

## 컨테이너 셔틀운송을 위한 차량 대수 결정 \*

고창성\*\* · 정기호\*\*\* · 신재영\*\*\*\*

### Determination of Vehicle Fleet Size for Container Shuttle Service \*

Chang-Seong Ko\*\* · Ki-Ho Chung\*\*\* · Jae-Yeong Shin\*\*\*\*

#### ■ Abstract ■

This paper presents two analytical approaches to determine the vehicle fleet size for container shuttle service. The shuttle service can be defined as the repetitive travel between the designated places during working period. In the first approach, the transportation model is adopted in order to determine the number of vehicles required. Its advantages and disadvantages in practical application are also discussed. In the second approach, a logical network which is oriented on job is transformed from a physical network which is focused on demand site. Nodes on the logical network represent jobs which include loaded travel, loading and unloading and arcs represent empty travel for the next job. Then a mathematical formulation is constructed similar to the multiple traveling salesman problem (TSP). A solution procedure is carried out based on the well-known insertion heuristic with the real world data.

## 1. 서 론

오늘날 국제화와 개방화의 물결에 따른 국가간 경쟁의 심화, 정보기술 및 통신망의 급속한 발달,

그리고 후발 개발도상국의 급격한 추격 등 급변하는 외부 환경에서 국내 기업들이 경쟁력을 확보하기 위한 방안으로 물류에 대한 중요성이 더욱 강조되고 있다. 특히 수출입 물량과 관련되는 국제

\* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(1999-1-315-001-3) 지원으로 수행되었음.  
\*\* 경성대학교 산업공학과  
\*\*\* 경성대학교 경영정보학과  
\*\*\*\* 한국해양대학교 물류시스템공학과

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 서틀운송으로 나눌 수 있다. 장거리 및 근거리운송은 수출입 물량의 주체가 되는 화주의 위치가 어느 정도 멀리 있는가에 따라 구분되며, 서틀운송의 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 · 고창성 · 신재영의 화물수송에 관한 조사 연구[2]를 통해 살펴보면, 컨테이너 터미널의 운영 및 설계에 대해서는 비교적 많은 연구가 수행되었으나 컨테이너 운송분야에 있어서의 연구는 거의 수행되고 있지 않음을 알 수 있다. 김동희 · 이창호 · 김봉선[3]이 컨테이너 수송문제를 대상으로 동적 배차시스템의 개발에 대한 연구를 수행했으며, 윤원영 · 안창근 · 최용석[4]은 공 차량 이동과 공 컨테이너 이동을 최소화하는 컨테이너 차량 배차 문제를 다룬 연구가 대표적이다. 따라서, 앞에서 언급한 바와 같이 컨테이너 운송 분야의 중요성을 감안할 때, 컨테이너 운송 분야에 대한 보다 많은 연구 수행이 절실히 요구된다.

본 연구는 컨테이너 운송에서 서틀운송에 필요한 컨테이너 차량의 대수를 효과적으로 결정하기 위한 연구이다. 실제 대부분의 컨테이너 운송업체에서는 서틀운송을 위해 필요한 차량을 대략 결정하여 우선적으로 차량을 확보한 후 서틀만의 배차

계획을 수립하여 운영하며, 장거리, 근거리 및 철도운송 등은 이후 독립적으로 배차를 수행하고 있다. 서틀운송의 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. 환적 화물의 경우는 재래부두와의 연결 때문에 대부분의 물량 처리가 야간에 이루어진다. 즉 서틀운송의 경우 주·야간의 운송이 별도로 수행되며, 이에 따라 각각 차량의 주·야간 확보도 별도로 운영한다.

Bodin et al.[5]의 연구 분류에 따르면 컨테이너 서틀운송 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[6]의 연구를 들 수 있다. 또한 Dumas, Desrosiers and Soumis[7]는 동일한 문제에 대해 시간창(Time Window) 제약을 고려한 문제를 다루었다. 그 외에 동적인 상황을 감안한 연구를 Psaraftis[9, 10]에 의해서 수행되었다.

본 연구에서는 서틀운송에 필요한 차량대수를 결정하기 위해서 두 가지 접근법을 제시하고자 한다.

첫 번째는 컨테이너 서틀운송문제와 유사한 AGV 시스템에서 활용되는 수송 모형(Transportation Model)을 이용한 차량 대수 결정 모형을 제시하며, 아울러 이 방법의 현실 적용상의 장단점이 논의된다.

다음으로, 첫 번째 방법의 단점을 보완하기 위해 서틀운송문제를 Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP)으로 변환하여 새로운 차량 대수 결정 방법을 제시한다. 이 방법은 현행 시스템의 각 지점 사이의 컨테이너 수송 요구 물량의 흐름을 나타내는 물리적 네트워크로부터 논리적 네트

워크로 변환함으로써 가능해진다. 본 연구에서 다루는 문제는 컨테이너 수송을 담당할 가용 차량들의 용량이 모두 동일하게 1이기 때문에 동일한 출발지와 목적지를 갖는 컨테이너 수송 물량이라 하더라도 이러한 컨테이너들을 개별적으로 따로 수송해야 하므로 여러 개의 수송 작업들로 쪼개어진다. 따라서 이 문제는 차량 용량이 1인 Multiple Vehicle Dial-a-Ride 문제에 해당되고, 이는 차량의 운행시간 제약을 갖는 Multiple TSP 문제로 바뀌어질 수 있다. 논리적 네트워크 모형에서는 각 노드를 1회의 상차된 운송서비스 작업으로 정의하며, 이 때 각 노드는 상차 운송시간과 적재/하차 시간을 갖게 된다. 반면에 각 아크는 작업과 작업 간의 연결을 나타내며, 연결에 소요되는 시간을 각 아크에 표시한다. 만일 아크의 값이 0을 나타내는 것은 공차 시간이 없이 하차 후 즉시 새로운 컨테이너를 적재할 수 있다는 것을 의미하게 된다. 논리적 네트워크가 작성되면 이를 토대로 수리적 모형을 구축할 수 있으며, 기존의 Insertion Heuristic을 사용하여 소요 차량 대수가 최소가 되는 해법 도출 과정을 제시하고, 실제 현장 자료에 기초한 문제에 대해 적용해 보고자 한다.

## 2. 수송모형을 이용한 차량 대수 추정

컨테이너 셔틀운송의 특성은 비특정 컨테이너를 정해진 기간동안 정해진 지점으로 이송시키는 것이며, 또한 컨테이너 차량이 컨테이너 수송을 위해 발송지점으로 가면 항상 수송 대상 컨테이너가 대기하고 있다는 것이다. 따라서, 이 경우 컨테이너 셔틀운송용 차량 대수를 결정하기 위해서는 공장 내부에서 AGV(Automated Guided Vehicle)의 최소 차량 대수를 결정하기 위해 개발된 Maxwell and Muckstadt[8]의 접근 방법을 동일하게 적용할 수 있다.

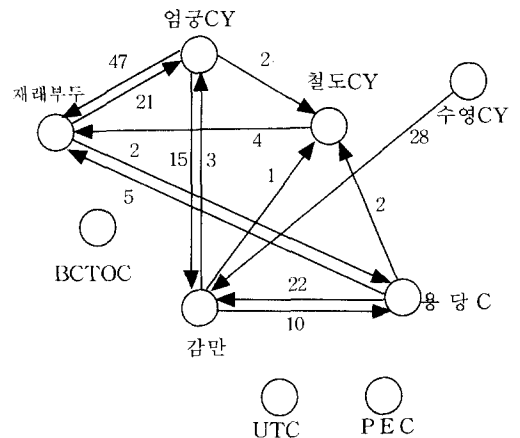
수출입 컨테이너 셔틀운송에 대한 명령은 일반적으로 운송 수행 하루 전까지는 집계되는데, C 회사의 경우 <표 1>과 같이 유입유출표(From-to

Chart)의 형태로 정리가 가능하다. 또한, <표 1>에 나와 있는 수요지점간의 물량 흐름은 <그림 1>과 같이 물리적 네트워크로 표현이 가능하다. 예를 들어, 엄궁CY와 감만터미널 노드를 살펴보자. 먼저 엄궁CY로 들어오는 총 컨테이너 물량은 24개이고 반대로 엄궁CY에서 나가는 총 컨테이너 물량은 64개이다. 따라서, 입력 물량과 출력 물량 차이인 -40개를 만족하기 위해서는 다른 지점에서 40개의 물량 처리를 위해 엄궁CY로 공차 이동이 이루어져야할 것이다. 다음으로 감만터미널로 들

<표 1> 지점간 처리물량을 나타내는 유입유출표

(단위 : TEU)

From \ To	엄궁 CY	수영 CY	용당 CY	PECT	감만	UTC	BC TOC	재래부두	철도 CY
엄궁CY					15			47	2
수영CY					28				
용당CY					22			5	2
PECT									
감만	3		10						1
UTC									
BCTOC									
재래부두	21		2						
철도CY									4



<그림 1> 지점간 처리물량을 나타내는 물리적 네트워크

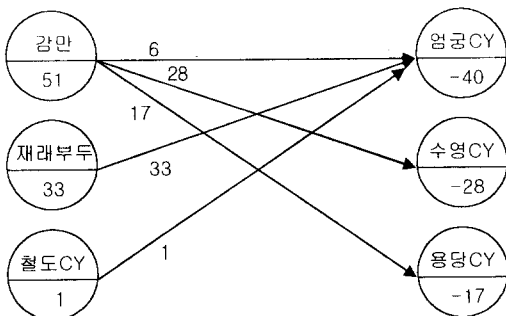
어오는 총 컨테이너 물량은 65개이고 반대로 감만 터미널에서 나가는 컨테이너 물량은 14개이다. 따라서, 입력물량과 출력 물량 차이인 51개를 만족하기 위해서는 감만터미널에서 어느 지점으로 51번의 공차 이동이 이루어져야 할 것이다.

같은 방법으로 모든 노드에 대해 입력과 출력 물량간에 차이를 계산할 수 있으며, 이때 양의 값을 갖는 노드는 그 노드에서 공차 이동이 시작되어 나가는 지점을 의미하고, 반대로 음의 값을 갖는 노드의 경우 그 노드로 공차 이동이 이루어져야 함을 의미한다. 따라서, 최소의 공차 이동이 되도록 하는 문제는 전형적인 수송 모형으로 변환이 가능하다. <그림 2>는 <표 1>과 <표 2>의 자료를 이용한 수송 모형을 해결한 최적의 공차 이동 흐름을 나타낸다.

<표 2> 지점간 소요 예정 시간

(단위 : 분)

From \ To	엄궁 CY	수영 CY	용당 CY	PECT	감만	UTC	BC TOC	재래 부두	철도 CY
엄궁CY		50	30	35	40	35	30	30	30
수영CY			30	35	40	35	30	35	35
용당CY				5	10	25	30	35	35
PECT					5	20	25	30	30
감만						15	20	25	25
UTC							10	15	15
BCTOC								5	5
재래부두									5
철도CY									



<그림 2> 공차 이동을 최소화하는 수송모형 해

따라서, 소요 차량 대수는 총 소요 차량시간 즉, 상차 이동시간, 공차 이동시간 및 각 지점에서의 상하차시간의 합을 차량 1대당 가용시간으로 나누면 찾을 수 있다. 만일 상·하차시간을 0으로 가정하고 <표 2>의 이동시간 자료에 근거할 때, 공차 이동시간은 수송 모형에서 최적으로 계산된 2550분이며, 상차 이동시간은 각 상하차지점간 수송물동량과 시간의 곱으로 계산된 4620분이 되며, 만일 상하차시간을 0으로 가정하면 차량 운행 총 소요 시간은 7170분이 요구된다. 차량 1대당 하루 가용시간을 480분으로 가정하면 총 14.94대 즉 15대의 최소 차량을 요구하게 된다.

여기서 Maxwell and Muckstadt의 모형을 자세히 살펴보면, 세 가지의 큰 단점을 가지고 있다. 첫 번째는 각 차량이 가용한 8시간 중 전혀 시간 손실이 발생되지 않는다는 가정을 하고 있다는 것이며, 두 번째 단점은 이 모형의 결과로부터 얻어지는 해 만으로는 차량 운송경로를 알지 못하기 때문에 추가적인 운송경로 선정 알고리즘이 보충되어야 한다는 것이다. 마지막으로 대상 모든 노드들을 연결시켜 총운행시간을 계산하였으나 실제로는 한 대의 차량이 하루 운행시간 범위 내에서만 연결되며, 가상적으로 연결된 다음 노드로의 이동은 실제 발생되지 않는다. 즉, 이 노드는 새로이 할당되어야 할 차량의 출발 노드가 되는 것이다. 따라서, Maxwell and Muckstadt의 모형에서 나오는 총운행시간은 실제보다 총운행시간이 더 많이 계산될 수 있다는 것이다. 그러나, AGV 시스템에서 Maxwell and Muckstadt의 모형의 활용성이 높은 것은 AGV 시스템에서의 1회 이동시간이 전체 운행시간과 비교하여 매우 작은 비율을 차지하기 때문이다. 만일 컨테이너 운송 모형과 같이 1회 차량 운행시간이 AGV 시스템과는 달리 총운행시간에 영향을 줄 수 있는 상황에서는 Maxwell and Muckstadt의 모형의 적용은 부정확한 추정값을 제공할 수 있다.

그럼에도 불구하고, 본 연구에서 이 모형을 소개한 이유는 근사적인 차량 대수 추정이 쉽게 이

루어질 수 있다는 점이다.

따라서, 실제 현장에서 활용될 수 있는 차량 대수를 결정하는 접근법이 필요하며, 이 방법에 의해서 계산된 차량 대수는 Maxwell and Muckstadt의 모형 적용 결과와의 비교를 통하여 성능을 비교평가 할 수 있을 것이다. 또한 추후 상·하차 시간과 차량 이동시간에 대한 확률적인 특성을 고려하여 시뮬레이션을 수행하게 될 경우 실험할 차량 대수의 기준이 될 수 있을 것이다.

### 3. 논리적 네트워크를 이용한 차량 대수 추정

전 장에서는 컨테이너 서플라이를 위한 최적 차량 대수에 대한 근사적 접근방법을 소개하였다. 따라서, 실제 현장에서 활용하기 용이한 소요 차량 대수를 추정하기 위해 논리적 네트워크를 활용한 또 다른 접근방법을 제시할 것이다. 이를 위해 본 장에서는 수리적 모형을 구축하고 4장에서는 해 도출 과정을 설명할 것이다.

먼저 수리적 모형 구축을 위해 본 연구에서는 다음과 같은 사항들을 가정한다.

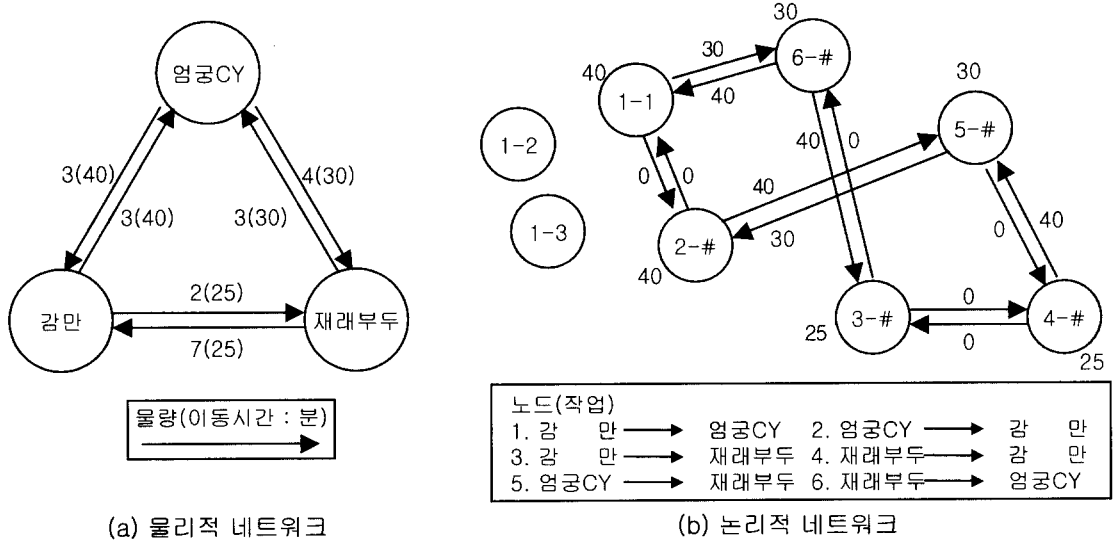
- (1) 모든 컨테이너 차량은 1일 8시간 동안 운행되며, 고장발생 등은 고려하지 않는다.
- (2) 모든 컨테이너 차량은 하루 작업 개시 때 작업 명령을 수행할 첫 지점에 도착하며, 작업 완료 후에는 임의의 차량 주차지점으로 이동한다.
- (3) 수송될 컨테이너는 모두 20'로 가정하며, 또한 냉동화물, 위험화물 등의 컨테이너 내장 화물의 특성은 고려하지 않는다. 또한 컨테이너 차량은 1회 운송에 20' 컨테이너 1개만 수송할 수 있다.
- (4) 컨테이너 상·하차를 위한 하역시간 및 해당 지점간 이동시간은 일정하며 이미 알고 있다.

본 연구에서는 Savelsbergh and Sol[12]에서와 같이 Mutiple TSP로 모형화하기 위해 컨테이너

수송요구 물량의 흐름을 나타내는 <그림 1>의 물리적 네트워크로부터 논리적 네트워크로 변환한다. 논리적 네트워크 모형에서의 노드와 아크에 대한 정의는 다음과 같다.

1회의 상차된 운송서비스 작업 즉, 상차 지점에서 하차 지점으로 컨테이너 한 개 물량을 운송하는 작업을 노드로 대응시키며, 이 때 각 노드에서는 상차 운송시간과 상·하차 시간을 소요하게 된다. 반면에 각 아크는 하나의 작업을 완료하고 다음 작업 수행을 위해서 공차로 이동함을 의미하는데, 이 때 소요되는 시간을 각 아크에 표시한다. 만일 그 값이 0이라면 하차 지점에 하차 후 그 지점에서 다른 지점으로 운송할 새로운 컨테이너를 즉시 상차할 수 있다는 것을 의미하게 된다.

<그림 3>은 물리적 네트워크를 논리적 네트워크로 변환하는 과정을 설명하기 위해 <표 1>과 <표 2>의 자료를 활용한 사례 문제에서 일부 지점만을 대상으로 수송 물량 자료를 축소하여 가상적으로 설정한 것이다. <그림 3>의 물리적 네트워크에서 각 노드는 컨테이너의 상·하차 지점이며, 각 아크의 값은 운송해야 할 컨테이너 물량을 나타내며 괄호 안의 값은 이동시간을 나타낸다. 예를 들어, 영국CY에서 감만터미널까지는 3개의 컨테이너를 수송해야 하며, 1개의 컨테이너를 수송하는데 40분이 소요된다는 것을 의미한다. 한편 물리적 네트워크로부터 유도된 논리적 네트워크에서 각 노드는 수송할 컨테이너 각각에 대해 하나씩 만들어지는데, 컨테이너의 상차 이동 및 상·하차 하역을 포함하는 작업을 나타낸다. 예를 들어 감만터미널에서 영국CY로 3개의 컨테이너를 수송하는 경우, 3개의 독립된 노드를 만들어 각각의 컨테이너를 수송하는 작업을 3개의 노드에 대응시킨다. 이를 위해 논리적 네트워크에서는 1-1, 1-2, 1-3과 같이 번호를 붙인 3개의 노드가 만들어진다. 따라서, '1-#'은 출발지와 목적지가 동일한 복수의 컨테이너 수송작업이 발생됨을 의미한다. 그리고 논리적 네트워크의 각 아크에 표시되는 값은 선행 노드의 작업을 수행한 뒤 후속 노드 작업을 수행하기 위해 컨테이너 수송 차량



〈그림 3〉 물리적 네트워크의 논리적 네트워크의 변환 예

이 공차로 이동하는 시간을 나타내게 된다. 예를 들어 노드 6-#에서 노드 3-#까지의 아크값이 40이 되는 것은 재래부두에서 엄궁CY로 컨테이너를 수송하고 난 뒤 감만터미널에서 재래부두로 1개의 컨테이너를 수송하는 작업을 처리하기 위해서 엄궁CY에서 감만터미널로 공차로 이동해야 하는데 이 때 40분이 소요되기 때문이다. 반면에 감만터미널에서 1개의 컨테이너를 상차하여 재래부두로 수송하여 하차시킨 후, 재래부두에서 새로운 컨테이너를 상차시켜 엄궁CY로 수송하고자 하는 경우 공차이동 시간이 발생하지 않기 때문에 노드 3-#에서 노드 6-#까지의 아크값은 당연히 0이 된다.

변환된 논리적 네트워크를 대상으로 수리적 모형을 구축하기 위해 다음과 같이 변수를 정의한다.

$N = \{1, 2, \dots, n\}$  : 작업 노드 인덱스 집합

$N^+ = N \cup \{0\}$  : 인덱스가 0 인 경우는 컨테이너 작업의 시작과 종료를 나타내는 가상 노드 를 의미함

$K = \{1, 2, \dots, m\}$  : 차량 인덱스 집합

$X_{ij}^v$  : 차량  $v$ 가 작업  $i$  수행 후 작업  $j$  수행을 위해 이동하면 1이고, 그렇지 않으면 0인 이

진변수

$X_{0j}^v$  : 차량  $v$ 가 최초로 작업  $j$  수행을 위해 이동 하면 1, 그렇지 않으면 0인 이진변수

$t_i^v$  : 차량  $v$ 가 작업  $i$ 를 처리하는데 소요되는 시간 즉, 상하차시간과 상차 주행시간의 합

$t_{ij}^v$  : 차량  $v$ 가 작업  $i$ 를 수행한 후 작업  $j$ 를 수행 하기 위해 공차로 이동하는 시간

$Tv$  : 차량  $v$ 의 하루 운영가능시간

$S = \{(X_{ij}^v) : \sum_{i \in Q} \sum_{j \in Q} X_{ij}^v \geq 1, N$ 의 모든 부분집합  $Q$ 에 대해, 단  $|Q| \geq 1\}$

이상의 변수를 활용하여 컨테이너 셔틀운송을 위한 차량대수 결정을 위한 수리적 모형은 다음과 같다.

$$\text{Min } Z = \sum_{v \in K} \sum_{j \in N} X_{0j}^v$$

$$\text{s.t. } \sum_{v \in K} \sum_{i \in N^+} X_{ij}^v = 1 \quad j \in N \quad (1)$$

$$\sum_{v \in K} \sum_{j \in N^+} X_{ij}^v = 1 \quad i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N^+} X_{ij}^v - \sum_{j \in N^+} X_{ji}^v = 0 \quad v \in K, i \in N \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} X_{oj}^v \leq 1 \quad v \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N} X_{io}^v \leq 1 \quad v \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} t_i^v \sum_{j \in N} X_{ij}^v + \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} t_{ij}^v \leq T_v \quad v \in K \quad (6)$$

$$X_{ij}^v \in S \quad i \in N, j \in N, v \in K \quad (7)$$

$$X_{ij}^v \in \{0, 1\} \quad i \in N, j \in N, v \in K \quad (8)$$

구축된 모형에서 제약조건 (1)과 (2)는 각 노드에 대한 입력 및 출력은 하나만 가능하다는 것을 나타낸다. 제약조건 (3)은 네트워크의 Flow Conservation Rule을 의미한다. 제약조건 (4)와 (5)는 차량의 가용성을 의미하며, 제약조건 (6)은 각 차량의 1일 총 운행시간에 대한 제약을 의미한다. 마지막으로 제약조건 (7)은 Subtour를 방지하기 위한 조건을 나타낸다.

#### 4. 해 도출 및 평가

전 장에서 구축된 모형의 해를 도출하기 위해 본 연구에서는 Rosenkrantz, Sterns and Lewis [11]의 Insertion Heuristic을 기본으로 하고, 본 연구에서 나오는 문제의 특성을 반영하여 다음과 같은 탐색적 해법을 제시한다. 단 본 해법에 적용되는 차량은 모두 동일한 종류로 가정하며, 따라서 차량의 상하차 작업시간  $t_i^v$ 와 공차 이동시간  $t_{ij}^v$ 를 차량에 관계없이 각각  $t_i$ 와  $t_{ij}$ 로 대체하여 해법을 설명하고자 한다.

단계 0: 차량인덱스  $v$ 를 0으로, 그리고 배정해야 할 작업 집합  $A$ 를 모든 작업들로 초기화한다. 임의의 작업  $k \in A$ 를 하나 선택하고,  $A = A - \{k\}$ 로 계산한다.

단계 1:  $v = v + 1$  로 하고, 차량  $v$ 에 작업  $k$ 를 배정한다. 차량  $v$ 의 총운행시간  $T = t_k + t_{0k} + t_{k0}$ 로 초기화한다.

단계 2: 만약  $A = \emptyset$  이면 해법을 완료하고, 그렇지 않으면 차량  $v$ 에 배정된 연속 작업  $i$ 와 작업  $j$  사이에 새로운 작업  $r$ 를 배정했을 때의 총시간 증가분  $\Delta T_{i-r-j} = t_r + t_{ir} + t_{rj} - t_{ij}$ 를 모든  $r \in A$ 와 모든 연속 작업  $i, j$ 에 관해서 계산한다.

단계 3: 모든  $r \in A$ 와 차량  $v$ 의 모든 연속 작업  $i, j$ 에 대해 계산한  $\Delta T_{i-r-j}$  중에서 최소값을 주는 작업  $r^*$ 과 연속작업  $i^*, j^*$ 를 찾고,  $T \leftarrow T + \Delta T_{i^*-r^*-j^*}$ 를 계산한다. 만약  $T \leq T_v$ 이면, 작업  $r^*$ 를 작업  $i^*, j^*$  사이에 삽입하고,  $A = A - \{r^*\}$ 로 변경한 뒤에 단계 2로 간다. 만약  $T > T_v$ 이면,  $k = r^*$ 로 하고 단계 1로 간다.

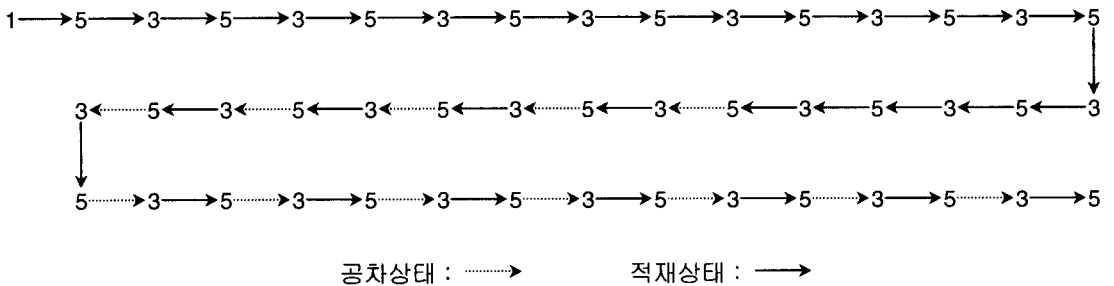
2장의 C회사의 <표 1>, <표 2>의 자료를 사용하여 해법을 적용한 결과가 <표 3>에 나와 있다. <그림 4>는 차량 1에 대한 운송경로를 상차 이동과 공차 이동으로 구분하여 나타내고 있다. 제시된 알고리즘에서 도출한 차량 대수는 15대로서 Maxwell and Muckstadt 모형에서 구한 차량 대수와 동일한 값을 갖는다. 그러나 총 공차 운행시간은 2120분으로 Maxwell and Muckstadt 모형의 2550분보다 430분 적게 나왔고, 또한, Maxwell and Muckstadt의 모형에서는 구할 수 없었던 차량 경로도 찾을 수 있었다.

본 연구에서의 알고리즘의 타당성을 검증하기 위해서는 실제 현장에서 운행된 자료를 근거로 비교가 이루어져야 하지만, 본 연구에서는 현장과는 차이가 나는 전제 하에 이루어진 연구가 되어 직접 비교가 불가능하였다. 또한, 많은 예제를 통해 알고리즘에 대한 평가를 할 수 있었으나 본 연구의 목적이 문제 제시와 수리적 모형 구축을 통한 접근법에 초점이 맞추어져, 알고리즘의 차별적 우수성에는 비중을 두지 않아 실험 예제를 통한 평가는 생략하였다.

〈표 3〉 도출된 해에서의 차량별 처리물량

차 량 #	처리 작업 (물량, 단위 : TEU)
1	업궁-감만(1), 용당-감만(22), 감만-용당(10)
2	재래부두-업궁(7), 업궁-재래부두(7), 철도-재래부두(4)
3	재래부두-업궁(8), 업궁-재래부두(8)
4	수영-감만(1), 감만-철도(1), 업궁-철도(1), 재래부두-업궁(6), 업궁-재래부두(5), 재래부두-용당(1)
5	수영-감만(1), 감만-업궁(3), 업궁-재래부두(3), 업궁-감만(2), 재래부두-용당(1), 용당-재래부두(1)
6	수영-감만(1), 용당-재래부두(1), 업궁-재래부두(6)
7	수영-감만(1), 용당-재래부두(1), 업궁-재래부두(6)
8	업궁-재래부두(6), 업궁-감만(1), 용당-재래부두(1)
9	업궁-재래부두(5), 업궁-철도(1), 업궁-감만(1), 용당-재래부두(1)
10	수영-감만(1), 업궁-감만(3), 용당-철도(2), 업궁-재래부두(1)
11	수영-감만(6)
12	업궁-감만(3), 수영-감만(3)
13	수영-감만(4), 업궁-감만(2)
14	수영-감만(6)
15	업궁-감만(2), 수영-감만(4)
합 계	162

차량 #1 33개 1:업궁 3:용당 5:감만



〈그림 4〉 도출해에서 차량 1의 운송경로

### 5. 결 론

본 연구에서는 컨테이너 운송에 대한 연구의 시 발이란 측면에서 컨테이너 셔틀운송을 대상으로 차량 대수 결정 문제를 다루었다. 먼저 공차 이동에 대해 수송모형을 활용한 차량 대수 추정 방법을 제안하고 또한 이 방법의 현실 적용상의 문제점을 논의하였다. 실제적으로 현장에서 활용할 수

있는 차량 대수를 결정하기 위해 컨테이너 수송요구지점 즉, 컨테이너의 수송 상·하차 지점들간의 수송물동량과 수송시간에 대한 데이터를 이용하여 물리적 네트워크를 구성하고 이를 바탕으로 논리적 네트워크로 변환하여 전형적인 Multiple TSP로 수리적 모형을 구축하고 이를 해결하기 위한 해법을 제시하였다. 그리고 실제 사례문재인 컨테이너 운송업체인 C회사의 데이터를 이용하여 네트



워크 모형을 만들어 적용하고 두 가지 방법을 비교해 보았다.

본 연구에서는 수송될 컨테이너를 모두 동일한 크기의 컨테이너로 가정하였으며 컨테이너에 내장된 화물의 특성은 구분하지 않았다. 따라서, 이러한 가정들을 하나씩 완화시켜 가면서 보다 현실적인 문제에 대한 해결 노력이 계속적으로 이루어져야 할 것이다. 그리고 상·하차 시간과 차량 이동 시간에 대해 확정적인 값을 가정하였으나, 현실 문제에서는 매우 불확실한 값을 갖는 경우가 많기 때문에 이를 고려한 연구도 앞으로 다루어져야 할 것이다.

비록 본 연구에서는 컨테이너 서틀운송에 한정하여 문제를 다루었으나, 추후 근거리운송 또는 장거리운송과 연계한 종합적인 운송계획 수립으로의 확장에 대해서도 계속적으로 연구가 수행되어야 할 것이다. 이러한 경우에서는 화주와 직접 접촉해야 하기 때문에 화주의 수송요구시간에 맞추기 위해 시간창(Time Windows)을 고려한 좀더 복잡한 수리적 모형을 통한 연구가 진행되어야 하리라 본다.

## 참 고 문 헌

[1] 한진교통물류연구소(1996), 교통물류연감.  
 [2] 김갑환, 고창성, 신재영(1998), "화물수송계획 및 운영의 정량적 모형에 관한 연구", 산업공학, 제11권, 제1호, pp.1-14.  
 [3] 김동희, 이창호, 김보선(1997), "컨테이너 화물 수송을 위한 차량 배차 의사결정지원시스템", 대한산업공학회지, 제23권, 제2호, pp.275-288.  
 [4] 윤원영, 안창근, 최용석(1999), "공 컨테이너를 고려한 컨테이너 내륙수송에서의 차량배차 문제", 한국경영과학회지, 제24권, 제4호, pp.

63-80

- [5] Bodin, L.D., B.L. Golden, A.A. Assad and M.O. Ball(1983), "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews : The State of the Art," *Computers and Operations Research*, Vol. 10, No.2, pp.63-211.  
 [6] Cullen, F.H., J.J. Jarvis and H.D. Ratliff(1981), "Set Partitioning Based Heuristics for Interactive Routing," *Networks*, Vol.11, pp.125-143.  
 [7] Dumas, Y., J. Desrosiers and F. Soumis(1991), "The Pickup and Delivery Problem with Time Windows," *European Journal of Operational Research* Vol.54, pp.7-22.  
 [8] Maxwell, W.L. and J.A. Muckstadt(1981), "Design of Automated Guided Vehicle Systems," *IEEE Transactions*, Vol.14, No.2, pp. 114-124.  
 [9] 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.  
 [10] 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.  
 [11] Rosenkrantz, D., Sterns, R., and P. Lewis (1977), "An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem," *SIAM Journal of Computing*, Vol.6, pp.563-581.  
 [12] Savelsbergh, M.W.P., and M. Sol(1995), "The General Pickup and Delivery Problem," *Transportation Science*. Vol.29, pp.17-29.