

컨테이너터미널의 결합생산성 분석을 위한 시뮬레이션 연구

최용석, 하태영

A Study on Simulation for Combined Productivity Analysis
at Container Terminal

Yong Seok Choi, Tae Young Ha

Abstract

The objective of this paper is to analyze the combined productivity at container terminal. We present a model for combined productivity that perform the container transportation between apron and yard. Usually, the efficiency of container terminal is evaluated by productivity of container cranes at apron, but there are other equipment such as transport vehicles and yard cranes. Therefore, a method that can estimate the combined productivity of equipment of container terminal is required. We performed various simulation experiment and analyzed combined productivity to estimate the required number of equipment.

Key Words : Combined Productivity, Container Terminal, Equipment,

1. 서론

국내의 부산항과 광양항의 컨테이너터미널은 생산성에 직접적인 영향을 미치는 장비 보유대수 측면에서 안벽크레인인 CC(Container Crane) 대비 야드크레인(TC: Transfer Crane)의 보유율이 평균 2.48대로 경쟁항만인 홍콩항의 평균 3.84대와 싱가포르항의 평균 3.25에 비해 상대적으로 낮은 수준이며, CC도 선석당 2.4대, CC당 YT(Yard Tractor) 대수도 5.8대로 보유수준이 낮으며, 야드 장치면적도 상대적으로 부족한 실정이다. 컨테이너터미널의 생산성은 안벽시스템, 이송시스템, 적재시스템 등에 사용되는 CC, YT, TC의 장비 생산성에 영향을 받으므로 이들 장비 각각을 어떠한 조합으로 보충을 하여야 하역시스템이 전체 터미널의 생산성을 효율적으로 향상시키는지에 대한 진단과 분석방법이 필요하다.

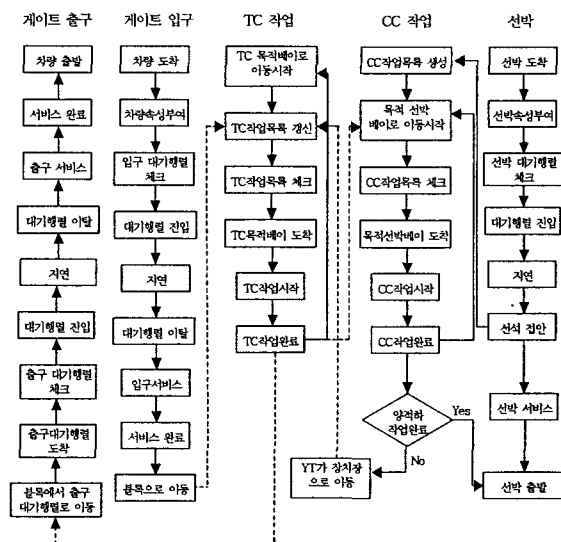
또한 컨테이너터미널의 생산성을 분석하기 위한 다양한 평가지표들이 사용되고 있으나 이는 결과 분석을 위한 도구의 역할을 하며, 애로공정의 원인규명을 통한 문제해결에는 적극적이지 못하며, 항만하역시스템을 구성하는 장비들간의 생산성에 상호 영향을 주며, 이러한 생산성에서의 트레이드-오프 관계를 규명하여 애로공정이 발생하는 장비의 생산성을 조정하여 취급능력을 향상시키는 결합생산성(Combined Productivity) 평가지표와 분석기술이 필요하다.

국내의 부산항과 광양항에서 현재 운영중인 컨테이너터미널은 거의 동일한 항만하역시스템을 사용하므로 표준화된 항만하역시스템의 결합생산성 지표의 개발과 분석으로 컨테이너터미널의 생산성 향상을 위한 방안제시가 필요하다.

현재 국내에서 운영중인 컨테이너터미널은 CC, YT, TC(Rubber Tired Gantry Crane 유형) 장비를 사용하는 항만하역시스템으로 CC-YT-TC 연계수송체계를 가지고 있으므로 국내의 CC-YT-TC 연계수송체계를 대상으로 하며, 각 장비의 특성을 반영한 생산성 평가지

표에 대해서 이들의 상호연계에 의하여 발생하는 결합생산성의 평가함수를 모형화하고, 실증 분석을 위해서 시물레이션 모델을 이용하여 분석하며, 생산성 저하를 야기하는 애로공정을 파악하고 이 애로공정을 조정하는 기술을 개발하여야 한다. 기존의 항만시스템 분석시에 적용하는 방법은 <그림 1>과 같이 항만에서의 작업흐름이 연속적인 흐름을 가짐에도 불구하고 CC, YT, TC의 생산성을 동시에 분석하여 최적화하는 방식이 아니라 단계적으로 생산성을 분석하였으며, 항만설계시 장비소요규모 결정시에도 장비들간의 생산성의 상호작용을 판단하기 어려우므로 시물레이션 방식을 사용하여 판단하는 것이 필요하다. 시물레이션 방법을 통해서 실증 분석하는 것이 방법론의 타당성을 입증하기 위한 수단으로 사용될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 컨테이너터미널의 항만하역시스템의 생산성이 컨테이너 취급에 직접 사용되는 장비인 CC, YT, TC의 개별적인 생산성이 결합된 형태로 나타나며, 이들간의 결합으로 인한 애로공정 및 시간지연이 발생하고 있으므로 애로공정을 최소화하여 결합생산성을 최대화하도록 컨테이너터미널의 항만하역시스템의 취급능력을 극대화할 수 있는 향상 방안을 제시하고자 한다.



<그림 1> 컨테이너터미널에서의 작업흐름

2. 항만의 생산성 개념

2.1 생산성 평가지표

항만 생산성을 위한 평가지표에 대한 연구는 컨테이너를 싣고 내리는 선박의 작업을 위주로 이루어졌으며, 방법론은 시물레이션을 많이 이용하고 있다[1][2]. 또한 생산성에 크게 영향을 미치는 고장현상을 반영한 연구도 진행되었다[5]. 생산성에 대한 평가지표는 계획단계와 운영단계를 구분하여 적용되어야 한다는 관점도 있으며[3][8][9], 사용하는 운영시스템에 따라 다양한 평가방법이 사용되고 있다[4][7].

<표 1>과 같이 컨테이너터미널의 경우 다양한 생산성관련 지표가 사용되고 있지만 그중 결합생산성의 경우 각 장비들로 구성된 대기현상이 복합적인 대기네트워크(<그림 2> 참조)를 형성하기 때문에 상세한 모델링에 의한 표현이 이루어지지 않으면 시물레이션으로 분석하기에도 어려움이 있다.

2.2 국내 항만의 생산성 현황

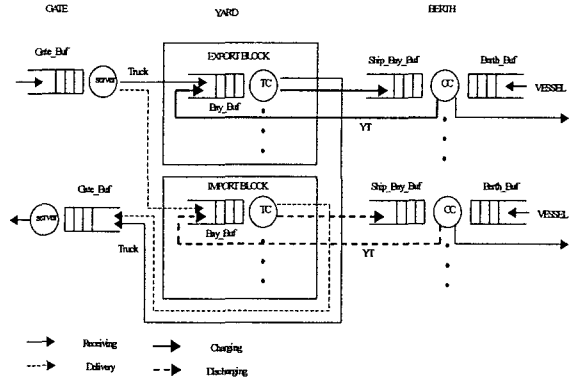
국내에서 가장 일반적으로 적용하는 CC의 생산성은 총작업시간당 처리한 컨테이너처리개수로 표현되는 총작업생산성으로 표현되며, <그림 3>과 같이 해마다 일정한 성장률로 성장하고 있으며, 선형적인 추세를 가지고 있다. 9년간의 생산성 향상을 평가해보면 시간당 18.46개에서 24.39로 성장한 것을 알 수 있다.

이 결과는 생산성이 자연성장률을 따라 향상되고 있음을 의미하는 것이다[4].

CC의 생산성에 영향을 미치는 대기시간의 경우도 YT의 대기시간과 합산하여 최소화하는 방법을 적용하며, 대기시간합을 최소로 하는 YT대수를 사용하는 방법도 제안되었다[6].

본 연구에서는 컨테이너터미널의 결합생산성 분석을 위한 개념 모형은 CC, YT, TC가 결합되어 나타나는 생산성으로 정의하며, 여기에 안벽의 양적하작업과 외부트럭에 의한 반출입이 조화를 이루는 시스템으로 가정하였다. 따라서 장비간의 보유율이 비교를 위한 대안 또

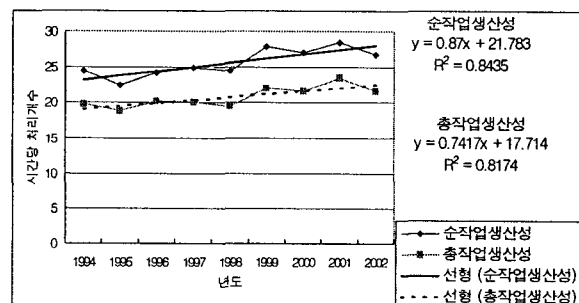
는 의사결정을 위한 변수의 역할을 한다.



<그림 2> 컨테이너터미널의 대기네트워크

<표 1> 컨테이너터미널 생산성 평가지표

평가 지표	장비 및 시설물	생산성 지표 및 상세항목
생산성	안벽 크레인	생산성 지표(처리량, 가동률) 상세항목(대기시간비율, YT 할당대수)
	야드 크레인	생산성 지표(시간당 처리율, 가동률) 상세항목(대기비율, 이동비율, 간섭비율)
	야드 트랙터	생산성 지표(사이클타임, 평균속도)
결합 생산성	장비	YT의 TC앞 대기시간, YT의 CC앞 대기시간, YT 선회주기
	장치장	장치장 점유율
서비스 수준	안벽	안벽점유율, 도착/완료 선박수, 선석별 작업수, 선박대기비율
	선박	대기시간, 재항시간
	게이트	입출구 활용도 및 대기열의 길이
	외부트럭	시스템 체재시간



<그림 3> CC 생산성 변화추이

3.18
↓

<그림 4> CC와 YT 대기시간 상호관계

3. 평가함수

시물레이션 실험 결과값으로 각 장비별 통계량을 산출한 후 이를 분석하기 위한 평가함수를 정의하며, 장비조합에 의한 생산성의 평가함수의 목적값은 각 장비작업에서 발생하는 안벽에서의 대기값과 야드에서의 대기값의 조합에 의한 값을 최소화하는 것을 의미한다. 이를 산정하기 위한 변수를 다음과 같이 정의하였다.

C : CC의 평균대기시간비율

T : TC의 평균대기시간비율

YT : YT의 TC앞 평균대기시간

YC : YT의 CC앞 평균대기시간

A_{wt} : CC와 YT의 안벽에서의 평균대기값

Y_{wt} : TC와 YT의 야드에서의 평균대기값

w_1 : 안벽대기 가중치

w_2 : 야드대기 가중치

$$A_{wt} = C + YC$$

$$Y_{wt} = T + YT$$

$$P = w_1 * A_{wt} + w_2 * Y_{wt}$$

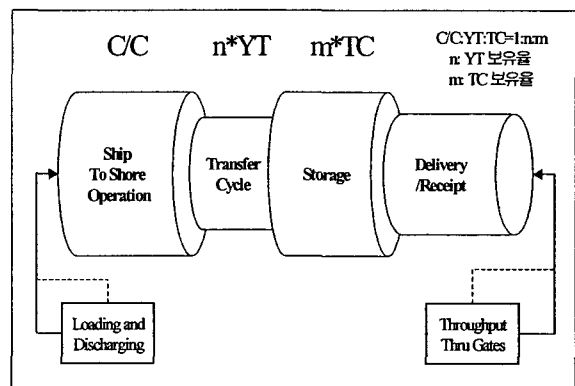
평가함수 P 에 대한 값을 비교하여 최소값을 구하는 문제로 간주하여 시나리오를 수립하면, 각 장비의 대수에 대한 시나리오는 $S(N_{CC}, N_{TC}, N_{YT})$ 로 정의하여 CC, TC, YT 각 장비의 대수에 대한 장비조합으로 시나리오를 설정하였으며, N_{CC} 는 CC할당대수, N_{TC} 는 TC할당대수, N_{YT} 는 N_{CC} 당 YT할당대수를 의미한다.

4. 시물레이션 실험 및 결과

4.1 실험 환경

실험을 위해서 컨테이너 물동량 자료는 아래와 같이 연간 컨테이너 처리물량을 가정하였다.

- 수출 컨테이너 물동량 : 179,595 TEU
- 수입 컨테이너 물동량 : 98,252 TEU
- 환적 컨테이너 물동량 : 수입(53,394 TEU),
수출(33,656 TEU)
- TEU/VAN 비율 : 1.4



<그림 5> 결합생산성 분석을 위한 개념 모형

이상의 컨테이너 물동량에 대해서 예비실험을 수행하여 초기장비 수량을 예측하였으며, 컨테이너 터미널에서 사용되는 장비에 대해서는 <표 2>와 같이 장비성능을 고려하였다. 그리고 컨테이너터미널의 운영에 대한 기본값은 <표 3>과 같이 설정하고, 시설물을 구성하기 위한 기본 입력 자료는 <표 4>와 같이 설정하였다.

<표 2> 장비의 성능 입력값

장비구분 \ 속성	CC	TC	YT	외부 차량
기본 장비대수	4	10	16	-
작업시간(초)	N(112.8, 31.2)	N(87, 19.3)	-	-
이동속도(km/h)	3	8	20	20

4.2 실험 결과

실험에서 결과값은 $S(N_{CC}, N_{TC}, N_{YT})$ 에 대해서 CC대수변화, TC대수변화, YT대수변화에

대해서 각각 분석하였다. 여기서는 안벽대기에 더 많은 가중치를 부여하여 $w_1=2$, $w_2=1$ 의 경우를 분석하였다.

<표 3> 운영정책 입력값

운영 정책	
반입허용 시작시간	4일
반입허용 마감시간	10시간전
무료장차기간	4일
선석당 CC수	2대
CC당 YT수	4대
CC작업성능	25lift/h
선박도착시간 간격	지수분포(10시간)
선박의 선석 접안시간	50분
선박의 선석 이안시간	50분

<표 4> 게이트와 장치장 입력값

게이트 사양		장치장 사양	
입구 수	3	수출 블록수	12
출구 수	2	수입 블록수	8
서비스시간 (초)	UN (20,30)	블록 베이수	25
		블록 열수	6
		블록 단적수	4

<표 5> CC대수변화에 따른 평가값

	S(1,10,4)	S(2,10,4)*	S(3,10,4)	S(4,10,4)
C	19.9	20.3	18.1	17.2
T	15.5	13.3	14.3	13.0
YT	14.7	34.5	98.6	98.6
YC	49.7	37.6	34.6	29.8
A_{wt}	69.1	57.9	52.8	47.0
Y_{wt}	30.2	47.8	112.9	111.5
A_{wt}	138.3	115.8	105.5	94.0
Y_{wt}	30.2	47.8	112.9	111.5
P	168.5	163.6	218.4	205.5

<표 6> TC대수변화에 따른 평가값

	S(2,6,4)	S(2,8,4)	S(2,10,4)	S(2,12,4)*
C	28.4	28.8	20.3	20.8
T	15.3	15.2	13.3	12.3
YT	164.2	120.2	34.5	33.1
YC	28.6	30.1	37.6	35.4
A_{wt}	57.0	58.9	57.9	56.2
Y_{wt}	179.6	135.4	47.8	45.5
A_{wt}	114.1	117.8	115.8	112.3
Y_{wt}	179.6	135.4	47.8	45.5
P	293.6	253.2	163.6	157.8

S(N_{CC} , N_{TC} , N_{YT})에 대해서 CC대수변화시에는 2대, TC대수변화시에는 12대, YT대수변화

시에는 3대가 각각 결합생산성 측면에서는 낭비가 되는 대기현상을 가장 최소화하는 대안임을 알 수 있다.

<표 7> YT대수변화에 따른 평가값

	S(2,10,3)*	S(2,10,4)	S(2,10,5)	S(2,10,6)
C	31.9	20.3	14.2	10.1
T	14.5	13.3	12.6	12.7
YT	28.5	34.5	52.1	68.8
YC	22.2	37.6	56.5	93.1
A_{wt}	54.1	57.9	70.6	103.2
Y_{wt}	43.0	47.8	64.7	81.5
A_{wt}	108.1	115.8	141.3	206.3
Y_{wt}	43.0	47.8	64.7	81.5
P	151.1	163.6	205.9	287.8

이외에도 외부장비인 선박과 외부트럭은 고객의 입장에서 시스템 내에서의 체재시간인 선박의 접안시간과 평균서비스시간을 구하면, 시스템의 서비스 수준을 결정할 수 있지만 시스템의 서버인 CC와 TC의 성능을 분석하기에는 적합한 통계량으로 사용되기 어렵고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 먼저 항만 컨테이너터미널에 대한 생산성을 결합생산성 측면에서 살펴보고, 결합생산성 분석을 위한 개념모형을 수립한 후 CC, YT, TC의 대기시간과 관련된 통계량을 이용한 평가함수를 설정하였다. 설정된 평가함수는 CC, YT, TC 장비조합에 대한 시나리오에 따라 시뮬레이션 실험을 수행하였다. 각 장비의 대수변화에 따른 결합생산성을 분석하여 장비대수 변화에 대한 평가를 통해서 애로공정인 대기현상을 가장 최소화하는 장비대안을 산출하였다.

개발된 평가함수와 결합생산성 개념모형은 항만 개발시 장비소요규모 산출을 위해서 적용 가능하며, 컨테이너터미널의 성능을 반영하는 다양한 생산성 평가방안을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 김창곤, 윤동한, 최종희, 배종욱, 양창호,

- “시물레이션 모델을 이용한 컨테이너터미널 안벽능력 분석”, 한국해양수산개발원, 2000.
- [2] 양창호, 김창곤, 배종욱, “컨테이너터미널 선석처리능력 추정방안에 관한 연구”, 한국해양수산개발원, 2001.
- [3] 양창호, 최용석, “컨테이너터미널 계획 시물레이션 모델링 개발방향 연구”, 해양정책연구, 제17권, 제4호, pp.67-110, 2002.
- [4] 양창호, 최종희, 최용석, 하태영, “차세대 컨테이너터미널 운영시스템의 기술개발 방향과 전략수립에 관한 연구”, 한국해양수산개발원, 2003.
- [5] 윤원영, 최용석, 송진영, 양창호, “컨테이너터미널에서 컨테이너 크레인의 하역능력 추정에 관한 시물레이션 연구”, IE Interface, Vol.14, No.1, 2001.
- [6] 최용석, 김우선, 하태영, “컨테이너터미널의 야드 트랙터 소요대수 추정”, 한국항해항만학회 2003 춘계학술대회논문집, 2003.
- [7] Dolly Robinson(1999), “Measurements of Port Productivity and Container Terminal Design”, Cargo Systems.
- [8] Eleanor Hanland, “Measuring Productivity”, Drewry Shipping Consultants, 2003.
- [9] Itsuro Watanabe, “Container Terminal Planning - A Theoretical Approach”, World Cargo News, 2001.