

## 일관제철소 원료 부두 하역 일정계획 최적화 모형

An optimization model for scheduling unloading operations at an integrated steel mill

장수영\*, 김병인

포항공과대학교, 기계산업공학부, 산업경영공학과

\*syc@postech.ac.kr

### Abstract

At an integrated steel mill, various raw material such as coal and iron ore are unloaded from a large ship. The unloaded raw material is then transported to storage yards through a complex belt conveyer network. We propose an optimization model for scheduling the unloading operations under the limitations of available berths, unloading equipments and transportation capacity of the belt conveyer network. We show that the problem is NP-Hard and propose a heuristic approach to the problem.

### 1. 서론

P 일관제철소 원료 부두에는 대형 수송선으로부터, 철광석, 석탄 등의 원료가 하역된다. 원료 수송선이 선석에 접안되면, 원료 하역기는 수송선에 실린 원료를 하역한다. 하역기에 의해 하역된 원료는 컨베이어 벨트망을 통해 원료 적치장으로 이동된다.

이때, 하역 능력을 규정하는 요소들로

는 접안 가능한 선석의 수, 접안된 선박에 사용 가능한 하역기, 그리고 하역된 원료가 정해진 원료 적치장으로 이동하기 위한 컨베이어 벨트망의 수송능력이 있다. 이와 같은 요소들의 최적 활용을 통한 효율적인 하역계획을 도출하는 일은 적지 않은 복잡성을 가진 문제이기 때문에 단계적인 모형화와 해법이 필요하다.

이 논문에서는 이 문제를 하역 대상 선박을 선석에 접안 시키는 시점을 정하고, 하역기를 배치하는 접안계획 문제와 도출된 접안계획에 따라 하역되는 원료를 컨베이어 벨트망을 통해 적치장으로 운송하는 운송문제로 나누어 접근하기로 한다.

그러나, 접안계획은 병렬기계 문제의 복잡도를 가지고 있기에 binpacking 문제의 복잡도를 가지게 되고, 운송문제도 NP-complete임을 보일 수 있는 어려운 문제이다. 따라서 발견적인 기법을 적용하기 위한 접근 방안을 제시하기로 한다.

### 2. 최적화 모형

이제 앞서 말한 접안문제와 운송문제를 각각 살펴보기로 한다.

먼저 접안 문제는 다음과 같은 자료들에 의해 정의된다.

- 선박:  $1, 2, \dots, n, \dots, N$  대의 선박
- $T_n$  : 선박 $n$ 의 하역될 원료의 양(톤)
- $R_n$  : 선박 $n$ 의 하역개시 가능시각
- $D_n$  : 선박 $n$ 의 출항예정 시각
- $P_n$  : 선박 $n$ 의 체선료율
- 선석:  $1, 2, \dots, m, \dots, M$  개의 선석
- $S_m$  : 선석 $m$ 에 접안 가능한 선박들
- 하역기:  $1, 2, \dots, k, \dots, K$  대의 하역기
- $H_k$  : 하역기 $k$ 의 하역 능력(톤/시간)
- $U_k$  : 하역기 $k$ 가 배치 가능한 선석들

여기서  $T_n$ 은 선박 $n$ 에 적재된 원료의 양인데, 그 원료의 종류는 접안계획 과정에서는 일단 무시된다.  $R_n$ 은 선박 $n$ 이 외항에 들어와 통관 절차를 마치고, 인도선의 유도를 받아 접안 될 수 있는 가장 빠른 시각으로 정해진다.  $D_n$ 은 일종의 듀데이트(Due Date)로 하역 완료 시각이 이 시각을 넘길 경우 체선료가 발생하는 시점을 말하며 지체된 시간에 체선료를  $P_n$ 이 곱해진 만큼의 체선료가 발생된다.  $S_m$ 은 선석 앞 수심의 깊이에 따라 결정되는데, 선박에 적재된 원료의 양이 많을수록 깊은 수심을 가진 선석을 필요로 한다는 제약에 따라 결정된다.  $H_k$ 는 하역기 $k$ 가 단위 시간에 하역할 수 있는 원료의 양으로 원료의 종류와 관계없이 결정된다. 끝으로  $U_k$ 는 하역기의 위치와 물리적인 배치 가능 조건에 따라 결정된다.

접안 계획 문제는 각 선박별 접안 시각 결정, 하역기 할당 및 그에 따른 하역 완료 시각 결정의 문제가 된다. 목적식은 총 체선료의 최소화이다. 이 문제는 일반적인 가

중지연최소화(Weighted Tardiness Minimization) 병렬기계일정계획(Parallel Machines Scheduling)문제의 구조를 가지고 있기에 NP-complete문제이다.[1] 좀더 정교히 말한다면, 이 문제의 특수한 경우, 즉  $U_k$ 가 하나의 선석만을 가지고 있는 경우, 다시 말해서, 하역기가 선석에 고정적으로 배치된 경우,  $S_m$ 이 모든 선박을 포함한다면, 처리 속도가 동일 하지 않은 경우의 가중지연최소화 병렬기계일정계획 문제가 됨을 알 수 있다.

접안계획이 작성된 후, 컨베이어 벨트망을 이용한 운송문제는 다음과 같은 자료들에 의해 정의된다.

- 운송대상:  $1, 2, \dots, j, \dots, n$
- $O_j$  :  $j$ 번째 운송의 출발지
- $D_j$  :  $j$ 번째 운송의 목적지
- $t_j$  :  $j$ 번째 운송의 소요시간
- $G(N, A)$  : 컨베이어 벨트망
- $N$  : 컨베이어 구성 요소
- $A$  :  $p$ 번째 컨베이어 구성요소에서  $q$ 번째로 이동 가능함을 나타내는 아크  $(p, q)$ 들의 모임

이때, 의사결정 문제는 각 운송대상에 대해 출발지와 목적지 간의 경로를 정하고, 그 경로를 운송 소요시간만큼 점유하되 동일한 시각에 동일한 노드를 가진 경로가 사용될 수 없어야 하는 제약 하에 모든 운송이 완료 되는 시간을 최소화하는 문제이다.

이 문제가 NP-complete임을 보이는 다소 복잡한 증명은 알려졌으나[2], 여기서는 매우 간단한 대안적인 증명을 제시한다.

위에 정의한 운송문제가 NP-complete임을 보이기 위해 NP-hard인 메이크스팬(Makespan)을 최소화 하는 병렬 기계 문제를 우리 문제로 변환 하기로 한다.

메이크스팬(Makespan)을 최소화 하는 병렬 기계 문제는 다음과 같이 정의 된다;

m개의 기계:  $1, 2, \dots, i, \dots, m$

n개의 작업 :  $1, \dots, j, \dots, n$

j번째 작업의 크기:  $b_j$

가 주어졌을 때, 문제는 최종적으로 종료되는 작업의 종료시각(Makespan)을 최소화 하는 문제는 NP-hard이다.[1].

그러면, 이문제로부터 다음과 같은 네트워크를 정의 한다. 먼저 각 작업별로 별도의 출발지와 목적지를 설정하고 작업크기 만큼의 운송 소요 시간을 설정한다. 그리고, 추가로 기계 대수 만큼의 중간 경유 노드를 설정하여, 모든 출발지에서 경유 노드로 아크를 정의하고, 모든 경유 노드에서 목적지 노드로 아크를 설정한다. 이렇게 정의된 문제는 우리 운송문제의 특수한 경우임을 알 수 있고, 따라서 우리의 운송 문제도 NP-hard이다.

### 3. 접근 방안

원료 하역은 접안 계획과 운송 계획이 모두 함께 작성되어야 하나, 우리는 먼저 접안 계획을 구축하고, 그 구축된 접안 계획의 테두리 안에서 운송계획을 도출하기로 한다.

접안 계획에 관한 자료는 그리 많지 않으

나, 유사한 문제가 다루어진 바 있다.[3] 그러나, 기존에 이미 다루어졌던 문제의 특성은 우리가 다루는 문제와 다소간의 차이가 있다. 따라서, 본 논문에서는 다음과 같은 순서로 접안 계획을 수립 하기로 한다.

[1단계] 선박의 선택

[2단계] 선석의 선택

[4단계] 하역기 할당

[5단계] 모든 선박의 접안 계획이

이루어지지 않았으면, 1단계로

여기서 각 단계별 적용 규칙은 다음과 같다

[1단계] 접안 가능시간 빠를수록 먼저,  
적재 화물 양 많을수록 먼저

[2단계] 선석 가용 시각이 빠를수록 먼저  
수심이 얕을수록 먼저

[3단계] 가능한 모든 하역기 배치  
주어진 하역기 이용 패턴에 따라

이상의 규칙들을 이용하여 접안 계획이 완성되면, 운송문제는

[1단계] 선박이 접안한 선석과  
적치장의 짝 선택

[2단계] 선박이 접안한 선석에서  
적치장까지의 경로 생성

[3단계] 해야 할 운송이 남았으면 1단계로

[1단계]에서는 원료를 적치장에서 관리하고 용광로이송하는 부서에서는 수송선에 적재된 원료 중 어떤 원료를, 얼마큼, 어느 적치장으로 이동해야 하는지 요청하게 되고, 이 요청에 따라 선석에 접안된 선박과 적치장 간에 짝이 형성된다.

[2단계]에서는 선석에서 적치장까지의 경로를 생성 하되, 어떤 두 짝의 경로들도 동일한 노드를 공유하지 않도록 하는 것이 중요하다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 일관제철소의 원료 하역 문제를 소개하고, 그 문제의 복잡도를 살펴보았으며, 적절한 접근 방안을 제시하였다.

본 논문에서 제시된 방법이 여러 개의 간략한 규칙의 조합에 따라 다른 해를 도출할 것은 명백하므로 어떤 규칙의 조합이 가장 탁월할 것인가에 대한 연구가 현재 진행 중이며, 일정계획 결과는 시뮬레이션을 통해 검증될 예정이다.

#### 참고도서

- [1] Garey, M. R., and Johnson, D. S., Computers and Intractability, W. H. Freeman and Company, San Francisco, 1979.
- [2] 김기성 “처리속도와 딜레이가 다른 아크들로 구성된 네트워크를 통해 다수의 클라이언트를 서비스하는 방법” 석사논문, 포항공과대학교, 2001년 12월 22일.
- [3] 성덕현, 이용황, 김윤호, 한재호, 김재연, 원료 하역순서의 결정, 산업공학, 제 1권, 2호, pp. 35-44, 1988. 10.