

제철소 원료 하역 일정계획 시스템

A raw-material unloading scheduling system for an integrated steel mill

김병인*, 장수영, 장준호, 한운택, 구정인, 임경국, 신재준, 정상원, 곽우람
포항공과대학교, 기계산업공학부, 산업경영공학과
(*bkim@postech.ac.kr)

Abstract

At an integrated steel mill, raw materials such as coal and iron ore are discharged by ships through multiple unloaders. The discharged raw material is then transported to storage yards through multiple routes established simultaneously on a fairly complicated belt conveyer network. Formulating an efficient unloading schedule is a quite cumbersome task due to the insufficient number of berths and unloaders as well as the potential conflict among routes being used simultaneously. In this paper, we propose a solution approach to the scheduling problem and describe the prototype system that we built as an implementation of our approach.

기간 동안 입항되는 원료선박들로부터 효과적으로 하역하기 위한 설비 운영 계획을 말한다. 일정계획에는 어떤 선박을 어떤 선석에 어느 기간에 접안시킬 것인가에 대한 접안계획과 접안된 선박에 어떤 하역기들과 컨베이어 벨트 루트를 할당하고 어떤 순서로 작업할 것인가에 대한 하역계획이 포함된다.

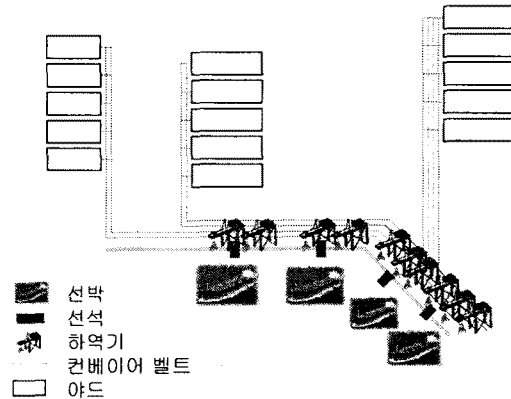


그림 1. 원료 하역 문제

1. 서론

P 일관제철소 원료 부두에는 대형 수송선으로부터, 철광석, 석탄 등의 원료가 연 3000만톤 이상 하역된다. 원료하역을 위한 설비는 그림1에서 개념적으로 보이는 바와 같이 선박을 접안시킬 수 있는 선석 (berth), 선박으로부터 원료를 하역하는 하역기(unloader), 하역된 원료를 운반하는 컨베이어 벨트, 운반된 원료를 저장하는 야드 등이 있다. 저장된 원료는 고로 등의 생산설비에서 추후 이용하게 된다.

원료 하역 일정계획이라 함은 정해진 계획

원료하역 일정계획 문제의 수학적 특성과 최적화 모형에 관한 토의는 [1, 2]에 설명되어 있다. 본 논문에서는 P 제철소 문제에서 고려되어야 할 사항과 이를 위해 개발된 휴리스틱 방법론을 간략히 소개하고 원료 하역 일정계획 프로토타입 시스템에 대하여 기술한다.

2. 일정계획 수립 시 고려되어야 할 사항

본 절에서는 P 제철소의 하역 일정계획 수립 시 고려되어야 할 제약조건들과 입력

(input) 형태 및 출력 형태에 대하여 기술한다.

2.1 선박

제철소에 입항하는 선박은 3만톤급에서부터 20만톤급까지 다양하며 선박의 크기와 적재된 양에 따라 물에 잠기는 깊이가 다르다. 대개의 경우 선박에는 원료를 적치할 수 있는 공간으로 9개의 홀드(hold)가 있으며 각 홀드에는 1개의 원료 브랜드를 담고 있으며 한 선박에는 1~3개 브랜드의 원료들이 담겨 온다. 선박에서 원료를 하역할 때에는 각 홀드에 남은 원료의 양이 어느 정도 균일하게 유지되어야 한다. 그렇지 않을 경우 선박이 파손될 수도 있다. 또한 각 선박에는 밸러스트(ballast) 홀드가 지정될 수 있는데 이 홀드는 선박의 균형을 맞추기 위한 것으로 다른 홀드보다 먼저 하역을 끝내고 물 등을 채워야 하는 특별한 홀드이다. 따라서 하역계획 수립 시 홀드에 남겨진 원료량의 밸런스 및 밸러스트 홀드에 대한 우선 작업을 고려하여야 한다.

2.2 선석

P 제철소에는 그림 1과 같이 선석이 모두 4개가 있다. 각 선석 앞의 수심은 모두 다르며, 그 수심이 깊을수록 무거운 선박을 접안할 수 있다. 가장 수심이 깊은 선석에는 20만톤까지 실은 선박을 접안시킬 수 있으며, 15만톤까지 실은 선박을 접안시킬 수 있는 선석이 1개, 그리고 10만톤 이하의 원료를 실은 선박만 접안시킬 수 있는 선석이 2개 있다. 그런데, 20만톤을 싣고 들어온 선박이라도 적재된 원료를 일부 하역하면 수심이 얇은 선석에 접안이 가능하다. 따라서 대형선박이 몰려서 입항할 때에는 수심이 깊은 선석에 접안하여 일부를 하역하고 다른 선석으로 이안(shift)하여 작업을 할 수 있다.

따라서 접안계획을 수립할 때 선박과 선석의

적격성(eligibility)이 하역작업이 진행됨에 따라 변화하며 접안 및 이안은 안전상의 이유로 일몰 이후에는 이루어질 수 없다는 점을 염두에 두어야 한다.

2.3 하역기

하역부두에는 하역 능력(capacity)이 다른 하역기가 10대 존재한다. 이 중 6대가 20만톤급 선석과 15만톤급 선석에서 공동으로 사용할 수 있도록 배치되어 있고 4대가 10만톤급 선석들에서 사용되도록 배치되어 있다 (그림 1 참고). 하역기는 벨트 컨베이어에 연결되어 하역되는 원료를 특정 벨트컨베이어 루트를 따라 야드로 수송하게 되는데 그 루트의 시작 지점에 따라 특정 야드까지의 루트가 존재하지 않을 수도 있다. 따라서 하역기를 선박에 할당하여 원료를 하역하고자 할 때, 어떤 야드로 가는 벨트컨베이어 루트를 이용할지를 동시에 고려해야 한다.

하역기의 크기 때문에 2개의 하역기가 선박의 인접한 홀드에서 작업을 동시에 진행할 수 없다. 따라서, 선박에 9개의 홀드가 있는 경우 최대 5대의 하역기가 동시에 작업 가능하나 통상 4대까지만 할당하고 있다. 또한 어떤 하역기는 어느 정도 크기 이상의 선박에서만 작업이 가능한 경우도 있어, 하역기와 선박 사이에 적격성이 존재한다.

홀드에 남아 있는 양이 많으면 하역작업이 수월하기 때문에 하역기의 시간당 하역능력은 작업하는 홀드에 남아있는 원료의 양에 따라 달라진다. 홀드에 남아 있는 양이 극히 적을 때에는 불도저를 홀드에 투입, 원료를 모은 후 하역하기 때문에 하역능력이 현저히 떨어진다.

2.4 벨트 컨베이어

컨베이어 망은 수백 개의 벨트컨베이어 마디(unit)들로 구성되어 있다. 각 마디(unit)는

동시에 두가지 원료를 운송할 수 없으며, 고유의 운송능력(capacity)을 가진다. 따라서, 특정 마디(unit)를 공유하는 컨베이어 루트들은 동시에 사용할 수 없다.

2.5 야드

P 제철소에는 원료를 적치하는 야드가 30개 가량 있으며 각 야드에는 여러 종류의 원료 브랜드들이 분리되어 적치되며, 한가지의 브랜드라도 여러 야드에 분산되어 적치되기도 한다. 어떤 선박으로 실려온 원료를 어떤 야드들에 적치할 것인가에 대한 정보는 원료하역시스템의 입력 자료(input)로 주어진다.

2.6 Input 데이터

하역 일정계획 시스템이 입력자료(input)로 받아들이는 정보는 다음과 같다.

- 입항 선박 정보: 입항일, 입항시의 잠수 깊이, 1톤당 잠수되는 깊이 (Ton Per Cm)
- 각 선박 당 9개의 Hold에 실린 Brand 및 적재량
- 선박, Brand, Yard 적치계획
- 선석, 하역기, 컨베이어 하역능력 및 topology 정보
- 설비 유비보수 계획

2.7 일정계획 결과

일정계획은 다음과 같은 형태로 제공되어야 한다.

- 선박별 접안, 이안 계획
- 선박 Hold - 하역기-컨베이어벨트 루트-야드 작업 계획

3. 원료하역 일정계획 알고리즘

원료하역 일정계획을 수립하기 위하여 본 연구에서는 접안계획로직과 하역계획로직을 개발하고 두 로직을 iterative하게 사용하는 방법

을 제안하였다 [그림2].

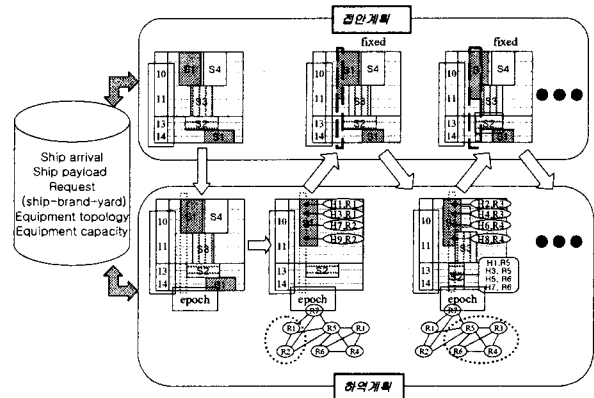


그림 2. Iterative 원료하역 일정계획 알고리즘

접안계획로직은 선박이 선석에 접안하여 작업이 이루어질 때 할당되는 하역기의 종류 및 대수에 따라 어느 정도의 하역효율이 될 것이라는 가정에 근거하여 대략적으로(rough cut) 접안 및 이안계획을 수립하는 로직이며, 하역계획로직은 접안된 선박들로부터 효율적으로 하역하기 위해 하역기, 컨베이어 루트의 자세한 일정계획을 수립하는 로직이다.

접안계획은 다음 과정을 따라 작성된다.

[1단계] 선박의 선택. 입항시간이 빠른 선박의 선택을 우선한다.

[2단계] 선석의 선택. 선택된 선박을 모든 선석에 접안 시켜본 후 가장 빠른 시간에 작업이 완료되는 선석을 선택한다. 이 때 언로더의 배치는 일정한 규칙을 따라 실시한다.

[3단계] 이안 여부 선택. 선박을 접안 시킨 후, 접안된 선박의 직전 선박의 이안을 고려한다. 직전 선박이 현재 선박의 접안 시점을 delay시킬 때 이안 시점 및 선석을 찾아 이안을 시도한다.

[4단계] 종료. 접안하여야 할 선박이 있으면 1단계로 돌아가고 그렇지 않으면 알고리즘을 종료한다.

하역계획은 다음 과정을 따라 작성된다.

[1단계] 하역계획구간(epoch) 설정. 접안 계획에 따라 하역계획구간을 설정한다.

[2단계] route 수 지정. Epoch에 접안되어 있는 선박에 지정된 규칙에 따라 가능한 컨베이어 route 수를 지정한다.

[3단계] 하역기 배정. 지정된 규칙에 따라 각 선박에 하역기를 할당한다.

[4단계] 선박별 하역계획 수립. 홀드 pattern, 가능한 컨베이어 route 지정, 하역기 하역량, 하역시간을 지정하는 하역계획을 수립한다. 접안계획에서 지정된 하역량을 모두 하역할 수 있도록 계획을 수립한다.

[5단계] Epoch에 대한 하역계획확정후 접안 계획으로 이동. Epoch에서 작업된 선박 중 가장 빨리 하역이 끝난 시점까지의 계획을 확정 후 그 이후의 작업들에 대해 접안계획을 다시 수립한 후 1단계로 돌아간다.

위에서 제시된 알고리즘은 Microsoft Visual C++를 이용하여 AMUSE(Advanced Material Unloading Scheduling Expert)라는 프로토타입 시스템으로 개발되었다. 또한 시스템으로부터 얻어진 일정계획의 검증에 위해 ProModel을 이용한 시뮬레이션 모델을 개발하여 현장에 적용하기에 앞서 시뮬레이션을 해 볼 수 있도록 하였다. 그림 3에 시스템 화면과 시뮬레이션 모델을 보인다. 개발된 시스템은 과거 데이터를 이용한 실험에서 수작업 계획에 비해 높은 하역효율을 갖는 일정계획을 수립할 수 있음을 보였으며 현재 하역 현장에서 하역계획의 현실성을 검사하는 validation 과정에 있다.

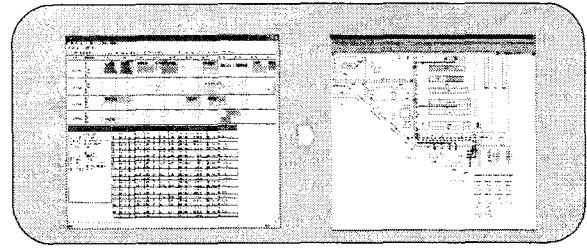


그림 3. 시스템 화면 및 시뮬레이션 모델

4. 결론

본 논문에서는 일관제철소의 원료 하역 문제의 특징을 소개하고, 이를 위한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였으며 알고리즘의 구현으로 만들어진 프로토타입 시스템에 대하여 설명하였다. 제안된 알고리즘 및 시스템은 보다 나은 해를 찾을 수 있도록 지속적으로 발전해 나갈 예정이다.

참고도서

- [1] 장수영, 김병인, “일관제철소 원료부두 하역 일정계획 최적화 모형,” 2007 한국경영과학회 추계학술대회, 서울, 2006. 11.
- [2] Kim, B.-I., S. Chang, J. Chang, Y. Han, J. Koo, K. Lim, J. Shin, S. Jeong, W. Kwak, “Scheduling of raw-material unloading from ships at a steelworks,” Working paper, 2007.