

철도청 사령실 통합 신호설비 구축사업에서의 경합해소 시스템 구축방안

Railway Conflict Resolution for KORAIL Command Center Intergration Signal Equipment Construction Project

김택룡*, 이상언*, 박진배*, 주영훈**, 홍효석***, 유광균***

Kim Taek-Ryoung, Lee Sang-In, Park Jin-Bae
Joo Young-Hoon, Hong Hyo-Sik, You Kwang-Kyun

ABSTRACT

본 논문은 철도청 사령실 통합 신호설비 구축사업에 적용할 열차 경합의 효과적인 해소 기법을 제시하고자 한다. 열차경합의 검지 및 해소는 열차운행의 정시성을 유지하기 위하여 매우 중요한 기능이지만 현재까지 자동화되지 못하고 지역본부별로 하나의 이벤트에 대하여 해당열차만을 고려하는 수작업의 형태로 경합해소를 수행해오고 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하고 철도 시스템을 전역적으로 고려할 수 있는 기법이 요구된다. 본 논문에서는 이를 위하여 열차 경합 해소 시스템의 국내의 기술현황을 바탕으로 우리 실정에 맞는 시스템을 제안한다. 또한 열차의 지연을 수치적으로 표현할 수 있는 방안을 제시한다.

1. 서론

모든 열차는 사전에 계획된 스케줄에 따라 운행하도록 되어있기 때문에 도로 교통수단에 비해서 높은 정시성을 보장할 수 있다. 따라서 철도 시스템에 있어서 그 정시성(punctuality)의 유지는 주행속도, 서비스 빈도, 주행 안락성, 고객 정보와 함께 철도의 품질과 경쟁력에 관한 표준 판단 기준이 되기 때문에 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다 [8]. 이러한 정시성을 유지하기 위해서 가장 중요한 것 중 하나가 바로 열차 경합(conflict)에 대한 대응이다. 열차경합은 열차와 열차간의 충돌 또는 충돌위험으로 정의된다. 즉 두 대 이상의 열차가 미래의 같은 시각에 같은 선로를 점유하는 것이 열차경합이다.

열차 경합은 열차 지연에 의해서 발생한다. 매일 많은 열차가 운행되고 있고, 운행 중 신호기 고장, 엔진 고장, 산사태, 선로 유실, 기관사 실수, 승객과다로 인한 정차시간의 증가 등 다양한 원인들에 의하여 열차 지연은 필연적으로 발생하게 된다 [5]. 이런 원인들로 발생한 열차의 지연으로 인해서 후속열차들은 계획된 스케줄에 따른 정상적인 운행이 불가능하게 된다. 따라서 열차 경합 예측 및 해소 문제는 열차 운행과 높은 정시성 확보에 있어서 매우 중요한 이슈가 되고 있다.

* 연세대학교
** 군산대학교
*** 철도대학

국내에서는 현재 다섯 곳의 지역본부별로 사령(Train Dispatcher)들이 직접 수작업으로 경합을 검지하여 해소하고 있다. 그러나 사령들의 판단이 항상 정확한 것이 아니며, 잘못된 판단을 내렸을 경우 열차 시스템의 많은 혼란을 발생 시킬 수 있다. 따라서 경합을 정확하게 예측하며 일관된 기준에 따라 항상 정확한 해소 안을 제시하는 자동화 시스템이 요구된다. 이러한 요구에 의하여 경합 검지 및 해소 시스템에 대한 국내의적으로 다양한 연구가 이루어지고 있다. 해외에서는 수십 년전부터 꾸준한 연구가 이루어졌고, 현재 상용 판매품 수준까지 개발되어 있다. 또한 그 규모에 맞게 대규모 프로젝트 위주로 진행되어 왔다. 오석문은 시스템의 기술현황을 정리하였다 [5]. 국내에서는 경합 검지 및 해소 시스템(Conflict Detection and Resolution System, CDRS)에 대한 연구가 거의 진행되지 못했었다. 오석문은 CDRS에 대한 정의와 함께 유전자 알고리즘을 도입하여 이 문제를 해결하고자 하였다 [6-7].

본 논문에서는 우리나라의 열차 운행 실정에 맞는 경합 해소 최적화 알고리즘을 제시한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 경합 검지 및 해소 시스템에 대해서 소개하고, 3장에서 경합 해소 최적화 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 최적화 알고리즘의 핵심 부분인 목적 함수를 정하는 열차 지연의 수치화 기법을 제시한다. 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

2. 열차 경합 해소 시스템

열차 경합 검지 및 해소 시스템은 열차운행관리 시스템(Railway Traffic Management System, RTMS)의 의사결정 지원 모듈이다. 국내에서는 기존에 5개 지역본부별로 수작업으로 해오던 열차 경합 검지 및 해소를 철도청 통합 신호설비 구축과 더불어 자동화하는 사업을 진행하고 있다. 따라서 본 논문은 이를 위한 경합 검지 및 해소 알고리즘을 제시하고자 한다. 본 장에서는 우선 열차 운영을 시공간적으로 쉽게 분석할 수 있는 도구인 열차 DIA(Train Diagram)에 대하여 소개를 한 후 경합 해소 시스템을 설명할 것이다.

2.1 열차 DIA

열차 DIA란 Train Diagram의 약칭으로 열차의 시간적 이동의 궤적을 나타내는 도표로서 시간을 횡축에 거리를 종축에 도시하여 도표에서 열차가 운행되어 가는 궤적을 기입한 것이다. DIA는 열차가 한 정거장을 발차하여 다음 정거장에 도착하기까지 열차의 속도, 역의 출발 및 도착시각을 기준으로 직선화해서 표현한 것이다 [10,11]. 이러한 열차 DIA를 통하여 각 열차의 운행계획을 쉽게 알 수 있고, 열차 경합의 발생도 열차 DIA를 통해 예측할 수 있게 된다. 그림 1은 실제 사용되고 있는 경부선의 열차 DIA이다.

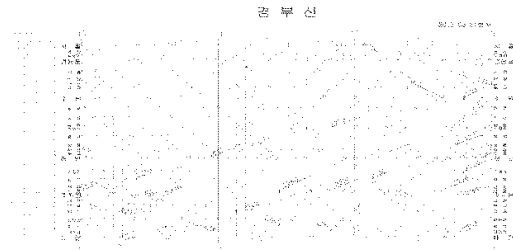


그림 1 열차 DIA

2.2 열차 경합 해소 시스템

열차 경합 해소 시스템은 CDRS의 가장 중요한 비중을 차지하고 있는 부분으로서 경합이 발생할 경우 그에 대한 최적화 된 대안을 사령에게 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 논문에서는 열차와 열차간의 충돌에 해당하는 4가지 경우, 충돌 위험에 해당하는 한 가지 경우를 포함하여 모두 5가지의 경우로 열차 경합을 구분한다. 각 경우에 해당하는 경합의 종류와 그 원인은 표 1에 정리되어 있다.

표 1 경합의 종류 및 원인

예상경합	경합 종류	경합 원인
충돌	열차추월경합	노선에서 선행열차의 불필요한 감속 및 정차 등으로 인한 지연
	열차교행경합	단선에서 열차의 지연으로 계획된 교행이 사전 계획에 따라 발생하지 않은 경우
	열차경로경합	열차의 지연으로 두열차가 동일 도착선 요구할 경우
	열차수렴경합	두 개 이상의 노선으로부터 열차의 합류가 사전계획에 따라 일어나지 않는 경우
충돌위험	운전시력경합	선행 열차의 불필요한 감속 및 정차로 인한 지연

경합 해소 시스템의 주목적은 위와 같은 원인들로 인해 발생하는 경합을 효율적으로 해소하며, 동시에 최초로 계획된 스케줄의 변경을 최소화함으로써 높은 정시성을 확보하는 것이다. 경합 해소 시스템의 구성은 그림 2와 같다.

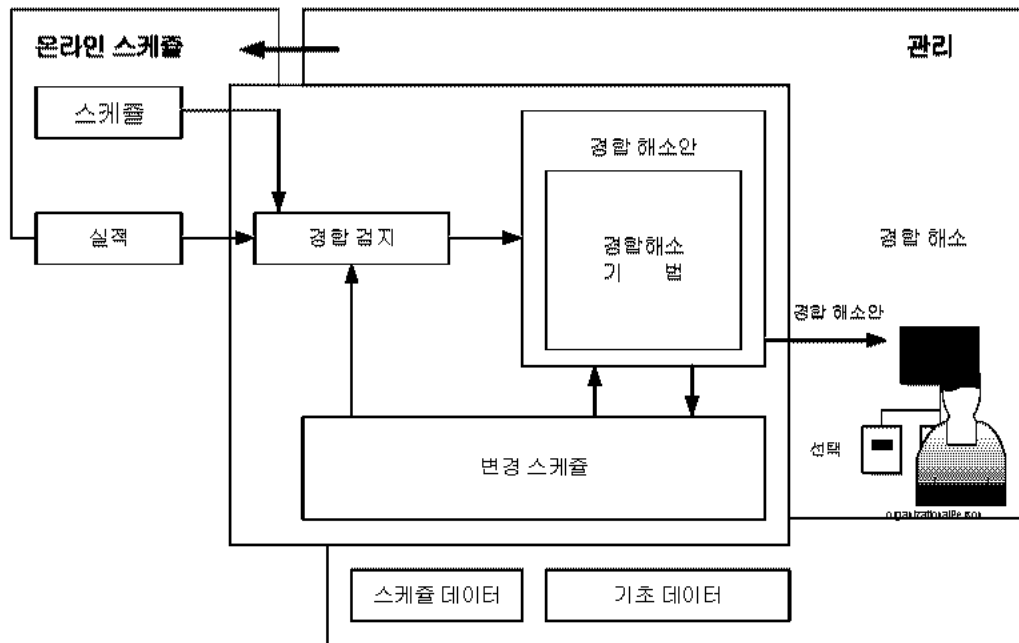


그림 2 열차 경합 해소 시스템의 개요도

그림 2에 나와 있는 것처럼 기본적으로 열차 운행에 관련된 동적 데이터와 역 및 선로 정보 등의 정적 데이터를 입력으로 받아서 경합의 발생을 예측한다. 경합이 감지되었을 경우 경합 감지 시스템은 사람에게 경합의 발생을 통보함과 동시에 경합 해소 시스템에 통보를 하게 되며, 이것을 바탕으로 경합 해소 시스템은 여러 해소 안을 탐색하여 최적화 된 안을 사람에게 제시한다. 사람은 이렇게 제시된 해소 안 중 하나를 선택하거나, 다른 방안을 제시할 수 있다. 그리고 사람이 승인한 해소 안은 온라인 스케줄로써 업데이트 된다.

3. 경합 해소 최적화 알고리즘

경합 해소는 본질적으로 열차의 교행 및 지연시킬 역을 탐색하여 결정하는 것이므로 여러 개의 해소 안이 나올 수 있다. 해결 방안으로써 한 열차를 특정 역에서 지연시킬 때 그로 인한 추가 경합이 발생하는 지에 대한 판단이 이루어져야 하며 추가 경합이 발생할 경우 그에 대해서도 해결 방안이 필요하다. 따라서 추가적인 경합이 발생하지 않을 때까지 해결 방안의 생성을 반복하며 이런 과정을 통해 하나의 해소 안이 생성된다. 시스템은 처음 경합이 발생한 열차에 대해서 교행 및 지연시킬 역을 다르게 선택함으로써 여러 개의 해소 안들이 도출 되고 이렇게 생성된 여러 개의 해소 안을 기 설정된 목적함수를 통해 계산하여 최종적으로 최적화 된 안을 선택하여 송신 한다. 그림 3과 4는 경합 해소 최적화 알고리즘의 구조를 보여준다.

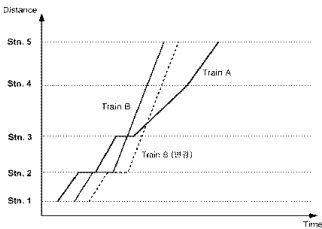


그림 3 경합 발생 상황

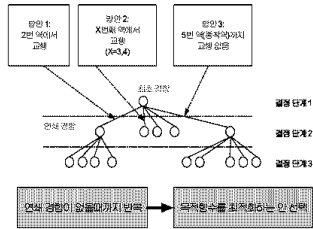


그림 4 최적화 알고리즘의 기본 구조

보다 자세한 경합 해소 최적화 알고리즘의 흐름과 설명은 그림 5, 표 2에 나타나 있다. 경합의 해소는 기본적으로 교행 시점에 따라 두가지로 나눌 수 있다. 그 첫 번째는 경합이 발생하기 전 미리 교행시키는 방법이고, 다른 방법은 지연을 늦추는 방법이다. 그림 3에서 2번역에서 열차 B가 지연되는 상황에 대한 경합 해소안을 고려해보면 예측 열차 DIA에 의해서 3번역과 4번역 사이에서 경합이 예측된다. 경합 감지 시스템에 의하여 경합의 감지가 통보되면 경합 해소 시스템에서는 기본적으로 2번역부터 4번역 사이에서 교행을 시키던지, 종착역까지 교행없이 고속열차를 지연시켜야 한다. 다수의 방안에서 하나를 선택한 후 지연시킨 열차와 그 후속열차간 추가적인 경합이 존재하는지 판단을 해야 하고, 추가적인 경합이 존재할 경우 연쇄 경합이 없을때까지 앞에서 설명한 과정을 반복해야 한다. 그리고 연쇄 경합이 존재하지 않으면 제시된 제안 중 목적함수를 최적화하는 안을 선택하게 된다.

표 2 경합 해소 최적화 알고리즘 프로세스 설명

교행역 선택	경합이 발생된 전, 후 정차역을 우선으로 선택
제약 조건	해당 역에서 교행 가능한지의 여부 판단
추가 경합 검지	후속열차를 판별한 뒤 경합 검지 알고리즘 이용
경우 저장	추가 경합이 발생되지 않을 때까지 알고리즘을 적용한 뒤 하나의 경우로 저장
종결 조건	가능한 적합한 경우(N 개)를 모두 저장한 뒤 종료

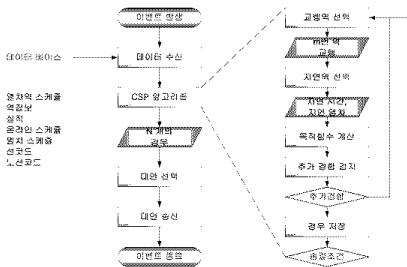


그림 5 경합 해소 최적화 알고리즘 순서도

4. 열차 지연의 수치화 기법 (목적 함수 설정)

앞에서 설명한 바와 같이 CDRS의 목표는 열차가 최초 계획된 스케줄에 나와 있는 대로 운행하도록 하는 것이다. 따라서 목적함수는 기본적으로 열차의 지연시간의 합으로 설정 된다. 그러나 여객열차와 화물열차의 지연, KTX와 새마을호의 지연, 경부선 열차와 전라선 열차의 지연을 같은 정도로 취급해서는 안 된다. 여객열차는 화물열차에 비하여, KTX는 새마을호에 비하여 더 높은 정시성이 요구되기 때문이다. 또한 경부선에는 운행량이 많고, 열차 간 평균 운전시간이 짧기 때문에 전라선 및 다른 노선에 비하여 열차지연이 후속열차에 미치는 영향이 크게 된다. 따라서 현재 시스템에서는 열차 간 우선순위를 설정하여, 경합이 발생했을 경우 이러한 우선순위를 고려하여 경합의 해소안을 제시하고 있다. 하지만 현재는 전체 시스템의 입장이 아닌 일부 열차의 입장에서 우선순위를 고려하기 때문에 그렇게 제시된 해소안은 전체 시스템의 성능을 저하시킬 가능성이 매우 크다. 또한 현재 사령의 경험에 의하여 제시하고 있는 경합의 해소안을 컴퓨터에 의하여 제시할 경우, 이러한 사령의 경험을 시스템에 그대로 접목시키는 것은 매우 어렵다. 따라서 우리는 사령의 경험을 반영하면서 지연을 전역적으로 고려할 수 있도록 지연시간을 수치화하는 기법을 도입하고자 한다. 이에 우리는 목적함수를 모든 열차의 가중치를 고려한 지연시간의 합으로 설정하였으며, 경합 발생시 목적함수의 값을 최소로 만드는 대안을 제시하는 것을 목표로 한다.

5. 결론

본 논문은 철도청 사령실 통합 신호설비 구축사업에 적용할 열차 경합의 효과적인 해소 기법을

제시하고자 하였다. 열차경합의 검지 및 해소는 열차운행의 정시성을 유지하기 위하여 매우 중요한 기능이다. 따라서 열차 경합의 검지 및 해소 문제에 있어서 철도 시스템을 전역적으로 고려할 수 있는 기법이 요구된다. 본 논문에서는 이를 위하여 열차 경합 해소 시스템의 국내외 기술현황을 바탕으로 우리 실정에 맞는 시스템을 제안하였다. 또한 지연시간의 계산에 있어서 지연의 수치화 기법 도입의 필요성을 설명하였다. 구체적인 가중치의 설정은 앞으로 연구해야 할 과제이다.

참고문헌

1. E. R. Petersen, A. J. Taylor and C. D. Martland (1986), "An Introduction to Computer-Assisted Train Dispatch", *Journal of Advanced Transportation*, pp. 63-72.
2. Y. Larroche, R. Moulin and D. Gauyacq (1996), "SEPIA: A Real-Time Expert System that Automates Train Route Management", *Control Engineering Practice*, Vol. 4, No. 1, pp. 27-34.
3. Michele Missikoff (1998), "An Object-Oriented Approach to an Information and Decision Support System for Railway Traffic Control", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 11, pp. 25-40
4. Ismail Sahin (1999), "Railway Traffic Control and Train Scheduling Based on Inter-Train Conflict Management", *Transportation Research Part B*, Vol. 33, pp. 511-534.
5. 오석문, "최적화 해법을 이용한 열차경합 해소와 한국철도 적용방안",
6. 오석문, 김영훈, 김성호, 김동희, 홍순흠 (2002), "유전자 알고리즘을 이용한 열차경합 해소문제에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집
7. 오석문, 홍순흠 (2002), "열차경합 해소에서 유전자 알고리즘의 적용에 관한 연구", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집
8. 노학래, 철도역에서 도착지체의 결정 및 분석
9. 유명훈, 황종규, 조근식 (1999), "열차 발착시간에 대한 열차 운용 스케줄링 시스템", 한국지능정보시스템학회논문지, 5권 1호, pp. 81-93.
10. 이종득 (2004), "철도공학개론", 노해출판사.
11. 김외일 (1999), "운전이론", 한국철도운전기술협회.