리즘을 분석모델을 통한 작성, 기본 스케줄표 작성과 동일한 입력 값 설정
		열차 패턴 설정	패턴코드 생성 및 설정(패턴명, 완행구분, 열차수 등)

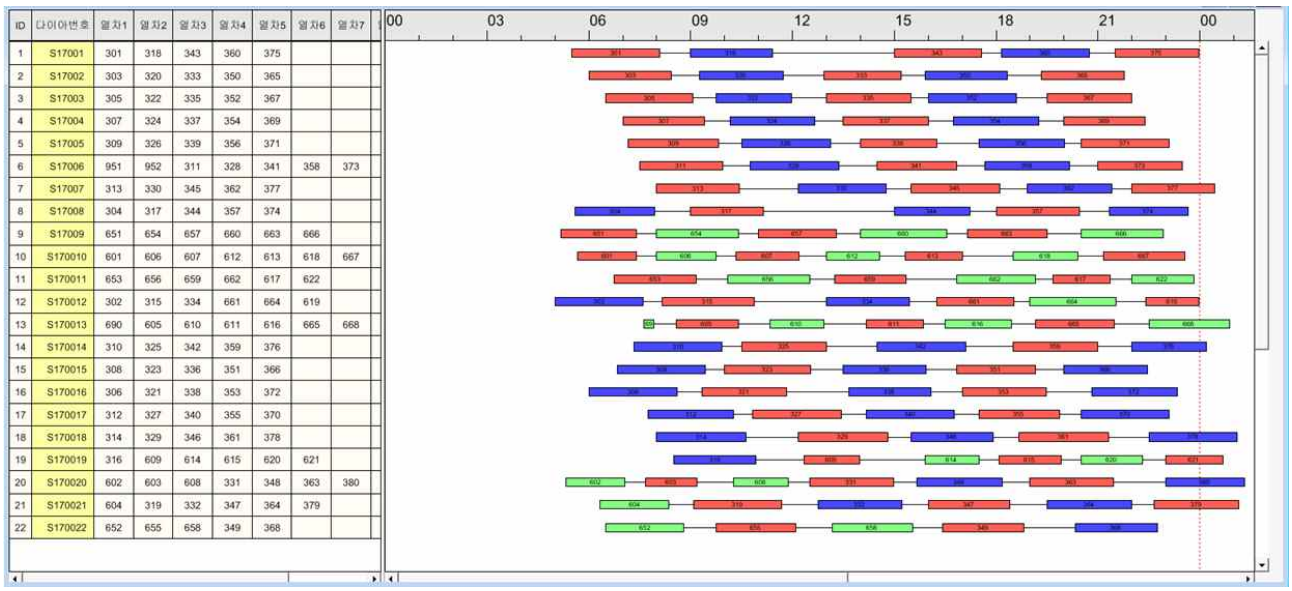
운용표 작성	운용표 작성 및 관리	가용편성	운용표 작성 시 가용편성 설정창에 관련정보 입력 및 관리
		운용표 조회 및 삭제	작성된 운용표 정보 조회 및 삭제

■ 차량운영계획 시스템 개발 주요 화면

■ 차량다이아(기본 다이아) 생성



■ 차량다이아 그래프



■ 차량운용 순서표 작성

순서표

저 장

	구분	다이아	시발	운용계획	종착	운행거리(km)
1	11	S17022	광주	(광기) H652-652-655-658-349-368 (수서)	수서	1,941.40
2		S17016	수서	(수서) 653-656-659-662-617-622 (수서)	수서	2,004.80
3		S17001-1	수서	(수서) 301-318-343-360-375 (수서)	수서	799.80
4	E/S	수서	운행거리			4,746.00
5	2	S17001-2	수서	(수서) 301-318-343-360-375 (부산)	부산	1,199.70
6		S17019	부산	(부산) 316-609-614-615-620-621-D621 (광기)	광주	1,853.40
7	E/S	광주	운행거리			3,053.10
8	9	S17021	광주	(광기) H604-604-319-332-347-364-379 (부산)	부산	2,289.10
9		S17011	부산	(부기) 306-321-338-353-372 (수서)	수서	1,999.50
10	E/S	수서	운행거리			4,288.60
11	1	S17008	수서	(수서) H690-690-605-610-611-616-665-668 (수서)	수서	2,094.00
12		S17015	수서	(수서) 601-606-607-612-613-618-667-D667 (광기)	광주	2,166.20
13	E/S	광주	운행거리			4,260.20
14	7	S17020	광주	(광기) H602-602-603-608-331-348-363-380 (수서)	수서	2,474.20
15		S17014	수서	(수서) 651-654-657-660-663-666 (수서)	수서	2,138.40
16	E/S	수서	운행거리			4,612.60
17	3	S17006	수서	(수서) 951-952-311-328-341-358-373 (부산)	부산	2,156.50
18		S17017	부산	(부산) 302-315-334-661-664-619-D619 (광기)	광주	2,207.80
19	E/S	광주	운행거리			4,364.30
20						
21	4	S17012	부산	(부기) H312-312-327-340-355-370 (수서)	수서	2,006.60
22		S17005	수서	(수서) 309-326-339-356-371-D371 (부산)	부산	2,006.60
23	E/S	부산	운행거리			4,013.20
24	5	S17010	부산	(부기) H308-308-323-336-351-366 (수서)	수서	2,006.60
25		S17003	수서	(수서) 305-322-335-352-367-D367 (부산)	부산	2,006.60
26	E/S	부산	운행거리			4,013.20
27	6	S17018	부산	(부기) H304-304-317-344-357-374 (수서)	수서	2,006.60
28		S17007	수서	(수서) 313-330-345-362-377-D377 (부산)	부산	2,006.60
29	E/S	부산	운행거리			4,013.20
30						
31	8	S17009	부산	(부산) H310-310-325-342-359-376 (수서)	수서	2,006.60
32		S17002	수서	(수서) 303-320-333-350-365-D365 (부산)	부산	2,006.60
33	E/S	부산	운행거리			4,013.20
34	10	S17013	부산	(부기) H314-314-329-346-361-378 (수서)	수서	2,006.60
35		S17004	수서	(수서) 307-324-337-354-369-D369 (부산)	부산	2,006.60
36	E/S	부산	운행거리			4,013.20

■ 차량운영정보(차량운행다이아 정보) 생성

SRT 운행다이아

저 장

	순번	차량DIA	운행열차	주행Km	요일
1	1	S17001	(수서) 301-318-343-360-375 (수서)	2,000.00	전요일
2	2	S17002	(수서) 303-320-333-350-365-D365 (부산)	2,007.10	전요일
3	3	S17003	(수서) 305-322-335-352-367-D367 (부산)	2,007.10	전요일
4	4	S17004	(수서) 307-324-337-354-369-D369 (부산)	2,007.10	전요일
5	5	S17005	(수서) 309-326-339-356-371-D371 (부산)	2,007.10	전요일
6	6	S17006	(수서) 951-952-311-328-341-358-373 (부산)	2,157.20	전요일
7	7	S17007	(수서) 313-330-345-362-377-D377 (부산)	2,007.10	전요일
8	8	S17008	(수서) H690-690-605-610-611-616-665-668 (수서)	1,936.00	전요일
9	9	S17009	(부산) H310-310-325-342-359-376 (수서)	2,007.10	전요일
10	10	S17010	(부기) H308-308-323-336-351-366 (수서)	2,007.10	전요일
11	11	S17011	(부기) 306-321-338-353-372 (수서)	2,000.00	전요일
12	12	S17012	(부기) H312-312-327-340-355-370 (수서)	2,007.10	전요일
13	13	S17013	(부기) H314-314-329-346-361-378 (수서)	2,007.10	전요일
14	14	S17014	(수서) 651-654-657-660-663-666 (수서)	2,138.40	전요일
15	15	S17015	(수서) 601-606-607-612-613-618-667-D667 (광기)	2,166.20	전요일
16	16	S17016	(수서) 653-656-659-662-617-622 (수서)	2,004.80	전요일
17	17	S17017	(부산) 302-315-334-661-664-619-D619 (광기)	2,207.80	전요일
18	18	S17018	(부기) H304-304-317-344-357-374 (수서)	2,007.10	전요일
19	19	S17019	(부산) 316-609-614-615-620-621-D621 (광기)	1,853.40	전요일
20	20	S17020	(광기) H602-602-603-608-331-348-363-380 (수서)	2,474.20	전요일
21	21	S17021	(광기) H604-604-319-332-347-364-379 (부산)	2,295.00	전요일
22	22	S17022	(광기) H652-652-655-658-349-368 (수서)	1,941.40	전요일
23					

■ 소프트웨어 저작권 등록

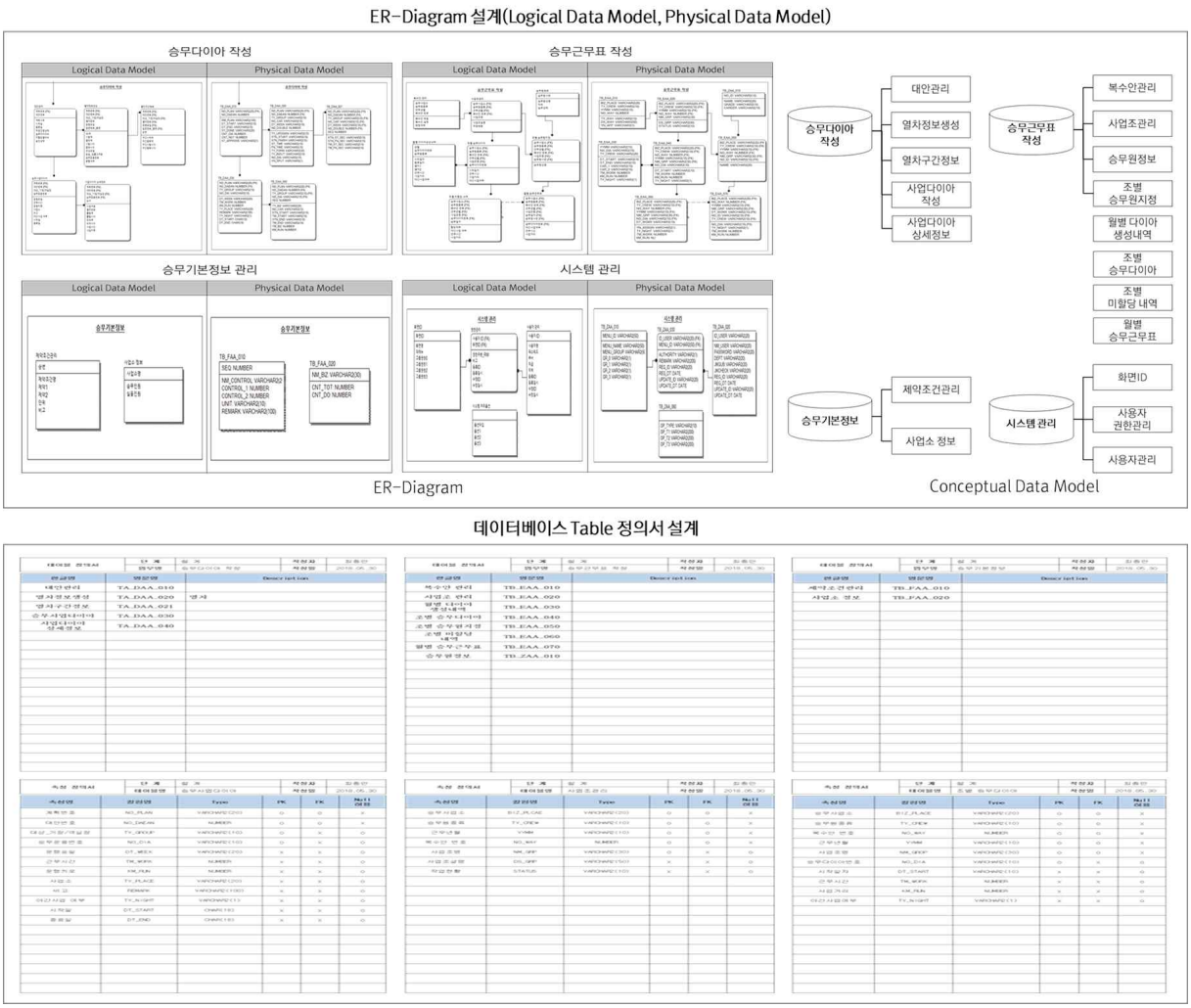
저작권명	창작일	등록일	등록 번호	저작권자명
차량운영계획 정보 기반 차량다이아 작성 프로그램	2019.10.07	2019.11.12	C-2019-033049	㈜지오엔티

4) 승무운영계획 기능 고도화 및 상용화 개발

가) 승무운영계획 고도화 개발을 위한 기능 분석 및 설계

[핵심성과] H-1 승무운영계획 시스템 고도화 설계서

- 승무운영계획 시스템 고도화 개발을 위해 철도운영기관(코레일, ㈜에스알)의 방문조사를 통해 승무계획과 관련된 기 운용시스템 모듈의 기능 및 프로세스, 업무활용 등을 분석하였으며 또한 수요처의 요구사항을 분석하여 시스템 설계서에 반영하였음
- 승무운영계획 시스템에 대한 수요처의 요구사항을 바탕으로 시스템 고도화 개발을 위해 데이터 모델 설계의 기본요소인 Conceptual Data Model을 정의하였고 이에 따라 Database ER-Diagram을 설계하였음. Database ER-Diagram은 Logical Data Model과 Physical Data Model을 구분하여 작성하였고 각 Entity 항목별로 DB Table을 작성하였음
- 승무운영계획 시스템에 대한 Conceptual Data Model 및 Database ER-Diagram(Logical Data Model, Physical Data Model) 설계는 승무다이아 작성, 승무근무표 작성, 승무기본정보 관리 등으로 구분하여 설계하였고, Database ER-Diagram 설계 시 각 DB Table에 대하여 추가 및 변경, Table Key 및 Relation 구성을 보다 고도화 하여 설계하였음
- 승무운영계획 시스템 고도화 개발의 경우 본 과제의 연구기관을 통해 도출된 승무계획 최적화 알고리즘을 전산화하기 위하여 승무근무규정 등 제약조건 및 최적화 시뮬레이션 조건, 시뮬레이션 입출력 사항 등을 시스템 설계에 반영하였고 특히 승무계획 데이터 검토 및 대안관리의 효율성을 위한 정합성 검사 요소를 설계내용에 반영하였음



데이터베이스 Table 정의서 설계

<그림 26 승무운영시스템 데이터베이스 고도화 설계>

- 승무운영계획 시스템은 열차다이아시스템에서 출력된 열차시각표 정보를 참조하여 승무계획을 작성하기 때문에 정보 인터페이스를 고려하여 시스템 설계를 하였고 또한 승무근무조건 등 승무계획 제약조건이 승무운영 환경변화에 탄력적으로 대응할 수 있도록 하기위해 시스템 확장성 및 유연성을 고려하여 설계하였음
- 수요처 요구사항 및 철도운영기관의 승무계획 모듈 분석사항을 반영한 데이터베이스 고도화 설계내용을 바탕으로 시스템 고도화를 위한 기능 및 메뉴구성을 도출하였으며 승무계획의 업무적 관점 및 시스템 활용성을 고려하여 화면 User Interface를 설계하였음
- 특히 승무운영계획 시스템 고도화 개발을 위해 수요처의 지원을 받아 승무다이아 작성 시 고려사항 및 제약사항, 승무다이아 도식화 방안, 승무근무표 작성 기준 등에 대한 내용을 시스템 화면설계 시 충분히 반영하였음

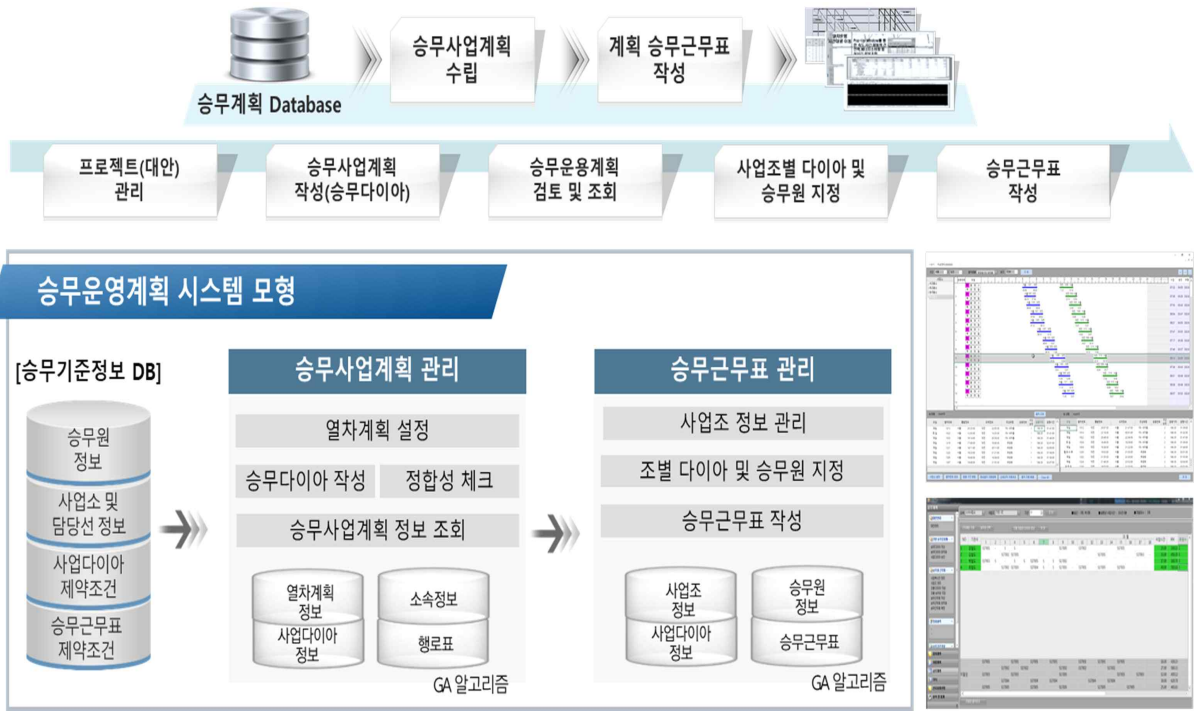


<그림 27 승무운영시스템 화면 UI 고도화 설계>

나) 승무운영계획 시스템 기능 고도화 및 상용화 개발

[핵심성과] H-2 승무운영계획 시스템 기능 고도화 및 상용화 모듈 구축
[핵심성과] H-3 사용자 매뉴얼(승무운영계획 시스템)

- 승무운영계획 시스템은 열차시각표 및 열차다이아 정보를 기반으로 승무기본정보 및 승무운영 제약조건을 반영한 승무사업계획을 작성하고 작성된 정보를 기반으로 승무근무표를 생성하도록 구현하였음
- 승무운영계획 시스템은 역선로 및 선형정보, 차량정보 등 기초데이터와 운전조건 등 다양한 시뮬레이션 조건정보를 통해 작성된 열차성능시뮬레이션 결과 및 열차운행계획 정보를 기반으로 승무계획을 작성하기 위하여 승무근무규정 등 각종 제약조건 및 최적화 시뮬레이션 조건을 설정하고 유전자알고리즘을 적용하여 승무계획 대안을 작성할 수 있도록 구현하였으며 이는 데이터 정합성을 확보한 상태에서 산출되도록 하였음
- 또한 확정된 대안의 승무행로표 정보를 통해 유전자알고리즘을 적용하여 소속별 개인별 특성에 맞게 승무사업을 배정하고 제약조건을 만족하는 승무근무교번을 생성하여 승무근무표를 작성할 수 있도록 구현하였음
- 승무운영계획 시스템은 승무운영계획에 필요한 정보관리 요소(사업소 정보, 사업조 정보, 승무원 정보 등) 및 승무계획 영향 인자(근무기준 제약조건, 주박지 및 승무교대역 정보 등)가 승무계획 산출 프로세스에 따라 정보가 연계되어 결과 데이터를 도출 할 수 있도록 구현하였음



<그림 28 승무운영계획 시스템 모형 및 프로세스>

- 특히 승무운용시스템 고도화 개발을 위해 수요처의 지원을 받아 승무다이아 작성 시 고려사항 및 제약사항, 승무다이아 및 행로표 도식화 방안, 승무근무표 작성 기준 등에 대한 내용을 반영하여 구현하였음
- 승무운영계획 시스템 단위업무별 기능 구성은 아래와 같음

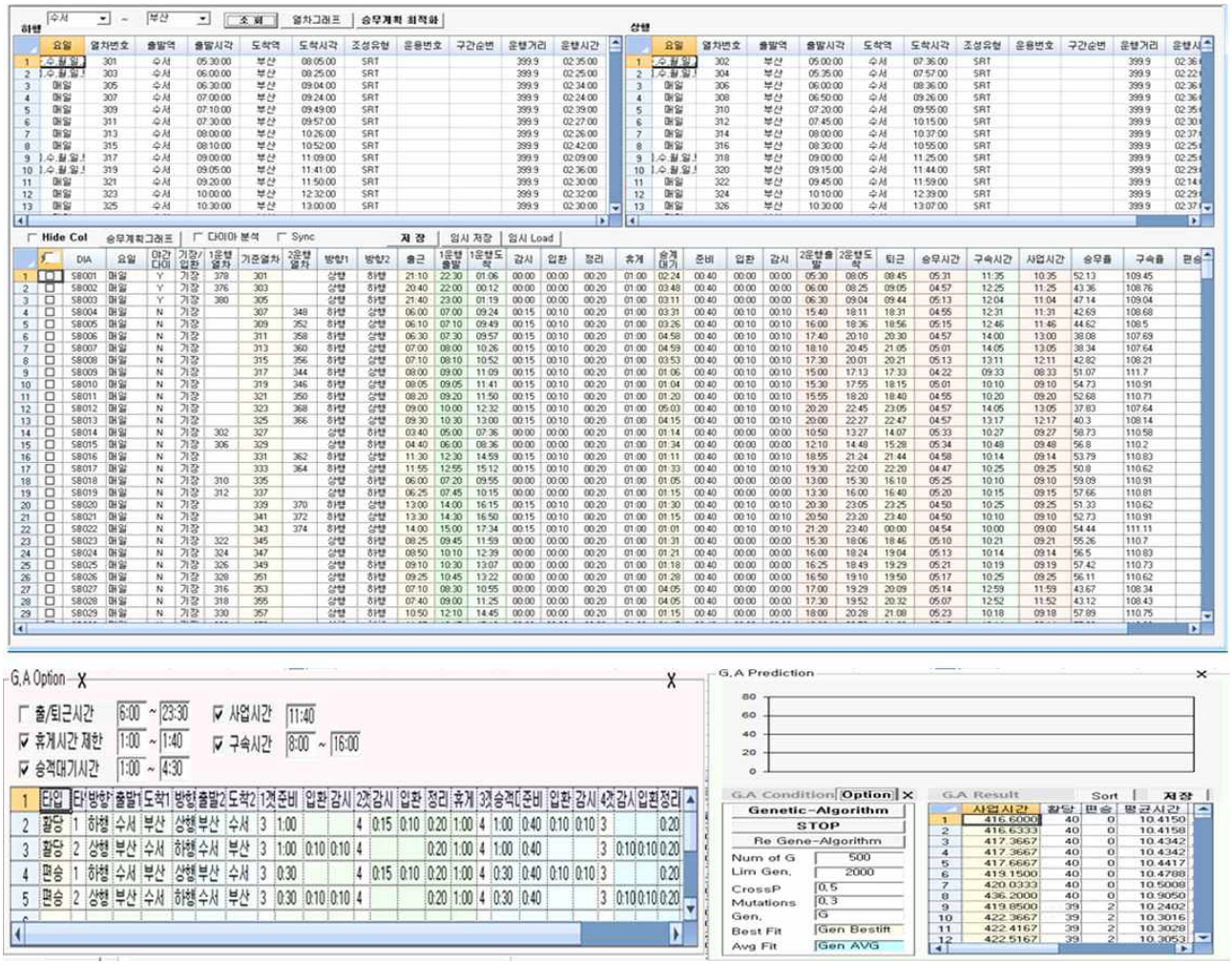
<표 8 승무운영계획 시스템 기능 구성>

업무기능	단위업무	화면명	화면설명
대안관리	대안관리 및 처리	대안관리	계획번호 및 대안 선택에 따라 모든 화면 Open할 때 선택한 계획번호, 복수안 번호 자동 표기, 원본대안으로부터 대상 대안번호 복사 처리
승무운용계획	승무다이아 작성	승무다이아 작성	최초 작성 시 열차시각표를 기준으로 승무다이아 자동생성, 최적화 알고리즘에 의한 승무다이아 작성
	승무운용계획 확정	승무운용계획 확정	작성된 승무다이아 및 승무운용계획 확정처리
승무근무표 관리	사업복수안 생성 및 관리	사업복수안 관리	복수안 명칭, 시작일, 종료일, 확정여부에 따른 사업복수안 관리
	사업조 정보관리	사업조 관리	사업소/승무원 구분/사업조 명/승무조 여부/승무팀 구성, 작업현황 등 사업조 정보 관리, 복수안 저장 시 사업조 자동생성
	조별 다이아 지정 및 관리	조별 다이아 지정	해당월 일장별로 승무사업다이아의 승인된 대안에 대하여 일자별로 생성
	조별 승무원 지정 및 생성	조별 승무원 지정	승무사업소, 시행기간, 사업조 구분에 따른 조별 승무원 지정 및 생성

	승무근무표 작성 및 조회	승무근무표 작성	조별 미할당 다이아 생성 시 조별 승무다이아를 일자별로 조별 미할당 내역에 생성하고 일자별로 표기, 최적화 알고리즘에 의한 승무교번 작성
	승무근무표 확정 및 처리	승무근무표 확정	작성된 승무근무표 정보의 확정 처리
승무기준정보	승무사업소 및 담당선 정보관리	승무사업소 관리	승무원 계획구분에 따른 승무사업소(시발가능역, 이동시분) 및 담당선(담당구간 시작역/종료역) 정보 관리
	사업다이아 제약조건 관리	사업다이아 제약조건	승무원 계획구분에 따른 사업다이아 제약조건 정보 관리
	승무근무표 제약조건 관리	승무근무표 제약조건	승무원 계획구분에 따른 승무근무표 제약조건 정보 관리

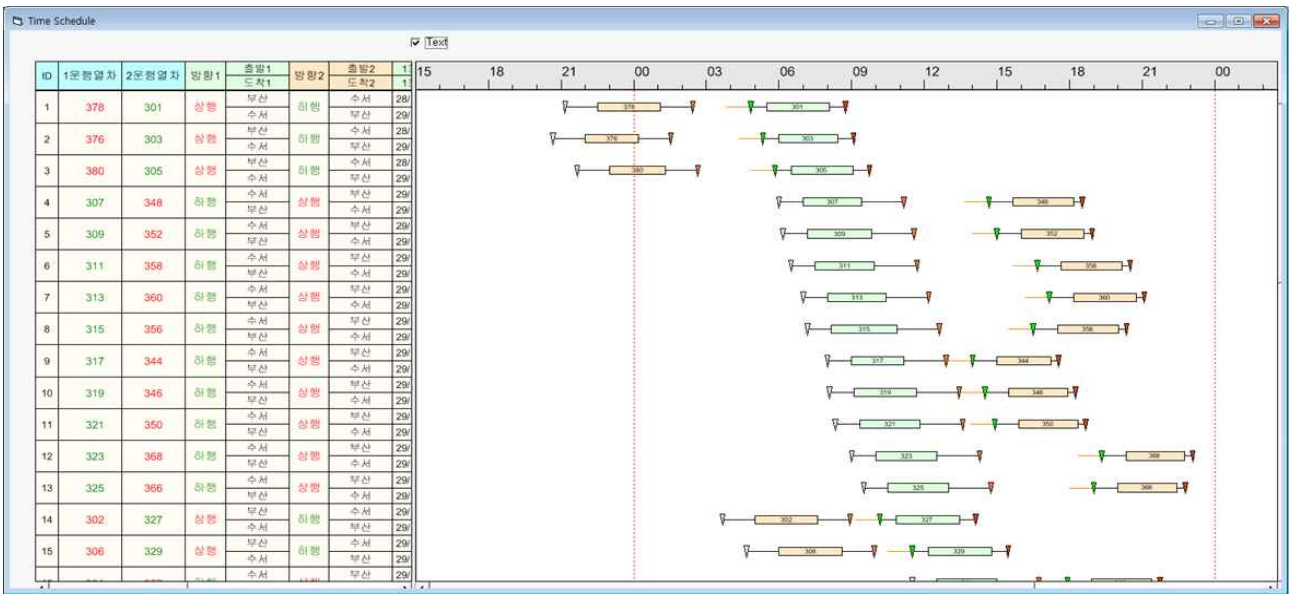
■ 승무운영계획 시스템 개발 주요 화면

▪ 최적화 알고리즘 기반 승무다이아 정보 생성

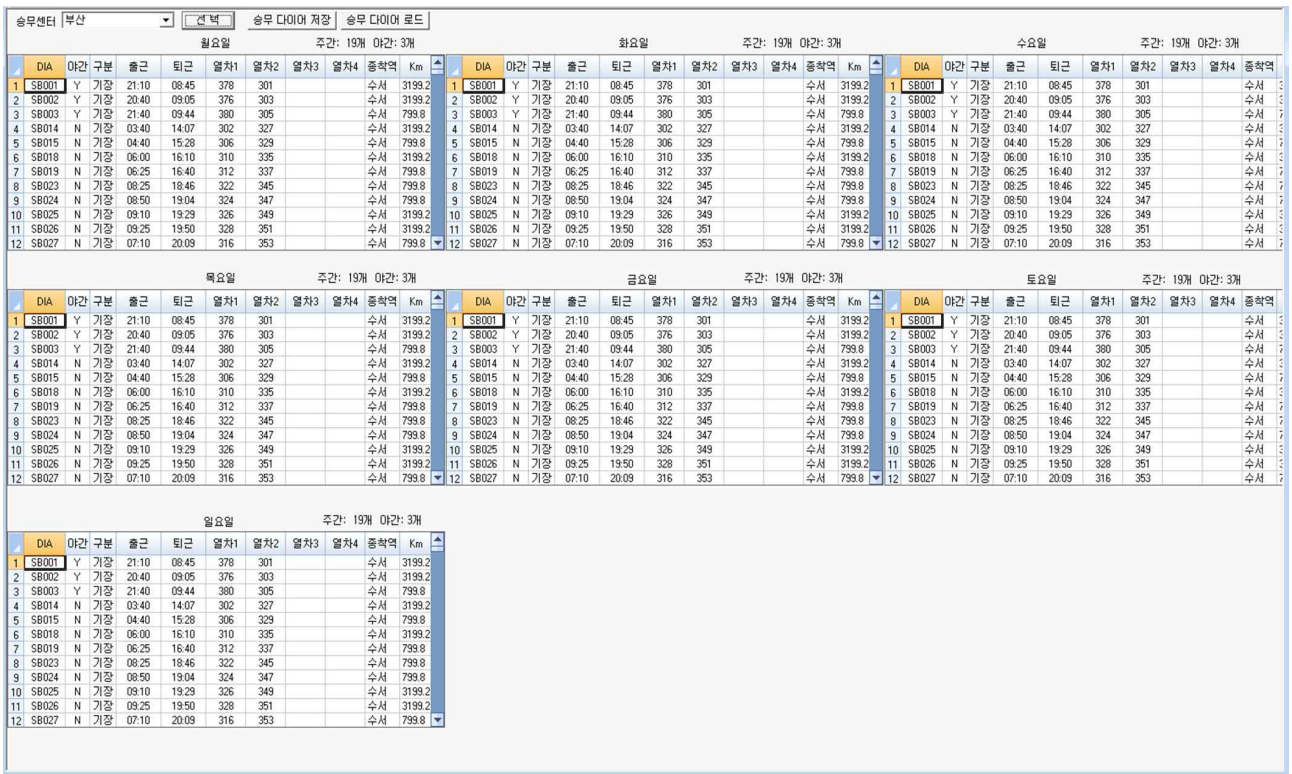


■ 승무다이아 작성 및 분석

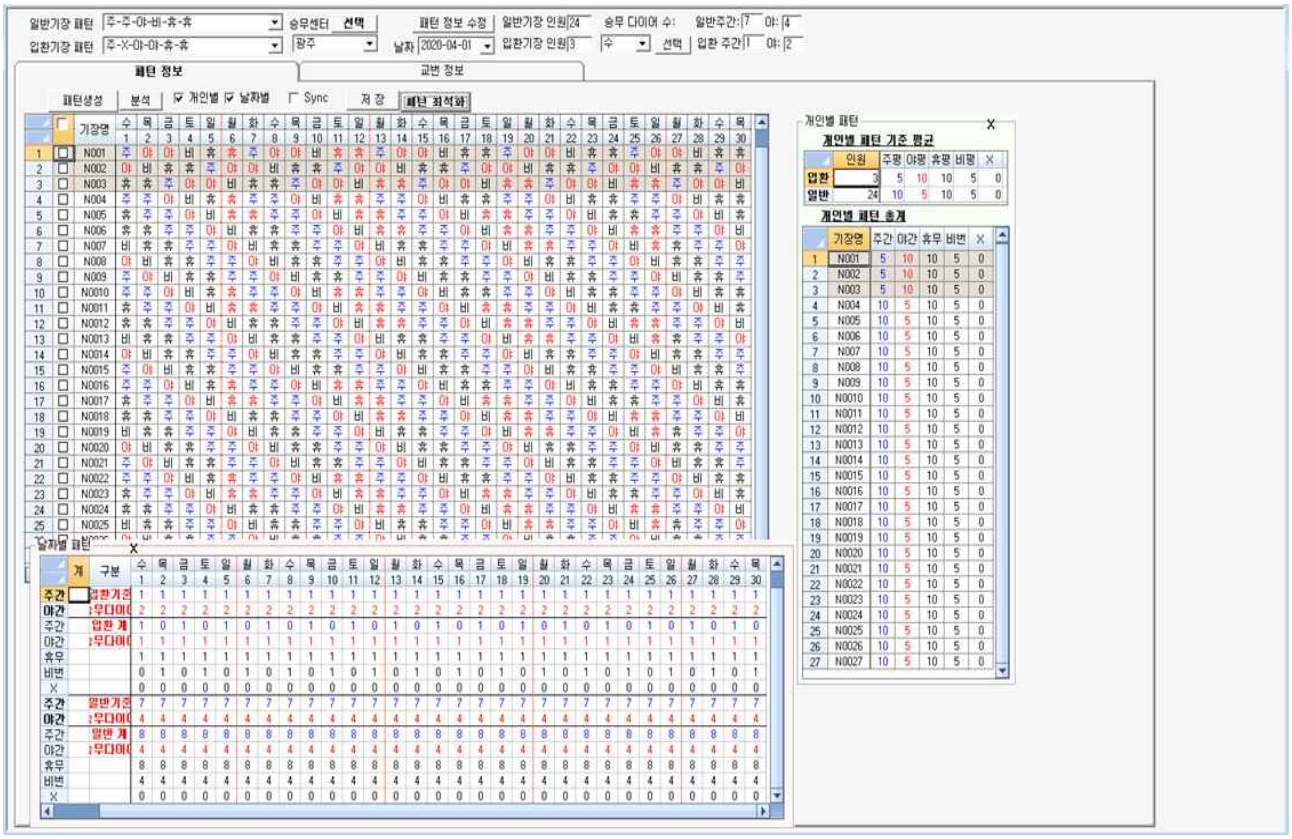




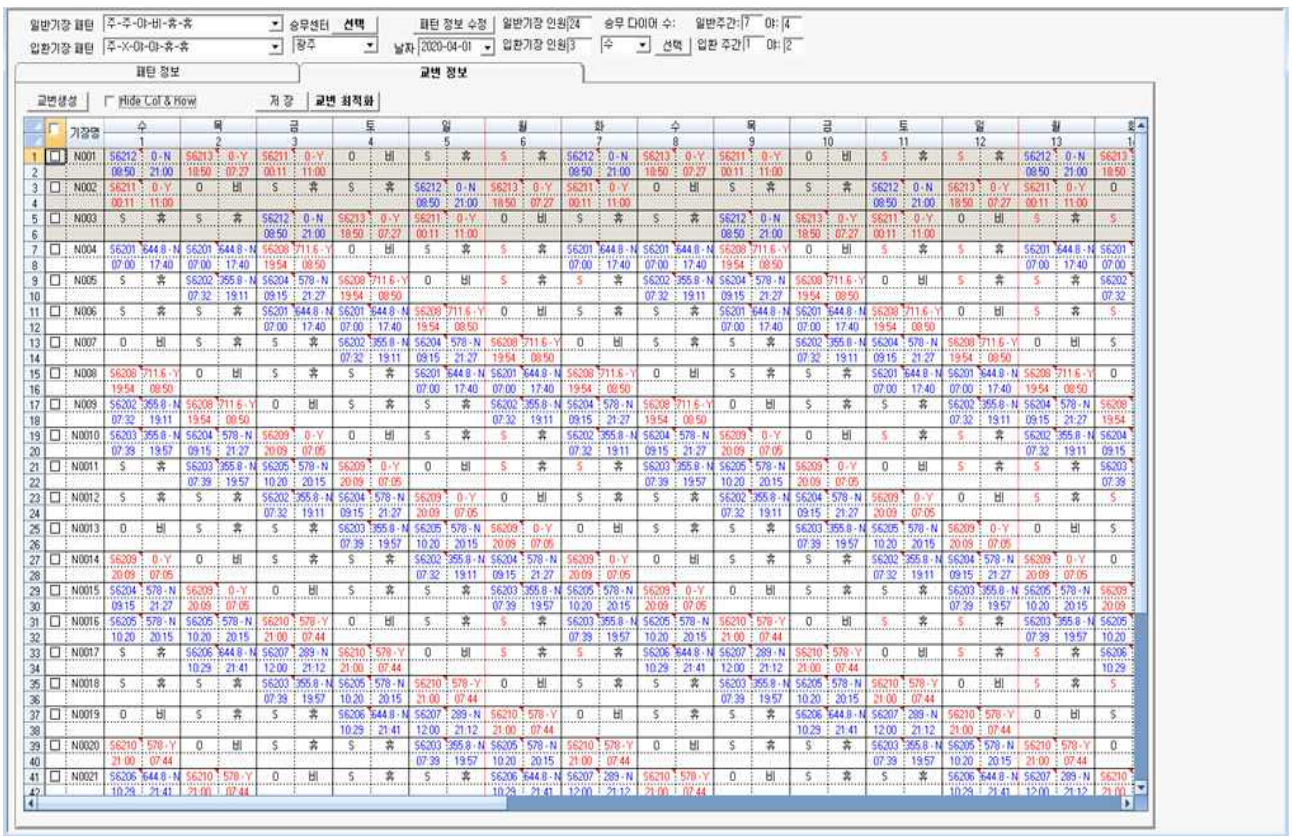
■ 요일별 승무다이아 작성



■ 승무교번 패턴정보 최적화



■ 승무교번 생성



■ 연구성과 관련 시스템 개발사업 수주 및 이행

발주처	사업 기간	사업 명	사업 금액
한국철도공사	2019년 10월 ~ 2020년 10월	승무계획시스템 구축 용역	₩ 803,056,910

■ 소프트웨어 저작권 등록

저작권명	창작일	등록일	등록 번호	저작권자명
승무사업계획 정보 기반 승무근무표 작성 프로그램	2019.10.21	2019.10.31	C-2019- 031047	㈜지오엔티
유전자알고리즘 기반 승무다이아 최적화 프로그램	2020.09.15	2020.11.04	C-2020- 039634	㈜지오엔티
유전자알고리즘 기반 승무근무교번 최적화 프로그램	2020.09.25	2020.11.04	C-2020- 039635	㈜지오엔티

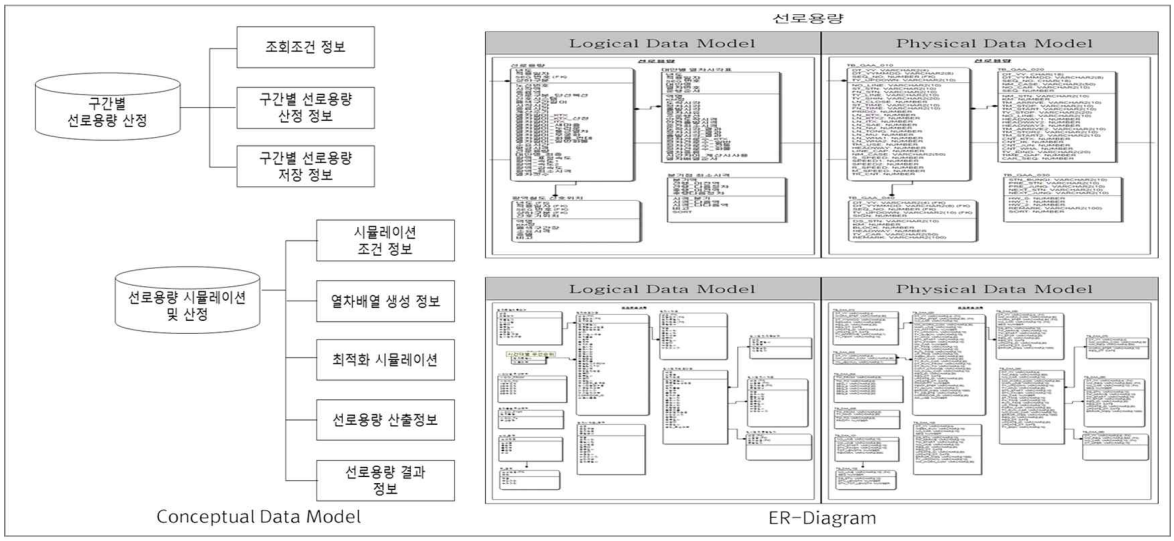
5) 선로용량 산정 기능 고도화 및 상용화 개발

가) 선로용량 산정 시스템 고도화 개발을 위한 기능 분석 및 설계

[핵심성과] J-1 선로용량 산정 시스템 고도화 설계서

- 선로용량 산정 시스템 고도화 개발을 위해 수요처의 요구사항 및 구간별 선로용량 산정정보 관리, 선로용량 시뮬레이션 및 결과 관리 등 기존 시스템에 대한 기능에 대하여 개선 요소를 분석하였으며 이를 시스템 설계서 내용에 반영하였음
- 수요처 요구사항 및 기존 시스템 개선사항 분석 내용을 바탕으로 선로용량 산정 시스템 고도화 개발을 위한 데이터 모델 설계의 기본요소인 Conceptual Data Model을 정의하였고 이에 따라 Database ER-Diagram을 설계하였음. 또한 Database ER-Diagram은 Logical Data Model과 Physical Data Model로 구분하여 작성하였고 각 Entity 항목별로 DB Table을 작성하였음
- 선로용량 산정 시스템에 대한 Conceptual Data Model 및 Database ER-Diagram(Logical Data Model, Physical Data Model) 설계는 구간별 선로용량 관리, 선로용량 조건 설정 및 대상열차 배열, 선로용량 시뮬레이션 및 결과 관리 부분으로 구분하여 설계하였고 Database ER-Diagram 설계 시 기존 시스템의 DB Table에 대하여 추가 및 변경, Table Key 및 Relation 구성을 보다 고도화 하여 설계하였음

ER-Diagram 설계(Logical Data Model, Physical Data Model)



데이터베이스 Table 정의서 설계

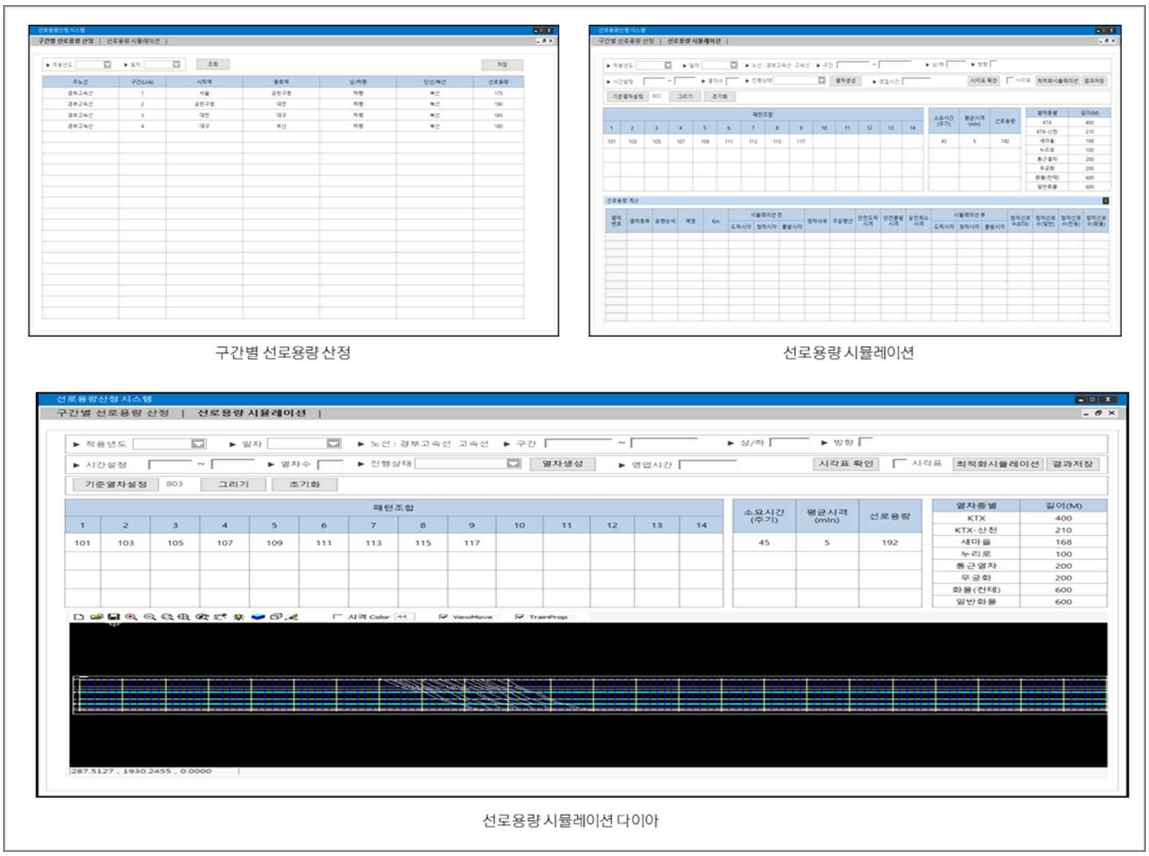
한글명	영문명	Description
노선정보	TB_AAA_010	노선정보 관리
노선별 역정보	TB_AAA_020	노선별 역정보(역 기본정보) 관리
열차종별등급	TB_AAA_030	열차종별 등급 및 열차구분 관리
표준운전시분	TB_AAA_003	해당 노선의 정차패턴별 역간 표준운행시분 관리

한글명	영문명	Description
선로용량	TB_GAA_010	노선별 선로구간(Link)별 선로용량 및 시뮬레이션 관리
열차시각표	TB_GAA_020	선로용량산정 시뮬레이션 시 열차시각정보 관리

한글명	영문명	Description
계획안 관리	TB_BAA_010	열차운행계획안 관리
열차번호대장	TB_DAA_020	계획안별 운행열차 관리
열차시각표	TB_DAA_030	열차별 열차시각표 정보 관리
광역열차 노선정보	TB_DAA_101	광역열차 운행노선 정보관리
광역열차 역정보	TB_DAA_102	광역열차 운행노선별 역정보 관리
광역열차 열차시각표	TB_DAA_103	광역열차 운행시각표 관리
임시열차 번호대장	TB_DAA_040	임시열차 번호대장 관리
임시열차 시각표	TB_DAA_050	임시열차의 열차시각표 관리

<그림 29 선로용량 산정 시스템 데이터베이스 고도화 설계>

- 선로용량 산정은 열차운행계획(열차다이아)에서 출력된 열차종별 열차시각표 정보 DB와 연계하여 열차배열 정보 생성을 위한 기초데이터로 활용하기 때문에 시스템 설계 시 정보 간 인터페이스 설계 요소를 정의하여 이를 반영하였음
- 선로용량 산정 시스템 고도화 개발을 위해 기존 시스템의 기능 점검사항과 데이터베이스 고도화 설계내용을 바탕으로 시스템 고도화 개발을 위한 기능 및 메뉴구성을 도출하였으며 선로용량 산정에 대한 시스템 활용을 고려하여 보다 고도화 된 화면 User Interface를 설계하였음
- 선로용량 산정 시스템 고도화 화면 UI 설계 시 메뉴구성은 기존 기능과 개선 기능을 고려하여 사용자가 선로용량 산정을 보다 효과적으로 수행할 수 있도록 프로세스 단순화에 따른 업무요소별 기능을 그룹화하여 화면 User Interface를 설계하였음



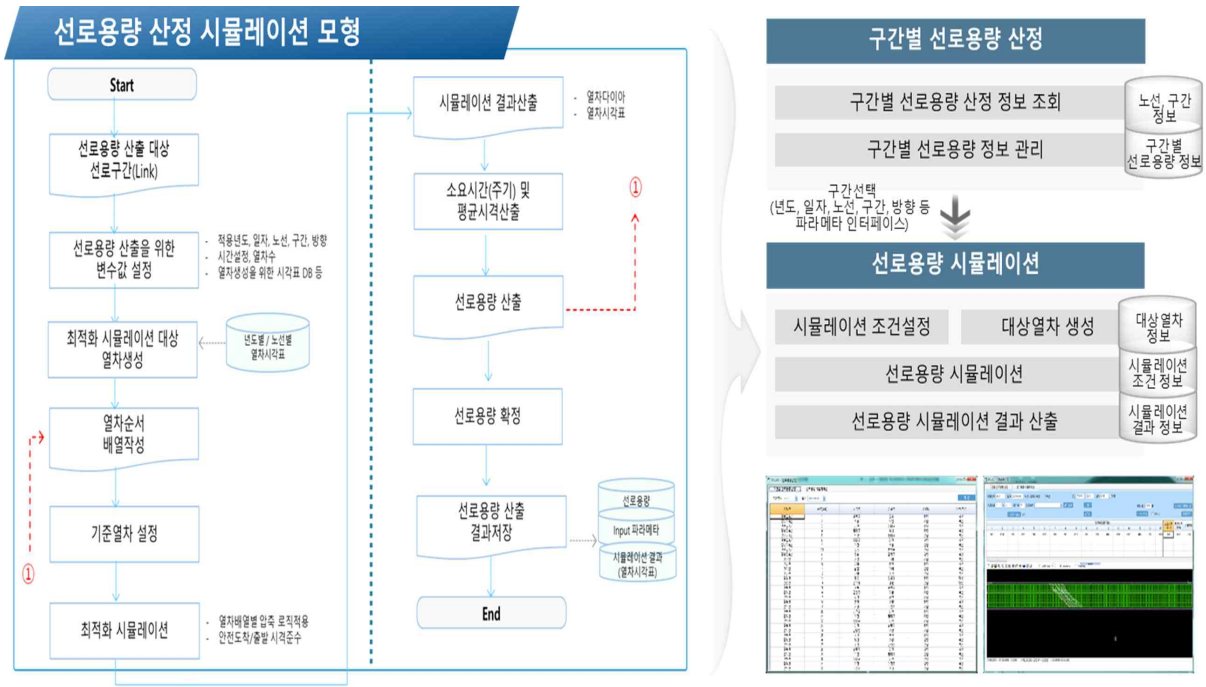
<그림 30 선로용량 산정 시스템 화면 UI 고도화 설계>

나) 선로용량 산정 시스템 기능 고도화 및 상용화 개발

[핵심성과] J-2 선로용량 산정 시스템 기능 고도화 및 상용화 모듈 구축
[핵심성과] J-3 사용자 매뉴얼(선로용량 산정 시스템)

- 선로용량 산정 기능 고도화 시스템은 기존시스템의 선로용량 산정 구간 및 대상열차 설정, 선로용량 시뮬레이션 등에 대한 기능을 보완 및 개선하였고 열차운영계획에서 설정한 열차종별 열차시각표를 바탕으로 설정된 열차패턴을 고려하여 직접 운행노선에서 실제 운행가능 한 열차배열 시나리오를 통한 평균시격을 실시간으로 구하여 최대 용량을 산출하도록 개발하였음
- 또한 열차종별 열차시각표 DB 정보를 활용하여 선로용량 계산을 위한 조건설정, 열차배열 정보생성, 열차도착 및 출발시격 최적화 시뮬레이션(열차배열 압축로직)을 수행하도록 함으로써 선로용량을 산출하도록 구현하였음
- 선로용량 산정 고도화 시스템은 크게 구간별 선로용량 산정정보 관리, 선로용량 시뮬레이션으로 구분됨. 구간별 선로용량 산정정보 관리는 선로용량 시뮬레이션에 의해 산출된 구간별 선로용량 결과를 사용자가 수정하고 관리할 수 있도록 하였으며 선로용량 시뮬레이션은 선로용량 시뮬레이션을 위한 조건설정 및 대상 열차배열 생성을 바탕으로 선로용량 시뮬레이션을 수행함으로써 결과를 산출할 수 있도록 구현하였음
- 선로용량 산정 고도화 시스템은 열차운행계획 정보를 기반으로 선로용량 산정을 위한 대상열차를 생성하고 이를 통해 시뮬레이션을 수행하는 방법이 적용되었음. 즉 선로용량 표본 Diagram Simulation을 활용한 평균최소시격 산출기법을 통해 선로용량을

산정하도록 구현하였음. 이 기법은 운행되는 열차패턴을 고려한 실용성을 우선으로 하며 직접 노선 등에서 운행 가능한 열차배열군의 조합을 통한 최적의 평균시격을 실시간으로 구할 수 있는 새로운 방식임



<그림 31 선로용량 산정 시스템 시뮬레이션 모형 및 시스템 구성>

- 선로용량 산정 시스템 단위업무별 기능 구성은 아래와 같음

<표 9 선로용량 산정 시스템 기능 구성>

단위업무	화면명	주요 기능
구간별 선로용량 정보 관리	구간별 선로용량	구간별 선로용량 산정 정보 조회
		구간별 선로용량 정보 저장
선로용량 산정	시뮬레이션 및 결과관리	선로용량 최적화 시뮬레이션 조건설정
		최적화 시뮬레이션 대상 열차배열 생성
		선로용량 최적화 시뮬레이션
		소요시간(주기) 및 평균시격 산출
		선로용량 산출 및 결과 저장

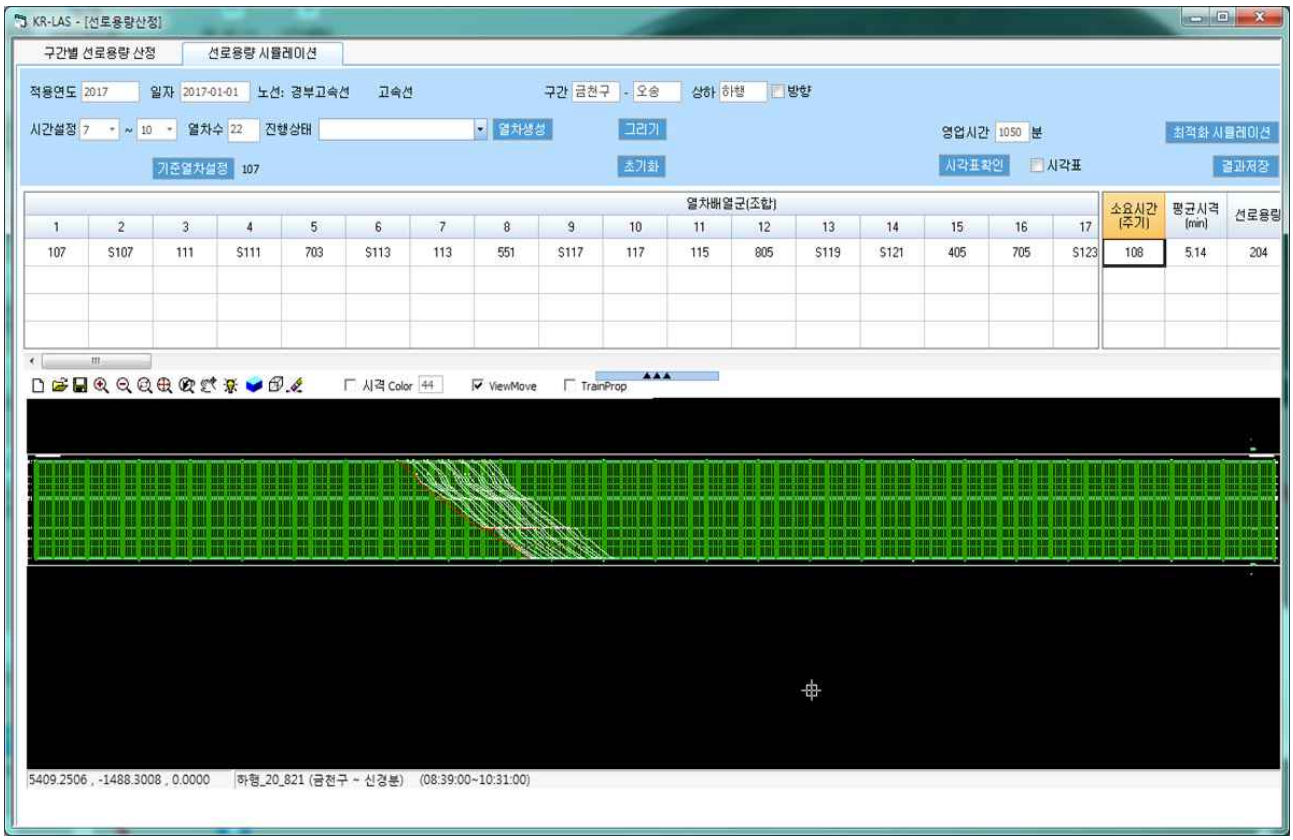
■ 선로용량 산정 시스템 개발 주요 화면

■ 구간별 선로용량 산정 관리



주노선	구간(Link)	시작역	종료역	상하행	단선/복선
경부고속선	1	금천구	오송	하행	복선
경부고속선	2	오송	대전	하행	복선
경부고속선	3	대전	동대구	하행	복선
경부고속선	4	동대구	부산	하행	복선
경부고속선	5	부산	동대구	상행	복선
경부고속선	6	동대구	대전	상행	복선
경부고속선	7	대전	오송	상행	복선
경부고속선	7.5	오송	평택분	상행	복선
경부고속선	8	오송	금천구	상행	복선
가야선	9	사상	가야	하행	복선
가야선	10	가야	범일	하행	복선
가야선	11	범일	가야	상행	복선
가야선	12	가야	사상	상행	복선
강경선	13	채운	연무대	하행	단선
강경선	14	연무대	채운	상행	단선
경부선	15	서울	금천구	하행	복선
경부선	16	금천구	의왕	하행	복선
경부선	17	의왕	천안	하행	복선
경부선	18	천안	서창	하행	복선
경부선	19	서창	대전조	하행	복선
경부선	20	대전조	대전	하행	복선
경부선	21	대전	동대구	하행	복선
경부선	22	동대구	미전	하행	복선
경부선	23	미전	삼랑진	하행	복선
경부선	24	삼랑진	사상	하행	복선
경부선	25	사상	부산	하행	복선
경부선	26	부산	사상	상행	복선
경부선	27	사상	삼랑진	상행	복선
경부선	28	삼랑진	미전	상행	복선
경부선	29	미전	동대구	상행	복선
경부선	30	동대구	대전	상행	복선
경부선	31	대전	대전조	상행	복선
경부선	32	대전조	서창	상행	복선

■ 선로용량 산정 시뮬레이션



■ 선로용량 산정 상세정보 조회



■ 소프트웨어 저작권 등록

저작권명	창작일	등록일	등록 번호	저작권자명
열차시각표 정보 기반 선로용량 시뮬레이션 프로그램	2020.07.24	2020.09.14	C-2020-031143	㈜지오엔티
선로용량산정을 위한 시뮬레이션 기초자료 생성 프로그램	2020.09.30	2020.12.11	C-2020-049301	㈜지오엔티

6) 통계 및 분석 기능 고도화 개발

가) 통계 및 분석 고도화 개발을 위한 기능 분석 및 설계

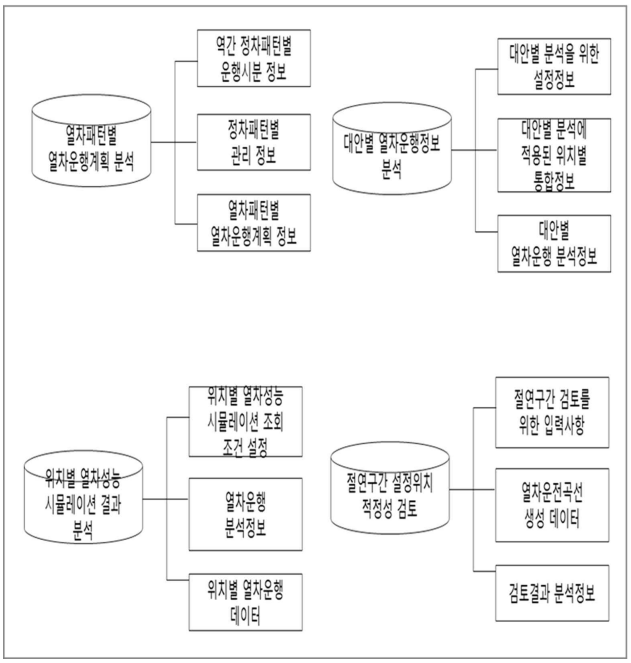
[핵심성과] J-1 통계/분석 시스템 고도화 설계서

- 통계 및 분석 시스템은 열차종별 역별 정차패턴에 따른 열차운행계획 분석, 대안별 열차운행계획 분석, 위치별 열차성능시뮬레이션 결과 분석, 절연구간 설정위치 적정성 검토 기능이 포함되기 때문에 열차운행계획(열차다이아) 및 열차성능시뮬레이션 시스템 DB와의 정보 인터페이스를 고려하여 시스템 설계서를 작성하였음
- 통계/분석과 관련하여 수요처의 요구사항 항목인 역간 운행시분 분석, 열차운행계획 비교분석, 열차운행 시간 및 속도 분석, 중련열차 편성정보 분석, 역별 정차내역 분석 등은 열차운행계획(열차다이아) 시스템 내의 분석기능으로서 구현하였고 이와는 별도

로 통계 및 분석 시스템에서는 열차운행계획 및 열차성능시뮬레이션 분석, 철도건설 지원 정보 제공을 위한 절연구간 검토 기능 개발 등 철도운영 및 계획을 위해 가장 핵심적으로 필요한 요소를 도출하여 DB 설계서에 반영하였음

- 통계 및 분석 시스템 고도화 개발을 위한 데이터 모델 설계의 기본요소인 Conceptual Data Model을 정의하였고 이에 따라 Database ER-Diagram을 설계하였음. 또한 Database ER-Diagram은 Logical Data Model과 Physical Data Model로 구분하여 작성하였고 각 Entity 항목별로 DB Table을 작성하였음

Conceptual Data Model 설계



데이터베이스 Table 정의서 설계

한글명	영문명	Description
곡선 데이터	TB_BAA_010	곡선 정보 등록 및 관리
기울기 데이터	TB_BAA_020	기울기 정보 등록 및 관리
터널 데이터	TB_BAA_030	터널 정보 등록 및 관리
교량 데이터	TB_BAA_040	교량 정보 등록 및 관리
고가 데이터	TB_BAA_050	고가 정보 등록 및 관리
건널목 데이타	TB_BAA_060	건널목 정보 등록 및 관리

한글명	영문명	Description
동력차견인력	TB_AAA_020	동력차 견인력 범위를 등록 및 관리
하기울기제한속도	TB_AAA_030	구배별 제한속도를 등록 및 관리
곡선반경설정	TB_AAA_040	곡선반경의 범위를 등록 및 관리
곡선제한속도	TB_AAA_050	구간시발역, 구간종착역, 곡선제한속도데이터 등록 및 관리
분기기제한속도	TB_AAA_060	분기기종류, 철차번호, 제한속도데이터 등록 및 관리

한글명	영문명	Description
역정보	TB_BCA_030	역 상세정보 관리
분기역	TB_BCA_040	분기역에 관한 정보 관리
역선로	TB_BCA_050	역선로에 관한 정보 관리
역운전 취급선로	TB_BCA_060	진입,진출분기기에 관한 정보 관리
역통과속도	TB_BCA_070	역통과속도에 관한 정보 관리

한글명	영문명	Description
특수구간 제한속도	TB_BAE_010	시점, 종점, 제한 속도데이터 등록 및 관리
선로최고속도	TB_BAE_020	구간시발역, 구간종착역, 열차별 최고속도데이터 등록 및 관리

<그림 32 통계 및 분석 시스템 데이터베이스 고도화 설계>

- 통계 및 분석 시스템은 열차운행계획 분석, 열차주행 성능분석 등 수요처에서 열차운행계획시스템을 통해 철도운영 및 건설지원에서 가장 필요하다고 생각되는 분석정보 요소를 도출하여 DB 및 인터페이스 설계에 반영하였음
- 통계 및 분석 기능요소 정의 및 데이터베이스 설계내용을 바탕으로 시스템 고도화 개발을 위한 기능 및 메뉴구성을 도출하였고 사용자의 활용성을 고려하여 화면 User Interface를 설계하였음
- 열차패턴별 열차운행계획 분석은 역간 정차패턴별 운행시분, 정차패턴별 정보 관리, 열차운행계획 분석 등으로 구성되고 대안별 열차운행분석은 대안별 설정정보 및 통합정보에 따른 열차운행계획 분석으로 구성되도록 화면 User Interface를 설계하였음
- 위치별 열차성능시뮬레이션 결과 분석은 조회조건 설정 및 위치별 결과정보 조회 기능으로 구성되고 절연구간 설정위치 적정성 검토는 검토 입력사항에 따른 열차운전곡선 데이터 생성, 검토결과 분석으로 구성되도록 화면 User Interface를 설계하였음



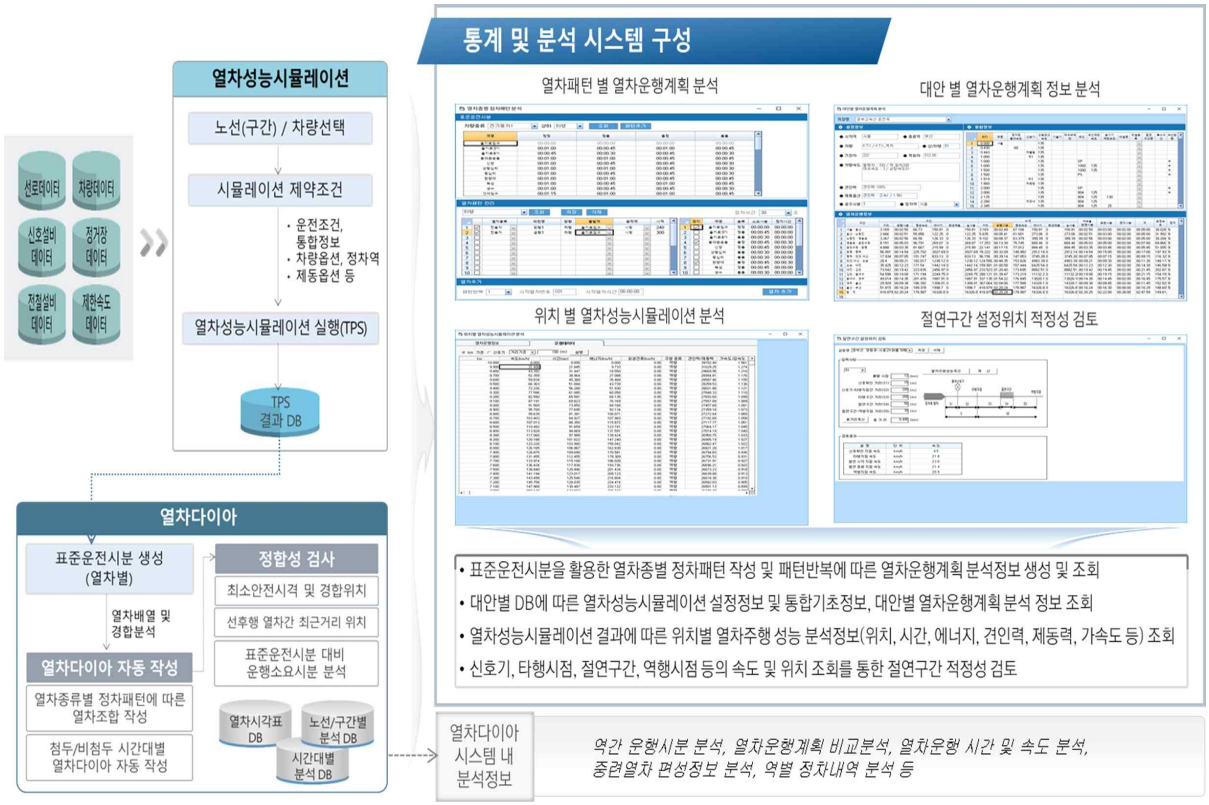
<그림 33 통계 및 분석 시스템 화면 UI 고도화 설계>

나) 통계 및 분석 시스템 기능 고도화 개발

[핵심성과] J-2 통계 및 분석 기능 고도화 모듈 구축
[핵심성과] J-3 사용자 매뉴얼(통계/분석 시스템)

- 통계 및 분석 시스템은 열차종별 역별 정차패턴에 따른 열차운행계획 분석, 대안별 열차운행계획 분석, 위치별 열차성능시뮬레이션 결과 분석, 절연구간 설정위치 적정성 검토 기능을 제공하도록 하여 열차성능시뮬레이션 및 열차운행계획 분석 등 열차운행계획에서 핵심적으로 필요한 데이터 분석 기능을 구현하였음
- 열차패턴별 열차운행계획 분석은 열차성능시뮬레이션에 의해 생성된 표준운전시분을 활용하여 열차종별 운행패턴(정차패턴)별로 패턴 조합을 작성하고 패턴반복에 의해 반복횟수 만큼 열차시각표를 생성하여 열차운행계획 분석정보를 출력하도록 기능을 구현하였음
- 대안별 열차운행계획 분석은 열차성능시뮬레이션 결과 데이터 DB를 기반으로 대안별 시뮬레이션에 적용된 설정정보(역정보, 차량정보, 차량속도, 견인력, 제동옵션, 공주시분, 정차역 등) 및 통합정보(위치별 선형정보 및 기초데이터)를 조회 할 수 있도록 구현하였으며 이러한 데이터가 반영된 구간별 열차주행 성능분석 정보를 동시에 조회할 수 있도록 구현하였음
- 위치별 열차성능시뮬레이션 결과 분석은 열차성능시뮬레이션에 의해 분석된 역간 운행시분 및 평균속도, 에너지 소모량 정보 등을 조회할 수 있으며 위치표시 기준 및 거리기준 설정에 따라 위치별 열차주행 성능분석 정보(위치, 시간, 에너지, 회생전류, 견인력/제동력, 가속도/감속도)를 조회할 수 있도록 구현하였음

- 절연구간 설정위치 검토는 검토하려는 구간의 선로조건(구배/곡선 등)을 반영하여 열차운전곡선을 실행하고 신호기, 타행시점, 절연구간, 역행시점 등의 속도 및 위치를 확인함으로써 절연구간의 적정성에 대한 검토를 지원할 수 있는 기능을 구현하였음



<그림 34 통계 및 분석 시스템 주요 기능>

- 통계 및 분석 시스템 단위업무별 기능 구성은 아래와 같음

<표 10 통계/분석 시스템 기능 구성>

단위업무	화면명	주요 기능
열차운행계획 분석	열차패턴별 열차운행계획 분석	열차종별 역별 정차패턴에 따른 열차운행계획 분석정보 조회
열차성능 시뮬레이션 분석	대안별 열차운행계획 정보 분석	대안별 열차운행계획 분석 정보 조회 (대안별 설정정보, 위치별 통합정보, 열차운행 분석 정보)
	위치별 열차성능시뮬레이션 결과 분석	열차성능시뮬레이션에 따른 열차운행정보 및 위치별 분석데이터 정보 조회
절연구간 검토	절연구간 설정위치 적정성 검토	절연구간 설정위치 검토를 위한 입력사항 관리 및 검토결과 조회

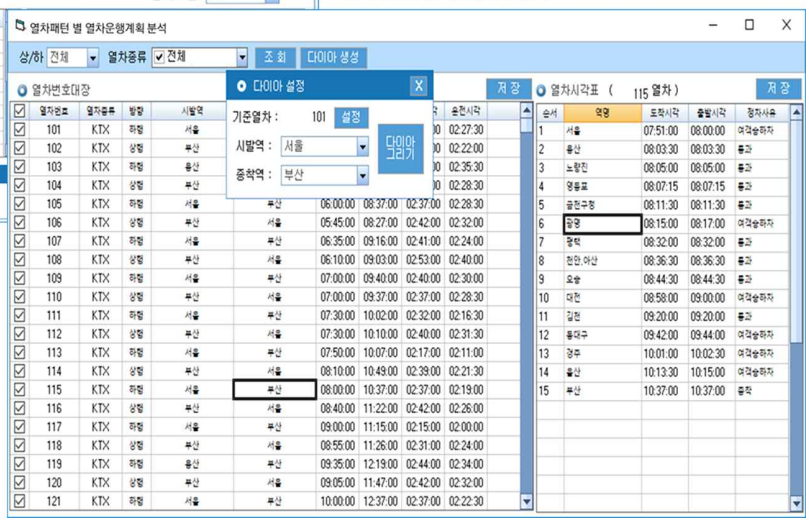
■ 통계/분석 시스템 개발 주요 화면

■ 열차패턴별 열차운행계획 분석

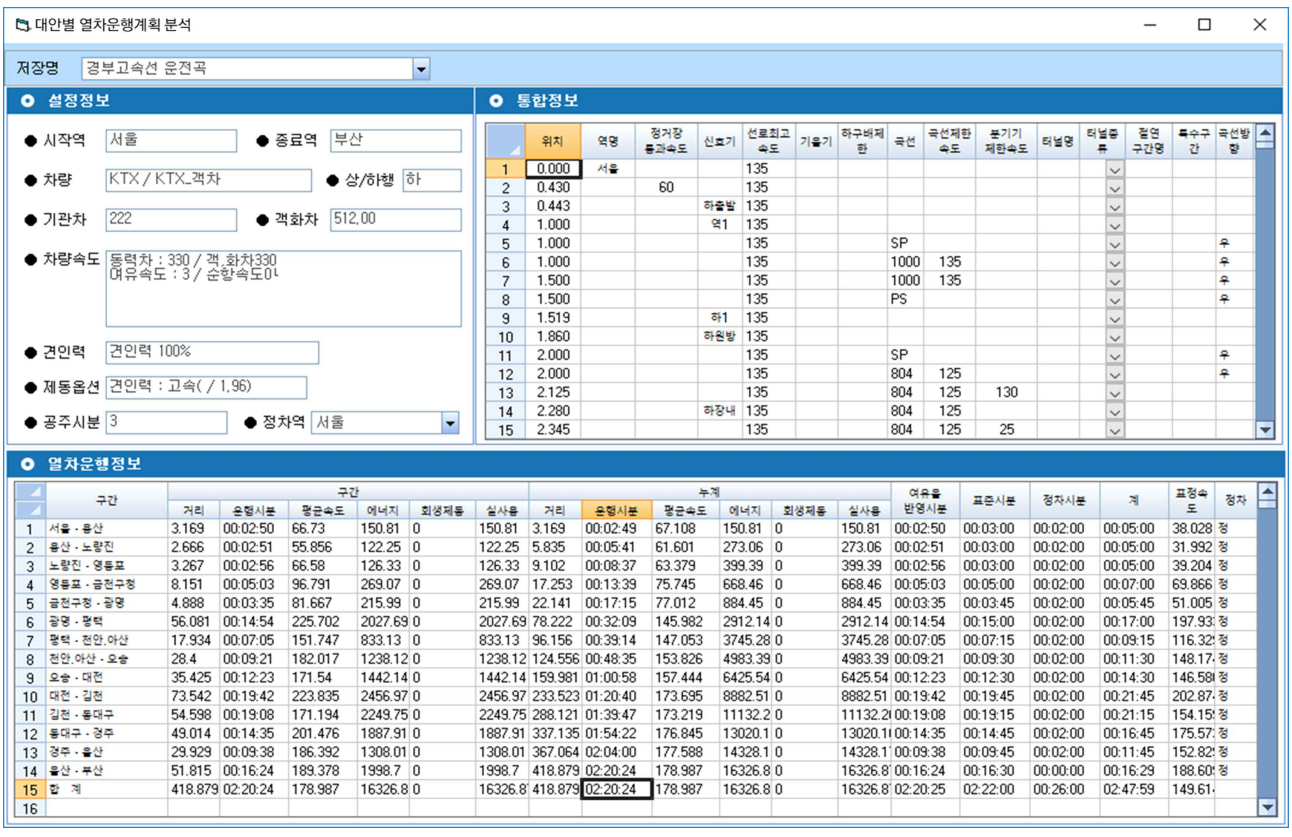
열차종별 정차패턴 분석



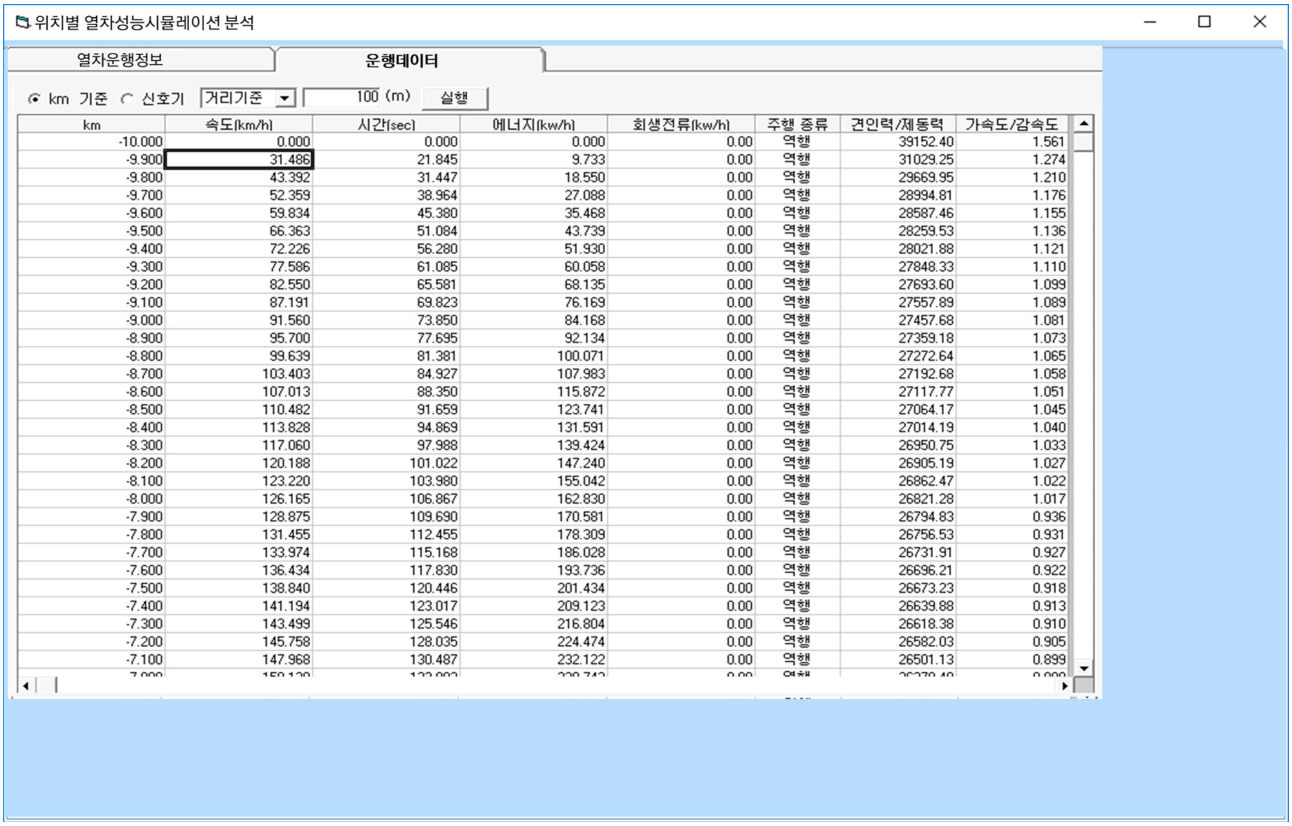
열차패턴별 열차운행계획 분석



■ 대안별 열차운행계획 정보 분석



■ 위치별 열차성능시뮬레이션 분석

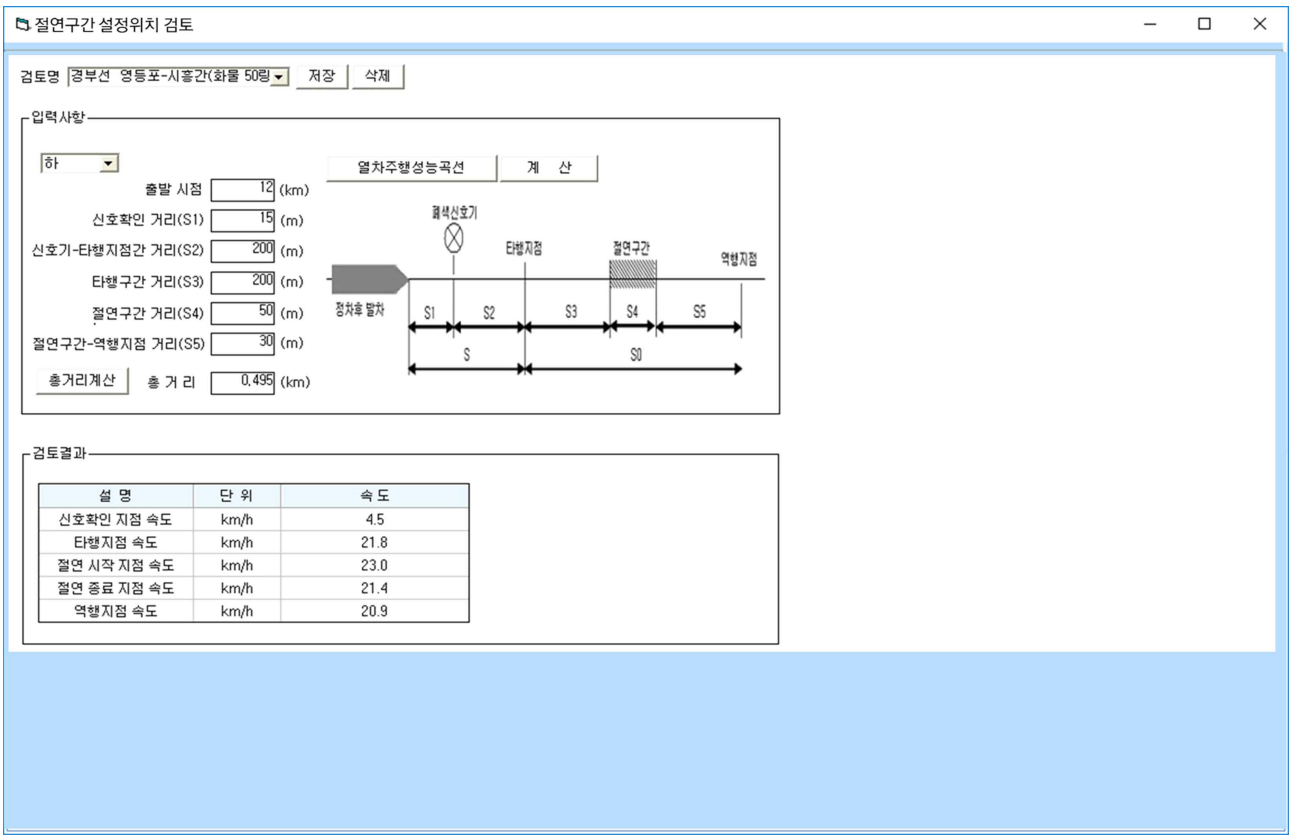

위치별 열차성능시뮬레이션 분석

열차운행정보 | 운행데이터

km 기준 / 신호기 | 거리기준 | 100 (m) | 실행

km	속도(km/h)	시간(sec)	에너지(kw/h)	회생전류(kw/h)	주행 종류	견인력/제동력	가속도/감속도
-10.000	0.000	0.000	0.000	0.00	역행	39152.40	1.561
-9.900	31.486	21.845	9.733	0.00	역행	31029.25	1.274
-9.800	43.392	31.447	18.550	0.00	역행	29669.95	1.210
-9.700	52.359	38.964	27.088	0.00	역행	28994.81	1.176
-9.600	59.834	45.380	35.468	0.00	역행	28587.46	1.155
-9.500	66.363	51.084	43.739	0.00	역행	28259.53	1.136
-9.400	72.226	56.280	51.930	0.00	역행	28021.88	1.121
-9.300	77.586	61.085	60.058	0.00	역행	27848.33	1.110
-9.200	82.550	65.581	68.135	0.00	역행	27693.60	1.099
-9.100	87.191	69.823	76.169	0.00	역행	27557.89	1.089
-9.000	91.560	73.850	84.168	0.00	역행	27457.68	1.081
-8.900	95.700	77.695	92.134	0.00	역행	27359.18	1.073
-8.800	99.639	81.381	100.071	0.00	역행	27272.64	1.065
-8.700	103.403	84.927	107.983	0.00	역행	27192.68	1.058
-8.600	107.013	88.350	115.872	0.00	역행	27117.77	1.051
-8.500	110.482	91.659	123.741	0.00	역행	27064.17	1.045
-8.400	113.828	94.869	131.591	0.00	역행	27014.19	1.040
-8.300	117.060	97.988	139.424	0.00	역행	26950.75	1.033
-8.200	120.188	101.022	147.240	0.00	역행	26905.19	1.027
-8.100	123.220	103.980	155.042	0.00	역행	26862.47	1.022
-8.000	126.165	106.867	162.830	0.00	역행	26821.28	1.017
-7.900	128.875	109.690	170.581	0.00	역행	26794.83	0.936
-7.800	131.455	112.455	178.309	0.00	역행	26756.53	0.931
-7.700	133.974	115.168	186.028	0.00	역행	26731.91	0.927
-7.600	136.434	117.830	193.736	0.00	역행	26696.21	0.922
-7.500	138.840	120.446	201.434	0.00	역행	26673.23	0.918
-7.400	141.194	123.017	209.123	0.00	역행	26639.88	0.913
-7.300	143.499	125.546	216.804	0.00	역행	26618.38	0.910
-7.200	145.758	128.035	224.474	0.00	역행	26582.03	0.905
-7.100	147.968	130.487	232.122	0.00	역행	26501.13	0.899

■ 절연구간 설정위치 적정성 검토



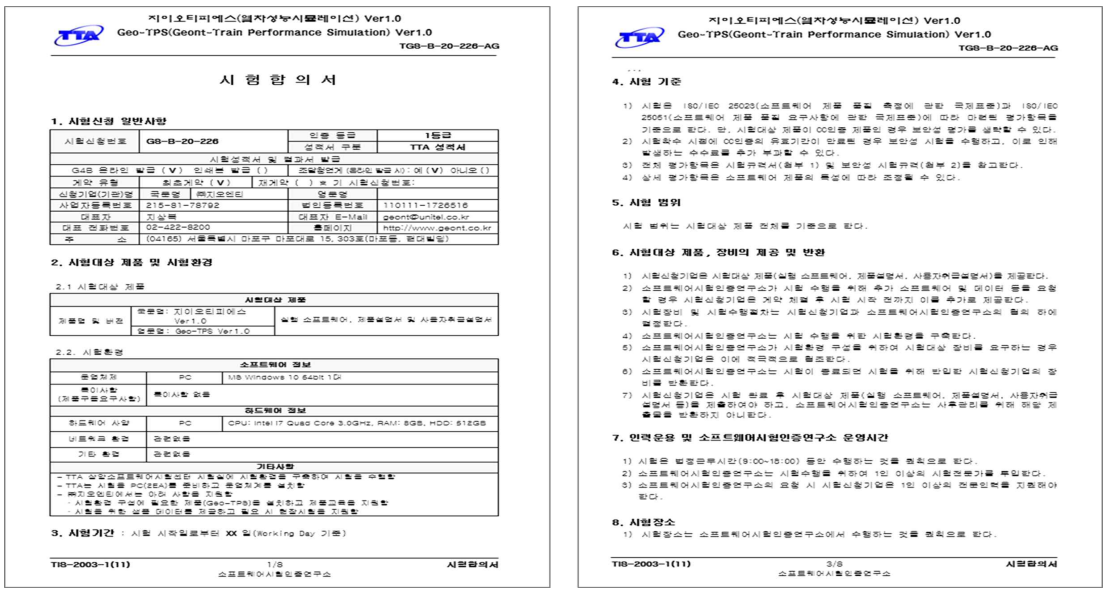
7) 공인인증기관을 통한 열차운행계획 핵심모듈의 품질인증

가) 소프트웨어 품질인증(GS 인증) 제도 개요

- 소프트웨어 품질인증(GS 인증) 제도는 소프트웨어 품질 경쟁력 향상 및 유통 활성화를 위해 2001년도부터 시행된 제도로서, 문서심사만으로 인증을 부여하는 타 인증제도와는 달리 실제 운영환경과 유사한 시험환경에서 체계적인 시험 평가를 통해 소프트웨어 제품의 품질을 인증하는 제도임
- 소프트웨어 품질인증(GS 인증) 제도의 목적은 소프트웨어 시험·인증을 통한 소프트웨어 제품의 품질향상 유도 및 중소기업 육성지원, 우수 소프트웨어 발굴 및 국내 소프트웨어 시장 활성화 유도, 국제적 수준의 시험·인증 절차 수행을 통한 국산 소프트웨어의 해외 수출 경쟁력 강화를 위해 시행되고 있음

나) 소프트웨어 시험 및 인증 대상

- 본 연구를 통해 개발한 열차운행계획 상용화 시스템 중 핵심모듈인 열차성능시뮬레이션 시스템에 대하여 소프트웨어 품질 공인인증기관인 한국정보통신기술협회(TTA)로부터 소프트웨어 품질특성 기준인 기능 적합성, 성능 효율성, 호환성, 사용성, 신뢰성, 유지보수성, 이식성에 대한 시험 및 평가를 통해 개발 성과품에 대한 완성도 및 품질을 인증받았음
- 아래는 소프트웨어 시험 및 품질평가를 받을 연구 성과품 대상에 대하여 한국정보통신기술협회(TTA)와 시험대상 및 시험환경 등에 대하여 합의한 내용을 기재한 사항임



지이오티피에스(열차성능시뮬레이션) Ver1.0
Geo-TPS(Geont-Train Performance Simulation) Ver1.0
TG8-B-20-226-AG

시 험 합 의 서

1. 사험신청 일반사항

시험신청번호	G8-B-20-226	인증 등급	1등급
		성적서 구분	TTA 성적서
시험성적서 및 결과서 발급			
G4용 인증 발급 (V) 인	부분 발급 ( )	조달등록서 (중소기업용 A) : 예 (V) 아니오 ( )	
계약 유형	최초계약 (V)	재계약 ( ) 또 기 시험신청번호:	
신청기업(기관)명	국문명 ㈜지오엔터	영문명	
사업자등록번호	215-81-78792	법인등록번호	110111-1726516
대표자	지상룡	대표자 E-Mail	geont@unitel.co.kr
대표 전화번호	02-422-8200	홈페이지	http://www.geont.co.kr
주 소	(04165) 서울특별시 마포구 마포대로 15, 303호(마포동, 경더빌딩)		

2. 사험대상 제품 및 사험환경

2.1 시험대상 제품

시험대상 제품		
제품명 및 버전	제품명: 지이오티피에스 Ver1.0 업로명: Geo-TPS Ver1.0	실행 소프트웨어, 제품설명서 및 사용자추출설명서

2.2. 시험환경

소프트웨어 정보		
운영체제	PC	MS Windows 10 64bit 1Cr
특이사항 (제품구동요구사항)	특이사항 없음	
하드웨어 정보		
하드웨어 사양	PC	CPU: Intel i7 Quad Core 3.0GHz, RAM: 8GB, HDD: 512GB
네트워크 환경	관련없음	
기타 환경	관련없음	
기타사항		

- TTA 성능소프트웨어시험장은 시험실에 시험환경을 구축하여 시험을 수행함
- TTA는 시험용 PC(또는 서버)를 준비하고 운영체제를 설치함
- 개발업체에서는 아래 사항을 지원함
  - 시험환경 구성에 필요한 자료(Geo-TPS)를 설치하고 제품교육을 지원함
  - 시험을 위한 샘플 데이터를 제공하고 필요 시 현장시험을 지원함

3. 사험기간 : 시험 시작일로부터 XX 일(Working Day 기준)

TIS-2003-1(11) 1/8 시험합의서
소프트웨어시험인증연구소

지이오티피에스(열차성능시뮬레이션) Ver1.0
Geo-TPS(Geont-Train Performance Simulation) Ver1.0
TG8-B-20-226-AG

4. 사험 기준

1) 시험은 ISO/IEC 25023(소프트웨어 제품 품질 측정에 관한 국제표준)과 ISO/IEC 25051(소프트웨어 제품 품질 요구사항에 관한 국제표준)에 따라 다음의 평가항목을 기준으로 함. 단, 시험대상 제품이 OS등을 제품의 경우 보안성 평가를 생략할 수 있다.
2) 시험장소 시설이 OS인증의 유효기간이 만료된 경우 보안성 시험을 수행하고, 이로 인해 발생하는 수수료를 추가 부과할 수 있다.
3) 전체 평가항목은 시험규격서(첨부 1) 및 보안성 시험규격(첨부 2)을 참고한다.
4) 상세 평가항목은 소프트웨어 제품의 특성에 따라 조정될 수 있다.

5. 사험 범위

시험 범위는 시험대상 제품 전체를 기준으로 한다.

6. 사험대상 제품, 장비의 제공 및 반환

1) 시험신청기업은 시험대상 제품(실행 소프트웨어, 제품설명서, 사용자추출설명서)를 제공한다.
2) 소프트웨어시험인증연구소가 시험 수행을 위한 추가 소프트웨어 및 데이터 등을 요청할 경우 시험신청기업은 계약 체결 후 시험 시작 전까지 이를 추가로 제공한다.
3) 시험장비 및 시험수행절차는 시험신청기업과 소프트웨어시험인증연구소의 협의 하에 결정한다.
4) 소프트웨어시험인증연구소는 시험 수행을 위한 시험환경을 구축한다.
5) 소프트웨어시험인증연구소가 시험환경 구성을 위하여 시험대상 장비를 요구하는 경우 시험신청기업은 이에 적극적으로 협조한다.
6) 소프트웨어시험인증연구소는 시험이 종료되면 시험을 위해 반입한 시험신청기업의 장비를 반환한다.
7) 시험신청기업은 시험 종료 후 시험대상 제품(실행 소프트웨어, 제품설명서, 사용자추출설명서 등)를 제출하여야 하고, 소프트웨어시험인증연구소는 사후관리를 위한 어떤 제품들을 반환하지 아니한다.

7. 안력운용 및 소프트웨어시험인증연구소 운영시간

1) 시험은 법정근무시간(9:00~18:00) 동안 수행하는 것을 원칙으로 한다.
2) 소프트웨어시험인증연구소는 시험수행을 위하여 1인 이상의 시험전문가를 투입한다.
3) 소프트웨어시험인증연구소의 요청 시 시험신청기업은 1인 이상의 전문인력을 지원하여야 한다.

8. 사험장소

1) 시험장소는 소프트웨어시험인증연구소에서 수행하는 것을 원칙으로 한다.

TIS-2003-1(11) 3/8 시험합의서
소프트웨어시험인증연구소

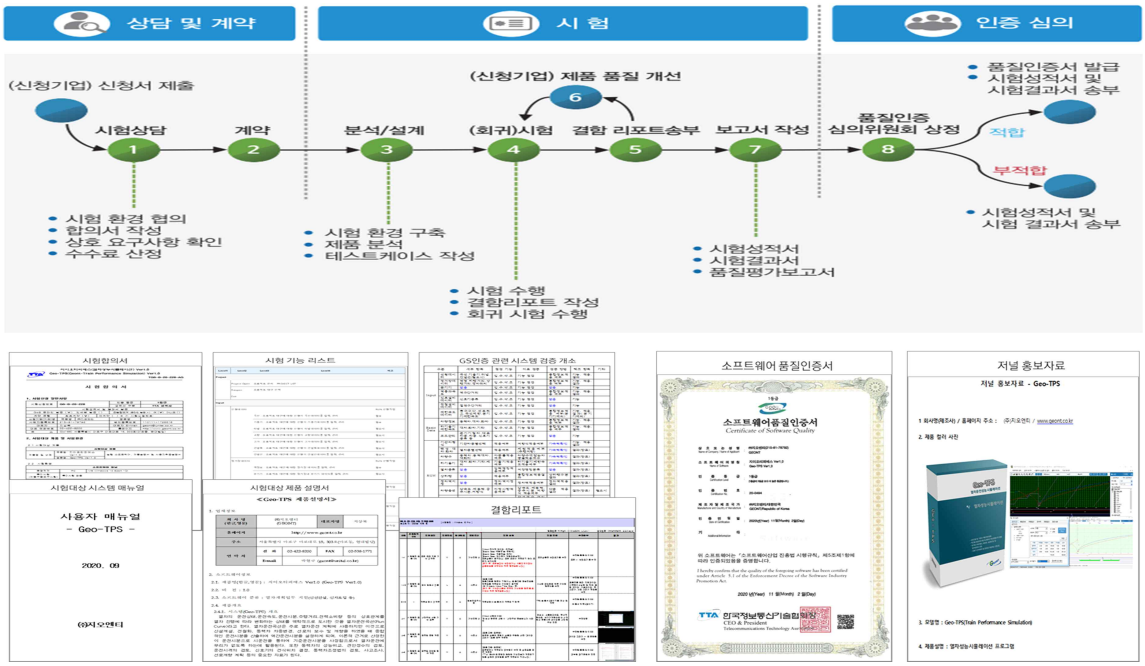
<그림 35 소프트웨어 품질평가를 위한 시험합의서>

다) 소프트웨어 시험 및 인증 절차

- 소프트웨어 시험 및 인증 절차로서 소프트웨어 품질 공인 인증기관(한국정보통신기술협회, TTA)에서 열차운행계획 핵심모듈(열차성능시뮬레이션 시스템)에 대하여 유형별 테스트케이스에 따라 시험을 진행하였고, 발견된 결함에 대해서는 결함리포트를

기준으로 연구 수행기관에서 시스템 보완을 완료한 후 인증기관이 회기시험을 진행하였음

- 또한 인증기관에서 시스템에 대한 품질을 종합적으로 평가한 후 인증심의위원회의 인증여부 결정을 통해 소프트웨어 품질을 공식적으로 인증하였음
- 아래는 소프트웨어 시험 및 인증 절차에 따라 수행한 주요활동 및 내용임



<그림 36 소프트웨어 시험 및 인증절차에 따른 주요활동>

라) 소프트웨어 품질인증서 획득

[핵심성과] L-1 소프트웨어 품질인증서 획득(시험성적서 포함)



<그림 37 소프트웨어 품질인증서(GS 인증, 1등급) 획득>

8) 열차운행계획 시스템 운영 현황 및 사전 요구사항 분석

[추가성과] 철도운영기관의 기 운용시스템 관련모듈(차량/승무계획) 분석

가) 철도운영기관의 기 운영시스템(차량/승무) 분석

① 철도운영기관의 기 운영 중인 차량운영시스템 관련모듈 기능 분석

■ 철도운영기관의 차량운용계획 수립 업무 분석(코레일)

- 열차운행체계 반영을 통한 차량운용계획 검토
  - 열차운행계획(안) 반영한 차량소요량 검토
  - 수송수요 분석을 통한 동력차 소요량 검토
  - 업무담당자별 업무일정 확정 및 업무추진 과정에서 나타난 문제점 검토
  - 통합정보시스템 임시개정면에서 시뮬레이션 시행
  - 통합정보시스템 개정면에 백업시행
  - 차량운용계획 시스템 확정
- 주요 시종착역(조성역포함) 차량운용 검토
  - 조성역의 차량운용 및 승무사업 확인
  - 전기차량 운용에 따른 본선, 측선, 검수고 전차선 설치여부 검토
  - 동력차 방향전환에 필요한 전차대 설치 여부검토
  - 동력차 입고 시 예열 등 시설물 검토
  - 차량운용 확정 및 열차운행체계 개편에 반영
- 내구연한 도래를 반영한 열차종별, 차종별 운용계획 수립
  - 일반객차 운용계획에 의한 동력차 운용계획 수립
- 설/추석/하계 대수송기간 중 임시열차 추가운행 검토
  - 수송수요 예측에 따른 임시열차 운행계획 검토
  - 임시열차 설정 시 차량운용상 문제점 등을 고려한 대수송계획 수정
  - 이용 가능한 장비 활용으로 수송수요에 대응
  - 차량운영계획 시스템 적용

■ 철도운영기관 차량운영계획 시스템 분석내용

- 열차운행계획과 다양한 제약조건을 바탕으로 복수의 계획안을 작성하여 차량종류별(동력차/객차/고속/전동차) 차량운용계획 수립
- 차량운용DIA 작성 및 편집, 순서지정을 통해 실행 차량운용 결정
- 계획 구분은 기본 · 변경 · 임시계획으로 열차운행계획과 동일
- 복수안 작성 시뮬레이션을 통한 최적(안) 도출

- 회송열차 운행시각표 생성 → 열차운행계획시스템으로 역전송 반영
- 차량운용행로표 및 차량운용실동표를 생성하여 승무계획 · 예약발매 · 운행관리 시스템으로 정보 연계
- 차량운영계획 시스템 주요기능 분석
  - 차종/조성유형 등록, 수정 및 삭제
  - 기본차량다이아 일괄 작성 및 편집
  - 운용순서 편집
  - 변경/임시차량운용다이아 작성 및 편집
  - 전동차 개정면 통합승인
  - 기본/변경/임시를 기준으로 한 일자별 차량운용 발췌
  - 정합성 체크로 계획 오류를 최소화
- 차량운영계획 시스템 개선 필요항목 분석
  - 기본정보 관리 : 차종관리에서 필요속성 항목정의(차량코드, 차량명, 차량구분, 보유차량 수, 좌석수, 장애인 좌석수, 최고속도 등), 조성유형 필요속성 세부정의
  - 기본 차량운용계획 : 차량다이아 수정 및 편집, 차량다이아 출력 양식, 운용순서 편집
  - 특별 차량운용계획 : 임시차량운용계획(중련편성의 단편성 변경처리), 차량계획 운휴 처리
  - 조정 차량운용계획 : 임시차량운용계획(중련편성의 단편성 변경처리), 차량계획 운휴 처리, 조정계획 기간 내 임시열차 투입 및 조정처리

② 철도운영기관의 기 운영 중인 승무운영시스템 관련모듈 기능 분석

■ 철도운영기관의 승무운용계획 수립 업무 분석(코레일)

- 승무원운영계획 작성을 위한 승무사업소 특성 및 사업시간, 승무원 근무기준 등 승무사업 제약조건 결정
- 1일 운행하는 모든 열차에 대하여 승무사업표 작성
  - 열차운행계획의 열차운행시각표 및 열차번호대장에 차량운용행로표를 결합하여 모든 열차에 승무원 매칭이 가능하도록 승무행로표 작성
- 승무사업소별 승무사업 배정
  - 승무사업소별 담당구간 및 승무교대 가능역과 교대역을 반영하여 승무사업표를 지역본부와 승무사업소별로 배분
- 지역본부와 승무사업소로 할당한 승무사업들을 승무원 개인별로 배분하여 1개월 또는 3개월 분량의 개인 계획교번표 작성

■ 철도운영기관 승무운영계획 시스템 분석내용

- 승무원운영계획 수립을 위한 기준정보 관리, 기본 · 변경 · 임시 승무원운용계획 메뉴를 통해 승무사업표 작성
- 계획 구분은 기본 · 변경 · 임시계획으로 열차운행계획, 차량운용계획과 동일
- 승무사업 작성의 원칙이 되는 승무원 기준정보 관리
- 복수안 작성 시뮬레이션을 통한 최적(안) 도출 및 가승인 검토
- 기본 승무사업계획에 소속별 배분 및 통계자료 제공
- 열차운행계획 및 차량운용계획 가승인 상태에서도 승무원운용계획 시스템에서 기본 승무원운용계획 작성
- 승무운영계획 시스템 주요기능 분석
  - 승무원 운용계획 수립을 위한 기준정보 관리, 기본 승무원운용계획 관리 작성
  - 승무원운용계획 작성을 위한 제약조건 관리(승무사업소, 사업시간, 다이아 작성기준, 승무원 제약조건 등)
  - 승무사업소별 담당구간 정보 관리
  - 승무소속별 시발가능역 및 인원정보 관리
  - 다이아행로 역배열 관리, 승조구성 유형 관리/반복유형번호 관리
  - 승무원 구성정보 및 승무 교대가능역 관리, 열차종별 교대역 지정 관리
  - 사업시간 부여기준 및 사업다이아 제약조건 관리
  - 승무근무표 제약조건 관리
  - 기본 사업다이아 작성 및 가승인/승인
  - 기본 사업다이아 편집
  - 기본 승무원 장표출력
- 승무운영계획 시스템 개선 필요항목 분석
  - 승무소속별 담당구간 관리 : 확장성을 고려한 데이터 관리
  - 승무원 기준시각 관리 : 야간 근무기준시간 외 필요사항 처리
  - 사업다이아 제약조건 관리 : 적용 이력관리를 위한 적용시작일/종료일, 승무원 근무기준 반영
  - 승무근무표 제약조건 관리 : 승무원 근무기준 반영
  - 기본승무운용계획 : 열차계획안에 대한 열차/차량/승무계획 진행상태 관리
  - 승무사업계획 작성 : 기본 사업다이아 작성 시 복수안별 비교분석, 가승인 및 해제, 익일 오전 운전 열차리스트 삭제, 열차 추가, 다이아 합병처리 등
  - 승무근무표 작성 : 사업복수안 관리(기능선택 재구성), 승무사업조 관리(객실장, 객실승무원 근무표 별도 작성), 승무근무표 작성(제약조건 저장 및 관리), 승무근무표 편집(승무근무표 편집 및 양식) 등

나) 열차운행계획 상용화 시스템 개발을 위한 주요 요구사항 사전 분석

시스템	요구사항 분석
열차운행계획	○ 역, 선로, 역간운전시분 등의 기초정보를 관리하여야 한다.
	○ 최소시격, 최소반복시각 등 제약조건을 관리해야 한다.
	○ 복수의 계획안을 설정하고 계획안 단위로 별도의 계획을 수립 할 수 있어야 한다.
	○ TPS와 연계하여 역간의 표준운전시분을 활용하여 정차패턴 별 복수의 열차를 손쉽게 작성할 수 있어야 한다.
	○ 입력된 열차정보를 활용하여 열차다이아그램으로 표현 및 플로터를 이용하여 인쇄가 가능해야 한다.
	○ 열차다이아그램상에서 열차 정차패턴 변경 및 출발시각 조정, 열차운행시각 조정이 가능하여야 한다.
	○ 열차번호대장 및 열차시각표는 Excel과 연동하여 입력 및 출력이 손쉽게 구현되어야 한다.
	○ 회송열차를 용이하게 설정 할 수 있어야 한다.
	○ 열차운행계획 데이터에 대한 정합성 체크기능과 에러데이터에 대한 확인 및 조치를 쉽게 할 수 있어야 한다.
	○ 열차다이아에서 열차간 안전시격 확보 현황을 확인 할 수 있어야 한다.
	○ 열차간 상충 및 경합상황에 대해 경합상황을 확인하고 해소할 수 있어야 한다.
차량운행계획	○ 반복시분을 고려하여 반복열차 생성이 원활하게 구현되어야 한다.
	○ 열차다이아로부터 차량운영 다이아를 자동으로 생성하고 수정 할 수 있는 기능이 구현되어야 한다.
	○ 차량다이아 데이터의 정합성 검사기능과 오류방지를 위한 검증 기능이 구현되어야 한다.
	○ 차량운행계획 데이터에 대한 정합성 검증기능이 구현되어야 한다.
	○ 차량의 일괄작성을 위한 제약조건을 변경 및 수정하여 적용 할 수 있어야 한다.
	○ 계획안 단위로 차량운용계획의 등록 및 관리가 되어야 한다.
	○ 작성된 차량운용간 연계가 가능하여야 한다.
	○ 차량다이아에 대하여 다이아의 순서를 연결 할 수 있는 기능을 제공하여야 한다.
승무운영계획	○ 승무사업다이아 및 다이아배열을 위한 제약조건의 초기값을 관리할 수 있어야 한다.
	○ 기본계획/특별계획/조정계획에 대한 승무사업다이아를 작성 할 수 있어야 한다.
	○ 승무사업다이아에 대하여 특정일을 기준으로 수정가능 해야한다.
	○ 작성된 승무원 사업다이아에 대한 정합성 체크 기능을 제공하여야 한다.
	○ 승인 완료된 사업다이아는 각 소속별로 배정되어야 한다.
	○ 다양한 수송요구 변화에 탄력적으로 대응할 수 있는 승무원 운용계획을 작성 및 관리 할 수 있어야 한다.
	○ 배정된 열차정보를 확인하고 기본다이아의 열차와 함께 임시 사업다이아로 작성할 수 있어야 한다.
	○ 소속별로 배정된 사업다이아를 가지고 계획교번을 작성 할 수 있어야 한다.
	○ 사업조별로 다이아간 순서를 변경할 수 있어야 하며, 휴무다이아를 추가 또는 삭제할 수 있어야 한다.
	○ 신규 계획수립 시 교번정보를 참조하여 수립할 수 있어야 한다.

	○ 계획교번을 작성하고 사업다이아를 등록/조회하여 사업행로표 조회기능을 제공하여야 한다.
	○ 승무 사업다이아가 표출된 상태에서 교체/변경/충당처리가 가능해야 한다.
	○ 교번은 다이아의 운용요일을 참조하여 자동으로 작성할 수 있어야 한다.
열차 성능 시뮬레이션	○ 시뮬레이션의 기초데이터 항목별 유지관리 기능를 제공하여야 한다. - 차량정보,선형정보,운전조건정보 등
	○ 노선에 대한 위치별 선형정보 및 각종 관리데이터의 통합관리 기능이 필요하다.
	○ 열차주행곡선 시뮬레이션시 기초자료를 기반으로 운전곡선을 작성할 수 있어야 한다.
	○ 시뮬레이션의 결과데이터에 대하여 운전곡선상에 표출하여야 한다.
	○ 시뮬레이션 조건설정을 다양하게 설정하여 시뮬레이션 할 수 있어야 한다.
	○ 운전곡선상에서 임의의 위치에서 순간가속도, 감속도,견인력 및 제동력 등 다양한 결과데이터가 표출되어야 한다.
	○ 역 이외에 임의의 지점에서 출발할 수 있는 기능이 구현되어야 한다.
	○ 약식 운전곡선의 양식을 정의하고 작성이 가능하여야 한다.
선로 용량 산정	○ 실제 운영중인 열차시각표를 대상으로 운행가능한 최대의 용량을 산정할 수 있어야 한다.
	○ 구간에 대한 선로용량 산정방식을 정의하고 산출 할 수 있어야 한다.
	○ 선로용량 산정 시뮬레이션 시 선후행 열차간 안전시격을 준수 하여 산정하여야 한다.
	○ 열차 대피에 대한 처리가 가능한 상태에서 시뮬레이션이 수행 되어야 한다.
	○ 노선의 구간별로 선로용량을 산정할 수 있도록 관리되어야 한다.
통계 및 분석	○ 기본계획에 대한 소요량, 주행거리, 운행시간 등의 다양한 통계 정보를 제공하여야 한다.
	○ 각 모듈(열차,차량,승무)에서 산출되는 결과에 대하여 다양한 통계정보를 산출하여야 한다.
	○ 열차운행계획간 변경내용을 쉽게 파악할 수 있도록 분석 결과를 제공하여야 한다.
	○ 역간 운행시분에 대한 분석 결과를 제공하여야 한다.
	○ 역별 정차 내역을 쉽게 파악 할 수 있도록 제공하여야 한다.
	○ 중련열차의 편성정보를 제공하여야 한다.
	○ 구간별 운행횟수 및 운행키로 통계정보를 제공하여야 한다.

- 통계 및 분석에 대한 요구사항은 본 연구개발을 통해 개발한 열차운행계획 시스템의 열차다이아 모듈 내 분석기능으로 구현하였음
- 본 연구개발을 통해 개발한 열차운행계획 시스템의 통계/분석 모듈은 열차운행계획 및 열차성능시뮬레이션 결과 정보 분석, 열차성능시뮬레이션 분석에 따른 철도건설지원 분석(절연구간 설정위치 적정성 검토) 기능으로 구성되어 있음

(2) 열차운영계획시스템 표준 업무정의를 통한 고속차량 운영최적화 기술개발

(공동연구기관, 철도기술연구원)

(가) 핵심성과 개요

수행기관	한국철도기술연구원
정 의	철도차량 운영계획 (스케줄링) 최적화 알고리즘 개발
사용주체	고속차량 및 지하철 운영기관
핵심성과 개요	■ **철도차량 운영계획 최적화 알고리즘 개발** • 열차 Dia 전면 개편시 보유 편성 수 제약 오류 극복이 가능한 통합적 알고리즘 개발 • 차량 운용 편성 수 증편 계획 수립시 입력 데이터 불확정성을 극복하는 '통합적 해법+증분법' 알고리즘 개발 • 통합적 해법+증분법' 알고리즘을 활용하여 참여기업의 고속차량 증편 차량 운용 기본계획 (안) 도출 및 제공
핵심연구성과	• **열차 Dia 전면 개편시 보유 편성 수 제약 오류 극복이 가능한 통합적 알고리즘 개발** - 종래 기술은 1단계 (차량 Dia)와 2단계 (차량 운용 순서표) 문제의 해를 단계적으로 도출하므로, 보유 편성 수 초과 오류 발생 가능 - 통합적 알고리즘은 단계적 해법의 한계를 극복하여 열차 Dia 개편시에도 보유 편성 수 초과 오류 해소 • **차량 운용 편성 수 증편 계획 수립시 입력 데이터 불확정성을 극복하는 '통합적 해법+ 증분법' 알고리즘 개발** - 차량 운용 편성 수 증편을 목적으로 하는 열차 Dia 전면 개편시 입력 데이터인 열차 Dia 자체에 불확정성이 발생 ※ 입력 데이터가 확정되지 않으면 해당 문제의 해를 구할 수 없음 - 기존 열차 Dia (입력 데이터)로부터 점진적인 보완을 통해 증편된 편성 수에 적합한 열차 Dia를 최적의 차량 운용계획과 동시에 결정할 수 있는 '통합적 해법+증분법' 알고리즘 개발 • **'통합적 해법+증분법' 알고리즘을 활용하여 참여기업의 고속차량 증편 차량 운용 기본계획 (안) 도출 및 제공** - 본 연구의 참여기업은 고속차량 운용 편성 수 증편 (예, 28편성 → 46편성) 사업 계획을 세우고 있음 - 본 연구에서 개발한 통합적 해법+증분법 알고리즘을 활용하여 고속차량 증편 차량 운용 기본계획 (안)을 도출하여 제공함 - 참여기업의 차량 증편사업 목표 달성까지 지속적인 기술적 협력 기반 구축

(나) 핵심연구 성과내용

1) 표준업무 정의 및 선진사례 조사·분석

① 표준업무 정의서 개발 ([핵심성과] B-1 표준업무정의서 개발)

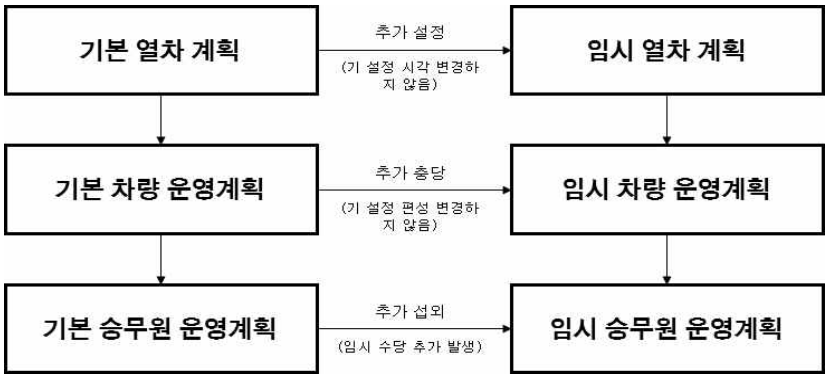
■ 공통분야 (S/W 아키텍처 측면)

- 기존 SI 기반 S/W와는 달리 패키지형 S/W에서는 다음과 같은 항목들을 가변적으로 처리할 수 있는 기능을 갖도록 함

<표 11 패키지형 S/W의 가변처리 기능>

구분	항목	비고
인프라	노선명	국내외 신규노선에 적용
	역수	역 신설에 적용
	역명	역 신설에 적용
	역간거리	역 신설에 적용
	대피역 지정위치	노선 개량시 적용
	시종착/반복역 위치	운행체계 개편시 적용
	차량기지 위치 및 용량	노선 개량시 적용
	주박역 위치 및 용량	노선 개량시 적용
운행체계	최소반복 시분	모든 스케줄에 대한 기초정보
	열차종별	모든 스케줄에 대한 기초정보
	표준 운전시분	모든 스케줄에 대한 기초정보
	표준 정차시분	모든 스케줄에 대한 기초정보
	최소 운행시격	모든 스케줄에 대한 기초정보

- 임시계획을 수립할 때는 기본계획의 전제하에서 수립하는 것을 원칙으로 함. 즉 기설정된 기본 열차 - 차량 - 승무원 운영계획은 특별한 사정이 없는 한에는 변경하지 않고, 임시열차 설정에 필요한 추가 차량 및 승무원을 섭외하여 조달하는 방식으로 수립함



<그림 38 기본 및 임시계획 업무절차>

■ 열차계획 분야

- 복선으로 운행하는 노선을 대상으로 하며, 단선으로 운행하는 노선은 제외함
- 2개 이상의 운영기관에서 노선을 공유하는 경우 열차계획 방법 - 상대기관에서 기 작성한 열차계획을 당해 기관 열차계획의 사전 제약조건으로 받아들이는 조건으로 열차계획을 수립하도록 함
- 분기/합류 구조를 갖는 철도 노선에서 열차계획은 주요 노선에 대한 열차계획을 우선적으로 수립하고, 분기된 노선에 대한 열차계획은 주요 노선에 대한 셔틀 열차계획의 개념으로 수립함
- 복수 열차종별에 대한 열차계획은 먼저 우선순위가 높은 열차종별의 열차계획을 먼저 수립하고, 후속하여 우선순위가 낮은 열차종별을 열차계획을 수립하는 위계적 방법을 따름
- 수요는 역간 OD의 형태로 주어지고, 혼잡과 비혼잡의 시간대로 구분하여 주어지는 것으로 전제함
- 열차번호 배정 방법 - 영어 알파벳 1자리와 숫자 4자리로 구성 (텍스트), 행선별 및 방향별 숫자의 구성방법은 (예, 홀수/짝수 및 특정 번호대역) 운영기관에서 자율적으로 적용. 아래 제시된 표는 기본(안)으로 하고, S/W에서 편집 가능/수정 가능하도록 설정하여 운영기관에 선호에 따르도록 함

<표 12 열차종별 열차번호 배정법>

알파벳	열차종별	내용
E	급행열차	
N	일반(완행)열차	
F	출고 회송 열차	사업시작 전 출고 열차
G	입고 회송 열차	사업종료 후 입고 열차
T	임시/특발 열차	기본열차 이외에 임시열차 및 중간역 출발 특별열차에 적용

- 열차 운행도표의 기재 방법 (권고)는 다음 <표 13>에서 정하는 바와 같음

<표 13 열차 운행도표 기재법>

◦ 시각선은 종선(변경 가능)으로 표시하고 좌측으로부터 우측으로 0시부터 24시까지 구간을 나누어 1일분으로 하며, 1시간목 또는 10분목 다이어그램은 6시, 12시, 18시의 시각선을, 2분목 또는 1분목 다이어그램은 매시의 시각선을 굵은 선으로 표시

◦ 정거장선은 횡선(변경 가능)으로 표시하고 정거장을 순차로 표시하되 간격은 정거장간 운전시분에 비례하여 구간을 나누며, 본선만 있는 정거장은 점선으로, 중요 정거장을 굵은 선으로 표시

◦ 기재사항 및 기재 위치

-선로명칭 : 열차 다이어그램의 중앙상부에 기재한다. 다만, 수개 선구를 기록할 때는 각 선구의 상부에 기재

- 시행 년·월·일 : 다이어그램 상부 좌측에 기재
- 열차번호 : 열차선에 연하여 그 상부에 기재
- 하행열차에 대한 표준 상·하구배, 각 정거장간 거리, 각 정거장 기점부터의 거리 및 정거장명은 열차다이어그램 좌측에 상기 순서에 따라 구분하여 기재
- 정거장의 종류는 정거장 명란에 표시

◦ 열차 열차 운행도표는 시간의 지남에 따른 열차운행 상황을 도식화한 것으로서 그 용도와 시각선 간격을 기준으로 다음 각 호와 같이 구분

<표 14 열차 운행도표 분목 작성법>

분복	작성법
1시간목	1시간의 폭 20mm로 하고 다만, 특별히 필요한 때는 1시간의 폭을 30mm로 할 수 있음
1분목	1시간의 폭 60mm
2분목	1시간의 폭 78mm

■ 차량 운영계획 분야

- 편성 단위의 차량 운행체계로 한정한다. (A1, A2) 즉, 일반열차 및 화물열차는 제외함

<표 15 차량 운영계획 적용 분야 구분>

Index	Applications	Remarks
A1	Urban Railway (LRT)	도시철도
A2	High Speed Rail	고속철도

- 문제의 단계별 구분에서 1차적인 문제의 대상은 Sequencing (B1)에 관한 문제를 대상으로 함

<표 16 차량 운영계획 단계별 구분>

Index	Step	Definition
B1	Sequencing	차량 (기)운용 = 차종 → (열차, 예방정비/청소) 순서를 결정 한다
B2	Dispatching	개별 차량의 주행거리 및 정비이력 현황을 기반으로 개별 차량 → (기)운용 할당을 결정 한다

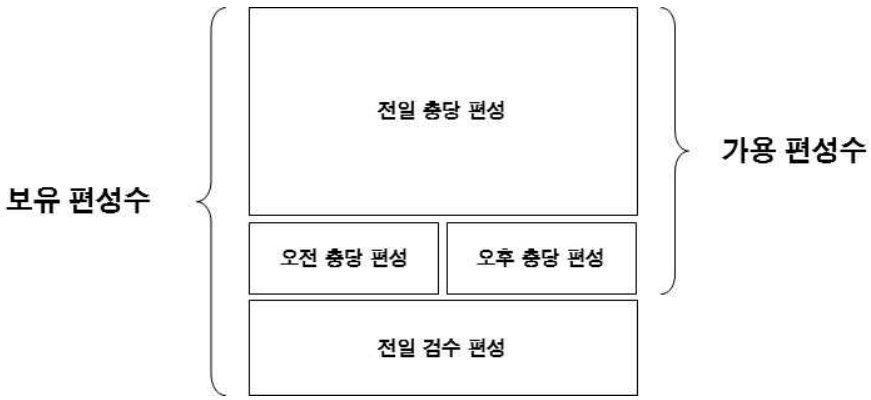
- 차량 운영계획의 조건은 아래 표에서 정의된 범위에서 고려함

<표 17 차량 운영계획 조건별 구분>

Index	Conditions	Categories
C1	회송 조건	C1A = 회송 허용 C1B = 회송 비허용 (※ 특별한 경우에 한해서 허용)

C2	전용/다목적 조건	C2A = (전용 차량 조건), V:S = 1:1 (e.g. E/N) C2B = (다목적 차량 조건), V:S = 1:2 (E/N, Flat Car → Container/Coil) C3C = (중련편성 허용 조건) V:S = 2:1 (e.g. 20량/편성, 10량/편성)
C4	반복 조건	C4A = 도중 반복 허용 C4B = 도중 반복 비허용
C5	배속 조건	C5A = 배속 의무 C5B = 배속 자유
C6	상태 조건	C6A = 3 상태 (충당/검수/예비) C6B = 2 상태 (충당/검수) C6C = 1 상태 (충당)
C7	수요 조건	C7A = 수요 고려하지 않음 (일률적으로 동일 편성) C7B = 차량 좌석용량으로서 수요 고려 ① 중련/단행 구조 ② 기관차 + 객차 구조 ③ 기관차 + 화차 구조
C8	검수 조건	C8A = 검수 소요 산정 결정 C8B = 검수 소요 동시 결정
C9	입환 조건	C9A = 입환 위치 및 순서 고려 필요 C9B = 입환 위치 및 순서 고려 불필요

- 검수 소요량은 기존의 경험으로부터 사전에 주어진다고 전제한다. 일별 차량의 상태별 편성수의 합은 다음 관계에 따름



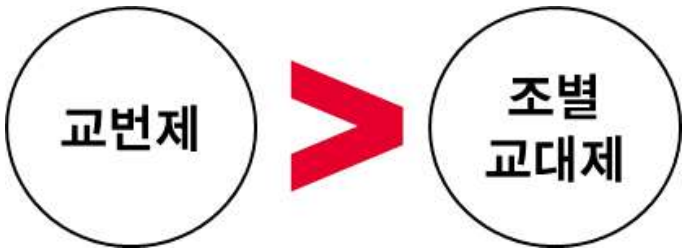
<그림 39 차량 운영 편성수의 조합>

- 위 그림에서 오전 충당 후 오후 검수 입고 시각과 오전 검수 후 출고 및 오후 충당 시각에 대한 정보는 편성 단위로 조정이 가능함을 전제로 함

■ 승무운영계획 분야

- 근무제도는 교번제를 기준으로 한다. 교번제는 조별 교대제 대비 규칙성이 떨어지지만 열차운행 스케줄 계획에 따라 근무를 편성하므로, 열차운행과 상관없이 불필요 하게

조기 출근, 지연퇴근 등의 불필요한 근무시간 낭비요인 최소화로 효율성이 매우 높은 근무제도로 평가되고 있으며, 일정한 주기가 없는 근무제도로 승무원 개인별 휴양관리와 기준근로시간 이내에서 실제 근무를 하기 위해 계획근무를 준수하되 부득이한 경우 월 기준 근로시간(174시간)을 초과하지 않는 범위 내에서 교번 교체가 가능한 장점을 가지고 있음



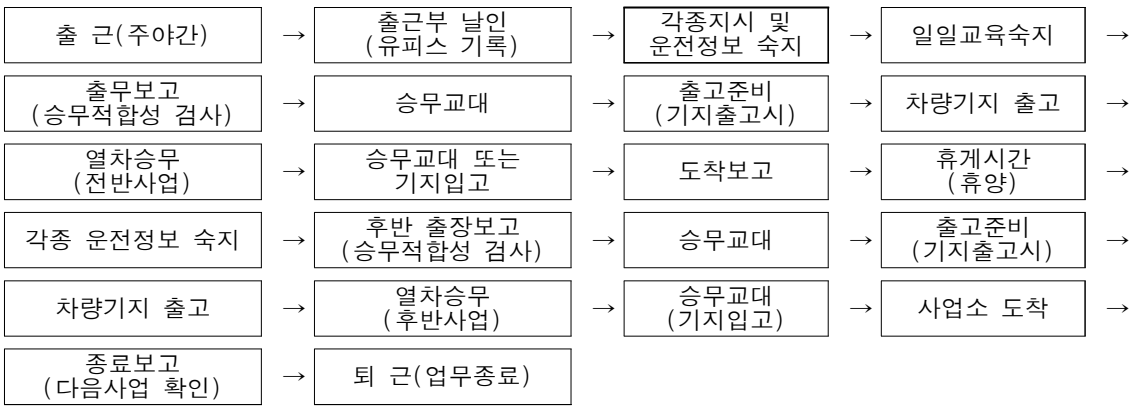
<그림 40 승무계획 교번제 vs 교대제>

- 승무 운영계획 수립의 기본절차는 <그림 41>와 같다.



<그림 41 승무계획 수립 기본절차>

- 승무원의 업무수행 절차는 다음과 같은 절차를 기본으로 함.(필요시 변경 가능)



<그림 42 승무원 업무수행 절차>

• 승무원 주간 근무패턴은 <그림 43>과 같음



<그림 43 승무원 주간 근무패턴>

• 승무원 야간 근무패턴은 다음을 기본으로 함



<그림 44 승무원 야간 근무패턴>

• 승무원 근무시간 산정은 다음을 기본으로 함

□ 승무원 근무시간 산정기준

① 운전시간은 승무원 근무표에 지정된 발차시각부터 도착시각까지의 승무한 시간을 말한다. 다만, 발착시각 사이의 입환 시간은 운전시간으로 하며, 반복 역에서 반복시간이 30분 미만일 때에는 이를 운전시간으로 인정한다.

② 준비정리시간은 1근무 중 승계(출근) 또는 출고 시 준비와 승무종료 또는 입고 시 정리를 위한 시간으로 다음에 의하여 계산한다. 다만, 근무시작과 종료가 입·출고를 위한 편승일 경우에는 출고준비 및 입고 정리 시간만 인정한다.

<표 18 승무원 근무 인정 시간>

구 분 / 항 목		소 요 시 간
준비시간	승계(출근)	30분
	출 고	60분
정리시간	승무종료	30분
	입 고	60분

③ 중간대기시간은 2시간 30분 이상 최대 4시간을 인정하며 4시간 이하일 경우 실 대기시간으로 산정한다. 단, 주박근무 및 주간 근무에 한하여 부득이한 경우 2시간 30분 이내로 작성할 수 있다.

④ 편승시간은 입·출고 또는 승계승무를 하기 위하여 출무장소에서 승무장소까지 이동하는데 열차시각표상의 최단시간을 계산하며, 귀로시도 동일하다. 다만, 도보 시는 10분이상일 경우만 편승시간으로 계산하되, 최단경로를 기준으로 하여 정상보행시간만 인정한다.

⑤ 감시시간은 열차를 운행하지 않고 차량기지 이외의 동일 장소에서 30분 이상 동안 차량을 감시한 시간을 계산한다. 다만, 30분 미만일 경우에는 운전시간으로 계산한다.

⑥ 비상승무대기시간은 승무원의 유고 및 임시열차 운행 등을 대비하기 위하여 지정된 장소에서 대기할 때 실제 대기한 시간을 계산한다.

⑦ 교번 근무자의 운전시간은 1일 4시간 42분으로 한다.

② 선진사례 조사 및 분석 ([핵심성과] C-1 선진사례 조사 및 분석(차량운영계획))

㉮ 국내 사례

■ 최적 열차운영체계 구축을 위한 운용모델 수립과 해석기법 연구(차량 운용계획 모델), 한국철도기술연구원, 2000

- 최소차량수로 주어진 열차스케줄을 서비스하기 위한 수리모형을 제시하였음. 수리모형은 실행 가능 패어링 생성단계와 집합 분할문제의 해를 구성하는 두 단계로 이루어짐
- 한 대의 동력차를 가지고 서비스가 가능한 실행가능 패어링을 생성한다. 이때, 동일 동력차종으로 견인 가능여부 및 반복역에서의 최소 반복시간 등을 체크함
- 생성된 실행가능 패어링을 기반으로 가용 동력차종 수를 만족시키면서 모든 열차서비스가 가능하도록 집합분할문제로 모형화 하였음

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i=1}^{n} c_i x_i$$

subject to

$$\sum_{i=1}^{n} a_{ij} x_i = 1 \quad \text{for} \quad j = 1,2,\ldots,m$$

$$\sum_{i=1}^{n} b_{ti} x_i \le U_t \quad \text{for} \quad t = 1,2,\ldots,s$$

$$\sum_{i=1}^{n} c_{k,t,i} x_i \le M_{k,t} \quad \text{for} \quad k = 1,2,\ldots,l;\ t = 1,2,\ldots,s$$

<그림 45 철도차량 운용계획 집합분할 모형, 철도연 2000>

■ 철도차량 소요계획에 대한 집합분할 문제 접근에서 후보 운용 생성을 위한 열거 알고리즘, 김성호, 2004

- 열차 스케줄은 철도 운영기관이 판매하는 교통서비스의 목록으로 각 열차의 출발역, 도착역, 출발시각, 도착시각이 포함됨
- 출발시각 및 도착시각을 결정하고 나면 열차의 좌석수를 결정해야 한다. 일반적으로 이 문제는 몇 가지 편성유형(fleet type)을 설정해 두고 이를 열차에 할당하는 방식으로 접근하며 이를 편성유형 할당문제 (fleet assignment problem)라고 함
- 각 열차에 편성유형이 할당되면 철도 운영기관이 보유하고 있는 편성유형별 차량數로 주어진 열차스케줄을 실행하는 것이 가능한가를 검토하기 위한 철도차량 소요계획 (rolling stock requirement plan)을 수립해야 함

열차번호	출발역	도착역	출발시각	도착시각
101	서울	부산	06:00	08:40
102	부산	서울	06:00	08:46
103	서울	부산	06:30	09:16
106	부산	서울	06:30	09:10
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

<그림 46 열차 스케줄 예시, 김성호 2004>

- 철도차량 소요계획을 수립하기 위한 집합분할 문제 (set partitioning problem)는 다음과 같은 정수계획모형 (SPP)으로 나타낼 수 있음

(SPP)

Minimize $\sum_{j=1}^{n} c_j x_j$ (1)

subject to $\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j = 1,$

for $i = 1, 2, \ldots, m$ (2)

$x_j = 0$ or 1,

for $j = 1, 2, \ldots, n$ (3)

여기서 i : 열차를 나타내는 첨자

m : 열차의 수

j : 후보운용(candidate routing)을 나타내는 첨자

n : 후보운용의 수

x_j : j번째 후보운용의 선택여부를 나타내는 결정변수

c_j : j번째 후보운용의 비용계수

a_{ij} : i번째 열차가 j번째 후보운용에 포함되는가의 여부를 나타내는 계수

$a_{ij} = 1$: i번째 열차가 j번째 후보운용에 포함되어 있음을 나타냄

$a_{ij} = 0$: i번째 열차가 j번째 후보운용에 포함되어 있지 않음을 나타냄

<그림 47 철도차량 운용계획 집합분할 모형, 철도연 2004>

■ 철도 수송체계 구축기술 연구(최소 차량 경로 설정 모형), 한국철도기술연구원, 2005

- 철도차량 운용계획 문제를 운행주기 반복성 및 장기적인 운행 통일성에 따라서 차량 경로계획, 차량 반복계획, 차량 순환계획으로 나누고 그 특징을 분석하였음
- 검수 조건을 완화하는 경우에는 아래와 같은 최소비용 흐름 모형에 기반한 수리 모형을 제시하였음

$$\min \sum_{(i,j)\in E_2 \cup E_5} x_{ij}$$

$$s.t. \sum_{\{j:(i,j)\in E\}} x_{ij} - \sum_{\{j:(i,j)\in E\}} x_{ji} = 0,\ i \in N \quad (3.1)$$

$$0 \le x_{ij} \le 1 \quad (i,j)\in E_1 \cup E_2 \quad (3.2)$$

$$1 \le x_{ij} \le 1 \quad (i,j)\in E_3 \quad (3.3)$$

$$0 \le x_{ij} \le \infty \quad (i,j)\in E_4 \cup E_5 \quad (3.4)$$

where, E_1 : *Forward Ground* 아크집합

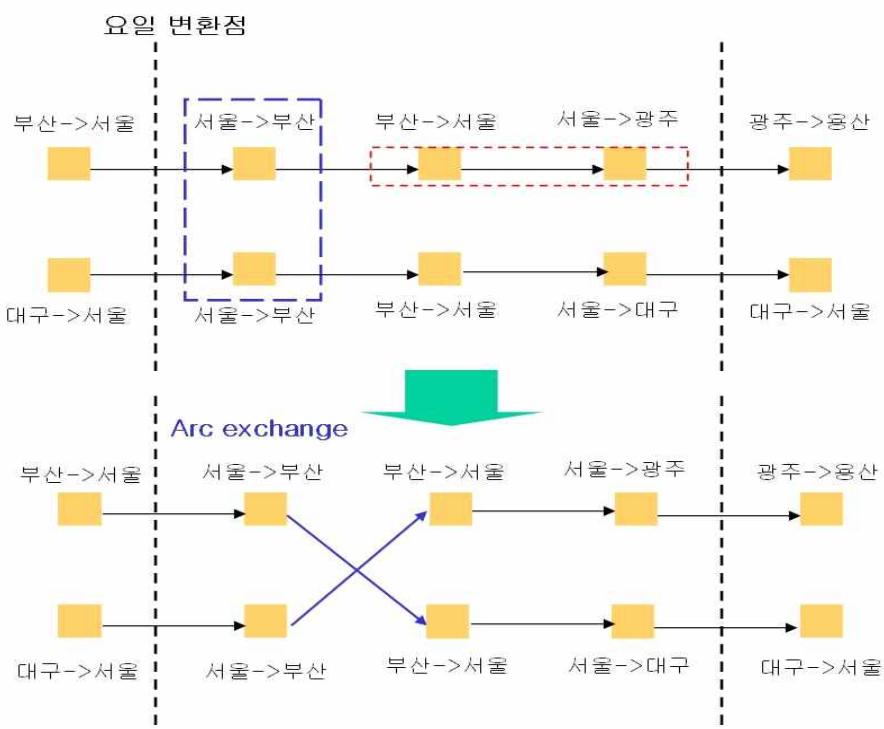
E_2 : *Backward Ground* 아크집합

E_3 : *Train* 아크집합

E_4 : *Stay Ground* 아크집합

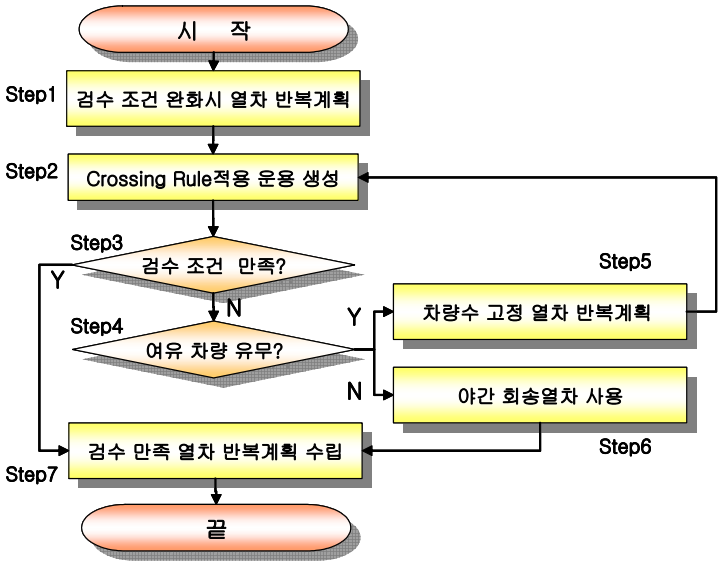
E_5 : *Stay Train* 아크집합

- 검수 조건을 고려하는 경우에는 거리 제약을 만족시키기 위한 Arc exchange 휴리스틱 해법을 제시하였음



<그림 48 Arc Exchange Rule, 철도연 2005>

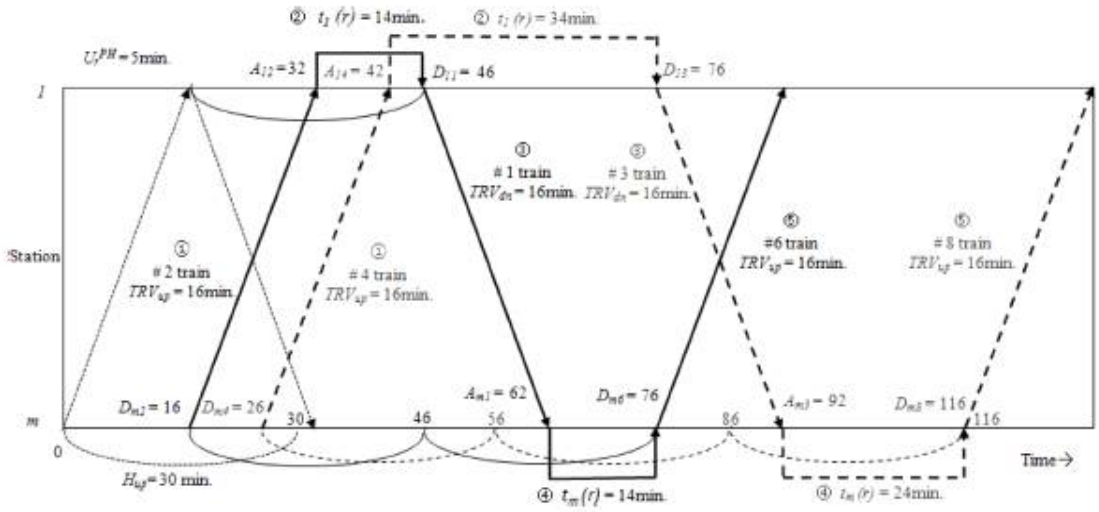
- 제안한 휴리스틱 알고리즘을 KTX 차량 운용계획 문제에 적용해 적절한 시간 내에 최적해를 찾았음



<그림 49 KTX 차량 운용계획 알고리즘 흐름도, 철도연 2005>

■ 철도차량의 반복시간과 소요량 사이의 관계고찰, 기형서, 2016

- 본 연구의 목적은 불명확한 물리적 회차시간을 재산정하고 파라메터에 따라 변화하는 운영상 반복시간의 산정모형을 개발하여, 열차운영계획시 상·하행 열차스케줄 작성의 어려움을 개선하는데 도움을 주고자 함
- 즉 상행과 하행열차 배열과정에서 계획자가 경험을 바탕으로 임의 조절하는 방식이 아닌 산정모형을 활용하여 생성하는 기법임



<그림 50 반복시간과 차량 편성 소요량 관계 연구, 기형서 2016>

- 도시 및 광역철도와 일반 및 고속철도의 경우에서는 전동열차 편성량과 열차길이에 의한 입환작업 소요시간의 영향(5~6.5분)으로 물리적 회차시간 U_r^{PH}의 큰 차이를 확인할 수 있음
- 물리적 회차시간과 운영상 반복시간의 차이를 구분하여 명확하게 수치화함

- 기존 열차운용계획의 최종 성과물인 열차다이어그램이 생성된 후, 차량운용 및 인력운용계획을 수행하던 프로세스에 대한 한계를 발견
- 이를 개선하도록 개발된 운영상 반복시간 수학모형을 응용하여 열차스케줄링과 차량운용계획을 동시에 고려하면서 차량 운용량 최소화를 가능하게 함
- Peak time 및 Non-peak time 등 운전시격의 시간대별 변동에 맞춰 운용차량 최소화와 함께 부수적으로 반복선수의 균형 유지와 감축 가능성을 확인

㈏ 국외 사례

■ The solution of a railway locomotive scheduling problem, Blooer JMP, 1980

- 최소 차량 운영비로 열차 시간표의 모든 열차에 차량을 할당하는 0-1 정수 프로그래밍 모델을 제시함
- 선형 프로그래밍의 완화를 바탕으로 한 경험적 접근법을 제안했고, 계산적 실험 결과를 제시하였음
- 실험결과 20개의 차량에서 최적의 솔루션을 제시하였고, 30~50개의 차량에서 고품질 실현 가능한 솔루션을 제시하였음

■ Applying stochastic algorithms to a locomotive scheduling problem, Wright MB, 1989

- 차량회송을 최소화하기 위한 정수 프로그래밍 모델을 제시하였음. 그는 두 가지 알고리즘을 제안하였는데, 첫 번째로 지역적 개선 휴리스틱을 사용하는 것이고, 다른 하나는 모의 어닐링 방법을 사용하는 것임
- 실험 결과에서 150~200대의 열차와 관련된 문제에 대한 실현 가능한 해결책을 제시

■ Exact solution of locomotive scheduling problems, Forbes MA, Holt JN, Watts AM, 1991

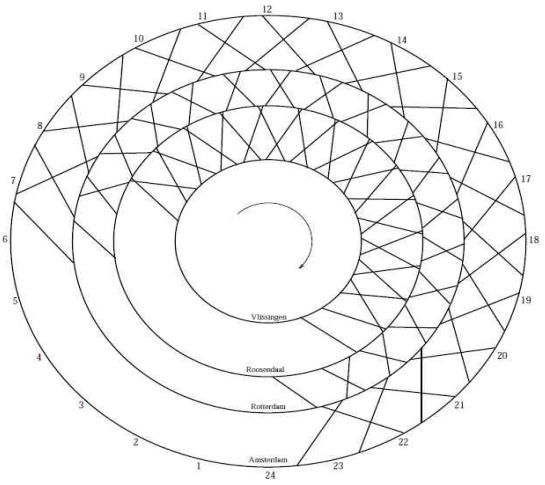
- 하루 동안 열차를 운행할 수 있도록 Wright의 모델을 확장한 연구결과를 제시하였음
- 연구자는 여러 개의 차고지가 있는 버스 스케줄링 모델을 사용하여 문제를 공식화하였고, branch-and-bound 알고리즘을 이용한 솔루션 접근방식을 제안하였음
- 실험 결과 계산 시간이 상당히 긴 테스트 문제에서 최적의 해결방안을 모색할 수 있는 것을 보여주었음

■ Minimum circulation of railway stock, Schrijver, 1993

- 철도차량 유형에 따라 Min-cost-flow 문제와 Multi-commodity circulation 문제로 모형화하

였음. 이 방법은 다른 해법과 비교 하였을 때 계산적 효율성을 가지고 있지만, 검수에 대한 고려가 없었음

- 제시한 방법을 네덜란드 NS 1일 열차 스케줄을 대상으로 실험하였음



<그림 51 Circulation 형태의 차량 반복, Schrijver 1993>

■ Locomotive assignment with heterogeneous consists at CN North America, Ziarati K, Soumis F, Desrosiers J, Gelinas S, Saintonge A, 1997

- 차량 경로문제를 확장하여 두 가지 이상의 종류로 이루어진 차량을 처리할 수 있도록 제시하였고, 정비 할당도 고려하였음
- 연구자는 견인력 상실을 최소화하기 위하여 설계변수 범위가 있는 다중 일반 네트워크 흐름모델을 제시하였음
- 연구자는 캐나다 철도 1주간의 스케줄에 대해 26개 유형, 1,249대의 차량, 1,988 열차의 문제를 다루었으며, 1주간의 일정을 시나리오가 겹치는 2일 또는 3일 범위로 구분하고, Dantzig-Wolfe 분해방식을 사용하여 각 분할 문제를 해결하였음
- 연구자는 선형 프로그램 완화의 5% 간격내에서 해결책을 제시하였음

■ A branch-first, cut-second approach for locomotive assignment, Ziarati K, Soumis F, Desrosiers J, Solomon MM, 1999

- 앞선 Ziarati K(1997)의 프로그램 내에서 1.2%의 간격을 두고 고품질 솔루션을 가능하게 하는 branch-first, cut-second 알고리즘을 개발하여 모델을 개선하였음.

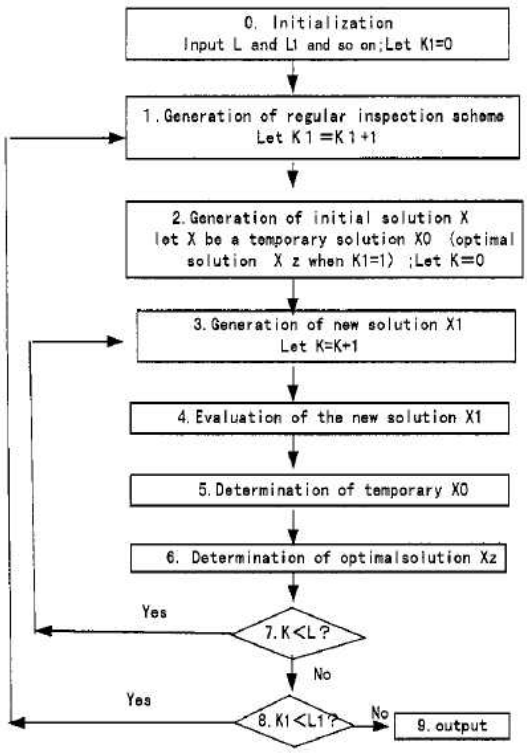
■ Simultaneous assignment of locomotives and cars to passenger trains, Cordeau J, Soumis F, Desrosiers J, 2001

- 노선을 동시에 운행하기 위해 차량배정문제를 연구하였음. 그들은 대규모 정수 프로그

래밍 문제를 해결하기 위하여 벤더를 분해하는 branch-and-bound 알고리즘을 제안하였음

■ An algorithm for train-set scheduling based on probabilistic local search, Zhao, 2002

- 일간 검수를 random choice하는 TSP 휴리스틱 기법을 사용하였음
- 또한, 확률적 Local Search를 적용해 차량 소요량을 감소시키는 알고리즘이 제시됨



<그림 52 Local search 기반 알고리즘 흐름도, Zhao 2002>

■ Engine routing and scheduling at industrial in-plants railroads, Lubbecke ME, Zimmerman UT, 2003

- 여러 다른 종류들로 이뤄진 전체 전환엔진들에 대해 라우팅 및 스케줄링 결정을 포함하는 in-plant 철도엔진 스케줄링을 검토하였음
- 연구자는 혼합 정수 프로그래밍 모델과 set-partitioning-based 모델, 두 개의 수학적 모델을 도입하였고, 모델의 선형 프로그래밍 완화를 해결하기 위하여 컬럼 생성방식을 제안하였음

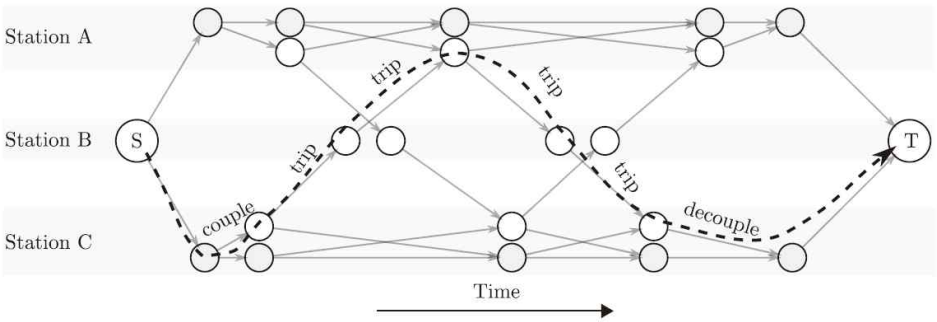
■ A mathematical modeling approach to improving locomotive utilization at a freight railroad, Kuo CC, Nicholls GM, 2007

- 화물차량편성의 효율적 향상을 위한 수학적 모델을 제시하였음

- 연구자의 혼잡 정수 프로그래밍 모델은 차량을 야드에 할당하기 위한 비용 효과적 계획을 결정하였음

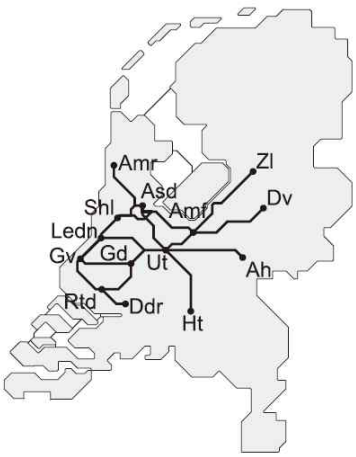
■ A comparison of two exact methods for passenger railway rolling stock (re)scheduling, J ø rgen T. Haahr, 2016

- 해당 연구에서는 차량반복을 위한 (재)스케줄링 방법론의 성능을 비교하였음. 첫 번째 방법론은 혼합 정수계획모형 (MILP)로 상용 Solver인 CPLEX를 사용하는 Composition 방법론이고 두 번째 방법론은 Path 기반의 열생성 (Column generation) 방법을 적용하는 것임



<그림 53 열생성 기법 하부 문제의 그래프 모델 예시, Zhao 2002>

- 위의 방법론을 네덜란드의 일반철도(NS)와 덴마크의 도시철도(DSB S-tog)를 대상으로 실험하였음



Line	Stations	Frequency
500	Gv Gd Ut Amf Zl	hourly
700	Shl Amf Zl	hourly
800	Amr Zd Asd Ut Ht	half hourly
1500	Asd Amf Dv	half hourly
1600	Shl Amf Dv	hourly
1700	Gv Gd Ut Amf Dv	hourly
1900	Gv Rtd Ddr	half hourly
2000	Gv Gd Ut Ah	half hourly
2100	Asd Shl Ledn Gv Rtd Ddr	half hourly
2600	Asd Shl Ledn Gv	half hourly
2800	Rtd Gd Ut Amf	half hourly
3000	Amr Asd Ut Ah	half hourly
3500	Shl Ut Ht	half hourly
8800	Ledn Ut	half hourly
20500	Rtd Gd Ut	hourly
21700	Rtd Gd Ut	hourly

<그림 54 네덜란드 NS의 철도차량 운용계획, Zhao 2002>



Line	Stations	Frequency	
A	Kj Sol Und Kh Kk Bud Fm	10&20	20
B	Htaa Val Kh Kk Hl Hot	10&20	20
C	Fs Ba Val Kh Kk Hl Kl	10&20	20
E	Kj Sol Und Kh Kk Hl Hot Hi	10&20	20
F	(Kl) Hl Nel	10&20	20
H	Fs Ba Val Kh Kk Bud Fm	20	20

<그림 55 덴마크 DSB S-tog 실험데이터, Zhao 2002>

- 실험 결과 다른 기존 연구와는 다르게 Composition 방법론이 계산 시간에서 Path 기반 방법론보다 우수하였고, 계산 시간은 15분 이내로 분석되었음. 이는 검수 조건 등을 고려하지 않았기 때문으로 파악됨

2) 철도차량 운영계획 최적화 문제 정의 및 인터페이스 정의

① 문제 정의

㉮ 철도차량 운용계획 업무절차

- <그림 56>는 철도차량 운용계획 업무절차를 나타냄
- 그림에서는 보는 바와 같이 철도차량 운영계획은 열차 스케줄 (Dia)이 사전에 결정되어 입력데이터로 제공되는 절차를 기본 전제로 함



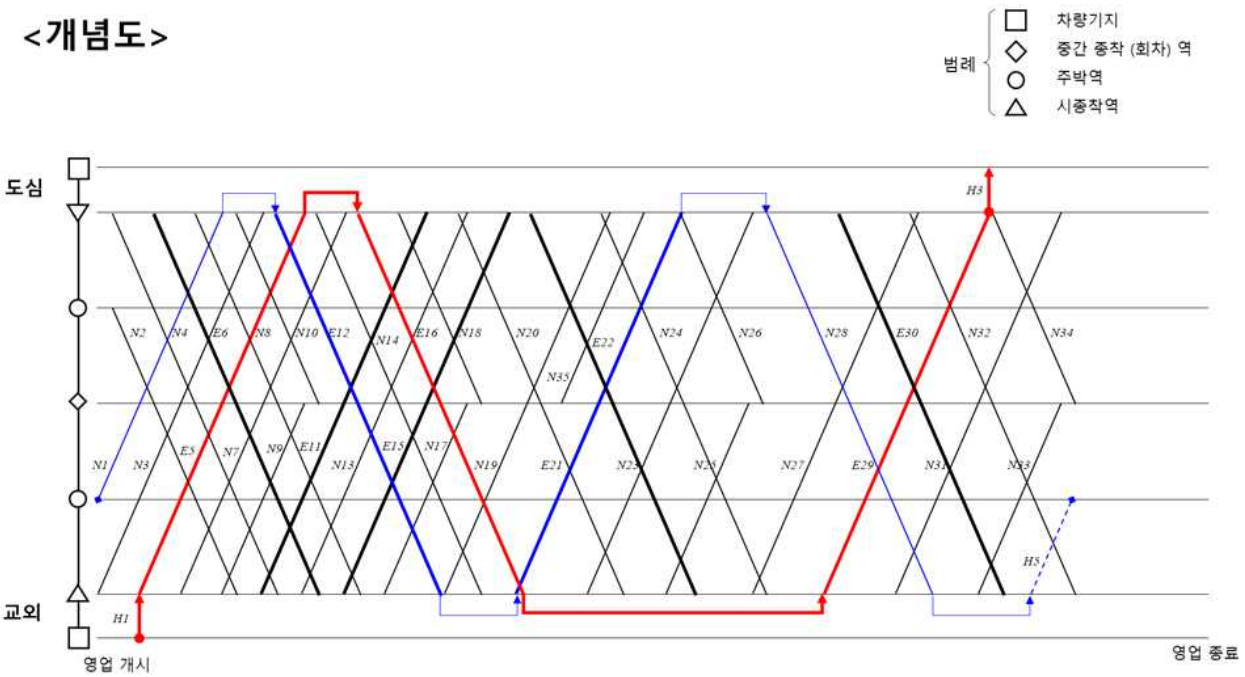
<그림 56 철도차량 운용계획 업무절차>

- <그림 56>에서 보는 철도차량 운영계획 절차는 내부적으로 차량 운용 Dia 스케줄링

(1단계)와 철도차량 운용 순서표 계획 (2단계)로 구성됨

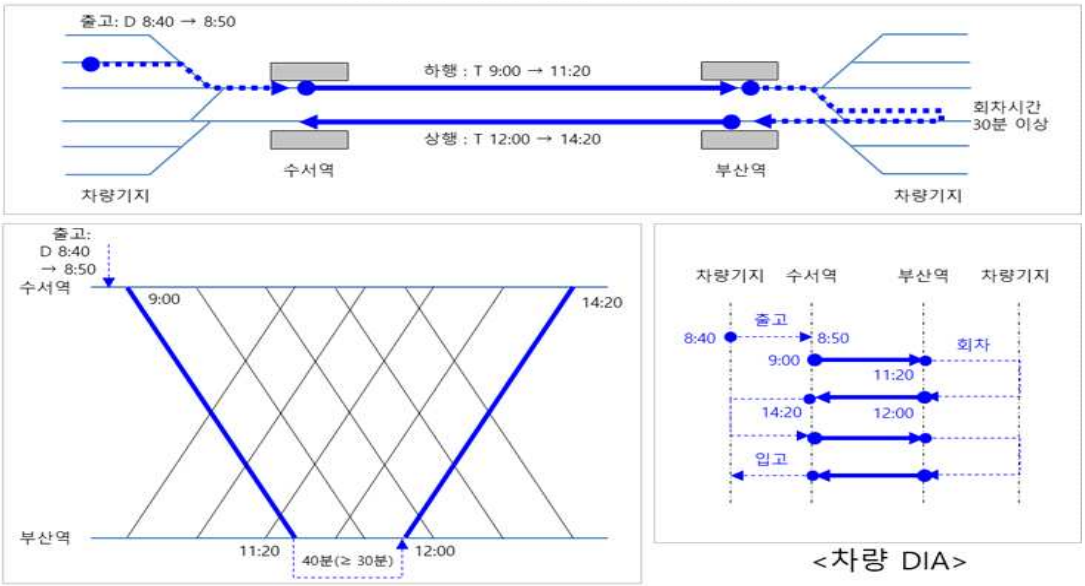
㈏ 철도차량 운용 Dia 스케줄링 (1단계) 문제 정의

- <그림 57>은 철도차량 운용 Dia의 한 가지 예시를 나타냄
- 그림에서 보는 바와 같이 E5 → E16 → E29로 연결되는 일련의 열차 번호 순서는 철도차량 1편성이 하루 동안 반복적으로 운행하는 하나의 철도차량 Dia가 됨
- 즉 하나의 철도차량 Dia는 같은 철도차량 1편성에 의해 서비스가 실현되는 열차 번호의 순차적인 집합을 나타냄
- 그림에서 N1, N2, N3 등은 각기 개별적으로 1회의 열차를 나타낸다. 1회의 열차를 정의하는 것에는 그 열차의 서비스 등급, 정차역, 정차역별 도착 및 출발 시각 등의 결정이 포함됨
- 그림에 표시된 E5 및 E6 역시 각기 개별적인 1회의 열차를 나타내지만, 개념적으로 N의 경우 상대적으로 하위 등급 (일반) 열차를 나타내고, E의 경우 상위 등급 (급행) 열차를 나타내는 방법으로 활용됨. 또한, N1과 N3와 같은 홀수 번호는 상행, 그리고 N2 및 N4와 같은 짝수 번호는 하행을 등의 행선 표시 방법으로 활용됨



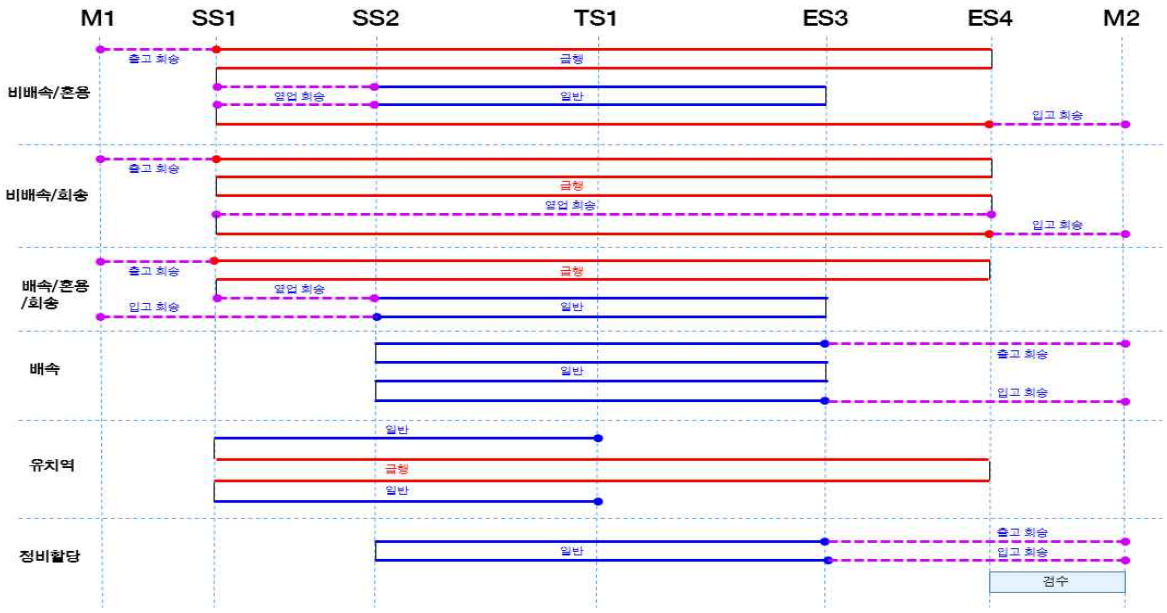
<그림 57 철도차량 운용 Dia 스케줄 (예시)>

- <그림 57>에서 보는 바와 같이 화면에 표시된 모든 열차번호가 고유한 차량 Dia의 번호에 중복 없이 독립적으로 할당되면 철도차량 운용 Dia 스케줄링 업무절차 (1단계)가 완료됨
- <그림 58>은 <그림 57>에서와 같이 수립된 1편성의 철도차량 운용 Dia에 따라 운행하는 경우의 공간적 행로의 예시를 나타냄



<그림 58 1편성 차량 운행 행로 (예시)>

- <그림 57>의 철도차량 운용 Dia 스케줄 장표는 <그림 58> 오른쪽 아래서 보는 바와 같은 반복표 형태의 장표로 자주 표현됨
- 철도차량 Dia 스케줄링의 다양한 운용 조건
  - <그림 59>는 앞에서 소개한 다양한 조건을 고려하여 철도차량 운용 Dia를 도출할 경우 결과 스케줄의 다양한 결과 예시를 나타냄



<그림 59 다양한 조건에 따른 철도차량 운용 Dia 변화 예시>

- 비배속/혼용 : 차량의 소속이 정해져 있지 않고, 한 편성이 수행하는 열차의 종별도 급행 및 일반 열차등과 같이 다양한 종별의 열차들을 하나의 행로 안에서 구성하는 규칙
- 비배속/회송 : 차량의 소속이 정해져 있지 않고, 차량이 운행하는 도중에 필요에 의해

회송열차를 설정하여 시발역을 변경하는 규칙

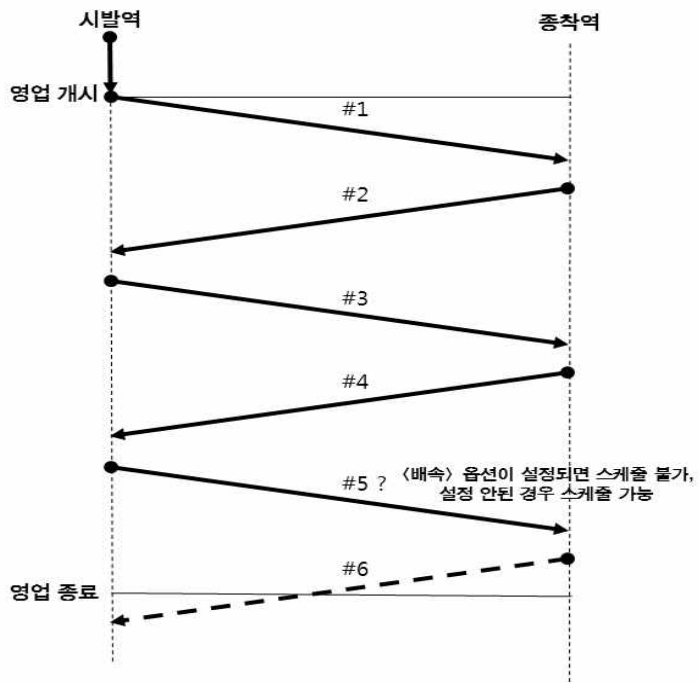
- 배속/혼용/회속 : 차량의 소속이 정해져 있어 차량의 출고와 입고의 위치를 동일하게 제한하며, 한 편성이 수행하는 열차의 종별도 급행 및 일반 열차등과 같이 다양한 종별의 열차들을 하나의 행로 안에서 구성할 뿐만 아니라 운행하는 도중에 필요에 의해 회송 열차를 설정하여 시발역을 변경하는 규칙

• <그림 60>은 철도차량 운용조건이 배속 및 비배속 조건으로 설정됨에 따라 철도차량 Dia 스케줄링이 변화하는 개념을 나타냄

- 종래 차량편성을 운용하는 방법 중에 전용 및 혼용 운용방식의 구분이 있다. 여기서 전용 및 혼용이란 상급 열차 (급행) 및 하급 열차 (일반) 등 열차 서비스 등급에 따라 차량편성을 전용 또는 혼용으로 지정하는 차량 운용방식을 의미함. 예를 들어, 공항철도와 같이 차량의 구조 자체가 차별화된 경우 전용 방식으로 지정하고, 9호선과 같이 차량 구조적인 측면에서 차별점이 없는 경우 혼용 방식 지정이 가능함

- (전용) 차량편성을 상급 열차 (급행) 전용과 하급 열차 (일반) 전용으로 사전에 구분하여 할당하고, 차량 운용 행로의 스케줄링도 등급마다 별도로 한다. 또한, 차량기지에서 재고 부족에 의한 Infeasibility Message 역시 등급별로 각각 조사하여 알림

- (혼용) 열차 서비스 등급을 구분하지 않고 차량편성 총량으로 할당하고, 차량 운행 행로의 스케줄링 역시 서로 다른 서비스 간 무작위 순서로 스케줄링한다. 또한, 차량기지에서 재고 부족에 의한 Infeasibility Message 역시 등급별로 구분하지 않고, 총편성 수를 고려하여 알림



<그림 60 배속/비 배속 차량 운용의 차이>

- 종래 차량편성 운용을 구분하는 또 다른 방법은 배속과 비배속이다. 배속과 비 배속 운용 방법은 아래와 같이 구분됨. 여기서, 배속이란 차량편성의 소속 차량기지를 지정하는 것으로 1일 열차 운행종료 후 해당 차량편성이 소속 차량기지로 되돌아가서 채박하는 차량 운용방식을 의미함

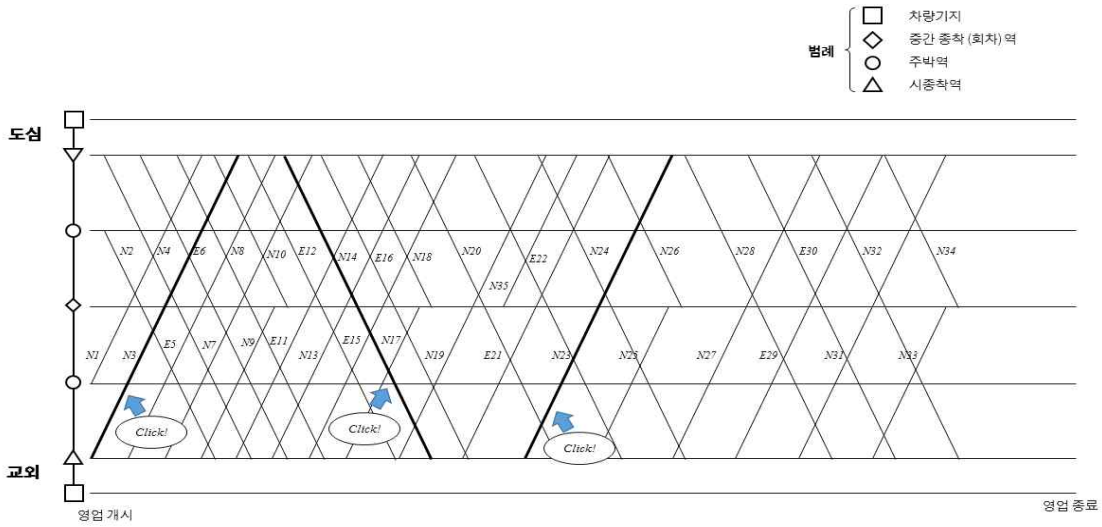
- (배속) 한 차량편성의 운용 행로를 스케줄 할 때, 시작과 끝이 같은 차량기지가 되도록 함. 따라서 <배속> 옵션이 선택된 경우 영업 종료까지 시간적 여유가 있음에도 불구하고, 배속 조건을 준수하기 위해, 해당 차량편성의 사업을 다소 일찍 종료해야 하는 단점이 발생할 수 있음. 예를 들어, 다음 <그림 60>에서 #5 열차는 배속조건 때문에 해당 운용 행로에 스케줄 될 수 없음. 배속 조건을 선택하는 경우는 차량의 유지보수 및 관리 등의 편리성을 확보하기 위해 선택할 수가 있음

- (비배속) 한 차량편성의 운용 행로를 스케줄 할 때, 시작과 끝이 같은 차량기지가 될 필요는 없음. 따라서 <비 배속> 옵션이 선택된 경우 영업 종료까지 차량편성을 최대한 활용할 수 있는 장점이 있음. 예를 들어, 다음 <그림 60>에서 #5 열차는 해당 운용 행로에 포함될 수 있음

• 철도차량 운용 스케줄링은 열차 스케줄을 바탕으로 수립됨. 종래 철도차량의 스케줄링 방법은 전산화 수준에 머무르고 있음

- 여기서 전산화의 개념은 열차 스케줄을 컴퓨터 화면에 표시하고, <그림 61>에 표시된 바와 같이 사용자가 마우스 클릭과 같은 방법으로 열차를 순차적으로 지정하여 하나의 물리적인 차량편성이 연속적으로 작업을 수행해야 하는 열차의 순서를 지정하는 작업 방법 및 전산 시스템을 나타냄

- 이와 같은 작업 방법은 비록 전산화된 컴퓨터 프로그램을 사용하지만 주요한 판단과 의사결정이 사용자에 의해서 이루어지는 지능화 측면에서 미흡한 시스템의 특징이 있음

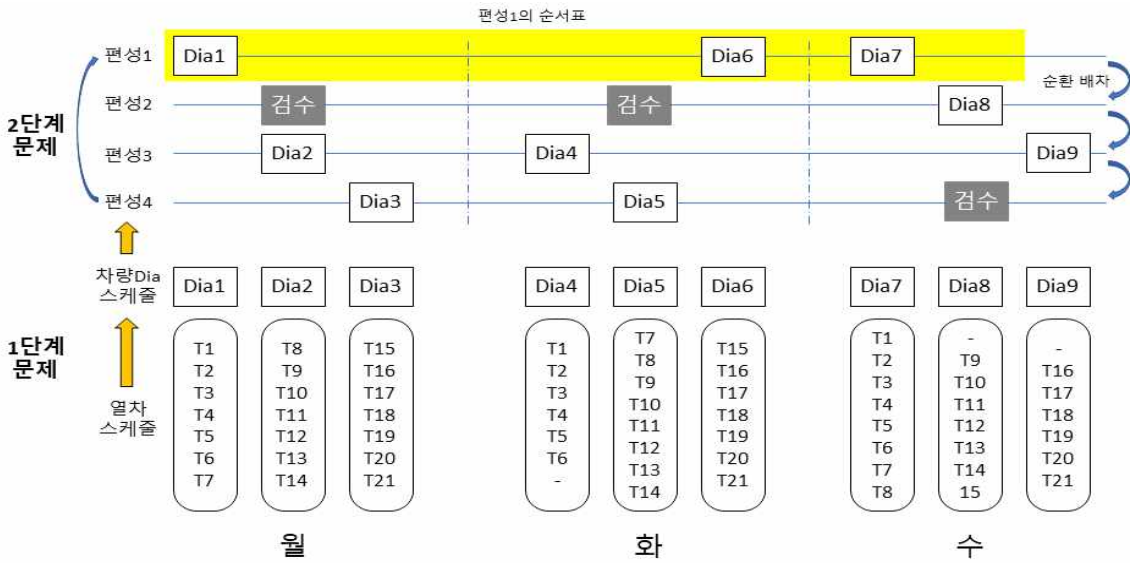


<그림 61 편성 단위로 운행하는 철도차량 운용 스케줄링 예시>

- 이와 같은 전산화 시스템은 동일한 편성의 Dia에 순차적으로 포함될 상·하행 열차간 최소 및 최대 반복시간 제약의 고려, 반복적으로 이루어지는 차량 검수 및 청소의 반영 및 사용자가 수립한 차량운용 스케줄의 정략적 품질관리 등의 측면에서 한계가 있음

㉰ 차량 운용 순서표 작성 (2단계) 문제 정의

- <그림 62>는 차량 운용 순서표 (2단계)의 구성 예시를 나타냄
- 차량 운용 순서표 (2단계) 업무절차는 1단계인 철도차량 Dia 스케줄의 선행 산출 결과가 입력 데이터로 주어지는 것은 전제로 함



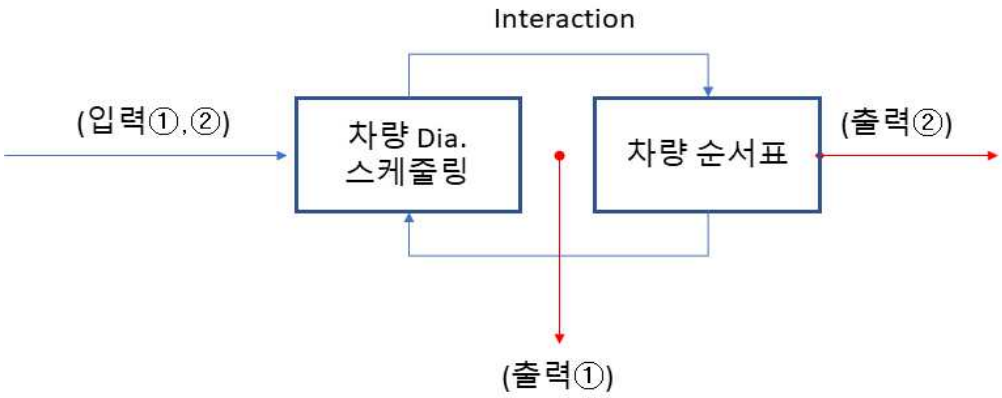
<그림 62 차량 운용 순서표 구성 예시>

- <그림 62>에서 보는 바와 같이 Dia1 = {T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7}으로 이루어지는 하나의 차량 Dia 스케줄임
- 편성1은 Dia1 (월요일) → Dia6 (화요일) → Dia7 (수요일) 등의 순서로 순서표가 구성됨
- 결과적으로 차량 운용 순서표는 열차 Dia로부터 차량 Dia에 걸치는 복합적인 입력데이터를 기반으로 산출되는 최종적인 기본계획임
- 편성1이 1주일의 사업을 마친 후 그다음 주에는 편성2가 지난주에 담당한 사업을 이어받아 수행하고, 편성2는 다시 편성3의 사업을 이어받아 수행하여 1년 동안 열차-차량에 대한 운용 스케줄 반복적으로 이루어지는 기본계획이 됨

② 인터페이스 정의 ([핵심성과] C-6 알고리즘 수행도-인터페이스 시험)

㉮ 단계별 인터페이스 정의

- <그림 63>은 철도차량 운용계획 문제의 단계별 인터페이스 구성도를 나타냄



<그림 63 철도차량 운용계획 문제 단계별 인터페이스 구성도>

- 앞 절 업무절차에서 소개한 바와 같이 철도차량 운용계획 문제는 차량 Dia 스케줄링 문제와 차량 운용 순서표 작성 문제로 2단계로 구성됨
- 각 단계가 진행하는데 필요한 정보가 입력①,②로 표시되었음
- 또한, 각 단계를 진행하면서 산출하는 정보가 출력①,②로 표시되었음

㈏ 입력정보 정의

- <표 19>는 입력① 파라미터 정보 내용을 나타냄. 파라미터 정보는 표에서 보와 바와 같이 차량 Dia 수립에 직접적으로 영향을 미치는 철도차량 운영기관의 시설 용량과 운영규칙 등으로 구성됨

<표 19 입력① : 파라미터 정보>

Parameters	내용	비고
체박 용량	기지 또는 시종착역 [s]의 체박 및 유치 용량	주차장 용량 C_s
최소/최대 반복 시분	시종착역 [s]의 반복/회차 소요시분	MNT_s, MXT_s
주간 검수	기지별 요일별 검수량	M_r^d

- <표 20>은 입력② 열차계획 정보 내용을 나타냄. <표 19>의 입력①이 파라미터 성격의 입력정보인 반면, 입력②의 열차계획은 입력 데이터의 성격에 해당함
- 이와 같은 입력 데이터는 앞의 <그림 56>에서 제시된 업무절차의 흐름과 같음

<표 20 입력② : 열차 계획 정보>

Id_Train	DPT_STN	DPT_TIME	ARR_STN	ARR_TIME	TRV_KM	Nm_LINE	DOUBLE
301	SUS	05:45	BUS	08:05	440	KYBU-UP	NO
303D	SUS	06:00	BUS	08:25	440	KYBU-DN	YES
...						HN-UP	
						HN-DN	

㉰ 출력정보 정의

- 기본적으로 위와 같은 입력①,②가 주어지면 철도차량 운영계획 문제의 출력 (또는 Solution)인 출력①,②를 얻을 수 있음
- 다음 <표 21>은 1단계인 철도차량 Dia 스케줄링 문제의 출력 (해)의 한 가지 예시를 나타냄

<표 21 출력① : 차량 Dia 스케줄>

순번	차량DIA	운행열차	주행km	요일	월	화	수	목	금	토	일
1	S17001	(수서) 301-318-343-360-375 (부산)	2,000.0	전요일	1	1	1	1	1	1	1
2	S17002	(수서) 303-320-333-350-365-D365 (부기)	2,007.1	전요일	1	1	1	1	1	1	1
3	S17003	(수서) 305-322-335-352-367-D367 (부기)	2,007.1	전요일	1	1	1	1	1	1	1
4	S17004	(수서) 307-324-337-354-369-D369 (부기)	2,007.1	전요일	1	1	1	1	1	1	1
5	S17005	(수서) 309-326-339-356-371-D371 (부기)	2,007.1	전요일	1	1	1	1	1	1	1
6	S17006	(수서) 951-952-311-328-341-358-373 (부산)	2,157.2	전요일	1	1	1	1	1	1	1
7	S17007	(수서) 313-330-345-362-377-D377 (부기)	2,007.1	월화수목토	1	1	1	1		1	
8	S17008	(수서) H690-690-317-332-347-364-379 (부산)	2,064.8	월화수목금	1	1	1	1	1		
9	S17009	(부산) 306-321-338-353-370 (수서)	2,000.0	전요일	1	1	1	1	1	1	1
10	S17010	(부기) H308-308-323-336-351-366 (수서)	2,007.1	월화수목금토	1	1	1	1	1	1	
11	S17011	(부기) H310-310-325-342-359-376 (수서)	2,007.1	월화수목일	1	1	1	1			1
12	S17012	(부기) H312-312-327-344-357-374 (수서)	2,007.1	전요일	1	1	1	1	1	1	1
13	S17013	(부기) H314-314-329-346-361-378 (수서)	2,007.1	전요일	1	1	1	1	1	1	1
14	S17014	(수서) 651-654-657-660-663-666 (수서)	2,138.4	전요일	1	1	1	1	1	1	1
15	S17015	(수서) 601-606-607-612-613-618-667-D667 (광기)	2,166.2	월화수목토일	1	1	1	1		1	1
16	S17016	(수서) 653-656-659-662-617-622 (수서)	2,004.8	월화수금토일	1	1	1		1	1	1
17	S17017	(부산) 302-315-334-661-664-619-D619 (광기)	2,207.8	월화수목금토	1	1	1	1	1	1	
18	S17018	(부기) H304-304-605-610-611-616-665-668 (수서)	2,278.3	전요일	1	1	1	1	1	1	1
19	S17019	(부산) 316-609-614-615-620-621-D621 (광기)	1,853.4	월화수목토	1	1	1	1		1	
20	S17020	(광기) H602-602-603-608-331-348-363-380 (수서)	2,474.2	전요일	1	1	1	1	1	1	1
21	S17021	(광기) H604-604-319-340-355-372 (수서)	1,895.0	월화수목금일	1	1	1	1	1		1
22	S17022	(광기) H652-652-655-658-349-368 (수서)	1,941.4	전요일	1	1	1	1	1	1	1
23	S17216	(수서) 653-656-659-662-617-D617 (광기)	1,720.6	목				1			
24	S17266	(광기) H622-622 (수서)	295.0	목				1			
25	S17296	(광기) H622-622 (수서)	295.0	목				1			
26	S17311	(부산) 310-325-342-615-620-621-D621 (광기)	2,074.2	금					1		
27	S17319	(부기) H316-316-609-614-359-376 (수서)	1,786.3	금					1		
28	S17315	(수서) 601-606-607-612-345-362-377-D377 (부기)	2,365.5	금					1		
29	S17307	(수서) 313-330-613-618-667-D667 (광기)	1,807.8	금					1		

- 다음 <표 22>는 2단계인 차량 운용 순서표 문제의 출력 (해)의 한 가지 예시를 나타냄
- <표 21>의 출력①은 <표 22>의 출력②를 도출하기 위해 다시 한번 입력으로 활용되는 과정을 거침

<표 22 출력② : 차량 운용 순서표>

운용No	월	화	수	목	금	토	일	다음운용
1	S17010 (H308:부 ⇒366:수)	S17005 (309:수 ⇒D371:부)	S17010 (H308:부 ⇒366:수)	S17005 (309:수 ⇒D371:부)	S17010 (H308:부 ⇒366:수)	S17005 (309:수 ⇒D371:부)	S17510 (H308:부 ⇒D621:광)	2
2	S17021 (H604:광 ⇒372:수)	S17014 (651:수 ⇒666:수)	S17008 (H690:수 ⇒379:부)	S17019 (316:부 ⇒D621:광)	S17021 (H604:광 ⇒372:수)	S17014 (651:수 ⇒666:수)	S17508 (317:수 ⇒379:부)	3
3	S17019 (316:부 ⇒D621:광)	S17021 (H604:광 ⇒372:수)	S17014 (651:수 ⇒666:수)	S17008 (H690:수 ⇒379:부)	S17311 (310:부 ⇒D621:광)	S17421 (H604:광 ⇒376:수)	S17507 (313:수 ⇒D619:광)	4
4	S17022 (H652:광 ⇒368:수)	S17016 (653:수 ⇒622:수)	S17001 (301:수 ⇒375:부)	S17017 (302:부 ⇒D619:광)	S17022 (H652:광 ⇒368:수)	S17016 (653:수 ⇒622:수)	S17001 (301:수 ⇒375:부)	5
5	S17017 (302:부 ⇒D619:광)	S17022 (H652:광 ⇒368:수)	S17016 (653:수 ⇒622:수)	S17001 (301:수 ⇒375:부)	S17017 (302:부 ⇒D619:광)	S17022 (H652:광 ⇒368:수)	S17016 (653:수 ⇒622:수)	6
6	S17001 (301:수⇒375:부)	S17017 (302:부 ⇒D619:광)	S17022 (H652:광 ⇒368:수)	S17216 (653:수 ⇒D617:광)	S17331 (H614:광 ⇒376:수)	S17407 (313:수 ⇒D377:부)	S17511 (H310:부 ⇒376:수)	7
7	S17615 (601:수 ⇒D601:광)	호남 기지		S17296 (H622:광 ⇒622:수)	S17305 (309:수 ⇒D371:부)	S17410 (308:부 ⇒366:수)	S17505 (309:수 ⇒D371:부)	8
8	부산 기지				S17312 (H344:부 ⇒374:수)	S17404 (307:수 ⇒D369:부)	S17512 (H312:부 ⇒374:수)	9
…								…
최대 편성	S17005 (309:수 ⇒D371:부)	S17010 (H308:부 ⇒366:수)	S17005 (309:수 ⇒D371:부)	S17010 (H308:부 ⇒366:수)	S17001 (301:수 ⇒375:부)	S17017 (302:부 ⇒D619:광)	S17022 (H652:광 ⇒368:수)	1

- 즉, 1단계의 출력이 2단계의 입력으로 활용되는 과정이다. 이와 같이 2개 단계로 구성된 문제의 풀이 방법은 (1) 단계적 해법, (2) 통합적 해법이 가능함
- 단계적 해법은 앞에서 정의된 1단계와 2단계 문제를 순차적으로 풀이하는 과정이고, 통합적 해법은 1단계와 2단계 문제를 통합하여 하나의 통합된 문제를 구성하고, 그 통합된 문제에 대한 해를 구함으로써 1,2단계의 해를 동시에 도출하는 해법임

3) 단계적 해법 개발

① 단계적 해법의 수리과학 모형개발 ([핵심성과] C-2 최적화 알고리즘 모형 개발(차량운영계획))

㉮ 수리과학 모델의 기본구성

- <표 23>은 최적화를 위한 수리과학 모델의 기본구성을 나타냄. 즉 모든 최적화 문제는 수리과학 모델로 표현 (Formulation) 할 때 <표 23>과 같은 구성을 하게 됨
- 따라서 철도차량 운용 스케줄링 최적화 문제 역시 아래 <표 23>과 같은 형태로 정의할 수 있음. 다음에서 보는 바와 같이 최적화 문제는 다양한 수학적 기호와 수식의 조합으로 표현됨. 현실에서 나타나는 업무절차 들을 이처럼 수학적 기호와 수식으로 표현하는 작업을 수학적 모델 (Mathematical Model)이라고 함

<표 23 최적화를 위한 수리과학 모델 구성>

Min. cx	⇔	목적함수 (Objective function)	최적화 기준
subject to			
Ax ≤ b		제약조건 (Constraints)	최적화 범위
x ∈ R ∪ Z		결정변수 (Variables)	최적화 대상

- 아래 <표 24>는 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 수리과학 모델 개발을 위한 현실 조건을 나타냄. 표에서 나타난 현실 조건들은 앞 절에서 제시된 업무절차 분석과정에서 정리됨

<표 24 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제 현실 조건>

기본구성	철도차량 운영 Dia 스케줄링 문제의 실례
목적함수	◦ 소요되는 차량 편성 수를 최소화할 것 ◦ 될 수 있으면 회송 열차를 최소화하여 행로를 구성할 것 ◦ 개별적인 차량편성의 행로 거리를 되도록 평준화할 것
제약조건	◦ 열차 스케줄에 계획된 모든 열차가 빠지지 않고 차량의 행로에 반영될 것 ◦ 개별 차량 행로에 개별 열차가 배치될 때 유일성을 지킬 것 ◦ 정비 소요에 필요한 편성이 고려될 것 ◦ 시 종착역에서 회차하는 최소반복 시간의 규칙을 지킬 것 ◦ 차량/주박 기지의 체박/주박 용량이 준수되도록 할 것 ◦ 차량편성의 최대 행로 거리의 상한을 지킬 것 등
결정변수	◦ 개별 차량편성에서 운행하는 열차의 순서

㈏ 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 수리과학 모델

- 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 수리과학 모델은 다음에서 보는 바와 같이 인덱스, 입력 데이터 및 파라미터 그리고 결정변수를 정의함으로써 시작함
- 아래 <표 25>는 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 인덱스 집합 정의를 나타낸다. 열차, 편성의 행로, 시 종착역 및 검수를 나타내는 집합과 인덱스가 정의됨

<표 25 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 인덱스 집합 정의>

$i, j \in I \cup I_o \cup I_d$, train indices,	$I = \{1,2,\ldots,n\}$.
I_o and I_d are the subsets of dummy trains;	$I_o = \{o_1, o_2, \ldots, o_{2\times s}\}$, $I_d = \{d_1, d_2, \ldots, d_{2\times s}\}$
$k \in K$, route index,	$K = \{1,2,\ldots,m\}$
$p \in P$, station index,	$P = \{1,2,\ldots,s\}$

$r \in R$, maintenance-type index, $R = \{1,2,\ldots,q\}$

- <표 26>은 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 입력데이터와 파라미터에 대한 부호 정의를 나타냄

<표 26 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 입력 및 파라미터 정의>

SS_i,	열차 i의 첫 번째 출발역(종착역)
AS_i,	열차 i의 마지막 도착역(종착역)
ST_i,	SS_i 에서의 열차 I의 출발 시간
AT_i,	AS_i 에서의 열차 I의 도착시간
IT_r,	정비유형 r의 정비시간
BT_r,	정비유형 r의 시작가능시간
ET_r,	정비유형 r의 종료가능시간
D_i,	열차 i의 주행거리
MST_{ij},	열차 i로부터 j로 연결하는 최소 전환시간
H_{pr},	정거장(차량기지) p에서 정비유형 r의 정비할당 수
$C_{pr} = \left\{ \langle i,j \rangle \middle\| AS_i = SS_j = p, i \in I \cup I_o, j \in I \cup I_d, \min(ST_j, ET_r) - \max(AT_i, BT_r) \geq IT_r \right\}$	
정거장 p에서 정비유형 r을 수용할 수 있는 연속된 열차의 쌍 집합	
SL_p,	정거장(차량기지) p의 야간 주박용량
$MaxSche$,	노선의 총 주행거리보다 높은 거리
$MinSche$,	노선의 총 주행거리보다 낮은 거리
$MaxTr$,	노선에 배정이 가능한 열차의 최대 수

- <표 27>은 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제의 결정변수 정의를 나타냄
- 아래에서 정의된 결정변수들의 값을 모두 구했다는 의미는 주어진 모델의 해를 구했다는 의미와 같고, 이것은 해당 철도차량 운용 Dia 스케줄링 계획을 최적으로 수립했다는 의미와 같음

<표 27 철도차량 운용 Dia 스케줄링 결정변수 정의>

x_{ijk}	$\begin{cases} 1 \; i와 \; j열차가 \; 노선 \; k에 \; 배정된 \; 경우 \\ 0 \; 이외, \; \forall i \in I \cup I_0, \; \forall j \in I \cup I_d, \; \forall k \in K \end{cases}$
y_{kpr}	$\begin{cases} 1 \; 정거장 \; p에서 \; 노선 \; k에 \; 허가된 \; 정비유형 \; r인 \; 경우 \\ 0 \; 이외, \; \forall k \in K, \; \forall p \in P, \; \forall r \in R \end{cases}$
TD_k,	노선 k의 총 운행거리

$\overline{TD}$, 모든 노선의 평균 운행거리

- 지금까지 정의한 기호들을 모두 사용하여 철도차량 운용 Dia 스케줄링 문제 (1단계)의 수리적 모델을 <표 28>과 같이 정의됨

<표 28 철도차량 운용 Dia 스케줄링 최적화 수리과학 모델>

$$Min \quad \sum_{k\in K}\left|\overline{TD}-TD_k\right|/m \tag{1}$$

subject to

$$\sum_{k\in K}\sum_{i\in I\cup I_o} x_{ijk}=1, \qquad \forall j\in I \tag{2}$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{j\in I\cup I_d} x_{ijk}=1, \qquad \forall i\in I \tag{3}$$

$$\sum_{j\in I\cup I_o} x_{jik}-\sum_{j\in I\cup I_d} x_{ijk}=0, \qquad \forall k\in K,\forall i\in I \tag{4}$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in I} x_{ijk}\geq 1, \qquad \forall k\in K \tag{5}$$

$$\sum_{i\in I_o}\sum_{j\in I} x_{ijk}=1, \qquad \forall k\in K \tag{6}$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in I_d} x_{ijk}=1, \qquad \forall k\in K \tag{7}$$

$$\sum_{i\in I\cup I_o}\sum_{j\in I\cup I_d} D_i x_{ijk}-TD_k=0, \qquad \forall k\in K \tag{8}$$

$$TD_k\geq MinSche, \qquad \forall k\in K \tag{9}$$

$$TD_k\leq MaxSche, \qquad \forall k\in K \tag{10}$$

$$ST_j-AT_i+(1-x_{ijk})M\geq MST_{ij}, \qquad \forall i,j\in I,\forall k\in K \tag{11}$$

$$SS_j-AS_i+(1-x_{ijk})M\geq 0, \qquad \forall i,j\in I,\forall k\in K \tag{12}$$

$$AS_i-SS_j+(1-x_{ijk})M\geq 0, \qquad \forall i,j\in I,\forall k\in K \tag{13}$$

$$\sum_{i\in I}\sum_{j\in I\cup I_d} x_{ijk}\leq MaxTr, \qquad \forall k\in K \tag{14}$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{i\in I:AS_i=p}\sum_{j\in I_d:SS_j=p} x_{ijk}=SL_p, \qquad \forall p\in P \tag{15}$$

$$\sum_{k\in K} y_{kpr}=H_{pr}, \qquad \forall p\in P,\forall r\in R \tag{16}$$

$$\sum_{p\in P}\sum_{r\in R} y_{kpr}\leq 1, \qquad \forall k\in K \tag{17}$$

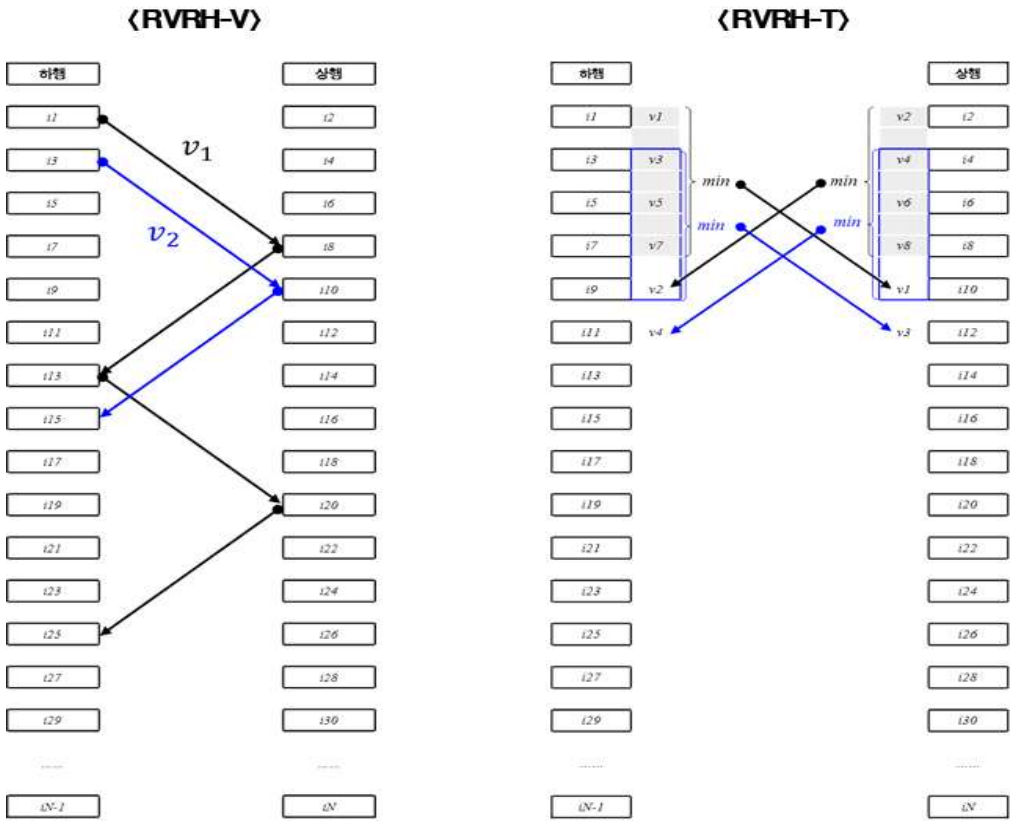
$$\sum_{\langle i,j\rangle\in C_{pr}} x_{ijk}-y_{kpr}\geq 0, \qquad \forall k\in K,\forall p\in P,\forall r\in R \tag{18}$$

- 여기서 식 (1)은 목적함수를 나타낸 것으로서 편성간 행로거리의 평준화를 위한 것임
- 제약조건 (2), (3)은 개별 차량행로에 할당되는 개별 열차들의 유일성 조건을 나타냄. 만일 이와 같은 조건이 충족되지 않는 경우 하나의 열차가 복수의 편성에 할당되는 해가 발생할 수 있고, 이러한 해는 현실에서 실행할 수 없는 해가 됨
- 제약조건 (4)는 행로를 결정변수로 하는 문제에서 일반적으로 발생하는 흐름만족 (Flow Conservation)에 관한 제약임. 이와 같은 제약조건은 실질적으로 관련된 문제의 해를 구성하는 가장 중추적인 역할을 담당함. 차량운용 스케줄링 최적화 문제에서도 이 제약조건하는 가장 중요한 제약조건을 담당함. 이 제약조건의 역할 개별적인 차량편성에 포함되는 개별적인 열차들 간의 연결을 보장하는 역할을 수행함
- 제약조건 (5)는 비어있는 경로를 금지하며, 개별 차량편성의 행로에 적어도 하나 이상의 열차가 포함되어야 함
- 제약조건 (6), (7)은 각 경로에서 첫 번째와 마지막 열차가 더미 열차임을 나타냄
- 제약조건 (8)은 각 경로의 총 주행거리를 계산하며, 제약조건 (9), (10)은 각 경로마다 주행거리의 하한과 상한을 각각 적용함
- 제약조건 (11)은 경로에서 연속되는 열차 사이의 최소 왕복시간을 보장한다. 여기서 M은 큰 상수 값임
- 제약조건 (12), (13)은 경로 전환시 회송을 금지하며, 제약조건 (14)은 각 경로에 할당할 수 있는 열차의 수를 제한함
- 제약조건 (15)는 각 차량기지의 주박용량을 나타냄
- 제약조건 (16)~(18)는 필요한 수의 경로가 해당 운영유형에 대해 차량기지(정비기지)에 직접 전달되도록 보장함. 특히 제약조건 (17)은 각 경로에 대한 정비할당 수를 제한하며, 제약조건 (18)은 할당된 정비유형의 작업을 경로에 포함하도록 제약함

② 단계적 해법 알고리즘 개발 ([핵심성과] C-3 차량운영계획 최적화 알고리즘 개발)

㉮ 차량 중심 (RVRH-V)과 열차 중심 (RVRH-T) 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘

- <그림 64>는 차량 중심 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘과 열차 중심 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘의 개념도를 나타냄



<그림 64 차량과 열차 중심 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘>

- 위 그림에서 RVRH-V (Vehicle oriented Rail-Vehicle Heuristic)은 차량을 중심으로 한 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘의 개념도를 나타냄

- 그림에서 보는 바와 같이 첫 번째 철도차량 (v_1)을 중심으로 첫 번째 열차 (i_1)을 선택한 후 최적의 조건을 만족한 다음 열차(i_8)을 선택함. 이와 같은 선택을 영업 종료 시각까지 반복하여 차량 Dia의 1행로를 완성함
- 다음 두 번째 철도차량 (v_2)으로 첫 번째 행로를 완성하는 것과 같은 과정을 반복함
- 여기서 최적 조건을 만족하는 다음 열차는 다음 식(1)과 같은 조건을 고려하여 선택함. 여기서,

$$i_{n+1}(v) = argmin\ \{ST(i) - ET(i_n(v)) - TR(i_n(v))\},\ \forall i \in \bar{I},\ \forall v \in \bar{V} \quad (19)$$

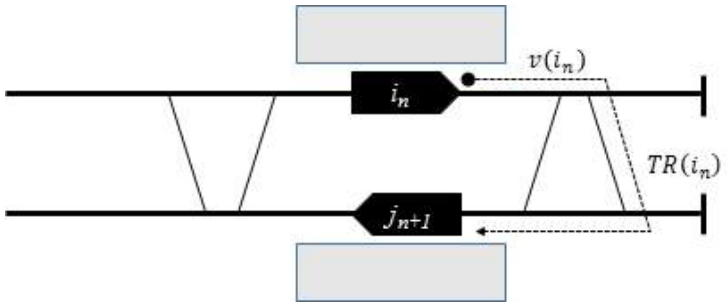
- $i(v)$: 차량편성 [v]의 운용 행로 중에서 포함될 열차 번호
- $ST(i)$: 입력데이터로 주어지는 열차 스케줄 번호 중 열차 [i]의 시발역 출발 시각
- $ET(i)$: 입력데이터로 주어지는 열차 스케줄 번호 중 열차 [i]의 종착역 도착 시각
- $TR(i)$: 입력데이터로 주어지는 열차 스케줄 번호 중 열차 [i]의 최소 반복 시분
- $\bar{V}$: 보유 중인 총 차량편성 번호 전체집합 중 현재 미할당 차량편성 번호 집합
- $\bar{I}$: 입력데이터로 주어지는 열차 스케줄 번호 전체집합 중 현재 미할당 열차 번호 부분집합

- <그림 64>에서 RVRH-T (Train oriented Rail-Vehicle Heuristic)는 열차를 중심으로 한 철도차량 운용 스케줄링 휴리스틱의 개념도를 나타냄
  - 그림에서 보는 바와 같이 첫 번째 열차 (i_1)에 첫 번째 차량 (v_1)을 배차하고, 두 번째 열차 (i_2)에 두 번째 차량 (v_2)을 배차하는 과정을 계속함
  - 이와 같이 다음 열차에 차량을 배차하는 과정 중에 선행 출고된 차량 가운데 최적 조건을 만족하는 차량의 존재를 파악하여 다음 열차 배차함
  - 예를 들어, RVRH-T에서 열차 [i_{10}]에는 기출고된 차량 [v_1], [v_3], [v_5], [v_7] 중에서 최적 조건을 만족하는 [v_1]을 배차함. 만약 기 출고된 차량 중에서 조건을 충족하는 차량이 존재하지 않는 경우 차량기지에서 신규 차량이 출고되는 것으로 배차함
  - 여기서 최적 조건을 만족하는 차량은 다음 식(20)의 조건을 고려하여 선택함

$$v(i_{n+1}) = argmin\ \{ST(i_{n+1}) - ET(i(v)) - TR(i(v))\},\ \forall v \in V(i_n),\ \forall i_{n+1} \in \bar{I} \quad (20)$$

  여기서,
  - $v(i)$: 열차 번호 [i]에 배차될 차량 편성 번호 [v]
  - $V(i)$: 열차 [i]를 포함하여 이전에 차량기지로부터 출고하여 (아직 입고되지 않고) 본선에서 운행 중인 차량편성 번호의 부분집합

- RVRH-V와 RVRH-T를 각각 실행하여 더 유리한 조건 철도차량 운용 스케줄의 결과를 선택하여 적용함
- 아래 <그림 65>은 철도차량이 종착 (회차) 역에서 이루어지는 반복 (회차) 운전 절차를 나타냄
  - 그림에 나타난 예제와 같이 열차 [i_n]에 배차되어 운행 중인 차량 [$v(i_n)$]가 회차하는 데 걸리는 시간을 $TR(i_n)$이라고 함
  - 이 시간 $TR(i_n)$은 앞의 식 (19) 및 (20)에서 최적의 다음 열차를 선택하는 핵심적인 역할을 하는 파라미터임



<그림 65 철도차량 반복 (회차) 시분 개념도>

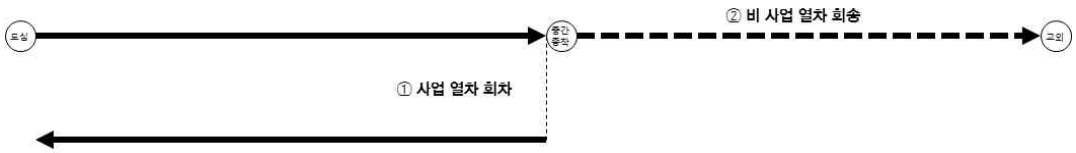
- 종래의 철도차량 운용 스케줄링에서는 $TR(i_n)$의 최소값 (즉, 최소 반복 시분, $\underline{TR} \le TR(i_n)$) 조건만을 고려하였으나, 본 연구에서 $TR(i_n)$의 최대값을 합리적으로 산정하여 적용하는 기술을 제시함. 이에 따라 $TR(i_n)$에 대한 새로운 조건은 다음 식 (21) 및 (22)와 같이 됨

$$\underline{TR} \le TR(i_n) \le \overline{TR} \qquad (21)$$

$$\overline{TR} \le m \times H \qquad (22)$$

- 여기서 종래의 최소값인 $\underline{TR}$는 현장 실측에 의해 구해지고, 최대값인 $\overline{TR}$은 식(20)과 같이 계산됨. 상기 RVRH-V 또는 RVRH-T 알고리즘에 의해 차량 운용 스케줄을 수립하는 과정에서 식(22)에서 산정하는 값 보다 긴 반복 (회차) 시간이 발생하는 경우, 그 반복 (회차)에서 해당 차량 운용 행로를 종료하고 해당 차량은 입고 조치하도록 스케줄을 수립함. 만약 최대값을 넘어서는 반복 (회차) 스케줄을 수립하는 경우 새로 도착하는 차량의 도착선이 부족해지는 회차선 용량부족 현상이 발생할 가능성이 높아짐. 즉 식 (21)과 (22)는 종래 기술에서 구현하지 못한 회차선 용량부족 현상을 미연에 방지하는 기술에 해당함

• 아래 <그림 66>은 중간 종착 (회차) 역에서 열차의 중간 회차 방식에 개념도를 나타냄. 중간 회차는 일부 열차가 해당 노선의 끝까지 운행하지 않고, 중간 종착역까지만 운행하도록 스케줄 된 경우 (예, 4호선 하행에서 사당역 종착인 열차), 중간 종착역에서 회차 운행 방법을 의미함. 아래 그림에서 보는 바와 같이 RVRH 알고리즘은 사전에 주어지는 입력데이터 중 노선 데이터와 열차 스케줄 데이터 중 중간 회차역과 중간 종착 열차의 존재를 조사하여, 필요한 경우 아래 그림과 같이 ① 사업 열차 회차 또는 ② 비사업 열차 회송 중 한 가지를 선택함



<그림 66 중간 회차 방식 개념도>

- 보통의 경우 비사업 열차 회송보다는 사업 열차로 회차하는 운행이 영업적인 측면에서 유리하므로 가능한 사업 열차 회차 방식으로 차량 운용 스케줄이 작성되는 것이 좋음. 본 연구에서는 이와 같은 목적의 해결 수단으로서 <중간 회차 의사결정 알고리즘>을 제시함

- 중간 회차 의사결정 알고리즘 - 다음 3가지 조건을 고려하여 조건을 모두 충족하는 경우 해당 차량편성을 그림 27에서 보는 바와 같은 사업 열차 회차 방식으로 스케줄링 함. 3가지 조건 중 한 가지라도 충족되지 않는 경우 ②와 같이 비 사업 열차 회송 운행 방법으로 스케줄링 함

(ⅰ) 중간 종착역에 회차 설비가 설치된 경우

(ⅱ) 중간 종착역에 회차 설비가 설치된 경우라도, 회차를 실행하는 당시 회차 용량에 여유가 있는 경우

(ⅲ) 중간 종착역에서 반대 방향으로 최소/최대 반복시분 조건을 충족하여 시발하는 열차가 존재하는 경우

㈏ 단계적 해법 기반 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘 구현 코드

- 단계적 해법 기반 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘 구현 코드는 아래와 같음

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.IO;
namespace TrainPlanner
{    class Train
    {
        // Index
        public int Index { get; set; }
        // Input
        public string TrainNumber { get; set; }
        public string DepartureStation { get; set; }
        public int DepartureTime { get; set; }
        public string ArrivalStation { get; set; }
        public int ArrivalTime { get; set; }
        // Output
        public int DiagramNumber { get; set; }
    }
    public class Optimizer
    {
        List<Train> trainList;
        Dictionary<string, int> minIntervalDict;
        public Optimizer()
        {
            trainList = new List<Train>();
            minIntervalDict = new Dictionary<string, int>();
        }
        public void AddTrain(string train_number,
                             string departure_station,
                             string departure_time,
                             string arrival_station,
                             string arrival_time,
                             string train_type)
        {
            int count;
            if (train_type.Equals("Single")) count = 1;
            else if (train_type.Equals("Dual")) count = 2;
            else count = 0;
            for (int i = 0; i < count; i++)
            {
                Train newTrain = new Train();
```

```
                newTrain.Index = trainList.Count + 1;
                newTrain.TrainNumber = train_number;
                newTrain.DepartureStation = departure_station;
                newTrain.DepartureTime = int.Parse(departure_time.Split(':')[0]) * 60 +
int.Parse(departure_time.Split(':')[1]);
                newTrain.ArrivalStation = arrival_station;
                newTrain.ArrivalTime = int.Parse(arrival_time.Split(':')[0]) * 60 +
int.Parse(arrival_time.Split(':')[1]);
                newTrain.DiagramNumber = -1;
                if (newTrain.ArrivalTime < newTrain.DepartureTime) newTrain.ArrivalTime += 60 *
24;
                trainList.Add(newTrain);
            }
        }
        public void SetDefaultMinInterval(int value)
        {
            foreach (Train proceeding in trainList)
            {
                foreach (Train following in trainList)
                {
                    string key = proceeding.TrainNumber + "@@@" + following.TrainNumber;
                    if (!minIntervalDict.ContainsKey(key)) minIntervalDict.Add(key, value);
                }
            }
        }
        public void SetExceptionalMinInterval(string proceeding_train, string following_train, int
value)
        {
            minIntervalDict[proceeding_train + "@@@" + following_train] = value;
        }
        public void WriteResult(string file_name)
        {
            StreamWriter file = new StreamWriter(file_name);

file.WriteLine("Index₩tTrainNumber₩tDepartureStation₩tDepartureTime₩tArrivalStation₩tArrivalTime₩
tDiagramNumber");
            foreach (Train train in trainList)
            {
                file.Write(train.Index + "₩t");
                file.Write(train.TrainNumber + "₩t");
                file.Write(train.DepartureStation + "₩t");
                file.Write(train.DepartureTime + "₩t");
                file.Write(train.ArrivalStation + "₩t");
                file.Write(train.ArrivalTime + "₩t");
                file.WriteLine(train.DiagramNumber);
            }
            file.Close();
        }
        public void RunSequentialAlgorithm()
        {
            int curDiagram = 0;
            while (true)
            {
                // Find Start Station
```

```
                int minTime = 1000000;
                Train curTrain = null;
                foreach (Train train in trainList)
                {
                    if (train.DiagramNumber != -1) continue;
                    if (train.DepartureTime < minTime)
                    {
                        minTime = train.DepartureTime;
                        curTrain = train;
                    }
                }
                if (curTrain == null) break;
                // Run
                curDiagram++;
                curTrain.DiagramNumber = curDiagram;
                while (true)
                {
                    minTime = 1000000;
                    Train nextTrain = null;
                    foreach (Train train in trainList)
                    {
                        if (train.DiagramNumber != -1) continue;
                        if (!train.DepartureStation.Equals(curTrain.ArrivalStation)) continue;
                        if (train.DepartureTime < curTrain.ArrivalTime +
minIntervalDict[curTrain.TrainNumber + "@@@" + train.TrainNumber]) continue;
                        if (train.DepartureTime < minTime)
                        {
                            minTime = train.DepartureTime;
                            nextTrain = train;
                        }
                    }
                    if (nextTrain == null) break;
                    curTrain = nextTrain;
                    curTrain.DiagramNumber = curDiagram;
                }
            }
        }
        public void RunParallelAlgorithm()
        {
            Dictionary<int, Train> diagramDict = new Dictionary<int, Train>();
            while (true)
            {
                // Find Target Station
                int minTime = 1000000;
                Train tarTrain = null;
                foreach (Train train in trainList)
                {
                    if (train.DiagramNumber != -1) continue;
                    if (train.DepartureTime < minTime)
                    {
                        minTime = train.DepartureTime;
                        tarTrain = train;
                    }
```

```
                }
                if (tarTrain == null) break;
                // Find Diagram
                minTime = 1000000;
                int tarDiagram = -1;
                foreach (KeyValuePair<int, Train> pair in diagramDict)
                {
                    if (!tarTrain.DepartureStation.Equals(pair.Value.ArrivalStation)) continue;
                    if (tarTrain.DepartureTime < pair.Value.ArrivalTime +
minIntervalDict[pair.Value.TrainNumber + "@@@" + tarTrain.TrainNumber]) continue;
                    if (pair.Value.ArrivalTime < minTime)
                    {
                        minTime = pair.Value.ArrivalTime;
                        tarDiagram = pair.Key;
                    }
                }
                if (tarDiagram == -1)
                {
                    tarTrain.DiagramNumber = diagramDict.Count + 1;
                    diagramDict.Add(diagramDict.Count + 1, tarTrain);
                }
                else
                {
                    tarTrain.DiagramNumber = tarDiagram;
                    diagramDict[tarDiagram] = tarTrain;
                }
            }
        }
    }
}
```

㉰ 단계적 해법 기본 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘 시험 및 검증

[핵심성과] C-4 차량운영계획 최적화 모형 검증

- 아래 <표 29>는 단계적 해법 기반 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘의 성능시험과 기능검증을 위한 입력데이터 임

- 이 데이터는 평소 차량편성 소요가 가장 많은 일요일 열차 스케줄을 활용하였음

- 표에서 Single로 표시된 열차는 단행 열차, Dual로 표시된 열차는 중련 열차를 나타냄

<표 29 단계적 해법 철도차량 운용 Dia 스케줄링 알고리즘 입력 데이터>

열번	출발역	출발시각	도착역	도착역	편성
301	수서	5:30	부산	8:05	Single
303	수서	6:00	부산	8:25	Single
305	수서	6:30	부산	9:04	Single
307	수서	7:00	부산	9:24	Dual
309	수서	7:05	부산	9:47	Dual
311	수서	7:30	부산	9:57	Single

313	수서	8:00	부산	10:26	Dual
315	수서	8:05	부산	10:52	Single
317	수서	9:00	부산	11:09	Single
319	수서	9:05	부산	11:41	Single
321	수서	9:20	부산	11:50	Single
323	수서	10:00	부산	12:32	Dual
325	수서	10:30	부산	13:00	Dual
327	수서	10:50	부산	13:27	Dual
329	수서	12:10	부산	14:48	Single
331	수서	12:30	부산	14:59	Single
333	수서	12:55	부산	15:12	Single
335	수서	13:00	부산	15:30	Single
337	수서	13:30	부산	16:00	Dual
339	수서	14:00	부산	16:15	Dual
341	수서	14:30	부산	16:54	Single
343	수서	15:00	부산	17:34	Single
345	수서	15:30	부산	18:06	Dual
347	수서	16:00	부산	18:24	Single
349	수서	16:25	부산	18:45	Single
351	수서	16:40	부산	19:13	Dual
353	수서	17:00	부산	19:31	Single
355	수서	17:30	부산	19:52	Single
357	수서	18:00	부산	20:28	Dual
359	수서	18:30	부산	20:59	Dual
361	수서	18:40	부산	21:19	Single
363	수서	19:00	부산	21:28	Single
365	수서	19:20	부산	21:47	Single
367	수서	19:30	부산	22:00	Single
369	수서	20:00	부산	22:23	Dual
371	수서	20:30	부산	23:12	Dual
373	수서	21:00	부산	23:29	Single
375	수서	21:30	부산	23:59	Single
377	수서	22:00	부산	0:26	Single
379	수서	22:40	부산	1:09	Single
302	부산	5:00	수서	7:36	Single
304	부산	5:30	수서	8:03	Single
306	부산	6:00	수서	8:41	Single
308	부산	6:50	수서	9:26	Dual
310	부산	7:20	수서	9:56	Dual
312	부산	7:45	수서	10:15	Dual
314	부산	8:00	수서	10:37	Single
316	부산	8:30	수서	10:55	Single
318	부산	9:00	수서	11:25	Single
320	부산	9:15	수서	11:44	Single
322	부산	9:45	수서	12:05	Single
324	부산	10:10	수서	12:39	Dual
326	부산	10:30	수서	13:07	Dual
328	부산	10:45	수서	13:22	Single
330	부산	12:10	수서	14:50	Dual
332	부산	12:45	수서	15:16	Single
334	부산	13:00	수서	15:27	Single
336	부산	13:30	수서	15:56	Dual
338	부산	13:40	수서	16:05	Single
340	부산	14:10	수서	16:46	Single

342	부산	14:25	수서	17:07	Dual
344	부산	15:00	수서	17:14	Dual
346	부산	15:30	수서	17:55	Single
348	부산	15:40	수서	18:11	Single
350	부산	15:55	수서	18:20	Single
352	부산	16:00	수서	18:40	Single
354	부산	16:35	수서	19:17	Dual
356	부산	17:30	수서	20:01	Dual
358	부산	17:40	수서	20:16	Single
360	부산	18:10	수서	20:45	Single
362	부산	18:55	수서	21:24	Dual
364	부산	19:30	수서	22:06	Single
366	부산	20:00	수서	22:33	Dual
368	부산	20:20	수서	22:45	Single
370	부산	20:30	수서	23:10	Single
372	부산	20:50	수서	23:20	Single
374	부산	21:20	수서	23:40	Dual
376	부산	22:00	수서	0:20	Dual
378	부산	22:30	수서	1:06	Single
380	부산	23:00	수서	1:19	Single
601	수서	5:40	광주송	7:24	Single
603	수서	7:40	광주송	9:11	Single
605	수서	8:30	광주송	10:23	Single
607	수서	10:20	광주송	12:12	Single
609	수서	12:20	광주송	13:58	Single
611	수서	14:10	광주송	15:51	Single
613	수서	15:20	광주송	17:06	Single
615	수서	18:05	광주송	19:55	Single
617	수서	19:40	광주송	21:21	Single
619	수서	22:25	광주송	0:02	Dual
621	수서	23:00	광주송	0:37	Dual
602	광주송	5:20	수서	7:09	Single
604	광주송	6:20	수서	8:21	Single
606	광주송	8:00	수서	9:51	Single
608	광주송	10:15	수서	11:53	Single
610	광주송	11:20	수서	12:56	Single
612	광주송	13:00	수서	14:34	Single
614	광주송	15:55	수서	17:33	Single
616	광주송	16:30	수서	18:27	Single
618	광주송	18:30	수서	20:25	Single
620	광주송	20:30	수서	22:19	Single
622	광주송	22:00	수서	23:49	Single
651	수서	5:10	목포	7:22	Single
653	수서	6:40	목포	9:07	Single
655	수서	9:40	목포	12:04	Single
657	수서	11:00	목포	13:15	Single
659	수서	13:10	목포	15:23	Single
661	수서	16:15	목포	18:30	Single
663	수서	17:10	목포	19:28	Single
665	수서	19:10	목포	21:29	Single
667	수서	21:10	목포	23:31	Single
652	목포	6:32	수서	8:54	Single
654	목포	8:02	수서	10:24	Single
656	목포	10:10	수서	12:30	Single

658	목포	13:12	수서	15:38	Single
660	목포	14:02	수서	16:33	Single
662	목포	16:52	수서	19:08	Single
664	목포	19:02	수서	21:34	Single
666	목포	20:32	수서	22:56	Single
668	목포	22:32	수서	0:53	Single
951	수서	4:50	천안아	5:29	Single
952	천안아	6:00	수서	6:39	Single

- 아래 <표 30>은 RVRH-V 알고리즘 실행 결과를 나타냄
  - 표에서 Dia는 차량 운용 Dia의 번호를 나타냄. 같은 Dia 번호로 표현된 열차들은 하나의 차량 Dia 행로로 스케줄된 결과가 됨
  - 따라서 <표 30>의 최대 차량 Dia 번호가 <표 29>에서 주어진 입력데이터부터 RVRH-V 알고리즘을 활용하여 구한 차량 소요 편성수가 됨
  - 그 결과는 28편성으로서 현행 운영기관에서 적용하는 편성수와 같음

<표 30 RVRH-V 알고리즘 실행 결과>

인덱스	열번	시발역	시발시각	도착역	도착시각	Dia
152	951	수서	290	천안아	329	1
153	952	천안아	360	수서	399	1
8	311	수서	450	부산	597	1
71	326	부산	630	수서	787	1
27	339	수서	840	부산	975	1
92	356	부산	1050	수서	1201	1
49	371	수서	1230	부산	1392	1
55	302	부산	300	수서	456	2
11	315	수서	485	부산	652	2
74	330	부산	730	수서	890	2
116	613	수서	920	광주송	1026	2
131	618	광주송	1110	수서	1225	2
51	373	수서	1260	부산	1409	2
134	651	수서	310	목포	442	3
144	654	목포	482	수서	624	3
137	657	수서	660	목포	795	3
147	660	목포	842	수서	993	3
37	353	수서	1020	부산	1171	3
99	366	부산	1200	수서	1353	3
121	621	수서	1380	광주송	1477	3
123	602	광주송	320	수서	429	4
111	603	수서	460	광주송	551	4
126	608	광주송	615	수서	713	4
114	609	수서	740	광주송	838	4
129	614	광주송	955	수서	1053	4
39	357	수서	1080	부산	1228	4
104	374	부산	1280	수서	1420	4
1	301	수서	330	부산	485	5
66	318	부산	540	수서	685	5
21	329	수서	730	부산	888	5

86	346	부산	930	수서	1075	5
41	359	수서	1110	부산	1259	5
106	376	부산	1320	수서	1460	5
56	304	부산	330	수서	483	6
112	605	수서	510	광주송	623	6
127	610	광주송	680	수서	776	6
25	337	수서	810	부산	960	6
90	354	부산	995	수서	1157	6
47	369	수서	1200	부산	1343	6
109	380	부산	1380	수서	1519	6
110	601	수서	340	광주송	444	7
125	606	광주송	480	수서	591	7
113	607	수서	620	광주송	732	7
128	612	광주송	780	수서	874	7
31	345	수서	930	부산	1086	7
96	362	부산	1135	수서	1284	7
53	377	수서	1320	부산	1466	7
2	303	수서	360	부산	505	8
67	320	부산	555	수서	704	8
22	331	수서	750	부산	899	8
87	348	부산	940	수서	1091	8
43	361	수서	1120	부산	1279	8
107	376	부산	1320	수서	1460	8
57	306	부산	360	수서	521	9
14	321	수서	560	부산	710	9
76	332	부산	765	수서	916	9
33	347	수서	960	부산	1104	9
97	362	부산	1135	수서	1284	9
119	619	수서	1345	광주송	1442	9
124	604	광주송	380	수서	501	10
12	317	수서	540	부산	669	10
75	330	부산	730	수서	890	10
32	345	수서	930	부산	1086	10
98	364	부산	1170	수서	1326	10
54	379	수서	1360	부산	1509	10
3	305	수서	390	부산	544	11
68	322	부산	585	수서	725	11
23	333	수서	775	부산	912	11
88	350	부산	955	수서	1100	11
44	363	수서	1140	부산	1288	11
108	378	부산	1350	수서	1506	11
143	652	목포	392	수서	534	12
136	655	수서	580	목포	724	12
146	658	목포	792	수서	938	12
139	661	수서	975	목포	1110	12
149	664	목포	1142	수서	1294	12
120	619	수서	1345	광주송	1442	12
135	653	수서	400	목포	547	13
145	656	목포	610	수서	750	13
24	335	수서	780	부산	930	13
89	352	부산	960	수서	1120	13
141	665	수서	1150	목포	1289	13
151	668	목포	1352	수서	1493	13

58	308	부산	410	수서	566	14
15	323	수서	600	부산	752	14
77	334	부산	780	수서	927	14
34	349	수서	985	부산	1125	14
100	366	부산	1200	수서	1353	14
122	621	수서	1380	광주송	1477	14
59	308	부산	410	수서	566	15
16	323	수서	600	부산	752	15
78	336	부산	810	수서	956	15
35	351	수서	1000	부산	1153	15
101	368	부산	1220	수서	1365	15
4	307	수서	420	부산	564	16
69	324	부산	610	수서	759	16
138	659	수서	790	목포	923	16
148	662	목포	1012	수서	1148	16
118	617	수서	1180	광주송	1281	16
133	622	광주송	1320	수서	1429	16
5	307	수서	420	부산	564	17
70	324	부산	610	수서	759	17
26	337	수서	810	부산	960	17
91	354	부산	995	수서	1157	17
48	369	수서	1200	부산	1343	17
6	309	수서	425	부산	587	18
72	326	부산	630	수서	787	18
28	339	수서	840	부산	975	18
93	356	부산	1050	수서	1201	18
50	371	수서	1230	부산	1392	18
7	309	수서	425	부산	587	19
73	328	부산	645	수서	802	19
115	611	수서	850	광주송	951	19
130	616	광주송	990	수서	1107	19
45	365	수서	1160	부산	1307	19
60	310	부산	440	수서	596	20
17	325	수서	630	부산	780	20
79	336	부산	810	수서	956	20
36	351	수서	1000	부산	1153	20
102	370	부산	1230	수서	1390	20
61	310	부산	440	수서	596	21
18	325	수서	630	부산	780	21
80	338	부산	820	수서	965	21
140	663	수서	1030	목포	1168	21
150	666	목포	1232	수서	1376	21
62	312	부산	465	수서	615	22
19	327	수서	650	부산	807	22
81	340	부산	850	수서	1006	22
38	355	수서	1050	부산	1192	22
103	372	부산	1250	수서	1400	22
63	312	부산	465	수서	615	23
20	327	수서	650	부산	807	23
82	342	부산	865	수서	1027	23
40	357	수서	1080	부산	1228	23
105	374	부산	1280	수서	1420	23
9	313	수서	480	부산	626	24

83	342	부산	865	수서	1027	24
117	615	수서	1085	광주송	1195	24
132	620	광주송	1230	수서	1339	24
10	313	수서	480	부산	626	25
84	344	부산	900	수서	1034	25
42	359	수서	1110	부산	1259	25
64	314	부산	480	수서	637	26
29	341	수서	870	부산	1014	26
94	358	부산	1060	수서	1216	26
142	667	수서	1270	목포	1411	26
65	316	부산	510	수서	655	27
30	343	수서	900	부산	1054	27
95	360	부산	1090	수서	1245	27
52	375	수서	1290	부산	1439	27
13	319	수서	545	부산	701	28
85	344	부산	900	수서	1034	28
46	367	수서	1170	부산	1320	28

- 아래 <표 31>은 RVRH-T 알고리즘 실행 결과를 나타냄
  - <표 31>의 해석 방법은 앞에서 제시된 <표 30>과 같으며, 이 경우 역시 앞의 결과와 같이 28편성으로서 현행 운영기관에서 적용하는 편성수와 같음

<표 31 RVRH-T 알고리즘 실행 결과>

인덱스	열번	시발역	시발시각	도착역	도착시각	Dia
152	951	수서	290	천안아	329	1
153	952	천안아	360	수서	399	1
8	311	수서	450	부산	597	1
73	328	부산	645	수서	802	1
30	343	수서	900	부산	1054	1
95	360	부산	1090	수서	1245	1
52	375	수서	1290	부산	1439	1
55	302	부산	300	수서	456	2
11	315	수서	485	부산	652	2
76	332	부산	765	수서	916	2
33	347	수서	960	부산	1104	2
98	364	부산	1170	수서	1326	2
54	379	수서	1360	부산	1509	2
134	651	수서	310	목포	442	3
144	654	목포	482	수서	624	3
137	657	수서	660	목포	795	3
147	660	목포	842	수서	993	3
140	663	수서	1030	목포	1168	3
150	666	목포	1232	수서	1376	3
123	602	광주송	320	수서	429	4
111	603	수서	460	광주송	551	4
126	608	광주송	615	수서	713	4
24	335	수서	780	부산	930	4
89	352	부산	960	수서	1120	4
46	367	수서	1170	부산	1320	4
1	301	수서	330	부산	485	5

66	318	부산	540	수서	685	5
22	331	수서	750	부산	899	5
87	348	부산	940	수서	1091	5
44	363	수서	1140	부산	1288	5
109	380	부산	1380	수서	1519	5
56	304	부산	330	수서	483	6
112	605	수서	510	광주송	623	6
127	610	광주송	680	수서	776	6
28	339	수서	840	부산	975	6
92	356	부산	1050	수서	1201	6
49	371	수서	1230	부산	1392	6
110	601	수서	340	광주송	444	7
125	606	광주송	480	수서	591	7
113	607	수서	620	광주송	732	7
128	612	광주송	780	수서	874	7
116	613	수서	920	광주송	1026	7
131	618	광주송	1110	수서	1225	7
142	667	수서	1270	목포	1411	7
2	303	수서	360	부산	505	8
67	320	부산	555	수서	704	8
23	333	수서	775	부산	912	8
88	350	부산	955	수서	1100	8
141	665	수서	1150	목포	1289	8
151	668	목포	1352	수서	1493	8
57	306	부산	360	수서	521	9
14	321	수서	560	부산	710	9
79	336	부산	810	수서	956	9
35	351	수서	1000	부산	1153	9
100	366	부산	1200	수서	1353	9
122	621	수서	1380	광주송	1477	9
124	604	광주송	380	수서	501	10
12	317	수서	540	부산	669	10
77	334	부산	780	수서	927	10
139	661	수서	975	목포	1110	10
149	664	목포	1142	수서	1294	10
120	619	수서	1345	광주송	1442	10
3	305	수서	390	부산	544	11
68	322	부산	585	수서	725	11
138	659	수서	790	목포	923	11
148	662	목포	1012	수서	1148	11
118	617	수서	1180	광주송	1281	11
133	622	광주송	1320	수서	1429	11
143	652	목포	392	수서	534	12
136	655	수서	580	목포	724	12
146	658	목포	792	수서	938	12
34	349	수서	985	부산	1125	12
99	366	부산	1200	수서	1353	12
135	653	수서	400	목포	547	13
145	656	목포	610	수서	750	13
25	337	수서	810	부산	960	13
90	354	부산	995	수서	1157	13
47	369	수서	1200	부산	1343	13
58	308	부산	410	수서	566	14
15	323	수서	600	부산	752	14

80	338	부산	820	수서	965	14
37	353	수서	1020	부산	1171	14
102	370	부산	1230	수서	1390	14
59	308	부산	410	수서	566	15
16	323	수서	600	부산	752	15
81	340	부산	850	수서	1006	15
38	355	수서	1050	부산	1192	15
103	372	부산	1250	수서	1400	15
4	307	수서	420	부산	564	16
69	324	부산	610	수서	759	16
26	337	수서	810	부산	960	16
91	354	부산	995	수서	1157	16
48	369	수서	1200	부산	1343	16
5	307	수서	420	부산	564	17
70	324	부산	610	수서	759	17
27	339	수서	840	부산	975	17
93	356	부산	1050	수서	1201	17
50	371	수서	1230	부산	1392	17
6	309	수서	425	부산	587	18
71	326	부산	630	수서	787	18
115	611	수서	850	광주송	951	18
130	616	광주송	990	수서	1107	18
45	365	수서	1160	부산	1307	18
7	309	수서	425	부산	587	19
72	326	부산	630	수서	787	19
29	341	수서	870	부산	1014	19
94	358	부산	1060	수서	1216	19
51	373	수서	1260	부산	1409	19
60	310	부산	440	수서	596	20
17	325	수서	630	부산	780	20
82	342	부산	865	수서	1027	20
39	357	수서	1080	부산	1228	20
104	374	부산	1280	수서	1420	20
61	310	부산	440	수서	596	21
18	325	수서	630	부산	780	21
83	342	부산	865	수서	1027	21
40	357	수서	1080	부산	1228	21
105	374	부산	1280	수서	1420	21
62	312	부산	465	수서	615	22
19	327	수서	650	부산	807	22
84	344	부산	900	수서	1034	22
117	615	수서	1085	광주송	1195	22
132	620	광주송	1230	수서	1339	22
121	621	수서	1380	광주송	1477	22
63	312	부산	465	수서	615	23
20	327	수서	650	부산	807	23
85	344	부산	900	수서	1034	23
41	359	수서	1110	부산	1259	23
106	376	부산	1320	수서	1460	23
9	313	수서	480	부산	626	24
74	330	부산	730	수서	890	24
31	345	수서	930	부산	1086	24
96	362	부산	1135	수서	1284	24
53	377	수서	1320	부산	1466	24

10	313	수서	480	부산	626	25
75	330	부산	730	수서	890	25
32	345	수서	930	부산	1086	25
97	362	부산	1135	수서	1284	25
119	619	수서	1345	광주송	1442	25
64	314	부산	480	수서	637	26
21	329	수서	730	부산	888	26
86	346	부산	930	수서	1075	26
43	361	수서	1120	부산	1279	26
108	378	부산	1350	수서	1506	26
65	316	부산	510	수서	655	27
114	609	수서	740	광주송	838	27
129	614	광주송	955	수서	1053	27
42	359	수서	1110	부산	1259	27
107	376	부산	1320	수서	1460	27
13	319	수서	545	부산	701	28
78	336	부산	810	수서	956	28
36	351	수서	1000	부산	1153	28
101	368	부산	1220	수서	1365	28

③ 단계적 해법 알고리즘 (RVRH-V, RVRH-T) 수행도 평가

[핵심성과] C-6 알고리즘 수행도-인터페이스 시험

㉮ 단계적 해법 기반 철도차량 스케줄링 알고리즘 수행도 비교 (현행 vs 알고리즘)

- <표 32>는 단계적 해법 기반 알고리즘의 수행도 평가 결과를 나타냄. 알고리즘의 작동 시간은 모든 예제에 대해 즉시 해를 확인 가능 (수초 이내)한 수준으로 충분히 짧음
- 표에서 보는 바와 같이 RVRH-V 및 RVRH-T 알고리즘은 현행 SRT와 같거나 작은 소요 편성 수의 결과가 산출되었음

<표 32 단계적 해법 기반 알고리즘 수행도 비교>

구분	월	화	수	목	금	토	일
기존	24	23	23	24	27	28	28
RVRH-V	23	22	22	23	26	28	28
RVRH-T	23	22	22	23	26	28	28
증감	-1	-1	-1	-1	-1	0	0

- 기존 스케줄과 비교할 때 주중 차량편성 소요 1편성 절감 가능성 발견. 주중에 설정된 열차 스케줄의 여유에 의한 절감 가능성으로 판단 (※ 보유 차량을 활용하여 열차 서비스 증가 가능성 의미)
- 기존 스케줄과 비교할 때 주말 차량편성 소요 절감이 불가하며 (※ 주말에 최대 편성의 차량운영 상태를 나타냄), RVRH-V 및 RVRH-T 알고리즘의 차량편성 소요량 측면 수행도 (성능) 차이 없는 것으로 판단

- <표 33>은 단계적 해법에 따른 차량 운용 순서표 (2단계) 산출 결과를 나타냄. 산출된 결과는 현업에서 운용 중인 상황과 같이 28편성으로 기계획된 열차 Dia가 운용 가능함을 알 수 있음

<표 33 단계적 해법: 차량 운용 순서표 (2단계) 산출 결과>

운용no	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	다음운용
1	D1-01SUSGJS	D2-04GJSBUS	D3-06BUSGJS	D4-04GJSBUS	D5-06BUSGJS	D6-10GJSGJS	D7-10GJSGJS	2
2	D1-11GJSSUS	D2-07SUSMOK	D3-12MOKSUS	D4-07SUSMOK	D5-12MOKSUS	D6-07SUSMOK	D7-12MOKSUS	3
3	D1-12SUSGJS	D2-10GJSSUS	D3-07SUSMOK	D4-12MOKSUS	D5-07SUSMOK	D6-13MOKSUS	D7-07SUSMOK	4
4	D1-13MOKSUS	D2-01SUSBUS	D3-19BUSGJS	D4-10GJSSUS	D5-01SUSBUS	D6-22BUSGJS	D7-04GJSBUS	5
5	D1-02BUSBUS	D2-06BUSGJS	D3-04GJSBUS	D4-06BUSGJS	D5-04GJSBUS	D6-02BUSBUS	D7-09BUSGJS	6
6	D1-04GJSMOK	D2-12MOKSUS	D3-01SUSBUS	D4-19BUSGJS	D5-10GJSSUS	D6-01SUSBUS	D7-14BUSSUS	7
7	D1-08SUSBUS	D2-19BUSGJS	D3-10GJSSUS	D4-01SUSBUS	D5-26BUSGJS	D6-04GJSBUS	D7-02BUSBUS	8
8	D1-10BUSSUS	D2-03SUSSUS	D3-03SUSSUS	D4-03SUSSUS	D5-03SUSSUS	D6-03SUSSUS	D7-01SUSBUS	9
9	D1-15BUSSUS	D2-08SUSSUS	D3-05SUSSUS	D4-05SUSSUS	D5-05SUSSUS	D6-05SUSSUS	D7-03SUSSUS	10
10	D1-03SUSSUS	D2-05SUSSUS	D3-08SUSSUS	D4-08SUSSUS	D5-08SUSSUS	D6-08SUSSUS	D7-05SUSSUS	11
11	D1-05SUSSUS	D2-11SUSSUS	D3-11SUSSUS	D4-11SUSSUS	D5-11SUSSUS	D6-12SUSSUS	D7-08SUSSUS	12
12	D1-07SUSSUS	D2-13SUSBUS	D3-02BUSBUS	D4-02BUSBUS	D5-02BUSBUS	D6-06BUSBUS	D7-06BUSBUS	13
13	D1-18BUSSUS	D2-15SUSBUS	D3-09BUSSUS	D4-13SUSBUS	D5-09BUSSUS	D6-14SUSBUS	D7-15BUSSUS	14
14	D1-09SUSSUS	D2-16SUSBUS	D3-14BUSSUS	D4-15SUSBUS	D5-14BUSSUS	D6-17SUSBUS	D7-20BUSSUS	15
15	D1-14SUSBUS	D2-02BUSBUS	D3-17BUSSUS	D4-16SUSBUS	D5-15BUSSUS	D6-18SUSBUS	D7-21BUSSUS	16
16	D1-16SUSBUS	D2-09BUSSUS	D3-13SUSBUS	D4-09BUSSUS	D5-13SUSBUS	D6-09BUSSUS	D7-11SUSSUS	17
17	D1-17SUSBUS	D2-14BUSSUS	D3-15SUSBUS	D4-14BUSSUS	D5-16SUSBUS	D6-15BUSSUS	D7-13SUSBUS	18
18	D1-20BUSSUS	D2-18SUSBUS	D3-21BUSSUS	D4-18SUSBUS	D5-20BUSSUS	D6-19SUSBUS	D7-23BUSSUS	19
19	D1-19SUSBUS	D2-17BUSSUS	D3-16SUSBUS	D4-17BUSSUS	D5-17SUSBUS	D6-16BUSSUS	D7-16SUSBUS	20
20	D1-22BUSSUS	D2-20SUSBUS	D3-22BUSSUS	D4-20SUSBUS	D5-22BUSSUS	D6-20SUSBUS	D7-26BUSSUS	21
21	D1-21SUSBUS	D2-21BUSSUS	D3-18SUSBUS	D4-21BUSSUS	D5-18SUSBUS	D6-21BUSSUS	D7-17SUSBUS	22
22	D1-23BUSBUS	D2-22BUSSUS	D3-20SUSBUS	D4-22BUSSUS	D5-19SUSBUS	D6-23BUSSUS	D7-18SUSBUS	23
23	D1-06BUSGJS	호남기지	호남기지	D4-23GJSSUS	D5-21SUSBUS	D6-26BUSSUS	D7-25SUSGJS	24
24	호남기지	호남기지	호남기지	호남기지	D5-27GJSSUS	D6-24SUSBUS	D7-27BUSSUS	25
25	수서예비	수서예비	수서예비	수서예비	D5-23SUSBUS	D6-27BUSSUS	D7-19SUSBUS	26
26	부산기지	부산기지	부산기지	부산기지	D5-24BUSSUS	D6-28SUSSUS	D7-24SUSBUS	27
27	부산기지	부산기지	부산기지	부산기지	D5-25BUSSUS	D6-25SUSBUS	D7-22BUSGJS	28
28	호남기지	호남기지	호남기지	호남기지	호남기지	D6-11GJSSUS	D7-28SUSSUS	1

4) 통합적 해법 개발

① 철도차량 운용계획 문제 해법 전략

㉮ 통합적 해법과 단계적 해법의 장단점 분석

- <표 34>는 단계적 해법과 통합적 해법의 장단점을 비교한 결과임
- 표에서 보는 바와 같이 기존 연구의 전형적인 해법은 대부분 단계적 해법을 채택하고 있음. 단계적 해법의 장점은 해법 개발의 기술적 난이도가 통합적 해법과 비교할 때 상대적으로 낮다는 점임. 또한, 운영기관에서 열차-차량 운영계획을 부분적으로 수정할 때 편리하게 이용할 수 있음

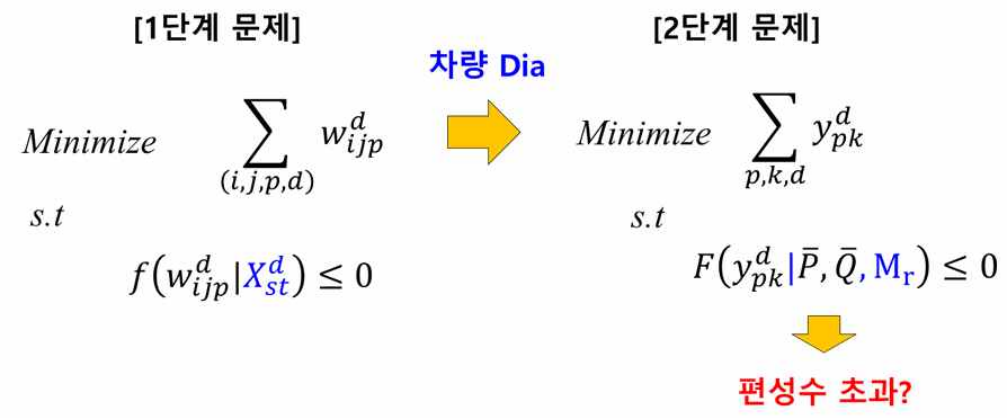
<표 34 단계적 해법과 통합적 해법의 장단점 비교>

	장점	단점	비고
단계적 해법	• 해법 개발 용이 • Dia 부분 개편에 활용 용이	• Dia 전면 개편시 활용 곤란	• 기존 전형적 해법
통합적 해법	• Dia 전면 개편시 대안 제시 가능	• 해법 개발의 난이도 상승	• 본 연구의 해법

- 반면 단계적 해법의 단점은 열차 Dia를 전면적으로 개편할 경우 활용이 곤란하다는 점이다.

㈏ 단계적 해법의 기술적 한계

- <그림 67>은 단계적 해법의 기술적 한계에 대한 개념을 나타내고 있음
- 열차 Dia를 전면적으로 개편할 때 단계적 해법을 적용하는 경우 1단계 문제의 최적해는 2단계 문제의 제약조건을 충분히 고려하지 못한 형태로 산출됨
- 이처럼 산출된 1단계 문제의 최적해는 2단계 문제의 입력 데이터로 직접 활용됨
- 2단계 문제의 제약조건을 고려하지 못한 입력 데이터 때문에 2단계 문제의 해는 실행불가능 (Infeasible)한 해가 도출될 가능성이 큼



<그림 67 단계적 해법의 기술적 한계>

- 단계적 해법의 기술적 한계를 극복하기 위해 본 연구에서는 2~3차년도 연구에서 통합적 해법 개발을 중심으로 추진하였음
- 본 연구에서는 <표 35>에서 보는 바와 같이 연구 초기인 1차년도 (2018)에 단계적 해법에 관한 연구를 수행하였고, 2, 3차년도 (2019~2020)에 통합적 해법 개발을 완료하였음

<표 35 단계적 해법과 통합적 해법의 연구 과정>

해법	1차년도	2차년도	3차년도	
단계적 해법				
통합적 해법				

- 통합적 해법에 위와 같은 장점이 있으나, 그 장점을 얻기 위한 기술적 난제가 존재함. 그 기술적 난제는 아래와 같이 크게 2가지로 크게 나눌 수 있음

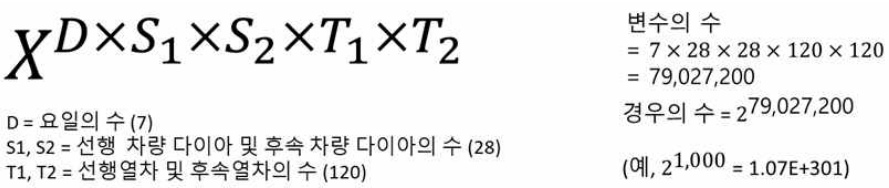
  - 복잡도 (Complexity) 이슈
  - 파라미터 및 입력 데이터의 불확정성 (Unknown parameter) 이슈

② 통합적 해법의 기술적 난제와 극복

㉮ 기술적 난제-①: 복잡도 (Complexity) 이슈

■ 복잡도 이슈 개요

- 통합적 해법의 장점은 열차 Dia 전면 개편 때에 유의미한 대안을 제시할 수 있으나, 해법 개발이 기술적으로 어렵다는 어려움이 있음
- <그림 68>은 통합적 해법의 복잡도 증가에 의한 기술적 난도 증가의 이슈를 나타냄. 그림에서 보는 바와 같이 변수의 미소 증가에 따른 해 공간 (Solution space) 경우의 수가 기하급수적으로 증가하므로 컴퓨터 연산 시간도 같이 기하급수적으로 증가하게 됨



<그림 68 통합적 해법의 Complexity 이슈>

- 통합적 해법의 기술적 이슈는 이처럼 기하급수적으로 증가하는 경우의 수에 대하여 짧은 시간 안에 높은 품질의 해를 도출하는 것임

■ 복잡도 이슈 극복

통합적 해법의 복잡도 이슈를 극복하기 위해서 본 연구에서 개발한 기술적 대안의 개요는 아래 3가지와 같음

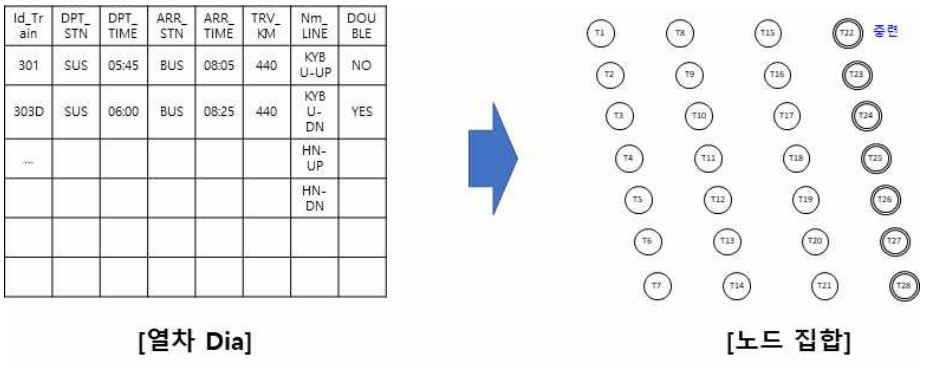
- 네트워크 기반 수리과학적 모델링
  - 노드-링크 기반 문제 표현 : 불필요한 변수 사전 제거
  - 혼합정수계획 (Mixed Integer Problem) 기반 수리과학적 모델 개발 (Mathematical Formulation)
- 혼합정수계획 모형에 대한 전역 최적화 (Global Optimization) 해법 개발
  - 분지 한계 해법 (Branch & Bound Algorithm)과 절단면 생성 해법 (Branch & Cut Algorithm)을 병용하여 문제 해결
  - 최적화 전문 라이브러리와 도메인 지식 (Domain Knowledge)를 혼합 활용하여 알고리즘의 효율성 극대화
- 반복적인 시험을 통해 해(Solution)의 현실 적용성 점검

아래 단락에서는 앞에서 제시한 3가지 대안 중 상대적으로 효과가 크고, 설명이 쉬운 네트

워크 기반 수리과학 모델링 대안의 적용과 그 효과에 관해서 설명함

■ 네트워크 기반 수리과학 모델링 **[핵심성과] C-2 최적화 알고리즘 모형 개발**

- <그림 69>은 통합적 해법의 노드 생성법에 대한 개념을 나타냄
  - 각 열차 번호에 대응하는 차량편성이 단행과 중련의 여부를 구분하여 노드를 형성함
  - 개별 노드의 속성에는 시발역, 시발 시각, 종착역, 종착 시각에 대한 속성 정보가 포함되도록 형성함



<그림 69 통합적 해법 노드 생성법>

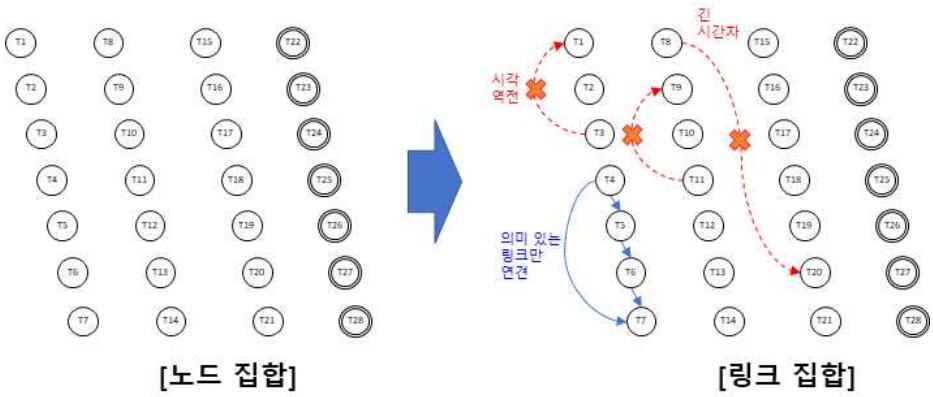
  - <그림 70>에서 보는 바와 같이 주어진 열차 Dia를 입력 자료로 하여 통합적 해법 알고리즘에서 개별적인 열차에 상응하는 노드를 자동으로 생성함



<그림 70 통합적 해법 노드 생성 입출력 관계도>

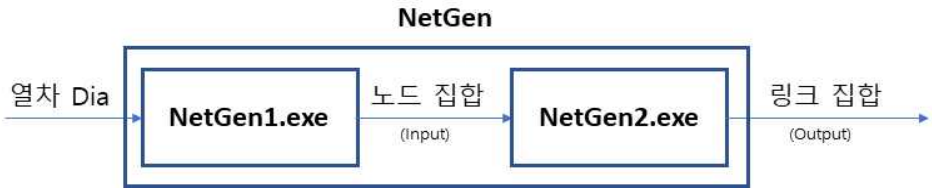
- <그림 71>은 통합적 해법의 링크 생성법에 대한 개념을 나타냄
  - 그림에서 보는 바와 같이 통합적 해법의 링크 생성 모듈은 선행 모듈인 노드 생성 모듈의 결과 (출력)을 입력으로 하여 작동함
  - 이 모듈에서 링크의 연결은 링크의 Head와 Tail에 해당하는 노드의 선후 관계를 따져서 실용적으로 의미가 있는 링크들만 선별하여 연결함
  - 위의 선별과정을 고도화함에 앞 절에서 제기된 통합적 해법의 복잡도 이슈를 상당부분 해소할 수 있음
  - 본 연구에서는 최적해에 영향을 미치지 않고 문제의 복잡도를 0.6%까지 (8E7 → 1E5) (0.6%) 축소가 가능한 선별 규칙 (Link selection rule)을 개발하여 탑재하였음
  - 실용적으로 의미가 있는 링크 선별법의 주요 내용은 (ⅰ) 시간순서의 역전 관계인

노드 쌍은 링크를 연결하지 않는다. (ii) 시간 간격이 지나치게 긴 노드 쌍은 링크를 연결하지 않는다. (iii) 공간적으로 같은 정거장에서 입출력하지 않는 노드 쌍은 링크를 연결하지 않는다. 등과 같음



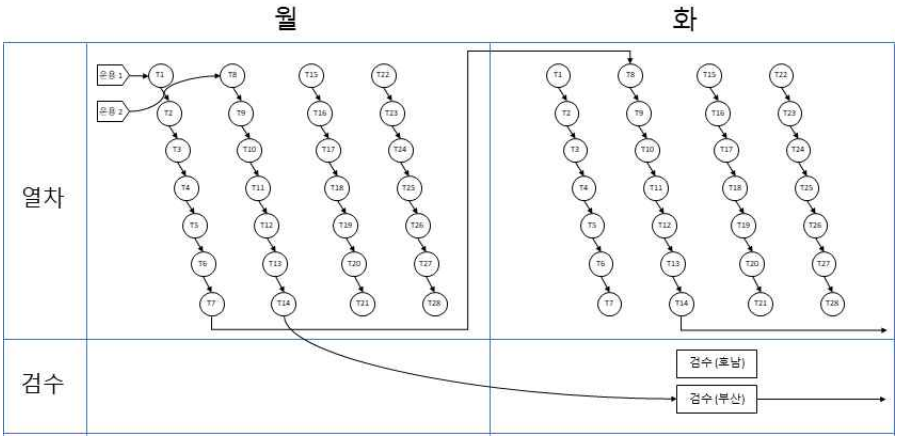
<그림 71 통합적 해법 링크 생성법>

- <그림 72>에서 보는 바와 같이 주어진 선행 모듈에서 생성된 노드 집합을 입력 데이터로 하여 실용적으로 연결의 의미가 있는 링크를 자동으로 선별하여 연결함
- 이 과정을 거쳐 90% 이상 불필요한 링크는 문제의 범위에서 제거됨



<그림 72 통합적 해법 링크 입출력 생성 관계도>

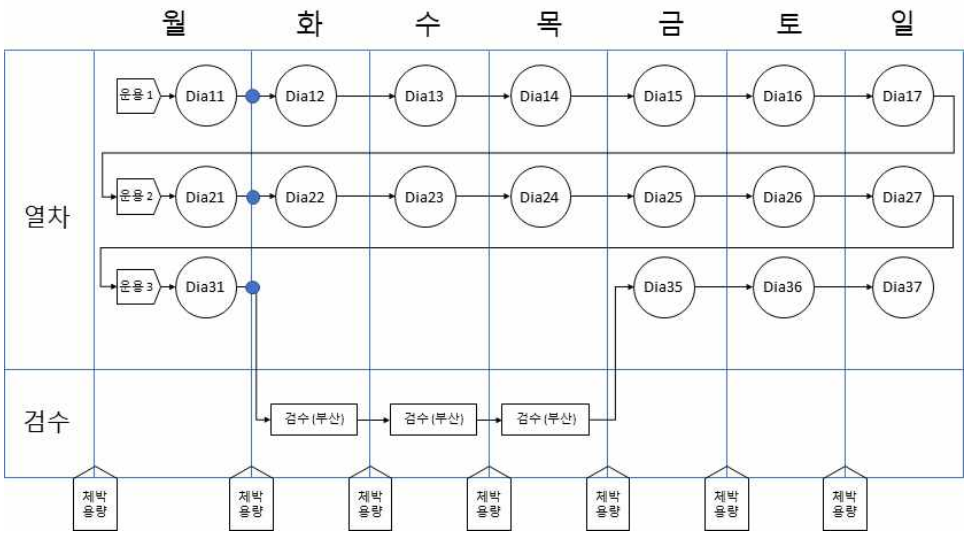
- 본 연구에서는 위의 노드 및 링크 생성하는 프로그램 모듈을 편의상 네트워크 생성기(Network Generator)라고 이름 붙였음
- <그림 73>은 통합적 해법에 따른 최적해 도출 예시로서 (1단계) 차량 Dia 측면의 최적해 표시 개념도를 나타냄
  - 네트워크 생성기에 의해 생성된 노드와 링크 집합 중에서 최적해를 형성하는 노드와 링크만을 선별하여 네트워크의 흐름 만족 조건을 충족하도록 구성한다면 철도차량 운용계획 통합적 모형의 최적해를 구했다고 할 수 있음
  - 아래 <그림 73>은 모든 조건을 충족하는 최적해의 네트워크상 구성 예시를 나타냄



<그림 73 통합적 해법에 따른 최적해 예시: 차량 Dia 측면 표시>

- <그림 73>은 최적해로 구성되는 네트워크 모든 요일 중 편의상 월요일과 화요일에 해당하는 부분만 표시한 것임
- 그림에서 개별 요일 내부에서 연결된 노드-링크 연결 관계는 선행 업무분석에서 1단계인 차량 Dia 작성 결과에 상응함

• 아래 <그림 74>는 통합적 해법에 따른 최적해 도출 예시로서 (2단계) 차량 운용 순서표 측면의 최적해 표시 개념도를 나타냄



<그림 74 통합적 해법에 따른 최적해 예시: 차량 순서표 측면 표시>

㉯ 기술적 난제-②: 파라미터 및 입력 데이터의 불확정성 (Unknown parameter) 이슈

[핵심성과] C-5 차량운영계획 최적화-핵심 파라메터 튜닝

■ 불확정성 이슈 개요

• 열차 Dia를 전면 개편하는 단계에서는 앞 <그림 56>에서 표시한 업무절차 중에서 열차

스케줄. 차량 스케줄 및 승무원 스케줄 등 운영기관의 주요한 스케줄을 전면 개편함

- 차량 스케줄을 결정하는 본 연구의 목표에서 볼 때, 이는 차량 스케줄링의 핵심적인 입력 데이터라고 할 수 있는 열차 Dia가 확정되지 않은 상황임
- 입력 데이터인 열차 Dia가 확정되지 않았으면 출력 데이터인 차량 Dia 역시 도출할 수 없음
- 뿐만 아니라 입력 데이터의 품질은 출력 데이터의 품질에 긴밀한 영향을 미치는 것을 본 보고서에서는 앞 절 단계적 해법의 한계에서 이미 설명하였음
- 이와 같은 애로사항은 현업 운영기관이 열차 Dia를 전면 개편하는 경우 매우 빈번하게 겪는 일임
- 본 연구에서는 이와 같은 애로사항을 복수의 현업의 담당자들과 여러 차례 업무협의를 통해 다음과 같이 정의하였음
- (운영기관의 애로사항) **"본인이 현재 구상하는 열차 Dia가 보유 편성 수 범위에서 운용 가능한지 미리 알았으면 좋겠다."**
- 앞에서 정의한 애로사항을 기술적으로 정의하면 (Technical definition) 아래와 같음
- (애로사항의 기술적 정의) "차량 Dia의 품질을 보증할 수 있는 (Favorable) 열차 Dia (입력 데이터)의 사전 설정"

• 본 연구의 참여기업인 SRT에서는 고속차량의 편성 수를 증차하여 고속열차 운영사업을 더욱 확장하고자 하는 사업 목표를 가지고 있음

- 이와 같은 사업 목표는 앞에서 언급한 열차 Dia의 전면 개편 작업을 수반함
- 그러나 이 경우에는 운용 편성 수의 증차 (예, 현행 28편성 → 증차 48편성) 가 수반됨
- 따라서 이 경우에는 단순한 열차 Dia 전면 개편의 수준을 넘어 차량기지 유치용량 증대 등 핵심 파라미터의 결정 역시 불확정성의 범위로 놓임

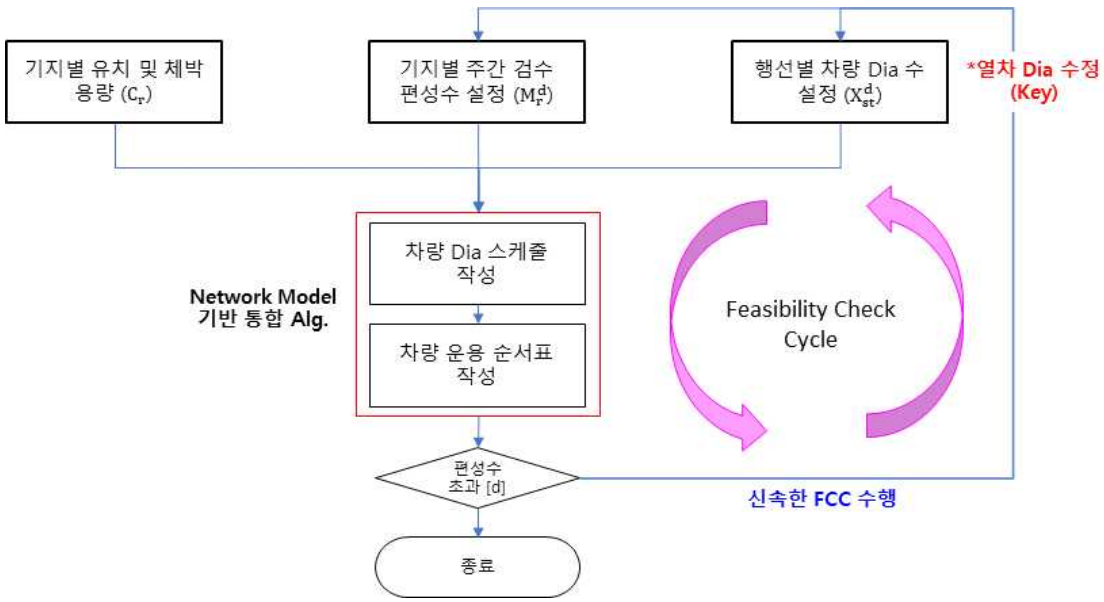
• 본 연구에서는 입력 데이터와 핵심 파라미터가 동시에 불확실성의 범위에 놓이는 상황을 전제하여 철도차량 운영계획 최적화를 위한 통합적 해법을 추진함

■ **불확정성 이슈 극복**

• <그림 75>는 불확정성 극복을 위한 통합적 해법의 구현 개념도를 나타냄

• 그림에서 보는 바와 같이 불확정성 극복을 위한 핵심 개념은 통합적 해법의 알고리즘 성능을 향상하여 매우 짧은 시간에 보유 편성 수의 가용성을 반복적으로 체크함으로써 최적의 차량 Dia와 함께 최적의 입력 데이터 (열차 Dia)를 동시에 결정하는 것임

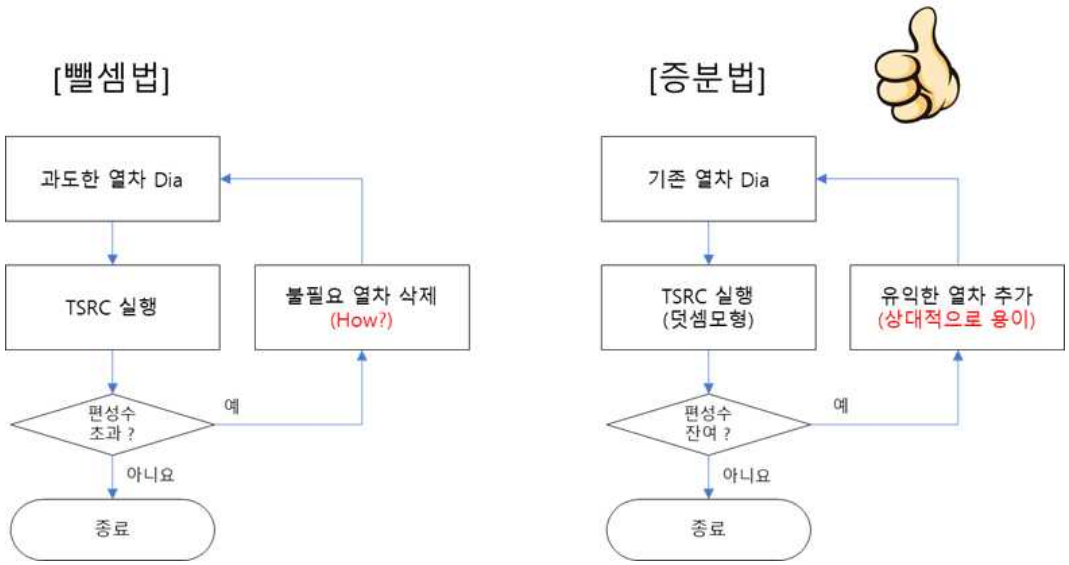
• 고성능 통합적 해법 알고리즘이 완성된 상황에서 남은 문제는 보유 편성 수에 적합한 열차 Dia (입력 데이터)를 설정하는 것임



<그림 75 불확정성 극복을 위한 통합적 해법 구현>

■ 최적 입력 데이터 결정을 위한 통합적 해법 – 증분법 (Incremental method) 개발

- <그림 76>은 현행 28편성 → 46편성으로 증편되는 상황에서 최적 열차 Dia를 (입력 데이터) 구성하는 2가지 방법의 개념도를 나타냄

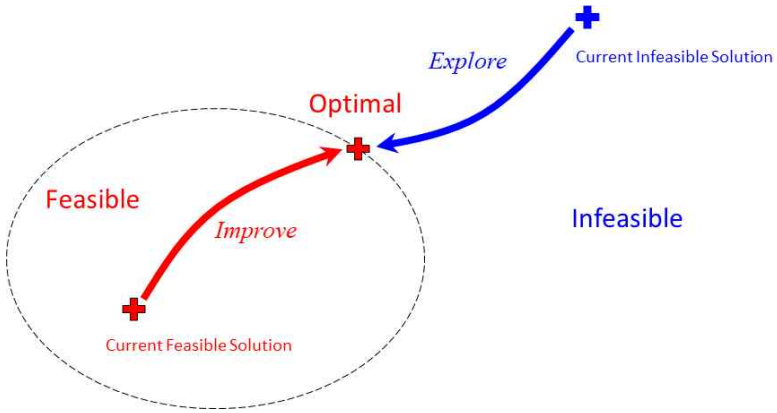


<그림 76 통합적 해법 – 증분법 vs 뺄셈법 개념 비교>

- 그림의 뺌셈법은 초기 열차 Dia(안)에 가능한 많은 수의 열차를 설정한 후 일정 부분의 열차를 초기(안)에서 삭제하는 과정을 반복으로 실행하는 과정에서 46편성으로 운용 가능한 열차 Dia(안)에 도달하면 실행은 종료하는 절차임. 이와 같은 방법에서 어려운 점은 반복적 실행 단계에서 단계별 불필요한 열차를 선택하는 것이 곤란하다는 점임
- 그림의 증분법은 46편성으로 증편 이전 28편성에 해당하는 열차 Dia를 초기 열차 Dia

(안)으로 설정한 후 소정의 열차를 반복적으로 추가하는 방법임. 이 반복은 증편된 46편성이 허용하는 한도까지 계속된다. 이 경우 기존에 완성한 통합적 해법 알고리즘의 일부 수정이 불가피함

- <그림 77>은 통합적 해법의 증분법과 뺄셈법 특징을 비교한 것임
  - 앞에서 설명한 바와 같이 뺄셈법은 초기 (안) 실행 불가능한 대안으로부터 출발하여 새로운 해의 탐색 (Explore) 과정을 거쳐 최적해에 도달하는 절차임
  - 이 방법은 해법의 진행 과정이 모두 실행 불가능한 해 공간에서 이루어지고 처음으로 실행 가능한 해가 도출되면 그 해가 곧바로 최적해가 되는 개념임
  - 반면 증분법은 기존 28편성의 열차 Dia를 초기 (안)으로 시작하므로 처음부터 실행 가능한 대안으로부터 출발하여 단계별 해의 개선 (Improve) 과정을 거쳐 최적해에 도달하는 점임



<그림 77 통합적 해법 – 증분법 vs 뺄셈법 특징 비교>

- 본 연구에서는 2가지 방법 중 증분법을 최종적으로 선택하였음. 증분법을 최종적으로 선택한 이유는 아래와 같음
  - 뺄셈법의 경우 반복 단계별 삭제할 대상 열차의 선정이 곤란함
  - 반면 증분법의 경우 전 단계가 실행 가능한 해 (Solution)이므로 전 단계 해의 정보를 활용하여 단계별로 추가되는 열차를 선정할 수 있다. 또한, 반복 단계마다 해당 분야 숙련된 담당자의 개입이 쉬움

③ 통합적 해법 – 증분법 알고리즘 구현 [핵심성과] C-3 차량운영계획 최적화 알고리즘 개발

㉮ 통합적 해법 – 증분법 수리과학 모델 정의

• 부호의 정의

<표 36 통합적 해법 - 증분법 부호의 정의>

부호	정의
S	정거장 번호 집합
D	요일 번호 집합
N	노드 번호 집합
N^F	고정된 열차 번호 부분집합
N^A	추가 열차 번호 부분집합
N_i^+	노드 [i]로부터 연결된 노드 번호 부분집합
N_i^-	노드 [i]로 연결된 노드 번호 부분집합
A	아크 번호 집합
A_s^d	요일 [d]에 정거장 [s]에 유치하는 아크 번호 부분집합
A^M	검수 아크 번호 부분집합 (사전 결정)
c_s	차량기지 [s]의 유치용량
t_i	노드 (열차) 번호 [i]의 운행 거리
x_{ij}	$x_{ij}=1$ 노드 [i] → [j] 연결된 경우, $x_{ij}=0$ 그렇지 않은 경우
z_i	노드 번호 [i]의 누적 운행 거리
s_i	경정비 검사주기 위반 최소화를 위한 부가 변수 (Slack variable)

• 통합적 해법 - 증분법 수리과학 모델 (1단계) : 수송용량 극대화

<표 37 통합적 해법 - 증분법 : 수송용량 극대화>

maximize	$\Sigma_{j\in N_i^+, i\in N^A} x_{ij}$	(23)
subject to	$\Sigma_{(i,j)\in A_s^7, s\in S} x_{ij} = NmFlows$	(24)
	$\Sigma_{j\in N_i^+} x_{ij} = \Sigma_{j\in N_i^-, } x_{ji}, \forall i \in N \backslash N^F$	(25)
	$\Sigma_{j\in N_i^+} x_{ij} + \Sigma_{j\in N_i^-, } x_{ji} \le 2, \forall i \in N \backslash N^F$	(26)
	$\Sigma_{j\in N_i^+} x_{ij} = 1, \forall i \in N^F$	(27)
	$\Sigma_{j\in N_i^-, } x_{ji} = 1, \forall i \in N^F$	(28)
	$\Sigma_{(i,j)\in A_s^d} x_{ij} \le c_s, \forall s \in S, \forall d \in D$	(29)
	$z_j \ge z_i + t_j - M(1-x_{ij})$, (i,j)는 경정비가 아닌 경우	(30)
	$z_i \le 5000 + s_i, \forall i \in N$	(31)
	$x_{ij} = 1, \forall (i,j) \in A^M$	(32)

- 식(23)은 주어진 편성의 활용을 최대화하여 수송용량을 극대화하기 위한 통합적 해법 - 증분법의 목적함수임

- 식(24)는 주어진 편성 수 (예, 46편성)을 제약하는 제약조건임
- 식(25) ~ 식(28)은 노드-링크로 구성되는 네트워크 흐름 만족 (Network flow conservation) 제약조건임
- 식(29)는 차량기지 유치용량의 한도를 제약하는 제약조건임
- 식(30) ~ 식(31)은 경정비 (예, ES 검수) 주기 준수하기 위한 제약조건임
- 식(32)는 중정비 일정을 설정하기 위한 제약조건임

- 통합적 해법 - 증분법 수리과학 모델 (2단계) : 경정비 검수주기 위반 최소화

<표 38 통합적 해법 - 증분법 : 경정비 검수주기 위반 최소화>

minimize	$\sum_{i \in N} s_i$	(33)
subject to	$\sum_{(i,j) \in A_s^7, s \in S} x_{ij} = NmFlows$	(24)
	$\sum_{j \in N_i^+} x_{ij} = \sum_{j \in N_i^-, x_{ji}}, \forall i \in N \backslash N^F$	(25)
	$\sum_{j \in N_i^+} x_{ij} + \sum_{j \in N_i^-, x_{ji}} \leq 2, \forall i \in N \backslash N^F$	(26)
	$\sum_{j \in N_i^+} x_{ij} = 1, \forall i \in N^F$	(27)
	$\sum_{j \in N_i^-, x_{ji}} = 1, \forall i \in N^F$	(28)
	$\sum_{(i,j) \in A_s^d} x_{ij} \leq c_s, \forall s \in S, \forall d \in D$	(29)
	$z_j \geq z_i + t_j - M(1 - x_{ij})$, (i,j)는 경정비가 아닌 경우	(30)
	$z_i \leq 5000 + s_i, \forall i \in N$	(31)
	$x_{ij} = 1, \forall (i,j) \in A^M$	(32)
	$\sum_{j \in N_i^+, i \in N^A} x_{ij} = NmAddtionalTrains$	(34)

- 식(33)은 경정비 (ES 검수) 위반을 최소화하기 위한 통합적 해법 - 증분법 2단계 모델의 목적함수임
- 식(34)는 경정비 위반을 최소화하기 위한 2단계 목적 달성 중에 1단계의 모델의 최적해를 유지하기 위한 제약조건임

㈏ 통합적 해법 - 증분법 구현 코드

```
import sys
import os
import pandas as pd
import gurobipy as gp
from gurobipy import GRB
```

```
# Parameters
minGap = 25
maxGap = 500
maxOper = 1
bigM = 7

# Read Input
filedata = pd.read_csv(os.getcwd() + '/development/input_add_train.csv')

stationSet = {'MOK', 'SUS', 'BUS', 'GJU'}
maintCapa = {'MOK': 0, 'SUS': 1, 'BUS': 3, 'GJU': 5}
stayCapa = {'MOK': 0, 'SUS': 23, 'BUS': 19, 'GJU': 14}
cleanSet = {'BUS', 'GJU'}

# Refine Time
filedata['DPT_TIME_MIN'] = 0
filedata['ARR_TIME_MIN'] = 0

for idx in filedata.index:
    filedata.at[idx, 'DPT_TIME_MIN'] = int(filedata.at[idx, 'DPT_TIME'].split(':')[0]) * 60 +
int(filedata.at[idx, 'DPT_TIME'].split(':')[1])
    filedata.at[idx, 'ARR_TIME_MIN'] = int(filedata.at[idx, 'ARR_TIME'].split(':')[0]) * 60 +
int(filedata.at[idx, 'ARR_TIME'].split(':')[1])
    if filedata.at[idx, 'ARR_TIME_MIN'] < filedata.at[idx, 'DPT_TIME_MIN']: filedata.at[idx,
'ARR_TIME_MIN'] += 24 * 60

# Create Node List
# Data (Operation): Day, Train, DepStn, DepTime, DepTimeMin, ArrStn, ArrTime,
ArrTimeMin, TrvKm, Type
# Data (Else): Day, Slot, Station, Type
# Var: InFlows, OutFlows

print('Create Node List')
nodeList = []

# Operation Nodes
for index, row in filedata.iterrows():
    nodeList.append({
        'Day': row['DAY'],
        'Train': row['TRAIN'],
        'DepStn': row['DPT_STN'],
        'DepTime': row['DPT_TIME'],
        'DepTimeMin': row['DPT_TIME_MIN'],
        'ArrStn': row['ARR_STN'],
        'ArrTime': row['ARR_TIME'],
```

```
        'ArrTimeMin': row['ARR_TIME_MIN'],
        'TrvKm': row['TRV_KM'],
        'Type': 'Operation',
        'InFlows': [],
        'OutFlows': [],
        'Class': row['TYPE']
    })

# Maintenance Nodes
for day in range(7):
    for station in stationSet:
        if maintCapa[station] > 0:
            for slot in range(maintCapa[station]):
                nodeList.append({
                    'Day': day + 1,
                    'Slot': slot + 1,
                    'Station': station,
                    'Type': 'Maintenance',
                    'InFlows': [],
                    'OutFlows': [],
                    'Class': 'ADD'
                })

# Stay Nodes
for day in range(7):
    for station in stationSet:
        if stayCapa[station] > 0:
            for slot in range(stayCapa[station]):
                nodeList.append({
                    'Day': day + 1,
                    'Slot': slot + 1,
                    'Station': station,
                    'Type': 'Stay',
                    'InFlows': [],
                    'OutFlows': [],
                    'Class': 'ADD'
                })

print('   ' + str(len(nodeList)) + ' nodes')

# Create Arc List
# Data: FromNode, ToNode
# Var: Flow

print('Create Arc List')
arcList = []
```

```
for fromNode in nodeList:
    for toNode in nodeList:

        # Check
        if fromNode['Type'] == 'Operation' and toNode['Type'] == 'Operation':
            if fromNode['ArrStn'] == toNode['DepStn'] and fromNode['Day'] == toNode['Day'] and fromNode['ArrTimeMin'] + minGap <= toNode['DepTimeMin'] and toNode['DepTimeMin'] <= fromNode['ArrTimeMin'] + maxGap: pass
            elif fromNode['ArrStn'] == toNode['DepStn'] and fromNode['Day'] + 1 == toNode['Day']: pass
            elif fromNode['ArrStn'] == toNode['DepStn'] and fromNode['Day'] == 7 and toNode['Day'] == 1: pass
            else: continue
        elif fromNode['Type'] == 'Operation' and toNode['Type'] == 'Maintenance':
            if fromNode['ArrStn'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] + 1 == toNode['Day']: pass
            elif fromNode['ArrStn'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] == 7 and toNode['Day'] == 1: pass
            else: continue
        elif fromNode['Type'] == 'Operation' and toNode['Type'] == 'Stay':
            if fromNode['ArrStn'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] + 1 == toNode['Day']: pass
            elif fromNode['ArrStn'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] == 7 and toNode['Day'] == 1: pass
            else: continue
        elif fromNode['Type'] == 'Maintenance' and toNode['Type'] == 'Operation':
            if fromNode['Station'] == toNode['DepStn'] and fromNode['Day'] + 1 == toNode['Day']: pass
            elif fromNode['Station'] == toNode['DepStn'] and fromNode['Day'] == 7 and toNode['Day'] == 1: pass
            else: continue
        elif fromNode['Type'] == 'Maintenance' and toNode['Type'] == 'Maintenance':
            if fromNode['Station'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] + 1 == toNode['Day']: pass
            elif fromNode['Station'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] == 7 and toNode['Day'] == 1: pass
            else: continue
        elif fromNode['Type'] == 'Maintenance' and toNode['Type'] == 'Stay':
            if fromNode['Station'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] + 1 == toNode['Day']: pass
            elif fromNode['Station'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] == 7 and toNode['Day'] == 1: pass
            else: continue
        elif fromNode['Type'] == 'Stay' and toNode['Type'] == 'Operation':
            if fromNode['Station'] == toNode['DepStn'] and fromNode['Day'] + 1 ==
```

```
toNode['Day']: pass
            elif fromNode['Station'] == toNode['DepStn'] and fromNode['Day'] == 7 and
toNode['Day'] == 1: pass
            else: continue
        elif fromNode['Type'] == 'Stay' and toNode['Type'] == 'Maintenance':
            if fromNode['Station'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] + 1 ==
toNode['Day']: pass
            elif fromNode['Station'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] == 7 and
toNode['Day'] == 1: pass
            else: continue
        elif fromNode['Type'] == 'Stay' and toNode['Type'] == 'Stay':
            if fromNode['Station'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] + 1 ==
toNode['Day']: pass
            elif fromNode['Station'] == toNode['Station'] and fromNode['Day'] == 7 and
toNode['Day'] == 1: pass
            else: continue
        else: print('Error!!!!!!!!!!')

        # Add
        newArc = {'FromNode': fromNode, 'ToNode': toNode}

        arcList.append(newArc)
        fromNode['OutFlows'].append(newArc)
        toNode['InFlows'].append(newArc)

print('   ' + str(len(arcList)) + ' arcs')

# Create Environment
model = gp.Model()

# Create Variable
for node in nodeList:
    node['Oper'] = model.addVar()
    node['Slack'] = model.addVar()

for arc in arcList:
    arc['Flow'] = model.addVar(vtype=GRB.BINARY)

# Create Constraint : Flow Conservation
for node in nodeList:

    inExpr = gp.LinExpr()
    for arc in node['InFlows']:
        inExpr += arc['Flow']

    outExpr = gp.LinExpr()
```

```
    for arc in node['OutFlows']:
        outExpr += arc['Flow']

    if node['Class'] == 'FIX':
        model.addConstr(inExpr == 1)
        model.addConstr(outExpr == 1)
    elif node['Class'] == 'ADD':
        model.addConstr(inExpr == outExpr)
        model.addConstr(inExpr + outExpr <= 2)
    else:
        print('ERROR!!!!!!!!!!')
        sys.exit()

# Create Constraint : Stay Capacity
for day in range(7):
    for station in stationSet:

        fromDay = day + 1
        toDay = day + 2
        if toDay == 8: toDay = 1

        expr = gp.LinExpr()

        for arc in arcList:
            fromNode = arc['FromNode']
            toNode = arc['ToNode']

            if fromNode['Day'] == fromDay and toNode['Day'] == toDay:

                if fromNode['Type'] == 'Operation':
                    if fromNode['ArrStn'] == station: expr += arc['Flow']
                else:
                    if fromNode['Station'] == station: expr += arc['Flow']

        model.addConstr(expr <= stayCapa[station])

# Create Constraint : Maintenance Plan
for arc in arcList:
    fromNode = arc['FromNode']
    toNode = arc['ToNode']

    if fromNode['Type'] == 'Maintenance' and toNode['Type'] == 'Maintenance':

        if fromNode['Station'] == 'SUS' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
and fromNode['Day'] == 1: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'SUS' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
```

```
and fromNode['Day'] == 2: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'SUS' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
and fromNode['Day'] == 3: arc['Flow'].lb = 1

        if fromNode['Station'] == 'BUS' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
and fromNode['Day'] == 1: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'BUS' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
and fromNode['Day'] == 2: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'BUS' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
and fromNode['Day'] == 3: arc['Flow'].lb = 1

        if fromNode['Station'] == 'BUS' and fromNode['Slot'] == 2 and toNode['Slot'] == 2
and fromNode['Day'] == 1: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'BUS' and fromNode['Slot'] == 2 and toNode['Slot'] == 2
and fromNode['Day'] == 2: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'BUS' and fromNode['Slot'] == 2 and toNode['Slot'] == 2
and fromNode['Day'] == 3: arc['Flow'].lb = 1

        if fromNode['Station'] == 'BUS' and fromNode['Slot'] == 3 and toNode['Slot'] == 3
and fromNode['Day'] == 1: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'BUS' and fromNode['Slot'] == 3 and toNode['Slot'] == 3
and fromNode['Day'] == 2: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'BUS' and fromNode['Slot'] == 3 and toNode['Slot'] == 3
and fromNode['Day'] == 3: arc['Flow'].lb = 1

        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
and fromNode['Day'] == 1: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
and fromNode['Day'] == 2: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
and fromNode['Day'] == 3: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 1 and toNode['Slot'] == 1
and fromNode['Day'] == 4: arc['Flow'].lb = 1

        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 2 and toNode['Slot'] == 2
and fromNode['Day'] == 1: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 2 and toNode['Slot'] == 2
and fromNode['Day'] == 2: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 2 and toNode['Slot'] == 2
and fromNode['Day'] == 3: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 2 and toNode['Slot'] == 2
and fromNode['Day'] == 4: arc['Flow'].lb = 1

        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 3 and toNode['Slot'] == 3
and fromNode['Day'] == 1: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 3 and toNode['Slot'] == 3
```

```
and fromNode['Day'] == 2: arc['Flow'].lb = 1

        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 4 and toNode['Slot'] == 4
and fromNode['Day'] == 1: arc['Flow'].lb = 1
        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 4 and toNode['Slot'] == 4
and fromNode['Day'] == 2: arc['Flow'].lb = 1

        if fromNode['Station'] == 'GJU' and fromNode['Slot'] == 5 and toNode['Slot'] == 5
and fromNode['Day'] == 2: arc['Flow'].lb = 1

# Create Constraint : The Number of Train Flows
expr = gp.LinExpr()

for arc in arcList:
    fromNode = arc['FromNode']
    toNode = arc['ToNode']
    if fromNode['Day'] == 7 and toNode['Day'] == 1: expr += arc['Flow']

model.addConstr(expr == 46)

# Create Objective
objExpr = gp.LinExpr()

for node in nodeList:
    if node['Type'] == 'Operation' and node['Class'] == 'ADD':
        for arc in node['OutFlows']:
            objExpr += arc['Flow']

model.setObjective(objExpr, GRB.MAXIMIZE)

# Optimize & Fix
model.optimize()

if model.solCount == 0:
    model.computeIIS()
    model.write('infeasible.ilp')
    sys.exit(0)

model.addConstr(objExpr == model.ObjVal)

####################################################
# Phase 2 Start : Minimize Clean Violation
####################################################

# Create Constraint : Clean Violation
for node in nodeList:
```

```
    model.addConstr(node['Oper'] <= maxOper +  node['Slack'])

# Create Constraint : Clean Operation
for arc in arcList:
    fromNode = arc['FromNode']
    toNode = arc['ToNode']

    if fromNode['Day'] == toNode['Day']:
        model.addConstr(toNode['Oper'] >= fromNode['Oper'] - bigM * (1 - arc['Flow']))
    else:
        if fromNode['Type'] == 'Operation':
            if fromNode['ArrStn'] in cleanSet: continue
        else:
            if fromNode['Station'] in cleanSet: continue

        model.addConstr(toNode['Oper'] >= fromNode['Oper'] + 1 - bigM * (1 -
arc['Flow']))

# Create Objective
objExpr = gp.LinExpr()

for node in nodeList:
    objExpr += node['Slack']

model.setObjective(objExpr, GRB.MINIMIZE)

# Optimize
model.Params.TimeLimit = 120
model.optimize()

# Print Result : Path
resultPath = {}
pathIdx = 0

# Print Result : Path - Find Start Node
for arc in arcList:
    fromNode = arc['FromNode']
    toNode = arc['ToNode']
    if fromNode['Day'] == 7 and toNode['Day'] == 1 and arc['Flow'].X > 0.5:
        pathIdx += 1
        resultPath[pathIdx] = []
        resultPath[pathIdx].append(toNode)

# Print Result : Path - Create Path
for path in resultPath.values():
    curNode = path[0]
```

```
    while True:
        count = 0
        nextNode = None
        for arc in curNode['OutFlows']:
            if arc['Flow'].X > 0.5:
                count += 1
                nextNode = arc['ToNode']

        if count != 1: print('Error!!!!!!!!!!')
        if curNode['Day'] == 7 and nextNode['Day'] == 1: break

        path.append(nextNode)
        curNode = nextNode

print(str(len(resultPath)) + ' paths are detected')

# Print Result : Path - Print
f = open('result_path.txt', 'w')

for path in resultPath.values():
    for node in path:
        if node['Type'] == 'Operation': f.write(str(node['Train']) + '(' + str(node['Day']) +
',' + str(node['DepStn']) + ',' + str(node['ArrStn']) + ',' + str(node['DepTime']) + ',' +
str(node['ArrTime']) + ')-')
        else: f.write(str(node['Type']) + str(node['Slot']) + '(' + str(node['Day']) + ',' +
str(node['Station']) + ')-')
    f.write('₩n')

f.close()

# Print Result : Group - Create Group
resultGroup = {}

for path in resultPath.values():
    for day in range(7):
        curList = []
        for node in path:
            if node['Day'] == day + 1 and node['Type'] == 'Operation':
curList.append(node['Train'])
        if len(curList) == 0: continue
        curTuple = tuple(curList)

        if curTuple in resultGroup:
            resultGroup[curTuple]['Days'].append(day + 1)
        else:
            resultGroup[curTuple] = {'Name': 'K' + '{:03d}'.format(len(resultGroup) + 1),
```

```
'Days': []}
            resultGroup[curTuple]['Days'].append(day + 1)

print(str(len(resultGroup)) + ' groups are detected')

# Print Result : Group - Print
f = open('result_group.txt', 'w')

f.write('Index(Diagram),Ggroup,Day₩n')

for key, val in resultGroup.items():
    f.write(val['Name'] + ',')
    f.write(str(key).replace('(','').replace(')','').replace(',','').replace("","") + ',')
    f.write(str(val['Days']).replace('[','').replace(']','').replace(' ',''))
    f.write('₩n')

f.close()

# Print Result : Table - Print
f = open('result_table.txt', 'w')

f.write('No,1,2,3,4,5,6,7,Next₩n')

for key, path in resultPath.items():
    # Write No
    f.write(str(key) + ',')

    # Write Path
    for day in range(7):
        curNodeList = []
        curTrainList = []

        for node in path:
            if node['Day'] == day + 1:
                curNodeList.append(node)
                if node['Type'] == 'Operation': curTrainList.append(node['Train'])

        if len(curTrainList) > 0:
            f.write(str(curNodeList[0]['DepStn']) + '-' +
resultGroup[tuple(curTrainList)]['Name'] + '-' + str(day + 1) + '-' +
str(curNodeList[-1]['ArrStn']) + ',')
        else:
            if len(curNodeList) != 1: print('Error!!!!!!!!!!')
            if curNodeList[0]['Type'] == 'Maintenance':
f.write(str(curNodeList[0]['Station']) + '-' + 'MANT' + '-' + str(day + 1) + '-' +
str(curNodeList[0]['Station']) + ',')
```

```
            if curNodeList[0]['Type'] == 'Stay': f.write(str(curNodeList[0]['Station']) + '-'
+ 'STAY' + '-' + str(day + 1) + '-' + str(curNodeList[0]['Station']) + ',')

    # Find & Write Next
    lastNode = path[-1]
    nextNode = None

    for arc in lastNode['OutFlows']:
        if arc['Flow'].X > 0.5: nextNode = arc['ToNode']

    if nextNode == None: print('Error!!!!!!!!!!')

    for nextKey, nextPath in resultPath.items():
        if nextPath[0] == nextNode: f.write(str(nextKey) + '₩n')

f.close()
```

5) 철도차량 운영계획 최적화 알고리즘 실험 및 검증

[핵심성과] C-4 차량운영계획 최적화 모형 검증

① (실험코드: Test-1) 기존 열차 Dia를 입력으로 한 실험 및 검증

㉮ 실험조건

- 기존 열차 Dia를 입력 데이터로 그대로 활용하는 조건 (120 열차/일)
- 운용 편성 수 = 기존 28편성 → 변경 46편성 (+18편성 증차) 조건
- 차량기지 유치용량은 제약이 없다고 전제
- 검수 조건 = 증차 비율에 맞게 중간 검수량 증대

<표 39 Test-1 검수 조건 설정>

[기존]

기지	월	화	수	목
수서	1	1	1	1
부산	2	2	2	2
호남	2	3	3	1
계	5	6	6	4



[Test-1]

기지	월	화	수	목
수서	1	1	1	-
부산	3	3	3	-
호남	4	4	2	2
계	8	8	6	2

- 기존 열차 Dia를 기준으로 증차된 46편성을 최대한 활용하는 방법으로 중련 편성을 (2nd Unit) 배차하여 수송용량을 극대화]

㈏ 실험 결과

- <표 40>은 Test-1 실험조건에서 산출된 차량 운용 순서표의 결과를 나타냄
- 46편성의 운용 가용성은 증분법의 모델 정의에 따라 기본적으로 확보됨

<표 40 Test-1 차량 운용 순서표 산출 결과>

No	1	2	3	4	5	6	7	Next
1	BUS-K001-BUS	BUS-K002-SUS	SUS-K003-GJU	GJU-K004-SUS	SUS-K005-SUS	SUS-K006-SUS	SUS-K007-BUS	3
2	BUS-K008-BUS	BUS-K009-BUS	BUS-K010-BUS	BUS-K011-SUS	SUS-K012-BUS	BUS-K013-SUS	SUS-K014-SUS	17
3	BUS-MANT-BUS	BUS-MANT-BUS	BUS-MANT-BUS	BUS-MANT-BUS	BUS-K015-SUS	SUS-K016-GJU	GJU-K017-BUS	6
4	BUS-MANT-BUS	BUS-MANT-BUS	BUS-MANT-BUS	BUS-MANT-BUS	BUS-K018-SUS	SUS-K019-BUS	BUS-K020-SUS	15
5	BUS-K021-BUS	BUS-K022-BUS	BUS-K023-GJU	GJU-K024-GJU	GJU-K025-BUS	BUS-K026-SUS	SUS-K027-SUS	19
6	BUS-MANT-BUS	BUS-MANT-BUS	BUS-MANT-BUS	BUS-MANT-BUS	BUS-K028-SUS	SUS-K029-BUS	BUS-K030-SUS	13
7	BUS-K031-SUS	SUS-K032-SUS	SUS-K033-BUS	BUS-K034-BUS	BUS-K035-SUS	SUS-K036-GJU	GJU-K037-BUS	30
8	BUS-K038-SUS	SUS-K039-BUS	BUS-K040-SUS	SUS-K041-BUS	BUS-K042-SUS	SUS-K043-BUS	BUS-K044-SUS	12
9	BUS-K045-SUS	SUS-K046-SUS	SUS-K047-BUS	BUS-K048-BUS	BUS-K049-SUS	SUS-K050-BUS	BUS-K051-BUS	34
10	SUS-K052-SUS	SUS-K053-SUS	SUS-K054-SUS	SUS-K055-SUS	SUS-K056-SUS	SUS-K057-BUS	BUS-K058-GJU	21
11	SUS-K059-SUS	SUS-K060-SUS	SUS-K061-BUS	BUS-K062-SUS	SUS-K063-BUS	BUS-K064-SUS	SUS-K065-GJU	23
12	SUS-K066-BUS	BUS-K067-SUS	SUS-K068-SUS	SUS-K069-SUS	SUS-K070-SUS	SUS-K071-SUS	SUS-K072-BUS	32
13	SUS-K073-SUS	SUS-K074-GJU	GJU-K075-BUS	BUS-K076-SUS	SUS-K077-GJU	GJU-K078-GJU	GJU-K079-SUS	25
14	SUS-K080-SUS	SUS-K081-GJU	GJU-K082-BUS	BUS-K083-GJU	GJU-K084-SUS	SUS-K085-SUS	SUS-K086-GJU	41
15	SUS-K087-SUS	SUS-K088-SUS	SUS-K089-SUS	SUS-K090-BUS	BUS-K091-SUS	SUS-K092-GJU	GJU-K093-SUS	11
16	SUS-K094-SUS	SUS-K095-SUS	SUS-K096-BUS	BUS-K097-GJU	GJU-K098-BUS	BUS-K099-SUS	SUS-K100-GJU	45
17	SUS-K101-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-K102-GJU	GJU-K103-BUS	BUS-K104-SUS	SUS-K105-SUS	44
18	SUS-K106-SUS	SUS-K107-BUS	BUS-K108-GJU	GJU-K109-BUS	BUS-K110-SUS	SUS-K111-BUS	BUS-K112-SUS	16
19	SUS-K113-SUS	SUS-K114-SUS	SUS-K115-SUS	SUS-K116-BUS	BUS-K117-SUS	SUS-K118-SUS	SUS-K119-BUS	31
20	GJU-K120-BUS	BUS-K121-BUS	BUS-K122-SUS	SUS-K123-SUS	SUS-K124-SUS	SUS-K125-GJU	GJU-K126-GJU	22
21	GJU-K127-GJU	GJU-K128-BUS	BUS-K129-SUS	SUS-K130-SUS	SUS-K131-BUS	BUS-K132-GJU	GJU-K133-SUS	39
22	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-K134-BUS	BUS-K135-SUS	18
23	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-K136-SUS	SUS-K137-BUS	4
24	GJU-K138-SUS	SUS-K139-SUS	SUS-K140-SUS	SUS-K141-SUS	SUS-K142-SUS	SUS-K143-SUS	SUS-K144-BUS	5
25	SUS-K145-BUS	BUS-K146-SUS	SUS-K147-BUS	BUS-K148-SUS	SUS-K149-SUS	SUS-K150-SUS	SUS-K151-BUS	33
26	SUS-K152-BUS	BUS-K153-GJU	GJU-K154-SUS	SUS-K155-BUS	BUS-K156-GJU	GJU-K157-BUS	BUS-K158-BUS	8
27	SUS-K159-BUS	BUS-K160-SUS	SUS-K161-SUS	SUS-K162-SUS	SUS-K163-GJU	GJU-K164-BUS	BUS-K165-SUS	26
28	GJU-K166-GJU	GJU-K167-BUS	BUS-K168-SUS	SUS-K169-SUS	SUS-K170-BUS	BUS-K171-BUS	BUS-K172-SUS	10
29	BUS-K173-GJU	GJU-K174-GJU	GJU-K175-GJU	GJU-K176-BUS	BUS-K177-SUS	SUS-K178-BUS	BUS-K179-SUS	36
30	BUS-K180-GJU	GJU-K181-SUS	SUS-K182-SUS	SUS-K183-SUS	SUS-K184-BUS	BUS-K185-SUS	SUS-K186-BUS	1
31	BUS-K187-SUS	SUS-K188-SUS	SUS-K189-SUS	SUS-K190-BUS	BUS-K191-BUS	BUS-K192-BUS	BUS-K193-SUS	37
32	BUS-K194-SUS	SUS-K195-GJU	GJU-K196-BUS	BUS-K197-GJU	GJU-K198-GJU	GJU-K199-SUS	SUS-K200-SUS	27
33	BUS-K201-BUS	BUS-K202-SUS	SUS-K203-BUS	BUS-K204-SUS	SUS-K205-SUS	SUS-K206-GJU	GJU-STAY-GJU	46
34	BUS-K207-GJU	GJU-K208-BUS	BUS-K209-SUS	SUS-K210-SUS	SUS-K211-BUS	BUS-K212-SUS	SUS-K213-BUS	2
35	BUS-K214-SUS	SUS-K215-SUS	SUS-K216-SUS	SUS-K217-BUS	BUS-K218-GJU	GJU-K219-SUS	SUS-K220-BUS	9
36	SUS-K221-SUS	SUS-K222-BUS	BUS-K223-SUS	SUS-K224-SUS	SUS-K225-BUS	BUS-K226-BUS	BUS-K227-SUS	14
37	SUS-MANT-SUS	SUS-MANT-SUS	SUS-MANT-SUS	SUS-MANT-SUS	SUS-K228-BUS	BUS-K229-SUS	SUS-K230-BUS	29
38	SUS-K231-SUS	SUS-K232-GJU	GJU-K233-SUS	SUS-K234-SUS	SUS-K235-BUS	BUS-K236-SUS	SUS-K237-GJU	24
39	SUS-K238-BUS	BUS-K239-BUS	BUS-K240-BUS	BUS-K241-SUS	SUS-K242-GJU	GJU-K243-SUS	SUS-K244-GJU	28
40	SUS-K056-SUS	SUS-K245-BUS	BUS-K246-SUS	SUS-K247-SUS	SUS-K248-BUS	BUS-K249-SUS	SUS-K250-GJU	42
41	GJU-K251-SUS	SUS-K252-SUS	SUS-K253-BUS	BUS-K254-GJU	GJU-K255-BUS	BUS-K256-SUS	SUS-K257-BUS	7
42	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-K258-BUS	BUS-K259-SUS	SUS-K260-BUS	BUS-K261-SUS	38
43	SUS-K262-BUS	BUS-K263-SUS	SUS-K264-BUS	BUS-K265-BUS	BUS-K266-SUS	SUS-K267-BUS	BUS-K268-SUS	40
44	SUS-K269-BUS	BUS-K270-BUS	BUS-K271-SUS	SUS-K272-SUS	SUS-K273-SUS	SUS-K274-BUS	BUS-K275-BUS	35
45	GJU-K276-BUS	BUS-K277-SUS	SUS-K278-SUS	SUS-K279-SUS	SUS-K280-BUS	BUS-K281-SUS	SUS-K282-GJU	20
46	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-MANT-GJU	GJU-K283-BUS	BUS-K284-SUS	SUS-K285-GJU	GJU-K286-SUS	43

㈐ 결과 해석

- 증분법의 목적함수는 주어진 46편성을 최대한 활용하여 열차·편성 수송용량을 극대화 하는 것임
- 열차·편성 수송용량은 아래 식과 같이 계산됨
- 열차·편성 수송용량 = 주간 열차 수 + 배차된 중련 열차 수 [열차·편성]
- 열차·편성 수송용량 = 840 + 745 = 1584 [열차·편성]
- 여기서 840은 주간 열차 수 (=120×7)로서 주어진 입력 데이터에 따라서 결정됨
- 수송용량 1584는 기존 열차 (840 열차/주간)와 기존 편성에 의한 수송용량 938 (=840+98)에 비해 약 69% 증가된 결과임

<표 41 Test-1 차량기지 유치용량 사용 결과>

기지	월		화		수		목		금		토		일		용량	기존 용량	과부족
	출고	입고	출고	입고	출고	입고	출고	입고	출고	입고	출고	입고	출고	입고			
수서	20	20	20	20	20	20	20	22	22	22	22	22	22	20	22	14	-8
부산	16	16	16	15	15	17	17	16	16	16	16	16	16	16	17	11	-6
호남	10	10	10	11	11	9	9	8	8	8	8	8	8	10	11	11	0
합계	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	46	50	36	-14

- <표 41>은 차량기지 유치용량 사용 결과를 나타냄
  - 표에서 보는 바와 같이 수서와 부산 차량기지의 유치용량 사용이 기존보다 많이 증가함
  - 현실에서 수서역은 도심지에 위치하여 유치용량 증대가 물리적으로 곤란함
  - 또한, 부산 차량기지에서 유치용량 확보는 코레일과의 업무협조 관계 때문에 증대가 쉽지는 않은 상황임
  - 따라서 증가하는 유치용량의 확보는 호남 차량기지에서 이루어질 가능성이 큼
- 결과적으로 Test-1은 수서 및 부산의 유치용량 증대가 곤란하므로 해당 조건을 수정하여 재산정할 필요가 있음

② (실험코드: Test-2) 기지 유치용량을 추가 제약한 실험 및 검증

㉮ 실험조건

- 다른 조건은 모두 Test-1의 실험조건과 같음
- 다만 차량기지별 유치용량을 아래와 같이 제약한 조건에서 해를 구함
- [유치용량] 수서 : 부산 ; 광주 = 14 : 11 : 25

㉯ 실험 결과

- <표 42>는 Test-2 실험조건에서 산출된 차량 운용 순서표의 결과를 나타냄
- 이 실험에서 역시 46편성의 운용 가용성은 증분법의 모델 정의에 따라 기본적으로 확보됨

<표 42 Test-2 차량 운용 순서표 산출 결과>

No.	월	화	수	목	금	토	일	Next
1	BUS-MANT-1 BUS	BUS-MANT-2 BUS	BUS-MANT-3 BUS	BUS-MANT-4 BUS	BUS-K001-5 GJU	GJU-K002-6 SUS	SUS-K003-7 BUS	6
2	BUS-MANT-1 BUS	BUS-MANT-2 BUS	BUS-MANT-3 BUS	BUS-MANT-4 BUS	BUS-K004-5 GJU	GJU-K005-6 GJU	GJU-K006-7 SUS	34
3	BUS-K007-1 SUS	SUS-K008-2 SUS	SUS-K009-3 GJU	GJU-K010-4 SUS	SUS-K011-5 SUS	SUS-K012-6 BUS	BUS-K013-7 SUS	12
4	BUS-K014-1 GJU	GJU-K015-2 GJU	GJU-K016-3 SUS	SUS-K017-4 BUS	BUS-K018-5 BUS	BUS-K019-6 SUS	SUS-K020-7 GJU	44
5	BUS-K021-1 BUS	BUS-K022-2 GJU	GJU-K023-3 SUS	SUS-K024-4 GJU	GJU-K025-5 GJU	GJU-MANT-6 GJU	GJU-K026-7 BUS	38
6	BUS-K027-1 SUS	SUS-K028-2 BUS	BUS-K029-3 BUS	BUS-K030-4 BUS	BUS-K031-5 BUS	BUS-K032-6 GJU	GJU-K033-7 SUS	15
7	BUS-MANT-1 BUS	BUS-MANT-2 BUS	BUS-MANT-3 BUS	BUS-MANT-4 BUS	BUS-K034-5 SUS	SUS-K035-6 GJU	GJU-K036-7 BUS	37
8	BUS-K037-1 SUS	SUS-K038-2 GJU	GJU-STAY-3 GJU	GJU-STAY-4 GJU	GJU-K039-5 BUS	BUS-K040-6 SUS	SUS-K041-7 GJU	42
9	BUS-K042-1 GJU	GJU-K043-2 SUS	SUS-K044-3 GJU	GJU-K006-4 SUS	SUS-K045-5 BUS	BUS-K046-6 SUS	SUS-K047-7 SUS	39
10	SUS-K048-1 GJU	GJU-K049-2 GJU	GJU-K050-3 BUS	BUS-K051-4 GJU	GJU-K052-5 GJU	GJU-K053-6 BUS	BUS-K054-7 GJU	31
11	SUS-K055-1 BUS	BUS-K056-2 SUS	SUS-K057-3 SUS	SUS-K058-4 BUS	BUS-K059-5 SUS	SUS-K060-6 BUS	BUS-K061-7 GJU	30
12	SUS-MANT-1 SUS	SUS-MANT-2 SUS	SUS-MANT-3 SUS	SUS-MANT-4 SUS	SUS-K038-5 GJU	GJU-K062-6 SUS	SUS-K063-7 GJU	25
13	SUS-K064-1 GJU	GJU-K065-2 SUS	SUS-K066-3 GJU	GJU-K067-4 GJU	GJU-K068-5 GJU	GJU-K069-6 GJU	GJU-K070-7 SUS	11
14	SUS-K071-1 SUS	SUS-K072-2 GJU	GJU-K073-3 GJU	GJU-K074-4 SUS	SUS-K075-5 SUS	SUS-K076-6 GJU	GJU-K068-7 GJU	22
15	SUS-K077-1 SUS	SUS-K078-2 GJU	GJU-K079-3 BUS	BUS-K080-4 BUS	BUS-K081-5 SUS	SUS-K082-6 BUS	BUS-K083-7 SUS	33
16	SUS-K084-1 GJU	GJU-K085-2 GJU	GJU-K086-3 GJU	GJU-K087-4 BUS	BUS-K088-5 SUS	SUS-K089-6 SUS	SUS-K090-7 BUS	1
17	SUS-K038-1 GJU	GJU-K091-2 BUS	BUS-K092-3 GJU	GJU-K093-4 GJU	GJU-K094-5 GJU	GJU-K095-6 SUS	SUS-K096-7 BUS	3
18	SUS-K097-1 GJU	GJU-K098-2 GJU	GJU-K099-3 SUS	SUS-K100-4 GJU	GJU-K101-5 GJU	GJU-K102-6 BUS	BUS-K022-7 GJU	21
19	GJU-K103-1 BUS	BUS-K104-2 SUS	SUS-K105-3 GJU	GJU-K106-4 GJU	GJU-K067-5 GJU	GJU-K107-6 BUS	BUS-K108-7 SUS	16
20	GJU-K109-1 SUS	SUS-K110-2 SUS	SUS-K111-3 SUS	SUS-K112-4 GJU	GJU-K113-5 BUS	BUS-K114-6 GJU	GJU-K115-7 BUS	8
21	GJU-K116-1 GJU	GJU-K117-2 SUS	SUS-K118-3 BUS	BUS-K119-4 GJU	GJU-K120-5 GJU	GJU-K121-6 GJU	GJU-K122-7 BUS	2
22	GJU-K123-1 SUS	SUS-K124-2 SUS	SUS-K125-3 SUS	SUS-K126-4 GJU	GJU-K127-5 BUS	BUS-K128-6 SUS	SUS-K129-7 GJU	43
23	GJU-K130-1 SUS	SUS-K131-2 GJU	GJU-K132-3 GJU	GJU-K133-4 SUS	SUS-K134-5 GJU	GJU-STAY-6 GJU	GJU-K135-7 GJU	36
24	GJU-K135-1 GJU	GJU-K116-2 GJU	GJU-K136-3 BUS	BUS-K137-4 BUS	BUS-K138-5 SUS	SUS-K139-6 GJU	GJU-K062-7 SUS	32
25	GJU-MANT-1 GJU	GJU-MANT-2 GJU	GJU-MANT-3 GJU	GJU-K140-4 GJU	GJU-K141-5 SUS	SUS-K142-6 GJU	GJU-K143-7 SUS	17
26	GJU-MANT-1 GJU	GJU-MANT-2 GJU	GJU-MANT-3 GJU	GJU-MANT-4 GJU	GJU-MANT-5 GJU	GJU-K144-6 GJU	GJU-K098-7 GJU	24
27	GJU-K145-1 SUS	SUS-K146-2 BUS	BUS-K147-3 BUS	BUS-K148-4 SUS	SUS-K149-5 BUS	BUS-K150-6 GJU	GJU-K151-7 GJU	28
28	GJU-MANT-1 GJU	GJU-MANT-2 GJU	GJU-MANT-3 GJU	GJU-MANT-4 GJU	GJU-MANT-5 GJU	GJU-K152-6 SUS	SUS-K038-7 GJU	19
29	GJU-K153-1 GJU	GJU-K154-2 SUS	SUS-K155-3 BUS	BUS-K156-4 SUS	SUS-K157-5 GJU	GJU-K116-6 GJU	GJU-K153-7 GJU	26
30	GJU-K158-1 BUS	BUS-K159-2 BUS	BUS-K160-3 SUS	SUS-K161-4 GJU	GJU-K006-5 SUS	SUS-K162-6 SUS	SUS-K163-7 GJU	41
31	GJU-MANT-1 GJU	GJU-MANT-2 GJU	GJU-MANT-3 GJU	GJU-K164-4 SUS	SUS-K165-5 GJU	GJU-K166-6 SUS	SUS-K167-7 BUS	5
32	SUS-K168-1 SUS	SUS-K169-2 GJU	GJU-K170-3 SUS	SUS-K171-4 SUS	SUS-K172-5 SUS	SUS-K088-6 GJU	GJU-K173-7 GJU	40
33	SUS-K174-1 BUS	BUS-K175-2 BUS	BUS-K176-3 GJU	GJU-K177-4 SUS	SUS-K112-5 GJU	GJU-K178-6 BUS	BUS-K179-7 SUS	13
34	SUS-K180-1 SUS	SUS-K181-2 GJU	GJU-K006-3 SUS	SUS-K182-4 GJU	GJU-K183-5 BUS	BUS-K184-6 SUS	SUS-K185-7 BUS	4
35	SUS-K186-1 GJU	GJU-K187-2 SUS	SUS-K188-3 SUS	SUS-K189-4 GJU	GJU-K145-5 SUS	SUS-K066-6 GJU	GJU-K190-7 GJU	45
36	GJU-K191-1 GJU	GJU-K192-2 SUS	SUS-K193-3 SUS	SUS-K194-4 GJU	GJU-K195-5 GJU	GJU-K196-6 SUS	SUS-K197-7 GJU	27
37	BUS-K198-1 BUS	BUS-K199-2 GJU	GJU-K116-3 GJU	GJU-K200-4 GJU	GJU-K201-5 GJU	GJU-K006-6 SUS	SUS-K202-7 GJU	23
38	BUS-K203-1 BUS	BUS-K204-2 GJU	GJU-K205-3 SUS	SUS-K206-4 GJU	GJU-STAY-5 GJU	GJU-K207-6 BUS	BUS-K208-7 SUS	10
39	SUS-K209-1 BUS	BUS-K210-2 BUS	BUS-K211-3 GJU	GJU-K212-4 GJU	GJU-K213-5 SUS	SUS-K214-6 BUS	BUS-K215-7 SUS	18
40	GJU-K067-1 GJU	GJU-K067-2 GJU	GJU-K216-3 BUS	BUS-K217-4 SUS	SUS-K218-5 GJU	GJU-K219-6 GJU	GJU-K220-7 BUS	9
41	GJU-K221-1 SUS	SUS-K222-2 GJU	GJU-STAY-3 GJU	GJU-K223-4 BUS	BUS-K224-5 SUS	SUS-K225-6 GJU	GJU-STAY-7 GJU	46
42	GJU-K006-1 SUS	SUS-K226-2 SUS	SUS-K227-3 GJU	GJU-K228-4 SUS	SUS-K229-5 GJU	GJU-K120-6 GJU	GJU-K230-7 BUS	7
43	GJU-K231-1 GJU	GJU-K232-2 BUS	BUS-K233-3 SUS	SUS-K234-4 SUS	SUS-K235-5 BUS	BUS-K236-6 BUS	BUS-K237-7 GJU	29
44	GJU-K238-1 GJU	GJU-MANT-2 GJU	GJU-MANT-3 GJU	GJU-K239-4 BUS	BUS-K240-5 BUS	BUS-K119-6 GJU	GJU-K241-7 SUS	14
45	GJU-K242-1 GJU	GJU-K243-2 BUS	BUS-K244-3 GJU	GJU-K145-4 SUS	SUS-K245-5 BUS	BUS-K246-6 GJU	GJU-K067-7 GJU	20
46	GJU-K247-1 GJU	GJU-K248-2 SUS	SUS-K038-3 GJU	GJU-K052-4 GJU	GJU-K249-5 SUS	SUS-K250-6 BUS	BUS-K251-7 SUS	35

㈐ 결과 해석

- [유치용량] 수서 : 부산 : 광주 = 14 : 11 : 25은 사전에 설정된 제약조건이므로 설정된 것과 같이 지켜짐
- 선행 제약조건으로 주어진 유치용량과 기존 열차 Dia를 그대로 사용한다는 전제조건에서 46편성을 최대로 활용한 열차・편성 수송용량은 아래와 같이 산출됨
- 열차・편성 수송용량 = 840 + 420 = 1260 [열차・편성]

  - 이 결과는 기존 938에 비해 약 34% 증가된 결과이다.

- 중련 할당을 통한 차량편성 이용 효율 = 420 / 840 × 100 [%] = 50[%]
- 이 결과는 기존 열차 Dia를 그대로 입력 데이터로 활용하는 경우 최대 추가 확보할 수 있는 수송용량의 한도가 34%임을 나타냄
- 증분법의 장점을 활용하여 입력 데이터의 일부를 수정하면 34%보다 높은 수송용량 개선을 기대할 수 있음

③ (실험코드: Test-3) 입력 데이터를 증차 편성에 적합 조정한 실험 및 검증

㉮ 실험조건

- 실험조건은 모두 Test-2의 실험조건과 같음
- 다만 기존 열차 Dia에 호남 차량기지에 입출하고 하는 열차를 입고 및 출고 각각 14회/일 증편하여 입력 데이터를 설정함
  - 여기서 14회/일의 산정 근거는 (Test-2의 호남 차량기지 유치용량 25 - Test-1의 호남 차량기지 유치용량 11 = 14)로 산정된 것임

㉯ 실험 결과

- 아래 <표 43>은 Test-3의 실험조건에서 도출된 차량 운용 순서표 최적해 도출 결과임
- 열차・편성 수송용량 = 1017 + 683 = 1700 [열차・편성]
- 중련 할당을 통한 차량편성 이용 효율 = 683 / 1017 × 100 [%] = 63[%]

<표 43 Test-3 차량 운용 순서표 최적해 도출 결과>

No	1	2	3	4	5	6	7	Next
1	BUS-K001-1-SUS	SUS-K002-2-SUS	SUS-K003-3-SUS	SUS-K004-4-SUS	SUS-K005-5-BUS	BUS-K006-6-SUS	SUS-K007-7-GJU	39
2	BUS-K008-1-SUS	SUS-K009-2-GJU	GJU-K010-3-SUS	SUS-K011-4-GJU	GJU-K012-5-SUS	SUS-K013-6-SUS	SUS-K014-7-GJU	29
3	BUS-K015-1-GJU	GJU-K016-2-SUS	SUS-K017-3-SUS	SUS-K018-4-SUS	SUS-K019-5-GJU	GJU-K020-6-GJU	GJU-K021-7-GJU	34
4	BUS-K022-1-GJU	GJU-K023-2-BUS	BUS-K024-3-GJU	GJU-K025-4-GJU	GJU-K026-5-BUS	BUS-K027-6-BUS	BUS-K028-7-GJU	44
5	BUS-K029-1-SUS	SUS-K030-2-BUS	BUS-K031-3-BUS	BUS-K032-4-GJU	GJU-K033-5-SUS	SUS-K034-6-BUS	BUS-K035-7-BUS	6
6	BUS-K036-1-GJU	GJU-K037-2-BUS	BUS-K038-3-GJU	GJU-K039-4-SUS	SUS-K040-5-SUS	SUS-K041-6-BUS	BUS-K042-7-SUS	12
7	BUS-MANT-1-BUS	BUS-MANT-2-BUS	BUS-MANT-3-BUS	BUS-MANT-4-BUS	BUS-K043-5-GJU	GJU-K044-6-GJU	GJU-K045-7-GJU	38
8	BUS-K046-1-GJU	GJU-K047-2-GJU	GJU-K048-3-GJU	GJU-K049-4-GJU	GJU-K050-5-GJU	GJU-K051-6-SUS	SUS-K052-7-BUS	24
9	SUS-K053-1-GJU	GJU-K054-2-SUS	SUS-K055-3-SUS	SUS-K056-4-SUS	SUS-K057-5-SUS	SUS-K058-6-GJU	GJU-K059-7-SUS	13
10	SUS-K060-1-SUS	SUS-K061-2-SUS	SUS-K062-3-GJU	GJU-K063-4-GJU	GJU-K064-5-GJU	GJU-K065-6-SUS	SUS-K066-7-BUS	5
11	SUS-K067-1-BUS	BUS-K068-2-GJU	GJU-K069-3-GJU	GJU-K070-4-GJU	GJU-K071-5-GJU	GJU-K072-6-SUS	SUS-K073-7-BUS	23
12	SUS-K074-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-K075-4-GJU	GJU-K076-5-BUS	BUS-K077-6-SUS	SUS-K078-7-GJU	19
13	SUS-K079-1-GJU	GJU-K080-2-BUS	BUS-K081-3-BUS	BUS-K082-4-GJU	GJU-K083-5-GJU	GJU-K084-6-SUS	SUS-K085-7-BUS	4
14	SUS-K086-1-SUS	SUS-K087-2-BUS	BUS-K088-3-GJU	GJU-K089-4-GJU	GJU-K090-5-GJU	GJU-K091-6-SUS	SUS-K092-7-GJU	37
15	SUS-MANT-1-SUS	SUS-MANT-2-SUS	SUS-MANT-3-SUS	SUS-MANT-4-SUS	SUS-K093-5-SUS	SUS-K094-6-GJU	GJU-K095-7-SUS	9
16	GJU-K096-1-GJU	GJU-K097-2-GJU	GJU-K098-3-SUS	SUS-K099-4-BUS	BUS-K100-5-SUS	SUS-K101-6-GJU	GJU-K102-7-SUS	14
17	GJU-K103-1-BUS	BUS-K104-2-GJU	GJU-K105-3-GJU	GJU-K106-4-BUS	BUS-K107-5-SUS	SUS-K108-6-BUS	BUS-K109-7-SUS	28
18	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-MANT-4-GJU	GJU-MANT-5-GJU	GJU-K110-6-GJU	GJU-K111-7-BUS	3
19	GJU-K112-1-SUS	SUS-K113-2-SUS	SUS-K114-3-SUS	SUS-K115-4-SUS	SUS-K116-5-BUS	BUS-K117-6-GJU	GJU-K118-7-GJU	35
20	SUS-K119-1-SUS	SUS-K120-2-GJU	GJU-K121-3-GJU	GJU-K122-4-BUS	BUS-K123-5-SUS	SUS-K124-6-BUS	BUS-K125-7-GJU	16
21	SUS-K126-1-GJU	GJU-K127-2-BUS	BUS-K128-3-SUS	SUS-K129-4-BUS	BUS-K130-5-GJU	GJU-K131-6-SUS	SUS-K132-7-GJU	22
22	GJU-K133-1-BUS	BUS-K134-2-SUS	SUS-K135-3-SUS	SUS-K136-4-BUS	BUS-K137-5-SUS	SUS-K138-6-GJU	GJU-K139-7-SUS	11
23	BUS-MANT-1-BUS	BUS-MANT-2-BUS	BUS-MANT-3-BUS	BUS-MANT-4-BUS	BUS-K140-5-GJU	GJU-K141-6-SUS	SUS-K142-7-BUS	2
24	BUS-MANT-1-BUS	BUS-MANT-2-BUS	BUS-MANT-3-BUS	BUS-MANT-4-BUS	BUS-K143-5-GJU	GJU-K144-6-GJU	GJU-K145-7-GJU	43
25	BUS-K146-1-GJU	GJU-K147-2-SUS	SUS-K148-3-BUS	BUS-K149-4-GJU	GJU-K150-5-SUS	SUS-K151-6-SUS	SUS-K152-7-GJU	33
26	SUS-K153-1-SUS	SUS-K154-2-GJU	GJU-K155-3-BUS	BUS-K156-4-SUS	SUS-K157-5-GJU	GJU-K158-6-SUS	SUS-K159-7-SUS	30
27	SUS-K160-1-SUS	SUS-K161-2-GJU	GJU-K162-3-BUS	BUS-K163-4-GJU	GJU-K164-5-SUS	SUS-K165-6-BUS	BUS-K166-7-BUS	1
28	SUS-K167-1-BUS	BUS-K168-2-GJU	GJU-K169-3-GJU	GJU-K170-4-SUS	SUS-K171-5-BUS	BUS-K172-6-SUS	SUS-K173-7-GJU	42
29	GJU-K174-1-GJU	GJU-K175-2-BUS	BUS-K176-3-GJU	GJU-K177-4-BUS	BUS-K178-5-GJU	GJU-K179-6-GJU	GJU-K180-7-SUS	15
30	SUS-K181-1-SUS	SUS-K182-2-SUS	SUS-K183-3-BUS	BUS-K184-4-GJU	GJU-K185-5-SUS	SUS-K186-6-BUS	BUS-K187-7-SUS	21
31	SUS-K188-1-SUS	SUS-K189-2-SUS	SUS-K190-3-GJU	GJU-K191-4-SUS	SUS-K192-5-BUS	BUS-K193-6-GJU	GJU-K194-7-SUS	10
32	GJU-K195-1-GJU	GJU-K196-2-SUS	SUS-K197-3-SUS	SUS-K198-4-SUS	SUS-K199-5-GJU	GJU-K200-6-GJU	GJU-K201-7-GJU	45
33	GJU-K202-1-BUS	BUS-K203-2-GJU	GJU-K204-3-SUS	SUS-K205-4-GJU	GJU-K206-5-BUS	BUS-K207-6-GJU	GJU-K208-7-SUS	26
34	GJU-K209-1-BUS	BUS-K210-2-GJU	GJU-K211-3-GJU	GJU-K212-4-GJU	GJU-K213-5-BUS	BUS-K214-6-GJU	GJU-K215-7-GJU	41
35	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-MANT-4-GJU	GJU-MANT-5-GJU	GJU-K216-6-GJU	GJU-K217-7-GJU	17
36	GJU-K218-1-SUS	SUS-K219-2-GJU	GJU-K220-3-SUS	SUS-K221-4-SUS	SUS-K222-5-SUS	SUS-K223-6-BUS	BUS-K224-7-GJU	36
37	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-K225-4-GJU	GJU-K226-5-BUS	BUS-K227-6-BUS	BUS-K228-7-GJU	32
38	GJU-K229-1-GJU	GJU-K230-2-BUS	BUS-K231-3-GJU	GJU-K232-4-GJU	GJU-K233-5-BUS	BUS-K234-6-BUS	BUS-K235-7-SUS	27
39	GJU-K236-1-SUS	SUS-K237-2-GJU	GJU-K238-3-BUS	BUS-K239-4-SUS	SUS-K240-5-SUS	SUS-K241-6-GJU	GJU-K242-7-BUS	8
40	GJU-K243-1-GJU	GJU-K244-2-GJU	GJU-K245-3-GJU	GJU-K246-4-GJU	GJU-K247-5-GJU	GJU-K248-6-BUS	BUS-K249-7-BUS	25
41	GJU-K250-1-BUS	BUS-K251-2-GJU	GJU-K252-3-BUS	BUS-K253-4-GJU	GJU-K254-5-BUS	BUS-K255-6-GJU	GJU-K256-7-GJU	40
42	GJU-K257-1-GJU	GJU-K258-2-SUS	SUS-K259-3-GJU	GJU-K260-4-BUS	BUS-K261-5-GJU	GJU-K262-6-SUS	SUS-K263-7-BUS	7
43	GJU-K264-1-GJU	GJU-K265-2-GJU	GJU-K266-3-SUS	SUS-K267-4-SUS	SUS-K268-5-GJU	GJU-K269-6-GJU	GJU-K270-7-SUS	31
44	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-K271-4-BUS	BUS-K272-5-GJU	GJU-K273-6-GJU	GJU-K274-7-SUS	20
45	GJU-K275-1-GJU	GJU-K276-2-GJU	GJU-K277-3-GJU	GJU-K278-4-SUS	SUS-K279-5-GJU	GJU-K280-6-GJU	GJU-K281-7-GJU	18
46	GJU-K282-1-GJU	GJU-K283-2-SUS	SUS-K284-3-SUS	SUS-K285-4-GJU	GJU-K286-5-GJU	GJU-K287-6-GJU	GJU-K288-7-GJU	46

㉰ 결과 해석

- 통합적 해법- 증분법 알고리즘을 통해 입력 데이터인 열차 Dia에 광주 입출고 열차를 보완하는 경우 수송용량은 기존 938에 비해 81% 개선됨

- 이와같이 조정할 경우 중련 할당을 통한 차량 운용 효율성은 Test-2의 50[%]에 비해 63[%]로 13[%] 향상됨

④ (Test-4) 운영기관이 제시한 증차사업 기본(안) 실험 및 검증

㉮ 운영기관의 제시 자료

- 본 연구에서 참여기업의 중기사업 계획인 고속차량 증편 운용계획 수립을 지원하는 업무를 목표로 하여 통합적 해법 활용 예시를 제시함
- 특별히 운영기관 (참여기업)과 협조하여 핵심 파라미터 및 입력 데이터의 불확정성을 해소 (튜닝) 하는 실용적인 사례를 예시로 제시함
- 참여기업의 고속차량 증편사업 수행시 가장 핵심 파라미터는 기지별 유치용량과 기지별 주간 검수량의 결정임
- 또한, 사업계획 수립 당시 미확정인 핵심 입력 데이터는 증편된 차량 운용에 적합한 열차 Dia 계획의 수립임
- 아래 <표 44>는 참여기업에서 현재 운용 편성과 증편 편성의 규격을 나타냄

<표 44 참여기업 고속차량 규격>

구 분	차 종	편 성	편성당 량수	동력방식	편성당 좌석
現운용차종	SRT (KTX-산천II형)	22편성(임대)	10량 1편성	동력집중식	410석
		10편성(도입)			
도입대상	EMU-300	14편성	8량 1편성	동력분산식	515석

(※ <표 44>는 연구과제 수행을 위해 참여기업 담당자가 개인 의견으로 제시한 자료로서 참여기업이 공식적으로 확정 자료는 아님)

- 차량 회전율 : 경부 (수서 ~ 부산) 5회, 호남 (수서 ~ 광주송정 / 목포) 6~7회
- 차량 운용률 : 현재 운용률 기준 (주중 72%, 주말 87.5%) 적용
- <표 45>은 참여기업 고속차량 증편 계획(안)이다.

<표 45 참여기업 고속차량 증편 계획(안)>

구 분	보유(도입)편성	주중(72%)	주말(87.5%)	비 고
SRT	32편성	22편성	28편성	
EMU-300	14편성	10편성	12편성	
합 계	**46편성**	**32편성**	**40편성**	

(※ <표 45>는 연구과제 수행을 위해 참여기업 담당자가 개인 의견으로 제시한 자료로서 참여기업이 공식적으로 확정 자료는 아님)

㉯ (실험코드: Test-4 ①) 운영기관(참여기업) 제시 기본(안) 실험 및 검증

- Test-4 ①은 운영기관이 제시한 기본(안)을 그대로 수용하여 통합적 해법 - 증분법 알고리즘을 통해 실험 및 검토하였음
- Test-4 ①에서 기지 용량은 무한대로 전재하였고, 기지별 검수는 (수서: 4편성, 부산: 2편성, 광주: 2편성)인 경우의 조건임
- 참여기업에서 제공한 핵심 파라미터와 열차 Dia 기본(안)을 통합적 해법 - 증분법 알고리즘을 적용하여 검증시험 수행 결과 주어진 열차 Dia와 차량편성 운용계획 사업에 상호운용이 가능한 실행 가능한 해가 도출됨을 확인하였음
- 다만 이 실험조건은 기지 용량을 무한대로 전제한 측면과 수서 검수 4편성이 기존에 비해 많고, 광주 검수 2편성은 시설 여건과 비교할 때 적게 설정된 결과이므로 추가적인 검증 시험이 필요함

㉰ (실험코드: Test-4 ②) 주간검수 조건 보완 실험 및 검증

- Test-4 ②는 위의 검수 조건을 감안하여 새로운 실험을 수행하고, 그 결과를 검토함
- 이때 설정한 검수 조건은 (수서: 1편성, 부산: 2편성, 광주: 5편성) 임
- 위와 같이 보완된 주간 검수 조건에서 ‘통합적 해법 - 증분법’ 알고리즘을 활용하여 검증시험 결과 ‘수서 ~ 광주송정’ 구간에 간 새벽과 심야에 각각 3회의 열차를 추가 설정하는 형태의 입력 데이터 보완이 이루어지는 경우 열차 Dia와 차량편성 운용계획이 상호운용 가능한 실행 가능한 해가 도출됨을 확인하였음
- 이 실험을 통해 ‘통합적 해법 - 증분법’ 알고리즘을 통해 불확정한 파라미터 중 하나인 주간 검수계획을 검토할 수 있음을 알 수 있음

㉱ (실험코드: Test-4 ③) 기지 용량 조건 보완 실험 및 검증

- Test-4 ③는 ②의 검수 조건을 바탕으로 기지 용량을 검토하는 실험임
- Test-4 ③의 기지 용량을 (수서: 20편성, 부산: 13편성, 광주: 25편성) 설정한 후 통합적 해법 - 증분법을 활용하여 실험한 결과 이 조건에서는 실행 가능한 해가 없는 결과가 도출됨
- 위에서 주어진 기지 용량으로부터 기지별 용량을 미소 조정하면서 통합적 해법 - 증분법을 활용하여 테스트한 결과 (수서: 16편성, 부산: 13편성, 광주: 25편성) 인 경우 실행 가능해를 도출할 수 있음

- 위의 실험에서 실행 가능해를 도출하기 위해 수서 ~ 광주간 입출고 열차를 새벽과 심야에 10회씩 추가 설정하는 경우 가능함
- 아래 <표 46>은 위의 조건을 충족하는 차량운용 순서표의 실행 가능해임

<표 46 Test-4 ③ 실험조건을 충족하는 최적해>

No	1	2	3	4	5	6	7	Next
1	BUS-MANT-1-BUS	BUS-MANT-2-BUS	BUS-MANT-3-BUS	BUS-MANT-4-BUS	BUS-MANT-5-BUS	BUS-K001-6-BUS	BUS-K002-7-SUS	28
2	BUS-K003-1-BUS	BUS-K004-2-SUS	SUS-K005-3-SUS	SUS-K006-4-SUS	SUS-K007-5-BUS	BUS-K008-6-BUS	BUS-K009-7-SUS	18
3	BUS-K010-1-BUS	BUS-K011-2-GJU	GJU-K012-3-BUS	BUS-K013-4-GJU	GJU-K014-5-SUS	SUS-K015-6-SUS	SUS-K016-7-GJU	37
4	BUS-K017-1-GJU	GJU-K018-2-BUS	BUS-K019-3-SUS	SUS-K020-4-SUS	SUS-K021-5-BUS	BUS-K022-6-GJU	GJU-K023-7-BUS	5
5	BUS-K024-1-SUS	SUS-K025-2-SUS	SUS-K026-3-BUS	BUS-K027-4-BUS	BUS-K028-5-SUS	SUS-K029-6-SUS	SUS-K030-7-GJU	27
6	BUS-K031-1-BUS	BUS-K032-2-SUS	SUS-K033-3-BUS	BUS-K034-4-BUS	BUS-K035-5-SUS	SUS-K036-6-BUS	BUS-K037-7-BUS	21
7	BUS-K038-1-GJU	GJU-K039-2-BUS	BUS-K040-3-GJU	GJU-K041-4-SUS	SUS-K042-5-SUS	SUS-K043-6-GJU	GJU-K044-7-GJU	8
8	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-MANT-4-GJU	GJU-MANT-5-GJU	GJU-K045-6-BUS	BUS-K046-7-BUS	4
9	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-MANT-4-GJU	GJU-MANT-5-GJU	GJU-K047-6-SUS	SUS-K048-7-GJU	38
10	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-MANT-4-GJU	GJU-MANT-5-GJU	GJU-K049-6-GJU	GJU-K050-7-SUS	12
11	SUS-K051-1-SUS	SUS-K052-2-BUS	BUS-K053-3-SUS	SUS-K054-4-SUS	SUS-K055-5-SUS	SUS-K056-6-SUS	SUS-K057-7-BUS	7
12	SUS-K058-1-BUS	BUS-K059-2-BUS	BUS-K060-3-GJU	GJU-K061-4-SUS	SUS-K062-5-BUS	BUS-K063-6-SUS	SUS-K064-7-SUS	30
13	SUS-K065-1-SUS	SUS-K066-2-GJU	GJU-K067-3-GJU	GJU-K068-4-GJU	GJU-K069-5-GJU	GJU-K070-6-GJU	GJU-K071-7-BUS	6
14	SUS-K072-1-SUS	SUS-K073-2-BUS	BUS-K074-3-BUS	BUS-K075-4-GJU	GJU-K076-5-BUS	BUS-K077-6-SUS	SUS-K078-7-SUS	17
15	SUS-K079-1-SUS	SUS-K080-2-SUS	SUS-K081-3-BUS	BUS-K082-4-BUS	BUS-K083-5-GJU	GJU-K084-6-SUS	SUS-K085-7-BUS	2
16	SUS-K086-1-SUS	SUS-K087-2-BUS	BUS-K088-3-SUS	SUS-K089-4-SUS	SUS-K090-5-SUS	SUS-K091-6-SUS	SUS-K092-7-BUS	19
17	SUS-K093-1-SUS	SUS-K094-2-GJU	GJU-K095-3-SUS	SUS-K056-4-SUS	SUS-K096-5-BUS	BUS-K097-6-SUS	SUS-K098-7-GJU	10
18	SUS-K099-1-SUS	SUS-K100-2-BUS	BUS-K101-3-BUS	BUS-K102-4-BUS	BUS-K103-5-GJU	GJU-K104-6-BUS	BUS-K105-7-SUS	29
19	BUS-K106-1-BUS	BUS-K107-2-BUS	BUS-K108-3-GJU	GJU-K109-4-GJU	GJU-K110-5-GJU	GJU-K111-6-GJU	GJU-K112-7-GJU	33
20	BUS-K113-1-BUS	BUS-K114-2-GJU	GJU-K115-3-GJU	GJU-K116-4-BUS	BUS-K117-5-GJU	GJU-K118-6-GJU	GJU-K119-7-BUS	23
21	BUS-K120-1-GJU	GJU-K121-2-SUS	SUS-K054-3-SUS	SUS-K122-4-BUS	BUS-K123-5-BUS	BUS-K124-6-SUS	SUS-K125-7-SUS	16
22	BUS-MANT-1-BUS	BUS-MANT-2-BUS	BUS-MANT-3-BUS	BUS-MANT-4-BUS	BUS-MANT-5-BUS	BUS-K126-6-BUS	BUS-K127-7-GJU	39
23	BUS-K128-1-BUS	BUS-K129-2-BUS	BUS-K130-3-BUS	BUS-K131-4-BUS	BUS-K132-5-GJU	GJU-K133-6-GJU	GJU-K134-7-GJU	35
24	BUS-K135-1-GJU	GJU-K136-2-SUS	SUS-K137-3-SUS	SUS-K138-4-BUS	BUS-K139-5-BUS	BUS-K140-6-SUS	SUS-K141-7-BUS	22
25	GJU-K142-1-GJU	GJU-K143-2-GJU	GJU-K144-3-GJU	GJU-K145-4-SUS	SUS-K146-5-SUS	SUS-K147-6-BUS	BUS-K148-7-GJU	36
26	GJU-K149-1-BUS	BUS-K150-2-SUS	SUS-K151-3-BUS	BUS-K152-4-SUS	SUS-K153-5-BUS	BUS-K154-6-GJU	GJU-K155-7-BUS	20
27	GJU-K156-1-GJU	GJU-K157-2-GJU	GJU-K158-3-SUS	SUS-K159-4-GJU	GJU-K160-5-GJU	GJU-K161-6-BUS	BUS-K162-7-BUS	24
28	SUS-K163-1-SUS	SUS-K164-2-GJU	GJU-K165-3-GJU	GJU-K166-4-SUS	SUS-K167-5-SUS	SUS-K168-6-SUS	SUS-K169-7-GJU	40
29	SUS-K170-1-SUS	SUS-K171-2-SUS	SUS-K172-3-SUS	SUS-K173-4-SUS	SUS-K174-5-SUS	SUS-K175-6-BUS	BUS-K176-7-GJU	9
30	SUS-MANT-1-SUS	SUS-MANT-2-SUS	SUS-MANT-3-SUS	SUS-MANT-4-SUS	SUS-MANT-5-SUS	SUS-K177-6-SUS	SUS-K178-7-SUS	15
31	SUS-K179-1-SUS	SUS-K055-2-SUS	SUS-K065-3-SUS	SUS-K180-4-BUS	BUS-K181-5-GJU	GJU-K182-6-GJU	GJU-K183-7-GJU	34
32	SUS-K184-1-BUS	BUS-K185-2-SUS	SUS-K186-3-BUS	BUS-K187-4-GJU	GJU-K188-5-SUS	SUS-K189-6-BUS	BUS-K190-7-GJU	25
33	GJU-K191-1-GJU	GJU-K192-2-SUS	SUS-K193-3-GJU	GJU-K194-4-BUS	BUS-K195-5-BUS	BUS-K196-6-SUS	SUS-K197-7-GJU	26
34	GJU-K198-1-GJU	GJU-K199-2-BUS	BUS-K200-3-BUS	BUS-K201-4-BUS	BUS-K202-5-SUS	SUS-K203-6-SUS	SUS-K204-7-SUS	32
35	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-MANT-4-GJU	GJU-MANT-5-GJU	GJU-K205-6-BUS	BUS-K206-7-BUS	1
36	GJU-MANT-1-GJU	GJU-MANT-2-GJU	GJU-MANT-3-GJU	GJU-MANT-4-GJU	GJU-MANT-5-GJU	GJU-K207-6-GJU	GJU-K208-7-BUS	3
37	GJU-K209-1-BUS	BUS-K210-2-GJU	GJU-K211-3-BUS	BUS-K212-4-GJU	GJU-K213-5-GJU	GJU-K214-6-BUS	BUS-K215-7-SUS	11
38	GJU-K216-1-SUS	SUS-K217-2-GJU	GJU-K218-3-SUS	SUS-K219-4-GJU	GJU-K220-5-BUS	BUS-K221-6-SUS	SUS-K222-7-SUS	14
39	GJU-K223-1-BUS	BUS-K224-2-SUS	SUS-K225-3-SUS	SUS-K226-4-SUS	SUS-K227-5-SUS	SUS-K228-6-GJU	GJU-K229-7-SUS	13
40	GJU-K230-1-GJU	GJU-K231-2-BUS	BUS-K232-3-GJU	GJU-K233-4-GJU	GJU-K234-5-BUS	BUS-K235-6-BUS	BUS-K236-7-SUS	31

㈐ 결과 해석

- 운영기관에서 제시한 증차사업 계획의 기본(안)을 통합적 해법 - 증분법의 엄밀한 검증을 통해 실행 가능성을 확인하였음
- 미확정 입력 파라미터인 주간 검수 및 기지 용량과 미확정 입력 데이터인 열차 스케줄을 미세 조정한 통합적 해법 - 증분법 알고리즘 적용을 통하여 각 조합을 신속하게 검증하고 실행 가능해를 제시함

6) 결론

- 본 연구에서는 철도차량 운용계획 (스케줄링)을 최적화하기 위한 연구임

  - 참여기업인 SRT를 포함하여 코레일, 서울메트로, 서울 9호선 등 운영기관의 현업 업무 절차를 광범위하게 조사하였음

- 광범위한 조사·연구를 바탕으로 프로그램 개발을 위한 표준 업무절차를 구성하였음
- 표준 업무절차를 바탕으로 철도차량 운용계획 (스케줄링) 문제를 수리과학적 모델링 방법을 (Mathematical formulation) 활용하여 엄밀하게 정의하였음
- 철도차량 운용계획 (스케줄링) 문제의 최적해를 구하기 위해 ① 단계적 해법과 ② 통합적 해법을 개발하였음

• 통합적 해법을 열차 Dia 전면 개편시 입력 데이터의 불확정성 문제를 해결하기 위해 통합적 해법의 증분법과 뺄셈법을 추가 개발하여 특징과 장단점을 분석하였음

• 통합적 해법 - 증분법을 활용하여 알고리즘의 성능과 현실 적용성을 검증하였음. 해법의 검증은 기존 열차 Dia의 상황과 46편성으로 증편하는 상황을 가정하였음

- 46편성 증편은 SRT의 중장기 사업 계획의 일환임

(3) 승무운영최적화 및 정보관리체계 개발(공동연구기관, 경상대학교)

(가) 핵심성과 개요

수행기관	경상대학교
정 의	승무운영최적화 및 정보관리체계 개발
사용주체	철도운영사(ex. 코레일, ㈜에스알, 서울교통공사, 인천교통공사, 부산교통공사, 대구도시철도공사, 대전도시철도공사, 광주광역시 도시철도공사 등), 각 철도운영사측 승무운행계획 부서
핵심성과 개요	■ **열차운행계획 정보관리체계 개발 및 수정 · 보완** • 열차운행계획 정보관리체계 구성을 위한 국내 · 외 사례조사 및 분석 • 열차운행계획 정보관리체계의 수요처 요구사항 수집 • 열차운행계획통합시스템 개발을 위한 세부 기능정의서 체계 개발 • 열차운행계획 정보관리체계 정의서 수정 및 보완 ■ **승무운영계획 최적화 알고리즘 작성 및 적정성 검증** • 승무운용계획 최적 알고리즘 현황조사 및 적정성 분석 • 최적화 알고리즘 검증
핵심연구 성과	■ **열차운행계획 정보관리체계 구성을 위한 국내 · 외 사례조사 및 분석** • 국내 · 외 철도 운영관련 문헌 조사 및 분석 • 국내 · 외 철도 운영기관별 철도운영시스템 조사 및 분석 • 기타 철도운영관련 시스템 개발 업체별 시스템 조사 및 분석 ■ **열차운행계획 정보관리체계 정의서 개발** • 열차운행계획 시스템 기능 분석 • 열차운행계획 정보관리체계 개발 • 열차운행계획 정보관리 체계 표준 정의서 개발 ■ **열차운행계획 정보관리체계의 신뢰성 검증** • 열차운행계획 정보체계 정의서 수정 및 보완 • 열차운행계획통합시스템 분류체계 정의서와 SR의 운영체계 매뉴얼 및 설계서 비교 · 검증 • 열차운행계획 시스템 사용자 기능 비교 · 검증 • 선로용량산정 시스템 사용자 매뉴얼 기능 비교 · 검증 • 승무운영시스템 사용자 매뉴얼 기능 비교 · 검증 • 열차성능시뮬레이션 시스템 사용자 매뉴얼 기능 비교 · 검증 ■ **열차운행계획 정보관리체계의 수요처 요구사항 수집** • 국내 · 외 철도운영기관별 승무원 등의 근로기준 조사 및 분석 • 수요처별 승무 다이아 작성 기준 조사 • 수요처별 열차운영계획 프로세스 조사 ■ **승무운영계획 최적 알고리즘 현황조사 및 적정성 분석** • 승무운용계획을 위한 승무 규정 및 제약조건 분석 • 승무운용계획을 위한 목적함수 설정 • 승무운용계획을 위한 승무다이아 최적화 알고리즘 개발 • 승무운용계획을 위한 승무 교번(승무윤용 실동표) 최적화 알고리즘 개발 ■ **승무운영계획 최적화 알고리즘 검증** • 실제 승무운영계획 작성사례 문제점 분석 • 승무다이아 작성 최적화 알고리즘 적정성 비교 · 검증 • 승무교번 작성 최적화 알고리즘 적정성 비교 · 검증

(나) 핵심연구 성과내용

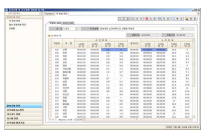
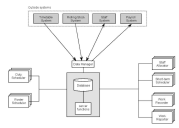
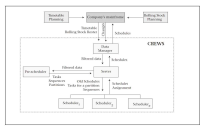
1) 열차운행계획 정보관리체계 개발 및 수정·보완

① 열차운행계획 정보관리체계 구성을 위한 국내·외 사례조사 및 분석

[핵심성과] D-1 열차운행계획 정보체계 사례 조사

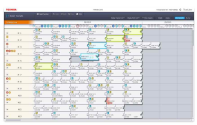
- 국내·외에서 철도 운영 시스템 개발을 지원하는 여러 개발 업체들과 철도운영기관별로 개발 및 사용하고 있는 철도운영시스템에 대해 조사 및 분석하였으며, 요약 정리한 결과는 아래와 같음

<표 47 국내·외 철도운영계획 시스템 조사>

철도운영기관 / 시스템	내 용	철도운영기관 / 시스템	내 용
 한국철도공사 / IRIS	IRIS는 2004년 한국철도공사에서 수송계획, 수익관리를 통합한 정보관리 시스템이다. 마케팅, 수성계획, 열차운영계획, 차량운영계획, 승무원 운영계획, 열차운행관리, 영업관리 등의 여객업무까지 통합하는 관리시스템이다.	 공항철도 / AREX 3.0	공항철도에서는 2016년부터 철도업무와 관련된 주요 기능을 반영하여 업무포털(ERP) 통합 정보시스템인 AREX 3.0을 구축하여 운영 중이며 운행계획, 상황관리, 승무운용관리 등과 열차운행관리시스템, 차량검수 시스템, 시설물 관리시스템, 제어설비 시스템으로 구성되어 있다.
 한국철도공사 / TOPS	한국철도공사에서 2011년부터 3년간 국가 R&D 사업으로 열차운영계획 시스템(TOPS)을 개발하였다. 열차운영계획 수립에 필요한 열차계획 정보, 운전선도 작성, 열차 다이아 작성, 선로용량 산정 등 작업 과정을 시스템화하여 효율적인 업무 처리가 가능하다.	 부산교통공사 / CMS 1.0	부산교통공사에서 2010년 개발된 승무자동화시스템 CMS 1.0은 지하철 운행에 필요한 열차운행계획 및 승무운행계획을 자동 도출하는 시스템이다. 기존 복잡하게 작성되는 열차 및 차량다이아를 사용자의 가독성을 높이기 위해 제작되었으며 사용자의 작업을 최소화할 수 있도록하였다.
 노르웨이 / TPO 시스템	노르웨이에서 개발된 TPO 시스템은 SISCOG사와 결합하여 인공지능기법을 활용한 철도 승무원 스케줄링 시스템으로 휴리스틱 탐색 기법인 Beam Search 기능을 활용하여 의사결정 지원이 가능한 시스템을 구현하였다. 주요 모듈은 Data Manager, Duty scheduler, Roster Scheduler, Short-term Scheduler, Staff Allocator, Work Recorder, Work Reporter 로 구성되어 있다.	 네덜란드 / Crews	대규모의 승무 스케줄링을 해결할 수 있는 최적화 모델을 개발하기 위해 CREWS(승무원 스케줄링 시스템)을 개발한 SISCOG사와 결합하여 LUCIA라는 알고리즘을 개발하였다. LUCIA는 CREWS 패키지에 통합되어 있으며, CSP (Crew Scheduling Problem)가 Lagrangian 기반 휴리스틱과 칼럼 생성에 의해 해결된다.

- 국내·외 철도운영에 관련된 모듈 및 시스템을 제공하는 업체들을 조사하였으며, 정리 결과는 아래와 같음

<표 48 국내·외 철도운영 관련 모듈 및 시스템 제공 업체>

개발업체	내 용	개발업체	내 용
 포르투갈 'SISCOG'	1982년 설립한 포르투갈의 회사로 철도분야에서 자원계획 및 관리 등을 위한 의사결정 시스템을 제공한다. 시스템들은 사용자가 계획을 작성하는 동안 문제에 관련된 모든 제약조건을 확인하고, 최적의 계획을 계산하며, 다양한 의사결정을 지원하도록 설계되었다.	 미국 'Cloudmoyo'	Cloudmoyo는 클라우드 및 AI 기반의 철도 및 운송회사의 승무원, 차량 및 자산관리, 철도 운송의 안전, 운영관리 및 유지관리 분야를 지원하는 미국의 회사이다. 전체 승무원 프로세스를 관리하고 승무원 배치를 최적화하며 노동조합 및 규정 준수 기능을 제공한다.
 영국 'Tracsisplc'	Tracsis plc는 2004년에 설립된 철도 산업을 위한 소프트웨어 개발 및 컨설팅 서비스를 제공하는 영국회사이다. 철도기술 및 서비스, 교통 및 데이터 서비스 등을 제공하며, 차량, 승무원 계획 및 최적화 도구를 포함한 운영 및 계획 시스템을 제공한다.	 한국 'Amisys'	Amisys는 서울대학교 수학연구소를 바탕으로 한 지능화된 사업 솔루션 개발회사이며 철도 차량 운용계획, 철도 승무원 스케줄링, 수익관리와 같은 기능을 제공한다.
 일본 'TrueLine'	TrueLine은 일본의 Toshiba 사에서 개발한 대중교통 일정 시스템이다. 운전계획에 필요한 데이터를 구성 및 계산하여 시뮬레이션하고 운영에 필요한 다이아그램을 생성하는 기능을 제공한다.	-	

- 열차운영시스템 개발을 지원하는 업체에 따라 열차운영계획 작성을 위한 최적화 알고리즘, AI기술 등을 활용하고 있었으며, 수요처의 필요에 따라 작성된 일정계획의 수정, 열차 및 승무다이아 시각적 제공 등 사용자 편의를 위한 기능을 제공하는 등 시스템 개발의 주목적을 바탕으로 하면서 그 외 사용자의 편의를 고려한 열차운영시스템을 개발하는 것이 중요함

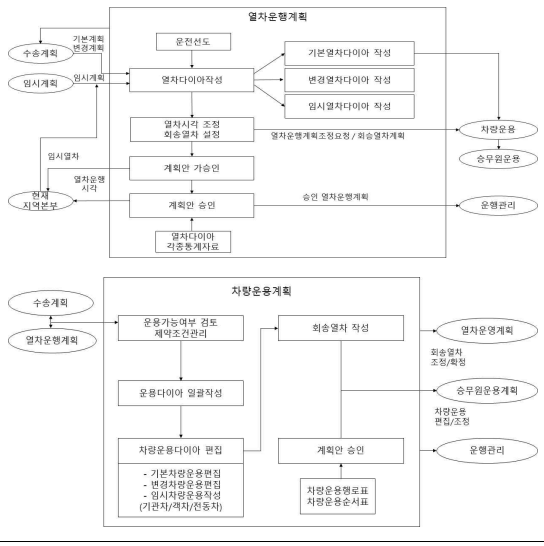
② 열차운행계획 정보관리체계의 수요처 요구사항 수집

[핵심성과] E-1 열차운영계획 수요처 요구사항 사례별 조사

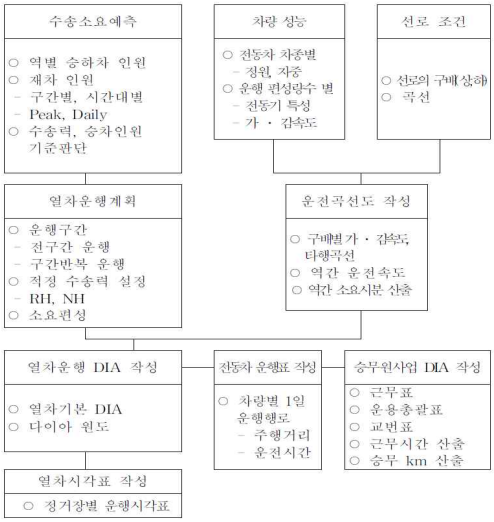
- 국내·외적으로 다양한 철도운영기관들이 존재하고 있으며, 이들의 국가별, 기관별 규모, 기준, 운영방식에 따라 열차의 운행환경 및 방식에서 큰 차이가 있을 수 있음
- 따라서 향후 열차운영계획의 수요처가 될 수 있는 국내·외 철도운영기관별로 철도운영계획이 어떤 프로세스에 따라 작성되고 운영되는지 조사하였으며, 정리결과는 아래

와 같음

<표 49 수요처별 철도운영계획 작성 프로세스>

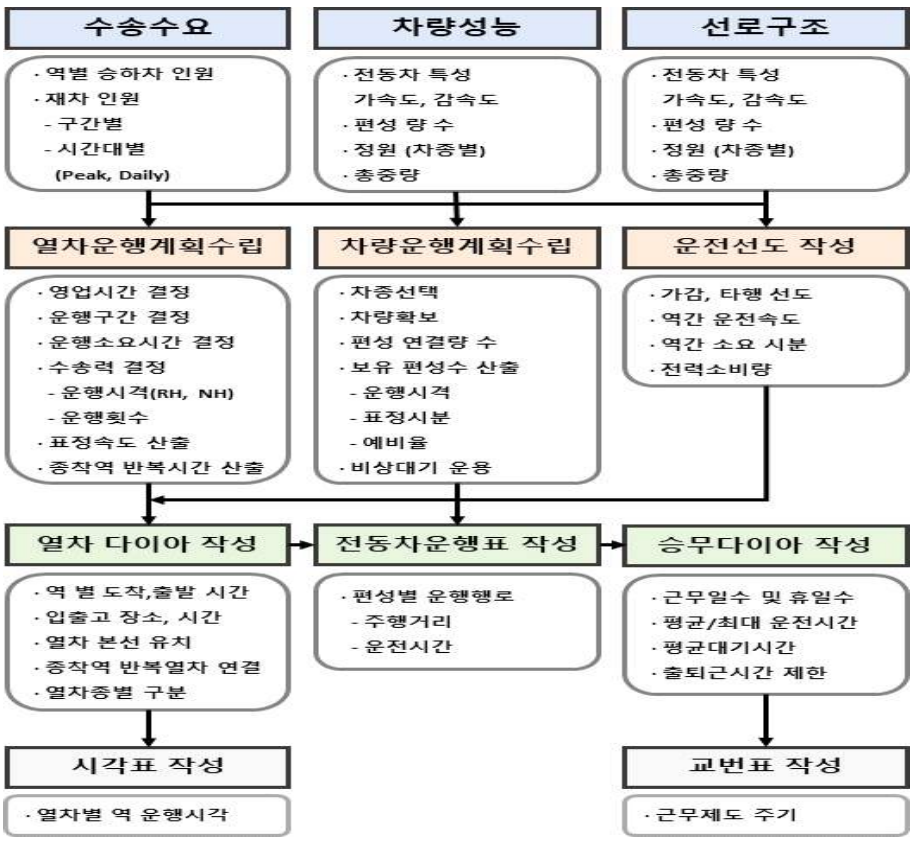


한국철도공사 차량 · 열차 운용계획 프로세스



대전도시철도공사 열차 운용 프로세스

- 철도 운영프로세스는 열차계획을 바탕으로 차량계획, 승무계획 순으로 작성되며, 열차계획/차량계획/승무계획의 수립을 위해서는 수요처의 요구사항 파악 및 표준적인 절차 수립이 우선적으로 필요하므로 조사한 자료를 바탕으로 철도운영 표준 프로세스 도출함



<그림 78 철도운영 프로세스>

- 기본적으로 열차계획/차량계획/승무계획을 수립하기 위해서는 발생하는 수송수요와 수송목적, 속도 등 열차의 성능 및 선로 구배, 곡선 등과 같은 선로의 특성을 고려하여야 함
- 열차계획 작성을 위해서는 위의 사항을 고려하여 작성된 열차운행계획 수립 및 운전선도(Run Curve)를 바탕으로 수요처별 역간 소요시간, 정차시간, 시발역 출발시간, 종착역 도착시간을 입력하여 열차다이아를 작성하며, 열차다이아는 효과적인 배차가 이루어 질 수 있도록 시간대 별 수송수용에 맞는 합리적인 수송력이 제공될 뿐만 아니라 열차 간 상호 지장이 발생하지 않도록 작성되어야 함
- 차량계획 작성 시에는 수요처별 철도종류, 수송목적, 수송수요, 시설 특성에 따라 차량을 선택하고 운행시격, 표정시분, 종착역 반복시간의 장단에 따라 보유 편성수를 산출하여야 하며, 차량의 효율적인 운용을 위해 차량의 운행거리가 균등하게 배차되어야 하고 열차계획에 부합하는 경제적인 차량계획과 차량의 검수 및 정비계획이 수립되어야 함
- 승무계획 작성 시에는 기본적으로 수요처별 승무원의 근로조건에 포함되는 근무일수 및 휴일, 승무다이아 당 평균 운전시간, 승무다이아당 최대 운전시간, 승무다이아당 평균 대기시간, 출·퇴근시간 제한 등의 제약조건이 포함되어야 함

③ 열차운행계획 정보관리체계 정의서 개발

[핵심성과] D-2 열차운행계획 정보체계 정의서 개발

- 열차운행계획시스템과 관련된 매뉴얼, 업무정의서와 같은 자료를 조사하고, 열차운행계획 시스템 관련 실무자와의 인터뷰를 통해 열차운행계획 통합시스템을 구성하는 기능에 대해 분석하여, 열차성능시뮬레이션(TPS)모듈, 차량운영계획 모듈, 열차운영계획 모듈, 승무운영계획 모듈, 선로용량 배분 모듈을 구성함
- 열차운행계획 통합시스템의 모듈을 중심으로 각종 기능들을 분류하기 위해 모듈의 대분류(Leve 1), 모듈의 업무별 기능(Level 2), 주요기능(Level 3), 세부기능(Level 4), 세부기능 옵션정보(Level 5)의 방식으로 구성되어 있으며, 각 단계별로 코드를 부여함



<그림 79 열차운행계획 통합시스템 정보체계 구성 방안>

- TPS 모듈의 주요 업무를 기초데이터관리, 시뮬레이션, 프로젝트 대안관리, 선형데이터 생성으로 구분하였으며 각 업무별 기능(Lv.2)에 따라 주요기능(Lv.3)으로 데이터 통

합관리, 조건별 시뮬레이션, 대안관리와 같은 주요 기능으로 구성함

- 조건별 시뮬레이션의 세부기능(Lv.4)으로는 A.2.2.1 조건정보관리의 세부기능 옵션정보(Lv.5)로는 운전조건, 차량옵션, 정차역 등과 같은 세부 옵션을 설정할 수 있는 기능으로 구성됨

<표 50 TPS 모듈의 기능분류체계 정의서>

열차운행계획 통합시스템 분류체계										정의
Lv.1		Level 2		Level 3		Level 4		Level 5		
모듈	코드	업무별기능	코드	주요기능	코드	세부기능	코드	세부옵션기능	코드	
TPS		기초데이터관리	A.1	데이터통합관리	A.1.1	위치별 통합관리	A.1.1.1	선행정보	A.1.1.1.1	위치별 선행정보를 입력 관리하는 기능
								운전조건	A.1.1.1.2	위치별 운전조건을 입력 관리하는 기능
								정거장	A.1.1.1.3	위치별 정거장을 입력 관리하는 기능
								신호설비	A.1.1.1.4	위치별 신호설비관련 정보를 입력 관리하는 기능
						통합데이터 편집기능	A.1.1.2			통합데이터를 편집하는 기능
				차량정보관리	A.1.2					차량의 기본인 정보를 관리하는 기능
		시뮬레이션	A.2	RUN CURVE작도 및 확인	A.2.1	시간/속도/에너지/역행/타행/제동곡선 작성	A.2.1.1	거리기준/시간기준	A.2.1.1.1	Run-curve 작도 시 거리기준/시간기준 으로 작도하는 기능
								현시범위설정	A.2.1.1.2	Run-curve 작도 시 현시범위(역간)를 설정하는 기능
								도면비율조정	A.2.1.1.3	Run-curve 작도시 도면비율(연료/전력량/운행시간)을 조정하는 기능
								눈금간격설정	A.2.1.1.4	Run-curve 작도 시 눈금간격 설정하는 기능
								현시항목설정	A.2.1.1.5	Run-curve 작도시 현시항목(속도/시간/에너지/제한속도/곡선/기울기/터널)을 설정하는 기능
								차량 견인력조건	A.2.1.1.6	차량의 견인력 옵션(견인력/마력/출력/가속도 중 선택)를 설정하는 기능
								제동옵션	A.2.1.1.7	제동옵션(감속도/제동력 중 선택)을 설정하는 기능
								열차출발 임의지정	A.2.1.1.8	임의지점에서 열차가 출발하도록 하는 기능
								건널선 운행설정	A.2.1.1.9	도중 건널선 운행을 설정하는 기능
								차량속도조절	A.2.1.1.10	차량의 속도(최고속도/여유속도/순항속도)를 제어하고 설정하는 기능
				조건별 시뮬레이션	A.2.2	조건정보관리	A.2.2.1	운전조건	A.2.2.1.1	열차 주행 시뮬레이션 시 차량의 운전조건을 설정하는 기능
								차량옵션	A.2.2.1.2	열차 주행 시뮬레이션 시 차량의 견인력 옵션(견인력/마력/출력/가속도)을 설정하는 기능
								정차역	A.2.2.1.3	열차 주행 시뮬레이션 시 차량의 정차역을 설정하는 기능
								제동옵션	A.2.2.1.4	열차 주행 시뮬레이션 시 열차의 제동옵션(감속도/제동력)을 선택하는 기능
								표준시분	A.2.2.1.5	열차 주행 시뮬레이션 시 표준시분을 설정하는 기능
				다중열차 시뮬레이션	A.2.3	시뮬레이션조건설정	A.2.3.1			다중 열차 시뮬레이션 시 조건을 설정하는 기능
						다중열차 운행곡선작도	A.2.3.2			다중 열차 시뮬레이션 시 운행곡선을 작도하는 기능
						시간기준 다중열차 운전곡선 작도	A.2.3.3			시간기준 다중열차 운전곡선을 작도하는 기능
						거리기준 다중열차 운전곡선 작도	A.2.3.4			거리기준 다중열차 운전곡선을 작도하는 기능
				시뮬레이션결과	A.2.4	열차운행정보	A.2.4.1			시뮬레이션 후 열차운행관련 정보를 확인할 수 있는 기능
						운행데이터	A.2.4.2			열차 운행 시뮬레이션 데이터를 확인할 수 있는 기능
						결과저장	A.2.4.3			시뮬레이션 결과를 저장할 수 있는 기능
		프로젝트 대안관리	A.3	대안관리	A.3.1					프로젝트 복수안을 관리하는 기능
				대안별 비교분석	A.3.2					프로젝트 복수안을 비교분석하는 기능
		선형데이터 생성	A.4	Auto-CAD 파일 포맷분석	A.4.1					Auto-CAD 파일 포맷을 분석하여 선형데이터를 생성하는 기능
				레이어별 데이터추출	A.4.2					입력 데이터를 레이어별로 추출하는 기능
				CAD호환 기능	A.4.3					선형데이터와 CAD 포맷을 호환할 수 있는 기능
				CAD데이터 자동추출	A.4.4					선형데이터를 CAD데이터로 자동추출할 수 있는 기능

- 차량운영계획 모듈의 업무별 기능(Lv.2)은 기본 차량운용계획, 특별차량 운용계획 등으로 구성되어 있으며 각 업무별 기능에 따라 차량다이아작성, 차량정보관리와 같은 주요기능(Lv.3)이 운용계획 업무별 기능에 따라 동일하게 구성됨
- 하위 레벨인 세부기능(Lv.4)과 세부기능 옵션정보(Lv.5) 또한 마찬가지로 동일하게 구성되어 있음

<표 51 차량운영계획 모듈의 기능분류체계 정의서>

차량운영계획	B	기본차량운용계획	B.1	차량다이아작성	B.1.1	차량편성	B.1.1.1			차량 편성 유형별 기준정보를 입력 및 관리하는 기능
						운용번호 추가	B.1.1.2			차량의 운용번호를 입력하는 기능
						회송열차작성	B.1.1.3			회송열차를 지정 추가할 수 있는 기능
						운용상세관리	B.1.1.4			열차종별 차량운용 현황을 관리하는 기능
						차량운용통계정보	B.1.1.5			차량별 시종착역 실동/회기시간 정보 등을 확인할 수 있는 기능
						정합성 검사	B.1.1.6	최소반복시간	B.1.1.6.1	기본차량운용 가 승인 시 최소반복시간을 점검하는 기능
								동시반복수 초과여부	B.1.1.6.2	기본차량운용 가 승인 시 동시반복수 초과 여부를 점검하는 기능
								미충당	B.1.1.6.3	기본차량운용 가 승인 시 미충당 조성 정합성을 점검하는 기능
								과충당	B.1.1.6.4	기본차량운용 가 승인 시 과충당 조성 정합성을 점검하는 기능
								열차존재	B.1.1.6.5	기본차량운용 가 승인 시 열차존재를 점검하는 기능
								열차간 정합성	B.1.1.6.6	기본차량운용 가 승인 시 열차 간 정합성을 점검하는 기능
				차량다이아 최적화	B.1.2					목적에 따라 차량다이아를 최적화 하는 기능
				차량운용순서 편집	B.1.3					차량운용순서를 편집할 수 있는 기능
				차량순서편집 최적화	B.1.4					목적에 따라 차량순서를 최적화 하는 기능
				차량운용 가승인/승인	B.1.5					정합성 체크가 끝난 차량 운용을 가승인/승인하는 기능
		특별차량운용계획	B.2	차량다이아작성	B.2.1	차량편성	B.2.1.1			차량 편성 유형별 기준정보를 입력 및 관리하는 기능
						운용번호 추가	B.2.1.2			차량의 운용번호를 입력하는 기능
						회송열차작성	B.2.1.3			회송열차를 지정 추가할 수 있는 기능
						운용상세관리	B.2.1.4			열차종별 차량운용 현황을 관리하는 기능
						차량운용통계정보	B.2.1.5			차량별 시종착역 실동/회기시간 정보 등을 확인할 수 있는 기능
						정합성 검사	B.2.1.6	최소반복시간	B.2.1.6.1	특별차량운용 가 승인 시 최소반복시간을 점검하는 기능
						정합성 검사	B.2.1.6	동시반복수 초과여부	B.2.1.6.2	특별차량운용 가 승인 시 동시반복수 초과 여부를 점검하는 기능
						정합성 검사	B.2.1.6	미충당	B.2.1.6.3	특별차량운용 가 승인 시 미충당 조성 정합성을 점검하는 기능
						정합성 검사	B.2.1.6	과충당	B.2.1.6.4	특별차량운용 가 승인 시 과충당 조성 정합성을 점검하는 기능
						정합성 검사	B.2.1.6	열차존재	B.2.1.6.5	특별차량운용 가 승인 시 열차존재를 점검하는 기능
						정합성 검사	B.2.1.6	열차간 정합성	B.2.1.6.6	특별차량운용 가 승인 시 열차 간 정합성을 점검하는 기능
		조정차량운용계획	B.3	차량다이아작성	B.3.1	차량편성	B.3.1.1			차량 편성 유형별 기준정보를 입력 및 관리하는 기능
						운용번호 추가	B.3.1.2			차량의 운용번호를 입력하는 기능
						회성열차작성	B.3.1.3			회송열차를 지정 추가할 수 있는 기능
						회송열차작성	B.3.1.4			열차종별 차량운용 현황을 관리하는 기능
						차량운용통계정보	B.3.1.5			차량별 시종착역 실동/회기시간 정보 등을 확인할 수 있는 기능
						정합성 검사	B.3.1.6	최소반복시간	B.3.1.6.1	조정차량운용 가 승인 시 최소반복시간을 점검하는 기능
								동시반복수 초과여부	B.3.1.6.1	조정차량운용 가 승인 시 동시반복수 초과 여부를 점검하는 기능
								미충당	B.3.1.6.1	조정차량운용 가 승인 시 미충당 조성 정합성을 점검하는 기능
								과충당	B.3.1.6.1	조정차량운용 가 승인 시 과충당 조성 정합성을 점검하는 기능
								열차존재	B.3.1.6.1	조정차량운용 가 승인 시 열차존재를 점검하는 기능
								열차간 정합성	B.3.1.6.1	조정차량운용 가 승인 시 열차 간 정합성을 점검하는 기능
				차량운용 가승인	B.3.2					운용비교, 중복체크 및 열차선후 검증 후 가승인처리를 하는 기능
				차량운용 승인	B.3.3					작성된 차량운용다이아를 차량열차로 전달하여 승인하는 기능
		대안관리	B.4	대안관리	B.4.1					차량운용 복수안을 관리하는 기능
				대안별비교분석	B.4.2	그래프표시	B.4.2.1			차량운용 복수안을 비교분석하고 그래프로 표현하는 기능
		차량기본정보	B.5	차종관리	B.5.1					역별 운용 차종관련 정보를 입력 및 관리하는 기능

- 열차운영계획 모듈은 기본/특별/조정 열차운행계획과 열차시각표, 분석 및 통계, 열차 기본정보로 업무별 기능(Lv.2)을 구성하며, 하위레벨은 상위 업무별 기능에 따라 주요 기능(Lv.3), 세부기능(Lv.4), 옵션(Lv.5)을 동일하게 구성함

<표 52 열차운영계획 모듈의 기능분류체계 정의서>

열차운영계획	C	기본열차운행계획	C.1	열차다이아 작성	C.1.1					기본 열차운행계획안에 대한 열차다이아를 작성 및 편집 하는 기능
				열차다이아 등록 및 관리	C.1.2					기본열차운행 계획 시 해당 노선에 운행할 열차등록 및 열차 시각표 생성
				정합성 검사	C.1.3	시각이상	C.1.3.1			작성된 기본열차운행계획에 대한 시각이상 항목에 대하 정합성을 점검하는 기능
						열차경합	C.1.3.2			작성된 기본열차운행계획에 대한 열차간 상충 및 경합상황에 대한 사항을 점검하는 기능
						최소출발시격	C.1.3.3			작성된 기본열차운행계획에 대한 최소출발시격을 준수하였는지에 대해 점검하는 기능
		특별열차운행계획	C.2	열차다이아 작성	C.2.1					특별열차운행계획안에 대한 열차다이아를 작성 및 편집 하는 기능
				열차다이아 등록 및 관리	C.2.2			차량운용 복수안을 비교분석하고 그래프로 표현+D81:J85하는 기		특별열차운행 계획 시 해당 노선에 운행할 열차등록 및 열차 시각표 생성
				정합성 검사	C.2.3	시각이상	C.2.3.1			작성된 특별열차운행계획에 대한 시각이상 항목에 대하 정합성을 점검하는 기능
						열차경합	C.2.3.2			작성된 특별열차운행계획에 대한 열차간 상충 및 경합상황에 대한 사항을 점검하는 기능
						최소출발시격	C.2.3.3			작성된 특별열차운행계획에 대한 최소출발시격을 준수하였는지에 대해 점검하는 기능
		조정열차운행계획	C.3	열차다이아 작성	C.3.1					조정열차운행계획안에 대한 열차다이아를 작성 및 편집 하는 기능
				열차다이아 등록 및 관리	C.3.2					조정열차운행 계획 시 해당 노선에 운행할 열차등록 및 열차 시각표 생성
				정합성 검사	C.3.3	시각이상	C.3.3.1			작성된 조정열차운행계획에 대한 시각이상 항목에 대하 정합성을 점검하는 기능
						열차경합	C.3.3.2			작성된 조정열차운행계획에 대한 열차간 상충 및 경합상황에 대한 사항을 점검하는 기능
						최소출발시격	C.3.3.3			작성된 조정열차운행계획에 대한 최소출발시격을 준수하였는지에 대해 점검하는 기능
		열차시각표	C.4	구간별 열차운행시각표 출력	C.4.1					작성된 열차운행계획에 대하여 열차 운행구간별로 열차 시각표를 출력하는 기능
				열차별 열차운행시각표 출력	C.4.2					작성된 열차운행계획에 대하여 열차 열차별로 열차 시각표를 출력하는 기능
				업무용 열차운행시각표 출력	C.4.3					각종 통계 및 분석을 위한 열차시각표 출력 프맷별로 출력하는 기능
		분석 및 통계	C.5	종편열차 편성정보관리	C.5.1					해당 열차운행계획데이터에서 종편편성된 열차편성정보를 확인 할 수 있는 기능
				역간열차 운행시분 분석	C.5.2					열차운행계획중 역간 운행시분이 정차패턴별 표준운행시분과의 편차를 확인하는 기능
				열차운행계획 비교분석	C.5.3					열차운행계획간 열차운행계획의 변경내역을 쉽게 확인 할 수 있는 기능
				열차운행 시간 및 속도 분석	C.5.4					해당 열차운행계획의 열차별 운행거리, 운행시간 및 운행 속도정보를 확인할 수 있는 기능
				역별 정차역	C.5.5					열차운행계획에 따른 역별 정차율 통계를 확인할 수 있는 기능
		열차기본정보	C.6	노선 및 역정보	C.6.1					노선 및 역 기본정보 등록 및 관리하는 기능
				표준운전시분	C.6.2					역간 표준운전시분 등록 및 관리하는 기능

- 승무운영계획 모듈은 기본/특별/조정 승무운용계획으로 구성되었고, 하위레벨은 상위 업무별 기능에 따라 주요기능(Lv.3), 세부기능(Lv.4)으로 타 모듈들과 동일하게 구성됨

<표 53 승무운영계획 모듈의 기능분류체계 정의서>

승무운영계획	D	기본승무운용계획	D.1	승무다이아작성	D.1.1	운행횟수지정	D.1.1.1			승무다이아 작성 시 운행횟수를 지정하는 기능
						운용번호추가	D.1.1.2			승무다이아 작성 시 운용번호를 추가하는 기능
						운용상세내역	D.1.1.3			기본승무운용계획 시 운영상세내역을 확인할 수 있는 기능
						구간편집	D.1.1.4			승무다이아 작성 시 운행구간을 편집할 수 있는 기능
						정합성 검사	D.1.1.5	열차미존재	D.1.1.5.1	승무다이아 작성 시 미할당된 다이아를 확인하는 기능
								열차중복	D.1.1.5.2	승무다이아 작성 시 열차의 중복여부를 확인하는 기능
								승계연결	D.1.1.5.3	승무다이아 작성 시 승계연결 여부를 확인하는 기능
								사업시간제한	D.1.1.5.4	승무다이아 작성 시 제한 사업시간 초과여부를 확인하는 기능
								연속실운전시간제한	D.1.1.5.5	승무다이아 작성 시 제한 연속실운전시간의 초과여부를 확인하는 기능
				승무다이아최적화	D.1.2					목적함수에 따라 승무다이아를 최적화 하는 기능
				사업다이아승인	D.1.3					작성된 승무다이아의 사업을 승인하는 기능
		특별승무운용계획	D.2	승무다이아작성	D.2.1	운행횟수지정	D.2.1.1			승무다이아 작성 시 운행횟수를 지정하는 기능
					D.2.1	운용번호추가	D.2.1.2			승무다이아 작성 시 운용번호를 추가하는 기능
					D.2.1	운용상세내역	D.2.1.3			특별승무운용계획 시 운영상세내역을 확인할 수 있는 기능
					D.2.1	구간편집	D.2.1.4			승무다이아 작성 시 운행구간을 편집할 수 있는 기능
					D.2.1	정합성 검사	D.2.1.5	열차미존재	D.2.1.5.1	승무다이아 작성 시 미할당된 다이아를 확인하는 기능
					D.2.1		D.2.1.5	열차중복	D.2.1.5.2	승무다이아 작성 시 열차의 중복여부를 확인하는 기능
					D.2.1		D.2.1.5	승계연결	D.2.1.5.3	승무다이아 작성 시 승계연결 여부를 확인하는 기능
					D.2.1		D.2.1.5	사업시간제한	D.2.1.5.4	승무다이아 작성 시 제한 사업시간 초과여부를 확인하는 기능
					D.2.1		D.2.1.5	연속실운전시간제한	D.2.1.5.5	승무다이아 작성 시 제한 연속실운전시간의 초과여부를 확인하는 기능
				승무다이아최적화	D.2.2					목적함수에 따라 승무다이아를 최적화 하는 기능
		조정승무운용계획	D.3	승무다이아작성	D.3.1	운행횟수지정	D.3.1.1			승무다이아 작성 시 운행횟수를 지정하는 기능
					D.3.1	운용번호추가	D.3.1.2			승무다이아 작성 시 운용번호를 추가하는 기능
					D.3.1	운용상세내역	D.3.1.3			조정승무운용계획 시 운영상세내역을 확인할 수 있는 기능
					D.3.1	구간편집	D.3.1.4			승무다이아 작성 시 운행구간을 편집할 수 있는 기능
					D.3.1	정합성 검사	D.3.1.5	열차미존재	D.3.1.5.1	승무다이아 작성 시 미할당된 다이아를 확인하는 기능
							D.3.1.5	열차중복	D.3.1.5.2	승무다이아 작성 시 열차의 중복여부를 확인하는 기능
							D.3.1.5	승계연결	D.3.1.5.3	승무다이아 작성 시 승계연결 여부를 확인하는 기능
							D.3.1.5	사업시간제한	D.3.1.5.4	승무다이아 작성 시 제한 사업시간 초과여부를 확인하는 기능
							D.3.1.5	연속실운전시간제한	D.3.1.5.5	승무다이아 작성 시 제한 연속실운전시간의 초과여부를 확인하는 기능
		승무원근무표 관리	D.4	사업특수안관리	D.4.1					드물된 여러가지 사업을 관리하는 기능
				사업조관리	D.4.2	조별다이아지정	D.4.2.1			승무사업이 조별로 운영될 경우 다이아를 조별로 지정하는 기능
						조별승무원지정	D.4.2.2			승무사업이 조별로 운영될 경우 승무원을 조별로 지정하는 기능
				근무패턴관리	D.4.3					근무표 작성 시 근무패턴을 입력 관리하는기능
				승무근무표 작성	D.4.4					승무다이아를 승무원에게 할당하여 승무근무표를 작성하는 기능
				승무근무표 최적화	D.4.5					목적함수에 따라 승무근무표를 최적화하는 기능
				승무근무표 확정	D.4.6					최종적으로 운영할 승무근무표를 선택 확정하는 기능
		승무기준정보관리	D.5	승무사업소관리	D.5.1	승무사업소 정보	D.5.1.1			승무운영에 필요한 승무사업소 정보를 입력하는 기능
				사업다이아 제약조건	D.5.2	휴게시간	D.5.2.1.			승무다이아 작성 시 휴게시간 제약조건값을 입력하는 기능
						최소반복시간	D.5.2.2.			반복역에서 운전시간 산정을 위한 최소반복시간을 설정하는 기능
						구속시간	D.5.2.3.			승무다이아 작성 시 최소, 최대 구속시간 값을 설정하는 기능
						승무율	D.5.2.4.			승무다이아 작성 시 승무시간÷근무시간의 승무율 값을 설정하는 기능
				승무근무표 제약조건	D.5.3	월 최대 사업시간	D.5.3.1			근무표 작성 시 승무원의 월 최대 사업시간을 설정하는 기능
						주휴일부여일수	D.5.3.2			근무표 작성 시 승무원의 주휴일일수를 설정하는 기능
						야간승무횟수	D.5.3.3			근무표 작성 시 야간승무횟수를 제한하도록 설정하는 기능
						휴양시간	D.5.3.4			근무표 작성 시 사업다이아간 최소 휴양시간을 갖도록 설정하는 기능
		대안관리	D.6	대안관리	D.6.1	대안비교분석	D.6.1.1			승무운영계획표의 대안을 생성하고 관리하는 기능
		장표출력	D.7	장표출력	D.7.1					승무운영계획표를 출력하는 기능

- 선로용량산정 모듈은 선로용량산정을 위한 열차운행계획을 입력하는 기능이 포함되어야하며, 기본정보를 입력 관리할 수 있는 업무 기능을 통해 선로용량 산정과 이를 시뮬레이션, 최적화 하는 기능이 포함되어야 함

<표 54 선로용량산정 모듈의 기능분류체계 정의서>

선로용량산정	E	선로작업계획	E1	선로작업계획 신청	E1.1					선로용량 산정 시 선로작업계획을 입력하는 기능
				선로작업계획 변경	E1.2					선로용량 산정 시 입력된 선로작업계획을 변경하는 기능
		열차운행계획	E2	열차운행계획 신청	E2.1					선로용량 산정 시 열차운행계획을 입력하는 기능
				열차운행계획 변경	E2.2					선로용량 산정 시 입력된 열차운행계획을 변경하는 기능
				임시열차 신청	E2.3					선로용량 산정 시 임시열차가 발생한 경우 입력하는 기능
		선로배분시뮬레이션	E3	선로배분 시뮬레이션	E3.1					선로배분기본계획에 따라 선로를 배분하는 기능
				선로배분 현황	E3.2					선로배분 현황을 확인할 수 있는 기능
				열차운행계획 현황	E3.3					선로배분 시뮬레이션 시 열차운행계획 현황을 확인할 수 있는 기능
				선로작업계획 현황	E3.4					선로배분 시뮬레이션 시 선로작업계획 현황을 확인할 수 있는 기능
				열차운행계획 비교분석	E3.5					열차운행계획안을 비교 분석하는 기능
				선로작업계획 비교분석	E3.6					선로작업계획안을 비교분석하는 기능
		열차운행시각표	E4	구간별 열차운행시각표	E4.1					구간별 열차운행 시각표를 확인하는 기능
				열차별 열차운행시각표	E4.2					열차별 열차운행 시각표를 확인하는 기능
		선로용량산정	E5	구간별 선로용량산정	E5.1					선로 구간별 용량을 산정하는 기능
				선로용량 시뮬레이션	E5.2	다이아 그리기	E5.2.1			열차배열군을 다이아로 작성할 수 있는 기능
						대안추가	E5.2.2			선로용량 시뮬레이션 대안을 추가할 수 있는 기능
						단선용량 계산	E5.2.3			단선의 구간별 평균시간과 상하평균치 및 선로용량을 계산하는 기능
						광역철도의 선로용량 계산	E5.2.4			광역철도의 구간별 평균시간과 상하평균치 및 선로용량을 계산하는 기능
				최적화 시뮬레이션	E5.3					원안을 최적화 시뮬레이션을 통해 다이아그램을 통해 선로용량이 도출되는 기능
				선로 용량 포화여부	E5.4					선로 용량 포화여부를 판단하는 기능
				요일별 기본열차 운행횟수	E5.5					요일별 운행되는 기본열차 횟수를 입력하는 기능
		기본정보	E6	노선 및 역정보	E6.1					노선 및 역정보를 입력 관리하는 기능
				표준운전시분	E6.2					표준운전시분 관련 내용을 입력하는 기능
				열차종류 설정	E6.3					열차종류를 입력 설정하는 기능
				코리더 설정	E6.4					운행경로(Corridor)를 설정하는 기능

- 중·소형 및 신규 철도운영기관에서 규모에 적합한 열차운행계획 통합시스템을 구성하기위해 필요한 기능들을 구성할 수 있도록 앞서 구성한 각 모듈의 특성, 세부기능들을 정의한 정보관리체계 표준정의서를 개발함

④ 열차운행계획 정보관리체계의 신뢰성 검증

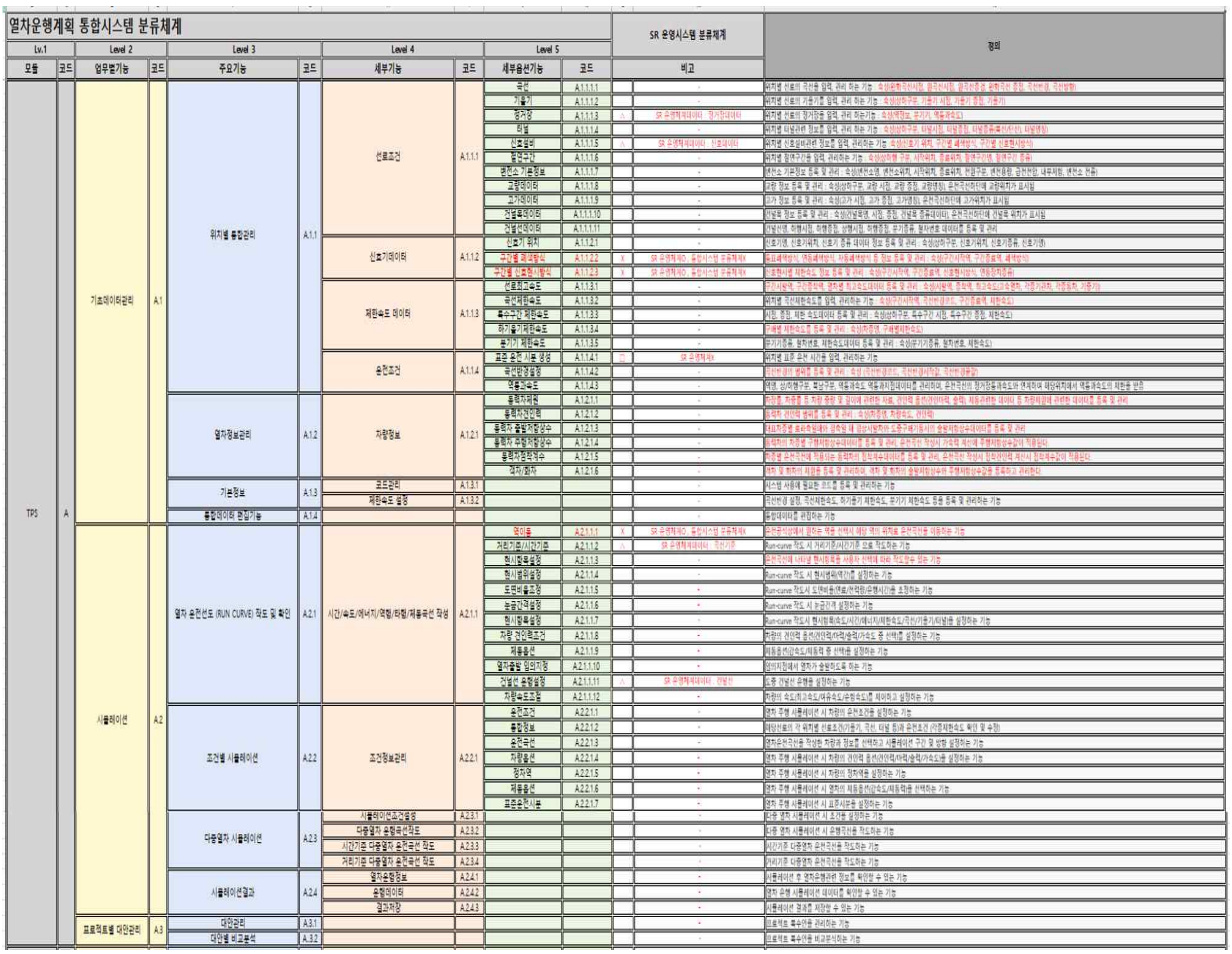
[핵심성과] D-3 열차운행계획 정보체계 정의서 수정 및 보완

- 열차성능시뮬레이션(TPS)모듈, 차량운영계획 모듈, 열차운영계획 모듈, 승무운영계획 모듈, 선로용량 배분 모듈로 구성되어 있는 열차운행계획 통합시스템의 정보관리체계의 신뢰성 검증을 위해 SR운영체계 매뉴얼 및 설계서와 코레일 승무운영시스템을 비교·분석함
- 비교·검증 형태는 ① × : SR운영체계에는 있으나, 통합시스템 분류체계에는 없는 것, ② □ : SR운영체계에는 없으나, 통합시스템 분류체계에는 있는 것, ③ △ : 같은 기능이나, 이름이 상이한 것으로 구분됨
- 열차운행계획 모듈의 정보분류체계는 25개의 세부기능으로 구성되어 있으나 SR운영체계 매뉴얼 및 설계서에는 27개의 추가적인 세부기능이 추가되어 있으며, 세부 비교·분석 결과는 아래와 같음
- 열차성능시뮬레이션(TPS)모듈의 정보분류체계는 34개의 세부기능으로 구성되었으나 SR운영체계 매뉴얼 및 설계서 비교·분석결과 일부 세부기능에서 차이가 있었으며 그 결과는 아래와 같음

<표 55 열차성능시뮬레이션(TPS) 모듈 세부기능 수정·보완>

업무별 기능	주요기능	세부기능	세부 옵션기능	비고	
기초데이터 관리	위치별 통합관리	선로조건	정거장	△	SR 운영체계데이터 : 정거장데이터
			신호설비	△	SR 운영체계데이터 : 신호데이터
		신호기데이터	구간별 폐색방식	X	SR운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
			구간별 신호현시방식	X	SR운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
시뮬레이션	열차 운전선도 작도 및 확인	시간/속도/에너지/역행/타행/제동곡선 작성	역이동	X	SR운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
			거리기준/시간기준	△	SR 운영체계데이터 : 곡선기준
			건널선 운행설정	△	SR 운영체계데이터 : 건널선

<표 56 열차성능시뮬레이션(TPS) 모듈의 기능분류체계 정의서 수정·보완>

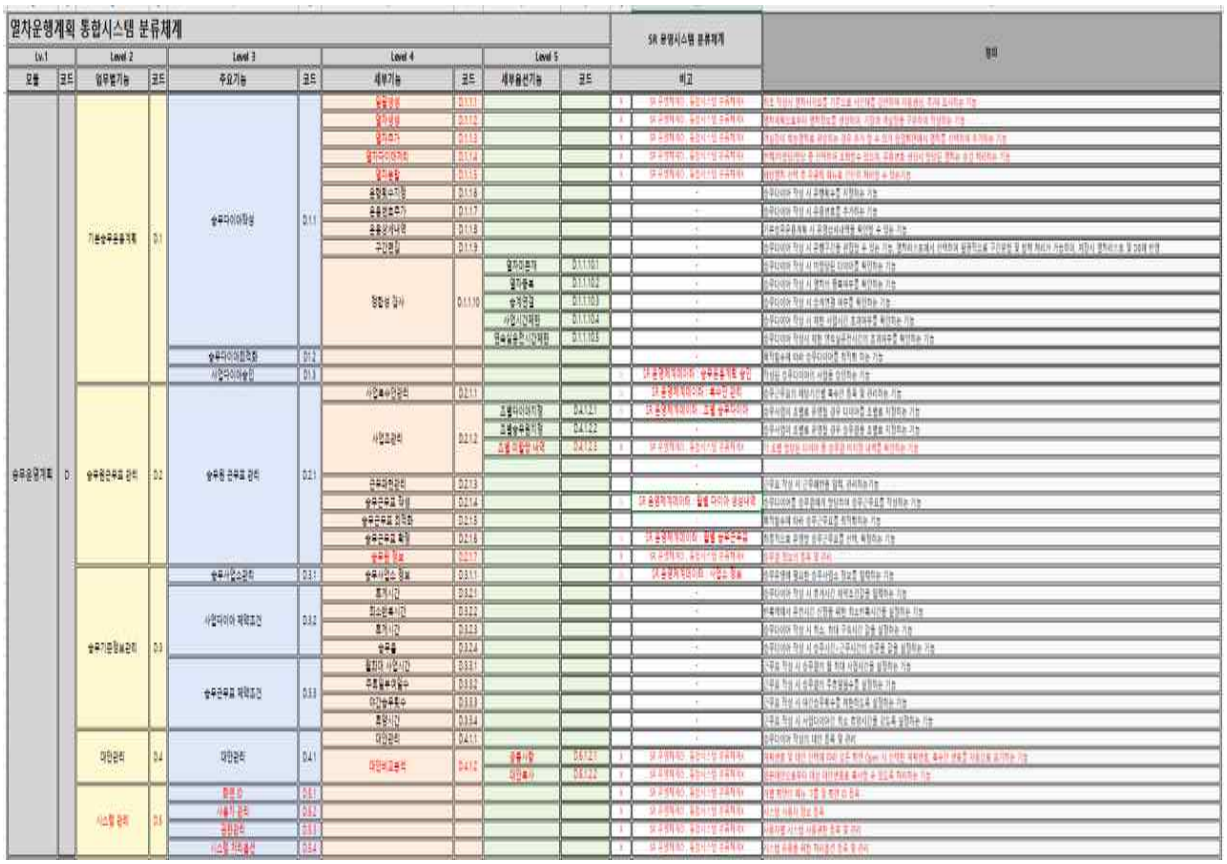


- 승무운영시스템모듈의 정보분류체계는 최초 48개의 세부기능으로 구성되어 있었으나, 개발된 시스템 검토 및 SR운영체계 매뉴얼 및 설계서와 비교·분석 검토를 통해 19개의 세부기능에서 차이가 있으며. 비교·분석결과는 아래와 같음

<표 57 승무운영계획 모듈 세부기능 수정·보완>

업무별 기능	주요기능	세부기능	세부 옵션기능	비고	
기본승무 운용계획	승무다이아 작성	일괄생성		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
		열차생성		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
		열차추가		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
		열차다이아 처리		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
		열차분할		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
	사업다이아 승인			△	SR 운영체계데이터 : 승무운용계획 승인
승무원 근무표 관리	승무원 근무표 관리	사업복수안 관리		△	SR 운영체계데이터 : 복수안 관리
		사업조관리	조별다이아지정	△	SR 운영체계데이터 : 조별 승무다이아
			조별 미할당 내역	X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
		승무근무표 작성		△	SR 운영체계데이터 : 월별 다이아 생성내역
		승무근무표 확정		△	SR 운영체계데이터 : 월별 승무근무표
		승무원 정보		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
승무사업소 관리	승무사업소정보			△	SR 운영체계데이터 : 사업소 정보
대안관리	대안관리	대안비교분석	공통사항	X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
			대안사항	X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
시스템관리	화면 ID			X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
	사용자 관리			X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
	권한관리			X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
	시스템 처리옵션			X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X

<표 58 승무운영계획 모듈의 기능분류체계 정의서 수정·보완>

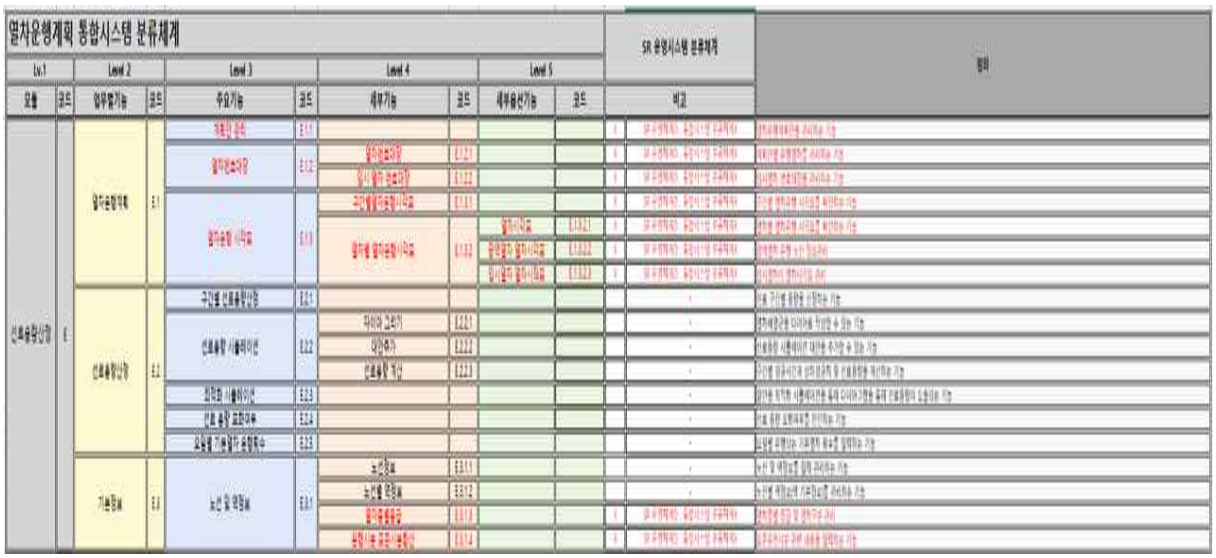


- 선로용량산정 모듈의 정보분류체계는 22개의 세부기능으로 구성되어 있으나 SR운영체계 매뉴얼 및 설계서 비교·분석결과 9개의 세부기능에 차이가 있으며, 그 구성은 아래와 같음

<표 59 선로용량산정 모듈 세부기능 수정·보완>

업무별 기능	주요기능	세부기능	세부 옵션기능	비고	
열차운행 계획	계획안 관리			X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
	열차번호대장	열차번호대장		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
		임시 열차 번호대장		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
	열차운행 시각표	구간별열차 운행시각표		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
		열차별 열차운행 시각표	열차시각표	X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
			광역열차 열차시각표	X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
			임시열차 열차시작표	X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
기본정보	노선 및 역정보	열차종별등급		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X
		운행시분 표준시분환산		X	SR 운영체계0 , 통합시스템 분류체계X

<표 60 선로용량산정 모듈의 기능분류체계 정의서 수정·보완>



- 열차운행계획통합시스템을 위한 세부 정보체계 정의서와 실제 운영되는 운영체계 매뉴얼 및 설계서 비교·분석결과 개발된 세부 정보체계 정의서의 세부기능 외에도 철도운영기관의 특성에 맞는 세부기능들이 추가되어 운영 중임
- 개발된 열차운행계획 정보관리체계를 통해 중·소형 및 신규 철도운영기관에서 필요한 열차운행계획시스템의 구성할 수 있으며 세부기능들을 명확하게 이해하고 업무에 활용할 수 있음

2) 승무운영계획 최적화 알고리즘 작성 및 적정성 검증

① 승무일정계획 수요처 요구사항 수집

[핵심성과] E-1 열차운영계획 수요처 요구사항 사례별 조사

- 국내·외 철도 승무운영관련 문헌조사 및 분석을 진행하여 기존 연구들에서 승무일정계획 작성 최적화 방안과 활용 알고리즘, 제약조건의 설정, 도출 해를 정리하였으며, 그 결과는 아래 같음

<표 61 국내 승무운영관련 연구 사례>

저자 (년도)	연구 내용
김영훈 (2000)	승무원 교번 작성 시 승무원 사업시간의 균등화 및 총 작업시간의 최소화와 최소인원으로 승무사업을 수행하기 위한 모형을 제시함
박춘희 (2000)	승무일정계획 시 비용최소를 위해 정수계획법에 의해 도출된 승무 일정계획을 대상으로 인력의 최소화 및 근로조건 유지를 위한 휴리스틱 교정 기법을 제시함
허남인 (2000)	긴급 상황 승무일정계획 시 승무원의 근로제약조건을 양질로 유지하고자 정수계획법을 기반으로 제약조건 프로그래밍과 Set Partitioning기법을 사용하여 승무운영계획을 수립하고자 함
황준하 (2004)	승무일정계획 최적화를 위해 이웃해 탐색기법과 정수계획법의 장점을 효과적으로 제시하고, 휴리스틱 교정을 통해 최적화된 결과를 산출함
김지표(2004)	승무원 임금에 대하여 근로시간 형태의 구분없이 동일하게 산정되는 불이익의 문제를 해결하기 위해 업무특성을 고려한 합리적인 사업시간 산정방법이 필요함을 고찰하고 개선방안을 제시함
박진희 (2008)	공항철도의 열차와 차량스케줄의 승무일정계획 최적화를 위해 이웃해 탐색기법을 제시하였고, 정수계획법을 기반으로 다른 알고리즘을 결합하여 승무일정계획을 수립함
정일봉(2009)	승무원에게 최적화 된 근무 및 휴게시간 편성을 위한 방안을 제시하고 최적화 수준을 평가하는 모형을 제시함

<표 62 국외 승무운영관련 연구 사례>

저자 (년도)	연구 내용
Sepehri,Fathaliha (2001)	그래프 이론을 바탕으로 철도 CSP(Crew Scheduling Problem)에 대한 수학적 모델을 제안함
Pourseyedaghai,Salehi (2006)	정기적인 열차 일정 계획의 결과로 철도 네트워크에서 열차 노선 일정 등을 기술하였으며 휴리스틱 알고리즘을 사용하여 필요한 승무원 그룹을 최소화하여 실행 가능한 pairing을 생성함
Kroon (2009)	네덜란드의 철도 CSP의 주요 목표인 페어링 비용의 최소화, 승무원 업무량의 공정성 및 지연 확산 금지문제를 해결하기 위해 열 생성 솔루션 방법을 생성함
Guillermo (2009)	승무원 스케줄링 최적화 문제를 풀기 위해 메타 휴리스틱 알고리즘인 Tabu search을 사용하여 CSP에 대한 조합 알고리즘을 제시함
Yaghini (2009)	비용 및 이동 시간을 최소화하기 위한 열 생성 접근 방식에 기반한 철도 CSP를 고려하였으며,휴리스틱2단계 모델을 이용하여 철도 승무원 스케줄링 문제를 해결함
Jut (2012)	단시간에 유럽 전역의 철도 문제를 해결하기 위해 CSP를 모델링하는branch-and-price solution 방법을 제시함
Shijun (2013)	set covering 모델을 사용하여 철도 CSP를 해결하였으며 열 생성에 기초한 정확한 솔루션 방법을 개발함
Hanafi (2014)	승무원 스케줄링 문제를 정확하게 해결하기 위한 수학적 모델을 제시했으며, 최적의 솔루션을 찾기 위해 광역적 최적화를 수행하는 알고리즘인 annealing solution 방법을 기반으로 한 휴리스틱 접근법을 개발함
Farhadfar (2015)	pairing 선택 비용을 최소화하기 위해 외판원 문제를 기반으로 한 모델을 개발했으며, Tabu search 휴리스틱 솔루션 방법을 제시함
A. Ernst (2004)	승무일정계획에서 승무원 수를 줄여 비용을 최소화하되 승무원들의 근로 제약조건을 고르게 양질로 유지하는 최적화 공식 및 솔루션 접근법을 제시함

- 국내의 기존 승무운영계획 최적화 연구에서는 정수계획법을 기반으로 한 최적화 방안이 많이 제시되었으나, 이는 과도한 수행시간, 메모리 자원이 요구될 뿐만 아니라 제약조건들과 목적함수이 선형적으로 표현되지 않을 경우 이들을 고려할 수 없다는 문제가 있기 때문에 정수계획법과 다른 최적화 알고리즘을 결합하거나, 다른 알고리즘을 사용하여 승무운영계획을 수립하는 방안이 필요함
- 국외의 승무운영계획 최적화 연구는 휴리스틱 알고리즘을 주로 사용하였으며, 다양한 제약조건들을 고려하기 위해 다른 알고리즘을 추가하거나, 다양한 성격의 제약조건을 최대한 반영할 수 있는 알고리즘을 선택하는 것이 중요함
- 국내·외 철도운영기관별 승무원들의 근로기준, 승무사업 작성과정, 승무운영계획 작성을 위한 제약조건들을 조사·분석하고 정리함

<표 63 국내 철도 운영기관별 승무원 근로기준>

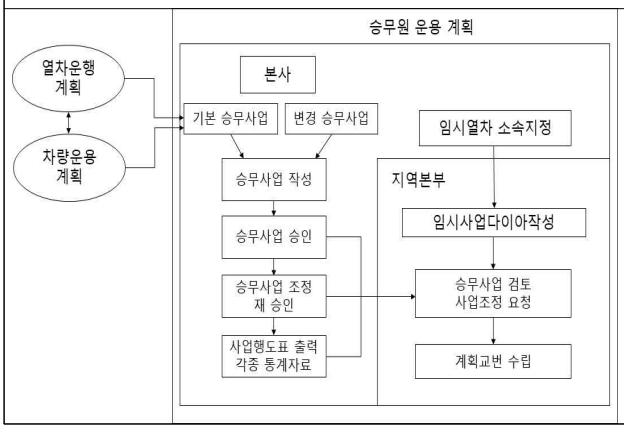
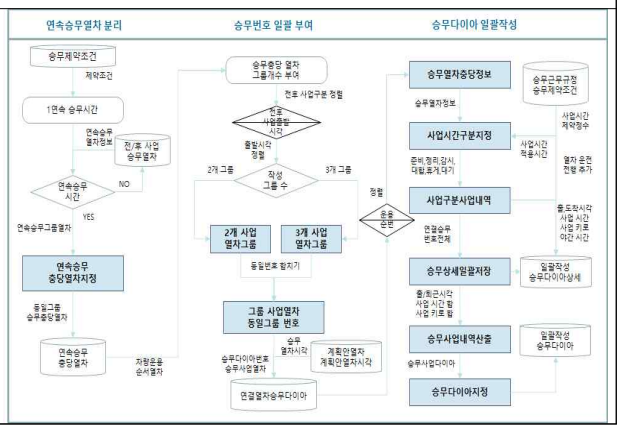
구분	한국 철도공사	서울 도시철도	서울 메트로	부산 교통공사	인천 교통공단	대구 도시철도	대전 도시철도	광주 도시철도
근무일수(월)	-	16~17일	16~17일	16~17일	17.3일	17일	17일	16.89일
근무일수(연)	-	192일	192일	201일	-	204일	209일	-
근무시간	-	10시간 10분	10시간 20분	9시간 40분	9시간 35분	9시간 21분	9시간 38분	9시간 48분
최대운전시간	3시간~6시간	4시간 42분	4시간 40분	4시간 40분	4시간 48분	5시간	5시간	4시간 49분
숙박근무형태	-	숙박근무 개별교번제	숙박근무 교번제	숙박근무 개별교번제	숙박근무 개별교번제	숙박근무 개별교번제	숙박근무 9조 5교대	숙박근무 9조 5교대
휴게	1-4시간	-	중간시간 휴게부여	대기시간외 별도부여	최대 3시간	대기시간 중복	중간시간에 부여	-
편승	최단경로기준으로 전 시간 인정	-	근무 시간 내 포함	근무 시간 내 포함	열차운행 시간	-	근무 시간 내 포함	-
감시	발생되는 시간	-	30분 이상 인정 30분미만 운전시간	30분 이상 인정 30분미만 운전시간	비상대기 30분이상 실시간	-	-	-
대기	승계대기비상대기 지연대기	-	승계대기비상대기 지연대기	승계대기비상대기 지연대기	승계대기비상대기 지연대기	승계대기비상대기 지연대기	비상대기	-
준비	시작40-50분 도중15-40분	-	사업시작30분, 출고 1시간 5분	출고 1시간 승계40분	승계 40분, 출고 1시간	1시간	출고 1시간	-
정리	종료 20분 도중 15분	-	종료 30분 도중없음	종료 30분 도중없음	종료 30분 도중없음	종료 30분 도중없음	종료 20분	-
근무형태	주주야비휴	주주야비휴	주주야비휴	주주주야비휴	주주야비휴	-	-	-
휴일	-	월 8일, 연 96일	월 8일 연 96일	월 7~8일, 연 86일	-	-	-	-
1인/2인승무	1인/2인	1인	본선 2인승무 지선(성수, 신정) 1인	1인 (4호선 무인운전)	1인	1인	1인	1인
기관사 예비율	8.5% (실7.3)	13% (실 10%)	13% (실 10%)	10%	10% (실5%이하)	교번상 8.3%	12.5% (실 3%)	평일9.7% 주말 1.39%
휴식/대기시간	-	휴식 X 대기2-4시간	대기 2-4시간	대기 3시간	대기평균 3시간이상	대기 2-3시간	휴식 1시간 대기 2-4시간	대가 2-4시간
교대장소	-	승무사업소	승무사업소, 기지	승무사업소, 기지(주박지)	귤현역/예술회관역	본선종착역(3개소), 중간역 1개소	종착역	기지2곳

<표 64 국외 철도 운영기관별 승무원 근로기준>

구분	영국 South West Trains (2010)	영국런던 교통청 (TFL) (2017)	파리교통 공사 (RATP) (2017)	독일 베를린 지하철 (2017)	홍콩 지하철 (MTR) (2017)	싱가포르 지하철 (SMRT) (2017)	동경 지하철 (2017)	체코 (PPT) (2010)
근무시간 (일)	8시간	8시간	8시간	최대 9시간 15분	8시간	-	8시간	7시간30분
근무시간 (주)	35시간	-	-	39시간	-	44시간	-	37.5시간
운전시간	최대연속 4시간 30분 1근무9시간 30분이내	평균 4시간 15분	최대 6시간	평균 4시간 30분(최대 6시간)	4시간	4-5시간	최대 4시간 40분	6시간
근무형태	-	5근 2휴	5근3휴4근 2휴 반복	4근(이른 주간-늦은 주간-야간 반복)2휴		7근-2휴-7근-2휴-7근-2휴-5근-3휴	야비주야 비휴휴	-
휴가	30일		8주	4주		18-21일	20일	
1인/2인 승무	1인	1인	1인(1,14 호선제외)	-	1인	-	-	-
여유율	10%	10%	-	-	-	-	-	-
숙박여부	X	X	X	X	X	-	-	X

- 또한 국내 철도운영기관에서 승무일정계획을 작성하는 절차에 대해 조사·분석함

<표 65 국내 철도운영기관의 승무일정계획 작성 절차>

한국철도공사 승무운영계획 프로세스	공항철도 승무운영계획 작성 프로세스
	

② 승무운영계획 최적 알고리즘 현황조사 및 적정성 분석

[핵심성과] E-2 승무운영계획 최적화 알고리즘 현황조사 및 적정성 분석

- 승무운영계획 작성을 위한 각종 근무규정, 제약조건, 목적함수들을 승무다이아, 승무교번 별로 구분하여 조사·분석함

- 조사·분석한 각종 근무규정, 제약조건, 목적함수 들을 통해 승무다이아 생성 알고리즘, 승무교번 생성 알고리즘을 구성하여 승무다이아와 승무교번을 작성할 수 있도록 함

<표 66 승무다이아 작성 시 제약조건>

<table>
<tr><th colspan="2">승무다이아 작성을 위한 제약조건</th></tr>
<tr><th>제약조건</th><th>기준 (SR기준)</th></tr>
<tr><td>구속시간의 제한
(최소, 최대)</td><td>최소 8H, 최대 16H
(부득이한 경우 별도 협의 18H)</td></tr>
<tr><td>구속시간 비율
(기준 이내)</td><td>115%</td></tr>
<tr><td>휴게시간 준수
(최소, 최대)</td><td>승무사업 당 1H 이상, 단, 편승(자소속 귀가)이나 식사시간을 부여한 경우 휴식시간을 부여한 것으로 함</td></tr>
<tr><td>승무사업 인원구성
(열차종류 구분)</td><td>열차종류 구분 (중력 열차 경우, 객실장 2인 승무)</td></tr>
<tr><td>준비시간 준수
(기장, 객실장 구분)</td><td>1. 승무사업 시작 (단위 : 분)
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>시간</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="2">출고 및 열차 승계</td><td>기장</td><td>60</td><td rowspan="2">편승 : 30, 회송 : 30
입환시간 별도 부여</td></tr>
<tr><td>객실장</td><td>60</td></tr>
</table>
2. 승무사업 도중 (단위 : 분)
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>시간</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="2">출고 및 열차 승계</td><td>기장</td><td>40</td><td rowspan="2">편승 : 30, 회송 : 20
입환시간 별도 부여</td></tr>
<tr><td>객실장</td><td>30</td></tr>
</table>
3. 홈 반복 단위 : 분)
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>시간</th><th>비고</th></tr>
<tr><td rowspan="2">출고 및 열차 승계</td><td>기장</td><td>20</td><td rowspan="2">도중 출무 생략
반복열차, 단 회송열차 편승으로 승무사업 종료의 경우 제외</td></tr>
<tr><td>객실장</td><td>20</td></tr>
</table>
단, 승강장 이동 소요시간이 10분 이상일 경우 별도의 편승시간 부여하며, 승무사업 종료지점의 편승일 경우 제외</td></tr>
<tr><td>정리시간 준수
(기장, 객실장 구분)</td><td>승무사업 종료 : 기장 20분, 객실장 30분
승무사업 도중 : 기장 20분, 객실장 20분</td></tr>
<tr><td>승계대기</td><td>휴게와 준비시간 사이의 대기시간</td></tr>
</table>

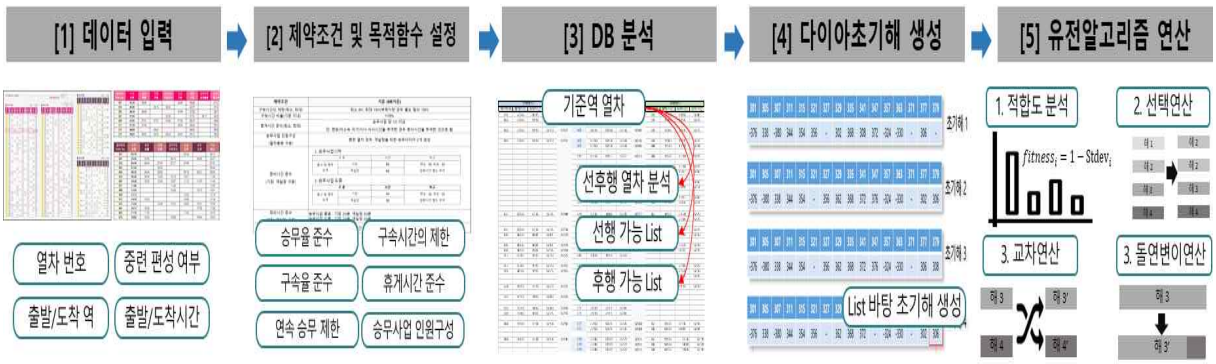
<표 67 승무교번 작성 시 제약조건>

교번표 작성을 위한 제약조건	
제약조건	**기준 (SR기준)**
월 기준 근로시간 제한	165H : 3개월 탄력적 근로 (월 최대 174H, # 1주 평균 40시간)
연간 휴일 수 제한	본사 일근 근무자 휴일 수 (주 2휴)
승무율 제한 (근무시간/승무시간)	승무율 제한 없음 (준비, 운전(출입고 포함), 편승, 감시, 정리시간은 근무시간의 73% 이내)
소정의 순서 준수	6일 주기로 작성 (노사협의로 조정)
승무사업 종료 후 휴양시간 준수	15H 이상 (노사협의로 최소 13H)
연속 야간근로의 제한 (22:00~06:00)	야간운전시간이 2H 이상 포함된 승무사업은 연속 2회, 월 10회 이내
근무형태 준수	객실장의 경우, 중련열차에서는 2인 승무

<표 68 승무다이아 작성 최적화 목적함수>

승무다이아 최적화 목적함수	
목적함수	**목적함수 표현식**
야간 승무사업 최소화	$f(x)_{NTrDiaMin} = \frac{NTrDia_i}{NTrDia_o}$ $NTrDia_i$: i해의 야간다이아 개수 $NTrDia_O$: 초기해의 야간다이아 개수 $f(x)_{NTrDiaMin}$: 초기해의 야간다이아 개수 대비 i해의 야간다이아 개수 비율
편승행로의 최소화	$f(x)_{TTrDiaMin} = \frac{TTrDia_i}{TTrDia_O}$ $TTrDia_i$: i해의 편승다이아 개수 $TTrDia_O$: 초기해의 편승다이아 개수 $f(x)_{TTrDiaMin}$: 초기해의 편승다이아 개수 대비 i해의 편승다이아 개수 비율
승무다이아 개수 최소화	$f(x)_{CTrDiaMin} = \frac{CTrDia_i}{CTrDia_O}$ $CTrDia_i$: i해의 승무다이아 개수 $CTrDia_O$: 초기해의 승무다이아 개수 $f(x)_{CTrDiaMin}$: 초기 해의 승무다이아 개수 대비 i해의 승무다이아 개수 비율
대기시간 최소화	$f(x)_{WtTrDiaMin} = \frac{WtTrDia_i}{WtTrDia_O}$ $WtTrDia_i$: i해의 총 대기시간 $WtTrDia$: 초기해의 총 대기시간 $f(x)_{WtTrDiaMin}$: 초기 해의 대기시간 대비 i해의 총 대기시간 비율
사업시간 최소화	$f(x)_{OtTrDiaMin} = \frac{OtTrDia_i}{OtTrDia_O}$ $OtTrDia_i$: i해의 총 사업 시간 $OtTrDia_{Oj}$: 초기해의 총 사업시간 $f(x)_{OtTrDiaMin}$: 초기해의 사업시간 대비 i해의 총 사업시간 비율

- 유전 알고리즘기반의 승무다이아 생성 방법은 [1] 데이터 입력, [2] 제약조건 및 목적함수 설정, [3] DB구성, [4] 승무다이아 초기해 생성, [5] 유전알고리즘 연산, [6] 승무다이아 검토, [7] 승무다이아 결정 단계로 총 7단계로 구성함
- [1] 데이터 입력단계에서는 승무다이아 생성을 위한 열차운행계획 및 차량운행계획으로부터 도출된 결과물(열차다이아, 열차운행시각표)을 기본적인 정보를 입력함. 대표적인 입력정보는 열차운행시각표에 포함된 열차번호, 열차유형(단편성 또는 중련편성), 출발역, 출발익일여부, 출발시간, 도착역, 도착익일여부, 도착시간, 요일별 운행 여부, 승무센터 역 정보 등으로 구성됨.
- [3] DB구성 단계에서는 기준역 설정, 기준역 리스트생성, 선·후행열차리스트 생성, 편승열차리스트 생성단계로 구성되며, 선·후행 열차리스트 생성과 편승열차리스트 생성단계에서는 사전에 입력된 제약조건들을 만족하는 리스트들이 생성됨
- [4] 승무다이아 초기해 생성, [5] 유전알고리즘 연산 단계에서는 DB구성 단계에서 생성된 리스트를 토대로 유전알고리즘을 수행하기 위한 승무다이아 초기해를 구성한 후, 선택연산, 교배연산, 돌연변이 연산 등을 적용하는 유전알고리즘을 통해 세대별 해의 적합도를 높여감
- 유전알고리즘을 통해 최적화를 수행한 이후 [6] 승무다이아 검토 단계를 통해 생성된 해의 보완사항 등이 있는지 판별 후 최종 해를 결정함



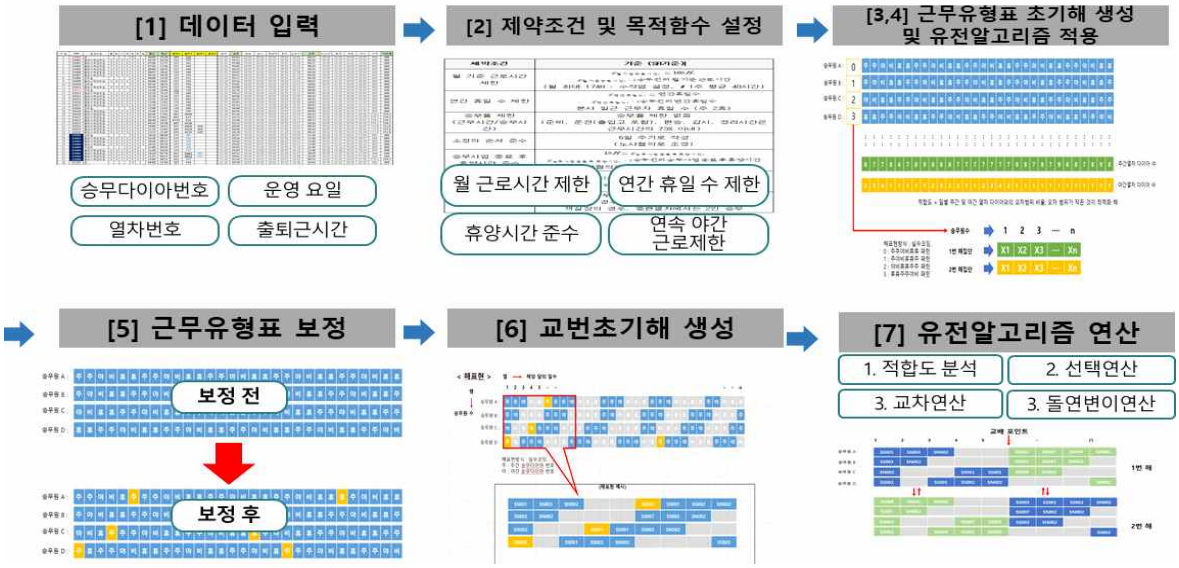
<그림 80 승무다이아 작성 최적화 알고리즘 적용 절차>

- 승무교번 작성 또한 유전알고리즘을 적용하여 최적화를 수행하며, [1] 데이터 입력, [2] 제약조건 및 목적함수 정의, [3] 근무유형표 초기해 생성, [4] 유전알고리즘, [5] 근무유형표 보정, [6] 교번 초기해 생성, [6] 유전알고리즘, [8] 교번 검토, [9] 최종 교번 결정 단계로 총 9단계로 구성함

<표 69 승무교번 작성 최적화 목적함수>

승무 교번표 최적화 목적함수	
목적함수	**목적함수 표현식**
승무율 편차 최소화	$f(x)_{승무율분산Min} = \frac{\sum_{i}^{k}(Rate승무율_i - 평균승무율)^2}{k}$ $Ti승무_i$: 해별 승무원i의 1개월 총 승무시간 $Ti구속_i$: 해별 승무원i의 1개월 총 구속시간 k : 승무원 수 $Rate승무율_i$: 해별 승무원i의 승무율$(= \frac{Ti승무_i}{Ti구속_i})$ 평균승무율 : 해별 평균 승무율
월 근로시간 평준화	$f(x)_{근로시간분산Min} = \frac{\sum_{i}^{k}(근로시간_i - 평균근로시간)^2}{k}$ $근로시간_i$: 해별 승무원i의 1개월 총 근무시간 k : 승무원 수 평균근로시간 : 해별 1개월 평균 근로시간 $f(x)_{근로시간분산Mim}$: 해별 근로시간 분산
월 승무시간 평준화	$f(x)_{승무시간분산Min} = \frac{\sum_{i}^{k}(승무시간_i - 평균승무시간)^2}{k}$ $승무시간_i$: 해별 승무원i의 1개월 총 승무시간 k : 승무원 수 평균승무시간 : 해별 1개월 평균 승무시간 $f(x)_{승무시간분산Mim}$: 해별 승무시간 분산
휴일근무시간 평준화	$f(x)_{휴일근무시간분산Min} = \frac{\sum_{i}^{k}(휴일근무시간_i - 평균휴일근무시간)^2}{k}$ $휴일근무시간_i$: 해별 승무원i의 1개월 총 휴일근무시간 k : 승무원 수 평균휴일근무시간 : 해별 1개월 평균 휴일근무시간 $f(x)_{휴일근무시간분산Mim}$: 해별 휴일근무시간 분산
6일 주기 평준화	$f(x)_{근무패턴분산Min} = \frac{\sum_{i}^{k}(패턴횟수_i - 평균\ 패턴횟수)^2}{k}$ $근무패턴횟수_i$: 해별 승무원i의 근무패턴 횟수 k : 승무원 수 평균근무패턴횟수 : 해별 1개월 평균 근무패턴횟수 $f(x)_{근무패턴횟수분산Mim}$: 해별 근무패턴횟수 분산

- [1] 데이터 입력, [2] 제약조건 및 목적함수 정의단계 에서는 앞서 생성된 승무다이아 및 열차운영기관에서 적용하고 있는 교번작성 관련 제약조건, 최적화를 위한 목적함수 등을 입력함
- [3] 근무유형표 초기해 생성, [4] 유전알고리즘, [5] 근무유형표 보정 단계에서는 열차운영기관에서 제시하는 근무유형인 6일 주기 근무 패턴의 고려와 미할당 다이아 생성 방지하기 위해 1차적으로 보정하는 단계임
- 근무유형포 보정이 끝난 이후 [6] 교번 초기해 생성, [6] 유전알고리즘 단계를 통해 근무유형에 맞는 승무다이아를 할당한 후 최적화를 진행하며, 승무다이아 작성 과정과 동일하게 [8] 교번 검토과정을 진행한 다음 최종교번을 선택함

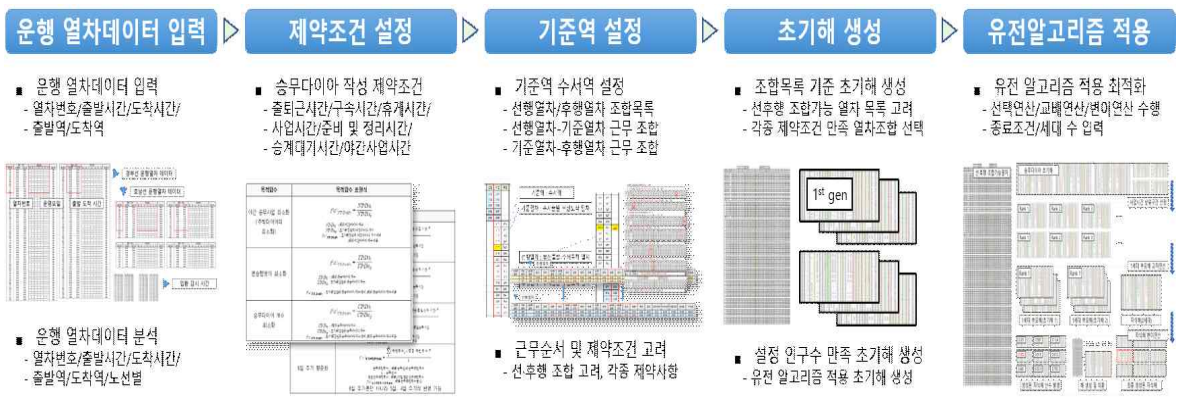


<그림 81 승무교번 작성 최적화 알고리즘 적용 절차>

③ 승무다이아 생성 알고리즘 적정성 분석

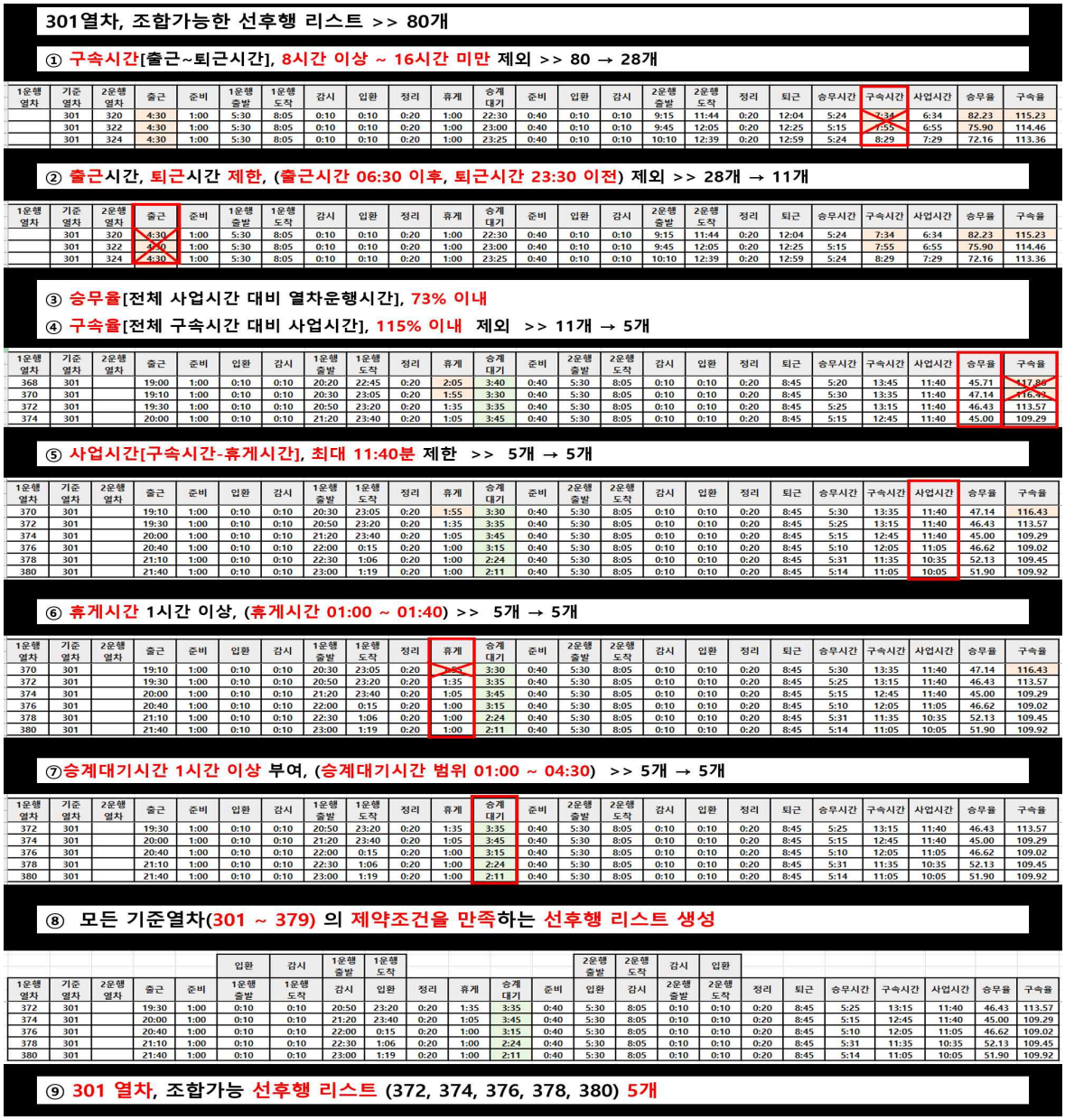
[핵심성과] E-3 승무운영계획 최적화 알고리즘 검증

- 승무운영계획 최적화 알고리즘의 검증을 위해 기존에 운영되고 있는 승무일정계획의 문제점들을 분석하였으며, 분석결과 승무다이아의 경우 편승다이아 발생, 사업시간 제한, 짧은 승계대기 시간 등이 있었으며, 승무교번의 경우 짧은 휴양시간, 6일 주기 패턴 미준수, 미할당 다이아의 발생 등이 있었으며, 이러한 문제점들은 승무원 근로환경에 악영향을 미치거나 노사갈등을 유발할 수 있음
- 승무다이아 생성 알고리즘은 운행되는 열차들의 데이터를 입력하여 이들을 분석 후 승무다이아 작성과 관련된 다양한 제약조건들을 만족하는 열차들의 조합을 생성하고, 조합된 열차들의 목록에서 랜덤하게 열차들은 선택하여 초기해를 생성한 후, 선택연산·교배연산·변이연산을 반복적으로 수행하는 유전알고리즘을 적용하는 것으로 구성하였음



<그림 82 승무다이아 작성 최적화 알고리즘 실제 적용 과정>

- 수서역을 기준역으로 설정하여 경부선/호남선 운행열차들을 분류하고, 기준역을 출발하는 열차를 기준열차로 하여, 선·후행열차들의 조합가능목록을 생성하였음
- 선·후행열차는 각종 제약조건을 만족할 수 있어야 하며, 아래와 같은 순서에 따라 조합 가능한 열차들을 분류함

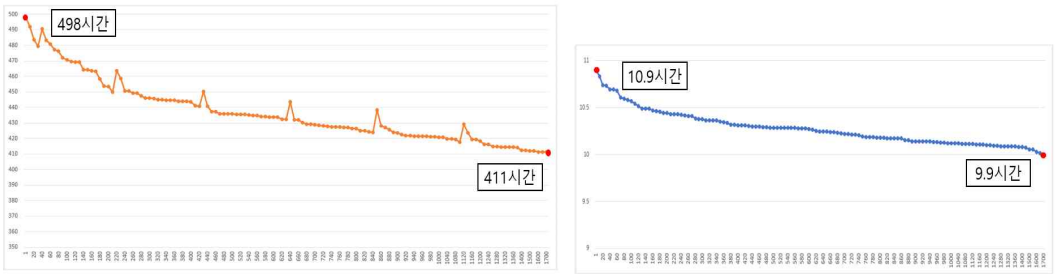


<그림 83 각종 제약조건을 만족하는 열차 조합 선정과정>

- 생성된 선·후행 조합가능열차 목록에서 모든 기준열차에 대한 선·후행열차를 랜덤하게 지정하여 초기해를 생성함
- 생성된 초기해에 전체 사업시간이 낮은 순서대로 나열하여 일정 범위 내의 초기해들만 선택 후, 그 외 범위에 속한 초기해들은 탈락시킴
- 선택된 해들을 서로 교차하여 자식해를 생성하며, 생성된 자식해의 승무다이아에 난수를 발생시킨 후 임계점 이하의 값을 갖는 승무다이아를 새로운 해로 치환하는 변이연

산을 적용하여 해의 다양성과 품질향상을 도모함

- 이러한 유전 알고리즘 적용 순서를 지정한 세대수만큼 반복하여 승무다이아 생성의 최적화를 수행
- 유전 알고리즘 적용결과 세대수가 증가할수록 승무다이아 전체 사업시간과 평균사업시간이 줄어들었음



<그림 84 최적화 알고리즘 적용에 따른 사업시간 그래프 변화 추이>

- 승무다이아 생성 알고리즘의 검증은 최적화 알고리즘인 유전 알고리즘을 적용하여 생성된 경부선의 기장 승무다이아와 기존에 운영되고 있는 경부선 기장 승무다이아와 비교를 통하여 진행하였으며, 비교 결과는 아래와 같음

<표 70 승무다이아 간 비교 결과표>

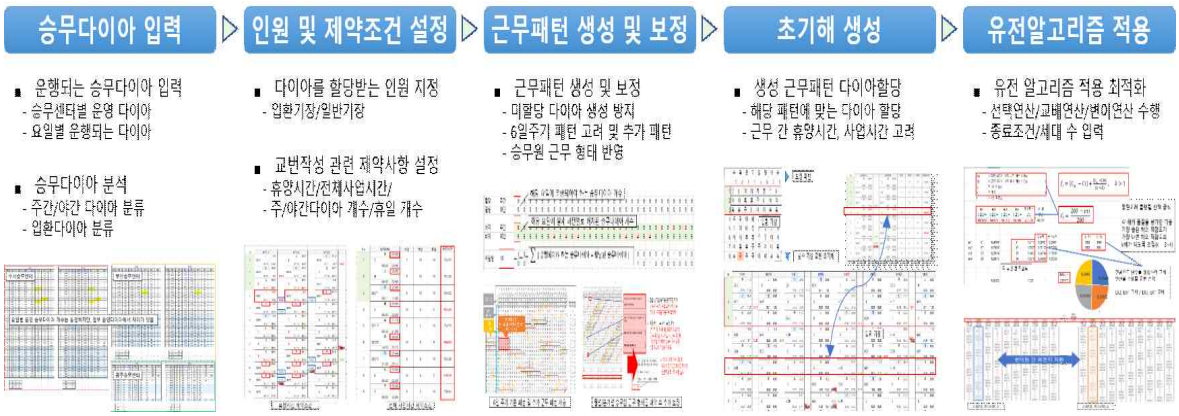
구분	기존 철도운영기관 기장 승무다이아	최적화 알고리즘 적용 기장 승무다이아	비고
주간 다이아	28	29	1개 증가(↑)
야간 다이아	11	10	1개 감소(↓)
편승 다이아	2	2	-
평균 사업시간	10:16	10:14	2분 감소(↓)
사업시간 표준편차	01:01	00:57	4분 감소(↓)
평균 휴게시간	01:06	01:02	4분 감소(↓)
휴게시간 표준편차	00:11	00:07	4분 감소(↓)
평균 승계대기시간	02:21	02:26	5분 증가(↑)
승계대기시간 표준편차	01:05	01:03	2분 감소(↓)
전체 사업시간	419:46	420:10	24분 증가(↑)
평균 승무율(%)	51:50	51:36	0.14 감소(↓)
평균 구속율(%)	110.74	110:15	0.59 감소(↓)

- 최적화 알고리즘 적용 결과 기존 승무다이아 대비 각종 편차들이 소폭 감소하였으며, 승무다이아를 구성하는 열차의 조합들이 기존에 비하여 사업시간, 승계대기, 휴게 등이 고르게 분포되었음을 확인할 수 있음

④ 승무교번 생성 알고리즘 적정성 분석

[핵심성과] E-3 승무운영계획 최적화 알고리즘 검증

- 승무교번 생성 알고리즘은 생성된 승무다이아를 각 승무센터별로 근무하고 있는 인원들에게 할당하는 과정에서 미할당 다이아의 발생 방지, 근무와 근무 사이 휴양시간의 보장, 전체 사업시간의 제약사항을 만족할 수 있도록 구성함
- 승무교번의 경우 6일 주기 패턴을 고려하되, 미할당 다이아의 방지, 승무원 근무 형태 고려 등을 위해 근무패턴 생성 및 보정과정과 승무다이아 할당 과정을 분리하여 작성하였음



<그림 85 승무교번 작성 최적화 알고리즘 실제 적용 과정>

- 승무다이아 데이터 입력과정에서는 열차운영기관에서 운영 중인 승무센터의 요일별로 운행되는 전체 다이아를 입력하며 사용된 다이아들의 상세 정보는 아래와 같음

<표 71 수서승무센터 요일별 운영 기장 승무다이아>

구분	수서승무센터의 기장 승무다이아						
	월	화	수	목	금	토	일
전체 승무다이아	42	42	42	42	42	42	42
주간 다이아	26	26	26	26	26	26	26
야간 다이아	16	16	16	16	16	16	16
입환 다이아	7	7	7	7	7	7	7

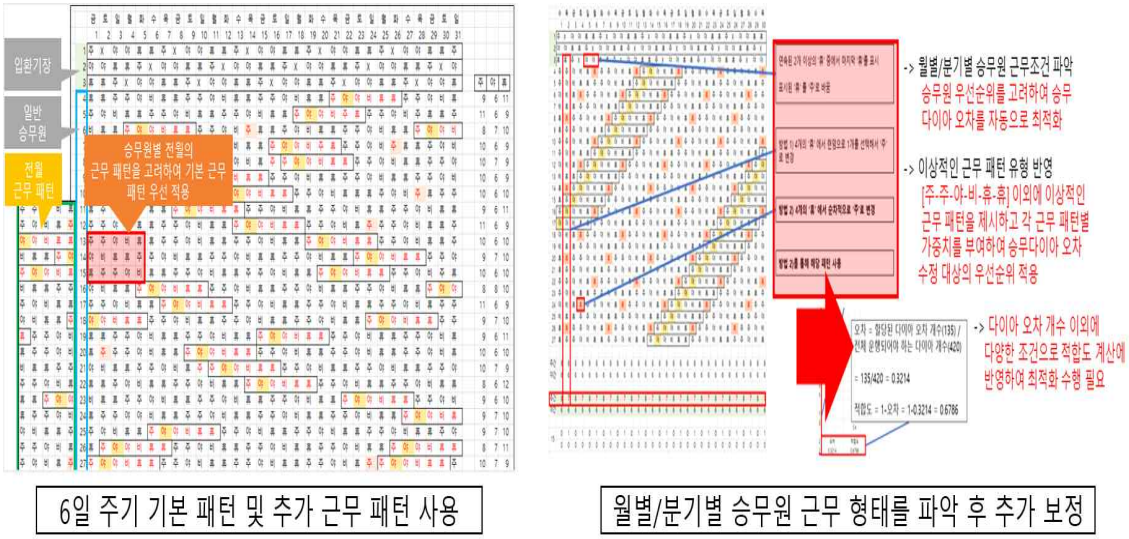
<표 72 부산승무센터 요일별 운영 기장 승무다이아>

구분	부산승무센터의 기장 승무다이아						
	월	화	수	목	금	토	일
전체 승무다이아	25	25	25	25	25	25	25
주간 다이아	14	14	14	14	14	14	14
야간 다이아	11	11	11	11	11	11	11
입환 다이아	7	7	7	7	7	7	7

<표 73 광주승무센터 요일별 운영 기장 승무다이아>

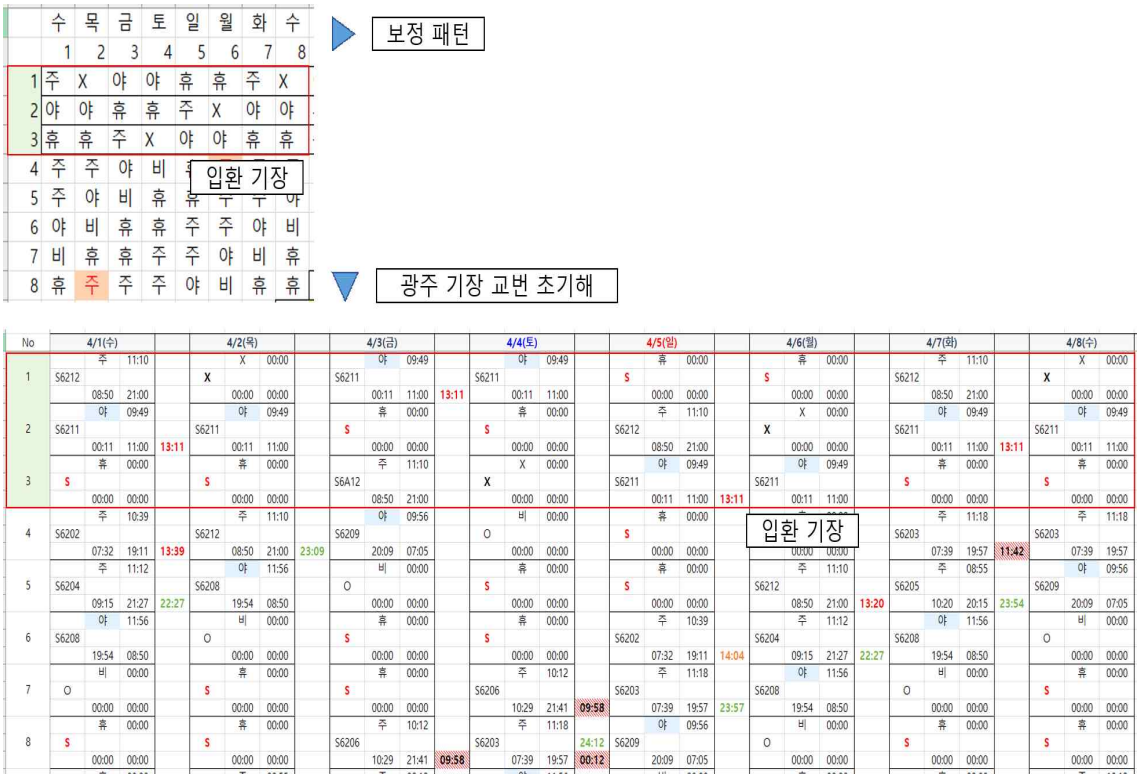
구분	광주승무센터의 기장 승무다이아						
	월	화	수	목	금	토	일
전체 승무다이아	14	14	14	14	14	14	14
주간 다이아	9	9	9	9	9	9	9
야간 다이아	5	5	5	5	5	5	5
입환 다이아	3	3	3	3	3	3	3

- 인원 및 제약조건 설정과정에서는 각 승무센터별로 부여된 승무다이아를 운행하는 인원의 입력과 교번작성 시 고려되어야 하는 각종 제약조건을 설정함
- 근무패턴 생성 및 보정결과 주-주-야-비-휴-휴 6일 근무패턴 외 다양한 근무패턴을 추가하고, 미할당 다이아의 방지 및 전체 승무원의 전월, 분기별 근무형태를 고려한 보정을 수행함



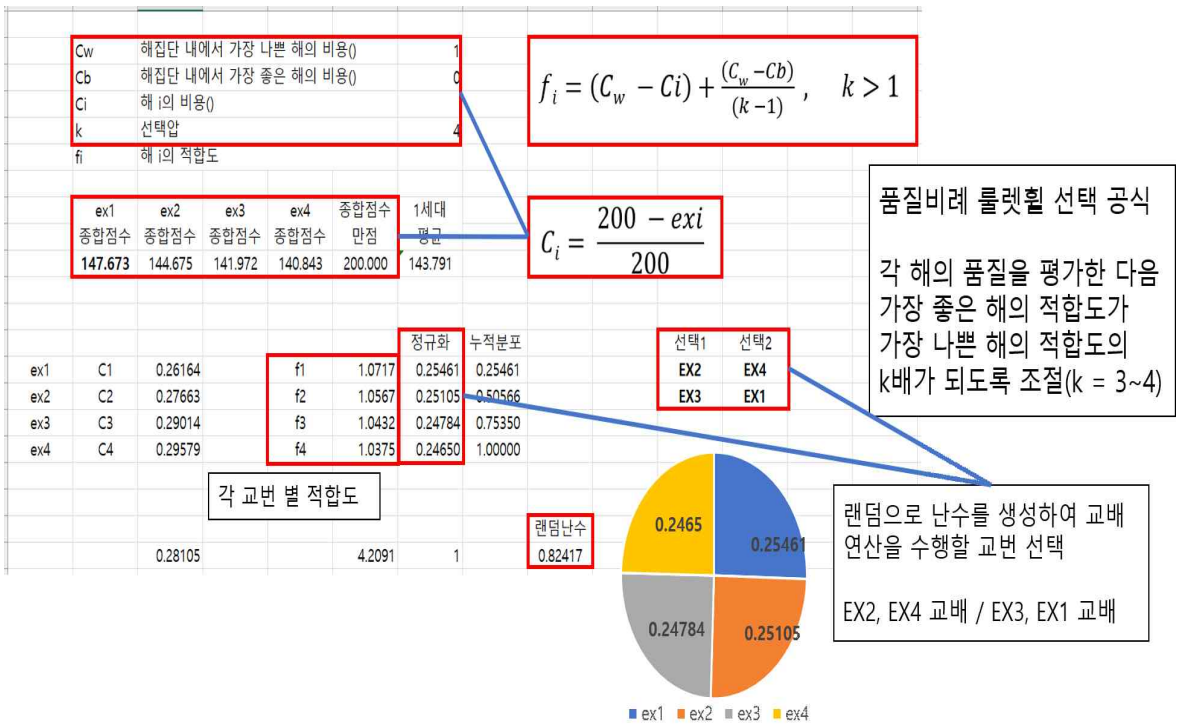
<그림 86 근무패턴 보정 과정>

- 보정과정을 거친 최종 근무패턴에 할당된 승무다이아를 랜덤하게 배치하여 승무교번 초기해를 생성하며, 승무교번의 유전알고리즘 적용을 위해 승무다이아 할당 과정에서 주간-주간, 주간-야간, 야간-야간 근무 사이에 할당되는 휴양시간과 한 달 동안 분배된 모든 승무다이아 사업시간의 총합에 가중치를 부여함



<그림 87 광주승무센터 4월 기장 승무교번 초기해 생성>

- 부여된 가중치를 통해 선택연산을 수행할 수 있으며, 연구에서는 룰렛 휠 선택연산을 통해 교배연산을 수행할 해들을 선택함. 상세 과정은 아래와 같음



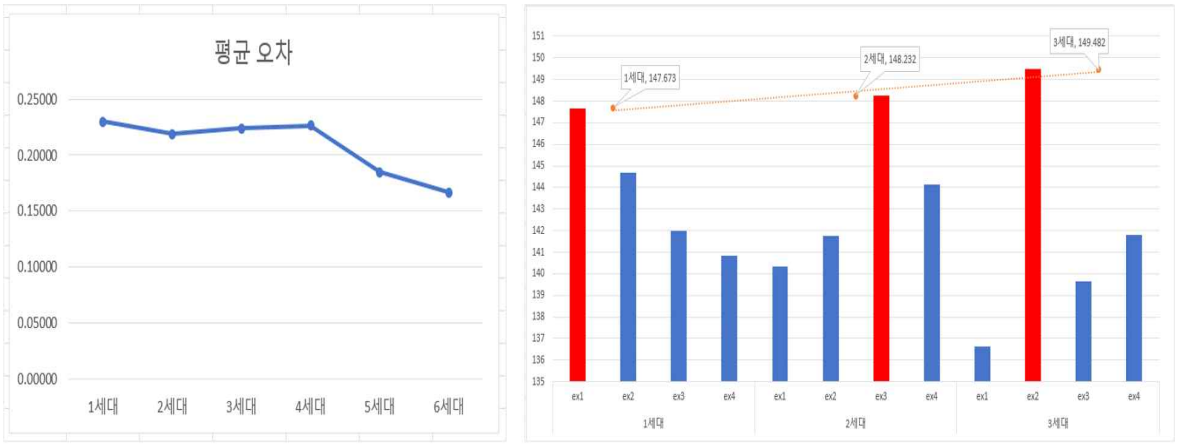
<그림 88 교번 생성 과정 선택연산 – 품질 비례 룰렛 휠>

- 선택연산 수행 후 선택된 부모해들을 교차하여 자식해를 생성함. 교차연산에는 일점교배, 다점교배, 사이클교차 등 다양한 방법이 있으며, 해당연구에서는 한 달 이라는 기간 동안 승무원들이 할당받은 승무다이아들의 다양한 조합을 고려하기 위해 균등교차 방법을 적용하였으며, 아래와 같은 과정을 통해 교차연산이 진행됨



<그림 89 교번 생성 과정 교차연산 – 균등교차>

- 균등교차의 과정은 교차연산을 수행할 초기해의 모든 날짜에 (0 ~ 1] 사이의 난수를 발생시켜 임계점을 설정 후, 임계점 미만의 날짜들에 대해 서로 교차를 수행함
- 변이연산의 과정은 교차연산을 수행하여 생성된 다음세대 자식해1, 2의 모든 날짜에 (0 ~ 1] 사이의 난수를 발생시켜 변이 임계값(0.015) 미만의 값들을 서로 치환하는 방법을 적용하여 동일한 날짜 간 치환을 수행했으며, 해당 일에 수행되어야 하는 승무다이아의 개수와 패턴을 그대로 유지할 수 있도록 함
- 승무교번 생성 과정에서 최적화 알고리즘을 적용해본 결과 근무패턴 보정과정에서 기본 6일 주기 패턴에 미할당 다이아의 방지와 승무원의 월별·분기별, 전 월 근무사항을 체크하여 보정을 수행한 결과 평균 오차율이 감소하는 것을 확인할 수 있었음



세대 별 근무 패턴 오차 그래프

세대 별 교번 적합도 점수 그래프

<그림 90 최적화 알고리즘 적용에 따른 오차 및 적합도 그래프 변화 추이>

- 또한 미할당 다이아가 발생하지 않도록 보정된 근무패턴에 승무다이아를 할당하고, 이를 유전 알고리즘을 통해 최적화를 수행한 결과 세대가 증가할수록 휴양시간과 사업시간의 가중치 점수가 증가함을 확인할 수 있었음
- 이를 통해 최적화 알고리즘을 적용하여 반복 수행 시 승무원들이 다이아를 할당받을 때 전체 사업시간이 제한 범위를 초과하지 않는 내에서 충분한 휴양시간을 보장받을 수 있음을 확인할 수 있음

(4) 테스트베드를 통한 실용화 검증

(가) 핵심성과 개요

수행기관	㈜에스알
정 의	Test-Bed 시행을 통한 보완점 발굴 및 소프트웨어 성능(품질)평가
사용주체	-
핵심성과 개요	■ **테스트베드 수행체계 수립** • 시스템 현장 적용성 및 완성도 제고를 위한 테스트베드 수행계획 수립 ■ **테스트베드 수행을 통한 실용화 검증** • 열차다이아 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 • 열차성능시뮬레이션(TPS) 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 • 차량운영계획 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 • 승무운영계획 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 • 선로용량 산정 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 • 통계/분석 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증
핵심연구 성과	■ **테스트베드 수행체계 수립** • 연구개발 일정에 따른 열차운행계획 시스템 테스트 일정 및 방안 등 테스트베드 수행 계획 수립 • SRT 개통 후 지금까지 변경된 열차운행계획 시나리오化 및 기본·특별·조정계획 순차테스트 시행방안 마련 • 특별 대수송 기간에 대한 별도 시나리오 설정 및 특정기간 독립적인 열차운행계획 반영 방안 마련 ■ **테스트베드 수행을 통한 실용화 검증** • 열차다이아 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 - 시스템 사용 및 기본계획 생성 前 제반 시스템 확인·검토, 입력된 기초데이터 편집 가능여부 점검 - 기본·특별(중련편성)·조정 열차운행계획 생성을 통한 Data 입력, 업로드, 수정 입력 기능 및 적용여부 점검 ■ 열차성능시뮬레이션(TPS) 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 - 선형데이터·정거장데이터·공통정보 차량제원 데이터 입력기능 검증 - 운전선도 조건설정 각 기능(운전조건, 통합정보, 차량옵션, 정차역 등) 및 열차성능 시뮬레이션 기능 검증 ■ 차량운영계획 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 - 열차다이아 모듈에서 작성된 열차운영스케줄 데이터 및 입력된 전제조건 정합성 점검 - 차량다이아 기본조건, 차량운용계획 입력에 따른 적용여부 점검 ■ 승무운영계획 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 - 사업다이아 작성 시 기준사항 일치 여부 및 기능별 데이터 정합성 점검 - 프로그램을 활용한 사업다이아 실효성 및 旣 대비 작업 편의성 확인 ■ 선로용량 산정 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 - 선로용량 산정구간, 시뮬레이션 기초데이터 생성 기능 검증 - 구간별 선로용량 산정, 선로용량 시뮬레이션 결과 점검 ■ 통계/분석 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증 - 열차운행계획 분석(열차패턴별 열차운행계획, 대안별 열차운행정보) 기능 검증 - 열차성능시뮬레이션 결과 분석 및 절연구간 설정위치 적정성 검토 기능 검증

(나) 핵심연구 성과내용

1) 열차운행계획시스템 현장 활용사례 조사

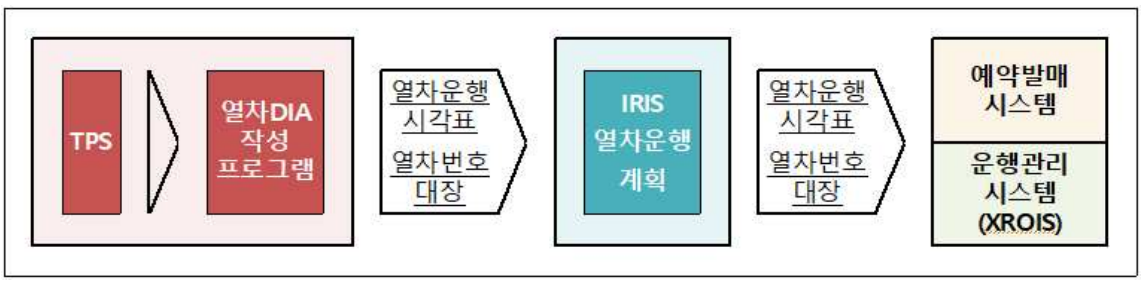
[추가성과] 열차계획 수립 프로세스 및 시스템 현황 조사

① 열차운행계획 수립 절차 및 시스템 현황 조사(코레일)

■ 열차운행계획 수립 절차

- 열차운행횟수 결정
  - 로드 펙터(Lord Factor)의 수송수요에 대한 노선별 재차율을 적용하여 열차별 재차수요 배분을 통해 열차운행횟수 산정
    * (노선별 재차율) 경부선 약 80%, 호남선 약 70%, 원강선 약 60%
- 열차간격(시격)
  - 시발역 기준 시간대별 수송수요에 따른 열차 출발간격 조정
- 중간 정차역
  - 역별 수송수요에 따라 전열차 정차역 설정
- 열차운행다이어그램 전개
  - 역간 표준운전시분을 적용하여 TOPS 시스템으로 전열차운행 DIA 전개
    * (TOPS : Train Operation Planning System) 열차DIA 작성을 위한 시스템으로 '14년도 국가 R&D 지원을 통해 개발 완료하여 사용 중
  - 중간역별 신호·배선 등 열차취급 조건에 따른 열차 간 경합 조정
    * 정차역 변경, 역간 운전시분 및 정차시분 등
- 최종 열차운행다이어그램, 열차운행시각표, 열차번호대장 생성

■ 열차운행계획 시스템



<그림 91 코레일 열차다이아 기능 운용현황>

- (TOPS) 열차 생성 및 열차운행다이어그램 전개와 경합조정
- (IRIS) 열차운행계획(안) 관리 및 열차운행시각표 등의 열차운행DB를 예약발매시스템과 운행 관리시스템(XROIS)으로 전송
- (산출 데이터) 열차운행시각표 및 열차번호대장

■ 실무자 인터뷰

- 열차계획 시스템 정보처리가 타부서(IT운영센터)에 의해 수행되어 TOPS→IRIS 열차운행계획 정보 전송에 소정의 절차가 불편

> ☞ [시사점] 열차계획 산출정보를 다른 시스템 모듈로 전송할 때 절차를 간소화하여 연계 업무 효율성 증진 필요

- 열차운행DIA 편집기능을 사용자 관점에서 편리하게 구성하고 그래프 구현속도를 향상할 수 있는 그래픽 지원

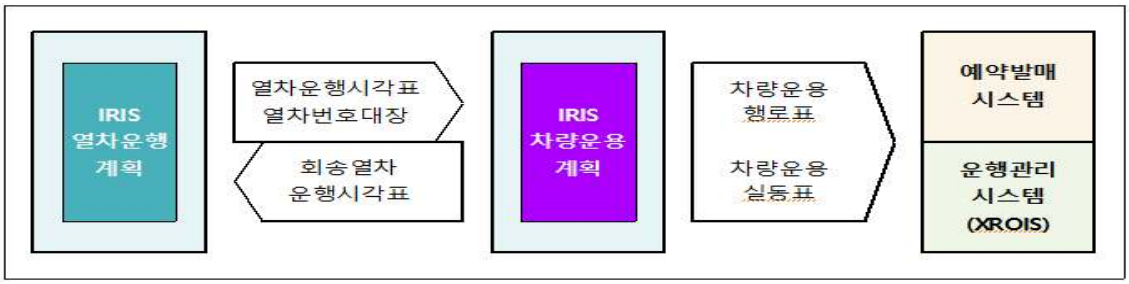
> ☞ [시사점] CAD 등의 소프트웨어 탑재를 통해 신속한 작업환경 제공 및 규격에 맞는 열차운행DIA 출력으로 시인성 개선

② 차량운영계획 수립 절차 및 시스템 현황 조사(코레일)

■ 차량운용계획 수립 절차

- 열차운행계획 반영 차량운용계획 수립
  - 열차운행횟수에 대한 차량 소요량 산정 및 관계부서(차량) 협의를 통한 운용 편성수 결정
  - 효율성을 고려한 차량운용방안 검토를 통하여 기본 차량운용계획 수립
    * 차량운용행로표 및 차량운용실동표 작성
- 주요역 차량 유치·정비계획 및 입환계획 검토
  - 시종착역(조성역 포함) 급수·예열 등 시설물과 청소시설 및 인부배치 여부 분석을 통하여 차량 유치계획 검토
    * (시종착역) 서울·부산·동대구·대전·광주송정·목표·여수엑스포·진주·포항 등
  - 차량기지 정비용량 및 차량별 정비주기 등 유지보수 조건 검토
- 대수송계획 수립
  - 설·추석·휴가철 등 대수송을 위한 추가 운용 편성수 협의(차량)
  - 임시열차 추가 투입 및 중련열차 운행에 대한 차량운용 검토
  - 정기열차의 반복운용에 대한 검토

■ 차량운영계획 시스템



<그림 92 코레일 차량운영계획 기능 운용현황>

- 차량운용DIA 작성 및 편집, 순서지정을 통해 실행 차량운용 결정
- IRIS 차량운용계획 시스템
  - 계획 구분은 기본・변경・임시계획으로 열차운행계획과 동일
    * (기본) 정기열차 기본계획 * (변경) 명절 대수송계획
    * (임시) 임시열차 등 기본계획을 바꾸는 계획
- 복수안 작성 시뮬레이션을 통한 최적(안) 도출
  - 개정면 지정 화면에서 한 열차운행계획에 대한 다수의 개정생성 가능
  - 각각의 개정마다 다양한 방법으로 차량운용행로표 및 실동표 작성
- 회송열차 운행시각표 생성 → 열차운행계획시스템으로 역전송 반영
- 차량운용행로표 및 차량운용실동표를 생성하여 승무계획・예약발매・운행관리 시스템으로 정보 연계

■ 실무자 인터뷰
- 생성한 회송열차가 열차운행계획 시스템으로 역전송 된 이후에는 열차운행계획 시스템에서만 수정 가능

> ☞ [시사점] 차량운용계획 실무자가 불필요한 타업무 시스템 접속을 하지 않도록 차량운용계획 시스템에도 회송열차 시각표 수정기능 부여

- 열차번호대장 → 차량운용행로표로 변환하는 차량운용DIA 편집기의 시인성이 부족하여 개인 수작업 후 시스템 업로드

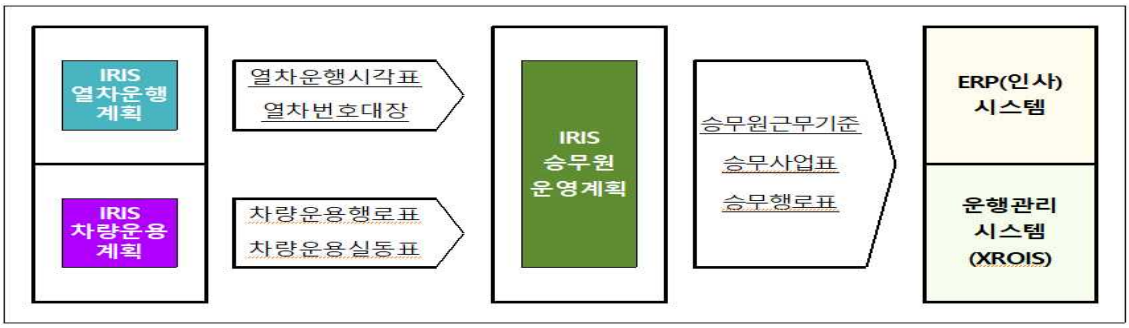
> ☞ [시사점] 차량운용DIA 편집기에서 열차번호대장과 차량행로표를 동시에 확인하며 손쉽게 작성할 수 있도록 사용자 관점에서 시인성 개선

③ 승무운영계획 수립 절차 및 시스템 현황 조사(코레일)

■ 승무운영계획 수립 절차
- 승무원운영계획 작성을 위한 승무사업소(센터) 특성 및 사업시간, 승무원 근무기준 등 승무 사업 제약조건 결정(인사정책 및 노조협의)
- 1일 운행하는 모든 열차에 대하여 승무사업표 작성
  - 열차운행계획의 열차운행시각표 및 열차번호대장에 차량운용행로표를 결합하여 모든 열차에 승무원 매칭이 가능하도록 승무행로표 작성
- 승무사업소별 승무사업 배정
  - 승무사업소별 담당구간 및 승무교대 가능역과 교대역을 반영하여 승무사업표를 지역본부와 승무사업소별로 배분

- 지역본부와 승무사업소로 할당한 승무사업들을 승무원 개인별로 배분하여 1개월 또는 3개월 분량의 개인 계획교번표 작성

■ 승무운영계획 시스템



<그림 93 코레일 승무운영계획 기능 운용현황>

- 승무원운영계획 수립을 위한 기준정보 관리, 기본·변경·임시 승무원운용계획 메뉴를 통해 승무사업표 작성
- IRIS 승무원운영계획 시스템
  - 계획 구분은 기본·변경·임시계획으로 열차운행계획, 차량운용계획과 동일
    * (기본) 정기열차 기본계획 * (변경) 명절 대수송계획
    * (임시) 임시열차 등 기본계획을 바꾸는 계획
- 승무사업 작성의 원칙이 되는 승무원 기준정보 관리
  - 승무사업소특성 관리 메뉴를 통해 소속별 담당구간, 시발 및 교대 가능역, 인원정보, 출퇴근시각 관리
  - 반복유형 관리 메뉴를 통해 승조구성 유형, 인원차종별 시간보정, 승무원 구성정보 관리
  - 교대정보 관리 메뉴를 통해 열차종별 직통승무 지정, 승무교대역, 열차종별 교대역, 동력차 구내 유치역 관리
  - 사업시간 관리 메뉴를 통해 승무원 기준시각, 준비정리시간, 감시시간 관리
  - 승무원 제약조건 관리 메뉴를 통해 사업다이아와 계획교번 제약조건 관리
- 복수안 작성 시뮬레이션을 통한 최적(안) 도출 및 가승인 검토
- 기본 승무사업계획에 소속별 배분 및 통계자료 제공
- 열차운행계획 및 차량운용계획 가승인 상태에서도 승무원운용계획 시스템에서 기본 승무원운용계획 작성

■ 실무자 인터뷰

- 승무원 기준정보가 노동 관련법 및 노사 단체협약에 의해 결정되는 부분이 많은 만큼 변동성 크지만 시스템에 반영되지 못하는 변경사항 발생 시 실무자에 의해 통제(예:주

52시간 근무제)

> ☞ [시사점] 승무원 기준정보에 노동 관련법과 노사 단체협약에 의한 제약사항을 무제한 설정 및 변경할 수 있도록 개발

- 승무원운용계획 작성화면에서 승무사업 통계정보를 바로 확인이 불가능하여 계획수립 작업의 적정성과 효율성 감시 어려움

> ☞ [시사점] 승무사업 작성화면에 해당 승무사업의 통계정보 동시 표출, 작업자가 수행중인 계획수립 작업의 효율성과 적정성 확인 지원

- 사업소별 배분 후 지역본부 및 현업소속에서 개인별 계획교번 작성

> ☞ [시사점] 철도운영사 중 유일하게 지역본부를 운영하는 코레일 특성에 따라 개인별 계획교번 작성을 본사에서 수행하지 않지만, 상용화 시스템은 본사·현업 구분 없이 인가된 자에 의해 작업수행이 가능해야 함

2) 성능 및 신뢰성 검증을 위한 테스트베드 수행계획 수립

[핵심성과] F-2 Test-Bed 수행계획서

① 기본 방향

- 단위 모듈별 단계적 개발에 따라 순차적 현장실증을 통한 실용성 검증 및 성능 개선
- 고속간선(SRT)철도와 광역(GTX)철도의 통합 열차운행계획 수립 테스트로 광역철도 범용성 확보
- 실무 담당자와 소프트웨어 개발자가 동일 공간 상주 테스트하여 보완사항에 대해 신속한 조치와 충분한 소통으로 사용자 관점의 상용성 향상

② 테스트 일정계획

<표 74 테스트베드 수행계획 일정표>

구분	2019년(2차년도)								2020년(3차년도)											
	2	~	6	~	9	~	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
열차 다이아	TEST																			
TPS					시험준비				TEST											
차량 계획							시험준비				TEST									
승무 계획									시험준비				TEST							
선로 용량											시험준비					TEST				
통계 분석														시험준비				TEST		

③ 테스트베드 수행 방안

- (테스트 일지 작성) 구체적인 테스트 내용과 보완사항에 대한 개발사의 조치계획 및 조치결과 확인 상태 기록
- 주요 시스템 개발 여건 고려 테스트 담당자가 개발사로 정례 방문하여 실사용 테스트
- (SRT 열차운행계획) 개통 이후 현재까지의 SRT 열차운행계획(안) 변경내용을 시나리오화 하여 기본·특별·조정계획 수립 순차 테스트
- 실무 담당자의 구체적인 테스트 내용에 대하여 개발사의 신속한 조치계획과 조치결과 확인
  - 시행일 구체적인 테스트 시행내역과 결과 및 오류와 보완 요청사항 기록
  - 보완 요청사항에 대한 개발 담당자의 상세한 조치계획·의견 및 기한 기술
  - 테스트 담당자가 해당 오류·보완 요청사항에 대한 재 테스트를 통한 개선 검증 완료

열차운행계획 단위시험 일지

테스트 실무 책임자 : 000 (서명)

수정보완 실무 책임자 : 000 (서명)

단위시험 내용

o 기본계획 입력 및 시각표 생성

o 임시열차 생성

o ooooo oooo oo ooo oooo

o oo ooooo oo oo ooooo

보완 요구사항 (테스트 담당자)	조치의견/계획 (보완 담당자)	조치완료일	조치확인
기본계획 입력 시 복사기능 추가	복사기능 추가	2019. 01. 20.	2019. 02. 06.
임시열차 생성 시 DIA 작성 불능	DIA DRAW 기능 점검, 반영	2019. 02. 03.	2019. 02. 06.
ooo oo oo oooo	ooo oo oo oooo	2019. 00. 00.	2019. 00. 00.
oooo ooo oo oo	oooo ooo oo oo	2019. 00. 00.	2019. 00. 00.
ooo oo oo ooo oo	ooo oo oooo oo	2019. 00. 00.	2019. 00. 00.
ooo oooo oooo	ooo oooo oooo	2019. 00. 00.	2019. 00. 00.

<그림 94 테스트 일지 작성예시>

3) 테스트베드 수행을 통한 실용화 검증

[핵심성과] F-3,4 성능평가 및 Test-Bed 결과보고서

① 열차다이아 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증

- 시스템 사용 및 기본계획 생성 前 제반 시스템 확인·검토

보완(요청) 사항	조치계획
○ 계획안 진행상태에 대한 보완 - 현재일자 기준으로 현행화 - 종료일자 이후는 '종료'처리	○ 계획안 진행상태 처리 보완 - 현재일 기준으로 '현행'처리 - 종료일자 이후는 '종료'처리
○ 요일별 열차계획 작성 처리필요	○ 요일별 열차운행이 다른 경우 요일별 열차시각표 생성할 수 있게 처리
○ 실제 실행할 열차운행계획과 검토용(실습용)계획의 메뉴 분리	○ 운행계획과 검토계획의 메뉴를 별도로 분리하여 구성하되, 상호간 복사하여 작성할 수 있는 기능 추가

• 기초데이터 입력 및 기본 열차운행계획 생성 여부 확인

보완(요청) 사항	조치계획
○ 역간거리 수정 시 누계거리가 연동 자동 산정 될 수 있도록 개선	○ 역정보 관리 화면에서 역간거리 또는 누계거리 수정시 이후역에 대한 자동산정 처리
○ 표준운전시분 입력 후 저장 시 '저장 여부 확인' 및 "저장 완료"를 알리는 팝업창 현시	○ 표준운전시분 입력 후 저장 시 '저장 여부 확인' 및 " 저장 완료"를 알림 메시지 처리
○ 표준운전시분 관리의 노선을 '노선 및 역정보'로부터 연계 사용	○ 최초 조회시 노선 및 역정보의 데이터로 부터 생성 할 수 있도록 처리
○ 시간 또는 시각 입력 시 숫자만 입력하면 자동 표시 양식으로 전환 예) '001530' 입력 시 '00:15:30'으로 자동 전환	○ 시각입력 할 경우 숫자만 입력하면 해당 포맷으로 전환 될수 있도록 처리
○ 노선 및 역정보에서 역정보 누계거리 입력 저장하면 선정보의 총연장 자동 수정되도록 개선 예) SRT경부고속선 역간거리 입력에 따른 누계거리 399.9 저장하면 선정보의 총연장이 자동으로 399.9로 변경	○ 역간거리 변경시 누계거리 자동으로 합산 처리 되도록 변경
○ 열차복사시 다른 계획번호에서 복사가능하고, 여러개 열차 선택하여 복사할 수 있게 구성	

• 기본・특별(중련편성)・조정계획 등 Data 입력 및 적용여부 확인

보완(요청) 사항	조치계획
○ 열차번호대장 수기 입력 시 시발역.종착역 콤보와 함께 자판으로 입력기능 추가	○콤보박스 추가 및 콤보 박스 내 한글 검색 기능 개선
○ 열차운행DIA Draw에서 다이아 설정 시 선명 콤보 클릭 메뉴가 노선 및 역정보와 다르게 표출	○노선명 표기 오류 수정
○ 열차운행DIA EDIT 열차운행 편집 팝업창에서 하단 표준운전시분 미표출	○표준운전시분 과 편집화면 내 역명과 연동 처리
○ 열차운행DIA EDIT 열차운행 편집 팝업창에서 정차패턴 변경 시 표준운전시분에 의한 도착/정차/출발시각 자동 변경 개선	○ 정치패턴 변경시 정차시분 '1분30초' 처리
○ 열차운행DIA EDIT 열차운행 편집 팝업창에서 정차사유를 콤보 처리하여 선택할 수 있도록 개선(시발/통과/여객승하차/운전정리/종착 등)	○정차사유 콤보 처리
○ 열차운행DIA EDIT 열차운행 편집 팝업창 '번호' 입력창을 '검색'으로 변경 (여러개 열차 선택기능 삭제)	○글자 변경 및 다중선택 기능 삭제
○ 열차운행DIA Draw 시 일반선 구간은 표출되지 않도록 삭제 개선 예) 동대구~구포~부산 열차가 동대구~부산까지 일직선으로 표출됨	○경부선, 호남선등 선정보 입력
○ 조정계획 다이아는 기본계획 차수에 종속되며, 해당일자에 따라 기본/특별 계획에 종속되어 작도	○선택한 조정계획에 차수 + 선택한 일자에 맞게 조회 및 작도

② 열차성능시뮬레이션(TPS) 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증

• 선형데이터(곡선, 기울기, 터널, 교량, 고가 등) 자료 입력화면 점검・확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 선형데이터 자료 입력화면 기능 평가 - 곡선, 기울기, 터널, 교량, 고가, 건널목, 건널선데이터 자료 입력, 수정, 삭제, 조회 기능 정상 작동됨	○ 기능은 정상 작동되나 일부 자료 수정 및 공통 기능 중 station처리 보완 요함
○ 공통 적용(기능 추가 및 보완) - station(위치키로정) 증가처리 필요 - 특정대안에서 일부구간 복사시 station 처리 가능하게	○ 프로그램 수정 - 특정대안 일부구간 복사후 station처리는 프로그램 기능 및 필요성 검투 후 반영
○ 곡선데이터(자료 보완) - 원곡선만 있는 곡선데이터 입력화면 엑셀출력하면 null 값으로 인식됨	○ 원곡선만 있는 경우 완화곡선 시종값을 null값이 아닌 공란값으로 수정 반영
○ 건널선데이터(자료 보완) - 건널선데이터 편개 양개 미입력 데이터 보완 요함	○ 건널선 데이터 수집하여 반영

• 정거장 데이터(역정보, 분기기, 역 통과속도 등) 자료 입력화면 점검・확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 역명별 하행거리누계, 상행거리누계, 하행정차위치, 상행정차위치 자료관리 기능 점검 및 각 항목별 위치 확인, 주요역, 간이역, 하행표기, 상행표기 지정 후 적용상태 점검결과 모든 기능 정상작동	○ 모든 기능 정상작동으로 조치계획 없음
○ 분기기 자료 관리기능 점검 및 자료 확인결과 모든 기능 정상작동(분기기 자료는 운전선도에 직접 영향이 없음)	○ 모든 기능 정상작동으로 조치계획 없음
○ 역 통과속도 자료 관리기능 점검 및 자료 확인결과 모든 기능 정상작동	○ 현재 기능 정상작동으로 조치계획 없음 ※ 역통과속도 입력자료가 포인트로 지정되어 제한속도 적용 곤란하며, 통과속도를 특수구간 제한속도와 같이 구간으로 지정 필요(추가 검토 후 반영여부 결정 후 조치)
○ 신호설비데이터 자료 관리기능 점검 및 자료 확인결과 모든기능 정상작동	○ 모든 기능 정상작동으로 조치계획 없음
○ 전철설비데이터 자료 관리기능 점검 및 자료 확인결과 모든기능 정상작동	○ 모든 기능 정상작동으로 조치계획 없음

• 공통정보 차량제원데이터(동력차, 객차, 화차) 자료 입력화면 점검・확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 동력차 차량정보 제원, 견인력, 제동력, 출발저항상수, 주행저항상수, 점착계수, 주행저항산식 입력화면 자료관리 기능 점검 및 각 항목별 위치 확인 결과 자료관리 화면 기능은 정상작동하나 일부항목 용어 수정과 동력차 제동력 관리화면 추가 필요함	○ 동력차 제원화면 차장률_영차, 차장률_공차를 차중률_영차, 차중률_공차로 수정 요함 ○ 현재 존재하지 않는(폐차) 동력차 자료 정리 필요 ○ 동력차 제동력 별도 화면 추가 필요
○ 객차 및 화차 차량정보 제원, 출발저항상수, 주행저항상수 자료 관리기능 점검 및 자료 확인결과 모든 기능 정상작동	○ 모든 기능 정상작동으로 조치계획 없음

○ 하기울기 제한속도 설정화면 자료 관리기능 점검 및 자료 확인 결과 모든 기능 정상 작동되나 제한속도 열차종류 중 기타열차 항목 추가 필요	○ 제한속도 열차종류 중 기타열차 항목 추가는 필요성 검토 후 조치 ※ 회의결과 기타열차 필요하여 화면 추가 결정(객차, 화차, 제한없음을 제외한 특별제한속도를 제한할 경우 필요함)
○ 코드관리 화면 자료 관리기능 점검 결과 모든기능 정상작동	○ 모든 기능 정상작동으로 조치계획 없음

- 운전선도 조건설정 각 기능(운전조건, 통합정보, 차량옵션, 정차역 등) 화면 점검・확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 운전선도 조건설정의 운전조건 화면 기능점검 결과 모든 기능은 정상작동하나 일부 용어 변경 필요	○ 운전조건 화면 중 열차 선택을 동력차 선택, 열차종류를 객차 종류로 변경 요함 ○ 하기울기 선택 : 3가지 유형을 ⇒ 4가지 유형으로 확대(기타 추가)
○ 운전선도 조건설정의 통합정보 조회 화면 자료 관리기능 점검 및 자료 확인결과 모든 기능 정상작동	○ 모든 기능 정상작동으로 조치계획 없음
○ 운전선도 조건설정의 차량옵션 화면 기능 및 용어 , 적용 기능 정확히 작동하는지 점검결과 모든 기능은 정상작동하나 주행저항 선택화면 아래 선택대상 설명 방법 변경 요함	○ 주행저항 선택화면 수정 : 「a,b,c」, 「계산식」 선택대상 설명 방법 변경(선택하면 화면 아래쪽에 적용 대상 제공)
○ 운전선도 조건설정의 정차역 설정 화면 기능 및 용어, 적용기능 정확히 작동하는지 점검결과 모든기능 정상작동	○ 모든 기능 정상작동으로 조치계획 없음
○ 운전선도 조건설정의 제동옵션 화면 기능 및 용어, 적용기능 정확히 작동하는지 점검결과 모든기능 정상작동하나 제동력 및 감속도 선택시 일부기능 수정요함	○ 제동옵션 화면의 기능 중 제동력 선택시 감속도로만 작동되는 차량은 "제동력 자료 없음" 메시지 제공하고, 감속도 선택시 감속도 데이터를 공통자료 관리기능에서 별도로 관리
○ 운전선도 조건설정의 표준시분 화면 기능 및 용어, 적용기능 정확히 작동하는지 점검결과 모든기능 정상작동하나 표준시분 표현방법 변경(추가) 요함	○ 표준시분 화면의 표준운전시분 표현방법 추가 제공[현재 시:분:초 제공을 시:분.초(초단위 100분율)로도 표현 가능하게 기능 추가]

③ 차량운영계획 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증

- 열차운행계획(열차다이아) 모듈에서 작성된 열차운영스케줄 데이터 정합성 점검

보완(요청) 사항	조치계획
○ 운행계획 데이터 입력화면 기능 평가 - 열차번호, 시발·종착역 설정, 운행시각 등에 관한 자료 입력, 수정, 삭제, 조회 기능 정상 작동됨	○ 기능은 정상 작동되나 일부 자료 수정방식에 관한 기능 보완 요청
○ 운행거리 오류사항에 관한 수정요청	○ 노선별 운행거리 오류사항 정정
○ 거점별 운용편성 구분 기능 - 수서·부산·광주권역 분리표시	○ 사용자 인지강화를 위한 분리표시 - 거점별 구분색상 부여

○ 거점별 영업개시·종료편성 입력기능 - ex) 수서 출 11, 수서 착 11개 편성	○ 프로그램 수정 - 거점별 운용편성 설정기능 추가

- 기초데이터 확인 및 점검

보완(요청) 사항	조치계획
○ 차량 DIA 수정 시, 열차별 운행거리 누계거리가 자동 산정되도록 수정	○ 열차정보 관리에서 운행노선·열차별 운행거리 또는 편성 누계거리 자동산정 처리
○ 노선 및 역정보에서 역정보 누계거리 입력 저장하면 선정보의 총연장 자동 수정되도록 개선	○ 역간거리 변경시 누계거리 자동으로 합산처리 되도록 변경
○ 시간 또는 시각 입력 시 숫자만 입력 하면 자동 표시 양식으로 전환	○ 시각입력 할 경우 숫자만 입력하면 해당 포맷으로 전환 될 수 있도록 처리
○ 운행거리 오류사항에 관한 수정요청	○ 노선별 운행거리 오류사항 정정

- 차량다이아의 기본조건 적용여부 확인

보완(요청) 사항	조치계획
○ 일자별 운용가능 편성 수 입력, 차량 다이아 생성 시 입력조건에 대한 정합성 검증 기능 추가	○ 일자별 운용조건에 부합하지 않는 차량 DIA, 순서표 생성 시 안내메시지 표출
○ 기본, 변경계획 등 별도관리	○ 기본, 변경계획 별도 관리
○ 대안별 비교분석 자료 제시 시, 투입 노션별 구분 필요	○ 투입노선 구분에 따른 데이터 분석자료 제시

④ 승무운영계획 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증

- 사업다이아 작성 시 기준사항 일치 여부 확인

보완(요청) 사항	조치계획
○ 출근/퇴근시간의 최대, 최소값 설정 필요 - 출근 설정 시간 이전 열차는 타소 승무원(타소에서 와서 체박한 승무원)이 소화하도록 다이아 구성 필요	○ 출/퇴근시간의 최대 최소값 설정 기능 추가 - 출퇴근은 대중교통을 이용 가능한 시간대로 작성
○ 왕/복 승무 열차 간 휴게시간 및 승계대기시간 설정 필요 - 사업 최소 휴계시간 부여 - 다이아 내 각 열차 종료 시 대기시간	○ 유휴시간(편승, 대기, 감시 등)은 가능한 최소로 설정 ○ 하나의 승무다이아는 반드시 근무규정에 따른 휴게시간 배정
○ 구속시간의 최소, 최대값 설정기능 추가 요청 - 구속시간은 최소 8시간에서 최대 16시간으로 설정(변경 가능)	○ 승무다이아의 총 사업시간은 1근무 최소사업시간 이상, 1근무최대 사업시가 이하 설정하고 임의로 지정할 수 있도록 변경
○ 다이아 작성 시 해당 승무센터의 승무담당 구간 설정 기능 - 수서승무센터(경부선,호남선), 부산승무센터(경부선), 광주승무센터(호남선)	○ [열차생성] 상하행 열차를 구분하여 화면에 열차번호별로 화면에 생성하고 수서사업소는 전체 열차를 대상, 광주/부산사업소는 해당 열차만 화면에 표시되도록 수정

- 프로그램을 활용한 사업다이아 실효성 및 旣 대비 작업 편의성 확인

보완(요청) 사항	조치계획
○ 출발/도착지 입환이 발생하는 열차의 경우 입환/감시 시간 자동부여 기능 필요	○ 선행열차와 후속열차의 경우 회차와 승무교대와 같은 최소한의 감시시간이 고려되도록 설정
○ 기본 사업다이아 이외 요일별 사업 작성 필요 - 입환사업 중 차량운용에 따른 요일별 입출고 열차를 반영한 요일별 사업 작성 기능 필요	○ [승무다이아 작성] 열차선택 화면에서 해당 열차를 선택하고 승무다이아 생성화면으로 선택을 통하여 해당 위치로 이동하여 승무사업의 열차승무를 작성
○ 호남선 사업의 구간분리 가능 필요 - 수서-광주송정, 광주송정-목포 등 한 열차의 승무구간의 분리기능 필요	○ [구간편집] 해당 열차에 대해 승무사업의 분할이 필요한 경우 해당 열차를 선택하고 구간편집을 통하여 해당열차의 운행구간을 분할 할 수 있는 기능 활성화

- 각 기능별(승무근무표, 기준정보, 제약조건 등) 데이터 정합성 점검・확인

보완(요청) 사항	조치계획
○ 기본 승무근무표 장성 자동화 - 소정의 근무순서에 대해 사업간 휴양시간을 고려하여 기본계획 자동작성 보완요청	○ 승무근무표 수작업 전 승무사업 다아이아 지정에 따른 다이아의 소정의 순서 작성 기능 추가(휴양시간 13~15시간 고려)
○ 1주 휴일 수 체크 기능 및 사업간 휴양시간 체크 가능하도록 보완 요청	○ [제약조건 체크] 승무원 근무 할당 시 근무제약조건(주52시간/월간근무시간/휴양시간 확보)을 체크하여 위배 시 경고메세지 표출 가능 하도록 보완 예정
○ 교육, 승무지도, 견습 등 임시 다이아 추가 기능 보완 요청	○ [미할당 다이아 생성] 견습기장, 교육, 팀장 동승 등 다양한 운영 상 필요한 승무다이아를 추가로 작성하여 반영 가능하도록 미할당 다이아 생성기능 추가 예정
○ 개인 월별 승무사업 통계자료 표출 요청	○ [통계정보표기] 개인별 승무다이아 수, 월 평균사업시간, 미할당 다이아 수 , 주행키로 등의 데이터 집계 후 화면 우측 상단 표출 예정

⑤ 선로용량 산정 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증

- 구간별 선로용량 산정구간 확인 및 표출 결과 확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 시작역/ 종료역 등록시 역명 입력 오류방지를 위해 역정보에 등록된 역명으로 정합성 Check 기능 필요	○ 신규 구간 입력시 해당 구간의 역명 입력시 역정보 Check하여 오류 입력시 메시지 처리
○ 기 작성된 구간에 대한 정보변경시 보완	○ 기 등록된 구간에 대한 시,종착역, 상하행 등 데이터 변경시 기존 작성된 선로용량 산정내역과 불일치가 존재 할 수 있어 변경시 주의 안내 메시지후 사용자 선택에 따라 재작성 할 수 있게 구성
○ 산정일자에 대한 데이터 구분 - 일부 구간에 대해 해당구간의 자료가 이중으로 표기됨	○ 해당 년도의 산정일자별 구간정보를 구분키 값으로 설정하여 화면에 표출

- 구간별 선로용량 산정 시뮬레이션 기초 데이터 생성 점검・확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 적용년도는 최근년도 순으로 정렬	○ 열차 시각표가 등록되어 있는 년도를 기준으로 최근년도 순으로 정렬
○ 시간대 설정을 피크타임으로 기본 설정필요	○ 해당 구간의 초기화면의 초기값을 오전7시~9시로 기본값으로 설정하고 사용자가 수정하여 반영 할 수 있도록 보완
○ 기 작성된 결과의 표출시 열차 배열군 데이터 순서 확인	○ 해당 구간의 시뮬레이션 작성시 열차배열에 대하여 저장된 순서대로 화면에 표출

- 선로용량 산정 시뮬레이션 정상작동 여부 점검・확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 기준열차 설정후 선택한 열차번호의 표출 요망	○ 기준열차로 설정된 열차번호에 대하여 기준 열차설정 버튼 우측에 표기함
○ 소요시간(주기)계산 결과의 소숫점 이하는 절삭처리(현재 반올림 처리됨)	○ 소요시간(주기)계산결과에 대하여 절삭처리 함
○ 평균시격은 소숫점 2자리 이하에서 절삭처리	○ 계산결과값에서 소숫점 2자리 이하 절삭처리 하여 화면에 표출함

- 선로용량 산정 시뮬레이션 결과에 따른 열차다이아 표출 점검

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 열차다이아 초기 표출시 전체(시뮬레이션 전/후)가 한 화면에 표출 될 수 있게 화면 크기 조정필요	○ 화면상단에 시뮬레이션 이전 다이아와 화면 하단에 시뮬레이션 이후 열차다이아를 표기 - 다이아간 간격 조정 처리 - 0시~24시 기준을 전체 화면 크기로 조정
○ 설정된 기준열차의 행로를 45도 기울기로 하여 전체 열차 표기	○ 기준열차의 운행거리 및 시간을 감안하여 다이아설정 비율을 조정하여 표기하고 나머지 열차를 표시함으로써 가독성을 높임
○ 다이아 확대/축소를 마우스를 활용하여 바로 조정할 수 있게 처리	○ 해당 다이아를 선택하고 휠 마우스 조정을 통하여 다이아 전체 비율을 조정 할 수 있게 기능 보완

⑥ 통계/분석 모듈 테스트 및 기능평가를 통한 검증

- 열차종별 정차패턴에 따른 운행시・분 데이터 정합성 확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 패턴추가시 표준시분의 상/하행에 따라 열차패턴 자동설정 처리필요	○ 차량종별 상/하행 선택에 따라 패턴 추가시 열차패턴관리에서 자동 설정되게 화면보완

○ 열차패턴 관리 부문의 열차간 시격설정을 초단위로 입력할 수 있게 구성	○ 열차별 패턴 등록시 선·후행 열차 간 시격을 초단위로 설정 할 수 있게 보완
○ 열차패턴별 정차역에 대한 정차시간을 초단위로 일괄적으로 적용하게 구성 필요	○ 정차시간을 기본 30초로 하여 수정하여 반영할 수 있도록 콤보박스로 처리

- 열차패턴별 자동 생성된 열차계획 데이터 정합성 확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 열차운행 방향을 사용자 선택적으로 조회할 수 있게 설정	○ 열차운행 방향에 대하여 상행/하행/전체로 구분하여 조회할 수 있게 하되 기본은 전체 열차로 설정
○ 정차사유를 기본적으로 사용자 선택에 따라 생성하여 설정	○ 열차패턴별 정차여부 설정 결과에 따라 정차사유를 자동 설정하고 수정할 수 있게 처리
○ 열차종별로 선택하여 조회 할 수 있게 설정	○ 생성된 열차계획에 대하여 열차종별로 조회조건을 추가하여 선택적으로 조회 할 수 있게 처리

- 대안별로 생성된 열차운행정보 저장 및 결과 점검・확인

평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 조건설정값에 사용자 선택에 따른 정차역 설정정보를 표출	○ 시뮬레이션 조건설정값의 저장시 사용자가 선택한 정차역 정보를 저장 및 콤보박스에 표출하여 확인 가능하도록 구성
○ 각 구간별 운행정보에서 운행시분에 대하여 여유율을 반영한 시분을 추가로 관리하여 표기요망	○ 시뮬레이션 결과에 대한여 여유율(%)을 용자가 설정하여 해당 운행시분에 여유율을 반영하여 관리
○ 각 구간별 표정속도란을 추가하여 관리할 수 있도록 보완필요	○ 산출된 결과값에서 각 구간별 운행시분과 정차시분을 포함한 값으로 운행거리로 나누어 표정속도를 산출하고 화면에 표기

- 위치별 열차성능 시뮬레이션 결과값 점검 및 표출데이터 확인

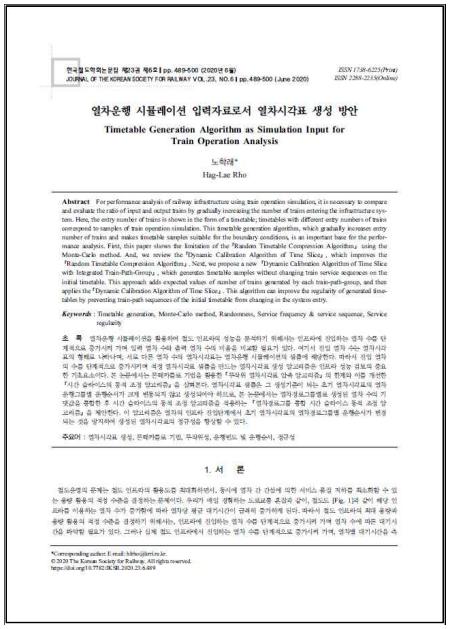
평가(보완요청) 사항	조치계획
○ 거리기준열 데이터 생성 및 확인에서 최소 10m 단위까지 설정하여 계산될 수 있도록 조치	○ 단위설정을 사용자가 입력하여 입력된 단위로 계산하여 표출
○ 거리 및 신호기 위치별로 구분하여 조회 할 수 있게 조치요망	○ 거리기준/신호기 위치기준을 사용자 선택에 따라 생성하고 조회 하게 화면 수정보완
○ 견인력/제동력 및 가속도/감속도 데이터의 운전곡선의 역행/타행/제동에 따라 표출 되어야 하면 데이터 확인 필요	○ 각 위치별 운전고선의 속도곡선에 따라 역행/타행/제공으로 구분하여 해당 지점의 견인/제동여부에 따라 결과값을 정확하게 표출하도록 처리

다. 연구개발 성과

(1) 국내·외 논문 게재

논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
열차운행 시뮬레이션 입력자료로서 열차시각표 생성 방안	한국철도학회논문집	노학래	제23권 제6호	대한민국	한국철도학회	비SCI	2020. 6.30	https://doi.org/10.7782/JKSR.2020.23.6.489

◦ 열차운행 시뮬레이션을 활용하여 철도 인프라의 성능을 분석하기 위해서는 인프라에 진입하는 열차 수를 단계적으로 증가시켜 가며 입력 열차 수와 출력 열차 수의 비율을 비교할 필요가 있다. 여기서 진입 열차 수는 열차시각표의 형태로 나타나며, 서로 다른 열차 수의 열차시각표는 열차운행 시뮬레이션의 샘플에 해당한다. 따라서 진입 열차의 수를 단계적으로 증가시키며 적정 열차시각표 샘플을 만드는 열차시각표 생성 알고리즘은 인프라 성능 검토의 중요한 기초요소이다. 본 논문에서는 몬테카를로 기법을 활용한『무작위 열차시각표 압축 알고리즘』의 한계와 이를 개선한『시간 슬라이스의 동적 조정 알고리즘』을 살펴본다. 열차시각표 샘플은 그 생성기준이 되는 초기 열차시각표의 열차운행그룹별 운행순서가 크게 변동되지 않고 생성되어야 하므로, 본 논문에서는 열차경로그룹별로 생성된 열차수의 기댓값을 통합한 후 시간 슬라이스의 동적 조정 알고리즘을 적용하는『열차경로그룹 통합 시간 슬라이스 동적 조정 알고리즘』을 제안한다. 이 알고리즘은 열차의 인프라 진입단계에서 초기 열차시각표의 열차경로그룹별 운행순서가 변경되는 것을 방지하여 생성된 열차시각표의 정규성을 향상할 수 있다.


한국철도학회논문집 제23권 제6호 pp. 489-500 (2020년 6월)
JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY FOR RAILWAY VOL. 23, NO. 6 pp. 489-500 (June 2020)
ISSN 1738-6225 (Print)
ISSN 2288-2243 (Online)

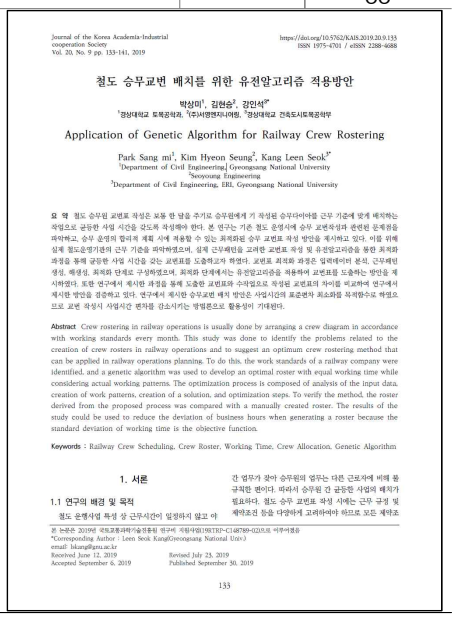
열차운행 시뮬레이션 입력자료로서 열차시각표 생성 방안

Timetable Generation Algorithm as Simulation Input for Train Operation Analysis

노학래*
Hag-Lae Rho

논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
철도 승무교번 배치를 위한 유전알고리즘 적용방안	한국산학기술학회논문집	박상미	20(9)	대한민국	한국산학기술학회	비SCI (KCI)	19.09.30	https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.9.133

◦ 철도 승무원 교번표 작성은 보통 한 달을 주기로 승무원에게 기 작성된 승무다이아를 근무 기준에 맞게 배치하는 작업으로 균등한 사업 시간을 갖도록 작성해야한다. 본 연구는 기존 철도 운영 시에 승무 교번작성과 관련된 문제점을 파악하고, 승무 운영의 합리적 계획 시에 적용할 수 있는 최적화된 승무 교번표 작성 방안을 제시하고 있다. 이를 위해 실제 철도운영기관의 근무 기준을 파악하였으며, 실제 근무패턴을 고려한 교번표 작성 및 유전알고리즘을 통한 최적화 과정을 통해 균등한 사업 시간을 갖는 교번표를 도출하고자 하였다. 교번표 최적화 과정은 입력데이터 분석, 근무패턴 생성, 해 생성, 최적화 단계로 구성하였으며, 최적화 단계에서는 유전알고리즘을 적용하여 교번표를 도출하는 방안을 제 시하였다. 또한 연구에서 제시한 과정을 통해 도출한 교번표와 수작업으로 작성된 교번표의 차이를 비교하여 연구에서 제시한 방안을 검증하고 있다. 연구에서 제시한 승무교번 배치 방안은 사업시간의 표준편차 최소화를 목적함수로 하였으므로 교번 작성 시 사업시간 편차를 감소시키는 방법론으로 활용성이 기대된다.


Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 20, No. 9 pp. 133-141, 2019
https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.9.133
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

철도 승무교번 배치를 위한 유전알고리즘 적용방안

박상미[1], 김현승[2], 강인석[3*]
[1]경상대학교 토목공학과, [2](주)서영엔지니어링, [3]경상대학교 건축도시토목공학부

Application of Genetic Algorithm for Railway Crew Rostering

Park Sang mi[1], Kim Hyeon Seung[2], Kang Leen Seok[3*]
[1]Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University
[2]Seoyoung Engineering
[3]Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University

논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
철도 운영관리 효율화를 위한 이웃해 탐색기법을 사용한 승무다이아 생성방안	한국건설관리학회 논문집	이재희	20(5)	대한민국	한국건설관리학회	비SCI (KCI)	19.09.30	http://dx.doi.org/10.6106/KJCEM.2019.20.5.042

◦ 철도운영기관은 수송수요예측과 열차차량의 수송능력을 토대로 수송계획을 세우고 이에 따른 열차운행계획을 수립한다. 열차운행계획을 통해 열차 운행간격이 조정되어 열차운행시간표(열차다이아)가 작성되고, 열차운행에 사용되는 열차의 차량운영계획이 수립된다. 열차운영기관에서는 열차 운영관리의 효율성을 높이기 위해 다이아에 편성되어진 열차들의 승무인원을 판단하고 배치하는 승무일정계획을 수립해야 한다. 본 연구에서는 승무일정계획 문제인 승무다이아 작성단계에 제약조건을 만족하는 이웃해 탐색기법을 적용하여 승무 계획의 효율적 관리가 가능하도록 하는 방법론을 제시한다. 연구에서 제시한 방법론에 의해 생성된 승무다이아는 실제 운영하는 열차시간표를 대상으로 기존 승무다이아와 결과 값을 비교하여 제시된 방법론의 효율성을 검증하였다.



철도 운영관리 효율화를 위한 이웃해 탐색기법을 사용한 승무다이아 생성방안

이재희[1] · 박상미[1] · 강인석*

A Study on the Generation of Crew Scheduling Diagram Using Neighborhood Search Method for Improving Railway Operation Management

Abstract : The train operation institution establishes a transportation plan based on the forecast of transport demand and the ability of train vehicles to transport, and establishes a train operation plan accordingly. The train operation plan adjusts the intervals between trains, creates a timetable (train diagram) for trains, and establishes a plan for the operation of train vehicles used for train operation. The train operation institution shall establish a crew schedule to determine and place the crew members of the trains arranged in the diagram in order to enhance the efficiency of the operation management of the trains. In this study, the authors apply the neighborhood search method that satisfies the constraints at the phase of generating the crew diagram. This suggests a methodology for efficient management of crew schedule plan. The crew diagram generated in this study compared with the existing crew diagram in accordance with the actual operating train timetable, and verified the effectiveness of the suggested method.

Keywords : Railway Operation, Crew Scheduling, Crew Diagram, Neighborhood Search

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

* Corresponding author: Kang, Leemsuk, ESM, Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University, Korea
E-mail: lskang@gnu.ac.kr
Received May 27, 2019 / revised / accepted July 10, 2019

42

논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCI 여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록 번호
열차승무원의 규칙적인 근무환경을 위한 근무조 승무다이아 배치 방안	한국철도학회 논문집	안현주	23(7)	대한민국	한국철도학회	비SCI (KCI)	20.07.01	http://10.7782/JKSR.2020.23.7.591

◦ 열차 승무일정계획에서 승무원 간 사업시간의 평준화는 필수불가결한 문제이며, 나아가 승무원의 규칙적인 근무환경을 보장하는 것 또한 스케줄 작성에서 중요한 문제이다. 수작업의 오류, 인력부족 등의 이유로 발생하는 미할당 승무다이아는 승무원의 불균등한 사업시간 및 불규칙한 근무환경 등 근무시간 측면에서 추가적인 문제를 야기할 수 있다. 이에 대하여 본 논문에서는 근무스케줄 작성 시 근무조(shift)를 나누고 승무다이아를 우선적으로 배치하여 최소로 투입되는 승무인원을 산정하므로 미할당되는 승무다이아 문제를 해결하고자 한다. 또한 6일을 주기로 하는 근무유형을 고려한 승무다이아를 배치하여 승무원의 규칙적인 근무환경을 보장한다. 이 과정에서 최적화 알고리즘을 통해 두 근무조 간의 사업시간 차를 최소화하고, 승무원 간의 사업시간을 평준화하는 방안을 제시한다.



한국철도학회논문집 제23권 제7호 | pp. 591-599 (2020년 7월)
JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY FOR RAILWAY VOL.23, NO.7 | pp. 591-599 (July 2020)

ISSN 1738-6225(Print)
ISSN 2288-2235(Online)

열차승무원의 규칙적인 근무환경을 위한 근무조 승무다이아 배치 방안

Study on Crew Diagram Assignment for Regular Work Environment with Work Shift Operation

안현주 · 이재희 · 박상미 · 김현승 · 강인석*

Hyeon Ju An · Jae Hee Lee · Sang Mi Park · Hyeon Seung Kim · Leen Seok Kang

Abstract In railway crew schedule planning, leveling of business hours between crew members is an difficult problem. Ensuring a regular working environment for crew members is also an important issue of scheduling. Unassigned crew diagrams, which occur due to errors in manual work, lack of manpower, etc., can cause additional problems in terms of working hours, such as uneven business hours and irregular working conditions. In this regard, this paper attempts to solve the problem of unassigned crew diagrams by dividing shifts and arranging crew diagrams first to calculate the minimum number of crews when preparing work schedules. In addition, a crew diagram considering the work type, with a period of 6 days, is arranged to ensure the regular working environment of the crew. In this process, an optimization algorithm is utilized to minimize the difference in business hours between the two shifts and to level the business hours between crews.

Keywords : Crew scheduling, Work shift, Optimization, Rostering

초 록 열차 승무일정계획에서 승무원 간 사업시간의 평준화는 필수불가결한 문제이며, 나아가 승무원의 규칙적인 근무환경을 보장하는 것 또한 스케줄 작성에서 중요한 문제이다. 수작업의 오류, 인력부족 등의 이유로 발생하는 미할당 승무다이아는 승무원의 불균등한 사업시간 및 불규칙한 근무환경 등 근무시간 측면에서 추가적인 문제를 야기할 수 있다. 이에 대하여 본 논문에서는 근무스케줄 작성 시 근무조(shift)를 나누고 승무다이아를 우선적으로 배치하여 최소로 투입되는 승무인원을 산정하므로 미할당되는 승무다이아 문제를 해결하고자 한다. 또한 6일을 주기로 하는 근무유형을 고려한 승무다이아를 배치하여 승무원의 규칙적인 근무환경을 보장한다. 이 과정에서 최적화 알고리즘을 통해 두 근무조 간의 사업시간 차를 최소화하고, 승무원 간의 사업시간을 평준화하는 방안을 제시한다.

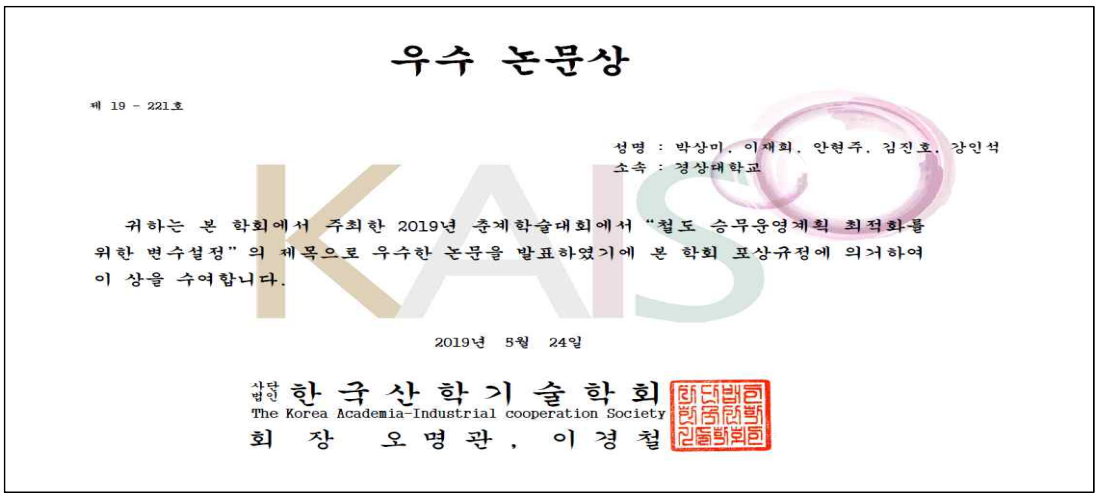
주요어 : 승무일정계획, 최적화, 근무조, 근무스케줄

1. 서 론

*Corresponding author. E-mail: Lskang@gnu.ac.kr
© 2020 The Korean Society for Railway. All rights reserved.
https://doi.org/10.7782/JKSR.2020.23.7.591

(2) 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2019 KSCE CONVENTION	강인석	2019.10.18	평창알펜시아	대한민국
2	2019 한국건설관리학회 정기학술발표대회	김진호	2019.11.15	일산 킨텍스	대한민국
3	2019 한국철도학회 정기총회 및 추계학술대회	안현주	2019.11.15	제주 휘닉스	대한민국
4	MISTA 2019	이재희	2019.12.13	University of Nottingham Ningbo China	중국
5	2019 한국철도학회 정기총회 및 추계학술대회	오석문	2019.11.14	제주 휘닉스	대한민국
6	2019 한국철도학회 정기총회 및 추계학술대회	노학래	2019.11.14	제주 휘닉스	대한민국
7	2020 한국산학기술학회 춘계학술대회 (우수논문상수상)	강인석	20.07.24	제주국제 컨벤션센터	대한민국
8	2020 한국철도학회 정기총회 및 추계학술대회	이재희	20.11.13	제주해비치 호텔&리조트	대한민국



우수 논문상

제 19 - 221호

성명 : 박상미, 이재희, 안현주, 김진호, 강인석
소속 : 경상대학교

귀하는 본 학회에서 주최한 2019년 춘계학술대회에서 "철도 승무운영계획 최적화를 위한 변수설정" 의 제목으로 우수한 논문을 발표하였기에 본 학회 포상규정에 의거하여 이 상을 수여합니다.

2019년 5월 24일

사단법인 한국산학기술학회
The Korea Academia-Industrial cooperation Society
회 장 오 명 관 , 이 경 철

경상대학교 - 2019년 산학기술학회 춘계학술대회 우수논문상 수상



2020 춘계학술대회 우수논문 수상자 명단 안내

작성자	한국산학기술학회	조회수	662
등록일	2020-08-31 13:56:01		
첨부파일	우수논문pdf.pdf		

12	[illegible]	변화 고찰	[illegible]
13	박상미	열차운행계획 통합시스템 개발을 위한 세부 기능정의서 체계 개발 방안	경상대학교
[illegible]	[illegible]	전기저장장치의 서지보호를 위한 SPD의 모델링	[illegible]

경상대학교 - 2020년 산학기술학회 추계학술대회 우수논문상 수상

<그림 95 산학기술학회 학술대회 우수논문상 수상>

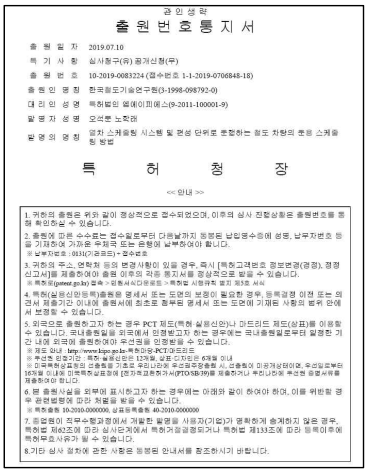
(3) 지식재산권(특허)

지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록				기여율
		출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	등록 번호*	
열차 스케줄링 시스템 및 편성 단위로 운행하는 철도 차량의 운용 스케줄링 방법	대 한민국	한국철도기술연구원(오석문,노학래)	2019. 7.10	10-2019-0083224	한국철도기술연구원	2021. 1.06	10-2019-0083224		100%

◦ 발명의 목적 : 종래 도시철도 또는 광역철도에서 운용하는 철도차량의 스케줄링 방법은 전산화 수준에 머무르고 있다. 본 발명의 목적은 도시철도 또는 광역철도에서 운용하는 철도차량의 스케줄링 방법을 지능화 수준으로 향상하여 철도차량 스케줄링 작업의 효율성과 철도차량 스케줄의 품질을 향상하는 것이다.

◦ 해결의 수단 : 아래 수리과학적 모델을 방탕으로 개발된 최적화 모델을 통해 철도차량 운용 스케줄링의 품질향상 목표를 달성한다.

$$i_{n+1}(v) = argmin\ \{ST(i) - ET(i_n(v)) - TR(i_n(v))\},\ \forall i \in \bar{I},\ \forall$$
$$v(i_{n+1}) = argmin\ \{ST(i_{n+1}) - ET(i(v)) - TR(i(v))\},\ \forall v \in V(i$$



출원번호통지서

출원일자 2019.07.10
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2019-0083224 (접수번호 1-1-2019-0706848-18)
출원인 성명 한국철도기술연구원(3-1998-098792-0)
대리인 성명 특허법인 엠에이피에스(9-2011-100001-9)
발명자 성명 오석문 노학래
발명의 명칭 열차 스케줄링 시스템 및 편성 단위로 운행하는 철도 차량의 운용 스케줄링 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 등록된 납입명수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0(사)(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허로 서식목록 보기 제3종 서식
4. 특허(실용신안등록)출원 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우 등록결정 전전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 첨부된 통부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허 실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr 특허청장-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 실용디자인은 6개월 이내
※ 마국특허상표청의 신출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시 신출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [한가족검증하가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라로 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 실용등록출원 40-2010-0000000
7. 등록료가 적무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제40조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제33조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.
8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

YOUR INVENTION PARTNER

특 허 청

특허결정서

출 원 인 성 명 한국철도기술연구원 (특허고객번호: 319980987920)
주 소 경기도 의왕시 철도박물관로 176 (월암동)
대 리 인 명 칭 특허법인엠에이피에스
주 소 서울특별시 강남구 테헤란로8길 37, 8층 (역삼동, 한동빌딩)(특허법인엠에이피에스)
지정된변리사 조욱제
발 명 자 성 명 오석문
주 소 경기도 광명시 소하로 56, 308동 403호 (소하동, 휴먼시아3단지아파트)
발 명 자 성 명 노학래
주 소 경기도 수원시 권선구 서수원로 99, 211동 1602호 (오목천동, 수원권선 꿈에그린 아파트)
출 원 번 호 10-2019-0083224
발 명 의 명 칭 열차 스케줄링 시스템 및 편성 단위로 운행하는 철도 차량의 운용 스케줄링 방법
청 구 항 수 17

이 출원에 대하여 특허법 제66조에 따라 특허결정합니다.
(특허권은 특허료를 납부하여 특허법 제87조에 따라 설정등록을 받음으로써 발생하게 됩니다.) 끝.

[참고문헌]
1. JP07285439 A
2. JP2018045312 A

<그림 96 특허결정서>

(4) 저작권(소프트웨어)

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
열차스케줄 자동생성 프로그램	2018.11.06	㈜지오엔티	2018.11.20	C-2018-034092	㈜지오엔티	100%

프로그램 특징 및 기능	등록증 및 등록부
- 특징 : 역간 표준운전시분 정보를 기반으로 열차 종류별 정차패턴(직통/급행/완행 등)별로 열차조합을 작성하고 첨두시간대와 비첨두 시간대별 운행횟수를 달리 적용하여 열차다이아를 자동으로 작성함으로써 생성된 열차스케줄 결과를 최소 안전시격, 열차간 경합 및 최근 거리 등의 분석을 통해 데이터 정합성을 검사할 수 있도록 기능을 지원하는 프로그램 - 주요기능 : 기본정보 관리, 기본/변경 열차계획 작성, 임시 열차계획 작성, 열차다이아 작성, 데이터 정합성 검증 기능	

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
위치데이터 DB기반 열차운전곡선 작성 프로그램	2019.09.03	㈜지오엔티	2019.10.16	C-2019-028596	㈜지오엔티	100%

프로그램 특징 및 기능	등록증 및 등록부
- 특징 : 선형정보와 운전조건 정보 등 기초데이터에 대하여 노선의 각 위치별 통합관리(편집/관리)를 통해 기존 철도운영 노선 또는 계획 노선정보를 반영하는 모형을 만들고 시뮬레이션을 통하여 열차운전곡선(속도/시간/에너지 소모량 곡선)을 작성하는 프로그램 - 주요기능 : 프로젝트별 대안관리, 기초데이터 관리, 차량 견인력 산정, 시뮬레이션, 운전선도 작성, 표준운전시분 생성	

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
승무사업계획 정보 기반 승무근무표 작성 프로그램	2019.10.21	㈜지오엔티	2019.10.31	C-2019-031047	㈜지오엔티	100%

프로그램 특징 및 기능	등록증 및 등록부
- 특징 : 열차시각표, 열차다이아 정보를 기반으로 승무기본정보 및 승무운영 제약조건을 반영한 기본/변경/임시 승무사업계획을 작성하고 작성된 정보를 바탕으로 승무근무교번 및 승무근무표를 생성하는 프로그램 - 주요기능 : 승무기본정보 관리, 제약조건 관리, 승무사업계획 작성, 승무다이아 작성, 교번 운용관리	

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
차량운영계획 정보 기반 차량다이아 작성 프로그램	2019.10.07	㈜지오엔티	2019.11.12	C-2019-033049	㈜지오엔티	100%

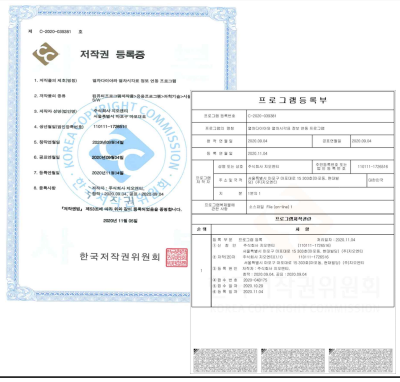
프로그램 특징 및 기능	등록증 및 등록부
- 특징 : 열차시각표 및 열차다이아 정보를 활용하여 반복열차를 생성하고 반복열차가 반영된 열차시각표 데이터를 기반으로 차량 기본정보 및 제약조건을 반영하여 차량다이아를 생성하는 프로그램 - 주요기능 : 차량기본정보 관리, 반복열차 생성, 차량운영계획 작성, 차량 다이아 작성	

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
열차시각표 정보 기반 선로용량 시뮬레이션 프로그램	2020.07.24	㈜지오엔티	2020.09.14	C-2020-031143	㈜지오엔티	100%

프로그램 특징 및 기능	등록증 및 등록부
- 특징 : 적용년도 및 일자, 노선, 구간, 시간범위 등의 조건을 만족하는 열차시각표 정보를 활용하여 선로용량 산정을 위한 대상 열차를 생성하고 영업시간 등 추가적인 제약조건을 만족하는 선로용량 시뮬레이션 실행을 통해 소요시간 및 평균시격, 선로용량을 산출하는 프로그램 - 주요기능 : 구간별 선로용량 산정정보 조회 및 관리, 선로용량 최적화 시뮬레이션 조건설정, 최적화 시뮬레이션 대상열차 생성, 선로용량 최적화 시뮬레이션, 선로용량 최적화 시뮬레이션 결과 산출(소요시간(주기), 평균시격, 선로용량)	

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
약식 열차운전곡선 작성 프로그램	2020.08.05	㈜지오엔티	2020.11.02	C-2020-038977	㈜지오엔티	100%

프로그램 특징 및 기능	등록증 및 등록부
- 특징 : 선형정보와 운전조건 정보 등 기초데이터에 대하여 노선의 각 위치별 통합관리(편집/관리)를 통해 기존 철도운영 노선 또는 계획 노선정보를 반영하는 노선 모형을 만들고 시뮬레이션을 통하여 열차운전곡선(속도/시간/에너지 소모량 곡선)을 작성한 후 열차운전곡선과 동일한 약식 운전곡선을 작성하는 프로그램 - 주요기능 : 프로젝트별 대안관리, 기초데이터 관리, 차량 견인력 산정, 시뮬레이션, 운전선도 작성, 표준운전시분 생성, 약식곡선 그래프 출력	

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
열차다이아와 열차시각표 정보 연동 프로그램	2020.08.04	㈜지오엔티	2020.11.04	C-2020-039381	㈜지오엔티	100%
프로그램 특징 및 기능				**등록증 및 등록부**		
- 특징 : 자동으로 작성된 열차다이아에서 열차스케줄 변경(수정) 시 열차다이아의 열차선 시발역 출발시간, 도중역 통과시간, 도중 정차역의 도착시간과 출발 시간, 종착역 도착시간 등을 열차계획자의 필요에 따라 직접 수정하면 DB에 저장되어 있는 열차시간표에도 열차다이아와 정보가 연동되어 수정이 가능할 수 있도록 기능을 지원하는 프로그램 - 주요기능 : 기본정보 관리, 기본/변경 열차계획 작성, 임시 열차계획 작성, 열차다이아 작성, 열차다이아와 열차시각표 연동						

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
열차운전곡선 단일 및 복수열차 시뮬레이션 프로그램	2020.08.28	㈜지오엔티	2020.11.04	C-2020-039386	㈜지오엔티	100%
프로그램 특징 및 기능				**등록증 및 등록부**		
- 특징 : 선형정보와 운전조건 정보 등 기초데이터에 대하여 노선의 각 위치별 통합관리(편집/관리)를 통해 기존 철도운영 노선 또는 계획 노선정보를 반영하는 노선 모형을 만들고 시뮬레이션을 통하여 열차운전곡선(열차속도/소요시간/소모에너지량 곡선)을 작성하여 단일열차 또는 복수열차를 시뮬레이션 하는 프로그램 - 주요기능 : 프로젝트별 대안관리, 기초데이터 관리, 차량 견인력 산정, 시뮬레이션, 운전선도 작성, 표준운전시분 생성, 곡선 그래프를 저속으로 시뮬레이션 출력						

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
유전자알고리즘 기반 승무근무교번 최적화 프로그램	2020.09.25	㈜지오엔티	2020.11.04	C-2020-039635	㈜지오엔티	100%
프로그램 특징 및 기능				**등록증 및 등록부**		
- 특징 : 승무원의 철도차량운전면허와 승무담당 소속에 맞게 승무사업을 배정하고 이를 통해 다양한 제약조건을 반영한 승무근무교번 작성 시 유전자 알고리즘을 적용하여 최적화된 결과를 산출하는 프로그램 - 주요기능 : 열차스케줄 정보관리, 승무다이아 작성, 승무기본정보 관리, 제약조건 관리, 승무담당 소속별 승무사업 배정, 유전자 알고리즘을 적용한 승무근무교번 최적화 기능						

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
유전자알고리즘 기반 승무다이아 최적화 프로그램	2020.09.15	㈜지오엔티	2020.11.04	C-2020-039634	㈜지오엔티	100%

프로그램 특징 및 기능	등록증 및 등록부
- 특징 : 열차시간표, 열차다이아 정보를 기반으로 다양한 열차스케줄 조건을 반영하고 하행 및 상행열차 스케줄 정보에 대하여 유전자 알고리즘을 적용함으로써 승무다이아를 최적화 시키는 프로그램 - 주요기능 : 열차스케줄 정보 관리, 열차스케줄 조건, 유전자 알고리즘을 적용한 승무다이아 최적화 기능	

저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호*	저작권자명	기여율
선로용량산정을 위한 시뮬레이션 기초자료 생성 프로그램	2020.09.30	㈜지오엔티	2020.12.11	C-2020-049301	㈜지오엔티	100%

프로그램 특징 및 기능	등록증 및 등록부
- 특징 : KTX, 새마을, 무궁화, 화물, 전동열차 등 열차다이아 정보를 연계하여 선로용량에서 사용하는 열차종류별 운행속도군 정보를 활용함으로써 선로용량 시뮬레이션이 가능하도록 열차를 재배열하는 프로그램 - 주요기능 : 열차다이아 연계, 열차배열 조건설정, 시뮬레이션 열차배열 생성 및 관리	

(5) 인증서

소프트웨어 명칭	인증일	제조자	등급	인증 번호	인증기관
지이오티피에스 Ver 1.0(Geo-TPS v 1.0)	2020.11.02	㈜지오엔티	1등급	20-0494	한국정보통신기술협회(TTA)

프로그램 특징 및 기능	인증서
– 특징 : 역선로 및 선형정보, 차량정보 등 기초데이터와 운전조건 등 다양한 시뮬레이션 조건정보를 반영하여 열차성능시뮬레이션을 수행함으로써 열차의 합리적/경제적 운행을 지원하고 철도시설의 적정성 검토 및 의사결정을 지원하는 시스템 – 주요기능 : 프로젝트 관리, 기초자료 관리, 운전선도 생성, 시뮬레이션 결과 관리, 공통정보 관리	 1등급 소프트웨어품질인증서 Certificate of Software Quality 20-0494 2020년(Year) 11월(Month) 2일(Day) 한국정보통신기술협회장 CEO & President Telecommunications Technology Association

(6) 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액(천원)		매출 발생연도	기술 수명
							국내	국외		
1	용역	[직접사업화]기존업체 상품화	서울	TPS와 연계한 급전시뮬레이션 구축	TPS 연계 및 급전시뮬레이션 시스템 구축	㈜디투엔지니어링	190,909		2019.12	
2	납품	[직접사업화]기존업체 상품화	서울	열차성능시뮬레이션 및 열차다이아 시스템	2개 단위시스템 납품	㈜서현기술단	30,000		2019.07	
3	용역	[직접사업화]기존업체 상품화	대전	승무계획 시스템 개발	새로운 승무계획 시스템 개발	한국철도공사	92,869		2019.11	
4	납품	[직접사업화]기존업체 상품화	서울	열차성능시뮬레이션 및 열차다이아 시스템	2개 단위시스템 납품	㈜케이알티씨	34,000		2020.05	
5	용역	[직접사업화]기존업체 상품화	대전	국가철도망 건설지원 · 선로배분시스템 통합 및 고도화	현행시스템인 철도건설지원 시스템과 선로배분 시스템의 통합 및 기능 고도화 개발	국가철도공단	908,500		2020.06	
6	용역	[직접사업화]기존업체 상품화	대전	국가철도망 선로배분시스템 유지보수	현행 선로배분 시스템 유지보수	국가철도공단	80,385		2020.07	

(7) 성과품 홍보

(가) 수요기관(부산교통공사) 대상 연구성과 설명회 및 홍보

□ (홍보)성과 확인서

「홍보」 성과 확인서

□ 과제정보

사업명	철도기술연구 사업	과제번호	19RTRP-C148789-02
과제명	철도 실용화 문턱과제(첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발)		
연구기관	㈜지오엔티	연구책임자	지상복

□ 홍보성과

구분	행사개최		
홍보명	수요기관(부산교통공사) 대상 연구성과 설명회 및 홍보		
홍보일자	2020년 7월 31일	장소·매체	부산교통공사 대회의실
홍보목적	수요기관(부산교통공사)을 대상으로 연구 성과물인 열차운행계획시스템에 대한 홍보 및 시장진입 확대 기반 확보		
홍보내용	연구기관 소개, 연구개요 및 세부내용, 관련사업화 실적, 기대효과		
증빙	[첨부] 프로그램(수요처 방문설명회) 개최 안내, 부산교통공사 설명회 발표자료, 수요처 방문 설명회 결과		

위 연구과제를 통해 발생된 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.

2020 년 12 월 02 일

연구기관 ㈜지오엔티 **책임자** 지상복 (기관 인)

국토교통부장관 귀하

□ 수요기관(부산교통공사) 방문 설명회 결과

○ 내용(과제명) : 수요처(부산교통공사) 대상 연구성과 홍보(첨단IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발)

○ 홍보내용 : 부산교통공사 설명회 발표자료(PPT)

○ 일자/장소 : 2020년 7월 31일, 13:30 부산교통공사 대회의실

○ 대 상 : 부산교통공사 직원

○ 연구기관 : ㈜지오엔티, 연구책임자 지상복 외 2명

○ 연구책임자 : 지상복

구분	수요기관 의견	연구기관 의견
1	- 부산교통공사의 승무계획시스템은 처리속도가 떨어져서 사용을 하지 않고 있는 상태임. 현재 ㈜지오엔티에서 개발한 승무계획시스템은 관련 승무계획 조건 정보를 입력 후 승무계획을 생성할 때 처리속도는 어떻게 되는가?	- 현재 개발한 승무계획시스템은 코레일의 승무관련 데이터 및 열차정보, 승무조건 정보 등을 반영했을 때 기능적으로나 속도면에서 문제없이 구동되도록 개발하였음. 또한 사업소별, 구간별로 승무사업다이아를 작성할 수 있도록 하였고 미할당의 경우는 수동으로 처리하거나 유전자알고리즘으로 찾아낼 수 있도록 구현하였음.
2	- 부산교통공사의 기존시스템은 Text파일로 열차운행계획 정보를 출력하여 신호관제에서 입력처리하도록 하고 있음. 현재(주)지오엔티에서 개발한 시스템은 Text 파일로 출력이 가능한가?	- 현재 개발한 열차운행계획시스템은 열차운행계획 정보에 대하여 Text 및 Cad 등의 파일로 출력이 가능함. 또한 Excel로 작업한 열차운행계획 정보를 시스템으로 불러오는 기능(Import 기능)도 가능함.
3	- 개발시스템인 승무계획시스템은 승무관련 변수 조건정보 입력하여 곧바로 사용가능한 승무계획정보를 생성하는 시스템인가? 아니면 최종 목표값과 근사한 대안을 생성해서 사용자가 수동으로 작업하도록 하는 시스템 인가?	- 유전자알고리즘으로 미할당, 회송 등을 포함한 승무계획을 생성한 후 철도운영기관의 특성에 맞게 사용자가 승무계획을 수정할 수 있도록 하였음.
4	- 승무계획시스템에서 승무계획 에 대한 여러 개 대안을 생성하는가? 또한 승무계획 생성에 필요한 조건정보는 사용자가 수정이 가능한가?	- 개발한 승무계획시스템은 여러 개 대안을 생성할 수 있도록 구현하였고 승무시간 등을 기준으로 Sorting하여 조회할 수 있도록 하였음. 승무계획을 위한 조건정보들은 사용자가 수정할 수 있도록 개발하였음.
5	- 부산교통공사의 승무계획시스템의 경우 중간 교대역을 반영할 경우 프로그램 구동이 어렵다. ㈜지오엔티에서 개발한 승무계획시스템의 경우 여러 개의 교대역을 반영하여 구동이 가능한가?	- 교대역을 몇 개로 할 것인지를 사전에 지정하면 가능함.
6	- 개발한 승무계획시스템에서 철도운영사에 대한 필수조건을 반영한 후 구동시 생성되는 승무계획정보는 어느정도 품질이 확보되는가? 또한, 기 운영부분을 나눈 다음 각 사업소에서 처리하	- 승무사업계획 처리 후 승무근무표 작성은 별도 프로세스를 거침. - 예전에는 철도운영기관에서 승무계획시스템 개발 시 승무계획 최적화가 핵심이었으나 최근에는 어느 정도 품질이상

구분	수요기관 의견	연구기관 의견
	는 방식인가?	의 승무계획정보를 생성한 후 사용자가 쉽게 편집하여 작성할 수 있도록 하는데 역점을 두고 있음. - 현재 개발한 승무계획시스템은 승무최적화 알고리즘을 통하여 승무계획을 생성할 수도 있고 사용자가 승무계획과 관련한 다양한 대안을 쉽게 산출할 수 있도록 하였음. 또한 제약조건 정보별로 Sorting하여 조회하고 관리할 수 있도록 하였음.
7	- 모바일 기반의 승무계획시스템은 승무사업을 연산, 생성 하는 용도인가? 아니면 승무원에게 모바일 기반으로 정보를 제공하는 용도인가?	- 모바일 기반의 승무계획시스템은 승무원에게 모바일 기반으로 승무계획 정보를 제공하는 용도이나 문턱과제의 연구범위는 아님.
8	- 철도운영기관에 TPS를 사용하고 있는가?	- 대표적인 철도운영기관인 코레일, SR에서는 TPS를 보유하고 있음. 서울교통공사의 경우는 최근에 자체개발을 위한 용역을 진행하고 있음. - 한국철도시설공단의 경우는 신규노선/개량노선 및 신조차량에 대한 시뮬레이션 검토 등에 TPS를 활용하고 있으며 또한 전력시뮬레이션 관련 업체의 시스템 개발 겸험을 토대로 급전시뮬레이션 모듈 개발을 수행하고 있음.

[첨부] : 회의사진






(나) 수요기관(인천교통공사) 대상 연구성과 설명회 및 홍보

□ (홍보)성과 확인서

「홍보」 성과 확인서

□ 과제정보

사업명	철도기술연구 사업	과제번호	19RTRP-C148789-02
과제명	철도 실용화 문턱과제(첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발)		
연구기관	㈜지오엔티	연구책임자	지상복

□ 홍보성과

구분	행사개최		
홍보명	수요기관(인천교통공사) 대상 연구성과 설명회 및 홍보		
홍보일자	2020년 9월 21일	장소·매체	진흥원 3층 2회의실
홍보목적	철도운영기관(인천교통공사)을 대상으로 연구 성과물인 열차운행계획 시스템 성과물 홍보 및 시장진입 확대 기반 확보		
홍보내용	연구기관 소개, 연구개요, 시스템 세부내용, 관련사업화 실적, 기대효과		
증빙	[첨부] 시장맞춤형 컨설팅 기반 사전 성과점검 안내, 시장맞춤형 컨설팅 기반 성과점검 회의 발표자료, 시장맞춤형 컨설팅 성과점검 자료, 사전 성과점검 위원별 의견서		

위 연구과제를 통해 발생된 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.

2020 년 12 월 02 일

연구기관 ㈜지오엔티 **책임자** 지상복 (기관 인)

국토교통부장관 귀하

(다) 수요기관(서울교통공사) 대상 연구성과 설명회 및 홍보

□ (홍보)성과 확인서

「홍보」 성과 확인서

□ 과제정보

사업명	철도기술연구 사업	과제번호	19RTRP-C148789-02
과제명	철도 실용화 문턱과제(첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발)		
연구기관	㈜지오엔티	연구책임자	지상복

□ 홍보성과

구분	행사개최		
홍보명	수요기관(서울교통공사) 대상 연구성과 설명회 및 홍보		
홍보일자	2020년 10월 22일	장소·매체	서울교통공사 1층 다이아실
홍보목적	철도운영기관(서울교통공사)의 열차운행계획 부서 대상으로 연구 성과물인 열차운행계획시스템 홍보를 위한 시스템 모듈별 기능 설명으로 시스템 활용 시장 확대		
홍보내용	연구기관 소개, 연구개요, 시스템 세부내용, 관련사업화 실적, 기대효과		
증빙	[첨부] 시장맞춤형 컨설팅 기반 사전 성과점검 결과 안내, 시장맞춤형 컨설팅 기반 성과점검 회의 발표자료, 사전점검 의견 활용계획		

위 연구과제를 통해 발생된 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.

2020 년 12 월 02 일

연구기관 ㈜지오엔티 **책임자** 지상복 (기관 인)

국토교통부장관 귀하

□ 수요기관(서울교통공사) 방문 설명회 결과

○ 내용(과제명) : 수요처 대상 연구성과 홍보(첨단IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발)

○ 홍보내용 : 시장맞춤형 컨설팅 기반 성과점검 회의 발표자료(PPT)

○ 일자/장소 : 2020년 10월 22일, 14:00 / 서울교통공사 1층 다이아실

○ 참여기관 : 서울교통공사, 승무팀장 윤호 외 6명

○ 연구기관 : ㈜지오엔티, 연구책임자 지상복 외 2명

○ 연구책임자 : 지상복

순번	수요기관 의견	활용(적용)계획	비고
1	자료에서 보여준 승무계획 동영상의 승무계획 대안을 어떤 개념으로 만들어지며 개인 승무근무표 작성시까지 설명이 필요함	승무계획 시스템은 열차스케줄을 기반으로 승무사무소와 개인별 승무원 특성에 맞게 승무원용 계획을 작성하는 것으로 이 시스템은 열차시간표를 승무사무소 구간(승무원 교대)에 맞게 승무행로표를 확정함. 이때 유전알고리즘으로 여러 가지 대안을 생성하여 열차계획자로 하여금 의사결정을 하도록 지원하며, 이후 확정된 행로표를 기준으로 월별 승무근무표를 작성하고 있음.	
2	승무계획과 같은 행로표를 차량계획도 가능한지, 열차다이아에 차량계획 반복사용 연결선도 작도가 필요함	차량계획도 승무계획의 승무행로표와 같이 도면으로 표시되며, 열차다이아에 반복사용 연결선도 작도가 되도록 설계되어 있음, 1개편성이 1일 출고해서 첫 번째열차부터 마지막 차고에 입고하던가 주박선지에서 주박하여 행로가 종료될 때까지 연결해서 행로가 이루어 짐.	
3	승무계획 중 개인별 근무표는 어떻게 작성되며 승무원에게 제공하는 개인별 근무표 전달방법도 시스템으로 제공되는지?	행로표를 작성하는 작업이 완료되면 소속별 개인의 근무표를 작성하며, 개인별 근무표는 시스템에서 조회(인쇄)하는 방법으로 제공함.	
4	승무계획 작성시 시스템에서 가동되는 시간은 얼마나 걸리며 활용도는 어디까지 가능한지?	승무계획 작성시간은 물론 열차스케줄 량에 따라 차이는 있겠지만 행로표 대안작성과 소속별 개인별 근무표를 작성하는데 시스템을 적용하면 대안작성과 의사결정을 거쳐 개일별 근무표 작성까지 업무의 량(시간)이 많이 단축되리라고 생각됨. 또한 이 시스템 활용은 신규계획을 작성할 때도 사용되지만 현재 운영되고 있는 승무계획도 효율적으로 작성되어 운영되고 있는지 검증하는 시스템으로 활용도가 높을 것으로 사료됨.	

순번	현장적용 시험 의견	활용(적용)계획	비고
5	열차성능시뮬레이션 기능은 매우 유용할 것으로 사료되며, 일반열차와 급행열차의 운행 필요시 영향을 분석할 수 있는 기능도 구현 필요	서울교통공사의 경우 현재는 각역을 정차하는 일반열차만 주로 운행되지만 일부 노선의 특정 구간에 급행열차를 운행할 수 있는지 검토가 되고 있는 것으로 알고 있으며, 향후 9호선과 같이 급행열차를 계획하고 있다면 열차성능시뮬레이션 시스템의 기능을 매우 필요로 하리라 생각됨. 급행열차를 어떤 정차패턴으로 운행할 것인가, 시뮬레이션을 해서 계획이 이루어지면 건설비나, 현재 설비에서 시행 가능한지를 판단하는데 매우 유용할 것임.	
6	공사에서 사용하고 있는 열차계획시스템은 구축되어 있으며, 특히 승무사업관련 시스템은 작동되는데 많은 시간이 소요되고 수작업의 의존도가 많은 편입니다. 향후 현재의 시스템을 고도화하거나 신규 시스템 도입시 많은 협조를 바랍니다.	공사의 열차계획업무에 많은 도움을 줄 수 있는 시스템을 만들어 보겠으며, 또한 필요하다면 공사의 시스템을 분석 연구하여 향후 공사의 발전에 기여할 수 있는 시스템 도입에 적극 도와드리겠음.	

[첨부1] : 시장맞춤형 컨설팅 기반 사전 성과점검 회의 PPT화일 1부.

[첨부2] : 회의사진








(라) 수요기관(부산교통공사) 대상 홍보 및 성능검증을 위한 시스템 시연

□ (홍보)성과 확인서

「홍보」 성과 확인서

□ 과제정보

사업명	철도기술연구 사업	과제번호	19RTRP-C148789-02
과제명	철도 실용화 문턱과제(첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발)		
연구기관	㈜지오엔티	연구책임자	지상복

□ 홍보성과

구분	행사개최		
홍보명	수요기관(부산교통공사) 대상 연구성과 홍보 및 성능 검증을 위한 시스템 시연		
홍보일자	2020년 11월 12일	장소·매체	부산교통공사 부근 회의실
홍보목적	수요기관(부산교통공사)을 대상으로 연구 성과물인 열차운행계획시스템 시연을 통해 시스템 홍보 및 성능 검증		
홍보내용	부산교통공사 설명회 자료 발표, 승무계획시스템 / TPS / 열차다이아 시스템 시연		
증빙	[첨부] 시장맞춤형 컨설팅 기반 사전 성과점검 결과 안내, 부산교통공사 설명회 발표자료, 사전점검 의견 활용계획		

위 연구과제를 통해 발생된 성과와 증빙이 상기와 같음을 확인합니다.

2020 년 12 월 02 일

연구기관 ㈜지오엔티 **책임자** 지상복 (기관인)

국토교통부장관 귀하

□ 수요기관(부산교통공사) 홍보 및 성능검증 결과

○ 내용(과제명) : 연구성과 성능검증을 위한 테스트베드 현장적용 시험 실시 (첨단IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발)

○ 시험내용 : 승무계획시스템 시연, Geo-TPS 시연, Geo-DIA 시연

○ 일자/장소 : 2020년 11월 12일, 14:00 / 부산교통공사 근처 회의실

○ 시험기관 : 부산교통공사, 승무처장 김이남 외 4명

○ 연구기관 : ㈜지오엔티, 연구책임자 지상복 외 2명

○ 연구책임자 : 지상복

순번	현장적용 시험 의견	활용(적용)계획	비고
1	승무계획작성 시 작업속도와 계획 대안이 여러 개 안으로 나와야 하고, 대안에 대한 수작업 개입 정도가 적어야 하며, 이 시스템에서는 어느 정도 수작업 개입이 이루어지는지?	승무계획 시스템은 열차스케줄을 기반으로 승무사무소와 개인별 승무원 특성에 맞게 승무원용 계획을 작성하는 것으로 이 시스템은 열차스케줄을 승무사무소를 기점으로 상하행 열차를 조합하여 행로표를 작성하고, 스케줄 전열차가 행로표 내에 포함될 수 있도록 최적 대안을 제시함. 작업 속도도 유전알고리즘을 적용하여 10만개의 대안을 제시하는데 약 1시간 이내에 종료됨. 대안이 작성된 이후 미할당 등 행로표에 반영 안 된 특이 조건을 갖는 열차들은 수작업으로 반영하도록 설계 됨.	
2	승무계획 중 개인별 근무표는 어떻게 작성되며 승무원에게 제공하는 개인별 근무표 전달방법과 혹시 모바일 서비스도 가능한지?	행로표를 작성하는 작업이 완료되면 소속별 개인의 1개월간 근무표를 작성하며, 근무표는 시스템에서 조회하는 방법으로 제공함. 개인별 근무표를 모바일로 전달하는 기능은 본 연구과제 범위에 해당되지 않아서 구현되어 있지 않음.	
3	승무계획 작성 시 시스템에서 가동되는 시간은 얼마나 걸리며 활용도는 어디까지 가능한지?	승무계획 작성시간은 물론 열차스케줄 량에 따라 차이는 있겠지만 행로표 대안작성과 소속별 개인별 근무표를 작성하는데 시스템을 적용하면 대안작성과 의사결정을 거쳐 개일별 근무표 작성까지 업무의 량(시간)이 많이 단축되리라고 생각됨. 또한 이 시스템 활용은 신규계획을 작성할 때도 사용되지만 현재 운영되고 있는 승무계획도 효율적으로 작성되어 운영되고 있는지 검증하는 시스템으로 활용도가 높을 것으로 사료됨.	
4	열차성능시뮬레이션 기능은 매우 유용할 것으로 사료되며, 일반열차와 급행열차의 운행 필요시 영향을 분석할 수 있는 기능도 구현 필요	부산교통공사의 경우 현재는 각역을 정차하는 일반열차만 운행하고 있지만 향후 급행열차를 계획하고 있다면 열차성능시뮬레이션 시스템의 기능을 매우 필요로 하리라 생각됨. 급행열차를 어떤 정차패턴으로 운행할 것인가, 시뮬레이션을 해서 계획이 이루어지면 건설비나, 현재 설비에서 시행 가능한지를 판단하는데 매우 유용할 것임.	

순번	현장적용 시험 의견	활용(적용)계획	비고
5	열차다이아 시스템은 현재 광역열차를 운영하는 기관은 엑셀프로그램을 이용하여 사용하고 있는데 광역노선에도 활용할 수 있는지?	공사의 열차운행 방법은 열차운행구간과 운행패턴이 복잡하지 않아 엑셀프로그램 기능으로도 쉽게 작업을 할 수 있으나, 향후 급행열차를 도입, 타 노선과 연계 등 복잡한 열차패턴이 혼용될 시는 열차다이아 시스템도 매우 유용하게 사용될 수 있음. 특히 열차스케줄을 다양한 패턴으로 여러 방면으로 검토가 필요할 때 활용도가 높으리라 생각됨.	
6	공사에서 사용하고 있는 열차계획시스템은 도입이 꽤 오래 되었으며, 특히 승무사업관련 시스템은 작동되는데 많은 시간이 소요되어 사용을 못하고 있는 실정이며, 현재 시스템 도입을 위한 예산은 책정되지 않았지만 향후 시스템 도입을 위해 여러 방면으로 협조를 바람.	공사의 열차계획업무에 많은 도움을 줄 수 있는 시스템을 만들어 보겠으며, 또한 필요하다면 공사의 시스템을 분석 연구하여 향후 공사의 발전에 기여할 수 있는 시스템 도입에 적극 도와드리겠음.	

[첨부] : 회의사진






(8) 구매계획서 확보

- 본 과제를 통해 개발된 “열차운행계획 상용화 시스템”에 대하여 수요처인 ㈜에스알이 각 모듈별 업무적 검증을 완료한 후 단계별 또는 모듈별 구매계획이 있음을 확인함

구매계획서

주관과제명	철도 실용화 문턱과제		
과제명	첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템		
과제번호	18RTRP-C148790-01-000000		
전문기관	국토교통과학기술진흥원		
주관연구기관	㈜지오엔티		
참여기관	1. 경상대학교	2. 한국철도기술연구원	3. ㈜에스알

- 국토교통과학기술진흥원 철도 실용화 문턱과제로 선정된 「**첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발**」의 수행 완료 후 개발된 시스템에 대해

- ㈜에스알이 업무적 검증(내부 규격서)을 완료한 후 단계별 또는 모듈별 구매계획이 있음을 다음과 같이 확인합니다.

[다 음]

1. 구매대상 : 본 연구과제의 결과물(열차계획 상용화 시스템)의 전체 또는 일부 단위 모듈
2. 전체 단위모듈
   ① 열차운행계획(열차DIA)
   ② 열차성능시뮬레이션(TPS)
   ③ 차량운용계획
   ④ 승무운영계획

참여기관(수요처)	2019년 11월 14일 ㈜에스알 대표이사 권 태 명 (인)

㈜지오엔티 대표이사 귀하

<그림 97 구매계획서>

(9) 수상 실적

구분	R&D과제명	수상명	수상 등급	수상 주체	수상 시기	수상 주요내용
국내 수상	첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발	2019년 철도R&D 발전기여에 따른 우수 연구자 표창	장관상	국토교통부	'19. 12	·철도기술연구사업의 일환인 실용화 문턱과제(첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발) 연구개발을 통해 철도R&D 발전에 기여한 공로를 인정받아 국토교통부 장관 표창자로 선정



제 30920 호

표 창 장

(주)지오엔티

대표이사 지 상 복

귀하는 평소 맡은 바 직무에 정려하여 왔으며 특히 국토교통업무 발전에 기여한 공이 크므로 이에 표창합니다.

2019년 12월 31일

국토교통부장관 김 현

<그림 98 수상실적 - 국토부장관 표창장, 2019.12>

라. 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참 여 연 구 원
과제명	첨단 IT기술에 의한 열차운행계획의 상용화 시스템 개발	주관연구책임자 (지상복)외 총 30명

기 관 별 참 여 현 황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기 업	1	7
중견기업		
중소기업	1	15
대 학	1	5
국공립(연)		
출 연 (연)	1	4
기 타		

주관연구기관

㈜지오엔티

(지상복)외
14명

담당기술개발내용

- 열차성능시뮬레이션 상용화 모듈 개발
- 열차다이아 상용화 모듈 개발
- 차량/승무계획 상용화 모듈 개발
- 선로용량 산정 상용화 모듈 개발
- 통계 및 분석 상용화 모듈 개발

공동연구기관

한국철도기술연구원

(오석문)외
3명

담당기술개발내용

- 열차운행계획시스템 표준업무 정의서 개발
- 차량운영계획 최적화 알고리즘 모형 개발 및 검증
- 차량운영계획 최적화 알고리즘 개발 및 알고리즘 수행도 시험

공동연구기관

경상대학교

(강인석)외
4명

담당기술개발내용

- 열차운행계획 정보체계정의서 개발 및 보완
- 승무운영계획 최적화 알고리즘 현황조사 및 적정성 분석
- 승무운영계획 최적화 알고리즘 검증

위탁연구기관

㈜에스알

(변준근)외
6명

담당기술개발내용

- 테스트베드 수행을 위한 계획 및 수행체계 수립
- 테스트베드를 통한 열차운행계획시스템의 실용화 검증

마. 연구개발 추진일정

구분	년도	세부 연구목표	세부 연구개발 내용	핵심성과물	수행 기관	추진일정			
						1분기 (1/4)	2분기 (2/4)	3분기 (3/4)	4분기 (4/4)
1차년도	2018	열차다이아 고도화 및 상용화 제작	모듈 시스템 설계	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	㈜지오 엔티				
			기능 고도화 및 상용화 모듈 구축						
			사용자 매뉴얼 작성						
		열차운행 계획시스템 표준업무정의서	표준업무 정의서 개발	기타보고서 1건	철도기술 연구원				
		차량운영계획 최적화 알고리즘 사례조사	국내외 최적화 알고리즘 사례분석	기타보고서 2건					
			최적화 알고리즘 연구조사						
		차량운영계획 최적화 알고리즘 모형 개발	최적화 수리모형 개발						
			최적화 알고리즘 선정						
		열차운영계획 정보체계 사례조사	국내외 사례분석	기타보고서 2건	경상 대학교				
		열차운영기관 수요처 요구사항 사례별 조사	국내외 사례분석						
		성능평가 체계 개발	성능평가 지표 작성	기타보고서 1건 추과성과 1건 (열차계획 조사 보고서 추가 작성)	㈜에스알				
2차년도	2019	차량운영 시스템 고도화 및 상용화 제작	모듈 시스템 설계	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	㈜지오 엔티				
			기능 고도화 및 상용화 모듈 구축						
			사용자 매뉴얼 작성						
		승무운영 시스템 고도화 및 상용화 제작	모듈 시스템 설계	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건 추가성과 1건 (철도운영기관의 기 운용시스템 모듈 분석 보고서 추가 작성)					
			기능 고도화 및 상용화 모듈 구축						
			사용자 매뉴얼 작성						
		열차성능 시뮬레이션 시스템 고도화 및 상용화 제작	모듈 시스템 설계	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건					
			기능 고도화 및 상용화 모듈 구축						
			사용자 매뉴얼 작성						
		차량운영계획 최적화 알고리즘	최적화 알고리즘 개발	학술대회논문 1건 기타보고서 1건 추가성과 2건 (특허출원 1건 학술대회논문 1건)	철도기술 연구원				
			최적화 모형검증						
		열차운행계획 정보체계	정보체계 정의서 개발	학술대회논문 1건 기타보고서 1건	경상 대학교				

		승무운영계획 최적화 알고리즘	최적화 알고리즘 현장조사 및 적정성분석	학술대회논문 1건 기타보고서 1건 추가성과 4건 (논문게재 2건 학술대회논문 국내 및 국외 각 1건)					
		성능 및 신뢰성 검증	Test-Bed 수행체계 마련	기타보고서 1건	㈜에스알				
		구매계획서 확보	구매계획서	구매계획서 1건	㈜지오엔티				
3차년도	2020	선로용량 및 통계/분석 상용화 제작	모듈 시스템 설계	시스템설계서 1건 S/W등록 2건 사용자매뉴얼 1건 추가성과 5건 (S/W등록 5건 ->열차성능시뮬레이션(2), 열차DB(1), 승무운영계획(2)	㈜지오엔티				
			기능 고도화 및 상용화 모듈 구축						
			사용자 매뉴얼 작성						
		공인인증기관을 통한 성능검증 및 평가	S/W 인증서 획득	인증서(1등급) 1건					
		차량운영계획 최적화 알고리즘	핵심 파라메터 튜닝	특허등록 1건 학회지논문 1건 기타보고서 1건	철도기술연구원				
			알고리즘 수행도/인터페이스 시험						
		열차운행계획 정보체계	정보체계 정의서 수정 및 보완	학술대회논문 2건 (1건 우수논문상 수상) 학회지논문 1건 기타보고서 2건	경상대학교				
		승무운영계획 최적화 알고리즘	최적화 알고리즘 검증						
		성능 및 신뢰성 검증	테스트베드 및 성능평가	기타보고서 1건	㈜에스알				

4. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

가. 평가의 착안점 및 기준

(1) 양적 성과목표 및 달성도

(단위 : 편, 건, 명, 천원)

구분			1차	2차	3차	계
국외 논문 게재	SCI					
	비SCI					
	계					
국내 논문 게재	SCI					
	비SCI		-	2	2	4
	계		-	2	2	4
특허 출원	국내				1	1
	국외					
	계				1	1
특허 등록	국내				1	1
	국외					
	계				1	1
인력 양성	석사					
	박사					
	계					
기술 이전	계약 건수					
	계약액					
	징수액					
국제 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
국내 표준화	기고서 제출					
	기고서 채택					
	표준안 채택					
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문					
	연구시설 · 장비					
	기술요약정보					
	생명자원	생명정보				
		생물자원				
		신품종				
	소프트웨어		1	3	7	11
	화학물					
기타	시제품					
	성과 홍보				4	4
	일자리 창출					

(2) 연구성과 총괄(전체연구기간)

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검 기준					양적 성과목표	달성치/ 실적	해당 기관
					질적성과지표 (측정방법)	목표치	검증 방법	가중치 (%)			
A	열차다이아 고도화 및 상용화 제작	A-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	9	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건 추가성과 : 1건 (S/W등록 1건, 3차년도)	㈜지오엔티
		A-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	1건	등록여부				
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						
		A-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
B	열차운행 계획시스템 표준업무 정의서	B-1	표준업무 정의서 개발	①	표준업무정의서 (작성여부)	1건	결과 보고서	2	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건	철도기술 연구원
C	차량운영계획 최적화 알고리즘	C-1	선진사례조사 및 분석	①	국내외 최적화 알고리즘 사례분석 (조사/분석 여부)	1건	결과 보고서	1	기타보고서 2건	100% 기타보고서 2건	
				②	최적화 알고리즘 연구조사 (조사/분석 여부)						
		C-2	최적화 알고리즘 모형 개발	①	최적화 수리모형 개발 (개발여부)	1건	결과 보고서	3			
				②	최적화 알고리즘 선정 (개발여부)						
		C-3	최적화 알고리즘 개발	①	알고리즘 구현 (개발여부)	2건	결과 보고서, 논문	8	학술대회논문 1건 기타보고서 1건	100% 학술대회논문 1건 기타보고서 1건 추가성과 2건 (특허출원 1건 학술대회논문 1건)	
				②	알고리즘 시험 및 검증(수행여부)						
		C-4	최적화 모형 검증	①	선정 알고리즘과 연계성 검증 (작성여부)						
				②	현실 제약조건 반영 검증(작성여부)						
		C-5	핵심 파라메터 튜닝	①	핵심 파라메터 튜닝 (수행여부)	3건	특허출원, 결과 보고서, 논문	7	특허출원 1건 학회지논문 1건 기타보고서 1건	100% 특허등록 1건 학회지논문 1건 기타보고서 1건	
		C-6	알고리즘 수행도/인터페이스 시험	①	알고리즘 수행도 강화 시험 S/W 인터페이스 시험 (작성여부)						
D	열차운행계획 정보체계	D-1	열차운행계획 정보체계 사례 조사	①	국내외 사례분석 (조사/분석 여부)	1건	결과 보고서	2	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건	경상대학교
		D-2	정보체계 정의서 개발	①	정보체계 정의서 개발 (조사/분석 여부)	2건	결과 보고서, 논문	3	학술대회논문 1건 기타보고서 1건	100% 학술대회논문 1건 기타보고서 1건	
		D-3	정보체계 정의서 수정 및 보완	①	정보관리 표준정의서 수정 및 보완 (수행여부)	3건	결과 보고서, 논문	5	학술대회논문 1건 학회지논문 1건 기타보고서 1건	100% 학술대회 논문 1건 (우수논문상 수상) 학회지 논문 1건 (E-3항목에서 작성) 기타보고서 1건	
E	승무운영계획 최적화 알고리즘	E-1	열차운영계획 수요처 요구사항 사례별 조사	①	국내외 사례분석 (조사/분석 여부)	1건	결과 보고서	3	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건	
		E-2	최적화알고리즘 현황조사 및 적정성 분석	①	알고리즘 분석 (조사/분석 여부)	2건	결과 보고서, 논문	3	학술대회논문 1건 기타보고서 1건	100% 학술대회논문 1건 기타보고서 1건 추가성과 4건 (논문 게재 2건, 학술대회논문 국내 및 국외 각 1건)	
		E-3	최적화 알고리즘 검증	①	알고리즘 수행도 강화 시험 S/W 인터페이스	2건	결과 보고서, 논문	6	학술대회 논문 1건 기타보고서 1건	100%	

					시험 (작성여부)					학술대회논문 1건 학회지 논문 1건 (D-3 학회지 논문 1건을 E-3에서 달성) 기타보고서 1건	
F	성능 및 신뢰성 검증	F-1	성능평가 체계 개발	①	성능평가 지표 개발 (작성 여부)	1건	결과 보고서	2	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건 추교성과 1건 (열차계획 조사 보고서 추가 작성)	(주)에스알
		F-2	Test-Bed 수행체계 마련	①	Test-Bed 수행계획서 작성 (작성여부)	1건	수행 계획서	2	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건	
		F-3	성능평가	①	성능평가 (작성여부)	1건	결과 보고서	6	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건	
		F-4	Test-Bed 수행	①	Test-Bed (수행여부)						
G	차량운영 시스템 고도화 및 상용화 제작	G-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	7	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건 S/W 등록 1건 사용자매뉴얼 1건	(주)지오엔티
		G-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	1건	등록여부				
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						
		G-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
H	승무운용 시스템 고도화 및 상용화 제작	H-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	7	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건 추가성과 3건 (S/W등록 2건 3차년도 / 기타보고서 1건)	
		H-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	1건	등록여부				
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						
		H-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
I	열차성능 시뮬레이션 고도화 및 상용화 제작	I-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	9	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건 추가성과 : 2건 (S/W등록 2건, 3차년도)	
		I-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	1건	등록여부				
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						
		I-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
J	선로용량 및 통계/분석 상용화 제작	J-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	9	시스템설계서 1건 S/W등록 2건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건 S/W등록 2건 사용자매뉴얼 1건	
		J-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	2건	등록여부				
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						
		J-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
K	구매계획서 확보	K-1	구매계획서	①	구매계획서 획득 (확보여부)	1건	확보 여부	2	구매계획서 1건	100% 구매계획서 1건	
L	공인인증기관을 통한 성능검증 및 평가	L-1	S/W 인증서 획득	①	굿소프트웨어 인증서 (획득여부)	1건	인증서	4	인증서 1건	100% 인증서(1등급) 1건	
계						40건		100	특허출원 1건 S/W등록 6건 시스템설계서 5건 사용자매뉴얼 5건 학술논문 7건 기타보고서 14건 구매계획서 1건 인증서 1건	100% 특허등록 : 1건 S/W등록 : 6건 시스템설계서 : 5건 사용자매뉴얼 : 5건 학술논문 : 7건 기타보고서 : 14건 구매계획서 : 1건 인증서 : 1건 추가 : 13건 (특허출원 1건, S/W등록 5건, 학술논문 5건 기타 2건	

(3) 연차별 연구성과

□ 1차년도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검 기준					양적 성과목표	달성치/ 실적	해당 기관
					질적성과지표 (측정방법)	목표치	검증 방법	가중치 (%)			
A	열차다이아 고도화 및 상용화 제작	A-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	9	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	㈜지오엔티
		A-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	1건	등록여부				
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						
		A-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
B	열차운행 계획시스템 표준업무 정의서	B-1	표준업무 정의서 개발	①	표준업무정의서 (작성여부)	1건	결과 보고서	2	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건	철도 기술 연구원
C	차량운영 계획 최적화 알고리즘	C-1	선진사례조사 및 분석	①	국내외 최적화 알고리즘 사례분석 (조사/분석 여부)	1건	결과 보고서	1	기타보고서 2건	100% 기타보고서 2건	
				②	최적화 알고리즘 연구조사 (조사/분석 여부)						
		C-2	최적화 알고리즘 모형 개발	①	최적화 수리모형 개발 (개발여부)	1건	결과 보고서	3			
				②	최적화 알고리즘 선정 (개발여부)						
D	열차운행 계획 정보체계	D-1	열차운행계획 정보체계 사례 조사	①	국내외 사례분석 (조사/분석 여부)	1건	결과 보고서	2	기타보고서 2건	100% 기타보고서 2건	경상대학교
E	열차운영기관 수요처 요구사항 분석	E-1	열차운영계획 수요처 요구사항 사례별 조사	①	국내외 사례분석 (조사/분석 여부)	1건	결과 보고서	3			
F	성능 및 신뢰성 검증	F-1	성능평가 체계 개발	①	성능평가 지표 개발 (작성 여부)	1건	결과 보고서	2	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건 추과성과 1건 (열차계획 조사 보고서 추가 작성)	㈜에스알
계						9건		22	S/W등록 1건 시스템설계서 1건 사용자매뉴얼 1건 기타보고서 6건	100% S/W등록 : 1건 시스템설계서: 1건 사용자매뉴얼: 1건 기타보고서: 6건 추가: 1건 (기타보고서 1건)	

□ 2차년도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검 기준					양적 성과목표	달성치/ 실적	해당 기관
					질적성과지표 (측정방법)	목표치	검증 방법	가중치 (%)			
I	열차성능 시뮬레이션 고도화 및 상용화 제작	I-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	9	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	㈜지오 엔티
		I-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	1건	등록여부				
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						

		I-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
C	차량운영계획 최적화 알고리즘	C-3	최적화 알고리즘 개발	①	알고리즘 구현 (개발여부)	2건	결과 보고서, 논문	8	학술대회논문 1건 기타보고서 1건	100% 학술대회논문 1건 기타보고서 1건 추가성과 2건 (특허출원 1건 학술대회논문 1건)	철도 기술 연구원
				②	알고리즘 시험 및 검증(수행여부)						
		C-4	최적화 모형 검증	①	선정 알고리즘과 연계성 검증 (작성여부)						
				②	현실 제약조건 반영 검증(작성여부)						
D	열차운행계획 정보체계	D-2	정보체계 정의서 개발	①	정보체계 정의서 개발 (조사/분석 여부)	2건	결과 보고서, 논문	3	학술대회논문 1건 기타보고서 1건	100% 학술대회논문 1건 기타보고서 1건	경상대학교
E	승무운영계획 최적화 알고리즘	E-2	최적화알고리즘 현황조사 및 적정성 분석	①	알고리즘 분석 (조사/분석 여부)	2건	결과 보고서, 논문	3	학술대회논문 1건 기타보고서 1건	100% 학술대회논문 1건 기타보고서 1건 추가성과 4건 (논문게재 2건 학술대회논문 국내 및 국외 각 1건)	
F	성능 및 신뢰성 검증	F-2	Test-Bed 수행체계 마련	①	Test-Bed 수행계획서 작성 (작성여부)	1건	수행 계획서	2	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건	㈜에스알
G	차량운영 시스템 고도화 및 상용화 제작	G-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	7	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	
		G-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	1건	등록여부				
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						
		G-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
H	승무운용 시스템 고도화 및 상용화 제작	H-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	7	시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건 S/W등록 1건 사용자매뉴얼 1건 추가성과 1건 (철도운영기관의 기 운용시스템 모듈 분석 보고서 추가 작성)	㈜지오 엔티
		H-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	1건	등록여부				
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						
		H-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
K	구매계획서 확보	K-1	구매계획서	①	구매계획서 획득 (확보여부)	1건	확보여부	2	구매계획서 1건	100% 구매계획서 1건	
계						17건		41	S/W등록 3건 시스템설계서 3건 사용자매뉴얼 3건 학술논문 3건 기타보고서 4건 구매계획서 1건	100% S/W등록 : 3건 시스템설계서: 3건 사용자매뉴얼: 3건 학술논문: 3건 기타보고서: 4건 구매계획서 : 1건 추가 : 7건 (특허출원 1건 학술논문 5건 기타보고서 1건)	

□ 3차년도

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		성과점검 기준					양적 성과목표	달성치/ 실적	해당 기관
					질적성과지표 (측정방법)	목표치	검증 방법	가중치 (%)			
J	선로용량 및 통계/분석 상용화 제작	J-1	모듈 시스템 설계	①	시스템설계서 작성 (설계여부)	1건	설계서	9	시스템설계서 1건 S/W등록 2건 사용자매뉴얼 1건	100% 시스템설계서 1건	㈜지오 엔티

		J-2	기능 고도화 및 상용화 모듈 구축	①	S/W 등록 (등록여부)	2건	등록여부			S/W등록 2건 사용자매뉴얼 1건 추가성과 5건 (S/W등록 5건 ->열차성능시뮬레이션 (2), 열차다이아(1), 승무운영계획(2)	
				②	기능 모듈 구현 (개발여부)						
		J-3	사용자 매뉴얼 작성	①	사용자매뉴얼 작성 (작성여부)	1건	매뉴얼				
L	공인인증기관을 통한 성능검증 및 평가	L-1	S/W 인증서 획득	①	굿소프트웨어 인증서 (획득여부)	1건	인증서	4	인증서 1건	100% 인증서(1등급) 1건	
C	차량운영계획 최적화 알고리즘	C-5	핵심 파라메터 튜닝	①	핵심 파라메터 튜닝 (수행여부)	3건	특허출원, 결과보고서, 논문	7	특허출원 1건 학회지논문 1건 기타보고서 1건	100% 특허등록 1건 학회지논문 1건 기타보고서 1건	철도기술연구원
		C-6	알고리즘 수행도/인터페이스 시험	①	알고리즘 수행도 강화 시험 S/W 인터페이스 시험 (작성여부)						
D	열차운행계획 정보체계	D-3	정보체계 정의서 수정 및 보완	①	정보관리 표준정의서 수정 및 보완 (수행여부)	3건	결과보고서, 논문	5	학술대회논문 1건 학회지논문 1건 기타보고서 1건	100% 학술대회논문 2건 (1건 우수논문상 수상) 학회지논문 1건 기타보고서 2건	경상대학교
E	승무운영계획 최적화 알고리즘	E-3	최적화 알고리즘 검증	①	알고리즘 수행도 강화 시험 S/W 인터페이스 시험 (작성여부)	2건	결과보고서, 논문	6	학술대회논문 1건 기타보고서 1건		
F	성능 및 신뢰성 검증	F-3	성능평가	①	성능평가 (작성여부)	1건	결과보고서	6	기타보고서 1건	100% 기타보고서 1건	(주)에스알
		F-4	Test-Bed 수행	①	Test-Bed (수행여부)						
계						14건		37	특허출원 1건 S/W등록 2건 시스템설계서 1건 사용자매뉴얼 1건 학술논문 4건 기타보고서 4건 인증서 1건	100% 특허등록 : 1건 S/W등록 : 2건 시스템설계서: 1건 사용자매뉴얼: 1건 학술논문 : 4건 기타보고서 : 4건 인증서: 1건 추가 : 5건 (S/W등록 5건)	

나. 관련 분야 기여도

(1) 기술적 측면

◦ 기존 열차운행계획시스템의 개발은 일부 기능 개선이나 특정 철도운영기관의 맞춤형으로 개발되어 상용화가 되지 못하고 있음. 이와 달리 본 과제를 통해 개발한 열차운행계획시스템은 국내 첫 열차운행계획시스템 상용화 개발 사례로써 체계화된 기술 확보가 가능함. 또한 철도운영기관에 프레임워크 기반의 맞춤형 열차운행계획시스템 적용을 통해 철도운영 및 시스템 유지보수의 능동적/효율적 수행을 가능하게 함

◦ 다양한 철도운영기관에서 열차성능시뮬레이션(TPS), 열차운행계획, 차량운영계획, 승무운영

계획 등 열차계획 수립을 위해 필요한 업무를 종합적으로 처리·검토 할 수 있도록 함으로써 업무 생산성을 증대시키고 열차계획 시 의사결정을 위한 데이터 검증체계를 마련할 수 있음

◦ 열차운행계획시스템의 단위 시스템화 및 통합 기술을 통해 대형 및 중·소형 운영기관에서 분리해서 사용할 수 있게 개발하였으며 이는 철도운영기관별 시스템 운영의 간소화 및 자체 보유 시스템과 연계성을 높일 수 있고 국내 기술 범용성을 확보할 수 있음

◦ 전반적인 열차운행 로직의 체계적 접근 방식으로 종합적 열차운행계획 수립이 가능하고, 열차운행계획 모듈의 패키지화를 통해 철도운영기관별 맞춤형 열차운행계획시스템 구축이 가능하게 함으로써 코레일 등 기존 철도운영기관 및 신규 운영기관의 활용도가 높은 통합시스템 기술로 발전할 수 있음

◦ 열차운행계획 자동화 시스템 구현으로 열차계획 작성 시 작업소요시간을 획기적으로 단축시키고 열차운행환경에 따른 열차스케줄 변화에 신속하고 즉각적으로 대응할 수 있도록 하며 차량, 승무원 등 주어진 운영자원에 대하여 효율적으로 관리할 수 있도록 함

◦ 해외 활용중인 유사 프로그램의 기능 분석 및 고도화 된 프레임워크 기반의 열차운행계획 모듈 구현, 보다 최적화 된 로직의 성과물 적용 등으로 기존 열차운행계획시스템 대비 차별화된 기능을 갖추어서 향 후 해외 수출을 통한 철도운영기술의 국제 경쟁력을 확보할 수 있음

구 분	해당 기술	기존 기술
기능/ 성능	▪ 국내 최초의 열차운행계획 상용화 시스템 개발을 통한 독자적 원천기술 확보 ▪ 열차성능시뮬레이션(TPS), 열차운행계획, 차량운영계획, 승무운영계획, 선로용량 등 프레임워크 기반의 단위모듈 및 통합시스템 운영 기술 확보	▪ 기존 열차운행계획시스템은 코레일 등 철도운영기관을 중심으로 자체 개발하거나 외국 시스템을 도입하여 사용 ▪ 열차운행계획시스템 및 알고리즘에 대한 원천기술이 미흡한 상태임
장단점	▪ 복잡한 열차운행계획 수립 시 다양한 유형의 열차시뮬레이션을 통한 사전분석 -> 철도운영상 안전성 및 신뢰성 확보 ▪ 상용화 패키지 자체 개발로 철도운영의 효율성 증대	▪ 기존 열차운행계획시스템은 일부 기능 개선이나 특정 철도운영기관의 맞춤형으로 개발되어 상용화되지 못함
경제성	▪ 열차계획 수립을 위한 업무생산성 향상(40% 업무 절감 효과) 및 운영자원의 효율적 관리 ▪ 철도운영기관별 특정 기능위주의 별도 시스템 개발에 따른 중복 예산투입 우려 해소	▪ 열차운행계획 담당자의 수작업 의존도 증가 및 작업 시간 증가 ▪ 열차운행계획시스템 운영 및 유지보수 비용 과다 발생

<표 75 기존 열차운행계획 기술과의 차별성>

◦ 차량운영계획 최적화 알고리즘을 국내 자체기술 개발을 통해 상용 최적화 라이브러리를 활용하

지 않고도 독자적 알고리즘 개발을 통해 소프트웨어 상용화 개발에 적용함으로써 체계화 된 기술 확보가 가능함

◦ 차량 및 승무운영계획 모듈 등 열차운행계획시스템에 적용된 알고리즘은 기존 개발 경험이 있는 유전자알고리즘(GA)을 적용하여 고도화 개발하였고 이는 복잡한 제약조건 및 규정을 만족하는 해를 구하도록 하여 알고리즘의 수행도를 향상시킴으로써 상용 최적화 라이브러리와 동등 이상 해의 품질을 확보함

◦ 열차운행계획통합시스템을 위한 정보분류체계 정의서는 대형 열차운영기관의 특성에 맞게 개발되어 중·소형 열차운영기관과 신규 열차운영기관에 적용성이 떨어지는 열차운행계획 시스템을 해당 철도운영기관의 규모에 적합하게 시스템을 재구성할 수 있도록 활용 가능함

◦ 승무운영계획 최적화 알고리즘을 통해 다양한 제약조건 및 근로기준으로 인해 복잡하고, 오랜 시간이 소요되어 낮은 승무일정계획 작업업무의 생산성을 향상시킬 수 있으며, 최적화를 보장할 수 있는 승무다이아, 승무교번을 생성할 수 있어 실무적 활용성이 증대될 수 있음

◦ 철도차량 운영계획 (스케줄링) 최적화 문제에서 종래 단계적 해법이 운영기관의 열차다이아 전면 개편 시에 활용이 곤란한 문제 극복을 위해 통합적 해법을 개발함

◦ 철도차량 운영계획 (스케줄링) 문제의 최적해를 구하기 위한 통합적 해법의 첫 번째 기술적 난제인 복잡도 (Complexity) 이슈를 극복하기 위해 네트워크 기반 노드-링크 최적화 모델을 개발함

◦ 철도차량 운영계획 (스케줄링) 문제의 최적해를 구하기 위한 통합적 해법의 두 번째 기술적 난제인 입력 데이터 및 파라미터의 불확실성 (Unknown parameter) 이슈를 극복하기 위해 통합적 해법 – 증분법 알고리즘 개발함

(2) 경제적 측면

◦ 열차운행계획시스템 기능의 단위 시스템화 및 통합 기술을 통해 대형 및 중·소형 운영기관에서 분리해서 사용할 수 있게 개발함으로써 국내외 철도 노선의 확장계획에 따른 신생 철도운영기관들의 열차운행계획시스템 도입에 따른 중복 개발을 국가차원에서 사전에 예방할 수 있음

◦ 프레임워크 기반의 열차운행계획시스템 개발을 통한 국내 첫 상용화 기술 확보는 향 후 철도운영기관 및 지자체 관련기관, 철도설계사 등 열차운행계획 수립을 위한 시스템 도입 시 운영 및 유지보수 비용 절감을 기대할 수 있음

◦ 다수 철도운영기관의 특성을 반영하여 통합기능을 갖춘 상용화된 열차운행계획시스템 구현으로 각 철도운영기관별 특정 기능위주의 별도 시스템 개발에 따른 중복 예산투입 우려를 해소할 수 있으며 또한 기존 시스템과 인터페이스 구현의 용이성을 통해 시스템 도입 및 운영에 따른 비용절감에 기여할 수 있음

◦ 또한 철도관련 국외 시장 동향에 따르면, 국내 철도운영기관 및 관련기관이 동남아 등 철도 인프라 신생국들의 철도 프로젝트 추진으로 수출 효과를 기대할 수 있음

◦ 열차운행계획 정보분류체계는 신규 및 중·소형 열차운영기관이 열차운행계획 시스템을 구축할 시에 필요 세부기능을 선택과정에 활용될 수 있어 정확한 열차운행계획 시스템 구축비용의 산출이 가능하며, 불필요한 세부기능 구축비용 또한 절감할 수 있음

◦ 승무운용계획 최적화 알고리즘은 승무다이아의 최적화, 승무교번의 최적화를 통해 불필요한 승무다이아 생성을 방지할 수 있고, 미할당 다이아를 제거하여 열차운영기관의 인력효율성을 높일 수 있어 경제적 손실을 감소할 수 있음

◦ 철도차량 운영계획 (스케줄링) 최적화 알고리즘을 국내 기술로 자체 개발하여 향후 국내 철도운영기관에서 활용이 가능한 실용화 기반을 구축함

◦ 철도차량 운영기관에서 열차 Dia 전면 개편할 때도 활용이 가능한 철도차량 운영계획 스케줄링 통합적 해법 – 증분법을 개발하여 실용화 기반을 구축함

◦ 참여기업인 SRT의 중기 사업 목표 중 하나인 고속차량 증편사업의 (46편성) 열차–차량 기본계획(안)을 제시하였고, 향후 지속적 협력 및 연구 지원을 위한 기반을 구축함

5. 연구개발성과의 활용계획

가. 연구성과물의 활용방안

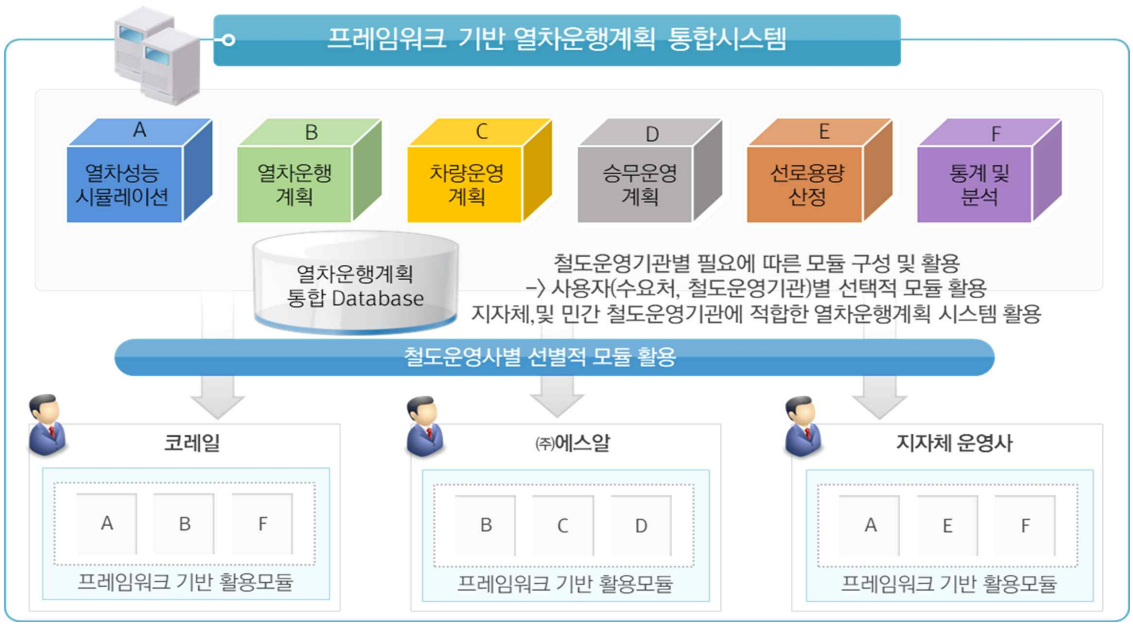
◦ <u>수요처 및 철도운영사의 내부 열차운행계획시스템으로 활용</u>

– 수요처인 ㈜에스알의 직접적인 연구참여를 통해 실용화에 필요한 요구사항들을 지속적으로 수집하였고 이를 시스템 개발단계부터 반영하였기 때문에 과제 성과물이 수요처 및 철도운영사에서 보다 효과적으로 활용될 수 있음

– 또한 본 연구를 통해 개발된 열차운행계획 주요 모듈은 독립적 운영이 가능한 형태의 시스템으로 구현되었기 때문에 수요처 및 철도운영사에서 필요한 모듈만을 선별적으로 도입하여 활용할 수 있도록 함

◦ <u>패키지 구성에 따른 열차운영기관 규모별 맞춤형 열차운행계획시스템으로 활용</u>

– 본 성과물은 열차운행계획에 필요한 다양한 기능들이 단위 모듈별로 개발되었고, 이러한 단위 모듈들을 통합프레임워크 기반으로 다양한 조합에 따른 패키지로 구성할 수 있음. 이는 신규 중소형 철도운영기관을 위한 별도의 패키지화를 통해 대규모 SI(System Integration) 사업 중심이 아닌 자체적 열차운행계획시스템으로 활용할 수 있음



<그림 99 프레임워크 기반 열차운행계획 통합시스템 활용>

◦ <u>기존 열차운행계획시스템의 고도화를 위한 대형 철도운영기관으로 기술이전 및 판매 활용</u>

– 기존 국내의 열차운행계획시스템은 시스템 노후화 및 IT 발전에 따른 기술이 반영되어 있지 않기 때문에 고도화 작업이 필요하고, 철도운영기관이 열차운행계획 업무 지원을 위한 다양한 형태의 추가적인 기능 개발을 고려하고 있으므로 본 성과물의 단위기능 모듈 판매 및 통합운영을 위한 시스템 기술이전으로 활용될 수 있음

◦ **열차운행계획시스템 구축에 대한 정보체계 활용 및 승무계획 전산화를 위한 자료로서 활용**

- 열차운행계획통합시스템을 위한 정보분류체계 정의서는 코레일을 비롯하여 SRT, 지하철 운영회사, 지자체의 도시철도 등 다양한 철도운영기관들이 새로이 구성되고 있으므로, 이들 기관에서 운영하는 철도운영 규모에 적합한 운영시스템을 구축할 때 필요한 정보로 활용성을 갖음

- 승무운영계획 최적화 알고리즘은 지금까지 전문가의 경험적 지식에 의한 수작업으로 작성되고 있는 승무다이아 및 교번 작성과정을 전산화하기 위한 알고리즘으로 적용성을 가지며, 이러한 프로그램은 KORAIL을 비롯하여 SRT, 지하철운영회사, 지자체의 도시철도 등 다양한 철도운영기관들에서 실무적으로 활용성을 가질 수 있음

◦ **철도운영기관의 열차-차량 운용 기본계획 수립의 효율적 업무지원을 위한 활용**

- 열차다이아 전면 개편을 추진하는 철도 운영기관의 열차-차량 운용 기본계획 수립의 효율적 업무 지원을 위해 철도차량 운용계획 (스케줄링) 통합적 해법 – 증분법 알고리즘을 활용함으로써 차량계획 작업에 대한 효율적 업무지원이 가능함
- 통합적 해법 – 증분법 최적화 알고리즘 첫 번째 활용 대상으로 참여기업의 고속차량 증편 운용 사업에 따른 열차-차량 기본운용계획 수립 시 지원 활용

나. 타 연구와의 연계방안

◦ 본 성과물은 국내 첫 열차운행계획시스템의 실용화 연구사례로써 연구추진 시 열차운행계획과 관련된 업무 분석 및 시스템 구현을 위한 표준업무 분석, 요구사항 정의, 정보체계 정의를 통해 열차운행계획시스템 개발에 적용하였으며 이는 향후 열차운행계획 관련 연구를 위한 주요 기술 자료로서 활용 가능함

◦ 본 연구를 통해 개발한 열차운행계획 시스템의 다양한 정보는 현재 국가철도공단에서 운영 중인 선로배분시스템 및 철도운영기관의 영업정보시스템, 경영정보시스템, 차량정비 및 철도시설 관리 시스템 등과 데이터 연계를 통한 긴밀한 운영체계로서의 활용성이 높으므로 향 후 철도운영기관에서 진행하는 연구에 주요 자료로서 활용 가능함

◦ 또한 본 연구 성과물 시스템과 직접적인 연관성은 적지만 관련정보를 활용함으로써 보다 폭넓은 철도운영 서비스를 제공할 수 있는 열차운행선로 유지보수작업 시행을 위한 열차 안전관리, 차량/승무계획의 다양한 대안 제시, 도시철도차량의 회차시설 검토 등의 연구주제와도 연계가 가능함

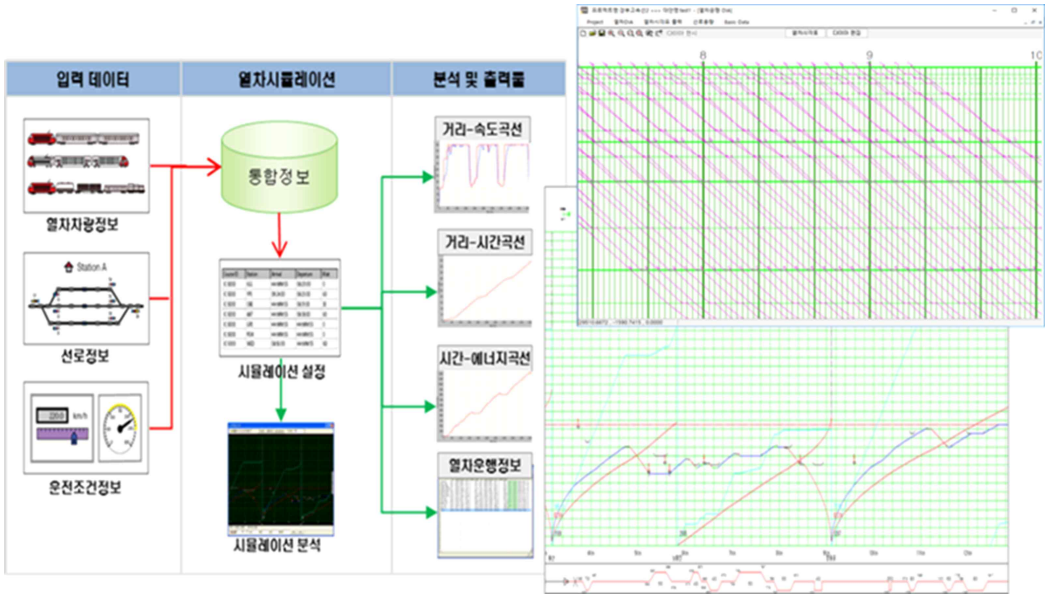
◦ 열차운영계획시스템은 지속적으로 최적화과정이 요구되는 연구 주제로서 국내외에서 이와 관련된 자동화 시스템 구축 연구들이 점차 증대되고 있는 점을 고려하면, 본 연구에서 구축한 승무운영계획 최적화 알고리즘 등은 다양한 활용성을 가질 것으로 기대됨

6. 연구개발 사업화 실적 및 계획

가. 연구개발 사업화 실적

(1) 시스템 납품

No	납품처	납품 일시	내용	비고
1	㈜서현기술단	2019년 7월	TPS(열차성능시뮬레이션) 및 열차다이아 시스템 납품	철도전문설계사
2	㈜케이알티씨	2020년 5월	TPS(열차성능시뮬레이션) 및 열차다이아 시스템 납품	철도전문설계사



<그림 100 열차성능시뮬레이션(TPS) 및 열차다이아 시스템 납품 구성>

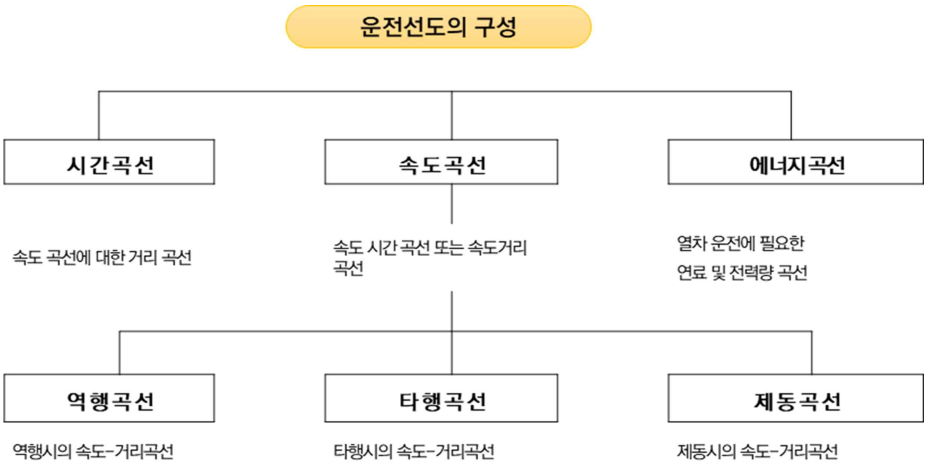
(가) 열차성능시뮬레이션 시스템

■ 열차성능시뮬레이션 시스템 납품 개요

- 열차성능시뮬레이션 시스템을 ㈜서현기술단과 ㈜케이알티씨에 단품 형태로 납품함

■ 열차성능시뮬레이션 시스템 특징

- 열차운전곡선은 주로 열차운전계획에 사용하지만 이것으로 신설개설, 전철화, 동력차 차종변경, 선로의 보수 및 개량을 하였을 때 종합적인 운전시분을 산출하여 역간운전시분을 설정하게 되며, 이론적 근거로 산정한 이 운전시분으로 시운전을 통하여 기준운전시분을 사정함으로써 열차계획을 효율적 수립할 수 있도록 지원함
- 또한 동력차의 성능비교, 견인정수의 검토, 운전시격의 검토, 신호기의 건식위치 결정, 동력차조정법의 검토, 사고조사, 선로개량 계획 등의 중요한 자료가 됨



<그림 101 열차운전곡선(운전선도) 구성>

■ 열차성능시뮬레이션 시스템 활용

- 철도건설을 위한 타당성조사, 기본·실시설계 시 TPS를 활용하여 열차운영계획에 관한 기준 설정과 개선방안을 제시함으로써 투자비를 최소화하고 효율적인 열차운영 및 고품질의 철도 건설을 하기위해 사용함
- 합리적이고 효율적인 철도건설이 되기 위해서는 초기단계부터 정확하고 세부적인 열차운영계획 수립이 필수적이며, 이를 수행하기 위해서는 선로구배(곡선), 정거장 배선, 신호·전차선설비, 보안장치 및 수송수요 등 철도건설에 따른 폭넓고 심도 있는 열차운영계획을 검토·판단하는데 반드시 필요함
- 열차성능시뮬레이션을 통한 열차운전곡선 활용사항은 아래와 같음
  . 신선건설 및 기존선 개량 방안검토
  . 역간별 표준운전시분 및 열차간 최소운행시격 결정
  . 정거장 규모(배선, 유효장, 승강장 등) 및 정거장위치 선정
  . 신호기 건식위치 및 전차선 구분개소 선정 등

(나) 열차다이아 시스템

■ 열차다이아 시스템 납품 개요

- 열차다이아 시스템을 ㈜서현기술단과 ㈜케이알티씨에 단품 형태로 납품함

■ 열차다이아 시스템 특징

- 열차성능시뮬레이션(TPS) 연계 및 열차 패턴별 작성을 통해 열차운행계획관리 업무특성에 적합한 열차다이아를 작성하고 열차시각표 자동생성, 열차다이아 편집, AutoCad 연계 등 사용자 편의성을 고려한 다양한 기능을 통해 열차다이아 작성의 효율성을 향상시킴
- 열차다이아 표시에 대한 다양한 현시조건 설정을 통해 사용자의 가독성을 향상시키고 시뮬레이션을 통한 열차다이아의 경합해소, 선·후행 열차 간 최소시격 및 열차 안전시격 준수 등 열차다이아의 정합성을 보장함으로써 데이터 신뢰성을 확보함

- 특히 열차성능시뮬레이션(TPS) 연계를 통해 열차 패턴별 열차다이아를 자동으로 생성하는 기능 및 열차출발시각 및 정차시각, 정차패턴 등을 열차다이아가 현시된 상태에서 편집할 수 있도록 하는 기능은 열차운행계획 작업시간을 단축시키고 업무효율성을 향상시킴

■ 열차다이아 시스템 활용

- 다양한 조건을 반영하여 열차운행계획 업무특성에 적합한 열차다이아를 신속하게 생성함으로써 철도환경 변화에 따른 능동적이고 적시성 있는 대처가 가능함
- 열차성능시뮬레이션(TPS) 연계를 통한 열차 패턴별 열차다이아 자동 생성 및 열차출발시각 및 정차시각, 정차패턴 등 열차다이아 편집을 통한 열차시각표 자동 반영으로 열차계획업무에 있어 의사결정을 지원하고 업무효율성을 향상시킴

(2) 연구개발과 관련된 시스템 개발사업 수주 및 이행

(가) 승무계획시스템 개발

발주처	사업 기간	사업 명	사업 금액
한국철도공사	2019년 10월 ~ 2020년 10월	승무계획시스템 개발	₩ 803,056,910

■ 사업 개요

◦ 승무분야 계획업무 과정을 효율적으로 처리하고 사용자 편의성을 강화시킨 새로운 승무계획 시스템 개발

■ 사업 배경 및 필요성

◦ 승무관련 시스템(IRIS, XROIS)이 근기법, 승무원근무기준 등 변경된 제도가 제대로 반영 되지 않아 수작업에 의존

◦ 승무근무표 작성 및 승무운용에 있어 월 근무시간 미달, 휴일근무 과다 등 시스템 지원이 부족하여 운용상 비효율이 발생

◦ 승무분야 계획업무 과정을 효율적으로 처리하고 사용자 편의성을 강화시킨 새로운 승무계획 시스템 개발 필요성 대두

■ 사업 목표

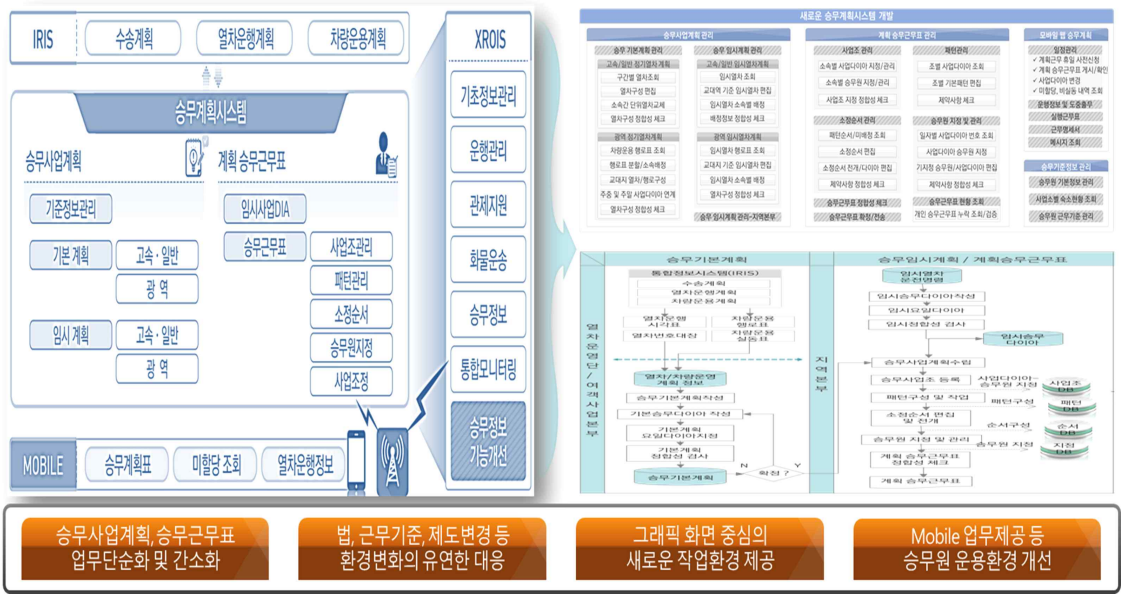
◦ 승무사업, 승무근무표 작업 프로세스 재정립, 업무단순화 및 간소화

◦ 광역 승무계획, 임시열차, 편승열차 작업 업무에 대한 효율성 향상 및 작업시간 단축

◦ 법, 근무기준, 제도변경 등 환경변화에 유연한 대응을 위한 시스템 활용

◦ 시스템 활용적 측면에서 그래픽 중심의 작업환경 구축을 통한 시인성・편리성 확보

◦ Mobile 정보제공 및 업무처리에 따른 승무원 운용환경 개선



<그림 102 한국철도공사 승무계획시스템 개발 사업 개요>

■ **사업 범위**

◦ 통합정보시스템(IRIS)의 승무원운용계획업무와 철도운영정보시스템(XROIS)의 승무근무표 관리 업무를 통합하여 별도 시스템 개발

◦ 승무관련 정보 Mobile 서비스 제공을 위한 환경구축 및 개발

◦ 기 운용 중인 철도운영정보시스템(XROIS)의 기능 개선 및 기능 추가 개발

(나) 국가철도망 건설지원•선로배분시스템 통합 및 고도화 용역

발주처	사업 기간	사업 명	사업 금액
국가철도공단	2020년 06월 ~ 2021년 12월	국가철도망 건설지원•선로배분시스템 통합 및 고도화 용역	₩ 2,034,000,000

■ **사업 개요**

◦ 시스템 성능 향상과 기술발전에 걸맞는 새로운 아이템 발굴을 통해 독자적인 철도건설·운영 융합형 시스템 구축

■ **사업 배경 및 필요성**

◦ 철도시스템의 기술발전, 초고속열차 도입 등 철도환경 변화에 선제적 대처 곤란

◦ 선로용량을 총량의 관점으로만 접근, 이미 포화된 첨두시간대 열차투입에 따른 지연발생 등 철도서비스 품질 저하

◦ 운영체제 변경(Window7→10)에 따른 호환성 문제로 시스템 활용이 어렵고, 노후화로 인한 기능개선·성능확보 필요

◦ 철도건설지원시스템과 선로배분시스템 이원화(異原化)에 따라 연계활용이 불편하고, 유지보수

비효율 발생

◦ 전철/비전철, 단/복선구간 혼재, 완/급행 운행패턴 상이 등으로 열차운행효율 저하

■ 사업 목표

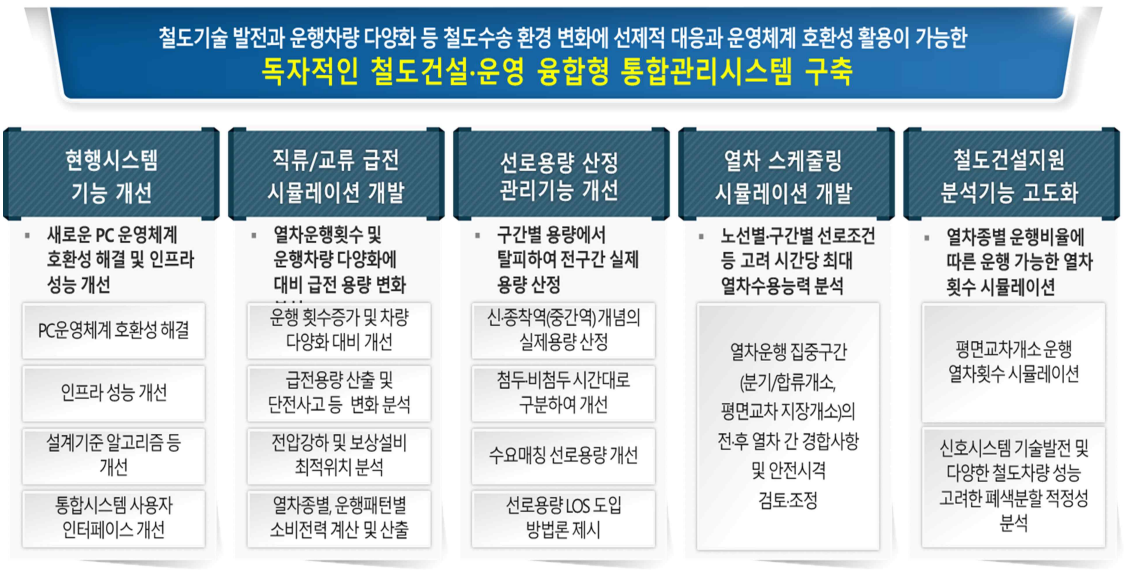
◦ 법, 지침, 철도시스템의 기술발전, 초고속열차 도입 등 철도환경 변화에 선제적 대응

◦ 열차성능 및 철도건설 업무지원, 열차계획 등에 대한 정보의 신속제공으로 의사결정기간 단축 및 비효율 최소화

◦ 철도운영 및 열차계획과 관련한 프로세스 기반의 통합업무처리 환경 구축으로 효율적인 업무처리 환경 제공

◦ 선로 및 역 등 기초데이터에 대한 통합관리, 알고리즘 개선 및 전산화 구현 등으로 시스템 성능 확보

◦ 운영체계 변경에 대한 호환성 해결, 열차스케줄링 및 선로용량 등 기능개선으로 업무 활용성 증진



<그림 103 국가철도망 건설지원•선로배분시스템 통합 및 고도화 사업 개요>

■ 사업 범위

◦ 철도건설지원시스템과 선로배분시스템 통합 및 기능 개선

◦ 직류/교류 급전시뮬레이션 개발

◦ 선로용량 산정 · 관리 개선

◦ 열차스케줄링 시뮬레이션 개발

◦ 평면교차 지장율 분석기능 및 폐색분할 적정성 검토기능 개선

(다) TPS 연계를 통한 DC 급전시뮬레이션 시스템 개발

발주처	사업 기간	사업 명	사업 금액
(주)디투엔지니어링	2019년 05월 ~ 2019년 12월	TPS 연계를 통한 급전시뮬레이션 시스템 개발	₩ 210,000,000

■ 사업 개요

◦ 열차주행성능시뮬레이션(TPS)와 연계하여 직류전기철도의 급전시뮬레이션 시스템 구축을 통하여 변전소 용량 산정 및 부하량 등의 정확한 산출

■ 사업 배경 및 필요성

◦ 열차주행시뮬레이션(TPS)과 열차스케줄 정보에 의한 DC 급전시뮬레이션 수행을 통하여 변전소 및 차량 위치에서의 전차선 전류, 전압 등을 분석하고 변전소 및 차량에서의 에너지 사용 분석과 레일전위 등의 분석 자료를 제공하기 위한 국내 자체 기술기반의 급전시뮬레이션 시스템이 필요함

◦ 전기철도의 최대 장점인 안전성, 편의성, 신속성, 그리고 친환경성, 에너지효율성을 충족시킬 수 있도록 최적의 급전방식 선정과 용량 산정을 위한 급전시뮬레이션 시스템 개발 필요

■ 사업 목표

◦ 철도노선, 전기차량의 특성, 열차운행계획, 철도망건설계획 등을 고려하고 상시 부하특성과 연장급전 등을 감안한 최적의 변전소 설비용량 산정

◦ 급전시뮬레이션 시스템을 통하여 최적의 급전방식 선정과 용량 산정, 변전소 건설위치 선정, 급전계통 검토 및 구성 등에 활용함으로써 경제적인 설비투자 및 국토이용의 효율성 증대

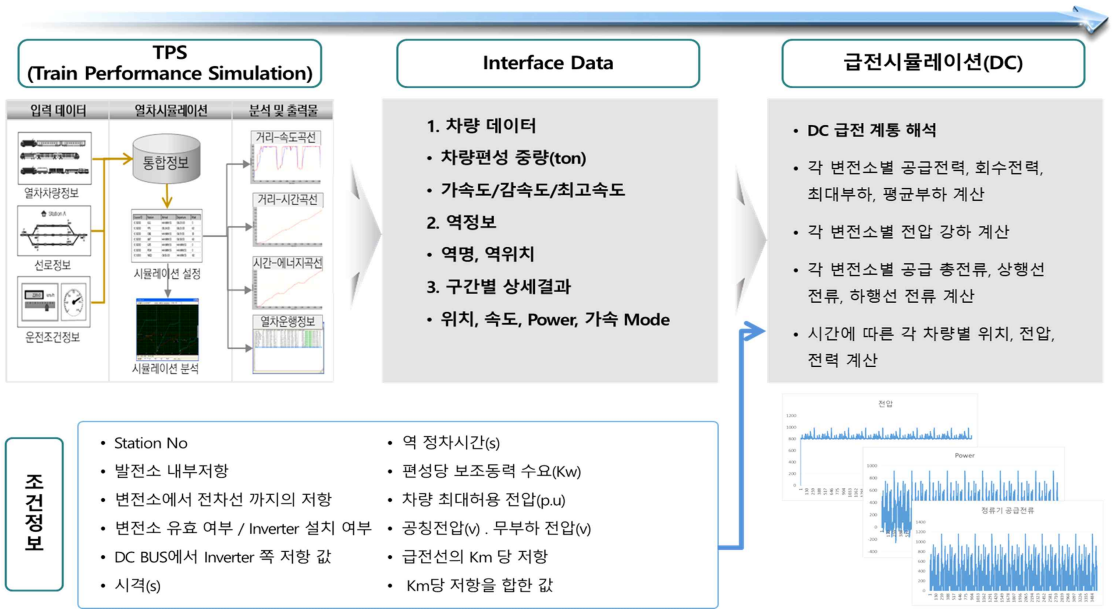
◦ 급전계통구성에 최적의 부합성을 갖고 안정적인 전철 전원 공급 및 검토가 가능한 시뮬레이션 개발

■ 사업 범위

◦ TPS의 출력정보인 소비전력 데이터에 변전소, 소스 임피던스 등의 네트워크 데이터, 운행 데이터를 입력조건으로 하여 급전시뮬레이션을 실행함으로써 최종 결과값인 변전소 공급 전력 산출

◦ 통합프레임워크 기반으로 각 모듈(TPS, DC) 기능 및 프로세스 통합구현
(AC 모듈 탑재를 고려한 시스템 설계 및 개발)

◦ DC 급전시뮬레이션 결과데이터에 대한 다양한 분석결과 조회 구현



<그림 104 TPS 연계를 통한 급전시뮬레이션 시스템 구축 사업 개요>

나. 향 후 사업화 계획

(1) 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

◦ 전문 소프트웨어 판매 업체와의 제휴를 통한 전략적인 판매체계 확보

- 제품판매에 대한 부족한 경험을 보완할 수 있도록 전문 소프트웨어 판매 업체와의 제휴를 통해 전략적인 판매체계를 확보함
- 전문 소프트웨어 판매사와의 지속적인 협의를 통해 판매와 홍보 마케팅을 기획할 뿐 만 아니라 판매 및 홍보 전략에 맞춘 시스템 구성 방안을 도출하고, 이를 시스템 제작에 반영함으로써 제품의 완성도를 높임
- 특히 열차운행계획시스템의 경우, 지속적인 시스템의 유지관리가 필수적인 요소임으로 체계적인 유지관리 전략을 수립할 뿐만 아니라 다양한 수요처의 요구사항을 충족시킬 수 있도록 대형, 중소형으로 운영기관을 구분하고 각각의 사업화 전략을 수립함

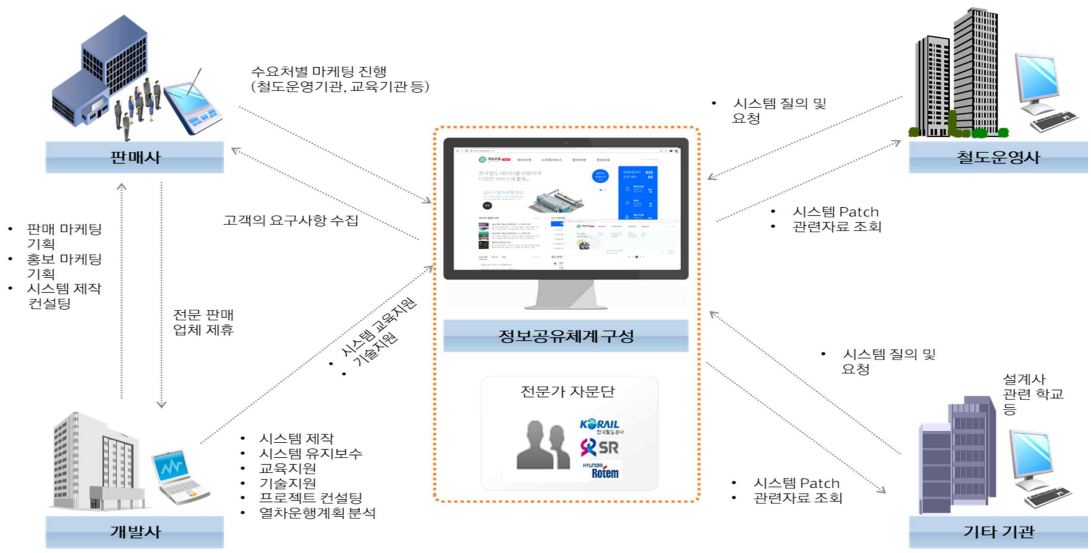
◦ 고객, 개발사 및 판매사간의 효율적인 정보공유체계 구성

- 열차운행시스템의 특성상, 시스템 운영의 복잡성 및 전문성으로 업무 이해도가 없이는 시스템 운영이 불가능하므로 지속적인 교육 및 기술 지원이 필수적임
- 이러한 지속적인 교육 및 기술지원을 고객 맞춤형으로 지원할 수 있도록 효율적인 정보공유체계를 구성하고 또한 이를 통해 고객에 대한 만족도 및 요구사항을 수렴하여 시스템 완성도를 향상시킴

◦ 열차운행계획 관련 전문 자문단 운영

- 열차운행계획은 일반적으로 차량, 토목, 궤도, 신호, 전기 등과 관련된 다양한 업무의 이해가 필요하기에 관련 업무 전문가(퇴직자 활용)의 도움이 필수적으로 필요함
- 이를 위해 철도운영기관 및 철도설계 분야의 전문가들로 구성된 자문단을 구성하여 전문적

인 지식이 필요한 시스템 운영상의 문제나 고객들의 문의사항 등에 신속히 대처할 수 있게 함



<그림 105 향 후 사업화 모형>

(2) 목표 시장 구조

(가) 경쟁 기업 현황

◦ 현재 국내에서 열차운행계획시스템 관련 상용화된 제품은 eRT엔지니어링㈜사의 TPS 3.0-PRO가 유일하며, 이는 열차주행성능시뮬레이션(TPS)으로써 열차운행계획시스템의 일부 기능에 속함

◦ 본 연제 성과물과 같이 열차운행계획 업무를 통합적으로 지원할 수 있는 시스템은 상용화 사례가 없기 때문에 신규 고객에 대한 국내 시장 선점이 가능함

(나) 시장 진입 장벽

◦ 현재 열차운행계획시스템의 상용화 사례가 없기 때문에 시장 진입에 어려움은 낮을 것으로 사료됨

◦ 특히, 본 연구 수행 시 열차운행계획시스템의 핵심모듈에 대하여 소프트웨어 품질공인 인증기관(한국정보통신기술협회, TTA)으로부터 기능적합성 및 성능효율성, 사용성, 신뢰성 등에 대한 시험평가를 통해 개발성과품에 대한 완성도 및 품질을 공식적으로 확인받았음. 이는 신규 및 기존 고객들을 대상으로 신뢰도를 높일 수 있음

(3) 수익 확보 전략

(가) 주요 고객군

◦ 일반 및 고속철도 운영기관

- 한국철도공사, 수서고속철도㈜, 공항철도㈜

◦ 광역 및 도시철도 운영기관

- 서울메트로, 부산교통공사, 인천교통공사, 대구도시철도공사, 대전광역시도시철도공사, 광주광역시 도시철도공사, 서울9호선운영㈜, 서울메트로 9호선운영, 신분당선㈜, 경기철도, 인천국제공항공사 등

◦ 경전철 운영기관

- 부산-김해경전철㈜, 의정부경전철㈜, 용인경전철㈜ 등

◦ 철도관련 교육기관

- 한국교통대학교, 우송대학교 등

◦ 철도관련 제작사 및 설계사

- 차량제작사(현대로템)
- 철도설계사(유신, 서영, 도화 등)

(나) 사업화 모형을 통한 수익 창출 방안

◦ 사용자 요구사항별 열차운행계획시스템 구성 및 판매

- 연구 성과물인 열차운행계획시스템은 다양한 기능모듈들이 통합 프레임기반에서 운영될 수 있도록 구성되어 있으므로 초기 도입 시 모든 기능을 일괄적으로 적용하는 것이 아니라 철도운영기관의 규모, 보유 소프트웨어 현황 등 사용자의 요구조건에 따라 다양한 기능 모듈들을 조합하여 구성함

◦ 프로젝트별 컨설팅 및 열차운행계획 용역 수행

- 설계회사들이 철도 신규노선 및 개량 공사에 대한 열차운형계획을 수립 시, 본 연구의 성과물을 활용하여 열차운영계획에 대한 컨설팅 및 열차계획 분석정보를 제공할 수 있음
- 따라서 과제 종류 후, 열차운영계획 컨설팅 및 열차운영계획 분석을 위한 신규인력을 채용하거나 전문 인력을 육성하여 열차운영계획 및 설계에 관한 컨설팅 및 용역 사업으로 확대 할 수 있음

◦ 자체적 제품 홍보 및 판로 확보

- 국내 및 국외 경쟁 업체와 차별화된 통합 프레임기반 열차운행계획시스템을 통하여 국내 대표적인 철도운영기관 뿐만 아니라 지자체 철도운영기관, 철도관련 설계사 및 시공사를 대상으로 개발 시스템에 대한 지속적인 홍보활동을 통해 인지도를 넓혀나갈 계획임

(4) 향후 검토사항 및 유지보수 방안

(가) 향후 검토사항

◦ 향후 본 연구 성과물의 실용화 추진을 촉진시키기 위하여 철도운영기관, 철도관련 설계사 및 교육기관을 대상으로 보다 활발한 마케팅을 추진하고 필요시 열차운행계획시스템 주요모듈에 대한 품질인증서를 추가적으로 획득할 계획임. 또한 열차운행계획 알고리즘의 기술적 보안을 위하여 2021년 내에 관련 특허출원에 대한 계획을 검토할 예정임

◦ 향후 철도운영 관련 전문가 자문을 통해 새로운 신호시스템 도입에 따른 열차운행계획시스템의 적용 방안, 차량운영계획과 관련한 차량의 적정 정비율 및 운용율 산출 방안 등에 대하여 검토할 예정임

(나) 시스템의 실증노선 적용 및 사용고객 확대에 따른 유지보수 방안

◦ 시스템 장기사용으로 데이터 누적량 증가, 사용자 증가로 시스템 성능이 저하될 수 있기 때문에 시스템의 안정적 운영 및 성능향상을 위해 필요시 응용 S/W 현행화 기술지원을 실시할 계획임

◦ 클라이언트 단말기 운영체제 변화, 시스템 기능 추가 및 성능 개선 등 S/W 수정사항 발생 시 필요에 따라 관련 산출물 및 S/W 현행화 기술지원을 실시할 계획임

◦ 철도운영사의 신규노선 운영확대, 새로운 차량(편성) 도입 등 운영여건 변화에 따른 상용화 시스템의 대량 신규데이터 구축 필요시 기술지원을 실시할 계획임

7. 연구비 및 참여인력 현황

가. 최종 차년도 연구개발비 집행 실적

[연구비 총괄표]

(단위: 천원)

비목	비목 \ 금액					계획 금액	사용액	잔액	비고
직접비	인건비	참여연구원	내부인건비	미지급		(27,720)	-	-	
				지급	현금	396,956	398,918	38	
					현물	182,000	182,000	0	
			외부인건비	미지급		-	-	-	
				지급	현금	-	-	-	
					현물	-	-	-	
		(신)연구지원인력인건비				-	-	-	
	학생인건비					50,000	50,000	0	
	인건비 소계					**630,956**	630,918	38	
	(신)연구시설·장비비('20~)			현금	일반	1,200	1,123	77	
					통합관리	-	-	-	
				현물		-	-	-	
	연구활동비					40,484	26,280	14,204	
	(신)연구재료비('20~)			현금		-	-	-	
				현물		-	-	-	
	연구수당					27,845	0	27,845	최종평가 후 집행예정
	위탁연구비					50,000	50,000	0	
	직접비 소계					**750,485**	**708,321**	**42,164**	
간접비						**58,015**	**57,928**	**87**	
연구비 총액						808,500	766,249	42,251	

[주관연구기관 : ㈜지오엔티]

(단위: 천원)

비목	비목 \ 금액					계획 금액	사용액	잔액	비고
직접비	인건비	참여연구원	내부인건비	미지급		-	-	-	
				지급	현금	316,550	316,550	0	
					현물	182,000	182,000	0	
			외부인건비	미지급		-	-	-	
				지급	현금	-	-	-	
					현물	-	-	-	
		(신)연구지원인력인건비				-	-	-	
	학생인건비					-	-	-	
	인건비 소계					498,550	498,550	0	
	(신)연구시설·장비비('20~)			현금	일반	1,200	1,123	77	
					통합관리	-			
				현물		-			
	연구활동비					17,150	15,952	1,198	위탁정산수수료 집행예정
	(신)연구재료비('20~)			현금		-	-	-	
				현물		-	-	-	
	연구수당					-	-	-	
	위탁연구비					50,000	50,000	0	㈜에스알
	직접비 소계					566,900	565,625	1,275	
간접비						21,600	21,513	87	
연구비 총액						588,500	587,138	1,362	

[공동연구기관 : **경상대학교**]

(단위: 천원)

비목	비목 \ 금액					계획 금액	사용액	잔액	비고
직접비	인건비	참여연구원	내부인건비	미지급		(27,720)			
				지급	현금	2,000	1,961.93	38.07	
					현물	-			
			외부인건비	미지급		-			
				지급	현금	-			
					현물	-			
		(신)연구지원인력인건비				-			
	학생인건비					50,000	50,000	0	계획금액 52,000천원-> (학생인건비 50,000천원, 내부인건비 2,000천원 변경)
	인건비 소계					52,000	51,961.93	38.07	
	(신)연구시설·장비비('20~)			현금	일반	-			
					통합관리	-			
				현물		-			
	연구활동비					14,631	7381.13	7249.87	
	(신)연구재료비('20~)			현금		-			
				현물		-			
	연구수당					11,764	0	11,764	최종평가 후 집행예정
	위탁연구비					-			
	직접비 소계					78,395	59,343.06	19,051.94	
간접비						21,605	21,605	0	
연구비 총액						100,000	80,948.06	19,051.94	

[공동연구기관 : **한국철도기술연구원**]

(단위: 천원)

비목	비목 / 금액					계획 금액	사용액	잔액	비고
직접비	인건비	참여연구원	내부인건비	미지급		-			
				지급	현금	80,406	80,406	0	
					현물	-			
			외부인건비	미지급		-			
				지급	현금	-			
					현물	-			
		(신)연구지원인력인건비				-			
	학생인건비					-			
	인건비 소계					80,406	80,406	0	
	(신)연구시설·장비비('20~)			현금	일반	-			
					통합관리	-			
				현물		-			
	연구활동비					8,703	2,947	5,756	
	(신)연구재료비('20~)			현금		-			
				현물		-			
	연구수당					16,081	0	16,081	최종평가 후 집행예정
	위탁연구비					-			
	직접비 소계					105,190	83,353	21,837	
간접비						14,810	14,810	0	
연구비 총액						120,000	98,163	21,837	

[위탁연구기관 : ㈜에스알]

(단위: 천원)

비목	비목 / 금액					계획 금액	사용액	잔액	비고
직접비	인건비	참여연구원	내부인건비	미지급		(150,715)	0	(150,715)	
				지급	현금	-	-		
					현물	-	-		
			외부인건비	미지급		-	-		
				지급	현금	-	-		
					현물	-	-		
		(신)연구지원인력인건비				-	-		
	학생인건비					-	-		
	인건비 소계					(150,715)	0	(150,715)	
	(신)연구시설·장비비('20~)			현금	일반	-	-	-	
					통합관리	-	-	-	
				현물		-	-	-	
	연구활동비					32,700	-	32,700	
	(신)연구재료비('20~)			현금		-	-	-	
				현물		-	-	-	
	연구수당					15,050	0	15,050	
	위탁연구비					-	-	-	
	직접비 소계					47,750	-	47,750	
간접비						2,250	-	2,250	
연구비 총액						50,000	-	50,000	

나. 최종 차년도 참여연구원

번호	소속 기관명	직위	생년월일	전공 및 학위		연구 담당 분야	신규 채용 여부	국가연구개발사업 참여율(%)[B]	국가연구개발사업 참여 과제수(건)
	성명	과학기술인 등록번호	성별	취득 연도	학위 (전공)	과제 참여 기간	이 과제 참여율 (%) [A]	전체 참여율 [A+B,%]	
1	(주)지오엔티	대표이사	570316	1985	석사 (토목공학)	책임	-	-	-
	지상복	1084 3650	남			20.01~20.12	72	72	
2	(주)지오엔티	상무	681015	1994	학사 (전산)	연구개발	-	-	-
	최종만	1165 3479	남			20.01~20.12	75	75	
3	(주)지오엔티	이사	730816	2000	학사 (중국어)	연구개발	-	-	-
	백상민	1083 3885	남			20.01~20.12	80	80	
4	(주)지오엔티	이사	631120	1990	학사 (경영학)	연구개발	-	-	-
	하성준	1165 3481	남			20.01~20.12	85	85	
5	(주)지오엔티	차장	751220	1999	학사 (전자)	연구개발	-	-	-
	류병희	1136 7545	남			20.01~20.12	85	85	
6	(주)지오엔티	차장	751204	1999	학사 (건축)	연구개발	-	-	-
	장창욱	1083 2713	남			20.01~20.12	85	85	
7	(주)지오엔티	대리	820228	2001	고졸 (토목)	연구개발	-	-	-
	김승준	1136 7637	남			20.01~20.12	84	84	
8	(주)지오엔티	이사	571128	1988	박사 (시공학)	연구개발	-	-	-
	박종혁	1006 7262	남			20.01~20.12	85	85	
9	(주)지오엔티	이사	620610	2010	석사 (경영학)	연구개발	-	-	-
	박현규	1113 0083	남			20.01~20.12	85	85	
10	(주)지오엔티	과장	760227	1997	학사 (교육학)	연구개발	-	-	참고:전임자
	김문선	1188 8272	여			20.01~20.04	90	90	
11	(주)지오엔티	과장	남	2008	학사 (컴퓨터학)	연구개발			후임자
	조건우	1253 8959	811108			20.05~20.12	100	100	
12	(주)지오엔티	과장	791109	2000	학사 (교육학)	연구개발	-	-	-
	김은진	1188 8266	여			20.01~20.12	90	90	
13	(주)지오엔티	주임	910112	2018	석사 (철도궤도/구조공학)	연구개발	-	-	참고:전임자
	엄대용	1122 0823	남			20.01~20.05	85	85	
14	(주)지오엔티	주임	남	2020	학사 (컴퓨터정보)	연구개발			후임자
	강민성	1261 7262	950523			20.06~20.12	100	100	
15	(주)지오엔티	주임	820807	2001	고졸	연구개발	-	-	-
	임소선	1250 7889	여			20.01~20.12	86	86	
16	경상대학교	교수	601202	1990	박사	책임	-	-	-

	강인석	1007 0093	남		(건설관리)	20.01~20.12	30	30	
17	경상대학교	연구원	920527	2017	석사 (토목시공)	연구개발	-	-	-
	박상미	1149 5090	여			20.01-20.12	96	96	
18	경상대학교	연구원	920531	2020	석사	연구개발	-	-	-
	이재희	1179 5220	남			20.01~20.12	63.89	63.89	
19	경상대학교	연구원	940509	2020	석사	연구개발	-	-	-
	안현주	1179 5217	여			20.01~20.04	63.89	63.89	
20	경상대학교	연구원	950327	2020	학사	연구개발	-	-	-
	윤형석	1169 4960	남			20.01~20.12	77.5	77.5	
21	한국철도기술연구원	책임연구원	671023	2010	박사 (산업공학)	공동연구 총괄	-	-	-
	오석문	1010 2544	남			20.01~20.12	30	30	
22	한국철도기술연구원	책임연구원	661020	2019	박사 (철도전기·신호공학)	차량운영계획 알고리즘 시험	-	-	-
	노학래	1084 8869	남			20.01~20.12	26	25	
23	한국철도기술연구원	책임연구원	600328	1994	박사 (전기공학)	품질인증절차 개발	-	-	-
	홍순흠	1010 0320	남			20.01~20.12	10	10	
24	한국철도기술연구원	수석연구원	600322	2002	박사 (도시공학)	품질인증방법 조사	-	-	-
	문대섭	1014 2608	남			20.01~20.12	10	10	
25	㈜에스알	처 장	710926	2000	공학사	연구개발	-	-	-
	변준근	1103 2301	남			20.01~20.12	27	27	
26	㈜에스알	팀 장	750525	2013	석사 (정보통신)	연구개발	-	-	-
	황상덕	1244 0753	남			20.01~20.12	29	29	
27	㈜에스알	차 장	761124	2018	석사	연구개발	-	-	-
	김태동	1187 3508	남			20.01~20.12	29	29	
28	㈜에스알	열차운영처장	620725	1982	고졸	연구개발	-	-	-
	조 인	1189 1178	남			20.01~20.12	20	20	
29	㈜에스알	열차운영팀장	710409	1989	고졸	연구개발	-	-	-
	이기술	1189 0442	남			20.01~20.12	25	25	
30	㈜에스알	차 장	790714	2006	전기공학	연구개발	-	-	-
	남경준	1189 0443	남			20.01~20.12	20	20	
31	㈜에스알	주 임	891111	2013	학사	연구개발	-	-	-
	강지민	1244 3022	여			20.01~20.12	20	20	

참고 문헌

1. 국토교통과학기술진흥원 (2019), 국토교통 R&D 동향조사(총괄보고서), p. 87-93.
2. 국토교통과학기술진흥원 (2019), 국토교통 R&D 동향조사(철도교통분야), p. 57-59.
3. 조현미, 정민철, 안홍수 (2017), 세계철도시장 전망 및 기술동향 파악을 통한 해외 철도사업 경쟁력 제고 방안
4. 한국철도기술연구원 (2000), 최적 열차 운영체계 구축을 위한 운용모델 수립과 해석기법 연구, 기본연구사업 보고서
5. 김성호, 김동희, 최태성 (2004), 철도차량 소요계획에 대한 집합분할 문제 접근에서 후보 운용 생성을 위한 열거 알고리즘, 철도저널 7(4), p. 112-117.
6. 한국철도기술연구원 (2005), 철도 수송체계 구축기술 연구, 기본연구사업 보고서.
7. 기형서, 오석문, 박동주 (2016), 철도차량의 반복 시간과 소요량 사이의 관계고찰, 19(6), p. 802-814.
8. Blooer JMP (1980), The solution of a railway locomotive scheduling problem, The Journal of the Operational Research Society, 31(10), p. 943-948.
9. Wright MB (1989), Applying stochastic algorithm to a locomotive scheduling problem, The Journal of the Operational Research Society, 40(2), p. 187-192.
10. Forbes MA, Holt JN, and Watts AM (1991), Exact solution of locomotive scheduling problems, The Journal of the Operational Research Society, 42(10), p. 825-831.
11. Schrijver A (1993), Minimum Circulation of Railway Stock, CWI Quaterly, 6, p. 205-217.
12. Ziarati K, Soumis F, Desrosiers J, Gelinas S, and Saintonge A (1997), Locomotive assignment with heterogeneous consists at CN North America, European Journal of Operational Research, 97(2), p. 281-292.
13. Ziarati K, Soumis F, Desrosiers J, and Solomon M (1999), A Branch-First, Cut-Second Approach for Locomotive Assignment, Management Science, 45(8), p.1025-1176.
14. Cordeau JF, Soumis F, and Desrosiers J (2001), Simultaneous Assignment of Locomotives and Cars to Passenger Trains, Operations Research, 49(4), p.469-627
15. Zhao P, Tomii N, Fukumura N, and Sakaguchi T (2002), An Algorithm For Train-set Scheduling Based On Probabilistic Local Search, 61, p.817-826.
16. Lubbecke M, and Zimmermann UT (2003), Engine Routing and Scheduling at Industrial In-Plant Railroads, 37(2), p.123-253
17. Kuo CC, and Nicholls GM (2007), A mathematical modeling approach to improving locomotive utilization at a freight railroad, 35(5), p.472-485
18. Haahr J, Wagenaar JC, Veelenturf LP, and Kroon LG (2016), A comparison of two exact methods for passenger railway rolling stock (re)scheduling, 91, p.15-32.

19. 김영훈, 김지표, 2000, “승무원 교번 작성에 관한 연구 ”, 한국철도학회 학술발표대회 논문집 p.86-92
20. 박춘희, 2000, “승무 일정계획의 개선을 위한 휴리스틱 교정 기법”, 부산대학교 석사학위논문
21. 황준하, 류광렬, 2004, “승무일정계획의 최적화를 위한 이웃해 탐색 기법과 정수계획법의 결합”, 한국정보과학회 논문지 : 소프트웨어 및 응용 33(6)
22. 허남인, 2000, “Set Partitioning 기법을 이용한 승무일정계획”, 동아대학교 석사학위논문
23. 박진희, 2008, “열차 승무원 일정계획 최적화 방안에 관한 사례연구”, 한양대학교 석사학위논문
24. 정일봉, 신택현, 20009, “지하철 기관사의 근무스케줄 최적화 방안 연구”, 한국철도학회 학술발표대회 논문집 p.1148-1456
25. 김지표, 김동희, 하태웅, 2004, “철도 동력차 승무원 사업시간 산정방법의 개선에 관한 연구”, 한국철도학회 철도저널 7(4) p. 136-141
26. Sepehri M. M. and Hajfathaliha, A. (2001) “A mathematical model for railway crew scheduling based on the network”, 1st Conference of Industrial Engineering, Tehran, Iran (In Persian)
27. Pourseyed Aghaiei, M. and Salahi, P. (2006) “Railway crew (conductors) programming using roundtrip and roster algorithms”, Journal of Transportation Research 3(3), p. 163-172.
28. Kroon, L.G., Huisman, D., Abbink E., Fioole P., Fischetti M., Maroti G., chrijver A., Steenbeek A. and Ybema, R. (2009) “The new Dutch timetable: The OR revolution”, Interfaces January-February 39(1), p. 6-17.
29. Guillermo, C.G. and José, M.R.L. (2009) “Hybrid algorithm of tabu search and integer programming for the railway crew scheduling problem”, PACIIA 2nd Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications 2, p. 413-416.
30. Yaghini, M. and Fathipour, F. (2009) “Modelling and solving multi-objective crew scheduling problem by column-generation approach”, 2nd International Conference on Recent Advances in Railway Engineering, Tehran, Iran (In Persian).
31. Yaghini, M., Mazinan, G. and Rostamabadi, A (2009) “Determination of optimal pairings by using minimum-cost flow algorithm for crew planning problem”, 2nd International Conference On Recent Advances In Railway Engineering, Tehran, Iran (In Persian).
32. Jütte, S. and Thonemann, U. W. (2012) “Divide-and-price: A decomposition algorithm for solving large railway crew scheduling problems”, European Journal of Operational Research 219(2), p. 214-223.
33. Shijun C. and Yindong S. (2013) “An improved column generation algorithm for crew scheduling problems”, Journal of Information and Computational Science 10(1), p. 175-183.
34. Shijun, C., Yindong, S., Xuan S. and Heming, C. (2013) “A crew scheduling with

Chinese meal break rules", Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology 13(2), p. 90-95.
35. Hanafi, R, and Kozan, E. (2014) "A hybrid constructive heuristic and simulated annealing for railway crew scheduling", Computers and Industrial Engineering 70, p. 11-19.
36. Farhadfar, S. and Dolati A. (2015) "Modelling and solving the crew dispatching problem in Iranian railways", In 4th International Conference on Recent Advances in Railway Engineering, Tehran, Iran (In Persian).
37. Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy M. and Sier, D. (2004) "Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models", European Journal of Operational Research 153(1), p. 3-27.
38. 한국철도학회, 2008, "알기쉬운 철도용어 해설집"
39. 배영규, 2016, "한국철도공사의 열차운영계획 시스템(TOPS)", 한국철도학회 철도저널 19(2) p.88-92
40. 공항철도, 사용자매뉴얼(열차운행-승무원운용관리)
41. 앤시정보기술(주), 2010, "승무 자동화 시스템(CMS 1.0) 제품설명서"
42. João P. Martins, Ernesto Morgado, Rolf Haugen, 2003, "TPO: A System for Scheduling and Managing Train Crew in Norway", American Association for Artificial Intelligence, p.25-32
43. Ernesto M. Morgado and João P. Martins, 1998, "CREWS_NS_Scheduling Train Crewsin The Netherlands"American Association for Artificial Intelligence AI Magazine 19(1), p.25-38
44. 渡邊　貴志(와타나베 타카시), 2003, "輸送システムの現狀と硏究開發(수송시스템의 현황과 연구개발", JR EAST Technical Review Autumn 2003, (5), p.21-26
45. 노동환경건강연구소, 2017, "기관사 근무환경 개선대책 마련을 위한 국내외 자료조사 및 개선과제 발굴"
46. 한성수, 2011, "도시철도 기관사의 적정 인력운영에 관한 연구", 우송대학교 석사학위논문
47. 한국철도공사, 2018, "동력차승무원 근로기준"
48. 앤시정보기술(주), 2010, "승무 자동화 시스템(CMS 1.0) 제품설명서"

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업의 연구보고서입니다.

2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 철도기술연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.