

다중순회판매원문제를 리용한 열간압연공정 스케줄링의 한가지 방법

강호경, 전재경

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《과학자, 기술자들은 사회주의경제발전의 요구에 맞게 인민경제 모든 부문의 생산기술 공정과 생산방법, 경영활동을 새로운 과학적로대우에 올려세우는데서 나서는 과학기술적문제를 전망성있게 풀어나가야 하겠습니까.》《김정일선집》 제11권 증보판 138페이지)

흑색야금기업소의 생산성을 높이는데서 압연공정의 생산결심채택을 과학화하는것은 선결조건으로 된다.

선행연구들[1, 2]에서는 연속압연생산공정을 대상으로 제품규격보장과 생산성을 높이기 위한 압연스케줄링모형과 풀이법들이 연구되였다.

론문에서는 분괴압연생산공정의 결심채택지원체계를 구성하는데서 현실적인 문제로 나서는 분괴압연기의 스케줄링문제를 다중순회판매원문제(MTSP: multiple travel salesman problem)로 정식화하고 풀이알고리즘을 설계하였으며 모의를 통하여 그 효과성을 검증하였다.

1. 열간압연스케줄링문제의 MTSP모형

일반적으로 분괴압연기는 강철압연생산공정에서 병목문제로 간주된다. 또한 생산되어야 할 제품의 규격이 서로 다른것으로 하여 생산공정흐름에서는 롤 및 공형교체가 반드시 발생하게 된다. 따라서 롤 및 공형설치비용, 생산시간과 에너르기소비의 증가와 같은 문제들이 제기된다.

한편 분괴압연기의 열간압연스케줄링작업은 한 교대에 압연하여야 할 강괴들에 대하여 압연순서를 반영한 생산회전들을 작성하는것이다. 여기서 생산회전은 하나의 롤 및 공형을 리용하여 정해진 규격들을 생산하는 연속적인 생산을 말한다.

론문에서는 우선 열간압연스케줄링문제를 MTSP로 전환하기 위하여 M 개의 가상점을 설정하고 하나의 가상점은 열간압연공정스케줄링문제에서 모든 회전이 이 점에서 시작되고 끝나도록 하였다. 즉 이 점은 닫힌경로를 만드는 시작점과 끝점의 역할을 한다. 다음 $M-1$ 개의 가상점은 M 개의 닫힌경로를 판매원이 모두 방문할수 있도록 연결해주는 역할을 한다.

이제 N 개의 강(번호를 붙인 강괴)이 M 개의 회전에서 압연된다고 가정하자.

그러면 이러한 N 개의 강은 M 개의 판매원에 의한 려행으로 간주될수 있는 N 개의 점과 M 개의 회전으로 표현할수 있다. 즉 다시말하여 N 개의 강은 M 개의 롤 및 공형이 방문할수 있는 N 개의 도시라고 말할수 있다. 그러므로 M 개의 가상점 $N+1, N+2, \dots, N+M$ 개의 추가로 하여 압연스케줄링문제는 MTSP로 전환되게 된다.

다음 1명의 판매원이 $N+M$ 개의 도시를 방문한다고 하면 MTSP문제는 TSP문제로 축소된다. 이것을 다음과 같은 3가지 수식형태로 표현할수 있다.

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{같은 회전에서 강 } i \text{ 후에 강 } j \text{가 스케줄될 때} \\ 0, & \text{그렇지 않을 때} \end{cases}, \quad i, j \in \{1, \dots, N\}, i \neq j$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i-N \text{ 회전에서 강 } j \text{가 먼저 스케줄될 때} \\ 0, & \text{그렇지 않을 때} \end{cases}, \quad i \in \{N+1, \dots, N+M\}, j \in \{1, \dots, N\}$$

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & i-N \text{ 회전에서 강 } i \text{가 마지막에 스케줄될 때} \\ 0, & \text{그렇지 않을 때} \end{cases}, \quad i \in \{1, \dots, N\}, j \in \{N+1, \dots, N+M\}$$

한편 P_{ij} (강 i 다음에 강 j 를 스케줄하는데 드는 벌칙상수)를 적용하면 분피압연스케줄링 문제의 수학적모형을 다음과 같이 정의할수 있다.

목적함수:

$$\min \sum_{i=1}^{N+M} \sum_{j=1}^{N+M} P_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

이때 제한조건은 다음과 같다.

$$\sum_{i=1}^{N+M} X_{ij} = 1, \quad j \in \{1, 2, \dots, N+M\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{N+M} X_{ij} = 1, \quad i \in \{1, 2, \dots, N+M\} \quad (3)$$

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

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

제한조건에서 식 (2)는 강 j 전에 어떤 강이 압연된다는것을 의미하고 식 (3)은 강 i 후에 어떤 강이 압연된다는것을 의미한다. 또한 식 (4)는 적합한 풀이들에서 부분스케줄링(TSP의 부분경로에 대응)을 피하며 식 (5)는 0 혹은 1의 용근수값만을 가지는 변수를 요구한다.

모형의 풀이는 가상점으로부터의 매 출발마다에서 M 개의 회전들로 구성되는 완성된 스케줄링을 제공하는데 이 스케줄링은 TSP에서 최량적인 경로에 대응된다.

2. 유전알고리즘에 의한 TSP모형의 풀이법

앞에서 정의된 TSP문제를 유전알고리즘(GA)으로 다음과 같이 표현한다.

우선 부호화방법은 널리 알려진 임의의 개체(유전자형)를 적당한 순회경로(표현형)로 대응시키는 방법을 리용한다. 즉 N 개의 강을 도시라고 하고 여기에 1부터 N 까지의 번호가 붙어있다고 할 때 그에 대한 방문순서를 (t_1, \dots, t_N) 으로 표시하며 도시를 적당한 순서로 떨어진 목록 W (정수)를 준비한다. 그리고 i 번째로 방문하는 도시를 아직 방문하지 않은 도시의 목록 $W - \{t_1, \dots, t_{n-1}\}$ 의 몇번째인가로 표시하고 이것을 유전자 l_i 로 한다. 이때

$1 \leq l_i \leq N-i+1$ 이 성립한다. 이와 같이 하여 얻어진 목록 $L=(l_i, \dots, l_N)$ 을 염색체로 하여 GA를 구성한다.

다음 교잡방법으로는 두점교잡을 기본으로 하여 순렬로서의 정당성을 유지하는 절차를 덧붙인 교잡연산방법인 부분사영교잡(Partially Mapped Crossover: PMC)을 리용한다. 표현형(경로)으로는 순렬 $T=(t_1, \dots, t_{n-1})$ 을 생각하고 이것을 그대로 유전자형으로 한다. 이때 2개의 선대 X 및 Y 의 유전자형을 각각 T^X 및 T^Y 로 하면 PMC에 의하여 2개의 후대 X' 및 Y' 가 생성되는데 그 절차는 다음과 같다.

- ① 교잡점을 임의로 2개 선택한다.
- ② 선대유전자를 각각의 후대로 복사한다. 즉

$$t_p^{X'} = t_k^X, \quad t_k^{Y'} = t_k^Y \quad (k=1, \dots, N)$$

로 한다.

- ③ 교잡점사이부분 $P=i+1, \dots, j$ 에 대하여 $t_p^Y = t_q^{X'}$ 로 되는 q 를 구하고 $t_p^X = t_r^{Y'}$ 로 되는 r 를 구한 다음 $t_p^{Y'}$ 와 $t_r^{Y'}$ 를 교환한다.

끝으로 변이조작은 보통 2개의 유전자자리를 임의로 선택하는 일반적인 방법을 리용한다.

한편 적응도함수는 목적함수가 부아닌 정수이고 최소화가 목적으로 되고있으므로 론문에서는 다음과 같이 주었다.

$$g = \frac{1}{f(x)} 10^4$$

3. 모의실험 및 평가

xx 분괴압연공정의 생산자료를 리용하여 열간압연스케줄링을 작성하였는데 이 스케줄링의 목적은 벌칙비용을 최소화하는것이다.

이때 파라메터는 다음과 같이 주었다.

세대수=100, 모집단의 크기=10, 교잡확률=0.99, 변이확률=0.01.

한편 고찰하는 대상의 특성과 여러가지 제한을 고려한 압연규격에 대한 벌칙구조는 표 1과 같다. 그리고 수동작성과 제안된 방법에 의하여 작성된 실지 압연순서는 각각 표 2와 같다.

표 2로부터 수동작성한 압연순서표의 목적값이 1 200이고 MTSP모형을 리용하여 작성한 압연순서표의 목적값은 800으로서 제안된 방법에 의한 풀이의 총벌칙이 수동적인 방법보다 작다는것을 알 수 있다. 즉 MTSP모형과 유전알고리즘에 의한 풀이의 벌칙비용이 수동적인 배열보다 33.4% 개선되었다.

모의실험결과로부터 경험에 근거하여 작성한 압연스케줄링보다 론문에서 제기한 모형과 풀이알고리즘을 리용하여 생성한 압연스케줄링이 우월하다는것을 확증하였다.

표 1. 압연규격벌칙구조

규격	55	51	53	56	71	73
55	—	10	20	30	40	50
51	10	—	20	30	40	50
53	10	20	—	30	40	50
56	10	20	30	—	40	50
71	10	20	30	40	—	50
73	10	20	30	40	50	—

표 2. 압연순서표

번호	수동으로 작성하였을 때				MTSP모형을 리용하여 작성하였을 때			
	강괴번호	압연규격	강종	압연질량	강괴번호	압연규격	강종	압연질량
1	1011	55	C	20t	1011	55	C	20t
2	1012	55	E	20t	1012	55	E	20t
3	1013	51	A	10t	1013	51	A	10t
4	1013	53	A	10t	1015	51	E	10t
5	1015	71	E	5t	1016	51	B	10t
6	1015	51	E	10t	1015	55	E	5t
7	1015	55	E	5t	1016	55	B	10t
8	1016	55	B	10t	1017	55	D	20t
9	1016	51	B	10t	1013	53	A	10t
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
100	1017	55	D	20t	1015	71	E	5t

맺 는 말

분괴압연공정의 압연스케줄링문제를 고찰하고 다중순회판매원문제(MTSP)에 의한 모형 작성과 유전알고리즘에 의한 풀이법을 제기하였으며 실험을 통하여 그 효과성을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] Lixin Tang et al.; European Journal of Operation Research, 124, 267, 2000.
 [2] Eva Schiefer; POMS 20th Annual Conference, 20, 2009.

주제 103(2014)년 2월 5일 원고접수

A Method of Hot Rolling Process Scheduling using Multiple Travelling Salesman Problem

Kang Ho Gyong, Jon Jae Gyong

This paper sets the scheduling problem of the blooming mill as multiple travelling salesman problems, designs solution algorithm and verifies its effectiveness through simulation.

Key words: multiple travelling salesman problem, penalty structure, GA