

# 배후단지 수배송 효율화를 위한 동적계획 및 운영규칙 설계

†하창승 · 곽규석\*

†동명대학교 항만물류학부, \*한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

## A Design of dynamic routing and Operating Rules for Improving the Transportation in Hinterland

†Chang-Seung Ha · Kyu-Seok Kwak\*

†College of Port & Logistics, Tongmyong University, Busan 608-711, Korea

\*Dept. of Logistics Engineering, national Korea maritime University, Busan 606-791, Korea

**요 약** : 현재 부산항신항과 배후단지 물류업체를 연계하는 셔틀운송에는 배후단지 물류업체가 독자적으로 운송차량을 보유하고 운용함으로써 자원소모의 중복성이 있으며 불규칙한 운송화물의 발생으로 화물운송에 매번 다른 차량이 투입되어 업체들이 특정 지역에 밀집되어 있는 단지의 지리적 효과를 충분히 활용하지 못하고 있다. 따라서 본 연구는 이러한 문제들을 해결하기 위해 동적계획을 구성하고 휴리스틱 방법을 통해 작업 스케줄링과 실시간 작업규칙을 구성하며 물류기업의 수·배송 계획에 풀링과 듀얼사이클링을 적용하여 셔틀운송에 소요된 자원의 감축효과와 효율성을 시뮬레이션을 통해 검증한다.

**핵심용어** : 동적계획, 운영규칙, 시뮬레이션, 풀링, 듀얼사이클링

**Abstract** : The shuttle that currently connects Busan New Port to the logistics companies in the Hinterland has the following companies: first, resources are consumed redundantly as each logistics company has independent transport vehicles. Second, the companies are not taking advantage of geographical merits of clustered complexes because different vehicles are used each time due to irregular schedules.

In this respect, this study had the following purposes to realize these solutions: first, heuristic approach was made for operation scheduling and real-time operating rules to configure the best possible dynamic plan. Second, the reduction of consumption of resources with the shuttle and the efficiency were examined through a simulation of pooling and dual cycling applied to logistics companies' shipping plans.

**Key words** : dynamic planning, operating rules, simulation, pooling, dual cycling

### 1. 서 론

배후단지는 항만의 배후부지를 다목적으로 개발한 복합물류구역으로 배후도시의 상적 활동과 항만의 물적 활동을 연계하는 기능을 담당한다. 보관, 환적, 분류, 공동배송, 연계운송 등의 보관배송 기능과 부품조립, 재포장, 판매, 수리, 해체, 단순조립, 장치관리 등의 유통가공 기능을 제공하며, 철도, 도로, 항공, 내륙수로 등을 포함하는 운송모드를 연결한다. 또한 유통조립 및 환적화물의 유치를 통해 항만의 부가가치 증대와 물동량 증가에 주요한 역할을 담당하고 있다.

부산항신항 배후단지의 경우 입주업체의 영업실적이 '09년 11월 누적기준 반입물동량은 1,621천톤으로, 전년대비 외국물품은 619% 증가한 420천톤, 내국물품은 107% 증가한 1,201천톤을 기록하였으며, 같은 기간 반출물동량은 외국물품이 1,051% 증가한 304천톤, 내국물품이 131% 증가한 1,141톤을 각각 기록한 것으로 나타났다(부산경남본부세관, 2010). 이와

같이 배후단지에 입주한 업체들의 최근 물동량은 급속하게 증가하고 있으며 특히 내국물품에 비해 외국물품 증가율이 폭발적으로 증가한 것은 배후단지 활성화에 따라 조립가공, 환적화물 유치 등 국제물류 활동을 활발하게 수행한 결과로 분석되며, 향후 배후단지의 추가 입주에 따라 처리 물동량은 더욱 증가될 것으로 보인다.

하지만 국내 운송시스템은 운영의 폐쇄성으로 화물의 장기체류, 중복배차, 공차운행 등을 초래하여 화물자동차 적재효율이 42.62%에 지나지 않으며 상시적인 도시교통 체증이 전국적으로 발생하고 있다(국토해양부, 2010). 또한 배후단지의 연계운송은 대부분 화물자동차 운송에 의존하고 있으며 부산항신항의 임항도로의 차폭은 매우 좁고 신항 서측과 진례 IC를 잇는 배후도로의 준공이 계속 늦어져 배후단지의 입주가 완료되는 2015년 이후에는 교통량과 물동량의 급격한 증가가 예상된다. 향후 배후단지 물류업체들은 교통 혼잡과 정체로 높은 물류비용을 지불해야 함으로 이 문제의 해결 유무가 배후단지

†교신저자 : 종신회원, hacha@tu.ac.kr 051)629-1463

\*종신회원, kskwak@hhu.ac.kr 051)410-4332

물류업체들의 사업 성패를 결정하는 중요한 요인이 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 배후단지 물류업체의 업무와 기존 수·배송 관리 시스템을 분석하고 개선된 수·배송 방안을 위해 동적계획을 통해 작업 스케줄링과 실시간 작업규칙을 구성한다. 또한 작업규칙에 풀링(pooling)과 듀얼사이클링(dual cycling)을 적용하여 실제 서플운송에 소요된 자원의 감축효과와 효율성을 시뮬레이션 실험을 통해 배후단지 물류업체들을 위한 최적화된 물류서비스 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 관련연구

항만배후단지에 관한 대다수의 문헌은 항만배후단지를 운송수단에 의해 항만과 연결되어 있고 항만을 통해 물품을 수취 또는 선적하기 위해 개발된 육상구역으로 정의하였다. 즉 항만배후단지를 항만에 속한 보조지역 또는 항만의 후면에 해당하는 지역으로 해당지역 내 다양한 활동지점을 항만과 연계시키는 기능지역으로 설명하였다. 또한 항만배후단지를 첫째, 항만을 경유하는 수출·입, 환적 화물의 수요창출과 관련된 내륙 및 해외세력권을 포함한 일정영역으로 둘째, 항만활동을 위한 자본, 기술, 노동 등의 제공을 통해 생산 및 소비를 일으키는 항만도시 영역으로 셋째, 항만활동의 집중과 분산이 행해지는 사회경제적 영역 등으로 그 개념을 구분하였다.

최근 항만배후단지의 개념 정립에 관한 다양한 논의와 함께 국내 고유의 개념 정립에 고려되어야 할 환경적 측면의 연구가 수행되고 있다(김정수·신계선, 2004; 최광수 등, 2005; Baldacchino, 2006; 이기환 등, 2008). 국내의 고유한 상황으로 급격한 경제성장에 따른 항만과 도시기능의 충돌, 항만공간과 도시공간의 기형적 배치, 남북대치에 따른 연안지역의 폐쇄성 및 기타 교통인프라에 상대적으로 후진적인 낙후성 등이 지적되었다(김정수·신계선, 2004). 기존 항만도시들은 항만지원을 위한 체계적인 기능 및 공간이 부족한 상황이었어서 항만지원을 위한 일부 도시기능이 포함된 복합적이고 축약된 단계계획지역으로 보아야 한다는 주장도 있다(이성우, 2007).

항만 배후단지의 개념과 기능에서 배후단지가 항만의 중계성을 강화하고 부가 가치를 창출하는 역할을 주도하고 있음을 확인하였다. 즉, 공급사슬에 연결된 기업들은 전략적 경영환경을 개선하기 위해 기업의 영역을 넘어 연결점인 항만을 중심으로 기능적 융합을 시도하고 공간적 통합을 추진하고 있다(이성우 등, 2007). 따라서 전략적 측면에서 항만배후단지의 발전방향에 관한 선행연구를 고찰할 필요가 있다.

기존의 항만배후단지와 관련한 경쟁력 제고에 관한 연구는 항만입지, 항만비용, 서비스수준, 항만시설, 물동량, 항만운영 및 정책 측면에서 주로 다루어왔다. 또한 싱가포르, 홍콩, 대만 등 항만과 배후단지의 연계가 중요한 지역에서 배후단지의 단계별 개발과 활성화 전략에 관한 연구들이 대부분이며, 항만과 산업간 밀착된 연계서비스를 통해 시너지 효과를 높이기 위한 거점화 전략을 일관되게 주장하고 있다(정봉현, 2006).

## 3. 동적계획 및 운영규칙 설계

### 3.1 동적계획의 필요성

운영규칙 설계를 위해 먼저 부산항신항 배후단지에 입주한 물류업체들의 배치 구조를 살펴보면 Fig. 1과 같다. 배후단지 물류업체들은 컨테이너터미널에 인접한 배후지에 집중적으로 배치되어 있다. 배후단지는 가로 약 4.3km, 세로 약 290m의 거의 장방형의 구조로 구성되어 있으며 컨테이너터미널의 주출입구에서 임항도로까지는 약 290m의 거리이다. 배후단지 내의 이동로는 약 10m 도로 폭을 가지는 편도 1차선의 이면도로이지만 운영규칙 구성의 편의를 위해 일방통행의 운영방식을 채택하였다. 배후단지에는 다수의 물류업체들이 집중되어 있어 동적 작업계획의 효과를 유도할 수 있다.

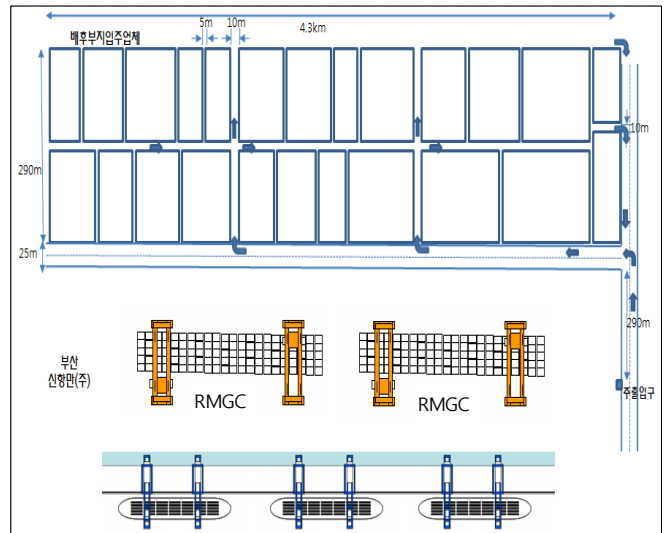


Fig. 1 The plan of Busan New Port and logistics companies in hinterland

동적계획 방법론에서 불충분한 정보나 불확실한 환경에서 의사결정을 위해 현재는 물론, 미래에 주어질 결과를 함께 고려한 의사결정 모델로 마코브(Markov) 동적계획이 있다. 불확실하고 복잡한 작업 환경에서는 단일기준의 운영규칙만으로 상황별로 적합한 의사결정을 내리기 어려우므로 가능한 대안을 복수로 제공해야 한다(Liu et al., 2004). 마코브 동적계획은 이러한 불확실하고 복잡한 작업 환경에서 복수의 상황을 가정한 사례집합들을 구성하여 불연속적인 시점을 고려한 확률 통제 과정을 제공할 수 있다.

여기에서 복수의 상황이라 함은 의사결정자가 다수의 대안 가운데 선택이 가능한 대안들을 가리키는 것으로, 상황에 해당하는  $c$ 와 해당 상황에 대한 대안에 해당하는  $a$ 를 고려하여 전환확률  $P_a(c)$ 가 이후 전개될 상황으로의 확률을 결정한다(Hiller and Lieberman, 2001).

이후 다음 상황을 맞이하는 의사결정자는 해당 상황에 대하여 보상을 받는데, 이 시점을 가리켜 동적 상황계획은 마코브

특성이 있다고 한다. 즉,  $t$ 시점에 마코브 동적계획의 상태가 알려져 있다면, 그 다음 시점인  $t+1$ 의 상태 전환은 사건의 불연속적 특성에 따라 기존의 상황과는 직접적 관계없이 이루어짐을 의미한다.

마코브 동적계획은 불확실이 있는 다양한 대기행렬, 네트워크, 작업통제, 순차처리 등의 문제에 적용되어 왔다(Down and Lewis, 2006). 또한 마코브 동적계획은 결과가 우연한 사건으로 인한 것이면서 일부 의사결정자가 통제할 수 있는 상황을 가정하여 의사결정을 모델링하는데 수학적인 프레임워크를 제공하고 반복적인 학습을 통해 다양한 문제의 최적화에 활용되어 왔다. 특히 자동차 수출·입 장치장의 상황변화에 따라 최적의 의사결정을 제공하기 위한 휴리스틱 모델링을 수행한 Kim 등(2005)의 연구는 마코브 동적계획을 운송라우팅에 적용할 수 있는 가능성을 제시하였다.

본 연구의 대상이 컨테이너터미널과 인접한 내륙의 배후단지 물류업체들을 연계하는 운송라우팅 문제를 다룬다는 점에서, Kim 등(2005)이 수행한 양륙된 자동차 상품을 내륙의 VDC(Vehicle Distribution Center)를 통해 일시적으로 장치하고 효율적으로 배송하는 문제를 다룬 연구를 참고할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 마코브 동적계획을 이용하여 운행차량을 중심으로 주어지는 컨테이너터미널과 배후단지 물류업체간에 발생하는 상황과 관련된 변수 등을 정의하고 운영규칙을 설계하고자 한다. 또한 본 연구에 동적계획을 적용해야 하는 필요성을 다음과 같이 정리한다.

첫째, 운행차량의 풀링을 위해서는 투입되어야 할 차량의 적정대수를 확정해야 하며 이것은 반복 시행을 통해 상황에 따른 운행 차량대수를 조절해가는 과정이 동반된다. 둘째, 한번의 셔틀운송에서 복수의 물류업체와 컨테이너터미널을 경유하는 듀얼사이클링이 가능하려면 상황에 적합한 라우팅 순서를 배정할 수 있어야 한다. 셋째, 실시간 작업 환경에서 의사결정을 내리는 경우 배후단지 물류업체의 상황과 컨테이너터미널의 상황을 동시에 고려할 수 있어야 한다. 즉, 동적계획을 적용함으로써 시간의 흐름에 따른 다수의 상황 변화에 적합한 다수의 대안을 제시할 수 있어야 하므로, 시점별 상이한 의사결정을 통한 복수의 운송규칙을 보유해야 한다.

### 3.2 운영규칙 설계

항만에 입항한 선박의 화물이 양하된 이후 배후단지 물류업체에 운송되거나 물류업체로부터 컨테이너터미널로의 운송은 일부 사전에 예약된 물량을 제외하고 대부분 상황에 종속적이다. 즉 동적인 상황 변화에 따라 다수의 미래시점이 발생하고 시점별 상이한 의사결정과 상황변수를 갖는 복수의 운영규칙이 마련되어야 한다. 이러한 전제 조건을 만족하는 운영규칙을 정의하기 위해 물류업체간이나 터미널간에는 운송요청이 없는 것으로 가정하고 배후단지 물류업체 및 컨테이너터미널을 운송 연결점(node)으로 임의로 및 이면도로를 방향성을 갖는 운송경로(link)로 추상화하여 Fig. 2와 같이 나타내었다. 운송경로에서 실선은 적재운행이 점선은 공차운행이 수행되

는 구간을 의미한다.

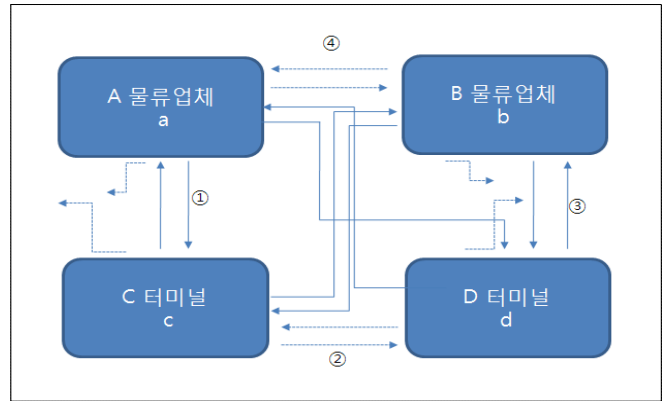


Fig. 2 A relationships of trailer service between terminal and logistics companies

배후단지에 위치한 다수의 물류업체와 다수의 터미널간을 연결하는 운송경로는 카티전(cartesian)곱의 관계로 증가하기 때문에 관계의 복잡성을 단순화하기 위해 2개의 물류업체와 2개의 컨테이너터미널만을 대상으로 축소하며 운송경로도 유사한 경우나 동일한 경우는 배제하고 ①~④의 운송경로만을 대상으로 단순화하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Set up conceptual direction of trailer service

목적지 \ 출발지	a	b	c	d
a			구간①	
b	구간④			
c				구간②
d		구간③		

배후단지 물류업체가 컨테이너터미널의 장치장으로 화물운송을 요청 하면 이 시점부터 운송 계획이 시작되는데 이때 시간  $t(t \in T)$ 는 운송을 계획하는 시점이며 작업개시로부터 의사결정 시점은 각각  $T = \{1, 2, \dots, n\}$ 이 되며  $n$ 은  $n < \infty$ 이 된다. 이때 상황변수( $C_t$ )는  $t$ 시점에서의 특정 장치장 내부의 상황이 된다.

각 컨테이너터미널의 장치장에 있는 컨테이너 개수가  $t$ 시점의 상황변수로 고려될 수 있으나 장치장의 규모에 의존할 경우 순전히 장치장의 면적에만 종속될 수 있으므로 첫째, 사전 예정된 운송시간을 달성하기 위한 계획 가능성 둘째, 운송차량의 최대 적재를 달성을 통한 효율성 극대화 셋째, 공차운행 최소화를 통한 차량 가용성의 극대화 등을 상황변수의 기준으로 결정한다.

이들 상황변수의 기준 3가지를 기반으로  $t$ 시점의 특정 장치장의 상황  $C_t$ 는 각각  $SA_t, ME_t, EM_t$ 의 집합이 된다. 여기

에서  $SA_t$ 는 계획 가능성(Scheduling Availability),  $ME_t$ 는 효율성 극대화(Maximizing Efficiency),  $EM_t$ 는 공차운행 최소화(Empty Minimized)를 의미하며 규칙 적용에 따른 효율성과 및 서비스 평가를 위한 기준으로 사용된다.

운송 차량의 총소요시간(Total Expenditure: TE)은 식 (1)과 같이 구간 ①부터 ④까지 이동에 소요된 개별 시간의 합과 같다.

$$TE = \sum_{o \in O} \sum_{d \in D} x_{od}^t m_{od} \dots\dots\dots (1)$$

$O = \{a, c, d, b\}$ ,  $D = \{c, d, a, b\}$

차량운행 소요시간을 구간별로 구분하면 식 (2), 식 (3), 식 (4), 식 (5)와 같다.

$$\text{구간①} \sum_{a \in A} \sum_{c \in C} x_{ac}^t m_{ac} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{구간②} \sum_{c \in C} \sum_{d \in D} x_{cd}^t m_{cd} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{구간③} \sum_{d \in D} \sum_{b \in B} x_{db}^t m_{db} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{구간④} \sum_{b \in B} \sum_{a \in A} x_{ba}^t m_{ba} \dots\dots\dots (5)$$

여기에서,

- ① a는 A물류업체의 식별번호이며,  $a \in A$ ,  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_j\}$
- ② b는 B물류업체의 식별번호이며,  $b \in \{b_1, b_2, b_3, \dots, b_p\}$
- ③ c는 C터미널 장치장의 식별번호이며,  $c \in C$ ,  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$
- ④ d는 D터미널 장치장의 식별번호이며,  $d \in \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_q\}$
- ⑤ m은 차량의 컨테이너 운송소요시간  $m \in \{1m, 2m, 3m, \dots, nm\}$ ,  $n < \infty$

차량운행의 총소요시간 및 평균소요시간을 계산하기 위해 컨테이너터미널의 장치장과 배후단지 물류업체사이에 운행 중인 차량의 수는 동일하다고 가정한다. 즉, t시점에서 차량이 적재한 총 컨테이너 개수는 이 구간을 이동하는 차량의 대수가 되며, t시점에서 차량의 운행 소요시간은 각 구간을 이동하는데 소요된 시간으로 구할 수 있다.

A물류업체로부터 C터미널의 장치장 구간과 D터미널의 장치장으로부터 B물류업체까지의 구간은 차량이 컨테이너를 적재한 상태이다. 따라서 이 구간을 이동한 차량의 대수는 늘이고 공차로 회차하는 경우는 줄이며 평균운행시간은 최소화 하는 것이 차량의 가용도를 최대화하는 것이다. 이 구간에서의 차량의 평균운행시간  $WE_t$ 는 식 (6)과 같다.

$$WE_t = \frac{\sum_{a \in A} \sum_{c \in C} x_{ac}^t m_{ac}}{\sum_{a \in A} \sum_{c \in C} x_{ac}^t} + \frac{\sum_{d \in D} \sum_{b \in B} x_{db}^t m_{db}}{\sum_{d \in D} \sum_{b \in B} x_{db}^t} \dots\dots\dots (6)$$

여기서  $x_{ac}^t$ 는 t시점에 A물류업체로부터 C터미널의 장치장까지 이동하는 차량의 소요대수이고  $x_{db}^t$ 은 t시점에 D터미널의 장치장으로부터 B물류업체까지 이동하는 차량의 소요대수이다.

또한 C터미널의 장치장으로부터 D터미널의 장치장 구간과 B물류업체로부터 A물류업체까지의 경로는 듀얼사이클링에 따라 다른 컨테이너를 적재하기 위해 이동하는 구간이다. 따라서 이 구간을 이용하는 차량의 대수는 늘이고 평균운행시간은 최소화하는 것이 차량의 가용도를 최대화하는 것이다. 이 구간에서의 차량의 평균운행시간  $EE_t$ 는 식 (7)과 같다.

$$EE_t = \frac{\sum_{c \in C} \sum_{d \in D} x_{cd}^t m_{cd} + \sum_{b \in B} \sum_{a \in A} x_{ba}^t m_{ba}}{\sum_{c \in C} \sum_{d \in D} x_{cd}^t + \sum_{b \in B} \sum_{a \in A} x_{ba}^t} \dots\dots\dots (7)$$

여기서  $x_{cd}^t$ 는 t시점에 C터미널의 장치장에서 D터미널의 장치장까지 듀얼사이클링을 위해 이동하는 차량의 소요대수이고  $x_{ba}^t$ 은 t시점에 B물류업체에서 A물류업체까지 듀얼사이클링을 위해 이동하는 차량의 소요대수를 가리킨다.

## 4. 실험 및 분석

### 4.1 실험 설계

본 연구의 시뮬레이션은 컨테이너터미널과 연계된 배후단지 물류업체들 사이에서 발생하는 배송과정에서 풀링과 듀얼 사이클링이 적용된 경우 외부트레일러의 비용과 시간 측면에서의 이득 변화의 목적을 달성하기 위해 시뮬레이션 모델을 구축하고 분석한다.

시뮬레이션은 AutoMod11.1을 사용하여 Fig. 3과 같이 문제 영역 정의, 목적 및 결과값 정의, 입력값 정의 및 수집, 모델링, 운영규칙 정의, 오류확인, 타당성 검증, 실험설계, 결과 분석의 순으로 진행된다. 시뮬레이션을 위한 입력자료는 Table 2와 같이 배후단지물류협회에서 조사한 업체별 창고 크기, 물동량 정보, 운행차량의 입출고 대수를 사용하였다.

이때 작업시간은 1일 10시간, 작업일수는 363일, 장치율은 50%로 가정하였고, 트레일러의 운행속도는 30km/h, 차중지정계수는 40피트를 기준으로 설정하였다. 또한 중량변환계수는 R/T(Revenue Ton)를 TEU로 환산하는 계수로 18.74를 적용하였다. 운행차량의 일별 입출고 대수는 식 (8)에 의해 결정하였다.

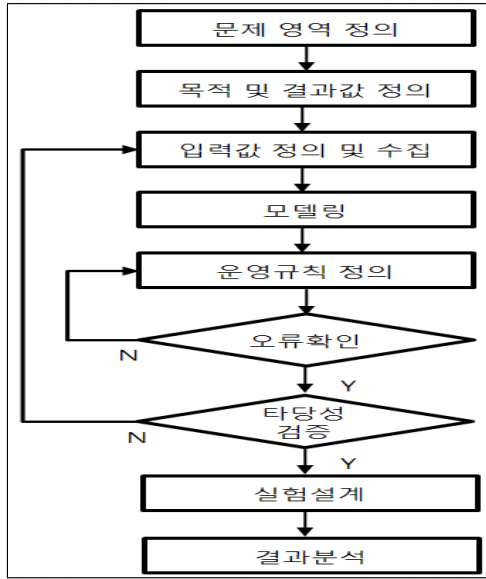


Fig. 3 The process procedure of simulation

Table 2 The area and the quantity of goods in each warehouses

구분	길이 (m)	폭 (m)	일별 입고대수	일별 출고대수
부산항신항CFS	173	120	14	14
BIDC	174	174	42	42
C&S국제물류센터	540	132	97	97
BIDC	588	132	97	97
세방부산항신항물류	352	132	52	52
동방물류센터	280	136	44	44
씨스테인웨그 컨소시엄	480	132	80	80
퍼스트클래스, 로지스틱스	285	137	38	38
대한통운BND	364	132	46	46
보고로지스틱스	232	128	20	20
케이엔로지스틱스	268	132	42	42
신대륙물류	240	132	20	20
범한판토스 컨소시엄	216	132	29	29
신항국제물류	292	112	39	39
현대코스코로지스틱스	268	116	35	35
부산글로벌물류센터	220	132	33	33
디케이엘씨	200	132	38	38
엠에스디스트리파크	264	132	37	37
부산크로스독	268	116	41	41
지앤지	160	112	18	18
대한통운BND II	156	132	37	37
한진케리로지스틱스	144	116	22	22

$$\text{일별차량대수} = \frac{\text{연간물동량}(R/T) \times \text{장차율}}{\text{중량변환계수} \times \text{차종지정계수} \times \text{작업일수}} \dots\dots\dots (8)$$

4.2 실험 분석

1) 규칙적용 이전

개별 물류업체별에서 현행 운행되는 트레일러 운영방식에 따라 시뮬레이션을 수행하여 Table 3과 같은 결과를 확인하

였다.

Table 3 Cases in each operation of trailer

대수	입고 최대 대기량 (대)	입고평균 대기시간 (분)	출고 최대 대기량 (대)	출고평균 대기시간 (분)	적재운행률 (%)	공차운행률 (%)	정차율 (%)
25	16	1.01	372	117.63	79.3	18.6	2.1
26	15	0.95	315	99.45	89.3	19.6	2.1
27	17	0.95	257	81.19	77.4	20.5	2.1
28	12	0.91	202	63.00	76.5	21.4	2.1
29	15	0.88	143	45.17	75.6	22.2	2.2
30	16	0.82	86	27.64	74.8	22.9	2.3
31	16	0.85	32	10.67	74.0	23.6	2.4
32	11	0.53	22	5.66	72.2	22.9	4.8
33	11	0.39	22	5.14	70.0	22.3	7.7
34	11	0.35	22	4.87	68.0	21.6	10.4
35	11	0.30	22	4.75	66.0	21.0	13.0
36	11	0.28	22	4.64	64.2	20.4	15.4
37	11	0.26	22	4.60	62.5	19.8	17.7
38	11	0.26	22	4.56	60.8	19.3	19.9
39	11	0.25	22	4.56	59.3	18.8	21.9
40	11	0.25	22	4.54	57.8	18.4	23.9

실험에 따르면 트레일러의 적재운행률은 트레일러가 25대 일 때 79.3%로 시작하여 26대가 되면 89.3%로 최대가 되며, 투입되는 트레일러의 대수가 증가할수록 적재운행률은 점차 줄어들어 36대가 되면 64.2%로 최소가 된다.

트레일러의 공차운행률은 트레일러가 25대일 때 18.6%로 시작하여 투입되는 트레일러의 대수가 증가할수록 공차운행률은 점차 증가하고 31대일 때 공차운행률은 23.6%로 가장 높았다가 다시 감소한다.

트레일러의 정차율은 트레일러의 대수가 25대에서 31대까지 2.2%로 거의 변화가 없다가 32대가 되면 정차율은 4.8%로 크게 증가한다. 트레일러의 대수가 36대가 되면 정차율은 15.4%로 최대가 된다.

시뮬레이션 결과, 배후단지 물류업체별로 개별 트레일러를 운영하는 경우에는 트레일러 대수가 31대 이하인 경우, 출고 컨테이너 최대 대기량은 32개 이상으로 나타났다. 이것은 운행되는 차량의 대수가 31대 보다 작으면 컨테이너 운송이 원활하지 않음을 의미한다. 그리고 트레일러 수량이 32대 이상인 결과에서 트레일러 정차율이 5%미만을 기준으로 설정하면 최적의 트레일러 대수는 32대가 되고, 정차율을 10%미만으로 설정하면 최적의 트레일러 대수는 33대가 된다. 트레일러 대수의 변화에 의한 입출고 컨테이너 대기시간과 트레일러 정차율은 서로 상충관계(trade-off)에 있다.

본 연구의 시뮬레이션 결과, 입출고 컨테이너 대기시간이 최소가 되고 트레일러의 운영효율이 최대가 되는 최적의 트레일러 대수는 32대로 사료된다. 트레일러 대수 32대에서 입고 컨테이너 최대 대기량은 11대, 입고 컨테이너 평균대기시간은 0.53분이고, 출고 컨테이너의 최대 대기량은 22대, 출고 컨테이너 평균대기시간은 5.66분으로 나타났으며, 트레일러 적재운행

률은 72.2%, 공차운행률은 22.9%, 정차율은 4.8%로 나타났다.

2) 규칙적용 이후

적정 트레일러 대수를 설정하기 위해 풀링과 듀얼사이클링이 적용된 경우의 시뮬레이션을 수행하여 Table 4와 같은 결과를 확인하였다.

Table 4 Cases in pooling and dual cycling of trailer

대수	입고 최대 대기량 (대)	입고평균 대기시간 (분)	출고 최대 대기량 (대)	출고평균 대기시간 (분)	적재운행률 (%)	공차운행률 (%)	정차율 (%)
10	320	99.59	325	102.75	92.8	5.6	1.6
11	258	80.74	267	84.20	92.7	5.7	1.7
12	199	61.87	205	65.66	92.6	5.7	1.7
13	142	42.67	148	46.78	92.6	5.6	1.8
14	83	24.90	92	29.31	92.4	5.8	1.8
15	25	5.81	29	10.52	92.3	5.8	1.9
16	17	2.76	22	7.66	87.4	10.6	2.0
17	21	2.61	22	7.57	82.1	15.7	2.2
18	20	2.68	22	7.73	77.5	20.1	2.4
19	18	2.75	23	7.80	73.5	23.7	2.8
20	19	2.72	21	7.71	69.9	27.2	3.0
21	15	2.90	22	7.88	66.6	30.0	3.4
22	19	3.14	23	8.15	63.4	33.1	3.5
23	14	3.24	21	8.07	60.7	35.2	4.1
24	20	3.38	21	7.87	58.2	37.1	4.7
25	16	3.67	22	7.88	55.8	39.0	5.2

실험에 따르면 트레일러 대수가 15대 이하인 결과에서 입고 컨테이너의 최대 대기량은 25개 이상, 출고 컨테이너의 최대 대기량이 29개 이상으로 나타났다. 이것은 트레일러 대수가 15대 이하에서는 컨테이너 운송이 원활히 진행되지 못함을 의미하며 최소 16대 이상의 트레일러가 셔틀운송에 투입되어야만 원활한 물동량 운송이 가능할 것으로 사료된다.

트레일러 대수가 16대인 경우 트레일러 정차율이 최소값인 2%로 나타났고, 트레일러가 17대 이상 증가하면 정차율이 반대로 증가되었다. 따라서 적정 트레일러 대수는 16대이고 이때 입고 컨테이너의 최대 대기량은 17개, 입고 컨테이너 평균 대기시간은 2.76분이고, 출고 컨테이너의 최대 대기량은 22개, 출고 컨테이너 평균대기시간은 7.66분으로 나타났으며, 트레일러 적재운행률은 87.4%, 공차운행률은 10.6%, 정차율은 2%로 나타났다.

결과적으로 규칙이 적용되기 이전의 투입 적정 트레일러 대수가 32대인 반면 규칙이 적용된 이후의 적정 트레일러 대수는 16대로써 규칙을 적용하면 투입 트레일러의 대수를 16대나 줄일 수 있음을 확인하였다.

5. 결론

항만의 부가가치를 높이는 배후단지의 전략적 활용에 있어서 항만과 배후단지에 입주한 각 물류업체들을 연계하는 운송

에는 사전에 통제하기 어려운 비효율성과 불확실성이 항상 존재한다. 특히 배후단지 물류업체가 독자적으로 운송차량을 운용하면서 발생하는 중복성의 문제, 불규칙하게 발생하는 운송 화물에 대한 무계획성의 문제, 편도운송에 따른 공차운행의 문제, 운송차량의 위치 미확인에 따른 자원 낭비 등의 문제가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서는 최적화가 어려운 분야에 휴리스틱 접근의 동적 작업계획을 적용함으로써 자원소모의 중복성을 배제하고, 집중된 단지의 지리적 여건을 활용한 운송체계를 정립하며, 왕복운송에서 화물의 실차율을 높여 공차운행률을 최소화하며 운송차량의 위치확인을 통해 작업변경이 가능한 동적계획 및 운영규칙을 설계하고 실험하였다.

실험 결과에 따르면 기존의 운행방식보다 풀링 및 듀얼사이클링이 가능한 라우팅 작업규칙을 적용할 경우, 투입되어야 할 트레일러 대수가 32대의 절반 수준인 16대로 줄었고, 컨테이너 평균대기시간은 입고가 0.53분에서 2.76분, 출고가 5.66분에서 7.66분으로 다소 증가했지만, 트레일러의 적재운행률이 72.2%에서 87.4%로 증가했고, 공차운행률은 22.9%에서 10.6%로 감소되었으며, 정차율이 4.8%에서 2.0%로 절반가량 줄어들었다. 따라서 기존의 운송 방식보다 풀링 및 듀얼사이클링을 적용한 운행 방식에서 효율성이 약 20% 정도 향상된 것으로 판단된다.

하지만 본 연구는 내륙 수배송 부분은 제외하였고 운영규칙을 단순화하기 위해 관계를 두 개의 터미널과 두 개의 물류업체로 제한하였다. 또한 배후단지에서 처리되는 대상 화물량도 물류업체의 규모에 의존하는 것으로 가정하였다. 만약 이들 물류업체의 처리 화물량이 영업력에 따라 달라지고 화물 운송계획이 사전에 수립될 수 있다면 상대적으로 본 연구의 적용범위와 기대효과는 감소할 것으로 예상된다. 이에 대한 보다 정확한 데이터 획득과 분석을 통해 엄밀한 효율성 개선 효과를 도출할 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] 국토해양부(2010), ICC 2차년도 성과발표.
- [2] 국토해양부(2010), 지능형항만물류시스템 발표자료
- [3] 김정수, 신계선(2004), “부산·진해 신항의 항만배후단지 개발현황과 효율적인 이용방안에 관한 연구”, 한국항만경제학회지, 20권, 2호, pp.101~130.
- [4] 이기환, 황두진, 김명희(2008), “부산항 신항 컨테이너 터미널 배후단지 조성사업의 경제성 평가에 관한 연구”, 한국항만경제학회지, 24권, 4호, pp.153~171.
- [5] 이성우, 고현정, 김찬호, 김근섭(2007), “국제 분업화에 따른 항만배후 단지 기업유치 방안 연구”, 한국해양수산개발원
- [6] 정봉현(2006), “지방항만도시 배후지역의 화물 복합운송 체계 형성전략”, 한국항만경제학회지, 21권, 2호, pp.229

~270.

- [7] 최광수, 김형일, 안승범(2005), “우리나라 항만배후단지의 개발방향 및 효과에 대한 실증연구”, 한국항만경제학회지, 21권, 2호, pp.147~172.
- [8] Baldacchino(2006), Godfrey., “Managing the hinterland beyond: Two ideal-type strategies of economic development for small island territories”, Asai Pacific Viewpoint, Vol.47, No.1, pp.45-60.
- [9] Birge, J., and Louveaux, F.(1997), Introduction to stochastic programming, Berlin: Springer.
- [10] Down, G., and Lewis, E., “Dynamic load balancing in parallel queueing systems: Stability and optimal control,” European Journal of Operational Research, Vol. 168, 2006, pp. 509-519.
- [11] Hiller, F., and Lieberman, G.(2001), Introduction to Operations Research, McGrawHill.
- [12] Kim, H.(2006), “A Speed-Adaptive Location Estimator for Wireless LAN-based RTLS Systems,” IEEE Asia-Pacific Conference on Communications, pp.1-6.
- [13] Liu, C., Jula, H., Vukadinovic, K. and Ioannou, P., “Automated guided vehicle system for two container yard layouts”, Transportation Research Part C, Vol. 12, 2004, pp.349-368.

---

원고접수일 : 2011년 2월 8일  
심사완료일 : 2011년 3월 9일  
원고채택일 : 2011년 3월 11일