

## 국내 컨테이너 부두시설 확보제도 개선방향 연구\*

양창호\*\*

A study on the estimation of container terminal capacity and its implication to port development planning of Korea

Chang-Ho Yang

### 목 차

- |                           |                                 |
|---------------------------|---------------------------------|
| I. 문제의 제기                 | IV. 컨테이너부두시설 하역능력산정모델 제시 및 실증분석 |
| II. 국내 컨테이너 부두시설 확보제도 실태  | V. 결어 및 정책제언                    |
| III. 컨테이너부두시설 하역능력산정 선행연구 |                                 |

Key Words: Handling capacity, Simulation model, W/S Ratio, Very large container ships, National port planning

### Abstract

This paper investigate the problems of standard container port handling capacity in establishing national port development plan in Korea. Considering container port developing, it's not easy to adopt container port service quality parameters such as lay time constraint of very large container ships by using the standard guideline of container port handling capacity.

A simple methodology that connects vessel waiting to service time(w/s) and berth occupancy to costs has been used to evaluate the performance of a container terminal. But the total handling capacity have to be calculated by the performance of the handling system and number of equipments and layout of terminal by using computer simulation that represents of reality events needs to be performed by probabilistic techniques.

A simulation model of estimation of container terminal capacity is introduced in order to establish a hub terminal for very large container ships that focus the port's quality of service and also suggest as tool for policy maker to justify a required port investment.

▷ 논문접수: 2010.07.30    ▷ 심사완료: 2010.09.01    ▷ 게재확정: 2010.09.11

\* 이 논문은 2009년도 인천대학교 자체연구비 지원에 의하여 연구되었음

\*\* 인천대학교 동북아물류대학원 부교수, chyang@incheon.ac.kr, 032)835-8192

## I. 문제의 제기<sup>1)</sup>

### 1. 서언

항만시설에 대한 투자는 해상물동량의 예측에 따라 미리 이루어져야 하며, 만약 물동량 증가 추세에 못 미치는 항만투자가 이루어질 경우 물류유통시스템에 애로요인이 발생할 수 있다. 세계 경제의 글로벌화로 조달과 생산 및 판매의 국제화가 진전됨에 따라 세계 주요 컨테이너 항만은 항만의 종합 물류기지화, 고 부가가치화를 경쟁력 제고 정책으로 추진하고 있다.<sup>2)</sup> 특히 초대형 컨테이너선이 기항하는 허브항만의 지위를 구축하기 위한 항만개발 전략이 일본, 한국, 중국 간에 경쟁적으로 이루어지고 있다<sup>3)</sup>.

2000년대 중반 이후 우리나라의 항만정책도 그 동안의 양적 팽창에서 벗어나 질적 성장 전략으로 전환, 고 부가가치 환적화물을 유치하는 것을 지향하고 있다. 항만과 항만 배후단지, 배후권역을 항만 클러스터로 함께 발전시켜, 고 부가가치 환적화물을 유치하겠다는 전략이다. 싱가포르, 로테르담 항이 이런 유형의 항만으로 우리의 벤치마킹 대상이 되고 있다. 즉, 단순 환적에서 벗어나 항만 배후단지에서 조립, 재가공, 보관 등 부가가치를 창출할 수 있는 고 부가가치 환적화물을 유치하여 궁극적으로 항만 배후권역의 성장 잠재력을 키우고, 고용을 창출하려는 정책이다.

고 부가가치 물류 허브 항만으로 발돋움하기 위해서는 항만 기항 선박이 늘어나고, 초대형 컨테이너선이 기항하며, 물동량이 증가되어야 할 것이다. 그러나 동북아 컨테이너 물동량은 지속적으로 증가하고 있는데 비해 우리의 경우는 2005년 이후 물동량 증가세가 급격히 둔화되고 있다. 홍콩을 제외한 중국 8대 항만의 항만물동량이 2005-2008년 기간 중 연평균 19.2%가 증가 한데 비해 같은 기간 중 우리나라의 환적물동량은 연평균 5.7% 증가에 그치고 있다. 이는 2005년 11월 중국 상해 양산항이 개항되면서 중국 직 기항이 증가하여 우리나라를 경유하는 중국항, 중국발 환적물동량 증가세가 둔화되었기 때문이라 할 수 있다.

또한 우리나라 컨테이너 물동량의 73% 이상<sup>4)</sup>을 처리하는 부산항의 경우 부산 신항의 개장 이후 터미널 간 하역료 경쟁이 심화되어 수익성이 크게 악화되고 있는 상태에 있다. 이는 부산 신항의 개장 이후 북항 물동량이 신항으로 이전되는 과정에서 발생하는 일시적 현상으로 볼 수도 있으나, 근본적으로는 부산항을 이용할 수 있는 잠재 고객이 부산 컨테이너 시설을 예상만큼 이용하고 있지 않은데 기인하는 것으로 볼 수 있다.

신항만 개발자 선정시 물동량 유치계획이 중요한 요소로 평가되었음에도 불구하고 물동량 유치가 계획만큼 이루어지지 못해 컨테이너 터미널의 공급과잉여부에 대한 정책실패

1) 모수원, 해상물동량과 항만의 처리능력, 한국항만경제학회지, 제19집 제2호 p.65.

2) Baird, Alfred J., "Container Vessels in the New Millennium : Implications for Seaports", Proceedings of the IAME Conference Liner Shipping, 1999.

3) 今井昭夫, 國際海上컨테이너 輸送概論, 東海大學出版會, 2009

4) 2009년 기준

를 논하게 된다. 더욱이 제 2차 전국 항만기본계획 수정계획(2006.12)에 따르면 2011년 까지 64개 선석, 2015년까지 86개 선석, 그리고 2020년까지 137개의 선석이 지속적으로 개발 될 예정으로 있다.

## 2. 우리나라 컨테이너항만 개발정책의 문제점

컨테이너 물동량 예측이 과다한 환적 화물을 감안하고 있어 외부효과<sup>5)</sup>에 의해 크게 변화될 수 있는 불확실성을 내포하고 있다. 또한 항만개발 시 물량창출, 물동량 확보방안을 감안하여 사업자를 선정하고, 사업의 타당성을 평가함에도 불구하고 개장이후 실제 물동량이 이에 미치지 못하는 문제점이 나타나고 있다.

그 원인은 우리나라 항만개발정책과 항만운영정책간의 연계성이 미흡하여 컨테이너 항만이 취급할 수 있는 물동량에 비해 과다하게 건설된 것으로 볼 수 있다. 그러나 보다 근본적인 원인은 신항만개발 시 선석 단위의 양적 항만으로 개발 한 채, 선사를 유인할 수 있는 효율성 있고 경쟁력 있는 첨단 항만을 건설하지 못한 것이 근본적인 문제일 것이다.

항만개발에는 많은 비용과 시간이 수반된다. 따라서 얼마만큼 효율성 있게 개발하는가가 매우 중요하다. 컨테이너 항만의 효율성은 항만 이용자에 의해 평가되며, 항만이용료 수준과, 대기시간, 재항시간으로 표시되는 항만 서비스 수준이 주된 평가요소이다. 어느 정도의 효율성 있는 컨테이너 터미널을 건설하는가에 따라 컨테이너 부두의 하역능력이 다르게 된다<sup>6)</sup>.

그러나 우리나라의 항만개발 기본계획은 향후 예상되는 물동량에 대비한 항만개발 규모를 선석 당 적정하역능력이라는 개념을 이용해 개발 소요선석수로 계획해 오고 있다. 따라서 컨테이너 부두의 적정처리능력을 낮게 산정하면 더 많은 선석의 부두를 개발하게 되며, 반대로 적정처리능력을 높게 설정하면 개발 선석수가 줄어드는 구조로 되어 있다. 실제로 생산성이 높은 하역장비, 하역시스템이 개발 보급되면서 컨테이너 터미널의 연간처리능력이 크게 상승하고 있어 적정처리능력을 상향조정해야 할 필요성이 나타났다. 이 결과 과거 선석당 24만 TEU 처리규모를 30만TEU, 그리고 최근에는 40만TEU까지 상향시켜왔다.

40만TEU 라는 적정처리능력은 처리능력의 적정성이라는 측면에서 터미널 운영사나 항만을 이용하는 선박회사가 생각하는 항만처리능력의 효율성과는 구분되어야 한다. 따라서 항만을 이용하는 선박의 입장에서 보면 이 정도의 처리능력으로는 초대형선이 요구하는 생산성을 맞출 수 없을 것이다. 터미널을 건설하고 운영하는 운영사에게 처리규모라면, 운영사는 어떤 수단을 동원해서라도 최대의 효율성을 내는 처리규모를 선호할 것이다. 따라서 여기서의 처리능력 적정성은 향후 컨테이너 부두를 건설할 규모를 계획하는 정부 입장에서 적정한 처리능력일 수밖에 없다.

즉 개발규모를 선석수로 미리 계획하기 위한 적정하역능력인 셈 이다. 여기서 정부의 컨테

5) 중국의 물동량, 항만 경쟁력 변화 등의 요인에 의한 효과

6) Chu, C. Y., Huang, W. C., "Determining Container Terminal Capacity on the Basis of an Adopted Yard Handling System", Transport Reviews, Vol. 25, No. 2, 2005, pp. 181 - 199.

이너 부두 개발 계획에 적정한 하역능력 개념과, 실제 국제적 경쟁력이 있는 고생산성의 컨테이너 부두를 개발할 때의 효율적 하역능력개념과는 일치하지 않는 문제점이 표출되는 것이다.

만약 정부 개발계획에서 사용한 적정하역능력을 기준으로 컨테이너 부두를 건설하였지만 실제 터미널을 운영하는 운영자가 추가 장비설치 및 효율적 터미널운영시스템을 통해 생산성을 향상시킨다면 부두처리능력은 계획 하역능력을 크게 상회 할 수 있다.

### 3. 연구의 목적

본고에서는 컨테이너 선석 당 적정처리능력 40만 TEU로 설정하고 컨테이너 항만을 40만 TEU에 맞는 선석 개수로 개발하는 현재의 우리나라 항만기본계획의 문제점을 분석하며, 이를 개선할 수 있는 방안을 제시하여, 궁극적으로는 초대형 컨테이너선의 출현과 향후 고 부가가치 물류허브 항만으로 발전할 수 있는 컨테이너 항만개발정책으로의 전환정책을 제시하고자 한다.

## II. 국내 컨테이너 부두시설 확보제도 실태

### 1. 국내외 컨테이너 부두시설 하역실적

부산항 터미널의 안벽길이를 350m 한 선석 기준으로 선석 당 처리 실적을 계산해 보면 2007년 기준으로 감만 터미널이 71만 TEU를 처리하였고 신선대, 자성대, 신감만 터미널이 각각 53만-56만 TEU를 처리하였다. 이는 5만톤 급 터미널 표준하역능력 40만 TEU에 비해 33-78%를 상회한 수치이다.

이와 같은 표준하역능력과 실제처리능력이 차이나는 것은 표준하역능력 산정시에 사용된 하역장비의 생산성이나 장비대수, 터미널 운영시스템, 장치기간의 변화 등으로 생산성이 높아졌기 때문이다.

<표 1> 부산 터미널별 컨테이너 처리 실적 (2007년 기준)

구분	안벽 길이(m)	연간 하역 실적 (만 TEU)	선석 당 처리량 (350m, 만 TEU)
자성대	1,447	227.5	55
감만	1,400	284.3	71
신감만	826	125.0	53
신선대	1,500	240.1	56

자료 : 컨테이너부두공단, 「전국항 컨테이너화물 유통추이분석」, 2008

우리와 경쟁관계에 있는 북 중국 3대 항만인 칭다오, 텐진, 다롄항은 2000년 이후 컨테이너 터미널 시설을 대폭 확충하고 있다. 북중국 주요 항만의 개발계획 상 350m 안벽길이를 한 선석으로 한 처리능력으로 개발 계획을 살펴보면 칭다오 4단계 터미널 2,370m 규모의 항만은 선석당 75만 TEU를 처리하도록 계획하고 있으며, 텐진항 (TDCT) 2,200m 터미널은 선석당 67만 TEU를 처리하도록 계획되어 있다. 기타 칭다오, 다롄, 련윈항 등은 42만~53만 TEU 정도를 처리하는 항만으로 개발하고 있다.

<표 2> 북중국 항만 개발 계획

구분	안벽길이(m)	연간처리능력 (만 TEU)	선석당 처리능력 (350m기준, 만 TEU)
칭다오 4단계	2,370	510	75
텐진항(TACT)	2,220	420	67
다롄항	1,445	210	51

자료 : KMI 자료를 이용, 작성

세계 주요항만의 경우 350m를 한 선석으로 한 선석당 처리실적은 싱가포르가 80만 TEU 이상, 말레이시아의 탄중펠레파스 터미널이 66만 TEU, 선전 YICT III 터미널과 홍콩 C-9 터미널이 50만, 51만 TEU를 처리하였다. 기타 주요 터미널의 경우 42만~48만 TEU를 처리하였다.

중국 항만개발계획이나 세계 주요 컨테이너 터미널의 경우 우리와 달리 적정처리능력이 라는 개념을 사용하지 않고 있다. 단지 이들이 발표하는 처리능력은 항만 개발계획상 처리능력, 혹은 실적처리능력을 의미한다. 중국 등의 터미널 처리능력이 우리나라 적정처리능력보다 상회하는 경우는 같은 규모의 안벽에서 안벽, 및 장치장에서 우리의 적정처리능력 산정시 투입변수로 한 장비나 하역시스템보다 많은 장비를 투입하거나, 생산성이 높은 하역시스템을 투입하기 때문이라 판단된다. 특히 중국의 컨테이너 터미널은 초대형선에 대비한 생산성향상을 위해 탠덤리프트 크레인<sup>8)</sup> 등 최신 장비를 상해 양산, 선전 터미널 등 여러 곳에서 도입하고 있으며, 향후 항만개발 시 이러한 첨단 장비의 생산성을 감안하였기 때문이다.

7) 컨테이너터미널 처리능력에 영향을 미치는 요인은 안벽길이 뿐만 아니라 야드처리능력과 관련된 터미널의 깊이(depth), 무료장치기간 등에 의해서도 차이가 날 수 있음.

8) Tandom Lift Crane은 40피트 컨테이너를 동시에 2개씩 양하 적하할 수 있는 안벽크레인임.

<표 3> 세계 주요항만의 화물 처리실적

구분	안벽길이(m)	연간처리능력 (만 TEU)	선석당 처리능력 (350m기준, 만 TEU)
홍콩 C-9	1,800	260	51
닝보 III	1,200	150	44
상해(와이가추 4)	1,250	150	42
선전 YICT III	1,400	200	50
탄중펠레파스	800	150	66
싱가포르	300	76	88
살라라	800	100	44
CTA 1	800	110	48
로테르담	750	100	47

자료 : KMI 자료를 이용, 작성

## 2. 컨테이너 부두시설의 표준하역능력 산정방식 및 문제점

### 1) 우리나라의 컨테이너 부두시설 표준하역능력 산정방식

컨테이너 부두에 대한 표준하역능력 또는 적정 하역능력을 전국항만 기본계획 수립시 선석 수로 표시되는 항만개발규모를 결정짓는 계수로 사용하고 있다. 5만톤급 컨테이너선을 대상으로 하는 컨테이너 부두설계시 적정하역능력은 선석당 24만 TEU를 사용해 왔으나, 2001년 수정항만 개발계획에서 장비대수와 간섭계수를 조정하여 선석 당 30만 TEU, 그리고 2006년 전국항만 기본계획 수정계획에서 선석 당 40만 TEU를 사용하고 있다.

선석당 24만, 30만 TEU처리능력 산출시 연간 적정 안벽능력 산정방식은 다음의 식에 의해 산출된다. 선석 점유율은 선박 대기 시간비율(w/s ratio : waiting time in unit of service time)을 10%로 할 때 선석 수에 따라 0.5~0.6정도로 결정되었다.

- 연간 작업일 × 일일 작업시간 × 선석 점유율 × 장비 대수 × 장비 능력 × 작업 계수 × 선박이동 계수 × 선내이적 계수 × 환산 계수 × 실 작업시간율 × 작업손실 계수

<표 4> 컨테이너 터미널 30만 TEU 하역능력 산정표

장비 수	연간 작업 일수	일일 작업 시간	선석 점유율	장비 능력	간섭 계수	선박 이동 계수	선내 이적 계수	환산 계수	실 작업 시간율	작업 손실 계수
3	365	24	0.46	45	0.81	0.9	0.97	1.48	0.8	0.75

자료: 해양수산부 「수정항만계획」, 2001.1

계획항만에 대한 선석당 40만 TEU처리능력 산출시 연간 적정 안벽능력 산정방식은<sup>9)</sup> 우

선 적정 선석점유율을 유럽의 4개 선석 터미널의 경우를 참고하여 60%를 사용하였다. 이를 기초로 안벽길이 350미터를 한 선석으로 할 때 개발예정 항만의 선석길이를 고려하여 적정선석점유율 재계산하였다.

이 적정 선석점유율을 바탕으로 안벽처리능력은 50만 TEU로 산정<sup>10)</sup>되었다. 그리고 장치장 적정처리능력은 유럽에서 사용하는 장치장 적정 점유율 60%를 사용하여 41만 TEU로 산정하였다.

이상의 안벽처리능력과 장치장 처리능력중 적은 수치를 터미널 적정처리능력으로 산정함에 따라 5만톤급 4선석의 경우 41만TEU를 적정 처리능력으로 산정하였다.

## 2) 현행 표준하역능력 산정의 문제점

항만적정 하역능력 산정 시 안벽 적정처리능력과 장치장 적정처리능력을 구하여 이중 낮은 것을 항만 표준하역능력으로 산정하였으나, 시뮬레이션에 의한 항만 처리능력은 안벽능력, 이송능력, 장치장 능력, 게이트 처리능력 등 결합적인 요소가 모두 함께 고려되어야 함에도 안벽과 장치장을 별도로 산출한 것은 항만통합시뮬레이션 결과로 보기 어렵다.

즉 안벽에서의 생산성 향상이 달성될 수 있는 장치장에서의 이송 및 장치하역시스템, 장비대수 조합의 최적화 해를 구하는 것이 시뮬레이션 모델이며, 나아가 선박 본선작업과 게이트 반출입 작업을 동시에 할 경우 장치장이나 안벽작업을 최적화 해를 구하는 것을 목표로 하기 때문이다. 안벽과 장치장의 처리능력을 별도로 구하여 이를 비교한다는 의미는 안벽에서의 작업물량 증감이 장치장 작업물량에 연계되지 않았음을 의미한다<sup>11)</sup>. 통합시뮬레이션 모형에서는 안벽의 물동량 증감에 따라 장치장의 점유율이 자동으로 계산되는 결과치이다.

개발예정항만 적정처리능력 산출시 유럽의 4개 선석 터미널의 경우 적정선석점유율로 파악된 60%를 적정 선석점유율로 사용하며, 이를 근거로 안벽길이 350미터를 한 선석으로 할 때 개발예정 항만의 선석길이를 고려하여 선석당 적정 선석점유율 계산하였다는 내용은 안벽처리능력을 적정 선석점유율로 계산하였다는 것이나, 시뮬레이션 모형에서는 선석 점유율은 분석의 결과이지 처리능력을 구하기 위한 입력자료가 아니라는 점의 문제점을 지니고 있는 것이다.

더욱 큰 문제점은 입력자료로 제시한 내용이 대형화된 선박, 첨단화, 고성능화 된 항만의 장비 및 하역시스템 등을 전혀 고려하지 않고 있는 점이다. 즉, 5만톤급 4선석 기준 부산항에 대한 동 보고서의 적정하역능력은 30만 TEU이며, 이때의 적정 생산성은 선박당 시간당 97 TEU(61moves)에 불과하다<sup>12)</sup>. 그 원인은 개발예정항만 적정능력 산정시 기존 크레인의 생산성을 그대로 사용하였으며, 항만의 적정하역능력을 결정짓는 요소인 선석

9) 해양수산부, 「컨테이너항만 적정하역능력 산정 개선 용역」, 2006. 7.

10) LLN1 기준 : 5만톤 급 4선석

11) 이에 따라 동 보고서에서는 장치장 분석시 적정 장치장 점유율을 60%로 가정하였음.

12) 해양수산부, 「컨테이너항만 적정하역능력 산정 개선 용역」, 2006. 7, p.219.

점유율은 안벽장비의 투입대수나 기계적 생산성과 밀접한 관련이 있으나 하역능력 산정에 이를 체계적으로 반영하지 못하였기 때문이다. 향후 물동량의 증가와 세계적 추세에 따라 안벽장비의 투입대수 증가와 기계적 생산성의 증가를 적정하역 능력 산정에 반영 할 경우 터미널 이송, 장치능력 등 체계적으로 모든 연계요소를 고려하는 것이 필수적이다.

또한 항만 간 경쟁심화에 따른 제공 서비스 향상요인을 반영하고 있지 못하고 있다. 수요자가 요구하는 선박 대기시간 수준, 선박 재항시간 수준을 반영하고 있지 못하고 있다. 터미널의 양/적하 작업은 터미널의 장비효율성보다 선사의 요구생산성이 기준이 되어야 한다. 따라서 항만적정능력 산정을 위해 초대형선의 출현, 물류허브항만 등 현실의 여건을 적절하게 반영할 수 있는 요소들이 고려되어야 한다.

현행 표준하역능력 산정의 가장 중요한 문제점은 항만의 효율성, 하역 시스템의 첨단화, 초대형선의 기항, 항만 간 경쟁심화에 따른 전략적 요소 등을 표준하역능력 산정식에 포함시키지 않은 점이며 결과적으로 첨단, 창의적 항만건설 대신, 경쟁력이 없는 표준 항만만 양산하게 만드는 기준이 되고 있다는 점이다.

외국의 항만, 특히 주요 물류허브를 추구하고 있는 세계 주요항만의 경우 컨테이너 항만은 부두 이용자가 원하는 대로 투자자가 수익성을 낼 수 있을 만큼의 완전 상업적 기초 위에서 개발이 되고 있다. 즉, 적정하역능력보다는 하역실적의 극대화에 초점을 맞추어 계획하고 운영하고 있는 것이다. 함부르크, 로테르담, 르하브르 항 등에서는 마케팅을 통해 선사의 물동량을 유치하고 이를 처리할 수 있는 고 생산성 터미널 시설을 확보하는 것을 정책의 우선으로 삼고 있다. 물동량을 자국 항만으로 유인할 수 있도록 하기 위해 수요자가 요구하는 첨단, 고 생산성의 터미널을 건설하고 있는 것이다.

따라서 선사가 요구하는 고 생산성의 터미널을 건설하여 선사의 물동량을 유치하고, 이를 통해 그 항만 배후지에서 고 부가가치 생산활동을 가능케 하려면, 현재의 40만 TEU 표준하역능력으로 부두 이용자의 요구를 충족시키기 어려울 것으로 판단된다.

### Ⅲ. 컨테이너부두시설 하역능력산정 선행연구

#### 1. 전국항만 적정하역능력 산정연구

우리나라의 컨테이너부두 개발을 위한 선석처리능력은 항만건설 운영경험에서 선석능력을 결정하는 요인을 작성하고 그 요인의 경험치 값을 갖고 능력을 산정하는 방식을 사용해왔다. 이 방식에서는 컨테이너 크레인의 실질 작업시간과 시간당 처리능력에 의해 안벽 능력이 결정되었다. 크레인의 실질 작업시간은 년 간 총 작업가능시간에서 선석점유율, 크레인 총 작업시간비용 등을 고려하여 산출된다. 그리고 크레인 처리능력은 크레인 수, 크레인 생산성 등에 의해 결정된다.



연간 적정 안벽능력 = 연간작업일×일일작업시간×선석점유율×장비대수×장비능력×작업계수×선박이동계수×선내이적계수×환산계수×실작업시간율×작업손실계수

국내 컨테이너 터미널을 설계하면서 선석처리능력은 이상의 변수들을 사용해왔으나 각각 적용하는 계수는 조금씩 달리하여 산정해왔다. 특히 국내 터미널 개발계획 수립시 서비스 수준으로 선박 대기시간비율을 10%대로 유지하여 왔다<sup>13)</sup>. 그러나 하역능력 산정에 선박접안시간, 평균목표 생산성 등 입항선박에 대한 하역서비스 기준을 감안하지 않은 채 터미널개발 규모를 산정해 온 문제점을 지녀왔다.

## 2. 선석점유율, 선박대기시간 이론(UNCTAD)

UNCTAD에서 선석점유율과 선석수에 의한 선박 대기시간비율표(Waiting Time Factor Table)를 연구 발표하였다<sup>14)</sup>. 이모형에서는 일정 서비스수준을 충족하는 선석점유율과 안벽 하역장비의 생산성을 이용하여 처리능력 산정이 가능하다. 즉 선박대기시간비율(w/s ratio)은 선석점유율( $\rho$ )과 선석수( $n$ )만으로 산출가능하기 때문에 선석점유율을 항만개발계획의 서비스 척도로 사용할 수 있게 한 것이다<sup>15)</sup>.

이에 따라 Laing과 Hecker(1989)는 항만투자여부를 결정짓는 중요한 판단지표로 w/s 비율을 제시하였다. 다만 선석점유율이 올라가면 선박대기시간이 증가하고, 선박대기시간에 다른 비용이 추가되기 때문에 선석투자비에 대한 균형을 이루는 적정 선석점유율에 대한 판단 기준이 모호할 수 있다.

동 이론 적용상 문제점은 우선 분석대상 컨테이너 부두는 20여년 전<sup>16)</sup>과 달리 안벽능력 이외 이송능력, 장치장 능력, 반출입 능력 등 결합적 요소가 함께 고려되어야 하는 상황으로 바뀐 점을 들 수 있다. 또한 선석점유율을 산출하는 선박대기시간 비율표의 가정이 무작위 선박도착의 대기행렬을 가정하고 있으나 현재는 거의 계획대로 입항을 하고 있는 점이다. 실제로 실증분석결과 부산항의 모든 컨테이너 터미널의 선박입항은 무작위 분포(Erlang 2)를 보이고 있지 않고 있다<sup>17)</sup>.

13) 해양수산부, 전국 항만물동량 예측, 2004.12, p. 801

14) UNCTAD 가 1973년에 발간한 「Berth Throughput」 과 1985년에 발간한 「Port Development」 에 제시한 내용을 근간으로 함.

15) Bassan, S., "Evaluating seaport operation and capacity analysis—preliminary methodology", Maritime policy and management, Vol. 34, No. 1, 2007, pp.3-19.

16) UNCTAD에서 1969년에서 1972년에 걸쳐 선박 대기시간비율표를 작성하기 위해 조사했던 대상 선박은 평균 1,833톤에서 3,718톤 규모의 선형. 1960년대 이전까지도 정기선의 해운서비스는 전문화, 세분화되지 못했으며, 완제품, 반제품, 승객을 모두 운송하는 형태이었음. UNCTAD에서 조사한 항만 Mombasa, Dar es Sala, Khorramshahr 는 각각 케냐, 탄자니아, 이란의 항만이었음. 당시 하역 작업시간이 평균 3.4일에서 7.5일씩 소요되었음.

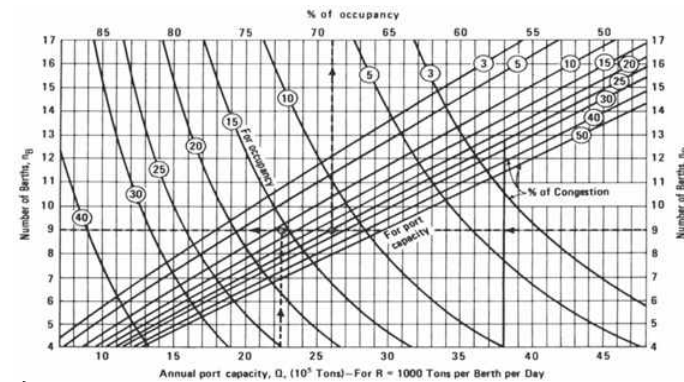
17) 양창호, 김창곤, 배종욱, 『컨테이너터미널 선석처리능력 추정방안 연구』, 한국해양수산개발원, 2001.11

### 3. Nicolaou의 터미널 처리능력 모형

Nicolaou의 터미널 처리능력 모형에서는 연간 터미널 처리능력과 선석점유율, 그리고 선석수와의 관계를 모형화 하였다. 비용을 감안한 최대 체선비율을 정하면, 특정연간처리능력을 위한 선석수와 선석점유율을 계산하거나, 반대로 선석점유율에 맞는 선석수와 연간 처리능력을 산출하게 된다<sup>18)</sup>. 그림 1에서 선석점유율이나 선석처리능력을 입력하면 체선비율 곡선을 통해 선석에서의 선박대기시간 비용과 선석 유희비용의 합을 최소화하는 선석 수(x축)를 결정할 수 있게 해준다.

이는 체선비율이 선석점유율에 비해 비용이 발생하는 더욱 직접적인 요인이기 때문에 선석점유율에 의한 선석처리능력을 산출하기보다 체선비율을 목표치로 선석처리능력을 산출할 수 있는 분석의 틀을 제공하고 있다. 즉 체선비율이 연간 처리능력을 결정하는 가장 중요한 요인이며, 선석점유율은 얼마큼 안벽을 활용했는가를 판단하는 지표로 활용하고 있다<sup>19)</sup>.

<그림 1> 연간 항만처리능력과 대기율 및 선석점유율과의 관계도



### 4. 시뮬레이션 모델

시뮬레이션 모형에서 각 객체, 자원, 위치 등을 설정하고 이들의 상호작용이 터미널 운영체제 내에서 논리적으로 설계되어 터미널을 실제처럼 가상으로 운영하여 지정 서비스 수준 하 최소의 자원투자로 최대의 처리능력을 도출한다<sup>20)</sup>.

18) Nicolaou, S. N., "Berth Planning by Evaluation of Congestion and Cost", American Society of Civil Engineers, Vol. 93, 1967.  
 19) 이후 항만대기비용을 기준으로 한 서비스 평가개념과 모형이 다수 연구(Goss & Mann, 1977, 박병인 외, 2009).  
 20) Kia, M., Shayan, E., Ghotb, F., "Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation", Computers & industrial engineering, Vol. 42, 2002, pp. 533-540.

컨테이너 터미널이 제공할 수 있는 다양한 서비스 수준을 감안한 하역능력 산정이 가능하다. 즉 초대형선용 하역장비를 감안하고, 하역시스템의 변화, 터미널규모, 서비스 수준을 감안하여 하역능력을 산출 할 수 있다. 또한 안벽능력 외 이송능력, 장치장 능력, 반출입능력을 연계 감안한 컨테이너터미널 처리능력 산정이 가능하다.

양창호 등(2001)은 선박도착분포를 무작위분포(E2 분포)를 적용하지 않고 운항계획에 따른 정시도착을 기본으로 하고 도착예정시각과 실제도착시간의 차이를 확률변수로 정의 하였다. 선석 수에 따른 선박대기시간비율과 선석점유율의 관계를 시뮬레이션모형을 이용하여 제시하였고 이를 기준으로 연간 선석능력을 산정하였다. 연간 총 처리물량을 변화시켜 선박의 입출항 과정을 시뮬레이션 분석하여 출력 통계량으로서 선석점유율과 대기시간비율을 산출하였다. 선박대기시간 비율이 각각 1%, 2%, 3%, 4%, 5%일 때, 선석점유율이 각각 46.7%, 54%, 59.4%, 63.1%, 66.5%가 된다고 제시하였으며, 이를 기준으로 한 연간 선석 능력은 각각 33만, 38만, 42만, 45만, 47만 TEU가 됨을 제시하고 있다.

선박의 도착시간과 접안시간이 포아송 프로세스 가정 대기행렬이론에서 구한 결과 값과 비교해 볼 때 동일한 대기시간비율에 대해 선석 점유율이 매우 높게 나타났다.<sup>21)</sup>

#### IV. 컨테이너부두시설 하역능력산정모델 제시 및 실증분석

##### 1. 부두사용자 등이 최적수준이라고 판단하는 서비스수준

우리나라 항만이 고부가가치 물류허브가 되기 위한 조건은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 초대형 컨테이너선이 기항해야 한다. 초대형선이 기항하지 않으면 항만 배후지에서의 부가가치 활동을 하는 다국적 기업들이 물류거점을 초대형선 기항지로 이전하려 할 것이기 때문이므로 필요조건이라 할 수 있다. 두 번째는 항만 배후지의 경쟁력이 갖추어져야 한다. 화주들에게 부가가치 활동을 통해 가치를 창출해줄 수 있는 경쟁력을 보유할 때 고부가가치 허브항만의 필요충분조건이 갖추어지는 것이다.

즉, 향후 우리 항만이 물동량을 창출하고 항만 배후지에서 부가가치 활동을 하여 물류 성장동력을 위한 경쟁력을 갖기 위해서는 고 생산성의 효율적 항만이 건설, 운영되는 것이 우선적으로 필요하다 할 수 있다. 특히 10,000 TEU급 이상 초대형 컨테이너선은 특정 항만에 기항하는지 여부에 따라 항만의 물류허브화의 가능성에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다<sup>22)</sup>.

21) 양창호, 김창곤, 배종욱, 『컨테이너터미널 선석처리능력 추정방안 연구』, 한국해양수산개발원, 2001.11

22) Yang, C. H., "Examining the impact of next generation ships on terminal operations and how terminals are adapting quayside operations to service the vessel", Container Handling Automation & Technologies, Cargo Systems, 2000. 2

이 초대형 컨테이너선은 항만기항의 선호도에 있어 물동량이 충분한 항만을 우선 기항할 것이나, 많은 량의 효율적 화물운송이 불가피한 특성 때문에 재항시간이 단축되고 환적비용이 저렴한 항만에도 기항하게 될 것으로 예상된다. 양창호, 여기태(2010)에 의하면 우리 항만의 경우 중국 항만에 비해 물동량에서는 뒤지지만 초대형선의 재항시간을 단축시켜 선사의 총 비용을 줄여 줄 경우 초대형선의 기항이 가능할 것으로 분석하였다.

10,000 TEU 이상 초대형 컨테이너선 기항 시 선사가 요구하는 서비스 수준은 항만대기시간과 항만 내 체류시간으로 나누어 설문조사를 실시하였다. 조사대상은 국내 선사, 대리점 선사, 컨테이너 터미널 운영사, 부산항만공사, 인천항만공사, 교수, KMI 전문가 등 35명에게 이메일로 발송, 27명으로부터 회신을 받았다. 조사기간은 2009년 9월 10일에서 9월 17일 사이에 이루어 졌다.

초대형 컨테이너선 기항 시 선사가 요구하는 항만대기시간은 대기 없음(No waiting)이 20명으로 74%, 총 작업시간의 5%이내 대기가 5명으로 19%, 총 작업시간의 10%이내 대기가 2명으로 7%를 차지하였다. 초대형 컨테이너선에 대해서 대기가 발생하지 않는 수준의 서비스를 제공해야 함을 확인할 수 있었다.

그리고 10,000 TEU급 이상 초대형 컨테이너선 기항시 선사가 요구하는 총 재항시간은 27명 중 25명이 24시간 이내로 답하였으며 48시간 이내로 답한 경우는 2명에 불과하였다. 초대형 컨테이너선의 양/적하 물량이 크게 늘어나도 24시간 이내 출항할 수 있는 고 생산성, 고 효율의 터미널을 요구하고 있는 것이다.

현행 우리나라 5만톤급 컨테이너부두 상부시설로 10,000 TEU급 초대형선의 양/적하 화물을 처리하기 위해 소요될 것으로 보이는 시간 (즉, 초대형선의 항내체류시간)에 대한 질문에는 24명이 48시간 이내가 걸릴 것으로, 3명이 72시간 이내가 걸릴 것으로 답했으며, 24시간 이내 처리가 가능하다고 응답한 사람은 1명도 없었다.

## 2. 컨테이너 처리능력 산정

선박 대기시간은 선박의 초대형선화, 고가화에 따라 과거에 용인되던 서비스 시간의 10%, 5%, 1% 이내에서 NO WAITING으로 바뀌었다. 선박 대기시간이 "ZERO"가 될 경우 컨테이너 부두의 처리능력은 다음의 식으로 표시될 수 있다

컨테이너 부두의 처리능력 = F (입항선박 크기분포, 하역 시스템, 장비 대수, 장치장 규모, 안벽길이, 정책변수)

입항선박 크기분포는 특정 항만에 기항하는 컨테이너선의 크기 및 양/적하 물량 (Lift per call)의 분포를 의미하는 것으로 LPC가 크면 클수록, 즉 초대형선의 입항이 많아질수록 처리능력은 커져야 함을 의미한다.

하역 시스템은 그 종류에 따라 재래식, 반자동화, 자동화 시스템으로 구분되며 반자동화, 자동화 시스템에도 첨단 장비가 포함되어 그 생산성을 구현한다. 즉 하역시스템의 첨단화 정도에 따라 터미널의 생산성이 증가하는 것이다. 따라서 하역시스템이 첨단화되고, 장비의 투입 대수가 많아질수록 컨테이너 부두의 처리능력이 높아지게 된다.

또한 장치장 규모와 안벽 길이도 처리능력에 영향을 미치므로 장치장의 규모가 적은 경우 안벽에서의 생산성이 아무리 향상되어도 터미널 전체의 생산성의 제약요인이 되기 때문이다. 또한 안벽길이도 선박 1척이 접안할 수 있는 정도가 아니라 두 척 또는 세 척 이상이 접안할 수 있는 큰 규모라면 350m 한 선석 규모로 볼 때도 처리능력이 높아지게 된다. 기타 컨테이너 화물의 컨테이너 야드(CY) 무료 장치기간(Dwell Time)의 다소에 따라 처리능력의 차이가 발생한다.

결국 컨테이너 부두의 하역능력은 “어떤 품질(Quality)을 갖는 부두를 개발할 것인가?” 에 따라 다르게 결정될 수 있다. 10,000 TEU급 초대형선을 24시간 이내에 양/적하를 완료할 수 있도록 하는 품질, 생산성을 갖는 항만을 개발할 경우 높은 생산성의 하역 시스템과 충분한 야드규모, 장비로 인해 기존의 터미널에 비해 두 배 이상의 하역능력을 보일 수 있다.

### 3. 초대형선에 대비한 고 생산성 컨테이너 터미널 하역능력 산정

우리나라 컨테이너 환적 물동량은 2001년에 총 물동량 대비 30%대를 넘어선 이후 현재까지 35~37%의 비중을 차지하고 있으며, 이러한 물동량은 주로 중국향, 중국발 환적 화물이다.

<표 5> 우리나라 컨테이너 환적 물동량 추이

단위 (천 TEU)

구분	총 물동량(A)	환적 물동량(B)	환적 물동량 증가율(%)	B/A 비중(%)
1998	5,792	634	8.2	10.9
1999	6,609	862	36.0	13.0
2000	8,917	1,264	46.6	14.2
2001	9,702	3,111	146.1	32.1
2002	11,561	4,205	35.2	63.4
2003	12,781	4,599	9.4	3.6
2004	14,184	5,159	12.2	36.4
2005	14,945	5,533	7.3	37.0
2006	15,796	5,673	2.5	35.9
2007	17,409	6,155	8.5	35.4

자료 : SP-IDC, 국토해양부

그러나 12,000 TEU급 초대형선이 기항할 경우 환적 물동량 비율이 달라질 수 밖에 없

다. 즉, 6,000 TEU 선박이나 10,000 TEU 선박이 기항할 경우 특정 항만에 대한 수출입화물은 크게 증가될 수 없으며 나머지는 모두 인근 항만에 가져갈 환적화물을 운송하기 때문이다. 부산항의 경우 5,000 TEU 이상 대형선의 경우 1회 입항 시 평균 수출입화물은 1,200개 내외인 것을 감안하면 초대형선이 입항하더라도 1,500개 이상의 수출입 물동량을 처리하기 어려울 것으로 보인다. 12,000 TEU 선박의 경우 극동/북미, 극동/유럽 항로에서 극동에서 2개 항만, 북미나 유럽에서 2개 항만에 기항하게 될 경우 한 개 항만에서 처리해야 할 물동량을 산정해 보면, 12,000 TEU 선박의 총 양/적하 물동량은 24,000 TEU이며, 능력 대비 실제 적재 비율을 약 80%로 가정할 때 총 항만물동량은 19,200 TEU가 되고 이를 각 항만에서 1/4씩 양/적하 한다면 4,800 TEU를 처리하게 된다. 이를 컨테이너 개수 (BOX)로 환산하면 약 3000개(4,800/1.6)가 된다. 따라서 12,000 TEU 선박이 기항하는 항만의 경우 수출입물동량을 제외한 약 1,500개(50%)는 환적화물로 가정해야 한다.

처리능력 산정을 위한 계획 및 운영 사항은 다음과 같다. 터미널은 2개의 초대형선용 선석과 2개의 피더선(feeder) 선석으로 이루어지며 주 선석은 450m, 피더선석은 250m로 하여 총 1,400m 안벽길이 규모를 가정한다. 주 선석 중 1개에는 주당 4회의 동항(왕항 : 극동 - 북미) 서비스, 1개에는 주당 4회의 서항 (북항 : 북미 - 극동) 서비스 빈도로 입항하며, 피더선석의 경우는 선석 점유율을 60%로 운영하는 것으로 한다. Gantrying, 해치커버 이동, 선내 이적 등에 소요되는 안벽 크레인 추가 이동(move)은 총 양/적하 물량의 5%로 가정한다. 기타 컨테이너는 20ft. 컨테이너가 40%, 40ft. 컨테이너가 60%로 구성된 것으로 가정한다. 그리고 터미널에서 취급하는 환적화물은 50%로 가정한다<sup>23)</sup>.

이상의 조건하에 연간 안벽 처리능력과 생산성은 다음과 같다. 우선 초대형선 기항 선석결과 선석 당 연간 처리능력은 998,400 TEU 이며, 이를 위한 시간 당 생산성은 143개로 나타난다. 시간당 생산성 143개는 현재 부산항의 크레인당 평균 생산성이 27개 인 점을 감안하면 안벽 크레인을 초대형선에 선박당 5대를 투입하면 될 것이다.

<표 6> 초대형선 선석 연간 처리능력

구분	양/적하 물동량 (TEU)	MOVE수 (BOX)로 환산	총 MOVE수 (1.05)	시간당 처리 생산성 (22시간)	연간 선석 당 처리능력 (TEU)
초대형선 선석 당	4,800	3,000	3,150	143 moves	998,400

피더선석에서 초대형 모선의 50% 환적화물을 처리하기 때문에 선석 당 499,200 TEU의 연간 처리능력이 되며 이 경우 시간 당 생산성은 24개로 나타난다.

23) 1만 TEU급 이상의 초대형선 환적비율로 부산항의 현 환적비율 30-35%보다는 높아질 것으로 보임. 본고에서는 초대형선 환적 전용허브항만을 가정하여 환적비율을 50%로 가정하였음.

<표 7> 피더선 연간 처리능력

구분	연간 선석 당 처리능력 (초대형모선의 환적물량 처리기준)	연간 MOVES수 환산	1일 MOVES 수 (360일)	시간 당 최대 생산성(22시간)
피더선석 당	499,200	312,000	867	24 moves

따라서 초대형선 선석, 피더선 선석의 1,400m 컨테이너 터미널의 연간 적정 처리능력은 2,995,200 TEU이며 이를 350m 한 선석 당 처리능력으로 표시하면 약 75만 TEU가 된다. 특히 경쟁항만인 중국의 항후 컨테이너 터미널의 350미터 선석당 처리능력의 최고수준 계획이 75만TEU인 점을 감안할 때 초대형선과 피더선이 함께 운영되는 선석의 평균 처리능력이 75만 TEU 인 점은 중국과의 항후경쟁에서도 필요한 처리능력 수준으로 판단된다.

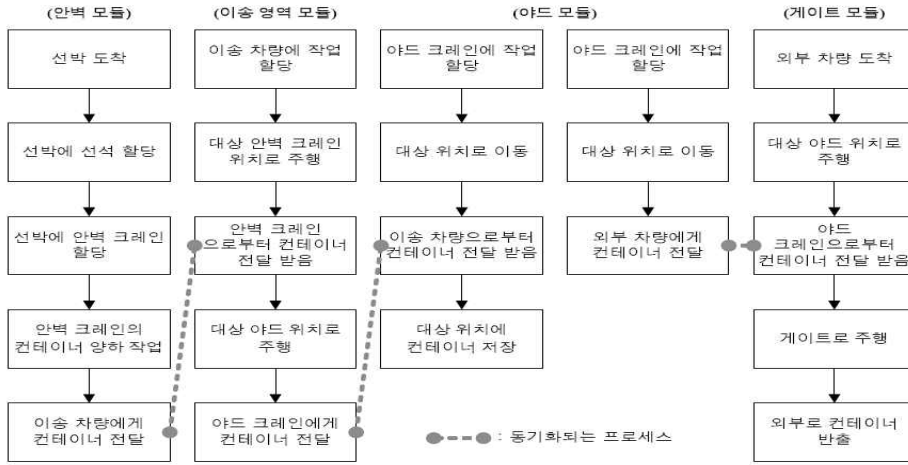
#### 4. 안벽능력산정을 위한 시뮬레이션 모델

우리나라 부산항 컨테이너 전용부두의 선석 당 처리실적이 60~70만 TEU, 중국의 항만 개발계획에서 80만 TEU 이상의 경우도 있고 주요 외국 항만도 40~70만 TEU로 다양하게 처리하고 있다. 이와 같이 다양한 선석 당 처리능력을 보이는 것은 항만마다의 야드 크기, 하역 시스템 종류, 장비 대수, 운영 시스템 등이 다르기 때문이다

따라서 미래 선사가 요구하는 생산성에 맞는 미래지향적 컨테이너 터미널의 하역능력을 산정하기 위해서는 입항선박, 목표 생산성, 하역 시스템, 서비스 수준을 설정한 후 안벽, 야드, 이동 장비간의 시뮬레이션을 통해 분석해야 한다.

컨테이너 터미널의 시뮬레이션 모델은 객체 지향적으로 분석, 설계되었다. 설계된 시뮬레이션 모델은 객체지향 시뮬레이션 도구인 *Plant Simulation*을 통해 구현, 개발하였다. 개발된 시뮬레이션 모델은 통합 설정 모듈, 안벽 모듈, 야드 모듈, 이송 영역 모듈, 게이트 모듈, 통합 실행 모듈, 통합 작업 진행 모니터링 모듈, 통합 통계량 산출 모듈로 구성된다. 통합 설정 모듈에서는 시뮬레이션의 조건이 입력된다. 입력된 조건에 따라서 안벽 모듈, 야드 모듈, 이송 영역 모듈, 게이트 모듈은 실행을 위한 초기화가 이루어지며 통합 실행 모듈을 통하여 상호 작용을 하며 터미널 전체의 운영이 실행된다. 통합 시뮬레이션 모델에 대한 로직, 특히 선석과 야드, 야드와 게이트 사이의 연계 로직은 그림2와 같다.

<그림 2> 통합 시뮬레이션 모델 로직



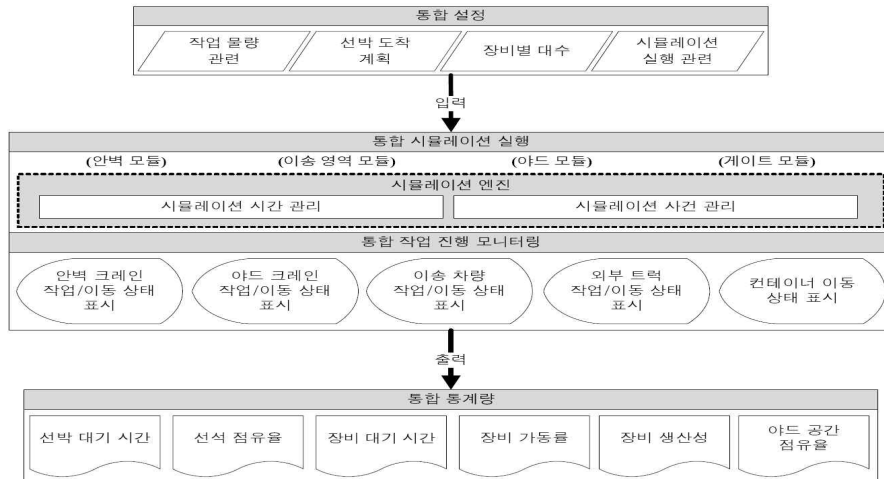
통합 작업 진행 모니터링 모듈에 의해 시뮬레이션 실행 과정이 애니메이션 되고 통계량이 수집된다. 최종적으로, 통합 통계량 산출 모듈에 의해 통계량이 산출되고 분석된다. 시뮬레이션을 통해 선박 대기시간 비율, 선석 점유율, 선석 처리능력 등이 분석 가능하다. 시뮬레이션 모델의 구성과 흐름이 <그림 3>에 도식화하였다.

앞서 서비스 수준 요구사항과 중국 및 세계 주요 터미널의 연간 처리실적 등을 감안하여 우리 항만이 초대형선 기항에 경쟁력을 가질 수 있는 고 생산성의 컨테이너 터미널을 상정하여 이의 하역능력을 300만 TEU로 산정하였다. 여기서는 이 하역능력을 처리할 수 있는지를 검토하고 이 경우 제반 터미널 서비스 수준을 분석하기 위해 시뮬레이션 모델로 실증 분석한다. 시뮬레이션 실행기간은 1년이며, 반입 작업만 발생하는 초기 7일은 통계량 수집에서 제외하였다.

시뮬레이션 조건은 트윈리프트 컨테이너 크레인 16개를 안벽에서 사용하고, 야드에서는 블록은 5단적, 45개 베이와 10열로 총 28개 블록 규모이며, 야드 크레인은 블록 당 평균 1.5개씩을 배치한다.



<그림 3> 시뮬레이션 모델의 구성 및 흐름



<표 8> 시뮬레이션 조건

항목	값	비고	
야드 레이아웃	수평형		
연간 총 처리량	약 3,000,000TEU		
물량 비율	환적	50%	
	수입	25%	
	수출	25%	
LPC	모선 선석	Uniform(2500, 3500)	평균 3000박스
	피더 선석	2/3 Uniform(1000, 1500) 1/3 Uniform(1500, 2000)	평균 1500박스
선박 도착간격 평균		10.5시간	평균 16회/주
안벽 크레인	개수	16	
	유형	싱글 트롤리	
	스프레더	트윈 리프트	
야드 공간	블록 개수	28	
	블록당 베이수	45	
	블록당 열 개수	10	
	단 개수	5	
	운영율	80%	
야드 크레인	개수	42	블록당 1.5기
	유형	캔틸레버 RMGC	
	스프레더	싱글 리프트	
이송 차량	개수	80	선석별 풀링
	유형	야드 트럭	
게이트	반입 라인 개수	5	
	반출 라인 개수	5	

국내 컨테이너 부두시설 확보제도 개선방향 연구

시뮬레이션 결과 주선석 2개와 피더선석 2개에서 연간 300만 TEU를 처리할 경우 주선석의 선석점유율은 55.7%, 그리고 피더선석 선석점유율은 33.9%로 평균 42.9%로 나타나, 기존의 항만개발시 사용했던 선석점유율 목표치<sup>24)</sup>를 하회하고 있다. 또한 외부트럭 평균 작업시간도 10분 이내로 기존 항만의 서비스 수준인 25분보다 낮게 나타났다.

따라서 주 선석 2개(900미터)와 피더선석 2개(500미터)의 1400미터 선석에서 300만 TEU를 처리해도 선석점유율, 선박대기시간이나, 서비스 면에서 기존의 항만보다 오히려 우수한 결과를 보이고 있다. 다만 외부트럭의 야드크레인 대기시간이 늘어나 야드부문에 병목이 발생하고 있다. 즉 야드 부문의 처리능력을 야드면적, 야드트레인 대수 등으로 보강한다면 연간 300만 TEU를 충분히 처리할 수 있다고 해석할 수 있다.

<표 9> 시뮬레이션 결과 1

항목	주 선석	피더 선석
선석 점유율	55.70%	33.87%
선박 처리시간 평균	27.14시간	15.81시간
총 생산성	111.91박스/시간	102.45박스/시간

<표 10> 시뮬레이션 결과 2

항목		터미널 전체
선석	선박 대기시간 비율	3.86%
	선석 점유율	42.92%
	총 생산성	108.28박스/시간
안벽 크레인	Utilization	40.81%
	작업시간 평균	2.11분
	총 생산성	28.47박스/시간
야드 크레인	Utilization	53.43%
	작업시간 평균(양하)	3.17분
	작업시간 평균(적하)	3.60분
	작업시간 평균(반입)	2.53분
이송 차량	작업시간 평균(반출)	4.03분
	Utilization	40.74%
	작업시간 평균	13.84분
	외부 트럭	작업시간 평균
연계부문	이송 차량의 안벽 크레인 대기시간 평균	75.85초
	이송 차량 및 외부 트럭의 야드 크레인 대기시간 평균	157.25초
	안벽 크레인의 이송 차량 대기시간 평균	57.76초
	야드 크레인의 이송 차량 및 야드 트럭 대기시간 평균	47.81초
	외부 트럭의 게이트 대기시간 평균	0.00초(in), 0.06초(out)

24) PECT, BCTOC의 60%, 부산신항만의 55%, 광양1단계(2선석)은 46% 이었음.

경제성으로 볼 때 기존 컨테이너 터미널 5만톤 급 4선석 개발에 총 8,000억원 정도가 투자되어 1400미터 안벽에 160만 TEU를 처리하는 것으로 계획하고 있으나, 10,000TEU 급 초대형 컨테이너선 용 터미널은 5만톤급 2선석 피더선 2선석으로 해서 1,400미터를 개발하여 2,995,200 TEU를 처리하는 것으로 계획할 수 있다. 이 경우 기존 터미널의 장비가격은 컨테이너 크레인(CC) 14대(대당 100억 원), 야드크레인 28대(대당 35억 원), 이송장비(YT) 70대(대당 1억 2천만 원), 합계가 2,464억 원이다. 이에 비해 초대형 컨테이너선용 터미널의 경우 장비가격은 컨테이너 크레인 주 선석 10대, 피더 선석 6대, 야드크레인은 42대 이송장비 80대, 합계가 3,166억 원이다. 즉 장비가격으로만 비교할 때 기존터미널에 비해 700억 원 정도(28%)를 더 투자하면 연간 처리능력이 160만TEU에서 300만TEU로 88% 이상 증가할 수 있음을 보여준다.

더욱이 안벽길이를 기준으로 할 때 초대형선 1,400미터의 처리능력 300만TEU를 기준 표준하역능력을 기준으로 할 때는 350미터 선석 7.5선석, 총 2,625미터의 개발이 필요하다. 이 차이인 1,225미터의 안벽개발이 절감될 수 있는 재정절감효과<sup>25)</sup>가 기대된다.

## V. 결론

12,000 TEU 초대형선을 24시간 이내 양/적하 작업을 수행해줄 수 있는 컨테이너 터미널을 개발할 경우 450m 선석에서 최소 (주당 4항차 기준) 약 100만 TEU를 처리할 수 있어야 한다. 이와 같은 초대형 컨테이너선은 피더선석이 필수적으로 함께 있어야 하며, 250m 피더선석에서도 선석 당 50만 TEU 정도의 물동량을 처리할 수 있어야 한다.

따라서 컨테이너 터미널의 표준하역 능력은 현행 350m 당 40만 TEU를 최저치로 450m 당 100만 TEU를 최대치로 하는 범위개념으로 설정함이 바람직할 것으로 보인다.

컨테이너 터미널 표준하역능력은 전국항만 기본계획상 향후 몇 개의 선석을 개발할 것인가를 결정하기 위해 필요한 개념이나 이 같은 표준하역능력이 경쟁력이 없는 표준화된 선석만 양산하는 문제점을 낳을 수 있으며, 경쟁력 있는 터미널을 건설할 경우 표준화된 선석보다 많은 물동량을 처리하게 되어 결국 선석 과잉의 결과를 초래할 우려도 있다.

따라서 전국항만 기본계획에서는 항별 미래 일정기간동안 건설 필요 처리능력 한도 내에서 상세 건설되는 터미널별 처리능력의 누계를 관리해 나갈 경우 이와 같은 컨테이너 터미널의 표준하역능력의 최저 하한선과 최대 상한선의 범위개념이 활용될 수 있을 것이다.

컨테이너 터미널 표준하역능력은 전국항만 기본계획상 향후 몇 개의 선석을 개발할 것인가를 결정하기 위해 필요한 개념이나, 이 같은 표준하역능력이 경쟁력이 없는 표준화된 선석만 양산하는 문제점을 낳을 수 있다.

25) 보통 안벽 1미터당 1억원을 기준으로하면 약 1,200억원의 재정절감효과를 추정할 수 있음.

전국항만 기본계획에서는 미래 항별 컨테이너 물동량만 예측하고, 항별 개발계획은 기본계획상 물동량 규모와 선정된 사업계획상의 처리능력들의 누계를 비교하여 물동량을 초과하지 않는 범위 내에서 사업을 추진토록 관리하면 될 것이다.

즉, 항만개발기본계획상에 선석수로 표시되는 안벽길이 개발 계획을 미리 정하는 사전 선석 개발 개념에서 벗어나, 민자사업, 혹은 재정사업에서 제시된 항만처리능력에 따라 개발되는 안벽길이 등 항만 규모가 결정되는 사후 항만개발 규모개발 개념으로 전환할 필요가 있다.

예를 들면, 2011년부터 2015년 동안 부산항의 5만톤급 컨테이너 터미널 선석 개발규모가 8개라 할 경우, 항만 개발규모는 안벽길이 기준 2.8킬로미터이며, 하역처리능력은 320만TEU이다. 그러나 이와 같이 사전에 개발규모를 안벽길이, 선석수로 정해 놓는 대신 2011년부터 2015년 동안 320만 TEU의 물동량을 처리 할 수 있는 사업계획을 신청 받아 승인하면 될 수 있다. 즉 앞서 예시를 하였던 1,400미터 안벽에서 300만 TEU를 처리할 수 있는 초대형선용 컨테이너 터미널 사업계획을 승인한 경우라면, 이제 20만 TEU만 더 처리 할 수 있는 사업만 승인하면 될 것이다.

이 경우 결과적으로 보면 개발 안벽규모는 약 1,500미터 내외가 될 것으로 예상되기 때문에 사전에 개발규모를 선석수로 계획한 것에 비해 1.3킬로미터의 안벽건설이 절감될 수 있다.

민자유치 항만개발 사업 주체 선정 시 철저한 상업주의에 입각한 사업계획을 수립할 수 있도록 제도를 개선해야 할 것이다. 로테르담, 함브르크, 싱가포르 등 세계 주요항만에서는 수익발생이 예상되는 경우에 한해서 컨테이너 부두 개발 사업을 추진하고 있다. 항만의 공공성보다는 투자에 대한 수익성을 우선적으로 보장되어야 민간투자가 이루어지도록 제도적 보완 필요하다. 즉 현재와 같이 항만 하부공사에서의 건설이윤을 주 목적으로 한 건설회사의 부두개발계획에서 탈피하여, 전문 터미널 운영자, 실수요자의 부두개발 계획이 이루어질 수 있도록 해야 할 것이다.

선사 운영터미널의 경우는 선사 요구 서비스 수준에 맞는 컨테이너 터미널 설계, 기술 개발, 건설을 지원해야 할 것이다. 터미널 운영사(GTO 포함) 운영 터미널의 경우는 선사의 요구에 부응할 수 있는 상부시설 생산성과 효율성을 달성할 수 있도록 터미널을 건설하려 할 것이다. 이렇게 하여 거점항만에 초대형 컨테이너선을 위한 컨테이너 부두를 개발하여, 최대의 처리능력, 최고의 생산성을 낼 수 있는 컨테이너 선석개발 계획을 선정하게 되면, 실제 기항선사나 물동량을 갖고 있는 글로벌 터미널 운영사들의 개발 참여를 유도할 수 있는 장점이 있다.

요약하면, 현행 항만개발 기본계획 수립시 항만별 개발 소요 선석수를 계획하는 대신 항별 개발 소요 물동량규모, 혹은 항별 개발 처리능력규모를 계획하는 방식으로 변경하고, 또한 항만개발계획 및 투자재원 조달에 있어 정부와 민간의 역할 정립을 우선 확립해야 할 필요가 있다. 민자유치 항만개발 사업은 상부공에 한하되, 안벽이나 항만개발 규모에 비해 가장 최대의 처리능력과 최고의 생산성을 계획한 실수요자에게 사업이 선정될 수 있는 선정평가기준 변경 등이 필요하다.

고효율 첨단 터미널이 되면 터미널 처리능력이 표준처리능력을 상회하게 될 것이며, 이 경우 항만개발규모는 표준처리능력 기준에 의한 항만개발규모에 비해 줄어들게 되어 그만큼 재정 투자를 절감할 수 있다. 그러나 고효율 첨단 터미널의 추가 상부시설 투자가 이루어지기 때문에 터미널 시설사용료 등 요율이 일반 컨테이너 터미널에 비해 높아질 수가 있다. 이에 대해 정부는 재정투자 절감분내에서 세금감면, 인센티브 제공 등의 정책을 함께 병행해서 효율경쟁을 하면서도 경쟁력 있는 항만건설을 유도하는 정책의 실효성을 기할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 모수원, "해상물동량과 항만의 처리능력", 한국항만경제학회지, 제19집 제2호, 2003
2. 박병인, 배종욱, 박상준, "선박당 평균대기비용에 의한 항만서비스 수준 평가", 한국항만경제학회지, 제25집 제4호, 2009
3. 양창호, 김창곤, 배종욱, 『컨테이너터미널 선석처리능력 추정방안 연구』, 한국해양수산개발원, 2001.11
4. 양창호, 여기태, "초대형 컨테이너선의 운항 확대에 따른 인천항의 북중국 환적거점항으로서의 발전전략 연구", 유통경영학회지, 제13권 제1호, 2010
5. 해양수산부, 『수정항만계획』, 2001.1
6. 해양수산부, 『전국 항만물동량 예측』, 2004.12
7. 해양수산부, 『컨테이너항만 적정하역능력 산정 개선 용역』, 2006.7
8. 해양수산부, 『제2차 전국항만기본계획 수정계획(2006-2011)』, 2006.12
9. 컨테이너부두공단, 『전국항 컨테이너화물 유통추이분석』, 2008
10. 今井昭夫, 國際海上컨테이너 輸送概論, 東海大學出版會, 2009
11. Port Development, *A Handbook for Planners in Developing Countries*, 1978, United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), Geneva, Second Edition, United Nations, New York.
12. Baird, Alfred J., "Container Vessels in the New Millennium : Implications for Seaports", *Proceedings of the IAME Conference Liner Shipping*, 1999.
13. Bassan, S., "Evaluating seaport operation and capacity analysis—preliminary methodology", *Maritime policy and management*, Vol. 34, No. 1, 2007, pp.3-19.
14. Chu, C. Y., Huang, W. C., "Determining Container Terminal Capacity on the Basis of an Adopted Yard Handling System", *Transport Reviews*, Vol. 25, No. 2, 2005, pp. 181 - 199.
15. Goss, R. O. & M. C. Mann, "The cost of ship's time," *Advances in Maritime Economics*, Cambridge University Press, 1977.
16. Laing, E. T. and Hecker, G., "A note on optimal waiting to service time ratios in large ports", *Maritime Policy and Management*, Vol. 16, 1989, pp. 83 - 86.
17. Nicolaou, S. N., "Berth Planning by Evaluation of Congestion and Cost", *American Society of Civil Engineers*, Vol. 93, 1967.
18. Kia, M., Shayan, E., Ghotb, F., "Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation", *Computers & industrial engineering*, Vol. 42, 2002, pp. 533-540.
19. Yang, C. H., "Examining the impact of next generation ships on terminal operations and how terminals are adapting quayside operations to service the vessel", *Container Handling Automation & Technologies, Cargo Systems*, 2000. 2

## < 요약 >

# 국내 컨테이너 부두시설 확보제도 개선방향 연구

양창호

본고에서는 컨테이너 선석 당 적정처리능력 40만 TEU로 설정하고 컨테이너항만을 40만 TEU에 맞는 선석 개수로 개발하는 현재의 우리나라 항만기본계획의 문제점을 분석하였다. 선사가 요구하는 고 생산성의 터미널을 건설하여 선사의 물동량을 유치하고, 이를 통해 그 항만 배후지에서 고 부가가치 생산활동을 가능케 하려면, 40만 TEU 표준하역능력 같은 항만개발 제약요인을 두어서는 초대형선 부두 이용자의 요구를 충족시키기 어려울 것으로 판단된다.

10,000 TEU 이상 초대형 컨테이너선 기항 시 선사가 요구하는 서비스 수준은 항만대기 시간과 항만 내 체류시간으로 나누어 설문조사를 실시한 결과 초대형 컨테이너선에 대해서 대기가 발생하지 않는 수준의 서비스를 제공해야 함을 확인할 수 있었다. 그리고 10,000 TEU급 이상 초대형 컨테이너선 기항시 선사가 요구하는 총 재항시간은 대부분 24시간 이었다.

이를 바탕으로 12,000 TEU 급 초대형선이 24시간 이내에 서비스를 완료할 수 있는 항만의 하역능력을 산정해본 결과 초대형선 선석 400미터 2선석, 피더선 250미터 2선석의 1,400m 컨테이너 터미널의 연간 요구 처리능력은 약 300만 TEU가 되었다. 이를 실현할 수 있도록 하는 시뮬레이션 분석을 한 결과 주 선석 2개(900미터)와 피더선석 2개(500미터)의 1400미터 선석에서 300만 TEU를 처리해도 선석점유율, 선박대기시간이나, 서비스 면에서 기존의 항만보다 오히려 우수한 결과를 보이고 있다. 이를 장비가격으로만 비교할 때 기존터미널에 비해 700억원 정도(28%)를 더 투자하면 연간 처리능력이 160만 TEU에서 300만 TEU로 88%이상 증가할 수 있음을 보여준다.

따라서 전국항만 기본계획에서는 기존의 선석 수 개발방향에서, 항별로 미래 일정기간 동안 건설 필요 처리능력 한도를 실제 건설되는 처리능력의 누계를 관리해 나가는 정책으로 전환해야 할 것이다.

□ 주제어: 컨테이너부두 하역능력, 시뮬레이션모델, W/S Ratio, 전국무역항개발기본계획, 초대형 컨테이너선