

시뮬레이션을 활용한 부산항 컨테이너터미널 통합운영 효과 분석

신재영* · † 이장군 · 박형준**

*한국해양대학교 물류시스템학과 교수, † 한국해양대학교 물류학석사, ** 한국해양대학교 물류시스템학과 박사과정생

Simulated Analysis of the Effect of Integrated Operation on Container Terminals in Busan New Port

Jae Young Shin* · † JangGun Lee · Hyoung Jun Park**

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

† Master of Logistics, National Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

**PhD Candidate, Department of Logistics Engineering, National Korea Maritime and Ocean University, Busan 606-791, Korea

요약 : 부산항은 다수의 컨테이너터미널 운영사에 의해 소규모로 분산 운영되고 있어 다양한 운영 비효율이 발생하고 있다. 특히 2016년 선사들의 얼라이언스 재편과 대형화로 인한 물량 분산은 터미널 분산 운영의 비효율을 촉진시켜, 불필요한 타부두 환적 운송과 체선 문제를 유발하고 있다. 이를 해소하기 위한 방안으로 컨테이너터미널 대형화를 위한 통합운영이 고려되고 있다. 그러나 통합운영에 따르는 선결과제로 인해 실질적인 통합 및 추진 방향이 모호한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 부산 신항의 컨테이너터미널들을 대상으로 통합운영 유형을 단계 별로 나누어 모델링하였으며, 선박 대형화 및 터미널 혼잡도에 따른 시나리오 변화를 두어 향후 부산항이 통합화 추진과 함께 겪게 될 상황을 가정하여 시뮬레이션을 실시하였다. 또한, 분석결과를 바탕으로 통합 유형별로 운영적 효과를 해석하고 평가하였다.

핵심용어 : 컨테이너터미널, 통합운영, 부산항, 시뮬레이션, 운영 효과

Abstract : The inefficient operation of Busan New Port is due to container-terminal operators being dispersed in small groups, rather than being integrated. This dispersion increased following the reorganization of global shipping alliances in 2016 and causes unnecessary Inter-terminal Transportation(ITT) and ship delays. Studies of integrated operations for larger container terminals show that integration is not going well, however, due to the pre-emptive task that follows the integrated operation. Therefore, in this study, we divided the integrated operation into stages based on a simulated model of the container terminals in Busan New Port. The simulation took into account future increases in the ship's enlargement and terminal congestion, and the operational effects of each type of integrated operation were analyzed and evaluated.

Key words : container terminal, integrated operation, Busan New Port, simulation, operational effect

1. 서 론

부산항은 세계 6위의 대형 항만이지만 소규모로 분산된 운영형태는 부산항 운영 비효율을 야기시키는 주요 원인으로 지적되어왔다. 세계 경쟁 항만의 컨테이너터미널들은 비교적 대형화 되어있어 터미널 당 선석 수가 상하이 6.8개, 싱가포르 7.7개, 두바이 9.3개이다. 이에 비해 부산항은 현재 건설 중인 2-4 단계, 2-5 단계, 2-6 단계를 개별 운영 시 총 11개의 운영사가 되며, 터미널 당 선석 수는 4.1개로 운영상의 효율이 낮다. 또한, 2016년 선사들의 얼라이언스 재편 및 대형화는 부산항의 소규모 터미널 형태로 인한 물량의 분산과 타부두 환적화물의 발생 및 선박의 체선 발생을 더욱 촉진 시키고 있다.

이러한 문제를 해결하고자 현재 해양수산부와 부산항만공

사는 부산항 컨테이너터미널 운영사 체계를 개편하여 컨테이너터미널의 대형화를 추진하고자 한다. 이미 부분적으로나마 부산 신항의 터미널 운영사들은 선석 공동 이용 협약을 통해 시범적인 선석공동운영을 진행한 바 있으나, 특정 상황에서 문제 해결만 가능할 뿐 근본적인 대책으로는 한계가 있는 상황이다(Korea Maritime Institute, 2020).

컨테이너터미널 통합운영을 위해서는 수많은 고려사항들이 존재한다. 이들은 크게 전략적 고려사항과 운영적 고려사항으로 나누어 볼 수 있다. 전자의 경우는 부산항 컨테이너터미널을 통합할 때 도출되는 문제를 해결하기 위해 운영사 간에 행해지는 기업차원의 전략적 합의 사항들이 여기에 속한다. 과거 선석 부분 공동 운영의 사례를 볼 때, 개별 운영사로 분리 운영되는 상황에서 현실적인 어려움이 따랐는데, 이는 기업

† 교신저자 : 정회원, wkdrns7663@naver.com 051)410-4931

* 종신회원, shinjy@kmou.ac.kr 051)410-4335

(주) 이 논문은 “부산항 컨테이너터미널 통합운영 효과측정을 위한 시뮬레이션 연구”란 제목으로 “2019 한국항해항만학회 춘계학술대회(제주ICC, 2019.5.15.-17, pp.140-141)”에 발표되었음.

간 전략적 고려사항들에 대한 합의의 중요성을 보여주는 예라고 할 수 있다(Park et al., 2007).

터미널 운영사 간에 전략적 합의가 가능하다 해도 통합운영으로 인한 생산성 향상이 크게 보이지 않는다면 통합보다는 오히려 현재와 같이 독립적으로 터미널을 운영하는 것이 효율적일 것이다. 이처럼 통합에 따른 생산성 향상과 같은 운영적 효과를 추정하는 것도 전략적 고려사항 만큼이나 중요하다.

본 연구는 운영적 고려사항에 관한 연구로 컨테이너터미널 선석과 장치장 측면에서의 통합운영을 통한 생산성 향상 효과를 분석하고자 한다. 이를 위해, 터미널 운영 통합의 정도에 따라 몇 가지 통합 유형을 제시하고, 각 유형별로 시물레이션을 통해 생산성을 분석한다. 부산 신항에 위치한 3개 컨테이너터미널을 분석 대상으로 하였으며, 터미널의 실제 데이터를 활용하였다.

2. 선행 연구 고찰

2.1 컨테이너터미널 통합에 관한 선행연구

Choo and Ahn(2009)은 부산항 컨테이너터미널 간의 과당경쟁을 방지하고, 대외경쟁력을 높이는 방안으로 터미널 간 대통합방안과 운영사 간 현실적인 문제를 고려한 소통합방안을 제시하여, 그에 따른 항만집중도를 분석하였으며, Ahn et al.(2010)은 부산 북항이 하역사 위주의 운영사로 난립되어 있기에 부산항 경쟁력이 약화되고 있다는 점을 지적하고, 통합유인요인이 실질적으로 부산항 경쟁력 제고에 얼마나 영향을 미치는지를 실증분석하였다.

Kil(2012)은 부산항 컨테이너터미널 하역시장을 안정시키는 방안으로 컨테이너터미널 운영사를 대폭 축소하는 통합운영방식을 제안하였으며, Korea Maritime Institute(2017)는 부산항 신항의 5개 터미널로 분리된 운영과 3대 얼라이언스 중심의 운영에 따른 선박의 대기 및 체선, 타부두 환적화물 증가 등에 따른 문제점의 해결방안으로서 공용 터미널과 전용능력을 혼합한 혼합형 전용 터미널 시스템 개념을 제시하였다.

Sim(2018)은 이러한 국내 통합운영 추진배경과 국외 통합운영 사례를 비교하고, 광양항 컨테이너터미널을 대상으로 하여 통합 운영을 통한 기대효과에 대한 설문조사와 AHP 분석을 통해 통합 필요성에 대한 분석을 실시하였다.

Park et al.(2018)은 다수 컨테이너터미널 운영사로 인한 ITT비용 추가발생과 비효율적인 선석활용문제가 크다는 점을 지적하며, 설문조사 및 다변량 조절회귀분석을 통해 부산항의 터미널 통합 및 단일운영체제방안의 필요성을 실증하였다. Park(2019)은 부산항 경쟁력 강화를 위한 터미널 운영사 재구성 방안으로 글로벌선사 중심의 재편, 터미널 운영사 통합, 금융투자자 비중 축소, 국적선사의 자가 터미널 확보 및 항만공사의 공공정책 실행력 확보를 제시하였다. 또한, 운영사 간 통합구상안은 현실적으로 매우 어려운 점이 있는 것은 사실이나 5개 운영사 체제에서 1개 운영사 체제로의 그랜드 통합의 필요성을 명시하였다.

2.2 컨테이너터미널 선석, 장치장 운영에 관한 선행연구

컨테이너터미널 선석 운영에 관한 연구로 Lim(2002)은 기존의 선박에 선석을 할당하는 선석 개념의 할당 방식이 아닌 전체 안벽 길이를 기준으로 최대한의 선박을 접안시킬 수 있도록 하는 동적 선박 할당 방식을 기본 전제로 컨테이너터미널의 안벽활용도를 최대화 하는 수리적 해법을 제시하였다.

Youn(2003)은 장치장에서의 생산성 향상을 위하여 장치장 배정계획, 리프트작업, 야드 트랙터(Y/T) 배정 방안, Y/T 적정 소요 대수 결정 방안을 제시하였으며, 각 방안을 적용한 시나리오를 설정하여 컨테이너터미널 운영 시물레이션을 통해 안벽크레인(Q/C)의 생산성과 Y/T 소요 시간을 비교하여 분석하였다.

Park et al.(2007)은 컨테이너터미널의 Q/C 생산성 분석을 위해 안벽의 Q/C와 장치장의 트랜스퍼 크레인(T/C)의 성능 및 장치장과 이송 장비의 대수와 성능을 입력 변수로 설정하여 시물레이션 모델을 구축하였으며, 그 결과 T/C와 이송 장비의 수가 Q/C의 생산성에 영향을 미치는 데는 한계가 있으며, 이송 장비 및 T/C의 이동속도의 향상이 컨테이너터미널 생산성에 크게 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

Lee(2010)는 컨테이너터미널의 정해진 공간 내에서 선박들의 체류 시간을 최소화하기 위하여 기존의 선석 일정 계획과 Q/C 일정계획을 최적화하는 각각의 개별적 문제를 동적이며 연속적인 상황으로 선박의 위치와 Q/C의 최적 배치 조합에 관한 수리 모델을 제안하고 유전 알고리즘을 기반으로 현실적인 문제 해결을 위한 선석 계획을 제시하였다.

Cao et al.(2010)는 인바운드 컨테이너에 대한 Q/C와 Y/T 통합 스케줄링 문제를 제시하였으며, 혼합정수모델로 공식화하고 풀이를 위해 유전알고리즘(GA)과 Modified Johnson's Rule-based Heuristic Algorithm(MJRHA)을 활용하였다.

Park and Kim(2011)은 선석 계획과 Q/C 할당 문제를 함께 고려하여 실제 컨테이너 터미널에서 수행되고 있는 선석 계획 문제와 가깝도록 크레인 투입을 고려한 선석계획 문제를 정의하고 혼합정수모델을 제시하였다.

Elwany et al.(2013)는 선석 계획 문제와 선석에 대한 Q/C 할당 문제를 동시에 해결하는 통합 휴리스틱기반의 방법론을 제안하였다. 문제에서는 불규칙한 선박 도착 상황과 안벽 수심을 가정하였으며, 휴리스틱 해법과 최적해 비교를 통해 효과를 검증하였다.

Kim et al.(2014)은 재정돈을 고려한 T/C 작업 할당 방안을 제시하였으며, 시물레이션을 통해 터미널 생산성 향상 효과가 있음을 확인했다.

Agra and Oliveira(2017)는 선석 계획 문제에 있어서 상대 위치 공식을 기반으로 하는 수리적 모델을 제시하고, 시간 및 공간 변수를 이산화하여 모델의 기능을 향상시켰다. Rolling Horizon Heuristic(RHH) 기법을 활용하여 최적 솔루션을 도출하였다.

Kizilay et al.(2017)는 터미널 통합 운영 관점에서 터미널의

Q/C 배정, Q/C 스케줄링, 차량 배차 운영 문제를 통합적으로 고려하였다. 선박 회전시간(turn-over time) 최소화화 컨테이너 처리량을 최대화 목표로 하는 혼합정수모델과 제약식 모델(Constraints Programming, CP)을 제안하였다. 실험 결과, 작은 인스턴스만 해결할 수 있는 혼합정수모델과 달리 제약식 모델은 실제 컨테이너 터미널 운영 케이스에서 합리적인 시간에 최적의 솔루션을 제시하였다.

2.3 선행 연구의 시사점과 연구의 차별성

컨테이너터미널 통합에 관한 대부분의 연구는 통합에 대한 필요성과 전략적 추진방향에 관한 내용들이다. 통합으로 인한 실질적인 생산성 향상 효과에 관한 구체적인 분석 연구는 거의 없었다.

컨테이너터미널 선석, 장치장 운영 효과에 관한 연구에서는 국내외 모두 선석 계획, Q/C 할당, 장치장 배정 등 터미널의 운영적 문제를 대상으로 수리적 모형을 다루는 연구가 대부분이었다. 특히 국내의 경우 최근에는 관련 연구가 활발하게 진행되지 않고 있다. 또한, 국내 항만을 대상으로 한 연구들은 단일 터미널에 한정된 것으로 통합운영을 대상으로 하고 있지 않았다. 국외의 경우 선석 계획, Q/C 할당, 차량 배차 문제 등 다양한 연구와 함께 터미널 통합 운영 관점에서의 연구도 진행되었다. 하지만, 국내외 공통적으로 특정 장비의 할당, 배정 규칙 등을 찾기 위한 알고리즘을 제시하거나 수리적 모형을 수립하여 풀이하는 연구들이기 때문에 컨테이너터미널 통합화에 따르는 효과를 측정하고 분석하기에는 한계가 있었다.

따라서, 본 연구는 다수 운영사에 의한 비효율적 문제에 따라 통합운영 추진이 시급한 국내 부산항 신항을 대상으로 시뮬레이션 분석을 활용하여 통합 운영 효과를 측정하였다는 점, 현재까지 실질적인 연구가 이루어지지 않은 단계적 통합 유형에 따른 운영적 효과를 분석하였다는 점에서 차별성이 존재한다.

3. 통합 모형 설정

3.1 컨테이너터미널 작업 프로세스

본 연구에서 고려하는 컨테이너터미널 작업 프로세스의 분석 범위는 Fig. 1에서와 같이 장치장(Yard), Apron, 선석(Berth)으로 한정하였다. 작업에 사용되는 장비는 장치장 내 컨테이너를 처리하는 T/C, 장치장과 선석 간 컨테이너를 이송하는 Y/T, 선석에서 양·적하하는 Q/C로 이루어진다.

화물의 흐름은 선적(Loading), 양하(Unloading), 환적(Transshipment)을 고려한다. 따라서 수출 화물의 경우, 장치장에서 T/C, Apron에서 Y/T, 선석에서 Q/C 순서로 작업을 거쳐 최종 선박에 선적되며, 수입 화물의 경우, 반대로 선박에서의 양하를 시작으로 선석에서 Q/C, Apron에서 Y/T, 장치장에서 T/C 순서로 작업이 이루어진다(Park, 2016).

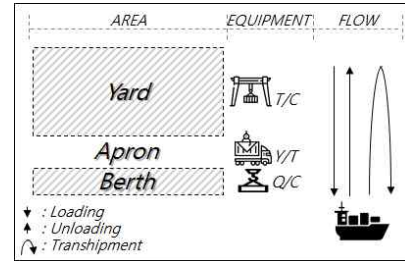


Fig. 1 Working process of container terminal

3.2 대상 컨테이너터미널의 선택

부산항 신항의 컨테이너터미널은 현재 운영되고 있는 5개의 컨테이너부두, 다목적부두, 그리고 건설 중인 서 컨테이너부두로 이루어져 있다. 부산항 신항의 컨테이너터미널 간 선석 및 장치장 통합 상황을 설정하기 위해 선석의 연속성과 장치장 배치의 동일성을 고려하여 3개의 컨테이너터미널(A, B, C 운영사)을 선정하였으며, 각 터미널의 세부 제원은 Table 1과 같다.

각 컨테이너터미널은 운영에 사용되는 장비와 설비의 수치 차이를 보이며, 평균 1개 선석의 길이는 약 400m, 1개 선석 당 Q/C 개수는 약 4개 정도라 할 수 있다.

Table 1 Configuration of the container terminals

Classification		Terminal		
		A	B	C
Yard	Block	21 blocks	35 blocks	21 blocks
	Capacity (TEU)	65,420	113,181	62,682
	T/C	42ea	61ea	30ea
Apron	Y/T	96ea	130ea	66ea
Berth	Length	1.1 km	2km	1.2 km
	Count	3ea	5ea	3ea
	Q/C	12ea	19ea	11ea

※ Source : Busan Port Authority(www.busanpa.com)

3.3 컨테이너터미널 통합 유형

통합 전 컨테이너터미널은 각 터미널 간 경계로 인해 선박의 접안 선석 부족 및 대형 선박의 경우, 선석 공간 부족으로 인한 입항 후 대기가 발생하며, 타 부두로의 환적화물에 대하여 각 터미널의 외부 경로를 통한 추가 운송이 발생한다. 이러한 비효율적인 측면을 줄이기 위해 선석과 Q/C 장비의 통합, Y/T 장비의 통합, 장치장 통합의 유형을 고려하였다.

선석과 Q/C 장비를 통합 운영하는 경우, 선석만을 통합하는 것과 Q/C 장비도 함께 통합하는 것으로 구분된다. 단순 선석만의 통합은 기존의 각 컨테이너터미널 간 경계를 완화하는 것으로, 기존의 경계에 있는 선석 간 타 터미널로의 경계를 넘는 것을 허용한다. 이때 그 외 장비의 통합은 고려되지 않은 상태로 시스템통합이 되기 전 유형으로 볼 수 있다. Q/C 장비의 통합은 인접한 터미널의 Q/C 장비를 이용할 수 있을 뿐만 아니라

전배(예정 터미널이 아닌 타 터미널에서의 작업)의 상황도 허용하는 것으로 시스템통합이 함께 이루어지며, 그에 따른 터미널 계획 부분이 수정된다.

선석 및 Q/C 장비의 통합과 더불어 Y/T 장비의 통합운영은 외부 ITT 작업에 대해 Y/T를 통한 내부 ITT를 허용한다. 통합 운영되는 터미널 간 외부 ITT 화물량을 감소시킬 수 있으며, 내부 ITT 화물 운송 시, 해당 화물을 처리하는 Y/T 작업의 증가된 이동 거리와 감소된 외부 ITT 화물 운송 처리비용 간의 비교를 통해 효과를 측정한다.

장치장 부분까지의 통합은 대형화된 1개 컨테이너터미널 관점으로, 터미널 간의 ITT 개념은 사라진다. 이전 단계에서와 마찬가지로 내부 ITT에 따른 Y/T의 추가 이동거리를 감소시킬 수 있다.

즉, 부산항 신항의 컨테이너터미널 통합운영 방안으로서 전체 터미널이 1개의 운영체제로 되는 것이 가장 이상적이지만 현실적으로 운영사 전체 통합과 같은 방법은 지극히 극단적일 수 있다. 따라서 통합의 방향을 Fig. 2와 같이 단계별로 유형을 나누어 비교해 볼 필요가 있다. Non-integrated(NI) 유형은 개별 터미널 상태를 의미하고, B유형은 선석(Berth)통합을, BQ유형은 선석과 Q/C 통합을, BQY유형은 선석, Q/C, Y/T 장비 통합을, Total 유형은 선석, Q/C, Y/T, 장치장까지의 전체 통합을 의미한다.

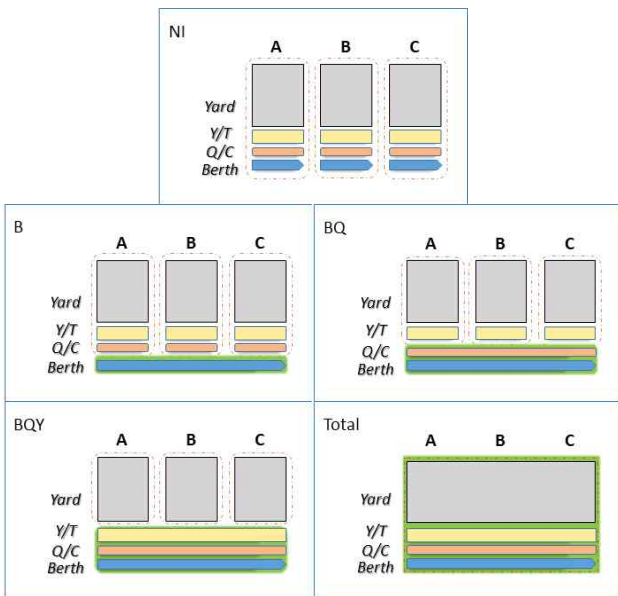


Fig. 2 Integrated operation cases of the container terminals

4. 시뮬레이션 모형

4.1 문제 설정

컨테이너터미널의 선석(Berth), 에이프런(Apron), 장치장(Yard)에서의 운영은 선박의 도착에 따라 선석배정계획, Q/C 할당 계획, 장치장 배정계획과 같은 계획 부분과 선박의 도착

에 따라 집안 작업, Q/C의 양·적하 작업, Y/T의 컨테이너 이송 작업, T/C의 장치장 작업 부분으로 구분된다(Kuznetsov et al., 2018). Fig. 3은 운영계획의 흐름과 그에 따른 작업을 나타낸 그림이다.

선박의 도착은 실제 도착한 선박들의 각 터미널 별 도착분포에 따라 입항한 순서로 도착시키며, 선박의 전장(LOA), 할당된 Q/C 대수, 화물량을 고려한다.

선석배정계획에서 Lee(2019)와 같은 기존 연구에서는 선석을 기준으로 선박이 배정되는 형태로 진행되었으나, 본 연구에서는 LOA를 기준으로 배정되며, 선석을 최대한으로 이용하는 선석 배정 우선순위를 고려한다. 선박의 도착 후 선석이 배정되기 전까지를 대기시간으로 측정한다.

Q/C 할당 계획은 선박별 할당된 Q/C 대수를 할당하되, Q/C의 연속된 배치 형태를 고려하여, 가능한 Q/C 대수를 할당한다. 장치장 배정계획은 장치장 블록별 작업 분포를 고려한다. Y/T 작업에 따른 이동거리가 블록별로 측정된다. 각 터미널 별 발생한 타부두 환적(ITT) 화물량을 측정한다.

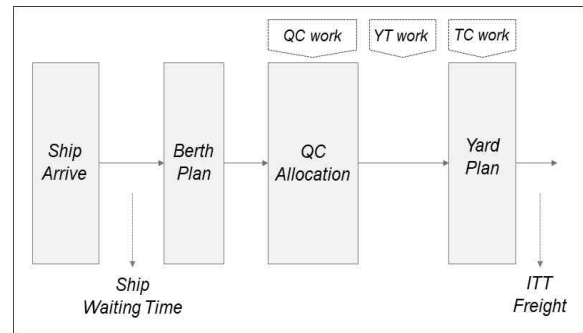


Fig. 3 Operation of the container terminal

4.2 선박 도착 및 선석배정계획

Table 2는 통합 Port-MIS와 각 컨테이너터미널 정보시스템 자료로부터 A, B, C 터미널의 2018년 기준 각 터미널별 전체 입항한 선박들의 도착 간격 분포를 추정한 것이다. 도착 분포에 따라 선박이 도착하며, 도착 순서에 따라 LOA, 화물량, Q/C 할당 개수를 배정한다.

선박은 선석에 집안 시 선박 간 여유 공간이 필요하다. 앞, 뒤를 고려하여 약 30m의 여유 공간을 고려할 때, 1개 선석 내 2척의 선박이 집안 가능하기도 하며, 1개 선석의 길이를 초과하는 선박 또한 존재한다. 따라서 LOA를 기준으로 한 선석 배정 규칙을 따른다.

Fig. 4는 선석배정계획 시 우선순위를 나타낸 것으로, 터미널 간 경계 유무에 따라 선석의 개별 사용과 공통 사용으로 구분될 수 있다. 개별 사용은 기존의 각 터미널의 경우로 터미널 간 경계 내를 최대한 활용하기 위하여 경계를 기준으로부터 배정 우선순위가 정해지기 때문에 바깥쪽부터 안쪽으로 선석 배정이 이루어지며 Fig. 4의 화살표 순서로 선석이 배정된다. 공통 사용은 선석의 통합된 상황으로, 확장된 전체 선석을 대상으로 배정하되, 터미널 간 간섭을 고려하여 우선순위가 정해진다.

Table 2 Ship arrival distribution of the container terminals on 2018

Terminal	Arrival Distribution
A	Beta : $-0.001 + 28 * \text{BETA}(0.979, 3.54)$
B	Beta : $-0.001 + 33 * \text{BETA}(1, 8.41)$
C	Beta : $-0.001 + 32.5 * \text{BETA}(1.02, 3.26)$

※ Kolmogorov-Smirnov test ($p > 0.05$)

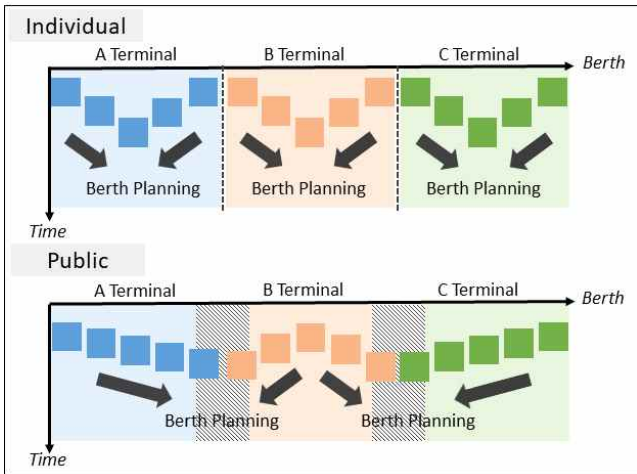


Fig. 4 Priority of berth plan

4.3 Q/C(Quay Crane) 할당계획 및 작업

Q/C 할당계획은 다음 절차에 따라 이루어진다. 일련의 선상에 위치한 Q/C는 개별 번호가 존재한다. 선석의 위치에 따라 할당 가능한 Q/C의 첫 번호가 결정되며, 필요한 Q/C 대수까지 가능한 Q/C 대수를 확인하여 연속적으로 할당 된 Q/C의 끝 번호가 결정된다. Q/C는 교차될 수 없으며, 그에 따라 선석의 위치별 가능한 Q/C가 결정된다.

할당 된 Q/C 대수는 전체 화물량(20피트 컨테이너 기준)을 $1/n$ 로 처리한다. 기본 20피트 컨테이너를 처리하는 단일화물 처리와 40피트 컨테이너를 처리하는 이중화물 처리는 동일한 한번의 작업이다. C 터미널의 작업 데이터에서 전체 Q/C 작업의 단일 화물과 이중화물의 처리 비율은 평균 63.1 : 31.9로 나타나며, Q/C 1회 작업 당 평균 2.5분의 시간이 소요된다.

4.4 Y/T 작업 및 장치장 계획

컨테이너 화물은 선적화물과 양하 화물로 구분되어 작업이 이루어지는데, 선석과 장치장 간의 이동이며, Y/T의 운송이라 볼 수 있다. Table 3은 실제 자료를 기준으로 터미널의 선석과 장치장 간 작업에 따른 Y/T 이동 거리를 나타낸 표의 예이다. 장치장의 활용을 높이기 위해 선석으로부터 가까운 A부터 G까지(공 컨테이너 포함)의 블록이 전체적으로 사용되어지는 것을 알 수 있다. 블록을 단위로 볼 때, Y/T의 1회 움직임 시 평균

200m의 거리로 산정하였으며, 블록간의 차이는 차로를 포함한 약 7m로 큰 차이가 나지 않는다. 그러나 동일 터미널 내에서 선석과 동일 선상의 장치장이 아닌 한 선석 또는 두 선석에 걸친 이동은 평균 선석길이 약 400m 씩 추가로 이동이 이루어진다.

Table 3 Y/T distance between berth and yard block

	Direction	Rate(%)	Y/T distance(m)
Block	A	11.8	200 + 0
	B	14.1	200 + 7
	C	15.3	200 + 14
	D	8.4	200 + 21
	E	13.8	200 + 28
	F	12.3	200 + 35
	G	10.7	200 + 42
	H	13.6	200 + 49
Berth	From 1 to 1	42.8	+ 0
	From 1 to 2	42.9	+ 400
	From 1 to 3	14.3	+ 800

Y/T 운영은 FIFO 방식으로 설정하여 Q/C와 T/C에 동적 할당이 되며(Lu, 2016), Y/T의 이동 시간 및 T/C의 작업 시간, 외부 트럭은 고려하지 않으며, 발생하는 ITT 화물량을 측정하고, 통합 유형에 따른 ITT 화물의 증감, Y/T를 이용한 ITT 화물의 내부 운송에 따른 Y/T 이동거리 증감을 비교하는 데 중점을 둔다.

4.5 통합운영 시뮬레이션 모델 개발

앞에서 분석한 대상 컨테이너터미널 운영계획에 따라 입력 변수 및 출력변수를 Table 4와 같이 산정하였다. 입력변수에서 선박은 각 터미널 별 도착분포를 따르며, 선박의 세부 정보는 실제 데이터를 입력한다. 장비의 제원 값은 상수로 고정하였으며, Y/T의 이동거리와 ITT 화물량은 발생 비율을 적용하였다. 출력변수는 선박의 기본 비교 지표인 도착 후 작업 완료한 선박 수 및 화물량을 출력하고, 통합 운영에 따른 비교를 위한 선박 대기시간 및 Y/T의 이동거리, ITT 화물량을 출력한다.

컨테이너터미널 운영계획 분석 및 모델의 입출력 변수를 기반으로 터미널에 도착하는 선박들의 화물처리 및 대기 상황을 분석하기 위한 컨테이너터미널 시뮬레이션 모델 및 통합운영 시의 시뮬레이션 모델을 Rockwell Automation사의 Arena Version 16.00.00 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 개발하였다. 선석배정 및 Q/C할당 계획 부분의 세부 설정은 컨테이너터미널 통합 유형에 따라 다르다.

Table 4 Simulation input & output variables

Input		
	Variable Name	Value
Ship	Ship_Arrival Time	Statistics
	Ship_NumberOfContainers	Real
	Ship_LOA	Real
	Ship_NumberOfQC's	Real/Plan
Berth	Berth_Length	Constant
Q/C	Q/C_Number per Berth	Constant
	Q/C_WorkTime	Constant
Y/T	Y/T_MovingDistance	Statistics
ITT	ITT_RatioOfFreight	Statistics
Output		
	Variable Name	Value
Ship	Ship_WaitingTime	Calculation
	Ship_Count	Calculation
Freight	Freight_Count	Calculation
Y/T	Y/T_TotalMovingDistance	Calculation
ITT	ITT_TotalFreight	Calculation

5. 분석

5.1 시뮬레이션 모델 검증

개발한 컨테이너터미널 통합운영 시뮬레이션 모델의 타당성 검증은 위하여 1년간(2018.01.01.~2018.12.31.)의 PORT-MIS 자료 및 각 터미널 자료의 유효한 데이터를 시뮬레이션 모델에 반영하여 100회 반복 수행한 결과 실제 데이터의 처리 선박 수, 화물량 지표를 비교한 결과는 Table 5와 같다. 비교 결과 평균 98% 수준의 정확도를 보이며 시뮬레이션 모델이 비교적 타당하다고 볼 수 있다. 또한, 결과 지표로서 전체 선박의 총 대기시간은 평균 15,212.8시간, YT의 총 이동 거리는 약 2,388,375km, 총 ITT 화물량은 519,665.9TEU로 나타났다.

Table 5 Simulation model test

Terminal	Real Data	Test Result	Accuracy(%)
Ship			
A	1,418	1,441.0	98.4
B	2,467	2,512.6	98.2
C	1,136	1,136.1	99.9
Amount	5,021	5,089.6	98.7
Freight			
A	1,797,668	1,832,265.4	98.1
B	3,220,053	3,042,902.6	94.5
C	1,529,690	1,533,339.4	99.8
Amount	6,547,411	6,408,507.4	97.9

5.2 통합운영 시뮬레이션 시나리오

Fig. 5는 통합전 각 터미널별 선박 도착패턴을 반영하여 1개월 기준으로 시뮬레이션 시행한 결과, 선박의 평균 대기시간을 나타낸 그래프이다. 각 터미널의 평균 대기시간은 상대적으로

전체 선박의 길이가 긴 B 터미널은 월별 편차가 크지 않게 나타나는 반면, B 터미널 양 옆의 A, C 터미널은 월별 편차가 다소 보이며, 특히 A 터미널은 약 6시간대의 평균 대기시간을 보이는 것을 알 수 있다.

Table 6은 통합운영에 따른 효과를 측정하기 위한 시뮬레이션 시나리오로서, 1개월 기준 각 터미널의 혼잡도에 따른 도착 선박 대수를 나타낸다. 4개의 시나리오를 통한 비교가 이루어지며, 첫 번째는 보통 수준의 혼잡도에서의 통합운영 효과 비교, 두 번째는 피크 수준의 혼잡도에서의 통합운영 효과를 비교한다. 또한, 대형선의 증가와 선박 도착 간격 단축을 고려한 상황에서의 통합운영 효과를 세 번째, 네 번째 시나리오를 통해 비교한다.

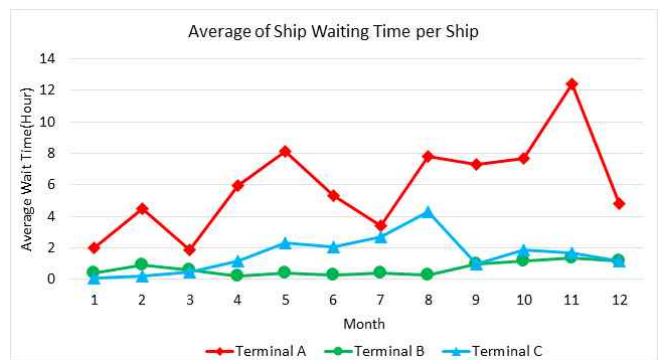


Fig. 5 Average of ship waiting time per ship

Table 6 Simulation scenarios

#	Terminal	Traffic	Number of Ship by LOA			
			Total	-170m	-370m	370m+
1	A	Normal	131	23	98	10
	B	Normal	224	79	145	0
	C	Normal	105	21	79	5
2	A	Max	135	19	110	6
	B	Max	226	55	171	0
	C	Max	107	6	95	6
3	A	Max	135+	19	110	6+ α
	B	Max	226+	55	171	0+ α
	C	Max	107+	6	95	6+ α
4	A	Max+ α	135	19	110	6
	B	Max+ α	226	55	171	0
	C	Max+ α	107	6	95	6

5.3 통합운영 상황별 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 시나리오 1(보통 혼잡도), 2(높은 혼잡도)에 따른 통합운영 상황별 결과 지표는 Fig. 6, Table 7과 같다.

Fig. 6은 시나리오 1, 2에서 통합 유형에 따른 평균 대기시간 변화를 나타낸 그래프이다. 통합의 범위가 넓어질수록 대기시간 감소효과가 뚜렷하게 나타난다는 것을 알 수 있다. 이러한 대기시간 감소효과는 B, BQ유형까지 크게 나타나며 이후부터는 비교적 적은 비율로 감소하게 된다. 결국, BQ유형 통합만으로도 전체 통합과 유사한 대기시간을 보이는 것을 확인할 수

있다. 시나리오2와 같이 혼잡도가 높은 경우에는 BQ유형보다 통합 범위가 낮은 선석 통합(B유형)만으로도 대기시간 단축 효과를 많이 볼 수 있다. 또한, 피크 혼잡도 상황인 시나리오2에서 통합 범위 확대에 따른 대기시간 감소폭이 더 크게 나타나는 것을 확인할 수 있으며, 이를 통해 터미널 혼잡 상황에서 통합 필요성이 더 크다는 것을 알 수 있다.

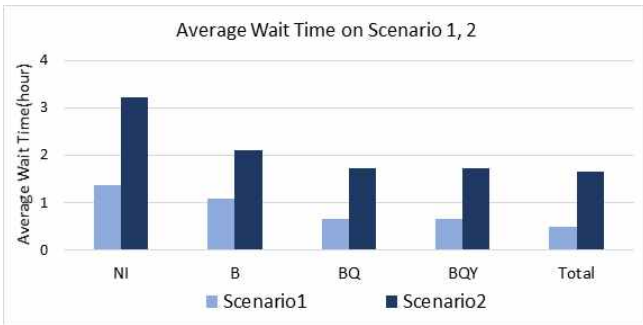


Fig. 6 Average Wait Time on Scenario 1, 2

Table 7은 시나리오 1, 2에서 통합 유형에 따라 다르게 나타나는 ITT 처리 비용과 Y/T 운송비용, 그리고 두 가지 비용을 합산한 결과를 보여주고 있다. Jang and Lee(2018)의 TEU당 ITT 비용 및 TEU당 Y/T 운송비 산출 방식을 참조하여 계산한다. Jang and Lee(2018)의 산출 결과 TEU당 Y/T 운송비용은 6,092원/TEU이나 본 연구에서 계산되어야 하는 통합 유형에서의 Y/T 운송비는 TEU당 이동거리에 따라 소모되는 연료비가 다르기 때문에 TEU당 이동거리의 비율에 비례하여 연료비(Annual Y/T fuel)를 할당하여 계산하였다.

B유형의 경우 운송비용이 NI유형과 비슷하게 나타나거나 미세하게 증가하는 결과가 나타났다. 이것은 선석통합에 따라 인접한 선석을 추가로 활용함으로써 더 많은 선박이 입항하는 경우가 발생하기 때문이다. BQ유형과 BQY유형은 선석 통합과 함께 Q/C장비까지 통합된 형태이기 때문에 B유형과 다르게 인접한 선석을 넘어 전배가 가능하게 되어 추가적인 ITT물량이 발생하게 된다. 여기서, BQ유형과 BQY유형은 동일하게 전배가 발생하며, 전배에 따른 ITT 작업은 BQ에서만 발생하게 된다. 그 이유는 BQY유형은 Y/T가 통합되어 전배된 선박 화물을 Y/T를 통해 운송할 수 있기 때문이다. 즉, Table 7의 결과 값과 같이 BQ유형은 ITT비용이 높게 나타나고 BQY유형은 ITT비용이 감소, Y/T비용이 크게 증가하는 형태로 나타난다.

운송비용 측면에서 B유형의 효과는 미비하며, BQ유형의 경우 ITT비용 증가로 운송비용이 가장 높게 나타난다. BQY유형의 경우 BQ유형의 ITT발생분을 내부 Y/T작업으로 전환함으로써 운송비용 감소효과가 크게 나타나며, Total유형의 경우 장치장까지 통합함으로써 내부 Y/T의 불필요한 이동까지 감소시켜 가장 낮은 운송비용을 보인다. 시나리오 2에서 터미널 혼잡도가 증가한 경우 물량이 증가하여 운송비용 또한 증가하게 되지만, 통합운영 범위 확대에 따른 유형별 특징은 동일하게 나타난다.

계산된 운송비용 중 Y/T 운송비용은 TEU당 Y/T 운송비

용에 의해 계산되는데, Y/T 이동거리가 크게 증가하여 TEU당 Y/T 운송비용이 높게 나타나는 BQY유형을 제외하고는 Jang and Lee(2018)의 6,092원/TEU과 크게 차이가 없다. 따라서, B, BQ유형이 통합화가 일부 진행된 유형임에도 NI유형보다 Y/T 운송비용이 더 크게 나타나기도 하는 이유는 선석을 공유하거나 Q/C를 공유함에 따라 처리물량이 증가하여 계산된 Y/T 운송비용이 높게 나타나기 때문이다. 즉, BQY유형을 제외한 경우 통합화에 따라 Y/T 운송비용이 증가하더라도 처리물량이 함께 증가하며, 통합화에 따라 TEU당 Y/T 운송비용이 크게 변화하지 않는다. BQY유형의 경우에만 전배 ITT 물량 일부가 내부 Y/T운송으로 전환되어 Y/T 이동거리가 늘어나기 때문에 Y/T 운송비용이 높게 나타난다.

Table 7 Calculation of ITT Cost and Y/T Transportation Cost on Scenario 1, 2

Classification	ITT Cost (a * Total ITT Volume)	Y/T Transportation Cost (b * Total Freight Volume)	Total Transportation Cost
Scenario1			
NI	1,004,550,973	3,271,650,399	4,276,201,373
B	996,995,185	3,230,509,108	4,227,504,293
BQ	1,025,656,107	3,353,001,481	4,378,657,588
BQY	471,582,460	3,477,398,636	3,948,981,096
Total	424,320,754	3,315,652,554	3,739,973,309
Scenario2			
NI	1,141,797,153	3,753,341,838	4,895,138,991
B	1,161,255,075	3,777,160,473	4,938,415,548
BQ	1,199,345,694	3,823,460,866	5,022,806,560
BQY	579,636,700	3,976,768,296	4,556,404,997
Total	502,361,203	3,918,741,053	4,421,102,257

※ Source : Jang and Lee(2018)

- ITT Cost Per TEU(a) = KRW 11,135/TEU
- Y/T Transportation Cost Per TEU(b) = (Annual Y/T depreciation+Annual Y/T driver+Annual Y/T fuel+Annual Y/T maintenance)/Annual Total Volume

Fig. 7은 선박의 대형화 추세에 따라 대형 선박(Mega-Ship, LOA 400m, Freight 2,000TEU 기준)을 터미널에 도착 선박으로 투입한 시나리오 3의 통합운영 상황을 분석한 결과이다. 분석 결과 선박의 대기시간은 대형 선박의 영향으로 1.7~2배 정도 증가한 수치를 보였다. NI유형에서는 대형 선박 증가에 따라 큰 폭으로 선박 대기시간이 증가했지만, B유형부터 이러한 증가폭이 크게 줄어들어 선석 통합을 통해 대형 선박 증가에 따른 선박 대기시간 증가폭을 줄일 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 대형 선박 증가의 경우도 B유형만으로도 큰 폭의 대기시간 감소 효과가 나타남을 확인할 수 있다. 즉 선석 통합만으로도 상당한 대기시간 감소 효과를 볼 수 있었으며, 이러한 대기시간 감소 효과는 BQ유형까지 증가하는 형태를 보인다.

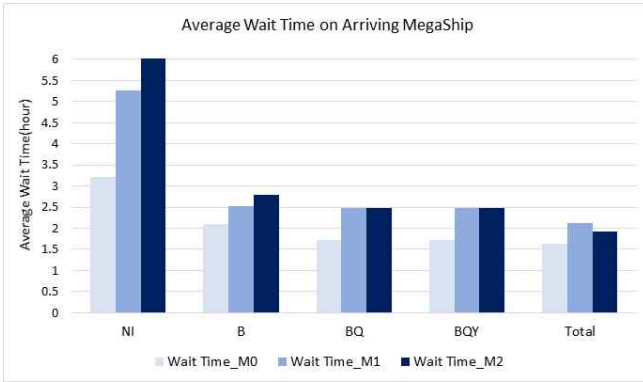


Fig. 7 Average Wait Time on Arriving Mega-Ship

Table 8은 시나리오 3에서 대형선박의 증가에 따른 3가지 상황에 대해 통합 유형에 따라 다르게 나타나는 ITT 처리 및 Y/T 운송비용의 계산 결과를 보여주고 있다. 대형 선박이 증가하면 더 많은 전배가 발생하기 때문에, 대형선박이 많이 들어오는 만큼 운송비용이 증가하게 된다. 하지만 통합운영 범위를 확대하면 운송비용 증가폭이 줄어드는 것을 알 수 있다.

Table 8 Calculation of ITT Cost and Y/T Transportation Cost on Scenario3

Classification	ITT Cost (a * Total ITT Volume)	Y/T Transportation Cost (b * Total Freight Volume)	Total Transportati on Cost	
				Scenario3
M0	NI	1,141,797,153	3,753,341,838	4,895,138,991
	B	1,161,255,075	3,777,160,473	4,938,415,548
	BQ	1,199,345,694	3,823,460,866	5,022,806,560
	BQY	579,636,700	3,976,768,296	4,556,404,997
	Total	502,361,203	3,918,741,053	4,421,102,257
M1	NI	1,168,004,645	3,819,857,356	4,987,862,000
	B	1,176,893,092	3,813,245,008	4,990,138,099
	BQ	1,280,760,450	3,953,609,760	5,234,370,209
	BQY	706,613,782	4,128,742,301	4,835,356,084
	Total	506,337,289	3,934,366,545	4,440,703,835
M2	NI	1,195,571,921	3,915,419,359	5,110,991,280
	B	1,190,189,685	3,873,040,808	5,063,230,493
	BQ	1,265,634,899	3,948,415,013	5,214,049,913
	BQY	664,549,248	4,115,789,217	4,780,338,466
	Total	510,543,870	3,979,092,171	4,489,636,041

※ Source : Jang and Lee(2018)

- ITT Cost Per TEU(a) = KRW 11,135/TEU

- Y/T Transportation Cost Per TEU(b) = (Annual Y/T depreciation+Annual Y/T driver+Annual Y/T fuel+Annual Y/T maintenance)/Annual Total Volume

Fig. 8는 A, B, C 터미널의 선박 도착 시간 간격이 줄었을 때, 즉 단위 시간당 도착 선박 수가 증가했을 경우인 시나리오 4의 통합운영 상황별 분석결과자료이다. 이렇게 선박 도착간격이 줄어들수록 선박의 대기시간이 증가되는 추세를 보이며, 통

합운영 상황별 대기시간 감소율은 통합운영 범위가 넓을수록 높은 감소율을 보인다.

Fig. 8, Fig. 9, Table 9, Table 10을 종합하여 통합 유형들간 결과 비교를 해보면 선박 대기시간 감소, 비용 감소 측면 등 모든 면에서 전체 통합 유형인 Total유형이 가장 이상적인 통합 운영 형태라는 것을 알 수 있다. 하지만, 부산 신항의 통합운영을 위해서는 각기 다른 터미널 운영사간의 긴밀한 협의와 이해가 필요한 문제로 단기간에 해결되기는 쉽지 않다. 따라서, 단계적인 통합이 필요하며, 전체 통합의 단계로 나아가기 위해 거쳐갈 수 있는 합리적인 통합 유형에 대한 고찰이 필요하다.

B유형의 경우 NI유형에 비해 선박 대기시간이 큰 폭으로 줄어들어, 대기시간 감소 효과 측면에서 선석 통합만으로도 큰 효과가 나타난다는 것을 알 수 있다. 또한, B유형은 경계에 있는 선석에 대해서만 타 터미널 경계를 넘는 것을 허용하고, BQ유형은 기존 타 터미널에 위치한 빈 선석까지 모두 활용할 수 있다는 차이가 존재하기 때문에 BQ유형이 B유형보다 선박 대기시간 감소 효과가 더 크다. Fig. 8를 통해서도 선박 대기시간 감소 효과는 BQ유형이 가장 크고, B유형, NI유형 순서로 나타난다.

BQY유형은 BQ유형에서 큰 폭으로 증가하는 ITT물량을 내부 Y/T운송으로 일부 대체함으로써 전체 통합 유형 중 두 번째로 낮은 비용이 나타나 운송비용 측면에서 높은 효율성을 보인다고 할 수 있다. 하지만, Fig. 9을 통해, BQ유형과 BQY유형의 경우 선박 도착 시간 간격 감소에 따른 운송비용 상승 폭이 다른 통합 유형과 비교해 큰 것을 확인하였으며, 심각한 터미널 혼잡 상황에서는 운송비용 측면의 비효율이 발생할 수도 있다는 것을 알 수 있었다.

Total유형의 경우 선박 대기시간 감소 효과 측면에서 가장 높은 감소 효과를 보였고, 운송비용 측면에서도 가장 낮은 수치로 나타나 이상적인 통합운영 형태로 볼 수 있다. 하지만, 통합 범위가 증가함에 따라 정보시스템이나 정책적 문제로 인해 통합 운영의 혼란이 발생할 수 있다. 따라서, 통합 범위 증가에 따라 발생하는 비효율과 통합 유형별 특성을 감안하여 통합 단계를 조절할 필요가 있다.

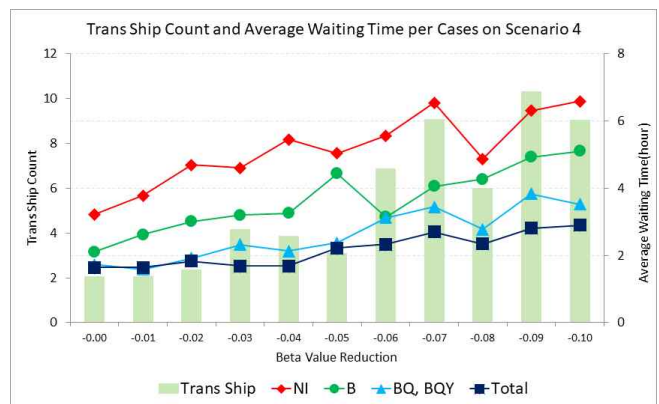


Fig. 8 Trans Ship Count and Average Waiting Time per Cases on Scenario4

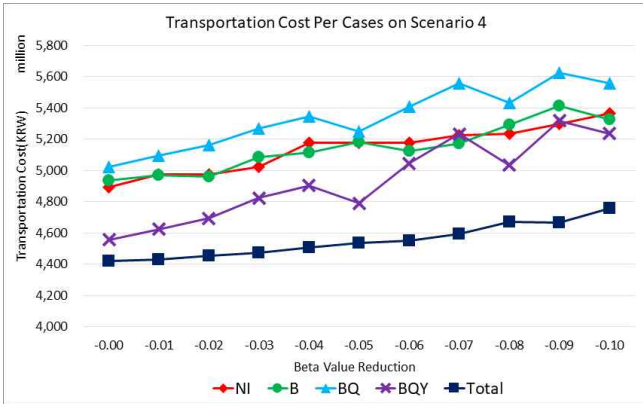


Fig. 9 Transportation Cost Per Cases on Scenario4

Table 9 Calculation of ITT Cost and Y/T Transportation Cost on Scenario4(1)

β	Classification	ITT Cost (a * Total ITT Volume)	Y/T Transportation Cost (b * Total Freight Volume)	Total Transportation Cost
Scenario4				
.00	NI	1,141,797,153	3,753,341,838	4,895,138,991
	B	1,161,255,075	3,777,160,473	4,938,415,548
	BQ	1,199,345,694	3,823,460,866	5,022,806,560
	BQY	579,636,700	3,976,768,296	4,556,404,997
	Total	502,361,203	3,918,741,053	4,421,102,257
.01	NI	1,166,854,243	3,809,405,443	4,976,259,686
	B	1,174,460,116	3,796,493,961	4,970,954,077
	BQ	1,214,630,375	3,882,219,483	5,096,849,858
	BQY	589,083,590	4,035,653,430	4,624,737,020
	Total	504,328,023	3,925,789,275	4,430,117,298
.02	NI	1,167,318,127	3,809,545,358	4,976,863,486
	B	1,170,621,370	3,789,476,451	4,960,097,820
	BQ	1,221,989,040	3,938,981,273	5,160,970,313
	BQY	599,895,296	4,093,525,518	4,693,420,814
	Total	508,181,668	3,944,824,902	4,453,006,571
.03	NI	1,180,033,313	3,840,597,192	5,020,690,505
	B	1,196,932,061	3,890,815,469	5,087,747,530
	BQ	1,269,725,297	3,996,798,568	5,266,523,865
	BQY	657,640,627	4,166,123,701	4,823,764,328
	Total	508,672,588	3,965,746,878	4,474,419,467
.04	NI	1,207,022,954	3,969,224,270	5,176,247,224
	B	1,198,371,015	3,916,524,434	5,114,895,448
	BQ	1,282,165,208	4,062,016,275	5,344,181,483
	BQY	670,262,060	4,234,257,368	4,904,519,429
	Total	511,147,364	3,997,091,227	4,508,238,592
.05	NI	1,210,555,065	3,966,896,622	5,177,451,688
	B	1,212,285,355	3,971,357,923	5,183,643,278
	BQ	1,267,975,822	3,981,450,694	5,249,426,516
	BQY	643,000,752	4,146,260,283	4,789,261,035
	Total	515,806,332	4,019,137,523	4,534,943,905

Table 10 Calculation of ITT Cost and Y/T Transportation Cost on Scenario4(2)

β	Classification	ITT Cost (a * Total ITT Volume)	Y/T Transportation Cost (b * Total Freight Volume)	Total Transportation Cost
Scenario4				
.06	NI	1,208,698,905	3,968,762,087	5,177,460,992
	B	1,206,951,334	3,915,566,605	5,122,517,939
	BQ	1,345,565,392	4,062,020,098	5,407,585,491
	BQY	790,473,427	4,256,143,530	5,046,616,957
	Total	517,092,942	4,033,037,739	4,550,130,682
.07	NI	1,218,542,112	4,006,932,691	5,225,474,803
	B	1,211,662,730	3,958,696,918	5,170,359,649
	BQ	1,390,867,717	4,165,013,148	5,555,880,865
	BQY	859,464,172	4,374,677,729	5,234,141,902
	Total	521,653,860	4,070,813,291	4,592,467,151
.08	NI	1,227,846,807	4,007,486,209	5,235,333,016
	B	1,240,743,008	4,051,902,936	5,292,645,944
	BQ	1,351,005,887	4,082,897,147	5,433,903,034
	BQY	762,729,038	4,270,351,057	5,033,080,095
	Total	530,414,010	4,141,015,215	4,671,429,225
.09	NI	1,235,999,609	4,059,477,759	5,295,477,368
	B	1,266,019,124	4,147,010,033	5,413,029,156
	BQ	1,450,702,274	4,172,718,021	5,623,420,295
	BQY	922,648,750	4,396,156,271	5,318,805,021
	Total	531,320,978	4,133,273,859	4,664,594,837
.10	NI	1,253,024,133	4,111,843,205	5,364,867,338
	B	1,243,746,162	4,083,723,489	5,327,469,651
	BQ	1,416,959,149	4,140,615,967	5,557,575,116
	BQY	882,165,408	4,353,915,884	5,236,081,292
	Total	539,271,635	4,220,789,137	4,760,060,772

* Source : Jang and Lee(2018)

- ITT Cost Per TEU(a) = KRW 11,135/TEU

- Y/T Transportation Cost Per TEU(b) = (Annual Y/T depreciation+Annual Y/T driver+Annual Y/T fuel+Annual Y/T maintenance)/Annual Total Volume

6. 결 론

부산 신항은 소규모 분산 컨테이너터미널 형태로 터미널 당 선석 수 및 길이에 따른 선박 대기시간의 증가와 선사 얼라이언스의 대형화에 따른 ITT 화물의 증가가 발생하고 있으며, 이에 대한 해결방안으로서 컨테이너터미널 통합운영의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 실질적인 통합운영에 따르는 정책적, 시스템적 선결과제 및 통합운영에 따르는 실질적 효과 측면에 대한 연구가 부족하여 통합운영의 방향이 모호한 상태이다. 따라서 본 연구에서 통합운영 유형을 구분하며, 각 유형에 따라 선박 대기시간, ITT 비용 및 Y/T 운송비용 지표를 통한 통합운영의 효과 및 상황별 적합한 통합운영 범위를

판단하고자 하였다.

구체적인 통합운영 상황을 반영하는 시물레이션 모형을 구축하기 위해 부산 신항의 위치와 작업방식을 고려한 3개 컨테이너터미널을 선정하였으며, 컨테이너터미널 프로세스 흐름을 따라 현장 데이터를 근거로 분석한 선박 도착 분포 및 작업 분포를 시물레이션 모형에 산정하였다. 또한, 통합운영 유형별 각 컨테이너터미널의 혼잡 및 여유 상태 차이에 따른 효과측정을 위해 각 터미널의 월 단위 기준 평균 수준의 혼잡도와 피크 수준의 혼잡도를 보이는 선박도착 패턴을 추출하였으며, 혼잡도 수준에 따른 각 통합운영 별 효과 측정을 위해 시나리오 1, 2를 분석하였고, 대형선의 증가와 선박 도착 간격 단축의 상황에 대한 통합운영 유형별 효과 측정을 위해 시나리오 3, 4를 분석하였다.

시물레이션 분석결과, 선박 대기시간의 경우 선석과 Q/C 통합으로 전체 통합에 준하는 감소 효과를 볼 수 있음을 확인할 수 있었다. 특히 혼잡도가 증가하면 통합단계가 더 낮은 선석 통합만으로도 큰 선박 대기시간 감소 효과를 얻을 수 있었다.

전배로 인한 ITT 및 Y/T 이동 비용 분석 결과에서는 선석만 통합하는 경우는 통합하지 않은 경우에 비해 효과는 미미한 것으로 나타났다. 그리고 선석과 Q/C 통합(BQ유형)의 경우는 전배 발생으로 인한 추가 ITT물량 증가로 운송비용이 가장 높게 나타났다. 그러나 YT까지 통합한다면(BQY유형) 추가로 발생한 ITT물량 일부를 내부 Y/T로 전환함으로써 운송비용 측면에서 큰 절감 효과를 보였다.

결과적으로 선박 대기시간 감소를 위해서는 선석 통합 유형으로도 큰 효과를 얻을 수 있으며, Q/C까지 통합하면 상당한 개선 효과를 더할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 운송비용 측면에서는 Y/T 통합까지 진행되어야만 높은 통합 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

대형 선박 증가, 터미널 혼잡도 증가 등 터미널이 놓이게 될 수 있는 다양한 상황에서 통합 유형별 효과를 비교하였을 때, 전체 통합(Total유형)이 가장 이상적인 통합 유형으로 나타났다. 하지만, 통합 범위가 확대되면 각기 다른 컨테이너터미널 운영주체들 간 정보시스템 활용에 따른 문제나 터미널별 인프라 차이에 의한 문제, 정책적 합의의 문제 등이 가중되어 통합 운영에 있어서 비효율과 혼란을 불러올 수 있다. 따라서, 단기 간의 전체 통합은 어려운 실정이라고 할 수 있으며, 통합 범위 증가에 따라 발생하는 비효율과 통합 유형별 특성을 감안하여 통합 단계를 조절할 필요가 있다.

본 연구에서는 선박 대기시간, ITT 비용 및 Y/T 운송비용 지표를 통해 통합 유형별로 특징과 장단점이 존재하는지 분석하였다. 본 연구에서는 시물레이션 결과에 기반하여 운영적 관점에서의 통합효과를 분석하였지만 실제 통합화 과정에서는 계량화하기 힘든 정책적인 변수가 반영될 필요성도 존재한다. 따라서, 향후 연구로는 운영적 효과뿐만 아니라 정보시스템, 정책 등의 측면에서 통합화에 따른 효과를 종합적으로 분석하여, 구체적이고 현실성 높은 통합화 방안이 제시되어야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] Agra, A. and Oliveira, M.(2018), "MIP approaches for the integrated berth allocation and quay crane assignment and scheduling problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 264, No. 1, pp. 138-148.
- [2] Ahn, K. M., Choo, Y. G. and Lee, K. S.(2010), "Relationship Analysis between Integration Incentive Factor and Integration Effect of Container Terminal by SEM - Primarily on the Busan North Port -", *Journal of Korean Navigation and Port Research*, Vol. 34, No. 3, pp. 235-242.
- [3] Busan Port Authority, <http://www.busanpa.com>.
- [4] Cao, J. X., Shi, Q. X. and Lee, D. H.(2010), "Integrated Quay Crane and Yard Truck Schedule Problem in Container Terminals", *Tsinghua Science and Technology*, Vol. 15, No. 4, pp. 467-474.
- [5] Choo, Y. G. and Ahn, K. M.(2009), "A Study on the Container Terminal Concentration for Busan Port", *Journal of Korea Port Economic Association*, Vol. 25, No. 3, pp. 208-228.
- [6] Elwany, M. H., Ali, I. and Abouelseoud, Y.(2013), "A heuristics-based solution to the continuous berth allocation and crane assignment problem", *Alexandria Engineering Journal*, Vol. 52, No. 4, pp. 671-677.
- [7] Jang, W. H. and Lee, J. Y.(2018), "A Study on Utilization of Yard Co-petition Area between Adjacent Container Terminals", *Journal of Korean Navigation and Port Research*, Vol. 42, No. 6, pp. 501-506.
- [8] Kil, K. S.(2012), "A Study on the Integrated Operation of Busan Container Port", *Korea Maritime Institute*, <http://www.kmi.re.kr>.
- [9] Kim, T. K., Yang, Y. J., Bae, A. K. and Ryu, K. R.(2014), "Optimization of Dispatching Strategies for Stacking Cranes Including Remarshaling Jobs", *Journal of Korean Navigation and Port Research*, Vol. 38, No. 2, pp. 155-162.
- [10] Kizilay, D., Eliyi, D. T. and Hentenryck, P. V.(2018), "Constraint and Mathematical Programming Models for Integrated Port Container Terminal Operations", *International Conference on the Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research*, pp. 344 - 360, Springer.
- [11] Korea Maritime Institute(2017), "Hybrid liner terminal: innovative terminal operation concept for Busan new port", p. 94
- [12] Korea Maritime Institute(2020), "A Study on the Efficiency

Improvement of Inter-terminal Transport(ITT) at Busan Ports”, p. 95.

- [13] Kuznetsov, A. L., Kirichenko, A. V. and Eglit J. J.(2018), “Simulation Model of Container Land Terminals”, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 12, No. 2, pp. 321-326.
- [14] Lee, J. H.(2019), “A Study on the Vessel Waiting Ratio of Container Terminal”, Doctoral Thesis of Tongmyong University.
- [15] Lee, W. B.(2010), “The berth allocation problem with quay crane in container terminal”, Master Thesis of Pukyong National University.
- [16] Lim, J. M.(2002), “A development of dynamic berth planning for an integrated simulation system”, Master Thesis of Seoul National University.
- [17] Lu, B.(2016), “Modelling and Simulation Methodology for Dynamic Resources Assignment System in Container Terminal”, Polish Maritime Research Special Issue, Vol. 23, pp. 97-103.
- [18] Park, E. K., Lee, C. H. and Ha, B. H.(2007), “A study on Correlation between Container Terminal Capacity an Productivity using Simulation Methodology”, Korean Operations Research And Management Society, pp. 301-307.
- [19] Park, H. C.(2019), “A Study on the Container Terminal Operator Restructuring in Busan Port for enhancing Global Competitiveness”, Doctor Thesis of Korea Maritime and Ocean University.
- [20] Park, H. C., Lee, S. Y. and Ahn, K. M.(2018), “A Study on the Reconfiguration Effect of Busan Port Operator in Logistics Environment”, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 42, No. 6, pp. 507-517.
- [21] Park, S. K. and Kim, Y. D.(2016), “Simulation Model Development for Configuring a Optimal Port Gate System”, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 40, No. 6, pp. 421-430.
- [22] Park, Y. M. and Kim, K. H.(2011), “A Heuristic Algorithm for Berth Planning with a Limited Number of Cranes”, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 35, No. 1, pp. 63-70.
- [23] PORT-MIS, <https://new.portmis.go.kr>.
- [24] Sim, I. S.(2018), “A Study on the Necessity of Integrated operation for Gwangyang Container Terminals”, Master Thesis of Chonnam National University.
- [25] Youn, K. H.(2003), “A Study on Productivity Improvement at Container Terminals Using Simulation Technique - A Case of H terminal”, Master Thesis of Dong-a University.

Received 14 August 2020

Revised 30 August 2020

Accepted 30 August 2020