

회분공정을 위한 동적생산계획 기법 개발

고대호 · 문 일†

연세대학교 화학공학과
(1996년 3월 18일 접수, 1996년 12월 28일 채택)

Development of Dynamic Scheduling Algorithms for Batch Processes

Daeho Ko and Il Moon†

Department of Chemical Engineering, Yonsei University
(Received 18 March 1996; accepted 28 December 1996)

요 약

기업의 경영 합리화 및 공정 효율 증대를 위하여 통합자동화시스템의 구축은 매우 중요하다. 이를 위해선 상부 생산계획 단계와 하부 순차제어 단계를 연결하고 그 두 단계간의 차이를 극복할 수 있는 동적생산계획 기법이 필요하다. 생산계획 단계에서는 최적 생산계획 수립을 위해 오랜 계산 시간이 필요하므로 공정 외란을 실시간으로 처리하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하려면 경험법칙 등에 근거한 차선책을 신속히 제시함으로써 회분공정 시간 불일치를 바람직하게 조정하여 손실을 최소로 줄이는 동적생산계획 기법이 요구된다. 본 연구에서는 이러한 동적생산계획 기법으로서, DSMM(Dynamic Shift Modification Method)과 PUOM(Parallel Unit Operation Method)의 두 가지 알고리즘을 개발하였다. 이 두 가지 동적생산계획 알고리즘은 예정된 생산계획에서 벗어난 조업 시간을 파악하여 가능한 한 원래의 생산계획과 비슷해지도록 조업 시간을 조정해주며, 또 조정된 생산계획을 통하여 어느 한 시점에서 생산완료시기를 항상 예측할 수 있게 해주는 기능을 한다. 이러한 알고리즘을 다품종 회분식 삼푸 제조 공정에 적용하여 모사함으로써 그 타당성을 입증하였다.

Abstract—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) and PUOM(Parallel Unit Operation Method). Their main functions are to minimize the effects of unexpected disturbances, 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.

Key words: Dynamic Scheduling, Batch Management, Batch Variation, CIM, Just-In-Time Policy

1. 동적생산계획의 필요성

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

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

본 연구에서는 동적공유회분관리기의 핵심 기능인 동적생산계획 기법을 개발하였다. 이 기법은 기존의 방식과는 달리 생산계획에서 벗어난 조업 시간을 가능한 한 생산계획과 비슷해지도록 조정하며 기존의 연구에서 해결하지 못한 조업 시간 지연의 영향도 해결할 수

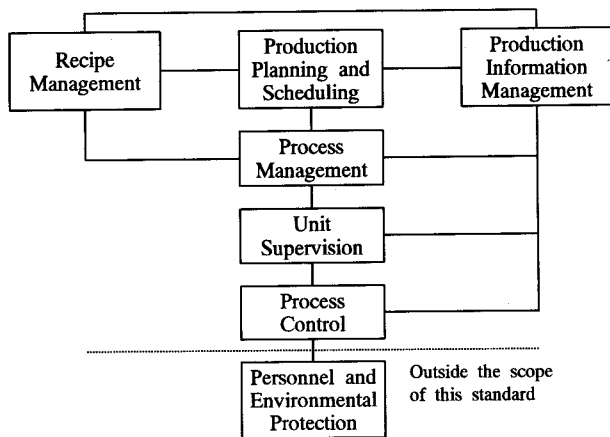


Fig. 1. Control activity model of SP88[5].

있는 장점이 있다.

2. CIM과 회분관리기

2-1. CIM

CIM(Computer Integrated Manufacturing)이란 생산 원료에서부터 장치들의 조작, 관리 등을 거쳐서 경영, 마케팅에 이르기까지의 전 과정을 컴퓨터를 이용하여 통합한다는 개념이다. 여기서 통합한다는 의미 즉, CIM을 효율적으로 이룩한다는 것은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다. 각 단계별로 자료 및 정보의 전달이 원활히 이루어져야 하고, 데이터를 적절히 공유할 수 있는 개방형 데이터베이스가 구축되어야 한다. 여기서 개방형 구조(open system)란 임의의 시스템 성질이 표준에 잘 맞고 모든 단계에서 유용해야 하며, 다른 시스템과 똑같은 표준으로 호환이 되는 것이다[3, 4].

2-2. 회분관리기의 개념

ISA에서 규정한 SP88에 따른 회분공정에 대한 공정제어 모델을 Fig. 1에 나타내었는데, 여기서 규정한 회분공정의 기준에 따르면 회분공정관리기(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 조정해 주는 동적생산계획 기능을 함으로써 CIM 구축의 기본이 된다[5].

Fig. 2는 SP88에 따른 회분관리기의 일반적 구조이다. Fig. 2에서 회분관리기의 각 모듈들을 살펴보면, 제조법 선택 모듈(recipe selection module)은 제조법을 선택하여 동적생산계획 모듈로 보내주고, 회분 자료 수집 모듈(batch information module)은 회분 관련 자료들을 수집하여 받아들여서 또한 동적생산계획 모듈로 보내준다. 그리고, 회분 시작 모듈(batch initiation module)은 동적생산계획 모듈로부터 받은 동적생산계획을 제어단계로 보내주고, 각 단위의 조업을 관리하는 역할을 한다. 마지막으로 가장 중요한 동적생산계획 모듈(dynamic scheduling module)이 있는데 이는 회분 자료 수집 모듈로부터 제어 단계의 상황을 입력받아 생산계획과 차이가 있으면 그 즉시 적절한 생산계획을 동적으로 생성하여 회분 시작 모듈로 보내어 제어단계로 동적생산계획 명령을 전달할 수 있게 함과 동시에 생산계획 단계로 생산계획 갱신 요구를 한다. 따라서, 본 연구에서는 동적생산계획모듈에 필요한 알고리즘에 대해 중점적으로 다루었다.

2-3. 동적공유회분관리기와 관련 연구 현황

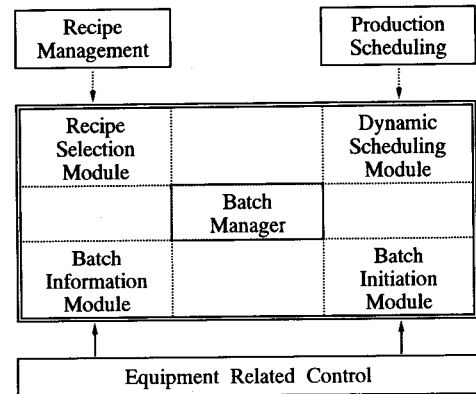


Fig. 2. SP88 architecture for batch management[3].

(\downarrow : off-line communication, \uparrow : on-line communication)

회분관리기의 일종으로서 본 연구에서 개발한 동적공유회분관리기의 특징은 다음과 같이 정리할 수 있다. 첫째, 제조법, 생산계획, 제어 단계를 연결·통합시켜 주고 이 통합 구조를 개방적으로 구성하여 각 단계별 자료를 공유하면서 효율적으로 관리한다. 둘째, 생산계획 단계에서는 생산계획을 생성하는 계산 시간이 오래 걸리므로 제어 단계의 상황 변화에 따라 실시간으로 처리를 할 수 없는데 동적공유회분관리기는 동적으로 대응을 할 수 있다[3]. 셋째, 시간에 따른 조업 상황을 보여주고 외란에 의한 손실을 최소화시킴으로써 생산 시간을 효율적으로 조절하고, 생산 시기를 예측할 수 있다[6]. 넷째, 제어 단계의 장치 상태를 입력받아 장치의 유용성을 판별하여 생산계획 단계로 알려줌으로써 상위 단계와 하위 단계의 연결을 효과적으로 도와준다.

이러한 회분관리기와 같은 시스템을 연구하는 영역으로는 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 설정해 주는 방식을 취하고 있다[6]. 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[12].

동적공유회분관리기의 동적생산계획 기능은 기존의 POMA 방식과 비슷한 DSMM(Dynamic Shift Modification Method)이 있으나, 다음과 같은 면에서 다르다[7]. 즉, POMA는 예기치 못한 사건의 발생으로 인해 생긴 생산계획 시간과 실제 조업 시간의 불일치를 해결하는데 있어서 가능한 한 총 생산시간(makespan)을 줄이고 생산량을 늘리고자 하지만[6], DSMM은 생산계획에서 정한 것과 비슷해지도록 총 조업시간과 생산량을 조정한다. 이는 생산계획에 관한 최근의 연구에서, 기업의 재고 부담을 줄이고 고객의 주문 납기일을 가장 우선하는 경영전략인 JIT(Just-In-Time) 전략을 고려한 것이다[11]. 이와 같은 방식으로 동적스케줄을 생성하는 것이 소비자의 수요와 기업체의 공급을 최대한 일치시켜주기 때문에 저장되는 재고 비용을 최소로 줄일 수 있다.

즉, 빠른 시기에 많은 양을 제조하는 것이 아니라, 적절한 시기에 알맞은 양을 생산할 수 있도록 동적생산계획을 생성함으로써, 공급과잉으로 인한 보관 문제를 제거한다. 또, POMA알고리즘으로는 해결할 수 없는 시간 지연도 극복할 수 있는 장점이 있다. Fig. 3은 본 연구에서 개발한 동적생산계획알고리즘이 내장된 동적공유회분관

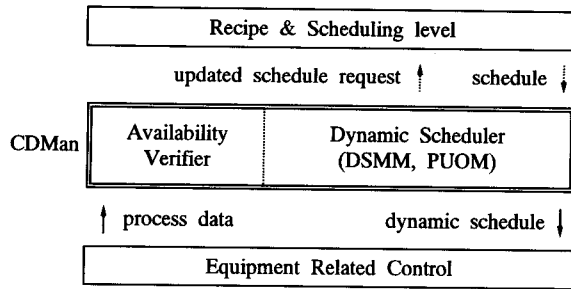


Fig. 3. Main structure of CDMan.

리의 주요 구조이다.

3. 동적공유회분관리기의 기능

동적공유회분관리기에는 크게 두 가지 모듈이 있는데, 하나는 동적생산계획을 하는 동적생산계획기(Dynamic Scheduler)이고 또 하나는 각 장치의 현재 조업시작시간과 완료시간 등을 입력받는 유용성 검증기(availability verifier)이다.

3-1. 동적생산계획기

동적생산계획기는 생산계획 단계에서 예기치 못한 조업 상황의 외란에 대해 즉시 반응을 하여 해결하는 동적생산계획 작업을 한다. 본 연구에서는 다음의 두 가지 알고리즘을 개발하였다.

● 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.

● 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, 동상조업으로 시간 지연을 극복한다. 물론 모든 공정이 이 방식을 통하여 조업시간을 단축할 수 있는 것은 아니지만, 삼푸공정과 같이 혼합, 가열 등의 조작이 대부분인 경우는 처리할 양이 줄어들면 열용량 및 점성 등의 물성 때문에 반응시간도 단축될 수 있으므로 가능하다.

Fig. 4a부터 4d까지는 이러한 동적생산계획기의 알고리즘과 그에 대한 설명을 나타낸 것이다.

Fig. 4a에서 $tDiff$ 는 각 장치의 실제 조업시간과 계획된 조업시간의 차이의 누적치이고, $u_ESTS[n]$ 는 n 단계에 있는 장치의 계획된 조업시작시간, $u_ECTS[n]$ 는 n 단계에 있는 장치의 계획된 조업완료시간, $u_ESTR[n]$ 는 n 단계에 있는 장치의 실제 조업시작시간, $u_ECTR[n]$ 는 n 단계에 있는 장치의 실제 조업완료시간, $u_ESTD[n]$ 는 n 단계에서 장치에 대해 동적으로 생성된 조업시작시간이며 $u_ECTD[n]$ 는 n 단계에서 장치에 대한 동적으로 생성된 조업완료시간이다.

Fig. 4b에서 $DeltaS[n]$ 는 n 단계에 있는 장치의 계획된 조업시간이고 $DeltaR[n]$ 은 n 단계에 있는 장치의 실제 조업시간이다. 그리고 $Diff[n]$ 는 n 단계에서 실제 조업시간과 계획된 조업시간의 차이이다. 제10행은 원래의 생산계획에서 벗어나는 정도를 허용하는 허용치 α 보다 실제로 벗어나는 정도가 더 클 때 임의의 인자 β 를 이용하여 $tDiff$ 를 수정한다.

Fig. 4c에 대한 설명은 다음과 같다.

- DSMM(Dynamic Shift Modification Method)을 이용하는 경우
 - 원래 생산계획의 조업시작을 $tDiff$ 만큼 이동시켜서 동적생산

```

1 Initialize tDiff to zero
2 Repeat step 2 to 4 until the last unit
3 Read u_ESTS[n] and u_ECTS[n]
4 Read u ESTR[n] and u ECTR[n]
5 If ((u_ESTS[n] = u ESTR[n]) and (u ECTS[n] = u ECTR[n]))
    Modify the original schedule by using dynamic scheduling
    algorithms
  Else don't modify the original schedule.

```

Fig. 4a. Main algorithm of CDMan.

Dynamic Scheduling Algorithm

```

1 DeltaS[n] ← u_ECTS[n] - u_ESTS[n]
2 DeltaR[n] ← u_ECTR[n] - u ESTR[n]
3 Diff ← DeltaR[n] - DeltaS[n]
4 tDiff ← Diff + tDiff
5 If ((u ESTR[n] < u_ESTS[n]) and (Diff > 0))
    tDiff ← tDiff + (u ESTR[n] - u_ESTS[n])
6 u_ESTD[n] ← u ESTR[n]
7 u_ECTD[n] ← u ECTR[n]
8 Send u_ESTD[n], u_ECTD[n] to Equipment Related Control level
9 Repeat follows(line 10 ~ line 11) until last stage
10 If (| u_ECTD[n] - u_ECTS[n] | > α)
    tDiff ← tDiff × β
11 If ((extra unit exist) and (tDiff ≥ 0))
    Execute DSMM algorithm
  Else
    Execute PUOM algorithm

```

Fig. 4b. Dynamic scheduling algorithm.

DSMM algorithm

```

1 u_ESTD[n] ← u_ESTS[n] + tDiff
2 u_ECTD[n] ← u_ECTS[n] + tDiff;
3 Send u_ESTD[n], u_ECTD[n] to Equipment Related Control level
4 If tDiff is same as zero
    tDiff ← u_ECTD[n] - u_ECTS[n]

```

PUOM algorithm

```

1 u_ESTD[n] ← u_ESTS[n] + tDiff;
2 u_ECTD[n] ← u_ESTD[n] + (u_ECTS[n] - u_ESTS[n])/γ
3 Send u_ESTD[n], u_ECTD[n] to Equipment Related Control level
4 tDiff ← u_ECTD[n] - u_ESTS[n];

```

Fig. 4c. DSMM and PUOM algorithm.

계획의 조업시작을 얻는다.

- 장치관련제어 단계로 구한 동적생산계획상의 조업시작들을 보내준다.
- 여기서 $tDiff$ 가 0의 값을 지니면 ' $u_ECTD[n] - u_ECTS[n]$ '을 $tDiff$ 의 값으로 설정한다.
- PUOM(Parallel Unit Operation Method)을 이용하는 경우
 - 동적생산계획상의 조업시작시간은 DSMM과 마찬가지로 $tDiff$ 만큼 이동시켜서 구한다.
 - 동적생산계획상의 조업완료시간을 인자 γ 를 이용하여 ' $u_ESTD[n] + (u_ECTS[n] - u_ESTS[n])/\gamma$ '로 설정한다(여기서 γ 의

값은 공정의 특성에 따라 조업자가 입력해 주는 인자이다.

- 상기 값들을 하부 장치관련제어 단계로 보낸다.
- 생성된 동적계획상의 조업완료시각이 원래 계획상의 조업완료시각에서 벗어나는 정도인 $tDiff$ 를 $u_ECTD[n] - u_ESTS[n]$ 값으로 재설정을 한다.

이상의 방법들로 총 조업완료시각이 생산계획 단계에서 계획한 것과 크게 차이가 나지 않도록 한다. 즉, DSMM 방식은 각 장치의 조업 시작 시각(EST, Earliest Start Time)을 이동시켜서 외란을 극복한다는 점에서는 Cott와 Macchietto 등이 고안한 POMA 알고리즘과 같지만 총 조업시간(makespan)을 단축하는 방향으로만 해결하지 않고 생산시간을 가능한 한 생산계획에서 결정한 것과 비슷하도록 동적생산계획을 생성한다는 점에서 다르다. 또 기존의 연구에서는 PUOM과 같은 방식을 기존의 회분관리 단계에 적용한 사례가 없다. 즉, 기존의 POMA에서는 조업 완료 시각(ECT, Earliest Completion Time)이 생산계획보다 빨라진 경우를 적절한 알고리즘을 통하여 생산계획 단계와 제어 단계의 차이를 해결할 수 있으나, 조업완료시각이 생산계획보다 늦어진 경우에는 이를 해결할 수가 없다. 그러나, 본 연구에서는 PUOM과 같은 방식을 회분관리 단계에 적용하여 제어 단계의 시간 지연을 극복할 수 있는 장점이 있다.

3.2. 유용성 검증기

유용성 검증기는 조업 상황의 적시성(timing)과 장치의 이상 유무(validity), 여분의 장치 유무 등을 입력받고 판별함으로써 동적생산

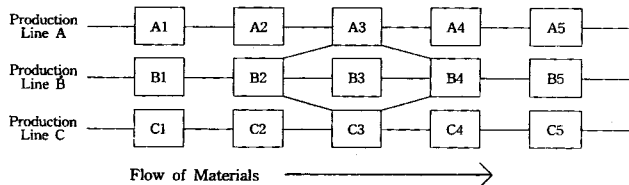


Fig. 5. Batch process structure.

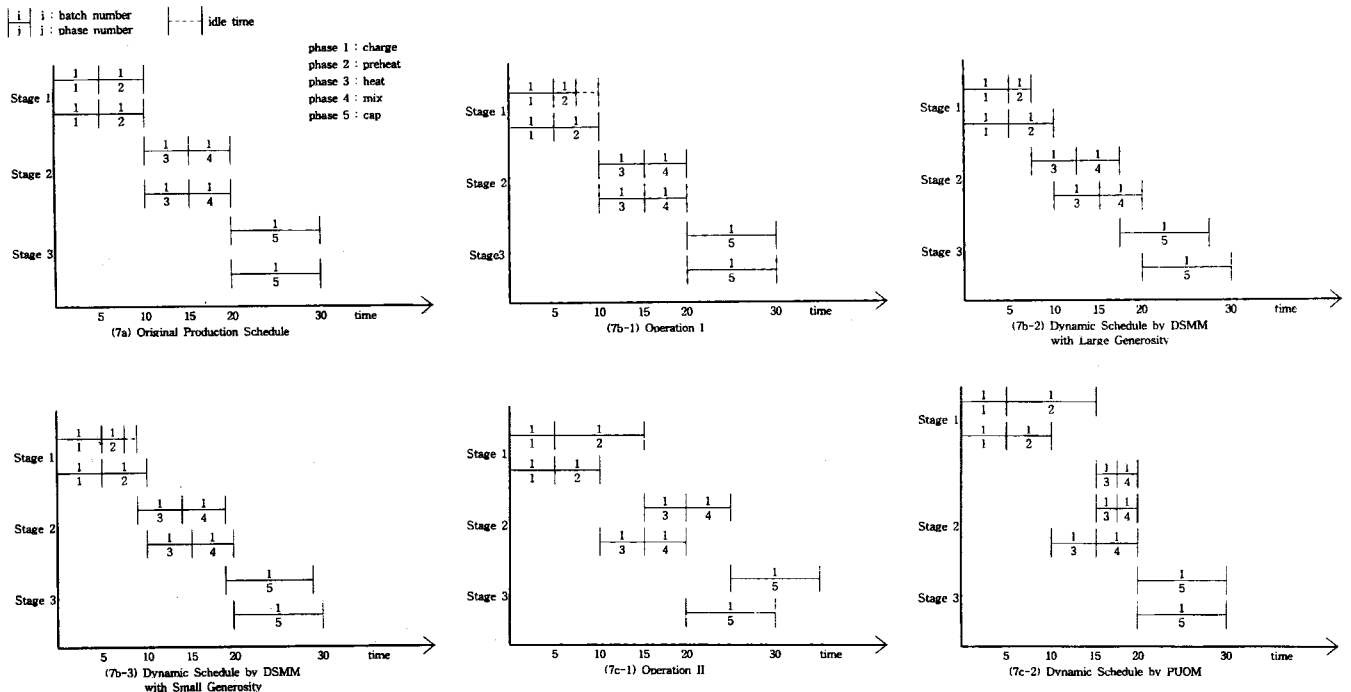


Fig. 7. Effects of dynamic scheduling for case 1.

계획기에서 적절한 동적생산계획을 생성할 수 있도록 도와준다. 즉, 각 장치의 조업시작시각과 조업완료시각을 제어 단계로부터 입력받고 동적생산계획기로 보내준다. 또 어느 한 장치가 고장났을 경우 그에 연결된 다음 장치는 고장이 나지 않았더라도 사용할 수가 없는데, 이 또한 사용할 수 없다고 알려주어야 한다. 가령 Fig. 5와 같은 공정 구조를 보자. 여기서 A1-C5는 각 장치의 번호이다. Fig. 5와 같은 생산 공정이 있을 때, 장치 A4가 고장났다면(invalid), 장치 A5는 고장이 나지 않았더라도 사용할 수 없는 것으로 평가를 한다. 이렇게 공정 장치의 타당성을 판정하여 동적생산계획기로 알려주는 기능을 한다. 또, 생산라인 C를 사용하지 않고 생산라인 A, B만 가동시킬 경우에 B2에서 반응완료시각이 생산계획보다 늦어지면 여분의 장치인 C3의 존재여부를 동적생산계획기로 알려주어 PUOM 방식을 사용할 수 있도록 한다.

3.3. 적용 사례

회분공정의 경우에는 소비자 수요에 따라 생산 공정 단위의 전체를 가동시키거나 일부만을 가동시킴으로써 생산량을 조절할 수 있다. Fig. 6에 회분공정을 이용한 샴푸 제조 공정을 나타내었는데 이러한 공정에 대해 생산계획과 조업 상황 등을 Fig. 7, 8의 겐트차트(Gantt chart)로 표시할 수 있다.

Fig. 7, 8에서 '회분(batch)'이란 제조법(recipe)을 한번 수행함으로써 생성되는 물질이며 '상(phase)'은 '조작(operation)'의 일부이다.

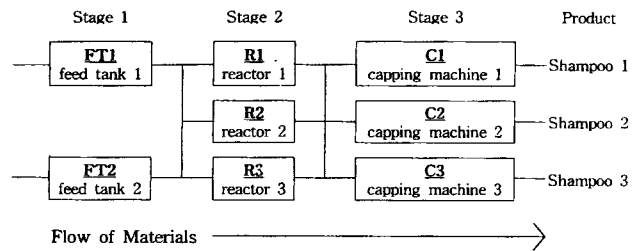


Fig. 6. Network-type shampoo production process.

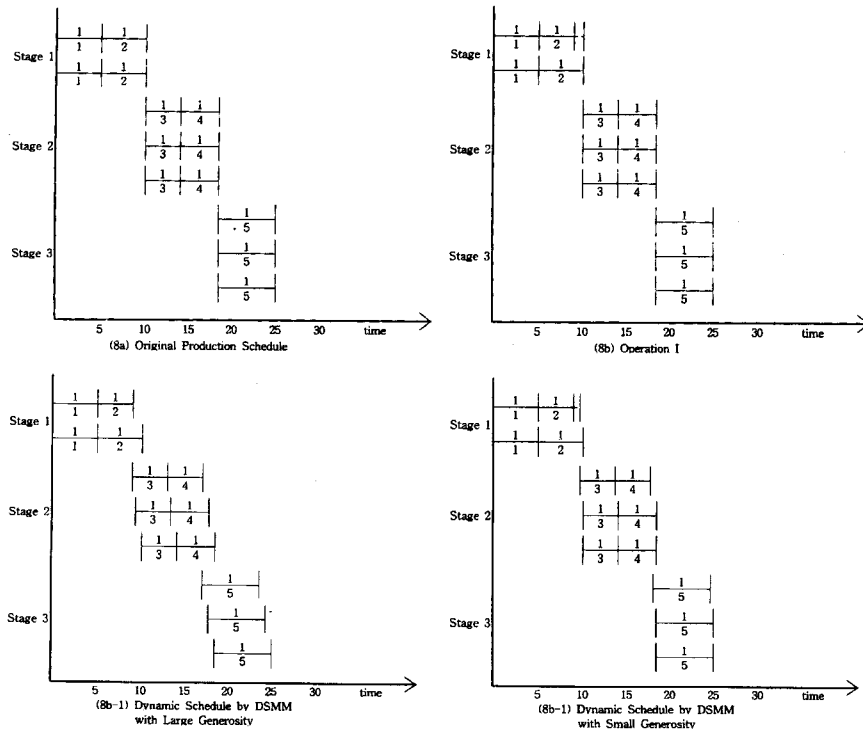


Fig. 8. Effects of dynamic scheduling for case 2.

즉, '조작'이란 '주입', '반응', '펌프 끄' 등과 같은 공정 조업이며 '상'은 보다 더 구체적인 조업 행위인데 가령 '반응'이라는 '조작'은 '가열', '성분 D 첨가', '혼합' 등의 '상'들로 구성될 수 있다[9]. 여기서 다음의 사례들을 보자. 첫번째 예는 소비자의 수요가 적을 때 생산라인을 일부만 가동시키는 경우이고, 두번째 예는 수요가 커져서 생산라인 전부를 가동시키는 경우에 대한 동적계획 기법에 대한 것이다. 따라서, 사례 1은 DSMM과 PUOM 방식 모두를 사용할 수 있으며 사례 2는 여분의 장비가 없으므로 DSMM만을 사용하여 조업 시간 불일치를 해결한다. 다음에 나타난 Fig. 7, 8은 생산하여야 할 여러 회분 중에서 일부분을 겐트차트로 표시한 것이다.

● 사례 1

· 생산일정(production planning) 단계에서 소비자 수요를 조사하고 계산을 통하여 올 봄에는 생산품으로서의 삼푸가 100 kg 필요하다고 결론을 내렸다.

· 이에 따라 생산계획(production scheduling) 단계에서는 최적 계산을 통하여 생산 공정 라인을 R2(reactor 2)와 C2(capping machine)를 제외하고는 전부 가동시킨다는 생산계획을 생성·전달한다(Fig. 7a).

여기서 실제 조업이 Fig. 7b-1과 같이 단계 1에서 조업완료시각이 빨라져서 장치의 유휴시간(idle time)이 발생할 수 있다. 이때 단계 1에서 조업한 반응 조건을 유휴시간 동안 유지시키는 비용이 들 수 있는데, DSMM 방식으로 Fig. 7b-2와 같이 단계 2와 단계 3에서 일부 장치의 조업시작시각을 앞당겨서 단계 1에서 발생한 장치의 유휴시간을 제거함으로써 반응 조건의 유지 비용을 제거한다. 물론 이때는 실제 조업 상황이 원래의 계획에서 벗어나는 정도를 허용하는 허용치(generosity)가 클 경우, 즉 공급 과잉이 되더라도 재고를 보관하는데 큰 비용이 들지 않을 때에 해당한다. 그러나, 허용치(generosity)가 작을 경우, 즉 공급이 수요보다 커서 재고 보관 비용이 많이 드는 때는 Fig. 7b-3처럼 단계 2와 단계 3의 조업시작시각을 어느 정도만 앞으로 이동시켜서 실제 총 조업완료시각이 계획된 것과 비슷

하도록 한다. 이로써 장치의 유휴시간을 줄이고 반응조건을 유지하는 비용도 줄이는 동시에 생산량이 너무 많아지지 않도록 하여 재고 비용을 절약한다. 또, 실제 조업이 Fig. 7c-1처럼 어느 한 단계에서 조업시간지연이 일어날 수 있다. 이런 경우엔 R2와 C2가 여분의 장비이므로 이를 이용한 PUOM 방식을 쓸 수 있다. 즉, 조업시간지연이 일어난 바로 다음 단계에서 동상조업을 행하여 이를 극복할 수 있다.

● 사례 2

· 생산일정 단계에서 올 여름에는 삼푸 150 kg이 생산되어야 한다고 결정을 하였다.

· 이에 따라 생산계획 단계에선 적절한 계산을 통하여 생산 라인 전체를 가동시키도록 한다.

이 경우는 여분의 장비가 존재하지 않는다. 따라서 PUOM을 사용하여 조업이 지연되었을 경우를 해결할 수는 없다. 그러나, 조업이 계획보다 빨리 일어난 경우에는 DSMM을 사용할 수가 있다. 가령, 생산스케줄이 Fig. 8a와 같을 때, 실제 조업이 Fig. 8b처럼 단계 1의 한 장치에서 조업이 빨리 이루어진 경우를 보자. 이때에도 역시 마찬가지로 다음 단계들의 조업시작시각을 허용치가 큰 경우는 Fig. 8b-1과 같이 많이 앞으로 이동시키고, 허용치가 작은 경우는 Fig. 8b-2처럼 조금만 앞으로 이동시킴으로써 회분공정에 대한 외란의 영향을 옳은 방향으로 해결한다.

4. 맺음말

본 연구에서는 상위 생산계획 단계와 하위 제어 단계의 조업 시간 불일치로 인한 영향을 바람직한 방향으로 해결할 수 있는 DSMM과 PUOM의 두 가지 방식을 제시하였고 이를 활용함으로써 이익을 증가시킬 수 있음을 보았다. 지금까지 공정자동화의 하부 구조인 제어 단계는 비교적 많은 연구와 응용이 있었으며, 공정을 감시 및 관리하고 관련 데이터를 보고하여 생산계획 단계와 제어 단계를 연결시키는 기능도 상당 부분 연구되고 있는 상태이다[10]. 그러나 그 두

단계간의 불일치를 해결하는 것은 아직까지 많은 연구가 필요한 실정이며, 실제 공정에 적용된 것은 그다지 많지 않다.

동적공유회분관리기의 주요 기능인 동적생산계획 기법의 장점은, 외란에 의한 불일치 발생시 총 생산시간을 단축하는 방향으로만 조정하는 것이 아니라, 실제조업시간을 가능한 한 생산계획에서 크게 벗어나지 않는 방향으로 회분조업의 불일치를 해결해 주고, 조업시간이 예상생산계획보다 늦어진 경우도 해결할 수 있는 동적생산계획 알고리즘(PUOM)이 있다는 점이다. 또, 생산 도중에 외란에 의해 바뀔 수 있는 생산 시기를 예측할 수 있으므로, 차후의 정책 및 생산계획 생성에 도움이 된다는 점이다. 따라서, 이러한 연구를 통하여 생산계획 단계와 순차제어 단계 사이의 불일치를 극복함으로써, 통합자동화시스템(CIM)을 효율적으로 구성할 수 있다.

감 사

본 연구에 대한 공정산업의 지능자동화연구센터(ERC)를 통한 한국과학재단의 지원에 감사드립니다.

사용기호

u_ESTS[n]	: earliest start time of n stage unit which is scheduled
u_ECTS[n]	: earliest completion time of n stage unit which is scheduled
u ESTR[n]	: earliest start time of n stage unit which is in operation
u ECTR[n]	: earliest completion time of n stage unit which is in operation
u_ESTD[n]	: earliest start time of n stage unit which is generated by dynamic scheduling algorithm
u_ECTD[n]	: earliest completion time of n stage unit which is generated by dynamic scheduling algorithm
DeltaS[n]	: operation time of n stage unit which is scheduled
DeltaR[n]	: operation time of n stage unit which is in operation
Diff[n]	: difference of operation time between schedule and operation

tion

tDiff	: accumulation of Diff[n]
α	: generosity which allows operation's deviation from schedule, so this is determined by its process characteristics
β	: modifying factor of tDiff in order not to deviate operation from schedule
γ	: modifying factor of operation time that is reduced by PUOM

참고문헌

1. Huercio, A., Espuna, A. and Puigjaner, L.: *Comp. Chem. Eng.*, **19**, Suppl., S609(1995).
2. Kanakamedala, K. B., Reklaitis, G. V. and Venkatasubramanian, V.: *Ind. Eng. Chem. Res.*, **33**(1), 77(1994).
3. Kuriyan, K., Crooks, C. and Macchietto, S.: "Towards Integration in Batch Process Engineering", Centre for Process Systems Engineering, Imperial College, 1992.
4. McDaniel, G.: "IBM Dictionary of Computing", McGraw-Hill, 478(1994).
5. Strothman, J.: "Batch Standards Group Agrees on Terminology", InTech, August, 34(1995).
6. Chua, E. S.: "Integrated Management System for Multi-Purpose Batch Chemical Plants", Imperial College, PhD Thesis, (1995).
7. 고대호, 문 일: 한국자동제어학술회의논문집, **2**, 874(1994).
8. 이호경, 정재학, 문 일, 이인범: 화학공학, **33**(1), 89(1995).
9. Fisher, T. G.: "Batch Control Systems: Design, Application and Implementation", ISA, 1990.
10. Sumi, T. and Morimoto, M.: "Supervisory System for Batch Process", Proceedings of PSE '94, 507(1994).
11. 김민석, 이인범: 한국자동제어학술회의논문집, **2**, 1133(1995).
12. Sanmarti, E., Espuna, A. and Puigjaner, L.: *Comp. Chem. Eng.*, **19**, Suppl., S565(1995).