시뮬레이션에 의한 컨테이너 물류시스템의 분석에 관하여

(BCTOC를 중심으로)

유 승 열[1], 李 哲 榮[2]

An Analysis of Container Logistics System by Computer Simulation

Seung-Yeoul Yoo , Cheol-Yeong Lee

Abstract

Because of the sharp increase of its export and import container cargo volumes contrast to the lack of related Container Terminal facility, equipment and inefficient procedure, there is now heavy container cargo congestions in Pusan Container Terminal. As a result of the situation, many container ships avoid that call into Pusan port. This is a major cause that in turn leads to weakening international competitiveness of the Korean industry.

Therefore, the aims of the study are to make a quantitative analysis of Container Terminal System through the computer simulation, especially focusing on its 4 sub-system of a handling system, transfer/storage/Gate Complex system in BCTOC. the capacity of various subsystems is evaluated and it is checked whether the current operation is being performed effectively through the computer simulation.

1. 서 론

세계의 주요항만, 특히 동북아의 주요항만들은 자국내 수출입화물 처리 및 환적화물의 유치를 통해 부가적인 수익을 획득하기 위하여 경쟁적으로 대규모 컨테이너 터미널을 개발하고 있는 실정이다. 그러나 부산항은 만성적인 항만시설 및 장비부족으로 인해 컨테이너 화물의 체선·체화가 발생하여 막대한 물류비가 지출되고 있다. 따라서 장기적인 관점에서는 가덕도와 같은

1) 한국해양대학교 항만운송공학과 석사과정 수송공학 전공

2) 한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

경쟁력이 있는 신항만 건설이 중요하지만 적은 노력으로 기존 컨테이너 터미널의 효율성을 제고하여 기존의 문제점을 개선하려는 노력이 선행되어야 한다.

따라서, 본 논문은 컨테이너 터미널를 시스템 관점에서 체계화하고 컨테이너 물류시스템을 물동량처리측면에서 각 하위시스템을 정량적인 방법을 이용하여 분석하며, 또한 확률적인 면을 고려한 시뮬레이션 기법을 이용하여 모델을 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 먼저, 제2장에서 부산컨테이너 터미널의 시설 및 물동량 및 운영현황 등을 보이고, 제3장에서 시스템 분석을 위한 컨테이너 터미널 능력산정 시뮬레이션 모델을 4개의 하위시스템으로 나누어 구성하며, 제4장에서는 BCTOC의 실측자료를 토대로 기본통계량분석을 실시하고, 제5장에서 각 하위시스템의 능력을 정량적으로 분석한 후, 제3장에서 제안한 시뮬레이션 모델을 이용하여 시뮬레이션 분석을 실시하여 정량적인 분석과 비교, 검토한다. 그리고, 제6장에서는 결론부분으로 앞의 내용을 종합, 정리하고, 이후 개선점 및 더 필요한 연구를 제시한다.

2. 부산 컨테이너 터미널의 현황

2.1 부산 컨테이너 터미널의 시설현황

부산항에서 컨테이너를 취급하는 터미널은 크게 재래부두(1~4부두)와 컨테이너 전용부두인 자성대부두(BCTOC) 및 신선대부두(PECT)으로 나눌수가 있으며, <Table 2-1>은 각 부두의 시설 및 장비현황을 나타내고 있다.

Table 2-1 자성대부두 및 신선대부두의 시설현황

구분 \ 부두		일반부두	자성대부두(BCTOC)	신선대부두(PECT)
시설	총 면 적	166,000 m^2	648,000 m^2	900,450 m^2
	안벽길이	4,643 m	1,262 m	900 m
	접안능력	1,000 - 20,000톤급 28척	5만톤급 4척	5만톤급 3척
	하역능력	36만 TEU	90만 TEU	96만 TEU
	C Y	228,000 m^2	349,312 m^2	456,000 m^2
	CFS		25,617 m^2(3동)	10,000 m^2(1동)
	일시장치능력	6,500 TEU	21,188 TEU	33,600 TEU
장비	캔트리크래인(G/C)	1기	9기	6기
	트랜스테이너(T/S)	12기	19기	25기
	야드트랙터(Y/T)	858대	46대	51대
	포크리프트(F/L)	-	32대	22대
	샤 시	3,017대	259대	200대

dCollection

2.2 터미널의 물동량 현황

1) 컨테이너 물동량 현황

최근 우리나라 수출입 물동량의 증가와 더불어 중국으로부터의 환적화물의 증가로 컨테이너 물동량이 급증하여 컨테이너 터미널의 시설능력을 크게 초과하고 있다. 최근 6년간 총 컨테이너 물동량의 평균증가율은 12.12%이고 수출입 및 환적 컨테이너 물동량의 증가율은 10.6%, 62.5%로 93년이후 대중국 교역량의 확대등으로 환적 컨테이너 화물의 증가가 총 컨테이너 물동량의 증가를 주도하고 있다[9]<Fig. 2-1 참조>.

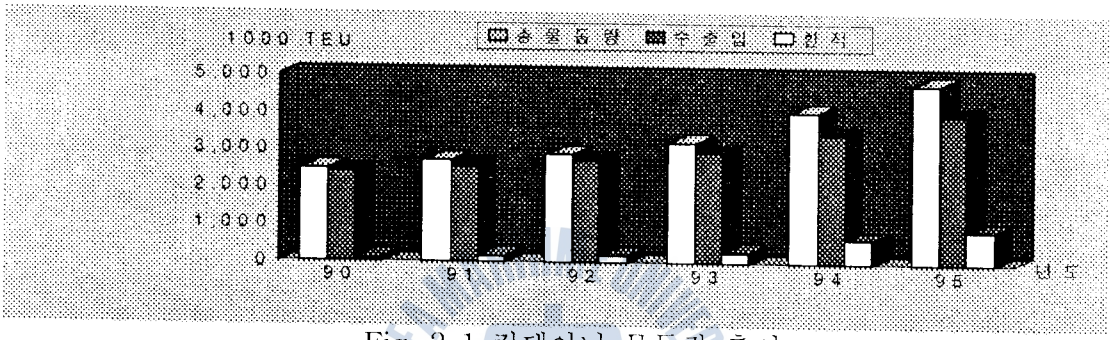


Fig. 2-1 컨테이너 물동량 추이

이는 세계 무역기구(WTO)출범에 따른 국제교역량의 증가와 화물운송의 컨테이너화 및 국내 무역규모의 확대에 따라, '95년 총컨테이너 화물처리량은 4,800,977 TEU로서 전년동기대비 19.0%가 증가하였으며, 그중에서 수출입 컨테이너 물동량은 총 394만1,679 TEU로 1994년말 344만651 TEU에 비해 14.6%가 증가하였다. 또 BCTOC에서 처리한 컨테이너 물동량은 161만 8,416TEU로써 우리나라 총 컨테이너 물동량의 33.7%를 처리하였다.

2) 터미널의 운영현황

95년도에는 컨테이너 물동량이 크게 증가해 컨테이너 전용부두의 선석점유율을 살펴보면, 자성대부두는 89.4%, 신선대부두는 84.4%로서 90년대에 들어와서 최고수준을 나타내고 있다. 또한, 척당 평균 접안시간 및 평균 하역량도 19.1시간, 998TEU (자성대부두: 21.9시간, 1,078TEU , 신선대부두: 16.1시간, 915TEU)로서 92년이후 계속 증가추세를 보이고 있다[11].

3. 기본통계량 분석

3.1 선박도착 패턴 분석

선박의 도착시간 간격 및 서비스 패턴이 어떤 분포를 따르는지의 여부를 조사하여 특정분포를 따른다는 사실이 검정되면 그 패턴에 따라 선박의 대기시간 등을 계산하여야 한다.

<Fig. 3-1>에서 보는 바와 같이 입항한 선박의 평균 톤수는 32,360 G/T이며, 최대 67,685 G/T, 최소 4500 G/T이었다. 40,000G/T에서 45,000G/T 사이의 선박이 121척으로 전체선박의 약 20%를 차지하고 있어서 부산 컨테이너 터미널에 입항한 컨테이너 선박은 40,000 G/T급이 주류를 이룬다고 할 수 있다.

dCollection

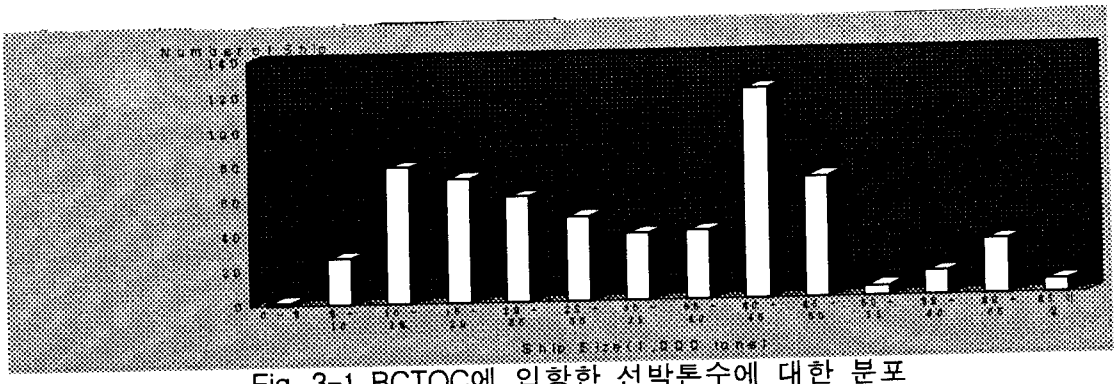


Fig. 3-1 BCTOC에 입항한 선박톤수에 대한 분포

또한, 묘박지에서 대기하고 있는 선박은 620척중에 235척으로 전체선박의 38%를 차지하고 있으며, 선박이 묘박지에서 Anchor를 놓은 시각으로 부터 BCTOC의 부두에 접안하기 까지의 대기시간은 평균 9.9시간이었다.

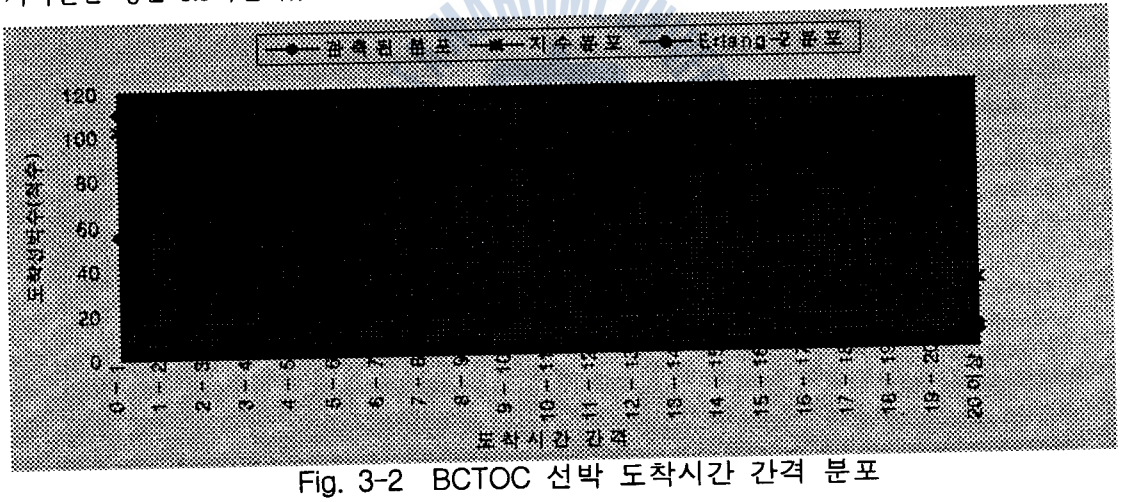


Fig. 3-2 BCTOC 선박 도착시간 간격 분포

BCTOC에 입항한 620척 선박의 평균 도착시간 간격은 5.63시간(337.95분)이고 표준편차는 5.05시간(302.8분)이었으며, 이를 지수분포 및 Erlang-2분포에 대하여 χ^2 분포검정(Chi-square Test)을 실시한 결과, 선박도착시각 간격분포를 지수분포로 가정했을 때는 자유도 8에서 χ^2 = 14.21 < $\chi^2_{a=0.05}$ = 15.5 로 95%의 신뢰도를 보이나, Erlang-2분포로 가정하였을 경우에는 자유도 8에서 χ^2 = 143.45 > $\chi^2_{a=0.05}$ = 15.5로써 95%의 유의수준을 초과하였다. 따라서, 선박도착시각 간격분포는 지수분포를 따른다고 할 수 있다.

3.2 하역 컨테이너 수

dCollection

동 기간동안에 이용한 선박들의 하역(수출·수입·환적) 컨테이너의 분포는 평균 척당 하역 컨테이너 수는 747.7 TEU이고 그 표준편차는 379.1 TEU이다.

χ^2 분포검정(Chi-square Test)을 실시한 결과, 자유도 12에서 $\chi^2 = 21.94 < \chi^2_{0.01,12} = 26.2$로써 99%의 신뢰도를 보이므로 선박당 하역 컨테이너 개수의 분포를 정규분포로 가정하는 것이 합당하다고 결론을 내릴 수 있다.

3.3 서비스 시간분포

서비스 시간은 컨테이너 터미널을 이용한 선박들의 접안시간, 즉 선석에 소비한 선박의 평균 시간으로써, 1996년 1월1일부터 1996년 5월31일까지 BCTOC의 각 부두에 접안한 총 620척을 대상으로 자료를 분석한 결과, BCTOC의 각 선석에 접안한 선박의 평균 접안시간은 18.67시간이고, 표준편차는 7.97시간이었다.

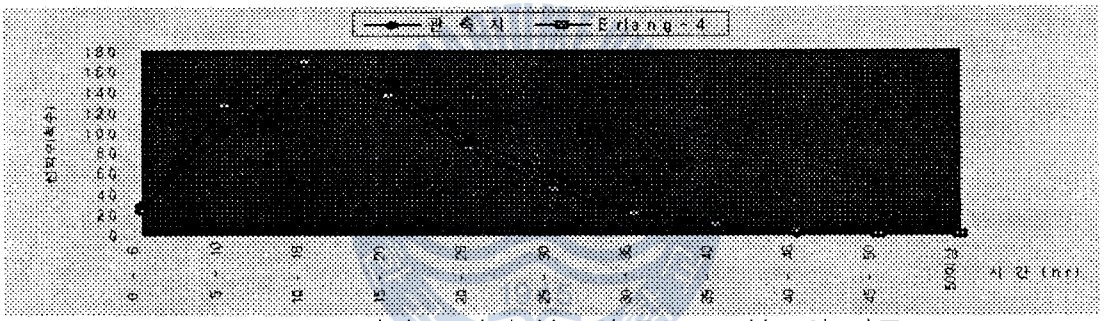


Fig 3-3 서비스 시간 분포와 Erlang-4분포의 비교

그리고, 이 서비스 시간분포가 Elrang-4 분포를 따르는지를 조사하기 위해 χ^2분포검정(Chi-square Test)를 실시한 결과, 자유도(Degree of Freedom)는 9에서 $\chi^2 = 17.2 < \chi^2_{0.01} = 21.7$로 99%의 신뢰도를 가지므로, 서비스 시간분포는 Erlang-4 분포를 따른다고 할 수 있다. 따라서, BCTOC의 컨테이너 선박도착 및 서비스 패턴은 Poisson Input Erlang Service 임을 알 수 있다.

3.4 컨테이너 장치기간

동 기간동안에 BCTOC의 장치장을 이용한 컨테이너의 평균 장치기간은 수입 컨테이너가 3.0일 , 수출 컨테이너가 2.5.일이며, 환적 컨테이너는 3.1일이었다. 이는 외국의 경우보다 짧은데 그이유는 컨테이너 화물의 폭주로 인해 컨테이너 장치장의 면적이 부족하므로써 BCTOC가 On-Dock Container Yard의 역할을 수행하지 못하고 부산 시내에 산재해 있는 ODCY(Off-Dock Container Yard)가 그 역할을 대신하고 있기 때문이며, 환적 컨테이너 경우는 수입된 후 수출되는 경우이므로, 수출입 컨테이너의 평균 장치기간보다 장치기간이 길다

dCollection

3.5 Gate 출입 패턴

BCTOC의 Gate는 오전 7~8시 및 오후 6~7시의 하루에 2번 1시간씩 Gate를 폐쇄하므로, 반입·반출 물동량이 오후 5~6시 사이에 심하게 몰리며, 특히, 주간(오전 8시부터 오후 6시 사이)에는 Gate 반입 컨테이너 물동량의 90%, Gate 반출 컨테이너 물동량의 93%이상이 처리되고, 야간(오후 7시부터 오전7 사이)에는 Gate 반입·반출 컨테이너 물동량의 10%이하로 처리되고 있어 야간에 한가한 것을 실측자료를 분석한 결과 알 수 있었다.

또한, Gate 반입인 경우에 적컨테이너가 전체 Gate 반입 컨테이너의 89%를 차지하고 있으며 공컨테이너는 11%를 차지하고 있고, Gate 반출인 경우에는 적컨테이너가 전체 Gate 반출 컨테이너 중 75%를 차지하며 공컨테이너가 25%정도를 차지하고 있다.

4. 시뮬레이션 분석

4.1 정량적 분석

1) 선박의 평균대기시간

BCTOC에 도착하는 선박의 평균도착률 λ는 1/5.63(척/시간)이고, 선박에 대한 평균서비스율 μ는 1/18.67(척/시간)이며, 선석점유율 $\rho = \lambda / I \cdot \mu$, 선석수 I = 4일 때, 식(4.1)을 이용하여 BCTOC에 입항하는 선박의 평균대기시간 T_q는 20.77시간이 된다.

$$T_q = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \cdot \frac{e_I(\rho_I)}{D_{I-1} \cdot (\rho I)} = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \cdot \frac{a^I / I!}{a^I / I! + [(1-a/I)\sum_{n=0}^{(I-1)} \frac{a^n}{n!}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4.1)$$

2) G/C 하역능력

선박에서의 시간당 하역량 r은 식(4.2)과 같이 표현된다.

$$r = \frac{n_g \cdot W_g \cdot e \cdot k}{c_g} \quad (\text{TEU/hr}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.2)$$

여기서, 선석당 작업 캔트리 트레인(G/C)의 수를 n_g = 2, G/C 수 증가에 따른 작업효율 k = 0.9, G/C의 1회 작업화물량 W_g = 1.58 TEU (1 VAN = 1.581 TEU), G/C의 작업효율 e = 0.75, G/C의 Cycle Time c_g = 2.5분이라 하면, 시간당 하역량 r은 51.192 TEU/hr이 되며, 일일 서비스율(μ_s)은 식(4.3)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$\mu_s = \rho \cdot I \cdot h \cdot r \quad (\text{TEU/day}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.3)$$

따라서, 선석수 I = 4, 일일작업가능시간 h = 20으로 가정하면, G/C에 의한 하루당 서비스율

dCollection

(μ_s)은 4095.36 · ρ가 된다. 선석점유율을 ρ = 0.5 - 0.9, 작업가능일수(d)를 130 - 150일로 하였을 경우, BCTOC의 하역능력(P_1)는 Table 4-1과 같다.

Table 4-1 ρ 와 작업일수에 의한 BCTOC 하역능력

예상작업일수 / ρ	130일	140일	150일
0.5	266,198	286,675	307,152
0.6	319,438	344,010	368,582
0.7	372,677	401,345	430,013
0.8	425,917	458,680	491,443
0.9	479,157	516,015	552,874

3) 이송능력

하루당 부두의 서비스량 μ_s는 1일 작업하역시간을 h, 선석점유율을 ρ, 선석수를 1라 했을 때, $r \geq s$인 경우는 식(4.4)과 같고

$$\mu_s = \rho \cdot I \cdot h \cdot s^* \quad (\text{TEU/day}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.4)$$

$r \leq s$인 경우는 식(4.5)과 같다.

$$\mu_s = \rho \cdot I \cdot h \cdot r \quad (\text{TEU/day}) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.5)$$

현재, BCTOC에는 46대의 Y/T가 있으므로, 1일 작업 가능시간을 20시간으로 할 경우, 하루당 이송능력은 5000 ρ TEU정도이다.[15]

여기서, 선석점유율 ρ를 0.5 - 0.9, 작업가능일수 d를 130 - 150일로 하였을 경우 BCTOC의 이송능력(P_2)을 계산하면 Table 4-2와 같다.

Table 4-2 ρ 와 작업가능일수에 의한 이송능력

예상작업일수 / ρ	130일	140일	150일
0.5	325,000	350,000	375,000
0.6	390,000	420,000	450,000
0.7	455,000	490,000	525,000
0.8	520,000	560,000	600,000
0.9	585,000	630,000	675,000

4) 장치능력

BCTOC에서 Y/T에 의해 이송된 컨테이너 화물을 Gate밖으로 반출하기전까지 장치하는 일일 장치능력은 식(4.6)로 나타낼 수 있다.

$$P_s = \frac{A_c \cdot n_c}{a_c \cdot P_k \cdot d_m \cdot r} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4.6)$$

dCollection

한편, 일시장치능력 P_c를 $P_c = \frac{A_c \cdot n_c}{a_c}$라고 하였을 경우, 일일 장치용량은 $P_s = \frac{P_c}{(P_k \cdot \gamma \cdot d_m)}$이므로 첨두율 P_k를 1.3, 분리지수 γ를 1.2로 두고 평균체재일수 d_m을 1일부터 10일까지 변화하였을 경우에 P_s는 $P_s = \frac{12,156}{d_m}$ TEU/day가 된다. 이 때 작업가능시간을 20시간, 작업가능일수를 130일, 140일, 150일로 가정하였을 경우, 장치능력(P_3)은 Table 4-3과 같다.

Table 4-3 d_m 과 작업가능일수에 의한 장치능력

예상작업일수 / d_m	130일	140일	150일
1	1,312,848	1,422,252	1,519,500
2	656,424	711,126	759,750
3	437,616	474,084	506,500
4	328,212	355,563	379,875
5	262,808	284,450	303,900
6	218,380	237,042	253,250
7	187,550	203,179	217,071
8	164,106	177,782	189,938
9	145,872	158,028	168,833
10	131,285	142,225	151,950

5) Gate 처리능력

Gate에서 소요되는 시간은 반입 컨테이너 트럭의 경우는 평균 2.5분, 반출 컨테이너 트럭의 경우는 평균 1.25분이 걸리므로, 시간당 Gate에서 처리한 컨테이너 물량은 반입이 24 TEU, 반출이 48 TEU이다. 한편, BCTOC는 현재 12Lane의 Gate Complex를 갖고 있으나, 실제로는 반입용으로 5Lane, 반출용으로 3Lane만을 사용하고 있으므로[2], 1일 작업가능시간을 20시간으로 하고, 작업가능일수를 150일로 하였을 경우, BCTOC내 Gate의 처리능력은 반입Gate의 경우가 360,000 TEU, 반출Gate의 경우가 432,000 TEU이다. 따라서, 작업가능일수를 150일로 하였을때의 Gate의 처리능력은 792,000 TEU가 된다. 그러나, 실제로 BCTOC의 Gate에서는 오전 7~8시 및 오후 6~7시의 하루에 2번 1시간씩 Gate를 폐쇄하므로, 하루에 작업가능시간은 22시간이 된다. 이 경우, Gate의 처리능력은 871,200 TEU가 된다.

따라서, 선석점유율(ρ)을 0.83, 작업가능시간을 20시간으로, 작업가능일수를 150일로하고, 장치시스템의 장치허용일수를 2.75일로 가정하였을 경우, 각 하위 시스템을 정량적으로 분석한 결과, 하역시스템의 처리능력은 509,872 TEU이고, 이송시스템의 처리능력은 622,500 TEU이며, 장치시스템의 처리능력은 552,545 TEU가 된다. 또한 Gate Complex의 처리능력은 792,000 TEU가 된다.

dCollection

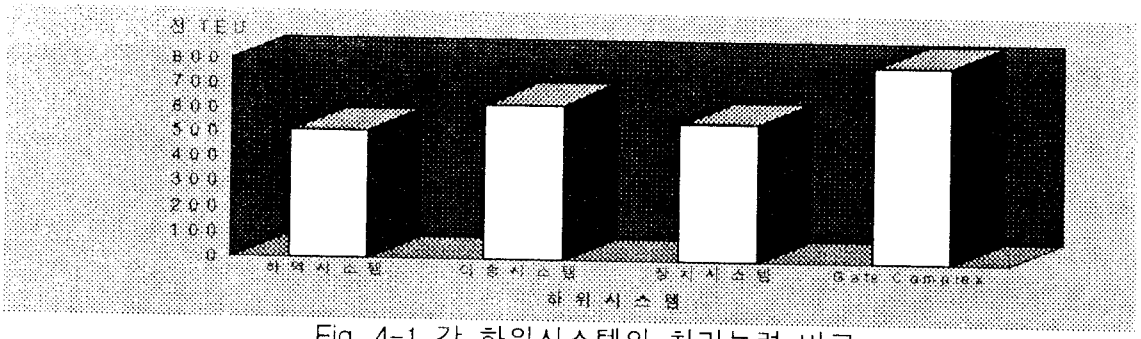


Fig. 4-1 각 하위시스템의 처리능력 비교

<Fig. 4-1>에서 보는 것과 같이 각 하위시스템중 하역시스템과 장치시스템의 처리능력이 이송시스템 및 Gate Complex의 처리능력보다 낮으므로, 이들이 터미널내 병목현상을 일으키는 주요인이라 할 수 있다.

4.2 시뮬레이션 분석

1) 부두처리능력 분석

(1) 모델의 구성

본 모델은 시뮬레이션 언어(Simulation Language)인 SIMNET을 이용하여 시뮬레이션 하였으며, Simnet Network Model은 <Fig. 4-2>와 같이 구성된다.

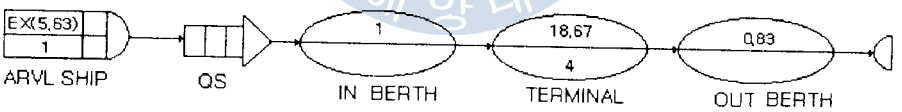


Fig. 4-2 부두처리능력 네트워크 모델(SIMNET)

선박(Entity)의 도착은 평균도착시각 간격이 5.63시간을 가진 지수분포에 따라 생성된다. 생성된 선박은 그 도착시각을 Attributes Vector인 A(1)에 기억한다. Attribute란 Entity가 모델내에서 생성(Create)되어 소멸(Terminate)될 때까지 그 Entity의 여러특성을 나타내는 벡터(Vector) 값들이다. BCTOC의 서비스 시간분포는 평균이 18.67시간인 Erlang-4분포를 따른다. 또한, 도착선박들은 선석이 비어 있을 경우 접안시간 및 하역작업 준비시간으로 1시간을 경과한 후 선석에 접안하여 하역 및 선적을 한다. 그러나 여유선석이 없으면, 선박은 대기 QS에서 대기를 한다. 시뮬레이션에서 선석의 개수는 미리 4개로 지정되어 있다. 컨테이너 하역 및 선적을 끝난 선박들은 이안준비 및 이안작업 시간으로 0.83시간을 경과한 후 선박은 컨테이너 터미널을 빠져나가고, 해당선석은 여유선석으로 전환된다. 선석을 이용한 후, 평균 체항시간을 계산한다.

dCollection

(2) 결과분석

1996년 1월1일부터 5월30일까지의 실측자료를 토대로 앞에서 제안한 모델을 이용하여 시뮬레이션을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, BCTOC의 선석점유율은 81%이며, 선박의 평균 대기시간은 12시간이고, 도착한 선박이 대기한 확률은 42%이었다.

둘째, 4선석이 동시에 계속 작업중이던 시간은 평균 44.6시간이며, 도착한 선박의 평균 체항시간은 25.6시간으로 나타났다.

셋째, 150일을 기준으로 시뮬레이션을 실시한 결과, 총 623척이 BCTOC에 도착하였으며, 그 중에 262척이 대기를 하였다.

(3) 부두서비스율 개선방안

시뮬레이션 결과, 선석 4개를 보유하고 있는 BCTOC의 경우, 선석점유율이 81%로 적정수준인 60%를 초과하였다. 따라서, 이를 개선하기 위해서 현재 4선석인 선석수를 기준으로 25%씩 증가시켜 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과 <Table 4-4>와 같다.

Table 4-4 선석수 증가에 따른 부두서비스 개선

선석수	5	6	7	8
평균대기시간(척당)	6.43	4.32	3.12	2.65
평균대기율(%)	30	14	7	2
평균체항시간(척당)	20.65	19.3	18.89	18.73
선석점유율(%)	65	54	46	40

BCTOC의 선석수를 5(25%)선석으로 확장하였을 경우, 이상적인 선석점유율[3]인 60%에 근사함을 알 수 있다. 이때, 선박의 평균 체항시간은 20.65시간이고, 평균 대기시간은 6.43시간이며, 선박당 대기율은 30%이었다.

2) 컨테이너 물류시스템의 시뮬레이션 분석

(1) 모델의 구성

<Fig. 4-3>는 시뮬레이션언어인 SIMNET를 이용하여 개발한 SIMNET Network Model을 나타내고 있다.

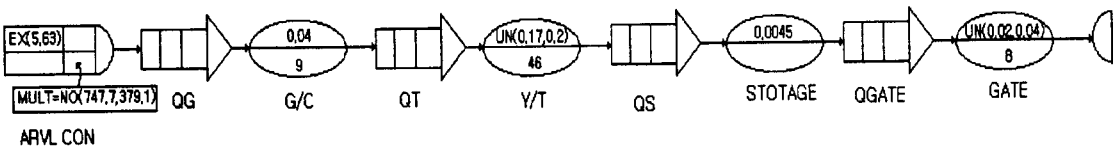


Fig. 4-3 컨테이너 물류시스템 네트워크 모델(SIMNET)

3) UNCTAD에서는 이상적인 선석점유율을 60%로 제안하고 있다.

dCollection

선박은 평균 도착시각 간격이 5.63시간을 가진 지수분포에 따라 도착하며, 이때 하역 컨테이너 수는 평균 747.7, 표준편차 379.1인 정규분포를 따른다. 선박이 터미널에 도착하면, 9기의 G/C는 하역작업을 시작하고, 하역이 끝난 컨테이너는 Y/T에 의해 이송되며, 이송작업에 이어서 장치장에서 작업이 이루어진다. 마지막으로 컨테이너는 Gate를 통하여 터미널을 빠져 나간다.

(2) 결과분석

시뮬레이션 수행기간을 150일(3000시간)로 하여 시뮬레이션을 실시한 결과, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 각 하위시스템의 평균 이용률은 G/C이 79.5%, Y/T가 63.9%, 장치시스템이 71.1%, Gate Complex가 50%이었다.

둘째, 평균 대기율은 하역시스템이 39.5%, 장치시스템이 68.3%, 이송시스템과 Gate Complex는 0.07%, 0.04%로써 대기가 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다.

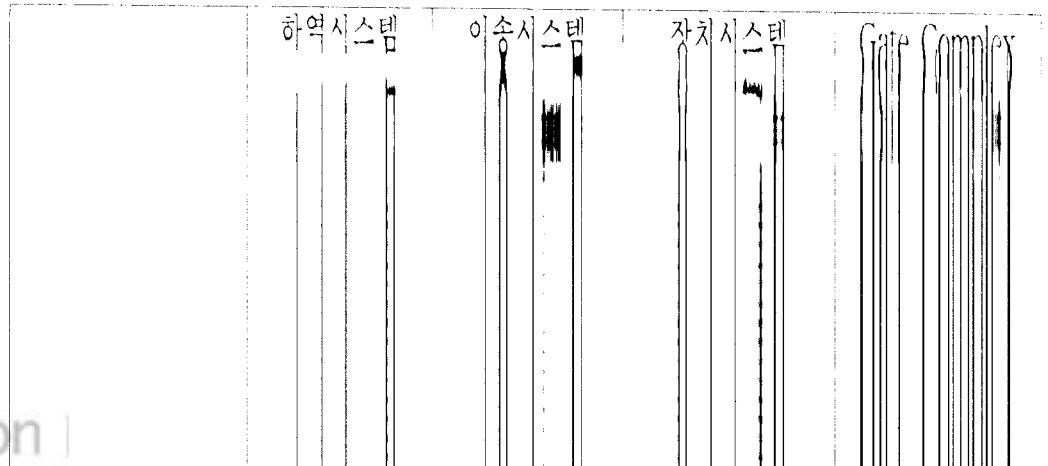
셋째, 시뮬레이션 수행시간동안에 각 하위시스템이 처리한 컨테이너는 하역시스템이 476,859 TEU, 이송시스템이 476,859 TEU, 장치시스템이 476,836 TEU, Gate Complex가 476,831 TEU를 처리하였다. 따라서, 터미널내에서 처리된 컨테이너는 총 476,831 TEU가 된다.

따라서, BCTOC에 입항하는 선박에 대해 체선·체화현상을 일으키는 주 원인은 하역시스템과 장치시스템의 처리능력 부족을 들 수 있으며 이들 하위시스템들이 터미널내 병목현상을 일으킨다.

(3) 컨테이너 물류시스템의 처리능력 개선방안

터미널내 각 하위시스템의 처리능력을 시뮬레이션 한 결과, 현재 하위시스템의 처리능력에서 하역시스템의 처리능력 40%(G/C = 13기)로, 이송시스템의 처리능력은 20%(Y/T = 55대), 장치시스템의 처리능력은 30%($P_s = \frac{17,460}{d_m}$)로 증가시키고, Gate Complex의 처리능력은 현재수준으로 유지하여 시뮬레이션 한 결과는 <Table 4-6>과 같다.

Table 4-6 하위시스템의 처리능력 증가에 따른 시뮬레이션 결과



dCollection

선박은 평균 도착시각 간격이 5.63시간을 가진 지수분포에 따라 도착하며, 이때 하역 컨테이너 수는 평균 747.7, 표준편차 379.1인 정규분포를 따른다. 선박이 터미널에 도착하면, 9기의 G/C는 하역작업을 시작하고, 하역이 끝난 컨테이너는 Y/T에 의해 이송되며, 이송작업에 이어서 장치장에서 작업이 이루어진다. 마지막으로 컨테이너는 Gate를 통하여 터미널을 빠져 나간다.

(2) 결과분석

시뮬레이션 수행기간을 150일(3000시간)로 하여 시뮬레이션을 실시한 결과, 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 각 하위시스템의 평균 이용률은 G/C이 79.5%, Y/T가 63.9%, 장치시스템이 71.1%, Gate Complex가 50%이었다.

둘째, 평균 대기율은 하역시스템이 39.5%, 장치시스템이 68.3%, 이송시스템과 Gate Complex는 0.07%, 0.04%로써 대기가 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다.

셋째, 시뮬레이션 수행시간동안에 각 하위시스템이 처리한 컨테이너는 하역시스템이 476,859 TEU, 이송시스템이 476,859 TEU, 장치시스템이 476,836 TEU, Gate Complex가 476,831 TEU를 처리하였다. 따라서, 터미널내에서 처리된 컨테이너는 총 476,831 TEU가 된다.

따라서, BCTOC에 입항하는 선박에 대해 체선·체화현상을 일으키는 주 원인은 하역시스템과 장치시스템의 처리능력 부족을 들 수 있으며 이들 하위시스템들이 터미널내 병목현상을 일으킨다.

(3) 컨테이너 물류시스템의 처리능력 개선방안

터미널내 각 하위시스템의 처리능력을 시뮬레이션 한 결과, 현재 하위시스템의 처리능력에서 하역시스템의 처리능력 40%(G/C = 13기)로, 이송시스템의 처리능력은 20%(Y/T = 55대), 장치시스템의 처리능력은 30%($P_s = \frac{17,460}{d_m}$)로 증가시키고, Gate Complex의 처리능력은 현재수준으로 유지하여 시뮬레이션 한 결과는 <Table 4-6>과 같다.

Table 4-6 하위시스템의 처리능력 증가에 따른 시뮬레이션 결과

구 분	하역시스템 (G/C)	이송시스템 (Y/T)	장치시스템 (일일장치용량)	Gate Complex (Lane)
	13기	55대	$\frac{17,460}{d_m}$	8Lane
평균 이용률(%)	55	53	50.3	50
평균 대기율(%)	3.1	0.01	50	0.98
컨테이너 처리량	478,156 TEU			

따라서, 각 하위시스템의 처리능력을 향상시키므로써, 현재, 터미널내 병목현상이 일어나는 부분을 해소하여 급증하는 컨테이너 화물에 대해 효율적으로 대처할 수 있으며 BCTOC의 생산성 및 전체적인 효율성을 제고할 수 있다.

dCollection

6. 결 론

본 논문에서는 컨테이너 터미널을 하역, 이송, 장치, Gate Complex시스템 등 4개의 하위시스템으로 나누어 컨테이너 화물의 처리능력을 분석하기 위해 부두처리능력 및 컨테이너 물류시스템에 관한 시뮬레이션 모델을 구성하고, 정량적인 분석을 통해 터미널내 각 하위시스템중 병목현상이 일어나는 부분을 파악하여 시뮬레이션 분석을 통해서 각 하위시스템의 처리능력을 향상시켜 병목현상이 발생하는 부분을 해소하여 컨테이너 물류시스템의 처리능력을 분석하였다.

본 연구에서 이용한 실측자료는 95년도 BCTOC의 선석점유율과 선박의 대기시간 및 선박의 대기율에 있어서 큰 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 96년 1월부터 5월까지 BCTOC를 이용한 선박을 대상으로 자료를 수집하였기 때문에 자료의 부족으로 인한 차이라고 볼 수 있다. 또한 분석의 용이함을 위하여 본 연구에서는 모델을 단순화함으로써 한계를 내포하고 있다.

따라서, 앞으로의 연구과제는 향후 수년간 부산 컨테이너 터미널을 이용한 선박 및 컨테이너 물동량에 관한 자료를 수집·축적하여서 컨테이너 터미널의 능력에 대해 정확한 결과를 얻기 위해 체계적이고 지속적으로 분석할 필요가 있으며, 또한 선박의 선석배정 문제와 같은 터미널내 제반운영 문제와 각 하위시스템과 연계된 종합적인 시뮬레이션 모델의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 박진수, 박병인, 「컨테이너 터미널 능력산정에 관한 연구」, 해운산업연구원, 1990.
[2] 이철영, "종합물류구축을 위한 항만기능강화 방안", 부산상공회의소, 1994, pp.26-46.
[3] 임진수, 이종훈「자성대 컨테이너 부두시설 현대화 방안」, 해운산업연구원, 1995.
[4] 김 현, "시뮬레이션에 의한 부산 컨테이너 터미널의 체계적인 방안", 한국해양대학교 대학원 석사학위 논문, 1988.
[5] 한국해운항만청, 「해운항만통계년보」, 1995 - 1996.
[6] 한진교통물류년감, 「교통물류년감」, 1996, pp. 29-36.
[7] 김재연, 「컴퓨터 시뮬레이션」, 박영사, 1995.
[8] Harndy A. TAHA, "Simulation Modeling and SIMNET", Pretice-Hall International Inc, 1988.
[9] Harndy A. TAHA, "Operation Reaserch", pp. 612-618, Macmillan Publishing Company, a division of Macmillan, Inc, 1992.
[10] 부산컨테이너 부두운영공사(BCTOC) 전산실, 「입출항선박의 전산자료」, 1996.
[11] E.G Farnkel "Port Planning and Development : Port Design and Equipment Selection", pp. 282-295, Awiley-Interscience Publishcation, 1987.
[12] J. Imakita, "A Techo-Economic Analysis of the Port Transportation System, Saxon House, 1977.

dCollection