경영정보학연구
제12권 제4호
2002년 12월

인터넷상의 가상생산 기반 부품판매 에이전트 개발 *

최 형 림**, 김 현 수***, 박 영 재****, 박 병 주*****, 이 경 전******

Development of Part Sales Agent Coupled with Virtual Manufacturing in Internet Environment

Hyung Rim Choi, Hyun Soo Kim, Young Jae Park, Byoung Joo Park, Kyoung Jun Lee

The sales activity of most of small manufacturing companies is based on orders of buyers. The process of promotion, negotiation, receipt and selection of orders of the manufacturers is closely coupled with the load status of the production lines. The decision on whether to accept an order or not, or the selection of optimal order set among excessive orders is entirely dependent on the schedule of production lines. However, in the real world, since the production scheduling activity is mainly performed by human experts, most of small manufacturers are suffer from being unable to meet due dates, lack of rapid decision on the acceptance of new order.

Recently, Internet based Electronic Commerce is recognized as one of the alternatives for strengthening sales power of small and medium companies. However, small and medium manufacturers can't adjust properly to the new environment because they are in short of money, personnel, and technology. To cope with this problem, this paper deals with development of part sales agent coupled with virtual manufacturing in Internet environment that consist of selection agent, advertisement agent, selection agent, negotiation agent, and virtual manufacturing system.

This paper develops a time-bounded negotiation mechanism for small and medium manufacturers in agent-based automated negotiation between customers and negotiation agents. Furthermore, to select optimal order set maximized profit, we first formulate the order selection problem with mixed integer programming, but the computation time of IP is not acceptable for real world scale problem. To overcome this problem and dynamic nature of virtual manufacturing, we suggest a genetic algorithm approach, which shows a reasonable computation time for real world case and good incremental problem solving capability.

---

* 본 연구는 연암문화재단의 지원을 받아 1999년 12월부터 2000년 12월까지 미국 University of Texas at Austin에서 수행되었음.

** 동아대학교 경영정보과학부 교수, E-mail: hrchoi@daunet.donga.ac.kr
*** 동아대학교 경영정보과학부 부교수, E-mail: hskim@daunet.donga.ac.kr
**** 동아대학교 대학원 경영정보학과 박사 수료, E-mail: b990006@daunet.donga.ac.kr
***** 동아대학교 대학원 경영정보학과 박사후 과정, E-mail: a967500@daunet.donga.ac.kr
****** 서울대학교 행정대학원 초빙조교수, E-mail: leekj007@snu.ac.kr

Ⅰ. 서 론

1.1 연구의 목적

지난 몇년 동안, 개인용 컴퓨터의 보급과 통신망의 발달은 인터넷의 급속한 발전을 가져왔으며, 또한 인터넷 이용자의 요구를 만족시켜줄 수 있는 새로운 기술들이 계속해서 개발되고 있다. 특히, 인터넷은 시간과 공간을 초월하여 거래가 이루어질 수 있는 글로벌 시장(Global Market)을 형성함으로써, 상거래 행위의 주체인 구매자나 판매자에게 비용의 절감, 보다 풍부한 정보, 신속한 거래처리 뿐만 아니라, 보다 적절한 고객의 요구와 고객 정보 등을 제공할 수 있다. 그러나 이러한 전자상거래가 보다 활성화되기 위해서는 서비스의 질적 향상을 도모하기 위한 기반기술 개발 노력이 필요하다.

이에 본 연구에서는 첫째, 지금까지 전자상거래를 통하여 거래되거나 검색되는 대부분의 정보는 최종 소비자들을 위한 완제품에 관한 것이었다. 그러나 전자상거래를 보다 활성화시키기 위해서는 대상영역을 완제품뿐만 아니라 부품까지, 그리고 최종 소비자가 아닌 제조업체 간의 거래를 지원하여 전자상거래의 영역을 보다 확장하고 나아가 공급사슬관리(Supply Chain Management: SCM) 측면에서도 이들 간의 정보 교환 및 공유가 원활히 이루어질 수 있는 요소기술의 개발이 요구된다.

둘째, 인터넷상에서의 정보검색과 이용에 대한 부담은 비단 소비자 측면에서 뿐만 아니라 부품 판매자에게도 예외가 아니다. 그러므로, 판매자의 판매행위가 인터넷상에서 보다 쉽고 효과적으로 이루어지도록 지원할 수 있는 기술이 필요하며, 이는 단순히 웹상에서 고객이 찾아 오기만을 기다리는 것이 아니라 잠재 고객들을 적극적으로 발굴하여 보다 공격적인 마케팅 활동을 할 수 있도록 지원해야 한다. 또한 입찰이나 경매 등의 형태로 다자간의 경쟁과정을 통해 계약을 하거나 협상을 해야할 경우 이를 지원할 수 있는 효율적인 방법과 기술이 필요하다. 이를 위해서는 인간의 개입을 최소화하면서 문제를 해결할 수 있는 지능형 에이전트 기술의 활용이 요구된다.

부품제조업체의 관점에서 부품의 홍보, 마케팅, 구매업체의 발굴, 가격과 생산 납기일에 관한 협상은 매우 중요한 활동에 속한다. 그러나 일반적으로 중소부품업체는 기업 홍보 및 마케팅 활동을 수행하는 전문 인력이 부족한 문제점을 안고 있다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점들을 해결하기 위하여, 전자상거래 관련 기술을 이용하여 중소부품제조업체의 판매활동을 지원하는 지능형 멀티 에이전트, SAVM(Sales Agents coupled with Virtual Manufacturing)을 개발하고자 한다. 이를 위해 첫째, 전자상거래 상에서 일어날 수 있는 중소부품제조업체간의 거래과정을 판매자의 입장에서 조명하고 이를 자동화하기 위한 방법들을 모색한다. 중소부품제조업체는 주로 주문에 의한 생산방식을 채택하고 있으며 이러한 주문생산 방식 제조업체의 거래과정을 살펴보면 대부분 협상으로 계약이 체결된다. 따라서 이러한 주문생산 제조업체의 주문처리와 관련된 거래를 전체적으로 자동화하기 위해서는 협상에 필요한 관련 정보, 즉 생산일정계획 등의 정보가 연계되어야 하며 이들 정보는 실시간으로 제공되어야 한다. 또한 생산일정계획을 수립하기 위해서는 이에 필요한 공정계획정보가 필요하며, 공정계획 수립 이전에는 주문의 제조가능성분석이 이루어져야 할 것이다. 이와 같이 주문처리와 관련된 거래전반을 자동화하기 위해서는 연계된 시스템들이 자동화 되어야 하며 필요한 요구 정보를 사용자의 개입 없이 실시간으로 제공할 수 있어야 한다. 이에 본 연구에서는 제조가능성분석, 공정계획, 일정계획 등에 에이전트 기술을 적용한 멀티 에이전트 구조로 이러한 문제에 대응하였다.

둘째, 이를 바탕으로 SAVM을 구성하는 각 에

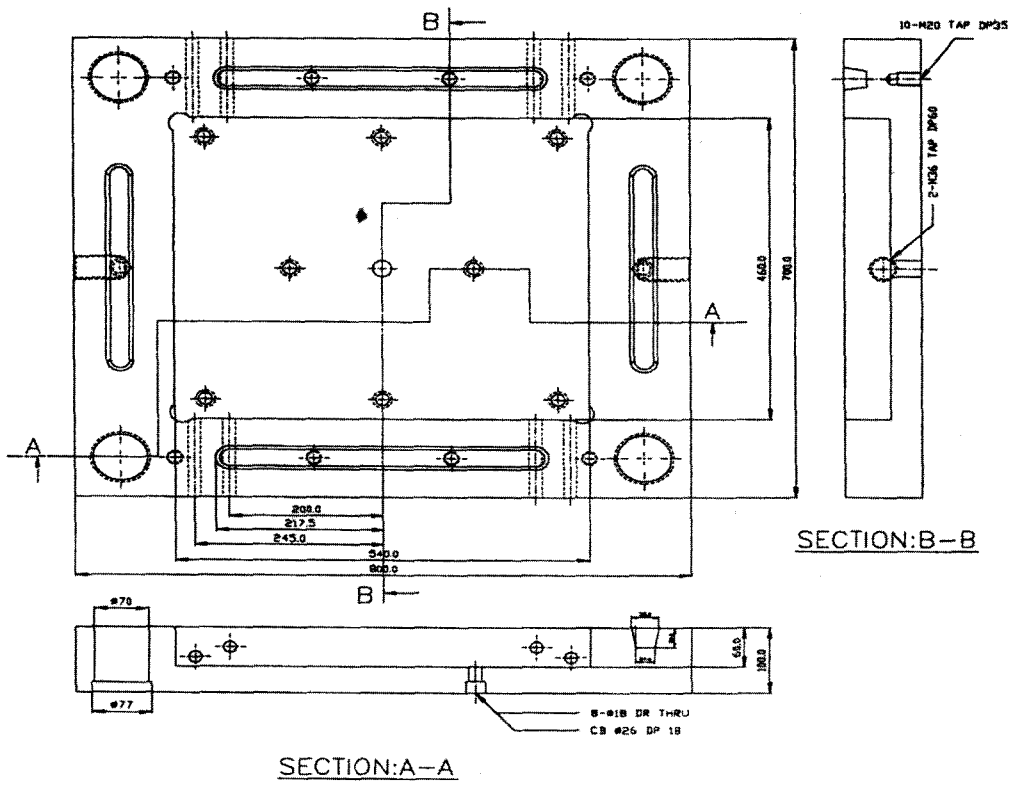
이전트의 역할과 기능 및 구조를 제시한다. 그리고 마지막으로 멀티 에이전트 시스템인 SAVM이 어떻게 구매자를 선정하고, 선정된 구매자와는 어떤 협상과정을 거치는 지에 관해 설명한다.

1.2 연구의 범위

본 연구의 대상은 사출금형(Injection Mold)을 생산하는 업체이다. 금형(Mold)이란 프레스, 주조, 단조 등의 공정에 의해 동일 형상의 제품을 성형할 경우에 사용하는 주로 금속재료로 된 형 또는 틀을 지칭하며, 여기서 성형이란 고온의 용융상태에 있는 재질을 고압을 이용하여 금형 내부로 급격히 불어넣어 그 힘으로 원하는 형상을 얻어내는 제조방법으로, 이때 사용되는 금형이 사출금형이다.

금형은 제품의 형상 및 요구되는 기능에 따라 각각 다른 모양과 특징을 가지고 있으며 금형제조에서 가장 중요한 자원은 설비와 인력이다. 즉 특정 형상의 금형을 만들기 위해서는 해당 작업을 할수 있는 설비(Machine)가 필요하다. 따라서 설비가 갖추어져 있지 않으면 해당 금형을 제조할 수 없으므로 금형제조에 있어서는 설비제약이 가장 중요한 요소이다. 하나의 금형은 여러 개의 공정을 거쳐 생산되며 대부분의 공정은 설비와 일대일로 대응된다. 금형제조에 사용되는 설비로는 밀링, 선반, 드릴링, 방전 등이 있다. 또한 사출금형을 제작하기 위한 공정에는 선후관계가 있어 선행공정이 완료되어야만 다음 공정으로 넘어갈 수 있다.

다음 <그림 1>은 본 연구의 대상인 사출금형의 한 예인 분할형 고정측 형판의 형상 도면을



<그림 1> 분할형 고정측 형판

보이고 있다.

Ⅱ. 관련 연구

2.1 지능형 에이전트

지능형 에이전트에 관한 정의는 매우 다양하여 객관적으로 인정되는 일반적인 정의는 아직 존재하지 않는다. Franklin과 Graesser[1996]에 의하면, 이러한 이유는 에이전트를 연구하고 있는 사람들이 각자의 연구영역에 따라 나름대로의 정의를 내리기 때문이라고 한다. 일반적으로 에이전트는 다음과 같은 속성으로 기존의 응용프로그램(Application Program)과는 구별된다[Nissen, 1996].

- 자율성: 특정목적에 대해 사람이나 다른 시스템의 간섭 없이 동작하며 자신의 내부 행동이나 상태를 스스로 제어하는 능력
- 협동성: 다른 에이전트와 협동해서 목적을 달성하려고 하는 성질
- 정직성: 정확한 정보를 주고 받으며, 이를 사용자에게 전달
- 이동성: 특정목적을 달성하기 위하여 네트워크를 통해서 이동할 수 있는 능력
- 적응성(학습능력): 환경이나 특정목적 등에 적응하기 위한 학습능력
- 사회성(통신능력): 다른 에이전트(또는 다양한 시스템 자원)와 통신할 수 있는 능력
- 추론능력: 적절한 지식을 이용해서 특정 영역의 문제를 해결할 수 있는 능력

이러한 특성에 근거해서 지능형 에이전트에 대한 정의를 내려보면, 지능형 에이전트는 특정 영역의 문제를 자율적이며 독자적으로 해결하기 위해, 학습하고 추론하며 필요 시 다른 에이전트 또는 시스템과 협동해서 주어진 문제를 적극적으로 해결하는 소프트웨어라 할수 있다[Choi, *et al.*, 2000]. 에이전트는 다양한 분야에서 응용되고 있으며 최근 전자상거래 분야에서도 이러한 기술을 활용하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다. 전자상거래에서의 에이전트 활용은, 주로 소비자의 구매행위를 지원하기 위한 것이다. 전형적인 응용분야로 비교구매, 경매, 거래지원 에이전트 등을 들 수 있다. 비교구매를 지원하는 대표적인 에이전트로는 Anderson consulting의 BargainFinder(http://bf.cstar.ac.com/bf)가 있으며 이는 음악CD의 제품비교를 위한 것이다. Curtin 대학의 BargainBoat(http://www.ece.curtin.edu.au/~saunb/bargainbot)은 책에 관한 제품 정보를 비교해 주는 에이전트이며, 그 외 University of Washington의 ShopBoat(http://www.cs.washinton. edu/homes/bobd/shop.htm) 등이 있다.

경매에 관한 대표적인 에이전트로는 Onsale (http://www.onsale.com)과 Artist Online(http://www.onlineart.com/Aution.htm) 등이 있으며, 협상을 위한 대표적인 에이전트로는 MIT Media Lab의 Kasbah[Chavez and Maes, 1996]가 가상공간에서 구매자와 판매자 사이의 가격협상을 대신 해준다.

2.2 에이전트 기반 가상생산시스템

에이전트 기술을 이용하여 가상생산시스템을 구현하려는 연구는 Intelligent Automation Inc.의 AARIA(Autonomous Agents for Rock Island Arsenal) 프로젝트[Baker, 1997], University of Calgary의 KSI 연구소에서 구현한 ABCDE(Agent Based Concurrent Design Environment) 시스템[Balasubramanian, 1995], The University of Texas at Austin의 LIPS 연구소가 제안한 멀티 에이전트 기반 가상생산 에이전트에 관한 연구[Chuter, 1995]가 대표적이다.

이러한 가상생산 에이전트에 관한 연구는 기존의 가상생산 시스템에 관한 연구와 그 맥을 같

이 하고 있다. 기존 가상생산 시스템의 연구영역을 제조가능성분석(Manufacturability Analysis), 공정계획(Process Planning), 일정계획(Scheduling), 작업장 관리(Shop Floor Control), 특징형상모델 지원(Support FBD/FBM) 등의 영역으로 나누어 볼 때, 가상생산 에이전트에 관한 기존 연구와의 매핑영역은 다음의 <표 1>과 같다.

<표 1> 가상생산시스템 관련 연구들의 연구내용

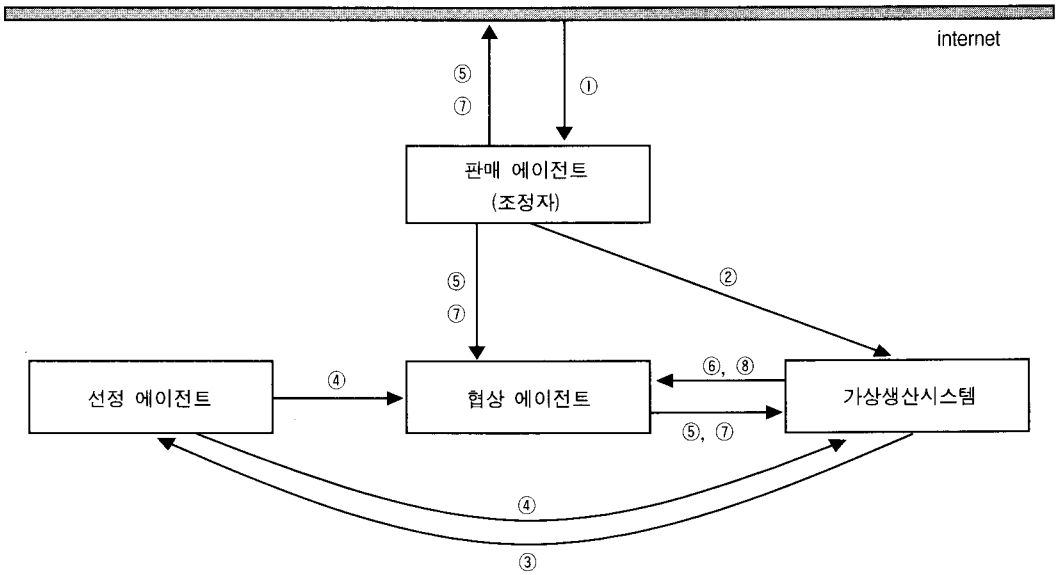
	AARIA	ABCDE	VECAM
Manufacturability Analysis	×	○	○
Process Planning	×	×	○
Scheduling	○	×	○
Shop Floor Control	×	○	×
Support FBD/FBM	×	○	×

그러나 이러한 연구들은 가상생산의 영역에서 공정계획 또는 일정계획과 같은 일부 기능만을 가진 에이전트를 다루고 있어 판매자가 필요로 하는 생산 정보를 적시에 제공할 수 없다. 즉, 전자상거래를 고려하지 않은 가상생산 연구들은 그 목적이 생산의 최적화에만 있기 때문에 전자상거래 환경 하에서 요구되는 전체적인 생산환경 정보를 적시에 제공해 주지 못하는 문제점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 판매자가 필요로 하는 주문에 대한 납기 준수 여부를 적시에 제공할 수 있도록 제조가능성분석 에이전트, 공정계획 에이전트, 일정계획 에이전트로 구성된 가상생산 에이전트를 구현하였다. 가상생산 에이전트에 대한 기존 연구들 중에서 본 연구와 같은 전자상거래 환경에서의 제품판매활동을 지원하기 위한 연구를 찾아 보긴 어렵다.

한편 에이전트에 기반한 지능형 생산시스템에 대한 연구들은 Shen과 Norrie[1999]의 논문에 잘 정리되어 있다. 이 논문에서 보고된 연구들의 주관심사는 에이전트 기술을 이용하여 공정계획(planning)과 일정계획(scheduling)을 효율적으로 수행하는 것으로 제품설계와 일정계획 시스템 사이에서 기업 전체적인 관점에서의 조정을 통해 공정계획과 일정계획 활동들을 통합할 수 있는 방법들과 실제 현장의 예측하지 못한 많은 변동사항으로 인해 미리 정한 일정계획이 무효가 되는 경우, 그들 환경변화에 대해 대처할 수 있는 시간 범위 내에서 그들의 운영을 조정할 수 있는 방법에 대해 제안하고 있다. 제안된 방법은 생산시스템을 구성하는 각 에이전트는 각각의 자원(작업 셀, 기계, 도구, 작업자, 설치물 등)에 대응되고, 각 에이전트는 중재자(Mediator)를 통해 다른 에이전트들과 전체적인 일정계획을 위해 협상하는 메커니즘이다. 그러나 모든 자원들의 에이전트화는 현재의 기술수준으로 실제로 구현하기가 어려우며, 특히 기술수준이 열악한 중소업체에서는 더욱이 불가능한 일이다. 따라서 중소업체의 가상 생산시스템을 현실적으로 구축하기 위해서는 조정자(facilitator) 에이전트를 중심으로 한 중앙 집중적인 형태의 구조를 택하는 것이 보다 바람직할 것이다. 본 연구에서는 생산일정계획을 위해 유전 알고리즘을 사용하였으며, 이를 에이전트 구조로 흡수하였다. 또한 사출금형제조업에 적용하여 특징형상모형(FBM: Feature Based Modeling)에 기반한 지식기반 제조가능성 분석 에이전트와 공정계획 에이전트를 구현하였다. 이는 전자상거래 환경에서의 제품판매활동을 지원하기 위해 생산관련 정보를 제공하는 가상생산 에이전트를 구현하였기에 기존의 연구와는 구별되며 자율성, 협동성, 정직성, 사회성, 추론능력을 가지고 있어 앞에서 밝힌 바와 같이 기존의 응용 프로그램과는 구별되는 특성을 가지고 있는 지능형 에이전트이다.

Ⅲ. SAVM의 자동화된 거래처리 과정

SAVM에서의 자동화된 거래처리 과정을 도식화하면 다음의 <그림 2>와 같다.



<그림 2> SAVM의 거래처리 과정

1) 구매자는 인터넷을 통해 직접 주문을 하거나 또는 구매자를 대신하는 에이전트가 있다면 이는 판매 에이전트(Sales Agent)를 통해 접수되어 DB에 저장된다.
2) 판매 에이전트는 주문의 제조가능성 여부를 가상생산시스템(Virtual Manufacturing System)의 제조가능성분석 에이전트(Manufacturability Analysis Agent)에게 묻는다.
3) 제조가능성분석 에이전트는 제조 가능한 주문들만 선별하여 공정계획 에이전트 (Process Planning Agent)에게 알린다. 공정계획 에이전트는 제조 가능한 주문들의 공정계획을 수립하여 해당 주문의 공정과 공수를 선정 에이전트(Selection Agent) 에게 알린다.
4) 선정 에이전트는 선정 알고리즘을 이용하여 생산능력이 허용하는 주문들을 선별한 후 이를 협상 에이전트(Negotiation Agent)에게 알리며 탈락된 주문 정보도 차후 협상을 통해 계약을 성사시키기 위해 일정계획 에이전트에게 알린다.
5) 협상 에이전트는 선정된 주문들을 대상으로 TBNF(Time-bounded Negotiation Framework)[Lee, Chang, Lee, 2000]를 이용하여 구매자와 주문계약을 위한 협상을 하고 계약이 확정되면 해당 주문들을 가상생산시스템의 일정계획 에이전트에게 알린다.
6) 일정계획 에이전트는 계약이 완료된 주문들의 일정계획을 수립한 후 여기에 선정 에이전트에 의해 탈락된 주문들의 일정계획을 수립하여 해당 정보(가능 납기일)를 협상 에이전트에게 알린다.
7) 협상 에이전트는 탈락된 주문들의 구매자와 납기일 및 가격에 관한 최종 협상에 임하고 그 결과를 일정계획 에이전트에게 알린다.
8) 일정계획 에이전트는 협상 결과를 반영하여 일정계획을 수립한다. 아직 협상의 여지가 있는 주문에 대해서는 일정계획 정보를 협상 에이전트에게 알리고 동시에 이 정보를 선정 에이전트에게도 알리는데 이러한 과정은 더 이상의 협상 대상 주문이 없을때까지 계속된다.

다음의 <표 2>에서는 각 에이전트들의 기능을 정리하였으며 이하에서는 SAVM을 구성하는 각 에이전트들에 대해 설명한다.

<표 2> SAVM 구성 에이전트의 기능과 역할

분 류	주요 기능 및 역할
판매 에이전트	• 구매자(또는 구매 에이전트)와의 대화 창구 • 내부 에이전트들간의 중재자(Mediator): 메시지 라우팅(Message Routing, 중재(Mediation), 에이전트간 연결(Matchmaking) 등의 기능을 수행
가상 생산시스템	• 제조가능성분석 에이전트: 주문에 대한 제조가능성 여부 분석 • 공정계획 에이전트: 주문에 대한 공정계획 수립 • 일정계획 에이전트: 주문에 대한 생산일정계획수립
선정 에이전트	• 접수된 주문의 납기일 준수 여부 조사 • 접수된 주문들 중 요구 납기일을 준수할 수 없는 주문들이 있을 경우에는 이익이 최대화 되는 최적 주문집합과 협상 대상 주문들로 선별
협상 에이전트	• 구매자(또는 구매 에이전트)와의 협상을 통하여 최종 주문 확정

3.1 가상생산시스템

본 연구의 가상생산시스템은 접수된 주문의 제조가능성의 여부를 결정하는 제조가능성 분석과 공정계획 및 일정계획을 수립한다. 가상생산시스템은 제품모델(Product Model)과 제조환경모델(Factory Shop Model: FSM)의 두 가지 모델을 기반으로 의사결정을 하는데, 제품모델(Product Model)은 기호표현법(Symbolic Representation)을 사용하여 특징형상모델(Feature Based Model: FBM)을 구현한다. 여기서 사용된 특징형상(Feature) 정보는 사출금형 도면 1,000벌을 분석하여 추출된 44개의 형상특징(Form Feature)와 이러한 형상을 가공하기 위한 공정을 선정하는데 사용될 제조특징(Manufacturing Feature)의 두 가지를 사용하였다[오정수, 1991].

가상생산시스템은 제조환경모델(Factory Shop Model: FSM)을 기반으로 의사결정을 하고 있는데, FSM은 제조제약과 제조공정에 관한 지식을 공정계획전문가로부터 인터뷰를 통해 추출하여 이를 지식베이스화 한 것이다. 구축된 지식은 첫째, 제조제약에 관한 지식, 둘째, 가공공정 및 대안공작기계 선정에 관한 지식, 셋째, 가공공정 순서 결정에 관한 지식의 세가지로 구성되어 있다. 본 연구에서는 생산현장과 연계된 지식을 처리하기 위해 사출금형(Injection Mold)업종을 대상영역으로 선정하여 제조가능성분석 및 공정계획에 필요한 지식을 체계화 하였다[Choi, Kim, Lee, 2000]. 한편 오정수[오정수, 1991]의 연구가 공정계획에만 관심을 가진 것과 금형의 수 및 특징형상모델에 한계가 있어 실제 문제에 적용하기에는 제한이 있었다. 본 연구에서는 가상생산시스템은 제조가능성 분석, 공정계획, 일정계획 등을 자율적으로 협동하면서 해결할 수 있도록 에이전트를 적용하였으며, 또한 동적인 특성을 반영한 휴리스틱 탐색기법과 지식을 사용함으로써 보다 다양한 금형의 공정계획 및 일정계획을 수립할 수 있도록 하였다.

3.1.1 제조가능성 분석

제조제약에 관한 지식은 가공이 어렵거나, 생산설비 능력을 초과하는 경우에 해당하는 지식을 말하는 것으로, 예를 들면 다음과 같다.

- A1: 'Cavity Plate의 형판 치수가 a > 600, b > 270, c > 400이라면, 생산이 불가능하다.'

이를 지식으로 표현하면 다음 <그림 3>과 같다.

```
(constraint_rule_002
        (size_a    ? a)
        (size_b    ? b)
        (size_c    ? c)
⇒
(if (&& ( >= ? a 600) ( >= ? b 270) ) ( >= ? c 400))
then (assert (manufacturability          no)))
```

<그림 3> 제조제약에 관한 지식의 예

3.1.2 공정계획

가공공정 및 대안공작기계 선정에 관한 지식은 생산 가능한 금형부품의 공정계획을 설계하는데 필요한 지식을 공정계획 전문가로부터 수집, 정리 한 것으로, 이에 대한 예를 들면 다음과 같다.

- A2: 'Cavity Plate의 인서트용 포켓이 각형이고, 형판 치수가 A <= 500이고 B <= 300이라면, 가공공정은 Milling이고, 대안공작기계는 소형 밀링 머신이다.'

이를 지식으로 표현하면 다음 <그림 4>에서 보는 바와 같다.

```
(manufacturing_rule_015
        (is          square-pocket yes)
        (size_a      ?a)
        (size_b      ?b)
⇒
(if (&& (⇐ ? a 500) (⇐ ? b 300))
then (assert ((process milling) (machine SM))))
```

<그림 4> 가공공정 및 대안공작기계 선정에 관한 지식의 예

가공순서 결정에 관한 지식은 대상 부품이 기본적으로 사출금형 제작의 일반적 공정을 따른다고 가정하고, 예외적인 사항에 관한 지식을 체계화 하였다. 예를 들어 다음 A3와 같은 가공공정순서 결정에 관한 지식이 있다고 했을때,

- A3: 'Cavity Plate가 포켓과 구멍을 가지고 있다면, Milling 공정은 Drilling 공정 이전에 이루어져야 한다.'

이를 지식으로 표현하면 다음 <그림 6>과 같다.

```
(manufacturing_sequence_104
        (is          pocket   yes)
        (is          hole     yes)
        ? rem 1 ←(( process milling) ? m )
        ? rem 2 ←(( process drilling) ? n )
⇒
(retract ?rem1)
(retract ?rem2)
(assert              ((process 10 milling)   ? m ))
(assert              ((process 20 drilling)  ? n )))
```

<그림 6> 공정순서에 관한 지식의 예

이와 같이 구성된 FBM과 지식베이스를 이용하여, 제조가능성분석과 공정계획을 수행하여 그 결과를 선정 에이전트에게 전달하며 이에 따르는 원가 및 공수정보는 실적에 의해 구축된 표준공수표를 참조하여 산출하게 된다.

3.1.3 일정계획

일정계획은 Manne의 혼합정수계획법[Manne, 1960]을 기반으로 모델링 하였으며 다음과 같은 사항을 전제로하고 있다.

- 작업준비시간은 작업시작시간에 포함된다.
- 특정 시점에서 하나의 자원(기계)에는 하나의 작업 (공정)만이 존재하며 하나의 작업 (공정)은 동시에 여러 개의 자원 (기계)에서 작업될 수 없다.
- 주문내의 선행관계로 인해 같은 공정, 즉 같은 기계가 전후에 올 수 있다.
- 병렬 기계가 있을 경우 각 기계를 서로 다른 것으로 가정한다.

일정계획수립을 위한 수리적 모형에서 사용되는 기호를 요약하면 다음과 같다.

- p_{ijk} : 기계 k에서 작업을 해야 할 주문 O_i의 j번째 공정의 공정시간
- r_{ijk} : 0, 1의 값을 갖는 상수로 주문 O_i의 j번째 공정이 기계 k에서 이루어져야 한다면 1, 아니면 0
- M : 전통적인 Big-M(Big Number)을 의미
- T_{ijk} : 주문 O_i의 j번째 공정이 기계 k에서 시작되는 시간
- F_{max} : 마지막 작업의 작업완료시간
- $Y_{(ij)(i)'k}$: 0, 1의 값을 갖는 지시변수로 기계 k에서 주문 i의 j번째 공정이 주문 i'의 j'번째 공정보다 선행되어야 한다면 1의 값을, 아니면 0

일정계획의 기본적 목표는 전체작업의 완료시간을 최소화하는 것으로 이를 위한 제약조건을 정리하면 다음의 <표 3>과 같다.

1) 주문 내에서의 공정순서제약: 주문 i의 j번째 공정은 같은 주문의 j+1공정보다 선행되어야 한다.
2) 마지막 작업의 완료시간을 최소화하기 위한 제약: 각 주문의 마지막 작업은 전체 작업의 완료시간보다 작거나 같다.
3) 특정 기계에서의 순서제약: 한 기계에 두개의 작업, 예를 들어 기계 k에 주문 i의 j번째 공정과 주문 i'의 j'번째 공정이 있고, 주문 i의 j번째 공정이 주문 i'의 j'번째 공정보다 선행되어야 한다면 $T_{i'j'k} - T_{ijk} \geq p_{ijk}$를 만족해야 할 것이며, 반대로 주문 i'의 j'번째 공정이 주문 i의 j번째 공정보다 선행되어야 한다면 $T_{ijk} - T_{i'j'k} \geq p_{i'j'k}$를 만족해야만 한다. 이러한 이접적 제약조건(Disjunctive Constraints)은 일반적인 정수계획법으로는 해결할 수 없기 때문에 $Y_{ij'k}$와 같은 지시변수(Indicate Variable)가 필요하며 전통적인 Big-M과 함께 사용해 두개의 독립적인 제약조건으로 나타낼 수 있는데 이것이 식 (3)과 식 (4)이다.

본 연구의 수리 모형을 검증하기 위해 벤치마킹 문제로 잘 알려진 MT(6)문제[Muth, Thompson, 1963]를 수행해 보았다. 본 연구의 수리모형이 55단위시간 내에 모두 종료되어 MT(6)의 최적값인 55와 같아 최적해를 찾았음을 말해 주고 있어 수리모형이 검증되었다. 다음의 <표 4>에서 수리모형의 검증 실험 결과를 정리하였다.

3.2 최적주문집합 선정

가상생산시스템의 공정계획으로부터 전달 받은 공정과 공수를 기반으로 최적주문집합을 선정하게 되는데 이는 접수된 주문들이 생산능력을 초과하는 경우 이익을 극대화하는 최적의 주문집합을 선정하는 것이다. 선정에이전트의 최적주문집합 선정방법은 일정계획을 이용한 Manne의 혼합정수계획법을 기반으로, 목적함수로는 이

<표 3> 일정계획을 위한 수리모형

Objective Function	$MIN\ F_{max}$	
Constraints	$\sum_k r_{ijk}(T_{ijk} + p_{ijk}) \leq r_{i(j+1)k} T_{i,j+1,k}$	(1)
	$\sum_k r_{imk}(T_{imk} + p_{imk}) \leq F_{max}$	(2)
	$(M + p_{i'j'k}) Y_{iji'j'k} + (T_{ijk} - T_{i'j'k}) \geq p_{i'j'k}$	(3)
	$(M + p_{ijk})(1 - Y_{iji'j'k}) + (T_{i'j'k} - T_{ijk}) \geq p_{ijk}$	(4)

<표 4> 수리모형 검증에 사용된 데이터 및 결과

MT(6), Optimal = 55												
	기 계	공 수	기 계	공 수	기 계	공 수	기 계	공 수	기 계	공 수	기 계	공 수
Job 1	2	1	0	3	1	6	3	7	5	3	4	6
Job 2	1	8	2	5	4	10	5	10	0	10	3	3
Job 3	2	5	3	4	5	8	0	9	1	1	4	7
Job 4	1	5	0	5	2	5	3	3	4	8	5	9
Job 5	2	9	1	3	4	5	5	4	0	3	3	1
Job 6	1	3	3	3	5	9	0	10	4	4	2	1
실 험 결 과												
	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간
Job 1	5	6	10	13	30	36	36	43	43	46	49	55
Job 2	0	8	8	13	15	25	28	38	40	50	50	54
Job 3	0	5	5	9	9	17	18	27	41	42	42	49
Job 4	8	13	13	18	22	27	27	30	30	38	46	55
Job 5	13	22	22	25	25	30	39	43	51	54	54	55
Job 6	13	16	16	19	19	28	28	38	38	42	54	55

<표 5> 최적주문집합 선정을 위한 수리모형

Objective Function	$MAX \sum_i p_i O_i$	
Constraints	$\sum_k r_{ijk}(T_{ijk} + p_{ijk}) \le \sum_k r_{i,j+1,k} T_{i,j+1,k} + (1 - O_i) M$	(1)
	$\sum_k r_{imk}(T_{imk} + p_{imk}) \le d_i$	(2)
	$(1 - O_i) M + (1 - O_{i'}) M + M Y_{iji'j'k} + (T_{ijk} - T_{i'j'k}) \ge p_{i'j'k}$	(3)
	$(1 - O_i) M + (1 - O_{i'}) M + M(1 - Y_{iji'j'k}) + (T_{i'j'k} - T_{ijk}) \ge p_{ijk}$	(4)

익의 극대화, 제약조건에는 납기일 제약(제약식 (2)번)을 추가하여 모델링 하였다. 전제사항은 일정계획에서와 같으며 추가된 기호를 설명하면 다음과 같다.

- d_i : 주문 O_i의 납기일
- O_i : 0, 1의 값을 갖는 변수로서 주문 O_i가 선택되면 1의 값을, 아니면 0

변수 O_i는 주문들을 선정하기 위한 즉, 선정된 주문은 1, 그렇지 않은 주문은 0의 값을 가지는 것으로 선정된 주문집합의 이익들을 극대화하기 위한 목적함수이다. 따라서 이를 제약조건에 반영하기 위해서는 O_i가 어떤 값을 가지더라도 제약조건이 만족되어야 하므로 Big - M과 함께 (1 - O_i)M을 제약조건식에 반영하였다. 다음의 <표 5>에서는 최적주문집합을 선정하기 위한 수리모형을 정리하였다.

최적주문집합을 선정하기 위해 두 가지로 실

<표 6> 주문선정 실험을 위한 데이터

	실 험 1			실 험 2		
	이 익	전체공수	납기일	이 익	전체공수	납기일
Job 1	1000	26	30	100	26	30
Job 2	1000	47	50	1000	47	50
Job 3	1000	34	40	1000	34	40
Job 4	1000	35	35	1000	35	35
Job 5	1000	25	30	100	25	30
Job 6	1000	30	50	1000	30	50

<표 7> 주문선정 실험결과

실 험 1												
	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간
Job 1	0	1	1	4	4	10	10	17	17	20	20	26
Job 2	0	8	0	5	0	10	2007	2017	1017	1027	27	31
Job 3	0	5	4002	4006	3006	3014	2014	2023	1023	1024	24	31
Job 4	0	5	0	5	3006	3011	2011	2014	1014	1022	24	31
Job 5	1	10	12	15	15	20	20	24	26	29	29	30
Job 6	0	3	3	6	6	15	16	26	26	30	30	31
실 험 2												
	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간	시 작 시 간	종 료 시 간
Job 1	0	1	0	3	3008	3014	2014	2021	1021	1024	24	30
Job 2	0	8	0	5	0	10	2017	2027	1027	1037	37	41
Job 3	0	5	5	9	9	17	17	26	26	27	27	34
Job 4	0	5	5	10	10	15	15	18	18	26	26	35
Job 5	0	9	0	3	1991	1996	996	1000	0	3	29	30
Job 6	5	8	12	15	17	26	26	36	36	40	40	41

험하였다. 첫 번째는 일정계획 알고리즘 검증에 사용한 데이터에서 모든 주문의 이익은 1000으로 충분히 크게 하고 납기일은 보다 엄격히 하여 모든 주문이 정해진 납기일 내에 생산 불가능하도록 하여 이중 특정 주문만 선택할 수 있도록 하였다. 두 번째는 각 주문의 이익을 다르게 하여 실험하였는데 이를 정리하면 다음의 <표 6>와 같으며 실험의 결과는 <표 7>에서 정리하였다.

<표 7>의 실험결과에서 알수 있듯이 납기일만 다른 경우(실험 1) 1번, 5번, 6번 Job이 선택되어 납기일 제약이 반영되고 있음을 알수 있고, 납기일과 이익이 모두 다른 경우(실험 2) 3번, 4번, 6번 Job이 선택되었다. 이는 1번과 5번 Job의 경우 이익이 적어 최적주문집합에서 빠지고, 보다 이익이 큰 3번과 4번 Job이 선택되어 본 논문

의 수리모형이 이익이 극대화되는 최적의 주문 집합을 선정하고 있음을 보이고 있다.

그러나 작업장 문제(Job-Shop Problem)의 경우 이미 NP-Complete하다고 알려져 있고 실험결과도 8(Machine) × 8(Job) 정도의 규모에서는 ILOG 패키지가 의미 있는 결과를 도출하였으나 보다 큰 규모의 문제에서는 실행시간이 많이 소요될 뿐만 아니라 해를 찾지 못하는 경우도 있어 보다 견고하고 빠른 탐색기법이 요구되어 본 연구에서는 이를 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)으로 전환하였다.

유전 알고리즘을 사용하기 위해서는 먼저 적용하고자 하는 문제에 맞는 표현방법, 유전 연산자, 유전 파라미터 등이 정의되어야 한다. 표현방법은 공정기반(Operation-based) 표현 방법을 사용하였고, 교차연산자는 PMX(Partially Mapped Crossover) 연산자를 표현형태에 적합하게 수정하여 사용하였으며, 돌연변이 연산자는 이웃해 접근법을 기초로 하였다. 또한 유전 파라미터는 많은 실험을 통해 결정하였고, 초기 모집단 구성을 위해서는 G & T(Giffler & Thompson)알고리즘[1960]을 이용하였다. 이 유전 알고리즘의 수행도는 성공적으로 입증되었다[박병주, 1999]. 판매 에이전트가 새로운 주문을 접수하게 되었을때, 그 주문의 납기일을 산출하기 위해서는 이미 작업장에서 수행되고 있던 공정들을 함께 고려해야 한다. 이 유전 알고리즘 모듈은 새로운 주문과 같은 생산과정에서의 변경 사항이 생겼을 때는 점진적(incremental) 일정계획을 하도록 설계하였다. 이는 이전 단계에서 협상을 통해 결정된 주문에 대한 생산 일정들을 유지하면서 새로운 주문의 일정계획이 효율적으로 수행되도록, 각 기계마다 작업 가능시간들을 파악하여 새로운 주문의 공정들을 일정계획 하는 과정을 수행하였다. 그러나 최초 여러 주문들의 수주가능성 분석은 일괄(batch) 일정계획을 통해 구한다.

실례를 들어 보면, 소규모의 금형 업체인 J사는 3개의 제품을 수주하였고 각 주문의 납기일은 <표 8>과 같다. 판매 에이전트는 각 주문에 대한 납기일 준수 여부를 고려해 가장 높은 이익으로 선정된 주문을 고려한다. 표에서 제품의 크기는 job 수 · 기계 수로 나타내었다.

<표 8> J사의 주문 접수 현황

제 품 명	크 기	납기일	이 익	수 량
Elbow	7 · 10	120	$100	1
Picnic Case	9 · 9	120	$120	1
Cake Box	7 · 9	120	$130	1

각 주문에 대한 선정 에이전트의 선정 결정은 납기일 준수 여부에 의존적이다. J사는 Elbow, Picnic Case, Cake Box를 주문 받고 납기일 준수 여부를 확인한다. 다음의 <표 9>는 각 주문에 따른 납기 준수 가능성을 보여주고 있다. 세 개의 주문을 모두 수주하여 생산하였을 경우를 생각해보면, 세 제품 모두 납기일 내에 생산할 수 없다. 그래서 납기일을 준수하면서 가장 높은 이익을 산출하는 최적의 조합을 찾기 위해, 먼저 세 개의 주문 중 하나만을 수주한 경우를 고려해보면, 제품 완성일이 각각 87, 65, 69로 납기일 120을 맞출 수 있어 생산 가능하다. 그리고 3개의 주문 중 2개의 주문만을 수주한 경우도 모두 납기일을 만족한다. 이들 중 가장 높은 이익을 산출하는 제품의 조합은 Picnic Case와 Cake Box 두 제품을 수주하는 경우임을 알 수 있다. 따라서 Picnic Case와 Cake Box 주문이 최적주문집합으로 선정되어 TBNF를 이용하여 주문에 대한 계약을 확인하게 된다. 한편 판매 에이전트가 Picnic Case와 Cake Box의 수주 결과를 고객에게 통보한 뒤 수주하지 못한 제품, 즉, Elbow의 협상을 위해서는 Elbow의 완성 가능일을 알아야 한다. 이때 Elbow의 완성가능일은 incremental 일정계획으로 얻어지는데 이는 주문의 동적인 환경을 고려한 것이며 그 결과는 다음의 <표 10>과 같다.

<표 9> 유전 알고리즘을 이용한 주문 선정 결과

제 품	제품 완성일	납 기 일	납기일 준수여부	이 익	선 정
Elbow	87	120	·	$100	
Picnic case	65	120	·	$120	
Cake Box	69	120	·	$130	
Elbow Picnic case	104 103	120 120	· ·	$220	
Picnic case Cake Box	103 105	120 120	· ·	$250	·
Elbow Cake Box	109 107	120 120	· ·	$230	
Elbow Picnic case Cake Box	157 146 156	120 120 120	- - -	$0	

<표 10>에서 보는 바와 같이 Elbow의 완성가능일은 175로 요구한 납기일 120보다 55단위 시간을 연장해야만 주문을 수주할 수 있게 된다. 따라서 이는 납기일을 연장해 주는 대신 가격을 낮추어 주는 내용기반 협상 프로토콜을 이용하여 협상을 하게 된다.

<표 10> Incremental 일정계획으로 얻은 추가 주문의 제품 완성일

제 품	크 기	제품 완성일	납기일
Picnic case	9 × 9	103	120
Cake Box	7 × 9	105	120
Elbow	7 × 10	175	120

3.3 협 상

본 연구에서의 협상문제는 크게 두 가지로 구분된다. 첫째는 선정된 주문들과의 최종 계약을 위해 시간제약하에서 계약체결을 완료하는 것이며, 둘째는 보다 많은 주문을 소화하기 위해 선정 과정에서 탈락된 주문을 대상으로 납기일 연장에 관한 협상을 하는 것이다.

3.3.1 Time-Bounded Negotiation Framework를 이용한 계약체결 협상

다수의 구매자와 SAVM의 협상 에이전트 간의 계약체결을 위한 자동 협상 시나리오 절차를 나타내면 다음과 같다.

1) 구매자 에이전트(Buyer Agent) BA 1은 부품 제조업체의 판매자 에이전트(Sales Agent) SA 1을 포함한 다수의 가상생산기업에게 상품1(P 1)에 대한 주문제작 생산이 가능한지를 묻는다(상품 사양, 납기일 등 포함).
2) SA 1은 가상생산시스템의 제조가능성분석 에이전트(Manufacturability Analysis Agent)에게 BA 1이 요구한 P 1(다른 구매자가 요구한 주문 포함)에 대한 주문제작 생산이 가능한지를 묻는다.
3) 제조가능성분석 에이전트는 제조가능성을 분석하여 제조가능하다면 이 제품에 대한 정보를 공정계획 에이전트(Process Planning A-

gent) PA 1에게 넘기고 PA 1은 P1의 공정과 공수 등에 대한 정보를 생성, 이를 선정 에이전트(Selection Agent)에게 넘긴다. 선정 에이전트는 자신의 가용 자원을 기반으로 생산일정 계획을 수립하고 생산 가능한지를 판단해서 최적의 주문을 선정 후 SA 1에게 가능하다라고 응답한다.

4) SA 1은 BA 1을 포함한 다수의 구매자에게 '생산 가능'으로 입찰에 응하거나 또는 '생산 불가' 라고 응답한다.

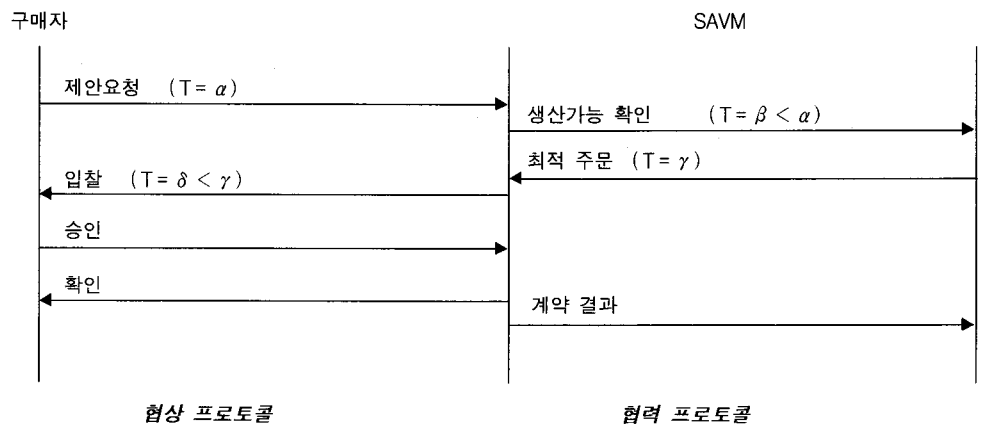
이 경우 해결해야할 문제점이 존재한다. 첫째, 선정 에이전트는 언제까지 SA 1에게 결과를 통보하여야 하는가? 둘째, SA 1은 선정 에이전트에게 언제까지 응답하여야 하는가? 셋째, SA 1이 BA들에게 입찰 후 입찰결과를 받기 전에, 제 3의 BA 3으로부터 주문생산 의뢰가 왔다고 하자. SA 1은 대기중인 입찰결과를 아예 포기하지 않으면 자체 생산이 불가능할때 BA 3에게 어떻게 응답할 것인가? 이러한 문제를 해결하기 위하여 다음과 같은 에이전트간 협상 프로토콜에 관한 요소를 고려해야 한다.

- 협상자간 주문공고, 입찰 등에 대한 유한시간 보장
- 부품제조업체의 자원제약에 따른 다수의 주문에 대한 협상

무보장 프로토콜, 승인보장 프로토콜, 유한시간보장 프로토콜과, 필요시 약속기간 연장 요청 및 부정적 약속이 가능한 Time-Bounded Negotiation Framework을 SAVM의 내부 협력 프로토콜로서, 구매자와는 협상 프로토콜의 전략으로 이용할 수 있다[Lee, Chang, Lee, 2000]. 다음의 <그림 7>에서는 이러한 과정을 설명하고 있다.

TBNF의 무보장 프로토콜, 승인보장 프로토콜, 유한시간보장 프로토콜과, 필요시 약속기간 연장 요청 및 부정적 약속은 다음과 같은 의미를 가지고 있다.

- 무보장 프로토콜($T = 0$): 방금한 약속에 대해 보장할 수 없음
- 승인보장 프로토콜($T = \infty$): 방금한 약속은 언제까지나 보장됨
- 유한시간보장 프로토콜($T = \alpha, 0 < \alpha < \infty$): 방금한 약속은 α 시간까지는 보장됨
- 약속기간 연장 요청: 요청된 시간 내에 응답이 불가능할 때 메시지 수신자는 송신자에게 약속기간 연장을 요청할 수 있음
- 부정적 약속($T = \alpha, 0 < \alpha < \infty$): 현재는 수락



<그림 7> 구매자와 SAVM간의 협상 및 협력 프로토콜

할수 없지만, α 시간 후에는 변경 가능함

구매자가 제안요청(Request for Bid: RFB)하는 부품제조업체들 간에는 경쟁적인 관계로서, 구매자는 그 경쟁체계 하에서 최소의 구매비용 지불이 가능하다. 부품제조업체는 주어진 자원, 생산 능력, 생산 일정을 고려하여 다수의 구매자들로부터 최적주문집합을 선정하여 자신의 이익을 최대화할 수 있다. 상호간 신뢰를 바탕으로 자신들의 최대 이익을 위하여 구매자와 가상생산기업간 전달되는 제안요청, 입찰, 승인 등은 유한시간 동안 약속을 보장하는 프로토콜이 필요하다. 즉, 구매자가 다수의 부품제조업체에게 제안요청을 할때 그 메시지의 유효함을 알리는 약속보장기간($T = \alpha$)을 통하여 통신과 협상의 효율성을 증대시킬 수 있다. 부품제조업체 입장에서도 입찰에 응할 때, 입찰내용의 약속보장기간($T = \delta$)을 첨부함으로써 다른 구매자의 주문에 대응하고 자원의 효율적 활용이 가능하다(<그림 7> 참조).

부품제조업체내의 판매 에이전트, 선정 에이전트, 협상 에이전트, 그리고 가상생산시스템은 구매자들의 주문에 대응하기 위하여 협력관계를 유지한다. 판매자는 구매자가 제안서를 요청한 시간 내에 입찰하기 위하여 선정 에이전트 및 가상생산시스템에게 약속보장기간($T = \beta < \alpha$) 내에 생산 가능성을 파악해서 최적 주문을 선정 후 응답해 줄 것을 요구한다. 판매자는 가능한 시간 내에 다수의 주문을 일괄처리할 수 있는데, 구매자가 요구한 시간 내에 생산 가능성을 파악할 수 있도록 시간을 고려하여 가상생산시스템 및 선정 에이전트에게 보내준다. 가상생산시스템과 선정 에이전트는 주문사양, 생산일정, 자원제약, 납품일 등을 고려하여 최적의 주문들을 선정해서 협상 에이전트에게 통보해 준다. 이 경우 생산 자원의 효율적 활용을 위하여 응답하는 메시지에 대한 약속보장기간($T = \gamma$)을 설정할 수 있다.

3.3.2 내용기반 협상 프로토콜

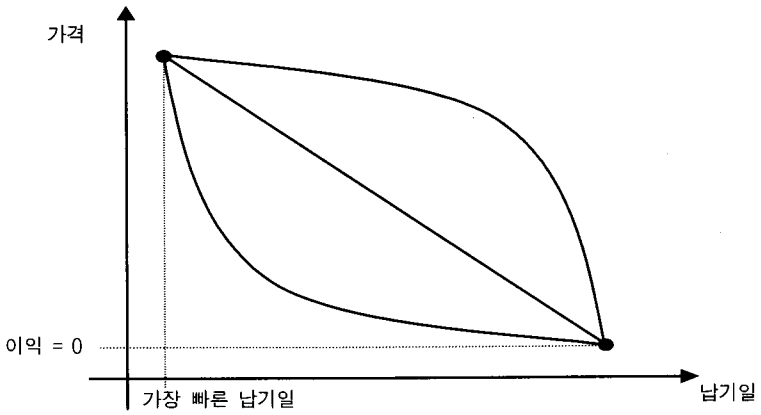
제조 가능성을 분석하여 제조 자체가 불가능한 주문의 경우에는 이에 대한 협상의 여지가 없지만 납기일 및 가격을 준수하기 어려운 경우에는 협상을 통하여 계약을 성사시킬 수 있는 가능성이 존재한다. 따라서 기업의 입장에서는 매출 증대를 위해 이와 같은 주문에 대해서는 가격과 납기일 간의 상충관계(Trade - off) 즉, 납기일을 연장하는 대신 가격을 낮추어 주는 협상을 통하여 계약을 성사시킬 수 있다. 이때 고려해야 할 사항은 탈락된 주문들 중 우선협상이 되는 주문의 결정과 가격결정함수이며 시나리오는 다음과 같다.

1) 협상대상 주문의 우선순위와 납기일 및 가격 결정을 위해 먼저 협상 에이전트는 일정계획 에이전트에게 탈락된 주문들을 기일정계획 상에서 일정계획을 수립할 것을 요청하여 협상 대상 주문들의 가장 빠른 납기 가능일 정보를 획득한다.
2) 우선순위 결정은 Profit / (납기 가능일 - 요구 납기일)의 값이 큰 주문을 선택하여 가장 높은 가격에서부터 시작, TBNF를 함께 이용하여 협상이 종료될 때까지 진행하여 다음 주문으로 순차적으로 진행한다.
3) 구매자의 가격 민감도에 따라 다양한 가격함수를 선택할 수 있다(<그림 8>참조).

납기일 및 가격결정함수는 다음의 <그림 8>과 같으며 해당 납기일의 가격은 다음과 같은 식에서 구해진다.

- 정상 가격 - (초과납기일 × 제조가변비용)
- 정상 가격 - (제조가변비용^2/초과납기일)
- 정상 가격 - ($\sqrt{\text{초과납기일} \times \text{제조가변비용}}$)

납기 가능일에서 요구 납기일을 감한 일자가



<그림 8> 가격 결정함수

초과 납기일이며 제조가변비용은 납기일을 준수하기 위해 잔업 등을 할 때 초과로 지불되는 비용을 말한다.

Ⅳ. 메시지의 흐름

본 논문에서는 단순히 완제품 중심의 판매자와 최종소비자간에 이루어지는 전자상거래가 아니라 부품을 생산하는 중소부품제조업체와 조립업체 사이의 전자상거래 활성화를 위한 기반기술 개발에 초점을 두고 있다.

본 논문에서 제시하고 있는 SAVM(Sales Agents coupled with Virtual Manufacturing)은 멀티 에이전트 시스템으로 가상생산시스템의 개념을 포함하고 있으며, 가상생산시스템도 멀티 에이전트로 구성되어 있어 전체적으로는 계층적 구조를 지니고 있다. 가상생산시스템에서는 생산환경에 대한 지식을 축적하여, 판매 에이전트가 요구하는 제조가능성분석, 공정계획 및 일정계획 수립 업무를 수행한다. 이러한 가상생산 에이전트는 자바 기반 하에, KQML 지원 에이전트 템플릿(JAT-Lite)과 자바용 전문가시스템 구축도구(JESS)를 사용해 개발되었다. KQML의 메시지 내용을 예를 들어 살펴보면 보면 먼저 주문 Cake Box의 제조가능성 여부를 판매 에이전트(FA)가 제조가능성분석 에이전트(MAA)에게 묻는 KQML 메시지는 다음과 같다.

```
( ask-one
    : sender
    : receiver          FA
    : language          MAA1
    : content           KQML
      ( company_name
        product_name    Jesan Precision
        product_no      Cake Box 071a))
```

제조가능성 분석 결과 생산가능(manufacturability yes)하다고 판단된 응답 메시지는 다음과 같다.

```
( reply
    : sender            MAA
    : receiver          FA
    : language          KQML
    : content
      ( company_name    Jesan Precision
        product_name    Cake Box
        product_no      071a
        manufacturability  YES))
```

다음은 제조가능하다고 판단된 Cake Box의 공정계획을 공정계획 에이전트(PPA)에게 의뢰하는 메시지이다.

```
( ask-one
   : sender                FA
   : receiver              PPA
   : language              KQML
   : content
   (company_name           Jesan Precision
    product_name           Cake Box
    product_no             071a
    manufacturability      yes)
```

수립된 공정계획을 판매 에이전트에게 전달하는 메시지는 다음과 같다.

```
( reply
   : sender                PPA
   : receiver              FA
   : language              KQML
   : content
      (company_name        Jesan Precision
       product_name        Cake Box
       product_no          071a
       process_list
         (part_name        Cavity Plate
         (process_name     Milling
          sequence         1
          machine          LM
          man_hour         18)
          …                …))
```

판매 에이전트는 수립된 공정계획을 선정 에이전트(SA)에게 전달하여 최적 주문집합 선정을 요청한다.

```
( ask-one
   : sender                FA
   : receiver              SA
   : language              KQML
   : content
      (company_name        Jesan Precision
       product_name        Cake Box
       product_no          071a
       process_list
        (part_name         Cavity Plate
         process_name      Milling
          sequence         1
          machine          LM
          man_hour         18)
          …                … ))
```

선정 에이전트는 Cake Box의 납기일을 준수할 수 없음(keep_due No)을 알려 온다.

```
( reply
   : sender                SA
   : receiver              FA
   : language              KQML
   : content
      (company_name        Jesan Precision
       product_name        Cake Box
       product_no          071a
       keep_due            No))
```

판매 에이전트는 일정계획 에이전트(SHA)에게 Cake box의 납기 가능일 분석을 의뢰하고 일정계획 에이전트는 Cake Box의 납기 가능이 2002년 10월 25일임을 알린다.

```
( reply
   : sender                SHA
   : receiver              FA
   : language              KQML
   : content
      (company_name        Jesan Precision
       product_name        Cake Box
       product_no          071a
       possible_due        2002-10-25))
```

판매 에이전트는 협상 에이전트(NA)에게 납기 가능일에 대한 가격 분석을 의뢰하고 협상 에이전트는 그 결과를 판매 에이전트에게 알린다.

```
( reply
   : sender                NA
   : receiver              FA
   : language              KQML
   : content
      (company_name        Jesan Precision
       product_name        Cake Box
       product_no          071a
       possible_due 1      2002-10-25
       price 1             $230
       possible_due 2      2002-10-26
       price 2             $228
       possible_due 3      2002-10-27
       price 3             $226
       …                   …))
```

판매 에이전트는 협상 에이전트가 보내온 납기 가능일별 가격정보를 바탕으로 협상 메시지를 구매자에게 보낸다.

```
( tell
   : sender              FA
   : receiver            Jesan Precision
   : language            KQML
   : content
      ( possible_due     2002-10-25
        price            $230))
```

구매자는 납기일과 가격을 보고 수용 여부를 판단한 후 수용하겠다는 메시지를 보내오면 협상은 끝나게 된다.

```
( reply
   : sender              Jesan Precision
   : receiver            FA
   : language            KQML
   : content
      ( possible_due     2002-10-25
        price            $230
        count            accept))
```

최종 확정된 납기일은 다시 일정계획 에이전트에게 보내지며 일정계획 에이전트는 이를 바탕으로 최종 생산일정계획을 수립하게 된다.

V. 결 론

기존의 가상생산 에이전트에 관한 연구가 생산현장을 위한 시뮬레이션 시스템적인 성격이 강한 반면, 본 논문에서 제안한 가상생산 에이전트는 전자상거래 환경 하에서 중소부품제조업체의 판매력 향상에 실질적으로 도움이 되는 가상생산 에이전트의 모델을 제안하고 이를 구현, 검증했다는데 그 의의가 있다.

또한 중소부품제조업체의 대부분이 영세성으로 인해 주문관리와 생산관리가 제대로 이루어지지 않고 있어 본 연구에서는 이를 해결하기 위한 노력의 일환으로 중소부품제조업체의 주문처리를 위한 선정 에이전트의 구조와 방법론을 제시하였다. 나아가 구매자와의 협상을 위해 본 연구에서는 그 동안 이론적 연구로만 진행되었던 Time-Bounded Negotiation Framework(TBNF)을 실제 응용 환경인 중소부품제조업체에 적용하고 가상생산시스템과 연계하였다는 점에 의의가 있다. 또한 기존의 에이전트 기반 연구들이 에이전트간 메시지 교환 프로토콜에서 내부 협력을 위한 조정과 외부협상을 위한 메커니즘을 통합적으로 제시하지 못하였는데, 이를 TBNF를 이용하여 제시한 점이 기여라고 할수 있다. 무엇보다도 본 연구의 가장 큰 기여는 이제까지 개별적으로 연구되어 왔던 공정계획이나 일정계획 그리고 협상 등의 에이전트에 관한 연구를 전체적인 관점에서 시스템을 통합하였다는 것과 실제 문제에 적용할 수 있는 방법론을 제안하였다는 것이다. 유전 알고리즘에서는 incremental 일정계획을 수립할 수 있게 하여 주문의 동적인 특성을 반영하였다. 또한 실험결과에서 보듯이 접수된 주문이 생산 능력을 초과하였을 경우 가장 이익이 큰 집합을 선정하고 탈락된 주문에 대해서는 예상 납기일 정보 제공하여 협상에 임할 수 있도록 하고 있다.

전자상거래에서의 협상의 필요성은 MIT 대학의 Media Laboratory에서 연구한 결과에서도 알 수 있다. 이 연구에서 밝힌 전자상거래에서의 구매행동모형(CBB Model: Consumer Buying Behavior Model)에 의하면 구매자는 ① The Identification of The Need, ② The Product Brokering, ③ The Merchant Brokering, ④ The Negotiation, ⑤ The Purchase and Delivery, ⑥ The Service Evaluation의 여섯 단계에 따라 구매행동이 이루어진다.

1 단계는 구매자가 자신의 구매의욕을 인식하는 단계이며, 2 단계는 어떤 물건을 살 것인지를 검색하는 단계, 3 단계는 검색된 물건들을 누구에게서 살 것인지를 정하는 단계, 4 단계는 판매

자와 협상을 하는 단계, 5 단계는 구입과 배달이 이루어지는 단계, 6 단계는 구매자의 평가가 이루어지는 단계이다. 현재 2 단계와 3 단계는 어느 정도 온라인 상에서도 지원이 되고 있지만 4 단계 즉 협상은 지원되지 않고 있다. 따라서 거래의 전반을 온라인에서 자동으로 지원하기 위해서는 거래를 위한 협상기능이 제공되어야 하며 따라서 협상기능은 전자상거래를 위한 핵심 요소 기술이다

본 연구에서도 내부의 일정계획을 비롯한 생산시스템과 연계하여 협상에 임할 수 있도록 하였으며 이는 여러 분야에서 응용될 수 있을 것으로 생각된다. 예를 들면 SCM(Supply Chain Management)에서 기존 공급자들과의 납기 및 가격에 관한 협상에서나 또는 새로운 공급자와의 협상과정에서도 사용될 수 있다. 또한 본 연구에서와 같이 공급자(판매자) 입장에서 기존 구매자나 새로운 구매자와의 협상에서도 적용 될 수 있을 것이다.

기존 전자상거래 어플리케이션에도 적용될 수 있다. 한 예를 들면 Dell 컴퓨터는 인터넷을 통하여 사용자가 원하는 사양의 컴퓨터를 판매하고 있다. 구매자가 Dell의 웹사이트를 통해 자신이 원하는 컴퓨터의 사양을 정하면 Dell은 해당 컴퓨터의 가격과 인도일을 알려 준다. 이때 만약 구매자가 보다 빠른 시기에 물건을 배송 받고자 할 경우, Dell은 자사의 조립일정과 연계하여 해당 인도일이 가능한지를 실시간으로 파악하여 구매자의 요구에 대응해야 한다. 그러나 현재의 Dell 웹사이트는 이러한 기능을 갖추고 있지 않다. 따라서 만약 Dell의 웹사이트에서 협상기능을 갖추고 구매자의 요구에 보다 적극적으로 대응할 수 있다면 거래가 보다 활성화 될 것이다.

향후 과제로 잠재 구매자와 공급업체를 검색하고 이들에게 인터넷을 이용하여 보다 공격적이고 적극적인 홍보활동을 자동으로 수행할 수 있는 검색 에이전트 및 홍보 에이전트의 방법론 개발과 이의 실질적 구현에 관한 연구가 계속되어야 하며 협상을 테스트하기 위한 상대 협상 에이전트의 구현이 남아 있다.

〈참 고 문 헌〉

[1] 박병주, "정적 및 동적 Job Shop 일정계획 수립을 위한 혼합 유전알고리즘의 개발," 동아대학교 대학원 산업공학과 박사학위 논문, 1999.

[2] 오정수, "사출금형의 공정설계 전문가 시스템 개발에 관한 연구," 부산대학교 대학원 산업공학과 석사학위논문, 1991.

[3] Baker, A., H.V.D. Parunak and K. Erol, "Manufacturing over the Internet and into Your Living Room: Perspectives from the AARIA Project," *ECECS Dept.*, Technical Report TR208-08-97, 1997.

[4] Balasubramanian, Sivaram, Douglas H, Norrie, "A Multi-Agent Intelligent Design System Integrating Manufacturing And Ship-Floor Control," 1995, http://ksi.cpsc.ucalgary.ca/projects/mediator.

[5] Chuter, C.J., S. Ramaswamy and K.S. Barber, "A Virtual Environment for Construction and Analysis of Manufacturing Prototypes," 1995, http://www.cs.umd.edu/~regli/asme.ps.

[6] Chavez, A. and P. Maes, "Kasbah: An Agent Marketplace for Buying and Selling Goods," MIT Media Lab, 1996, http://agent.www.media.mit.edu/groups/agents/publications/kasbah-paam96.ps.gz.

[7] Choi, H., Kim, H., Lee, C., "Development of A Virtual Manufacturing Agent in EC Market Place," *Proceedings of Decision Sci-*

ence Institute, 2000, pp. 497-499.

[8] Choi, H., Kim, H., Park, Y., Kim, K., Joo, M. and Shon, H., "A Sales Agent for Part Manufacturers: VMSA," *Decision Support Systems*, 28, 2000, pp. 333-346.

[9] Choi, R., Kim' H., Park, Y., Park, B. and Whinston, A., *An Agent for Selecting Optimal Order Set in EC Marketplace*, Proceedings of PACIS-2001, 20001, pp. 490-508.

[10] Franklin, S. and A. Graesser, "Is it an Agent or just a program?: A Taxonomy for Autonomous Agents," Proceedings of the 3rd International Workshop on Agent Theories, Architecture, and Language, Springer-Verlag, 1996, http://www.msci.memphis.edu/~franklin/AgentProg.html.

[11] Giffler, J. and G.L. Thompson, "Algorithms for Solving Production Scheduling Problems," *Operations Research*, 8, 1960, pp. 487-503.

[12] J. Rosenschein and G. Zlotkin, "Rules of Encounter: Designing Conventions for Automated Negotiation among Computers," MIT Press, 1994.

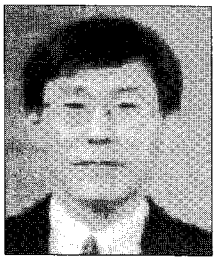
[13] Lee, K., Chang, Y. and Lee, J., "Time-Bound Negotiation Framework for Electronic Commerce Agents," Decision Support Systems, 28, 2000, pp. 319-331.

[14] Manne, A.S., "On the Job-Shop Scheduling Problem," *Operations Research*, Vol. 8, No. 2, 1960.

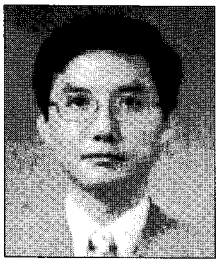
[15] Nissen, M., "Intelligent Agent: A Technology and Business Application Analysis," 1995.

[16] Shen, W. and D.H. Norrie, "Agent-Based Systems for Intelligent Manufacturing: A State-of-the-Art Survey," *Knowledge and Information Systems*, Vol. 1, No. 2, 1999, pp. 129-156.

◆ 저자소개 ◆

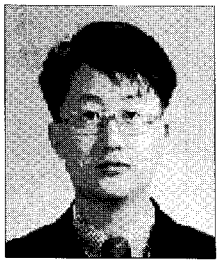


최형림 (Choi, Hyung Rim)
서울대학교 경영학과를 졸업하고, 한국과학기술원에서 경영정보시스템으로 석사 및 박사학위를 받았다. 주요 경력으로는 1979년부터 1986년까지 한국과학기술원 경제분석실 연구원으로 근무하였으며, 1987년부터 동아대학교 경영정보과학부 교수로 재직중이다. 그리고 1999년 12월부터 2000년 11월까지 University of Texas at Austin의 Center for Research in Electronic Commerce에서 객원교수로 연구활동을 수행하였다. 주요 관심분야는 생산관리를 비롯한 경영관리에의 인공지능기술 응용, 전자상거래 관련 기술 개발이다.

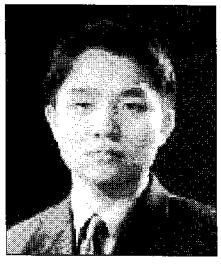


김현수 (Kim, Hyun Soo)
서울대학교 경영대학을 졸업하고, 한국과학기술원(KAIST)에서 경영정보학 석사 및 박사를 취득하였고, University of Texas at Austin 객원교수와 현재 동아대학교 경영정보과학부 부교수로 재직하고 있다. 주요 관심분야는 멀티에이전트를 이용한 제조업 및 물류에서의 전자상거래 응용, 디지털 제품의 관점에서 정보시스템의 투자전략 등이며 지능정보시스템, 전자상거래 관련한 저서와 논문을 발표하고 있다.

박영재 (Park, Young Jae)
부산외국어대학교 경영정보학과를 졸업하고, 동아대학교 대학원 경영정보학과에서 석사학위를 취득하였으며 동 대학원에서 박사과정을 수료하였다. 주요 경력으로는 1998년 7월부터 2000년 2월까지 과학기술부 · 한국 과학재단 지정 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터 전임연구원으로 근무하였으며, BK21 핵심분야 동아대학교 에이전트기반 전자상거래팀에서 연구를 수행하고 있다. 주요 관심분야는 제조기업간 전자상거래를 위한 지능형 기술의 활용이다.



박병주 (Park, Byoung Joo)
동아대학교 산업공학과에서 학사, 석사, 박사 학위를 취득하고, 현재 동아대학교 BK21 에이전트 기반 전자상거래팀에서 박사후 과정 중이다. 주요 관심분야는 Scheduling, 최적화 기법, Intelligent agent system 등이다.



이경전 (Lee, Kyoung Jun)
KAIST 경영과학과 학사와 석사, 산업경영학 박사학위를 취득하고, 서울대 행정대학원에서 석사학위를 취득하였다. 미국 카네기멜론대 초빙과학자, 국제전자상거래 책임연구원, 고려대 경영대학 조교수, KAIST 산업공학과 초빙교수를 역임하였으며, 현재 서울대 행정대학원 초빙조교수로 재직중이다. 인공지능 응용, 에이전트 기반 전자상거래, 인터넷 사업 모형과 전자정부서비스 모형, Peer-to-Peer 컴퓨팅 분야 등에 논문을 발표하였다.

◈ 이 논문은 2002년 8월 29일 접수하여 1차 수정을 거쳐 2002년 10월 15일 게재확정되었습니다.