

컨테이너 빈패킹문제의 사례연구

이영덕
경영학부

<요약>

물류에서 적재용기에 화물을 효율적으로 적재하는 것을 다루는 문제를 빈패킹문제(bin packing problem)라 한다. 본 연구에서는 빈패킹 문제의 기본개념과 산업현장에서 발생한 컨테이너 적재사례를 다루었다. 컨테이너에의 적재는 3차원 적재문제가 되는데, 여기서는 적재화물의 특성을 이용하여 모듈화함에 따라, 1차원 빈패킹문제로 변환하여, 실제현장의 컨테이너 적재문제를 쉽게 다룰 수 있는 사례를 제시하였다.

A Case study for the Bin-packing Problem of Containers

Lee Young-deok
School of Business Administration

<Abstract>

We present a real-world case study of bin-packing problem of containers. 3-dimensional bin-packing problem of containers is transformed to 1-dimensional bin-packing problem via modulization of products to be packed.

1. 서론

산업사회의 발달에 따라 물류량은 점차 증대되고 있으며, 원가구조에서의 물류의 비중도 상당히 큰 규모를 차지하고 있다. 따라서 물류시스템의 합리적 설치 및 운영을 통한 물

류비용절감은 정부 및 산업체의 큰 과제가 되고 있으며, 이에 대한 연구도 산업체와 학계 등에서 활발히 이루어지고 있다.

물류시스템 개선을 위한 하드웨어적 방법은 도로, 철도, 항만 그리고 물류정보시스템 설치 등 비교적 비용이 많이 드는 방법으로, 이에 대한 투자도 지속적으로 이루어져야 하나 이에 못지않게 운영적 측면에서의 개선도 매우 중요한 과제이다. 예를 들면 물류설비 100을 가지고 80% 이용하는 것이나, 물류설비 80을 가지고 100%이용하는 것은 같은 효과를 가지고 있으나, 100의 물류설비를 설치하는 비용과 80을 설치하는 비용과는 큰 차이가 있는 경우가 많고, 운영효율을 증대(80%에서 100%)시키는 비용은 상대적으로 적게 드는 경우가 많기 때문에, 기존설비를 효율적으로 운영하는데 노력을 기울이는 것이 훨씬 유리한 경우가 많다.

물류시스템을 효율적으로 운영하는 데는 여러 가지 방법이 있는데, 본 연구에서는 물류용기에의 효율적 적재에 관한 연구를 하기로 한다. 여기에서 물류용기란 트럭, 화물차, 컨테이너 그리고 특수용기 등과 같이 화물(상품)을 적재하여 운송하는 용기(bin)를 말하며, 합리적 적재방법을 통하여 화물용기(bin) 사용비용을 줄이는 것으로 경영과학(Management Science)에서는 이러한 문제를 빈패킹문제(bin-packing problem)라 부르고 있다.

본 연구에서는 빈패킹문제의 기본모형에 대하여 기본개념과 의미를 살펴보고, 현장에서 발생한 사례를 연구하고자 한다. 현장문제는 H자동차의 3.5t 트럭 수출문제에서 발생하였는데, 수입선의 문제로 인하여 일정수량의 컨테이너에 일정수량의 트럭 CKD 부품을 적재하여야 하는 문제가 발생하였다. 본 연구에서는 이러한 현장사례의 수리적 접근을 통하여, 산업현장에서 과학적 경영기법의 하나인 수리계획법을 여러 분야에 적용응용 할 수 있는 실증연구를 하고자 한다.

2. 빈패킹문제(bin-packing problem)의 기본개념

트럭, 화물차, 컨테이너 그리고 특수용기 등과 같이 일정한 적재능력(capacity)을 갖는 용기(bin)들이 있고 여기에 화물(상품)들을 실어 운송하려고 한다. 이 때 운반하려는 화물들이, 작은 박스형태와 같이, 순차적으로 용기를 가득 채우는데 문제가 없는 경우에는, 화물을 적재기준에 맞을 때 까지 가득 적재하면 되며, 별다른 어려운 문제가 되지 않는다. 그러나 물건들의 규모(무게나 부피)가 비교적 크고 분해하여 수송하는 것이 불가능한 경우에는, 용기에 싣는 조합을 어떻게 하느냐에 따라 화물용기 사용 갯수 혹은 화물용기 사용 비용(운송비용 포함)을 줄일 수 있다.

빈패킹 문제는 이와 같은 상황에서 용기 사용비용을 최소화(용기의 형태가 같은 경우는 사용용기 수를 최소화) 하는 방법을 찾는 문제로 아래와 같은 수리적 모형으로 제시된다.

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{i \in I} c_i y_i \\ \text{s.t} \quad & \sum_{j \in J} t_j x_{ij} \leq w_i y_i, \quad \forall i \quad \dots\dots\dots (1) \\ & \sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall j \quad \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_{ij} &\in \{0,1\} \quad \forall i, j \\y_i &\in \{0,1\} \quad \forall i\end{aligned}$$

여기에서

I : 容器들의 집합

J : 物건들의 집합

c_i : 용기 i 의 사용비용(운송비용 포함)

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 i 의 적재능력(capacity)

위에서 목적함수식은 용기사용비용의 합을 최소화한다는 것을 의미한다. 제약식 (1)은 사용되는 용기에 실리는 물건의 합은 용기능력을 초과할 수 없음을 나타내는 것으로, t_j 는 물건 j 의 容器능력(capacity) 소모량으로, 물건 j 의 길이, 무게, 부피 등을 의미는 것으로, 부등식 왼편은 용기 i 에 적재되는 무게(부피)의 합 등을 의미하고, 부등식 오른편은 용기 i 의 용량을 의미하며, 용기 i 가 사용될 때만(y_i 가 1일 때) 양의 용량 w_i 를 갖게 된다. 제약식 (2)는 물건들은 어느 용기에도 반드시 한곳에는 실려야 함을 나타낸다.

여기에서 용기의 용량 사용비용 등이 같을 때는, 모든 c_i 값들이 같으므로, 이 문제는 용기 사용 개수를 최소화하는 문제로 바뀌게 되어 아래와 같은 수리적 모형으로 나타나게 된다.

$$\begin{aligned}\text{Min} \quad & \sum_{i \in I} y_i \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in J} t_j x_{ij} \leq w_i y_i, \quad \forall i \\ & \sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall j \\ & x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \\ & y_i \in \{0,1\} \quad \forall i\end{aligned}$$

용기에 물건을 실을 때 무게만 문제가 된다면 위의 모형을 적용하는 데는 별 문제가 없다. 그러나, 컨테이너 등과 같이 부피나 길이가 문제가 된다면, 위의 모형을 적용할 수 없으며, 문제 상황의 재해석을 통한 모형의 적용이나, 가로, 세로, 높이 모두를 고려하는 3차원적 모형개발과 문제해결이 필요하나 이는 매우 복잡하고 난이도가 높은 문제가 된다.

3. 컨테이너 적재 사례

1) 문제상황

H자동차는 네덜란드에 3.5 Ton Truck의 CKD부품을 수출하고자 한다. 수입업자는 1회 차 당 30대의 3.5 Ton Truck의 CKD부품을 요구하는데, 수송비용절감등의 이유로 최소한의 컨테이너에 적재하는 것을 요구하고 있으며, 이밖에 현지세관문제로 부품별 동시적재의 제한을 제시하였다.

이러한 요구에 따라 H자동차측은 30대분의 CKD부품을 싣는 방법을 연구하여 40feet 컨테이너 8대에 적재하는 것을 제시하였으나, 수입업자는 7대에 적재를 가능케 하도록 요구를 하였다. 이에 H자동차는 많은 시간을 투입하여, 실제적재를 통하여 수많은 방법을 시도하였으나, 30대분을 7대에 적재하는 방법을 찾지 못하고, 차선택으로 28대분만 적재하여 수출하도록 수입업자와 합의 하였다.

이 수출을 담당하는 책임자는 많은 노력을 하였으나, 40feet 컨테이너 7대에 3.5 Ton Truck의 CKD부품을 적재하는 방법을 찾지 못하였는데, 방법이 없어서 못 찾은 것인지, 아니면 방법이 존재하는데 워낙 복잡하여, 노력은 노력대로 하였어도 찾지 못한 것인지 계속 의문을 갖게 되었다. 더구나 이번 수출은 1회로 끝나는 것이 아니라 수십 회 이어지는 것이므로, 수입업자가 일정기간만 수입하면 50회 기준 $50 \times 2(\text{대}) = 100(\text{대})$ 의 수출차질이나, 컨테이너 추가사용을 통한 비용증가 등의 문제를 안고 있는 상황 이었다. 그리고 이러한 문제는 계속 발생할 것이므로, 이 문제를 과학적으로 접근할 수 없는가에 대하여 문제제기를 하였다.

문제의 세부적 상황은 다음과 같다.

(1) 3.5 Ton Truck의 CKD부품 종류

CKD부품 종류는 5가지로 그 명칭은 아래와 같다.

- ① CAB
- ② CHASSIS FRAME
- ③ ENGINE
- ④ T/M
- ⑤ H/W(중,소물)

(2) 컨테이너 규격

컨테이너는 40feet 규격을 사용하며 그 사양은 아래와 같다.

명 칭	바깥치수 L*W*H(mm)	내부치수 L*W*H(mm)	적입가능치수 L*W*H(mm)	적재가능무게
40feet STD	12192*2438*2591	11998*2330*2350	11950*2260*2200	21,260Kg

2) 문제의 단순화

이 문제에서는 무게는 문제가 안되므로 무시할 수 있으나, 가로, 세로, 높이의 3차원 규격을 갖는 부품을 역시 3차원 규격의 컨테이너에 적재하는 문제로서, 문제를 그대로 해석하면 3차원 적재문제로 매우 복잡하게 보일 수 있다. 그러나, 이문제의 부품들은 규격이 크기 때문에 적재방법에 규격자체로 제한을 가지고 있기 때문에, 적재 방법상 부품끼리의 모듈(module)화를 통하여 문제를 단순화 시킬 수 있다. 여기서의 모듈화는 부품을 모아 세로와 높이를 컨테이너 규격에 맞게 정리하여 부품들을 소집단화 하는 것을 말한다.

부품을 적재하기 위해서는, 부품의 규격 때문에 자동적으로 같은 종류끼리 모아지게 되며, 부품의 고정화를 위한 보강과정(고정목 이용)을 거치면, 모듈화를 통하여, 적재시 가로 길이만 고려하면 되던 일반적(1차원) 빈패킹문제가 된다.

부품들을 컨테이너에 고정목을 이용하여 고정시키면서 모듈화 하는 과정은 다음과 같다.

(1) CAB

CAB은 아래 그림처럼 1대씩 들어가게 되기 때문에 모듈화과정 없이 1대씩 적재대상이 되는데, 고정화 과정을 거치면 컨테이너의 가로길이를 1대당 1690mm 사용하게 된다. 그리고 CAB 과 CHASSIS FRAME은 현지 세관의 문제로 같은 컨테이너로의 적재는 불가능 하다.

(2) CHASS FRAME

CHASS FRAME 는 2줄로 6층을 쌓아 적재할 수 있는데, 12대(2줄*6층)가 모듈 구성하며 12대가 컨테이너 가로길이 중 6200mm를 사용하게 된다.

이때 12대씩 모듈화된 나머지에 대해서는, 다른 부품과의 모듈화가 가능한 경우와, 그렇지 아니한 경우가 있을 수 있다. 모듈화가 가능한 경우는 그 경우를 따져주어야 하는데, 이 상황에서는 기술적 문제로 다른 부품과의 모듈화는 불가능하였다. 따라서, 이 문제는 수출부품의 수가 12의 배수가 아닐 때는 12대가 안되는 나머지 CHASS FRAME이 6200mm를 사용하므로, 부품 적재 효율상 일단 불리점을 내재하게 되어 있다.

(3) ENGINE

ENGINE은 6대씩 한조를 이루어 2층으로 적재하게 되므로, 12대가 모듈을 이루게 되어 컨테이너 가로길이의 2280mm를 사용하게 된다. 그리고 12대의 모듈에서 남는 ENGINE은 H/W(중,소물)과 모듈을 이룰 수도 있다.

(4) T/M

T/M은 6대가 한조가 되어 3층으로 적재하게 되며, 18대가 모듈을 이루어 컨테이너 가로길이의 1600mm를 사용하게 된다.

(5) H/W(중,소물)

H/W(중,소물)은 3.5 Ton Truck의 CKD부품 중 앞의 규모가 큰 4가지를 제외한 나머지를 말하며, 10대분이 한조가 되어 2층으로 모듈화 되어, 20대분이 컨테이너 가로길이의 2280mm를 사용하게 된다. 그리고 H/W(중,소물) 1조는 ENGINE 1조와 모듈을 이루어도 컨테이너 가로길이의 2280mm를 사용하게 된다.

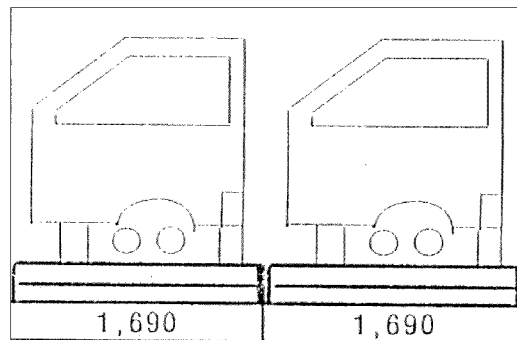


그림 1. CAB의 적재 예

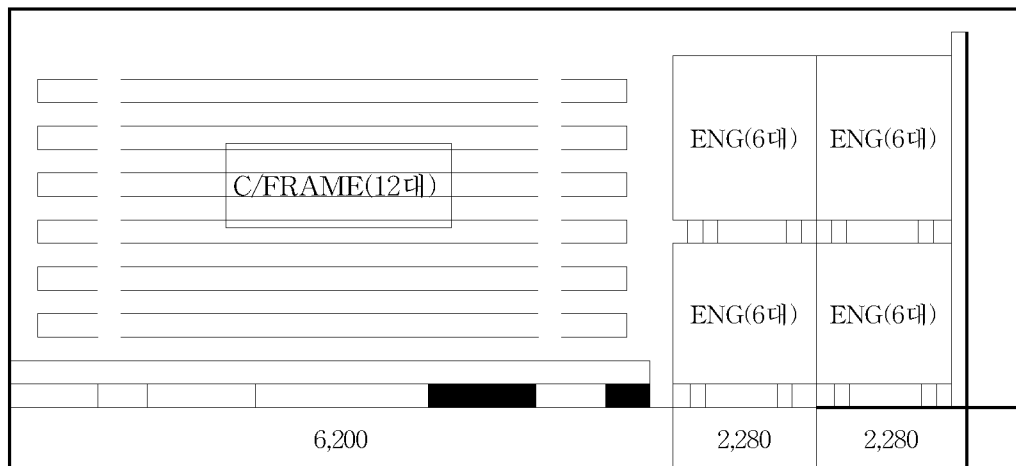


그림 2. CHASS FRAME과 ENGINE 적재 예

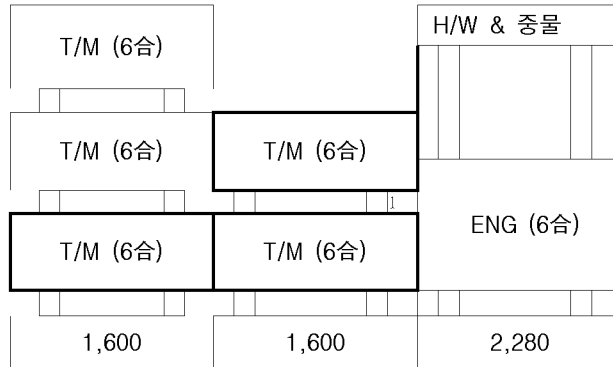


그림3. T/M, (ENGINE+H/W(중,소물)) 적재 예

3.5 Ton Truck의 5가지 CKD부품들은 대개 같은 종류의 부품들끼리 모듈화를 이루었으며, ENGINE과 H/W(중,소물)만 1조씩 짝을 이루어 모듈이 되었다. 부품들의 종류가 많고 다른 부품끼리의 조합으로 모듈화가 가능한 경우는, 모듈화 과정이 다소 복잡한 듯 보이나, 이 과정도 약간의 노력으로 가능하며, 현장사례에서는 단순화과정을 통하여 실현가능성이 높은 모듈화방법만 적용하여도 현실적용에 큰 문제가 없다.

3) 수리적모형 구성

3.5 Ton Truck의 CKD부품을 컨테이너에 적재할 때 발생하는 의사결정 사항은 크게 다음의 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째, 일정 댓 수 분(지금은 30대분)의 3.5 Ton Truck의 CKD부품을 적재하기 위한 최소 컨테이너 수량을 구하는 것으로, 이것은 전통적인 빈패킹 문제에 이 문제에서 고려하여야 하는 약간의 특수제약조건을 추가하는 것으로 문제를 해결 할 수 있다. 둘째는, 일정수량(현재는 7대)의 컨테이너에 최대 몇 대분의 3.5 Ton Truck CKD부품을 적재할 수 있는가를 구하는 것이다. 이문제도 정수계획 모형을 이용하여 해를 구할 수 있는데, 본 연구에서는 연구의 범위를 빈패킹문제에 국한하므로 후자의 연구는 다루지 않기로 한다.

30대분의 3.5 Ton Truck의 CKD부품을 위에서와 같이 모듈화를 하면, CAB은 30개, CHASSIS FRAME 모듈 3개, ENGINE 모듈 2개, T/M모듈 2개, H/W(중,소물)모듈 1개 그리고 ENGINE과 H/W(중,소물) 혼합 모듈 1개가 되어 총 39개의 모듈이 생기게 된다. 이들을 표로 정리하면 아래와 같다.

번호(j)	부 품	(가로)길이(t_j)
1 - 30	CAB	1690mm
31 - 33	CHASSIS FRAME	6200mm
34, 35	ENGINE	2280mm
46, 37	T/M	1600mm
38	H/W(중,소물)	2280mm
39	ENGINE + H/W(중,소물)	2280mm

요성이 커지는데, 본 연구에서는 경영과학의 과학적기법의 하나인 정수계획모형을 이용한 빈패킹문제를 응용한 사례를 다룸에 따라, 과학적기법의 효율성을 보여줌에 따라, 우리나라의 산업현장의 실제문제에 과학적기법을 적용하여 효율성을 높이는 계기를 확대하고자 한다.

참고문헌

1. Garfinkel R. S. and Nemhauser G. L., "Integer Programming", John Wiley & Sons, 1972.
2. Salkin H. M., "Integer Programming", Addison-Wesley, 1975.
3. Silvano Martello, Daniele Vigo, "Exact Solution of the Two-Dimensional Finite Bin Packing Problem.", Operations research, Vol. 44. March Number: 3. p. 388 - 399. 1998,
4. Silvano Martello, David Pisinger, Ddnifle Vigo, "The Three-dimensional Bin Packing ProblemM.", Operations research, Vol. 48. March-April, Number: 2. p. 256 - 267, 2000.