工學碩士 學位論文

선석할당 계획문제의 최적화에 관한 연구

A Study on the Optimization of Berth Planning Problem

指導敎授　金　是　和

2000年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海事輸送科學科

金　大　相

本 論文을 金大相의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

主審　　朴 鎭 洙　　印

副審　　文 成 赫　　印

副審　　金 是 和　　印

2000年 2月

韓國海洋大學校 大學院

海事輸送科學科

金　大　相

目　次

A Study on the Optimization of Berth Planning Problem

Dae－Sang Kim

Department of Maritime Transportation Science
Graduate School of Korea Maritime University

[Abstract]

This paper treats the berth planning problem which is encountered at public container terminals. The main issue of the berth planning problem is to decide how to allocate the berths to scheduled calling containers of which the ETA's are given beforehand.

The author, at first, made a literature survey concerning the subject and summarized it to make clear the scope of the problem. Then, the optimization models for tackling the berth planning problem are proposed in the formulation of set problems. Some heuristic algorithms for generating the decision variables of the models are also devised by using the concept of the ship's waiting time and the modified berth occupancy rate.

Computational experiments based on the data arisings from the real public container terminal(BCTOC) are also carried out and the results are reported to show that the proposed optimization models and the heuristic for generating the decision variables are applicable and useful for the berth planning problem at public container terminals.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

선석할당 계획문제란, 항만에서 발생하는 계획문제 중의 하나로 특정한 접안조건이 주어진 선석에 접안시킬 수 있는 선박을 결정하는 것이다. 여기서 접안 조건은 선석과 선박의 데이터로 주어지는데, 선석의 개수와 길이, 계획기간과 선박의 척수와 길이, 선박도착예정시각(ETA), 접안시간, 화물의 종류 등을 의미한다.

표1.1 우리 나라 항만시설의 과부족 추이 (단위 : 백만 톤/년)

구 분		1976	1981	1986	1992	1993	1994	1995	연평균 증가율
총물동량		83	149	228	455	507	587	660	11.5%
시설소요량		48	102	158	285	322	384	403	11.8%
시설능력		34	87	118	248	258	269	276	11.6%
과부족		∇14	∇15	∇40	∇37	∇64	∇119	∇127	12.3%
시설확보율(%)		71	85	75	87	80	70	68	
구 분		1976	1981	1986	1992	1993	1994	1995	연평균 증가율
컨테이너	시설소요량	383	825	1,645	2,982	3,448	4,132	4,918	14.4%
	하역능력	610	970	1,510	2,420	2,420	2,420	2,420	7.5%
	과부족	△227	△145	△135	∇562	∇1,028	∇1,712	∇2,498	17.8%
	시설확보율(%)	122	118	91.8	81.1	70.2	58.6	49.2	

자료 : 이철영, 「항만물류시스템」, 효성출판사, 1998.
주 1) 시설소요량 : 총화물량에서 유류를 제외한 물동량
2) △ : 초과, ▽ : 부족

우리 나라 항만에 입·출항하는 선박은 매년 증가하고 있으나, 이러한 증가에 따른 항로, 묘박지, 안벽 등의 항만기초시설의 부족은 <표1.1>와 같이 심각한 상태에 이르고 있다. 이러한 만성적인 항만시설의 부족은 대형 항만을 중심으로 극심한 체증현상을 유발하여 <표1.2> 와 같이 주요항만 체선 실태가 보고되고 있다.[1]

1) 이철영, 「항만물류시스템」, 효성출판사, 1998, pp.73-74.

표1.2 1995년 주요항만 체선 실태

구분	인천항	부산항	울산항	광양항
체선율	36.8	8.80	7.90	7.60
평균체선시간	55.4	41.0	51.0	37.2
대기율(%)	47.6	12.3	9.00	11.9
평균대기시간	44.1	31.1	47.1	25.8

자료 : 이철영, 「항만물류시스템」, 효성출판사, 1998.

이러한 항만의 체선율을 감소시키기 위한 방법으로는 기존항만의 재개발 및 효율적인 운영계획수립과 신항만의 개발 등이 있을 것이나, 여기에서는 기존항만의 효율적인 운영계획수립이라는 관점에서 선석할당 계획문제를 다룬다.

이러한 관점에서 본 논문의 목적은 공공터미널을 대상으로 선석할당 계획문제의 최적화모형과 해법을 제시하고 이를 바탕으로 실제 문제에 적용함으로써, 터미널운영자의 의사결정을 보다 합리적으로 지원할 수 있음을 보여주는 것에 있다.

1.2 연구의 방법 및 논문의 구성

연구의 방법으로 먼저 문헌 조사연구의 방법을 통하여 선석할당 계획문제의 최적화를 다룬 선행 연구들의 최적화 분석 이론 및 최적화 모형의 발전과정, 최적화 모형의 해법에 관한 연구들을 살펴본다.

다음으로 선석할당 계획문제의 최적화를 위해 경영과학의 최적화 분석의 기법을 적용하여 최적화모형을 제시한다. 이렇게 제안된 최적화모형의 선행되어야 할 의사결정변수의 생성을 위한 발견적 알고리듬(Heuristic Algorithm)도 함께 제시한다. 그리고, 이 연구에서는 집합문제 유형의 해법에 가장 적절하다고 판단되는 LP 완화 기반의 LINDO 프로그램을 사용한다.

그리고 최적화 모형 기반의 의사결정 지원시스템을 구현하기 위한 분석과 설계의 개념을 설명하고, 실제 문제에 적용된 신선대컨테이너터

미널의 데이터로 기초 계산실험과 다양한 계산실험을 행하여 비교분석한다.

이러한 연구 방법에 따라 서술된 본 논문은 모두 6장으로 구성되었다. 제 1장 서론에 이어, 제 2장에서는 선석할당 계획문제에 대한 최적화 분석, 관련 최적화 모형의 해법 등에 관한 선행 연구들의 문헌 조사 연구를 통하여 살펴본다.

제 3장에서는 선석할당 계획문제의 최적화모형과 최적해를 구하기 위하여 선행되어야 할 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬을 제시한다.

제 4장에서는 제시한 모형을 의사결정 지원시스템으로의 개발에 관하여 설명하고, 제 5장에서는 실제 사용된 신선대컨테이너터미널의 데이터로 기초 계산실험과 다양한 계산실험의 결과를 비교분석한다.

마지막으로, 제 6장은 이 연구의 결론이다. 선석할당 계획문제의 최적화는 터미널의 특성에 따라 다르게 연구되어지나, 문제의 해결을 위한 최적화 분석의 적용연구 사례가 매우 적으므로 이 연구가 터미널운영 실무자들에게 작으나마 기여할 수 있기를 기대하는 언급으로 논문을 맺는다.

제 2 장 선행연구 개관

선석할당 계획문제와 관련된 선행연구는 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 터미널에서 발생하는 선석할당 계획문제의 최적화모형에 관한 연구이며, 둘째는 이들 최적화모형의 해법에 관한 연구이다. 여기에서는 이러한 두 가지 분야의 선행연구들을 분석하여 이를 선석할당 계획문제의 최적화 연구에 대한 기초 연구로 사용하고자 한다.

2.1 선석할당 계획문제의 최적화 선행연구

선석의 할당계획 문제의 최적화 모형에 관한 선행 연구들을 개관한 대표적인 것으로는 Imai와 Nishimura(1999)[2)]을 들 수 있다. 여기에서는 선석할당 계획문제에 대한 선행 연구들의 내용을 최적화 모형 중심으로 살펴보고, 각 연구들이 관심을 둔 문제의 성격과 연구의 내용을 시대적인 발전과정에 따라 구분하여 그 대표적인 의의를 서술하고자 한다.

2.1.1 Nagaiwa 등(1994)[3)]과 이(1996)[4)]의 모형

선석할당 계획문제의 최적화모형에 관한 초기 연구로는 Nagaiwa와 Imai(1994)가 제시한 선박의 도착순서를 고려하지 않고 무작위로 할당하는 Random 방식과, 선박의 도착순서로 할당하는 First In 방식, 그리고 이와 반대로 하역을 끝내고 출항하는 선박의 순서로 할당 First Out 방식 등이 있다. 이후 이(1996)는 공공 터미널에서의 선석할당 계획문제를 0-1 정수 계획모형으로 제시하여 해결하였는데, 모형의 목적함수는 선박의 총재항시간[5)]을 최소화시키는 형태이다. 이것은 선박과 공공 컨테이너

---

2) E. Nishimura, and A. Imai, "The Dynamic Berth Allocation Problem for Container Port", Journal of Transportation Research, forthcoming.

3) K. Nagaiwa, and A. Imai, "A Berth Assignment Planning for a Public Container Terminal", Journal of Navigation, Vol.90, 1994.

4) 이홍걸, 「발견적 알고리즘에 의한 컨테이너 터미널의 선석배정에 관한 연구」, 한국해양대학교석사학위논문, 1996, pp.341-342.

터미널 운영자의 상반된 입장을 MPS(Maximum Position Shift)[6] 개념으로 해결한 것이다. 이후 몇몇 연구에서는 이 정수 계획모형의 단점을 보완한 발견적 알고리듬(Heuristic Algorithm)을 제시하였다. 그러나 이들은 선석의 계획개시시각을 선박도착예정시각(ETA)보다 늦은 시각으로 가정하여, 제한적인 선석할당 계획문제의 모형을 제시하였다.[7]

2.1.2 Brown와 Lawphongpanich(1994)[8]의 모형

Brown와 Lawphongpanich(1994)는 해군터미널(Norfolk piers)에서의 선석할당 계획문제를 0-1 정수 계획모형으로 해결하였는데, 이것은 특수한 목적을 가지는 터미널에 적용되는 모형이다. 이때, 제시한 모형의 목적함수는 선석에 선박이 할당되어 발생한 이익(benefit)을 최대화시키는 형태이다. 또한, 그들은 이미 할당된 선박도 새로이 할당되는 선박으로 인해 이동이 가능하다 가정하고, 터미널과 선박의 특수한 제약조건으로 해를 구하여 제시하였다.

2.1.3 Lim(1998)[9]의 발견적 알고리듬(Heuristic Algorithm)

Lim(1998)는 선석할당 계획문제를 시간(X축)과 길이(Y축)의 2차원 그래프에 직사각형 형태의 선박이 할당되는 모습으로 표현하였으며, 문제의 특성상 NP-hard Problem임을 제시하였다. 또한, 선석의 사용길이를 최소화시키면서, 선박의 척수를 최대화시켜 할당하는 발견적 알고리듬(Heuristic Algorithm)과 싱가포르 항만의 실제 데이터로 실험하여 얻

---

5) 총재항시간 = (선박의 접안시간+선박의 대기시간)을 의미함.
6) MPS(Maximum Position Shift): 순서변동폭으로써 선박과 선석의 입장을 반영하기 위하여 도입한 개념임.
7) 선박의 ETA $\leq$ 선석의 계획개시시각(선석의 접안개시시각)으로 가정하여 선석할당계획문제를 해결함.
8) G.G. Brown, S. Lawphongpanich and K.P. Thurman, “Optimizing ship berthing”, Naval Research Logistic, Vol.41, 1994, pp.1-15.
9) A. Lim, “The berth planning problem”, Operations Research Letters, Vol.22, 1998, pp.105-110.

은 결과를 보고하였다. 이 발견적 알고리듬은 선석의 길이 제약조건을 고려하지 않고, 선석에 대한 선박의 사용길이가 길고 정박시간이 짧은 선박을 우선 위치 할당되는 형태로 다음과 같다.

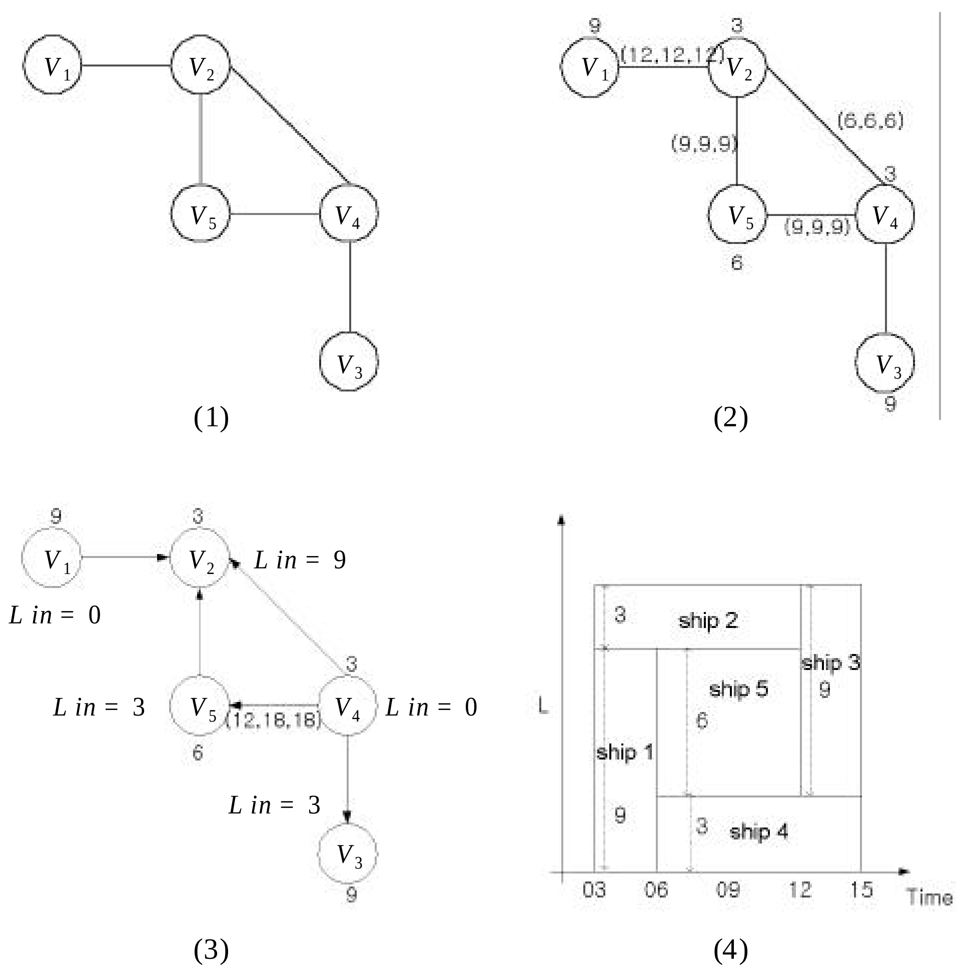


그림2.1 Lim (1998)의 선석 할당계획모습

<그림 2.1>은 Lim (1998)의 선석 할당계획 모습을 단계별로 나타낸 것이다. (1)의 모습은 선석 할당계획 수립의 초기단계로 선박의 입항시각과 접안시간의 시간적 데이터로 선석을 사용하는데, 서로 중복되거나

영향을 받는 선박들을 마디와 선으로 연결한 모습이다. (2)의 모습은 Lim(1998)의 알고리듬으로 선박들의 수치 값을 계산한 것이다. 이때, 각 마디 위의 수치는 각 선박의 길이를 나타내며, 연결된 선 위의 수치는 $(\beta_{ij}, \beta_{ji}, \Phi(e_{ij}))$ 값으로 다음과 같다. 이때, 초기 $weight(e_{ij})$는 선박간 간격으로 0이라 가정하였고, $LongestIn, LongestOut$는 각 마디와 연결된 마디들의 수치 값을 나타낸 것이다.

$$\beta_{ij} = LongestIn(V_i) + weight(V_i) + weight(e_{ij}) + weight(V_j) + LongestOut(V_j)$$

$$\beta_{ji} = LongestIn(V_j) + weight(V_j) + weight(e_{ij}) + weight(V_i) + LongestOut(V_i)$$

$$\Phi(e_{ij}) = \text{Max}\ [\beta_{ij}, \beta_{ji}]$$

(3)의 모습은 제시한 발견적 알고리듬으로 방향성이 없는 연결선들을 차례대로 방향성을 가지도록 하여 완성된 최종 모습이다. 여기서 연결선의 방향성이 선박을 선석에 할당하는데, 할당순서와 할당위치를 의미하는 것이다. 예를 들어, 마디1과 2의 $(\beta_{ij}, \beta_{ji}, \Phi(e_{ij}))$ 값은 초기 수치로 (12,12,12)가 되어 마디4와 3의 $(\beta_{ij}, \beta_{ji}, \Phi(e_{ij}))$ 값과 같다. 이때 제시한 알고리듬에서는 $\Phi(e_{ij})$값이 제일 큰 값을 선택한다. 그러나 이때에도 동일한 값을 가지는 경우, 접안시간이 짧은 것을 선택한다. 따라서 마디1과 2를 선택하여 방향성을 정한다. 여기서 방향성은 β_{ij}, β_{ji}를 비교하여 큰 값을 가지는 것을 선택하여 연결해야 하는데, 동일한 값을 가지므로 이때 접안시간이 짧은 선박을 우선하여 방향성을 정한다. 따라서 마디1에서 2로 방향성이 정해진다. 처음 선택한 마디1과 2의 방향성이 정해지면, 선택한 마디들과 연결된 마디들의 $(\beta_{ij}, \beta_{ji}, \Phi(e_{ij}))$ 수치 값을 재 계산하여 방향성이 정해지지 않는 마디들간에서 $\Phi(e_{ij})$값이 큰 값을 선택하여 마디간의 방향성을 정한다. 이러한 방식으로 방향성이 없는 선들이 연결된 초기의 모습에서 시작하여 모든 연결된 선의 방향이 정해진 최종 완성된 모습이 (4)의 모습이다. 결국 이러한 방향은 선박을 위치 할당하는데 사용된다.

이와 같이 Lim, A.(1998)의 발견적 알고리듬(Heuristic Algorithm)은 선석의 사용길이를 무한정으로 늘릴 수 있다고 가정하고, 선석할당 계획문제를 해결하여 할당 순서와 위치를 정하는 것이다. 또한, 선석할당 계획문제를 해결하는데, 사용되는 효율적인 선석 길이를 제시하였다.

2.1.4 Imai와 Nishimura(1999)의 모형

Imai와 Nishimura(1999)는 선석할당 계획문제의 최적화모형을 두 가지 형태로 정식화시켜 제시하였는데, 하나는 선석의 계획개시시각이 선박도착예정시각(ETA)보다 늦은 형태의 정식화(Formulation of the static berth allocation)와 선석의 계획개시시각이 선박의 도착예정시각(ETA)보다 이른 형태[10]의 정식화(Formulation of the dynamic berth allocation)이다. 또한, 제시한 두 번째 정식화 모형을 라그랑쥬-완화 기법(Lagrangian relaxation method)으로 변환시켜 해결하였으며[11], 제시한 모형을 효율적으로 해결하기 위한 발견적 절차(Heuristic procedure)도 함께 제시하고 있다.

[Formulation of the static berth allocation]

Index

$i = (1, \ldots, I) \in B$: *set of berths*

$j = (1, \ldots, T) \in V$: *set of ships*

$k = (1, \ldots, T) \in O$: *set of service orders*

Data

S_i = *time when berth i becomes idle* for *the berth allocation planning*

A_j = *arrival time of ship j*

C_{ij} = *handling time spent by ship j at berth i*

Decision variable

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{if } ship\ j\ is\ serviced\ as\ the\ kth\ ship\ at\ berth\ i, \\ 0, & otherwise. \end{cases}$$

Formulation

10) 선박의 ETA ≥ 선석의 계획개시시각(선석의 접안개시시각)으로 가정하여 선석할당 계획문제를 해결함.

11) 이전 모형의 복잡한 제약 조건들을 완화시켜 목적함수로 올려버려 문제를 변화시켜 해결하는 라그랑쥬 완화기법을 사용함.

$$\text{Min} \sum_{i\in B}\sum_{j\in V}\sum_{k\in O}\{(T-k+1)C_{ij}+S_i-A_j\}x_{ijk}$$

SUBJECT TO

$$\sum_{i\in B}\sum_{k\in O}x_{ijk} = 1, \quad \forall j\in V$$

$$\sum_{j\in V}x_{ijk} \le 1, \quad \forall\ i\in B,\ k\in 0$$

$$x_{ijk} \in \{0,\ 1\} \quad \forall\ i\in B,\ j\in V,\ k\in 0$$

이것은 공공터미널에서의 선석할당 계획문제를 0-1 **정수 계획모형으로 표현한 것으로 목적함수는 선박의 총재항시간을 최소화시키는 형태이다**.

[Formulation of the dynamic berth allocation]

Index

$i = (1, \ldots, I) \in B$: *set of berths*

$j = (1, \ldots, T) \in V$: *set of ships*

$k = (1, \ldots, T) \in O$: *set of service orders*

Data

S_i = *time when berth i becomes idle* for *the berth allocation planning*

A_j = *arrival time of ship j*

C_{ij} = *handling time spent by ship j at berth i*

P_k = *set of* 0 *such that* $P_k = \{p \mid p<k\in 0\}$

y_{ijk} = *idle time of berth i between the departure of the k*- 1*th ship* and *the arrival of the kth ship when ship j is serviced as the kth ship*

Decision variable

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{if } \textit{ship j is serviced as the kth ship at berth i}, \\ 0, & \textit{otherwise}. \end{cases}$$

Formulation

Min

$$\sum_{i\in B}\sum_{j\in V}\sum_{k\in O}\{(T-k+1)C_{ij}+S_i-A_j\}x_{ijk}+\sum_{i\in B}\sum_{j\in V}\sum_{k\in O}(T-k+1)y_{ijk}$$

SUBJECT TO

$$\sum_{j\in V}x_{ijk}\le 1,\qquad \forall\ i\in B,\ k\in 0$$

$$\sum_{i\in B}\sum_{k\in O}x_{ijk}=1,\qquad \forall\ j\in V$$

$$\sum_{j\in V}\sum_{m\in P_k}(C_{ij}x_{ijm}+y_{ijk})-(A_j-S_i)x_{ijk}\ge 0\qquad \forall\ i\in B,\ j\in W_i\ k\in 0$$

$$x_{ijk}\in\{0,1\}\qquad \forall\ i\in B,\ j\in V,\ k\in 0$$

$$y_{ijk}\ge 0\qquad \forall\ i\in B,\ j\in V,\ k\in 0$$

이들은 이러한 방법으로 이전 모형들의 제약성을 수정 보완하여 선석할당 계획문제를 해결하였으며, 제시한 모형을 다시 라그랑쥬-완화기법으로 변환시켜 해를 구하는 절차도 함께 제시하였다.

2.2 집합 문제의 해법에 관한 선행연구

본 논문에서의 선석할당 계획문제 최적화모형은 부정기선 해운의 해사수송문제와 유사한 집합 문제 모형을 취하고 있다. 정수계획 최적화모형 중에서 집합 패킹(Set Packing) 문제, 집합 분할(Set Partitioning) 문제, 그리고 집합 포함(Set Covering) 문제 등 이른바 집합 문제들(Set problems)은 문제 구조가 서로 비슷하고 그 응용범위가 매우 넓다. 그 대표적인 응용분야는 Balas(1976)가 언급한대로 유조선 라우팅(tanker rounting), 선박운항일정계획(Ship scheduling), 트럭 배송(truck deliveries), 정보 추출(information retrieval), 스위칭 회로 설계(switching circuit design), 스톡 절단(stock cutting), 조립 라인 균형(assembly line balancing), 자본소요 장비의 선정(capital equipment decisions), 비상시설의 설치(location of emergency units), 행정구역의 분할(political districting)등 광범위한 영역에 걸쳐 있다.

이처럼 다양한 문제 영역에서 발생하는 집합패킹(SPK), 분할(SPT), 포함문제(SC)는 다음과 같이 정의할 수 있다.

(SPK) $Max \{ cx \mid Ax \le e, \quad x \in [0, 1] \}$

(SPT) $Min \{ cx \mid Ax = e, \quad x \in [0, 1] \}$

(SPK) $Min \{ cx \mid Ax \ge e, \quad x \in [0, 1] \}$

이때, 행렬 A는 $m \times n$ 0-1 행렬이고, e는 m개의 1을 갖는 $m \times 1$ 열 벡터이며 e포함이전 설명과 같이 집합패킹문제로 정식화된 0-1 정수계획 모형이다. 의미적으로 집합 패킹(분할, 포함) 문제는 어떤 행렬A 의 각 열 j가 가중치 C_j를 가질 때, 행렬 A의 각 행을 많아야(정확히, 적어도) 하나를 포함하는 행렬 A의 열의 부분 집합 M을 그 열의 가중치의 합이 최대(최소)가 되도록 선택하는 문제이다. 집합 패킹, 분할, 포함 문제들을 자세히 살펴보면, (SPK)과 (SPT)의 제약식은 많은 0-1변수들 중에 많아야 하나, 또는 정확히 하나만 1이어야 한다는 “tight”한 제약이지만, (SC)의 제약식은 많은 0-1변수들 중에 적어도 하

나는 1이어야 한다는 “loose”한 제약이다. 이러한 문제구조의 성질 때문에 (SPK)와 (SPT)의 관계는 그들과 (SC)와의 관계에 비하여 훨씬 더 근족의 관계이다. 이러한 집합 문제 유형의 해법으로는 열거해법, LP-완화 기반의 해법, 라그랑쥬 완화 기반의 해법, 네트워크 완화 기반의 해법, Genetic Algorithm 및 기타해법이 있다.

대형의 집합 문제에 대한 LP-완화 기반의 해법의 가장 큰 문제점은 높은 퇴화해로 인한 계산상의 병목이었다. 그러나 일단 LP-완화 문제의 해가 구해지면 그 해가 곧 정수 최적해이거나, 아니면 분단 탐색법, 절단평면 해법 등을 이용하여 추가적인 노력을 적게 들이고도 쉽게 집합 문제를 풀 수 있도록 충분히 “tight”한 “bound”를 제공한다는 장점이 있다. 또한 최근의 LP 전산코드의 진보는 퇴화문제로 인한 계산병목의 어려움을 극복하게 하였으며, 상대적으로 빠른 시간 내에 대형의 집합 문제에 대한 LP-완화 문제들을 풀 수 있게 되었다.[12)]

따라서 선석할당 계획문제의 최적화모형의 해법으로는 LP-완화 기반의 해법을 적용한 상용프로그램인 LINDO를 사용하여 최적해를 구하도록 한다.

---

12) Si-Hwa, Kim, Optimization-based Decision Support System for Some Maritime Transportation Problems, Ph. D. Thesis, Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University, 1999, pp.21-34.

제 3 장 선석할당 계획문제의 최적화

현재 공공 컨테이너터미널에서의 선석할당 계획문제는 일정한 기준을 토대로 이루어지는 것이 아니라, 정기적인 선석 회의로 선사들의 요구를 절충하여 선석 할당계획을 수립하고 있다. 이 장에서는 이러한 공공 컨테이너터미널에서의 선석할당 계획문제를 집합문제 유형의 최적화 모형으로 정식화하여 제시한다. 또한, 제안된 최적화모형의 해결을 위해 필요한 선석 할당 가능한 스케줄생성 알고리듬도 함께 제시한다. 이때 사용된 모형의 기호와 가정은 다음과 같다.

[가정]

1. 터미널운영자란, 선석할당 계획문제를 최적화시켜 효율적으로 선석할당 계획을 수립하는 자로 가정함.

2. 선석 점유율(Berth Occupancy Rate, BOR)[13] :
   기존의 사용되는 $BOR = \frac{\text{총접안시간}}{\text{선석수} \times \text{평균작업시간} \times \text{평균작업일수}}$를 선석 계획기간 중 선석 i가 선박에 의해 점유되는 시간이차지하는 비율(%) 즉, $BOR = \frac{\text{총접안시간}}{\text{선석계획기간}(\text{선석계획일수} \times 24)} \times 100$로 정하여 각 선석에 대하여 계산할 수 있도록 가정함.

3. 선박 대기시간이 차지하는 비율이란, 할당된 선박들의 총재항시간 동안 발생하는 선박 대기시간을 비율로 계산한 값으로 정의(%) 즉,
   $\text{선박 대기시간이 차지하는 비율} = \frac{\text{선박대기시간}}{\text{선박의총재항시간}} \times 100$로 가정함.

4. 접안조건
   ① 모든 선석과 선박의 데이터는 선석 할당계획 수립이전에 예고됨.
   ② 하나의 선석에 하나의 선박을 할당할 수 있음.

---

13) BOR : 선석 접안율 또는 선석 가동률이라고 함.

③ 선석에 선박을 접안 시 고려되는 길이 요소인 선박간 간격, 선석과 선박의 간격 등은 고려하지 않음.

5. 대상선박은 공공 컨테이너터미널에 입항하는 컨테이너 선박임.

[기호]

i : 1, 2, ... N (선석), k : 1, 2, 3 ... n (선박).

$j \in J_i$: 선석 i에 대한 가능한 스케줄의 집합.

S_i: 선석 i의 계획개시시각(시간),

B_i: 선석 i의 할당계획기간(시간),

D : 각 선박의 대기허용시간.

C_{ik} : 선석 i에 할당된 선박 k의 접안시간.

W_{ik} : 선석 i에 할당된 선박 k의 대기시간.

S_{ik} : 선석 i에 할당된 선박 k의 총재항시간(접안시간+대기시간).

m : 1, 2, 3 ... n (선석에 할당되는 선박의 척수).

3.1 집합문제 유형의 최적화모형

공공 컨테이너터미널에서의 선석할당 계획문제는 선석과 선박의 입장을 효율적으로 절충하여 해결하여야 하는데, 먼저 선석의 입장에서는 선석의 점유율을 가능한 최소화시켜 미래에 발생하는 선석할당 계획문제와 만일에 발생하는 선석할당 문제에 예비할 수 있기를 원할 것이다. 다음으로 선박의 입장에서는 대기시간이 발생하지 않고 입항 순서대로 선석에 할당되기를 원할 것이다. 이러한 입장을 효율적으로 절충하여 해결하기 위하여 김(1999)[14)]의 부정기선 해운의 해사수송 문제와 유사한 다음의 세 가지 집합문제 유형의 최적화모형으로 제시한다.

첫 번째 최적화모형은 선석의 입장에서 선석의 점유율을 최소화시키면서, 선박이 할당되도록 하는 모형이며, 두 번째 최적화모형은 선박의 입장에서 선박의 대기시간이 차지하는 비율의 총합을 최소화시키면서, 할당되도록 하는 모형이다. 마지막으로 세 번째 최적화모형은 이러한 두 가지 입장을 반영하여 선석의 점유율과 선박의 대기시간이 차지하는 비율의 총합을 최소화시키면서, 선박이 할당되도록 하는 모형이다.

여기에서는 이러한 세 가지 최적화모형들로 터미널운영자가 모형의 최적해를 구하여 효율적으로 선석의 할당계획을 수립하도록 제시한다.

---

14) Si-Hwa, Kim, Optimization-based Decision Support System for Some Maritime Transportation Problems, Ph. D. Thesis, Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University, 1999, pp.39-51.

[Set-Problem Model-1]

[Index]

i = 1, 2, ... N 선석

k = 1, 2, ... n 선박

$j \in J_i$: 선석 i에 대한 가능한 스케줄의 집합

[Data]

p_{ik} = 선석 할당계획기간 중 선석 i에 할당된 선박 k의 접안시간이 차지하는 비율(%) 즉, 선석 점유율.

$$q_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{만약, 선석 } i\text{에 선박 } k\text{가 할당되는 스케줄 } j\text{가 선택될 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$$

[Decision variable]

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{만약, 선석 } i\text{에 스케줄 } j\text{가 선택될 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$$

[Formulation]

$$\text{Min} \sum_i \sum_{j = J_i} \sum_k q_{ijk}\, p_{ik}\, X_{ij}$$

SUBJECT TO

2) $\sum_{j \in J_i} X_{ij} \le 1$ 각 선석 i에 대하여

3) $\sum_i \sum_{j \in J_i} q_{ijk} X_{ij} = 1$ 각 선박 k에 대하여

$X_{ij} = \{0, 1\}$, $j \in J_i$ 각 선석 i에 대하여

이 [SPM-1] 모형은 선석 할당계획 기간동안 할당되어 발생하는 선석 점유율을 최소화시키면서, 선박이 할당되도록 표현한 모형이다. 여기서 설명한 선석 점유율은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\sum_k p_{ik} = \frac{\sum_k C_{ik}}{B_i} \times 100 \text{ 이다.}$$

이것은 선석의 입장에서 점유율을 최소화시키면서, 선박이 할당되도록 나타낸 것으로 선박의 입장보다는 선석의 입장을 반영한 형태이다. 이때 터미널운영자는 전체적으로 선석 점유율이 최소화되어 미래에 발생하는 선석할당 계획문제와 만일에 발생하는 선석할당 계획문제에 예비할 수 있게 된다.

이 [SPM-1] 모형의 첫 번째 제약식은 선석의 계획기간 동안에 각 선석은 선택되지 않거나, 많아야 하나의 스케줄에 선택되어야함을 나타내며, 두 번째 제약식은 선석의 계획기간 동안에 각 선박은 반드시 선석에 할당되어야한다는 조건을 나타낸 것이다. 이것은 모든 선박을 할당하지 않으므로 목적함수의 최소 값인 0을 나타내는 최소화 모형의 제약성을 극복하기 위한 것이다.

[Set-Problem Model-2]

[Index]

$i = 1, 2, \ldots N$ 선석

$k = 1, 2, \ldots n$ 선박

$j \in J_i$: 선석 i에 대한 가능한 스케줄의 집합

[Data]

h_{ik} = 선석 할당계획 기간 중 선석 i에 할당된 선박 k의 대기시간이 차지하는 비율(%)

[Decision variable]

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{만약, 선석 } i\text{에 스케줄 } j\text{가 선택될 경우,} \\ 0, & \text{그렇지 않을 경우.} \end{cases}$$

[Formulation]

$$\text{Min} \quad \sum_i \sum_{j = J_i} \sum_k h_{ik} X_{ij}$$

SUBJECT TO

2) $\sum_{j \in J_i} X_{ij} \le 1$ 각 선석 i에 대하여

3) $\sum_i \sum_{j \in J_i} q_{ijk} X_{ij} = 1$ 각 선박 k에 대하여

$X_{ij} = \{0, 1\}, \; j \in J_i$ 각 선석 i에 대하여

이 [SPM-2] 모형은 선석의 계획기간동안 선박이 할당되어 발생하는 선박의 대기시간이 차지하는 비율의 총합을 최소화시키면서, 선박이 할당되도록 표현한 모형이다. 여기서 선박의 대기시간이 차지하는 비율이란, 대기시간이 발생하는 선박의 총재항시간 중에 할당되어 발생하는 대기시간이 차지하는 비율 값이다. 이것을 나타내면 다음과 같다.

$$\sum_{k} h_{ik} = \sum_{k} \frac{W_{ik}}{S_{ik}} \times 100 \text{ 이다.}$$

이 모형의 제약식은 이전 [SPM-1] 모형과 동일한데, 첫 번째 제약식은 선석의 계획기간동안에 각 선석은 많아야 하나의 스케줄에 선택되어야함을 나타내며, 두 번째 제약식은 선석의 계획기간동안에 각 선박은 반드시 하나씩 선석에 할당되어야 한다는 조건을 나타낸 것이다. 이것도 최소화 모형의 일종이므로 선박을 반드시 선석에 할당되도록 표현한 것이다.

그러나 [SPM-2] 모형은 선석의 스케줄 중에서 선박의 대기시간이 발생하는 경우들을 비교 선택하는 것으로, 실제 터미널의 접안조건이 대부분 만족되어 선박의 대기시간이 발생하지 않는 경우에는 사용이 부적합하다. 따라서 다음과 같이 모형을 보완하여 제시한다.

[Set-Problem Model-3]

[Index]

i = 1, 2, ... N 선석

k = 1, 2, ... n 선박

$j \in J_i$: 선석 i에 대한 가능한 스케줄의 집합

[Data]

α = 가중치

p_{ik} = 선석 할당계획기간 중 선석 i에 할당된 선박 k의 접안시간이 차지하는 비율(%) 즉, 선석 점유율.

h_{ik} = 선석 할당계획 기간 중 선석 i에 할당된 선박 k의 대기시간이 차지하는 비율(%)

q_{ijk} = { 1, 만약, 선석 i에 선박 k가 할당되는 스케줄 j가 선택될 경우, 0, 그렇지 않을 경우.

[Decision variable]

X_{ij} = { 1, 만약, 선석 i에 스케줄 j가 선택될 경우, 0, 그렇지 않을 경우.

[Formulation]

$$\text{Min} \sum_i \sum_{j=J_i} \sum_k \alpha\,(q_{ijk}\, p_{ik})\, X_{ij} + \sum_i \sum_{j=J_i} \sum_k (1-\alpha)\, h_{ik}\, X_{ij}$$

SUBJECT TO

2) $\sum_{j \in J_i} X_{ij} \le 1$ 각 선석 i에 대하여

3) $\sum_i \sum_{j \in J_i} q_{ijk}\, X_{ij} = 1$ 각 선박 k에 대하여

$X_{ij} = \{0, 1\},\ j \in J_i$ 각 선석 i에 대하여

이 [SPM-3] 모형은 선석 할당계획기간 동안 선박이 할당되어 발생하는 선석 점유율과 선박 대기시간이 차지하는 비율의 총합을 최소화시키면서, 선박이 할당되도록 하는 모형이다.

목적함수의 상수 α는 각 식의 가중치가 되며, p_{ik} , h_{ik}는 다음과 같다.

$$\sum_k p_{ik} = \frac{\sum_k C_{ik}}{B_i} \times 100, \quad \sum_k h_{ik} = \sum_k \frac{W_{ik}}{S_{ik}} \times 100$$

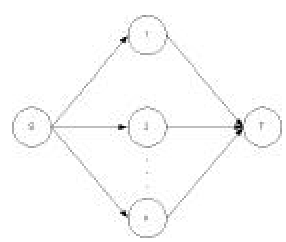
[SPM-3] 모형의 목적함수는 가중치를 제외하고는 첫째 항은 이전 [SPM-1] 모형에서와 동일하게 선석의 점유율을 최소화시키도록 표현한 것이며, 둘째 항은 이전 [SPM-2] 모형에서와 동일하게 선박의 대기시간이 차지하는 비율을 최소화시키도록 표현한 것이다.

그리고 첫 번째 제약식은 선석의 계획기간 동안에 각 선석은 많아야 하나의 스케줄에 선택됨을 나타내며, 두 번째 제약식은 선석의 계획기간 동안에 각 선박은 반드시 하나씩 선석에 할당되어야한다는 조건을 나타낸 것이다. 이것은 선석과 선박의 입장을 가중치로 반영하여 적절한 의사결정을 할 수 있도록 표현한 것이다.

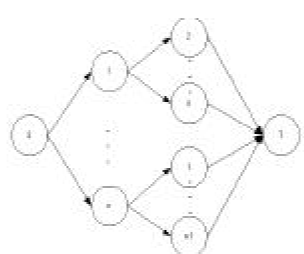
3.2 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬

전 절에서 우리는 공공 컨테이너터미널에서의 선석할당 계획문제를 일반화하여 적용할 수 있도록 선석의 점유율을 최소화시키면서, 선박이 할당되도록 하는 [SPM-1] 모형과 선박의 대기시간이 차지하는 비율을 최소화시키면서, 선박이 할당되도록 하는 [SPM-2] 모형을 제시하였다. 그리고 이러한 선석의 점유율과 선박의 대기시간이 차지하는 비율을 가중치로 최소화시키면서, 선박이 할당되도록 하는 [SPM-3] 모형을 제시하였다.

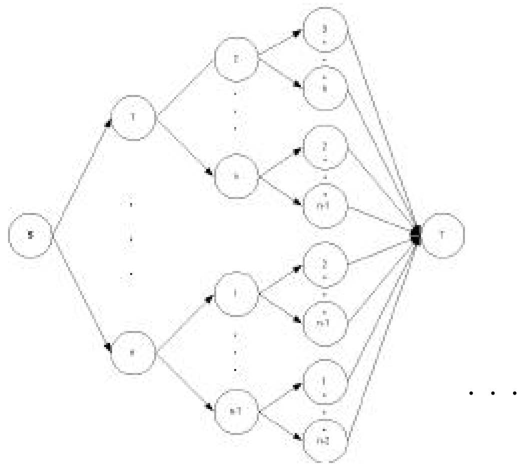
이들 세 가지 모형에서 사용되는 의사결정 변수는 김(1999)의 임의의 선박의 모든 운항가능일정과 유사한 선석의 모든 가능한 스케줄이 된다. 따라서 선행되어야 하는 문제가 바로 최적화모형의 의사결정변수 곧, 선석의 모든 할당 가능한 스케줄을 생성하는 일이다. 그러나 선석할당 계획문제에 있어서는 각 선박의 대기시간을 고려해야 하므로, 김(1999)의 선박에 대한 운항가능일정 생성 그래프와는 다르게 다음과 같이 다단계 그래프로 표현된다.



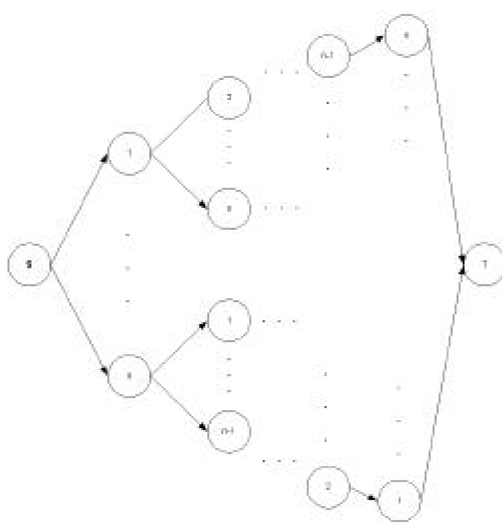
$m = 1$경우



$m = 2$ 경우



m = 3 **경우**



m = n **경우**

그림 3.1 i **선석에** m = 1 ~ n **경우의 스케줄생성 모습**

<그림 3.1>는 $m = 1 \cdots 3$ 경우의 스케줄이 생성되는 모습을 단계별 그래프로 나타내었다. 여기서 m은 선석에 할당되는 선박의 척수를 나타낸 것이다. 각 그래프의 마디들의 집합 N_i는 i 선석의 초기 투입을 위한 대기상태를 의미하는 시작마디 s, i 선석에 할당이 가능한 선박을 의미하는 선박마디 집합 C, 그리고 i 선석의 계획기간 중 임무완료를 의미하는 종료마디 t로 이루어진다. 임의의 선박마디 $c_k \in C$는 각 선박의 도착시각, 대기시간에 관하여 오름차순으로 정렬한 것이다. 가지들의 집합 A_i 중 시작마디 s와 모든 선박마디 집합 C와 연결되어 있는 방향성 가지 (s, C)는 i 선석이 임의의 선박을 그 스케줄의 첫 번째 선박을 할당할 경우, 초기시간에서 그 선박을 할당하기까지 선석의 대기시간을 의미한다. 또, 모든 선박 마디 집합 C와 종료마디 t가 연결되어 있는 방향성 가지 (C, t)는 i 선석이 해당 선박을 그 스케줄의 마지막 선박으로 할당한 뒤 다른 선박을 재 할당하지 않음을 의미한다. 그리고 선박마디들 간에 연결되어 있는 가지들은 i 선석이 임의의 선박을 할당한 후에 또 다른 선박의 할당을 위해 재 할당될 수 있을 때 정의된다. 이 때 선박마디들 간의 가지의 방향은 선박의 도착시각과 출항시각에 의해 결정된다. 선석할당 가능스케줄 생성 그래프의 시작마디에서 종료마디에 이르는 모든 가능한 경로는 선석 i의 할당가능 스케줄이 된다.

이때 모든 그래프의 연결되는 선이 선석의 할당 가능한 스케줄이 되므로, 선박 n이 증가할수록 스케줄의 개수는 기하급수적으로 늘어나 $n!$이 됨을 알 수 있다. 따라서 선석할당 계획문제가 NP-Complete 문제임을 알 수 있다.

여기에서는 이러한 NP-Complete 문제인 선석할당 계획문제에 있어서 선행되어야 하는 스케줄생성을 위하여 여기에서는 다음과 같은 두 가지 알고리즘을 사용하였다.

3.2.1 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬-1

이것은 이전 절에서의 단계별 그래프 내에 각 선박의 대기시간을 제한조건으로 마디를 감소시켜 결과적으로 스케줄의 개수를 감소시키는 알고리듬이다. 즉, 각 선박의 대기허용시간 조건을 만족하지 않는 그래프의 마디를 삭제시켜 스케줄의 개수를 감소시키는 알고리듬이다.

이러한 알고리듬을 최종 사용자와의 의사소통 목적에 주로 사용되는 구조적 문언(structured sentence)으로 작성하면 다음과 같다.

[Heuristic Algorithm]

단계 1. [Sort]

선석과 선박의 데이터를 시간적으로 오름차순 정렬시킨다.

$i = \{1, 2, ...N\}$, $k = \{1, 2, ...n\}$

단계2. [Select] For each in i

선석의 데이터 중에서 i 값을 선택한다.

단계3. [Select] For each in k

선박 k를 $m = k$로 정하여 단계3-1로 간다.

단계3-1. [Do...Loop]

모든 선박의 데이터를 사용하여 $m = k$ 경우의 각 마디를 생성하여 스케줄생성 그래프를 만든다.

IF 마디를 생성하여 스케줄에 따른 선박의 대기시간이 일정한 각 선박의 대기허용시간을 초과

Then 마디 또는 그래프를 생성하지 않고 삭제한다.

단계4. Next k

단계5. **Next** i

단계6. **End**

위 알고리듬에서 단계1은 선석과 선박의 데이터를 정렬시키는 부분이며, 단계3-1은 모든 선박 데이터로 각 마디를 생성하여 스케줄생성 그래프를 각 $m = k$경우로 만드는 부분이다. 이때, 생성되는 각 마디로 발생하는 선박의 대기시간이 일정한 대기허용시간을 초과하면 해당 마디를 생성하지 않고 삭제시킨다. 이와 같이 스케줄생성 그래프를 $m = k$의 경우로 생성하여 임의 선석 할당 가능 스케줄을 생성할 수 있다.

이전 절에서 알 수 있듯이 선박의 척수가 증가할수록 그래프와 선박마디가 증가하고 결국에는 스케줄의 개수가 기하급수적으로 증가함을 알 수 있다. 따라서 이 알고리듬의 제한조건인 [IF...Then]이 중요함을 알 수 있다.

3.2.2 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬-2

이 절에서는 다음의 세 가지 Heuristic Algorithm로 할당계획을 수립하여 선석의 스케줄 개수를 $n!$에서 크게 감소시켜 생성하였다.

이것은 첫 번째로, 선석 할당계획기간 중에 선박이 할당되어 발생하는 선석의 평균 점유율을 계산하여 값이 가장 작은 선석에 FCFS(First Come First Start)방식[15)]으로 선박을 할당하는 알고리듬이다. 이와 같은 방법으로 선석에 할당 가능한 스케줄을 구할 수 있다. 이것을 이전 절에서와 같이 최종 사용자와의 의사소통 목적에 주로 사용되는 구조적 문언(structured sentence)으로 작성하면 다음과 같다.

[Heuristic Algorithm-1]

단계1. **[Sort]**

선석과 선박의 데이터를 시간적으로 오름차순 정렬시킨다.

$i = \{1, 2, ...N\}, k = \{1, 2, ...n\}$

단계2. **[Select] For each in** k

선박의 데이터 중에서 k 값을 선택하여 다음으로 간다.

단계3. **[Plan]**

선택한 선박 k를 모든 선석에 할당할 경우 발생하는 선석 점유율을 계산하여 최소 값의 선석에 선박 k를 할당한다.

IF 선석의 점유율이 동일

Then 계획가능시각이 빠른 선석에 선박 k를 할당한다.

단계4. **Next** k

단계5. **End**

15) FCFS 방식이란, 먼저 입항한 선박을 우선적으로 선석에 접안시키는 방식을 뜻함.

[Heuristic Algorithm-1]의 단계1은 선석과 선박의 데이터를 시간적으로 오름차순 정렬하는 부분이다. 그리고 단계2는 선박의 데이터 중에서 선택하는 부분이며 단계3은 모든 선석의 점유율을 계산하여 최소 값을 가지는 선석에 단계2에서 선택한 선박이 할당되도록 표현한 것이다. 이때 선석의 점유율이 동일한 경우, 선석을 계획개시시각의 오름차순으로 선택하도록 하였다. 모든 선박이 선석에 할당되었으면, 끝낸다.

이러한 절차로 수립한 하나의 할당계획으로 생성되는 선석의 스케줄 개수는 선석의 개수가 N이라고 가정하였을 때, N개가됨을 알 수 있었다. 따라서 알고리듬으로 생성된 최적화모형의 의사결정변수도 N개로 이전보다 크게 감소되었음을 알 수 있다.

두 번째로는 선석 할당계획기간 중에 선박이 할당되어 발생하는 선박의 대기시간이 차지하는 비율의 값이 가장 작은 선석에 FCFS(First Come First Start)방식으로 모든 선박을 할당하는 알고리듬이다. 이와 같은 방법으로 선석에 할당 가능한 스케줄을 구할 수 있다. 이것은 이전과 동일한 방법으로 나타내면, 다음과 같다.

[**Heuristic Algorithm-2**]

단계1. **[Sort]**

선석과 선박의 데이터를 시간적으로 오름차순 정렬시킨다.

$i = \{1, 2, ...N\}, k = \{1, 2, ...n\}$

단계2. **[Select] For** each in k

선박의 데이터 중에서 k 값을 선택하여 다음으로 간다.

단계3. **[Plan]**

선택한 선박 k를 모든 선석에 할당할 경우 발생하는 선박의 대기시간이 차지하는 비율을 계산하여 최소 값의 선석에 선박 k를 할당한다.

IF 선박의 대기시간이 차지하는 비율이 동일
Then 계획가능시각이 빠른 선석에 선박 k**를 할당한다.**

단계4. **Next** k

단계5. **End**

[Heuristic Algorithm-2]의 단계1은 선석과 선박의 데이터를 시간적으로 오름차순 정렬하는 부분이다. 그리고 단계2는 선박의 데이터 중에서 선택하는 부분이며, 단계3은 모든 선석에 선박을 할당할 경우, 발생하는 선박의 대기시간이 차지하는 비율을 계산하여 최소 값을 가지는 선석에 단계2에서 선택한 선박이 할당되도록 표현한 것이다. 이때 발생하는 선박의 대기시간이 차지하는 비율이 동일한 경우, 계획개시시각이 빠른 선석을 선택하여 해당 선박이 할당되도록 하였다. 모든 선박을 선석에 할당되었으면 끝낸다.

이러한 절차로 수립한 하나의 할당계획으로 생성되는 임의 선석의 스케줄의 개수는 선석의 개수가 N이라면 N개가된다. 따라서 알고리듬으로 생성된 최적화모형의 의사결정변수도 N개로 크게 감소되었음을 알 수 있다.

세 번째로는 선석의 할당계획기간 중에 선박이 할당되어 발생하는 선석의 점유율과 선박의 대기시간이 차지하는 비율의 값이 가장 작은 선석에 FCFS(First Come First Start) 방식으로 모든 선박을 할당하는 알고리듬이다. 이것을 이전과 동일한 방법으로 나타내면, 다음과 같다.

[Heuristic Algorithm-3]

단계1. **[Sort]**
선석과 선박의 데이터를 시간적으로 오름차순 정렬시킨다.
$i = \{1, 2, ...N\}$, $k = \{1, 2, ...n\}$

단계2. **[Select] For each in** i

선석의 데이터 중에서 i**에** $k=1$**의 선박을 할당한다.**

단계3. **[Select]** $k=2$

선박의 데이터 중에서 $k=2$**를 선택한다.**

단계4. **[Plan] For each in** k

선택한 선박 k**를 모든 선석에 할당할 경우 발생하는 선박의 대기시간이 차지하는 비율을 계산하여 최소 값의 선석에 선박** k**를 할당한다.**

IF 선박의 대기시간이 차지하는 비율이 동일

Then 선택한 선박 k**를 모든 선석에 할당할 경우, 발생하는 선석 점유율을 계산하여 최소 값을 가지는 선석에 선박** k**를 할당한다.**

IF 선석의 점유율이 동일

Then 계획가능시각이 빠른 선석에 선박 k**를 할당한다.**

단계5. **Next** k

단계6. **Next** i

단계7. **End**

[Heuristic Algorithm-3]**의 단계**1**은 선석과 선박의 데이터를 시간적으로 오름차순 정렬하는 부분이다. 그리고 단계**2**는 선석의 데이터 중에서 오름차순으로 선택하여** $k=1$**의 선박을 할당하는 부분이다. 단계**3**은 선석에 할당된 선박을 제외한 선박들을 선택하는 부분이며, 단계**4**는 모든 선석에 선택한 선박을 할당할 경우, 발생하는 선박의 대기시간이 차지하는 비율을 계산하여 최소 값을 가지는 선석에 선박이 할당되도록 표현한 것이다. 이때 발생하는 선박의 대기시간이 차지하는 비율이 동일한 경우, 선석의 점유율을 계산하여 최소 값을 가지는 선**

석에 선박이 할당되도록 하였다. 이때 이 값도 동일한 경우, 계획개시 시각이 빠른 선석을 선택하여 선박이 할당되도록 하였다. 마지막으로 모든 선박이 선석에 할당되었으면 끝낸다. 여기서는 우선 순위로 선박의 대기시간을 먼저 고려하였으며, 다음으로 선석의 점유율을 고려하였다. 또한, 이렇게 생성된 4개의 할당계획으로 모든 선석의 스케줄 개수는 선석 개수가 N이라고 가정하였을 때 N^2개로 표현된다. 따라서 알고리듬으로 생성된 최적화모형의 의사결정변수도 N^2개로 크게 감소되었음을 알 수 있다.

이러한 세 가지의 Heuristic Algorithm으로 생성된 스케줄의 개수는 총 $(2N + N^2)$개가된다. 따라서 최적화모형의 의사결정변수는 총 $(2N + N^2)$개가되어, 임의 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬-1의 의사결정변수의 개수보다 크게 감소되었음을 알 수 있다. 예를 들어 선석의 개수가 4개이고 선박의 척수가 5척이라면, 생성되는 모든 선석의 스케줄 개수는 총 24개이다. 따라서 이때, 최적화모형의 의사결정변수의 개수도 총 24개가된다. 이것은 선석의 모든 할당 가능한 스케줄의 개수($5!$)에서 크게 감소하였음을 알 수 있다.

제 4 장 최적화 기반 의사결정지원 시스템

의사결정 지원시스템(DSS: Decision Support System)은 Scott Morton(1971)[16)]이 '경영 의사결정 시스템(Management decision system): 컴퓨터를 기반으로 하는 의사결정의 지원'이라는 제목의 논문에서 의사결정의 지원이 정보시스템의 가장 중요한 기능이 되어야 한다는 개념으로 사용한 용어이었는데, Keen과 Scott Morton(1978)[17)]의 저서 제목에서 처음으로 "Decision Support System"이라는 용어가 사용되었다. 의사결정의 과정은 현실 상황을 분석함으로써 문제를 파악하고 정의하는 정찰 단계로부터 시작된다. 모색단계에서는 적절한 가정으로 단순화하여 추상화시킨 표현이다. 현실문제를 단순화하여 모형을 만드는 까닭은 현실문제를 있는 그대로 묘사하는 것이 너무 복잡할 뿐만 아니라 바람직하지도 않기 때문이다. 다만, 이러한 모형이 문제의 중요한 본질을 잘 표현하고 있는지를 검증함으로써 모형의 타당성을 확인하여야 한다. 선택 단계는 모형에 대한 해를 확인하는 단계이다. 제안된 해의 타당성이 입증되면 마지막으로 구현 단계를 거친다. 구현 단계의 성공은 현실 의사결정 문제를 해결한 것을 의미한다. 실패하였을 경우, 의사결정 과정의 모든 단계를 다시 검토한다.

DSS란 이러한 의사결정의 전 과정에 대하여 의사결정 자를 지원하기 위해 구축된 대화형 전산 기반 시스템이라고 정의할 수 있다. 여기에서는 이러한 시스템을 개발하기 위한 시스템의 구현 전 단계인 분석과 설계의 단계까지를 제시하고자 한다.

---

16) M.S. Scott Morton, "Management Decision System: Computer-based Support for Decision Making", Cambridge MA Havard Division of research, 1971.

17) P.G. Keen and M.S. Scott Morton, Decision Support system An Organizational Perspective, Addison-Wesley Pub., 1978.

4.1 최적화 기반 모형의 시스템 분석

선석할당 계획문제에 대한 최적화모형을 기반으로 하는 DSS를 구현하려면 먼저 그 DSS가 무엇을 하게 할 것인가 하는 문제를 정의하기 위한 시스템 분석이 필요하다. 선석할당 계획문제에 대한 최적화모형을 기반으로 하는 DSS는 터미널운영자가 직면하는 선석할당 계획문제를 해결 할 수 있도록 지원하는 시스템이다. 여기서는 Simon(1977)[18]의 의사결정 모형에 따른다. 이미 이전 장에서 선석할당 계획문제에 대하여 정찰 단계와 모색 단계에 해당하는 분석을 이미 다루었으므로 이 절에서는 시스템 분석의 단계부터 다루기로 한다.

시스템 사용자는 터미널운영자로서 실무적인 지식이 해박하며, 선석할당 계획문제의 가장 기본적인 입력 요소가 선석, 선박 그리고 항만과 관련된 자료임을 알고 있고, 시스템이 이러한 입력 자료들을 어떻게 받아들이는지를 확인하기 원할 것이다. 또한 시스템 사용자는 필요하다면 그러한 자료들을 쉽게 열람하고 편집하여 저장하거나 출력할 수 있도록 시스템이 동작하기를 기대한다. 그리고 사용자에게 편리한 정보 형태로 출력될 선석의 최적 할당계획을 시스템의 가장 중요한 출력 요소로 기대한다.

이 때, 시스템 사용자는 선석 할당계획을 위한 집합문제 유형의 최적화모형이나 그 해법 등에 관한 최적화 분석의 이론적인 지식은 모를 수도 있으나, 사용자가 원하는 정보들은 쉽게 파악할 수 있기를 기대하며 시스템의 입출력 양식 및 화면은 사용자의 편리성을 고려하여 개발되기를 기대한다. 이러한 내용의 시스템 분석 결과는 시스템 설계에 반영되어야 하며, 시스템의 구현의 단계에서도 시스템 메뉴의 구조와 입출력 양식 및 GUI 설계를 위한 기초가 된다. 여기에서는 이러한 시스템 분석을 바탕으로 구성되는 의사결정 지원시스템의 계층 구조도를 제시한다.

---

18) H. Simon, The New Science of Management Decisions, Prentice Hall Inc., revised edition, 1977.

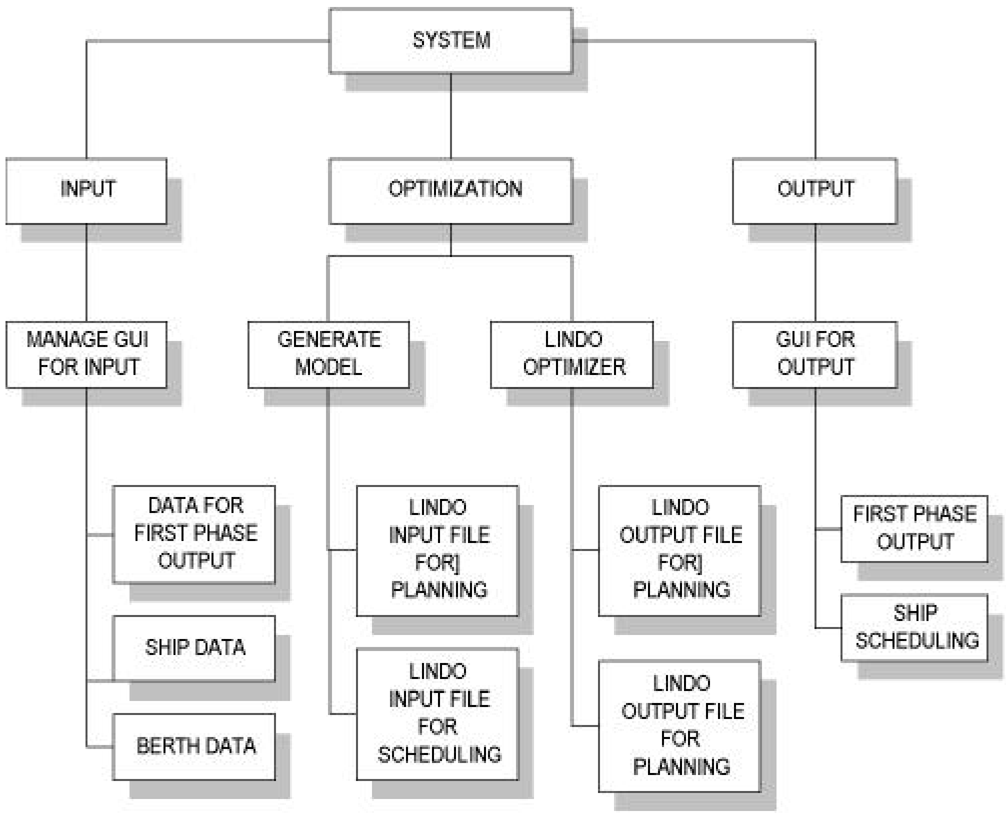


그림 4.1 **시스템의 계층 구조도**

4.2 최적화모형의 시스템 설계

시스템 설계 과정의 관심의 초점은 문제해결 지향에서 컴퓨터 지향으로 옮겨가게 된다. 시스템 분석을 통하여 시스템이 무엇을 하게 할 것인가를 정의하였으면, 시스템 설계는 시스템이 이러한 기능을 어떻게 잘 수행하게 할 것인가를 정의하여야 한다. 여기에서는 위의 시스템 분석의 결과를 바탕으로 선석할당 계획문제의 최적화 기반 의사결정 지원시스템의 시스템 흐름도를 제시한다.

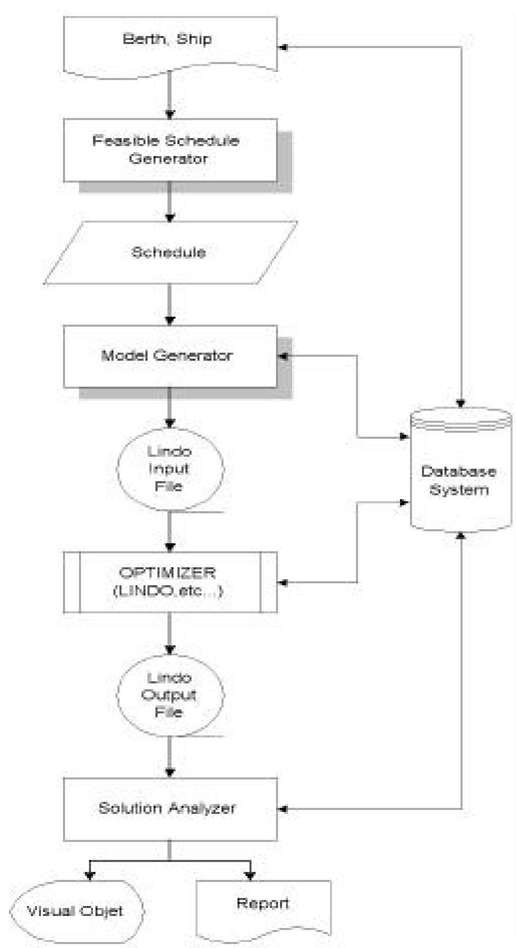


그림 4.2 시스템의 흐름도

제 5 장 계산 실험

이 장에서는 공공터미널에서 발생하는 선석할당 계획문제를 제시한 최적화모형과 의사결정변수의 생성 알고리듬으로 해결하는 과정을 다룬다. 또한, 제시한 최적화모형들의 결과 값을 비교 및 분석한다. 여기에서는 신선대컨테이너터미널을 대상으로 기초 계산실험과 다양한 계산 실험 실시하여 그 결과를 비교분석하였는데, 이것은 신선대컨테이너터미널(PECT)이 제공하는 자료를 토대로 구성한 것이다.

5.1 기초 계산실험 결과의 비교분석

기초 계산실험의 데이터는 실제 신선대컨테이너터미널에서 사용된 자료를 바탕으로 구성하였다. 이때 구성된 선석할당 계획문제의 데이터(선석:4개, 선박:5척)는 다음과 같다.

표 5.1 기초 계산실험의 선석데이터

ID	Name	계획개시시각(S_i)
1	#1	99-07-31 03:00
2	#2	99-08-01 07:00
3	#3	99-07-31 02:00
4	#4	99-07-31 21:00

표 5.2 기초 계산실험의 선박데이터

ID	Name	ETA	접안시간
1	NAAS-2	99-07-31 10:00	21
2	OOHP	99-08-01 04:00	22
3	MOSA-3	99-08-01 10:00	17
4	NPSG-1	99-08-01 13:00	14
5	NAGA-4	99-08-01 16:00	23

<표 5.1>와 <표 5.2>는 구성된 기초 계산실험의 선석과 선박의 데이터이며, 이것을 제시한 최적화모형에 적용하였다. 또한, 최적화모형의 의사결정변수 즉, 스케줄 생성을 위해서도 제시한 두 가지 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬에 적용하였다.

여기에서는 이러한 데이터를 사용하여 구성한 최적화모형의 해를 구하기 위해서 LP-완화기반의 상용 프로그램인 LINDO를 사용하였다.

표 5.3 [SPM-1] 모형을 적용한 해 비교

구분	선박	스케줄생성알고리듬 적용	
		알고리듬-1	알고리듬-2
선박 할당 형태	NAAS-2	#3	#3
	OOHP	#1	#1
	MOSA-3	#4	#4
	NPSG-1	#2	#2
	NAGA-4	#3	#3
총 선박대기시간		·	·
선석 점유율(%)	#1	26.19	26.19
	#2	25	25
	#3	51.16	51.16
	#4	25.76	25.76
사용 선석의 평균점유율(%)		32.17	32.17
최적해		25.74	128.1

<표 5.3>는 [SPM-1] 모형의 의사결정변수 생성을 위한 선석 할당 가능스케줄 생성 알고리듬의 적용에 따른 해를 비교한 것이다. 여기에서는 제시한 두 가지의 알고리듬으로 구한 해가 동일함을 알 수 있다. 따라서 알고리듬-2로 구한 해가 최적해라고 말할 수는 없지만, 최적해에 근접한 해를 주고 있음을 알 수 있다.

다음으로는 기초 계산실험의 데이터로 [SPM-2] 모형을 구성하여 계산 실험하였는데, 이때 기초 계산실험 데이터(신선대컨테이너터미널)의 접안조건으로 선박의 대기시간이 발생하지 않아 해를 구하기가 곤란하였다.

따라서 [SPM-2] 모형은 터미널의 특성상 선박의 대기시간이 발생하지 않는 경우에 사용하기가 어려움을 알 수 있다.

다음으로는 [SPM-3] 모형을 적용하였는데, 이때 모형의 특성상 가중치 값을 요구하므로 먼저, 가중치의 값은 0.2로 가정하고 해를 구하여 다음과 같이 비교 정리하였다.

표 5.4 [SPM-3] 모형을 적용한 해 비교

구분	선박	스케줄생성알고리듬 적용	
		알고리듬-1	알고리듬-2
선박 할당 형태	NAAS-2	#3	#3
	OOHP	#1	#1
	MOSA-3	#4	#4
	NPSG-1	#2	#2
	NAGA-4	#3	#3
총 선박대기시간		·	·
선석 점유율(%)	#1	26.19	26.19
	#2	25	25
	#3	51.16	51.16
	#4	25.76	25.76
사용 선석의 평균점유율(%)		32.17	32.17
최적해		25.74	25.61

<표 5.4>는 [SPM-3] 모형의 의사결정변수 생성을 위한 선석 할당 가능스케줄 생성 알고리듬들의 적용에 따른 해를 비교한 것이다. 여기에서도 제시한 두 가지 알고리듬을 사용하여 구한 해가 동일함을 알 수 있

었다. 따라서 알고리듬-2로 구한 해가 최적해라고 말할 수 없지만, 최적해에 근접한 해를 주고 있음을 알 수 있다. 또한 [SPM-3] 모형은 선석과 선박의 입장을 선석의 점유율과 선박의 대기시간이 차지하는 비율의 가중치로 반영한 것이므로, [SPM-1] 모형과 [SPM-2] 모형을 보완 수정하여 구한 해임을 알 수 있다.

이때, [SPM-3] 모형의 의사결정변수생성 알고리듬에 따른 LINDO 입력파일을 나타내면, 다음과 같다. (단, α = 0.2, D = 24, 선석계획종료시간 99-08-03 15:00으로 가정)

[선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬-1을 적용한 경우]

MIN
(목적함수)

5	X11+	5.238	X12+	4.04	X13+	3.33	X14+
5.476	X15+	13.1	X16+	9.048	X17+	8.333	X18+
10.48	X19+	24.64	X110+	21.8	X111+	20.24	X112+
31.19	X113+	20.71	X114+	20	X115+	17.86	X116+
16.43	X117+	35.24	X118+	31.67	X119+	30.95	X120+
36.19	X121+	25.71	X122+	25	X123+	25.7	X124+
21.4	X125+	49.3	X126+	37.5	X21+	12.14	X22+
6.07	X23+	5	X24+	8.214	X25+	79.64	X26+
69.29	X27+	63.93	X28+	62.86	X29+	44.88	X210+
39.3	X211+	38.11	X212+	46.79	X213+	31.07	X214+
30	X215+	35.36	X216+	28.93	X217+	4.88	X31+
5.116	X32+	3.953	X33+	3.256	X34+	5.349	X35+
12.9	X36+	8.94	X37+	8.235	X38+	10.35	X39+
24.17	X310+	21.4	X311+	19.89	X312+	30.57	X313+
20.32	X314+	19.64	X315+	17.53	X316+	16.15	X317+
34.58	X318+	31.09	X319+	30.41	X320+	35.51	X321+
25.26	X322+	24.59	X323+	25.3	X324+	23.9	X325+
45.3	X326+	19.7	X41+	6.667	X42+	5.152	X43+
4.242	X44+	6.97	X45+	43.33	X46+	34.55	X47+
30	X48+	29.09	X49+	30.18	X410+	33.9	X411+
33.03	X412+	39.18	X413+	25.96	X414+	24.93	X415+
29.59	X416+	24.06	X417+	75.3	X418+	64.14	X419+
46.04	X420+	61.13	X421+	43.07	X422+	59.24	X423

SUBJECT TO

(#1 **선석의 제약식**)

X11+ X12+ X13+ X14+ X15+ X16+ X17+ X18+ X19+ X110+
X111+X112+X113+X114+X115+X116+X117+X118+X119+X120+
X121+X122+X123+X124+X125+X126 <= 1

(#2 **선석의 제약식**)

X21+ X22+ X23+ X24+ X25+ X26+ X27+ X28+ X29+ X210+
X211+X212+X213+X214+X215+X216+X217 <= 1

(#3 **선석의 제약식**)

X31+ X32+ X33+ X34+ X35+ X36+ X37+ X38+ X39+ X310+
X311+X312+X313+X314+X315+X316+X317+X318+X319+X320+
X321+X322+X323+X324+X325+X326 <= 1

(#4 **선석의 제약식**)

X41+ X42+ X43+ X44+ X45+ X46+ X47+ X48+ X49+ X410+
X411+X412+X413+X414+X415+X416+X417+X418+X419+X420+
X421+X422+X423 <= 1

(NAAS-2 **선박 제약식**)

X11+ X16+ X17+ X18+ X19+ X118+X119+X120+X121+X122+X123+
X124+X125+X21+ X26+ X27+ X28+ X29+ X31+ X36+ X37+ X38+
X39+ X318+X319+X320+X321+X322+X323+X324+X325+X41+ X46+
X47+ X48+ X49+ X418+X419+X420+X421+X422 = 1

(OOHP **선박 제약식**)

X12+ X16+ X110+X111+X112+X113+X118+X119+X120+X121+X126+
X22+ X26+ X210+X211+X212+X213+X32+ X36+ X310+X311+X312+
X313+X318+X319+X320+X321+X326+X42+ X46+ X410+X411+X412+
X413+X418+X423 = 1

(MOSA-3 **선박 제약식**)

X13+ X17+ X110+X113+X114+X115+X116+X118+X121+X122+X123+
X124+X23+ X27+ X210+X213+X214+X215+X216+X33+ X37+ X310+
X313+X314+X315+X316+X318+X321+X322+X323+X324+X43+ X47+
X410+X413+X414+X415+X416+X419+X420+X421 = 1

(NPSG-1 **선박 제약식**)

X14+ X18+ X111+X114+X116+X117+X119+X122+X124+X125+X126+
X24+ X28+ X211+X214+X216+X217+X34+ X38+ X311+X314+X316+
X317+X319+X322+X324+X325+X326+X44+ X48+ X411+X414+X416+
X417+X419+X421+X422+X423 = 1

(NAGA-4 **선박 제약식**)

X15+ X19+ X112+X115+X117+X120+X123+X125+X126+ X25+X29+
X212+X215+X217+X35+ X39+ X312+X315+X317+X320+X323+X325+
X326+X45+ X49+ X412+X415+X417+X418+X420+X422+ X423 = 1

위의 제약식에서 선석에 관한 것은 총 4**개로 각 선석에 대한 스케줄은 많아야 하나임을 나타내며**, **선박의 제약식은 총** 5**개로 각 선박은 반드시 선석에 할당되어야 함을 나타내었다**. **그리고 모형에서 선박대기허용시간을** 24**시간으로 가정하였을 때의 의사결정변수의 총 개수는** 423**개였다**. **이때**, LINDO **이용 최적해는** 25.74**로 의사결정변수 즉**, X12, X24, X39, X43**이 선택되었다**.

[선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬-2를 적용한 경우]

Min

(목적함수)

5.23	X11+	5.23	X12+	10.47	X13+	4.04	X14+	5.23	X15+		
4.04	X16+	5	X21+	5	X22+	5	X23+	47.5	X24+		
5	X25+	5	X26+	10.23	X31+	10.23	X32+	5.11	X33+		
25.01	X34+	10.23	X35+	5.11	X36+	5.15	X41+	5.15	X42+		
5.15	X43+	4.24	X44+	5.15	X45+	31.57	X46				

SUBJECT TO

(#1 **선석의 제약식**)

X11+ X12+ X13+ X14+ X15+ X16 <= 1

(#2 선석의 제약식)

X21+ X22+ X23+ X24+ X25+ X26 <= 1

(#3 선석의 제약식)

X31+ X32+ X33+ X34+ X35+ X36 <= 1

(#4 선석의 제약식)

X41+ X42+ X43+ X44+ X45+ X46 <= 1

(NAAS-2 선박의 제약식)

X13+ X24+ X31+ X32+ X35+ X46 = 1

(OOHP 선박의 제약식)

X11+ X12+ X15+ X33+ X34+ X36 = 1

(MOSA-3 선박의 제약식)

X14+ X16+ X41+ X42+ X43+ X45 = 1

(NPSG-1 선박의 제약식)

X21+ X22+ X23+ X25+ X26+ X44 = 1

(NAGA-4 선박의 제약식)

X13+ X31+ X32+ X34+ X35+ X46 = 1

위의 제약식에서 선석에 관한 것은 총 4개로 각 선석에 대한 스케줄은 많아야 하나임을 나타내며, 선박 제약식은 총 5개로 각 선박은 반드시 선석에 할당되어야 함을 나타내었다. 그리고 모형에서 사용된 의사결정변수 총수는 24개였다. 이때, LINDO 이용 최적해는 25.614로 의사결정변수 즉, X15, X26, X31, X41의 의사결정변수가 선택되었다.

5.2 다양한 계산실험 결과의 비교분석

전 절과 같이 신선대컨테이너터미널의 선석 할당계획 수립을 위한 입력자료로 계산 실험하였는데, 여기서는 기초실험의 선석 할당계획문제에 선박 척수를 증가시켜 실험하여 얻은 결과를 비교분석하였다.

5.2.1 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬-1 적용례

이 절에서는 기초 계산실험의 데이터를 사용하여 제시한 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬-1에 대해서 분석하였다. 먼저, 각 선박의 대기허용시간에 따라 생성되는 변수의 개수는 <그림 5.1>와 같다. 여기서 각 선박의 대기허용시간 D 는 최적화모형에서 의사결정변수 즉, 스케줄의 생성 제한조건이 된다. 선박의 척수가 증가할수록 임의 선석 할당 가능 스케줄은 기하급수적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

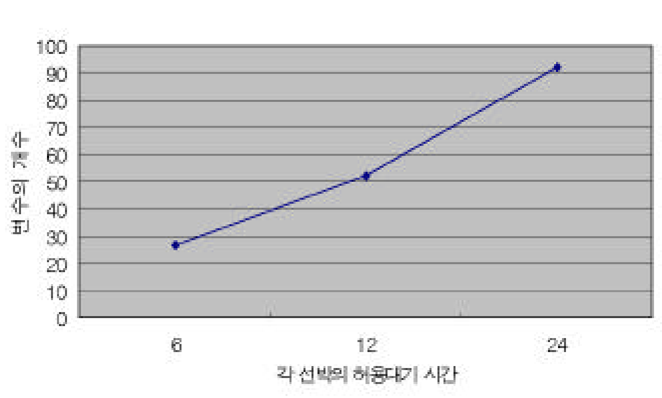


그림 5.1 각 선박의 대기 허용시간 값에 따른 변수의 개수 변화 차트

신선대컨테이너터미널의 데이터에서 선박의 총 척수를 10척으로 확장하여 계산 실험한 경우, 실제 생성되는 변수의 개수는 418개였다. 또한 선박의 총 척수를 15척 확장하여 계산 실험한 결과 실제 생성되는 변수

의 개수는 무려 2000개가 넘었다. 따라서 이와 같이 선박의 척수가 증가하는 경우, 제한조건인 선박의 대기시간만으로는 스케줄의 개수를 줄이는데 한계가 있음을 알 수 있다.

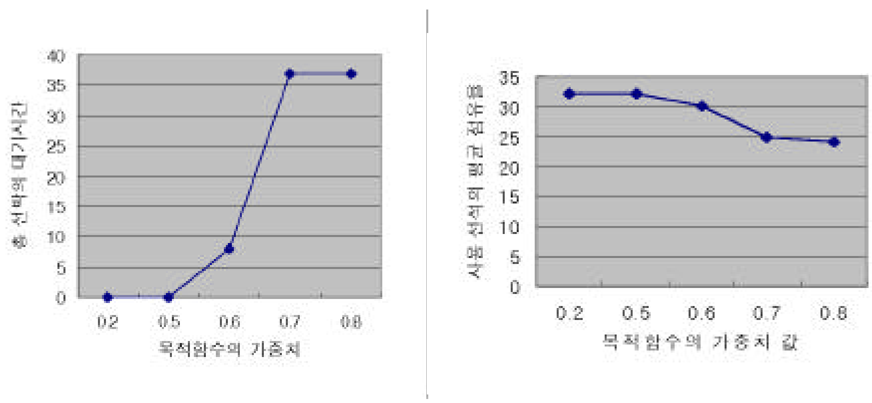


그림 5.2 목적함수의 가중치 값에 따른 변화 차트

<그림 5.2>는 기초 계산실험의 데이터를 사용하여 [SPM-3] 모형의 가중치에 따른 선박의 대기시간과 사용 선석의 평균 점유율의 변화를 나타내는 차트이다. 목적함수의 가중치가 0.5이하인 경우, 발생하는 선박의 대기시간은 작은 값을 가지게되는 반면에, 사용 선석의 평균 점유율은 큰 값을 가지게됨을 알 수 있었다. 따라서 목적함수의 가중치를 어떻게 정하냐에 따라 선석할당 계획문제의 최적해와 스케줄 상 발생하는 선박의 대기시간과 선석의 점유율이 다르게됨을 알 수 있다.

또한, 선석과 선박 그리고 터미널의 특성을 고려하지 않고, 터미널운영자가 스케줄생성 알고리듬-1의 제한조건인 선박의 대기허용시간을 임의로 정한다면, 경우에 따라 해가 불가능(infeasible)하게 나올 수도 있음을 확인하였다.

5.2.2 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬-2 적용례

이 절에서는 기초 계산실험의 데이터를 사용하여 제시한 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬-2에 대해서 분석하였다. 스케줄의 개수는 제시한 세 가지 Heuristic Method로 선석에 대하여 총 6개의 스케줄이 생성되었으며, 이때 의사결정 변수의 총 개수는 선석의 개수가 N이라고 할 때, $(2N + 2^N) = 24$개가 생성되었다. 따라서 알고리듬-2로 생성되는 스케줄의 개수 즉, 의사결정변수의 개수는 이전 알고리듬-1에서 생성한 것보다 현저히 줄어들었음을 알 수 있다.

다음은 문제를 확장하여 신선대컨테이너터미널의 자료 1999. 12. 1일 1999. 12. 7일까지 입항되는 선박을 대상으로 계산실험을 하였다. 이때 사용된 선석의 개수는 4, 선박의 척수는 24척이었다.

표 5.5 문제를 확장하여 계산 실험 비교

구분	선석번호	최적화모형 적용	
		[SPM-1]	[SPM-3]
선석 점유율 (%)	#1	47.39	47.39
	#2	49.74	48.74
	#3	49.18	49.18
	#4	50.27	45.94
사용 선석의 평균 점유율(%)		49.14	57.81
총 선박 대기시간		4	2

<표 5.5>는 신선대컨테이너터미널의 자료로 계산 실험하여 얻은 결과를 비교 정리한 것인데, [SPM-3] 모형은 가중치를 0.2로 가정하고 구한 값이다. 이때 선박의 대기시간이 최소화되도록 할당된 것은 [SPM-3] 모형이었고, 사용 선석의 평균점유율이 최소화되도록 할당된 것은 [SPM-1] 모형이었다. 따라서 터미널운영자는 각각의 데이터 특성에 적합한 모형을 선택하여야 함을 알 수 있다.

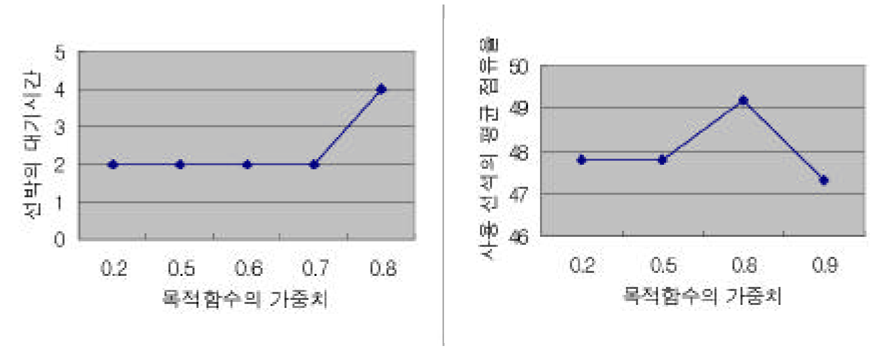


그림 5.3 목적함수의 가중치 값에 따른 변화 차트

<그림 5.3>는 [SPM-3] 모형을 사용할 경우, 목적함수의 가중치에 따른 선박의 대기시간과 평균 선석 점유율의 변화를 나타낸 차트이다. 이것은 목적함수의 가중치가 0.7 이하인 경우 스케줄 상 발생하는 총 선박의 대기시간은 작은 값을 가지게되며, 선석의 평균점유율은 가중치가 0.9일 때 가장 낮은 값을 가지게됨을 나타내고 있다. 이것은 이전 기초 계산실험의 결과 값과 비슷한 그림을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 경우에 터미널운영자는 선석과 선박의 입장을 고려하여 가중치를 정하여야한다. 또한, 문제를 좀 더 확장하여 [SPM-3] 모형에 대한 다수 계산실험에서 가중치가 해에 대하여 크게 영향을 끼치지 않는 것을 확인하였다. 이때는 접안조건의 특성상 대기시간이 발생하지 않거나 또는 데이터의 특성상 최적화모형의 해가 가중치에 영향을 받지 않는 경우였다. 예를 들면, 신선대컨테이너터미널의 자료 1999. 12. 1일 1999. 12. 28일까지 입항되는 선박을 대상으로 계산 실험하였는데, 이때 사용된 선석의 개수는 4, 선박의 척수는 82척이었다. 이때 [SPM-1] 모형과 [SPM-3] 모형으로 구한 해를 비교하여 보면, 발생하는 선박의 총 대기시간은 16시간으로 동일한 반면에, 사용 선석의 평균 점유율은 [SPM-3] 모형으로 구한 해가 낮게 나타났다.

그리고 다수 계산실험(선박척수: 30척, 50척 등)을 통하여 제시한 알고리듬-2를 적용한 경우, 문제의 크기와 상관없이 효율적으로 해를 구하여 선석 할당계획을 수립 할 수 있었다.

5.2.3 최적화모형의 제약식 수정

선석과 선박의 특수성 또는 터미널의 특수성을 고려하여 최적화모형의 제약식을 수정하여 보면 다음과 같다. 먼저, 터미널운영자가 모든 선석을 사용하여 선박을 할당하고자 한다면, 기존 모형의 선석 제약식을 다음과 같이 $\sum_{j \in J_i} X_{ij} = 1$로 수정하여 해를 구하면 된다. 이전 모형의 선석 제약식은 많아야 하나를 할당하여야함을 의미하였지만, 위의 제약식은 모든 선석에 스케줄을 반드시 할당해야한다는 것을 의미한다. 이런 경우 [Set-Covering Problem] 모형이 되어 특성상 제약을 받게된다. 그러나, 선박이 일주일에 30여 척 그리고 한 달에 100여 척인 신선대컨테이너터미널과 같이 선박의 척수가 크게 증가하지 않는다면, 쉽게 해를 구할 수 있을 것이다.

또한 터미널운영자가 특정한 선석에 특정한 선박을 할당하고자 한다면, 기존 모형의 제약식에 해당 선석의 제약식을 추가하여 해를 구하면 된다. 이것을 선박에 관하여 나타내면 다음과 같다. 만약, 기초 계산실험의 [SPM-3] 모형에서 선박1 화물의 특성상 선석 #2에 할당하여야한다면, 다음과 같은 제약식을 추가한다.

[#2 선석의 추가 제약식]

X21+ X26+ X27+ X28+ X29 = 1

이것을 기초 계산실험에 반영하여 최적해를 구하여보면, 최적해는 64.04이었으며, 이때의 의사결정변수는 $X_{12} = X_{21} = X_{317} = X_{43} = 1$이었다. 또한, 발생된 선박의 총 대기시간은 29시간이었다.

이와 같이 공공 컨테이너 터미널운영자는 제시한 최적화모형의 제약식을 수정함으로써, 선석과 선박의 특수성 또는 터미널의 특수성을 반영할 수 있다.

제 6 장 결 론

선석 할당계획문제는 터미널의 특성에 따라 다르게 표현될 것이나, 이러한 선석할당 계획문제에 대한 최적화모형과 기준분석에 관한 연구사례가 적은 것이 현실이다. 본 논문은 공공 터미널에서 발생하는 선석할당 계획문제를 집합문제 유형의 최적화모형으로 정식화하여 해결하고자 한 연구이며, 제안된 집합문제 유형의 최적화모형의 해결을 위해 필요한 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬도 함께 제시하였다. 또한 선석할당 계획문제를 위한 의사결정지원 시스템의 설계 및 분석도 함께 다루었다.

이 연구의 중요한 기여를 몇 가지 열거하자면, 다음과 같다.

첫째, 공공 터미널에서의 선석할당 계획문제를 집합문제 유형의 최적화모형으로 일반화시켜 제시하였으며, 신선대컨테이너터미널에서의 기초 계산실험과 다양한 계산실험으로 얻은 결과를 비교분석하여 제시하였다.

둘째, 제안한 집합문제 최적화모형의 해결을 위해 선결되어야 하는 문제 곧, 모든 의사결정 변수를 생성하는 문제를 위한 새로운 알고리듬을 제시하였다.

셋째, 선석할당 계획문제의 최적화를 지원하기 위한 의사결정지원 시스템의 분석과 설계를 제시하였다.

이 연구와 관련된 향후의 연구 과제들을 요약하면 다음과 같다.

첫째, 제시한 임의 선석할당 가능스케줄 생성 알고리듬에 대한 그래프이론과 관련된 수리적인 연구가 필요하다.

둘째, 제시한 [SPM-3] 모형의 가중치에 관한 연구와 의사결정 지원 시스템으로의 구현 연구가 필요하다.

셋째, 다양한 터미널에서 발생하는 선석할당 계획문제의 최적화 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 강맹규, 「네트워크와 알고리즘」, 박영사, 1991.

2. 김세헌, 「현대 경영과학」, 무역경영사, 1994.

3. 김철언, 「그래프론과 알고리듬」, POSTECH PRESS, 1997.10.

4. 백인흠, 「선박 재항 시간에 대한 분석연구」, 한국해양대학교석사학위논문, 1998.

5. 이영환, 박종순「시스템분석과 설계」, 법영사, 1998.

6. 이철영, 「항만물류시스템」, 효성출판사, 1998.

7. 이홍걸, 「발견적 알고리즘에 의한 컨테이너 터미널의 선석 배정에 관한 연구」, 한국해양대학교석사학위논문, 1996.

8. Balas, E. and Padberg, M.W., "Set partitioning: A survey", <u>SIAM Review</u>, Vol.18, No. 4, Oct. 1976, pp.710-760.

9. Brown, G.G, Lawphongpanich, S. and Thurman, K.P., "Optimizing ship berthing", <u>Naval Research Logistic</u>, Vol.41, 1994, pp.1-15.

10. Garey, M. and Johnson, D., <u>Computers and Intractability</u>, Freeman, 1979.

11. Keen, P.G. and Scott Morton, M.S., Decision <u>Support System An Organizational Perspective</u>, Addison-Wesley Pub., 1978.

12. Kim, Si-Hwa and Lee, Kyung-Keun, "An Optimization-based decision support system for ship scheduling", Computers & I.E. An Intl. Journal, Vol. 33, 1997, pp.689-692.

13. Kim, Si-Hwa, Optimization-based Decision Support System for Some Maritime Transportation Problems, Ph.D. Thesis, Dept. of Industrial Engineering, Pusan National University, 1999.

14. Krajewski, Ritzman, 「생산관리-전략과 분석」, 석정출판사, 1997.

15. Lim, A., "The berth planning problem", Operations Research Letters, Vol.22, 1998, pp.105-110.

16. Nishimura, E. and Imai, A., "The Dynamic Berth Allocation Problem for Container Port", Journal of Transportation Research, forthcoming.

17. Nagaiwa, K. and Imai, A., "A Berth Assignment Planning for a Public Container Terminal", Journal of Navigation, Vol.90, 1994.

18. Scott Morton, M.S., "Management Decision System: Computer -based Support for Decision Making", Cambridge MA. Havard Division of research, 1971.

19. Simon, H., The New Science of Management Decisions, Prentice Hall Inc., revised edition, 1977.

20. Winston, Wayne L., Operations Research Applications and Algorithms, 3rd Edition, International Thomson Pub., 1994.

부 록

아래의 결과는 [SPM-3] 모형의 기초 계산실험 결과 값을 나타낸 것인데, 이것은 Windows용 Lindo 5.0을 실행시켜 출력한 것이다. (W_{ik} = 24, D = 24, α = 0.2로 가정하고 제시한 스케줄생성 알고리듬-1로 의사결정변수를 생성하였다. 이때, 길이데이터는 고려하지 않았다.)

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 36
OBJECTIVE VALUE = 25.7399998

1) 25.74000

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X11	0.000000	5.000000
X12	1.000000	5.238000
X13	0.000000	4.040000
X14	0.000000	3.330000
X15	0.000000	5.476000
X16	0.000000	13.100000
X17	0.000000	9.048000
X18	0.000000	8.333000
X19	0.000000	10.480000
X110	0.000000	24.639999
X111	0.000000	21.799999
X112	0.000000	20.240000
X113	0.000000	31.190001
X114	0.000000	20.709999
X115	0.000000	20.000000
X116	0.000000	17.860001
X117	0.000000	16.430000
X118	0.000000	35.240002
X119	0.000000	31.670000
X120	0.000000	30.950001

X121	0.000000	36.189999
X122	0.000000	25.709999
X123	0.000000	25.000000
X124	0.000000	25.700001
X125	0.000000	21.400000
X126	0.000000	49.299999
X21	0.000000	37.500000
X22	0.000000	12.140000
X23	0.000000	6.070000
X24	1.000000	5.000000
X25	0.000000	8.214000
X26	0.000000	79.639999
X27	0.000000	69.290001
X28	0.000000	63.930000
X29	0.000000	62.860001
X210	0.000000	44.880001
X211	0.000000	39.299999
X212	0.000000	38.110001
X213	0.000000	46.790001
X214	0.000000	31.070000
X215	0.000000	30.000000
X216	0.000000	35.360001
X217	0.000000	28.930000
X31	0.000000	4.880000
X32	0.000000	5.116000
X33	0.000000	3.953000
X34	0.000000	3.256000
X35	0.000000	5.349000
X36	0.000000	12.900000
X37	0.000000	8.940000
X38	0.000000	8.235000
X39	1.000000	10.350000
X310	0.000000	24.170000
X311	0.000000	21.400000
X312	0.000000	19.889999
X313	0.000000	30.570000

X314	0.000000	20.320000
X315	0.000000	19.639999
X316	0.000000	17.530001
X317	0.000000	16.150000
X318	0.000000	34.580002
X319	0.000000	31.090000
X320	0.000000	30.410000
X321	0.000000	35.509998
X322	0.000000	25.260000
X323	0.000000	24.590000
X324	0.000000	25.299999
X325	0.000000	23.900000
X326	0.000000	45.299999
X41	0.000000	19.700001
X42	0.000000	6.667000
X43	1.000000	5.152000
X44	0.000000	4.242000
X45	0.000000	6.970000
X46	0.000000	43.330002
X47	0.000000	34.549999
X48	0.000000	30.000000
X49	0.000000	29.090000
X410	0.000000	30.180000
X411	0.000000	33.900002
X412	0.000000	33.029999
X413	0.000000	39.180000
X414	0.000000	25.959999
X415	0.000000	24.930000
X416	0.000000	29.590000
X417	0.000000	24.059999
X418	0.000000	75.300003
X419	0.000000	64.139999
X420	0.000000	46.040001
X421	0.000000	61.130001
X422	0.000000	43.070000
X423	0.000000	59.240002

ROW	SLACK OR SURPLUS	DUAL PRICES
2)	0.000000	0.000000
3)	0.000000	0.000000
4)	0.000000	0.000000
5)	0.000000	0.000000
6)	0.000000	0.000000
7)	0.000000	0.000000
8)	0.000000	0.000000
9)	0.000000	0.000000
10)	0.000000	0.000000

감사의 글

먼저, 이 논문을 작성하도록 인도해 주신 하나님께 감사드립니다.

항상 사랑과 따뜻한 격려로 지도해 주신 김시화 지도교수님, 바쁘신 일정에도 불구하고 세밀히 심사하여 주신 박진수 교수님, 문성혁 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한 자료조사에 협조해 주신 우암컨테이너터미널(운영관리실)의 이도희 부장님, 그리고 많은 조언과 격려로 힘을 주신 위승민, 장일동, 이희용, 황희수, 곽민석 선배님과 여러 가지로 도움을 준 허강이, 전진우, 오창흥 후배님께도 감사를 드립니다.

그리고 언제나 따뜻한 말과 기도로 용기를 준 사랑하는 김숙현님과 한국해양교회의 성도님들께 감사의 뜻을 전합니다.

앞으로 관심과 사랑을 베풀어주신 모든 분들의 기대에 어긋나지 않도록, 최선을 다하는 자세로 열심히 살겠습니다.

끝으로, 지금까지 기도와 헌신적인 사랑을 베풀어주신 존경하는 부모님께 부족한 이 논문을 바치고 싶습니다.