

선박 도착 및 컨테이너 반출입 분포에 따른 야드 재고수준 분석

김 창 곤(순천대학교 경영통상학부)

I. 항만 물류시스템	III. 반출입 분포에 따른 재고수준 분석
II. 선사 배선계획	IV. 결론

I. 항만 물류 시스템

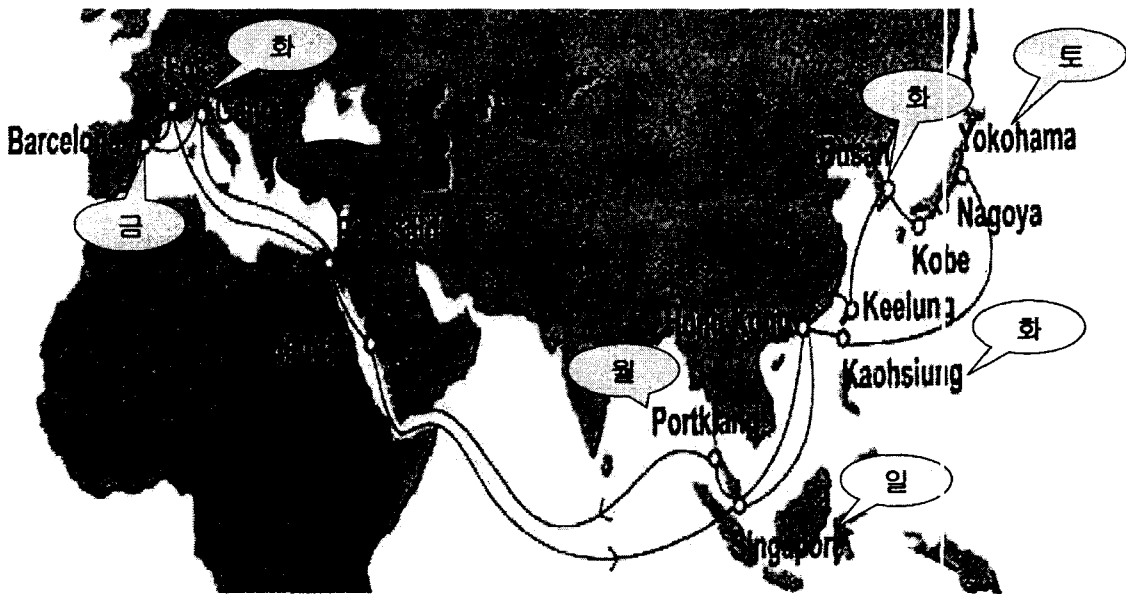
항만은 해상물류와 육상물류가 교차하는 지점이다. 해상물류의 대상인 컨테이너선은 선사의 배선계획에 따라 각 터미널에 도착한다. 그리고 육상물류의 대상인 수출입 컨테이너는 화주의 반출입 패턴에 따라 터미널에 반출입된다. 수출 컨테이너는 선박 도착 예정일 전에 미리 터미널에 반입되어 야드에 장치되어 있다. 또한 수입 컨테이너는 선박이 터미널에 도착 후 양하되어 화주가 반출할 때 까지 야드에 장치된다. 따라서 화주는 선박 도착 시점을 전후하여 수출입 컨테이너를 반출입 하기 때문에, 터미널 재고수준은 선박도착과 화주들의 반출입 분포에 따라 달라진다.

II. 선사 배선 계획

선사는 자사 소유의 선박이 기항하는 항만을 중심으로 해상물류의 항로를 결정한다. 항로가 결정되면 기항 항만별 입항 요일과 각 항만에서의 재항시간(sojourn time)을 결정한다. 재항시간은 해당 항만의 생산성과 선박에 양적하할 컨테이너 수량에 따라 달라진다. 그리고 컨테이너선의 경우 선사별로 항로가 정해지면 해당 항로상에 위치하는 모든 항만은 정해진 요일에 도착한다. 이를 정요일 서비스(fixed service)라고 한다. 따라서 특정 선사가 운항하는 해당 항로에 몇 대의 선박을 투입할 것 인가는, 한대의 선박이 해당 항

로를 일주하는데 소요되는 시간을 7일로 나누면 된다. 그리고 특정 터미널의 입장에서는 터미널을 기항하는 모든 선사들의 입항 요일에 따라 터미널 운영 계획을 수립한다. <그림-1>은 H 선사의 지중해 항로를 나타낸다. H 선사의 지중해 항로는 총 17개 항만을 운항하며 각 항만별 기항 요일이 <그림-1>에 나타나 있다. 즉 매주 화요일에는 부산항, 카오슝항, 제노항에 H 선사의 선박이 기항하고, 바르셀로나항, 세이드항에는 매주 금요일에 H 선사 선박이 기항한다. 따라서 부산항에서 H 선사의 선박을 이용해 화물을 수출하려는 화주는 적어도 월요일 까지 수출 화물을 부산항에 반입하여야 한다. 그리고 수입 화물은 H사 선박이 부산항에 도착하여 화물을 양하한 이후부터 반출을 하기 시작한다.

<그림-1> H 선사의 지중해 항로.



이와 같이 H 선사의 지중해 항로상에 위치하는 17개 항만은 H 선사의 선박이 기항하는 요일을 전후하여 해당 선박에 양적하 할 수출입 컨테이너가 반출입 된다. 그리고 <표-1>은 해당 항로의 기항 항만별 선박 운항계획을 나타낸다. 부산항을 화요일에 출발한 선박은 8주 후에 다시 부산항에 기항하게 된다. 즉 항로를 일주하는데 총 56일이 소요되어 해당 항로에는 8대의 선박이 투입되어야만 각 항만에서 정요일 서비스를 할 수 있다.

<표-1> H 선사의 지중해 항로의 기항 항만

PORT	ARRIVAL		DEPARTURE		TRANSIT TIME
Busan	TUE	10:00	TUE	23:00	0/0
Kobe	THU	09:00	THU	17:00	2/2
Nagoya	FRI	09:00	FRI	17:00	3/3
Yokohama	SAT	08:00	SAT	20:00	4/4
Kaohsiung	TUE	23:00	WED	10:00	7/8
Hong Kong	THU	07:00	THU	16:00	9/9
Singapore	SUN	19:00	MON	09:00	12/13
Port Klang	MON	23:00	TUE	05:00	14/14
Port Said	FRI	19:00	SAT	06:00	25/26
Genoa	TUE	12:00	THU	00:00	29/30
Barcelona	FRI	02:00	FRI	16:00	31/32
Fos	SAT	06:00	SAT	23:00	32/33
Port Said	WED	12:00	WED	22:00	36/36
Jeddah	SAT	05:00	SAT	16:00	39/39
Singapore	TUE	00:00	TUE	16:00	49/49
Hong Kong	FRI	20:00	SAT	04:00	52/53
Keelung	SUN	08:00	SUN	17:00	54/54
Busan	TUE	10:00	TUE	23:00	56

또한 각 항만의 입장에서는 다수의 선사가 기항하기 때문에 이를 고려하여 터미널 운영계획을 수립하여야 한다. 즉 부산항의 경우에는 H 선사 외에 또 다른 선사의 선박이 화요일에 기항할 수도 있다. 이와 같이 각 항만의 입장에서는 해당 항만을 기항하는 선사별로 기항 요일이 일정하고, 또한 화주는 선사들의 이러한 운항계획을 고려하여 수출입 화물을 터미널에 반출입 한다. 또한 터미널의 입장에서는 화주가 화물을 장기간 항만에 보관하는 것을 방지하기 위해 일정기간, 즉 무료장치허용기간을 초과하여 화물이 터미널에 장치되면 화주가 터미널에 대해 추가 부담을 해야 한다. 따라서 화주는 선박 도착 시점을 중심으로 터미널이 허용하는 무료장치허용 기간내에 수출입 화물을 터미널로부터 반출입 하려는 의지를 갖고 있다.

III. 반출입 분포에 따른 재고수준 분석

정요일 서비스를 하는 컨테이너선의 도착을 중심으로 화주가 수출입 컨테이너를 반출입 하는 분포에 따라 항만 재고수준은 변한다. 만약 선박으로부터 양하된 수입 컨테이너의 반출 분포가 일양분포인 경우에는 무료장치허용기간 동안 일정하게 반출된다. 그리고 반출 분포가 지수분포인 경우에는 선박으로부터 양하된 직후에 집중적으로 반출된다. 그러나 지수분포의 경우에는

분포의 특성상 반출 간격이 매우 큰 경우도 확률적으로는 존재하기 때문에 이를 수정하여야 한다. 와타나베¹⁾는 최대 반출 간격을 평균 반출 간격의 두 배로 제한하였다. 이는 특정 선박에서 양하 된 모든 컨테이너는 평균 반출 간격의 두 배 이내인 범위에서 터미널에서 반출된다고 가정한 것이다. 따라서 요일별 반출율을 보정하여야 한다. 만약 수입 컨테이너의 반출 분포가 평균 a 인 지수분포이면 분포함수 $f(x)$ 는 식(1)과 같다.

$$f(x) = \frac{1}{a} e^{-\frac{1}{a}x}, \quad x \geq 0 \quad (1)$$

따라서 최대 반출간격을 평균 반출 간격의 두 배, 즉 $2a$ 로 제한하여 정상화한 분포함수 $g(x)$ 는 식(2)와 같다.

$$g(x) = \frac{k}{a} e^{-\frac{1}{a}x}, \quad 0 \leq x \leq 2a \quad (2)$$

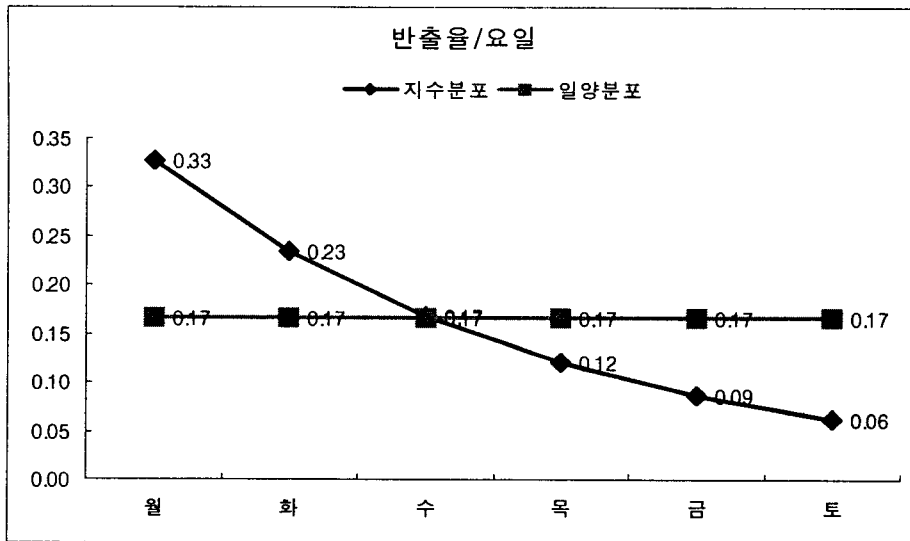
$$k = (1 - \int_{2a}^{\infty} g(x))^{-1}, \quad k \text{ 는 정상화 계수}$$

따라서 식 (2)는 수입 컨테이너가 선박으로부터 향하된 후 일정 기간 내에 반출 될 확률을 나타낸다. 그리고 반출분포가 위와 같은 지수분포일 때, 터미널에 남아 있는 누적분포 $G(x)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$G(x) = \int_x^{2a} g(x) dx, \quad 0 \leq x \leq 2a \quad (3)$$

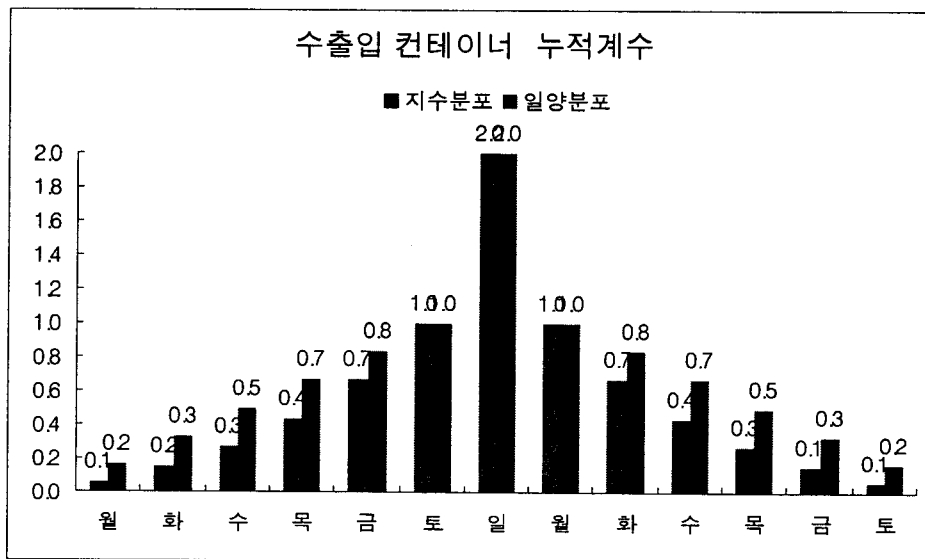
식(3)는 선박 도착 후 수입 컨테이너가 양하 작업이 끝난 후 반출될 때 까지 터미널에 장치되어 있는 누적계수를 나타낸다. <그림-2>은 평균 반출 간격이 3일, 최대 반출 간격을 평균의 두 배인 6일로 제한하여 일요일에 입항한 선박에서 양하된 수입 컨테이너가 월요일부터 토요일 까지 6일 동안 요일별로 반출되는 비율을 나타내고 있다. 수입 컨테이너의 반출 분포가 지수분포인 경우에는 선박 도착 직후의 반출율이 일양분포보다 상대적으로 높음을 알 수 있다.

1) Itsuro Watanabe, *Container Terminal Planning-A Theoretical Approach*, WorldCargo, 2001



<그림-2> 일양분포와 지수분포의 요일별 반출율 비교

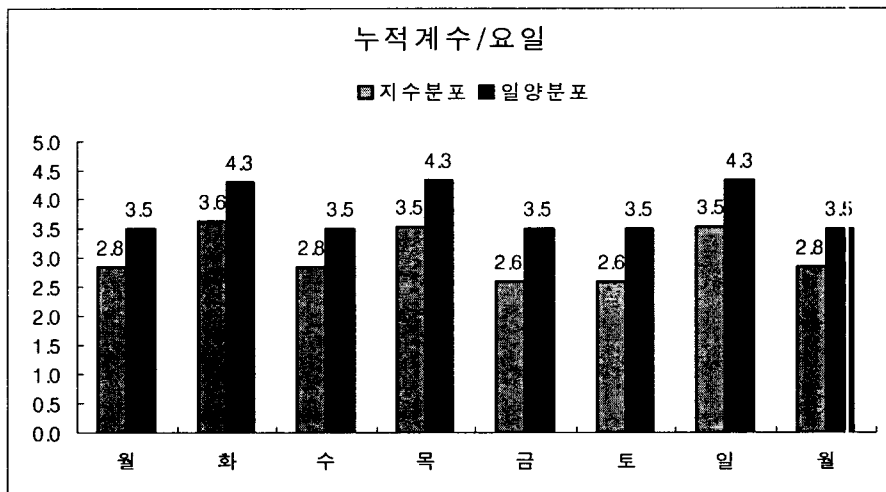
마찬가지로 수출 컨테이너의 터미널 반입분포가 지수분포 및 일양 분포인 경우에는 <그림-2>와 같은 패턴으로 터미널에 반입된다. 따라서 일요일에 입항하는 선박의 반출입 분포가 각각 지수 분포 및 일양 분포인 경우에, 선박도착 요일, 즉 일요일을 전후하여 해당 선박에 양적하 될 수출입 컨테이너로 인한 터미널 재고수준에 대한 누적 계수는 <그림-3>과 같다.



<그림-3> 수출입 컨테이너의 요일별 누적계수

<그림-3>에서 선박이 도착한 일요일의 경우, 양하 작업이 완료된 직후에는

해당 선박으로부터 양하된 수입 컨테이너가 전량 터미널에 누적되어 있고 또한 해당 선박에 적하될 수출 컨테이너가 이미 터미널에 반입·누적되어 있기 때문에 누적계수는 2가 된다. 그러나 해당 선박으로부터 양하 컨테이너와 적하 컨테이너 개수가 다른 경우에는 이를 차별화하여 누적계수를 계산해야 한다. 따라서 도착한 선박으로부터 양적하될 수출입 컨테이너 량이 각각 E BOX, I BOX 라면 해당 선박으로 인한 최대 터미널 재고 수준은 (E+I) BOX가 된다. 따라서 매주 일요일에 정요일 서비스를 하는 선박으로 인한 터미널 재고수준은 <그림-3>과 같은 패턴으로 주간 단위로 누적되어 반복된다. 만약 주간 기항하는 정기선이 일요일, 화요일, 목요일 3항차이고, 각 항차별 양적하 될 수출입 컨테이너의 반출입 분포가 <그림-3>과 같은 패턴으로 반출입 된다면, 이로 인한 주간 단위의 수출입 컨테이너 누적계수는 <그림-4>와 같이 매주 반복된다. 반출입 분포가 일양분포인 경우가 지수분포인 경우에 비해서 최대 누적 계수가 큼을 알 수 있다. 이는 단위 선박 기준으로는 지수분포인 경우가 선박 도착 시점 전후에 집중하여 반출입 되지만, 주간 기준으로는 일양분포가 매일 일정하게 반출입 되어 누적되기 때문이다.



<그림-4> 주간 단위의 누적 컨테이너 계수(3항차/주)

따라서 터미널 재고수준은 정기선 기항 요일, 선박 규모에 따른 양적하량 및 수출입 컨테이너의 반출입 분포에 따라 주간 단위로 반복된다고 할 수 있다. 그러나 이와 같은 분석에는 환적 화물의 터미널 내 장치기간 분포에 따른 재고수준 변화도 동시에 고려하여야 한다. 만약 선박별 양적하 컨테이너 량 및 환적 컨테이너 량이 다르면 선박 단위로 계산된 누적 계수를 계산한 후,

선박별 컨테이너 량을 고려하여 누적 재고수준을 계산하여야 한다. 그러나 이와 같은 누적계수는 특정 선박으로부터 양하될 수입 컨테이너 및 특정 선박에 적하될 컨테이너를 1로 가정하여 계산한 상대적 누적계수로서, 구체적인 야드 재고수준은 이와 같이 계산된 누적계수와 선박별 양적하 량을 곱해야 한다. 더구나 선박별 양적하량의 규모가 다르면 이를 구분하여야 한다.

IV. 결론

컨테이너 터미널은 터미널에 기항하는 선사별 항로별 선박 운항계획에 따라 선박이 입항하고, 화주는 선박 도착 예정일을 전후하여 수출입 컨테이너를 반출입 한다. 터미널의 재고수준 변화에 영향을 미치는 요인은 여러 가지 변수가 있겠으나, 선박 규모에 따른 양적하량, 주간 입항하는 선박 수, 터미널이 허용하는 무료장치기간 동안의 수출입 컨테이너 반출입 패턴 및 환적 컨테이너 장치기간 패턴이 중요한 변수가 된다. 그러나 이러한 변수를 동시에 고려하여 터미널 재고수준의 변화를 분석하는 것이 현실적으로 곤란하다. 따라서 단위 선박 기준으로는 해당 선박의 도착 시점을 전후하여 컨테이너가 누적되고, 또한 해당 선박은 터미널 도착 요일이 일정하기 때문에 해당 선박으로 인한 재고수준은 주간 단위로 반복된다고 가정하고 분석하였다.

이러한 사실에 착안하여 터미널의 장치장 소요 규모를 산정할 수 있다. 즉 터미널의 입장에서선 선박이 기항하는 요일이 미리 알려져 있고, 화주는 이러한 정보에 근거하여 터미널에 수출입 컨테이너를 반출입 하기 때문에 어느 시점에서의 터미널 재고수준을 계산할 수 있다. 따라서 터미널 운영자는 이러한 정보를 종합하여 터미널 장치장 소요 규모를 산정한다. 특히 터미널 재고수준은 선박 도착 시점에 일시적으로 최고에 달하기 때문에 이 시점이 분석의 대상이 되어야 한다. 그러나 환적 컨테이너, 공 컨테이너, 냉동컨테이너 및 특수 컨테이너를 동시에 고려하여 터미널 전체의 재고수준 변화에 대한 분석은 추후 계속 분석되어야 할 것이다.

참고문헌

- 김창곤, 김영훈, 배종욱, 「수리모형을 이용한 컨테이너 터미널 장치장 재고 수준 분석」, KMI 2001
- 백인태, 「컨테이너 터미널의 장치장 물류관리에 관한 소고, 부산컨테이너부두운영공사」, 1992
- 임재민, 유병세, 김홍태, 「항만 물류시스템 분석을 위한 시뮬레이션 모델 개발」, 한국항만학회 98 추계학술대회 논문집, 1998
- Castilho, B. and Daganzo, C. F., Handling Strategies for Import Containers at Marine Terminals, *Trans. Res-B*, Vol 27B, No2, 1993
- Chen, F., Stationary Policies in Multiechelon Inventory Systems with Deterministic Demand and Backlogging, *Operations Research*, Vol 46, No 3, 1998.
- Itsuro Watanabe, *Container Terminal Planning-A Theoretical Approach*, WorldCargo, 2001
- Leonard Kleinrock, *Queueing System-Volume I; Theory*, John Wiley & Sons, Inc.
- 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
- Roux, E.D., Storage for Import Containers at Seaports, Ph.D. dissertation, University of California at Berkeley, 1996

Session B-1 m-Commerce

좌장 윤종수(강남대)

- B-1.1 가상계좌를 이용한 모바일 banking시스템의 설계 및 구현
최이권, 이상범(단국대)
- B-1.2 m-Commerce의 활용방안에 관한 연구
김창해, 신은경, 권영직(대구대)
- B-1.3 PDA를 이용한 모바일 banking 시스템의 설계 및 구현
최이권, 전석일(단국대)
- B-1.4 모바일 게임의 충성도 형성에 미치는 영향요인
이민선, 박철, 이홍일(고려대)
- B-1.5 XML기반 모바일 플랫폼에 관한 연구
신영호(대구대), 천성광(대구가톨릭대), 권영직(대구대)