

유전 알고리즘을 이용한 컨테이너 적하계획

이상완* · 최형림** · 박남규*** · 김현수** · 박병주**** · 노진화*****

Container stowage planning using genetic algorithm

Sang Wan Lee* · Hyun Rim Choi** · Nam Kyu Park*** · Hyun Soo Kim**
Byung Joo Park**** · Jin Hwa Noh*****

요 약

해상운송에서 규모의 경제 이익을 달성하기 위해 선박의 크기가 대형화되고, 항만이 중심항만과 주변항만으로 양분화 되어감에 따라 컨테이너 터미널의 효율적 운영을 통한 경쟁력 확보가 중요시되고 있다. 컨테이너의 효율적인 적하는 선박의 효율과 양적하에 직접 관여하는 터미널 중심 장비인 쉼트리 크레인의 효율을 극대화하도록 계획되어야 한다. 적하 문제는 선박의 크기와 각 터미널에서의 적하량에 종속되는 NP-hard 문제이다. 본 연구에서는 컨테이너 적하 문제를 크게 두 개의 단계로 나누어 적하 계획을 수행한다. 무한한 경우의 수를 두 단계로 나눈 계획 시스템에 의해 크기를 줄인다. 첫 번째 단계는 컨테이너를 선박의 각 해치별로 배치하는 단계이고, 두 번째 단계는 각 해치별로 배정된 컨테이너를 특정 슬롯에 배치하는 것이다. 이렇게 분해된 문제의 각 단계에서 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하여 최적의 적하계획을 세운다. 그리고 정기 컨테이너선의 운항모형을 수립하고, 각 항구에서의 양·적하를 수행하여 구축된 시스템의 적합성을 시뮬레이션하여 평가한다.

Key words : 적하계획, 유전 알고리즘(Genetic Algorithm), 컨테이너터미널

1. 서론

현재 국제시장은 단일화 및 개방화의 추세에 따른 국제무역의 양적인 증대와 일괄 수송체계의 보편화로 인해 컨테이너 수송량은 급속히 증대되고 있다. 이에 따라 전세계적으로 컨테이너터미널의 건설과 확장이 증가할 것으로 추정되며, 더불어 컨테이너 선박의 대형화로 모선 기항지가 축소됨으로 인해 모선의 기항 여부에 따라 지선항만(Feeder Port)과 중심항만(Hub Port)로 양극화되는 추세가 두드러져 컨테이너 터미널간의 경쟁이 날로 심화될 것으로 예상된다.

현재 터미널에서 경쟁력 향상을 위해서는 크게 두 가지 측면에서의 고려가 진행되고 있다고 할 수 있다. 첫 번째는 터미널의 설비의 확충이다. 두 번째

는 기존 운영방식의 개선이나 자동화 및 전산화이다. 첫 번째 방법은 선박운항형태의 변화에 즉각적인 요구를 수용하기 힘들며, 터미널 설비가 대부분의 고가의 장비들로 구성되어 그 채산성 부족이 크게 문제가 된다고 할 수 있다. 이러한 이유로 기존의 설비 확충보다는 두 번째 방법이 우선시되고 있다. 자동화 컨테이너터미널의 효율적이고 안전한 운영을 위해서는 선측장비, 이동장비, 야드장비 등의 자동화된 기계 및 메카트로닉스 등의 요소 기술뿐만 아니라 이러한 요소기술들을 활용한 자동제어 및 시스템 기술에 대한 연구개발도 대단히 중요하다.

컨테이너터미널은 현재 국내에 부산과 광양, 울산 세 곳에 위치하고 있다. 실제 컨테이너 터미널은 제한된 위치에 한정된 숫자로 존재하여 적하계획과 관련된 연구는 그 수가 매우 적다고 할 수 있다.

* 동아대학교 기계산업시스템공학부 교수
** 동아대학교 경영정보과학부 교수
*** 동명정보대학교 유통경영학과 교수
**** 동아대학교 경영정보학과 Post-Doc.
***** 동아대학교 산업시스템공학과 석사과정

p 적하계획의 분야에서는 주로 선박의 안정성 (vessel stability)과 갠트리 크레인의 작업 특성을 중심으로 연구가 수행되었다. Wilson & Roach[11]은 의해 적하계획의 모형을 만들었으며 타부서치(Tabu search)를 이용하여 그 해를 도출하였다. Wilson & Roach[12]에 의해 적재의 위치에 관한 연구가 진행되었으며, 적하계획의 수리 모형을 만들고 분지탐색법에 의해 그 해를 도출하는 연구가 진행되었다. Bortfeldt & Gehring[13]에 의해 서로 다른 크기의 컨테이너를 컨테이너 선에 적재하기 위한 문제를 Hybrid-GA를 사용하여 해를 도출하였다. 신재영 등[7]에 의해 자동 선적 의사결정 지원시스템을 개발하였다. 내부에 수리적 모형과 전문가의 지식을 바탕으로 구축된 지식베이스를 결합한 전문가 시스템이라 할 수 있다. Shields[16]는 선박의 안정성을 고려한 컨테이너 최적 적하 위치 결정에 있어서, 시뮬레이션과 몬테카를로 기법을 병합한 임의탐색기법(random search)으로 각 대안들에 대해 벌점을 부과하여 대안을 비교·분석하였다. 강기중과 이철영[3]은 컨테이너 선적에 있어서 본선 안정성과 야드 Shift수를 동시에 최적화하는 정수계획모형(Ingteger Programming)을 제시하였으며, 해의 도출 과정에 있어서는 분지탐색법(Branch and bound)을 이용하여 초기해를 도출하고, 동적계획법(Dynamic Programming)을 이용하여 해를 구하였다. 김갑환 등[1]은 컨테이너 적하 계획에서 수출 컨테이너의 적하 순서를 결정하는 정수계획모형을 수립하고, GA를 이용하여 해를 구하였다.

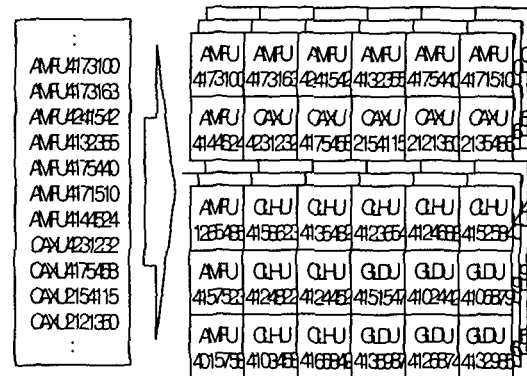
컨테이너선의 대형화 추세로 인해 컨테이너 터미널은 대형 컨테이너 선이 정박할 수 있는 중심항과 주변항으로 양분화되고 있으며, 규모의 경제의 실현으로 이러한 중심항 사이를 순환하는 대형 컨테이너 선의 적재의 효율화가 필수적이라 할 수 있다. 컨테이너선의 적재의 효율화는 실제 컨테이너 선박의 운항에는 관련이 적지만 컨테이너 선박이 입항하는 항구에서의 양·적하 시간의 단축을 통한 선박의 효율성을 기할 수 있다.

본 연구에서는 컨테이너터미널에서의 생산성을 향상시키고 중심항을 순환하는 대형 컨테이너 선박의 효율성 향상을 위한 계획업무의 효율화를 목적으로 하며, 그 중에서도 컨테이너의 적하계획의 효율화를 다룬다. 이러한 적하작업은 실제 고가의 대형장비를 통해 이루어지므로, 효율적인 작업계획이 필수적이라 할 수 있다. 적하계획은 크게 적재의 위치를 결정하는 문제와 적재의 순서를 결정하는 문제로 나뉘어 질 수 있다. 적재의 위치를 결정하는 문제는 컨테이너를 컨테이너선 내의 어느 부분에 적재할 것인가에 관한 문제이다. 적재의 순서에 관한 문제는 적재 위치에 따라 컨테이너를 컨테이너 선에 어떤 순서로 컨테이너를 적재할 것인가에 관한 문제이다. 연구에서 컨테이너를 컨테이너 선박의 어느 위치에 적재할 것인가를 결정하는 적재 위치결정 부분을 집중적으로 다루게 될 것이다.

2. 모형의 설계

Booking Prospect

Bay Plan



<그림 1> 적하 Bay Plan의 작성

2.1 문제의 복잡성

대형 컨테이너 선박은 정해진 기항지(POD; Port of destination)를 순환하는 정기선의 형태를 갖추고 있다. 이러한 정기선에서의 적재의 문제는 다음과 같은 문제의 복잡성을 야기하고 있다.

- 문제의 크기는 선박의 크기와 POD의 수에 크기가 종속되는 문제이다.
- 각 POD에서의 적재 의사결정은 다음 POD의 의사결정에 영향을 미친다.
- 각 POD에서는 컨테이너의 양하와 적하가 동시에 발생한다.
- 선박의 무게제약과 안정을 고려하여 적재계획이 이루어져야 한다.

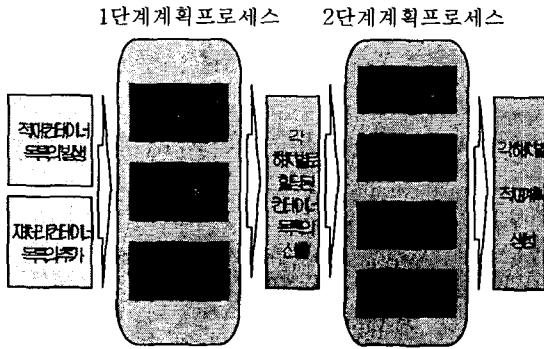
이러한 문제는 거대한 크기의 문제로 다음은 개개의 항구에서 적재 계획 과정동안 고려되어야만 할 모든 공통의 주요 제약과 지침의 중요한 개요이다.

- 컨테이너의 적하 후 양하 이전까지 재처리 횟수의 최소화
- 크레인의 효율성의 최대화
- 컨테이너 그룹핑의 효율의 최소화
- 해치커버 이동의 최소화
- 컨테이너 적재시 무게의 고려
- 컨테이너의 형태에 따른 적재위치의 고려
- 특수화물의 위치 고려
- 선박의 안정에 대한 고려
- 벨런싱의 최소화

2.2 적하계획 프로세스

적재 문제의 정확한 해를 생성하기에는 적재 컨테이너의 수와 POD의 수, 컨테이너 선의 적재공간의 수의 조합으로 실제 계산이 불가능하다. 문제의 해결을 위한 계획 프로세스는 I.D. Wilson에 의해

제한된 방법과 같이 다음의 두 개의 하위 프로세스로 분해가 된다. 이 과정에서 선박의 trim을 또한 최소화 할 수 있다. 각 단계의 해법으로는 GA를 사용하게 된다.



<그림 2> 계획프로세스의 개요도

- 1단계 계획프로세스(first-phase planning process) : 이 계획 프로세스는 적재 컨테이너를 각 해치별로 할당하는 프로세스이다.
- 2단계 계획프로세스(second-phase planning process) : 1단계에서 결정된 해치내의 컨테이너를 특정 슬롯에 할당하는 프로세스이다.

1단계 계획프로세스는 일반화된 컨테이너의 적재 분포를 생성한다. 이러한 1단계 계획프로세스는 적재의 본래 특성을 유지하면서 문제의 조합크기를 감소하기 위한 것이다. 컨테이너 선박의 화물공간을 해치 단위로 분해하고 적재할 컨테이너를 해치 단위로 먼저 할당함으로써 두 번째 계획프로세스에서 이용 가능한 특정 컨테이너의 위치의 선택의 수가 수천에서 수백으로 감소하게 한다. 따라서 1단계 프로세스를 거친 문제는 컨테이너선의 어떤 부분(해치)에 할당된 특정 컨테이너의 적재 슬롯을 결정하는 문제로 감소되게 된다.

두 번째로, 2단계 계획프로세스는 해치 별로 할당된 컨테이너들의 정확한 점유 슬롯을 결정한다. 조합의 어려움은 전체 화물 공간에서 컨테이너의 특정한 적재위치를 결정하는 것과 관계되게 되는데 이 2단계 프로세스에 의해 이러한 조합의 어려움은 상당히 감소된다.

2.3 1단계 계획프로세스의 목적함수

- O_1 : 각 목적항 별 점유 화물공간(해치)의 수의 최소화
- O_2 : 각 화물공간(해치) 별 점유 목적항의 수의 최소화
- O_3 : 컨테이너 선박의 trim의 최소화

- O_4 : 각 POD에서 운영되는 크레인 효율의 최대화

1단계 계획프로세스의 해를 평가하기 위한 목적함수의 일반적 표현은 다음과 같다.

$$\min Z_1 = (O_1 * 3) + (O_2 * 3) + (O_3 * 1) + (O_4 * 10) \quad (1)$$

$$O_1 = \sum_{i=1}^{nd} \sum_{j=1}^{nh} \begin{cases} 1 & \text{if } (\exists c \in C \mid c \in (\text{ran}(d_i) \cap \text{ran}(h_j))) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

$$O_2 = \sum_{i=1}^{nh} \sum_{j=1}^{nd} \begin{cases} 1 & \text{if } (\exists c \in C \mid c \in (\text{ran}(d_i) \cap \text{ran}(h_j))) \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (3)$$

$$O_3 = \left| \sum_{i=1}^{nh} \left(\sum_{j=0}^{nh} W_{ij} \right) \right| \quad (4)$$

$$O_4 = \sum_{i=1}^{ncc} (\max\{CC_0, CC_1, \dots, CC_{ncc}\} - CC_i) \quad (5)$$

사용된 기호 및 정의는 다음과 같다.

- C : $\{c_1, \dots, c_{ncc}\}$ 모든 컨테이너의 집합
- nc : 컨테이너의 수
- D : $\{d_1, \dots, d_{nd}\}$ 모든 목적항의 집합
- nd : 목적항의 수
- H : $\{h_1, \dots, h_{nh}\}$ 모든 해치의 집합
- nh : 해치의 수
- CC : $\{CC_1, \dots, CC_{ncc}\}$ 모든 크레인의 집합
- ncc : 크레인의 수
- nhc : 해치내의 적재 컨테이너의 수
- \mathcal{S}_i : 컨테이너 적재위치에 따른 무게의 가중치
- W_{ij} : 각 컨테이너의 무게 (ran 은 *range*)

2.4 2 단계 계획프로세스의 목적함수

- O_5 : 각 POD의 컨테이너에 의해 점유된 블록의 최소화
- O_6 : 재처리 컨테이너 수의 최소화
- O_7 : 양하시 발생하는 해치덮개 제거횟수의 최소화
- O_8 : 해치덮개 아래 빈공간의 최소화
- O_9 : 컨테이너 무게가 무거운 것은 아래로, 가벼운 것은 위로
- O_{10} : 혼합된 POD를 가지는 컨테이너 적재의 최소화
- O_{11} : 가로 trim의 최소화

해치 내의 컨테이너 배열의 문제를 위한 목적함

수의 일반적 표현은 다음과 같다.

$$\min Z_2 = (O_5) + (O_6) + (O_7) + (O_8) + (O_9) + (O_{10}) + (O_{11}) \quad (6)$$

$$O_5 = \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nb} \left(\begin{array}{l} \text{if } (\exists c \in C \mid c \in (\text{range}(d_i) \cap \text{range}(b_j))) \\ \text{else} \end{array} \right) \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array} \quad (7)$$

$$O_6 = \sum_{i=1}^{nc} \left(\begin{array}{l} \text{if } c_i \in RH \\ \text{else} \end{array} \right) \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array} \quad (8)$$

$$O_7 = \sum_{i=1}^{nc} \left(\begin{array}{l} \text{if } c \in \text{range}(hu_i) \\ \text{else} \end{array} \right) \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array} \quad (9)$$

$$O_8 = \sum_{i=1}^{nc} \sum_{j=1}^{nb} \left(\begin{array}{l} \text{if } (r_j \in \text{ran}(r_i) \wedge (\text{vol}(r_j) > 0) \\ \wedge (\text{vol}(r_i) < \text{max}(r_i))) \\ \text{else} \end{array} \right) (\text{max}(r_i) - \text{vol}(r_j)) \quad (10)$$

$$O_9 = \sum_{i=1}^{nc} \left(\begin{array}{l} \text{if } c_i \in DW \\ \text{else} \end{array} \right) \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array} \quad (11)$$

$$O_{10} = \sum_{i=1}^{nc} \left(\begin{array}{l} \text{if } c_i \in DS \\ \text{else} \end{array} \right) \begin{array}{l} 1 \\ 0 \end{array} \quad (12)$$

$$O_{11} = \left| \sum_{i=1}^{nc} \left(\sum_{j=0}^{nb} W_j \right) \right| \quad (13)$$

사용된 기호 및 정의는 다음과 같다.

- B : {b₁, ..., b_{nb}} 모든 블럭의 집합
 - nb : 블럭의 수
 - r : 해치 아래공간에 저장된 컨테이너의 수
 - I : {c₁, ..., c_{nc}} 모든 컨테이너의 집합
 - D_i : 컨테이너 i의 목적함
 - DR : 컨테이너 i와 관련된 재저장의 집합
 - DW : 무거운 무게의 컨테이너 i 위에 저장된 컨테이너의 집합
 - DS : 컨테이너 i와 적재된 다른 POD를 가지는 컨테이너의 집합
- (vol은 해당 값의 크기, max은 해당 값들 중 최대값)

3. GA의 적용

유전 알고리즘(genetic algorithm)은 자연 진화의 법칙인 적자생존과 자연도태의 원리를 바탕으로, 자연계의 현상인 교차(crossover)와 돌연변이(mutation) 과정에서 환경에 적합한 개체는 생존확률이 높으며 부적합한 개체는 도태되어 간다는 진화론을 일반 최적화 문제에 적용한 것이다.

각 개체의 목적함수 값과 제약조건의 위반정도에 따라 적합도를 구하고, 적합성이 큰 개체를 다음 세대로 진화시키기 위한 교차와 돌연변이 과정에 참여할 기회를 높여, 다음 세대에 우수한 형질의 개체를 많이 형성해 좋은 방향으로 탐색을 진행시

키는 최적화 기법이다.

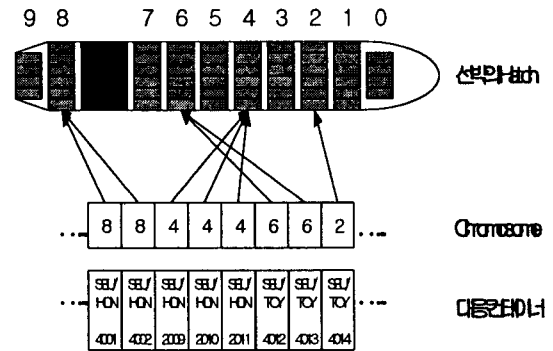
본 연구에서는 두 차례의 GA 연산과정이 수행되게 된다. 첫 번째는 1단계 계획프로세스의 GA 수행과정으로 컨테이너의 적재 해치를 결정하는 문제이고, 두 번째는 2단계 계획프로세스로 해치 내에서의 컨테이너의 정확한 적재 슬롯을 결정하는 문제이다. 본 연구에서 수행되는 GA의 연산자들은 가장 일반적인 연산자를 사용하게 된다. GA에 사용될 모수는 사전 실험을 통해 가장 좋은 결과를 산출하는 모수들로 구성하여 다음과 같이 결정되었다.

<표 1> 시뮬레이션에서 사용될 GA의 모수

	GA 모수		
	교차연산 확률	돌연변이 확률	세대 반복수
1단계 계획프로세스	0.4	0.1	500,000
2단계 계획프로세스	0.4	0.1	300,000

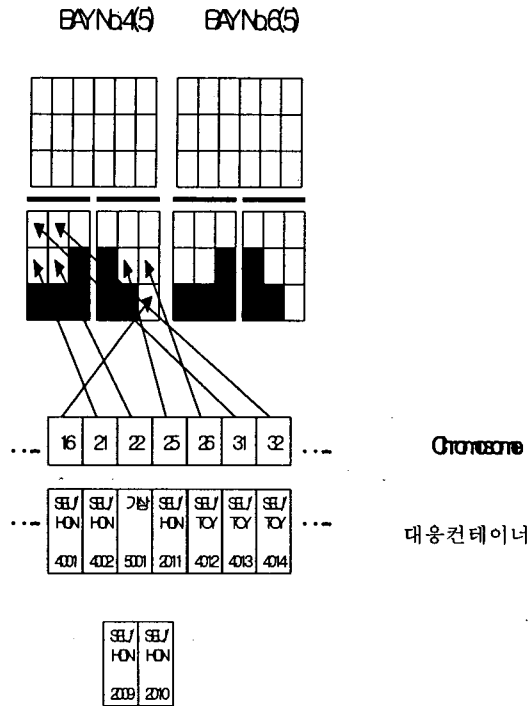
3.1 해 표현

1단계 계획프로세스에서는 다음 목적지로 운반할 컨테이너를 어느 해치의 공간에 할당할 것인가를 결정하는 단계이다. 이 단계에서의 해 표현은 각 컨테이너가 적재될 해치번호의 나열에 의해 염색체를 표현하게 된다. 이는 컨테이너의 적재할 수 있는 전체 공간이 300개의 공간이 있다면 300개의 공간의 해치번호의 나열에 의해 염색체가 구성되어진다.



<그림 3> 1단계 계획프로세스의 염색체 표현

2단계 계획프로세스에서는 각 해치별로 할당된 컨테이너가 적재될 정확한 위치 즉, 슬롯을 결정하게 되는 단계이다. 이 단계의 염색체의 표현은 각 컨테이너가 저장 가능한 슬롯의 번호의 나열에 의해 해가 표현되어지게 된다.



<그림 4> 2단계 계획프로세스의 염색체 표현

3.2 시뮬레이션의 수행 및 결과

본 시뮬레이션 실험은 앞의 실험에서 결정된 모수를 사용하여 진행되며 실제 적재 컨테이너 목록을 발생하여 그 결과를 분석한다.

3.2.1 1단계 계획프로세스의 시뮬레이션 결과

GA의 수행결과 <표 2>에 주어진 것과 같은 결과를 산출하고 있다. 목적항별 점유공간의 최소화과 화물공간의 점유목적항 수의 최소화는 현재 경유항이 3곳일 경우의 시뮬레이션으로 그 결과값에서도 볼 수 있듯이 거의 변동이 발생되지 않고 있다. 그리고 크레인의 효율화 측면에서도 크레인의 효율계산 시 개개 컨테이너의 하역 동선을 동일하다고 가정하고 컨테이너의 처리 개수만을 다루고 있어 크레인들이 거의 동일한 작업량을 가진다고 할 수 있어 그 값들이 작은 값들로 나타내어지고 있다. 단지 컨테이너의 선박의 전후 trim의 목적식의 개선으로 전체해의 개선이 주로 발생되어지고 있다. 그러나 컨테이너 선박의 경유지가 많아지고, 크레인의 하역동선이 고려되어 진다면 그 두 세 가지 목적식들도 그 변동이 증가하리라 예상된다. 이를 위해서는 결론에서 제시하겠지만 다른 계획과의 통합을 통한 정확한 계획 시스템의 구축이 요구된다고 할 수 있다.

<표 2> 1단계 계획프로세스의 각 목적함수 결과

	목적 함수				
	O_1	O_2	O_3	O_4	Z_1
1	20	20	74.35	0	194.35
2	20	20	71.28	0	191.28
3	20	20	61.16	0	181.16
4	18	18	80.29	0	188.29
5	20	20	73.60	1	203.6
6	20	20	81.11	0	201.11
7	19	19	81.61	2	215.61
8	20	20	78.08	0	198.08
9	20	20	82.42	0	202.42
10	20	20	97.08	0	217.08

3.2.2 2단계 계획프로세스의 시뮬레이션 결과

GA의 수행결과는 <표 3>에 주어진다. 결과값을 살펴보면 목적항별 점유블럭의 최소화도 목적항의 수가 작아 거의 개선이 이루어지지 않으며, 해치별 거의 모든 컨테이너가 배분되어 지므로 해치아래 공간의 빈 공간은 거의 발생되어지지 않고 있다. 2단계의 해에 현재 많은 영향을 미치는 부분은 해치덮개 제거횟수와, 컨테이너의 혼재, 컨테이너의 무게제약이 많은 영향을 미치게 된다. 그리고 trim의 부분에서는 1단계보다 상대적으로 적은 컨테이너의 개수로 인해 최적에 가까운 개선을 보이고 있다.

<표 3> 2단계 계획프로세스의 각 목적함수 결과

	목적 함수							Z_2
	O_5	O_6	O_7	O_8	O_9	O_{10}	O_{11}	
1	7	2	3	1	1	7	0.02	21.02
2	6	0	4	0	3	7	0.25	20.25
3	7	2	4	0	1	7	0.03	21.03
4	7	2	4	0	0	7	0.01	20.01
5	7	1	4	0	2	7	0.02	21.02
6	7	2	4	0	1	7	0	21.00
7	6	2	3	0	1	7	0.01	21.01
8	7	2	4	0	1	8	0.01	22.01
9	7	0	4	0	2	8	0.03	21.03
10	7	3	4	0	0	7	0.01	21.01

4. 결론

컨테이너터미널에서 발생하는 비용이 컨테이너 총 수송원가의 30%를 점유하고 있기 때문에 각국의 주요항만은 터미널 운영방식을 개선하는 등의 운영효율화에 노력의 박차를 가하고 있다. 본 연구는 이러한 상황에서 터미널의 자동화와 선박의 효율적 운항을 위한 선박의 적재계획 모형을 제시하였다. 또한 GA 알고리즘을 사용하여 해를 도출하였다.

컨테이너 선박의 적재위치의 결정에 GA를 적용하여 본 연구에서는 적재계획을 작성하였다. 문제의 크기를 감안하여 적재의 문제를 2단계로 분류하였다. 첫 번째 단계는 적재할 컨테이너를 선박의 해치별로 분류하는 과정이며, 두 번째 단계는 해치별로 분류된 컨테이너의 정확한 적재위치들을 결정하였다. 이 과정에서 선박의 운항효율화를 위한 trim의 최소화와 컨테이너의 양적하의 효율화를 위한 컨테이너의 적절한 분배의 결정과 재처리 컨테이너의 최소화를 목표로하도록 하였다.

GA의 수행결과 문제의 크기가 커짐에 따라 GA의 수행에 상당한 시간을 요구하고 있다. 실제 컨테이너 선박은 본 연구에서 다룬 300TEU의 수십 배에 달하고 있다. 따라서 본 시스템의 실제 적용을 위해서는 GA의 수행의 시간에 대한 고찰이 요구되고 있다. 이에 대한 대안으로는 기본적으로 GA의 수행이 병렬적으로 이루어지게 되므로 이를 통한 병렬화된 연산을 통해 GA의 수행시간을 많이 단축시켜 현실적인 시간에 많은 대안을 비교하여 보다 나은 해를 산출하리라 생각된다.

그리고 GA 알고리즘의 효율을 향상시키기 위한 방안인 다른 기법들과의 결합의 적용도 할 수 있을 것이다. 그 예로, 초기해의 발생에 있어 다른 기법의 도입이 적용될 수 있으며, 종료규칙의 적용에 있어서도 단순한 종료세대를 기록하는 것이 아닌 다른 기법과의 결합된 방법의 적용이 가능할 것이다.

나아가서 본 연구는 계획의 자동화를 위한 한 부분으로 적재 위치의 결정을 계획하는 시스템이다. 다음의 연구로 적재의 순서를 결정하는 시스템과 통합한 시스템을 설계하고, 나아가 전체 계획을 효율적으로 수립할 수 있는 시스템의 개발로 진행되어야 할 것이다. 실제 전체의 최적해를 발견하는 것은 천문학적인 해의 수와 계산량에 의해 현 시스템으로는 불가능 할 것이다. 대안으로 전문가 시스템과 휴리스틱의 결합에 의한 가장 효율적인 계획의 수립이 요구된다.

참고문헌

- [1] 김갑환 “컨테이너 터미널의 효율적 운영을 위한 의사결정지원시스템”, 부산대학교 생산기술 논문집, 제55집, pp 297-310 (1998)
- [2] 하태영, “효율적인 하역장비 운용을 위한 컨테이너 터미널 선적계획 시스템”, 석사학위논문 (2000)
- [3] 박강태 “라그랑지 완하법을 이용한 컨테이너 터미널의 수출 장치장 공간할당 계획”, 한국경영과학회 춘계학술대회논문집, pp 64-67 (1997)
- [4] 서정훈, “컨테이너 터미널의 장치장 평가를 위한 시뮬레이터 개발”, 석사학위논문 (1998)
- [5] 장성용 “자동화컨테이너터미널을 위한 시뮬레이션 기법의 적용”, 서울산업대학교 논문집, 제 50집, pp 95-105 (1999)
- [6] 광규석, 신재영, 남기찬, “효율적인 컨테이너 터미널 계획 및 운영을 위한 모형개발”, 건설교통부 (1996)
- [7] 신재영, 광규석, 남기찬, “컨테이너 터미널 선적 계획 의사결정지원시스템”, 한국항만학회 96년도 학술발표회 강연논문초록집, pp 36-41 (1996)
- [8] 이광인 “컨테이너 선적 계획을 위한 통합 의사결정지원시스템”, 석사학위논문 (1998)
- [9] 조덕운 “컨테이너 선적계획 문제 연구”, 해군사관학교 (1986)
- [10] Fern Universitat Hagen, “A hibrid genetic algorithm for the container loading problem”, European Journal of Operational Research, 131, pp 143-161 (2001)
- [11] I.D. WILSON P.A. ROACH, “Principles of Combinatorial Optimization Applied to Container-Ship Stowage Planning”, Journal of Heuristics, 5, pp 403-418 (1999)
- [12] I.D. WILSON, P.A. ROACH, J.A. Ware “Container stowage pre-planning: using search to generate solutions, a case study”, Knowledge-Based Systems, 14, pp 137-145 (2001)
- [13] Mordecai Avriel, Michal Penn, Naomi Shpirer “Container ship stowage problem: complexity and connection to the coloring of circle graphs”, Discrete Applied Mathematics, 103, pp 271-279 (2000)
- [14] Etsuko Nishimura, Akio Imai, Stratos Papadimitriou “Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms”, European Journal of Operational Research, 131, pp 282-292 (2001)
- [15] Akio Imai, Etsuko Nishimura, Stratos Papadimitriou “The dynamic berth allocation problem for a container port”, Transportation Research, part B 35, pp 401-417 (2001)
- [16] J.J. Shields, Container-ship stowage: a computer-aided preplanning system, Mar. Technol. 21 (4), pp 370-383 (1984)
- [17] R.C. Botter, M.A. Brinati, “Stowage container planning : a model for getting an optimal solution”, IFIP Trans. B(App. in Tech), B-5, pp 217-229 (1992)
- [18] Karl Jeffery, “Recent developments in information technology for container terminals”, a Cargo Systems report (1999)