

컨테이너터미널에서 야드 트랙터 풀링시스템을 적용한 효율적인 운영 전략

신재영* · 권순철†

*한국해양대학교 물류시스템공학과 교수, † 한국해양대학교 대학원

Effective Operation Strategies for Pooling Yard Tractors in Container Terminals

Jae-Young Shin* · Sun-Cheol Kwon†

*Department of Logistics Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

† Graduate School of National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 컨테이너 터미널의 경쟁력을 높이기 위해서는 터미널 생산성 향상이 중요한 요소라고 할 수 있다. 이러한 생산성에 영향을 줄 수 있는 요인은 다양하다. 그 중 야드이송장비의 경우, 특정 선석크레인(QC, Quay Crane)에 야드트랙터(YT, Yard Tractor)가 고정 할당되는 방식에서 다수 QC들의 작업을 처리하는 풀링 방식으로 전환하여 YT의 생산성을 올리고 있다. 현재 국내 터미널에서도 YT 풀링을 도입하고 있는 실정이다. 하지만 아직 적절한 풀링 범위 및 효과적인 YT 할당 계획에 대한 노력은 부족한 실정이다. 본 논문에서는 YT 풀링 운영을 더 효율적으로 할 수 있도록 YT 풀링이 담당할 작업범위 결정에 미치는 요인의 도출과 상황에 따른 YT의 작업할당 모형에 대해서 제시하였다.

핵심용어 : 컨테이너터미널, YT 풀링, 야드 트랙터, 데디케이트시스템

Abstract : The improvement in the terminal productivity plays a key role for container terminals to be more competitive. The productivity of yard tractors(YT) is one of the most important factor accelerating the terminal productivity. Thus, YT pooling system is newly introduced in container terminals for increasing the YT productivity. Recently, the terminals in Korea tend to adopt YT pooling system. This paper proposes the important decision factors for YT pooling work space and several types of formulations according to states of container terminals.

Key words : Container Terminal, YT Pooling, Yard Tractor, Dedicated System

1. 서 론

컨테이너터미널의 효율적인 운영은 타 항만과의 경쟁력을 향상시키고 선사에게 보다 나은 서비스를 제공하는 등 많은 이점이 있다. 점점 컨테이너 처리에 대한 공급이 늘어나고 있는 요즘 이러한 효율적인 운영은 꼭 필요하다고 할 수 있다. 컨테이너터미널을 효율적으로 운영하기 위해서는 새로운 장비나 시스템을 도입하여 효율을 높일 수도 있지만, 운영의 변화를 통해 장비들의 대기시간을 감소시키고, 장비 이용율을 높이는 등 저예산으로 효율을 높일 수 있는 방안도 있다. 그 중에서도 터미널 생산성에 큰 영향을 줄 수 있는 야드이송장비 운영방식의 경우 현재 국내 대부분의 컨테이너터미널에서 사용되고 있는 데디케이트시스템은 장비의 탄력적인 운용이 어려워 효율적인 운영이 어렵다. 이에 반해 YT 풀링시스템은 보다 효율적인 운영이 가능하여 경쟁이 치열해지고 있는 요즘 꼭 필요한 운영방안이라고 할 수 있다. 하지만 아직까지 국내에서는 YT 풀링시스템에 대한 연구와 경험이 부족한 것은 사실이다. 몇몇 컨테이

너터미널에서는 YT 풀링시스템을 도입하여 운영하고 있지만 아직까지는 시스템이 제대로 갖추어지지 않은 시작단계이기 YT 풀링시스템의 효과를 크게 보고 있다고 할 수는 없다. YT 풀링시스템이 한계를 가지는 것은 아직 정확한 분석이 이루어지지 않았고, 새로운 운영시스템에 대한 적용이 부족하며, 시스템이 잘 발달되지 않는 등의 영향이 있기 때문이다. 앞으로 YT 풀링에 대한 정확한 분석과 발전된 시스템이 적용된다면 YT 풀링은 더 나은 효율을 보여줄 것이다.

YT 풀링의 내용을 다룬 이(2004)의 논문은 YT 풀링의 개념과, YT의 배차 수립과정, 효율적인 운영을 위한 규칙을 따르는 YT 할당계획을 제시하고 실험을 통해 검증하였다. 하지만 제시한 모델이 비교적 단순하고 제한적이었다. 신(2008)의 논문은 현재 컨테이너터미널 시스템의 한계로 인하여 현재 운영되고 있는 YT 풀링시스템의 한계를 말했고, 실시간 위치추적(RTLS, Real Time Location System) 시스템이 도입되었다는 가정하에 터미널 내의 YT 전체를 풀개념으로 정의하여 더 효율적으로 운영할 수 있는 방안을 제시하였다. 하지만 터미널 전체를 고려

* 대표저자 : 신재영(중신회원), shinjy@hhu.ac.kr 051)410-4335

† 교신저자 : 권순철(정회원), eltyselyts@nate.com 010)4578-2468

해야 하는 복잡한 시스템임에 비해서 고려하고 있는 제약요인들은 많지 않았다. 연(2003)은 국내의 특정 컨테이너터미널을 대상으로, 시뮬레이션 기법에 의한 컨테이너터미널의 생산성 향상에 관한 연구를 하였는데, 그 중에서 YT 배정 방안이 YT 풀링의 개념을 적용하여 제시하였다. 하지만 모델은 비교적 단순하고 현실적이지 않았다. 안 등(2006)은 자동화 트랜스퍼 크레인(ATC, Automated Transfer Crane)을 이용한 수평 자동화 장치장에 YT를 배정하고 ATC 작업 할당 휴리스틱 기법과 YT 풀링이 적용된 배정 휴리스틱 기법을 조합하여 그 효과를 분석하였다. 최 등(2005), 최 등(2006)은 컨테이너터미널의 생산성 향상에 영향을 주는 시스템에 YT 풀링시스템을 하나의 파트로 포함하여 시뮬레이션을 통해 검증하였고, 생산성 향상에 효율적임을 증명하였다.

컨테이너터미널의 실시간 모니터링에 관련된 연구로서 RTLS를 터미널에 적용한 Park and Nam(2006)은 장비의 실시간 위치추적을 위한 RFID(Radio Frequency Identification) 기반의 RTLS 시스템에 대해서 설명하였다. 그리고 이를 적용하여 컨테이너터미널의 생산성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였고, 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 이어 박 등(2007)은 실시간 위치추적 기술인 Ad-Hoc을 이용하여 YT 풀링시스템을 연구하였고, 시뮬레이션을 통해 분석하여 높은 효율을 입증하였다.

본 논문에서는 YT 풀링시스템을 운영하고 있는 터미널의 상황에 따라 각각 그에 맞는 YT 할당모형을 제시하였고, 향후 도입을 고려하고 있는 실시간 모니터링 시스템이 도입되었을 때를 고려한 모형도 연구해 보았다. 또 위 연구들과는 다른 시각으로 현실적인 면을 고려하기 위해서, 실제로 운영되고 있는 국내 컨테이너터미널의 내적·외적 환경에 따라서 YT 풀링의 적용범위에 영향을 줄 수 있는 요인을 컨테이너터미널 현장 실무자의 인터뷰를 통하여 도출하였다.

2. YT 풀링의 개념과 주요요인

2.1 데디케이트시스템과 YT 풀링시스템의 개념

몇 년 전까지 만해도 국내의 컨테이너터미널의 YT 할당 시스템은 한 대의 QC에 일정 수의 YT를 할당하여 운영하는 데디케이트시스템 방식으로 운영되었다. 하지만 이러한 방식은 공차율이 높고 YT 운영의 효율이 높지 않아 일부터미널에서는 보다 나은 개념의 운영 시스템으로 YT 풀링시스템을 도입하였다. YT 풀링시스템이란 QC에 배정되는 YT를 풀(Pool)로 운영하는 개념으로 다수의 YT를 하나의 풀로 구성하여 여러대의 QC 작업을 이송장비 각각이 자유롭게 지원할 수 있는 방식으로 YT의 운용율을 높일 수 있고 탄력적인 운영이 가능하다. 아래 Fig. 1은 데디케이트시스템과 YT 풀링의 간단한 개념을 나타낸 것이다.

데디케이트시스템은 각 QC에 YT를 고정으로 배정하는 방식으로 다른 QC의 작업에는 관여하지 않는다. 그렇기 때문에 만

약 어느 지역에서 작업의 정체가 있을 경우 다른 YT의 작업에도 모두영향을 받게 된다. 또, 한 싸이클에 한번의 작업만 이루어지기 때문에 50%의 공차율이 발생하는 단점이 있다.

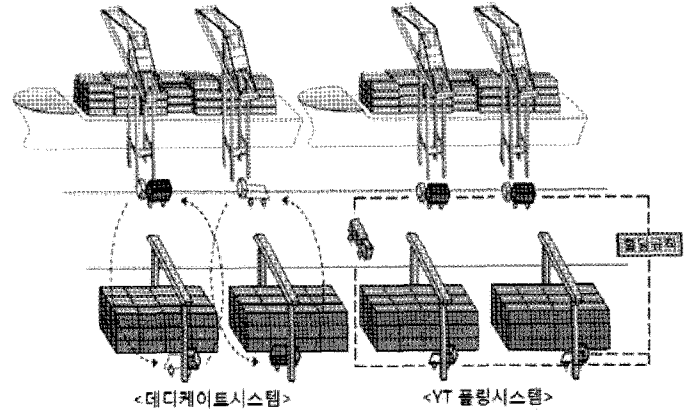


Fig. 1 The dedicated system and the YT pooling system

반면에 YT 풀링시스템은 몇 대의 QC에 다수의 YT를 풀로 운영하는 방식으로 풀에 속해 있는 모든 YT는 작업을 공유하게 된다. 그렇기 때문에 한 지역에 문제가 발생할 경우 다른 YT로 작업을 대체하는 등 탄력적인 운영이 가능하다. 또, 작업 발생지점에 운영효율을 높일 수 있는 YT를 배정하므로 공차율을 줄일 수 있는 장점도 있다.

2.2 YT 풀링의 의사결정 흐름과 국내 터미널의 운영

YT 풀링의 의사결정 흐름은 크게 3단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 YT 풀링이 담당해야 할 QC의 작업범위를 결정하는 것이다. 이 단계에서는 현재 터미널 상황을 고려하여 안벽에서의 작업이 가장 원활히 될 수 있도록 범위를 결정해야 한다. 두 번째 단계는 결정된 QC의 작업범위에 효율적인 운영이 가능한 YT 대수를 산정한다. 마지막으로 발생하는 작업에 대해서 YT를 어떤 규칙으로 배정할지에 대한 YT 배정규칙을 결정한다. 현재 국내에서 YT 풀링시스템을 도입하고 있는 터미널의 경우 YT 풀링의 의사결정 흐름에서 첫 번째 단계인 QC의 작업범위는 선박 단위로 YT 풀링 적용범위를 결정하거나, 선사에 따라 배치되어 있는 야드의 블록구조를 기준으로 결정하고 있다. 하지만 이러한 방법은 작업상 편의를 위해서, 혹은 터미널 운영자의 경험에서 나온 것으로 효율적이라는 연구결과나 근거는 없는 실정이다. 두 번째 단계인 풀에 들어갈 YT 산정의 경우도 실제 터미널에서는 운영자의 경험에 의해서 QC당 3~4대의 YT를 배정하고 있지만 역시 효율적이라는 연구결과나 근거는 없다고 할 수 있다. 마지막으로 배정규칙의 경우 아직까지는 터미널의 시스템의 한계로 인해 유휴 YT가 발생할 때마다 작업의 우선순위가 가장 먼저인 QC에 YT를 할당하는 방식으로 이루어지고 있다. 이러한 방법은 유휴 YT가 발생하는 순간의 작업만 고려할 수 있으므로 후에 일어날 작업에 좋지 않은 영향을 미쳐서 전체적으로 좋지 않은 결과가 나타날 수도 있다. 하지만 요즘 RFID, DGPS 등을 통한 실시간 모니터링에 대해서

많은 연구가 되고 있으므로, 위치추적 시스템기술을 적용한 더 효율적인 YT 풀링시스템을 구축할 수 있을 것이라고 기대한다. 본 논문에서는 YT 풀링 의사결정 흐름의 첫 번째 단계인 QC 작업범위 결정에서, 현실적으로 QC의 작업범위에 영향을 미칠 수 있는 요인을 도출해 보았다. 또, 세 번째 단계인 YT 배정규칙을 시스템의 상황에 따라서 3가지로 나누어 모델을 제시하였다. 그리고 실험을 통해서 YT 풀링시스템의 효과를 살펴보고 두 번째 단계인 YT 투입대수를 산정해 보았다.

2.3 YT 풀링의 적용범위 결정에 영향을 미치는 요인

1) 요인도출 방법

요인도출은 YT 풀링에 대해서 잘 알고 있는 실무자와의 인터뷰를 통해서 도출하였다. 인터뷰 대상은 YT 풀링시스템을 운영하고 있거나 운영준비중인 터미널의 운영팀 / 전산팀 실무자 및 터미널 프로그램 개발자로 총 12명을 대상으로 하였다. 실제로 터미널에서 YT 풀링시스템 방식을 운영하고 있는 실무자를 대상으로 하였기 때문에 YT풀링에 실질적으로 영향을 미치는 현실적인 요인을 도출할 수 있었고, 실제로 이루어지고 있는 YT 풀링의 작업흐름도 자세히 알 수 있었다. 인터뷰를 통해 도출된 요인은 추후 실무적으로 활용 가능한 모형을 구축하는데 기여를 할 것으로 기대된다.

2) 도출된 요인 및 분석

인터뷰를 통해 도출된 YT풀링의 작업범위 결정에 미치는 요인은 아래 Table 1과 같다.

도출된 결과를 보면 먼저 터미널의 규모나 차선의 수에 따라 YT풀링의 운영에 많은 변화를 가져 올 수 있으므로 영향이 있을 것으로 나타났다. 또, 자동화와 모니터링 수준에 따라 운영의 변화가 있을 수 있으므로 영향을 주는 요인으로 나타났다. 운영부분에서 나타난 결과를 보면 YT 풀링시스템을 운영한 기간에 따라서 북항과 신항에서 다른 결과를 나타내었다. 원인을 살펴보면 북항의 경우를 보면 최초 터미널 운영시에 YT를 데디케이트 시스템으로 운영하다가 YT 풀링시스템으로 운영을 바꾸어 각 부분의 작업자들이 바로 적용하지 못하여 운영한 기간이 YT 작업범위 결정에 영향을 미친다고 반응을 보였다. 반면에 신항의 경우 터미널 최초 운영시부터 YT 풀링시스템을 사용하여 곧바로 적용하였기 때문에 YT 풀링시스템을 운영한 기간이 영향을 미칠것이라고 생각하지 않는 것으로 나타났다. 작업자의 경우 YT 풀링 범위를 크게 할수록 플레너와 언더맨이 작업상 더 고려할부분이 많아지고 복잡해져서 안 좋은 방향으로 영향을 미친다고 나타났고, QC/TC 기사들의 작업은 숙련도에 따라서 작업량을 조절하는 등 풀링에 영향을 준다고 하였다. QC와 TC 기사들과는 다르게 YT 기사의 숙련도는 북항과 신항이 상이한 결과를 나타내었는데, 이유는 위의 운영부분인 YT 풀링시스템을 운영한 기간에서 나타난 것과 같았다.

선박부분을 보면 모두 선박 간의 거리에 따라, 선박 간 작업내용(양/적하)에 따라 영향을 준다고 나타났다. 선박 간 작업내용이 영향을 준다고 한 이유는 한쪽의 선박에서 양하 작업이,

또 다른 쪽의 선박에서 적하 작업이 일어나고 있을 경우 부분적으로 듀얼사이클의 효과가 날 수도 있기 때문이다. 인접 선박이 같은 선사인 경우와 선박에 물량이 분산 적재된 정도도 북항과 신항에서 서로 다른 의견이 도출 되었는데, 신항의 경우 야드가 선사 기준으로 블록을 운영하고 있고, YT 풀링을 고려한 구조이기 때문에 영향이 있다고 나타난 반면 북항은 그렇지 않았다.

야드부분은 장치율이 높을 경우 리핸들링 작업의 발생이 많아지므로 풀링계획에 영향을 줄 수 있고, 장치장 계획의 경우에는 풀링을 고려하여야 하기 때문에 더 복잡해질 것 이라고 나타났다. 컨테이너의 분포 범위의 경우는 어느 정도 퍼져 있어야 풀링시스템에 이점이 있을 것이라고 나타났다. 마지막으로 블록 내 컨테이너 구성에 따른 영향은 개인에 따라서 다르게 나타났다. 어느 플레너의 경우 한 블록에 수출, 수입 컨테이너가 혼재해 있으면 혼잡을 야기하여 풀링시스템 운영에 좋지 않은 영향을 줄 것이라고 한 반면에, 다른 인터뷰 대상자들은 대체로 블록 장치 형태를 잘 조절하면 좋은 방향으로 영향을 줄 수 있을 것이라고 대답했다.

나타난 결과를 분석해보면 대체로 어느 정도 YT 풀링시스템의 작업범위에 영향을 줄 수 있는 요인과 영향력에 대해서 비슷한 응답을 하였다. 하지만 서로 다른 두 가지 영향을 보이고 있는 것처럼 각 터미널의 운영자 간에 다른 의견을 나타내는 요인도 있었다. 이러한 차이를 보이는 이유는 개인에 따른 생각의 차이에서도 올 수 있지만, 인터뷰를 했던 실무자가 속해 있는 터미널에서의 YT 풀링 운영방식이 다르기 때문에 더 크게 나타나고 있다고 볼 수 있다.

Table 1 A primary factor influencing the determination of the YT pooling range

O : 영향 있음, X : 영향 없음

구분	영향 요인	영향
터미널	터미널의 규모	O
	터미널 내에 YT 차선의 수	O
	터미널의 자동화 수준	O
	터미널의 모니터링 수준	O
운영	YT 풀링시스템을 운영한 기간	O, X
작업자	플레너의 작업	O
	언더맨의 작업	O
	QC/TC 기사들의 작업 숙련도	O
	YT 기사의 숙련도	O, X
선박	선박간 거리	O
	선박간 작업 내용이 다른 경우(양/적)	O
	인접 선박이 같은 선사인 경우	O, X
	선박에 물량이 분산 적재된 정도	O, X
야드	야드 장치율	O
	장치장 계획	O
	컨테이너 분포 범위	O
	블록 내 컨테이너 구성(수출·입)	O

인터뷰를 통해서 실제로 YT 풀링시스템에 영향을 미치는 요인들이 단순히 배정규칙, QC / YT수 등에만 의존하는 것이 아

나라 위에 도출된 요인들과 같이 실무적인 부분에서 YT 풀링 운영에 영향을 미치는 다양한 요인들이 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 현상은 아직까지 국내의 컨테이너터미널이 YT 풀링 운영에 익숙하지 않고, 시스템이 미흡해서 오는 현상이라고 볼 수 있다. 추후 연구에서는 위 요인들을 고려하여 터미널환경에 맞는 YT풀링 운영방안 연구가 필요할 것이다.

3. YT의 작업할당 수리적 모형

YT 풀링 운영시 QC작업에 YT를 할당하는 부분이 핵심이라고 할 수 있다. 할당방법에 따라서 YT의 운용효율을 더 향상시킬 수 있기 때문이다. 아래에 터미널의 시스템 상황에 따른 3가지 작업할당 모형을 제시하였다.

3.1 유휴 YT 1대를 우선순위가 먼저인 QC에 할당

현재 국내에서 YT 풀링시스템을 적용하고 있는 대부분의 컨테이너터미널에서 사용하는 방식이다. 작업흐름은 먼저 QC나 TC에서 컨테이너를 내려주고 YT가 공차 상태가 되면 운영실로 신호를 보낸다. 운영실에서는 신호를 받고 난 후 작업할당 규칙을 통해서 다음 작업을 YT 단말기로 전송하는 식으로 운영된다. 이러한 방법으로 운영하는 이유는 아직까지 국내의 컨테이너터미널은 실시간으로 장비의 현재 위치 파악 및 작업상태를 확인 할 수 있는 시스템이 도입되지 않았으므로 공차가 되는 YT만을 고려할 수밖에 없기 때문이다.

이 방법은 비교적 단순하여 작업할당의 시간을 단축시켜주는 장점이 있지만, 하나의 YT만을 고려할 수밖에 없기 때문에 전체적으로 효율성을 보장할 수 없다. 본 모델의 제약조건은 아래와 같다.

- YT는 현재 위치에서 QC의 작업 포인트가 멀수록 많은 벌점을 준다.
- 현재 QC에 할당된 작업이 많을수록 많은 벌점을 준다.
- QC의 전체 작업완료시간이 늦을수록 많은 벌점을 준다.

수리적 모형에 사용된 기호와 모델은 다음과 같다.

$L = \{1, 2, \dots, l\}$: QC 인덱스

w_1 : YT와 QC간의 거리에 대한 가중치

w_2 : 현재 QC에 할당된 작업에 대한 가중치

w_3 : QC의 전체작업 완료시간에 대한 가중치

D_l : YT와 QC l간의 거리

Q_l : QC l에 남아있는 작업 수

T_l : QC l에 할당된 모든 작업이 완료되는 시간

x_l : YT가 QC l에 할당될 경우 1, 그렇지 않을 경우 0

$$\text{Minimize } \sum_{l \in L} (w_1 D_l + w_2 Q_l + w_3 T_l) x_l \quad (1)$$

$$\sum_{l \in L} x_l = 1 \quad (2)$$

$$x_l = 0 \text{ or } 1, l \in L \quad (3)$$

식 (1)은 목적함수 식으로 벌점이 가장 적은 QC의 작업에 YT를 할당한다. 식 (2)는 하나의 YT는 하나의 QC에 할당된다는 제약식이다. 식 (3)은 각 의사결정변수들이 가질 수 있는 값에 대한 제약식이다.

모델의 해법은 유휴 YT와 대상이 되는 QC간에 거리, 현재 각 QC에 할당된 작업의 수, QC의 전체 작업완료시간에 대해서 각 QC에 현재 상황에 따른 벌점을 부여하고 값이 가장 적은 QC에 YT를 할당하는 방식으로 모든 작업에 YT가 할당 될 때까지 반복한다. 이 해법은 각 작업에 대해서 벌점을 부여하고 값의 정렬을 통해 최소값을 배정하는 것으로 쉽게 작업을 할당할 수 있다.

3.2 유휴 YT n대를 m대의 QC에 할당

일정한 시간 내에 이용 가능한 YT들과 QC의 작업들을 매치시켜주는 모델로써 YT 1대만 QC작업에 할당해주는 것보다 여러 경우의 상황을 고려할 수 있어서 더 효율적인 배정이 가능하다. 하지만 QC들의 작업 완료시간을 정확히 알지 못하기 때문에 작업을 2개 이상 할당 받았을 경우 오차가 발생 하여 작업의 지연이 발생 할 수도 있다. 향후 시스템이 발전된다면 이 모델의 적용이 가능할 것이다.

본 모델의 제약조건은 아래와 같다.

- 일정한 시간간격 사이에 이용 가능한 YT들만 풀에 포함된다.
- 모든 YT는 각각 현재 위치에서 작업 포인트까지의 이동시간의 합에 거리에 대한 가중치를 부여한다.
- 각각 QC의 전체작업에 YT가 할당된 작업의 수를 뺀 값에 가중치를 부여한다.

이전 모델에서 변경되었거나 추가된 기호와 제약식은 다음과 같다.

$K = \{1, 2, \dots, n\}$: YT의 인덱스

w_1 : YT의 운행시간에 대한 가중치

w_2 : QC에 할당된 작업양에 대한 가중치

Q_l : QC l이 처리해야 할 작업 수

t_{kl} : YT k가 QC l의 작업포인트로 가는데 걸리는 시간

x_{kl} : YT k가 QC l작업에 할당되면 1, 그렇지 않으면 0

$$\text{Minimize } w_1 \left(\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} t_{kl} x_{kl} \right) + w_2 \left(Q_l - \sum_{k \in K} x_{kl} \right) \quad (4)$$

$$\sum_{l \in L} x_{kl} = 1, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} x_{kl} \leq Q_l, \quad l \in L \quad (6)$$

$$x_{kl} = 0 \text{ or } 1, \quad k \in K, l \in L \quad (7)$$

식 (4)는 목적함수 식으로 목적함수 값이 가장 작게되는 작업들에 YT들을 할당한다. 식 (5)는 한대의 YT는 하나의 QC작업에 할당된다는 제약식이다. 식 (6)은 QC에 할당되는 YT수가 QC가 처리해야 할 작업량을 넘지 않아야 된다는 제약식이다. 식 (7)은 각 의사결정변수들이 가질 수 있는 값에 대한 제약식이다.

모델의 해법은 먼저 모든 YT가 작업포인트로 가는데 걸리는 시간에 대한 값의 합에 가중치를 부여한다. 또, 각각 QC의 전체 작업에 YT가 할당된 작업의 수를 뺀 값에 가중치를 부여한다. 각각 QC 전체작업 수 이상으로 YT가 할당되지 않았고, 모든 YT에 작업이 할당된 경우 중 먼저 구한 거리에 대한 값의 합과, 할당된 작업량에 대한 값의 합이 최소가 되는 작업을 YT에 할당한다. 이 해법은 Transportation Problem 모형형태를 가지는데 이 모형은 계량적으로 비교적 간단한 방법을 통해서 해를 도출해 낼 수 있다.

3.3 일정시간 간격 내에 YT n대를 m대의 QC에 할당

터미널 내의 모든 장비들의 현재 작업상태가 모니터링이 가능할 경우 모든 장비들의 위치 및 작업현황의 파악이 가능해진다. 이러한 시스템을 이용할 경우 장비의 위치 및 작업현황을 고려하여 각 장비의 대기시간을 줄이고 장비 운용율을 높이는 효율적인 작업할당이 가능해 지게 된다.

새 번째 모델은 YT 풀링운영에 이러한 시스템이 도입된 상태라고 가정하여 모델링을 해보았다.

전체작업을 일정범위로 중복되게 구분하여 작업 할당 간격에 속하는 작업들을 대상으로 전체 YT에 작업을 할당한다. 전체작업을 대상으로 하지 않는 이유는 전체 작업의 수가 많아지면 많아짐에 따라 최적해를 구하는데 상당한 시간이 걸리게 되기 때문이다. 또 작업 할당 간격을 접친 이유는 아무리 작업 할당 간격에 최적으로 작업을 할당한다 해도 현실적으로 있을 수 있는 작업 지연들 때문에 작업이 정확하게 끝나쳐지지 않을 경우 바로 다음 할당이 이루어지지 않으면 작업의 대기가 발생하기 때문이다.

이러한 방식으로 작업을 중복되게 할당하면 전체 작업에 대한 최적할당의 결과는 구할 수 없지만 비교적 근접하게 효율적인 작업을 할당할 수 있다.

이 모델은 가장 마지막 작업의 완료시간을 최소로 하는 것을 목적함수로 한다. 모델의 제약조건은 아래와 같다.

- 실시간으로 모든 장비의 위치와 작업상태 등은 파악이 가능하다.
- 풀에 포함된 모든 YT와 QC를 할당 대상으로 한다.
- 각 QC의 작업은 순서화 되어 있고 빠른 순서의 작업이 후

의 작업보다 먼저 처리되어야 한다.

이전 모델에서 변경되었거나 추가된 기호와 제약식은 다음과 같다.

i, j : 작업 노드

Q_i : QC가 i 작업을 처리하는데 걸리는 시간

S_i : QC l 에 대해서 순서화된 작업 집합

S : $S_1 + S_2 + \dots + S_l + \{0\}$

F_i : i 작업을 완료하는데 걸리는 시간

t_{ij}^k : YT k 가 i 작업완료 지점에서 j 작업포인트까지 가는데 걸리는 시간

Z : 가장 마지막에 처리되는 작업의 시작시간

T_i : QC에서 i 작업의 시작시간

t_i^k : YT k 가 i 작업을 시작하는 시간

x_{ij}^k : YT k 가 i 작업을 완료 후 j 작업으로 갈 경우 1, 그렇지 않으면 0

$$\text{Minimize } Z \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in S} x_{ij}^k = 1, \quad j \in S, j \neq 0 \quad (9)$$

$$\sum_{i \in S} x_{ij}^k - \sum_{i \in S} x_{ji}^k = 0, \quad j \in S, k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{j \in S} x_{0j}^k \leq 1, \quad k \in K \quad (11)$$

$$t_0^k = 0, \quad k \in K \quad (12)$$

$$x_{ij}^k = 1 \rightarrow t_j^k \geq t_i^k + F_i + t_{ij}^k, \quad i \in S, j \in S, k \in K, j \neq 0 \quad (13)$$

$$T_i \geq t_i^k, \quad i \in I, k \in K \quad (14)$$

$$T_j \geq T_i + Q_i, \quad i < j, i \in S_i, j \in S_j, l \in L \quad (15)$$

$$Z \geq T_i, \quad i \in I \quad (16)$$

$$t_i^k \geq 0, \quad i \in S, k \in K \quad (17)$$

$$x_{ij}^k = 0 \text{ or } 1, \quad i \in S, j \in S, k \in K \quad (18)$$

식 (8)은 목적함수 식으로 가장 마지막에 처리되는 작업의 시작시간이 최소가 되도록 한다. 식 (9)는 작업 i 이후 작업 j 를 수행하는 YT는 하나의 YT에 의해서 이루어진다는 제약식이다. 식 (10)은 흐름양 보존에 관한 제약식이다. 식 (11)은 {0}에서 최초 출발하는 YT에 관한 제약식이다. 식 (12)는 {0}에서의 작업시간은 0임을 뜻한다. 식 (13)은 YT k 에 의하여 작업 i 를 수행하고 바로 작업 j 를 수행하는 경우 j 작업의 시작시간은 이전 작업의 시작시간에서 작업 i 에서 작업 j 로의 이동시간 및 작업 i 의 작업시간을 더하여 구하여 진다는 제약식이다. 식 (14)는 각

작업의 시작시간에 대한 제약식이다. 식 (15)는 각 QC의 작업 간에 선후관계에 관한 제약식이다. 식 (16)은 최종작업시간에 관한 제약식이다. 식 (17), (18)은 각 의사결정변수들이 가질 수 있는 값에 대한 제약식이다.

모델의 해법은 아래와 같은 단계로 표현하였다.

- Step 1 : 최초 QC작업 순서화 및 투입 YT 할당 등 데이터 정리
- Step 2 : 각 QC의 작업들 가운데 T_i 값이 가장 작은 작업이 속해 있는 QC를 선정
- Step 3 : Step 2에서 선정된 작업에 대해서 t_{ij}^k 값이 가장 작은 YT를 선정
- Step 4 : 선정된 QC의 작업시간은 $t_i^k + F_i$ 로 되고, YT는 $t_i^k + F_i + YT$ 의 작업시간 값을 가지게 됨
- Step 5 : 남아 있는 작업이 있을 경우 Step 2로 없을 경우 작업 종료

위 모형의 최적해를 C-Plex를 이용하여 도출하였고, 휴리스틱 결과와 비교해 보았다. 데이터는 QC 3대, 작업 수 30개, YT 6대로 하였다. 도출된 결과 값을 보면 최적해의 경우 1129, 휴리스틱의 경우 1171로 약 3.7%의 차이로 최적해에 근접한 것으로 나타났다. 도출되는데 까지 걸린 시간은 최적해의 경우 약 20시간 정도 걸린 것에 비해서 휴리스틱은 0.1초 이내로 해를 도출하여 실제로 활용도 면에서도 무리 없이 사용할 수 있을 것으로 나타났다.

4. YT 풀링시스템의 효과분석

위에서 제시했던 할당모형 가운데 마지막으로 제시하였던 일정시간 간격 내에 YT n대를 m대의 QC에 할당하는 모형을 대상으로 데디케이티드시스템과 YT 풀링시스템의 효과를 비교하기 위해서 실험을 해보았다.

실험은 YT와 QC의 대수 변화에 따라서 최종작업의 시작시간이 어떻게 변화되는지, 또 데디케이티드시스템과 YT 풀링시스템을 비교하여 YT 풀링시스템이 어느 정도 장비 효율의 향상을 가져오는지에 대해서 알아보았다.

실험은 인텔 코어2듀오 콘로 E6400 컴퓨터에서 이루어졌고, JAVA를 이용하여 코딩하였다. 가정사항으로 한 선박 당 할당되는 QC수는 3대로 하였다. 실험 범위는 QC 3대 / 6대 / 9대 / 12대 / 15대까지 최대 5척의 선박까지 적용해보았고, 여기에 할당되는 YT수는 QC당 2대 / 3대 / 4대까지 대수를 변경해보며 실험을 실시하였다. 작업량은 QC당 50개의 작업을 할당하였다. 실험을 통해 도출된 데디케이티드시스템과 YT 풀링시스템의 결과 값은 아래 Fig. 2, 3과 같이 도출되었다. 먼저 데디케이티드시스템의 실험결과를 보면 QC대수가 많아 질수록 작업 완료시간이 조금씩 늦어지는 것을 볼 수 있다. 이러한 현상은 목적함수 값을 모든 QC중에 가장 늦게 완료되는 QC의 값으로 설정하여

부분적으로 늦게 작업이 완료되는 QC가 발생하기 때문에 QC 수가 많을수록 결과 값이 조금씩 커지는 것으로 해석 된다. 또, YT의 수가 QC당 2대에서 3대로 늘어나는 경우가 3대에서 4대로 늘어나는 경우보다 더 큰 폭으로 작업시간이 감소되는 것을 볼 수 있다. 이유를 살펴보면 QC당 YT가 2대일 경우에는 QC의 대기시간이 길어져서 전체작업완료시간이 늦어지게 되고 QC당 3대가 되면서 QC의 대기시간이 대폭적으로 줄어들었다. QC당 4대가 되면서는 QC의 대기시간은 거의 일어나지 않게 되었고, 오히려 YT의 대기시간이 늘어나면서 QC당 2대에서 3대로 늘었을 때의 효과에 비해서 적은 효과가 나타남으로서 이러한 결과를 나타내었다. YT풀링시스템의 실험결과를 보면 데디케이티드시스템의 결과에 비해서 작업완료시간이 대폭 감소된 것을 볼 수 있다. 그리고 데디케이티드시스템의 결과와는 반대로 QC대수가 많을수록 작업완료시간이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 이것은 QC의 수가 늘어날수록 YT풀에 속해있는 YT들이 작업을 할당 받을 수 있는 경우의 수가 늘어나고 그만큼 더 효율적인 작업을 찾아갈 확률이 크기 때문이다.

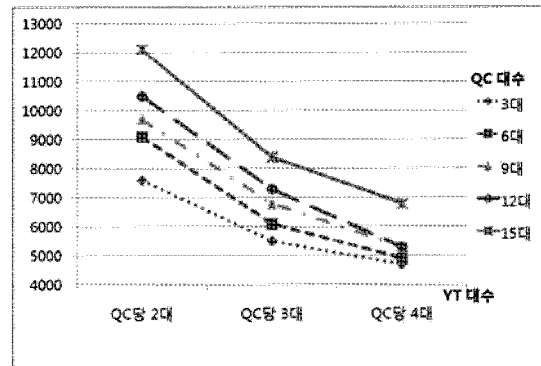


Fig. 2 A test result of the dedicated system as changing in the number of QC/YT

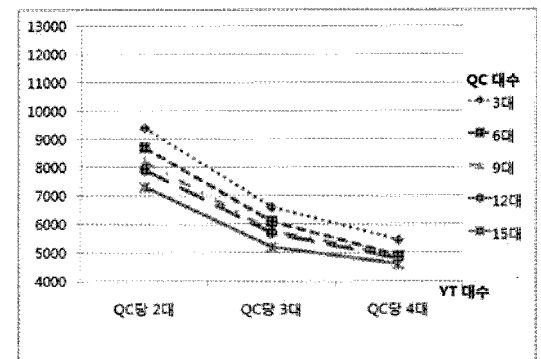


Fig. 3 A test result of the YT pooling system as changing in the number of QC/YT

아래 Fig. 4는 데디케이티드시스템의 결과를 1로 잡았을 때 YT 풀링시스템의 효율을 백분율로 나타낸 그래프이다. 그래프를 보면 QC가 15대인 경우 20%~23%가량의 효율을 보였고, QC 수가 줄어들수록 80%대의 효율을 보였으며 QC가 3대인 경우에는 5%대를 하회하여 크게 효율을 볼 수 없는 것으로 나타났다. 실제로 현재 QC 3대~4대를 대상으로 YT풀링을 적용하고

있는 H터미널의 경우 이전 시스템인 데디케이트시스템과 비교하여 YT 풀링시스템 도입으로 16~17%의 효율을 보인다고 조사되었다. 이는 본 논문에서 나타난 결과보다 더 나은 결과를 보여주고 있다. 이러한 이유는 데디케이트시스템과 YT 풀링시스템과의 공차율이나 대기시간의 차이에서 오는 영향에 YT 풀링시스템을 도입했을 때 새로운 장비를 도입하여 중앙에서 YT의 관리를 확실하게 할 수 있기 때문에 오는 영향을 더하였기 때문에 이와 같은 효과를 나타낼 수 있었다.

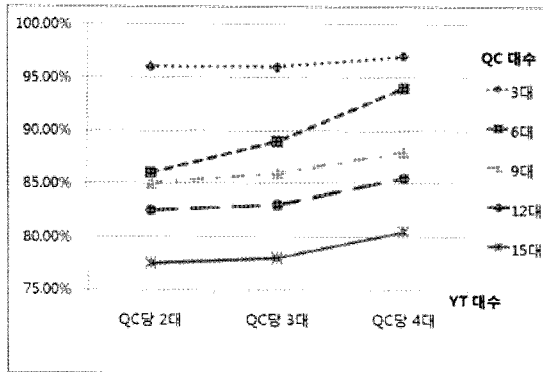


Fig. 4 An efficiency of the YT pooling system following the dedicated system

결론적으로 YT 풀링시스템은 작업 범위에 포함되는 QC의 수가 많을수록 YT에 작업을 할당할 수 있는 경로가 다양하여 더 효율적인 계획을 할 수가 있다. 또, QC의 수에 따른 YT의 수는 많이 투입 할수록 더 좋은 결과를 나타내지만 점차적으로 효율이 줄어들기 때문에 터미널에서 요구되는 생산성과 시설투자비 등을 고려하여 적정 YT 수를 도출해야 한다.

지금까지 나타난 결과는 정량적인 측면만 고려하여 도출한 것이다. 하지만 실제로는 QC와 YT의 대수가 많아질수록 작업을 처리하는데 많은 혼란을 가져 오게 되고, 작업 간섭이 많이 발생하게 된다. 그렇기 때문에 2장에서 조사하였던 YT풀링에 영향을 미치는 요인을 고려하여 현재 터미널의 환경에 가장 알맞은 적용범위와 QC/YT 수를 결정해야 할 것이고, 이는 추후 연구되어 적용되면 YT 풀링운영에 큰 효과를 줄 것으로 기대된다.

5. 결 론

본 논문에서는 YT 풀링운영에 영향을 미치는 요인을 실무에서 일하고 있는 전문가들을 대상으로 인터뷰하여 도출해 보았다. 또, 현재 컨테이너터미널의 상황에 따른 적절한 작업 할당모형을 제시하였고, 곧 도입이 예상되는 실시간 야드 모니터링 시스템을 고려한 YT 할당모형도 연구하였다. 마지막으로 제시한 YT할당 모형의 효과를 알아보고자 실험을 통해 데디케이트시스템과 YT 풀링시스템의 차이를 비교해 보았고, YT 풀링시스템이 데디케이트시스템에 비해서 QC의 대수가 많을수록 큰 효과를 나타내는 것을 볼 수 있었다.

하지만 본 논문에서 도출된 결과는 정량적인 측면만 고려하였기 때문에, 실무에 적용하기에는 다소 어려움이 따른다. 그렇기 때문에 향후 YT 풀링 시스템의 범위결정에 영향을 미치는 요인을 통계적 기법으로 분석하고 이를 모형화 함으로써 실무적으로 활용 가능한 모형을 연구하고자 한다. 그리고 지금까지는 대상 선박이 결정되어 있는 상태에서 YT 풀링 범위를 정하였지만, 시간을 반영하여 선박의 집안이나 출항을 고려한 확률적이고 유동적인 상황까지 고려한 YT 풀링시스템에 대해서도 연구해 볼 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 박두진, 이승주, 노경용, 최영복(2007), "Ad-hoc 기술을 활용한 분산 항만 운영시스템 구축 방안", 한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집, 제5권 제1호, pp. 19-23
- [2] 신정훈, 장명희, 유성진(2008), "컨테이너터미널 운영효율성을 위한 RTLS 기반 YT Dynamic Operation 모델", 한국항해항만학회지, 제 32권 제5호, pp. 369-377
- [3] 연광흠(2003), "시뮬레이션 기법에 의한 컨테이너터미널의 생산성 향상에 관한 연구 - H 터미널 사례", 동아대학교 석사 학위논문.
- [4] 이환욱(2004), "컨테이너 터미널 이송 장비 Pooling 배차 운영 연구", 한국해양대학교 석사 학위논문.
- [5] 최용석, 하태영(2005), "운영시스템의 도입에 따른 컨테이너터미널의 생산성 향상 평가", 한국항해항만학회지, 29권 1호, pp. 97-104.
- [6] 최용석, 김우선, 하태영(2006), "컨테이너터미널 리모델링 기술검토 : 부산항 사례", 한국항해항만학회지, 30권 6호, pp. 499-508.
- [7] Park, D. J., and Nam, K. C.(2006), "RFID-Based RTLS for Improvement of Loading Productivity in Container Terminals", International Journal of Navigation and Port Research, Vol.30, No.4, pp. 285-290.

원고접수일 : 2009년 6월 30일
 심사완료일 : 2009년 8월 28일
 원고채택일 : 2009년 8월 31일