

시뮬레이션을 이용한 자동화 컨테이너터미널의 결합 생산성 분석

Analysis of Combined Productivity at Automated Container Terminal Using Simulation

하태영, 최용석
한국해양수산개발원 해운물류항만연구센터

Abstract

The objective of this paper is to analyze the combined productivity at automated container terminal. We present a simulation model for transport vehicle that perform the container transportation between apron and yard with a perpendicular yard layout. Usually, the efficiency of container terminal is evaluated by productivity of container cranes at apron, and though there are enough support of transport vehicles and yard cranes, can improve the productivity of container cranes. Especially, transport vehicle is very important factor in productivity of container cranes and has variable work productivity according to loading and unloading situation.

Therefore, a method that can estimate combined productivity of equipment is required. We performed various simulation experiment and analyzed combined productivity to estimate the required number of equipment.

1. 서론

컨테이너 터미널의 하역생산성은 단일장비에 의한 단순작업에서 얻어지는 생산성이 아니라 여러 장비가 연계작업을 수행하여 얻어지는 결합생산성 측면이 강하기 때문에 하역생산성 또한 이러한 연계작업과 관련하여 측정될 필요가 있다. 터미널의 하역작업은 크게 안벽, 이송, 야드장치작업으로 구분되며 이들 연계작업의 결과가 곧 하역생산성으로 측정되기 때문에 단일 장비의 자체 성능으로 하역생산성을 측정하기에는 상당한 무리가 있다.

특히, 터미널의 하역생산성은 안벽작업에서의 생산성이 가장 대표적인 것으로 인식되고 있으며, 안벽작업에 투입되는 컨테이너 크레인(CC, Container Crane)의 시간당 컨테이너 하역처리량으로 고 생산성의 터미널 여부를 판단하는게 일반적이다. 이러한 컨테이너 크레인의 작업생산성은 장비자체의 성능 외에도 하역작업시에 발생하는 연계장비간의 대기시간과 장비의 대수, 작업소요시간에 따라 생산성 수치가 달라지게 되는데, 본 연구에서는 이러한 가변적인 상황하에서 안벽장비, 이송장비, 야드장비의 결합생산성을 분석하고 최적의 장비조합을 산출해 보았다.

2. 터미널 하역 작업

컨테이너 터미널의 하역작업은 안벽작업, 이송작

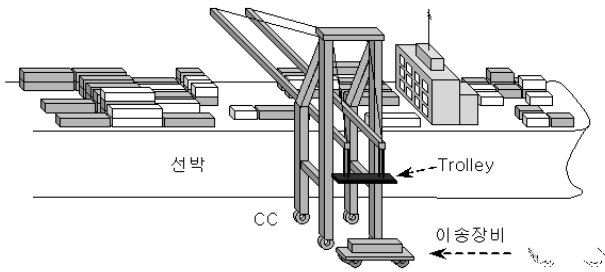
업, 장치작업, 반출입작업으로 크게 4가지로 나누어 볼 수 있다. 그러나, 반출입 작업은 야드장비의 단독작업으로 생산성이 결정되는 면이 강하고 터미널 하역장비간의 연계작업성도 떨어지므로 본 연구대상에서 제외하였다. 각 하역작업의 내용은 다음과 같다.

1) 안벽작업 및 장비

안벽작업은 입항선박과 터미널의 CC장비간의 작업으로 선박에 위치한 컨테이너를 터미널 안벽으로 내리는 양하작업과 안벽에 위치한 컨테이너를 선박에 적재하는 적하작업으로 구분된다. 보통 하나의 선박에 다수의 CC가 양·적하 작업에 투입되며 양하작업후에 적하작업을 하는게 일반적이다. 안벽작업에서 CC의 시간당 양·적하작업 컨테이너 수량이 CC생산성이 되며 CC에 부착된 Trolley에 의해서 하역작업이 이루어진다.

2) 이송작업 및 장비(CC)

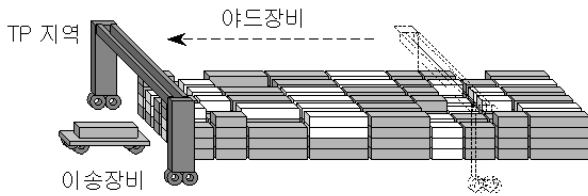
이송작업은 CC장비와 이송장비간의 연계작업으로 안벽위치에서 CC와 이송장비간에 컨테이너가 상호 전달된다. CC와 이송장비의 작업 cycle 차이에 의해서 서로간에 대기현상이 발생하며, 이러한 대기현상으로 인해 개별 장비생산성이 장비성능과는 다르게 측정된다. 보통 하나의 CC장비에 다수의 이송장비가 조별로 작업에 투입된다.



[그림 1] CC와 이송장비의 연계작업

3) 장치작업 및 장비

장치작업은 이송장비와 야드장비간의 연계작업으로 블록의 TP(Transfer Point)에서 이송장비와 야드장비간에 컨테이너가 상호 전달된다. 본 작업 또한 이송장비와 야드장비의 작업 cycle 차이로 인해서로 간에 대기현상이 발생하며 이송장비의 경우 블록의 위치에 따라, 야드장비의 경우 블록내의 작업지점에 따라 매번 이동거리가 달라지는게 이송장비와 야드장비의 작업특성이라 할 수 있다.



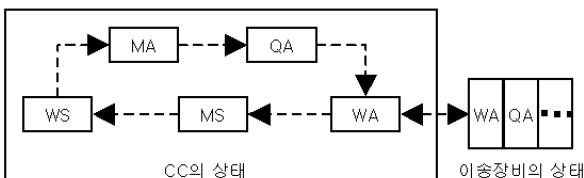
[그림 2] 이송장비와 야드장비의 연계작업

3. 모델 설계

본 연구에서는 안벽, 이송, 야드장비에 대해 각 작업상황을 상태로 정의하고 상태전이과정을 통하여 작업흐름을 분석할 수 있는 시뮬레이션 모델을 설계하였으며, 작업이 없는 유힬상태는 결합생산성 분석에 영향이 없으므로 설계대상에서 제외되었다. 각 장비의 상태정의 모델은 다음과 같다.

[표 1] CC Trolley 작업상태 정의

상태	내용
QA	안벽 작업지점에서 대기
WA	안벽 작업지점에서 작업
MS	안벽 작업지점에서 선박으로 이동
WS	선박에서 작업
MA	선박에서 안벽 작업지점으로 이동



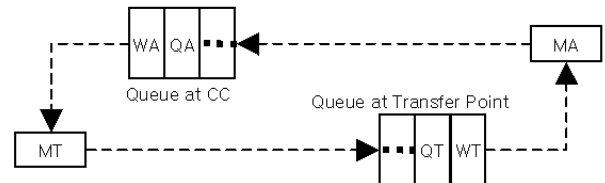
[그림 3] 안벽장비의 상태정의도

각 장비는 하역작업시 작업상황에 따라 각각 작업상태가 전이하게 되는데, 안벽장비와 이송장비의 상태가 WA일 경우 안벽지점에서 컨테이너가 상호 전달되며, 이송장비와 야드장비의 상태가 WT일 경

우 블록의 TP지점에서 컨테이너가 전달된다. 이러한 일련의 작업흐름과정에서 장비간에 대기시간이 발생하기 때문에 장비의 성능과는 다른 작업생산성을 가지게 된다.

[표 2] 이송장비 작업상태 정의

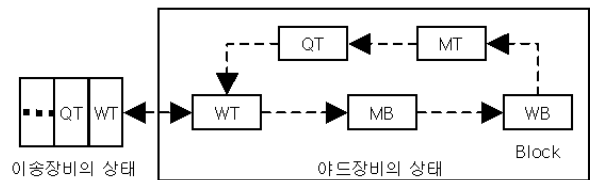
상태	내용
QA	안벽 작업지점에서 대기
WA	안벽 작업지점에서 작업
MT	안벽 작업지점에서 TP로 이동
QT	TP에서 대기
WT	TP에서 작업
MA	TP에서 안벽 작업지점으로 이동



[그림 4] 이송장비의 상태전이도

[표 3] 야드장비 작업상태 정의

상태	내용
QT	TP에서 대기
WT	TP에서 작업
MB	TP에서 블록작업지점으로 이동
WB	블록작업지점에서 작업
MT	블록작업지점에서 TP로 이동



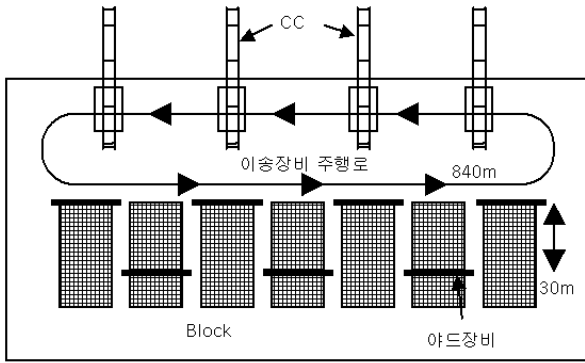
[그림 5] 야드장비의 상태전이도

4. 기계적 생산성

장비의 결합생산성(CP, Combined Productivity)을 효과적으로 분석하기 위해서는 각 장비의 자체 성능에 의한 기계적 생산성을 우선 결정해야 한다. 기계적 생산성(MP, Mechanical Productivity)은 장비간의 연계작업시에 발생하는 대기시간을 고려하지 않은 것으로 해당 장비의 단독작업에 의한 시간당 컨테이너 처리개수가 된다. 기계적 생산성을 계산하기 위해 이송장비의 경우 CC와 TP간의 주행거리가, 야드장비의 경우 블록내 작업지점이 결정되어야 하며 그 내용은 [표 4], [그림 6]과 같다.

[표 4] 이송거리 및 블록내 작업지점

항목	비고
이송거리	840m
블록내 작업지점	TP에서 30m지점
야드장비	블록당 1대 배치



[그림 6] 대상 터미널 레이아웃

상위의 터미널 설정 및 레이아웃을 토대로 장비의 싸이클 타임(CT, Cycle Time)에 의한 기계적 생산성을 계산하면 다음과 같다.

[표 5] 하역장비의 기계적 생산성

CC	QA	WA	MS	WS	MA	CT	MP
	-	18	30	18	30	96	37.50

이송	QA	WA	MT	QT	WT	MA	CT	MP
	-	18	70	-	47	70	205	17.56

야드	QT	MB	WB	MT	WT	CT	MP
	-	15	47	15	47	124	29.03

5. 결합생산성

결합생산성을 분석하기 위하여 하역장비의 결합성을 먼저 결정하였다. 이송장비가 CC에 중속된 조별 작업을 수행하므로 크게 다음과 같이 2가지 형태로 구분하여 결합생산성을 산출할 수 있다.

[표 6] 장비의 결합성 구분

결합성	비고
CC↔이송	야드장비의 충분한 지원이 있는 경우
CC↔야드	이송장비의 충분한 지원이 있는 경우

4.1 단일 장비간 결합생산성

단일 장비간 결합생산성은 각 장비가 1대씩 작업을 할 경우의 생산성으로 최소 작업성능을 가지는 장비의 MP가 곧 결합생산성이 된다. 이 경우 상대적으로 MP가 높은 장비는 대기현상이 발생하며, 각 장비의 대기시간 합은 결합생산성을 결정짓는 MP의 cycle time을 초과하지는 않게 된다.

[표 7] 단일장비 결합생산성

결합성	CP	CT
CC↔이송	17.56	205
CC↔야드	29.03	124

4.2 다수 장비간 결합생산성

다수 장비간 결합생산성은 여러대의 장비가 연계 작업을 수행할 때의 장비간 결합생산성이다. 그러나 이 경우에는 장비대수변화에 따른 cycle time의 변화가 단순비례관계가 성립하지 않는 특징이 있을 수 있으며 작업상황에 따라 각 장비의 대기현상을

반영한 결합생산성을 산정하기가 곤란하므로 장비간의 최적조합을 구하기 위해 시뮬레이션 분석이 필요하다.

6. 시뮬레이션 분석

6.1 시나리오 구성

다수 장비간 결합생산성을 산출하기 위한 장비대수 시나리오는 다음과 같으며, 마지막 3단계에서 장비의 최적조합을 구할 수 있다.

[표 8] 시나리오 구성

단계	결합성	CC	이송장비	야드장비
1단계	CC↔이송	1대	2-7대	7대
2단계	CC↔야드	2-5대	7대	2-7대
3단계	CC↔이송↔야드	1단계 최적 이송장비조합 2단계 최적 야드장비조합		

1단계 시나리오는 이송장비 대수 변화에 따른 결합생산성을 분석하여 최적의 CC:이송 장비대수 조합을 산정하는 것이 되고, 2단계 시나리오는 최적의 CC:야드 장비대수 조합을 산정하는 것이다. 마지막으로 3단계는 1, 2단계에서 구해진 장비조합을 토대로 최적의 CC:이송:야드 장비대수 조합을 산출하는 것이 된다.

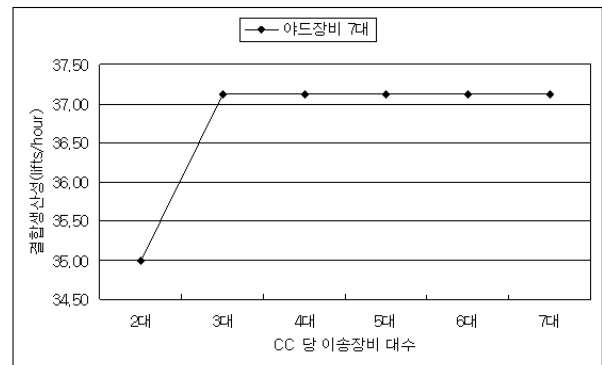
6.2 시뮬레이션 수행

1) 1단계 시나리오 분석

CC↔이송장비의 결합생산성은 야드장비의 충분한 지원이 가능한 상황에서 시뮬레이션을 수행하는 것이며 그 결과는 다음과 같다.

[표 9] CC↔이송장비의 결합생산성

CC대수	이송대수	CP	대수비율
1대	2대	34.98	2대
	3대	37.11	3대
	4대	37.11	4대
	5대	37.11	5대
	6대	37.11	6대
	7대	37.11	7대



[그림 7] CC와 이송장비의 결합생산성

시뮬레이션 결과에서 야드장비의 충분한 지원이 있을 경우에 이송장비는 CC당 3대를 투입할 때 결합생산성이 최대가 되는 것을 알 수 있다.

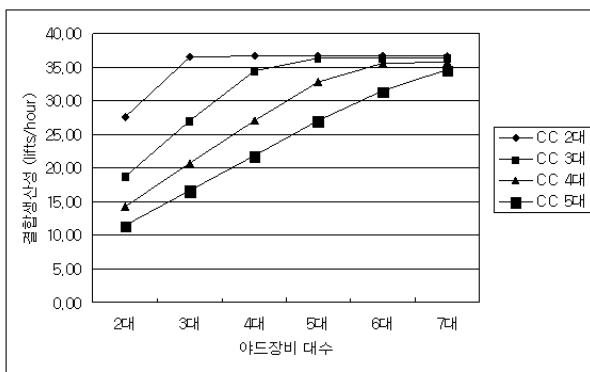
2) 2단계 시나리오 분석

CC↔야드장비의 결합생산성은 이송장비의 충분한 지원이 가능한 상황에서 시뮬레이션을 수행하는 것이며 그 결과는 다음과 같다.

[표 10] CC↔야드장비의 결합생산성

CC대수	야드대수	CP	대수비율
2대	2대	27.66	1.00대
	3대	36.46	1.50대
	4대	36.74	2.00대
	5대	36.74	2.50대
	6대	36.74	3.00대
	7대	36.74	3.50대
3대	2대	18.73	0.67대
	3대	27.13	1.00대
	4대	34.51	0.75대
	5대	36.22	1.67대
	6대	36.25	2.00대
4대	2대	14.20	0.50대
	3대	20.71	0.75대
	4대	27.03	1.00대
	5대	32.71	1.25대
	6대	35.56	1.50대
5대	2대	11.44	0.40대
	3대	16.76	0.60대
	4대	21.91	0.80대
	5대	27.10	1.00대
	6대	31.57	1.20대
7대	34.58	1.40대	

시뮬레이션 결과에서 이송장비의 충분한 지원이 있을 경우에 CC 1대당 2.0대 이상의 야드장비의 지원이 이루어질 때 결합생산성이 최대가 되는 것을 알 수 있다.



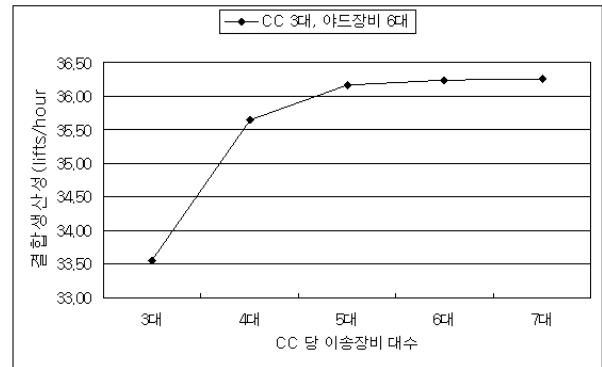
[그림 8] CC와 야드장비의 결합생산성

3) 3단계 시나리오 분석

CC↔이송↔야드간의 결합생산성은 1단계에서 구해진 최적 이송장비 대수와 2단계에서 구해진 최적 장비대수조합을 고려하여 시뮬레이션을 수행하는 것이며 그 결과는 다음과 같다.

[표 11] CC↔이송↔야드장비의 결합생산성

CC대수	야드대수	이송대수	CP
3대	6대	3대	33.55
		4대	35.64
		5대	36.16
		6대	36.24
		7대	36.25



[그림 9] CC, 이송, 야드장비의 결합생산성

시뮬레이션 결과에서 이송장비의 대수는 주어진 조건(CC 3대, 야드 6대)에서 CC당 5대가 최적임을 알 수 있다. 따라서, 하역장비의 최적조합은 (CC:이송:야드)=(1:5:2)이라고 할 수 있다.

7. 결론

본 연구에서는 자동화 컨테이너 터미널의 하역 장비인 CC, 이송, 야드장비의 작업흐름을 작업상황에 따라 상태로 정의하고 상태전이 과정을 통하여 단일 장비간 결합생산성, 다수 장비간 결합생산성을 도출했다. 단일 장비간 결합생산성에서는 장비의 기계적 생산성으로 결합생산성을 구했으며, 다수 장비간 결합생산성은 시뮬레이션 분석을 통하여 그 결과를 산정하였다. 또한 다수 장비간 결합생산성을 토대로 최적의 장비대수 조합 (CC:이송:야드)=(1:5:2)을 얻을 수 있었다.

향후 연구과제는 장비의 기계적 생산성의 변화에 따른 결합생산성과 최적장비대수조합을 분석하는 것이다.

참고문헌

- [1] 양창호, 최용석, 하태영, “자동화 컨테이너터미널의 이송장비 시뮬레이션 모델”, 한국경영과학회/대한산업공학회 2003 춘계공동학술대회, pp. 1165~1170, 2003.
- [2] 최용석, 김우선, 하태영, “컨테이너터미널의 야드 트랙터 소요대수 추정”, 한국항해항만학회 2003 추계학술대회 논문집 제27권 제2호, pp. 329~335, 2003.
- [3] Chang Ho Yang, Yong Seok Choi, Tae Young Ha, “Simulation-based performance evaluation of transport vehicles at automated container terminals”, OR Spectrum Volume 26 Issue 2, pp. 149-170. 2004.