

완충지역을 활용한 타부두 환적 컨테이너 운송 개선 방안

박형준* · † 신재영 · 최양호**

*한국해양대학교 박사과정생, † 한국해양대학교 물류시스템학과 교수, **인터지스 컨테이너 운송배차팀 대리

A Study on the Improvement of Inter-Terminal Transportation Using Buffer Space

Hyoung-Jun Park · † Jae-Young Shin · Yang-Ho Choi***

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

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

***Administrative Manager, Container Transportation & Dispatching Management of Intergis*

요 약 : 환적화물 유치를 위해 전 세계 항만 간의 경쟁이 심화되고 있다. 하지만, 최근 중국의 해운부문 카보타지 정책 해제, 안전운임제 시행 등 국내 항만의 환적화물 물동량 이탈이 우려되는 상황들이 발생하고 있다. 운영적 측면에서도 터미널별 환적 물동량의 불균형, 특정 시간대에 집중된 차량 등으로 인해 터미널 혼잡 및 차량 대기시간 문제가 심각하게 나타나고 있다. 본 논문에서는 타부두 환적운송 시스템으로 인해 발생하는 차량 대기시간 문제를 해결하기 위해 완충지역을 활용한 타부두 환적 컨테이너 운송 방식을 제안하고 문제에 대한 혼합정수계획 모형을 제시하였다. 부산 신항 데이터에 기반한 터미널 혼잡 패턴과 터미널간 운송 차량 반출입 패턴을 적용하여 다양한 작업량, 가용량 변동 폭에 대해 완충지역 활용에 따른 효과를 분석하였다.

핵심용어 : 타부두 환적, 교통 혼잡, 대기시간, 배차계획, 혼합정수계획법, 부산 신항, 부산항, 완충지역

Abstract : Competition between ports around the world is intensifying to attract transshipment cargo. However, recently, there have been concerns about the departure of transshipment cargo volume at Busan Port, such as the lifting of the cabotage policy in China's shipping sector and the implementation of a safe fare system. In terms of operation, terminal congestion and vehicle waiting time are seriously occurring due to imbalance in the transshipment volume of each terminal and vehicles concentrated in a specific time period. In this paper, we propose a method of inter-terminal transportation (ITT) using buffer space to solve the problem caused by inefficient ITT systems and presented a mixed integer programming (MIP) for the problem. The effect of using the buffer space was analyzed for various work volumes and capacity fluctuation ranges by applying the terminal congestion pattern and ITT vehicle in/out pattern based on the Busan New Port data.

Key words : Inter-Terminal Transportation(ITT), traffic congestion, delay time, dispatching plan, mixed integer programming(MIP), Busan New Port, Busan Port, buffer space

1. 서 론

2019년 중반부터 환적화물 물동량 유치에 부정적인 영향을 끼치는 정책 및 상황이 발생하고 있다. 중국이 자국 내에서 시행중인 해운부문 카보타지 정책(Cabotage, 외국적선의 연근해수송 금지)을 해제하는 것이 확실시 되면서 상하이, 닝보, 칭다오, 샤먼 등 중국과 가장 가까운 부산항으로 유입되는 상당한 양의 물량 이탈이 우려되고 있다.

또한, 2020년부터 낮은 운임으로 과로, 과적, 과속 위협에 내몰리는 화물운송 종사자의 근로 여건을 개선하고자 화물차의 운행거리 및 톤당 운임비용을 선정하여 화물차주가 지급받는 최소한의 운송비용을 공시하는 '화물 안전운임제'가 시행되

면서 물류비용이 급격하게 상승되어 글로벌 선사들의 부산항 이탈이 우려되고 있다.

부산항에서는 이러한 대내외적 환경변화 속에서 다양한 운영적 문제점들이 나타나고 있다., 대표적으로 특정 시간대에 작업이 집중되거나 터미널 혼잡에 따라 대기시간이 발생하는 문제가 심각하게 나타나고 있다. 이러한 문제점은 다른 터미널과 연계된다는 점에서 타부두 환적화물 운송의 경우에 더욱 뚜렷하게 나타나고 있다.

BPA(Busan Port Authority), 터미널 등은 타부두 환적화물 운송의 운영적 문제 개선을 위해 반출예약시스템(Vehicle Booking System; VBS), ITT(Inter Terminal Transportation) 시스템 및 플랫폼 구축과 운영 등 다방면으로 노력하였으나

† Corresponding author : 종신회원, shinjy@kmou.ac.kr 051)410-4335

* 정회원, phj5504@kmou.ac.kr 051)410-4931

(주) 이 논문의 일부 내용은 "완충지역을 활용한 타부두 환적 컨테이너 운송 개선 방안"이란 제목으로 "2021년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회 한국항해항만학회논문집(IVCC, 2021.5.13.-14, pp.840-841)"에 발표되었음.

터미널 혼잡, 차량 대기시간에 대한 문제는 꾸준히 제기되고 있어 가시적 효과는 미흡한 실정이다.

현실적 문제해결을 위해서는 타부두 환적화물 운송에 직접 관계된 실제 차량 배차업무를 수행하는 운송사 측면이 함께 고려된 해결방안이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 부산항 타부두 환적화물 운송 문제 해결을 위해 터미널 뿐만 아니라 운송사 측면을 함께 고려하여 현행 타부두 환적화물 운송 차량 스케줄링 방식의 개선안을 제시하고자 한다.

이를 위해 현재 부산항 ITT 배차 방식의 문제점을 진단한 후 차량 대기시간 최소화 방안으로 완충지역을 활용한 배차 방식을 제안하였다. 문제에 대한 혼합정수계획 모형(MIP: Mixed Integer Programing)을 구축한 후 부산 신항 데이터에 기반한 터미널 혼잡 패턴과 ITT 차량 투입 패턴을 적용하여 다양한 유형에 대한 실험 및 분석으로 완충지역 활용에 따른 운영적 효과를 분석하였다.

2. 선행연구 고찰

2.1 VBS 관련 선행연구

VBS는 화주 또는 선사에게 화물을 인도하는 물류 주체인 운송사가 반출입하고자 하는 날짜와 시각을 터미널이 계획한 구간에 예약하고, 예약한 일자에 맞추어 차량이 도착하면 터미널은 반출입 서비스를 예약된 차량에 우선적으로 처리하는 개념이다(KMOU, 2015).

국내의 경우 이러한 VBS 도입을 위해 고려되는 사항이나 도입 시 문제점, 타당성 등에 대한 연구가 다수 이루어졌다. 대표적으로, KMI(2001)에서는 VBS 도입에 관한 설문 및 면담을 실시하고 이에 대한 문제점 및 대응방안을 조사하였으며, Kim et al.(2003)은 VBS 시행에 따른 효과를 계량적으로 분석하였다.

또한, BDI(2015), KMOU(2015)는 부산 신항에 대한 VBS 도입을 위해 기술 개발과 정책적 지원 필요성을 지적하였으며, 시스템 구축을 위한 기반 연구를 진행하였다.

이처럼 국내의 경우 VBS 도입에 대한 문제점, 타당성 등에 대한 연구가 대부분이었으며, 모형화를 통한 최적화 연구, 시뮬레이션 연구가 다수 진행된 국외와는 차이를 보였다. 수리모형화를 통한 최적화의 경우 Guan and Liu(2009), Chen and Yang(2010), Chen et al.(2013), Zehendner and Feillet(2014), Phan and Kim(2015), Torkjazi et al.(2018)이 VBS에 대해 터미널 혼잡 완화를 위한 다양한 터미널 운영 변수를 구성하여 정수계획법, 혼합정수계획법, 혼합 정수 비선형계획법 등의 트럭 대기시간 최소화를 목적으로 하는 수리모형을 제시하였으며, 최적 솔루션을 통해 트럭 대기시간 감소 효과를 검증하였다. 시뮬레이션 분야에서는 Lam and Englert(2008), Huynh(2009), Zhao and Goodchild(2010), Park and Kim(2016)이 시뮬레이션 모델링 및 분석을 통해 터미널 운영변수와 트럭 도착 정보

가 컨테이너 반출입 차량 처리 효율성에 미치는 영향을 평가하였다.

2.2 ITT 관련 선행연구

ITT는 항만 내에서 조직적으로 분리된 영역 간에 컨테이너와 화물을 이동하는 모든 유형의 육상 및 해상 운송을 의미한다(Heilig and Voss, 2016). 국내에서는 다수 터미널 운영사로 분리 운영되고 있으며 내부 통로가 제한적으로 개방되어있기 때문에 통상적으로는 내부 Y/T보다는 외부 통로를 이용한 외부 트럭의 타부두 환적운송을 ITT로 부르고 있다.

관련 연구로는 KRRI(2013), Oh et al.(2014)는 국내 ITT 시스템 구축 계획의 타당성 검증 연구를 진행하였다. 또한, Park and Lee(2017), Baek(2017), Park(2017)은 ITT 시스템 구축과 함께 효율적 운영을 도모하기 위한 ITT 플랫폼 구축의 필요성을 주장하며 세부적인 구축방안, 활용방안, 기대효과 등을 제시하였다. Jo et al.(2020)는 비효율적인 ITT를 개선하고 처리 효율성을 높이기 위해 운송수단 대안을 제시하였다.

또한, Lee et al.(2012), Nieuwkoop et al.(2014), Tierney et al.(2014), Kim and Kim(2015), Heilig et al.(2017), Hu et al.(2016), Hu et al.(2018), Park H. J.(2017), Jin and Kim(2018)은 ITT문제와 관련해 트럭 라우팅, 타임 스페이스 개념을 활용한 최적화 접근 방식을 제공하여 ITT 개념 및 구성을 모델링하고 평가하였다. Schroe'r et al(2014), Mishra et al.(2017)는 로테르담 컨테이너 터미널을 대상으로 다양한 차량 종류와 실제 터미널 데이터를 반영한 시뮬레이션 접근 방식을 활용하여 ITT 시스템을 모델링하고 평가하였다.

2.3 선행 연구의 시사점과 연구의 차별성

세계 각국의 항만들은 VBS 시스템을 구축하고, ITT문제의 효율적인 해결방안을 모색하는 등 항만에서 발생하는 교통체증과 대기시간 발생으로 인한 물류비 문제를 해소하기 위해 노력해왔다. 이와 관련하여 VBS, ITT 시스템의 도입 필요성과 문제점, 타당성 분석, 수리적 모형화를 통한 최적화 분석, 시뮬레이션 기법을 활용한 모델링과 분석 등의 다양한 분야로 연구가 진행되었다. 하지만, 실제 ITT의 운영적 문제에 집중하여 수리 모형을 통한 실험 및 분석 연구는 진무하였으며, 완충지역을 활용한 수리모형화 연구 또한 없었다.

따라서 본 연구는 기존에 수행되지 못한 운송사 측면의 분석 연구를 하였다는 점, ITT 운영적 문제 해결을 위해 완충지역 활용을 해결 방안으로 제시하고 분석하였다는 점에서 차별성을 가진다.

3. 타부두 환적화물 운송 현황 및 배차 프로세스

3.1 부산항 ITT 현황

다수 터미널 운영사에 의해 분산 운영되고 있는 부산항 특성으로 인해 환적화물 처리에 있어서 비효율을 발생시켜 선사 비용부담 증가와 함께 글로벌 선사들의 이탈이 우려되고 있다 (KMI, 2020). 이러한 대내외적 환경변화로 부산항 ITT는 다양한 문제점들을 나타내고 있다.

첫 째, 부산항 ITT 계약 구조상의 문제점 : 선사는 다수의 운송사와 계약되어 있는 구조이며, 선사가 계약된 운송사에 물량을 분배하는 시스템이다. 따라서 운송사는 효율적인 배차를 위해 필요로 하는 물량을 선택할 수 없기에 자연스럽게 복화운송 기회는 줄어들고 물류비용 상승을 초래하게 된다.

둘 째, 안전운임제로 인한 환적화물 물류비용 변화 : 2020년 1월부터 화물차주가 지급받는 최소한의 운송비용을 공시하는 화물 안전운임제가 시행되었다. 이로 인해 환적화물에 대한 물류비용이 30~120%까지 상승되어 부산항을 이용하는 글로벌 선사들의 비용 부담이 커지게 되어 환적물동량 이탈이 우려되고 있다. 현재 환적화물에 대한 안전운임 효력이 일시 정지되었지만 안전운임제에 대한 논란은 지속되고 있다.

셋 째, 장치장 포화 문제 심화 : 코로나19 사태 이후 세계적인 공급망 비효율화와 함께 복미 중심으로 항만 적체가 확산되었다. 부산 신항의 경우도 장치장 점유율이 90% 안팎까지 치솟으며 장치장 포화 문제가 지속되고 있다. 환적화물의 경우 높은 부가가치를 가진 만큼 장치장 포화문제에 따른 피해도 더 크다고 할 수 있다.

넷 째, 환적화물 상하차 대기시간의 문제 : 항만 특성상 차량 반출입이 특정 시간대에 집중되어 화물차주들이 장시간 대기하게 된다. 또한 터미널의 시간대별 가용자원 차이로 즉각적인 상하차 작업이 어려워 대기시간이 발생한다. 장치장 포화문제는 대기시간 문제를 더욱 심각하게 만들고 있다.

부산항의 ITT 문제점은 부산항을 둘러싼 대내외적 환경변화와 정책적인 문제, 부산항 ITT의 계약 구조상의 문제, 대기 시간에 관련한 운영적 문제로 구분될 수 있다. 이 중에서도 대기시간 문제는 항만 운영 효율성에 직접적인 영향을 끼치는 요소로 우선적인 개선 대상이라 할 수 있다. 배차 프로세스가 효율적이라면 대기시간 문제를 개선시킬 수 있다.

3.2 부산항 ITT 배차 프로세스

ITT 프로세스는 선사에서 적하목록과 입항신고서를 관세청에 신고하고 운송사에 운송지시를 하는 것을 시작으로, 양·적하 터미널의 모선 입·출항과 화물정보를 파악하고 그 조건에 맞추어 터미널에 EDI를 전송하고 화물을 반·출입하는 것으로 마무리된다.

ITT 프로세스 진행 중 운송사는 각 터미널과 관세청, 선사와 관계되어 배차 프로세스를 진행한다. 선사로부터 환적화물 정보와 함께 운송지시를 받은 운송사는 반출터미널의 운송가능 물량, 주변 터미널 왕복 물량, 반출입 프리타임, 특정시간에만 반출입 가능 물량, 화물의 특성 등을 고려하여 배차계획을 수립한다.

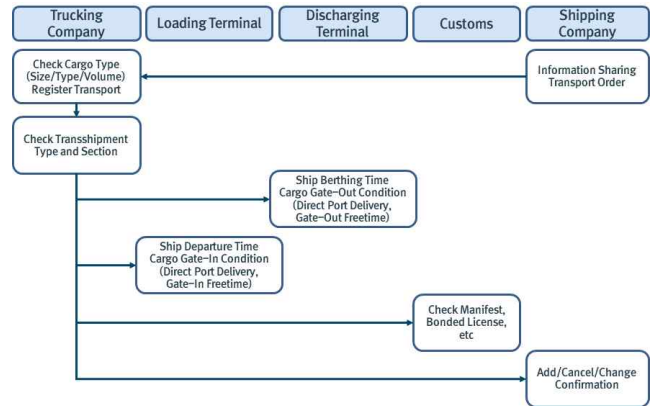


Fig. 1 ITT Truck Dispatching Process

현행 배차 프로세스는 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

첫 째, 운송사는 효율적인 배차계획 수립을 위해 복화운송과 프리타임을 고려해서 작업을 할당하고 적재된 컨테이너 재작업 및 대기시간을 최소화시키는 형태로 배차계획이 이루어져야 한다는 점을 인지하고 기준을 적용하고자 노력하고 있다. 하지만, 업계 내 정보 공유 부재나 운송사 여건상 한계 등의 이유로 효율적인 배차계획 수립 기준이 적용되고 있지는 못한 상태이다.

둘 째, 반출터미널의 가용자원을 고려하여 배차계획이 이루어지고 있지만 반입터미널의 터미널 혼잡도나 장비 활용 가능 여부 등의 상황은 고려되지 않고 있다. 이에 따라, 반출터미널에서 화물을 신고 반입터미널에 도착한 차량은 하차 작업이 가능할 때까지 대기해야 하는 경우가 빈번하다.

셋 째, 특정 시간대에 차량이 집중되어 터미널 혼잡과 대기시간이 발생하고 있다. 주간에는 ITT 이외의 작업 차량도 몰리고 저녁 시간에는 ITT 반출입이 집중되어 있다. 또한, 항만의 혼잡한 시간대는 터미널별로도 비슷한 패턴을 보이는 경우가 있어 배차계획 측면에서 개선이 이루어진다고 해도 특정 시간대에 작업이 과도하게 몰리는 경우 대기시간 발생을 피하기는 어렵다.

이에 따라, 부산항 ITT 문제를 해결하기 위해서는 배차 프로세스 측면에서 개선이 필요하며, 개선 방안은 다음과 같은 요소를 고려해야 한다.

- ① 터미널, 운송사의 시간대별 가용자원
- ② 선사별 계약 터미널 프리타임
- ③ 몰리는 작업에 대비하기 위한 완충장치(buffer)

4. 완충지역을 활용한 ITT 운영 개선안

4.1 문제 설정 및 가정

부산 신항에서는 컨테이너부두 야적장 부족 현상이 나타나 이에 대한 해소 방안 및 부두 처리능력 제고를 위해 부두 인근에 공동으로 활용할 수 있는 완충 공간(Buffer Container

Yard)의 필요성을 강조하였다. 2016년 7월부터 급격한 물동량 증가와 물류 비상 상황 발생에 적시 대처할 수 있도록 신항 옹동 배후단지에 컨테이너 장치장을 두어 공용 공컨테이너 장치장으로 운영하고 있다(KMI, 2016).

완충지역의 활용은 단순히 공컨테이너 장치 외에도 ITT 화물 운송에도 도움이 될 수 있다. 완충 지역을 고려하여 타부두 환적 운송이 이루어지는 경우 Fig. 2와 같이 1차, 2차로 이루어진 운송형태와 반출터미널에서 반입터미널로 바로 운송되는 형태 2 가지로 구분된다.

1차 운송은 반출터미널에서 상차한 컨테이너를 완충지역에 하차하는 운송이다. 이 과정에서 운송되는 컨테이너와 차량 정보가 완충지역에 제공되고, 1차 운송을 수행한 차량은 배후단지 창고 물량의 복화운송 가능 여부를 검토한 후 복귀한다. 2차 운송은 완충지역에서 상차한 컨테이너를 반입터미널에 하차하는 운송이다. 이 과정에서 1차 운송을 마친 컨테이너에 대한 정보 확인과 반입할 차량 정보 결정 후 반입터미널에 공유하고, 반입터미널에서는 실시간 반출입 상황과 선박 접안 및 장비 가동 현황을 제공하여 최적의 운송 진행 시각을 산출하여 운송한다. 이때, 2차 운송 차량 투입 시 배후단지 창고로의 운송 물량을 확인하여 복화운송 기회를 높인다.

반출터미널에서 반입터미널로 바로 운송되는 형태는 기존의 타부두 환적 운송과 동일한 운송 절차를 가진다.

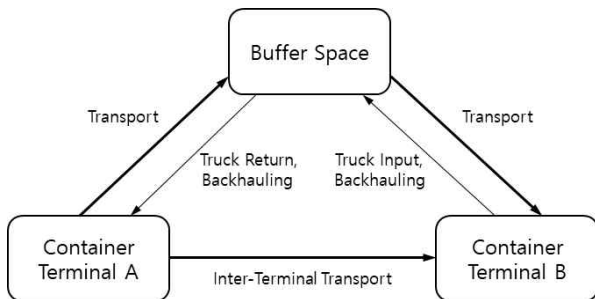


Fig. 2 Inter-Terminal Transportation using Buffer Space

본 논문에서는 완충지역을 고려한 타부두 환적 운송 방식을 제안하고자 하며, 제안된 배차계획 방식은 반출입 터미널의 작업 수용량과 작업 프리타임을 고려하고, 가용자원을 넘어서 대기가 발생하는 작업에 대해 터미널 인근의 완충지역을 이용하도록 한다. 또한, 제안한 배차계획 방식의 조건들을 반영하고 차량 대기시간 최소화를 목적으로 하는 수리적 모형을 구축하고자 한다.

모형 수립을 위해 다음과 같이 가정한다.

- 각 터미널은 시간대별로 처리가능한 컨테이너 반출입 물량을 가진다.
- 완충지역은 시간대별로 컨테이너 보관 가능량을 가진다.
- 운송사는 시간대별로 차량 운행을 원하는 운행 희망 최대 차량 대수를 가진다.
- 차량은 한 번에 한 개의 컨테이너만 운송한다.
- 반출터미널에서 차량이 출발하기 위해서는 해당 시간대에서 차량 가용량, 반출터미널 가용량에 여유가 있어야 한다.

- 반입 터미널의 처리 가용량을 넘어서면 완충지역의 여유량이 있는 경우 완충지역에 보관된다. 만약 완충지역도 여유량이 없는 경우는 반입 터미널에서 대기한다.
- 모든 작업은 프리타임 이내에 할당되어야 한다.

4.2 모형의 수립

본 모형에서는 차량 대기시간을 최소화하는 최적해를 찾는다. 앞선 문제 설정 및 가정을 바탕으로 모형화한다.

parameter

- m : 반출터미널 index
- n : 반입터미널 index
- T : 터미널 집합
- i : 반출 시간대 index
- j : 반입 시간대 index
- k : 완충지역 작업 시간대 index
- S : 시간대 집합
- w : 작업 index
- W : 작업 집합
- CA_{mi} : 터미널 m 의 시간대 i 에서 처리가능한 반출입 물량
- TC_i : 시간대 i 에 운행 희망 최대 차량 대수
- BC : 완충지역의 보관 가능량
- t_{minj} : 시간대 i 에 터미널 m 에서 반출되어 시간대 j 에 터미널 n 에 반입될 때까지 소요 시간

- ft_1^w : w 작업 반출터미널 index
- ft_2^w : w 작업 반출터미널 프리타임의 시작 시간대 index
- ft_3^w : w 작업 반출터미널 프리타임의 종료 시간대 index
- ft_4^w : w 작업 반입터미널 index
- ft_5^w : w 작업 반입터미널 프리타임의 시작 시간대 index
- ft_6^w : w 작업 반입터미널 프리타임의 종료 시간대 index

variables

- x_{minj}^w : w 작업을 시간대 i 에 터미널 m 에서 반출하여 시간대 j 에 터미널 n 에 반입되면 1, 그렇지 않으면 0
- xs_{mi}^w : w 작업을 시간대 i 에 터미널 m 에서 반출하여 완충지역으로 운송하면 1, 그렇지 않으면 0
- xr_{nj}^w : w 작업을 시간대 j 에 완충지역에서 터미널 n 으로 운송하면 1, 그렇지 않으면 0
- y_{mi} : 시간대 i 에 터미널 m 의 반출량
- z_{nj} : 시간대 j 에 터미널 n 으로의 반입량
- b_k : 시간대 k 에 완충지역의 보관량

Mathematical Model

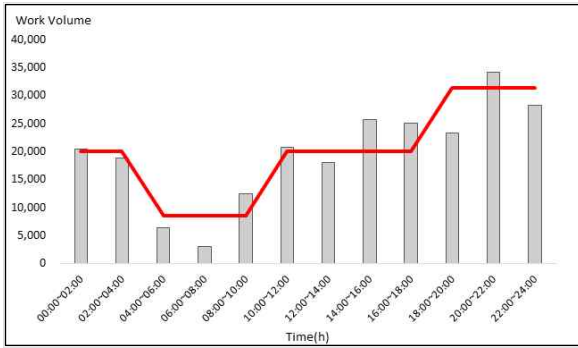


Fig. 5 ITT throughput per hour(Park and Lee, 2017)

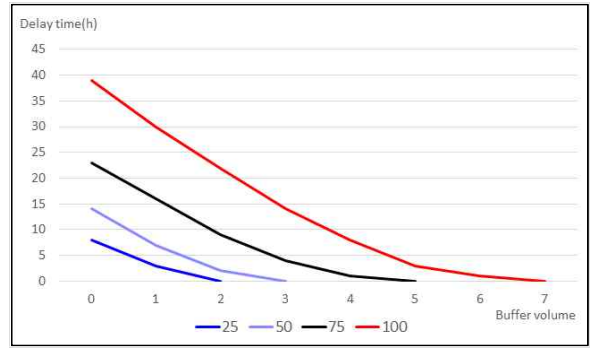


Fig. 6 Delay Time Reduction Trend with Buffer Space by Work Volume

5.2 총 작업량에 따른 완충지역 활용 효과 분석

Table 2 Test Cases for Model Validation

Work Volume	Capacity Classification	Capacity per Hour			Total Capacity
		Min	Max	Avg	
25	Terminal A	0	3	1.6	39
	Terminal B	1	6	3.1	74
	Terminal C	0	5	2.7	64
	Truck Input	0	3	1.0	25
50	Terminal A	0	4	2.3	55
	Terminal B	1	7	4.3	102
	Terminal C	1	6	3.7	88
	Truck Input	0	4	2.1	50
75	Terminal A	0	5	2.8	68
	Terminal B	2	8	5.2	124
	Terminal C	2	7	4.5	107
	Truck Input	1	6	3.1	75
100	Terminal A	1	6	3.3	80
	Terminal B	3	9	6.1	147
	Terminal C	2	8	5.3	126
	Truck Input	2	7	4.2	100

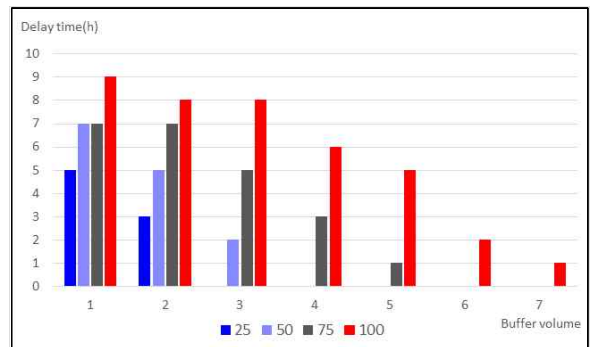


Fig. 7 Delay Time Reduction Width with Buffer Space by Work Volume

총 작업량에 따라 4가지 실험 유형을 설정하고, 완충지역 활용이 증가함에 따라 총 대기시간이 어떻게 변화하는지 모형의 활용 결과를 분석하였다.

모든 실험 유형은 완충지역 활용이 증가함에 따라 총 대기시간은 감소하였고, 25건의 경우 완충지역 규모 2, 50건의 경우 완충지역 규모 3, 75건의 경우 완충지역 규모 5, 100건의 경우 완충지역 규모 7에서 총 대기시간이 0이 되었다. Fig. 6, Fig. 7은 완충지역 규모가 증가함에 따른 총 대기시간 변화와 총 대기시간 감소폭을 나타낸 그래프이다. 모든 실험 유형에서 공통적으로 완충지역 규모가 증가할수록 대기시간 감소폭은 줄어든다. 100건에서는 완충지역 규모3, 75건에서는 완충지역 규모 2까지 일정한 감소폭을 보이다가 이후부터는 감소폭이 점차 줄어든다. 즉, 완충지역 규모가 증가할수록 대기시간 문제의 개선 효과는 점차 감소하는 것으로 해석된다.

총 작업량이 클수록 완충지역 활용에 따른 대기시간 감소폭이 크기 때문에 총 작업량이 클수록 완충지역 활용에 따른 차량 대기시간 문제의 개선 효과가 더 뚜렷하다고 할 수 있다.

Table 3은 완충지역 활용에 따른 비용적 효과를 분석하기 위한 비용 산정 방식이다.

Table 3 Calculation of the cost for buffer space utilization

Classification	Cost Calculation
Yard Rent Cost(a)	24h * Buffer Space Volume * Ungdong Distripark Yard Rent Cost for 66m ²
Equipment Rent Cost(b)	24h * Reach Stacker Rent Cost
Storage cost(c)	Storage Time * Ungdong Distripark Warehouse Storage Cost
Operation Cost (d=a+b+c)	Yard Rent Cost + Equipment Rent Cost + Storage Cost
Transportation Cost using buffer(e)	Number of Transportation using Buffer * Ungdong CFS 40FT Full Container Transportation Fee * 2
Transportation Cost between Terminals(f)	Number of ITT * 40FT Full Container Transportation Fee between Busan New Port Terminals
Transportation Cost (g=e+f)	Transportation Cost using buffer + Transportation Cost between Busan New Port Terminals
Delay Cost(h)	Delay time * 40FT Full Container Transportation Fee between Busan New Port Terminals * 2
Total Cost(i=d+g+h)	Operation Cost + Transportation Cost + Delay Cost

※ Source : Choi(2020)

- Ungdong Distripark Yard Rent Cost for 66m² : KRW 11 per hour
- Reach Stacker Rent Cost : KRW 16,667 per hour
- Ungdong Distripark Warehouse Storage Cost : KRW 556 per hour
- Ungdong CFS 40FT Full Container Transportation Fee : KRW 33,000
- 40FT Full Container Transportation Fee between Busan New Port Terminals : KRW 26,379

비용 계산 결과 완충지역 규모 증가, 작업량 증가에 대한 운영비용 상승폭이 작았고 총 비용에 대한 영향이 크지 않았

다. 반면, 운송비용과 대기비용의 경우 작업량이 많을수록 증감폭이 크게 나타났다. 총 작업량이 증가할수록 완충지역 활용에 따른 대기비용 감소 효과가 커지는 반면, 운송비용 증가폭도 커지는 경향을 보이기에 대기비용과 운송비용은 상충관계로 판단할 수 있다.

Table 4의 비용 계산 결과를 통해 작업량에 따른 적정 완충지역 운영 규모를 추정할 수 있다. 25건과 50건은 대기시간 발생량이 적어 완충지역 활용 효과를 확인하기 어려웠지만 75건과 100건은 각각 완충지역 규모 4, 5에서 총비용의 감소 추세가 둔화되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 총비용 측면에서 총 작업량 대비 약 5%정도 완충지역 규모를 적정 규모로 볼 수 있다.

Table 4 Cost Analysis as Buffer Space Increases by Work Volume (Unit : KRW 1,000)

	Buffer Space							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Work Volume 25								
Operation Cost	0	403	405	-	-	-	-	-
Trans. Cost	580	699	739	-	-	-	-	-
Delay Cost	422	158	-	-	-	-	-	-
Total Cost	1,002	1,260	1,144	-	-	-	-	-
Work Volume 50								
Operation Cost	0	405	407	409	-	-	-	-
Trans. Cost	1,187	1,359	1,398	1,438	-	-	-	-
Delay Cost	739	369	106	-	-	-	-	-
Total Cost	1,926	2,133	1,911	1,846	-	-	-	-
Work Volume 75								
Operation Cost	0	406	411	411	415	414	-	-
Trans. Cost	1,767	2,018	2,058	2,097	2,137	2,177	-	-
Delay Cost	1,213	844	475	211	53	-	-	-
Total Cost	2,981	3,268	2,943	2,720	2,605	2,591	-	-
Work Volume 100								
Operation Cost	0	406	410	415	418	421	423	424
Trans. Cost	2,137	2,678	2,717	2,757	2,796	2,836	2,876	2,915
Delay Cost	2,058	1,583	1,161	739	422	158	53	-
Total Cost	4,194	4,666	4,288	3,910	3,637	3,416	3,351	3,339

5.3 시간대별 가용량 변동폭에 따른 완충지역 활용 효과 분석

터미널의 시간대별 가용량은 일반적으로 주간에는 많은 작업이 몰리고 새벽시간에 상대적으로 작업이 적은 형태를 보인다. 하지만 시간대별 가용량 패턴은 과도한 물량 집중, 장비 고장, 작업자 부재 등 다양한 이유로 변동폭이 더욱 커지거나 반대로 줄어들 수도 있다. 따라서, 시간대별 가용량 패턴의 변동폭에 따라 다양한 실험 유형을 설정하여 터미널의 다양한 상황에 대한 완충지역 활용 효과를 검토한다(Fig. 8).

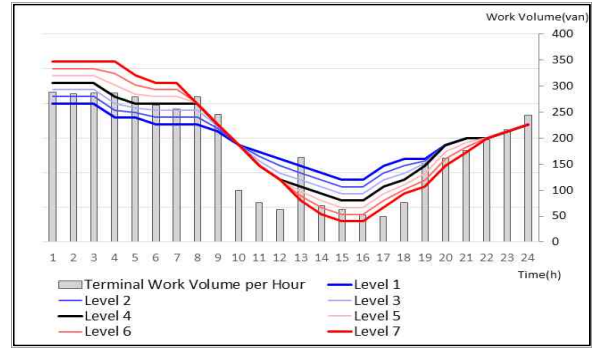


Fig. 8 Terminal Capacity Fluctuation Pattern per Hour

계산 결과인 Table 5에 따르면, 2개 이상 터미널의 변동폭이 큰 경우 대기시간이 0에 가깝게 나타났으며, 변동폭 수준이 증가함에 따라 대기시간도 급격하게 증가하였다. 2개 이상 터미널의 변동폭이 큰 경우 설정한 24시간 이내에 모든 작업이 처리되지 못하고 미처리 작업이 발생하였다.

Table 5 Results for Buffer Utilization Effect by Terminal Capacity Fluctuation Level

Case Classification			Result	
Terminal Capacity Fluctuation Level	Work Volume	Time	Delay Time	Unprocessed Job
Level 1	100	24	0	0
Level 2	100	24	0.33	0
Level 3	100	24	6.3	0
Level 4	100	24	39	0
Level 5	100	24	94.33	0
Level 6	100	24	59.3	5
Level 7	100	24	119	11

각 실험 유형에 대해 완충지역 활용이 증가함에 따라 총 대기시간이 어떻게 변화하는지 모형을 활용한 결과를 분석하였다. 단, Level 1, Level 2의 총 대기시간은 0에 가깝기 때문에 완충지역 활용 효과 분석의 의미가 크지 않다. Level 6, Level 7의 경우 미처리 작업이 발생하였는데 24시간 내에 모든 작업이 처리되지 못했다는 것은 해당 유형의 변동폭 수준이 일반적인 수준을 넘는다고 판단할 수 있기 때문에 Level 3, Level 4, Level 5 3가지 유형에 대해 비교 분석한다.

Fig. 9, Fig. 10에 따라 완충지역 활용에 따른 총 대기시간 변화와 대기시간 감소폭의 크기를 비교하였을 때 Level 5 > Level 4 > Level 3의 순서로 나타나기에 터미널의 작업 가용량 변동폭이 클수록 완충지역 활용에 따른 대기시간 문제 개선 효과가 크다는 의미로 해석할 수 있다.

가용량 변동폭이 작은 경우는 완충지역 활용에 따른 비용적 효과가 매우 낮은 편에 속한다. 가용량 변동폭이 작으면 대기가 적게 발생하고 완충지역 활용에 따른 대기비용 감소효과가 적기 때문에 운송비용의 증가폭을 상쇄할 수 없어 총 비용이 크게 증가하게 된다.

가용량 변동폭이 보통 수준인 경우는 가용량 변동폭이 작은 경우보다 대기 발생이 많아 대기비용의 감소효과가 뚜렷하다. 이에 따라 일정 완충지역 규모 수준까지 총 비용이 유지 혹은 감소되는 추세를 보인다.

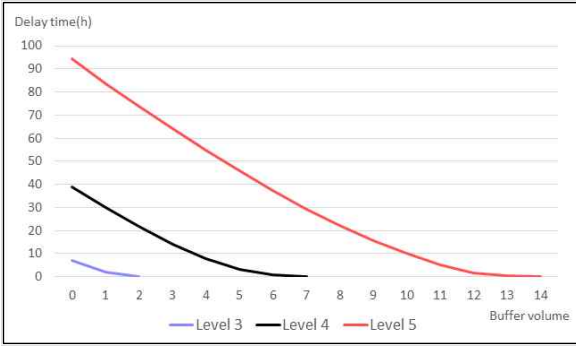


Fig. 9 Delay Time Reduction Trend with Buffer Space by Terminal Capacity Fluctuation Level

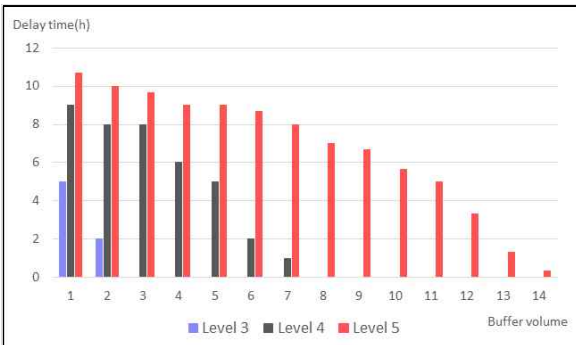


Fig. 10 Delay Time Reduction Width with Buffer Space by Terminal Capacity Fluctuation Level

Table 6에 따르면, 가용량 변동폭이 큰 경우는 대기비용 감소효과가 매우 크고, 완충지역 활용에 따라 총 비용이 큰 폭으로 감소한다. 즉, 완충지역 활용에 따른 비용적 효과가 매우 크게 나타났다. 따라서, 터미널 가용량 변동폭이 클수록 완충지역 활용 필요성이 높게 나타났다.

실제 터미널의 시간대별 차량 반출입 패턴을 활용함에 따라 대부분의 경우 평균 수준의 가용량 변동폭이 나타나기 때

문에 총 작업량 대비 5%가 적정 완충지역 규모이다. 다만, 특정 터미널의 선박 입출항 일정 변경이나 장비 고장 등 터미널의 작업 가용량이 변경되고 가용량 변동폭이 클 때는 Level 5에서 총 비용의 감소 추세가 급감하는 12의 완충지역 규모가 적정하다. 즉, 가용량 변동폭이 높아지는 경우에는 총 작업량 대비 약 12%의 완충지역 규모까지 증강 운영되어야 한다.

5.4 시간대별 차량 투입 편중에 따른 완충지역 활용 효과 분석

ITT 차량 투입 패턴의 경우 터미널의 시간대별 가용량 패턴과 달리 야간에 작업이 몰리고 새벽~아침 구간에서 작업이 줄어든다는 차이점이 있다. ITT 차량 투입 패턴의 경우도 터미널 혼잡, 도로 교통 혼잡, 운송사 상황에 따라 시간대별 차량 투입 선호도 편차가 다양하게 나타날 수 있다. 따라서 완충지역 활용 효과를 검토하기 위해 Fig. 11과 같이 시간대별 차량 투입 가용량 변동폭이 매우 작은 Level 1에서부터 극단적으로 큰 Level 5까지 5가지 유형을 구분한다.

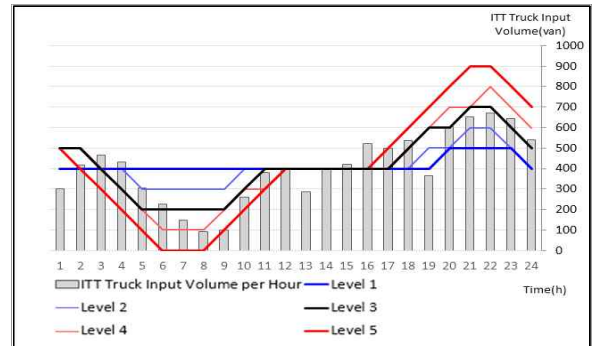


Fig. 11 ITT Truck Input Capacity Fluctuation Pattern per Hour

계산결과인 Table 7에 따르면, ITT 차량 투입 가용량 변동폭 수준에 따라 대기시간이 증가하는 형태로 나타났으며, Level 5의 경우 미처리 작업이 13건 나타났다.

Table 6 Cost Analysis as Buffer Space Increases by Terminal Capacity Fluctuation Level

(Unit : KRW 1,000)

	Buffer Space														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Level 3															
Operation Cost	-	404	404	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trans. Cost	2,572	2,678	2,737	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Delay Cost	343	79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Cost	2,915	3,161	3,141	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Level 4															
Operation Cost	-	406	410	415	418	421	423	424	-	-	-	-	-	-	-
Trans. Cost	2,137	2,678	2,717	2,757	2,796	2,836	2,876	2,915	-	-	-	-	-	-	-
Delay Cost	2,058	1,583	1,161	739	422	158	53	-	-	-	-	-	-	-	-
Total Cost	4,194	4,666	4,288	3,910	3,637	3,416	3,351	3,339	-	-	-	-	-	-	-
Level 5															
Operation Cost	-	406	412	418	423	428	433	438	442	446	450	453	455	456	458
Trans. Cost	1,899	2,691	2,717	2,757	2,796	2,849	2,915	2,928	2,955	2,994	3,047	3,074	3,113	3,153	3,193
Delay Cost	4,977	4,414	3,887	3,377	2,902	2,427	1,970	1,548	1,178	827	528	264	88	18	-
Total Cost	6,876	7,511	7,016	6,551	6,121	5,704	5,318	4,914	4,575	4,267	4,024	3,790	3,656	3,626	3,651

Table 7 Test results for Buffer Utilization Effect by ITT Truck Input Capacity Fluctuation Level

Case Classification			Result	
Truck Input Capacity Fluctuation Level	Work Volume	Time	Delay Time	Unprocessed Job
Level 1	100	24	19	0
Level 2	100	24	21	0
Level 3	100	24	39	0
Level 4	100	24	52	0
Level 5	100	24	50	13

각 실험 유형에 대해 완충지역 활용이 증가함에 따라 총 대기시간이 어떻게 변화하는지 모형을 활용하여 결과를 산출하였다. 단, Level 5의 경우 미처리 작업이 발생하였기 때문에 Level 5를 제외한 4가지 유형에 대해 비교 분석한다. 분석결과 대기시간 및 대기시간 감소폭은 Level 4 > Level 3 > Level 2 > Level 1 순서로 나타났다(Fig. 12, Fig. 13).

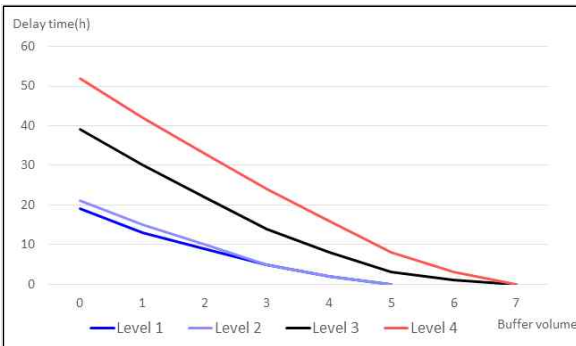


Fig. 12 Delay Time Reduction Trend with Buffer Space by ITT Truck Input Capacity Fluctuation Level

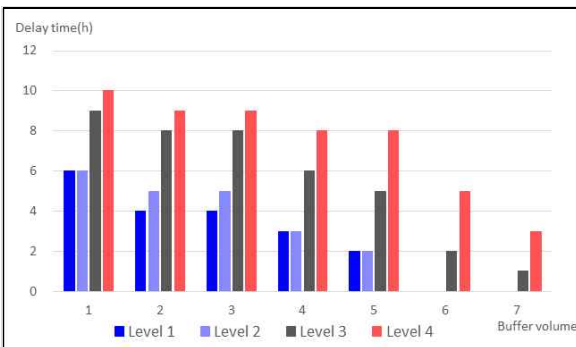


Fig. 13 Delay Time Reduction Width with Buffer Space by ITT Truck Input Capacity Fluctuation Level

Table 8에 따르면 차량 투입 불균형 수준별 분석은 Table 6의 터미널 가용량 변동폭 수준별 분석의 증감추세와 유사하게 나타났다.

차량 투입 가용량 변동폭 수준별 분석에서도 변동폭이 작은 경우는 완충지역 활용에 따른 비용적 효과가 낮은 편에 속한다. 변동폭이 커짐에 따라 대기비용 감소효과가 증가하여 완충지역 활용에 따른 총 비용이 감소한다.

차량 투입 가용량 변동폭에 따른 적정 완충지역 규모를 검토하였을 때, 차량 투입 가용량 변동폭 변화에 따른 대기시간 증감폭이 크지 않아 모든 변동폭 수준에서 총 작업량 대비 약

5%정도의 완충지역 규모 운영이 적절한 것으로 나타났다.

터미널 가용량 변동폭에 따른 대기시간 변화폭이 차량 투입 가용량 변동폭에 따른 결과보다 더 크게 나타났기 때문에 차량 대기시간 및 비용에 대한 영향은 터미널 가용량 변동폭이 ITT 차량 투입 가용량 변동폭보다 더 크다고 할 수 있다. 즉, 적정 완충지역 규모를 산정하기 위해서는 ITT 차량 투입 가용량 변동폭보다는 터미널 가용량 변동폭이 우선 고려되어야 한다. 또한, 터미널 가용량 변동폭이 보통 수준일 때는 총 작업량 대비 약 5%, 터미널 가용량 변동폭이 높아지는 경우 총 작업량 대비 약 12%까지 탄력적으로 운영될 필요가 있다.

Table 8 Cost Analysis as Buffer Space Increases by ITT Truck Input Capacity Fluctuation Level

(Unit : KRW 1,000)

	Buffer Space							
	0	1	2	3	4	5	6	7
Level 1								
Operation Cost	-	404	406	409	411	412	-	-
Trans. Cost	2,427	2,678	2,717	2,757	2,796	2,836	-	-
Delay Cost	1,002	686	475	264	106	-	-	-
Total Cost	3,429	3,767	3,598	3,429	3,312	3,248	-	-
Level 2								
Operation Cost	-	404	407	410	412	413	-	-
Trans. Cost	2,480	2,678	2,717	2,757	2,796	2,836	-	-
Delay Cost	1,108	791	528	264	106	-	-	-
Total Cost	3,588	3,872	3,651	3,431	3,314	3,249	-	-
Level 3								
Operation Cost	-	406	410	415	418	421	423	424
Trans. Cost	2,137	2,678	2,717	2,757	2,796	2,836	2,876	2,915
Delay Cost	2,058	1,583	1,161	739	422	158	53	-
Total Cost	4,194	4,666	4,288	3,910	3,637	3,416	3,351	3,339
Level 4								
Operation Cost	-	406	411	416	421	426	429	431
Trans. Cost	2,005	2,678	2,717	2,757	2,796	2,836	2,876	2,955
Delay Cost	2,743	2,216	1,741	1,266	844	422	158	-
Total Cost	4,748	5,299	4,869	4,439	4,062	3,684	3,463	3,386

6. 결 론

본 연구에서는 타부두 환적 화물 운송에서 발생하는 대기 시간 문제해결을 위해 완충지역을 활용하는 방법을 검토하고 완충지역을 활용한 대기시간 최소화 수리모형을 제시하였다. 총 작업량, 터미널 가용량 변동폭, 차량 투입 가용량 변동폭 수준 별 완충지역 규모 증가에 따른 대기시간 및 비용을 산출하여 비교분석하였다.

분석 결과 총 작업량, 터미널 가용량 변동폭, 차량 투입 가용량 변동폭이 클수록 완충지역 활용에 따른 대기시간 감소 효과가 큰 것으로 나타났다.

비용 분석 결과 터미널 가용량 변동폭, 차량 투입 가용량 변동폭이 작을 때는 완충지역 활용 효과가 미미했고 커질수록

완충지역 활용 효과가 증가하는 것으로 나타났다. 터미널 가용량 변동폭 또는 차량 투입 가용량 변동폭이 큰 경우 운송비용과 대기비용을 합산한 총비용이 완충지역 활용에 따라 점차 감소되는 추세를 보여 완충지역 활용에 따른 종합적인 효익이 매우 큰 것으로 나타났다. 또한, 차량 대기시간은 터미널 가용량 변동폭에 영향을 많이 받기 때문에 적정 완충지역 규모 산정을 위해서는 차량 투입 가용량 변동폭보다는 터미널 가용량 변동폭이 우선 고려되어야 하며, 터미널 가용량 변동폭을 기준으로 총 작업량 대비 약 5%의 완충지역 규모가 적정한 것으로 나타났다. 터미널 가용량 변동폭 증가에 따라서 약 12%까지 탄력적 증강 운영도 검토되어야 한다.

부산항의 환적 경쟁력을 위협해온 ITT 문제에 대한 현실적이고 지속적인 방안을 검토할 시기는 각종 항만 개발 사업이 추진되고 있는 현재가 적기라고 생각된다. 또한 최근 코로나 사태로 인한 물동량 급증으로 장치장 부족 문제는 더욱 심화되고 있기에 본 연구에서 제시한 완충지역을 활용한 타부두 환적 운송 개선 방안은 문제 해결을 위한 접근 방법으로 검토될 수 있다고 생각된다.

본 연구는 완충지역 활용에 따른 대기시간 감소효과에 대한 일반적이고 적용 가능한 분석을 진행하였으며, 대표성 있는 터미널 가용량 패턴 및 ITT 차량 투입 패턴을 적용하기 위해 부산 신항 터미널 반출입 패턴을 적용하였다. 이와 관련하여 향후 연구에서는 터미널별, 운송사별 차량 반출입 데이터를 적용하여 각 분석 대상별로 적합한 완충 활용 방안을 제시하는 연구가 이루어져야 하며, 완충 활용에 따른 운영적 분석에 더해 시스템적, 정책적 변수에 따른 효과가 종합적으로 분석될 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] Baek, Y. J.(2017), "A Feasibility Study on Effective Operation of ITT(Inter Terminal Transportation) Utilizing Big Data", Master Thesis of Korea Maritime and Ocean University.
- [2] Busan Development Institute(BDI)(2015), "Current Status and Implications of Gate In/Out Truck Operation and Management System in Container Terminal", Busan Development Institute, Logistics Trends of East Asia 2015.
- [3] Chen, G. and Yang, Z.(2010), "Optimizing Time Windows for Managing Export Container Arrivals at Chinese Container Terminals", Maritime Economics and Logistics, Vol. 12, No. 1, pp. 111-126.
- [4] Choi, Y. H.(2020), "A Study on Improvement of Container Transshipment Process in Busan Port - Focused on Transshipment between Busan Port and Busan New Port -", Master Thesis of Korea Maritime and Ocean University.
- [5] Guan, C. Q. and Liu, R.(2009), "Container Terminal Gate Appointment System Optimization", Maritime Economics and Logistics, Vol. 11, No. 4, pp. 378-398.
- [6] Heilig, L., Lalla-Ruiz, E. and Voß, S.(2017), "Multi-objective inter-terminal truck routing", Transportation Research Part E, 106, pp. 178-202.
- [7] Heilig, L. and Voß, S.(2016), "Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda", Flex Serv Manuf J.
- [8] Hu, Q., Corman, F., Wiegman, B. and Lodewijks, G.(2018), "A tabu search algorithm to solve the integrated planning of container on an inter-terminal network connected with a hinterland rail network", Transportation Research Part C, 91, pp. 15-36.
- [9] Hu, Q., Luan, X., Corman, F. and Lodewijks, G.(2016), "A Tabu Search Algorithm for Inter-terminal Container Transport", IFAC-PapersOnLine, 49-3, pp. 413-418.
- [10] Huynh, N.(2009), "Reducing Truck Turn Times at Marine Terminals with Appointment Scheduling", In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2100, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 47-57.
- [11] Jin, X. and Kim, K. H.(2018), "Collaborative Inter-Terminal Transportation of Containers", Industrial Engineering & Management Systems, 17(3), pp. 407-416.
- [12] Jo, M. J., Lee, S. P. and Kim, H. S.(2020), "A Study on the Advance Transportation System for Inter Terminal Transshipment: Focused on the Busan New Port", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 44, No. 4, pp. 298-304.
- [13] Kim, H. B. and Kim, K. H.(2015), "A Lagrangian Relaxation Method for Inter-Terminal Transshipment of Containers", Korean Institute of Industrial Engineers, The 2nd East Asia Workshop on Industrial Engineering 2015, pp. 3125-3132.
- [14] Kim, W. S., Choi, Y. S. and Ha, T. Y.(2003), "Quantitative Analysis for the Expected Effect of Tractor Appointment System", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 27, No. 4, pp. 403-407.
- [15] Korea Maritime and Ocean University(KMOU)(2015), "Development of Cloud-Based Container Congestion Improvement System", p. 77.
- [16] Korea Maritime Institute(KMI)(2001), "A Study on the

- Introduction of Truck Appointment System for Container Cargo”, p. 117.
- [17] Korea Maritime Institute(KMI)(2016), “Strategies to Secure Buffer Container Yard to Strengthen Transshipment Competitiveness at Busan Port”, p. 49.
- [18] Korea Maritime Institute(KMI)(2020), “A Study on the Efficiency Improvement of Inter-terminal Transport(ITT) at Busan Ports”, p. 95.
- [19] Korea Railroad Research Institute(KRRRI)(2013), “A Planning Research of Inter-Terminal Container Transportation System”, p. 262.
- [20] Lam, S. and Englert, B.(2008), “On Sequencing of Container Deliveries to Over-the-Road Trucks from Yard Stacks”, Final Report, METRANS Project 07-12.
- [21] Lee, D. H., Jin, J. G. and Chen, J. H.(2012), “Terminal and yard allocation problem for a container transshipment hub with multiple terminals”, *Transportation Research Part E*, 48, pp. 516-528.
- [22] Mishra, N., Roy, D. and van Ommeren(2017), “A Stochastic Model for Interterminal Container Transportation”, *Transportation Science*, pp. 1-21.
- [23] Nieuwkoop, F., Corman, F., Negenborn, R. and Lodewijks, G.(2014), “Determining inter terminal transport configurations at the Maasvlakte by integer programming”.
- [24] Oh, S. M., Jeon, H. M. and Park, H. J.(2014), “A Study for Efficient Inter-Terminal Transportation in the Busan New Port”, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol 15, No. 3, pp. 1279-1287.
- [25] Park, H. J.(2017), “Vehicle Scheduling Model for Transshipment Container Cargo between Container Terminals”, Master Thesis of Korea Maritime and Ocean University.
- [26] Park, J. K.(2017), “Study on ITT Platform to Enlarge the Transit Cargo in Busan New Port”, Master Thesis of Korea Maritime and Ocean University.
- [27] Park, N. K. and Lee, J. H.(2017), “The Evaluation of Backhaul Transport with ITT Platform - The Case of Busan New Port -”, *Journal of Fisheries and Marine Sciences Education*, Vol. 29, No. 2, pp. 354-364.
- [28] 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.
- [29] Phan, M. and Kim, K. H.(2015), “Negotiating Truck Arrival Times Among Trucking Companies and a Container Terminal”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 75, pp. 132-144.
- [30] Schroeër, H., Corman, F., Duinkerken, M. B., Negenborn, R. R. and Lodewijks, G.(2014), “Evaluation of Inter Terminal Transport Configurations at Rotterdam Maasvlakte using Discrete Event Simulation”, *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*.
- [31] Tierney, K., Voß, S. and Stahlbock, R.(2014), “A mathematical model of inter-terminal transportation”, *European Journal of Operational Research*, 235, pp. 448-460.
- [32] Torkjazi, M., Huynh, N. and Shiri, S.(2018), “Truck appointment systems considering impact to drayage truck tours”, *Transportation Research Part E*, 116, pp. 208-228.
- [33] Zehendner, E. and Feillet, D.(2014), “Benefits of a Truck Appointment System on the Service Quality of Inland Transport Modes at a Multimodal Container Terminal”, *European Journal of Operational Research*, Vol. 235, No. 2, pp. 461-469.
- [34] Zhao, W. and Goodchild, A. V.(2010), “The Impact of Truck Arrival Information on Container Terminal Rehandling”, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 46, No. 3, pp. 327-343.

Received 27 October 2021
 Revised 01 December 2021
 Accepted 08 December 2021