

다품종 회분식 공정에서 장치이상을 고려한 동적 생산계획

하진국, 이의수*
 동국대학교 생명화학공학과
 (eslee@dgu.edu*)

Reactive scheduling in multiproduct batch plants with equipment-failure

Jin-Kuk Ha, Euy Soo Lee*
 Department of Chemical & Biochemical Engineering, Dongguk University
 (eslee@dgu.edu*)

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 변수에 의한 차이가 자주 발생하는 단점이 있다. 현재까지 개발된 불연속 화학공정의 생산계획 모델은 공정 변수 값들이 특정한 값으로 고정되어 있을 경우에 대한 생산계획인 예측 생산계획(predictive scheduling) 모델이며 이러한 생산 일정 계획은 시간의 경과에 따라 발생하는 여러 가지 불확실 변수값들의 변화에 의해서 더 이상 최적 값을 갖지 못하게 된다. 따라서 변수들의 변화에 따라 실시간으로 최적 생산 일정 계획을 수정 제시하여 주는 생산 계획 시스템인 동적 생산계획(reactive scheduling) 모델이 필요하다. 불연속 화학공정의 실제 운전상황에서 공정 변수 값들의 예측 값의 변동이나, 공정의 운전상황에서 예기치 않는 불확실 변수들을 rescheduling factors 라고 한다. 본 연구에서는 rescheduling factors 중에서 장치 이상(equipment failure)이 발생하였을 때 공정 운전조건의 변화를 실시간으로 반영하여 예측 생산계획 모델에 의하여 제시된 생산 일정 계획을 수정하여 주는 불확실 변수 해석 모델을 개발하였다.

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 조업 시작시간을 조절해야 한다.
- 2) 생산 제품들의 due date를 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.

이러한 영향들에 대해 대처할 수 있는 동적 생산계획 모델을 개발하였으며, 이와 함께 공정의 운전상황에서 발생하는 예기치 않은 rescheduling factors에 대한 동적 생산계획의 연구에서 요구되는 특징은 공정 변수값이 특정한 값으로 고정되어 있을 경우에 대한 예측 생산계획 모델로부터 주어지는 전체 생산계획을 최대한 유지되어야 하며, 얼마나 빨리 대처해야 하는가에 달려있다. 따라서 불확실 변수가 발생하였을 때 예측 생산계획 모델에서 결정된 전체 생산계획의 변화 정도를 평가하고 측정할 수 있는 기준(criteria)이 필요하며, 또한 운전상황에서 외란이 발생했을 때 신속한 대처를 위해서는 on-line 기법과 통계적인 기법이 필요하다.

본론

(1) 동적 생산계획(reactive scheduling)

공정 변수들의 변화에 따라 실시간으로 최적 생산 일정 계획을 수정 제시하여 주는 생산 계획 시스템을 동적 생산계획 모델이라 하며, 이러한 동적 생산계획 모델에 있어서 공정 변수들의 변화에 영향을 미치는 불확실 변수인 rescheduling factors로는 다음과 같은 일반적인 요소들이 있다.

- 장치 이상 (equipment failure)
- Urgent job arrival
- Job cancellation
- 납기 요구 시기 변경(due-date change)
- 원료 수급의 변경(delay in arrival or shortage of materials)
- 작업 순서의 변경(change in job priority)
- 처리시간의 변경(over- or underestimation of processing time)

예측 생산계획 모델에서 불확실 변수가 발생했을 때 실시간으로 최적 생산일정계획을 수정 제시하여 주는 동적 생산계획 모델 전략에 대하여 알아보면 다음과 같다.

Robust Scheduling : 공정의 운전상황에서 외란이 발생했을 경우 빠르게 대처하고 그 다음 단계의 대책을 세우는 것이 가장 좋은 방법이나, 불연속 화학공정에서는 예측하기 어려운 부분이 많이 발생하므로 외란 발생시에도 영향을 적게 받는 방안을 마련하고 변화의 추세를 미리 예측하여 예측 생산계획 모델을 강건하게 할 필요가 있다. 이와 같이 통계적인 데이터를 기초로 앞으로의 변화추세를 나타내는 파라미터를 사용하여 통계적인 기법을 통하여 외란이 발생하여도 이를 흡수할 수 있도록 강건한 예측 생산계획을 세우는 기법을 robust scheduling 이라 한다.

Right-shift scheduling : 아래 그림 1의 (a) 에서와 같이 장치 M2에서 $t-r$ 시간에서 고장이 일어났을 때 장치 M2를 고치는 시간 r 동안 제품의 처리를 중단하였다가 장치 M2가 정상이 되면 공정을 계속하도록 하여 그림 1의 (b)에서와 같이 Gantt chart를 오른쪽으로 이동시켜 계속 공정운전을 할 수 있도록 하는 생산계획 기법이다. 즉, 장치 M2가 정상이 되는 시간 동안 이후 제품들에 대한 각 공정에서의 조업시작시간을 늦추는 생산계획 기법이다.

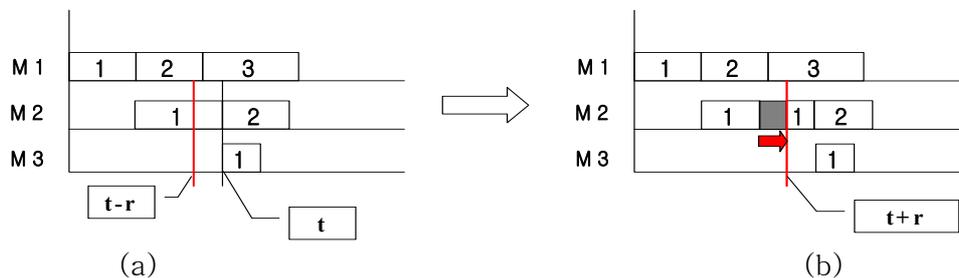


그림 1. Right-shift scheduling의 Gantt chart

Partial rescheduling : 공정의 운전상황에서 외란이 발생했을 경우에 직·간접적으로 영향을 받는 생산관련 변수 및 소비자 변수만을 다시 scheduling 하는 기법이다. 이 기법은 일반적으로 장치 이상이 발생하였을 경우는 제품의 시작시간(starting time)의 조절과 대체 장치로의 교환 등의 경험적인 ordering rules 기법을 사용한다.

Complete regeneration : 공정의 운전상황에서 장치 이상 등과 같은 외란이 발생한 시

점, 즉 rescheduling point 시점에서 공정의 운전상황에서 외란의 영향을 받지 않는 변수들뿐만 아니라 공정을 시작하지 않은 변수 모두에 대하여 새롭게 rescheduling 하는 기법이다.

(2) 장치 이상에 대한 동적 생산계획

불확실 변수가 발생하였을 때 예측 생산계획 모델에서 결정된 전체 생산계획의 변화 정도를 평가하고 측정할 수 있는 기준(criteria)이 필요한데 본 연구에서는 최대 허용 유휴시간(maximum allowable idle time)을 그 평가 기준으로 삼았다. 유휴시간(idle time)은 장치가 아무 작업도 하지 않고 쉬고 있는 시간을 의미한다. 예측 생산계획 모델에서 결정된 생산 일정 계획에서 시간의 경과에 따른 각 장치에서의 유휴시간을 구할 수 있으며 따라서 전체 공정에 대한 최대 허용 유휴시간을 구할 수 있다. 그림 2에서와 같이 전체 생산공정에서 장치 m에 대한 최대 허용 유휴시간은 공정운전의 시간이 흘러감에 따라 감소하며 장치의 고장은 어느 시점에서 발생할지는 모르지만 장치 m에서 이상이 발생했을 때 장치 m을 정상화하기 위해 소요되는 고치는 시간(repair time)과 기다려야 하는 시간(waiting time) 즉 전체 고장시간(total downtime)은 미리 예측할 수 있다.

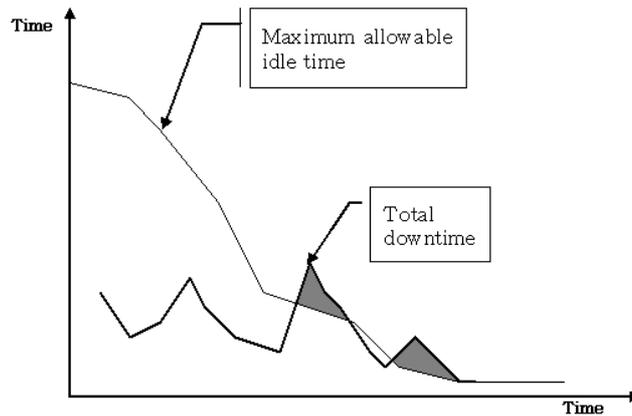


그림 2. 최대 허용 유휴시간과 전체 고장시간에 대한 실례

그렇다면, 그림 2에서와 같이 총 공정운전 시간에서 특정시간에 장치 m에서 이상이 발생하더라도 장치 이상이 발생한 시점에서의 전체 고장시간 값이 최대 허용 유휴시간을 초과하지 않으면 전체 생산계획의 목적함수에는 영향을 미치지 못하므로 단순히 장치 m에서의 조업완료시간을 조절하면 된다. 즉 전반적인 rescheduling이 필요하지 않다. 그러나 그림 2에서 장치 이상이 발생한 시점에서의 전체 고장시간 값이 최대 허용 유휴시간을 초과한 경우(음영으로 표시한 부분)에는 rescheduling이 필요하게 된다.

이에 전체 생산계획에서의 장치 m에 대한 최대 허용 유휴시간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$MST_m = \min(EN_j - ST_j \times d_j - CP_j) \quad (1)$$

여기서 각 job j에 대하여 EN_j 는 조업완료시간, ST_j 는 조업시작시간, d_j 는 due date 그리고 CP_j 는 조업완료시간을 나타낸다.

본 연구에서 single machine에서의 장치이상이 발생하였을 때의 rescheduling을 위한 수식을 정리하면 다음과 같다.

$$TRT_m = W_m + RET_m \quad (2)$$

$$Dt_m = W_m + RET_m \quad (3)$$

$$CP_j^* = CP_j + Dt_j \quad (4)$$

$$d_j^* = t + RP_j \quad (5)$$

$$RP_j = \sum_{b=1}^B \sum_{i=1}^I P_{ib} X_{ib} \quad (6)$$

$$X_{ib} = \begin{cases} 1 & \text{if operation } i \text{ of unit } b \text{ has not been processed} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$\text{목적함수 : } ERT = \sum_{j=1}^J |d_j^* - CP_j^*| \quad (8)$$

여기서, TRT 는 전체고장시간, W 는 장치수리 후 기다리는 시간, RET 는 장치의 수리시간(repair time), CP_j 는 장치 고장 이전의 job j 의 실제 조업완료시간이며, CP_j^* 는 장치 고장 이후의 수정된 조업완료시간, t 는 장치 고장이 발생한 현재의 시간(current time)이며, RP_j 는 남아 있는 작업들에 대한 생산시간의 합, P_{ib} 는 장치 b 에서 작업 i 의 생산시간이다. 따라서 식(1) ~ (8)을 통하여 생산계획의 검토기간(scheduling horizon)에서 장치 이상이 발생하였을 때 동적 생산계획의 생산일정계획을 재결정할 수 있다.

결론

불연속 화학공정의 운전상황에서 공정 변수 값들의 예측 값의 변동이나, 공정의 운전상황에 영향을 미치는 불확실 변수에는 장치의 고장, 조업자의 실수, urgent job arrival, 납기 요구 시기 변경, job cancellation, 원료의 도착 지연, 제품 생산 순서 변경, 생산시간의 변경 등이 있다. 이러한 불확실 변수에 의한 공정 운전상황의 변화로 인해 예측 생산계획 모델에 의하여 제시되는 생산 일정 계획은 시간의 경과에 따라 발생하는 여러 가지 불확실 변수값들의 변화에 의해서 더 이상 최적 값을 갖지 못하게 된다. 이에 본 연구에서는 운전상황에서 발생하는 장치이상에 대한 공정해석을 통해 이에 대한 새로운 공정운용의 해석 모델을 개발하였다. 본 연구는 장치의 고장에 대한 전체 생산 조건의 변화를 실시간으로 반영하여 예측 생산계획 모델에 의하여 제시된 생산 일정 계획을 수정하여 주는 불확실 변수 해석 모델이다.

참고문헌

1. Carlos A. Mendez, Jaime Cerda, "Dynamic scheduling in multiproduct batch plants", *Computer & Chemical Engineering*, **27**, 1247-1259(2003)
2. Minseok Kim and In-Beum Lee, "Rule-Based Reactive Rescheduling System for Multi-Purpose Batch Processes", *Computer & Chemical Engineering*, **21**, 1197-1202(1997)
3. R. J. Abumaiza and J. A. Svestka, "Rescheduling job shops under disruptions", *INT. J. PROD. RES.*, **35**, 2065-2082(1997)

감사

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