

다품종용 회분식 공정에서의 중간 저장 탱크 공유를 위한 최적 생산계획 ; 회분식 조업의 자동화 모델

정재학, 이인범, 양대륙, 장근수
 능능자동화 연구센터, 포항공과대학 화학공학과, 산업과학기술연구소 화공분야

Optimal Scheduling of Multi-product Batch Process for Common Intermediate Storage Policy; A Model for Batch Process Automation

Jae Hak Jung, In-Beum Lee, Dae Ryook Yang, Kun Soo Chang
 Automation Research Center, POSTECH, and Div. of Chem. Eng., RIST
 POHANG P. O. Box 125, KOREA 790-600

Abstract

In this study, we propose a shared storage system which is more efficient policy than MIS (Mixed Intermediate Storage) policy for relatively rare storage system and can be called CIS (Common Intermediate Storage) policy.

Using this strategy, we develop a new completion time algorithm and apply it to two kinds of optimal or near optimal scheduling method; combinatorial search and simulated annealing method. We also extend this strategy to other storage policy, for example MIS policy, with PLC(Programmable Logic Controller) logic and on/off action of electronic valves. It thus can be accepted as a basic form of FMS(Flexible Manufacturing System) for operating various storage policies. Finally we suggest the interlocking block to compensate for the shortcoming of CIS policy, i.e. complication of operation and safety, resulting in a basic batch process automation mode.

1. 서론

최근 산업은 양적 생산체계에서 질적 생산체계로의 전환이 두드러지고 있다. 화학공업산업 역시 과거의 연속식 대량생산 체계 중심에서 서서히 다품종, 소량 생산 및 고부가가치 고품위 생산의 반연속, 회분식생산체계가 각광을 받기 시작하였다. 단일 제품의 수명이 짧고 소비자의 취향도 다양하여 고품질 우선의 소비 패턴에 맞추기 위해 비교적 규모가 작은 회분식 공정의 도입은 계속 늘어날 것으로 보여진다. 이러한 회분식 공정에서 발생하는 여러가지 문제가 연구되기 시작하였는데, 그중 경제성에 큰 영향을 끼치는 분야가 다품종 생산의 제품 생산 계획이다.

화학공학에서의 이러한 연구는 1980년대 이후 시작되어 1980년대 중반부터 매우 활기를 띠어 왔다. 이러한 문제는 주로 주어진 량의 생산품들을 제조하는데 드는 총조업시간을 최소화할 수 있는 제품의 조업순서를 결정하는데 있으며 생산설비의 유형에 따라 multi-purpose 혹은 multi-product 조업으로 나누어 생각할 수 있다. 그중 본 연구에

서는 제품의 조업의 방법이 연속적이고 제품을 만드는 설비의 순서가 일정하게 주어진 multi-product 생산 계획에 관한 연구에 국한한다.

이들 multi-product 생산 계획에 관한 연구는 매우 활발하여 G.V.Reklaitis[1],[2] 와 H.M. Ku 등[3]이 여러차례 review 하기도 하였다. 이들 review paper 에 따르면 화학공학의 회분식 조업의 특성에 의해 중간 저장 탱크를 운용하는 경우가 많은데, 공정 특성상 그 사용 유형에 의해 UIS (Unlimited Intermediate Storage), NIS (No Intermediate Storage), FIS (Finite Intermediate Storage), ZW (Zero Wait) 등으로 나누어진다.

기본적인 4가지 유형의 중간 저장 탱크의 운용방법이 적용되기 어려운 현장 문제가 발생하여 이들을 표현해주는 몇가지 사용 방안이 제안되었다. 최근 Wiede JR,W. 와 G.V. Reklaitis[4]는 한 시스템에서 이들 기본적인 4가지 중간 저장 탱크 운용 방안을 조합적으로 사용하여야 하는 경우를 제안하여 이를 MIS (Mixed Intermediate Storage)라 하였고 H.M. Ku 와 I. Karimi[5]는 FIS의 중간 저장 탱크 운용 방안에서 중간 저장 탱크가 사용중일 경우 unit가 이를 갖고 있을 것인가, Zero Wait로 조업을 할 것인가에 따라 두가지 FIS의 세부적 운용 방안으로, NIS / FIS 와 ZW / FIS를 제안 하였다. 또한 FIS의 운용 방안을 응용하여 중간 저장 탱크를 공유하는 Shared Storage를 제안 하였다.

중간 저장 탱크를 여러개의 unit가 공유하는 경우 또 하나의 복잡한 문제가 생길 수 있다. 즉 여러가지 중간 제품들이 어떤 시간대에 동시 다발적으로 중간 저장 탱크의 사용을 요구하게 될 것이다. 이 경우 어떤 제품에 중간 저장 탱크의 사용권을 줄 것인가를 결정해야 한다. 조금이라도 먼저 중간 저장 탱크의 사용을 요구하는 제품에 중간 저장 탱크의 사용권을 주는 경우를 사건 중심(event priority)의 생산 계획이라 하며, 다중 제품들의 조업 순서가 가장 빠른 제품에 우선권을 주는 경우를 제품 중심(product priority)의 생산 계획이라 부른다. H.M. Ku와 I. Karimi[5]는 대다수의 경우 조업 순서가 빠른 제품에 우선권을 주어야 그 뒤에 따라오는 제품들에 조업 시간 지연의 영향을 덜 받게 되므로 전자보다 후자의 결과가 더 우수함을 밝힌 바 있다.

본 연구에서는 우선 H.M. Ku 와 I. Karimi 의 중간저장탱크의 공유화 (Shared Storage)를 CIS (Common Intermediate Storage)방안으로 명명하였고, CIS 방안이 MIS 방안보다 더 우수함을 보였다. 또한 CIS 방안에서 사건 중심(event priority) 저장탱크 운용 방안이 제품 중심(product priority) 저장탱크 운용 방안보다 더 우수한 경우를 보여 H.M. Ku와 I. Karimi 가 제시한 바와 달리 반드시 제품 중심의 저장탱크 운용 방안이 더 우수한 경우가 대다수가 아님을 보였다.

CIS방안의 경우 다품종 회분식 조업에 대한 각 unit에서의 새롭고 보다 간략한 조업 완료시간(completion time)을 계산하는 algorithm을 제안하였으며, 이를 이용한 최적, 준최적의 생산 계획법으로 Combinatorial Search 법 및 Simulated Annealing법을 제시하였다. 또한 CIS방안과 PLC (Programmable Logic Controller) 와 on/off 밸브등을 이용하여 다른 여러종류의 저장탱크 방안(예, MIS 방안)의 표현이 가능함을 보였는데, 이것은 생산될 제품이 바뀔때 따라 같이 바뀌어야하는 저장탱크 운용 방안을 유연성있게 대처할수 있으므로 여러가지 저장탱크의 운용방안에 대한 FMS (Flexible Manufacturing System)의 기초적인 모델로 제시될수 있다. 마지막으로 CIS의 단점인 조업의 복잡성과 안전성을 보완하기 위해 Interlock블럭을 따로 두었으며, 이들을 모두 조합하여 기초적인 단계의 회분식 공정 자동화 (Batch Process Automation) 의 한 모델로 제시하였다.

2. CIS(Common Intermediate Storage) 시스템

저장탱크를 다수의 unit가 공유하는 경우를 Shared Storage 시스템이라 할때, 시스템의 한 특수 예로서 Fig. 1에서와 같이 모든 unit가 유한개의 저장탱크를 공유하는 시스템을 생각할수 있다. 이것을 CIS라 명명하였으며, CIS방안의 복잡성은 앞서 언급했듯이 중간저장탱크운영의 세부적인 경우가 생기는 것으로, 이를 설명하기 위해 사건중심의 저장탱크운영방안과 제품중심의 운영방안의 예를 5개의 제품이 4개의 unit를 거치는 공정에서 주어진 조업순서가 1-2-3-4-5일때의 경우를 다음 Fig.2, Fig.3에 나타내었다. Fig.2는 사건중심의 저장탱크 운영방안에 대한 최소완료시간 Gantt Chart이고 Fig.3은 제품중심의 저장탱크 운영방안에 대한 최소완료시간 Gantt Chart이다. Fig.2와 Fig.3에서는 제품중심의 저장탱크운영방안이 더 우수한 결과를 보이고 있으며, 결국 제품중심의 저장탱크 운영방안이든, 사건중심의 저장탱크 운영방안이든, 주어진 문제의 특성상 어떤것이 뒷공정에 영향을 더 많이 끼칠것인가에 따라 그 성능이 좌우된다.

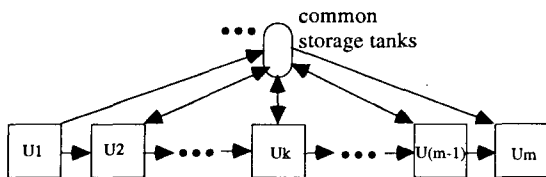


Fig. 1. CIS intermediate storage system

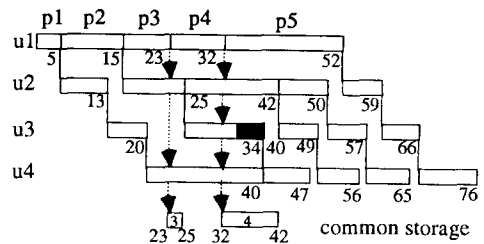


Fig. 2. Event priority scheduling for CIS policy

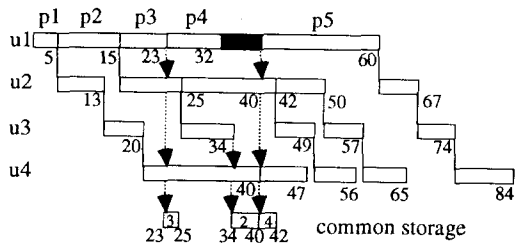


Fig. 3. Product priority scheduling for CIS policy

CIS방안과 최근 W. Wiede JR과 Reklaitis G.V.[4]가 제시한 MIS방안과의 성능을 살펴보기 위하여 4 개의 제품이 5개의 unit를 거치는 문제에서 주어진 제품의순서가 1-2-3-4 일때에 대해 살펴 보았는데, Fig.4는 unit 1과4 가 class 1의 저장탱크를, unit 2와3 이 class 2의 저장탱크를 사용하는 경우의 최소완료시간의 Gantt Chart이고, Fig. 5는 unit 1과3 이 class 1의 저장탱크를, unit 2와4 가 class 2의 저장탱크를 사용하는 경우의 MIS 방안의 한 예이다. 또한 Fig.6은 같은 문제에서 한개의 중간저장탱크 공유 시스템이며, Fig.7은 두개의 중간저장탱크 공유 시스템이다. CIS방안의 경우 저장탱크 한개만 사용하여도 MIS시스템의 Fig.4와 같은 결과가 도출되며, 두개의 중간저장탱크의 공유시스템인 Fig.7의 경우 가장 우수한 결과 가 도출됨을 알수있다.

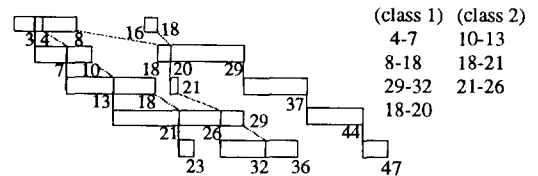


Fig. 4. MIS policy with class 1(unit 1,4) and class 2(unit 2,3) storages

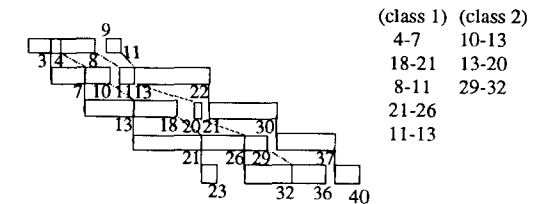


Fig. 5. MIS policy with class 1(unit 1,3) and class 2(unit 2,4) storages

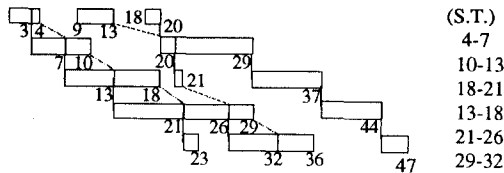


Fig. 6. CIS policy with one common storage

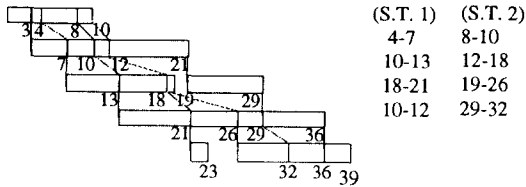


Fig. 7. CIS policy with two common storages

이 문제의 경우 더 이상의 저장탱크 공유는 무의미하여 2개 이상의 저장탱크가 필요치 않게 된다. 실제 산업의 설비에서 중간저장탱크를 그다지 많이 두지 않으며, 생산계획을 위해 무리한 중간저장탱크의 설치가 어려운 실정이라, 중간저장탱크의 수를 줄일수 있는 생산계획법의 개발이 필요하게 된다. 이런 측면에서 볼때 CIS방안은 매우 적절한 것으로, 최소한의 투자비로 최대한의 효과를 얻을수 있는 시스템이라 할수 있다.

3. CIS방안을 위한 조업완료시간을 계산하는 Algorithm 및 생산계획법

3-1. CIS방안을 위한 조업완료시간

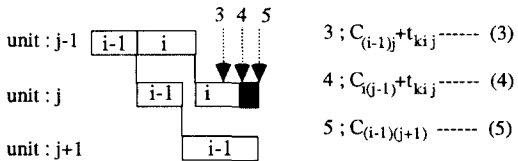
CIS방안을 사용할 경우 복잡해지는 것이 공유된 중간저장탱크의 운용방안이 다양해지는 것이다. 즉 제품우선의 방법인가 사건우선의 방법인가에 따라 그 생산계획이 달라짐을 앞서 보았다. 기존의 FIS방안의 경우 H.M.Ku와 I.Karimi[11]가 매우 간략한 방법으로 조업완료시간을 한 수학적 회귀공식(recursive formula)로써 표현하였고, 이를 MILP으로 풀이하여 최적생산계획의 해답을 제시하였다. 그러나 CIS방안은 특정 unit가 주어진 중간저장탱크를 독점하지 못하고, 많은 unit가 공유함으로써 간단한 수학적 회귀공식을 이끌어 내기 어려울 뿐 아니라, 그렇기 때문에 MILP형의 단순한 수식표현이 매우 어려워진다. 결국 H.M.Ku와 I.Karimi[5]는 5 가지 경우에 대한 조사를 통해 조업시간을 얻어내려 하였다. 본 연구에서는 완전한 한 수식의 수학적 회귀공식은 아니지만 사용중인 중간저장탱크의 사용시간대 비교에 뒤따르는 보다 간략한 수학적 회귀공식표현을 얻어 내었다. 또한 H.M.Ku와 I.Karimi[5]의 방법으로는 제품우선(product priority)의 운영방안에 대한 조업완료시간밖에 얻을수 없으나 본 연구에서 구한 방법은 계산의 순서만 달리해줌으로써 제품우선(product priority)의 운영방안 및 사건우선(event priority)의 운영방안에 대한 조업완료시간을 모두 얻을수 있는 장점이 있다.

중간저장탱크의 설치투자비를 고려하지 않는다면, UIS방

안이 가장 우수한 결과를 얻을 것이며 NIS나 ZW처럼 중간저장탱크를 사용하지 않은 방법이 가장 좋지 않은 결과를 얻게 된다. FIS방안의 경우는 그 중간품의 결과가 도출되는데, CIS방안에서는 FIS방안의 중간저장탱크 투자비와 같거나 적은 투자로써 FIS방안보다는 좋은 결과를 얻자는 것이다. 결국 다음 식(1)(UIS방안)의 경우와 식(2)(NIS방안)의 경우 사이의 결과가 일어질 것이다.

$$C_{ij} = \max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}] + t_{kij} \text{ ----- (1)}$$

$$C_{ij} = \max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}, C_{(i-1)(j+1)} - t_{kij}] + t_{kij} \text{ ----- (2)}$$

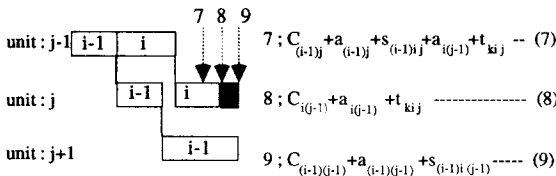


UIS방안은 식(3)과 식(4)의 비교에 의한 최대값이 C_{ij} 가 되며 NIS방안은 식(3) 식(4) 그리고 식(5)의 비교에 의한 최대값이 C_{ij} 가 된다. CIS방안의 경우 식(4), 식(5) 사이에 저장탱크가 비어 있다면, 식(5)보다 더 좋은 값을 얻을수 있다는데서 출발할수 있다. 그러므로 우선 여기서 저장탱크의 사용시간에 대한 정보가 필요하다. 공유된 중간저장탱크를 어떤 unit(j) 혹은 제품(i)이 사용하기 시작하는 시각을 $SS(i,j)$ 라 하고 사용이 끝난 시각을 $SE(i,j)$ 라 둔다(i는 제품번호, j는 unit 번호). 초기치를 $SS(i,j) = SE(i,j) = 0$ for $i=1, \dots, N, j=1, \dots, M$ 라고 둔다. 조업완료시간 C_{ij} 를 $i=1, j=1$ 부터 순차적으로 계산하면서 저장탱크를 사용하는 경우가 생길때, 그 i, j 에 대해 $SS(i,j)$ 와 $SE(i,j)$ 에 그때의 시각을 결정해준다. 만약 $C_{ij} = C_{(i-1)(j+1)}$ 이고 $C_{ij} \neq \max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}] + t_{kij}$ 이면 $SS(i,j) = \max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}] + t_{kij}$ 그리고 $SE(i,j) = C_{(i-1)(j+1)}$ 이 되고, C_{ij} 가 $SE(i,j)$ 들중 하나인 $SE(i',j')$ 이고 $C_{ij} \neq \max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}] + t_{kij}$ 이면 $SS(i,j) = SE(i,j)$ 그리고 $SE(i,j) = C_{(i-1)(j+1)}$ 이 된다. 결국 최종적으로 얻어지는 CIS방안의 조업완료시간은 다음 식(6)과 같다.

$$C_{ij} = \max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}, \min\{\max SE(lk), C_{(i-1)(j-1)}\} - t_{kij}] + t_{kij} \text{ ----- (6)}$$

식(6)에 나타난 $SE(lk)$ 는 0이 아닌 모든 $[SS(i,j), SE(i,j)]$ 중 구간 $SS(i^*j^*) - SE(i^*j^*)$ 가 $\max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}] + t_{kij} < C_{(i-1)(j+1)}$ 인 구간 $\max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}] + t_{kij} - C_{(i-1)(j+1)}$ 내의 중첩이되는 $SE(i^*j^*)$ 들을 말한다. 수식으로 표현하면 $\max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}] + t_{kij} < SS(i^*j^*) < C_{(i-1)(j+1)}$ or $\max[C_{(i-1)j}, C_{i(j-1)}] + t_{kij} < SE(i^*j^*) < C_{(i-1)(j+1)}$ 가 된다.

여기에 중간제품의 수송시간(transfer time)과 unit의 다음작업을 위한 준비시간(set-up time) 그리고 중간저장탱크의 다음제품의 수용을 위한 정화시간(clean-up time)을 고려하는 경우는 다음과 같다.



a_{ij} 를 i 제품이 j unit을 모두 빠져나가는데 걸리는 수송시간, $s_{i(i+1)j}$ 를 unit j 에서 i 제품이 끝나고 $(i+1)$ 제품이 시작될 수 있게 하기 위한 준비시간, $as(ij)$ 는 저장탱크의 정화시간이라 한다면, $C_{i(i-1)}$ 다음의 C_{ij} 를 생각할때는 제품의 변화가 없고 장치의 변화만 있으므로 식(8)과같이 단지 수송시간만 고려한다 (j unit의 준비시간은 제품이 변화될때 고려 되므로). 그러나 $C_{(i-1)j}$ 다음의 C_{ij} 를 생각한다면 제품의 변화가 생기고 장치의 변화가 없어서 식(7)과 같이 수송시간과 준비시간을 모두 고려해 주어야 한다(제품은 결국 $C_{i(i-1)}$ 에서 C_{ij} 로 흐르므로 $a_{i(i-1)}$ 까지 고려함). 또한 $C_{(i-1)(i+1)}$ 의 경우 C_{ij} 가 끝난후 $C_{i(i+1)}$ 을 시작할 수 있는 시각을 알기 위한 것이므로 식(9)와 같이 나타난다. 식(7),(8),(9)를 종합하면 다음 식(10)이 된다.

$$C_{ij} = \max\{C_{(i-1)j}, E_{i(i-1)}, \min\{(\max SE(ik) + as(ik)), E_{(i-1)(i+1)}\} - a_{i(i+1)} - t_{kij} + a_{i(i+1)} + t_{kij} \dots (10)$$

식(10)에서 $E_{ij} = C_{ij} + a_{ij} + s_{i(i+1)j}$ 이며 중간저장탱크의 사용 시각인 $SE(ik) + as(ik)$ 의 비교도 $C_{i(i-1)}$ 대신 $E_{i(i-1)}$, $C_{(i-1)(i+1)}$ 대신 $E_{(i-1)(i+1)}$ 으로 바꾸는것 외에는 식(6)과같다.

공유될 중간저장탱크의 갯수가 1개 이상이 될 경우, 위의 식들에서 중간 저장탱크 사용시간인 $\{SS(ij), SE(ij)\}$ 와 또다른 $SS1(ij)$ $SE1(ij)$ 가 중복이 되는 것을 허가하여, 둘 중 사용 가능한 것은 어느것이든 사용하게 하는 algorithm을 첨부함으로써 조업완료시간을 계산할 수 있다.

본 연구에서 개발한 조업완료시간을 계산하는 회귀적 공식(recursive formula)의 장점은 한 수식으로 제품중심의 저장탱크 운용방안 및 사건중심의 저장탱크 운용방안 모두를 표현해 줄 수 있다는 것이다. 이것은 C_{ij} 의 계산에 있어서 계산 순서만 조절해 줌으로써 얻어진다. 식(6) 혹은 식(10)을 통해, $(i=1, \dots, N, (j=1, \dots, M))$ 즉 한 i 가 결정되고 한 i 에 대해 모든 $j=1, \dots, M$ 이 가계산된 후 i 를 하나씩 늘이면서 C_{ij} 를 계산해 나갈 경우 제품중심의 저장탱크 운용방안에 대한 조업완료시간 계산이 되며, $i+j$ 값이 작은 순서부터 차례로 점점 커지는 순서로 계산해 나간다면 사건중심의 저장탱크 운용방안에 대한 조업완료시간이 된다.

3-2. CIS방안에 적합한 생산계획법

MILP의 최적화 생산계획법이나 Heuristics 법은 CIS 방안의 중간저장탱크 운용방안의 특수성으로 인해 좋은 결과를 기대하기 어렵다고 보아지므로, 본 연구에서는 J. H. Jung 등 [12]이 제안한 Combinatorial Search 법이나 H. M. Ku 와 I. Karimi [7] 및 H. DAS 등 [8]이 제안한 Simulated Annealing 법이 가장 적합할 것으로 사료되었다. 본 연구에서는 제품의 수 11 이하의 비교적 작은 크기의 문제는 Combinatorial Search법을 이용하여 최적의 생산계획 해답을 얻어 내었으며,

제품의 수가 11 이상이 비교적 큰 문제에서는 Simulated Annealing 법을 이용하여 준 최적의 생산계획 해답을 얻어내었다.

Combinatorial Search의 경우 가능한 모든 조업의 순서를 얻어내는 algorithm [permutation matrix search]과 본 연구에서 개발된 조업완료시간 algorithm의 조합으로 해답을 얻었으며, Simulated Annealing 법의 경우 uniform random number generation algorithm에 의해 조업순서를 임의로 바꾼후 본 연구에서 제안된 조업완료시간 algorithm을 적용하였으며, uphill move의 허용을 random하게 얻어진 활동치와 비교하여 수행하는 에너지 함수의 control parameter T의 경우 H. M. Ku와 I. Karimi [7]가 제시한 평균 총 생산시간에 의한 방법을 사용하였으며, 이들을 이용한 Metropolis Algorithm을 사용하였다.

4. CIS방안의 FMS 및 회분식공정 자동화의 기초

4-1. CIS방안의 중간저장탱크 운용방안에 대한 FMS

CIS방안의 우수한점으로 또 하나 소개할 수 있는것은 다른 종류의 저장탱크 사용방안을 표현해 줄 수 있다는 점이다. 모든 중간 저장탱크의 사용방안은 밸브 및 펌프의 작동으로 유체를 unit에서 저장탱크로, 저장탱크에서 unit으로 이동시키게 한다. 중간 저장탱크가 특정 unit사이에 고정되는 경우 그 저장탱크의 사용방안은 고정되어지지만, CIS 방안의 경우 이들 밸브와 펌프의 적절한 작동으로 그 사용방안이 유연성을 가질 수 있게 된다. 다음 Fig.8의 경우 unit과 unit사이에 펌프 3개를 사용하는 경우이며, Fig.9의 경우 보다 투자비를 줄이는 펌프2개 밸브1개를 사용하는 경우이다.

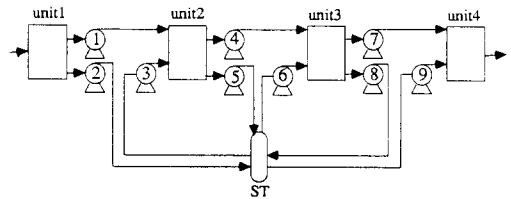


Fig. 8. CIS system with 3 pumps per each inter-unit

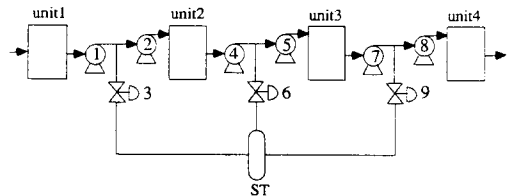
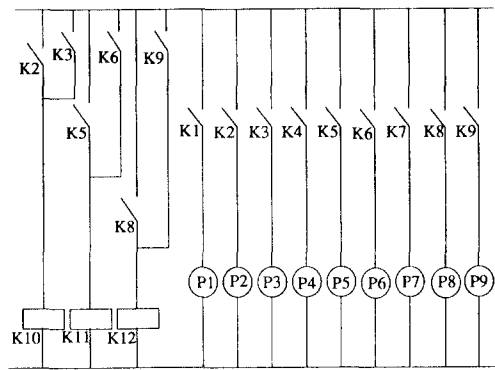
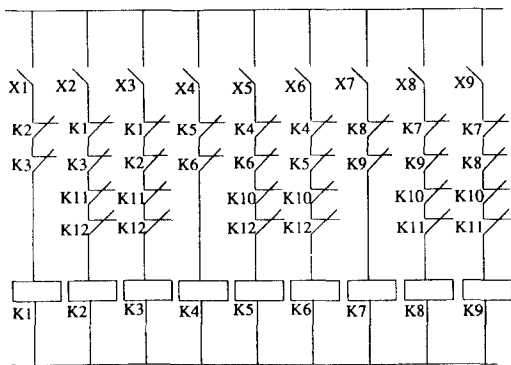


Fig. 9. CIS system with 2 pumps and 1 valve per each inter-unit

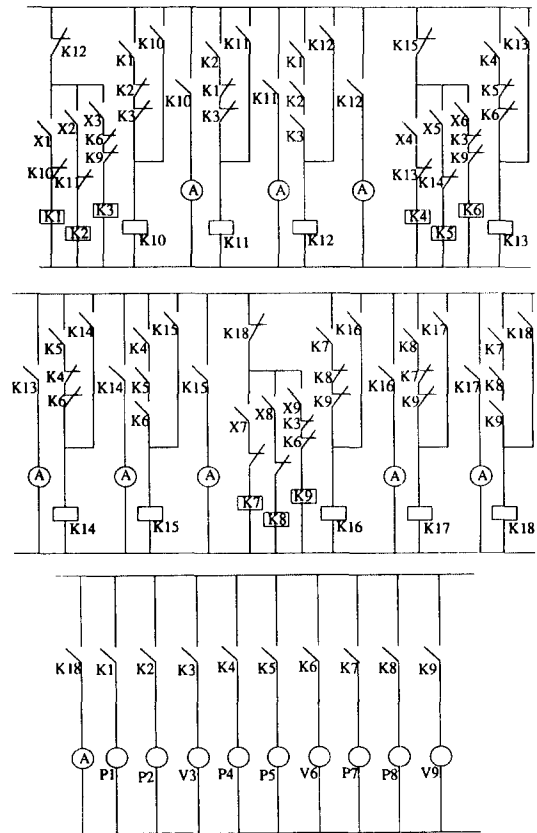
Fig.8의 경우 unit 2를 NIS방안으로 사용하고자 한다면 펌프5, 펌프6을 잠그면 되고, Fig.9의 경우는 단지 밸브6만 잠그면 된다. 단 UIS와 같이 무제한적 중간 저장탱크의 사용은 없는 것으로 가정해야 한다. 이와같이 작동을 자유로이 변화시켜 여러가지 유형, 특히 모든 MIS방안의 시스템표현이 가능하다. 한 회분식 공정에서 제품의 수요가 항상 일정한 것은 아니고 일정기간이 지난후 제품의 수요가 바뀌어 생산해야 할 제품의 종류 및 량이 변하고, 이에 따라 생산계획이 변하며 또 바뀐 제품의 제조공정상의 특성이 각기 다양해서 지난번의 조업에서 요구되었던 중간 저장탱크방안이 모두 변해야 한다면 기존의 고정된 중간탱크 방안으로는 이를 대처하기 힘들게 된다. 이러한 측면에서 CIS는 다양하게 변화하는 중간 저장탱크의 사용패턴을 그때그때 맞추어 줄 수 있으므로 매우 유리하다. 여기서의 문제는 조업이 바뀔 때 마다 밸브나 펌프의 조작이 복잡하게 달라져 조업 안전성에 문제를 줄 수 있을 것이다.

최근 그 성능이 매우 우수해져 자동화의 꽃으로 불리울 만큼 폭발적 수요를 나타내는 PLC는 이런 문제를 해결하기에 가장 적합한 장치이다. PLC logic을 이용하여 간단히 소프트웨어만 바꾸어 줌으로써 때에 따라 바뀌는 중간 저장탱크의 사용방안을 모두 해결해 줄 수 있다. 즉 CIS방안과 PLC 및 electronic 펌프, 밸브를 사용함으로써 중간 저장탱크의 운용방안에 대한 FMS (Flexible Manufacturing System)를 실현할 수 있다. 조업의 안전성을 더하여주기 위해서는 순차적 제어 (Sequence Control)모듈과 별도로 Interlock모듈을 두어야 한다. 보통 조작이 복잡한 시스템에서 원치 않는 작동을 피하고, 오작동시 조업자에게 alarm등을 통해 오작동임을 알려주며, 심각한 경우 전원차단을 하게 하는 것이 Interlock모듈이다. 특정의 중간 저장탱크 운용방안을 원하는 경우 이 Interlock모듈에서 불필요한 밸브나, 펌프를 작동치 않도록 하여 줄 수 있고, 이 밸브나 펌프가 작동을 할 때 alarm을 발생하도록 할 수 있다. 다음 Fig.10 과 Fig.11에 CIS방안의 경우 Fig.8 시스템과 Fig.9 시스템의 Interlock모듈을 소개하였다. 이밖에 주어진 문제에 대해 최적 혹은 준 최적 생산계획법에 의해 조업순서와 각 장치가 조업에 사용되는 시간이 결정된다면 이 정보를 통해 PLC algorithm (on/off switch, relay, timer 등의 작동과, 조업자의 조업참조를 위한 PC와의 통신 등이 포함)을 구현할 수 있게 된다.



X1 ... Unit 1의 작업종료 & Unit2의 비어있음
X2 ... Unit 1의 작업종료 & Unit2의 들어있음
X3 ... X2 작동후 & Unit2의 비어있음

Fig. 10. Interlock ladder diagram of PLC algorithm for Fig. 8



X3 작동중 X6, X9 작동 금지
X6 작동중 X3, X9 작동 금지
X9 작동중 X6, X3 작동 금지

Fig. 11. Interlock ladder diagram of PLC algorithm for Fig. 9

4.2. 회분공정의 자동화 모델의 기초

회분식 공정의 자동화를 위해서는 여러가지 하드웨어적 계층구조와 이들 복잡한 시스템들의 통합화, 나아가서는 CIM (Computer Integrated Manufacturing) 시스템을 요구한다. 소프트웨어적으로는 합리적으로 Data들을 관리하는 Data base 시스템, 상하위 Level들로 나누어진 계층적 관리 시스템, 등이 필수적으로 고려되어야 한다. 최근 J. van Dooren[10]은 General Electric Plastic BV사에서 수행중인 실제산업의 회분식 자동화의 3가지 주요 소프트웨어적 function으로써 다음을 지적하였다. 첫째, Plant를 최적화하고 안전적 조업을 이끄는 주로 설정치(Set point)의 추적(Tracking)을 위한 회분식 공정들의 개별적 control이며, 둘째, 밸브위치의 점검등에 의해 공정중의 상황을 알려주는 Safety Interlock이며, 마지막으로 회분식 공정의 시작/종료, 수송시스템의 Line-up 등을 담당하는 Sequence Control이다. Fig. 12에서와 같이 이 3가지 function들이 개별적으로 작동하면서 서로의 정보를 유기적으로 공유하여 적절한 action의 지침을 세울때 회분식조업의 자동화가 이루어질 수 있다.

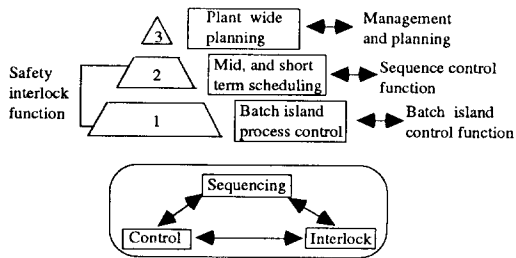


Fig. 12. Hierarchy of batch process automation mode

회분식 공정의 전체공장 자동화(Batch process plant wide automation)는 두가지 유형의 계층적 구조를 갖는다. 첫째는 top-down 방식이며, 둘째는 bottom-up 방식이다. Bottom-up 방식 자동화의 예를 본 연구에 적용시켜 보면, 최하위의 각 회분식 공정의 제어를 최적으로 이행할때 각 제품의 조업시간이 결정되어 진다. 이 정보를 바탕으로 CIS 방안의 중간저장탱크의 사용방안을 FMS식 조업으로 생산계획을 할 수 있으며, 최적생산계획이 도출된 후 그 시스템에 맞는 Safety Interlock Function을 개발하여 적용한다. 최종적으로 PC와 통신이 가능한 version의 PLC와 간단한 PC로써 Sequence Control Function을 구하여 주요 3가지 function을 한 Data base로 통합, 관리할 수 있게 하며 이것은 회분식 공정 자동화의 기초적 모델이 될 수 있다.

5. 결론

본 연구를 통해 중간저장탱크 사용의 CIS 방안을 제시하였으며 이것은 효율적 측면에서 MIS 방안보다 우수함을 보인 동시에 중간저장탱크의 FMS를 실현하였고, 나아가서 PLC 및 PC와 함께 결합하여 회분식 자동화의 기초적 모델로써 사용

될 수 있음을 제안하였다.

CIS 방안에 있어서의 자동화를 위한 중간단계 Level인 중기, 단기 생산계획을 위한 조업완료시간의 새롭고 간략한 수학적 회기공식을 개발하였으며 이는 기존의 방법보다 효율적임을 보였다.

CIS 방안에 적합한 생산계획법으로 Combinatorial Search와 Simulated Annealing을 이용하였으며, 마지막으로 회분식 공정의 자동화를 위한 가장 중요한 3가지function중 2가지인 Safety Interlock과 Sequence Control function을 개발하였다.

Reference

1. Reklaitis, G.V., AIChE Symp. Ser., 78, 119(1982)
2. Reklaitis, G.V., Proceedings of 4th International Symp. on PSE, Montebello, Canada (1991)
3. Ku, H.M., Rajagopalan, D. and Karimi, I., Chem. Engng. Prog., August, 35 (1987)
4. Wiede JR, W. and Reklaitis, G.V., Comput. Chem. Engng, 11, 357 (1987)
5. Ku, H.M. and Karimi, I., Comput. Chem. Engng, 14, 49 (1990)
6. Rajagopalan, D. and Karimi, I., Comput. Chem. Engng, 13, 175 (1989)
7. Ku, H.M. and Karimi, I., Ind. Eng. Chem. Res., 30, 163 (1991)
8. H. DAS, et. al., Comput. Chem. Engng, 14, 1351 (1990)
9. Akamatsu, N. et. al, IFAC DYC'D +89, Maastricht, The Netherlands, 9323 (1989)
10. J. van Dooren, IFAC DYC'D +89, Maastricht, The Netherlands, 9329 (1989)
11. Ku, H.M. and Karimi, I., Ind. Eng. Chem. Res., 27, 1840 (1988)
12. Jung, J.H. et. al., HWAHAK KONGHAK, submitted (1992)