



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

물류학석사 학위논문

부산 신항 컨테이너터미널 통합운영에 대한 효과측정 시뮬레이션 모형

Simulation Model for Analyzing the Effect of Operational Integration of
Container Terminals in Busan New Port

지도교수 신 재 영

2019 년 8 월

한국해양대학교 대학원

KMI학연합동과정

이 장 군

본 논문을 이장군의 물류학석사 학위논문으로 인준함

위원장 : 김 울 성 (인)

위 원 : 신 창 훈 (인)

위 원 : 신 재 영 (인)

2019 년 6 월 20 일

한국해양대학교 대학원

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Abstract	v
1. 서 론	
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 목적 및 내용	2
2. 선행연구	
2.1 컨테이너터미널 통합 관련 연구	4
2.2 컨테이너터미널 선석, 장치장 운영 관련 연구	5
3. 통합운영 대상 컨테이너터미널 분석	
3.1 컨테이너터미널 프로세스	7
3.2 대상 컨테이너터미널 설비 현황	8
3.3 대상 컨테이너터미널 운영계획 분석	9
3.3.1 선석배정계획	10
3.3.2 Q/C 할당 계획	11
3.3.3 장치장 배정계획	11
3.4 대상 컨테이너터미널 작업 분포 분석	12
3.4.1 선박 도착 분포 분석	12
3.4.2 장치장 작업 분포 분석	14
3.4.3 장비(Q/C, Y/T, T/C) 작업 분포 분석	16
3.4.4 ITT 화물량 분포 분석	18

4. 통합운영 모델	
4.1 통합운영 유형	19
4.2 통합운영 시뮬레이션 모델 입출력 변수	21
4.3 통합운영 시뮬레이션 모델	23
5. 통합운영 시뮬레이션 모델 분석	
5.1 모델 검증	25
5.2 선석배정계획 수정	26
5.2.1 선박의 대기가 발생하는 유형(예시)	26
5.2.2 선석배정계획 수정방안(선석통합 측면)	27
5.2.3 선석배정계획 수정방안(선석, Q/C 통합 측면)	29
5.3 통합운영 시나리오 적용 및 분석	30
5.3.1 적용 데이터 산정	30
5.3.2 통합 전 유형 시나리오 결과	32
5.3.3 선석통합유형 시나리오 결과	33
5.3.4 선석 및 Q/C 통합 유형 시나리오 결과	35
5.3.5 선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형 시나리오 결과	38
5.3.6 선석, Q/C, Y/T 및 장치장 통합 유형 시나리오 결과	40
5.4 분석결과	42
6. 결론	44
참고문헌	46

List of Tables

Table 1 컨테이너터미널 제원	8
Table 2 2018년 컨테이너터미널 선박 도착 분포	13
Table 3 선석과 장치장 블록 간의 작업 분포	15
Table 4 장치율에 따른 Y/T 작업시간 분포	17
Table 5 2016년 컨테이너터미널 간 타 부두 환적화물 비율	18
Table 6 시뮬레이션 입력 및 출력 변수	22
Table 7 시뮬레이션 모델 검증	25
Table 8 시뮬레이션 데이터 시나리오 예시	27
Table 9 시뮬레이션 데이터 시나리오 예시(선석 통합)	28
Table 10 시뮬레이션 데이터 시나리오 예시(선석, Q/C 통합)	29
Table 11 컨테이너터미널별 선박 분포 입력 데이터	31
Table 12 통합 전 유형 시나리오 결과	32
Table 13 선석통합유형 시나리오 결과	33
Table 14 선석통합유형 시나리오 결과 비교	34
Table 15 선석 및 Q/C 통합 유형 시나리오 결과	35
Table 16 선석 및 Q/C 통합 유형 시나리오 결과 비교 1	36
Table 17 선석 및 Q/C 통합 유형 시나리오 결과 비교 2	37
Table 18 선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형 시나리오 결과	38
Table 19 선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형 시나리오 결과 비교	39
Table 20 선석, Q/C, Y/T 및 장치장 통합 유형 시나리오 결과	40
Table 21 선석, Q/C, Y/T 및 장치장 통합 유형 시나리오 결과 비교	41

List of Figures

Fig. 1 컨테이너터미널 프로세스	7
Fig. 2 컨테이너터미널 운영계획	9
Fig. 3 선석배정계획 예시(A 터미널)	10
Fig. 4 2018년 컨테이너터미널 도착 선박 수, 화물량	12
Fig. 5 일주일 단위 컨테이너터미널 도착 선박 수	13
Fig. 6 Y/T 작업시간 분포	16
Fig. 7 컨테이너터미널 통합운영 유형	19
Fig. 8 개별터미널 Arena 시뮬레이션 모델	24
Fig. 9 Q/C 할당 계획을 위한 Arena 시뮬레이션 서브 모델	24
Fig. 10 장치장 작업 계획을 위한 Arena 시뮬레이션 서브 모델	24
Fig. 11 선석통합 개념	28
Fig. 12 선석 및 Q/C 통합 개념	29
Fig. 13 대기시간 기준 통합운영 방안	43
Fig. 14 Y/T 이동 거리 기준 통합운영 방안	43

Simulation Model for Analyzing the Effect of Operational Integration of Container Terminals in Busan New Port

Lee, Jang Gun

KMI-KMOU Cooperative Program
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University

Abstract

Busan New Port is being operated inefficiently by a number of container terminal operators, which are dispersed in small groups. In particular, the small terminal at Busan New Port is causing the dispersion of quantity, the increase of ITT cargo and the occurrence of a ship waiting at sea as the ship's Alliance became larger in 2016. As a result, studies such as integrated operations for the larger container terminals are being conducted. Therefore, in this study, we intend to set up a type of integrated operation for terminals at the Busan New Port and measure the practical effects through simulation to present an ideal direction for integrated operation.

KEY WORDS: Container terminal 컨테이너터미널; Operational Integration 통합운영; Analyzing effect 효과측정; Simulation model 시뮬레이션 모델

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

세계 6위 항만을 유지 중인 부산항은 소규모 컨테이너터미널로 분산되어있는 형태가 효율성 측면에서의 문제점으로 지적되어왔다. 이는 비교적 대형화되어있는 세계의 경쟁 항만들은 터미널 당 선석 수가 상하이 6.8개, 싱가포르 7.7개, 두바이 9.3개의 수치를 나타내는 데 비해 부산항은 현재 북항의 3개 운영사와 신항의 5개 운영사 및 건설 중인 2-4단계, 2-5단계, 2-6단계의 개별 운영을 가정 시 총 11개의 운영사 형태가 되며, 이는 터미널 당 선석 수 4.1개의 수치로 운영상의 효율을 저하하는 요인으로 나타나고 있다.¹⁾

또한, 2016년 선사들의 얼라이언스 재편 및 대형화는 상위 선사 중심의 인수 합병(M & A)으로 부산항의 소규모 컨테이너터미널 형태는 효율성이 떨어질 수밖에 없다. 즉, 부산항을 기항하고 있는 얼라이언스는 규모가 커진 데 반해 부산항의 터미널이 작아, 얼라이언스 물량이 분산되고, 그에 따른 타 부두 환적화물(ITT 화물)의 발생 및 선박의 체선 발생을 촉진 시키게 된다.

이를 해결하기 위한 관점에서 부산 신항의 터미널운영사 간 선석 공동 이용 협약을 통해 선석 부분에서 공동 운영을 추진하였으나, 개별 운영사들로 분리 운영되는 상황에서 실질적으로 선석 부분에 한정된 공동 운영의 어려움이 따르고, 장치장을 제외한 선석 부분만의 공동 이용의 효과는 크지 않다고 판단되었다. 따라서 단기적인 선석 부분만의 통합이 아닌 실질적인 컨테이너터미널의 물리적인 통합이 필요하다.²⁾

또한, 해양수산부와 부산항만공사는 부산항 컨테이너터미널 운영사 체계를 개편하여 부산항 컨테이너터미널의 대형화를 추진하고 있다. 이에, 향후 조성될 11개의 터미널운영사 체계를 운영사 간 부분 통합을 통해 6개 또는 7개의

1) 해양수산부(2018), “부산항 컨테이너 터미널 운영사 체계전면 개편”

2) 김근섭외(2017), “부산항 신항 혼합형 전용터미널 시스템 도입방안 연구”

대형화된 운영 체계로 재편할 계획이다. 따라서 북항은 2016년 신선대와 감만 터미널운영사를 통합한 것처럼 3개 터미널을 2개로 재편하여 통합 운영사를 설립할 계획이며, 신항은 터미널운영사 간 자율적인 협력을 통한 통합을 유도하고, 필요한 사항은 정부에서 지원하여 향후 8개 터미널을 4개 또는 5개로 개편하는 방안을 계획하고 있다.

현재 부산 신항은 부산항 전체 물동량의 약 70%를 처리하고 있는 만큼, 운영상의 효율성을 높이는 방안으로 신항 컨테이너터미널 운영사 간 전체 통합 또는 부분 통합이 필요하다. 그러나 신항은 민간투자부두와 임대 부두가 공존하고 있어 실질적인 통합을 위해 선결되어야 할 운영사 간 정책적인 과제가 따르며, 터미널 간 운영 시스템 연계 및 전산상의 문제 또한 고려해야 한다.

즉, 부산 신항 컨테이너터미널 통합운영의 필요성은 인식되고 있으나 통합운영을 위한 방향 및 추진에 있어서 따르는 선결과제로 인해 어려움이 제기되고 있다. 또한, 통합운영에 따른 실질적인 수치 및 효과 측면의 가늠이 모호한 실정이다. 따라서 통합운영 발전 방향에 따라 효과 측면의 계량적 수치를 제공하는 것은 정책 수립에 영향을 줄 수 있다.

1.2 연구 목적 및 내용

본 연구의 목적은 향후 부산 신항 컨테이너터미널 통합운영 방향 수립에 도움을 주고자 선결되어야 할 과제 및 시스템 연계 문제를 떠나 통합운영 방향 유형별 실질적인 효과를 측정하여, 통합운영에 따른 이상적인 수치를 제공하는 데 있다. 앞서 선석 부분에 한정된 통합의 한계점에 따라 컨테이너터미널의 선석과 장치장의 단계별 측면에서의 통합 상황을 고려하였으며, 부산 신항 3개 터미널의 선박 및 터미널 내 실제 운영 데이터를 기반으로 시뮬레이션 모델을 개발 및 적용하여 유형별 상향되는 수치와 하향되는 수치를 제시함으로써 이상적인 컨테이너터미널 통합운영의 방향 및 효과를 제시하고자 한다.

연구의 공간적 범위는 부산항 신항의 3개 컨테이너터미널 및 게이트 부분을 제외한 선석 부분부터 장치장 부분까지를 대상으로 하며, 시간적 범위는 2018

년 PORT-MIS의 선박 입출항 데이터와 대상 컨테이너터미널별 선석 배정데이터 및 터미널 내 장비들의 작업데이터를 활용하고자 한다.

본 연구의 구성은 2장에서 컨테이너터미널 통합운영과 관련된 국내·외 선행연구 및 컨테이너터미널 내 선석과 장치장 운영 관련 연구를 검토하고, 3장에서는 통합운영의 대상으로 설정한 컨테이너터미널의 프로세스, 설비 현황 및 운영계획을 확인하고, 장비별 작업 분포 분석을 통하여 시뮬레이션에 설정하는 선박 도착 계획 및 작업시간 분포를 산정한다. 4장은 컨테이너터미널 통합운영 모델로서 선석 및 장치장 부분에서의 통합을 4가지로 구분한 단계를 제시하며, 이를 측정하기 위하여 Arena Tool을 활용한 시뮬레이션 모델 및 입출력 변수를 산정한다. 5장은 통합운영 유형별 시나리오에 따른 시뮬레이션을 분석하여 선석, Q/C, Y/T, 장치장 부분의 통합범위에 따른 선박 대기시간과 ITT 화물량 측면에서의 효과를 제시하고, 각 터미널 상황에 따라 필요한 통합운영의 범위를 제안한다. 6장은 결론으로 분석 결과에 대한 설명과 한계점을 제시한다. 본 연구결과 통합운영의 범위가 넓어질수록 통합의 효과는 커지며, 넓은 범위의 통합이 이상적인 방향일 수 있으나, 중간 단계 없이 전체 통합은 실질적으로 불가능할 것이며, 컨테이너터미널의 다양한 상황에 따라 불필요한 통합이 될 수도 있다. 따라서 현재의 각 컨테이너터미널의 혼잡 상황 및 선박 대형화에 따른 상황 관점에서 통합운영 유형별 효과 수치를 고려한다면 통합운영 방향 설정에 도움이 될 것으로 사료된다.

제 2 장 선행연구

2.1 컨테이너터미널 통합 관련 연구

추연길, 안기명[2009]은 부산항 컨테이너터미널 간 과당경쟁을 방지하고, 대외경쟁력을 높이는 방안으로 터미널 간 대통합방안과 운영사 간 현실적인 문제를 고려한 소통합방안을 제시하여, 그에 따른 항만집중도를 분석하였다. 또한, 통합의 효과를 가격경쟁력, 경영능력, 터미널 생산성 측면에서 AHP를 통한 상대적 중요도를 측정하였다.

길광수[2012]는 부산항 컨테이너터미널 하역시장을 안정시키는 방안으로 컨테이너터미널 운영사를 대폭 축소하는 통합운영을 추진 과제로 보았으며, 통합운영은 산업 조직적 측면, 북항 살리기 측면, 부산항 전체 하역시장의 안정화 및 지속 성장 측면에서 반드시 성사되어야 할 필수 과제로 보았다.

김근섭 외 3인[2017]은 부산항 신항의 5개 터미널로 분리된 운영과 3대 얼라이언스 중심의 운영에 따른 선박의 대기 및 체선, 타 부두 환적화물 증가 등에 따른 문제점의 해결방안으로서 공용 터미널과 전용능력을 혼합한 혼합형 전용 터미널 시스템 개념을 새로이 제시하였으며, 적용 가능성 및 예상 문제점 파악을 위한 선사 및 운영사를 대상으로 한 인터뷰를 조사하였다.

한국해양수산개발원[2017]은 인천 내항 운영사의 운영여건 악화 및 물동량 유치경쟁 치열, 효율인하 경쟁 가속화 등에 대한 개선방안으로 TOC 통합의 필요성 및 당위성을 검토하여 통합 전략, 운영전략, 인력 운용전략 등을 수립하는 연구를 진행하였다.

심인섭[2018]은 터미널운영사 간 물동량 유치를 위한 치열한 경쟁이 나타나고 있는 광양항을 대상으로 터미널 경쟁력 확보 및 비용감소의 대안으로 운영사 통합을 제안하였으며, 선석 통합운영의 필요성 및 기대효과를 AHP 기법을 활용하였다.

박호철[2019]은 부산항 경쟁력 강화를 위한 터미널운영사 재구성 방안으로 글로벌선사 중심의 재편, 터미널운영사 통합, 금융투자자 비중 축소, 국적선사의 자가 터미널 확보 및 항만공사의 공공정책 실행력 확보를 제시하였으며, 운영사 간 통합구상안은 현실적으로 매우 어려운 점이 있는 것은 사실이나 5개 운영사 체제에서 1개 운영사 체제로의 그랜드 통합의 필요성을 명시하였다.

Gang Dong 외 3인[2018]은 게임 이론적 접근법을 적용하여 Ningbo-저우산항의 항만 통합효과를 정량적으로 검토하였으며, 통합운영의 효과를 처리 비용감소, 컨테이너 처리량 증가 및 항만 통합 과정에서의 임계 효과 측면에서 보았다.

Damla Kizilay 외 2인[2017]은 컨테이너터미널에서의 Q/C 할당, Q/C 계획 및 장치장 위치 지정 및 차량 배치 작업의 통합 문제를 고려하였으며, 선박 교체 시간을 최소화하고, 터미널 처리량을 최대화를 목적으로 MIP 및 CP 모델을 제안하였다.

컨테이너터미널 통합 관련 연구는 국내의 부산항 및 다른 항만 또한 다수의 운영사 체제로 인한 비효율성 문제에 직면해 있어 통합운영의 필요성에 관한 연구가 진행되어왔다. 즉, 연구의 방향이 컨테이너터미널 운영사 간 과당경쟁을 방지하기 위한 통합운영의 필요성 분석연구가 대부분이었으며, 국내 항만을 대상으로 계량적인 관점에서 통합운영의 효과를 분석하는 데는 한계가 있었다. 따라서 본 연구에서는 통합운영이 고려되고 있는 컨테이너터미널의 선석과 장치장 측면에서의 통합 상황을 고려하여 선박 대기시간 및 ITT 화물량에 대한 효과를 비교하였으며, 선석과 장치장의 운영 부분과 장비(Q/C, Y/T) 작업 부분 관련 연구를 검토하였다.

2.2 컨테이너터미널 선석, 장치장 운영 관련 연구

임진만[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 최대로 하

는 수리적 해법을 제시하였다.

연광흠[2003]은 장치장에서의 생산성 향상을 위하여 장치장 배정계획, 리핸들링 작업, Y/T 배정 방안, Y/T 적정 소요 대수 결정 방안을 제시하였으며, 각 방안을 적용한 다양한 시나리오를 설정하여 컨테이너터미널 운영 시뮬레이션을 통해 Q/C의 생산성과 Y/T 소요 시간을 비교하여 분석하였다.

박은경 외 2인[2007]은 컨테이너터미널의 Q/C 생산성 분석을 위해 안벽의 Q/C와 장치장의 T/C의 성능 및 장치장과 이송 장비의 대수와 성능을 입력 변수로 설정하여 시뮬레이션 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 분석하였다.

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

박상국 외 1인[2016]은 외부 트럭의 관점에서 항만의 최적 게이트 서비스 수준을 찾아내기 위하여 게이트 중심의 전체 항만 프로세스 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 게이트에서의 트럭 대기 변화를 시뮬레이션하였다.

이정훈[2019]은 항만 서비스 수준을 체선율이 아닌 선박 대기율로 측정하여 제시하였으며, 시뮬레이션 모델을 만들어 실제 선박 대기율, 대기행렬에 의한 대기율 및 시뮬레이션 모델에 의한 대기율의 일치 정도를 평가하였다.

컨테이너터미널의 선석과 장치장 운영 관련 연구는 효율적인 운영계획을 위한 다양한 방법 및 그에 따른 시뮬레이션 모델 구축을 위한 연구가 다수 진행되었다. 그러나 컨테이너터미널의 통합 상황을 고려하지 않은 상황으로, 통합 운영에 적용 가능한 운영계획을 검토하였으며, 컨테이너터미널을 대상으로 한 시뮬레이션 모델 구축에 참조하였다.

제 3 장 통합운영 대상 컨테이너터미널 분석

3.1 컨테이너터미널 프로세스

본 연구에서 고려하는 컨테이너터미널 프로세스의 범위는 Fig. 1에서와같이 장치장(Yard), 에이프런(Apron), 선석(Berth)으로 한정하며, 해당 범위에서 사용되는 장비는 장치장 내 컨테이너를 처리하는 트랜스퍼 크레인(T/C), 장치장과 선석 간 컨테이너를 이송하는 야드 트랙터(Y/T), 선석에서 양·적하하는 하역 크레인(Q/C)으로 이루어지며, 화물의 흐름은 선적>Loading), 양하(Unloading), 환적(Transshipment)을 고려한다.

따라서 선박이 컨테이너터미널에 도착하면, 양하 화물의 경우 선석 내 화물을 시작으로 Q/C의 양하 작업, 에이프런에서 Y/T의 이송, 장치장에서 T/C의 하역 순서로 작업이 이루어지며, 반대로 선적화물의 경우 장치장 내 화물을 시작으로 T/C의 하역 작업, 에이프런 내 Y/T의 이송, 선석 내 Q/C의 선적 순서로 작업이 이루어진다.

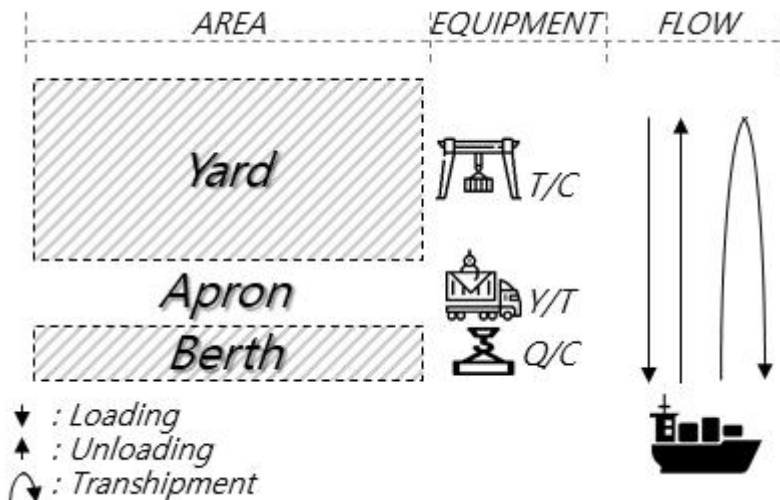


Fig. 1 컨테이너터미널 프로세스

3.2 대상 컨테이너터미널 설비 현황

부산 신항의 컨테이너터미널은 현재 운영되고 있는 북 컨테이너부두(3개 운영사), 남 컨테이너부두(2개 운영사), 다목적부두와 건설 중인 서 컨테이너부두로 이루어져 있다. 부산 신항의 컨테이너터미널 간 선석 및 장치장 통합운영 상황을 설정하기 위해 선석의 연속성과 장치장 배치 및 운영방식의 동일성을 고려하여 3개의 컨테이너터미널(북 컨테이너터미널 A, B, C 운영사)을 선정하였으며, 각 터미널의 설비 제원은 Table 1과 같다.

컨테이너터미널에서 장비와 설비 수치는 컨테이너 처리량 및 생산성과 연결되는 척도이다. 설비의 수치는 컨테이너터미널에서 허용할 수 있는 선박의 기준 대수가 되며, 그에 따른 계획이 이루어진다. 또한, 장비의 수치는 선박의 컨테이너 처리량을 예정 작업기한 내에 수행하기 위해 장비 할당 계획이 이루어진다. 즉, 기존의 개별 운영 시 설비 및 장비의 한정적인 제원 계획을 통합 운영 시 충분한 제원 상황에서의 효율적인 계획을 기대해볼 수 있다.

Table 1 컨테이너터미널 제원

Classification		Terminal		
		A	B	C
Yard	Block	21 blocks	35 blocks	21 blocks
	Capacity	65,420TEU	113,181TEU	62,682TEU
	T/C	42ea	61ea	30ea
Apron	Y/T	96ea	130ea	66ea
Berth	Length	1.1km	2km	1.2km
	Count	3ea	5ea	3ea
	Q/C	12ea	22ea	12ea

자료 : 부산항만공사(www.busanpa.com)

3.3 대상 컨테이너터미널 운영계획 분석

컨테이너터미널의 선석(Berth), 에이프린(Apron), 장치장(Yard)에서의 운영은 선박의 도착 예정 정보에 따라 선석배정계획, Q/C 할당 계획, 장치장 배정계획과 같은 사전에 정해지는 계획 부분과 선박의 도착에 따라 접안 작업, Q/C의 양·적하 작업, Y/T의 컨테이너 이송작업, T/C의 장치장 작업과 같은 실제 컨테이너를 움직이는 작업 부분으로 구분한다. Fig. 2는 운영계획의 흐름과 그에 따른 작업을 나타낸 그림이며, 부산 신항의 소규모 컨테이너터미널 분리 체계는 각 제원에 따른 계획 시, 선석 부족에 따른 선박이 부산항 입항 후 터미널 접안 전까지의 대기시간이 발생하고 있으며, 장치장 작업 후 외부로 타부두 환적(ITT : Inter Terminal Transport)화물의 운송이 이루어지고 있다.

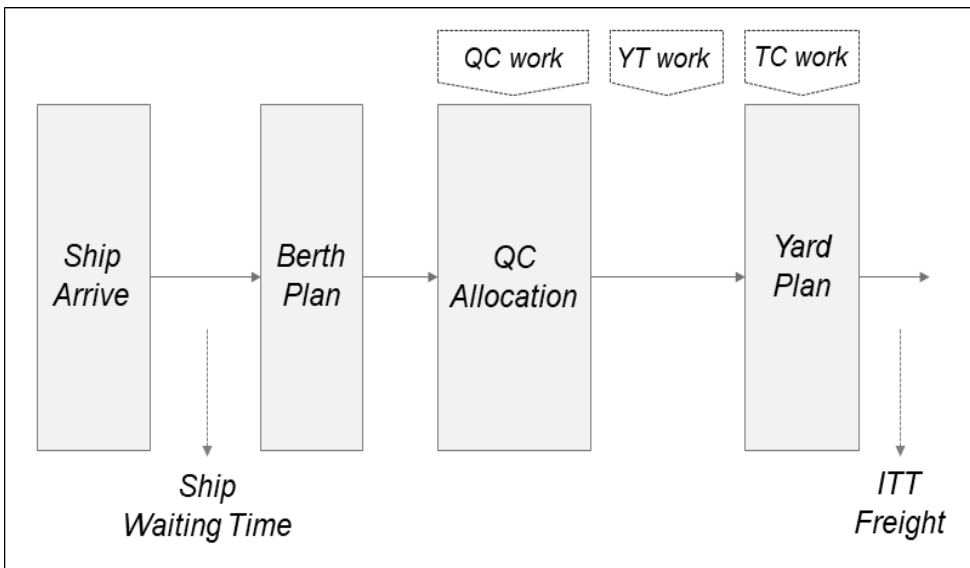


Fig. 2 컨테이너터미널 운영계획

3.3.1 선석배정계획

선석배정계획은 도착 예정인 선박에 대해 적절한 선석을 배정하는 것으로 각 컨테이너터미널은 선박의 예정 입항 정보에 따라 Fig. 3과 같이 1주일 단위의 Berth Window, 즉 선석 단위의 선석배정계획을 수립한다. 따라서 A, B, C 터미널의 각 선석의 길이는 약 400m로 볼 수 있으나, 계속되는 선박의 대형화 추세에 따라 1개 선석의 길이를 초과하는 선박이 존재하며, 1개 선석 내에 2개의 선박의 접안이 가능한 선박 또한 존재하여 단순히 선석 단위로 선박의 1대1 매칭은 효율적인 계획이라 할 수 없다. 또한, 선박 접안 시 여유 공간으로 최소 30m를 고려하여야 한다. 따라서 본 논문에서는 선석 전체 길이와 개별 선박의 전장(LOA) 및 인접한 선박과의 여유 공간을 고려한 도트(dot) 단위의 계획을 고려한다.

선박들이 컨테이너터미널에 예정 접안시간에 따라 입항 후 접안 가능한 시간에 접안 하기까지 발생하는 시간을 대기시간으로 측정하고, 이를 감소시키는 방안으로 선석 부분의 통합 시 새로운 선석배정계획을 수정한다.

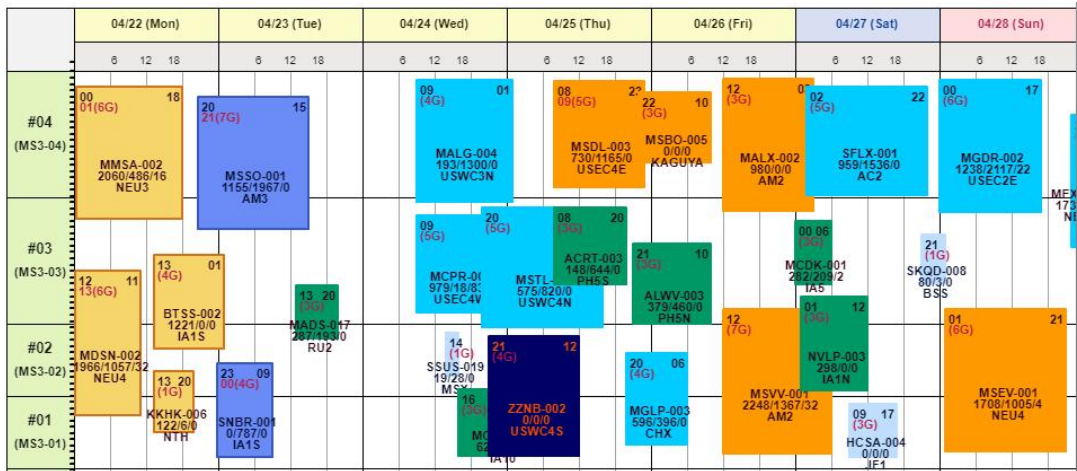


Fig. 3 선석배정계획 예시(A 터미널)

3.3.2 Q/C 할당 계획

Q/C 할당 계획은 선박의 정박기간 내에 컨테이너 양·적하 작업을 완료할 수 있도록 가용할 수 있는 Q/C를 접안된 선박에 할당하는 것으로, 컨테이너터미널의 생산성과 직결되는 부분이다. Q/C는 안벽을 따라 일렬로 설치되어있기 때문에 가용할 수 있는 Q/C가 있더라도 Q/C의 위치 및 연속된 배치를 고려하여 배정하는 Q/C 할당 계획이 이루어져야 한다.

도착 선박별 Q/C 개수 산정은 예정 작업 기간, 컨테이너 처리량 및 Q/C 단위당 평균 생산성 지표를 통해 정해진다.

3.3.3 장치장 배정계획

장치장 배정계획은 터미널 내의 효율적인 장치장 이용을 위해 선적, 양하 화물에 따라 장치장 블록을 배정하며, 이는 T/C 작업 경로의 최소화 및 선석과 장치장을 연결하는 Y/T 작업의 경로 최소화를 고려한다.

기존의 장치장에서 ITT 화물은 외부 트럭을 통해 타 터미널로 운송되어 처리되었으나, Y/T 통합 또는 장치장 통합 시, ITT 화물은 터미널 내부에서 처리되거나 발생하지 않는 상황이 형성될 수 있다.

3.4 대상 컨테이너터미널 작업 분포 분석

컨테이너터미널에서 실제 작업은 통합운영 시 실질적인 효과를 측정하기 위해 실제 작업을 구현함과 동시에 비교 값을 도출해야 한다. 따라서 각 터미널의 작업 분포를 분석하여 일반화할 필요가 있다. 본 논문에서 고려해야 할 작업 분포는 선박 도착 분포, 장치장 작업 분포, 장비(Q/C, Y/T, T/C) 작업 분포이다.

3.4.1 선박 도착 분포 분석

Fig. 4는 통합 PORT-MIS와 각 컨테이너터미널 정보시스템 자료로부터 부산 신항 A, B, C 터미널의 2018년 월별 도착 선박 수 및 물동량을 나타낸 그래프이다. A, B, C 터미널 모두 도착 선박 수와 물동량은 월 단위로 큰 변동 폭을 보이지 않는다. 터미널별 평균 수치 내에서 분포하는 것을 볼 수 있으며, B 터미널이 A와 C 터미널보다 두 지표 모두에서 두 배의 수치를 보인다. 이는 앞서 알아본 터미널별 설비 제원과 비교해보면 선박 수 및 물동량이 컨테이너터미널의 설비 제원에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

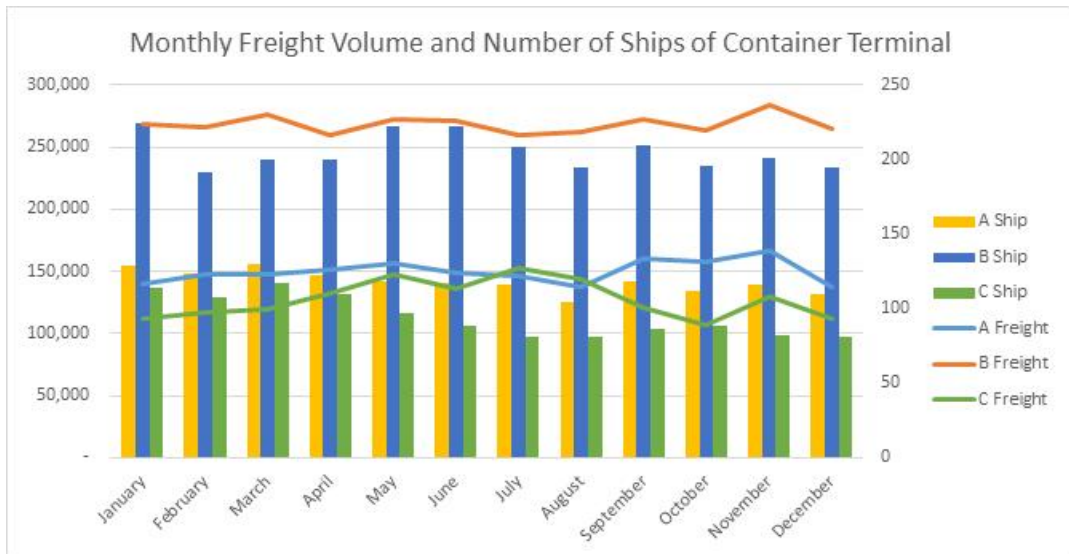


Fig. 4 2018년 컨테이너터미널 도착 선박 수, 화물량

Table 2는 컨테이너터미널별 1년 동안 도착한 선박의 분포를 선박의 전장 (LOA)을 기준으로 분석한 자료이다. 1개 선석의 기본 길이를 400m로 하였을 때, 접안 시 여유 공간을 고려하여 1개 선석을 초과하는 선박의 전장과 1개 선석 내 2개의 선박이 접안 가능한 선박의 전장을 기준으로 분류한 결과이다.

Fig 5.는 컨테이너터미널별 2018년 주 단위 도착 선박 수를 나타내는 자료이다. A 터미널은 평균 26.7척, 최대 33척의 분포를, B 터미널은 평균 46.3척, 최대 57척의 분포를 나타내며, C 터미널은 평균 20.4척, 최대 30척의 분포를 나타낸다.

Table 2 2018년 컨테이너터미널 선박 도착 분포

Classification		Terminal		
		A	B	C
Ship LOA	170(m) 이하 unit: count(%)	275(19.4)	643(26.2)	283(26.2)
	170-370(m) unit: count(%)	1054(74.4)	1725(70.3)	739(68.3)
	370(m) 이상 unit: count(%)	88(6.2)	86(3.5)	60(5.5)
Total Ship no.		1,417	2,454	1,082

Source : Each terminal information system



Fig. 5 일주일 단위 컨테이너터미널 도착 선박 수

3.4.2 장치장 작업 분포 분석

컨테이너 화물은 선적화물과 양하 화물로 구분되어 작업이 이루어진다. Table 3은 2018년 10월 1달간 C 터미널의 작업 분포로 선적·양하 화물에 따른 선석 위치와 장치장의 블록 위치를 연계한 자료이다. 선적화물의 경우, 장치장 블록(Yard block)에서 선석(Berth)으로의 작업량을 나타내며, 양하 화물의 경우, 선석에서 장치장 블록으로의 작업량을 나타낸다.

선석에 가까이 위치한 블록 순서로 A부터 나열되어 있으며, H는 공 컨테이너 장치장을 의미한다.

선적화물의 경우, 선적되는 선석과 동일 선상의 블록이거나, 인접한 블록에 장치된 화물들이 약 80%를 차지하며, 선석과 가까운 블록인 A블록 주변에 위치한 화물의 비율이 높다는 결과가 나왔다. 양하 화물의 경우, 선석과 동일 선상의 블록과의 작업이 40% 이상으로 근접한 블록과의 작업 비중이 높은 것을 알 수 있다. 또한, 공 컨테이너 양하 작업이 전체의 약 25%가량 차지하는 것을 알 수 있다.

따라서 장치장 작업 분포는 접안된 선박의 선석과 동일 선상의 블록과의 작업이 주를 이루되, 인접한 블록에서의 작업 또한 함께 고려해야 한다. 또한, T/C 장비의 효율적인 운용을 위해 전체 블록 내 분산된 배치를 고려해야 한다.

Table 3 선석과 장치장 블록 간의 작업 분포

Yard		Loading Freight			Unloading Freight		
		Berth 1	Berth 2	Berth 3	Berth 1	Berth 2	Berth 3
1 B L O C K	A	226(2)	99(1)	124(1)	1,071(6)	560(3)	199(1)
	B	1,150(8)	864(7)	867(4)	877(5)	620(4)	445(3)
	C	1,350(9)	1,097(9)	893(4)	852(5)	440(3)	456(3)
	D	118(1)	70(1)	81(0)	2(0)	38(0)	0(0)
	E	513(4)	492(4)	278(1)	905(5)	692(4)	395(2)
	F	508(4)	416(3)	801(3)	401(2)	199(1)	248(1)
	G	1,064(7)	788(7)	777(3)	1,080(6)	531(3)	562(3)
	H	514(4)	424(4)	253(1)	2,485(14)	1,556(10)	1,020(6)
rate of 1B		39%	36%	17%	42%	28%	20%
2 B L O C K	A	987(7)	731(6)	1,148(5)	606(3)	538(3)	800(5)
	B	978(7)	665(6)	1,046(5)	811(4)	603(4)	721(4)
	C	886(6)	906(8)	1,131(5)	789(4)	828(5)	729(4)
	D	884(6)	619(5)	1,076(5)	1,019(6)	678(4)	771(5)
	E	882(6)	715(6)	1,391(6)	976(5)	668(4)	908(5)
	F	914(6)	651(5)	1,241(5)	738(4)	758(5)	670(4)
	G	212(1)	138(1)	464(2)	278(2)	289(2)	155(1)
	H	63(0)	126(1)	312(1)	1,597(9)	2,304(14)	994(6)
rate of 2B		39%	38%	34%	37%	41%	35%
3 B L O C K	A	537(4)	362(3)	1,829(8)	367(2)	574(4)	1,101(7)
	B	568(4)	370(3)	1,554(7)	377(2)	603(4)	1,105(7)
	C	606(4)	509(4)	1,682(7)	415(2)	734(4)	1,106(7)
	D	192(1)	371(3)	583(3)	576(3)	780(5)	654(4)
	E	479(3)	586(5)	1,846(8)	410(2)	609(4)	1,139(7)
	F	420(3)	476(4)	1,762(8)	489(3)	645(4)	1,090(7)
	G	357(2)	451(4)	1,812(8)	488(3)	484(3)	885(5)
	H	100(1)	43(0)	270(1)	694(4)	600(4)	400(2)
rate of 3B		22%	26%	49%	21%	31%	45%

자료 : C 터미널 정보시스템

3.4.3 장비(Q/C, Y/T, T/C) 작업 분포 분석

컨테이너터미널 내에서 Q/C, Y/T, T/C는 컨테이너를 기준으로 양하 작업인 Q/C-Y/T-T/C 순서의 흐름과 선적작업인 T/C-Y/T-Q/C 순서의 흐름으로 구분할 수 있다. 그러나 현재 터미널 내에서 각 장비의 1개 컨테이너 기준 작업 시작과 작업 종료에 대한 정확한 시간 측정은 데이터로 기록되고 있지 않다. 대신 Y/T의 이동과 Q/C 또는 T/C와의 연계 작업으로서 작업시간이 측정된다. 따라서 양하 화물의 경우, Q/C 작업 완료 후부터 T/C 작업 완료 시점까지, 선적화물의 경우, T/C 작업 완료 후부터 Q/C 작업 완료 시점까지의 시간이 측정되고 있다.

Y/T의 양하 작업은 평균 7.8분, 표준편차 5.3분으로 작업 되며, 길게는 30분 이상 걸리는 작업까지 나타난다. 선적작업은 평균 10.8분, 표준편차 7.5분으로 작업 되며, 40분 이상 걸리는 작업까지 나타나고 있다. 즉, 평균 주위에 빈도가 몰려있다고 볼 수 있으나, 예외적인 수치는 Y/T의 이동 거리의 영향과 장치장 또는 선석에서 T/C 또는 Q/C와의 작업 대기시간의 영향을 받은 것이라 할 수 있다.

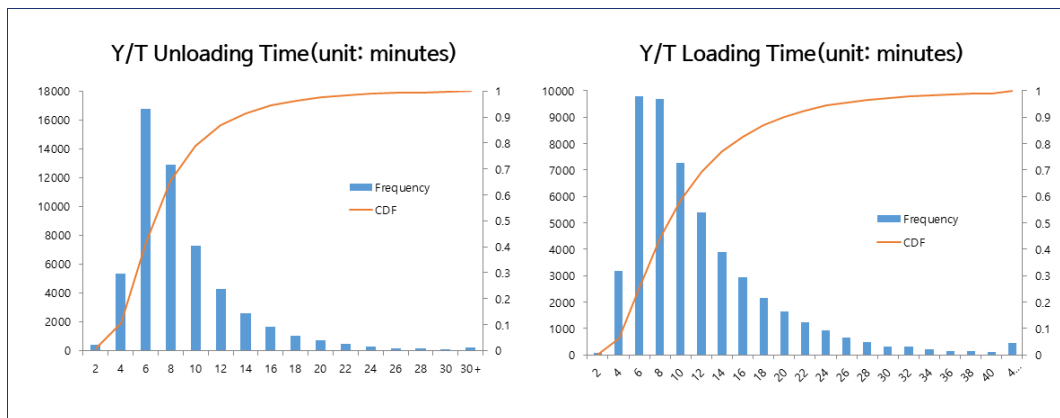


Fig. 6 Y/T 작업시간 분포

컨테이너터미널의 장치율은 최소 50% 수준부터 최대 70%를 넘어 80% 이상 수치 또한 나타나고 있다. 따라서 장치율 상태를 여유로운 상태부터 혼잡한 상태로 구분하여 그에 따른 작업시간 분포를 측정할 필요가 있으며, T/C 작업을 포함한 Y/T의 양하 작업의 장치장 장치율에 따른 작업시간 분포를 분석하였다.

Table 4는 터미널 내 장치장 장치율이 50-60%, 60-70%, 70% 이상의 수치를 모두 보이는 달의 Y/T 양하 작업시간 데이터를 기준으로 평균시간 및 표준편차를 나타낸 표이다. 장치율 60-70% 수준에서의 평균은 전체 평균과 같은 7.8분대를 보이며 장치율 또한 보통 수준으로 볼 수 있다. 보통 수준 이하와 이상 수준에서 장치율 50-60%는 평균 7.69분, 표준편차 4.68분의 결과와 장치율 70%이상은 평균 8.27분, 표준편차 4.74분의 결과로 볼 때, 장치율에 따른 작업시간을 구분하여 설정할 필요가 있다.

Table 4 장치율에 따른 Y/T 작업시간 분포

Classification	Container storage rate(%)		
	50-60	60-70	70-
Y/T work amount(unit: count)	54,521	54,030	64,891
Average Time(unit: minute)	7.69	7.82	8.27
Standard Deviation(unit: minute)	4.68	5.37	4.74

추가로 Q/C와 T/C의 개별작업시간은 장비 1대당 연속적인 작업이 이루어지므로, 평균 생산성에 근거하여 평균 작업시간 2.5분의 연속분포로 설정하였다.

3.4.4 ITT 화물량 분포 분석³⁾

2016년 기준 환적화물의 비중은 전체 물동량의 약 51%를 차지하고 있으며, 환적화물 내 타 부두 환적화물의 비중은 15.9%를 차지하고 있다. Table 5는 부산 신항 내 터미널 간 ITT 화물 물동량 비율을 나타낸다.

본 논문에서 통합운영 유형에 따른 효과측정 지표로서 ITT 화물량 또한 고려하는 부분이다. 전배(기존 터미널이 아닌 타 터미널로 선박 접안 후 작업)의 상황의 발생 시, 해당 선박의 ITT 화물량의 변화가 발생한다. 따라서 추가 발생하는 ITT 화물량 측정 및 비교를 위하여 통합운영에서 설정한 해당 터미널의 ITT 화물 비율을 적용하였다.

Table 5 2016년 컨테이너터미널 간 타 부두 환적화물 비율

(단위 : 천TEU)

(From\To)	PNIT	PNC	HJNC	HPNT	BNCT	계
PNIT	-	37.0%	11.1%	46.3%	5.7%	100.0%
PNC	56.4%	-	7.8%	25.3%	10.5%	100.0%
HJNC	36.1%	17.8%	-	24.2%	21.9%	100.0%
HPNT	49.7%	23.1%	17.9%	-	9.3%	100.0%
BNCT	17.4%	42.1%	27.8%	12.7%	-	100.0%

3) 백용주(2017) “빅데이터를 이용한 부산항 신항 ITT 효율적인 운영방안에 관한 연구”, 한국해양대학교 석사학위 논문. 의 내용을 인용하고 일부 수정함

제 4 장 통합운영 모델

4.1 통합운영 유형

부산 신항의 컨테이너터미널 통합운영 방안으로 전체 터미널이 1개의 운영 체제로 되는 것이 가장 이상적이지만, 현실적으로 운영사 전체 통합과 같은 방법은 지극히 극단적일 수 있다. 따라서 통합의 방향을 단계별로 나누어 Fig. 7과 같이 개별터미널 상태인 통합 전 유형을 구축하고, 선석 부분의 통합(Q/C 통합 여부 고려)을 나타내는 Case 1유형과 선석을 포함한 Y/T 장비의 통합을 나타내는 Case 2유형, 장치장 부분까지 전체 통합하는 Case 3유형으로 구축하여 유형별 효과를 측정한다.

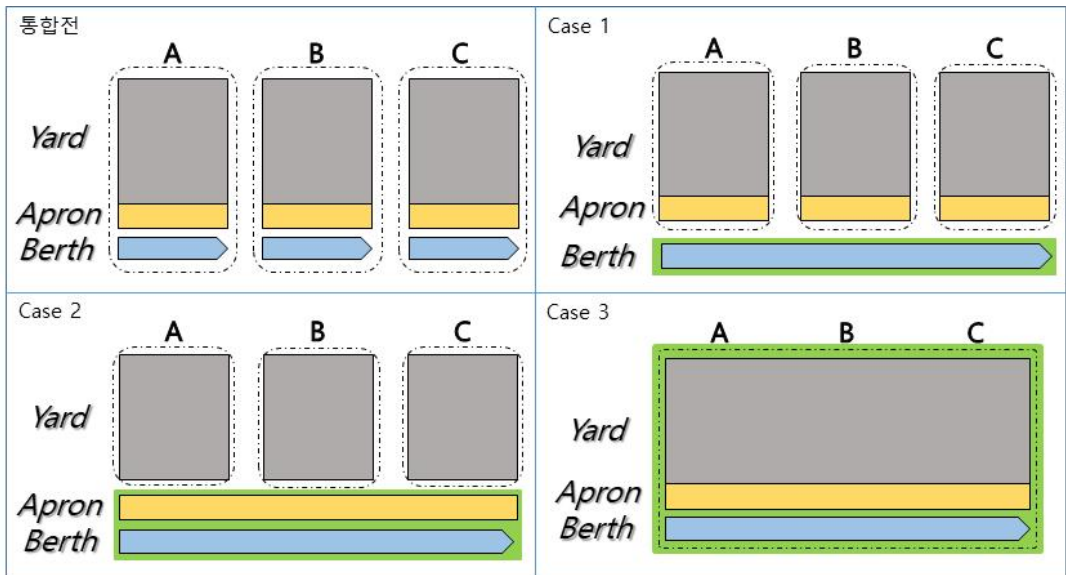


Fig. 7 컨테이너터미널 통합운영 유형

통합 전 유형은 개별 컨테이너터미널로 운영되는 기본 유형으로 각 터미널 간 경계로 인해 선석이 제한됨에 따라 선박이 접안될 공간 부족으로 선박이 부산항에 예정 접안시간에 맞춰 입항 후 대기가 발생하며, 타 부두 환적화물

에 대하여는 각 터미널의 외부 경로를 통한 추가 운송이 발생한다.

Case 1유형은 선석 부분을 통합운영하는 것으로 선석만을 통합하는 것과 Q/C 장비도 함께 통합하는 것으로 구분한다. 단순 선석만의 통합은 컨테이너 터미널 간 경계를 완화하는 것으로 볼 수 있다. 즉, 선석배정계획 시, 터미널 간 경계 부분의 침범을 허용하여 대형선의 도착에 대응할 수 있고, 전체 선석을 보다 효율적으로 배정할 수 있다. 이때, Q/C는 통합이 안 된 경우이므로 선박을 타 터미널 경계를 넘어 접안을 했어도 Q/C의 시스템 연계가 안 된 상태이므로 본 터미널의 Q/C의 작업 가능 범위를 고려하여 접안 계획을 수립한다. 다음으로 Q/C의 통합을 포함한 선석 통합운영은 타 터미널의 Q/C 또한 이용할 수 있으므로 기존의 전배 상황(즉, 터미널 내 선석이 부족하거나 가용 Q/C가 제한될 때 접안이 예정된 선박의 처리가 불가능하여 타 터미널에서 작업이 이루어지는 것)을 허용하여, 선박 대기시간의 변화와 전배에 따른 추가 작업을 비교하여 측정한다. Case 1유형은 ITT 화물의 외부 경로를 통한 추가 운송이 통합 전 유형과 똑같이 발생하며, 전배 상황 시 타 터미널로 이동해야 할 화물은 ITT 화물에 추가된다.

Case 2유형은 선석 및 Q/C 장비의 통합과 더불어 Y/T 장비의 통합운영을 의미하며, 컨테이너터미널 간 에이프런의 경계를 없앤 것을 의미한다. 기존의 외부 경로를 통한 ITT 화물처리를 Y/T가 통합됨에 따라 선적화물, 양하 화물 작업 시 내부경로를 통해 즉시 처리가 된다. 그러나 Y/T가 통합됨에 따라 Y/T의 이동 가능한 경로 및 거리가 증가하므로 Y/T 작업시간이 늘어나게 된다. 따라서 외부 ITT 화물처리 비용감소 대비 Y/T의 작업시간 증가에 대한 비교를 통해 Case 2유형의 효과를 측정한다.

Case 3유형은 선석부터 장치장까지 전체를 통합운영하는 대형화된 1개 컨테이너터미널 체계로 볼 수 있다. 따라서 통합된 자원을 바탕으로 선석부터 장치장까지 고려한 새로운 운영계획을 통해 통합운영의 효과를 측정한다. 이 유형은 통합한 컨테이너터미널 간 ITT의 개념이 사라진다고 볼 수 있다.

4.2 통합운영 시뮬레이션 모델 입출력 변수

컨테이너터미널 통합 유형에 따른 시뮬레이션 분석을 하기 위해 먼저 개별 컨테이너터미널 상황에 맞는 입력 변수 및 출력변수를 Table 6과 같이 설정하였다.

입력 변수에서 선박의 도착은 화물 분포가 아닌 실제 입항시간을 적용하였으며, 접안시간, 정박기간 및 해당 선박의 속성인 화물량, 전장(LOA)과 선박의 접안 터미널, 선석 정보 등 실제 데이터를 기반으로 입력하였다. 이러한 이유는 실제 부산항의 과거 선박 도착 및 화물처리와 관련하여 통합된 상황에서의 변화를 사실적으로 비교하기 위함이다. 다만, 컨테이너터미널 Case 별 통합운영 시, 선석배정계획 측면에서의 차이가 있으며, 해당 부분은 추가 계획 규칙을 설정하여 적용하였다. 또한, 컨테이너터미널 내에서 이루어지는 작업, 즉 Q/C, Y/T, T/C의 작업은 각 터미널 모두 동일 운영방식으로 동일 조건에서 작업이 이루어지는 것으로 설정하여, 각 처리시간을 통계치로 적용하였다.

출력변수는 기존의 각 터미널 개별 운영과 통합운영의 효과를 비교하여 측정하기 위한 지표로서, 선박의 접안예정시간 후 실제 접안 전까지의 대기시간을 측정하며, 각 터미널과 선석의 도착 선박 수 및 화물처리량을 누적하여 계산하였으며, Y/T의 이동 거리 및 ITT 화물량에 대한 지표를 비교하였다.

Table 6 시뮬레이션 입력 및 출력 변수

Classification		Variable Name	Value
Input	Ship	Ship_Arrive Time	Real
		Ship_Berth Time	Real
		Ship_Stay Period	Real
		Ship_Berth Port	Real
		Ship_Freight	Real
		Ship_LOA	Real
		Ship_Berth Number	Real
		Ship_QC Number	Plan
	Q/C	Q/C_Number per Berth	Plan
		Q/C_Work Time per Container	Statistics
	Y/T	Y/T_Q/C Work Time per Container	Statistics
		Y/T_T/C Work Time per Container	Statistics
	T/C	T/C_Work Time per Container	Statistics
	Yard	Yard_Container Quantity	Calculation
Output	Ship	Ship_Waiting Time before Berth	Calculation
		Ship_Waiting Time before Work-done	↗
		Ship_Count per Port	↗
	Freight	Freight_Count per Port	↗
	Q/C	Average Q/C Process Time	↗
	Y/T	Total Y/T Moving Distance	↗
	ITT	Total ITT Freight	↗

4.3 통합운영 시뮬레이션 모델

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 Arena 프로그램을 이용하여 개발하였으며, Fig. 8은 터미널 개별 운영 시의 구성이며, 통합운영 모델은 계획 부분의 추가 및 설비 제원 변경이 필요하지만, 전체적인 구성은 같다.

컨테이너터미널 개별 운영 및 통합운영 시뮬레이션 모델은 크게 선박 도착, 선박 대기, 선석 계획, Q/C 할당, 장치장 계획, 작업 완료 확인, 선박 출항의 7개의 단계로 개발하였다.

선박 도착 과정은 실제 선박의 도착 데이터를 파일로부터 읽어서 실제 입항 시간에 따라 선박을 도착시키는 단계로, 해당 도착 선박의 작업 터미널, 작업량, 선박의 전장(LOA) 등의 속성값을 부여한다. 선박 대기는 입항한 선박의 접안예정시간 및 접안 여부를 판단하여 실제 접안 전까지 대기하는 시간을 측정하는 단계이다. 선석 계획은 선석 배정계획에 따라 배정된 선석으로 이동시키는 단계이며, Q/C 할당은 정박기간 내에 선박의 작업량을 충족시키는 Q/C 개수와 가용한 Q/C 개수를 판단하여 선박에 할당하는 단계로 Fig. 9와 같은 sub-model로 구축한다. 장치장 계획은 선적 및 양하 작업이 이뤄지는 단계로, 장치율에 영향을 받으며, 통합운영 유형에 따라 내부 ITT 화물처리 작업이 이루어지며 Fig. 10과 같이 sub-model로 구축한다. 작업 완료 확인은 선박의 정박기간이 지난 후 작업 완료 여부를 확인하는 단계이다. 선박 출항은 작업이 완료된 선박이 터미널에서 빠져나가는 단계이다.

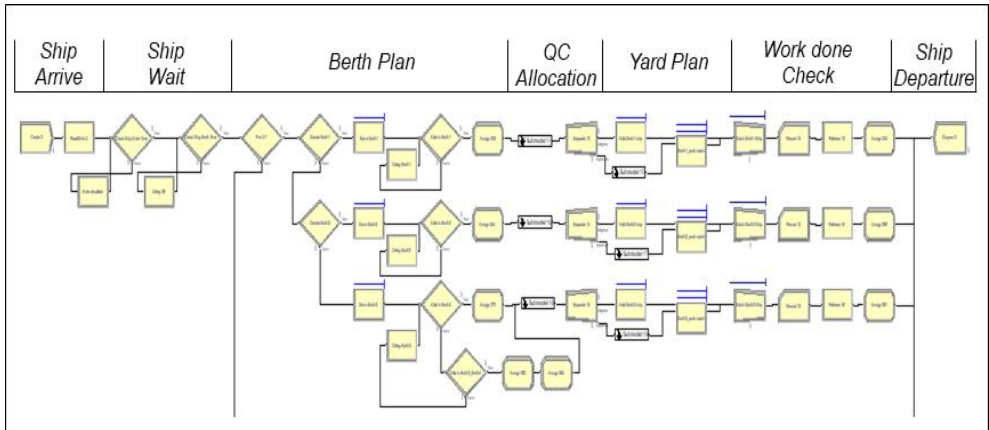


Fig. 8 개별터미널 Arena 시뮬레이션 모델

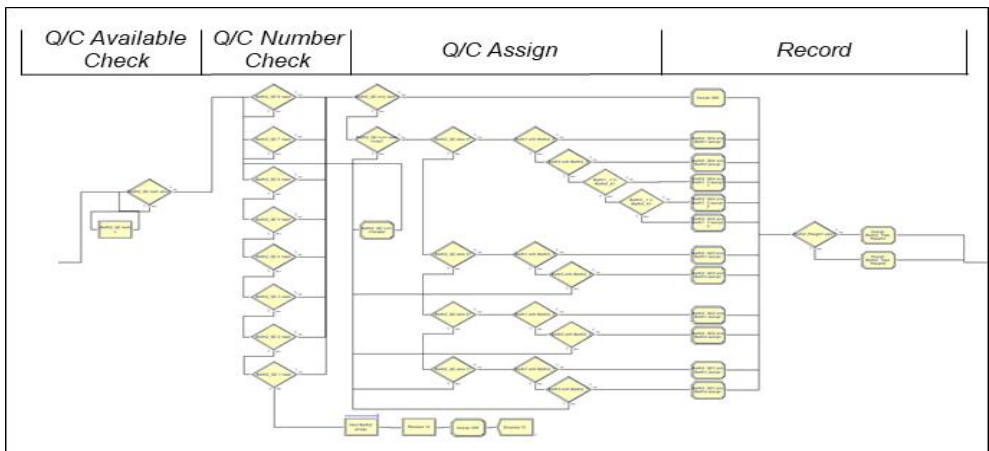


Fig. 9 Q/C 할당 계획을 위한 Arena 시뮬레이션 서브 모델

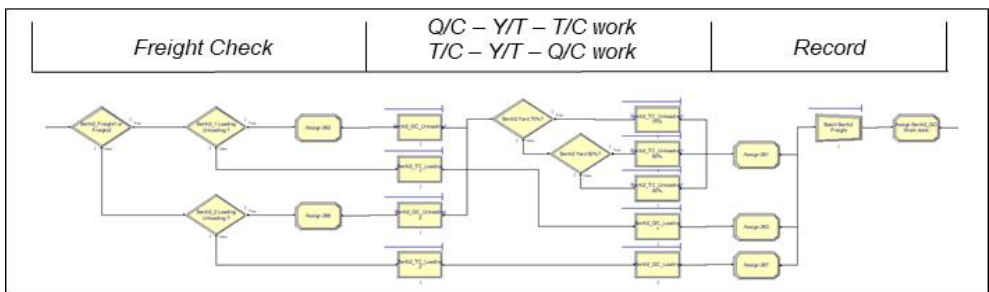


Fig. 10 장치장 작업 계획을 위한 Arena 시뮬레이션 서브 모델

제 5 장 통합운영 시뮬레이션 모델 분석

5.1 모델 검증

개발한 컨테이너터미널 통합운영 시뮬레이션 모델의 타당성 검증을 위하여 부산 신항의 3개 터미널(A, B, C)의 1년간(2018.01.01~2018.12.31.)에 걸쳐 도착한 선박의 PORT-MIS에 기록된 입항시간 자료와 터미널별 작업시간 자료를 시뮬레이션 입력자료로 반영하여 시뮬레이션 결과와 실제 데이터의 처리 선박 수, 화물량, 선석 점유율 지표로 비교한 결과는 Table 7과 같다.

비교 결과 처리 선박 수의 정확도는 거의 100%에 가까웠으나, 화물량 측면에서는 시뮬레이션에서 자부두 환적화물을 고려하지 않아 60% 정도의 정확도를 보이며, 자부두 환적화물을 제외한 지표에서는 약 85%의 정확도를 보였다. 또한, 선석 점유율 측면에서는 실제보다 점유율이 높게 측정되지만 약 90%의 정확도를 보인다.

따라서 시뮬레이션 모델이 비교적 타당하다고 판단할 수 있다.

Table 7 시뮬레이션 모델 검증

Terminal	Ship			Freight (만TEU)			Berth share (%)		
	Real	Model	Accuracy	Real	Model	Accuracy	Real	Model	Accuracy
A	1,417	1,416	99.9%	273.8	179.4	65.5%	63.8	68.8	92.7%
B	2,464	2,466	99.9%	509.3	321.9	63.2%	70.8	83.2	85.1%
C	1,134	1,131	99.7%	237.5	152.3	64.1%	58.2	64.7	90.0%

통합운영 시물레이션은 아래와 같은 가정들을 기초로 한다.

1. 선박의 접안예정시간 후 접안완료 전까지의 대기시간을 줄이기 위함이 목적이다.
2. 각 컨테이너터미널 선박 도착패턴을 기반으로 일주일 단위 데이터를 설정한다.
3. 도착 선박의 속성(입항시간, 정박기간, 화물량, 대상 터미널)은 실제 데이터를 따른다.
4. 선석의 기본 크기는 400m이지만, 터미널 내 선석 간 경계는 없다.
5. 선석 당 기본 Q/C 할당 개수는 4~5개이며, 연속적으로 위치하여 인접한 선석 간 Q/C 지원을 허용한다.
6. Q/C의 작업속도는 일정하며, 선박의 정박기간 및 화물량에 따라 Q/C개수가 설정되며, 가용 대수에 따라 Q/C가 할당된다.
7. 각 터미널의 초기 장치율은 보통 수준인 60%로 설정한다.

5.2 선석배정계획 수정

5.2.1 선박의 대기가 발생하는 유형(예시)

부산 신항의 소규모로 분산된 컨테이너터미널에서 발생하는 주된 문제는 각 터미널의 소규모 선석에 따른 선박의 접안이 불가능한 상황과 작업 기간을 맞추기 위해 대형선박에 할당되는 QC 개수에 따라 타 선박의 작업이 지연되는 상황의 발생으로 볼 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 통합운영 상황에 따라 선석 계획을 새로이 수립할 필요가 있다.

Table 8은 예시 시나리오 상황이며, 선석 길이 부족으로 인한 상황과 QC 개수 부족으로 인한 상황이 존재한다. 각 통합운영 상황에 따라 계획을 변경하고, 그에 따른 효과를 측정하고자 한다.

Table 8 시뮬레이션 데이터 시나리오 예시

No.	Port	Ship Arrival Time(h)	Scheduled Berth Time(h)	Work Period(h)	LOA (m)	Total Freight(TEU)	Berth No.	QC Allocation
1	C	1	5	10	200	480	2	2
2	C	1	5	11	250	792	2	3
3	C	4	5	16	300	1,536	1	4
4	C	5	5	22	400	2,640	3	5
5	B	1	5	8	150	192	6	1
6	B	4	5	16	300	1,536	5	4
7	B	4	5	16	300	1,536	7	4
8	B	4	5	18	350	1,728	4	4
9	B	5	5	22	400	2,640	8	5
10	A	1	5	8	150	192	10	1
11	A	1	5	10	200	480	10	2
12	A	4	5	18	350	1,728	11	4
13	A	5	5	22	400	2,640	9	5

위의 시나리오는 선박의 접안예정시간을 같은 시점으로 설정하였으며, 실제 선박 도착은 다른 시점으로 설정하였다. A 터미널은 도착 선박들의 LOA(m)의 합이 1100m로 A 터미널의 전체 선석의 길이와 같다. 그러나 선박 간의 접안 시 여유 공간을 고려할 때, 이 중 1개 선박은 대기 후, 접안이 이루어져야 하는 비효율적인 운영이 나타난다. 또한, C 터미널은 도착 예정 선박들에 대하여 접안은 가능하나, 할당에 필요한 총 QC 개수가 전체 QC 개수(12개)를 초과하여, 선박 중 필요 수보다 적게 QC를 할당된 선박은 작업 기간이 길어져 전체 작업 완료 시간상의 비효율이 나타나고 있다.

5.2.2 선석배정계획 수정방안(선석통합 측면)

선석 부분을 통합하는 경우, 터미널 간 선석의 경계 침범을 허용하는 것으로서, 옆 터미널의 추가 공간을 고려하여 선석을 배정하는 방법이다. A 터미널의 상황에서 4개의 도착 선박은 선박별 LOA(m)와 더불어 선박 간 최소 30m의 여유 공간을 두어야 한다. 따라서 선박마다 여유 공간을 고려했을 때, Fig. 11과 같이 9번 선석에 접안되는 선박은 B 터미널의 8번 선석의 약 120m(초과 길이

90m, 여유 공간 30m)를 추가로 사용해야 한다.

Table 9는 선석 부분 통합시 기존의 선박 대기 발생해야 할 A 터미널의 9번 선석과 C 터미널의 3번 선석에 B 터미널 경계의 추가 공간을 허용하면서 선박 대기가 줄어드는 것을 보여준다. 그에 따라 B 터미널 내 경계인 4번, 8번 선석은 허용한 공간만큼 제외하고 선석이 배정되어야 한다. 반면, 대기가 발생하지 않게 될 경우, 해당 선박에 가용한 Q/C 대수가 부족하며, 그에 따라 정박 기간이 길어지는 것을 확인할 수 있다. 따라서 단순 선석 부분의 통합은 Q/C 가용 부분에서 한계점이 나타나고 있다.

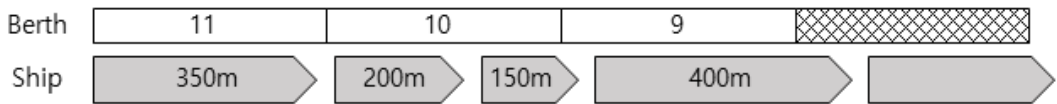


Fig. 11 선석통합 개념

Table 9 시뮬레이션 데이터 시나리오 예시(선석통합)

No.	Port	Ship Arrival Time(h)	Scheduled Berth Time(h)	Work Period(h)	LOA (m)	Total Freight(TEU)	Berth No.	QC Allocation
1	C	1	5	10	200	480	2	2
2	C	1	5	11	250	792	2	3
3	C	4	5	16	300	1,536	1	4
4	C	5	5	22 → 37	400	2,640	3 + α	5 → 3
5	B	1	5	8	150	192	6	1
6	B	4	5	16	300	1,536	5	4
7	B	4	5	16	300	1,536	7	4
8	B	4	5	18	350	1,728	4 - α	4
9	B	5	5	22	400	2,640	8 - α	5
10	A	1	5	8	150	192	10	1
11	A	1	5	10	200	480	10	2
12	A	4	5	18	350	1,728	11	4
13	A	5	5	22	400	2,640	9 + α	5

5.2.3 선석배정계획 수정방안(선석, Q/C 통합 측면)

선석 및 Q/C(장비)의 통합은 선석 부분과 함께 Q/C를 통합하는 방법으로, 선석 부분만의 통합에서 해결하지 못한 C 터미널의 Q/C 부족 문제에 대한 대안을 생각해 볼 수 있다. Fig. 12를 보면, C 터미널의 3번 선석의 선박은 필요한 Q/C 개수를 할당받지 못하고, 2개의 부족분이 발생하여 충족시킬 만한 방안을 고려해야 한다. 선석 및 Q/C가 통합된 상황이라면, 타 터미널의 인접한 선석에서의 Q/C를 이용할 수 있다. 따라서 C 터미널 2번 선석의 선박이 B 터미널 6번 선석으로 전배의 개념과 같이 수정되어 Table 10으로 계획될 수 있다.

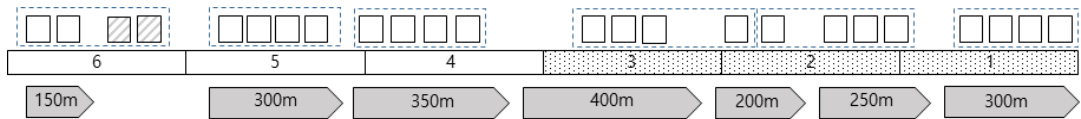


Fig. 12 선석 및 Q/C 통합 개념

Table 10 시뮬레이션 데이터 시나리오 예시(선석, Q/C 통합)

No.	Port	Ship Arrival Time(h)	Scheduled Berth Time(h)	Work Period(h)	LOA (m)	Total Freight(TEU)	Berth No.	QC Allocation
1	C→B	1	5	10	200	480	2 → 6	2
2	C	1	5	11	250	792	2	3
3	C	4	5	16	300	1,536	1	4
4	C	5	5	22	400	2,640	3	5
5	B	1	5	8	150	192	6	1
6	B	4	5	16	300	1,536	5	4
7	B	4	5	16	300	1,536	7	4
8	B	4	5	18	350	1,728	4	4
9	B	5	5	22	400	2,640	8	5
10	A	1	5	8	150	192	10	1
11	A	1	5	10	200	480	10	2
12	A	4	5	18	350	1,728	11	4
13	A	5	5	22	400	2,640	9 + α	5

5.3 통합운영 시나리오 적용 및 분석

5.3.1 적용 데이터 산정

2장에서 분석한 선박 도착 분포에 따라 각 터미널의 일주일 단위 평균 도착 선박 수 A 터미널(평균 26.7척, 최대 33척), B 터미널(평균 46.3척, 최대 57척), C 터미널(평균 20.4척, 최대 30척)의 분포에 따라 해당 척수 및 전장(LOA)을 고려한 각 터미널 당 3개 (Case 1, 2, 3)의 기준 데이터를 선정하였으며, 선박 도착패턴은 실제 데이터를 기반으로 설정하였다.

Table 11 기준의 실제 데이터를 바탕으로 통합운영 유형에 따른 분석을 시행한다.

통합 전 유형 : 각 터미널의 운영은 독립적이므로 동일 Case를 적용한 Case 1, 2, 3 세 번의 시뮬레이션을 통해 각 Case 별 Output 지표를 산출한다.

선석통합 유형 : 각 터미널의 운영은 터미널 간 경계 선석 운영에 따라 영향을 받으므로 양 터미널에 영향을 주는 B 터미널의 Case 상태에 따른 시나리오를 설정하여 Output 지표를 산출한다.

선석 및 Q/C 통합 유형 : 전체 터미널을 대상으로 각 터미널이 운영되므로 터미널별, Case 별 각각의 전체 경우의 수 만큼 시나리오를 설정하여 Output 지표를 산출한다.

선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형 : 선석 및 Q/C 통합 유형의 한계점을 보완하는 측면에서 비교 대상 시나리오를 선정하고, 해당 시나리오에 대한 Output 지표를 산출한다.

선석, Q/C, Y/T 및 장치장 통합 유형 : 선석 및 Q/C 통합 유형과 Y/T까지의 통합 유형의 한계를 보완한 유형으로 앞서 추출한 시나리오를 대상으로 Output 지표를 산출한다.

Table 11 컨테이너터미널별 선박 분포 입력 데이터

Terminal	Case	전장(LOA) 기준 선박 수			
		Total	170m 이하	170 - 370m	370m 이상
A	Case 1	27	3	22	2
A	Case 2	30	3	25	2
A	Case 3	32	4	25	3
B	Case 1	47	9	37	1
B	Case 2	52	11	39	2
B	Case 3	57	13	42	2
C	Case 1	20	6	13	1
C	Case 2	23	6	14	3
C	Case 3	28	14	12	2

5.3.2 통합 전 유형 시나리오 결과

각 Case 별 Output 지표 확인을 위한 3번의 시나리오 결과는 Table 12와 같다.

A 터미널의 경우, 3가지 Case 모두 대기시간이 평균 10시간 이상으로 나타났으며, 그에 따라 도착 선박 대비 완료 선박의 숫자 및 화물량의 수치가 낮게 나타났다. 도착 선박의 수가 많아짐에 따라 대기시간이 증가하고 있으며, 작업 완료한 화물량은 감소하고 있다. 따라서 A 터미널은 3가지 Case에서 모두 터미널이 혼잡한 상태라 할 수 있다.

B 터미널의 경우, 3가지 Case에서 대기시간은 평균 6시간 수준으로 큰 차이를 보이지는 않으나, 도착 선박 및 화물량 대비 완료한 선박 및 화물량의 수치를 볼 때, Case 2와 3에서는 터미널의 혼잡을 예상해 볼 수 있다.

C 터미널의 경우, 다른 터미널에 비해 평균 도착 선박 수 및 화물량의 수치가 낮은 수치를 보이며, 그에 따라 도착 선박 및 화물량 대비 대부분 선박이 완료되고 있다. 도착 선박의 대수에는 영향을 받지 않는 편이나, 도착 화물량에 따라 대기시간의 영향을 받는 것으로 보인다. 따라서 3개 Case 내에서는 Case 3 - Case 1 - Case 2 순으로 터미널의 혼잡 수준이 높아진다고 볼 수 있다.

Table 12 통합 전 유형 시나리오 결과

시나리오	터미널 -Case	완료 선박/도착 선박	대기 시간(h)	작업 완료 화물량/작업 도착 화물량	Y/T 이동 거리(km)	ITT화물 (TEU)
1	A - Case 1	20/27	10.06	31,767/37,108	20714.3	2,576
	B - Case 1	44/46	5.93	58,932/63,721	38427.9	4,779
	C - Case 1	20/21	1.96	24,714/28,293	16115.3	2,004
2	A - Case 2	19/30	13.88	27,776/41,509	18111.9	2,252
	B - Case 2	42/52	5.87	58,919/71,995	38419.4	4,777
	C - Case 2	23/25	4.47	31,763/32,259	20711.7	2,576
3	A - Case 3	22/31	27.24	24,284/38,348	15834.9	1,969
	B - Case 3	48/57	7.83	60,806/71,079	39649.9	4,931
	C - Case 3	28/28	0.4	25,962/25,962	16929.1	2,105

5.3.3 선석통합유형 시나리오 결과

통합 전 유형 시나리오에서 B 터미널의 Case에 따라 A 터미널과 C 터미널의 Output 지표는 Table 13과 같다. 선석 부분만의 통합에 따라 대기시간 단축 효과를 측정하였다. 통합 전 유형 시나리오에서 측정된 긴 대기시간의 원인은 선석길이 부족에 영향을 받은 선박과 그 이후에 도착하는 선박의 밀림 현상 때문으로 볼 수 있다. 그에 따라 완료 선박의 수치 또한 약 2척가량 향상되었다.

Table 13 선석통합유형 시나리오 결과

시나리오	터미널 - Case	완료 선박/도착 선박	대기시간(h)
1	A - Case 1	22/27	4.01
	B - Case 1	44/46	1.55
	C - Case 1	20/21	1.99
2	A - Case 1	22/27	4.04
	B - Case 2	44/52	1.31
	C - Case 1	20/21	1.84
3	A - Case 1	22/27	3.95
	B - Case 3	50/57	2.65
	C - Case 1	20/21	1.98
4	A - Case 2	25/30	2.93
	B - Case 1	44/46	1.35
	C - Case 2	23/25	1.98
5	A - Case 2	25/30	2.96
	B - Case 2	44/52	1.29
	C - Case 2	23/25	3.10
6	A - Case 2	25/30	2.80
	B - Case 3	49/57	2.50
	C - Case 2	23/25	2.58
7	A - Case 3	28/31	4.40
	B - Case 1	44/46	1.63
	C - Case 3	28/28	0.31
8	A - Case 3	28/31	4.38
	B - Case 2	44/52	1.27
	C - Case 3	28/28	0.42
9	A - Case 3	28/31	4.66
	B - Case 3	50/57	2.46
	C - Case 3	28/28	0.43

선석통합 시, 통합 전 유형 대비 대기시간의 효과는 Table 14와 같다. 통합 전 유형 시나리오 중 터미널의 혼잡이 예상되는 A와 B 터미널의 각 Case에서 선석통합의 효과가 최소 60%에서 최대 80% 수준으로 나타났다. 그에 따라 완료 선박의 수 또한 증가한 것으로 볼 수 있다. 반면, C 터미널은 상대적으로 터미널이 여유로운 수준이었으며, 그에 따라 선석통합의 효과는 크지는 않으나 향상되고 있으며, C 터미널 Case 중 상대적으로 대기시간이 길게 발생한 Case 2에서는 39%의 대기시간 단축 효과가 나타나고 있다.

또한, 단축 효과의 의미는 통합 전 유형 시나리오에서 선석 길이 부족에 따라 선박 대기에 영향을 받는 선박의 비중으로 볼 수 있다. 따라서 선석통합 운영유형은 선석 길이 부족에 따른 대기 선박의 비중이 60% 이상의 수치를 나타내는 상태일 때 효과가 크다고 할 수 있다.

Table 14 선석통합유형 시나리오 결과 비교

터미널 - Case	대기시간(h)			
	기본	선석통합	단축시간	단축 효과
A - Case 3	27.24	4.48	22.76	84%
A - Case 2	13.88	2.9	10.98	79%
B - Case 2	5.87	1.29	4.58	78%
B - Case 1	5.93	1.51	4.42	75%
B - Case 3	7.83	2.54	5.29	68%
A - Case 1	10.06	4	6.06	60%
C - Case 2	4.47	2.71	1.76	39%
C - Case 3	0.4	0.39	0.01	3%
C - Case 1	1.96	1.94	0.02	1%

5.3.4 선석 및 Q/C 통합 유형 시나리오 결과

선석 및 Q/C 통합 유형은 장비 부분까지 통합하는 것으로, 장비 통합에 따라 전체 터미널의 선석배정계획을 고려하여 Q/C가 배정되어, 전체 계획이 수정된다고 볼 수 있다. 각 Case 별 경우의 수에 따른 시나리오 Output 지표는 Table 15와 같다. 장비의 통합에 따라 전배가 발생하며, 그에 따라 대기시간의 효과를 가져오지만, 전배에 따른 추가 ITT 화물량이 발생하게 된다.

Table 15 선석 및 Q/C 통합 유형 시나리오 결과

시나리오	터미널(Case)	작업완료선박	대기시간(h)	Y/T이동거리(km)	ITT화물량(TEU)	전배횟수
1	A(1)-B(1)-C(1)	86	0	76628.3	16,696	3
2	A(1)-B(1)-C(2)	90	1.05	81461.4	14,188	3
3	A(1)-B(1)-C(3)	95	0.33	77610.3	14,380	2
4	A(1)-B(2)-C(1)	86	1.31	79016.2	13,030	2
5	A(1)-B(2)-C(2)	87	1.75	77552.9	12,268	3
6	A(1)-B(2)-C(3)	98	1.28	77485.1	14,970	3
7	A(1)-B(3)-C(1)	90	0.61	75654.1	15,003	2
8	A(1)-B(3)-C(2)	96	0.70	82691.2	14,032	4
9	A(1)-B(3)-C(3)	99	0	76780.2	15,586	2
10	A(2)-B(1)-C(1)	90	0	75616.2	16,919	4
11	A(2)-B(1)-C(2)	91	1.72	79289.4	18,563	5
12	A(2)-B(1)-C(3)	94	0	76430.0	14,540	2
13	A(2)-B(2)-C(1)	88	0.77	75599.3	16,467	3
14	A(2)-B(2)-C(2)	90	1.53	79852.1	17,067	4
15	A(2)-B(2)-C(3)	97	0.74	79055.3	17,773	4
16	A(2)-B(3)-C(1)	93	2.04	76016.6	10,837	1
17	A(2)-B(3)-C(2)	94	2.72	77709.4	18,837	7
18	A(2)-B(3)-C(3)	103	0	78792.5	21,141	5
19	A(3)-B(1)-C(1)	91	0	75163.7	11,702	1
20	A(3)-B(1)-C(2)	95	0.68	79996.9	11,830	3
21	A(3)-B(1)-C(3)	99	0	75977.5	12,461	1
22	A(3)-B(2)-C(1)	90	0.74	76418.3	11,451	1
23	A(3)-B(2)-C(2)	94	4.09	82020.9	15,914	7
24	A(3)-B(2)-C(3)	99	0.71	78433.2	12,611	1
25	A(3)-B(3)-C(1)	97	0.66	77082.8	10,283	0
26	A(3)-B(3)-C(2)	97	0.25	79876.9	23,510	7
27	A(3)-B(3)-C(3)	103	0.14	75003.3	9,636	0

대기시간은 대기가 전혀 발생하지 않는 Case(시나리오 1, 9, 10, 18, 19, 21)가 존재하며, B 터미널 1, 3 Case와 C 터미널 1, 3 Case에서 주로 나타나며 계획 수정 및 전배를 통해 도착 선박 및 화물량에 대해 대기 발생 없이 처리가 가능한 Case로 볼 수 있다. 즉, 동 시간대에 각 터미널의 혼잡 또는 여유 상태에 따라 선박 대기시간을 단축하고, 장비를 효율적으로 쓸 수 있다.

전체적으로 대기시간의 단축 효과를 볼 수 있으나, 27개의 시나리오 중 2개를 제외하고 전배 상황이 발생하였으며, 따라서 전배에 따른 추가 ITT 화물량을 고려해야 한다.

선석통합 유형과 Q/C(장비)를 포함한 통합 유형을 비교한 결과는 Table 16과 같다. 선석통합 유형에서의 시나리오 간 비교 결과 선석통합보다 평균 대기시간을 1시간대로 줄여 전체 평균 66.6% 감소 효과가 나타나며, 단축 효과는 최소 21%에서 최대 100%까지 나타난다. 이는 선석 길이 부족에 대한 해결과 동시에 Q/C(장비)를 고려한 배정계획에 따른 효과로 볼 수 있는데, 위의 결과와 같이 전배의 상황이 다수 발생할수록 선석만의 통합운영 대비 선석 및 Q/C 통합운영의 효과는 낮게 나타나고 있다.

즉, 전배 횟수가 3회 이하 수준일 때, 선석통합보다 선석 및 Q/C 통합운영이 효과적이라 할 수 있으며, 전배 상황 빈도가 높은 시나리오에 대해 통합운영 유형에 따른 효과를 비교해 볼 필요가 있다.

Table 16 선석 및 Q/C 통합 유형 시나리오 결과 비교 1

터미널 - Case	대기시간			
	선석통합	선석+Q/C통합	단축 효과	전배횟수
A(1)-B(1)-C(1)	2.52	0	100%	3
A(3)-B(1)-C(3)	2.11	0	100%	1
A(3)-B(3)-C(3)	2.51	0.14	94%	0
A(1)-B(3)-C(1)	2.86	0.61	79%	2
A(3)-B(2)-C(3)	2.02	0.71	65%	1
A(2)-B(2)-C(2)	3.11	1.53	51%	4
A(1)-B(2)-C(1)	2.4	1.31	45%	2
A(2)-B(1)-C(2)	3.09	1.72	44%	5
A(2)-B(3)-C(2)	3.42	2.72	21%	7

전배의 상황 발생에 따른 ITT 화물량 비교를 위해 선석 및 Q/C 통합 유형과 통합 전 유형을 비교한 결과는 Table 17과 같다. 선석 및 Q/C(장비) 통합 유형에서 전배가 4회 이상 발생한 시나리오 9개를 추출했으며, 대기시간 단축의 효과 대비 ITT 화물량의 증가를 비교한다.

통합 전 유형 대비 선석 및 Q/C 통합 유형의 대기시간 단축 효과는 평균 85.96% 감소하고 있으나, ITT 화물량은 92.38% 증가의 지표를 보여, 전배의 상황이 다수 발생할 경우, 통합운영의 효과는 크다고 할 수 없다. A 터미널(Case 1), B 터미널(Case 3), C 터미널(Case 2)의 시나리오에서와같이 ITT 화물량의 증가비율이 39%로 낮은 수치를 보이면서, 대기시간 단축 효과는 91%를 보이는 결과는 이상적이지만, 그 외의 시나리오에 대해서는 ITT 화물량을 감소시키는 방안을 고려해 볼 필요가 있다.

Table 17 선석 및 Q/C 통합 유형 시나리오 결과 비교 2

터미널 - Case	대기시간			ITT 화물량		
	기본	선석+Q/C	단축효과	기본	선석+Q/C	증가비율
A(2)-B(3)-C(3)	7.37	0	100%	9,288	21,141	128%
A(2)-B(1)-C(1)	7.26	0	100%	9,035	16,919	87%
A(3)-B(3)-C(2)	13.18	0.25	98%	9,476	23,510	148%
A(1)-B(3)-C(2)	7.45	0.7	91%	10,083	14,032	39%
A(2)-B(2)-C(3)	6.72	0.74	89%	9,134	17,773	95%
A(2)-B(2)-C(2)	8.07	1.53	81%	9,605	17,067	78%
A(2)-B(1)-C(2)	8.09	1.72	79%	9,607	18,563	93%
A(2)-B(3)-C(2)	8.73	2.72	69%	9,759	18,837	93%
A(3)-B(2)-C(2)	12.53	4.09	67%	9,322	15,914	71%

5.3.5 선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형 시나리오 결과

선석, Q/C(장비) 및 Y/T 통합 유형은 선석 및 Q/C 통합 유형과 선석배정계획은 유사하지만, 전배에 따른 ITT 화물량을 감소시키기 위하여 기존의 외부 ITT 화물을 통합된 터미널 간 Y/T를 이용한 내부 ITT 화물 처리하며, 그에 따라 Y/T의 추가 이동 거리 및 작업시간이 발생한다. ITT 화물량 감소방안으로 앞서 전배 상황이 4회 이상 발생했던 시나리오에 대한 선석, Q/C 및 Y/T 통합운영 Output 지표는 Table 18과 같다.

선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형의 각 시나리오 결과 대기시간은 평균 4시간대 수준으로 측정되었으며, 전배 횟수는 최소 5회부터 14회로 전체 터미널을 대상으로 내부 ITT 화물처리에 의한 작업시간 증가로 선박의 많은 계획 수정이 발생한 것을 알 수 있다.

Table 18 선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형 시나리오 결과

시나리오	터미널(Case)	작업완료선박	대기시간(h)	Y/T이동거리(km)	ITT화물량(TEU)	전배횟수
8	A(1)-B(3)-C(2)	93	3.59	82,622.2	4,021	5
10	A(2)-B(1)-C(1)	90	2.08	88,278.5	4,190	8
11	A(2)-B(1)-C(2)	93	5.22	94,688.1	4,268	7
14	A(2)-B(2)-C(2)	95	4.15	105,849.2	4,491	14
15	A(2)-B(2)-C(3)	94	5.26	93,950.9	4,297	10
17	A(2)-B(3)-C(2)	97	3.78	99,676.3	4,431	9
18	A(2)-B(3)-C(3)	98	4.41	110,464.1	4,314	13
23	A(3)-B(2)-C(2)	94	6.27	102,843.5	4,127	13
26	A(3)-B(3)-C(2)	103	4.31	90,765.2	4,140	5

Y/T를 추가로 통합 운영하여 통합된 터미널 간 내부 ITT 화물처리에 따른 전체 ITT 화물량 감소 효과와 추가 Y/T 이동 거리의 증가량에 대한 비교는 Table 19와 같다.

전배의 상황이 다수 발생하는 상황에서 ITT 화물량의 감소는 70-80% 수준의 효과를 보인다. 즉, 기존 터미널로의 화물 이동이 Y/T를 통해 이루어지므로, 전배가 자유롭게 발생한다고 볼 수 있다. 그러나 Y/T의 이동 거리 증가량은 고려해야 할 부분이다. 위의 지표에 따르면, Y/T 이동 거리의 증가량은 최대 40%까지 증가하는 것을 보이는데, 이는 본인 터미널 내에서 작업 시, 화물량 40%를 더 처리할 수 있는 Y/T의 이동 거리로 볼 수 있다. 따라서 ITT 화물량의 감소 효과는 시나리오별 비슷한 수준이므로, Y/T의 이동 거리를 20% 이상 증가시키는 계획의 경우에는 선석, Q/C 및 Y/T 통합운영의 효과가 크지 않다고 할 수 있다.

Table 19 선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형 시나리오 결과 비교

터미널 - Case	ITT 화물량			Y/T 이동 거리		
	선석+Q/C	선석+Q/C+Y/T	감소	선석+Q/C	선석+Q/C+Y/T	증가
A(3)-B(3)-C(2)	23,510	4,140	82%	79876.9	90,765.2	14%
A(2)-B(3)-C(3)	21,141	4,314	80%	78792.5	110,464.1	40%
A(2)-B(3)-C(2)	18,837	4,431	77%	77709.4	99,676.3	28%
A(2)-B(1)-C(2)	18,563	4,268	77%	79289.4	94,688.1	19%
A(2)-B(2)-C(3)	17,773	4,297	76%	79055.3	93,950.9	19%
A(2)-B(1)-C(1)	16,919	4,190	75%	75616.2	88,278.5	17%
A(3)-B(2)-C(2)	15,914	4,127	74%	82020.9	102,843.5	25%
A(2)-B(2)-C(2)	17,067	4,491	74%	79852.1	105,849.2	33%
A(1)-B(3)-C(2)	14,032	4,021	71%	82691.2	82,622.2	0%

5.3.6 선석, Q/C, Y/T 및 장치장 통합 유형 시나리오 결과

선석, Q/C(장비), Y/T 및 장치장 통합 유형은 본 논문에서 고려하는 모든 부분의 통합으로 가장 이상적인 통합운영이라 할 수 있다. 선석 및 Q/C 통합에서의 ITT 화물 증가의 한계점과 선석, Q/C 및 Y/T 통합에서의 Y/T 이동 거리 증가의 한계점을 보완하는 측면에서의 대안으로 볼 수 있으며, 하나의 대형 터미널 개념으로서 선석배정계획 시 전체 선석을 기준으로 계획함에 따라 효율적인 선석 배정 및 Q/C 운용 계획이 가능하다.

앞서 한계점으로 나타난 ITT 화물량과 Y/T 추가 이동 거리를 비교하기 위하여, 같은 시나리오에 대한 선석, Q/C, Y/T 및 장치장 통합운영 Output 지표는 Table 20과 같다.

선석, Q/C, Y/T 및 장치장 통합 유형의 각 시나리오 결과 대기시간은 평균 2시간대 수준을 유지하며, 시나리오별 도착 선박에 대하여 터미널의 혼잡이 발생하는 부분을 없애고 평균화한 것으로 볼 수 있다.

Table 20 선석, Q/C, Y/T 및 장치장 통합 유형 시나리오 결과

시나리오	터미널(Case)	작업 완료 선박	대기시간(h)	Y/T 이동거리 (km)	ITT 화물량 (TEU)
8	A(1)-B(3)-C(2)	94	2.51	77,764.8	4,047
10	A(2)-B(1)-C(1)	89	2.89	79,886.0	4,240
11	A(2)-B(1)-C(2)	94	2.16	82,280.4	4,377
14	A(2)-B(2)-C(2)	91	2.66	80,320.9	4,258
15	A(2)-B(2)-C(3)	95	1.83	81,570.3	4,330
17	A(2)-B(3)-C(2)	99	2.38	84,436.8	4,473
18	A(2)-B(3)-C(3)	102	2.28	83,847.4	4,431
23	A(3)-B(2)-C(2)	95	2.69	76,301.6	3,998
26	A(3)-B(3)-C(2)	102	2.26	78,578.6	4,099

장치장을 추가로 통합 운영하여 통합된 터미널 간 ITT 화물의 개념은 사라지며, 그에 따라 그 외 타 터미널로의 ITT 화물만 처리 대상으로, 선석 및 Q/C 통합 유형에서 발생하는 ITT 화물량 대비 감소 효과가 나타난다. 또한, 장치장이 통합운영 됨으로써 Y/T의 장거리 이동이 강제되지 않으며, 따라서 선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형에서 발생하는 Y/T 추가 이동 거리 대비 감소 효과가 나타난다.

Table 21은 ITT 화물량과 Y/T 이동 거리를 비교한 감소 효과를 나타내고 있다. ITT 화물의 감소 효과는 평균 76%에서 비슷한 수준을 보이지만, Y/T 이동 거리의 감소 효과는 15% 이상일 때 선석, Q/C 및 Y/T 통합 유형보다 전체 통합의 필요성이 있다고 할 수 있다.

Table 21 선석, Q/C, Y/T 및 장치장 통합 유형 시나리오 결과 비교

터미널 - Case	ITT 화물량			Y/T 이동 거리		
	선석+Q/C	전체통합	효과	선석+Q/C+Y/T	전체통합	효과
A(3)-B(2)-C(2)	15,914	3,998	75%	102,843.5	76,301.6	26%
A(2)-B(3)-C(3)	21,141	4,431	79%	110,464.1	83,847.4	24%
A(2)-B(2)-C(2)	17,067	4,258	75%	105,849.2	80,320.9	24%
A(2)-B(3)-C(2)	18,837	4,473	76%	99,676.3	84,436.8	15%
A(3)-B(3)-C(2)	23,510	4,099	83%	90,765.2	78,578.6	13%
A(2)-B(1)-C(2)	18,563	4,377	76%	94,688.1	82,280.4	13%
A(2)-B(2)-C(3)	17,773	4,330	76%	93,950.9	81,570.3	13%
A(2)-B(1)-C(1)	16,919	4,240	75%	88,278.5	79,886.0	10%
A(1)-B(3)-C(2)	14,032	4,047	71%	82,622.2	77,764.8	6%

5.4 분석 결과

컨테이너터미널 통합운영은 정책적, 전략적 선결과제 및 시스템적, 운영적 선결과제가 다르며, 정책적, 전략적인 문제로서 부산 신항의 컨테이너터미널은 임대 부두와 민자 부두의 혼합 상태로 인해 글로벌선사를 중심으로 터미널 재편방안, 터미널운영사의 적극적 참여에 의한 운영사 간 통합 방안, 금융투자자 비중 축소 방안, 국적선사의 자가 터미널 확보 방안, 항만공사의 공공정책 실행력 확보 방안 등의 과제가 해결되어야 하며, 시스템적, 운영적 문제로서 개별터미널에 존재하는 운영 시스템으로 인해 운영 시스템의 통합, 선박 접안 방식 및 동선의 일체화, 다양한 부가서비스에 대한 원스톱 계약 체제, 사고 발생 시 명확한 책임 주체 설정, 정보 공유 및 리스크 대책 등의 과제가 해결되어야 한다.4)

통합운영 유형별 시나리오 분석 결과 통합의 범위가 넓어질수록 통합의 효과가 높게 나타나는 것이 확인되었으며, 따라서 대상 터미널 간 전체 통합이 가장 이상적이라고 할 수 있다. 그러나 개별터미널 형태에서 전체 통합의 형태로의 변화는 실질적으로 어려움이 따른다. 따라서 컨테이너터미널에 존재하는 다양한 Case와 같은 상황에 따라 어느 수준까지의 통합이 효율적인지 구분할 필요가 있다.

본 논문에서 효과측정을 위하여 선박의 대기시간과 IIT 화물량 수준을 비교 지표로 설정하였다. 선박의 대기시간은 통합 전 유형, 터미널 간 선석의 경계를 완화하는 유형과 전배의 상황을 허용하는 유형을 비교한 결과, 터미널의 혼잡하지 않은 시나리오에서는 통합의 효과가 현저히 낮았으며, 터미널의 혼잡 원인으로 단순 선석 길이 부족에 대한 문제는 선석만의 통합으로 해결되며, 전배 상황의 허용 및 추가가 필요한 경우는 Q/C까지 통합의 필요성이 나타났다. 그러나 전배의 상황이 다수 발생할수록 Q/C까지 통합의 필요성이 낮아졌으며, 해당 시나리오는 추가적인 통합 유형 또는 이전단계의 통합 유형의 판단이 필요했다. Fig. 13은 터미널 간 대기시간 편차 및 전배 발생 횟수를 기준으로 통합운영 유형을 구분하였으며, 터미널 간 대기시간 편차가 평균 11시간 이상 나타나는 경우, 선석만의 통합으로 대기시간 단축의 효과를 효율적으로 볼 수 있

4) 박호철(2019) “부산항의 글로벌 경쟁력 제고를 위한 컨테이너터미널 운영사 재구성에 관한 연구”, 한국해양대학교 박사학위 논문. 의 내용을 인용함

다. 또한, 터미널 간 대기시간의 편차는 작으나, 전배 상황이 필요한 경우, 선석과 Q/C(장비)의 통합 필요성이 높게 나타났으나, 전배 상황이 일정 수준 이상으로 발생할 경우, 그에 따르는 ITT 화물량 증가와 같은 저해 요인을 초래하여 선석 및 Q/C 통합 운영의 효과가 떨어진다고 볼 수 있다.

ITT 화물량 증가에 따라 이를 해소하는 방안으로 Y/T까지의 통합 및 장치장까지의 통합 유형과 비교한 결과 Fig. 14와 같이 통합운영 유형을 구분할 수 있다. ITT 화물량 감소 효과는 약 70%대로 비슷한 수준으로 나타났으며, 따라서 Y/T 통합 시 발생하는 Y/T 이동 거리 증가량 및 발생한 전배 횟수를 기준으로 통합운영 유형별 효과가 나타나는 경계를 설정할 수 있다.

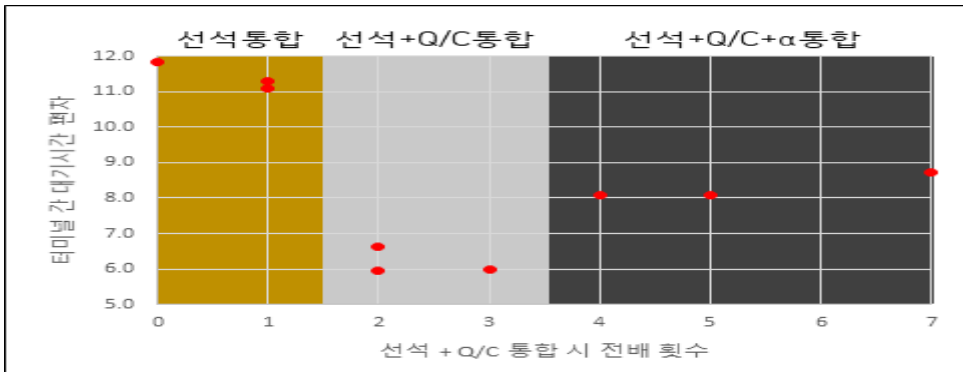


Fig. 13 대기시간 기준 통합운영 방안

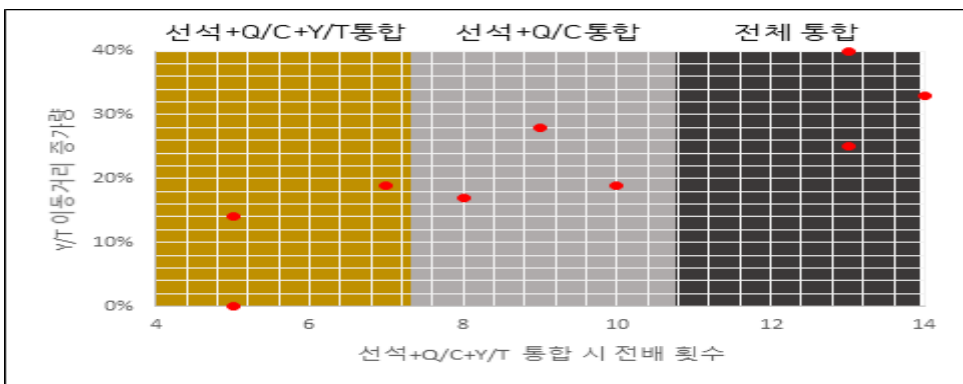


Fig. 14 Y/T 이동 거리 기준 통합운영 방안

제 6 장 결론

부산 신항은 소규모 분산 컨테이너터미널 형태로 터미널 당 선석 수 및 길이에 따른 선박 대기시간의 증가와 선사 얼라이언스의 대형화에 따른 IIT 화물의 증가가 발생하고 있으며, 이에 대한 해결방안으로서 컨테이너터미널 통합운영의 필요성이 대두되고 있다. 그러나 해양수산부 및 항만공사 또한 통합운영에 대한 필요성은 인식하고 있으나, 실질적인 통합운영에 따르는 정책적, 시스템적 선결과제에 의해 통합운영의 진행이 더딘 상황이다. 또한, 통합운영에 따르는 실질적인 효과 측면에서는 다뤄지지 않아 통합운영의 방향이 모호하다. 따라서 본 연구에서는 통합운영 유형을 구분하고자 했으며, 각 유형에 따라 대기시간 및 IIT 화물량 지표를 통한 통합운영의 효과를 측정하고자 하였다.

구체적인 통합운영 상황을 반영하는 시뮬레이션 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 시뮬레이션 모형에 산정하였다. 또한, 통합운영 유형별 각 컨테이너터미널의 혼잡 및 여유 상태 차이에 따른 효과측정을 위해 각 터미널 당 3가지 케이스를 가정하여 27개의 시나리오를 분석하였다. 분석 결과 대기시간의 효과를 위하여 선석통합 또는 선석 및 Q/C 통합 방안을 고려하였을 때, 터미널 간 대기시간의 편차가 클 경우, 즉 선석 길이 부족에 따라 영향을 받는 선박의 수가 많은 경우 선석통합으로 대기시간을 효율적으로 단축할 수 있으며, 추가적인 대기시간 단축이 필요한 경우, 선석 및 Q/C 통합을 고려하되 타 터미널로의 이동이 일정치 이상인 경우, 통합의 효과가 줄어들며, 추가 통합 유형을 고려할 필요가 있었다. 대기시간 단축의 효과에 따르는 터미널 내 IIT 화물량 증가 및 Y/T 이동 거리 증가의 한계를 해결하는 방안으로 Y/T와 장치장의 통합을 고려하였을 때, Y/T 이동 거리 증가량이 일정수준 이상일 경우, Y/T 통합의 효과는 줄어들며, 장치장까지의 통합 또는 이전단계의 통합만을 요구하는 것으로 보였다.

본 연구에서는 터미널의 도착 선박 수에 따른 도착패턴 형태를 실제 데이터를 기반

으로 적용하였으나, 다양한 터미널 상황 및 앞으로 초대형 선박의 도착 형태를 반영하는 데는 한계를 보이며, 터미널 혼잡도의 기준을 설정하여 향후 연구에는 터미널 간 혼잡도 편차에 따른 통합운영 유형별 효과측정 및 적용 경계를 설정하는 연구가 필요하다. 또한, 본 연구에서 제한한 선석에서 장치장까지의 범위를 외부 화물 트럭 및 게이트를 고려한 전체 컨테이너터미널로 시뮬레이션 모형을 확장하면 더욱 정확한 측정 및 다양한 효과 지표 측정이 가능할 것이다.

추가로, 통합운영에 따르는 실제 컨테이너터미널에서의 정책적인 해결문제 및 시스템, 장비 연계 문제 파악 및 연구 결과 통합운영 유형별 효과 지표에 따른 통합가능 여부를 현장 관계자의 인터뷰를 통해 제안하고자 한다.

참고문헌

- 박호철, 2019. 부산항의 글로벌 경쟁력 제고를 위한 컨테이너 터미널운영사 재구성에 관한 연구. 박사학위논문. 부산:한국해양대학교.
- 이정훈, 2019. 컨테이너터미널의 선박 대기율 산정에 관한 연구 - 부산항 신항을 대상으로 -. 박사학위논문. 부산:동명대학교.
- 심인섭, 2018. 광양항 컨테이너터미널 통합 운영 필요성에 관한 연구. 석사학위논문. 광주:전남대학교.
- 김근섭, 박주동, 조지성, 김보경, 2017. 부산항 신항 혼합형 전용터미널 시스템 도입방안 연구. 부산:한국해양수산개발원.
- 백용주, 2017. 빅데이터를 이용한 부산항 신항 ITT 효율적인 운영방안에 관한 연구. 석사학위논문. 부산:한국해양대학교.
- 한국해양수산개발원, 2017. 인천 내항 TOC 통합 타당성 검토 및 방안 수립. 인천:인천항만공사.
- 박상국, 김영두, 2016. 최적 항만 게이트 시스템 구성을 위한 시뮬레이션 모델 개발. 한국항해항만학회지 제40권 제6호, 421-430.
- 길광수, 2012. 부산항 컨테이너부두 통합운영 방안. 부산:한국해양수산개발원.
- 이원봉, 2010. 컨테이너터미널에서 안벽 크레인을 고려한 선석 계획 수립에 관한 연구. 석사학위논문. 부산:부경대학교.
- 추연길, 안기명, 2009. 부산항 컨테이너터미널 통합에 관한 연구 - 항만집중도분석과 통합효과 -. 한국항만경제학회지 제25집 제3호.
- 박은경, 이찬희, 하병현, 2007. 시뮬레이션 기법을 통한 장비 능력과 컨테이너 터미널 생산성 간의 상관관계 도출. 한국경영과학회 학술대회논문집, 301-307.
- 연광흠, 2003. 시뮬레이션 기법에 의한 컨테이너터미널의 생산성 향상에 관한 연구 - H 터미널 사례. 석사학위논문. 부산:동아대학교.

임진만, 2002. *통합 시뮬레이션 시스템을 위한 동적 안벽계획의 개발*. 석사학위논문. 서울: 서울산업대학교.

Gang Dong, Shiyuan zheng, Paul Tae-Woo Lee, 2018. The effects of regional port integration: The case of Ningbo-Zhoushan Port, *Transportation Research Part E*, 120, pp 1-15.

Damla Kizilay, Deniz T. elliyyi, and Pascal Van Hentenryck, 2018. Constraint and Mathematical Programming Models for Integrated Port Container Terminal Operations, *Integration of Constatint Programming, Artificial Intelligence, and operations Research*, pp 344-360