

발견적 알고리즘에 의한 컨테이너 터미널의 선석배정에 관한 연구

이홍걸¹⁾, 이철영²⁾

A Heuristic Algorithm of Berth Assignment Planning in a Container Terminal

Hong-Girl Lee, Cheol-yeong Lee

Abstract

Generally, berth assignment problem has conflicting factors according to the interested parties. In the view of shipping company, it is desirable that berth assignment is made according to the order of arrival. But in the view of port operator, it is better to be assigned regardless the order of arrival to promote the efficiency of berth operation. Thus, it is necessary to establish berth assignment planning which reflects both of interests in a practical situation.

This paper aims to develop a reasonable berth assignment algorithm in a container terminal by considering the prescribed factors, and suggests three types of model minimizing the objective functions such as total port staying time, total mooring time and total maximum mooring time by using MPS(Maximum Position Shift) concept.

-
- 1) 한국해양대학교 항만운송공학과 석사과정 항만운송공학 전공
2) 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

These models are formulated by 0-1 integer programming and min-max type function, but as the number of variables increases, an optimal solution cannot be achieved easily within a desired computational time. Thus, to tackle this problem this paper proposes a heuristic algorithm, and also the heuristic algorithm proposed in this paper is verified through the several examples.

NOMENCLATURE

- x_{ijk} : 만일 선박 j 가 i 번 선석에 k 번째 계류되면 1, 그렇지 않으면 0 인
0-1 정수변수
- $i(=1, 2, 3, \dots, B)$ 선석번호 (B : 선석 수)
- $j(=1, 2, 3, \dots, T)$ 선박번호 (도착순으로 부여), (T : 대상선박의 척수)
- $k(=1, 2, 3, \dots, T)$ 계류순서
- A_j : 선박 j 의 도착시각
- C_{ij} : 선석 i 에서의 선박 j 의 계류시간
- F_i : 선석 i 에 할당된 선박의 수
- S_i : 선석 i 가 비게 되는 시각
- MPS : 순서변동 허용폭
- Q_i : 선석 i 에 할당되는 선박의 계류가 끝날때 까지의 시간
- G_i : 선석 i 에 있어서 S_i 로 부터의 계류시각
- L_i : 선석 i 의 할당 상황 $L_i \in \{0, 1\}$

1. 서론

일반적으로, 선석배정문제는 선사(船主)의 입장에서 볼 때, 먼저 도착한 선박이 되도록 지체없이 배정되기를 원하지만, 항만운영자의 입장은 도착순서에 관계없이 이용자 전체가 고르게 만족하고, 또한 선박의 효율성을 높이기를 원하므로 우선권이 상충되는 Trade off관계를 형성하게 된다. 따라서, 실제문제에 접근하기 위해서는 이해관계자의 입장을 모두 포함할 수 있는 선석배정계획을 수립하는 것이 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 MPS(Maximum Position Shift)의 개념을 도입하여, 선사 및 항만운영자의 입장을 융합한 형태의 선석배정 모델을 제시하고자 한다.[1]

본 연구의 목적은 효율적이고 합리적인 선석배정을 위한 선석배정 모델을 제시하고 또한, 수학적 모델의 경우 문제의 크기가 커지면 계산량이 기하급수적으로 늘어나는 등의 해법적 난점이 있고, 동시에 하역 및 도착시간의 변경에 따른 현실적인 문제점에 대응하기 위하여 발견적 알고리즘을 도입하여 해를 도출하는데 있다.

2. 문제의 정식화

2.1 기존연구 현황

기존 연구의 선석배정 모델은 제공하는 서비스방식과 평가함수의 조합으로 총 9개의 모델로 구성되어 있다.[1] 서비스 방식은 대상선박의 도착순서를 고려하지 않고 무작위로 할당하는 방안인 Random(RD)한 할당방식, 선박의 도착순으로 계류하는 방안인 First In(FI) 할당, 선박을 도착 순으로 하역을 끝내고 출항하는 방안인, First Out(FO) 할당으로 나누고 있다.

또한, 평가함수는 고려 대상 선박의 재항시간(대기시간 + 계류시간)의 총합, 각 선석에 할당된 대상 선박의 계류시간 총합, 선박의 계획개시 시각으로부터 전체 대상 선박의 계류가 끝날 때 까지의 최종 작업종료시각을 대상으로 하고 있다.

위의 경우에 있어서 선박을 도착순으로 할당을 고려하는 원칙은 선사의 측면을 강하게 고려하고 있는 형태로 할당방식이 도착순에 강하게 제약 되므로, 평가함

수 (대기시간 총합의 최소화, 계류시간 총합의 최소화, 최종작업완료시간의 최소화)는 거의 공통적인 해를 지니게 된다. 반면, 무작위(Random)할당 방식의 경우, 다양한 계류시간을 지닌 선박을 어디에 어떤 순서로 배치하느냐에 따라 선박의 운영 효율이 달라짐으로, 평가함수 (대기시간 총합의 최소화, 계류시간 총합의 최소화, 최종작업완료시간의 최소화)의 목적을 그대로 지닐 수 있다.

그러나, 서비스를 제공하는 방식에 있어서 무작위 할당방식은 항만관리자의 측면만을 고려한 형태로 서비스를 제공하는 측면이 매우 약하다. 따라서, 실제 서비스를 제공하는 항만 측의 입장에서 볼 때 무작위한 할당방식은 위와 같은 이유로 비현실적인 할당 방식이다.

그러므로, 9개로 구성된 모델은 서비스 방식의 측면을 볼 때 극단적인 상황만을 고려한 형태이므로, 실제 문제에 적용하기에 곤란한 점이 많다. 따라서, 이러한 문제를 감안할 때 기존의 두가지 서비스 방식뿐 아니라, 선사 및 항만관계자의 입장을 모두 포함하고, Trade off 관계를 지닌 관계자의 입장이 융합된 형태의 통합적인 서비스 방식을 지닌 모델의 구성이 중요한 문제로 요구된다.

2.2 모델의 정식화

일반적으로, FIFO방식과 Random방식 사이에는 어떤 연속성을 지니고 있다. 만약, n 척의 선박이 도착하여 선석배정을 위해 대기중인 상태라고 할때 n 척의 선박을 대기시간의 최소화, 총 계류시간의 최소화, 최종 작업완료시간의 최소화 등의 목적으로 선박의 도착열을 중심으로 무작위로 순서를 배정할 경우 (Random 방식) n 척의 선박의 순서는 $n!$ 의 경우의 순서열을 가지게 되며 이 중에서 평가 목적에 가장 부합되는, 순서열이 구성되어 선석에 투입되게 된다.

이러한 관점을 MPS(Maximum Position Shift), 순서변동 허용폭이라고 정의하기로 한다.[2][3] 즉, n 척의 선박을 고려한다면, 무작위한 배열은 $MPS = n-1$ 로써 구현 될 수 있으며, 도착 순서열과 무작위 한 순서열 사이에는 $MPS 0 \sim n-1$ 까지의 연속성을 지님으로써, MPS의 값이 작으면 작을 수록 도착순서에 충실한 선사의 입장을 반영한 형태가 되며, MPS의 값이 크면 클수록 항만관리자의 측면을 반영하는 형태가 된다. 따라서, 이러한 개념의 도입은 서비스 방식(FIFO 및 Random방식)을 모두 포함한 통합적인 모델의 구현을 가능하게 한다.

<기본가정>

- 1) 대상 선박의 하역시간은 선석에 따라 다르며 그 시간은 이미 알고 있는 것으로 한다.
- 2) 계획개시까지 항내에 도착하는 선박을 대상으로 하고, 해당 선박의 도착시간은 이미 알고 있는 것으로 가정한다.
- 3) 계획 대상이 아닌 선박의 할당은 고려하지 않는 것으로 한다.

< 모델1 >

정식화

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^T \sum_{k=1}^T \{(T-k+1) \cdot C_{ij} + S_i - A_j\} \cdot x_{ijk} \quad (1)$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^B \sum_{k=1}^T x_{ijk} = 1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, T \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^T x_{ijk} \leq 1 \quad (3)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, B : k = 1, 2, 3, \dots, T$$

$$|j - k| > MPS \text{ 이면, } x_{ijk} = 0 \quad (4)$$

$$|j - k| \leq MPS \text{ 이면, } x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad (5)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, B : j, k = 1, 2, 3, \dots, T$$

< 모델2 >

정식화

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^T \sum_{k=1}^T C_{ij} \cdot x_{ijk} \quad (6)$$

Subject to 제약식 (2)~(5)와 동일

< 모델3 >

- 정식화 -

Minimize

$$Q_m = \max \{ Q_i \} \quad 1 \leq i \leq B \quad (7)$$

Subject to

$$\sum_{j=1}^T \sum_{k=1}^T C_{ij} \cdot x_{ijk} \leq Q_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, B \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^B \sum_{k=1}^T x_{ijk} = 1, \quad j = 1, 2, 3, \dots, T \quad (9)$$

$$\sum_{j=1}^T x_{ijk} = 1 \quad (10)$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, B : k = 1, 2, 3, \dots, T$$

제약식 (4), (5)와 동일

2.3 해법의 고찰

<모델1>

모델1을 몇가지 예제에 적용하면 다음과 같다.

예1> 선박 20척, 선석 2인 경우

Table2- 1 Ship and berth information

(단위:분)

선석	계획개시시간	계류시간																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	v5	16	17	18	19	20
A	0:40	305	320	170	18	30	29	19	20	28	260	210	220	250	240	230	110	100	220	90	80
B	0:40	310	295	155	18	30	29	16	22	28	260	210	235	250	240	245	115	105	265	90	85
개시시간 -도착시간		100	90	80	70	60	55	52	50	45	40	35	35	30	28	26	25	20	18	10	0

아래의 표에서 보듯이 MPS의 값이 증가할수록 총대기시간의 값이 감소함을 알 수 있다. 즉, MPS의 값이 증가함에 따라 선사의 중심에서 항만운영자 중심의 배정형태의 구현이 가능하며, 항만의 입장에 따라 여러 가지 선택대안으로써의 역할이 용이할 것으로 사료된다.

Table2 2 Assignment form of example 1 (단위:분)

모델 1		
	할당형태	총대기시간
MPS=3	A	1, 4, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 20, 16, 18
	B	2, 3, 5, 7, 15, 19, 17
MPS=5	A	1, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 20, 17, 18
	B	2, 3, 7, 15, 19, 13, 14, 16
MPS=19	A	20, 17, 16, 4, 8, 12, 18, 10, 6, 1
	B	19, 15, 3, 7, 11, 14, 13, 9, 2, 5

모델1은 0-1정수계획법의 형태로 하고 있으므로, 심플렉스 등 몇가지 방법으로 엄밀해를 구할 수 있다. 그러나 실제적으로, 선박의 입항 빈도가 높은 항만의 경우(BCTOC의 경우 월 130여척 입항)짧은 시간에 효율적으로 선석배정계획이 이루어져야 하나, 0-1정수 계획법의 경우 문제의 크기가 커지면 계산량이 기하급수적으로 커지고, MPS에 따라 제약식을 달리 작성하여야 하는 등의 문제를 지니고 있으므로 효율성이 결여된다.

따라서, 실제 항만에 있어서 선석배정계획의 효율성을 도모하기 위해서는 짧은 시간에 선석배정계획의 수립이 용이하고, 실용적인 새로운 알고리즘의 도입이 필요할 것으로 사료된다.

<모델2>

모델2의 경우 결과적으로 순번에 관계 없이 각 선석 중 계류시간이 최소인 선석에 할당하는 형태를 지니고 있어 선석의 이용률이 높아지나, 유희선석이 발생할 우려가 있으므로 실제 적용면에서 다른 모델에 비해 바람직하지 못한 모델이다.

<모델3>

이 문제는 Min-Max의 형태를 띠고 있으므로 선형계획법 형태로 전환이 가능하다. MPS의 제약으로 말미암아 선형계획법 형태로의 전환이 어려워진다. 따라서, 엄밀해를 도출하기 곤란한 형태를 지니고 있다.

3. 발전적 알고리즘

3.1 총재항시간의 최소화 모델

대기행렬 이론으로부터, 계류시간을 알고 있고 도착순서를 고려하지 않을 경우, 전체적으로 대기시간을 감소시키기 위해서는 계류시간이 짧은 선박을 우선하면 좋다는 것이 증명되어 있다.[1] 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

- 1) 선박 j 의 각 선석에 있어서의 최소 계류시간을 구한다.

$\min_{0 \leq i \leq B} \{C_{ij}\}$ 그리고, 이를 전체 선박에 대하여 계산하며, 선박의 최소

계류시간이 동일한 경우에는 도착시간을 고려하여 재항시간이 긴 쪽을 우선한다. 최소계류시간의 순으로 선박을 재 정렬한다.

- 2) $F_i = 0, G_i = 0$ ($i = 1, 2, 3, \dots, B$). 로 둔다.

$x_{ijk} = 0$ ($i = 1, 2, 3, \dots, B; j, k = 1, 2, 3, \dots, T$). $j = 1$ 로 둔다.

- 3) $\min_{0 \leq i \leq B} \{S_i - A_j + G_i + C_{ij}\}$ 인 i 를 구한다.

- 4) $G_i = G_i + C_{ij}, F_i = F_i + 1, k = F_i, x_{ijk} = 1$ 로 한다.

- 5) $j = T$ 라면 종료하고, $j < T$ 이면, $j = j + 1$ 로 두고 수순 3)으로 돌아간다.

- 6) MPS의 만족 여부를 분석한다. $|j - k| > MPS$

- 7) MPS를 만족하지 않은 선박을 추출하여, 최소 ($|j - k| \sim MPS$) 이동을 실시한다. 단, 해당 선박이 순번에 있어서 경쟁관계에 있을 경우, 선박의 재항시간이 작은 쪽을 우선으로 순번을 정한다.

- 8) MPS의 만족 여부를 다시 따져, 만족하지 않은 선박이 있을 경우, 수순 7)로 돌아간다.

- 9) MPS를 만족하는 순번으로 재 정렬된 후 1)~5)로 돌아가 할당을 행한다.

3.2 최종 작업종료시간 최소화 모델

각 선석에 있어서, 최후에 계류하는 선박의 계류종료시각 중에서 최대인 값을 최소로 하는 것이 목적이므로, 결과적으로 각 선석에 있어서 계류시간의 누적 합을 균일하게 하면 된다.

$$1) \sum_{j=1}^T \min\{ C_{ij} \} / B, \sum_{j=1}^T \max\{ C_{ij} \} / B \quad i: 1, 2, 3, \dots, B$$

로써, 각 선석의 계류시간의 최대 및 최소값을 추정한다.

$$2) L_i = 0, x_{ijk} = 0 \quad \forall i \in B$$

3) $L_i = 0$ 인 선석 중 최소계류시간이 최대인 선박j를 추출하여 i 선석에 할당한다. 만약 모든 선박의 계류시간이 0 이면 7)로 이동한다.

$$4) L_i = 1, C_{ij} = 0, x_{ijk} = 0$$

5) 만약, $\sum_{i=1}^B L_i > B$ 이면, 각 선석에 배정된 선박의 계류시간 합을 계산,

최소인 선석 i를 구하여 $L_i = 0$ 로 두고, 3)으로 돌아간다.

6) 3)으로 돌아간다.

7) 각 선석별로 할당된 선박의 순번을 역순으로 재 정렬한다.

8) 각 선석별 작업 종료시각을 계산하여, 1)에서 추정된 결과와 비교한다.

9) 계산결과 작업종료시각의 차가 있을 경우 각 선석의 순번이 첫번째인 선박을 이동시켜 계류시간의 차를 조절한다.

10) MPS의 만족 여부를 분석한다.

11) MPS를 만족하지 않은 선박을 추출하여, 우선적으로 동일한 선석 내 이동으로 MPS의 만족 여부를 조사하고 다음으로, 각 선석별 순번이 동일한 선박의 선석이동을 통해 MPS의 만족 여부를 재검토한다.

위 사항을 만족하지 않은 선박이 있을 경우 최소이동을 실시한다.

- 12) MPS의 만족 여부를 다시 따져, 만족하지 않은 선박이 있을 경우, 수순 12)로 돌아간다.
- 13) MPS를 만족하는 순번으로 재 정렬된 후 순차적으로, 선석에 교차하여 할당한다.

3.3 적용 예

예2>

Table 3-1 Ship and berth information (단위:분)

선 석	계획개시시각	계류 시간																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
A	0:40	180	190	195	200	205	215	220	230	240	255	260	275	290	300	305	310	315	320	330	335
B	0:40	180	190	195	200	205	215	220	230	240	255	260	275	290	300	305	310	315	320	330	335
개시시각-도착시간		100	90	80	70	60	55	52	50	45	40	35	30	28	26	25	20	18	15	10	0

3.2 최종 작업종료시간 최소화 모델

각 선석에 있어서, 최후에 계류하는 선박의 계류종료시각 중에서 최대한 값을 최소로 하는 것이 목적이므로, 결과적으로 각 선석에 있어서 계류시간의 누적 합을 균일하게 하면 된다.

$$1) \sum_{j=1}^T \min\{ C_{ij} \} / B, \sum_{j=1}^T \max\{ C_{ij} \} / B \quad i: 1, 2, 3, \dots, B$$

로써, 각 선석의 계류시간의 최대 및 최소값을 추정한다.

$$2) L_i = 0, x_{ijk} = 0 \text{ 로 둔다.}$$

3) $L_i = 0$ 인 선석 중 최소계류시간이 최대인 선박j를 추출하여 i 선석에 할당한다. 만약 모든 선박의 계류시간이 0 이면 7)로 이동한다.

$$4) L_i = 1, C_{ij} = 0, x_{ijk} = 0$$

5) 만약, $\sum_{i=1}^B L_i > B$ 이면, 각 선석에 배정된 선박의 계류시간 합을 계산,

최소인 선석 i를 구하여 $L_i = 0$ 로 두고, 3)으로 돌아간다.

6) 3)으로 돌아간다.

7) 각 선석별로 할당된 선박의 순번을 역순으로 재 정렬한다.

8) 각 선석별 작업 종료시각을 계산하여, 1)에서 추정된 결과와 비교한다.

9) 계산결과 작업종료시각의 차가 있을 경우 각 선석의 순번이 첫번째인 선박을 이동시켜 계류시간의 차를 조절한다.

10) MPS의 만족 여부를 분석한다.

11) MPS를 만족하지 않은 선박을 추출하여, 우선적으로 동일한 선석 내 이동으로 MPS의 만족 여부를 조사하고 다음으로, 각 선석별 순번이 동일한 선박의 선석이동을 통해 MPS의 만족 여부를 재검토한다.

위 사항을 만족하지 않은 선박이 있을 경우 최소이동을 실시한다.

- 12) MPS의 만족 여부를 다시 따져, 만족하지 않은 선박이 있을 경우, 수순 12)로 돌아간다.
- 13) MPS를 만족하는 순번으로 재 정렬된 후 순차적으로, 선석에 교차하여 할당한다.

3.3 적용 예

예2>

Table 3-1 Ship and berth information (단위:분)

선 석	계획개시시각	계류 시간																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	v5	16	17	18	19	20
A	0:40	180	190	195	200	205	215	220	230	240	255	260	275	290	300	305	310	315	320	330	335
B	0:40	180	190	195	200	205	215	220	230	240	255	260	275	290	300	305	310	315	320	330	335
개시시각-도착시간		100	90	80	70	60	55	52	50	45	40	35	30	28	26	25	20	18	15	10	0

Table 3-2 Assignment form of example 2 (단위: 분)

모델 1				모델 3		
MPS	할당형태	총대기시간	작업 종료시간	할당형태		
				A	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20	A
MPS=3	B	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19	26399	B	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19	
	A	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20		A	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20	
MPS=5	B	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19	26399	B	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19	
	A	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20		A	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20	
MPS=19	B	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19	26399	B	1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19	
	A	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20		A	2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20	

4. 비교분석

4.1 발견적 알고리즘과 0-1정수계획법의 비교

<계산시간 비교>

다음은 앞서 제시한 예제를 실제로 컴퓨터를 이용하여 정수계획법을 도입한 경우와 발견적 알고리즘을 도입한 경우에 있어서 처리되는 시간을 비교한 그림으로써, 대상 선박의 척수를 최소 5척에서 20척까지를 대상으로 하고 있다. 컴퓨터는 80486/1DX 기종을 이용하였으며, 사용된 프로그램은 0-1 정수계획법의 경우 QSB package를 이용하였으며, 발견적 알고리즘의 경우 본 연구에서 작성된 프로그램을 이용하였다.

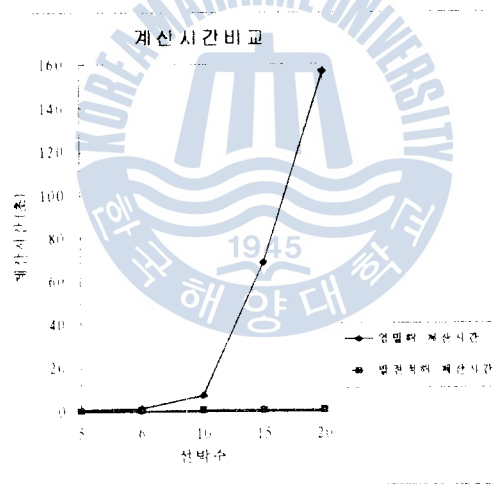


Fig 4-1> Comparison of computer running time

위 그림을 보면, 0-1 정수계획법을 이용한 경우 선박 5척일때 0.6초에서 선박 20척을 고려한 경우 157초로써, 선박의 척수가 증가할수록 계산시간이 기하급수적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

발견적 알고리즘의 경우는 척수가 증가하여도 계산시간의 증가폭이 완만하고, 또한 0-1정수계획법을 이용한 경우에 비해, 모든 경우에 있어서 계산시간이 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

<발견적 알고리즘의 해와 엄밀해의 비교>

발견적 알고리즘 및 0-1정수계획법을 이용하여 해를 도출한 결과는 다음 표와 같다.

Table4-1 Solutions of zero-one I.P and Heuristic method (단위:분)

비교 적용 예	0-1 정수계획법 (엄밀해)	발견적해법	오차 (오차 = $\frac{\text{발견적해} - \text{엄밀해}}{\text{엄밀해}}$)
(선박5척, 선석2개)	1840	1840	0.00
(선박6척, 선석2개)	1633	1721	0.05
(선박10척, 선석2개)	3794	3864	0.02
(선박15척, 선석2개)	11702	11702	0.00
(선박20척, 선석2개)	18214	20124	0.10

도표를 통해 알수 있듯이, 발견적 해의 오차는 엄밀해에 대해 최소 0%에서 최대 10%사이를 보이고 있음을 알 수 있다.

위의 결과를 종합해 볼때, 발견적 알고리즘은 비교적 단시간에 문제의 규모가 큰 선석배정계획을 수립하는데 효과적이고, 또한 실제 항만에 있어서, 하역 및 계류시간의 변경 등의 현실적인 문제에 유효한 수단이며, 0-1 정수계획법에 비해 대용량의 컴퓨터시스템의 설비없이, 일반적인 개인용 컴퓨터를 이용하여도 효과적인 선석배정 계획의 수립이 용이할 것으로 사료된다.

4.2 모델의 비교

앞에서 제시한 예제에 있어서 모델3의 할당형태를 동일한 선석내에서 순번의 이동을 행하거나, 각 선석에 동일한 순번을 지닌 선박을 반대 선석으로 이동시키면, 모델1과 모델3의 두가지 방식의 할당 형태는 대부분 비슷한 형태가 된다.

이는 서로 다른 목적함수를 지니고 있으나, 발견적 알고리즘에 있어서, 계류시간이 최대인 선박 순으로 또는 최소인 선박순으로 배정하는 비슷한 방식을 취하고 있기 때문이다. 따라서, 두가지 모델 중 어떠한 쪽을 목적으로 하여 적용하여도 할당 형태는 비슷한 형태를 띄게 되므로, 실제 문제에 있어서 어떤 쪽을 적용하여도 무방할 것으로 사료된다. 위의 결과를 바탕으로 두 모델의 특징을 고찰하여 보면, 선박의 총재항시간 최소화를 목적함수로 하는 모델1의 입장은 선사의 입장에 가깝고, 모델3의 경우 최종 작업완료시간을 최소화하는 것이 목적이므로 선석 전체의 가동률을 높이는 차원으로써, 항만운영자의 입장에 가까운 모델이다.

따라서, 서비스를 제공하는 측면에서 볼 때 선사의 만족도는 모델1이 모델3에 비해 높다고 볼 수 있다. 알고리즘의 측면에서 볼 때, 모델1의 경우 선박 배정순번의 이동을 통하여 구현될 수 있으나, 모델3의 경우는 배정된 선박의 선석 이동에 민감하게 반응하므로, 배정순번의 이동뿐만 아니라 동일한 선석내의 이동 여부 및 각 선석의 동일한 순번을 지닌 선박의 이동을 검토하여야 하므로, 모델1에 비해 알고리즘의 측면에서 복잡한 방식을 지니고 있다.

따라서 결론적으로 두 개의 모델 모두가 두가지 목적함수를 포괄하고 있으므로, 어느 쪽을 적용하여도 무방하고, 이러한 관점에서 볼때 모델1을 실제 문제에 적용하는 것이 모델3에 비해 효과적인 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구에서는 MPS(Maximum Position Shift)의 개념을 도입하여, 항만운역자 및 선사의 입장이 융합된 형태로써, 이러한 개념의 도입을 통해 실제 항만에 있어서 제공하는 서비스 방식의 측면에서 발생할 수 있는 모든 선석배정계획의 수립이 가능한 일반 모델을 구성하였으며, 해를 구하는 방안으로써 발견적 알고리즘을 제안하였다. 본 연구에서 개발한 발견적 알고리즘의 해법을 몇가지 예제에 적용한 결과 바람직한 할당 형태를 구현 할 수 있었고, 엄밀해법을 도입한 경우와 발견적 해법을 도입한 경우의 비교분석을 통해, 발견적 알고리즘을 도입한 경우 비교적 단시간에 문제의 규모가 큰 선석배정계획을 수립하는데 효과적이고, 또한 엄밀해법을 도입한 경우에 비해 실제 항만에 있어서, 하역 및 계류시간의 변경 등의 현실적인 문제에 유효한 수단임을 검증하였다. 따라서 발견적 알고리즘의 도입한 경우 대용량의 컴퓨터시스템의 설비없이, 일반적인 개인용 컴퓨터를 이용하여도 효과적인 선석배정 계획의 수립이 용이할 것으로 사료된다.

한편, 본 연구에서 제시한 발견적 알고리즘의 측면에서 볼때 총 재항시간 최소화 모델(모델1)과 최종작업종료시각의 최소화 모델(모델3)이 비슷한 알고리즘으로 구성되어 있으므로 실제 적용에 있어서 어느 쪽을 적용하여도 무방하며, 이러한 관점에서 볼 때 모델1의 경우가 모델3에 비해, 적용 면에서 효과적인 것으로 사료된다.

본 연구의 앞으로의 연구 방향 및 과제는 하역시스템과 연계된 선석배정계획의 수립과 비용의 관점에서의 선석배정 문제, 그리고 나아가 이러한 선석배정 모델의 개선과 아울러 Expert System 및 의사결정 지원시스템의 구축 등을 들수 있다.

참고문헌

- [1] K. Nagaiwa, A. Imai : "A Berth Assignment Planning for a Public Container Terminal", Journal of Navigation, Japan, vol 90, (1994)
- [2] 이철영, 윤명오 : "해상교통량의 효율적 관리방안에 관한 연구 1)교통관제 해역의 경우", 한국항해학회지 제15권 1호, (1991)
- [3] 이철영, 윤명오 : "해상교통량의 효율적 관리방안에 관한 연구 2)일반수로의 경우", 한국항해학회지 제15권 2호, (1991)
- [4] 이철영, 우병구 : "항만하역 노동력의 최적분배에 관한 연구 1)단일선박의 경우, 한국항해학회지 제13권 1호 (1989)
- [5] 이철영, 우병구 : "항만하역 노동력의 최적분배에 관한 연구 2)선박군의 경우", 한국항해학회지 제13권 3호 (1989)
- [6] E. G. Frankel : "Port Planning and Development", pp.362-pp.371, A Wiley Interscience Publications, (1987)