

최적 항만 게이트 시스템 구성을 위한 시뮬레이션 모델 개발

박상국* · † 김영두

* 물류시스템연구소 연구소장, † 선박안전기술공단 해사안전연구센터 센터장

Simulation Model Development for Configuring a Optimal Port Gate System

Sang-Kook, Park * · † Young-Du, Kim

* Logistics System Institute, Seoul 07563, Korea

† Maritime Safety Research Center, Korea Ship Safety and Technology Authority, Sejong 30100, Korea

요 약 : 컨테이너 터미널에서 육상 운송을 담당하는 트럭 운송사 입장에서의 트럭 대기 시간을 줄이기 위한 게이트 시뮬레이션 모델을 개발하였다. 개발 모델의 검증을 위하여 부산신항 P항만을 대상으로 2014년 12월의 4주간 트럭 진출입 자료를 적용한 결과, 99% 이상의 정확성을 보였다. 또한, 개발한 시뮬레이션 모델을 통해 기존 게이트 시스템과 최근 게이트 시스템을 비교해 보았다. 결과적으로 동쪽 진입 게이트 기준으로 기존 게이트 시스템에서는 최대 50대의 트럭 대기과 120분의 대기 시간이 발생하였으나, 신규 게이트 시스템에서는 최대 10대의 트럭 대기과 5.3분의 대기 시간이 소요되었다. 서쪽 진입 게이트 기준으로 기존 게이트 시스템에서는 최대 17대의 트럭 대기과 34분의 대기 시간이 발생하였으나, 신규 게이트 시스템에서는 최대 10대의 트럭 대기과 5.3분의 대기 시간이 소요되었다. 서쪽 진출 게이트 기준으로 기존 게이트 시스템에서는 최대 11대의 트럭 대기과 5.5분의 대기 시간이 발생하였으나, 신규 게이트 시스템에서는 최대 9대의 트럭 대기과 4.4분의 대기 시간이 소요되었다. 본 개발 모델을 통하여 각 게이트의 트럭당 진출입 처리 시간에 따라 어느 정도의 트럭 대기가 발생하는지를 파악할 수 있게 되었다. 또한, 각 게이트에서 트럭 진출입에 따른 트럭당 처리 시간을 여러 시나리오별로 시뮬레이션하여 트럭의 대기가 발생되지 않는 최적 게이트 시스템의 운영 기준을 찾는 데 활용될 수 있다.

핵심용어 : 항만 운영, 게이트 시스템, 컨테이너 터미널, 게이트 시뮬레이션 모델, ITT

Abstract : In this study, a gate simulation model was developed to reduce the truck waiting time for trucking companies servicing container terminals. To verify the developed model, 4 weeks of truck gate-in/gate-out data was collected in December 2014 at the Port of Busan New Port. Also, the existing gate system was compared to the proposed gate system using the developed simulation model. The result showed that based on East gate-in, a maximum number of 50 waiting trucks with a maximum waiting time of 120 minutes. With the proposed system the maximum number of waiting trucks was 10 with a maximum waiting time of 5.3 minutes. Based on West gate-in, the maximum number of waiting trucks was 17 and the maximum waiting time was 34 minutes in the existing gate system. With the proposed system the maximum number of waiting trucks was 10 with a maximum waiting time of 5.3 minutes. Based on West gate-out, the maximum number of waiting trucks was 11 with a maximum waiting time of 5.5 minutes. With the proposed system the maximum number of waiting trucks was 9 with a maximum waiting time of 4.4 minutes. This developed model shows how many waiting trucks there are, depending on the gate-in/gate-out time of each truck. This system can be used to find optimal gate system operating standards by assuming and adjusting the gate-in/gate-out time of each truck in different situations.

Key words : Port Operation, Gate System, Container Terminal, Gate Simulation Model, Inter Terminal Transshipment

1. 서 론

항만의 서비스 수준은 항만의 운영 주체인 터미널 운영사(Terminal Operation Company, TOC) 또는 항만의 이용 주체인 선사, 화주, 트럭 운송사 등 입장에 따라 다르게 느낄 수 있다. 그러나, 항만에서 절대적으로 변하지 않는 중요한 서비스 기준으로는 항만 이용 주체들의 대기 시간을 감소시키는

것이다.

기존의 연구들은 주로 선사 및 화주 중심의 항만 서비스 수준을 주로 다루어 왔고, 이를 위하여 선석 및 장치장의 대기 문제를 줄이기 위한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 반면, 항만에서 육상 운송을 담당하는 트럭 운송사 입장에서의 트럭 대기 시간을 줄이기 위한 연구들은 많지 않은게 현실이다.

이를 위하여 본 연구에서는 항만에서 게이트 시스템의 운

* 제1저자 : 종신회원, parksangkook@daum.net 02)2659-4183

† Corresponding author : 종신회원, hanbada@kst.or.kr 044)330-2300

영 상황을 묘사할 수 있는 게이트 시뮬레이션 모델을 개발하였고, 국내 대표적 컨테이너 터미널인 부산 P항만을 대상으로 2014년 12월 기준으로 4주간 트럭들의 진출입 자료를 토대로 게이트 시뮬레이션 모델의 적정성을 검증하였다.

개발된 게이트 시뮬레이션 모델은 트럭의 게이트 진출입에 따른 게이트의 처리 능력만을 대상으로 한정하였고, 장치장 및 선석의 처리 능력과는 연계하지 않았다. 즉, 개발된 게이트 시뮬레이션 모델은 TOC 입장에서 게이트 트래픽 증가에 따라 트럭의 대기 문제를 해결하기 위한 게이트 증설에 앞서 게이트 진출입 라인수 조정과 트럭에 적재된 컨테이너 수량 및 유형별 처리 시간을 재조정하고자 할 때, 트럭의 게이트 대기 수준이 어떻게 변하는지를 파악하여 트럭운송사들이 트럭 대기 시간을 최소화함으로써 최적의 항만 게이트 시스템을 구축할 수 있는 활용 목적으로 개발하였다.

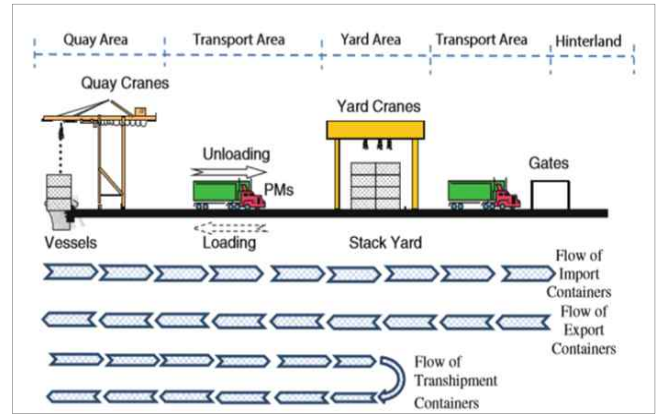


Fig. 1 Cargo process flow of terminals
Source : Wenkai Li, Yong Wu, mark Goh(2015), p. 8

2. 항만운영 및 시뮬레이션 현황

2.1 항만 화물 처리 프로세스

항만의 수출 물류 프로세스는 외부 트럭, 게이트, 장치장, 에이프린, 선석, 선박의 순서로 화물이 처리되며, 수입 물류 프로세스는 반대로 선박, 선석, 에이프린, 장치장, 게이트, 외부 트럭의 순서로 처리된다. 또한, 환적 프로세스는 양하된 부두와 동일함 부두에서 처리되는 경우뿐만 아니라, 타부두로 이송되어 처리되는 경우도 있고, 선석에서 양적하 되는 과정에는 하역크레인(Quay Crane), 장치장내 이송되는 과정에는 야드 트랙터(Yard Tractor), 장치장내 화물이나 컨테이너 처리는 트랜스퍼 크레인(Transfer Crane) 등의 작업이 이루어진다. 이러한 프로세스를 전체적으로 요약하면 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다(Wenkai et al., 2015).

2.2 항만 시뮬레이션 유형

항만을 개발하거나 조정할 당시에는 다양한 방식에 따라, 항만 건설의 필수적인 개발 요건을 기준으로 선석, 장치장, 게이트 등의 규모를 산정하고 운영해 나간다. 이러한 개발 요건에 따라 운영되는 항만은 이후에 여러 환경이나 사회적 요인 및 필요에 따라 최초 계획 수립 당시의 개발 조건을 벗어나 운영되어 지고, 화물이나 컨테이너의 처리량이 급격하게 증가되면 예기치 못한 문제, 즉 구간별 병목문제의 야기나 항만 이용 주체인 선사, 화주, 트럭 운송사들에게 서비스 품질 저하로 이어진다.

이러한 문제들을 해결하기 위하여 터미널 운영사(Terminal Operation Company, TOC)들은 수시로 터미널 운영상황을 모니터링하고 문제가 발생시에는 여러 방안을 동원하여 해결하기를 원한다. 그러나 이러한 항만 운영의 문제는 너무나 다양한 요인들에 의하여 복합적으로 작용하기 때문에 정확한 원인나 문제점을 찾기가 어렵고, 설령 원인을 찾더라도 24시간 운영되는 항만의 현실을 감안하면 선뜻 프로세스를 조정하기는 어렵다.

Table 1 Simulation types of ports

Simulation Types	Ship	Berth	Apron	Transfer Cranes (Loading & Unloading)	Yard	Transfer Cranes (Gate-In & Gate-Out)	Gates	Trucks
	Anchorage	Quay Cranes	Yard Tractors		Dwelltime			
Berth Oriented	O	O			O			
Yard Oriented			O	O	O	O		
Gate Oriented					O		O	O
Berth-Yard Link	O	O	O	O	O	O		
Berth-Gate Link				O	O	O	O	O
Berth-Yard-Gate Link	O	O	O	O	O	O	O	O

이러한 문제점과 최적의 운영상황을 찾기 위하여 시뮬레이션 기법을 적용하여 문제점을 분석하고 최적의 운영상황을 찾는 노력들이 이루어지고 있다. 대표적으로는 Table 1과 같이 선석 중심형(Berth Oriented), 장치장 중심형(Yard Oriented), 게이트 중심형(Gate Oriented), 선석-장치장 결합형(Berth-Yard Link), 장치장-게이트(Yard-Gate Link) 결합형, 선석-장치장-게이트(Berth-Yard-Gate Link) 결합형으로 구분되어 진다.

2.3 항만 시뮬레이션 진행 연구

선석 중심형 연구로는 MOF(2013, 2014)에서 전국 무역항을 대상으로 항만 하역능력 증진을 위한 시뮬레이션 모델을 개발하여 진행하였으며, 여기에서 산정된 하역능력은 전국항만기본계획 수립의 기초 자료로 활용되었다.

게이트 중심형 연구로는 게이트를 통과한 트럭이 야드에서 Kiosk를 사용한 이송차량 인식방법과 RFID를 사용한 이송차량 인식방법을 대상으로 효율성에서 어떤 차이가 있는지를 평가하고자 시뮬레이션 기법을 적용하여 컨테이너 터미널에서 ATC(Automated Transfer Crane)의 효율성을 비교·분석하였다(Lee, 2009).

선석-장치장 결합형 연구로는 앵커리지(Anchorage), 선박(Ship), 선석(Berth) 및 야드(Yard)를 결합하여 동부산 컨테이너 터미널 (PECT)에서 얻은 컨테이너 선박 트래픽 데이터의 통계 분석에 기초하여 앵커리지-선박-정박-야드 (ASBY) 링크 모델링 방법론을 제공하였다(Dragovic et al., 2006a; 2016b).

기타, 게이트 중심형 모델을 포함하여 항만 시뮬레이션 모델 분석 및 개발 연구는 모델링의 복잡성 및 검증의 어려움으로 연구 진행이 많지 않은게 현실이다.

2.4 항만 게이트 구조물 구성 및 운영방식

항만 자동화를 위하여 컨테이너 터미널의 게이트 구조물 구성 및 운영방식에 대한 연구는 필수적이다. 기존 연구가 대부분 선석 및 장치장 중심으로 이루어진 반면에, 게이트에 대한 연구는 많지 않았다.

항만 게이트의 자동화를 위한 최적 설계방식에 대하여 연구로는 게이트 레인의 적정 수를 산정하기 위하여, 1단계 게이트와 2단계 게이트를 비교하여 최적의 자동화 운영방식 설계 방안을 제안하였는데, 게이트 규모 설계를 위하여 게이트 통과 물동량, 게이트 통과 소요 시간, 소요 레인(Lanes)수의 산정 등을 고려하였다(Hong, 2003).

그 당시에 항만에서 분리된 선석의 통합이 활발히 진행되어 기존의 게이트들의 활용이 컨테이너 터미널에서 차량의 체재시간 감소와 차량 통행량 분산 측면에서 검토의 필요성이 제기되었고, 이를 위하여 통합게이트와 분리게이트의 운영효과를 분석하였으며, 이를 위하여 시뮬레이션 기법을 활용하였다(Choi, 2006).

위의 두 연구에서 적용한 게이트 진출입에 따른 컨테이너 유형별 처리 시간 및 트럭 이동 시간을 보면, Table 2와 같이 요약할 수 있다.

Table 2 Gate process time(Unit : sec)

Classification	Hong(2003)		Choi(2006)	
	Gate-In (Export)	Gate-Out (Import)	Gate-In (Export)	Gate-Out (Import)
Full Container	110	20	110	20
Empty Container	80	20	110	20
Refrigeration Container	110	20	110	20
Dangerous Container	110	20	110	20
Oversize Container	110	20	110	20
Vacant Truck	20	20	110	20
Truck Movement Time	10	10	10	10

3. 대상 항만의 분석

3.1 대상 항만의 선정

게이트에 출입하는 트럭 규모를 파악하기 위하여 국내 가장 대표적 터미널인 부산신항 P터미널을 대상으로 분석하였고, 터미널의 세부 내역은 Table 3과 같이 요약할 수 있다.

즉, 동쪽(East)에는 6개 게이트를 통해서 반입(Gate-In)하고, 서쪽(West)에는 4개 게이트를 통해서 반입(Gate-In)과 4개 게이트를 통해서 반출(Gate-Out) 되도록 구성되어 있다. 전체적으로는, 총 10개의 게이트로 반입되고 총 4개의 게이트로 반출되도록 구성되어 있으며, 이러한 게이트 구성을 통해서 P터미널의 수출입 컨테이너 및 타부두 환적 컨테이너가 처리되는 구조이다.

Table 3 Configuration of the port P

Classification		Detail Contents
Gate	East	Gate-In : 6 ea
	West	Gate-In : 4 ea Gate-Out : 4 ea
Yard	Total Area	1.2 mil
	Block	35 blocks
	Ground Slot(TEU)	20,850
	Max Capacity(TEU)	113,181
Berth	Reefer Plug	2,000 ea
	Length	2 km
	Count	6 ea
Cranes	Quay Crane	19 ea
	Auto RMGC	40 ea
	Manual RMGC	19 ea
Etc.	Yard Tractors	130 ea
	Reach Stacker	4 ea
	Empty handler	13 ea

3.2 대상 항만의 물동량 분석

Fig. 2는 P 터미널의 최근 6년간(2010~2015) 12월분 트럭 반출입 물동량을 분석한 결과로, 전반적으로 전체(Total) 물동량은 꾸준히 증가하였으며, 수출입(Export/Import) 물동량의 변화는 거의 없으나, 환적(T/S) 물동량은 꾸준히 증가하였다. 즉, 이는 게이트를 통과한 트럭 운송량의 증가 요인으로 작용하였고, 특히 환적 물동량 중에 타부두 환적(T/S) 물동량의 게이트 통과 트럭수 증가에 영향을 미친 것으로 판단된다.

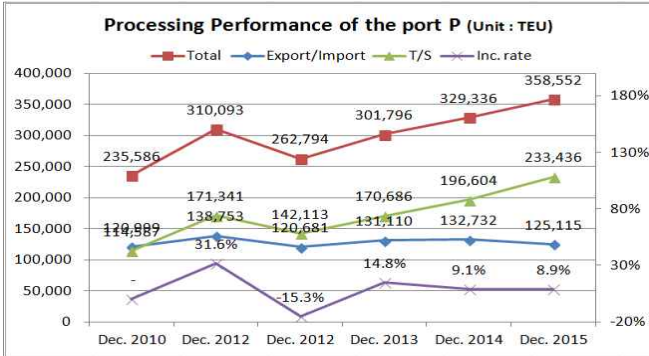


Fig. 2 Processing performance of the port P

3.3 대상 항만의 게이트 처리 물량 분석

P 터미널의 최근 5년간 12월 트럭 반출입 물동량 중에서 게이트 통과 물동량의 정밀 분석을 위하여 2014년 12월 물동량 대상으로 4주간(2014.12.1.~2014.12.28.) 트럭 106,123대의 반출입 대수를 중점적으로 분석하였고, Fig. 3으로 나타내었다. 분석 결과에 따르면, 월요일부터 수요일까지 점진적으로 늘어다가, 목요일에서 일요일까지 점진적으로 줄어드는 패턴을 보이고 있다. 즉 트럭의 진출입 규모 분석시에 월요일부터 수요일까지를 중점적으로 관심을 갖고 분석할 필요가 있음을 알 수 있다.

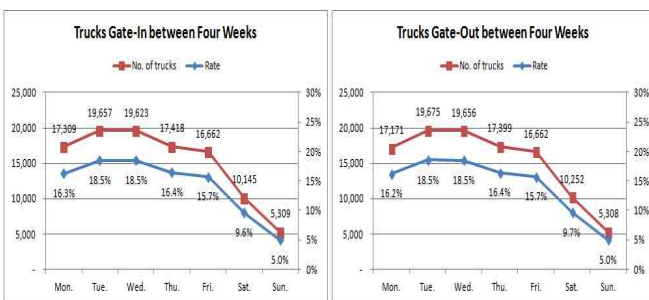


Fig. 3 Trucks gate-in/gate-out for 4 weeks

3.4 컨테이너 유형별 처리 물량 분석

P 터미널의 트럭 반출입 물동량을 Table 4와 같이 컨테이너 유형별로 보면, 반입(Gate-In)시에 적 컨테이너(Full Container) 42.8%, 공 컨테이너(Empty Container) 16.2%, 냉

동컨테이너(Refrigeration Container) 1.0%, 위험물컨테이너(Dangerous Container) 1.5%, 비규격 컨테이너(Oversize Container) 0.4%, 빈트럭(Vacant truck) 38.1%로 분석되었다. 반면, 반출(Gate-Out)시에는 만재 컨테이너(Full Container) 29.0%, 공 컨테이너(Empty Container)가 25.3%, 냉동컨테이너(Refrigeration Container) 3.3%, 위험물컨테이너(Dangerous Container) 1.1%, 비규격 컨테이너(Oversize Container) 0.3%, 빈트럭(Vacant Truck) 41.0%로 분석되었다.

전체적으로 보면, 게이트의 진출입 혼잡을 줄이기 위해서는 반입시 빈차 비율 38.1%와 반출시 빈차 비율 41.0%를 줄이는 노력이 필요한 것으로 보이며, 이러한 대책으로는 트럭 배차 방식 및 타부두 환적에 따른 ITT(Inter Terminal Transshipment) 왕복 운송시에 빈차 비율을 줄이는 대책이 필요할 것으로 보여진다.

Table 4 Number & Rate per container types

Container Types	Gate-In		Gate-Out	
	Count of Containers	Rate of Gate-In	Count of Containers	Rate of Gate-Out
Full Container	45,375	42.8%	30,802	29.0%
Empty Container	17,238	16.2%	26,829	25.3%
Refrigeration Container	1,084	1.0%	3,461	3.3%
Dangerous Container	1,551	1.5%	1,163	1.1%
Oversize Container	424	0.4%	312	0.3%
Vacant truck	40,451	38.1%	43,556	41.0%
Total	106,123	100.0%	106,123	100.0%

3.5 게이트별 진출입 유형 분석

Table 5은 게이트별 진출입 유형을 분석한 결과로, 동쪽(East) 게이트 E0~ECO와 서쪽(West) 게이트 W0~W4를 통

Table 5 Truck gate-in & gate-out count per gate

Gate	Gate-In		Gate-Out		per 1 day	
	Count	Rate	Count	Rate	Gate-In	Gate-Out
E0	365	0.3%	-	-	13.0	-
E1	1,307	1.2%	-	-	46.7	-
E2	5,273	5.0%	-	-	188.3	-
E3	9,243	8.7%	-	-	330.1	-
E4	14,425	13.6%	-	-	515.2	-
E5	20,193	19.0%	-	-	721.2	-
E6	19,632	18.5%	-	-	701.1	-
ECO	-	-	1,012	1.0%	0.0	36
W0	179	0.2%	-	-	6.4	-
W1	1,419	1.3%	-	-	50.7	-
W2	11,260	10.6%	-	-	402.1	-
W3	13,946	13.1%	-	-	498.1	-
W4	8,881	8.4%	-	-	317.2	-
W5	-	-	15,657	14.8%	0.0	559
W6	-	-	27,777	26.2%	0.0	992
W7	-	-	34,347	32.4%	0.0	1,227
W8	-	-	27,330	25.8%	0.0	976
계	106,123	100.0%	106,123	100.0%	3,790.1	3,790.1

해 진입(Gate-In)하고, 서쪽(West) 게이트 W5~W8을 통해서 진출(Gate-Out)함을 알 수 있다.

특히, 진입시에는 동쪽 게이트 E4, E5, E6를 통해서, 진출시는 서쪽 게이트 W6, W7, W8을 통해서 가장 많은 트럭들이 들어오고 나가는 것을 알 수 있다.

따라서, 여러 게이트 중에서 집중적으로 트럭이 물리는 게이트를 대상으로 중점적으로 분석할 필요가 있다.

3.6 트럭의 회차시간 분석

트럭의 회차 시간은 Fig. 4과 같이 짧게는 10분 이내에 회차하는 트럭부터 길게는 4시간(240분) 이상 걸리는 경우도 발생되고 있는 것으로 분석되었다.

트럭의 회차 시간이 많이 걸리는 경우는 장치장에서 양적 하 대기에 많은 시간이 소비된다는 것이고, 트럭 운송사 입장에서는 많은 대기 시간이 소요되므로 터미널 이용측면에서 이용을 꺼리는 요인으로 작용할 수 있으므로, 장치장에서 신속한 하역작업이 이루어 질수 있도록 개선할 필요가 있다.

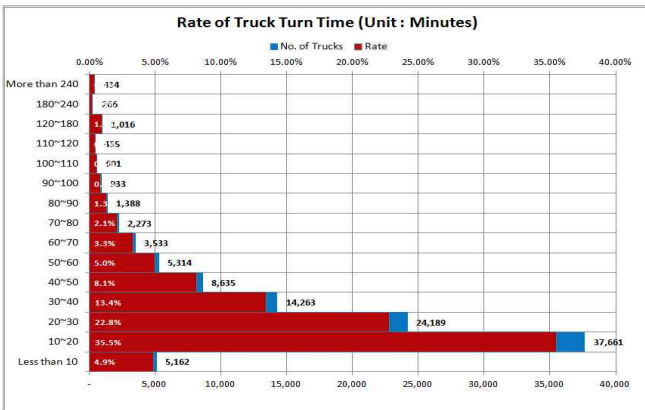


Fig. 4 Truck turn time graph

3.7 시간대별 진출입 대수 분석

시간대별 트럭의 진출입 대수는 Fig. 5과 같이 오전 10시에서 12시 사이와 오후 13시부터 17시 사이가 가장 혼잡함을 알

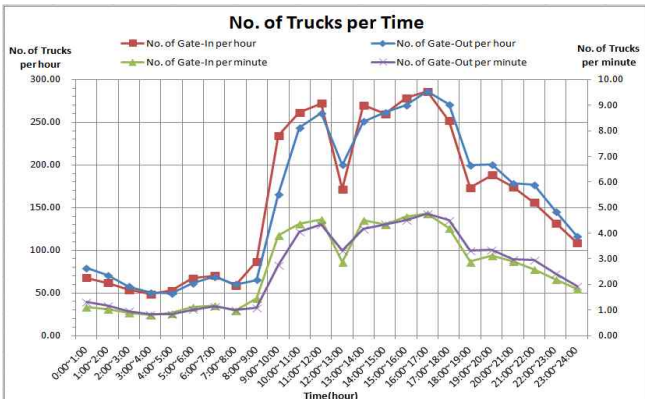


Fig. 5 Number of trucks per time

수 있다. 따라서 이 시간대의 진출입 트럭의 패턴을 집중적으로 분석하였다.

3.8 혼잡 게이트별 진출입 처리 시간 분석

혼잡 게이트별 진출입 처리 시간은 Table 6 및 Table 7과 같고, 진입(Gate-In)시는 시간당 최대 56대를 처리하고 대당 64초가 소요되었으며, 진출(Gate-Out)시는 시간당 최대 123대를 처리하고 1대당 29초가 소요되는 것으로 파악되었다.

Table 6 Processing time of gate-in in E4/E5/E6

Gate No.	Time	Dec. 8th 2014(Mon)		Dec. 9th 2014(Tue)		Dec. 10th 2014(Wed)	
		Count of Trucks	Pro. Time (sec)	Count of Trucks	Pro. Time (sec)	Count of Trucks	Pro. Time (sec)
E4	10:00~11:00	33	110	39	92	32	110
	11:00~12:00	49	73	56	64	51	72
	13:00~14:00	41	87	36	84	44	82
	14:00~15:00	37	96	12	82	40	90
	15:00~16:00	51	97	42	85	42	82
	16:00~17:00	41	87	46	79	36	66
Max (a)	51	73	56	64	51	72	
E5	10:00~11:00	32	113	47	76	43	81
	11:00~12:00	46	78	53	69	46	80
	13:00~14:00	44	81	46	79	51	70
	14:00~15:00	44	86	22	71	45	80
	15:00~16:00	42	83	43	83	50	70
	16:00~17:00	43	85	51	70	45	79
Max (b)	46	78	53	69	51	70	
E6	10:00~11:00	24	134	39	92	43	83
	11:00~12:00	39	88	50	73	44	80
	13:00~14:00	38	93	54	67	52	67
	14:00~15:00	41	89	51	70	45	79
	15:00~16:00	44	81	53	70	43	85
	16:00~17:00	50	73	52	66	46	78
Max (c)	50	73	54	67	52	67	
Total Max (a,b,c)	51	73	56	64	52	67	

Table 7 Processing time of gate-out in W6/W7/W8

Gate No.	Time	Dec. 8th 2014(Mon)		Dec. 9th 2014(Tue)		Dec. 10th 2014(Wed)	
		Count of Trucks	Pro. Time (sec)	Count of Trucks	Pro. Time (sec)	Count of Trucks	Pro. Time (sec)
W6	10:00~11:00	61	60	75	51	71	52
	11:00~12:00	68	52	91	40	89	39
	13:00~14:00	103	35	95	38	102	35
	14:00~15:00	106	34	113	32	91	39
	15:00~16:00	88	41	122	30	92	39
	16:00~17:00	108	33	122	29	97	37
Max (a)	108	33	122	29	102	35	
W7	10:00~11:00	61	59	85	32	77	47
	11:00~12:00	74	48	94	39	105	34
	13:00~14:00	103	35	101	35	103	35
	14:00~15:00	109	33	112	32	95	38
	15:00~16:00	96	37	123	29	97	37
	16:00~17:00	116	31	116	31	96	37
Max (b)	116	31	123	29	105	34	
W8	10:00~11:00	52	70	70	52	62	58
	11:00~12:00	66	53	93	38	97	32
	13:00~14:00	100	35	105	35	84	43
	14:00~15:00	110	33	107	33	95	37
	15:00~16:00	88	41	120	30	92	39
	16:00~17:00	114	32	112	32	103	36
Max (c)	114	32	120	30	103	36	
Total Max (a,b,c)	116	31	123	29	105	34	

이전 연구 자료인 Table 2의 진입시간, 진출시간 및 트럭간 이동 시간을 적 컨테이너(Full Container) 기준으로 비교해 보면, 해당 진입시간 110초, 진출시간 20초 및 트럭 이동시간 10초로 분석하였으나, 본 연구에서는 트럭 이동 시간을 포함하여 진출시간 64초 및 진입시간 29초로 분석되었으며, 이전 연구에서 트럭간 이동 시간 10초를 감안하여 진출입 시간에서 10초를 감안하면, 순수 진입시간은 54초(=64초-10초) 및 진출시간 19초(=29초-10초)로 시간이 단축되었음을 알 수 있다.

이러한 현상은 이전 연구 당시의 게이트 상황과 현재 게이트 상황이 달라졌음을 알 수 있고, 이러한 배경으로는 Lee(2009)의 연구에서와 같이 최근 항만 게이트에서 광학 인식기술(OCR, Optical Character Reader), 전자태그 인식기술(RFID, Radio Frequency IDentification) 등과 같은 트럭 자동화 추적 및 인식 기술을 반영하여 트럭이 게이트 정문에 도달 시에 트럭번호 및 컨테이너 번호의 자동화 인식기술을 적용한 결과로 파악된다.

4. 시뮬레이션 모델 개발 및 검증

4.1 게이트 업무 흐름의 분석

게이트 처리업무 흐름은 각 터미널에 따라 달라질 수 있겠으나, 대체적으로 Fig. 6과 같이 요약될 수 있다(Choi et al., 2009).

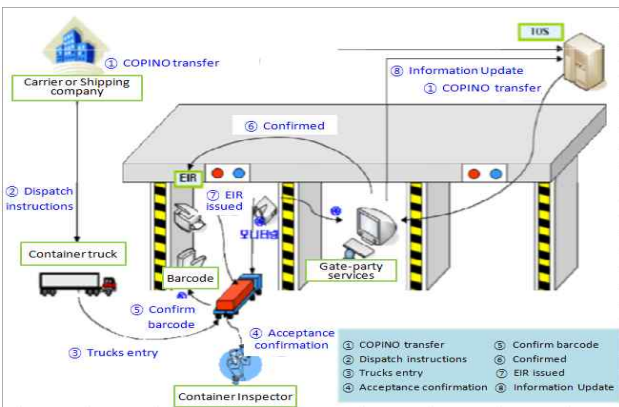


Fig. 6 Gate business flow

Source : Selection of optimum alternative for deploying automated gate system in container terminal, Choi, H. R. et al. (2009)

즉, ①화주나 선사는 트럭 운송사에 컨테이너 반출입 요청을 하고, 이에 따라 트럭 운송사는 사전반출입정보(COPINO, COntainer PIck-up NOtice And Arrival Notice)를 컨테이너 터미널에 전송한다. ②트럭 운송사는 배차지시서를 통하여 운전사에게 해당 컨테이너터미널에서 컨테이너를 반출입 하도록 지시한다. ③~⑦ 트럭이 컨테이너터미널 게이트에 도착하면 컨테이너 트럭 운전사는 광학인식(OCR) 카메라로 차량번호 및 컨테이너번호가 확인되어 터미널운영시스템(TOS)으로 전달된다. 전달된 정보는 앞서 트럭 운송사가 전송한 사전반출입 정보와 대조 후에 이상이 없으면 인수도중(반입 또는 반출할 컨테이너의 위치가 적혀져 있는 종이문서로 현업에서는 Slip 또는 EIR(Equipment Interchange Receipt)을 발행하여 작업지시 정보를 전달한다. ⑧컨테이너트럭 운전사는 전달받은 Slip 또는 EIR을 통해 작업지시정보를 확인한 후에 지정받은 장치장으로 이동하여 컨테이너를 적재한다. 이후에 게이트 시스템에서는 그 결과를 TOS로 전송하여 기존 정보를 갱신한다.

호 및 컨테이너번호가 확인되어 터미널운영시스템(TOS)으로 전달된다. 전달된 정보는 앞서 트럭 운송사가 전송한 사전반출입 정보와 대조 후에 이상이 없으면 인수도중(반입 또는 반출할 컨테이너의 위치가 적혀져 있는 종이문서로 현업에서는 Slip 또는 EIR(Equipment Interchange Receipt)을 발행하여 작업지시 정보를 전달한다. ⑧컨테이너트럭 운전사는 전달받은 Slip 또는 EIR을 통해 작업지시정보를 확인한 후에 지정받은 장치장으로 이동하여 컨테이너를 적재한다. 이후에 게이트 시스템에서는 그 결과를 TOS로 전송하여 기존 정보를 갱신한다.

4.2 게이트 시뮬레이션 모델의 개발 절차

게이트 시뮬레이션 모델의 개발은 Fig. 7과 같이 12단계 절차로 진행하였다. 즉, 1) 대상 게이트 시스템의 선정, 2) 대상 게이트 시스템 기반의 모델링, 3) 게이트 시뮬레이션 시스템의 개발, 4) 개발된 게이트 시뮬레이션 프로그램의 검증, 5) 게이트 시뮬레이션 시나리오의 작성, 6) 시뮬레이션 입출력 변수 정의 및 설정, 7) 게이트 시뮬레이션의 진행, 8) 시뮬레이션 결과의 검증, 9) (부적정시)시뮬레이션 독립 입력변수의 조정 및 시뮬레이션의 반복 수행, 10) (적정시)최적 게이트 운영 조건(진출입 라인수, 라인별 진출입 처리시간)의 일반화, 11) 게이트 시스템의 적용, 12) 최적 게이트 서비스 수준값 도출의 순서로 진행하였다.

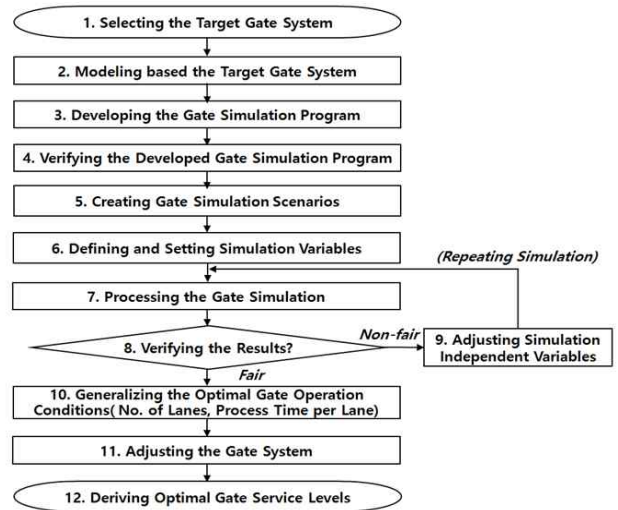


Fig. 7 Development process of gate simulation model

4.3 게이트 시뮬레이션 모델의 입출력 변수 및 산정식

게이트 시뮬레이션 모델에 적용된 입출력 변수는 Table 8과 정리하여 반영하였다.

입력변수(Input Variables)에서 트럭의 진입(Gate-In) 및 진출(Gate-Out)과 관련된 데이터는 실제 데이터(Real data)를 적용하여 게이트 시스템의 현재 상황을 동일하게 반영하였다. 특히, 트럭 반출입 시간과 반출입 라인(Lane)들은 확률 분포

값이 아닌, 4주간에 모든 트럭의 실제 반입과 반출이 일어난 시간과 레인들의 동일 데이터를 그대로 적용하였다. 이러한 이유는 선석에서 양적하 및 장치장에서 작업 상황에 따라 컨테이너의 체류시간(Dwelltime)과 트럭의 양적하 조건이 변동되어 게이트 시스템의 시뮬레이션 진행시에 트럭의 게이트 반출입 시간 변동이 발생되지 않도록 함으로써 게이트 시뮬레이션이 동일 조건에서 진행될 수 있도록 하기 위함이다. 뿐만 아니라, 트럭의 반출입 컨테이너 수와 컨테이너 유형(적, 공, 냉동, 위험물, 비규격)도 4주간에 실제 반출입이 발생된 데이터(Real data)를 동일하게 적용하였다. 다만, 반출입 게이트 레인별 처리시간은 통계치(Statistics)를 적용하였다.

Table 8 Gate simulation input & output variables

Classification	Variable Name	Value	
Input Variables	Gate -In	Truck Gate-in Time	Real data
		Truck Gate-in Lane	"
		Truck Gate-in Container Count	"
		Truck Gate-in Container Type	"
		Truck Gate-in Process Time	Statistics
	Gate -Out	Truck Gate-out Time	Real data
		Truck Gate-out Lane	"
		Truck Gate-out Container Count	"
		Truck Gate-out Container Type	"
		Truck Gate-out Process Time	Statistics
Output Variables	Gate -In	Gate-in Truck Count per Lane	Calculation
		Gate-in Truck Waiting Count per Lane	"
		Gate-in Process Time per Lane	"
		Gate-in Waiting Time per Lane	"
		Average Gate-in Process Time per Lane	"
		Gate-in Occupancy Rate per Lane	"
		Gate-in Waiting Rate per Lane	"
		Total Gate-in Truck Count	"
		Total Gate-in Truck Waiting Count	"
		Total Gate-in Process Time	"
		Total Gate-in Waiting Time	"
		Total Average Gate-in Process Time	"
		Total Gate-in Occupancy Rate	"
		Total Gate-in Waiting Rate	"
	Gate -Out	Gate-out Truck Count per Lane	Calculation
		Gate-out Truck Waiting Count per Lane	"
		Gate-out Process Time per Lane	"
		Gate-out Waiting Time per Lane	"
		Average Gate-out Process Time per Lane	"
		Gate-out Occupancy Rate per Lane	"
		Gate-out Waiting Rate per Lane	"
		Total Gate-out Truck Count	"
		Total Gate-out Truck Waiting Count	"
		Total Gate-out Process Time	"
		Total Gate-out Waiting Time	"
		Total Average Gate-out Process Time	"
		Total Gate-out Occupancy Rate	"
		Total Gate-out Waiting Rate	"

시뮬레이션의 출력변수(Output Variables)은 모두 시뮬레이션이 진행되는 동안에 진출입 레인별 및 전체 누적하여 계산하였으며, 계산에 적용된 산정식은 다음과 같다.

- 레인별 진출입 트럭수(Gate-in/Gate-out Truck Count per Lane) = $\sum(\text{레인별 진출입 트럭수})$ ----- (식 1)

- 레인별 진출입 대기 트럭수(Gate-in/Gate-out Truck Waiting Count per Lane) = $\sum(\text{레인별 대기 트럭수})$ ----- (식 2)
- 레인별 진출입 처리시간(Gate-in/Gate-out Process Time per Lane) = $\sum(\text{레인별 진출입 처리시간})$ ----- (식 3)
- 레인별 진출입 대기시간(Gate-in/Gate-out Waiting Time per Lane) = $\sum(\text{레인별 진출입 대기시간})$ ----- (식 4)
- 평균 레인별 진출입 처리시간(Average Gate-in/Gate-out Process Time per Lane) = $\text{Ave}(\text{레인별 진출입 처리시간})$ ----- (식 5)
- 레인별 점유율(Gate-in/Gate-out Occupancy Rate per Lane) = $\sum(\text{레인별 진출입 처리시간}) / \sum(\text{레인별 총가용시간})$ ----- (식 6)
- 레인별 대기율(Gate-in/Gate-out Waiting Rate per Lane) = $\text{Ave}(\sum \text{레인별 진출입 대기시간}) / \text{Ave}(\sum \text{레인별 진출입 처리시간})$ ----- (식 7)
- 전체 진출입 트럭수(Total Gate-in/Gate-out Truck Count) = $\sum(\text{진출입 트럭수})$ ----- (식 8)
- 전체 진출입 대기 트럭수(Total Gate-in/Gate-out Truck Waiting Count) = $\sum(\text{대기 트럭수})$ ----- (식 9)
- 전체 진출입 처리시간(Total Gate-in/Gate-out Process Time) = $\sum(\text{진출입 처리시간})$ ----- (식 10)
- 레인별 진출입 대기시간(Total Gate-in/Gate-out Waiting Time) = $\sum(\text{진출입 대기시간})$ ----- (식 11)
- 전체 평균 진출입 처리시간(Total Average Gate-in/Gate-out Process Time) = $\text{Ave}(\text{진출입 처리시간})$ ----- (식 12)
- 전체 점유율(Total Gate-in/Gate-out Occupancy Rate) = $\sum(\text{진출입 처리시간}) / \sum(\text{총가용시간})$ ----- (식 13)
- 전체 대기율(Total Gate-in/Gate-out Waiting Rate) = $\text{Ave}(\sum \text{진출입 대기시간}) / \text{Ave}(\sum \text{진출입 처리시간})$ -- (식 14)

4.4 게이트 시뮬레이션 모델의 개발

게이트 업무 흐름 분석, 모델 입출력 변수와 산정식을 기반으로 게이트에서 진출입하는 트럭들의 움직임 및 대기 상황을 분석하기 위한 게이트 시뮬레이션 모델은 Arena 프로그램을 이용하여 Fig. 8과 같이 개발하였다.

게이트 시뮬레이션 모델은 크게 6개의 모듈로 구성되어 개발하였다. 첫째 모듈은 트럭의 실제 도착 데이터를 파일로부터 읽어서 게이트 도착 간격에 따라 트럭 도착 이벤트를 발생시키는 기능 모듈이다, 둘째 모듈은 게이트에 도착한 트럭을 동쪽(East) 게이트로 분기하여 처리하는 기능 모듈이다. 셋째 모듈은 게이트에 도착한 트럭을 서쪽(West) 게이트로 분기하여 처리하는 기능 모듈이다. 넷째 모듈은 게이트에 진입한 트럭이 컨테이너 장치장에서 양적하 처리한 이후에 서쪽(West) 출구 게이트로 이동하여 빠져 나가는 기능 모듈이다. 다섯째 모듈은 동쪽 게이트 및 서쪽 게이트에 일정 시간 간격마다 중요 지표(Indicators) 자료를 파일에 기록하는 기능 모듈이다. 마지막 모듈은 실시간으로 트럭이 게이트를 통과할 때마다 모

든 자료를 화면에 표시하는 기능 모듈이다.

이와 같은 게이트 시뮬레이션 모델의 구성은 각각의 컨테이너 터미널의 위치 또는 게이트 수량의 구성에 따라 약간씩 달라질 수 있으나, 기본적인 구성은 크게 달라지지 않는다.

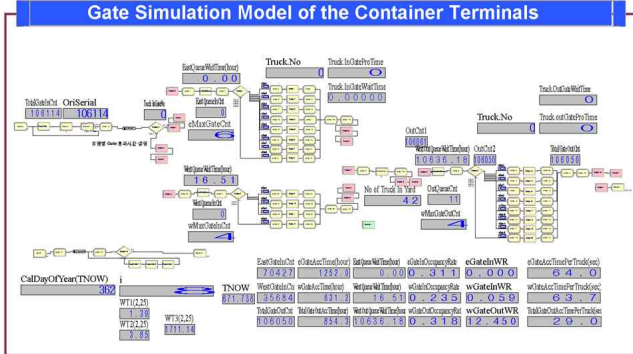


Fig. 8 Gate simulation model of the container terminals

4.5 개발 시뮬레이션 모델의 검증

개발한 게이트 시뮬레이션 모델의 타당성을 검증하기 위하여 P항만의 4주간(2014.12.1.~2014.12.28.)에 걸쳐서 도착한 트럭 기록 자료를 가지고 시뮬레이션의 입력 자료로 반영하여 실험하였다.

그 결과, Table 9와 같이 총 트럭수(Total Trucks) 106,123대에 대하여 진입 트럭수(Gate-In Trucks)는 106,114대, 진출 트럭수(Gate-Out Trucks)는 106,050대로, 진입율(Gate-In Ratio)은 99.99% 및 진출율(Gate-Out Ratio)은 99.93%로 거의 정확하게 처리되어 시뮬레이션 모델이 제대로 개발되어 작동되고 있음을 알 수 있었다. 여기서, 진입 트럭수와 진출 트럭수의 차이 64대(= 106,050 - 106,114)가 발생하는 이유는 시뮬레이션 데이터의 마지막 12.28일자 진입 트럭 중 당일에는 바로 나가지 않고 익일 12.29.일자에 진출하는 트럭이 있기 때문으로 정상적인 시뮬레이션 과정이다.

Table 9 Validation of the gate simulation model

Total Trucks (a)	Gate-In Trucks (b)	Gate-Out Trucks (c)	Gate-In Ratio (=b/a)	Gate-Out Ratio (=c/a)
106,123	106,114	106,050	99.99%	99.93%

4.6 게이트 시뮬레이션 진행 결과

개발한 게이트 시뮬레이션 모델을 가지고 기존 게이트 시스템 자료와 신규 게이트 시스템 자료를 비교하기 위하여 시뮬레이션을 진행하였다.

시뮬레이션 진행에 적용된 입력 자료는 Table 10의 시뮬레이션 시나리오 자료를 토대로 적용하였으며, 그 시뮬레이션 결과는 Fig. 9 및 Table 11과 같이 나타났다. Fig. 9의 가로축은 4주간 시간으로 나타내어 총 672시간(=4주*24시간) 동안에 세로축은 진출입에 따른 대기 트럭의 수가 요일별로 반복되는 패턴을 보여주고 있음을 알 수 있다.

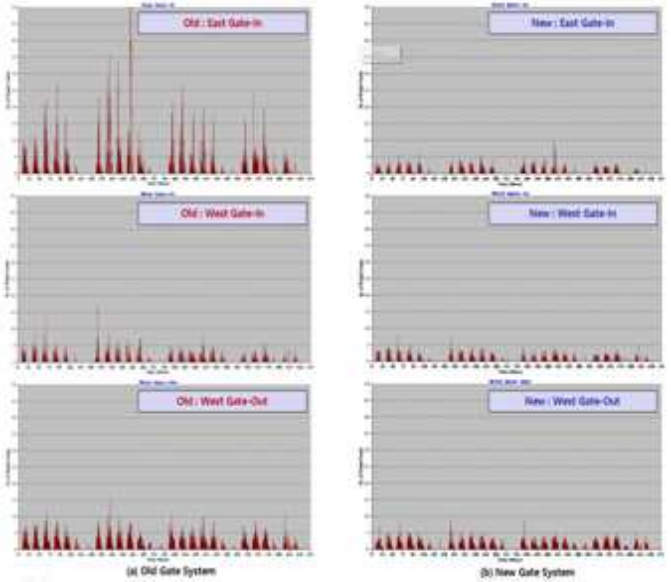


Fig. 9 Simulation results between old gate system and new gate system

Table 10 Simulation scenarios(Unit : sec, ea)

Classification	Old Gate System		New Gate System		
	Gate-In	Gate-Out	Gate-In	Gate-Out	
Container Types	Full Container	110	20	54	19
	Empty Container	110	20	54	19
	Refrigeration Container	110	20	54	19
	Dangerous Container	110	20	54	19
	Over-size Container	110	20	54	19
	Vacant Truck	110	20	54	19
Truck Movement Time	10		10		
Total Trucks(ea)	106,123				

Table 11 Simulation results(maximum waiting basis)

Waiting		Old Gate System (a)	New Gate System(b)	Gap (b-a)
East Gate-In	Number of Trucks	50ea	10ea	-40ea
	Waiting Time	120min (=50ea*120sec/60)	5.3min (=10ea*64sec/60)	-114.7min
West Gate-In	Number of Trucks	17ea	7ea	-5ea
	Waiting Time	34min (=17ea*120sec/60)	7.5min (=7ea*64sec/60)	-26.5min
West Gate-Out	Number of Trucks	11ea	9ea	-2ea
	Waiting Time	5.5min (=11ea*30sec/60)	4.4min (=9ea*29sec/60)	-1.1min

시뮬레이션 결과를 요약한 Table 11과 같이, 기존 게이트 시스템(Old Gate System)의 시뮬레이션 결과를 보면, 동쪽 게이트의 트럭 진입시에 대기가 심할 때는 최대 50대 이상의 대기 현상이 발생하여 트럭이 최대 120분을 대기하는 것으로 나

타났다. 반면, 신규 게이트 시스템(New Gate System)에서는 최대 트럭 대기시간이 10대 이상을 넘어가지 않아 최대 대기시간이 5.3분을 초과하지 않는 것을 나타냈다. 즉, 서쪽 게이트의 진입시에 기존 게이트 시스템은 최대 대기시간이 17대 이상씩 발생하였으나, 신규 게이트 시스템에서는 최대 7대 미만의 트럭 대기시간이 발생하였다. 이러한 차이는 Table 10에서 보는 바와 같이 기존 게이트 시스템에서 진입시 트럭당 처리시간이 대당 110초에서 신규 게이트 시스템에서는 대당 54초로 대폭 줄어들어 트럭 대기수도 줄어들었으며, 진출시에는 기존 게이트 시스템의 대당 처리시간 20초에서 신규 게이트 시스템의 19초와 같이 큰 차이가 없어서 트럭 대기수는 큰 변화가 없게 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 부산신항 P항만을 대상으로 외부 트럭의 관점에서 항만의 최적 게이트 서비스 수준을 찾아내기 위하여 게이트 중심의 시뮬레이션 모델을 개발하였고, 게이트에서 트럭 대기시간이 어떻게 변해가는지를 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 결과, 동쪽 진입 게이트 기준으로 기존 게이트 시스템에서는 최대 50대의 트럭 대기시간과 120분의 대기시간이 발생하였으나, 신규 게이트 시스템에서는 최대 10대의 트럭 대기시간과 5.3분의 대기시간이 발생하였다. 서쪽 진입 게이트 기준으로 기존 게이트 시스템에서는 최대 17대의 트럭 대기시간과 34분의 대기시간이 발생하였으나, 신규 게이트 시스템에서는 최대 10대의 트럭 대기시간과 5.3분의 대기시간이 발생하였다. 서쪽 진출 게이트 기준으로 기존 게이트 시스템에서는 최대 11대의 트럭 대기시간과 5.5분의 대기시간이 발생하였으나, 신규 게이트 시스템에서는 최대 9대의 트럭 대기시간과 4.4분의 대기시간이 발생하였다.

따라서, 기존 연구와 차별성으로 개발된 게이트 시뮬레이션 모델을 통하여 각 게이트의 대당 진출입 처리시간의 조정에 따라 어느 정도의 트럭 대기시간이 발생하는지를 정확히 파악할 수 있게 되었다. 뿐만 아니라, 각 게이트에서 트럭 진출입에 따른 대당 처리시간을 여러 상황으로 가정하여 조정하여 봄으로써 트럭의 대기시간이 발생하는 수준도 반복적으로 시뮬레이션 함으로써 최적의 게이트 수 및 게이트 시스템의 운영 조건을 찾아 낼 수 있다. 또한, 이를 활용하면, 컨테이너항만 뿐만 아니라 벌크 항만에서도 트럭의 대기시간이 발생하지 않는 최적의 게이트 시스템 운영 조건을 수립할 수 있다. 또는, TOC나 트럭 운송사의 입장에서 원하는 적정 수준의 트럭 대기시간을 기준으로 게이트 시스템을 조정할 수도 있을 것이다. 다만, 본 연구에서 제시한 게이트 시뮬레이션 모델을 활용하여 현행 항만 게이트 시스템을 조정하고자 할 때는 약간의 조정으로 활용 가능하나, 신규 항만의 게이트 시스템을 설계하고자 할 때는 연간 최대 트럭 진출입 규모 및 진출입 도착분포와 게이트 레인에서 진출입 트럭별 컨테이너 적재 유형과 수량에 따라 처리시간이 달라질 수 있으므로 고려하여야 한다.

또한, 최근 국내외적으로 어려움을 겪고 있는 국적 선사들의 경쟁력 향상과 부산항만공사(2016)에서 언급한 국제적인 메가 얼라이언스 변화에 맞춰 부산항 2,000만TEU 목표 달성을 위해 필수적인 환적물량 유치와 항만인프라 적기 확보에서 논의된 환적화물 이동(ITT)의 컨테이너 터미널 간 셔틀 트럭의 최적 운영 모델 수립에도 본 게이트 시뮬레이션 모델을 활용할 수 있을 것이다.

다만, 본 연구는 항만의 게이트 시스템을 구성함에 있어 게이트에서의 트럭의 대기수준을 고려하여 진출입 게이트 수의 구성과 각 게이트의 서비스 시간을 어느 정도 수준으로 갖추는 것이 최적인가를 파악하기 위한 게이트 시뮬레이션 모델의 개발 연구이다. 따라서, 항만의 전반적인 처리 능력에 영향을 주는 선석에서의 하역능력, 장치장의 처리 능력 및 게이트에서의 트럭의 반출입 화물의 수량과 유형에 따른 개별 게이트 서비스 능력 등을 포함한 여러 변수 요인에 따라 달라질 수 있다. 이러한 변수 요인들을 반영하여 개발된 선석 및 장치장의 개별 시뮬레이션 모듈들이 연계된다면, 현재 개발된 게이트 시뮬레이션 모델의 활용가치가 보다 향상될 수 있을 것이다.

References

- [1] Bupan Port Authority(2016), Busan Port 20 million TEU Achieved Total War, Shipping Professional Press Conference, <http://www.ksg.co.kr/>.
- [2] Choi, H. R., Lee, C. S., Shon, J. R., Lee, H. J., Lee, H. I., Shin, J. J(2009), Selection of Optimum Alternative for Deploying Automated Gate System in Container Terminal, *Entrue Journal of Information Technology*, Vol. 8, No. 2, pp. 171-181.
- [3] Choi, Y. S., Ha, T. Y., Kim, W. S(2006), Analysis of Operational Impact for Separated Gate System in Port Container Terminal, *Journal of navigation and port research*, Vol. 30, No. 5, pp. 389-396.
- [4] Dragovic, B., Park, N. K, Radmilovic, Z. R(2006a), Ship-berth link performance evaluation: Simulation and analytical approaches, *Maritime Policy & Management*, Vol. 33, No. 3, pp. 281-299.
- [5] Dragovic, B., Park, N. K, Radmilovic, Z. R(2006b), Modeling of ship-berth-yard link performance and throughput optimization, *Proceeding of Annual Conference - The IAME*, pp. 1-21.
- [6] Hong, D. H., Chung, T. C(2003), Optimized design for gate complex and operation method of automated port, *The KIPS transactions : Part A*, Vol. 10A, No. 5, pp. 513-518.
- [7] Lee, H. I(2009), A Study on the Efficiency Evaluation of

Container Truck Interface System in the Horizontal Layout Container Terminal, Doctoral Thesis of Dong-a University.

- [8] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF)(2013), A Study on Estimation of the Proper Cargo Handling Capacity by Port Cargo Exclusive Pier.
- [9] Ministry of Oceans and Fisheries(MOF)(2014), A Study on Estimation of the Proper Cargo Handling Capacity by Container Terminals.
- [10] Wenkai Li, Yong Wu, Mark Goh(2015), Planning and Scheduling for Maritime Container Yards, Springer, ISBN: 978-3-319-17024-4, p. 8.

Received 23 August 2016

Revised 23 November 2016

Accepted 28 November 2016