추계적 작업환경에서 컨테이너 셔틀운송 차량 대수 추정

고창성 · 김홍배 · 양성민 · 박성찬
경성대학교 산업공학과
손경호
부산대학교 산업공학과

Abstract

This paper presents an approach to determine the vehicle fleet size for container shuttle service in a stochastic working environment. The shuttle service can be defined as the repetitive travel between the designated places during working period. The initial number of vehicles is temporarily calculated using the transportation model. Simulation is carried out in order to investigate dynamic behavior of container shuttle. Finally, the equation for estimating the vehicle fleet size is obtained through the multiple regression model based on simulation results.

1. 서론

수출입 물량과 관련되는 국제 물류의 기본 흐름은 컨테이너를 통한 수송이 대부분을 차지하고 있어, 컨테이너 물류 생산성 향상에 대한 보다 많은 연구 및 투자가 요구되고 있다[1]. 컨테이너 물류는 크게 컨테이너 터미널 내에서의 물류와 컨테이너 운송물류로 크게 구분되며, 컨테이너 운송물류는 다시 해상운송, 항공운송, 육상운송으로 나눌 수 있다. 또한 육상운송의 경우도 운송 수단에 따라 공로운송과 철도운송으로 구분되며, 또다시 공로운송은 컨테이너 운송업체의 관리 방식에 따라 장거리운송, 근거리운송 및 셔틀운송으로 나눌 수 있다. 장거리 및 근거리운송은 수출입 물량의 주체가 되는 화주의 위치가 어느 정도 멀리 있는가에 따라 구분되며, 셔틀운송의 경우는 컨테이너 터미널과 터미널의 임시 버퍼 기능 및 빈 컨테이너의 적재 기능을 담당하는 ODCY(Off-Dock Container Yard)간의 컨테이너 운송, 터미널과 재래부두간의 환적(Transshipment) 화물을 위한 운송, 그리고 철도수송을 위한 연결운송 등이 이 범주에 속하게 된다.

컨테이너 물류에 대한 지금까지의 연구를 김갑환 et al.[3]의 화물수송에 관한 조사 연구를 통해 살펴보면, 컨테이너 터미널의 운영 및 설계에 대해서는 비교적 많은 연구가 수행되었으나 컨테이너 운송분야에 있어서의 연구는 거의 수행되고 있지 않음을 알 수 있다. 김동희 et al.[4]이 컨테이너 수송문제를 대상으로 동적 배차시스템의 개발에 대한 연구를 수행했다. 최근 고창성 et al.[2]은 컨테이너 셔틀운송을 대상으로 하여 물리적 네트워크를 논리적 네트워크로 변환시켜 차량대수를 결정하는 방법을 제안하였다. 그러나, 그 연구에서는 기본적으로 대상 컨테이너를 20' 컨테이너만을 다룰 수 있는 것으로 가정하였고, 아울러 운송시간 및 상하차 작업시간이 확정적인 값을 갖는 것으로 가정하였다.

본 연구는 컨테이너 운송업체에서 매일 컨테이너 셔틀운송 수주 물량을 처리하기 위해 필요한 차량 대수를 추정할 수 있는 방법을 제안한다. 본 연구에서 고려되는 상황은 운송시간과 상하차 작업시간이 확률적인 값을 갖는 추계적 작업환경을 대상으로 하고 있다.

실제 대부분의 컨테이너 운송업체에서는 셔틀운송을 위해 필요한 차량을 대략 결정하여 우선적으로 차량을 확보한 후 셔틀만의 배차계획을 수립하여 운영하며, 장거리, 근거리 및 철도운송 등은 이후 독립적으로 배차를 수행하고 있다. 셔틀운송의 경우 전체 컨테이너 처리 물량의 20% 정도를 차지하며, 수출입 컨테이너 화물의 경우 각각 Closing Time이나 Free Day 내에서 작업이 이루어지면 되며 전형적인 작업시간인 아침 8시부터 오후 6시까지 서비스가 이루어진다. 환적화물의 경우는 재래부두와의 연결 때문에 대부분의 물량 처리가 야간에 이루어진다. 즉 셔틀운송의 경우 주·야간의 운송이 별도로 수행되며, 이에 따라 각각 차량의 주·야간 확보도 별도로 운영한다.

Bodin et al.[6]의 연구 분류에 따르면 컨테이너 셔틀운송 문제 유형은 Pickup-and-Delivery 문제 형태에 속하며, 특히 본 연구에서 다루고자 하는 문제는 Pickup-and-Delivery 문제 중에서도 Multiple Vehicle Static Dial-a-Ride 문제로 볼 수 있다[12]. 즉, 고객이 컨테이너를 어느 지점에서 상차하여, 다른 어느 지점으로 하차하라는 명령을 수행하는 차량경로문제로 볼 수 있다. 이에 대한 대표적 연구로서는 Cullen, Jarvis and Ratliff[7]의 연구를 들 수 있다.

또한 Dumas, Desrosiers and Soumis[8]는 동일한 문제에 대해 시간창(Time Windows) 제약을 고려한 문제를 다루었다. 그 외에 동적인 상황을 감안한 연구를 Psaraftis[10, 11]에 의해서 수행되었다.

본 연구에서는 추계적 작업환경에서 컨테이너 셔틀운송에 필요한 차량대수를 결정하기 위해서 다음과 같은 절차를 수행한다.

첫째, 컨테이너 셔틀운송에 필요한 차량대수에 영향을 주는 인자를 선정한다.

둘째, 셔틀운송 대상이 되는 지점을 선정하여 임의로 유입유출표 (From-to Chart) 형태의 수주 물량을 생성한다.

셋째, 생성된 각각의 수주 물량을 처리하기 위해 필요한 차량 대수를 산출하기 위해 시뮬레이션을 수행한다. 이 때, 시뮬레이션 수행을 위한 초기 차량 대수는 수송모형을 활용하여 산출한다.

넷째, 차량 대수를 영향인자로 구성된 다중회귀모형을 도출한다.

2. 시뮬레이션 수행

본 연구에서는 C 컨테이너 운송업체에서 셔틀운송 중 현실적 여건을 고려하여 10개의 지점을 선정하였으며, 한 지점에서 20' 컨테이너의 경우 Uniform[0, 50] 40' 컨테이너는 Uniform[0, 30]의 난수를 발생시켰으며 실제 운행 상황을 고려하여 20개의 물량 자료를 임의로 생성하였다. <표 1>은 임의로 생성된 물량 자료를 유입유출표로 나타낸 것이다.

표 1. 유입유출표 (단위 : TEU)

From \ To	엄궁CY	수영CY	용당CY	감만CY	BCTOC	재래CY	철도CY	UTC
엄궁CY		46			48			66
수영CY	76			60	66			
용당CY					25	37		40
감만CY		70			33		76	
BCTOC	78	50	38	67		91	67	93
재래CY			26		42			56
철도CY				75	61			
UTC	102		26		54	15		

표 2. 지점간 소요 예정 시간 (단위: 분)

From \ To	엄궁CY	수영CY	용당CY	감만CY	BCTOC	재래CY	철도CY	UTC
엄궁CY		50	30	40	30	30	30	35
수영CY			30	40	30	35	35	35
용당CY				10	30	35	35	25
감만CY					20	25	25	20
BCTOC						5	5	10
재래CY							5	15
철도CY								15
UTC								

본 연구에서는 ARENA를 활용하여 시뮬레이션을 수행하였다[5]. 시뮬레이션 수행을 위한 지점간 셔틀운송 시간과 한 지점에서의 상하차 작업시간은 실제 배차담당자의 경험에 의한 시간자료를 사용하였다. <표 2>는 지점간 운송시간과 상하차 작업시간을 포함하는 평균값으로써, 예를 들면 엄궁CY에서 컨테이너를 상차하여 수영CY로 하차할 때 까지 걸리는 시간이 평균 50분임을 알 수 있다. 본 연구에서 시뮬레이션 수행을 위한 초기 차량 대수는 <표 1>의 물량 자료와 <표 2>의 운행시간 및 상하차 작업시간의 평균치를 사용하여 수송 모형을 활용하여 사용하였고[2], 실제 시뮬레이션 수행에서는 추계적 상황을 고려하기 위해 시간 평균치의 ±10% 값을 적용하였다. 예를 들면, 엄궁CY에서 수영CY까지의 시간은 Uniform[45, 55]을 따르는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션을 수행하여 적정 차량 대수로 판정하는 평가기준은 차량평균활용도 > 80%, 최대초과작업시간 < 60분 및 평균초과작업 발생율 < 20% 등의 3가지를 선정하였다. 처음 수송 모형을 통해 계산된 초기 차량 대수를 사용하여 이상의 세 가지 기준을 만족할 경우 차량대수를 하나씩 줄여가며 시뮬레이션을 수행하며, 반대로 만족하지 못할 경우 차량 대수를 한 대씩 증가시켜가며 상기의 평가기준을 모두 만족하는 차량대수를 추정한다.

본 연구에서는 물량 자료를 20개 임의로 생성하였으며, 각 자료에 대해 각각 5회의 시뮬레이션을 수행하였다.

3. 차량 대수 추정 식 도출

본 연구에서는 컨테이너 셔틀운송에 필요한 차량 대수에 영향을 주는 것으로 총 수주물량 N (단위 : TEU), 20'와 40' 컨테이너의 혼합비 α 및 지점간의 컨테이너 출입물량의 차이를 나타내는 균형비 β 등의 3가지를 요인으로 선정하였다. 요인 선정에 관해서는 실제 컨테이너 운송업체에서 셔틀운송 배차를 담당하는 전문인의 경험에 의해 이루어졌다. 수주 물량은 비록 20'와 40' 컨테이너의 수를 나타내는 것으로 본 연구에서는 20' 컨테이너 한 개를 나타내는 TEU를 단위로 사용한다. 만일 40' 컨테이너 10개와 20' 컨테이너 5개를 수주하였다고 할 경우 N은 25 TEU가 된다. 20'와 40' 컨테이너의 혼합비는 20' 컨테이너 개수를 N으로 나눈 것으로 정의하였다. 예를 들어, α=0의 의미는 수주 물량 전체가 40' 컨테이너라는 것을 의미하며 반대로 α=1의 의미는 수주 물량 전체가 20' 컨테이너라는 것을 반영한다. 마지막으로 지점간의 컨테이너 출입물량의 차이를 나타내는 균형비는 물량 흐름이 발생되는 두 지점에서 쌍방향의 물량 차이를 나타내는 것으로 모든 물량을 TEU로 환산한 후 물량 차이를 쌍방향 물량합으로 나눈 것으로 정의하였다. 예를 들어, β=0은 쌍방향으로의 물량이 동일하다는 것을 나타내며, 반면에 β=1은 한쪽 방향으로의 물량만 존재한다는 것을 의미한다.

따라서, 본 연구에서는 전 장에서 수행한 시뮬레이션 결과를 활용하여 임의 생성된 물량자료에 따른 적정 차량 대수를 결정하고, 세 가지 수주 물량 특성을 나타내는 영향요소를 독립변수로 하고, 차량 대수를 종속변수로 하는 통계적 검정을 통해 다중회귀모형을 다음과 같이 도출하였다[9].

$$M = 0.0109N(1 + 6.29\alpha + 4.75\beta) + 5.01$$

M : 차량 대수
N : 컨테이너 수주물량(단위: TEU)
α : 물량데이터의 20'와 40' 컨테이너의 평균 혼합비
β : 물량데이터의 평균 균형비

4. 결론

본 연구에서는 컨테이너 운송업체에서 매일 컨테이너 셔틀운송 수주 물량을 처리하기 위해 필요한 차량 대수를 추정할 수 있는 방법을 제안하였다. 본 연구에서 고려되는 상황은 운송시간과 상하차 작업시간이 확률적인 값을 갖는 추계적 작업환경을 대상으로 시뮬레이션을 활용하였다. 본 연구에 도출한 컨테이너 셔틀운송 차량 대수 추정식은 실제 현장에서 물량 자료를 분석하여 계속적으로 시뮬레이션을 수행한 후 차량 대수를 추정해야 하는 번거로움을 많이 절감할 수 있게 하며 또한 년초 운송업체에서 보유 차량 대수를 어는 정도로 하는 것이 가장 경제적일 것인가를 결정하는데 활용될 수 있을 것이다. 또한 비록 본 연구가 컨테이너 셔틀운송에 대해서만 수행되었지만 근거리 운송이나 장거리 운송에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] 한진교통물류연구소(1996), **교통물류연감**
[2] 고창성·정기호·신재영·박성찬·이광인(1999), "컨테이너셔틀운송을 위한 차량 대수 추정," **한국경영과학회/대한산업공학회 '99춘계 공동학술 대회 논문집**, p.24.
[3] 김갑환·고창성·신재영(1998), "화물수송계획 및 운영의 정량적 모형에 관한 연구," **산업공학**, 제11권, 제1호, pp.1-14.
[4] 김동희·이창호·김봉선(1997), "컨테이너 화물수송을 위한 차량 배차 의사결정지원시스템," **대한산업공학회지**, 제23권, 제2호, pp.275-288.
[5] ARENA Template Reference Manual, Systems Modeling Co., 1994.
[6] Bodin, L.D., Golden, B.L., Assad, A.A., and Ball, M.O. (1983), "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: The State of the Art," *Computers and Operations Research*, Vol.10, No.2, pp.63-211.
[7] Cullen, F.H., Jarvis, J.J., and Ratliff, H.D. (1981), "Set Partitioning Based Heuristics for Interactive Routing," Networks, Vol.11, pp.125-143.
[8] Dumas, Y., Desrosiers, J., and Soumis, F. (1991), "The Pickup and Delivery Problem with Time Windows", *European Journal of Operational Research*, Vol.54, pp.7-22.
[9] Neter J., Wasserman W. and Kunter M., Applied Linear Statistical Models. 3rd edition., 1990.
[10] Psaraftis, H.N. (1980), "A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-a-Ride Problem," *Transportation Science*, Vol.14, pp.130-154.
[11] Psaraftis, H.N. (1983), "An Exact Algorithm for the Single Vehicle Many-to-Many Dial-a-Ride Problem with Time Windows", *Transportation Science*, Vol.17, pp.351-357.
[12] Savelsbergh, M.W.P., and Sol, M. (1995), "The General Pickup and Delivery Problem", *Transportation Science*. Vol.29, pp.17-29.