

순환형 공급체인 환경에서 시설 통합에 의한 물류원가 절감 및 재고관리시스템 모델구축에 관한 연구

(Study on Reducing Logistics Costs and Inventory Control System according to facilities integration in the Closed-Loop Supply Chain Environment)

이 정 은¹⁾
(Jeong Eun Lee)

요 약 순방향물류와 역방향물류의 두 물류 체인을 통합해서 자원 순환형 공급체인 (CLSC: closed-loop supply chain) 을 구성하는 것은 기업의 비용절감을 위해서 반드시 필요한 요소이다. 본 연구에서는 순환형 공급체인의 환경에서 순방향물류의 도매점과 역방향물류의 처리센터의 재고를 통합하는 재고관리를 제안한다. JIT(Just-in-Time)배송이 고려된 새로운 CLSC 재고관리모델은, 회수센터에서 처리센터로 배송된 사용이 끝난 제품이 도매업자의 수요에 미치지 못할 때 제조사에게 필요한 제품을 재발주 할 것인지 사용이 끝난 제품의 회수를 기다릴 것인지를 선택함으로써 비용을 절감한다. 제안 모델의 유효성을 검증하기 위하여 최적화 기법중 하나인 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)을 이용하였다. 파라미터가 해에 미치는 영향을 알아보기 위해서 세 가지 파라미터 조건에서 우선 순위형 GA (priority-based GA: priGA)와, 각 세대마다 파라미터가 조정되는 개량형 하이브리드 GA (modified Hybrid Genetic Algorithm: mhGA)를 사이즈가 다른 4가지 수치 예에 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다.

핵심주제어 : 순방향물류, 역방향물류, 순환형 공급체인, 재고관리시스템, 유전자알고리즘

Abstract It is an element certainly required for the cost reduction of a company that forward and reverse logistics chain are unified and constitutes a resource closed-loop supply chain (CLSC). In this study, the inventory control which unifies inventory of distribution centers (DCs) of forward logistics and processing center of reverse logistics in the CLSC environment is proposed. The inventory system model for newly-constructed CLSC considers the JIT(Just-In-Time) delivery from the processing center to the manufacturer, including the making of decisions on whether to wait for the arrival of end-of-life products or to back-order necessary products for manufacturer when the supply of end-of-life products at the processing center via the returning center is insufficient for the demands of the manufacturers. The validity of the proposed model was verified using the genetic algorithm (GA). In order that a parameter might investigate the effect which it has on a solution, the simulation was carried out for priGA(priority-based GA) on three kinds of parameter conditions. Moreover, mhGA(modified hybrid GA) to which a parameter is adjusted for every

1) 동의대학교 회계학과

generation, the simulation was carried out to a four-kind numerical example.

Key Words : Forward Logistics, Reverse Logistics, Closed-Loop Supply Chain, Inventory Control System, Genetic Algorithm

1. 서 론

최근 친환경 제품 수요에 대한 사회적 요구가 증가하면서 기업들도 자원의 재활용을 통해 환경적 부담을 최소화하고 자원을 효율적으로 활용해 원가를 절감하고자 많은 노력을 기울이고 있다. 정부는 2011년 제 1차 자원순환 기본계획을 수립하여 기존의 대량생산-소비-폐기의 구조에서 벗어나 자원 순환형 사회로의 새로운 방향성을 정하였다. 자원순환 기본계획은 저탄소 자원순환형 사회 정착을 비전으로 폐자원 업사이클링(upcycling) 기반 조성을 목표로 삼고 있다.

또한 생산·유통·소비단계에서 폐기물 발생억제(reduction), 발생된 폐기물 재사용(reuse), 재활용(recycle), 에너지회수(recovery)의 4R을 자원순환사회의 실천적인 정책으로 내걸었다. 자원순환형 사회구조로 전환하기 위하여 다양한 정책을 추진 중이 있으며 그 중에서 제품 전 과정, 즉 생산/유통·소비·폐기·순환과정의 확산을 통해 재활용 정책을 폐기단계 중심에서 생산단계로 확대 강화하려고 한다.

이에, 유통업계에서는 이러한 정책에 동참하기 위하여 친환경물류(green logistics), 역방향물류(reverse logistics)에 많은 관심을 보이고 있고, 친환경 제품설계 적용과 회수 공급 체인을 구성하여 운영함으로써 친환경과 관련한 문제를 해결할 수 있을 것이다[1].

기존의 순방향물류(forward logistics)는 생산/유통, 소비까지의 흐름을 고려하였다면, 역방향물류는 사용이 끝난 제품의 회수에서부터 재활용까지의 흐름이 고려된 통합적인 물류시스템이다.

순방향물류와 역방향물류의 흐름이 동시에 발생하는 기업의 입장에서는 물류 체인을 분리해서 구성할 경우, 각각의 물류의 흐름은 최적화될 수 있지만, 기업의 전체물류 체인을 최적화하기 어렵다. 따라서 물류 흐름의 방향을 제외하고는 님은 구조를 가진 두 물류 체인을 통합해서 자원 순환형공급체인(CLSC: closed-loop supply chain) 을 구성하는 것은 기업의 비용절감을 위해서 필요한 요소일 것이다. 두 물류를

통합함으로써 가져 올 수 있는 이점은 시설의 통합에 의한 개설 비용을 절감할 수 있을 것이며, 회수 제품의 재사용에 의한 신제품생산비용 및 원재료·부품구매비용의 절약도 꾀할 수 있을 것이다.

이와 같이, 물류 분야에서 중요한 이슈는 순방향물류와 역방향물류의 통합이다. 비용을 절감하고 최적의 모델 설계를 하기 위하여 통합된 공급체인 정보가 필요하다. 순방향물류와 역방향물류의 효율적인 통합을 위해서는 공급체인 전체의 네트워크가 설계되어야 한다.

Kannan et al.[2]는 총 공급체인 비용의 최소화를 목적으로 하고, 각각의 시설에서 원재료, 생산, 배송, 재고, 리사이클링 용량을 결정하기 위한 순환형 혼합정수 LP모델(closed loop mixed integer linear programming model) 을 제안하였다. 또한 제안한 모델은 휴리스틱 베이스의 유전자 알고리즘(genetic algorithm: GA)에 의해 해결하였다.

Min et al.[3]는 멀티계층, 멀티 순환형 네트워크 설계 문제를 제안하였다. 순환형 공급체인 환경에서 회수된 제품의 통합에 관한 문제 해결을 위하여 혼합정수 LP모델과 유전자 알고리즘을 제안하였다. 그러나, 제안된 모델은 복합의 계획 기간 문제에 대해서 고려하지 않았고, Min et al.[4]는 운송, 재고비용을 고려한 모델을 제안하였으나 역방향물류 환경만을 고려하였다.

Zhao and Liu[5]와 Lindu and Linbo[6]는 제3자 물류에서의 다수의 수요시장, 소매점으로 구성된 순환형 공급체인을 조사하였다.

Sheu et al.[7]는, 통합된 순방향물류/역방향물류에서 운송과 재고에 관계된 결정을 포함한 친환경 공급체인의 오퍼레이션을 최적화하기 위한 다목적 LP 모델을 제안하였으나, 순방향과 역방향에서의 이익을 각각 구하여 통합 모델의 이점을 살리지 못하였다.

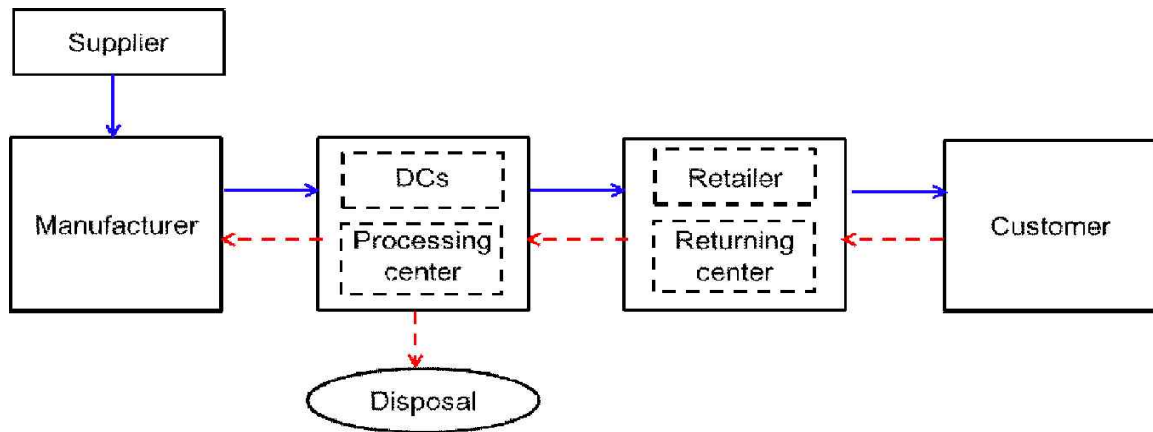
Fleischmann et al.[8]는 순환형 공급체인 환경의 순방향, 역방향 두 흐름에서 배송 및 최적분배를 동시에 고려하는 역방향물류 네트워크 설계문제를 제안하였

다. 그리고 확장된 창고 입지 문제의 혼합정수 선형계획법(Mixed Integer Linear Programming: MILP)을 공식화하였다.

이와 같이 기존 연구에서는 순환형 공급체인 환경을 고려한 네트워크 설계문제는 Min et al.[3, 4], Fleischmann et al.[8]과 같은 다수 연구자들에 의해 다루어졌으나, 이들 모형은 통합시설에 관한 비용절감과 재고관리를 동시에 고려하지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 <Fig. 1>과 같이 시설의 통

각 물류의 중간 프로세스로서 보관창고의 역할을 한다. 따라서 두 센터를 통합함으로써 운영비용과 재고 유지비용을 줄일 수 있을 것이다. 순방향물류는 도매센터의 재고가 부족할 경우, 제조사(Manufacturer)에 재발주를 넣어 부족한 재고량의 제품을 배송 받아 도매센터의 재고를 확보한다. 역방향물류는 회수센터(Returning center)를 통해 회수된 제품이 처리센터(Processing center)로 배송되어 처리공정을 거친 후 재사용 가능한 제품이 되면 이 제품도 도매센터의 재



<Fig. 1> Closed-Loop Supply Chain Flow

합으로 절약되는 비용과 함께 시설을 통합함으로써 순방향물류에서 소비자의 수요에 따른 중간 유통단계 시설의 재고 또는 재발주와 역방향물류의 회수에서 발생하는 재사용 가능한 제품의 재고를 같이 관리함으로써 기존의 재고관리시스템에서 발전된 재고관리 시스템 모델 구축을 목표로 한다.

또한, 구축한 모델을 유전자 알고리즘을 이용하여 근사 최적해를 산출하고, 물류원가의 절감이 이루어졌는지 검토하고 향후 과제 및 발전 방향을 제시한다.

2. 물류원가절감을 위한 재고관리시스템 모델구축

순환형 공급체인 환경에서 구축한 네트워크 모델은 <Fig. 1>에서와 같이 도매센터(DCs)와 처리센터(Processing center)의 통합으로 통합재고관리시스템을 운영할 수 있게 되었다.

순방향물류의 도매센터와 역방향물류의 처리센터는

고에 포함 시킬 수 있다.

따라서 두 물류를 취급하는 순환형 공급체인 환경에서는 <Fig. 2>와 같이 순방향물류의 재발주와 역방향물류의 재사용가능한 제품의 회수 중 비용이 적게 발생하는 루트를 선택할 수 있다. 또한, 제조사와 도매센터 간의 배송은 적시, 적소에 적정량의 제품을 배송하는 것으로 Just-In-Time 배송 (Just-In-Time Delivery)이라 할 수 있고, 도매센터의 재고비용 또한 절감함으로써 기업의 전체 물류비용을 절감하는 전략이다.

소매업자(Retailer)에서는 회수센터의 역할을 할 때가 있다. 따라서 소매업자의 용량에는 분배와 회수를 포함하고 있다.

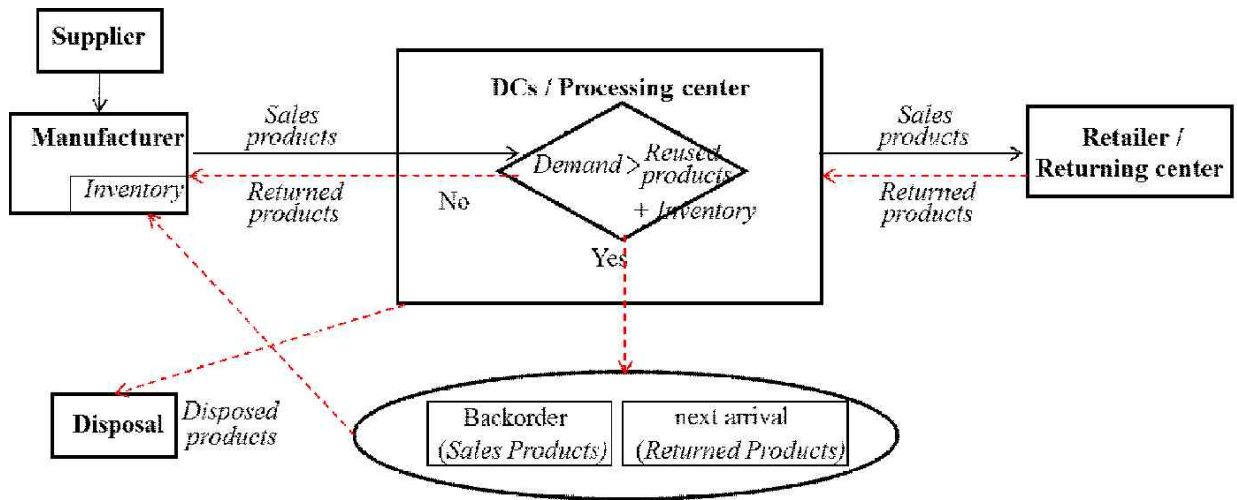
순환형 공급체인 환경에서 물류원가절감을 위한 재고관리시스템 모델은 다음과 같은 사항을 가정한다.

- 입하를 기다릴 것인지 재발주를 할 것인지 결정할 때는 도매업자의 재고량과 처리센터의 회수량을 총계해서 결정한다.
- 처리 센터에 배송된 사용이 끝난 제품의 폐기율

- 은 0.1%로 사사오입한다.
- 수요 예측은 아래의 식을 사용한다. 당일수요예측치 = (전일수요예측치 + $\alpha \times$ (전일실적치 - 전일수요예측치))
- 각 센터의 최대 용량을 알고 있다.
- 고객(customer)의 위치는 알려져 있다.

본 모델에서 필요한 변수들을 정의하고, 목적식을 수립하고, 제약식들에 대해 설명한다.

- N : 폐기처
- S : 공급처
- T : 시간
- a_i : 제조사 i 의 용량
- b_j : 도매센터 j 의 용량
- u_k : 소매점 k 의 용량
- v_k : 회수센터 k 의 용량
- w_j : 처리센터 j 의 용량
- d_i : 제조사 i 수요
- $R(t)$: 회수센터 i 에 회수된 사용이 끝난 제품의 회수량



<Fig. 2> Integrated Inventory Control System

Index

- i : 제조사 ($i=1,2,\dots, I$)
- j : 도매센터 ($j=1,2,\dots, J$)
- k : 소매점 ($k=1,2,\dots, K$)
- l : 소비자 ($l=1,2,\dots, L$)
- j' : 처리센터 ($j'=1,2,\dots, J'$)
- k' : 회수센터 ($k'=1,2,\dots, K'$)
- t : 시점 ($t=1,2,\dots, T$)

parameters

- I : 제조사 수
- J : 도매센터 수
- K : 소매점 수
- L : 소비자 수
- K' : 회수센터 수
- J' : 처리센터 수

- c_{ij}^1 : 제조사 i 에서 도매센터 j 까지 운송비용
- c_{jk}^2 : 도매센터 j 에서 소매점 k 까지 운송비용
- c_{kl}^3 : 소매점 k 에서 소비자 l 까지 운송비용
- c_{lk}^4 : 소비자 l 에서 회수센터 k' 까지 운송비용
- c_{km}^5 : 회수센터 k 에서 처리센터 m 까지 운송비용
- c_{jN}^6 : 처리센터 j 에서 폐기처 N 까지 운송비용
- c_{ji}^7 : 처리센터 j 에서 제조사 i 까지 운송비용
- c_{Si}^8 : 공급자 S 에서 제조사 i 까지 운송비용
- c_j^{01} : 도매센터 j 의 운영비용
- c_k^{02} : 소매점 k 의 운영비용
- $c_{j'}^{03}$: 처리센터 j' 의 운영비용
- $c_{k'}^{04}$: 회수센터 k' 의 운영비용
- c_j^{H1} : 도매센터 j 의 재고유지비용
- $c_{j'}^{H2}$: 처리센터 j' 의 재고유지비용
- r_N : 폐기율

decision variables

- $x_{ij}^1(t)$: 시점 t 에서의 제조사 i 에서 도매센터 j 까지의 운송량
- $x_{jk}^2(t)$: 시점 t 에서의 도매센터 j 에서 소매점 k 까지의 운송량
- $x_{kl}^3(t)$: a시점 t 에서의 소매점 k 에서 소비자 l 까지의 운송량
- $x_{jk}^4(t)$: 시점 t 에서의 소비자 j 에서 회수센터 k' 까지의 운송량
- $x_{kj}^5(t)$: 시점 t 에서의 회수센터 k 에서 처리센터 j 까지의 운송량
- $x_{jN}^6(t)$: 시점 t 에서의 처리센터 j 에서 폐기처 N 까지의 운송량
- $x_{ji}^7(t)$: a시점 t 에서의 처리센터 j 에서 제조사 i 까지의 운송량
- $x_{Si}^8(t)$: 시점 t 에서의 공급자 S 에서 제조사 i 까지의 운송량
- $y_j^{H1}(t)$: 시점 t 에서의 도매센터 j 의 재고량
- $y_j^{H2}(t)$: 시점 t 에서의 처리센터 j 의 재고량
- $z_j^{O1}(t)$: 도매센터 j 가 운영을 할 경우 1, 아니면 0
- $z_j^{O2}(t)$: 처리센터 j 가 운영을 할 경우 1, 아니면 0
- $z_k^{O3}(t)$: 소매점 k 가 운영을 할 경우 1, 아니면 0
- $z_k^{O4}(t)$: 회수센터 k 가 운영을 할 경우 1, 아니면 0

$$\begin{aligned}
 &= f + f_2 \\
 &= \left[\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij}^1 x_{ij}^1(t) + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K c_{jk}^2 x_{jk}^2(t) + \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L c_{kl}^3 x_{kl}^3(t) \right. \\
 &+ \sum_{j=1}^J c_j^{O1} z_j^{O1}(t) + \sum_{j=1}^J c_j^{O2} z_j^{O2}(t) - \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I c_{ji}^7 z_j^{O1}(t) z_j^{O2}(t) \\
 &+ \sum_{k=1}^K c_k^{O3} z_k^{O3}(t) + \sum_{k=1}^K c_k^{O4} z_k^{O4}(t) - \sum_{k=1}^K \sum_{k'=1}^{K'} c_k^{O3} z_k^{O3}(t) z_{k'}^{O4}(t) \left. \right]
 \end{aligned}$$

objective function

$$\begin{aligned}
 &+ \sum_{t=1}^T \left[\sum_{l=1}^L \sum_{k=1}^K c_{lk}^4 x_{lk}^4(t) + \sum_{k=1}^{K'} \sum_{j=1}^J c_{kj}^5 x_{kj}^5(t) + \sum_{j=1}^J c_{jN}^6 x_{jN}^6(t) \right. \\
 &+ \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^I c_{ji}^7 x_{ji}^7(t) + \sum_{i=1}^I c_{Si}^8 x_{Si}^8(t) + c_j^{H1} y_j^{H1}(t) + c_j^{H2} y_j^{H2}(t) \left. \right]
 \end{aligned} \tag{1}$$

수리모델 목적식 (1)은 순방향물류(f1)와 역방향물류(f2)의 운송비용과 각 센터의 운영비용, 도매센터와 처리센터의 재고비용의 합을 최소화한다는 의미이다.

subject to

도매점과 처리센터의 용량을 나타내는 제약식 :

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{j=1}^J x_{ij}^5(t) + y_j^{H2}(t-1) \\
 &\leq u_j + w_j \quad \forall i, k', t
 \end{aligned} \tag{2}$$

소매점과 회수센터의 용량을 나타내는 제약식 :

$$\sum_{k=1}^K x_{jk}^2(t) + \sum_{k=1}^{K'} x_{lk}^4(t) \leq u_k + v_k \quad \forall j, l, t \tag{3}$$

사용이 끝난 제품의 회수량을 나타내는 제약식 :

$$(t) \leq \sum_{k=1}^K u_k + \sum_{k=1}^{K'} w_k \quad \forall t \tag{4}$$

도매점과 처리센터의 재고량을 나타내는 제약식 :

$$\begin{aligned}
 &y_j^{H1}(t-1) + \sum_{i=1}^I x_{ij}^1(t) + y_j^{H2}(t-1) + \sum_{k=1}^{K'} x_{kj}^5(t) \\
 &- x_{jk}^2(t) + x_{ji}^7(t) + x_{jN}^6(t) = y_j^{H1}(t) + y_j^{H2}(t) \\
 &\quad \forall j, j', t
 \end{aligned} \tag{5}$$

결정변수의 비음조건 :

$$\begin{aligned}
 &x_{ij}^1(t), x_{jk}^2(t), x_{kl}^3(t), x_{lk}^4(t), x_{kj}^5(t), x_{jN}^6(t) \\
 &, x_{ji}^7(t), x_{Si}^8(t) \geq 0 \quad \forall i, j, k, l, k', j', t
 \end{aligned} \tag{6}$$

결정변수 :

$$\begin{aligned}
 &z_j^{O1}(t) \in \{0, 1\} \quad \forall j \\
 &z_j^{O2}(t) \in \{0, 1\} \quad \forall j' \\
 &u_k(t) \in \{0, 1\} \quad \forall k \\
 &v_{k'}(t) \in \{0, 1\} \quad \forall k'
 \end{aligned} \tag{7}$$

처리 센터의 시설운영비용은 회수된 제품에 대한 분해·청소·충전 등의 처리 공정을 실시하는 운영비용과 이 처리 센터까지의 배송비용이며, 이 비용이 높을 경우 처리 센터를 사용하지 않고 다른 처리 센터에 배송하는 편이 좋다. 이것에 의해, 시설운영비용이 높은 처리 센터의 낭비를 없애고, 전체의 비용 삭감을 꾀할 수 있다.

순환형 공급체인 네트워크 문제는, 0-1정수계획 문제로 정식화되어 NP-hard 문제 중 하나다. 정수 변수가 비교적 적은 혼합 정수계획 문제는 종래부터 알려져 있는 최적화 소프트웨어를 이용해서 실용적 시간

내에서 풀 수 있지만, 본 논문이 대상으로 하고 있는 문제의 규모에서는 계산 시간이나 사용 메모리가 기하급수적으로 증가해 적용이 불가하다. 따라서 이 문제의 해법으로 제4장에서 설명하는 유전자 알고리즘을 이용하여 근사 최적해를 산출하도록 한다.

3. 물류원가 절감의 최적화 기법

다점탐색법의 하나인 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm: GA)은 최적화 문제에 유효한 것으로 알려져 있고, 염색체표현 설계가 중요한 요소 중 하나이다[9]. 본 논문에서는 Gen[9]이 제안한 우선 순위형 인코딩(priority-based encoding)을 염색체 설계에 이용하여 개량형 하이브리드 유전자 알고리즘(modified hybrid Genetic Algorithm)을 개발하였다. 우선순위형 인코딩은 염색체 설계방법이 간단하며 모든 노드를 고려할 수 있기 때문에 물류 네트워크 문제에 많이 적용되고 있다.

3.1 개량형 하이브리드 유전자 알고리즘 (modified hybrid Genetic Algorithm: mhGA)

유전자 알고리즘에서는 통상, 유전적 전략 파라미터를 고정하고, 그 값에 근거해 진화의 과정을 유사하게 재현한다. 그러나 이 방법에서는, 항상 같은 확률로 교차나 돌연변이가 일어나는 것부터, 진화의 과정에 필요한 다양성이 상실되어버린다. GA파라미터를 집단의 상황에 맞춰 적절하게 조정할 수 있다면 해의 질을 높일 뿐만 아니라, 시뮬레이션의 계산시간단축이 기대된다. 유전자조작의 파라미터인 돌연변이율을 증가하는 것은 탐색 범위를 넓히고, 돌연변이율을 작게 하는 것은 국소탐색의 정밀도를 올린다. 이 돌연변이율을 적절하게 조정하는 것으로 탐색 속도나 해의 정밀도를 높일 수 있다[10].

개량형 하이브리드 유전적 알고리즘(mhGA)은 priGA의 염색체 표현을 사용하였고, 파라미터를 세대마다 적절하게 조절하고, 최적해 탐색에 의해 적합한 상황을 만드는 것으로 GA의 탐색근본능력을 향상시키는 퍼지로지컬 컨트롤러(Fuzzy Logic Controller: FLC)[10]을 도입하였다. 퍼지로지컬 컨트롤러를 이용하

여 교차율과 돌연변이율을 구하는 방법은 다음과 같다.

- ① 현(現)세대와 전(前)세대집단의 평균평가치변화량을 아래 식으로 구한다.

$$\Delta f_{avg}(t) = \overline{f_{avg}}(t) - \overline{f_{avg}}(t-1)$$

- ② 현세대의 평균평가치와 전세대의 평균평가치의 변화량(증감 또는 감소)에 대응하는 제어동작을 <Table 1>의 퍼지 테이블을 이용하여 결정한다.

<Table 1> Fuzzy Table

	NR	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL	PR
NR	NR	NL	NL	NM	NM	NS	NS	ZE	ZE
NL	NL	NL	NM	NM	NS	NS	ZE	ZE	PS
NM	NL	NM	NM	NS	NS	ZE	ZE	PS	PS
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	ZE	PS	PS	PM
ZE	NM	NS	NS	ZE	ZE	PS	PS	PM	PM
PS	NS	NS	ZE	ZE	PS	PS	PM	PM	PL
PM	NS	ZE	ZE	PS	PS	PM	PM	PL	PL
PL	ZE	ZE	PS	PS	PM	PM	PL	PL	PR
PR	ZE	PS	PS	PM	PM	PL	PL	PR	PR

- ③ ②의 결과에 대응하는 교차율과 돌연변이율의 변화량을 <Table 2> 룩업 테이블을 이용하여 z(i,j)를 구한 후, 아래 식으로 교차율과 돌연변이율의 변화량을 계산한다.

교차율의 변화량 $\Delta p_C(t) = r_1 \cdot z(i, j)$

돌연변이의 변화량 $\Delta p_M(t) = r_2 \cdot z(i, j)$

r_1, r_2 : 적응계수

<Table 2> Look-up Table

	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0
-3	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	1
-2	-3	-2	-2	-1	-1	0	0	1	1
-1	-2	-2	-1	-1	0	0	1	1	2
0	-2	-1	-1	0	2	1	1	2	2
1	-1	-1	0	0	1	1	2	2	3
2	-1	0	0	1	1	2	2	3	3
3	0	0	1	1	2	2	3	3	4
4	0	1	1	2	2	3	3	4	4

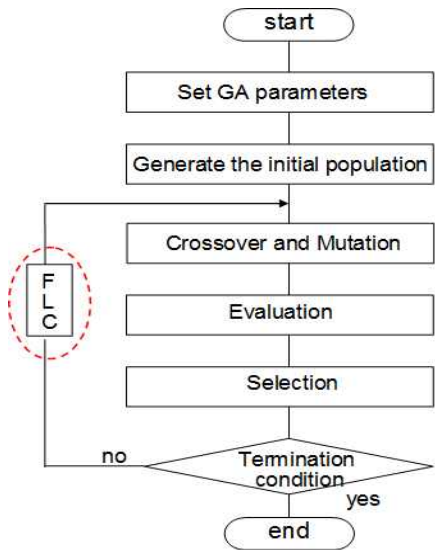
- ④ 아래 식을 이용하여 다음세대의 교차율과 돌연변이율을 구한다.

$$p_C(t+1) = p_C(t) + \Delta p_C(t)\lambda$$

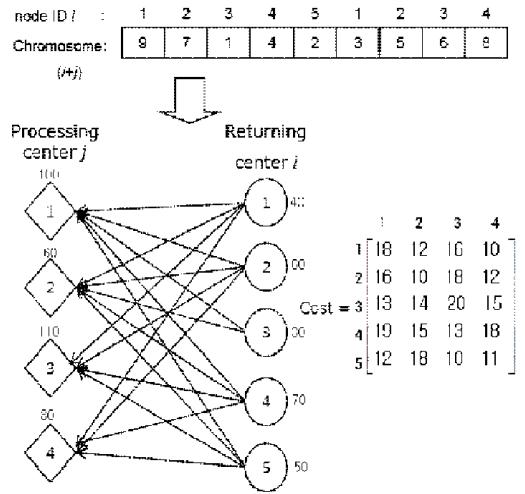
$$p_M(t+1) = p_M(t) + \Delta p_M(t)\lambda$$

λ : Forgetting Factor

<Fig.3>은 mhGA의 계산 흐름을 나타내고 있다.



<Fig. 3> mhGA Flow



<Fig. 4> priGA Chromosome Encoding

<Table 3> priGA Decoding

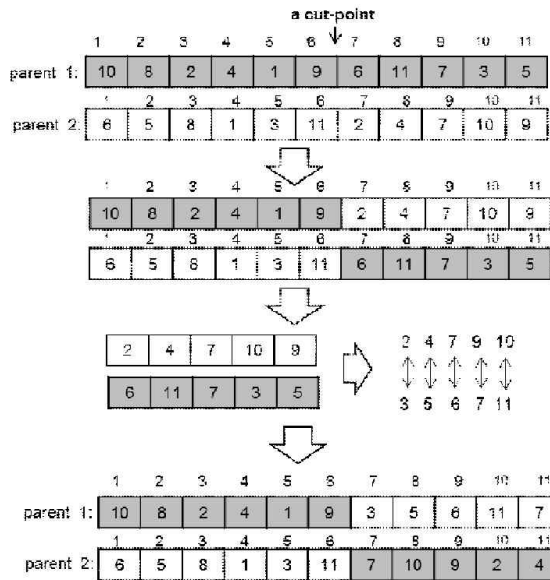
3.2 우선 순위형 유전자 알고리즘 (priority-based Genetic Algorithm: priGA)[11]

priGA는 <Fig 4>와 같이 회수센터(J)와 처리센터(J)의 총 개수(5+4)를 길이로 가지는 염색체를 생성한다. 각 유전자에 나타나 있는 숫자는 우선순위를 나타내고, 우선순위의 초기 값은 염색체 길이의 숫자 ($I+J=9$)로부터 시작하고, 랜덤으로 모든 유전자에 배정될 때까지 반복한다 [12]. 또한, 회수센터와 처리센터 옆 수치는 각각의 용량을 나타내며 비용은 회수센터에서 처리센터로의 배송비용을 나타낸다.

<Fig 4>의 염색체에서 최고우선순위(9)를 가지고 있는 회수센터 1은 처리센터 4로 운송할 때 최저비용을 가진다. 회수센터 1의 용량은 40, 처리센터 4는 80이므로 회수센터에서 처리센터로 배송 가능한 용량은 40이 된다. 따라서 회수센터 1에서 처리센터 4로 40이 운송되어 회수센터의 용량은 0이 되고, 다음 우선순위를 가진 처리센터 4가 선택되고 이 같은 방법으로 운송량을 결정한다. <Table 3>이 계산과정을 표로 나타낸 것이다.

3.3 교차

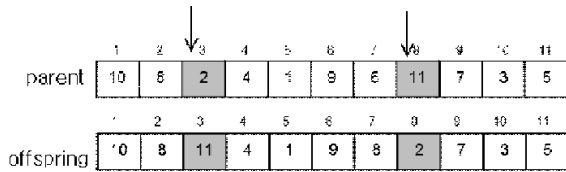
WMX(Weight Mapping Crossover) 교차는, <Fig.5>과 같이 랜덤으로 컷 포인트를 설정하고, 컷 포인트의 오른쪽 염색체 부분을 교환한다. 교환한 오른쪽의 부분을 낮은 숫자부터 줄 세운 후, 각 숫자별로 쌍을 이루고 있는 숫자로 바꿔 적어 자식 염색체를 생성한다.



<Fig. 5> Weight Mapping Crossover

3.4 돌연변이

교환 돌연변이(Swap Mutation)는, <Fig. 6>과 같이 유전자 안에서 교환할 유전자의 페어(예를 들어 3와 8)를 임의로 선택하고, 선택된 둘의 유전자를 교환한다.



<Fig. 6> Swap Mutation

4. 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 설정

본 연구에서는 제안한 mhGA의 성능을 확인하기 위하여 교차와 돌연변이의 확률을 각각 다르게 설정한 priGA와 비교하였다.

<Table 4>는 4가지 수치예의 공급업자, 제조사, 소매점, 소매점, 최종 도착점(소비자), 회수센터, 처리센터, 폐기업자의 수를 나타낸다.

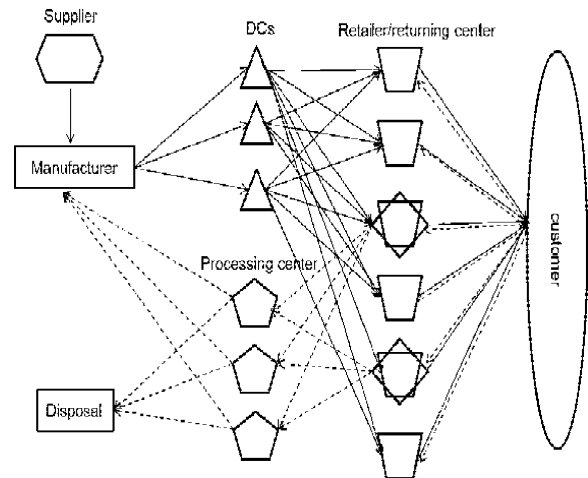
순방향물류와 역방향물류의 흐름과 시설의 통합을

보여주기 위하여 <Fig. 7>에서 네트워크 모델로 표현하였다.

초기 탐색체 개체수 10, 세대수 1000, WMX 교차율과 돌연변이율은 <Table 3>과 같이 3가지 조건으로 30회 시뮬레이션을 실시하였다. mhGA의 교차율과 돌연변이율은 세대마다 조정되기 때문에 priGA에서 최소비용의 해를 구한 (0.7,0.3)으로 설정하여 시뮬레이션을 실시하였다.

<Table 4> Numerical Example

Items \ Size	1	2	3	4
Supplier	1	1	1	1
Manufacturer	1	1	1	1
DCs	3	5	30	60
Retailer	5	10	50	100
Customer	10	20	100	200
Returning center	5	10	50	100
Processing center	3	5	30	60
Disposal	1	2	10	20



<Fig. 7> Network Model of Numerical Example

4.2 시뮬레이션 결과

제안한 모델과 mhGA의 유효성을 검증하기 위하여 <Table 5>에서 priGA와 mhGA를 비교하였고, <Table 6>에서 각각의 물류에서의 비용과 통합모델에서의 물류비용을 비교하였다.

<Table 5>은 파라미터가 해에 미치는 영향을 알아

보고 제안한 mhGA의 성능을 검증하기 위해서 WMX 교차율과 교환돌연변이율을 각각 (0.3, 0.3), (0.5,0.5), (0.7,0.3) 세 가지 조건하에 priGA와 각 세대마다 파라미터가 조정되는 mhGA를 사이즈가 다른 4가지 수치에 적용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과 priGA에서는 (0.7,0.3)의 파라미터 조건에서 최소비용의 해를 구할 수 있었고, priGA와 mhGA와의 비교에서는 mhGA의 경우가 보다 최소비용의 근사 최적해를 구할 수 있었다. 사례에의 사이즈가 커질수록 priGA보다 mhGA의 해의 질이 좋아지는 것도 개선율에서 확인할 수 있었다.

<Table 5> The Results of Simulation

Size	Parameter		priGA	mhGA	Improvement Rate (%)
	p_C	p_M	Cost	Cost	
1	0.3	0.3	647,100		3.79
	0.5	0.5	647,020	623,482	3.78
	0.7	0.3	646,540		3.70
2	0.3	0.3	1,329,142		4.75
	0.5	0.5	1,329,626	1,268,910	4.78
	0.7	0.3	1,328,704		4.71
3	0.3	0.3	9,039,984		6.89
	0.5	0.5	9,051,810	8,457,580	7.03
	0.7	0.3	9,012,768		6.56
4	0.3	0.3	17,487,230		10.01
	0.5	0.5	17,478,244	15,896,220	9.95
	0.7	0.3	17,398,926		9.45

<Table 6> Comparison of Each Logistics Cost (in case of size 1)

Supply chain model	priGA	mhGA (proposed method)
Forward flow	352,147	348,673
Reverse flow	346,972	338,154
Closed loop supply chain	646,540	623,482

<Table 6>에는 순방향물류와 역방향물류를 나눠서 물류원가비용을 계산하였을 때 보다, 두 물류를 통합한 제안모델이 전체 물류비를 절감할 수 있었고,

priGA와 mhGA와의 비교에서는 제안한 mhGA에서 근사 최적해를 찾을 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 순환형 공급체인의 환경에서 순방향물류와 역방향물류를 동시에 고려한 네트워크 모델을 구축함으로써 통합된 재고관리와 통합된 시설관리로 물류원가를 절감하였다.

순방향물류에서의 도매점과 역방향물류에서의 처리센터에서 재고를 통합하여 관리함으로써 수요에 따른 재고가 모자란 경우 순방향물류의 제조사에게서 가져올 것인지, 역방향물류의 회수센터에서 사용이 끝난 제품의 회수를 기다릴 것인지를 선택함으로써 비용을 절감하였고, 순방향물류에서의 소매점과 역방향물류에서의 회수센터를 통합함으로써 시설운영비용 또한 절감하였다.

또, 제안 알고리즘의 유용성을 검증하기 위해서 priGA와 mhGA를 비교한 결과 mhGA가 가장 적은 비용의 근사 최적해를 구하였고, 순방향물류와 역방향물류를 나눠서 물류원가비용을 계산하고 두 물류를 통합한 제안모델의 전체 물류원가비용을 계산하여 비교함으로써 통합한 모델이 가장 적은 비용의 근사 최적해를 구하여 제안모델의 유효성을 검증할 수 있었다.

향후과제로 실제 사례연구를 통해 제안 모델과 제안기법의 유효성을 검증할 필요가 있겠다.

References

[1] C. K. Park, "A Study on the Effect of Supply Chain Environmental Management on the Corporate Social Responsibility Performances," Korean Journal of Logistics, Vol.19, No.2, pp.41-63, 2011.

[2] G. Kannan, P. Sasikumar and K. Devika, "A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: a case of battery recycling", Applied mathematical modeling, Vol.34, pp.655-670, 2010.

- [3] H. Min, H. J. Ko and B. I. Park, “A lagrangian relaxation heuristic for solving the multi-echelon, multi-commodity, closed loop supply chain network design problem”, *International journal of logistics system*, Vol.1, No.4, pp.382-404, 2005.
- [4] H. Min, C. Ko and H. Ko, “The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol.51, pp.309 - 320, 2006.
- [5] L. Q. Zhao and M. Liu, “Disruption coordination of closed loop supply chain network (i) -models and theorems-“, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol.4, No.11, pp.2955-2964, 2008.
- [6] L. M. Lindu and Q. Linbo, “Disruption coordination of closed loop supply chain network (ii) - analysis and simulations -“, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, Vol.5, No.2, pp.511-520, 2009.
- [7] J. B. Sheu, Y. Chou and C. Hu, “An integrated logistics operational model for green-supply chain management”, *Transportation research part E: logistics transport review*, Vol.41, No.4, pp.287-313, 2005.
- [8] M. Fleischmann, P. Beullens, J. M. Bloemhof-ruwaard and L. Wassenhove, “The impact of product recovery on logistics network design”, *Production and Operations Management* Vol.10, pp.156 - 173, 2001.
- [9] M.Gen, R. Cheng and L. Lin, “Network Models and Optimization: Multiobjective Genetic Algorithm Approach”, Springer, London. 2009.
- [10] M. Mukuda, Y. Tsujimura and M. Gen, “Optimization of multiobjective system reliability design using FLC -controlled GA”. *IEEJ Trans EIS*, Vol.125, pp.623 - 630, (in Japanese), 2005.
- [11] M. Gen, F. Altiparmak and L. Lin, “A genetic algorithm for two-stage transportation problem using priority-based encoding”, *OR Spectrum*, Vol.28, No.3, pp.337-354, 2006.
- [12] K. G. Rhee, Lee, J. E. Lee and K. D. Lee, “Multiobjective Reverse Logistics Model Considering Inventory Systems with Backordering”, *Korean Journal of Business Administration*, Vol.25, No.1, pp.613-625, 2012.



이 정 은 (Jeong Eun Lee)

- 정회원
- 동의대학교 회계학과 경영학사
- 동의대학교 회계학과 경영석사
- 와세다대학교 정보생산시스템 연구과 공학박사
- 동의대학교 상경대학 회계학과 조교수
- 관심분야 : 물류최적화

논문 접수 일 : 2014년 07월 09일

1 차 수 정 완 료 일 : 2014년 08월 08일

2 차 수 정 완 료 일 : 2014년 09월 19일

게 재 확 정 일 : 2014년 10월 06일