

대형·고밀도역 역내 열차 경합 검지 및 해소를 위한 수리 모형 및 해법

An Algorithm for train conflict detection and resolution occurring in large station with high density traffic

박범환*, 김경민**, 홍순흠**, 김영훈**, 안진***, 이영수***, 하승태***

Bum Hwan Park· Kyung Min Kim· Soon-Heum Hong· Young-Hoon Kim· Jin Ahn· Young-Su Lee· Sung-Tae Ha

ABSTRACT

In large station with high density traffic, trains is hardly controlled by CTC but by station dispatcher because CTC has difficulties in monitoring all states of affairs happening within the station such as departs and arrivals of many trains from different lines and shunting trains between yards and platforms, etc. Therefore station dispatcher has to make quick decision about how to schedule all trains including trains to arrive and depart before long. And such decisions become harder when an unexpected delay occurs.

This study suggests a mathematical model and algorithm about how to detect in advance and resolve efficiently the conflicts occurring within a station and it will be shown how to reduce delay using our approach by means of analysing the schedule of ChyungRyangRi station.

1. 서론

용산역, 청량리역과 같이 여러 개의 노선이 통과할 뿐만 아니라 그것의 시 종착 역할을 하는 대형·고밀도역의 경우, 중앙에서 파악할 수 없는 입환 업무와 열차의 지연 등으로 인해, 중앙집중제어장치(CTC)를 사용한 중앙 제어가 불가능하다. 그래서, 대형역에서 열차 운행 관리를 담당하는 역사령(station dispatcher)의 경우, 역 LS화면과 인접역 상황, KROIS에 실시간으로 올라오는 열차 정보, 해당 역에서 입환을 담당하는 수송원으로부터의 입환상황, CTC로부터의 지시 및 요청 사항을 종합적으로 파악하여 각 열차에 대한 진입 진로 및 출 도착/출발 시간을 실시간으로 계산하여 의사결정을 내려야 한다[2]. 일본의 경우, CTC 차원에서 모든 역의 상황을 관찰하여 시스템 전체의 최적화를 가져오기에는 고려해야 할 변수가 너무 많고, 대형 고밀도 역의 경우 입환과 같은 구체적인 작업들은 CTC차원에서 파악조차 힘들기 때문에 자율 분산(autonomous decentralized) 개념을 이용하여 열차 경로 제어를 단위 역으로 분산화 시키려는 시도들 또한 진행되고 있다[6].

* 한국철도대학, 철도경영정보과

** 한국철도기술연구원 철도정책물류연구본부

E-mail : kmkim@krri.re.kr (김경민)

TEL : (031)460-5491 FAX : (031)460-5499

*** 경봉기술(주)



[그림 1] 역사령의 경로제어 과정[2]

본 연구는 이러한 대형 고밀도 역에서 상시적으로 일어나고 있는 열차 경로 제어과정을 역사령의 경험인 아닌 수학적 방법론을 사용하여 최적의 의사결정을 내리는 절차에 대해 기술한다. 여기서 최적의 의사결정이라 함은 열차 지연 발생 시, 열차 지연의 파급을 최소한으로 막아 전체 열차의 지연시간 합을 최소화하는 열차 스케줄을 작성하는 것을 의미한다.

2. 기존 연구

일반적으로 열차 지연 발생 시 그것의 파급을 최소한으로 줄이기 위해 열차 스케줄을 조정하는 일련의 과정을 열차 경합 검지 및 해소(Train Conflict Detection and Resolution : CDRS)라고 한다. 이 문제에 대해서는 다양한 연구가 진행되어 왔는데, 대표적인 연구가 바로 Higgins et. al.[3]의 연구이다. 그들은 열차 경합 발생 시 그것을 해소할 수 있는 혼합정수계획 모형을 처음으로 제시하였다. 이 연구를 기반으로 [1]에서는 중앙선 단선 구간을 예로 혼합정수계획 모형을 적용한 결과를 제시하였다. 이 모형은 대상으로 하는 구간에 속하는 역의 용량(대피선 수)을 상수로 설정하여, 제약을 가할 수 있음에도 불구하고, 대형역 내의 입환이나 역 내의 선로 할당 방법에 따른 역 용량의 가변성을 전혀 고려하지 않아, 역 내 혼잡상황을 최소화하기 위한 열차 경합 해소 모형으로는 적당하지 않다.

Mascis et. al.[4]는 Job-shop모형에 기반한 열차 경합 해소 모형을 제시하였는데, 이 연구는 유럽의 MARCO(Multilevel Advanced Railways Conflict Resolution and Operation) 연구 프로젝트의 확장인 COMBINE2 프로젝트에서 제안되었다. 이 모형은 열차 경합시, 열차별 진입 및 출발 진로를 먼저 결정하고, 그것에 따른 열차별 출 도착 시간을 Job-shop모형에 기반한 스케줄링 방법을 이용하여 결정하는 2단계 방법을 제안하였다. 이 모형 또한, 열차의 진입/출발 진로를 경험에 의해 확정짓고 이것을 기반으로 출 도착 시간을 결정한다는 점에서 최적화된 방법론이라 할 수 없다. 특히, 열차의 시종착역이 되는 대형 고밀도 역의 경우, 다양한 입환 작업으로 인해 열차 주 진로(main route)를 방해하는 사례가 많이 발생하여, 열차별 진입/출발/입환 진로와 그것의 진입 시간을 동시에 고려해야 최적화 효과를 얻을 수 있다.

열차 경합 해소 모형과는 차이가 있지만, Kroon et al.[8]과 Zwaneveld et. al. [9]은 역별 열차 출 도착 시간이 정해졌을 때, 열차별로 어떤 진로를 할당할 것인지에 대한 연구이다. 이들은 이 문제를 진로를 노드로, 동시에 할당될 수 없는 두 개의 진로간에 호(edge)를 연결하여 그래프 상의 가중치가 있는 최대 독립 집합(Maximum weight independent set) 문제로 정형화하여, 주어진 스케줄을 각 역이 감당할 수 있는지를 사전에 시뮬레이션해볼 수 있는 수리모형을 개발하였다.

Lamma et. al. [5]는 제약 논리 프로그램(Constraint Logic Programming)을 이용하여, 열차 경합 해소 문제를 해결하였다. 제약 만족 기법이란 주어진 제약을 만족하는 해를 역추적(backtracking)기법을 이용하여 찾아내는 방법을 말하는데, 이는 최적화 모형과 달리 가능해(feasible solution)를 찾는 데 주안점을 둔 해법이라 할 수 있다.

본 연구는 역내에서 발생할 수 있는 열차 경합을 미리 검지하고 그것을 해소하는 해법을 제시하고한다. 이 연구는 기존 연구와 달리, 입환 작업과 같은 역내 혼잡 상황을 그대로 반영하여, 역내 출/도착 진로 설정과 그것의 진입 및 출발 시각을 동시에 최적화하는 방법론을 제시한다. 이를 위해 먼저 열차 지연 발생 시 열차 경합 상황을 보다 시각적으로 표현할 수 있는 그래프 이론에 기반한 모델링 방법을 제시하고자 한다. 실제로, 열차 출 도착 시간에 따른 열차 경합은 열차 다이어상으로 충분히 표현되지만, 역내 선로 상황을 반영한 열차 경합을 표현하기 위해서는 좀 더 복잡한 모델링 방법이 필요하다. 본 연구는 이 모델링 방법에 기반하여 수리 모형을 제안하고 그것의 적용 결과를 보여줄 것이다.

3. 역내 열차 경합 검지 해소 모형

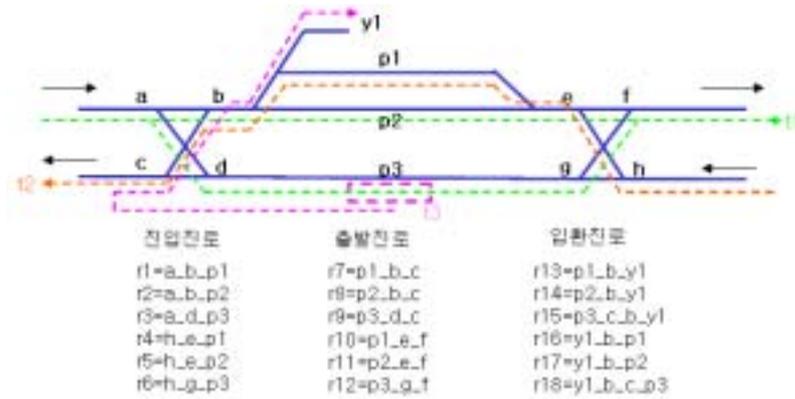
3.1 역내 열차 경합 검지 해소를 위한 그래프 모형

일반적으로 역내 진로는 연동도표에 의해 제어되는데, 연동도표란 역내 모든 진로와 그것에 관련된 신호기, 선로전환기 췌정상태 등을 표현한 것이다. 본 연구에서 제시하는 그래프 모형 또한 연동도표를 이용한 것인데, 각각의 진로를 노드로 표현하고 연동도표 상에 동시에 진로 설정이 불가능한 두 개의 진로 사이에 호(arc)를 연결하여 두 진로가 동시에 설정될 수 없음을 표현한다. 본 연구에서는 이러한 그래프를 역내라우팅그래프(In-Station Routing Graph)라고 부를 것이다.

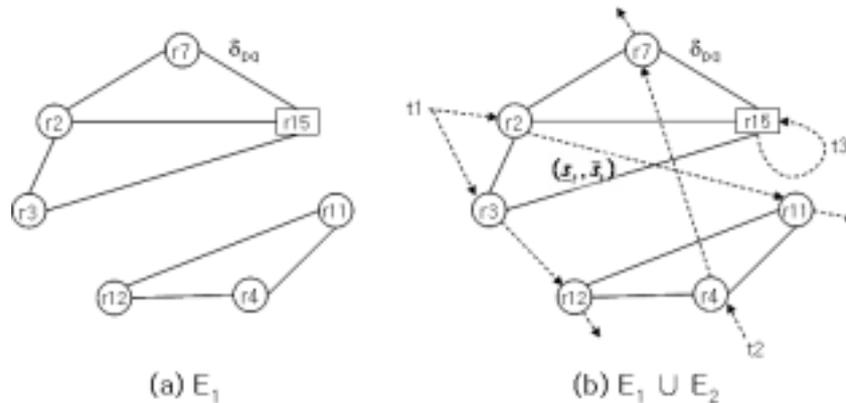
역내라우팅그래프 $G=(V,E_1,E_2)$ 란 역내 다양한 진로 간에 동시 진로 설정이 가능한지를 그래프로 표현한 것인데, V 는 역내에 존재하는 모든 출발 진로, 진입진로를 표현하고, 두 진로간에 동시 진로 설정이 불가능하면 두 진로를 표현하는 노드를 연결하는 호(arc)를 연결하여 E_1 을 구성한다. (양립불가능 호 집합이라고 명명) 입환진로는 출발 진로와 진입 진로와 구분하기 위해 사각형 노드로 표현하자. 이렇게 표현된 그래프 상에, 열차의 출 도착 상황을 표현하기 위한 호를 추가하여 E_2 (진로 호 집합이라 명명)를 구성하면, 역내 열차 경합 상황을 쉽게 판단할 수 있는 역내라우팅그래프를 만들 수 있다.

예를 들어, [그림 2]와 같은 역내 선구도와 진입/출발/입환 진로가 주어졌을 때, 역내라우팅그래프를 구성해 보면 [그림 3-(b)]과 같다. [그림 2]는 주어진 역의 선구도의 주요 지점과 세 개의 열차 t_1, t_2, t_3 를 표현한 것인데, t_1 은 $a-b-p2-e-f$ 지점을, t_2 는 $h-e-p1-b-c$ 지점을 통과하는 열차이다. t_1 열차의 경우 대안 진로까지 표현되어 있는데, $a-d-p3-g-f$ 지점을 통과하는 진로도 가능하다. 열차 t_3 는 플랫폼 폼 p_3 에 도착해 있는 열차로서, y_1 까지 입환이 필요한 열차이다. p_3 로부터 y_1 으로 가는 입환 진로는 $p3-d-c-b-y1$ 을 지나는 진로가 된다. 이것을 이용하여 진로 간의 양립불가능성 (incompatibility)을 표현하면 [그림 3-(a)]가 되는데, 여기서 δ_{pq} 는 두 진로 p, q 가 순차적으로 설정되기 위한 최소한의 시간간격을 표현한 것이다. 즉, δ_{pq} 가 1분일 경우, 두 진로가 설정되는 시간 간격이 최소한 1분임을 나타낸다. 이 그래프에 열차별 출 도착 상황을 표현한 것이 바로 [그림 3-(b)]이다. 진로간의 양립불가능성을 나타내는 호(arc)와 구별하기 위해, 열차 출도착 상황은 점선으로 표시하며, $\overline{s}_l, \underline{s}_l$ 는 각각, 열차 l 가 플랫폼에 머물 수 있는 최대, 최소 시간을 말한다. 또한 입환 진로처럼 진입/출발 진로가 구분되지 않는 경우, 루프로 표현한다. 결국, 역내라우팅그래프는 진로를 표현한 노드 집합 (V)와 δ_{pq} 와 연관되는 양립불가능호 집합(E_1)과 $\overline{s}_l, \underline{s}_l$ 와 연관되는 진로호(E_2)로 구성된다.

다음 장에서 살펴보겠지만, 경합 해소 알고리즘이란 결국, 양립불가능성을 나타내는 호를 고려하여, 점선으로 표현된 열차의 진입/출발/입환 시각을 계산하는 것이다.



[그림 2] 선구도의 예



[그림 3] 역내 라우팅 그래프

3.2 열차 경합 검지

역내 라우팅 그래프를 이용할 경우, 열차 지연 시 어느 열차에서 얼마만큼의 열차 지연이 발생할지를 간단하게 계산할 수 있다. 일반적으로 역에서 열차를 처리하는 순서는 전적으로 FIFO에 기반하고 있다. 즉, 먼저 도착한 열차를 먼저 처리한다는 것인데, 특정 열차가 지연이 될 경우, 역내라우팅 그래프상의 두 개의 호 진로 호(E_1)와 양립불가능성 호(E_2)를 통해 그 지연이 확장된다. 아래는 열차 처리를 FIFO로 할 경우, 열차 경합을 예측하고 경로 제어 순서를 결정하는 절차를 정리한 것이다. 이를 위해 몇 개의 용어를 도입하면 다음과 같다.

- d_t : 열차 t 의 지연시간. 지연이 없으면 0.
- T : 지연 발생 열차 집합
- \overline{y}_p : 스케줄상의 열차 t 가 진로 p 를 설정하는 시작 시간
- \underline{y}_p : 열차 t 가 진로 p 를 설정할 수 있는 최소 설정 가능 시간

알고리즘 : FIFO 열차 경로 제어

단계0. 일정한 시간 간격에 있는 열차를 대상으로 역내라우팅그래프 작성

단계1. $\underline{y}_p = \overline{y}_p + d_t \quad \forall t$

단계2. E_1 를 통한 지연 확장

$$\underline{y}_q = \max\{\underline{y}_q, \max_{t \in T} \{\overline{y}_p + \underline{s}_t\}\} \quad (p: \text{진입 진로}, q: \text{출발 진로})$$

단계3. E_2 를 통한 지연 확장

두 개의 진로 p, q 가 양립불가능이고 $|y_p^t - y_q^t| < \delta_{pq}$ 이면,

$$\begin{cases} y_p^t = y_q^t + \delta_{pq} & \text{if } y_p^t > y_q^t \\ y_q^t = y_p^t + \delta_{pq} & \text{o/w} \end{cases}$$

단계4. y_p^t 에 따른 경로 제어

특정 열차의 지연이 발생할 경우, 역내라우팅 그래프 상의 진로호와 양립불가능성호를 통해 연결된 모든 진로에 s_t 혹은 δ_{pq} 만큼의 시간을 더하여, 최소 진로 설정 가능 시각을 재계산한다. 그리고 난 뒤, 최소 설정 가능 시각에 따라 열차를 처리한다.

3.2 열차 경합 해소를 위한 수리 모형

열차 경합이 발생할 때, FIFO방식이 아닌 보다 최적화된 경로 제어를 위해, 본 연구는 아래와 같은 수리모형에 기초한 열차 경합 해소 알고리즘을 제안한다. 이 수리모형은 기본적으로 그래프 상의 독립 집합(independent set)을 표현하는 제약식과, 열차 출 도착 시간을 설정하는 제약식으로 구성되어 있다.

1) 용어

- t : 열차
- p : 진로. 진입진로-플랫폼, 플랫폼-출발진로, 입환 진로, 사용자 지정 진로 등으로 구성
- $Inbound_Route(t)$: 열차 t 가 진입가능한 진로의 집합
- $Outbound_Route(t)$: 열차 t 가 출발가능한 진로의 집합
- $Route(t) = Inbound_Route(t) \cup Outbound_Route(t)$.
- $Incompatible(p)$: 진로 p 와 동시에 사용할 수 없는 진로의 집합
- $CommonPl(p)$: 진로 p 와 동일한 플랫폼을 사용하는 진로의 집합

2) 파라미터

- d_t : 열차 t 의 지연시간. 지연이 없으면 0.
- \overline{y}_p^t : 스케줄 상의 열차 t 가 진로 p 를 설정하는 시작 시간. 현재시점 0을 기준으로 초로 계산 . 사용하지 않는 진로 p 에 대해서는 0
- y_p^t : 열차 t 가 진로 p 에 진입할 수 있는 최소 가능 시간. 지연이 없는 열차의 경우, $y_p^t = \overline{y}_p^t$ 지연이 있는 열차의 경우, $y_p^t = \overline{y}_p^t + d_t$
- δ_{pq} : 두 진로 p, q 를 연속적으로 설정하기 위해 필요한 시간 간격
- W : 충분히 큰 양의 수
- \overline{s}^t : 열차 t 의 정차시간의 상한.
- \underline{s}^t : 열차 t 의 정차시간의 하한. 통과열차의 경우 0.

3) 변수

- x_p^t : 열차 t 가 진로 p 를 사용하면 1 그렇지 않으면 0
- y_p^t : 열차 t 가 진로 p 를 설정하는 시작 시간. 프로그램 구동 시점을 0으로 했을 때, 진입시각은 경과 시간을 초(second)로 환산
- z_{pq}^{tt} : 열차 t_i 가 진로 p 를 열차 t_j 가 진로 q 를 사용하는 것보다 빠르면 1, 그렇지 않으면 0

4) 수리 모형

본 연구는 문제 상황에 따라 지연이 가장 많이 발생하는 열차의 지연을 최소화하는 문제(Minimize maximum delay)와 모든 열차의 가중된 지연 합을 최소화하는 문제(Minimize total weighted delay) 모두를 고려할 수 있는 수리 모형을 개발하였다(식(1)참조). 특히 가중된 지연 합을 최소화하는 이유는, 열차간의 우선순위를 고려하여, 우선 순위가 높은 열차들의 지연에 대해서는 가중치를 두어, 보다 빠른 시간 안에 그 열차들을 처리할 수 있도록 목적함수를 설정하였다.

$$\min D \text{ or } \sum_p \sum_q w_p^t (y_p^t - \overline{y_p^t}) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{p \in \text{Inbound_Route}(t)} x_p^t = 1 \quad \forall t \quad (2)$$

$$\sum_{q \in \text{CommonPK}(p)} x_q^t = x_p^t, \quad p \in \text{Inbound_Route}(t), q \in \text{Outbound_Route}(t) \quad (3)$$

$$y_q^t - y_p^t \geq \delta_{pq} - W(1 - z_{pq}^{t,i}), \quad q \in \text{incompatible}(p), \forall p \in \text{Route}(t_i), \forall q \in \text{Route}(t_j) \quad (4)$$

$$y_p^t - y_q^t \geq \delta_{pq} - Wz_{pq}^{t,i,j}, \quad q \in \text{incompatible}(p), \forall p \in \text{Route}(t_i), \forall q \in \text{Route}(t_j) \quad (5)$$

$$y_p^t \leq M \cdot x_p^t, \quad p \in \text{Route}(t), \forall t \quad (6)$$

$$y_p^t \geq \underline{y}_p^t \cdot x_p^t, \quad p \in \text{Route}(t), \forall t \quad (7)$$

$$\underline{s}^t \leq \sum_{q \in \text{Outbound_Route}(t)} y_q^t - \sum_{p \in \text{Inbound_Route}(t)} y_p^t \leq \overline{s}^t, \quad \forall t \quad (8)$$

$$D \geq \sum_{p \in \text{Route}(t)} y_p^t - \sum_{p \in \text{Route}(t)} \overline{y_p^t}, \quad \forall t \quad (9)$$

$$x_p^t, z_{pq}^{t,i,j} : \text{이진변수}, y_p^t : \text{음이 아닌 정수} \quad (10)$$

식(2-3)은 열차는 하나의 진입/출발 진로를 가짐을 의미하고, 식(4-5)는 양립불가능한 두 진로 간에는 반드시 δ_{pq} 만큼의 시간 간격이 있어야 함을 의미한다. 식(6)은 변수 x_p^t 와 y_p^t 를 연관시키는 결합 제약식(coupling constraints)으로서, 열차 t 에 대해 진로 p 가 설정 될 때에만 y_p^t 가 값을 가질 수 있음을 의미한다. 식(7)은 진로 설정 시각이 최소 진로 설정 가능 시각 \underline{y}_p^t 보다 큼을 의미한다. 식(8)은 열차 t 가 플랫폼에 머물 수 있는 최소시간과 최대 시간을 표시한 것이고, 식(9)는 지연이 가장 많이 발생한 열차의 지연시간을 산출하기 위한 제약식이다.

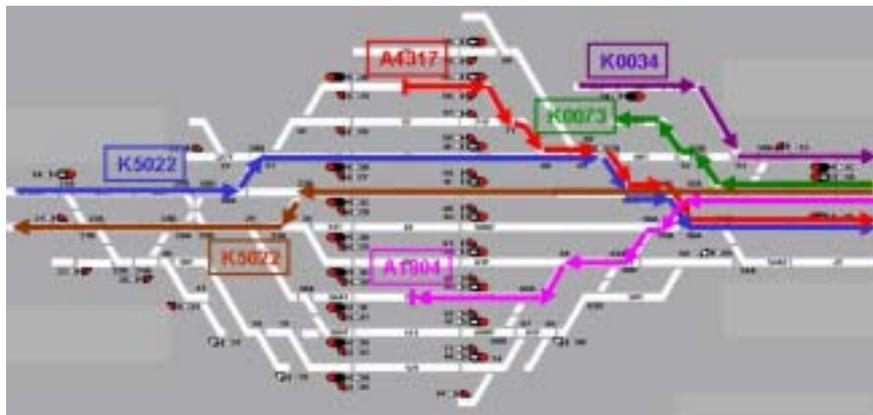
위 수리모형은 전형적인 정수계획 모형(Integer Programming)으로 문제 크기가 커질 경우, 최적해를 구할 수 없다는 단점이 있다. 하지만 실제 현장에서 의사결정을 해야 할 열차의 수가 10대 미만이고 이에 따라 모형의 변수 개수는 100개 안팎의 작은 크기의 문제로 정형화 되므로 본 연구에서는 분지한계법(Branch-and-Bound)[7]을 이용하여 해를 도출하였다.

3.3 청량리역 적용

청량리역의 현재 시각은 08:07:00이고 CTC로부터 받은 기존스케줄은 [표 1]에 표현되어있다. 08:07:30~08:12:00까지 총6개의 열차가 진출입 한다. K0034, K0073은 상하행 지하철로써 통과열차이며 A1804, A4317 열차는 각각 청량리역에서 종착, 시발하는 열차이다. K5022, K5017은 일반 여객열차이다. 인접역 상황, 실시간 열차정보, 입환 현황으로부터 예측된 예측스케줄에 따르면 K5022열차가 160초, A1804열차가 80초 지연된다. [표 1]의 진입/출발 진로는 청량리역 연동도표 상의 연동진로를 본 실험을 위해 차례대로 번호를 매긴 것으로서, 플랫폼-야드(yard) 입환 진로는 출발진로에, 야드-플랫폼은 진입진로에 포함시켰다. [그림 4]는 청량리역 선구도와 관련 열차 진로를 표현한 것이다.

기존 스케줄					
열차번호	열차구분	진입시각	진입진로	출발시각	출발진로
K0034	지하철	08:07:30	35	08:07:30	35
K5022	여객	08:07:30	21	08:08:00	11
A1804	여객	08:09:00	24		
K5017	여객	08:09:00	2	08:09:30	41
A4317	여객			08:10:00	38
K0073	지하철	08:12:00	17	08:12:00	17
예측 스케줄					
K0034	지하철	08:07:30	35	08:07:30	35
K5022	여객	08:10:10	21	08:08:00	11
A1804	여객	08:10:20	24		
K5017	여객	08:09:00	2	08:09:30	41
A4317	여객			08:10:00	38
K0073	지하철	08:12:00	17	08:12:00	17

[표 1] 기존 스케줄과 예측 스케줄

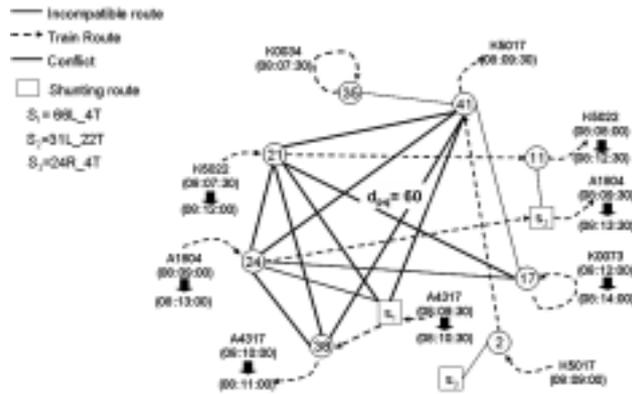


[그림 4] 청량리역 선구도와 관련 열차 진로

본 연구에서 제시한 수리 모형 기반의 경합 검지 및 해소 알고리즘은 열차의 출 도착 시간과 대안 진로 설정을 동시에 함으로써, 전체 운용 효율화를 높인다. 본 연구에서는 이를 확인하기 위해 다음 3가지 열차 경로 제어 상황을 비교해 본다.

- ① FIFO - 수리모형 기법을 도입하지 않고 기존의 진로제어프로세스와 같이 최우선 진입열차에 대해 먼저 진로를 제어하는 경우
- ② 단일진로 - 수리모형 기법을 도입하되 열차 출 도착 시간 조정(retiming) 효과를 분석하기 위해서 대안진로를 허용하지 않고 단일진로만 허용할 경우
- ③ 복수진로 - 대안 진로 설정(alternative routing) 효과를 분석하기 위해서 A4317 열차의 진입진로에 대해 s1, s3 두 가지 입환 경로를 허용하여 수리모형 기법을 적용한 경우

[그림 5]는 8:00:00 현재 역내 라우팅 그래프와 FIFO를 적용했을 때의 열차별 출 도착 시간을 표현한 것이다. 각 노드에는 열차번호와 기존 스케줄상의 출도착 시각, 그리고 FIFO를 적용했을 때의 변경된 시각을 표현하였고, 굵은 실선은 두 진로간의 경합 상황, 점선은 열차의 출 도착 진로를 표현한 것이다. [표 2]는 최적화 모형을 적용했을 경우 총지연시간, 최대지연, 경합빈도에 대하여 세 가지 실험 결과를 비교해 보여주고 있다. 이 때 적용한 최적화 모형의 목적함수는 전체 열차의 지연시간 함으로 설정하였다. 즉 위에서 서술한 두 가지 목적함수 중 두 번째 목적함수이며, 모든 진로와 열차에 대해 $w_p^t=1$ 로 설정하였다.



[그림 5] 역내 라우팅 그래프와 FIFO 적용 결과

	FIFO	최적화	
		단일진로	대안진로
총지연(sec)	1140	1050	870
최대지연(sec)	240	180	180
경합빈도(회)	11	9	8
계산시간(sec)	0.17	1.25	1.37
열차처리순서	K0034	K0034	K0034
	K5017	K5017	K5017
	A4317	K5022	K5022
	K5022	A1804	A1804
	A1804	K0073	A4317
	K0073	A4317	K0073

[표 2] FIFO방식과 최적화 모형의 비교

실험결과 FIFO방식의 열차조정은 대안진로를 허용하는 최적화모형에 비해 연속지연시간이 약 1.5배 정도 더 소요됨을 확인 할 수 있으며, 경합빈도 역시 높았다. 열차의 수가 많아지고 역 내 라우팅 그래프의 복잡도가 증가하면 할수록 수리 모형을 바탕으로 하는 본 연구의 적용 효과는 더욱 증가 할 것 이다. 계산 시간은 Pentium(R) 4 CPU 2.80GHz, 504MB RAM, CPLEX 9.1을 사용하였을 때, FIFO는 0.3초 미만이며 최적화 모형의 경우도 1.5초미만으로 나타났다. 일반적으로 경합검지 및 해소가 60초 내에 10분 후의 상황을 예측하는 조건이 제시되고 있는데 이를 충분히 만족 시킬 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 열차 지연 시 발생할 수 있는 역내 열차 경로 제어를 위해, 지연시간을 미리 예측하고, 보다 적은 지연 시간으로 열차를 처리할 수 있는 역내 열차 경합 검지 및 해소 알고리즘을 제시하였다. 청량리역과 같이 출 도착 열차로 인한 입환 작업이 많은 대형역에 본 연구와 같은 경합 해소 모듈을 적용할 경우, 입환으로 인한 역내 열차 경로제어의 어려움 및 열차 지연으로 인한 스케줄 혼란을 상당히 완화할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나, 이러한 역내 열차 경합 검지 및 해소를 위해서는 무엇보다 정확한 열차 위치 정보를 기초로 열차 출 도착 예정 시각을 산출할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 인접역, 사령실, 역내 입환 업무 부서와의 원활한 정보 체계가 갖추어져야 하는데, 이러한 운행제어시스템이 갖추어질 경우, 본 연구가 제시한 역내 열차 경합 검지 해소 모형은 새로운 경로제어 모듈로 기능할 것으로 기대된다. 현재, 이러한 시스템의 대안으로 자율분산시스템에 기초한 자동운행제어시스템이 고려되고 있다[2,6].

참고 문헌

- [1] 김재희, 오석문, 홍순흠, “단선구간 열차경합해소 문제를 위한 수리계획 모형의 기본설계”, 한국철도학회논문집, 제8권 4호, pp.314-320, 2005
- [2] 한국철도기술연구원, *대형·고밀도 철도역 자동운행제어시스템 개발-3차년도 연차 보고서*, 2006
- [3] A. Higgins, E. Kozan, L. Ferreira “*Optimal scheduling of trains on a single line track*”, *Transportation Research Part B : Methodological*, Vol. 30, No.2, pp.147-161
- [4] A. Mascis, D. Pacciarelli and M. Pranzo, “*Scheduling Models for Short-term Railway Traffic Optimization*”, 9th International Conference on Computer-Aided Scheduling of Public Transport (CASPT), 2004
- [5] E. Lamma, P. Mello and M. Milano, “*A distributed constraint-based scheduler, Artificial Intelligence in Engineering*”, Vol.11, PP.91-105, 1997
- [6] F. Kitahara, K. Kera, K. Bekki, “*Autonomous Decentralized Traffic Management System*”, *Proceedings of International Workshop on Autonomous Decentralized Systems*, IEEE, pp.87-91, 2000.
- [7] L. A. Wolsey, *Integer Programming*, John Wiley and Sons, INC. 1999
- [8] L. G. Kroon, H. E. Romeijn, P. J. Zwaneveld, “*Routing trains through railway stations : complexity issues*”, *European Journal of Operations Research*, Vol 98, pp.485-498, 1997
- [9] P. J. Zwaneveld, L. G. Kroon, San. P. M. van Hoesel, “*Routing trains through a railway station based on a node packing model*”, *European Journal of Operations Research*, Vol 128, pp.14-33, 2001