

조선기자재 산업에서의 방문 순서를 고려한 차량 적재 모형

† 이종호* · 신재영**

*한국해양대학교 대학원, **한국해양대학교 물류시스템공학과 교수

Vehicle Loading Model Considering Routing Sequence in Shipbuilding Material

† Jong-Ho Lee* · Jae-Young Shin**

*Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

**Department of Logistics Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

요 약 : 컨테이너에 화물을 적재함에 있어서 고려해야할 점으로 컨테이너의 적재율을 들 수 있다. 단순히 제한된 공간에 보다 많은 양의 화물을 적재하여 비용을 낮추고자 하는 노력은 꾸준히 계속되어 왔다. 하지만 방문순서를 고려해야만 하는 화물의 경우는 다르다. 조선기자재와 같은 대형 화물들의 경우 방문순서를 고려하지 않았을 경우 하역작업에서 화물 재 조작 또는 하역 작업이 불가능한 상황이 발생할 수 있기 때문이다. 본 연구에서는 화물 적재 시 방문 순서를 고려하는 문제를 해결하고자 하며, 이에 방문 순서와 적재율을 동시에 고려한 컨테이너 혼재 모형과 그 해법을 제시하고자 한다.

핵심용어 : 컨테이너, 혼재, 적재율, 배송순서, 조선기자재

Abstract : When the freight is loaded into a container loading rate must be considered. There are many studies on loading more freights into limited space. But the problem, which is needed to consider the routing sequence is different. A large size of freights, such as shipbuilding materials, can be rehandled or cannot be possible to unload. In this paper I tried to find the solution for the problem consider routing sequence, whereupon I present the container loading model which consider the routing sequence and loading rate and its solution.

Key words : Container, Bin packing, Loading rate, Routing sequence, Shipbuilding material

1. 서 론

수·배송 비용의 최소화를 위해 차량을 운행함에 있어 수·배송 화물이 특정 차량의 경로에 근접하고, 차량에 그 화물을 적재할 능력이 있는 경우, 공차율을 줄이기 위해 한 차량 또는 한 용기에 여러 방문지로 가는 화물들의 혼재를 통해 차량의 적재율을 향상시켜 운송의 효율을 높인다. 혼재 문제, 빈 패킹 문제(Bin Packing Problem)는 오래전부터 관심의 대상이 되었고, 오랜 시간에 걸쳐 다루어지고 연구되어진 분야이다.

관련된 연구들을 살펴보면, 거의 모든 연구에 걸쳐서 다양한 종류의 화물을 다수의 용기에 적재할 경우, 적재율의 최대화를 통해 사용 용기의 수를 줄이고 이를 통해 용기 사용비용을 줄이는 형태의 연구들로 이루어져있다. 이(1999)는 혼합정수계획법을 사용하여, A산업의 H자동차 부품 수송 사례에 관해 연구 하였고, 정(1988)은 분지한계법을 사용하여 문제를 해결하였다.

문제 해결을 위해 휴리스틱을 사용한 경우가 대부분인데 그 예로, 금 등(1998)은 물품의 높이 방향의 상하 회전이 어려운 경우가 많으므로 높이 방향이 고정된 2차원 문제로 단순화

시켜 문제를 해결했다. 문(1991)과 변(1996)은 Han et al.(1980)과 Smith et al.(1980)의 알고리즘을 개선하는 알고리즘을 제안했다. Bischoff(2006)는 여유 공간을 여러 방향으로 분할하여 최대화 시키는 방법을 제시 했고, 황 등(1997)은 레이어 개념을 이용하여 하중을 고르게 분포시키고 이를 마이크로 컴퓨터용 프로그램으로 개발 하였다. Chien and Deng (2004)역시 그래픽으로 표현하는 프로그램을 개발 하였고 이를 위한 매트릭스 작성법을 제시 하였다. 이외에도 GA를 사용하여 문제를 해결한 연구로, Bortfeldt(2006), Gehring and Bortfeldt(1997)은 3차원 문제를 2차원문제로 단순화 시켜 GA를 사용해 문제를 해결하는 방법을 제시 하였다.

이상에서 살펴본 연구들은 거의 대부분이 다수의 화물을 다양한 용기들에 적재하는 빈 패킹 문제를 다루었다. 하지만 실제 상황에서는 방문지가 다수일 경우 운행 하는 차량의 방문 순서에 따라 적재화물들의 재 조작 작업이 발생하거나, 작업이 불가능해 지는 경우가 발생 할 수 있다. 특히 화물이 크거나 중량 화물의 경우 그러한 경우가 빈번히 발생할 수 있다. 조선기자재가 바로 그러한 경우이다. 조선 기자재는 일일 수송되는 화물의 양은 많지는 않으나, 중량 화

† 교신저자 : 이종호(일반회원), ma-pd@nate.com 051)410-4931
** 종신회원, shinjy@hhu.ac.kr 051)410-4335

물, 대형화물이 주를 이루고 있기 때문에 그 방문 순서를 미리 정하고 방문순서에 맞는 적재 계획을 세워야 한다. 따라서 본 연구에서는 조선 기자재 산업에 초점을 맞추어 방문 순서를 고려한 혼재 문제를 정의하고 이에 맞는 해법을 제시하고자 한다.

2. 문제 정의

혼재문제에서 목적함수로 생각해 볼 수 있는 것으로는 크게 2가지가 있다. 첫 번째로, 적재율의 최대화이다. 이 경우 적재율의 최대화가 목적함수이므로, 차량의 운행경로만을 고려하는 VRP문제적 관점에서는 비효율적인 경로가 설정될 수 있다.

두 번째는 방문경로의 최적화이다. 이 경우 적재율은 전자에 비해서 낮아질 수 있지만, 최적화된 운행 경로가 탐색될 수 있다.

본 연구에서는 첫 번째 목적함수인 적재율의 최적화를 우선적으로 고려하는 문제에 대하여 연구하였다. 이에 따라 문제 정의를 하면, 모든 화물은 직육면체 또는 정육면체이고 2방향(가로, 세로)으로 회전이 가능하며, 화물을 적재함에 있어 용기의 면에 수직 또는 평행하게 적재한다는 가정 하에, 기본적인 빈 패킹 문제가 가지는 제약조건들 즉, 모든 화물은 컨테이너 안에 적재되어야 하고, 화물이 다른 화물과 겹쳐져 적재되어서는 안 되는 기본 제약조건을 가진다고 정의할 수 있다.

그 외에 방문 순서를 고려해야 하기 때문에 발생하는 일일 차량 운행 시간 제약을 고려한다.

마지막으로, 부산조선기자재공업협동조합(2007)에서 검색된 조선기자재의 특징인 대부분의 화물이 대형화물이고, 일반적인 패턴이 없는 경우가 다수인 특징과 화물위에 화물을 적재할 수 없는 화물이 대부분이고, 일일 수송되는 기자재의 수가 그리 많지 않은 특징을 고려하였다.

3. 해법 연구

본 연구에서 제시하는 해법은 크게 3단계로 나누어진다.

차량 운행 경로 설정, 화물적재, 평가 및 운행경로 수정 단계로 나누어 진행한다. 첫 번째 차량 운행 경로 설정 단계에서는, 우선 일일 차량 운행시간을 고려하지 않고 전체 운행 경로를 작성한다. 작성된 운행 경로 중 일일 차량 운행 제약 시간을 적용한 구간의 방문지들을 선정하게 된다.

두 번째 단계인 화물 적재 단계에서는 위에서 선정된 방문지들의 화물을 방문 순서에 맞춰서 적재한다. 만약 모든 방문지의 화물들이 1대의 차량에 모두 적재된다면, 적재한 화물들의 방문지는 방문지 목록에서 삭제하고 남아있는 경로들로 다시 한번 해법을 수행하기를 반복한다. 하지만 선택된 방문지들의 화물이 한차에 적재되지 않는다면, 경로를 재수정하거나, 마지막 방문지를 삭제하여 적재를 다시 실시한다.

이상의 개념들을 순서도로 표현하면 Fig. 1과 같다.

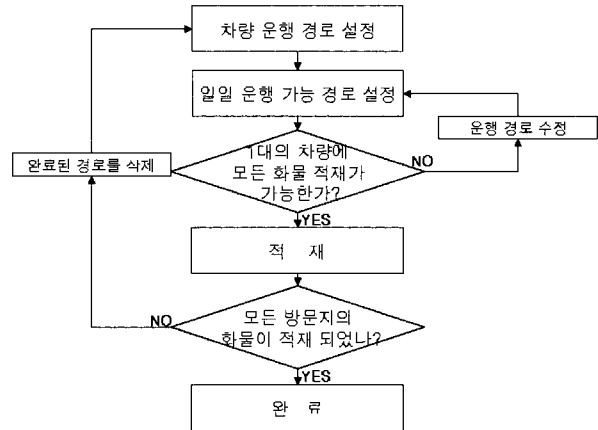


Fig. 1 Main processes of the algorithm

3.1 차량 운행 경로 설정

Insertion Algorithm을 이용하여 일일 차량 운행 시간 제약을 적용하지 않고 전체 운행 경로를 설정한다.

전체 운행 경로에서 경로를 하나씩 추가해 나가며 일일 운행 시간 제약을 만족하는 경로를 설정한다.

3.2 화물적재

화물을 적재할 때는 설정된 방문지 경로 순서대로 적재하는 것을 원칙으로 한다.

경로순서대로 적재 후 모든 경로의 화물들이 한대의 차량으로 처리가 가능한 경우, 처리된 방문지를 방문지 목록에서 삭제하고, 3.1의 차량 운행 경로 설정 단계로 이동한다.

만약 한대의 차량에 모두 적재가 불가능하다면, 운행시간 제약 조건을 고려하여, 현재경로의 방문지중 i 번째 방문지와 $i+1$ 번째 방문지를 선택하여 방문순서를 바꾸어 적재를 실행하며, 선택된 경로 내에 있는 모든 방문지에 걸쳐서 실행하며, 각 경우의 적재율을 계산한다. 적재율이 가장 높은 쪽으로 경로를 재수정하고, 이때 선택된 방문지들을 방문지 목록에서 삭제한다. 그리고 3.1의 차량 운행 경로 설정 단계로 이동한다.

실제로 화물을 적재하는 방법은 아래와 같다.

D_i : i 번째 방문지

$B_{i,j}$: i 번째 방문지로 배송되어야 하는 j 번째 화물

Y_k : y 축 여유공간

step 1. 화물의 가장 큰 변의 길이가 긴 순서대로 정렬

step 2. $i = 0, j = 0$

step 3. $B_{i,j}$ 를 적재 가능한 Y_k 중 가장 비슷한 길이의 Y_k 에 적재. 크기가 맞지 않다면 Step 5로 이동

step 4. 적재가 되었다면 $Y_{k+1} = Y_k - B_{i,j}$ 의 y 축 길이, $Y_k = B_{i,j}$ 의 y 축 길이로 설정, $j = j+1$

Fig. 2 참조

- step 5. 모든 Y_k 에 대해 적재가 불가능하다면, 가장 작은 Y_k 를 인접한 Y_{k+1} , Y_{k-1} 중 작은 쪽과 공간을 합침.
 합칠 Y_k 가 없다면 화물을 회전 후 step 3으로 이동
 Fig. 3 참조
 step 6. 모든 화물이 적재 되었다면 종료, 그렇지 않으면 step 3으로 이동

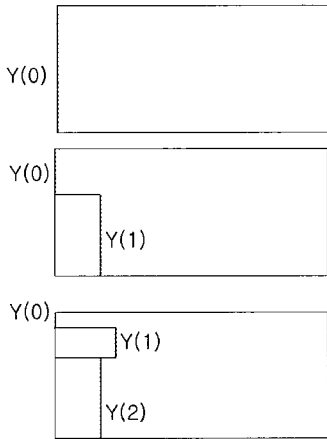


Fig. 2 Allocate freight to spaces

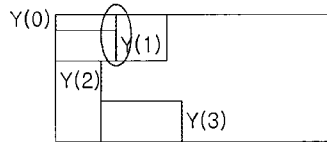


Fig. 3 Add space Y_0 and Y_1

3.3 운행경로 수정

만약에 선택된 방문지로 가는 화물들이 한대의 차량에 적재가 되지 않는다면 운행경로를 수정하며 그 절차는 다음과 같다.

D_i : i번째 방문지

M : 차량의 적재율

- step 1. 한대의 차량에 적재될 수 있는 최대한 많은 방문지 +1 만큼의 i set 설정
 step 2. D_i 와 D_{i+1} 의 방문순서를 바꾸어가며 적재 실시, 적재율 M을 계산, 전체 경로중 마지막 방문지를 포함한 경로를 추가 M계산.
 step 3. 가장 큰 M값을 갖는 방문순서를 결정, 방문순서 수정
 step 4. 적재된 방문지를 방문지 목록에서 삭제

4. 해법 실행

위에서 제시한 해법대로 문제를 실행해 보면 아래와 같다.
 우선 차량의 크기는 40ft 컨테이너라고 가정한다. 따라서 차량의 가로 길이는 약 12000mm, 세로길이는 약 2300mm 이며, 각 방문지의 위치가 Table 1과 같고 배송 센터는 중앙에 위치

하고 있으며, 차량의 이동 시간은 이동거리에 비례한다고 가정하고, 일일 운행 거리는 300으로 했을 때, Fig. 4와 같은 전체 운행 경로가 결정되며, 이때 선택되는 구간은 Depot으로부터 4에 이르는 구간이다.

Table 1 Basic informations of demands

방문지 번호	X좌표	Y좌표
0	130	6
1	145	49
2	178	22
3	87	139
4	139	133
5	182	97
6	103	151
7	191	74
8	120	155
9	35	69
10	50	20
11	18	135
12	100	46
13	54	46
14	25	97

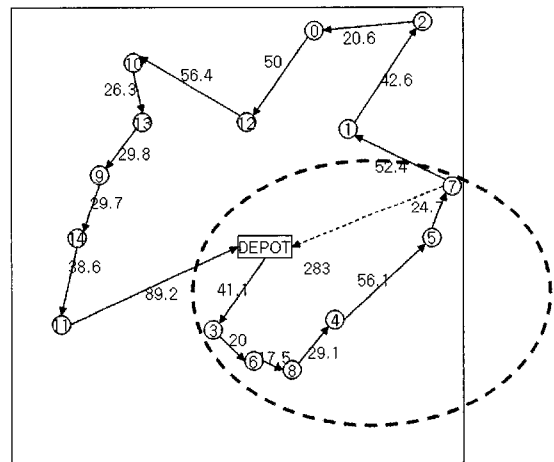


Fig. 4 The whole routing path

적재를 위해 화물들을 가장 긴 길이 순서로 정렬한다.

Table 2 Informations of freights

방문지	화물번호	세로길이(mm)	가로길이(mm)
3	0	1500	2200
	1	1000	1900
6	0	1900	6000
	1	900	2000
8	0	500	7500
	1	500	3900
	2	1000	2300
4	0	1400	3600

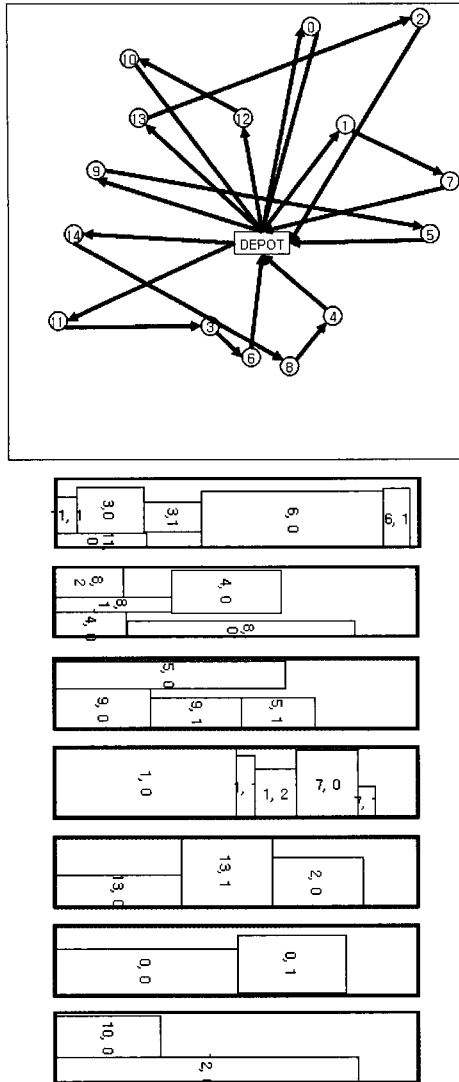


Fig. 9 Final routing path and loading sequence

5. 해법 적용

위에서 제시한 해법을 현실문제에 가까운 문제사이즈와 상황에 적용시켜 분석을 실시했다.

화물을 운송하는 차량 적재함의 크기는 현재 최대 차량의 크기인(2300mm, 12000mm)로 고정하였으며, 화물의 종류는 막대기형, 직사각형, 정사각형, 대형 화물의 4종류로 각 종류의 크기는 Table 3과 같으며, 각 화물의 비율은 전체 수량의 15%, 55%, 25%, 5%로 정해진 크기 범위에서 랜덤하게 발생시켰다. 전체 화물의 수는 실제 일일 운송되는 기자재의 수가 그리 많지 않으므로, 60개 이하로 설정 하였다.

Table 3 Types of Freight

종류 (비율)	세로길이(mm)	가로길이(mm)
막대기형 (15%)	460 ~ 920	4100 ~ 9600
직사각형 (55%)	1150 ~ 2070	1800 ~ 4500
정사각형 (25%)	1610 ~ 2300	세로길이와 동일
대형 (5%)	1840 ~ 2300	6000 ~ 9600

총 4가지의 경우에 대해 실험을 실시했으며, 각 경우별 평균적재량, 최대적재량, 최소적재량, 소요 차량 수, 해법의 수행 시간을 측정하였다.

Table 4 Experimental cases

Case	방문지수	화물수
1	30	60
2	60	60
3	50	60
4	50	50

Table 5 Experimental results

Case	소요차량 (대)	평균적재율 (%)	최소적재율 (%)	최대적재율 (%)
1	20	51.14	31.23	79.19
2	16	67.13	48.83	95.59
3	19	59.74	28.75	81.71
4	15	69.57	49.29	90.02

실험 결과 모든 경우에서 해법의 실행 시간이 3초미만으로 즉시 결과를 확인할 수 있는 수준의 짧은 계산 시간을 보였으며, 방문지당 화물의 수가 적을수록 높은 적재율을 보였다.

화물의 크기가 대형이고, 그 모양이 균일치 않은 경우임을 고려하면 이는 당연한 결과이다.

실제 조선기자재 업체의 대부분이 한번에 하나의 화물을 수송하므로 방문지당 화물의 수가 1인 경우의 적재율을 살펴보면 67%이상의 높은 적재율을 보였으며, 최대적재율 역시 90%이상에 달하는 좋은 결과를 보였다.

6. 결 론

혼합 적재 문제는 1차원, 2차원, 3차원 적재 문제로 나눌 수 있으며, 보통의 포장된 제품을 처리 하는 경우 3차원 적재문제에 해당한다. 하지만 조선 기자재 같은 경우 한 화물 위에 다른 화물을 쌓는 형식으로 적재 할 수 있는 경우가 거의 발생하지 않고, 화물의 대형화로 인해, 일반적인 박스 형태의 포장 제품과는 다른 관점에서 접근을 해야 한다.

크기가 중, 소형인 포장제품 같은 경우 하역작업 시 재처리 작업을 인정하고, 그 시간을 고려하여 적재율을 향상시키는 방향으로 적재하며, 화물을 어느 정도 방문 순서에 상관없이 적재가 가능하겠지만, 조선 기자재 같은 대형 화물의 경우 특정 화물 하역 작업 시 특정한 작업 기기가 필요 할 수 있고, 이로 인해 작업이 불가능해 질 수 있다.

따라서 위에서 제시한 방법의 방문순서를 어느 정도 고려 하면서 화물의 적재율을 향상시키는 방법의 해법이 필요하며, 위에서 제시한 해법을 통해 현실에 가까운 배송 및 적재 계획을 수립 할 수 있었다.

하지만 실제 조선기자재의 경우 모양이 불특정하고 직육면

체나 정육면체가 아닌 입체적 모양을 하고 있는 경우가 대부분인 점을 감안할 때, 앞으로 지속적인 연구를 통해 보다 다양한 모양의 화물을 처리할 수 있는 해법의 제시가 요구되며, 박스 형태의 포장화물의 경우, 재작업이 가능한 경우의 배송순서를 고려한 혼재 문제에 대한 연구가 필요 할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

- [1] 정규련(1988), “적재용량이 다양한 차량경로문제”, 숭실대학교 대학원 석사학위논문
- [2] 문성준(1991), “동일 제품의 컨테이너 적재 문제에 대한 발견적 알고리즘”, 한양대학교 대학원 석사학위논문
- [3] 권아름(1995), “적재효율과 안전성을 고려한 컨테이너 적재 알고리즘 설계”, 경남대학교 교육대학원 석사학위논문
- [4] 변성노(1996), “최적 차량적재를 위한 유니트 로딩 시스템에 관한 연구”, 한양대학교 산업대학원 석사학위논문
- [5] 황학, 이관재, 선지웅(1997), “3차원 물품 적재에 관한 마이크로 컴퓨터용 프로그램 개발”, 대한산업공학회, Vol. 23, No. 1, pp.55-76
- [6] 김홍배, 노재정, 강주선(1998), “셋트 제품의 컨테이너 적재 알고리즘 개발에 관한 연구”, 경성대학교 논문집, 제 19권, 1호
- [7] 이영덕(1999), “수송시스템의 화물적재 효율향상에 관한 연구”, 울산대학교 경영학 연구논문집, 제6권, 1호, pp.15-23
- [8] 윤항목, 황홍석, 김형보(2005), “컨테이너 운송체계 개선을 위한 화물수거-배송계획 시스템 개발”, 한국항해항만학회지, 제29권3호, pp.221-226
- [9] 배민주, 최세경, 김환성(2003), “컨테이너 3차원 적재문제”, 한국항해항만학회 03 춘계 공동학술대회논문집, pp.242-248
- [10] 배민주, 최세경, 김환성(2004), “우선순위를 고려한 컨테이너 3차원 적재문제”, 한국항해항만학회지, 제28권6호, pp.531-539
- [11] 부산조선기자재공업협동조합(2007), 조합회원사 생산제품, <http://www.bmea.or.kr>
- [12] Bischoff, E. E. (2006), “Three-Dimensional Packing of Items with Limited Load Bearing Strength”, European Journal of Operational Research, Vol. 168, pp.952-966
- [13] Bortfeldt, A.(2006), “A Genetic Algorithm for the Two-Dimensional Strip Packing”, European Journal of Operational Research, Vol. 172, pp. 814-837
- [14] Chien, C. F. and Deng, J. F.(2004), “A Container Packing Support System for Determining and Visualizing Container Packing Patterns”, Decision Support Systems, 37, 23-34
- [15] Gehring, H. and Bortfeldt, A.(1997), “A Genetic Algorithm for Solving the Container Loading Problem, International Transactions in Operational Research”, Vol. 4, No. 5/6

원고접수일 : 2007년 5월 8일
 원고채택일 : 2007년 10월 31일