

산업단지간 공동수송모형과 효과분석

임석철[†] · 김성봉 · 김내현

아주대학교 산업정보시스템공학과

Modeling and Analysis of Consolidated Transportation Between Industrial Complexes

Suk-Chul Rim · Sung-Bong Kim · Nae-Heon Kim

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

Since the transportation cost takes two thirds of the logistics cost of Korean firms, significant reduction of business logistics cost can hardly be achieved without effective reduction of the transportation cost. Although consolidated transportation has been regarded as the most promising strategy for reducing the transportation cost, it has not been successful in practice. In this paper, we propose a consolidated transportation model for firms located in industrial complexes, present a heuristic algorithm to operate the system, and analyze the expected cost reduction.

Keywords : consolidated transportation, logistics, industrial complex

1. 서론

오늘날 기업의 글로벌 무한경쟁 환경하에서 물류(Logistics)는 기업의 가치창출을 위한 유력한 분야로 인식되고 있다. 우리나라의 기업물류비는 1998년 기준으로 GDP대비 12.9%로서 동년 일본의 6.5%, 미국의 9.0%에 비하여 매우 높은 수준이다. 특히 우리나라 총 물류비의 68.8%를 수송비가 차지하고 있으며, 이중 도로수송비는 전체수송비의 69.5%를 차지하고 있어 이에 대한 집중적인 개선이 시급히 요구되고 있다(교통개발연구원, 2000). 현재 우리나라의 수송현실은 자사 차량 운영시 적재효율이 평균 32.8%에 불과하고, 국내 화물운송시 1톤 미만의 소형트럭 이용비율이 80% 이상을 차지하고 있으며, 자사 차량의 공차율이 49.0%로 영업용 차량의 36.4%에 비해 공차율이 현저히 높다. 이러한 현실은 소량 다빈도 운송이 요구되는 오늘날의 기업경 요구에 부응하는 효율적인 공동수송 시스템을 구축하지 못하고 있는 데 기인하는 바 크다(대한상공회의소, 1999).

공동수송은 개별기업의 물류비를 절감하고, 운송업체의 입장에서 운송량의 기복을 평준화하고 차량 효율을 극대화하여 운영수익성을 개선할 수 있다. 그러나 우리나라에서는 이제까지 공동수송을 위한 노력이 별로 이루어지지 않고 있다. 또한 운송량이 많은 대기업보다 운송량이 적은 중소기업이 물류공동화의 필요성을 높게 인식하고 있으나, 물류공동화를 시행하는 업체의 비중은 대기업(9.5%)보다 중소기업(6.3%)이 더 작다(대한상공회의소, 1998b). 이는 물류공동화에 대해 과다한 비용부담, 성공으로 이끌 수 있는 절차 및 방법의 부재, 회사의 기밀유지 불안 등의 요소에 기인하는 것으로 보인다.

공동수송이란 둘 이상의 화주가 수송비 절감을 위하여 수송수단을 공동사용하는 것이다. 공동수송은 최근 일부 시행되기 시작한 '공차알선'과는 그 개념이 다르다. 공차알선은 A지점에서 B지점으로 수송을 마친 트럭이 다시 A지점으로 돌아가는 편에 싣고 갈 화물을 알선(matching)시켜 주는 서비스로서 회차시 공차율을 획기적으로 낮출 수 있는 유용한 방법이다. 한편 공동수송은 A지점에서 B지점으로 한 대의 트럭이 운송할 때 여러 화주의 화물을 함께 대형차량에 적재함으로써

[†] Corresponding author : Professor Suk-Chul Rim, Department of Industrial and Information Systems Engineering, Ajou University, Suwon, 442-749
Korea, Fax : +82-31-219-1610, e-mail : scrim@madang.ajou.ac.kr

단위 운송비를 절감하는 방법이다. 공동수송과 공차알선이 복합적으로 사용되면 편도 및 회차시 적재율을 극대화할 수 있다. 공동수송을 형태별로 대별하면 다음과 같다.

(1) 공동물류센터형

이 방법은 각 제조업체가 자사의 물량을 주로 제3자 물류업체가 운영하는 공동물류센터로 집하한 후 이를 행선지별로 분류하여 대형차량에 합적하여 공동수송하는 방법이다. 이 방법은 각 제조업체의 물량이 팔렛 등으로 단위하물(Unit load)화 되어 있지 않은 경우에는 상·하역에서 상당한 시간과 비용이 발생하고, 공동물류센터에 재고를 보유한 채 대량 후보충(Replenishment)하게 되어 재고가 증가한다. 또한 이 방법은 기본적으로 각 제조업체의 공장창고 이외의 창고공간을 추가로 사용하는 비용이 발생하는 단점이 있다.

(2) 순회집하형

각 제조업체가 개별적으로 공동물류센터에 운송하는 대신 코스별로 정해진 스케줄에 따라 운송업체 차량이 순회하여 필요한 물량을 물류센터에 집하한 후, 이를 공동보관 및 행선지별로 분류하여 공동수송하는 방법이다.

(3) 순회상차형

이 방법은 운송업체가 대형차량을 순회하여 행선지가 동일한 운송물량을 여러 화주업체로부터 상차한 후 곧바로 수송하는 방법으로서, 비용면에서 가장 경제적이다. 이 방법을 운영하기 위해서는 화주업체들 간의 거리가 가깝고 대형차가 진입, 상차할 수 있어야 한다. 본 연구에서 다루는 공동수송모형은 이러한 순회상차형에 해당한다.

이밖에도 화주가 운송사에 연락하면 트럭을 보내어 화물을 가져가고 운송사는 나름대로 혼적하여 차량효율을 높이는 속칭 '함바집'이라는 형태가 산업체에서 널리 사용되고 있으나 그 운영방법이 체계적이지 못하여 비용절감 효과는 미지수이다. 이와 같이 다양한 공동수송 모형이 존재하지만 물류공동화 시행 예정업체들이 가장 선호하는 물류공동화 형태는 동일한 지역소재 기업 간의 공동화가 36.7%로 가장 큰 비중을 차지하였으며, 동일 업종 간 비슷한 규모끼리의 공동화가 23.3%, 그리고 같은 그룹 내 공동화가 20%를 각각 차지하였다(대한상공회의소, 1998a). 본 연구에서는 이러한 선호도를 반영하여 공동수송 중에서 가장 용이하게 시작할 수 있는 모형으로서 동일한 산업단지 내에 소재한 중소기업들 간의 소량 다빈도 물량을 합적하여 동일 행선지로 수송하는 공동수송모형과 이를 위한 혼적 알고리즘을 제시하고, 그 기대효과와 모수들의 영향을 분석하고자 한다.

공동수송 및 혼적과 관련된 용어로서 multiple stop truckload(TL)란 행선지가 동일방향인 여러 화물을 화주가 그룹핑하여 트럭 한 대분의 물량으로 만들어 운송업체에게 위탁

하면 트럭은 행선지마다 각 화물을 내려주는 것으로서, shipment consolidation이라고도 한다. 이 경우 운송비는 총 운행거리에 대하여 단위거리당 일정액과 각 행선지당 일정액의 합이 되며, 따라서 각 화물의 운송비는 다른 화물들의 수와 행선지 등에 의해 영향을 받는다. 반면에 less-than-truckload (LTL)란 화주가 한 트럭분이 안 되는 소량화물을 일정 요율로 운송업체에 위탁하는 것이며, 차주는 이러한 LTL화물들을 합적하여 운송한다. 이 경우 각 LTL화물의 운송비는 다른 화물과는 무관하게 해당 화물의 행선지와 무게 등에 의해서만 결정된다.

2. 산업단지 간 공동수송 모형

2.1 문제의 정의

일반적으로 산업재 제조업체는 자사 공장으로부터 고객사의 공장으로 제품을 직접 수송하여 공급하며, 고객사 공장은 전국에 걸쳐 여러 산업단지에 위치할 수 있다. 고객사로부터의 주문은 수시로 접수되며, 상당수의 주문은 익일까지 납품을 요구한다. 주문량은 불규칙하며 매우 소량인 경우에도 익일까지 운송해주어야 하기 때문에 공급사는 상당한 운송비를 지불해 가면서 소량의 상품을 전국 거래처에 수시로 운송하는 실정이다. 본 연구에서 다루는 '산업단지 간 공동수송'이란 1장에서 언급한 순회상차형과 유사한 모형으로서, 동일지역에 위치한 제조업체들이 매일 소량의 상품을 출하할 때 이를 행선지별로 묶어서 대형차량으로 공동수송하는 방안이다. 즉, <그림 1>에서 보듯이 A공단에 위치한 제조업체들의 특징일 출하량 중에서 B공단으로 가는 물량들을 가급적 대형트럭에 합적함으로써 수송비를 절감하는 방안이다. <그림 1>에서 여러 형태의 도형은 A공단에서 B공단으로 수송되어야 하는 다양한 크기(또는 무게)의 화물들을 나타내며, 차량의 그림은 다양한

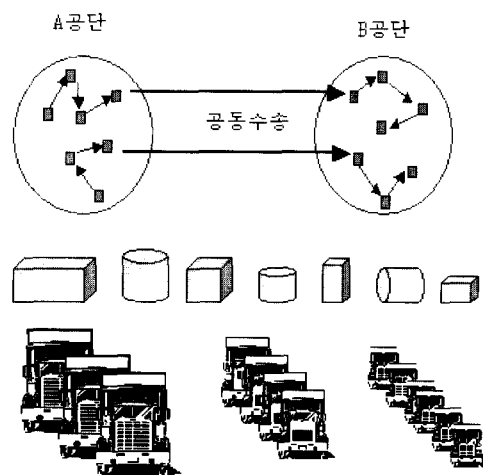


그림 1. 산업단지 간 공동수송 개념도.

크기의 트럭들이 다수 가용함을 나타낸다.

산업단지간 공동수송 모형은 다음과 같이 수행된다. 매일 업무마감 직후에 공동수송 참여업체들이 익일 운송물량데이터를 공동수송 센터에 전송하면 이 물량데이터를 행선지 공단별로 나누고, 행선지별 화물을 적절한 크기의 트럭에 혼적하는 배차계획을 작성한다. 이때 결정해야 할 사항은 몇 톤 트럭이 몇 대나 필요하며 각 트럭에 어떤 짐들을 싣는가를 결정해야 한다. 가용차량 중 최대차량의 적재량을 초과하는 화물은 최대차량 적재량의 정수배 만큼을 제한 나머지가 공동수송의 대상이 된다. 공단에 위치한 공장에는 11톤 대형트럭이라도 접근이 가능하고, 동일 산업단지 내에서는 여러 공장을 짧은 시간내에 차례로 방문하여 출하물량을 상차할 수 있으며, 행선지 공단에서도 여러 곳의 행선지를 차례로 짧은 시간내에 방문하여 하차할 수 있다. 일반적으로 트럭의 비용은 대형트럭일수록 단위화물당 운송비는 감소하므로 소량의 물량을 합적하여 대형트럭을 사용하면 각자 소형트럭을 사용하는 경우보다 운송비를 절감할 수 있다.

이러한 공동수송 방식은 별도의 물류센터 건립 등의 추가적인 투자가 불필요하고, 인접한 소수의 기업들끼리 정보노출의 우려없이 비교적 손쉽게 수행할 수 있다는 장점이 있다. 공동수송은 일반적으로 수송비용을 절감하지만 소요시간을 증가시킨다고 알려져 있다. 그러나 본 연구에서 제시하는 방법은 수송비용을 절감하면서도 수송 소요시간은 종전 방법과 동일한 일자에 납품되는 방법으로서, 소요시간의 증가가 없다.

2.2 가정사항

전술한 장점에도 불구하고 이러한 공동수송 방안을 실제로 운영하기 위해서는 해결되어야 할 과제들이 많다. 예를 들어 운영주체 선정, 운임 분담방법, 합적 제한품목, 상차시간대 설정, 부피가 큰 품목의 경우, 무게분포를 고려한 적재방법, 제품 손상시 변상체계, 트럭요금 변동에 대한 대응방법, 클레임 처리, 수송비 지급방법 등 구체적인 사항들이 정확하게 규정되어야 한다. 또한 상차 및 하차시 각 공장마다 소요시간이 일정 시간 이내로 신속하게 완료되어야 한다. 본 모형은 혼적이 가능한 품목을 다루는 업체 간의 공동수송을 다루며, 그 가정사항은 다음과 같다.

- 각 참여업체는 금일 주문접수를 마감하여 익일 출하한다.
- 차량이 산업단지 내 복수개의 공장에 들러서 화물을 상·하차할 수 있다. 단, 시간적 제약으로 인해 차량당 상·하차 가능한 최대 업체수가 제한된다(예 : 4개).
- 차량은 톤수별로 충분히 가용하다(예 : 11톤, 8톤, 5톤, 2.5톤)
- 착지수가 하나 증가시 일정액의 추가비용이 발생한다.
- 무게기준으로 차량 적재용량의 110%까지 적재할 수 있다(부피는 고려하지 않음).
- 한 화주로부터 한 고객에게 가는 화물은 분리되지 않고 단일차량으로 수송되어야 한다.

3. 관련 연구

본 논문에서 다루는 문제는 수송문제의 전형인 Vehicle Routing Problem(Bodin and Golden, 1981)보다는 오히려 Bin Packing Problem(Martello and Toth, 1990)과 유사성이 있다. 그러나 본 연구에서 다루는 문제와 직접 관련된 연구는 매우 적다. 본 연구와 가장 관련깊은 연구(Pooley, 1992)는 화주가 TL방식 또는 LTL방식을 선택적으로 혼합하여 여러 화물을 운송할 수 있는 경우 총 운송비를 최소화하기 위하여 Saving algorithm(Clark and Wright, 1963)을 변형한 경험적인 차량경로 알고리즘을 제시하였으며, 이를 실제 회사의 운송데이터에 적용한 결과 약 15%의 운송비 절감을 보였다. Pooley and Stenger(1992)는 동일한 문제에 대하여 네트워크 디자인, 주문크기, 내부적 싸이클 타임 제약, TL과 LTL 간의 요율 차이, 그리고 고객수요의 지리적 분포 등 다섯 가지 주요 요인들이 총 운송비에 미치는 영향을 실제 2개 회사의 데이터를 사용하여 통계적으로 분석하였다.

Min(1996)은 여러 개의 소형화물을 하나의 대형화물로 만들기 위해 어떤 고객과 차량 경로를 선택하는지에 대해 연구하였다. 이를 위해 혼적을 위한 경로문제, 위치선정에 관련된 기존연구를 분석, 정리하여 기존의 TLRP(Terminal Location-allocation- Routing Problem)과 다른 새로운 TLRP 방법론을 제시하였고, 터미널 위치선정과 차량경로를 위한 수리모형을 제시하였다. Jackson(1985)은 53개 미국 업체를 대상으로 화물혼재(Freight Consolidation)에 대하여 참여이유, 운영방법 및 모수, 화물 집하구조, 컴퓨터 사용방안, 화물취급상의 특성, 주문의 특성, 육송규제 해제에의 영향, 그리고 혼재시의 문제점 등 여덟 가지 주요 항목에 대한 설문결과를 분석하였다. Sheffi(1986)는 화물수송 시장에서 화주와 운송업체는 본질적으로 총 수송비용과 재고비용을 최소화해야 하는 동일한 문제에 직면하며, 이 둘간의 평형(equilibrium)을 이루는 시장원리를 설명하는 분석적 틀을 제시하였다. 또한 화주, 트럭 소유주, 운송대리인 등 관련주체들 사이의 입장차이를 상세히 분석하였다. Cooper(1983)는 화물혼재와 재고의 분산배치를 사용하여 현행 로지스틱스 시스템을 보다 효과적인 네트워크 구조로 재설계하기 위하여 물류센터의 위치와 운영전략을 평가하는 방법론을 제시하였다.

이밖에 물류공동화에 대한 국내 기초자료로서 교통개발연구원에서 물류비 절감을 위한 공로화물 공동수송체계의 방안을 제시하였으며(교통개발연구원, 1996), 대한상공회의소가 수행한 우리나라의 실태 및 사례조사 연구자료(대한상공회의소 1998a, 1998b, 1999)가 있고, 일본의 물류공동화 사례를 바탕으로 물류공동화 추진에 관한 연구(대한상공회의소, 1995)와 공동집배송 시스템을 중심으로 한 일본의 물류공동화 정책 및 사례연구(대한상공회의소, 1994)가 있다. 그러나 본 연구에서 제시하는 산업단지간 공동수송과 같은 연구는 아직까지 보고된 바가 없다.

4. 정수계획(Integer Programming) 모형

본 연구에서 다루는 혼적(Consolidation)이란 다양한 크기의 제품을 일정용량의 용기(트럭)에 담는다는 관점에서 Bin Packing 문제와 유사성이 있다. Bin Packing 문제란 상이한 용적을 갖는 다수의 품목을 일정한 용량을 갖는 용기(bin)에 담아 총 용기수를 최소화하는 문제이다 (Martello and Toth, 1990). 그러나 본 연구에서 다루는 혼적문제는 용기(트럭)의 용량이 다양하고 한 용기 내의 품목수(착지수)당 비용이 발생한다는 점과 착지수에 상한이 있다는 점 등에서 Bin Packing 문제와 구별된다. 동일한 출발지로부터 동일한 행선지로 가는 n 개의 화물을 적재용량 기준으로 m 가지 트럭종류에 혼적 수송하는 문제를 정수계획법 문제로 수식화하기 위하여 다음과 같은 기호로 모수를 표현한다.

- r_i : 주어진 특정구간에서 트럭종류 i 의 1회 운송비용 ($i = 1, 2, \dots, m$)
- c_i : 트럭종류 i 의 적재용량 ($i = 1, 2, \dots, m$)
- l_i : 트럭종류 i 의 가용댓수 ($i = 1, 2, \dots, m$)
- a_i : 트럭종류 i 의 추가착지당 비용 ($i = 1, 2, \dots, m$), $a_i < r_i$ for all i
- w_j : 화물 j 의 무게 ($j = 1, 2, \dots, n$)
- N : 트럭당 적재 가능한 화물의 최대수 (최대착지수)

결정변수로는 다음의 두 가지를 사용한다.

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

이상의 기호를 사용하여 총 수송비를 최소화하는 정수계획법 모형은 다음과 같다.

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

Subject to

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

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

$$\sum_{j=1}^n X_{ijk} w_j \leq 1.1 c_i, \text{ for } 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ijk} \leq N \cdot y_{ik}, \text{ for } 1 \leq i \leq m, 1 \leq k \leq l_i \quad (5)$$

목적함수는 기본 수송비용과 혼적에 따른 추가 착지비용의 합을 최소화하는 것이다. 화물이 q 개 실릴 경우 운송비는 $r_i + (q - 1) \cdot a_i$ 가 된다. 따라서 트럭종류 i 의 k 번째 차량에 화물

이 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 중량은 화물들의 총 중량과 같음을 나타내고, 식 (3)은 각 화물은 한 대의 트럭에만 반드시 적재되어야 함을 나타낸다. 식 (4)는 트럭종류 i 의 k 번째 차량에 실린 화물의 총합은 법규상 트럭종류 i 의 적재용량의 1.1배를 초과할 수 없음을 나타내고, 식 (5)는 트럭종류 i 의 k 번째 차량에 실린 화물의 개수는 최대착지수(N)를 초과할 수 없음을 나타낸다.

위 정수계획 모형은 본 연구에서 다루는 혼적문제의 최적해를 구할 수 있으나, 결정변수의 수는 $m \times l_i \times (n + 1)$ 개가 된다. 현실적인 문제크기로서 4개 차종과 차종별 50대 트럭, 그리고 총 50개의 화물에 대한 문제의 경우 변수의 총 수는 10,200개가 되어 이 모형의 최적해를 구하는 것은 시간적으로도 매우 오래 걸리기 때문에 다음 장에서는 본 문제에 대한 경험적 알고리즘을 제안한다.

5. 경험적 혼적 알고리즘

경험적 알고리즘의 기본 아이디어는 다음과 같다. 화물과 차량을 각각 큰 순서로 정렬한 후, 가장 큰 화물을 가장 큰 트럭에 배차하고, 다음 큰 화물을 이 트럭에 하나씩 차례로 추가하면서 트럭의 적재율이 최소 허용적재율을 넘어 허용범위 내에 들어가면 이를 배차확정하는 것이다. 적재율이 상한선을 초과하면 가장 최근에 적재된 화물을 제거하고 다음 큰 화물을 실어본다. 화물을 최대 적재화물수 만큼 실었는데도 적재율이 하한에 못 미치는 경우에는 이 화물군을 이보다 작은 각 트럭에 실어 보고, 적재율이 110% 이하인 트럭 중에서 적재율이 가장 높은 트럭을 선택하여 배차확정한다. 그러나 이보다 작은 각 트럭에 대하여 적재율이 110%를 초과하는 경우에는 현재 트럭이 최소 허용적재율을 못 미치더라도 현재 트럭에 적재해야 한다. 사용되는 수식기호는 다음과 같다.

- u : 차량의 적재율(utilization)로서, 차량의 적재용량 대비 총 적재중량으로 표시된다.
- u_0 : 배차확정을 허용하는 적재율 하한 (예 : 0.8)
- u^* : 법적으로 허용된 적재율 상한 (예 : 1.1)
- u_i : 트럭종류 i 의 적재율 ($i = 1, 2, \dots, m$)
- c : 현재 적재하고 있는 차량의 적재용량 (예 : 11톤)
- c_i : 내림차순으로 정렬된 트럭종류 i 의 적재용량 (톤) ($i = 1, 2, \dots, m$)
- v : 차량에 적재한 화물의 개수
- v^* : 차량당 최대 적재화물 수 (예 : 4개)
- w : 차량에 적재된 화물중량의 총합
- w_j : 화물 j 의 중량(톤) ($j = 1, 2, \dots, n$)
- T : 모든 화물의 인덱스 집합
- U : 배차되지 않은 화물의 집합

- q : 배차되지 않은 화물 중에서 무게가 제일 큰 화물의 인덱스
- A : 차량에 적재된 화물의 인덱스 집합
- S : 차량에 적재되었으나 적재율이 u^* 를 초과하여 임시로 제거된 화물의 인덱스 집합

경험적 알고리즘은 다음과 같다.

- Step 0 (Read input parameters)
 - Read $u_0, u^*, c_i, v^*, w_j, T, U = T, S = \emptyset$
- Step 1 (Initialize the current truck)
 - Set $i = 1, v = 0, w = 0, c = c_1, U = U + S, S = \emptyset, A = \emptyset$
- Step 2 (Loading)
 - $q = \arg \max \{w_j | j \in U\}, A = A + \{q\}, U = U - \{q\}, v = v + 1, w = w + w_q$
- Step 3 (Count the # loads)
 - if $v \leq v^*$ then goto Step 4.
 - otherwise $A = A - \{q\}, S = S + \{q\}, w = w - w_q, v = v - 1$: goto Step 6.
- Step 4 (Compute Utilization)
 - $u = w / c_i$
 - if $u < u_0$ then
 - if $U = \emptyset$ then goto Step 6.
 - otherwise goto Step 2.
 - if $u_0 \leq u \leq u^*$ then goto Step 5.
 - if $u^* < u$ then $A = A - \{q\}, S = S + \{q\}, w = w - w_q, v = v - 1$
 - if $U = \emptyset$ then goto Step 6.
 - otherwise goto Step 2.
- Step 5 (Assign Truck)
 - Write c_i, A, v, w, u
 - if ($U = \emptyset$ and $S = \emptyset$), then terminate.
 - otherwise goto Step 1.
- Step 6 (Check Smaller Trucks)
 - $u_p = w / c_p$, for $p = 1, \dots, m$
 - $p^* = \arg \max \{u_p \leq u^*\}$, for all p
 - $i = p^*$ goto Step 5.

6. 효과추정 및 분석

본 장에서는 앞 장에서 제시한 경험적 혼적 알고리즘을 사용할 때 산업단지 간 공동수송 모델이 수송비를 얼마나 절감할 수 있는지를 추정하기 위하여 화물 중량 데이터의 분포 및 최대 착지수(N), 최소 허용적재율(u_0) 등의 모수값을 변화시켜

표 1. 효과추정에 사용된 모수값

톤 수(c_i)	운송비(r_i)	추가착지당 비용(a_i)
11톤	32만원	4만원
8톤	28만원	3.5만원
5톤	24만원	3만원
2.5톤	21만원	2.5만원

가면서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 일별 운송대상 화물이 50개라고 하고, 화물의 중량데이터 분포는 Uniform 분포를 가정하였고, 그 구간이 (0.5톤, 10톤)인 경우와 (0.1톤, 5톤)의 경우를 각각 실험하였다. 최대착지수는 최대 8까지 고려하였으며, 최소 허용적재율(u_0)은 0.85부터 1.05까지 0.05간격으로 5개 수준을 검토하였다. 수송비 절감폭의 기준은 각 화물을 하나씩 개별수송 할 때의 총 비용과 비교하였으며, 이때 각 화물은 범규에 따라 트럭적재율이 110% 이내에서 적재율이 가장 높은 트럭종류를 사용하는 것으로 하였다. 모수의 값은 현재 운송업체에서 사용되고 있는 값을 <표 1>과 같이 사용하였다.

6.1 화물중량이 비교적 큰 경우

본 절에서는 각 화물의 중량이 (0.5톤, 10톤)구간의 Uniform 분포를 따르는 비교적 큰 경우에 대하여 50개의 화물중량 데이터를 갖는 데이터 집합 30개를 생성하여 N 과 u_0 의 각 값에 대하여 위의 경험적 알고리즘으로 풀어 수송비 절감폭의 평균치를 추정하였다. <그림 2>에서 보듯이 수송비 절감률은 대략 29~34% 정도로 나타났다. 최대착지수(N)가 1인 경우는 개별수송의 경우이므로 수송비 절감률은 0이다. N 이 2와 3에서 수송비 절감률이 크게 증가하며, 착지수를 그 이상으로 허용해도 수송비 절감률은 증가가 미미하다. 또한 <그림 2>에서 최소 허용적재율(u_0)을 상승시키면 수송비 절감률 그래프가 전체적으로 위로 움직이지만 증가율은 둔화된다. 그러나 최소

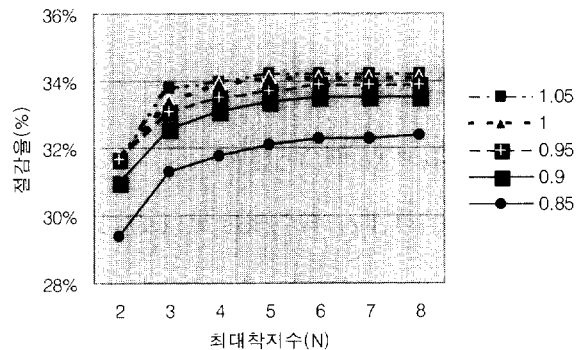


그림 2. 최대착지수와 최소 허용적재율 변화에 따른 수송비 절감률(화물중량이 비교적 큰 경우).

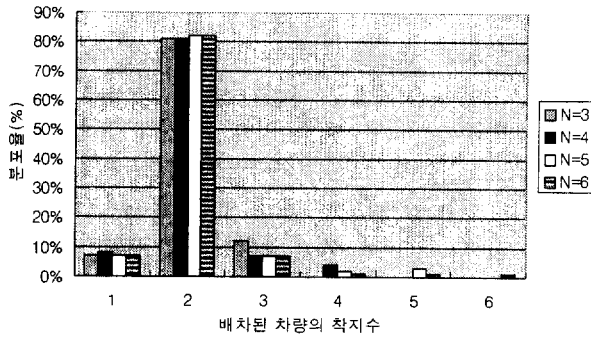


그림 3. 배차된 차량의 실제 적재화물수 분포(화물 중량이 비교적 큰 경우).

허용적재율을 1.05 이상으로 증가시키면 더 이상의 수송비 절감이 되지 않으며, 허용범위가 너무 좁아져 오히려 성능이 떨어지는 경우도 생긴다.

<그림 3>은 최대착지수가 3, 4, 5, 6으로 각각 주어진 경우에 대하여 최소 허용적재율 다섯 가지 경우에 대한 4×5×30문제 = 600문제에 대하여 그 배차해가 실제로 트럭당 몇 개의 화물을 적재했는지를 나타낸다. <그림 3>을 보면 최대착지수를 증가시켜도 실제로 각 차량의 화물수(착지수)는 N=2가 대부분임을 알 수 있다. 이는 화물수가 50개로 충분히 많기 때문에 11톤 트럭부터 시작해서 가장 큰 화물은 10톤 미만이고 두번째로 큰 화물을 적재하면 12.1톤을 초과하다가 12.1톤에 미달되는 순간 적재율이 허용범위에 들어가 N=2에서 배차되는 경우가 대부분임을 의미한다. 적재화물수가 대부분 2개라는 사실은 합적을 수행하는 실무적 관점에서 업무가 지나치게 복잡해지지 않아 매우 고무적이다.

수송비 절감률 이외에 차량의 소요대수와 적재율 등을 살펴 보기 위해 N=4, u₀=0.95 인 경우에 대하여 30개의 배차실험결과를 <표 2>에 요약하였다. 사용된 차량의 댓수를 보면 평균 총 26.4대중 80.7%인 21.3대가 11톤 트럭으로서 운송화물의 대부분이 대형트럭으로 운송됨을 보였다. 트럭 소요대수의 표준편차를 보면 8톤 트럭의 소요대수가 편차가 가장 크고, 5톤과 2.5톤 트럭은 소요대수 자체가 최대 2대로 편차가 매우 작다.

적재율을 보면 11톤 트럭이 평균적재율 106.4%로 가장 높았고 8톤과 5톤 트럭은 각각 89%, 87%의 적재율을 보이는 반

표 2. N=4, u₀=0.95 인 경우의 30회 배차 결과

차량크기	트럭 소요대수				적재율(%)			
	평균	표준편차	최소 트럭수	최대 트럭수	평균(%)	표준편차	최소적재율(%)	최대적재율(%)
11톤	21.3	1.8	17	24	106.4	1.0	104.1	108.3
8톤	2.9	2.5	0	9	89.0	10.6	72.5	108.8
5톤	1.2	0.4	0	2	87.0	16.2	62.0	108.0
2.5톤	1.0	0.0	0	1	43.3	26.4	20.0	108.0

면, 2.5톤 트럭은 43%의 아주 낮은 적재율을 보였다. 적재율의 표준편차를 보면 11톤 트럭은 1.0으로서 아주 작은 반면, 소형 차량으로 갈수록 적재율의 표준편차가 커졌다. 그러나 11톤 트럭의 소요대수가 지배적이기 때문에 가중평균 적재율은 101.2%로서 상당히 높게 나타났다.

6.2 화물중량이 비교적 작은 경우

본 절에서는 각 화물의 중량이 (0.1톤, 5톤)구간의 Uniform 분포를 따르는 비교적 작은 경우에 대하여 착지수 7수준 × 최소 허용적재율 5수준 × 각 30문제 = 1,050 문제를 위의 경험적 알고리즘으로 배차해를 구하고 수송비 절감률을 측정하였다. <그림 4>를 보면 수송비 절감률은 35%~55%로서 화물중량이 비교적 큰 경우보다 상당히 높은 수송비 절감률을 보이고 있다. 이는 물량이 5톤 미만의 소량이기 때문에 <그림 5>에서 보듯이 차량당 평균 적재화물 수가 3또는 4로서 전체적으로 증가했기 때문이다.

<그림 3>과 <그림 5>를 요약하여 최대착지수별 평균 적재화물수를 비교하면 <그림 6>에서 보듯이 화물중량이 비교적 큰 경우에는 최대착지수를 더 많이 허용해도 평균 적재화물수가 2개정도에서 거의 증가하지 않는 것으로 나타났다. 반면에 화물중량이 비교적 작은 경우에는 최대착지수를 3개소만 허용하는 경우에 평균 적재화물수가 거의 3개로 나타났고, 최대착지수를 증가함에 따라 평균 적재화물수도 증가하는 것으로

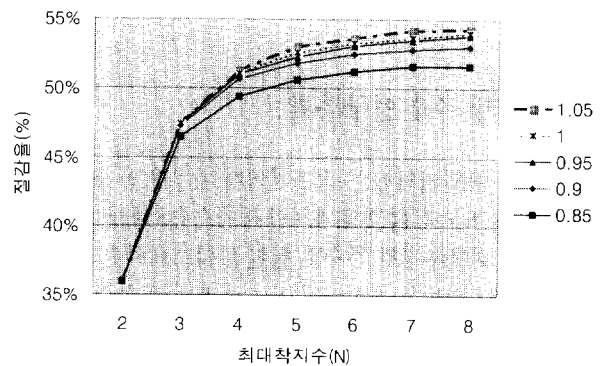


그림 4. 최대착지수와 최소 허용적재율 변화에 따른 수송비 절감률(화물중량이 비교적 작은 경우).

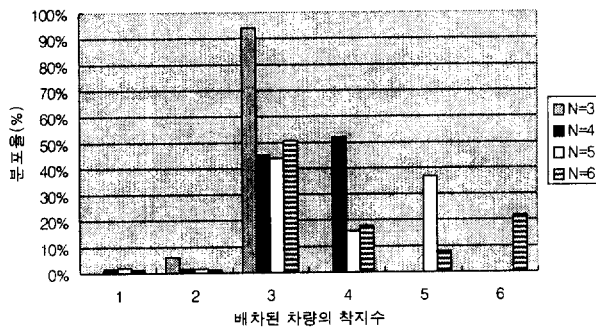


그림 5. 배차된 차량의 실제 적재화물수 분포 (화물중량이 비교적 작은 경우).

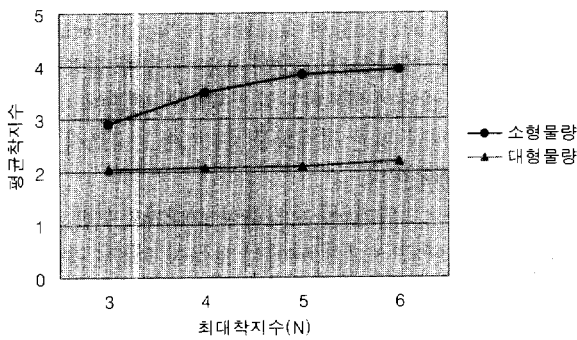


그림 6. 배차해에 나타난 평균 착지수 비교.

나타났다. 이는 소형화물이 많으면 트럭의 나머지 용량에 끼어들 가능성이 높기 때문이다.

7. 결론 및 추후 연구과제

본 연구는 동일지역 또는 공단지역에 위치한 공장들끼리 시행할 수 있는 비교적 쉽고 효과적인 공동수송모형을 제시하였고, 효율적인 화물혼적과 톤수별 일일 트럭소요대수 결정을 위한 경험적 알고리즘을 제시하였다. 시뮬레이션 결과 화물중량이 비교적 작은 경우 최대착지수(N)를 3으로 제한하는 경우 약 47%, 그리고 4개 착지까지 혼적을 허용한다면 약 50%의 수송비용이 절감되는 것으로 나타났다. 화물중량이 비교적 큰 경우에도 최대착지수를 4개소, 최소 허용 적재율을 95%로 지정하면 11톤 대형트럭의 적재율이 적재용량의 평균 106.4%에 달하여 본 연구에서 제시한 경험적 알고리즘이 매우 고효율의 배차계획을 생성함을 보였다.

우리나라 기업의 매출액 대비 물류비가 평균 12.9%이고 이중 수송비가 물류비의 약 67%를 차지함을 고려할 때, 순이익률이 매출액의 2%이며 육송만 사용하는 기업의 경우 이러한 공동수송을 통한 수송비 50% 절감액은 현재 순이익의 2.16배에 해당하는 커다란 비용절감 효과를 가져올 수 있다. 그러나 비교기준을 현재 기업들이 운송업체에 속칭 함바짐 대금으로 실제로 지급하는 금액과 비교하면 수송비 절감폭은 줄어들 것

이나 정확한 절감폭을 산출하려면 실지급 운송비 데이터의 수집이 필요하다. 이러한 배차계획이 하나의 공단에서만만이 아니고 매일 전국의 공단에서 동시에 작성된다면 트럭이 행선지 공단에 도착하여 모두 하차후 익일 출발시 그 트럭이 출발했던 공단으로 가는 화물들의 수송을 담당함으로써 회차시 공차율도 크게 줄일 수 있을 것이다. 본 연구에서는 공단 간의 공동운송을 다루었지만 행선지가 공단이 아닌 단일지점(예를 들어, 항만이나 대형 유통점 등)으로 공동수송하는 경우에도 본 모형은 적용될 수 있다.

추후 연구로는 가볍지만 많은 부피를 차지하는 화물과 부피는 적지만 무거운 화물들이 혼적되는 경우를 위하여 부피와 무게를 동시에 고려하는 혼적 알고리즘을 개발할 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 트럭 톤수별로 가용차량이 무한대로 가정했지만, 추후연구에서는 가용차량이 톤수별로 유한 개일 경우 다양한 가용대수별로 수송비 절감이 얼마나 민감한지를 분석할 필요가 있다. 또한 화물 중 일부는 익일출하가 아니고 익일 또는 익익일 출하인 경우, 즉 출하에 하루의 시간적 여유가 있는 경우에 이러한 화물의 구성비에 따라 수송비가 얼마나 추가적으로 절감되는지도 연구해 볼만하다고 생각된다.

참고문헌

The Korea Transport Institute (1996), Consolidated trucking transportation system.
 The Korea Transport Institute (2000), Vision and strategy for national logistics policy in 21st century.
 The Korea Chamber of Commerce (1994), Cooperated logistics policy and cases of Japan: Focusing on the distribution system.
 The Korea Chamber of Commerce (1995), Manual of cooperated logistics.
 The Korea Chamber of Commerce (1998a), Cases of Business Consolidated Transportation.
 The Korea Chamber of Commerce (1998b), Survey on the status and demand of cooperated business logistics.
 The Korea Chamber of Commerce (1999), Survey on the current status of business logistics of Korea.
 Bodin, L. and Golden, B. (1981), Classification in Vehicle Routing and Scheduling, *Networks*, 179-214.
 Clark, G. and Wright, W. (1963), Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points, *Operations Research*, 11, 568-581.
 Cooper, M. (1983), Freight Consolidation and Warehouse Location Strategies in Physical Distribution System, *Journal of Business Logistics*, 4(2), 53-74.
 Jackson, G. C. (1985), A Survey of Freight Consolidation Practices, *Journal of Business Logistics*, 6(1), 13-34.
 Martello, S. and Toth, P. (1990), *Knapsack Problems: Algorithms and Computr Implementations*, John Wiley & Sons, Chichester, England.
 Min, H. (1996), Consolidation Terminal Location-Allocation and Consolidated Routing Problems, *Journal of Business Logistics*, 17(2), 235-263.

- 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, Alan J. (1992), Modeling and Evaluating Shipment Consolidation in A Logistics System, *Journal of Business Logistics*, **13**(2), 153-175.
- Sheffi, Y. (1986), Carrier/Shipper Interactions in the Transportation Market: An Analytic Framework, *Journal of Business Logistics*, **7**(1), 1-27.