

## 장치이상을 고려한 동적 생산계획 최적화 모델 개발

하진국, 이의수\*

동국대학교 생명화학공학과

(eslee@dgu.edu\*)

### A development of the optimization model for reactive scheduling strategy under operational uncertainties

Jin-Kuk Ha, Euy Soo Lee\*

Department of Chemical & Biochemical Engineering, Dongguk University

(eslee@dgu.edu\*)

#### 1. 서론

불연속 화학공정은 소비자 수요에 탄력성 있게 대처할 수 있는 장점이 있는 반면에 그 특유의 동특성 때문에 복잡하고, 계획된 조업 시간과 실제 조업 시간 사이에서 외란 또는 불확실 변수(uncertainty)에 의한 차이가 자주 발생하는 단점이 있다. 일반적으로 생산계획을 고려하는데 있어서 대부분의 연구에서는 공정의 변수 값들이 생산공정의 전 공정시간까지 결정론적이며 어떠한 변화가 일어나지 않는다고 가정하여 생산계획 문제를 다루어 왔다. 이러한 공정의 변수가 결정론적인 경우(deterministic case)의 생산계획은 제품을 생산하는 운전의 관리와 원료의 수습, 원료의 할당과 같은 계획된 작업들을 위하여 항상 선행되어왔다. 그러나, 회분식 생산공정은 그 특유의 동특성적인 환경 때문에 계획된 조업과 실제 조업 사이에서 장치이상, 원료의 공급지연, 제품의 생산시간 변경 등의 외란(disruption) 또는 불확실 변수(uncertainty)에 의한 차이가 자주 발생한다. 이러한 외란은 이미 결정된 생산계획(predictive scheduling)을 효율성을 낮추며, 더 이상 새로운 환경에 적용할 수 없게 된다. 이에 외란이 발생하였을 때 생산계획 문제는 더 이상 예측생산계획의 문제가 아니고 동적 생산계획(reactive scheduling)의 문제가 된다. 본 논문에서는 UIS 저장 운용 방안을 채택한 다품종 회분식 공정에서 장치이상이 발생하였을 때, 예측생산계획(predictive scheduling)에 의해 결정된 결과에 의한 생산계획에서 미래에 발생하는 공정 변수 값의 변화에 의해 실시간으로 최적 생산 일정 계획을 수정 제시하여 주는 생산 계획 시스템인 동적 생산계획(reactive scheduling) 기법을 개발하였다. 불확실 인자를 고려한 동적 생산계획에서 장치 이상(equipment failure)이 발생하였을 때 공정 운전조건의 변화를 실시간으로 반영하여 예측생산계획(predictive scheduling) 모델에 의하여 제시된 전체 생산 계획을 최대한 유지하면서, 공정 변수의 변화를 실시간으로 반영하기 위하여 right shift rescheduling과 total regeneration 기법을 사용하였다. 또한, 불확실 인자의 발생 전후의 predictive scheduling과 rescheduling 간의

변화 정도를 측정하는 수단인 schedule stability 측정을 위하여, 본 논문에서는 수정된 sequence deviation과 percentage change in makespan을 사용하여 제안된 동적 생산계획의 안정성을 측정하였다.

## **2. 다품종 회분식 공정에서 장치이상을 고려한 동적 생산계획**

회분식 공정의 운전상황에서 장치 이상이 발생하였을 때 예측 생산계획에 의해 결정된 전체 생산일정계획에 미치는 영향을 알아보면 다음과 같다.

- 1) 실제 생산공정 상황에서 장치 이상 혹은 고장이 발생하게 되면, 예측 생산계획 모델에 의해 결정된 생산 일정 계획에서 불가피하게 일부 또는 전체 생산공정에서의 조업시작시간을 조절해야 한다.
- 2) 생산 제품들의 due date 를 맞추기 위해서는 일부 또는 전체 제품의 생산 순서를 변경해야 하는 상황이 발생하게 된다.
- 3) 장치고장으로 인해 직·간접으로 영향을 받는 제품 및 장치를 분류하여 새롭게 작업(task)을 재할당해야 한다.

### **2.1 Right-shift rescheduling approach**

Right shift rescheduling은 장치이상이 발생하였을 때 계획된 예측생산계획(predictive scheduling)에 의해 결정된 스케줄을 실행할 수 있도록 필요한 시간(장치 수리시간,  $T_{repair}$ )만큼 각 단위공정에서 남아있는 제품의 시작시간과 끝나는 시간을 연기하는

기법이다. Predictive scheduling (deterministic schedule)은 MILP 모델을 이용하여 먼저 계산된다. 따라서, 모든 이진변수  $X_{ik}$  는 각 단위공정에 모든 제품들을 할당을 하며 연속변수들은 정해진 제품의 순서와 각 단위공정에서 시작시간과 끝나는 시간에 따라 공정 운영을 시작하게 된다. 만약 특별한 시간,  $T_{break}$  에 단위공정  $j_{break}$  에서 장치이상이 발생하였을 때, 장치이상의 영향을 반영하기 위한 새로운 함수를 위해 새로운 제약조건 및 집합이 도입된다. 장치이상이 단위공정  $j_{break}$  에서  $T_{break}$  에 발생되고, 고치는 시간  $T_{repair}$  이 요구되는 right shift rescheduling은 다음 알고리즘을 통하여 고려될 수 있다.

Step 1: Predictive schedule에서의 할당된 각 단위공정에서의 제품순서를 위하여 이진변수  $X_{ik}$  를 고정시킨다.

Step 2: Step 1은 장치고장에 의하여 영향을 받지 않는 제품  $i$  와 time slot  $k$  에 대한 right shift rescheduling 단계이다.

Step 3: 장치고장에 의하여 영향을 받는 product  $i$  와 time slot  $k$  에 대한 right shift rescheduling 단계이다. 또한 장치고장이 발생한 단위공정  $j_{break}$  에서의 shift starting times(= $T_{repair}$ )을 위한 time constraints 조건식이 추가된다.

Step 4: 각 단위공정에서 남아있는 제품의 시작시간과 끝나는 시간을 재설정함으로써 아래 식과 같이 목적함수가 변경된다.

## 2.2 Total regeneration approach

Total regeneration은 제품의 생산공정에서 외란이 발생하였을 때 외란에 의해 직·간접적으로 영향을 받는 제품과 외란이 발생한 시점에서 공정을 시작하지 않은 제품을 reschedule하는 기법이다. 따라서, initial schedule(predictive scheduling)에 의해서 결정된 정보로부터 외란이 발생한 시점에서 동적 생산계획을 위해 필수적인 데이터를 분류, 추출이 필요하다. 외란이 발생하였을 때 새로운 스케줄을 위해 예측생산계획(predictive scheduling)에서 얻어지는 정보는 다음과 같다.

- the present state
- production order of products  $i$  in machine  $j$
- starting & ending times of product  $i$  in machine  $j$

또한, 장치이상이 단위공정  $j$  에서 특별한 시간,  $T_{break}$  에 발생하였을 때 다음과 같은 데이터를 분류, 추출할 수 있다.

- the entire set of jobs not processed at  $T_{break}$ ,  $I_{NP}^r$
- the set of jobs affected directly or indirectly by machine failure on unit  $j$ ,  $I_{AP}^r$
- the set of jobs not affected by machine failure on unit  $j$ ,  $I_{NAP}^r$
- $I^r = I_{NAP}^r \cup I_{AP}^r$
- the entire set of time slots not processed at  $T_{break}$ ,  $K_{NA}^r$
- the set of time slots affected directly or indirectly by machine failure on unit  $j$ ,  $K_{AA}^r$
- the set of time slots not affected by machine failure on unit  $j$ ,  $K_{NAA}^r$
- $K^r = K_{NAA}^r \cup K_{AA}^r$

## 3. 적용 예제

Guo와 Nonaka[7]는 다품종 회분식 공정에서 장치이상이 발생하였을 때 right shift scheduling 기법을 이용하여 각 단위공정에서의 시작시간을 변경하였을 때 initial scheduling의 조업완료시간의 변화를 최소화하는 생산순서를 결정하는 robust scheduling 기법을 제안하였다. 본 예제에서는 Guo에 의해 제안된 기법과 본 논문에서 제안된 rescheduling 분석기법을 비교하였다. 모든 제품의 각 단위공정에서의 생산시간은 table 1 과 같다. 장치이상은 단위공정 2에서 장치이상이  $T_{break} = 12h$  에서 발생하고, 단위공정 2의 장치 수리시간,  $T_{repair} = 6h$  일 때로 가정하였다. 이에 대한 결과는 table 2, 3 에 나타내었다.

## 4. 결론

불확실 인자를 고려한 동적 생산계획에서 rescheduling factors 에서 장치 이상(equipment failure)이 발생하였을 때 공정 운전조건의 변화를 실시간으로 반영하여 예측생산계획(predictive scheduling) 모델에 의하여 제시된 전체 생산 계획을 최대한 유지하면서, 공정 변수의 변화를 실시간으로 반영할 수 있는 right shift rescheduling 과 total regeneration 을 위한 MILP 모델식을 개발하였다. 본 논문에서는 수정된 sequence

deviation 과 percentage change in makespan 을 사용하여 제안된 동적 생산계획의 안정성을 측정하였다. 이러한 schedule stability 측정은 right shift rescheduling 과 total regeneration 의 선택 기준을 제시해 준다.

Table 1. Data for example (flowshop under UIS)

Product unit	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Unit 1	15	7	9	28	1	1	7
Unit 2	5	4	14	11	17	8	2
Unit 3	14	2	18	9	4	3	4

Table 2. Results of compare with Guo' schedule for example (flowshop under UIS)

	Initial scheduling of Guo	Predictive scheduling
Product order	P3-P1-P5-P4-P2-P7-P6	P5-P1-P3-P6-P4-P7-P2
Makespan	82h	80h
Makespan in right shift rescheduling	83h	80h
Percentage change in makespan	1.2%	0%

Table 3. Results of the proposed rescheduling for example (flowshop under UIS)

	Predictive scheduling	Right shift rescheduling	Total regeneration
Product order	P5-P1-P3-P6-P4-P7-P2	P5-P1-P3-P6-P4-P7-P2	P5-P1-P3-P6-P4-P2-P7
Makespan	80h	80h	80h
Sequence deviation	-	-	1
Percentage change in makespan	-	0%	0%

### 참고문헌

1. R. J. Abumaizar and J. A. Seestka, "Rescheduling job shops under random disruption", *INT. J. PROD. RES.*, **35(7)**, 2065-2082(1997).
2. Bo Guo and Yasuo Nonaka, "Rescheduling and Optimization of Schedules considering machine failures", *Int. J. Production Economics*, **60(61)**, 503-513(1999).
3. Wu, D. S., Storer R. A., and Chang P. C., "One-Machine Rescheduling Heuristics with Efficiency and Stability as Criteria", *Computers and Operation Research*, **20**, 1-14(1993).

### 감사

본 연구는 국제IMS프로그램 연구개발사업비(CHEM)의 지원으로 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.