한국철도학회논문집
제7권 제2호 2004년 ▌ pp.71-76

열차경합 검지 및 해소시스템의 한국철도 적용에 관한 선행연구

A Pilot Study to Deploy the Railway Conflict Detection and Resolution System in Korean Railway

오석문[1] · 홍순흠[2] · 최인찬[3]
Seog-Moon Oh · Soon-Heum Hong · In-Chan Choi

Abstract

In this paper, we propose a pilot study to deploy the Railway Conflict Detection and Resolution System(RCDRS) in the context of Korean Railway(KORAIL). KORAIL plans to deploy in near future RCDRS, which is a decision support module placed on the top level of the Railway Traffic Management System(RTMS). This study entails the review of the state-of-art researches and projects in the field of the railway traffic management, as well as the analysis of the traffic characteristics of the major railroad lines in KORAIL. The analysis provides a basis to choose a solution approach for the railway conflict detection and resolution problem that each individual line faces. This study plays a role as a pilot study for a full systematic approach, in which interactions between lines require further advanced analysis to take the entire KORAIL lines into consideration rather than a myopic approach.

Keywords : Railway Conflict Detection and Resolution System(열차경합검지 및 해소 시스템), Railway Traffic Management System(열차운행관리 시스템)

1. 서 론

한국철도 네트워크에서 운행하는 열차들은 모두 사전에 계획된 스케쥴에 따른다. 그러나, 당일 전국의 철도 네트워크에서 운행하는 열차들에는 스케쥴 작성 당시에 고려하지 못하는 여러 가지 이유에 의해 열차 지연(Delay)과 경합(Conflict)이 발생한다. Table 1에는 당일 운행 중에 발생하는 이례사고와 이에 따른 처리 소요시간의 사례를 나타낸다. 이러한 사고가 당일 열차운행 중에 발생할 경우, 본선에 운행하는 열차들은 상호 경합을 일으키게 된다.

당일 열차운행 중에 발생하는 열차경합을 사전에 검지(Detection)하고 해소(Resolution)하는 시스템을 '열차경합 검지 및 해소 시스템(Railway Conflict Detection and Resolution System, RCDRS)이라고 한다. 최근 '열차집중제어 시스템(Centralized Traffic Control, CTC)'에 관한 세계적인 인지도를 가진 일부 제조업체에서는 RCDRS를 CTC의 최상위 의사결정지원 모듈로 탑재한 제품을 선보이고 있으며[1], 유럽에서는 국가간 열차들의 상호운영성(Interoperability) 확보를 위한 목적으로 RCDRS에 관한 연구를 꾸준히 수행하고 있다[2-7].

일반적으로, 열차운행패턴이 크게 다른 여러 개의 노선을 하나의 RCDR 모형으로 접근하는 방법론으로는 각 노선의 특징을 적절히 고려하는 것이 곤란하다. 따라서, 각 노선의 특징을 정확히 분석하고, 분석된 결과에 따라 해당 노선의 특징을 적절히 고려할 수 있는 RCDR 모형이 필요하다.

본 논문에서는 RCDRS를 한국철도에 도입하기 위한 선행연구로서 한국철도 네트워크를 구성하는 주요 노선들의 특징을 정량적으로 분석하고, 각 노선의 특징에 적합한 RCDR 모형을 제시한다.

본 논문의 이후 구성은 다음과 같다. 먼저 2절 RCDRS 관련 연구 고찰에서는 RCDRS에 관한 기존 연구 현황과 최근 해외의 주요 연구사례를 소개한다. 3절 한국철도에 적용 방안에서는 한국철도 주요 노선의 열차운행패턴을 분석하고, 분석결과에 따라 각 노선에 적합한 문제의 정의와 해법을 제시한다. 마지막으로 4절에서는 결론을 제시한다.

1 정회원, 한국철도기술연구원, 선임연구원
2 정회원, 한국철도기술연구원, 책임연구원
3 고려대학교 산업시스템 정보공학과, 교수

Table 1. Traffic Incidents and Durations[8]

사고 유형	평균처리 시간(분)	최대처리 시간(분)
신호 시스템	11.8	76
전차선 시스템	10.7	72
엔진	19.9	65
외부요인(기후, 등)	13.7	60
인간(human errors)	9.0	15
궤도(보수, 등)	5.2	28
기관사 부족	7.0	12
역 출발지연	17.5	28
기타	8.9	33

2. RCDRS 관련 연구 고찰

Lang 등[9]은 연장길이가 320km 정도의 노선에서, 화물열차의 도착시간에 대한 표준편차가 1～3시간 정도로, 화주(Freight owner)가 자기 화물의 도착시간에 대한 불확실성이 높다고 보고하였다. 또한, 평균 도착시간 역시 스케쥴상의 도착시간 보다 1～2시간 정도 늦어, 열차서비스의 정시성 측면에서도 낮은 것으로 보고하였다.

Petersen 등[10]은 열차사령의 업무수행 시간 중 의사결정에 관련된 업무에 사용되는 시간의 비율이 단순 반복적인 업무수행에 사용되는 시간에 비해 현저하게 낮은 상태라고 지적하였다. 한국철도에서는 열차선도(Train diagram)의 유지 및 갱신과 관련된 반복적인 작업들이 이미 상당부분 전산화되어있다. 그러나, 장래의 이례사고 예측 및 효율적인 경합처리의 실행 등과 관련된 부분에서는 아직 시스템이 미비한 실정이다.

미국 연방철도국(FRA)에서는 2002년 8월 열차사령의 작업부하(Workload), 스트레스(Stress)와 피로(Fatigue)에 관한 연구를 실시하였다[11]. 이 연구에서는 열차제어 사무소 2곳에서 37명의 열차사령들을 대상으로하여 각 항목들에 대해 조사하였다. 조사 결과 요통, 두통, 피부질환 및 근무시간 중의 피로도 지수가 일반 사무직에 비해 열악하다고 지적하였다.

스웨덴의 국영철도(SJ)에서는 RCDRS를 도입하기 위해 1997년에 열차사령들과의 인터뷰를 실시하였다[12,13]. 이 인터뷰의 결과에 따르면 현재 대부분의 사령업무 의사결정 체계에서 상당수준 개선의 여지가 있음이 나타났다. 이와 같은 연구들은 RCDRS의 필요성을 여러 가지 관점에서 잘 나타내주고 있다.

Table 2는 현재 RCDRS를 적용하고 있는 대표적인 사례를 제시한다. Table 2에서 제시하는 현황은 연구 단계에서 그치지 않고, 현실에 도입된 사례를 위주로 구성한 것이다.

Table 2. RCDRS Cases

국가/회사	시스템	적용 수준
미국	Sauder & Westerman[14]	Norfolk-Southern Railroad
	Harker et al. [15-17]	Burlington-Northern Railroad
일본	ESRTRAC-III	현장시험: 1992 1993년 이후 적용
	COSMOS	동일본 철도(JR-East) 지연확산 시뮬레이션 수준
네덜란드	CD/DS	현장실험: 1996, 1998년 TRACE PSS와 통합시험
스페인	SIRO/SIRAT	Madrid 1,2호선
프랑스	SEPIA	현장시험: TGV LeMans역, 1996년
Bombardier	EBICOS TMS	상용 판매품
Alstom	INCONIS	상용 판매품

RCDRS의 초기 적용 연구는 장거리 단선 화물열차를 운영하는 미국과 캐나다로부터 활성화되었다[14-18]. 특히 Sauder와 Westerman[14]의 Norfolk-Southern Railroad에 대한 연구와 Harker 등[15-17]의 Burlington-Northern Railroad에 대한 연구는 이 분야에서 두드러진 연구사례이다.

이들이 고려한 장거리 단선 화물노선에서는 초기 열차경합이 발생할 경우, 후속 경합(Cascaded conflicts)으로의 확산이 심하게 발생하여 열차경합 해소 문제가 복잡해지는 특성이 있다. 뿐만 아니라, 이 들의 문제에서는 화물열차의 편성이 대규모로(예를 들어, Norfolk-Southern 사례의 경우 기관차 7량 + 화차 96량의 석탄 운반열차가 연속해서 4편성씩 운행되었다.) 되어, 열차경합으로 인한 열차속도 변경이 빈번할 경우, 연료사용 최소화 문제가 중요한 고려사항이 되는 특징을 가진다.

따라서, 이 들의 문제는 총 가중지연시간(Total weighted tardiness)과 연료사용 비용 합의 목적함수(Objective functions)를 최소화하는 열차 교행 · 추월 · 대피(Crossing, Overtaking and Passing) 스케쥴의 작성이 되었다. 이 들의 문제는 계속된 후속연구들의 결과로 문제에 대한 정의가 상당히 엄밀하고, 명확하게 되어 수리계획(Mathematical programming) 모형에 의한 최적화 해법의 적용이 용이하게 되었다.

이후, 이 문제는 아시아, 유럽, 호주 등에서 광범위하게 연구되기 시작하였으며, 문제의 고려 범위도 복선 여객열차 노선까지 확대되었다.

일본에서는 여객열차를 대상으로 비교적 초기인 1993년에 ESTRAC-III를 적용하였다[19,20]. ESTRAC-III는 ESTRAC-I으로부터 발전해 온 전문가시스템 기반의 제품으로 미쓰비

시(Mitsubishi Electric Co.)에서 개발하였다. 동일본 철도의 신간선 열차운행관리 시스템인 COSMOS(Computerized Safety, Maintenance and Operation Systems for Shinkansen)에서는 지연확산 시뮬레이션 수준의 RCDR 기능을 내장하고 있다[21].

네덜란드에서는 RCDRS를 도입하기 위해 CD/DS(Conflict Detection and Decision Support System)를 시범적으로 개발하였다[22,23]. 개발된 시제품은 1996년에 Eindhoven역에서, 그리고 1998년에 Uhrecht역에서 현장실험을 거쳐 효과가 입증되었다. CD/DS는 이후 네덜란드 열차운행관리 시스템(TRACE PSS)과 통합 시험이 추진되고 있음이 보고되었다. 네덜란드의 연구에서는 1990년대 초에 일본이 ESTRAC-III에 적용한 전문가시스템이 유지보수 측면에서 비효율적이라고 판단하고, 이 방법론에 대한 추가적인 검토를 중단하였다.

스페인에서는 대도시권 전철인 Madrid 1, 2호선에 RCDRS를 적용하고 있다[24,25]. 또한, 프랑스에서는 1996 초반까지 TGV LeMans역에서 현지 실험을 완료하였다[26].

여객열차 서비스가 중심인 복선 노선에 관한 이들의 문제에서는 열차운행시간에 관한 정시성 확보의 목적함수가 연료사용 비용 절감에 관한 목적함수에 비해 현저하게 중요하게 고려된다. 따라서, 이 들의 문제는 총 가중지연시간을 최소화하기 위한 열차의 추월·대피 스케쥴의 작성이 된다. 이 들의 문제는 단선 화물열차 위주 노선 문제에 비해 열차운행 상황이 복잡하여, 각 상황에 따른 휴리스틱 알고리즘(Heuristic algorithms)들이 주요 해법으로 제시된다.

Bombardier Trans.의 EBICOS TMS[14]와 Alstom의 INCONIS와 같은 기성 패키지(Package)에서 적용하고 있는 내부 엔진의 알고리즘은 현재 외부적으로 공개되지 않은 실정으로 파악이 곤란하다.

최근 유럽에서는 열차운영에 있어 전 유럽의 상호운영성을 확보하기 위해 'European Railway Traffic Management System(ERTMS) 프로젝트'를 추진하고 있다. 이러한 체계에서 국가 간을 운행하는 열차들(Border crossing trains)의 운행시간에 대한 정시성 확보는 매우 중요한 문제가 된다. 따라서 유럽연합에서는 열차서비스의 정시성 확보를 위해 OPTIRAIL(Optimization of Traffic Through the ERTMS), MARCO(Multi-level Advanced Railway Conflict Resolution and Operation Control), COMBINE(Enhanced Control Centers for Fixed and Moving Block Signalling Systems) 등 RCDRS와 관련된 프로젝트들 대해 계속적인 투자를 이어왔다.

이와 같은 유럽의 대규모적인 프로젝트들은 RCDRS와 관련한 최근의 두드러진 연구의 흐름으로 자리잡고 있다.

3. 한국철도에 적용 방안

3.1 한국철도 네트워크의 운영현황

한국철도 네트워크의 주요 구성은 서울을 중심으로 각 지방에 분산하는 수지형 네트워크(Tree network)로 연장길이(철도청 소관)는 2002년 말 현재 대략 3,129km이다. 이중 대도시권 전철을 제외한 복선구간은 주로 경부선과 호남선 구간으로 대략 25%에 해당된다.

또한, 한국철도에서 현재 운영되는 주요 열차종별은 4종(새마을, 무궁화, 통일, 화물)으로, 대부분 서울을 시종착으로 하는 열차운행패턴을 취하고 있다. 따라서, 서울~대전 구간에는 매우 다양한 행선의 열차들이 혼재하고 있다.

Table 3에서는 한국철도 주요 노선의 열차운영 현황을 선로 이용률, 평균시격 및 인접열차 속도종별의 다양성(D, Diversity)의 지표를 이용하여 정략적으로 분석한 결과를 제

Table 3. Railway Traffic Analysis on Major Lines

노선 (km)	구간 (선로용량,회)	선로 이용률(%) (여객/화물)	평균시격 (분)			속도종별 다양성 D
			첨두	주간	가중	
경부선 복선:444.5	서울~대전 (124~152)	76~96 /5~24	5.2	9.1~ 10.6	9.8~ 11.4	0.2
	대전~동대구 (140~149)	46/19	9.2	14.0~ 14.8	15.0~ 15.8	0.3
	동대구~부산 (149)	50~52 /15~17	11.2	13.3~ 13.9	14.3~ 15.1	0.5
호남선 복선:245.2 단선:7.4	대전~익산 (104)	44/15	11.8	24.5	23.4	0.4
	익산~송정리 (68~76)	38~43 /9~10	16.7	40.0	40.0	0.0
	송정리~목포 (40~79)	25~50 /9~13	31.1	65.9~ 71.2	57.9~ 62.5	0.1
중앙선 복선:7.1 단선:380.1	청량리~원주 (52)	33/48	11.1	40.1	36.1	(0.4)
	원주~제천 (53~120)	22~30 /45~52	19.2	31.4~ 69.0	25.2~ 55.4	(0.6)
	제천~영주 (34~48)	23~32 /40~71	21.3	59.6~ 83.5	48.5~ 67.9	(0.1)
	영주~영천 (34~42)	24~36 /48~59	16.4	52.9~ 66.1	45.8~ 57.3	(1.0)
	영천~경주 (49)	41/43	21.0	45.3	39.2	(0.9)
전라선 복선:31.1 단선:162.9	익산~순천 (41~60)	35~41 /28~32	15.2	42.1~ 53.4	38.9~ 49.2	(0.4)
	순천~여수 (38)	42/45	30.9	55.6	48.4	(0.3)
장항선 단선:143.1	천안~장항 (35~37)	51~54 /20~24	12.4	53.3~ 57.4	51.6~ 55.6	(0.4)

시한다. 여기서, 인접열차는 동일구간을 인접해서 운행하는 선·후행 관계의 열차들을 의미한다. Table 3의 자료는 '2002년 철도통계연보(철도청)와 2002년 열차 시각표(철도청)를 기준으로 작성되었다.

Table 3의 선로 이용률은 식 (1)과 같이 정의된다. 선로 이용률이 높은 노선에서는 열차경합 발생가능성이 높을 뿐만 아니라, 열차경합이 발생하였을 때, 여유시분에 의해 자연적으로 해소될 수 있는 가능성도 낮다. 따라서, 선로 이용률이 높은 노선에서 RCDRS의 필요성이 높다고 판단할 수 있다. 여객과 화물에 관한 선로 이용률은 해당 노선의 주요 운영모드가 여객 위주인지 화물위주인지를 나타나낸다.

$$\text{선로 이용률} = \frac{\text{열차운행횟수(여객, 화물)}}{\text{선로용량}} \times 100 \quad (1)$$

첨두시와 주간의 평균시격은 각각 식 (2), (3)과 같이 정의된다. 첨두시의 평균시격은 하루 중 열차운행이 가장 빈번한 시간대의 평균시격이고, 주간 평균시격은 5:00~23:00 사이에서 운행하는 열차들의 평균시격이다. 가중 평균시격은 주간 운행열차의 평균시격과 야간 운행열차 평균시격의 가중 평균값이다.

$$\text{평균시격(첨두)} = \frac{60\text{분}}{\text{단위시간당 최대운행횟수}} \quad (2)$$

$$\text{평균시격(주간)} = \frac{18\text{시간}\times 60\text{분}}{\text{주간열차 운행횟수}} \quad (3)$$

인접열차 속도종별의 다양성은 '복선구간을 운행하는 선후 인접열차들의 속도종별이 얼마나 변화하는가?'를 나타내는 정도로 다음 식 (4)와 같이 정의된다.

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \Delta V(i)}{(n-1)\times \overline{V}} \quad (4)$$

여기서,

i = 열차 인덱스

n = 복선구간에서 운행하는 열차의 총수,

$V(i)$ = 열차운전시행절차(철도청)에서 지정하는 열차 i의 사정구배선상의 균형속도(예, 특갑=105km/h, 특을=100km/h, 등).

$\Delta V(i) = |V(i) - V(i+1)|$,

$\overline{V} = \sum_{i=1}^{n} V(i)/n$.

따라서, 복선구간을 운행하는 모든 열차의 속도종별이 동일한 경우 D=0이다. 반면, 인접열차간 속도종별의 차이가 심할수록 D→2의 값을 가지며, D 값이 높은 노선에서는 경합이 발생할 가능성이 높고, 추월·대피 등의 열차운행관리 업무가 복잡해질 가능성이 높다. Table 3에서 식 (4)의 값은 0 (최소값)~1 (최대값)의 범위에서 값을 갖도록 정규화 처리되었다.

3.2 노선별 문제정의

각 노선별 RCDRP는 Table 3의 노선별 운행패턴에 대한 정량적 분석의 결과를 바탕으로 Table 4와 같이 정의가 가능하다. Table 4에서 선행사례는 본 논문에서 정의하는 문제의 각 경우에 대해 가장 관련이 깊은 기존연구의 문제정의 사례를 나타낸다.

Table 3에서 각 노선의 단선과 복선의 구분은 RCDRP의 결정변수(Decision variables)를 결정한다. 단선 노선에서는 인접열차간 추월 및 교행이 모두 발생할 수 있으므로 결정변수는 각 노드에서 열차별 추월·교행·대피 순서 및 시간이 된다. 반면, 복선의 경우, 특별한 경우 외에는 교행이 발생하지 않으므로 결정변수는 추월·대피 순서 및 시간이 된다.

여객열차와 화물열차간 선로 이용률은 문제의 목적함수를 결정한다. 경부선과 호남선은 여객열차의 비율이 높으므로 각 열차의 노드별 정시성이 중요한 요소가 된다. 따라서, 목적함수는 총 가중지연시간의 합을 최소화하는 것이 된다. 중앙선의 경우에는 화물열차의 비율이 높으므로 화물열차의 연료사용 비용항목이 추가적인 고려사항이 된다. 따라서, 목적함수는 총 가중지연시간과 연료사용 비용의 합을 최소화하는 것이 된다. 전라선과 장항선의 경우에는 여객열차와

Table 4. RCDRP Definition in the Korean railway system

분류	문제 정의 및 해법	선행사례
경부선 호남선	· 결정변수: 각 노드에서 열차별 추월·대피 및 시간. · 목적함수: 해당 노선의 총 가중지연시간의 최소화. · 주요해법: 분지한계법(B&B) 중심의 Greedy 휴리스틱, 또는 지역탐색(Local search) 기법의 알고리즘	일본:[19~21] 유럽:[22~26]
중앙선	· 결정변수: 각 노드에서 열차별 추월·교행·대피 및 시간. · 목적함수: 해당 노선의 총 가중지연시간 + 화물열차 연료사용비용의 최소화. · 주요해법: 분지한계법(B&B) 중심의 최적화 기반 알고리즘.	미국:[14~17]
전라선 장항선	· 결정변수: 각 노드에서 열차별 추월·교행·대피 및 시간. · 목적함수: 해당 노선의 총 가중지연시간. · 주요해법: 분지한계법(B&B)을 기반으로 한 휴리스틱 알고리즘.	위의 두 사례가 혼합된 형태

화물열차 각각에서 일정 수준 이상의 비율을 나타내므로 연료사용 비용에 관한 항목이 중앙선의 경우 보다 낮은 중요도로 고려되거나 고려에서 제외될 수 있다.

평균시격은 알고리즘의 응답시간을 제한한다. 경부선과 호남선의 첨두시 평균시격은 매우 낮은 값을 보이고 있다. 이것은 알고리즘의 응답시간이 매우 짧아야 함을 의미한다. 반면, 중앙선 등의 경우에는 경부선과 호남선에 비해 다소 긴 평균시격을 가지고 있으므로, 이 경우 응답시간은 다소 여유가 있다. 그러나, 이것은 "중앙선의 문제가 경부선이나 호남선의 문제보다 풀기 쉽다."는 것을 의미하지는 않는다.

속도종별의 다양성은 앞에서 설명한 바와 같이 열차경합이 발생하여 그 경합이 다음 스케쥴로 확산될 가능성을 의미한다. 중앙선의 경우 평균시격이 다소 낮아 응답시간의 여유가 있는 것으로 보이나, D값이 높아 열차 경합이 광범위하게 확산된다. 이것은 중앙선 문제의 복잡도가 높다는 것을 의미한다. 일반적으로 n이 확산된 열차 경합의 총수라고 할 때, RCDRP는 개략적으로 2^n의 복잡도(Complexity)를 따르는 NP-Hard 문제이다[14,16,17,27]. 따라서, 물리적인 노드의 수가 같은 경우, 중앙선 문제는 경부선이나 호남선 문제에 비해 알고리즘의 수행시간이 길어질 것을 예상할 수 있다.

위에서 언급한 평균시격과 속도종별 다양성은 문제의 해법을 결정할 때, 알고리즘의 응답시간과 복잡도라는 상반된 특징을 나타내고 있다. 따라서, 각 노선의 특징에 적합한 문제의 해법을 선택해야 한다. 경부선과 호남선의 경우 요구되는 응답시간이 짧고, 해공간이 좁을 것으로 판단되므로 빠른 수행시간을 갖는 휴리스틱 기반의 알고리즘이 적합할 것으로 판단된다. 반면, 중앙선의 경우 요구되는 응답시간이 다소 길고, 해공간이 넓을 것으로 판단되므로 최적화 기반의 알고리즘이 적합할 것으로 판단된다. 전라선과 장항선의 경우에는 경부선, 호남선과 중앙선의 중간적인 성격을 갖는다. 그러나, 이 두 노선의 특징은 각 노선이 경부선과 호남선으로부터 분기되어 있으므로, 이 두 노선의 문제가 경부선과 호남선의 문제에 의해 상당부분 제약될 수 있다는 점을 고려해야 한다. 따라서, 이 두 노선 문제의 해법은 경부선과 호남선의 해법을 따르는 것이 적절하다.

4. 결 론

RCDRP의 관점에서 볼 때, 현재 한국철도에는 다음과 같은 중요한 변화들이 진행되고 있다.

(1) 철도청의 '사령실 통합 신호설비 시설' 사업에 따른 전국 열차제어 사무소의 통합 및 시스템의 전반적인 개선.
(2) 기존 ATS(Automatic Train Stop) 방식 열차제어시스템의 ATP(Automatic Train Protection) 방식 시스템으로 점진적 이전.
(3) 경부선 일부 구간과 호남선 구간에 고속철도 운행.
(4) 경부고속철도 개통에 따른 경부선의 여객열차/화물열차 운행비율 변경.

철도청의 '사령실 통합 신호설비 시설' 사업은 한국철도에 RCDRS를 도입하기에 좋은 기회를 제공한다. 그러나, 한국철도 네트워크의 RCDRP 유형이 다양하고, RCDRP에 대한 연구실적 및 개발경험이 적은 점을 고려해 볼 때, 각 노선의 RCDRS는 적절한 일정에 따라 단계적으로 도입되는 것이 바람직하다.

따라서, 본 논문에서는 먼저 한국철도의 각 노선별 열차운행패턴을 정량적으로 분석하였다. 특히, 각 노선별 열차운행패턴 정량분석 단계에서 속도종별의 다양성은 본 논문에서 새롭게 정의하는 운행패턴에 관한 지수로서 열차경합의 발생 가능성 및 확산 가능성을 나타내는데 유용할 것으로 판단된다.

뿐만 아니라, Table 3에서 각 항목의 노선별 정량분석 결과를 바탕으로 RCDR 문제정의에 필요한 요소들을 정의하였다. 즉, 현행 노선의 열차운행 상황을 정량적으로 분석하여 노선별 열차운행패턴의 특징을 도출하고, 각 노선별 열차운행패턴의 특징에 맞는 RCDR 문제정의와 해법을 제시하였다.

향후 연구방향으로, 현재 개략적으로 제시된 각 RCDRP의 구체적인 수리 모형화(Mathematical formulation)와 각 모형에 대한 효율적인 알고리즘 개발 이 필요한 사항이다. 또한, 변화해 가는 한국철도의 노선 및 신호제어 시스템 환경에 맞는 새로운 문제정의와 알고리즘 개발이 계속되어야 한다.

참 고 문 헌

1. ADtranz-DaimerChrysler Rail Systems(Signal) DK, System Introduction Traffic Management System, version 1, 2000.
2. http://www.optirails.gr.
3. The "OPTIRAILS" Project Contract Number: RA98RS315, Final Report for Publication, 2004. 4.
4. http://www.crt.unige.it/progetti_europei/marcoframe/mframe. htm.
5. MARCO Project Deliverable Documnet 3.1~9.1.
6. M. Mazzarello, and R. Copello, Conflict Resolution in Railway

Traffic Control by a Distributed Intelligence Approach, Computers in Railway, pp.789-798, 2000.
7. http://www.combine2.org.
8. B. Adenso-Diaz, M. Oliva Gonzalez, P. Gonzalez-Torre, On-line timetable re-scheduling in regional train services, Transportation Research Part B, vol.33, pp.387-398, 1999.
9. A. S. Lang and C. D. Martland, Reliability in Railroad Operations: Studies in Railroad Operations and Economics, vol. 8, MIT Report No. R72-74, Transportation System Devision, M.I.T. (Cambridge, MA, 1972)
10. Petersen, E. R., Taylor A. J., and Martland, C. D., An Introduction to Computer Assisted Train Dispatch, Journal of Advanced Transportation, vol.20, pp.66-72, 1986.
11. FRA, A Preliminary Examination of Railroad Dispatcher Workload, Stress, and Fatigue, PR02-04, 2002.
12. Peter Hellstrom, Ingemar Frej, Anders Gideon, and Bengt Sandblad, Algorithms and Control Systems for Computer-Aided Train Dispatching, Proceeding of WCRR 1997, pp.345-357, 1997.
13. Arne W. Andersson, Ingemar Frej, Anders Gideon, Peter Hellstrom, and Bengt Sandblad, A System Analysis Approach to Modelling Train Traffic Control, Proceeding of WCRR 1997, pp.673-679, 1997.
14. Sauder, R. L. and W. M. Westerman, Computer Aided Train Dispatching Decision Support Through Optimization, Interfaces, vol.13, no.6, pp.24-37, 1983.
15. Harker, P. T., Use of advanced train control systems in scheduling and operating railroads: models, algorithms, and applications, Transportation Research Record, 1263, pp.101-110, 1989.
16. Kraay, D. R. & Harker, P. T., Real-time scheduling of freight railroads, Transportation Research, 29B(3), pp.213-229, 1995.
17. Kraay, D. R., Harker, P. T. & Chen, B., Optimal pacing of trains in freight railroads: model formulation and solution, Operations Research, 39(1), pp.82-99, 1991.
18. Jovanovic, Dejan Nenad, Improving railroad on-time performance: Models, Algorithms and Applications, Ph.D Dissertation, 1989, Univ. of Pennsylvania.
19. Kiyotoshi Komay, and Toyoo Fukuda, A Knowledge-Based Approach for Railway Scheduling, Proceeding of the 7the Conference on Artificial Intelligence Application, pp.404-411, 1991.
20. Kiyotoshi Komaya, An Integrated Framework of Simulation and Scheduling in Railway Systems, Computers in Railway, pp.611-622, 1992.
21. Kengo TSUTUI, COSMOS, the Latest Comprehensive Control System for the Shinkansen, Janpanese Railway Engineering, no.140, pp.23-25, 1998.
22. A. Stolk, Automatic Conflict Detection and Advanced Decision Support for Optimal Usage of Railway Infrastructure : Purpose and Concept, Computers in Railways, pp.629-638, 1998.
23. F. Makkinga, and S. Metselaar, Automatic Conflict Detection and Advanced Decision Support for Optimal Usage of Railway Infrastructure : Prototyping and Test Results, Computers in Railways, pp.907-915, 1998.
24. A. Fernandez, F. de Caudra, and A. Garcia, SIRO : An Optimal Regulation System in an Integrated Control Center for Metro Lines, Computers in Railway, pp.300-308, 1996.
26. A. Fernandez, F. de Caudra, and A. Garcia, Results of the Implementation of an Optimal Control System in an Integrated Control Center for Metro Lines, Computers in Railway, pp. 553-562, 1998.
26. Y. Larroche, R. Moulin, and D. Gauyacq, SEPIA: A Real-Time Expert System that Automates Train Route Management, Control Eng. Practice, vol.4, no.1, pp.27-34, 1996.
27. R. G. J. Mills, S. E. Perkins, and P. J. Pudney, Dynamic Rescheduling of Long-Haul Trains for Improved Timekeeping and Energy Conservation, Asia-Pacific Journal of Operational Research vol.8, pp.146-165, 1991.