

# 계약만족 및 휴리스틱 교정기법을 이용한 최적 선석 및 크레인 일정계획

백영수\*, 류광렬\*, 박영만\*\*, 김갑환\*\*

## Optimal Berth and Crane Scheduling Using Constraint Programming and Heuristic Repair

Youngsoo Baik, Kwang Ryel Ryu, Young-Man Park, Kap Hwan Kim

### 요약

선석계획 및 크레인 일정계획은 컨테이너 터미널에 입항하는 선박들의 빈번한 변동상황에 능동적으로 대처하고 유연하면서도 신속한 의사결정이 가능하도록 여러 명의 전문가가 장기적인 계획을 바탕으로 지속적으로 수정 보완해 나가는 방법으로 이루어지고 있다. 본 논문에서는 선사 및 컨테이너 터미널에서 수시로 변경되는 다양한 요구조건을 수용하는 최적의 선석 및 크레인 일정계획 수립을 위하여 계약만족기법과 휴리스틱 교정(Heuristic Repair)기법을 이용하였다. 선석계획 및 크레인 일정계획문제는 기본적으로 제약조건 만족문제로 정형화할 수 있지만 선박의 접안위치를 결정하는 문제는 목적함수를 가지는 최적화문제이다. 따라서 이 문제는 제약조건 만족문제와 최적화문제가 혼합된 문제(CSOP, Constraint Satisfaction and Optimization Problem)로 볼 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 각 선박의 최적 접안위치를 찾고 최우선 순위 선박의 최적 접안위치로부터 주어진 모든 제약조건을 만족하는 해를 찾는 탐색기법을 활용했고 휴리스틱 교정기법을 사용해서 계약만족기법에서 찾은 해를 교정했다. 우선순위가 가장 높은 선박부터 탐색을 하기 위해 Variable Ordering 기법을 사용했고 그 선박의 최적 접안위치부터 탐색을 해 나가는 Value Ordering 기법을 사용하였다. 실제 부산 신선대 컨테이너 터미널의 선석계획자료를 사용해서 실험을 하였다.

Keywords: 선석계획, 크레인 일정계획, 계약만족기법, 휴리스틱 교정기법

## 1. 서론

선석계획이란 이용선사의 선석요청을 받아서 부두운영을 가장 합리적이고 효율적으로 할 수 있도록 선박의 접안시기와 위치를 배정하는 계획을 말한다. 실제로 컨테이너 터미널에서는 서비스를 받아야 하는 선박 개개의 요구조건을 수용하면서 터미널에서 서비스할 때 발생하는 운영비용을 줄일 수 있도록 선석을 배정하고 접안시기를 결정하며 더불어 선박을 서비스하는 갠트리 크레인의 서비스 시작시간 및 완료시간을 결정한다. 선사의 요구사항은 각 선박이 도착 가능한 시간 이후에 갠트리 크레인의 서비스를 받아서 지정된 시간 이전에 출

항하는 것이다. 그리고 터미널 내에서의 운영비용을 줄이기 위해서는 특정 선박에 실은 컨테이너들이 장치장에 놓여 있는 위치에 따라 비용이 최소로 발생하는 접안위치를 찾아 배정해야 한다. 이 위치로부터 선박의 실제 접안 위치가 멀어질수록 추가의 운영비용이 발생한다. 그래서 선석계획 문제에서는 터미널측과 선박측의 추가 운영비용을 최소화하는 선박의 접안시각과 접안위치 및 갠트리 크레인 서비스시간을 결정하게 된다. 이와 같이 선석 및 크레인 일정계획은 컨테이너 터미널 운영에 직접적인 영향을 미친다. 하지만 선석 및 크레인 일정계획수립에 관한 연구는 국내에서 현재까지 연구된 사례를 찾기 힘든 실정이다[2][3][4].

현재 주요 선진 외국항에서 실시하고 있는 선석계획을 살펴보면, 싱가포르항은 지식베이스를 바

\* 부산대학교 컴퓨터공학과

\*\* 부산대학교 산업공학과

탕으로 한 전문가시스템을 도입하고 있고 로테르담 항은 컴퓨터를 이용한 반자동 수준의 선석계획을 도입하고 있으나 구체적인 내용은 알려져 있지 않다[1].

본 논문에서는 제약만족기법과 휴리스틱 교정 기법을 사용한 최적의 선석계획 및 크레인 일정계획 수립 방안을 제시한다. 대상문제의 정형화가 용이하고 신속히 해를 찾을 수 있는 제약만족기법을 사용하였으며, 제약만족기법에서 찾은 해에서 교정이 필요한 부분을 휴리스틱 교정기법을 사용해서 전문가의 지식을 바탕으로 교정했다. 제약만족기법을 구현하기 위한 도구로 ILOG 사의 상용도구인 ILOG Solver 를 이용하였으며 휴리스틱 교정기법은 직접 구현하였다. 실험을 위하여 실제 부산 신선대 컨테이너 터미널의 1999년 3월 14일부터 3월 20일까지의 선석계획자료를 참고로 했다.

본 논문은 총 6 장으로 구성된다. 2 장에서는 선석 및 크레인 일정계획에 대해 설명하고 3 장에서는 제약만족기법에 대해 설명한다. 4 장에서는 휴리스틱 교정기법에 관해서 설명하고 5 장에서는 실험결과를 분석한다. 마지막 6 장에서는 결론 및 향후 연구과제를 기술한다.

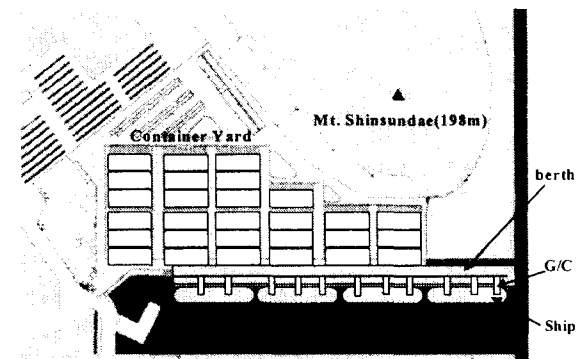
## 2. 선석 및 크레인 일정계획

선석계획은 월간선석계획과 단기 및 일일 선석계획으로 나누어진다. 월간선석계획은 선사와 항만 터미널의 협의 계약인 장기 Caling Schedule 을 바탕으로 선사가 보내온 월간 입항계획서로 작성한다. 월간선석계획은 선석을 가배정하는 것으로 미래의 불확실한 사항을 일단 유지시켜 놓고 정확한 선박의 입항정보가 가용할때 기존 계획을 수정함으로써 계획을 단계적으로 확정한다. 단기 및 일일 선석계획은 매일매일 접수되는 정보를 수시로 반영해서 선석배정을 하는 계획이다. 단기선석배정은 컨테이너 반입이전에 부정기선의 집안가능여부를 판단하는 기능과 월간선석계획에서 제시된 선석배정의 변경을 통해 선석운영의 합리성을 확보하는 기능을 한다. 이를 위해서 계획기간을 보통 7 일로 하여 단기선석을 배정하며 이는 월간선석계획에서 제시한 선석운영계획 및 계획기간내의 선박의 예상 물량에 근거하여 선석배정을 한다. 일일선석배정은 단기선석배정의 결과를 이용하여 정확한 작업소요 시간을 추정하고 이에 근거하여 갠트리크레인을 할당하고 선석배정을 확정시킨다. 하루전에 변경된 선석계획은 보통 변경하지 않는 것을 원칙으로 하지만 예외도 있다.

크레인 일정계획은 선석계획을 기초로 하여 입항예정시간부터 출항예정시간 사이에 모든 서비스를 마치고 출항예정시간이전에 터미널을 떠날 수 있도록 각 선박에 크레인을 할당하는 계획을 말한다. 보통 각 선박 당 2 대의 크레인을 기본으로 할당하고 작업량이 많은 경우 1 대를 추가로 할당하는 방식을 취한다. 각 크레인은 이동할 수 있는 범위가 정해져 있는데, 예를 들어 1 번 선석에 집안한 선박의 경우 1 번, 2 번 크레인이 기본 크레인이

되고 3 번 크레인이 support 할 수 있다. 이 3 번 크레인은 2 번 선석에 집안한 선박도 support 할 수 있다. 크레인 일정계획은 선박이 처리하는 정확한 물량을 알 수 있는 일일선석배정시 서비스 시작시간 및 완료시간을 결정한다.

본 논문에서는 부산 신선대 컨테이너 터미널 (PECT, Pusan East Container Terminal)을 모델로 해서 대상문제를 제약조건 만족문제로 정형화하였다. <그림 1>에는 신선대 컨테이너 터미널의 전체 구조가 나와 있다. G/C 는 Gantry Crane 혹은 Contrainer Crane(C/C)이라고 하며 컨테이너를 양하 또는 적하하는 장비이다. 그리고 <그림 2>는 전문가가 작성한 선석계획의 예이다.



<그림 1> 신선대 컨테이너 터미널

<그림 2> 전문가가 작성한 선석계획의 예

## 3. 제약만족기법

제약조건 만족기법은 대규모 제약조건 만족 문제의 해결을 위해 도입된 프로그래밍 기법이며 제약조건 만족 문제에 관한 연구는 인공지능 분야를 비롯하여 프로그래밍 언어(Programming Language), Symbolic Computing, Computational Logic 분야 등이 결합되어 진행되어 왔다.

제약조건 만족문제는 변수, Domain 및 제약조건으로 구성된다. 제약조건 만족 문제에서 각각의 변수가 취할 수 있는 값을 해당 변수의 Domain 이라고 한다. 제약조건은 변수들에 대한 논리적 관계를 표현한 것으로서 특정 변수가 취할 수 있는 값을 제한하기 위한 정보를 제공한다. 제약조건 만족문제로 정형화된 문제를 해결한다는 것은 각각의 변수에 해당 변수가 취할 수 있는 Domain 내에서 문제에 주어진 모든 제약조건들을 만족시키는 적당한 값을 할당하는 것이다.

제약조건 만족문제를 해결하는 기본적인 기술로는 전향 검사(Forward Checking)와 Backtracking이 있다. 전향 검사를 이용하여 제약조건의 일치성을 검사하며, 이에 따라 Domain 으로부터 제약조건에 위배되는 값들을 미리 제거함으로써 해당 변수의 Domain 을 축소시켜 나간다. 이러한 Domain 의 축소를 통해 탐색할 공간을 줄임으로써 불필요한 Backtracking 을 하지 않게 되므로 문제 해결을 위한 시간을 효과적으로 줄일 수 있게 된다[5][6].

### 3.1 변수

선석계획에서는 각 선박의 입항시간과 출항시간을 결정해야 하고 또한 접안위치도 결정해야 한다. 그리고 크레인 일정계획에서는 각 크레인의 각 선박에 대한 크레인서비스 시작시간 및 완료시간을 결정해야 한다. 따라서 각 선박의 입항시간 및 출항시간, 각 선박의 접안위치, 각 크레인의 각 선박에 대한 서비스 여부 및 서비스 시작, 완료시간이 변수가 된다. <표 1>에 대상문제의 변수들을 정리하였다.

변수	설명
$x_i$	선박 $i$ 의 선수위치
$y_i'$	선박 $i$ 의 입항시간
$y_i''$	선박 $i$ 의 출항시간
$CS_k$	선박 $j$ 에 대한 크레인 $k$ 의 서비스 여부
$b_k$	선박 $j$ 에 대한 크레인 $k$ 의 서비스 시작시간
$e_k$	선박 $j$ 에 대한 크레인 $k$ 의 서비스 완료시간

<표 1> 대상문제의 변수

### 3.2 도메인

각 변수의 도메인은 각 변수가 취할 수 있는 값의 집합을 말한다. 먼저 선박의 위치 즉 선수의 위치를 나타내는 변수는 선석의 처음부터 끝까지가 될 수 있다. 따라서 예를 들어, 만약 선석의 길이가 1200m 라면 이 변수가 취할 수 있는 값은 0 에서부터 1200 까지라고 정할 수 있다.

각 선박의 입항시간과 출항시간 그리고 각 선박에 대한 크레인의 서비스 시작시간과 완료시간은 선석 계획 및 크레인 일정계획 기간내의 시간이다.

각 선박에 대한 크레인의 서비스 여부는 0 또는 1 을 가지며, 0 이면 서비스를 하지 않는 것이고 1 이면 그 반대이다.

### 3.3 제약조건

선석계획에서 각 선박의 접안위치 즉, 선수 위치는 선석끝에서 얼마간의 간격을 두어야 한다. 선수와 선석끝 간격 그리고 선미와 선석끝 간격이 서로 다른데 그 이유는 작업의 용이성 때문이다.

(제약조건 1)

$$(x_i \geq \beta) \wedge (x_i + L_i \leq B - \gamma)$$

각 선박의 입항시간과 출항시간은 입항예정시간(ETA, Estimated Time of Arrival)과 출항예정시간(ETD, Estimated Time of Departure)을 가능한 준수해야 한다.

(제약조건 2)

$$ETA(i) - BTM \leq y_i' \leq ETA(i) + BTM$$

(제약조건 3)

$$ETD(i) - DTM \leq y_i'' \leq ETD(i)$$

선석계획에서 각 두 선박은 동시에 같은 선석에 접안할 수가 없다. 따라서 같은 시간대에 같은 선석을 차지하면 안된다.

(제약조건 4)

$$(x_i + L_i + a \leq x_j) \vee (x_j + L_j + a \leq x_i) \vee (y_i'' + b \leq y_j') \vee (y_j'' + b \leq y_i') (i \neq j)$$

크레인 서비스 시작시간은 선박의 입항시간 이후가 되고 크레인 서비스 완료시간은 선박의 출항시간 이전이 된다. 단 어떤 선박을 서비스하는 크레인에 대해서만 적용된다.

(제약조건 5)

$$\neg CS_k \vee (b_k \geq y_i')$$

(제약조건 6)

$$\neg CS_k \vee (e_k \leq y_i'')$$

크레인 서비스 시작시간은 크레인 서비스 완료시간 이전인데, 시작시간과 완료시간이 같은 경우는 크레인이 해당 선박을 서비스하지 않는 경우를 말한다.

(제약조건 7)

$$\neg CS_k \vee (b_k \leq e_k)$$

크레인이 선박을 서비스 하지 않으면 서비스 시작시간과 완료시간은 0 이다.

(제약조건 8)

$$\neg(\neg CS_k) \vee (b_k = 0 \wedge e_k = 0)$$

크레인은 한 선박에 대해 최소 2 시간이상 서비스를 해야 한다.

(제약조건 9)

$$\neg CS_k \vee (e_k - b_k \geq 2)$$

선박의 출항시간은 그 선박을 서비스하는 크레인들의 서비스 완료시간 중 최대 이후이다.

(제약조건 10)

$$Max(e_{k_i}) \leq y_i''$$

한 크레인은 동시에 두 선박을 서비스할 수 없다. 따라서 한 크레인의 서로 다른 선박에 대한 서비스 시간은 겹치면 안된다.

(제약조건 11)

$$(e_{k_i} < b_{k_j}) \vee (e_{k_j} < b_{k_i}) (i \neq j)$$

한 선박에 대한 크레인의 총 서비스시간은 그 선박의 물량처리시간 이상이다.

(제약조건 12)

$$\sum_{k=1}^m (e_{k_i} - b_{k_i}) \geq S_i$$

크레인의 이동범위에 선박이 있어야 서비스가 가능하다. 그러므로 크레인이 선박을 서비스하면 크레인의 이동범위와 선박의 위치는 일정범위이상 겹친다.

(제약조건 13)

$$\neg cs_{k_i} \vee (bc_k < x_i + L_i - \alpha \wedge ec_k > x_i + \alpha)$$

서로 다른 두 크레인은 같은 시간대에 있는 두 선박을 엇갈려 서비스할 수 없다.

(제약조건 14)

$$\begin{aligned} & \neg((x_i < x_j) \wedge (b_{k_1j} < e_{k_2i} \wedge e_{k_1j} > b_{k_2i})) \\ & \vee \neg(cs_{k_2i} \wedge cs_{k_1j}) (i \neq j, k_1 < k_2) \end{aligned}$$

한 선박에는 보통 2 대 내지 3 대의 크레인이 서비스를 제공하고 최대 5 대까지 서비스를 할 수 있다.

(제약조건 15)

$$k_{min} \leq \sum_{k=1}^m CS_{k_i} \leq k_{max}$$

크레인이 선박을 서비스 할 때 선박의 선수부터 선미까지 모두 서비스해야 한다. 따라서 선수와 선미가 어떤 크레인에 의해서 서비스가 되어야 한다. 또한 예를 들어, 2,4 번 크레인이 어떤 한 선박을 서비스한다고 할 때 3 번 크레인이 그 선박을 서비스해야 한다.

(제약조건 16)

$$\begin{aligned} & \left( \bigcup_{k=1}^m (\neg CS_{k_i} \vee (bc_k \leq x_i \leq ec_k)) \wedge CS_{k_i} \right) \\ & \wedge \left( \bigcup_{k=1}^m (\neg CS_{k_i} \vee (bc_k \leq x_i + L_i \leq ec_k)) \wedge CS_{k_i} \right) \end{aligned}$$

(제약조건 17)

$$\neg(CS_{k_1i} \wedge CS_{k_3i}) \vee CS_{k_2i} (k_1 < k_2 < k_3)$$

제약조건에서 쓰인 입력들은 <표 2>에 정리를 했다.

입력	설명
$bc_k$	크레인 $k$ 가 움직일 수 있는 범위 (lower bound)
$ec_k$	크레인 $k$ 가 움직일 수 있는 범위 (upper bound)
$S_i$	선박 $i$ 에 대한 크레인 1 대의 서비스 시간
$ETA(i)$	Estimated Time of Arrival, 입항예정시간
$ETD(i)$	Estimated Time of Departure, 출항예정시간
$L_i$	배의 길이
$B$	선석의 길이
$BTM$	선박의 입항시간 여유(Berthing Time Margin)
$DTM$	선박의 출항시간 여유(Departure Time Margin)
$a$	배 사이의 허용거리
$b$	배 사이의 시간간격
$k_{min}$	한 선박의 서비스 가능한 최소 크레인수
$k_{max}$	한 선박의 서비스 가능한 최대 크레인수
$\alpha$	선박과 크레인이 겹치는 범위
$\beta$	선수와 선석끝 사이 간격
$\gamma$	선미와 선석끝 사이 간격

<표 2> 대상문제의 입력

### 3.4 변수 및 변수 값 순서 지정

제약만족기법에서는 어떤 변수를 먼저 탐색할 것인가 또는 하나의 변수에 어떤 값을 먼저 할당할 것인가가 아주 중요하다. 왜냐하면 특정변수에 특정값을 먼저 할당함으로써 탐색공간을 적게 탐색하더라도 답을 찾을 수 있어서 탐색시간을 상당히 줄일 수 있기 때문이다. 어떤 변수를 먼저 탐색할 것인가를 결정하는 것을 variable ordering 이라고 하고 어떤 값을 먼저 변수에 할당할 것인가 결정하는 것을 value ordering 이라고 한다. variable ordering heuristic 의 예로는 most-constrained-variable heuristic 과 most-constraining-variable heuristic 이 있고 value ordering heuristic 의 예로는 least-constraining-value heuristic 을 들 수 있다[8].

본 논문이 대상으로 하는 선석 및 크레인 일정계획문제에서는 각 선박마다 우선순위가 있다. 즉, 각 선박은 정기선과 부정기선으로 나눌 수 있는데 정기선이 부정기선보다 우선순위가 높다고 볼 수 있다. 따라서 정기선부터 선석을 배정해야 한다. 이를 위해서 정기선의 변수부터 먼저 탐색을 한다. 정기선들 중에서는 입항시간이 빠른 선박이 우선순위를 가진다.

또한 각 선박이 접안할 수 있는 선석의 여러 위치 중 선호하는 접안위치를 가장 먼저 고려해야 한다. 따라서 각 선박의 선수위치 변수에 그 선박의 선호 접안위치 값부터 할당하는 탐색기법을 사용했다.

각 선박의 선호접안위치는 몇가지 요인에 의해서 결정된다. 대상문제에서 각 선박은 장치장에 놓여있는 컨테이너의 위치에 가장 가까운 선석을 선호한다. 또한 선석의 특성상 1 번 선석쪽은 파랑이 작은 관계로 작은 선박은 1 번 선석에 접안해야

하고 반대로 큰 선박은 파랑이 큰 4 번 선석쪽으로 접안하는 것이 유리하다. 선박의 화물에 따라 선호되는 선석이 따로 있을 수 있다. 신선대 컨테이너 터미널의 경우, 벌크화물 선박의 경우는 컨테이너 양적하시 1 번 선석쪽이 작업이 유리하다. 그리고 선석에 한대의 선박만이 접안하고 있을 경우는 크레인의 고장등을 고려해 가운데 선석 즉, 2 번 선석(또는 3 번 선석)에 접안하는게 유리하다. 이러한 고려사항들은 제약조건으로 표현하기 힘들며 최적화 문제의 성격을 따므로 목적함수로 표현하고 최적화 기법을 사용해서 해결해야 한다[7].

먼저 컨테이너 야드에 있는 컨테이너와 접안 위치의 거리를 최소화해야 하고, 두번째, 작은 선박이나 화물이 벌크인 선박의 경우, 접안위치와 1 번 선석과의 거리가 최소가 되어야 한다. 세번째로 큰 선박의 경우, 접안위치와 4 번 선석과의 거리가 최소가 되어야 한다. 마지막으로 선석에 선박이 한 대만 접안하고 있는 경우, 접안위치와 2 번 선석 사이의 거리가 최소가 되어야 한다.

대상문제의 목적함수는 다음과 같다.

(목적함수 1)  
 $Minimize(|x_i - C_i|)$   
 (단,  $C_i$ 는 컨테이너의 위치)

(목적함수 2)  
 $Minimize(|x_i - B1|)$   
 (단,  $B1$ 은 1 번 선석의 위치)

(목적함수 3)  
 $Minimize(|x_i - B4|)$   
 (단,  $B4$ 는 4 번 선석의 위치)

(목적함수 4)  
 $Minimize(|x_i - B2|)$   
 (단,  $B2$ 는 2 번 선석의 위치)

#### 4. 휴리스틱 교정기법

제약만족기법에서는 변수 및 변수 값 순서를 지정해서 우선순위의 선박들이 먼저 선석에 배정되고 선호접안위치에 위치할 수 있도록 했다. 따라서 우선순위가 낮은 선박일수록 선호선석 및 선호접안 위치에 배정되기 어렵다. 그래서 우선순위가 낮은 선박들은 우선순위가 높은 선박들에 의해서 선석밖으로 밀려난 위치에 배정되기도 한다. 이런 경우, 우선순위가 높은 선박이 선석을 벗어나지 않는 범위내에서 위치를 조정할 수 있다면 우선순위가 낮은 선박을 좀 더 선호접안위치에 가까이 위치시킬 수 있다.

다른 방법으로 선석별 작업시간 균등화 측면에서 보면 어떤 선석에는 접안해서 작업하는 선박 및 크레인이 많은데 다른 선석에는 없으면 바람직하지 못하다. 따라서 그런 경우는 제일 선박이 많이 몰려있는 선석에 위치한 선박을 선박이 제일 적게 배정되어있는 선석으로 옮기는 것이 좋다. 옮길

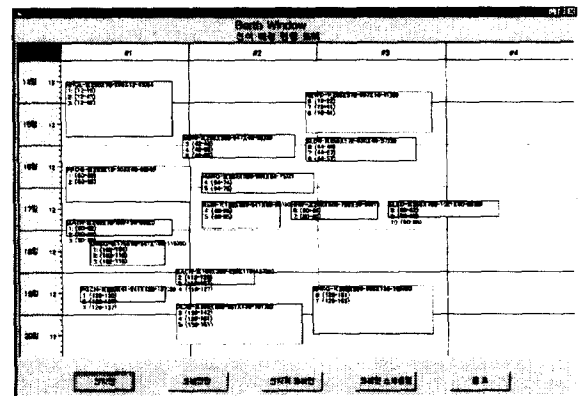
선박은 정기선이 아닌 부정기선이여야 하고 선석을 벗어나서 위치하고 있는 선박이 대상이 된다. 하지만 항상 선박을 옮길 수 있는 것은 아니다. 입출항 시간이 겹치는 선박이 선석에 이미 배정되어 있으면 옮길 수 없다.

위에서 고려한 휴리스틱 교정기법은 대상문제 전문가의 지식을 근거로 하고 있다. 그리고 선석계획상에 없는 선박에 추가로 선석을 할당해야 하는 경우나 선사의 계획이 수시로 변경될 때 휴리스틱 교정기법을 사용해서 신속하게 재계획이 가능하다.

#### 5. 실험

부산 신선대 컨테이너 터미널의 1999 년 3 월 14 일부터 3 월 20 일까지의 선석계획자료를 사용해서 실험을 했다. 선석계획기간은 7 일이며 총 선박수는 15 대, 크레인은 11 대이며 정기선박은 8 대, 부정기선박은 7 대이다.

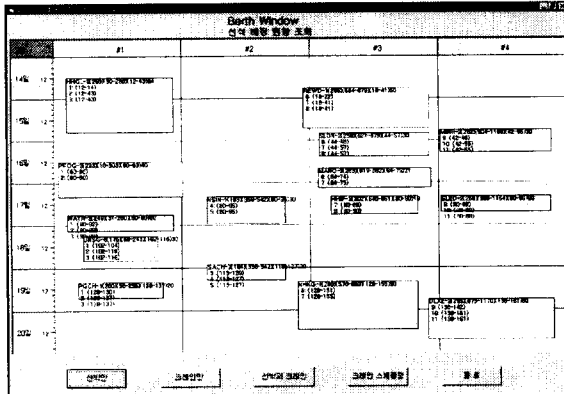
<그림 3>에 프로그램의 수행 결과가 나와 있다. 가로축은 선석을 나타내며 좌측이 1 번 선석이고 우측이 4 번 선석이다. 세로축은 시간을 나타내며 위쪽 3 월 14 일부터 아래쪽 3 월 20 일까지 나타나 있다. 따라서 <그림 3>에서 각각의 사각형은 각각의 선박이 차지하는 시간 및 공간을 나타낸다. 사각형안에는 선박의 Vessel Code, 길이, 선수위치-선미위치, 입항시간-출항시간, 총 크레인 서비스시간이 나와 있다. 그리고 선박을 서비스하는 크레인들의 번호와 서비스 시작 및 완료시간을 나타내었다. 프로그램은 ILOG 사의 ILOG Solver 4.3 을 사용했고, C++ 언어를 사용하여 작성하였다. Pentium II 266Mhz PC 에서 수행 시간은 약 10 초 정도 걸렸다. 제약조건만 만족시키도록 한 프로그램 수행 결과, 대상문제의 제약조건을 모두 만족하는 해를 찾았지만 각 선박의 선호 접안위치가 거의 고려되지 않았다.



<그림 3> 변수 및 변수 값 순서를 지정하지 않은 경우 선석 및 크레인 일정계획 결과

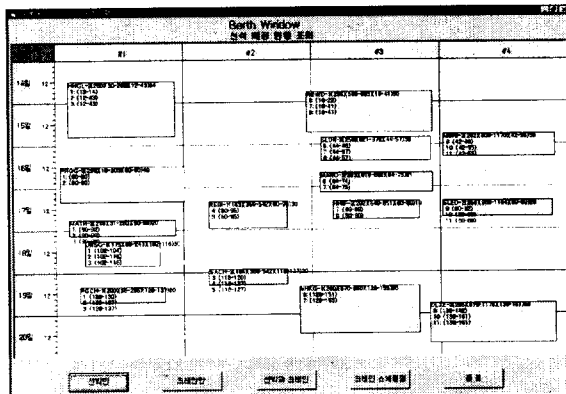
이와 달리 <그림 4>에서 변수 및 변수 값 순서 지정을 한 결과 각 선박의 선호접안위치가 고려되었다. 선호 접안위치가 겹치는 선박들이 있을 경우 선박의 접안 우선순위에 따라 접안위치가 정해

졌다. 즉, 우선순위가 높은 선박은 선호위치로 배치되고 차순위 선박은 선호위치와 가까운 선석으로 배치가 되었다. 수행시간은 약 4 초 정도로 변수 및 변수 값 순서 지정을 하지 않았을 때 보다 적게 걸렸다.



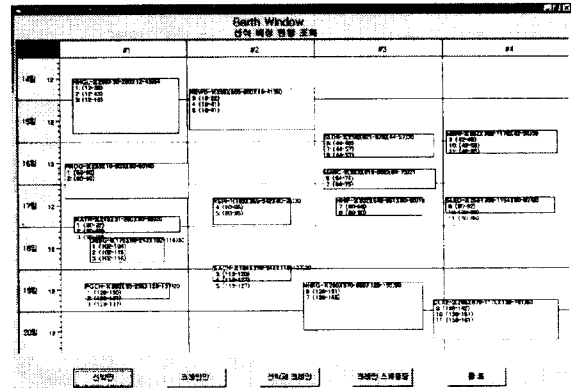
<그림 4> 변수 및 변수값 순서를 지정했을 경우 선석 및 크레인 일정계획 결과

<그림 5>는 <그림 4>의 결과에 휴리스틱 교정 기법을 적용한 것이다. <그림 4>에서 Vessel Code 가 REWD-1 인 선박이 정기선인 MBRI-2 선박때문에 3 번 선석에서 2 번 선석 쪽으로 조금 밀려난 상태 였는데 휴리스틱 교정기법을 적용한 후 MBRI-2 선박이 4 번 선석쪽으로 최대한 이동했고 REWD-1 선박도 3 번 선석쪽으로 이동했다. 수행시간은 약 4 초 정도로 휴리스틱 교정기법을 쓰지 않았을 때와 거의 같은 시간이 걸렸다.



<그림 5> <그림 4>의 결과에 1 번째 휴리스틱 교정 기법을 적용한 결과

<그림 6>은 두번째 휴리스틱 교정기법을 <그림 5>에 적용한 결과이다. 선박이 가장 많이 배치 되어 있는 3 번 선석의 부정기선인 REWD-1 선박이 가장 적게 배치되어 있는 2 번 선석쪽으로 이동했다. 수행시간은 약 4 초 정도 소요됐다.



<그림 6> <그림 5>의 결과에 2 번째 휴리스틱 교정 기법을 적용한 결과

## 6. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 최적 선석 및 크레인 일정계획 수립을 위해 제약만족기법과 휴리스틱 교정기법을 이용하는 방법을 제시했다.

대상문제가 제약조건 만족문제로 정형화되지 만 최적화요소 또한 가지고 있는 문제이기 때문에 먼저 제약조건 만족문제로 대상문제를 정형화했고 각 선박의 최적 접안위치를 찾아서 그 접안위치를 먼저 탐색하는 기법을 사용했다. 또한 선박의 접안 우선순위를 고려하기 위해 최우선순위 선박부터 탐색하는 기법을 사용했다. 그리고 휴리스틱 교정기법을 사용해서 문제가 있는 선박들을 교정했다. 실제 부산 신선대 컨테이너 터미널의 선석계획자료로 실험한 결과 다양한 제약조건을 모두 만족하면서 최적화요소가 고려된 결과를 신속히 도출할 수 있었다.

향후 연구과제로서 현재 알고리즘의 결과에 대해서 현장 전문가의 검증이 필요하며 좀 더 규모가 큰 문제에 적용해서 알고리즘의 안정성 및 결과의 타당성을 검증해야 한다. 그리고 크레인 일정계획이 제약조건은 전부 만족하지만 전문가가 만족할 만한 수준이 되지 못하기 때문에 이 부분에 관한 연구가 더 필요하다.

## 참고 문헌

- [1] 금중수, "컨테이너 터미널의 선석배정계획에 관한 연구(A Berth Assignment Planning for a Container Terminal)", 한국해양대학교 박사학위 논문, 1997
- [2] 김홍배, 양성민, 송경동, 이해경, "유전자 알고리즘을 이용한 Container Crane 스케줄링에 관한 연구", 대한산업공학회/한국경영과학회 '98 춘계공동학술대회 논문집, 1998
- [3] 윤철영, 문성혁, "컨테이너터미널 사용자 비용을 최소화 하는 선석과 크레인의 최적구성에 관한 연구", 한국항만학회지, 제 9 권 제 2 호, pp.39 - 49, 1995

[4] 이홍걸, 이철영, “발견적 알고리즘에 의한 컨테이너 터미널의 선석배정에 관한 연구”, *한국항공학회지*, 제 9 권 제 2 호, pp.1 - 8, 1995

[5] Edward Tsang, “Foundations of Constraint Satisfaction”, *Academic Press Limited*, 1996

[6] Edward Tsang, Christos Voudouris, “Constraint Satisfaction in Discrete Optimization”, *UNICOM Seminar*, 1998

[7] Fred Glover, Manuel Laguna, “Tabu Search”, *Kluwer Academic Publishers*, 1997

[8] Stuart Russell, Peter Norvig, “Artificial Intelligence A Modern Approach”, *Prentice Hall*, 1995