

유전 알고리즘을 적용한 지능형 ATP 시스템 개발

김태영
동양미래대학 경영학부
(tykim@dongyang.ac.kr)

ERP, SCM 등과 같은 기업용 정보 시스템을 활용함에 있어, 고객의 문의에 따라 제품 판매 가능 유무와 가능일자를 계산하여 통보해 주는 지능형 ATP 시스템은 전산 정보를 활용하여 고객 만족도를 최대화할 수 있는 유용한 기능이라고 할 수 있다. 그렇지만 공급 사슬 환경에서 ATP 시스템을 적용하려고 할 경우, 고객이 문의해 온 Retailer에게 납품 가능한 모든 분배센터(Distribution Center)와 공장(Plant)의 미래 시점의 재고량 변화와 운송 능력 등을 모두 고려하여야 하므로 계산량이 방대한 NP-Complete 문제가 된다. 따라서 시스템 사용자가 빠른 시간 내에 해를 구하여 고객에게 결과를 알려 줄 수 있는 ATP 시스템의 개발은 공급 사슬 관리를 효과적으로 활용하기 위하여 반드시 필요한 일이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 동적 생산 함수의 개념을 이용하여 비 정수 타임 락을 고려하여 ATP 시스템을 모델링하고, 해당 수리 모형으로부터 효율적으로 해를 얻기 위하여 유전 알고리즘을 개발하였다. 비 정수 타임 락을 활용한 ATP 시스템은 비 정수 타임 락을 올림이나 내림을 통하여 정수화 시킨 후 모형 수립하는 기존의 방법보다 정교하게 현실을 반영할 수 있고, ATP 시스템을 위한 유전 알고리즘의 진화 시스템은 문제크기가 작은 것에서부터 큰 것까지 최적해에 매우 근사한 값을 매우 빠른 시간 내에 풀 수 있음을 알 수 있었다.

논문접수일 : 2010년 11월 24일

게재확정일 : 2010년 12월 08일

교신저자 : 김태영

1. 서 론

ATP(Available-to-Promise) 시스템은 고객으로부터 주문을 받으면서 고객이 희망하는 날짜와 수량에 맞추어 기업이 납품할 수 있는가 확인하는 시스템이다. ATP의 개념은 기존 생산 계획(MPS)를 수립할 때 이미 기존에 약속된 수량이 얼마만큼 존재하는가를 계산하는 것이었지만, 이후 공급 사슬 관리에서 판매자가 고객에게 납기 가능 여부를 확인하고 통지하는 부분을 ATP 시스템이라고 부르게 되면서 ATP의 개념이 과거에 비하여 크게 확장되었다(김태영과 함용석, 2009).

공급 사슬 환경에서 ATP 시스템은 고객에게

납품이 가능한 모든 대리점이나 판매점을 조사하고, 해당 대리점이나 판매점에 배송이 가능한 물류 창고를 확인하여 납품 가능 여부를 판단하게 된다. 이때 시간의 흐름에 따라 입고 예정량과 출고 예정량을 반영하여, 고객이 희망하는 납기일까지 각 시점별로 각 거점의 미래 재고량을 계산하여야 한다. 또한 운송로에서의 배송 가능 여부와 배송비용을 확인하여, 최적의 방식으로 재고를 보유하고 운송을 진행하였을 때 고객에게 납품할 수 있는 방법을 결정할 수 있어야 한다. 따라서 ATP 시스템은 다중의 판매점, 물류센터, 생산 거점을 고려하고, 각 거점을 연결하는 운송로를 고려하면서, 각 거점의 생산 예정 수량과 재고 보유 예정 수량을

파악하여 고객이 희망하는 수량의 최적 납품일자
와 고객 희망 납기일까지의 납품 가능 여부를 계
산하게 된다.

ATP와 관련한 연구는 SCM이 본격적으로 대
두된 2000년대 이후 국내외에서 활발하게 진행되
어 왔다. 우선 국내의 연구를 살펴보면, 심승배 등
(2000)은 SCM에서 ATP의 역할을 고찰하고 ATP
모듈의 필요성을 연구를 진행하였다. Yang과 Choi
(2003)는 글로벌 기업에서 ATP 시스템을 SCM 환
경에서 구축하여 활용하는 방법에 대하여 연구를
진행하였다. Han 등(2002)은 분배센터 중심으로
ATP 시스템이 안전재고를 고려하여 운영할 수 있
는 방안을 제안하였다. 김태영과 함용석(2009)은
동적 생산 함수(dynamic production function)를
이용하여 비정수 타임 락(time lags)의 개념을 수
리모형에 반영하고 LP 형태로 ATP 문제를 모델
링하였으며, 이를 통하여 최적해를 도출할 수 있는
ATP 시스템을 제안하였다.

해외에서도 ATP 시스템에 대하여 활발히 연구
가 진행되어 왔다. Xiong 등(2003)은 동적(dynamic)
BOM을 기반으로 하는 유연한 ATP 시스템에 대
하여 연구하였다. Chen 등(2002)은 배치 주문을
처리할 수 있는 ATP 시스템을 AATP(Advanced
ATP)라는 이름으로 제안하였으며, Pibernik(2005)
는 기존의 ATP 시스템과 AATP 시스템을 선택하였
을 때의 차이를 비교 분석하고 평가하였다. Moses
(1999)는 주문량이 변화하는 불확실한 수요 환경
에서 수요의 변화를 피드백 할 수 있도록 여유 시
간(time buffer)을 활용하는 방법을 제안하였으며,
Moses 등(2004)은 동적으로 변화할 수 있는 시간
환경에서의 ATP 시스템의 활용 방안으로 확장하
여 연구하였다. Dobson, Stavroulaki(2003)는 주문
생산방식으로 제조가 이루어질 때 ATP 시스템이
고려하여야 하는 중요한 요소로는 기업의 생산 능

력이라는 것을 설명하고, 그러한 상황에서 ATP
시스템이 최적 생산 계획과 함께 활용될 수 있는
방안을 제안하였다. Jung 등(2003)은 PDP와 같은
하이테크 산업에서 고가의 제품에 대하여 주문생
산방식(Make-To-Order)으로 제품의 생산이 이루
어지는 환경에서, 고객의 주문에 따라 생산 시스템
과 연동하여 납기 회답을 실시하는 ATP 시스템을
연구하였다.

기존의 ATP에 대한 연구들은 정수배의 시간
단위를 주로 고려하고 있다는 한계를 가지고 있다.
실제 ATP 프로세스의 상황을 정확하게 반영하기
위하여 시간을 비음의 실수 범위에서 고려한 김태영
과 함용석(2009)의 연구는 비정수 타임 락을 활용
하여 이러한 문제를 극복하였지만, 고객 납품량이
나 각 거점의 재고 보유량 등의 주요 결정변수 값
이 실수인 것으로 가정하고 LP 형태로 모델링하
였다는 문제를 갖고 있다. 근본적으로 물류 시스템
에서 취급되는 물동량의 정수 단위이지 실수일 수
없으며, 따라서 물동량을 실수로 가정한 것은 비현
실적이라고 할 수 있다.

본 논문에서는 기존의 김태영과 함용석(2009)의
연구에서 실수로 가정하였던 각 물류 거점의 시점
별 재고량, 각 운송로의 시점별 운송량, 생산 거점
의 생산량 등의 결정변수 값을 모두 정수 값으로
계산함으로써, 실제로 업무 현장에서 활용할 수 있
는 현실적인 ATP 시스템을 제안한다. 이 때 ATP
계산을 위한 수리모형은 혼합정수계획법(MIP)의
형태를 갖게 되며, LP에 비하여 계산량이 많아지
고 가능한 시간 내에 해를 구하기 어려워진다는
단점을 갖게 된다. 따라서 본 연구에서는 혼합정수
계획법으로 모델링된 수리모형이 NP-complete이
더라도 가능 시간 동안 해를 구하여 활용할 수
있도록 하는 ATP 시스템을 위한 유전 알고리즘
(Genetic Algorithm)을 개발하였다. 이를 통하여

기존의 ATP 관련 연구들이 갖고 있었던 비현실적인 제약을 제거하고 정수의 결정변수 값을 가질 수 있도록 하면서, 가능한 시간 내에 해를 구할 수 있는 지능형 ATP 시스템을 개발하여 제안한다.

이후 논문의 전개는 다음과 같다. 제 2장에서는 동적 생산 함수를 활용한 비정수 타임 락을 고려한 ATP를 위한 수리 모형을 기존의 김태영과 함용석(2009)의 연구와는 달리 혼합정수계획법(MIP)의 형태로 제시한다. 제 3장에서는 제시된 수리 모형을 통하여 ATP 프로세스가 가능한 시간 내에 해를 구할 수 있도록 하는 유전 알고리즘을 제시한다. 제 4장에서는 제안한 수리 모형과 유전 알고리즘의 타당성을 수치 예제를 통하여 검증하고, 마지막 제 5장에서는 결론 및 추후 연구에 대해 설명한다.

2. 수리 모형

2.1 기호 정의

본 연구에서 사용되는 기호는 다음과 같으며, 수리 모형과 기호 정의는 김태영과 함용석(2009)의 연구를 토대로 한 것이다.

<참자>

- f : 공장(factory, plant)
- w : 물류 센터(distribution center)
- c : 고객(customer)
- t : 시간(time)
- p : 제품(product)

<입력 모수>

- $dd(c, p)$: p 제품에 대한 고객 c 의 희망 납기일
- $N_{c, dd(c, p)}$: 희망 납기일 $dd(c, p)$ 를 갖는 p 제품

- 에 대한 고객 c 의 주문량
- D_{cpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 고객 c 의 주어진 수요(과거에 받아들인 주문)
- $W'(f)$: 공장 f 에 의하여 제품을 공급받을 수 있는 물류 센터의 집합
- $W(c)$: 고객 c 에 제품을 공급할 수 있는 물류 센터의 집합
- $F(w)$: 물류 센터 w 에 제품을 공급할 수 있는 공장의 집합
- $C(w)$: 물류 센터 w 에 의해 제품을 공급받을 수 있는 고객의 집합
- $Fc_{capa_{ft}}$: 기간 t 에서 공장 f 의 생산 가용 능력
- $TWc_{capa_{fwt}}$: 기간 t 에서 공장 f 와 물류 센터 w 사이의 운송 가용 능력
- $TCc_{capa_{wct}}$: 기간 t 에서 물류 센터 w 와 고객 c 사이의 운송 가용 능력
- $Ic_{capa_{cpt}}$: 기간 t 에서 p 제품에 대한 물류 센터 w 의 저장 가용 능력
- $I'c_{capa_{fpt}}$: 기간 t 에서 p 제품에 대한 공장 f 의 저장 가용 능력
- lr_{fp} : 공장 f 에서 p 제품의 단위 생산 리드 타임
- $\delta(c, p)$: p 제품에 대한 고객 c 의 새 주문을 위한 계획 기간 한계, (계획 기간의 끝 = $dd(c, p) + \delta(c, p)$)
- ub_{cpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 고객 c 의 잔고 상한
- $tt(f, w)$: 공장 f 와 물류 센터 w 사이의 운송 시간
- $tt(c, w)$: 물류 센터 w 와 고객 c 사이의 운송 시간
- ec_{cpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 고객 c 의 빠른 도착 비용(earliness cost)
- tc_{cpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 고객 c 의

lc_{cpt} : 늦은 도착 비용(tardiness cost)
: 기간 t 에서 p 제품에 대한 고객 c 의
새 추가 잔고 벌칙 비용(penalty cost)

<결정 변수>

α_{cpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 고객 c 의
새로운 주문의 할당량,
 β_{cpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 고객 c 의
새로운 추가 잔고(새 주문에 의해
생성)
 nX_{fpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 공장 f 의
생산량
 $I_{\wp t}$: 기간 t 에서 p 제품에 대한 물류 센터
 w 의 재고량
 I'_{fpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 공장 f 의
재고량
 TW_{fwpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 공장 f 와
물류 센터 w 사이의 운송량
 TC_{wcpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 물류 센터
 w 와 고객 c 사이의 운송량
 B_{cpt} : 기간 t 에서 p 제품에 대한 고객 c 의
잔고(과거 주문에 의해 생성)

2.2 수리 모형의 전개

본 연구에서 ATP 시스템의 수리 모형을 수립하기 위하여 사용하는 동적 생산 함수의 개념은 Hackman과 Leachman(1989)의 연구를 기초로 하고 있으며, 김태영과 함용석(2009)의 수리 모형에서 각 결정 변수에 대한 실수 가정을 제거하고 정수 형태로 수리 모형을 수립하면 다음과 같다.

X_{pt} 를 기간 t 에서 p 제품의 생산량이라고 하고, I_{pt} 를 기간 t 에서 p 제품의 재고량, d_{pt} 가 기간 t 에서 p 제품의 수요라고 할 때, 다제품을 갖는 일반적

인 재고 균형식(balance equation)에서 타임 락(time lag)을 고려하지 않은 기본 형태는 다음과 같다.

$$I_{p(t-1)} - I_{pt} + X_{pt} = d_{pt}, \quad \forall p, t \quad (1)$$

p 제품에 대한 타임 락(time lag)을 LT_p 하고, 식 (1)의 재고 균형식을 타임 락을 고려한 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$I_{p(t-1)} - I_{pt} + X_{p(t-LT_p)} = d_{pt}, \quad \forall p, t \quad (2)$$

이 때 식 (2)에서 $X_{p(t-LT_p)}$ 는 $t-LT_p$ 기간 동안 p 제품의 생산량이 된다. 여기에서 p 제품에 대한 타임 락 LT_p 가 정수 값이 아닌 비정수라면 $t-LT_p$ 도 비정수 값이 되며 식 (2)는 유효한 식이 아니게 된다는 문제가 발생한다. 생산이 연속적으로 진행될 때나 수배송이 연속적으로 진행될 때, 기간에 해당하는 부분은 근본적으로 정수값을 갖는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 기간 $t=2$, $t-LT_p = 0.8$ 일 때 발생하는 1.2기간과 같은 비정수 기간에 대한 생산량은 제대로 파악할 수 없다. 기간을 정수로 가정하는 것은 관습적인 오류라고 할 수 있다.

이러한 상황을 해결하기 위해 동적 생산 함수(dynamic production function)의 개념을 사용하면, τ 를 아주 작은 시간 단위라고 하고 식 (2)를 다음과 같이 바꿀 수 있다.

$$I_{p0} - I_{pt} + \sum_{\tau=1}^t X_{p(\tau-LT_p)} = \sum_{\tau=1}^t d_{p\tau}, \quad \forall p, t \quad (3)$$

식 (3)도 식 (2)와 마찬가지로 타임 락(time lag)

이 정수인 경우에 대한 재고 균형식이다. 식 (3)을 동적 생산 함수(dynamic production function)를 통해 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$I_{pt} = I_{p0} - \sum_{\tau=1}^t d_{p\tau} \quad (4)$$

$$+ \begin{cases} tX_{p(-LT_p)^+} & \text{if } t-LT_p < (-LT_p)^+ \\ [(-LT_p)^+ + LT_p]X_{p(-LT_p)^+} + \sum_{(-LT_p)^+ < \tau \leq (t-LT_p)^+} X_{p\tau} & \\ + [(t-LT_p) - (t-LT_p)^-]X_{p(t-LT_p)^-} & \text{otherwise} \end{cases}$$

이와 같이 실수 x 에 대하여 x^+ 는 x 와 같거나 x 보다 큰 가장 작은 정수라고 하고, x^- 는 x 와 같거나 x 보다 작은 가장 큰 정수라고 하자. 식 (4)에서 p 제품에 대한 타임 락(time lag)을 LT_p 라 하고 이와 관련된 부분을 설명하면, $tX_{p(-LT_p)^+}$ 은 적분의 상하한 경계가 동일한 기간 안에 있게 될 때 발생할 수 있는 경우를 고려하여 생산량을 타임 락(time lag)만큼의 비율로 계산하여 준 식이고, $[(-LT_p)^+ + LT_p]X_{p(-LT_p)^+}$ 와 $[(t-LT_p) - (t-LT_p)^-]X_{p(t-LT_p)^-}$ 는 적분 범위 안에 포함된 첫 기간과 끝 기간의 생산량을 계산해 준 식이며,

$\sum_{(-LT_p)^+ < \tau \leq (t-LT_p)^-} X_{p\tau}$ 는 해당 기간 안의 생산량을 간단하게 합하는 식이다.

식 (4)는 Hackman과 Leachman(1989)의 연구에서 전구간에 대한 동적 생산 함수(dynamic production function)를 적분한 것을 바탕으로 연속적인 시간 흐름을 이산화 시켜 나타낸 것이다. 본 연구와 같이 $(-LT_p)$ 가 항상 음이 될 경우에는 이 부분이 고려하지 않아도 되는 구간이 되므로, 식 (4)를 식 (5)와 같이 간략하게 표현할 수 있다.

$$I_{pt} = I_{p0} - \sum_{\tau=1}^t d_{p\tau} \quad (5)$$

$$+ \left[\sum_{0 < \tau \leq (t-LT_p)^-} X_{p\tau} + \{(t-LT_p) - (t-LT_p)^-\} X_{p(t-LT_p)^-} \right]$$

본 연구가 다루는 ATP 시스템에서는 $(-LT_p)$ 에 대한 구간은 고려하지 않아도 되기 때문에, 식 (5)는 동적 생산 함수(dynamic production function)를 0에서부터 적분한 것을 바탕으로 이산화시켜 표현한 것이다.

본 연구에서는 다제품을 여러 공장(multi plant)에서 생산하고 여러 물류 센터(multi distribution)를 통하여 여러 고객들(multi customer)에게 납품하는 상황을 가정한다. 이러한 상황에서 본 연구가 제안하는 ATP 모형은 김태영과 함용석(2009)이 제안한 모형에서 결정 변수가 실수라는 비현실적인 제약을 제거하고 정수해를 구하도록 하였으며, 혼합정수계획법(MIP) 형태로 모델링하였다. 이 때 $LT_p = LA_p + LB_p$ 이다.

MIP :

$$\text{Min} \sum_c \sum_p \sum_t^{dd(c,p)} (ec_{cpt} \times \alpha_{cpt}) \quad (6)$$

$$+ \sum_c \sum_p \sum_{t=dd(c,p)+\tau}^{dd(c,p)+\delta(c,p)} \{(tc_{cpt} \times \alpha_{cpt}) + (lc_{cpt} \times \beta_{cpt})\}$$

subject to

$$I'_{fp0} - I'_{fpt} + \sum_{0 < \tau \leq (LA_p + LB_p)^-} X_{fp\tau} \quad (7)$$

$$+ [\{t - (LA_p + LB_p)\} - \{t - (LA_p + LB_p)\}^-] X_{fp(t - (LA_p + LB_p))^-}$$

$$= \sum_{w \in W(f), \tau}^t TW_{fw\tau}, \forall f, p, t$$

$$I_{wpt0} - I_{wpt} + \sum_{f \in F(w), 0 < \tau \leq (t - tt(f, w))^-} TW_{fwpt} \quad (8)$$

$$+ [\{t - (tt(f, w))\} - \{t - tt(f, w)\}^-] TW_{fwpt(t - tt(f, w))^-}$$

$$= \sum_{c \in C(w), \tau} TC_{wcp\tau} \quad \forall w, p, t$$

$$B_{cp0} - B_{cpt} + \sum_{0 < \tau \leq (LA_p + LB_p)^-} D_{cp\tau} + \quad (9)$$

$$\sum_{0 < \tau \leq (LA_p + LB_p)^-} \alpha_{cp\tau}$$

$$+ [\{t - (LA_p + LB_p)\} - \{t - (LA_p + LB_p)\}^-]$$

$$\times D_{cp(t - (LA_p + LB_p))^-}$$

$$+ [\{t - (LA_p + LB_p)\} - \{t - (LA_p + LB_p)\}^-]$$

$$\times \sum_{w \in W(c), \tau} TC_{wcp(\tau - tt(w, c))}$$

$$\forall c, p, t \in \{0 < t \leq dd(c, p)\}$$

$$B_{cp0} - B_{cpt} + \beta_{cp0} - \beta_{cpt} + \sum_{0 < \tau \leq (LA_p + LB_p)^-} D_{cp\tau} \quad (10)$$

$$+ \sum_{0 < \tau \leq (LA_p + LB_p)^-} \alpha_{cp\tau}$$

$$+ [\{t - (LA_p + LB_p)\} - \{t - (LA_p + LB_p)\}^-]$$

$$\times D_{cp(t - (LA_p + LB_p))^-}$$

$$+ [\{t - (LA_p + LB_p)\} - \{t - (LA_p + LB_p)\}^-]$$

$$\times \alpha_{cp(t - (LA_p + LB_p))^-}$$

$$\times \sum_{w \in W(c), \tau} TC_{wcp(\tau - tt(w, c))}$$

$$\forall c, p, t \in \{dd(c, p) + \tau \leq t \leq dd(c, p) + \delta(c, p)\}$$

$$\sum_t \alpha_{cpt} = N_{cpdd(c, p)}, \quad \forall c, p \quad (11)$$

$$\sum_p (lr_{fp} \times X_{fpt}) \leq F_{cap_{fp}}, \quad \forall f, t \quad (12)$$

$$\sum_p TW_{fwpt} \leq TW_{cap_{fw}}, \quad \forall f, w, t \quad (13)$$

$$\sum_p TC_{wcp} \leq TC_{cap_{wc}}, \quad \forall w, c, t \quad (14)$$

$$I'_{fpt} \leq I'_{cap_{fp}}, \quad \forall f, p, t \quad (15)$$

$$I_{wpt} \leq I_{cap_{wp}}, \quad \forall w, p, t \quad (16)$$

$$0 \leq B_{cpt} \leq ub_{cpt}, \quad \forall c, p, t \quad (17)$$

$$X_{fpt} \geq 0, \text{ int.} \quad \forall f, p, t \quad (18)$$

$$I'_{fpt} \geq 0, \text{ int.} \quad \forall f, p, t \quad (19)$$

$$I_{wpt} \geq 0, \text{ int.} \quad \forall w, p, t \quad (20)$$

$$TW_{fwpt} \geq 0, \text{ int.} \quad \forall f, w, p, t \quad (21)$$

$$TC_{wcp} \geq 0, \text{ int.} \quad \forall w, c, p, t \quad (22)$$

$$\alpha_{cpt} \geq 0, \text{ int.} \quad \forall c, p, t \quad (23)$$

$$\beta_{cpt} \geq 0, \text{ int.} \quad \forall c, p, t \quad (24)$$

목적식 (6)은 빠른 도착 비용과 늦은 도착 비용 및 추가 잔고 벌칙비용의 합을 최소화하는 것으로 구성되어 있다. 제약식 (7)은 p 제품에 대한 공장 f 와 물류 센터 w 사이의 생산(production), 재고(inventory), 운송(transportation)을 고려한 재고 균형식(balance equation)이고, 제약식 (8)은 p 제품에 대한 공장 f 와 물류 센터 w 사이의 생산, 재고, 운송을 고려한 재고 균형식이다. 제약식 (9)는 과거 주문에 의해 결정된 할당에 관한 재고 균형식이고, 제약식 (10)은 과거 주문에 의해 결정된 할당에 새로운 주문에 대한 잔고 부담 요소(backlog)를 추가하는 것에 관한 재고 균형식이다. 이와 같이 식 (7)~식 (10)의 재고 균형식에 대하여 동적 생산 함수의 개념이 적용되었다.

본 논문은 김태영과 함용석(2009)의 연구에서 비현실적으로 고려되었던 각 결정변수가 실수라는 가정을 제거하여, 식 (18)~식 (24)에서 보는 바와 같이 정수 조건으로 모델링하였다.

3. 유전 알고리즘 개발

3.1 유전자 개체 정의

해의 집단에 있는 m번째 개체를 V_m 이라고 하자. 결정 변수가 첨자(index)와 함께 있으면 복잡해 보이므로, 유전 알고리즘 설계 과정에서는 X_{fpt} 는 X , TW_{fwpt} 는 q , I_{wpt} 는 I , I'_{fpt} 는 I' , TC_{wpt} 는 Q , α_{cpt} 는 α , β_{cpt} 는 β 로 단순하게 재정의하여 활용하고자 한다. V_m 은 식 (25)와 같이 정의할 수 있으며, 각각의 결정변수는 식 (26)~식 (32)와 같다. 단, pop_size 는 해집단의 크기를 뜻한다.

$$V_m = [X_m q_m I_m I'_m Q_m \alpha_m \beta_m] m = 1, 2 \dots, pop_size \quad (25)$$

$$X_m = [x_{m111} \dots x_{m11T} X_{m121} \dots X_{m12T} \dots X_{mFIT}] \quad (26)$$

$$q_m = [q_{m1111} q_{m1112} \dots q_{m111T} q_{m112T} \dots q_{m11KT} \dots q_{m1IKT} \dots q_{mFIKT}] \quad (27)$$

$$I_m = [I_{m111} \dots I_{m11T} I_{m121} \dots I_{m12T} I_{m1KT} \dots I_{mIKT}] \quad (28)$$

$$I'_m = [I'_{m111} \dots I'_{m11T} I'_{m121} \dots I'_{m12T} I'_{m1IT} \dots I'_{mFIT}] \quad (29)$$

$$Q_m = [Q_{m1111} Q_{m1112} \dots Q_{m111T} Q_{m1121} \dots Q_{m112T} \dots Q_{m11LT} \dots Q_{mKLT}] \quad (30)$$

$$\alpha_m = [\alpha_{m111} \dots \alpha_{m11T} \alpha_{m121} \dots \alpha_{m12T} \alpha_{m1LT} \dots \alpha_{mLLT}] \quad (31)$$

$$\beta_m = [\beta_{m111} \dots \beta_{m11T} \beta_{m121} \dots \beta_{m12T} \beta_{m1LT} \dots \beta_{mLLT}] \quad (32)$$

제 2장에서 제안한 모형을 풀기 위하여, 해의 유전자 개체 표현은 해의 값을 변형없이 사용한다 (Goldberg, 2002). V_m 에 들어가는 요소는 식 (25)와 같이 ATP 시스템을 위한 결정 변수들로 구성된다. 유전 알고리즘으로 해를 구할 때는 복잡한 재고 균형식의 제약식을 벗어나는 가능하지 않은

해를 도출할 수 있으므로, 벌금함수를 적용하여야 한다.

초기 모집단 생성절차는 <그림 1>과 같다.

```

begin
  repeat
    repeat
       $\alpha \leftarrow randomize()$ 
       $\beta \leftarrow randomize()$ 
      if  $0 < t \leq dd(c, p)$  then
         $Q \leftarrow D_{cpt} + \alpha$ 
      elseif  $dd(c, p) < t \leq dd(c, p) + \delta(c, p)$  then
         $Q \leftarrow D_{pt} + \alpha + \beta_{t-1} - \beta_t$ 
      end
       $I, q, I', X \leftarrow randomize()$ 
    until ( $\forall t$ )
     $\alpha_m \leftarrow \alpha_t, \beta_m \leftarrow \beta_t$ 
     $Q_m \leftarrow Q_t, I_m \leftarrow I_t, q_m \leftarrow q_t, I'_m \leftarrow I'_t,$ 
     $X_m \leftarrow X_t$ 
  until ( $pop\_size$ )
end
    
```

<그림 1> 모집단 생성 절차

본 연구가 제안하는 ATP 시스템을 위한 유전 알고리즘에서는 균등 교차(uniform crossover)와 균등 돌연변이(uniform mutation)의 방법을 사용하고 있으며, 이러한 유전 연산자를 위한 확률 생성 방법은 Sirinivas와 Patnaik(1994)가 제안한 기법을 활용하였다. 현 세대의 모집단으로부터 다음 세대에 생존할 개체를 선택하는 부분에 대해서는 개체의 적응 함수값에 비례하여 개체가 선택될 확률을 부과하는 룰렛 휠(roulette wheel) 기법을 활용하여 생존할 개체를 선택하였다. 본 알고리즘에

서 활용하는 평가함수는 식 (33)과 같으며, 이 때 식 (25)의 각 결정변수에 가중치를 반영하여 총 합을 구한 형태를 갖게 된다.

$$f(V_m) = hI_m^T + pX_m^T + HI_m^T + ca_m^T + CQ_m^T + e\alpha_m^T + I\beta_m^T \quad (33)$$

3.2 ATP 시스템을 위한 유전 알고리즘

본 연구에서 ATP 시스템을 위하여 제안하는 유전 알고리즘은 <그림 2>와 같다.

Step 1 : (초기화) 모집단 크기 *pop_size*, 세대 수 *max_gen*을 정한 후 유전자 개체 표현에 맞는 초기모집단을 임의로 생성한다.

Step 2 : (초기모집단) 초기모집단 생성절차에 따라 초기모집단을 생성한다.

Step 3 : (교배) 균등 교배 연산을 한다.

Step 4 : (돌연변이) 균등 돌연변이 연산을 한다.

Step 5 : (평가)

5-1 : V_m 의 실행가능해 여부를 검사한다.

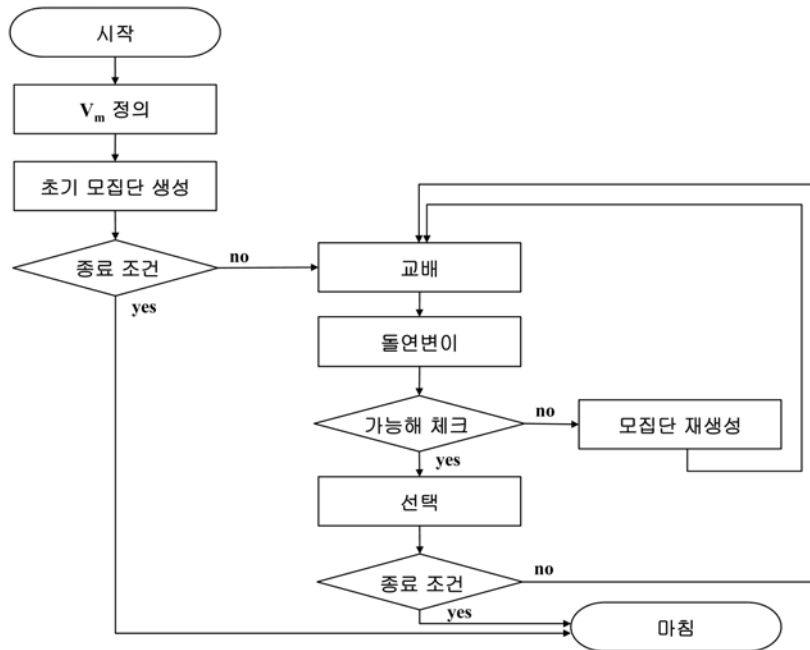
5-2 : V_m 이 비가능해이면, 재생성 절차를 수행한 후 단계 3으로 간다.

그렇지 않으면, 식 (33)의 평가함수를 사용하여 평가를 위한 최종 V_m 을 계산한다.

Step 6 : (선택) 룰렛 휠을 통하여 선택과정을 수행한다.

Step 7 : (종료조건)

$t = max_gen$ 이면 종료한다. 그렇지 않으면 단계 3으로 간다.



<그림 2> ATP 시스템을 위한 유전 알고리즘의 수행 절차

4. 수치예제

4.1 입력 모수

ATP 시스템은 고객에게 납기일정을 확약해 주는 것이다. 따라서 ATP 시스템에서는 각 거점의 재고량과 생산량, 품질량을 파악할 수 있어야 한다. 이에 따라 CPLEX로 구한 해와 제안한 ATP를 위한 유전 알고리즘 수행 결과를 비교하였다. 고객의 수요에 대하여 공장의 갯수, 취급 제품의 수, 물류 센터의 수, 고객 등을 증가시켜가면서 제안한 ATP 시스템을 수리모형과 유전 알고리즘을 평가하였다.

수치 예제를 활용한 평가는 2GB 메모리와 펜티엄IV(Intel Pentium IV processor 2.6 GHz)를 장착하고 Windows XP에서 구동되는 IBM 호환 PC 환경에서 알고리즘을 평가하는 실험을 수행하였다. 특히 제안한 ATP를 위한 유전 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여, 혼합정수계획법(MIP) 형태의 수리 모형에 대한 최적 해를 구할 수 있는 IBM ILOG사가 개발한 상업용 최적해 솔루션 CPLEX 9.1을 활용하여 해를 구하여 제안 알고리즘의 결과와 비교 하였다.

ATP시스템을 평가하기 위하여 필요한 주요 입

<표 1> ATP 시스템을 위한 입력 모수

입력 모수	값
공장 보관비용	0.70
물류 센터 보관비용	0.70
생산 비용	0.20
운송 비용	0.05
빠른 도착 비용	0.03
늦은 도착 비용	0.03
추가잔고 벌칙비용	0.20

력 모수는 공장 보관 단가, 물류 센터 보관 단가, 생산 단가, 빠른 도착 단가, 늦은 도착 단가, 추가 잔고 벌칙 단가 등이다. 본 연구의 수치 예제에서 사용한 주요 입력 모수는 <표 1>과 같다. 본 연구에서는 입력 모수와 수요 데이터로 김태영과 함용석(2009)의 연구에서 제시된 것과 동일한 입력 데이터를 사용하였으며, 고객의 수요는 <표 2>와 같다.

본 연구에서는 기존의 김태영과 함용석(2009)의 연구에서 ATP를 위한 결정 변수가 비현실적인 실수로 가정되었던 것과는 달리, 주요 결정 변수가 정수 조건을 갖는 것으로 가정하여 수리 모형을 수립하였으며, 이러한 정수해를 계산해 낼 수 있는 유전 알고리즘 개발하여 실험을 실시하였다. <표 3>은 본 연구와 기존의 김태영과 함용석(2009) 연구의 차이를 보인 것이고, <표 4>는 CPLEX를 활용하였을 때와 본 연구에서 개발한 ATP 유전 알고리즘을 활용하였을 때의 차이를 보인 것이다.

<표 2> ATP 시스템을 위한 수요 자료

기간	수요	기간	수요	기간	수요	기간	수요
1	0	14	157	27	273	40	241
2	0	15	276	28	268	41	28
3	0	16	187	29	212	42	53
4	24	17	301	30	261	43	21
5	69	18	274	31	297	44	309
6	35	19	0	32	3	45	36
7	5	20	276	33	199	46	17
8	155	21	172	34	5	47	268
9	55	22	229	35	315	48	143
10	169	23	165	36	264	49	85
11	250	24	216	37	53	50	4
12	309	25	105	38	32		
13	244	26	306	39	235		

<표 3> 기존 LP 모형과 제안 MIP 모형의 재고 수준 및 품질량 계산 결과 비교

공장	제품	물류센터	고객	기간 수	기존 LP모형		제안 MIP 모형	
					재고	품질	재고	품질
1	1	1	1	10	127.39	0.00	142	0.00
1	1	1	1	50	119.23	0.00	210	0.00
2	3	2	4	10	332.99	0.00	350	0.00
2	3	2	4	50	521.11	0.00	615	0.00

<표 4> 제안 유전 알고리즘과 CPLEX 솔버의 비용 최적해 및 계산 시간 비교

공장	제품	물류센터	고객	기간 수	CPLEX		제안 유전 알고리즘	
					최적해(비용)	CPU Time(s)	최적해(비용)	CPU Time(s)
1	1	1	1	10	567	308	570	250
1	1	1	1	50	5138	3241	5120	1428
2	3	2	4	10	3607	2104	3466	1652
2	3	2	4	50	43651	15312	43450	7650

<표 3>을 보면 김태영과 함용석(2009)이 제안한 기존 LP 모형에 비하여 결정변수를 정수로 구해내도록 하는 본 연구가 제안하는 MIP 모형에서 더 큰 재고량이 나타나는 것을 확인할 수 있다. 그렇지만 기존의 LP 모형에 비하여 아주 큰 재고를 보유하지는 않고 있음을 알 수 있다. 더불어 본 연구에서도 김태영과 함용석(2009)의 연구와 마찬가지로 동적 생산함수를 활용하여 모델링한 결과, 품질이 발생하지 않도록 하는 효과를 거두고 있다.

<표 4>를 살펴보면, CPLEX를 사용하였을 때와 본 연구에서 지능형 ATP 시스템을 위하여 개발한 유전 알고리즘의 사용하였을 때의 최적해 값이 거의 유사하다는 것을 확인할 수 있다. 본 연구가 제안한 유전 알고리즘은 CPLEX가 Gomory Cutting Plan 기법으로 해를 도출한 결과와 3% 미만의 오차를 보이면서도, 계산 시간에 있어서 공급 사슬의 주요 구성 요소가 많아지면서 문제의 크기가 커질수록 CPLEX에 비하여 훨씬 더 빠르게 해

를 도출해 내었다. 이를 통해 본 연구가 제안하는 유전 알고리즘이 충분히 최적해에 가까운 해를 계산해 내면서도 비약적으로 빠른 계산 속도를 보인다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 고객의 주문에 대응하기 위하여 활용하는 ATP 시스템을 위하여 혼합정수계획법(MIP) 형태의 수리 모형을 제안하고, 이러한 모형에 대하여 해를 구할 수 있는 유전 알고리즘을 개발하였다. 이를 통하여 공급 사슬 관리를 진행하면서 생산, 재고, 운송에 관련한 모든 제약 조건을 고려하면서 고객 주문에 대응할 수 있는 지능형 ATP 시스템을 개발하였다. 특히 기존 ATP 연구가 가지고 있었던 비현실적인 LP 모형의 가정을 현실적인 정수 형태로 개선하였으며, 혼합정수계획법 문제를 빠른 시간 안에 풀 수 있는 유전 알고

리듬을 개발함으로써 ATP 시스템의 효용성을 크게 높인 것이 특징이다.

향후 연구과제로는 고객이 희망하는 제품을 생산 현장의 생산 계획까지 고려하면서 생산 능력의 가능 여부를 제약 조건으로 하여 ATP 시스템의 역할과 통합 생산 계획 수립의 역할을 함께 수행할 수 있도록 하는 CTP(Capable to promise) 시스템으로 ATP 모형을 확장하는 것을 들 수 있다.

참고문헌

- 김태영, 함용석, “공급 사슬 관리를 위한 비 정수 타임 락을 갖는 ATP(Available-to Promise) 시스템”, *대한경영학회지*, 22권, 6호 (2009), 3673~3691.
- 심승배, 한주윤, 정봉주, “공급사슬경영에 있어서의 납기 회신 시스템”, *IE Interface*, Vol.13, No.3(2000), 405~415.
- 함용석, 김태영, 알기 쉬운 생산운영관리 - 생산이론부터 ERP 실무지식까지, 서울 : 두남, 2010.
- Chen, C. Y., Z. Zhao and M. O. Ball, “Quantity and Due Date Quoting Available to Promise”, *Information Systems Frontiers*, Vol.3, No.4(2001), 477~488.
- Chen, C. Y., Z. Zhao and M. O. Ball, “A Model for Batch Advanced Available-To-Promise”, *Production and Operations Management*, Vol.11, No.4(2002), 424~440.
- Cheng T. C. E., “Optimal Due-date Assignment in an Assembly Shop”, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol.14, No.2(1994), 31~42.
- Dobson, G. and E. Stavroulaki, “Capacitated, finish-to-order production planning with customer ordering day assignments”, *IIE Transactions*, Vol.35, (2003), 445~455.
- Goldberg, D. E., *The Design of Innovation*, Kluwer Academic Pub., MA, 2000.
- Hackman, S. T., and R. C. Leachman, “A General Framework for Modeling Production”, *Management Science*, Vol.35, No.4(1989), 478~495.
- Han, J. Y., H. S. Jeong, J. T. Jeon and B. J. Jeong, “Development of an Efficient ATP System Using Safety Stock Level in Supply Chain Management”, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.2, No.1 (2002), 31~40.
- Jeong, B. J., S. B. Sim, H. S. Jeong and S. W. Kim, “An Available-to-Promise (ATP) System for TFT LCD Manufacturing in Supply Chain”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol.43, No.1~2(2002). 191~212.
- Jung, H., I. Song, B. Jeong and W. Yoo, “An Optimized ATP (Available-to-Promise) System for Make-to-Order Company in Supply Chain Environment”, *International Journal of Industrial Engineering-Theory Applications and practice*, Vol.10, No.4 (2003), 367~374.
- Kim, N. H., S. J. Noh, G. N. Wang and S. C. Rim, “Production Planning and Order Receiving System for Capable-To-Promise in Supply Chain Management”, *IE Interfaces*, Vol.13, No.3(2000), 396~404.
- Kim, J. S., K. Y. Shin, Y. C. Kim and C. W. Moon, “Integrated production/distribution planning with non-integer time lag in supply chain using adaptive genetic algorithm”, *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.4, No.2 (2004), 71~81.
- Kim, J. S., K. Y. Shin and C. W. Moon, “A frame of the integrated production/distribution model with non-integer lags”, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol.31, No.2(2005), 120~126.

- Moses, S. A., "Due Date Assignment Using Feed-back Control with Reinforcement Learning", *IIE Transactions*, Vol.31, (1999), 989~999.
- Moses, S., H. Grant, L. Gruenwald and S. Pulat, "Real-time due-date promising by build-to-order environments", *International Journal of Production Research*, Vol.42, No.20(2004), 4353~4375.
- Pibernik, R., "Advanced available-to-promise: Classification, selected methods and requirements for operations and inventory management", *International Journal of Production Economics*, Vol.93~94, (2005), 239~252.
- Srinvas, M. and L. M. Patnaik, "Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation in Genetic Algorithms," *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, Vol.24, (1994), 656~667.
- Xiong, M. H., S. B. Tor and L. P. Khoo, "WebATP: a Web-based flexible available-to-promise computation system", *Production Planning and Control*, Vol.14, No.7(2003), 662~672.
- Xiong, M. H., S. B., Tor, L. P. Khoo and C. H. Chen, "A web-enhanced dynamic BOM-based available-to-promise system", *International Journal of Production Economics*, Vol.84, No.2(2003), 133~147.
- Yang, J. H. and Y. S. Choi, "A Case Study on Implementation of Global ATP System for A Global Manufacturing Company", *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.3, No.1(2003), 33~40.

Abstract

Development of Intelligent ATP System Using Genetic Algorithm

Tai-Young Kim

The framework for making a coordinated decision for large-scale facilities has become an important issue in supply chain(SC) management research. The competitive business environment requires companies to continuously search for the ways to achieve high efficiency and lower operational costs. In the areas of production/distribution planning, many researchers and practitioners have developed and evaluated the deterministic models to coordinate important and interrelated logistic decisions such as capacity management, inventory allocation, and vehicle routing. They initially have investigated the various process of SC separately and later become more interested in such problems encompassing the whole SC system. The accurate quotation of ATP(Available-To-Promise) plays a very important role in enhancing customer satisfaction and fill rate maximization.

The complexity for intelligent manufacturing system, which includes all the linkages among procurement, production, and distribution, makes the accurate quotation of ATP be a quite difficult job. In addition to, many researchers assumed ATP model with integer time. However, in industry practices, integer times are very rare and the model developed using integer times is therefore approximating the real system.

Various alternative models for an ATP system with time lags have been developed and evaluated. In most cases, these models have assumed that the time lags are integer multiples of a unit time grid. However, integer time lags are very rare in practices, and therefore models developed using integer time lags only approximate real systems. The differences occurring by this approximation frequently result in significant accuracy degradations.

To introduce the ATP model with time lags, we first introduce the dynamic production function. Hackman and Leachman's dynamic production function in initiated research directly related to the topic of this paper. They propose a modeling framework for a system with non-integer time lags and show how to apply the framework to a variety of systems including continues time series, manufacturing resource planning and critical path method. Their formulation requires no additional variables or constraints and is capable of representing real world systems more accurately. Previously,

* School of Management, Dongyang Mirae University

to cope with non-integer time lags, they usually model a concerned system either by rounding lags to the nearest integers or by subdividing the time grid to make the lags become integer multiples of the grid. But each approach has a critical weakness: the first approach underestimates, potentially leading to infeasibilities or overestimates lead times, potentially resulting in excessive work-in-processes. The second approach drastically inflates the problem size.

We consider an optimized ATP system with non-integer time lag in supply chain management. We focus on a worldwide headquarter, distribution centers, and manufacturing facilities are globally networked. We develop a mixed integer programming(MIP) model for ATP process, which has the definition of required data flow. The illustrative ATP module shows the proposed system is largely affected inSCM. The system we are concerned is composed of a multiple production facility with multiple products, multiple distribution centers and multiple customers. For the system, we consider an ATP scheduling and capacity allocation problem.

In this study, we proposed the model for the ATP system in SCM using the dynamic production function considering the non-integer time lags. The model is developed under the framework suitable for the non-integer lags and, therefore, is more accurate than the models we usually encounter. We developed intelligent ATP System for this model using genetic algorithm. We focus on a capacitated production planning and capacity allocation problem, develop a mixed integer programming model, and propose an efficient heuristic procedure using an evolutionary system to solve it efficiently. This method makes it possible for the population to reach the approximate solution easily.

Moreover, we designed and utilized a representation scheme that allows the proposed models to represent real variables. The proposed regeneration procedures, which evaluate each infeasible chromosome, makes the solutions converge to the optimum quickly.

Key Words : Intelligence Management System, ATP(Available-to-Promise), Genetic Algorithm

저자 소개



김태영

현재 동양미래대학 경영학부에서 전임강사로 재직 중이다. 한양대학교 산업공학
과에서 학사, 석사 학위 및 공학박사 학위를 취득하였다. (주)정보지식연구소(소프
트파워)의 프로세스공학연구소에서 주임연구원으로 재직한 바 있으며, 주요 기업
용 전산 시스템 ERP, SCM, Groupware 등의 S/W의 업무 프로세스 및 DB 구조를
설계하고 업무처리 기능 모듈을 개발하였다. 주요 관심분야는 SCM, ERP, CRM와
같은 기업용 경영 정보 시스템과 생산 및 물류 시스템이며, Applied Mathematical Modelling, Informatica
등과 같은 국제 저명 학술지에 연구 논문을 게재한 바 있다. 현재 산업계의 다양한 응용 시스템을
경영 과학(OR)의 모델링 방법론과 유전 알고리즘, DEA 등의 기법을 토대로 분석하는 연구를 진행하
고 있다.