

공급사슬네트워크에서 시뮬레이션과 유전알고리즘을 이용한 통합생산분배계획에 대한 연구

임 석 진*

*인덕대학교 산업경영공학과

Study of Integrated Production–Distribution Planning Using Simulation and Genetic Algorithm in Supply Chain Network

Seok-Jin Lim*

*Department of Technology & Systems Management, INDUK University

Abstract

Many of companies have made significant improvements for globalization and competitive business environment. The supply chain management has received many attentions in the area of that business environment. The purpose of this study is to generate realistic production and distribution planning in the supply chain network. The planning model determines the best schedule using operation sequences and routing to deliver. To solve the problem a hybrid approach involving a genetic algorithm (GA) and computer simulation is proposed. This proposed approach is for: (1) selecting the best machine for each operation, (2) deciding the sequence of operation to product and route to deliver, and (3) minimizing the completion time for each order. This study developed mathematical model for production, distribution, production–distribution and proposed GA–Simulation solution procedure. The results of computational experiments for a simple example of the supply chain network are given and discussed to validate the proposed approach. It has been shown that the hybrid approach is powerful for complex production and distribution planning in the manufacturing supply chain network. The proposed approach can be used to generate realistic production and distribution planning considering stochastic natures in the actual supply chain and support decision making for companies.

Keywords : Simulation, Genetic Algorithm, Production & Distribution planning, Hybrid Approach

1. 서론

산업화와 기술의 발전이 성공적으로 진행되어 기업의 생산기술은 평균화되고 품질경쟁력 또한 차별화의 성공요인으로 인정받고 있지 못하게 되었다. 세계화에 따른 가격 경쟁력과 기술적 우위를 갖는 글로벌선도기업과의 경쟁이 불가피하게 되었으며 고객 요구사항의

신속한 대응 중요성이 부각되었다. 이러한 변화에 대응하기 위하여 기업은 글로벌경쟁시장 및 고객중심시장으

로의 전환에 따른 기존의 패러다임과는 상이한 새로운 경쟁력확보를 위한 다양한 시도와 노력을 시도하고 있다. 이러한 성과를 위하여 연구되어진 많은 방법중에 글로벌 생산 및 판매를 위한 공급사슬 네트워크(Supply Chain Network)의 구성과 운영을 위한 공급망관리(Supply Chain Management, SCM)에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 원거리 조달, 글로벌 생산 및 판매, 다양한 고객의 요구사항에 대한 신속한 응답을 위한 해결방법에 대한 연구와 개발이 진행되었다. 전 세계 산재해 있는 저가의 우

†Corresponding Author : Seok-Jin Lim, Industrial & Management Engineering, Induk University, 12, Choansan-ro, Nowon-gu, Seoul, E-mail: bigteach@induk.ac.kr

Received: November 23, 2020; Revision Received: December 15, 2020; Accepted: December 16, 2020

수한 원재료 및 부품 확보, 생산과 판매를 위한 원거리 운송체계 수립 및 관리 그리고 국가별 법률과 회계방식의 다양성 등에 대한 다각적인 조사·분석과 해결방안의 개발이 진행되었다.

본 연구에서는 이러한 글로벌 시장에서의 변화에 대응하고자 원재료 및 부품의 수급, 생산과 판매를 위한 공급사슬네트워크의 효율적이고 신뢰성 있는 생산과 수송을 위한 계획수립에 대한 연구를 수행한다. 중요한 의사결정 지원을 신속하게 수행하기 위하여 유전알고리즘(Genetic Algorithm)과 시뮬레이션(Simulation)을 적용하고 이를 동시에 적용하는 하이브리드(Hybrid) 방법론을 제시하며 이의 유효성을 검증하기 위하여 실험예제를 설계하고 실험을 실시하고 검증하고자 한다.

2. 공급사슬네트워크 모델

2.1 공급사슬네트워크

공급사슬(Supply Chain)이라함은 원재료부터 고객에 이르기까지의 전 과정을 이르는 말이며, 공급사슬을 구성하는 공급자(Supplier), 생산자(Factory)와 같은 각 부분들 사이의 물류, 정보, 자금의 흐름을 총체적으로 관리하여 공급사슬의 효율을 증가시키는 전략에 관한 연구이다[9]. 공급사슬은 공급자, 생산자, 창고(Distribution Center, DC), 도매상(Wholesaler), 소매상(Retailer) 그리고 고객(Customer) 등의 요소로 구성된다. 공급사슬네트워크는 공급사슬은 매우 정교하고 유기적으로 연결되어 있으며 최종사용자에서 공급자에 이르기까지 정보와 자재흐름을 개선하고, 관리하고, 통제하기 위하여 기업들 상호간의 조정과 상호협업을 수행하는 네트워크를 의미한다[1].

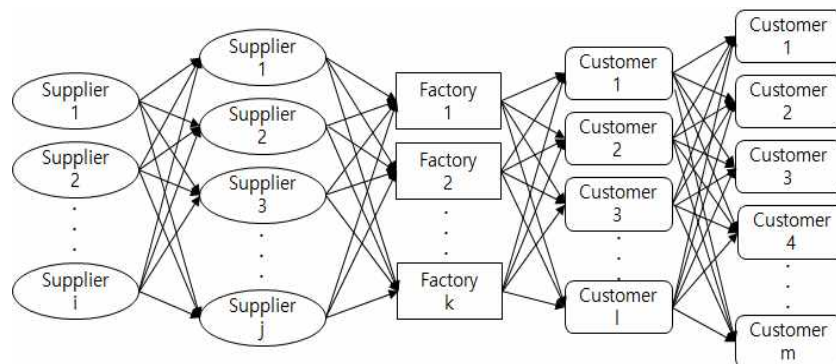
[Figure 1]은 공급사슬을 구성하는 요소들이 연결된 공급사슬 네트워크에 대하여 설명하는 것이다.

공급망관리는 원재료 공급자로부터 제조업체, 유통업체, 최종소비자에 이르는 과정에서 제품의 생산을 위한 원재료의 흐름을 통제하고, 제품생산을 위한 제품생산을 계획하고, 제품의 판매에 이르는 과정에 대한 통합화된 경영 접근법이다[2].

공급사슬설계를 수행할 때는 고객의 주문량에 따라 지리적으로 분산되어 있는 원재료, 부품을 공급할 공급자의 선정 그리고 제품의 생산을 담당할 생산자를 선정하고 산정된 원재료량 및 부품량 그리고 제품별 생산량을 각 공급자 및 생산자에 할당하고 각 공급자 및 생산자에서 보관된 원재료, 부품 그리고 완제품에 대한 재고량과 고객으로 운송할 운송량을 결정하여야 한다. 이를 통하여 각 공급자, 생산자 등 구성요소에서 발생하는 재고비용, 생산비용, 운송비용 등을 산정하고 이를 전체비용으로 계산 분석하여 총비용을 최소화할 수 있는 공급사슬 네트워크를 설계하여야 한다.

2.2 기존 연구 고찰

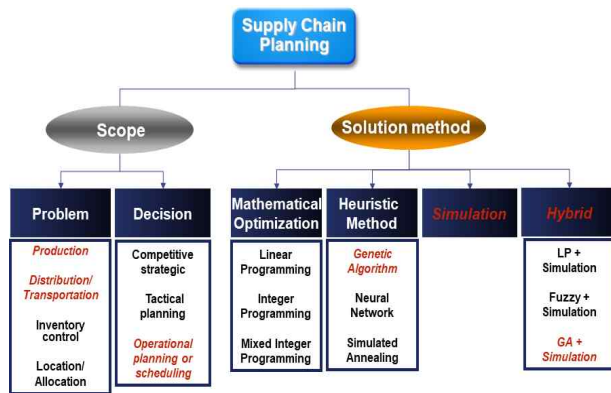
본 연구와 관련된 공급사슬 네트워크에서의 최적생산-분배모형에 대한 선행연구 조사결과는 다음과 같다.수학적 모델링, 휴리스틱 방법론, 시뮬레이션, hybrid approach modeling 등 다양한 방법론이 연구되었다. Erençuc 등은 공급사슬에서 통합생산-분배계획에 대한 기존 연구들에 대한 분석을 수행하였다. 그들은 supply chain의 분석을 위한 framework을 제안하였으며 supply chain의 각 단계에서의 의사결정을 위한 정의를 정리하였다[3]. 본 연구와 관련된 최적생산-분배모형과 관련된 연구로는 Dhaenens-Flipo 등은 다지역, 다품종제품 그리고 다기간의 산업적인 문제를 다루기 위한 통합모델에 대한 연구를 수행하였다. 통합모델에 대하여는 기간사이의 제약조건의 연결을 위한 방법으로 0-1 변수를 이용한 Network Flow Problem에 대한 연구를 수행하였다[4]. Choi등은 Multi Stage 공급망의 최적화에 대한 연구에 대하여 새로운 통



[Figure 1] Example of Supply Chain Network

합모델을 제시하며 연구를 수행하였다[5]. 기존에 개발된 수학적 모형이나 유전알고리즘 등 휴리스틱 방법을 이용한 확정적 모델(Deterministic model)은 여러 제약조건을 고려한 상태에서의 최적화에 관련된 연구이다. 공급사슬네트워크에 시뮬레이션을 이용한 연구로는 Ingalls는 시뮬레이션을 이용하여 공급사슬을 분석하기 위한 분석적 방법론을 제안하였다[6].

본 연구는 기존연구의 한계인 확정적 모형을 개선하고 실제 공급사슬네트워크에서 발생하는 확률적 요소를 반영한 실제와 유사한 환경의 모델링과 분석이 가능한 시뮬레이션과 계산시간을 줄이기 위한 유전알고리즘을 동시에 적용하는 연구를 수행한다. [Figure 2]는 공급사슬네트워크와 관련된 연구를 정리한 것이다.



[Figure 2] Studies of Supply Chain Network

3. 공급사슬네트워크 모델링

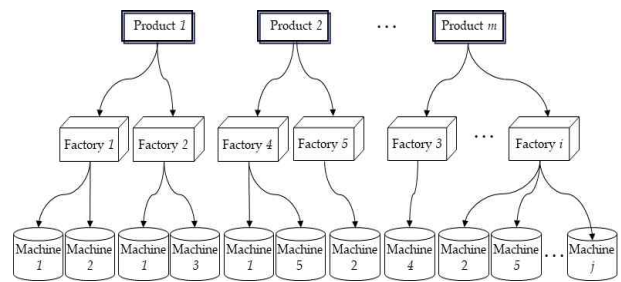
3.1 공급사슬네트워크 문제

공급사슬 네트워크에서는 기계(Machine), 운송수단(Transportation Vehicle)의 고장발생 및 수리와 가동 중 대기상황 발생 등 예측할 수 없는 불확실성이 존재한다. “계획대로 생산가능하다”와 “Resource의 항상 이용 가능하다” 등과 같은 비현실적인 가정과 공급자 및 고객들 구성요소가 많은 경우 Np-Hard이거나 과도한 계산시간이 소요되는 문제와 같은 어려움이 있다. 또한, 기존 공급사슬네트워크와 관련된 많은 연구들이 생산과 분배계획이 구성요소들간 활동이 독립적인 아닌 상호 관련되어 있음에도 여러 가지 제약과 어려움으로 독립적 계획운영되게 설계되어있어 생산계획과 분배계획의 통합연구가 필요하다. 본 연구에서는 생산공장과 DC에 초점을 맞춰 생산계획, 분배계획, 통합생산분배계획 모델의 개발과 통합방안을 제시하고자 한다.

3.2 수학적 모델링

3.2.1 생산계획 모델링

생산계획문제는 재고조정, 분배, 수송스케줄 등이 있으며 본 연구에서는 기계의 idle time, breakdown, repair time등을 고려, 제품생산에 위한 machine과 factory의 결정하는 생산계획에 대한 것이다. [Figure 3]은 공급사슬네트워크의 생산계획에 대한 것이다.



[Figure 3] Concept of Production Planning

본 연구에서 개발한 생산계획을 위해 개발한 수학적 모델은 다음과 같다.

Indices

- i index of factories ($i = 1, 2, \dots, I$)
- j index of machines ($j = 1, 2, \dots, J$)

Variables

- p_{ij} processing time of machine j on factory i
- y_{ij} starting time of machine j on factory i
- C_{max} completion time of the last task

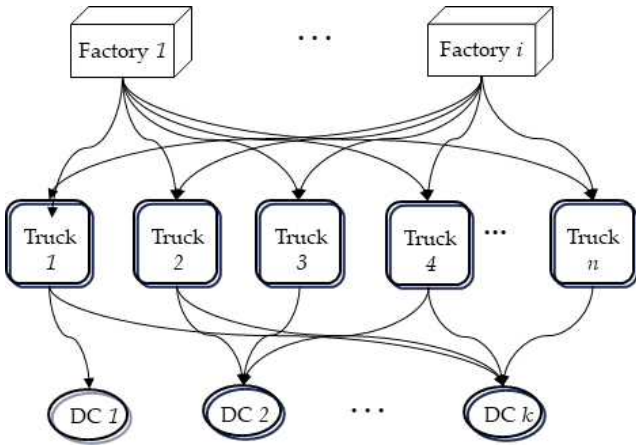
Model for the Production Planning

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } C_{max} \\
 & s.t \\
 & y_{kj} - y_{ij} - p_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \rightarrow (k, j) \in A \\
 & C_{max} - y_{ij} - p_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in N \\
 & y_{ij} - y_{il} - p_{il} \geq 0 \quad \forall (i, l) \text{ and } (i, j), i=1, \dots, m \\
 & y_{ij} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A
 \end{aligned}$$

공장별 기계별 각기 다른 작업시간을 계산하여 주어진 주문에 따른 작업완료시간의 합이 최소가 되는 공장과 기계를 선정하기 위한 식이다.

3.2.2 분배계획 모델링

[Figure 4]는 본연구의 분배계획에 대한 개념이다.



[Figure 4] Concept of Distribution Planning

분배계획문제는 재고조정, 위치 및 할당, 분배네트워크 설계 등이 있으며 본 연구에서는 Transportation vehicle (truck)의 idle time, breakdown, repair time 등을 고려하여 제품운반을 위한 Transportation vehicle 과 DC의 결정과 운송계획에 대한 것이다. 개발한 분배계획을 위해 개발한 수학적 모델은 다음과 같다.

Indices

k index of distribution centers ($k = 1, 2, \dots, K$)
 n index of trucks ($n = 1, 2, \dots, N$)

Variables

t_k transporting time of DC k
 x_{kn} total transporting time of truck n to DC k
 C_{\max} completion time of the last task

Model for the Distribution Planning

$$\text{Min } C_{\max}$$

s.t

$$\sum_{n=1}^m x_{kn} - t_k = 0 \quad k = 1, 2, \dots, k$$

$$\sum_{n=1}^m x_{kn} - C_{\max} \leq 0 \quad k = 1, 2, \dots, k$$

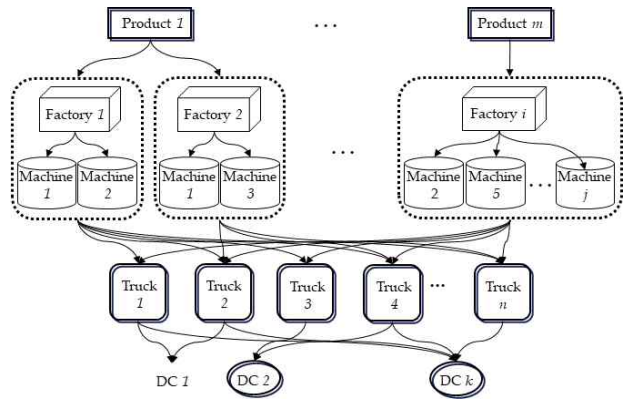
$$\sum_{k=1}^n x_{kn} - C_{\max} \leq 0 \quad n = 1, 2, \dots, n$$

$$x_{kn} \geq 0 \quad k = 1, \dots, k \quad n = 1, \dots, n$$

각DC까지 각기 다른 트럭별 운송시간을 계산하여 주어진 주문에 따른 운송시간의 합이 최소가 되는 DC와 트럭을 선정하기 위한 식이다.

3.2.3 통합생산분배계획 모델링

다음 [Figure 5]는 공급사슬네트워크의 생산분배계획에 대한 것이다.



[Figure 5] Concept of Production-Distribution Planning

통합생산분배계획문제는 수송계획, 재고조정, 위치 및 할당, 분배네트워크 설계 등이 있으며 본 연구에서는 Machine과 Transportation vehicle (truck)의 idle time, breakdown, repair time 등을 고려 등을 고려한 생산분배계획에 대한 연구이다. 본 연구에서 개발한 통합 생산분배계획을 위해 개발한 수학적 모델은 다음과 같다.

Indices

i index of factories ($i = 1, 2, \dots, I$)
 j index of machines ($j = 1, 2, \dots, J$)
 k index of distribution centers ($k = 1, 2, \dots, K$)
 m index of products ($m = 1, 2, \dots, M$)
 n index of trucks ($n = 1, 2, \dots, N$)

Variables

p_{ijm} processing time of machine j of product m on factory i
 y_{ijm} starting time of machine j of product m on factory i
 t_{ikm} transporting time from factory i to DC k of product m
 x_{iknm} total transporting time of truck n of product m from factory i to DC k
 C_P completion time of the last task for production
 C_T completion time of the last task for transportation

Model for the Production-Distribution Planning

$Min C_{max}$

s.t

$y_{kjm} - y_{ijm} - p_{ijm} \geq 0 \quad \forall (i, j) \rightarrow (k, j) \in A, A_m$

$C_P - y_{ijm} - p_{ijm} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in N, A_m$

$y_{ijm} - y_{ilm} - p_{ilm} \geq 0 \quad \forall (i, j) \text{ and } (i, j), i = 1, \dots, m, A_m$

$\sum_{n=1}^m x_{iknm} - t_{ikm} = 0 \quad k = 1, 2, \dots, l, A_{i,m}$

$\sum_{n=1}^m x_{iknm} - C_T \leq 0 \quad k = 1, 2, \dots, l, A_{i,m}$

$\sum_{n=1}^n x_{kn} - C_T \leq 0 \quad n = 1, 2, \dots, m, A_{i,m}$

$x_{iknm} \geq 0 \quad k = 1, 2, \dots, m, n = 1, 2, \dots, n, A_{i,m}$

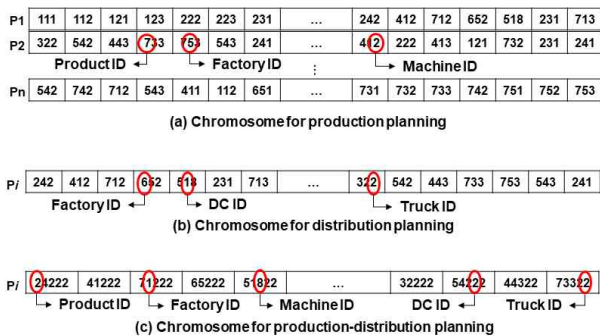
$y_{ijm} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in N, A_m$

공장의 기계별 제품 생산시간, 트럭별 운송시간을 고려한 주문제품을 공장에서 생산하고 이를 DC까지 트럭으로 운송하는데 소요되는 총시간을 산출하고 생산분배에 소요되는 총소요시간의 합이 최소가 되는 공장, 기계, DC와 트럭을 선정하기 위한 식이다.

3.3 유전알고리즘 모델링

3.3.1 Representation

본 연구를 위한 product, machine, factory, truck, DC를 위한 유전알고리즘의 유전자 representation은 다음 [Figure 6]과 같다.

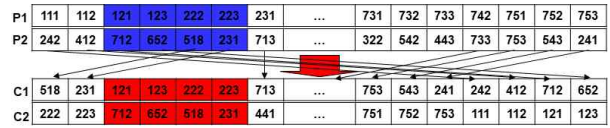


[Figure 6] Representation of GA

3.3.2 Crossover

본 연구에서는 부모인자들의 상대적 순서를 보존되는 성질이 있어 순서정보가 중요시 사용되고 정수값으로 표

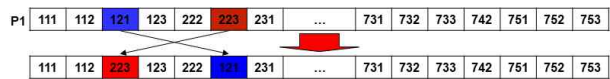
현시 생성된 자손중 비가능해 존재가능성을 해결하고자 Order crossover operator를 적용하였으며 이에 대한 내용은 다음 [Figure 7]과 같다.



[Figure 7] Crossover of GA

3.3.3 Mutation

본 연구에서는 교체되는 포지션은 임의로 쉽게 선택이 가능한 Swapping mutation operator를 적용하였으며 이에 대한 내용은 다음 [Figure 8]과 같다.



[Figure 8] Mutation of GA

3.3.4 Selection

본 연구에서는 초기에 수렴하는 것을 방지하는 데 유한 Ranking operator를 적용하였으며 이에 대한 수식은 다음과 같다.

$P(n) = f(n) / \sum_{k=1}^{pop} f(k) \quad n : n^{th} \text{ chromosome}$
 $pop : \text{population size}$
 $f(n) : \text{fitness value}$

3.3.5 Evaluation & Termination condition

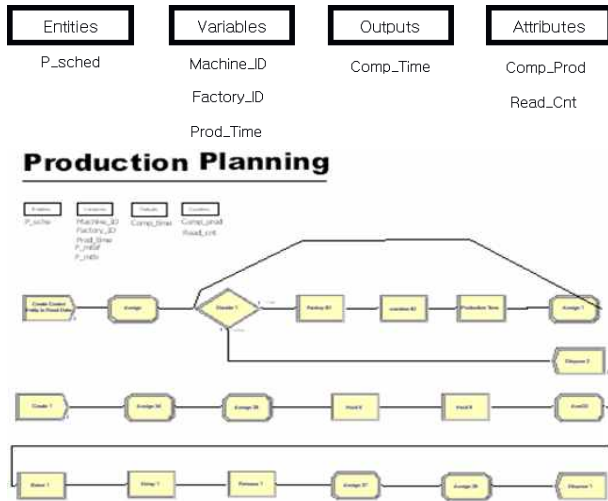
본 연구에서는 제시된 3개의 Mathematical 모형에 대하여 Evaluation을 실시하였고 Termination condition은 주어진 최대 Generation에 도달하거나 주어진 computation time동안 해의 개선이 없을 때 다음과 같은 조건에서 종료하였다.

Difference rate between previous best solution and current solution ≤ 0.05

3.4 시뮬레이션 모델링

본 연구에서는 잘 알려진 상용화 시뮬레이션 모델링

Tool 인 Arena를 이용하여 모델링하였다. 시뮬레이션 모델링을 위하여 기계와 트럭의 Breakdown, Repair time 을 고려하였으며 고장이 발생하는 상황에 대하여는 MTBF, MTTR의 경우 Exponential distribution을 이용하여 모델링하였다. 다음 [Figure 9]는 본 연구에서 개발한 시뮬레이션 모델중 생산계획에서의 변수 및 모델링에 대한 것이다.

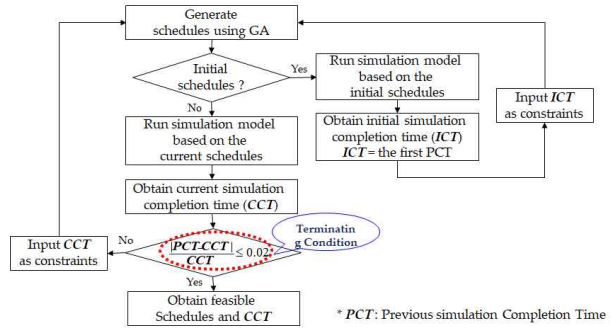


[Figure 9] Example of Simulation Modeling

4. Hybrid Approach

실제 공급사슬네트워크문제는 복잡하고 많은 제약조건을 가지고 있어 LP-based 생산계획문제의 수학적 모형은 최적해의 신뢰성이 부족하며 NP-Hard의 문제가 많아 계산시간도 많이 소요되는 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하고자 빠른 시간에 최적해를 도출하는 방법으로 알려진 GA를 적용하였다. 하지만 GA 또한 실제에 존재하는 불확실성 요소에 대한 고려를 배제한 제약조건 적용하는 문제점을 가지고 있어 해결방법으로 실제상황을 잘 반영하고 불확실성의 표현이 가능하여 현실에 가까운 해를 구하고자 시뮬레이션을 적용하였다.

본 연구에서는 개발된 LP-based 수학적 모형을 GA모듈을 통해 신속하게 생산분배계획을 수립하고 이를 시뮬레이션모듈을 통해 simulation completion time 산출하며 종료조건을 만족하지 못할 시 Simulation 모듈에서의 simulation completion time을 이용 GA procedure의 제약조건으로 이용하여 반복 수행하게 하여 최적해를 찾는 과정으로 반복하여 진행하는 Hybrid Approach 방법론을 개발하였다. 다음 [Figure 10]은 본 연구에서 개발한 Hybrid Approach에 대한 것이다.



[Figure 10] Solution Procedure of Hybrid Approach

5. 실험 및 결과분석

5.1 실험을 위한 가정 및 설계

개발된 수학적 모형, GA의 유효성을 검증하고자 다음과 같이 가정을 설정하고 문제를 설계하였다.

- 생산할 제품에 대한 수요는 미리 알려짐
- Factory의 각 machine에서의 processing time과 processing sequence는 미리 알려짐
- 각 DC로의 Transportation vehicle의 transportation time은 미리 알려짐
- Facilities (factory, DC)와 Machine, Transportation vehicle의 용량에는 제약이 없음
- Facilities (Factory, DC)와 Machine, Transportation vehicle의 개수와 위치는 미리 알려짐
- Machine, Transportation vehicle의 고장발생율과 수리시간은 확률적으로 발생
- Dispatching rule : FIFO
- Release policy : Uniformly

본 연구에서의 공급사슬네트워크 실험을 위한 성능 및 불확실성을 표현하는 내용은 다음 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Summary of the experimental design

Type of planning	Performance measures	Stochastic factor's value
Production	Simulation completion time	MTBF: EXPO(500)
		MTTR: EXPO(1) MTTR: EXPO(2)
Distribution	Difference rate between simulation completion time	MTBF: EXPO(500)
		MTTR: EXPO(1) MTTR: EXPO(2) MTTR: EXPO(3)
Integrated Production-Distribution	Number of iteration	MTBF: EXPO(500)
		MTTR: EXPO(1) MTTR: EXPO(2) MTTR: EXPO(3)

실험을 위한 문제의 설계는 다음 <Table 2>와 같다.

<Table 2> Summary of the size of test problems

Planning	Testproblem	Product	Machine	Factory	DC	Truck
Production	1	5	5	5	-	-
	2	10	5	5	-	-
	3	10	7	7	-	-
Distribution	1	-	-	7	5	3
	2	-	-	10	10	3
	3	-	-	15	10	6
Integrated Production- Distribution	1	5	5	5	5	5
	2	10	7	10	7	10
	3	15	10	15	10	15

<Table 3>은 실험을 위한 GA의 파라미터 설계에 대한 것이다.

<Table 3> GA parameters of experiment

Parameter	Value		
	Production	Distribution	Production- Distribution
Population size	30	50	50
Number of generation	50	100	500
Crossover probability	0.5	0.6	0.5
Mutation probability	0.06	0.08	0.06

실험을 위한 Tool로 GA모듈은 상용소프트웨어인 Evolver 4.0 for Excel과 Simulation은 ARENA 5.0을 사용하였다. 실험조건으로는 각기 다른 size를 가진 3개의 Test problem을 구성 수행도 평가와 독립요소 등을 고려하였으며 시뮬레이션초기화에 따른 영향문제와 장시간 진행과정을 분석하기 위해 10회 이상 실시한 후 종료조건을 만족하는 Iteration에서 종료도록 하였다.

5.2 실험 결과 및 분석

5.2.1 생산계획 실험결과

<Table 4>는 생산계획에 대한 Hybrid Approach에 의하여 실험된 Test problem 1의 결과이다. 각 iteration이 진행됨에 따라 바뀌는 유전자와 제품, 생산공장, 기계의 할당된 생산계획내용을 표현한 것이다.

<Table 4> Result schedules of test problem 1

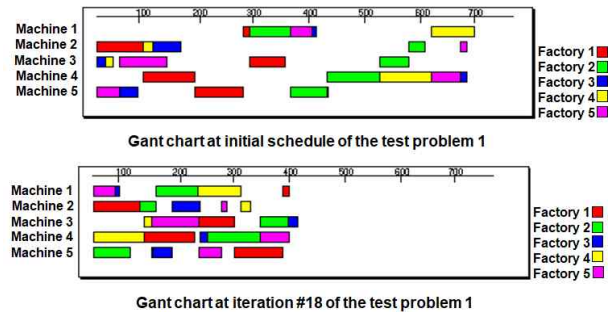
Initial				Iteration # 18			
Gene ID	Product ID	Factory ID	Machine ID	Gene ID	Product ID	Factory ID	Machine ID
221	2	2	1	551	5	5	1
333	3	3	3	112	1	1	2
555	5	5	5	444	4	4	4
222	2	2	2	225	2	2	5
:	:	:	:	:	:	:	:
334	3	3	4	554	5	5	4
552	5	5	2	111	1	1	1
441	4	4	1	333	3	3	3

다음 <Table 5>는 수립된 생산계획을 실행하는데 소요될 것으로 예상되는 Completion time에 대한 것이다. 총 18번의 iteration을 수행하고 종료조건을 만족하였으며 iteration이 진행됨에 따라 Completion time이 점점 줄어드는 것을 볼 수 있다.

<Table 5> Results of the test problem 1

IterationNumber	Completion time (min)		Difference rate between	
	GA	Simulation	Iteration of simulation results	GA & Simulation
1	701	736	-	0.0499
2	410	626	0.176	0.5268
3	435	548	0.142	0.2598
4	446	598	0.084	0.3408
5	431	543	0.101	0.2599
:	:	:	:	:
14	444	457	0.085	0.0293
15	369	487	0.062	0.3198
16	378	451	0.080	0.1931
17	433	434	0.039	0.0023
18	379	432	0.005	0.1398

다음 [Figure 11]은 최적가능해로 도출된 생산계획을 Gantt 차트로 표현한 것이다.



[Figure 11] Gantt Chart of Test Problem 1

[Figure 12]는 각 Test Problem에 대한 최적가능해로 도출된 생산계획에 대한 것이다. Test Problem의 경우 종료조건을 만족할 때까지 반복해서 수행하게 되며 GA특성상 우수한 유전자를 다음 세대로 전달하기 때문에 반복할수록 좋은해로 수렴해 가는 것을 알 수 있다.



[Figure 12] Chart of Test Problems's Completion Time

5.2.2 분배계획 실험결과

<Table 6>은 분배계획에 대한 Test problem 1의 결과이다.

<Table 6> Result schedules of test problem 1

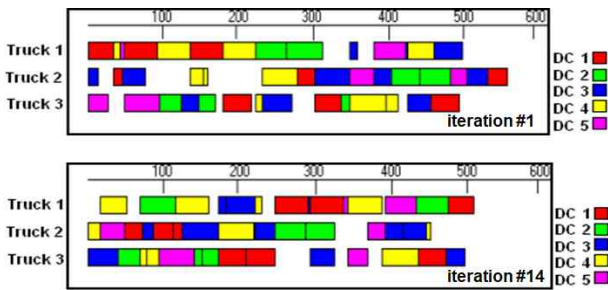
Initial				Iteration # 14			
Gene ID	Factory ID	DC ID	Truck ID	Gene ID	Factory ID	DC ID	Truck ID
111	1	1	1	732	7	3	3
241	2	4	1	712	7	4	2
232	2	3	2	321	3	5	2
653	6	5	3	412	4	2	3
:	:	:	:	:	:	:	:
713	7	1	3	513	5	1	3
632	6	3	2	433	4	3	3
712	7	1	2	111	1	1	1

<Table 7>은 수립된 분배계획을 실행하는데 소요될 것으로 예상되는 Completion time에 대한 것이다

<Table 7> Results of the test problem 1

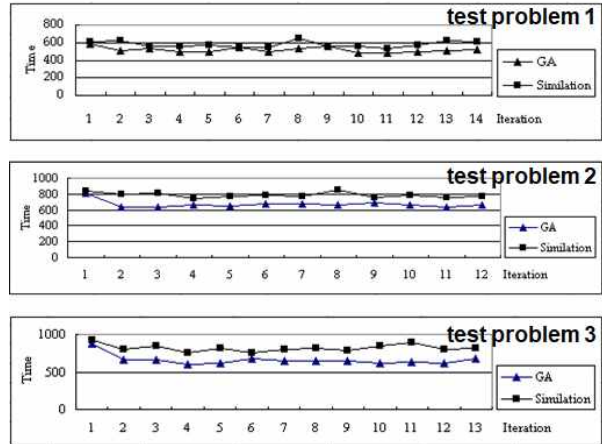
Iteration Number	Completion time (min)		Difference rate between	
	GA	Simulation	Iteration of simulation results	GA & Simulation
1	575	604	-	0.0414
2	507	617	-0.0211	0.2170
3	531	561	0.0998	0.0565
4	501	556	0.0090	0.1098
5	498	570	-0.0246	0.1446
6	549	545	0.0459	-0.0073
7	491	548	-0.0055	0.1161
8	533	650	-0.1569	0.2195
9	561	553	0.1754	-0.0143
10	478	563	-0.0178	0.1778
11	485	535	0.0523	0.1031
12	492	574	-0.0679	0.1667
13	507	623	-0.0787	0.2288
14	523	615	0.0130	0.1795

[Figure 13]은 최적가능해로 도출된 분배계획을 Gantt 차트로 표현한 것이다.



[Figure 13] Gantt Chart of Test Problem 1

[Figure 14]는 Test Problem 1, 2, 3에 대한 최적가능해로 도출된 분배계획을 Flow차트로 표현한 것이다.



[Figure 14] Flow Chart of Test Problems's Completion Time

5.2.3 생산분배계획 실험결과

<Table 8>은 생산분배계획에 대한 Test problem 1의 결과이다.

<Table 8> Result schedules of test problem 1

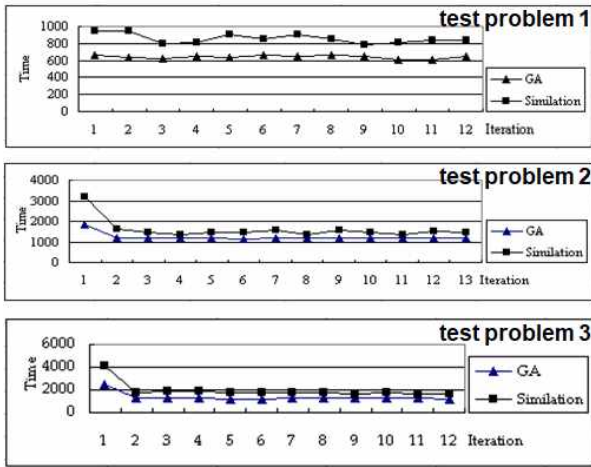
Initial				Iteration # 12			
Factory ID	Machine ID	DC ID	Truck ID	Factory ID	Machine ID	DC ID	Truck ID
4	4	4	4	4	4	4	4
2	1	2	1	2	1	2	1
1	5	1	5	1	5	1	5
1	4	1	4	1	4	1	4
:	:	:	:	:	:	:	:
4	5	4	5	4	3	4	3
1	2	1	2	1	2	1	2
2	4	2	4	3	5	3	5

<Table 9>는 수립된 생산분배계획을 실행하는데 소요될 것으로 예상되는 Completion time에 대한 것이다.

<Table 9> Results of the test problem 1

Iteration Number	Completion time (min)		Difference rate between	
	GA	Simulation	Iteration of simulation results	GA & Simulation
1	667	946	-	0.4183
2	635	948	-0.0021	0.4929
3	618	794	0.1940	0.2848
4	651	813	-0.0234	0.2488
5	638	903	-0.0997	0.4154
6	662	858	0.0524	0.2961
7	648	900	-0.0467	0.3889
8	663	850	0.0588	0.2821
9	642	789	0.0773	0.2290
10	611	808	-0.0235	0.3224
11	611	832	-0.0288	0.3617
12	647	839	-0.0083	0.2968

[Figure 15]는 Test Problem 1, 2, 3에 대한 최적가능해로 도출된 생산분배계획을 Flow차트로 표현한 것이다.



[Figure 15] Flow Chart of Test Problems's Completion Time

다음 <Table 10>은 Test Problem 1, 2, 3에 대한 생산계획, 분배계획, 생산분배계획에 대한 종료조건시의 최적가능해와 최소 Completion time에 대한 결과를 최종정리한 것이다.

<Table 10> Result schedules of test problems

	Iteration	Production			Distribution			Production -distribution		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
종료조건	Iteration	18	13	20	14	12	13	12	13	12
	Completion time	432	789	963	615	770	818	839	1486	1694
최소시간	Iteration	18	7	19	11	4	4	9	11	11
	Completion time	432	740	957	535	748	758	789	1328	1663

본 연구에서 개발된 생산 및 분배계획에 대한 수학적 모형과 GA모듈, 시뮬레이션모듈을 컴퓨터 실험을 통하여 실시한 결과 Simulation completion time은 Iteration진행되어 가는 동안 일정한 값으로 수렴하였으며 Simulation completion time 간의 Difference rate도 진동하지만 진동폭이 적어졌다. Iteration 수는 각 계획마다 납득할 만한 횟수에서 종료조건을 만족하였고 GA와 Simulation간의 Simulation completion time은 일정한 범위내에서 진동함을 보였다. 또한, 구성요소의 size는 종료조건과 performance measure에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보였다.

6. 결론

세계화와 경쟁격화의 시장환경에서 기업의 생존은 고객의 요구에 대한 신속한 대응과 이를 위한 생산분배시스템의 효율적인 운영이 필수적이라 할 수 있다. 이를 위한 주된 연구내용중 공급사슬(Supply Chain)이라 함은 공

급자, 생산자, 유통업자, 소매업자 그리고 고객들이 서로 유기적 관계를 맺으면서 원자재를 구매하고 이를 이용 최종 생산품으로 생산하여 최종소비자에게 공급하는 일련의 활동과 네트워크로 정의할 수 있다. 기존의 많은 연구들은 공급사슬의 복잡함으로 생산과 분배에 대하여 각각 독립적 모델로 정의하고 이를 최적화하는 연구를 수행하였다.

본 논문의 목적은 복잡하고 불확실성을 가지고 있는 공급사슬에 대하여 고객주문에 대한 납기에 대응할 수 생산과 생산배송스케줄을 동시에 수립하고자 한다. 생산스케줄을 고객의 주문에 따른 작업순서의 결정과 고객에 배송하는 운송스케줄의 선정까지 생산부터 배송까지 전 과정을 동시에 고려하는 방법으로 시뮬레이션과 유전알고리즘을 이용한 하이브리드방법을 제안한다. 개발된 하이브리드 방법론의 유효성을 검증하기 위하여 실험적 예제를 설계하고 이를 컴퓨터 실험하였으며 이에 대한 결과를 분석하였다. 실험결과 3가지의 예제를 설계하고 이를 실험한 결과 생산 및 분배계획에 대하여 각각 수행시보다 적은 계산시간과 비용으로 가능해(feasible solution) 발견하는 결과를 도출하였다.

본 논문에서 개발한 방법론을 이용하여 복잡성과 불확실성이 존재하는 공급사슬네트워크에서 배송시간을 최소화하며 동시에 설비의 효율적인 운영과 납기준수 등을 통한 고객의 만족도를 높이기 위한 생산계획과 배송계획의 수립이 가능할 것이다.

향후 공급사슬 네트워크에서 Inventory의 통제, 공급사슬내의 요소들에 대한 용량결정, 공급자 선정문제 등에 대한 연구를 통하여 최종적으로 공급사슬 전체에 대한 추가적인 연구를 수행할 계획이다.

7. References

- [1] C. Dhaenens-Flipo, G. Finke(2001), "An integrated model for an industrial production-distribution problem." IIE Transactions, 33:705-715.
- [2] D. J. Thomas, P. M. Griffin(1996), "Coordinated supply chain management." European Journal of Operational Research, 94:1-15.
- [3] G. H. Choi, H. J. Lee, H. M. Kwak(2000), "Integrated supply chain optimization models." IE Interfaces, 13(3):320-327.
- [4] L. M. Ellram, M. C. Cooper(1990), "Supply chain management, partnership, and the shipper-third party relationship." The International Journal of Logistics Management, 1(2):1-10.

- [5] R. G. Ingalls(1998), "The value of simulation in modelling supply chain." Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference, 1371-1375.
- [6] S. S. Erenguc, N. C. Simpson, A. J. Vakharia(1999), "Integrated production/distribution planning in supply chains: An invited review." European Journal of Operational Research, 115:219-236.

저자 소개



임 석 진

연세대학교 산업시스템공학과 공학박사 취득
후 인덕대학교 산업경영공학과 재직 중
관심분야 : SCM, 생산시스템, 물류시스템,
시뮬레이션 등