

유전자 알고리즘을 이용한 공급사슬 네트워크에서의 최적생산 분배에 관한 연구

임석진*, 정석재*, 김경섭*, 박면웅**

A study on the production and distribution problem in a supply
chain network using genetic algorithm

Lim, Seok Jin, Jung, Suk Jae, Kim, Kyung Sup, Park, Myon Woong

Abstract

Recently, a multi facility, multi product and multi period industrial problem has been widely investigated in Supply Chain Management (SCM). One of the key issues in the current SCM research area involves reducing both production and distribution costs. The purpose of this study is to determine the optimum quantity of production and transportation with minimum cost in the supply chain network. We have presented a mathematical model that deals with real world factors and constraints. Considering the complexity of solving such model, we have applied the genetic algorithm approach for solving this model using a commercial genetic algorithm based optimizer. The results for computational experiments show that the real size problems we encountered can be solved in reasonable time.

Key Words: supply chain management, production and distribution problem, genetic algorithms

* 연세대학교 컴퓨터과학 · 산업시스템공학과

** 한국과학기술연구원 CAD/CAM연구센터

1. 서론

치열해져 가는 시장환경에서 기업이 경쟁력을 확보하기 위해서는 좋은 품질의 제품을 생산하는 능력뿐 아니라 적시에 고객에게 제품을 공급하는 능력도 중요한 요소로 인식되고 있다. 이를 위해 많은 제조기업에 있어서 좋은 품질의 제품을 생산하기 위한 생산비용과 이를 소비자에게 공급하기 위한 분배비용을 줄이기 위한 노력이 요구되고 있다. 또한, 고객의 요구에 대해 신속히 대응하기 위한 효과적인 조직의 구성과 운영을 필요로 하고 있다. 이러한 환경의 요구로 인하여 공급사슬경영(supply chain management)은 시장에서의 경쟁력을 확보하기 위한 수단으로 경영에 있어서 중요한 의사결정의 중요한 도구로서 이해되고 있다. 공급사슬은 supplier에서 원재료를 공급받고 이를 제품으로 변환시키는 factory에서의 생산과정 그리고 완제품을 customer에서 분배하는 설비(facility)와 활동(activity)의 네트워크로 표현할 수 있다. 공급사슬은 supplier와 factory, distribution center(DC) 그리고 customer등으로 구성되어 있다. 이러한 활동은 목적에 따라 서로 상충되는 부분이 있다. 제조업체의 공장은 수송을 위한 용량이나 수송비용을 고려하지 않고 단지 생산량의 증대와 적은 생산비용만을 목적으로 한다. 이와 같이 기존의 많은 연구들이 생산과 분배의 각 활동사이의 상호작용에 대한 고려 없이 각각의 문제로 독립적으로 연구되어져 왔다. 최근, 생산에서 판매의 전과정에서의 의사결정을 위한 공급사슬의 통합모델 설계되고 개발되고 있으며 다설비(multi-facility)와 다제품(multi-product) 그리고 다기간(multi-period)에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 이러한 문제는 제조업체가 customer에 더욱 가까운 위치에 존재하게 되고 이를 통해 수송비용을 절감하는 효과를 거둘 수 있다. 이를 위해선 기업의 생산과 분배에 대해 재조정과 통합작업이 필요하다. 이러한 문제에서는, 각기 다른 지역에 흩어져 있는 공장에 제품을 할당하기 위해선 공장의 용량과 생산 및 분배비용을 고려하여 결정되어야

한다. 그렇지만, 고려하여야 할 몇 개의 가정사항만으로 구성된 문제들에 대해서 최적해를 구하기 위한 알고리즘만이 개발되었다. 생산과 분배문제를 동시에 고려하는 기존연구들과 유전자 알고리즘을 적용한 사례에 대해 간단히 소개를 한다.

Ereng등(1999)은 공급사슬에서 통합생산분배 계획에 대한 기존의 연구들에 대한 분석을 수행하였다. 그들은 공급사슬의 분석을 위한 framework을 제안하였으며 공급사슬의 각 단계에서의 의사결정을 위한 정의를 정리하였다. Malmborg(1996)는 서비스 수준에 기초한 vehicle scheduling을 위한 유전자 알고리즘에 대한 연구를 수행하였다. Moon등(2002)은 선행제조조건을 가진 traveling salesman problem에 대하여 효율적인 유전자 알고리즘에 대한 연구를 수행하였다. 그들은 새로운 교차연산과 그래프상에서의 꼭지점들의 정렬을 위하여 topological sort(TS)를 제안하였다. Dhaenens Flipo등(2001)은 다지역과 다제품 그리고 다기간의 산업적인 문제를 다루기 위한 통합모델에 대한 연구를 수행하였다. 통합모델은 기간사이의 제약조건을 연결하기 위한 방법으로 0-1변수를 이용한 network flow problem으로 구성하였다. Lee(1993)는 다제품과 다형상(multi-type)에서의 cross decomposition 알고리즘을 이용한 facility location problem에 대한 연구를 수행하였다. 이 알고리즘은 Benders decomposition과 Lagrangean relaxation을 하나로 통합화하여 단위 구조를 이루도록 하는 것이다. Jayaraman(1999)는 제약이 있는 service facility location을 결정하는 objective logistics model을 개발하는 연구를 수행하였다. 이 모델은 customer 수요의 충족과 설비의 개수사이의 trade-off를 평가하기 위해 MIP(Mixed Integer Programming)모델로 제안되었다. Dellaert 등(2000)은 유전자 알고리즘을 이용하여 시간의 변화에 따른 비용을 가진 multi-level lot sizing 문제에 대한 연구를 수행하였다. 그들은 유전자 알고리즘을 이진변수방식으로 처리하였으며 5개의 유전자 알고리즘을 위한 연산자를 개발하였다. Sarker등(2002)은 원재료와 관련된 구매정책

과 완제품의 생산을 위한 최적 배치크기를 결정하는 연구를 수행하였다. 이를 위하여 그들은 constrained nonlinear integer program을 이용하여 설계하였다. 그들은 constraint optimization을 위하여 3개의 각기 다른 penalty function을 가지는 유전자 알고리즘 code를 개발하였다. Yun등(2002)은 공급망 관리환경에 있어서 constraint programming기술을 이용하여 일정계획문제에 대한 연구를 수행하였다. 그들은 유전자 알고리즘에서의 유전자의 표현에 있어 새로운 방법을 제안하였다. Syarif등(2002)은 multi stage logistic chain network문제를 spanning tree에 기초한 유전자 알고리즘에 대한 연구를 수행하였다. 그들은 물류네트워크문제(logistic chain network problem)를 0-1혼합정수계획으로 설계하였다. 그들은 Prüfer number로 spanning tree를 표현하는 유전자 알고리즘을 제안하였다. Zhou 등(1999)은 network optimization에서 multi-criteria minimum spanning tree problem을 위하여 유전자 알고리즘을 이용하는 연구를 수행하였다. 그들은 spanning tree를 표현하기 위하여 Prüfer number를 적용하였다. Zhou등(2002)은 유전자 알고리즘을 이용하여 공급사슬 네트워크에서 customer의 수요에 대해 다분배센터(multiple DC) 균형할당문제(balanced allocation problem)에 대하여 연구를 수행하였다. 그들은 균형할당문제를 위한 수학적 모형을 개발하였고 star spanning forest solution을 위하여 Prüfer number를 이용하였다.

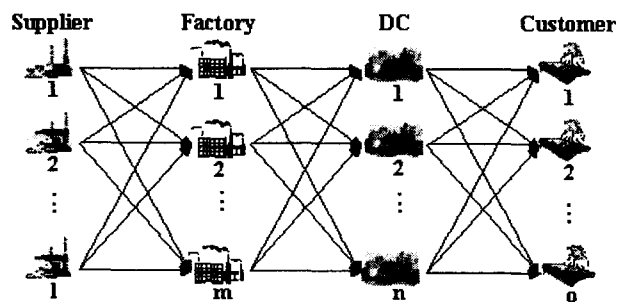
기존의 연구는 공급사슬 네트워크에서 생산, 재고 등 각각에 최적화에 대한 연구와 단일 설비, 단일제품 등 제약이 있는 연구이었다. 본 연구는 다설비와 다제품에 대한 생산과 분배문제를 동시에 고려하는 연구이다. 공급사슬 네트워크에서는 생산비용과 수송비용은 중요하게 고려되어야 할 요소이다. 총비용을 최소화하기 위해서는 적절한 생산비용과 수송비용이 결정되어야 한다. 이를 위하여 공급사슬 네트워크에서의 효과적인 생산 분배를 위한 수학적모형을 제시한다. 또한 비선형적이고 해를 찾는 데 있어 많은 계산시간을

필요로 하기 때문에 유전자 알고리즘이 적용되었다.

본 논문의 구성은 2장에서는 공급사슬 네트워크의 구성을 위한 수학적 모형을 제시한다. 3장은 공급사슬 네트워크문제를 해결하기 위한 방법론으로 이용된 유전자 알고리즘의 적용을 위한 유전자표현 및 연산자등에 대한 설명을 제시한다. 4장은 유전자 알고리즘을 이용한 실험과 이에 대한 결과와 분석을 제시한다. 마지막으로 5장에는 결론 및 향후연구과제에 대한 내용이다.

2. 생산-분배모형

원재료의 생산과 공급, 원재료를 제품으로 변화시키는 생산 그리고 제품을 customer에 제공하는 일련의 과정은 네트워크로 구성될 수 있다. 공급사슬 네트워크에서는 과도한 재고와 장기간의 생산과 수송 lead time이 발생한다. 지역적으로 분산되어 있는 customer의 수요를 만족하기 위하여 제품은 각 지역에 설치되어 있는 factory에서 생산되어야 하며 이를 위해선 생산되어야 할 factory의 선정과 선정된 factory에서의 생산량이 결정되어야 한다. 효과적인 공급사슬 네트워크는 적은 재고유지비용과 생산비용으로 제품을 신속하게 customer에게 제공이 가능하게 해준다. <그림 1>은 본 연구에서 고려하는 공급사슬 네트워크에 대한 것이다.



<그림 1> 본 연구에서의 공급사슬 네트워크

2.1 가정사항, 파라미터, 변수

본 연구에서 고려하는 공급사슬 네트워크를 위한 비용을 최소화 하는 최적 생산-분배모형을 위한 수학적 모형에 이용되는 가정사항, 파라미터, 변수들은 다음과 같다.

< 가정사항 >

- ① Customer 와 supplier의 수와 customer의 수요량 그리고 supplier의 용량을 미리 알려져 있다고 가정한다.
- ② Factory와 DC의 수 그리고 각각의 생산 및 저장용량을 미리 알려져 있다고 가정한다.

최적생산 분배를 위한 수학적 모형을 위해 사용하는 파라미터, 변수는 다음과 같다.

i : source의 번호 ($i = 1, 2, \dots, I$)
 p : product의 번호 ($p = 1, 2, \dots, P$)
 s : supplier의 번호 ($s = 1, 2, \dots, S$)
 f : factory의 번호 ($f = 1, 2, \dots, F$)
 d : DC의 번호 ($d = 1, 2, \dots, D$)
 c : customer의 번호 ($c = 1, 2, \dots, C$)

< 파라미터 >

S_s : supplier s 의 고정비
 S_f : factory f 의 고정비
 S_d : DC d 의 고정비
 S_c : customer c 의 고정비
 h_{is} : supplier s 에서 source i 의 단위당 재고 유지비용
 h_{if} : factory f 에서 source i 의 단위당 재고유지비용
 h_{pf} : factory f 에서 product p 의 단위당 재고유지비용
 h_{pd} : DC d 에서 product p 의 단위당 재고유지비용
 CT_{isf} : supplier s 에서 factory f 로의 source i 에 대한 단위당 수송비용
 CT_{pfd} : factory f 에서 DC d 로의 product p 에

대한 단위당 수송비용

CT_{pdc} : DC d 에서 customer c 로의 product p 에 대한 단위당 수송비용
 CP_{is} : supplier s 에서 source i 의 단위당 생산비용
 CP_{pf} : factory f 에서 product p 의 단위당 생산비용
 K_{pf} : factory f 에서 product p 의 저장능력
 K_{pd} : DC d 에서 product p 의 저장능력
 K_p : factory f 에서 product p 의 저장능력
 K_{is} : supplier s 에서 source i 의 저장능력
 T_d : DC 에서의 총저장능력
 T_f : factory 에서의 총저장능력
 T_s : supplier 에서의 총저장능력

< 변수 >

P_{is} : supplier s 에서 source i 의 생산량
 P_{pf} : factory f 에서 product p 의 생산량
 P_{if} : factory f 에서 source i 의 생산량
 I_{is} : supplier s 에서 source i 의 재고량
 I_{if} : factory f 에서 source i 의 재고량
 I_{pf} : factory f 에서 product p 의 재고량
 I_{pd} : DC d 에서 product p 의 재고량
 T_{isf} : supplier s 에서 factory f 로의 source i 의 수송량
 T_{pfd} : factory f 에서 DC d 로의 product p 의 수송량
 T_{pdc} : DC d 에서 customer c 로의 product p 의 수송량
 D_{pdc} : customer c 에서 DC d 로의 product p 의 수요량
 D_{pfs} : factory f 에서 supplier s 로의 source i 의 수요량
 D_{isf} : supplier s 에서 factory f 로의 source i 의 수요량
 Z_s : $\begin{cases} 1, \text{ supplier } s \text{에서 생산이 발생하면} \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$
 Z_f : $\begin{cases} 1, \text{ factory } f \text{에서 생산이 발생하면} \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$

$$Z_d : \begin{cases} 1, \text{ DC } d \text{에서 수송이 발생하면} \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases}$$

2.2 최적 생산-분배를 위한 수학적 모형

본 연구에서는 비용의 효율적인 분석을 위하여 공급사슬 네트워크를 3개의 stage로 구분하여 표현하였다. 첫 번째 stage는 supplier - factory stage로 supplier가 plant에 원재료를 공급하는 stage이다. 두 번째 stage는 factory - DC stage로 supplier에서의 공급받은 원재료를 최종 제품으로 변환시키는 stage이다. 마지막 stage는 DC - customer stage로 DC에서 customer에 제품을 공급하는 stage이다. 제시된 수학적모형은 제품을 생산할 factory와 customer에 제품을 공급할 DC를 선정하고 이를 할당하는 모형이다. 최소의 비용으로 factory와 DC의 용량을 고려하면서 customer의 수요량을 만족하는 네트워크를 구성하기 위해 설계되었다. 제시된 수학적 모형은 다음과 같다.

<supplier - factory stage>

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_i \sum_s I_{is} h_{is} + \sum_s S_s Z_s + \sum_i \sum_s P_{is} CP_{is} \\ & + \sum_i \sum_f \sum_s T_{isf} CT_{isf} \\ \text{s.t. } & \sum_i \sum_s T_{isf} \geq D_{isf}, \quad \forall f \end{aligned} \quad (1)$$

$$\sum_i \sum_f T_{isf} \leq K_{is}, \quad \forall s \quad (2)$$

$$Z_s \in 0, 1 \quad \forall s \quad (3)$$

$$I_{is}, P_{is}, T_{isf} \geq 0 \quad \forall i, f, s \quad (4)$$

Supplier - factory stage에서의 목적함수는 생산비용과 재고유지비용과 고정비용 그리고 supplier에서 factory까지의 수송비용의 총합을

최소화하는 것이다. 제약식 (1)은 원재료에 대한 supplier에서의 수송량과 factory의 요구량과의 관계를 설명한 식이다. 제약식 (2)는 원재료에 대한 supplier에서의 수송량은 저장용량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 제약식 (3)은 supplier에서의 결정변수이다. 제약식 (4)은 변수들에 대한 비음조건을 나타낸다.

<factory - DCstage>

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_p \sum_f I_{pf} h_{pf} + \sum_i \sum_f I_{if} h_{if} + \sum_f S_f Z_f \\ & + \sum_p \sum_f P_{pf} CP_{pf} + \sum_p \sum_f \sum_d T_{pfd} CT_{pfd} \\ \text{s.t. } & \sum_p \sum_f T_{pfd} \geq D_{pfd}, \quad \forall d \end{aligned} \quad (5)$$

$$\sum_p \sum_d T_{pfd} \leq K_{pf}, \quad \forall f \quad (6)$$

$$Z_f \in 0, 1 \quad \forall f \quad (7)$$

$$I_{pf}, I_{if}, P_{pf}, T_{pfd} \geq 0 \quad \forall p, d, i, f \quad (8)$$

Factory - DC stage에서의 목적함수는 제품과 원재료의 재고유지비용과 고정비용과 생산비용 그리고 factory에서 DC로의 수송비용의 총합을 최소화하는 것이다. 제약식 (5)는 제품에 대한 factory에서의 수송량과 DC의 요구량과의 관계를 설명한 식이다. 제약식 (6)은 제품에 대한 수송량이 factory의 저장능력을 초과 할 수 없다는 것을 의미한다. 제약식 (7)은 factory에서의 결정변수이다. 제약식 (8)은 변수들에 대한 비음조건을 나타낸다.

<DC - customerstage>

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_p \sum_d I_{pd} h_{pd} + \sum_d S_d Z_d + \sum_p \sum_d \sum_c T_{pdc} CT_{pdc} \\ \text{s.t. } & \sum_p \sum_d T_{pdc} \geq D_{pdc}, \quad \forall c \end{aligned} \quad (9)$$

$$\sum_p \sum_c T_{pdc} \leq K_{pd}, \quad \forall d \quad (10)$$

$$\sum_p k_{pd} \leq T_d \quad \forall d \quad (11)$$

$$Z_d \in 0, 1 \quad \forall d \quad (12)$$

$$I_{pd}, T_{pdc} \geq 0 \quad \forall p, d, c \quad (13)$$

DC -customer stage에서의 목적함수는 수송비용과 고정비용 그리고 재고유지비용의 총합을 최소화하는 것이다. 제약식 (9)는 제품에 대한 DC의 수송량과 customer의 수요량과의 관계를 설명한 식이다. 제약식 (10)은 제품에 대한 DC의 수송량이 DC의 저장용량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 제약식 (11)은 각 DC에서의 저장용량이 DC전체의 저장용량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 제약식 (12)는 DC의 결정변수이다. 제약식 (13)은 변수들에 대한 비음조건이다. 각 stage별로 수립된 목적식과 제약식을 통합하면 전체공급사슬 네트워크에서의 재고유지비용과 생산비용 그리고 고정비용등을 최소화할 수 있는 통합공급사슬 네트워크모형이 된다.

3. 유전자 알고리즘의 적용

많은 최적화문제들은 탐색영역에 있어서 변수와 비선형성이 복합된 복잡한 문제로 구성되어 있다. 이러한 경우 비선형계획방법으로 해를 구한다면 매우 비효율적이고 어려움이 있다. 최근 이러한 최적화문제를 해결하기 위한 방법으로 생물의 진화메커니즘을 이용한 다양한 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. 진화메커니즘을 이용한 방법에는 유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithm), 유전자 프로그래밍(GP : Genetic Programming) 그리고 진화프로그래밍(EP : Evolutionary Programming)등이 있다. 그 중에서 유전자 알고리즘은 어려운 최적화문제를 해결하는데 있어 일반적으로 많이 이용되는 전역적인

최적화 알고리즘으로 알려져 있다. 유전자 알고리즘은 적자생존과 자연도태의 진화원리를 컴퓨터를 이용해 구현하는 방법이다. 또한, 확률적인 탐색을 통해 어렵고 복잡한 문제에 대해 근사최적해(near optimum solution)를 제공하는 휴리스틱(heuristic) 방법으로 복잡한 해공간(solution space)에서 강력한 탐색능력을 가지고 있으며 일반적으로 적은 시간과 비용이 소요된다는 장점이 있다. 생물학적인 구조의 유전자를 표현하기 위해 이진정수나 실수를 이용하여 문자열을 구성한다. 이를 통해 자연계의 진화과정인 선택(selection), 교차(crossover) 그리고 돌연변이(mutation)에 의해 주어진 문제에 대해 최적점에 근접하는 개체를 생성하여 최적해를 찾아가는 절차를 수행한다. 일반적으로 이용되는 해법 절차는 다음과 같다.

begin

t ← 0

initialize population(t)

evaluate population(t)

while (not terminate condition) do

begin

t ← t + 1

select t Population(t) from Population(t - 1)

alter (crossover and mutate) Population(t)

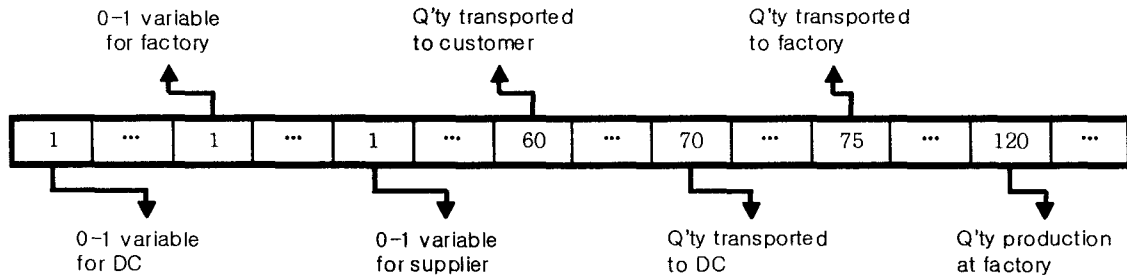
evaluate Population(t)

end

end

3.1 유전자의 표현(Representation)

표현(Representation)은 해결하고자 하는 문제에 따라 적절하게 chromosome을 형성하는 방법으로 문제에 따라 다르게 표현될 수 있다. Binary와 real number coding방법은 recombination과 mutation operator가 어떻게 수행되느냐에 따라 적절하게 이용된다. 각 chromosome은 binary와



<그림 2> 본 연구에서의 chromosome.

integer string으로 표현된다. 본 연구에서는 3개의 supplier와 3개의 factory, 3개의 DC 그리고 3개의 customer의 문제를 고려하였다.

본 연구에서 표현하는 chromosome은 아래의 <그림 2>와 같으며 대표적인 7개의 sub-string에 대해 설명한다. 3개의 binary digit로 구성된 첫째와 두 번째 그리고 세 번째 sub-string은 DC, factory 그리고 supplier의 개폐여부를 나타낸다. 네 번째 sub-string은 각 product에 대한 DC에서 customer로의 수송량을 나타낸다. 다섯 번째 sub-string은 각 product에 대한 factory에서 DC로의 수송량을 나타낸다. 여섯 번째 sub-string은 각 product에 대한 supplier에서 factory로의 수송량을 나타낸다. 일곱 번째 sub-string은 각 product에 대한 factory에서의 생산량을 나타낸다. 본 연구에서 사용한 각각의 유전자는 $m \times n$ matrix의 형태로 표현되었다.

3.2 연산자(Operator)

3.2.1. 선택(Selection)

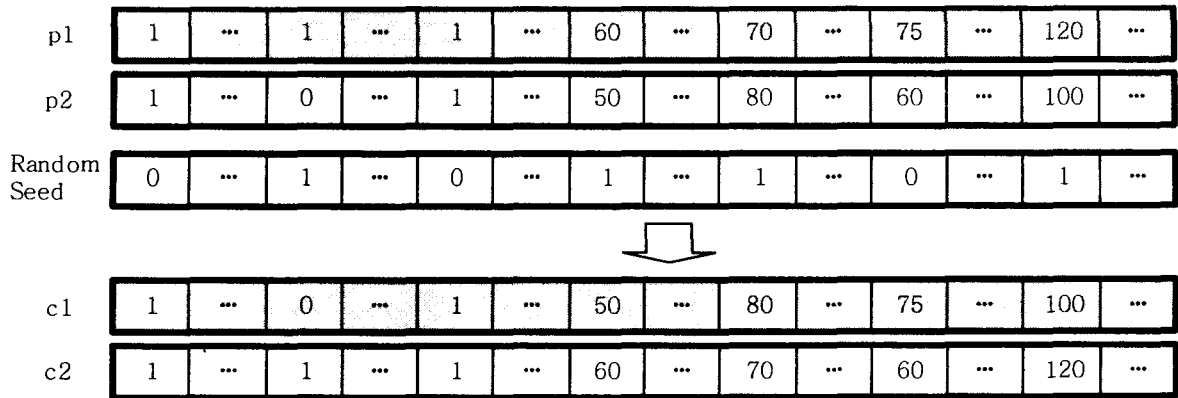
선택은 진화과정에서 중요한 역할을 수행하는 것 중의 하나이다. 선택은 적합도(fitness value)를 이용하여 다음 세대를 구성하는 염색체들을 모집단에서 선택하는 과정이다. 염색체가 생존할 확률은 적합도에 의해 결정된다. 즉 부모염색체의 적합도에 따라 높은 적합도를 가진 염색체는 다음 세대의 구성에 이용함으로써 우수한 유전자를 선택하는 역할을 수행한다. 일반적으로

이용되는 선택의 연산자는 roulette wheel selection과 tournament selection 그리고 ranking selection등이 있다. 본 연구에서는 이중 roulette wheel selection을 이용하였으며 적합도를 평가해서 선택을 위해 이용된 평가함수는 다음과 같다.

$$P(n) = f(n) / \sum_{k=1}^{pop} f(k)$$

3.2.2. 교차(Crossover)

교차는 유전자 알고리즘에서 해를 개선하는 중요한 과정으로 여겨지고 있다. 교차는 더 나은 해를 찾기 위해 두 부모세대간의 정보를 교환하여 새로운 자식 해를 생성하는 과정이다. 이를 통해 생성되는 자식염색체들이 유전자의 교환을 통해 보다 높은 적합도를 가진 염색체를 형성할 가능성을 높일 수 있다. 교차는 같은 길이의 두 염색체를 선택하고 특별한 점에서 교차한다. 교차의 길이와 교차점은 임의로 선택되어 진다. 일반적으로 이용되는 교차연산자(crossover operator)는 일점교차(one cut point crossover operator), 이점교차(two cut point crossover operator), 균등교차연산자(uniform crossover operator)등이 있다. 균등교차연산자는 두 부모염색체로부터 구조(schema)를 상속받을 수 있고 또한 구조를 잘 유지하는 장점이 있다. 본 연구에서는 균등교차연산자를 이용하였다. 부모염색체에서 선택되는 유전자는 임의로 선택된다. 본 연구에서의 교차의 과정은 <그림 3>과 같다.



<그림 3> 본 연구에서의 교차과정

3.2.3. 돌연변이(Mutation)

돌연변이는 해를 개선하는데 있어 교차와 함께 염색체를 재생산 하는 중요한 역할을 수행한다. 돌연변이는 의도적으로 부모염색체에 없는 임의의 형질은 갖게 하여 새로운 개체를 창출하고 이를 통해 탐색공간을 넓히는 방법이다. 이를 통해 유전자 알고리즘이 국지적인 최적해(local optimal solution)에 빠지거나 열등한 개체집단으로 수렴하는 것을 방지할 수 있다. 주어진 문제를 풀기 위해 각각의 유전자에 대해 [0,1] 범위의 난수를 생성한다. 이때 미리 정해진 임의의 돌연변이율(mutation rate)보다 적은 수가 나오면 해당 유전자는 변형되고 그렇지 않으면 그대로 유지된다. 돌연변이를 발생시키는 수는 돌연변이율의 증가와 감소에 따라 결정된다. 일반적으로 돌연변이연산자(mutation operator)는 일점 돌연변이 연산자(simple mutation operator), 삽입 돌연변이 연산자(insertion mutation operator), 역돌연변이연산자(inversion mutation operator) 그리고 균등돌연변이연산자(uniform mutation operator)

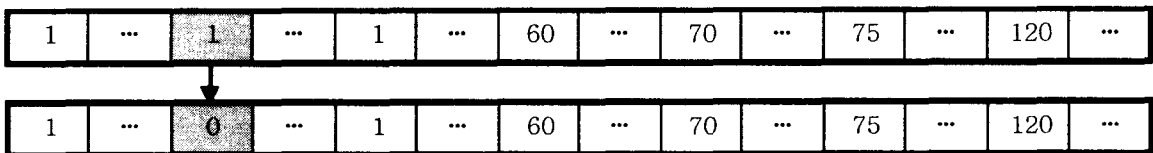
등이 이용되고 있다.

본 연구에서는 균등돌연변이연산자를 사용하였으며 돌연변이과정은 <그림 4>와 같다.

3.3. 적응도평가(Evaluation)

적응도평가는 개체집단(population)에서 각 염색체의 적합도를 측정하는 수단으로 이용된다. 해의 goodness를 반영하는 적합도를 가진 각 해는 개체집단의 다른 해와 비교한다. 본 연구를 위한 적합도의 평가는 목적함수를 이용한다. 개체집단에서의 각 염색체를 위한 목적함수는 본 연구에서 제시한 수학적 모형에서의 목적식을 이용하였다. 이를 통하여 관련된 비용의 합을 최소로 하는 최적염색체를 찾을 수 있다. 적응도 평가의 절차는 다음과 같다.

- Step 1 : 목적함수 값을 이용 총비용을 계산한다.
- Step 2 : Solution을 구하기 위해 절차를 반복한다.



<그림 4> 본 연구에서의 돌연변이과정

4. 실험 및 분석

제시된 수학적 모형의 유효성과 실현가능성을 검증하기 위하여 실험을 실시하였다. 본 연구에서의 제시된 수학적 모형의 복잡성을 고려하여 유전자 알고리즘적용은 은 상업용 유전자 알고리즘 optimizer인 Evolver for Microsoft Excel을 이용하였다. 제시된 수학적 모형을 이용하여 유전자 알고리즘의 적용의 유효성을 테스트하기 위하여 다양한 size의 문제로 구성하였으며 이를 <표 1>에 나타내었다.

본 연구에서 유전자 알고리즘의 적용을 위해 이용된 파라미터들은 다음과 같다. 교차율(crossover rate)은 0.5로 돌연변이율(mutation rate)은 0.1로 주어졌다. 이는 반복적인 실험을 통하여 최적의 실험조건을 구하였으며 실험에 적용하였다. <표 2>는 실험을 위한 test problem의 조건을 나타낸다. <표 3>은 실험을 위한 test problem에서 각 stage에서의 용량, 수요량 그리고 고정비를 나타낸다. 실험을 위한 각 stage에서의 수송비는 <표 4>와 <표 5> 그리고 <표 6>에서와 같이 주어졌다.

<표 1> 실험을 위한 test problem

Problem	pop_size	max_gen
1	25	1000
2	50	2000
3	75	2500
4	100	3000

<표 2> Test problem의 조건

Number of suppliers	Number of plants	Number of DCs	Number of customers	Number of products and source	Number of maximum opened plants	Number of maximum opened DCs
3	3	3	3	2	3	3

<표 3> Test problem에서의 용량, 수요량, 고정비

Supplier		Factory				DC		Customer		
Source capacity		Fixed Cost	Product capacity		Fixed Cost	Product capacity		Fixed Cost	Product Demand	
1	2		1	2		1	2		1	2
600	450	50000	240	270	100000	120	150	30000	60	70
480	360	60000	210	210	120000	180	120	20000	70	50
360	510	45000	180	240	80000	90	180	15000	80	40

<표 4> Test problem에서의 supplier에서 factory까지의 단위 수송비용

Source 1		Factory			Source 2		Factory	
Supplier	1	2	3	Supplier	1	2	1	
1	90	130	60	1	95	105	120	
2	60	45	45	2	65	65	60	
3	30	45	50	3	75	50	55	

<표 5> Test problem에서의 factory에서 DC까지의 단위 수송비용

Product 1			DC			Product 2			DC		
Factory	1	2	3	Factory	1	2	1				
1	90	130	60	1	95	105	120				
2	60	45	45	2	65	65	60				
3	30	45	50	3	75	50	55				

<표 6> Test problem에서의 DC에서 customer까지의 단위 수송비용

Product 1			Customer			Product 2			Customer		
DC	1	2	3	DC	1	2	1				
1	80	70	80	1	80	90	95				
2	30	20	30	2	70	65	60				
3	35	30	20	3	55	50	55				

본 연구에서 제시한 수학적 모형을 유전자 알고리즘을 이용하여 실험한 결과 주어진 test problem에 대하여 최적 생산량과 수송량을 구하였다. <표 7>은 test problem 1의 computational experiment의 결과인 DC에서 customer까지의

product에 대한 수송량을 나타낸 것이다. <표 8>은 test problem 1에 대해 factory에서 DC까지의 product에 대한 수송량을 나타낸 것이다. <표 9>는 test problem 1에 대해 supplier에서 factory까지의 product에 대한 수송량을 나타낸 것이다.

<표 7> Test problem 1에서의 DC에서 customer까지의 product 수송량

Product 1			Customer			Product 2			Customer		
DC	1	2	3	DC	1	2	3				
1	23	25	25	1	37	39	31				
2	30	35	52	2	24	28	15				
3	7	18	11	3	39	11	15				

<표 8> Test problem 1에서의 factory에서 DC까지의 product 수송량

Product 1			DC			Product 2			DC		
Factory	1	2	3	Factory	1	2	3				
1	15	30	0	1	8	24	14				
2	41	53	22	2	46	10	14				
3	25	34	24	3	53	36	12				

<표 9> Test problem 1에서의 supplier에서 factory까지의 product 수송량

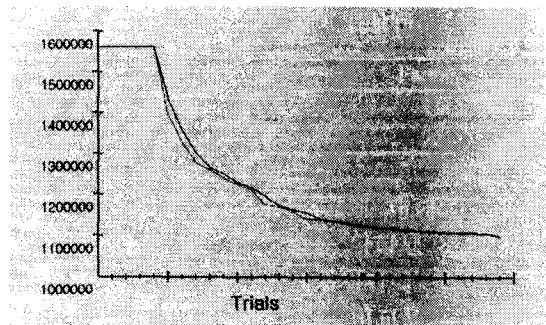
Source 1			Factory			Source 2			Factory		
Supplier	1	2	3	Supplier	1	2	3				
1	83	51	65	1	101	51	25				
2	45	42	15	2	66	52	59				
3	70	71	72	3	85	75	100				

<표 10> Test problem 1에서의 factory에서의 product 생산량

	Factory 1	Factory 2	Factory 3
Product 1	111	144	117
Product 2	251	183	180

<표 10>은 test problem 1에 대해 factory에서의 product에 대한 생산량을 나타낸 것이다.

<그림 5> 는 현재 개체집단에 대한 best solution과 average solution의 비교를 나타낸 것이다. 아래의 line graph에서 두선중 아래선은 현재 개체집단에 대하여 best solution은 average solution은 위 선으로 표현하여 비교하였다. 이 graph를 통하여 개체집단이 solution을 찾아가는 과정을 보여주고 있다. Y축은 목적함수의 값을 의미하며 X축은 generation을 의미한다. 본 연구에서는 test problem 1보다 더 큰 사이즈의 문제인 test problem 2, 3 그리고 4에 대하여서도 실험하였다.



<그림 5> 현재 population의 best solution과 the average solution의 비교

<표 11>은 실험된 모든 test problem들의 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 실험결과를 주어진

test problem에 대하여 best, worst 그리고 average value를 나타낸다.

이 실험을 통하여 본 연구에서 공급사슬네트워크의 총비용을 최소로 하는 수학적 모형의 제시와 모델이 복잡하고 많은 제약조건과 변수를 가진 문제에 대해 유전자의 표현 방법과 유전자 알고리즘에 적용하기 위한 절차와 연산자에 대한 예를 제시하였다.

5. 결론

본 연구는 다제품과 다설비를 고려한 공급사슬 네트워크에 대한 연구이다. 기존의 많은 연구들은 공급사슬 네트워크내에서의 다양한 활동에 대해 독립적으로 연구되어 왔다. 본 연구의 목적은 공급사슬 네트워크내에서의 다양한 활동에서 생산 분배문제를 동시에 고려하는 것이다. 본 연구에서는 생산비용과 수송비용을 동시에 최소화하기 위한 혼합정수계획모형을 제시하였다. 제시된 모형의 해를 구하는 데 있어서의 효율성을 고려하여 유전자알고리즘을 적용하였다. 유전자알고리즘은 상용 유전자알고리즘 optimizer인 Evolver for Microsoft Excel을 이용하였다. 제시된 모형에 유전자알고리즘의 적용하고 이의 결과를 분석하여 보면 현실에서의 복잡한 문제에도 해결할 수 있다는 것을 보여준다. 향후연구과제는 다기간과 용량의 변화를 고려한 공급사슬 네트워크에 관한 연구를 진행할 예정이다.

<표 11> Test problem 에 대한 유전자 알고리즘의 적용결과 비교

Problem	pop size	max gen	Best	Worst	Average
1	25	1000	1,143,675	1,147,750	1,147,540
2	50	2000	1,128,365	1,128,485	1,128,385
3	75	2500	1,133,030	1,133,945	1,133,480
4	100	3000	1,111,590	1,125,875	1,116,740

참고문헌

- [1] Dellaert, N., Jeunet, J., Jonard, N.(2000), A genetic algorithm to solve the general multi-level lot sizing problem with time varying costs. *Int. j. Production Economics*, 68, 241-257.
- [2] Dhaenens Flipo, C., Finke, G.(2001), An integrated model for an industrial production distribution problem. *IIE Transactions*, 33, 705-715.
- [3] Erengüç, S. Ş., Simpson, N. C., Vakharia, A. J.(1999), Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review. *European journal of Operational Research*, 115, 219-236.
- [4] Jayaraman, V.(1999), A multi objective logistics model for a capacitated service facility problem. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 29, Iss. 1; pg. 65.
- [5] Lee, C. Y.(1993), A cross decomposition algorithm for a multiproduct multitype facility location problem. *Computers & Operations Research*; 20; 527-540.
- [6] Malmberg, C. J.(1996), A genetic algorithm for service level based vehicle scheduling.. *European journal of Operational Research*, 93, 121-134.
- [7] Moon, C. U., Kim, J. S., Choi, G. H., Seo, Y. H.(2002), An efficient genetic algorithm for the traveling salesman problem with precedence constrains. *European journal of Operational Research*, 140, 606-617.
- [8] Sarker, R., & Newton. C.(2002), A genetic algorithm for solving economic lot size scheduling problem. *Computer & industrial Engineering*, Vol. 42, Iss. 2 4; pg. 189-198.
- [9] Syarif, A., Yun, Y. S., Gen, M.(2002), Study on multi stage logistic chain network: a spanning tree based genetic algorithm approach. *Computer & industrial Engineering*, 43, 299-314.
- [10] Yun, Y. S., & Gen, M.(2002), Advanced scheduling problem using constraint programming techniques in SCM environment. *Computer & industrial Engineering*, Vol. 43, Iss. 1,2; pg. 213-229.
- [11] Zhou, G., & Gen, M.(1999), Genetic algorithm approach on multi criteria minimum spanning tree problem. *European journal of Operational Research*, 114, 141-152.
- [12] Zhou, G., Min, H., & Gen, M.(2002), The balanced allocation of customers to multiple distribution centers in the supply chain network: a genetic algorithm approach. *Computer & industrial Engineering*, 43, 251-261.

● 저자소개 ●

임석진



1995 인천대학교 산업공학과 학사
 1997 고려대학교 산업공학과 석사
 현재 연세대학교 컴퓨터과학 · 산업시스템공학과 박사과정
 KIST CAD/CAM센터 학생연구원
 관심 분야 : SCM, 시뮬레이션 생산시스템

정석재



2002 한국해양대학교 물류시스템공학과 학사
 현재 연세대학교 컴퓨터과학 · 산업시스템공학과 박사과정
 관심 분야 : SCM, Meta Heuristic

김경섭



1982 연세대학교 기계공학과 학사
 1986 Univ. of Nebraska-Lincoln, Industrial & Management Systems Engineering, M.S.
 1993 North Carolina State University, Industrial Engineering, Ph.D.
 현재 연세대학교 컴퓨터 · 산업시스템공학과 부교수
 관심 분야 : 물류시스템, 시뮬레이션 모델링 및 분석, SCM

박면웅



1977 서울대학교 공과대학 기계공학과 학사
 1979 KAIST 생산공학과 석사
 1987 University of Manchester Inst. of Sci&Tech 기계공학과 박사
 현재 KIST CAD/CAM연구센터 책임연구원
 관심분야 : CAPP, Knowledge Management, Machine Tool Design, Manufacturing system