

## 혼합탐색방법에 의한 열간압연공정에서 일정계획작성문제의 한가지 풀이법

김경복, 리광원

위대한 령도자 김정일 동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《과학자, 기술자들은 사회주의경제발전의 요구에 맞게 인민경제 모든 부문의 생산기술공정과 생산방법, 경영활동을 새로운 과학적토대위에 올려세우는데서 나서는 과학기술적문제를 전망성있게 풀어나가야 하겠습니다.》(《김정일선집》 증보판 제11권 138페이지)

열간압연공정에서 압연일정계획작성문제는 다중순회판매원문제(MTSP)[1, 2]로서 이 문제풀이에 유전알고리즘이나 타브탐색법이 리용된다.

유전알고리즘은 일반성이 강하고 적용범위가 넓으며 대역탐색능력이 높은것으로 하여 대역최량화에 대하여 효과적이지만 국부탐색능력이 약하고 조기수렴에 잘 빠지는 결함이 있다. 한편 타브탐색은 국부탐색능력이 강하고 조기수렴현상을 방지하는데 효과적이지만 초기풀이에서 대역적최량성이 보장되지 않는 결함을 가지고있다.[3] 그러므로 유전알고리즘과 타브탐색의 우점들을 서로 결합하면 효과성이 매우 높은 최량탐색알고리즘을 작성할수 있다.[4-6]

본문에서는 유전알고리즘과 타브탐색의 혼합탐색방법을 리용한 열간압연일정계획작성문제의 한가지 풀이법을 제안하고 모의실험을 통하여 효과성을 평가하였다.

### 1. 열간압연생산공정의 MTSP모형

열간압연생산공정에서 매 압연기들의 압연일정계획작성은 한 교대에 압연하여야 할 강괴들에 대하여 압연순서를 반영한 생산회전들을 작성하는것이다. 여기서 생산회전은 하나의 롤 및 공형을 리용하여 정해진 규격들을 생산하는 련속적인 생산을 말한다.

열간압연일정계획작성문제를 MTSP로 전환하기 위하여 우리는  $M$ 개의 가상점을 설정하였는데 이 가상점들은  $M$ 개의 닫힌경로를 판매원이 모두 방문할수 있도록 련결해주는 역할을 한다.

이제  $N$ 개의 강변(강괴번호)이  $M$ 개의 회전에서 압연된다고 가정하자.

이러한  $N$ 개의 강변은  $M$ 개의 판매원에 의한 련행으로 간주될수 있는  $N$ 개의 점과  $M$ 개의 회전으로 표현할수 있다. 다시말하여  $N$ 개의 강변은  $M$ 개의 롤 및 공형이 방문할수 있는  $N$ 개의 도시라고 말할수 있다.

따라서 압연일정계획작성문제는 한 판매원이  $N+M$ 개의 도시를 방문하는 TSP로 축소된다.

한편 변수들을 다음과 같이 정의하자.

$$X_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{압연기대 } m \text{의 같은 회전에서 강변 } i \text{ 후에 강변 } j \text{가 스케줄될 때} \\ 0, & \text{그렇지 않을 때} \end{cases}$$

$$i, j \in \{1, \dots, N\}, \quad i \neq j, \quad m \in \{1, \dots, 5\}$$

$$X_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{압연기대 } m \text{의 } i-N \text{회전에서 강변 } j \text{가 먼저 스케줄될 때} \\ 0, & \text{그렇지 않을 때} \end{cases}$$

$$i \in \{N+1, \dots, N+M\}, \quad j \in \{1, \dots, N\}, \quad m \in \{1, \dots, 5\}$$

$$X_{ijm} = \begin{cases} 1, & \text{압연기대 } m \text{의 } i-N \text{회전에서 강변 } i \text{가 마지막으로 스케줄될 때} \\ 0, & \text{그렇지 않을 때} \end{cases}$$

$$i \in \{1, \dots, N\}, \quad j \in \{N+1, \dots, N+M\}, \quad m \in \{1, \dots, 5\}$$

그러면 수학적모형을 다음과 같이 정의할수 있다.

목적 함수

$$\begin{aligned} \min \sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} \sum_{m=1}^5 P_{ijm} X_{ijm} = \min & \left[ \sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} P_{ij1} X_{ij1} + \sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} P_{ij2} X_{ij2} + \right. \\ & \left. + \sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} P_{ij3} X_{ij3} + \sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} P_{ij4} X_{ij4} + \sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} P_{ij5} X_{ij5} \right] \end{aligned} \quad (1)$$

이때 제한조건은 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^{N+M} \sum_{m=1}^5 P_{ijm} X_{ijm} = 1, \quad j = \{1, \dots, N+M\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{N+M} \sum_{m=1}^5 P_{ijm} X_{ijm} = 1, \quad i = \{1, \dots, N+M\} \quad (3)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S \setminus \{i\}} X_{ijm} \leq |S| - 1, \quad S \subset \{1, \dots, N+M\}, \quad 2 \leq |S| \leq N+M-2 \quad (4)$$

$$X_{ijm} \in \{0, 1\}, \quad i, j \in \{1, \dots, N+M\}, \quad m = 1, \dots, 5 \quad (5)$$

여기서  $P_{ijm}$ 은 압연기대  $m$ 에서 강변  $i$ 다음에 강변  $j$ 를 스케줄하는데 드는 벌칙이다. 그리고 제한 (2)는 강변  $j$ 전에 어떠한 강변이 압연된다는것을 의미하고 제한 (3)은 강변  $i$ 후에 어떠한 강변이 압연된다는것을 의미한다. 그리고 제한 (4)는 적합한 풀이들에서 한 일감이 다시 스케줄될 때(경로가 반복될 때) 이것을 피할수 있게 한다. 제한 (5)는 0 혹은 1의 용근수값만을 가지는 변수를 요구한다.

모형의 풀이는 가상점으로부터의 매 출발마다에서  $M$ 개의 회전들로 구성되는 완성된 압연일정계획을 제공한다. 이러한 완성된 압연일정계획은 TSP에서 최량적인 경로에 대응되는데 이 문제는 혼합탐색알고리즘을 리용하여 풀수 있다.

## 2. 유전-타브혼합탐색방법에 의한 풀이알고리즘

유전알고리즘의 대역탐색능력과 타브탐색의 국부탐색능력을 결합한 혼합탐색알고리즘은 먼저 유전알고리즘을 리용하여 초기풀이를 얻은 다음 타브탐색을 리용하여 풀이를 얻는다. 즉 유전알고리즘을 리용하여 대역탐색을 진행하여 개체들을 풀이공간의 모든 영역에 놓이게 하고 타브탐색을 진행하여 국부탐색을 진행한다. 이렇게 하면 타브탐색의 실

행차수와 계산량을 줄일수 있다.

유전-타브혼합탐색법을 리용한 일정계획의 풀이알고리즘은 크게 2개의 단계를 가진다. 즉 유전알고리즘을 실행하는 단계와 타브탐색을 실행하는 단계이다.

단계 1(유전알고리즘의 실행)

전체적인 알고리즘의 초기풀이는 대상공정의 특성을 만족하는 강피 혹은 강편들의 압연순서를 배열하여놓은 하나의 배치로 볼수 있다. 따라서 여기에서는 유전알고리즘을 리용하여 풀이를 생성하고 그것을 전체적인 알고리즘의 초기풀이로 설정한다.

먼저 파라미터들인 최대세대수  $T$ , 개체군규모  $m$ , 교잡확률  $P_c$ , 변이확률  $P_m$ 을 설정하고 다음 부호화한다.

부호화방법으로는 순회판매원문제의 특성을 반영한 기호부호화방법을 리용한다. 즉 임의의 개체(유전자형)를 임의의 순회경로(표현형)로 대응시키는 방법을 리용한다.

① 적응도함수

우연적으로 초기개체군을 생성한다. 여기에는  $N+M$  개의 개체가 있다.

적응도함수는 다음과 같이 정의한다.

$$F(X) = \frac{1}{w_0 + f(x)} 10^4$$

여기서  $w_0$  은 적응도의 최대값을 규정하는 어떤 상수이며  $f(x)$  는 목적함수(순회경로에서 얻어지는 벌칙)로서 다음과 같이 계산한다.

$$f(x) = \sum_{i=1}^{N+M-1} P(x_i, x_{i+1}) + P(x_{N+M}, x_i)$$

여기서  $N+M$  은 전체 도시개수,  $x_i$  는  $i$  번째 위치의 도시번호,  $P(x_i, x_j)$  는 도시  $x_i$  로부터  $x_j$  로 가는데 얻어지는 벌칙이다.

② 선택조작

최대적응도개체보존전략을 리용하여 적응도가 가장 높은 개체를 선택한다. 매 개체(강피)는 벌칙을 가지는것으로 하여 그에 따르는 적응도를 가지며 벌칙이 큰 개체(강피)를 벌칙이 작은 개체(강피)로 교체한다. 즉 적응도가 큰 개체를 선택하는 원칙에서 개체선택을 진행한다.

③ 교잡조작

생성된 개체에서의 교잡조작은 개체의 매 요소들에 대한 전체적이고 일반적인 교잡연산을 진행하는것이 아니라 하나의 개체를 한 판매원(압연롤)이 여러 도시들(강변들과 압연롤을 포함)을 방문하는 여러개의 부분으로 나누고 매 부분에서 도시(강변)들에 한해서만 교잡을 진행한다.

④ 변이조작

일반적인 변이조작과는 달리 전체적인 개체구간에서 유전자자리를 임의로 선택하는 것이 아니라 판매원(압연롤)에 대해서만 임의로 변이를 진행한다. 이때 2개의 압연롤의 유전자자리가 선택되어 변이될 때 매 압연롤들에 해당하는 강변들 즉 해당하는 도시들도 선택된 압연롤들을 따라 각각 이동하여야 한다. 이때 앞부분의 압연롤들의 이동에 따라 뒤부분의 압연롤의 배열도 자동적으로 변하여야 한다.

### 단계 2(타브탐색의 실행)

유전알고리즘으로 얻어진 풀이를 초기풀이로 설정하고 타브탐색을 진행하여 최종적인 풀이를 얻는다.

#### ① 초기화

초기풀이로는 단계 1에서 유전알고리즘에 의하여 생성된 풀이인  $x_t^1, \dots, x_t^m$  으로 선정한다. 그리고 타브목록크기  $L$  을 설정한다.

#### ② 적응도평가

매 풀이에 대한 적응도를 계산한다. 적응도함수는 우에서와 마찬가지로 벌칙최소화의 원칙에서 다음과 같이 작성한다.

$$F(x_t^m) = \frac{1}{w_0 + f(x_t^m)} 10^4$$

#### ③ 후보풀이확정

현재의 풀이로부터 후보풀이를 확정한다. 모든 후보풀이가 타브목록에 들어가 있거나 탐색결과가 더이상 개선이 없다면 흡수기준을 리용하여 타브목록에 있는 풀이들을 후보풀이로 확정한다. 여기에서 흡수기준은  $F(x_t^m) \geq F(x_{t+1}^m)$  인 금지된 후보풀이  $x_t^m$  을 선택하는것으로 설정한다. 무효풀이가 생기는것을 방지하기 위하여 후보풀이목록에서 무효풀이로 되는 후보풀이들은 제거한다.

#### ④ 중지기준설정

중지기준은 대상의 특성과 문제의 규모에 따라 작성자가 여러가지 방식으로 설정할 수 있다. 논문에서는 알고리즘의 효과성을 검증하기 위하여 적응도가 설정된 편차값범위에서 개선되지 않을 때 즉  $F(x_t^m) \leq F(x_{t+1}^m)$  인 상태가 3번 지속되면 실행을 중지하는것을 중지기준으로 설정한다. 중지기준에 도달하면 탐색이 결속되고 결과를 출력한다.

## 3. 모의실험 및 분석

제기한 혼합탐색법의 성능을 평가하기 위하여 열간압연공정의 순회판매원문제에 대하여 풀이를 구하고 일정계획작성문제에서 가장 많이 리용되는 유전알고리즘[1]과 비교하였다. 생산규격에 대한 벌칙구조는 생산량이 많은 규격으로부터 작아지는 순서로 벌칙을 증가시켰는데 10~50사이에서 정하였다.

유전알고리즘은 앞에서 제기한 혼합탐색법에서 리용한 유전알고리즘을 그대로 리용하는데 이때 유전알고리즘의 파라미터들은 현장자료와 경험적자료에 기초하여 다음과 같이 설정하였다.

세대수  $T=20$ , 개체군크기  $N=20$ , 교잡확률  $P_c=0.9$ , 변이확률  $P_m=0.01$ , 초기풀이의 개수  $m=10$ , 타브목록의 크기  $L=2$

모의실험을 진행한 결과 유전알고리즘으로 생성된 최량경로는 1-2-3-10-9-5-4-6-8-7 이고 목적함수의 최량값은 381, 혼합탐색법으로 생성된 최량경로는 1-2-3-4-5-10-9-8-6-7 이며 최량값은 378로서 제안한 방법의 최량풀이에 대한 수렴속도가 빠르다는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

유전알고리즘과 타브탐색의 혼합탐색방법을 리용하여 순회판매원문제로 정식화한 열간압연일정계획작성문제의 한가지 풀이알고리즘을 제안하고 모의실험을 통하여 효과성을 평가하였다. 모의결과로부터 알수 있는바와 같이 혼합탐색법은 유전알고리즘보다 최량풀이에 대한 수렴속도가 빠르다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 60, 6, 31, 주체103(2014).
- [2] Lixin Tang et al.; ISIJ International, 1, 51, 2009.
- [3] S. Hanafi; Journal of Heuristic, 7, 47, 2000.
- [4] R. Chelouah et al.; European Journal of Operational Research, 123, 256, 2000.
- [5] 贾兆红 等; 计算机技术与发展, 17, 4, 147, 2007.
- [6] 梁迪, 等; 东北大学学报, 27, 8, 2006.

주체106(2017)년 6월 5일 원고접수

## **A Method for Solution of Scheduling Problems using Mixed Search Algorithm in Hot Rolling Process**

*Kim Kyong Bok, Ri Kwang Won*

We formulated hot rolling scheduling problems to traveling salesman problems using GA-Tab mixed search method, proposed a solution algorithm of this problem, and evaluated its effectiveness through simulation experiment. Simulation result shows that the mixed search method is faster in the rate of convergence for optimization solution than GA.

Key words: hot rolling process, scheduling problem, mixed search algorithm