

다중 공정계획을 가지는 유연 개별공정 일정계획 문제에 대한 우선순위 규칙 기반 알고리즘

Priority rule based algorithms for flexible job shop scheduling with multiple process plans

*#이동호¹, 도형호¹, 유재민¹, 김형원¹, 김지수¹, 남성호²

*#D.-H. Lee(leman@hanyang.ac.kr)¹, H.-H. Doh¹, J.-M. Yu¹, H.-W. Kim¹, J.-S. Kim¹, S. H. Nam²

¹ 한양대학교 산업공학과, ² 한국생산기술연구원 디지털협업센터

Key words : Flexible job shop scheduling; Multiple process plans; Priority rules; Simulation

1. 서론

본 논문에서는 기존 유연 개별공정 일정계획 문제의 한계점인 대안기계만을 고려하는 형태를 확장하여 유연 자동화 시스템(flexible automation system: FAS) 환경에서 다중 공정계획을 고려하는 유연 개별공정 문제를 다룬다. 여기서, 다중 공정계획(multiple process plan)이란 가공품의 가공에 필요한 공정계획이 한 가지 이상 존재하는 경우를 말한다. 즉, 대안공정과 대안기계가 동시에 존재하는 경우로 대안기계만을 고려하는 단일 공정계획의 확장된 형태이다. 또한, FAS는 자동화 장비인 재구성형 제조 셀(reconfigurable manufacturing cell: RMC)과 작업자를 필요로 하는 기계인 레거시 시스템(legacy system)이 공존하고 있으며 RMC의 경우 대안공정을 처리할 수 능력을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서 대상으로 하는 다중 공정계획을 고려하는 유연 개별공정 일정계획문제는 대안 공정이 존재하며 각 공정이 두 개 이상의 대안기계에서 처리될 수 있으므로 작업순서를 결정하는 문제뿐만 아니라 추가적으로 공정 및 기계를 선택하는 문제를 고려해야 한다.

단일 공정계획을 고려하는 유연 개별공정 일정계획 문제와는 달리 다중 공정계획을 고려하는 유연 개별공정 일정계획 문제의 기존연구는 매우 제한적이며 문제의 복잡성 때문에 대부분 탐색기반의 발견적 기법을 제안하였다. 다중 공정계획을 고려하는 유연 개별공정 일정계획 문제에 대한 기존연구로는 Lee et al. (2002), Kim et al. (2003), Park and Choi (2006) 등이 있으며 특히, 최근 Ozguven et al. (2010)은 총 완료시간을 최소화하는 문제에 대한 혼합정수계획 모형을 제시하였다. 본 연구에서는 총 완료시간, 평균 흐름시간 등 하나의 목적함수를 다루는 기존연구와는 달리 다양한 목적함수를 다루며 현실에 적용이 가능한 다양한 우선순위 규칙 기반의 접근방법을 제안한다.

2. 문제정의

본 연구에서는 대상 FAS의 특성을 반영하여 다중 공정계획을 고려한 유연 개별공정 일정계획 문제를 다룬다. 가공품에 대한 다중 공정계획은 아래의 Fig. 1과 같이 네트워크 형태로 표현할 수 있으며 나무구조의 모든 가능한 공정계획을 표현할 수 있다(Ho and Moodie 1996).

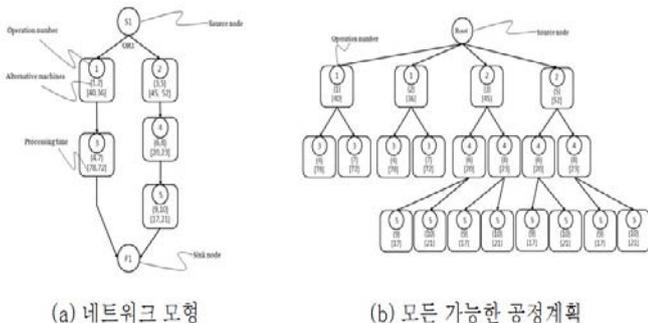


Fig. 1 다중 공정계획의 표현: 예

위의 그림에서 다중 공정계획을 표현하는 네트워크에는 크게 source, intermediate, 그리고 sink node와 같은 세 가지 종류의 node가 있으며 source와 sink는 각각 작업의 시작과 끝을 표현하는 반면 intermediate node는 작업을 구성하는 대안공정들을 나타내며 해당 공정을 수행할 수 있는 대안기계 및 소요되는 가공시간에 대한 정보를 포함한다. 본 논문에서는 이중기계를 고려하므로 같은 공정이라도 처리시간은 기계에 따라 다를 수 있다. Fig 1(a)는 5개의 intermediate node가 존재하는 다중 공정계획에 대한 네트워크의 예이며 두 가지 경로 s-1-3-t와 s-2-4-5-t를 가지고 경로 s-1-3-t이 선택될 경우 공정 1에서는 기계 1 혹은 2에서 처리될 수 있으며 처리시간은 각각 40과 36가 된다.

이상의 다중 공정계획에 대한 설명을 바탕으로 본 논문에서 대상으로 하는 다중 공정계획을 고려한 유연 개별공정 일정계획 문제란 주어진 가공품에 대하여 다중 공정계획 중 하나를 선택하고(공정계획 선택 문제) 각 가공품별 주어진 공정계획에 따라 각 기계에 할당된 작업들에 대한 작업순서를 결정하는 문제(개별공정 일정계획 문제)로 간략히 정의할 수 있다. 기본적인 가정사항들은 일반적인 일정계획 문제들의 가정사항과 유사하며 대상 일정계획 문제에 대한 목적함수로는 생산율과 관련된 총 완료시간의 최소화, 제공제고와 관련된 평균 흐름시간의 최소화, 및 납기 만족과 관련된 평균 납기 지연의 최소화, 납기 지연 작업 수의 최소화, 최대 납기 지연의 최소화를 고려한다. 앞에서 설명한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 이론적인 최적기법이나 탐색기법 대신 현장 관리자나 작업자들이 이해하기 쉽고 적용하기 편리하며 빠른 계산시간 내에 적절한 품질의 해를 주는 우선순위 규칙을 기반으로 한 알고리즘을 제안한다.

3. 우선순위 규칙 기반 알고리즘

본 연구에서 대상으로 하는 유연 개별공정 일정계획 문제는 크게 공정계획 선택 문제와 개별공정 일정계획 문제로 구성된다. 이에 따라 우선순위 규칙 또한 공정계획 선택 규칙과 개별공정 일정계획 규칙으로 나누어 진다.

먼저, 공정계획 선택 규칙은 임의의 공정이 완료된 후 다음 공정과 기계를 선택할 때 사용되며 구체적으로는 기계를 선택할 경우 공정도 같이 선택된다. 공정계획 선택 규칙으로는 다음과 같은 것들이 있다.

- SQ (shortest queue): 대기열에 대기 중인 가공품이 가장 적은 기계선택
- SW (smallest workload): 대기열에 대기 중인 가공품들의 총 작업부하가 가장 적은 기계선택(작업부하는 대기 중인 작업들의 공정시간의 합을 의미)
- SP(shortest processing): 대기열에 대기 중인 가공품의 해당 공정시간이 가장 적은 기계선택

다음으로, 개별공정 일정계획 규칙이란 임의의 기계에서 해당 공정 완료 후 대기열에 대기 중인 작업들 중 하나를 선택하는 규칙으로 다음과 같은 것들이 있다.

- FIFO (first in first out): 먼저 도착한 작업선택.
- SPT (shortest processing time): 공정시간이 가장 짧은 작업선택

- WINQ (work in next queue): 해당 작업의 다음 공정이 수행될 기계에서 대기행렬을 길이가 가장 짧은 작업 선택(OR 관계가 있을 경우 대안 경로의 잔여공정 처리시간의 합의 평균을 사용)
- LWKR (least work remaining): 잔여공정 처리시간의 합이 가장 적은 작업선택
- LOPR (least operation remaining): 잔여공정의 수가 가장 적은 작업선택
- MTWK (minimum total work): 총 공정시간의 합이 적은 작업선택
- EDD (earliest due date): 납기가 가장 빠른 작업선택
- MST (minimum slack time): 여유시간이 가장 적은 작업선택(여유시간 = 납기 - 현재시간 - 잔여시간)
- CR (critical ratio): critical ratio 값이 가장 적은 작업선택(critical ratio = 여유시간/ 잔여시간)
- ATC (apparent tardiness cost): ATC 값이 가장 적은 작업선택(ATC 란 다음과 같으며 자세한 설명은 생략)

$$i^* = \arg \max_{i \in I} \left[\exp \left(- \left(d_i - b \cdot (w_{ij(i)} - t_{ij(i)k}) - t_{ij(i)k} - t \right)^+ / a \cdot \bar{t} \right) / t_{ij(i)k} \right]$$

- COVERT (cost over time): COVERT 값이 가장 적은 작업선택(COVERT 란 다음과 같으며 자세한 설명은 생략)

$$i^* = \arg \max_{i \in I} \left[\left\{ 1 - \frac{(d_i - w_{ij(i)} - t)}{a \cdot b \cdot w_{ij(i)}} \right\}^+ / t_{ij(i)k} \right]$$

- MDD (modified due date): MDD 값이 가장 적은 작업 선택(MDD 란 다음과 같으며 자세한 설명은 생략)

$$i^* = \arg \min_{i \in I} \{ \max(d_i, t + w_{ij(i)}) \}$$

4. 실험결과

본 연구에서는 앞에서 설명한 공정계획 선택을 위한 3 가지 규칙과 개별공정 일정계획을 위한 12 가지 규칙을 조합하여 총 36 개의 우선순위 규칙의 조합에 대하여 시뮬레이션 실험을 통하여 성능을 평가하였다. 성능 평가를 위해 앞서 설명한 생산율, 제공재고, 납기만족 관련 목적함수를 사용하였으며 평가기준으로는 relative performance ratio (RPR) 을 사용하였다.

$$100 \cdot (C_a - C_{best}) / C_{best}$$

여기서, C_a 는 알고리즘 a 를 사용하여 얻은 목적함수 값이며 C_{best} 는 36 개의 우선순위 규칙 조합에 대한 목적함수 값들 중 가장 좋은 것을 의미한다.

본 실험을 위하여 유연 자동화 시스템 내 기계의 수는 [20, 40, 60, 80]대를 가공품의 수는 [10, 30], 대상 시스템 내의 RMC 기계의 비율은 [0%, 20%, 40%]로 분류하였으며 총 240 문제를 생성하였다. (생성한 문제들에 대한 자세한 데이터는 생략한다.)

아래의 Fig. 2 는 실험결과를 보여주고 있다. 계산실험 결과 기계(공정)선택 우선순위 규칙으로는 SP 규칙이 다른 규칙들보다는 상대적으로 우수한 결과를 주었으며 작업 선택 우선순위 규칙으로는 CR, COVERT, MDD 가 전반적으로 좋은 결과를 주었다. 총 완료시간 기준에서는 SP-ATC 조합이 가장 성능이 좋았으나 다른 우수한 조합인 SP-CR, SP-COVERT, SP-MDD 와 큰 차이는 보이지 않았다. 평균 흐름 시간(mean flow time), 평균 납기지연(mean tardiness), 납기 지연 작업 수(number of tardy jobs), 최대 납기지연(maximum tardiness) 기준을 보면 SP-CR 조합이 성능이 가장 좋았으나 SP-COVERT, SP-MDD 와 큰 차이는 보이지 않았다. 특히, 납기관련 기준의 경우 FIFO 대비 매우 우수한 결과를 보여 주었다.

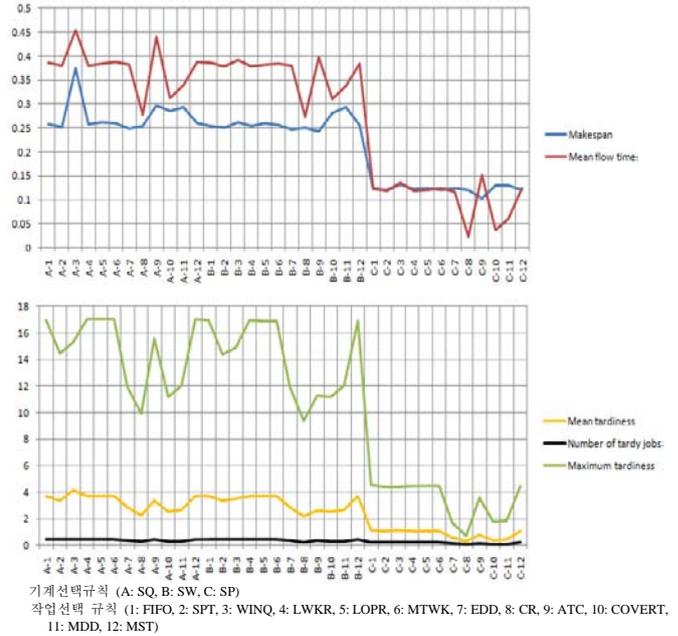


Fig. 2 우선순위 규칙 조합에 대한 실험결과

5. 결론

본 논문에서는 대안공정과 대안기계를 동시에 고려하는 유연 개별공정 일정계획 문제를 다루었으며 다양한 시스템 환경과 다양한 목적함수 하에서 현장에 쉽게 적용할 수 있도록 빠른 계산시간 내에 적절한 품질의 해를 주는 우선순위 규칙 기반 알고리즘을 제안하고 실험결과를 제시하였다. 추후 연구방향으로는 가공품이 연속적으로 도착하는 경우를 다루는 동적인 경우 특히 긴급주문이나 기계고장과 같은 예외 사항에 대응 하는 실시간 일정계획에 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 지식경제부의 산업원천기술 개발사업(과제번호: 10033895-2009-11)의 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Kim, Y. K., Park, K. and Ko, J., "A symbiotic evolutionary algorithm for the integration of process planning and job shop scheduling", Computers and Operation Research, Vol. 30, pp. 1151-1171, 2003.
2. Lee, Y. H., Jeong, C. S. and Moon, C., "Advanced planning and scheduling with outsourcing in manufacturing supply chain", Computer and Industrial Engineering, Vol. 43, pp. 351-374, 2002.
3. Ozguven, C., Ozbakir, L. and Yavuz, Y., "Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility", Applied Mathematical Modelling, Vol. 34, pp. 1539-1548, 2010.
4. Park, B. J. and Choi, H. R., "A genetic algorithm for integration of process planning and scheduling in a job shop", Lecture Notes in Artificial Intelligence, Vol. 4304, pp. 647-657, 2006.
5. Ho, Y. C. and Moodie, C. L., "Solving cell formation problems in a manufacturing environment with flexible processing and routing capabilities", International Journal of Production Research, Vol. 34, pp. 2901-2923, 1996.