

Optimal Distribution Strategies by Considering Inbound and Outbound Transportation Costs

Gitae Kim[†]

Department of Industrial Management Engineering, Hanbat National University

입고 출고 수송비용을 고려한 최적 배송전략

김기태[†]

한밭대학교 산업경영공학과

In supply chain, most partners except the top level suppliers have inbound and outbound logistics. For example, toll manufacturing companies get unprocessed materials from a requesting company and send the processed materials back to the company after toll processing. Accordingly, those companies have inbound and outbound transportation costs in their total logistics costs. For many cases, the company may make the schedule of distributions by considering only the due delivery dates. However, the inbound and outbound transportation costs could significantly affect the total logistics costs. Thus, this paper considers the inbound and outbound transportation costs to find the optimal distribution plans. In addition, we have considered the inventory holding costs as well with transportation costs. From the experimental results, we have provided the optimal strategies for the distributions of replenishment as well as deliveries.

Keywords : Inbound and Outbound Transportation, Distribution System, Supply Chain Management, Optimization, Distribution Plans

1. 서 론

고객의 수요가 다양해지고 요구하는 수준의 품질이 높아지면서 제품의 복잡도는 증가하고 있다. 이러한 이유로, 하나의 제품을 생산하기 위해서는 한 기업에서 모든 공급사슬을 유지하기 어려운 상황이다. 공급사슬이 여러 기업들이 참여하는 복잡한 공급사슬 네트워크가 되어가고 있다. 공급사슬의 상위 단계에 있는 공급자와 최종 수요자를 제외하면 대부분의 공급사슬 참여자는 공급사슬의 중간에 위치하고 있다고 볼 수 있다. 중간에 위치한 참여자는 공급사슬 상위단계에서 오는 입고와 하위단

계로 제품이나 부품을 보내주는 출고가 존재한다. 입고와 출고에서 발생하는 수송을 입고(inbound)수송과 출고(outbound)수송이라고 한다.

예를 들어, 물류센터 또는 배송센터는 소매자들의 수요를 충족시키기 위해 제품을 생산자로부터 들여와서 저장하고 있다가 소매자에 배송을 한다. 생산자로부터 제품을 가져오는 것은 배송센터에서는 입고수송으로 볼 수 있고 소매자들에게 제품을 배송하는 것을 출고 수송이라고 할 수 있다. 입고수송과 출고수송은 하나의 목적지가 있을 수도 있고 여러 목적지가 있어서 복잡한 문제가 될 수도 있다. 배송센터는 많은 양을 한번에 입고하면 입고수송비용을 절약할 수 있지만 재고유지비용이 많은 제품의 경우에는 수송비용보다 높을 수가 있기 때문에 좋은 전략이 되지 못할 수도 있다. 출고수송도 소매자에서의 재고비용과 소매자들 간의 수요불균형을 고려하면 최적

의 배송전략을 찾는 것이 쉬운 문제가 아닐 수 있다. 입고수송과 출고수송은 재고유지비용을 고려하는 제품의 경우에는 재고수준을 함께 고려해야 한다.

공급사슬의 중간 참여자들은 입고수송과 출고수송의 시기와 수량을 결정해야 되는데, 대부분은 주문의 납기만을 고려하여 이들을 결정하고 있다. 하지만, 입고수송과 출고수송에 대한 비용이 상이하거나 재고유지비용이 존재하는 경우에는 납기만을 고려한 결정이 비효율적이거나 공급사슬 비용을 높일 수 있게 된다. 본 연구에서는 원재료를 공급받아서 가공을 해서 부품을 제작한 후에 완제품 생산자에 부품을 보내주는 공급사슬 중간 참여자에 대해 입고수송비용, 출고수송비용, 재고유지비용을 고려한 최적의 입고와 출고 정책을 구하고자 한다. 본 논문의 기여도는 재료를 공급받아 부품을 생산하여 다시 생산자에 부품을 보내주는 임가공업체의 배송문제를 입고수송비용, 출고수송비용, 재고유지비용을 고려한 수리모형을 개발하였고, 수송비용의 변화와 재고유지비용의 변화에 따른 배송시기와 배송량에 대한 최적 정책을 제안하였으며, 랜덤한 수요의 변화에 따른 배송전략을 제안하고 있다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. 제2장에서는 배송시스템에서 입고와 출고 수송문제를 다룬 연구들을 살펴본다. 제3장에서는 입고와 출고 수송문제에 대해 설명을 하고, 이 문제를 정수계획법으로 모형화 하는 내용은 제4장에서 소개한다. 제5장에서는 정수계획법 모형을 구현하여 실험한 결과를 보여주며, 제6장에서 이 논문의 결론을 제시한다.

2. 선행연구

배송시스템 문제에 대한 연구는 주로 배송을 위한 수송문제와 재고할당에 대한 문제들이 연구되어져왔다. 배송을 위한 연구는 생산이나 차량의 일정을 위주로 하는 시간에 대한 전략을 세우는 연구와 생산량이나 배송량을 결정하는 수량에 대한 전략을 찾는 연구가 주로 연구되어지고 있다.

수량기반의 연구로 Fu and Yeh[3]은 생산자와 구매자의 모형에서 랜덤으로 변하는 수송시간을 고려한 상황에서 생산자의 재고수준, 구매자의 배송량과 배송횟수를 결정하는 문제를 다루었다. Huang et al.[4]은 유제품 기업에 대해 원재료를 들여오는 부분을 입고수송으로 하고, 제품을 최종공장에 보내주는 부분을 출고수송으로 정의하고 입고 수송량과 출고 수송량의 최적값을 구하는 문제를 제안하였다.

시간기반 연구도 많이 연구되어져 왔는데, Dimas et

al.[2]은 파이프라인을 이용하는 정유공장에서 제품이 보내지는 출고(outbound)와 배송센터의 탱크로 제품이 들어오는 입고(inbound)의 일정문제에 대해 연구를 하였다. Tsao and Lu[9]은 전국 배송센터와 지역 배송센터, 지역 배송센터와 소매자간의 수송문제를 입고수송과 출고수송으로 정의하고 이들에 대한 수송계획문제를 다루었다.

시간기반과 수량기반을 모두 고려하는 혼합기반의 연구도 이루어졌는데, Çetinkaya et al.[1]은 재고보충 문제와 차량경로문제를 고려하면서 시간기반 전략과 수량기반 전략을 비용적인 측면과 수량적인 측면에서 비교하였고, 서비스적인 관점에서의 결과도 보여주었다. 제안된 혼합전략은 시간기반 정책 보다는 총 비용면에서 좋은 결과를 가져오지만 수량기반 정책보다는 좋지 않은 결과를 가져온다는 것을 보여주었다. 하지만, 혼합정책은 서비스 측면에서 수량기반 정책보다는 우수하다는 결과를 제시했다. Wei et al.[10]은 배송센터를 기준으로 재고보충을 입고수송, 제품배송을 출고수송으로 정의하고 랜덤인 수요기반하에서 시간기반 전략과 수량기반 전략을 비교분석하였다.

입고수송과 출고수송에 관한 문제의 모형은 주로 정수계획법 또는 혼합정수계획법이 사용되었는데, Dimas et al.[2]은 정유공장, 탱크, 배송센터 사이의 시간 동기화에 대해서도 실제 운영에 가깝게 모형화 하려고 시도했다. 이 연구에서는 정유공장에서 제품이 보내지는 출고와 배송센터의 탱크로 제품이 들어오는 입고의 일정문제를 혼합정수계획법으로 모형화 하고 순수 최적방법(exact algorithm)으로 문제의 해를 구하였다. Koç et al.[6]은 생산공장에서 생산 일정문제와 부품을 가져오는 수송과 생산 후에 제품을 가져가는 수송문제를 함께 고려한 문제를 목적함수는 총 수송비용과 재고유지비용의 최소화로 설정을 하였다. 이 연구에서는 이 문제를 정수계획법으로 모형화 하였고 빔 탐색(Beam Search) 기법의 발견적 해법을 이용하여 최적해를 구하였다. Marques et al.[7]은 공급사에서 생산자로의 입고수송과 생산자에서 고객으로의 출고수송을 고려한 차량경로문제를 입고수송과 출고수송에 대한 귀로화물을 가진 차량경로문제로 가정하는 경우, 통합된 프로세스로 보는 경우, 분리된 것으로 보는 경우에 대한 전략을 수립하는 모형을 제시했다. 모형은 정수계획법으로 모형화 하였고 VNDS(Variable Neighborhood Decomposition Search) 방법으로 해를 구하였다.

그 밖에 다양한 모형이 제시되었는데, Fu and Yeh[3]은 수송시간이 랜덤한 상황을 가정하고 생산자의 재고수준, 구매자의 배송량과 배송횟수를 결정하는 문제를 비선형계획법으로 모형화 하고 이를 뉴턴 탐색 방법으로 해를 구하였다. Huang et al.[4]은 농장에서 우유를 수집하는 부분을 입고 수송으로 보고 수집된 우유를 최종제품으로 만드는 우유공장으로 원유를 보내주는 것을 출고

수송으로 보고 수송비용을 최소화 하기위해 입고수송량과 출고수송량을 결정하는 정수계획법으로 모형화 되었는데, 문제의 복잡성 때문에 이 문제의 근사해를 찾는 집합커버링(set covering) 접근법으로 문제를 단순화시켜서 새로운 정수계획법 모형을 제안했고 절약기반의 알고리즘으로 해를 찾았다. Shan et al.[8]은 화물을 받는 수취인에 대한 입고수송과 화물을 배송하는 화주에 대한 출고수송을 고려하여 컨테이너 차량이 빈 차량이 많지 않고 차량을 최적으로 할당하는 문제를 랜덤인 수요를 갖는 강건(robust) 최적화 모형으로 모형화를 하였고, 라그랑지 완화 기반의 발견적 해법을 제안하여 문제의 해를 찾았다. Tsao and Lu[9]은 다계층 공급망을 고려하여, 전국 배송센터에서 지역 배송센터로의 수송을 입고수송으로 정하고 규모의 경제를 이용할 수량 할인이 가능하다는 것을 가정하였고, 지역 배송센터에서 소매자까지를 출고수송으로 정하고 거리에 따른 비용감소를 가정하여 다계층 공급망 수송계획 문제를 재고모형으로 모형화하였고 두단계 근사해 방법을 이용하여 문제를 해결하였다. Wei et al.[10]은 배송센터에서 재고보충을 위한 입고수송과 제품을 보내주기 위한 출고수송에 대한 운영을 최적화하는 문제를 확률과정 모형으로 모형화 하여 고려하는 정책들에 대해 해를 구하고 이들을 비교 분석하였다. 분석결과는 시간과 수량을 함께 고려하는 혼합전략이 좋은 해를 가져온다는 것을 보여주었다. Yaghin and Farmani[11]은 입고수송과 출고수송을 고려하면서 전체 공급사슬의 계획과 가격정책문제에 대해 다루었으며, 확률론적 계획법 모형으로 모형화 하여 해를 구하였다.

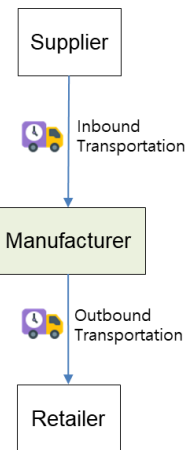
배송시스템에서의 입고수송과 출고수송에 대한 연구들은 주로 공급사슬의 계층에 걸쳐서 공급자, 생산자, 배송센터, 소매자 들 간의 수송에 대한 부분을 다루었다. 하지만 임가공업체 같은 형태의 문제는 많이 다루어지지 않는았다. 문제의 형태에 대해서도 주로 시간과 수량에 기반을 둔 형태의 문제가 다루어졌으며, 주로 정수계획법을 이용하여 모형화 되어져 왔다는 것을 알 수 있다. 본 연구는 정수계획법이면서 주로 수량에 대한 문제를 다루면서 재고 유지비용을 함께 고려하여 해를 찾는 모형을 제안한다.

3. 입고 및 출고 수송문제

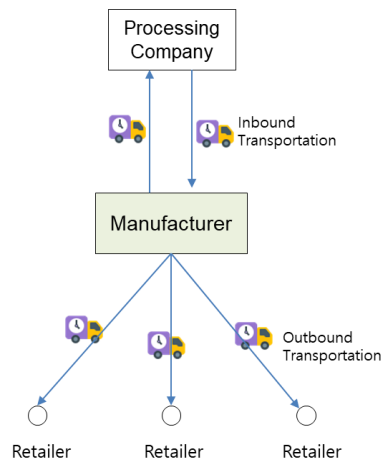
공급사슬은 크게 공급자, 생산자, 도매자, 소매자로 구성이 된다. 공급자를 공급사슬의 상위 단계, 소매자쪽을 공급사슬의 하위단계라고 한다. 공급사슬의 각 단계는 제품에 따라서 하나 또는 그 이상의 계층으로 더 확장될 수도 있다. 예를 들어, 공급자가 여러 단계가 있을 수

도 있고, 생산자도 1차생산, 2차생산 등으로 단계가 확장되어질 수도 있다. 공급자 중에서 가장 위에 있는 공급자인 경우와 소매자에서 가장 마지막 단계의 소매자를 제외하면 공급사슬의 대부분의 단계는 물품이 들어오는 입고와 물품이 공급사슬의 하위단계로 보내지는 출고를 갖고 있다. 이러한 중간 단계의 공급사슬 참여자들은 상위 단계의 공급사슬로부터 물품을 받아서 재고수준을 높이는 재고보충과 물품을 공급사슬 하위단계로 보내주는 배송이 존재하게 된다. 따라서 각 공급사슬 참여자는 재고보충과 배송에 대한 일정과 수량을 결정해야 한다.

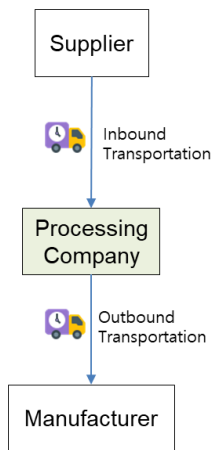
언제 재고보충을 하고 배송을 할지와 배송 수량에 대한 결정은 대부분 주문이나 발주의 납기에 의존하여 결정된다. 본 논문은 이 결정을 입고수송과 출고수송에 대한 비용을 고려하여 결정을 하려고 하고 또한 재고유지비용을 함께 고려하여 의사결정을 하는 모형을 제안한다.



<Figure 1> Type of Inbound and Outbound Transportation: Supplier, Manufacturer, and Retailers



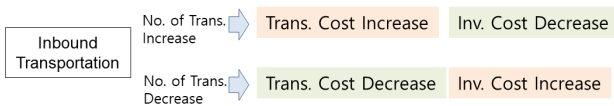
<Figure 2> Type of Inbound and Outbound Transportation: Processor, Manufacturer, and Retailers



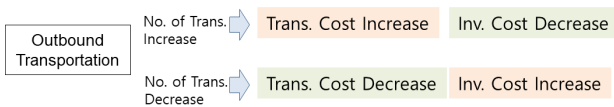
<Figure 3> Type of Inbound and Outbound Transportation: Supplier, Processor, and Manufacturer

공급사슬의 중간단계에 있는 경우에 입고수송과 출고수송이 존재하게 되는데, 이들 중에 몇 가지 사례를 <Figure 1> ~ <Figure 3>이 보여준다. <Figure 1>에서 보여주는 첫번째 사례는 전형적인 공급자, 생산자, 소매자로 연결되는 구조에서 생산자를 기준으로 공급자에서 들어오는 입고수송과 생산자에서 소매자로 배송하는 출고수송을 보여준다. <Figure 2>의 경우에는 생산자가 가공업체로부터 가공된 제품을 들여오는 입고수송과 생산자에서 복수의 소매자들로 배송을 하는 출고수송의 경우이다. <Figure 3>은 가공업체를 기준으로 공급자로부터 원재료를 받아서 가공을 하고 가공된 부품을 생산자에 보내주는 구조를 갖고 있는데, 이 논문에서는 이 형태를 고려한다.

입고수송의 횟수가 변하면 수송비용과 재고비용의 변화를 가져오는데, 이들의 관계를 수송의 횟수의 증감에 따른 변화를 <Figure 4> ~ <Figure 5>에서 보여주고 있다.



<Figure 4> Relationships between Transportation Costs and Inventory Holding Costs in Inbound Transportation



<Figure 5> Relationships between Transportation Costs and Inventory Holding Costs in Outbound Transportation

<Figure 4>와 <Figure 5>는 같은 효과를 보여주는데, 수송의 횟수가 증가하면 총 수송비용이 증가하고 재고를 많이 보유하지 않기 때문에 재고유지비용은 감소하게 된다. 반면에, 한 번에 수송하는 양을 늘려서 수송횟수를 감소시키면 수송비용은 줄어들지만 재고를 오래 보유해야 하기 때문에 재고비용은 증가하게 된다.

가공업체는 생산자로부터의 가공에 대한 주문을 받고 납기까지 가공을 완료해서 보내주면 되는데, 납기를 넘기지 않는 범위에서 수송비용과 재고유지 비용을 합한 총 물류비용을 최소로 하는 배송횟수와 배송량을 결정해야 한다. 위에서 언급했듯이 수송비용과 재고유지비용을 동시에 고려한 최적의 전략을 찾아야 한다.

4. 입고와 출고 수송비용을 고려한 배송 시스템 모형

생산자로부터 가공에 대한 주문을 받고 가공을 위한 원재료를 공급사슬 상위의 공급자로부터 구매해서 가공을 한 후에 가공한 부품을 생산자에 보내주는 가공업체를 고려한다. 가공업체는 원재료를 공급자로부터 들어오는 입고수송과 생산자에게 부품을 배송하는 출고수송을 해야 하고 이를 위한 최적의 수송량과 일정을 찾는 문제를 모형화 한다. 이를 위한 수리모형은 아래와 같다.

<집합>

$M = \{1, 2, \dots, 12\}$: 월(month)의 집합

$T = \{1, 2, \dots, 48\}$: 주(week)의 집합

<파라미터>

R_{in} : 입고수송의 용량

R_{out} : 출고수송의 용량

d_i : i 월의 수요량

h_i : i 시간 기간 동안의 재고 유지 비용

C_x : 입고수송 비용

C_y : 출고수송 비용

<변수>

x_i : i 기간의 입고수송량

y_i : i 기간의 출고수송량

I_i : i 기간의 마지막에 남아있는 재고량

(IT-OT-DP)

$$\text{Min} \sum_{i \in T} c_x x_i + \sum_{i \in T} c_y y_i + \sum_{i \in T} h_i I_i \tag{1}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{i \in M_j} y_i = d_j \quad \forall j \in M \tag{2}$$

$$\sum_{i \in M_j} x_i - \sum_{i \in M_j} y_i = 0, \quad \forall j \in M \quad (3)$$

$$I_i = I_{i-1} + x_i - y_i, \quad \forall i \in T \quad (4)$$

$$x_i \leq R_{in}, \quad \forall i \in T \quad (5)$$

$$y_i \leq R_{out}, \quad \forall i \in T \quad (6)$$

$$x_i, y_i, I_i \geq 0, \quad \forall i \in T \quad (7)$$

목적함수 (1)은 총 입고수송 비용과 출고수송 비용을 최소화 하고 총 재고보유비용도 함께 최소화 하는 것을 나타낸다. 제약식 (2)는 해당 월의 출고 수송량은 월 수요량과 같아야 한다. 제약식 (3)은 입고수송과 출고수송의 양은 월별로 총량이 같다는 제약식이다. 제약식 (4)는 재고 균형을 위한 제약식이다. 해당 월의 재고량은 이전 재고량에 입고로 들어온 재고량을 더하고 출고로 나간 재고량을 뺀 것과 같다. 제약식 (5)와 (6)은 입고와 출고의 차량에 대한 용량으로 차량의 용량을 모두 같다고 가정한다. 제약식 (7)은 변수의 비음제약이다.

제안된 모형은 선형계획법 모형으로 수요는 확률분포를 갖고 월별로 수요를 구분한다. 한 달에 네 번 주문이 들어오는데 이들 네 번의 주문을 합한 값을 월 수요로 정의한다. 월 수요는 네 번에 나누어서 배송시킬 수도 있고 그 보다 작은 횟수로 배송을 할 수도 있다. 모형에는 언급하지 않았지만 초기의 시스템에 있는 초기 재고값을 설정할 수 있다. 이 모형은 유한한 기간 동안의 문제를 모형화 한 것이고, 한 달에 네 번씩 주문을 받고 총 일년의 기간 동안에 입고수송과 출고수송을 고려하였다. 재고유지비용은 한 달에 네 번 주문하는 주문시점이 있는데, 이들 시점에 보유중인 재고들을 기준으로 재고보유비용을 계산한다. 따라서 입고수송비용과 출고수송비용을 최소화 하면서 총 재고유지비용을 최소화할 수 있는 최적의 수송횟수와 수송량을 결정하는 모형이라고 볼 수 있다.

5. 모형적용

5.1 수요 데이터

가공업체의 수요는 가공업체의 실제 주문과 배송 데이터를 기반으로 데이터를 가공하여 수요데이터를 생성하였다. 가공업체의 월별 주문량을 참고로 주문량이 정규분포를 가정하고 분포를 구하면 월별 4번의 주문에 대한 주문량을 찾을 수 있다. 구해진 정규분포에서 평균과 표준편차를 얻을 수 있는데, 이 분포에서 수요데이터를 생성하여 이 논문에서 제시한 모형의 입력값으로 사용할 수 있다.

하지만, 주문량은 소수점이 없는 정수값만을 갖기 때문에 정규분포에서 생성한 수요량을 모형에서 사용하는 수요량으로 사용할 수 없다. 따라서, 정규분포에서 생성된 값을 이산화(discretization) 해주는 과정이 필요하게 된다.

이산화를 할 때 실제 분포에서 생성된 값이 많은 수가 생성되어서 수요의 분포를 잘 표현할 수 있는 값으로 생성되도록 하기 위해 이산화를 하면서 값들이 균형있게 생성될 수 있는 처리가 필요해진다. Kim and Wu[5]은 이러한 이산화 과정을 제안했고, 이렇게 수요량을 생성하는 과정은 아래와 같다.

단계 1: 실제데이터에서 얻어진 수요의 분포에서 평균과 표준편차를 얻는다 $N(\mu, \delta)$

단계 2: 시나리오 수 s 에 따라 표준편차의 간격으로 수요의 범위와 시나리오를 만든다

$$\left(-3\delta, -\frac{21}{9}\delta, -\frac{15}{9}\delta, -\delta, -\frac{3}{9}\delta, \frac{3}{9}\delta, \delta, \frac{15}{9}\delta, \frac{21}{9}\delta, 3\delta\right)$$

여기서 범위는 -3δ 에서 3δ 까지이다

단계 3: 수요 D_s 의 모든 가능한 상황을 만든다

(여기서 s 는 시나리오)

시나리오가 $\pm 3\delta$ 범위이면, 범위값들은 아래와 같다.

$$X_1 = \mu - 3\delta, \quad X_2 = \mu - \frac{21}{9}\delta, \quad X_3 = \mu - \frac{15}{9}\delta$$

$$X_4 = \mu - \delta, \quad X_5 = \mu - \frac{3}{9}\delta, \quad X_6 = \mu + \frac{3}{9}\delta,$$

$$X_7 = \mu + \delta, \quad X_8 = \mu + \frac{15}{9}\delta, \quad X_9 = \mu + \frac{21}{9}\delta,$$

$$X_{10} = \mu + 3\delta.$$

이들 범위값들을 기반으로 생성된 수요는 아래와 같다.

$$D_1 = \frac{X_1 + X_2}{2}, \quad D_2 = \frac{X_2 + X_3}{2}, \quad D_3 = \frac{X_3 + X_4}{2},$$

$$D_4 = \frac{X_4 + X_5}{2}, \quad D_5 = \frac{X_5 + X_6}{2}, \quad D_6 = \frac{X_6 + X_7}{2},$$

$$D_7 = \frac{X_7 + X_8}{2}, \quad D_8 = \frac{X_8 + X_9}{2}, \quad D_9 = \frac{X_9 + X_{10}}{2}.$$

단계 4: 랜덤 수 $R \in [0, 1]$ 을 생성한다.

단계 5: 단계 4에서 생성한 R 을 갖고 표준정규분포의 값을 아래와 같이 생성한다

$$Z_1 = \sqrt{-2 \ln R} \cos(2\pi R),$$

$$Z_2 = \sqrt{-2 \ln R} \sin(2\pi R).$$

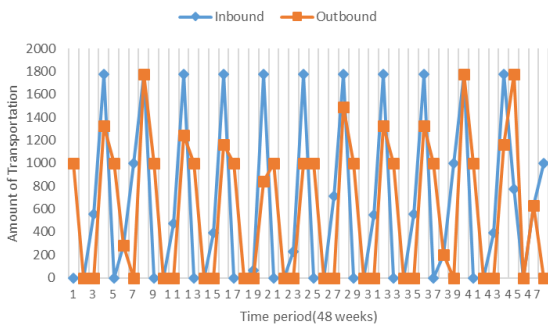
단계 6: 시나리오들에 대한 이산형 수요량을 생성한다. (예를 들어, 만일 Z 값이 어떤 구간에 있으면, 수요는 D_s 중에 하나가 된다)

실험에서 사용하는 수요량은 실제 가공업체의 수요를

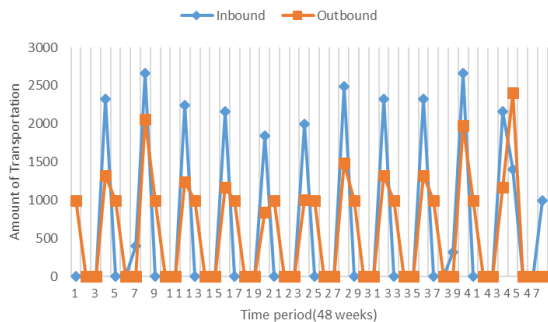
기반으로 위의 이산화 과정을 통해 생성된 1년 동안의 수요량이다.

모형의 구현은 C# 프로그램에서 Concert Technology를 이용하였고, 해법은 CPLEX 12.6.1을 이용하여 최적화 알고리즘(exact algorithm)을 적용하였다.

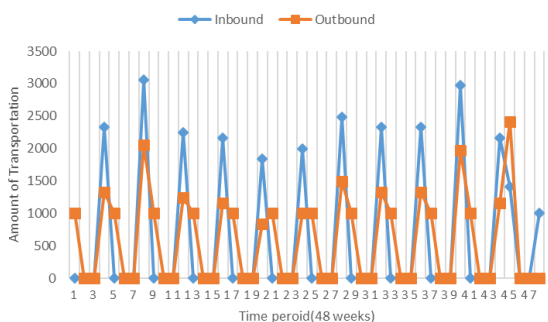
실제 가공업체의 데이터를 기초로, 파라미터값들을 설정하였다. 생산자로부터의 주문량(수요량)이 정규분포를 따른다고 가정하고 주문량 중에 최고값의 2배, 3배, 4배의 값을 차량의 용량으로 정의하였다. 입고수송비용은 1.5, 출고수송비용은 7, 단위재고당 재고유지비용은 2.5로 설정하였다. 초기 재고량은 주문량 등을 고려하여 1000으로 가정하였다.



<Figure 6> Inbound & Outbound Transportations:
Capacity of Vehicle: 1774



<Figure 7> Inbound & Outbound Transportations:
Capacity of Vehicle: 2661



<Figure 8> Inbound & Outbound Transportations:
Capacity of Vehicle: 3548

<Figure 6> ~ <Figure 8>은 다른 파라미터값을 고정하고 차량의 용량을 변경시켰을 때, 입고수송과 출고수송의 변화를 실험하였다.

<Figure 6>은 차량의 용량이 주문량이 가장 큰 887의 두 배인 1774로 설정하고 실험을 하였다. 이 경우에는 차량의 용량이 크지 않기 때문에 한꺼번에

원재료를 가져올 수 없어서 입고수송의 횟수가 많은 것을 볼 수 있다. 4주를 한 달로 하고 주문한 가공품을 생산자에게 배송하는 기간을 한 달을 기준으로 했기 때문에 4주를 주기로 한 달 동안의 수요가 충족되도록 수송량이 정해지고 있는 것을 볼 수 있다.

<Figure 7>은 차량의 용량이 최고 주문량의 세배인 2661로 설정을 하고 실험을 하였다. 이때는 입고수송의 횟수가 15, 출고수송의 횟수가 23인 것을 볼 수 있다. 차량의 용량이 커지면서 가능한 많은 양을 가져와서 가공을 하면서 입고수송비용을 줄이고, 출고수송의 횟수도 다소 줄여서 출고수송 비용을 감소시킨 것을 알 수 있다.

<Figure 8>은 최고 주문량의 네 배로 차량의 용량을 설정하여 큰 용량의 차량을 이용한 경우이다. 여기서는 출고수송의 횟수는 <Figure 7>의 경우와 동일하지만 입고수송의 횟수는 15에서 13으로 다소 줄어든 것을 보여준다. 이 경우에는 마지막달을 제외하면 한 달에 한번만 원재료를 가져온다는 것을 알 수 있다.

또한 모형에서 재고유지비용을 고려하고 있기 때문에 한 달의 주기에서 가능한 입고수송과 출고수송을 3주나 4주차에 이루어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 재고유지시간을 줄여서 재고비용을 절감하려는 것으로 볼 수 있다.

차량의 용량에 따라 입고수송과 출고수송의 일정과 수송량이 변화하는 것을 알 수 있는데, 실험결과를 보면 입고수송의 변화폭이 크고, 출고수송의 변화폭은 크지 않은 것을 볼 수 있다.

<Table 1> Supply Chain Costs by Capacity of Vehicle

| Vehicle Capacity | No. of Inbound Trans. | No. of Outbound Trans. | Total Costs | Inventory Costs | Trans. Costs |
|------------------|-----------------------|------------------------|-------------|-----------------|--------------|
| 1774 | 27 | 26 | 132321 | 44790 | 87531 |
| 2218 | 21 | 24 | 113400 | 35563 | 77837 |
| 2359 | 17 | 24 | 104500 | 30000 | 74500 |
| 2661 | 15 | 23 | 107360 | 31788 | 75572 |
| 3548 | 13 | 23 | 104500 | 30000 | 74500 |

<Table 1>은 차량의 용량이 변화하면 입고수송과 출고수송의 횟수가 어떻게 변화하는지를 보여주고 있다. 또한 공급사슬에서의 비용의 변화량을 알 수 있다. 첫 행의 경우에 입고수송과 출고수송의 횟수가 가장 큰데, 이

경우에는 수송비용이 큰 것을 볼 수 있다. 수송의 횟수가 많으면 재고유지비용이 적을 것으로 예상되었지만 차량의 용량제한으로 수송이 많아지면서 나중에 들어와도 되는 재고가 먼저 들어오는 경우에 발생하면서 총 재고유지비용은 오히려 큰 것을 알 수 있다. 재고유지비용의 경우에는 차량의 용량이 증가하면서 감소하지만 수요를 충족해야 하는 기간이 있기 때문에 계속해서 줄어들지는 않는 것을 알 수 있다.

<Table 2> Supply Chain Costs by Demand (type of Product)

| Demand type (Product type) $(N(\mu, \sigma))$ | No. of Inbound Trans. | No. of Outbound Trans. | Total Costs | Inventory Costs | Trans. Costs |
|---|-----------------------|------------------------|-------------|-----------------|--------------|
| N(561, 122) | 17 | 24 | 104500 | 30000 | 74500 |
| N(433, 127) | 18 | 23 | 110159 | 34960 | 75199 |
| N(470, 107) | 16 | 23 | 108868 | 32730 | 76138 |
| N(739, 194) | 20 | 24 | 116788 | 37680 | 79108 |

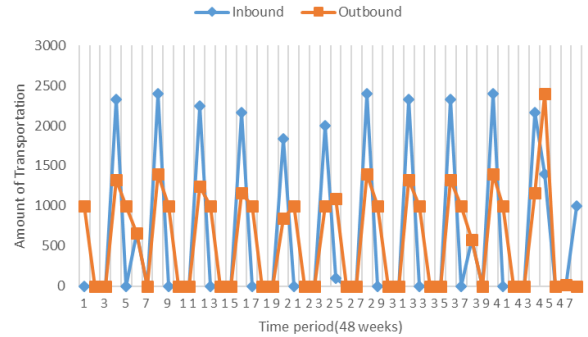
<Table 2>는 제품 품목에 따른 입고수송과 출고수송의 횟수와 공급사슬의 비용의 변화를 보여준다. 실제 가공업체의 데이터를 기준으로 예측한 제품의 품목에 따른 수요의 분포는 <Table 2>에서 보는 것과 같이 정규분포를 따른다고 가정한다. 첫 번째 제품은 평균이 다소 크고 표준편차가 중간정도인 형태이고, 두 번째는 평균이 다소 낮고 표준편차는 중간정도이며, 세 번째 제품은 평균이 다소 낮고 표준편차도 작은 형태이다. 마지막 네 번째 제품은 평균도 크고 표준편차도 큰 형태의 수요형태를 보여준다.

첫 번째 제품보다 두 번째 제품의 평균이 작고 다시 세 번째 제품의 평균이 다시 커지는데 입고수송의 횟수는 다소 커졌다가 작아지는 것을 보면, 평균보다는 표준편차가 첫 번째 제품의 표준편차에서 두 번째 제품의 표준편차가 다소 커졌다가 세 번째 제품에서 다시 작아지는 것을 볼 수 있듯이 입고수송의 횟수는 평균보다는 표준편차에 좀 더 영향을 주는 것을 볼 수 있다. 재고비용은 입고비용의 횟수가 작을수록 비교적 작은 것을 볼 수 있고, 수송비용도 수송의 횟수에 따라 변화하는 것을 볼 수 있다.

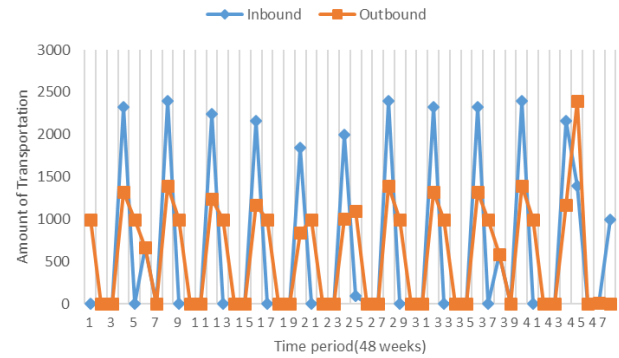
<Figure 9>는 입고수송비용이 출고수송비용보다 큰 경우에 대한 수송량의 변화를 보여주고 있다. 출고수송비용이 큰 경우에 비해 입고수송의 횟수는 변화가 없고 출고수송의 횟수가 24회에서 26회로 증가한 것을 볼 수 있다. 재고유지비용에서도 변화가 크지 않은 것을 알 수 있다.

<Figure 10>은 재고유지비용이 입고수송과 출고수송비용들 보다 큰 경우를 보여주고 있다. 이 경우에도 <Figure 9>와 같은 입고수송과 출고수송의 횟수를 보여주고 있으며 비용의 증가로 인한 재고유지비용이 증가된

것을 알 수 있다.



<Figure 9> Inbound & Outbound Transportations: Inbound Cost is Larger than Outbound Cost



<Figure 10> Inbound & Outbound Transportations: Holding Cost is Larger than Transportation Cost

<Figure 9>~<Figure 10>의 결과들과 함께 실험결과에 따르면 입고수송과 출고수송의 횟수는 비용의 변화 보다는 차량의 용량에 주로 영향을 받는 것을 볼 수 있다. 공통적인 실험결과로는 재고유지비용을 고려하기 때문에 주로 3, 4주차에 수송이 주로 이루어지는 것을 알 수 있고, 차량의 용량이 커지면 대량으로 원재료나 가공품을 수송하여 수송의 횟수를 줄이는 것을 볼 수 있다.

모형에 대한 실험 결과를 보면, 입고수송과 출고수송에 대한 수송비용의 절감과 함께 재고비용의 절감이 함께 고려되면서 한 기간동안의 최적의 재고 수송에 대한 일정과 수송량이 결정이 될 수 있다. 차량의 크기가 수송의 횟수와 일정에 영향을 주는 것을 알 수 있다.

6. 결론

공급사슬의 중간단계에 있는 가공업체는 원재료를 공급자로부터 가져오고 이를 가공하여 생산자에게 배송을

한다. 가공업체를 기준으로 원재료를 공급자로부터 들어오는 것을 입고수송이라고 하고 가공된 부품을 생산자에게 배송하는 것을 출고수송이라고 할 수 있다. 생산자로부터 가공해야 될 부품에 대한 주문을 월별로 받고 주문을 충족시키기 위해 가공업체는 공급자에게 가공을 위해 원재료를 구매한다. 가공업체는 입고수송과 출고수송에서 발생하는 비용을 최소화 하면서 원재료나 가공품을 보관하면서 발생하는 재고유지비용을 최소화 하는 것이 총 가공비용을 최소화 하면서 이익을 최대화 할 수 있는 방법이라고 볼 수 있다.

본 논문에서는 가공업체처럼 공급사슬의 중간단계에 있는 업체가 입고수송과 출고수송에 대한 비용을 고려하고 자체의 재고유지비용을 고려한 수리모형을 개발하였다. 이 모형은 입고수송을 언제, 얼마큼 해야 되는지에 대한 최적의 전략을 제공한다. 실제 가공업체로부터 주문과 입고 및 출고 수송에 대한 일정과 수량에 대한 데이터를 수집하고, 수송비용과 재고유지비용에 대한 정보를 얻어서 주별로 일 년 동안의 수요량을 생성하고 모형에 필요한 파라미터를 설정하였다.

최적화 해법으로 문제를 풀어 해를 구하는 실험을 진행하였는데, 차량의 용량을 변화시켜가면서 입고수송과 출고수송의 일정과 수송량의 최적 전략을 구하였다. 실험결과, 차량이 용량이 커질수록 수송의 횟수가 줄어드는 것을 볼 수 있고, 수송비용과 재고비용의 변화는 수송의 횟수를 크게 바꾸지는 않는 것을 알 수 있다.

앞으로의 연구는, 수송비용과 재고유지비용의 차이가 큰 경우에 대한 제품을 대상으로 하는 문제를 다루는 것도 필요할 것으로 보인다. 또한 시간 구간을 한달을 기준으로 수요를 충족하는 것으로 가정했는데, 기간을 좀 더 완화해서 주문별로 가공시간을 고려한 수요충족과 출고수송에 대한 제약을 두는 문제를 고려하여 주문 기반의 수송전략을 찾는 문제도 흥미로울 수 있다.

Acknowledgement

This study has not been supported by any Research Fund.

References

- [1] Çetinkaya, S., Mutlu, F., and Lee, C., A Comparison of Outbound Dispatch Policies for Integrated Inventory and Transportation Decisions, *European Journal of Operational Research*, 2006, Vol. 171, No. 3, pp. 1094-1112.
- [2] Dimas, D., Murata, V.V., Neiro, S.M.S., Relvas, S., and Barbosa-Póvoa, A., Multiproduct Pipeline Scheduling

Integrating for Inbound and Outbound Inventory Management, *Computers & Chemical Engineering*, 2018, Vol. 115, pp. 377-396.

- [3] Fu, Y. and Yeh, C., An Integrated Producer-buyer Supply Chain with Delivery Cost Under Stochastic Transportation Time, *Applied Mathematical Modelling*, 2017, Vol. 44, pp. 676-687.
- [4] Huang, K., Wu, K., and Ardiansyah, M., A Stochastic Dairy Transportation Problem Considering Collection and Delivery Phases, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, Vol. 129, pp. 325-338.
- [5] Kim, G. and Wu, C.H., Scenario Aggregation for Supply Chain Quantity-flexibility Contract, *International Journal of Systems Science*, 2013, Vol. 44, No. 11, pp. 2166-2182.
- [6] Koç, U., Toptal, A., and Sabuncuoglu, I., Coordination of Inbound and Outbound Transportation Schedules with the Production Schedule, *Computers & Industrial Engineering*, 2017, Vol. 103, pp. 178-192.
- [7] Marques, A., Soares, R., Santos, M., and Amorim, P., Integrated Planning of Inbound and Outbound Logistics with a Rich Vehicle Routing Problem with backhauls, *Omega*, 2020, Vol. 92, p. 102172.
- [8] Shan, W., Peng, Z., Liu, J., Yao, B., and Yu, B., An Exact Algorithm for Inland Container Transportation Network Design, *Transportation Research Part B: Methodological*, 2020, Vol. 135, pp. 41-82.
- [9] Tsao, Y. and Lu, J., A Supply Chain Network Design Considering Transportation Cost Discounts, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2012, Vol. 48, No. 2, pp. 401-414.
- [10] Wei, B., Çetinkaya, S., and Cline, D.B.H., Inbound Replenishment and Outbound Dispatch Decisions Under Hybrid Shipment Consolidation Policies: An Analytical Model and Comparison, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2023, Vol. 175, p. 103135.
- [11] Yaghin, R.G. and Farmani, Z., Planning a Low-carbon, Price-differentiated Supply Chain with Scenario-based Capacities and Eco-friendly Customers, *International Journal of Production Economics*, 2023, Vol. 265, p. 108986.

ORCID

Gitae Kim | <https://orcid.org/0000-0001-7522-2888>