

대체기계와 공정순서를 고려한 Job Shop에서의 통합 일정계획

Integrated Job Shop Scheduling considering Alternative Machines and Operation Sequence

최형림 · 박병주 · 박용성 · 강무홍

Hyung Rim Choi · Byung Joo Park · Yong Sung Park · Moo Hong Kang

동아대학교 경영정보학과 E-mail : hrchoi@daunet.donga.ac.kr

Abstract

In case that any jobs in a Job Shop can be scheduled on more than one machine and may have flexible operation sequences, with considering such case it is very difficult and complex to make the optimal process plans and scheduling. But they should be considered for an integrated model to perform more effective process planning and scheduling in this job shop problem.

In this paper, we propose GA-based scheduling method to integrate effectively the problem of alternative machines, alternative operation sequences and scheduling. The performance of proposed GA is evaluated through comparing integrated scheduling with not integrated scheduling in molding company with alternative machines and operation sequences. Also, we use benchmark problems to evaluate performance. The scheduling method in this research will apply usefully to real world scheduling problems.

1. 서론

최근 생산환경에서의 APS(Advanced Planning & Scheduling)에 대한 관심이 높아지고 있다. APS에서의 주요 문제는 고객의 주문에 맞추어 공정을 계획하고, 일정을 계획해서 고객을 만족시킬 수 있는 정확한 납기일을 산출하는 것이다. ATP(Available To Promise)에서 일정계획 문제는 핵심적인 부분이라 할 수 있다. 일정계획은 공정순서와 기계의 부하 그리고 기계의 사용가능 여부를 고려하여 수립되어야 한다.

공정계획(process planning)은 제품의 디자인과 생산을 위한 일정계획 사이의 교량적 역할을 하는 것으로, 제품을 제조하기 위한 가용자원과 공정들을 할당해주는 과정이다. 이때 대체 가능한 여러 자원과 공정순서를 고려하여 공정계획과 일정계획을 동시에 하는 것을 통합된 공정계획과 일정계획이라 한다[7].

공정계획과 일정계획의 통합은 생산 자원의 가장 효율적인 사용과 잦은 변경 없는 실현가능한 현실적인 공정계획을 가능하게 한다. 이 통합 문제는 공정계획과 일정계획을 하나의 최적화 문제로 고려하는 것이다. 그러나 일정계획 문제 하나만으로도 NP-complete 문제로 공정계획과 합쳐졌을 때는 더욱 풀기 어려운 문제가 된다[4]

특히 주문생산 형태에서는 하나의 공정을 위한 대

체 가능한 기계가 다수이고, 한 job에 다수의 공정순서가 있다면, 이 모든 부분을 고려하여 최적의 공정계획과 일정계획을 한다는 것은 매우 복잡하고 어려운 일이다.

지금까지 일반적인 공정계획은 자원의 효율적인 활용의 측면에서 제조 shop의 능력에 대한 고려 없이 이루어졌고, 일정계획 또한 대체 공정계획이 생산의 흐름을 더욱 원활하게 해주는 기회들의 고려 없이 이루어져 왔다. 이러한 통합고려의 부족이 긴 생산리드타임, 생산 비용 증가, 납기 지연의 원인이 되고 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위해서는 자원을 할당하고 최적의 공정순서를 결정하는 공정계획과 일정계획을 통합 고려해야 할 필요가 있다. 그러나 통합적인 접근방법은 많은 제약과 계산의 복잡성으로 인해 기존의 최적화 해법으로는 쉽게 해를 구할 수 없으며, 문제의 규모가 커질 경우 원하는 시간 내에 해를 구하는 것은 불가능한 일이다.

과거의 전통적 연구들은 문제의 복잡성 때문에 공정계획과 일정계획을 동시에 고려하지 않고 순차적으로 계획하였다. 이는 공정계획과 일정계획의 수행도를 떨어뜨렸다. 이러한 문제를 통합적으로 해결하기 위한 연구들이 진행되어오고 있다. Palmer[7]는 공정계획과 일정계획의 통합을 위해 simulated annealing 방법을 사용한 모델을 제시하였고, Brandimarte와 Calderini[2]는 비슷한 문제에 tabu search 방법을 활용하였다. 그러나 이러한 연구들은 오직 선행 제약이 없는 공정순서만을 고려하였다. Lee 등[5]은 선행 제약을 고려한 공정계획과 일정계획의 통합을 위해 GA(Genetic Algorithm)에 기반한 방법을 제시하였다. 이 연구는 표현된 염색체를 실행가능(feasible)한 해로 만들기 위해 사용된 TS(Topological Sort) 알고리즘으로 인해 진화과정에서 비효율적이다. 본 연구에서는 염색체 표현에서부터 유전 연산자 수행 후에도 항상 실행한 해를 유지할 수 있도록 하는 표현방법을 통해 빠른 탐색시간과 좀 더 효율적인 탐색이 이루어지도록 한다.

비록 이전 연구들이 공정계획과 일정계획 통합에 대한 다루어왔지만, 이들은 실제 생산 현장을 다룰 수 있는 형태로 개발되지 못했다. 실제 현장의 문제는 다수의 대체기계와 일부 대체 공정순서를 가진다. 본 연구에서는 주문생산 형태에서 제품의 작업완료시간(makespan)을 최소화하기 위하여 각 공정을 위한 대체 기계와 선후관계 제약을 만족시키는 다수의 대체 공정순서를 고려하여 공정계획과 일정계획을 통합 수립하는 유전 알고리즘에 기반한 방법을 제시하고자 한다.

2. 통합일정계획을 위한 유전 알고리즘

유전 알고리즘을 사용하기 위해서는 문제에 대한 특성을 먼저 분석한 다음 그 문제에 적합한 표현방법, 평가함수, 모집단 구성방법, 유전연산자, 유전 파라미터 등이 결정되어야 한다.

2.1 염색체 표현

유전 알고리즘으로 Job Shop에서의 공정계획과 일정계획 문제를 통합해서 해결하기 위해서는 먼저 문제의 해를 염색체로 표현해야 한다. 염색체 표현은 모든 공정들의 처리 순서와 대체 공정순서 그리고 대체기계를 결정할 수 있도록 이루어진다. 먼저 공정의 처리순서를 나타내기 위해 job 번호를 공정의 수만큼 반복시키는 형태를 사용한다. 하나의 유전인자는 하나의 공정을 의미하고, 표현 순서대로 기계에 할당되어 일정계획 되어진다. 예를 들어 3개 job과 3대 기계 문제는 순열 형태의 염색체로 <그림 1>과 같이 표현된다. 첫 번째 줄에 세 번씩 반복된 숫자는 job의 번호이고, job 번호가 세 번씩 반복된 것은 각 job들이 3개의 공정을 가지고 있기 때문이다. job 번호의 첫 번째 반복은 그 job의 첫 공정을 두 번째 반복은 두 번째 공정을 의미한다. 이 염색체는 job 번호가 공정의 수만큼만 표시된다면 항상 실행가능성을 유지한다. 두 번째 줄은 각 공정들이 가지는 대체 공정순서를 정하기 위한 난수들이다. 각 job은 하나의 공정순서로 처리되어야 하기에 각 job마다 같은 난수 값을 최대 대체 공정순서 수내에서 발생시킨다. 그리고 세 번째 줄은 각 공정들이 가지는 대체기계를 결정하기 위한 난수로, 어떤 한 공정의 최대 대체기계 수내에서 발생시킨다. 마지막 줄의 인덱스(index) 값은 job 번호의 반복 횟수로, 그 job에서 몇 번째 공정인지를 나타낸다.

3	2	2	2	3	1	1	1	3	...	(대체공정순서)
2	3	3	3	2	1	1	1	2	...	(대체기계)
3	2	2	1	1	2	1	1	2	...	(Index)

<그림 1> 염색체의 표현

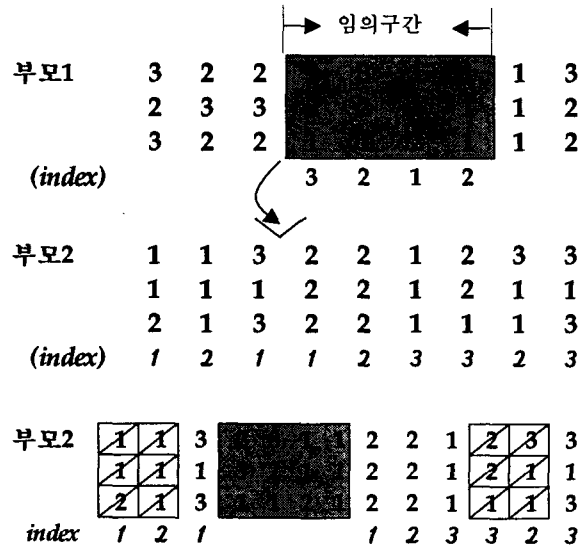
2.2 선택 방법

선택방법으로 씨종자 선택을 사용한다[1]. 씨종자 선택은 가축의 개체 증식을 위해 일상에서 사용하는 개체 선택과 좋은 개체 보존 방법을 유전 알고리즘 진화과정에 도입한 것이다. 두 부모 중 부(父)에 해당하는 개체는 임의로 발생시킨 값이 확률 값(0.9)의 범위 내에 들면 한 집단 내에서 정해진 순위 내에 드는 우수한 개체를 선택하고 그렇지 않으면 전체 집단에서 하나를 임의대로 선택한다. 나머지 모(母)는 전체 집단 내에서 임의대로 선택하는데, 두 개체를 임의대로 선택하여 일정한 확률 값

에 따라 적합도가 좋은 개체 하나만을 선택한다. 이들을 부모로 사용하고 개체집단에 되돌려 다시 선택할 수 있게 한다.

2.3 교차와 돌연변이 연산자

교차연산자는 염색체의 좋은 순서관계를 유지하면서 진화시킬 수 있어야 한다. 본 연구에서 사용된 교차연산자는 먼저 임의 구간을 산출한 뒤 그 구간 내 모든 유전인자들을 부모 2에 삽입한다. 삽입 위치는 임의 구간이 시작된 유전인자 바로 앞이다. 만약 첫 번째 부모에서 임의구간의 시작 위치가 4번째라면 삽입 위치는 부모 2의 4번째 유전인자 앞이 된다. 그리고 나서 임의 구간내의 유전인자와 같은 인덱스(index)를 가진 유전인자들을 부모 2에서 삭제한다. 그리고 같은 job 번호에 대한 대체 공정순서를 일치시키기 위해 맨 처음 표시된 job 번호의 대체 공정순서로 수정한다. 이들 과정을 부모 1과 2를 바꾸어서 수행하여 두 개의 자식 개체를 생성하고, 두 자식 개체 중 평가기준에 적합한 한 개체만을 다음 세대로 보낸다. 그 과정은 <그림 2>와 같다[1].



<그림 2> 교차연산의 예

돌연변이 연산자는 염색체에 변화를 주어 집단내의 다양성을 유지하기 위해 사용한다. 본 연구에서는 이웃 탐색 기법에 근거한 돌연변이 연산자를 사용한다[1].

2.4 목적함수와 교체방법

Job Shop 일정계획 문제에서 최소의 makespan을 가진 스케줄은 종종 기계의 높은 효율을 의미한다. 순열 형태의 염색체로 표현하였을 때 makespan은 왼쪽에서 오른쪽으로 유전인자를 읽어, 대체 공정 순서와 대체 기계를 고려하여 job의 선후관계를 지키면서 기계에 할당하여 구한다.

다음 세대의 구성은 현 세대에서 선택과 유전 연산자들을 이용하여 새롭게 구성한다. 새로운 개체들을 초기 모집단의 개수만큼 생성하여 다음 세대를 구성하고 난 뒤 엘리티즘을 적용하여 나쁜 개체는 엘리티즘 적용 개수만큼 좋은 개체로 다시 대체한다. 또한 교차율과 돌연변이율에 따라 일부 개체들은 유전 연산자를 거치지 않고 그대로 다음 세대로 이동하도록 한다.

3. 수행도 평가

제시된 알고리즘의 수행도는 대체기계, 대체 공정 순서가 모두 존재하는 대표적인 Job Shop 형태인 금형업체의 실제 자료를 통해 통합 일정계획을 수행한 경우와 통합 고려하지 않은 경우를 비교 평가하고, 유전 알고리즘의 수행도 평가에는 대표적인 벤치마크 문제를 사용한다.

3.1 통합 일정계획 문제

본 연구에서는 대표적인 Job Shop 생산형태인 금형 생산업체에서 통합 일정계획 문제를 대상으로 한다. 금형은 고객의 주문에 따라 제품의 설계가 이루어지고 이에 따라 제품을 제조하기 위한 공정 계획이 세워진다. 1개의 제품을 완성하기 위해서는 여러 개의 부품이 필요하며, 한 개의 부품은 하나의 job으로 간주된다. 하나의 job은 여러 공정들을 가지며, 그 공정들 중 일부는 선후 제약을 가지지 않는다. 예를들어 <표 1>에서 Elbow 제품 job 2의 두 공정은 어느 공정이라도 먼저 이루어질 수 있다. <표 1-3>에서 음영으로 표시된 공정들은 선후 제약을 가지지 않는 공정들이다. 또한 일부 공정들은 수개의 대체 기계에서 가공될 수 있다. 이 문제에서는 3대의 MM기계와 2대의 E기계가 있다. <표 1-3>는 각 제품에 대해 대체 공정순서와 대체기계를 임의대로 결정한 공정계획이다. 이는 일정계획을 고려하지 않고 임의대로 한 여러 번의 공정계획에서 가장 좋은 결과를 보인 것이다.

<표 4>는 각 제품에 대해 임의대로 결정한 공정계획을 바탕으로 일정계획을 수행한 결과와 공정계획과 일정계획을 통합한 경우의 Makespan 값이다. 같은 GA 방법론으로 공정계획과 일정계획을 통합 고려한 경우의 Makespan이 개선되었음을 확인할 수 있다. 최종 모집단 내에는 같은 값을 가지는 많은 해가 존재하기에 최종 결정된 공정계획은 제시하지 않는다.

<표 1> Elbow 제품의 공정계획

Job	공정순서(가공시간)					
1. 이젝트판	MM2 (20)	RD (15)				
2. 고정축/가동축 고정판	MM1 (20)	RD (10)				
3. 고정축형판	LM (16)	MM3 (30)	RD (12)			
4. 가동축형판	LM (30)	MM2 (30)	RD (12)			
5. 고정축코아	MM1 (18)	RD (3)	NCM (4)	E1 (20)	SF1 (10)	L (10)
6. 이동축코아	MM2 (30)	RD (12)	L (10)	E2 (20)	SF1 (15)	
7. 슬라이드 코아	MM3 (5)	E1 (4)	SF1 (6)	L (10)	RD (5)	

<표 2> Picnic Case 제품의 공정계획

Job	공정순서(가공시간)					
1. 가동축형판	LM (14)	RD (17)				
2. 고정축형판	LM (14)	RD (5)				
3. 이젝트판						
4. 고정축/가동축 고정판						
5. 스트립판						
6. 고정축코아	MM3 (4)	RD (6)	NCM (6)	E1 (8)	SF1 (10)	
7. 가동축코아	MM2 (5)	RD (6)	NCM (6)	E2 (12)	SF1 (10)	
8. 스트립판코아	MM3 (3)	RD (4)	NCM (8)	E1 (3)	SF1 (5)	
9. 슬라이드코아	MM1 (10)	AS (2)	SF1 (3)			

<표 3> Cake Box 제품의 공정계획

Job	공정순서(가공시간)					
1. 가동축형판	LM (18)	RD (20)				
2. 고정축형판	LM (17)	RD (10)				
3. 이젝트판						
4. 고정축/가동축 고정판						
5. 가동축코아	MM2 (4)	RD (7)	E1 (4)	NCM (19)	SF1 (10)	
6. 고정축코아	MM2 (4)				SF1 (10)	
7. 스트리퍼판			E1 (3)	SF2 (5)		

<표 4> 통합 일정계획의 결과 비교

제품명	Makespan (단위 : 시간)	
	비통합	통합
Elbow	92	88
Picnic Case	65	62
Cake Box	69	61

3.2 MT 벤치마크 문제

MT 문제는 벤치마크 문제 중 가장 많이 사용되는 문제로 Muth와 Thomson[6]에 의해 제시되었다. <표 5>는 세 개의 MT 문제에서 이전의 연구에 의해 얻어진 결과들이다. 이전 연구의 결과들에 비해 제시된 GA의 해가 우수함을 확인할 수 있다[1].

<표 5> MT 벤치마크 문제의 결과 비교

비교논문	MT6 (6×6)	MT10 (10×10)	MT20 (20×5)
본 연구	55	936	1165
Nakano & Yamada	55	965	1215
Yamada & Nakano	55	930	1184
Gen	55	962	1175
Fang	-	949	1189
Dorndorf1 & Pesch	55	960	1249
Dorndorf2 & Pesch	55	938	1178
Croce	55	946	1178
Cheng	55	948	1196
Bierwirth	55	936	1181
제시된 GA	55	936	1178

[3] Huang, S.H., H.C. Zhang and M.L. Smith, "A progressive approach for the integration of process planning and scheduling," 27(1995), pp.456-464.

[4] Khoshnevis, B. and Q. Chen, "Integration of process planning and scheduling functions," Journal of Intelligent Manufacturing, 1(1990), pp.165-176.

[5] Lee, Y.H., C.S. Jeong and C.U. Moon, "Advanced planning and scheduling with outsourcing in manufacturing supply chain," Computers & Industrial Engineering, 43(2002), pp.351-374.

[6] Muth, J.F. and G.L. Thompson, Industrial Scheduling, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1963.

[7] Palmer, G.J., "A simulated annealing approach to integrated production scheduling", Journal of Intelligent Manufacturing, 7(1996), pp.163-176.

4. 결론

제조업체에서의 중요한 부분 중의 하나는 최대한 빠르게 고객의 주문을 처리할 수 있는 납기일을 산출하는 것이다. 납기일의 산출을 위해서는 각 job들에 대한 공정순서의 결정, 각 공정에 대한 기계선정 그리고 각 기계들에 대한 일정계획이 동시에 통합적으로 고려되어 결정되어야 한다. 공정계획과 일정계획의 통합은 공정계획과 일정계획을 순차적으로 수행으로 생기는 시행착오와 재계획 작업을 줄이는 최상의 공정순서와 일정계획을 동시에 생성한다.

본 연구에서는 GA 기반으로 한 접근법을 통해 공정계획과 일정계획을 통합함으로써 makespan을 개선할 수 있음을 보였고, 이를 통해 보다 실제적이고 효율적으로 고객납기에 대응할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 박병주, 김현수, "Job Shop 일정계획을 위한 혼합 유전 알고리즘", [한국경영과학회지], 제26권, 제2호(2001), pp.59-68.

[2] Brandimarte, P. and M. Calderini, M., "A heuristic bicriterion approach to integrated process plan selection and job shop scheduling," International Journal of Production Research, 33(1995), pp.161-181.