經營科學
第21卷 第2號
2004年 11月

공급사슬망 설계를 위한 수리모형 수립 및 응용

김정혁* · 김대기**

Supply Chain Network Design - a Model and its Applications

Jeonghyuk Kim* · Daeki Kim**

■ Abstract ■

Great effort has been exerted to redesign the supply chain network as a means to improve corporate competitiveness. In this study, we present a mathematical model and a solution system to help redesign corporate logistics networks. The objective of the model is to minimize total logistics costs.

We applied the solution system to real problem cases. We use the model and the concept to develop decision support system that is based on C++ with the use of CPLEX callable library as a solution engine. We tested and verified the DSS for redesigning the network of a large Korean electronics company. Through various scenario analyses, we recommend to redesign their supply chain network that demonstrates the possibility of substantial logistics cost savings.

Keyword : Supply Chain Network Design, Mixed Integer and Linear Programming (MILP), Decision Support System (DSS)

1. 서 론

오늘날 급속한 기술의 발달과 시장 개방, 이로 인한 세계화의 추세 속에 기업의 경쟁력을 높이기 위한 수단으로 공급사슬관리의 중요성이 부각되고 있다.

Ganeshan[8]은 공급사슬을 "자재의 조달, 자재의 중간 및 최종 제품으로의 변환, 최종 제품을 고

논문접수일 : 2004년 1월 3일 논문게재확정일 : 2004년 5월 7일
* 고려대학교 경영대학
** 고려대학교 경영대학(교신저자)

객으로 유통시키는 기능을 수행하기 위한 설비와 유통 업무의 네트웍"으로 정의한다.

최근에 와서는 한 기업의 경쟁력은 그 기업이 속한 공급사슬의 경쟁력에 의해 좌우된다. 즉 공급사슬의 경쟁력은 공급사슬을 구성하는 어느 한 기업의 우수한 경쟁력에서 나오기보다는, 공급사슬 구성원 전체의 원활한 정보 및 자재의 흐름을 유지함으로써 달성될 수 있다. 따라서 잘 설계된 공급사슬은 한 기업의 경쟁력을 좌우하는 핵심요소라고 할 수 있다.

한편, 많은 기업들은 효율적인 공급사슬관리가 기업의 생존과 경쟁에 필수적임을 인식하고 있다. 포춘 500대 기업의 물류비 가운데 약 60%가 제품을 운송하는 데 지출된다는 미 상무부의 보고서가 나온 후, 많은 회사의 중역들은 물류를 비용절감의 최우선 대상으로 인식하기 시작했다[16]. 미국의 화학공정 산업의 기업들은 그들의 공급 망을 효율적으로 관리함으로써 연간 300억 달러 이상의 비용을 절감할 수 있었다[9]. 또한, 리서치 및 컨설팅 회사인 PRTM의 연구에 의하면[15], 최고의 성과를 나타내는 기업들은 평균적인 기업보다 공급사슬 분야에서 45%의 비용 우위를 가지고 있는 것으로 나타났다. 또 다른 연구인 KPMG 컨설팅 사의 두 조사 결과에 의하면, 기업들은 그들의 고객 및 공급업체와의 커뮤니케이션에 실패로 인하여 매년 수백만 달러의 손실을 입고 있는 것으로 드러났다[2]. 이러한 비효율성의 이유는 보다 더 효율적이 되는데 필요한 조직의 변화를 받아들이기 힘들어 하거나 이익이 정확히 무엇인지 기업들에게 명확하지 않기 때문이다. 그럼에도 불구하고 대부분의 기업들은 실제보다 자신들이 더 효율적이라고 생각하고 있다.

이러한 이유로 인하여 경영진들은 공급사슬을 구성하는 요소들인 공급업체, 공장, 창고, 고객과 이들간의 제품 및 자재의 운송경로를 결정하는 공급사슬 네트웍 설계가 기업 전반에 걸친 중요한 전략적 의사결정 문제라고 생각하게 되었다. 그러나, 이러한 문제는 고려해야 할 변수가 너무 많기 때문에 의사결정의 근거가 공급사슬에 대한 전체 최적화라기보다는 일부분에 대한 경험적 방법을 통한 국지적 합리화에 머물고 마는 경우가 일반적이다.

본 연구에서는 공급사슬망 설계 문제를 "n개의 거점 후보지와 m개의 수요지가 주어졌을 때, 모든 수요를 충족시키며 거점 및 설비의 운영비용과 제품의 유통비용의 합인 총 물류비용을 최소화하는 최적의 입지를 결정하는 문제"로 정의한다. 경영과학 분야에서는 이러한 종류의 문제를 풀기 위한 많은 노력이 있어 왔다. 공급사슬 설계를 통하여 기업이 얻을 수 있는 이익을 최대화하거나, 공급사슬 운영에 소요되는 비용을 최소화하기 위한 다양한 수리적 모형과 이를 구현하기 위한 많은 알고리즘이 개발되었다. 혼합 정수 계획법(MIP ; Mixed Integer Programming)은 이러한 네트웍 문제를 정의하는 데 많이 사용되어 왔다. SPLP(simple plant location problem), UPLP(uncapacitated plant location problem), CPLP(capacitated plant location problem)과 같은 문제에 대한 연구가 진행되어 왔다. 또한, 이러한 문제를 풀기 위한 알고리즘으로는 LP-완화법, 라그랑지 완화법 및 분기-한계법(branch and bound method)과 같은 최적 알고리즘과 타부 탐색, 유전 알고리즘, 시뮬레이티드 어닐링 등의 메타 휴리스틱 방법이 많이 사용되었다.

본 연구에서는 B물류회사의 총 물류비용을 최소화하도록 공급사슬망을 재설계하는 방법론을 개발한다. 그런데, 공급사슬망 재설계 문제는 풀어야 할 문제의 크기가 매우 크고 고려해야 할 사항이 많은 것이 특징이다. 이 때문에 기업의 기존 해결방법은 전체 공급사슬에 대한 최적화를 추구하기보다는 일부분에 대한 경험적 방법을 통한 국지적 합리화에 머물고 마는 경우가 일반적이다. 본 연구에서는 혼합 정수 계획법(MIP ; Mixed Integer Programming)을 사용하여 B사의 공급사슬망 재설계 문제를 위한 방법론을 정의하였다. 이러한 수리적 모형은 B사 뿐 아니라 다른 기업들의 일반적인 공급사슬망 재설계 문제에 적용될 수 있다. 이 과정에서 기업의 물류환경에 대한 현실적인 제약을 반

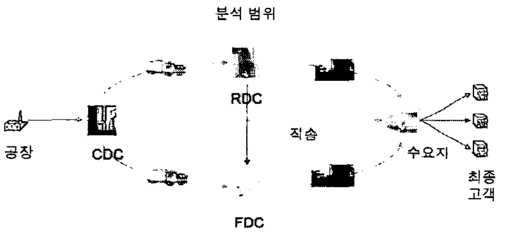
영하여 기업의 의사결정에 도움이 될 수 있게 하였다. 실제 대용량 데이터를 사용하여 현실의 문제를 풀기 위하여 입력자료를 위한 데이터베이스로 MS-ACCESS를 이용하였고, MIP문제를 풀기 위한 엔진으로는 C++ 언어를 기반으로 한CPLEX 라이브러리를 이용하였다.

본 연구의 구성은 모두 다섯 장으로 구성되어 있다. 2장에서는 B 현재의 공급사슬망 운영현황을 정리하고, 해결하고자 하는 문제를 정의한다. 3장은 이러한 문제를 풀기 위한 방법론으로 B사의 물류환경을 반영한 MIP모형을 수립하고, 기업 환경의 대용량 데이터를 처리할 수 있는 솔루션을 개발한다. 4장에서는 이 방법론을 B사의 공급 체인을 재설계하는 데 적용한다. 다양한 시나리오 분석을 통한 물류비용절감 효과를 분석하고, 기업이 실제로 실행 가능한 공급사슬망 개선 방안을 제시한다. 마지막으로 결론에서는 B사에 적용된 방법론의 결과를 논하고, 이 방법론의 현실 적용 시 문제점 및 추후 연구방향을 제시한다.

2. B사 사례

B 물류회사는 모회사인 A사의 물류 업무를 대행하여 주는 물류 자회사이다. 이 회사는 모회사인 A사의 종합적인 물류관리 대행을 위해 '98년 설립되었다. A사는 가전, 반도체, 이동전화기 등을 제조하고 있으며, 전국에 산재한 소비자에게 제품을 판매하고 있는 종합 전자 회사이다. B사는 A사의 전 생산제품 및 서비스 자재를 대상으로 국내 판매물류 및 수출물류의 전략 및 운영업무를 전담하여 수행하고 있다. 이를 위해 현재 500여 명의 직원들이 전국적인 물류 네트워크를 구축하고 운영하고 있다. 1999년 7월에는 제3자 기업물류 관리 및 부가서비스 분야에서 ISO9002인증을 취득하였다.

B사의 공급사슬망은 <그림 1>과 같이 3개의 중앙물류센터(CDC ; Central Distribution Center), 13개의 지역물류센터(RDC ; Regional Distribution Center)와 15개의 최종배송센터(FDC ; Final Distribution Center)로 구성되어 있다. CDC는 각 생산 거점에서 생산된 생산제품의 일차 물류 거점으로서 보관 제품의 전국 유통을 위한 통합 관리 기능을 수행하는데 현재 수원, 광주, 구미 3개 지역에 하나씩 위치하고 있다. 즉, 하나의 CDC는 각각 하나의 공장에 배정되어 해당 공장에서 생산된 제품을 보관하며 공급사슬망을 통하여 이 제품들을 유통시키는 역할을 담당한다. RDC는 전국 주요 지역에 설치된 물류거점으로서 관할 지역의 고객 주문에 대한 신속한 대응과 정보센터의 역할을 수행하며 전국에 13개가 운영되고 있다. 또한 15개의 FDC가 관할 지역 대리점 재고의 보관 및 실 소비자를 대상으로 한 배달 설치 기능을 대행하고 있다.



〈그림 1〉 B사의 공급사슬망

CDC는 각각 하나의 공장에서만 제품을 공급 받으며, RDC와 FDC로 제품을 운송하며, 일부 대형 고객의 경우에는 직접 배송을 한다. 본 연구에서는 분석 범위를 <그림 1>에서 정의된 부분으로 한정한다. 즉, B사의 공급사슬은 CDC에서 시작하며, RDC와 FDC를 거쳐 각각의 수요지 내의 고객들의 수요를 충족시킨다고 가정한다.

현재 B사는 공장 → 물류센터 → 대리점 → 소비자의 4단계 유통체계를 공장 → 물류센터 → 소비자의 3단계 유통체계로 단축함으로써 물류비용을 줄이고 고객 서비스를 증진시키려 한다. 이를 위하여 현 공급사슬망을 장기적인 관점에서 재설계할 필요성을 갖고 있다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위한 수리모형을 3장에서 제시하고, 4장에서는 실 자료에 대한 시나리오 분석을 통하여 실현가능한 대안을 제시한다.

3. 공급사슬망 설계를 위한 방법론

3.1 문제 정의

본 연구에서는 2장에서 소개된 B사를 포함한 기업의 물류환경에서 발생할 수 있는 다양한 상황을 해결하기 위하여 광범위하고 일반적인 모형을 수립하는 것을 목표로 한다.

우선, MIP모형을 위한 목적함수는 거점이나 설비의 운영에 드는 운영비용과 제품을 고객까지 유통시키는 데 드는 운송 비용의 합인 총 물류비용으로 구성되어 있다. 결국 공급사슬망 설계문제는 총 물류비용을 최소화하는 운영 거점과 운송경로의 최적 조합을 찾는 문제이다.

이 모형은 다양한 형태의 공급사슬의 문제를 표현하기 위하여 복수 단계 문제를 푼다. 또한 일반적인 물류 환경을 고려하여 공급사슬 단계에는 제한이 없다고 가정한다. 즉, 부품 및 자재의 조달에 관한 조달물류나 공장 내에서의 생산물류, 그리고 생산된 제품을 소비자까지 유통시키기 위한 판매물류에 이르기까지 기업이 처한 상황에 맞게 수리모형을 설정할 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 이 문제는 장기간의 전략적 의사결정 문제이기 때문에, 비교적 긴 계획기간을 고려한다. 단일 기간의 문제만을 고려하기 때문에 매 기간마다 생산-소비 간의 불균형으로 인하여 발생하는 재고비용은 상수라 간주한다.

공급사슬망에서 이동하는 제품은 현실에 맞게 복수 제품을 고려한다. 이로 인하여 다양한 거점에서 다양한 제품-믹스를 고려해야만 한다. 즉, 각각의 거점별로 어떠한 제품을 취급해야 하는지를 결정해야 한다.

또한, 거점별로 제품을 취급할 수 있는 취급용량(capacity)에 제한이 있다. 즉, 공장의 경우에는 생산능력에 제한이 있으며, 물류센터(DC ; distribution center의 경우에는 물동량(throughput)에 대한 제약이 존재한다. 이러한 제약은 현실적인 자원 예산 제약을 문제에 포함시켜 현실을 반영할 수 있게 한다. 이러한 물동량 제한은 아무리 비용 효율적인 거점(공장, DC 등)이라 하더라도 취급능력 이상은 처리할 수 없다는 제약을 반영한다. 최대 취급능력을 사용 중인 거점의 경우에는 시설 확장에 대한 요구가 생기게 된다.

거점간에 제품을 운송하는 운송수단은 여러 종류를 이용할 수 있다. 즉, 운송 경로별로 다양한 운송수단(트럭, 기차, 비행기, 선박 등)이 존재하며, 이러한 운송수단에 따른 비용구조에 따라 운송비용이 달라질 것이다. 결국 최적의 공급사슬망이란 적절한 경로에 적절한 운송수단으로 적절한 제품을 운송하는 것을 의미한다.

3.2 가 정

모형은 실제 현상의 중요한 특성을 추출하여 수식에 반영한 것이다. 하지만 복잡한 현실의 모든 상황을 모형에 반영하기란 거의 불가능하다. 그래서 실제 기업의 물류 환경을 가정을 통하여 문제를 단순화할 수 있다. 이 모형에서는 기업의 물류현실에 대해 다음과 같은 가정을 한다.

① 고객이 요구하는 모든 제품에 대한 수요는 모두 만족된다. 본 연구에서는 비용 최소화 문제를 다루고 있는데 만약, 이익 최대화 문제의 경우에는 이익에 공헌하지 못하는 수요(예 : 오지 운송)에 대해서는 비용 절감을 위하여 서비스를 제공하지 않을 수도 있다. 하지만, 이 문제는 모든 제품에 대한 수요를 충족시키는 해를 찾는다.

② 수요 및 비용 정보는 사전에 확정되어 있다고 가정한다. 수요는 일반적으로 불확실성을 갖는 확률적 성격을 가지지만 과거의 자료와 예측을 통하여 결정적 수치로 고정된다. 비용 정보 역시 수요와 마찬가지로 사전에 확정적이라고 가정한다. 이를 위해 수요에 대한 정확한 예측과 비용 자료에 대한 정확한 산정 및 추정이 필요하다.

③ 모형에서 표현할 수 있는 공급사슬의 단계는

제한이 없다. 분석의 대상이 되는 공급사슬망의 복잡도는 기업마다 다르기 때문에 무제한의 공급사슬 단계를 고려함으로써 모든 기업에 적용될 수 있다.

④ 모형에서 재고비용은 고려하지 않는다. 단일 기간 문제를 다루기 때문에 기간마다의 수요와 공급의 차이에 의해 발생하는 재고는 고려하지 않는다. 따라서 재고 비용은 상수로 간주되며 필요한 경우 최적화 결과를 얻은 후에 재고정책(예 : 10일치 재고 보유)에 따라 물동량 결과와의 관계를 이용하여 구한다.

3.3 수리 모형

이 절에서는 기업의 물류비용을 최소화하는 공급사슬망을 찾기 위한 MIP모형을 수립한다. 우선, 집합, 입력상수 및 의사결정변수와 같은 수학적 기호들을 다음과 같이 정의한다.

3.3.1 집 합

N : 거점들의 집합

N_O : 출발지(예 : 공장)

N_T : 중간 경유지(예 : 창고)

N_D : 최종 도착지(예 : 수요지, 고객)

A : 거점 간 링크의 집합

M : 운송 수단의 집합

K : 제품의 집합

3.3.2 입력상수

α_i : 거점 i에 대한 고정비용

β_i^k : 거점 i에서 제품 k를 취급하는 고정비용

γ_i^k : 거점 i에서 제품 k를 한 단위 취급할 때 드는 변동비용

σ_{ij}^m : 거점 i에서 거점 j로 운송수단 m을 설정할 때 드는 고정비용

δ_{ij}^{km} : 거점 i에서 거점 j로 제품 k를 운송수단 m으로 한 단위 운송할 때 드는 변동비용

d_j^{km} : 수요지 j에서 운송수단 m을 통해 충족되는 제품 k의 수요량

$\max C_i$: 거점 i에서 전 제품에 대한 최대 처리량

$\max C_i^k$: 거점 i에서 제품 k를 처리할 수 있는 최대 처리량

$\max C_{ij}^m$: 거점 i에서 거점 j로 운송수단 m을 통해 운송할 수 있는 최대 운송량

$\min C_i$: 거점 i의 운영을 위해 필요한 최소 처리량

$\min C_i^k$: 거점 i에서 제품 k의 처리를 위해 필요한 최소 처리량

$\min C_{ij}^m$: 거점 i에서 거점 j로 운송수단 m을 사용하기 위한 최소 운송량

이 모형에서 정의되는 capacity는 물류 거점을 통과하는 제품을 처리할 수 있는 능력을 의미한다.

위에서 정의된 입력 상수는 MIP모형의 목적함수에서의 비용계수와 제약식에 필요한 상수에 해당된다. 기업의 문제를 해결하기 위해서는 이러한 입력 자료들이 우선 수집되어야 한다.

3.3.3 의사결정변수

Y_i = 거점 i를 운영하면 1, 그렇지 않으면 0

Z_i^k = 거점 i가 제품 k를 취급하면 1, 그렇지 않으면 0

Q_i^k = 거점 i가 제품 k를 취급하는 양

L_{ij}^m = 거점 i에서 거점 j로 운송수단 m을 사용하면 1, 그렇지 않으면 0

X_{ij}^{km}= 거점 i에서 거점 j로 제품 k를 운송수단 m을 사용하여 운송한 양

위에서 정의된 의사결정변수 중 Y, Z, L은 0과 1의 값만을 갖는 이진(binary) 변수이며, Q와 X는 네트웍을 흐르는 제품의 양을 나타내며 실수 값을 갖는다.

3.3.4 MIP 모형

$$Min \ \sum_i \alpha_i Y_i + \sum_i \sum_k \beta_i^k Z_i^k + \sum_i \sum_k \gamma_i^k Q_i^k + \sum_i \sum_j \sum_m \sigma_{ij}^m L_{ij}^m + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_m \delta_{ij}^{km} X_{ij}^{km}$$

subject to

(1) $\sum_j \sum_m X_{ji}^{km} = \sum_l \sum_m X_{il}^{km}$,

$\forall (j, i), (i, l) \in A, \forall i \in N_T, \forall k \in K, \forall m \in M$

(2) $\sum_i X_{ij}^{km} = d_j^{km}, \forall j \in N_D, \forall i \in N_O \cup N_T$,

$\forall (i, j) \in A, \forall k \in K, \forall m \in M$

(3) $\sum_j \sum_m X_{ij}^{km} = Q_i^k, \forall j \in N_O \cup N_T$,

$\forall j \in N_T \cup N_D$

(4) $(\min C_i) Y_i \le \sum_k Q_i^k \le (\max C_i) Y_i$,

$\forall i \in N_O \cup N_T, \forall k \in K$

(5) $(\min C_i^k) Z_i^k \le Q_i^k \le (\max C_i^k) Y_i$,

$\forall i \in N_O \cup N_T, \forall k \in K$

(6) $(\min C_{ij}^m) L_{ij}^m \le \sum_k X_{ij}^{km} \le (\max C_{ij}^m) L_{ij}^m$,

$\forall (i, j) \in A, \forall k \in K, \forall m \in M$,

(7) $Y_i \le Z_i^k, \forall i \in N_O \cup N_T, \forall k \in K$

(8) $Y_i + Y_j \ge 2L_{ij}^m, \forall i \in N_O \cup N_T$,

$\forall j \in N_T \cup N_D, \forall (i, j) \in A, \forall m \in M$

(9) $Y, Z, L \in \{0, 1\}$

위 목적함수의 각 항은 순서대로 거점 고정비용, 제품 고정비용, 제품 변동비용, 운송 고정비용, 운송 변동비용으로 구성되어 있다. 이 논문에서의 공급사슬망 설계는 이들의 합인 총 물류비용을 최소화하는 해를 찾는 문제이다.

이런 목적함수의 최적화를 위해 모형이 포함하고 있는 현실적 제약은 다음과 같다.

제약식 (1)은 흐름량 보존에 관한 제약식이다. 즉, 한 거점 내로 들어온 제품의 양은 그 거점에서 다른 거점으로 운송된 양의 합과 같다. 제약식 (2)는 고객이 요구하는 수요량은 반드시 충족시킨다는 제약이며, 이러한 제약이 있는 경우에는 비용이 많이 드는 고객이라도 반드시 수요를 충족시켜야 한다. 또한 고객의 요구가 있는 경우 특정 운송수단을 통한 충족되는 수요량을 사전에 결정할 수 있다. 제약식 (3)은 각 거점에서의 제품의 물동량(Throughput)은 그 거점에서 다른 거점으로의 운송량의 합으로 정의한다.

제약식 (4)~(6)은 취급능력(capacity)에 대한 제약식이다. 이 제약식의 경우 최대취급능력뿐만 아니라 최소취급능력에 대한 제약도 고려할 수 있다. 예를 들면, 어떤 공장 내에서 어느 한 제품을 취급하려고 할 때에는 규모의 경제를 고려하기 위하여 일정 수량 이상의 취급이 요구될 수 있을 것이다. 제약식 (4)는 거점별 취급능력에 대한 제약이고, 제약식 (5)는 거점별 제품 각각에 대한 취급능력 제약을 의미한다. 제약식 (6)은 거점간의 링크마다 부과되는 운송수단별 운송능력의 제약을 의미한다.

제약식 (7)~(8)은 의사결정 변수간의 우선순위에 대한 제약이다. 제약식 (7)은 거점 i에서 제품 k를 다루기 위해서는 우선 거점 i가 운영되어야 한다는 것을 의미한다. 또한 제약식 (8)은 출발 거점과 도착 거점이 모두 운영되어야만 두 거점간의 링크에 제품이 운송될 수 있다.

제약식 (9)는 일부 의사결정변수는 0과 1의 값만을 갖는 이진(binary)변수이며, Yes/No와 같은 양자택일의 의사결정을 모형에 반영한다.

4. 모형 적용 사례 - B사

4.1 가 정

3장에서 소개한 MIP 모형을 기반으로 개발한 솔루션을 B사의 사례에 적용하여 그 결과를 분석한다. 하지만, 실제 현업에서 발생하는 문제는 너무나 복잡하고, 수많은 제약이 따른다. 이를 모형으로 다 표현하기도 어려울 뿐더러 모든 현실을 다 고려한다고 하더라도 문제 크기가 너무 커져 의미있는 시간 내에 풀 수 없는 경우가 일반적이다. 그러므로, 이러한 문제를 풀기 위해서는 사전에 물류환경에 대하여 다음과 같은 가정을 바탕으로 단순화 작업을 수행하였다.

- 많은 개별 제품들을 기능 및 취급면에서 유사성

을 갖는 47개의 제품군으로 분류하였다. 각각의 제품군별로 해당 제품들의 체적의 가중평균값을 체적으로 갖는 하나의 추상적 제품으로 통합된다. 또한, 각각의 제품은 박스 단위로 처리되며, 운송비용은 박스의 체적에 비례한다. 제품의 취급 및 운반 단위가 박스로 통일되어 있는 경우 이러한 가정은 현실을 크게 위배하지 않는다. 또한, 이러한 가정은 문제의 크기를 줄임으로써 해를 구하는 시간이 단축된다.

- 거점간 제품을 운송하는 운송수단은 트럭 1종류만 있다고 가정한다. 실제로 B사는 운송비용을 제품의 체적을 기준으로 산정하기 때문에 운송수단별로 운송비용에 차이가 없다는 가정이 현실을 위배하지 않으며, 이러한 가정은 문제 크기를 줄이는 데 큰 역할을 한다.
- 최종 고객의 경우, 트럭의 한 순회권역(route)에 해당하는 지역들을 묶어서 215개의 가상의 수요지로 단순화시켰다. 이는 215개 수요지에 대하여 각각의 수요가 해당 지역의 중심점에서 모두 발생한다고 가정한다. 가상 수요지는 해당 수요지의 위경도 자료를 이용하여 수요량에 대한 가중평균값을 좌표값으로 갖는다.
- 공장은 분석 대상에서 제외하였고, 공장에서 제품을 공급 받는 CDC를 분석 네트웍의 출발점으로 고려한다. 즉, 조달물류와 생산물류에 대한 합리화 작업은 이 연구의 분석 대상이 아니며 판매유통 망만을 분석 대상으로 삼는다. 또한, 소매점, 백화점, 편의점 등으로 구성된 유통 채널과 최종 소비자에 대한 제품의 배달/설치 실적을 수요지의 수요로 개략화하였고, 그 이후의 유통단계에 대한 물류망은 고려하지 않는다.
- 결국, B물류사의 물류 네트웍을 진단하고 보다 효율적인 물류 네트웍 재설계 작업을 위해 3개의 CDC, 13개의 RDC, 15개의 FDC, 215개의 고객으로 구성된 판매물류 망을 분석대상으로 한다.
- B사의 정책에 따라 CDC는 폐쇄하지 않는다. CDC는 항상 운영되어야 하며 이러한 제약식을 수리모형에 반영한다.
- 거점간 운송 비용에 대한 기존 정보가 없는 경우에는 거리 당 평균 운송 비용을 계산하여 해당 링크간의 거리에 비례하여 추정하였다.

B사의 대용량 입력 자료를 처리하기 위하여 MS-ACCESS를 데이터베이스로 사용하였으며, 실제 문제를 풀기 위하여 문제풀이 엔진으로 C++ 기반의 CPLEX 라이브러리를 사용하였다.

4.2 시나리오 및 결과 분석

4.2.1 현재 공급사슬망 분석

먼저, 현재의 공급사슬망에 거점간 링크를 추가하지 않고 최적의 공급사슬망을 찾는다. 기존의 거점 운영여부와 거점간 링크에 대한 물동량에 대한 변화를 통하여.

거점 고정비용과 운송비용의 합인 총 물류비용을 최소화한다. <표 1>은 현재 운영중인 모든 물류거점을 효율적으로 이용하는 경우보다 DC26 거점(FDC, 부산)을 폐쇄하는 것이 현재의 운송경로 하에서는 최적이며, 0.25%의 물류비용 절감 효과를 얻을 수 있다는 것을 보여 준다.

〈표 1〉 현 물류망 분석 결과

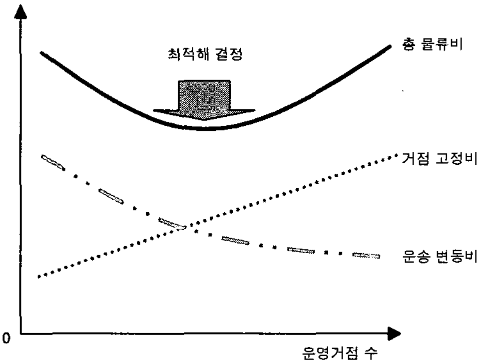
시나리오	운영 거점수	폐쇄 거점	총 물류비용 (단위:백만원)	비용절감율 (단위:%)
모든 거점 운영	31	없음	38,583	-
최적 물류 망	30	DC26	38,486	0.25

시나리오에서는 현재의 물류 망에 새로운 거점간 링크를 추가함으로써 보다 다양한 운송경로를 대안 경로로 제안하여 보다 비용 효율적인 해를 찾는다.

4.2.2 시나리오 분석

총 물류비는 거점 고정비와 운송 변동비의 합으로 나타낼 수 있다. 운영되는 거점 수가 늘어날수록 거점 고정비는 증가하게 된다. 하지만, 운영되는 거점이 증가할수록 거점간 거리는 가까워지기

때문에 운송비는 줄어들게 된다. <그림 2>는 거점 고정비와 운송 변동비간의 상충관계를 보여준다. 운영 거점수가 증가함에 따라 운송비용의 감소로 인하여 총비용이 줄어들게 되지만, 어느 정도 이상 늘어가게 되면 운송비 감소는 적은 대신 거점 고정비의 증가가 상대적으로 커서 총비용은 다시 늘어나게 된다.



〈그림 2〉 운영거점 수에 따른 총 물류비용 변화

이 연구에서는 수리적 모형을 통하여 총비용을 최소화하는 최적 운영 거점 수와 운송경로를 찾아 비용정보와 함께 제시한다.

시나리오 분석에서는 다음과 같은 B사의 물류 환경과 정책을 수리모형에 반영하여 최적해를 구한다.

- CDC간에는 동일 제품을 중복하여 취급하지 않는다.
- CDC간에는 물량의 이동이 없다.
- CDC의 폐쇄는 고려하지 않으며, 반드시 운영되어야 한다.
- 고객의 수요는 반드시 충족되어야 한다.

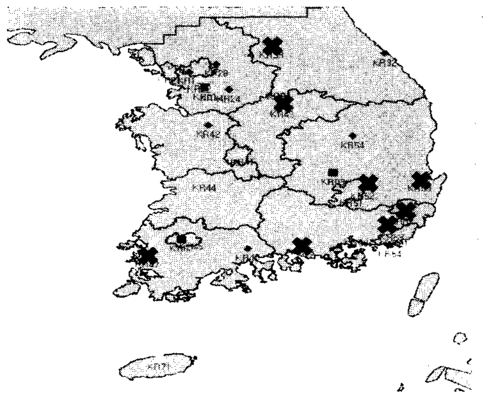
위의 가정을 위배하지 않으면서 기존의 공급사슬망에 새로운 링크를 추가한다. 이 연구에서는 CDC-RDC, CDC-FDC, RDC-FDC, RDC-수요지, FDC-수요지간 링크를 추가 대상으로 한다. 이때 리드타임을 고려하여 거점간 거리가 100km이상인 링크는 추가하지 않는다. 또한, 새로 추가된 링크에 대한 단위 운송비용을 추정한다. 이러한 단위운송비용은 거점 간의 유클리드 거리와 기존 링크들의 비용정보를 통하여 적절히 추정한다. 거점 간의 거리는 각 거점의 위경도 자료를 이용하여 구한다. 이렇게 시나리오에 새로 추가된 링크들은 기존의 거점을 폐쇄하도록 유도하여 거점 고정비를 줄일 수 있다.

〈표 2〉 시나리오 최적화 결과

최 적 해	폐쇄 거점수 (단위 : 개)	총 물류비용 (단위 : 백만원)	비용 절감액 (단위 : 백만원)	비용 절감율 (단위 : %)
현재 물류망	1	38,486	-	
시나리오	8	36,643	1,843	4.79

<표 2>는 시나리오의 최적화 결과를 현 물류망의 최적화 결과와 비교한다. 시나리오에서 제시한 최적 폐쇄 거점 수는 8개이며, 총 물류비용은 36,643(백만원)이다. 현 공급사슬망의 최적해와 비교해 볼 때, 1,843(백만원) 정도의 비용이 절감되며, 4.79%의 비용절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

현재의 공급 사슬 망에서 운영중인 물류거점과 시나리오에 의해 폐쇄되는 물류거점을 지도화면을 통하여 나타내면 <그림 3>과 같다. 지도상에 X로 표시된 거점이 시나리오 최적화 실행 후 폐쇄하는 것으로 결정된 거점이다.



〈그림 3〉 최적 거점 운영 결과

4.2.3 민감도 분석(Sensitivity Analysis)

• 추가 거점 폐쇄 시 비용 절감 효과

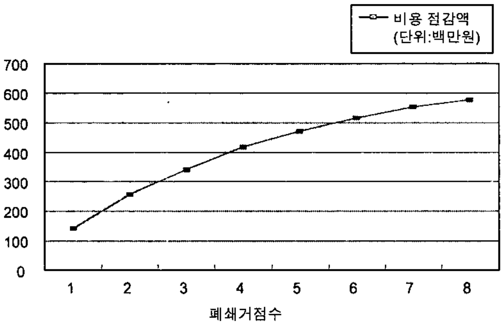
기업의 입장에서 볼 때 운영 거점의 폐쇄 결정은 장기간에 걸쳐 공급사슬망 운영에 커다란 영향을 미치는 중요한 결정이다. 여러 개의 거점을 폐쇄하는 경우에는 한꺼번에 폐쇄하기 보다는 하나씩 순차적으로 줄여나가는 것이 위험부담이 적다. <표 3>은 운영 거점을 하나씩 폐쇄해 나갈 때, 단계별 폐쇄거점과 그 때의 총 물류비용 및 비용 절감율에 대한 결과를 보여 준다. 이 때 비용절감 효과가 가장 큰 거점이 각 단계별로 폐쇄된다. 이 분석에서는 거점간 링크를 추가한 시나리오를 대상으로 한다.

〈표 3〉 추가적인 거점 폐쇄에 따른 증분 분석 결과

폐쇄거점 수 (단위 : 개)	추가폐쇄 거점	총 물류비용 (단위 : 백만원)	비용 절감율 (단위 : %)
0	없 음	37,222	3.29
1	DC28	37,079	3.66
2	DC22	36,964	3.96
3	DC30	36,881	4.17
4	DC26	36,804	4.37
5	DC20	36,750	4.51
6	DC23	36,706	4.63
7	DC16	36,668	4.73
8	DC13	36,643	4.79

예를 들어, 3개의 거점을 폐쇄하는 경우에는 DC28, DC22, DC30의 순으로 폐쇄해 나가며 그 때의 총 물류비용은 36,881(백만원)이 들며 비용은 4.17% 줄어든다. 이러한 분석은 기업의 순차적인 공급사슬망 재설계를 가능하게 한다.

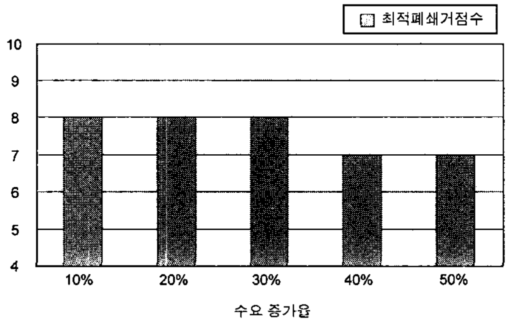
하지만, 기존의 거점을 폐쇄하는 한 기업의 결정이 잘못된 결정이었을 경우에는 큰 위험을 야기시킬 수 있다. 그러므로, 그러한 위험을 줄이고 최대한 비용절감 효과를 얻을 수 있는 분석이 필요하다. 파레토 분석을 이용하면 <그림 4>와 같이 5개의 거점 폐쇄만으로 최적해(8개 거점 폐쇄)에서 얻을 수 있는 비용 절감 효과의 81.5% 만큼을 얻을 수 있다. 이는 비교적 작은 위험으로 최대한 많은 이익을 얻을 수 있다는 것을 의미한다.



〈그림 4〉 추가거점폐쇄에 따른 비용 절감액

○ 수요 증가 시 대응 능력

공급사슬망 설계는 장기간을 고려한 전략적 의사결정에 해당된다. 현재 최적화된 네트웍이 미래에도 최적일 수는 없다. 또한 현재의 네트웍의 취급능력이 미래의 수요 증가에 대응할 수 있는지에 대한 분석이 필요하다.



〈그림 5〉 수요 증가시 최적 폐쇄 거점수

<그림 5>를 보면 현재보다 수요가 연간 30% 증가할 때까지는 8개의 거점을 폐쇄함으로써 최소비용을 얻을 수 있지만, 40%~50%가 증가되는 경우에는 증가된 수요를 충족시키기 위하여 7개의 거점만 폐쇄해야 한다. 하지만 50% 이상의 수요증가에는 현재의 물류 거점의 capacity로는 대응할 수 없다. 즉, 폐쇄된 기존의 거점을 모두 가동한다고 하더라도 늘어난 물동량을 처리할 수 없게 된다. 이는 capacity가 작은 거점들이 초기에 많이 폐

쇄되었기 때문이다. 이러한 경우에는 기존 물류 거점의 capacity를 늘리거나 신규 거점의 신설이 필요하다.

본 연구의 분석결과는 B사의 물류 담당 관리자와의 인터뷰를 통하여 현실에 대한 타당성을 검증받았다.

5. 결론 및 향후 연구

무한 경쟁의 치열한 외부환경의 변화에 생존하기 위하여 기업의 경쟁력을 높이기 위한 수단으로 공급 사슬 네트웍을 개선하려는 많은 노력이 이루어져 왔다.

이 연구에서는 B사의 사례를 통하여 기업의 공급사슬망을 재설계하는 방법론을 제시하였다. 복잡한 현실의 문제를 수식으로 표현하기 위해서는 많은 가정과 단순화 작업이 수반되었다. 물류 현실에 대한 수리모형을 기반으로 다양한 시나리오와 추가 분석을 통하여 기업의 전략적 의사결정에 도움을 주는 대안을 제시하였다. 이러한 대안은 기업으로 하여금 물류비용을 절감하고, 물류망의 재설계로 인해 발생할 수 있는 위험을 최소화하며, 미래의 수요변화에 대처할 수 있게 한다.

시나리오 분석 결과, 최적 해는 현재보다 약 18억원, 4.79% 정도의 비용절감 효과를 보여 주었다. 하지만, 기업의 입장에서는 단순한 수치보다 합리적인 물류 개선 작업의 가치를 보다 중요하다. 즉, 공급사슬망을 개선하려는 과정에서 기업 전반에 걸친 여러 부문에서 나타나는 직원들의 의식의 전환, 개선노력의 필요성 인식, 기업의 프로세스 및 시스템 개선 등의 무형의 효과가 기업의 입장에서 더 중요한 자산이 될 것이다.

또한, 분석 결과 수치가 의미가 있으려면 "쓰레기를 넣으면 쓰레기가 나온다."는 말처럼 문제에 대한 입력자료가 정확해야 한다. 하지만, 실제로는 모형이 필요로 하는 자료가 없거나 불충분한 경우가 많다. 이러한 경우에는 적절한 방법을 이용하여 원하는 자료를 추정하거나 자료의 축적 단계로 돌아가야 한다. 그러므로, 물류 비용에 대한 합리적인 회계상의 분류 및 산정이 무엇보다 중요하다. 특히, 운송비용의 경우 거점간 거리를 포함하여 합리적 기준에 근거한 비용산정이 매우 중요하다. 궁극적으로는 활동기준원가계산(ABC ; Activity-Based Costing) 방식을 사용하여 보관, 상(하역, 배달, 설치, 포장, 수배송 활동과 같은 각각의 물류활동에 대한 비용을 분리하여 산정할 필요가 있다.

이 연구는 물류 네트웍 재설계라는 전략적 의사결정을 다루기 때문에 수요의 불확실성, 재고비용, 배차 및 차량경로 문제에 대해서는 고려하지 않았다. 모형에서 제시한 최적 공급사슬망을 입력자료로 삼아 위의 주제들을 고려한 시뮬레이션 및 휴리스틱 분석을 수행한다면, 기업의 의사결정에 훨씬 유용한 정보와 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] Abdinnour-Helm, S., "Network design in supply chain management," *International Journal of Agile Management Systems*, Vol.1, No.2(1999), pp.99-106.

[2] Aldred, K., "Supply chain problems cost companies millions," *IIE Solutions*, Vol.30, No.5(May 1998), pp.11-13.

[3] Al-Sultan, K.S. and M.A. Al-Fawzan, "A tabu search approach to the uncapacitated facility location problem," *Annals of Operations Research*, Vol.86(1999), pp.91-103.

[4] Bertazzi, L. and M.G. Speranza, "Minimizing Logistic Costs in Multistage Supply Chains," *Naval Research Logistics*, Vol.46 (1999), pp.399-417.

[5] Canel, C. and S.R. Das, "The uncapacitated multi-period facilities location problem with profit maximization," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol.29, No.6(1999), pp.409-433.

[6] Chardaire, P., J.L. Lutton and A. Sutter, "Upper and lower bounds for the two-level simple plant location problem," *Annals of Operations Research*, Vol.86(1999), pp.117-140.

[7] Drezner, Z. and S. Salhi, "Using Hybrid Metaheuristics for the One-Way and Two-Way Network Design Problem," *Naval Research Logistics*, Vol.49(2002), pp.449-463.

[8] Ganeshan, R., "Managing supply chain inventories : a multiple retailer, one warehouse, multiple supplier model," *International Journal of Production Economics*, Vol.59(1999), pp.341-354.

[9] Gibson, W.D., "Getting a grip on the supply chain," *Chemical Engineering*, Vol.105, No. 12(Nov. 1998), pp.35-39.

[10] Hanfield, R.B. and E.L. Nichols Jr., *Introduction to Supply Chain Management*, Prentice-Hall, 1996.

[11] Jayaraman, V., "Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design : An investigation," *International Journal of Operations & Production Management*, Vol.18, No.5(1998), pp. 471-494.

[12] Korpela, J. and A. Lehmusvaara, "A customer oriented approach to warehouse network evaluation and design," *International Journal of Production Economics*, Vol.59 (1999), pp.135-146.

[13] Marin, A. and B. Pelegrin, "Applying Lagrangian relaxation to the resolution of two-stage location problems," *Annals of Operations Research*, Vol.86(1999), pp.179-198.

[14] Pirkul, H. and V. Jayaraman, "A Multi-commodity, Multi-plant, Capacitated Facility Location Problem : Formulation and Efficient Heuristic Solution," *Computers & Operations Research*, Vol.25, No.10(1998), pp.869-878.

[15] Quinn, F.J., "Building a world-class supply chain," *Logistics*, (June 1998), pp.38-43.

[16] Spalding, J.O., "Transportation industry takes the right-of-way in the supply chain," *IIE Solutions*, Vol.30, No.7(July 1998), pp. 24-28.

[17] Sundaram, R.M. and S.G. Mehta, "A comparative study of three different SCM approaches," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol.32, No.7(2002), pp.532-555.