

# 유전자 알고리즘 기반의 효율적 생산분배 방법론

안정림 · 서광규

상명대학교 산업정보시스템공학과

## A Methodology for Efficient Production and Distribution based on Genetic Algorithm

Jung-Rim Ahan and Kwang-Kyu Seo

Department of Industrial Information and Systems Engineering, Sangmyung University

### 요 약

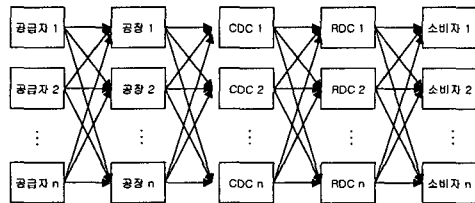
공급사슬은 공급자, 공장, 유통센터, 소비자 등의 네트워크로 구성되고, 이러한 공급사슬네트워크에서 생산과 분배의 각 활동사이의 상호작용에 대해 고려해야만 한다. 공급사슬관리(SCM) 연구에 있어서 생산과 분배에 대한 총비용을 최소화하는 것은 중요한 문제인데, 본 연구에서는 다설비, 다제품에 대한 생산과 분배를 동시에 고려하는 연구를 수행하였다. 이를 위하여 공급사슬 네트워크에서의 총비용을 최소화하는 수학적 모델을 제안하였고, 유전자 알고리즘기반의 총비용의 근사최적해와 각각의 생산비용, 재고비용, 수송비용을 얻을 수 있었다.

**Key Words** : Genetic Algorithm, Production and Distribution, SCM

### 1. 서론

더욱 더 경쟁이 치열해져 가는 시장환경에서 기업이 생존하기 위해서는 제품의 품질 향상 및 비용절감은 물론, 고객에게 제품을 적시에 공급하는 능력도 중요한 요소이다. 이러한 이유로 제조업체들이 생산비용과 분배비용을 줄이기 위한 노력을 하고 있다. 이러한 요구를 만족시키기 위하여 공급사슬경영(supply chain management)은 시장에서의 경쟁력 확보를 위한 중요한 수단으로 활용되고 있다. 일반적으로 공급사슬은 공급자, 공장, 유통센터와 소비자 등으로 구성되어 있다. 공급사슬상에서 공장은 생산비용만 고려하고 유통센터에서는 수송비용만을 고려하게 되는 등 생산과 분배의 각 활동사이의 상호작용에 대해 고려 없이 각각의 문제에 대해 독립적으로 연구되어져 왔고, 대부분의 선행연구들은 공급사슬 네트워크에서 생산, 분배 각각의 최적화에 대한 단일 설비, 단일 제품이라는 제약이 있었다. 본 연구는 다설비, 다제품에 대한 생산과 분배를 동시에 고려한 연

구를 수행하기로 하는데, <그림1>은 본 연구에서 고려하는 공급사슬네트워크이다. 본 연구에서 대상으로 한 SCM 모델은 공급자, 공장, 중앙유통센터(CDC), 지역유통센터(RDC), 소비자의 다섯 단계로 구성된다. 공급사슬에서 총 비용을 최소화하기 위해서는 적절한 생산비용과 수송비용이 결정되어야 하는데, 이를 위하여 공급사슬 네트워크에서 총비용을 최소화하기 위한 수학적 모델을 제시하고, 해를 찾는 데 많은 계산시간을 필요로 하는 단점을 극복하기 위해 유전자 알고리즘기반의 방법론을 제안한다.



<그림1>공급사슬 네트워크

## 2. 수학적 모델

### 2.1 가정사항, 파라미터, 변수

본 연구에서 고려하는 SCM 모델의 총 비용을 최소화 하는 수학적 모델에 이용되는 가정사항과 파라미터, 변수들은 다음과 같다.

#### <가정사항>

공급자, 공장, CDC, RDC, 소비자의 수와 수요량, 저장용량은 미리 알려져 있다고 가정한다.

- $i$  : 자원(자원) 번호 ( $i = 1, 2, \dots, i$ )
- $p$  : 제품 번호 ( $p = 1, 2, \dots, p$ )
- $s$  : 공급자 번호 ( $s = 1, 2, \dots, s$ )
- $f$  : 공장 번호 ( $f = 1, 2, \dots, f$ )
- $d$  : CDC(중앙유통센터) ( $d = 1, 2, \dots, d$ )
- $r$  : RDC(지방유통센터) ( $r = 1, 2, \dots, r$ )
- $c$  : 소비자 번호 ( $c = 1, 2, \dots, c$ )

#### <파라미터>

- $S_s$  : 공급자  $s$ 의 고정비
- $S_f$  : 공장  $f$ 의 고정비
- $S_c$  : CDC  $c$ 의 고정비
- $S_r$  : RDC  $r$ 의 고정비
- $CH_{is}$  : 공급자  $s$ 에서 자원  $i$ 의 단위당 재고유지비용
- $CH_{if}$  : 공장  $f$ 에서 자원  $i$ 의 단위당 재고유지비용
- $CH_{pf}$  : 공장  $f$ 에서 제품  $p$ 의 단위당 재고유지비용
- $CH_{pd}$  : CDC  $d$ 에서 제품  $p$ 의 단위당 재고유지비용
- $CH_{pr}$  : RDC  $r$ 에서 제품  $p$ 의 단위당 재고유지비용
- $CT_{ist}$  : 공급자  $s$ 에서 공장  $f$ 로의 자원  $i$ 에 대한 단위당 수송비용
- $CT_{pfd}$  : 공장  $f$ 에서 CDC  $d$ 로의 제품  $p$ 에 대한 단위당 수송비용
- $CT_{pcr}$  : CDC  $c$ 에서 RDC  $r$ 으로의 제품  $p$ 에 대한 단위당 수송비용
- $CT_{prc}$  : RDC  $r$ 에서 소비자  $c$ 로의 제품  $p$ 에 대한 단위당 수송비용
- $CP_{pf}$  : 공장  $f$ 에서 제품  $p$ 의 단위당 생산비용
- $K_{pf}$  : 공장  $f$ 에서 제품  $p$ 의 저장능력
- $K_{pc}$  : CDC  $c$ 에서 제품  $p$ 의 저장능력
- $K_{pr}$  : RDC  $r$ 에서 제품  $p$ 의 저장능력
- $K_{is}$  : 공급자  $s$ 에서 자원  $i$ 의 저장능력

#### <변수>

- $P_{pf}$  : 공장  $f$ 에서 제품  $p$ 의 생산량
- $H_{is}$  : 공급자  $s$ 에서 자원  $i$ 의 재고량
- $H_{pf}$  : 공장  $f$ 에서 제품  $p$ 의 재고량
- $H_{pd}$  : CDC  $d$ 에서 제품  $p$ 의 재고량
- $H_{pr}$  : RDC  $r$ 에서 제품  $p$ 의 재고량
- $T_{ist}$  : 공급자  $s$ 에서 공장  $f$ 로의 자원  $i$ 의 수송량
- $T_{pfd}$  : 공장  $f$ 에서 CDC  $d$ 로의 제품  $p$ 의 수송량
- $T_{pcr}$  : CDC  $c$ 에서 RDC  $r$ 로의 제품  $p$ 의 수송량

- $T_{prc}$  : RDC  $r$ 에서 소비자  $c$ 로의 제품  $p$ 의 수송량
- $D_{pr}$  : RDC  $r$ 에서 제품  $p$ 의 수요량
- $D_{pd}$  : CDC  $d$ 에서 제품  $p$ 의 수요량
- $D_{if}$  : 공장  $f$ 에서 자원  $i$ 의 수요량

### 2.2 최적 생산과 분배를 위한 수학적 모델

$$\begin{aligned}
 \text{Min} Z = & \sum_i \sum_s H_{is} CH_{is} + \sum_p \sum_f H_{pf} CH_{pf} \\
 & + \sum_p \sum_d H_{pd} CH_{pd} + \sum_p \sum_r H_{pr} CH_{pr} \\
 & + \sum_s S_s + \sum_f S_f + \sum_d S_d + \sum_r S_r + \sum_p \sum_f P_{pf} CP_{pf} \\
 & + \sum_i \sum_s \sum_f T_{ist} CT_{ist} + \sum_p \sum_f \sum_d T_{pfd} CT_{pfd} \\
 & + \sum_p \sum_d \sum_r T_{pcr} CT_{pcr} + \sum_p \sum_r \sum_c T_{prc} CT_{prc}
 \end{aligned}$$

$s.t$

$$\begin{aligned}
 H_{is} & \leq K_{is} & (1) \\
 \sum_f T_{ist} & \leq P_{is} & (2) \\
 \sum_d T_{pfd} & \leq P_{pf} & (3) \\
 \sum_r T_{pcr} & \leq K_{pc} & (4) \\
 \sum_c T_{prc} & \leq K_{pr} & (5) \\
 \sum_d T_{pcr} & \geq D_{pr} & (6) \\
 \sum_r T_{prc} & \geq D_{pc} & (7) \\
 \sum_s T_{ist} & \geq D_{if} & (8) \\
 \sum_f T_{pfd} & \geq D_{pd} & (9) \\
 H_{is}, H_{pf}, H_{pd}, H_{pr}, P_{is}, P_{pf}, T_{ist}, T_{pfd}, T_{pcr} & \geq 0 & (10)
 \end{aligned}$$

제안된 목적식은 재고유지비용, 고정비용, 생산비용, 수송비용의 총합을 최소화하는 것이다. 제약식 (1)은 공급자의 재고량은 공급자의 저장용량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 제약은 (2)와 (3)은 수송량과 생산량의 관계를 나타내는 식으로, 각각의 수송량은 생산량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 제약식 (4)와 (5)는 수송량과 저장용량의 관계로, 각각의 수송량은 저장용량을 초과할 수 없다는 것을 의미한다. 제약식 (6)부터 제약식 (9)는 수송량과 수요량의 관계를 설명하는 식으로, 각 단계의 수송량은 다음단계의 수요량 보다 커야 한다는 것을 의미한다. 제약식 (10)은 변수들의 비음조건을 나타낸다.

### 3. 실험결과 및 분석

본 연구에 제시된 수학적 모델의 복잡성을 고려하여 유전자 알고리즘을 적용하여 실험하였다. 유전자 알고리즘은 상염류 유전자 알고리즘인 Evolverel을 이용하였다.

최적해에 가장 가까운 해를 찾기 위해 다양한 교배율과 돌연변이율을 적용하여 실험해 보았다. <표 1>은 실험문제의 조건을 나타낸다. <표 2>는 실험문제의 저장용량을 나타낸다. 고정비와 소비자의 수요량은 <표 3>, <표 4>와 같이 주어졌다. 그리고 <표 5>부터 <표 8>까지는 각 단계별 단위수송비용을 나타낸다.

<표 1> 실험문제의 조건

Number of supplies	Number of parts	Number of CDCs	Number of RDCs	Number of customers	Number of products	Number of source
3	3	3	3	3	2	2

<표 2> 실험문제에서의 저장용량

	supplier		factory		CDC		RDC	
	source capacity		product capacity		product capacity		product capacity	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1	600	450	240	270	120	150	70	120
2	480	360	210	210	180	120	90	60
3	360	510	180	240	90	180	85	90

<표 3> 실험문제에서의 고정비

	supplier	factory	CDC	RDC
1	50000	100000	30000	30000
2	60000	120000	20000	20000
3	45000	80000	15000	15000

<표 4> 실험문제에서 소비자의 수요량

	Customer	1	2	3
product1	1	60	70	80
product2	2	70	50	40

<표 5> 실험문제에서의 공급자에서 공장까지의 자원 단위수송비용

supplier	factory(source1)			factory(source2)		
	1	2	3	1	2	3
1	90	130	60	95	105	120
2	60	45	45	65	65	60
3	30	45	50	75	50	55

<표 6> 실험문제에서의 공장에서 CDC까지의 제품 단위수송비용

factory	CDC(product1)			CDC(product2)		
	1	2	3	1	2	3
1	90	130	60	95	105	120
2	60	45	45	65	65	60
3	30	45	50	75	50	55

<표 7> 실험문제에서의 CDC에서 RDC까지의 제품 단위수송비용

CDC	RDC(product1)			RDC(product2)		
	1	2	3	1	2	3
1	95	70	80	80	90	95
2	30	20	30	70	65	60
3	35	30	20	55	50	55

<표 8> 실험문제에서의 RDC에서 소비자까지의 제품 단위수송비용

RDC	Customer(product1)			Customer(product2)		
	1	2	3	1	2	3
1	80	70	80	80	90	95
2	30	20	30	70	65	60
3	35	30	20	55	50	55

본 연구에서 제시한 수학적 모델을 유전자 알고리즘을 이용하여 실험한 결과 주어진 실험문제의 총비용을 최소로 하는 근사 최적해와 그에 따른 생산량, 재고량, 수송량을 구하였다. <표 9>는 돌연변이율과 교배율의 변화에 따른 총비용을 나타낸다.

<표 9> 실험문제에 대한 유전자알고리즘의 적용결과

Crossover(%)	Mutation(%)			
	0.1	0.05	0.03	0.01
0.9	1223045	1271400	1186520	1207345
0.8	1261860	1194070	1189010	1191000
0.7	1183055	1213550	1204985	1204610
0.6	1185815	1167580	1214815	1196050
0.5	1210740	1213150	1213000	1157525

반복적인 실험결과 돌연변이율이 0.01이고 교배율이 0.5일때 총비용의 값이 최소로 나왔다. 다음은 교배율이 0.5이고 돌연변이율이 0.01인 실험문제의 결과값이다. <표 10>은 실험문제에서의 공장자에서 공장까지의 자원 수송량을 나타낸 것이다. <표 11>은 실험문제에서의 공장에서 CDC까지의 제품 수송량을 나타낸 것이다. <표 12>는 실험문제에서의 CDC에서 RDC까지의 제품 수송량을 나타낸 것이다. <표 13>은 실험문제에서의 RDC에서 소비자까지의 제품 수송량을 나타낸 것이다.

<표 10> 실험문제에서의 공장자에서 공장까지의 자원 수송량

supplier	factory(source1)				factory(source2)			
	합계	1	2	3	합계	1	2	3
1	31	5	26	0	163	0	13	150
2	378	83	142	153	192	48	16	128
3	302	92	89	121	371	84	191	96

<표 11> 실험문제에서의 공장에서 CDC까지의 제품 수송량

factory	CDC(product1)			CDC(product2)				
	합계	1	2	3	합계	1	2	3
1	28	0	0	28	76	21	24	31
2	61	45	9	7	98	32	8	58
3	158	53	81	24	58	15	38	5

<표 12> 실험문제에서의 CDC에서 RDC까지의 제품 수송량

CDC	RDC(product1)			RDC(product2)				
	합계	1	2	3	합계	1	2	3
1	95	70	4	21	68	31	12	25
2	90	0	59	31	70	33	5	32
3	59	0	27	32	94	29	37	28

<표 13> 실험문제에서의 RDC에서 소비자까지의 제품 수송량

RDC	Customer(product1)			Customer(product2)				
	합계	1	2	3	합계	1	2	3
1	70	30	19	21	93	55	30	8
2	90	25	32	33	54	15	7	32
3	84	21	31	32	85	30	37	18

<표 14> 실험문제에서 공급자의 자원재고량

supplier	source1	source2
1	31	163
2	378	192
3	302	371

<표 15> 실험문제에서 공장의 제품생산량

factory	product1	product2
1	28	76
2	61	98
3	158	58

<표 14>는 실험문제에서 공급자의 자원재고량 나타낸 것이다. <표 15>는 실험문제에서 공장의 제품생산량을 나타낸 것이다.



<그림 2> 해의 수렴과정

<그림 2>는 해의 최상값과 평균값을 나타낸 것이다. 윗선은 평균값을 나타내는 것이고, 아랫선은 최상값을 나타내는 것이다. 이 두 선은 염색체가 해에 얼마나 수렴하는가를 잘 보여준다.

이 실험을 통하여 공급사슬네트워크에서의 총비

용을 최소로 하는 수학적 모델을 제시하고, 생산분배 문제를 유전자알고리즘 방법으로 접근해서 모델링하고 해를 찾아가는 과정을 실험하였다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 공급사슬에서 다설비, 다제품에 대한 생산과 분배를 동시에 고려하는 연구를 수행하였다. 이를 위하여 혼합정수계획모델을 제시하였고, 제시된 수학적 모델의 해를 구하기 위하여 유전자 알고리즘을 적용하여 근사 최적해를 구하였다. 유전자알고리즘은 상용 소프트웨어인 Evolver를 이용하였다. 제시된 수학적 모델에 유전자 알고리즘을 이용하여 결과를 분석해 보면 실생활의 복잡한 문제에도 적용할 수 있음을 확인하였다.

#### 참고문헌

- [1] Lim, S. J. et al. (2003), A study on the production and distribution problem in a supply chain network using genetic algorithm, Journal of The Korea Society for Simulation.
- [2] Dhaenens Flipo, C., Finke, G. (2001), An integrated model for an industrial production and 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] Moon, C. U., Kim, J. S., Choi, G. H., Seo, Y. H. (2002), An efficient genetic algorithm for the traveling salesman problem with precedence constraints, European Journal of Operational Research, 140, 606-617.
- [5] 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.