

역물류의 공차율을 고려한 물류 최적화 모델 연구

- The study of logistics optimization model with empty transfer rate of reverse logistics -

유 병 우 *

Ryu Byung Woo

박 재 현 **

Park Jae Hyun

Abstract

If do not become whole optimization because enterprise's individual enterprise internal determinate improvement effort is associated with activity in enterprise SCM, competitive power can not but be extremely limited the result. Therefore, to spur in hidden cost's discovery and logistics' optimization is actuality. In this paper, as long as it is by logistics cost except empty driving if reverse logistics happens in distribution channel progressing, logistics reverse logistics' hidden cost through model that do minimization profit of logistics to look for plan that can do maximization try. Finally, is based on dual of distribution cost and profit of logistics and reverse logistics and achieves Pull, optimal system modeling that use Push system and gropes method of effective logistics cost.

Keywords : reverse logistics, empty transfer rate

1. 서 론

기업 간 경쟁이 심화되고 글로벌 소싱이 증가하면서 각 기업들은 경쟁력을 높이기 위한 새로운 방법을 모색하게 되었으며, 그 중 하나로 Supply Chain Management(SCM)가 대

* 서일대학 산업시스템 경영과 부교수

** 한국산업인력공단 연구원

2006년 4월접수; 2006년 6월 수정본 접수; 2006년 6월 게재확정

두되고 있다. 오늘날의 기업들은 공급업자들과 고객들을 하나로 연결한 후 정보 공유와 협업을 통해 Supply-Chain을 관리하면서 비용 절감과 동시에 가치를 추구하는 전략을 사용하게 되었다. 이러한 추세를 바탕으로 SCM을 뒷받침하고 지원하는 프로그램들이 계속 발전되고 있으며 프로그램의 성격에 따라서 계획단계의 Supply Chain Planning(SCP)와 실행단계의 Supply Chain Execution(SCE)으로 크게 구분되고 있다. 물류 산업은 한국에서 급성장하고 있는 업종 중 하나로 우리나라 기업의 경우 매출액 중 물류비가 차지하는 비중이 미국 9.17%, 일본 5.45%에 비해 크게 떨어지는 11.1%에 달한다.

현재 우리나라의 SCM의 문제점을 살펴보면 (1) 상호간 정보교환이 제한되고 (2) 거래 당사자의 주문정보에만 의존하고 있는 형태이며 (3) 공급 망 Network의 복잡화에 따른 유통현황의 지연 및 왜곡현상 심화되고 있으며 (4) 공동 유통업체의 업무에 대한 동태적 행태가 증가하여 (5) 공급체인 상의 정보공유 및 전달, 상호협력, 조정의 중요성과 같은 사항들의 결여 등으로 요약할 수 있다. 이러한 문제점에 대한 기업의 SCM 경쟁력 재고는 기업 내의 부문별 또는 개별기업 내부의 한정된 개선노력이 외부의 부분 또는 기업에서의 활동과 연계되어 전체의 최적화가 되지 않으면 그 성과가 극히 제한적이 될 수밖에 없다. 그래서 현재 많은 기업들은 재고자산, 고정자산의 보유가 곧 이익이며 원가였던 과거의 마인드 자체를 전체 부가가치의 60 - 70%가 "제조" 밖의 가치체인에서 발생하고 있으며 전체 리드 타임 중 제조 소요시간보다 타 공급체인 상에서 소요되는 시간이 훨씬 길다는 것을 인지 현재 제조업의 물류비용이 전체 매출원가의 10-15%를 차지하고 있는 한국기업은 재고의 90% 감축해야 생존한다는 전략경영 사고를 통한 적합한 유통관리 시스템 및 원가 절감, 현금 회수에 집중하고 있다.

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. 이론적 고찰

본 연구에서는 물류 시스템의 직접비용인 물류 수송비용과 보관하역비용만을 고려하여 물류 시스템의 비용에 대한 모델을 제시하고자 한다. 물류 수송비용의 경우 가장 중요한 변수인 유류비용을 고려하여 전개하고 수리적 모형화를 위해 물류 수송비용은 전물류와 역물류로 구분하였고 역물류 발생시 전물류의 물류 수송비용의 할인 값을 적용하고 보관하역비는 전, 역물류 발생시 동시에 발생하며 입, 출하시의 물류수량에

대한 재고비용을 고려치 않고 물류의 발생시 보관 하역비는 동일한 값이라고 가정하여 역물류를 고려치 못하는 현재 물류시스템의 물류비용의 최소화방안을 모형화하고자 한다.

2.1 선행연구

공급망 시스템에서 회차 시 제품 역 수송이 요구되지 않는 경우가 물류기업에서 가장 비중이 큰 중고 제품들로부터 시장에서 다시 사용되는 제품까지 역 물류 자재의 공정을 반영하는 역 물류 시스템의 부수적 영역이다. Teunter et al.[8]은 재고 보유 원가 매개변수의 집합들을 위한 서로 다른 방법들을 비교하였다. 그들은 종종 비 최적 재고 정책을 이끄는 원가에서 초래에 종속하는 회수 제품의 가치에서 전통적인 방식을 포함한다. 그들의 연구는 아직까지 분해가 고려되지 않는 단일 수준 시스템에서 다룬다. Teunter [7]은 재제조와 더불어 분해에서 두 개의 서로 다른 평가 방식을 비교한다. 그는 불평한 평가를 위한 보다 나은 개념은 역 물류된 아이템 가치가 그것의 순 이익과 동일한 것처럼 새로운 조립품과 동일한 재제조 아이템의 가치를 모으는 것이다. 만약 이 방법이 시도되면 거의 최적 수준의 결과를 얻게된다. 어쨌든 Teunter's 연구는 최적 분리 정책 결정을 어떻게 하는지에 대한 어떠한 정보도 제공하지 못했다. Teunter는 역시 분해 원가가 더 이상의 각 부분품의 가치가 없는 분해된 부분품으로 분리된다는 강력한 가정을 만들었다. 기간적 고찰 모델에서 Cohen et al[2]은 수집된 제품들이 직접적으로 사용되는 제품 회수 모델을 개발하였다. Inderfurth[5]은 서로 다른 모델에서 회수와 발주가 0이 아닌 리드타임의 효율성에 대해 토의하였다. Muckstadt and Issac[6]은 0이 아닌 리드타임 그리고 전통적인 (Q, r) 규칙을 갖는 관리 정책을 이용한 재제조 시스템을 위한 모델을 다루었다. Van der Laan and Saloman[9]은 재제조 시스템을 위한 push and pull 정책을 제시하였다. Guide and Gupta[3]는 재제조 시스템의 연구를 위해 대기모형으로 표현하였고 Kiesmuller [4]은 리드타임을 갖는 하나의 제품 회수를 위한 최적 정책에 대해 토의하였다. 이 정책은 최적 제조 비율, 재제조 비율 그리고 제한된 계획 선상에서 처리 비율로 구성된다. 선행연구를 바탕으로 하게 되는 본 논문은 물류 시스템의 직접비용인 물류 수송비용과 보관하역비용만을 사용 물류 시스템의 비용에 대하여 연구하고자 한다.

2.2 유류비를 고려한 수송비용의 전개

현재 아직까지도 물류비 산정기법에 있어서 현실성이 떨어지는 한계를 갖고 있다. 로지스파크닷컴의 설문 조사에 따르면 현재 약 18% 정도의 업체가 물류협회에서 권고하는 기법인 연비와 이동거리의 곱을 이용한 공식을 이용하고 있고 약 70% 정도의 기업이 독자적인 방법을 이용하고 있는 실정이다. 이는 물류협회에서 권고하는 기법이 업체 상황과 맞지 않는다는 것을 보여주는 사례이며, 하나의 기준이 없기 때문에 각 기업에서 계산된 물류비 또한 현실성이 떨어진다고 판단된다. 이렇듯 일관성 및 현실성이 결여된 유류비 산정기법을 타파하고자 본 논문에서는 새로운 유류비 산정 기법

을 제시하고자 한다. 연비에 영향을 주는 요소를 알아보기 위해 미국 환경처(EPA)의 자료에 의하면 <표 3.1>과 같다[1].

<표 3.1> 연비에 영향을 미치는 요인

요 인	설 명
대기온도	25℃ → -7℃ 저하되면 평균 5.3% 최대 13%까지 연비 저하
아이들링	공회전시 연비의 약 5% 연료 소비
맞바람	0Km/h → 32Km/h 평균 2.3%에서 최대 6%까지 감소
언덕길	0% → 7% 경사로 증가되면 평균 1.9% 최대 2.5%까지 감소
도로조건	양호한 길 → 자갈길, 커브길, 진창길, 눈길 주행 시 평균 4.3% 최대 50%까지 감소
교통체증	평균 43Km/h → 32Km/h 이하로 떨어질 때 평균 10.6% 최대 15%까지 감소
고속도로 주행	평균 88Km/h → 113Km/h 이상 고속주행 시 최대 25% 감소
가속	완만한 가속 → 급가속을 자주할 때 평균 11.8% 최대 20%까지 감소
휠얼라이먼트	0.5인치 이상 맞지 않을 경우 평균 1% 최대 10%까지 감소
타이어 종류	타이어 종류에 따라 평균 1%이하 최대 4%까지 감소
타이어 공기압	공기압 26psi → 15psi로 저하될 때 평균 3.3% 최대 6%까지 감소
에어컨 사용 시	사용 없음 → 극히 많이 사용할 경우 평균 21% 감소
적재량	적재 없음 → 적재 및 과적재의 경우 평균 10.6% 최대 35%까지 감소

<표 3.1>을 참고하여 물류협회에서 권고하는 기법에 현실성을 더하여 새로운 공식을 설계할 것이다. 먼저 공식 유도에 앞서서 가정은 다음과 같다.

- ① 대기 온도는 20℃ 이고 바람은 없다.
- ② 언덕길 없이 평지이며, 아스팔트 도로로 간다.
- ③ 급정거, 급가속 없다.
- ④ 타이어상태는 최적의 상태이며, 에어컨 사용량은 없다.
- ⑤ 공차로 다니는 경우가 없다.
- ⑥ 거래처에 도착한 경우 바로 시동을 정지 시킨다.
- ⑦ 경제속도 60Km/h 이고, 유지 시 연비감소요인의 영향이 가장 적다.

2.2.1 모형의 설계

공식 개발에 앞서 공식에서 사용될 변수는 다음과 같다.

C : 총 유류비

P : 연료비(ℓ 당 가격)

K : 차량 연비

L : 이동 거리

Tt : t회 신호 대기 시간 (t = 1, 2, … , n)

Q : 신호 대기 횟수

Ev : 경제 속도

fn : 연비 영향을 미치는 요소에 대한 연비감소율 (%)

(f1 : 과적재에 의한 연비감소율

f2 : 교통체증에 의한 연비감소율)

fq : 공회전에 의한 연비 대비 연료 소비율

물류협회에서 권고하는 유류비 산정 기법의 경우 공식은

$$C = \frac{PL}{K} \dots\dots\dots(3.1)$$

즉, 이동거리를 연비로 나눈 값에 연료비를 곱한 것이다. 하지만 자동차 연비의 경우 최적의 상태에서 리터당 얼마만큼의 거리를 간다는 가정이 있기 때문에 현실과는 맞지 않는다. 또한 정지상태일 경우에도 엔진은 회전을 하면서 연료의 소모가 계속해서 진행되지만 위 공식의 경우 이를 전혀 반영하지 않는다. 전자에서 나타난 이동거리 대비 유류비에 대한 문제점을 보완하기 위한 공식은 다음과 같다.

$$\text{이동거리}C = \frac{P}{K} \left[\frac{L}{\prod_{i=1}^n (1 - f_i)} \right] \dots\dots\dots(3.2)$$

공식 (3.2)는 기존의 공식 (3.1)에서 연비에 영향을 주는 요인을 추가·고려하여 얻어진 공식이다. 후자에 언급한 신호대기 시 유류비 소비에 대한 공식은 시간을 비용단위로 바꿔주기 위해서 경제속도의 개념을 도입하였다. 먼저 공식(3.1)에서의 이동거리에 대한 값인 L은 신호대기 시 발생하지 않기 때문에 여기서는 시간(T)가 들어가고 이는 나타낼 수 있고 이 식의 단위는 금액과 시간이다. 그리고 연비에 영향을 주는 요소 f_q을 고려한다. 이때 f_q은 금액과 관련이 있으므로 P f_q ∑_{i=1}ⁿ T_i 과 같이 된다. 앞서 언급

한 $Pf_q \sum_{i=1}^n T_i$ 의 단위가 금액과 시간이기 때문에 여기에 경제속도를 곱해준다. 경제속도를 도입한 이유는 연비 감소요인의 영향을 가장 적게 받기 때문이다(가정 7). 이 경우 시간당 소비되는 유류비의 금액은

$$\text{신호대기} C = \frac{PE_v f_q \sum_{i=1}^n T_i}{K} \dots\dots\dots(3.3)$$

과 같은 공식을 얻어낼 수 있다. 위에서 나타난 두 가지의 현실성 결여 문제를 고려하여 총 유류비 산출 공식을 유도하면 다음과 같다.

$$C = \frac{P}{K} \left[\frac{L}{\prod_{i=1}^n (1-f_i)} + E_v f_q \sum_{i=1}^n T_i \right] \dots\dots\dots(3.4)$$

위 공식(3.4)에서는 실제로 신호대기시간은 항상 다르고 그렇게 되면 유류비는 매번 변하기 때문에 이 공식으로 유류비를 예측하기는 쉽지 않다. 이를 보완하고 계산을 좀 더 용이하게 하기 위해서 연비감소요인은 과적재와 교통체증만 있다고 전제하고, 신호대기시간과 횡수는 평균을 내어 계산할 것이다. 그렇게 하면 공식은 다음과 같이 변형이 가능하다.

$$C = \frac{P}{K} \left[\frac{L}{\prod_{i=1}^n (1-f_i)} + E_v f_q n \bar{T} \right] \dots\dots\dots(3.5)$$

2.3 물류 시스템의 모형화

통합 전물류/역물류 관리 정책으로 전물류 방법은 모든 초기 스테이지(즉, 공장 또는 물류 입력 스테이지)에서 사용 가능하며, 그 이후 스테이지(즉, 저장사이트, 창고 스테이지)에서는 역물류 방법의 사용이 가능하다. 임의의 물류 시스템의 수리적 모형화를 위하여 전형적인 연속/병렬 물류라인을 [그림 2.1]과 같이 가정하였다. 만약 [그림 2.1]과 같이 수송라인 그리고 보관하역설비들을 가지는 물류 스테이지를 관찰할 때 물류라인은 직선의 네트워크 그래프로 표현할 수 있다. 그래서 [그림 2.1]에서 보여지는 물류라인은 [그림 2.2]에서 보여지는 네트워크로 표현될 수 있다.

물류라인의 모형화에 앞서 사용될 변수의 정의는 다음과 같다.

a_{ij} : 인접매트릭스

A : 네트워크 매트릭스

B : 초기 스테이지 집합

C : 연속(serial) 스테이지 집합

D : 최종 스테이지 집합

$(A, B, C, D)_{Diag}$: 역물류 집합

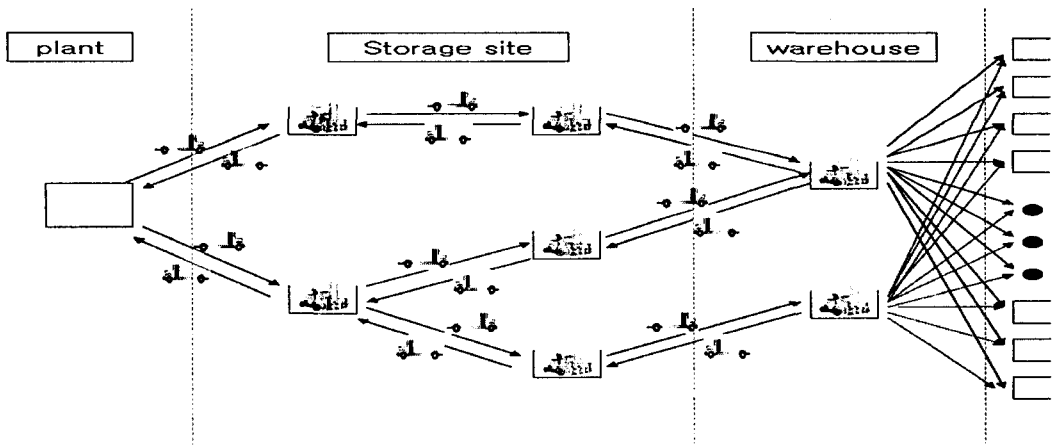
S_i : 스테이지 i 에서 상위(upstream)스테이지는 자재들을 공급받는 집합

U : 상삼각(순물류) 인접 매트릭스

L : 하삼각(역물류) 인접 매트릭스

I : $n \times n$ 단위행렬(Identity Matrix)

R_i : 스테이지 I에 맞닿은 스테이지의 집합

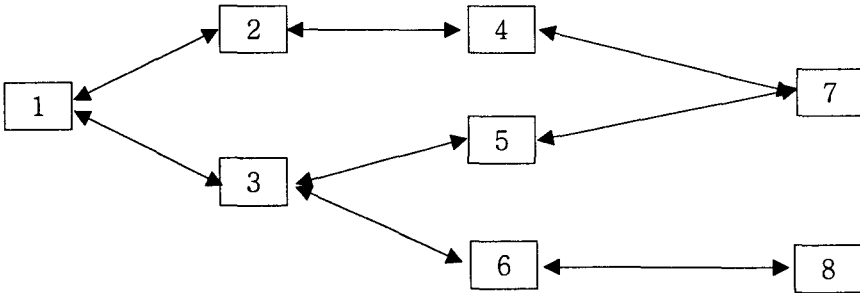


<그림 2.1> 물류시스템의 모형

첫 번째 종류는 초기 스테이지로 이것은 물류 시스템의 시작점이고 물류 시스템 안으로 제품 또는 물류 요인이 입력된다(스테이지 1). 두 번째 스테이지는 저장사이트 물류 스테이지로 이것은 물류의 중간 보관하역 스테이지이다. 예를 들어 그림의 스테이지 2, 3, 4, 5 그리고 6은 저장 사이트 물류 스테이지들이다. 세 번째 종류의 스테이지는 최종 창고 스테이지로 이것은 물류 제품이 최종 집중되고 고객 또는 소비자에 의해 직, 간접 판매 및 유통되는 최종 창고시스템으로 물류시스템의 완료를 말한다(그림의 스테이지 7, 8).

네트워크는 인접 매트릭스(Adjacent Matrix)를 정의하여 쉽게 기술된다.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{공정 } i \text{는 공정 } j \text{에 선행한다} \\ 0 & \text{그렇지 않으면} \end{cases} \quad (2.1)$$



<그림 2.2> 물류시스템의 네트워크 모형

일 때 $A = [a_{ij}]_{n \times n}$ 는 네트워크에 n 개 공정들의 인접 매트릭스이다. 예를 들어 다음의 A 가 네트워크의 인접 매트릭스이다.

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

인접 매트릭스의 의미로 하나의 물류 라인의 노드들은 쉽게 모형화 할 수 있다. 네트워크를 각 단계별 집합인 B, C, D로 정의하면 이 등식에서 B는 초기 스테이지로 열(column)의 합이 0이 되는 초기 공장 및 물류시작을 의미하고 C는 연속(serial) 스테이지의 집합으로 연속 스테이지 행의(row) 합과 열의(column) 합이 양쪽 모두 1인 저장 사이트 물류라인이라는 것을 보여준다. 최종 스테이지의 집합 D는 행(row)의 합이 0인 물류라인의 최종 창고 스테이지를 의미한다.

$$B = \left\{ j; \sum_{i=1}^n a_{ij} = 0 \quad j=1,2,\dots,n \right\} \quad (2.2)$$

$$C = \left\{ i; \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1 \text{ 그리고 } \sum_{j=1}^n a_{ji} = 1 \quad i=1,2,\dots,n \right\}$$

$$D = \left\{ i; \sum_{j=1}^n a_{ij} = 0 \quad i=1,2,\dots,n \right\}$$

스테이지들 사이의 자재공급 관계 역시 네트워크 모델로 기술할 수 있다. 스테이지 i 에서 상위(upstream)스테이지는 자재들을 공급받는 집합 S_i 로 정의할 수 있고 이 집합은 전물류의 집합으로 표현될 수 있다.

$$S_i = \{j; a_{ji} = 1 \quad j=1,2,\dots,n\} \quad i=1,2,\dots,n \tag{2.3}$$

만약 스테이지 i 에서 물류가 스테이지 j 로 흐른다면 우리는 스테이지 j 가 스테이지 i 에 인접한(맞닿은) 스테이지라고 말한다. 이 결정된 스테이지의 맞닿은 스테이지 집합은 네트워크 그래프의 인접 매트릭스로 결정할 수 있다. U 가 그래프의 인접 매트릭스라고 하면

$$U = \sum_{k=1}^{\infty} A^k = (I + A)^{n-1} \tag{2.4}$$

여기서 I 는 $n \times n$ 단위행렬(Identity Matrix) 이라 한다.

만약, R_i 가 스테이지 i 의 맞닿은 스테이지의 집합이라면,

$$R_i = \{j; m_{ij} = 1 \quad j=1,2,\dots,n\} \quad i=1,2,\dots,n \tag{2.5}$$

라고 정의할 수 있고 위에서 정의된 집합들은 물류 시스템 내에서 전체 스테이지들의 상관관계를 보여준다. 예를 들어, 그림 과 에서 보여지는 8 개의 스테이지 시스템은

$$B = \{1\}, \quad C = \{2, 3, 4, 5, 6\}, \quad D = \{7, 8\}$$

그리고 $S_1=0, S_2, S_3=\{1\}, S_4=\{2\}, S_5=\{3\}, S_6=\{3\}, S_7=\{4,5\}, S_8=\{6\}$ 이 결과에 인접한(맞닿은) 매트릭스는

$$U = (I + A)^7 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

여기서 우리는 $R_1 = \{1, 2, 4, 7\}, R_2 = \{2, 4, 7\}, R_3 = \{3, 5, 7\}, R_4 = \{4, 7\}, R_5 =$

{5, 7}, R6 = {6, 8}, R7 = {7}, R8 = {8} 임을 알 수 있다.

동일한 방법으로 역 물류에 대한 전개는 [그림 2.2] 에서 보여지는 네트워크로 표현될 수 있다. 초기 스테이지로 이것은 역 물류 시스템의 시작점은 스테이지 7 과 8이고 연속 되는 저장사이트 물류 스테이지는 전물류와 동일하게 2, 3, 4, 5 그리고 6이 된다. 최종 창고 스테이지는 역물류 시스템에서 스테이지 1이 된다.

역물류 시스템의 인접 매트릭스(Adjacent Matrix)를 정의하면.

$$a_{ji} = \begin{pmatrix} 1 & \text{공정 } j \text{는 공정 } i \text{에 선행한다} \\ 0 & \text{그렇지않으면} \end{pmatrix} \quad (2.1)$$

일 때 $A_{Diag} = [a_{ji}]_{n \times n}$ 는 네트워크에 n 개 공정들의 인접 매트릭스이다. 예를 들어 다음의 A_{Diag} 가 네트워크의 인접 매트릭스이다.

$$A_{Diag} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$B_{Diag} = \left\{ j; \sum_{i=1}^n a_{ij} = 0 \quad j=1,2,\dots,n \right\} \quad (2.2)$$

$$C_{Diag} = \left\{ i; \sum_{j=1}^n a_{ij} = 1 \text{ 그리고 } \sum_{j=1}^n a_{ji} = 1 \quad i=1,2,\dots,n \right\}$$

$$D_{Diag} = \left\{ i; \sum_{j=1}^n a_{ij} = 0 \quad i=1,2,\dots,n \right\}$$

스테이지들 사이의 자재공급 관계 역시 네트워크 모델로 기술할 수 있다. 스테이지 i 에서 하위(downstream)스테이지는 자재들을 공급받는 집합 $S_{i,Diag}$ 로 정의할 수 있고 이 집합은 역물류의 집합으로 표현될 수 있다.

$$S_{i,Diag} = \{j; a_{ij} = 1 \quad i=1,2,\dots,n \quad j=1,2,\dots,n \} \quad (2.3)$$

만약 스테이지 j 에서 물류가 스테이지 i 로 흐른다면 우리는 스테이지 i 가 스테이지 j 에 인접한 스테이지라고 말한다.

이 그래프의 인접 매트릭스라고 하면

$$L = \sum_{k=1}^{\infty} A_{\text{Diag}}^k = (I + A_{\text{Diag}})^{n-1} \quad (2.4)$$

여기서 I 는 $n \times n$ 단위행렬(Identity Matrix) 이라 한다.

만약, R_i 가 스테이지 i 의 맞닿은 스테이지의 집합이라면,

$$R_j = \{i; m_{ij} = 1, i=1,2,\dots,n\} \quad j=1,2,\dots,n \quad (2.5)$$

[그림 2.2]의 8 개의 스테이지 시스템은

$$B = \{7, 8\}, \quad C = \{2, 3, 4, 5, 6\}, \quad D = \{1\}$$

그리고 $S_7, S_8=0, S_4, S_5=\{7\}, S_6=\{8\}, S_3=\{5,6\}, S_3=\{5,6\}, S_2=\{4\}, S_1=\{2,3\}$ 이 결과에 인접한(맞닿은) 매트릭스는

$$L = (I + A_{\text{Diag}})^7 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

여기서 우리는 $R_7 = \{7, 4, 2, 1\}$, $R_8 = \{8, 6, 3, 1\}$, $R_4 = \{4, 2, 1\}$, $R_5 = \{5, 3, 1\}$, $R_6 = \{6, 3, 1\}$, $R_2 = \{2, 1\}$, $R_3 = \{3, 1\}$, $R_1 = \{1\}$ 임을 알 수 있다.

3. 물류비용을 고려한 시스템의 모형화

3.1 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

j의 수송 능력의 최소치와 최대치라고 정의한다.

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

j에서의 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.

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

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 수송능력이다. 기간 t에서 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 j는 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 .

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

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 수송 능력 $T_{jk}(t)$ 는 아래 식 제 3.1절의 유틸리티를 고려한 수송원가로 대체하여 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.

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

그러므로 수송비용과 보관하역비용을 고려한 전물류 시스템의 총 물류비용은 다음과 같다.

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

단, $S_j(t)$ 는 모든 스테이지에서 일정

3.2 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} ($M_{ih} \leq I_{ih} = \alpha \cdot T_{jk}$) 하 하면 이때 α 는 역물류 발생시 수송 할인율이 된다. 제품 i 를 위해 k 스테이지에서 이루어지는 물류 능력의 전체 비용 TS_{ik} (스테이지) 는 다음과 같이 주어진다

$$TS_{ik}(\text{스테이지}) = \sum (TDC_{ik} + MC_{ik} + SC_{ik} + IC_{ik}) \quad k \in S \text{ 역물류 발생}$$

$$= \sum (TDC_{ik} + LC_{ik} + SC_{ik}) \quad k \in S \text{ 역물류가 발생하지 않을 경우}$$

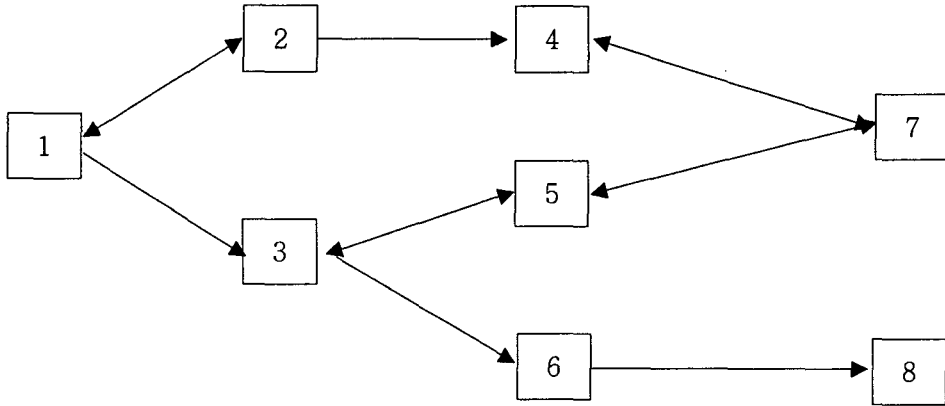
물류 능력을 비용으로 전환한 값을 가지고 전체 물류 시스템에서 역물류를 고려한 다시 말해 공차비용을 고려한 최소비용은 물류 네트워크를 통한 전물류와 역물류의 인접 매트릭스 LU 합에 물류능력 전체비용의 곱으로 비용의 식을 구할 수 있다.

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

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

4. 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

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

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

1)은 다음 식에 의해

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

계산될 수 있다

즉, 스테이지 1에서 발생하는 총 물류비용은 14가 된다. 동일한 방법으로 8번 스테이

지까지의 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.

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

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

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

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

5. 결론

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, 확률적이

고 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.

6. 참 고 문 헌

- [1] 조중현, 양광모, 강경식, “물류비 현실화 및 절감을 위한 TMS 및 시뮬레이션 연구” 보전경영학회지, 10(2005) : 153-162
- [2] COHEN, M. A., NAHMIAS, S. and PIERSKALLA, W. P., , “A dynamic inventory system with recycling.”, Naval Research Logistics Quarterly, 27(1980) : 289-296
- [3] GUIDE, JR, V. D. R. and GUPTA, S. M., , “A queueing network model for remanufacturing production systems.”. In Proceedings of the Second International Seminar on Reuse, Eindhoven, the Netherlands, 3(1999) : 115-128
- [4] KIESMULLER, G. P., , “Optimal control of a product recovery system with lead time.”, International Journal of Production Economics, 81(2003) : 333-340
- [5] INDERFURTH, K., , “Simple optimal replenishment and disposal policies for a product recovery system with lead-times.”, OR Spektrum, 19(1997) : 111-122
- [6] MUCKSTADT, J. A. and ISAAC, M. H., , “An analysis of single item inventory systems with returns.”, Naval Research Logistics Quarterly, 2(1981) : 237-254
- [7] TEUNTER, R. H.,, “A reverse logistics valuation method for inventory control”, International Journal of Production Research, 39 (2001) : 2023-2035
- [8] TEUNTER, R. H. and VAN DER LAAN, E., , “On the non-optimality of the average cost approach for inventory models with remanufacturing”,

International Journal of Production Economics, 79(2002) : 67-73

- [9] VAN DER LAAN, E. A. and SALOMON, M., , "Production planning and inventory control with remanufacturing and disposal.", European Journal of Operational Research, 102(1997) : 264-278

저 자 소 개

유 병 우 : 현재 서일대학교 산업시스템경영과 교수로 학과장을 역임. 국민대학교 대학원에서 경영학 박사학위를 취득 하였으며, 관심분야는 6시그마, ERP, 물류관리, 분야등. 특히 제조물책임(법)에 대한 연구와 산업안전보건에 대한 연구를 진행하고있음.

박 재 현 : 현 명지대학교 산업공학과 학사·석사·박사수료. 현재 산업인력공단 재직중 주요 관심분야는 생산관리, 품질관리, 공정관리 등.

저 자 주 소

유 병 우 : 서울시 중랑구 성일대학길22(면목동 49-3) 산업시스템경영과

박 재 현 : 경기도 오산시 원동 두산 아파트 103동 1204호