

철도 터미널 화물열차 작업선배정에 관한 연구

A Study on the Assigning Track of Freight Trains in a Rail Container Terminal

김경민* 박범환** 김동희* 홍순흠*
Kyung Min Kim Bum Hwan Park Kim, Dong-Hee Soon-Heum Hong

ABSTRACT

In these days, rail container service is being more important because it has relatively simple network. In addition, small lot sizes of shipment, frequent shipment, and demand for flexible service are important characteristics in rail container transportation. Efficient container operation at terminals is important in reducing transportation costs and load/unload time. This paper describes the assigning track of freight trains in the railway freight terminal. The paper addresses the operational requirements and facility restrictions to construct a mathematical model for track assignment. In addition, it suggests several types of objectives for the model.

1. 서론 및 기존연구

최근 지속가능 국가교통물류 개선 시책에 따라 철도수송력 증대 및 철도물류거점화 등이 추진되고 있으며 철도운송 물동량 역시 연평균 10%내외로 증가할 것으로 예상된다. 문전수송(Door-To-Door)이 불가능한 철도의 특성에 따라 거점간의 수송 뿐만 아니라 일관수송(Intermodal Transport)이 일어나는 터미널에서의 운영은 철도물류수송의 중요한 역할을 차지하고 있다.[1]

특히, 컨테이너는 다른 품목에 비해 네트워크가 비교적 간단하고 고객요구에 맞추어 소형화물로의 운송이 용이하다는 특징 때문에 점차 철도운송에서 차지하고 있는 비중이 증대되고 있다. 이에 따라 철도 컨테이너 터미널의 처리능력 향상을 위하여 터미널 인프라의 확충 및 시설/장비(게이트, 야드, 인입선, 작업선, 장비, 동선)의 효율적 운영에 대한 요구가 커지고 있다.

따라서 본 연구에서는 철도 컨테이너 터미널 성능 향상을 위해 BT 열차 및 상하역 작업시간을 고려하며 동시에 각종 운영 제약을 만족시키는 작업선 배정을 위한 수리적 접근방안을 제시한다. 이를 통하여 발송열차의 정시성을 향상시키고 터미널 운영체계의 운영 효율성을 확보하고자 한다. 작업선배정은 화물열차의 적하역을 위한 철도작업선 결정하는 것으로 의왕ICD의 경우 하루 약 40여편의 도착/발송 화물열차가 11개의 작업선에 나누어 배정 되고 있다. 현재는 작업선을 배정할 때 당일 배정 열차의 일부를 필요시 작업선으로 배정하고 있고 발송열차의 출발지연도 빈번하게 발생하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 발송열차의 출발시각을 준수하고 작업선의 가용성을 최대가 되도록 하루 전체 계획된 도착/발송 화물열차를 작업선으로 최적 배정하고자 한다.

* 한국철도기술연구원 교통물류연구실
E-mail : kmkim@krii.re.kr (김경민)
TEL : (031)460-5491 FAX : (031)460-5499
** 한국철도대학, 철도경영정보과

터미널에서의 화물열차 및 컨테이너 운송 스케줄작성에 관한 연구로 Yano et. al.[2]은 수송해야할 컨테이너가 동적으로 터미널로 유입되고 이들 컨테이너의 목적지 및 운송기한이 다를 때, 운송비용과 보관비용이 최소가 되도록 각 시점별 목적지별 수송 컨테이너 수를 결정하는 연구를 하였고 특정 성질을 가질 경우(출발지의 보관비용이 도착지의 보관비용보다 큰 경우와 그 반대경우) 최적해를 찾는 알고리즘을 제시하였다. Nakorn et. al.[3]은 입주사의 수요가 미리 정해져있을 때, 최소의 화물열차로 입주사의 수요 및 열차출발시간준수를 최대한 만족시키는 화물 열차스케줄을 작성하는 제약만족검색기반(Constraint-based local search) 알고리즘을 제시하였다. 이 알고리즘의 주요내용은 제약조건을 반드시 지켜야하는 제약조건과 완화가능 제약조건으로 구분하여 반드시 지켜야하는 제약조건은 지키면서 완화가능 제약조건은 제약 완화 정도를 최소화시키는 방법이다. Bostel et. al.[4]은 화물열차간 환적이 발생하는 철도물류터미널에서 전체 화물 네트워크상의 운송비용이 최소화 되도록 각 컨테이너의 초기 발송 열차, 환적 터미널 및 열차를 결정하는 연구를 하였다.

2. 화물열차 출발지연 및 작업선 배정 현황

터미널 및 발송역의 화물열차 출발 지연 현황을 분석하기 위하여 오봉역에서 출발하는 2008. 2. 27 ~ 2008. 2. 29의 약 105개 화물열차의 출발 지연 현황을 분석하였다. 분석결과 표 1과 같이 계획시간 대비 평균출발지연 시간은 20분 12초였으며 최대출발지연 시간은 1시간 38분 55초였다. 특히, 총 열차의 75%가 30분 이내의 지연출발을 하고 있다. 이와 같은 화물 열차의 출발지연은 화물열차와 여객열차를 포함하는 전체 네트워크의 수송력을 떨어뜨리게 되는 주요원인이 된다. 또한, 출발지연이 전체 철송운송 시간에서 차지하는 비율은 평균 13.19%, 최대 80.42%로 터미널의 운영효율 향상에 따른 출발지연시간 단축은 전체 철송운송시간 절감에 직접적인 효과가 있을 것이다.

표 1 오봉역 발송열차 지연

지연 시간(분)	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-
횟수	35	30	14	5	8	2	5	3	0	3

철도물류터미널의 작업선 배정 현황으로 철송관리자는 KORIS 정보에서 당일 철도물류터미널로 도착하는 열차와 해당 열차에 적재되어있는 각 입주사별 물량을 그림1과 같이 확인한다. 그 이후 각 열차를 작업선으로 배정하게 되는데 당일 배정 열차의 일부만 그때그때 작업선으로 배정하고 있다. 이는 화물 열차의 터미널인입 상태가 실시간으로 전달되지 않으며 적하역 시간을 예측하기 어려워 계획에 따른 하루 단위 작업선 배정 불가하기 때문이다.

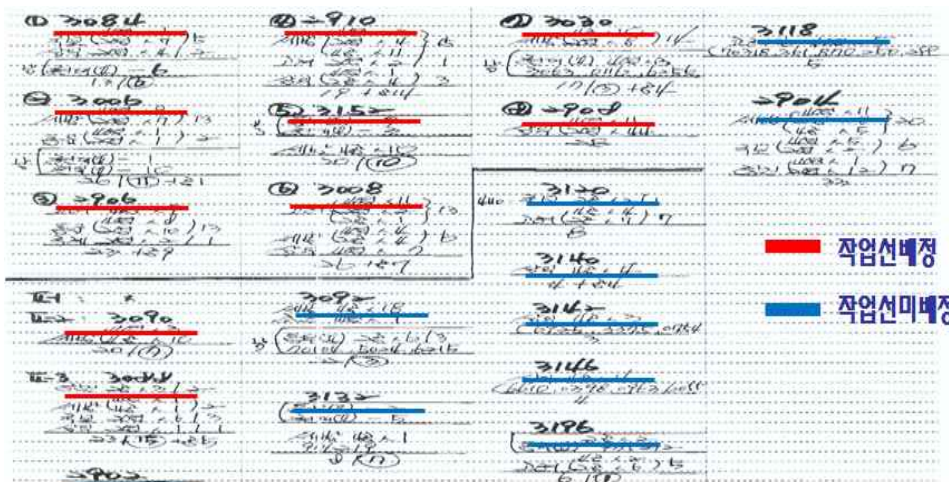


그림 1 도착열차 작업선 배정

발송열차에 대한 적화작업은 표 3과 같이 기록된다. 각 열차별 배정된 작업선로, 열차번호, 작업선 차입 시간 및 작업종료시간, 조성량수 등이 기록된다. 이때 #작업선로번호~#는 작업선로의 배정 선후를 의미한다. 예를 들어, 3139열차와 같이 작업선로가 7~1이면 7번 작업선로에 기 배정된 3037열차 하화 후에 배정된다.

표 2 발송열차 작업선 배정 및 작업계획

작업선로	열차번호	차입시간	조성량수			작업종료			비고
			1T	2T	계	업체	착지	완료	
주1	3005	6:00	14		14	세방	부산진	09:50	
주7	3007	8:00	24		24	통운	감만	11:30	
	3023	6:00		30	30	동부	신선대	10:30	
1	3031	12:30	27		27	고려	부산진	15:30	
2	3081	14:00	26		36	세방	광양	16:50	
3	2907	16:00	31		31	통운	감만	19:00	
4	3039	20:00	26		26	삼익	부산진	01:00	
5	3083	19:00	25		25	삼익	광양	22:20	
6	2917	19:00	29		29	국보	부산진	22:10	
7	3037	13:30	24		24	세방	부산진	16:30	
8	2905	16:00	28		28	삼익	부산진	19:00	
7~1	3139	15:00	24		24	통운	감만	18:10	
9	3011	21:00		28	28	동부	신선대	21:00	
10	3085	21:00		10	10	로지스	청주	17:40	
11	2903	21:00		29	29	양양	부산진	17:30	
계	15개 열차		278	97	375				

3. 문제정의

본 연구에서는 각종 운영규정을 만족하면서 작업선의 가용성을 최대가 되도록 하루 전체 계획된 도착/발송 화물열차를 작업선으로 최적 배정하고자 한다. 작업선 배정은 도착 혹은 발송열차가 여러 개의 철도 작업선 중 어느 작업선에서 언제 차입 작업을 시작하고 언제 작업이 종료되는지를 결정하는 것이다.

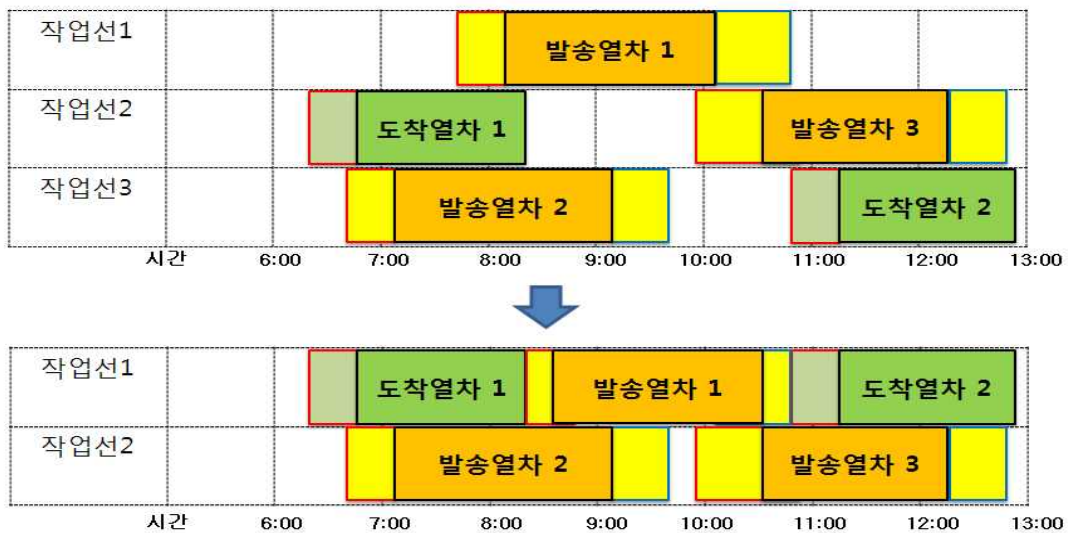


그림 3 작업선배정

작업선의 가용성을 최대화하는 것은 예를 들어, 그림 3과 같이 작업선이 3개, 발송열차 3대, 도착열차 2대가 있고 각 열차별 차입가능시간과 발송열차의 열차출발이 정해져있을 때, 상단과 같이 작업선 배정 시 작업선은 3개가 필요하게 된다. 하지만, 각 작업선의 가용성을 높여 하단과 같이 작업선을 배정하게 되면 2개의 작업선으로 모든 열차를 처리할 수 있고 남은 작업선에 추가 열차를 투입하여 터미널 성능을 높일 수 있다.

작업선 배정을 위한 화물열차의 적하역 작업시간의 구성은 아래와 같다.(그림 4)

- 차입가능시간 : 도착/발송열차를 철도물류터미널의 작업선에 인입 가능한 최소시간
- Setup Time : 차입시간에서 상하역 작업시작시간 전까지의 크레인작업 및 YT대기 여유시간
- 적하역 작업시간 : 실제 상하역 작업시작시간 일반적으로 일반 열차의 경우 2시간 Block Trains의 경우 1시간 30분정도 소요됨

- Spare Time : 작업종료후 철도물류터미널에서 열차출발까지의 여유시간
- 열차출발시간 : KORIS상의 화물열차 출발시간

또한, 작업선 배정시의 운영규정은 아래와 같다.

- 작업시작시간 \geq 차입가능시간 + Setup Time
- 작업종료시간 = 작업시작시간 + 작업시간
- 열차출발시간 \geq 작업종료시간 + Spare Time



그림 4 작업시간 구성

4. 수리모형

작업선의 가용성을 최대화 시키는 작업선 배정 문제는 아래와 같이 혼합정수계획법(Mixed Integer Programming)으로 모형화 된다.

- 집합

- $I = I_U \cup I_L \cup I_{DUMMY}$: 열차 집합
- I_U : 하화 작업 대상 열차 집합
- I_L : 적화 작업 대상 열차 집합
- J : 작업선 집합
- T : time slot 집합

- 파라미터

- S_i : 열차 i 의 최소 작업선 차입가능 시간(time slot의 index로 표현)
- D_i : 열차 i 의 모든 컨테이너가 적재 혹은 하화되는데 걸리는 시간(time slot의 개수로 표현)
- $DPTTM_i$: 발송 열차($i \in I_L$) i 의 출발계획시간(time slot의 index로 표현)
- $setupTM$: 작업선 입환여유시간(time slot의 index로 표현)
- $spareTM$: 작업선 정비여유시간(time slot의 index로 표현)

- M : 매우 큰 양의 상수
- ε : $1/M$ 보다도 작은 양의 상수

• 변수

- $y_{ijt} \in \{0, 1\}$: i 열차가 j 작업선의 t time slot에 할당되면 1 그렇지 않으면 0
- $q_{ijt} \in \{0, 1\}$: i 열차가 j 작업선의 t time slot에 적하역을 시작하면 1 그렇지 않으면 0
- $p_{it} \in \{0, 1\}$: i 열차가 t time slot에 적하역을 시작하면 1 그렇지 않으면 0
- $z_{ij} \in \{0, 1\}$: i 열차가 j 작업선에 할당되면 1 그렇지 않으면 0
- $a_j \in \{0, 1\}$: j 작업선에 열차가 할당되면 1 그렇지 않으면 0
- $n_i \in R^+$: 열차 i 의 작업시작시간

• 수리 모형

$$\min M \times \sum_{j \in J} a_j + \sum_i (n_i - S_i) \quad (1)$$

$$\sum_j z_{ij} = 1, \quad \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{s=t}^{t+D_j+spareTM-1} y_{ijs} \geq (D_i + spareTM) q_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (3)$$

$$\sum_t y_{ijt} \geq z_{ij} \times (D_i + spareTM) \quad \forall i, j \quad (4)$$

$$\sum_i y_{ijt} \leq 1 \quad \forall j, t \quad (5)$$

$$t - setupTM \geq S_i \cdot y_{ijt} \quad \forall i, j, t \quad (6)$$

$$n_i + D_i + spareTM \leq DPPTM_i \quad \forall i \in T_L \quad (7)$$

$$\sum_t y_{ijt} \leq M \cdot z_{ij}, \quad \forall i, j \quad (8)$$

$$\sum_t y_{ijt} \geq \varepsilon \cdot z_{ij}, \quad \forall i, j \quad (9)$$

$$\sum_i z_{ij} \leq M \cdot a_j, \quad \forall j \quad (10)$$

$$\sum_i z_{ij} \geq \varepsilon \cdot a_j, \quad \forall j \quad (11)$$

$$\sum_j q_{ijt} \equiv p_{it} \quad \forall i, t \quad (12)$$

$$\sum_t q_{ijt} = z_{ij} \quad \forall i, j \quad (13)$$

$$\sum_t t \cdot p_{it} = n_i, \quad \forall i \quad (14)$$

식(1)은 목적함수로 열차가 할당되는 작업선을 최소화 시키므로써 가용성을 최대화한다. 또한, 차입시간과 작업시간 사이의 대기시간을 최소화 한다. 식(2)는 하나의 열차는 하나의 작업선에 배정시키는 제

약이며 식(3~4)은 i 열차가 j 작업선의 t 번째 time slot부터 배정될 경우, t 번째 time slot부터 D_i 개의 time slot을 i 열차가 점유함을 의미한다. 식(5)은 한 작업선에 특정 time slot에는 하나의 열차 이하를 배정하는 제약이며 식(6)은 최소 열차배정 가능시각이후에 작업선을 배정하는 제약이다. 식(7)는 발송 열차들의 열차출발시간을 준수시키는 제약이다. 식(8~9)은 y_{ijt} 와 z_{ij} 의 결합 제약이며 식(10~11)은 a_j 와 z_{ij} 의 결합 제약이다. 식(12)는 q_{ijt} 와 p 의 결합 제약식이다. 식(13)는 q_{ijt} 와 z 의 결합 제약식이다. 식(14)은 n_i 을 계산한다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 화물열차 출발지연 및 작업선 배정현황을 분석하고 이를 바탕으로 발송열차의 출발시각을 준수하고 작업선의 가용성을 최대가 되도록 하루 전체 계획된 도착/발송 화물열차를 작업선으로 최적 배정하는 수리모형을 제시하였다. 본 연구는 철도물류터미널의 운영효율성을 극대화 시키기 위한 사전계획 수립 및 실시간 터미널 운영 시스템의 핵심기반기술 개발에 활용 할 수 있을 것이다. 또한, 상습적으로 발생하는 화물열차의 출발지연을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다. 하지만, 본 연구에서 제시하는 수리모형은 매우 많은 변수와 변수의 정수 조건들로 인해 다항시간 안에 가능해를 찾기 상당히 난해한 문제이다. 따라서, 향후 이 문제를 풀기 위한 다양한 해법이 개발 되어야 할 것이다. 또한, 철도물류터미널의 전체적 처리능력 향상을 위해서는 작업선 배정 뿐만 아니라 열차조성, 적하역 장비/야드트럭 작업계획, 야드 장치계획 등에도 최적화 및 시뮬레이션 기법 기반의 운영효율화 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] 김경민, 박범환, 김동희, 철도물류터미널 적하역 문제에 관한 연구, 추계 한국 철도학회 학술대회 (2009)
- [2] C.A. Yano, A.M. Newman, Scheduling Trains and Containers with Due Dates and Dynamic Arrivals, *Transportation Science* 35(2001)
- [3] Nakorn Indra-Payoong, Raymond S K Kwan, Les Proll, Constraint-Based Local Search for Rail Container Service Planning , Technical report(2003)
- [4] N. Bostel, P. Dejax, Model and Algorithms for Container Allocation Problems on Trains in a Rapid Transshipment Shunting Yard, *Transportation Science*(1998)