

유전 알고리즘에 기반한 동적 공급사슬 통합계획을 위한 멀티 에이전트 시스템

박병주
동아대학교 경영정보학과
(a967500@dau.ac.kr)

최형림
동아대학교 경영정보과학부
(hrchoi@dau.ac.kr)

강무홍
동아대학교 경영정보학과
(mongy@dau.ac.kr)

기업 운영에서 SCM (Supply Chain Management)의 중요성이 인식되면서 공급, 생산, 분배 등의 기능들을 통합적으로 관리하는 새로운 접근법의 필요성이 커지고 있다. 이 접근법은 여러 다른 기능들의 의사결정 문제를 하나의 통합된 최적화 모델로 분석하는 방법이다. 특히 공급사슬의 통합적인 운영을 위해서는 이전의 확정적 방법론 보다는 보다 구매자와 공급자의 관계를 유연하게 통합해 줄 수 있는 방법론이 필요하다. SCM은 대규모 문제이고 또한 다양한 내외 요인에 의해 기존의 설정된 계획 내용이나 상황이 항상 동적으로 변경될 수 있기에, 이들 정보를 통합 계획에 반영될 수 있도록 하여야 한다. 본 연구에서는 SCM의 핵심이 되는 생산계획과 분배계획 문제들을 효율적으로 통합할 수 있는 유전 알고리즘 (Genetic Algorithm)을 제시하고, 유전 알고리즘을 기반으로 동적 SCM을 위한 멀티 에이전트 시스템을 구현한다. 한편 통합계획 문제에서 유전 알고리즘을 통해 100%에 근접하는 최적해를 구하였고, 통합계획으로 얻은 결과와 통합 계획을 하지 않은 경우의 결과 값에서 큰 차이를 확인할 수 있었다.

논문접수일 : 2007년 01월

게재확정일 : 2007년 07월

교신저자 : 강무홍

1. 서론

시장의 환경은 치열하게 전개되는 글로벌 경쟁으로 인해 빠르게 변하고 있다. 이처럼 빠르게 변화하는 환경에서 기업의 경쟁력을 유지하기 위해서는 그들의 다양한 기업운영을 효과적으로 통합하고 조정할 수 있어야 한다. 그래서 기업들의 시스템 통합을 위한 협력과 제휴에 관한 관심이 높아졌고, SCM(Supply Chain Management)은 많은 관심의 대상이 되었다. SCM은 원자재로부터

고객에 이르기까지의 전 과정의 물자와 정보의 흐름을 통합 관리하여 공급사슬(Supply Chain)의 효율을 높이는 운영 전략이다. 기업들은 자재 구매에서부터 생산, 유통, 판매에 이르기까지 공급사슬 내부의 전체 기능들을 통합적으로 설계, 계획, 관리하는 새로운 접근방법을 모색하고 있다. 또한 고객만족을 위해 적극적으로 대처할 수 있도록 하는 내부 프로세스를 갖추기 위해 노력하고 있다. 이는 고객의 주문에 맞춰 자재 구매에서부터 생산, 판매, 유통에 이르기까지 공급사슬의 통합과 최적

* 본 논문은 2004년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2004-037-b00034).

화의 필요성이 커지고 있다는 것이다.

SCM의 계획 및 운영 문제는 생산, 구매, 일정 계획, 분배, 재고, 위치/할당문제 등의 상호 관련되어진 여러 부분 문제가 있고, 이들은 전체의 관점에서 통합되어 다루어져야 한다. 그러나 부분 문제들은 목적과 비용요소 간의 상충관계로 전체 통합 계획이 어렵다. 이들 부분 문제들 중에서 핵심이 되는 문제는 생산계획과 분배계획 문제이다. 이들 문제를 통합적으로 다루려는 여러 연구에는 주로 혼합정수계획 모형과 시뮬레이션 방법이 사용되었다(Dhaenens-Flipo and Finke, 2001; Furnero and Vercellis, 1999). 그러나 문제의 크기가 커지면 변수와 제약식이 많아져서 수리모형에 의해 최적해를 구하는 것이 불가능해진다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 혼합정수계획 모형과 시뮬레이션 방법의 하이브리드 접근법에 대한 연구가 이루어졌다(Kim and Kim, 2001; Lee and Kim, 2002). 그러나 이들 방법론들은 SCM 환경에서 발생하는 다양한 환경변화에 대한 정보를 즉각적이고 실시간으로 획득하여 반영할 수 없다(Shen et al., 2006). SCM은 공급사슬을 구성하는 주체들의 변화를 수용해야 하는 동적인 환경으로 변화하고 있다. 또한 SCM 환경에서 통합계획은 공급자, 생산자 그리고 분배자 모두를 동시에 고려하며, 그들의 환경 변화까지 수용하여 실시간으로 계획의 변경과 조정이 가능해야 한다. 만약 생산업체의 기계가 고장으로 특정 기간에 특정 제품에 대해 생산이 불가능하다면, 이러한 정보를 통합계획에 반영하여 수립되도록 해야 한다. 이처럼 SCM은 대규모 문제이고 또한 다양한 내외 요인(기계고장, 생산 지연, 주문 변경 등)에 의해 기존의 설정된 계획 내용이나 상황이 항상 동적으로 변경될 수 있기에, 이들 정보를 통합 계획에 반영될 수 있도록 하여야 한다. 이를 위해서는 새로운 접근법

이 필요하다. 실시간으로 SCM 내의 다양한 단계들을 통합하고 조정할 수 있도록 하기 위해 공급사슬 내의 다양한 구성원, 즉 공급자, 생산자, 분배자, 소비자를 대신하는 에이전트간의 협업적 메커니즘으로 이를 해결하는 멀티 에이전트 기술이 적용되고 있다. 그러나 여기에는 통합 문제 해결을 위한 구체적인 방법론이 부족하였다. 본 연구에서는 SCM의 핵심이 되는 생산계획과 분배계획 문제들을 효율적으로 통합할 수 있는 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 제시하고, 이 알고리즘을 기반으로 동적 SCM을 위한 멀티 에이전트 시스템을 구현하고자 한다. 이는 동적 공급사슬의 통합 운영과 재조정을 위한 기술이며, 공급사슬 내의 여러 구성원이 마치 하나의 가상기업처럼 공급, 생산, 분배 등의 기본 기능을 원활하게 운영하여 거래할 수 있도록 한다.

2. 문헌 연구

SCM의 계획 및 운영 문제에는 공급, 생산, 분배, 재고 등의 상호 관련되어진 여러 부분 문제가 있고, 이들을 전체의 관점에서 통합하여 관리할 수 있는 새로운 접근법의 필요성이 커지고 있다. 즉 여러 부분의 의사결정 문제를 순차적으로 최적화하는 기존의 방법이 아닌, 하나로 통합된 모델을 이용하여 이를 동시에 최적화하는 방법이다. SCM 통합관리와 관련된 대표적인 연구로, Thomas와 Griffin(1996)은 공급사슬을 운영적 측면에서 통합된 몇 개의 모델, 즉 공급자/구매자, 생산/분배, 재고/분배 통합 모형으로 나누고 각각에 해당하는 모형들을 상세하게 설명하고 있다. Beamon(1998)은 공급사슬을 두 가지의 통합된 프로세스 즉, 생산계획 및 재고 프로세스 그리고 분배 및 물

류 프로세스로 보고 다단계 사슬 모델링에 대한 기존 연구들을 소개하고 있다. 이들 논문은 SCM이 성공하기 위해서는 SCM의 통합화가 가장 큰 선결 과제를 주장하고 있다. 최근 이들 기능의 부분적 통합에 대한 보다 구체적인 연구들이 이루어지고 있다. SCM에서 핵심이 되는 부분 문제는 생산계획과 분배계획 문제이다. 생산계획 문제는 고객 수요를 충족시키기 위해 주문 받은 제품을 어떤 생산자가 언제, 얼마만큼 생산할 것인지를 결정하는 문제이고, 분배계획 문제는 생산자에서 분배자 또는 고객에게 제품 배달경로를 결정하는 문제이다(Vidal and Goetschalckx, 1997). 이들 문제는 상호 관련되어 있으므로 통합적으로 동시에 다루어져야 한다. Vidal and Goetschalckx(1997)은 전략적인 생산/분배 모형들을 고찰하였다. 그들은 혼합정수계획 모형을 통해 전체적인 공급사슬모형 구축에 초점을 맞추었다. SCM에서 생산계획과 분배계획의 통합에는 주로 혼합정수계획(Mixed Integer Programming) 모형과 시뮬레이션 방법이 사용되었다(Dhaenens-Flipo and Finke, 2001; Fumero and Vercellis, 1999). 그러나 문제의 크기가 커지면 변수와 제약식이 많아져서 수리모형으로 해결하기가 어렵다. 따라서 각 공급사슬의 단계별로 수리모형 또는 발견적 기법에 기초한 다단계 기법이 개발되었다. 그러나 다단계 기법은 통합적으로 동시에 해 공간을 탐색하지 않기 때문에 좋은 해를 찾는데 한계를 갖고, 시뮬레이션 방법은 다양한 세부적인 현실 상황을 묘사할 수 있으나 최적 값을 찾기가 어렵고 그 결과의 분석에 많은 시간과 노력을 요구한다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위한 분석적 방법과 시뮬레이션 방법을 하이브리드한 접근법이 제시되었다(Erenguc et al., 1999). Byrne과 Bakir(1999)는 다기간, 다제품 생산 계획 문제를 위해 생산시스템에 대한 수

리계획 모형과 시뮬레이션 모형을 혼합한 하이브리드 알고리즘을 연구하였다. 또한 그들은 하이브리드 방법의 유용성을 보였고, 분석적 모형에서 얻은 해들은 실세계에 수용될 수 없음을 보였다. 그리고 SCM의 통합 계획을 위해 유전 알고리즘을 적용시킨 연구들도 있었다. Dellaert(2000)는 Multi-Level Lot Sizing 문제에 유전 알고리즘을 적용하였다. 그의 연구에서는 복잡한 다계층 생산 문제에 유전 알고리즘을 적용할 경우, 해의 염색체 표현 방법에 대해 제시하였다. 김여근과 민유종(2003)은 생산계획과 분배계획의 통합 문제를 해결 할 수 있는 다계층 공생 진화 알고리즘(multi-level symbiotic evolutionary algorithm)을 제안하였다.

그러나 이들 방법론들로는 SCM 환경에서 발생하는 동적인 변화에 대한 정보를 실시간으로 획득하여 반영할 수 없다. 효율적인 SCM을 위해서는 이들 정보를 통합 계획에 반영될 수 있도록 하여야 한다. 그래서 많은 기업들은 공급사슬 내의 공급자, 생산자, 소비자 그리고 다른 파트너와의 통합 운영을 위한 오픈 구조를 지향하고 있는데, 에이전트 기반 기술들은 그러한 환경에 가장 효과적인 접근법을 제공해 준다(Shen et al., 2006). 멀티 에이전트 시스템은 서로 다른 목표와 필요 정보를 가진 생산자, 공급자, 소비자들의 공급사슬 네트워크를 표현하는데 적합한 것으로 입증되었다(Stone and Veloso, 1997). Fox 등(1993)이 협업이 가능한 지능형 에이전트의 네트워크로 공급사슬을 구성할 것을 최초로 제안한 후, 많은 연구들이 이루어졌고, MetaMorph II(Shen et al., 2000)와 MASCOT(Sadeh et al., 2003) 등이 대표적인 연구라 할 수 있다. 또한 최근 Zhang 등(2006)은 글로벌 마켓에서 발생하는 동적인 변화에 대응하기 위한 방법으로, 그리고 생산시스템 뿐만 아니라

공급 네트워크를 동적이며 낮은 비용으로 구성하고, 통합하고, 최적화하고, 시뮬레이션하고, 그리고 통제할 수 있는 에이전트 기반 생산시스템을 제안하였다.

3. 통합 계획을 위한 유전 알고리즘

복잡한 최적화 문제를 풀기 위한 방법론으로 다양한 진화방법론이 관심을 받고 있다. 그들 중에서 유전 알고리즘은 가장 잘 알려진 방법이다. 유전 알고리즘은 확정적 방법론에서 다루는 의사 결정 변수 대신 문제의 해를 코딩(coding) 한 염색체(chromosome)를 다룬다. 그리고 유전 알고리즘은 다루는 문제에 관련된 지식을 크게 필요로 하지 않으며, 단지 진화를 위해 설계된 유전 연산을 한 후 목적함수를 평가하는 과정의 반복으로 최적화 문제를 해결할 수 있다. 유전 알고리즘은 문제 종속 접근법으로, 최적화 문제에 유전 알고리즘을 적용하는데 있어 가장 중요한 부분은 해결 하고자 하는 문제를 염색체로 표현하는 부분이다. 본 연구에서 다루고자 하는 공급/생산/분배 통합 문제를 하나의 염색체로 표현하기 위해서는 공급/생산/분배 과정의 모든 구성요소를 표현할 수 있으며, 이들 사이의 공급/생산/분배 패턴을 결정할 수 있도록 하여야 한다.

3.1 통합 계획의 문제 정의

본 연구에서 다루는 SCM 통합계획 문제에는 복수 개의 분배자가 존재하며, 이 분배자는 여러 고객으로부터 주문을 받아 이를 취합하여 생산자에게 주문한다. 그리고 가까운 몇몇 기간에 대해서 미리 주문을 받아 그 기간 동안의 수요는 미리

수집되어진다. 또한 여러 생산자가 있으며, 각 생산자는 복수개의 제품을 생산하여 여러 분배자에게 제공하고, 각 기간 내에 주문 받은 제품에 대해서는 모두 생산 가능하다 가정한다. 그리고 필요한 원자재나 부품은 여러 공급업체들을 통해 공급받을 수 있으며, 공급자 역시 각 기간마다 공급해야 할 공급량에 대해 공급 가능하다 가정한다. 여기서 각 분배자는 주문량의 조정으로 재고 유지비용과 발주비용을 관리할 수 있고, 적정 생산자의 선정으로 최소 운송비용과 생산비용으로 제품을 공급받을 수 있다. 생산자는 생산량의 조정으로 생산준비비용과 재고비용을 관리할 수 있고, 적정 공급자의 선정으로 최소 운송비용과 최소 가격의 공급품을 조달받을 수 있다. 통합계획 문제에서의 목적함수는 발주비용, 분배자와 생산자의 재고 유지비용, 생산준비비용, 생산비용, 생산자와 분배자 그리고 공급자와 생산자 사이의 운송비용의 총합을 최소로 하는 것이다.

3.2 유전 알고리즘의 설계

3.2.1 염색체 표현

염색체 표현(representation)은 문제의 특성을 잘 반영하여 표현되고, 유전 연산자를 통한 진화 과정을 통해 목적함수에 더 적합한 해를 산출해 줄 수 있어야 한다. 본 연구에서는 공급자, 생산자 그리고 분배자를 통합한 계획을 위해 각각에 적합한 염색체 표현을 통합하는 표현방법을 사용한다.

[그림 1]은 분배자, 생산자 그리고 공급자들의 계획을 통합하기 위해 표현된 염색체의 예이다.

4개 행으로 구성된 염색체에서, 첫 행은 분배자의 발주시기와 발주량을 결정하기 위한 부분으로, Dellaert(2000)가 제시한 이진 표현을 사용하였다. 두 번째 행은 생산자를 결정하기 위한 부분으로,

생산이 가능한 생산자 수의 범위 내에서 값을 랜덤하게 발생시켰다. 만약 특정 제품에 대해 특정 생산자가 생산이 불가능할 경우는 그 생산자 번호를 제외한 범위에서 번호를 생성하도록 설계하였다. 세 번째 행은 생산자의 생산 시기와 생산량을 결정하기 위한 부분으로, 여기에도 이진표현을 사용한다. 마지막 행은 원자재 공급지 선택을 위한 부분으로, 앞의 생산지의 결정처럼 공급할 공급자의 번호를 공급 가능한 업체의 수 범위 내에서 값을 랜덤하게 발생시킨다. 이렇게 염색체를 구성하면, 염색체 내의 총 유전인자는((분배자의 수 × 제품의 수 × 기간) + (생산자의 수 × 제품의 수 × 기간)) × 2 만큼 생성된다. 예를 들어 분배자와 생산자 그리고 공급자가 2개씩 있고, 각 분배자가 주문 받은 제품이 2개 그리고 기간이 5개로 나뉘어 있을 때의 염색체의 표현은 [그림 1]과 같고, 염색체는 80개의 유전인자(gene)를 가진다. 이는 발주 시기, 생산시기, 생산자와 공급자의 결정을 동시에 하기 위함이다. 그리고 분배자의 발주시기 결정을 위한 염색체 표현에서 각 제품별, 첫 번째 기간에서 반드시 발주가 이루어질 수 있도록 1이 표현되도록 하였다. 이는 이전 주기에서 재고가 없다고 가정했기 때문이다. 또한 생산자의 생산시기와 생산량의 결정에 있어서도 각 제품별 첫 번째 주기에 반드시 생산이 이루어질 수 있도록 1이 표현되도록 하였다. 이전 주기에 재고가 없다고 가정한 경우, 실행가능 해를 만들기 위함이다.

1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1
1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1
1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0
1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1

[그림 1] 염색체의 표현

각 분배자마다 제품에 대한 각 기간별 수요 정

보가 수집되어졌을 때, [그림 1]과 같이 표현된 염색체는 주문할 양과 시기, 생산할 공장과 생산량 그리고 원료를 제공할 공급자를 선정하기 위해 [그림 2]와 같이 해석된다. 먼저 염색체의 첫 행에서 각 기간에 표현된 인자(gene) 값이 1이면, 그 기간에 수요량만큼 발주하며, 그렇지 않으면 발주하지 않는다. 예를 들어 [그림 2]에서 첫 번째 염색체의 유전인자가 1의 값을 가진다. 이는 분배자 1이 제품 1을 기간 1에 수요량만큼 발주함을 의미한다. 유전인자의 값이 0인 기간의 주문량은 유전인자의 값이 1인 이전 기간에서 동시에 발주하는 것으로 해석된다. [그림 2]에서 첫 번째 행의 세 번째 유전인자의 값이 0이다. 이는 기간 3에서 발주가 이루어지지 않고, 기간 2에 기간 3의 수요가 함께 발주된다는 것을 의미한다. 그래서 기간 2에 230개가 발주된다. 그리고 분배자는 기간 2에 제품 1에 대한 100개의 재고를 보유하게 된다. 그에 따른 추가적인 재고 유지비가 발생하게 된다. 발주량과 시기가 결정되어지고 나면, 그 발주하는 생산자에게 할 것인지를 결정해야 한다. [그림 1]에서 두 번째 행의 염색체를 통해 이를 결정할 수 있다.

예를 들어 두 번째 행의 첫 번째 유전인자는 1이다. 이는 분배자 1이 발주할 제품 1에 대한 주문량 120개를 생산자 1이 생산함을 의미한다. 그리고 각 생산자의 생산시기와 생산량의 결정은 세 번째 행의 염색체를 통해 결정되어진다. 이 염색체 또한 발주시기와 발주량을 결정하기 위해 사용되었던 이진 표현 방법을 사용하고 해석방법도 동일하다. 예를 들어 세 번째 행의 네 번째 유전인자가 1이다. 이는 기간 4의 주문량 180을 생산함을 의미한다. 한편 기간 5의 유전인자가 0이기에 기간 5의 주문량 150과 합쳐 기간 4에 330개를 생산함을 의미한다. 세 번째 행에서 생산량이 없으나,

	분배자 1										분배자 2											
	제품 1					제품 2					제품 1					제품 2						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
수요	120	130	100	100	80	60	50	50	80	50	200	180	180	200	150	30	50	40	40	40		
염색체	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1		
발주량	120	230	0	180	0	110	0	50	80	50	200	560	0	0	150	80	0	80	0	40		
염색체	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1		
	생산자 1										생산자 2											
	제품 1					제품 2					제품 1					제품 2						
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
주문량	120	230	0	180	150	0	0	80	0	50	40	200	0	0	0	0	110	80	0	50	80	0
염색체	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0		
생산량	120	790	0	330	0	0	170	0	0	0	200	0	0	0	0	240	0	0	80	0		
염색체	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1		

[그림 2] 염색체 표현에 대한 해석

염색체 표현은 1로 되어있는 경우는 생산량을 0으로 해석한다. 생산자 1에서 제품 2에 대해 기간 1에는 생산 요구량이 없으므로 생산을 하지 않는 것으로 해석된다. 마지막으로 네 번째 행의 염색체는 공급자를 선정하기 위한 것이다. 이 또한 생산자를 선정하기 위해 사용하였던 방법과 같이 공급자의 번호를 나타내고 있다. 네 번째 행의 첫 번째 유전인자 1은 120개의 생산을 위해 필요한 물품을 공급자 1로부터 받는다는 것을 의미한다.

3.2.2 유전 연산자

유전 알고리즘의 진화과정에서 가장 중요한 역할을 하는 교차연산자(crossover)를 표현된 염색체에 적합하고, 유전 연산 후에도 항상 실행가능성을 유지 할 수 있도록 설계하였다. 각 염색체 내에 여러 분배자와 생산자 그리고 제품별 기간별 정보가 함께 포함되어 있기에, 이들 값이 급격히 바뀌게 되면 실행가능성을 유지하기가 어렵다. 본 연구에서는 부모들의 염색체 순서와 형태를 잘 상

속받을 수 있는 구조의 교차 연산자를 적용하였다. 이 교차연산자는 먼저 두 부모 1과 2가 선택되어지면, 두 부모 중 한 부모로부터 유전인자를 상속받기 위해 부모를 나타내는 숫자 1과 2를 임의대로 염색체의 길이만큼 발생시킨다. 염색체의 길이는 (분배자의 수 × 제품의 수 × 기간)와 (생산자의 수 × 제품의 수 × 기간) 중 더 큰 수가 염색체의 길이가 된다. 그리고 나서 그 난수 값에 해당하는 부모로부터 그 열 내의 모든 유전인자를 물려받아 새로운 염색체를 구성한다. 이 과정을 부모 1과 2를 바꾸어서 다시 수행한다. 이렇게 산출된 두 자식 중에서 평가기준에 적합한 한 개체를 다음 세대로 보낸다. 교차 연산자의 연산과정은 [그림 3]과 같다.

돌연변이(mutation)는 염색체에 변화를 주어 집단내의 다양성을 유지하기 위해 사용한다. 본 연구에서는 한 분배자와 생산자에 대한 모든 제품들의 기간별 유전인자를 다른 분배자와 생산자의 유전인자와 상호 교환하는 돌연변이 연산방법을

부모 1

1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1
1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1
1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1

난수 값

2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

부모 2

1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1
2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2
1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1
2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1



자식 1

1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1
2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1

[그림 3] 교차 연산의 예

1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1
1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1
1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1



1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1
1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2

[그림 4] 돌연변이 연산의 예

사용한다. [그림 4]에서는 두 개의 분배자와 생산자만이 있기에 서로간의 유전인자를 교환한다. 여러 분배자와 생산자가 있을 경우는 랜덤하게 선택하여 유전인자를 상호 교환한다. 이는 유전인자 값의 급격한 변화로 인한 해의 실행가능성을 잃지 않으면서, 다양한 해를 생성할 수 있는 방법이다.

3.2.3 선택방법과 목적함수

선택(selection) 방법으로 씨종자 선택(seed selection)을 사용한다(Park et al., 2003). 두 부모 중 부(父)에 해당하는 개체는 한 집단 내에서 엘리티즘(elitism) 크기만큼의 정해진 순위 내에 드는 우수한 개체들 중에서 하나를 임의대로 선택한다. 나머지 모(母)는 전체 집단 내에서 임의대로 선택한다. 이들을 부모로 사용하고 개체집단에 되돌려 다시 선택할 수 있게 한다. 다음 세대의 구성은 현 세대에서 선택 방법과 유전 연산자들을 이용하여 새롭게 구성한다. 새로운 개체들을 초기 모집단의 개수만큼 생성하여 다음 세대를 구성하고 난 뒤 엘리티즘을 적용하여 나쁜 개체는 엘리티즘 적용 개수만큼 좋은 개체로 다시 대체한다.

SCM 문제에서 최소의 총비용을 가진 통합 계획은 분배자, 생산자, 공급자 모두에서의 효율적인 운영을 의미한다. 순열 형태의 염색체로 표현하였을 때 총 목적함수 값은 한 줄씩 왼쪽에서 오른쪽으로 유전인자를 읽어, 분배자의 발주시기와 발주량에 따른 발주비용과 재고 유지비, 생산지 선정에 따른 생산지에서 분배지로의 운송비용, 생산자의 기간별 생산량에 따른 생산비용, 생산준비비용 그리고 재고 유지비, 또한 공급자 선정에 따른 공급품 가격과 공급지에서 생산지로의 운송비용의 총합을 구한다. 그리고 목적은 이 총비용이 최소가 되는 최적의 통합 계획을 선정하는 것이다.

4. 통합 계획을 위한 멀티 에이전트 시스템

공급사슬 상에서 여러 고객들의 다양한 제품에 대한 주문을 최소의 비용으로 충족시키기 위해서는 언제, 어떤 분배자가 얼마만큼 발주해야 하는지, 또한 언제, 어떤 생산자가 얼마만큼 생산해야 하는지 그리고 언제, 어떤 공급자가 얼마만큼 어떤 생산자에게 공급해야 하는지를 결정해야 한다. 본 연구에서는 공급자, 생산자 그리고 분배자의 현황정보 및 능력 정보를 실시간으로 획득하고, 통합 운영 중에 발생하는 환경 변화에 대응하여 재계획 하기 위해 멀티 에이전트 시스템을 활용한다. 멀티 에이전트 시스템은 다양한 환경변화와 복잡한 문제 등을 해결하기 위한 가장 적합한 대안으로 부각되고 있다. SCM 환경에서는 한 업체 내에서보다 많은 변화가 발생하고, 다른 업체의 상황을 고려해야 하는 복잡한 문제로, 이러한 문제는 독립적인 응용프로그램의 집합으로는 해결하기 힘들다. 그래서 분산 환경에서 다양한 기능을 수행하는 에이전트의 능력과 정보 공유, 의사소통, 상호협력을 통해 문제를 해결하는 멀티 에이전트 시스템을 활용한다. 본 연구에서 제시한 SCM 통합 계획 방법론은 공급자, 생산자 그리고 분배자를 동시에 고려하여 발주량, 생산량, 공급량, 생산시기, 공급시기 등을 통합적으로 계획하고, 공급사슬 내의 동적인 환경 변화에 따른 재계획이 가능하도록 설계하였다.

4.1 멀티 에이전트 시스템의 설계

본 연구에서 제시된 멀티 에이전트 시스템은 유전 알고리즘을 이용한 SCM 통합계획 수립 엔진을 기반으로 공급업체, 공장, 물류창고 그리고 소매업체들에 최적의 운송계획, 생산계획, 공급계획,

재고관리를 할 수 있도록 해주고, 각각의 재고 정보와 수요정보의 변화를 실시간으로 공유할 수 있게 함으로써 최적의 공급사슬 계획을 세울 수 있도록 지원한다. 또한, 이 시스템은 공급사슬의 운영에서 발생하는 다양한 변화에 효율적이고 신속하게 대응하여 재계획을 수립할 수 있고, 그 결과에 따라 공급사슬 내에서 운영계획을 수정할 수 있다.

공급사슬의 통합 계획을 위한 멀티 에이전트 시스템은 먼저 기간별 고객으로부터 주문을 수집하고, 이들의 변경된 주문 정보를 실시간으로 관리하는 분배자 에이전트, 생산자의 생산능력, 제품별 생산 가능여부, 생산 납기일 준수여부와 생산 환경에서의 기계고장으로 인한 특정 제품의 생산이 불가능한 경우와 같은 실시간 변화 정보를 관리하는 생산자 에이전트, 공급자의 공급능력, 제품별 공급 가능여부, 공급 납기일 준수 여부와 관련된 실시간 변화 정보를 관리하는 공급자 에이전트가 있다. 이들과 통신하며 Mediator로부터 받은 정보를 전달해 주는 공급자 관리 에이전트, 생산자 관리 에이전트 그리고 분배자 관리 에이전트가 있다. 그리고 멀티 에이전트 시스템 내의 다양한 기능을 수행하는 에이전트들을 조정하고, 메시지를 교환을 통제하는 중앙조정 에이전트인 Mediator가 있다. 또한 생산-분배 통합 계획을 하는 GA-solver를 가진 통합 SCM 계획 에이전트를 포함한다. 본 연구에서는 통합 계획을 위해 Mediator를 중심으로 각 에이전트들이 서로 메시지를 교환하고 각자의 기능을 수행하도록 하는 멀티 에이전트 시스템을 구현한다. 멀티 에이전트 시스템의 구조는 [그림 5]와 같다.

4.2 에이전트들의 기능

4.2.1 Mediator

Mediator는 시스템 내부의 각 에이전트 및 에

이전트 간의 메시지 교환을 조정, 통제하는 역할을 수행한다. 다양한 에이전트들이 각각의 업무를 효율적으로 수행하고, 각 에이전트 사이에 메시지를 제대로 전달하기 위해서는 이를 중간에서 조정하고 통제하는 에이전트가 필요하다. Mediator는 각 에이전트에 대한 정보와 에이전트의 조정 및 메시지 교환을 위한 지식베이스를 보유하고 있다.

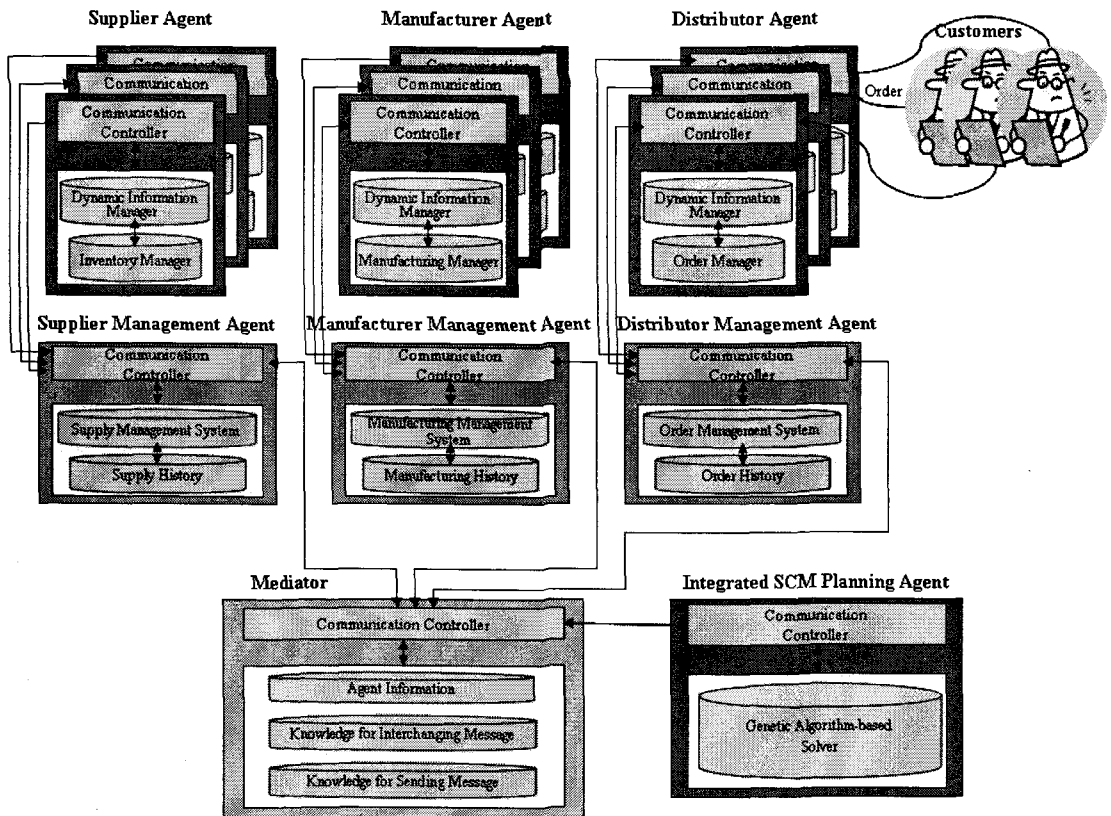
4.2.2 공급자 에이전트(Supplier Agent : SA)

공급자 에이전트는 공급자가 멀티 에이전트 시스템 내의 다른 에이전트와 의사소통을 할 수 있게 하는 역할을 한다. 공급자 에이전트는 각 공급

자의 기간별 공급 능력에 대한 정보를 빠르게 전달하기 위해, 각 제품에 대한 재고 정보와 각 기간별 가능한 공급 능력에 대한 정보 또한 보유하고 있다. 또한 공급자에게 갑자기 발생한 환경 변화 정보를 사용자 인터페이스를 통해 입력 받아서 공급자 관리 에이전트에 전달한다.

4.2.3 생산자 에이전트(Manufacturer Agent : MA)

생산자 에이전트는 생산자가 멀티 에이전트 시스템 내의 다른 에이전트와 의사소통을 할 수 있게 하는 역할을 한다. 생산자 에이전트는 각 생산자의 기간별 생산 능력에 대한 정보를 빠르게 전



[그림 5] 멀티 에이전트 시스템의 구조

달하기 위해, 각 기계의 현재 작업 상황과 대기 작업 정보 그리고 기간별 생산 능력에 대한 정보를 보유하고 있다. 한편 제품별 또는 기간별 외주 작업이 가능한 생산자 정보를 보유하며, 이를 통해 생산자의 생산 능력과 생산 가능 여부를 판단한다. 또한 생산자에게 갑자기 발생한 환경 변화 정보를 사용자 인터페이스를 통해 입력 받아서 생산자 관리 에이전트에 전달한다.

4.2.4 분배자 에이전트(Distributor Agent : DA)

분배자 에이전트는 분배자가 멀티 에이전트 시스템 내의 다른 에이전트와 의사소통을 할 수 있게 하는 역할을 한다. 그리고 고객으로부터 기간별 주문을 받아 주문량 정보를 분배자 관리 에이전트에 전달한다. 분배자 에이전트는 각 분배자의 기간별 분배 능력에 대한 정보를 빠르게 전달하기 위해, 기간별, 제품별 재고량에 대한 정보를 보유하고 있다. 또한 고객으로부터 갑자기 발생한 주문 취소, 변경 정보를 사용자 인터페이스를 통해 입력 받아서 분배자 관리 에이전트에 전달한다.

4.2.5 공급자 관리 에이전트(Supplier Management Agent : SMA)

공급자 관리 에이전트는 공급자 에이전트와 메시지 교환 역할을 수행하는 에이전트로서, 공급자에서 발생한 환경변화 정보를 수집하여 통합계획에 반영되도록 Mediator에 정보를 전달하며, Mediator로부터 받은 공급량과 공급일정 정보를 공급자 에이전트에 전달하는 역할을 수행한다. 그리고 공급자들의 공급 내역과 공급일정 준수여부와 같은 공급자들의 정보를 기록하고, 이들을 바탕으로 공급자의 신뢰도를 평가한다. 적정 신뢰도 이하의 공급자는 통합 계획에서 제외시키도록 한다.

4.2.6 생산자 관리 에이전트(Manufacturer Management Agent : MMA)

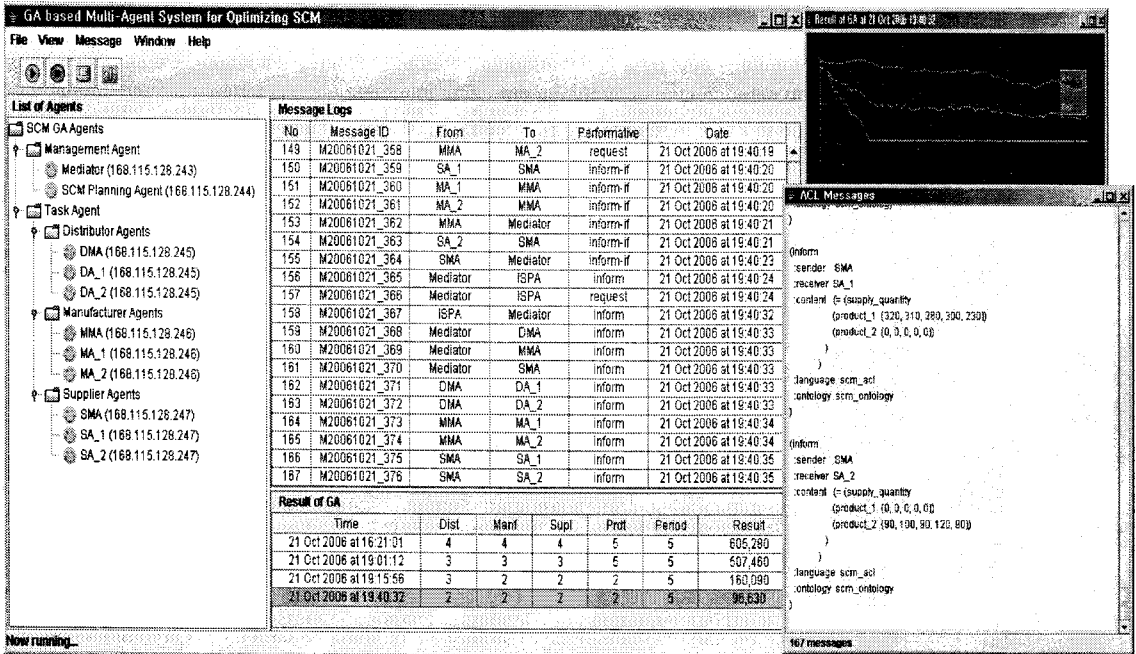
생산자 관리 에이전트는 생산자 에이전트와 메시지 교환 역할을 수행하는 에이전트로서, 생산자에서 발생한 환경변화 정보를 실시간으로 수집하여 통합계획에 반영되도록 Mediator에 전달하며, Mediator로부터 받은 생산자별 제품의 생산일정과 생산량 정보를 생산자 에이전트에 전달하는 역할을 수행한다. 그리고 생산자들의 생산 내역과 납기일 준수여부와 같은 생산자들의 정보를 기록하고, 이들을 바탕으로 생산자의 신뢰도를 평가한다. 적정 신뢰도 이하의 생산자는 통합 계획에서 제외시키도록 한다.

4.2.7 분배자 관리 에이전트(Distributor Management Agent : DMA)

분배자 관리 에이전트는 분배자 에이전트와 메시지 교환 역할을 수행하는 에이전트로서, 분배자에서 발생한 고객의 주문 변경과 같은 환경변화 정보를 실시간으로 수집하여 통합계획에 반영되도록 Mediator에 전달하며, Mediator로부터 받은 분배자별 제품의 발주 시기와 발주량 정보를 분배자 에이전트에 전달하는 역할을 수행한다. 그리고 고객의 주문정보를 보관하고, 이를 통계 분석하여 고객의 구매패턴을 분석할 수 있도록 한다.

4.2.8 통합 SCM 계획 에이전트(Integrated SCM Planning Agent : ISPA)

통합 SCM 계획 에이전트는 분배자 관리 에이전트에서 수집된 기간별 고객의 수요 정보를 기반으로, 기간과 제품별 분배자의 발주시기와 발주량, 생산자의 생산시기와 생산량, 공급자의 공급시기와 공급량 그리고 공급자와 생산자, 생산자와 분



[그림 6] 멀티 에이전트 시스템의 구동 화면

배자 사이의 운송계획을 수립하고, 동적인 환경의 변화에 대응하여 재계획하는 역할을 하는 에이전트이다. SCM을 위한 통합 계획을 세워주는 GA-solver를 가진 가장 핵심적인 에이전트라 할 수 있다. 통합계획을 위해 사용한 유전 알고리즘의 수행도는 수행도 평가를 통해 입증 할 것이다.

4.3 멀티 에이전트 시스템의 프로토타입 개발

멀티 에이전트 시스템의 개발은 시스템 내에서 에이전트 사이의 메시지 교환을 효율적으로 수행하기 위한 기능을 중심으로 하였으며, 시스템의 구조는 국제 표준안으로 채택된 FIPA의 AP(Agent Platform) 구조를 따랐다(FIPA, 1997). 이 구조 내의 에이전트가 같은 Platform 혹은 다른 Platform

에 있는 에이전트와 통신을 하기 위해서는 최소한 하나의 Platform에 등록이 되어야 하며, AP는 Platform에 소속된 에이전트의 협업을 위한 서비스를 제공한다. AP 구조에는 ACC(Agent Communication Channel), ANS(Agent Name Server), DF(Directory Facilitator), AMS(Agent Management System)와 같은 구성요소들이 포함되어 있다. ACC는 AP 내부 에이전트 간의 메시지 전송과 AP간의 통신을 지원하고, ANS는 에이전트의 이름과 전송을 위한 주소 정보를 각 에이전트에 제공한다. DF는 AP내의 에이전트들이 제공하는 능력이나 서비스에 대한 정보를 각 에이전트에게 제공한다. AMS는 AP내 에이전트의 등록 및 제거, 일시 정지와 회복 등에 대한 관리를 수행한다. 본 연구에서는 이러한 AP 구조 하에서, AMS는 Mediator로 구현하고, DF는 에이전트 사이에 교환하는 메시지를 이해하기 위한 온

<표 1> 멀티 에이전트 시스템의 수행도 평가 결과

문제	문제 크기					최적해	통합 계획의 해	비통합 계획의 해
	분배자 수	제품 수	생산자 수	공급자 수	기간 수			
1	2	2	2	2	5	96,630	96,630	107,268
2	3	2	2	2	5	160,090	160,090	175,665
3	2	2	3	2	5	96,630	96,630	107,588
4	3	5	3	3	5	506,394	507,460	534,198
5	4	5	4	4	5	603,997	605,280	659,906

톨로지 역할을 수행하며 간단한 DB 형태로 구현하였다. [그림 6]은 수행도 평가를 위한 문제에 적용된 멀티 에이전트 시스템의 구동 화면이다.

4.4 수행도 평가

통합계획 문제에서의 목적함수는 발주비용, 분배자와 생산자의 재고 유지비용, 생산준비비용, 생산비용, 생산자와 분배자 그리고 공급자와 생산자 사이의 운송비용의 총합을 최소로 하는 것이다. 문제 생성을 위해 분배지의 수요량은 50에서 200사이에서 10단위로 발생시켰고, 발주비용은 100, 생산지, 분배지의 기간 당 재고 유지비용은 5로 하였다. 생산지에서 분배지로의 운송비용은 3과 5사이에서, 공급지에서 생산지로의 운송비용은 10에서 15사이에서 정수 값으로 발생시켰다. 그리고 각 생산지에서 생산비용은 35에서 40사이에서 발생시켜 문제를 생성하였다. <표 1>에서는 작은 크기의 문제에서 ILOG로 얻은 최적해와 유전 알고리즘을 이용하여 얻은 결과 그리고 주문이 있을 때 마다 발주와 생산을 하고, 생산자와 공급자의 선택을 임의로 한 통합 계획을 하지 않은 경우의 해를 비교 하였다. 통합 계획을 한 경우와 그렇지 않은 경우의 결과 값에서 큰 차이를 확인 할 수 있다. 두 경우의 해는 100회 반복 실험에서 얻은 최고해이다.

제안된 유전 알고리즘의 교차율과 돌연변이율, 엘리티즘 크기, 씨종자 선택 범위 그리고 모집단과 세대 수와 같은 파라미터 값들을 결정하기 위해 선행 실험하였고, 실험을 통해 얻은 파라미터 값은 모집단 크기는 1000, 세대 수는 200, 씨종자 선택범위와 엘리티즘 크기는 300과 100 그리고 돌연변이율과 교차율은 0.1과 0.9로 하였다. 수리 모형의 최적해를 얻기 위해서 ILOG CPLEX 10.0 패키지를 사용하였고, 제시된 유전 알고리즘은 Java 2 Standard Edition 1.5를 기반으로 하여 개발하였다. 이 실험에서 유전 알고리즘을 통해 100%에 근접하는 최적해를 산출하였다. 이는 본 연구에서 제안된 유전 알고리즘을 기반으로 한 에이전트 시스템의 수행도를 입증하는 것으로, 복잡한 SCM의 공급/생산/분배 통합문제에 빠른 시간에 최적에 가까운 해를 산출해줌을 보여준다.

5. 결론

공급사슬의 통합 운영을 위한 새로운 방법론은 여러 부분 의사결정 문제를 하나의 통합된 최적화 문제로 해결하는 것으로, 여러 의사결정 문제를 단계별로 순차적으로 최적화하는 전통적인 방법과 달리 하나의 통합된 문제로 만들어 동시에 최

적화하는 것이다. 본 연구는 공급사슬 내에서의 정보 공유를 통해 공급자, 생산자, 분배자, 소비자 등 모든 객체들을 통합하여 발주량, 발주시기, 생산량, 생산시기, 공급량, 분배패턴과 같은 SCM 내의 계획을 통합해서 한 번에 계획하고 조정할 수 있게 하는 유전 알고리즘을 기반으로 한 멀티 에이전트 시스템을 구현하였다. 이는 부분 문제들을 순차적으로 최적화하는 전통적인 방법과 달리 하나의 통합된 문제로 만들어 동시에 최적화하고, 동적 환경 변화에 따른 조정이 가능하게 함으로써 보다 효율적인 SCM이 가능하게 할 것이다. 또한 통합 계획을 위해 개발된 유전 알고리즘은 다양한 크기의 문제에서 수행도 평가를 통해 효율성을 입증하였으며, 그들의 빠른 연산속도와 단순한 구조는 현실적인 적용을 용이하게 할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 김여근, 민유중, “다계층 공생 진화 알고리즘을 이용한 공급사슬경영의 생산과 분배의 통합계획”, *한국경영과학회지*, 28권 2호(2003), 1~15.
- [2] Beamon, B. M., “Supply Chain Design and Analysis: Models and Methods”, *International Journal of Production Economics*, Vol.55 (1998), 281~294.
- [3] Byrne, M. D. and M. A. Bakir, “Production Planning using a Hybrid Simulation-analytical Approach”, *International Journal of Production Economics*, Vol.59(1999), 305~311.
- [4] Dellaert, N., J. Jeunet, and N. Jonard, “A GA to Solve the General Multi-level Lot-sizing Problem with Time Varying Costs”, *International Journal of Production Economics*, Vol.68(2000), 241~257.
- [5] Dhaenens-Flipo, C. and G. Finke, “An Integrated Model for Industrial Production-Distribution Problem”, *IIE Transaction*, Vol.33(2001), 705~715.
- [6] Erenguc, S. S., N. C. Simpson, and A. J. Vakharia, “Integrated Production/ Distribution Planning in Supply Chains”, *European Journal of Operational Research*, Vol.115 (1999), 219~236.
- [7] FIPA, 1997. FIPA '97 Draft specification. <http://www.fipa.org/>.
- [8] Fox, M. S., J. F. Chionglo, and M. Barbuceanu, *The Integrated Supply Chain Management System*, Internal Report, Dept. of Industrial Engineering, University of Toronto, 1993.
- [9] Fumero, F. and C. Vercellis, “Synchronized Development of Production, Inventory and Distribution Schedules”, *Transportation Science*, Vol.33(1999), 330~340.
- [10] Kim, B. K. and S. Y. Kim, “Extended Model of a Hybrid Production Planning Approach”, *International Journal of Production Economics*, Vol.73(2001), 165~173.
- [11] Lee, Y. H. and S. H. Kim, “Production-distribution Planning in Supply Chain Considering Capacity Constraints”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol.43(2002), 169~190.
- [12] Park, B. J, H. R. Choi, and H. S. Kim, “A Hybrid GA for Job Shop Scheduling Problems”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol.45(2003), 597~613.
- [13] Sadeh, N., D. W. Hildum, and D. Kjenstad, “Agent-based e-Supply Chain Decision Support”, *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, Vol.33, No.3-4 (2003), 225~241.
- [14] Shen, W, F. Maturana, and D. H. Norrie,

- "MetaMorph II: An Agent-based Architecture for Distributed Intelligent Design and Manufacturing", *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.11, No.3(2000), 237~251.
- [15] Shen, W., Q. Hao, H. J. Yoon, and D. H. Norrie, "Applications of Agent-based Systems in Intelligent Manufacturing: An updated review", *Advanced Engineering Informatics*, Vol.20(2006), 415~431.
- [16] Thomas, D. J. and P. M. Griffin, "Coordinated Supply Chain Management", *European Journal of Operational Research*, Vol.94(1996), 1~15.
- [17] Stone, P. and M. Veloso, Multi-agent Systems: A Survey from a Machine Learning Perspective, Technical Report, CMU-CS-97-193, Computer Science Department, Carnegie Mellon University, 1997.
- [18] Vidal, C. J. and M. Goetschalckx, "Strategic Production-distribution Models: A Critical Review with Emphasis on Global Supply Chain Models", *European Journal of Operational Research*, Vol.98(1997), 1~18.
- [19] Zhang, D. Z., A. I. Anosike, M. K. Lim, and O.M. Akanle, "An Agent-based Approach for e-Manufacturing and Supply Chain Integration", *Computers and Industrial Engineering*, Vol.51(2006), 343~360.

Abstract

A Multi-agent System based on Genetic Algorithm for Integration Planning in a Supply Chain Management

Byung Joo Park* · Hyung Rim Choi* · Moo Hong Kang*

In SCM (supply chain management), companies are pursuing a new approach through which overall functions within the supply chain, ranging from material purchase to production, distribution, and sales are designed, planned, and managed in an integrated way. The core functions among them are production planning and distribution planning. As these problems are mutually related, they should be dealt with simultaneously in an integrated manner. SCM is large-scale and multi-stage problems. Also, its various kinds of internal or external factors can, at any time, dynamically bring a change to the existing plan or situation. Recently, many enterprises are moving toward an open architecture for integrating their activities with their suppliers, customers and other partners within the supply chain. Agent-based technology provides an effective approach in such environments. Multi-agent systems have been proven suitable to represent domains such as supply chain networks which involve interactions among manufacturing organization, their customers, suppliers, etc. with different individual goals and propriety information. In this paper, we propose a multi-agent system based on the genetic algorithm that make it possible to integrate the production and distribution planning on a real-time basis in SCM. The proposed genetic algorithm produced near optimal solution and we checked that there is a great difference in the results between integrated planning and non-integrated planning.

Key Words : Supply Chain Management, Production Planning, Distribution Planning, Multi-agent System, Genetic Algorithm

* Department of MIS, Dong-A University