

무게와 부피를 고려하는 경험적 공동수송 혼적 알고리즘의 성능분석

임석철[†] · 유영진

아주대학교 산업정보시스템공학부

Performance Analysis of Heuristic Algorithms for Consolidated Transportation with Weight and Volume Constraints

Suk-Chul Rim · Youngjin Yoo

Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University, Suwon, 442-749

When transporting multiple items by trucks of various size, one needs to assign a group of items to each truck so as to minimize the total cost, while meeting the weight and volume constraint of each truck. In this paper, we formulate the problem as an integer programming problem and propose four heuristic algorithms for the problem. Computer simulation is used to evaluate the average performance of the four heuristic algorithms for the consolidated transportation problem.

Keywords: consolidated transportation, simulation, heuristic algorithm

1. 서론

1.1 연구배경

지난 1990년대 이후 기업물류는 기업 경쟁력의 핵심 분야로 인식되고 있다. 우리 나라는 기업물류비의 68.8%를 수송비가 차지하고 있으며, 이 중 도로수송비는 전체 수송비의 69.5%를 차지하고 있어 이에 대한 집중적인 개선이 시급히 요구되고 있다. 특히 국내 화물운송에서 1톤 미만의 소형트럭 이용 비율이 80% 이상을 차지하고 있어 운송비 증가의 주요인이 되고 있는 바, 이는 소량 다빈도 화물을 개별운송하고 있기 때문이다. 이러한 개별운송의 비경제성을 극복하기 위한 대안은 공동수송(Consolidated transportation)이다. 공동수송이란 수송비 절감을 위하여 여러 화주의 화물을 함께 대형차량에 적재함으로써 단위 운송비를 절감하는 방법이다. 공동수송은 개별기업

의 물류비를 절감하고, 운송업체의 입장에서는 운송량의 기복을 평준화하고 차량 효율을 극대화하여 운영수익성을 개선할 수 있다. 본 연구에서는 공동수송 중에서 가장 용이하게 시작할 수 있는 모형으로서 동일지역 내에 소재한 중소기업들간의 소량 다빈도 물량을 합적하여 다른 지역의 행선지로 수송하는 공동수송 모형과 이를 위한 혼적 알고리즘을 제시하고, 그 기 대효과와 모수들의 영향을 분석하고자 한다.

1.2 문제의 정의

일반적으로 주문형 산업재 제조업체는 자사 공장으로부터 고객사의 공장으 로 제품을 직접 수송하여 공급하며, 고객사 공장은 전국에 걸쳐 광범하게 위치할 수 있다. 고객사로부터 의 주문은 수시로 접수되며, 상당수의 주문은 익일까지 납품을 요구한다. 소량의 주문도 익일까지 운송해 주기 위해서 공급사는 상당한 운송비를 지출하면서 소량화물(LTL: Less-th

[†] Corresponding author : Professor Suk-Chul Rim, Department of Industrial & Information Engineering, Ajou University, Suwon, 442-749, Korea;

Fax +82-31-219-1610; e-mail scrim@ajou.ac.kr

2001년 11월 접수, 1회 수정(4주 소요) 후, 2002년 1월 게재 확정.

an-Truckload)을 전국 거래처에 수시로 개별운송하는 경우가 많다. 이에 대한 대안으로서 공동수송이란 행선지가 동일한 여러 화물을 그룹핑하여 대형트럭으로 운송함으로써 단위당 운송비용을 절감하는 것이다. 즉, 운송업자는 한 트럭분이 안 되는 소량화물을 화주로부터 일정 요율의 요금을 받고 운송의뢰받아, 이러한 소량화물들을 효과적으로 혼적하여 운송한다. 일반적으로 트럭에 화물들을 혼적할 때는 각 트럭의 무게용량과 부피용량을 초과하지 않는 범위 내에서만 혼적할 수 있다.

본 연구에서 다루는 문제는 동일지역에 위치한 제조업체들이 매일 소량의 상품을 출하하는 경우 이를 행선지별로 묶어서 대형차량으로 공동수송할 때 총 비용을 최소화하는 배차계획을 결정하는 문제이다. 즉, 고유의 무게와 부피를 갖는 n 개의 화물을 m 가지 종류의 무게 및 부피용량을 갖는 트럭에 혼적하여 총 수송비를 최소화하는 문제이다. 이때 총 수송비는 기본운임과 도착지수(즉, 화물수)에 비례하는 추가비용의 합으로 산정된다. 본 연구에서는 다음과 같은 사항을 가정한다.

- 각 화물은 한 지역의 하나의 출발지점에서 다른 지역의 하나의 도착지점으로 운송되며, 각 화물은 분리되지 않고 단일차량으로 수송되어야 한다.
- 모든 화물들은 서로 혼적 가능한 상태이다.
- 각 화물의 무게와 부피는 상수이며 미리 알려져 있다.
- 각 차량은 동일지역 내 복수지점에 방문하여 화물을 상·하차할 수 있다. 단, 시간적 제약으로 인해 차량당 일일 방문 및 처리가능한 최대 지점수가 제한된다.
- 차량에 적재하는 화물수가 하나 증가시 일정액의 추가비용이 발생한다.
- 무게와 부피기준으로 차량 적재용량의 각각 110%와 100%까지 적재할 수 있다.

2. 관련 연구

2.1 공동수송

본 연구에서 다루는 문제와 가장 관련 깊은 연구로서 Hall(1987)은 여러 지역의 화물을 실어 서로 다른 출발지와 도착지 지역간에 화물을 수송하는 Vehicle consolidation 문제를 다루었고, Pooley(1992)는 화주가 TL(Truckload)방식 또는 LTL방식을 선택적으로 혼합하여 Clark and Wright의 Saving algorithm을 변형한 경험적인 차량경로 알고리즘을 사용하는 방법을 제시하였다. Min(1996)은 여러 개의 소형화물을 하나의 대형화물로 만들기 위해 고객과 차량경로를 선택하는 문제를 다루면서, 기존의 TLRP(Terminal Location-allocation-Routing Problem)와는 다르게 하나의 터미널과 제한된 고객수만을 고려하면서 터미널 위치선정과 차량경로를 위한 3단계로 이루어진 경험적 알고리즘을 제시하였다. Jackson(1985)은 혼적시의 문제점 등 설문결과를 분석하였고, Cooper(1983)은

화물혼적과 재고의 분산배치를 사용하여 현행 로지스틱스 시스템을 보다 효과적인 네트워크 구조로 재설계하기 위하여 물류센터의 위치와 운영전략을 평가하는 방법론을 제시하였다.

우리 나라에서는 공동수송에 관한 연구가 주로 물류공동화 실현을 위한 정책적인 면과 기업 프로세스에 관련된 연구가 대부분이다. 본 논문과 유사한 연구로서 Rim *et al.*(2001)은 화물의 무게계약만을 고려하는 혼적방법을 제시하였으며, 본 논문은 이의 확장이다. 이와 유사한 문제로서 Rim and Yoo(2001)는 일부 화물이 당일이 아닌 이튿날에 운송되어도 좋은 경우에 대하여 그 효과를 분석하였다.

2.2 Bin Packing Problems

주어진 용량의 트럭에 여러 크기의 화물을 혼적하는 것은 Bin Packing Problems(BPP)와 유사하다. 일반적으로 BPP는 다양한 크기의 제품(items)을 다양한 크기의 용기(bins)에 담아 총 용기수를 최소화하는 문제라고 할 수 있다(Martello and Toth, 1990). 실질적으로 BPP는 1970년대 이후로 Operation Research, Computer Science 분야 중심으로 많은 연구가 이루어져 왔다. Bischoff and Marroitt(1990)는 14가지 컨테이너에 적재하는 경험적 알고리즘을 비교 평가하였다. Martello *et al.*(2000)은 3차원 BPP에 대해 부피편을 고려하면서 큰 제품에 대해서도 잘 적용되는 새로운 하한치를 소개하였고, Mohanty *et al.*(1994)은 서로 다른 가치를 가진 상자들을 서로 다른 컨테이너에 실으면서 컨테이너에 실린 상자들의 가치를 최대화하는 3차원의 경험적 알고리즘을 제시하였다. Toth(2000)는 풀기 어려운 최적화 문제들 중에 무게와 부피를 동시에 고려한 2-Constraint Bin Packing Problem(2-CBPP)을 풀기 위한 경험적 알고리즘들을 소개하였고, Caprara and Toth(2001)는 2-Dimensional Vector Packing Problem(2-DVPP)과 몇 가지 하한치들에 대해 설명하고 성능을 분석하여 이전 연구들의 결과값과 비교하였다. Scholl *et al.*(1997)은 1차원 BPP를 풀기 위한 branch and bound 방법과 여러 가지 경험적 알고리즘들을 결합한 알고리즘을 제안하였다.

BPP를 풀기 위해 여러 가지 경험적 알고리즘들이 제시되고 있는데, 이러한 알고리즘은 제품(item)들을 알지 못하는 상태에서 적재가 이루어지는 On-line 방법으로서, Next Fit는 용기(bin)에 제품을 순서대로 넣어가며 용기의 용량이 넘어서면 새로운 용기에 그 다음 제품을 넣는 방법이고, First Fit는 우선 첫 번째 부분적으로 사용되어진 용기에 적재가 이루어지고 이러한 용기가 없을 경우에는 새로운 용기를 사용한다. Best Fit는 각각의 제품이 용기에 최대로 적재가 이루어질 때까지 반복적으로 적재되며, 가장 작은 공간을 가진 용기부터 적재가 이루어지고 여유공간이 없을 경우에는 새로운 용기가 사용된다. 반면에 제품들을 미리 알고 적재가 이루어지는 Off-line 방법으로서 First Fit Decreasing(FFD), Best Fit Decreasing(BFD) 그리고 Next Fit Decreasing(NFD) 등이 있으며, 이러한 방법들은

제품들이 용기에 적재가 이루어지기 전에 Non-increasing 순서로 정렬되고 적재방법은 On-line 적재방법을 따른다(Martello and Toth, 1990).

본 연구에서 다루는 문제는 제품들을 미리 알고 정렬한 상태에서 적재가 이루어지는 Off-line 방법과 유사하다. 본 연구는 무게와 부피를 동시에 고려한 기존의 2-CBPP와 유사한 점이 있으나, 용기(트럭) 내의 화물수에 비례하는 추가비용이 발생한다는 점과 용기당 품목수가 제한된다는 점에서 명확하게 구별된다.

3. 수리적 모형

앞서 정의된 문제, 즉 고유의 무게와 부피를 갖는 n 개의 화물을 m 가지 종류의 무게 및 부피용량을 갖는 트럭에 혼적하여 총 수송비를 최소화하는 문제를 수리적으로 모형화하기 위하여 다음과 같은 모수 기호를 사용한다.

- i : 트럭 종류, $i=1, 2, \dots, m$
- j : 화물 종류, $j=1, 2, \dots, n$
- w_j : 화물 j 의 무게
- v_j : 화물 j 의 부피
- c_i : 트럭종류 i 의 무게용량
- b_i : 트럭종류 i 의 부피용량
- l_i : 트럭종류 i 의 가용 덩수
- N : 트럭당 적재가 허용되는 최대 화물수(최대 착지수)
- r_i : 트럭종류 i 의 기본 운임
- a_i : 트럭종류 i 의 추가착지당 비용

결정변수로는 다음의 두 가지를 사용한다.

- X_{ijk} : 화물 j 가 트럭종류 i 의 k 번째 차량에 적재되면 1, 그렇지 않으면 0. ($1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n, 1 \leq k \leq l_i$)
- y_{ik} : 트럭종류 i 의 k 번째 차량에 화물이 하나라도 적재되면 1, 그렇지 않으면 0. ($1 \leq i \leq m, 1 \leq k \leq l_i$)

이상의 기호를 사용하여 1장에서 정의한 문제를 정수계획 문제로 모형화하면 다음과 같다.

$$\text{minimize } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{l_i} \left[(r_i - a_i) y_{ik} + a_i \sum_{j=1}^n X_{ijk} \right] \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{l_i} w_j X_{ijk} = \sum_{j=1}^n w_j \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{l_i} v_j X_{ijk} = \sum_{j=1}^n v_j \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{l_i} X_{ijk} = 1, \text{ for } 1 \leq j \leq n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n w_j X_{ijk} \leq 1.1 c_i, \text{ for } 1 \leq i \leq m, 1 \leq k \leq l_i \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n v_j X_{ijk} \leq b_i, \text{ for } 1 \leq i \leq m, 1 \leq k \leq l_i \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ijk} \leq N \cdot y_{ik}, \text{ for } 1 \leq i \leq m, 1 \leq k \leq l_i \quad (7)$$

목적함수는 기본운임과 추가착지비용의 합을 최소화하는 것이다. 한 트럭에 화물이 q 개 실릴 경우 운송비는 $r_i + (q-1) \cdot a_i$ 가 된다. 따라서 트럭종류 i 의 k 번째 차량에 화물이 하나라도 실리면 $y_{ik}=1$ 이 되어 $r_i - a_i$ 만큼 비용이 발생하고, 실리는 짐의 수만큼 a_i 가 발생한다. 식 (2)는 각 차량별 적재화물의 총 무게는 화물들의 총 무게와 같음을 나타내고, 식 (3)은 각 차량별 적재화물의 총 부피는 화물들의 총 부피와 같음을 나타내고, 식 (4)는 각 화물은 반드시 한 대의 트럭에만 적재되어야 함을 나타낸다. 식 (5)는 트럭종류 i 차량에 실린 화물 무게의 총 합은 도로교통법상 트럭종류 i 의 적재용량의 1.1배를 초과할 수 없음을 나타내고, 식 (6)은 트럭종류 i 차량에 실릴 수 있는 화물의 총 부피는 트럭종류 i 의 부피용량을 초과할 수 없음을 나타내고, 식 (7)은 각 트럭에 실린 화물의 개수는 최대 착지수(N)를 초과할 수 없음을 나타낸다.

위 정수계획 모형은 본 연구에서 다루는 화물 혼적문제의 최적해를 구할 수 있으나, 현실적인 문제를 다룰 경우 방대하게 커진 변수에 대해 최적해를 구하는 것은 시간적, 기술상으로 매우 오래 걸리고 어려우므로 이러한 최적해보다는 실제 상황에 적용 가능한 경험적 혼적 알고리즘을 제안하고자 한다.

4. 경험적 혼적 알고리즘

본 장에서는 전술한 문제의 해를 신속하게 구할 수 있는 새로운 경험적 알고리즘들을 제시한다.

4.1 Feasibility Algorithm

가장 단순한 혼적 알고리즘으로서 무게와 부피 중 어느 하나를 기준으로 하여 적재를 결정해 나가며 나머지 기준은 단지 트럭의 용량을 초과하지 않는지를 검토하는 용도로만 사용하는 방법이다. 무게와 부피는 두 개의 상이한 제약조건이지만 이 둘은 대칭적이므로 본 논문에서는 일반성을 훼손함이 없이 무게를 기준으로 적재를 결정해 나가며, 부피제약은 단지 트럭의 부피용량을 초과하지 않는지만을 검토하는 것으로 단순화할 수 있다. 무게를 기준으로 적재를 결정하는 방법은 다음과 같다.

- step 1. 남아있는 화물이 없으면 종결; 있으면 가용한 트럭 중 가장 큰 트럭을 선정한다.
- step 2. 남아있는 화물 중에서 가장 무거운 화물부터 차례

로 트럭에 적재하되 무게 또는 부피용량이 초과하면 다음 무거운 화물을 적재한다. 가장 가벼운 화물까지 적재를 시도해 보았거나 또는 적재화물수가 최대 적재화물수에 도달하면 그 트럭을 종결하고 step 1로 이동.

4.2 Steepest Algorithm

남아있는 화물 중에서 다음 적재화물을 선정할 때 무게용량과 부피용량을 만족하는 화물 중에서 현재 트럭의 무게적재율 또는 부피적재율 중 어느 쪽이라도 최대화하는 화물을 선택한다. 즉,

- step 1. 남아있는 화물이 없으면 종결; 있으면 가용한 트럭 중 가장 큰 트럭을 선정한다.
- step 2. 남아있는 화물 중에서 무게 및 부피제약을 모두 만족하는 화물이 없으면 그 트럭을 종결하고 step 1로 이동; 있으면 그 중에서 적재시 현 트럭의 무게적재율을 최대화하는 화물(Z_w)과 그 적재율(u_w), 그리고 적재시 부피적재율을 최대화하는 화물(Z_v)과 그 적재율(u_v)을 각각 구한다.
- step 3. 만일 $u_w \geq u_v$ 이면 화물 Z_w 를 적재하고, 아니면 Z_v 를 적재한다.
- step 4. 적재화물수가 최대 적재화물수에 도달했으면 그 트럭을 종결하고 step 1로 이동; 아니면 step 2로 이동.

4.3 Dominance Algorithm

트럭종류 i 에 대하여 화물 j 는 식 (8)이 성립하면 무게지배적인 화물이며, 그렇지 않을 경우에는 부피지배적인 화물이라고 정의한다. 여기서 c_i^w 는 현재 적재되고 있는 트럭종류 i 의 무게 적재용량을 나타내고, c_i^v 는 현재 적재되고 있는 트럭종류 i 의 부피 적재용량을 나타낸다.

$$\frac{w_j}{c_i^w} > \frac{v_j}{c_i^v} \tag{8}$$

- step 1. 남아있는 화물이 없으면 종결; 있으면 가용한 트럭 중 가장 큰 트럭을 선정한다.
- step 2. 선정된 트럭종류 i 에 대하여 각 화물을 무게지배적(Weight Dominating)인 화물과 부피지배적(Volume Dominating)인 화물로 나눈다.
- step 3. 현재 차량에 적재되어 있는 화물에 대하여 무게적재율(u_w)과 부피적재율(u_v)을 각각 구한다.
- step 4. 만일 $u_w > u_v$ 이면 부피지배적인 화물 중에서 현 트럭의 남은 부피공간보다 크지 않은 화물 중 부피가 가장 큰 화물을 적재한다. 그러나 $u_w \leq u_v$ 이면 무게 지배적인 화물 중에서 현 트럭의 남은 무게용량을

초과하지 않는 화물 중 가장 무거운 화물을 적재하고 step 3으로 이동. 만일 이런 화물이 존재하지 않거나 적재화물수가 최대 적재화물수에 도달했으면 그 트럭을 종결하고 step 1로 이동.

즉, Dominance rule에서 매번 선정하는 화물은 무게적재율과 부피적재율 중 더 작은, 즉 차량의 무게와 부피제약 중 좀더 여유있는 제약 쪽을 최대 채우는 화물을 선정하는 방법으로 서, 무게적재율과 부피적재율을 비교적 균형적으로 높게 된다.

4.4 Density Algorithm

트럭종류 i 에 대하여 화물 j 의 무게와 부피를 식 (9)와 같이 하나의 밀도값(d_{ij})으로 정의한다.

$$d_{ij} = \frac{w_j / c_i^w}{v_j / c_i^v} \tag{9}$$

- step 1. 남아있는 화물이 없으면 종결; 있으면 가용한 트럭 중 가장 큰 트럭을 선정한다.
- step 2. 트럭종류 i 에 대한 각 화물 j 의 밀도값(d_{ij})을 구한다.
- step 3. 현재 차량에 적재되어 있는 화물에 대하여 무게적재율(u_w)과 부피적재율(u_v)을 각각 구한다.
- step 4. 만일 $u_w > u_v$ 이면 밀도값이 작은 화물부터 차례로 검토하여 무게 및 부피제약을 모두 만족하는 첫 화물을 적재하고, $u_w \leq u_v$ 이면 밀도값이 큰 화물부터 차례로 검토하여 무게 및 부피제약을 모두 만족하는 첫 화물을 적재한 후 step 3으로 이동. 만일 이런 화물이 존재하지 않거나 적재화물수가 최대 적재화물수에 도달했으면 그 트럭을 종결하고 step 1로 이동.

5. 컴퓨터 시뮬레이션

본 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 앞서 제시된 네 개의 경험적 알고리즘의 수행도를 평가하고 이를 개별수송시의 수행도와 비교한다. 개별수송이란 각 화물에 대하여 무게 및 부피제약을 모두 만족하는 가장 작은 트럭을 단독으로 사용하는 경우를 말한다. 수행도의 기준으로는 총 비용, 평균적재율, 평균착지수 등의 세 가지 기준을 사용한다. 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 모수들은 가급적 현실에 근사하게 다음과 같이 설정하였다. 화물의 무게분포는 일양분포를 따르는 것으로 가정하였으며 그 무게범위는 (0.5~10톤), 부피범위는 (1.5~32m³)로 하였다. 트럭종류별 톤수, 부피제약, 기본운임, 추가착지당 비용 등의 모수는 <표 1>과 같다. 트럭별 최대 착지수는 4개소로 제한하였다. 매일 50개 화물의 무게 및 부피를 발생시키고 90일간의 평균치를 구하였다. 트럭의 무게제약은 현행 법적 허용기준을 고려하여 톤수의 110%를 무게제약으로

표 1. 비용절감액 추정에 사용된 모수값

i	톤수 (c_i)	부피 (v_i)	운송비 (r_i)	추가 차지당 비용(a_i)
1	11톤	36 m ³	32만원	4만원
2	8톤	32 m ³	28만원	3.5만원
3	5톤	15 m ³	24만원	3만원
4	2.5톤	10 m ³	21만원	2.5만원

설정하였다. 트럭은 적재용량별로 충분히 많이 가용하다고 가정하였다.

5.1 총 수송비

개별수송과 비교할 때 각 알고리즘의 총 수송비 절감폭은 Feasibility Algorithm 27.2%; Steepest Algorithm 31.2%; Dominance Algorithm 32.4%; 그리고 Density Algorithm은 31.6%로 나타났다. 즉, <그림 1>에서 보듯이 4가지 알고리즘 모두 개별수송에 비해 수송비가 감소되는 현상을 보였다.

5.2 평균적재율

<그림 2>에서 보듯이 개별수송과 비교할 때 각 알고리즘의 평균적재율 상승폭은 Feasibility Algorithm이 무게적재율 20.0%, 부피적재율 27.1% 상승; Steepest Algorithm이 무게적재율 34.6%, 부피적재율 47.4% 상승; Dominance Algorithm은 무게적재율이 37.7%, 부피적재율은 51.1%; 그리고 Density Algorithm은 무게적재율이 36.3%, 부피적재율이 48.9% 상승하는 것으로 나타났다.

5.3 평균착지수

<그림 3>에서 보듯이 네 개의 경험적 알고리즘 공히 일별 평균착지수 값은 1개 또는 2개로 적재화물수가 대부분 2개 이하라고 볼 수 있어 공동수송을 수행하는 데 있어서 흔적을 수행

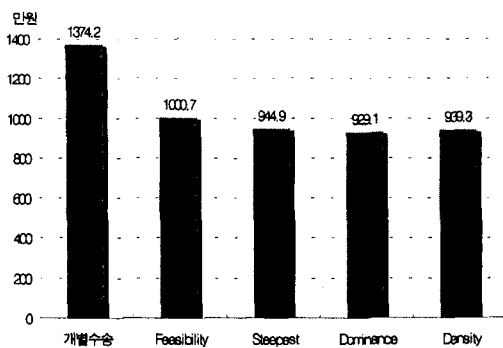


그림 1. 알고리즘별 총 수송비.

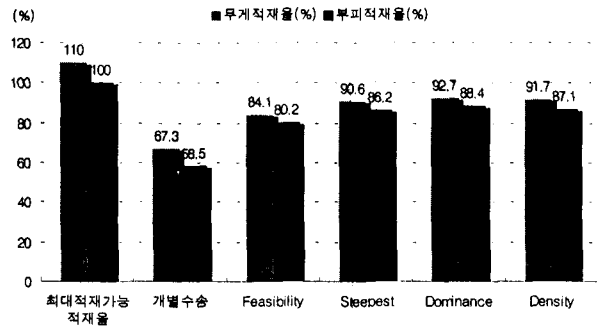


그림 2. 알고리즘별 평균적재율.

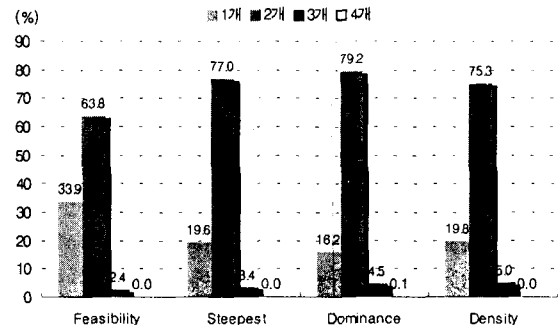


그림 3. 알고리즘별 일별 평균착지수 비율.

하는 업무가 복잡하지 않다는 것을 알 수 있다. 네 가지 알고리즘 모두 일별 평균착지수는 대부분이 2개 이하이고, 수송비 절감률과 적재율 증가율이 높은 알고리즘일수록 착지수도 2개인 비율은 더 높아지고 착지수가 1개인 비율은 대체적으로 감소하였다. 이것은 한 차량에 화물의 착지수가 더 많아짐에 따라 적재율 증가율과 수송비 절감률이 상승하는 결과를 가져온 것으로 볼 수 있다.

본 연구에서 제안한 네 개의 경험적 알고리즘은 모두 개별수송보다는 당연히 수송비가 절감된다. 그 중에서도 <그림 4>에서 보듯이 Dominance Algorithm이 32.5%의 가장 높은 수송비 절감률을 보였다. 그 다음으로는 Density Algorithm, Steepest Algorithm 순서로 수송비가 절감됐고, Feasibility Algorithm이 약 27.2%로 가장 낮은 수송비 절감률을 보였다. 참고로 무게

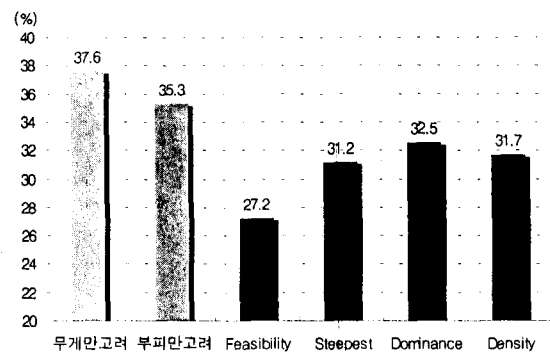


그림 4. 알고리즘별 수송비 절감률.

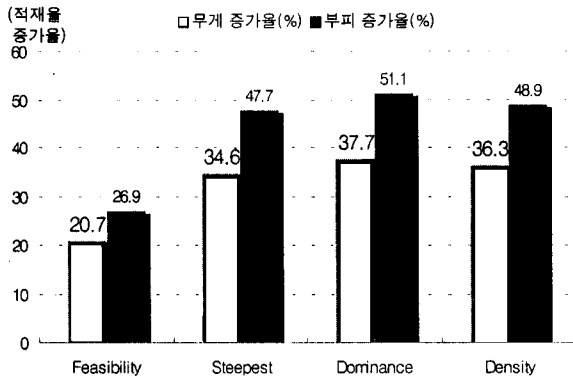


그림 5. 알고리즘별 적재율 증가율.

와 부피 중 어느 하나만을 제약조건으로 고려하는 경우는 무게와 부피를 모두 제약조건으로 고려하는 문제에 대한 완화된 문제이기 때문에 <그림 4>에서 보듯이 그 수송비 절감폭이 35%를 상회한다. 그러나 오늘날 화물차의 구조가 선진국의 추세에 따라 cargo형으로부터 화물적재함이 있는 top차형으로 전환되고 있기 때문에 공동수송 흔적에서도 무게뿐만 아니라 부피도 제약조건으로 고려하는 것이 점점 더 요구되고 있다.

알고리즘별 적재율 증가율은 <그림 5>에서 보듯이 수송비 절감률과 같은 순서로 적재율이 증가되는 것으로 나타났다.

90일간의 임의로 발생시킨 화물데이터에 대하여 네 알고리즘간의 일별 수행도를 비교해 본 결과 <그림 6>과 같이 Dominance Algorithm이 가장 수송비가 낮게 나타난 경우가 70.1%, Density Algorithm이 26.7%, Steepest Algorithm이 20% 순으로 나타났고, Feasibility Algorithm은 0%로 나타났다. <그림 6>은 90일간에 대하여 네 알고리즘의 총 비용값의 변화추이를 보여 준다.

차량별 소요대수는 <그림 7>에서 보듯이 대체적으로 11톤 차량이 Dominance Algorithm을 적용하였을 때 평균 22.2대로서 가장 많이 필요하고, 상대적으로 Feasibility Algorithm을 적용했을 때에 8톤 차량이 평균 8.5대로 가장 많이 필요함을 볼

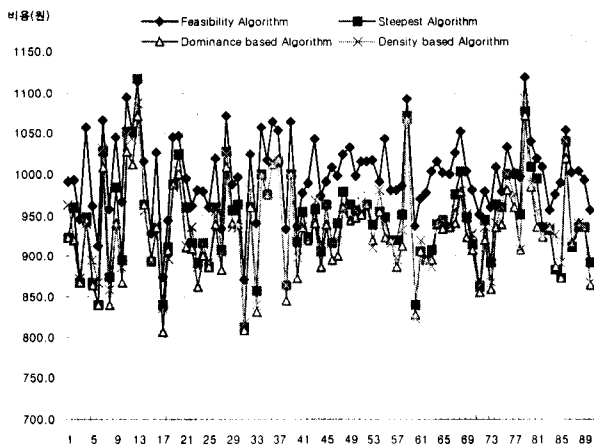


그림 6. 일자별 수송비 변화.

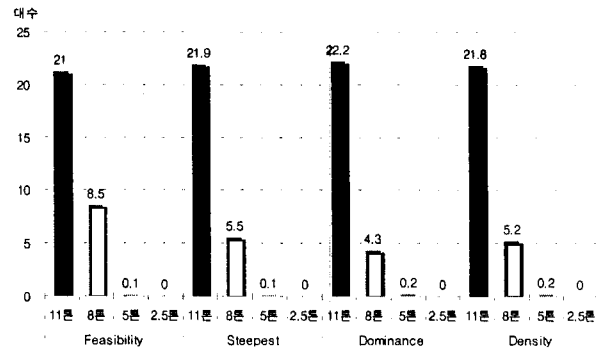


그림 7. 알고리즘별 평균 톤별 차량소요대수.

수 있다. 이것은 수송비 절감률과 적재율 증가율이 상대적으로 높았던 Dominance Algorithm의 경우, 주로 11톤 차량을 이용하여 화물의 흔적이 이루어짐에 따라 11톤 차량을 가장 많이 사용한 반면, Feasibility Algorithm에서 8톤 차량이 상대적으로 많이 필요한 이유는 11톤 차량의 낮은 적재율로 인해 그 다음으로 큰 차량을 사용하는 경우가 많이 생겼기 때문이다.

6. 결론 및 추후연구

본 연구는 무게와 부피가 상이한 여러 화물을 공동수송하기 위해 다양한 크기의 트럭에 혼적시킬 때 총 수송비를 최소화 하는 배차계획을 결정하는 문제를 다루었다. 제안된 네 가지 경험적 흔적 알고리즘들을 시뮬레이션으로 비교해 본 결과 Dominance Algorithm이 개별수송에 비해 총 운송비를 32.4% 절감하여 그 수행도가 가장 탁월한 것으로 나타났다. 트럭의 평균적재율 역시 총 운송비와 거의 유사한 결과를 보였으며, 트럭당 평균착지수는 4개소로 제한하였지만 대부분 2개소 이하로 배차계획이 결정되어 실용적인 해를 구하는 것으로 나타났다. 추후 연구과제로는 본 연구에서 제시한 정수계획 모형으로부터 소형문제들에 대하여 최적해를 구하고, 동일한 문제에 대해 Dominance Algorithm의 수행도가 최적해에 얼마나 근사한지를 검토하고자 한다.

참고문헌

- Bischoff, E. E. and Marroitt, M. D. (1990), A comparative evaluation of heuristics for container loading, *European Journal of Operational Research*, 44(2), 267-276.
- Caprara, A. and Toth, P. (2001), Lower bounds and algorithms for the 2-dimensional vector packing problem, *Discrete Applied Mathematics*, 111, 231-262.
- Cooper, M. (1983), Freight Consolidation and Warehouse Location Strategies in Physical Distribution System, *Journal of Business Logistics*, 4(2), 53-74.
- Hall, R. W. (1987), Consolidation Strategy: Inventory, Vehicles and

- Terminals, *Journal of Business Logistics*, **8**(2), 57-73.
- Jackson, G. C. (1985), A Survey of Freight Consolidation Practices, *Journal of Business Logistics*, **6**(1), 13-34.
- Martello, S., Pisinger, D. and Vigo, D. (2000), The three-dimensional bin packing problem, *Operations Research*, **48**, 256-267.
- Martello, S. and Toth, P. (1990), Knapsack Problems, *Algorithms and Computer Implementations*, John Wiley & Sons, West Sussex, England.
- Min, H. (1996), Consolidation Terminal Location-Allocation and Consolidated Routing Problems, *Journal of Business Logistics*, **17**(2), 235-263.
- Mohanty, B. B., Mathur, K. and Ivancic, N. J. (1994), Value considerations in three-dimensional packing-A heuristic procedure using the fractional knapsack problem, *European Journal of Operational Research*, **74**, 143-151.
- Pooley, J. (1992), A Vehicle Routing Algorithm for the Less-Than-Truckload vs. Multiple-Stop Truckload Problem, *Journal of Business Logistics*, **13**(1), 153-175.
- Pooley, J. and Stenger, A. J. (1992), Modeling and Evaluating Shipment Consolidation in A Logistics System, *Journal of Business Logistics*, **13**(2), 153-175.
- Rim, S. C., Kim, S. B. and Kim, N. H. (2001), Modeling and Analysis of Consolidated Transportation Between Industrial Complexes, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, **27**(2), 150-157.
- Rim, S. C. and Yoo, Y. J. (2001), Impact of Flexible Shipping Date in Consolidated Transportation for Industrial Complexes, *Proc. of the Conference on the Korean Institute of Industrial Engineers*, 699-702.
- Scholl, A., Klein, R. and Jurgens, C. (1997), BISON: A fast hybrid procedure for exactly solving the one-dimensional bin packing problem, *Computers operations Research*, **24**(7), 627-645.
- Sheffi, Y. (1986), Carrier/Shipper Interactions in the Transportation Market: An Analytic Framework, *Journal of Business Logistics*, **7**(1), 1-27.
- Toth, P. (2000), Optimization engineering techniques for the exact solution of NP-hard combinatorial optimization problems, *European Journal of Operational Research*, **125**, 222-238.