

# 비축을 고려한 효율적인 제품 분배 및 수송 계획

김 민수, 박 순달

서울대학교 산업공학과

## ABSTRACT

본 연구는 비축을 고려하는 경우에 요구되는 제품 분배 및 수송 계획을 수립하는 것을 목적으로 한다. 비축이란 수요 변동으로 인하여 생산량이 수요량을 충족시키지 못할 때 발생하는 제품 부족량을, 비수기에 생산하여 창고에 보관하는 상황을 말한다.

연구 내용은 다음과 같다. 첫째, 비축을 고려하는 상황에서의 각 제품창고의 제품저장 원칙을 정한다. 그리고, 수송지까지의 제품 수송을 원활하게 수행할 수 있는 수송규칙을 수립한다. 둘째, 각 창고의 제품을 균등하게 공급할 수 있는 재고 분배 계획 및 수송계획을 작성한다. 이를 위하여 각 제품의 재고소진기간을 균등화시키는 제품 분배방법을 적용한다.

연구의 기대효과로는 개선된 분배방법을 적용하여 제품창고를 효율적으로 활용하고, 수요지간의 이동에서 발생할 수 있는 추가수송을 최대한 방지한다. 그리고 수요지간의 재고편중과 제품의 재고고갈을 막을 수가 있다.

## 1. 서론

수송 체제란 수송 구조를 이용하여 지역적으로 분리된 지점간에 재화나 용역을 운반하는 것이다. 수송 구조의 구성은 도로, 철도, 파이프 라인 등의 고정된 시설과 이 시설을 이용하는 차량 등의 수송 수단, 그리고 이러한 시설과 수단의 체계적인 조직 등으로 이루어진다. 이와 같이 수송 구조의 요소를 분리하였을 때, 고정된 시설은 장기적인 계획에 따른 수송 체계의 설계 과정에서 다루어지는 것이고, 고정된 시설을 이용하는 차량 등은

수송의 대상이며, 조직 체제란 단기적인 계획 하에서 수송 체계를 운용하는 과정에서 다루어지는 것이다. 도시간의 수송 체계는 주로 화물의 운송과 관련하여, 철도를 이용하는 열차, 고속도로 및 일반 도로를 이용하는 정기 화물 트럭, 정해진 항로나 운하 등을 따라 운항하는 컨테이너 선박, 공항을 이용하는 항공기 등을 들 수 있다[1,2,3].

본 연구에서는 이러한 화물 수송 체계에 있어서 특히 창고에서의 비축을 고려하는 경우에, 물류비를 절감하기 위한 효율적인 제품 분배 계획 및 수송 계획을 수립하고자 한다. 비축이란 수요의

변동으로 인하여 성수기 때는 모자라게 되는 제품을 수요가 적은 비수기에 생산하여 창고에 보관하려 할 때 발생하게 된다. 재고의 원활한 운용을 위해서는 적절한 제품 분류와 재고 분류가 선행되어야 한다. 각 조직별로는 판매에 필요한 물량을 반드시 수송할 수 있는 수송 체제가 완비되어야 하며 비축 물량에 대한 분배 방법이 개발되어야 한다. 그리고, 이러한 분배를 전국적인 조직에 적용하기 위한 수송 원칙 및 방법이 개발되어야 한다.

본 연구의 목적은 다음과 같다.

첫째, 비축을 고려하는 상황에서, 각 수송지까지의 제품 수송을 원활하게 수행할 수 있는 각 제품창고의 제품저장 원칙을 정하고 수송규칙을 수립한다.

둘째, 각 창고에 제품을 균등하게 공급할 수 있는 제품 분배 계획을 수행한다.

마지막으로, 수송의 합리화를 꾀할 수 있는 수송 계획을 수립한다.

## 2. 연구 현황

본 연구에 관련된 문제는 제품분배와 관련된 자원 제약 문제, 창고용량 제약 문제, 수송과 재고에 관한 문제로 구분된다.

자원 제약 문제는 자원 분배 문제(Resource allocation problem)라고 불리며 주로 탐욕적(Greedy)인 분배 방법인 배낭 문제 유형의 방법을 사용한다. Karmarkar는 단일 제품에 대한 분배 문제로서 재고 고갈 시간(Run out time)을 최대화시키는 분배 전략을 제시하였으며, 준비비가 없는 분배에 대해서는 최적의 분배 방법임을 보였다[8]. 이 분배 방법은 다수 기간에 대해서 단일 시점 시에 적용하는 기법을 그대로 사용하여도 최적의 보

장된다. Bitran et al.은 단일 제품에 대한 자원 할당 문제를 배낭 문제를 이용하여 계산의 속도를 높였다[5]. Federgruen et al.은 독립 수요에 대한 2개의 수송형태를 기준으로 신선도가 중요시되는 제품의 분배 및 할당을 연구하였다[7]. Tang은 최대 최소 할당 문제에서 단체법을 사용하지 않고  $O(MN^*)$  ( $M$ : 제약식,  $N$ : 변수)의 복잡도로써 최적해를 제공하는 알고리즘을 개발하였다[11].

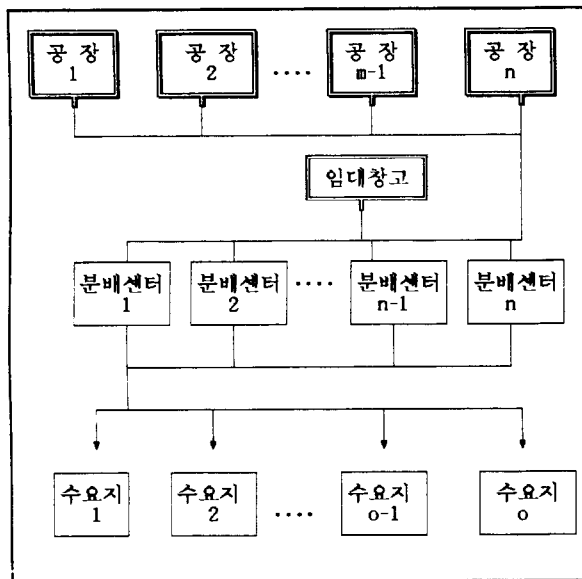
창고 용량 제약 문제란 각 수요지에 주어진 창고의 용량을 제약 조건으로 하는 문제를 말하며, 주로 최대 흐름 문제에서 흐름의 한계나, 재고관리의 기말 시점에서의 재고 수준의 제한 또는 생산관리의 생산량과 공정 중 재고를 중심으로 한 연구가 있다. 특히, Brown은 단일 제품을 대상으로 용량의 제약을 가진 수요 시점에 대한 균등 분배를 분배 문제로 새로이 정의하고 최소 최대 목적식에서 최대 흐름 해법을 이용한 최적 해법을 제시하였다[6].

수송과 재고에 관련된 연구란 수송비와 재고비용을 동시에 고려한 연구를 말한다. Schwarz는 단일 제품을 대상으로, 다단계 생산과 분배 시스템의 주어진 설계 하에서 전체 시스템의 재고와 시스템 내부에서의 재고 분배, 그리고 생산과 분배 시스템의 설계가 재고관리와 비용에 어떻게 영향을 미치는가에 대해서 물리적 시스템 설계와 재고관리 시스템간의 상호관계를 다루었다[9]. Benjamin은 생산과 보관 비용, 수송비, 수요지의 재고 비용을 동시에 고려하여 다수의 수요지와 다수의 공급지를 대상으로 생산의 단위 크기와 수송량, 그리고 수요지에서의 경제적 주문량을 구하는 식을 수식화하고, 발견적 기법을 제시하였다[3]. Speranza와 Ukovich는 단일 호에서의 다수제품에

대한 수송과 재고비용을 최소화하기 위한 수송빈도를 구하였다[10].

### 3. 비축을 고려한 분배원칙

본 연구에서 관심을 두는 수송 조직의 수송 흐름도는 [그림 1]과 같다. 즉, 공장에서 제품을 생산하고, 그것을 최종 수요지에 보내기 전에 임대창고 및 분배센터로 이동시킨다. 분배센터에서는 비축량을 일단 저장하고 당기 판매에 필요한 제품은 담당 수요지로 수송한다.



[그림 1] 수송 흐름도

제품을 수송하는 수송 방법은 크게 정규 수송과 특별 수송으로 분류한다.

정규 수송이란 분배 규칙에 의한 제품 수송을 정규 수송이라 한다. 분배 규칙이란 각 수요지의 판매 계획에 기준한 분배를 말한다. 특별 수송이란 공급처와 수요처간의 이동 품목 및 수송량을 임의 지정하는 수송을 말하며, 이러한

특별 수송에는 긴급 수송, 주문에 의한 수송 등 판매 계획에 근거하지 않은 수송을 통틀어서 말한다. 그리고, 보세 창고에서 공장으로부터의 수입 제품의 이동도 특별 수송에 해당한다.

제품을 분배하는 원칙은 우선 재고를 유형별로 분류한다. 즉, 비축재고, 판매재고, 안전재고로 분류된다. 비축 재고란 판매 계획에 의한 판매 목표량 이상의 물량을 말한다. 비축 재고는 미래의 계획 기간 동안의 판매를 위한 재고이며, 생산 능력과 수요 패턴에 따라 전사적으로 정해지고 공장 및 수요지창고의 여유 용량을 고려하여 분산 비축한다. 판매 재고는 설정된 계획 기간의 판매 계획량에 필요한 재고를 말하고, 안전 재고는 설정된 계획 기간에서 판매 계획량의 변동과 생산 및 수송의 변동을 대비하는 재고를 말한다.

제품을 분배하고 보관하는 데는 우선 순위에 따라 분배하고 비축한다. 이러한 우선 순위에 의한 분배 및 비축은 창고의 사용을 효율적으로 하고, 제품의 분배가 효율적으로 이루어 재고의 고갈을 막고, 재고의 부동을 방지하기 위한 것으로서 제품의 회전율이 높은 제품은 하위 레벨의 창고에 보관하고, 제품의 회전이 낮은 제품은 상위 레벨에 두어서 하위 레벨에 재고의 부동의 발생으로 인한 추가 수송비용이나 분배센터간의 이동을 막고자 한다. 따라서, 비축 재고는 공장 및 임대창고에 우선적으로 보관하며, 판매재고 및 안전재고는 수요지에 우선적으로 보관한다. 분배센터는 이들 재고의 완충 역할을 한다.

수송망이란 수송에서의 공급처와 수요처와의 관계를 말한다. 즉, 공급처가 공장인 경우와 임대 창고, 분배센터인 경우로 크게 분류될 수가 있다.

수송망을 분류하면 다음과 같다.

- 1) 공장 ---> 직송 수요지, 분배센터,  
임대 창고
- 2) 임대 창고 ---> 직송 수요지,  
분배센터
- 3) 분배센터 ---> 분배센터, 수요지

1)의 경우는 공급처가 공장인 경우로 공장에서 생산된 제품을 각 분배센터, 직송 수요지, 임대 창고로 제품을 수송하는 경우를 나타내며, 2)의 경우는 임대 창고에 보관하고 있는 제품을 각 직송 수요지나, 분배센터로 운반하는 경우를 말하며, 3)의 경우는 분배센터에서 수요지로 이동하는 정규 수송과 분배센터 간의 이동을 허용하게 되는 경우인 특별 수송을 말한다.

본 연구에서는 먼저, 공장과 수요지 간의 기간별 제품별 수송을 계획한다. 따라서 각 기간의 배송계획량이 각 제품별로 계획된다. 그리고, 수송 방법에 있어서 각 제품을 분배원칙에 따른 제품별 수송을 한다. 수송 체제의 개선에 따른 기대 효과는 제품별로 적지, 적소에 적량의 제품을 공급할 수가 있으며, 제품창고별 제품별 부동품 발생 및 품질 감소의 효과를 기대할 수가 있다.

#### 4. 비축을 고려한 제품 분배 및 수송계획

제품분배 문제는 각 공장에서 생산된 제품을 각 수요지로 분배하는 문제로서 각 제품을 대상으로 단일공장, 복수제품, 다수 수요지의 문제로 해석된다. 문제의 크기가 대형이므로 문제를 해결하는데 많은 시간이 걸린다. 장시간에 걸쳐 구한 최적해의 중요도는 일일의 운영의 측면에서 보았을 때 그 중요성이 떨어진다. 따라서, 해법을 적용할 때에 계층적 접근방법을 사용하여 문제의 복잡도를 줄이고 현실 상황의 업무구조와 일치시킨다.

제품분배에 있어서의 목표는 제품반입 후 수요지의 제품별 재고소진기간(Run Out Time)이 전 수요지에 대해 균등하도록 수요지에 제품을 분배하는 것이다. 균등한 제품분배는 재고편중을 방지하여 추가수송을 방지할 뿐만 아니라 재고통제에 있어서의 문제점을 줄여준다. 따라서 비축물량도 재고소진기간의 균등화에 따라 각 창고에 분배된다.

[정리 1] 재고소진기간 분배방법은 준비비(Setup Cost)가 없는 경우의 단일 기간 및 다수 기간에 대해서도 최적해를 제공하는 재고분배방법이다[7].

본 연구에서는 기존의 재고소진기간 분배방법을 확장하여 적용한다. 즉, 기존의 방법은 재고 부족상황에서 창고의 제약을 고려하지 않는 단일 제품을 대상으로 적용하였으나, 본 연구에서는 다수제품을 대상으로 창고용량을 고려하여 재고고갈 및 재고초과의 상황에도 적용할 수 있는 해법을 제시한다.

제품별 수요지별 재고소진기간은 다음처럼 산정한다. 사용되는 변수는 다음과 같다.

$S_{ik}$  : 공장 i의 제품 k의 공급가능량

$$(\ = P_{ik} + I_{ik} - SS_{ik} )$$

$P_{ik}$  : 공장 i의 제품 k의 생산량

$I_{ik}$  : 공장(수요지) i의 제품 k의 재고량

$SS_{ik}$  : 공장(수요지) i의 제품 k의 안전재고

$R_{jk}$  : 수요지 j의 제품 k의 단위기간

반입량

$CR_{jk}$  : 수요지 j의 제품 k의 반입량

실적누계

$d_{jk}$  : 수요지 j의 제품 k의 반출예상량

(판매계획량)

$t$  : 제품반입 후 재고소진기간

$$\text{제품반입 전 재고소진기간} = \frac{\text{수요지재고량} - \text{안전재고}}{\text{수요지 단위기간 판매 계획량}} \quad (1)$$

$$\text{제품반입 후 재고소진기간} = \frac{\text{수요지재고량} - \text{안전재고} + \text{반입량}}{\text{수요지 단위기간 판매 계획량}} \quad (2)$$

[정리 2] 제품별 수요지별 재고소진기간 균형화 분배방법은 각 제품의 평균 수요지별 재고소진기간을 최대화시킨다.

(증명)

수학적 귀납법으로 증명한다. 제품 k의 재고소진기간  $t_k$ 는 다음과 같다.

$$t_k = \frac{I_{jk} - SS_{jk} + R_{jk}}{d_{jk}} \quad \forall j, k \quad (3)$$

제품 전체의 재고소진기간 T는 다음과 같다.

$$T = \min_k (t_k) \quad (4)$$

n=1 일 때 정리 2는 참이다.

n=k-1 일 때 정리 2가 참이라고 가정하자.

$$\text{각 제품을 } \frac{I_i - SS_i}{d_i} \leq \frac{I_{i+1} - SS_{i+1}}{d_{i+1}} \text{의}$$

순서로 정렬한다.  $R_i^*$ 와  $T^*$ 가 각각 최적 반입량과 재고소진기간이라 할 때, 두가지 경우가 존재한다.

$$(1) R_k^* = 0 \text{ 이고 } t_k \geq T^*$$

$T^*$ 는 가정에서 k-1에서 최적이다.

그런데 반입량이 없으므로 k에서도  $T^*$ 는 최적이다.

$$(2) R_k^* > 0 \text{ 이고 } t_k = T^*$$

반입량이 존재하지만  $t_k$ 가  $T^*$ 와 같기

때문에 k에서도  $T^*$ 는 최적이다. ■

이 개념은 반출예상량이 큰 수요지에는 많은 제품이 분배되며, 수요지의 재고가 많은 곳에서 제품이 적게 분배된다. 제품별 수요지의 반입량은 제품반입 후에 모든 수요지의 제품별 재고소진기간이 같도록 산출한다.

$$\frac{I_{jk} - SS_{jk} + R_{jk}}{d_{jk}} = \frac{\sum_j I_{jk} - \sum_j SS_{jk} + \sum_j S_{jk}}{\sum_j d_{jk}} = t \quad \forall j, k \quad (5)$$

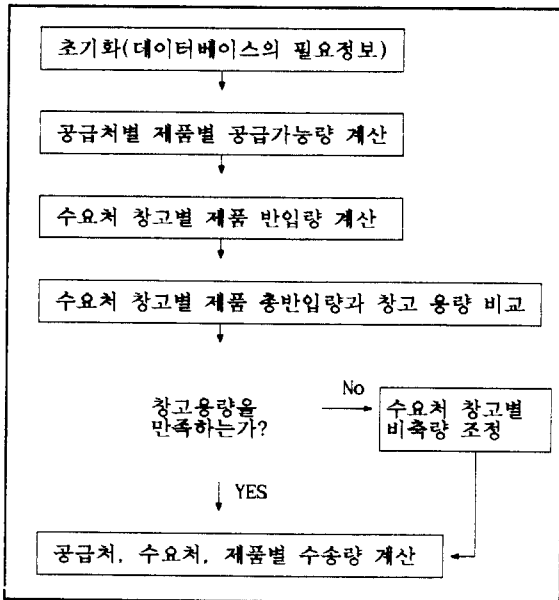
식 (5)을 이용하여 수요지의 반입량은 다음처럼 계산할 수 있다.

$$R_{jk} = \frac{d_{jk}}{\sum_j d_{jk}} (\sum_j I_{jk} - \sum_j SS_{jk} + \sum_j S_{jk}) - (I_{jk} - SS_{jk}) \quad \forall j, k \quad (6)$$

수요지의 제품별 반입량  $R_{jk}$ 는 창고여유 용량의 제약 때문에 그 양이 수정될 수 있다. 즉, 각 수요지에 대한 비축물량이 산정된다. 비축물량의 보관원칙은 창고별, 제품별 우선순위 원칙에 따른다. 즉, 각 제품은 제품의 분류에 기준하여 제품의 회전율이 높은 제품은 각 중개수송지급 창고에 보관하지만 제품의 회전율이 낮은 제품은 상위레벨인 공장 창고에 보관함을 원칙으로 한다.

공장별 수요지별 공급가능량  $S_{ik}$ 와 수요지의 제품별 반입량  $R_{jk}$ 가 일단 결정되면 공장별 수요지별 수송량을 산출하는 문제는 수송문제가 되므로 이 문제를 풀어서 수송량을 결정한다.

해법 절차는 [그림 2]와 같다.



[그림 2] 제품분배 및 수송 해법 흐름도

## 5. 사례

공장 2개, 수요지 3개, 제품 6개가 주어진 환경에서 특정 기간의 첫 단위 기간에 이루어지는 제품분배와 수송에 대하여 고려해본다. 차량 용량은 13 팔레트이고 창고용량은 모두 1,000이라고 가정한다. 기간 생산계획량, 기간 반출계획량, 기간 수송계획량은 [표 1], [표 2], [표 3]과 같으며 반출 실적과 재고는 0 이며 실적 누계량도 0이다.

[표 1] 기간 생산 계획량

제품 공장	제품					
	가	나	다	라	마	바
공장 A	0	8400	8400	8400	8400	8400
공장 B	8400	8400	8400	8400	8400	8400

[표 2] 기간 반출 계획량

제품 공장	제품					
	가	나	다	라	마	바
A	0	26630	3160	7860	411970	39040
B	1000	1000	1100	41100	500100	70100

[표 3] 기간 수송 계획량

제품 가

제품 공장	수요지		
	1	2	3
A	0	2779	3020
B	0	1000	0

제품 나

제품 공장	수요지		
	1	2	3
A	3636	12881	10122
B	0	1000	0

제품 다

제품 공장	수요지		
	1	2	3
A	146	1765	1254
B	0	1100	0

제품 라

	수요지	1	2	3
공장				
A		2222	0	5641
B		0	28631	12739

제품 마

	수요지	1	2	3
공장				
A		67918	0	350059
B		0	458595	41505

제품 바

	수요지	1	2	3
공장				
A		6254	0	32792
B		0	64536	5566

수송계획에 사용되는 거리와 시간 정보는 [표 4], [표 5]와 같다.

[표 4] 거리 정보

	To	공장 A	공장 B	수요지 1	수요지 2	수요지 3
From						
공장 A		0.0	250.0	16.0	160.0	340.0
공장 B		250.0	0.0	200.0	90.0	120.0
수요지 1		16.0	200.0	0.0	160.0	340.0
수요지 2		160.0	90.0	160.0	0.0	190.0
수요지 3		340.0	120.0	340.0	190.0	0.0

[표 5] 시간정보

	To	공장 A	공장 B	수요지 1	수요지 2	수요지 3
From						
공장 A		0	170	16	120	220
공장 B		170	0	120	90	80
수요지 1		16	120	0	120	220
수요지 2		120	90	120	0	117
수요지 3		220	80	220	117	0

위와 같은 정보를 가지고 본 연구에서 제시한 해법을 이용하여 공장과 수요지 별로 제품별

수송량을 계산하면 [표 6]과 같은 첫 기간의 수송 계획량을 구할 수가 있다. 결과를 보면 제품별 수요지별로 균등한 분배가 이루어진 것을 알 수 있다.

[표 6] 수송계획량

공급처	수요처	제품	수송량(Pallet)
공장 A	1	라	3.0
공장 A	1	바	6.0
공장 A	2	나	2.0
공장 A	3	나	1.0
공장 A	3	라	8.0
공장 A	3	마	1.0
공장 B	3	바	33.0
공장 B	2	라	34.0
공장 B	2	마	2.0
공장 B	2	바	37.0
공장 B	3	마	15.0
공장 B	3	바	3.0

## 6. 결론

본 연구에서는 비축을 고려한 효율적인 수송 체계를 설계하고 그에 맞는 제품분배 및 수송계획을 수립하였다. 본 연구의 기대효과를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 비축을 위한 제품분배 원칙을 정하여 각 저장창고에 적합한 수송활동을 실행할 수 있다.

둘째, 창고용량과 수송능력 및 판매시기를 고려하여 재고분배를 수행하기 때문에 재고비의 절감을 가져온다.

마지막으로, 개선된 분배방법을 적용하여 제품창고를 효율적으로 활용하고, 수요지간의 이동에서 발생할 수 있는 추가수송을 방지한다. 그리고 수요지간의 재고편중과 재고고갈을 막을 수가 있다.

## 참고문헌

- [1] 당택풍, 시택수용, 「물류관리 매뉴얼」, 한국 생산성본부, 1990.
- [2] 안태호, 「물류개론」, 한국물류관리협회의, 1991.
- [3] 옥선종, 「물류관리론」, 기술, 1993.
- [4] Benjamin, J., "An analysis of inventory and transportation costs in a constrained network", *Trans. Science*, Vol.23, No.3(1989), pp.177-183
- [5] Bitran, G.R., E.A.Haas and A.C.Hax, "Hierarchical production planning : a single stage system", *Operations Research*, Vol.29, No.4(1981), pp.717-744.
- [6] Brown, J.R., "The sharing problem", *Operations Research*, Vol.27, No.2(1979), pp.324-340
- [7] Federgruen, A., G.Prastacos and P.H. Zipkin, "An allocation and distribution model for perishable product", *Operations Research*, Vol.34, No.1(1986), pp.91-104
- [8] Karmarkar, U.S., "Equalization of runout times", *Operations Research*, Vol.29, No.4(1981), pp.757-762
- [9] Schwarz, L.B., "Physical distribution : the analysis of inventory and location", *AIIE Transactions*, Vol.13, No.2(1981), pp.138-150
- [10] Speranza, M.G. and W.Ukovich, "Minimizing transportation and inventory costs for several products on a single link", *Operations Research*, Vol.42, No.5(1994), pp.879-894
- [11] Tang, C.S., "A Max-Min allocation problem : its solutions and applications", *Operations Research*, Vol.36, No.2(1988), pp.359-367