

## 반자동화 컨테이너터미널의 RMGC 운영방식 비교 분석\*

김찬호\*\* · 하태영\*\*\* · 양홍석\*\*\*\*†

### A Study of Comparison with the Operating Priority Rules of RMGC on Semi-Automated Container Terminal

Chan Ho Kim\*\* · Tae Young Ha\*\*\* · Hongsuk Yang\*\*\*\*

#### ■ Abstract ■

This paper aims to compare four operating priority rules of RMGC (Rail Mounted Gantry Crane) used in semi-automated container terminal. The four priority rules employed in this paper are FCFS (First-come-first-served), LCFS (Last-come-first-served), TOS (Turn-over-served) and NFS (Nearest-first-served). And to compare the four operating priority rules, this paper analyzed productivity of RMGC and CC (Container Crane), waiting time of YT (Yard Truck) and RT (Road Truck) in container yard, and turnaround time of RT in container terminal of each priority rule by using stevedoring simulation. As a result, NFS was evaluated as the best rule to improve the overall productivity of container terminal in terms of all criteria.

Keyword : Container Yard, Stevedoring Equipment, Container Terminal, RMGC Operating Priority Rules, Productivity, FCFS, LCFS, TOS, NFS

논문접수일 : 2009년 12월 18일    논문재확정일 : 2010년 03월 22일

논문수정일(1차 : 2010년 03월 13일, 2차 : 2010년 03월 21일)

\* 본 연구는 서울대학교 경영대학 경영연구소의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

\*\* 서울대학교 경영학과 박사과정

\*\*\* 한국해양수산개발원 책임연구원

\*\*\*\* 서울대학교 경영학과 조교수

† 교신저자

## 1. 서 론

1980년대 중반 이후 본격화된 세계 경제의 글로벌화는 모든 시장의 치열한 경쟁을 유도하였다. 특히, 국제교역의 80% 이상이 해상교역으로 이루지는 가운데, 해상운송화물을 자국의 항만에 유치하기 위한 항만시설 및 장비에 대한 투자도 경쟁적으로 이루어져 왔다[4]. 이와 같이 항만시설을 확충하고 장비를 현대화하는 것은 항만의 생산성을 향상시켜 항만을 이용하는 선사와 화주에게 질 높은 서비스를 제공함으로써 치열해지는 항만물류시장에서 경쟁력을 유지하기 위함이다[6].

그러나, 항만시설을 확충하거나 장비를 현대화하는 일은 많은 시간과 비용을 요구하기 때문에 시설이나 장비를 확보한 후 운영하면서 발생하는 운영상의 문제점을 해결한다는 것은 경제적이지 못하다. 따라서, 일반적으로 시설 확충과 장비 현대화를 위한 계획 수립단계에서 항만의 생산성의 높이기 위한 효율적인 방안을 마련하는데 노력해왔다. 항만운영 문제는 수학적 분석을 통한 일반해를 구할 수 없는 경우가 대부분이어서 많은 연구에서 시뮬레이션 방법이 수행되어 왔다. 특히, 일반화물을 취급하는 부두보다 투자비용이 높은 컨테이너를 취급하는 컨테이너터미널을 대상으로 한 시뮬레이션 관련 연구가 많이 진행되어 왔다.

일반적으로 컨테이너터미널의 작업은 크게 안벽작업(양·적하), 장치장작업, 배후연계수송작업(반입·반출) 등, 3가지로 구분할 수 있다. 안벽작업은 선박으로부터 컨테이너를 양하하거나 그 반대로 적하하는 작업이고, 장치장작업은 선박으로부터 양하된 컨테이너를 야드트럭에 의해 컨테이너장치장에 장치하거나 그 반대로 장치장의 컨테이너를 선박에 적하시키기 위해 야드트럭으로 선박이 접안되어 있는 안벽까지 이송시키는 작업을 말한다. 또한, 배후연계수송작업은 터미널 외부로부터 트럭을 이용하여 컨테이너를 터미널 내부의 장치장으로 이송하거나 그 반대로 장치장에 장치되어 있는 컨테이너를 트럭을 이용하여 인출하여 화주에게 수송하는 작업이다. 여기

서 안벽작업과 배후연계수송작업은 컨테이너터미널의 입·출력 생산성과 연관이 있으며, 장치장작업은 컨테이너터미널 내부의 생산성과 연관이 있다[1].

이와 같은 컨테이너터미널의 작업구분에 있어 그동안 컨테이너터미널의 입·출력 생산성을 규정하는 안벽작업과 배후연계수송작업에 많은 대한 시뮬레이션 연구가 진행되어 왔다. 이는 안벽작업과 배후연계수송작업의 생산성 향상이 항만이용자인 선사와 화주에게 장치장작업의 생산성 향상보다는 더욱 효과적이라고 다가가 수 있었기 때문이다. 그 예로써, 박병인[1]은 컨테이너터미널의 생산성을 측정하기 위하여 선박의 재항시간과 기준시간초과율을 중요 지표로 선정하고, 우리나라의 4개 컨테이너터미널의 실측자료를 사용하여 시뮬레이션 민감도 분석을 수행하였다. 한편, 하태영, 최용석[10]은 시뮬레이션 기법을 사용하여 안벽의 하역생산성을 향상시키기 위해 차세대 안벽크레인으로 부각되고 있는 듀얼트롤리(Dual Trolley), 더블트롤리(Double Trolley), 수직순환식 트롤리(Supertainer) 등과 컨테이너터미널에서 널리 사용되고 있는 기존의 싱글트롤리(Single Trolley)의 기계적 생산성과 순작업 생산성을 비교·분석하였다.

그러나, 최근 중국 및 미국의 컨테이너터미널 규모에 비해 상대적으로 작은 컨테이너터미널을 중심으로 장치장의 생산성이 컨테이너터미널의 입·출력 생산성을 규정하는데 매우 중요한 역할을 한다는 것이 인정되면서 장치장작업의 생산성을 향상시키기 위한 여러 방법이 제안되기 시작하였고 이에 따른 시뮬레이션 연구가 이어져 오고 있다. 그 예로써 하태영 외 2인[10]은 시뮬레이션 기법을 이용하여 자동화 컨테이너터미널의 자동이송장비(Automated Guided Vehicle : AGV)의 두 가지 운행방식<sup>1)</sup>에 따른 컨테이너크레인의 생산성과 AGV의 자체성능을

1) 두 가지 운행방식은 Close Lane 운행방식과 Cross Lane 운행방식으로 구분됨. Close Lane 운행방식은 선석단위로 타원을 그리며 안벽과 블록의 TP(Transfer Point)간을 주행하는 방식이며, Cross Lane 운행방식은 컨테이너크레인과 작업블록단위로 타원을 그리며 운행되는 방식을 말한다.

비교·분석하였다. 전수민 외 2인[8]은 컨테이너터미널의 설계요소인 장치장의 블록 배치와 블록사양에 대해 터미널 생산성과의 관계를 분석하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 안은영 외 4인[5]은 반자동화 수평 배치 컨테이너터미널에서 장치장의 생산성을 향상시키기 위한 효과적인 컨테이너 장치 방식과 야드트럭의 풀링(pooling)범위를 분석하기 위해 ATC(Automated Transfer Crane)의 작업 할당 휴리스틱 기법과 야드트럭의 배정 휴리스틱 기법을 사용하였다. 또한, 전수민 외 5인[7]은 시뮬레이션 기법을 사용하여 장치장의 생산성을 향상시키기 위해 제시된 블록별 RMGC 배치대수 결정방식과 야드 블록의 용도 구분방식에 따른 터미널의 생산성을 비교·분석하였다.

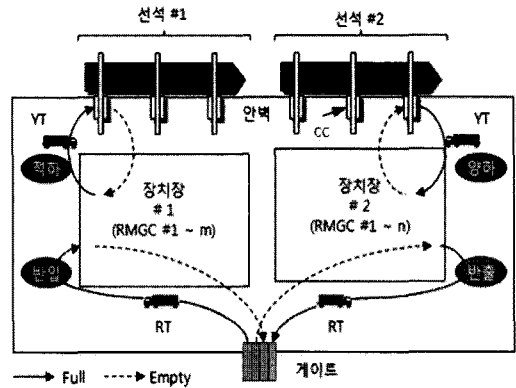
그러나, 대부분의 선행연구에서는 컨테이너터미널의 생산성을 향상시키기 위해 개발된 새로운 장비와 기존의 장비의 생산성 비교 또는 최적의 신규 컨테이너터미널의 장치장 블록형태를 설계 방식 또는 운영 방식 등을 찾기 위해 시뮬레이션 기법이 사용되어 왔을 뿐, 기존 장치장의 운영방식을 변경함으로써 생산성을 향상시키기 위한 방식을 찾기 위한 연구는 많이 진행되어 오지 않았다.

따라서, 본 연구의 목적은 반자동화 컨테이너터미널의 설치되어 있는 하역장비인 RMGC의 4가지 서비스 운영방식인 i) 선입선출방식(First-come-first-served: FCFS), ii) 후입선출방식(Last-come-first-served: LCFS), iii) 방향전환방식(Turn-over-served: TOS), iv) 근입선출방식(Nearest-first-served : NFS) 등에 따른 컨테이너터미널의 생산성을 비교·분석함으로써, 컨테이너터미널의 생산성을 향상시킬 수 있는 최적의 장치장 운영방식을 모색해보는데 있다.

## 2. 컨테이너터미널 하역시스템

본 연구의 대상이 되는 컨테이너터미널의 전체적인 시스템의 구조는 [그림 1]과 같다.

[그림 1]에서 보는바와 같이 컨테이너터미널에서는 크게 양하, 적하, 반입, 반출의 4가지 유형의 하

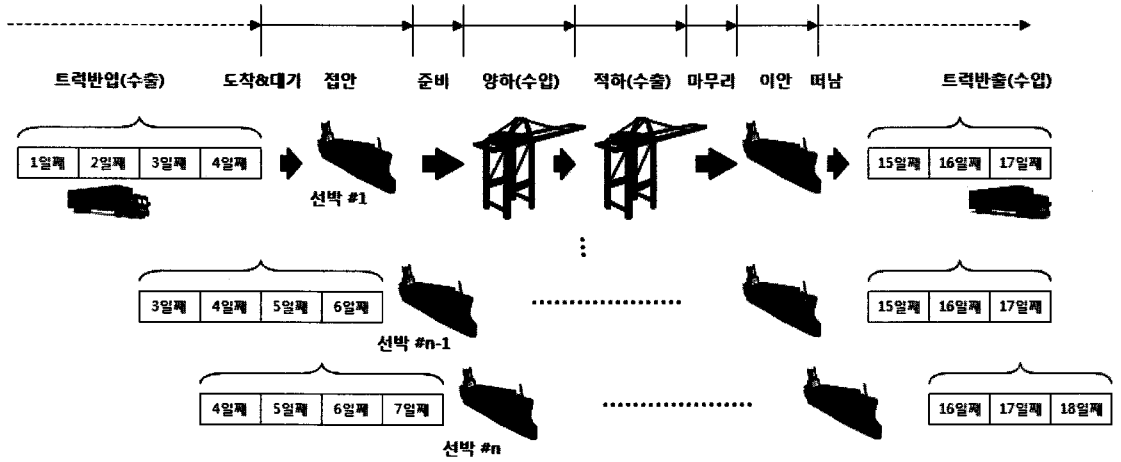


[그림 1] 컨테이너터미널 하역시스템 구조

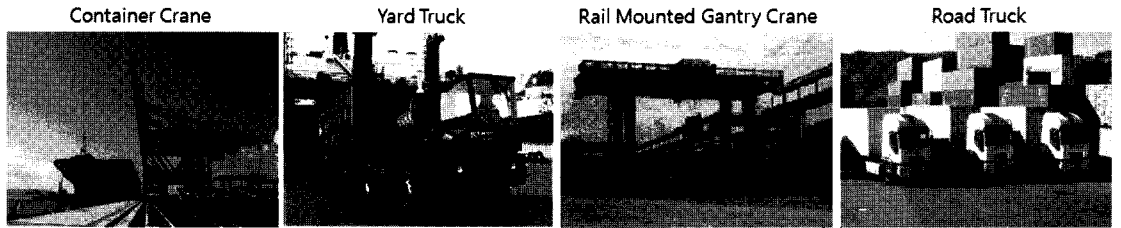
역작업이 이루어진다. 양하와 적하작업은 안벽에 설치된 CC를 이용하여 컨테이너를 내리거나 싣는 작업으로 1대의 선박에 한 대 또는 여러 대의 CC가 배정되어 동시에 작업을 수행한다. 반입과 반출작업은 외부트럭(Road Truck, RT)에 의해 컨테이너를 터미널로 입고시키거나 외부로 출고시키는 작업을 말한다. 컨테이너터미널에서 이루어지는 이러한 일련의 하역작업들은 선박의 입항정보에 기반하여 정보들이 생성되고 순차적으로 작업이 진행되는데, 전체 하역작업의 흐름 과정을 시간적 범위에서 도식화하면 [그림 2]와 같다.

4가지 하역작업에는 [그림 3]과 같이 4가지 종류의 하역장비들이 사용되는데 앞서 설명한 CC 외에 터미널내부에서 컨테이너의 운반작업을 담당하는 내부 차량인 YT가 있다.

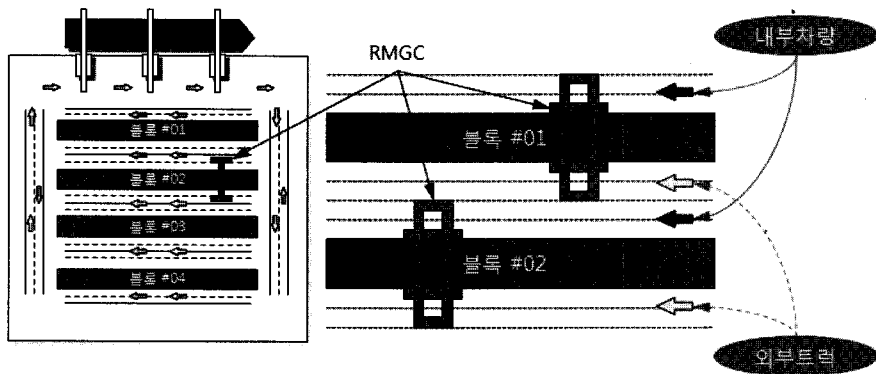
YT는 주로 CC의 양하·적하작업을 보조하는 운반차량으로 안벽과 장치장간을 운항하며 컨테이너를 운반하는 작업을 수행한다. YT의 경우 선박이 접안한 경우에 집중적인 통행이 발생하는 특징을 가지며, 그 외에는 장치장의 블록 간에 소규모 운반작업을 수행하거나 대기한다. 특히, CC와의 연계작업에서 다수의 YT가 1대의 CC에 전담 배치되어 작업하는 특징을 가지고 있다. 장치장에서 컨테이너의 입고, 출고작업을 담당하는 하역장비로는 RMGC가 있으며, 이 RMGC는 주로 장치장의 블록([그림 5] 참조) 내에서 수평으로 이동하며 컨테이너를 YT



[그림 2] 컨테이너터미널 하역작업 프로세스



[그림 3] 컨테이너터미널 하역장비 유형

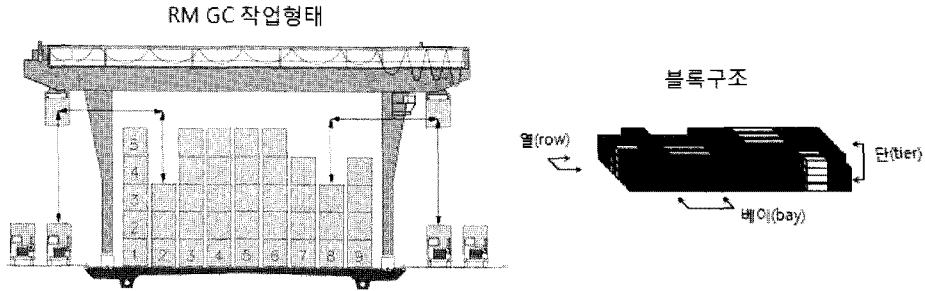


[그림 4] RMGC와 차량간 블록내 작업형태

와 RT에 싣거나 내려주는 작업을 담당한다([그림 4] 참조). 외부트럭인 RT의 경우에는 선박 입항 이전에 선박에 적재될 반입컨테이너를 싣고 터미널에 도착하며, 선박 출항이후에 반출될 컨테이너를 싣기 위해 터미널에 도착한다. 보통 1일 24시간 동안에

지속적으로 발생하며, 시간대별로 도착비율이 상이한 특징을 가지고 있다.

이상의 내용에서 보면 터미널에서 하역작업부하가 가장 크게 발생하는 시점은 선박이 접안하여 양하·적하작업이 이루어지고 있는 상황에서 반입·반출



[그림 5] RMGC 및 블록구조

차량이 집중적으로 발생하는 피크시간대로 볼 수 있다.

### 3. RMGC 운영 방식

RMGC는 차량에 실거나 내릴 컨테이너의 베이 위치로 이동하여 서비스를 해야 하는 구조적인 특징을 가진다. 이 때문에 현재의 RMGC 위치와 차량이 정차한 블록 내 베이 위치간의 이동거리에 따라 서비스 시간이 상이하게 되고, 이는 차량의 블록 내 대기 시간에 영향을 미친다. 따라서, 이동거리가 짧아질수록 차량의 블록 내 대기 시간은 상대적으로 단축된다. 이러한 RMGC와 차량간 작업특성을 고려하여, 본 연구는 다음과 같이 RMGC의 4가지 운영 방식에 대해 그 적용효과를 비교·평가해보고자 한다.

#### 3.1 FCFS : First-come-first-served

FCFS 방식은 여러 대의 차량이 블록 내에서 대기 중인 경우 가장 먼저 도착한 차량을 먼저 서비스를 해주는 방식으로 우리나라 대부분의 컨테이너 터미널에서 널리 사용되는 보편적인 서비스 방식이라 할 수 있다. 그러나, 이 방식의 경우 RMGC의 이동거리는 대기 중인 차량의 도착순서와 위치에 의해 결정되기 때문에 차량의 블록 내 평균대기 시간을 단축시키는 효과는 거둘 수 없는 단점이 있다.

#### 3.2 LCFS : Last-come-first-served

LCFS 방식은 여러 대의 차량이 장치장에 대기

중인 경우 마지막에 도착한 차량을 먼저 서비스를 해주는 방식이다. 터미널의 블록크기가 제한적이라는 측면에서 이 방식은 선입선출방식과 생산성 지표에 있어 큰 차이가 나지 않을 수 있다.

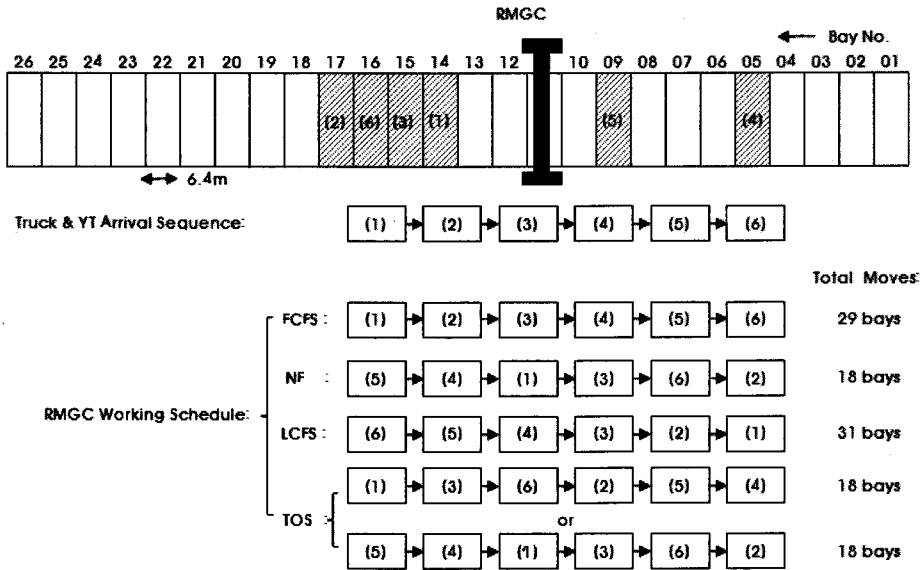
#### 3.3 TOS : Turn-over-served

TOS 방식은 여러 대의 차량이 장치장에 대기 중인 경우 RMGC의 현 위치를 기준으로 한쪽 방향에 놓인 차량들을 먼저 일괄 서비스를 하는 방식으로 작업의 편의성에서 다른 운영방식에 비해 다소 장점을 가질 수 있다 할 수 있다.

#### 3.4 NFS : Nearest-first-served

NFS 방식은 여러 대의 차량이 블록내에서 대기 중인 경우 RMGC가 위치한 지점에서 최단거리에 위치에 있는 차량을 먼저 서비스해주는 방식으로 매번 최단거리에 위치한 차량을 먼저 서비스하기 때문에 RMGC의 이동거리가 짧아 블록 내 차량의 평균대기 시간을 최대로 단축시킬 수 있는 효과가 있다. 그러나, 이 방식의 경우 차량의 도착 순서를 고려하지 않기 때문에 불리한 위치에 도착한 차량의 경우 무한 대기상태가 발생할 수 있다. 따라서, 이를 방지하기 위한 적정수준의 한계대기시간 또는 한계대기순번과 같은 부가조건을 설정하여 적용할 필요가 있다.

이상의 4가지 운영방식을 그림으로 도식화하면 [그림 6]과 같다. [그림 6]은 6대의 차량이 1개의 블록에서 작업대기 중인 상태에서 4가지 운영방식에



[그림 6] RMGC 운영방식에 따른 이동거리 비교

따라 RMGC의 총 이동거리가 달라지는 것을 보여 주고 있다. FCFS의 경우 6대의 차량을 서비스하기 위해 총 29베이를 이동해야 하나, NFS의 경우에는 18베이 이동만으로 6대의 차량을 서비스할 수 있다. 따라서, 이동거리 단축에 따른 블록 내 차량의 평균 대기시간을 단축할 수 있게 된다.

### 4. 분석 환경

앞서 제시된 RMGC 운영방식의 적용효과를 분석하기 위해 본 연구에서는 시뮬레이션 방법을 사용하며, 이에 필요한 대상시스템의 규모, 분석도구, 입출력 설정과 평가항목은 다음과 같다.

#### 4.1 대상시스템의 규모

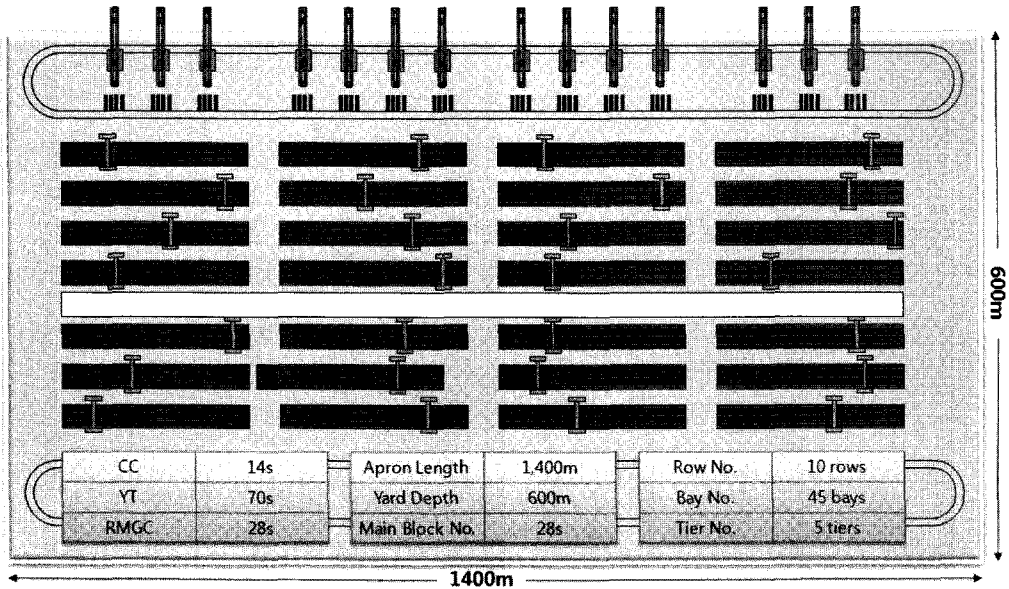
RMGC 운영방식을 적용할 대상시스템의 규모는 일반적인 컨테이너터미널의 설계단위인 4선석 규모의 대형터미널로 설정한다. 총 4대의 선박이 동시 접안할 수 있는 규모로 장치장은 총 28개 블록에 RMGC는 28대가 배치되는 구조를 가지고 있다. 그 외 대상시스템의 설계내용은 <표 1>과 같다.

<표 1> 장치장 소요면적 비교(4개 선석)

구 분		규 모
안벽길이		1,400m, 4개 선석
장치장 깊이		600m
CC	대수	14대
	성능	47개/시간
RMGC 대수	대수	28대
	성능	40개/시간
YT대수	대수	56대(CC당 4대 조별투입)
	성능	5.0m/s
블록	개수	28개
	구조	45베이(290m), 10열(28m), 5단
게이트		입구 7레인, 출구 3레인

#### 4.2 분석도구

본 연구에서는 운영방식 간 적용효과 분석을 위한 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 본 시스템은 범용 언어인 Visual Basic 6.0을 사용하여 개발하였다. 개발된 시스템은 선박, 안벽, 장치장, 게이트 간에 발생하는 양하, 적하, 반입, 반출의 4가지 하역작업을 수행하도록 설계되어 있으며, RMGC의 4가지 운영방



[그림 7] 적용 대상시스템 규모

식을 지정하여 실험이 가능하도록 설계하였다.

### 4.3 입출력 설정

터미널의 하역작업은 선박입항정보가 생성되면 이에 따라 외부트럭의 도착정보가 생성되고 실제 하역작업은 선박 입항 시에 양·적하작업이, 외부트럭이 터미널에 도착 시 반입, 반출작업으로 이루어지게 된다. 시뮬레이션에 적용될 선박의 입출항 정보 및 외부트럭의 도착정도의 기본 생성방법은 다음과 같다.

#### 4.3.1 선박입출항 정보

대상시스템에 적용될 선박입출항 정보는 연간 240만 TEU(Twenty-foot Equivalent Unit)의 물량처리 기준을 1,623척의 선박이 발생하도록 하였다. 각 선박은 선박의 크기에 따라 1백~1만 TEU의 작업 물량정보를 가지며, 선박 간 도착간격은 실제 1년간의 데이터를 바탕으로 한 경험적 분포(empirical distribution)로부터 무작위적(random)으로 생성된다.

선박이 터미널에 도착하기 이전에 선박에 적하될 컨테이너들이 일정기간동안 터미널에 반입되며 선박이 도착하면 CC가 할당되고 양하작업과 적하작

업이 순차적으로 수행된다. 선박에 대해 양하 및 적하 작업이 모두 완료되면 해당선박은 작업이 종료되고 일정시간의 이안소요시간이 지난 후에 터미널을 출항하게 된다. 선박이 터미널에서 출항한 이후 해당 선박으로부터 양하된 컨테이너는 외부트럭에 의해 터미널에서 일정기간을 두고 모두 반출된다.

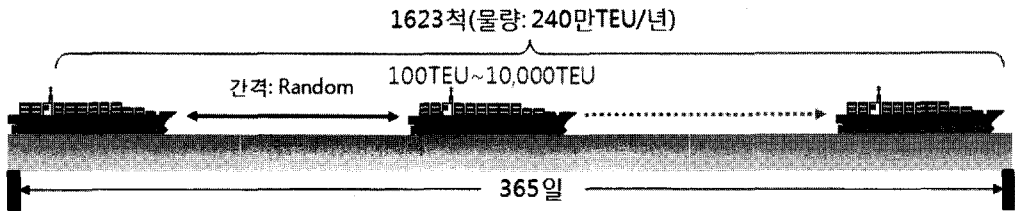
#### 4.3.2 외부트럭 도착정보

전술한 바와 같이 외부트럭은 선박도착 이전(반입)과 이후(반출)의 일정기간 동안 발생하는데, 일일 도착분포는 국내 대형 터미널의 운영실적치를 적용하였다. 실제 운영에서 얻은 통계자료를 사용하는 것이 가장 적합한 값이라 할 수 있으며, 일반적으로 터미널 외부환경변수에 해당하는 값으로 터미널별로 큰 차이를 보이지는 않는 특징을 가지고 있다.<sup>2)</sup> 각 외부트럭의 터미널 내 작업블록의 위치는 장치장

2) 터미널별로 게이트의 운영시간에 따라 도착비율에 차이가 발생하지만 그 차이는 미미한 수준임, 특히, 도착분포가 터미널 하역작업에 영향을 주는 것은 피크시간대의 도착비율로 국내의 경우 피크시 7~8%의 비율을 보이고 있음.



[그림 8] RMGC 전용터미널 시뮬레이션 분석기



[그림 9] 선박입출항 정보

의 상황에 게이트에 도착한 이후 따라 반입 또는 반출해야 될 컨테이너의 블록 내 위치에 따라 결정된다. <표 2>는 신선대 컨테이너 터미널의 2007년 외부트럭 일일시간대 별 도착분포로 이를 도식화하면 [그림 10]과 같다. [그림 10]에서 보는 바와 같이 11~18시의 시간대에 외부트럭의 도착이 많음을 알 수 있다.

### 4.3.3 RMGC 운영방식 전제조건

앞서 제시된 4가지 RMGC의 운영방식 중 NFS의 경우 무한 대기하는 차량이 발생할 수 있기 때문에,

이를 방지하기 위해 한계대기시간을 적용하여 실험을 수행한다. 한계대기시간은 일반적으로 RT가 터미널에 체류하는 평균 시간인 15분을 고려하여 20분으로 설정하였다. 따라서, NFS 운영방식 적용 시 블록에 도착하여 대기하는 차량 중 20분을 초과한 차량이 발생할 경우에는 FCFS 운영방식으로 일시 전환하여 하역 서비스를 하도록 설정하였다.

### 4.4 평가항목

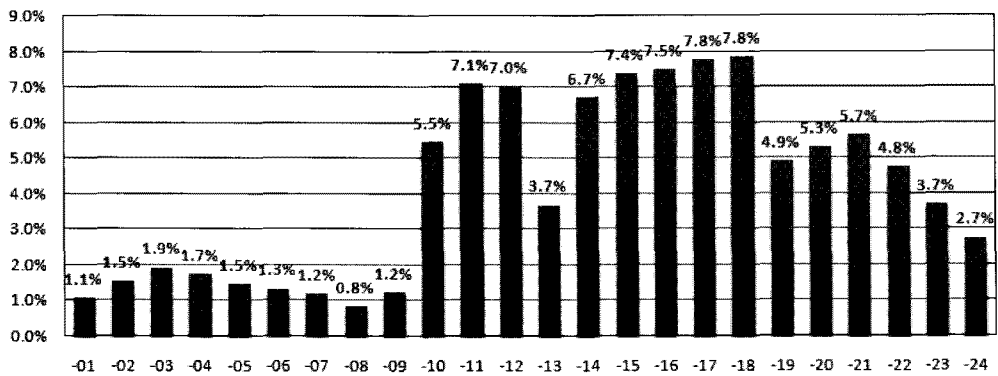
본 실험에서는 RMGC 운영방식의 적용효과를 크



〈표 2〉 외부트럭 일일시간대별 도착분포

시 간	비율(%)	시 간	비율(%)	시 간	비율(%)	시 간	비율(%)
00~01	1.09	06~07	1.20	12~13	3.69	18~19	4.92
01~02	1.55	07~08	0.84	13~14	6.71	19~20	5.29
02~03	1.92	08~09	1.24	14~15	7.39	20~21	5.66
03~04	1.75	08~10	5.48	15~16	7.51	21~22	4.77
04~05	1.48	10~11	7.12	16~17	7.77	22~23	3.70
05~06	1.34	11~12	7.01	17~18	7.85	23~24	2.75

자료: 신선대 컨테이너터미널 2007년 내부운영실적.



[그림 10] 외부트럭 일일시간대별 도착분포

게 직접효과와 파생효과로 구분하였다. 직접효과는 RMGC의 생산성이 YT와 RT에 미치는 효과로 RMGC 생산성과 YT와 RT가 블록 내 평균대기시간으로 표현될 수 있다. 따라서, RMGC의 평균서비스 능력에 따라 YT와 RT가 블록 내에서 대기하는 시간이 달라진다. 일반적으로 RMGC의 이동거리가 짧아지는 NFS 운영방식이 타 방식에 비해 블록 내에서의 차량 평균 대기시간이 짧아질 것으로 예상할 수 있다. 또 다른 하나는 파생효과로서 이는 CC의 생산성이 선박 및 RT의 대기시간에 미치는 효과로 선박의 대기시간과 RT의 터미널 내 체류시간으로 표현될 수 있으며, 이로 인해 선박의 대기시간과 RT의 터미널 내 체류시간의 단축효과가 발생할 수 있다. 이 경우 YT는 운행회전력이 높아져 선박에서 양적하 작업을 수행하는 CC의 작업을 더욱 원활하게 지원할 수 있기 때문에 선박의 대기시간이 단축되며, RT의 경우 블록에서의 대기시간 단축으로 터

〈표 3〉 RMGC 운영방식의 기대효과

평가항목	효과
직접효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• RMGC의 서비스 능력(개수/시간)</li> <li>• YT의 블록 내 대기시간 단축 효과</li> <li>• RT의 블록 내 대기시간 단축 효과</li> </ul>
파생효과	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CC 생산성 향상효과</li> <li>• 선박의 대기시간 단축효과(선박재항시간 단축효과)</li> <li>• RT의 터미널내 체류시간 단축 효과</li> </ul>

미널 내 체류시간이 단축되는 효과가 발생된다. 따라서, RMGC의 운영방식 간 상호비교우위는 RMGC의 서비스 능력향상에 따른 차량의 블록내 대기시간 단축효과보다는 터미널 전체의 서비스 향상을 제고하는 측면에서 선박의 대기시간과 RT의 체류시간 비교가 핵심이라 할 수 있다. 이상에서 설명한 RMGC 운영방식의 기대효과를 직접효과와 파생효과로 구분하여 나타내면 다음의 <표 3>과 같다.

## 5. 실험 결과 비교

전술한 내용을 기초로 대상 터미널을 기준으로 1년 간의 선박입출항 정보를 기초로 4가지 RMGC 운영방식에 대해 각각 8회의 반복실험을 수행하였다. 시뮬레이션을 통해 산출된 결과를 RMGC 운영방식에 따른 직접효과와 파생효과로 구분하여 비교하고, 또한, 우리나라 컨테이너터미널에서 가장 일반적으로 사용하고 있는 FCFS에 대비하여 다른 운영방식을 비교해 보면 다음과 같다.

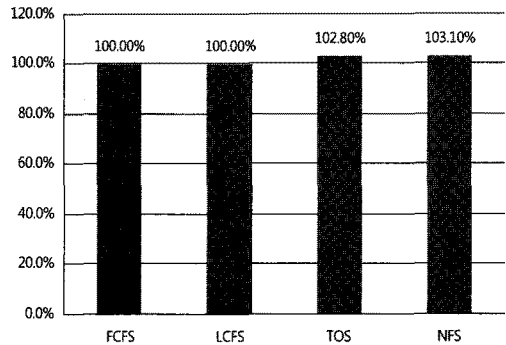
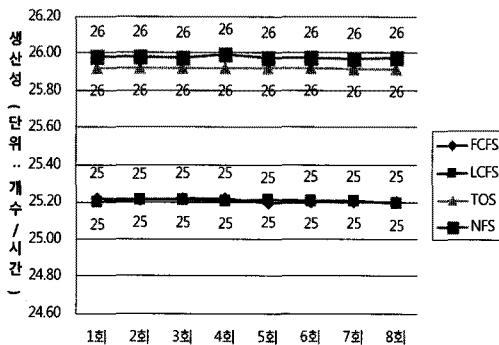
### 5.1 RMGC 서비스 능력

연간물량 240만 TEU를 처리하는 터미널에서 RMGC의 생산성 능력은 8회의 시뮬레이션 실험결과 FCFS와 LCFS는 시간당 평균 25.2 TEU, TOS는

시간당 평균 25.9 TEU, NFS는 시간당 평균 26.0 TEU로 결과가 도출되어 NFS가 다른 세 가지 운영방식에 비해 생산성 능력이 다소 높은 것으로 나타났다. 이 결과를 일반적으로 널리 사용되는 FCFS와 비교해보면 FCFS와 LCFS간에는 RMGC의 생산성 능력 차가 발생하지 않으며, TOS의 경우에는 FCFS에 비해 2.8% 정도 높으며, NFS는 FCFS에 비해 생산성이 3.1% 정도 높은 것으로 나타났다(<표 4> 및 [그림 11] 참조). 결과적으로 네 가지 운영방식 중 RMGC의 생산성 능력에 대해서는 NFS가 타 운영방식에 비해 가장 높은 서비스 능력을 가지는 것으로 나타났다. 한편, 운영방식에 따라 RMGC의 생산성 능력이 상이하다는 것을 확인하기 위해 일반적으로 사용하는 FCFS와 다른 세 가지 운영방식 간 t-test 검증결과 FCFS와 LCLS간은 p-value가 0.732로 두 운영방식 간 생산성 능력에는 차이가 없는 것으로 나타

<표 4> RMGC 생산성 비교(FCFS 대비)

실험결과	FCFS	LCFS	TOS	NFS	상대비교	FCFS	LCFS	TOS	NFS
1회	25.22	25.21	25.92	25.98	1회	100.0%	99.9%	102.8%	103.0%
2회	25.22	25.22	25.92	25.98	2회	100.0%	100.0%	102.8%	103.0%
3회	25.22	25.21	25.92	25.98	3회	100.0%	100.0%	102.8%	103.0%
4회	25.22	25.21	25.92	25.99	4회	100.0%	100.0%	102.8%	103.1%
5회	25.20	25.21	25.92	25.98	5회	100.0%	100.1%	102.9%	103.1%
6회	25.20	25.21	25.92	25.98	6회	100.0%	100.0%	102.9%	103.1%
7회	25.20	25.21	25.91	25.97	7회	100.0%	100.0%	102.8%	103.1%
8회	25.21	25.20	25.92	25.98	8회	100.0%	100.0%	102.8%	103.1%
평균	25.2	25.2	25.9	26.0	평균	100.0%	100.0%	102.8%	103.1%



[그림 11] RMGC 생산성 실험결과(FCFS 대비)

났으며, FCFS와 TOS 및 NFS 간은 p-value는 유의 수준  $\alpha = 0.05$ 에서 모두 0.05미만으로 운영방식 간 생산성 능력이 동일하다는 귀무가설을 기각하고 있어 NFS 및 TOS가 RMGC 서비스 능력에서 FCFS 보다 효율적이라 판단할 수 있다.

### 5.2 YT 블록내 평균대기시간

YT의 블록내 평균대기 실험결과, FCFS는 265.7초, LCFS는 264.3초, TOS는 237.8초, NFS는 235.5초로, FCFS 운영방식에서 YT의 블록 내 평균대기 시간이 가장 크게 나타나는 현상을 보였으며, NFS 운영방식에 있어 YT의 블록 내 대기시간이 4가지 운영방식 중 가장 낮은 수준을 보였다. 즉, FCFS를 기준으로 YT의 블록 내 평균대기시간은 LCFS가 0.5%, TOS가 10.5%, NFS가 11.4% 단축되는 것으

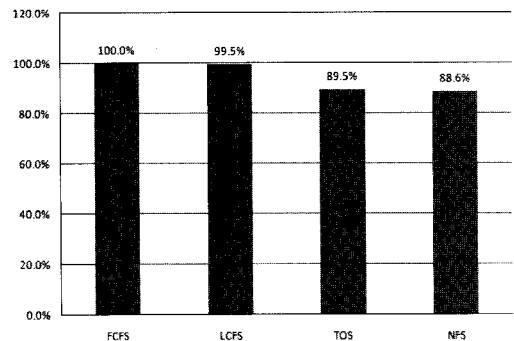
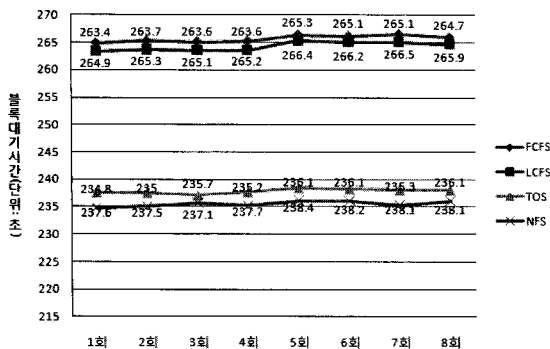
로 확인되었다(<표 5> 및 [그림 12] 참조). 한편, 운영방식에 따라 YT의 블록 내 평균대기시간이 상이하다는 것을 검증하기 위해 일반적으로 사용하는 FCFS와 다른 세 가지 운영방식 간 t-test 검증결과 FCFS와 나머지 세 운영방식 간 p-value가 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서 모두 0.05미만으로 운영방식 간 YT의 블록 내 평균대기시간이 동일하다는 귀무가설을 기각함으로써 YT 블록 내 평균대기시간에서 FCFS 보다 LCFS, TOS 및 NFS 등이 보다 효율적인 방식임을 추정할 수 있다.

### 5.3 RT 블록내 평균대기시간

RT의 블록 내 평균대기시간 실험결과, FCFS는 평균 232.8초, LCFS는 227.6초, TOS는 209.3초, NFS는 207.9초로 FCFS 운영방식 사용시 RT의 블록 내

<표 5> YT 블록 내 평균대기 실험결과(FCFS 대비)

실험결과	FCFS	LCFS	TOS	NFS	상대비교	FCFS	LCFS	TOS	NFS
1회	264.9	263.4	237.6	234.8	1회	100.0%	99.4%	89.7%	88.6%
2회	265.3	263.7	237.5	235	2회	100.0%	99.4%	89.5%	88.6%
3회	265.1	263.6	237.1	235.7	3회	100.0%	99.4%	89.5%	88.9%
4회	265.2	263.6	237.7	235.2	4회	100.0%	99.4%	89.6%	88.7%
5회	266.4	265.3	238.4	236.1	5회	100.0%	99.6%	89.5%	88.6%
6회	266.2	265.1	238.2	236.1	6회	100.0%	99.6%	89.5%	88.7%
7회	266.5	265.1	238.1	235.3	7회	100.0%	99.5%	89.3%	88.3%
8회	265.9	264.7	238.1	236.1	8회	100.0%	99.6%	89.6%	88.8%
평균	265.7	264.3	237.8	235.5	평균	100.0%	99.5%	89.5%	88.6%



[그림 12] YT 블록 내 평균대기시간(FCFS 대비)

평균대기시간이 가장 긴 것으로 나타났으며, NFS가 4가지 운영방식 중 가장 낮은 수준의 RT의 블록 내 평균대기시간을 보였다. 다시 말해, FCFS 기준 대비 RT의 블록 내 평균대기시간은 LCFS가 2.2%, TOS가 10.1%, NFS가 10.7% 단축되는 것으로 확인되었다(<표 6> 및 [그림 13] 참조). 한편, 운영방식에 따라 RT의 블록 내 평균대기시간이 상이하다는 것을 검증하기 위해 일반적으로 사용하는 FCFS와 다른 세 가지 운영방식 간 t-test 검증결과 FCFS와 나머지 세 운영방식 간 p-value가 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서 모두 0.05미만으로 운영방식 간 RT의 블록 내 평균대기시간이 동일하다는 귀무가설을 기각하고 있다.

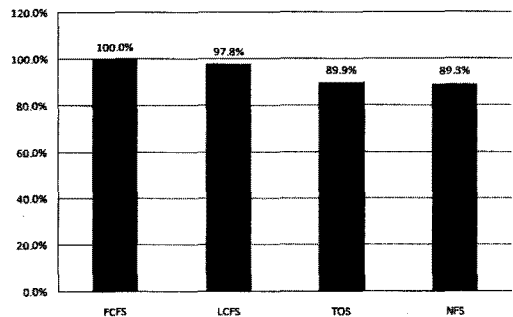
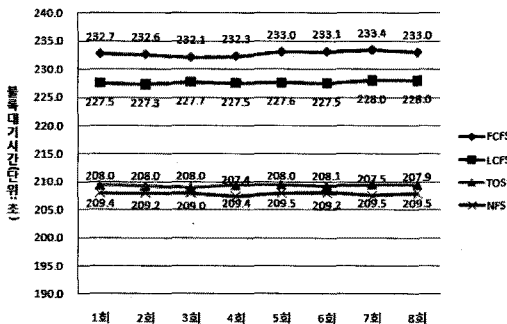
### 5.4 CC 생산성

CC 생산성은 터미널의 대표적인 하역생산성 평

가기준으로 RMGC의 4가지 운영방식에 따른 실험 결과에서 FCFS는 시간당 29.1개, LCFS는 시간당 29.2개, TOS는 시간당 30.7개, NFS는 시간당 30.9개로 산출되어, NFS의 시간당 생산성이 가장 높게 산출되었다. 이를 FCFS 운영방식을 기준으로 상대 비교하면, LCFS는 FCFS보다 0.4%, TOS는 FCFS보다 5.6%, NFS는 FCFS보다 6.1% CC의 생산성을 향상시키는 것으로 판단되어진다(<표 7> 및 [그림 14] 참조). 또한, RMGC의 4가지 운영방식에 따라 CC의 생산성이 상이하다는 것을 검증하기 위해 일반적으로 사용하는 FCFS와 다른 세 가지 운영방식 간 t-test 검증결과 FCFS와 나머지 세 운영방식 간 p-value가 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서 모두 0.05미만으로 운영방식 간 CC 생산성이 동일하다는 귀무가설을 기각하고 있어, NFS가 FCFS보다 CC 생산성 증가에 보다 효율적인 방식이라 판단할 수 있다.

<표 6> RT 블록 내 평균대기시간 실험결과(FCFS 대비)

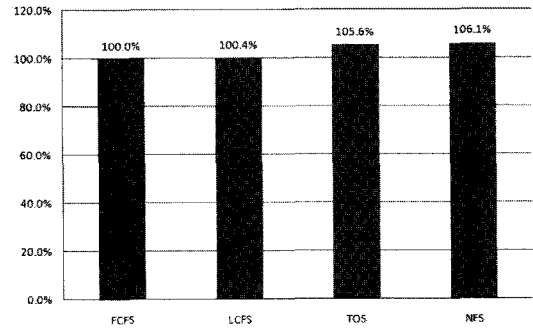
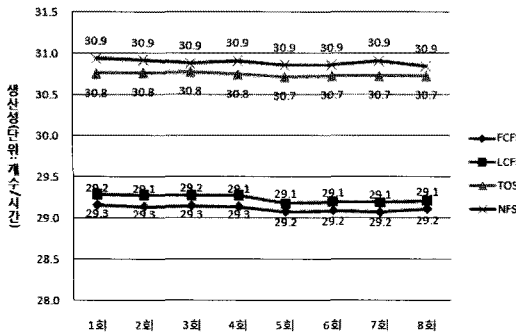
실험결과	FCFS	LCFS	TOS	NFS	상대비교	FCFS	LCFS	TOS	NFS
1회	232.7	227.5	209.4	208.0	1회	100.0%	97.7%	90.0%	89.4%
2회	232.6	227.3	209.2	208.0	2회	100.0%	97.7%	90.0%	89.5%
3회	232.1	227.7	209.0	208.0	3회	100.0%	98.1%	90.0%	89.6%
4회	232.3	227.5	209.4	207.4	4회	100.0%	97.9%	90.1%	89.3%
5회	233.0	227.6	209.5	208.0	5회	100.0%	97.7%	89.9%	89.3%
6회	233.1	227.5	209.2	208.1	6회	100.0%	97.6%	89.8%	89.3%
7회	233.4	228.0	209.5	207.5	7회	100.0%	97.7%	89.8%	88.9%
8회	233.0	228.0	209.5	207.9	8회	100.0%	97.8%	89.9%	89.2%
평균	232.8	227.6	209.3	207.9	평균	100.0%	97.8%	89.9%	89.3%



[그림 13] RT 블록 내 평균대기시간(FCFS 대비)

<표 7> CC 생산성(FCFS 대비)

실험결과	FCFS	LCFS	TOS	NFS	상대비교	FCFS	LCFS	TOS	NFS
1회	29.2	29.3	30.8	30.9	1회	100.0%	100.5%	105.5%	106.1%
2회	29.1	29.3	30.8	30.9	2회	100.0%	100.5%	105.6%	106.1%
3회	29.2	29.3	30.8	30.9	3회	100.0%	100.5%	105.6%	105.9%
4회	29.1	29.3	30.8	30.9	4회	100.0%	100.5%	105.5%	106.1%
5회	29.1	29.2	30.7	30.9	5회	100.0%	100.3%	105.6%	106.1%
6회	29.1	29.2	30.7	30.9	6회	100.0%	100.4%	105.6%	106.1%
7회	29.1	29.2	30.7	30.9	7회	100.0%	100.4%	105.7%	106.3%
8회	29.1	29.2	30.7	30.9	8회	100.0%	100.3%	105.5%	106.0%
평균	29.1	29.2	30.7	30.9	평균	100.0%	100.4%	105.6%	106.1%



[그림 14] CC 생산성 실험결과(FCFS 대비)

한편, RMGC의 운영방식 변화를 통해 CC 생산성이 향상되면, 이는 처리가능물동량에도 영향을 미치게 된다. 현재 우리나라 대부분의 컨테이너터미널은 24시간 체제로 운영되지만, 작업자의 교대시간, 식사시간 등을 고려하면, 1일 평균 16시간 하역작업이 이루어지며, 공휴일과 우천과 같은 경우를 제외하면 연간 340일을 작업한다. 따라서, 위의 분석결과를 바탕으로 RMGC의 운영방식 변화를 통해 CC의 처리가능물동량을 산정해 보면, FCFS 대비 LCFS는 연간 660 TEU, TOS는 8,860 TEU, NFS는 9,649 TEU를 더 처리할 수 있는 능력을 가지는 것으로 평가할 수 있다.

5.5 선박당 평균대기시간

전술한 바와 같이 4가지 RMGC의 운영방식에 따

른 CC의 생산성 변화는 항만에 기항하는 선박의 평균대기시간에도 영향을 미친다. 실험결과, FCFS의 선박 당 평균대기시간은 2,475.2초, LCFS의 선박 당 평균대기시간은 2,720.8초, TOS의 선박 당 평균대기시간은 1,991.6초, NFS의 선박 당 평균대기시간은 1,930.2초로 나타나 LCFS의 경우가 다른 운영방식에 비해 선박당 평균대기시간이 높은 것으로 산출되었다. LCFS와 FCFS가 다른 평가항목에서는 거의 동일한 수준의 결과가 산출되었으나, 선박 당 평균대기시간에서 FCFS보다 높은 것은 CC의 생산성에서 FCFS보다는 LCFS의 생산성 편차가 크기 때문에 선박의 평균대기시간 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다. 한편, NFS의 경우가 4가지 운영방식 중 가장 선박 당 평균대기시간이 짧은 것으로 나타났다. 이를 FCFS 기준으로 상대비교하면, LCFS는 FCFS보다 선박 당 평균대기시간이 9.9%

높으며, TOS와 NFS는 FCFS보다 선박 당 평균대기시간이 각각 19.5%와 22.0% 낮은 것으로 산출되었다(<표 8> 및 [그림 15] 참조). 또한, RMGC의 4가지 운영방식에 따라 선박 당 평균대기시간이 상이하다는 것을 검증하기 위해 일반적으로 사용하는 FCFS와 다른 세 가지 운영방식 간 t-test 검증결과 FCFS와 나머지 세 운영방식 간 p-value가 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서 모두 0.05미만으로 운영방식 간 선박 당 평균대기시간이 동일하다는 귀무가설을 기각하고 있다.

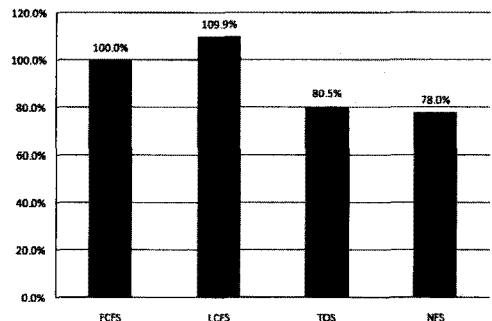
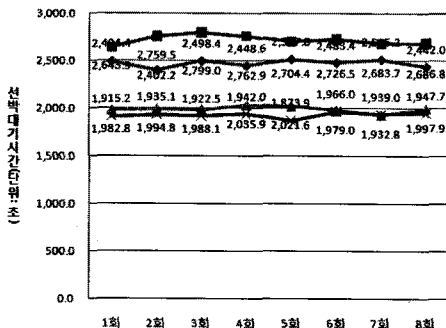
### 5.6 RT 터미널 체류시간

RMGC의 서비스 능력에 관련하여 또 하나의 파생효과로 터미널내부에서 RT의 체류시간 단축을 생각해 볼 수 있다. 이는 터미널 내부에서 RT의 블

록 내 대기시간이 증가하면 터미널 내부에 체류하고 있는 차량통행량이 많아지게 되고, 이는 결국 터미널의 하역작업에도 지장을 주게 된다. 따라서, 가급적 RT의 블록 내 대기시간이 단축될수록 터미널의 하역작업은 원활하게 진행될 수 있다. 실험결과에서 터미널 내 블록 내 대기시간을 포함한 RT의 터미널 내 체류시간은 FCFS가 평균 594.5초, LCFS가 589.3초, TOS가 571.0초, NFS가 569.6초로 나타났다. 즉 FCFS 대비 LCFS는 0.9%, TOS는 4.0%, NFS는 4.2% RT의 터미널 내 체류시간을 단축시킬 수 있다(<표 9> 및 [그림 16] 참조). 한편, RMGC의 4가지 운영방식에 따라 RT의 터미널 내 평균대기시간이 상이하다는 것을 검증하기 위해 일반적으로 사용하는 FCFS와 다른 세 가지 운영방식 간 t-test 검증결과 FCFS와 나머지 세 운영방식 간 p-value가 유의수준  $\alpha = 0.05$ 에서 모두 0.05미만

<표 8> 선박 당 평균대기시간(FCFS 대비)

실험결과	FCFS	LCFS	TOS	NFS	상대비교	FCFS	LCFS	TOS	NFS
1회	2,494.4	2,643.9	1,982.8	1,915.2	1회	100.0%	106.0%	79.5%	76.8%
2회	2,402.2	2,759.5	1,994.8	1,935.1	2회	100.0%	114.9%	83.0%	80.6%
3회	2,498.4	2,799.0	1,988.1	1,922.5	3회	100.0%	112.0%	79.6%	76.9%
4회	2,448.6	2,762.9	2,035.9	1,942.0	4회	100.0%	112.8%	83.1%	79.3%
5회	2,517.8	2,704.4	2,021.6	1,873.9	5회	100.0%	107.4%	80.3%	74.4%
6회	2,483.4	2,726.5	1,979.0	1,966.0	6회	100.0%	109.8%	79.7%	79.2%
7회	2,515.2	2,683.7	1,932.8	1,939.0	7회	100.0%	106.7%	76.8%	77.1%
8회	2,442.0	2,686.8	1,997.9	1,947.7	8회	100.0%	110.0%	81.8%	79.8%
평균	2,475.2	2,720.8	1,991.6	1,930.2	평균	100.0%	109.9%	80.5%	78.0%



[그림 15] 선박 당 평균대기시간 실험결과(FCFS 대비)

으로 운영방식 간 RT의 터미널 내 체류시간이 동일하다는 귀무가설을 기각하고 있어, FCFS보다 다른 3가지 운영방식이 RT의 터미널 체류시간을 단축시키는데 효율적이라고 판단할 수 있다.

5.7 물량변화에 따른 운영방식 간 생산성 비교

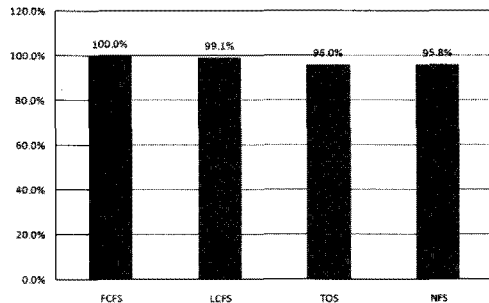
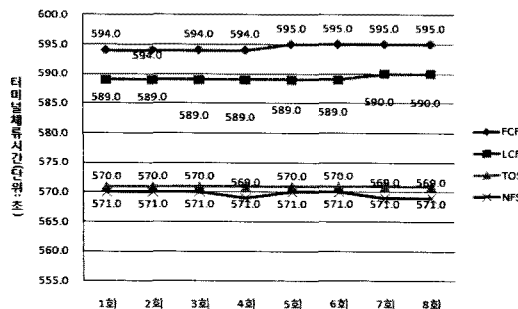
지금까지 연간 240만 TEU를 처리하는 터미널을 대상으로 4가지 RMGC 운영방식에 따른 생산성 지표를 시뮬레이션을 통해 산출하였으며, 그 결과 일반적으로 사용되는 FCFS보다 RMGC가 위치한 지점에서 최단거리에 위치한 차량을 먼저 서비스해주는 방식인 NFS가 RMGC를 운영하는데 있어 타 운영방식에 비해 효율적인 것으로 나타났다. 그러나, 차량통행량(컨테이너 처리물량)의 변화에도 NFS가 FCFS 또는 다른 운영방식보다 더 효과적인지를 분석해 볼 필요가 있다. 이는 연간처리물량이 많아지

면 터미널의 차량통행량이 비례적으로 증가하기 때문에 RMGC 운영전략간의 능력 차이를 효과적으로 비교할 수 있기 때문이다. 이를 위해 본 연구에서는 우리나라 컨테이너터미널(4개 선석 기준)의 기준물량인 160만 TEU와 기준능력에 100%를 더한 320만 TEU에서의 RMGC의 운영방식에 따른 생산성지표의 변화를 비교하였다.

다음의 <표 10>에서 보는 바와 같이 물량이 증가하면서 YT 및 RT의 블록 내 평균대기시간, 선박당 평균대기시간 및 RT의 터미널 내 체류시간은 운영방식에 상관없이 증가하였으며, CC의 생산성은 감소하였고, RMGC의 생산성은 증가하는 추세를 보였지만, 증가폭은 크지 않은 것으로 나타났다. 그럼에도 불구하고 6개의 생산성 평가항목 모두에서 물량이 증가한다 해도 NFS가 다른 RMGC 운영방식에 비해 RMGC 자체의 생산성이나, CC의 생산성이 증가되고, YT 또는 RT의 블록 내 대기시간,

<표 9> RT 터미널 체류시간(FCFS 대비)

실험결과	FCFS	LCFS	NFS	TOS	상대비교	FCFS	LCFS	NFS	TOS
1회	594.00	589.00	570.00	571.00	1회	100.0%	99.2%	96.0%	96.1%
2회	594.00	589.00	570.00	571.00	2회	100.0%	99.2%	96.0%	96.1%
3회	594.00	589.00	570.00	571.00	3회	100.0%	99.2%	96.0%	96.1%
4회	594.00	589.00	569.00	571.00	4회	100.0%	99.2%	95.8%	96.1%
5회	595.00	589.00	570.00	571.00	5회	100.0%	99.0%	95.8%	96.0%
6회	595.00	589.00	570.00	571.00	6회	100.0%	99.0%	95.8%	96.0%
7회	595.00	590.00	569.00	571.00	7회	100.0%	99.2%	95.6%	96.0%
8회	595.00	590.00	569.00	571.00	8회	100.0%	99.2%	95.6%	96.0%
평균	594.5	589.3	569.6	571.0	평균	100.0%	99.1%	95.8%	96.0%



[그림 16] RT 터미널 체류시간 실험결과(FCFS 대비)

〈표 10〉 물량변화에 따른 운영방식 간 생산성 비교(FCFS와 대비)

평가항목	물량 시나리오	시뮬레이션 결과				상대비교			
		FCFS	LCFS	TOS	NFS	FCFS	LCFS	TOS	NFS
RMGC 서비스 능력	case 1	25.2	25.2	25.7	25.7	100.0%	100.0%	101.8%	101.9%
	case 2	25.2	25.2	25.9	26.0	100.0%	100.0%	102.8%	103.1%
	case 3	25.2	25.2	26.2	26.3	100.0%	100.0%	104.1%	104.4%
YT 블록 내 평균대기시간	case 1	242.9	240.7	224.1	222.6	100.0%	99.1%	92.3%	91.6%
	case 2	265.7	264.3	237.8	235.5	100.0%	99.5%	89.5%	88.6%
	case 3	299.8	300.2	256.2	253.1	100.0%	100.2%	85.5%	84.4%
RT 블록 내 평균대기시간	case 1	190.8	190.8	181.8	181.0	100.0%	100.0%	95.3%	94.8%
	case 2	232.8	227.6	209.3	207.9	100.0%	97.8%	89.9%	89.3%
	case 3	302.1	280.2	245.0	242.4	100.0%	92.8%	81.1%	80.2%
CC 생산성	case 1	30.4	30.6	31.6	31.7	100.0%	100.5%	103.8%	104.2%
	case 2	29.1	29.2	30.7	30.9	100.0%	100.4%	105.6%	106.1%
	case 3	27.4	27.4	29.7	29.8	100.0%	100.1%	108.4%	109.0%
선박 당 평균대기시간	case 1	277.0	277.9	227.5	218.1	100.0%	100.4%	82.2%	78.7%
	case 2	2,475.2	2,720.8	1,991.6	1,930.2	100.0%	109.9%	80.5%	78.0%
	case 3	22,969.4	29,279.0	8,769.4	8,335.4	100.0%	127.5%	38.2%	36.3%
RT 터미널 체류시간	case 1	552.1	552.3	543.4	542.5	100.0%	100.0%	98.4%	98.3%
	case 2	594.5	589.3	571.0	569.6	100.0%	99.1%	96.0%	95.8%
	case 3	663.6	641.9	606.6	604.0	100.0%	96.7%	91.4%	91.0%

주) case 1은 160만 TEU/년, case 2는 240만 TEU/년, case 3은 320만 TEU/년임.

선박 당 평균 대기시간, RT의 터미널 체류시간이 감소되고 있는 것으로 보아 NFS 운영방식이 FCFS, LCFS, TOS와 같은 방식보다 훨씬 효율적인 운영 방식임을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구는 컨테이너터미널에서 하역작업이라는 중요한 역할을 수행하고 있는 RMGC의 4가지 운영 방식에 따른 항만 생산성의 변화를 통해 항만의 생산성을 증대시킬 수 있음을 실험·검증하였다.

이를 위해 본 연구에서는 반자동화 컨테이너터미널의 RMGC 운영방식을 분석하기 위한 시뮬레이션 시스템을 개발하였다. 이를 통해 4가지(FCFS, LCFS, NFS 및 TOS) RMGC 운영방식별 RMGC의 서비스 능력, YT의 블록 내 대기시간 단축 효과, RT의

블록 내 대기시간 단축 효과, CC의 생산성 향상효과, 선박의 대기시간 단축효과, RT의 터미널 내 체류시간 단축 효과 등을 분석하였다.

연간 240만 TEU를 처리하는 컨테이너터미널을 대상으로 한 시뮬레이션 결과 모든 평가항목에서 RMGC가 위치한 지점에서 최단거리에 위치하고 있는 차량을 먼저 서비스해주는 방식인 NFS가 RMGC를 가장 효율적으로 운영하는 최적의 방식으로 평가되었다. 특히, 컨테이너터미널에서 보편적으로 사용되는 FCFS 방식에 대비하여 NFS는 RMGC의 서비스 능력에서 3.1% 정도 높으며, YT의 블록 내 평균 대기시간의 경우에 있어서도 FCFS 대비 11.4% 단축되었으며, RT의 블록 내 평균 대기시간의 경우에 있어서도 FCFS 대비 NFS는 10.7% 단축되는 것으로 산출되었다. 또한, RMGC 생산성 증대로 인한 파생효과의 하나인 CC의 생산성은 FCFS 대비 NFS



가 6.1% 정도 향상되었으며, 선박 당 평균대기시간의 경우에서도 FCFS 대비 NFS가 22.0% 단축되고, RT의 터미널 내 체류시간에서도 FCFS 대비 NFS가 4.2% 정도 단축되는 것으로 나타났다. 아울러 연간 컨테이너처리물량의 변화에 대해서도(160만 TEU, 240만TEU, 320만TEU) NFS가 다른 RMGC의 운영방식에 비해 생산성을 증가시키기 위한 효율적인 운영방식이라는 결과가 도출되었다.

한편, 본 연구는 생산성 증대로 인해 파생되는 비용절감효과에 대해 고려하지 못한 한계점을 가진다. 항만의 생산성 증대는 크게 항만 자체에 대한 직접적인 비용효과가 발생할 수 있으며, 이는 다시 기항 선박에 대한 서비스 제공시간 단축으로 이어져 선사의 선박 운항비용을 절감시킬 수 있다. 다시 말하면 항만 자체에 대한 직접적인 효과는 항만 생산성 증대로 인해 항만시설의 적정처리량을 증가시킬 수 있기 때문에 항만 또는 장비에 대한 투자비용을 절감시킬 수 있으며, 또한, 고용해야 할 인원도 감축시켜 인건비 절감효과도 기대할 수 있다. 더욱이 항만 생산성 증대로 인해 선박에 대한 서비스 시간이 단축되면 선사는 항만에서 기항하는 중에 발생하는 용선료 또는 연료비 등을 절감시킬 수 있으며, 또는 항만 당국에 지불하는 항만시설사용료 중 접안료를 절감시킬 수 있어 더 많은 선사를 유치할 수 있는 간접적인 효과도 기대할 수 있다. 따라서, 향후에는 항만생산성 증대에 따른 터미널운영사의 비용 또는 선사의 비용관계를 분석함으로써 항만 운영의 효율화라는 동기부여를 제공할 수 있는 연구가 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 박병인, “시뮬레이션 기반의 컨테이너터미널 생산성측정 방식”, 「한국항만경제학회지」, 제18집, 제1호(2002), pp.43-60.
- [2] 박병인, “컨테이너터미널의 장치장 보관능력 평가: 시뮬레이션접근”, 「한국항만경제학회지」, 제21권, 제1호(2005), pp.59-72.
- [3] 이병권, 김갑환, “컨테이너터미널에서 블록의 레이아웃을 고려한 야드 크레인의 주기시간 모형”, 「Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers」, Vol.33, No.1(2007), pp.110-125.
- [4] 안광호, 김민성, 김병일, “컨테이너항만 서비스 품질차원이 고객만족과 재이용 및 구전의도에 미치는 효과에 관한 연구: 선사의 규모와 컨테이너항만 입지의 조절효과”, 「경영학연구」, 제37권, 제3호(2008), pp.417-442.
- [5] 안은영, 강병호, 강재호, 류광렬, 김갑환, “자동화 수평 배치 장치장의 효율적인 운영을 위한 휴리스틱의 평가”, 「한국지능정보시스템학회」, (2006), pp.279-287.
- [6] 윤원영, 최용석, 이명길, 송진영, “객체지향접근법을 사용한 컨테이너터미널 시뮬레이터의 설계”, 「IE Interfaces」, 제13권, 제4호(2000), pp.608-618.
- [7] 전수민, 김갑환, 김재중, 류광렬, 박남규, 최형림, “컨테이너터미널에서의 장치장 운용 계획에 관한 연구”, 「한국지능정보시스템학회」, 제12권, 제1호(2006), pp.125-137.
- [8] 전수민, 김갑환, 류광렬, “시뮬레이션을 이용한 컨테이너터미널의 수평배치 장치장의 배치도 설계”, 「IE Interfaces」, 제20권, 제1호(2007), pp.49-57.
- [9] 하태영, 최용석, 김우선, “시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 AGV 운영평가”, 「한국항해항만학회지」, 제28권, 제10호(2004), pp.891-897.
- [10] 하태영, 최용석, “고성능 안벽크레인의 터미널 하역 생산성 비교분석”, 「한국항해항만학회지」, 제29권, 제6호(2005), pp.547-553.
- [11] Banks, J., J.S. Carson II, B.L. Nelson, and D. M. Nicol. *Discrete-Event System Simulation 4th Edition*, Pearson Prentice Hall, New York. (2004).
- [12] Yang, C.H., Choi, Y.S., and Ha, T.Y. *Simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automated container terminals*, 「OR Spectrum」, Vol.26, No.2(2004), pp.149-170.