

이단계 계층적 구조를 이용한 원료 운송 일정계획 전문가 시스템

서민수*, 고영관**, 김창현**, 최해운**

A Two-Level Hierarchical Expert System for Raw Material Scheduling

Min Soo Suh, Young Kwan Ko, Chang Hyun Kim, Hae Woon Choi

요 약

제철소에서의 원료 운송 작업은, 선박에 선적된 원료를 하역하여 야드에 적치한 후, 제반 원료 소요공장까지의 벨트 컨베이어를 통한 원료 수송 작업을 의미한다. 본 연구에서는 원료 운송과 관련한 선박 접안, 원료 하역 및 벨트 컨베이어 수송 일정 계획을 효과적으로 수립하기 위하여 이단계 계층적 구조를 이용한 일정 계획 휴리스틱을 개발하고 이를 구현하기 위한 전문가 시스템을 개발하였다. 이단계 계층적 구조는 상위 단계의 Scheduler 와 하위 단계의 복수개의 Dispatcher 로 구성되어 있다. 하위 단계의 Dispatcher 는 주어진 제약 조건하에서 단위 문제를 해결하고 이를 상위 단계의 Scheduler에게 보고하게 된다. 상위 단계의 Scheduler 는 전체적인 문제 해결의 우선 순위 결정 및 Dispatcher 간의 상충을 해결하는 역할을 맡게 된다. 이러한 계층적 구조를 이용한 분산 처리를 통해 문제의 복잡성을 줄이고, 시스템 설계의 모듈화 및 유연성 있는 시스템 구축이 가능하게 되었다. 본 시스템은 실시간 전문가 시스템 도구인 G2 를 이용하여 SUN Workstation 에서 개발되었다.

Key Words : Scheduling Expert System, Raw Material Scheduling, Hierarchical Architecture, Berth Scheduling, Unloader Scheduling, Belt Conveyor Scheduling

* Graduate School of Management, University of California, Irvine CA 92697, U.S.A.

** 포스코경영연구소

1. 서 론

제철소의 원료 운송 작업은 철광석, 석탄, 부원료 등 제반 원료를 선박 또는 육송 수단을 이용하여 야드에 적치한 후 파쇄, 배합의 가공 공정을 통하여, 원료 소요공정 - 고로, 소결, 배합 및 파쇄공장- 에 공급하는 물류 작업으로 이루어진다. 현재 원료 운송작업은 사전 일정 계획없이, 발생하는 상황에 대응하는 형식으로 작업이 이루어짐에 따라, 작업부하가 가중되고 설비 애로공정이 되는 시점의 예측이 불가능하므로 안정적 조업을 보장할 수 없는 현실이다. 이에 본 연구에서는 제반 설비의 운용 시점을 사전에 예측함으로써, 안정적 조업과 위기 발생시 대처 능력을 향상시킬 수 있는 원료 운송 일정계획 수립을 위한 전문가 시스템을 개발하고자 한다.

일반적으로 일정계획 수립문제에 있어서의 가장 큰 어려움은, 문제 자체의 복잡성(NP-Hardness)으로 인해 대부분의 문제가 수리모형 접근법으로는 실시간내에 최적해 발견이 불가능하다는 것이다. 이러한 어려움으로 인해 경영과학이나 인공 지능 분야에서는 빠른 시간내에 만족할 만한 해답(Satisfactory Solution)을 얻고자 하는 휴리스틱 개발에 모든 노력을 집중하고 있다. 최근 계층적 구조를 이용한 일정 계획 수립 방법론이 일정계획 문제의 복잡성을 줄일 수 있는 방법으로 제시되었다(Suh, 1991; Lee et al., 1991, 1993).

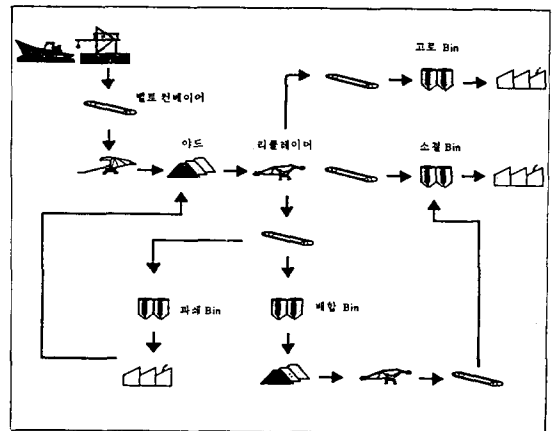
이단계 계층적 구조는 상위 단계의 Scheduler 와 하위 단계의 Dispatcher 로 이루어져 있는데, 하위 단계의 Dispatcher 는 주어진 제반 제약 조건들을 고려하여 단위 문제의 일정 계획을 수립하게 된다. 만일 Dispatcher 수준에서 문제를 해결하기 어려운 경우에는 상위 단계의 Scheduler 에게 보고하여, Dispatcher 간 조정을 통하여 문제를 해결하게 된다. 상위 단계의 Scheduler 는 전체적인 문제 해결의 우선 순위

결정 및 Dispatcher 간의 상충을 해결하는 역할을 담당하게 된다.

이러한 계층적 구조를 이용한 분산 처리를 통해 문제의 복잡성을 줄이고, 시스템 설계의 모듈화 및 유연성 있는 시스템 구조를 구현할 수 있게 된다. 본 연구에서는 이단계 계층적 구조를 응용하여, 선박 접안, 원료 하역 및 벨트 컨베이어 수송 계획 문제를 위한 일정계획 수립 방법론을 제시하고 이를 실시간 전문가 시스템 개발 도구인 G2 를 이용하여 SUN Work Station 에서 개발하였다.

2. 대상 문제

제철소에서 원료 운송과 관련한 제반 물류 흐름이 [그림 1] 에 나타나 있다. 이러한 원료 운송 일정계획 문제는 선박 접안 후 원료를 하역하여 적치 야드로 수송하는 문제와 야드로부터 원료를 제반 공장으로 공급하는 원료 불출 문제로 구성되어 있다.



[그림 1] 제철소 원료 운송 개략도

2.1. 선박 접안 및 원료 하역 문제

항구에 도착한 선박에서 원료를 하역하여 야드에

적치하기 위해서는 선박 접안 계획, 원료 하역 계획 및 야드까지의 벨트 컨베이어 수송 계획 등 3 가지의 일정 계획이 필요하게 된다.

(1) 선박 접안 계획

접안 계획은 배선 계획에 의해 해외로부터 원료를 적재한 선박이 항구에 도착했을때, 여러개의 선석 중에서 어떤 선석에 접안시킬 것인가를 결정하는 문제이다. 접안 계획 수립은 선박의 접안 우선 순위, 선석의 수심 및 기 접안되어 있는 선박의 선석 이동 조건등을 고려하여 결정하게 된다. 접안된 선박이 계획된 일자보다 빨리 하역 작업이 끝난 경우에는 조출료를 받게 되고, 반대로 계획일자보다 하역이 지연되는 경우에는 체선료를 지불하게 되므로, 최적의 접안 계획 수립이 요구된다.

(2) 원료 하역 계획

일반적으로 원료 수송을 위한 선박은 9 개 또는 11 개의 홀드(Hold) 에 원료를 분산 수송하므로, 선석에 접안했을때 서로 짝이 되는 2 개 홀드에 있는 원료를 동시에 하역하게 된다. 이는 선박의 균형을 유지하기 위함이다. 또한 선박의 안전을 위하여 특정 홀드에 선적되어 있는 원료를 한번에 모두 하역하지 않고, 일정량을 하역한 이후에는 다른 홀드에 있는 원료를 하역한 후, 다시 원래의 홀드에 있는 원료를 하역하게 된다. 그러므로 하역 계획에서는 홀드 하역 순서 및 하역량 결정이 주요 결정 변수가 된다.

(3) 원료 수송 계획

하역된 원료는 지정된 야드까지 벨트 컨베이어를 이용하여 수송되며, 한 개의 수송 경로가 아닌 여러 개의 벨트 컨베이어가 연결되어서 야드까지 이동하게

된다. 여러 선박이 동시에 접안되어 하역할 경우, 벨트 컨베이어 간의 간섭 현상이 불가피하므로, 이를 감안한 최적 수송 경로를 발견하는 것이 원료 수송 계획 문제가 된다.

2.2. 원료 불출 문제

야드에 적치된 원료는 필요시 고로, 파쇄, 소결 및 배합공장의 원료 Bin 으로 이동된다. 각 공장의 Bin 은 원료의 안전 재고를 유지하기 위한 설비로서, 안전 재고 이하로 원료가 소모되는 시점에 해당 Bin 에 원료를 공급하는 것이 원료 불출 문제가 된다. 원료 불출을 위한 주요 설비로, 원료를 야드에서 벨트 컨베이어에 없어주는 리클레이머(Reclaimer)와 Bin 까지 원료를 수송하는 벨트 컨베이어가 있다. 원료 불출을 위한 일정계획 수립 문제는 다음과 같은 2 개 부분으로 이루어 진다.

(1) 리클레이머 이동 계획

리클레이머는 야드에 쌓여진 여러 원료더미를 이동하면서 작업을 해야 되기 때문에, 작업 부하가 많이 걸리고 이동속도 또한 매우 느리다. 그러므로 리클레이머의 이동 거리를 최소화할 수 있는 일정 계획 수립이 요구된다.

(2) 벨트 컨베이어 이동 계획

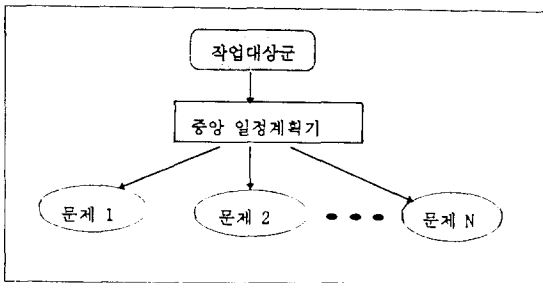
지정된 Bin 까지의 원료 운송을 위한 최단 경로의 벨트 컨베이어 이동 계획이 수립된다. 이 일정 계획 수립은 2.1 에서 언급된 원료 수송 계획과 유사하나, 리클레이머 이동 계획과 연동된다는 점이 차이점이다.

본 연구에서는 이러한 선박 접안, 원료 하역 및 수송, 원료 불출 문제 해결을 위한 계층적 구조를

제시하고 이 구조에 근거하여 각각의 시스템을 개발하였다. 3 장에 계층적 구조의 일반적 특성을 설명하고, 4, 5 장에서는 각 시스템별로 계층적 구조를 응용한 일정계획 수립 방법을 제시하였다.

3. 일정계획을 위한 이단계 계층적 구조

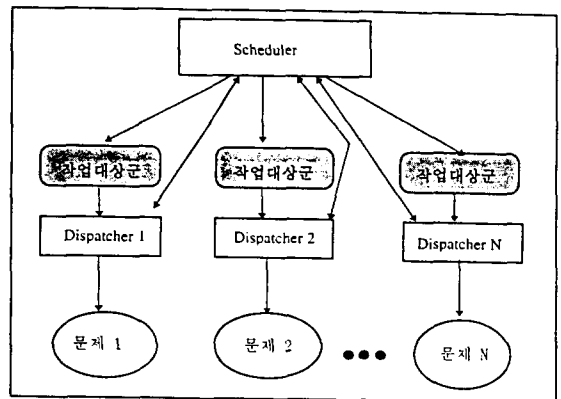
일정 계획 문제의 복잡성을 줄이고 효과적인 문제 해결을 위해 인공 지능 분야에서 여러 연구가 수행되어 왔다(Fox and Smith, 1984 ; Smith, 1987, Lee and Suh, 1988, Sadeh and Fox, 1989). 인공 지능 분야에서는 일정 계획을 수립하는 시스템의 구조로서 전통적으로 중앙집중적인 구조(Centralized Architecture) - 1 개의 Scheduler 가 모든 일정 계획을 수립하는 구조 - 를 채택하고 있다[그림 2].



[그림 2] 중앙집중적인 구조

그러나 대상 문제의 크기가 커지고, 전체 문제를 보다 작은 단위 문제들의 조합으로 처리할 수 있는 경우에는 이단계 계층적 구조(Hierarchical Architecture)를 이용한 분산 처리 방식이 문제 해결에 효과적임이 밝혀졌다(Suh, 1991 ; Lee et al., 1991, 1993). 계층적 구조는 단위 일정 계획 문제를 담당하는 하위 단계의 Dispatcher 들과 Dispatcher 들간의 상충을 조정, 통제하는 상위 단계의 Scheduler 로 구성되어

있다[그림 3]. 하위 단계의 Dispatcher 들은 상위 단계로부터 위임받은 제약 조건하에서 각각 독자적인 일정 계획을 수립하게 되므로, 전체 문제를 몇개의 작은 단위로 나누어서 해결하게 되어 문제의 복잡성이 줄게 된다. 상위 단계의 Scheduler 는 하위 단계 Dispatcher 간의 상충이 발생하지 않도록 사전에 변수 및 변수값 배열 전략을 선정하여 Dispatcher 에게 통보해 주며, 일정 계획을 수립하는 과정에서 Dispatcher 간의 상충이 발생한 경우에는 이를 조정하는 역할을 담당하게 된다.



[그림 3] 이단계 계층적 구조

4. 선박 접안 및 원료 하역 일정 계획 시스템

선박 접안 및 원료 하역 일정계획 시스템은 원료를 적재한 선박이 항구에 도착하여 선석에 접안하는 시점부터, 하역된 원료가 벨트 컨베이어를 통해 야드에 적치되기까지 발생하는 일정 계획을 수립하게 된다. 이 시스템은 선박 접안 시스템과 원료 하역 및 수송 시스템으로 나누어지게 된다.

4.1. 접안 계획 시스템

접안 계획 시스템은 배선 계획에 의거한 선박 입항 정보를 근거로 하여, 선박 제원, 항만 설비 제원, 항만 설비 이용 현황 등의 제약 조건을 참조하여 입항 선박별 접안 계획을 작성하는 시스템이다. 접안 계획 시스템은 이단계 계층적 구조를 이용하여 설계되었으며, 상위 단계의 Scheduler 와 하위 단계의 Dispatcher 의 역할은 다음과 같다.

4.1.1. Scheduler 역할

(1) 접안 우선 순위 결정

Scheduler 는 외항에 대기중인 선박 중에서 접안 우선 순위가 높은 선박을 결정한다. 접안 우선 순위는 입항 날짜, 선적 원료의 긴급성 여부 및 체선료 등을 감안하여 결정하게 된다. 접안 우선 순위와 관련한 예제 규칙을 전문가 시스템 개발 도구인 G2 를 이용하여 [그림 4]에 나타내었다.

```
initially
for any vessel V1 upon out-port
if the arrival-date of V1=the minimum over
each vessel VE1 upon out-port of
(the arrival-date of VE1)

then in order
insert V1 at the beginning of the item list
v-eq-arrival-date-list and
invoke select-high-demurrage-rate rules
```

[그림 4] G2를 이용한 규칙 표현

(2) 선석 결정

접안 우선 순위에 의해 접안 대상 선박이 결정되면,

Scheduler 는 이 선박에 관한 제반 정보를 각 선석을 담당하고 있는 Dispatcher 들에게 전달한다. 각 Dispatcher 는 담당 선석내에서 해당 선박의 접안 가능 여부를 평가하고, 접안이 가능한 경우에는 접안 가능 시각 및 접안에 소요되는 비용을 상위 단계의 Scheduler 에게 통보한다. Scheduler 는 최소 접안 비용이 소요되는 선석을 접안 선석으로 결정한다.

4.1.2. Dispatcher 역할

(1) 접안 가능성 진단

Scheduler 로부터 접안 대상 선박에 관한 정보를 전달받은 각 Dispatcher 는 담당하고 있는 선석의 제반 항만 조건, 특히 접안 수심을 점검하여 해당 선박이 접안 가능한 지를 점검한다. 만일 접안이 불가능한 경우에는 Scheduler 에게 이를 보고한다.

(2) 접안 가능 시각 결정

선석별로 기존의 접안 계획을 감안하여, 새로 접안 대상으로 선정된 선박의 접안 가능 시각을 결정한다. 상황에 따라서는 기존에 접안 계획되어 있는 선박을 다른 선석으로 이동하는 것도 고려할 수 있다. 다음의 접안 가능 시각을 결정하는 논리는 모든 선석에 공통적으로 이용될 수 있다. 다만 선석별로 수심이 다르므로 이러한 제약 조건을 고려하여 선박의 선석간 이동 가능 여부는 선석별로 다르게 결정된다.

사용 기호 :

$V(i)$: 선박 i ,

$B(j)$: 선석 j ,

$Tarr(V(i))$: 선박 i 의 입항 시각,

$RT(B(j))$: 선석 j 에서의 접안 가능 시각,

$BT(V(i), B(j))$: 선박 i 의 선석 j 에서의 접안 시각

$ST(V(i), B(j))$: 선박 i 가 선석 j 에서 다른 선석으로 이동 가능한 시각

1) $Tarr(V(i)) \geq RT(B(j))$

선박 i 의 입항 시각이 선석 j 의 접안 가능 시각 이후이므로, 선석 j 에서는 입항 즉시 접안할 수 있다. 그러므로 이 경우에 접안 시각은 다음과 같다.

$BT(V(i), B(j)) = Tarr(V(i))$

2) $Tarr(V(i)) < RT(B(j))$

선박 i 가 항구에 도착할 시간에, 선석 j 에는 이미 다른 선박 k 가 접안 계획되어 있는 경우이다. 이 때는 기 접안되어 있는 선박을 다른 선석으로 이동할 수 있는 지를 검토하여, 이동 가능 시각 $ST(V(k), B(j))$ 를 결정한다. 다른 선석으로의 이동 가능 여부는 선석의 수심 및 접안 현황을 파악하여 결정하게 된다.

A) $V(k)$ 가 다른 선석으로 이동 가능한 경우
선박 i 는 기 접안되어 있는 선박 k 를 다른 선석으로 이동시킨 후에 접안된다.

$BT(V(i), B(j)) = MAX\{Tarr(V(i)), ST(V(k), B(j))\}$

B) $V(k)$ 가 다른 선석으로 이동이 불가능한 경우

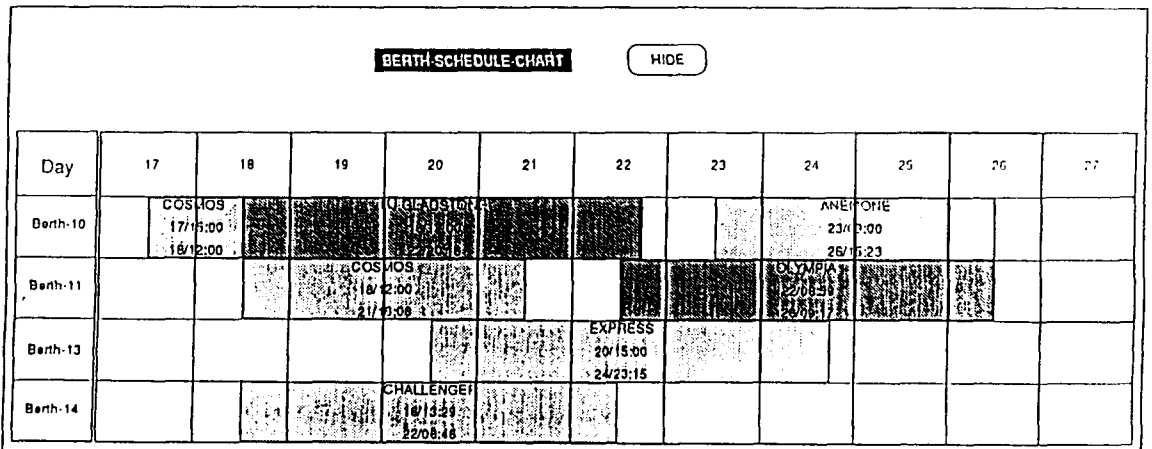
선박 i 는 선박 k 가 작업을 끝낸 후에 접안된다.

$BT(V(i), B(j)) = RT(B(j))$

4.1.3. 시스템 구현

선박 접안 시스템은 SUN Work Station 에서 실 시간 전문가 시스템 개발 도구인 G2 를 이용하여 개발되었다. 지식 표현 방법으로는 프레임, 규칙을 혼합한 방식을 채택하였다. 선박 정보 및 제반 항만 설비에 관한 정보는 프레임을 이용하여 저장하였으며, Scheduler 와 Dispatcher 의 제반 일정 계획 수립 과정은 규칙을 이용하여 구축하였다.

이단계 계층적 구조를 이용하여 시스템을 구축함으로써, 선박의 선석간 이동으로 인하여 문제의 복잡성이 증대함에도 불구하고, Scheduler 와 Dispatcher 간의 역할 분담 및 Dispatcher 간의 정보 교환을 통해 효과적으로 접안 계획을 수립할 수 있었다. [그림 5]에 시스템에 의해 작성된 접안 계획이 간트 차트(Gantt Chart) 형식으로 나타나 있다. [그림 5]



[그림 5] 선박 접안 일정계획 간트 차트

에서 COSMOS 선박은 10 번 선석에 일단 접안되어 일부 원료를 하역한 후, 다시 11 번 선석으로 이동되었음을 알 수 있다.

4.2. 원료 하역 및 수송 계획 시스템

하역 및 수송 계획은 선박 접안 계획이 완성된 시점에서 하역기(Unloader)가 원료를 하역하기 위해 선박별, 원료 종류별, 홀드별로 하역량을 결정하고 이를 적치 야드까지 수송하기 위한 벨트 컨베이어 일정 계획 수립을 의미한다. 하역 및 수송 계획 수립 과정에서의 주요 의사 결정 변수는 다음과 같다.

- 하역 원료 우선 순위 결정
- 선박 홀드 하역 순서 결정
- 홀드 1 회 작업량 결정
- 하역 작업 시각 결정
- 적치 야드 선정
- 벨트 컨베이어 경로 선정

원료 하역 계획의 의사 결정 변수 중에서 하역 원료 우선 순위와 같은 변수들은 기본적인 패턴이 정립되어 있으나, 홀드 별 하역 순서 결정과 같은 사항들은 입항하는 선박에서 제공하는 하역 순서에 의존하게 되므로, 사전에 일정한 패턴을 정립하기 어려운 점이 있다. 또한 하역기의 하역 능력도 설비 채워치가 이용되는 것이 아니라, 기상 상황 등 여러가지 요인에 의해 변동이 되므로 특정 기준값을 적용하기 어렵다. 이러한 가변적 요소가 잠재하는 상황에서 시스템이 자동으로 일정 계획을 생성하는 것은 매우 어려운 일이다. 그러므로 본 시스템에서는 기존의 데이터 분석 및 전문가들의 지식을 이용하여 기본 채워치를 설정한 후, 사용자가 이러한 가변성 있는 자료들에 대한 기본 값을 변경할 수 있도록 하여, 시스템의 적응성을 높이고자 하였다.

4.2.1. Scheduler 역할

상위 단계의 Scheduler는 하역 및 수송 계획 수립 과정 전체를 총괄적으로 조정하며, Dispatcher 간에 상충이 발생한 경우에 이를 해소하는 역할을 맡게 된다. Scheduler가 담당하는 역할은 다음과 같다.

- 하역 원료 우선 순위 결정
- 수송 계획 우선 순위 결정
- 적치 야드 선정
- 벨트 컨베이어 경로 선정

4.2.2. Dispatcher 역할

각 선석을 담당하고 있는 Dispatcher는 선석에 접안되는 선박별로 하역 계획을 수립한다. 수송 계획은 제한된 갯수의 벨트 컨베이어를 공유하게 되어 Dispatcher 간에 빈번한 상충이 발생할 가능성이 있으므로, Scheduler가 담당하게 된다. Dispatcher가 담당하는 역할은 다음과 같다.

- 선박 홀드 하역 순서 결정
- 홀드 1 회 작업량 결정
- 하역 작업 시각 결정

4.2.3. 일정 계획 휴리스틱

이단계 계층적 구조하에서 하역 및 수송 계획 수립을 위한 일정 계획 휴리스틱을 단계별로 다음과 같이 정리하였다.

단계 1. 원료 종류 파악

각 선석별로 담당 Dispatcher가 기 접안중인 선박에 선적된 원료 종류를 파악하여 상위의 Scheduler

에게 보고한다. 이는 유사 원료 브랜드를 파악하여 새로운 선박의 선석 결정시에 이용하기 위함이다.

단계 2. 하역 원료 우선 순위 선정

상위의 Scheduler 는 각 Dispatcher 로부터 접수한 정보를 이용하여 원료의 하역 우선 순위를 파악하여 다시 각 Dispatcher 에게 통보한다.

단계 3. 하역 계획 수립

각 Dispatcher 는 관리하고 있는 선박에 대한 하역 계획을 수립한다. 하역 계획은 다음 순서에 의해 수립한다.

(1) 하역 원료 우선 순위 결정

한 선박에 여러 종류의 원료가 선적된 경우, 상위 Scheduler 가 통보해 준 우선 순위에 입각해서 원료간의 우선 순위를 결정한다.

(2) 홀드 하역 순서 결정

선박의 총 홀드 갯수와 현재 원료가 선적된 홀드 및 원료 갯수에 따라 홀드 하역 순서에 변화가 발생한다. 선사 입장에서는 선박의 안전성 측면에서 홀드 하역 순서를 제시하게 되며, 원료를 하역하는 회사입장에서는 신속한 하역 작업이 주 관심사이므로 양자간의 협의가 필연적이다. 이러한 가변적인 측면을 고려하여 본 시스템에서는 기본적인 홀드 하역 순서 패턴이외에도 사용자가 홀드 하역 순서를 정의할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

(3) 홀드 1 회 하역량

홀드 하역 순서가 결정된 이후에는 한 홀드에서

1 회 원료 하역량을 결정해야한다. 이는 선박의 안전성을 고려하여 한 홀드에 있는 원료를 여러번 나누어서 하역하기 때문이다. 홀드당 1 회 하역량 또한 선박의 안전성 때문에 선사측의 의견이 존중되고 있기 때문에, 시스템에서는 기본 기준표를 제공하고, 사용자가 새로운 기준표를 입력할 수 있도록 되어 있다. 이러한 기준표는 선박 입항전에 선사측으로부터 사전에 정보를 제공받게 된다. 장기적으로는 관련 데이터가 축적되면, 선사 및 선박별 특성을 감안한 다양한 하역량 기준이 자동학습 기능을 통해 습득될 수 있을 것으로 기대된다.

(4) 하역 작업 시각 결정

원료를 하역하는 하역기의 하역 능력에 따라 하역 작업 시각이 정해지게 된다. 하역기의 하역 능력은 설비 제원치 상의 최대 능력이 아닌, 접안 계획에서 이용된 평균 하역 능력을 기준으로 하게 된다. 이 평균 하역 능력은 상황에 따라 변화될 수 있는 값이므로 사용자가 기준값을 변경할 수 있도록 되어 있다.

단계 4. 하역 계획 평가 및 수송 계획 우선 순위 결정

상위의 Scheduler 는 하위의 각 Dispatcher 로부터 수립된 하역 계획을 보고 받고, 수송 계획 수립 우선 순위를 부여하게 된다. 하역이 빨리 시작된 선박이나 체선 발생이 우려되는 선박에 대해 우선적으로 수송 계획을 수립하도록 한다. 수송 계획의 우선 순위가 높은 선박은 상대적으로 벨트 컨베이어의 간섭을 적게 받게 되므로 최단 수송 경로를 선택할 수 있는 가능성이 높아지게 된다.

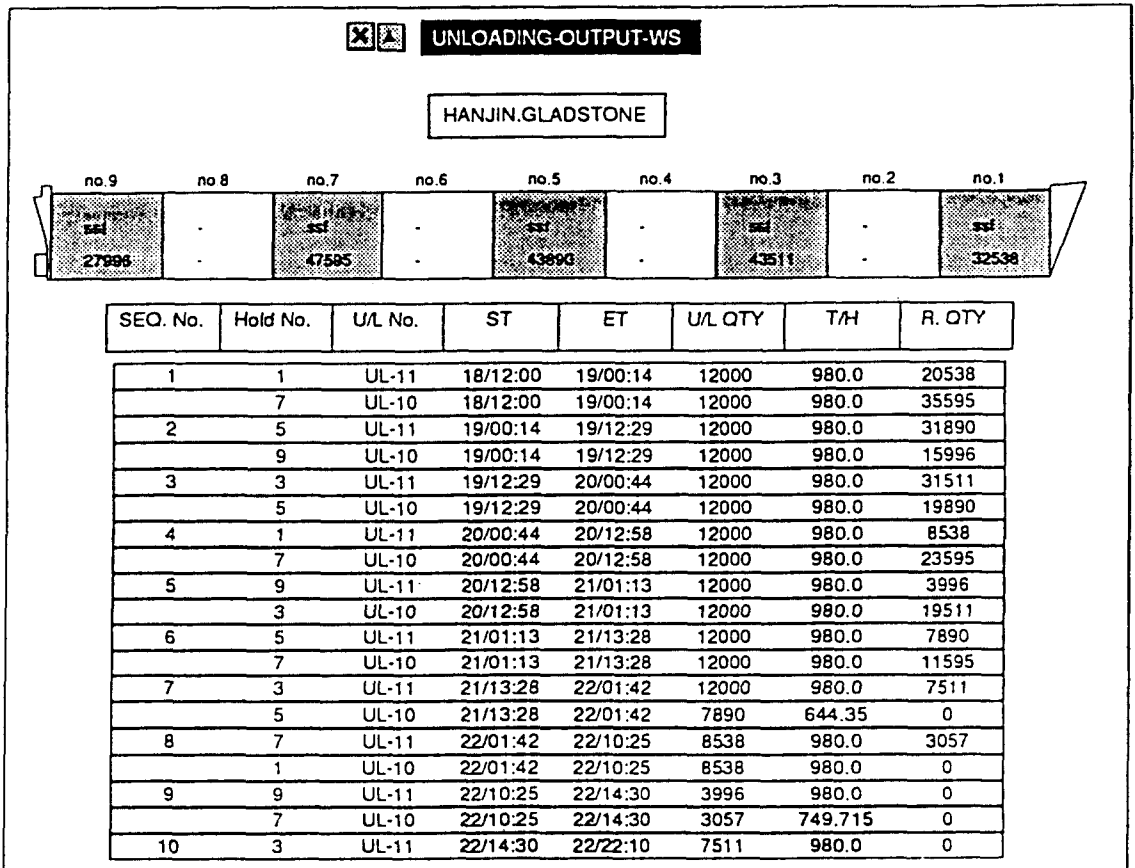
단계 5. 수송 계획 수립

수송 계획 수립 순서에 입각하여, 선박별로 수립된 하역 계획을 바탕으로 수송 계획을 수립한다. 하역된 원료의 적치 야드를 파악하여 수송 가능한 벨트 컨베이어 경로를 파악한다. 만일 적치 가능 야드가 여러 곳이고 수송 경로가 복수 개인 경우에는, 각 야드의 허용 적치량과 벨트 컨베이어의 이용 시간대를 분석하여 야드별로 적치량을 분산하도록 한다. 특정 야드에 대한 수송 경로는 다른 작업과의 벨트 컨베이어 간섭을 감안한 최단 수송 경로를 탐색하여 수송 시간대를 결정한다. 만일 벨트 컨베이어의 간섭 현상으로 인해 원하는 시간대에 적절한 수송 경로를 찾을 수 없는 경우에는, 물량을 분할하여 수송하는 방안을 검토한다. 불가피하게 가능 수송 경로를 찾을

수 없는 경우에는 접안 및 하역 계획을 변경하도록 요청한다. 이 경우, 원료 하역 및 수송 계획 시스템의 Scheduler 는 접안 계획 시스템의 Scheduler 에게 접안 우선 순위를 재검토하여 새로운 접안 계획을 수립하도록 요청한다.

4.2.4. 시스템 구현

하역 및 수송 계획 시스템은 접안 계획 시스템과 연계되어 G2 로 개발되었다. 본 시스템은 지식베이스에 저장된 패턴을 이용하는 것보다는 작업 현장의 상황에 따라 사용자가 기준표를 지정하고, 시스템이 이를 근거로 하여 계획을 수립하는 것이 주요 기능



[그림 6] 원료 하역 계획

BC-PATH-TABLE-WS				
Path	BC	Start Time	End Time	Qty
PATH-234	BERTH-10	18/12:00	20/07:26	80000.0
PATH-234	A701	18/12:00	20/07:29	80000.0
PATH-234	A301	18/12:03	20/07:33	80000.0
PATH-234	A302	18/12:07	20/07:34	80000.0
PATH-234	A305	18/12:08	20/07:38	80000.0
PATH-234	312ST	18/12:12	20/07:38	80000.0
P				
PATH-17	BERTH-10	20/07:26	21/10:35	50000.0
PATH-17	A801	20/07:26	21/10:38	50000.0
PATH-17	A501	20/07:29	21/10:43	50000.0
PATH-17	A502	20/07:34	21/10:44	50000.0
PATH-17	A503	20/07:35	21/10:45	50000.0
PATH-17	A1	20/07:36	21/10:47	50000.0
PATH-17	A2	20/07:39	21/10:48	50000.0
PATH-17	A3	20/07:39	21/10:51	50000.0
PATH-17	1ST	20/07:42	21/10:51	50000.0
AY				
PATH-198	BERTH-10	21/10:35	22/11:01	45000.0
PATH-198	A701	21/10:35	22/11:04	45000.0
PATH-198	A301	21/10:38	22/11:08	45000.0
PATH-198	A302	21/10:42	22/11:09	45000.0
PATH-198	A304	21/10:43	22/11:11	45000.0
PATH-198	311ST	21/10:45	22/11:11	45000.0
M				
PATH-40	BERTH-10	22/11:01	22/22:10	20530.0
PATH-40	A801	22/11:01	22/22:13	20530.0
PATH-40	A501	22/11:04	22/22:18	20530.0
PATH-40	A502	22/11:09	22/22:19	20530.0
PATH-40	A503	22/11:10	22/22:20	20530.0
PATH-40	A1	22/11:11	22/22:22	20530.0
PATH-40	A2	22/11:14	22/22:23	20530.0
PATH-40	A4R	22/11:14	22/22:23	20530.0
PATH-40	A5	22/11:14	22/22:26	20530.0
PATH-40	2ST	22/11:17	22/22:26	20530.0
B				

[그림 7] 하역된 원료 수송 계획

이다. 이러한 문제의 특성을 감안하여 G2의 프로 시슈어를 이용하여 일정 계획 수립 휴리스틱을 효과적으로 구축할 수 있도록 하였다. [그림 6]에 선박의 하역 계획이 나타나 있으며, 이를 바탕으로 한 수송 계획이 [그림 7]에 나타나 있다. [그림 7]에서 원료가 4개 야드로 분산 적치됨을 알 수 있는데, 벨트 컨베이어 간섭 현상으로 인해 각기 다른 수송 경로를 이용하고 있음을 알 수 있다.

5. 원료 불출 일정계획 시스템

원료 적치 야드에서 리클레이머 설비를 이용하여 원료를 벨트 컨베이어로 이동시키고, 특정 공장의 Bin까지 벨트 컨베이어를 이용하여 운송하는 것이 원료 불출 문제가 된다. 원료 불출 문제는 리클레이머 이동 계획 수립 및 벨트 컨베이어 이동 계획으로 이루어지게 된다. 원료 불출 일정계획 시스템에서는 리클레이머 이동 거리를 최소화하면서, 각 원료 소요공장 Bin의 안전재고를 유지할 수 있도록 원료 수송 계획을 수립하는 것이 주 목적이 된다.

5.1. Scheduler 역할

상위 단계의 Scheduler는 원료를 필요로 하는 제반 공장 Bin들의 재고 추이를 분석하여, 원료 공급이 예상되는 시점 및 대상 원료가 어떤 야드에 적치되어 있는지를 파악하여, 해당 Dispatcher에 리클레이머 이동 계획 수립을 위한 정보를 통보한다. 만일 어떤 원료가 여러 야드에 적치되어 있는 경우에는 리클레이머 작업 상황을 감안하여 부하가 적은 Dispatcher에 할당한다. 이 과정을 통해 Scheduler는 각 원료의 작업 완료 요망 시각을 Dispatcher에게 통보한다.

각 Dispatcher는 상위 단계의 Scheduler에 의해 주어진 이러한 제약 조건들하에서, 담당하고 있는 리클레이머의 이동 계획을 수립한 후 이를 Scheduler에게 보고한다. Dispatcher에서의 리클레이머 이동 계획 수립 방법은 다음절에 상술되어 있다.

Scheduler는 Dispatcher로부터 리클레이머 이동 계획을 보고 받은 후, 원료의 긴급도를 평가하여 벨트 컨베이어 일정계획 우선 순위를 결정한다. 원료의 긴급도는 다음과 같이 계산한다.

$$\text{원료 긴급도} = \frac{\text{Bin의 예상 잔량}}{\text{Bin의 원료소비율}}$$

원료 소비율이 높고 Bin 에 남아 있는 원료의 양이 작을수록 긴급한 원료이므로, 우선적으로 일정계획한다. 원료 소비율은 자동 계측 Bin 의 경우에는 프로세스 컴퓨터로부터 온라인으로 입력되며, 수동 계측 Bin 의 경우에는 과거 원료운송 실적을 근거로한 추정량이 이용된다. 이러한 접근 방법은 일정계획 문제를 제약 조건하의 문제(Constraint Satisfaction Problems) 로 분석했을 때의 변수 배열 전략에 해당되는 것으로서, 백트래킹(Backtracking) 을 줄이고 일정계획 결과를 향상시키기 위한 방법이다.

Scheduler 에 의해 일정계획된 원료의 작업 완료 시각이 사전에 Dispatcher 에게 통보했던 작업 완료 요망 시각보다 더 늦어진 경우에는 해당 Dispatcher 에게 각 원료들의 새로운 작업 완료 요망 시각을 송부해서 리클레이머 이동 계획을 재검토하도록 한다.

5.2. Dispatcher 역할

각 Dispatcher 는 상위 단계의 Scheduler 로부터 이송받은 원료들에 대한 리클레이머 이동 계획을 수립한다. 리클레이머는 지정된 선로위를 이동하게 되는데, 각 원료의 작업 완료 요망 시각내에서 이동 거리를 최소화하는 것이 주 목적이 된다. 이 문제를 위해 각 Dispatcher 는 원료들의 그룹을 작성하고, 이를 이용한 네트워크를 생성해서 리클레이머 최소 이동 경로를 찾는다.

사용기호 :

$M[i]$: 원료 i , $i \in I$

RC : 리클레이머 EST

$[i]$: 원료 i 작업 가능 시작 시각

$LFT[i]$: 원료 i 의 작업 완료 요망 시각

$PT[i]$: 리클레이머 RC 가 원료 i 를 불출하는데 소요되는 시간

$PosR$: 리클레이머 RC 의 위치

$Pos[i]$: 원료 i 의 위치

$T[PosR, Pos[i]]$: 리클레이머 RC 가 현 위치에 서 원료 i 의 위치까지 도달 시각

$SST[i]$: 원료 i 의 일정계획된 작업 시작 시각
 $SST[i] = \text{MAX}\{EST[i], T[PosR, Pos[i]]\}$

$SFT[i]$: 원료 i 의 일정계획된 작업 완료 시각
 $SFT[i] = SST[i] + PT[i]$,
 $SFT[i] \leq LFT[i]$

$G[j]$: 원료 그룹 j

5.2.1. 원료 그룹 생성

각 Dispatcher 는 이송 받은 원료들을 몇개의 원료 그룹으로 분류한다. 같은 원료 그룹에 소속된 원료 들끼리는 리클레이머 초기 이동 방향과 무관하게, 각 원료의 작업 완료 요망 시각내에서 원료 불출 작업을 완료할 수 있게 된다. 이는 리클레이머 이동 계획을 최소화하기 위한 네트워크 생성을 위함이다. 각 Dispatcher 내에서 원료 그룹을 생성하는 절차는 다음과 같다.

단계 0. 원료 그룹 인덱스 j 를 0 으로 지정한다.

단계 1. 원료 그룹 $G[j]$ 를 생성한다.

단계 2. 원료 그룹에 아직 소속되지 않은 원료들 중에서 작업 완료 요망 시각이 가장 빠른 원료 i^* 를 선정해서 그룹 $G[j]$ 에 배정한다. 만일 모든 원료가 그룹에 소속된 경우에는 그룹 생성이 완료된다.

단계 3. 그룹 $G[j]$ 에 소속된 원료들 간에 작업 완료 시각에 대한 상충이 있는지 점검한다.

사례 1) 그룹 $G[j]$ 에 1 개의 원료 i^* 만이 속한 경우에는, 만일 $SFT[i^*] > LFT[i^*]$ 면 일정계획을 중지하고, 상위 단계의 Scheduler 에게 이 원료의 작업 완료 요망 시각을 완화시켜 줄 것을 요청한다. 만일 $SFT[i^*] \leq LFT[i^*]$ 이면, 단계 2 로 돌아간다.

사례 2) 현재 리클레이머 위치가 그룹 $G[j]$ 에 속한 모든 원료들의 위치보다 왼쪽에 있는 경우, 즉 다음과 같은 관계가 성립되는 경우이다.

$$PosR \leq MIN\{Pos[k] \mid M[k] \subset G[j]\}$$

이 경우에 리클레이머는 오른쪽으로 순차적으로 이동하면서, 그룹 $G[j]$ 에 속한 각 원료를 일정계획하면 이동 거리를 최소화하게 된다. 이 과정에서 주어진 작업 완료 요망 시각보다도 늦게 일정계획되는 원료가 발생하는 지를 점검한다.

만일 $SFT[k'] > LFT[k']$ 인 원료 k' 가 그룹 $G[j]$ 내에 존재하는 경우에는 일정계획을 중지하고 단계 4 로 간다. 만일 그룹 $G[j]$ 내의 모든 원료가 작업 완료 요망 시각내에 일정계획된 경우에는 원료 i^* 는 성공적으로 현 그룹 $G[j]$ 에 배정되며, 단계 2 로 간다.

사례 3) 현재 리클레이머 위치가 그룹 $G[j]$ 에 속한 모든 원료들의 위치보다 오른쪽에 있는 경우, 즉 다음과 같은 관계가 성립되는 경우이다.

$$PosR \leq MIN\{Pos[k] \mid M[k] \subset G[j]\}$$

이 경우에 리클레이머는 왼쪽으로 순차적으로 이동하면서, 그룹 $G[j]$ 에 속한 각 원료를 일정계획하면 이동 거리를 최소화하게 된다. 이 과정에서 주어진 작업 완료 요망 시각보다도 늦게 일정계획되는 원료가 발생하는 지를 점검한다. 만일 $SFT[k'] > LFT$

$[k']$ 인 원료 k' 가 그룹 $G[j]$ 내에 존재하는 경우에는 일정계획을 중지하고 단계 4 로 간다. 만일 그룹 $G[j]$ 내의 모든 원료가 작업 완료 요망 시각내에 일정계획된 경우에는 원료 i^* 는 성공적으로 현 그룹 $G[j]$ 에 배정되며, 단계 2 로 간다.

사례 4) 리클레이머가 그룹 $G[j]$ 에 속한 모든 원료들 사이의 어느 지점에 위치하는 경우, 즉 다음과 같은 관계가 성립되는 경우이다.

$$MIN\{Pos[k] \mid M[k] \subset G[j]\} \leq PosR \leq MIN\{Pos[k] \mid M[k] \subset G[j]\}$$

이 경우에 리클레이머는 자신의 위치에서 왼쪽으로 순차적으로 이동하는 경우와 오른쪽으로 이동하는 두가지 경우로 나누어지게 된다. 각각의 경우는 사례 2 와 사례 3 에 대응하게 되는데, 각각의 사례에서 적용된 방법에 의해 일정계획을 수립하는 과정에서, 주어진 작업 완료 요망 시각보다도 늦게 일정계획되는 원료가 발생하는 지를 점검한다.

만일 $SFT[k'] > LFT[k']$ 인 원료 k' 가 그룹 $G[j]$ 내에 존재하는 경우에는 일정계획을 중지하고 단계 4 로 간다. 만일 그룹 $G[j]$ 내의 모든 원료가 작업 완료 요망 시각내에 일정계획된 경우에는 원료 i^* 는 성공적으로 현 그룹 $G[j]$ 에 배정되며, 단계 2 로 간다.

단계 4. 원료 i^* 는 현재의 원료 그룹 $G[j]$ 에 배정될 수 없다. 그러므로 그룹 $G[j]$ 에서 원료 i^* 를 삭제하고, 그룹 인덱스 j 값을 1 증가시킨 후 단계 1 로 간다.

각 Dispatcher 는 담당하고 있는 모든 원료들이 원료 그룹에 배정될 때까지 단계 1 에서 4 까지의 과정을 반복한다.

5.2.2. 최단 이동 경로 탐색

원료 그룹이 생성되고 나면, 리클레이머 이동 거리를 최소화하기 위한 네트워크를 생성한다. 네트워크 생성 및 리클레이머 최단 이동 경로를 탐색하는 절차는 다음과 같다.

단계 1. Dispatcher 에 의해 생성된 각 원료 그룹은 대응하는 2 개의 노드(Node)를 가질 수 있다. 각 노드는 원료 그룹내에서 리클레이머가 초기 위치에서 원료 불출을 위해 이동하는 방향, 즉 초기 위치에서 왼쪽으로 이동하는 경우와 반대로 초기 위치에서 오른쪽으로 이동하는 경우에 각각 대응하게 된다. 만일 초기에 리클레이머가 원료 그룹의 최우측이나 최좌측에 위치한 경우에는 1 개의 노드만을 갖게 된다. 그러므로 N 개의 원료 그룹이 존재할 경우, 이 네트워크는 최대 $2N$ 개의 노드가 생성된다.

단계 2. 인접한 원료 그룹, 즉 그룹 인덱스가 1 값이 차이가 발생하는 원료 그룹에 속한 노드끼리 서로 연결해서 네트워크를 형성한다. 이때 노드간의 아크(Arc)는 리클레이머 이동거리를 나타내게 된다.

단계 3. 생성된 네트워크를 대상으로, 최소 경로를 구하는 Dijkstra 알고리즘을 적용하여, 리클레이머 최단 이동 경로를 구한다.

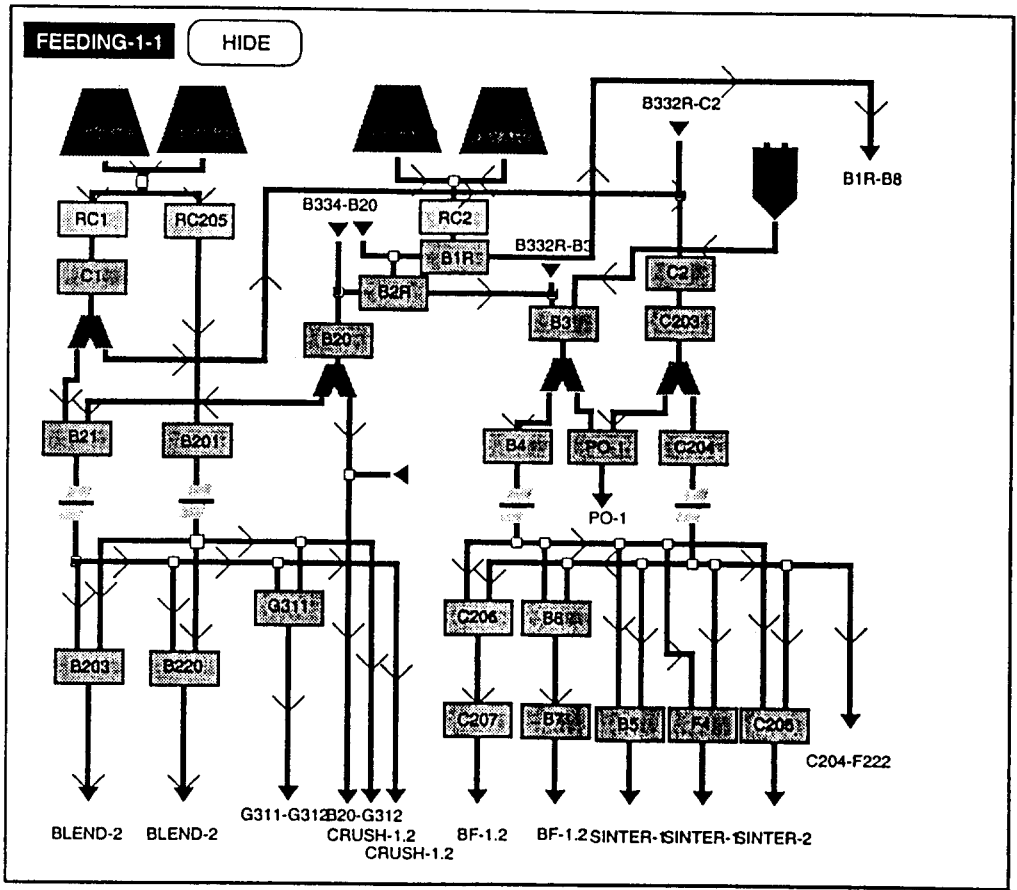
단계 4. 구해진 최단 이동 경로를 이용하여, 각 원료들의 리클레이머 일정계획을 확정한다.

5.3. 시스템 구현

원료 불출 시스템 또한 G2 로 개발되었는데, 특히 현장의 프로세스 컴퓨터와의 온라인 데이터 수신을

위해 GSI 를 이용하였다. 본 시스템에서는 지식을 표현하기 위해 프레임 및 프로시저어를 주로 사용하였다. 규칙은 실행시간의 과다 소요로 대부분 프로시저어로 대체하였다. 설비 관련 사양 및 일정계획 정보는 프레임을 이용하여 표현하였다.

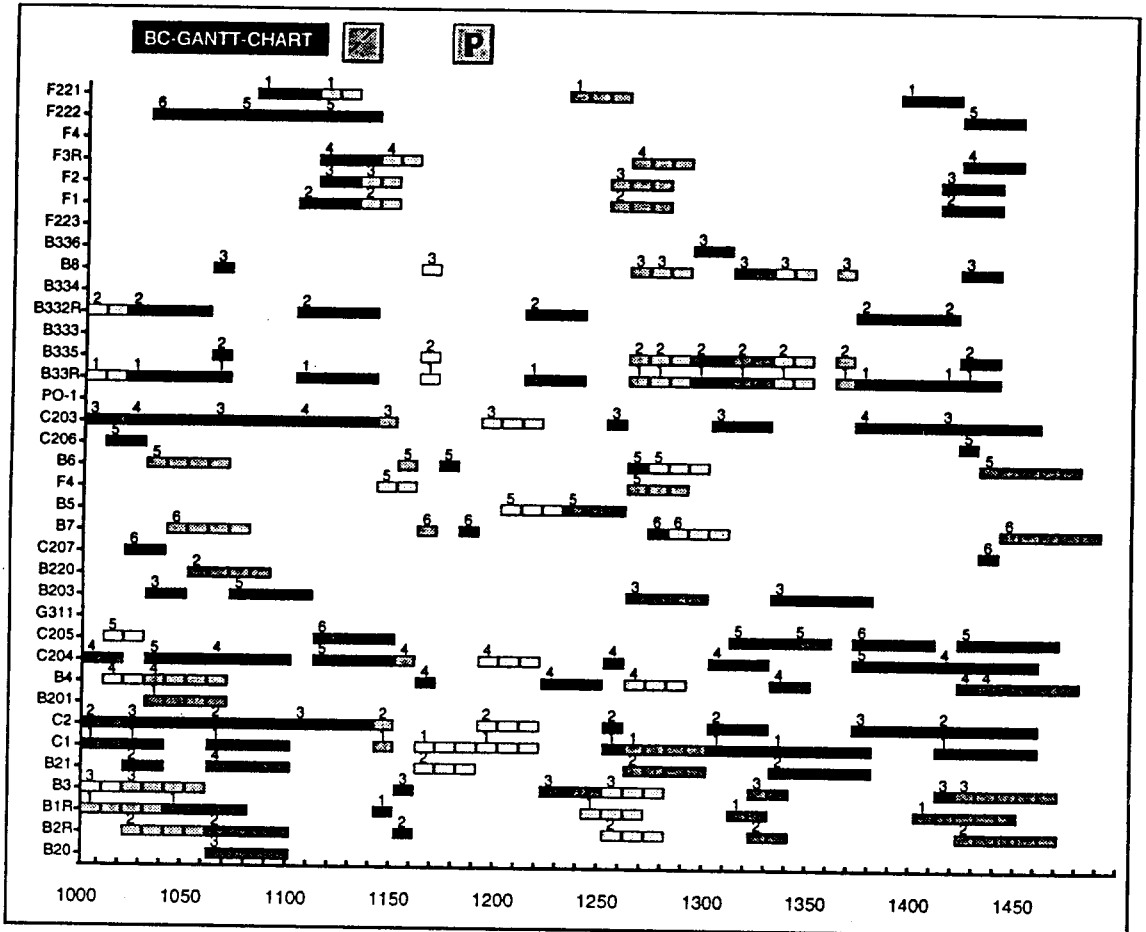
[그림 8] 에 야드에서 제반 공장으로 원료를 이송하는 벨트 컨베이어 화면이 나타나 있다. 사용자는 이러한 사용자 인터페이스를 통해 각 벨트 컨베이어 정보를 확인할 수 있으며, 필요시 고장이나 수리 정보를 입력하게 된다. 본 시스템에 의해 작성된 운송 일정계획 결과는 장표 및 간트차트 형식으로 출력하게 된다. [그림 9] 에 리클레이머 일정계획 결과가 장표 형식으로, [그림 10] 에 벨트 컨베이어 일정 계획 결과가 간트차트 형식으로 나타나 있다. [그림 11] 은 일정 계획 결과 변동되는 고로 공장 Bin 의 원료 재고 수준을 나타내 주는 간트 차트이다. 각 Bin 별로 재고 수준에 따라, 색깔이 시간대별로 변화함으로써 사용자에게 어느 시점에서 원료 불출이 집중적으로 발생하는 가를 알려주게 된다. 본 시스템의 수행속도는 8시간을 조업기준으로 했을때 약 90초의 시간이 소요되었다.



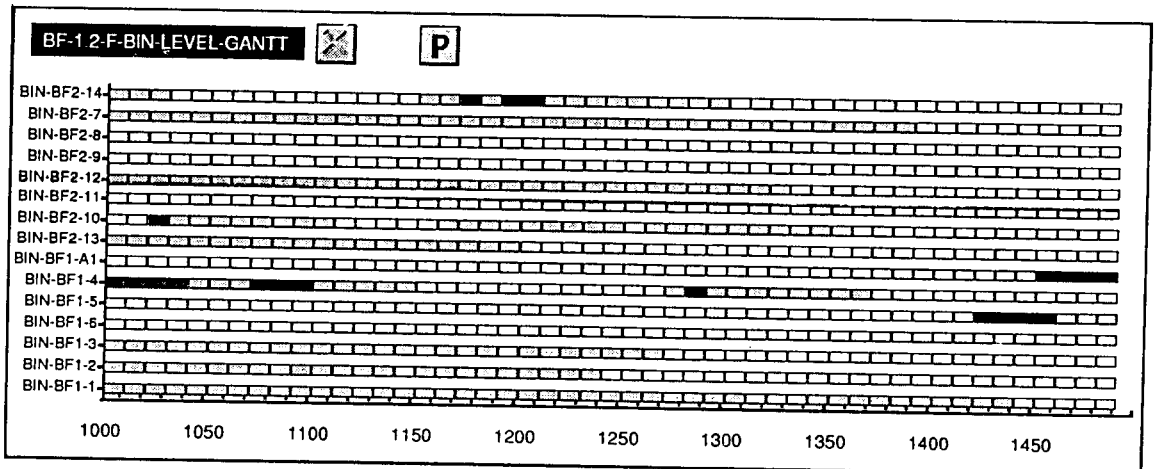
[그림 8] 벨트 컨베이어 정보 화면

RC-SCHEDULE-TABLE							
SEQ.	BC	BRAND	AMOUNT	YARD	BIN	START	END
1	RC206	BLB1S	233.923	BD-YARD-2BIN-DL2-2	1083.869	1111.939	
2	RC206	BLB1S	201.727	BD-YARD-2BIN-DL1-5	1111.939	1136.147	
3	RC206	BLB1S	280.126	BD-YARD-2BIN-DL2-2	1390.556	1424.171	
4	RC206	BLB1S	217.853	BD-YARD-2BIN-DL1-6	1231.021	1257.164	
5	RC306	PO-SC	150.278	E-YARD	BIN-DL2-9	1000	1018.033
6	RC306	SP.F	281.101	F-YARD	BIN-DL2-7	1022.853	1060.333
7	RC306	DM.M	81.666	F-YARD	BIN-LS1-2	1060.333	1070.133
8	RC306	PO-SC	314.084	E-YARD	BIN-DL2-9	1102.207	1144.085
9	RC306	DM.M	71.85	F-YARD	BIN-LS1-2	1160.133	1168.755
10	RC306	DM.M	71.85	F-YARD	BIN-LS1-2	1258.755	1267.377
11	RC306	DM.M	71.85	F-YARD	BIN-LS1-2	1357.377	1365.999
12	RC306	SP.F	321.013	F-YARD	BIN-DL2-7	1365.999	1408.801
13	RC306	DM.S	161.623	F-YARD	BIN-LS1-3	1267.377	1286.772
14	RC306	LM.ST	162.583	E-YARD	BIN-LS2-1	1286.772	1306.282
15	RC306	LM.S	156.46	E-YARD	BIN-LS1-5	1306.282	1325.057
16	RC306	SP.F	250.631	F-YARD	BIN-DL1-12	1214.87	1244.946
17	RC306	SL.S	76.106	E-YARD	BIN-BF1-5	1408.801	1417.934
18	RC306	DM.M	156.714	F-YARD	BIN-LS1-1	1325.057	1343.863
19	RC306	LM.S	177.217	E-YARD	BIN-LS1-4	1417.934	1439.2
20	RC2	HAM.O	337.1	D-YARD	BIN-BF1-4	1000	1040.452
21	RC2	HAM.O	247.933	D-YARD	BIN-BF1-4	1235.718	1265.47
22	RC2	HAM.O	104.072	D-YARD	BIN-BF2-14	1135.475	1147.964
23	RC2	LM.F	175.059	D-YARD	BIN-DL2-12	1305.955	1326.962
24	RC2	IHG.U	317.52	C-YARD	BIN-BL2-2	1040.452	1078.554
25	RC2	MN.O	437.939	C-YARD	BIN-BF1-A1	1399.9	1452.453
26	RC205	HAM.F	314.087	B-YARD	BIN-BL2-4	1027.54	1069.419
27	RC1	ALG.P	136.3	B-YARD	BIN-BF2-10	1000	1019.946
28	RC1	DON.F	167.854	A-YARD	BIN-BL2-3	1019.946	1044.51
29	RC1	ROM.F	286.137	A-YARD	BIN-DL2-5	1060.533	1102.407
30	RC1	ALG.P	96.694	B-YARD	BIN-BF2-10	1144.285	1158.435
31	RC1	ALG.P	69.99	B-YARD	BIN-BF2-10	1248.435	1258.678
32	RC1	DON.F	273.301	A-YARD	BIN-BL2-3	1258.678	1298.673
33	RC1	HAM.S	227.013	A-YARD	BIN-CR1-1	1158.435	1191.657
34	RC1	ROM.F	206.652	A-YARD	BIN-DL2-5	1298.673	1328.915
35	RC1	MT.F	192.291	A-YARD	BIN-DL1-2	1191.657	1219.797
36	RC1	HAM.F	316.058	B-YARD	BIN-BL2-5	1328.915	1375.167
37	RC1	RIO.F	349.973	A-YARD	BIN-DL2-6	1409.001	1460.217

[그림 9] 리클레이머 일정계획



[그림 10] 벨트 컨베이어 일정계획 간트차트



[그림 11] Bin 원료 재고 수준 예측 간트차트

6. 결 론

본 연구에서는 제철소의 원료운송 과정에서 발생하는 제반 일정계획 문제를 종합적으로 해결하기 위해, 전체 문제를 선박 접안 문제, 원료 하역 및 수송 문제, 원료 불출 문제의 세 부분으로 분리한 후 각각 시스템을 개발하였다. 본 연구를 통해 설비 이동과 같은 공간적인 특성과 원료 운송이라는 시간적인 상황이 동시에 고려되는 원료 운송 문제에서도 계층적 구조를 이용한 일정계획 수립 방법론이 효과적으로 적용될 수 있음이 입증되었다. 이러한 계층적 구조를 이용함으로써, 시스템 설계의 모듈화를 추구하고, Scheduler 와 Dispatcher 간의 협력과 조정을 통한 유연성 있는 시스템 구조를 구현할 수 있다. 또한 분산 처리 개념을 도입함으로써 문제의 복잡성을 줄이게 되는 장점을 갖고 있다. 향후 유사한 형태의 일정 계획 수립 문제에 본 연구에서 이용된 일정계획 수립 방법론이 응용될 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

서 민수, 김 창현, 고 영관, 최 해운, 원료 작업 일정 계획을 위한 전문가 시스템 개발(I), 산업과학기술연구소, 1993.

서 민수, 최 해운, 고 영관, 원료 작업 일정 계획을 위한 전문가 시스템 개발(II), 포스코경영연구소, 1994.

Fox, M.S., and S.F. Smith, "ISIS - A Knowledge-Based System for Factory Scheduling", *Expert Systems*, Vol. 1, No. 1, 25-49, 1984.

Lee, J.K., M.S. Suh., "PAMS : A Domain-Specific Knowledge-Based Parallel Machine Scheduling System", *Expert Systems*, Vol. 3, No. 2, 198-213, 1988.

Lee, J.K., M.S. Suh, and M.S. Fox, "A Hierarchical Scheduling Expert System : KAIS-3", *World Congress on Expert Systems Proceedings*, 3030-3039, 1991.

Lee, J.K., M.S. Suh, and M.S. Fox, "Contingencies for the Design of Scheduling Expert Systems", *Expert Systems with Applications*, Vol. 6, 219-230, 1993.

Sadeh, N., and M.S. Fox, "Focus of Attention in an Activity-Based Scheduling", *Proceedings of the NASA Conference on Space Telerobotic*, 1989.

Smith., S. F., "A Constraint-Based Framework for Reactive Management of Factory Schedules", *Proceedings of the First Conference on Expert Systems and the Leading Edge in Production Planning and Control*, 113-130, 1987.

Suh, M.S., A Hierarchical Job Shop Scheduling Expert System : KAIS-3, Ph.D. Dissertation, Korea Advance Institute of Science and Technology, 1991.

Suh, M.S., C.H. Kim, Y.K. Ko, and K.S. Lee, "ROSE : An Expert System for Reactive Adjustment of Hot-Rolling Schedules", *Proceedings on the International Conference on Computerized Production Control in Steel Plant*, 271-281, 1993.