

장치장 블록의 작업부하를 고려한 안벽크레인 작업계획

이승환
부산대학교 컴퓨터공학과
(sagara@pusan.ac.kr)

최 이
부산대학교 컴퓨터공학과
(choilee@pusan.ac.kr)

박태진
부산대학교 컴퓨터공학과
(parktj@pusan.ac.kr)

김갑환
부산대학교 산업공학과
(kapkim@pusan.ac.kr)

류광렬
부산대학교 컴퓨터공학과
(krriu@pusan.ac.kr)

본 논문은 컨테이너 터미널에서 장치장의 작업부하가 고르게 분산되도록 안벽크레인의 작업을 계획함으로써 장치장의 컨테이너 처리능력을 최대로 활용할 수 있는 두 가지 알고리즘을 제안한다. 두 제안방안 모두 선적 작업을 진행하는 동안 안벽크레인의 컨테이너 반출 요청이 특정 블록에 집중 되지 않고 전체 블록에 고르게 분산될 수 있도록 안벽크레인이 작업할 선박 베이(ship bay)의 순서를 결정한다. 첫 번째 제안 방안은 장치장 블록의 작업부하의 엔트로피(entropy)를 계산하여 이를 최소화하도록 다음에 작업할 베이를 결정하는 휴리스틱(heuristic)알고리즘이다. 두 번째 방안은 유전 알고리즘(genetic algorithm, GA)을 이용하여 최적의 선박 베이 작업순서를 탐색한다. 유전 알고리즘의 각 염색체(chromosome)의 적합도(fitness)를 계산하기 위해 장치장의 작업부하 분포를 고려하여 안벽크레인의 작업시간을 계산하는 알고리즘을 고안하였다. 제안한 두 가지 방안으로 선박 베이 작업순서를 조정된 안벽크레인 작업계획과 기존 작업계획을 비교 실험한 결과 선박의 총 적하 시간이 단축되는 것을 확인하였다.

논문접수일 : 2008년 07월 논문수정일 : 2008년 12월 게재확정일 : 2008년 12월 교신저자 : 류광렬

1. 서론

본선작업의 총 작업시간은 컨테이너 터미널의 중요한 생산성 지표이다. 본선작업은 크게 양하와 적하의 두 가지 작업으로 구분되며, 양하작업은 컨테이너선으로부터 수입 컨테이너를 하역하여 장치장에 장치하는 작업이며 적하작업은 장치장에 보관중인 수출컨테이너를 반출하여 선박에 싣는 작업이다. 이러한 양적하작업은 안벽크레인(quay

crane, QC)이 수행하며, 따라서 안벽크레인의 작업효율이 전체 컨테이너 터미널의 생산성에 가장 중대한 영향을 미친다(Moccia et al., 2005).

안벽크레인 작업계획 문제는 기존 연구(Daganzo, 1989)에서 처음으로 논의되었다. Daganzo는 컨테이너 하역을 위해 입항한 선박들에 대해 안벽크레인을 할당하고 각 안벽크레인이 작업할 선박베이(ship bay)를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 이후 분기한정 가지치기 탐색(branch and bound

* 이 논문은 2008년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단).

search), 동적프로그래밍(dynamic programming), 혼합정수선형계획모형(mixed integer linear programming model)등을 이용한 여러 알고리즘이 연구되었다(Peterkofsky and Daganzo, 1990; Park et al., 2003; Liu et al., 2006). 또 다른 여러 연구에서는 빔탐색(beam search), 유전알고리즘(genetic algorithm, GA)과 같은 다양한 휴리스틱 탐색알고리즘을 이용하여 근사 최적해를 찾고자 하였다(Kim et al., 2004; Kim and Park, 2004; Jung et al., 2006; Lee et al., 2008). 특히, 기존연구(Lee et al., 2008)에서는 안벽크레인 사이의 간섭이 발생하지 않는 최단 작업계획을 유전알고리즘을 이용하여 탐색하는 방안을 제안하였다. 이러한 기존연구들은 모두 재래식 터미널의 안벽크레인 작업계획 문제를 대상으로 한 것이다.

본 논문은 자동화 컨테이너 터미널에서 사용하는 안벽크레인의 작업계획 문제를 대상으로 한다. 자동화 컨테이너 터미널에서는 터미널 내부의 컨테이너 운반을 위해 무인이송차량(automated guided vehicle, AGV)과 자동화 장치장크레인(automated transfer crane, ATC)과 같은 무인장비를 사용한다. 이와 같은 자동화 장비의 사용으로 인해 자동화 터미널 운영은 기존 재래식 터미널에 비해 많은 차이가 있다. 특히, 자동화 터미널의 장치장은 작업자의 안전을 위해 장치장 블록을 안벽에 수직으로 배치하고 있으며, AGV 및 외부트럭과의 컨테이너 교환을 각각 블록 양쪽 끝에 위치한 TP (transfer point)를 통해서만 함으로써 AGV와 외부트럭의 작업영역을 분리한다. 이와 같은 수직형 장치장 구조는 재래식 터미널의 수평형 장치장 구조와 달리 각 블록에서 한번의 한 대의 AGV만 장치장 크레인과 컨테이너를 교환할 수 있기 때문에 안벽크레인의 컨테이너 반출요청이 소수의

블록에 집중하는 경우 병목현상(bottleneck)이 쉽게 발생할 수 있다. 이는 곧 안벽으로의 컨테이너 운반량을 감소시켜 안벽크레인의 작업을 지연시키는 주요 원인이 된다. 따라서 자동화 컨테이너 터미널을 대상으로 안벽크레인의 작업계획을 수립할 때에는 장치장 블록의 작업부하가 모든 블록에 고르게 분산되도록 계획을 수립하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 장치장 내의 적하 컨테이너들의 분포를 고려하여 각 안벽크레인의 컨테이너 반출요청이 특정 블록에 집중되지 않도록 고르게 분산하는 안벽크레인 작업계획을 도출하는 두 가지 알고리즘을 제안한다. 제안방안은 단시간에 안벽크레인의 작업계획을 도출하기 위해 안벽크레인의 작업계획을 선박 베이의 작업순서 결정과 선박 베이 내에서 컨테이너의 작업순서 결정으로 구분하고 선박 베이의 작업순서를 결정한다. 제안방안 중 하나는 각 블록의 작업부하의 엔트로피를 이용하는 휴리스틱(heuristic) 규칙을 이용하여 작업계획을 수립하며 나머지 한 방안은 유전알고리즘(genetic algorithm, GA)을 이용하여 안벽크레인의 최적 선박 베이 작업순서를 탐색한다. 또한 유전알고리즘의 염색체의 적합도 평가를 위해 선박 베이 작업순서를 바탕으로 장치장 작업부하를 고려하여 안벽크레인의 작업시간을 계산하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 본 논문에서 대상으로 하는 자동화 컨테이너 터미널과 안벽크레인 작업계획문제에 대해서 설명한다. 제 3장에서 본 논문에서 제안하는 두 가지 알고리즘을 설명한다. 제 4장에서는 실험설정 및 결과를 설명한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 내리고 향후 연구주제에 대해 언급하며 끝을 맺는다.

2. 컨테이너 터미널과 QC의 작업계획

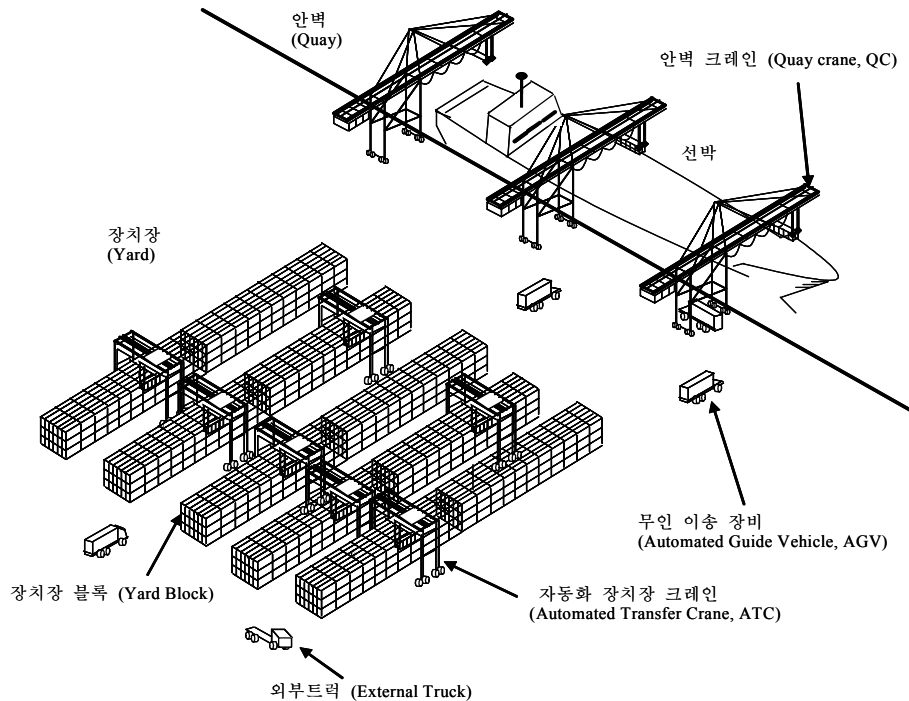
2.1 컨테이너 터미널

본 장에서는 컨테이너 터미널에 대해 간략히 소개한다. 컨테이너 터미널은 공간적으로 크게 안벽(quay), 장치장(yard), 배후지(hinterland) 세 영역으로 구분된다. 선박의 접안을 위하여 해저로부터 수직으로 만들어진 벽을 안벽이라고 하고, 안벽에는 선박에 컨테이너를 싣거나 내리는 안벽크레인이 위치한다. 컨테이너가 수입, 수출되기 전에 임시로 보관하는 장소를 장치장이라 하며 장치장은 다수의 장치장 블록(yard block)으로 구성된다. 장치장 블록에서는 자동화 장치장 크레인이 무인이송차량이나 외부트럭으로부터 컨테이너를 받아

장치장에 적재하거나 장치장에서 컨테이너를 꺼내 차량에 싣는 역할을 한다. 무인이송차량은 안벽과 장치장 사이에서 컨테이너를 운반하며, 외부트럭은 배후지를 통해 컨테이너를 외부로 싣고 나가거나 싣고 들어오는 역할을 한다. <그림 1>은 자동화 컨테이너 터미널의 안벽과 장치장을 간략히 나타낸다.

본선작업은 선박과 관련된 작업으로써 양하작업과 적하작업 두 가지로 구분되는데, 선박으로부터 컨테이너를 하역하여 AGV를 통해 장치장에 적재하는 것을 양하작업이라하고 반대로 장치장에서 컨테이너를 꺼내어 선박에 싣는 작업을 적하작업이라 한다.

선박 배이는 컨테이너가 실릴 선박의 공간을 구분하는 단위이며 선체 상단의 적재장소인 갑판



<그림 1> 자동화 컨테이너 터미널

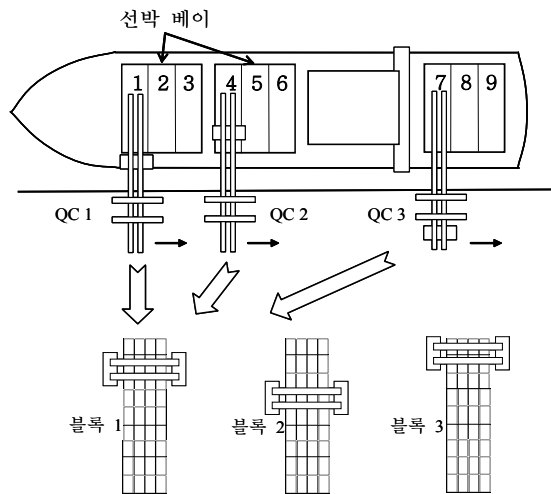
(deck)과 갑판 하단의 선창(hold)으로 구성된다. 선박 한 척은 그 규모에 따라 다수의 선박 배이가 존재한다. 양하, 적하작업은 QC가 선박 배이 사이를 횡행 이동하면서 진행되는데, 선박의 규모에 따라 한 척의 선박 당 한대 또는 여러 대의 QC가 각자 맡은 선박 배이의 작업을 수행한다. 적하작업 전 각 QC 상호간의 물리적 간섭과 처리능력에 따라서 작업을 수행할 선박 배이들을 결정하는 문제를 크레인 스플릿(crane split)이라 한다. 적하 컨테이너들을 도착지, 컨테이너 크기, 종류별로 그룹화 한 것을 컨테이너 그룹(group)이라 하고 이러한 컨테이너 그룹과 선체의 중량배분, 하역시간의 최소화 및 하역의 효율화 등을 고려하여 적하작업이 완료된 모든 선박 배이 상태를 계획하는 것을 적부도(stowage plan)라고 한다.

2.2 적하작업과 QC 작업계획

제 2.1장에서 소개한 적하작업의 자세한 절차는 다음과 같다. 각 QC가 해당 선박 배이에 적재하기 위한 적하컨테이너를 각 장치장 블록에 요청하게 되고 장치장 블록은 AGV를 통해 QC에 적하 컨테이너를 지원한다. AGV에 의해 지원물량이 도착하면 QC는 적하 컨테이너를 선박에 적재한다. 한 선박 배이의 작업이 완료 되면 QC는 다음 선박 배이로 횡행이동 하여 다음 작업을 진행하고 모든 적하작업이 끝날 때까지 이 과정을 반복한다. 적하계획 전에 적하계획을 수립하는데, 적하계획이란 컨테이너 단위의 양, 적하작업 순서를 수립하는 것이며 수립절차는 적부도 제작, 크레인 스플릿, QC의 작업계획 수립 순으로 이루어지는데, 본 논문에서는 QC의 선박 배이 작업순서 결정에 초점을 두고 QC 작업계획을 수립한다. 크레인 스플릿과 적부도는 선박 배이 작업순서 결정 이전 단계에서 이

미 수립 되었다고 가정한다.

제안방안을 설명함에 앞서 대상문제의 이해를 돕기 위해 QC 작업계획 시 장치장의 작업부하가 고르지 못해 작업에 지연이 발생하는 경우를 <그림 2>의 예로 살펴보자.



<그림 2> 지연이 발생하는 QC 작업계획

<그림 2>의 예에서 작업선박은 9개의 선박 배이로 구성되어 있고 3대의 QC와 3개의 장치장 블록의 터미널 환경이라고 가정 할 때 배이 1, 4, 7의 적하컨테이너들이 블록 1에 적재된 비율이 높을 경우 이들 배이에서 동시에 적하작업이 이루어지면 블록 1은 요청량이 많아 바쁜 반면 블록2와 3은 블록 1에 비해 상대적으로 요청량이 적어서 유휴시간이 발생한다. 또한, QC 1, 2, 3의 경우 블록1에서 주로 컨테이너 물량을 지원받게 되고, 세 QC가 요청한 컨테이너 물량이 블록1의 컨테이너 처리능력을 초과하는 경우 지연이 발생하여 세 QC는 컨테이너 지원물량 부족으로 최대 생산성을 발휘하지 못하게 된다. <그림 2>의 상황에서 블록에서의 지연시간을 줄이려면 배이 5의 작업물량은 블록2

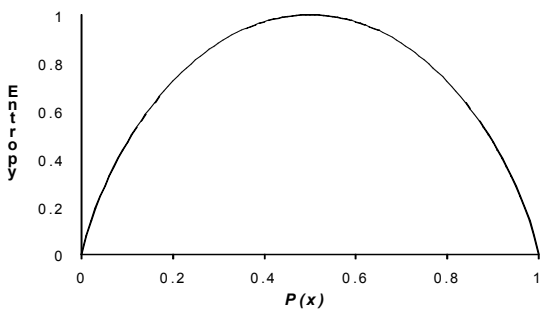
에, 베이 8의 작업물량은 블록 3에 높은 비율로 위치해 있다고 가정할 때, QC 1, 2, 3이 각각 선박 베이 1, 5, 8에서 작업을 수행해야 장치장의 작업부하가 고르게 분포되어 이상적으로 작업할 수 있다.

3. QC의 선박 베이 작업순서 결정 알고리즘

본 논문에서는 효과적인 QC의 작업계획을 수립하기 위해 엔트로피 계산에 기반한 휴리스틱 QC 작업계획 방안(entropy-based heuristic QC scheduling, EHQS)과 유전알고리즘에 기반한 QC 작업계획 방안(genetic algorithm-based QC scheduling, GAQS)의 2가지 QC 작업계획 알고리즘을 제안한다.

3.1 Entropy-based Heuristic QC Scheduling (EHQS)

EHQS는 정보 이론의 엔트로피(entropy) 계산으로(Shannon, 1948) QC가 선박 베이의 작업이 끝나는 시점에 동적으로 다음 작업할 선박 베이를 결정한다. 엔트로피는 확률 변수에서 정보량을 계산하는 방법으로써 <그림 3>은 확률 $P(x)$ 의 값에



<그림 3> 2변수에서 $P(x)$ 에 따른 엔트로피의 변화

따른 엔트로피의 변화를 나타낸다. 가장 무작위성이 높을 경우를 ‘정보량이 많다’고 하며 예를 들어 2개의 변수일 때 각각의 확률이 0.5가 되는 경우 엔트로피는 1이 되며 정보량에 따라 [0, 1]의 값으로 계산된다.

특정 QC가 선박 베이 작업을 완료하고 다음 작업할 선박 베이를 선택할 때, 장치장 블록 별 총 작업물량의 비율을 고려하여 장치장의 작업부하가 최대한 고르게 분산되는 선박 베이를 선택해야 장치장에서의 지연이 줄어들어 QC가 효율적으로 작업할 수 있다. 후보 선박 베이 각각에 대해 해당 베이에서 작업할 컨테이너를 장치장에 요청할 때, 장치장의 각 블록에 요청된 모든 컨테이너 비율의 엔트로피 값을 장치장 작업부하의 분산 여부의 지표로 사용할 수 있다. 즉, 평가할 후보 베이의 작업물량을 반영하여 장치장의 작업물량 비율의 엔트로피를 계산하면 엔트로피가 최대가 되는 선박 베이가 후보 베이 중 장치장의 작업부하를 가장 고르게 분산시키는 선박 베이라고 할 수 있으며, 이를 다음 작업대상 베이로 선정한다. 각 선박 베이의 엔트로피 E_s 의 계산식은 식 (1)과 같다.

$$E_s = - \sum_{b \in B} p(x_b) \log_2 p(x_b) \quad (1)$$

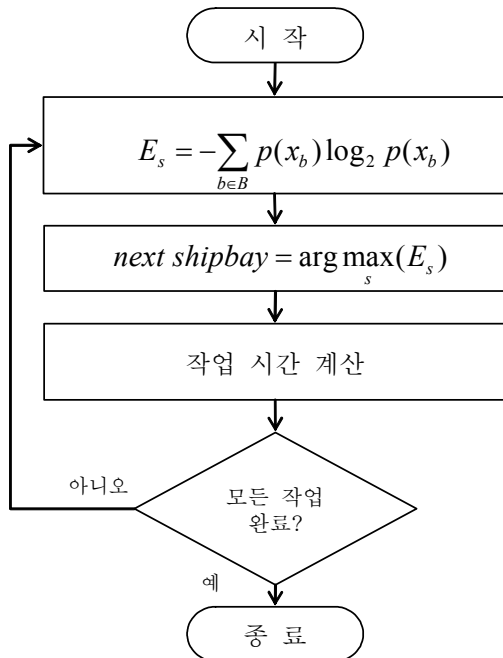
식 (1)의 확률 $P(x_b)$ 는 장치장 B 의 특정 장치장 블록 b 의 물량비율을 나타내며 식 (2)로 QC q 가 담당하는 선박 베이의 남은 작업량 $w_{q,b}$ 와 총 요청 물량 $R_{q,b}$ 을 이용하여 계산한다.

$$p(x_y) = \frac{\sum_{q \in Q} w_{q,b}}{\sum_{q \in Q} \sum_{b \in B} R_{q,b}} \quad (2)$$

EHQS에서 엔트로피 계산은 모든 QC 중에서 선박 베이의 작업이 끝나는 QC가 다음 선박 베이를 선택 하는 시점에 수행되며 이 때, 크레인 스플릿에 의해 해당 QC에 할당된 선박 베이들 중 작업을 하지 않은 모든 선박 베이 s 에 대해 엔트로피 E_s 를 계산하여 엔트로피가 가장 큰, 즉 장치장의 작업 부하가 가장 고르게 분산되는 선박 베이를 선택한다. 이와 같은 과정을 적하작업이 끝날 때까지 반복수행 한다. <그림 4>는 EHQS의 순서도이다.

3.2 Genetic Algorithm-based QC Scheduling (GAQS)

GAQS는 유전알고리즘을 이용하여 효율적인 QC 작업계획을 탐색한다. QC 작업계획의 탐색은 <그림 5>의 단계로 수행된다.



<그림 4> EHQS 알고리즘

1. 적부도를 바탕으로 선박 베이에 적하 컨테이너들의 장치장 블록 분포 파악
2. QC 별 임의의 선박 베이 작업순서로 모집단 생성
3. 장치장 작업부하를 고려한 작업시간 계산 알고리즘으로 작업시간 계산
4. 작업시간이 적은 부모를 선택
5. 선택 된 부모들 사이의 교차 연산을 통해 자손 생성
6. 돌연변이 연산

<그림 5> GAQS 알고리즘의 단계

<그림 5>의 단계 2에서 임의의 작업순서 n 개를 생성하고 단계 3~6은 n 개의 염색체로 치환된 작업순서 각각을 적합도 평가와 진화를 거쳐 최적의 작업순서를 탐색한다. <그림 6>은 선박 베이가 15개인 선박 한대에서 QC가 3대이고 크레인 스플릿이 각 QC마다 5개의 선박 베이로 동일하게 나누어졌다고 가정할 때의 해 표현의 예시이다. 각 염기(gene)는 크레인 스플릿을 기점으로 각각의 QC가 맡은 선박 베이 번호를 의미하며 작업순서로 정렬되어 있다.

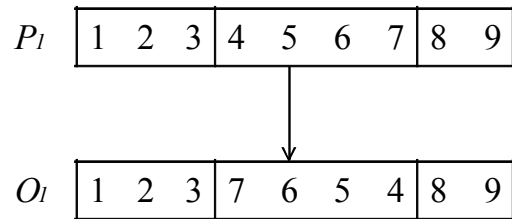
위의 염색체에서 QC의 작업순서는 크레인 스플릿을 기점으로 독립적이다. 따라서 교차연산과 돌연변이 연산은 QC별로 각각 한번씩 3회 수행된다. <그림 6>과 같은 해가 주어졌을 시 해당 염색체의 평가는 장치장 작업부하를 고려한 작업시간 계산 알고리즘을 이용하여 계산한 작업시간을 이용한다. 부모 선택 단계에서 적합도 계산 단계에서 계산한 작업시간을 이용하여 토너먼트 선택을 통해 작업시간이 적은 개체가 선택된다. 부모 사이의 교차연산은 순서계획 문제에 적합한 OX 교차연산을 사용한다(Oliver et al., 1987). OX 교차연산은 다음과 같이 진행된다. <그림 7>에서 두 부모(P_1 , P_2)와 임의로 정해진 2개의 단절점('')이 있을 때 <그림 7>의 단계 1로 표현할 수 있다. 단계 1-1에서 단절점 사이의 값이 각 자손 O_1 , O_2 에 복사된

1	5	4	2	3	3	5	2	4	1	5	1	4	3	2
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

<그림 6> GA에 적용되는 염색체의 예

다. 단계 2에서 P_2 의 염기를 두 번째 단절 점부터 나열하면 9-3-4-5-2-1-8-7-6이 된다. 여기서 단계 3과정을 거쳐 O_1 에 이미 있는 값을 제거하면 9-3-2-1-8이 된다. 이 값을 O_1 의 두 번째 단절점부터 대치하면 단계 4의 최종 자손이 완성된다. 이와 같은 방법으로 P_1 을 통해 O_2 를 계산한다.

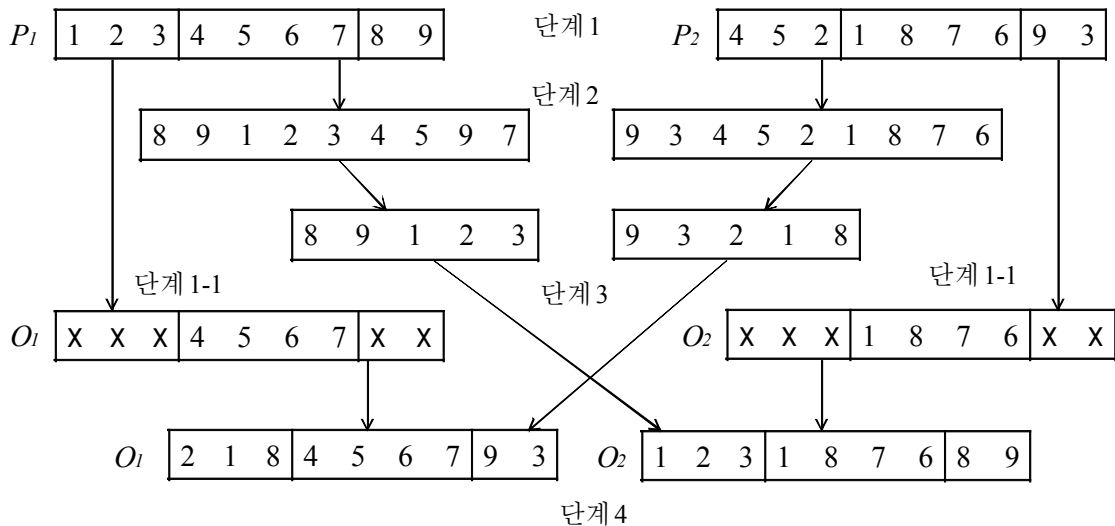
대상문제가 순서 결정 문제이기 때문에 돌연변이 연산 시 QC 내의 영역에서 각 염기가 중복되어서는 안된다. 염기의 중복을 방지하기 각각의 QC 별로 '1/염색체 길이'의 확률로 돌연변이 연산이 발생할 때 해당 QC영역내의 다른 염기와 교환하는 방식을 취하면 돌연변이 연산 후에도 지역 최적해(local optimum)을 빠져 나오지 못하는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 역전(inverse) 돌연변이 연산을 적용한다(Goldberg, 1989). 역전



<그림 8> Inverse 돌연변이 연산

돌연변이 연산은 OX 교차연산과 마찬가지로 2개의 단절점을 임의로 지정하고 지정된 단절점 사이의 염기들을 <그림 8>과 같이 뒤집어 배치하여 돌연변이를 만든다.

본 논문에서는 우수 염색체 보존(elitism)을 위해 매 세대마다 가장 좋은 염색체를 다음 세대로 넘긴다.



<그림 7> OX 교차 연산

3.3 장치장 작업부하를 고려한 QC 작업시간 계산

앞서 소개한 GAQS에서는 각 검색체를 평가하기 위해 검색체 상의 QC 작업순서에 따라 작업을 수행하였을 때 총 작업 소요시간을 추정해야 한다. 추정치의 오차를 줄이기 위해 QC의 작업을 정밀한 시뮬레이터로 시뮬레이션 하면 실제 소요시간과 가까운 값을 얻을 수 있으나 정교한 시뮬레이션일수록 시간비용이 크므로 실제 운영 시스템에 적용 가능한 실시간 탐색이 어려워진다. 따라서 본 논문에서는 선박의 총 적하작업시간을 간단한 수식을 통해 추정하는 방안을 고안하였다.

QC의 작업시간 추정은 총 3 단계로 이루어지는데, QC가 장치장 블록에 컨테이너를 요청하는 적하 컨테이너 요청률(QC request rate)을 계산하고, 장치장 블록이 해당 QC가 작업 중인 선박 베이에 지원하는 컨테이너의 양(yard block service rate)을 계산한다. 계산된 요청률과 지원량을 이용하여 총 적하 작업시간을 계산한다.

식 (3), 식 (4)는 QC가 장치장 블록에 요청하는 적하 컨테이너 요청률을 계산한다. QC의 처리능력 C_q 대비 각 QC q 가 처리할 작업 물량의 비율로 시간 당 요청물량 $r_{q,b}$ 를 계산하고, 이를 각 장치장 블록 별로 합산하여 블록 별 작업 요청물량 r_b 를 계산한다.

$$r_{q,b} = C_q \cdot \frac{w_{q,b}}{\sum_{b \in B} w_{q,b}} \quad (3)$$

$$r_b = \sum_{q \in Q} r_{q,b} \quad (4)$$

식 (5)와 식 (6)으로 각 장치장 블록의 적하 컨

테이너 지원율(yard block service rate)을 계산한다. 식 (5)에서 각 선박 베이의 해당 블록에서의 물량요청비율 $r_{q,b}/r_b$ 와 장치장의 컨테이너 처리능력 B_b 를 이용하여 각 선박 베이에 대한 각 장치장 블록의 컨테이너 지원물량 $s_{q,b}$ 를 계산한다. 식 (6)으로 각 QC가 작업 할 선박 베이 별 지원율 $s_{q,b}$ 를 QC 별로 합산하여 각 QC 별 지원물량을 계산한다.

$$s_{q,b} = B_b \cdot r_{q,b} / r_b \quad (5)$$

$$s_q = \sum_{b \in B} s_{q,b} \quad (6)$$

위의 방법으로 QC의 요청률과 장치장 블록의 지원율을 계산하며, 이를 바탕으로 다음과 같이 작업시간을 계산하고 잔여물량을 갱신 한다.

QC에 지원되는 컨테이너 물량 s_q 가 QC의 능력 C_q 보다 많은 경우 <경우 1> 과 그렇지 않은 경우 <경우 2>를 구분하여 아래의 방법으로 작업시간을 계산한다.

$$\text{<경우 1> } s_q > C_q$$

QC의 처리 능력보다 지원 컨테이너의 물량이 많을 경우 QC의 능력을 고려하여 식 (7)로 각 장치장 블록 별 작업시간 $t_{q,b}$ 를 계산한다.

$$t_{q,b} = \frac{w_{q,b}}{C_q \cdot s_{q,b} / s_q} \quad (7)$$

$$\text{<경우 2> } s_q \leq C_q$$

식 (8)로 각 컨테이너 별 작업시간 $t_{q,b}$ 를 계산한다.

$$t_{q,b} = w_{q,b} / s_{q,b} \quad (8)$$

경우 1, 2에서 작업시간 계산이 끝나면 선박 베이 내에서 가장 먼저 적하작업이 끝나는 장치장 블록에 분포한 컨테이너의 물량을 0으로 하고, 다른 블록에 분포한 컨테이너 물량을 식 (9)를 이용하여 해당 작업시간 동안 처리된 물량만큼 감소시킨다.

$$w_{q,b} = w_{q,b} - \min(t_{q,b}) \cdot \frac{w_b}{t_{q,b}} \quad (9)$$

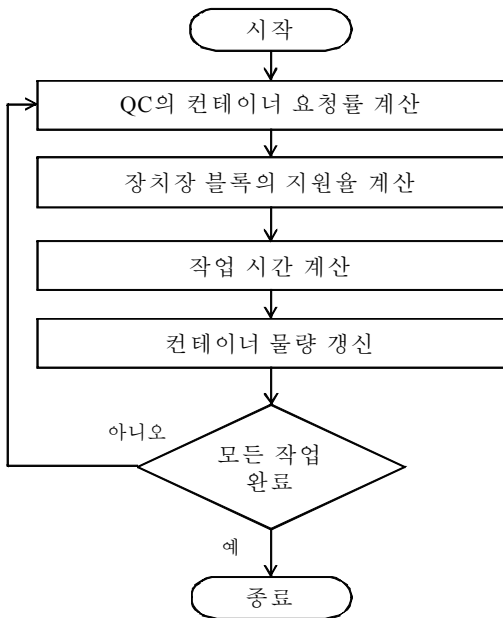
QC별 총 작업시간은 식 (7)과 식 (8)에서 계산한 작업시간의 합으로 계산된다. 선박 베이의 적하작업을 완료 할 때까지 식 (3)~식 (9)를 반복 수행한다. <그림 9>는 작업시간 계산 알고리즘의 순서도이다.

본선작업 시, 인접한 두 선박 베이에서는 물리적 간섭때문에 두 대의 QC가 동시에 작업을 진행

할 수 없다. 작업시간 계산 알고리즘은 이러한 점을 감안하여 QC가 다음에 작업 할 선박 베이로 이동하기 전에, 다음 선박 베이의 인접 선박 베이의 작업이 진행되는가의 여부를 판단하고 작업이 진행 중에 있다면, 인접 선박 베이의 작업이 완료될 때까지 대기하여 간섭을 회피한다. QC의 이동시간은 QC의 횡행이동 발생 시 계산한다.

4. 실험 및 결과 분석

제안방안의 성능을 평가하기 위하여 시간 당 20박스의 컨테이너 처리능력을 보유한 QC 3대와 시간 당 20박스의 컨테이너를 처리 할 수 있는 7개의 장치장 블록으로 구성 된 컨테이너 터미널에서 70개의 베이를 보유한 선박 1척을 대상으로 적하작업을 수행하는 상황을 가정하였다. <표 1>과 같은 시스템 환경에서 알고리즘을 구현 및 실험하였으며, 작업 선박 베이와 적하 컨테이너 수를 <표 2>와 같이 실험 1, 2, 3으로 구분하여 실험하였다.



<그림 9> 작업시간 계산

<표 1> 실험 및 개발 시스템 환경

시스템 환경	
중앙처리장치	Intel® Core™2 Duo CPU E6550 2.33GHz
주 메모리	DDR2 2GB
운영체제	Windows Vista Home edition
개발 도구	Microsoft Visual C++ 2005

<표 2> 터미널의 실험환경

	실험 1	실험 2	실험 3
작업 선박 베이 수	15	21	30
적하 컨테이너 수	500	1500	2000

비교방안으로는 순차적 QC 작업계획(각 QC가 맡은 선박 베이에서 가장 왼쪽부터 순차적으로 작업)과 본 논문에서 제안하는 GAQS, EHQS, 무작위 순서로 작업, 총 4가지 방법으로 적하작업을 수행하고 작업소요시간을 비교하였다. 작업시간은 제 3.3절의 장치장 작업부하를 고려한 작업시간 계산 알고리즘으로 계산하였다. <표 3>은 GAQS의 탐색 알고리즘인 GA의 설정이다. GAQS는 실험을 통해 찾은 알고리즘이 수렴점에 도달하는 500세대까지 수행 후 종료한다.

<표 3> 실험에 적용한 GA 환경

GA 설정	방 법
모집단 크기	100개
적합도 함수	근사 작업시간 알고리즘
부모 선택	토너먼트 선택
교차연산	OX 교차연산
돌연변이 연산	Inverse 돌연변이 연산
총 세대 수	500세대
우성 염색체	1개의 염색체

<표 4> 적하작업 실험 결과

작업계획 방법	선박의 총 적하작업시간 (단위 : 시간)		
	실험 1	실험 2	실험 3
GAQS	8.1	19.6	26.2
EHQS	9.2	20.9	25.6
순차적 작업계획	12.4	22.5	29.6
무작위 순서로 작업	10.9	23.4	30.7
최악의 경우 탐색	15.0	27.1	37.7

실험 방법에서 작업시간의 최대 상한과 비교하기 위해 최대의 작업시간이 걸리는 최악의 경우를

탐색을 통해 유추하였고, 무작위 작업계획은 임의의 순서로 결정한 QC 작업계획으로 적하작업을 수행한 결과이다. GAQS와 무작위 작업계획은 각각 10번 실험하여 평균한 값이다. <표 4>는 실험 결과이다.

<표 5>는 GAQS와 무작위 작업계획의 상세 실험 결과이다.

실험결과에서 QC 작업계획이 없는 순차적인 적하작업은 QC의 이동시간은 최소인데 반해, 장치장 블록의 작업 부하는 고려되지 않으므로, QC의 유휴 시간의 발생으로 인해 작업시간에 지연이 발생하였다. 무작위 작업계획 또한 이와 대동소이한 결과를 보였다.

본 논문에서 제안한 GAQS는 빠르게 수렴하여 최적의 작업 순서를 탐색하였고, 기존의 방법보다 약 13%(3~5시간)의 작업시간을 절약하였다. 엔트로피 계산을 통해 장치장 블록의 작업부하가 균등화 되도록 다음 선박 베이를 결정하는 EHQS는 적하 컨테이너 수가 증가하고 작업대상 선박 배이 수가 늘어날수록 GAQS과 근접한 성능을 보였다. EHQS는 QC의 이동시간 계산은 포함 되어 있으나 QC의 이동시간을 선박 베이 결정 시 고려하지 않았다. EHQS는 근시안적인 방법으로 최적의 결과를 내놓지 못했지만 계산시간이 짧은 장점이 있어 탐색시간이 소요되는 GAQS보다 실시간 적용에 보다 적합하며, 엔트로피 계산이 적하작업 도중 동적으로 수행되므로 QC의 작업시작시간이 서로 다른 경우와 적하 도중 적부도의 수정에도 크게 영향을 받지 않고 유연하게 계산 할 수 있다는 장점이 있다.

적하작업시간 계산을 통한 실험 결과, QC 작업 계획 방법에 따라 적하작업시간의 현격한 차이를 보였고 본 논문에서 제안한 두 가지의 방안으로도 출된 QC 작업계획으로 적하작업을 수행한 결과

<표 5> GAQS와 무작위 작업계획 실험 결과

	선박의 총 적하작업시간(단위 : 시간)					
	실험 1		실험 2		실험 3	
시 행	GAQS	무작위 순서	GAQS	무작위 순서	GAQS	무작위 순서
1	8.5	10.9	19.3	22.1	25.9	30.4
2	8.5	11.2	18.8	21.5	27.0	29.2
3	7.7	10.4	19.6	25.4	26.5	32.2
4	8.1	12.0	19.9	23.7	26.7	31.4
5	8.2	11.5	20.5	22.8	24.5	31.2
6	7.9	12.3	19.2	23.5	26.5	32.8
7	8.2	9.3	19.7	23.7	26.6	30.0
8	7.8	10.2	19.7	23.4	26.7	32.1
9	8.1	11.7	19.4	25.2	25.8	31.1
10	8.3	10.4	20.5	22.9	26.0	27.4

작업효율이 향상된 것을 확인하였다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 장치장 블록의 작업부하를 고려하여 특정 장치장 블록에 작업부하가 집중 되지 않도록 QC의 선박 배이 작업순서를 결정하는 두 가지 방안을 제안하였다. GAQS는 유전알고리즘을 이용하여 최적 작업계획을 탐색을 통해 도출하며, EHQS는 장치장 블록의 작업부하의 엔트로피를 이용하여 QC의 작업이 완료될 때마다 다음에 작업할 선박 배이를 동적으로 결정하는 휴리스틱 방안이다.

실험 결과 본 논문에서 제안한 두 가지의 방안으로 도출된 QC 작업계획으로 적하작업을 수행하였을 때 선박의 적하소요시간이 감소하는 것을 확인하였다. 실험에서 EHQS는 작업 선박 배이 수와 적하 컨테이너 물량이 늘어나 대상 문제가 어려워

질수록 GAQS와 근접한 성능을 보였으며 QC 작업시간에 불확실성이 존재하는 경우 EHQS 방법이 더 효과가 좋을 것으로 예상된다.

EHQS 방안에서는 다음 작업 선박 배이 결정 시에 QC의 이동시간을 고려하지 않았으며 컨테이너의 적하작업을 장치장 블록 단위로 고려하였다. 성능의 추가 개선을 위해서는 QC의 이동을 고려하고 컨테이너 적하작업을 그룹 단위로 결정하는 방안에 대한 연구가 필요하다. 또한, 한 선박 배이의 작업을 완료한 뒤 다음 선박 배이로 이동하는 대신, 필요한 경우 한 배이에서 작업하는 중에도 유동적으로 다른 선박 배이로 이동하여 작업을 수행하도록 계획을 수립하는 방안도 고려할 수 있다.

참고문헌

Daganzo, C. F., "The Crane Scheduling Problem",

- Transportation Research*, Vol.23B(1989), 159~175.
- Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", *Addison-Wesley, Massachusetts, USA*. 1989.
- Jung, D. H., Y. Park, B. K. Lee, K. H. Kim, and K. R. Ryu, "A Quay Crane Scheduling Method Considering Interference of Yard Cranes in Container Terminals", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.4293(2006), 461~471.
- Kim, K. H., J. S. Kang and K. R. Ryu, "A Beam Search Algorithm for the Loading Sequencing of Outbound Containers in Port Container Terminals", *OR spectrum*, Vol.26(2004), 93~116.
- Kim, K. H. and Y. M. Park, "A Crane Scheduling Method for Port Container Terminals", *European Journal of Operation Research*, Vol.156(2004), 752~768.
- Lee, D. H., H. Q. Wang, and L. Miao, "Quay crane scheduling with non-interference constraints in port container terminals", *Transportation Research Part E : Logistics and Transportation Review*, Vol.44(2008), 124~135.
- Liu, J., Y. Wan and L. Wang, "Quay crane scheduling at container terminals to minimize the maximum relative tardiness of vessel departures", *Naval Research Logistics(NRL)*, Vol.53, 60~74.
- Moccia, L., J. F. Cordeau, M. Gaudioso, and G. Laporte, "A branch-and-cut algorithm for the quay crane scheduling problem in a container terminal", *Naval Research Logistics (NRL)*, Vol.53(2005), 45~59.
- Ng, W. C. and K. L. Mak, "Quay crane scheduling in container terminals", *Engineering Optimization*, Vol.38, No.6(2006), 723~737.
- Oliver, I. M., D. J. Smith and J. R. C. Holland, "A study of permutation crossover operators on the traveling salesman problem", *In : Proc. Second Int. Conf. Genetic Algorithms and their Applications, Erlbaum(1987)*, 224~230.
- Park, Y. M. and K. H. Kim, "A scheduling method for Berth and Quay cranes", *OR Spectrum*, Vol.25, No.1(2003), 1~23.
- Peterkofsky, R. I. and C. F. Daganzo, "A Branch and Bound Solution Method for the Crane Scheduling Problem", *Transportation Research*, Vol.24(1990), 159~172.
- Shannon, C. E., "A Mathematical Theory of Communication", *The Bell System Technical Journal*, Vol.27(1948), 379~423, 623~656.
- Steenken, D., V. Stefan and S. Robert, "Container terminal operation and operations research", *Container Terminals and Automated Transport System*, Vol.26, No.1(2004), 3~49.

Abstract

Quay Crane Scheduling Considering the Workload of Yard Blocks in an Automated Container Terminal

Seung Hwan Lee* · Ri Choe* · Taejin Park* · Kap Hwan Kim** · Kwang Ryel Ryu*

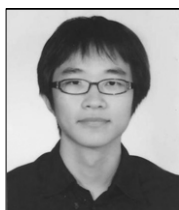
This paper proposes quay crane (QC) scheduling algorithms that determine the working sequence of QCs over ship bays in a container vessel in automated container terminals. We propose two scheduling algorithms that examine the distribution of export containers in the stacking yard and determine the sequence of ship bays to balance the workload distribution among the yard blocks. One of the algorithms is a simple heuristic algorithm which dynamically selects the next ship bay based on the entropy of workloads among yard blocks whenever a QC finishes loading containers at a ship bay and the other uses genetic algorithm to search the optimal sequence of ship bays. To evaluate the fitness of each chromosome in the genetic algorithm, we have devised a method that is able to calculate an approximation of loading time of container vessels considering the workloads among yard blocks. Simulation experiments have been carried out to compare the efficiency of the proposed algorithms. The results show that our QC scheduling algorithms are efficient in reducing the turn-around time of container vessels.

Key Words : Automated Container Terminal, QC Scheduling, Genetic Algorithm, Entropy

* Department of Computer Engineering, Pusan National University

** Department of Industrial Engineering, Pusan National University

저자 소개



이승환

현재 부산대학교 컴퓨터공학과 석사 과정 재학 중이다. 신라대학교 컴퓨터정보공학부 학사학위를(2007년) 취득하였다. 관심분야는 인공지능, 기계학습, 최적화, 지능형물류시스템이다.



최 이

현재 부산대학교 컴퓨터공학과 석박사 통합과정 재학 중이다. 부산대학교 전기전자컴퓨터공학부 학사학위를(2005년) 취득하였다. 관심분야는 인공지능, 기계학습, 최적화, 지능형물류시스템이다.



박태진

현재 부산대학교 컴퓨터공학과 BK21 박사후연구원으로 재직 중이다. 부산대학교 컴퓨터공학과 학사(2001년) 부산대학교 컴퓨터공학과 석사(2003년) 부산대학교 컴퓨터공학과 박사학위(2008년)를 취득하였다. 관심분야는 인공지능, 유전 알고리즘, 데이터 마이닝, 지능형물류시스템 등이다.



김갑환

현재 부산대학교 산업공학과 교수로 재직 중이다. 서울대학교 산업공학과 학사, 한국과학기술원 산업공학과 석사(1979년), 한국과학기술원 산업공학과 박사학위(1987년)를 취득하였다. 관심분야는 물류시스템, 생산관리 등이다.



류광렬

현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수로 재직 중이다. 서울대학교 전자공학과 학사(1979년), 서울대학교 전자공학과 석사(1981년), University of Michigan 전기 및 컴퓨터공학과 박사학위(1992년)를 취득하였다. 1983년 3월부터 1984년 8월 동안 충북대학교 컴퓨터공학과 전임강사를 역임하였으며, 1992년 3월부터 1993년 2월까지 Ford Motor Company의 Scientific Research Lab.에서 선임연구원으로 재직하였다. 주요 연구분야는 인공지능, 기계학습, 지능형물류시스템, 정보검색 등이다.