

컨테이너 반출예약제 기대효과의 계량적분석

김우선* · 최용석* · 하태영*

* 한국해양수산개발원 항만시스템팀

Numerical Analysis of Delivery Reservation Effect

Woo-Sun Kim* · Yong-Seok Choi* · Tae-Young Ha*

* Korea Maritime Institute, Seoul 138-730, Korea

요 약 : 컨테이너터미널의 경쟁력을 향상시키기 위해서 만성적 부족상태에 있는 국내 컨테이너 터미널의 야드 효율성을 높이고, 터미널 생산성을 향상시킬 수 있는 반출예약제에 대한 기본적인 개념과 기존 터미널에 적용 시 기대효과를 연구

핵심용어 : 반출예약제, 컨테이너 재조작, 장치면적, 외부트럭대기시간, 터미널내 체류시간

ABSTRACT : To improve competitive power of the container terminal, we must enhance the yard efficiency of a domestic container terminal in the chronic shortage situation. Therefore, we investigate the basic concept and the expected effect of delivery reservation when applying at existing container terminal.

key words : delivery reservation, rehandling, yard capacity, truck wait time, truck turnaround time

1. 서 론

컨테이너터미널의 경쟁력을 향상시키기 위해서는 터미널내의 생산성을 제고하여야 하고, 이를 위해 항만시스템네트워크를 통해 선박과 화주와 운송회사들 간의 사전 EDI 정보교환이 필수이다. 본선 양적하작업에 관한 야드 계획수립시스템에 필요한 정보는 선박회사 및 반입운송사와의 사전 EDI교환으로 계획 및 야드운영의 효율성을 제고하고 있다. 이에 비해 화물반출 업무는 EDI를 통해 정보가 사전에 교환되고 있지 않기 때문에 터미널내의 장치장활용 및 야드크레인 등 장비배정상 비효율적 부문으로 남아 있다. 화주나 보세운송업자의 화물인도 요청에 의해 화물이 터미널에서 반출되나, 터미널 입장에서 수입된 화물들의 반출정보가 없기 때문에 야드에서 고단적 장치가 불가능하고, 외부트럭의 터미널 내 체류시간도 길어져 게이트에서 대기문제가 발생되고 있다.

이러한 문제점을 염두에 두고서 본 연구에서는 만성적 부족상태에 있는 국내 컨테이너 터미널의 야드 효율성을 높이고, 터미널 생산성을 향상시킬 수 있는 반출예약제에 대한 기본적인 개념과 기존 터미널에 적용 시 기대효과를 연구하였다.

2. 본 론

2.1 반출예약제의 개념¹⁾

* 정희원, firstkim@kmi.re.kr, 02-2105-2889

* drasto@kmi.re.kr, 02)2105-2886

* drasto@kmi.re.kr, 02)2105-2887

1) 윤동환, 최중희, 최상희(2001):컨테이너화물 반출예약제 도입 연구, 2001, KMI 기본연구

항만에서의 컨테이너 화물흐름과 관련된 경제주체들은 화주, 육송운송업체, 터미널 운영자, 선사, 중계업무를 담당하는 포워드업체로 구성된다.

컨테이너 화물은 크게 수출과 수입, 환적컨테이너 세 가지로 나누는데 이중 반출예약제와 밀접한 관련이 있는 화물은 수입 컨테이너라 할 수 있다. 이러한 수입 컨테이너에 대하여 항만관련 경제주체들간에 효율적인 반출계획을 예약하여 항만에서의 불필요한 물류비 및 운영비를 절감하고자 하는 제도가 반출예약제의 기본개념이다.

본 연구에서는 컨테이너화물에 대한 반출예약제를 다음과 같이 정의하기로 한다.

반출예약제란 “ 화주 혹은 화주를 대신하는 경제주체(포워드, 운송회사)가 수입 컨테이너 화물의 도착정보를 컨테이너터미널로부터 입수하여 화물을 인출하고자 하는 날짜와 시각을 컨테이너터미널 운영자와 사전협의를 거쳐 결정한 후, 정해진 반출일자에 맞추어 컨테이너가 반출되도록 터미널 운영자와 컨테이너 운송을 책임진 경제주체들이 서로 협조하도록 하는 제도”이다.

2.2 반출예약제 시행시 터미널에서의 기대효과

본 연구에서는 기존터미널에서의 운영방안을 개선한다는 측면에서 반출예약제를 통한 터미널의 효과를 모형을 통해 분석하고 효과를 산정한다.

반출예약제 시행시 실질적으로 터미널에서 나타나는 기대효과는 컨테이너 재조작의 감소효과와 장치장 소요면적의 감소,

외부트럭 체류시간감소효과로 나눌 수 있다. 이러한 효과를 4단 적의 일반컨테이너터미널을 대상으로 계량적으로 분석하면 다 음과 같다.

1) 컨테이너 재조작(rehandling) 감소효과

반출예약제 시행시 수입화물에 대한 재조작 횟수의 절감을 분 석하기 위해서 다음과 같이 가정한다.

- i. 4단적 터미널에서 동일화주의 4Box 컨테이너는 동일 단적 (Tier)에 적재.
- ii. 1Box, 2Box, 3Box의 경우 혼합 장치를 허용.
- iii. 동일화주의 4배수 컨테이너를 제외한 나머지가 1, 2, 3Box 인 컨테이너에 대해서만 고려를 함.
- iv. 각 Box의 비율은 33.33%로 동일하다고 가정.
- v. 각 Box의 장치비율도 fig. 1과 같음.

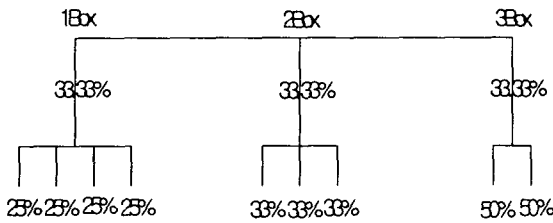


Fig. 1 Delivery request rate and storage configuration rate by box

반출요청 컨테이너를 1Box, 2Box, 3Box로 구분하여 야드에 장치할 수 있는 형태로 표현한다면 아래 fig. 2의 9가지 형태로 나눌 수 있다.

각 Box별, 반출요청 컨테이너의 장치위치별로 야드에서 크레인 이 작업을 수행하는 작업회수가 결정된다.

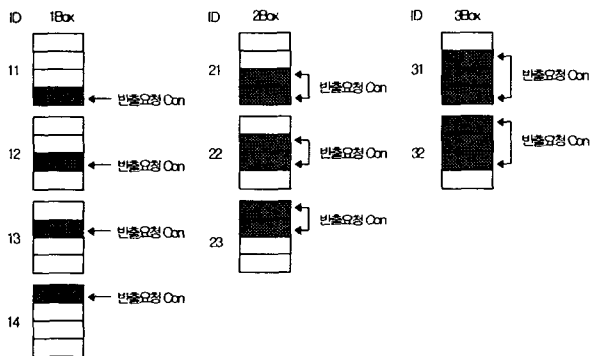


Fig. 2 Work location and rate for delivery request container

위의 fig. 2의 각 박스별, 장치위치별 ID에 따라 컨테이너 반출 작업을 위한 작업회 수는 ID 11번의 경우 1단의 컨테이너를 차 량에 싣기 위해서 7회의 작업이 필요하고, ID 21의 경우 6회의 작업의 필요하며, ID 31의 경우는 5회의 작업이 필요하다. 이와

같이 장치위치와 Box 수를 고려하여 1000번의 반출요청에 따 라 작업을 수행한 경우를 반출예약제 미시행의 경우와 반출예 약제 완전시행의 경우로 나누어서 산출해보면 장치장크레인의 작업회수가 4000번과 2000번으로 나타난다. 따라서 반출예약제 를 실시하면 다음 table 1과 같다.

Table 1 Work number of yard equipment when task occurs 1,000 times

ID	Ratio	Cumulative Prob	Work No.(회)	예약제 미시행(회)	예약제100% 시행(회)
11	0.083	0.083	7	583	
12	0.083	0.167	5	417	
13	0.083	0.250	3	250	
14	0.083	0.333	1	83	333
21	0.111	0.444	6	667	
22	0.111	0.556	4	444	
23	0.111	0.667	2	222	667
31	0.167	0.833	5	833	
32	0.167	1.000	3	500	1,000
계				4,000	2,000

2) 장치장 면적의 감소 효과

일반적으로 컨테이너 터미널에서 수출블록의 경우 상대적으로 장치기간도 짧고, 고단적으로 장치하여 운영하고 있다. 이는 사 전에 수출컨테이너에 대한 정보를 입수하여 장치장에서 장치계 획을 수립하므로 가능하다. 그러나 수입컨테이너의 경우는 사 전에 반출에 관련된 정보를 가지지 못하므로, 재조작을 줄이기 위해서는 단적수를 낮추어서 장치해야한다.

사전 반출예약제가 터미널 운영정책에 도입되면 모든 컨테이 너의 반출에 대한 정보가 명확해져 나가는 순서대로 컨테이너 를 장치할 수 있게 되고, 이는 현재보다 더 높은 단적으로 장치 할 수 있으며 궁극적으로 단위면적당 컨테이너 처리량을 증가 시키는 효과로 연결되어 최종적으로 장치장에서의 단위면적당 생산성을 제고시키게 될 것이다. 고단적으로 장치할 경우 많은 재조작으로 트럭의 체류시간(turnaround)이 증가하고 장치장하 역장비의 작업회수가 증가한다.

아래의 fig. 3은 반출예약제를 통하여 야드의 장치형태를 개선 했을 때의 장치형태를 보여준다.

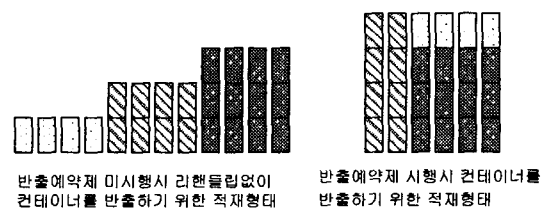


Fig. 3 Yard storage configuration by delivery request

위의 fig. 3과 같이 장치형태를 개선하여 장치장의 장치합리화를 이루었을 때 장치장의 장치효율은 증가한다. 이를 계량화하기 위해서 각 Box별 비율을 33.33%로 가정하고, 1, 2, 3 Box를 1,000번의 반출요청에 대하여 분석하면 다음 table 2와 같다.

Table 2 Usage efficiency of yard

ID	Ratio	반출요청	Con No.	분석결과
1Box	33%	333회	333	
2Box	33%	333회	666	
3Box	33%	333회	999	
반출예약제 미시행시 재조작이 전혀 없이 컨테이너를 반출하기 위해 필요한 TGS수				1,000TGS
반출예약제를 100% 계획적으로 운영시 필요한 TGS수				500TGS
야드이용효율 향상				200%

야드의 이용효율을 분석해보면 가정된 비율에 따라 1,000번의 반출요청시 각 Box별 반출요청은 333회씩으로 산출이 되고 여기에 따른 반출 컨테이너수는 각각 333, 666, 999Box가 발생이 된다.

fig. 3과 같이 반출예약제의 미시행시 재조작이 전혀 없이 컨테이너를 반출하기 위해서 필요한 TGS수는 1,000TGS이며 반출예약제를 100% 계획적으로 운영할 시 소요되는 TGS수는 500TGS로 나타난다. 여기에서 반출예약제를 100% 계획적으로 운영한다면 야드의 이용효율은 200% 증가한다는 것을 알 수 있다.

따라서, 야드의 효율이 200% 증가한다는 것은 수입화물장치장 소요야드의 면적을 1/2로 감소시킬 수 있거나 2배 늘려서 사용할 수 있다는 것을 의미한다.

2.2.3 외부트럭 대기시간 및 터미널 내 체류시간 단축효과

실제 외부트럭이 블록에 도착하면 야드장비가 다른 외부트럭을 서비스하고 있는 중일 수도 있다. 그러면, 도착한 외부차량은 대기를 하게 된다. 이러한 경우 대기모형을 적용하여 외부차량의 대기시간을 분석하였다. 야드장비는 외부트럭이 컨테이너를 반출하려고 들어오면 야드장비가 이동하고 난 뒤에 서비스를 하게 된다. 이러한 경우에 외부차량의 도착간격시간은 지수분포로 가정하고 야드장비의 서비스 시간은 1Box의 컨테이너를 재조작 또는 외부트럭에 상차작업을 하는데 각 30초가 소요된다고 가정한다.

도착율은 지수분포로 가정하고, 야드장비의 서비스시간은 일반적으로, Server는 야드 장비 한 대이므로 M/G/1에 적용할 수 있다. 위에서 언급된 가정과 정의를 이용해서 반출예약제의 시행의 경우와 미시행의 경우를 트럭의 시스템 내 체류시간과 대기시간을 비교 분석한다. 대기모형이 (M/G/1)일 때 공식은 table 3과 같다.

Table 3 Formula with queueing model(M/G/1)²⁾

M/G/1 대기모형		반입작업에서의 내용
평균도착율	λ	외부차량의 컨테이너 도착
평균서비스시간	$1/\mu(\mu:서비스율)$	취급시간평균+이동 시간분산
혼잡도	$\rho=\lambda/\mu$	TC 장비의 Utilization
서비스시간 분산	V	취급시간분산+이동 시간분산
시스템 내 평균 고객수	$L_s = \rho + \frac{\lambda^2 V + \rho^2}{2(1-\rho)}$	블록 내 도착차량의 평균길이
대기행렬의 평균길이	$L_q = \frac{\lambda^2 V + \rho^2}{2(1-\rho)}$	블록 내 대기차량의 평균길이
시스템에서의 평균 체류시간	$W_s = \frac{L_s}{\lambda}$	블록 내 도착차량의 체류시간
Queue에서의 평균 대기시간	$W_q = \frac{L_q}{\lambda}$	블록 내 대기차량의 대기시간

반출예약제의 시행과 미시행의 경우 외부트럭의 시스템 내 체류시간과 대기시간을 분석하기 위해 1개의 블록을 대상으로 하였다. 그리고 장비는 야드장비 1대가 FCFS(First Come First Serve) 서비스를 하며 야드장비의 반출예약제 시행과 미시행 경우의 Cycle Time의 평균과 분산을 구하기 위해서 위에서 언급한 table 1을 참조하여 트럭입장에서의 장치장에서의 작업을 재정리하면 다음 table 4와 같다. 이는 트럭에 컨테이너가 실리면 그 이후에 발생하는 야드하역 장비의 작업은 외부트럭과는 무관하다고 가정하고 산정된 것이다. 그러므로 ID 11의 작업회수 4회, ID 21의 작업회수는 4회, ID 31의 작업회수 4회로 조정되었다. 이에 따라 작업 1회당 작업시간 30초를 곱하여 4회작업 120초, 3회작업 90초, 2회작업 60초, 1회작업 30초 등으로 계산되었다.

Table 4 Work time table for delivery of truck

ID	Ratio	Work No.(회)	미시행 작업시간(초)	시행 작업시간(초)
11	0.083	4	120	
12	0.083	3	90	
13	0.083	2	60	
14	0.083	1	30	30
21	0.111	4	120	
22	0.111	3	90	
23	0.111	2	60	60
31	0.167	4	120	
32	0.167	3	90	90

2) 유명옥(1998):컨테이너 터미널에서의 작업시간에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문

table 4에서 얻어진 미시행 작업시간과 시행 작업시간을 이용해서 기초통계량을 도출한 결과 미시행 작업시간의 평균작업시간은 86.7초, 분산은 1,000초로 산출되었다. 그리고, 시행 작업시간의 평균작업시간은 60초, 분산은 900초로 산출되었다. 이를 야드장비의 작업을 위한 이동시간의 평균 59초와 분산 1,723초를 정리한 것이 아래의 table 5이다.

Table 5 Service time and travel time of yard equipment

구분	Cycle Time(초)		야드장비 이동시간(초)
	미시행	시행	
평균	86.7	60	59
분산	1,000	900	1,723

위에서 언급한 table 3 공식에 table 5 야드장비의 서비스시간과 이동시간의 평균과 분산을 적용하여 도착율의 변화에 따른 혼잡도, Ls, Lq, Ws, Wq를 도출하여 table 6과 같이 비교하였다.

Table 6 Comparison among complexity Ls, Lq, Ws, Wq by changing of arrival rate

도착율	혼잡도		Ls(대)		Lq(대)		Ws(hr)		Wq(hr)	
	미시행	시행	미시행	시행	미시행	시행	미시행	시행	미시행	시행
5	0.20236	0.16528	0.23132	0.18467	0.02896	0.01939	0.04626	0.03693	0.00579	0.00388
10	0.40472	0.33055	0.55995	0.42728	0.15523	0.09673	0.05599	0.04273	0.01552	0.00967
15	0.60708	0.49583	1.13623	0.78481	0.52915	0.28898	0.07575	0.05232	0.03527	0.01926
20	0.80944	0.66111	2.74915	1.42541	1.93971	0.76430	0.13746	0.07127	0.09698	0.03821
22	0.89638	0.72722	4.97065	1.87616	4.08926	1.14894	0.21594	0.08528	0.18547	0.05222
24	0.97133	0.79333	19.5383	2.59806	18.56700	1.80500	0.81410	0.10825	0.77363	0.07520

이를 분석해보면 도착율이 증가함에 따라 반출예약제 미시행의 경우 혼잡도가 급격하게 상승하여 도착율 24에서 혼잡도 0.97133으로 극도로 혼잡함을 볼 수 있으며, 시스템내의 평균고객수(Ls)는 19.5383으로 시스템에 과부하가 걸리기 시작한다. 이에 따라 대기가 많이 발생하기 시작해서 시스템내의 대기행렬의 평균길이(Lq)가 18.567로 급격하게 증가한다. 그리고, 시스템에서의 평균체류시간(Ws)과 Queue에서의 평균대기시간(Wq)도 각각 0.81410, 0.77363으로 시스템내의 체류시간과 대기시간이 기하급수적으로 증가한다. 그러나, 상대적으로 반출예약제 시행의 경우 도착율 24에서 혼잡도 0.79333, 시스템 내 평균고객수 2.59806, 대기행렬의 평균길이 1.805, 시스템내의 평균체류시간 0.10825, Queue에서의 평균대기시간 0.07520으로 전체적으로 완만한 상승세를 유지하면서 안정적인 형태를 띄고 있다.

물동량이 크게 증가해 외부트럭의 반출입이 급증할 경우 외부트럭의 대기가 크게 증가하고, 따라서 외부트럭의 체류시간이 길어지게 된다. 그러나 반출예약제를 도입한 경우에는 물동량이 크게 증가하더라도 계획적인 반출스케줄에 의하여 외부트럭

의 대기나 체류시간이 급격하게 증가되지 않는다는 것을 알 수 있다.

참고로, 시스템 내의 평균체류시간과 평균대기시간의 비교를 차트로 나타내면 다음 fig 4와 같다.

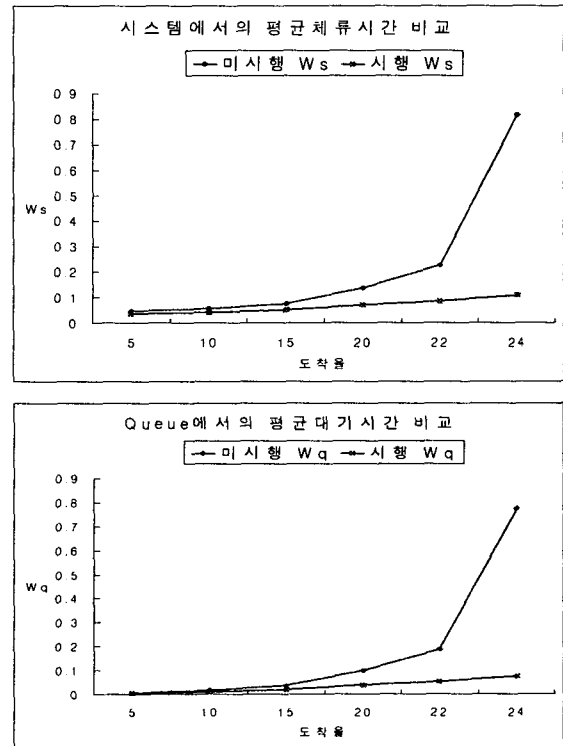


Fig. 4 Comparison between mean turnaround time and waiting time in system

3. 결론

화물반출예약제를 시행함으로써 터미널에 대하여 계량적 분석을 통해 그 효과를 분석·검토해 보았다. 결론적으로 터미널의 측면에서는 세 가지 측면에서 야드의 생산성이 증가된다는 것이다.

첫째, 비록 본 연구에서 1,2,3Box의 비율을 각33%로 가정하였으나, 각 Box의 비율을 변화시킨다 하더라도 반출예약제 미시행의 경우 평균작업 회수는 4회이고, 시행의 경우 평균작업회수는 2회이기 때문에 계획적인 반출에 따른 컨테이너 재조작 회수는 1/2로 감소가 이루어진다는 것이다. 따라서 상대적으로 장비의 활용도가 높아질 뿐만 아니라 야드의 생산성 또한 증가될 것이다.

둘째, 계획적인 반출로 컨테이너 장치효율 향상에 따른 소요야드의 면적이 1/2로 줄어든다는 것이다. 이는 신규터미널의 경우 비싼 야드면적을 줄일 수 있을 것으로 판단되며 기존터미널의 경우도 물동량의 급격한 증가로 인한 야드의 부족현상이 발생할 경우 고려할 수 있는 운영방안이라 판단된다.

셋째, 반출예약제 시행시, 미시행에 비하여 외부트럭 도착율이 22 이상일 때 혼잡도, 대기트럭 대수 및 대기시간이 급격하게 증가함을 알 수 있다. 따라서 계획적인 반출이라면 야드 내의 원활한 흐름을 유도할 수 있고 이에 따른 트럭의 터미널 내 체류시간의 단축을 유도할 수 있다는 것이다. 이는 트럭회사의 입장에서 터미널에 대하여 언제든지 정확하고 신속한 서비스를 받을 수 있다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 단순계량분석을 적용하여 실제 컨테이너터미널의 운영시의 효과를 대략적으로 파악하였다. 그러나, 추후 컨테이너터미널의 좀더 실제적인 운영상황의 반영을 위해서는 시뮬레이션을 이용한 방법을 이용한 세밀한 분석이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 유명욱(1998):컨테이너 터미널에서의 작업시간에 관한 연구, 부산대학교 석사학위논문
- [2] 윤동환, 최종희, 최상희(2001):컨테이너화물 반출예약제 도입 연구
- [3] 최종희(1999):해운·항만분야 물류정보의 효율적인 전자문서교환(EDI) 서비스시스템 구축방안
- [4] Fran Kho(2001):"Optimizing & Integrating Vessel, Yard & Gate Activities", TOC Asia, 20th~22th February
- [5] Tao Chen(2001):"Does Higher Land Utilization Generate Higher Unproductive Moves? A Study Between Container Terminals With Various Land Utilization", Department of Shipping and Logistics, Kai-Nan University, Taoyuan, Taiwan, The international association of maritime economists annual conference