울산대학교 경영학연구논문집 제6권 1호 pp 15~23, 울산대학교.
Journal of Management Vol. 6, No 1, pp 15~23, 1999
University of Ulsan.

수송시스템의 화물적재 효율향상에 관한 연구*

이영덕
경영학부

<요 약>

산업현장의 효율성향상문제는 점차 주요한 과제가 되고 있다 산업부분의 여러분야 중에서도 물류부분은 고비용, 저효율 구조가 심각하며, 보다 관심을 기울여 이를 개선하여야 한다. 본 논문에서는 물류부분의 화물적재 효율성 향상 문제를 다루었다. 화물적재 문제인 빈패킹문제의 기본모형과 일반모형에 대하여 다루었으며, 기존의 연구모형으로 다룰 수 없는 사례에 관하여 연구하고, 이를 해결할 수 있는 새로운 수리계획모형을 혼합정수계획모형으로 제시하였다.

A study for the efficiency of loading system

Young-Deok Lee
Department of Management

<Abstract>

In this paper, we introduce the basic model and a general model of the bin-packing problem. And, we introduce a special case of the bin-packing problem. A new mixed integer programming model is studied, and an application case of real world is introduced.

* 이 논문은 울산대학교 1998년도 대학연구비조성에 의한 것임

1. 서 론

산업의 규모가 더욱 커지고, 복잡해짐에 따라 산업시스템의 효율성 향상문제는 더욱 중요한 과제가 되고 있다 산업시스템에는 여러 가지 문제가 상존하고 있으며, 이들 모든 분야에서 효율성향상이 필요하고, 이들 모든 분야에 관한 연구가 이루어져야 한다 본 연구에서는 물류 분야의 효율성향상에 관한 과제를 다루고자 한다 일반적으로 우리 나라의 산업구조는 고비용, 저효율의 특성을 가지고 있다는 지적을 받아오고 있으며, 이러한 산업구조를 개선하여 경쟁력을 향상시키는 일은, 최근의 경제위기를 맞아 더욱 중요한 명제가 되었다 물류 부분은 고비용, 저효율의 구조로 특히 지적을 받아왔으며, 이러한 문제점을 개선하기 위한 여러 가지 노력이 기울여지고 있다 물류 부분을 구성하고 있는 현상은 여러 가지가 있으며, 이들 모든 분야의 개선노력이 있어야 한다. 물류 부문의 문제 중 수송시스템의 화물적재 효율을 향상시키는 것은 중요한 과제이다 화물적재효율향상이란, 수송수단에 가능한 많은 화물을 적재하거나, 주어진 화물을 가능한 최소한(최소비용)의 수송수단을 이용하여 수송하는 것이다 화물적재효율을 향상시키기 위해서는, 화물포장과 수송수단을 규격화하거나, 수송정보를 이용하여 공동적재를 하여 수송수단의 공실률을 줄이는 등의 여러 가지 방법이 있으나, 본 연구에서는 여러 가지의 화물을 수송수단에 실을 때, 여러 가지 조합의 적재방법 중, 효율을 최대화(비용을 최소화)할 수 있는 최적의 방법을 경영과학적 기법을 이용하여 찾는 것에 대하여 다루고자 한다 수송수단과 같은 용기에 화물과 같은 물건을 넣을 때, 사용용기의 수를 최소화 하는 문제는 빈패킹문제라 하여 경영과학분야에서 연구가 되고 있다[4, 5] 본 논문에서는 빈패킹문제에 대하여, 이문제의 의미와 기본모형과 일반모형을 살펴보고, 기존의 연구에서 다루어지지 않은 현장문제에 관한 새로운 모형을 개발하고, 이 모형을 적용할 수 있는 현장사례에 관하여 연구하기로 한다

2. 문제의 정의와 기본모형

화물을 수송하는 수송수단(수송용기)에는 트럭, 기차, 수송선, 수송비행기 그리고 콘테이너 등 여러 가지가 있는데, 이들 수송수단들은 화물적재량이나 부피 그리고 수송화물의 모양 등에 한계를 가지고 있다 이때 수송하려는 화물들이 비교적 소형의 포장 상태 일 때는 화물들을 수송수단의 적재중량이 될 때까지, 혹은 수송수단의 적재부피가 찰 때까지 적재하면 되며, 이때는 포장규격과 수송수단의 규격이 불일치할 때만 약간의 낭비가 발생하며, 별문제가 발생하지 않는다 그러나 화물들의 규모(무게나 부피)가 비교적 크고 분해하여 수송하는 것이 불가능한 경우에는, 이들 화물들을 적절히 조합하여, 최선의 방법을 찾는 것은 매우 복잡한 문제로 결코 쉽지가 않은 문제이다 이러한 상황은 산업현장에서 자주 발생하는 문제이나, 현장에서는 쉽게 해결하기 어려운 문제이기 때문에, 대부분 개선되지 못하고 있는 상황이다 경영과학에서는 이러한 문제의 기본적인 유형을 빈패킹문제(bin-packing problem)라고 하면서 연구하고 있는데, 현장의 문제들은 현장의 여러 가지 특성을 가지므로, 빈패킹문제의 기본형만으로 처리할 수는 없다. 그러나 빈패킹문제의 의미를 이해하고, 이를 현장에 맞도록 수정 연구하면 대부분의 현장의 문제를 해결할 수 있다 본 장에서는 빈패킹문제의 기본모형과 일반모형에 대하여 살펴보고, 다음장에서는 용기(수송수단)에 실어야 하는 물건의 양(중량이나 부피)이 1대 분이 넘어 이를 나누어서 실어야하는 경우에 대하여, 새로운

혼합정수계획모형을 제시하고, 이러한 새로운 모형을 적용할 수 있는 산업현장의 사례를 소개하기로 한다

2.1 빈패킹문제의 기본모형

중량이나 부피 등이 서로 다른 물품(화물)들이 여러 개 있고, 이들을 담을 수 있는 용기(bin)들이 있는데, 이들 용기들은 중량이나 부피 등에 대하여 일정한 능력(capacity)을 갖고 있다 이러한 상황에서는 물품들을 용기에 싣는 방법의 수는 기하급수적인 숫자로 매우 많은데, 우리는 이들 방법 중 효율을 최대화할 수 있는 방법, 즉, 최소한 갯수의 용기를 사용하여 물품들을 담는 방법을 찾고자 한다 이와 같이 최소갯수의 용기를 사용하여 물품들을 담는 방법을 찾는 문제를 빈패킹 문제(bin-packing problem)라 하며, 이는 수송분야에서 매우 유용하게 적용되는 문제이다. 빈패킹문제는 아래와 같은 수리적모형으로 모형화 된다.

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in I} y_i \qquad (1)$$

$$\text{s t} \quad \sum_{j \in J} t_j x_{ij} \le w y_i, \quad \forall\, i \in I \qquad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall\, j \in J \qquad (3)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall\, i \in I,\ j \in J$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall\, i \in I$$

여기에서

I 容器들의 집합

J . 물건들의 집합

y_i . 용기 i 를 사용하면 1, 아니면 0

x_{ij} 용기 i 에 물건 j를 넣으면 1, 아니면 0

t_j 물건 j 의 容器능력(capacity) 소모량

w 용기의 능력(capacity)

위 모형의 목적함수식(1)에서는, 변수 y_i가 용기 사용여부에 따라 0이나 1의 값을 가지므로, 사용용기 수를 최소화하라는 것을 의미하고, 제약식(2)에서는, 사용되는 용기에 실리는 물건의 용기의 능력소모량의 합은 용기능력을 초과할 수 없음을 나타내며, 제약식(3)은 물건들은 어느 용기에든 반드시 한곳에는 실려야 함을 나타낸다

위와 같은 모형이 빈패킹문제의 기본모형이며, 고려하여야 할 상황에 따라 여러 가지 모형들이 나타난다.

2.2 빈패킹문제의 일반모형

빈패킹문제의 기본모형에서는 용기의 종류가 같은 경우를 다루었으므로, 용기의 사용비용이나 용기의 능력은 같았다 그러나 용기(bin)의 종류가 다르면, 이에 따라 용기의 사용비용과 용기능력(capacity)이 다르게 된다. 이런 상황에서는 사용용기수를 최소화하기 보다는 용기사용비용을 최소화하는 방법을 찾아야 하는데, 이와 같은 경우를 빈패킹문제의 일반모형이라 하며, 수리적모형은 다음과 같다.

$$\text{Min} \quad \sum_{i\in I} c_i y_i \qquad (4)$$

$$\text{s t} \quad \sum_{j\in J} t_j x_{ij} \le w_i y_i, \quad \forall \ i\in I \qquad (5)$$

$$\sum_{i\in I} x_{ij} = 1, \quad \forall \ j\in J$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall \ i\in I, \ j\in J$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall \ i\in I$$

여기에서

I . 容器들의 집합

J 물건들의 집합

c_i · 용기 i의 사용비용

y_i· 용기 i 를 사용하면 1, 아니면 0

x_{ij} : 용기 i 에 물건 j 를 넣으면 1, 아니면 0

t_j 물건 j 의 容器능력(capacity) 소모량

w_i · 용기 i의 능력(capacity)

위 모형의 목적함수식(4) 에서, 용기들의 종류가 다르므로 이들 용기사용비용이 c_i로 다르며, 이들 사용비용의 합을 최소화한다. 제약식(5) 에서도 용기능력들은 w_i로 다르게 나타난다 수리적모형의 다른 부분의 의미는 기본모형과 같다

3. 화물을 분리 적재해야 하는 문제

빈패킹문제의 기본모형과 일반모형에서 다룬 현상과 같은 특성을 지닌 현장문제들은, 위의 모형들을 이용하여 해결할 수 있다. 그러나, 대부분의 현실문제들은 제각기 다른 특성을 가지고 있기 때문에 기존모형들을 적용하여 해결할 수 없다 따라서 현장의 특성이 다를 때는 이 특성을 반영하는 새로운 모형을 개발하거나 현장에 알맞게 모형을 변형시켜야 하는데, 본 장에서는 화물의 양이 많기 때문에 1개의 용기(수송수단)에 실을 수 없는 경우를 다루어, 이에 알맞는 새로운 혼합정수계획모형을 개발하고, 이에 적용될 수 있는 사례를 소개한다.

3.1 문제의 상황과 혼합정수계획모형

빈패킹문제는 순수 0-1정수계획모형으로 모형화 된다 그러나 화물들이 여러 종류 있는데, 이중 일부의 화물들이 양이 많기 때문에 1대의 수송수단에 다 실을 수 없어, 이들을 부득이 여러 대의 수송수단에 나누어 싣되 나누는 수를(같은 화물을 싣는 수송수단의 수) 제한하고자 하며, 나머지 화물들은 1대분 이하이므로 같은 수송수단을 이용하여야 하는 경우가 있다. 이러한 상황에서는 1대분량 이상이 되는 화물들은 나누어 실어야 하고,이들을 어떻게 나누어 어느 수송수단에 실어야 하는 것도 결정하여야 하는데, 이러한 경우는 기존의 빈패킹문제에서는 다루지 않았다 따라서 여기에서 이러한 상황까지 고려한 새로운 모형을 개발하고자 하는데, 이 문제는 다음과 같이 정수변수와 실수변수가 섞여있는 혼합정수계획모형으로 나타낼 수 있다.

$$\text{Min} \quad \sum_{i \in I} y_i$$

$$\text{s.t} \quad \sum_{j \in J_1} t_j x_{ij} + \sum_{j \in J_2} z_{ij} \le w y_i, \quad \forall\, i \in I \qquad \cdots \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall\, j \in J_1 \qquad \cdots \quad (7)$$

$$\sum_{i \in I} z_{ij} = t_j, \quad \forall\, j \in J_2 \qquad \cdots \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \lceil t_j/w + 1 \rceil, \quad \forall\, j \in J_2 \qquad \cdots \quad (9)$$

$$z_{ij} \le w x_{ij}, \quad \forall\, i \in I,\ j \in J_2 \qquad (10)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall\, i \in I,\ j \in J$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall\, i \in I$$

$$z_{ij} \ge 0, \quad \forall\, i \in I,\ j \in J_2 \qquad \cdots \quad (11)$$

여기에서

I · 容器(수송수단)들의 집합

J_1 . 용기1개 이하로 실을 수 있는 화물들의 집합

J_2 · 용기1개 이상으로 실어야 하는 화물들의 집합

y_i: 용기 i 를 사용하면 1, 아니면 0

x_{ij} : 용기 i 에 화물 j 를 넣으면 1, 아니면 0

z_{ij} 용기 i 에 실은 화물 j 의 양

w 용기의 능력(capacity)

t_j . 물건 j 의 양

$\lceil t_j \rceil$ t_j 를 넘지 않는 최대정수

이 문제에서는 사용 가능한 용기(수송수단)의 집합이 있고, 실어야하는 화물들의 집합이 있는데, 이 화물들은 1대에 다 실을 수 있는 양을 가진 화물들의 집합 J_1과 화물의 양이 1대분 이상이므로 이들을 최소한 적은 수의 수송수단에 나누어 실어야 하는 화물들의 집합 J_2가 있다 여기에서는 J_1 에 속한 화물들은 어느 수송수단에 실을 것 인가만 결정하면 되지만, J_2에 속한 화물들은 어느 수송수단에 얼마큼씩 을 나누어 실을 것인가를 동시에 결정하여야 한다 목적함수식은 사용하는 용기(수송수단의) 수를 최소화하는 것이며, 이는 수송수단이 같은 종류이어서 사용비용이 같은 경우이고, 종류가 다를 때는 빈패킹문제의 일반모형의 목적함수와 같이 바꾸면 된다 제약식 (6)은 수송수단 i 에는 이 수송수단의 적재능력이내에서 실어야함을 나타낸다 이 제약식의 좌변에서는 화물들의 적재량은 화물들의 집합 J_1, J_2 에 따라 다르게 표시되는데 J_1에 속한 화물들은 $t_j x_{ij}$ 의 형태로 적재량이 표시되며 J_2 에 속한 화물들은 z_{ij} 로 적재량이 표시된다 물론 z_{ij}의 값이 수송수단의 적재능력 w를 초과할 수는 없는데, 이는 제약식 (10)에서 나타내고 있다 제약식(7)은 빈패킹 문제에서의 의미와 같고, 제약식 (8)은 집합 J_2에 속한 화물들은 나누어 싣되, 그 합은 그 화물의 전체량 t_j가 되어야 함을 나타낸다 제약식(9)에서 우변은 J_2에 속한 화물을 나누어 싣는 수송수단의 수를 나타내는데 t_j/w는 화물이 수송수단의 적재능력으로 환산하여 몇 대 분인가를 나타내며 $\lceil t_j/w + 1 \rceil$는 (t_j/w + 1)의 정수 값을 나타낸다 예로서 t_j/w 값이 3.5값이 나온다면 이때는 최소한의 분산 대 수인 4대에 나누어 실어야 하는 것을 나

타낸다. 그리고 다른 사정으로 분산차량수가 달라지면, 이때는 주어진 값으로 따로 나타내면 된다. 제약식(10)은 수송수단 i를 이용하여 화물을 싣기로 하면(x_{ij} = 1일 때) w값 이내에서 화물 적재량 z_{ij}의 값을 정해야 하고, x_{ij} =0이 되면 자동적으로 z_{ij}=0이 됨을 나타낸다. 식(11)에서는 변수 z_{ij}는 0-1정수변수가 아닌, 양의 실수 값을 갖는 변수임을 나타낸다

3.2 문제의 사례

위의 모형은 산업현장의 여러 곳에서 적용할 수 있는데, 여기서 그중 한가지 사례를 제시하기로 한다. A산업은 H자동차의 협력업체인 자동차부품업체로 아산공장에 부품을 공급하고 있다. 부품들은 재고문제 때문에 1일치씩을 매일 배달하는데, 이들 부품들은 소규모의 박스로 포장되어 수송된다 소규모로 포장이 되는 부품들은 종류가 다른 부품을 섞어 실을 수 있어서, 이러한 상황에서는 운송차량에 가능한 최대량을 자례차례 실으면 별문제가 되지 않는다. 그러나 A산업에서 수송비를 줄이기 위해, 수송차량에 최대량을 싣기 위해, 부품들을 분산시켜 섞어 실은 결과 배달사고가 발생하였다. 즉 한 종류의 부품을 나누어 자량 등에 수송시킨 결과, 아산공장의 현장에서 실수로 나누어 실은 모두를 인수하지 못하고, 일부는 다른 부품들과 섞여 다른 장소에 하치 되었다. 이런 상황 때문에 아산공장에서는 모자라는(다른 장소에 하치된) 부품들 때문에 조업중단의 상황에 이르렀다 이러한 사고 후에 정책이 바뀌어 수송비용을 줄이기 위해, 부품을 섞어 실는 방법은 폐기되고 같은 부품은 같은 차량에 수송하는 것을 원칙으로 한다.(물론 부품이 한치 분 이상이면 나누어 실어야 한다.) 따라서 이러한 상황에서는 부품들이 소규모로 포장이 되더라도 같은 종류의 포장박스를 나누어 실을 수 없기 때문에 빈패킹문제의 특성을 가지게된다

A산업에서 수송하여야할 부품의 LIST 및 관련 자료는 다음과 같다.

NO.	품 명	1일소요량 (EA)	box당 적입량(EA)	트럭당 box수	1일소요 차량 수
1	WHL COVER-GL	700	84	40	0.21
2	WHL COVER-GLS	1050	48	40	0 55
3	CONSOLE	1100	15	24	3 06
4	BACK PNL MLD'G	1100	8	347	0.4
5	FRT T/SIG LAMP	2200	10	600	0.37
6	RR COMBI LAMO	2200	6	310	1.18
6번 이후의 부품은 생략					

위의 상황에서 1일 소요량은 생산계획에 따라 달라지게 되며, 부품은 6개만 예시되었으나, 위의 모형특성을 가지는 상황은 모두 나타내고 있으므로, 일부부품을 생략하여도 위

모형의 사례를 설명하는데 문제가 되지 않는다. 여기서는 같은 부품은 같은 수송수단(차량)을 이용해야 한다는 점에서 빈패킹문제의 기본모형과 같으나, 3, 6번 부품에서는 부품의 양이 한차 분을 초과한다는 점에서 기본모형과는 다르다 이러한 상황에서 1차로 생각할 수 있는 방법은, 일단 3번 부품은 3대 분은 정해진 3대에 싣고 나머지 0 06대 분만 있는 것으로 하고 6번 부품도 마찬가지로 1대 분은 일단 1대에 싣고 나머지 0.18대 분만 고려하는 것이다 이런 편법을 쓰면 3번, 6번 부품을 일단 4대에 미리 지정한 상황에서의 빈패킹 문제의 기본모형이 된다 그러나 이 방법은 최선의 대안을 찾는 것이 될 수 없다. 따라서 이 사례는 본 논문에서 제시된 새로운 모형을 통하여, 최적의 대안을 찾아야 한다

이 사례에서 수송수단 1대에 실어야 하는 부품들의 집합 J_1 는 {1, 2, 4, 5} 가 되고, 1대 이상에 실어야되는 부품의 집합 J_2 는 {2, 6} 이 된다 그리고 이 사례에서는 부품들의 양이 트럭 적재량으로 환산되어, 0 21대분, 0.55대분 등으로 나타내지므로, 위 모형의 제약식 (6)은

$$\sum_{j \in J_1} t_j/w \ x_{ij} + \sum_{j \in J_2} z_{ij}/w \le y_i , \quad \forall j \qquad (6)'$$ 로

바꾸어 나타내게 된다 화물량이 많아 나누어 실어야 하는 부품들은 나누어 싣는 차량수를 정해야하는데, 여기에서는 분산적재된 차량 수를 줄어야 하므로 나누어 싣는 차량수는 최소화 하고자한다. 부품 3은 3 06대 분이므로 이를 실을 수 있는 최소차량은 4대가 되는데, 식(9)에서 $\lceil t_j/w + 1 \rceil = \lceil 3.06 + 1 \rceil = 4$ 가 되어, 4대에 나누어 실어야함을 나타낸다 부품6은 마찬가지로 $\lceil 2.18 + 1 \rceil = 3$이 되어 2 18대 분의 부품을 3대의 차량에 나누어 실어야함을 나타낸다

이상과 같이 현장에서 발생하는 화물적재문제를, 모형에 적용하여 문제를 풀면 수송차량수를 최소화하는(차량 사용효율을 최대화하는) 방법을 찾아내, 이를 적용할 수 있다

3.3 모형의 풀이

이 문제는 O(mn) (m 이용 가능한 수송수단의 수, n. 부품의 종류) 개의 0-1정수변수와, 실수변수로 나타내어지는 비교적 빨리 풀 수 있는 형태로, LINDO와 같은 일반 정수계획 모형 패키지를 이용하여 손쉽게 풀 수 있으며, 이 과정은 쉬운 일이므로 여기서는 생략하기로 한다

4. 결 론

산업시스템에는 개선해야 할 부분이 많이 존재하고 있으며, 물류부분도 고비용 저효율 구조를 개선하여야 한다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서는 여러 각도에서 개선점을 찾아야 하는데 경영과학기법의 사용이 한 방법이 될 수 있다. 물류부분의 문제 중 하나인 수송수단(차량, 콘테이너 등)에의 화물적재 효율문제는 빈패킹문제라고 불려지며 연구가 진행되어 왔다. 그러나 산업현장의 문제들은 상황과 특성들이 다르기 때문에 기존 모형들로

모두 적용하기는 어렵고, 특성들이 많이 다를 때는 그 특성을 고려한 모형을 새로 만들어 문제를 분석하여야 한다. 본 연구에서는 화물의 양이 많아 1대 이상의 수송수단을 이용하여야 하는데, 가능한 최소 댓수의 수송수단에 분산하여야 하는 경우가 섞인 빈패킹문제의 유형을 다루었으며, 새로운 수리적모형을 개발하였다. 이 문제는 현장에서 발생한 상황으로, 이에 관한 사례를 다루어, 이런 특성을 지닌 현장에 모두 적용시킬 수 있게 하였다. 그리고 현장문제를 수리모형화하여 분석을 하고, 현장의 사례를 예시함으로, 이 문제와는 다른 상황에도 새로운 연구를 통하여 경영과학적 분석으로 효율성을 향상시킬 수 있다는 가능성을 여는 것은 매우 의미 있는 일이라 할 수 있다

<참고문헌>

1 Bellman, R., "Some Application of the Theory of Dynamic Programming A Review," Operations Research, Vol. 2, pp. 723-724, (1957).

2. Benard, T H., George, D. and Jack, S. C., " Multiple Type Two-Dimensional Bin Packing Problems: Applications and Algorithms," Annals of Operations Research, Vol. 50, pp. 239-261, (1994)

3. Dowsland, K A. and Dowsland, W. B., "Bin Packing Problem," European Journal of Operations Research, Vol 56, pp. 2-14, (1992)

4. Eilon, S. and Christofides, "The Loading problem," Management Science, Vol. 17, pp. 259-268, (1971).

5. Ingargiola, G and Korsh, J., "An Algorithm for the Solution of 0-1 Loading Problems," Operations Research, Vol 23, pp. 571-579, (1978)

6. Lewis, R. T and Parker, R G., "On A Generalized Bin-Packing Problem," Naval Research Logistics Quarterly, Vol. 29, pp 119-145, (1982).

7. Scharge, L., "Integer programming," Addison-Wesley, (1975)