

복잡한 생산라인에서 효율적 공정관리 기법 도입에 따른 공정흐름 및 생산성 개선 연구

박경민¹, 정석재*
¹광운대학교 경영학과

A study on the improvement of work flow and productivity in complex manufacturing line by employing the effective process control methods

Kyungmin Park¹, Sukjae Jeong^{1*}

¹School of Business, Kwangwoon University

요약 소품종 대량 생산 체제에서 다품종 소량생산 체제로의 변경으로 인해 개별 기업들은 시장 점유율을 지키기 위해서 생산을 극대화, 재공재고의 최소화, 적정 사이클 타임 운영 등 다양한 생산전략을 개발, 이를 적절하게 운영하기 위한 노력을 경주하고 있다. 특히, 복잡한 제조라인의 경우 작업흐름이 특이하고 공정단계가 많으며 매우 복잡한 공정 순서로 인해, 기존의 수리모형이나 대기이론 모형과 같은 분석적 방법을 적용하여 생산전략을 수립하는 데 많은 한계점을 내포하고 있다. 이를 위해 본 논문은 재투입과 병목공정이 혼재된 제조라인을 대상으로 병목공정 앞에서의 자재 투입 통제 문제와 작업장의 생산 변경시점 결정 및 배치기계의 배치크기 및 가공순서를 결정하는 휴리스틱 방법을 제안한다. 제안된 방법의 효과를 검증하기 위해 제조환경을 테스트할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 앞서 언급한 세 가지 의사결정 문제에 대해 현재 기업에서 일반적으로 많이 사용되고 있는 기존 방식과 본 연구에서 제안하는 방법들을 비교하는 실험을 하였으며, 실험을 위한 시나리오는 세 가지 의사결정 문제의 휴리스틱 방법을 단일로 적용하는 경우와 휴리스틱 방법을 동시에 적용하는 경우로 나누어 실험하였고, 실험 결과 세 가지 의사결정 규칙을 함께 적용하는 것이 생산을 향상, 사이클 타임 감소, 평균 재공재고 수준 감소에 효과가 있음을 보여주었다.

Abstract Due to the change from small volume production to small quantity batch production systems, individual companies have been attempting to produce a wide range of operating strategies, maximize their productivity, and minimize their WIP level by operating with the proper cycle time to defend their market share. In particular, using a complex workflow and process sequence in the manufacturing line has some drawbacks when it comes to designing the production strategy by applying analytical models, such as mathematical models and queueing theory. For this purpose, this paper uses three heuristic algorithms to solve the job release problem at the bottleneck workstation, product mix problem in multi-purpose machine(s), and batch size and sequence in batch machine(s). To verify the effectiveness of the proposed methods, a simulation analysis was performed. The experimental results demonstrated that the combined application of the proposed methods showed positive effects on the reduction of the cycle time and WIP level, and improvement of the throughput.

Keywords : Complex manufacturing Line, Job release, Product mix, batch size and Job sequence

이 논문은 2015년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음

*Corresponding Author : Sukjae Jeong(Kwangwoon Univ.)

Tel: +82-2-940-5294 email: sjjeong@kw.ac.kr

Received February 17, 2016

Revised (1st March 31, 2016, 2nd April 12, 2016)

Accepted May 12, 2016

Published May 31, 2016

1. 서론

제조공정의 복잡성이 높아짐에 따라 고객의 주문을 효과적으로 대응하기 위해서는 공정 중 재고에 대한 관리 및 통제 방법이 더욱 중요해지고 있다[1].

특히, 다품종 소량생산 환경과 같이 다양한 제품을 생산하는 범용 작업장에서는 고객 납기를 충족시키기 위해 효과적인 생산관리를 수행하는 것이 무엇보다 중요하다. 이러한 효과적인 생산관리를 위해선 다양한 의사결정 요소들이 존재하지만, 본 연구에서는 크게 세 가지 관점에서 핵심적인 의사결정을 다루고자 한다.

첫째 제조공정 내에 적정 수준의 재고수준을 유지하기 위해서는 무엇보다 자재 투입시점을 효과적으로 결정하는 것이 필요하다[2,3].

공정 내 재고수준이 높을 경우 과도한 재고유지 비용이 초래될 가능성이 높으므로, 생산율에 맞춘 작업 투입시점(Job release) 결정을 효과적으로 이행하기 위한 전략은 중요한 의사결정 중 하나라고 볼 수 있다. 작업 투입시점을 결정하는 문제는 투입을 위해 대기 중인 작업들의 투입 시점 및 투입 순서를 결정하는 문제로 생산시스템의 통제 문제에서 매우 중요한 문제로 알려져 있다. 특히 다품종 소량생산체제 환경 하에서는 고객의 납기 요구를 만족시키기 위하여 효과적인 작업 투입 통제 규칙이 필요하다. 작업 투입의 시점이 적절하지 못해서 너무 빨리 자재를 투입하면 생산시스템의 혼잡도를 증가시킬 뿐만 아니라 재고의 양이 증가하게 되며, 반면에 너무 늦게 투입이 되면 납기 내에 생산을 완료하지 못하게 되므로 고객의 수요를 충족시켜줄 수가 없다.

둘째, 대부분의 다품종 소량생산 환경에서는 범용기계를 통한 제품 생산이 이루어진다. 이를 경우, 범용 기계에 작업 변경(Product Mix) 시점을 어떻게 결정하는가는 매우 중요하다[4].

이는 특정 기계가 가용해졌을 때 대기 중인 작업들 중 어떤 작업을 선택하여 가공할 것인가를 결정하는 문제로 정의될 수 있다. 즉 기계 입장에서 가공할 작업을 결정하는 문제이다. 작업을 변경할 경우 일정 준비시간(setup time)이 소요되며, 실제 제조환경에서는 준비시간이 생산성에 큰 영향을 미치기 때문에 효과적인 작업 변경 시점을 결정하는 것은 매우 중요하다. 이러한 문제는 작업 변경에 의한 준비시간을 고려한 할당 문제로 정의될 수 있으며, 이는 생산율이나 재공재고 수준 및 사이클 타임

과 같은 성능평가 척도에 큰 영향을 미친다.

셋째, 단일 기계에서 여러 개의 제품을 동시에 생산 가능한 환경, 즉 배치 기계를 운영하는 작업장일 경우, 배치 로트 크기(Batch size)를 결정하는 문제도 적정 수준의 재조관리에 있어 핵심적인 의사결정이라고 할 수 있다. 여러 개의 로트를 한꺼번에 처리할 수 있는 기계에서는 한 번에 처리하는 로트의 개수인 배치의 크기와 형성된 배치의 가공순서를 결정하는 문제로 정의될 수 있다. 일반적으로 배치 크기를 높게 결정할 경우, 생산횟수를 줄일 수 있는 장점이 있지만, 과잉재고가 발생할 우려가 있고, 배치 크기를 적게 운영할 경우, 생산횟수의 증가로 생산비용이 높아질 우려가 있기 때문이다.

본 연구는 생산라인을 개선하기 위한 세 가지 의사결정 문제를 효과적으로 대응할 수 있는 발전적 기법을 제시하고, 기법 도입이 생산성에 미치는 효과를 다루고자 한다.

2. 선행연구 고찰

그동안 많은 연구자들에 의해 다품종 소량 생산 환경에서의 생산계획 및 스케줄링 문제들이 다루어져 왔다. 특히, 고객의 요구를 충족시키기 위한 자재 투입 및 관리 통제 방법으로 병목 작업장에서 대기하고 있는 제품에 대한 자재 투입 우선순위를 결정하는 방법들에 대한 연구가 이루어져 오고 있다. 이러한 연구들은 제품의 특성을 기반으로 투입된 자재의 우선순위를 결정함에 있어 제품 납기시간, 자재 투입시점, 대기행렬의 길이, 병목공정 이후의 자재 현황 등의 다양한 평가항목을 조합하여 우선순위가 높은 자재를 먼저 투입함으로써 제조라인의 성능을 높이고자 하는 연구들로 구성된다[5,6].

제조라인에서 가장 기본이 되는 우선순위 규칙은 선입선출(FIFO) 방법이지만, Kayton et al. (1996)은 드럼(Drum)—버퍼(Buffer)—로프(Rope)방식으로 운영되는 반도체 웨이퍼 공정에서 CR(Critical Ratio) 우선순위 규칙이 병목공정의 가동률과 사이클 타임에서 FIFO규칙보다 우수한 규칙임을 밝혔다.

Uzsoy et al. (1992)의 연구에서는 제품의 공정시간, 종류, 납기정보 등을 이용한 SPT(Shortest Processing Time), Operation-EDD(Early Due Date), SRPT(Shortest Remaining Processing Time) 등의 우선순위 규칙을 개발하였으며,

다양한 지표를 이용하여 규칙들의 우수성을 입증한 바 있다.

Yoon and Kim (2013)의 연구에서는 제조 공정에서 제품을 투입할 때 고려하는 규칙(input release control policy)과 병목공정에서의 제품 순서를 결정하는 투입규칙(sequence control policy at bottleneck process)에 대하여 각각 새로운 규칙들을 제안하였다. 먼저, 생산 납기(Operation Due Date)가 가장 짧은 작업들을 가장 큰 우선순위로 처리하는 전통적인 OPNDD (Operation Due Date) 규칙이 공정의 사이클 타임을 줄일 수 있는 효과가 있다고 잘 알려져 왔으나, 실제로 병목공정의 대기행렬 길이를 길게 만드는 결과를 가져올 수 있기 때문에 오히려 사이클 타임이 길어질 수 있다고 말하고 있다. 즉, 작업시간이 짧은 작업을 우선적으로 처리한다고 하여 공정 전체 사이클 타임을 줄일 수 없다는 것이다. 그렇기 때문에 생산 납기 시간뿐만 아니라 병목공정의 길이를 동시에 고려한 규칙의 필요성을 제기하였다. 또한, 투입 규칙에서는 공정 전체의 재공재고(WIP)를 고려하는 전통적인 CONWIP규칙과 달리 병목공정의 실제 WIP을 고려한 규칙을 고려하였다.

Yoon et al. (2014) 연구에서는 다중 병목공정이 존재하는 공정에서 제품의 투입규칙과 병목공정에서의 우선순위규칙에 관한 연구를 진행하였다. 제품 투입규칙의 경우 전통적인 CONWIP방식과 병목공정들의 재공재고(WIP)수준을 고려한 투입규칙들의 성과를 비교하였고, 병목공정에서는 여러 가지 우선순위규칙 중 최적의 우선순위규칙(Dispatching Rule)을 TOPSIS방법을 이용하여 결정하였다. 또한, 제품의 수요와 같은 외부 환경변화에 따라서 투입규칙과 우선순위 규칙들을 조합하여 공정을 운영할 때와 단일 규칙만 적용하는 방법의 효율성을 비교하였다.

Chen et al.(2013)의 연구에서는 제품의 품질을 고려한 우선순위 할당 규칙을 고려하였다. 제품의 품질을 최상으로 유지하기 위한 최적의 생산량을 계산하고, 이 목표 생산량을 맞추기 위해서 제품의 우선순위를 결정하는 연구를 진행하였다.

선행연구들을 검토한 결과, 자재 투입시점을 결정하는 문제나 생산 변경시점을 결정하는 문제 및 배치크기를 결정하는 문제들을 다루고 있지만, 실제 공정에서는 이런 의사결정이 함께 이루어짐에도 불구하고, 의사결정 조합의 효과를 다루고 있는 논문은 매우 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 자재 투입시점, 생산변경시점, 배치 크기를 결정하는 세 가지 핵심 의사결정 문제에 대해 효과적인 알고리즘을 제안하고, 알고리즘을 조합한 의사결정이 생산성에 어떤 영향을 미치는 지를 분석하는 데 초점을 맞추고자 한다.

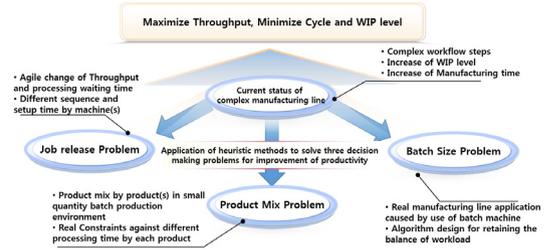


Fig. 1. Research Objective

3. 공정관리를 위한 발견적 기법

3.1 병목공정에서의 작업 투입시점 결정

다품종 소량 생산 형태의 제조공정에서 지나친 공정 재고 수준이나 대기시간 증가는 생산율을 하락시키는 주된 요인으로 작용된다. 적절한 시점에 이루어진 작업 투입은 작업장 내 혼잡도를 줄임으로써 재공재고 수준을 낮추고 이에 따른 사이클 타임 감축에 큰 역할을 한다.

제조현장에서 많이 활용되고 있는 방법은 일정한 WIP 수준을 유지하는 방법(CONWIP Method)이다. CONWIP 방법은 모든 공정에서의 작업시간이 균등한 경우에는 효과적이다. 하지만 병목공정이 뚜렷한 생산라인의 경우 공정 내에 범용 기계에서는 작업 변경시간(setup time)이 작업 부하(workload)에 미치는 영향이 크기 때문에, CONWIP 방법의 적용이 생산성 개선에 있어 그 효과가 매우 제한적일 수밖에 없다.

더욱이 자재들의 재투입이 고려되는 생산라인의 경우라면 해당 자재는 병목공정에 일정 횟수만큼 재투입되어 작업이 이루어져야 하므로, 남아있는 재투입횟수 또한 어떤 자재가 투입되어야 할지 결정하는 데 고려되어야 할 요소라고 할 수 있다.

본 연구에서는 첫 번째 휴리스틱 방법으로 재투입 횟수와 작업 변경시간을 고려한 작업 투입시점 결정 문제에 대한 휴리스틱 방법을 제안한다.

제안하는 방법은 병목공정에서의 작업 부하의 밸런스

를 유지하는 전략이다. 이를 위해 병목공정에 투입된 자재들의 총 작업부하를 산정해야 하는데 이는 총 작업해야 하는 횟수에 각 작업을 수행하는 데 걸리는 시간 즉 병목공정에서의 작업시간을 곱한 값으로 산정한다.

예를 들어 한 번도 작업되지 않은 자재의 경우는 최초 생성되는 총 작업부하 값을 가지며, 재투입되어 작업이 진행될 때마다 가공시간만큼 계속 그 값이 차감된다. 따라서 하나의 자재가 차지하는 남은 작업부하(Remaining workload)는 공정의 투입횟수에 따라 그 크기가 점차 상쇄된다고 할 수 있다.

본 연구는 여러 제품을 생산하는 제조환경을 고려하였으므로, 각 자재별로 남은 작업부하 시간을 산출할 수 있고, 이들을 모두 합한 후, 자재 수로 나누어 향후 병목공정에서의 평균 작업시간을 계산하였다.

자재 유형별로 앞서 계산된 평균 작업시간이 일정 수준(threshold) 이하로 떨어질 경우, 해당 자재를 우선적으로 투입함으로써 병목공정에서 각 자재들의 작업 부하의 밸런스를 유지할 수 있도록 한다.

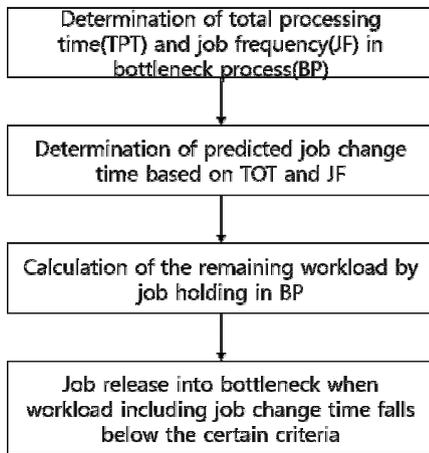


Fig. 2. Proposed heuristic for job release

Figure 2은 본 연구에서 제안하는 방법을 그림으로 도식화하고 있다.

제안된 작업 투입 방법 절차를 살펴보면, 첫째 반복된 사전 시뮬레이션 수행을 통해 자재 유형별로 병목공정에서 소요된 총 작업시간을 처리한 자재 수로 나누어 평균 작업시간을 산출한다. 둘째, 실제 시뮬레이션을 수행하면서 병목공정에서 작업이 완료된 시점마다 자재 유형별 누적된 평균 작업시간을 추정한다. 셋째 특정 자재유형

이 일정 수준(시뮬레이션을 통해 도출된 평균 작업시간) 아래로 내려갈 경우 해당 자재를 병목공정에 투입한다.

3.2 범용 기계 공정에서의 생산 변경시점 결정

대부분의 제조라인은 여러 자재의 흐름을 통제한다. 따라서 동일한 자재를 가공하다가 다른 유형의 자재를 가공할 경우 생산성에 영향을 미칠 수 있는 작업별 준비시간이 발생한다.

모든 자재가 범용 기계를 통해 처리되는 공정이 존재할 경우 이전 자재를 연속적으로 처리하다가 다른 자재로의 생산 변경시점을 결정하는 방법이 생산성을 개선하는 데 매우 중요한 의사결정 문제가 된다.

생산 변경시점(product-mix)은 특정 자재를 일정 개수만큼 생산하다가 작업 준비시간을 가진 후 다른 유형의 자재 생산을 시작하는 시점을 의미하며, 기계 입장에서 가공할 자재 유형의 변경 시점을 결정하는 문제로 해석될 수 있다.

생산 변경시점 문제는 결국 한 기계에서 특정 유형의 자재 가공을 마친 후 다른 자재를 가공할 수 있는 Tool (범용기계의 경우 여러 개의 Tool를 교환함으로써 다양한 자재 가공이 가능함)로의 교환여부와 Tool 변경을 결정한 경우라면 어떤 Tool로 변경하여 가공할지 여부를 결정하는 문제로 생각할 수 있다. 특히 본 연구에서는 일정 횟수의 자재 재투입이 필요한 상황을 가정하고 있기 때문에 해당 공정과 타 공정을 2개의 전체 공정으로 크게 세분화할 수 있고 Figure 3와 같이 두 공정 간의 재투입횟수만큼의 루프가 존재하는 상황으로 문제를 단순화할 수 있다.

Figure 3에서 모든 루프의 작업부하가 균등히 유지된다면, 해당 공정 내의 생산 흐름이 원활해짐을 전제로 루프별로 작업 부하차이가 일정 수준이상 발생하지 않도록 자재 투입을 통제하는 방법을 고려하고자 한다.

투입되는 자재별로 해당 공정에서의 작업 부하를 계산하고 특정 시점에 작업을 수행하기 위해 대기 중인 자재들의 수를 기준으로 평균 작업시간을 산출한다. 자재별 평균 작업시간의 차이를 비교하여, 작업부하가 가장 큰 자재 유형과 가장 작은 자재 유형간의 차이 값이 일정 수준이상 발생하는 경우가 생산 변경 시점, 즉 범용 기계가 Tool 교환 후 새로운 자재를 생산하게 되는 시점으로 간주한다.

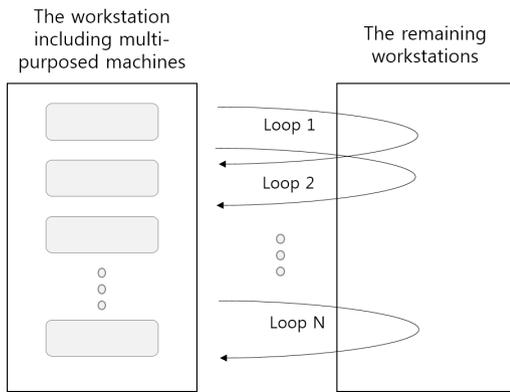


Fig. 3. Proposed Heuristic for Product Mix in multi-purposed Machine

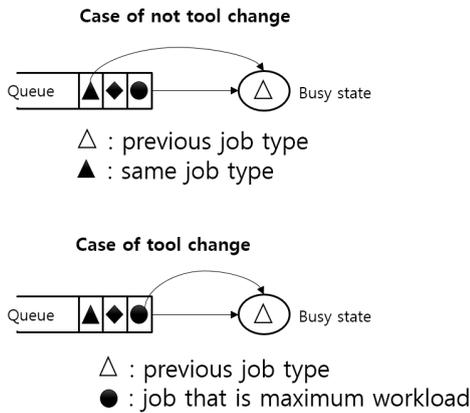


Fig. 4. Tool change decision making procedure

Figure 4는 Tool 교환이 발생하는 상황을 도식화하고 있다. 툴 교환이 발생하지 않는 경우는 대기 중인 작업 중 동일 유형 작업을 다음 작업으로 할당하고, 툴 교환이 발생하게 되면, 대기 중인 작업 중 작업부하가 가장 큰 작업을 선별하여 해당 작업을 다음 작업으로 선택하게 된다. 이는 대기 중인 작업 유형별 부하 정도를 균등하게 유지하고자 하는 전략이다.

3.3 배치 기계를 갖는 공정에서의 배치 크기와 가공순서 결정 방법

본 연구에서는 현실적인 제조회경을 반영하기 위해 배치 기계가 존재하는 공정을 반영하였다. 배치 기계에서 적정 수준의 재고량을 유지하기 위해 배치 크기 및 대기 중인 제품의 가공순서를 효과적으로 이행하기 위한 휴리스틱 제안을 하고자 한다.

제안된 기법의 기본 취지는 공정 간 효율적인 흐름을 위해서는 선행공정과 후속공정 간 일정 수준의 작업부하를 유지하는 데 있다.

만일 특정 자재가 후속공정에 부족한 상황이라면, 특정 자재를 선행공정에서 우선적으로 가공해야 하고, 가공을 위한 배치 수량 또한 크게 하는 것이 작업부하를 낮추는 데 중요한 요소가 된다.

만일 선행공정에서 특정 자재의 투입이 지연될 경우 후속공정에서는 starvation (물량 부족으로 생산 중단)이 발생할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 각 배치 기계 앞에 있는 대기하고 있는 제품 별 로트의 양과 후속 공정에서 대기하고 있는 제품 별 로트의 양을 평균화시켜 공정 내의 물류의 흐름을 원활하게 하는 것이다. 또한 자재가 재투입되는 상황을 고려하고 있기 때문에 해당 자재가 현재 몇 번째로 해당 작업을 수행 중인지에 대해 구별할 필요가 있다.

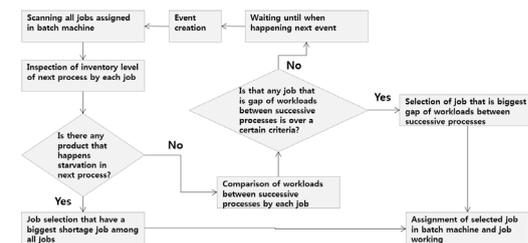


Fig. 5. Tool change decision making procedure

Figure 5은 효과적인 배치 수량 및 가공순서를 결정하기 위한 휴리스틱 절차를 보여주고 있다. 후속 공정에서 중간 재고가 부족하여 공급부족현상이 예상되는 로트 종류가 존재하면 해당 제품을 가장 우선적으로 가공하게 되고, 그렇지 않으면, 하나 이상의 배치가 형성된 로트 종류들 중에서 현 공정의 작업 부하와 후속 공정의 작업 부하의 차이가 가장 큰 로트 종류를 선택하여 가공을 시작한다.

3.4 생산성 척도

본 연구에서 앞서 세 가지 발견적 기법에 대해 단일 및 조합 적용 시 생산성 향상에 어떤 영향을 미치는지 분석하고자 한다. 이를 위한 생산성 성능척도 기준으로 생산율, 평균재고재고 및 사이클 타입을 고려한다 [12,13].

여러 개의 성능요소를 동시에 고려할 경우 이를 종합

적으로 해석할 필요가 있다. 예를 들어 비슷한 재공재고와 사이클 타임 수주 하에 생산율이 높거나 동일한 생산율 결과를 보인다면 재공재고와 사이클 타임이 적은 기법이 생산성 효과가 크다고 할 수 있다.

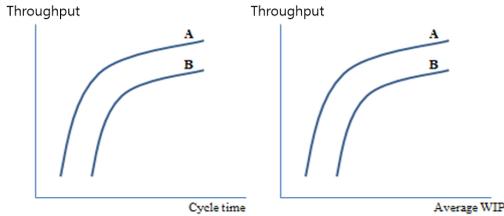


Fig. 6. Relation curve of cycle time and average WIP level via throughput

이를 그림으로 표시하면 Figure 6과 같으며, 그림에서는 기법 A가 기법 B보다 우수함을 알 수 있다. 즉 Figure 6의 (a)에서 보면 같은 사이클 타임 하에서 규칙 A가 B보다 생산율이 높으며 같은 생산율 하에서는 규칙 A가 규칙 B보다 사이클 타임이 낮음을 알 수 있다.

또한, Figure 6의 (b)에서도 마찬가지로 같은 평균 재공재고 중에서 규칙 A가 규칙 B보다 생산율이 높으며 같은 생산율 하에서는 규칙 A가 B보다 평균 재공재고가 낮음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 아래 그림과 같은 그래프를 이용하여 각 문제별 규칙 및 세 가지 문제에 대한 규칙 조합을 평가하고자 한다. 이러한 성능평가 기준은 기존의 여러 연구에서 사용한 방법과 유사하며 특히 납기가 고려되지 않은 소품종 대량 생산체제 하에서 가장 일반적인 성능 평가 기준으로 볼 수 있다.

4. 시뮬레이션 실험 및 평가

4.1 실험 환경

서론에서 언급한 세 가지 핵심 의사결정 문제의 효과적인 전략 조합이 생산성에 미치는 영향을 분석하기 위해 본 연구에서는 5개의 공정을 갖는 제조공정을 대상으로 시뮬레이션 실험을 수행한다.

각 공정 내에서는 여러 개의 동일 기계 m_h ($h = 1, 2, \dots, M$)가 병렬 형태(identical and parallel)로 존재함을 가정하며 병렬형태 모형은 임의의 공정으로 투입된 자재가 해당 공정 내에 포함된 어떤 기계로부터도 가공

을 받을 수 있음을 의미한다.

투입되는 자재는 제품마다 고유한 BOM 구조에 따라 여러 유형의 자재가 투입됨을 또한 가정하며 핵심 의사결정 조합을 테스트하기 위해 공정 특성을 세 가지 유형이 공존하는 형태를 고려한다. 첫째는 특정 공정에서 작업부하가 크게 발생하는 병목 현상이 있고, 둘째 범용 기계를 갖는 공정에서는 여러 자재들에 대해 작업이 가능하지만 이 때 기계의 툴(Tool) 교환에 따른 상이한 작업 준비시간(setup time)이 발생하는 상황을 반영한다. 셋째는 배치 기계가 있는 공정으로 특정 기계는 한 번에 여러 개의 자재를 동시에 처리 가능한 상황을 반영한다 [14].

공정 내의 모든 기계는 한 번에 하나의 자재만을 가공할 수 있는 기계와 동시에 여러 개의 자재를 동시에 처리할 수 있는 배치형태의 기계로 구분될 수 있으며, 기계 상태는 현재 가공 중임을 의미하는 가공(busy) 상태, 이전 작업을 완료한 후 투입될 자재가 없는 상태인 유휴(idle) 상태 및 일정 시간 경과 후에 기계의 유지보수를 위한 고장(breakdown) 상태중 한 가지 상태에 있을 수 있다.

실제 공정에서는 공정간 이동시간이 반영될 수도 있지만, 대부분의 공정에서 작업시간이 공정 간 이동시간보다 매우 큰 값이므로, 본 연구에서는 공정간 이동시간은 고려하지 않았다. 다만, 작업 후에 자재 불량으로 인한 재작업 등이 존재할 수 있기 때문에 본 연구에서는 이를 반영하기 위해 재작업 공정이 별도로 존재함을 반영한다.

위의 상황을 반영하여 본 연구에서는 Figure 7와 같은 제조 공정을 설계하였다.

생산라인의 첫 번째 공정은 병목공정(타 공정에 비해 생산 시간이 월등히 큰 공정으로 묘사) 특징을 가진다고 가정하였으며 세 번째와 네 번째 공정은 병렬 형태로 존재하며, 자재마다 BOM(Bill of material) 흐름에 따라 둘 중 하나의 공정을 거치는 상황을 묘사하였고, 두 공정 모두 배치 기계로 작업하는 환경을 반영하였다.

자재는 마지막 다섯 번째 공정을 거친 후, 사전에 정의한 재투입횟수에 도달하지 않았을 경우, 다시 첫 번째 공정으로 피드백 되는 형태를 고려하였다.

한편 모든 공정은 범용 기계(Multi-purposed Machine)들이 존재하는 공정으로 툴 교환을 통해 여러 제품이 생산 가능한 공정으로 묘사하였다.

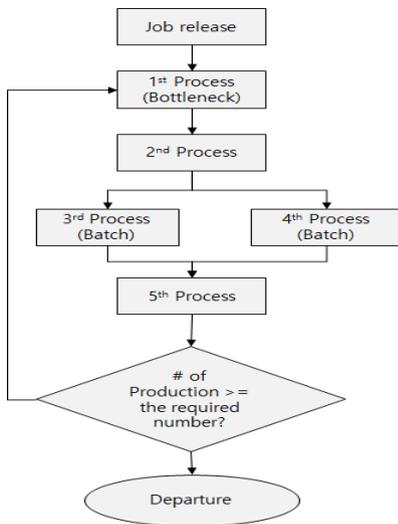


Fig. 7. Production Line

4.2 실험 데이터

제안된 세 가지 의사결정 문제에 대한 발견적 기법을 단일 적용과 조합 적용을 했을 때 각각의 영향을 분석하기 위해 시뮬레이션 분석을 수행한다.

이를 위한 실험 조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Experiment condition

No.	Unit process	# of machine	Visiting Frequency	Process Type
1	1-1	4	13	1st Process
2	1-2	3	12	1st Process
3	1-3	1	15	1st Process
4	1-4	2	11	1st Process
5	1-5	1	10	1st Process
6	1-6	1	4	1st Process
7	2-1	2	2	2nd Process
8	2-2	1	2	2nd Process
9	2-3	2	4	2nd Process
10	2-4	2	21	2nd Process
11	2-5	2	5	2nd Process
12	3-1	2	5	3rd Process
13	3-2	2	5	3rd Process
14	3-3	1	3	3rd Process
15	4-1	2	8	4th Process
16	4-2	2	23	4th Process
17	5-1	1	1	5th Process
18	5-2	1	2	5th Process
19	5-3	1	1	5th Process
20	5-4	1	3	5th Process
21	5-5	1	2	5th Process
22	5-6	1	3	5th Process
23	5-7	1	1	5th Process
24	5-8	1	2	5th Process

5개 공정 내에 여러 개의 세부 단위공정이 존재하는 모델을 구성하였으며, 총 24개 세부 공정을 거쳐 작업하는 환경을 시뮬레이션하기 위한 테스트 환경을 구축하였다.

작업장별 평균 가공시간은 정규분포를 따르는 것으로 가정하였으며 가공시간의 변동을 정규분포의 분산으로 모형 화하였다. 그리고 한 작업 장내에서의 모든 기계의 가공시간 분포는 모두 동일한 모수를 갖는 정규분포로 가정하였는데 이는 한 작업장에 도착한 로트는 장비에 관계없이 항상 일정한 가공시간을 가짐을 의미한다. 즉 1st Process에서의 생산준비시간은 일정하게 2시간으로 가정하였다.

또한, 앞에서 설명한 바와 같이 공정 간의 로트 이송 시간은 고려하지 않았으며 기계의 고장시간은 지수분포 (Exponential distribution)으로 가정하여 고려함으로써 예측하지 못한 기계의 고장 및 장비 보전에 필요한 시간 등을 포함하였다. 한편, 공정으로의 자재 도착은 포아송 분포를 따르는 것으로 가정했을 때 평균 도착 율을 일정한 값을 갖는 것으로 간주하였다.

5. 실험결과 분석

5.1 실험 시나리오 구성

본 시뮬레이션 실험에서는 기존 선행연구에서 제시했던 다양한 방법과 본 연구에서 제안하는 방법들을 조합의 효과를 검증하기 위해 제안한 휴리스틱 방법을 포함하여 작업투입통제규칙, 생산변경시점 할당규칙, 배치공정 가공순서 결정규칙에 각각 5가지, 3가지 및 2가지 규칙을 적용한다.

Table 2. Rules that considered in this paper

Decision problems	Rules
Job lease in bottleneck (JL)	UNIF(UNIFORM)
	CONWIP
	(Constant work in process)
	WR(Workload Regulating)
	(Graves et al. 1995)
Product mix (PX)	SA(Starvation avoidance)
	(Glassey and Ragende 1998)
	proposed Heuristic(JL_PH)
	FIFO(First in First out)
Batch size & sequence (BS)	SRPT
	(Shortest remaining processing time)
	proposed Heuristic(PX_PH)
	FIFO
	proposed heuristic(BS_PH)

5.2 실험결과

5.2.1 기존 작업투입통제규칙 하에서의 조합 효과

먼저 로트투입 규칙으로 UNIF, CONWIP, WR 및 SA를, 마스크 스케줄링 규칙으로 FIFO, SRPT, CWL를, 배치 스케줄링 규칙으로 FIFO, BFQL에 대하여 총 24개의 규칙조합을 실험하였다.

Table 3~6은 규칙 조합에 따른 실험 결과를 보여주고 있다.

첫째, 작업투입 통제규칙에 대한 결과로는 먼저 시스템의 상태에 기반을 두지 않는 작업투입 규칙인 UNIF 규칙이 CONWIP, WR 및 SA에 비하여 성능이 우수하지 못하다는 점이다.

생산율은 CONWIP, WR 및 SA 규칙이 전반적으로 UNIF 규칙보다 높고 사이클타임과 평균 재공재고량은 UNIF 규칙의 경우 일정한 생산율에서 급격하게 증가함을 알 수 있다. 하지만, CONWIP, WR 및 SA의 경우는 사이클타임 및 재공재고량이 비교적 완만히 증가하였다. 전반적으로 SA와 CONWIP 규칙이 WR 규칙보다 약간 우수한 것으로 볼 수 있다.

구체적으로, WR과 SA 규칙에 대한 결과를 비교해 보면, 생산율이 WR이 SA보다 약간 높은 수치를 나타내었으나 일정한 생산을 하에서 사이클 타임과 재공재고는 SA규칙이 낮은 값을 주는 것을 알 수 있다.

예를 들어, Table 5, Table 6에서 보면 WR-PX_PH-FIFO 규칙조합에서는 생산율이 시간당 4.13일 경우 사이클 타임과 재공재고가 각각 356.4와 61.4이었으나 SA-PX_PH-FIFO 규칙조합에서는 생산율이 4.14인 경우 사이클 타임과 재공재고가 310.8과 55.7이므로 SA 규칙이 약간 우수함을 알 수 있다. SA규칙이 다른 규칙에 비해 우수함을 보여주었으나, 큰 차이는 없는 것으로 분석되었다.

둘째, 생산 변경시점 결정 규칙에 대한 실험결과로는 본 연구에서 제시한 휴리스틱 방법(PX_PH) 규칙의 성능이 생산율, 사이클 타임 및 평균재공재고량에서 나머지 규칙인 FIFO나 SRPT 보다 우수한 결과를 보였다. 즉 같은 생산을 하에서는 사이클 타임이 가장 낮고, 같은 사이클 타임에서는 가장 높은 생산율을 나타내고 있다. 이러한 결과는 본 연구에서 제안한 방법이 FIFO나 SRPT 규칙보다 생산 변경시점을 잘 반영하고 있기 때문으로 해석된다. 즉 기존의 FIFO나 SRPT 규칙은 단순히 작업 시간만을 고려하였으나 본 연구에서 제안한 방법은 작업 시간과 준비시간을 동시에 고려하였다는 점이 중요하게

작용하였다.

마지막으로, 배치 크기 및 가공순서를 결정하는 규칙은 FIFO와 본 연구에서 제안한 방법(BS_PH) 사이의 성능차이는 크지 않았다. 이러한 결과는 이 실험에서 대상으로 병목공정에 비해 타 공정에서 대기 중인 재공재고가 적어 배치 간 할당의 영향이 크지 못하였고, 이로 인해 전체 성능에 미친 영향이 미약했기 때문인 것으로 풀이된다.

이상 세 가지 결과를 정리하면 작업투입 통제규칙으로는 CONWIP, WR, SA가 상대적으로 우수하며 생산 변경시점 결정규칙은 본 연구에서 제안한 PX_PH 규칙이 우수함을 알 수 있다. 그리고 배치 크기 및 가공순서 결정규칙은 본 연구에서 제안한 방법이 기존의 FIFO 방식과 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

Table 3. The result of combination when applying UNIF as job release rule

Combination (JL-PM-BS)	Arrival interval	Production rate	Cycle Time	WIP
UNIF-FIFO-FIFO	30	0.8	206.5	6.9
	20	1.19	176.2	8.8
	15	1.6	167.5	11.2
	10	2.4	177.6	17.8
	9	2.59	713.3	79.3
	8	2.35	3959.4	494.4
UNIF-FIFO-BS_PH	30	0.8	206.6	6.9
	20	1.19	176.3	8.8
	15	1.6	167.5	11.2
	10	2.4	181.5	18.1
	9	2.6	713.3	79.3
	8	2.34	3996.6	499.9
UNIF-SRPT-FIFO	30	0.8	207.4	6.9
	20	1.2	178.2	8.9
	15	1.58	167.8	11.1
	10	2.4	181.2	18.1
	9	2.67	222.4	24.7
	8	2.85	1346.9	168.5
UNIF-SRPT-BS_PH	30	0.8	207.4	6.9
	20	1.2	177	8.8
	15	1.6	166.2	11.2
	10	2.4	182.8	18.3
	9	2.67	225.9	25.1
	8	2.83	1372.8	171.9
UNIF-PX_PH-FIFO	30	0.8	208.2	6.9
	20	1.2	176.9	8.8
	15	1.6	166.6	11.1
	10	2.4	164.5	16.5
	9	2.67	179.7	19.9
	7	3.44	276.3	39.5
UNIF-PX_PH-BS_PH	6	3.01	3819.9	655.3
	30	0.8	208.2	6.9
	20	1.2	176.9	8.8
	15	1.6	166.8	11.1
	10	2.4	166.6	16.7
	9	2.67	180.1	20
	7	3.41	807.2	115.3
	6	3.02	5185.3	868

Table 4. The result of combination when applying CONWIP as job release rule

Combination (JL-PM-BS)	WIP	Production rate	Cycle Time
CONWIP-FIFO-FIFO	30	2.67	270.2
	50	2.73	441.8
	70	2.71	617.8
	90	2.72	789.9
	100	2.72	882.2
CONWIP-FIFO-BS_PH	30	2.65	272.1
	50	2.68	448.2
	70	2.69	620.9
	90	2.74	782.5
	100	2.73	877.8
CONWIP-SRPT-FIFO	30	2.75	262.1
	50	2.77	433.2
	70	2.78	603.5
	90	2.81	759.1
	100	2.78	863.5
CONWIP-SRPT-BS_PH	30	2.75	261.7
	50	2.76	434.4
	70	2.78	603.4
	90	2.81	767.4
	100	2.8	858.8
CONWIP-PX_PH-FIFO	30	3.58	201.2
	50	4.14	290.8
	70	4.26	393.4
	90	4.3	500.7
	100	4.29	558.6
CONWIP-PX_PH-BS_PH	150	4.16	867.1
	30	3.56	201.5
	50	4.09	292.5
	70	4.29	392.3
	90	4.33	500.6
100	4.32	557.9	
150	4.17	865.6	

Table 5. The result of combination when applying WR as job release rule

Combination (JL-PM-BS)	WIP in Bottleneck	Production	Cycle Time	WIP
WR-FIFO-FIFO	100	2.25	169.7	15.9
	200	2.62	285	31.1
	400	2.62	558.4	60.9
	600	2.63	824.9	90.5
	700	2.63	964.1	105.6
WR-FIFO-BS_PH	100	2.25	169.8	15.6
	200	2.61	286.9	31.2
	400	2.61	559.2	60.9
	600	2.63	828.7	90.5
	700	2.63	964	105.7
WR-SRPT-FIFO	100	2.1	173	15.1
	200	2.7	233.2	26.3
	400	2.77	381.4	44.1
	600	2.77	529.5	61.4
	700	2.78	606.3	70.2

WR-SRPT-BS_PH	100	2.13	171.6	15.2
	200	2.67	234.8	26.2
	400	2.78	380	43.9
	600	2.79	527.8	61.2
	700	2.79	602.6	70.1
WR-PX_PH-FIFO	100	2.34	163.8	16
	200	3.09	242.6	31.3
	400	4.13	356.4	61.4
	600	4.35	496.9	90.4
	700	4.32	582.1	104.9
WR-PX_PH-BS_PH	100	2.34	164.2	16
	200	3.09	243.9	31.4
	400	4.15	356.5	61.4
	600	4.31	495.3	89.5
	700	4.34	579	104.8

Table 6. The result of combination when applying SA as job release rule

Combination (JL-PM-BS)	alpha value*	Production	Cycle Time	WIP
SA-FIFO-FIFO	5	2.92	317.7	38.8
	10	3.03	544.8	68.4
	15	3.02	493.1	61.9
	20	3.05	568.9	71.7
	25	2.87	651.1	96.2
SA-FIFO-BS_PH	5	3.01	344.4	38.8
	10	2.95	422.6	52
	15	2.98	469.5	58.6
	20	3.12	616.1	72.3
	25	3.03	638.6	81.4
SA-SRPT-FIFO	5	2.78	310.5	35.2
	10	2.83	511.9	60.7
	15	2.8	582.9	67.9
	20	2.83	761.5	89.6
	25	2.77	766.9	88.5
SA-SRPT-BS_PH	5	2.78	286.3	34.2
	10	2.84	574.5	67.7
	15	2.83	577.9	68.7
	20	2.82	772.9	91.7
	25	2.81	816.6	96.3
SA-PX_PH-FIFO	5	3.87	248.1	72.2
	10	4.14	310.8	55.7
	15	4.18	412.1	72.1
	20	4.27	457.3	81.1
	25	4.2	539.9	96.2
SA-PX_PH-BS_PH	5	3.89	271.3	43.8
	10	4.13	353.3	60.8
	15	4.22	407.4	71.8
	20	4.23	436.7	77.4
	25	4.3	459.6	82.3

* GAlassey and Regende (1998)

5.2.2 제안된 작업투입통제규칙과의 조합 효과

이상의 결과를 이용하여 본 연구에서 제시한 작업투입통제규칙(JL_PH)과 기존의 WR 및 SA 규칙과의 비교 실험도 수행하였다.

이 실험은 세 가지 의사결정 문제에 대해 본 연구에서 제안하는 방법의 조합의 효과를 보기 위함이므로, JL_PH-PX_PH-BS_PH 조합에 대한 실험 결과이며, Table 7는 결과를 보여주고 있다.

Table 7. Combination results of proposed heuristic methods

Combination (JL-PM-BS)	Work load (Bottle neck)	Production	Cycle Time	WIP
JL_PH-PX_P H-BS_PH	200	2.84	194.2	23
	300	3.27	250.9	34.2
	400	3.72	294.6	45.7
	500	3.99	340.2	56.4
	600	4.2	378.2	66.3
	700	4.35	424.8	76.4
	800	4.38	479.5	87
	1000	4.34	601.8	108.6

Table 7의 결과와 Table 3부터 Table 6까지의 결과를 비교해 보면 본 연구에서 제안한 작업투입통제규칙 (JL_PH)이 전반적으로 CONWIP, WR, SA 규칙보다 조금 우수함을 알 수 있다. 이러한 결과는 기존의 WR 규칙이 단지 가공시간만으로 병목작업장에서의 작업부하를 고려하였으나 JL_PH 규칙이 이 작업부하에 생산변경시점을 고려함으로써 제조공정의 전체 상황을 좀 더 정확히 반영한 결과로 해석된다. 즉 생산 변경시점을 고려할 경우 생산변경시점 결정 뿐만 아니라, 로트투입에서도 이 시간을 충분히 고려될 수 있음을 알 수 있었다.

이상의 결과를 통해 세 가지 제안된 휴리스틱 조합 방식이 평균재고수준, 사이클 타임, 생산율에서 우수한 결과를 보이는 이유는 병목공정의 재공재고 수준을 고려하여 적절한 시점에 자재를 투입하고, 범용기계의 셋업시간을 고려하여 적절한 시점에 생산 변경을 진행하며, 선행공정과 후속공정 간에 대기 중인 재공재고들의 적절한 작업부하를 고려하여 배치 크기 및 가공순서를 결정함으로써 공정간 원활한 흐름을 제공한 결과로 해석될 수 있다.

6. 결론 및 추후 연구 과제

본 연구에서는 특정 공정에 작업부하가 월등히 높은 병목공정이 존재하며 자재의 재투입이 상황이 발생하는 현실적이며 복잡한 제조환경을 다루었다.

이러한 제조환경에서 발생할 수 있는 의사결정 문제

를 병목공정 앞에서의 자재 투입시점 결정, 범용 기계가 존재하는 공정에서의 생산 변경시점 결정 및 배치기계가 존재하는 공정에서의 자재 가공순서 및 한 번에 작업할 배치크기를 결정하는 세 가지 유형의 문제로 분류하였다.

첫째, 자재 투입 시점을 결정하는 문제에서는 병목공정에 대기 중인 작업들의 재투입 횟수를 고려한 작업부하를 기준으로 하여 평균 작업부하 이하로 내려가는 경우에만 자재를 투입하는 기법을 제안하였으며, 둘째 범용 기계의 생산 변경시점을 결정하는 문제에 대해서는 자재별 차등적인 셋업시간을 고려하여 생산 변경 시점을 결정할 수 있는 방법을 제시하였다. 마지막으로 배치기계에서 대기 중인 자재의 가공순서 및 배치 크기를 결정하는 문제에서는 원활한 공정 간 흐름을 위하여 선행공정과 후속공정 간의 작업별 재공재고 수준을 기반으로 한 Starvation을 회피할 수 있는 방법을 제시하였다.

본 연구에서 제시된 방법의 효과성을 검증하기 위해 제조환경을 테스트할 수 있는 시뮬레이션 모델을 개발하였으며, 앞서 언급한 세 가지 의사결정 문제에 대해 현재 기업에서 일반적으로 많이 사용되고 있는 기존 방식과 본 연구에서 제안하는 방법들을 비교하는 실험을 수행하였다.

실험을 위한 시나리오는 세 가지 의사결정 문제의 휴리스틱 방법을 단일로 적용하는 경우와 휴리스틱 방법을 동시에 적용하는 경우로 나누어 실험하였으며, 실험 결과 세 가지 의사결정 규칙을 함께 적용하는 것이 생산율 향상, 사이클 타임 감소, 평균 재공재고 수준 감소에 효과가 있음을 보여주었다.

향후 본 연구에서 제시된 제조환경에 맞는 산업별 공정을 분류하고 각 산업별 공정에 대해 제안된 방법을 적용하여 그 효과성을 검증함으로써 제안된 방법의 실용성 및 맞춤형 적용 가능성을 제고하는 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Monch J. W, Fowler S, Dauzere-Peres S. J and Mason O. R, "A survey of problem, solution, and future challenges in scheduling semiconductor manufacturing operations", *Journal of Scheduling*, Vol.14, No.6, pp.583 - 599, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10951-010-0222-9>

- [2] Chen T. L, "A self-adaptive agent-based fuzzy-neural scheduling system for a wafer fabrication factory", Expert Systems with Applications, Vol.38, No.6, pp.7158 - 7168, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.12.044>
- [3] Fu M, Askin R, Fowler J, Haghnevis M, Keng N, Pettinato J. S and Zhang M, "Batch production scheduling for semiconductor back-end operations", Semiconductor Manufacturing, IEEE Transactions, Vol.24, No.2, pp.249 - 260, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TSM.2011.2114900>
- [4] Monch J. W, Fowler S, Dauzere-Peres S. J and Mason O. R, "A survey of problem, solution, and future challenges in scheduling semiconductor manufacturing operations", Journal of Scheduling, Vol.14, No.6, pp.583 - 599, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10951-010-0222-9>
- [5] Cheng H. C and Chiang T. C, "A two-stage hybrid memetic algorithm for multi objective job shop scheduling", Expert Systems with Applications, Vol.38, No.9, pp.10983 - 10998, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2011.02.142>
- [6] Sha D. Y, Hsu S. Y, Che Z. H and Chen C. H, "A dispatching rule for photolithography scheduling with an on-line rework strategy", Computers and Industrial Engineering, Vol.50, No.3, pp.233-247, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2006.04.002>
- [7] Kayton D, Teyner T, Schwartz C and Uzsoy r, "Effects of dispatching and down time on the performance of wafer fabs operating under theory of constraints", Proceedings of the 1996 IEEE/CPMT international electronics manufacturing technology symposium 14-16 October Austin TX USA, pp.49-56, 1996.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IEMT.1996.559681>
- [8] Uzsoy R, Church L. K and Ovacik I. M, "Dispatching rules for semiconductor testing operations: a computational study", Proceedings of the thirteenth IEEE/CHMT international electronics manufacturing technology symposium 28-30 September, pp.272-276, 1992.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/IEMT.1992.639903>
- [9] H. J. Yoon and J. G. Kim, "Heuristic scheduling policies for a semiconductor wafer fabrication facility: minimizing variation of cycle times", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.67, No.1, pp.171-180, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-013-4762-y>
- [10] S. W. Yoon, Y. J. Cho and S. J. Jeong, "Combination effects analysis of bottleneck-load order review/release and the dispatching rule: Application to a printed circuit board manufacturing line with multiple bottlenecks", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol.15, No.8, pp.1725-1732, 2014.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12541-014-0525-4>
- [11] Chen C. F, Wu K. J, Chang C. T, Wong D. S. H and Jang S. S, "Generation and verification of optimal dispatching policies for multi-product multi-tool semiconductor manufacturing processes", Computers and Chemical Engineering, Vol.52, No.3, pp.112-121, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.12.009>
- [12] Thiesse F and Fleisch E, "On the value of location information to lot scheduling in complex manufacturing processes", International Journal of Production Economics, Vol.112, No.2, pp.532 - 547, 2008.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.05.006>
- [13] Vinod V and Sridharan R, "Simulation modeling and analysis of due-date assignment methods and scheduling decision rules in a dynamic job shop production system", International Journal of Production Economics, Vol.129, No.1, pp.127 - 146, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.08.017>
- [14] Weigert G, Klemmt A and Horn S, "Design and validation of heuristic algorithms for simulation-based scheduling of a semiconductor Backend facility", International Journal of Production Research, Vol.47, No.8, pp.2165 - 2184, 2009.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00207540902744784>
- [15] GRAVES, R. J., KONOPKA, J. M., & MILNE, R. J. (1995). Literature review of material flow control mechanisms. Production Planning & Control, 6(5), 395-403.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/09537289508930296>
- [16] Glassey, C.R. and Resende, M.C.G., "A Scheduling Rule for Job Release in Semiconductor Fabrication", Operations Research Letters, 7, 213-217, 1998.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0167-6377\(88\)90033-8](http://dx.doi.org/10.1016/0167-6377(88)90033-8)

박 경 민(Kyungmin Park)

[준회원]



- 2009년 2월 : 건국대학교 정보통신 대학원 컴퓨터정보공학 (석사)
- 20011년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 경영학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

생산운영관리, 지능형 생산시스템, 컴퓨터 시뮬레이션

정 석 재(Sukjae Jeong)

[정회원]



- 2004년 2월 : 연세대학교 일반대학원 산업공학과 (산업공학석사)
- 2009년 8월 : 연세대학교 일반대학원 산업공학과 (산업공학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 경영학과 교수

<관심분야>

생산운영관리, 공급사슬관리, 컴퓨터 시뮬레이션