

기본연구 2001-04

수리모형을 이용한 컨테이너터미널 장치장 재고수준

2001. 12

김창곤, 김영훈, 배종욱, 김우선

머 리 말

컨테이너터미널은 해상운송과 육송운송의 연결점으로서 하역 및 보관의 기능을 수행하는 항만 물류시스템으로서, 작업이 이루어지는 영역별로 안벽, 장치장, 게이트로 나누어져 있다. 안벽에서는 수출입화물의 양적하 작업이 이루어지며, 장치장은 수출입 화물이 터미널에 양하 또는 반입된 후 본선에 적하 또는 게이트를 통해 반출 될 때까지 일시적으로 보관되는 공간이다. 게이트에서는 수출입화물의 반출입 작업이 이루어진다. 따라서 안벽에서의 양적하 작업, 장치장에서의 장치작업 및 게이트에서의 반출입 작업이 서로 균형을 이루어야 터미널 전체적으로 능력을 향상시킬 수 있다. 따라서 터미널 개발계획을 수립할 때는 안벽 능력과 장치장 능력이 동시에 검토되어야 하나, 지금까지는 안벽능력을 검토한 후 이에 근거한 장치장 능력을 설계하였다. 그러나 터미널 운영중 안벽능력은 횡으로의 확장이 가능하지만, 장치장 능력은 터미널 배후 폭이 제한되어 있어 운영중 장치능력 향상은 물리적으로 불가능하다. 따라서 계획 수립 당에서부터 장치장 소요 규모에 대한 심층 분석이 이루어져야 하며, 그러기 위해서는 먼저 장치장에서의 시간별 재고수준 변화가 분석되어야 한다. 본 연구에서는 장치장 소요 규모 산정에 적용될 기준물량에 대한 정보를 제공하기 위해 장치장에서의 시간별 재고수준 변화를 예측할 수 있는 확정적 재고모형을 구축하였다. 장치장 재고수준은 터미널이 허용하고 있는 화물별 무료장치기간, 안벽에서의 양적하 생산성 및 무료장치기간 내에서의 게이트 반출입율에 따라 재고수준은 변한다. 즉, 컨테이너가 무료장치기간을 초과하여 터미널에 장치되면 초과되는 기간에 대해서는 하주는 터미널에 초과 부담금을 지불해야 되기 때문에, 하주는 선박 도착 예정 시점을 전후로 하여 컨테이너를 반·출입한다. 따라서 장치장 재고수준 변화는 선박 도착을 전후로 하여 증감이 반복된다. 재고모형에서는 장치장 재고수준에 영향을 미칠 수 있는 선박도착간격, 선박별 작업량, 화물별 무료장치기간 등을 설명변수로 하여 재고수준을 표현함으로서 시간별 장치장 재고수준 변화를 예측할 수 있다. 재고모형에 의한 분석결과 장치장 재고수준은 터미널 도착 후 수입화물의 양하작업이 완료된 직후에 최대가 된

다. 따라서 장치장 재고수준이 최대가 되는 시점을 전후로 한 장치재고량이 장치장 소요 규모 산정의 기준 물량이 되어야 한다. 이와 같은 장치장 재고수준 변화와 더불어 장치장에서의 작업 생산성도 고려하여 장치장 소요규모가 산정되어야 한다. 즉, 장치장에 장치되는 컨테이너 물량과 비교하여 장치장 규모가 적으면 장치 단적이 높아지게 되어, 밑에 장치된 컨테이너를 반출입 하기 위한 재작업 비율이 증가하여 전체적으로 작업생산성이 떨어지게 된다. 본 연구에서는 장치장에서의 재고량 변화 분석으로 연구 범위를 한정하였으나, 추후 연구에서는 이러한 재고량 변화 분석과 더불어 작업생산성도 고려한 장치장 소요 규모를 산정할 수 있는 방법에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

본 연구보고서는 본원의 김창곤 박사가 연구책임을 맡고, 김영훈 책임연구원, 배종욱 책임연구원이 공동으로 집필하였다. 또한 연구심의회를 통해 연구수준을 높일 수 있도록 조언해 준 부산대학교 김갑환교수, 한양대학교 나성린교수, 세종대학교 이상호교수, 현대부산터미널의 양원부장 그리고 김학소 기획조정실장에게도 심심한 감사를 드리며 이 밖에 연구수행에 도움을 준 김우선연구원과 차태영, 서재화에게도 감사드린다.

끝으로 이 보고서는 필자의 개인적인 견해에 따른 것이며, 우리 원의 공식적인 견해가 아님을 밝혀 둔다.

2001년 12월
韓國海洋水産開發院
院 長 李 廷 旭

☐ 보고서 집필 내역

◆ 연구책임자

-김 창 곤 : 제1장~제5장

◆ 연 구 진

-김 영 훈 : 제3장

-배 종 욱 : 제4장

☐ 산·학·연·정 연구자문위원

◆ 김 갑 환(부산대학교 산업공학과 교수)

◆ 양 원(현대부산터미널 부장)

◆ 나 성 린(한양대학교 경제학과 교수)

◆ 이 상 호(세종대학교 경제학과 교수)

목 차

〈요 약〉	1
제1장 서론	11
1. 연구 배경	11
2. 연구 목적	12
3. 연구 방법	12
4. 주요 연구 내용	13
제2장 국내 컨테이너터미널의 장치장 현황	15
1. 장치장 능력 구성요소	15
2. 국내 컨테이너 터미널의 장치장 규모	17
1) 현대 컨테이너터미널(HBCT) / 17	
2) 신선대 컨테이너터미널(PECT) / 19	
3) 우암 컨테이너터미널(UTC) / 20	
4) 감만 4단계 컨테이너터미널 / 21	
5) 광양 1단계 컨테이너터미널 / 23	
제3장 국내 컨테이너 터미널 운영실적 분석	26
1. 터미널 운영실적	26
1) 감만 4단계 컨테이너터미널 / 26	
2) 광양 1단계 컨테이너터미널 / 31	

2. 장치장 운영실적	36
1) 감만 4단계 컨테이너터미널/	36
2) 광양 1단계 컨테이너터미널/	43
3. 운영실적 비교 분석	49
1) 처리 물동량 /	49
2) 선석 점유율 /	50
3) 장치장 회전율 /	53
 제4장 장치장분석용 신재고모형 제시	 58
1. 기존 연구 내용 및 한계	58
1) 장치재고량 변화 요인 /	58
2) Frankel 방법 /	60
3) 국내보고서 /	61
4) 기존 방법의 한계 /	63
2. 장치재고분석 신모형 제시	65
1) K모형 /	65
2) K-1 모형 /	73
3) K-2 모형 /	78
4) K-3 모형 /	82
5) 단위 항차에 의한 재고모형 /	84
3. 실험 분석	88
4. K형에 대한 실증 분석	93
1) 평균 선박도착간격 적용	93
2) 선박도착간격 변화	97

3) 반출입을 변화	99
제5장 결론 및 정책 건의	104
1. 결론	104
2. 정책건의	106
참고문헌	107

표 목 차

<표 2-1>현대자성대 컨테이너터미널의 장치장 시설 현황	18
<표 2-2>신선대 컨테이너터미널의 시설 현황	19
<표 2-3>우암 컨테이너터미널의 시설 현황	20
<표 2-4> 감만 컨테이너터미널의 시설 현황	21
<표 2-5> 감만부두 터미널별 장치장 소요 규모(계획)	22
<표 2-6> 광양항 1단계 컨테이너터미널의 시설 현황	24
<표 2-7> 광양항 터미널별 장치장 소요 규모(계획)	25
<표 3-1> 감만 4단계 터미널별 물동량 실적(2000년)	27
<표 3-2> 감만 4단계 터미널별 화물별 실적(2000년)	28
<표 3-3> 감만 4단계 화물별 구성비율	28
<표 3-4> 감만 4단계 터미널별 선박별 선박 규모(2000년)	29
<표 3-5> 감만 4단계 터미널별 C/C 생산성(2000년)	30
<표 3-6> 감만 4단계 터미널별 선박입항 현황(2000년)	31
<표 3-7> 광양 1단계 터미널별 물동량 실적(2000년)	32
<표 3-8> 광양 1단계 터미널별 화물별 실적(2000년)	33
<표 3-9> 광양 1단계 화물별 구성비율	33
<표 3-10>광양 1단계 터미널별 선박입항 현황(2000년)	34
<표 3-11>광양 1단계 터미널별 C/C 생산성(2000년)	35
<표 3-12> 광양 1단계 터미널별 선박입항 현황(2000년)	35
<표 3-13>항만별 무료장치기간 신고일수	37
<표 3-14>화물별 평균장치기간(감만 4단계 현대상선)	37
<표 3-15>화물별 평균장치기간(감만 4단계 세방기업)	41
<표 3-16>무료장치기간 신고일수	44
<표 3-17>대한통운의 화물 종류별 장치기간 현황(실적기준)	44

<표 3-18>대한통운의 화물 종류별 장치기간 현황 2(실적기준)	45
<표 3-19>현대상선의 화물 종류별 장치기간 현황(실적기준)	48
<표 3-20>감만 4단계 광양 1단계 물동량 비교(2000년)	50
<표 3-21>처리 물동량과 선석점유율 비교(2000년)	51
<표 3-22>처리 물동량 · 선석점유율 · 입항선박 규모 비교(2000년)	52
<표 3-23>선박 생산성 비교(2000년)	53
<표 3-24>터미널별 장치기간 비교	54
<표 3-25>터미널별 연간 장치장 회전율	55
<표 4-1> 회전율 개념을 이용한 평균 재고량	89
<표 4-2> 최대 재고량	92
<표 4-3> 감만 4단계 현대 터미널 운영실적 요약(2000년)	94
<표 4-4> K모형에 대한 실증 분석	96
<표 4-5> K모형에 대한 실증 분석(선박도착간격 변경)	98
<표 4-6> 수출화물의 장치기간 분포(감만 4단계 현대상선)	99
<표 4-7> 수입화물의 장치기간 분포(감만 4단계 현대상선)	100
<표 4-8> 환적화물의 장치기간 분포(감만 4단계 현대상선)	101

그림목차

<그림 3-1> 수입화물의 일별 반출 현황(감만 현대상선)	38
<그림 3-2> 수출화물의 일별 반입 현황(감만 현대상선)	39
<그림 3-3> 수출입화물의 일별 반출입 현황(감만 현대상선)	40
<그림 3-4> 환적화물의 일별 반출입 현황(감만 현대상선)	40
<그림 3-5> 수입화물의 일별 반출 현황(감만 세방기업)	41
<그림 3-6> 수출화물의 일별 반입현황(감만 세방기업)	42
<그림 3-7> 수출입 화물의 일별 반출입 현황 (감만 세방기업)	42
<그림 3-8> 환적화물의 장치기간 현황 (감만 세방기업)	43
<그림 3-9> 수입화물의 일별 반출 현황(광양 대한통운)	46
<그림 3-10>수출화물의 일별 반입 현황(광양 대한통운)	46
<그림 3-11>수출입화물의 일별 반출입 현황(대한통운)	47
<그림 3-12>환적화물의 장치기간 현황(광양 대한통운)	48
<그림 3-13>수입화물의 일별 반출입 현황(광양 현대상선)	49
<그림 4-1> 장치장 재고량의 변화	58
<그림 4-2> Frankel 방법에서의 재고량 기준	61
<그림 4-3> 국내 연구에서의 재고량 기준	62
<그림 4-4> 일반적인 생산재고모형	66
<그림 4-5> 일반 수입화물의 재고량 변화	74
<그림 4-6> 일반 수입화물의 장치장 재고수준 변화	77
<그림 4-7> 일반 수출 화물의 재고량 변화	78
<그림 4-8> 일반 수출 화물의 재고수준 변화	81
<그림 4-9> 환적화물의 누적 컨테이너 수	82
<그림 4-10>환적화물에 의한 재고수준 변화	83
<그림 4-11>단위 향차에 따른 재고량 변화	84

<그림 4-12>K모형에 의한 장치장 재고수준 변화	86
<그림 4-13>장치허용일수에 따른 평균 재고량	89
<그림 4-14>재고모형에 의하여 계산된 재고량 변화	91
<그림 4-15>감만 4단계 일별 재고수준 변화(6월-8월)	94
<그림 4-16>K모형에 대한 실증 분석	95
<그림 4-17>K모형에 대한 실증 분석(도착간격 변경)	98
<그림 4-18>광양 대한통운의 수입화물 장치기간 분포	102

<요 약>

제1장 서 론

1. 연구 배경

- 컨테이너 터미널의 처리능력은 안벽에서의 양적하 작업, 장치장에서
의 장치작업, 게이트에서의 반출입 작업이 서로 균형을 이루어야만
향상될 수 있음.
- 안벽능력의 경우 운영 중 안벽 여건에 따라 컨테이너 크레인의 추
가설치가 가능하여 안벽능력을 증가시킬 수 있으나, 컨테이너 장치
장의 장치능력은 한번 건설되면 운영 중 증가시키기가 곤란함.
- 최근 부산항의 경우 물동량 증가에 따라 선석당 컨테이너 크레인을
2대에서 3대씩으로 늘려 안벽에서의 처리능력을 향상시켰으나, 장
치장의 능력부족으로 터미널 전체의 처리능력을 크게 증가시키지
못하고 있음.
- 더욱이 현재 계획중인 광양항 3단계를 포함하여 부산 신항 터미널
등에서 터미널 폭을 600m로 계획하고 있으나, 이 정도의 규모가 안
벽능력과 장치장 능력의 균형을 이룰 수 있는지의 여부에 대한 검
토가 선행되지 않은 상태임.
- 따라서 앞으로 컨테이너 터미널 계획시 장치장의 소요 규모를 안벽
능력과 게이트 반출입율에 따라 추정할 수 있는 새로운 재고모형에
대한 연구가 필요한 실정임.

2. 연구목적

- 장치장에서의 작업 능력은 장치장에서 처리 해야할 물량에 비해 장치장 규모가 적으면 재작업이 증가하여 능력이 저하됨.
- 안벽에서의 양적하 능력과 균형을 이루는 장치장에서의 작업 능력을 유지하기 위해서는 적정 규모의 장치장 확보 필요.
- 기존 연구에서는 연간 예측 물동량과 평균장치기간에 의하여 장치장 소요 규모 산정에 적용할 기준 물량을 계산하여 왔음.
- 그러나 장치장 재고수준은 선박도착간격, 선박별 작업량, 양적하 생산성 및 화물별 장치기간 등 다양한 변수에 의하여 달라짐.
- 따라서 본 연구에서는 장치장 재고수준 변화에 영향을 미치는 이와 같은 변수를 설명변수로 하여 재고모형을 구축, 시간별 장치장 재고수준 변화 분석을 목적으로 함.
- 이러한 분석 결과는 “어느 정도의 물량을 기준으로 하여 장치장 소요 규모를 산정할 것인가?”를 분석할 때 기준 물량에 대한 정보를 제공함.

3. 연구방법

- 장치장 재고수준은 선박도착시점을 중심으로 변한다는 사실에 착안하여 선박도착간격을 단위 주기로 하여 시간대별 재고수준 변화 분석.
- 수입화물, 수출화물 및 환적화물로 각 화물의 시간대별 재고수준 변화를 분석한 후 이를 종합하여 장치장 재고수준 분석.

- 수입화물은 선박도착 후 양하가 이루어지는 순간에는 양하 능력에 따라 재고수준이 증가하고, 게이트를 통해 반출이 시작되면 반출율에 따라 재고수준이 감소함.
- 수출화물은 선박도착 전 컨테이너가 터미널에 반입되는 순간에는 반입율에 따라 재고수준이 증가되고, 선박도착 후 적하가 이루어지는 순간에는 적하능력에 따라 재고수준이 감소함.
- 환적화물은 환적양하 된 후, 이후 입항하는 선박에 환적적하될 때까지의 재고수준 변화를 분석.

4. 연구내용

- 장치장 소요 규모 산정에 적용되는 기준 물량을 산정하는 기존방법 조사.
- 감만 4단계 및 광양 1단계의 터미널별 운영실적 및 장치장 운영실적을 조사하여 처리물동량, 선석점유율, 장치장 회전율 등에 대한 항만간·터미널간 비교 분석.
- 장치장의 장치능력 구성 요소를 분석하고 각 터미널 계획 당시의 장치장 규모 조사.
- 수출화물, 수입화물 및 환적화물로 구분하여 각 화물의 시간대별 장치장 재고수준 변화를 분석할 수 있는 재고모형을 구축한 후 이들을 종합하여 장치장 재고모형 구축.
- 구축된 재고모형에서 설명변수의 변화에 대한 민감도 분석 및 실적 자료에 의한 실증 분석.

제2장 국내 컨테이너터미널의 장치장 현황

- 장치장 능력의 구성 요소는 물리적 측면에서 장치장 면적(TGS), 장치장비 단적수 및 운영측면에서 터미널이 허용하는 화물별 무료장치기간으로 구성됨.
- 물리적인 측면에서의 장치장 능력은 터미널개발 계획 당시에 결정되나, 운영적 측면에서는 무료장치기간을 증감시킴으로써 실제적인 장치장의 회전율이 증감하여 전체적으로 장치장 능력이 증감함.
- 따라서 터미널 건설 후 터미널이 운영하는 무료장치기간에 따라서 실질적인 장치장 능력이 증감하는 효과를 초래함.

제3장 국내 컨테이너 터미널 운영실적 분석

- 감만 4단계 4개 터미널과 광양 1단계 4개 터미널에 대한 연간처리 물동량, 선박별 작업량, 선석점유율, 선박별 작업생산성 등 2000년 운영실적 조사.
- 감만 4단계 및 광양 1단계의 운영주체가 현대상선, 한진해운, 세방기업, 대한통운으로 같고 또한 각 터미널이 운영하는 선석 수도 1개 선석으로 모두 같으나 실제 처리한 연간처리 물동량, 선석 점유율, 입항선박수, 선박별 생산성 등에 있어서는 차이를 보이고 있음.
- 선석별 처리 물동량에 있어서 2000년 기준 감만 4단계 선석당 48만 TEU, 광양 1단계 11만TEU를 처리하고 있음.
- 특히 터미널별 연간처리 물동량과 선석점유율을 비교한 결과 선석 점유율이 높은 터미널의 연간처리 물동량이 선석점유율이 낮은 터미널의 연간처리 물동량보다 적은 경우도 나타나, 일반적으로 선석

점유율이 높은 터미널의 연간처리 물동량이 선석점유율이 낮은 터미널보다 높다는 사실과 거리가 있음.

- 감만 4단계 4개 터미널과 광양 1단계 4개 터미널의 화물별 무료장치기간 기준, 실제 운영무료 장치기간, 장치장 회전을 등 장치장 운영 실적 조사 및 분석.

제4장 장치장 재고수준 분석모형

1. 기존 연구 내용 및 한계

- Frankel 방법과 이를 변형하여 국내 터미널 개발계획에서 적용한 방법에서는 연간 물동량과 장치기간에 의하여 장치장 소요 규모 산정에 적용될 기준 물량 제시.

장치장 소요 규모 산정에 적용된 기준 물량 = $f(\text{연간물동량}, \text{장치기간})$

- 그러나 장치장에서의 시간대별 재고수준은 선박도착간격, 선박별 작업량, 양적하 생산성, 화물별 무료장치기간에 따른 게이트 반출입율에 따라 변화함.

재고수준 = $f(\text{선박도착간격}, \text{선박별 양하량}, \text{적하량 및 환적화물의 구성비율}, \text{화물별 무료장치기간}, \text{안벽에서의 양적하 생산성}, \text{게이트에서의 반출입율})$

2. 장치장 재고수준 분석모형 제시

- 장치장에서의 시간대별 재고수준 변화에 영향을 미치는 변수를 설명변수로 하여 재고모형을 구축, 장치장 소요 규모 산정에 적용될 기준 물량에 대한 정보 제공.

- 재고모형에서는 수출화물, 수입화물, 환적화물 각각에 대한 시간대별 재고수준 변화를 예측할 수 있는 재고모형을 구축한 후 이들을 종합하여 장치장 재고수준 분석 가능.
- 재고모형은 다음과 같은 전제 조건에서 구축.
 - 선박간 도착간격시간은 균일.
 - 선박별 작업량과 작업 생산성은 동일.
 - 무료장치기간은 화물별로 차별화.
 - 화물별 게이트 반출입율은 화물에 따라 차별화.
 - 수출 컨테이너는 선박의 접안 전까지 반입이 완료되고, 수입 컨테이너는 하역작업이 종료된 후부터 반출 시작.
 - 환적화물은 환적화물의 무료장치기간 중에 입항하는 후속 선박들에 동일한 수량으로 실려 무료장치기간 내에 모두 적하됨.

1) 수입화물에 따른 재고 수준 분석을 위한 K-1모형

- 수입화물은 선박이 안벽에 접안하여 양하작업이 시작되면 양하 생산성에 의하여 재고수준이 증가하고, 양하가 완료된 후 게이트를 통해 반출될 때 반출율에 따라 재고 수준 감소.
- 수입화물로 인한 재고수준 변화를 선박별 양하량, 양하 생산성, 무료 장치기간 동안의 반출율을 설명변수로 하여 시간대별 재고수준 변화 분석.

2) 수출화물에 따른 재고수준 분석을 위한 K-2모형

- 수출화물은 게이트를 통해 반입되는 기간에는 반입율에 따라 재고수준이 증가하고, 선박도착 후 선박에 적하되는 기간에는 적하생산성에 따라 재고수준 감소.
- 수출화물로 인한 재고수준 변화를 선박별 적하량, 적하 생산성, 무

료 장치기간 동안의 반입율을 설명변수로 하여 시간대별 재고수준 변화 분석.

3) 환적화물에 따른 재고수준 분석을 위한 K-3모형

- 환적화물은 자부두에서 환적양하되어 환적적하되는 화물, 자부두에서 환적 양하되어 게이트 반출 후 타부두에서 환적적하되는 화물 및 타부두에서 환적양하된 후 게이트를 통해 반입되는 화물로 구성되어 있으나 모두 자부두 환적화물로 가정하여 모형 구축.
- 환적화물은 선박도착간격과 환적화물의 무료장치기간에 따라 이후 입항하는 항차에 균일하게 환적적하됨.

3. 실험 분석

- 기존의 방법에서는 회전을 개념에 의한 평균재고량만 제시하고 있음.
- K모형에서는 시간대별 재고수준 변화를 분석함으로써 평균재고수준 외에 최대재고수준, 최소재고수준을 제시할 수 있음.
- K모형에 대한 실험분석 결과 재고수준은 선박도착간격을 단위 주기로 하여 반복되고 있으며, 재고수준은 집안선박의 양하작업이 끝난 직후에 장치장 재고수준은 최대가 됨.
- 선박별 작업량이 많고 양적하 생산성이 클수록 최대 재고수준이 증가하고 있으며, 최대 재고수준 전후의 재고수준 변화를 나타내는 기울기가 증가하고 있음.
- 화물별 장치기간이 증가할수록 재고수준 변화 기울기가 완만하게 나타남.

4. K모형에 대한 실증 분석

- 2000년 감만 4단계 현대상선의 운영실적 자료를 이용하여 K모형에 대한 실증 분석 실시하였음.
 - 선박도착간격, 선박별 수출입 화물량 및 환적화물량, 선박별 양적하 생산성, 화물별 무료장치기간 및 게이트 반출입율 등에 대한 현대상선의 실적자료를 K모형이 요구하는 모수로 가정하여 K모형에 대한 실증 분석.
 - K모형에 의한 재고수준 변화와 2000년 6월부터 8월까지의 일별 재고수준 변화를 비교 분석.
 - 일년 동안 도착한 모든 선박의 평균 도착간격을 이용하여 K모형을 적용한 결과 K모형에 의한 재고수준이 실적 평균재고수준에 비해 64%로 낮게 평가되고 있는데, 이는 다음과 같은 요인에 의하여 기인하는 것으로 판단됨.
- 첫째, 수출입 화물의 터미널 반출입은 선박도착시점을 전후로 하여 집중되고 있으나 모형에서는 화물별 무료장치기간에 따라 일정하게 반출입 하는 것으로 가정.
- 둘째, K모형에서는 화물별 무료장치기간안에 모든 화물이 반출입된다고 가정하였으나, 실적 자료 분석에 의하면 무료장치기간이 지난 후에도 장치장에 장치되어 있는 경우가 있음.
- 또한 요일별 선박도착간격이 달라질 수 있다는 것을 가정하여 평균 선박도착간격을 29.5시간에서 20시간으로 줄이고 선박별 작업량을 10% 증가하여 K모형을 적용하였을 경우에는 평균재고수준에 있어서는 실적보다 112%로 높게 평가되나, 최대재고수준에 있어서는 90%로 낮게 평가되었음.

- 따라서 이와 같은 선박도착전후로 한 집중화 현상 및 장치기간을 반영하면 보다 현실적인 모형을 구축하리라 예상함.

제5장 결론 및 정책 건의

1. 결론

- 장치장에서 처리해야 할 물량에 비해서 장치장(TGS)규모가 상대적으로 적으면 재작업이 증가하여 작업생산성이 낮아짐. 따라서 장치장 소요 규모는 일차적으로 장치장에서 처리해야 물량에 근거하여 산정되어야 함.
- 장치장 재고수준은 선박도착간격, 선박별 양적하 작업량, 안벽에서의 양적하 생산성, 화물별 무료 장치기간 등에 의하여 변하기 때문에 이러한 설명변수를 반영하여 시간별 재고수준 변화를 분석하여야 함.
- 장치장에서의 시간별 재고수준 변화를 예측하여 최대재고수준, 최대 재고수준 주위에서의 재고수준 변화정도 등을 고려하여 장치장 소요 규모 산정에 적용될 기준 물량을 제시하여야 함.
- 본 연구에서 구축한 재고모형은 다음과 같은 두 가지 측면에서 의미를 가지고 있음.
 - 장치장에서의 재고수준 변화를 보다 구체적으로 접근.
 - 다양한 설명변수에 의하여 시간에 따른 장치장 재고수준 변화를 분석함으로써 장치장 소요 규모 산정시 보다 많은 정보를 제공.

2. 정책건의

- 장치장 소요규모 산정에 적용될 기준 물량은 장치장 재고수준 변화에 영향을 미치는 다양한 변수를 고려하여야 함.

연간 처리물동량이 같은 경우에도 입항 선박규모에 변화가 있으면 장치장에서의 시간별 재고수준변화에는 차이가 발생하며, 특히 선박이 대형화되면 선박별 작업량이 증가하여 일시에 많은 량의 컨테이너가 터미널에 장치되나, 연간 처리물동량에 의한 평균 개념에서는 이러한 선박별 작업량 변화에 따른 재고수준 변화를 예측할 수 없음.

- 장치장 소요 규모는 시간별 장치장 재고수준 변화를 분석한 후, 적정 운영여유를 고려하여 산정 해야 함.

안벽에서의 작업에 지장을 초래하지 않는 작업능력을 유지하기 위해서는 적정 수준의 운영여유를 고려하여 장치장 소요규모를 산정하여야 하는데, 운영여유는 일시적인 시점에서의 재고수준 기준보다는 장치장에서의 시간대별 재고수준 변화를 고려하여야 함. 그러기 위해서는 입항선박규모, 양적하 능력 등 터미널의 조건에 따른 시간대별 재고수준 변화를 분석하여 최대재고수준 및 최대재고수준 주위의 점유시간 등을 분석한 후, 적정 운영여유를 고려하여 장치장 소요 규모를 산정하여야 함.

제1장 서론

1. 연구 배경

컨테이너 터미널은 국가간 컨테이너 물류의 신속하고 효율적인 해상운송과 육송운송의 연결점으로서 하역 및 보관의 기능을 수행하는 항만 물류시스템이다. 컨테이너 터미널은 작업이 이루어지는 영역별로 크게 안벽, 장치장, 게이트로 나누어져 있다. 안벽에서는 수출입화물의 양적하 작업이 이루어지며, 장치장은 수출입 화물이 터미널에 양하 또는 반입된 후 본선에 적하 또는 게이트를 통해 반출 될 때까지 일시적으로 보관되는 공간이며, 게이트에서는 수출입화물의 반출입 작업이 이루어진다. 따라서 안벽에서의 양적하 작업, 장치장에서의 장치작업 및 게이트에서의 반출입 작업이 서로 균형을 이루어야 터미널 전체적으로 능력을 향상시킬 수 있다. 즉 장치장에서의 장치능력이 안벽에서의 양적하 능력보다 떨어지게 되면 안벽에서의 양적하 작업도 지연되기 때문에, 장치장에서의 장치작업 능력과 안벽에서의 양적하 능력은 균형을 이루어야 한다.

안벽에서의 양적하 능력은 컨테이너크레인의 설치대수를 늘려 증대시킬 수 있다. 그러나 장치장의 장치능력은 무료장치기간, 장치장 운영전략 등에 의해 어느 정도 개선이 가능하나 근본적으로는 장치장의 규모를 늘려야 가능하다.

최근 부산항의 경우 과거 컨테이너부두 선석당 컨테이너크레인이 2대 정도 설치되었으나, 선박대형화에 따라 컨테이너크레인 설치대수가 3대 이상으로 증가되어 안벽에서의 처리능력은 크게 증가하였다. 그러나 컨테이너 장치장의 장치능력은 장치장 제약으로 증가되지 못하고 있어 터미널 자체의 능력 향상에 큰 제약요인이 되고 있다.

더욱이 최근 건설계획중인 광양항 3단계 이후 부산신항터미널 등에서는 터미널 폭이 안벽에서 600m로 계획하고 있으나, 이 정도의 규모가 안벽 능력과 장치장 처리능력의 균형을 이룰 수 있는가의 여부에 대한 심층연

구가 이루어지지 못한 실정이다.

따라서 컨테이너터미널을 계획할 때 장치장의 소요규모를 안벽능력과 게이트 반출입율에 따라 추정할 수 있는 새로운 방식의 재고모형을 구축하여 향후 컨테이너터미널의 적정 장치장 규모 산정에 도움이 되고자 한다.

2. 연구 목적

장치장의 작업능력은 안벽에서의 양적하 능력과 균형을 이루어야 하는데, 장치장에서의 작업능력은 장치장에 장치되는 컨테이너의 물량과 장치장 규모, 장치장비 등에 따라 달라진다. 장치장에서 처리해야 할 물동량 규모에 비해서 장치장 규모가 상대적으로 적거나, 장치장비의 장치 단적수가 높으면 재작업 비율이 증가하여 작업이 지연되어 전체적으로 장치장에서의 작업 능력이 저하된다. 즉 장치장 작업 능력은 장치장에서 처리해야 할 물량과 장치장 규모에 따라 달라지기 때문에 장치장에서 처리해야 할 물량과 이에 따른 적정 규모의 장치장을 확보하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 장치장 소요 규모를 산정하는데 적용할 기준 물량 예측을 주요 목적으로 하고 있다. 장치장 소요 규모는 장치장에서의 물량 변화에 따라 이를 수용할 수 있어야 한다. 따라서 본 연구에서는 장치장에서의 시간별 재고수준 변화를 예측할 수 있는 재고모형을 구축하여, 장치장 소요 규모 산정에 적용될 기준 물량에 대한 정보를 제고하는 것을 목적으로 한다.

3. 연구 방법

재고수준은 선박도착과 게이트를 통한 컨테이너의 반출입에 의하여 변하는데, 특히 선박도착시점을 중심으로 변한다. 재고모형에서는 이러한 선박도착 및 컨테이너 반출입에 시간대별 재고수준 변화를 분석하였다. 재고모형은 수입화물 분석을 위한 K-1모형, 수출화물 분석을 위한 K-2모

형, 그리고 환적화물 분석을 위한 K-3모형으로 구분하여 구축한 후, 각 모형의 시간대별 재고수준을 종합하여 장치장의 재고수준을 분석하였다. K-1모형은 선박도착 후 양하가 이루어지는 순간에는 재고수준이 증가하고, 게이트를 통해 반출이 시작되면 재고수준이 감소한다. K-1모형에서 재고수준은 양하 생산성에 의하여 증가하고 수입화물의 무료장치기간 동안의 반출율에 의하여 감소한다.

K-2모형은 선박도착 전 컨테이너가 터미널에 반입되는 순간에는 재고수준이 증가되고 선박도착 후 적하가 이루어지는 순간에는 재고수준이 감소한다. K-2모형에서 재고수준은 수출화물의 무료장치기간 동안의 반입율에 의하여 증가하고, 적하 생산성에 의하여 감소한다.

K-3모형은 환적양하된 후, 이후 입항하는 선박에 환적적하될 때 까지의 재고수준 변화를 분석하였다. 이러한 각 모형에서의 시간대별로 재고수준 변화를 종합하여 장치장에서의 재고수준 변화를 분석하였다.

따라서 본 연구에서 구축한 재고모형에서는 이와 같은 장치장에서의 재고수준에 영향을 미치는 선박도착간격, 선박별 작업량, 안벽에서의 양적하 생산성, 화물별 장치기간 등을 설명변수로 하여 재고모형을 구축하였다. 재고수준은 선박도착간격에 따른 양적하 생산성과 화물별 무료장치기간동안의 반출입율에 따라 증감하고, 증감하는 정도는 각 설명변수의 크기에 따라 달라진다.

그리고 재고수준은 선박도착을 전후로 하여 반복되기 때문에 선박도착간격을 단위 주기로 하여 단위항차 단위로 재고모형을 구축하였다. 즉, 선박도착간격을 전후로 한 K-1모형, K-2모형, K-3모형의 재고수준변화를 언급한 설명변수에 의하여 종합적으로 표현하였다.

4. 주요 연구 내용

주요 연구 내용은 장치장 소요 규모 산정에 적용될 기준 물량을 제시하기 위하여 장치장 재고수준 변화를 예측할 수 있는 재고모형을 구축하

였다. 장치장에서의 재고수준 변화은 선박도착특성, 선박별 양적하 작업량, 양적하 생산성 및 게이트에서의 반출입을 등에 의하여 변하기 때문에, 이와 같은 설명변수들의 함수로 재고수준을 표현하여 재고수준 변화를 예측하였다. 그리고 국내 주요 터미널의 운영실적에 대해 조사 분석한 후, 이를 본 연구에서 구축한 재고모형에 대한 실증분석에 이용하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 장치장의 장치능력 구성요소를 기술하고 국내 주요 터미널의 장치장 능력을 조사하였다. 주요 터미널의 장치장 규모, 하역장비 및 계획당시의 장치장 규모 등을 조사하였다. 3장에서는 감만 4단계와 광양 1단계의 2000년 터미널 운영실적 조사를 하였다. 각 항만에서 각각 하나의 선석을 운영중인 4개 운영주체에 대한 연간 처리 물동량, 입항선박수, 선석점유율, 선박별 생산성에 대한 조사 후 각 항만간 및 터미널간 운영실적을 비교 분석하였다. 4장에서는 본 연구의 주요 내용인 장치장 재고모형을 구축하였다. 장치장 재고수준 변화를 수입화물, 수출화물 및 환적화물로 구분하여 각각의 시간대별 재고수준변화를 분석한 후 이들을 종합하여 장치장 재고수준을 분석하였다. 구축된 모형에 대해서 각 설명변수의 변화에 따른 민감도 분석과 3장에서 분석된 실적자료를 이용하여 실증분석을 실시하였다.

제2장 국내 컨테이너터미널의 장치장 현황

1. 장치장 능력 구성요소

장치장의 장치능력은 물리적인 측면과 운영적인 측면으로 나누어 생각할 수 있다. 물리적 장치능력은 장치장 면적과 장치장비의 장치단적수 등 장비 특성에 따라 결정된다. 따라서 장치장 면적이 장치능력을 결정하는 중요한 요소가 된다. 장치장은 컨테이너 장치를 위한 공간 외에 이동장비의 이동 공간, 외부트럭의 대기공간 등이 포함된다. 그러나 장치장 소요 규모를 산정할 때는 일차적으로 순수하게 컨테이너가 장치되는 공간만을 의미한다. 일반적으로 컨테이너가 장치되는 면적을 TGS(Twenty feet Ground Slot)로 1 TGS는 20' 컨테이너 1개가 차지하는 면적을 나타낸다.

따라서 본 연구에서도 기준 물동량과 장치장 규모 등을 언급할 때는 모두 TGS단위로 표현하기로 한다. TGS는 수평적인 측면에서의 장치장 면적을 나타내는데 반해 장치 단적수는 RMGC, RTGC, S/C 등 장치 장비의 특성에 따른 단적 수에 따라 결정된다. 따라서, 같은 TGS 규모에 대해서도 장치 단적수가 높은 장비를 설치하면 그만큼 장치능력이 향상되는 결과가 된다. 국내에 대부분의 컨테이너 터미널에는 대부분 4단 6열까지 장치 가능한 RTGC가 설치되어 있다.

따라서, 장치장의 TGS 규모와 장치장비의 장치가능한 단적수가 주어지면 식 (2.1)과 같이 물리적인 장치능력을 산정할 수 있다.

$$\text{물리적 장치능력} = \text{장치장 면적(TGS)} \times \text{장치 단적수} \quad (2.1)$$

따라서, 컨테이너 터미널 계획 수립시에는 가용가능한 부지 조건에서 안벽에서의 양적하 능력을 고려하여 충분한 TGS를 확보하는 것이 중요하다. 그리고 장치 단적수가 높은 장치장비를 설치하여 장치 능력을 높이

는 것도 중요하나, 한편으로는 단적수가 높음으로 인한 재작업 비율의 증가로 오히려 작업생산성이 저하될 우려가 있기 때문에 장치장 운영전략 등을 고려한 장치단적수를 설계하는 것이 중요하다. 또한, 장치 단적수가 증가하면 이를 고려한 토목 설계가 검토되어야 한다. 하중이 증가할수록 이에 따른 토목 공사비가 증가한다는 것도 단적수를 결정하는데 있어 유의하여야 할 사항이다.

운영적인 측면에서 장치장은 수출입 화물이 일정기간 장치되는 보관기능이 있기 때문에 각 화물이 장치장에 장치하는 기간에 따라 결과적으로 장치능력에 영향을 미친다. 즉, TGS 규모와 단적수에 따른 물리적인 장치능력 외에 장치기간의 장단에 따라 결과적으로 장치능력이 증감할 수 있으며, 장치기간이 짧으면 장치장 회전율이 증가하여 장치능력이 높아지나 반대로 장치기간이 길면 장치장 회전율이 감소하여 장치능력이 낮아진다. 화주가 터미널로부터 컨테이너를 반출입하는 일정은 각 터미널이 화물별로 허용하고 있는 무료장치기간에 따라 달라진다. 따라서 터미널이 장치장 운영 전략상 허용하는 화물별 무료장치기간이 운영측면에서 장치장 능력을 결정하는 요인이 된다. 또한, 무료장치기간을 초과하는 기간에 대해서는 일정액의 초과 부담금이 부과되기 때문에 화주는 생산계획과 터미널이 허용하는 무료장치기간을 고려하여 컨테이너를 반출입한다.

물리적인 장치능력에 대해서 무료장치기간을 고려한 장치능력은 다음과 같다.

$$\text{장치능력} = f(\text{장치장 면적(TGS)}, \text{장치단적수}, \text{장치기간}) \quad (2.2)$$

식(2.1)과 같이 정의된 물리적 장치능력은 한 순간(예를 들면 1일 동안)에 장치장에 장치할 수 있는 장치능력을 나타내고, 식(2.2)는 무료장치기간동안 장치할 수 있는 능력을 나타낸다. 따라서 같은 장치장 면적에 대해서도 적용하는 무료장치기간에 따라 장치능력은 달라진다.

이와 같이 장치장의 장치능력은 장치장 규모, 장치 단적수 및 무료장치간 외에도 장치장 운영전략에 따라 달라진다. 즉, 수출입 화물과 환적 화물의 구성비율에 따라 장치장에서의 화물별 장치 전략을 달리할 수 있으며, 환적 화물의 비율이 높은 경우와 수출입 화물의 비율이 높은 경우 각각에 따라 장치전략은 달라져야 한다.

식 (2.2)는 장치기간까지 고려한 물리적 장치능력을 나타내고 있다. 그러나 터미널의 운영상 식 (2.2)와 같은 능력을 고려하여 장치전략을 수립하는 것은 재작업비율이 증가하고 장치장의 여유 공간이 부족하여 결과적으로 터미널 능력이 저하되어 터미널 운영효율이 낮아진다.

2. 국내 컨테이너 터미널의 장치장 규모

1) 현대 컨테이너터미널(HBCT)

HBCT는 총면적 195,889평(647,566㎡)에 5만톤급 대형선 4척과 1만톤급 피더선 1척이 동시에 접안 할 수 있는 길이 1,477m의 부두안벽을 소유하고 있다. 야드에는 29,885TEU를 동시에 보관할 수 있는 컨테이너 장치장과 17,000톤을 동시에 보관할 수 있는 7,600평(25,199㎡) 면적의 화물 집하 창고 3개소를 갖추고 있다. 그리고, 내륙지역 컨테이너 화물을 대량으로 수송 할 수 있는 철도시설을 갖추고 있으며, RMGC를 이용하여 하역 및 본선작업과 연계된 신속한 하역 작업을 수행하고 있는 동시에, 냉동 컨테이너를 위한 512개의 접속장치를 보유하고 있다. 한편, 위험물 컨테이너를 위한 별도의 위험화물 장치 구역을 설정하여 264TEU의 위험물 컨테이너 저장이 가능하며, 하역장비의 수리 및 예방점검을 위하여 708평(2,342㎡)의 정비공장을 보유하고 있다. 현대자성대 컨테이너터미널의 시설 현황을 요약하면 <표 2-1>과 같다.

<표 2-1> 현대 컨테이너터미널의 장치장 시설 현황

구 분	규 모	비 고
면 적	195,889평(647,566㎡)	<ul style="list-style-type: none"> · 5부두 : '78년 개장 · 6부두 : '83년 개장 · 65번 선석 : '96. 9 개장
안 벽	1,447m	<ul style="list-style-type: none"> · 5만톤급 : 4척 · 1만톤급 : 1척 · 전면수심 : 12.5m · 전면수심 : 10.0m
컨테이너 장치장	119,297평	<ul style="list-style-type: none"> · 29,885TEU 장치 가능 · 644TEU(냉동컨테이너) · 장치장면적비율 : 0.9%
CFS	7,958평(3동)	-
정비공장	708평(3동)	-
건물	13동(1,149평)	-
철도인입선	820m(2차선)	45량 동시 수용

2) 신선대 컨테이너터미널(PECT)

1991년 6월 운영을 시작한 신선대 컨테이너터미널은 총 1,038,579㎡의 면적에 안벽은 1.2km로 총 4개 선석을 보유하고 있다. 또한, 전면수심은 14~15m로 5만톤급 선박이 정박하기에 충분한 수심을 보유하고 있다. 냉동컨테이너 리셉터클 570개를 포함한 컨테이너 장치장 면적은 711,782㎡이며, CFS면적 229,200㎡ 보유하고 있다. <표 2-2>에 시설현황을 요약하여 나타내었다.

전체적으로 볼 때 신선대부두는 현대자성대부두에 비해 상당히 넓은 터미널 면적을 보유하고 있는 것으로 분석된다.

<표 2-2> 신선대 컨테이너터미널의 시설 현황

구 분	규 모	비 고
면 적	1,038,579㎡(315천평)	
안 벽	1,200m	· 선석수 : 4선석 · 전면수심 : 14m~15m
컨테이너 장치장	711,782㎡(215천평)	· 냉동컨테이너 : 570van · 장치장면적비율 : 68.5%
CFS	229,200㎡(69천평)	
철송영역	28,324㎡(8천평)	
부대시설	69,228㎡(21천평)	

3) 우암 컨테이너터미널(UTC)

우암 터미널주식회사(UTC)는 급격히 증가하는 부산항의 컨테이너 물동량을 원활히 처리하기 위해 1996년 3월 20일에 고려종합운수주식회사와 동성실업주식회사가 공동 출자하여 설립한 최초의 민영 컨테이너 전용터미널이다. 총 면적은 156,500㎡이며 안벽길이는 500m, 컨테이너 장치장은 2,292TGS를 보유하고 있으며, <표 2-3>에 시설현황을 나타내었다. 부산항 제 7부두와 인접해안을 매립·축조하여 조성된 5만 여평의 컨테이너 장치장과 300m, 200m 길이의 2개 선석, 최신 하역장비와 컨테이너의 모든 작업을 제어하고 관리하는 첨단 전산운영시스템을 갖추어 터미널의 효율성을 극대화하고 있다. 민간기업의 경영기법과 360개의 Reefer Receptacle, 통관시간 단축을 제공하는 부두 직통관 관련 시설, 각종 장비의 예방점검 및 신속한 고장수리가 가능한 정비공장 등을 통해 터미널 이용고객에게 서비스를 제공하고 있다.

<표 2-3> 우암 컨테이너터미널의 시설 현황

구 분	규 모	비 고
면 적	184천㎡(54천평)	
안 벽	500m	· 전면수심 : 11m
컨테이너 장치장	2,292TGS	
하역능력	30만TEU	
접안능력	2만톤급 1척, 5천톤급 2척	
부지면적 - CY면적 - 건물면적 - CFS	120천㎡(36.3천평) 5천㎡(1.6천평)	· 냉동컨테이너 : 360unit · 장치장 면적비율 : 67.2%
주요하역장비	C/C 4기, T/C 10기, R/S 1대, Y/T 17대, F/L 2대, 샤프시 28대	

4) 감만 4단계 컨테이너터미널

감만 부두는 현대, 대한통운, 한진, (주)세방이 각각 5만톤 한 선석을 상호 배타적으로 운영중이다. 감만 부두 계획 당시에 수립한 부두 현황은 <표 2-4>와 같다.

<표 2-4> 감만 컨테이너터미널의 시설 현황

구 분	규 모	비 고
안 벽	1,400m	
전면수심	-15m	
하역능력	120만TEU	
접안능력	5만톤급 4척	
부지면적 - CY 면적 - 건물 면적 - CFS	750천㎡(227천평) 336천㎡(102천평) 16천㎡(4.8천평) 1동 8.4천㎡	· 장치장 면적비율 : 44.8%
철도수송인입선	1,032m	
주요하역장비	C/C 12기, T/C 34기, R/S 11대, Y/T 73대, F/L(야드용 포함) 9대, 샤시 196대	

또한, 감만 부두 4개 터미널의 계획 수립시 적용한 장치장 소요 규모는 <표2-5>와 같다.

<표 2-5> 감만부두 터미널별 장치장 소요 규모(계획)

구 분	물동량(TEU)	평균 장치일수(일)	평균 단적수(단)	소요 TGS
수출적일반	520,986	3.5	3.0	1,665.3
수출공일반	87,813	3.5	4.0	210.5
수출냉동	4,572	3.5	1.5	29.2
수출비규격	15,793	3.5	1.5	101.0
수입냉일반	365,611	6.5	2.5	2,604.4
수입공일반	64,545	6.5	3.0	383.1
수입 냉동	16,313	6.5	1.5	193.7
수입비규격	11,807	6.5	1.5	140.2
이 선 적	48,000	7.0	3.0	306.8
위 험 물	16,560	1.0	1.0	45.4
재유통공	52,159	10.0	4.0	357.3
계				

자료: 부산항 4단계 개발실시설계(해운항만청, 1993.12), pp.398

주) 120만 TEU 처리 기준

위 표에서 화물별 소요 TGS 규모는 화물별 예측 물동량을 평균 장치 기간에 따른 회전율로 나누어 이를 다시 평균 장치단적수로 나누어 계산한 결과이다.

$$\text{소요 TGS 규모} = \frac{\text{예측 물동량} \times \text{평균 장치기간}}{365 \times \text{평균 단적수}} \quad (2.3)$$

4선석에서 연간 120만 TEU를 처리한다는 기준에서 총 6,036.8TGS가 소요되고 여기에 피크계수 1.3, 분리계수 1.2를 고려하면 총 9,417TGS(선석당 기준 약 2,354TGS)가 소요된다. 이와 같은 장치장 소요 규모를 화물별 물동량 비율에 의한 평균장치일수와 평균장치단적수에 대한 가중 평균은 각각 5.0일, 2.9단이 된다. 위와 같은 장치장 소요 규모에 근거하여 터미널 평면배치 및 운영여유를 고려한 결과 선석별 장치장 TGS 규모는 2,532TGS이다(부산항 4단계 개발실시설계(해운항만청, 1993.12)).

그러나, 터미널 별로 운항하는 선사, 선사별 물동량에 따른 우선권 부여, 화물별 장치허용 기간에 따라 실질적인 장치장 능력은 서로 다를 수 있다. 화물별 무료장치기간은 서로 다르게 적용하고 있으며, 선사별로도 무료장치기간을 차별화하고 있다. 즉, 주요 선사에 대해서는 일정량의 On-dock 물량을 인정하여 일정량에 대해서는 무료장치기간 기준을 적용하지 않고 장치하는 것을 허용하고 있다. 그러나 일정 물량 이상에 대해서는 무료장치기간을 적용하여 부담금을 부담하고 있다.

5) 광양 1단계 컨테이너터미널

광양항 1단계 컨테이너 부두는 감만 부두와 같은 4개 운영사가 운영하고 있다. 광양항 4개 터미널 계획 수립시 시설 규모는 <표 2-6>과 같다.

<표 2-6> 광양항 1단계 컨테이너터미널의 시설 현황

구 분	규 모	비 고
안 벽	1,400 m	
전면수심	15 m	
하역능력	96만 TEU	
접안능력	5만톤급 4척	
부지면적 - CY 면적 - 건물 면적 - CFS	840천 m ² (254천평) 500천 m ² (151천평) 36천 m ² (10.9천평) 4동 21천 m ²	· 장치장 면적비율 : 59.5%
철도수송인입선	1,040 m	
주요하역장비	C/C 8기, T/C 16기, R/S 7대, Y/T 44대, F/L(야드용 포함) 7대, 샤프시 282대	

또한, 광양 1단계 터미널의 계획 수립시 적용한 장치장 소요 규모는 다음과 같다.

<표 2-7> 광양항 터미널별 장치장 소요 규모(계획)

종류별	물동량(TEU)	평균 장치일수(일)	평균 단적수(단)	소요 TGS
수출적컨(일반)	111,605	5.0	3.5	436.8
수출공(일반)	17,441	5.0	4.0	59.7
수출냉동컨	1,599	5.0	1.0	21.9
수출비규격	3,354	5.0	1.5	30.6
수입적컨(일반)	103,970	7.0	2.5	797.6
수입공컨(일반)	11,146	7.0	3.0	71.3
수입냉동컨	3,200	7.0	1.0	61.4
수입비규격컨	3,666	7.0	1.5	46.9
환적컨	21,000	10.0	3.5	164.4
위험물컨	2,019	1.0	1.0	5.5
재유통공	29,807	10.0	4.0	204.2
합계	308,807			1,900.3

자료: 광양항 1단계 개발실시설계(한국컨테이너부두공단, 1993.5), pp.255, 271
 주) 30만 TEU 처리 기준

즉, 선석당 연간 30만TEU를 처리한다는 기준에서 총 1,900.3TGS가 소요되고 여기에 피크계수 1.3, 분리계수 1.2를 곱하면 총 2,964TGS가 소요된다. 이와 같은 장치장 소요 규모를 화물별 물동량 비율에 의한 평균장치일수와 평균장치단적수에 대한 가중 평균은 각각 6.6일, 3.1단이 된다. 위와 같은 장치장 소요 규모에 근거하여 터미널 평면배치 및 운영여유를 고려한 결과 선석별 장치장 TGS 규모는 현재 운영중인 터미널 평면도를 기준으로 3,696TGS이다.

제3장 국내 컨테이너 터미널 운영실적 분석

1. 터미널 운영실적

1) 감만 4단계 컨테이너터미널

(1) 터미널별 물동량

2000년 감만 4단계의 터미널별 처리 실적은 <표 3-1>과 같다. 세방기업은 276천BOX, 한진해운은 328천BOX, 현대상선은 287천BOX, 그리고 대한통운은 298천BOX를 처리하여 4개 터미널에서 총 1,188천BOX를 처리하였다. 이는 감만 4단계에서는 선석당 평균 297천BOX를 처리한 것이다.

<표 3-1>

감만 4단계 터미널별 물동량 실적(2000년)

단위 : BOX

구 분			세방기업	한진해운	현대상선	대한통운	계	총계
수입	20'	적	31,124	24,198	26,280	34,835	116,437	460,834
		공	25,296	21,183	13,836	17,775	78,090	
	40'	적	29,889	42,405	46,338	48,233	166,865	
		공	18,553	34,908	26,820	19,161	99,442	
수출	20'	적	41,376	47,095	34,630	50,268	173,369	458,809
		공	3,313	2,317	330	2,727	8,687	
	40'	적	47,932	61,981	69,030	70,293	249,236	
		공	8,761	6,826	4,084	7,846	27,517	
T/S	20'	적	26,020	31,513	19,256	16,673	93,462	268,826
		공	2,500	411	195	75	3,181	
	40'	적	38,332	53769	45,462	29,251	166,814	
		공	2,876	1195	574	724	5,369	
계	20'		473,226	129,629	126,717	94,527	122,353	1,188,469
	40'		715,243	146,343	201,084	192,308	175,508	
	적		214,673	260,961	240,996	249,553	966,183	1,188,469
	공		61,299	66,840	45,839	48,308	222,286	
총계			275,972	327,801	286,835	297,861	1,188,469	-

이와 같은 BOX 단위의 물동량을 20'와 40'의 구성 비율에 의한 환산계수는 세방기업이 1.53, 한진해운 1.61, 현대상선 1.67, 대한통운 1.59로 감만 4단계의 평균 환산계수는 1.60으로 나타났으며, 20'단위로 치환한 터미널별 수출입 화물별 물동량은 <표 3-2>과 같다.

<표 3-2> 감만 4단계 터미널별 화물별 실적(2000년)

단위 : TEU

구분	세방기업	한진해운	현대상선	대한통운	계
수입	153,304	200,007	186,432	187,398	727,141
수출	158,075	187,026	181,188	209,273	735,562
환적	110,936	141,852	111,523	76,698	441,009
계	422,315	528,885	479,143	473,369	1,903,712
환산계수	1.53	1.61	1.67	1.59	1.60

감만 4단계의 총 물동량은 1,903,712TEU로써 선석당 평균 물동량은 약 476천TEU이다. 그리고 감만 4단계의 화물별 구성비율을 살펴보면 <표 3-3>과 같고, 수입화물과 수출화물이 전체 물동량 중 각각 38.2%, 38.7%를 차지하고 있으며 환적화물은 23.1%를 차지하고 있다. 터미널별 환적화물 구성비율은 한진해운 27%, 세방기업 26%, 현대상선 23%로 각각 비슷하였으나 대한통운이 16%로 제일 적었다.

<표 3-3> 감만 4단계 화물별 구성비율

단위 : %

구분	세방기업	한진해운	현대상선	대한통운	평균
수입	36	38	39	40	38.2
수출	37	35	38	44	38.7
환적	26	27	23	16	23.1

(2) 터미널별 입항 선박 현황

터미널별 연간 처리 물동량을 처리하기 위해 입항한 선박 척수, 척당 작업량, 척당 접안시간을 살펴보면 <표 3-4>와 같다. 먼저 가장 많이 처리한 한진해운의 경우 총 237척이 입항하여 선박당 작업량은 1,383 BOX이고 가장 적게 처리한 세방기업의 경우는 총 426척의 선박이 입항하여 선박당 648BOX를 처리하여, 선박별 작업량 규모에 있어서는 한진해운이 제일 크고, 대한통운이 제일 적었다.

<표 3-4> 감만 4단계 터미널별 선박별 선박 규모(2000년)

구분	입항척수(척)	척당 작업량(BOX)	척당 접안시간(hr)	척당 생산성(Box/hr)
대한통운	477	624	11.50	54.32
한진해운	237	1,383	22.17	62.38
현대상선	297	966	14.32	67.45
세방기업	426	648	11.44	56.64

척당 접안시간은 한진해운이 22.17시간으로 제일 길고, 현대상선 14.32시간, 대한통운 11.50시간, 세방기업 11.44시간로 나타났다. 이는 한진해운에 입항하는 선박의 규모가 다른 터미널에 입항하는 선박보다 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 선박 접안시간당 생산성은 현대상선이 67.45BOX로 제일 높고, 한진해운 62.45BOX, 세방기업 56.64BOX, 대한통운이 54.32BOX로 나타났다.

(3) C/C 생산성

척당 접안시간과 선박시간당 생산성에 의하여 터미널별로 설치된 C/C 대수에 의하여 계산한 C/C 시간당 생산성을 분석하면 <표 3-5>와 같으며, 현대상선이 22.48BOX로 제일 높고, 한진해운 20.79BOX 그리고 대한통운이 18.11BOX로 제일 낮다.

<표 3-5>

감만 4단계 터미널별 C/C 생산성(2000년)

단위 : BOX

구 분	척당 접안시간	척당 생산성	C/C 생산성
대한통운	11.50	54.32	18.11
한진해운	22.17	62.38	20.79
현대상선	14.32	67.45	22.48
세방기업	11.44	56.64	18.88

(4) 선석 점유율

터미널별 물동량을 처리하기 위한 선석 점유율에 있어서는 대한통운이 62.5%로 가장 높고, 현대상선이 48.5%로 가장 낮으나, 연간 처리 물동량에 있어서는 한진해운이 328천BOX로 가장 많고, 세방기업이 276천BOX로 가장 적다. 이는 일반적으로 선석 점유율이 높으면 연간 처리 실적도 높다는 사실과는 거리가 있는 결과이다. 이는 같은 규모의 터미널에 있어서도 규모가 적은 선박이 상대적으로 많이 입항하는 터미널의 경우에는 선박 이접안 소요시간이 선석 점유시간에 포함되고, 또한 안벽에서의 작업 생산성이 대규모 선박에 비해서 떨어져 선박별 작업량 대비 상대적 작업 시간이 증가하는 것에 의해서도 기인한다.

<표 3-6> 감만 4단계 터미널별 선박입항 현황(2000년)

구분	물동량(TEU)	선석점유율(%)
대한통운	473,369	62.5
한진해운	528,885	59.82
현대상선	479,143	48.50
세방기업	422,315	61.48

따라서 감만 4단계에서 처리 물동량 측면에서는 한진해운이 529천 TEU로 가장 많이 처리하였으나, C/C 생산성에서는 현대상선이 시간당 22.48BOX로 가장 효율적으로 터미널을 운영하였다. 그리고 선석 점유율에 있어서는 <표 3-6>에 나타난 바와 같이 대한통운이 62.5%로 가장 높으나 처리 물동량에 있어서는 선석 점유율 59.82%인 한진해운보다 적다.

2) 광양 1단계 컨테이너터미널

(1) 터미널별 물동량

광양 1단계 터미널별 2000년 운영실적을 살펴보면 <표 3-7>과 같으며, 세방기업 94천 BOX, 한진해운 85천BOX, 현대상선 91천BOX, 대한통운 153천BOX를 처리하여 4개 터미널에서 총 423천BOX를 처리하였다. 이는 선석당 평균 106천BOX를 처리한 것이다.

<표 3-7>

광양 1단계 터미널별 물동량 실적(2000년)

단위 : BOX

구 분			세방기업	한진해운	현대상선	대한통운	계	총계
수입	20'	적	3,220	6,384	3,096	4,260	16,960	187,962
		공	22,459	20,327	15,674	13,908	72,368	
	40'	적	6,501	7,419	21,244	23,730	58,894	
		공	9,882	5,049	7,288	17,521	39,740	
수출	20'	적	30,233	29,918	18,509	18,634	97,294	182,174
		공	297	346	197	185	1,025	
	40'	적	17,117	7,659	23,490	28,193	76,459	
		공	961	1,480	1,218	3,737	7,396	
환적	20'	적	915	5,231	15	13,579	19,740	53,292
		공	-	-	-	200	200	
	40'	적	2,755	1,532	151	26,461	30,899	
		공	-	-	-	2,453	2,453	
계	20'		207,587	57,124	62,206	37,491	50,766	423,428
	40'		215,841	37,216	23,139	53,391	102,095	
	적		60,741	58,143	66,505	114,857	300,246	423,428
	공		33,599	27,202	24,377	38,004	123,182	
	계		94,340	85,345	90,882	152,861	423,428	-

이와 같은 BOX 단위의 물동량을 20'와 40'의 구성 비율에 의한 환산계수는 세방기업이 1.39, 한진해운 1.27, 현대상선 1.59, 대한통운 1.67로 감만 4단계의 평균 환산계수는 1.51으로 나타났으며, 20'단위로 치환한 터미널별 수출입 화물별 물동량은 <표 3-8>과 같다.

<표 3-8> 광양 1단계 터미널별 화물별 실적(2000년)

단위 : TEU

구분	세방기업	한진해운	현대상선	대한통운	계
수입	58,445	51,647	75,834	100,670	286,596
수출	66,686	48,542	68,122	82,679	266,029
환적	6,425	8,295	317	71,607	86,644
계	131,556	108,484	144,273	254,956	639,269
환산계수	1.39	1.27	1.59	1.67	1.51

광양 1단계의 총 물동량은 639,269TEU로서 선박당 평균 물동량은 약 160천TEU이다. 그리고 화물별 구성비율을 살펴보면 수입화물과 수출화물이 각각 46%, 44%를 차지하고 있으며 환적화물이 10%를 차지하고 있으며, 대한통운을 제외한 나머지 3개 터미널에서는 환적화물 비율이 1% 미만으로 아주 미미함을 알 수 있다.

<표 3-9> 광양 1단계 화물별 구성비율

단위 : %

구분	세방기업	한진해운	현대상선	대한통운	평균
수입	44	48	53	39	46
수출	51	45	47	32	43.8
환적	5	8	0	28	10.2

(2) 터미널별 입항 선박 현황

터미널별 연간 처리 물동량에 대해서 입항 선박 척수, 척당 작업량, 척당 접안시간을 살펴보면 <표 3-10>과 같다. 먼저 가장 많이 처리한 세방기업의 경우 총 739척이 입항하여 선박당 작업량은 127BOX이다. 그리고 가장 적게 처리한 현대상선의 경우 총 325척의 선박이 입항하여 선박당 283BOX를 처리하였다. 그리고 선박별 작업량 규모에 있어서는 대한통운이 가장 크고, 세방기업이 가장 적다.

<표 3-10> 광양 1단계 터미널별 선박입항 현황(2000년)

구분	입항척수(척)	척당 작업량(BOX)	척당접안시간(Hour)	척당생산성(BOX)
대한통운	451	341	7.4	46.08
한진해운	540	158	6.0	26.33
현대상선	325	283	6.8	41.61
세방기업	739	127	4.8	26.45

척당 접안 시간은 대한통운이 7.4시간으로 제일 많고, 현대상선은 6.8시간, 한진해운 6.0시간 그리고 세방기업이 4.8시간으로 제일 적다. 또한 이를 척당 작업량과 비교한 선박당 생산성 측면에서는 대한통운이 시간당 46.08BOX로 제일 높고, 한진해운이 26.33BOX로 제일 낮다.

(3) C/C 생산성

선박접안 시간과 선박시간당 생산성에 의하여 터미널별로 설치된 C/C 대수에 따른 C/C 시간당 생산성은 <표 3-11>과 같이 한진해운과 세방기업이 각각 13.17BOX, 13.23BOX로 낮고 현대상선 20.81BOX 대한통운 23.04BOX로 나타났다.

<표 3-11>

광양 1단계 터미널별 C/C 생산성(2000년)

단위 : BOX

구분	척당접안시간	척당생산성	C/C 생산성
대한통운	7.4	46.08	23.04
한진해운	6.0	26.33	13.17
현대상선	6.8	41.61	20.81
세방기업	4.8	26.45	13.23

(4) 선석점유율

터미널별 물동량을 처리하기 위한 선석 점유율에 있어서는 <표 3-12>에서처럼 세방기업이 40.6%, 대한통운이 37.4%, 한진해운이 36.4%로 나타났으며 현대상선이 24.8%로 제일 낮다. 특히 연간 처리 물동량에 있어서는 대한통운이 선석 점유율이 가장 낮은 세방기업보다는 1.6배 많다. 이는 광양 1단계 터미널에서도 세방기업의 입항 선박 규모가 적음을 알 수 있다.

<표3-12>

광양 1단계 터미널별 선박입항 현황(2000년)

구분	물동량(TEU)	선석점유율(%)
대한통운	254,956	37.4
한진해운	108,484	36.4
현대상선	144,273	24.8
세방기업	131,556	40.6

따라서 광양 1단계에서 처리 물동량 측면에서는 대한통운이 255천 TEU로 가장 많이 처리하였으나 C/C 생산성 측면에서는 대한통운이 시간당 23.04 BOX로 제일 높았다. 그러나 선석 점유율에 있어서는 세방기업이 40.6%로 제일 높았다.

2. 장치장 운영실적

2절에서는 감만 4단계 4개 터미널과 광양 1단계 4개 터미널에 대한 장치장 규모, 화물별 무료장치기간 및 각 컨테이너의 장치기간 분포를 조사하였다. 각 컨테이너 터미널이 허용하는 화물별 무료장치기간에 따라 화주가 터미널에 반출입하는 특성이 달라지기 때문에 실제로 각 터미널이 적용하고있는 화물별 무료 장치기간이 각 컨테이너의 장치기간 분포에 중요한 영향을 미친다.

1) 감만 4단계

(1) 화물별 무료장치기간

터미널 개발계획 수립시에는 화물별 평균장치일수를 기준으로 하여 장치장 소요 규모를 산정하였다. 수출 화물의 평균 장치기간 3.5일을 적용하였고 수입화물의 평균장치기간은 6.5일을 적용하였다. 그리고 이선적, 위험물, 재유통 각각의 평균장치기간은 각각 7일, 1일, 10일을 적용하였다. 그러나 각 터미널이 완료된 후 각 터미널이 적용하고 있는 화물별 무료장치기간은 <표 3-13>과 같다. 즉 감만 4단계는 터미널별 구분없이 수출 3일, 수입 4일, 환적 7일의 무료장치기간을 허용하고 있다.

<표 3-13>

항만별 무료장치기간 신고일수

구분	수출	수입	환적
감만 4단계	3	4	7

주) 터미널 운영 기준

(2) 장치기간 분포

감만 4단계 현대상선과 세방기업이 적용하고 있는 화물별 무료장치기간에 대해서 실제 각 컨테이너가 터미널에 장치되는 분포를 조사하였으며, <표 3-14>에 나타내었다. 장치기간은 수입 컨테이너가 선박으로부터 양하된 후 반출되기까지의 터미널내 장치일수 분포와 수출 컨테이너가 터미널에 반입되어 선박에 적하될 때까지의 터미널내 장치일수 분포 및 환적화물이 터미널에 반입(양하 포함)된후 다시 선박에 적하(타부두 반출 포함)될때까지의 장치기간을 나타낸다. 현대상선의 화물별 무료장치기간은 무료장치기간 3일을 적용하고 있는 수입화물의 터미널내 평균 장치일수 2.8일로 나타났으며, 무료장치기간 4일을 적용하는 수출화물의 터미널내 평균장치일수는 2.0일로 나타났다. 그리고 무료장치기간 7일을 허용하는 환적화물의 평균장치일수는 2.4일이며, 이를 화물별 구성비율에 따라 계산한 평균장치일수는 2.41일로 나타났다.

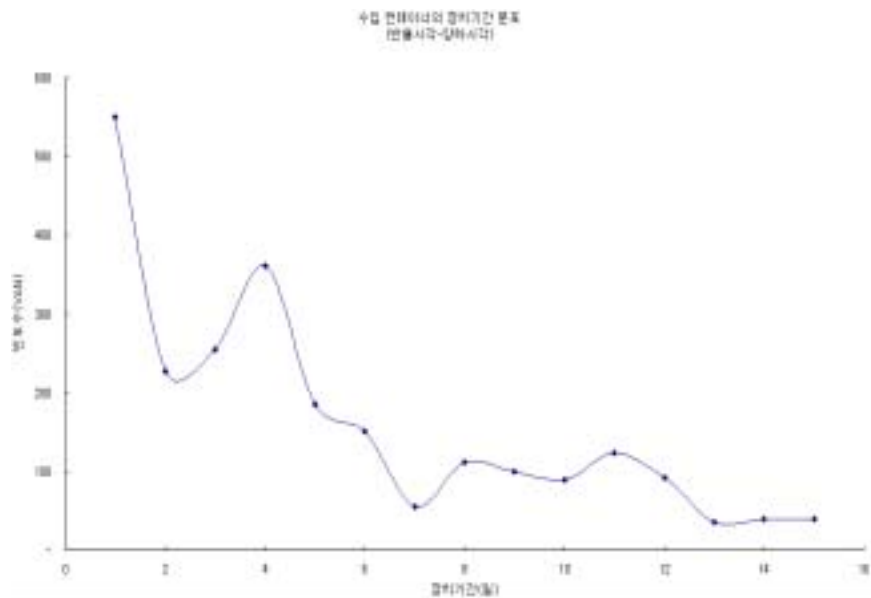
<표 3-14>

화물별 평균장치기간(감만 4단계 현대상선)

구분	평균장치기간
수입	2.8일
수출	2.0일
환적	2.4일

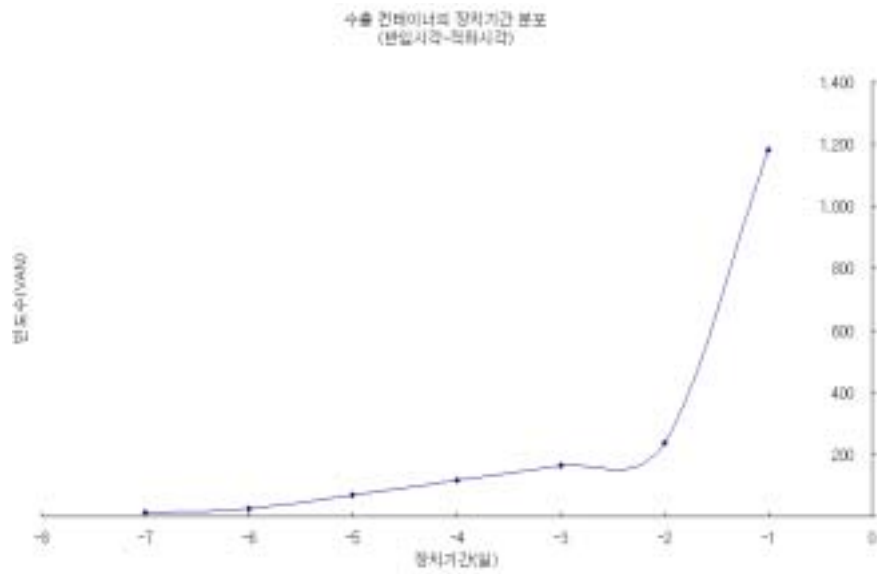
<그림 3-1>은 수입하물이 선박으로부터 양하된 후 반출되기까지 터미널 내에서 장치되는 기간을 구체적으로 나타내고 있는데, 선박도착시점을 중심으로 집중적으로 터미널에 반입되고 있음을 알 수 있다.

<그림 3-1> 수입 화물의 일별 반출 현황(감만 현대상선)



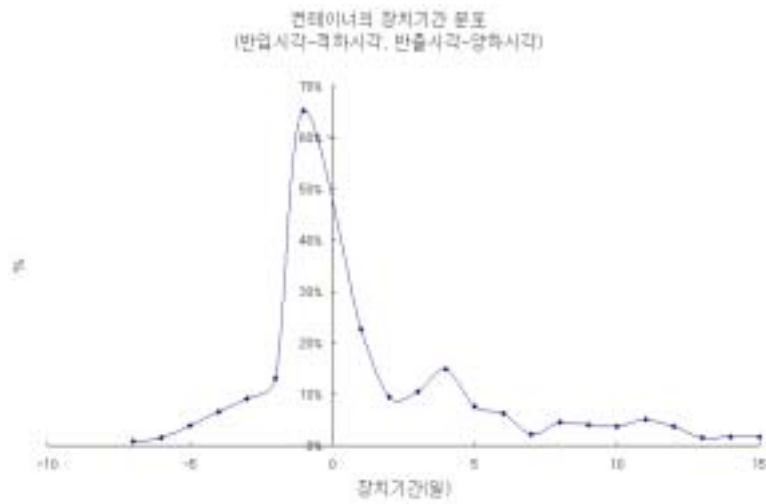
그리고 <그림 3-2>는 수출화물의 터미널내 반입현황을 나타내고 있는데, 선박으로 양하된 직후에 집중적으로 반출되기 시작하여 시간이 지남에 따라 일별 반출율이 현저히 떨어지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 현대상선의 수출입 화물의 터미널내 장치기간 분포는 선박도착시각을 중심으로 터미널로부터 반출입된다는 것을 알 수 있다.

<그림 3-2> 수출화물의 일별 반입 현황(감만 현대상선)

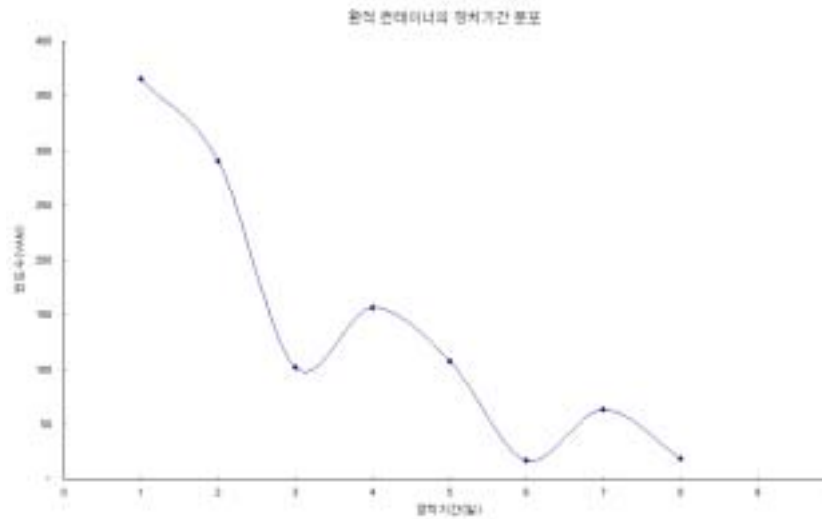


그리고 다음 <그림 3-3>은 수입 컨테이너가 선박으로부터 양하된 후 반출될때까지의 장치기간과 수출 컨테이너가 반입된 후 선박에 적하될 때까지의장치기간을 선박 도착시점을 중심으로 나타내고 있다. 수출입 화물 모두 선박도착시점을 중심으로 터미널로부터 반출입되고 있음을 알 수 있다. <그림 3-4>는 환적화물의 일별 반출입 현황을 나타낸다.

<그림 3-3> 수출입화물의 일별 반출입 현황(감만 현대상선)



<그림 3-4> 환적화물의 일별 반출입 현황(감만 현대상선)



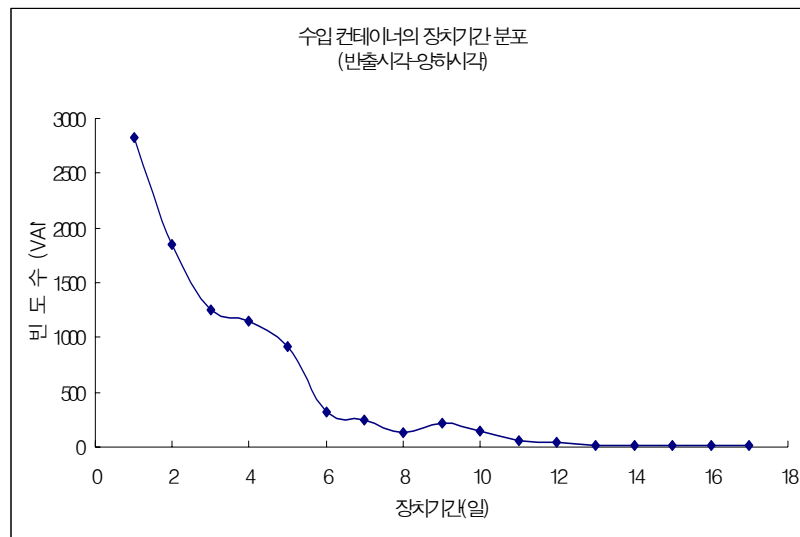
그리고 세방기업의 경우에는 수입화물의 평균 장치기간이 2.93일, 수출화물의 평균장치기간이 1.95일로 나타났으며 환적화물은 2.19일로 나타났으며 화물별 구성비율에 따른 평균장치기간은 2.38일로 나타났다.

<표 3-15> 화물별 평균장치기간(감만 4단계 세방기업)

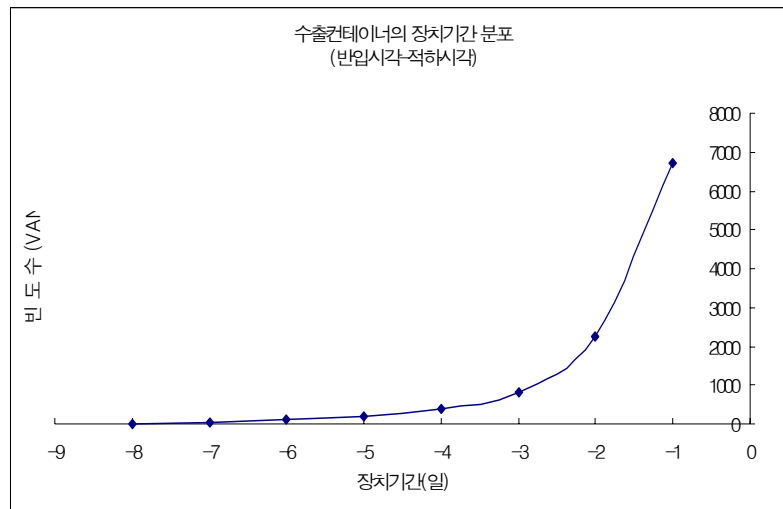
구분	평균장치기간
수입	2.93 일
수출	1.95 일
환적	2.19 일

화물별 구체적인 장치기간분포는 각각 <그림 3-5,6,7>과 같다.

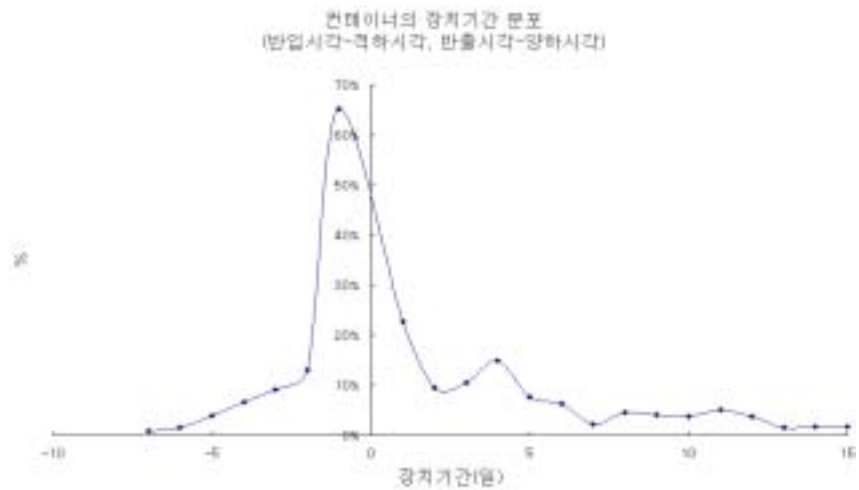
<그림 3-5> 수입 화물의 일별 반출 현황(감만 세방기업)



<그림 3-6> 수출화물의 일별 반입현황(감만 세방기업)

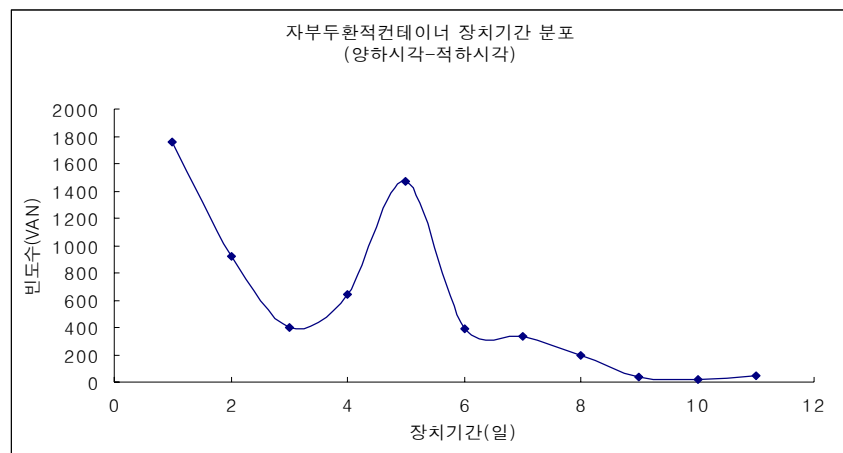


<그림 3-7> 수출입 화물의 일별 반출입 현황 (감만 세방기업)



<그림 3-7>을 보면 수입화물은 선박으로부터 양하된 후 비교적 완만하게 장치간에 걸쳐서 반출되고 있으나 수출화물의 경우에는 선박도착시점 직전에 특히 집중되어 반입되고 있음을 알 수 있다.

<그림 3-8> **환적 화물의 장치기간 현황 (감만 세방기업)**



2) 광양 1단계

(1) 화물별 무료장치기간

터미널 개발계획 수립시에는 화물별 평균장치일수를 기준으로 하여 장치장 소요 규모를 산정하였다. 계획 수립시 수출 화물의 평균 장치기간은 5일을 적용하였고, 수입화물의 평균장치기간은 7일을 적용하였다. 그리고 환적, 위험물, 재유통 각각의 평균장치기간은 각각 10일, 1일, 10일을 적용하였다. 그러나 각 터미널이 완료된 후 각 터미널이 적용하고 있는 터미널별 무료장치기간은 <표 3-16>과 같다. 즉, 광양 1단계는 화물별 구분 없이, 터미널별로 각각 무료장치기간을 적용하고 있는데, 현대상선은 14일 그리고 나머지 3개 터미널은 각각 21일을 적용하고 있다.

<표 3-16>

무료장치기간 신고일수

구 분		수출	수입	환적
광양 1단계	대한통운 한진해운 세방기업	21일	21일	21일
	현대상선	14일	14일	14일

주) 터미널 운영 기준

(2) 장치기간 분포

광양 1단계 현대상선과 대한통운이 적용하고 있는 화물별 무료장치기간에 대해서 실제 각 컨테이너가 터미널에 장치되는 분포를 조사하였다. 각 터미널별로 컨테이너가 장치장에 장치되는 기간에 대한 실적자료를 분석한 결과는 다음과 같다. 먼저 모든 화물에 대해서 무료장치기간 21일을 적용하고 있는 대한통운의 화물별 장치기간실적은 <표 3-17>과 같다.

수입화물의 경우 최대 439일 동안 터미널에 장치되는 경우가 있었으며, 수출화물은 최대 129일 그리고 환적화물은 최대 43일동안 장치되었다. 이와 같은 자료를 포함한 화물별 평균 장치기간은 수출화물 10.8일, 수입화물 17.4일 그리고 환적화물 5.3일로 나타났으며, 이를 화물별 구성비율에 의해 계산한 대한통운의 컨테이너 평균장치일수는 11.40일이다.

<표 3-17>

대한통운의 화물 종류별 장치기간 현황(실적기준)

구분	최대 장치일수	평균 장치일수
수출 화물	129 일	10.8 일
수입화물	439 일	17.4 일
환적 화물	43 일	5.3 일

자료 : 터미널 운영사 내부 자료

그러나 장치기간이 예외적으로 긴 컨테이너를 제외하여야 하는데, 수출 화물의 경우에는 최대 장치기간을 15일 이내, 수입화물의 최대장치기간은 50일 이내 그리고 환적화물의 최대장치기간은 10일 이내로 한정하여 평균장치기간을 재계산한 결과는 다음과 결과는 <표 3-18>과 같다. 예외적인 컨테이너를 제외하면 수출화물의 평균장치기간은 5.13일, 수입화물 14.2일, 환적화물은 3.9일로 나타났으며, 이를 화물별 구성비율에 의하여 계산한 평균장치일수는 8.31일이다.

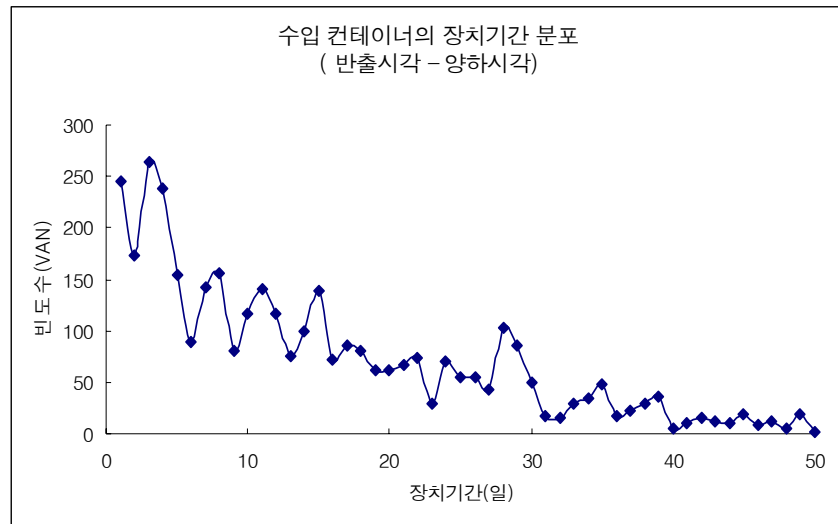
<표 3-18> 대한통운의 화물 종류별 장치기간 현황 2(실적기준)

구분	최대 장치일수 조정	평균 장치일수
수출 화물	15 일	5.13 일
수입화물	50 일	14.2 일
환적 화물	10 일	3.9 일

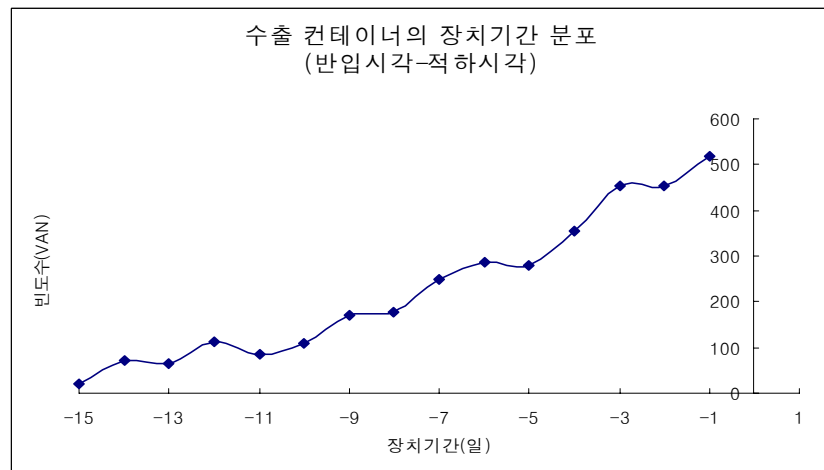
자료: 터미널 내부자료

이와 같이 이상치를 제외하고 각 컨테이너가 터미널에 장치된 실적을 화물별로 나타내면 각각 다음 <그림 3-9>, <그림 3-10>과 같다.

<그림 3-9> 수입화물의 일별 반출 현황(광양 대 한통운)

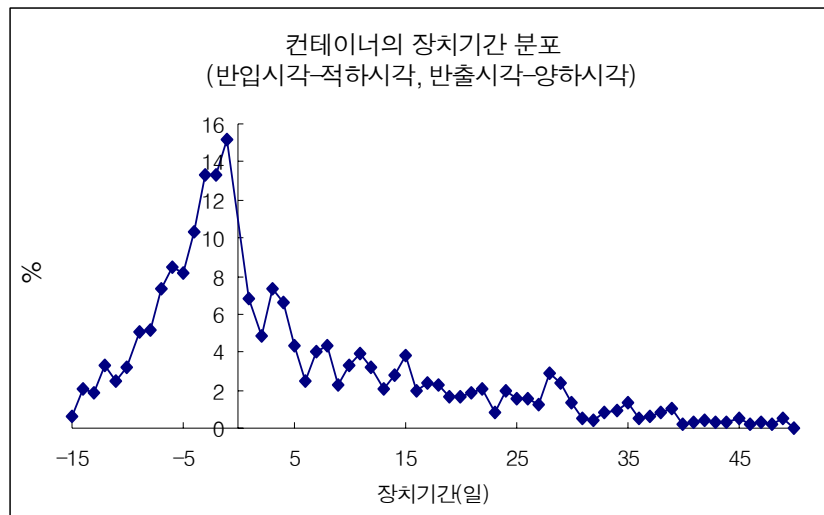


<그림 3-10> 수출화물의 일별 반입 현황(광양 대 한통운)



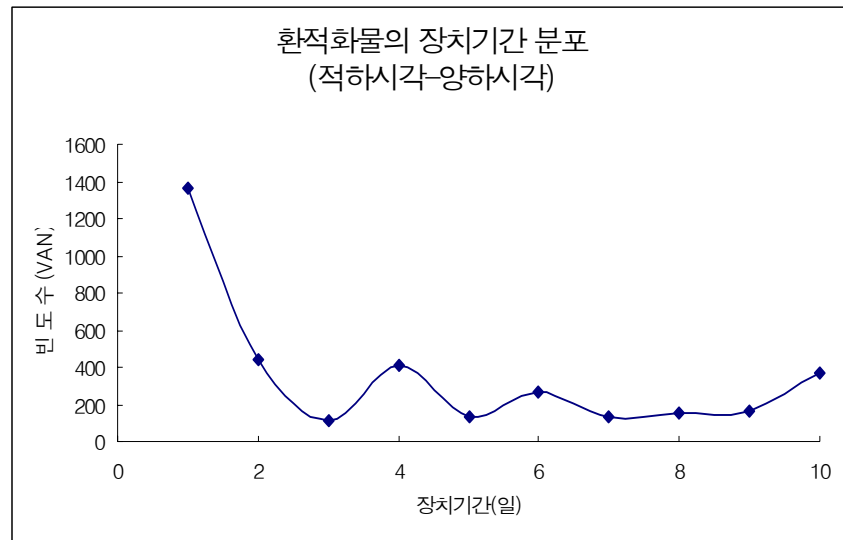
이와 같은 각각의 화물별 터미널내 장치기간 분포를 종합하면 다음<그림 3-11>과 같이 선박 도착시점을 중심으로 집중되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 선박 도착시점을 중심으로 컨테이너가 터미널에 반출입되는 패턴은 감만 4단계 현대상선과 세방기업의 반출입 패턴과 같음을 알 수 있다.

<그림 3-11> 수출입 화물의 일별 반출입 현황(대한통운)



위 그림을 보면 감만 4단계와 마찬가지로 수입화물은 선박으로부터 양하된 후 비교적 완만하게 장치간에 걸쳐서 반출되고 있으나 수출화물의 경우에는 선박도착시점 직전에 특히 집중되어 반입되고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 수출화물과 수입화물이 선박 입항예정 시각을 전후로 하여 집중적으로 반출입 되는데 비해 환적화물의 경우에는 장치기간 분포에 있어서 <그림 3-12>와 같이 다음 항차의 입항시각에 따라 고르게 분포하고 있음을 알 수 있다.

<그림 3-12> 환적화물의 장치기간 현황(광양 대 한통운)



그리고 광양 현대상선 터미널의 화물 종류별 장치기간은 <그림 3-13>과 같으며 각각의 평균장치기간은 <표 3-19>에 나타낸것과 같이 수입화물 11.37일, 수출화물 7.12일, 환적화물 1.7일로 화물별 구성비율에 의해 계산한 평균장치일수는 9.32일이다.

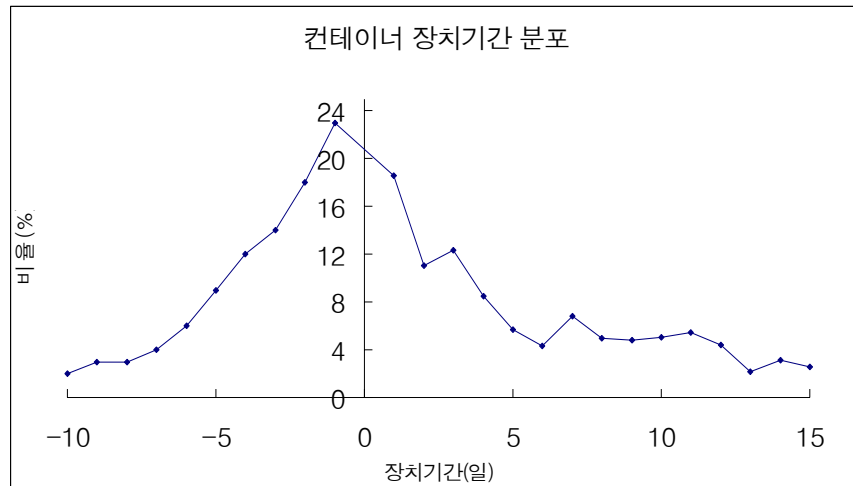
<표 3-19> 현대상선의 화물 종류별 장치기간 현황(실적기준)

구분	평균 장치일수
수출 화물	7.12 일
수입화물	11.37 일
환적 화물	1.7 일

자료 : 터미널 운영사 내부 자료

수입화물의 최대장치기간을 15일, 수출화물의 최대장치기간을 10일로 하여 컨테이너 장치기간 분포는 <그림 3-13>과 같다.

<그림 3-13> 수입화물의 일별 반출입 현황(광양 현대상선)



3. 운영실적 비교 분석

1) 처리 물동량

이 절에서는 감만 4단계와 광양 1단계의 2000년 실적을 기준으로 항만 간, 터미널간 처리 물동량을 비교하고, 특히 계획 당시에 예측 물동량에 의하여 수립된 장치장 회전율과 장치장 운영실적에 의한 장치장 회전율을 비교 분석하였고, <표 3-20>에 나타내었다..

먼저 감만 4단계의 선석당 처리 실적은 1,904천TEU로 선석당 약476천 TEU를 처리하여 수정항만 기본계획에서 제시하고 있는 선석당 능력 기준 300천 TEU를 초과하고 있다. 이에 비해 광양 1단계는 4개 터미널에서 639천TEU를 처리하여 선석당 약 160천TEU를 처리하여 수정항만 기본계획에서 제시한 300천TEU보다는 적고 피더부두의 능력기준 106.7천TEU보다는 많다.

<표 3-20> 감만 4단계 광양 1단계 물동량 비교(2000년)

단위 : 천TEU

구분	감만	광양
세방기업	422	132
한진해운	529	108
현대상선	479	144
대한통운	473	255
총계	1,904	639
선석당 평균	476	160

이와 같이 터미널별 운영 선석수가 모두 1선석으로 같은 경우에 있어서도 그 처리 실적에 있어서는 터미널별로 차이를 보이고 있다.

2) 선석 점유율

터미널별 처리 물동량과 관련하여 선석 점유율에 있어서는 <표 3-21>과 같이 일반적으로 인식되어 있는 것과 약간의 차이를 보이고 있다. 일반적으로 터미널의 조건이 같으면 선석점유율이 높을수록 연간 처리물동량은 증가하는 것으로 인식되어있으나, 감만 4단계와 광양 1단계의 실적은 그렇지 않다.

<표 3-21>

처리 물동량과 선석점유율 비교(2000년)

단위 : 천TEU,%

구분	감만		광양	
	물동량	선석점유율	물동량	선석점유율
세방기업	422	61	132	41
한진해운	529	60	108	36
현대상선	479	49	144	25
대한통운	473	63	255	37
총계	1,904	-	639	-
선석당 평균	476	58	160	35

감만 4단계의 경우 선석 점유율 기준으로는 대한통운이 63%로 제일 높아 처리 실적에 있어서도 제일 높아야 하는데 선석 점유율 60%를 보이고 있는 한진해운이 529천TEU로 제일 높다. 또한 선석 점유율 49%로 제일 낮은 현대상선의 처리실적 479천TEU가 선석점유율 61%를 보이고 있는 세방기업의 422천TEU 보다 높다. 광양 1단계에서도 선석점유율이 41%로 제일 높은 세방기업의 처리실적 132천TEU가 선석점유율 25%를 보이고 있는 현대상선의 처리실적 144천TEU보다 적다. 그러나 전반적으로 감만 4단계의 평균 선석점유율 58%가 광양 1단계의 평균선석점유율 35% 보다는 높고 또한 처리 물동량에 있어서도 감만 4단계의 선석별 평균 물동량이 476천TEU로 광양 1단계의 선석당 평균 물동량 160천TEU보다 3배 가까이 높음을 알 수 있다.

이와 같이 같은 항만에 위치하는 터미널에 있어서도 처리 물동량과 선석점유율에 있어서 상호 차이가 발생하는 것은, 터미널별로 입항하는 선박 규모 차이에 의한 실질적인 생산성 차이에 의하여 기인한 결과로 해석된다.

<표 3-22> 처리 물동량 · 선석점유율 · 입항선박 규모 비교(2000년)

단위 : 천TEU, %, 척

구분	감만			광양		
	물동량	선석점유율	입항선박	물동량	선석점유율	입항선박
세방기업	422	61	426	132	41	739
한진해운	529	60	237	108	36	540
현대상선	479	49	297	144	25	325
대한통운	473	63	477	255	37	451
총계	1,904	-	1,437	639	-	2,055
선석당 평균	476	58	359	160	35	514

이를 보다 구체적으로 살펴보면, <표 3-22>와 같으며 먼저 감만 4단계의 경우 대한통운의 선석 점유율이 63%로 한진해운의 선석점유율 60%보다 높아 대한통운이 더 많은 물동량을 처리하여야 하나 실제로는 한진해운이 대한통운보다 56천TEU를 많이 처리하였다. 또한 입항 선박척수에 있어서는 대한통운이 477척으로 한진해운의 237척보다 2배 많은 선박이 입항하였다. 이와 같은 사실로 미루어 대한통운은 한진해운보다 상대적으로 많은 선박이 입항하여 선석점유율에 있어서는 한진해운보다 높으나 처리 물동량에 있어서는 한진해운이 많다. 또한 척당 작업량과 척당 집안 시간에 따른 시간당 생산성은 한진해운이 62.38BOX로 대한통운의 54.26BOX보다 높다.

그리고 광양 1단계의 경우 세방기업의 선석 점유율이 41%로 현대상선

의 선석점유율 25%보다 높아 세방기업이 더 많은 물동량을 처리하여야 하나 실제로는 현대상선이 세방기업보다 12천TEU를 많이 처리하였다. 또한 입항 선박척수에 있어서는 세방기업이 739척으로 현대상선의 325척보다 2배 많은 선박이 입항하였다. 이와 같은 사실로 미루어 세방기업은 현대상선보다 상대적으로 많은 선박이 입항하여 선석점유율에 있어서는 현대상선보다 높으나 처리 물동량에 있어서는 현대상선이 많다. 또한 척당 작업량과 척당 접안시간에 따른 시간당 생산성은 <표 3-23>에 나타난 것처럼 현대상선이 41.61BOX로 세방기업의 26.45BOX보다 높다.

<표 3-23> 선박 생산성 비교(2000년)

구분	감만			광양		
	척당작업량	척당접안시간	척당생산성	척당작업량	척당접안시간	척당생산성
세방기업	648	11.44	56.64	127	4.8	26.45
한진해운	1,383	22.17	62.38	158	6.0	26.33
현대상선	966	14.32	67.45	283	6.8	41.61
대한통운	624	11.50	54.26	341	7.4	46.08
평균	905					

3) 장치장 회전율

장치장의 능력은 앞에서 지적한 바와 같이 물리적인 측면과 운영적 측면으로 구성되어 있다. 운영적 측면에서 장치장 능력은 각 터미널이 적용하고 있는 무료장치기간에 따라 실제로 화주가 컨테이너를 반출하는

패턴은 달라진다. 즉 터미널이 적용하고 있는 무료장치기간이 증가하면 장치장 능력기준은 감소하며 또한 실제로 각 컨테이너가 장치장에 장치되는 기간도 증가하여 결과적으로 장치장 회전율이 감소하여 장치장 능력이 감소하는 결과를 초래한다. 먼저 각 터미널별로 계획당시의 평균장치기간, 터미널이 운영중 적용하고 있는 무료장치기간 그리고 터미널별로 평균장치기간 실적은 <표 3-24>과 같다.

<표 3-24> 터미널별 장치기간 비교

구 분		평균장치일수기준 (계획수립시 기준)	무료장치기간 기준 (터미널 운영기준)	평균장치기간 (실적 기준)
감만 4단계	세방기업	5.03일	4.38일	2.38일
	현대상선		4.29일	2.41일
광양 1단계	대한통운	6.59일	21일	11.40일
	현대상선		14 일	9.32일

위 표에서 계획 당시의 기준에 의한 평균장치기간은 화물별로 각각 다르게 적용하고 있는 평균장치기간에 대해서 계획당시의 화물별 예측 물동량 구성비율에 의하여 계산한 터미널별 평균장치기간으로서, 감만 4단계의 평균장치일수는 5.03일, 광양 1단계의 평균장치일수는 6.59일로 광양이 감만보다 길다.

그리고 무료장치기간 기준은 터미널 운영중 각 터미널이 화물별 또는 터미널별로 차별화 하여 적용하고 있는 무료장치기간에 대해서 2000년 화물별 구성비율에 따라 재계산한 터미널별 무료장치기간 기준이다. 감만 4단계의 경우에 수출 3일, 수입 4일, 환적 7일을 적용하고 있는데, 이를 2000년 수출입화물 및 환적화물의 구성비율에 따라 재계산한 터미널별

무료장치기간 기준은 세방기업 4.38일, 현대상선 4.29일로 서로 비슷하게 나타났다. 그러나 광양 1단계는 화물별 구분은 없으나 각 터미널로 무료장치기간을 다르게 적용하고 있는데 대한통운 21일, 현대상선 14일 적용하고 있다. 이러한 터미널별 무료장치기간 기준으로 터미널을 운영한 결과 터미널별 평균장치기간은 감만 4단계는 세방기업 2.38일, 현대상선 2.41일로 나타났으며, 광양 1단계는 대한통운 11.40일, 현대상선 9.32일로 나타났다.

이와 같은 각각의 장치기간 기준에 대해서 연간 회전율은 각각 다음<표 3-25>와 같다. 즉 계획당시에 기준으로 하고 있는 장치기간, 터미널이 운영중 허용하고 있는 장치기간과 실제 컨테이너가 터미널내에 장치되는 기간간에는 회전율에 있어서 항만별 터미널별로 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

<표 3-25>

터미널별 연간 장치장 회전율

구 분		평균장치기간기준 (계획수립시 기준)	무료장치기간기준 (터미널운영기준)	평균장치기간기준 (실적 기준)
감만 4단계	세방기업	72.56회	83회	153회
	현대상선		85회	151회
광양 1단계	대한통운	55.38회	17회	32회
	현대상선		26회	39회

즉 계획당시의 평균장치기간 기준에 의한 연간 회전율은 감만 4단계 72.56회, 광양 1단계가 55.38회로 감만 4단계가 장치장 회전전율에 있어서 높다.

이와 같이 터미널별 운영 선석 수가 1 선석으로 모두 같은 여건에서 처리물동량, 선석 점유율 등이 서로 다른 것은 다음과 같은 측면에서 검토해볼 수 있다.

첫째, 항만별 잠재 물동량의 크기

광양 1단계의 4개 터미널의 선석 점유율이 40% 이하를 보이고 있는데 이는 광양항의 전반적인 2000년 물동량이 터미널 처리 능력에 비해 상대적으로 적었다는 것을 나타낸다. 따라서 광양 1단계에서 터미널별 처리 물동량의 차이는 영업 노력에 의한 차이라고 생각할 수 있다. 즉 각 터미널이 화주로부터 유치한 물동량 규모에 따라 처리 물동량의 차이를 보인다고 할 수 있다.

둘째, 터미널 처리 능력의 한계

광양 1단계는 절대적인 잠재 물동량이 터미널 능력에 비해 상대적으로 적음에 따라 터미널별 실제 처리 물동량의 차이는 터미널별 영업 능력에 따른 차이로 해석할 수 있었다. 그러나 터미널별 선석 점유율이 60% 이상을 보이고 있는 감만 4단계의 경우에는 터미널의 시설 능력에 대한 분석이 이루어져야 한다. 즉 감만 4단계의 잠재 물동량은 19만 TEU 이상이 되었으나 터미널의 시설 능력이 부족하여 19만 TEU 이상은 처리하지 못하였는지에 대한 분석이 이루어져야 한다. 감만 4단계의 선석당 처리 물동량은 29만7천BOX(47만6천 TEU)를 처리하여 2001년 개정된 수정항만 개발계획보고서(해양수산부, 2001.1)에서 제시된 선석당 연간 처리 능력 30만TEU(선석당 크레인 3대 기준)을 초과하였으나, 광양 1단계는 10만6천BOX(16만TEU)를 처리하여 기준 처리능력 10.7만TEU(선석당 크레인 2대 기준)와 비슷하다. 이는 감만 4단계의 잠재 물동량은 4개 터미널의 기준 능력을 초과하여 존재하지만 터미널 능력 제약에 의하여 처리 물동량은 적게 나타났다고 판단할 수 있다.

세째, 터미널별 운영전략의 차이

감만 4단계의 잠재 물동량이 충분하였다는 전제에서 터미널별로 처리 물동량에 차이가 발생하는 부분은 어떻게 설명할 것인가? 이에 대한 해답은 터미널별 운영전략의 차이에 따른 결과라고 해석할 수 있다. 즉 이용 선사들에 대한 서비스 제공 수준 차별화, 안벽에서의 컨테이너 크레인 할당 전략, 화물별 장치장 운영전략 등의 터미널별 운영전략의 차이에 의하여 나타난 결과일 수 있다.

제4장 장치장 재고수준 분석모형

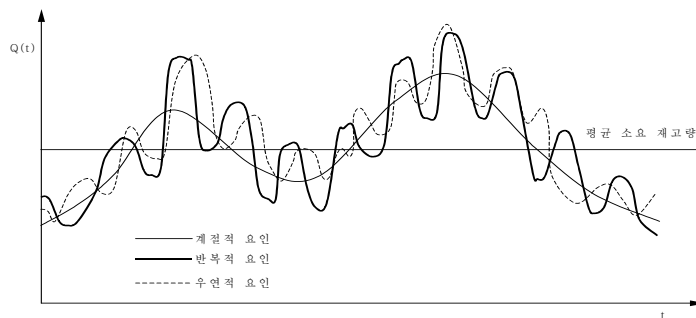
1. 기존 연구 내용 및 한계

1) 장치재고량 변화 요인

장치장에서의 재고량 변화는 안벽에서의 선박 도착특성과 양적하 생산성 그리고 게이트를 통한 컨테이너의 반출입율에 따라 증감한다. 다양한 요인에 의한 장치재고량 변화를 계절적 요인, 반복적 요인 및 우연적 요인으로 구분하면 <그림 4-1>과 같다. 이는 계절적 또는 월별로 물동량이 증가되는 계절적 요인, 선박 입출항에 따라 양적하 및 반출입 화물량이 증가하는 반복적 요인 그리고 선박도착간격, 선박 작업량, 반출입을 변동에 따른 우연적 요인을 포함한다. 계절적 요인과 반복적 요인은 정적인 측면에서 분석될 수 있다면 세 번째 요인은 동적인 요소로 분류되어 분석될 수 있다.

<그림 4-1>

장치장 재고량의 변화



위 그림에서 $Q(t)$ 는 시점 t 에서의 장치장 재고수준을 나타낸다. 따라서 연간 물동량, 최대물동량 및 평균 물동량은 각각 다음과 같이 표현된다.

- 연간 물동량 = $\int_0^{365} Q(t) dt$
- 최대 재고량(Q^*) = $Max_t Q(t)$
- 평균재고량/일(\bar{Q}) = $\int_0^{365} Q(t) dt / T$

따라서 위와 같은 시간별 물동량 변화에 따라 결국 장치장에서의 장치 재고량은 변하게 되는데, 장치장 소요 규모 산정에 적용할 기준 재고량은 “어느 시점의 재고량을 기준으로 할 것인가?”가 중요하다. 터미널에서의 연간 처리 물동량은 일별, 주별 또는 월별로 시간이 흐름에 따라 계속적으로 변하게 되는데 어떤 물량을 기준으로 하느냐에 따라 장치장 소요 규모는 달라진다. 그리고 장치장에서의 작업 생산성은 안벽에서의 양적하 생산성과 게이트에서의 컨테이너 반출입율과 균형을 이루어야 한다. 장치장에서의 작업 생산성은 장치장 면적(TGS), 장치단적 수, 화물별 장치전략 등에 의하여 결정되며, 안벽에서의 양적하 생산성이나 게이트에서의 컨테이너 반출입율과 균형을 이루어야 한다. 만약 장치장에서의 작업 생산성은 안벽에서의 양적하 생산성이나 게이트에서의 컨테이너 반출입율보다 적으면 양적하 작업이나 컨테이너 반출입이 지연될 수 있다. 그런데 장치장 면적은 기준 물량에 의하여 산정된다. 따라서 장치장 소요 규모 산정을 위해 기준 물량은 다음과 같은 두 가지 점에서 검토되어야 한다.

- ① 시간별 재고량 변화
- ② 기준 물량 산정을 위한 기간

장치장 소요 규모 산정에 적용될 기준 물량 산정과 관련하여 기존의 연구는 크게 두 가지로 정리될 수 있다. 하나는 Frankel, UNCTAD의 연구에서와 같이 연간 물동량과 장치기간에 따른 연간 회전율에 근거하여 평균 재고량을 구하고 이를 장치장 소요 규모를 산정하기 위한 기준 물량

으로 적용하는 방법이고, 다른 하나는 시뮬레이션을 이용하여 장치장에서의 평균 또는 최대 재고량을 구하여 이를 기준 물량으로 적용하는 방법이다.

2) Frankel 방법

Frankel은 다음과 같은 식에 의하여 장치장 소요 규모를 계산하였다.

장치장 소요 규모

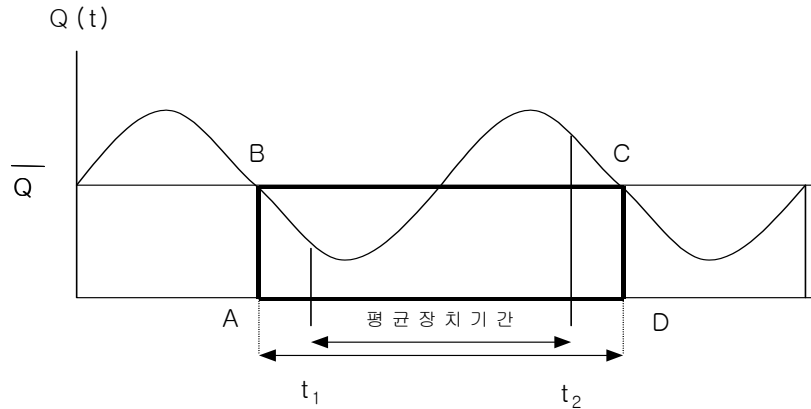
$$= \frac{\text{연간물동량}}{365} \times (\text{평균 장치기간} + 2 \times \text{장치기간의 표준편차}) \times \frac{1}{(\text{평균 장치높이} + 2 \times \text{장치높이의 표준편차})} \times \frac{1}{\text{운영여유}} \quad (4.1)$$

즉 Frankel의 방법에서는 평균 장치기간을 기준으로 하여 장치장 소요 규모를 산정하였다. 다만 표준 장치기간에 대해서 (2×표준편차)의 변동을 고려하여 결국 이기간 동안의 물동량을 재고량 기준으로 하였다. 따라서 Frankel의 방법에서는 <그림 4-2>에서 사각형 ABCD의 면적을 기준 물동량으로 하여 장치장 소요 규모를 산정하였다.

- ① 기준 물동량(재고량) : 사각형 ABCD 면적 기준
- ② 기준 기간 : 평균장치기간을 기준으로 하여 변동 부여(+2×표준편차)

<그림 4-2>

Frankel 방법에서의 재고량 기준



3) 국내보고서

Frankel의 방법은 UNCTAD에서 제시하고 있는 방법과 유사하다. 또한 “컨테이너 터미널 능력산정 연구”, 임진수, 1991, “광양항 2단계 컨테이너 부두 개발사업 실시설계용역” 보고서 등 국내보고서에서는 평균 물동량에 피크계수를 반영하여 기준 물동량을 계산하였다.

소요 장치장규모

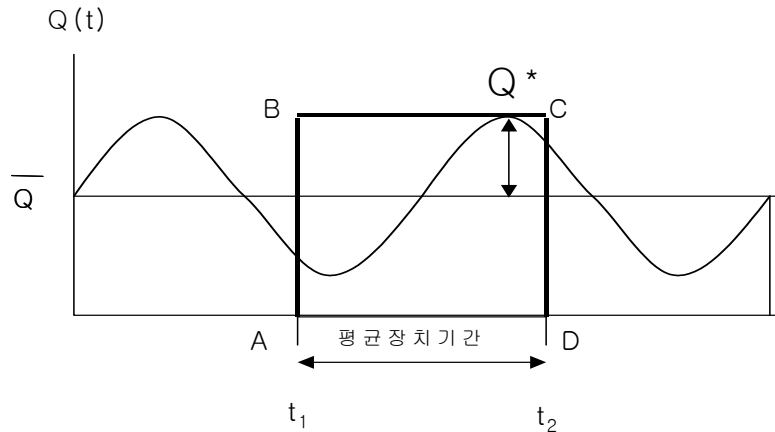
$$= \frac{\text{연간물동량}}{365} \times \text{피크계수} \times \text{평균장치기간} \times \frac{1}{\text{장치높이}} \times \frac{1}{\text{운영여유}} \quad (4.2)$$

윗 식에서 피크계수는 주로 계절지수(Seasonal Index)의 의미로 사용하였다. 따라서 식 (4.2)와 같은 방법은 다음 <그림 4-3>에서 사각형 ABCD의 면적을 기준 물동량으로 하였다.

- ① 기준 물동량(재고량) : 사각형 ABCD 면적 기준
- ② 기준 기간 : 평균장치기간

<그림 4-3>

국내 연구에서의 재고량 기준



위의 두 방법의 저변에는 기본적으로 다음과 같은 가정이 내재되어 있다.

- 첫째, 연간 물동량을 장치장의 기준 평균장치기간에 따른 회전율을 고려하여 평균 재고 물동량 기준 산정
- 둘째, 평균 재고 물동량에 대해서 계절적 요인에 따른 피크계수와 운영여유를 고려하여 소요 TGS 산정근거 마련

장치장 분석과 관련된 기존의 연구에는 재고량 측면뿐만 아니라 취급 능력을 산정하기 위한 연구도 있다. 장치장 취급능력의 연구에서 장치장의 보관능력과 장치장비의 처리능력이 상호 관련되므로 열수, 단수, 블록 수 등에 대한 배치안과 투입되는 장비규모가 함께 고려되는 것이 보다 최적의 결과를 도출할 수 있을 것이다. Roux(1996)와 Taleb-Ibrahimi(1989)는 각각 트랜스퍼 크레인을 사용하는 수입 장치장과 수출 장치장에 대해서 장치장 운영전략을 고려하여 장치장을 분석하였고 김홍배(1999)는 수입 장치장에 대해 장치장 건설비용과 장비비용 등에 대한 경제성 분석을 하였다. 그렇지만 이들의 연구에서도 장치장 재고량은 방법론에는 차이가 있지만 평균적인 개념을 응용하고 있다.

4) 기존 방법의 한계

장치장 소요규모를 산정하는데 적용될 기준 물량을 산정하는 Frankel 방법과 Frankel 방법을 변형하여 국내 보고서에서 적용한 기존의 방법들은 기본적으로 예측 물동량에 근거하고 있다. 예측 물동량은 과거 실적 자료에 근거한 시계열 분석에 의하여 예측한 장기적인 물동량이다. 이러한 총체적인 물동량을 기준으로 장치장 소요 규모를 산정하는데 적용할 기준 물량을 산정할 때 다음과 같은 요인의 변화에 대해서는 분석이 곤란하다.

첫째, 장치장에서의 재고수준 변화는 선박의 터미널 도착간격에 따라 달라진다.

장치장 재고수준은 연간 물동량과 선박규모에 따라 입항하는 선박도착 간격에 따라 변한다. 선박들의 터미널 도착간격이 짧아 자주 도착하면 그만큼 장치장 재고수준의 변동 폭이 크고 반대로 선박도착간격이 길면 장치장 재고수준의 변동 폭이 적다. 따라서 선박도착 간격이 장치장 재고수준 변화에 커다란 영향을 미친다.

둘째, 선박대형화에 따른 선박별 작업량 변화에 따른 장치장 재고수준 변화를 분석할 수 없다.

장치장 재고수준은 선박으로부터 양적하될 컨테이너 양에 따라 급격히 변한다. 즉 선박이 안벽에 접안하여 수입화물이 양하되는 동안은 급격히 장치장 재고수준이 증가하고 수출화물을 적하할때는 재고수준이 급격히 감소한다. 따라서 선박별 양적하 작업량의 규모가 시간대별 장치장 재고수준 변화에 민감한 영향을 미친다. 특히 최근과 같이 급격한 대형화 추세에 있는 대형 컨테이너선의 양적하 작업량이 터미널에서의 작업량이

증가하게 된다. 따라서 이와 같은 대형선이 입항하게 되면 선박별 작업량이 증가하여 대형선의 작업 시간 동안에는 장치장의 재고수준이 급격히 증감한다. 그러나 기존의 방법에서는 이러한 선박 대형화에 따른 선박별 작업량 차이에 따른 변화를 분석하는데는 한계가 있다.

셋째, 안벽에서의 양적하 생산성 변화에 따른 장치장 재고수준 변화를 분석할 수 없다.

선박이 안벽에 접안하면 안벽에 설치된 C/C 대수 및 생산성에 의하여 양적하 작업이 이루어진다. C/C의 단위 시간당 생산성과 선박에 할당된 크레인 생산성에 따라 안벽에서의 양적하 생산성은 달라진다. 따라서 C/C생산성과 선박에 할당된 C/C 대수에 따른 선박 시간당 양적하 생산성에 따라 장치장 재고수준은 변하기 때문에 이를 반영하여 장치장 소요 규모를 산정하는데 적용할 기준 물량을 정하여야 한다. 그러나 기존의 방법에서는 안벽에서의 양적하 생산성에 따른 재고수준 변화를 예측하는데 한계가 있다.

넷째, 장치장에서의 재고수준 변화는 터미널이 운영하는 무료장치기간에 민감하게 반응한다.

화주가 수출 컨테이너를 터미널에 반입하는 패턴은 터미널이 수출 컨테이너에 대해서 적용하고 있는 무료장치기간이다. 즉 화주는 가능하면 선박 입항예정시점을 기준으로 최대 무료장치기간 전부터 터미널에 반입을 시작하여 선박도착직전에 반입을 완료한다. 또한 화주는 수입화물의 경우에도 선박으로부터 양하된 후 수입화물의 무료장치기간 이내에 반출하려고 노력한다. 따라서 장치장 재고수준은 터미널이 허용하는 무료장치기간에 따라서 재고수준이 변한다.

또한 Roux(1996)와 Taleb-Ibrahimi(1989)는 각각 트랜스퍼 크레인을 사용하는 수입 장치장과 수출 장치장에 대해서 장치장 운영전략을 고려하여 장치장을 분석하였고 김홍배(1999)는 수입 장치장에 대해 장치장 건설비용과 장비비용 등에 대한 경제성 분석을 하였다. 그렇지만 이들의 연구에서도 장치장 재고량은 방법론에는 차이가 있지만 물동량을 기준으로 평균적인 개념을 응용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 선박도착간격, 선박별 작업량, 양적하 생산성, 무료장치기간의 변화에 따른 장치장 재고수준 변화를 예측할 수 있는 재고모형을 구축하여, 장치장 소요 규모 산정에 적용될 기준 물량에 대한 근거를 제시하려고 한다.

2. 장치장 재고수준 분석모형 제시

1) K모형

(1) 기존 재고모형과의 차이

일반적인 재고모형(EOQ: Economic Order Quantity, EPQ: Economic Production Quantity)에서 주요 쟁점은 재고유지비와 1회당 주문비 또는 준비비를 최소화하는 생산 주기(또는 주문주기)와 1회의 주문량(또는 생산량)을 결정하는 것으로서 목적함수는 다음과 같이 정의된다.

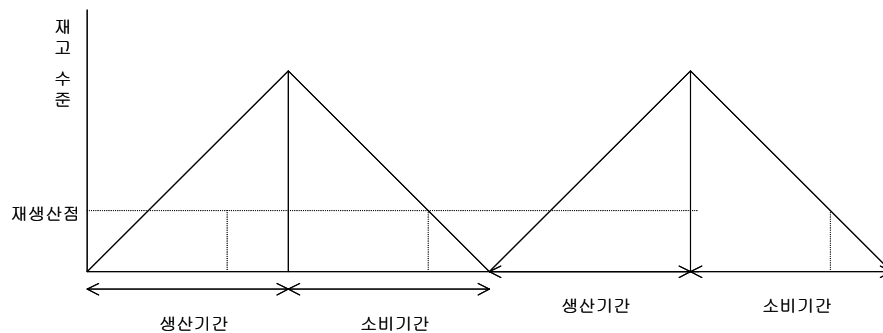
$$\text{목적함수} = \text{Min } f(\text{재고유지비, 주문비, 준비비}) \quad (4.3)$$

생산재고모형에서 재고수준은 수요율과 공급율에 따라 변하는데, 생산기간동안에는 생산과 소비가 동시에 이루어지고, 생산기간이 끝나면 소비율에 의해 소비만 이루어진다. 따라서 생산재고모형에서는 수요율과 공급율이 설명변수가 되고 생산주기(product cycle)와 1회 생산량(product

quantity)이 결정해야 할 결정변수가 된다.

<그림 4-4>

일반적인 생산재고모형



이와 같은 일반 재고모형에 대해서 본 연구에서 구축하고자 하는 컨테이너 터미널의 재고모형은 다음과 같은 점에서 차이가 있다.

첫째, 안벽에서의 선박도착율과 게이트에서의 컨테이너 반출입율은 인위적으로 조절할 수 있는 변수가 아니다.

컨테이너 터미널의 선박 도착은 선사들의 배선계획에 의하여 터미널에 도착하고 있기 때문에 터미널이 인위적으로 그 시점을 조절할 수 있는 것은 아니다. 물론 배선계획에 따른 입항예정 시점을 전후로 하여 터미널 사정에 따라 입항 시점을 앞뒤로 조정할 수는 있으나 근본적으로 입항 자체가 취소되는 것은 아니다. 터미널 재고모형에서는 선박으로부터의 양하량과 게이트 반입량이 일반 재고모형에서의 공급량에 해당하고, 이러한 공급량에 따라 재고량이 증가한다. 또한 적하량과 반출량이 수요량에 해당하고, 이러한 수요량에 따라 재고량은 감소한다. 따라서 일정 기간 동안의 공급량과 수요량은 터미널 운영자가 결정할 수 있는 변수가 아니다.

둘째, 재고량은 선박도착간격, 선박별 양하량, 적하량 및 환적화물의 구

성비율, 화물별 무료장치기간, 안벽에서의 양적하 생산성, 게이트에서의 반출입율에 따라 변하는 장치장에서의 재고수준을 나타낸다.

재고량 변화에 영향을 미치는 변수 중에서 선박도착간격, 선박별 양하량, 적하량 및 환적화물의 구성비율, 게이트에서의 반출입율은 터미널 운영자가 결정할 수 없는 변수이나, 화물별 무료장치기간, 안벽에서의 양적하 생산성은 터미널 운영자가 터미널 운영전략에 의하여 결정할 수 있는 변수이다.

재고수준= $f(\text{선박도착간격, 선박별 양하량, 적하량 및 환적화물의 구성비율, 화물별 무료장치기간, 안벽에서의 양적하 생산성, 게이트에서의 반출입율})$

본 연구에서는 재고수준에 영향을 미치는 선박도착간격, 선박별 양하량, 적하량 및 환적화물의 구성비율, 화물별 무료장치기간, 안벽에서의 양적하 생산성, 게이트에서의 반출입율을 설명변수로 하여 재고모형을 구축하였다.

셋째, 재고모형에 의하여 분석된 재고수준 변화는 장치장 소요규모 산정의 근간이 된다.

앞에서 제기한 바와 같이 장치장 소요규모는 연간 물동량 규모에 따른 기준 물량과 이를 장치하는 기준 기간에 의하여 결정된다. 즉 안벽에서의 양적하율과 게이트에서의 반출입율에 따라 변하는 재고량중에서 어느 시점의 재고량을 기준으로 하여 장치장 소요규모를 산정할 것인가가 중요하다. Frankel의 방법은 평균재고량과 평균 장치기간에 표준편차를 고려하여 장치장 규모를 산정하였고, 국내 연구에서는 평균재고량에 피크계수를 고려한 재고량과 무료장치기간을 고려하여 장치장 소요규모를 산정하였다.

그러나 본 연구에서는 선박별 작업량, 화물별 구성비율, 화물별 무료장치기간, 양적하 생산성 및 게이트 반출입율을 변수로 한 재고모형을 구축하여 재고수준 변화를 분석함으로써 장치장 소요 규모를 산정할 수 있는 근간을 마련하였다.

재고모형에서는 평균재고량, 최대재고량, 최소 재고량 및 시간에 따른 재고량 변화를 분석함으로써 장치장 소요 규모를 추정할 수 있다. 단지 평균재고량을 기준으로 하여 산정한 장치장 규모는 재고량이 평균 이상 증가하는 시점에는 장치능력 부족 또는 재작업의 증가로 결국 터미널 생산성이 저하되는 결과를 초래한다. 또한 적정 규모 이상의 장치장을 확보하는 것은 비경제적이다.

본 연구에서는 안벽에서의 양적하 생산성, 게이트에서의 반출입율 등 장치장 재고량에 영향을 미치는 변수가 단위 시간당 일정하다는 가정에서 재고모형을 구축하였다. 컨테이너 터미널의 재고모형은 다음과 같은 과정에 의하여 구축하였다.

첫째, 컨테이너 터미널의 장치장 재고수준은 선박도착 시점을 기준으로 분석하였다.

수출화물은 화물을 선적할 선박의 입항 예정 시점을 기준으로 수출화물의 무료장치기간을 고려하여 화주가 터미널에 반입한다. 수입화물은 선박으로부터 양하된 후 수입화물의 무료장치기간을 고려하여 화주가 반출해 간다. 따라서 장치장의 재고량 변화는 선박도착 시점을 전후로 하여 변한다.

둘째, 장치장 재고수준 변화의 주기는 선박도착간격을 기준으로 한다.

선박도착시점을 전후로 장치재고량이 변하기 때문에 결국 선박도착간

격을 단위 사이클로 하여 장치장 재고수준이 반복된다.

셋째, 화물의 종류를 수입, 수출 및 환적화물로 구분한다.

화물종류별로 무료장치기간이 다르게 적용하는 터미널이 있기 때문에 단위 사이클내에서 각 화물별 장치재고량 변화를 분석한 후 이를 종합하여 총 재고량 변화를 분석한다. 이러한 과정에 의하여 구축한 재고모형을 K모형으로 정의한다. 먼저 장치장에서의 재고수준 변화에 따른 재고모형을 화물별로 구분하여 수입화물 재고모형을 K-1 모형, 수출화물 재고모형을 K-2 모형 그리고 환적화물의 재고모형을 K-3 모형으로 정의하여 각각에 대한 재고모형을 구축하였다.

(2) K모형의 전제조건

본 절에서는 일반 수출입 화물과 환적화물의 특성을 고려하여 화물별 재고수준 변화에 대한 재고모형을 구축하였다. 일반 수출, 일반 수입, 그리고 환적화물은 장치장에 반입되고 반출되는 과정이 서로 다르기 때문에 본 연구에서는 유도과정을 간단히 하기 위해 먼저 화물별 재고량 변화를 분석하여 재고모형을 구축한다. 또한 문제를 단순화하기 위해 선석이 하나인 터미널을 가정함으로써 터미널에서 한 선박이 작업 중인 동안에 또 다른 선박이 도착하는 경우는 발생하지 않는다. 장치장 재고수준 분석을 위한 K모형을 제시하기 위해 도입한 가정은 다음과 같다.

- ① 선박간 도착간격시간은 균일하다.
- ② 선박별 작업량과 작업 생산성은 동일하다.
- ③ 화물별 무료장치기간은 각각 다르다.
- ④ 화물별 게이트 반출입율은 화물별로 다르다.
- ⑤ 수출 컨테이너는 선박의 접안 전까지 반입이 완료되고, 수입 컨테이너는 하역작업이 종료된 후부터 반출을 시작한다.

- ⑥ 환적화물은 환적화물의 무료장치기간 중에 입항하는 후속 선박들에 동일한 수량으로 실려 무료장치기간 내에 모두 적하된다. 양하작업 및 적하작업 시에 일반 수출입 화물과 환적화물의 작업비율은 모든 선박에 대해서 균일하다.

본 연구에서는 재고량 분석에 필요한 변동요인이 일정하게 유지되는 정적인 상황을 전제로 화물별 재고수준을 분석할 수 있는 K모형을 제시하는데, 이에 필요한 주요 정의 및 기호는 다음과 같다.

□ 기호

- t_0 : 선박의 접안 시점
 t_1 : 선박의 양하 완료 시점
 t_2 : 선박의 적하 완료 시점
 t_3 : 다음 선박의 접안 시점
 t : 사이클 시간에서의 시점. $t_0 \leq t < t_3$
 T_u : 선박의 양하작업시간. $[t_0, t_1)$
 T_l : 선박의 적하작업시간. $[t_1, t_2)$
 T_b : 선박의 이안 후 다음 선박의 접안까지의 간격시간. $[t_2, t_3)$
 T_a : 선박의 도착간격시간으로 $T_u + T_l + T_b$ 임. 여기서는 한 사이클 시간을 의미함. $[t_0, t_3)$
 Q_L : 선박의 수출 컨테이너 작업 물량.
 Q_D : 선박의 수입 컨테이너 작업 물량.
 Q_S : 선박의 환적 양하 물량 .
 T_r : 수출 화물의 무료 장치 기간.
 T_d : 수입화물의 무료 장치 기간.

- T_s : 환적화물의 무료 장치 기간.
 $y_i(t)$: 현재 입항 선박 이후 i 번째 입항 예정 선박의 수출 화물이 t 시점에 장치장에 있는 물량
 $g_j(t)$: 현재 입항 선박 이전 j 번째 출항 선박의 수입화물이 t 시점에 장치장에 있는 물량
 $z(t)$: 접안 선박의 수출 화물 중 t 시점에 장치장에 있는 물량
 $w(t)$: 접안 선박의 수입화물 중 t 시점에 장치장에 있는 물량
 n : 사이클 시간동안 일반 수출 화물을 반입하는 선박수.
 $\lceil T_r / T_a \rceil$.
 m : 사이클 시간동안 일반 수입화물을 반출하는 선박수.
 $\lfloor \frac{(T_d + T_u + T_l)}{T_a} \rfloor$.
 p : 사이클 시간동안 환적화물을 적하하는 선박수. $\lfloor T_s / T_a \rfloor$
 S_n : 현재 입항 선박 이후로 n 번째 선박의 수출 컨테이너가 장치장에 들어오기 시작하는 시점으로 $nT_a - T_r$ 임.
 E_m : 현재 입항 선박 이전 m 번째 선박의 수입 컨테이너가 장치장에서 빠져나가는 것이 종료된 시점으로 $T_d + T_u + T_l - mT_a$ 임.
 $L(t)$: t 시점에 장치장에 있는 수출 컨테이너 재고수준.
 $D(t)$: t 시점에 장치장에 있는 수입 컨테이너 재고수준.
 $S(t)$: t 시점에 장치장에 있는 환적 컨테이너 재고수준.
 $T(t)$: t 시점에 장치장에 있는 컨테이너 재고수준.
 h_{\max} : 최소 재고량과 최대 재고량의 차이.

□ 사이클 시간의 정의

K모형에서 단위 사이클은 재고수준 변화와 관련하여 발생할 수 있는 모든 상황을 포함하여 정의하여야 한다. 즉 재고량 증가요인과 감소요인 각각의 변화를 적어도 한 사이클 내에서 한번은 포함하여야 한다. 따라서

단위 사이클이 정의되면 이러한 사이클 단위로 재고량의 증감이 반복된다. 본 연구에서 구축한 K모형에서는 단위 사이클을 선박도착 간격으로 정의하였다. 따라서 선박도착 시점을 기준으로 장치재고량의 변화가 반복된다.

$$\text{사이클 시간 : } T_a = T_u + T_l + T_b$$

앞으로서 설명하는 임의의 시점 t 는 이와 같은 한 사이클내에서의 시간변화를 나타내고 다음과 같은 범위를 갖는다.

$$t_0 \leq t < t_3.$$

□ 사이클 시간동안 수출 화물이 터미널에 반입되는 항차 수 n 정의

n 은 한 사이클을 기준으로 현재 접안 중인 선박 이후 입항이 예정된 항차에 적하될 수출화물이 터미널에 반입되는 항차 수를 나타낸다.

무료장치기간	항차수
$0 < Tr \leq Ta$	1 $\frac{Tr}{Ta} \leq 1$
$Ta < Tr \leq 2Ta$	2 $\frac{Tr}{Ta} \leq 2$
$2Ta < Tr \leq 3Ta$	3 $\frac{Tr}{Ta} \leq 3$
$(n-1)Ta < Tr \leq nTa$	$n \quad \frac{\lceil \frac{Tr}{Ta} \rceil}{1} \leq n$

n 은 사이클 내에서의 접안중인 항차는 제외한다.

□ 사이클 시간동안 수입화물이 터미널에서 반출되는 항차 수 m 정의

n 과 마찬가지로 사이클 시간동안 수입화물이 터미널로부터 반출되는 항차수는 다음과 같이 계산된다. 이때 접안중인 항차는 제외한다.

$$0 < Tu + Tl + Td \leq Ta \quad 0$$

$$Ta < Tu + Tl + Td \leq 2Ta \quad 1$$

$$mTa < Tu + Tl + Td \leq (m+1)Ta \quad m-1$$

$$m = \left\lfloor \frac{Tu + Tc + Td}{Ta} \right\rfloor$$

□ 현재 접안 선박 이후로 n 번째 항차의 반입 컨테이너가 장치장에 들어오기 시작하는 시점 S_n

현재 접안중인 선박을 기준으로 사이클 내에서 반입이 시작되는 항차가 n 번째 항차이므로, n 번째항차의 도착시점 nT_a 에서 수출화물의 무료 장치기간 T_r 를 고려하여 $nT_a - T_r$ 시점부터 터미널에 반입되기 시작한다.

□ 현재 접안 선박 이전 m 번째 선박의 반출 컨테이너가 장치장에서 빠져나가는 것이 종료된 시점 E_m

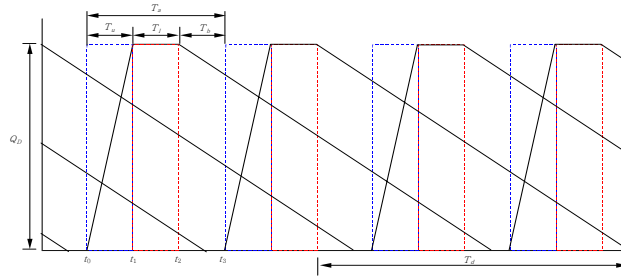
현재 접안중인 선박보다 m 번째 이전 선박의 반출 컨테이너가 장치장에서 빠져나가는 것이 종료된 시점으로 $T_u + T_l + T_d - mT_a$ 로 계산된다.

2) K-1 모형

t_0 시점에 접안한 선박은 일반 수입화물을 Q_D 만큼 양하된 수입화물이 장치장에 적재된 후 무료 장치 기간 동안 내륙 하주에 의해 반출될 때 터미널 내에 장치되어 있는 수입 컨테이너의 물량을 도식화하면 <그림 4-5>과 같다.

<그림 4-5>

일반 수입 화물의 반출과정



즉 t_0 시점에 도착한 선박은 양하작업을 시작하여 t_1 시점에 양하작업을 완료되는데 양하작업시간 T_u 선박별 양하량 Q_D 와 안벽에서의 양하 생산성에 따라 달라진다. 양하작업이 완료되면 t_0 직전까지 터미널에 반입이 완료된 수출화물의 적하작업이 t_1 부터 t_2 시점까지 완료된다. 양하 시간과 마찬가지로 적하시간 T_l 은 선박별 적하량과 안벽에서의 적하 생산성에 따라 달라진다. 이 그림은 수입화물을 대상으로 하여 재고수준의 변화를 나타내고 있기 때문에 적하 작업이 이루어지는 t_1 부터 t_2 사이에는 재고수준에 변화가 없다. 그러나 수입화물의 반출작업은 해당 선박의 적하 작업이 완료된 후부터 반출되기 때문에 적하작업이 완료된 직후부터 반출이 시작되어 재고수준이 감소하게 된다. 따라서 양하작업이 종료된 직후에 수입화물에 의한 누적 컨테이너 수는 최고점에 도달하였다가 해당선박의 양적하 작업을 마친 이후부터 무료장치기간동안 반출되면서 점차적으로 장치장에 적재되어 있는 수입 컨테이너 물량은 감소한다. 수입화물에 대한 무료장치기간이 종료되면 해당 선박의 터미널 내 컨테이너 물량은 0이 된다. 수입화물에 의한 재고수준의 변화를 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

사이클 타임에 접안중인 선박의 양하 컨테이너가 반출될 때 장치장에 있는 물량 $g_0(t)$ 는 $t_0 < t \leq t_1$ 동안의 양하 생산성이 $\frac{Q_d}{T_u}$ 이므로 양하작업

기간동안 장치장에 누적되는 물량 $w(t)$ 는 $\frac{Q_D}{T_u}t$ 이다. 그리고 $t_2 \leq t \leq t_3$ 기간 동안에는 장치허용 기간 동안의 반출입율은 $-\frac{Q_d}{T_d}$ 이므로 $g_0(t)$ 는 $-\frac{Q_D}{T_d}(t - T_u - T_l) + Q_D$ 이 된다. 또한 현재 접안중인 선박보다 먼저 입항한 선박들에 대한 일반 수입화물의 반출을 나타내는 $g_j(t)$ 는 $-\frac{Q_D}{T_d}(t + T_b + (j-1)T_a) + Q_D$ 이다.

따라서 한 사이클내에서 시점 t 에서의 총 양하 컨테이너 재고수준 $D(t)$ 는, 현재 입항 선박 이전 m 번째 선박의 수입 컨테이너가 장치장에서 빠져나가는 것이 종료된 시점 E_m 의 값에 따라 세 가지 경우로 구분된다. 따라서 $D(t)$ 는 시점 t 에서의 E_m 의 위치에 따라 다음과 같이 3가지 경우로 나누어 생각할 수 있다. Case 1은 현재 접안 중인 선박을 기준으로 한 사이클 내에서 현재 선박보다 m 번째 이전 선박으로부터 양하된 수입컨테이너가 현재 접안 중인 선박의 양하작업 시간 동안에 반출이 완료된 경우이다. Case 2는 현재 선박보다 m 번 이전 선박으로부터 양하된 수입컨테이너가 현재 접안 중인 선박의 적하 작업시간 동안에 반출이 완료된 경우이다. 그리고 Case 3은 현재 선박보다 m 번 이전 선박으로부터 양하된 수입 컨테이너가 현재 접안 중인 선박이 출항한 이후, 다음 선박이 도착하기 전에 반출이 완료된 경우이다

Case 1. $t_0 < E_m \leq t_1$ 인 경우

$$D(t) = w(t) + \sum_{j=1}^m g_j(t) = \frac{Q_D}{T_u}t - \frac{Q_D}{T_d}m(t + T_b + \frac{m-1}{2}T_a - T_d) \quad t_0 < t \leq E_m \quad (4.4)$$

$$D(t) = w(t) + \sum_{j=1}^{m-1} g_j(t) = \frac{Q_D}{T_u}t - \frac{Q_D}{T_d}(m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2}T_a - T_d) \quad E_m < t \leq t_1 \quad (4.5)$$

$$D(t) = Q_D + \sum_{j=1}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d}(m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2}T_a - T_d) \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (4.6)$$

$$D(t) = \sum_{j=0}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d}(m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2}T_a - T_d) - \frac{Q_D}{T_d}(t - T_u - T_l) \quad t_2 < t \leq t_3 \quad (4.7)$$

식 (4.4)은 Case 1에 대해서 현재 선박보다 m 번째 이전 선박으로부터 양하된 수입 컨테이너의 반출이 완료되는 이전 시점 t 에 대한 재고 수준을 나타내고, 식 (4.5)는 현재 선박보다 m 번째 이전 선박으로부터 양하된 수입 컨테이너의 반출이 완료되는 이후 시점 t 에 대한 재고수준을 나타낸다. 이와 같이 Case 1에 대해서 다시 시점 t 에 대해서 구분한 것은 E_m 과 임의의 시점 t 에 따라 재고수준 $D(t)$ 를 일반화하여 표현하기 위함이다. 앞으로의 각각의 경우에 대해서도 한 사이클 내에서의 E_m 의 위치와 임의의 시점 t 에 따라 재고수준 $D(t)$ 를 일반화하여 표현하기 위하여 각각을 3개의 경우로 나누어 기술하였다.

Case 2. $t_1 < E_m \leq t_2$ 인 경우

$$D(t) = w(t) + \sum_{j=1}^m g_j(t) = \frac{Q_D}{T_u} t - \frac{Q_D}{T_d} m(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad t_0 < t \leq t_1 \quad (4.8)$$

$$D(t) = Q_D + \sum_{j=1}^m g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad t_1 < t \leq E_m \quad (4.9)$$

$$D(t) = Q_D + \sum_{j=1}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2} T_a - T_d) \quad E_m < t \leq t_2 \quad (4.10)$$

$$D(t) = \sum_{j=0}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2} T_a - T_d) - \frac{Q_D}{T_d} (t - T_u - T_l) \quad t_2 < t \leq t_3 \quad (4.11)$$

Case 3. $t_2 < E_m \leq t_3$ 인 경우

$$D(t) = w(t) + \sum_{j=1}^m g_j(t) = \frac{Q_D}{T_u} t - \frac{Q_D}{T_d} m(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad t_0 < t \leq t_1 \quad (4.12)$$

$$D(t) = Q_D + \sum_{j=1}^m g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} m(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (4.13)$$

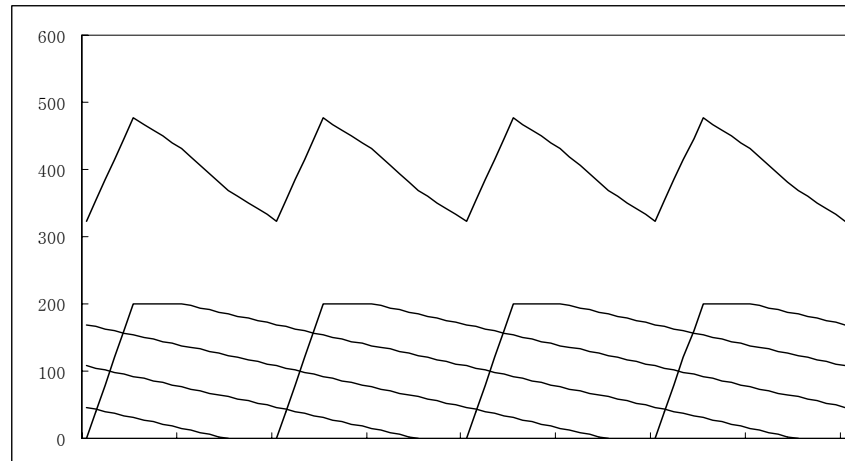
$$D(t) = \sum_{j=0}^m g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} m(t + T_b + \frac{m-1}{2} T_a - T_d) - \frac{Q_D}{T_d} (t - T_u - T_l) \quad t_2 < t \leq E_m \quad (4.14)$$

$$D(t) = \sum_{j=0}^{m-1} g_j(t) = Q_D - \frac{Q_D}{T_d} (m-1)(t + T_b + \frac{m-2}{2} T_a - T_d) - \frac{Q_D}{T_d} (t - T_u - T_l) \quad E_m < t \leq t_3 \quad (4.15)$$

K-1 모형에 대한 시간별 장치 재고수준에 변화를 보기위해 선박별 양하량 Q_D 는 200BOX, 양하시간(T_u)와 적하시간(T_l)을 각각 5시간, 선박 도착간격(T_a)를 20 시간으로 하고 수입화물의 무료장치기간(T_d)를 65시간이라고 가정하면, 임의의 한 사이클 내에서의 반출되고 있는 선박은 현재 선박 기준 3(즉, $m=3$)번째 이전 선박, 2번째 이전, 1번째 이전 선박으로부터 양하된 컨테이너가 현재 사이클에서 반출중이다. 그리고 3번째 이전 선박으로부터 양하된 컨테이너의 반출시점, 즉 E_m 은 15시점이다. 시간별 재고수준의 변화를 식(4.12)~(4.15)를 이용하여 추정 한 재고수준을 <그림 4-6>에 표시하였다.

<그림 4-6>

일반 수입화물에 의한 재고수준 변화



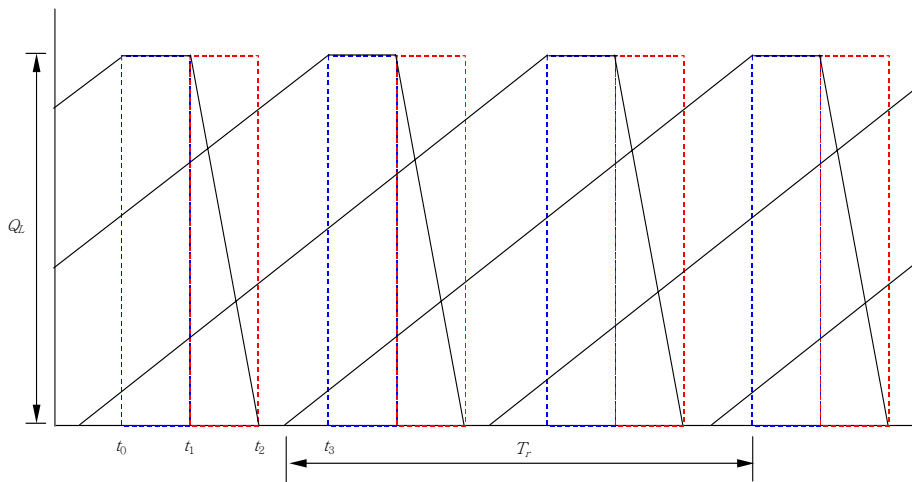
식(4.4)~(4.15)를 정리하면 $D(t)$ 는 $t_0 < t \leq t_1$ 에서 단조증가이고 $t_1 < t \leq t_2$ 와 $t_2 < t \leq t_3$ 에서는 단조감소로 사이클에서의 재고량 함수는 연속적이므로 $D(t_0) = D(t_3)$ 이다. 따라서 사이클 내에서의 최소 재고량은 t_0 와 t_3 에서 발생하고 최대 재고량은 t_1 에서 발생한다. 재고량의 변동폭을 살펴보기 위해 최소·최대 재고량의 차이를 구하면 $t_0 < E_m \leq t_1$ 인 경우에는 $\frac{Q_D}{T_d}((m-1)(T_a + T_u) + T_b)$, $t_1 < E_m \leq t_2$ 의 경우에는 $Q_D - \frac{Q_D}{T_d}mT_u$ 그리고 $t_2 < E_m \leq t_3$ 의 경우에는 $Q_D - \frac{Q_D}{T_d}mT_u$ 이다.

3) K-2 모형

선박의 입항예정일에서 반입 허용 기간 이전부터 선박의 접안 시점까지 내륙 하주로부터 반입된 일반 적하 화물은 장치장에 적재된 후 접안 선박의 양하 작업이 종료된 다음 적하가 이루어질 때 터미널 내에 장치되어 있는 컨테이너의 수량을 도식화하면 <그림 4-7>과 같다.

<그림 4-7>

일반 수출화물의 적하과정



선박의 입항 시점이 되면 선박 적하 화물의 누적 컨테이너 수는 최고 점에 도달하였다가 선박이 적하 작업을 하는 동안 점차 누적 컨테이너 수는 감소한다. 선박의 적하작업이 종료되는 시점이 되면 터미널 내 컨테이너 수는 0이 된다.

여기서 $y_i(t) = \frac{Q_L}{T_r} t + \frac{Q_L}{T_r} (T_r - iT_a)$ 이고 $t_1 < t \leq t_2$ 에서 $z(t) = -\frac{Q_L}{T_l} (t - T_u) + Q_L$ 이다. 따라서 한 사이클내에서 시점 t 에서의 총 적하 컨테이너 재고수준 $L(t)$ 는, 현재 입항 선박 이후 n 번째 선박의 수출 컨테이너가 장치장에 반입되기 시작되는 시점 S_n 의 값에 따라 세 가지 경우로 구분된다. 따라서 $D(t)$ 는 시점 t 에서의 E_m 의 위치에 따라 다음과 같이 3가지 경우로 나누어 생각할 수 있다. Case 1은 현재 접안 중인 선박을 기준으로 한 사이클 내에서 현재 선박보다 n 번째 이후 선박에 적하될 수출컨테이너가 현재 접안 중인 선박의 양하작업 시간 동안에 반입이 시작된 경우이다. Case 2는 현재 선박보다 n 번 이후 선박에 적하될 수출 컨테이너가 현재 접안 중인 선박의 적하 작업시간 동안에 반입이 시작된 경우이다. 그리고 Case 3은 현재 선박보다 n 번 이후 선박에 적하될 수출 컨테이너가 현재 접안 중인 선박이 출항한 이후, 다음 선박이 도착하기 전에 반입이 시작된 경우이다

Case 1. $t_0 < S_n \leq t_1$ 인 경우

$$L(t) = Q_L + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} (n-1)(t + T_r) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_0 < t \leq S_n \quad (4.16)$$

$$L(t) = Q_L + \sum_{i=1}^n y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a \quad S_n < t \leq t_1 \quad (4.17)$$

$$L(t) = z(t) + \sum_{i=1}^n y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a - \frac{Q_L}{T_l} (t - T_u) \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (4.18)$$

$$L(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) = \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_2 < t \leq t_3 \quad (4.19)$$

Case 2. $t_1 < S_n \leq t_2$ 인 경우

$$L(t) = Q_L + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} (n-1)(t + T_r) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_0 < t \leq t_1 \quad (4.20)$$

$$L(t) = z(t) + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} (n-1)(t + T_r) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a - \frac{Q_L}{T_l} (t - T_u) \quad t_1 < t \leq S_n \quad (4.21)$$

$$L(t) = z(t) + \sum_{i=1}^n y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a - \frac{Q_L}{T_l} (t - T_u) \quad S_n < t \leq t_2 \quad (4.22)$$

$$L(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) = \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_2 < t \leq t_3 \quad (4.23)$$

Case 3. $t_2 < S_n \leq t_3$ 인 경우

$$L(t) = Q_L + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} (n-1)(t + T_r) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_0 < t \leq t_1 \quad (4.24)$$

$$L(t) = z(t) + \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = Q_L + \frac{Q_L}{T_r} (n-1)(t + T_r) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a - \frac{Q_L}{T_l} (t - T_u) \quad t_1 < t \leq t_2 \quad (4.25)$$

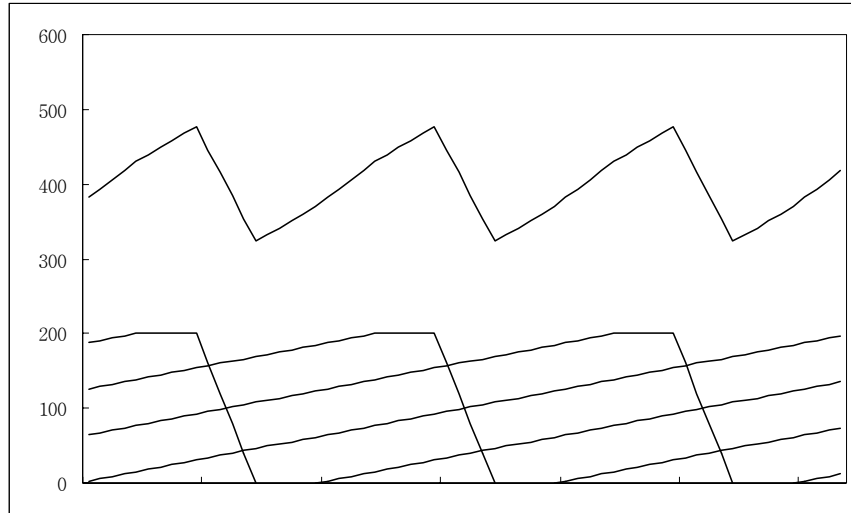
$$L(t) = \sum_{i=1}^{n-1} y_i(t) = \frac{Q_L}{T_r} (n-1)(t + T_r) - \frac{n(n-1)}{2T_r} Q_L T_a \quad t_2 < t \leq S_n \quad (4.26)$$

$$L(t) = \sum_{i=1}^n y_i(t) = \frac{Q_L}{T_r} n(t + T_r) - \frac{n(n+1)}{2T_r} Q_L T_a \quad S_n < t \leq t_3 \quad (4.27)$$

K-2 모형을 이용하여 선박별 적하량 Q_L 이 200, 양적하 작업시간이 각각 5시간, 선박도착간격 T_a 가 20시간, 그리고 수출화물의 무료장치가간 T_r 이 65시간이라고 가정하면 $n=3$, $S_n=15$ 로 식(4.16)~(4.27)를 이용하여 장치장의 재고를 추정 한 결과를 <그림 4-8>에 표시하였다.

<그림 4-8>

일반 수출화물에 의한 재고수준 변화



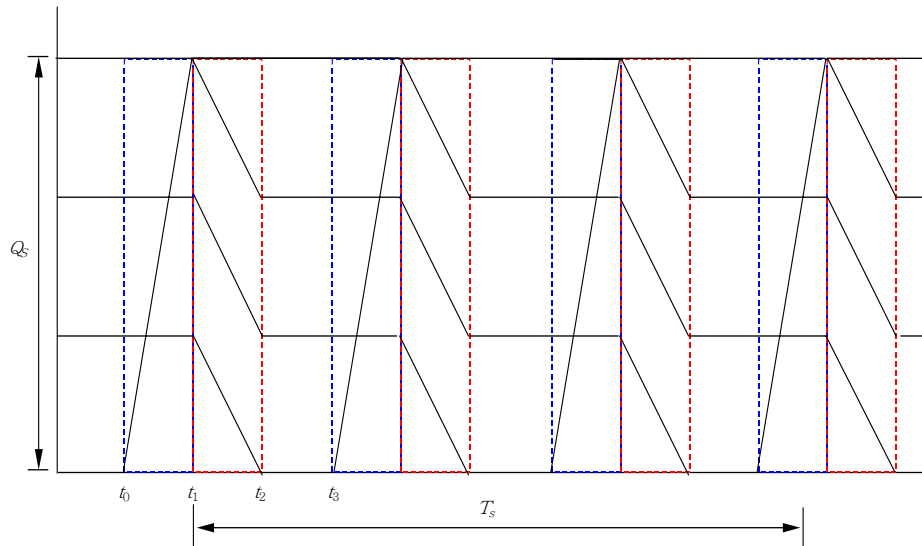
식(16)~(27)를 정리하면 $L(t)$ 는 $t_0 < t \leq t_1$ 와 $t_2 < t \leq t_3$ 에서 단조증가이고 $t_1 < t \leq t_2$ 에서는 단조감소로 사이클에서의 재고량 함수는 연속적이므로 $L(t_0) = L(t_3)$ 이다. 따라서 사이클 내에서의 최소 재고량은 t_2 에서 발생하고 최대 재고량은 t_1 에서 발생한다. 재고량의 변동폭을 살펴보기 위해 최소·최대 재고량의 차이를 구하면 $t_0 < E_m \leq t_1$ 인 경우에는 $Q_L - \frac{Q_L}{T_r} nT_i$, $t_1 < E_m \leq t_2$ 의 경우에는 $Q_L + \frac{Q_L}{T_r} nT_a - \frac{Q_L}{T_r} (nT_u + T_u + T_r)$ 그리고 $t_2 < E_m \leq t_3$ 의 경우에는 $Q_L - \frac{Q_L}{T_r} (n-1)T_i$ 이다.

4) K-3 모형

환적화물은 양하 작업 시간동안 선박으로부터 장치장에 내려진 후 T_s 기간동안에 입항하는 선박들의 환적 적하 물량으로 실려진다. 환적 컨테이너의 수량을 도식화하면 <그림 4-9>와 같다.

<그림 4-9>

환적화물의 환적과정



무료장치기간의 마지막 선박에 환적 적하 작업이 종료되면 선박의 환적 양하 물량은 0이 된다. 이때 환적 양하 물량은 환적 적하 물량을 적하하는 선박의 적하작업 시작 시점까지는 변동이 없다. 환적 컨테이너 재고량 $S(t)$ 는 시점 t 의 구간에 따라 식 (4.28)~(4.30)과 같이 유도된다. 각각의 식에서 앞부분은 현재 접안 중인 선박으로부터 양하된 환적물량에 따른 재고수준 변화를 나타내고, 뒷부분은 현재 접안 선박과 이전 선박으로부터 양하된 환적물량에 따른 재고량 변화를 나타낸다.

Case 1. $t_0 \leq t < t_1$ 인 경우에

$$S(t) = \frac{Q_s}{T_u} t + \sum_{k=1}^p \frac{p+1-k}{p} Q_s = \frac{Q_s}{T_u} t + \frac{p+1}{2} Q_s \quad (4.28)$$

Case 2. $t_1 \leq t < t_2$ 인 경우에

$$S(t) = Q_s + \sum_{k=1}^p \left(-\frac{Q_s}{pT_l} (t - T_u) + \frac{p-k+1}{p} Q_s \right) \quad (4.29)$$

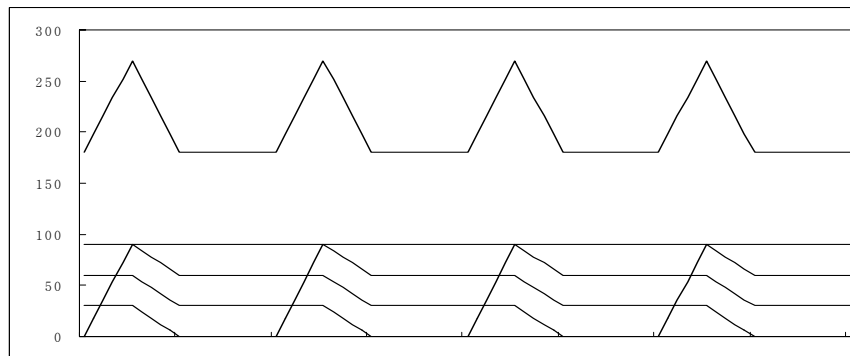
Case 3. $t_2 \leq t < t_3$ 인 경우에

$$S(t) = \sum_{k=1}^p \frac{p-k+1}{p} Q_s = \frac{p+1}{2} Q_s \quad (4.30)$$

$Q_s=90$, $T_u = T_l=5$ 시간, $T_a=20$ 시간, 그리고 $T_s=70$ 시간이라고 가정하면 $p=3$ 로 식(4.28)~(4.30)을 이용하여 장치장의 재고를 추정한 결과를 <그림 4-10>에 표시하였다.

<그림 4-10>

환적화물에 의한 재고수준 변화



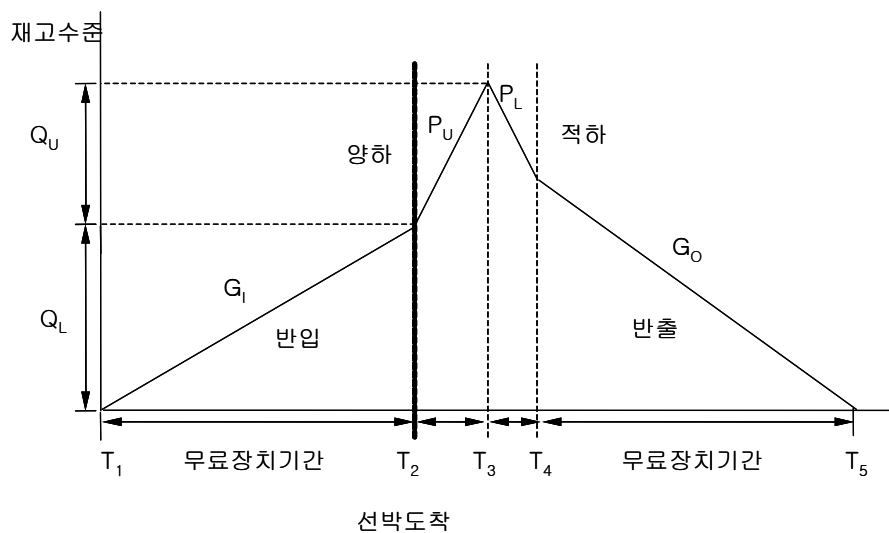
식(4.28)~(4.30)을 정리하면 $S(t)$ 는 $t_0 < t \leq t_1$ 에서 단조증가이고 $t_1 < t \leq t_2$ 에서는 단조감소로 사이클에서의 재고량 함수는 연속적이므로 $S(t_0) = S(t_2) = S(t_3)$ 이다.

5) 단위 항차에 의한 재고모형

위와 같이 수출화물, 수입화물 및 환적화물 각각에 의한 재고량 변화를 종합하여 단위 항차에 따른 재고량 변화는 <그림 4-11>과 같다. <그림 4-11>은 K-1 모형에 의한 수입화물 재고수준 변화량(<그림 4-5>참조), K-2모형에 의한 수출화물 재고수준 변화량(<그림 4-7> 참조), K-3 모형에 의한 환적화물 재고수준 변화량(<그림 4-9> 참조)을 종합한 단위 항차당 재고수준 변화를 나타낸다.

<그림 4-11>

단위 항차에 따른 재고수준 변화



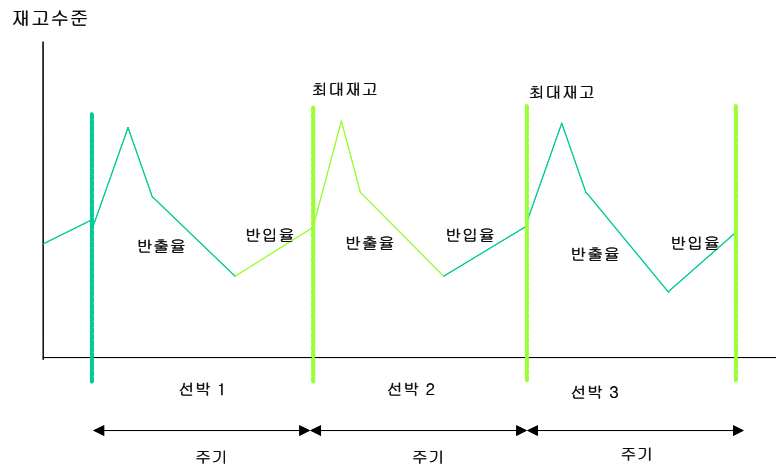
<그림 4-11>은 기준 선박의 도착시점을 기준으로 장치재고량 변화를 나타내고 있다. 시점 T_2 에 입항이 예정된 선박에 적하될 수출화물(환적화물 포함)은 수출화물의 무료장치기간을 고려하여 시점 T_1 부터 반입이 시작되어 선박도착 시점 T_2 직전에 반입이 완료된다. 또한 안벽에 접안한 선박은 T_2 부터 양하가 시작되어 시점 T_3 에 양하 작업이 완료되고, 수출화물(환적화물 포함)은 T_3 시점부터 적하가 시작되어 T_4 시점에 적하가 완료된다. 그리고 수입화물은 시점 T_4 부터 반출을 시작하여 수입화물의 무료장치기간을 고려하여 T_5 시점에 반출이 완료된다. 따라서 이와 같은 단위 항차에 의한 재고수준, 즉 한 사이클 내에서 시점 t 에서의 재고수준 $T(t)$ 는 t 시점에서 K-1모형에 의한 수입화물 재고수준 $L(t)$, K-2모형에 의한 수출화물 재고수준 $D(t)$ 그리고 K-3모형에 의한 환적화물 재고수준 $S(t)$ 를 식 (4.31)과 같이 더하면 된다.

$$T(t) = \sum [L(t) + D(t) + S(t)] \quad (4.31)$$

이와 같이 K 모형에 의하여 계산된 시간별 재고수준 변화의 특징은 <그림 4-12>와 같다. <그림 4-12>는 단위 항차에 의한 재고수준 변화를 반복적으로 나타낸 그림이다.

<그림 4-12>

K모형에 의한 장치장 재고수준 변화



K 모형에 의한 시점 t 에서의 재고수준 $T(t)$ 는 선박도착간격을 한 사이클로 하여 반복되는데 최대 재고량은 양하가 완료된 직후 시점 t^* 에 발생한다.

$$\text{최대 재고량}(Q) = T(t^*) = \text{Max } T(t) \quad (4.32)$$

그리고 최소 재고량은 선박별 양적하량과 구성 비율과 화물별 무료장치기간에 따른 게이트 반출입율에 따라 달라진다. 또한 한 사이클 내에서 장치장 재고수준은 선박으로부터 양하가 시작된 후부터 적하가 완료되기 직전에 집중되고 기타 시간에는 비교적 완만한 재고량의 변화가 있을 뿐이다. 따라서 장치장 소요 규모를 산정하는데 적용될 의미있는 재고수준은 최대 재고수준을 중심으로 집중된 정도이다. 따라서 장치장 소요 규모를 산정하는 기준 물량으로서 식 (4.33)과 같이 최대 재고수준 Q 를 적용하거나 또는 최대 재고수준을 중심으로 집중되는 시간에 따른 재고량으로 제시할 수 있다.

$$\text{기준 물량} = \begin{cases} Q \\ \int_{y_1}^{y_2} T(t) dt, \text{ 여기서 } y_1 \leq t^* \leq y_2 \end{cases} \quad (4.33)$$

식 (4.33)에서 y_1 과 y_2 의 값은 최대 재고수준을 중심으로 한 집중된 정도와 장치장에서의 작업생산성을 고려한 운영 여유를 고려하여 결정해야 할 것이다. 지금까지 방법에서처럼 최대 재고량에 분리계수를 곱하여 장치장 소요 규모 산정의 기준 물량으로 적용할 수 있을 것이다. 그러나 장치장 소요 규모를 산정하는 기준 물량으로서는 어떤 물량을 기준으로 할 것인가는 본 연구에 이는 이차적인 연구 과제이다. 다만 본 연구에서는 장치장에서의 시간별 재고수준 변화를 예측하는 것으로 한정하였다.

장치장에서의 재고수준 변화를 분석한 후 장치장 소요 규모 산정에 적용할 기준 물량을 정하는 본 연구의 접근 방법과 기존의 방법을 비교하면 다음과 같다.

Frankel 방법에서는 평균 장치기간에 대한 변동을 부여하여 기준 재고량을 산정하고, 국내 보고서에서는 평균 장치기간 동안의 재고량에 피크계수를 고려하여 기준 물량을 산정하였다(식 (4.34), (4.35) 참조).

$$\text{기준 물량(Frankel)} = \frac{\text{연간물동량}}{365} \times (\text{평균 장치기간} + 2 \times \text{장치기간의 표준편차}) \quad (4.34)$$

$$\text{기준 물량(국내보고서)} = \frac{\text{연간물동량}}{365} \times \text{피크계수} \times \text{평균장치기간} \quad (4.35)$$

결과적으로 지금까지는 장치장 소요 규모를 산정하는 기준 물량으로서 식 (4.35)와 같이 계산된 물량을 기준으로 하여 장치장 소요 규모를 산정하였으나, 본 연구에서는 장치장 소요 규모산정을 위한 기준 물량으로서 식 (4.33)과 같은 방법을 제시하였다.

3. 실험 분석

본 절에서는 연간 처리 물동량이 주어졌을 때 회전률을 이용한 기존 연구 방법과 본 연구에서 구축한 재고모형과의 차이점을 비교한다. 기존의 연구에서는 장치기간을 기준으로 기준 재고량을 결정하였다. 즉 연간 물동량을 장치기간에 따른 연간 회전을 개념으로 기준 재고량을 산정하였다. 다만 Frankel 방법에서는 평균 장치기간에 대한 변동을 부여하여 기준 재고량을 산정하고, 국내 보고서에서는 평균 장치기간 동안의 재고량에 피크계수를 고려하여 기준 재고량을 산정하였다. 게이트에서의 반출입률이 일정하다고 가정하였으므로 평균 장치기간은 무료장치기간의 절반이 된다. Frankel의 방법과 국내 보고서 두 방법 모두 1년을 기준으로 장치기간에 따른 연간 회전을 개념을 도입한 것이다. 특히 식 (4.35)와 같이 검토한 방법에서 피크계수를 제외하면 장치기간 동안의 평균 재고량은 식 (4.36)과 같이 계산된다.

$$\text{평균재고량} = \text{연간 물동량} / 365\text{일} \times \text{무료장치기간} / 2 \quad (4.36)$$

식(4.36)을 살펴보면 평균 재고량은 연간 물동량과 무료장치기간과 선형관계에 있음을 알 수 있다. 국내 보고서에서 검토한 식 (4.36)과 같은 방법과 본 연구에서 구축한 재고모형을 비교 분석하였다. 먼저 기존 방법에 의해서 산정한 평균 재고량과 재고모형에서 구한 평균 재고량 및 최대 재고량을 비교하였다. <표 4-1>은 연간물동량과 무료장치기간을 변화시켰을 때 회전율 개념을 이용하여 구한 평균 재고량을 정리한 것이다.

<표 4-1>

회전을 개념을 이용한 평균 재고량

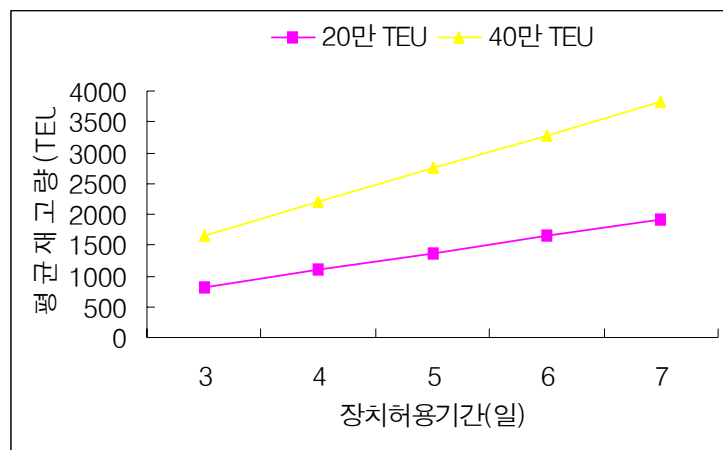
(단위: TEU)

연간 물동량 무료장치기간	20만 TEU	30만 TEU	40만 TEU	50만 TEU
3일	822	1233	1644	2055
4일	1096	1644	2192	2740
5일	1370	2055	2740	3425
6일	1644	2466	3288	4110
7일	1918	2877	3836	4795

장치허용일수가 3일일 때 연간 물동량이 20만TEU의 경우 평균 재고량은 822TEU이지만, 연간 물동량이 40만TEU로 100% 증가하면 평균 재고량도 역시 1,644TEU로 100% 증가하였다. 마찬가지로 무료장치기간이 3일에서 6일로 증가하면 평균 재고량이 두 배 증가함을 알 수 있다.

<그림 4-13>

장치허용일수에 따른 평균 재고량

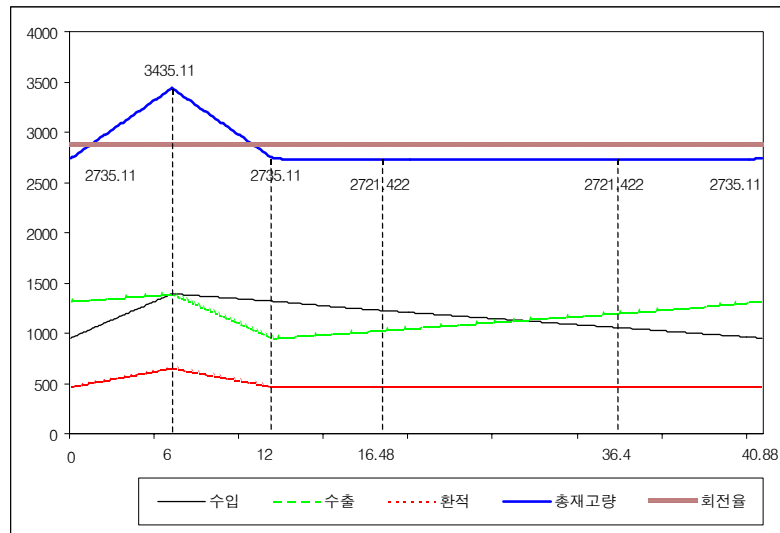


<그림 4-13>은 장치허용기간이 3일때부터 7일까지 변할 때 장치장에서
의 평균재고량 변화를 나타내고 있다. 장치기간이 증가함에 따라 평균재
고량도 비례하여 증가하고 있음을 알 수 있으며, 연간 물동량이 20만TEU
에서 40만TEU로 두배 증가하면 평균재고량도 두 배 증가함을 알 수 있
다.

또한 연간 물동량 30만TEU에 대해서, 무료장치기간에 따른 회전을 개
념에 의해 계산된 평균 재고량과 본 연구에서 구축한 재고모형에 의하여
분석된 재고량을 비교하였다. 먼저 기존의 방법에서는 필요하지 않았던
선박별 작업량, 양적하 작업시간 및 생산성은 다음과 같이 가정하였다.
연간 물동량중 일반 수출입 물동량이 각각 36% 그리고 연간 환적 물동
량 28%으로 가정하였다. 그리고 선박별 평균 작업량은 1,400TEU(수출
513TEU, 수입 513TEU, 환적 374TEU 포함), 본선작업시간은 양하작업시
간 6시간, 적하작업시간은 6시간으로 총 12시간으로 가정하였다. 따라서
선박별로 4대의 컨테이너 크레인이 할당된다면 크레인의 시간당 생산성
은 약 30BOX가 된다. 화물별 무료장치기간은 모두 7일로 일정하게 적용
하였다.

연간 214.29대의 선박이 입항하여 평균 선박도착간격은 40.88시간, 즉
단위 사이클의 길이는 40.88시간이 된다. 이때 사이클 내에서 반출되는
항차수는 2척, 반입되는 항차수는 3척, 그리고 환적화물은 양하 후 도착
하는 2척의 선박에 의하여 환적된다. 따라서 장치장에 장치된 수입 컨테
이너가 사이클내에서 반출이 종료되는 시점, 즉 E_2 는 16.48시가 되고,
반대로 수출 컨테이너가 사이클내에서 터미널에 반입되기 시작한 시점,
즉 S_3 은 36.4시가 된다. 재고모형에 의하여 계산된 사이클내 평균 재고
량은 2,830TEU로서 기존의 모형에서 산정한 평균 재고량 2,877TEU(무료
장치기간 7일 기준)보다 적다. 그러나 기준모형에서는 제시하지 못한 최
대 재고량은 3,451TEU로 나타났다.

<그림 4-14> 재고모형에 의하여 계산된 재고량 변화



또한 기존의 방법에서는 연간 물동량과 장치기간에 따른 평균재고량만 제시하고 있으나 K모형은 최대재고수준에 대한 정보도 제공한다. <표 4-2>은 연간 물동량이 20만TEU, 30만TEU, 40만TEU 및 50만 TEU에 대해서 선박별 작업량이 1,000TEU, 1,200TEU, 1,400TEU, 1,600TEU일때의 최대재고수준을 나타내고 있다. 또한 무료장치기간을 3일, 4일 5일, 6일, 7일로 변해가면서 각각의 시나리오에 대한 최대재고수준을 분석하였다. 장치장 소요규모 산정에는 평균재고량 보다는 이와 같은 최대재고수준에 대한 정보가 의미를 갖는다.

<표 4-2>

최대 재고량

선박당 평균작업량	연간물동량		20만 TEU	30만 TEU	40만 TEU	50만 TEU
	장치	허용일수				
1000 TEU	3일		1348.3	1763.3	2178.3	2593.3
	4일		1621.3	2132.5	2643.8	3221.7
	5일		1870.3	2495.6	3175.8	3792.1
	6일		2086.7	2855.6	3641.3	4365.8
	7일		2331.4	3219.0	4106.7	4994.3
1200TEU	3일		1510.9	1901.9	2303.1	2678.2
	4일		1733.2	2266.4	2799.6	3332.8
	5일		1971.7	2590.2	3288.8	3907.4
	6일		2149.7	2965.3	3694.3	4499.2
	7일		2442.4	3330.3	4177.8	5086.9
1400TEU	3일		1637.8	2022.6	2406.2	2824.8
	4일		1835.1	2363.4	2891.8	3420.2
	5일		2075.5	2722.2	3368.9	4015.6
	6일		2320.7	3046.2	3865.2	4610.9
	7일		2495.8	3435.1	4279.5	5206.3
1600TEU	3일		1729.1	2109.7	2535.8	2878.4
	4일		1990.1	2486.9	3021.9	3497.7
	5일		2146.8	2800.2	3453.7	4107.1
	6일		2438.0	3195.9	3953.8	4711.6
	7일		2668.8	3501.3	4440.4	5313.4
1800TEU	3일		1800.0	2266.4	2627.3	3045.5
	4일		2118.5	2599.8	3098.9	3645.8
	5일		2318.8	2957.5	3596.3	4236.6
	6일		2452.3	3224.6	3996.9	4769.2
	7일		2795.9	3663.6	4531.3	5398.9

4. K모형에 대한 실증 분석

K모형에서 필요로 하는 자료는 2장에서 분석한 현대상선의 운영실적을 이용하여 K모형에 대한 현실성을 검증하였다. 먼저 연간 도착선박간격이 모두 일정하다고 가정한 경우와 경우에 따라서는 선박도착간격이 변하는 경우를 가정하여 이에 대한 변화도 실험하였다.

1) 평균 선박도착간격 적용

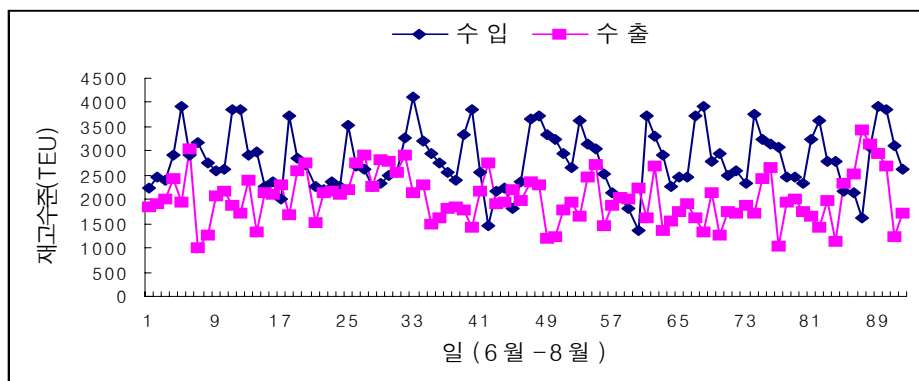
먼저 감만 4단계 현대상선의 2000년 운영실적은 다음과 같다. 현대상선에서는 수입화물 186,432TEU, 수출화물 181,188TEU 그리고 환적화물 111,523TEU를 처리하여 총 479,143TEU를 처리하였다. 그리고 입항 선박수가 총 297척으로서 선박도착간격은 평균 1.229일(29.5시간)마다 한 대씩 입항하였다. 따라서 선박별 화물별 작업량은 수입화물 628TEU, 수출화물 610TEU를 처리하였고, 환적화물은 375TEU를 처리하여 선박별 평균작업량은 1,543TEU를 처리였다. 주의하여야 할 사항은 안벽에서의 생산성은 BOX 단위로 산정하였으나 장치장에서는 20'단위로 치환하여 규모를 산정하기 때문에 현대상선의 2000년 실적을 기준으로 20', 40' 구성비율에 따라 20' 단위로 치환하였다. 그리고 선박별 평균작업시간은 14.32시간으로서 선박시간당 평균 생산성은 107.75TEU를 처리하였다(<표 4-3>참조).

<표 4-3> 감만 4단계 현대상선 운영실적 요약(2000년)

물동량	수출	181,188TEU	479,143TEU
	수입	186,432TEU	
	환적	111,523TEU	
선박도착수	297척		
평균선박도착간격	1.229일(29.5시간)		
작업량/선박	수출	610TEU	1,613TEU
	수입	628TEU	
	환적	375TEU	
평균작업시간/선박	14.32TEU		
평균생산성/선박	107.75TEU		
무료장치기간	수출	3일	
	수입	4일	
	환적	7일	

위와 같은 전반적인 2000년 실적에 대해서 6월부터 8월까지의 일별 재고수준 변화를 조사하였다. 실제로 각 터미널에서 연간 취급하고 있는 모든 컨테이너에 대한 시간대별 장치기간에 대한 정보는 자료의 양이 너무 방대하여 3개월 동안의 일별 자료를 조사하였다. 따라서 선박도착간격을 중심으로 한 시간대별 재고수준 변화에 대한 정보는 제공하지 못하고 있다.

<그림 4-15> 감만 4단계 현대상선 일별 재고수준 변화(6월-8월)



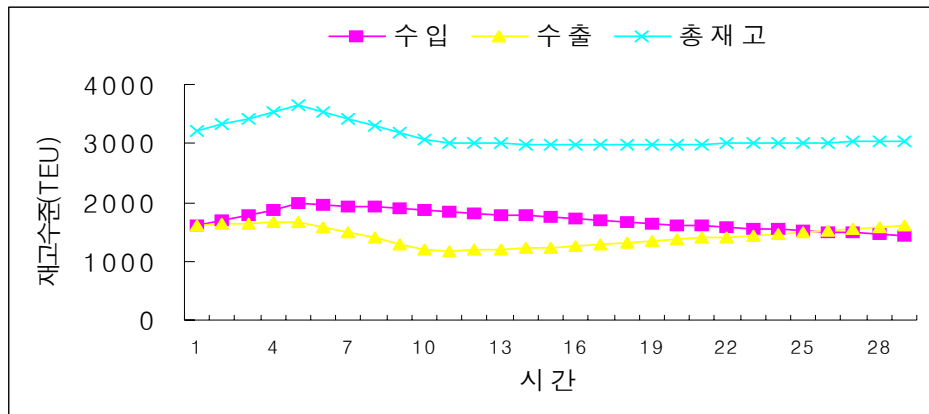
3개월 동안의 일별 재고수준 변화를 살펴보면, 화물별 일일 평균장치재고량은 수입화물 2,810TEU, 수출화물 2,027TEU로 나타났으며, 환적화물은 일일 평균 85TEU가 장치되어 장치장의 일일 평균재고수준은 4,922TEU로 나타났다. 위의 그림은 선박도착시점, 선박별 작업량에 대한 정보가 포함되지 않은 일별 재고수준을 나타내고 있다.

<표 4-3>과 같은 현대상선의 운영실적을 이용하여 K모형에 대한 실증 분석을 실시하였다. 선박도착간격은 2000년 도착한 297척의 평균 도착간격 29.5시간을 적용하였다. 그리고 선박별 양적하 작업량, 양적하 생산성 등 현대상선의 2000년 실적 분석자료를 이용하였다.

이와 같은 현대상선의 운영실적 분석 자료를 K모형의 모수로 가정하여 K모형에 대한 실증분석을 실시한 결과는 <그림 4-16>과 같다. <그림 4-16>은 K모형을 이용하여 선박도착간격 29.5시간 동안의 재고수준 변화를 보여주고 있다. 선박도착 후 양하 생산성에 의하여 재고수준이 증가하고, 적하가 시작되면 적하 생산성에 의하여 재고수준이 감소하고, 수입화물의 반출이 시작되면서 반출율에 따라 재고수준이 감소하고 있다.

<그림 4-16>

K모형에 대한 실증 분석



K모형에 의한 재고수준 변화 분석 결과 선박도착간격 29.5시간마다 재

고수준이 반복되고 있으며, 최대 재고수준은 3,650TEU, 최소 재고수준은 2,977TEU로 나타났다. 그리고 평균재고량은 3,126TEU로 나타났다(<표 4-4>참조).

<표 4-4>

K모형에 대한 실증 분석

구분	실적				K모형		
	수입	수출	환적	계	수입	수출	계
최대재고수준	4,107	3,437	425	6,985	1,972	1,678	3,650
최소재고수준	1,370	997	21	3,820	1,442	1,169	2,977
평균재고수준	2,810	2,027	85	4,923	1,706	1,420	3,126

감만 4단계 현대상선을 실적자료를 이용하여 K모형에 대한 실증 분석을 실시한 결과 전반적으로 K모형에 의한 재고수준이 실적보다 적게 평가되고 있음을 알 수 있다. 특히 실적 자료에 의한 최대 재고수준은 6,985TEU이었으나 K모형에서는 3,650TEU로 나타났다. 그리고 평균 재고수준에 있어서는 실적자료가 4,923TEU, K모형에서는 3,126TEU로 나타났다. 위와 같은 K모형에 대한 실증 분석결과를 다음과 같은 두 가지 측면에서 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

첫째, K모형에 의한 재고수준 변화는 비교적 완만하게 변한다.

실적자료에서는 최대재고수준과 최소재고수준 사이에서 약 2배 정도의 차이를 보이면서 재고수준이 변하고 있음을 알 수 있으나, K모형에서는 선박도착간격을 주기로 하여 최대 재고수준과 최소 재고수준 사이에서 재고수준의 변화가 완만하게 변하고 있음을 알 수 있다.

둘째, K모형에 의한 재고수준이 실적자료보다 적게 평가되고 있다.

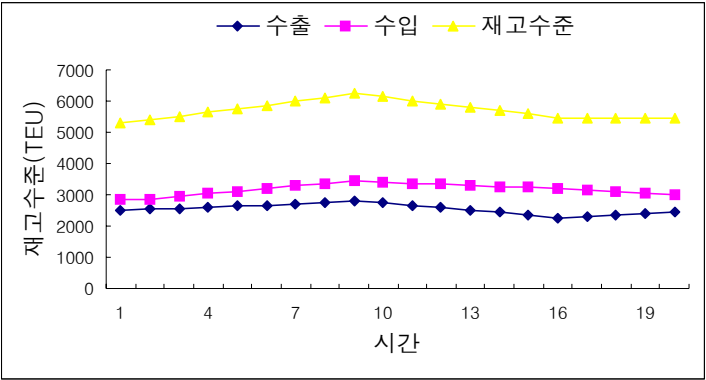
K모형에 의한 재고수준이 실적자료에 의한 재고수준 변화보다 적게 평가되고 있음을 알 수 있다. 이는 재고모형에서는 모든 화물이 각각 화물별 무료장치기간동안에 반출입된다고 가정하였으나 실재는 그렇지 않다.

2) 선박도착간격 변화

K모형은 선박도착간격을 설명변수로 하고 있다. 앞에서는 2000년 일년 동안 도착한 297척이 모두 일정한 간격 29.5시간마다 도착한다고 가정한 경우이다. 그러나 어느 특정 시점에서 선박도착간격이 줄어들면 단위 주기동안의 재고수준 변동 특성은 달라진다. 예를 들면 월요일과 토요일의 선박도착간격은 달라질 수 있기 때문에, 선박도착간격을 29.5시간에서 20시간으로 줄어드는 경우에 대한 실험을 실시하였다. 또한 선박도착간격이 줄어들면 선박별 작업량, 양적하 생산성에 있어서도 변화를 줄 수 있기 때문에 이들에 대한 변화도 고려하였다. 선박별 작업량도 평균 작업량에 대해서 각각 10%씩 증가한다고 가정하였고, 또한 선박도착간격이 줄어들고 선박별 양적하량이 증가하면 양적하 생산성이 증가하기 때문에 이를 반영하기 위하여 양적하 생산성을 시간당 107.75TEU에서 118TEU로 증가하여 분석하였다. 이러한 가정에서 K모형을 이용한 재고수준 변화는 <그림 4-17>과 같다.

<그림 4-17>

K모형에 대한 실증 분석(도착간격 변경)



이와 같이 선박도착간격, 선박별 양적하량, 양적하 생산성을 변경하여 K모형에 의한 재고수준 변화를 살펴보면 수출입화물의 최대 재고수준은 각각 2,797TEU, 3,520TEU로 나타났으며, 장치장 최대 재고수준은 6,317TEU, 최소재고수준은 5,311TEU로 나타났으며 평균 재고량은 5,748로 나타났다(<표 4-5>참조).

<표 4-5> K모형에 대한 실증 분석(선박도착간격 변경)

구분	실적				K모형		
	수입	수출	환적	계	수입	수출	계
최대재고수준	4,107	3,437	425	6,985	3,520	2,797	6,317
최소재고수준	1,370	997	21	3,820	2,833	2,246	5,311
평균재고수준	2,810	2,027	85	4,923	3,213	2,535	5,748

연간 평균선박도착간격을 이용한 경우와 마찬가지로 K모형에 의한 재고수준 변화는 최대재고수준과 최소재고수준 차이가 실적치보다 적게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3) 반출입율 변화

실적자료를 분석한 바와 같이 선박도착 시점을 중심으로 집중되어 반출입되고 있으나, K모형에서는 수출입화물의 반출입율이 화물별 무료장 치기간 동안 일정하다고 가정하고 있다. 따라서 선박도착 시점을 중심으로 집중화되는 현상은 고려하여 실증분석을 실시하지 못했다. 예를 들면 <표 4-6>는 수출화물의 반입율을 나타내고 있다. 즉 -1일은 선박도착시점 1일 전에 컨테이너가 터미널에 반입되는 비율을 나타내고, -7일은 선박도착시점 7일 전에 반입되는 비율을 나타낸다.

<표 4-6> 수출화물의 장치기간 분포(감만 4단계 현대상선)

반입일(일)	반입비율(%)
-7	0.013
-6	0.014
-5	0.039
-4	0.125
-3	0.191
-2	0.272
-1	0.346

<표 4-7>는 수입화물의 반출율을 나타내고 있다. 즉 1일은 선박도착시점 1일 후에 컨테이너가 터미널로부터 반출되는 비율을 나타내고, 19일은 선박도착시점 19일 후에 반출되는 비율을 나타낸다.

<표 4-7> 수입 화물의 장치기간 분포(감만 4단계 현대상선)

반출일(일)	반출비율
1	0.191
2	0.150
3	0.130
4	0.120
5	0.064
6	0.053
7	0.019
8	0.038
9	0.034
10	0.032
11	0.043
12	0.032
13	0.013
14	0.013
15	0.014
16	0.016
17	0.013
18	0.009
19	0.016

<표 4-8>은 환적화물의 양적하율을 나타내고 있다. 환적화물의 경우에는 자사 환적외에 타부두 환적화물이 포함되어 있다. 즉 환적양하 화물이 자부두에서 환적적하되는 경우외에 자부두 게이트를 통해 타부두로 반출된 후 타부두에서 환적적하되는 경우 또는 타부두에서 환적양하 된 후 자부두 게이트를 통해 반입되어 환적적하되는 경우가 포함되어 있다. 즉 환적일이 1일인 경우에는 자부두 환적화물과 타부두 환적화물을 포함하

여 환적화물이 터미널에 장치된 기간이 1일인 컨테이너의 비율이 29.1%, 7일인 경우가 1.1%로 나타났다.

<표 4-8> 환적화물의 장치기간 분포(감만 4단계 현대상선)

장치기간(일)	환적비율
1	0.291
2	0.251
3	0.198
4	0.139
5	0.095
6	0.015
7	0.011

이와 같이 화물별 무료장치기간은 수출화물 3일, 수입화물 4일, 환적화물은 7일을 적용하고 있으나, 실제 장치기간은 각각 7일, 19일, 7일까지 분포하고 있으며 특히 선박도착시점을 중심으로 집중화되고 있다. 그러나 K모형에서는 이러한 집중화 현상을 반영하지 못하고 있다. 실적자료와 K모형과의 재고수준 차이에 대해서 K모형의 한계, 즉 모형에서 현실을 충분히 반영하지 못하고 있는 점을 다음과 같은 점에서 지적될 수 있다.

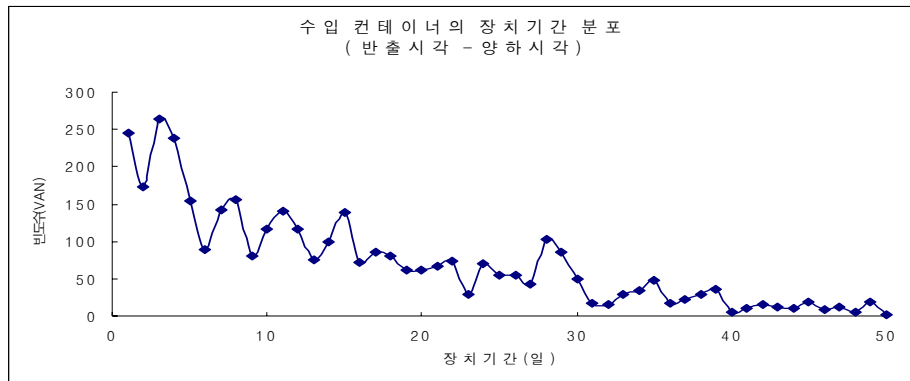
첫째, 재고수준의 변화 특성

K모형에서는 재고수준의 변화주기를 선박도착간격을 일정하게 하여, 한 주기 동안의 재고수준 변화가 계속 반복되는 것으로 하였다. 그러나 실질적으로 실제 선박도착간격은 각 선사들의 배선계획에 의하여 주간 단위로 반복되고 있다. 따라서 요일별 배선계획에 의한 선박도착간격에 따라 재고수준이 주간 단위로 반복되고 있으나 K모형에서는 이를 반영하지 못하고 있다.

둘째, 컨테이너의 게이트 반출입율

K모형에서는 수출입화물 각각에 대한 게이트에서의 반출입율이 무료 장치기간 동안 일정하다고 가정하였으나, 실제로는 선박도착 시점을 중심으로 집중되어 반출입하고 있음을 알 수 있다. 이러한 집중화 현상을 반영하기 위해서는 컨테이너의 반출입율을 다음과 같이 재계산 하여야 한다. 만약 다음 그림과 같은 광양 대한통운의 수입화물에 대한 장치기간이 선박도착 시점을 중심으로 집중되었다면, 이에 근거한 시간별 반출입율을 재산정하기 위하여 다음과 같이 정규화(Normalize)하여야 한다.

<그림 4-18> 광양 대한통운의 수입화물 장치기간 분포



즉 $1=C \int_0^{50} Q(t)dt$ 에 의하여 정규화 상수 C를 구한 후 시점 t_1 과 t_2 사이에 반출율은 다음과 같이 계산된다.

$$[t_1, t_2] \text{ 사이에 반출율} = \int_{t_1}^{t_2} Q(t)dt / C \quad (4.37)$$

따라서 시점 t_1 과 t_2 사이에 반출되는 컨테이너 수는 다음과 같이 계

산된다.

$$[t_1, t_2] \text{ 사이에 반출되는 컨테이너 개수} = \text{선박별양하량} \times \int_{t_1}^{t_2} Q(t) dt / C \quad (4.38)$$

결론적으로 이와 같이 K모형에서 선박도착간격의 주간 변화 및 컨테이너 반출입율의 집중화 현상을 반영하면 보다 현실에 근접한 재고수준 변화를 예상할 수 것이다.

제5장 결론 및 정책 건의

1. 결론

안벽에서의 양적하 능력, 장치장에서의 장치능력 및 게이트에서의 반출입 능력이 균형을 이루어야 전체적인 컨테이너 터미널의 능력은 향상된다. 또한 장치장에서의 작업 능력은 장치장에서 처리해야 할 물량과 장치장 TGS 규모가 균형을 이루어야 한다. 처리해야 할 물량에 비해서 장치장 TGS 규모가 상대적으로 적으면, 재작업이 증가하여 작업능력이 낮아진다. 따라서 장치장 소요 규모는 일차적으로 장치장에서 처리해야 할 물량에 근거하여 산정되어야 한다.

본 연구에서는 장치장 소요 규모 산정에 적용될 기준 물량에 대한 정보를 제공하기 위해 재고모형을 구축하였다. 장치장에서의 재고수준은 선박도착간격, 선박별 양적하 작업량, 안벽에서의 양적하 생산성, 화물별 장치기간 등에 의하여 변한다. 따라서 재고모형에서는 장치장 재고수준 변화에 영향을 미치는 변수를 설명변수로 하여 재고모형을 구축하였으며, K모형은 다음과 같은 두 가지 측면에서 의미를 가지고 있다.

첫째, 장치장에서의 재고수준 변화를 보다 구체적으로 접근하였다.

장치장에서의 재고수준 변화를 총체적인 물동량 개념에서 접근하지 않고, 재고수준에 영향을 미치는 구체적인 변수에 의하여 접근하였다. 장치장 재고수준 변화에 영향을 미치는 변수, 즉 선박도착간격, 선박별 작업량, 양적하 생산성, 무료장치기간에 따른 반출입율을 설명변수로 설정함으로써 이들의 변화에 의한 재고수준 변화를 체계적으로 분석할 수 있다.

둘째, 시간에 따른 장치장 재고수준 변화를 분석함으로써 장치장 소요 규모 산정시 보다 많은 정보를 제공할 수 있다.

K모형은 장치장에서의 재고수준 변화를 시간대별로 분석함으로써 최대 재고수준, 최소재고수준 및 평균 재고수준에 대한 정보를 제공함으로써, 어느 재고수준을 기준으로 하여 장치장 소요규모를 산정할 것인가에 대한 정보를 제공한다. 재고수준 변화 중 특히 최대재고수준과 그 주위에 대한 시간점유비율이 장치장 소요규모에 중요한 정보를 제공할 수 있다.

그러나 K모형이 이와 같은 의미를 갖고 있음에도 불구하고, K모형을 곧바로 현실에 적용하기 위해서는 다음과 같은 점이 보완되어야 한다.

첫째, 선박도착간격

K모형에서는 선박도착시점을 전후로 하여 재고수준이 변한다는 사실은 반영하고 있으나, 모든 선박의 도착간격이 일정하다고 가정한 것은 비현실적인 점이 있다. 일반적으로 선사들은 장단기 배선계획에 의하여 터미널에 입항하는 시각이 일정하게 정해져 있어, 모든 선박의 도착간격이 일정해야 하나 실질적으로는 요일별로 차이를 보이고 있다. 그러나 모형에서는 모든 선박의 도착간격을 일정하게 가정하였다.

둘째, 장치기간

실적자료에서 컨테이너 장치기간에 대해 분석한 결과 수출입 컨테이너는 선박도착시점을 전후로 하여 집중적으로 터미널에 반입되고 있다. 이는 곧 선박도착 전후로 장치장에서의 재고수준이 최대가 될 수 있음을 암시하고 있다. 그러나 K모형에서는 화물별 무료장치기간에 대해서 반출입율을 일정하게 반영함으로써 이러한 집중화 현상을 충분히 반영하지 못하고 있다.

결론적으로 이와 같은 가정을 완화하여 모형을 재구성하면 보다 현실

적인 분석이 가능하리라 예측된다.

2. 정책건의

- 장치장 소요규모 산정에 적용될 기준 물량은 장치장 재고수준 변화에 영향을 미치는 다양한 변수를 고려

연간 물동량이 같은 경우에도 입항 선박규모에 변화가 있으면 장치장에서의 시간별 재고수준변화에는 차이가 발생한다. 즉 선박이 대형화되면 선박별 작업량이 증가하여 일시에 많은 량의 컨테이너가 터미널에 장치하게 된다. 그러나 연간 물동량에 의한 평균 개념에서는 이러한 선박별 작업량 변화에 따른 재고수준 변화를 예측할 수 없다.

- 장치장 소요 규모는 장치장 재고수준의 시간대별 변화를 고려하여 적정 운영여유를 고려하여 산정

안벽에서의 작업에 지장을 초래하지 않는 작업능력을 유지하기 위해서는 적정 수준의 운영여유를 고려하여 장치장 소요규모를 산정하여야 한다. 운영여유는 일시적인 시점에서의 재고수준 기준보다는 장치장에서의 시간대별 재고수준 변화를 고려하여야 한다. 그러기 위해서는 입항선박규모 등 터미널의 조건에 따른 시간대별 재고수준 변화를 분석하여야 한다. 즉 장치장 소요 규모 산정에 의미있는 최대재고수준 및 최대재고수준 주위의 점유시간을 분석하여 이를 적정 운영여유 산정에 반영하여 장치장 소요규모를 산정하여야 한다.

참고문헌

- [1] Kim, K. H. and Bae, J. W., "Remarshaling Export Containers in Port Container Terminals", Computer ind. Engng, Vol. 35, No. 3-4, 1998.
- [2] 임진수, 박병인, 컨테이너터미널 능력산정에 관한 연구, 1991.
- [3] 박창호, 부산항의 컨테이너 물류시스템 분석에 관한 연구, 한국해양대학교 박사학위논문, 1992.
- [4] 백인태, 컨테이너 터미널의 장치장 물류관리에 관한 소고, 부산컨테이너부두 운영공사, 1992.
- [5] Kim, K. H. and Kim, D. Y., "Group Storage Methods at Container Port Terminals", MH-Vol.2 The Material Handling Engineering Division 75th Anniversary Commemorative Volumn ASME 1994,1994.
- [6] Mounira, T. I., Castilho, B., and Daganzo, C. F., "Storage Space VS Handling Work in Container Terminals", Transpn. Res.-B, Vol. 27B, No. 1, 1993.
- [7] Ramani, K.V., "An Interactive Simulation Model for the Logistics Planning of Container Operations in Seaports", Simulation, Vol.66, No.5, 1996.
- [8] 한국컨테이너부두공단, 컨테이너화물 유통추이 및 분석, 2001. 5.
- [9] Castilho, B. and Daganzo, C. F., "Handling Strategies for Import Containers at Marine terminals", Transpn. Res-B, Vol 27B, No.2, 1993.
- [10] Chen, F., "Stationary Policies in Multiechelon Inventory Systems with Deterministic Demand and Backlogging", Operations Research, Vol. 46, No. 3, 1998.
- [11] 전국항만적정하역능력 산정,1998.7, 한국해양수산개발원
- [12] 항만장비현대화 기본계획수립, 1999.6, 한국해양수산개발원