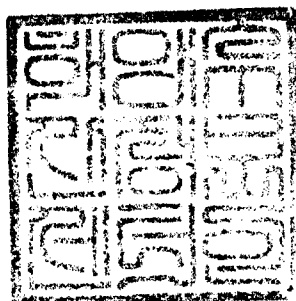


컨테이너시설 荷役能力 算定基準 및 適正處理能力에 관한 研究



林 鎭 秀
李 鍾 勲
崔 尙 喜

1997. 3



海運產業研究院
Korea Maritime Institute

머리말

1990년대 들어 국내 컨테이너터미널의 물동량은 지속적으로 증가해왔다. 이 증가하는 컨테이너물동량에 맞추어 컨테이너터미널의 개발도 이루어져 왔으나 현재 그 수요를 무리없이 소화해내기란 불가능하다. 앞으로도 물동량의 증가추세는 계속적으로 늘어날 것이고 이에 따른 새로운 항만의 개발과 기존 컨테이너터미널의 확장이 이루어질 것이라 예상된다.

기존 컨테이너터미널, 혹은 향후 개장될 터미널이나 새로이 개발계획이 수립될 터미널의 경우 그 규모산정의 가장 객관적인 자료가 컨테이너터미널의 능력산정인데 현재까지는 각 터미널의 능력산정에 대해 여러 논란도 많았고 능력에 대한 정확한 정의나 합리적이고 심도 있는 연구가 진행되어 오지 못했다.

컨테이너터미널의 능력은 크게 안벽처리능력, 장치장에서의 처리능력, Gate Complex 능력 등 3가지로 나뉘는데 기존에는 통상 안벽에서의 처리능력만을 컨테이너터미널의 능력만으로 정의하는 경우도 많았던 것은 사실이다. 또한 능력산정방식에 있어서 기존에 발표되었던 산정식이나 계수, 변수값들을 아무런 여과과정 없이 그대로 적용하여 사용해 왔다.

새로운 컨테이너터미널을 개발하기 위해서는 계획부터 개장까지 긴 시간을 필요로 하기 때문에 충분한 시간을 가지고 컨테이너터미널의 물동량을 예측하여 터미널 계획을 수립하여야 한다. 이를 위해서는 기존 컨테이너터미널 및 개발예정 터미널의 정확한 처리능력을 산정해야 하는데 그 기준이 되는 터미널능력 산정방식의 합리적인 기준이 설정되어야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 능력산정에 대한 기존방식을 검토·분석하여 그 문제점을 도출하고 합리적인 컨테이너터미널의 능력산정방식을 제시하여 기존 터미널에 대해서는 일관적이고 객관적인 터미널능력을 산정하고 개발예정 터미널에 대해 이를 실질적으로 적용할 수 있는 기초연구자료로 적용되기를 바란다.

본 보고서는 본원의 港灣技術研究팀 林鎮秀 연구위원, 李鍾勳 책임연구원, 崔尚喜

연구원이 공동 집필하였고 筆者들은 연구수행에 많은 조언과 도움을 주신 BCTOC, PECT, UTC의 관계자 여러분께 감사를 드린다.

끝으로 이 보고서의 내용은 어디까지나 필자들의 의견일 뿐 연구원의 공식적인 견해가 아님을 밝혀둔다.

1997년 3월

海運産業研究院
院長 趙正濟

목 차

第 1 章 研究의 概要	1
第 2 章 컨테이너터미널의 港灣能力에 관한 理解	3
1. 터미널내의 흐름 分析	3
1) 船舶의 흐름	3
2) 컨테이너의 흐름	4
3) 트럭의 흐름	9
2. 컨테이너터미널 能力算定 方法에 대한 理解	10
1) 시스템 方法(Systematic Method)	10
2) 北캘리포니아 港灣開發 方法(Norcal Port Study)	11
3) 改良된 北캘리포니아 港灣開發 方法 (Modified Norcal Study)	12
4) 港灣能力에 대한 이해	12
3. 컨테이너터미널의 能力決定 要素에 관한 상관관계 검토분석	13
1) 컨테이너터미널 能力決定 要素	13
2) 각 요소별 상관관계가 港灣能力에 미치는 影響	15
第 3 章 기존 컨테이너터미널 適正能力 算定方法 比較檢討	18
1. 岸壁에서의 處理能力 산정	19
1) 기존보고서의 안벽능력 산정식	19

2) 船席占有率의 개념과 기존보고서에서의 적용 검토	21
3) 기존보고서의 岸壁能力 決定要素 검토분석	25
2. 藏置場에서의 處理能力算定	30
1) 기존보고서의 藏置場能力 산정식 비교검토	30
2) 기존보고서의 藏置場能力 算定要素 검토분석	32
第 4 章 컨테이너터미널 能力算定 方案	38
1. 컨테이너터미널 能力의 意味	38
2. 컨테이너터미널의 岸壁能力 算定方法	39
1) 시간당 처리개수	40
2) 연간 크레인 작업시간	43
3) 조정계수	50
4) 岸壁能力 算定	50
3. 컨테이너터미널의 藏置場能力 算定方法	51
4. 서비스수준을 고려한 岸壁能力 算定方法	57
第 5 章 結 論	59
參考文獻	61

표목차

〈표 II-1〉 컨테이너터미널 능력결정요소(시설적 측면)	14
〈표 II-2〉 컨테이너터미널 능력결정요소(운영적 측면)	14
〈표 III-1〉 기존 보고서별 안벽능력 산정	20
〈표 III-2〉 기존 보고서의 선석점유율 결정 요소	22
〈표 III-3〉 기존 보고서의 안벽능력 결정 요소(크레인 관점)	26
〈표 III-4〉 컨테이너크레인의 컨테이너 중량별 처리능력	28
〈표 III-5〉 기존 보고서의 안벽능력 결정 요소(선박 관점)	29
〈표 III-6〉 기존 보고서별 장치장능력 산정식	31
〈표 III-7〉 기존 보고서의 장치장능력 결정 요소	33
〈표 III-8〉 PRC/개정보고서 중 PECT의 컨테이너별 장치일 및 단적수	35
〈표 III-9〉 내륙컨테이너기지 조성보고서 중 BCTOC 장치능력 현황(1991년) · 35	
〈표 III-10〉 광양1단계(2차) 개발사업 실시설계보고서의 컨테이너별 장치일 및 단적수	36
〈표 III-11〉 가덕신항만개발 기본계획보고서의 컨테이너별 장치일 및 단적수 ...	37
〈표 IV-1〉 ECT DELTA TERMINAL의 공칭능력	39
〈표 IV-2〉 BCTOC와 PECT의 순작업시간당 크레인 생산성	41
〈표 IV-3〉 BCTOC와 PECT의 총작업시간당 크레인 생산성	41
〈표 IV-4〉 순작업시간당 작업효율과 총작업시간당 작업효율 비교	42
〈표 IV-5〉 BCTOC와 PECT의 선박접안율	46
〈표 IV-6〉 평균 선박대기시간율 ($E_2/E_2/n$ queue)	47
〈표 IV-7〉 표준 선박접안율(선박대기시간율 0.18의 경우)	47
〈표 IV-8〉 컨테이너터미널 안벽능력산정 과정	51
〈표 IV-9〉 BCTOC 컨테이너 장치량 분석(1996년)	53
〈표 IV-10〉 BCTOC와 PECT의 선박접안시간당 하역개수	57
〈표 IV-11〉 외국 컨테이너터미널의 선박접안시간당 하역개수	58

그림목차

〈그림 II-1〉	터미널내의 컨테이너 흐름도	5
〈그림 II-2〉	터미널내의 종류별 컨테이너 흐름도	6
〈그림 II-3〉	수입화물의 흐름에 관한 도해	10
〈그림 III-1〉	선석점유시간에 대한 개념도	23
〈그림 IV-1〉	접안시간의 개념	44
〈그림 IV-2〉	1996년 BCTOC 적컨테이너 일일장치 현황	54
〈그림 IV-3〉	1996년 BCTOC 공컨테이너 일일장치 현황	55
〈그림 IV-4〉	1996년 BCTOC 적컨테이너 장치량 대비 장치빈도	56
〈그림 IV-5〉	1996년 BCTOC 공컨테이너 장치량 대비 장치빈도	56

第1章 研究의 概要

우리나라는 많은 항만을 개발하였으나 아직까지도 시설이 매우 부족하여 앞으로도 많은 항만의 개발이 필요하다. 또한 장래 국내의 港灣開發은 세계적으로 급변하는 해운 및 항만산업에 능동적으로 대처할 수 있도록 체계적이고 未來指向的인 방향으로 나아가는 것이 바람직하다. 현재 우리나라 대부분의 항만은 시설능력의 부족으로 항내 滯船·滯貨가 날로 심각한 상태에 있으며 이에 따라 과다한 물류비용이 발생하고 있다.

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 보고서에서 많은 방법을 제시하고 있으나 현재 항만개발의 가장 근본적 자료인 항만의 貨物處理能力에 대해 많은 이견이 있고 통일된 항만처리능력 산출방법이 없어 항만계획시마다 서로 다른 기준으로 항만처리능력을 산출하고 있는 실정이다.

한 예로 현재 부산항 컨테이너 처리물량의 증가로 전용부두에서의 컨테이너 처리 실적이 현재 사용하고 있는 공칭하역능력을 훨씬 초과하고 있으나 이에 대한 논리적 설명자료의 부족으로 컨테이너 적정처리능력에 대한 오해의 소지가 매우 높다.

컨테이너埠頭の 處理能力을 안벽능력, 장치능력, 반출능력 등을 감안하여 종합적으로 판단하여야 하나 지금까지도 일부에서는 관행상 안벽능력만을 부두의 공칭능력으로 사용하는 경우가 있었다. 또한 안벽능력의 산출시에도 사용되는 변수나 계수값이 임의로 결정되는 수가 많았고 장비의 확충 등 여건변화후에도 그 능력을 재평가하지 않고 과거 수치를 계속 사용함으로써 현실과는 매우 동떨어진 결과를 가져오게 되었다. 따라서 차후 국내 컨테이너터미널의 주변여건 변화에 따라 부두적정능력에 대한 지속적인 재평가가 이루어져야만이 향후 항만계획이나 건설시에 합리적이고 적절한 항만개발이 이루어질 것이다.

본 보고서는 다음과 같이 구성되어 있다. 제2장은 능력에 관한 이해를 돕고자 컨테이너 전용부두에 있어서 능력의 의미와 종류, 컨테이너의 항만내 흐름, 컨테이너 전용부두의 능력을 결정짓는 각 요소들에 대한 정의를 기술하였다.

제3장은 기존에 발표된 보고서들 중 현재 운영중인 컨테이너터미널과 향후 개장될 터미널에 대한 능력산정방식을 살펴보고 능력산정을 위해 적용된 각각의 변수나 계

수들을 서로 비교분석하였다.

제4장은 3장에서 기존 보고서의 적정처리능력 방식에 대해 그 문제점을 제시하고 컨테이너터미널의 능력에 대한 합리적이고 실질적인 정의를 내리고 그 능력을 구하는 방법을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 기존 항만처리능력 산정방식의 검토와 아울러 국내 항만의 항만별 처리능력 자료를 종합하여 체계적인 항만시설 하역능력 산정기준 및 적정처리능력의 산출기준을 제시하고자 한다.

第2章 컨테이너터미널의 港灣能力에 관한 理解

컨테이너터미널은 해상 컨테이너수송체계에 있어서 海上輸送과 陸上輸送의 연결점으로 컨테이너선, 하역장비, 운반차량, 컨테이너 야드, 배후창고 등과 일체가 되어 화물유통을 원활히 수행하기 위한 시설을 말한다.

컨테이너터미널의 주요기능은 컨테이너선의 하역 및 하역준비, 화물 또는 컨테이너의 보관, 수출입 컨테이너화물의 적하, 양하작업 및 컨테이너, 차량, 하역장비의 정비 등과 화물의 집하, 컨테이너선의 配船 기능 등이 있다.

또한 컨테이너터미널은 해상수송과 육상수송의 중간지점에 위치하고 있으므로 배후지, 도로, 연안수송, 철도와 항만노동력 등 많은 요소와도 관련이 있다.

본 연구에서 밝히고자 하는 港灣能力이라 함은 간단히 말해서 컨테이너터미널이 연간 얼마나 많은 컨테이너를 처리할 수 있는가를 나타내는 것이다. 컨테이너의 처리는 접안된 컨테이너선에서 하역장비에 의해 양하와 적하과정을 거치는 岸壁處理, 양·적하된 컨테이너를 임시보관하기 위한 장치장에서의 藏置, 장치장내 컨테이너를 내륙으로 운송하는 背後輸送網 등 크게 3가지로 나누어 볼 수 있다.

본 연구에서는 배후도시의 도로망, 최종목적지까지의 간선도로망, 배후지역산업 등과 같이 광범위하게 사회기반시설과 연계되어 있는 배후수송부분을 제외한 터미널내에서의 컨테이너처리만을 다루어보기로 한다.

터미널내에서의 컨테이너처리는 안벽능력산정에 관계되는 선박의 흐름, 장치장 능력산정에 관계되는 컨테이너흐름, 게이트 콤플렉스(Gate Complex) 처리능력에 관계되는 트럭의 터미널 입·출입 흐름으로 나뉘어진다.

1. 터미널내의 흐름 分析

1) 船舶의 흐름

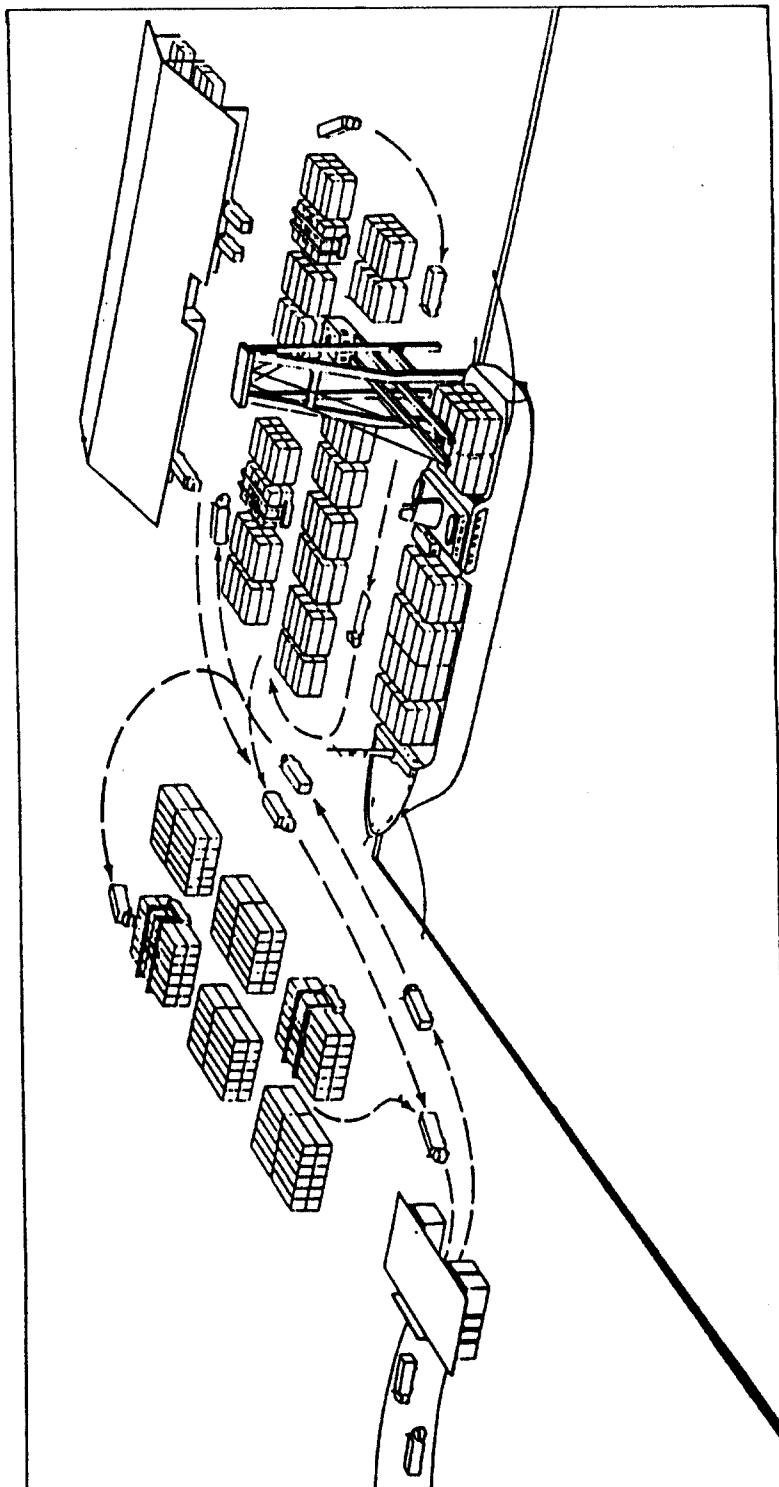
컨테이너터미널을 이용하는 선박의 흐름은 비교적 간단하다. 정해진 일정에 맞추어 外海로부터 입항한 컨테이너선은 터미널에 빈 선석이 있을 경우, 즉시 접안하여 컨테이너크레인으로 하역작업을 한 후 작업이 끝나면 출항을 한다. 빈 선석이 없을 경우에는 표박지 등에서 일정시간을 대기한 뒤 접안을 한다. 이 때 앞서 접안한 선박이 離岸한 후부터 대기선박이 接岸할 때까지 시간의 間隔이 생긴다. 이는 이접안에 소요되는 시간으로 각 부두의 운영여건에 따라 다르나 일반적으로 이안·접안에 각각 30분~1시간씩 약 1~2시간이 소요된다. 접안한 선박의 크기와 하역량에 따라 컨테이너크레인이 배정되는데 외국의 경우 4~5기의 컨테이너 크레인이 동시에 작업하는 경우도 있으며 국내의 경우 보통 2~3기의 크레인이 동시에 작업을 실시한다. 접안시각과 하역개시 시각과의 시간간격은 크레인의 이동 및 작업준비에 소요되는 시간이다. 마찬가지로 하역작업 종료시각과 이안시각과의 시간간격은 이안작업 준비시간이다. 荷役作業時間은 하역물량, 배정 크레인 수, 작업능률 등에 의하여 결정된다. 그러나 경우에 따라서는 선박의 적하계획에 따라 배정 크레인 수가 제한을 받는다. 예를 들어서 선적항에서 2대의 크레인 작업에 맞게끔 컨테이너를 선적하면 아무리 餘裕 크레인이 많아도 2대의 크레인만으로 작업을 할 수밖에 없다. 또한 여러대의 크레인이 작업시에는 서로간의 작업간섭 및 이동의 제한 때문에 전체적으로 보면 1기의 C/C 작업시보다 2기의 C/C 작업시는 10%, 3기의 C/C 작업시는 20% 정도 작업효율이 떨어진다.

2) 컨테이너의 흐름

일반적으로 컨테이너는 선박(海送), 트럭(陸送) 또는 열차(鐵送)에 의해 컨테이너 터미널에 반입된 후 일정기간을 장치장에서 머문 후에 선박, 컨테이너, 트럭 또는 기차에 의하여 터미널 밖으로 반출된다. 그리고 수출 LCL화물(Less than Container Load Cargo)은 일반 화물트럭에 의하여 터미널 내의 CFS에 반입된 후 터미널 내의 빈 컨테이너에 積入되어서 컨테이너 형태로 선박에 실려 수출되고, 수입 LCL 화물은 그 반대로 컨테이너의 형태로 수입되어서 CFS에서 화물을 컨테이너에서 積出한 후 일반 화물트럭에 의하여 반출되어서 해당 貨主에게 운송된다. 터미널 내에서의 일반적인 컨테이너의 흐름은 <그림 II-1>에, 종류별 컨테이너 흐름은 <그림 II-2>에 나타나 있다.

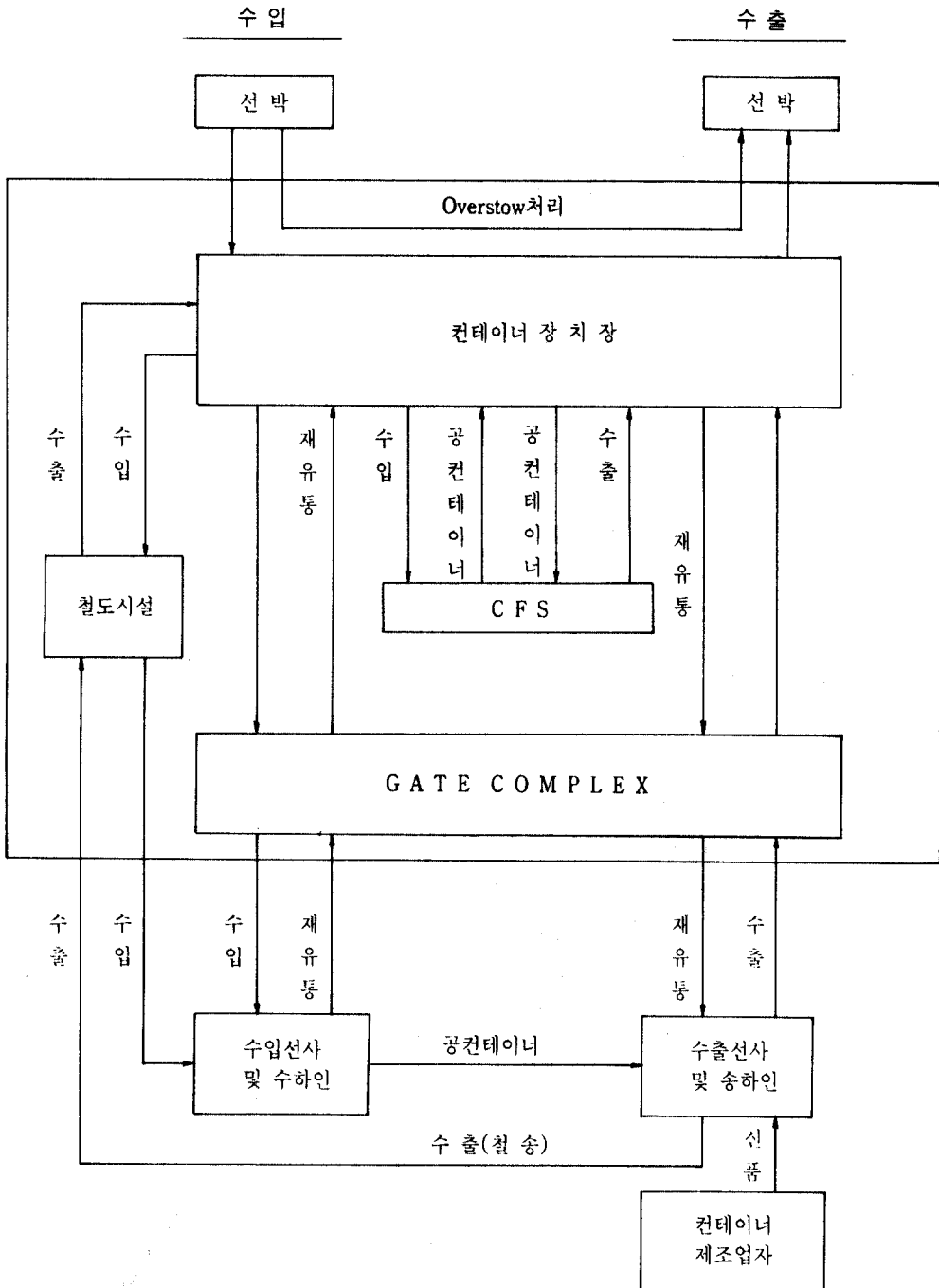
〈그림 II-1〉

터미널내의 컨테이너 흐름도



〈그림 II-2〉

터미널내의 종류별 컨테이너 흐름도



(1) 수입 컨테이너

수입 컨테이너는 외항선박에 의하여 터미널의 안벽에 도착한 후 컨테이너크레인(C/C : Container Crane)으로 하역되어 미리 작성된 야드장치계획에 의하여 지정된 藏置場으로 스트래들캐리어(S/C : Straddle Carrier) 또는 야드트랙터(Y/T : Yard Tractor)에 의해 이송된다.

장치장에 장치된 컨테이너는 화주 또는 그 대리인의 반출요청이 있으면 그 때 터미널 밖으로 반출된다. 화주의 반출요청은 임의로 발생되므로 장치장 내에서의 작업을 줄이기 위하여서는 가능한 한 컨테이너 藏置 段積數를 낮게 하여야 장치장 내에서의 작업을 줄일 수 있다. 수입 컨테이너 중 특수 컨테이너는 일반적으로 샤시(Chassis) 위에 그대로 실어놓은 상태로 있다가 반출된다. 냉동 컨테이너는 터미널 내 냉동 컨테이너 지역에 장치되어서 그 곳에 설비되어 있는 전원에 연결하여 냉동상태를 유지한 후 반출된다. 화물의 특성상 일반 컨테이너보다 장치기간이 짧다. 공컨테이너는 터미널 내의 공컨테이너 지역에 따로이 장치된다.

(2) 수출 컨테이너

수출 컨테이너는 트럭, 열차, 沿岸피더선 등에 의하여 터미널에 도착한다. 컨테이너 트럭에 의하여 도착한 컨테이너는 게이트(Gate)에서 반입 컨테이너를 장치할 위치를 지정 받아서 지정 블록으로 간후 S/C 또는 트랜스퍼크레인(T/C : Transfer Crane)에 의하여 하차된다. 외국의 일부 터미널(예 : 로테르담의 ECT)에서는 컨테이너 트럭이 장치장 내로 진입을 못하고 정해진 장소에서 대기하면 터미널 내의 하역장비에 의하여 지정 블록으로 컨테이너를 이송·장치한다. 열차에 의하여 도착한 컨테이너는 터미널 내의 조차장에서 T/C 등에 의하여 하역된 후 Y/T에 의하여 미리 지정된 블록으로 이송·장치된다. 연안 피더선에 의하여 도착된 수출 컨테이너는 피더선 자체의 크레인 또는 터미널의 하역장비에 의하여 양하된 후 지정된 블록으로 이송·장치된다.

일반적으로 수출 컨테이너의 경우 미리 선적될 선명, 선적일시, 양하항 등의 정보를 미리 알 수 있기 때문에 장치계획 수립시부터 本船 積荷計劃에 맞게 장치할 수 있으므로 수입 컨테이너의 경우보다는 장치 단적수를 높게 할 수 있다. 또한 장치일수도 수입 컨테이너의 경우보다는 짧다. 장치된 수출 컨테이너는 해당 선적될 선박에 적하된 후 터미널을 떠나게 된다. 공 컨테이너와 냉동 컨테이너의 경우는 수입 컨테이너의

경우와 같다.

(3) 移船積 컨테이너

이선적 컨테이너는 外航船舶에 의하여 터미널에 도착한 후 장치장에 장치되었다가 다시 外航선박에 積荷되어 터미널을 떠난다. 터미널의 입장에서 보면 수입이 되었다가 다시 수출이 되는 셈이다. 양하한 선박이 도착한 후 다시 적하할 선박이 도착할 때까지 시간이 많이 소요되므로 수입 컨테이너보다는 장치기간이 길다. 우리나라의 경우는 전체 물동량의 20% 정도이지만 싱가포르의 경우에는 70% 정도가 이선적 물량이다. 우리나라도 앞으로 光陽港의 컨테이너터미널이 개장되어 정상궤도에 올라가면 이선적 비율이 늘 것으로 기대된다.

(4) 再流通 空컨테이너

재유통 공컨테이너는 컨테이너터미널 내의 CFS를 이용한 수입 LCL 화물을 싣고온 컨테이너와 반출되었던 수입 컨테이너 중 화물을 화주에게 인도한 후 공컨테이너 상태로 다시 터미널 내로 반입되어서 터미널내 공컨테이너 지역에 장치되어 다시 사용되기를 기다리는 컨테이너이다. 따라서 장치기간이 일반 수입·수출 컨테이너보다 길고 단적 수도 높게 장치된다. 일반적으로 반출되었던 컨테이너 중에서 터미널 인접지역에 수입된 컨테이너의 일부가 그 대상이 된다.

(5) 船內移積 컨테이너

선내이적(Overstow) 컨테이너는 해당 컨테이너터미널이 목적지가 아닌 컨테이너로서 다른 컨테이너의 양적하를 위하여 잠시 양적하되는 컨테이너이다. 이 컨테이너의 움직임은 터미널 장치장과는 전혀 관계 없지만 컨테이너 크레인도 작업을 수행하므로 안벽 처리능력 산정에는 관계가 있다.

3) 트럭의 흐름

컨테이너터미널을 출입하는 트럭은 컨테이너 트럭과 일반 화물트럭의 두 종류가 있다. 이들 트럭들은 모두 Gate Complex를 통하여 출입을 한다.

(1) 컨테이너 트럭

컨테이너 트럭은 수출 컨테이너의 반입, 수입 컨테이너의 반출, 재유통 공컨테이너의 반입 및 반출을 한다. 반입 컨테이너 트럭은 Gate에서 반입계를 교부받고 컨테이너 장치위치를 지정받은 후 지정위치로 가서 컨테이너를 하역한 후 Gate를 통해 나간다. 반출 컨테이너 트럭은 반입 Gate에서 반출계를 교부받고 컨테이너 장치위치로 가서 컨테이너를 실은 후 터미널을 나간다. 컨테이너 트럭 중에는 컨테이너를 싣고 들어와서 장치시킨 후 반출 컨테이너를 다시 싣고 나가는 트럭도 있지만 현재는 많은 트럭이 컨테이너를 積載하고 들어와서 하역 후 빈 차로 터미널을 나가고, 반대로 빈 차로 터미널로 들어와서 컨테이너를 반출하는 경우가 많다. 이런 트럭의 전체 트럭 수에 대한 비율을 空車率이라고 한다. 정보시스템이 발달한 선진 항만의 경우에는 이 空車率이 상당히 낮다. 우리나라도 앞으로 국가에서 계획 중인 전산망이 구축되면 空車率이 낮아질 것으로 기대된다. Gate Complex 능력산정 시에는 이 공차의 출입도 고려하여야 한다. 또한 트럭의 출입은 하루에 시간대에 따라서 커다란 차이가 있다. 즉 낮시간 대에 많은 트럭이 출입을 하고 밤시간 대에는 적은 양의 트럭이 출입을 하므로 Gate Complex의 능력산정시 시간대에 따르는 출입량의 변화를 고려하여야만 한다.

(2) 일반 화물트럭

컨테이너터미널에는 컨테이너 트럭뿐만 아니라 LCL 화물을 수송하기 위하여 많은 일반 화물트럭의 출입이 있다. 즉 수출 LCL 화물은 일반 화물트럭으로 Gate를 통과하여 터미널 내의 CFS에 하역을 한 후 대부분 빈 차의 상태로 터미널을 나간다. 수입 LCL 화물은 컨테이너에서 積出하여 터미널 내의 CFS에서 일시 보관 후 일반 화물트럭에 의하여 화주에게 이송된다. 일반적으로 1TEU 당의 물량은 6대의 화물트럭물량으로 추정된다. 따라서 Gate Complex의 능력산정시에는 일반 화물트럭의 출입도 고려하여야 한다.

2. 컨테이너터미널 能力算定 方法에 대한 理解

항만능력을 산정함에 있어 일반적으로 본선하역, 이송, 저장, 운반 등의 단계로 나눌 수 있고 각 단계별 연간능력을 산출할 수 있다. 따라서 세계적으로 활용되고 있는 산정방법들을 살펴보기로 하겠다.

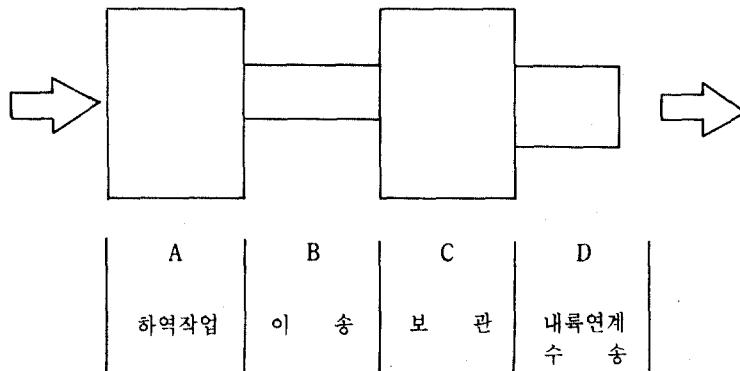
1) 시스템 方法(Systematic Method)

시스템 기법은 UNCTAD가 港灣 및 背後地에서의 運送 및 貨物荷役作業을 최적화하고자 개발한 것으로 최소비용에 의한 화물운송을 목적으로 하는 기법이다.¹⁾

동 기법의 기본 가정은 항만내 운송과정은 화물의 이동과정에 따라 몇 개의 시스템으로 구성되어 있으며 각 시스템의 능력에 따라 전체 항만의 화물처리 능력이 결정된다는 것이다. 즉, 항만운송 과정에서 화물처리능력이 큰 구성부분들이 있더라도 취약한 부분의 능력을 증대시키지 않고는 전체능력을 증대시킬 수 없다는 것이다. 동 기법은 기본적인 산정방법(Basic Method)이라고도 불리는데 적용을 위한 화물의 흐름을 도해하면 <그림 II-3>과 같다. <그림 II-3>에서의 4단계 각각은 타단계의 능력과는 相異한 화물처리 능력을 포함한다. 항만의 운송과정은 화물처리능력이 가장 작은(<그림 II-3>에서 B단계 즉 「이송 단계」) 단계에 의해 지배됨으로써, 흐름이 불규칙인 파이프라인을 따라 흘러가는 액체의 경우와 유사하다.

<그림 II-3>

수입화물의 흐름에 관한 도해



1) UNCTAD, *Berth Throughput*, 1973, p.xv.

따라서 능력이 이미 최대(A단계: 위의 예에서, 「하역작업」 단계)인 특정운송과정을 확대시켜서는 전체능력을 증대시킬 수 없고 가장 작은 부분(the Narrowest Part)의 능력을 개선시킴으로써만이 전체의 능력을 증대시킬 수 있다. 전체능력은 B단계의 능력이 D단계(내륙 연계수송)의 능력과 같아질 때까지 B단계의 능력을 증대시킴으로써 계속해서 개선될 수 있다.

시스템 기법은 복잡한 항만운송과정을 간략하게 도해함으로써 항만운송과정의 보다 용이한 이해를 가능하게 하며 항만능력의 제약요소를 판단하는 데 유리하다. 또 많은 항만들에 대해 일반적으로 적용할 수 있고, 또 항만능력에 영향을 미치는 요소들을 가장 포괄적으로 다루고 있어 항만 운영방법의 개선에 커다란 공헌을 하고 있다. 그러나 방법의 사용에 있어서는 항만운영 및 정책면에 상당히 경험이 있고 훈련되어 있어 분석 진행과정 중 여러가지 중요한 결정적 판단을 내릴 수 있는 사람이 다루어야 한다. 이밖에 항만의 운영측면에서는 상당히 깊이 있게 다루었으나, 비용측면에는 깊이 있게 접근하지 못하여 개념적으로는 정립되었으면서도 상당히 추상적이라는 느낌을 주고 있다.

2) 北캘리포니아 港灣開發 方法(Norcal Port Study)²⁾

동 방법은 미국의 Manalytics Inc.가 여러 항만의 능력을 평가할 수 있는 표준 방법개발연구의 과정에서 시도하였던 것으로 1976년 2월에 완료되어 미국의 북캘리포니아 지역의 항만들에 적용된 바 있는데, 기본적인 개념은 특정 항만의 능력을 지름이 다른 파이프라인의 연결에 비유했던 UNCTAD의 시스템 기법과 유사하다.

여기서는 먼저 이상적인 조건을 가정하여 항만 고유의 능력을 산정한 다음 실제 處理能力을 평가하기 위하여 여러가지 修正變數(Modifier)를 적용한 결과를 비교하는 것이다. 따라서 항만내 화물 흐름의 각 과정 중 최소의 능력을 나타낸 부분이 제약요소로서 항만전체의 능력을 결정한다는 것이다.

UNCTAD에서는 이 방법을 적용 평가하기 위하여, 여러가지 종류의 화물처리가 가능한 대형항만인 미국 플로리다 지역의 팜 비치(Palm Beach)항을 시험 모델로 선정하였다.

2) 金在陸, 「港灣運送시스템의 能力評價方法과 適用에 관한 研究」, 韓國外國語大學校貿易大學院 碩士學位論文, 1987, pp. 49~50.

동 방법은 항만의 정확한 능력평가를 위한 포괄적이고 적절한 수정변수를 갖고 있지만 사용자는 이 방법의 적용을 위하여 모든 수정변수에 적용할 여러가지 상세한 자료를 준비해야 한다. 또한 시스템 기법과 같이 항만에 대해 추상적인 개념만을 갖고 있거나 항만운영 업무에 익숙해 있지 않은 사람들에게는 적용이 무척 어려운 과정이 될 수 있다. 따라서 항만운영에 익숙한 항만당국의 관계자와 이 방법을 사용하여 능력을 평가하고자 하는 사람들간의 원활한 정보교환 및 충분한 협의가 병행되어야 하는 문제점이 있다.

그러나 항만당국과의 충분한 협조가 이루어지고 상세한 자료가 준비된다면 집중적인 노력으로 단시간에 항만의 능력을 정확하게 평가할 수 있는 이점도 있다.

3) 改良된 北캘리포니아 港灣開發 方法(Modified Norcal Study)³⁾

항만 운영분석에 북캘리포니아 항만개발 방법을 실제로 적용하는 것은 여러가지 면에서 복잡하고 힘들기 때문에 이를 개량한 수정방법을 많이 사용하고 있다. 즉 앞에 제시된 북캘리포니아 항만개발 방법에 의하여 항만운송시스템의 취약부분(bottle neck)을 확인한 후 취약부분의 처리능력을 산정하여 전체시스템 처리능력으로 간주하는 방법이다.

항만 운송과정 중 어떤 부분의 능력이 크레인에 의하여 처리되는 화물량과 같이 절대적인 수치로 계량화되더라도 항만전체의 능력은 단순히 항만능력에 영향을 미칠 수 있는 구조적 문제와 항만운영정책에 의하여 전적으로 결정지어지는 것은 아니다.

따라서 이 방법은 항만의 화물처리능력에 영향을 미치는 구조적 문제를 계량화시켜 분석하였지만 항만의 능력은 항만에서 처리되는 화물의 종류와 그 화물이 처리되는데 소요되는 시간의 요소를 소홀히 다룬 경향이 있다.

4) 港灣能力에 대한 이해

앞에서 제시된 항만능력의 산정방법은 거시적 측면에서 항만의 능력에 대한 것을 정

3) 金在陸, 전제논문, pp. 50~54.

의하고 이해하기 위한 하나의 과정을 나타낸 것이며 실제로 항만의 능력을 산정하기 위한 세부적 방법은 아니었다.

종합적으로 컨테이너터미널의 능력은 크게 안벽에서의 처리능력, 안벽과 장치장간의 이송능력, 장치장에서의 장치능력, 그리고 배후연계 수송능력으로 나눌 수 있다. 안벽에서의 능력과 안벽에서 장치장까지의 이송능력, 장치장에서의 장치능력은 장비와 전체적인 시설 및 운영으로 좌우되며 배후수송능력은 터미널 자체만의 문제가 아니라 배후도시의 도로망, 최종 목적지까지의 간선도로망, 배후지역산업, 주거 등 수많은 요소가 관계되므로 그 능력을 추정하기란 매우 어렵다. 따라서 본 장에서 언급하고자 하는 바는 각 부분의 능력에 대한 취약부분을 인식하고 취약부분에 대한 보강을 함으로써 전체적인 항만능력을 높일 수 있음을 알아야 한다는 것이다.

3. 컨테이너터미널의 能力決定 要素에 관한 상관관계 검토분석

1) 컨테이너터미널 能力決定 要素

컨테이너터미널의 능력을 결정짓는 요소로는 크게 시설적 측면과 운영적 측면으로 나누어볼 수 있다.

시설적 측면으로는 선박접안시 안벽에서의 하역능력과 양·적하하기 위한 컨테이너를 장치하는 장치장능력으로 나뉘어진다. 안벽에서의 하역능력과 장치장능력을 결정짓는 요소는 다음 <표 II-1>과 같다.

운영적 측면으로는 양질의 서비스를 제공하기 위한 터미널의 모든 기능을 전산화할 수 있는 항만운영전산화와 컨테이너를 이송·장치하는 과정을 자동화할 수 있는 자동화터미널의 구축을 생각해 볼 수 있다. 또한 근로자의 작업형태와 근무시간을 효율적으로 이용할 수 있는 방법을 고려해 보는 것도 바람직하다.

자동화터미널이 효율적으로 운영되고 항만능력산정에 중요한 비중을 차지하기 위해서는 자동화 장비의 일정, 작업지시, 이동 등과 같은 모든 사항이 전산화됨과 동시에 컨테이너에 관한 정보관리, 장치장 관리, 서류관리시스템 등도 병행하여 원활히 처리될 수 있는 시스템을 갖추어야 한다.

〈표 II-1〉

컨테이너터미널 능력결정요소(시설적 측면)

구 분	능 력 결 정 요 소	비 고
하역능력	●선석수 ●컨테이너크레인(C/C)수 ●선박당 작업 컨테이너크레인수 ●터미널의 연간 작업일수 ●터미널의 일일 작업시간 ●컨테이너크레인 유지보수비율 ●컨테이너크레인 가동률 ●컨테이너크레인 시간당 처리개수 ●컨테이너 개당 TEU ●선석점유율 ●안벽 및 장치장간 이송시스템 ●선내이적 컨테이너 비율	
장치장능력	●수입/수출용 야드의 면적 및 하역시스템 ●야드 운영시스템별 TEU당 점유면적 ●야드의 적재충수 ●야드의 운영을 위한 여유 ●피크계수 ●특수컨테이너 보관비율 ●야드체류기간	

〈표 II-2〉

컨테이너터미널 능력결정요소(운영적 측면)

구 분	능 력 결 정 요 소	비 고
터미널의 자동화	●초고속 광통신으로 연결된 통신망 ●분산처리시스템 ●종합적 데이터베이스 구축 ●백업처리시스템 ●장치장배정 및 관리시스템 ●종합적 장비관리시스템 ●특수컨테이너 처리시스템	
운영의 효율화	●운영 및 정비업무의 효율화 ●작업자의 숙련도 ●작업자의 근무시간 형태	

이러한 운영적 측면은 시설적 측면의 보조기능이다. 운영적 측면의 개선이 얼마나 있는가는 터미널마다 상이할 것이며 이를 계량화하기는 매우 어렵다. 따라서 운영적 요소의 개선은 서비스질의 향상과 시설적 요소들이 보다 원활히 운영될 수 있는 지원적 성격이 강하다.

2) 각 요소별 상관관계가 港灣能力에 미치는 影響

이 절에서는 <표 II-1>과 <표 II-2>에서 언급한 각각의 요소들이 항만능력에 어떠한 영향을 미치는가를 살펴보았다.

(1) 하역능력에 영향을 미치는 요소 검토

- i) 선석수 : 선석수가 증가하면 선석점유율이 떨어지고 선박의 대기가 줄어들어 전체적인 안벽처리능력을 높일 수가 있다. 또한 같은 선석수이더라도 운영의 단위가 중요하다. 즉 선사 전용터미널의 경우와 같이 각 선사마다 1~2선석씩 배정하여 이용하는 다수의 운영체제와 전선석을 하나의 운영체제로서 이용하는 경우는 차이점이 있다.
- ii) 컨테이너크레인 수 : 컨테이너크레인의 수를 증가시키고 고속·최신형으로 교체한다면 선석당 처리능력이 증가한다. 그러나 이는 C/C를 추가시킨 것만큼 비례적으로 늘어난다고 볼 수는 없다. UNCTAD의 제안에 따르면 컨테이너 선석당 C/C 여리가 동시에 작업할 시에는 1대가 작업시 100%의 효과를 낸다면 3대가 작업할 때는 80%로 효율이 떨어져 3대를 설치하여도 실제로는 2.4대의 효과를 볼 수밖에 없다. 또한 크레인수가 증가하면 상호간의 간섭작용 이외에도 자연적으로 크레인의 운영효율이 떨어지게 된다. 컨테이너크레인의 증가시 안벽에서의 처리능력 증가에 따라 장치장의 능력과 배후수송력도 같이 고려되어야만 최상의 효과를 기대할 수 있다.
- iii) 터미널의 연간 작업일수 : 터미널의 연간 작업일수는 항만마다 차이가 있으나 통상 330~365일로 보고 있다. 일반적으로 국내 컨테이너터미널의 경우 기상 조건, 휴가 등으로 인한 것 이외에 공식적으로 연간 2일 휴무이나 일본의 경우 주말작업은 이루어지지 않고 있다.
- iv) 터미널의 일일작업시간 : 실제 1일 작업시간을 작업준비시간, 이동시간, 휴식 시간 등을 제외한 순작업시간을 적용하는 것과 모든 것을 포함한 총작업시간을 적용하는 방법이 있으나 기존 보고서마다 차이가 있다.
- v) 컨테이너크레인의 유지보수비율 : 컨테이너크레인의 고장률이 높고 낮음에 따라 하역능력에 영향을 미친다. 컨테이너크레인의 유지보수비율이 낮아질수록

능력은 증가한다.

- vi) 컨테이너크레인 가동률 : 총 크레인 가동시간과 선박접안시간과의 비율로 표기한다. 크레인의 가동시간이 높을수록, 선박접안시간이 낮을수록 하역능력은 높아진다.
- vii) 컨테이너크레인 시간당 처리개수 : 컨테이너크레인의 시간당 처리개수를 컨테이너크레인의 설계작업능력으로 볼 것인가, 총 작업시간당 처리개수로 볼 것인가, 순작업시간당 처리개수로 볼 것인가에 따라 많은 차이를 보이거나 시간당 처리개수가 증가하면 안벽능력도 증가한다.
- viii) 컨테이너 개당 TEU : 상기 하역능력 산정요소들은 엄밀히 말해 연간 크레인의 작업횟수이다. 따라서 연간 물동량을 구하기 위해 이의 환산이 필요하다. 따라서 BOX와 TEU의 비율로 나타내는 것이 바람직하다.
- ix) 선석점유율 : 선석점유율이란 말 그대로 선박이 안벽을 점유하고 있는 시간을 말한다. 선석점유율에 순수접안시간만을 적용한 것과 선박이 접안하기 위해 준비하는 시간까지 포함한 것을 적용하는 방법이 있다. 그러나 이접안시간도 선석을 점유하고 있는 것으로 판단하는 것이 더 합리적이다. 선석점유율이 낮을수록 항만의 서비스 수준은 높아진다.
- x) 안벽 및 장치장간 이송시스템 : 하역된 컨테이너를 장치장으로 신속하고 정확하게 이송하는 것도 안벽에서의 컨테이너처리에 많은 영향을 끼친다.
- xi) 선내이적 컨테이너 비율 : 선내이적 컨테이너는 해당 컨테이너터미널이 목적지가 아닌 컨테이너로서 다른 컨테이너의 양적하를 위하여 잠시 양적하되는 컨테이너인데 당연히 이 비율이 적을수록 안벽능력은 증가한다.

(2) 장치장 능력에 영향을 미치는 요소 검토

- i) 수입 및 수출용 야드의 면적 및 하역시스템 : 장치장 능력에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 야드면적의 크기에 따라 항만능력을 좌우하는 결정적 요소로서 작용할 수 있다. 따라서 야드의 면적은 경제적 규모이면서도 안벽에서의 처리물량을 충분히 소화해낼 수 있는 면적이 필요하다. 또한 하역시스템이 장비종별에 따라 처리능력이 달라지고 자동화의 여부에 따라서도 많은 차이를 보인다.
- ii) 야드운영시스템별 TEU당 점유면적 및 야드의 적재층수 : 야드의 적절한 적재

계획에 따라서 장치장 처리능력에 영향을 미친다. 점유면적이 적을수록, 적재층수가 높을수록 장치장 처리능력은 증가된다. 따라서 일정한 면적에서 적재층수를 높일 수 있는 방법도 연구를 해보는 것이 바람직하다.

- iii) 야드의 운영을 위한 여유 : 야드의 가동률을 100%로 유지할 수 있으면 가장 경제적이거나 주변의 여건이나 변수에 신속하게 대응하기는 매우 힘들다. 즉 야드면적이 너무 넓어 비어 있는 슬롯이 많으면 경제적이지 못하고 반대로 야드에 컨테이너가 너무 많이 장치되어 있어 컨테이너의 반출입 작업이 어렵고 추가작업이 많이 발생한다면 전체적인 터미널의 운영효율이 떨어질 것이다. 따라서 야드의 경제적 가동률이 높아질 수 있도록 적절한 야드의 면적과 장치계획을 세워야 할 것이다.
- iv) 피크계수 : 장치장에는 시기별로 컨테이너 반입량의 차이가 있다. 따라서 컨테이너장치량이 최고조일 때도 처리될 수 있도록 장치장 계획시 고려되어야 한다. 평균장치량에 대한 피크시 장치량의 비율을 피크계수로서 표현한다.
- v) 야드체류기간 : 야드의 체류기간을 줄이는 것이 장치장의 가동률과 연간 회전수를 높이는 결과를 가져온다. 따라서 장치장의 처리능력을 높일 수가 있다.

(3) 터미널의 전산화 및 운영의 효율화가 미치는 영향 검토

전산시스템의 개발과 새로운 기법의 적용, 냉동컨테이너의 고단적화를 통한 장치장의 운영효율 제고 및 게이트 자동화와 게이트의 구조적 개선이 필요하다. 또한 컨테이너 위치검출시스템을 도입하여 장치장 관리를 실시하면 보다 효율적인 운영이 이루어질 것이며, 장치장과 안벽의 폐쇄화로 설치는 전체적인 야드관리와 도난방지 및 안전사고 예방에도 크게 기여할 것이다.

하역장비의 무인자동화는 효율적이고 안정적인 하역서비스를 공급하며 작업자의 고령화, 숙련자의 구인난, 인건비의 상승에 대한 대책으로도 이용될 수 있다.

특히 EDI체제가 활성화된다면 외부와의 서류처리가 전산시스템을 통하여 처리되어 지고 보다 적합한 선적계획 및 장치장 관리계획, 반출계획 등이 이루어져 항만능력의 효율적인 향상이 기대되어진다.

또한 작업자의 숙련도와 작업근무 시간형태도 컨테이너터미널의 능력에 영향을 미친다. 보통 국내 터미널의 경우 24시간 3조 2교대로서 운영을 하고 있으나 외국의 경우 4조 3교대를 시행하고 있는 곳도 있다.

第3章 기존 컨테이너터미널 適正能力 算定方法 比較檢討

기존 보고서에서의 컨테이너터미널 적정능력 산정방법도 크게 안벽능력과 장치장 능력으로 나누어 서술하였다. 각각의 보고서마다 적정능력산정식에 적용하는 계수와 변수들을 작성자의 주관적 판단과 상식적인 측면에서 적용시켜왔기 때문에 각 보고서마다 산정한 적정능력이 차이가 날 수밖에 없었다. 따라서 본 장에서는 각 보고서에서 적용한 계수와 변수를 비교분석해 보기로 하겠다.

본 장에서 검토분석한 보고서는 다음과 같다.

- i) 「현존컨테이너터미널 및 운영체계의최대활용」-Woodward-Clyde Consultants, 1987 (이하 자성대보고서)
- ii) 「부산항 3단계 컨테이너개발부두 : 컨테이너터미널 운영연구(Pusan Port 3rd Phase Development Project : Container Terminal Operation Study)」-PRC Engineering, 1988. 4. (이하 PRC보고서)
- iii) 「부산항 3단계 콘테이너부두 변경설계 및 배후도로 실시설계 용역」-부두콘테이너운영공사, 1989. 2. (이하 개정보고서)
- iv) 「내륙 컨테이너기지 조성 타당성 조사 용역」-해운산업연구원, 한국종합기술공사, 1991. 5. (이하 내륙컨테이너기지 조성보고서)
- v) 「항만적정능력산정 및 개발기본계획 구상」-해운항만청, 1992. 6. (이하 항만적정능력 산정보고서)
- vi) 「가덕신항만개발 기본계획 용역보고서」-해양수산부, 1996. 12. (이하 가덕신항만개발 보고서)

1. 岸壁에서의 處理能力 算定

1) 기존보고서의 岸壁能力 算定式

우선 각 보고서에서 정의된 안벽능력 산정식을 같은 형태로 나열하여 보다 쉽게 비교·검토할 수 있도록 하였다.

다음 <표 III-1>은 각 보고서에서 정의한 안벽능력 산정식이다.

자성대보고서는 BCTOC, PRC 및 개정보고서는 PECT, 항만적정능력보고서는 BCTOC와 PECT에 적합하다고 생각되는 산정방식을 도출하였고 가덕신항만개발보고서와 광양항 1단계 개발보고서는 항만을 개발하는 데 있어서 발생하는 물동량을 추정하고 그 물동량에 적합한 소요크레인수를 산정하기 위하여 컨테이너크레인 1기당 처리능력을 산출하였다.

대부분의 보고서가 크레인의 관점에서 안벽능력을 산출하였는데 전체적으로 종합해보면

$$\begin{aligned} \text{하역능력} = & (\text{컨테이너크레인 수}) \times (\text{연간작업시간}) \times (\text{작업시간당 하역컨테이너수}) \\ & \times (\text{기타 계수}) \end{aligned}$$

로 나누어 볼 수 있다

각 요소들은 연간하역능력에 비례하므로 요소들의 값에 따라 하역능력에 많은 영향을 미치게 된다.

위 식에서 연간작업시간이라 함은 1년간 작업할 수 있는 날을 작업가능한 시간으로 환산한 것이다. 따라서 여기에는 1년중 작업가능한 일수, 1일중 작업가능한 시간, 작업을 가능하게 하기 위해 선박이 선석에 점유하고 있는 비율 등이 포함된다. 각 보고서마다 같은 터미널에서의 능력차이가 발생하는 것은 연간작업일수, 일일작업시간을 작업자가 어떻게 정의하느냐에 따라 달라질 수 있기 때문이다.

즉 연간작업일수를 총 작업가능한 365일과 기상악화 및 공식휴무(BCTOC나 PECT의 경우 2일)를 제외한 360일, 심지어 330일로 산정한 경우도 있는데 이것은 불의의 사고나 고장, 기상조건으로 인한 작업의 중지일수를 과다하게 잡은 것으로 판단이 되나 실제로 현장에서는 상기이유로 인한 작업중지 시간을 모두 고려하여 연중 5~10일 정도를 작업불가능일로 보고 있다. 일일작업시간도 총작업가능시간인 24시간과 교대

〈표 III-1〉

기존 보고서별 안벽능력 산정

보고서명	안벽능력산정식	적용 터미널
현존컨테이너 터미널 및 운영체계의 최대활 용(자성대보고서)	$\text{연간 하역능력} = (\text{컨테이너 크레인 수}) \times (\text{연간작업일수})$ $\times (\text{일일작업시간}) \times (\text{집안 점유율})$ $\times (\text{시간당 크레인 생산성 비율})$ $\times (\text{크레인 故障 시간 계수}) \times (\text{선박移動계수})$ $\times (\text{Overstow율}) \times (\text{TEU당 비율})$	BCTOC
부산항 3段階 컨테이 너開發 埠頭: 컨테이 너 터미널운영연구 (PRC보고서)	$\text{연간 하역능력} = (\text{컨테이너 크레인 수}) \times (\text{연간작업일수})$ $\times (\text{일일작업시간}) \times (\text{선석 점유율})$ $\times (\text{선박접안시간당 크레인 작업능력})$ $\times (\text{간섭계수}) \times (\text{선박移動계수}) \times (\text{TEU당 비율})$	PECT
부산항 3段階 컨테이 너埠頭 變更設計 및 背 後道路 實施設計 用役 (개정보고서)	$\text{연간 하역능력} = (\text{컨테이너 크레인 수}) \times (\text{연간작업일수})$ $\times (\text{일일작업시간}) \times (\text{선석 점유율})$ $\times (\text{컨테이너크레인 설계작업능력})$ $\times (\text{컨테이너크레인 작업효율})$ $\times (\text{크레인가동률}) \times (\text{간섭계수}) \times (\text{TEU당 비율})$	PECT
항만적정능력 산정 및 개발 기본계획구상	$\text{연간 하역능력} = (\text{컨테이너 크레인 수}) \times (\text{연간작업일수})$ $(\text{크레인관점}) \times (\text{일일작업시간}) \times (\text{선박 접안율})$ $\times (\text{컨테이너크레인 시간당 처리개수})$ $\times (\text{크레인가동률}) \times (\text{TEU당 비율})$	BCTOC PECT
	$\text{연간 하역능력} = (\text{선석수}) \times (\text{연간작업일수}) \times (\text{일일작업시간})$ $(\text{선박관점}) \times (\text{선박접안율}) / (\text{선박당 접안시간})$ $\times (\text{선박당 평균적재량}) \times (\text{TEU당비율})$ $\text{※선박당 접안시간} = (\text{이접안준비시간}) + (\text{선박당 평균적재량}) /$ $(\text{선박당 작업C/C수} \times \text{시간당 처리개수} \times \text{장비가동률})$	
광양항1단계 (2차)개발 사업 실시설계용역	$\text{연간 하역능력} = (\text{컨테이너 크레인 수}) \times (\text{연간작업일수})$ $\times (\text{일일작업시간}) \times (\text{선석 점유율})$ $\times (\text{시간당 크레인 처리개수})$ $\times (\text{컨테이너크레인 작업효율})$ $\times (\text{크레인가동률}) \times (\text{간섭계수}) \times (\text{TEU당 비율})$	광양신항
가덕신항만 개발 기본 계획 용역보고서	$\text{연간 하역능력} = (\text{컨테이너 크레인 수}) \times (\text{연간작업일수})$ $\times (\text{일일작업시간}) \times (\text{선석 점유율})$ $\times (\text{시간당 크레인 평균작업능력})$ $\times (\text{컨테이너크레인 작업효율})$ $\times (\text{크레인가동률}) \times (\text{간섭계수}) \times (\text{TEU당 비율})$	가덕신항만

및 식사시간을 제외한 20시간의 개념으로 나뉜다.

작업시간당 하역컨테이너수는 여러가지 관점에서 살펴볼 수 있다. 휴식, 교대시간, 작업준비시간 등을 포함한 총작업시간의 개념과 전자의 요소들을 제외한 순작업시간의 개념으로 나눌 수 있다. 또한 선박접안시작에서 선박이안시작 사이의 크레인 작업능력을 나타낸 것과 크레인의 가동시간과 가동종료 사이의 시간을 고려한 크레인의 작업능력으로 나눌 수 있다. 한편 기존 보고서 중 개정보고서와 가덕신항만개발보고서에서는 순수 크레인의 제작사측에서 제공한 컨테이너크레인의 설계작업능력을 적용하였고 그의 보고서에서는 실제 크레인의 작업시간당 컨테이너처리개수를 적용하였다.

기타계수로는 크레인의 가동률, 선석점유시간대비 이·점안준비시간의 비율로 나타낸 선박이동계수, 총 컨테이너에서 선내이적의 비율을 제외한 Overstow율, 크레인의 작업대수에 따라 발생하는 상호 간섭효과를 고려한 간섭계수, 실작업시간율에 현장작업능력계수(고장률)의 곱으로 나타낸 크레인의 작업효율, BOX를 TEU로 환산한 비율 등이 있다. 이 중 자성대보고서는 간섭계수와 크레인의 작업효율을 고려하지 않았고 PRC보고서는 Overstow율, 크레인 작업효율을, 개정보고서에서는 Overstow율, 선박이동계수를, 항만적정능력산정보고서에서는 Overstow율, 간섭계수, 선박이동계수, 크레인작업효율을, 가덕신항만개발보고서에서는 Overstow율, 선박이동계수 등을 고려하지 않았다.

가덕신항만개발보고서의 항만능력 산정방식은 개정보고서의 산정방식을 그대로 인용하여 적용하였다.

2) 船席占有率의 개념과 기존보고서에서의 適用 檢討

〈표 III-2〉는 안벽능력 결정요소 중 선석점유율을 산출하기 위한 항목들이다. 이 값들은 그 적용터미널의 주변여건 및 물동량, 장치장의 이용도 등에 따라 차이를 보이고 있으며 매년 그 수치도 변하고 있다. 따라서 여러 복합적인 요소로 인하여 가장 결정하기 어려운 요소들 중 하나이다.

본 연구에서는 여러가지 선석점유시간의 개념을 분명히 하기 위하여 다음과 같이 정의하였다.

〈그림 III-1〉에서 살펴보면 선석점유시간이라는 것은 선박이 부두에 이·점안하기 위하여 작업준비, 계선작업에 소요되는 시간까지를 포함하는 개념으로 정의하였다. (〈표 III-2〉 참조). 즉 현 이용자가 일정한 시설을 사용함으로써 다음 사용자가 시

〈표 III-2〉

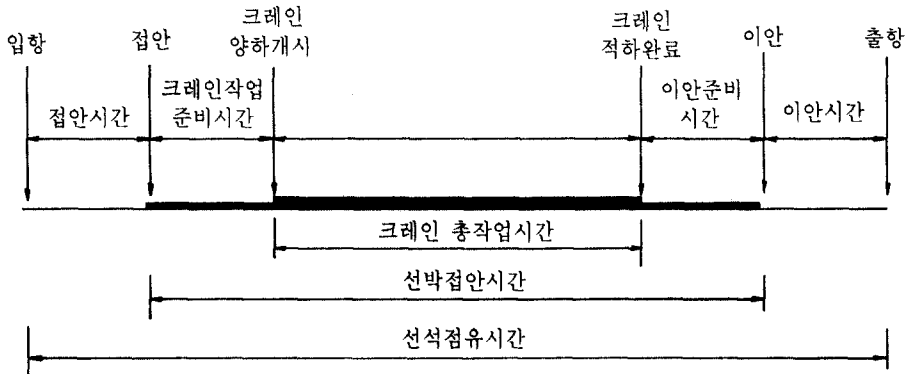
기존보고서의 선석점유율 결정 요소

구 분	현존컨테이너 터미널 및 운영체계의 최대활용 (자성대보고서) (1987년)	부산항 3段階 컨테이너開發 埠頭 : 컨테이너 터미널은 영연구 (PRC보고서) (1988년 4월)	부산항 3段階 컨테이너埠頭 變更設計 및 背後道路實施設計用役(개정보고서) (1989년 2월)	항만적정능력 산정 및 개발 기본계획 구상 (1992년 6월)		광양항1단계 개발사업 실시설계 용역 (1993년5월)		가덕신항만 개발 기본계획 용역보고서 (1996년12월)
				PECT	BCTOC	PECT	광양1단계	
적용터미널	BCTOC	PECT	PECT					가덕신항만
선석수(선석)	4	3	3		4	3	1 2	3선석기준
평균선박점안시간(시간)	14	12			14.62	12.3		
평균선석점유시간(시간)		13.25	13.5					13.5
평균선석대기시간(시간)	1	1.46	1.5					1.5
이접안 준비시간(시간)	2	1.25			2	2	2 2	
Waiting-Time Factor	0.07	0.11	0.11				0.1(가정) 0.1(가정)	0.11
Queue Model	M/M/4	Erlang-2	Erlang-2 지수분포	Erlang-2	Erlang-2	Erlang-2	Erlang-2 Erlang-2	지수분포 Erlang-2
선박점안율 (선석점유율)	0.48	(0.6 : 가정)	0.6	0.5	0.6	0.6	0.26 0.46	0.6 0.5

주 : 개정보고서의 경우 보고서상에는 선석점유시간이라고 표현하였으나 실제로는 이용한 BCTOC의 통계가 이 · 점안 시간을 제외한 선박점안시간만을 명시하였으므로 엄밀한 의미로는 선박점안시간이 정확함.

〈그림 III-1〉

선석점유시간에 대한 개념도



설을 이용하지 못하는 시간이다.

선박접안시간은 선박이 실제로 부두에 접안해 있는 시간만을 산출한 것이며 선박 접안시간에 이 · 접안시간을 더하면 선석점유시간이 된다. 이러한 시간상의 통계는 물동량, 장치장 현황 등 주변여건에 따라 매년 다르게 산출된다. 실제로 각 터미널의 통계상에 나오는 값은 선박접안시간이다.

자성대보고서에서는 선박접안율을 1987년 당시 선석대기시간을 1시간으로 가정하고 대기행렬이론을 근거로 구하였는데 선박은 Poisson 도착패턴에 따르고 서비스시간은 지수분포에 따르는 대기행렬인 M/M/n Queue의 가정하에 선박접안율을 구하였다. 평균접안시간은 당시 BCTOC의 통계에 의해 14시간으로 보고 1시간의 평균대기시간을 가정하면 Waiting-Time Factor(대기시간과 서비스 시간의 비율)이 $1/14 \approx .07$ 이 된다. BCTOC의 선석은 4개이므로 M/M/n Queue의 Waiting-Time Factor Table¹⁾에 의하여 선박접안율은 .48로 추정하였다.

PRC보고서에서는 선석점유율을 0.6으로 가정하였다. 보고서에서는 0.6으로 가정한 이유에 대한 설명이 없었다. 그러나 선석점유율 0.6의 경우 대기행렬이론을 이용한 방법으로 평균 선석대기시간을 다음과 같이 구하여 볼수 있다. 일반적인 경우 컨테이너 터미널의 선박의 시각간격 분포 및 선석점유시간의 분포를 Erlang-2 분포로 가정하였을 경우²⁾ 3선석 컨테이너터미널의 선석점유율이 0.6에서의 Waiting-Time Factor는 0.11이 된다. PRC 보고서에서는 평균선석접안시간을 12시간으로, 이접안 시간을 1.25

1) UNCTAD, *Berth Throughput : Systematic Methods for Improving General Cargo Operations*, 1973.

2) UNCTAD, *Port Development*, 2nd ed., 1985, p. 220.

시간으로 가정하였으므로 선박이 선석을 점유하는 시간, 즉 대기행렬이론에서의 평균 서비스시간(선석점유시간)은 13.25시간이 되므로 평균 선석대기시간은 1.46시간이 된다. 참고로 선박의 도착시각 간격분포가 Erlang-2 분포가 아니라 일반 선박의 도착패턴인 지수분포였다고 가정하면 Waiting-Time Factor는 0.20으로 평균 선석대기시간이 2.65시간이 된다. 선진항만과 비교해 보면 평균 선석대기시간 1.5시간이나 선석점유율 0.6은 높다고 판단된다. 자료에 의하면 선석 점유율은 운영상의 이유로 0.5를 넘지 않는게 바람직하다.³⁾

개정보고서에서는 선석점유율을 다음과 같이 판단하였다. 선석점유시간을 13.5시간(1986년 BCTOC 통계), 예상 평균 선석대기시간을 1.5시간으로 가정하면 Waiting-Time Factor는 0.11이 된다. 이때 선석점유시간 분포를 Erlang-2분포로 보고 선박도착시각 간격분포를 Erlang-2 분포가정시는 선석점유율이 0.60이 되고, 지수분포 가정시는 0.50이 된다. 따라서 평균을 잡아서 선석점유율을 0.55로 가정하였다.

「항만적정능력산정 및 개발기본계획구상」에서의 선석점유율은 UNCTAD에서 권고한 적정점안율 50~70%를 따르고 있다. 또한 대기행렬이론에 의하여 선석수가 많을수록 동일한 점안율하에서 대기시간이 감소한다고 보았다. 예를 들어 입항분포가 Erlang-2분포이고 서비스분포가 Erlang-2분포일 경우 점안율이 55%에서 선석수 1인 경우에는 서비스시간 대비 49%의 대기시간이 발생하나 선석수가 2인 경우에는 16%, 선석수가 3인 경우에는 7%, 선석수가 4인 경우에는 4%로 급격히 감소하였다고 한다. 이러한 특성을 감안하여 항만적정능력 산출시 선석수가 1인 부두의 경우 선박점안율을 50%, 선석수가 2인 경우 점안율을 55%, 선석수가 3이상의 부두에는 60%를 적용하였다. 아래 <표 III-3>은 서비스시간에 대한 평균대기시간 분포를 나타낸 것이다.

광양1단계개발보고서에서는 컨테이너선의 대기로 인한 입항기피현상을 방지하는 측면에서 Waiting-Time Factor를 0.1로 가정하였다. 따라서 입항분포에 따른 선석점유율을 예정된 입항분포(Erlang-2 분포)로 가정하여 1선석 1터미널의 경우 0.26, 2선석 1터미널의 경우 0.46을 적용하였다.

가덕신항만개발보고서에서는 1989년 2월 개정보고서에서의 PECT 항만능력산정 당시와 같은 통계들을 적용시켰다. 선석점유시간을 1986년 BCTOC의 통계와 같은 13.5시간, 대기시간을 1.5시간으로 적용하였다. 이에 따라 선석점유시간에 대한 대기시간의 비율인 선석대기율은 $1.5/13.5=0.11$ 로 산출되었고 입항분포에 따른 선석점유율은 예

3) UNCTAD, *Operating and Maintenance Features of Container Handling Systems*, p.18.

정된 입항분포(Erlang-2 분포)시 0.6, 무작위 입항분포(지수분포)시 0.5로 산출되어 두 분포의 평균인 0.55를 선석점유율로 설정하였다.

이상에서 살펴본 바와 같이 안벽의 이용효율을 구하는 데 있어서 보고서마다 상이한 방법으로 안벽이용률을 산정한 것을 알 수 있다. 이를 크게 나누면 앞서 정의한 선석 점유율과 선박접안율의 두가지로 나누어 생각 할 수 있다. 선박의 부두내 대기시간을 구하는 데 이용한 대기행렬이론(Queueing Theory)의 서비스시간 개념은 기존의 사용자가 시설의 이용을 끝냄과 동시에 대기자가 시설을 즉시 이용하는 개념이다. 따라서 선박의 대기시간을 구하는 데 있어서는 이와 같은 개념인 선석점유율을 이용하는 것이 합리적이다.

3) 기존보고서의 岸壁能力 決定要素 검토분석

〈표 III-3〉은 기존보고서에서 안벽능력의 결정에 적용된 각 값들을 나타낸 것이다.

각 보고서마다 능력산정에 대한 적용터미널이 동일하여도 안벽능력이 차이가 나는 것은 보고서마다 설계자들이 판단한 계수값의 차이와 보고서가 발표된 시점을 전후로 값을 적용하였기 때문이다. 먼저 연간작업일수 항목을 살펴보면 자성대보고서와 PRC 보고서는 365일로 설정하였고 개정보고서는 360일, 항만적정능력 산정보고서는 330일, 광양1단계개발보고서에서는 345일, 가덕신항만보고서는 300일로 적용하였는데 이는 앞에서도 언급한 바와 같이 총 작업가능일의 개념과 기상조건, 휴일, 장비고장 등과 같은 요소를 배제한 순수 작업일의 개념으로 나누어 산정한 것으로 판단된다. 현재 BCTOC나 PECT의 경우 명절 2일만 작업중단을 하고 있으며 기상장애로 인한 선박 및 컨테이너크레인의 작업이 어려울 때 일시적으로 작업중단을 실시하고 기타 컨테이너크레인의 운전원 또는 작업반장의 판단에 의해 작업중지를 결정하고 있다. 광양항 1단계개발보고서에서는 폭풍 10.3일, 안개 3.9일, 강우 5.9일(10mm 이상) 등 총 20.1일을 작업불가능일수로 보았다. 따라서 총 365일 중 20일을 제외한 345일을 연간작업가능일로 적용하게 되었다.

연간작업시간의 기준은 총작업가능일과 순작업일 중 하나를 택하여 다른 계수값의 산출시 일관성을 가지는 것이 바람직하다. 대부분의 현재 국내 컨테이너크레인의 일일작업시간은 24시간 운영을 하고 있다. 이는 항내의 부두이용률을 높이고 선박의 대기시간을 최대한으로 줄임과 동시에 도착선박의 신속한 화물처리에도 영향을 미치기

기존보고서의 岸壁能力 결정 요소(크레인 관점)

구 분	현존 컨테이너터미널 및 운영체계의 최대 활용 (자성대보고서) (1987년)	부산항 3段階 컨테이너開發 埠頭 : 컨테이너 터미널 운영 (PRC보고서) (1988년 4월)	부산항 3段階 컨테이너開發 埠頭 變更設計 및 背後道路實施 計用役(개정보고서) (1989년 2월)	항만적정능력 산정 및 개발 기본계획 구상 (1992년 6월)	광양항1단계 (2차) 개발사업 실시계획 용역 (1993년 5월)	가덕신항만 개발 기본계획 용역보고서(1996년 12월)
	BCTOC	PECT	PECT	BCTOC	PECT	광양1단계 4(2선석)
적용터미널						가덕신항만
컨테이너크레인수(기)	8	6	6	9	6	
연간 작업일수(일)	365	365	360	330	330	300
일일 작업시간(시간)	24	24	24	20	20	20
선석 점유율(선박접안율)	(0.48)	0.6	0.55	(0.6)	(0.6)	0.55
크레인처리개수(개/시간)	22	30	45	22	27	45
크레인 가동률		0.79	0.74	0.93	0.93	0.74
크레인작업효율			0.72			0.72
크레인 고장시간계수	0.9					
간설계수		0.9	0.9		0.9	0.9
Overstow계수	0.853					
선박이동계수	0.88	0.9				
BOX/TEU비율	1.57	1.57	1.57	1.58	1.58	1.70
크레인1기당처리능력(TEU)	98,116	158,412	160,988	128,014	152,040	121,055
안벽능력(TEU)	784,931	950,472	965,932	1,114,961	912,241	271,058

주 : 1) PRC보고서는 1991년 이후 능력 추정.

2) 가덕신항만개발보고서의 적용수치들은 2005년 기준.

때문이다. 일일작업시간의 산출도 연간작업일수의 산출과 같은 개념으로 판단하여야 한다. 하루 근무가능한 24시간을 기준으로 한 총작업시간의 개념과 실제 BCTOC와 PECT의 작업시간 중 3조 2교대의 형태로 교대시간 2시간과 식사시간 2시간을 제외한 20시간을 기준으로 한 순작업시간의 개념으로 나누어진다. 자성대보고서, PRC보고서, 개정보고서에서는 작업가능한 총근무시간인 24시간을 적용하였고 항만적정능력산정보고서 및 가덕신항만보고서에서는 순작업시간의 개념인 20시간을 기준으로 적용하였다. 또한 광양1단계개발보고서에서는 앞서 언급하였던 이유로 인해 24시간을 일일작업가능시간으로 적용하였다.

시간당 크레인의 처리개수에서 자성대보고서는 1986년 자료에 근거하여 9개월간의 작업수 500,528회를 크레인 작업시간 22,946시간으로 나눈 22회/시간으로 크레인 생산성으로 가정하였다. PRC보고서의 경우 PECT가 개장되기 이전이므로 BCTOC를 기준(1984~1987자료)으로 하여 연간처리물동량을 컨테이너크레인 순작업시간으로 나누어 산출하였다. 특히 PRC보고서에서는 당시 부산항3단계 컨테이너크레인의 생산성이 BCTOC의 크레인보다 30~33.33% 생산성이 높다고 판단하여 이를 평균해 31.7%의 생산성이 높은 것으로 가정하였다. 또한 1984~87년 사이 BCTOC의 연간처리물동량을 연간 컨테이너 크레인 순작업시간의 합으로 나누면 크레인 작업시간당 22.75개의 크레인 작업능률이 나온다. 따라서 PECT의 컨테이너크레인의 작업시간당 작업능률은 이의 1.317배인 29.96개가 된다. 그러나 터미널 개장원년인 1991년에는 작업능률이 궤도에 오르기가 어려울 것으로 판단하여 1991년의 크레인 작업능률은 시간당 25개로 하고 그 이후는 30개로 가정하였다.

개정보고서에서는 연간능력에 컨테이너크레인의 설계작업능력을 적용하여 시간당 45개로 산출하였고 항만적정능력산정 보고서에서는 BCTOC의 경우 시간당 22개, PECT의 경우 시간당 27개로 적용하였으나 기존보고서에서 수치적용에 대한 근거자료의 부족으로 시간당 처리개수의 명확한 분석이 어렵다. 광양1단계개발보고서에서는 Post-Panamax형의 컨테이너선을 대상으로 하는 대형 고속크레인을 설치하는 것으로 하여 신선대부두에 설치한 컨테이너크레인의 중량별 Computer Simulation의 결과를 적용하여 이론상 능력이 시간당 44개를 처리할 수 있는 것으로 계획하였다. Computer Simulation은 컨테이너 중량이 40톤과 17톤의 경우에 대하여 산출한 결과로서 광양항에서 컨테이너의 평균중량과 21톤과는 차이가 있으므로 광양항1단계 계획에서는 Computer Simulation 결과를 이용하여 21톤일 경우에 대하여 평균치를 적용하였다 (<표 III-4> 참조).

〈표 III-4〉

컨테이너크레인의 컨테이너 종량별 처리능력

중량(톤)	40	17	21	비 고
능력(개)	39.61	45.12	44.0	

가덕신항만개발보고서에서는 개정보고서와 마찬가지로 컨테이너크레인의 설계작업 능력을 적용하여 시간당 45개를 적용하였다.

이렇듯 안벽능력 산출에 있어서 크레인의 능력을 자성대보고서에는 크레인작업시간당 능력을 적용하였고 PRC보고서는 선박접안시간당 크레인 작업능력을 이용하였으며 개정보고서에서는 크레인 설계작업능력을 사용한 것과 같이 각 보고서마다 어떠한 관점에서 판단하였는가에 따라 능력차이가 많이 발생한다.

컨테이너크레인 가동률의 의미는 선박에 컨테이너를 양·적하하는데 100%의 동시 작업이 이루어지지 않고 순수작업시간외 비작업시간이 발생하고 있다는 것이며 이는 크레인가동률은 크레인가동시간과 선박접안시간과의 비율로 나타낼 수 있다. 따라서 크레인 가동시간은 연간 작업일수에 영향을 미친다. 자성대보고서에서는 크레인 가동률을 고려하지 않았으나 크레인 고장률을 9%로 보았는데 〈표 III-1〉의 기존보고서별 안벽능력 산정식에서 크레인 고장시간계수라는 단어보다는 크레인 가동률이나 크레인 이용률이라는 의미가 더 합당할 것이라 판단된다. 따라서 (1-크레인고장률)을 계산하면 0.9가 산출된다. PRC보고서에서는 해당 평균크레인 작업시간(9.5시간)과 해당 평균접안시간(12시간)의 비율인 0.79를 크레인 가동률로 산출하였다. 개정보고서에서는 1984년부터 1987년까지 BCTOC의 크레인가동시간과 선석점유시간을 이용하여 0.74라는 크레인가동률을 구하였으나 이 통계는 이·접안시간이 고려되지 않은 선박접안 시간의 개념이다. 항만적정능력산정보고서에는 크레인가동률을 (100%-장비유지보수 비율(7%))로 정의하였다.

또한 실제 크레인의 처리개수에 영향을 미칠 수 있는 요소는 실작업 시간율, 현장 작업능력계수, 간섭계수 등을 들 수 있다. 이러한 요소들을 크게 보면 크레인 작업효율이란 의미로 통합될 수도 있으나 기존 보고서에서는 각기 다른 의미로서 그 값들을 나타내었다. 개정보고서와 가덕신항만개발보고서에서는 크레인 작업효율을 실작업시간율(0.8)과 현장작업능력계수(0.9)의 곱으로 표현하였는데 여기에서 실작업시간율은 크레인 가동률과 같은 개념으로 볼 수도 있다. 광양1단계개발보고서에서는 크레인의 가동률을 1984~90년까지 BCTOC의 컨테이너크레인 가동률을 평균하여 산출한 결과 78%를 적용하였다.

컨테이너 선박당 작업하는 크레인의 수에 따라 컨테이너크레인의 효율적이 면에서

차이가 발생한다. 이를 간섭계수 또는 작업유효계수라 표현되기도 한다. PRC보고서와 개정보고서, 광양1단계개발보고서, 가덕신항만개발보고서에서는 크레인 1대의 작업시 100%의 효율을 낸다면 2대작업시 90%, 3대작업시 80%의 크레인 작업효율을 낸다고 보았다. 이와 같이 크레인의 간섭으로 인한 작업효율의 저하를 고려하였는데 이것이 간섭계수의 의미이다. 실제 현장에서는 통상 2대가 같이 작업을 수행하나 4대까지도 동시작업이 이루어지는 경우가 간혹 있다고 한다.

자성대보고서에서는 계선작업 및 작업준비시간을 각 1시간씩 2시간으로 가정하여 선박이동계수를 $14/(14+2)=0.88$ 로 보았고 PRC보고서에서는 같은 의미로 선박의 이접안시간동안 선석을 점유하는 것을 고려한 비율로 선박이접안시간을 1.25시간으로 가정하고 대형선의 평균접안시간을 12시간으로 가정하여 $12/13.25=0.9$ 를 선박이동계수로 적용하였다. 그 외 보고서에서는 선박이동계수를 고려하지 않았다.

또한 자성대보고서만이 船内移積의 비율을 전체의 14.7%로 추정하여서 Overstow율을 $1-0.147=.853$ 으로 산정하였다.

과거 컨테이너는 BOX의 규모가 20'로 주종을 이루었으나 점차 컨테이너 화물의 증가에 따라 BOX의 크기도 20'보다는 35', 40', 45' 규모로 증가추세에 있다. 이에 따라 VAN당 TEU의 비율도 매년 증가하고 있으며 각 보고서나 현재 터미널마다 TEU/BOX의 비율은 대략 1.57~1.60의 값을 보이고 있다.

〈표 III-5〉는 크레인의 관점에서 안벽능력을 산정하는 요소이나 항만적정능력산정 보고서에는 선박의 관점에서도 안벽의 능력을 산출하는 방식을 제안하였다.

〈표 III-5〉 기존보고서의 안벽능력 결정 요소(선박 관점)

구 분	항만적정능력산정 및 개발기본계획구상(1992년 6월)	
	BCTOC	PECT
적용터미널		
이접안 준비시간	2시간	2시간
선박당 평균적재량	500VAN	500VAN
선박당 작업크레인수	2기	2기
시간당 크레인처리개수	22VAN	27VAN
크레인 가동률	0.9	0.9
선석수	4	3
연간작업일수	330일	330일
일일작업시간	20시간	20시간
선박접안율	0.6	0.6
선박당 평균접안시간	14.62시간	12.3시간
BOX/TEU비율	1.58	1.58
안벽능력(TEU)	855,923	763,024

이는 먼저 이접안시간을 포함하고 선박당 평균적재량을 이용한 선박당 접안시간을 산출하고 선석당 연간처리능력에 선석수를 곱하여 접안능력을 산출하는 방식이다.

여기에서는 기존 다른 보고서에서 크레인관점에서의 산정식과 식의 구성방식만이 차이가 날 뿐 전체적인 적용계수나 변수들은 항만적정능력산정보고서의 크레인 관점에서 적용한 산정계수들과 같다.

2. 藏置場에서의 處理能力算定

1) 기존보고서의 藏置場能力 산정식 비교검토

항만능력에는 안벽능력과 더불어 장치장의 능력산정도 매우 중요하다. 안벽에서의 하역물량이 아무리 많아도 이를 장치장에서 처리하지 못하면 그만큼 안벽에서의 물동량처리도 지체가 발생하고 장치장에서의 혼잡도 가중될 것이다. 따라서 기존보고서에서도 안벽능력과 더불어 장치장의 능력도 검토하였는데 이들의 능력산정방법은 다음 <표 III-6>과 같다.

기존보고서의 장치장능력 산정방법을 잘 살펴보면 자성대보고서, PRC보고서, 개정보고서 등은 연간처리물동량을 기준으로 소요TGS를 구하였고 항만적정능력산정보고서, 내륙컨테이너기지보고서는 실제장치면적을 기준으로 연간장치능력을 산정하였다.

BCTOC의 경우는 컨테이너물동량의 증가에 따라 CY장치장의 시설부족에 대처하기 위하여 1988년 2월부터 국적선사의 무료장치허용일수를 외국선사와 동일한 수출 4일, 수입 5일로 변경하여 대부분 마샬링 기능 위주로 운영하고 있다. 따라서 대부분의 보고서가 비상체제하의 연간장치능력산정방법을 제안하였는데 일시장치능력, 연간회전율, 피크계수, 분리계수 등을 고려하였다.

자성대보고서는 소요TEU Slot을 구하였는데 이는 소요 TGS에 평균단적수를 곱하면 산출할 수 있다. 또한 분리계수란 실제 장치장에 장치가능한 물량이 일시에 장치되게 되면 컨테이너의 반입 및 반출작업이 불가능하게 된다. 따라서 어느 정도의 여유를 두어야 원활한 장치장의 운용이 가능하게 된다. 이를 수치상으로 적용시킨 것을 분리계수라 하며 PRC보고서나 개정보고서에서의 장치장 점유율, 항만적정능력 산정보고서의 경제적 가동률 또한 같은 의미이다. 장치장 점유율이나 경제적 가동률의 역수는 분리계수로 표현된다.

〈표 III-6〉

기존 보고서별 장치장능력 산정식

보고서명	장치장능력산정식	적용 터미널
현존컨테이너 터미널 및 운영체계의 최대활 용 (자성대보고서)	소요TEU Slot = $\frac{(\text{연간TEU처리량}) \times (\text{평균장치기간}) \times (\text{피크계수}) \times (\text{분리계수})}{(\text{연중일수})}$	BCTOC
부산항 3段階 컨테이 너開發 埠頭: 컨테이 너 터미널운영연구 (PRC보고서)	소요TGS = $\frac{(\text{연간물동량}) \times (\text{평균장치기간}) \times (\text{피크계수})}{(\text{평균단적수}) \times (\text{장치장점유율}) \times (\text{연중일수})}$	PECT
부산항 3段階 컨테이 너埠頭 變更設計 및 背 後道路 實施設計 用役 (개정보고서)	소요TCS = $\frac{(\text{연간물동량}) \times (\text{평균장치기간}) \times (\text{피크계수})}{(\text{평균단적수}) \times (\text{장치장점유율}) \times (\text{연중일수})}$	PECT
항만적정능력 산정 및 개발 기본계획구상	① 수출용 야드 ● 1회보관량 = $\frac{\text{야드면적} \times \text{적재충수} \times \text{피크계수}}{\text{수출용야드의 TEU당 점유면적}}$ ● 연간회전수 = $\frac{\text{연간작업일수} \times \text{일일작업시간} \times \text{경제적가동률}}{\text{수출용야드의 체류시간}}$ ● 연간보관능력 = 1회보관량 × 연간회전수 ② 수입용 야드 ● 1회보관량 = $\frac{\text{야드면적} \times \text{적재충수} \times \text{피크계수}}{\text{수입용야드의 TEU당 점유면적}}$ ● 연간회전수 = $\frac{\text{연간작업일수} \times \text{일일작업시간} \times \text{경제적가동률}}{\text{수입용야드의 체류시간}}$ ● 연간보관능력 = 1회보관량 × 연간회전수 ③ 총 보관능력 = (수출용야드의 연간보관능력 + 수입용야드의 연간보관능력) × (1 + 특수컨테이너비율) ④ 보관능력(종합) = $\frac{\text{야드면적} \times \text{적재충수} \times \text{피크계수} \times \text{연간작업일수} \times \text{경제적가동률}}{\text{야드의 TEU당 점유면적} \times \text{야드의 체류시간} \times (1 + \text{특수컨테이너비율})}$	BCTOC PECT
내륙컨테이너기지조성 타당성 조사용역 (1991년5월)	● 일시장치능력 = $\frac{(\text{실제장치면적}) \times (\text{장치단적수})}{(\text{1TEU당점유면적})}$ ● 연간회전율 = $\frac{(\text{연간가동일수})}{(\text{평균장치기간})}$ = $\frac{(\text{실제장치면적}) \times (\text{장치단적수}) \times (\text{연중일수})}{(\text{1TEU당점유면적}) \times (\text{평균장치기간}) \times (\text{피크계수}) \times (\text{분리계수})}$	BCTOC
광양항1단계 (2차)개발 사업 실시설계용역 (1993년5월)	소요TGS = $\frac{(\text{연간물동량}) \times (\text{평균장치기간}) \times (\text{피크계수}) \times (\text{분리계수})}{(\text{평균단적수}) \times (\text{연중일수})}$	광양1단계
가덕신항만개발 기본 계획용역보고서 (1996년12월)	소요TGS = $\frac{(\text{연간물동량}) \times (\text{평균장치기간}) \times (\text{피크계수}) \times (\text{분리계수})}{(\text{평균단적수}) \times (\text{연중일수})}$	가덕신항

주 : (실제장치면적) / (1TEU당점유면적) = TGS

항만적정능력산정보고서에서 ①, ②, ③ 식을 종합하면 ④와 같은 식이 되고 ④식에서 야드면적을 야드의 TEU당 점유면적으로 나누면 그 장치장에서의 소요 TGS수가 나온다. 이를 다른 보고서와 같은 형태로 만들어 보면

$$\text{소요TGS} = \frac{(\text{보관능력}) \times (\text{야드의 체류기간})}{(\text{적재총수}) \times (\text{피크계수}) \times (\text{경제적가동률}) \times (\text{연간작업일수})}$$

와 같은 식이 나온다.

여기에서 다른 식과 틀린 곳이 발견되는데 피크계수는 분모항이 아니라 분자의 항으로 올라가야 논리에 맞게 된다. 장치장의 소요TGS를 산출하기 위해서는 물동량이 최대일 때를 고려해서 계수를 적용시켜야 한다. 이는 분리계수도 마찬가지의 개념이다.

2) 기존보고서의 藏置場能力 算定要素 검토분석

〈표 III-7〉은 기존보고서의 장치장능력을 결정하는 데 있어 각각의 적용된 값들을 나타낸 것이다.

자성대보고서에서는 다른 보고서의 컨테이너별 평균장치기간, 평균단적수, 물동량을 나타내기보다는 국적선, 외국적선으로 구분하여 모든 값들을 적용하였다.

당시 국적선이 처리하는 컨테이너 장치기간은 9일이고 외국적선이 처리하는 컨테이너 장치기간은 2.1일이었는데 전체물동량 중 20%가 國籍船에 의해서 나머지 80%가 外國籍船에 의하여 처리되었다. 장치장 운영상의 여유를 위한 分離係數를 1.2로 가정하고 피크계수는 1986년 9개월간의 실적자료를 이용하여 구하였다. 9개월간의 평균 장치물량은 9,415TEU였고 상기 기간중 藏置物量이 12,000TEU를 초과한 날이 18일이고 그 초과 장치된 날의 평균은 12,938TEU였다. 따라서 피크계수를 동 기간중 피크시 평균장치개수와 전체 평균장치개수의 비율인 1.38로 가정하였다.

따라서 앞서 구한 연간처리능력 78만 5천TEU 처리시 소요장치장의 Slot 수는

$$[(785,000 \times 2/365 \times 9) + (785,000 \times .8/365 \times 2.1)] \times 1.2 \times 1.38 = 12,394 \text{ TEU-Slot}$$

이 되고, 1986년 실적인 96만TEU 기준시는 15,157TEU-Slot이 소요된다.

당시 BCTOC의 장치장의 크기는 16,164TEU-Slot이나 이중 장기간 장치하는 공간 테이너의 보관을 위하여 사용중인 2,138TEU-Slot을 빼면 14,026TEU-Slot으로 15,157TEU-Slot이 소요된 1986년에는 상당히 장치장이 났음을 알 수 있다.

기존보고서의 장치장능력 결정 요소

구 분		자성대보고서 (1987년)	PRC 보고서 (1988.4)	개정 보고서 (1989.2)	항만적정 능력산정 보고서 (1992년 6월)		내륙컨테이너 기지조성 보고서 (1991년 5월)	광양항 1단계개발 보고서 (1993년 5월)	가덕신항만 개발용역 보고서 (1996년 12월)	
					BCTOC	PECT				BCTOC
평균장치기간 (일)	적	수출	2.1	3.0	3.5	4	4	3.6	5.0	5.0
		수입	9	6.0	6.5	7	7	3.6	7.0	7.0
		이선적		10.0	7.0			10.0	10.0	10.0
	공	수출	2.1	3.0	3.5	4	4	3.6	4.0	5.0
		수입	9	6.0	6.5	7	7	3.6	3.0	7.0
평균단적수 (일)	적	수출		4.0	4.0	1.5	3.5	1.5	3.5	3.5
		수입		2.66	2.5	3.5	3.5	3.0	2.5	2.5
		이선적		3.33	4.0				3.5	3.5
	공	수출		4.0	4.0	1.5	3.5	1.5	4.0	4.0
		수입		2.66	3.0	3.5	3.5	3.0	3.0	3.0
연중일수(일)		365	365	365	365	330	330	365	365	365
피크계수		1.38	1.33	1.3	1.2	1.2	1.3	1.3	1.3	1.3
분리계수		1.2	1.25	1.2	1.2	1.25	1.2	1.2	1.2	1.2

주: 자성대보고서는 평균장치기간을 국적선과 외국적선으로 나눔.

위의 분석은 총량적으로 장치장 소요판단을 하였다. 그러나 수입, 수출컨테이너별로 따로 장치하는 BCTOC와 같은 컨테이너터미널의 경우 전체 장치장의 규모는 수요 장치장 규모 이상이어도 컨테이너 종류별로 장치장의 과잉 및 부족이 나타날 수 있다. 또한 평균 장치기간을 사용하고 매일 변동하는 장치개수의 변동에 대한 고려는 피크계수를 도입함으로써 처리하였다. 따라서 피크계수의 선정여부에 따라 소요 장치면적의 과잉 또는 부족을 초래할 위험성이 내재되어 있다.

PECT의 소요장치장 규모산정의 방법은 PRC 보고서와 개정보고서 모두 같은 방법을 이용했다. 앞의 BCTOC의 경우와는 달리 컨테이너 종류별로 소요 장치장 규모를 구하여 이들을 합산하여 전체 장치장 규모를 구하였는데 이는 컨테이너의 종류별로 장치기간 및 장치 단적수가 다르기 때문이다.

장치장 점유율(Stack Occupancy Factor)은 앞에서도 언급했듯이 장치장 운영상 필요한 여유를 고려한 장치비율로서 이의 역수는 앞서 자성대보고서에서 언급한 분리계수(Separation Factor)에 해당된다. PRC 보고서와 개정보고서에서 같은 공식을 이용하였지만 각 컨테이너별 장치기간 및 단적수 등 공식의 각 요소 값을 다르게 가정하였다. <표 III-8>은 이 두 보고서에서 가정한 컨테이너 종류별 연간물동량, 평균장치기간, 평균단적수의 값들이다.

또한 PRC 보고서에서는 피크계수를 1.33, 장치장 점유율을 0.8(분리계수 1.25)로 가정하였고, 개정보고서에서는 피크계수를 1.3 장치장 점유율을 .833(분리계수 1.2)로 가정하였다. 이 계산 결과 PECT의 소요장치장의 규모를 PRC 보고서는 7,188TGS, 개정보고서는 7,375TGS로 산정하였다.

항만적정능력산정보고서에서는 장치장능력을 산정하는 데 있어 수입, 수출로 나누어 모든 값을 적용시켰고 BCTOC의 경우 T/C시스템은 수입, S/C시스템은 수출 등과 같이 장치시스템에 따라서 구분을 하였다. 따라서 야드운영시스템별 TEU당 점유면적을 T/C 시스템은 40m², S/C 시스템은 35m²로 달리 하였고 야드의 적재충수도 T/C 시스템은 3.5단, S/C 시스템은 1.5단으로 장치장비에 따라 각기 다른 값을 적용하였다. 평균장치일에 있어서도 수입컨테이너는 7일, 수출컨테이너는 4일로 구분하였는데 이는 내륙컨테이너기지지에서 비상시 무료장치허용일수 수입 5일, 수출 4일과는 개념의 차이를 보이고 있다. 또한 장치장 점유율과 같은 개념인 경제적 가동률은 0.8로 가정하였다.

내륙컨테이너기지보고서에서는 평균장치기간을 3.6일로 가정하였고 평균단적수는 <표 III-9>와 같이 컨테이너별 TGS와 단적수를 구하였다. 평균장치기간 3.6일은 BCTOC 보세운송화물(1990.1~5월까지 5개월간 기준)을 기준으로 한 것으로 수출 2.95일,

수입 4.8일의 평균치이다. On-Dock기능 수행시 장치기간은 7일은 세계주요 컨테이너 터미널의 장치허용기간을 참조하고 국적선사의 담당자들과 면담결과를 평균적으로 잡은 것이라 한다. 이 보고서에서는 보통 컨테이너의 평균장치기간은 독립된 터미널로서 완벽한 기능을 수행하기 위해서는 충분한 On-Dock CY의 면적이 확보된 상태에서 결정되어야 한다는 것을 제시하였다. 마샬링 기능 수행시 평균장치기간이 3.6일인 데 반해 On-Dock기능 수행시 장치기간은 7일로서 많은 차이를 보이고 있었다. 피크계수는 1.3, 분리계수는 1.2를 적용하였다.

따라서 연간 장치능력은 일시장치능력을 나타내는 실제장치면적비율, 장치단적수, 평균장치기간에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있다.

광양1단계개발보고서에서 선석당 연간 30만TEU를 처리할 경우 종류별 컨테이너물

〈표 III-8〉 PRC/개정보고서 중 PECT의 컨테이너별 장치일 및 단적수

컨테이너 종류	P R C 보 고 서			개 정 보 고 서		
	물동량 (TEU)	장치일	단적수	물동량 (TEU)	장치일	단적수
수출 적일반컨테이너	441,150	3.0	4.0	436,000	3.5	4.0
수출 공일반컨테이너	51,000	3.0	4.0	52,000	3.5	4.0
수출 냉동비규격컨테이너	17,850	3.0	1.5	26,000	3.5	1.5
수입 적일반컨테이너	237,150	6.0	2.66	238,000	6.5	2.5
수입 공일반컨테이너	85,000	6.0	2.66	87,000	6.5	3.0
수입 냉동비규격컨테이너	17,850	6.0	1.5	18,000	6.5	1.5
이선적 일반컨테이너	50,000	10.0	3.33	45,000	7.0	4.0
재유통 공컨테이너	90,000	10.0	4.0	95,000	10.0	4.0

〈표 III-9〉 내륙컨테이너기지 조성보고서 중 BCTOC 장치능력 현황(1991년)

구 분	TGS	단 적 수	일시장치능력(TEU)
수출 컨테이너	5,631	1.5	8,446
수입 컨테이너	1,884	3.0	5,652
공 컨테이너	1,505	2.5	3,762
CFS용 컨테이너	416		1,040
철송 컨테이너	90	2.5	225
냉동 컨테이너	354	1.0	354
특수 컨테이너	90	1.0	90
계	9,970	평균2.0	19,569

〈표 III-10〉 광양1단계(2차) 개발사업 실시설계보고서의 컨테이너별 장치일 및 단적수

컨테이너 종류	물동량 (TEU)	평균장치일 (일)	평균단적수 (단)	소요 TGS수
수출 적일반컨테이너	111,605	5.0	3.5	436.8
수출 공일반컨테이너	17,441	5.0	4.0	59.7
수출 냉동컨테이너	1,599	5.0	1.0	21.9
수출 비규격컨테이너	3,354	5.0	1.5	30.6
수입 적일반컨테이너	103,970	7.0	2.5	797.6
수입 공일반컨테이너	11,146	7.0	3.0	71.3
수입 냉동컨테이너	3,200	7.0	1.0	61.4
수입 비규격컨테이너	3,666	7.0	1.5	46.9
환적컨테이너	21,000	10.0	3.5	164.4
위험물컨테이너	2,019	1.0	1.0	5.5
재유통 공컨테이너	29,807	10.0	4.0	204.2
합 계				1,900.3

량은 다음 〈표 III-10〉과 같으며 평균장치일수와 평균장치단수를 적용하여 소요 TGS수를 산정하였다.

소요 TGS는 종류별 컨테이너물량에 평균장치일수를 곱하여 연간작업일수 365일과 평균장치단수로 나눈 값이다. 여기에 피크계수 1.3과 분리계수 1.2를 고려하면 1선석 1터미널로 부두를 운영할 선석당 최소 소요TGS는 $1900.3 \times 1.3 \times 1.2 = 2,964$ TGS가 요구된다.

가덕신항만개발보고서는 컨테이너 종류별 평균장치일, 평균단적수를 광양1단계개발 보고서와 같은 값을 적용하였다.

5만DWT 컨테이너터미널 1선석당 연간 처리능력은 24만TEU이며 CY의 처리기준은 30만TEU를 기준으로 하였다.

컨테이너터미널 1선석당 소요 TGS는 산정된 1,653TGS에 피크계수 1.3 및 분리계수 1.2를 고려하면 총 2,600TGS가 소요된다.

$$1,653 \times 1.3 \times 1.2 = 2,579 \approx 2,600 \text{ TGS}$$

참고로 냉동컨테이너 TGS수는 $(13 + 59) \times 1.3 \times 1.2 = 112$ 로 산출된다.

〈표 Ⅲ-11〉 가덕신항만개발 기본계획보고서의 컨테이너별 장치일 및 단적수

컨테이너 종류	물동량 (TEU)	평균장치일 (일)	평균단적수 (단)	소요 TGS수
수출 적일반컨테이너	90,275	5.0	3.5	353
수출 공일반컨테이너	10,812	5.0	4.0	37
수출 냉동컨테이너	966	5.0	1.0	13
수출 비규격컨테이너	3,223	5.0	1.5	29
수입 적일반컨테이너	68,824	7.0	2.5	528
수입 공일반컨테이너	22,304	7.0	3.0	143
수입 냉동컨테이너	3,074	7.0	1.0	59
수입 비규격컨테이너	2,975	7.0	1.5	38
환적컨테이너	46,707	10.0	3.5	366
위험물컨테이너	4,131	1.0	1.0	11
재유통 공컨테이너	11,059	10.0	4.0	76
합 계	264,350			1,653

第4章 컨테이너터미널 能力算定 方案

1. 컨테이너터미널 能力의 意味

컨테이너터미널의 능력에 대하여는 그동안 많은 논란이 있어 왔고 앞장의 기존보고서에 대한 검토에서도 살펴보았듯이 컨테이너터미널 능력산정의 기준도 경우에 따라 차이를 보여왔다. 우선 컨테이너터미널의 능력산정 방법을 제시하기 전에 터미널 능력의 의미에 대하여 살펴보기로 한다.

컨테이너터미널의 능력은 하나의 참고로 할 수 있는 수치이지 반드시 그만큼의 물량을 처리한다는 의미는 아니다. 예를 들어 지하철의 운송능력도 여러가지의 기준 아래의 몇 명을 수송할 수 있다는 수치이지 실제로 얼마나 많은 승객을 수송한다는 뜻은 아닌 것과 마찬가지로이다. 승객의 이동거리, 이용시간대, 승객의 편안함 등이 달라지면 수송능력과는 전혀 다른 수송실적이 나오게 된다. 따라서 컨테이너터미널도 주변 여건에 따라 같은 규모의 터미널이라 하더라도 그 공칭능력이 달라질 수 있다.

외국의 유명한 터미널에서 발표하는 자료에는 터미널의 연간 처리능력을 언급하는 예는 많지 않고 대신에 안벽의 길이, 크레인의 규모 및 대수, 장치장의 규모 등이 표시된다. 그 이유는 터미널의 능력이 실질적으로 큰 의미가 없기 때문이다.

세계에서 가장 앞서가는 컨테이너터미널 중의 하나인 네덜란드의 ECT(Europe Combined Terminals)의 경우 새로운 터미널인 Delta Terminal에 세 개의 부두가 나란히 위치하여 있는데 그 중 자동화 터미널로 선석길이가 비슷한 Delta/Sea-Land Terminal(DSL)과 Delta/East Dedicated Terminal(DDE)의 능력은 DSL이 연간 50만 개(약 80만TEU), DDE는 50만TEU로 ECT의 소개 책자에 나와 있다(〈표 IV-1〉 참조). 이렇게 같은 회사의 같은 장소에 위치하고 하역시스템도 비슷한 터미널의 능력도 이용선사의 형태, 주변여건에 따라 다르게 산정되고 있음을 알 수 있다. 같은 아시아권에서도 연간처리능력을 싱가포르의 선석당 50만TEU로 가정하는 반면에 일본은 선석당 10만~15만TEU로 가정하고 있다. 따라서 터미널의 능력은 이용선사의 형태, 주위

〈표 IV-1〉

ECT DELTA TERMINAL의 공칭능력

	Multi-User Terminal	Sea-Land Terminal	Dedicated East Terminal
안벽길이	1,650m	970m	1,030m
컨테이너 크레인수	7	8	7
장치시스템	유인/수동	무인/자동	무인/자동
공칭능력	170만TEU	50만개(80만 TEU)	50만TEU

의 지원형태, 장치장의 넓이, 서비스 수준의 결정, 경영전략 등에 따라 크게 달라질 수 있다.

그러므로 컨테이너 터미널의 공칭능력은 각 터미널의 주어진 주변여건 및 터미널 운영원칙 아래서의 최대 연간처리 가능물동량으로 이해를 하여야 한다. 따라서 주변 여건이 달라지면 당연히 공칭능력보다도 더 많은 물량을 취급할 수 있는 것이다. 터미널의 효율성은 많은 물량을 처리하면 효율이 높다고 할 수 있지만 선사에 제공된 서비스의 수준, 터미널을 구성하고 있는 하부시스템의 효율성, 시스템상호간의 원활한 흐름, 비용과 시간의 절감 측면에서도 검토되어야 한다.

2. 컨테이너터미널의 岸壁能力 算定方法

컨테이너부두의 처리능력은 안벽능력, 장치장능력, 게이트능력으로 크게 구분할 수 있다. 안벽과 게이트는 컨테이너터미널과 해운, 육송, 철송이라는 수송시스템과의 연결점으로 컨테이너의 반출입이 일어나는 곳이므로 안벽능력과 게이트능력은 컨테이너 터미널이라는 시스템의 입출력 능력이라 할 수 있다. 또한 장치장능력은 터미널 내부의 능력이라 할 수 있다. 따라서 컨테이너터미널의 능력은 이 세 가지 능력을 전부 고려하여 결정하여야 하나 일반적으로 안벽능력만을 터미널의 공칭능력으로 사용하여 왔다. 이는 초기 터미널 계획시 안벽능력에 맞추어 배후 장치장과 게이트의 설계를 하였기 때문이다.

컨테이너터미널의 능력은 가장 중요한 장비인 컨테이너크레인의 능력을 기준으로 하여 많은 가정 아래서의 가능한 작업량으로 터미널의 안벽능력으로 산정하였다. 앞서 검토된 기존 보고서의 터미널 능력산정 공식은 복잡한 형태를 갖고 있으나 그 내용을 자세히 검토하면 다음의 간단한 식으로 정리될 수 있다.

$$(\text{연간처리량}) = (\text{시간당처리개수}) \times (\text{연간 크레인작업시간}) \times (\text{조정계수})$$

여기서 주의하여야 할 점은 각 변수들이 독립적이지 않고 서로 종속되어 있다는 점이다. 이러한 원칙을 고려하지 않고 각 변수의 기존 터미널의 실적에서 값을 취하면 엉뚱한 결과가 나온다. 시간당처리개수가 순작업시간(휴식, 고장 등으로 인한 작업중단시간을 제외한 크레인작업시간) 기준이면 연간크레인작업시간도 같은 기준인 크레인의 순작업시간이 되어야 당연하다.

1) 시간당 처리개수

크레인의 하역능력은 설계능력, 총작업시간당 작업능력, 순작업시간당 작업능력 등이 있다. 컨테이너크레인의 설계능력이란 이상적인 상태에서의 트롤리의 이동거리를 속도로 나누어서 구한 최대작업능력을 뜻한다. 여기서 이상적인 상태란 크레인을 이동하지 않고 선박의 같은 부분(전체 단면을 대표할 수 있는 지점)에서 컨테이너를 하역하고 하역된 컨테이너는 지체없이 장치장으로 이동하여 크레인의 작업에는 아무런 대기시간이 생기지 않는 상태를 뜻한다. 그러나 실제 작업시에는 많은 작업손실이 발생하는데 몇 가지 대표적인 요인은 다음과 같다.

- 크레인 작업 전후의 준비시간
- 컨테이너가 한 화물창에만 적재되지 않으므로 크레인의 화물창간 이동
- 장치장부족 및 장치장 하역장비의 능력부족으로 인한 대기
- 컨테이너 크레인 하역지원시스템이 원활하지 않음으로 인한 대기
- 해치커버의 하역
- 휴식시간 전후로의 작업손실
- 옆 크레인과의 간섭
- 기타 고장 등으로 인한 지연

이러한 작업손실은 선박당 하역량이 적을수록, 선박의 크기가 적을수록 많아진다. PECT 컨테이너크레인의 설계능력은 시간당 45개이나 실제로 작업시간당 컨테이너크레인의 생산성은 이보다 훨씬 적어 <표 IV-2>에서 보듯이 시간당 28개 전후이다. 설계능력에 각종 작업효율을 곱하여서 실질 작업능력을 구할 수는 있지만 작업효율자체가

주관적인 면이 많기 때문에 정확하다고 할 수 없다. 참고로 최신의 Post-panamax 급의 Dual Hoist Crane의 설계능력은 시간당 60개 이상이다.

순작업시간당 작업능력은 휴식시간, 작업대기, 고장 등으로 인한 시간을 제외한 순수한 크레인 작업시간당의 하역 컨테이너 수를 의미한다. 일반적으로 컨테이너터미널에서 해당 터미널의 크레인 효율을 언급할 때는 주로 순작업시간당 작업능력(또는 크레인 생산성)을 의미한다. 순작업시간당의 작업능력은 우선적으로 컨테이너크레인의 설계능력에 좌우되지만 입항선박의 크기, 컨테이너의 적재분포, 작업자의 숙련도, 배후지원시스템의 효율성(장치장의 혼잡여부 포함) 등에 의하여서도 많은 차이를 보인다. 따라서 같은 사양의 컨테이너크레인을 사용하여도 터미널에 따라 생산성은 차이가 날 수 있다. <표 IV-2>는 우리나라의 컨테이너터미널인 BCTOC와 PECT의 순작업시간당 크레인의 작업효율을 나타낸 것으로 장치장이 부족한 BCTOC의 경우 체선이 심하였던 1994년과 1995년의 경우 10% 이상의 작업생산성 저하를 알 수 있다.

<표 IV-2> BCTOC와 PECT의 순작업시간당 크레인 생산성

단위 : 개 / 시간

연도	BCTOC	PECT
1993	24.1	28.7
1994	22.8	27.4
1995	21.0	27.7

총작업시간은 크레인의 작업시작시간부터 작업종료시간까지의 전체작업시간으로 휴식, 교대, 고장 등으로 인한 작업 중단시간을 모두 포함하는 값이다(<표 IV-3> 참조).

<표 IV-3> BCTOC와 PECT의 총작업시간당 크레인 생산성

단위 : 개 / 시간

연도	BCTOC	PECT
1993	20.2	23.0
1994	18.7	21.8
1995	17.9	22.2

우리나라의 경우 하루에 휴식시간이 4시간이 있는 관계로 총작업시간당 처리능력은 대개 순작업시간당 처리능력의 80% 정도이다(<표 IV-4> 참조).

〈표 IV-4〉

순작업시간당 작업효율과 총작업시간당 작업효율 비교

단위 : %

연도	BCTOC	PECT
1993	83.8	80.1
1994	82.0	79.6
1995	85.2	80.1
평균	83.7	79.9

총작업시간당 처리능력은 터미널의 모든 작업의 효율을 포함하는 값이므로 그 터미널의 전체적인 효율을 표현한다고 할 수 있다. 따라서 모든 효율을 포함하는 총작업시간당 처리능력을 기준으로 하여 안벽능력을 구하는 것이 합리적이다. 이때 총작업시간당 처리능력을 기존의 터미널에서 취하여 사용하면 해당터미널의 작업형태, 예를 들면 휴식시간이나 척당 평균 투입 크레인 수와 비슷한 터미널의 값을 취하여야 하고 다를 경우에는 그에 맞게끔 조정을 하여야 한다.

여기서 선박당 평균 투입 크레인수가 다르면 같은 조건의 크레인이라 하더라도 총작업시간당 처리능력이 떨어지는데 이는 크레인 상호간의 간섭으로 작업의 효율이 떨어지기 때문이다. 총작업시간의 개념은 이러한 간섭의 효과도 고려하여야 하기 때문에 이를 보정하여야 한다. 이러한 크레인 상호간의 간섭으로 인한 효율저하는 우리나라에서는 측정하여 본 적은 없지만 문헌¹⁾에 의하면 선박당 1기의 크레인을 투입시의 생산성을 1로 보았을 때, 2기의 투입은 크레인당 0.9, 3기 투입은 0.8로 추정하였다. 이러한 생산성의 저하는 운영계획을 잘 세우면 어느 정도 높일 수 있을 것으로 판단된다.

크레인 생산성은 주로 취급되는 선박의 크기와 하역량에도 영향을 받는다. 선박이 작으면 그만큼 같은 화물창에서 작업하는 양이 작아져서 화물창간에 이동이 많아 생산성이 떨어질 것이며 하역량이 적을 경우도 비슷한 결과를 얻을 수 있다. 그러나 반드시 선박의 크기가 작다고 해서 하역량이 작아지는 것은 아니다. 피더선의 경우 두 개의 항만간을 왕복 운항하는 경우가 많으므로 적재된 전체 컨테이너를 양하하기 때문에 화물량이 많은 경우도 있다. 그러나 일반적으로 선박이 작아지면 생산성은 떨어진다고 볼 수 있다.

이러한 관점에서 시간당 처리개수는 다음의 식으로 표현될 수 있다.

1) UNCTAD, *Port Development*, 2nd edition, p.223.

$$(\text{시간당처리개수}) = (\text{총작업시간당 크레인 생산성}) \times (\text{간섭계수}) \times (\text{소형선계수})$$

이때 간섭계수 및 소형선계수는 총작업시간당 크레인 생산성을 참고로 한 터미널과 능력을 산정하고자 하는 터미널간의 크레인 생산성 조정계수라 할 수 있다.

2) 연간 크레인 작업시간

연간 전체 컨테이너 크레인의 작업시간은 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} (\text{연간 크레인작업시간}) &= (\text{크레인수}) \times (\text{크레인당 연간작업시간}) \\ &= (\text{크레인수}) \times (\text{크레인 가동률}) \times (\text{연간시간}) \end{aligned}$$

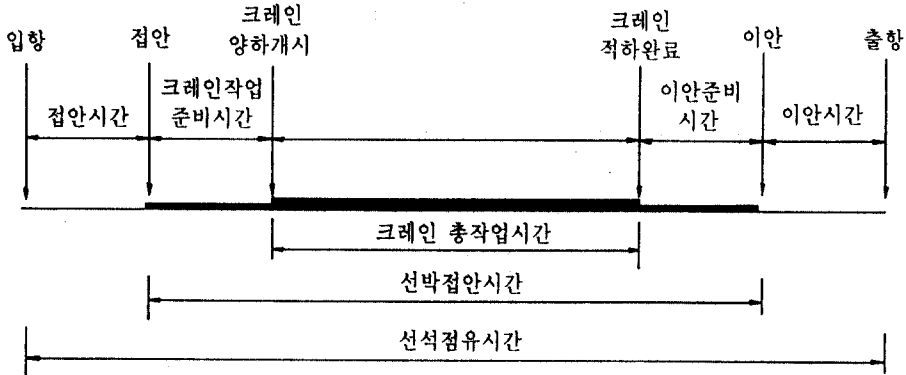
그러나 위 식에서 크레인 가동률을 구한다는 것은 신규터미널의 계획시는 매우 어렵고 기존 터미널의 수치를 이용한다는 것도 부정확하고 주관적이다. 따라서 선박의 접안시간을 기준으로 하여 역으로 산출하는 것이 합리적이다. 이를 위하여 몇 가지 용어에 대한 정의를 먼저 내리고 논리를 전개하고자 한다.

- 선석점유시간 : 기존 접안하고 있는 선박으로 인하여 다른 선박이 해당 안벽을 이용할 수 없는 시간
- 선박접안시간 : 선박이 실제로 접안하여 이안할 때까지의 시간. 일반적으로 터미널에서 선석점유율이나 접안시간의 통계에 나오는 수치
- 크레인작업시간 : 선박이 접안후 컨테이너의 양하작업을 시작해서부터 마지막 컨테이너의 적하작업을 마칠 때까지의 시간
- 전용/공용계수 : 터미널을 전용으로 운영할 경우와 공용으로 운영할 경우와의 비교계수
- 이동계수 : 선박접안시간과 선석점유시간과의 비율
- 크레인작업계수 : 크레인 작업시간과 선박접안시간과의 비율

이 세가지 개념의 시간을 도식화하면 <그림Ⅳ-1>과 같다.

〈그림 IV-1〉

접안시간의 개념



(1) 선석점유시간

선석점유시간은 선박이 연간 터미널의 안벽을 이용하는 시간으로서 이 시간에는 물리적으로 선박이 안벽에 접안하고 있는 시간뿐만 아니라 선박의 접안 및 이안에 소요되는 시간도 포함되어야 한다. 점유시간이 많을수록 컨테이너의 처리량도 많고 따라서 터미널 운영수입도 늘지만 그만큼 선박이 안벽을 이용하기 위하여 대기하는 시간도 많아져 선사들이 이용을 기피할 것이다. 따라서 적절한 수준의 안벽이용률을 유지하여야 경쟁력을 가질 수 있다. 따라서 적정 안벽이용률의 조건에서 터미널의 능력을 산정하여야 한다.

따라서 터미널의 설계시 미리 적정 안벽이용률을 정하여야 한다. 즉 이용선박의 평균대기시간을 미리 가정하고 이에 대응하는 안벽이용률을 구하여 선석점유시간을 구하여야 한다. 선박이 안벽을 이용하는 형태는 마치 슈퍼마켓에서 손님이 계산대를 이용하는 것과 같은 형태로 이러한 시스템을 분석할 수 있는 대기행렬이론(Queueing Theory)을 이용하면 시스템의 평균대기시간을 구할 수 있다. 이러한 측면에서 보면 선석점유시간은 대기행렬이론에서 서비스시간과 같은 개념으로 이용될 수 있다.

대기행렬이론에서는 선박은 주어진 확률분포에 따라 도착하고 선석점유시간의 분포도 확률분포에 따르며 선박간에는 서로 독립적으로 도착하는 경우의 조건아래서 선박의 평균 선석대기시간을 구하는 것이다. 선박도착시각 간격의 분포가 지수분포(Exponential Distribution)이고 안벽점유시간의 분포도 지수분포이며 선박의 수가 하

나일 경우 즉, M/M/1 queue 경우에는 평균대기시간 및 각 대기선박 수에 따르는 확률 등이 이미 수학적으로 풀려져 있어 손쉽게 구할 수 있다. 그러나 컨테이너선의 선박 도착시각 분포 및 선석점유시간의 분포가 지수분포가 아니기 때문에 수식으로 평균 대기시간을 구할 수 없다.

여러 논문²⁾에 의하면 일반적인 항만의 선박의 도착시각간격 분포는 지수분포로 표현될 수 있다. 그러나 컨테이너선의 경우에는 정기선인 관계로 사전에 미리 일정을 정하여 입항하기 때문에 지수분포 보다는 Erlang-2³⁾ 분포에 더욱 가깝다는 조사결과가 있다.⁴⁾ 선석점유시간의 분포는 우리나라 BCTOC의 실적 자료로 분석하여 본 결과 지수분포나 Erlang-2 분포보다는 두 개의 정규분포를 겹쳐놓은 것과 같은 분포인 것으로 분석되었다.⁵⁾ 그러나 도착분포가 Erlang-2분포이고 서비스분포가 변형된 정규분포인 경우의 수식으로 평균대기시간을 구하기가 불가능하고 이러한 각 경우에 대하여 미리 계산된 테이블도 존재하지 않기 때문에 컨테이너터미널의 경우 $E_2/E_2/n$ queue table을 이용하여 평균대기 시간을 구하는 것이 현실적이라 하겠다.

따라서 queue table을 이용할 때의 이용률(utilization ratio, ρ)은 여기서 정의한 선석점유시간의 개념으로 사용하여야 한다. 대기행렬이론에 따르면 같은 선박대기시간율(Average Waiting Time Factor, 평균대기시간과 평균선석점유시간과의 비율)에서도 선석의 수에 따라 이용률은 크게 차이가 난다.

(2) 선박접안시간

선박접안시간은 선박이 실제로 접안하여 이안할 때까지의 시간으로 컨테이너터미널의 통계상의 시간이다. 즉 앞의 선석점유시간에서 접안 및 이안에 소요되는 시간을 뺀 시간이다. 일반적인 경우 선박의 접안 및 이안에는 2시간 정도가 소요된다. 선박 접안시간과 선석점유시간과의 비율을 이동계수라 칭한다. 일반적으로 평균점유시간을 20시간으로 가정하면 이동계수는 0.9가 된다. 터미널에서 발표하는 선석점유율은 선박접안시간을 전체 안벽이용가능시간으로 나눈 값으로 여기서 언급하는 선석점유율과

2) Fratar, T. J., et al., *Prediction of Maximum Practical Berth Occupying*.

3) 지수분포(Exponential Distribution)는 Erlang-1 분포에 해당되고, Erlang 분포군의 번호가 커지면 정규분포(Normal Distribution)가 됨.

4) UNCTAD, *Port Development*, 2nd edition, p.219.

5) 임진수 외, 「컨테이너 터미널 능력산정에 관한 연구」.

는 다른 개념이다. 본 연구에서는 혼잡을 피하기 위하여 선박접안시간의 비율은 이동 계수라 하겠다.

(3) 선박대기시간율

안벽능력산정의 가장 중요한 요소는 선박대기시간율의 결정이다. 선박대기시간율이란 이론상 평균선박점유시간에 대한 평균대기시간의 비율이다. 기존의 보고서에 따르면 선박대기시간율이 0.07~0.11의 분포를 보이고 있다⁶⁾(〈표 III-2〉 참조). 그러나 어느 정도가 적절한 선박대기 시간율인가에 대하여는 주관적인 요소가 많다. 외국의 경우와 우리는 여건이 달라 외국의 예를 그대로 수용하는 것도 문제가 많다. 물론 선박대기시간율이 적을수록 좋겠지만 경제적으로는 타당치 않고 대기행렬이론상 구한 평균대기시간은 무작위적인 선박의 도착을 가정으로 구한 결과이므로 선박의 스케줄 조정이 가능한 실제의 경우는 이보다 훨씬 적은 평균대기시간이 발생될 것이다.

따라서 본 연구에서는 우리나라에 실정을 고려하여 다음과 같이 정하였다. 1991년 6월에 개장한 PECT로 인하여 1992~93년에는 우리나라의 컨테이너터미널에는 거의 체선이 없어서 선사들의 선석 부족으로 인한 불만이 없었다(〈표 IV-5〉 참조). 따라서 1992년과 1993년의 BCTOC의 선박접안율의 평균을 근거로 하여 선박대기시간율을 설정하면 합리적이라 판단된다. 이렇게 구한 선박대기시간율을 다른 터미널의 경우에 적용하여 선석점유율을 구하면 큰 무리가 없을 것이다.

따라서 1992년도와 1993년도 선박접안율의 평균은 0.6575이고 여기서 이동계수(0.9)

〈표 IV-5〉

BCTOC와 PECT의 선박접안율

연도	BCTOC	PECT
1991	0.820	0.445
1992	0.646	0.534
1993	0.669	0.658
1994	0.860	0.750
1995	0.891	0.843

주 : PECT는 1991년 6월에 개장하였음.

6) 보고서에서의 선박대기시간율은 선석점유시간에 대한 평균대기시간의 비율이 아닌 선박 접안시간에 대한 비율임.

를 고려하면 선석점유율은 0.7306이 된다. BCTOC는 선석이 4개이고 선석점유율이 0.7306인 경우의 선박대기시간을 <표 IV-6>의 $E_2/E_2/n$ queue table에서 구하면 선박대기시간은 0.18284, 약 0.18이 된다.

선박대기시간을 0.18일 경우 선석수에 따른 선석점유율과 선박접안율을 <표 IV-6>에서 구하면 <표 IV-7>과 같다. 이때 이동계수는 0.9로 가정하였다.

<표 IV-6> 평균 선박대기시간율($E_2/E_2/n$ queue)
Average waiting time of ships in the queue $E_2/E_2/n$
(In units of average service time)

Utilization	Number of berthing points							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.10	.02	0	0	0	0	0	0	0
0.15	.03	.01	0	0	0	0	0	0
0.20	.06	.01	0	0	0	0	0	0
0.25	.09	.02	.01	0	0	0	0	0
0.30	.13	.02	.01	0	0	0	0	0
0.35	.17	.03	.02	.01	0	0	0	0
0.40	.24	.06	.02	.01	0	0	0	0
0.45	.30	.09	.04	.02	.01	.01	0	0
0.50	.39	.12	.05	.03	.01	.01	.01	0
0.55	.49	.16	.07	.04	.02	.02	.02	.01
0.60	.63	.22	.11	.06	.04	.03	.02	.01
0.65	.80	.30	.16	.09	.06	.05	.03	.02
0.70	1.04	.41	.23	.14	.10	.07	.05	.04
0.75	1.38	.58	.32	.21	.14	.11	.08	.07
0.80	1.87	.83	.46	.33	.23	.19	.14	.12
0.85	2.80	1.30	.75	.55	.39	.34	.26	.22
0.90	4.36	2.00	1.20	.92	.65	.57	.44	.40

자료 : E. Page, *Queueing Theory in OR*(London, Butterworths. 1972) p.155.

주 : UNCTAD, *Port Development*에 게재된 표를 다시 인용하였음.

<표 IV-7> 표준 선박접안율(선박대기시간을 0.18의 경우)

선석수	선석점유율	선박접안율
1	0.357	0.321
2	0.567	0.510
3	0.664	0.598
4	0.729	0.656
5	0.772	0.695
6	0.794	0.715
7	0.817	0.735
8	0.830	0.747

주 : 1) 선박도착분포 Erlang-2 분포, 서비스시간분포 Erlang-2 분포인 경우($E_2/E_2/n$ queue의 경우).

2) 이동계수는 0.9로 가정.

〈표 IV-7〉에서 보는 바와 같이 같은 대기시간율의 수치에도 선석수가 늘수록 선석점유율은 크게 늘어나는 것을 알 수 있다. 이를 다시 말하면 선박의 평균 대기시간이 같더라도 선석수가 늘어남에 따라 선석당 연간 작업시간이 크게 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 대규모터미널의 경우 선박의 대기가 현저히 줄어든다.

예를 들어 선석점유율이 1선석일 때 0.357, 4선석일 때 0.729로서 대규모 터미널의 경우 선석점유율에서 2배 이상의 차이를 보이고 있다.

(4) 크레인 작업시간

크레인 작업시간은 선박이 접안후 컨테이너의 양하작업을 시작해서부터 마지막 컨테이너의 적하작업을 마칠 때까지의 시간을 뜻하는 것으로 일반적으로 말하는 총 작업시간에 해당된다. 우리나라 컨테이너터미널의 경우 선박접안후 30분 경부터 컨테이너의 양하가 시작하여 마지막 컨테이너 적하 30분 후에 선박이 이안하여 크레인 작업시간과 선박접안시간과의 차이는 1시간 정도이다. 따라서 크레인작업시간의 선박작업시간에 대한 비율인 크레인작업계수는 약 0.95가 된다. 그러나 각 작업의 시점이 식사시간이나 교대시간과 겹치면 이 시간은 그만큼 길어진다.

(5) 전용/공용계수

본 장의 초기에서도 언급하였듯이 컨테이너터미널의 운영형태에 따라서도 처리능력이 달라질 수 있다. 이는 컨테이너터미널이 전용으로 운영되면 그만큼 선박운항 스케줄을 조정할 수 있어 같은 선석점유율에서도 평균대기시간이 줄어들 수 있기 때문이다. 대부분의 공용터미널의 경우도 사전에 스케줄이 조정되어 실제적으로는 거의 대기가 많이 발생하고 있지는 않지만 조정된 스케줄이 선사가 원하지 않는 스케줄일 때도 많으므로 이러한 경우에는 어떠한 형태로든 선사에게 비용의 증가 또는 서비스 수준의 저하로 전가된다.

대기행렬이론의 기본 가정에는 선박이 무작위적으로 입항하는 것이나 전용터미널의 경우는 사전에 통제되므로 이러한 점을 전용/공용계수라는 개념을 도입하여 보완하고자 한다. 반드시 이러한 이유는 아니겠지만 앞서 언급한 ECT의 경우 한 선사만이 이용하는 DSL의 공칭능력은 약 80만TEU인 데 반하여 몇 개의 선사가 이용하는 DDE의 공칭능력은 50만TEU로 그 수치가 낮은 것을 알 수 있다.

일반적으로 전용터미널의 경우 선석이 1개로 queue table 상에서는 상당히 높은 대기시간율이 나와야 하나 이러한 전용/공용계수를 도입함으로써 보다 현실에 가까운 값을 구할 수 있다. 전용/공용계수의 값에 대하여는 조사된 바는 없지만 필자의 의견으로는 전용터미널로 사용함으로써 얻어지는 효율성의 증대로 1.2~1.6 정도가 타당하다고 생각된다.

(6) 연간시간

앞서 분석한 보고서에 따르면 연간일수가 330~365일로 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 그러나 이는 관련 계수를 구할 때와 같은 기준에 맞추어야 한다. 330일을 1년으로 한 경우에는 휴일, 자연재해로 인한 작업중단을 고려하여 연간 35일을 작업 중지기간으로 보아 가정하였다. 그러나 총작업시간을 정하는 기준이 이러한 작업중단시간을 포함하느냐 여부에 따라 이 값도 정하여야 하며 작업이 중단이 되더라도 몇 시간 정도이지 24시간 계속 중단이 되는 예는 매우 드물다. 또한 컨테이너터미널의 경우 근본적으로 연중무휴로 작업을 한다고 가정을 하여도 되므로 연간일수를 365일로 보아도 무난할 것으로 판단된다. 참고로 우리나라의 경우 연간 이틀(추석 및 설날) 작업을 하지 않는 실정이다.

(7) 연간 크레인 작업시간

위의 결과를 종합하면 연간 크레인 작업시간은 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 (\text{연간 크레인작업시간}) &= (\text{크레인수}) \times (\text{크레인당 연간작업시간}) \\
 &= (\text{크레인수}) \times (\text{크레인작업계수}) \times (\text{연간선박접안시간}) \\
 &= (\text{크레인수}) \times (\text{크레인작업계수}) \times (\text{이동계수}) \\
 &\quad \times (\text{연간선석점유시간}) \\
 &= (\text{크레인수}) \times (\text{크레인작업계수}) \times (\text{이동계수}) \\
 &\quad \times (\text{선석점유율}) \times (\text{전용/공용계수}) \times (\text{연간시간})
 \end{aligned}$$

3) 조정계수

조정계수는 단위의 변환 및 실제 작업과 처리량과의 차이를 조정하는 계수이다. 조정계수는 TEU/BOX비율과 Overstow계수를 들 수 있다. TEU/BOX 비율은 앞의 많은 계수의 결과는 연간 처리 컨테이너 개수이나 일반적으로 TEU단위에 익숙하여 있으므로 해당터미널의 40피트 컨테이너와 20피트 컨테이너의 비율을 고려하여 구한다. 우리나라의 경우 1.5~1.6 사이이고 일부 외국터미널의 경우 1.8에 이르는 경우도 있다. TEU/BOX비율이 1.6은 40피트 컨테이너가 전체의 60%라는 의미이다. 또한 일부 외국의 터미널에서는 45피트 컨테이너를 2.25TEU로 환산하는 경우도 있으나 우리나라는 2TEU로 계산한다.

Overstow비율은 컨테이너의 하역작업상 해당 터미널에 하역할 컨테이너가 아닌데 작업하는 컨테이너의 비율을 뜻한다. 이는 하역할 컨테이너의 위에 적재되어 있는 컨테이너(타 터미널로 양하될 예정인 컨테이너)에 대한 작업으로 터미널 통계에서는 선내이적이라는 항목으로 처리되고 있다. 이러한 선내이적 컨테이너는 터미널의 처리실적에는 포함되지는 않지만 컨테이너 크레인의 입장에서 보면 작업을 한 것이고 컨테이너 터미널 능력산정의 방법은 컨테이너 크레인의 작업횟수를 기준으로 한 것이므로 이를 조정하여야 한다. 우리나라의 경우 전체작업량의 3% 정도가 이에 해당되므로 Overstow계수는 0.97 정도가 되겠다. 따라서 조정계수는 TEU/BOX비율과 Overstow 계수의 곱으로 표시된다.

4) 岸壁能力 算定

앞서 언급된 모든 것을 종합하여 하나의 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \text{(연간처리량)} &= (\text{시간당처리개수}) \times (\text{연간총크레인작업시간}) \times (\text{조정계수}) \\ &\quad [(\text{총작업시간당 크레인 생산성}) \times (\text{간섭계수}) \times (\text{소형선계수})] \\ &\quad \times [(\text{크레인수}) \times (\text{크레인작업계수}) \times (\text{이동계수}) \times (\text{선석점유율}) \\ &\quad \times (\text{전용/공용계수}) \times (\text{연간시간})] \\ &\quad \times [(\text{TEU/BOX비율}) \times (\text{Overstow계수})] \end{aligned}$$

위의 결과를 종합하여 <표 IV-8>의 내용에 따라 각 요소의 값을 결정해 가면 컨테이너터미널의 안벽능력을 산정할 수 있다.

<표 IV-8> 컨테이너터미널 안벽능력산정 과정

순서	결정사항	비고
1	크레인 생산성 결정	크레인 사양 및 유사한 터미널 실적참조
2	간섭계수 결정	선박당 투입 크레인수에 대한 작업효율 증감 보정
3	소형선 계수 결정	해당 터미널의 선박입항 분포검토
4	시간당 하역개수 산정	(총작업시간당 크레인 생산성)×(간섭계수)×(소형선계수)
5	선박대기시간율의 결정	터미널경영원칙에 의거 결정(본문내용참조)
6	선석점유율 산정	$E_2/E_2/n$ queue table(<표 IV-5>)에서 선박대기시간율과 선석수에 해당되는 선석점유율을 구한다.
7	선석접안율 산정	선석점유율×이동계수
8	전용/공용계수 결정	터미널의 운영 형태에 따라 결정
9	크레인 작업계수 결정	크레인 작업준비 시간 산정
10	크레인 연간 작업시간 산정	(크레인수)×(크레인작업계수)×(이동계수)×(선석점유율)×(전용/공용계수)×(연간시간)
11	TEU/BOX 비율 결정	컨테이너 종류 분포 및 추세 고려
12	Overstow 계수 결정	기존터미널 자료 분석 및 추세 고려
13	조정계수 산정	(TEU/BOX비율)×(Overstow계수)
14	터미널 능력산정	(시간당하역개수)×(크레인 연간총작업시간)×(조정계수)

3. 컨테이너터미널의 藏置場能力 算定方法

장치장 능력 산정방법은 안벽능력 산정방법에 비하여 간단하다. 그러나 이 역시 장치장 운영원칙에 따라 많은 차이를 가져올 수 있다.

장치장은 컨테이너의 종류에 따라 장치하는 위치가 다르므로 컨테이너 종류별로 장치능력을 구하여야 한다. 컨테이너의 종류는 일반/냉동/위험물/특수 컨테이너, 적/공 컨테이너, 수입/수출컨테이너 등으로 구분될 수 있다. 컨테이너터미널을 계획할 때 소요장치장의 규모는 다음의 순서로 산정한다.

- i) 컨테이너 종류별 연간물량 예측
- ii) 컨테이너 종류별 운영 평균단적수 및 평균장치기간 결정

- iii) 운영여유(분리계수라고 표현되기도 함) 결정
- iv) 피크계수 결정
- v) 컨테이너 종류별 소요 TGS 산정

컨테이너 종류별 소요 TGS를 산정할 때는 다음의 공식을 이용한다.

$$\text{소요TGS} = \frac{(\text{연간물동량}) \times (\text{평균장치일수}) \times (\text{운영여유}) \times (\text{피크계수})}{(\text{평균단적수}) \times (\text{연간일수})}$$

여기서 운영여유란 컨테이너터미널의 특성상 선박이 입항하기 전에 미리 컨테이너를 반입하여야 하고 수입된 컨테이너의 반출도 일률적으로 이루어지지 않으므로 터미널을 운영하는 데 있어서 필요한 여유를 뜻한다. 일반적으로 1.2~1.25의 값을 취한다. 그러나 공컨테이너의 경우는 이보다 훨씬 작아도 된다.

기존의 터미널의 연간장치물동량을 산정하려면 위의 식을 역으로 계산하여 컨테이너 종류별 연간 장치물동량을 합하여 주면 전체 터미널의 장치능력을 얻을 수 있다. 즉 위 식을 다시 쓰면,

$$(\text{연간물동량}) = \frac{(\text{TGS}) \times (\text{평균단적수}) \times (\text{연간일수})}{(\text{평균장치일수}) \times (\text{운영여유}) \times (\text{피크계수})}$$

가 된다. 그러나 컨테이너 종류별 장치물동량의 비율이 전체물동량의 컨테이너 종류별 비율과 비슷하여야만 전체 터미널의 장치능력으로 취할 수 있다.

기존의 보고서에서는 모두 위의 공식을 근본적으로 사용하였지만 계수의 선택에 있어서는 차이를 보였다. 즉 평균단적수와 평균장치일수에 있어서 차이가 많이 났다. 이는 장치장 운영의 원칙이 다르기 때문이다. 평균장치일수의 결정에 있어서 가장 중요한 요인은 무료장치기간의 설정이다. 무료장치기간이 길어지면 그에 따라 평균장치기간도 커지는 것이 일반적이다. 무료장치기간이 짧아지면 장치능력이 증가하나 이용자의 입장에서 보면 서비스 질이 저하되는 것이므로 이선적 컨테이너를 많이 유치하려면 장치기간에 대한 전체적인 분석이 필요하다.

이를 보완하는 방법으로 최대동시장치능력의 개념을 도입하고 운영여유를 많이 주는 방법을 고려할 수도 있다. 최대동시장치능력이란 일시에 장치장에 최대한으로 장치할 수 있는 컨테이너의 수를 말한다. 장치시스템이 4단6열의 트랜스퍼크레인 시스템일 경우는 평균 3.5단의 장치를 의미한다. 3.5단인 이유는 트랜스퍼크레인이 베이를 이동하지 않고 최하단의 장치 컨테이너를 작업할 수 있는 최대 단적수이기 때문이다. 이 경우 운영여유는 터미널마다 다르겠지만 트랜스퍼크레인 시스템을 채택하고 적권

테이너의 경우 40% 이상의 여유가 필요하다.

연간일수도 일부 차이를 보여왔는데 장치능력 산정의 경우에는 안벽능력의 경우와는 달리 작업중단의 개념이 없이 컨테이너가 장치되어 있는 것이므로 365일로 계산하는 것이 타당하다.

피크계수는 일반적으로 1.3을 취한다. 이는 실적자료의 분석을 하여보아도 상당히 근거가 있다고 하겠다. <그림 IV-2>와 <그림 IV-3>은 1996년 BCTOC의 연중 적컨테이너 및 공컨테이너 장치량의 변화이다. 그림에서 보는 바와 같이 연중 장치컨테이너수의 변화는 상당히 심하다. 그러나 장치장의 규모를 정할 때 최대값에 맞추어 할 수는 없는 것이다. BCTOC의 적컨테이너와 공컨테이너의 장치량을 빈도별로 정리한 그림이 <그림 IV-4>와 <그림 IV-5>이다. 그리고 컨테이너 장치량을 평균과 비교하여 분석한 결과가 <표 IV-9>이다.

<표 IV-9> BCTOC 컨테이너 장치량 분석(1996년)

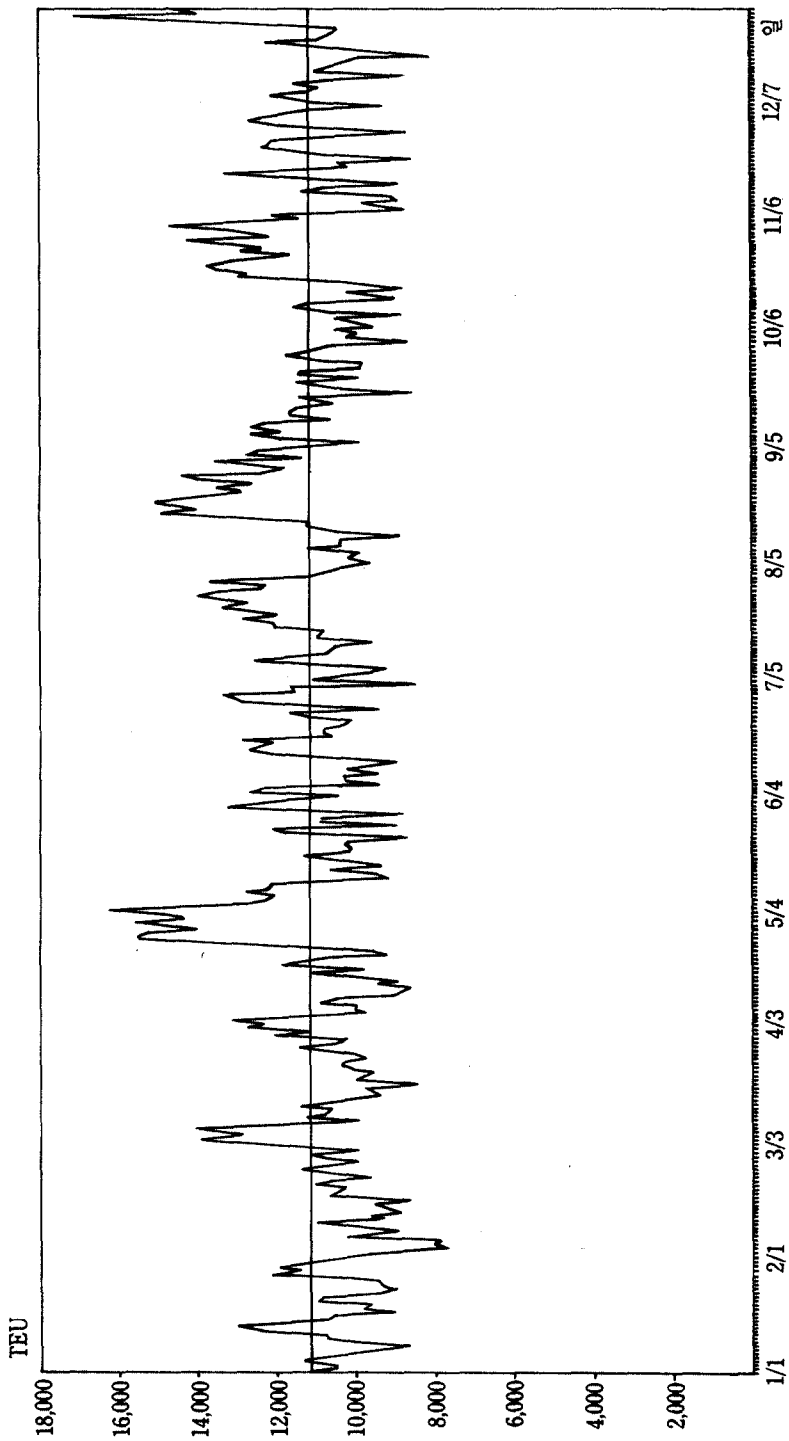
	적컨테이너	공컨테이너
평균(TEU)	11,146	2,141
최대값(TEU)	17,091	3,787
최소값(TEU)	7,644	680
표준편차(TEU)	1,638	527
최대값/평균	1.533	1.769
표준편차/평균	0.147	0.246
평균의 40%초과 비율(%)	1.1	6.3
평균의 35%초과 비율(%)	1.9	7.9
평균의 30%초과 비율(%)	3.8	11.5
평균의 25%초과 비율(%)	6.8	14.2
평균의 20%초과 비율(%)	9.6	20.5

이는 장치량의 변화의 정도를 나타내는 지표로서 표준편차를 평균으로 나눈 값을 살펴보면 적컨테이너의 경우는 0.147, 공컨테이너의 경우는 0.246로 공컨테이너가 훨씬 장치량 변화의 폭이 큰 것을 알 수 있으며 <그림 IV-2>~<그림 IV-5>에서 이를 쉽게 살펴볼 수가 있다.

따라서 적컨테이너의 피크계수는 1.3이 타당하나 공컨테이너의 피크계수는 1.4 정도가 되어야 한다. 그러나 공컨테이너의 경우 운영여유가 작아도 되므로 이를 고려하여야 한다.

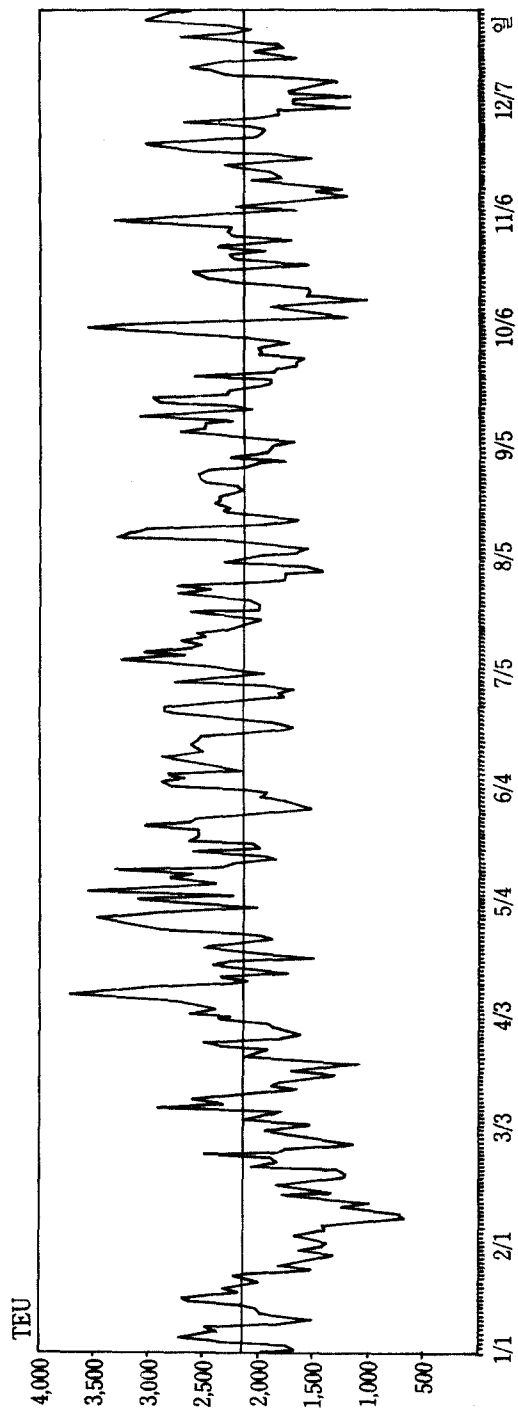
1996년 BCTOC 적진태이너 일일장지 현황

〈그림 N-2〉



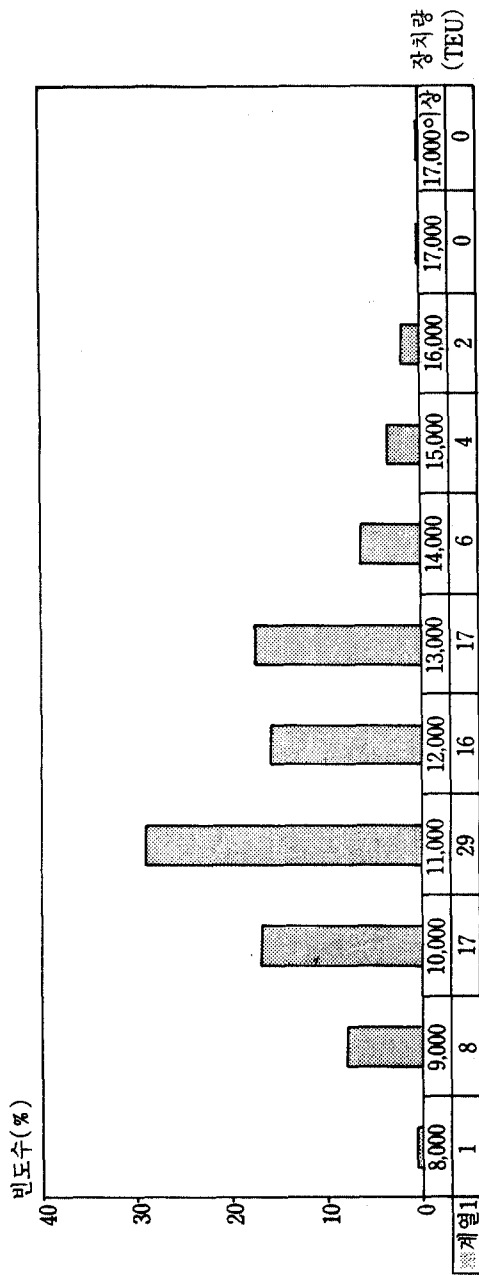
1996년 BCTOC 공컨테이너 일일장치 현황

〈그림 IV-3〉



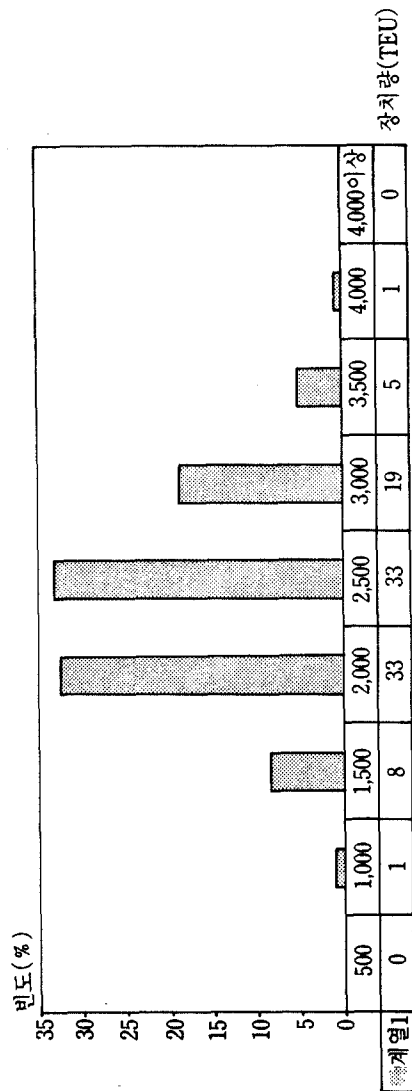
〈그림 IV-4〉

1996년 BCTOC 적컨테이너 장처리량 대비 장처리빈도



〈그림 IV-5〉

1996년 BCTOC 공컨테이너 장처리량 대비 장처리빈도



4. 서비스수준을 고려한 岸壁能力 算定方法

기존의 안벽능력 산정방법은 컨테이너 크레인의 능력을 기준으로 하여 터미널의 능력을 산정하였다. 그러나 선사의 관점에서 보면 고속크레인을 사용하거나 많은 크레인을 투입하는 사실보다는 접안시간당 얼마나 많은 컨테이너를 하역할 수 있느냐가 중요한 것이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 방법을 바꿔서 터미널운영자가 선사에게 제공할 수 있는 서비스의 수준을 제시하고 그 경우의 처리능력을 구하는 방법을 제시하고자 한다. 여기에서 서비스수준이란 평균대기시간(또는 평균선박대기시간율)과 선박접안시간당 하역개수를 의미한다. 따라서 각종 장비규모 및 장치장의 능력은 이러한 목표치를 달성하기 위한 지원체제로서 그 규모를 결정하여야 한다. 이러한 관점에서 안벽능력을 산정한 방식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{안벽능력} &= (\text{선박접안시간당 하역개수}) \times (\text{연간접안시간}) \times (\text{환산 계수}) \\ &= (\text{선박접안시간당 하역개수}) \times [(365 \times 24) \times (\text{선석점유율}) \\ &\quad \times (\text{선박이동계수}) \times (\text{선석수})] \times (\text{TEU/BOX 비율}) \end{aligned}$$

선박접안시간당 하역개수는 BCTOC의 경우 28~34개/시간이며, PECT는 35~37개 수준이다(〈표 IV-10〉 참조).

〈표 IV-10〉 BCTOC와 PECT의 선박접안시간당 하역개수

연도	BCTOC	PECT
1991	28.4	—
1992	32.3	34.9
1993	33.6	37.3
1994	33.2	36.8
1995	33.9	37.2

외국의 터미널의 경우는 이보다 높은 생산성을 보이고 있는 데 싱가포르의 Brani Terminal은 입항선사에 따라 접안시간당 100개 이상의 하역효율을 올리는 사례가 많이 있다. 〈표 IV-11〉은 한진해운이 이용하는 세계각국의 컨테이너터미널의 1995년도 접안시간당 하역효율을 보여주고 있다. 외국의 터미널은 우리보다 높은 하역효율을 보여주고 있다. 이는 우리나라 터미널은 하역장비의 부족으로 많은 수의 컨테이너 크레인을 배정 못한 점도 있고, 작업의 폭주로 인하여 작업효율이 떨어지는 면도 있기

때문이다. 그러나 1996년 후반기에 새로이 컨테이너 크레인이 도입되어서 작업효율이 높아질 것으로 기대된다. 더욱이 가덕도 신항만 민자유치사업에 제출된 제안서에 의하면 신항만에서는 집안시간당 100개(1000개/10시간)의 하역시스템을 제안하고 있어서 우리나라도 선진항만과 같은 수준의 터미널이 탄생하리라 판단된다.

기타 선석점유율, 이동계수 등은 앞서 언급된 것과 같이 결정하여 안벽능력 산정공식에 적용한다.

〈표 IV-11〉 외국 컨테이너터미널의 선박집안시간당 하역개수

항만	터미널	평균하역량		평균작업 시간	시간당 하역개수	전용/공용 구분
		(TEU)	(개)			
뉴욕	Elizabeth TMNL	3,001	1,686	23.6	64.1	공용
홍콩	Sea Land TMNL	2,092	1,195	18.1	66.0	공용
롱비치	B-61	3,918	2,203	40.3	54.6	전용
시애틀	No.46 HJS TMNL	3,696	2,102	36.5	57.6	전용
동경	Aomi TMNL	541	376	7.6	49.5	전용
오사카	OC-1 TMNL	515	324	5.9	54.9	전용
부산	BCTOC	1,640	963	26.8	35.9	공용
싱가포르	Keppel	865	630	13.1	48.1	공용
로테르담	Delta	1,629	1,162	22.0	52.8	공용
함부르크	Eurokai	1,922	1,350	26.7	50.5	공용

자료: 한진해운.

주: 1) 2,700TEU급 이상 선박 대상.

2) 평균하역량은 rehandling, 및 empty container 처리 포함.

3) 1995년 실적.

第5章 結 論

컨테이너터미널의 능력에 대하여는 그동안 많은 논란이 있어 왔고 앞장의 기존보고서에 대한 검토에서도 살펴보았듯이 컨테이너터미널 능력산정의 기준도 경우에 따라 많은 차이를 보여왔다. 기존의 터미널능력 산정방법이 틀렸다기보다는 산정방식에 대한 이해가 부족한 데 그 원인이 있다. 또한 그동안 컨테이너터미널의 능력을 안벽능력으로만 생각하여 왔다. 그러나 최근에 와서 안벽능력뿐만 아니라 장치장의 능력도 터미널의 전체능력에 매우 중요한 부분임을 인식하게 되었다.

본 연구에서는 산정방식에 대한 보다 원칙적인 분석을 하고 기존의 방식에서 고려하지 않은 사항들인 전용/공용 터미널의 경우와 소형선의 경우 등을 검토하였다.

컨테이너 크레인의 하역능력을 기준으로 한 안벽능력 산정의 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{(연간처리량)} &= \text{(시간당처리개수)} \times \text{(연간총크레인작업시간)} \times \text{(조정계수)} \\ &= [(\text{총작업시간당 크레인 생산성}) \times (\text{간섭계수}) \times (\text{소형선계수})] \\ &\quad \times [(\text{크레인수}) \times (\text{크레인작업계수}) \times (\text{이동계수}) \times (\text{선석점유율}) \\ &\quad \times (\text{전용/공용계수}) \times (\text{연간시간})] \\ &\quad \times [(\text{TEU/BOX비율}) \times (\text{Overstow계수})] \end{aligned}$$

또한 안벽능력산정의 새로운 접근방법인 선사에게 제공되는 서비스수준 즉, 접안시간당 하역개수 및 평균대기시간을 기준으로 한 산정방법은 다음 식으로 요약된다.

$$\begin{aligned} \text{안벽능력} &= (\text{선박접안시간당 하역개수}) \times (\text{연간접안시간}) \times (\text{환산 계수}) \\ &= (\text{선박접안시간당 하역개수}) \times [(365 \times 24) \times (\text{선석점유율}) \\ &\quad \times (\text{선박이동계수}) \times (\text{선석수})] \times (\text{TEU/BOX 비율}) \end{aligned}$$

이러한 접근방법은 그간 많은 논란이 되어왔던 컨테이너 크레인의 능력보다는 고객에 대한 서비스수준으로 안벽능력산정 기준을 바꾸어서 보다 합리적이라 하겠다. 또한 안벽능력산정의 가장 중요한 변수인 적정 선박대기시간을 정함에 있어서 우

리의 실정에 맞는 기준을 설정하였다. 이는 대기행렬이론에 근거를 둔 평균대기시간과 실제의 평균대기시간이 많은 차이가 나기 때문에 그 기준을 우리나라에서 선석부족으로 인한 체선이 거의 발생하지 않았던 1992년과 1993년의 실적을 바탕으로 유도하여 추후 계획할 터미널의 능력산정에 이용할 수 있을 것이다. 이러한 기준으로 볼 때 선박대기시간율을 0.18로 가정하는 것이 우리의 실정에 맞다고 할 수 있다.

컨테이너터미널의 능력은 하나의 참고로 할 수 있는 수치이지 반드시 그만큼의 물량을 처리한다는 의미는 아니다. 컨테이너터미널도 주변 여건에 따라 같은 규모의 터미널이라 하더라도 그 공칭능력이 달라질 수 있다. 터미널의 능력은 이용선사의 형태, 주위의 지원형태, 장치장의 넓이, 서비스 수준의 결정, 경영전략 등에 따라 크게 달라질 수 있다. 그러므로 컨테이너터미널의 공칭능력은 각 터미널의 주어진 주변여건 및 터미널 운영원칙 아래서의 최대 연간처리 가능물동량으로 이해를 하여야 한다. 따라서 주변 여건이 달라지면 당연히 공칭능력보다도 더 많은 물량을 취급할 수 있는 것이다. 터미널의 효율성은 많은 물량을 처리하면 효율이 높다고 할 수 있지만 선사에 제공된 서비스의 수준, 터미널을 구성하고 있는 하부시스템의 효율성, 시스템상호간의 원활한 흐름, 비용과 시간의 절감 측면에서도 검토되어야 한다.

앞에서 검토한 바와 같이 우리나라의 기존 컨테이너터미널의 공칭능력은 그 산정 과정에 있어서 문제가 있었던 것은 사실이다. 공칭능력이 앞서 언급한 것과 같이 의미는 크지 않지만 전국적인 항만 계획에는 반드시 필요하므로 이에 대한 새로운 정립이 요구된다. 그러나 이러한 작업은 그동안의 전국 항만 계획이 근본적으로 수정되어야 하므로 많은 후속작업과 정책적인 판단이 필요하다. 따라서 이러한 작업의 수행 시에는 정부와 관련 전문가가 공동으로 작업을 수행하여야 하며 앞서 언급된 터미널 주변조건, 운영방침 등도 같이 고려되어야 하고 자세한 결과가 필요하면 시뮬레이션 기법의 도입도 고려하는 다음 단계의 각 연구가 필요하다고 판단된다.

參 考 文 獻

〈국내문헌〉

- 김재륙, 「항만운송시스템의 능력평가방법과 적용에 관한 연구」, 한국외국어대학교 무역대학원 석사학위논문, 1987.
- 임진수·박병인, 「컨테이너 터미널 능력산정에 관한 연구」, 해운산업연구원, 1991. 12.
- 한국컨테이너부두공단, 「광양항 1단계(2차) 개발사업 실시설계용역-기본계획편」, 1993. 5.
- 해양수산부, 「가덕신항만 개발 기본계획용역」, 1996. 12.
- 해운산업연구원, 「광양 신항만 개발 기본계획에 관한 연구」, 1990. 8.
- _____, 「내륙 컨테이너기지조성 타당성 조사 용역」, 1991.
- 해운항만청, 「항만적정능력 산정 및 개발 기본계획구상」, 1992. 6.

〈외국문헌〉

- Alvin W. Drake, *Fundamentals of Applied Probability Theory*, McGraw-Hill Book Company, 1967.
- D. Gross & C. Harris, *Fundamentals of Queueing Theory*, 2nd ed., John Wiley & Sons, 1987.
- Ernst G. Frankel, *Port Planning and Development*, John Wiley & Sons, 1987.
- Richard C. Larson and Amedeo R. Odoni, *Urban Operations Reserach*, Prentice-Hall, 1981.
- Thomas J. Fratar, Alvin S. Goodman, and Austin E. Brant, *Pridiction of Maximum Practical Bearth Accupying*, Transaction, ASCE, Part IV, 126, 1987.
- Thomas T. Dowd Thomas M. Leschine, "Container Terminal Productivity : A Perspective," *Port and Harbors*, IAPH. 1989. 11.

Warren H. Atkins, *Modern Marine Terminal Operations and Management*, The Compage Company, 1983.

ESCAP, *ESPOCA : ESCAP Port Capacity Model*, 1990.

_____, *POSIM : Port Capacity Simulation Model*, 1990.

PRC Engineering Inc., *Pusan Port 3rd Development Project : Container Terminal Operations Study*, 1988.

UNCTAD, *Berth Throughput*, United Nations, 1973.

_____, *Port Development*, 2nd edition, United Nations, 1985.

_____, *Operating and Maintenance Features of Container Handling System*.

Woodward-Clyde Consultants, 「현존 컨테이너터미널 및 운영체계의 최대활용」, 1978.

컨테이너시설 荷役能力 算定基準 및
適正處理能力에 관한 研究

1997年 3月 26日 印刷

1997年 3月 30日 發行

編輯兼 趙 正 濟
發行人

發行處 海 運 產 業 研 究 院
서울특별시 강남구 삼성동 154-10

전 화 569-2761~8 FAX : 565-7403

등 록 1984년 8월 6일 제16-80호

組版・印刷/해항회 인쇄소 568-0880