

회분공정의 장치 고장을 고려한 동적생산계획 기법

Rescheduling Algorithms Considering Unit Failure on the Batch Process Management

°고대호, 문일

연세대학교 화학공학과 (Tel: 361-2761; Fax: 312-6401; E-mail: kdh@pseys.yonsei.ac.kr)

Abstracts Dynamic scheduling is very important in constructing CIM and improving productivity of chemical processing systems. Computation at the scheduling level requires mostly a long time to generate an optimal schedule, so it is difficult to immediately respond to actual process events in real-time. To solve these problems, we developed dynamic scheduling algorithms such as DSMM(Dynamic Shift Modification Method), PUOM(Parallel Unit Operation Method) and UVVM(Unit Validity Verification Method). Their main functions are to minimize the effects of unexpected disturbances such as process time variations and unit failure, to predict a makespan of the updated dynamic schedule and to modify schedule desirably in real-time responding to process time variations. As a result, the algorithms generate a new pertinent schedule in real-time which is close to the original schedule but provides an efficient way of responding to the variation of process environment. Examples in a shampoo production batch process illustrate the efficiency of the algorithms.

Keywords Rescheduling, Variations, Validity, CIM, Operation

1. 동적생산계획의 필요성

회분공정은 소비자 수요에 탄력성 있게 대처할 수 있는 장점이 있는 반면에 그 특유의 동특성 때문에 복잡하고, 계획된 작업 시간과 실제 작업 시간 사이에서 외란에 의한 차이가 자주 발생하는 단점이 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하고 실시간으로 자료를 효율적으로 공유하며 전달할 수 있는 회분관리기가 필요한데, 본 연구에서는 이러한 회분관리기 속에 내장된 동적생산계획 기법에 초점을 맞추고자 한다. 동적생산계획이란 생산 작업 단계에서 공정의 변화에 대해 실시간으로 생산계획을 조절하여주는 기법이다. 현재 기존의 동적생산계획에 관한 연구는

외란에 의한 영향을 최소화시키는 것에 중점을 두고 있다[1]. 관련 연구로는, Djavdan(1991)이 제안한 중간저장탱크 사용법이 있고, Cott와 Macchietto(1989) 등이 고안한 것인 POM(Projected Operation Modification Algorithm)가 있는데 이는 각 회분들의 시작시간을 이동시킴으로써 작업 시간의 불일치를 해결한다. 또 Sanmarti(1995)의 가변생산계획(flexible schedule) 생성 방식과 Kanakamedala(1994)의 작업(task) 재할당 방식 등이 있다[2].

본 연구실에서는 각 공정 장치들의 작업시간이 변함에 따라 적절히 작업시간을 조절하는 DSMM(Dynamic Shift Modification Method)과 PUOM(Parallel Unit Operation

Method)을 개발한 바 있고 본 고에서는 이를 더 개선한 동적시간조절 알고리즘을 다룰 것이다. 특히 기존에는 잘 이루어지지 않았던 장치 고장을 고려한 시간조절 알고리즘을 개발하여 변화된 조업 시간 및 생산량을 원래의 생산일정과 비슷해지도록 하였다.

2. SP88에서의 동적생산계획

2.1 전산통합생산시스템과 회분관리기

ISA에서 규정한 SP88에 따른 회분 공정에 대한 공정제어 모델을 그림1에 나타내었는데, 여기서 규정한 회분 공정의 기준에 따르면 회분공정관리 단계(process management and unit supervision)는 하위 단계인 제어 단계를 상위 단계인 제조법관리 및 생산계획 단계와 연결하고 정보 전달을 하는 동시에 공정이 생산계획 단계에서 벗어나면 즉시 조정해주는 동적생산계획 기능을 함으로써 하위 단계와 상위 단계의 차이를 해결하고 연결시켜줌으로써 전산통합생산시스템(CIM, Computer Integrated Manufacturing)을 구축하는데 중요한 역할을 한다.

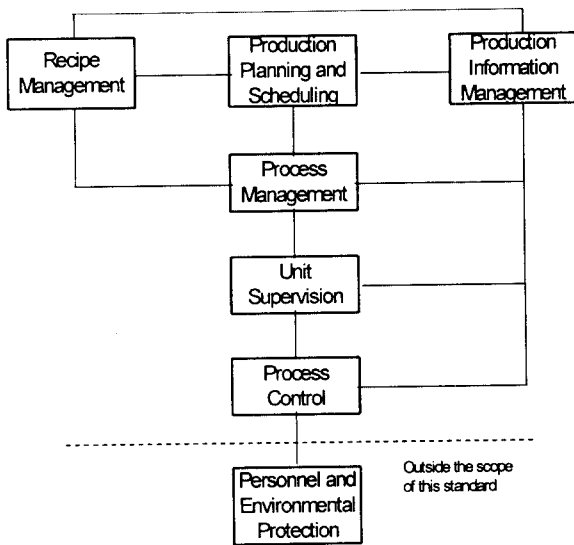


그림1. SP88의 공정제어 모델[5]

Fig. 1. Control Activity Model of SP88[5]

본연구에서는 상하부 단계의 차이를 해결하는 주요 회분공정

관리 시스템의 주요 기능인 동적생산계획에 필요한 알고리즘에 대해 중점적으로 다루었다.

2.2 관련 연구 현황

동적생산계획을 연구하는 분야로는 주로 지식-기반(knowledge-based)이나 전문가시스템(expert system)의 생산계획 규칙을 이용하여 많은 접근이 이루어지고 있다[4] 이외에도 동적생산계획 기법을 연구한 사례는 다음과 같다. 우선 Cott와 Macchietto(1989) 등이 개발한 알고리즘인 POMA를 예로 들 수 있는데, 이는 각 장치의 조업시작시각을 다시 설정해주는 방식을 취하고 있다[4]. 또, Kanakamedala(1994)는 search tree analysis에 기반을 둔 reactive schedule modification 알고리즘을 이용하여 작업(task)을 선택적으로 장치에 재할당하는 방식을 고안하였고[2], Sanmarti(1995)는 장치의 failure uncertainty를 고려한 가변생산계획 방식을 제안함으로써 rescheduling 기법을 쉽게 적용할 수 있게 하였다[1].

3. 동적생산계획 알고리즘

본연구의 동적생산계획 기능은 크게 DSMM(Dynamic Shift Modification Method)과 PUOM(Parallel Unit Operation Method), UVVM(Unit Validity Verification Method)으로 나뉘는데 본 연구실에서 기존에 행한 연구보다 나아진 점은 다음과 같다. 즉 기존에는 공정 장치들의 시간을 조절하기 위해선 단지 JIT 전략(Just In Time Policy)에 맞추어 각 장치들의 조업시작시각을 재설정(DSMM)하고 시간 지연을 해결하기 위해서 동상조업(In-phase operation)만을 이용한 PUOM 방식을 이용하였는데 본 고에서는 PUOM 방식에 이상조업(Out-of-phase operation) 방식도 활용하고 장치의 고장에 따른 공정 흐름상의 유용성도 검증하여(UVVM) 예기치 못한 공정상의 변화에 한층 더 완전하게 대처할 수 있게 하였다. 여기서 동적생산계획의 목표는 보다 빠르게 보다 많이 생산하는 것이 아니라 기업의 재고 부담을 줄이고 고객의 주문 납기일을 가장 우선하는 경영전략인 JIT(Just-In-Time) 전략에 따라 재고를 최소화하고 원래의 생산일정에서 크게 벗어나지 않도록 하는 것이다[4].

본 알고리즘을 적용할 때에 사용된 가정들은 다음과 같다.

- 생산전략은 ZW 전략이거나 NIS 전략을 사용한다.
- 회분공정의 형태는 망형이다.

3.1 DSMM(Dynamic Shift Modification Method)

어느 한 단위(unit)나 단계(stage)의 조업시작시간(EST, Earliest Start Time)을 빠르게 하거나 늦게 함으로써 외란의 영향을 바람직한 방향으로 해결한다. 가령 이를 Gantt Chart를 통해서 보면 그림2와 같다.

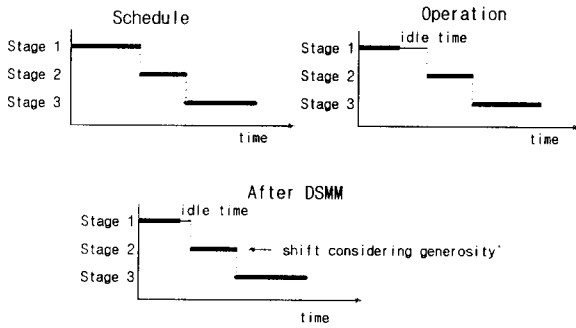


그림2. DSMM방식의 적용예

Fig. 2. An Example of DSMM

3.2 PUOM(Parallel Unit Operation Method)

장치 구조가 병렬로 이루어진 경우나 pipeless 공정의 경우, 즉 같은 기능을 할 수 있는 여분의 장치가 더 쓰일 수 있을 때, 동상조업과 이상조업 방식을 통하여 시간 지연을 극복하고 생산량을 원래의 생산일정과 맞춘다. 물론 모든 공정이 동상조업 방식을 통하여 조업시간을 단축할 수 있는 것은 아니지만, 삼푸공정과 같이 혼합, 가열 등의 조작이 대부분인 경우는 처리할 양이 줄어들면 반응시간도 단축될 수 있으므로 동상조업을 통한 조업 시간 단축이 가능하다. PUOM방식을 그림3은 동상조업방식을 이용한 경우를 Gantt Chart로 나타낸 것이다.

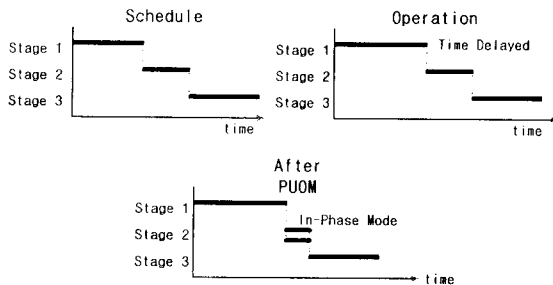


그림3. 동상조업을 이용한 PUOM 방식

Fig. 3. PUOM Method by In-Phase Operation

그림3은 1단계에서 시간지연이 일어났을 경우를 2단계에서 동상조업을 사용하여 조업시간이 생산일정보로부터 벗어나지 않도록 한다. 그림4부터 그림7까지는 PUOM 방식에서 이상조업을 사용한 경우를 Gantt Chart로 나타낸 것이다. 그림4는 임의의 생산일정이다.



그림4. 망형 회분식 공정에서의 임의의 생산일정

Fig. 4. A Production Schedule of Network Type Batch Process

그림5는 병목시간이 발생하는 곳에서 조업시간이 지연된 경우에 PUOM 방식을 사용한 것이다. 여기서 BS는 회분의 크기 (Batch Size)를 의미하고 BTNT는 병목 시간(Bottleneck Time)을 의미한다. 첨자 $i-1$ 은 $i-1$ 단계를 의미하고 R은 실제 조업상황(Real Operation State), S는 생산일정(Production Schedule)을 의미한다. 이는 1단계에서 병목시간 지연이 발생한 경우인데 이로 인해서 총생산시간 및 생산량이 줄어들게 된다. 따라서 여분의 생산라인을 이용하여 그림과 같이 한 번의 생산 캠페인을 실행시킴으로써 원래의 생산일정과 생산시간 및 생산량을 일치시킬 수 있다.

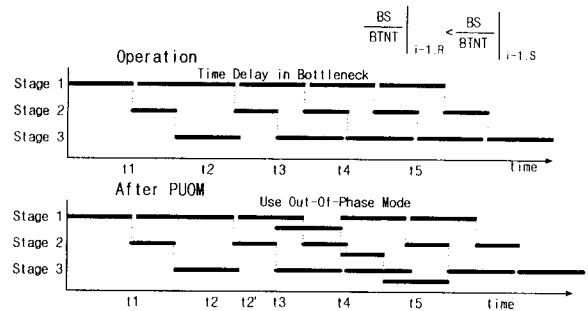


그림5. 실제 회분크기가 생산일정보다 작을 때의 PUOM 방식

Fig. 5. PUOM Method When Real Batch Size is Smaller than Schedule

그림5에서는 단계1에서 장치의 대기시간(wait time)이 발생하는 데 이러한 대기시간이 발생하면 조작 비용이 높아질 수도 있다. 따라서 그림6과 같이 장치의 대기시간을 제거하는 PUOM 방식을 사용할 수도 있다.

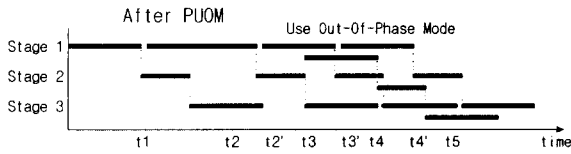


그림6. 대기시간을 제거한 PUOM 방식

Fig. 6. PUOM Method with No Wait Time

이 방식도 역시 병렬로 연결된 여분의 생산라인을 사용하였는데 이에 사용된 회분의 크기는 다음과 같은 식으로 계산이 된다.

$$\left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i-1,S} + \left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i,S} = \left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i-1,i,S} \quad (1)$$

$$\left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i-1,R} + \left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i,R} = \left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i-1,i,R} \quad (2)$$

$$\left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i,R} = \left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i-1,i,S} - \left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i-1,i,R} \quad (3)$$

$$[BS]_{i,R} = \left[\frac{BS}{BTNT} \right]_{i,R} [BTNT]_{i,R} \quad (4)$$

여기서 i' 은 PUOM 방식으로 여분의 병렬 생산라인을 사용할 때의 단계를 의미한다. 이때의 회분크기는 식(4)로 계산이 된다. 그림7은 병목시간이 아닌 곳에서의 시간지연이 발생한 경우이다.

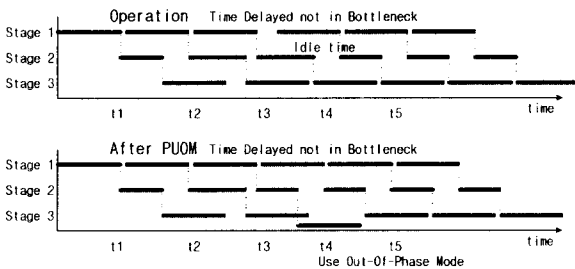


그림7. 시간지연이 병목 단계가 아닐 때의 PUOM 방식

Fig. 7. PUOM Method when Time Delay Is Not in Bottleneck

단계2에서는 병목현상이 발생하지 않는데 이 때에 조업시간이 지연되었을 경우에 바로 다음 단계에서 병렬로 연결된 장치를 이용하여 생산량을 원래의 생산일정과 일치시킨다.

3.3 UVVM(Unit Validity Verification Method)

어느 장치가 고장이 났을 경우 적절한 회분의 흐름을 재결정 해주고 사용 가능한 장치들을 결정해주어 적절하게 시간조절 알고리즘(DSMM, PUOM)을 사용할 수 있게 해준다. 본 UVVM 알고리즘은 다음 그림8에 나타나 있다.

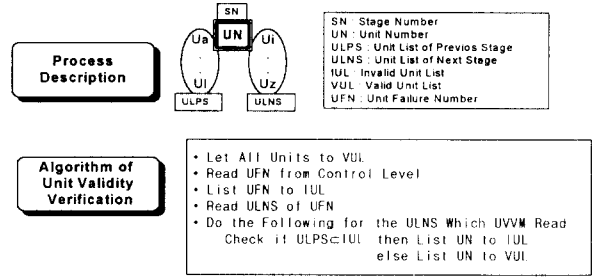


그림8. UVVM 알고리즘

Fig. 8. UVVM Algorithm

4. 결론

본 연구에서는 상위 생산일정 단계와 하위 제어 단계의 조업 시간 불일치를 해결하는 방법과 장치가 고장났을 경우에 공정 흐름 상의 최적 회분들의 경로를 결정하는 방법을 개발하였다. 이를 통하여 상하부 단계간의 불일치를 극복하고 연결함으로써 전산통합생산(CIM)시스템을 구축할 수 있는 바탕이 될 것이다.

감사의 글

본 연구에 대한 (주)두산 인력 개발원의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] A. Huercio, A. Espuna and L. Puigjaner, "Incorporating On-Line Scheduling Strategies in Integrated Batch Production Control," *Comp. Chem. Eng.* Vol. 19, Suppl., pp. S609-S614, 1995.
- [2] K. B. Kanakamedala, G. V. Reklaitis and V. Venkatasubramanian, "Reactive Schedule Modification in Multipurpose Batch Chemical Plants," *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 33, No. 1, pp77-90, 1994.
- [3] Strothman, "Batch Standards Group Agrees on Terminology," *InTech*, pp34-40, August, 1995.
- [4] 고대호, 문일, "공정자동화를 위한 회분공정관리기의 개발," 한국자동제어학술회의논문집, 제2권, pp874-879, 1994.