

# 유전 알고리즘을 이용한 자동화 컨테이너 터미널에서의 장치장 크레인의 작업 할당 전략

우제민\* · 양영지\*\* · 최이\*\*\* · † 류광렬

\*부산대학교 차세대물류IT학과, \*\*,\*\*\*부산대학교 대학원 컴퓨터공학과, † 부산대학교 컴퓨터공학과 교수

## Automated Stacking Crane Dispatching Strategy in a Container Terminal using Genetic Algorithm

Wu Jiemin\* · Yang Youngjee\*\* · Choe Ri\*\*\* · † Ryu Kwang Ryel

\* Department of Logistics Information Technology, Pusan National University, Pusan 609-735, Republic of Korea

\*\* , \*\*\* Department of Computer Engineering, Graduate school of Pusan National University, Pusan 609-735, Republic of Korea

† Professor, Department of Computer Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Republic of Korea

**요 약** : 자동화 컨테이너 터미널에서 자동화 장치장 크레인(ASC)은 장치장 블록 내에서의 컨테이너 운송을 담당한다. 본 논문에서는 크기와 사양이 동일한 두 대의 ASC의 작업 할당 문제를 해결하기 위한 다중 평가 기준 전략을 제안한다. 제안 방안은 컨테이너 터미널의 상황을 다각적으로 고려하기 위하여 여러 평가 요소를 통해 후보 작업을 평가하고, 결과를 가중합함으로써 가장 높은 점수를 얻은 작업을 크레인에 할당하는 방식을 취한다. 본 논문에서는 작업 할당을 위한 평가 기준을 고안하고, 평가 결과를 취합하기 위한 가중치를 유전 알고리즘을 이용하여 최적화하는 방안을 제안한다. 실험 결과를 통하여 제안 방안이 낮은 계산 비용으로 실시간 터미널에 적합함을 보이고, 다양한 평가 기준을 통한 작업 할당이 컨테이너 터미널의 효율을 개선시킴을 확인하였다.

**핵심용어** : 자동화 컨테이너 터미널, 자동화 장치 크레인, 작업 할당 전략, 크레인 스케줄링, 사전 순 최적화 유전 알고리즘

**Abstract** : In an automated container terminal, automated stacking cranes(ASCs) take charge of handling of containers in a block of the stacking yard. This paper proposes a multi-criteria strategy to solve the problem of job dispatching of twin ASCs which are identical to each another in size and specification. To consider terminal situation from different angles, the proposed method evaluates candidate jobs through various factors and it dispatches the best score job to a crane by doing a weighted sum of the evaluated values. In this paper, we derive the criteria for job dispatching strategy, and we propose a genetic algorithm to optimize weights for aggregating evaluated results. Experimental results are shown that it is suitable for real time terminal with lower computational cost and the strategy using various criteria improves the efficiency of the container terminal.

**Key words** : automated container terminal, automated stacking crane, dispatching strategy, crane scheduling, lexicographic genetic algorithm

## 1. 서 론

자동화 컨테이너 터미널에서 장치장은 수출 또는 수입 컨테이너가 장치장에서 나가기 전까지 컨테이너를 임시로 보관하는 장소이다. 본 논문에서는 Fig. 1.과 같이 장치장의 여러 블록이 안벽에 대하여 수직으로 배치되어있는 수직형 컨테이너 터미널을 대상으로 하고 있으며, 하나의 블록은 Fig. 2 와 같이 베이의 집합으로 이루어진다. 각 베이는 다시 열로 구분되며 여러 단으로 쌓여있다. 선박이 안벽에 접안한 후 안벽과 장치장 사이의 컨테이너의 운송은 내부 이송 차량(AGV)가 담당하고, 장치장과 외부 게이트 사이의 컨테이너의 운송은 외부

트럭이 담당한다. 각각의 블록에서는 두 개의 장치 크레인이 장치장 내에서의 컨테이너의 운송을 수행한다. 장치장에서의 컨테이너 운영의 효율은 장치장 크레인이 빠른 시간 내에 컨테이너를 AGV와 외부트럭에 전달하는 것과 관련이 있으며, 이를 위해 ASC간의 협업을 도모하고 간섭을 피한 작업의 스케줄링이 중요하다.

과거 장치장 크레인의 작업 스케줄링에 대하여 많은 연구가 있어왔다. Kim 등(1999)은 단일 갠트리 기증기를 위한 픽업 스케줄링 문제를 해결하기 위한 유전 알고리즘을 제안하였다. Ng 등 (2005)은 다중 장치장 크레인의 스케줄링 문제를 정수 계획법(integer program)을 이용하여 해결하였다. 또한

\* 대표저자 : 정희원, wjmcythin@hotmail.com 051)510-3645

\*\* 정희원, yangang100@pusan.ac.kr 051)510-3645

\*\*\* 정희원, choilee@pusan.ac.kr 051)510-3645

† 교신저자 : 종신희원, kr Ryu@pusan.ac.kr 051)510-2453

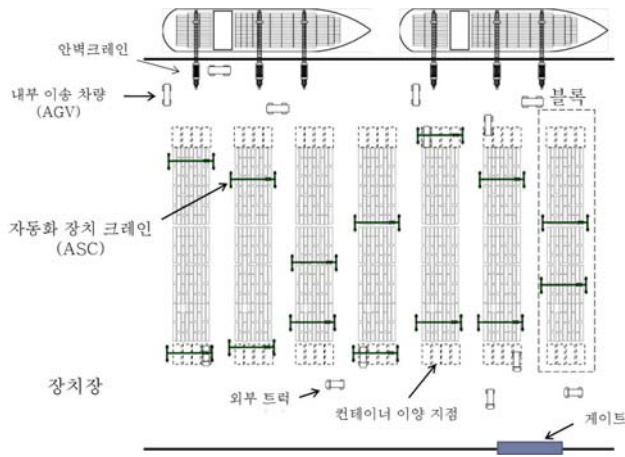


Fig. 1 An illustration of an automated perpendicular container terminal

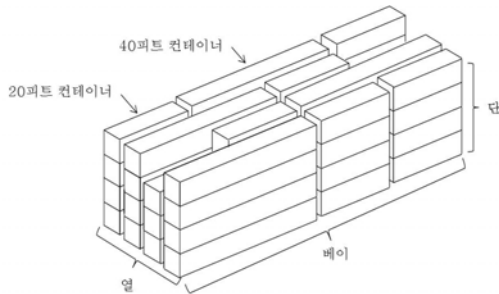


Fig. 2 Structure of a block

Park 등(2010), Choe 등(2011), Yuan 등(2011) 과 Choe 등(2012)은 반복적 재계획 방안을 이용하여 ASC 작업 스케줄링 문제를 해결하였다. 반복적 재계획은 실시간으로 변화하는 터미널의 상황에 대처하기 위하여 일정 시간을 주기로 계획을 탐색하는 방안이다. 이들은 여러 진화 알고리즘을 이용하여 룩-어헤드 호라이즌(look-ahead horizon)이라는 미리 정해진 일정 시간 내에 수행되어야 하는 작업들을 위한 크레인 스케줄링 계획을 탐색하고, 탐색된 계획을 다음 주기의 계획이 탐색되기 전까지 수행하여 실시간 크레인 스케줄링을 지원하는 방안들을 제안하였다. 이들은 크레인 스케줄링 계획의 탐색과 수행을 병행하여 실시간으로 최적화된 크레인 스케줄링을 시도하였으나, 이는 작업의 수가 늘어나거나 대상 블록의 수가 늘어나게 되면 당연히 계획의 탐색 비용이 늘어나게 된다는 문제점을 안고 있다. 즉, 규모가 큰 컨테이너 터미널의 경우 작업 상황을 반영하기 어렵게 되고 실제 컨테이너 터미널에 적용하기에 무리가 있을 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 이전 연구(Wu 등, 2011)에서는 실시간으로 크레인이 어떤 작업을 수행할지 정하는 크레인 작업 할당 문제를 좀 더 효율적으로 다루기 위하여 크레인 작업 할당에 영향을 미치는 여러 지표를 이용하여 다양한 기준들의 가중 합 형태의 작업 할당 전략을 고안하였으며, 고안한 전략에 기반을 둔 크레인 작업 할당 방안을 제안하였다. 또한 다목적 진화 알고리즘중 하나인 NSGA-II를 통하여 작

업 당 평균 AGV 지연 시간과 작업 당 평균 외부 트럭 대기 시간인 두 개의 목적 값을 최소화하는 최적 전략을 탐색하고자 하였다. 여러 기준을 취합하여 생성된 전략은 터미널 상황의 여러 측면을 고려 할 수 있으므로 다양한 상황에도 잘 대처할 수 있는 의사 결정을 내릴 수 있음을 확인할 수 있었다.

이전 연구의 연장으로 본 논문에서는 기존의 작업 할당 전략의 평가 요소들을 다듬고 보강하여 더욱 보정된 다중 평가 기준 전략 기반의 크레인 작업 할당을 방안을 제안한다. 최적 전략의 탐색 시 NSGA-II를 사용하지 않고, 목적 값의 우선 순위 순서로 최적화하는 사전 순 최적화 유전 알고리즘을 이용하여 전략의 최적화를 수행하였다. 또한 반복적 재계획 방안과의 성능 비교를 수행하여 제안 방안의 성능을 측정하였으며, 단일 기준만을 사용한 전략과의 성능 비교를 통하여 다중 평가 기준의 효과를 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 대상 문제인 자동화 컨테이너 터미널에서의 크레인 작업 할당 문제에 대하여 살펴보고, 3장에서는 대상 문제를 해결하기 위하여 전략 기반의 크레인 작업 할당을 소개한다. 4장에서는 시뮬레이션 시스템을 이용한 실험 결과를 제시하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 내린다.

## 2. 크레인 작업 할당 문제

컨테이너 터미널의 장치장에서 장치장 크레인은 크게 4가지의 일반 작업을 수행한다. 선박에 신기 위하여 장치장 블록에 쌓여있는 수출 컨테이너를 들어 AGV에 싣는 적하 작업, 선박을 통해 수입된 컨테이너를 AGV에서 장치장으로 운반하는 양하 작업, 장치장에 쌓여있는 수입 컨테이너를 외부트럭에 싣는 반출 작업, 외부트럭을 통해 들어 온 수출 컨테이너를 장치장에 쌓는 반입 작업이 있다. 이 외에도 일반 작업의 원활한 수행을 위하여 재취급이나 리포지션과 같은 보조 작업이 일어날 수 있다. 예를 들어 다른 컨테이너의 아래에 있는 컨테이너에 대하여 일반 작업이 요청되었을 때, 이 작업을 수행하기 위해서는 위에 쌓인 컨테이너들을 주위의 다른 스택으로 이동시키는 작업이 필요하다. 이러한 작업을 재취급이라 하며, 재취급은 장치장의 생산성을 떨어뜨리는 요인이 될 수 있다. 리포지션은 두 크레인간의 간섭을 피하고 협업을 도모하기 위하여 컨테이너의 일반 작업이 요청되기 전에 목표 스택에 가까운 스택으로 이동시키는 작업을 말한다. 즉, 일반 작업을 수행하기 전에 수출 컨테이너는 해측 가까운 곳으로 이동시키고 수입 컨테이너는 육측 가까운 곳으로 이동시켜 크레인의 전체 이동 거리를 감소시키는 효과를 가진다.

두 개의 장치장 크레인은 크기가 서로 같고 레일을 서로 공유하고 있다는 특성 상 장치장의 생산성을 높이기 위하여 두 크레인간의 협업이 매우 중요하다. 만약 해측 크레인이 육측에 장치된 컨테이너에 대한 작업을 처리하고 있을 때, 크레인간의 충돌을 피하기 위하여 육측 크레인은 해측 크레인이 모든 작업을 마치고 이동할 때 까지 기다려야하며 이러한 작업

지연이 반복되면 장치장 크레인 작업의 생산성이 떨어진다. 크레인 작업의 생산성 저하를 피하기 위하여, 두 개의 크레인 중 작업 부하가 적은 크레인이 다른 크레인에 할당된 작업의 재취급이나 리포지션과 같은 보조 작업을 일반 작업 수행 전에 미리 수행함으로써 작업 부하의 균형을 맞출 수 있다. Park 등(2010), Choe 등(2011), Yuan 등(2011), Choe 등(2012)은 보조 작업을 일반 작업과 같이 독립적인 작업으로 취급함으로써 장치장 크레인의 생산성 및 효율을 높이고자 하였다. 특히 리포지션 작업을 장치장에서 나가는 작업인 반출, 적하 작업에만 생성하는 다른 연구들과는 다르게 Choe 등(2012)은 장치장으로 들어오는 작업인 반입, 양하 작업까지 즉, 모든 작업에 대하여 리포지션 작업의 생성을 확대하는 방안으로 장치장 크레인의 작업 효율을 높일 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 크레인 작업 할당은 작업 할당에 영향을 미칠 수 있는 장치장의 여러 기준을 바탕으로 고안된 전략 규칙을 이용하여 일반 작업과 보조 작업을 함께 평가 하여 가장 높은 점수의 작업을 할당하는 방식으로 수행된다. 일반 작업뿐만 아니라 보조 작업을 함께 평가함으로써 크레인간의 협업을 도모하고 간섭을 피하기 위한 크레인 스케줄링에도 의의가 있다.

제안 방안은 반복적 재계획 방안과는 다르게 계산적 비용 부담이 있는 크레인 스케줄링과 작업 할당을 위한 전략의 탐색을 이전에 오프라인으로 수행하여 전략을 도출한다는 차이가 있다. 그리하여 작업 할당 시에 반복적 재계획 방안에 비하여 더욱 빠르게 후보 작업을 점수 매기기 방식으로 평가할 수 있으며, 크레인의 규모가 커지거나 수행해야하는 대상 작업이 많아져도 큰 부담 없이 실시간으로 적용 가능하다는 장점이 있다. 또한, 반복적 재계획의 경우 크레인 스케줄링의 결과물은 현업 전문가가 알아보기에 힘든 형태를 갖지만, 여러 기준의 가중 합 형태로 이루어진 전략 규칙의 경우 각각의 기준의 가중치를 통해 작업 할당 기준의 선호도를 알 수 있다. 이 값에 전문가의 지식을 더한다면 전략 규칙의 조율이나 조정도 가능해 질 수 있을 것이다.

본 논문에서 하나의 작업은 하나의 컨테이너만 연관되며, 양하·적하와 같은 해측 작업은 일정 시간 내에서는 정확하게 예측된다고 가정한다. 또한 반입·반출과 같은 육측 작업은 외부 트럭이 육측 컨테이너 이양 지점에 이미 도착해 있는 컨테이너에 대해서만 수행된다고 가정한다. 또한 크레인 작업 할당 알고리즘은 크레인이 이전 작업의 수행을 끝내고 다음 작업의 할당을 요청할 때 동작된다.

### 3. 전략 기반 크레인 작업 할당

기존의 실시간 탐색을 통하여 크레인 작업 스케줄링을 수행하는 방법과 다르게 본 논문에서는 장치장 운영 시작 시간 전에 탐색을 완료하여 최적 전략을 도출하고, 전략을 이용하여 후보 작업들을 평가하여 현재 컨테이너 터미널 장치장의 상황에 알맞은 작업을 할당하는 전략 기반의 크레인 작업 할당 방안을 제안한다. 이 장에서는 먼저 제안하는 크레인 작업

할당의 전반적인 알고리즘을 설명하고, 작업의 평가를 위하여 고안한 전략 규칙에 대하여 자세히 소개한다. 또한 최적의 전략을 얻기 위하여 사전 순 최적화한 유전 알고리즘을 이용하여 전략을 탐색하는 방법에 대하여 설명한다.

#### 3.1 작업 할당 알고리즘

본 논문에서 제안하는 크레인 작업 할당 알고리즘은 한 크레인이 할당 되었던 작업의 수행을 마친 후 유휴한 상태가 되어 다음 작업의 할당을 기다리고 있을 때 동작한다. Fig. 3에서 본 논문에서 제시하는 알고리즘을 확인할 수 있으며, 이는 유휴 크레인에 할당 될 수 있는 작업의 후보 작업 집합을 구성하는 것으로 시작된다. 그리고 후보 작업 집합의 작업들을 미리 탐색한 전략을 이용하여 평가하고, 가장 좋은 평가 값을 갖는 작업을 크레인에 할당하는 간단한 알고리즘을 가진다.

유휴 상태의 작업 할당 대상 ASC $A_i$ 에 대하여 다음을 수행한다.	
변수	$A_i$ : 작업 할당 대상 ASC $S$ : 후보 작업 집합 $E_k$ : 후보 작업 $s_k$ 의 장치 할당 전략 평가 값
Step 1.	$A_i$ 에 할당할 후보 작업 집합 $S$ 를 구성
Step 2.	$S$ 의 모든 원소 $s_k$ 에 대하여
Step 2-1.	장치 할당 전략의 모든 평가 요소 값 측정
Step 2-2.	퍼지 함수를 이용한 평가 요소의 정규화
Step 2-3.	장치 할당 전략 평가 값 $E_k$ 계산
Step 3.	평가 값이 가장 작은 $s_k^*$ 를 $A_i$ 에 할당

Fig. 3 Algorithm of ASC dispatching

후보 작업 집합은 룩-어헤드 호라이즌(look-ahead horizon) 이내에 수행되어야 하는 일반 작업, 리포지션 작업, 재취급 작업들 중 수행 순서의 제약에 따라 먼저 수행되어야 하는 몇 개의 작업들로 구성된다. Fig. 4에서 후보 작업 집합의 생성에 대한 알고리즘을 확인할 수 있다. 먼저 작업 할당 대상 크레인이 룩-어헤드 호라이즌 내에 수행해야 하는 일반 작업을 구성하는데, 이 때 크레인의 종류에 따라 일반 작업 풀에 추가되는 작업의 종류가 달라진다. 해측 작업인 양하·적하 작업은 해측 크레인에만 할당되고, 육측 작업인 반입·반출 작업은 육측 크레인에만 할당되기 때문이다. 보조 작업 중 하나인 리포지션 작업은 모든 일반 작업에 대하여 생성하여 일반 작업의 수행 전에 리포지션 작업을 수행함으로써 크레인 간의 간섭을 피하고 협업을 도모하도록 하였다. 또한 장치장에 놓인 컨테이너 위에 다른 컨테이너가 놓여있는 경우에 위에 쌓인 컨테이너들에 대하여 재취급 작업이 고려되어야 한다. 본 논문에서 모든 작업의 장치장에서의 컨테이너 적재 위치는 Park 등 (2009)이 고안한 적재 정책을 이용하였다. Step 1.과 Step 2.를 거쳐 선별된 룩-어헤드 호라이즌 내에 수행해야하는 일반 작업과 보조 작업에는 수행 순서에 대한 제약이 있다. 장치장에서 위에 놓인 컨테이너의 작업은 아래에 있는 컨테이너의 작업보다 먼

지 수행되어야 한다. 이와 같은 제약에 따라, 최종 후보 작업 집합은 가장 높은 우선순위를 가진 작업들로 구성한다.

유휴 상태의 작업 할당 대상 ASC $A_i$ 에 대하여 다음을 수행한다.	
변수	$A_i$ : 작업 할당 대상 ASC $l$ : 룙-어헤드 호라이즌의 길이 $M$ : 일반 작업 풀 $P$ : 리포지션 작업 풀 $R$ : 재취급 작업 풀 $S$ : 최종 후보 작업 집합
Step 1.	$A_i$ 가 수행할 수 있는 일반 작업 중 마감시간이 $l$ 이내인 작업을 선별하여 일반 작업 풀 $M$ 에 추가
Step 2.	$M$ 의 모든 원소 $m_k$ 에 대해,
Step 2-1.	리포지션 작업 생성 후, 리포지션 작업 풀 $P$ 에 추가
Step 2-2.	$m_k$ 가 적하 또는 반출 작업이고, $m_k$ 가 다른 컨테이너 아래에 적재되어 있다면,
Step 2-2-1.	$m_k$ 위에 적재된 모든 컨테이너에 대하여 재취급 작업을 생성하고, 재취급 작업 풀 $R$ 에 추가
Step 3.	$M, P, R$ 의 모든 원소들 사이의 작업 수행 순서 제약을 세움
Step 4.	작업 수행 순서 제약에 따라 수행 우선순위가 높은 원소들을 추려 후보 작업 집합 $S$ 를 구성

Fig. 4 Sub-procedure of creating the set of candidate jobs

Fig. 5는 후보 작업 집합을 생성하는 한 예를 보여준다. 장치장에 장치되어 있는 컨테이너  $C_1$ 와  $C_3$ 에 대한 적하 작업  $L_1$ 과  $L_3$ 와  $C_5$ 에 대한 반출 작업  $O_5$ 이 룙-어헤드 호라이즌 내에 수행되어야 한다고 하자. 모든 일반 작업인  $L_1, L_3, O_5$ 에 대하여 리포지션 작업인  $P_1, P_3, P_5$ 가 생성된다. 또한  $L_3$ 를 수행하기 위해서는  $C_3$  위에 놓인 컨테이너  $C_1, C_2$ 를 다른 곳으로 이동시키는 재취급 작업  $R_1, R_2$ 가 생성되며, 마찬가지로  $O_5$ 의 수행을 위해  $C_5$  위에 놓인 컨테이너  $C_4$ 에 대한 재취급 작업  $R_4$ 가 생성된다. 생성된 일반 작업들과 후보 작업들 사이에는 장치장에 장치된 형태에 따라 수행 순서에 대한 제약이 생긴다. 예를 들어,  $C_2$ 의 재취급 작업  $R_2$ 는 그 위에 놓인  $C_1$ 의 작업인  $L_1, P_1, R_1$ 중 하나가 수행된 후에 수행해야 한다는 것이다. 이 예에서 수행 순서에서 가장 높은 우선순위를 갖는 작업들은  $L_1, P_1, R_1, R_4$ 이며, 이들이 최종적인 후보 작업 집합이 된다.

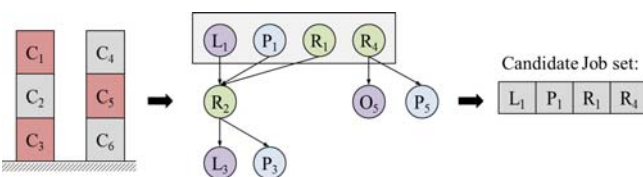


Fig. 5 An example of creating the candidate job set

후보 작업 집합이 구해지면 각각의 후보 작업에 작업 할당 전략을 적용 하여 평가 값을 계산해야한다. 평가 값을 계산하기 전에 우선적으로 전략의 평가 요소 값을 측정한다. 우리가 고안한 작업 할당 전략은 현재의 장치장 상황을 표현하는 7개의 평가 요소로 구성되어 있으며 각각의 요소는 3.2절 크레인 작업 할당 규칙에서 좀 더 자세히 설명하도록 한다. 평가 요소에 따라 측정된 평가 요소 값은 그 범위가 다양하게 분포할 수 있으므로 이를 일치시키는 정규화가 필요하다. 제안한 알고리즘에선 각각의 평가 요소마다 Fig. 6과 같은 부분 선형 함수 형태의 퍼지 함수를 통한 정규화를 수행한다. 이는 수식 (1)과 같은 형태를 가진다.

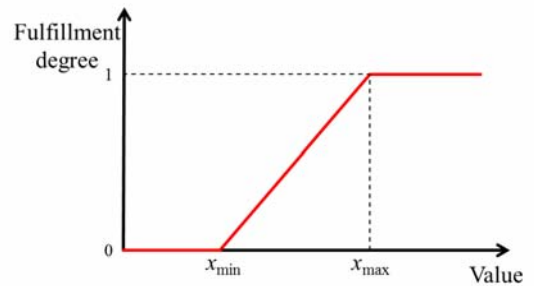


Fig. 6 Normalization of attributes with fuzzy

$$x_{new} = \begin{cases} 0 & \text{if } x < x_{min} \\ 1 & \text{if } x > x_{max} \\ (x - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

정규화 하려는 평가 요소 값을  $x$ 라 할 때, 퍼지 함수에 이용되는  $x_{min}$ 과  $x_{max}$ 인자는 평가 요소 값의 하한 임계값과 상한 임계값을 의미한다. 이 두 인자의 정확한 값은 모든 작업의 평가 요소 값을 계산한 후에야 알 수 있으므로, 우리는 이 두 값을 전략의 평가 요소 가중치를 탐색 할 때 함께 탐색하여 설정하였다. 평가 요소 값  $x$ 가 하한 임계값  $x_{min}$ 보다 작으면 0으로, 상한 임계값  $x_{max}$ 보다 큰 값이면 1으로,  $x_{min}$ 과  $x_{max}$ 사이 값이면 선형 변형을 통해 정규화 된다.

마지막으로 후보 작업은 정규화 과정을 마친 요소 값으로 작업 평가 함수를 이용하여 평가 값이 매겨진다. 후보 작업  $j$ 에 대한 평가 값  $E(j)$ 는 수식 (2)와 같이 7개의 작업 할당 전략 평가 요소의 가중합의 형태로 나타 내어 진다.

$$E(j) = \sum_{i=0}^7 w_i \times f_i(x_i) \quad (2)$$

여기서  $x_i$ 는  $i$ 번째 평가 요소 값이고  $f_i$ 는  $i$ 번째 평가 요소의 퍼지 함수,  $w_i$ 는  $i$ 번째 평가 요소 값에 대한 가중치를 의미한다. 평가 요소 값  $x_i$ 는 3.2절 크레인 작업 할당 전략 규칙에서 설명하는 방법을 이용하여 측정할 수 있으며, 평가 요소 값에 대한 가중치  $w_i$ 는 3.3절 사전 순 최적화 유전 알고리즘을 이용한 전략의 탐색에서 소개하는 유전 알고리즘을 이용하여 최적 가중치를 탐색을 통해 구하였다.

### 3.2 크레인 작업 할당 전략 규칙

우리는 후보 작업의 평가를 위하여 장치장의 상황을 결정 짓거나 작업 할당에 영향을 미치는 기준들을 조합하여 점수 함수 형태의 작업 할당 전략 규칙을 고안하였다. 전략은 7개의 평가 요소인 크레인의 무 부하 이동시간  $ET$ , 작업의 예상 수행시간  $PT$ , 작업의 예상 마감 시간  $DL$ , 크레인의 작업 부하  $WL$ , 작업 수행 시 예상 절약 시간  $SV$ , 크레인 간섭을 만들 확률  $IM$ , 크레인 간섭 시간  $IC$ 의 가중 합 형태로 표현되며, 아래에서 각각의 평가 요소에 대하여 자세히 설명한다.

크레인 무 부하 이동시간  $ET$ 는 크레인이 작업을 수행하기 위해 크레인의 현재 위치에서 작업의 시작 위치까지 컨테이너를 운반하지 않고 단순히 이동하는 시간을 의미하며, 무 부하 이동 시간이 작을수록 작업 할당 효율이 높다고 볼 수 있다. 평가 후보 작업  $j$ 에 대한 공 컨테이너 이동시간  $ET_j$ 는 수식 (3)과 같이 현재 크레인의 위치에서 작업의 시작 위치까지의 이동 시간으로 구할 수 있다.

$$ET_j = T_{travel}(L_{ASC_i}, L_{j_{src}}) \quad (3)$$

여기서  $L_{ASC_i}$ 는 작업 할당 대상 크레인의 위치이며  $L_{j_{src}}$ 는 후보 작업  $j$ 의 컨테이너가 현재 장치된 위치를 말한다.  $T_{travel}$ 은 크레인의 이동 시간으로 출발 위치와 목적 위치의 인자를 받아 구할 수 있다.

작업의 예상 수행 시간  $PT$ 는 수식 (4)를 통해 계산할 수 있다. 후보 작업  $j$ 의 예상 수행 시간  $PT_j$ 는 컨테이너를 선택하여 들어 올리는 시간( $T_{pickup}(j)$ )과 크레인이 컨테이너를 운반하는 시간( $T_{loadedtravel}(j)$ ), 그리고 목적 위치에 적재하는 시간( $T_{dropoff}(j)$ )을 더한 값이며, 작업 할당 시 예상 수행 시간이 적은 작업을 선호한다.

$$PT_j = T_{pickup}(j) + T_{loadedtravel}(j) + T_{dropoff}(j) \quad (4)$$

작업 예상 마감 시간  $DL$ 는 작업이 얼마나 급한지를 의미하며 크레인은 가급적 급한 작업을 빨리 할당 받아야 한다. 예상 마감 시간은 일반적으로 컨테이너를 최종적으로 가져갈 차량의 도착시간으로 결정되며, 작업 종류에 따라 수식 (5), (6), (7)의 다른 방법으로 계산할 수 있다.

적하 작업의 경우 :

$$DL_j = T_{arr\_vehicle}(j) \quad (5)$$

양하·반입·반출 작업의 경우 :

$$DL_j = T_{arr\_vehicle}(j) + \Delta t_{type} \quad (6)$$

보조 작업의 경우 :

$$DL_j = DL_{j_{main}} - PT_{j_{main}} \quad (7)$$

수식 (5)와 같이 적하 작업의 경우, 컨테이너를 선박에 싣기 위해 블록에 AGV 차량이 도착하도록 예약되어 있는 시간

( $T_{arr\_vehicle}(j)$ )을 바로 예상 마감으로 여긴다. 하지만 양하·반입·반출 작업의 경우 도로 사정이나 여러 현실적인 문제로 차량의 도착에 약간의 지연이 생길 수 있으므로 차량 도착 시간( $T_{arr\_vehicle}(j)$ )에 작업 종류에 따른 오차( $\Delta t_{type}$ )를 더한 값을 예상 마감 시간으로 취급한다. 이 오차( $\Delta t_{type}$ )는 평가 요소의 가중치 탐색 시 함께 탐색을 하여 설정 한다. 마지막으로 후보 작업  $j$ 가 보조 작업일 경우, 수식 (7)과 같이 후보 작업  $j$ 의 일반 작업( $j_{main}$ )의 예상 마감 시간( $DL_{j_{main}}$ )에 일반 작업의 예상 수행 시간( $PT_{j_{main}}$ )을 빼서 구할 수 있다.

크레인의 작업 부하  $WL$ 는 수행 크레인이 미리 정해져 있는 일반 작업의 경우 수식 (8)로 크레인 할당이 아직 되어 있지 않은 보조 작업의 경우 수식 (9)로 계산 할 수 있다.

일반 작업의 경우 :

$$WL_j = -(ET_j + PT_j) \quad (8)$$

보조 작업의 경우

$$WL_j = -|WL_{other} - (WL_{target} - PT_j)| \quad (9)$$

먼저 일반 작업의 경우, 작업 할당 대상 크레인의 작업 부하는 크레인의 무 부하 이동시간( $ET_j$ )과 작업의 예상 수행 시간( $PT_j$ )의 합으로 나타낼 수 있다. 하지만 할당될 크레인이 정해져 있지 않은 보조 작업의 경우엔 두 크레인 각각에 할당받을 모든 작업들의 부하의 차이를 이용한다.  $WL_{target}$ 은 작업 할당 대상인 크레인에 할당할 수 있는 모든 후보 작업들의 예상 수행시간의 합이고,  $WL_{other}$ 은 작업 할당 대상이 아닌 크레인에 할당할 수 있는 모든 후보 작업들의 예상 수행시간의 합을 말한다. 만약 작업 할당 대상 크레인이 해측 크레인이라면  $WL_{target}$ 은 후보 작업 중 양하, 적하 작업과 모든 보조 작업의 예상 수행시간의 합이 될 것이고,  $WL_{other}$ 은 후보 작업 중 반입, 반출 작업과 모든 보조 작업의 예상 수행시간의 합이 된다. 할당 대상 크레인의 작업 부하( $WL_{target}$ )에서 후보 보조 작업  $j$ 의 예상 수행 시간( $PT_j$ )을 뺀 값과 할당 대상이 아닌 크레인의 작업 부하( $WL_{other}$ )의 차이를 구함으로써, 할당 대상이 아닌 크레인에 작업을 할당 할 때의 크레인 작업 부하의 차이를 계산하고 있다. 이 차이의 절대 값이 클수록 할당 대상 크레인에 할당하지 않을 때 작업 부하의 손실이 커짐을 의미하며, 0에 가까울수록 크레인 간의 작업 부하 균형이 잘 이루어지고 있다는 것을 말한다. 모든 평가 요소들이 값이 작을수록 선호하는 양상을 가지므로 마이너스 기호를 붙여 값을 반전시켰다.

예상 절약 시간  $SV$ 는 보조 작업의 수행 시 수행 하지 않을 때에 비해 절약되는 시간을 말한다. 이는 보조 작업의 경우에만 적용되는 평가 요소 이므로 일반 작업의 경우에는 수식 (10)과 같이 0으로 취급한다. 보조 작업인 경우, 후보 작업  $j$ 의 예상 절약 시간  $SV_j$ 는 다음 수식 (11)과 같이 계산할 수 있다.

일반 작업의 경우 :

$$SV_j = 0 \quad (10)$$

보조 작업의 경우 :

$$SV_j = (CT_{other} + EP_{other,j}) - (CT_{target} + EP_{target,j}) \quad (11)$$

이는 할당 대상 크레인이 아닌 크레인이 후보 작업  $j$ 를 할당 받을 상황에 비하여 할당 대상 크레인이 작업  $j$ 를 할당 받았을 때 작업을 마치는데 예상되는 시간의 차를 식으로 계산할 수 있다.  $CT_{target}$ 와  $CT_{other}$ 는 할당 대상 크레인이거나 할당대상이 아닌 크레인이 현재 각각 할당된 작업의 수행을 마치는데 걸리는 시간이며,  $EP_{target,j}$ 와  $EP_{other,j}$ 는 각각의 크레인이 후보 작업  $j$ 를 다루는데 걸리는 예상시간(무 부하 이동시간과 예상 처리시간의 합)을 나타낸다. 각각의 크레인이 현재 수행 중인 작업을 마친 후 작업  $j$ 를 할당 받고 처리할 때의 시간의 차를 계산함으로써 절약 시간을 계산 할 수 있다.

크레인 간섭을 만들 확률  $IM$ 은 작업을 수행함으로써 크레인 간의 간섭을 생성할 확률을 의미한다. Park 등(2010)은 크레인이 최초 컨테이너를 선택하는 위치와 내려놓는 목적 위치에 따라 크레인의 간섭 확률이 달라진다고 하였으며, 이들이 측정한 확률은 Fig. 7에 해측 크레인의 경우 실선으로 육측 크레인의 경우 점선으로 나타내었다.

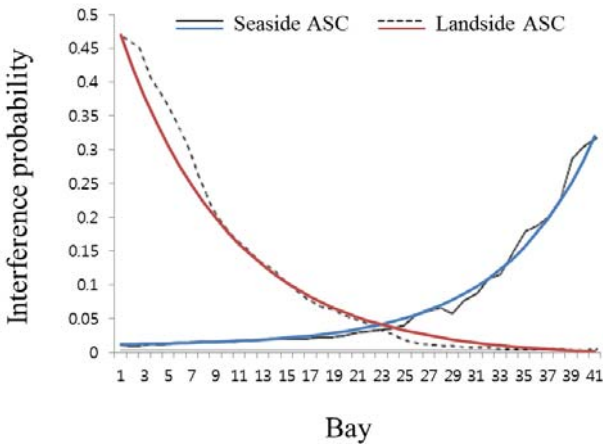


Fig. 7 The interference probabilities of ASCs depending on the pickup/dropoff bay locations

우리는 이 확률 측정값을 수식 (12)와 같은 밑수  $b$ 의 지수 함수로 근사화 하였으며, 크레인 종류에 따라 수식 (13)과 수식 (14)으로 계수를 설정하였고 이를 Fig. 7에 색선으로 도식하였다.

$$IM = (a \times b^{c \times \text{bay} + d} - e) / 100 \quad (12)$$

해측 크레인의 경우 :

$$IM_j = (0.15 \times 12.5^{0.05 \times L_j + 0.06} + 1) / 100 \quad (13)$$

육측 크레인의 경우 :

$$IM_j = (54.5 \times 0.35^{0.1 \times L_j + 0.03} - 0.6) / 100 \quad (14)$$

마지막 평가 요소인 크레인 간섭 시간  $IC$ 는 후보 작업 수행 시 다른 크레인의 간섭을 받는 시간을 말한다. 후보 작업  $j$ 에 대한 간섭 시간  $IC$ 는 크레인 시뮬레이션을 통하여 수식 (15)와 같이 크레인 대기 시간( $T_{wait}$ )으로 계산할 수 있다.

$$IC_j = T_{wait}(j) \quad (15)$$

### 3.3 사전 순 최적화 유전 알고리즘을 이용한 전략의 탐색

작업 할당 전략은 여러 평가 요소의 가중 합의 형태로 이루어지며, 평가 요소의 가중치 값을 적절하게 설정하여 최적 전략을 도출하는 것이 작업 할당 효율을 높이는데 또 다른 중요한 이슈가 된다. 본 논문에서 유전 알고리즘을 이용하여 평가 요소의 가중치를 탐색하여 최적의 전략을 도출하고자 하였다.

크레인 작업 할당의 성능은 해측 생산성과 육측 생산성으로 평가할 수 있다. 우리는 유전 알고리즘의 최적화 목적 값으로 해측 생산성의 지표인 작업 당 평균 AGV 지연시간과 육측 생산성의 지표인 작업 당 평균 외부 트럭 대기시간을 삼고, 두 값 모두 최소화 하여 성능을 최대화 할 수 있는 전략을 탐색하고자 하였다. 또한, 컨테이너 터미널에서 일반적으로 해측 생산성이 육측 생산성보다 더 중요하다는 배경 지식을 바탕으로 유전 알고리즘에서 목적 값을 우선순위 순으로 최적화하는 사전 순 최적화 유전 알고리즘을 적용하였다.

일반적으로 사전 순 최적화 유전 알고리즘은 다음과 같이 수행된다.  $x, y$ 를 두 개의 다른 시나리오라 하고,  $a$ 와  $b$ 를 두 개의 다른 평가 지표이라 하자. 또한 평가 지표  $a$ 가 평가 지표  $b$ 보다 더 높은 우선순위를 가지며,  $t_a$ 와  $t_b$ 를 각각  $a$ 와  $b$ 에 대한 평가 값의 허용 임계 치라 하자. 만약  $|a_x - a_y| > t_a$  라면, 평가 지표  $a$ 에 대한 목적 값  $a_x$ 와  $a_y$ 만을 비교하여 더 좋은 시나리오를 판단한다. 만약  $|b_x - b_y| > t_b$  이면, 평가 지표  $b$ 에 대한 목적 값  $b_x$ 와  $b_y$ 를 비교하여 더 좋은 시나리오를 판단한다. 이 두 조건 모두 만족하지 못하고 모든 평가 지표의 목적 값 차이가 허용 임계 치 이내에 있다면, 높은 우선순위의 평가 지표인  $a$ 에서 높은 목적 값을 갖는 시나리오가 더 낫다고 판단한다.

유전 알고리즘의 세팅으로 이진 토너먼트 선택(binary tournament selection)방법과 좋은 평가 값을 갖는 개체는 그대로 살려두는 엘리티즘(elitism) 기법을 사용하였다. 또한 실수 형태의 개체를 다루기 위하여 모의 이진 교차(simulated binary crossover)과 비 균등 돌연변이(non-uniform mutation)기법을 사용하였다.

## 4. 실험 결과

앞 장에서 제안한 크레인 작업 할당 전략의 성능을 평가하기 위하여, 시뮬레이션 기반의 실험을 수행하였다. 수직형 컨테이너 터미널을 배경으로 해측 작업 물량 395개, 육측 작업 물량 216개인 시나리오를 Tabel. 1의 실험 세팅으로 하루 동안의 장치장 시뮬레이션을 수행하였다. 평가하고자 하는 방안

에 대한 성능 지표는 작업 당 평균 AGV 지연 시간과 작업 당 평균 외부 트럭 대기 시간이며, AGV 지연 시간을 줄이는 것이 외부 트럭 대기 시간을 줄이는 것보다 중요하므로 작업 당 AGV 지연 시간에 초점을 두어 성능을 해석하였다. 또한 사전 순 최적화 유전 알고리즘에서 역시 작업 당 평균 AGV 지연 시간에 더 높은 우선순위를 부여하였으며, 두 최적화 목적 값에 대한 허용 임계치인  $t_{AGV}$ ,  $t_{ET}$ 를 각각 1과 20으로 설정하였다. 또한 Choe 등(2012)의 연구와 같이 적하, 반출 작업뿐만 아니라 반입, 양하 작업 즉, 모든 일반 작업에 대하여 리포지션 작업을 생성하여 크레인 작업 생산성을 최대화 하고자 하였다. 실험 결과로 쓰인 모든 수치 결과 자료는 10번의 시뮬레이션의 평균치이다.

Table 1 Experimental Setup

블록 구성	
블록 크기	40베이 10열 5단 20피트 컨테이너
장치장 크레인	2개의 교차하지 않는 크레인
실험 문제	
해측 작업	395개
육측 작업	216개
유전 알고리즘 설정	
평가 횟수	100,000번

첫 번째 실험은 온라인 탐색 방식의 반복적 재계획 기법과 제안 방안인 오프라인 탐색 방식의 작업 할당 전략 기법의 성능 비교 실험 결과이다. 반복적 재계획 기법은 주기적으로 새로운 계획의 수립을 반복하는 기법이며, 작업에 대하여 직접 탐색을 수행하여 지연 시간을 줄일 수는 있지만 스케줄링 계획 탐색과 계획의 수행을 동시에 행하므로 계산 량이 다른 방안에 비해 많다는 지적이 있었다. Table. 2의 두 방안의 성능 비교에서 볼 수 있듯이, 제안 방안인 작업 할당 전략이 두 성능 지표에서 모두 좋지 못한 것을 볼 수 있다. 하지만 작업 할당 또는 작업 계획 탐색에 걸리는 시간을 비교해 본다면 제안 방안의 약 1초정도의 작업 당 평균 AGV 지연은 충분히 견딜만하다고 사료된다. 반복적 재계획의 경우 하나 또는 두 개의 작업을 수행할 수 있는 하나의 크레인 스케줄링 계획을 탐색하는데 평균적으로 8.76초가 걸리는데 반하여, 제안 방안인 작업 할당 전략의 경우 하나의 작업을 할당하는데 평균적으로 0.004초가 걸렸으며 이는 반복적 재계획에 비하여 매우 개선된 수치라 말할 수 있다. 더욱이 반복적 재계획의 경우 스케줄링 대상 작업이 많아지거나 대상 컨테이너 터미널의 크기가 커지는 경우 스케줄링 탐색을 위한 계산 량 및 계산 시간이 현저히 커져 실시간 스케줄링이라는 제약에 부합하기 힘들어질 수 있다는 문제가 있다. 작업 할당 전략의 경우 오프라인 탐색이라는 특징을 살려, 유전 알고리즘의 평가 횟수를 증가시켜 최적 탐색을 보장한다면 더욱 개선된 결과를 낼 수 있을 것이라 생각된다.

Table 2 Performance for two schema (unit: sec.)

	작업 당 평균 AGV 지연 시간	작업 당 평균 외부트럭 대기 시간
반복적 재계획	27.5	440.5
작업 할당 전략	28.6	647.9

두 번째 실험은 다중 평가 요소를 취합하여 만들어진 작업 할당 전략을 각각의 단일 평가 요소 전략들과 비교함으로써, 크레인 작업 할당 시 장치장 상황에 대한 여러 요소들을 고려한 효과를 확인해보았다. 비교 대상인 각각의 단일 평가 요소는 7개의 평가 요소 중 각각 하나만을 고려하여 성능을 비교해보았다. Table. 3의 단일 평가 요소 전략과 다중 평가 요소 전략의 비교 결과를 확인할 수 있으며, 단일 평가 요소 전략의 경우 표에서 ‘크레인 무부하 이동시간(ET)’는 크레인 무부하 이동 시간만 고려하여 이동 시간이 가장 작은 작업을 우선적으로 할당하는 전략을 의미한다. 비교 결과를 보면 다중 평가 요소 전략이 대부분의 단일 평가 요소 전략에 비교하여 두 성능 지표 모두에 월등하게 결과가 좋은 것을 확인할 수 있다. “크레인 무 부하 이동시간(ET)”이나 “크레인 간섭 시간(IC)”의 단일 평가 요소 전략의 외부 트럭 대기 시간이 다중 평가 요소 전략의 외부 트럭 대기 시간보다 낮지만, 다중 평가 요소 전략의 AGV 지연 시간이 훨씬 작은 값을 가져 다중 평가 요소 전략의 성능이 더 좋다고 할 수 있다. 작업 할당 시 영향을 미칠 수 있는 장치장의 여러 요소를 보고 판단하는 것이 단순히 하나의 휴리스틱으로 작업 할당을 하는 것보다 장치장의 여러 면을 망라한 효과적인 작업 할당을 함을 확인하였다.

Table 3 Performances of multi-criteria strategy and single criteria strategy (unit: sec.)

		작업 당 평균 AGV 지연 시간	작업 당 평균 외부 트럭 대기 시간
단일 평가 요소 전략	크레인 무 부하 이동시간(ET)	164.4	617.2
	작업의 예상 수행 시간(PT)	152.3	1161.8
	작업의 예상 마감 시간(DL)	41.1	1044.2
	크레인의 작업 부하(WL)	129.5	1133.5
	작업 수행 시 예상 절약 시간(SV)	124.3	879.1
	크레인 간섭을 만들 확률(IM)	186.2	1054.3
	크레인 간섭 시간(IC)	129.4	584.6
다중 평가 요소 전략		28.6	647.9

## 5. 결 론

본 논문에서 우리는 컨테이너 터미널의 여러 측면을 고려한 크레인 작업 할당 전략을 고안하였고, 이를 이용하여 장치장 크레인 작업 할당 문제를 해결하였다. 크레인이 정해진 시간 내에 수행할 수 있는 후보 작업 집합을 생성하고 전략을 이용하여 후보 작업들을 평가하여 수행하기에 가장 가치 있는 작업을 크레인에 할당하였다. 제안 방안은 반복적 재계획 방안에 비하여 미리 오프라인으로 탐색을 수행하여 전략을 도출한 후, 작업 할당 시 보다 적은 계산 량으로 작업을 할당할 수 있었다. 이는 후보 작업 집합의 크기가 커지거나 대규모 컨테이너 터미널에 반복적 재계획 방안보다 더욱 적합하다고 할 수 있을 것이다. 또한 전문가로 하여금 알아보기 쉬운 전략 규칙의 형태를 갖고 있으며, 각각의 기준에 대한 선호도에 대한 배경 지식을 투입하여 전략 규칙의 수정도 용이하다는 장점이 있다. 제안 방안은 터미널 장치장의 상황을 표현할 수 있는 여러 기준을 조합한 형태이며, 단일 전략 기법과의 비교를 통하여 제안 방안인 다중 기준 전략의 효과를 성능 개선을 통해 확인할 수 있었다. 이는 작업 할당 시 단순히 단일 휴리스틱을 사용하는 것 보다는 작업 할당 시 컨테이너 터미널의 여러 면을 고려한 의사 결정이 훨씬 효과적이라는 것을 알 수 있었다.

## 후 기

“이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음”

## 참 고 문 헌

- [1] Choe, R., Yuan, H. and Ryu, K.R.(2011), “Real-time scheduling for cooperating stacking cranes in an automated container terminal”, Information systems International Conference (ISICO), Surabaya, Indonesia, 3-5 December 2011.
- [2] Choe, R., Yuan H., Yang, Y. and Ryu, K.R.(2012), “Real-time scheduling of twin stacking cranes in an automated container terminal using a genetic algorithm”, The 27th Annual ACM Symposium on Applied Computing (ACMSAC), Riva del Garda, Italy, 26-30, March, 2012.
- [3] Kim, K.Y. and Kim, K.H.(1999), “An optimal routing algorithm for a transfer crane in port container terminal”, Transportation Science 33(1), pp.17-33.
- [4] Ng, W.C. and Mak, K.L.(2005), “Yard crane scheduling in port container terminals”, Journal of Applied Mathematical Modeling, pp. 263-276.
- [5] Park, T. and Choe, R.(2010), “Real-time scheduling for twin RMGs in an automated container”, OR Spectrum,

Vol.3, pp. 593-615.

- [6] Park, T. and Sohn, M.(2009), “Optimizing Stacking Policies Using an MOEA for an Automated Container Terminal”, Computers and Industrial Engineering 2010 40th International Conference on, pp. 1-6.
- [7] Yuan, H., Choe, R., Park, T. and Ryu, K.R.(2011), “Twin-RMG scheduling in an automated container terminal using evolutionary algorithm”, In Proceedings of the 7th International Conference on Intelligent Manufacturing Logistics Systems (IML2011) (Chung-Li, Taiwan, Feb.2011). In CD.
- [8] Wu, J. and Choe, R., Park, T. and Ryu, K.R.(2011), “Optimizing Automated Stacking Crane Dispatching Strategy Using an MOEA for an Automated container Terminal”, 2011년도 공동학술대회 한국해양항만학회 논문집, pp. 279-280.

---

원고접수일 : 2012년 5월 1일

심사완료일 : 2012년 6월 27일

원고채택일 : 2012년 6월 27일