

장비 수율을 고려한 가공경로선정과 투입량 결정에서의 유전알고리즘 접근

Machining Route Selection and Determination of Input Quantity
with Yield Using Genetic Algorithm

이규용¹⁾
Kyuyong Lee

<Abstract>

This paper addresses a problem of machining route selection and determination of input quantity with yield in multi-stage flexible flow system. The problem is formulated as nonlinear programming and the proposed model is solved by genetic algorithm(GA) approach. The effectiveness of the proposed GA approach is evaluated through comparisons with the optimal solution obtained from the branch and bound for the same problem.

1. 서론

설계와 제조 사이를 연결하는 공정계획은(process planning)은 시간에 독립적인 분석 단계(analyse phase)와 시간에 종속되는 선택단계(selection phase)로 구분할 수 있는데 [2], 선택단계에서는 계획기간(planning period) 동안 사용 가능한 장비를 선택함으로써 가공경로를 선정해야 한다. 이것은 작업장 정보를 고려한 가공경로선정이며, 일정계획에 입력정보로 사용되기 때문에 공정계획에서 매우 중요한 의사결정 문제이다.

가공경로선정 문제에 대한 대부분의 연구는 주어진 계획기간 동안 전체 부품의 가공비용의 합을 최소화하도록 문제를 해결하고 있다[1]. 이때 비용을 최소화하기 위해 가공시간이 짧은 장비를 선정하지만 개개의 장비가 서로 다른 장비 수율(yield)을 갖는 경우 가공경로에 따라 각 가공단계에 투입되는 투입량(input quantity)에 차이가 있기 때문에 가공시간과 장비 수율을 고려한 경로선정이 필요하다.

수율은 투입량과 산출량의 비를 일반적으로 말하는데, 특정장비의 수율은 산출부품 중에 양품과 불량품의 비율을 의미한다. 수율을 고려한 기존연구를 살펴보면, Lee와 Yano[4]는 재작업이 허용되지 않고 확정적 수요가 주어진 다단계 작업장에 대해 단일 부품의 최적 lot size를 결정하는 문제에서 각 단계의 수율을 독립으로 가정한 수리모델을 제시하였고, 동적계획법에 의해 해를 구하였다. Pentico[6]는 고정된 수요가 주어진 경우 양품의 경우 연속된 단계에서 처리되고, 불량품은 새로운 lot에 포함시켜 처리함으로써 작업준비용을 절감하였고, 고정비, 변동비, 처분비용을 고려한 수리모델을

1)울산과학기술대학교 산업시스템경영과

해결하기 위해 발견적 해법을 제시하였다. Lee[3]는 가공단계와 조립단계로 구성된 다단계 작업장을 대상으로 가공과 조립에 적용 가능한 수리모델을 동적계획법으로 정식화하였다. 가공단계에서는 수율을 lot size에 독립적으로 사용하였고, 조립단계에서는 지수분포를 따르는 수율을 사용하였다. 또한 국내 연구로는 Lee와 Yano[4]의 모델을 확장한 연구로써 재작업이 허용되고, 수요가 불확실한 경우를 고려한 수리모델을 동적계획법으로 해결하였다[5].

수율을 고려한 대부분의 연구는 단일장비를 갖는 다단계 작업장을 연구대상으로 단순히 lot size 결정하는 문제에 국한되어 있으며, 가공경로선정 문제에서 수율을 고려한 연구가 미흡하다.

따라서 본 논문에서는 다단계 작업장에서 계획기간 동안 사용 가능한 장비가용시간과 각 장비의 수율을 고려하여 가공부품의 최적 가공경로선정과 투입량을 동시에 결정할 수 있는 모델을 제시하고자 한다. 이 모델은 비 선형계획법으로 정식화하고, 유전알고리즘(genetic algorithm)에 의해 해를 구하는 방법을 제시하겠다. 제시된 방법에 의해 얻어진 결과는 최적화 방법과 비교함으로써 그 유효성을 보이겠다.

2. 문제정의

다단계 작업장은 각 단계를 단일장비(single machine)로 구성되는 경우와 병렬장비(parallel machines)로 구성되는 경우로 구분할 수 있고, 병렬장비를 갖는 다단계 작업장은 동종병렬장비를 갖는 다단계 작업장과 이종병렬장비를 갖는 다단계 작업장으로 나눌 수 있다. 이종병렬장비를 갖는 다단계 작업장은 성능이 상이한 장비들로 각각의 작업장을 구성하고 있으며, 특정 작업을 처리하는데 소요되는 시간이 서로 다른 경우를 의미한다. 이와 같은 생산환경은 제조산업이나 서비스산업에서 일반적으로 찾아볼 수 있으며, 동일한 종류의 장비들이라 할지라도 장비의 노후화 정도에 따라 장비의 성능이 서로 다를 수 있으며, 장비모델에 따라 그 효율성에 차이가 있을 수 있다.

이종병렬 장비를 갖는 다단계 작업장에 대한 가공경로선정 문제는 사용 가능한 장비중에서 가공시간이 짧은 장비를 선택함으로써 최적 가공경로를 선정하게 된다. 그러나 각 단계에 속한 개개의 장비가 서로 다른 장비 수율(yield)을 갖는 경우, 이 수율에 따라 가공경로가 변화하기 때문에 수율을 고려한 가공경로선정이 이루어져야한다.

본 논문에서는 이종병렬장비를 갖는 다단계 작업장에서 계획기간 동안 장비의 가용시간과 수율을 고려한 최적 가공경로와 각 가공단계에 투입해야할 투입량을 동시에 결정할 수 있는 수리모델과 이를 해결하기 위한 해법을 제시함으로써 생산성 향상에 기여하고자하는 것이 본 연구의 목적이다.

3. 모델정식화

계획기간 동안 생산될 제품에 대한 가공경로를 선정하기 위해 작업장 정보인 장비의 가용시간과 각 장비의 수율을 고려한 수리모델을 제시하고자 한다. 모델제시를 위한

기본적으로 필요한 정보는 다음과 같다.

- (1) 개개의 장비 수율은 과거의 데이터로부터 알려져 있고, 개개의 부품에 대한 생산량은 주어진다.
- (2) 가공시간과 장비 수율은 서로 독립이고, 가공단계 사이에 작업환경도 서로 독립이다.
- (3) 각 가공단계에서 발생한 불량품은 폐기한다.

또한 수리모델을 정식화하기 위해 사용되는 기호는 다음과 같다.

[기호정리]

- i : 부품 인덱스 $i \in I$
- j : 가공단계 인덱스 (가공공정) $j \in J_i$
- k : 가공단계 j 에 속한 장비 인덱스 $k \in K_j$
- p_{ijk} : 부품 i 가 가공단계 j 에 속한 장비 k 에서의 가공시간
- v_i : 부품 i 의 생산 요구량
- r_{jk} : 가공단계 j 에 속한 장비 k 의 수율(output/input)
- act_{jk} : 계획기간 동안 가공단계 j 에 속한 장비 k 의 가용시간
- Q_{ij} : 가공단계 j 에 투입되는 부품 i 의 투입량
- $X_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{부품 } i \text{가 가공단계 } j \text{의 장비 } k \text{에서 가공한다.} \\ 0, & \text{그외} \end{cases}$

[수리모델]

$$\text{Min } F = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \sum_{k \in K_j} p_{ijk} Q_{ij} X_{ijk}$$

st.

$$\sum_{k \in K_j} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in I, j \in J_i \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_{ij} \sum_{k \in K_j} r_{jk} X_{ijk} \geq Q_{i(j+1)} \quad \forall i \in I, j \in J_i - 1 \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_{ij} \sum_{k \in K_j} r_{jk} X_{ijk} \geq v_i \quad \forall i \in I, j = J_i \dots\dots\dots(3)$$

$$\sum_{i \in I} p_{ijk} Q_{ij} X_{ijk} \leq act_{jk} \quad \forall j \in J_i, k \in K_j \dots\dots\dots(4)$$

$$Q_{ij} \geq 1 \quad \forall i \in I, j \in J_i \dots\dots\dots(5)$$

$$X_{ijk} \in \{ 0, 1 \} \quad \forall i \in I, j \in J_i, k \in K_j \dots\dots\dots(6)$$

위의 제약식을 간략하게 설명하면 식(1)은 부품 i 를 가공하기 위해 가공단계 j 에 속한 장비 하나를 선택하는 조건이다. 식(2)는 개개의 부품 i 에 대한 각 가공단계에 투입되는 투입량이 다음 단계의 요구량 보다 커야하며, 식(3)은 마지막 가공단계의 투입량이 부품 i 의 생산량 v_i 를 만족해야 하는 조건이다. 이것은 각 가공단계에 투입될 투

입량이 항상 정수가 되어야 하기 때문에 가공단계별로 투입량에 대한 제약이 필요하다. 식(4)는 계획기간 동안 각 가공단계에 포함된 장비의 가용시간 범위 내에서 이루어져야 하는 제약이다. 식(5)는 각 가공단계에 투입되는 부품 i 의 투입량으로써 1 보다 큰 정수 값을 갖는 변수이며, 식(6)은 0, 1의 값을 갖는 정수형 변수이다.

4. 유전알고리즘 접근

유전알고리즘에서 해의 표현은 문제의 특성에 따라 염색체를 구성하는 인자(gene)를 표현하는 방법이며, 본 논문에서는 부품, 가공단계, 장비에 대한 정보를 담고 있다. 모집단의 s 번째 염색체를 C_s 라할 때, 염색체 구조는 다음과 같다.

$$C_s = \{ \text{부품 1} \quad \text{부품 2} \quad \dots \quad \text{부품 } I \\ (2, 3, 5), (5, 3, 4), \dots, (3, 2, 3) \}$$

다음은 모집단의 크기만큼 초기 모집단을 랜덤하게 생성하는데, 실제 문제의 제약조건 때문에 비가능해의 염색체가 모집단에 포함될 수 있다. 수정방법에 의해 수리모델의 제약을 위배하지 않는 염색체를 선택함으로써 실행 가능한 해의 모집단이 구성된다. 적응도 평가는 수리모델의 목적함수를 적응도 함수(fitness function)로 이용하고, 염색체 C_s 에 대한 적응도 함수는 식(7)과 같다.

$$eval_fun(C_s) = F(C_s), \quad s = 1, 2, \dots, pop_size \dots\dots\dots(7)$$

본 문제에 대한 선택전략은 자손 세대의 모집단을 형성하기 위해 부모 세대의 모집단으로부터 생존할 염색체를 선택된 염색체 r 개중에서 적응도가 가장 좋은 염색체를 선택하는 토너먼트선택(tournament selection)을 사용하겠다.

유전연산자는 교차변이(crossover)와 돌연변이(mutation)로 나누어지는데, 교차변이는 부모의 좋은 형질이 가능한 파괴되지 않고 자손에게 상속될 수 있어야 한다. 이것은 보다 좋은 해를 탐색하기 위한 방법이고, 적용 문제에 따라 많은 교차방법이 개발되어 있다. 또한 돌연변이는 염색체에 미세한 변화를 줌으로써 지역적 최적점에서 연속적인 해의 탐색을 배제하고, 탐색공간의 다양성을 제공하는 방법이다.

염색체를 구성하는 인자는 부품에 따라 그룹으로 구성되어 있기 때문에 교차변이는 두 개의 부모 염색체에 대해 임의의 부품을 선택하고, 그 부품에 해당하는 그룹을 교차시킴으로써 자식 염색체를 생성하겠다.

돌연변이는 bit돌연변이 연산을 변형한 것으로, 돌연변이율을 P_m 이라고 할 때 P_m 에 전체 인자개수를 곱하면 돌연변이 시킬 인자개수가 얻어진다. [1, 전체 인자개수]의 범위를 갖는 정수를 돌연변이 시킬 인자개수만큼 랜덤하게 생성한다. 생성된 번호의 위치에 해당되는 인자는 새롭게 생성된 인자와 교체한다. p_1 이 돌연변이를 위해 선택된 염색체라고 한다면, 랜덤하게 선택된 인자의 위치가 두 번째 인자그룹의 첫 번째 인자

인 5라고 하자. 새롭게 생성된 인자가 1라면, 새로운 자손염색체는 다음과 같이 얻어진다.

$$p_1 = \{(2\ 3\ 1), (5\ 2\ 3), (1\ 3\ 2)\}$$

↓

$$o_3 = \{(2\ 3\ 1), (1\ 2\ 3), (1\ 3\ 2)\}$$

5. 실험 및 분석

본 논문에서 제안된 모델의 해를 얻기 위한 방법으로는 최적화 방법과 유전알고리즘을 사용한다. 먼저 동일한 예제에 대해 상용 소프트웨어인 LINGO를 이용하여 최적해를 얻고, 제안된 GA에서 제공되는 평가함수 값과 비교함으로써 유전알고리즘의 유효성을 보이겠다.

예제는 3개의 가공단계를 거쳐 가공되는 5개의 부품에 대해 각각의 장비 수율을 고려하여 최적 가공경로선정과 각 가공단계에 투입될 투입량을 결정하는 문제이다. 예제에 대한 가공정보는 <표 1>과 같이 구성하였다.

<표 1> 각 부품에 대한 가공정보

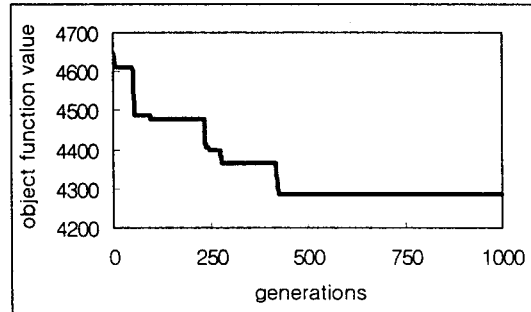
부품		1	2	3	4	5	장비 수율	장비 가용시간
단계	가공	가공	가공	가공	가공	가공		
1	1	15	18	13	17	16	0.98	600
	2	14	19	12	18	13	0.92	700
	3	17	17	14	16	14	0.95	500
	4	16	16	15	19	15	0.91	800
2	1	17	17	20	20	18	0.90	400
	2	14	16	16	23	20	0.93	500
	3	16	20	19	24	22	0.96	300
	4	18	18	17	20	21	0.94	400
	5	15	19	18	22	19	0.92	700
3	1	11	10	14	11	12	0.89	500
	2	12	13	11	13	10	0.90	200
	3	10	12	13	12	14	0.92	400
	4	12	11	12	10	11	0.88	300
생산량		10	15	20	15	20		

예제에 대한 목적함수 값은 LINGO 소프트웨어를 사용하여 4287을 얻었다. 이때 최적가공경로와 각 가공단계에 투입될 투입량은 <표 2>와 같다. 부품 1의 가공경로 중 13(1)은 단계 1에 13의 투입량과 단계 1에 속한 장비 1에서 가공되는 것을 의미한다.

다음은 GA절차에 의해 반복실험을 통해 얻은 유전파라미터는 모집단 크기 30, 교차변이율 0.3, 돌연변이율 0.04, 세대수 1000으로 설정하여 20회 실험에서 동일한 평가함수 값 4287을 얻었고, 각 가공단계에 투입되는 투입량도 동일하게 얻었다. 그리고 해의 수렴과정은 [그림 1]와 같다.

<표 2> LINGO에 의한 실험결과

부품	각 가공단계의 투입량 및 경로		
	(단계 1) - (단계 2) - (단계 3)		
부품 1	13(1)	- 12(5)	- 11(3)
부품 2	21(4)	- 19(1)	- 17(1)
부품 3	27(2)	- 24(2)	- 22(3)
부품 4	20(3)	- 19(4)	- 17(1)
부품 5	28(2)	- 25(5)	- 23(4)



[그림 1] 해의 수렴과정

6. 결론

본 논문은 이중병렬장비를 갖는 다단계 작업장을 대상으로 계획기간 동안 생산될 부품과 생산량이 결정되어 있는 경우, 장비의 수율을 고려하여 개개의 부품에 대한 가공 경로와 각 가공단계에 투입될 투입량을 결정하는 문제를 유전알고리즘으로 해결하였다. 또한 제공되는 최적해 혹은 차선해는 가공경로에 따라 각각의 가공단계에 투입되는 투입량과 가공경로를 제공하는데, 이와 같은 정보는 생산현장의 합리적인 통제 수단뿐만 아니라 지원 부서에서도 필요한 정보이다.

참고문헌

- [1] 이규용, 문치웅, 김재균; "외주를 고려한 가공경로 선정에서의 유전알고리즘 접근," 경영과학지, 17권, 2호, pp.55-65, 2000.
- [2] Larsen N. E.; "Method for Integration of Process Planning and Production Planning," International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 6, No. 1, pp. 152-162, 1993.
- [3] Lee H. L.; "Input Control for Serial Production Lines Consisting of Processing and Assembly Operations with Random Yields," Operations research, Vol. 44, No. 3, pp.464-468, 1996.
- [4] Lee H. L and Yano C. A.; "Production Control in Multistage Systems with Variable Yield Losses," Operations Research, Vol. 36, No. 2, pp.269-278, 1988.
- [5] Park K. and Kim Y. S.; "Input Quantity Control in Multi-Stage Production System with Yield Randomness, Rework and Demand Uncertainty," Journal of the Korean OR/MS Society, Vol. 18, No. 3, pp.151-157, 1993.
- [6] Pentico D. W.; "Multistage Production System with Random Yield : Heuristics and Optimality," International Journal of Production Research, Vol. 32, No. 1, pp.2455-2462, 1994.