공컨테이너의 효율적 관리를 위한 계량적 분석

오 양 택[1], 신 재 영[2]

Quantitative Analysis for the Efficient Control of Empty Container Flow

Yang-Taek Oh, Jae-Yeong Shin

Abstract

The international maritime shipping of containers is an extremely complex activities, especially if a company aims to simultaneously optimize the cost and service of the company's operations in a competitive environment. But non-optimal day to day operations, such as an unreasonable distribution and non-distribution of empty containers, may generate not only greater storage, leasing and maintenance cost, but also a lack of empty container for cargo demand as needed, which may call for additional container leasing and purchasing. Therefore, the costs associated with the control and movement of container is an important component of a liner shipping company's cost structure.

This paper investigates the control process of container in a typical container liner shipping and proposes a day by day operational model for empty container control in the maritime container transportation system. And in order to evaluate the model's practical performance, we collected real data

1) 한국해양대학교 이공대학 항만운송공학과 석사과정 수송전공
2) 한국해양대학교 이공대학 물류시스템공학과 조교수

from "H Shipping" and solved the problem by computer.

This evaluation has suggested the follows;

1) In order to minimize container cost, shipping company must properly distribute empty containers. Our model minimize the total container cost satisfying the relationship between the number of empty container needed and the number of empty container available.

2) And this model decide the exact number and time for empty container distribution. So container operators in container liner shipping company are able to know when, how many, from where and to where containers reallocate.

3) We can view storage container number's variation of ports in output table and control container E.O.Q in ports.

1. 서 론

해상수송은 주로 국가간 무역에서 발생하는 대량화물을 수송하고 있으며, 70년대 이후부터는 컨테이너를 이용한 국제복합운송이 크게 발전하여, Door to Door 서비스 개념까지 등장하였다. 특히 컨테이너 화물 수송은 재래선 수송에 비해 그 수송수요가 폭발적으로 증가하였고, 선박외에도 컨테이너 등 관련 운영 장비들의 수와 종류가 다양해지고 복잡해짐으로써 해운기업 경영에 있어 선박과 관련 장비의 운영에 더 전문적이고 체계적인 지식이 필요하게 되었다. 특히 오늘날 효율적인 컨테이너 운용관리는 선사의 중요한 경영목표 가운데 하나가 되었다. 그러나 해상 컨테이너 운송은 그 교역 규모나 물류전반에서 차지하는 중요성에 비하여 지금까지 관련 연구실적이 미미한 형편이었다. 따라서, 본 연구에서는 현행 컨테이너 관리 문제를 체계적으로 분석, 연구하여 컨테이너를 효율적으로 관리할 수 있는 운영적 관점의 공컨테이너 관리 모형을 제시하고자 한다.

2. 컨테이너 운송 현황 분석

컨테이너 화물이 우리나라의 무역 및 운송에서 차지하는 비중은 계속해서 증가

dCollection

하였으며 앞으로도 증가할 것으로 예상된다. 이는 컨테이너에 의한 화물 운송이 컨테이너라는 규격화되고 취급이 편리하며 화물을 외부로부터 보호하기 위한 용기를 사용하므로써 화물의 이동·적재·보관·관리에서 재래선에 의한 운송보다는 비용 절감은 물론 편리성과 안전성 및 운송의 신속성이 크게 증대되었음이 증명되었기 때문이다. 따라서 미래에 있어서도 컨테이너를 이용한 화물의 운송은 컨테이너 기기 자체의 발달, 하역 기계의 발달 그리고 선박, 기차, 트랙터, 트레일러 같은 운송 수단의 발달에 힘입어 크게 증가할 것으로 예상된다.

우리나라에 있어서의 컨테이너 화물이 무역에서 차지하는 비중은 다음 표와 같다.

<표 2-1> 컨테이너가 수출입에서 차지하는 비중

단위 : 천톤, %

	전 국 (점유율)			부 산 항 (점유율)		
	구분	1991	1992	구분	1991	1992
수출입 물동량	수 출	52,426	62,852	수 출	28,201	26,104
	수 입	210,456	22,721	수 입	36,374	24,289
	계	262,927	285,273	계	64,575	53,493
컨테이너 물동량	수 출	26,232 (50.2)	27,595 (43.9)	수 출	25,552 (90.6)	26,614 (91.1)
	수 입	17.553 (8.3)	16,274 (7.3)	수 입	16,660 (45.8)	15,632 (64.3)
	계	43,876 (16.7)	43,869 (16.7)	계	42.212 (65.4)	42,246 (78.9)

자료: 해운항만청, 해운항만통계연보 1992, 1993.

<표 2-1>에서 보는 바와 같이 컨테이너 화물이 수출입 물동량에서 차지하는 비율은 1992년의 경우 중량톤 기준으로 볼 때 전체 수출입 물동량의 15.4%, 부산항 수출입 물동량의 78.9%이다. 이 표는 부산항의 취급물량중 컨테이너가 차지하는 비율이 절반을 훨씬 상회하고 있으며, 특히 수출 물량의 경우 90%이상이 컨테이너 물량임을 보여주고 있다.

다음으로, 해상 컨테이너 운송에서 화물의 일반적인 수송절차를 살펴보면 다음

dCollection

과 같다.

① 화주가 선사의 지점 및 그 대리점에 선적을 예약하고(Booking),
② 지점 및 대리점은 화물 선적 예약서(Booking Note)를 작성하며,
③ 집계된 화물 인수 예약 명세서(Booking List)를 관계 지점에 송부하고,
④ 화물 인수 예약 명세서를 기초로 선사의 지시에 따라 CY(Container Yard) 오퍼레이터는 필요한 컨테이너를 화주에게 대출하고 기기인도증(Equipment Receipt)을 접수하며,
⑤ FCL(Full Container Load) 화물의 화주는 공컨테이너에 화물을 적입한 후 CY에 반입하고,
⑥ CY 및 CFS 오퍼레이터는 컨테이너 화물을 인수할 때 부두 수취증(D/R: Dock Receipt)에 서명한 후 화주에게 반환하며,
⑦ 본선이 입항하면 CY 오퍼레이터는 컨테이너를 선적한다.

수입지에서 컨테이너 화물의 양륙 절차와 관련 서류들의 흐름은 다음과 같다.

① 선적항에서 선적이 완료되면 본선은 출항하며 이 때 적하관계 서류를 선사로 송부하며,
② 수화인은 은행 등에서 인도 받은 선하증권과 운임 및 비용을 선사에 지불하고, 선사는 화물인도지시서를 수화인에게 발행하며,
③ 본선이 입항하면 컨테이너는 CY에 반입되고, LCL 화물은 CFS로 이송되어 컨테이너에서 화물을 적출(Devanning), 수화주별로 화물을 분류하여 인도하고,
④ 수화인은 FCL 화물과 화물인도지시서를 교환하며,
⑤ FCL 화물중 CFS에서 통관되어 적출되지 않은 화물은 수화인의 문전까지 보세운송하고,
⑥ 수화인의 창고나 공장에서 화물을 적출한 후 공컨테이너는 다시 CY로 반입되거나 곧바로 송화인에게로 발송한다.

3. 모형의 수립

3.1 모형 수립의 전제조건

Collection

본 연구에서 계획하는 컨테이너 관리를 위한 계량 모형 수립에 필요한 가정과 전제조건들을 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 계획구간내에서 선박의 운항 계획은 분석 시작 시점에 확정되어 있다. 이 가정은 선사들이 운항계획에 따라 화물을 수집하고 선적계획을 세우는 현실을 충분히 반영하고 있다.

둘째, 매년 혹은 수년씩 장기로 임대하여 사용하는 장기 임대 컨테이너는 자사의 컨테이너와 동일하게 취급하기로 한다. 이러한 장기 임대 컨테이너들은 관리모형에 의한 분석기간 중 반납되거나 새로 임대되는 특수한 경우를 제외하고는 크게 문제되지 않는다.

셋째, 수출 화물 적입을 위한 공컨테이너 수요는 반드시 충족되어야 한다. 해운업과 같은 경쟁시장에서 수요를 충족시키지 않을 경우, 단순한 운임 손실 외에 서비스 신뢰도에 손상을 입게 되어 이는 가격으로 환산할 수 없는 고객신뢰도 하락을 유발할 수 있다. 부족분은 임대 컨테이너나 다른 항구로부터 재배치된 공컨테이너에 의해 처리될 수 있다.

넷째, 공컨테이너의 재배치는 자사 선박의 여유 선적 공간을 이용하여 이동한다.

다섯째, 각 항에서 단위 기간 수출화물량이 예측되어야 한다. 현재 선사들은 장래 화물의 증감 추세나 컨테이너 수요량을 예측하고 있다. 본 연구에서는 특별히 매일 간격으로 각 항에서 필요한 공컨테이너 수요를 파악하여야 한다.

여섯째, 컨테이너 종류는 먼저 단일종류(Single Commodity) 모형으로 한다. 컨테이너 종류는 20TEU로 환산하여 계산한다.

마지막으로 각 항구의 컨테이너 회송기간은 계획구간내에서 상수로 가정한다.

위와 같은 내용을 바탕으로 컨테이너 관리문제의 특성을 요약해 보면 이 관리모형은 시간변화에 따른 항만의 수요변화분을 각항의 공컨테이너 재고량의 적절한 재배치를 통해 해결하는 시분할 재고 관리 모형이 된다.

3.2 모형의 수립

문제의 모형화에 앞서 모형에서 사용하는 모수를 정의하면 다음과 같다.

dCollection

C_i : i 항의 컨테이너재고비용.

E_{ij} : i 항에서 j 항까지의 공컨테이너 운송 비용.

P_{ij} : i 항에서 j 항까지의 컨테이너 임대 비용.

D_{ij}^{vt} : i 항에서 j 항으로 수출되는 화물을 위한 t 기의 컨테이너 수요량.

V_i : i 항의 공컨테이너 보유수 상한치.

s_v : v 선박의 평균 입항 간격.

r_i : i 항의 컨테이너 평균 회송시간(*Average Devanning Time*).

d_{ij} : i 항에서 j 항까지의 항해 시간.

T_v : v 선박이 입항하는 항구 i 와 입항시간 t 의 순서쌍 집합.

T_i : i 항에 입항하는 선박 v 와 입항시간 t 의 순서쌍 집합.

본 모형에서 정의된 결정변수(Decision Variable)는 다음과 같다.

x_i^t : t 기간에 i 항의 공컨테이너 재고량.

f_{ij}^{vt} : t 기간에 i 항에서 j 항까지 선박 v 로 재배치되는 공컨테이너 수송량.

l_{ij}^{vt} : t 기간에 선박 v 로 i 항에서 j 항으로의 수출화물을 위한 컨테이너 임대량.

K_i^{vt} : 선박 v 가 t 기간 i 항에서의 여유 적재 공간.

정의한 모수와 변수들을 이용하여 문제를 모형화하면 다음과 같다.

$$Min \quad \sum_t \sum_i C_i x_i^t + \sum_v \sum_t \sum_i \sum_j (E_{ij} f_{ij}^{vt} + P_{ij} l_{ij}^{vt})$$

s.t.

$$EC_i^{z+r_i} = \begin{cases} \sum_v \sum_j \sum_{z-s^v<k\le z} (D_{ji}^{v(k-d_{ji}-r_j)} - l_{ji}^{v(k-d_{ji}-r_j)}), & \forall (i,t) \in T_v \quad \cdots\cdots ① \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} - \sum_v \sum_j D_{ij}^{vt} + \sum_v \sum_j f_{ji}^{v(t-d_{ji})} - \sum_v \sum_j f_{ij}^{vt} + \sum_v \sum_j l_{ij}^{vt} + EC_i^t \quad \cdots\cdots ②$$

$$\forall (i,t) \in T_v,$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} - \sum_v \sum_j D_{ij}^{vt} + \sum_v \sum_j l_{ij}^{vt} + EC_i^t, \quad \forall (i,t) \notin T_v, \quad \cdots\cdots ③$$

dCollection

$$x_i^t \le V_i \qquad \forall i, \ \cdots\cdots ④$$

$$K^{vt} = K^{v(t-1)} + \sum_j f_{ji}^{v(t-d_n)} - \sum_j f_{ij}^{vt} + \sum_{t-s^v<k\le t}\sum_j D_{ji}^{v(k-d_n-r_j)} - \sum_{t-s^v<k\le t}\sum_j D_{ij}^{v(k-r_i)}, \ \forall (v,t)\in T_i, \ \cdots\cdots ⑤$$

$$K^{vt} = K^{v(t-1)} \qquad \forall (v,t)\notin T_i, \ \cdots\cdots ⑥$$

$$f_{ij}^{vt} \le K^{vt} \qquad \forall i, \ \forall j, \ \forall v, \ \forall t, \ \cdots\cdots ⑦$$

$$x_i, \ f_{ij}^{vt}, \ l_{ij}^{vt}, \ K^{vt} \ge 0 \qquad \forall i, \ \forall j, \ \forall v, \ \forall t, \ \cdots\cdots ⑧$$

모형의 목적식은 공컨테이너 재배치 비용과 임대비용, 총 재고 비용의 합을 최소로 하는 문제가 된다.

먼저 ① 번 제약의 $EC_i^{z+r_i}$은 각 항별로 육상의 수화주에게 수송된 적컨테이너들이 CY로 회송되어 공컨테이너로 재사용되는 시점을 찾아 각 항의 컨테이너 재고량에 합산되는 것을 표시한다. 양하된 컨테이너들은 각 항별 육상회송시간이 경과한 후 공컨테이너로 재사용되며, 그 외의 기간은 값이 0이 된다. 제약 ②와 ③은 각각 선박의 입항이 있는 경우와 없는 경우의 항만의 공컨테이너 재고량(x_i^t)에 대한 제약이다. 컨테이너 재고는 선박의 입항이 있는 경우($\forall (i,t)\in T_i$), 직전기의 재고 x_i^{t-1}와 수입된 적컨테이너들이 일정 시간이 지난 후 재사용 되는양 $\sum_v\sum_j \sum_{z-s^v<k\le z} (D_{ji}^{v(k-d_n-r_j)} - l_{ji}^{v(k-d_n-r_j)})$, 이전 기항지로부터 재배치된 공컨테이너를 합한 양 $\sum_v\sum_j f_{ji}^{v(t-d_n)}$에서 다른 항으로 재배치되는 양 $\sum_v\sum_j f_{ij}^{vt}$ 과 현재 컨테이너 수요 $\sum_v\sum_j D_{ij}^{vt}$를 제한 양만큼이며 수요가 충족되지 못할 경우 컨테이너 $\sum_v\sum_j l_{ij}^{vt}$ 만큼 임대하게 된다. 제약식 ④는 각 항의 컨테이너 평균 재고량에 대한 제약이다.

제약식 ⑤와 ⑥은 운항중인 선박의 여유적재용량 K^{vt}에 대한 제약이다. 선박이 항해 중일 경우 여유 적재용량의 변화는 없으며, 입항한 경우는 양하되는 수입화물량 $\sum_{t-s^v<k\le t}\sum_j D_{ji}^{v(k-d_n-r_j)}$, 다른 항만에서 재배치되어온 공컨테이너량 $\sum_j f_{ji}^{v(t-d_n)}$ 과 이번 항에서 선적되는 수출화물량 $\sum_{t-s^v<k\le t}\sum_j D_{ij}^{v(k-r_i)}$, 다른항으로 재배치되는 공컨

dCollection

테이너량 $\sum_j f_{ij}^m$의 합과 차이만큼이 변한다. 이 제약은 선박이 매번 입출항할 때마다 공컨테이너 배치량을 제한하는 역할을 한다. 선박의 적재 공간에 여유가 없다면 컨테이너의 재배치는 불가능하다. 그 이유는 화물을 적재한 컨테이너를 선적하지 않고 공 컨테이너를 선적할 수는 없기 때문이다. 제약식 ⑦은 선박에 의해 재배치될 수 있는 공컨테이너의 양에 대한 것이다. 공컨테이너의 재배치량은 출항시점의 선박의 여유 적재용량을 초과할 수 없다.

4. 모형의 적용례 및 결과 분석

국내 "H 선사"의 실운항 자료를 사용하여 수립한 모형의 유용성을 검증해 보기로 하자. 예제 문제는 PC용 선형계획문제 분석 프로그램인 LINDO를 사용하여 해를 구하였다. 그 결과는 다음과 같다.

<표 3-3> 적용예제의 계산결과

구분	항목	기간																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
항별재고량	1	533	430	327	224	119	14	487	507	371	235	99	·	·	646	852	750	649	549	446	345	1048
	2	122	94	66	36	6	58	39	20	·	·	·	·	53	30	7	24	·	·	·	20	·
	3	150	91	43	·	568	519	469	419	369	305	45	805	739	673	607	541	482	223	746	685	624
	4	103	56	8	208	160	199	150	100	50	·	273	223	244	192	144	96	48	·	445	396	347
	5	78	56	296	261	226	191	156	121	86	276	230	184	138	92	46	·	246	205	164	123	82
재배치량	12															11						
	14	17																				
	24						55															
	31				195														200			
	41																					
	51			125							160											

dCollection

구분	항목	기간																				
		22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42
항별재고량	1	889	785	680	576	470	366	716	843	716	589	463	355	207	686	796	639	480	320	160	·	·
	2	·	·	·	·	·	146	122	98	74	50	25	·	74	56	38	19	·	·	·	28	·
	3	563	502	467	280	804	768	732	697	660	605	380	1064	1010	955	898	842	785	487	1017	960	901
	4	285	223	161	315	253	191	129	80	30	·	218	168	191	141	94	47	·	212	163	49	·
	5	41	·	238	184	128	72	16	·	·	273	223	174	126	76	25	·	304	284	262	242	220
재배치량	12								29													
	14	67																				
	24																				11	
	31				152							171							242			
	41																				65	
	51			63							88								80			

<표 3-3>는 각 항의 매기별 컨테이너 재고량의 변화와 각 항사이의 공컨테이너 재배치량을 나타내고 있다. 적용 대상 항로에서 계획기간동안 소요되는 총 컨테이너 관리비용은 $156,660이다. 이는 각 항의 공컨테이너 보관비용과 부족분의 컨테이너를 임대하는데 소요된 비용의 합이다.

결과를 자세하게 살펴보면 1번항의 경우는 15, 29기에 2번항으로 각각 11, 29개, 1, 22기에 4번항으로 17, 67개의 공컨테이너를 재배치하고, 2번항의 경우 6기와 41기에 4번항으로 55, 11개를, 3번항의 경우 4, 18, 25, 32, 39기에 1번항으로 각각 195, 200, 152, 171, 242개의 공컨테이너를 재배치해야 함을 보여주고 있다. 그외에 4번항은 41기에 65개의 공컨테이너를 1항으로, 5번항에서는 3, 10, 24, 31, 39기에 각각 125, 160, 63, 88, 80개의 공컨테이너를 1번항으로 재배치하도록 하는 결과를 보이고 있다.

이러한 수요는 항별로 수요에 비해 부족한 공컨테이너량을 보여주는 것으로 이를 모두 비용으로 환산 - 재배치되는 컨테이너의 수량은 1,731개로서 각각 임대비용을 곱하면 된다. -하면 $ 69,060에 이른다. 이는 기간내 총비용의 약 절반에 가

dCollection

까운 규모로서 공컨테이너의 재배치가 전체 관리비용의 절감에 어느 정도 영향을 미치는지 보여주는 중요한 지표이다. 그리고 우리는 위의 계산결과에서 각 항의 컨테이너 수급 불균형 상황을 바로 알아볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 해상 컨테이너 운송 시스템에서 컨테이너 관리 문제를 운영적 관점으로 다루는 계량적 모형을 제안하였다. 본 연구에서 개발한 모형은 기존의 전략적인 검증이나 전술적인 중기계획 모형과 달리 매일단위의 컨테이너 관리/운영에 적용할 수 있는 실질적인 운영관리 모형으로서, 지금까지의 연구들과는 문제의 접근방법에서부터 근본적으로 차이를 가지고 있다. 본 연구의 결과로서 얻은 성과들을 정리하여 보면 다음과 같다.

첫째, 각 항만별 공컨테이너의 수급형태와 관리 현황을 면밀히 분석하여, 이 결과를 바탕으로 지역간의 거시적 물동량 편차에도 불구하고 공컨테이너의 수급불균형을 운영적 관점에서 다룰 수 있는 모형을 제시하였다. 본 연구에서 제안한 모형을 사용하면 지금까지 전략적, 전술적 규모의 연구들에 의해 확인된 바와 같이 컨테이너 물동량의 불균형으로 발생하는 공컨테이너 수급불균형을 각 항로 단위로 세분화하여 효율적 운영계획을 수립할 수 있다.

둘째, 지금까지 직관적으로 지역적 물동량의 편차에 의해 실제 물동량의 변화를 알면서도 여러 제한점들 때문에 언제 어느 정도의 컨테이너를 어디에서 어디로 수송해야 할지 알 수 없었으나, 우리가 제안한 연구모형은 수개월의 범위에서 각 선박의 운항스케줄에 따라 컨테이너를 이동시키는 시점과 수량을 분명하게 확인할 수 있다. 이에 따라 몇 가지 기초적인 자료만 충분히 확보된다면, 관리실무에 적용 의사결정자의 의사결정을 지원할 수 있을 것이다. 또한 이 모형의 구조는 내륙 컨테이너 수송모형에도 확장하여 적용할 수 있으며, 추후 지속적인 컨테이너 관리 모형의 확장연구에 기초가 될것이다.

세째, 본 연구에서는 모형의 유용성을 검증하기 위해 국내 최대의 컨테이너 선사인 H 선사의 특정 항로의 최근 운항 자료를 수집하고, 관련 자료들을 바탕으로 실제 계산을 수행하여 그 결과를 분석하였다. 분석 결과 공컨테이너의 재배치가

dCollection

전혀 고려되지 않던 적용 대상항로에서 각 항간에 적절히 공컨테이너를 재배치함으로써 상당한 비용 절감 효과가 있음을 알 수 있었다. 따라서 모형의 적용으로 수송비 절감에 긍정적인 영향을 미침으로 대화주 서비스의 향상에 의해 새로운 수요 창출 효과도 기대할 수 있을 것이다.

차후 연구과제로 복수의 항로가 포함된 경우와, 컨테이너의 종류가 다종(Multiple)인 경우의 문제를 더욱 자세하고 구체적으로 확대하여 연구할 필요가 있고, 또 해상에서의 컨테이너 관리와 육상에서의 관리문제를 동시에 고려하여 종합적인 컨테이너 관리 의사결정지원시스템을 구축하는 노력이 필요하다고 생각된다.

참고 문헌

Dejax P.J. and T.G. Crainic(1987), "A Review of Empty Flows and Fleet Management Models in Freight Transportation", *Transportation. Science*, Vol. 21, No. 4, pp.227-247.

Dejax P.J., Crainic T.G. and Gendreau(1993), "Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers," *Operations Research*, Vol. 41, No. 1, pp.102-126

Gao, Q.(1993), "An Operational Approach for Container Control in Liner Shipping," *Logistics and Transportation Review*, Vol. 30, No. 3, pp.267-282

Turnquist M. A.(1985), "Research Opportunities in Transportation System Characteristics and Operations", *Transportation. Res. A*, Vol. 19A, No. 5,6, pp.357-366.

White, W.W.(1972), "Dynamic Transshipment Networks : An Algorithm and its Application to the Distribution of Empty Containers", *Networks*, Vol. 2, pp.211-236.

dCollection

音田幹也(1978), "Container 적정보유수에 관한 고찰", 해양한국, 8-9월호, Vol 47-48.

김원형(1986), 효율적 컨테이너 재고관리에 관한 연구, 한국외국어대학교.

박남규(1986), 컨테이너 수송에 있어서 컨테이너 적정보유수 결정에 관한 연구, 한국외국어대학교.

해운산업연구원(1990), 우리나라 컨테이너화물 유통구조 개선방안.

해운산업연구원(1993), 물류 EDI Network 기본 설계.

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection