

반도체 집적회로 제조 공정에서의 최적생산계획

김명현, 정재학
영남대학교 응용화학공학부

1. 서론

산업의 쌀이라 불리는 반도체 집적회로제조 산업은 20세기 말 폭발적인 증가세를 거듭하여 21세기 들어 고부가가치 산업의 주종을 이루게 되었고, 이제 반도체 집적회로 산업 없이는 현대문명의 발전이 더 이상 이루어지지 않게 되었다고 해도 과언이 아니다. 반도체 집적회로의 공업에 필요한 회로설계 부분을 제외한 반도체 집적회로 가공공정을 살펴보면 매우 전통적 화학공정이 주를 이루고 있으며 그 중에서도 회분식 공정이 연속적으로 이루어져 있음을 알 수 있다.

반도체 집적회로 공정을 살펴보면 다음 그림 1, 그림 2, 그림 3과 같이 각각 실리콘 웨이퍼를 제조하는 공정들, 반도체 집적회로를 가공하는 공정들 그리고 반도체 집적회로를 완제품으로 포장하는 공정들로 이루어져 있는데 그 중 첫번째 공정은 반도체 재료의 준비공정으로 볼 수 있고, 마지막의 것은 완제품 포장 공정들로 볼 수 있어서 이 두 공정은 제품의 생산순서가 일정하고 다품종의 제품 생산의 특성보다는 단품종의 제품 생산의 특징을 갖는다. 그러나 반도체 집적회로 가공공정들을 나타내는 그림 2의 공정들은 만일 제품이 다양해 진다면 이 제품의 생산순서(Sequence)도 여러가지가 가능할 것이다. 반도체 집적회로공정을 살펴보면 산화층 형성 공정, 감광성 고분자 도포 공정, Laser를 이용한 Patterning 공정, Bake 및 열처리 공정, 고분자 막의 연소 제거 공정 등으로 이루어진 감광성 고분자 도포 공정(Lithography Process)이 그 첫 공정군으로 볼 수 있고 산 식각 공정, 세척, 건조 공정, 이온 Implantation 공정, CVD(Chemical Vapor Deposition)공정, 금속 Deposition 공정, 금속 식각 공정들로 이루어진 IC회로 제조공정으로 크게 두 부류로 나눌 수 있다. 그 첫 부류는 보통 순차적 작업에 의한 공정이나 그 두번째 부류는 비 순차적 순환공정으로 제품의 특성에 따라 순환적 제품 생산 경로(Route)를 가지게 되어 각 장치에서의 제품 순서(Sequence)도 각 장치마다 다른 복잡성을 띤 유형의 회분식 공정임을 알 수 있다. 여기에서 만약 제품의 수가 2개 이상이 된다면 그

조업의 양태는 매우 복잡할 것이며 이러한 경우 최적 생산계획은 반드시 요구되는 연구대상이 될 것이다. 결과적으로 순서계획(sequencing)과 생산계획(scheduling)은 화학공정 등의 제조업, 서비스 산업뿐만 아니라 전자산업에서도 중요한 역할을 하는 의사결정(decision-making)의 형태임을 확인 할 수 있다. 즉, 생산

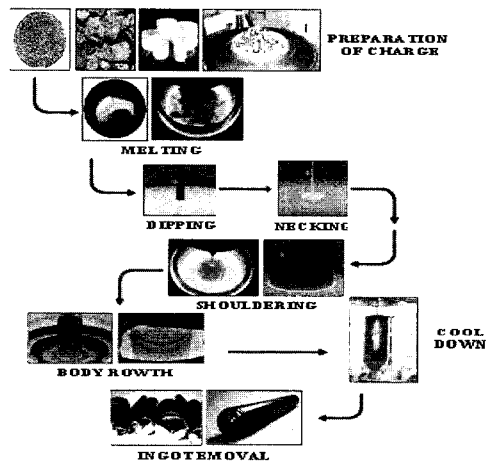


그림 1. 실리콘 웨이퍼 제조 공정.

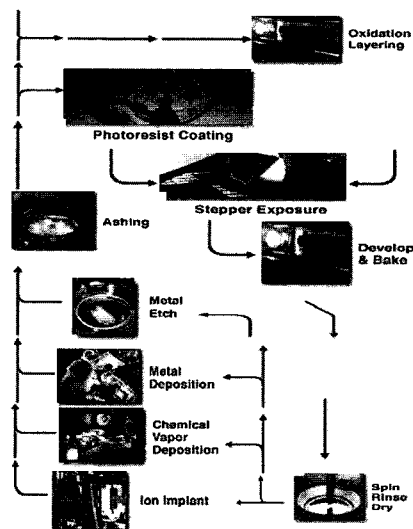


그림 2. 반도체 집적회로 가공 공정.

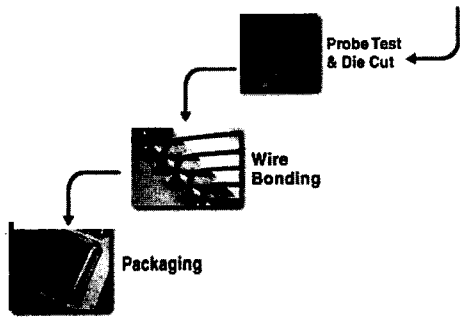


그림 3. 반도체 집적회로 완제품 공정.

공정을 가진 산업에서 효율적인 순서계획(seq-
uencing)과 생산계획(scheduling)은 판매 시장에서의
우위를 차지하기 위한 필수요건이라 할 수 있다. 화
공산업에서 이러한 생산계획에 대해 관심을 가지기
시작한 것은 비교적 근래의 일이다. 최근 들어 화학
공정 중 반연속식 및 회분식공정의 생산계획에 대해
많은 연구자들이 관심을 보이기 시작하였고, 그 동
안 많은 연구결과들이 발표되었다.

그러나 전자산업에서의 생산계획연구는 거의 수행
된바 없다. 반연속식 및 회분식공정의 제품들은 연
속공정의 제품들에 비해 대부분이 고부가가치의 제
품들로서 급변하는 시장의 수요 변화에 신속히 대처
할 수 있다는 장점이 있다. 반연속식 공정 및 회분
식공정의 조업은 연속식공정과 달리 많은 노동력
의 요구, 낮은 효율, 다음조업을 위한 준비시간 필요,
제어의 어려움 등과 같이 비용에 관련된 많은 문제
점들을 가지고 있다. 이러한 회분식공정의 낮은 효
율을 극복하기 위한 연구 중 하나가 바로 생산계획
문제인 것이다. 또 이 밖에 각 장치와 장치들 사이
에 중간 저장 탱크를 설치하여 인접한 장치들 사이
에서 발생하는 병목현상(bottleneck)을 완화 또는 소
거시킴으로서 생산성을 증가시키는 방법이다. 이러
한 연구들 중에서 가장 먼저 연구된 것이 생산계획
(scheduling)을 위한 조업완료시간 결정 알고리즘에
관한 연구이다. 이들 회분식공정 생산 시스템을 조
업의 측면에서 볼 때, flow-shop 형태의 다품종 회분
식공정(multi-product batch process)과 다목적 회분식공
정(multi-purpose batch process) 그리고 job-shop
형태의 조업으로 분류할 수 있다. 이 중에서 다품종 회분식
공정과 job-shop 형태의 공정에 관한 연구는 생산계
획에 관한 연구뿐만 아니라 공정 설계에 관한 연구
까지 폭넓게 이루어졌다[18-20]. 이러한 연구들에 비
해 다목적용 회분식공정에 대한 연구는 극히 미미하
였다고 볼 수 있다. 그 이유는 다품종 공정에 비해
불규칙한 제품 경로, 불가능한 조업순서의 존재 등
과 같은 상당히 복잡한 특성을 갖고 있기 때문이다.
최근 들어 Voudoulis와 Grossmann[17]은 다목적 회분
식공정을 순차 다목적 공정과 비순차 다목적 공정으

로 분류하였고, 순차 다목적 공정의 생산계획 및 공
정설계를 위한 수학적 계획법을 발표하였고, 박과
정이 비순차 다목적 회분식공정에 대한 조업완료시
간 알고리즘과 Simulated Annealing을 이용한 생산계
획법을 발표하였다. 그런데 앞서 살펴본 데로 반도체
집적회로(DRAM등)공정은 다목적 회분식 공정의
전형적인 특징을 가지고 있고, 그 생산계획 연구는
거의 실행된바 없는 것으로 보인다.

표 1에 실제 산업에서 조업되는 IC제조공정의 한
예를 나타내었다.

표 1. 한 IC 제품의 공정 조업 순서의 예.

조업순서	Process	조업순서	Process
1	Oxidation	19	Deposition
2	Deposition	20	Annealing
3	Lithography	21	Lithography
4	Etching	22	Etching
5	Lithography	23	Implantation
6	Implantation	24	Deposition
7	Stripping	25	Lithography
8	Diffusion	26	Etching
9	Lithography	27	Deposition
10	Implantation	28	Lithography
11	Stripping	29	Etching
12	Oxidation	30	Stripping
13	Lithography	31	Annealing
14	Etching	32	Deposition
15	Implantation	33	CVD
16	Stripping	34	Annealing
17	Deposition	35	Lithography
18	Oxidation	36	Etching

위의 IC제조공정은 특정 회사의 특정제품 조업공
정순서로서 상세한 공정의 표기는 여러가지 사정으
로 밝히기 어려워 공정 특성만 나타냄을 밝혀둔다.

이렇듯 반도체 집적회로 공정은 전형적인 회분식
화학공정으로 만약 제품이 2개 이상 고려 될 경우
앞서 설명한 생산계획 관점에서 나누어진 화학공정
의 분류로 본다면 다목적 회분식 생산계획(Multi-
Purpose batch process scheduling)으로 분류 될 수 있으
며, 더욱이 재순환 제품들을 취급해야하는 매우 난
해한 공정조업으로 분류될 것이다.

현재 국내의 반도체 집적회로산업은 주로 공정 라
인 1개에 한 제품(ex, 256M DRAM)이 설정되어 운용
되고 있으나 향후 반도체 업계로 치열한 경쟁속에
생산성 증대와 다품종 생산의 요구가 받아들여 지게
될 것이고 단일 생산라인에서 다중제품이 생산 될
시점이 멀지 않은 관계로 향후 도래한 다중제품 다
목적공정의 조업에서 생산성 증대의 가장 핵심적 연

구인 다목적 회분식 공정의 재순환 제품을 고려한 생산계획 문제의 연구는 반도체 집적회로 업계의 경쟁력 확보를 위해 반드시 선행되어야 할 연구 분야로 떠오르게 된 것이다.

본 논문에서는 반도체 집적회로 산업에서 고려되어야 할 재순환 제품(재순환 product)을 고려한 순차 및 비순차 다목적 회분식공정의 최적 생산계획을 위한 몇가지 연구 방향을 제시하였으며 핵심적으로는 그 방법중 현장적용성이 가장 많이 확보된 Randomized Search 방법을 위한 조업완료시간 알고리즘을 수식으로 나타내었다. 특히 전자산업의 경우 같은 조업순서들을 여러 차례 조업해야하는 재순환 흐름 루프를 다수 갖는 조업형태를 띠고 있어서 부품 연마가공산업에서 흔히 보이는 jop-shop공정과는 거리가 멀고 다목적 회분식공정조업 중 재순환 흐름 루프를 갖는 조업형태가 된다. 본 연구에서는 수송시간 및 준비시간을 고려하지 않은 단순화된 조업완료시간 결정 알고리즘뿐 아니라, 수송시간 및 준비시간을 고려한 조업완료시간 결정 알고리즘을 개발하였으며, 이들 알고리즘을 기초로 하여 재순환 흐름을 갖는 다목적 회분식공정의 최적 생산계획을 Genetic Algorithm으로 풀이하였다.

2. 기존의 다목적 회분공정의 최적 생산계획 연구

2.1 MILP를 이용한 최적 설계

Kim[28]은 다목적 회분식 공정의 최적생산계획을 수학적 모델링에 의한 MILP 풀이법으로 접근하였다.

우선 여기서 사용하는 이진변수부터 정의해 보겠다.

$X_{ikj}=1$: 제품 i 가 장치 j 에서 k 번째로 처리되는 경우

$X_{ikj}=0$: 그렇지 않은 경우

장치 j 에서 처리되는 제품의 집합을 I_j 라고 할 때, I_j 에 속하는 제품 i 는 장치 j 에 할당된 제품처리 순서의 집합 K_j 중 어느 한 순서에서만 처리된다.

$$\sum_{k \in K_j} X_{ikj} = 1 \quad \forall j, i \in I_j \quad (1)$$

장치 j 에 있는 제품처리 순서를 고려한다면 어떤 순서에서든 한가지 제품만을 처리할 수 있다.

$$\sum_{i \in I_j} X_{ikj} = 1 \quad \forall j, k \in K_j \quad (2)$$

UIS방안에서 조업시작과 완료시간을 제품과 장치 기준으로 표현하면 다음과 같다.

먼저 장치기준에서 보면 어떤 장치 j 에서 k 번째 조업의 시작시간과 완료시간 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$TFU_{kj} = TSU_{kj} + \sum_{i \in I_j} t_{ij} X_{ikj} \quad \forall j, k \in K_j \quad (3)$$

식(3)에서 t_{ij} 는 i 는 k 번째에 해당하는 제품 i 를 제외한 나머지 값들이 "0"

이 되므로 결국은 k 번째로 처리되는 제품의 조업시간만을 나타내게 된다.

UIS(Unlimited Intermediate Storage)방안의 경우에는 저장조 사용에 제한이 없기 때문에 다음 단계의 조업상황에 관계없이 현 단계의 조업을 종료할 수 있으므로 식(3)을 등식으로 표현한다.

$$TSU_{kj} \geq TFU_{(k-1)j} \quad \forall j, k \in K_j \quad (4)$$

식(4)는 한 장치에서 연속적인 조업간의 상관관계를 나타내기 위한 제약조건으로 장치 j 에서 k 번째 조업이 시작되는 시간은 그 전 조업인 $(k-1)$ 번째 조업이 완료된 이후임을 나타내고 있다.

$$LFT \geq TFU_{k_j j} \quad \forall j \quad (5)$$

$$EST \leq TSU_{k_i j} \quad \forall j \quad (6)$$

식(5)와 식(6)은 최종조업완료시간을 계산하기 위한 것으로 k_j 는 장치 j 에서 가장 마지막 순서의 조업이며, k_i 는 처음 순서의 조업을 의미한다. 따라서 식(5)는 전체조업 중 가장 마지막 조업의 완료시간을 나타내며, 식(6)은 전체조업 중 가장 처음의 시작시간을 나타낸다.

제품기준으로 조업의 시작과 완료시간 제약조건을 표현하면

$$TF_{ij} = TS_{ij} + t_{ij} \quad \forall i, j \in J_i \quad (7)$$

식(7)은 장치 j 에서 제품 i 의 조업시작과 완료시간사이의 관계를 나타낸다. 여기서 이 식을 등식으로 표현한 이유는 다음의 조업에 무관하게 조업을 끝낼 수 있기 때문이다.

$$TS_{i(j+1)} \geq TF_{ij} \quad \forall i, j \in J_i \quad (8)$$

식(8)은 제품 i 는 앞의 장치에서의 조업이 끝나야만 다음 장치에서의 조업을 할 수 있다는 것을 나타낸다.

위에서 표현된 장치와 제품기준의 변수들을 연결시켜주는 제약조건이 필요하다.

$$-H(1-X_{ikj}) \leq TS_{ij} - TSU_{kj} \leq H(1-X_{ikj}) \quad \forall j, i \in I_j, k \in K_j \quad (9)$$

여기서 H 는 공정시간의 총 합계로서 TS_{ij} 와 TSU_{kj} 는 H 보다 클 수는 없다. 식(9)는 제품 i 가 장치 j 에서 k 번째로 처리되는 경우에만 부등식 양변이 0이 되면서 장치기준으로 표현된 조업시간과 제품기준으로 표현된 조업시간을 일치시키고 그렇지 않은 경우에는 H 로 인해 아무런 영향이 없다.

2.2 Graph 표현법에 의한 최단 cycle-time최적화를 이용한 다목적 공정의 생산계획

앞서 살펴본 데로 다목적 공정은 다제품 공정과 달리 생산경로가 제품마다 다를 수 있다는 것이다. 그러나 주어진 제품은 모두 제품의 생산경로(route)

가 고정되어 있으며 제품들의 각 공정에서의 조업시간은 주어질 것이다. 그림 4는 이러한 다목적 공정의 간단한 예를 나타내고 있다.

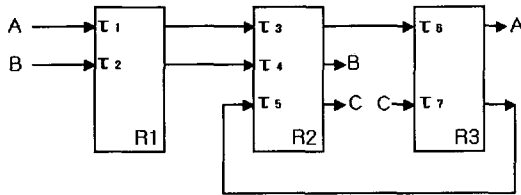


그림 4. 한 다목적 생산공정의 예.

여기서 (r, j) 는 제품호름 j 가 r 공정에서의 조업을 뜻하며, 그림5에는 이러한 그림4의 다목적 공정에서의 조업을 graph표현으로 나타내고 있다.

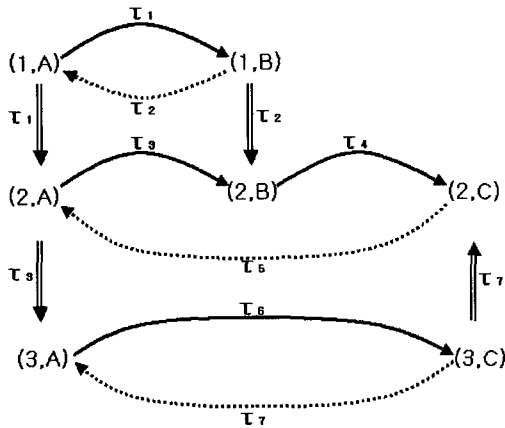


그림 5. 공정의 조업을 나타내는 graph표현.

이중선은 미리 주어진 각 제품의 경로(route)를 나타내고 있고 이 graph표현에서 r 장치에서의 제품순서(sequence)를 β 로 표현하였다. 즉

$$\beta_1 = A, B ; \beta_2 = A, B, C ; \beta_3 = A, C$$

점선은 제품생산의 cycle이 끝남을 나타내고 다시 시스템이 시작될 준비가 되었음을 뜻한다. 이 graph에서는 Unlimited Intermediate Storage(UIS)정책이 가정되었고, 그렇기 때문에 단지 2개의 제약조건 즉, 제품생산 경로(route)(그림5에서 수직선), 그리고 장치에서의 제품순서(sequence)(즉 그림5에서 수평선)만이 개입된다.

여기에는 4개의 cycle이 나타난다.

- i) (1,A) → (1,B) → (1,A);
 - ii) (2,A) → (2,B) → (2,C) → (2,A);
 - iii) (3,A) → (3,C) → (3,A);
 - iv) (2,A) → (3,A) → (3,C) → (2,C) → (2,A);
- 이들 중 가장 긴 것이 전체공정의 cycle-time이 된

다. 여기서 Mini-max algebra를 이용한 최적의 cycle-time을 찾는 방법이 Yamalidou등[21]에 의해 제안되었다. 이 연구에서는 이산공정의 표현법을 공정 route와 sequence에 의해 그래프의 선(i, j)를 activity matrix A를 표현하고 이를 mini-max algebra를 이용하여 풀이하였으나 반도체 공정에서 발생하는 재순환 제품에 대한 특성은 반영하지 못하고 있다.

III. Genetic Algorithm(GA)을 이용한 다목적 회분 공정의 최적생산계획

3.1 GA알고리즘

재순환 제품을 갖는 다목적 회분식공정은 최근 각광을 받고 있는 전자산업에서 자주 보이는 조업방법이다. 기존의 회분식공정들과 이 재순환 제품을 갖는 다목적 회분식공정의 차이점은 우선 그 제품수에서 찾을 수 있다. 보통 전자 산업에서의 재순환은 한 완성된 전자부품을 생산하기 위해 10~30회 정도의 재순환을 하는 것이 일반적이라고 알려져 있다. 즉 1개의 제품이 문제를 풀이하기 위한 modeling 단계에서 10~30개의 제품이 되고, 만약 이런 제품이 5개가 있다면, 계산을 위해 얻어진 수치적, 제품 개수 자료는 50~150개의 제품을 갖는 생산계획 문제가 된다. 50~150개 가량의 제품군으로 다제품 공정의 생산계획 문제를 풀더라도 수학적 Formulation에 의한 Optimal Solution을 찾기는 어렵고 문제풀이조차 힘들 수 있는 크기의 문제가 된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 극복하기 위해 비록 최적해를 보장하지는 못하지만 매우 효과적인 최적화 방법으로 인정되고 있는 Genetic Algorithm을 다목적 회분식 공정에 적합하도록 적절히 개발하여 사용하였고, 개발된 GA로 몇몇 문제를 풀이해 보았다.

최근 combinatorial 최적화 문제에 대해서 유전 알고리즘이 매우 효과적인 최적화 알고리즘으로 각광받고 있다[27]. Jung[1]등은 다품종 회분식 공정에서 makespan의 최소화의 생산계획문제를 유전알고리즘을 이용하여 풀었고, 그 결과 RAES(Rapid Access Extensive Search)[22]와 SA(Simulated Annealing)[23]보다 우수한 결과를 나타내었으며 지금까지 가장 효과적이고 강건한 알고리즘이라는 것을 보여주었다. 유전알고리즘은 재생, 교배 돌연변이의 3가지 기본연산자와 몇 가지 고급연산자들로 구성된다. 재생 연산자는 각 개체의 적합도에 비례하여 다음 세대에 그들의 유전형질을 가진 자손을 재생 또는 복제하는 연산자이다. 교배연산자는 자손에게 부모의 유전형질을 합성하여 더 낫은 자손을 생산하는 연산자이고, 돌연변이 연산자는 무작위로 개체의 유전자를 변형시키는 연산자이다. 최적화 알고리즘에서 교배연산자는 지역 탐색을 수행하고 돌연변이 연산자는 uphill movement

를 가능하게 함으로서 지역탐색으로 인한 국부 최소값을 극복하여 전체 최적해를 구할 수 있게 한다. 이 유전 알고리즘이 다른 최적화 알고리즘에 비해 두드러진 특징은 병렬탐색기법을 이용한다는 것과 제약조건에 대한 영향을 적게 받는다는 것이다.

본 논문에서는 Jung[1]등의 Genetic Algorithm을 기본 골격으로 하여 십진열과 sigmoid 적합도 함수를 기초로 재생 연산자로서 채택했고 교배 연산자에 대해서는 PMX(Partially Matched-up Exchanger)와 OX(Ordered Exchanger)를 교대로 사용했다. 상세한 GA 알고리즘은 Jung[1]등에 나타나 있으며 본 논문에서는 본 논문을 위해 개선된 GA의 module들과 핵심적 module들의 내용만을 간략히 나타내기로 하겠다.

재생 연산자는 자연도태의 인위적 개념으로서 구세대로부터 부모를 선택하고 새로운 개체를 생성하는 선택절차이다. 이 연산자에 대해 비대체 추계론적 잔류선택(Goldberg[25])을 사용했다. 재생산에서 복사본의 개수의 조절이 특히 중요하다. GA를 진행해 나감에 따라 개체 평균 적합도는 개체 최적 적합도에 가까워진다. 이런 이유로 적합도 스케일링이 필요하고 sigmoid 스케일링이 개발됐다. sigmoid 스케일링은 식 (10)에 나타냈고 이 식에서 가로축은 적합도와 평균적합도의 편차($f-f_{avg}$)이고 세로축은 스케일된 적합도(f')다. 여기서 λ 는 스케일된 적합도의 최대값을 결정하는 기울기이고 f_{max} 는 기울기를 결정하기 위해 고정된다. 그리고 f_{max} 는 대개 1.2와 1.9사이의 범위에 있다. 본 논문에서 f_{max} 는 모든 문제에 대해 1.5의 값을 가진다.

$$f' = \frac{2}{1 + \exp[-\lambda(x - f_{avg})]} \quad (10)$$

$$\lambda = -\frac{\log((2 - f'_{max}) / f'_{max})}{x_{max}}$$

교배연산자는 부모의 적합도보다 더 나은 적합도를 가진 자손을 생산하기 위해 부모의 정보를 부분적으로 교환하는 것이다. 본 논문에서 Goldberg와 Lingle[26]의 PMX와 Davis의 OX를 사용했고 각각의 교배연산에 의해 십진코드로 구성된 두 자손을 생성했다. 단순 교배연산에서 두 개의 선택된 부모는 한번의 교배로 두 개의 자손을 생성했다. 이 단순교배는 우등과 열등의 두 자손을 생산한다. 더 나은 자손을 보장하기 위해 우수한 강화 정책을 개발했다. 이 정책에서, 두 부모가 두 개의 교배연산자에 의해 두 자손을 생성할 때, PMX와 OX 두 개 각각에서 다른 것 보다 나은 자손이 선택된다. 전체 과정을 조합하면 다음과 같다.

- 1 단계 : 교배 위치를 무작위로 선택
- 2 단계 : PMX에 의해 두 자손 생성
- 3 단계 : 두 개중 우수한 자손 선택
- 4 단계 : 교배 위치를 무작위로 선택

5 단계 : OX에 의해 두 자손 생성

6 단계 : 두 개중 우수한 자손 선택

돌연변이 연산자는 무작위로 선택된 열의 위치에 있는 값을 변화시킨다. 열의 위치에 있는 값은 십진열 표현에서 쌍 상호교환에 의해 변이된다. 이러한 단순 상호교환 돌연변이 연산자는 너무 외란이 커서 유전자의 구조를 크게 변경시키기 때문에 외란을 줄이도록 하는 방안으로 인접상호교환과 슬라이딩 상호교환을 돌연변이 연산자로 제안한다. 이 연산자들은 본 논문의 실험에서 쌍 상호교환보다 우수했다. 그래서 돌연변이 방법으로 인접 상호교환과 슬라이딩 상호교환의 조합을 선택했다.

GA의 성능을 향상시키기 위해 De Jong[24]이 제안한 elitist model, expected value model, elitist expected value model과 crowding factor model등을 사용하였다. 특히 Crowding Factor 모델의 경우, 비슷한 염색체를 선택하기 위한 방법으로 Crowding sub-population의 값은 3, Crowding Factor는 2를 사용했다.

3.2 GA의 fitness Function을 위한 조업완료시간 결정

최근 박등[13-14]은 다목적 회분식공정의 특징을 나타내는 세 변수 즉, j 장치에서 k 번째로 처리되는 제품번호를 뜻하는 P_{jk} 변수와 i 제품이 m 번째로 처리되는 장치를 의미하는 U_{im} 변수, 그리고 i 제품이 거치는 장치들 중 j 장치에서의 조업순서를 의미하는 O_{ij} 변수를 도입하여 UIS 정책하의 재순환 제품을 고려하지 않은 다목적 회분식공정에 대한 조업완료시간 알고리즘을 제시하였다. 여기서 P_{jk} 의 요소는 제품으로 장치기준에서 보는 제품이고, U_{im} 의 요소는 장치로서 제품기준에서, 그리고, O_{ij} 의 요소는 제품기준에서 장치의 순서를 의미한다. 다음의 식(11)은 준비시간 및 수송시간 그리고 재순환 제품을 고려하지 않은 다목적 회분식공정의 조업완료시간 결정의 순환적 표현 수식이다.

$$C_{\alpha,j} = \max(C_{\beta,j}, C_{\alpha,\gamma}) + t_{\alpha,j} \quad (11)$$

$$\alpha = P_{j,k}$$

$$\beta = P_{j,k-1}$$

$$\delta = O_{P_{k,j}} - 1$$

$$\gamma = U_{\alpha,\delta}$$

재순환 제품이란 제품 생산을 위해 주어진 장치들 중에서 한 제품이 같은 장치를 두 번 이상 거처서 처리되는 제품을 말한다. 이러한 재순환 제품들은 전자 산업에 있어 전자 부품생산 공정이나 무배관 회분식공정에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 본 논문에서는 박과 정[13]이 제시한 비순차 다목적 회분식공정의 조업완료시간 알고리즘에서 고려하지 않은 재순환 제품을 고려한 조업완료시간 알고리즘을 개발하

였다. 그리고 본 연구에서 개발한 조업완료시간 알고리즘은 수송시간 및 준비시간을 고려하지 않은 것과 그들을 모두 고려한 것을 모두 포함하고 있으며, 중간 저장 탱크 방안으로는 UIS정책을 사용하였다.

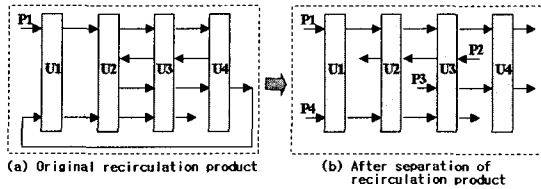


그림 6. 재순환을 포함한 Multi-purpose 공정.

재순환 제품으로부터 분류된 상위 제품과 하위 제품들, 그리고 재순환 제품이 아닌 제품들의 맨 처음 처리되는 장치에서의 조업완료시간들을 다음 식 (12)으로부터 계산할 수 있다.

$$C_{\alpha,j} = \max(C_{\beta,j}, C_{R_{\alpha}, L_{R_{\alpha}}}) + t_{\alpha,j} \quad (12)$$

단, 위에서 설명한 것처럼 식 (12)는 $O_{\alpha,j}$ 의 값이 1일 경우에만 적용할 수 있다. 다시 말해 식 (12)는 장치 j 가 임의의 제품 α 의 첫 번째 처리장치일 경우에만 적용 가능하다는 것이다. 그 외의 경우 즉, $O_{\alpha,j}$ 의 값이 1이 아닌 경우에는 식 (11)을 사용하면 된다. 결국 재순환 제품을 포함하고 있고, 수송시간 및 준비시간을 고려하지 않은 단일 장치열로 구성된 다목적 회분식공정의 조업완료시간 알고리즘은 다음의 식 (13)으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{if } (O_{\alpha,j} = 1) \text{ then} \\ & \quad C_{\alpha,j} = \max(C_{\beta,j}, C_{R_{\alpha}, L_{R_{\alpha}}}) + t_{\alpha,j} \quad (13) \\ & \text{else} \\ & \quad C_{\alpha,j} = \max(C_{\beta,j}, C_{\alpha,\gamma}) + t_{\alpha,j} \end{aligned}$$

또한, 수송시간과 준비시간을 고려하면 다음의 식 (14)로 표현된다.

$$\begin{aligned} & \text{if } (O_{\alpha,j} = 1) \text{ then} \\ & \quad C_{\alpha,j} = \max(C_{\beta,j} + S_{\beta,\alpha,j} + A_{\alpha,\delta}, C_{R_{\alpha}, L_{R_{\alpha}}}) + t_{\alpha,j} + A_{\alpha,\delta+1} \quad (14) \\ & \text{else} \\ & \quad C_{\alpha,j} = \max(C_{\beta,j} + S_{\beta,\alpha,j} + A_{\alpha,\delta}, C_{\alpha,\gamma}) + t_{\alpha,j} + A_{\alpha,\delta+1} \\ & \text{where, } \alpha = P_{j,k}, \beta = P_{j,k-1}, \delta = O_{P_{j,k}} - 1, \gamma = U_{\alpha,\delta} \end{aligned}$$

여기서, $S_{\beta,\alpha,j}$ 는 j 장치에서 β 제품과 α 제품사이의 준비시간(Set-up Time) 즉, j 장치에서 이전에 처리된 제품과 현재 처리될 제품간의 준비시간을 나타낸다. $A_{\alpha,\delta}$ 는 α 제품이 이전 장치에서 현 장치로의 수송시간(Transfer Time)을 나타낸다.

위의 내용을 종합해 보면 재순환 제품을 포함한

다목적 회분식공정의 조업완료시간을 계산하기 위해서는 다음과 같은 단계의 알고리즘에 의해 계산될 수 있다.

- 단계 1. 다목적 회분식공정에 포함된 재순환 제품들을 다른 제품들(정방향, 역방향과 순환 제품)과 분류한다.
 - 단계 2. 단계 1에서 분류한 모든 재순환 제품들을 재순환 제품의 성질을 소거할 수 있는 둘 이상의 제품으로 분류한다. 그리고, 변수 R_p 와 L_p 값을 설정한다.
 - 단계 3. 처음 주어졌던 공정 데이터인 공정의 처리시간을 단계 2에서 정의한 하위 제품들을 포함하는 공정 처리시간으로 재설정한다.
 - 단계 4. 재순환 다목적 회분식공정의 특징을 나타내는 변수들($P_{jk}, U_{im}, O_{ij}, R_p, L_p$)의 값을 설정한다.
 - 단계 5. 불가능 조업순서를 제거한다.
 - 단계 6. 위의 4가지 단계에 의해 설정된 변수값($P_{jk}, U_{im}, O_{ij}, R_p, L_p$)들과 식 (13)을 이용하여 조업완료시간들을 계산한다.
 - 단계 7. 마지막으로 단계 5에서 계산된 조업완료시간 데이터들을 단계 2에서 분류하기전의 초기 제품으로 재설정한다.
- 이중 단계 4, 단계 5, 단계 6의 Computer program flow chart는 다음 그림 와 같다.

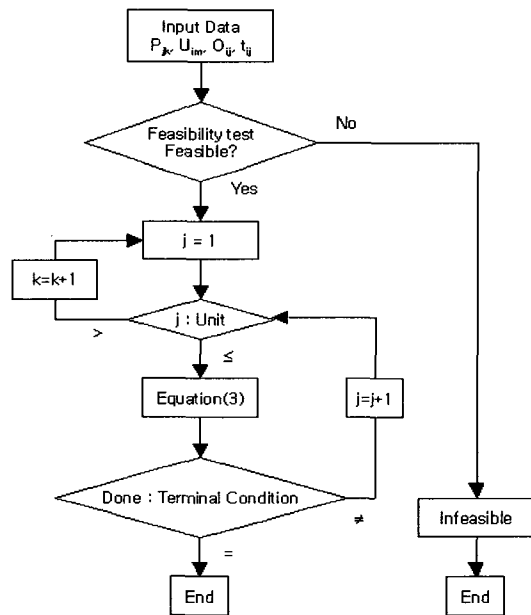


그림 7. 불가능한 조업을 제거하는 조업순서. Flowchart

4. 최적 생산계획 예제

최적의 조업순서를 찾기 위해 그림 8과 같은 공정을 고려하여 보자. 그림 8-(a)에서 보는 바와 같이

제품 P_1, P_2, P_3, P_4 는 재순환 제품임을 알 수 있다. 이러한 재순환 제품의 재순환 특성을 소거해 주면 그림 8-(b)와 같이 그림 8-(a)의 P_1 은 $[P_1-P_2-P_3]$ 로 P_2 는 $[P_4-P_5]$ 로 P_3 는 그림 8-(b)의 $[P_6-P_7-P_8]$ 로 P_4 는 $[P_9-P_{10}]$ 으로 분류된다.

본 연구에서 제시한 단계에 따라 주어진 다목적 회분식공정에 대한 변수들을 표 9와 같이 설정한다. 이 예제의 경우는 수송시간과 준비시간을 고려한 것으로서 재순환 제품인 그림 8-(a)의 P_3 이 분리된 제품인 그림 8-(b)의 $[P_6-P_7-P_8]$ 들은 동일한 제품이므로 당연히 제품간의 준비시간이 없고, 수송시간은 현재 제품의 상위제품이 각 장치를 거쳐 다 처리되고 난 뒤 나가는 데 걸리는 수송시간이 곧 그 제품이 처음 처리되는 장치로 들어오는 수송시간과 동일하므로 즉, 한 예로써 그림 8-(b)의 P_3 가 U_4 에서 처리된 후 나가는 시간과 P_4 가 처음으로 처리되기 위해 U_3 로 들어오는 시간을 동일하게 설정한다. 마찬가지로 다른 재순환 제품에서 분리된 제품들에 대해서 같은 조건으로 설정해주면 표 2에 나타나 있는 준비시간 (Set-up Times)과 같이 나타난다. 또한 이 예제에서는 알고리즘이 일반적인 상황에서도 적용되는 것을 보여주기 위해 재순환 제품이 분리된 제품이더라도 각 장치에서의 처리시간을 각각 다르게 주고 수송시간과 준비시간을 고려한 식 (14)를 이용하여 조업완료 시간을 계산한다.

GA를 이용하여 최적의 조업순서를 찾기 위해 초기의 조업순서를 임의로 표 2의 P_{jk} 와 같이 만들고 그 일부분을 무작위로 인접상호교환을 해서 조업순서를 변화시켜 개체수만큼의 조업순서를 만든다. 여기서 개체수와 돌연변이 확률은 문제의 크기에 맞게 적절히 선택해야 GA의 최적값을 찾는 성능이 보다 향상될 것으로 생각하는데 이에 대한 연구가 좀 더 진행되어야 할 것이다. 이렇게 만든 각 개체들에 대한 조업완료시간, 즉 개체의 Fitness를 식 (14)의 알고리즘으로 계산한다. 그런 후 GA로 계산한 결과, 세대를 거듭하면서 더 나은 최적의 조업순서를 찾을 수 있었고, 그 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3은 계산된 조업완료시간을 초기의 공정도에 맞게 재설정하는 것을 나타내고 Optimal Sequence P_{jk} 를 보여준다.

표 의 최적의 조업순서와 조업완료시간을 가지고 그림 8의 공정에 대한 Gantt Chart를 그림 9에 나타내었다.

여기서 막대 안의 숫자는 제품을 의미한다. 그림 9는 재순환 제품에서 분리된 제품인 그림 9-(a)의 $[P_3-P_4-P_5]$ 와 $[P_6-P_7-P_8-P_9-P_{10}]$ 을 원래의 재순환 제품인 그림 9-(b)의 P_3 과 P_4 로 재설정된 것을 보여준다. 점선으로 나타낸 것은 P_3 의 처리경로이고, 실선으로 나타낸 것은 P_4 의 처리경로이다.

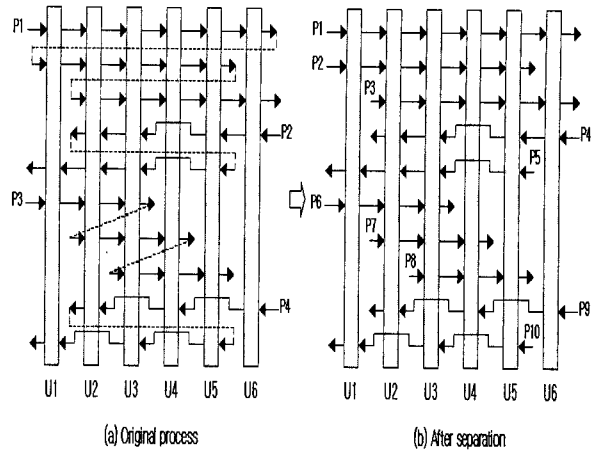


그림 8. 예제를 나타내는 공정도 및 재순환제품의 분리.

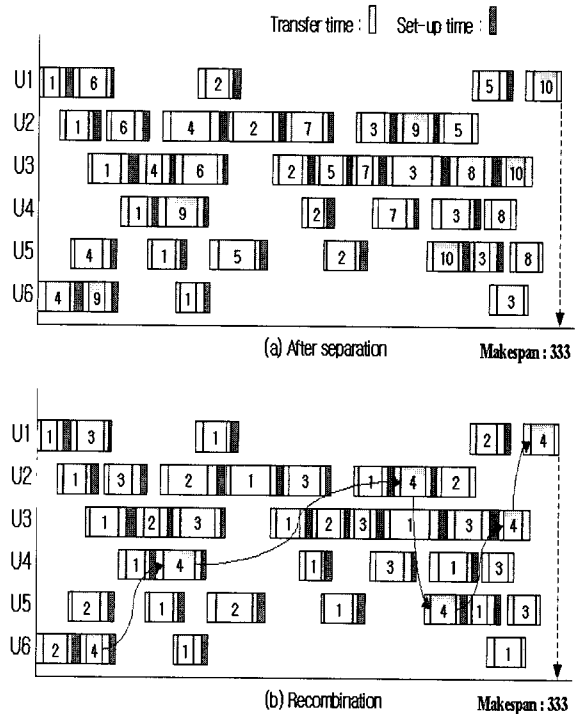


그림 9. 예제에서의 Gantt chart결과.

표 2. 예제에서의 변수.

	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th
U_1	P_1	P_2	P_5	P_6	P_{10}					
U_2	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_9		
U_3	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_7	P_8	P_{10}	
U_4	P_1	P_2	P_3	P_7	P_8	P_9				
U_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6	P_{10}			
U_6	P_1	P_3	P_4	P_9						
R_p	0	P_1	P_2	0	P_4	0	P_6	P_7	0	P_9
L_p	U_6	U_5	U_6	U_2	U_1	U_3	U_4	U_5	U_2	U_1

	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆
P ₁	10	15	18	12	15	10
P ₂	15	25	15	10	18	17
P ₃	15	25	18	10	17	17
P ₄	25	10	18	15	15	15
P ₅	13	18	15	23	15	15
P ₆	17	15	22	15	15	15
P ₇	20	10	18	15	15	15
P ₈	17	12	14	15	15	15
P ₉	16	20	10	15	15	15
P ₁₀	15	12	16	15	15	15

	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆
P ₁	1	2	3	4	5	6
P ₂	1	2	3	4	5	6
P ₃	1	2	3	4	5	6
P ₄	4	3	2	1	1	1
P ₅	4	3	2	1	1	1
P ₆	1	2	3	4	5	6
P ₇	1	2	3	4	5	6
P ₈	1	2	3	4	5	6
P ₉	3	2	2	1	1	1
P ₁₀	3	2	2	1	1	1

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
P ₁	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4
P ₂	4	4	3	4	5	3	4	5	3	4
P ₃	5	3	3	5	4	4	5	3	4	5
P ₄	4	4	5	6	5	3	4	5	3	4
P ₅	3	5	3	7	4	4	5	3	4	5
P ₆	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4
P ₇	4	5	3	4	5	3	4	5	3	4
P ₈	5	4	3	5	3	4	5	3	4	5
P ₉	6	3	4	5	3	4	5	3	4	5
P ₁₀	6	3	4	5	3	4	5	3	4	5

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
P ₁	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₂	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₃	3	6	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₄	5	3	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₅	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₆	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₇	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₈	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₉	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₁₀	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4

표 3. 예제에서의 완료시간과 최적의 순서.

	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
P ₁	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆
P ₂	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆
P ₃	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₆
P ₄	U ₆	U ₅	U ₃	U ₂	U ₁	U ₁
P ₅	U ₆	U ₅	U ₃	U ₂	U ₁	U ₁
P ₆	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆
P ₇	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₆
P ₈	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆	U ₆	U ₆
P ₉	U ₆	U ₄	U ₂	U ₁	U ₁	U ₁
P ₁₀	U ₆	U ₅	U ₁	U ₁	U ₁	U ₁

	U ₀₁	U ₁₂	U ₂₃	U ₃₄	U ₄₅	U ₅₆	U ₆₇
P ₁	3	4	3	5	3	3	5
P ₂	5	3	4	4	2	3	5
P ₃	3	4	6	3	5	3	5
P ₄	5	3	5	5	6	5	5
P ₅	6	3	3	4	5	5	5
P ₆	4	3	5	4	5	5	5
P ₇	4	3	4	5	5	5	5
P ₈	5	5	4	3	5	5	5
P ₉	4	5	4	4	5	5	5
P ₁₀	4	3	5	3	5	5	5

	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆
P ₁	17	35	58	73	91	106
P ₂	124	153	172	184	205	205
P ₃	224	257	278	293	313	313
P ₄	115	84	46	23	23	23
P ₅	298	280	197	141	141	141
P ₆	46	66	118	118	118	118
P ₇	184	217	240	240	240	240
P ₈	289	305	322	322	322	322
P ₉	252	106	47	47	47	47
P ₁₀	333	315	271	271	271	271

	U ₁	U ₂	U ₃	U ₄	U ₅	U ₆
P ₁	17	35	58	73	91	106
P ₂	124	153	172	184	205	205
P ₃	224	257	278	293	313	313
P ₄	115	84	46	23	23	23
P ₅	298	280	197	141	141	141
P ₆	46	66	118	118	118	118
P ₇	184	217	240	240	240	240
P ₈	289	305	322	322	322	322
P ₉	252	106	47	47	47	47
P ₁₀	333	315	271	271	271	271

After separation

Recombination

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
P ₁	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P ₂	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
P ₃	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
P ₄	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
P ₅	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
P ₆	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
P ₇	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
P ₈	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
P ₉	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
P ₁₀	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
P ₁	3	6	3	4	5	3	4	5	3	4
P ₂	5	4	3	5	3	4	5	3	4	5
P ₃	3	3	5	3	5	6	4	5	3	4
P ₄	6	4	4	6	5	3	5	4	3	4
P ₅	3	6	3	5	3	6	4	5	3	4
P ₆	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4
P ₇	4	5	4	3	4	4	5	3	4	5
P ₈	4	5	4	3	4	4	5	3	4	5
P ₉	4	5	4	3	4	4	5	3	4	5
P ₁₀	4	5	4	3	4	4	5	3	4	5

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
P ₁	4	5	6	3	4	4	3	4	5	6
P ₂	3	3	4	4	5	4	5	6	7	8
P ₃	4	3	3	4	5	3	5	4	5	6
P ₄	4	5	3	4	3	4	3	4	5	6
P ₅	6	3	4	4	5	3	5	4	5	6
P ₆	4	3	4	3	3	4	4	4	5	6
P ₇	4	5	5	5	3	5	6	3	4	5
P ₈	4	3	3	4	5	5	3	4	5	6
P ₉	4	3	3	4	4	5	3	4	5	6
P ₁₀	3	3	4	4	5	6	7	5	6	7

	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀
P ₁	7	6	4	4	4	4	4	4	4	4
P ₂	3	3	4	4	5	5	3	4	5	6
P ₃	4	5	4	4	3	4	3	4	5	6
P ₄	4	5	4	4	3	4	3	4	5	6
P ₅	4	5	4	4	3	4	3	4	5	6
P ₆	4	5	4	4	3	4	3	4	5	6
P ₇	4	5	4	4	3	4	3	4	5	6
P ₈	7	3	4	4	4	4	5	6	7	8
P ₉	5	3	4	4	4	4	5	6	7	8
P ₁₀	5	3	4	4	4	4	5	6	7	8

	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th
U ₁	P ₁	P ₆	P ₂	P ₅	P ₁₀					
U ₂	P ₁	P ₆	P ₄	P ₂	P ₇	P ₃	P ₉	P ₅		
U ₃	P ₁	P ₄	P ₆	P ₂	P ₅	P ₇	P ₃	P ₈	P ₁₀	
U ₄	P ₁	P ₉	P ₂	P ₇	P ₃	P ₈				
U ₅	P ₄	P ₁	P ₅	P ₂	P ₁₀	P ₃	P ₈			
U ₆	P ₄	P ₉	P ₁	P ₃						

5. 결론

반도체 집적회로제조 공정은 전형적인 다목적 희 분식 화학공정으로 현재의 국내 제조공정은 단일 생산설비에서의 단제품 조업생산유형의 특징을 가지고 있으나, 향후 업계의 비메모리 공정의 도입과 다제품 DRAM의 동시생산 등의 영향으로 설비의 효율 극대화와 생산성의 증대에 여러가지로 연구 분야가 그 필요성을 더해 가야 하는 시점에 와 있다. 많은 조업 관련 연구가 요구되어지겠지만 그 중에도 생산 계획의 최적화 연구는 추가적 설비 투자 없이 기존의 공정에서 조업의 순서를 적절히 조절함으로써

그 생산성을 극대화시키는 경영측면에서 매우 매력 있는 연구 분야로 이 분야의 연구가 선행되어 현장에서 필요한 시점에 곧바로 그 해답을 제공해 줄 수 있어야 할 것이다.

반도체 IC제조공정은 특히 재순환제품의 특성을 보이고 있어 그 복잡한 조업 방식으로 인해 아직 세계적으로 연구된 바가 거의 없다고 하겠다.

본 연구에서는 향후 도래할 이러한 연구 수요에 대비하여 반도체 IC제조공정에서 많이 나타나는 재순환제품을 고려한 단일 공정라인에서의 다목적 회분조업을 대상공정으로 한 최적생산계획 연구를 수행하여 그 결과를 제시하고 있다.

앞서 다목적 회분공정의 생산계획연구가 다소 선행되어 왔으나, 대부분 반도체 집적회로공정을 대상으로 하고 있지 못하여 이 산업에서의 특성을 반영하지 못하고 있었고, 본 연구를 통해 그 특성을 분석하고 그 특성을 고려한 최적생산계획의 결과를 얻었다고 볼 수 있다.

다중 생산 공정라인 하에서의 다목적 생산계획의 연구를 추진중에 있으며 향후 본 연구들의 결과가 실제 산업에 적용되어 그 결과를 검증받기를 기대한다.

기호

A_{ip} : time that i product is transferred from p th unit to $p+1$ th unit

C_{ij} : completion time of i product on j unit

EST : the earliest starting time of all tasks

I : set of products

I_j : set of products processed in unit j

j : unit

J : set of units

J_i : set of units used to process product i

k : sequence

K : set of sequences

K_j : set of sequence assigned in unit j

L_i : last unit on which i product was processed

LFT : the latest finishing time of all tasks

l, i : products

MS : makespan

O_{ij} : order of i product on j unit

P_{jk} : product which is processed k th on j unit

R_i : upper product of i product

$S_{i,i+1,j}$: set-up time between i product and $i+1$ product on j unit

TF_{ij} : finishing time of product i in unit j in product coordinate

TFU_{kj} : finishing time of k th sequence in unit j in unit coordinate

TS_{ij} : starting time of product i in unit j in product coordinate

dinate

TSU_{kj} : starting time of k th sequence in unit j in unit coordinate

U_{im} : unit at which i product was processed m th

X_{ijk} : 1 if product i is processed at k th sequence in unit j , otherwise 0

β_i : processing sequence in unit i

τ_{ij} : transition time that must transpire between the end of activity j and the subsequent start of activity i

감사의 말씀

본 논문은 1998년도 과학재단지원의 특정기초연구 과제 (98-0502-05-01-3)지원에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Jung, J.H., Lee, C.H and Lee, I : *Comput. Chem. Engng.*, 22, 1725(1998).
- [2] Ha, J.K., Lee, B.S., Lee, I.B. and Lee, E.S.: *HWAHAK KONGHAK*, 36, 813(1998).
- [3] Hasebe, S. and Hashimoto, I.: *Proc. 4th Intl. Symp. on Proc. Systems Engng.*; Canada(1991).
- [4] Johnson, S.M.: *Naval Research Logistics Quarterly*, 1, 1(1954).
- [5] Jung, J.H., Lee, H. and Lee, I.B.: *Comput. Chem. Engng.*, 20, 845(1996).
- [6] Jung, J.H., Lee, H., Yang, D.R., and Lee, I.B.: *Comput. Chem. Engng.*, 18, 537(1994).
- [7] Kim, H.J., Jung, J.H., Kim, M. and Lee, I.B.: *Korean J. Chem. Eng.*, 14, 225(1997).
- [8] Kim, M., Jung, J.H., and Lee, I.: *Comput. Chem. Engng.*, 20, s1149(1996).
- [9] Kondili, E., Pentelides, C.C. and Sagent, R.W.H.: *Comput. Chem. Engng.*, 17, 229(1993).
- [10] Ku, H.M. and Karimi, I.: *Comput. Chem. Engng.*, 14, 49(1990).
- [11] Lee, I.B., Jung, J.H., Yang, D.R. and Chang, K.S.: *FOCAPO '93*, U.S.A.(1993).
- [12] Niwa, T.: *Proc. Fourth Intl. Symp. on Proc. Systems Engng.*, Montebello, Canada(1991).
- [13] Park, S. and Jung, J.H.: *HWAHAK KONGHAK*, 37, 411(1999).
- [14] Park, S. and Jung, J.H.: *Comput. Chem. Engng.*, 23, s543(1999).
- [15] Raimon Grau, Antonio Espuna and Luis Puigjaner: *Comput. Chem. Engng.*, 20, s1143(1996).
- [16] Rajagopalan, D., and Karimi, I. A.: *Comput. Chem. Engng.*, 13, 175(1989).
- [17] Voudouris, V.T. and Grossmann, I.E.: *Comput. Chem.*

- Engng.*, 20, 1335(1996).
- [18] Wiede Jr, W., Kuriyan, K. and Reklaitis, G.V.: *Comput. Chem. Engng.*, 11, 337(1987).
- [19] Wiede Jr, W. and Reklaitis, G.V.: *Comput. Chem. Engng.*, 11, 345(1987).
- [20] Wiede Jr, W. and Reklaitis, G.V.: *Comput. Chem. Engng.*, 11, 357(1987).
- [21] Yamalidou, E.C., Patsidou, E.P. and Kantor, J.C.: *Comput. Chem. Engng.*, 14, 281(1990).
- [22] Dannenbring, D.G.,: *Mgmt. Sci.* 23(11), 1174(1997).
- [23] Davis, L.,: "*Genetic Algorithms and Simulated Annealing*", Pitman, London(1987).
- [24] De Jong, K.A.: "Genetic algorithms: a 10year perspective", *Proc. int. Conf. on Genetic Algrithm and their Application*, p. 210(1995).
- [25] Goldberg, D.E.,: "*Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*", Addison-Wesley Reading, MA.(1989).
- [26] Goldberg, D.E. and Lingle, R.: "*Alleles, loei, and the traveling sales man problem*", *Proc. Int. Conf. on Genetic Algorithm and their Application*, p. 154.(1985).
- [27] Holland, J.,: "*Adaptation in Natural and Artificial Systems*", University of Michigan Press, MI.(1975).
- [28] Kim, S. B. ; *Master's thesis, POSTECH, Pohang, Korea*(2000)

김명현

1999년 영남대학교 응용화학공학부 졸업(학사). 2001년 8월 영남대학교 응용화학공학부 졸업예정(석사)

정재학

1988년 연세대학교 화학공학과 졸업(학사). 1991년 포항공과대학교 화학공학과 졸업(석사). 1994년 포항공과대학교 화학공학과 졸업(박사). 1994년 3월~1997년 2월 미국 MIT공대 화공과 Post. Doc. Fellow. 1994년 9월~현재 영남대학교 응용화학공학부 전임강사, 조교수