

컨테이너 화물수송을 위한 차량배차 의사결정지원시스템*

Truck Dispatching Decision Support System for The Container Transportation Problem

김동희** · 이창호*** · 김봉선***

Dong-Hee Kim** · Chang-Ho Lee*** · Bong-Sun Kim***

Abstract

The container transportation problem is a kind of generalized pickup and delivery problem(GPDP), and a typical NP-hard problem of which polynomial algorithm has not yet been developed. In this problem, trucks have to transport containers from origins to destinations, while have to satisfy several restrictions such as request time, cargo closing time, driver's break time. In this paper, we present a straightforward heuristic and a user-interactive truck dispatching system which supports decision makers.

Keyword: Generalized Pickup and Delivery Problem, Time Window, Truck Dispatching Decision Support System

1. 개요

오늘날 수출입 물량의 증대와 더불어 컨테이너 화물의 증대는 폭발적이며 이에 따라 컨테이너 화물 수송차량에 의한 물량 수송문제가 상당히 중요하게 대두되고 있다. 컨테이너 수송문제는 pickup 지점과 delivery 지점

이 주어진 다수의 컨테이너 물량을 일정한 수의 트럭으로 수송해야 하는 문제이다. 각 물량에는 pickup 및 delivery 지점뿐만 아니라 화주요청시간, CCT(cargo closing time : 선적선 접안 전 2시간)와 같은 실질적인 시간제약이 고려될 수 있다. 이러한 여러 제약들을 모두 만족시킬 수 있는 시간창(TW ; time

* 본 연구는 인하대학교 95년도 연구비 지원에 의하여 수행되었음

** 인하대학교 대학원 산업공학과

*** 인하대학교 산업공학과

window)이 각 물량에 대하여 계산될 수 있다. 이 때 각 물량의 작업형태별로 한쪽 시간차 혹은 양쪽 시간차가 결정되고 이의 계산방법은 달라지게 된다.

지금까지 차량경로 및 일정문제는 실무상으로는 아주 중요함에도 불구하고 상대적으로 많은 연구자들의 관심을 받지 못하였다. 여기서 경로는 차량이 방문해야하는 지점들

표 1. 차량경로 및 일정문제의 특성별 분류

CHARACTERISTIC	POSSIBLE OPTION
1. size of available fleets	one vehicle multiple vehicle
2. type of available fleets	homogeneous heterogeneous special vehicle types
3. housing of vehicles	single depot multiple depot
4. nature of demands	deterministic stochastic partial satisfaction of demand allowed
5. location of demands	at nodes on arcs mixed
6. underlying networks	undirected directed mixed euclidean
7. vehicle capacity restriction	imposed(same for all vehicles) imposed(different for different vehicles) not imposed
8. maximum route time	imposed(same for all routes) imposed(different for different routes) not imposed
9. operations	pickups only deliveries only mixed split deliveries
10. costs	variable or routing costs fixed operating or vehicle acquisition costs common carrier costs
11. objectives	minimize total routing costs minimize sum of fixed and variable costs minimize no. of vehicles required minimize(or maximize) utility function

의 순서를 명시하게 되며, 일정은 각 지점에서 수행해야 할 작업들에 대한 수행시간을 명시하게 된다. 차량경로 및 일정문제는 크게 3부류, 즉 경로문제, 일정문제, 경로 및 일정문제로 분류될 수 있다. 차량경로 및 일정 계획문제는 문제 특성에 따라 표 1과 같이 세분화될 수 있다[8]. 본 연구에서 다루고 있는 컨테이너 수송문제는 다수차량(multi-vehicle), 동일기능(homogeneous), 다수지점(multi-depot), 확정적모형(deterministic), 노드에서 수요발생(at nodes), 무방향성(undirected), 동일용량차량(all the same vehicle capacity), 적하 지점제약(pickups and deliveries), 공차운행최소(minimize total deadheading) 와 같은 특성을 갖는 문제로 구분될 수 있다. 주어진 depot에서 capacity제약을 만족하면서 여러 고객 노

드들을 순회해야 하는 일반적 차량경로문제와는 달리, 컨테이너 수송문제는 한 번에 1개의 컨테이너만을 운송할 수 있으며, pickup 및 delivery 지점이 주어지게 된다. 컨테이너 수송작업을 위한 전형적인 경로형태는 그림 1과 같이 표현될 수 있다[7]. 따라서 본 연구에서는 컨테이너 수송 목적의 다수차량과 다수지점, 그리고 적하 지점 및 순서제약과 각종 시간제약들(화주요청시간, CCT, 기사휴식 시간)을 만족시키면서 효율적 연계수송을 통한 공차운행의 최소화를 위한 배차시스템의 개발을 목적으로 하고 있다.

이러한 Full-Load PDP(pickup and delivery problem) 문제에 대한 기존의 대표적 해법으로는 "route-first" approach, "greedy insertion" approach 등을 들 수 있다. 전자의 경우에는

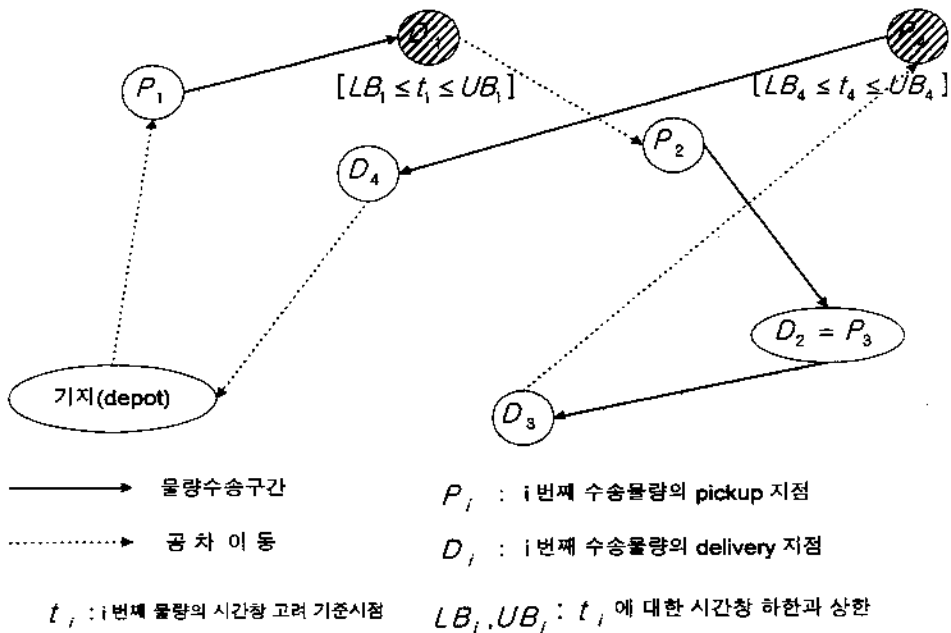


그림 1. 컨테이너 수송문제의 전형적인 경로

우선 모든 물량을 수행하는 큰 경로(large-route)를 형성하고 나서 각종 제약을 만족하도록 작은 경로(smaller routes)로 분할하는 과정을 밟게 된다. 후자의 경우에는 origin-destination 쌍으로 표현되는 각 물량이 한 번에 하나씩 경로에 삽입되는 과정을 반복하게 된다. 이 때 삽입 기준(insertion criterion)으로는 최근접(nearest neighbor insertion), 최소증분비용(least increasing cost) 등 여러 기준이 사용될 수 있다[6,7,13,15].

그러나 이러한 많은 연구들은 실질적인 큰 규모의 경로 및 일정문제, 즉 실제 규모의 컨테이너 수송문제에는 장시간의 계산시간, 여러 제약에 대한 동시만족의 어려움 등으로 인하여 적용하기가 곤란한 입장이다[1,9,11]. 따라서 본 연구에서는 간단하면서도 빨리 가능함을 찾을 수 있는 우선순위규칙(priority dispatching rule)을 적용하고, 적절한 시점에 사용자 개입을 허용하는 사용자 대화식 접근법(user-interactive approach)을 사용하였다[2,5,13,14]. 또한 경로 및 일정계획의 수행 도중에 흔히 발생하는 동적사건(dynamic event)을 반영하기 위하여 동적배차(dynamic dispatching)의 개념을 적용하여 feedback구조를 취한다. 사용자가 차량-물량 배차결과를 쉽게 볼 수 있도록 하기 위하여 간트차트(gantt chart)기법을 도입한다. 본 연구에서는 이러한 컨테이너화물 수송문제에 있어 낭비(공차운행)를 최소화하며 효율적인 배차를 할 수 있는 발전적 해법의 개발 및 배차시스템의 개발을 목적으로 삼고자 한다.

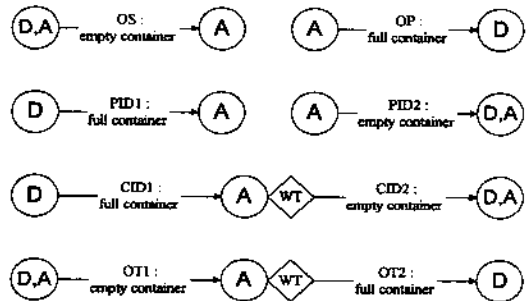
2. 컨테이너 수송작업의 분석

2.1 컨테이너물량의 작업유형별 세분

컨테이너 수송작업의 분석을 위해서 우선 항만에 인접한 다수의 지점(depot)과 전국적으로 산재해 있는 화주들이 위치한 각 도시들을 노드(node)로, 그리고 이들 노드들을 연결하는 도로망을 아크(arc)로 표현하여 네트워크화한다. 화주가 요구하게 되는 컨테이너 물량은 크게 수출(out-bound)물량과 수입(in-bound)물량으로 구별할 수 있다. 이를 작업유형별로 세분하면 그림 2와 같으며, 각각에 대한 설명은 표 2에서와 같다.

CID1과 CID2작업의 경우 CID1작업의 수행후 일정시간이 경과 후 CID2작업을 수행할 수 있다는 작업대기시간 제약이 존재하게 된다. OT1과 OT2작업의 경우도 마찬가지로 OT1 작업의 수행후 일정시간이 경과 후 OT2 작업을 수행할 수 있다는 작업대기시간 제약이 존재하게 된다. 이런 이유로 CID1과 CID2 및 OT1과 OT2를 연결작업이라 부른다.

본 연구에서 실제 사례로 분석한 (주) H 운



D : 지점(depot), 부두 A : 화주 WT : 작업대기시간

그림 2. 컨테이너작업 유형별 세분

표 2. 컨테이너작업 유형별 내용

작업유형	내용
OS(out-bound spotting)	회주에게 빈(empty) 컨테이너를 수송
OP(out-bound pickup)	회주에게서 꽉 찬(full) 컨테이너를 부두나 지점으로 수송
PID1(pure in-bound delivery 1)	부두나 지점에서 회주에게 꽉 찬 컨테이너를 수송
PID2(pure in-bound delivery 2)	회주에게서 빈 컨테이너를 회수
CID1(chained in-bound delivery 1)	PID1과 같으나 CID2와 연결작업
CID2(chained in-bound delivery 2)	PID2와 같으나 CID1과 연결작업
OT1(out-bound travel 1)	OS와 같으나 OT2와 연결작업
OT2(out-bound travel 2)	OP와 같으나 OT1과 연결작업

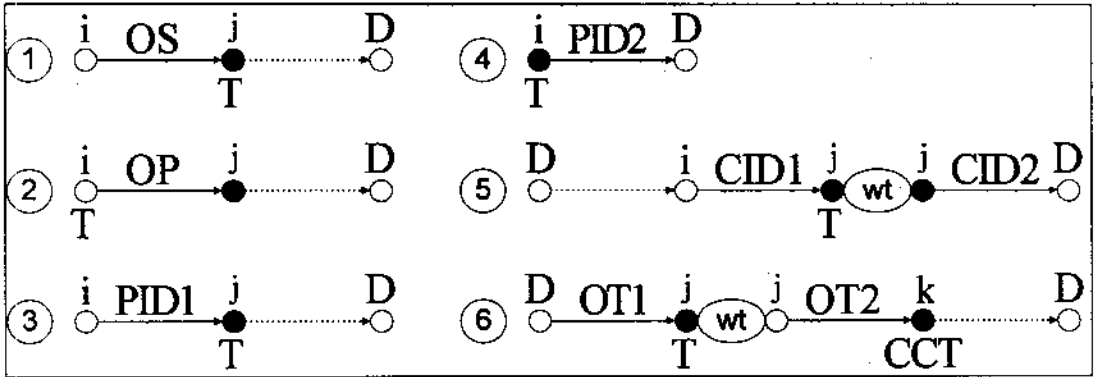
송회사에서는 이들 컨테이너 수송작업을 실무상의 기준에 따라 단거리(L/C ; local)물량, 중거리(S-L/H ; semi-line haul)물량, 장거리(L/H ; line haul)물량으로 구분하여 수송하고 있으며, 이들 거리별 물량들 간의 효율적 연계수송이 이루어지도록 각 차량에 물량을 배정하고 있다. 여기에서 단거리물량은 저녁 최대작업허용시간까지 수행되어야 하며, 중거리 및 장거리물량은 내일 저녁 최대작업허용시간까지 수행되어야만 한다. 따라서 중거리 또는 장거리물량을 수행하는 차량의 기사에게는 최소휴식시간(BT ; break time)이 보장되어야 한다.

2.2 각 물량별 시간창

일반적으로 시간창은 네트워크 상에서 각 노드에 부여되어 경로에 포함될 가능한 시간대를 제한해주는 역할을 하게 된다[5,9]. 본 연구에서는 노드 관점에서의 시간창을 각 물량관점에서의 시간창으로 변형하여, 2.1절에서 세분된 8가지 물량형태별로 작업수행을

위한 시간창을 각각 달리 계산하게 되며, 시간창 계산식을 유도하기 위한 물량형태별 기호는 그림 3과 같다.

그림 3의 ⑥에서 표현된 단거리 OT1과 OT2 물량형태를 가지고 시간창 계산의 예를 설명한다. 임의의 기지에서 j 지역으로 빈 컨테이너를 수송하고 wt 의 대기시간이 경과된 후 꽉 찬 컨테이너를 k 지역으로 수송하고 난 후 기지들 중 한 곳으로 귀환할 수 있다. 여기서 수행차량이 OT1 물량을 수행하기 전에 어떠한 물량도 수행하지 않을 때 OT1 및 OT2 물량을 가장 빨리 수송을 시작할 수 있는 시점이 되며, 이는 시간창의 하한을 계산할 때 사용된다. 또한 수행차량이 OT2 물량을 수행한 후 어떠한 물량도 수행하지 않고 가까운 지점으로 귀환할 때 OT1 및 OT2 물량을 가장 늦게 완료해도 되는 시점이 되며, 이는 시간창의 상한을 계산할 때 사용된다. 시간창 계산식에서 t_{ij} 는 i 지역에서 j 지역으로 이동하는 시간을 나타낸다. LUT(loading/unloading time), TST(task starting time),



i, j, k : 화주나 부두 또는 자점이 위치한 지역 , D : 자점(depot)
 T : 화주요청시간 , CCT : cargo closing time
 점선 : 공차운행, 실선 : 컨테이너 수송운행, wt : 작업대기시간
 ● : 각 물량유형별 시간창이 고려되는 기준 지역

그림 3. 시간창 계산에 사용된 기호설명

MATL(maximum allowable time limit)은 각각 컨테이너 적하소요시간, 작업시작시간, 최대 작업허용시간을 나타내며, 설명하는 예에서는 T와 CCT는 주어지지 않은 것으로 한다. LUT는 pickup 지점에서 컨테이너를 수송차량에 싣는 시간과 delivery 지점에서 컨테이너를 내리는 시간을 합한 시간이며, TST는 당일 작업을 시작하는 차량들에 대한 작업시작가능시간의 제약이다. 이와 유사하게 MATL은 당일 작업을 마치게 되는 차량들에 대한 작업종료시간의 제약을 나타낸다.

본 절의 서두에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 각 물량별의 수행가능 영역을 위해 시간창이 고려된다. 그림 3의 ⑥에서 OT1과 OT2 물량 각각에 대해 시간창이 계산되며, 양자 모두 ●으로 표시된 delivery 지역에서 시간창이 고려된다. 8가지 모든 물량 형태에

대하여 일률적으로 delivery 지역에서 시간창이 고려되는 것을 원칙으로 하지만, PID2, CID2의 경우에는 OS, OT1 물량과 연계작업이 이루어질 경우에 delivery 지역이 가변적이게 된다. 따라서 PID2, CID2 물량만 예외적으로 pickup 지역에서 시간창을 고려하게 된다.

시간창의 형식은 [하한(LB), 상한(UB)]으로서 수송차량이 해당물량을 수행하기 위한 시간창 고려지역 도착시간을 t 라 하면, {하한 $\leq t \leq$ 상한} 을 만족해야 함을 의미한다. 설명 예에서 OT1의 경우, MATL 이전에 OT2 도 수행되어야 하므로 시간창은

$$[-\infty, MATL - (WT + t_{jk} + LUT + t_{kd})]$$

으로 된다. 또한 OT2의 경우, TST 이후 OT1

이 선행되어야 하고 MATL 이전에 수행되어야 하므로

$$[TST+t_{Dj}+LUT+WT+t_{jk}+LUT, MATL-t_{kd}]$$

으로 된다. 단거리물량의 경우 T와 CCT 어느 것도 주어지지 않은 경우의 시간창 계산은 표 3과 같다.

2.3 배차 해법

컨테이너물량 운송회사들은 수출입 컨테이너물량 및 수송차량을 대상으로 효율적 연계수송을 통한 공차운행의 최소화를 목적으로 하고 있다. 실질적인 규모의 경로 및 일정문제, 특히 컨테이너 수송문제에는 장시간의 계산시간, 여러 제약의 동시만족의 어려움 등으로 인하여 기존의 최적화 기법들을 적용하기가 어려운 점을 반영하여, 본 연구에서는

표 3. T와 CCT 모두 주어지지 않은 L/C 물량의 시간창 계산

OS	: $[-\infty, MATL-t_{jd}]$ ㉠
OP	: $[-\infty, MATL-t_{jd}]$ ㉠
PID1	: $[-\infty, MATL-t_{jd}]$ ㉠
PID2	: $[-\infty, MATL-(t_{jd}+LUT)]$ ㉡
CID1	: $[-\infty, MATL-(WT+t_{jd}+LUT)]$ ㉠
CID2	: $[TST+t_{Dj}+t_{j}+LUT+WT, MATL-(t_{jd}+LUT)]$ ㉡
OT1	: $[-\infty, MATL-(WT+t_{jk}+LUT+t_{kd})]$ ㉠
OT2	: $[TST+t_{Dj}+LUT+WT+t_{jk}+LUT, MATL-t_{kd}]$ ㉡

주 : 여기서 ㉠은 delivery 지점에 부여된 시간창임을 표시하며 ㉡은 pickup 지점에 부여된 시간창임을 표시한다.

표 4와 같은 우선순위 규칙집합을 기반으로 하여 간단하면서도 가능한 한 빨리 가능해를 찾을 수 있는 발견적 해법을 적용하고 있다. 연구에서는 규칙집합1, 2, 3을 적용하고 있으며, 특정 기준에 따라 선택된 하나의 규칙집

표 4. 배차시스템에서 사용된 규칙집합

규칙집합 1	규칙집합 2	규칙집합 3
① 공차운행 최소 ② 어제>오늘>내일물량 ¹⁾ ③ 양쪽 시간창을 가지는 물량 우선 ④ Slack Time 최소 ²⁾ ⑤ 시작가능시간 최소 ⑥ L/H > S-L/H > L/C ⑦ {물량종착지점과 차량소속지점}거리 최소 ⑧ CID1>OT1>OS>PID1>PID2>OP>CID2>OT2	① 실제운행시간 최소 ② 어제>오늘>내일물량 ③ OT1>OS ④ {물량종착지점과 차량소속지점}거리 최소	① {공차운행+WT} 최소 ② 어제>오늘>내일물량 ③ Slack Time 최소 ④ 시작가능시간 최소 ⑤ L/H > S-L/H > L/C ⑥ {물량종착지점과 차량소속지점}거리 최소 ⑦ CID1>OT1>OS>PID1>PID2>OP>CID2>OT2
규칙집합2와 3을 적용하지 못할 경우에 적용	전 반복에서 PID2 혹은 CID2 물량이 선택된 경우에 적용	규칙집합2가 적용되지 않을 경우, LB 시간창 값을 갖는 물량에 대해서 적용

주 : 1) A > B : A가 B보다 높은 우선순위를 가짐을 의미한다.

2) slack time : UB와의 작업여유시간으로 계산된다.

합을 통해 한 개의 물량이 한 대의 차량에 배정되게 된다. 즉, 연구의 배차 해법은 매 반복(iteration)마다 하나의 차량-물량 쌍을 선택하게 된다. 매 반복마다 규칙집합1의 사용을 기본으로 하며, 만약 바로 전 반복에 배정된 물량이 PID2 또는 CID2 형태의 물량일 경우 규칙집합2를 적용한다. 이를 통해 컨테이너를 회수하는 작업과 빈 컨테이너를 배달해야 하는 작업의 연계가 이루어질 수 있다. 바로 전 단계에 배정된 물량이 PID2 또는 CID2가 아닐 경우, 하한 시간차를 가지면서 배정 가능한 물량에 대하여 규칙집합3을 적용하게 된다.

규칙집합 1의 적용례를 살펴보면, 모든 차량경로와 미수행 물량을 대상으로 하여 우선적으로 공차운행이 최소가 되는 경로-물량 쌍을 선택하고, 경합이 생길 경우에는 어제, 오늘 내일 물량순으로 먼저 선택하게 된다. 계속해서 경합이 생길 경우 이후의 우선순위 규칙들을 적용하여 최종적으로 하나의 경로-물량 쌍을 선택하여 배정하게 된다.

2.4 발생 가능한 동적사건

물량의 수행도중 발생할 수 있는 동적사건의 종류로는 크게 동적사건입력(자동 또는 수동)과 임의사건으로 구분된다. 임의사건은 특정 사건입력 없이 대상시점만 적용하여 수동 배차할 수 있는 사건이며 배차가 되어 있는 상태에서 특정 시점의 차량-물량 배정을 변경하려고 할 때 이 사건을 사용할 수 있다. 동적사건입력(자동)은 동적사건입력 후 사용자 의사의 개입 없이 자동으로 배차할 수 있는 사건이다. 동적사건입력(수동)은 동적사건입력 후 사용자 개입을 허용하여 배차할 수

있는 사건이다.

표 5. 동적사건의 종류

I. 물량	II. 차량	III. 도로상황
<ul style="list-style-type: none"> · 취소 · 추가 · 화주요청변경 · 수행지연 · 조기수행 	<ul style="list-style-type: none"> · 단기고장 · 장기고장 · 장기고장→가동상태 · 차량말소 · 신규투입 	<ul style="list-style-type: none"> · 구간지연 (도로정체)

동적사건입력 부분에서 사용될 수 있는 동적사건의 종류를 요약하면 표 5와 같다. 물량과 관련된 동적사건으로는 물량의 취소, 추가, 화주요청시간 변경, 수행지연, 조기수행이 있으며, 차량과 관련된 동적사건으로는 차량의 단기고장, 장기고장, 장기고장에서 가동상태로 변환, 차량말소, 신규투입과 같은 것들이 있다. 도로상황과 관련된 사건으로는 구간지연(도로정체)이 있다.

동적사건이 발생하게 되면 특정시점 이후의 이미 계획되어 있는 배차계획에 대한 수정이 필요하게 된다. 이 때 사용자가 지정된 시점 이후의 계획상 각 경로별로 수행이 완료된 또는 수행중인 물량을 제외하고는 미수행 물량으로 처리하게 되며, 이후 재배차 처리의 대상 물량이 된다.

3. 차량배차시스템의 구성

연구된 배차시스템의 구조는 그림 4와 같으며, 물량의 수행도중에 발생한 동적사건에 대한 정보를 고려하여 재배차를 할 수 있도록 feedback 구조를 취하고 있다. 또한 시스템의 배차결과는 간트차트(gantt chart)로 표

시되며, 사용자편의를 위하여 윈도우즈용으로 시스템화되었다[3,4,10,12]. 모든 조작은 마우스를 통해 이루어지게 되고 시스템에서 필요로 하는 일부 요구데이터만 키보드를 통해 입력하게 된다.

연구에서 개발된 배차시스템의 전체 흐름도는 그림 5와 같으며, 표 6은 전체 흐름도에서 사용된 각 약어들의 의미이다. 흐름도에서 좌·하단부분의 M1 부분이 시스템에서 우선순위 규칙이 적용된 부분이다.

게 고려하여 내일 배차계획을 수립함을 말한다. 본 시스템에서 사전배차를 하게되면, 앞서 들인 내일 물량을 오늘 수행 중이던 물량 데이터에 추가하면서 물량일련번호 및 날짜 구분 필드를 수정하게 된다. 그리고 나서 협력사용 물량을 구분할 수 있는 단계를 거치게 되고 시스템에 의해 계산된 물량의 시간차를 수정하는 단계를 거치게 된다. 다음으로 적용대상시점을 내일 아침 TST로 설정하고, M3 부분에서 미수행 물량을 그룹한 다

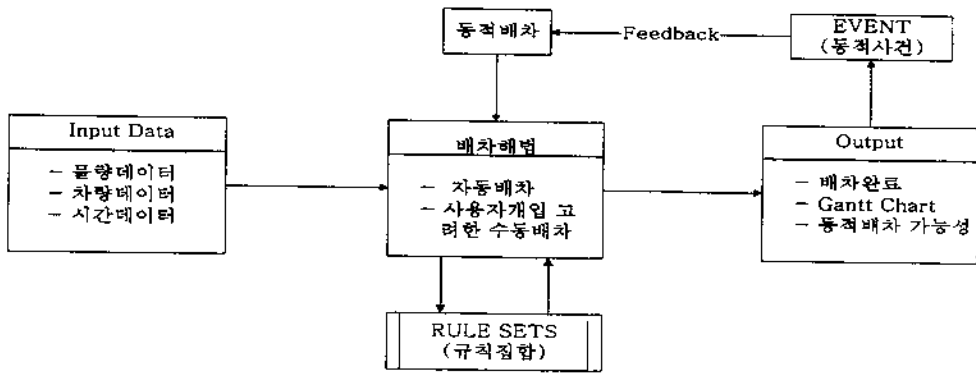


그림 4. 배차시스템의 구조

먼저 시스템이 가동되면 현재시간 및 MATL, TST, LUT, BT를 입력받고 기본데이터들을 읽게 된다. 다음으로는 시스템의 주 화면인 간트차트 화면이 나타나게 된다. 이때 초기가동일 경우 간트차트에는 실제데이터는 하나도 나타나지 않게 된다.

연구의 배차시스템은 2가지 배차기능, 즉 사전배차와 동적배차 기능을 제공한다. 사전배차는 오늘 배정된 물량을 수행 도중 내일 수행해야 할 물량이 확정되면, 내일 이미 배정되어 있는 물량과 확정된 내일 물량을 합

음 알고리즘 부분인 M1으로 제어가 넘어가게 된다.

동적배차는 2.4절에서 언급한 바와 같이 배차계획에 의해 물량수행 도중 발생한 동적사건을 반영하여 재배차하는 기능(사건입력)과 특정사건의 입력 없이 대상시점만 적용하여 재배차하는 기능(임의사건)으로 구성되어 있다. 동적사건을 적용하는 경우에는 M2 부분에서 해당 동적사건을 입력받은 후 대상시점을 기준으로 아직 수행되지 않은 물량들을 부분경로에서 분류해내는 미수행 물량 그룹

과정을 M3에서 처리한 후 알고리즘 부분인 M1으로 제어가 넘어가게 된다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 사전배차와 동적배차 모두 동일한 M1 배차 알고리즘을 사용하게 된다.

표 6. 전체 흐름도에서 사용된 약어

Type I: 자동 배차 모듈	Type II: 수동 배차 모듈
UI 1: 자동 / 수동?	UI 2: 배제 / 고정?
Q1: 이전 배정된 물량 = PID2 or CID2?	
Q2: 잔여 양쪽 시간창 물량 중 LB, UB를 모두 만족하는 경우가 없고 LB를 위반하는 경우는 있으면 ⇒ no; 다른 경우 ⇒ yes	
Q3: 모든 물량이 배정? Q4: 배정된 물량의 개수 변화?	
1: 규칙집합 1 적용, 2: 규칙집합 2 적용, 3: 규칙집합 3 적용, 4: 선택된 물량을 선택된 차량에 배정	

M1 배차로직 부분에서는 빈 컨테이너를 회수하는 작업과 빈 컨테이너를 필요로 하는 작업을 효율적으로 연결시켜주기 위하여, Q1 부분을 통해 이전에 배정된 물량이 PID2이거나 CID2 물량이면 규칙집합2를 적용시켜 OS나 OT1 물량을 먼저 고려하게 된다. 만약 이전에 배정된 물량이 PID2 혹은 CID2 물량이 아닐 경우, 또는 OS나 OT1 물량이 배정될 수 없을 경우 Q2 부분에서 배정 가능한 양쪽 시간창 물량을 먼저 고려하게 된다. 이 경우 규칙집합3을 사용하여 양쪽 시간창 물량들을 먼저 고려하고 나서 가능한 경우가 없을 경우 규칙집합1을 사용하여 나머지 물량들을 고려하게 된다. 여기서 양쪽 시간창을 갖는 물량들이 한쪽 시간창을 갖는 물량들에 비해서 경로에 포함되지 않을 경우가 많기 때문에 규칙집합3을 사용하여 먼저 고려하게 된다. 규칙집합들을 사용하여 선택된 차량-물량은 부분경로에 포함되게 되고 잔여물량이 없

을 때까지 이상의 과정을 반복하게 된다.

위 과정을 통해 배정되지 못한 물량이 남게 되면, 협력사용으로 구분하여 시스템의 알고리즘에서 고려되지 않도록 함으로서 가능해를 산출할 수가 있다. 또한 협력사용 구분 없이 경로에 포함되지 못한 물량 혹은 이미 포함된 물량의 시간창을 임의로 수정해주어 다른 해를 산출하도록 시도해 볼 수도 있다. Type II 의 수동배차모듈을 통해 사용자 임의로 차량-물량을 지정하여 알고리즘을 거치지 않고 일부 수송물량을 바로 배정할 수 있으며, 차량-물량에 관한 다수의 배제정보를 입력하여 이에 해당하는 것은 알고리즘에서 고려하지 않도록 할 수 있다.

시스템에서 사용된 기본데이터에는 물량데이터, 차량데이터, 시간데이터, 경로데이터가 있으며, 이들은 모두 텍스트파일로 구성되어 있다. 물량데이터는 {물량개수×29}의 행렬 형태이며, 파일의 선두에는 물량의 개수가 있다. 각 물량별 29개 필드의 내용은 각각 {형태 : 일련번호 : 화주 : 출발지점 : 도착지점 : 작업대기시간 : 거리구분 : 협력사구분 : 날짜구분 : T : CCT : LB : UB} 이며, 마지막 4개 필드는 실제시간으로 {년 : 월 : 일 : 시 : 분} 의 5개 하위필드로 구성되어 있다.

차량데이터는 {차량대수×4}의 행렬 형태이며, 파일의 선두에는 차량대수가 있다. 각 차량별 4개 필드의 내용은 {차량번호 : 기사 : 소속지점 : 가용여부의 상태}이다.

시간데이터는 분 단위 데이터로서 {노드개수×노드개수}의 From-To 행렬형태이며, 파일의 선두에는 노드개수가 있다. 데이터가 커질 경우, 실제로 {노드개수×노드개수}개의 모든 지역간의 시간요소가 다 필요한 것이

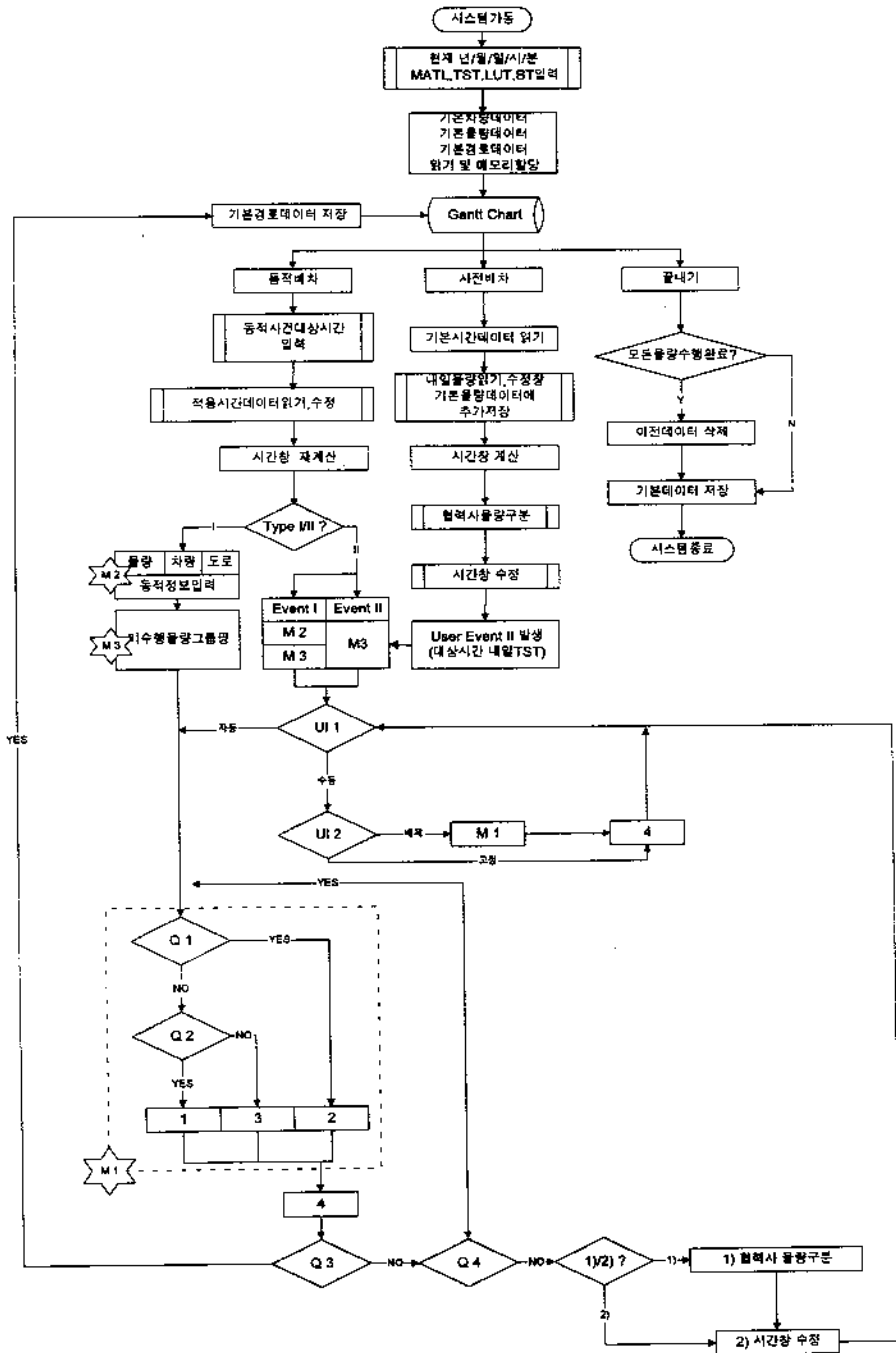


그림 5. 차량배차시스템의 전체흐름도

아니므로 메모리의 효율성을 위해 연결리스트(linked list) 자료구조를 취할 수 있다.

경로데이터는 초기가동시 "NULL" 상태이며, 정상상태(초기가동이 아닌 모든 시점)시 INDEX부분과 INFORMATION부분으로 연결리스트 구조를 취하고 있다. INDEX부분은 해당 경로의 정보의 위치를 지시하도록 구성되어 있으며, INFORMATION 부분에서는 사용된 물량의 추가형태로 PID2/OS, PID2/OT1, CID2/OS, CID2/OT1, EMPT(공차운행), EMPT+WT, BT, 장기고장→가동, 신규투입, 대기상태를 각각 500, 550, ...,1000, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 으로 표시하고 있다.

그림 6은 연구의 배차시스템에서 배차결과 주화면 및 물량 정보창을 보여주고 있다. 주화면에는 동적배차, 사전배차, 시간배율, 거리별 보기, 끝내기 등의 5개 메뉴가 있으며 그 아래에는 현재 배차결과가 표시된다. 배차결

과는 간트차트 형태로 표시되며, 각 사각형이 하나의 물량수행을 나타낸다. 간트차트 상의 임의사각형을 마우스로 클릭하면 해당 물량에 대한 수행정보가 메시지박스로 나타난다. 또한 Truck # 부분을 클릭하면 해당 차량에 배정되어 있는 경로계획에 관한 정보를 그림 7의 차량정보박스를 통해 얻을 수 있다. 각 물량형태별로 고유의 색을 가지며 연계물량에 관한 정보도 알 수 있다. "거리별 보기" 기능을 통해 장거리, 중거리, 단거리 물량별로 볼 수도 있다.

시스템의 종료에는 2가지 다른 기능, 즉 미완료 종료기능(잠깐 시스템을 나갔다가 다시 가동할 경우에 사용)과 수행완료 후 종료기능(예를 들면, 오늘 밤 업무가 끝나고 퇴근시 사용)이 있다. 수행완료 후 종료기능은 오늘 밤 12시를 기준으로 수행 완료된 물량들은 각 기본 입력데이터에서 삭제하게되고 수행

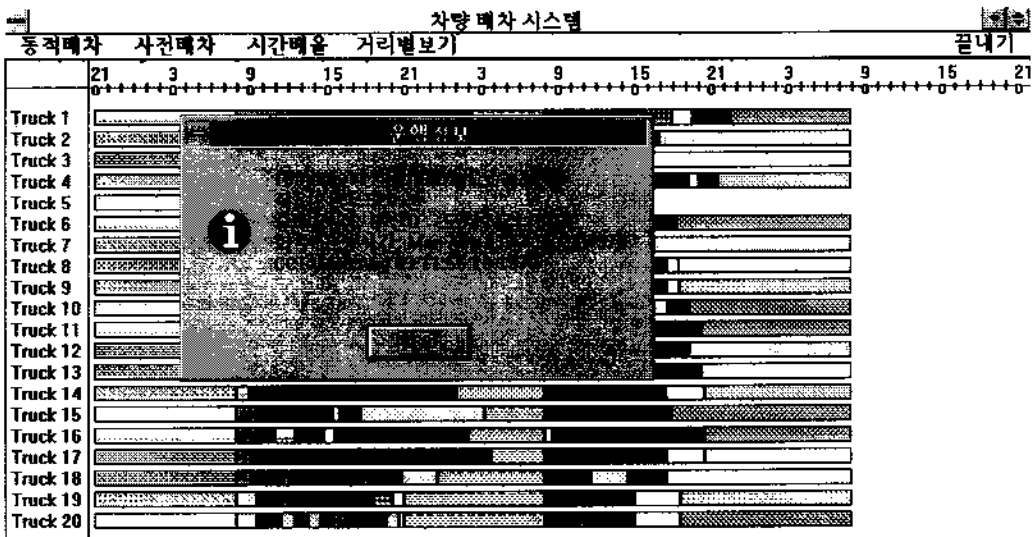


그림 6. 시스템의 배차결과화면 및 물량정보

된 경로데이터는 해당 날짜를 파일이름으로 하여 자료로서 저장하게 된다. 이 경우 시스템을 다시 가동시키면 반드시 하루 증가된 일자로 설정하여야만 한다. 수행완료 후 종료를 하고 난 후 다음 시스템 가동까지 발생된 동적사건들 중에서 큰 오차 없이 완료된 배차계획은 시스템의 배차결과를 수정할 필요가 없다. 그러나 계획상의 큰 변동이 있을 경우 다음 시스템 가동 후 동적배차 기능을 사용하여 변동사항을 수정하게 된다. 미완료 종료기능은 현재의 4가지 기본 입력데이터, 즉 시간, 물량, 차량, 경로데이터를 그대로 저장하고 종료하게 된다. 사전배차가 되지 않은 상태에서 수행완료 후 종료기능을 선택하면 사전배차가 되지 않아 종료할 수 없다는 메시지가 발생되게 된다. 시스템은 실제로 종료하기 전에 사용자에게 정말 종료할 것인지를 확인하는 질문창을 제시하게 된다.

시간	종류	출발지	도착지
21:00 ~ 08:00	신규 투입	노스D	노스D
08:00 ~ 09:30	OT1	노스D	노스D
09:30 ~ 11:30	OP	노스D	노스D
11:30 ~ 12:30	PID1	노스D	노스D
12:30 ~ 14:00	PID2	노스D	노스D
14:00 ~ 16:30	PID1	노스D	노스D
16:30 ~ 18:00	PID2	노스D	노스D
18:00 ~ 17:40	CID1	노스D	노스D
08:20 ~ 08:50	육식시간	노스D	노스D
08:00 ~ 17:50	OT2	노스D	노스D
17:50 ~ 18:00	EMPTY	노스D	노스D

그림 7. 간트차트에서 Truck 6699 가 수행할 경로정보

4. 결론

수출입 컨테이너화물 수송문제는 상당히

복잡한 문제이다. 특히 각종 시간제약, 즉 화주요청시간, CCT, 최소휴식시간과 같은 실질적인 제약을 고려할 경우에는 더욱 어렵게 된다. 또한 화물수송문제에는 정량적으로 다루어주기 까다로운 정성적인 요인이 많아 성공적인 화물수송차량 배차시스템의 사례를 찾아보기는 어려운 실정이다. 요즘은 국내외적으로 부각되고 있는 수송물류에 대한 관심에 부응하여, 육상·해상·항공의 효율적인 연계수송이라는 관점에서 본 연구에서 다루고 있는 컨테이너화물의 육상운송문제는 더욱 의미를 가질 수 있을 것이다.

본 연구에서는 컨테이너 수송문제를 해결하기 위하여 실질적인 수송작업을 분석하여 8가지 형태의 수송작업으로 분류하였다. 그리고 지금까지의 노드 관점에서의 시간창을 각 물량관점에서의 시간창으로 변형하고 이를 계산할 수 있는 수식을 유도하였으며, 화물수송문제에 있어서 실질적으로 발생할 수 있는 동적사건을 분류·집계하였다. feedback 구조를 통해 이들 동적사건을 반영한 새로운 해가 산출된다. 배차 알고리즘 부분은 효율적인 연계수송을 통한 공차운행의 최소화를 목적으로 간단하면서도 빨리 가능해를 찾을 수 있도록 우선순위 규칙을 적용한 발견적 해법을 사용하였다. 또한 연구의 배차시스템에 반영하지 못한 동적, 정량적 및 정성적 요인들을 효율적으로 반영하기 위하여 user-interactive approach를 적용함으로써, 사용자의 개입을 통해 이들 요인들을 반영할 수 있도록 하였다. 이들 연구결과들을 종합한 컨테이너수송차량 배차시스템은 윈도우즈 용으로 개발되었으며 배차결과는 간트차트를 이용해 시각화하였다.

본 연구에서는 컨테이너수송차량을 이용한 육상운송만을 다루었으나 철도수송과 해상수송과의 효율적인 연계수송을 앞으로의 연구 과제로 삼아야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 이규현, “차량경로문제(VRP)의 최적경로 설계를 위한 알고리즘 개발에 관한 연구”, 「한국경영과학회지」, 제19권 1호, 1994
- [2] 이영해, 양병희, “다목적 최적화를 고려한 배차계획 시스템”, 「한국경영과학회지」, 제19권 3호, 1994
- [3] 이창호, 김봉선, 김동희, 전문가시스템을 활용한 컨테이너화물 수송차량의 운영체 계구축, 연구보고서, 인하대학교 산업공학과, 1996
- [4] 이창호, 김봉선, 김동희, 차량배차 전문가 시스템 사용자지침서, 연구보고서, 인하대학교 산업공학과, 1996
- [5] Atkinson, J. B., “A Greedy Look-Ahead Heuristic for Combinatorial Optimization, An Application to Vehicle Scheduling with Time Windows”, *J. Op. Res. Soc.*, Vol.45, NO.6, 1994
- [6] Ball, M., Golden, B.L., Assad, A. and Bodin, L.D., “Planning for truck fleet size in the presence of a common carrier option”, *Decision Science*, Vol.14, 1983
- [7] Bodin, L.D., “Routing and Scheduling of Vehicle and Crews”, *Operations Research*, Vol.10, No.2, 1983
- [8] Bodin, L.D. and Golden, B.L., “Classification in vehicle routing and scheduling”, *Networks*, Vol.11, 1981
- [9] Bodin, L.D., Golden, B.L., Assad, A., and Ball, M., “Routing and scheduling of vehicles and crews : the state of the art”, *Computers and Operations Research*, Vol. 10, 1983
- [10] Conger, J., *Windows Programming Primer Plus*, Waite Group Press, 1992
- [11] Lawler, E. L., Lenstar, J. K. and Rinnooy Kan, A. H. G. and Shmoys, D. B., *The Traveling Salesman Problem*, John Wiley & Sons, 1985
- [12] Petzold, C., *Programming Windows 3.1*, Microsoft Corporation, 1992
- [13] Potvin, J. Y. and Lapalme, G., “A Microcomputer Assistant for the Development of Vehicle Routing and Scheduling Heuristic”, *Decision Support Systems*, Vol.12, 1994
- [14] Raghu, T. S. and Rajendran, C., “An Efficient Dynamic Dispatching Rule for Scheduling in Job Shop”, *International Journal of Production Economics*, Vol.33, 1994
- [15] Salkin, H. and Dekluyver, C., “The knapsack problem : a survey”, *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.22, 1975