

단일기간 재고품목의 생산/분배계획 문제를 위한
Evolutionary Ant Colony Optimization

홍성철, 박양병
경희대학교 테크노공학대학 기계·산업시스템공학부

**The Evolutionary Ant Colony Optimization for Production/Distribution Planning
Problems with Single-period Inventory Products**

Sung-Chul Hong, Yang-Byung Park
Mechanical and Industrial Systems Engineering, College of Advanced Technology,
Kyung Hee University, Yongin 449-701

Abstract

일정한 시간이 지나면 제품으로서의 가치가 사라지게 되는 단일기간 재고품목들은 생산된 직후 전량 각 고객들에게 주어진 납기에 맞추어 효율적인 분배가 요구된다. 본 연구에서는 고객들은 다수 종류의 제품을 주문할 수 있으며 제품종류별 분리배송을 허용하는 상황에서 생산비, 수송비, 납기위반비, 차량고정비를 최소화하기 위한 생산순서 및 차량경로를 수립함을 목적으로 한다. 이에 대한 해법으로써 진화개미해법을 개발하였다. 개발된 해법의 성능평가를 위해 각 고객의 위치, 주문 제품 종류, 주문량들을 다르게 하여 구축한 실험문제에 대하여 유전알고리즘해법과 비교실험을 수행하였다.

1. 서론

단일기간 재고품목은 일간지, 생활정보지, 부패성 식품, JIT 제품 등과 같이 일정한 시간이 지나면 제품으로서의 가치가 사라지게 되고 생산에서 재고를 허용하지 않으며, 고객에 대한 배송에서는

납기준수가 절대적이다. 생산과 분배의 완충역할을 하는 재고가 존재하지 않음으로 생산계획은 분배계획에 크게 영향을 미치게 된다. 즉, 한 종류의 생산이 완료되는 시각에 따라 그 제품에 대한 배송차량의 출발시각이 결정되게 되므로 생산계획과 배송계획은 반드시 통합적인 관점에서 이루어져야 한다.

단일기간 재고품목의 생산/분배계획에 관한 지금까지의 연구는 주로 일간지에 대하여 이루어져 왔다. Hurter and Buer(1996), Buer *et al.*(1999), 박양병과 홍성철(2003) 등이 대표적이다. 그러나, 단일기간 재고품목들 중 부패성 식품, JIT 제품 등과 같은 제품들은 일간지의 지역판과 달리 주문 제품의 종류가 지역별로 나누어지지 않으며 한 고객은 다수 종류의 제품들을 주문한다. 이러한 상황에 대한 연구는 현재 미비한 상태이다. 따라서, 본 연구에서는 보다 일반적인 적용을 위해 주문제품이 지역별로 구분되지 않고 다수 종류의 주문이 존재하는 단일기간 재고품목의 생산/분배계획을 정의하고 이에 대한 해법으로서 유전알고리즘해법과 진화개미해법 (Evolutionary Ant Colony Optimization, EACO)을 제안한다. 유전

알고리즘해법은 일간지의 생산/분배 문제를 위하여 개발되었으나 본 연구에서 고려한 상황에 맞추어 변형되었다.(박양병과 홍성철, 2003) 그리고, 진화개미해법은 기존의 개미해법에 대한 새로운 변형으로서 개미군집간에 정보교환을 통해 사회적인 진화를 기본 개념으로 하고 있다. 각 고객의 위치, 주문 제품 종류, 주문량들을 다르게 하여 구축한 실험예제에 대하여 제안된 해법들의 성능을 비교하였다.

2. 단일기간 재고품목의 생산/분배계획 문제

단일 생산시설에서 다수 종류의 제품들이 주문된 수량만큼 제품별 일괄 생산된다. 생산준비 시간은 직전 생산된 제품의 종류에 따라 다른 것으로 가정하였다. 배송차량의 출발시각은 선적될 제품들의 최종 생산완료시각에 선적시간을 더하여 계산되고 선적완료후 곧바로 출발하여 주어진 납기내에 배송을 완료한다. 복수 종류의 제품들의 혼재가 가능하며 제품별 분리(split) 배송은 허용한다. 모든 고객들에게 희망납기(soft time deadline)와 반드시 지켜야 하는 절대납기(hard time deadline)가 주어져 있다. 납기지연은 지연된 물량과 시간에 비례하여 계산된다.

이러한 단일기간 재고품목에 대한 생산/분배계획 문제의 목적은 생산시간, 차량이동시간, 납기지연 차량수의 최소화이다. 그러나, 이들 요소들을 총비용으로 합하려면 각 비용요소들의 환산인자들을 결정해야 하는 어려움이 있다. 따라서, 유전알고리즘해법과 진화개미해법에 공통적으로 전체적인 관점에서 이들 요소들을 고려하기 위해 정규화된 수정적합도 함수를 사용하였다. 즉, 간단한 휴리스틱으로 다양한 해들을 구한후 각 요소별로 최대치, 최소치를 이용하여 정규화된 최대화 문제로 변환하여 그 합을 적합도 함수로 사용하였다.

3. 유전알고리즘 해법(GA)

일간지 생산/분배 계획을 위한 해법으로써 개발된 유전 알고리즘을 이용한 통합계획 해법(박양병과 홍성철, 2003)을 본 문제에 맞게 변형하였다. 주요 변경 및 추가사항은 혼재를 허용하도록 변형하였고 교차변이와 돌연변이로 생성된 개체들에 대하여 동일한 차량경로 내에 같은 고객지점이 다른 종류 제품의 주문에 대하여 서로 분리되어 있을 경우 이를 조정해 주는 Repair 부분이 추가되었다.

4. 진화개미해법(EACO)

본 연구에서는 일간지 생산/분배 계획을 위한 해법으로써 새로운 진화개미해법(Evolutionary Ant Colony Optimization; EACO)을 제안한다. 다수의 개미들로 구성된 개미군집들은 각각 독립적으로 해를 탐색한 후 우수 유인물질을 획득한 후 그 수집된 정보들을 선별하여 군집간에 교환함으로써 사회적인 진화를 한다.

• 유전자의 표현

각 개미군집들은 서로 다른 유인물질 정보를 가지고 있다. 이 유인물질은 모든 가능한 생산순서(a, b)와 차량경로의 가능한 모든 지점간의 이동경로(i, j)에 대해 우수한 해에 포함될 확률의 의미를 갖는다. 그림 1과 같이 이 행렬정보를 그대로 2차원의 유전자로 표현함으로써 선별된 개미군집들 간의 우수한 해를 탐색했던 정보를 교환하여 진화 하고자 한다. 이러한 유전자의 표현은 기존의 생산순서나 차량경로문제의 해를 유전자로 표현한 것과는 다른 것이며 어떠한 까다로운 제약조건과도 무관하게 유전 연산자를 실행할 수 있게 된다.

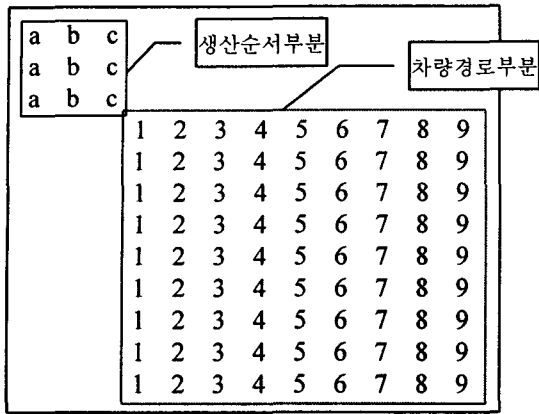


그림 1. 2차원 개체의 표현

• 2 차원 2-Point 교차(2-dimension 2-point crossover)

개체의 표현이 2차원으로 되어 있으므로 교차점은 행과 열에 각각 1개씩 임의로 생성한다. 단, 첫번째와 두번째 교차점이 생산순서부분 또는 차량경로부분에 함께 생성되도록 한다. 그림 2와 같이 생산부분에서 교차점 발생시 교차점보다 작은 부분만 두 개체들간에 교환이 이루어지고 반대로 차량경로부분에서 교차점이 발생되면 그 교차점보다 큰 부분만 교환이 이루어지게 한다. 이는 생산/분배계획과 같은 통합문제에서 두 부분이 동시에 교환되어질 경우 해탐색의 방향이 혼란되므로 해탐색이 수렴되지 못할 가능성이 높다. 따라서, 1회의 교차에서는 생산순서부분 또는 차량경로부분에 대해서만 선택적으로 교차가 이루어지도록 유도한 것이다.

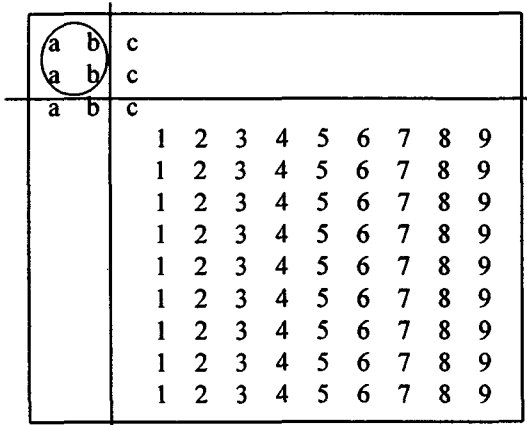


그림 2 생산순서부분 교차

• 진화개미해법의 절차

제안된 진화개미해법의 각 군집내의 진행과정은 Bullnheimer *et al.*(1999)의 과정을 기본으로 하고 있다. 그러나, 생산순서 결정부분과 차량경로 결정부분에서의 결정 기준은 본 생산/분배계획문제에 맞도록 변형되었고, 보다 적은 개미 수로 다양한 탐색을 위하여 개미들의 출발점에 대하여 타부리스트를 적용하였다. 지역최적화기법은 각 군집내의 가장 우수한 해에 대해서만 2-opt와 Or-opt를 각각 1회씩 적용하였다. 각 군집들간의 교차를 위하여 항상 유인물질 흔적 수정후 평균이 0.5가 되도록 조정하였다. 전체적인 과정은 다음과 같다.

For $t=1$ to 반복횟수

For $m=1$ to 개미군집수

For $a=1$ to 개미수

- 해의 구축(Random-proportional rule)

$$p_{ij} = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}]^{\alpha} [\eta_{ij}]^{\beta}}{\sum [\tau_{ij}]^{\alpha} [\eta_{ij}]^{\beta}} & \text{if } (i, j) \text{ is feasible,} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

η_{ij} : 해탐색기준(생산순서결정후 차량경로결정)

τ_{ij} : 유인물질(pheromone)

Next a

- 가장 우수한 해에 대하여 지역최적화기법 1회 적용

- 해의 순위에 유인물질 흔적 수정

$$\tau_{ij}(t+1) = \rho\tau_{ij}(t) + \sum_{r=1}^{w-1} (w-r)\Delta\tau_{ij}^r(t) + w\Delta\tau_{ij}^*(t)$$

ρ : 유인물질흔적 유지율, w : 개미수, r : 순위

$\Delta\tau_{ij}^r(t)$ = 적합도 / (총생산시간 + 총차량이동시간)^r (t)

*: 개미군집내 가장 우수한 해

- 적합도 평가 및 우수 개미군집 선별

- 2차원 2점 교차

Next m, t

5. 계산실험

두 해법의 성능 비교를 위해 단일기간 재고 품목에 대한 생산/분배계획문제의 예제를 구축하였다. 100개의 고객지점으로부터 주문은 한 고객지점당 최대 3개 종류의 제품까지 허용하여 총 170개의 주문으로 구성되었다.

공장의 위치는 (40,40), 고객지점의 x 와 y 좌표 값은 [5,85]의 일양분포에 따라 정하였다. 제품 주문량은 [10,45]의 일양분포, 차량용량은 350, 희망납기와 절대납기는 200과 250으로 설정하였고 공장에서 제품별 생산시간은 단위당 [0.03,0.04]의 일양분포, 최초 생산준비시간은 [10,15]의 일양분포, 제품 의존 생산준비시간은 [2,9]의 일양분포에 따라 정하였다. 제품단위당 선적 및 하역시간은 0.02로 모든 제품에 대해 동일하게 가정하였다

혼성유전알고리즘 해법은 모집단 크기=60이며 초기 모집단의 10%는 휴리스틱을 통해서 얻어진 해를 사용하였고 나머지는 임의로 생성하였다 교차율(P_c)는 0.75, 돌연변이율(P_m)의 초기값은 0.1로 하였다. 두 해법의 종료조건은 100세대이다. 그리고 진화개미해법은 개미군집수=10, 군집내 개미수=6, 유인물질의 초기값=0.5로 설정하였다. 해구축 과정에서 $\alpha=0.1$, $\beta=1.0$, $\rho=0.95$ 유인물질혼적 증가량은 상위순위의 3개 개체에 대해서만 고려하였다 생산순서부분과 차량경로부분에서 개미들의 출발점에 대한 타부리스트의 길이는 각각 2, 6으로 실험하였다. 계산실험은 IBM PC 호환 Pentium IV(256M RAM, 1.4GHz)에서 수행하였으며 예제에 대한 유전알고리즘해법과 진화개미해법의 적용결과를 <표 1>에 정리하였다.

표 1. 예제에 대한 세가지 해법의 총비용 비교

해법	생산 시간	이동 시간	납기 지연 시간*물량	차량 수	수정 적합도	계산시간(초) /세대수
GA	182.8	739.5	55784.3	14	3.49	729(53 세대)
EACO	184.8	803.0	57574.0	13	3.43	608(11 세대)
최대치	222.8	3866.5	110961.4	44	-	-
최소치	182.3	799.5	0.0	13	-	-

(*) 수정적합도 = $\sum(\text{최대치}-x)/(\text{최대치}-\text{최소치})$

6. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 혼재가 허용되고 다수 종류의 제품에 대한 주문이 가능한 단일기간 재고품목에 대한 생산/분배계획문제를 위하여 유전알고리즘과 진화개미해법을 제시하였다. 예제에 대한 실험결과, 두 해법의 해는 비슷한 결과를 보였으나 동일한 세대수에 소요되는 계산시간은 진화개미해법의 계산시간이 훨씬 오래 걸렸다. 또한, 효과적인 탐색을 수행하지 못하였다. 이에 대한 문제점을 해결하기 위한 연구가 현재 진행 중에 있으며 좋은 해를 탐색했던 정보가 유인물질에 적절히 저장되어 효과적인 해탐색이 이루어지도록 개미의 수의 조절, 단위 증가량 결정, 유인물질혼적 유지율의 결정, 개미군집간 유인 물질의 균형을 조절하는 방법에 대한 결과를 이번 학술대회에서 발표하고자 한다.

참고문헌

- 박양병, 홍성철(2003), 일간지 생산-배송문제를 위한 혼성유전알고리즘, 2003 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회, FB1.4.
- Buer, M.G.V., Woodruff, D.L. and Olson, R.T.(1999), Solving the Medium Newspaper Production/Distribution Problem, *European Journal of Operational Research*, **115**, 237-253.
- Hurter, A.P. and Buer, M.G.V.(1996), The Newspaper Production/Distribution Problem, *Journal of Business Logistics*, **17**(1), 85-107.
- Solomon, M.(1987), Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints, *Operations Research*, **35** (2), 254-265.
- Bullnheimer, B., Hartl, R.F. and Strauss, C.(1999), An Improved Ant System Algorithm for the Vehicle Routing Problem, *Annals of Operations Research*, **89**, 319-328.