

역물류의 공차율을 고려한 물류 최적화 모델 연구

(The study of logistics optimization model with empty transfer rate of reverse logistics)

유병우 *

박재현 **

Abstract

SCM 경쟁력 재고는 기업 내의 부문별 또는 개별기업 내부의 한정된 개선 노력이 외부의 부문 또는 기업에서의 활동과 연계되어 전체의 최적화가 되지 않으면 그 성과가 극히 제한적일 수 밖에 없다. 따라서 히든 코스트(hidden cost)의 발견 및 유통물류의 최적화에 박차를 가하는 것이 현실이다. 본 연구는 순 물류로 진행한 유통 경로 상에서 만약 역 물류가 발생할 경우 순물류 비용이외 공차(empty driving)로 인한 역물류의 히든 코스트를 최소화하는 모형을 통해 물류이익을 최대화 할 수 있는 방안을 찾기 위해 노력하며 결국 순물류와 역물류상의 유통상의 비용과 이익의 쌍대성에 기초하여 Pull, Push 시스템을 이용한 최적 시스템 모델화를 수행하여 효율적인 물류비용 산정의 방법을 모색한다.

1. 서론

기업 경쟁력에서 이익이 가능성이라면 물류 원가는 현실이기 때문에 지금 많은 업체는 기업 경쟁력 확보를 위한 원가 절감 방법의 도출을 위해 Hidden Cost의 발견 및 유통물류의 최적화 모형의 개발에 노력하고 있으나 기존의 연구들은 공차율을 고려하지 않은 물류 유통에서는 물류효율을 저하시키고 공차로 인한 손실로 효과적인 물류 유통을 고려하지 못했기에 많은 연구에서 선형계획 및 비선형계획을 이용하여 발견적(Heuristic)알고리즘과 정수계획법을 이용한 완충적이고 효율적인 물류시스템 구성에 접근하고 있었으나 이러한 확률적 모델은 공급망이 길고 복잡해 질수록 최적 해를 구하기 힘들고 공급사슬의 전체 효율에 대한 영향력이 떨어질 수 밖에 없었기 때

* 유병우 : 서일대학 산업시스템 경영과 부교수

** 박재현 : (주) 썬더 부설 연구소장, 서일대학 산업시스템경영과 겸임교수

문에 동적인 의사결정 지원으로 모델의 최적해 접근에 효율적이고 정확하게 접근하는 방법의 제시가 시급한 실정이다.

본 연구는 대상기업의 선정으로부터 유통물류에 영향을 끼치는 요인을 발견하고 각 요인에 대한 재고 유지비용 및 유통비용을 고려하여 공차율에 대한 영향요인을 결정하여 물류 최적화 모형을 제시하고자 한다. 모형화의 방법은 공급망의 입지 및 할당, 생산계획 및 재고관리 모델에 대한 최적 알고리즘 기법으로 우선 Pull, Push 시스템을 통한 순물류와 역물류의 모형을 구축하고 매트릭스 해석기법을 통해 최적해에 접근하는 방법을 선택하여 쌍방향 물류에서의 최적 포인트를 찾아내는 알고리즘을 개발하고자 한다.

이러한 방식은 기존논문들에서 인용되고 연구된 확률적 방법보다 보다 최적해에 접근성이 용이하고 복잡한 계산 복잡도로 인하여 최적해를 얻기 힘들었던 최근 연구에 방법을 제시할 수 있으리라 판단하며 더불어 물류 유통 모델에서 최적해를 지원할 수 있으리라 판단한다.

2. 물류비용을 고려한 시스템의 모형화

2.1 역물류를 고려하지 않은 모형화(기본 물류모형)

물류 시스템의 목표는 물류 수송관련 비용과 보관하역비용이 최소가 되는 것이다. 일반적으로, 각 스테이지의 전물류와 역물류 수요예측은 항상 불확실한 것이다. 단순화하기 위하여, 이 물류 라인은 이산적 시간흐름의 수송/시간 그리고 보관 하역 양은 전체 단위 크기의 정수 값이라고 가정한다. 한번의 차량 또는 발주서는 물류 수송의 한 아이템과 그리고 보관 하역의 한 아이템과 일치한다고 하자.

n 개의 물류 스테이지를 갖는 시스템에서 P_{\min} 과 P_{\max} 를 $j = 1, 2, \dots, n$ 인 수송차량 j 의 수송 능력의 최소치와 최대치라고 정의한다.

만약 P_{\min} 이 0보다 크다면, 이것은 물류공정이 임의의 시간에서 정지 없이 수송한다는 것을 의미한다. 여기서 임의의 시간 t 에서 수송차량 j 의 수송비용은 $P_j(t)$ 는 반드시 구간 $[P_{\min}, P_{\max}]$ 에 놓인다. 여기서 I_{\max} 가 스테이지 j 에서의 최대 보관하역 능력이라면 $I_j(t)$ 는 기간 t 에서 스테이지 j 의 최대 보관하역 능력이다.

j 에서의 물류시스템 조건은:

- (1) 상위 시스템으로부터 제품에 대한 전물류 수송차량 또는 보관하역 활동들을 얻고
- (2) 하위 시스템로부터 역물류 제품에 대한 발주와 또는 역물류 제품의 보관하역

활동을 얻는다.

이 조건은 다음 부등식으로 기술한다.

$$P_{\min} < P_j(t) < \text{Min}\{ P_{\max j}, I_j^*(t-1), I_{\max j} - I_j(t-1) \} \quad (3.6)$$

$$\text{단 } I_j^*(t-1) = \min\{ I_j(t-1), \forall i \in S_j \}$$

여기서 $I_j^*(t-1)$ 은 기간 t-1에서 스테이지 j 전체 상위 스테이지 보관하역 능력의 최대값으로 다시 말해 j 스테이지에서의 최대 보관하역 능력 또는 최대 수송능력이 다. 기간 t 에서 k 스테이지에서의 수송 능력을 $T_{jk}(t)$ 라고 하고 k 스테이지에서의 제품 j에 대한 보관 하역 능력을 $S_{jk}(t)$ 라고 하자 (만일 $S_{jk}(t)$ 가 영보다 작으면 몇몇 제품 j 는 물류의 지연이 발생한다). 보관하역 능력은 발생에 따른 정수 곱으로 표현할 있다 왜냐하면 이전에 보관하역비용은 고정비용으로 모두 일정하다고 가정하였기 때문이다 그러므로, 수송 제품 j를 위한 k 스테이지의 물류에 발생하는 총 능력은 .

$$D_{jk}(t) = n \cdot S_j(t) + \sum_{t=\text{현재}} T_{jk}(t) \quad j=1,2,\dots,n; \quad k \in S_{\text{전물류}}$$

단, $S_{\text{전물류}}$ 는 수송 발주명령이 완료된 스테이지들의 집합

n 은 보관하역이 발생한 건수

여기서 $S_{jk}(t)$ 는 전물류와 역물류에서 할인이 없는 동일한 능력의 고정비용이 되고 수송능력 $T_{jk}(t)$ 는 아래 식 제 3.1절의 유류비를 고려한 수송원가로 대치하여 사용할 수 있다. 이때 수송원가는 전물류와 역물류의 값이 할인값을 포함하기 때문에 다르게 적용된다.

물류 능력을 비용으로 전환하면 전물류의 물류비용 식은 다음과 같이 변환시킬 수 있다.

$$DC_{jk}(t)_{\text{전물류}} = n \cdot SC_j(t) + \sum_{t=\text{현재}} TC_{jk}(t) \quad j=1,2,\dots,n; \quad k \in S_{\text{전물류}}$$

그러므로 수송비용과 보관하역비용을 고려한 전물류 시스템의 총 물류비용은 다음과 같다.

$$TDC_{jk}(t) = U \times \left\{ n \cdot S_j(t) + \sum_{t=\text{현재}} TC_{jk}(t) \right\} \quad j=1,2,\dots,n; \quad k \in S_{\text{전물류}}$$

단, $S_j(t)$ 는 모든 스테이지에서 일정

2.2 역물류를 고려한 모형화(혼합 물류모형)

역물류를 고려한 각 스테이지에서 보관하역 능력은 I_{ih} 로 표현될 수 있다. 논문 전개를 위해 역물류가 발생하지 않았을 경우 수송차량의 공차를 고려하여 수송능력에 대한 비용을 $L_{ih} \leq I_{ih}$ 또는 $(\beta \cdot T_{ih})$ 로 놓을 수 있고 여기서 β 는 역물류가 없을 경우 공차로 돌아올 수 밖에 없는 수송차량의 수송비용에 대한 할인율이다. 만약 역물류가 발생하여 스테이지 h 에서 수행되는 역 수송능력을 M_{ih} ($M_{ih} \leq I_{ih} = a \cdot T_{jk}$) 하 하면 이때 a 는 역물류 발생시 수송 할인율이 된다. 제품 i를 위해 k 스테이지에서 이루어지는 물류 능력의 전체 비용 TS_{ik} (스테이지) 는 다음과 같이 주어진다

$$\begin{aligned} TS_{ik}(\text{스테이지}) &= \sum (TDC_{ik} + MC_{ik} + SC_{ik} + IC_{ik}) \quad k \in S_{\text{역물류 발생}} \\ &= \sum (TDC_{ik} + LC_{ik} + SC_{ik}) \quad k \in S_{\text{역물류가 발생하지 않을 경우}} \end{aligned}$$

물류 능력을 비용으로 전환한 값을 가지고 전체 물류 시스템에서 역물류를 고려한 다시 말해 공차비율을 고려한 최소비용은 물류 네트워크를 통한 전물류와 역물류의 인접 매트릭스 LU 합에 물류능력 전체비용의 곱으로 비용의 식을 구할 수 있다.

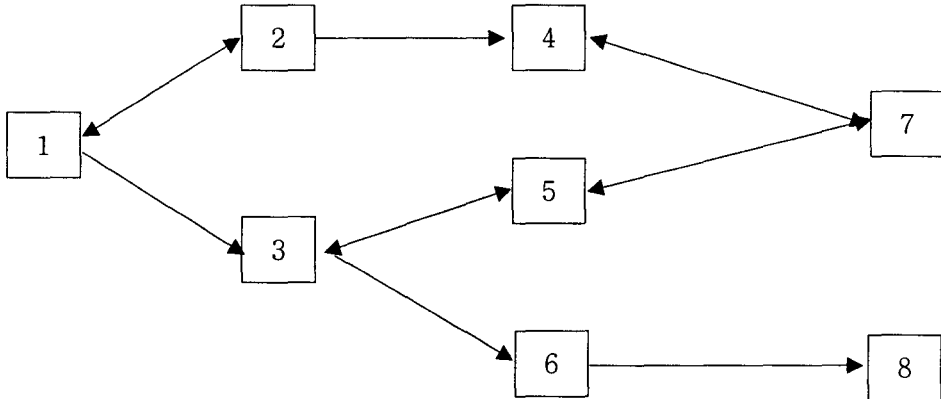
$$SSC_{system} = LU \times TS_{system}(t)$$

이상의 식에 증명하기 위해 우리는 임의의 전물류와 역물류가 일정계획 되었을 경우에 대하여 수치 예를 전개한다.

3. 모형화의 수치 예제

전물류와 역물류를 고려한 네트워크가 [그림 2.2]와 같을 경우 이전 절에서 보여준 것과 같이 [그림 2.2]처럼 매트릭스와 할 수 있다. 제시된 매트릭스에 (식 2.1)~(식 2.5)

까지를 적용하여 각 스테이지에서의 비용을 계산할 수 있다. 만약 임의의 비용에 의해 계산된 각 요인의 값이 주어진 경우 실제 비용의 계산에 대해 비교하면 아래와 같다. (단 할인율은 $\alpha=0.8$, $\beta=0.2$ 이다)



[표 4.1] 물류시스템의 수치 예제 네트워크 모형

(단위 : 비용)

요인	1	2	3	4	5	6	7	8
TC	10	20	15	18	10	11	15	13
MC	2	4	3	3.6	2	2.2	3	2.6
LC	8	16	12	14.4	8	8.8	12	10.4
SC	1	1	1	1	1	1	1	1
I	1	1	0	0	1	0	1	1
Σ	22	41	31	37	21	23	31	27

$$LU = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

이상의 예로 1)역물류를 고려한 경우, 2)역물류를 고려하지 않은 경우를 계산한다면

1)은 다음 식에 의해

$$\begin{aligned}
 TS_{ik}(1) &= \sum(TC_{ik} + MC_{ik} + S_{ik} + I_{ik}) \\
 &= \sum(10 + 2 + 1 + 1) = 14
 \end{aligned}$$

계산될 수 있다

즉, 스테이지 1에서 발생하는 총 물류비용은 14 가 된다. 동일한 방법으로 8번 스테이지까지의 각 스테이지별 물류 비용을 구하면

{14, 26, 19, 22.6, 14, 14.2, 20, 17.6}이 된다. 이 값을 대입하면 시스템에서의 총 비용을 계산할 수 있다.

$$\begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{cccccccc}
 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array} \right] \times \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 14 \\ 26 \\ 19 \\ 22.6 \\ 14 \\ 14.2 \\ 20 \\ 17.6 \end{array} \right| \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\
 \end{array} = \begin{array}{c} \left(\begin{array}{c} 59 \\ 62.6 \\ 47.2 \\ 42.6 \\ 53 \\ 31.8 \\ 56.6 \\ 17.6 \end{array} \right) \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\
 \end{array} = 370.4
 \end{array}$$

2)역물류가 발생하지 않을 경우의 총물류비용을 계산하면

$$TS_{ik}(1) = \sum(TC_{ik} + LC_{ik} + S_{ik}) = \sum(10 + 8 + 2) = 20 \text{ 이 된다.}$$

각 스테이지를 모두 계산하면 {20, 38, 28, 33.4, 20, 20.8, 29, 25.4}이다. 동일한 방법으로 총 비용을 계산하면

$$\begin{array}{c}
 \left[\begin{array}{cccccccc}
 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{array} \right] \times \begin{array}{c} \left| \begin{array}{c} 20 \\ 38 \\ 28 \\ 33.4 \\ 20 \\ 20.8 \\ 29 \\ 25.4 \end{array} \right| \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\
 \end{array} = \begin{array}{c} \left(\begin{array}{c} 86 \\ 91.4 \\ 68.6 \\ 62.4 \\ 77 \\ 46.2 \\ 82.4 \\ 25.4 \end{array} \right) \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\
 \end{array} = 539.4
 \end{array}$$

이상에서 고려한 매트릭스 전개 방법에 의한 비용의 계산 결과는 역물류를 고려하였을 경우 비용을 고려하지 못한 경우와 많은 물류시스템에서의 비용적 차이를 보이고 있다.

4. 결론 및 향후연구과제

본 연구는 물류 시스템에서의 역물류를 고려하였을 경우 현재 수, 배송 업체의 가장 큰 문제점으로 대두 되고 있는 Hidden Cost 와 공차율을 고려하여 효율적인 물류비용을 산정할 수 있지만 역물류를 고려치 않은 경우 물류 시스템이 포함하는 Hidden Cost 와 공차율을 고려하지 못하고 수송비용의 낭비가 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구는 공차율을 고려한 물류 시스템의 모형화를 위하여 매트릭스를 통한 물류 시스템 비용 산정 모델을 개발하였고 수치 예를 통한 효과에 대해 증명 하였다.

연구의 수행결과는 공차율에 대한 기업 원가의 영향과 유통물류 시스템에서의 숨겨진 원가(Hidden cost)의 도출과 개선 및 발전방향을 제시할 수 있을 것이며, 확률적이고 비선형적인 수리 모형의 개발로 계획당시에 유통물류의 적시성과 적합성을 파악할 수 있으리라 기대된다. 효과적인 원가 절감의 효과는 기업의 이익과 직계되며 이러한 연관성은 유통물류의 질과 레벨을 상승 기업경쟁에서 우위를 차지할 수 있는 입지를 마련할 수 있을 것이다. 현재 수, 배송 업체의 가장 큰 문제점으로 대두 되고 있는 Hidden Cost와 공차율(역물류 비용)의 정형화를 통하여 기업 유통 비용의 획기적인 절감과 합리적인 수배송 시스템 구축을 통한 기업 이익의 증대를 기대할 수 있다.

이러한 방법론은 확정적인 방법론에 근거한 합리적 판단으로 비용과 이익에 대한 모델의 영향을 분석할 수 있으며, 물류 유통 현장에서 공차율을 최소로 하는 최적 작업을 제시하여 유통물류의 효과 개선 이익을 증가시킬 수 있을 것이라 판단된다. 본 논문의 모형화는 이러한 계기로 물류 거점지의 선정과 역물류시 공차율의 고려를 통해 업무자동화를 꾀할 수 있고, 공차에 의한 유통손실을 줄일 수 있으며 광의적으로 일력의 절감 및 효율적 유통량의 관리로 고객 주문 시간 단축 및 재고관리를 통한 재고 유지 운영 비용을 감소시킬 수 있어 최종적으로 고객서비스 향상과 원가절감을 가져올 수 있으리라 기대한다.

