

Real-Time Batch Size Determination in The Production Line

Kihyun Na · Minje Kim · Jonghwan Lee[†]

The Department of Industrial Engineering, Kumoh National Institute of Technology

생산 라인에서의 실시간 배치 크기 결정

나기현 · 김민제 · 이종환[†]

금오공과대학교 대학원 산업공학과

This paper develops an algorithm to determine the batch size of the batch process in real time for improving production and efficient control of production system with multiple processes and batch processes. It is so important to find the batch size of the batch process, because the variability arising from the batch process in the production system affects the capacity of the production. Specifically, batch size could change system efficiency such as throughput, WIP (Work In Process) in production system, batch formation time and so on. In order to improve the system variability and productivity, real time batch size determined by considering the preparation time and batch formation time according to the number of operation of the batch process. The purpose of the study is to control the WIP by applying CONWIP production system method in the production line and implements an algorithm for a real time batch size decision in a batch process that requires long work preparation time and affects system efficiency. In order to verify the efficiency of the developed algorithm that determine the batch size in a real time, an existed production system with fixed the batch size will be implemented first and determines that batch size in real time considering WIP in queue and average lead time in the current system. To comparing the efficiency of a system with a fixed batch size and a system that determines a batch size in real time, the results are analyzed using three evaluation indexes of lead time, throughput, and average WIP of the queue.

Keywords : CONWIP, Batch Processing, Real Time Batch Size, Production Planning

1. 연구배경 및 방법

본 연구는 생산 시스템 내로 제품이 투입되어 생산되는 생산 라인에서 중요한 생산성 지표인 WIP을 제어하는 Push 시스템과 Pull 시스템 중 Pull 시스템을 적용한다. 대표적인 Pull 시스템 방식인 CONWIP 생산 시스템 방식을 적용하여 제품의 생산량을 최대로 하면서 WIP을 최소로 유지하도록 제어한다. 그리고, 긴 작업준비시간이 존재하는 배치 공정에서는 현재 제조공정의 제품들의

정보를 고려하여 추가주문이 필요한지 현재주문에 대하여 배치 작업을 실시할 것인지에 대한 의사결정을 도울 수 있는 알고리즘을 개발한다.

제조 시스템의 조건은 동일한 생산 환경에서 각기 다른 배치 크기를 알고리즘으로 구현하여 비교·분석한다. 고정된 배치 크기 수준의 배치 공정과 실시간 배치 크기 수준에 따라 알고리즘을 Matlab으로 구현하고, 생산 시스템의 생산성을 비교하기 위해 Lead Time, Throughput, 대기행렬의 평균 WIP 3가지 평가척도를 이용하여 결과를 비교·분석한다.

기존 선행 연구들과의 차별점은 제품이 배치 공정으로 투입되는 도착률을 확률 분포를 사용하지 않고, CONWIP 생산 시스템의 WIP 수준에 의해 배치 공정으로 제품이

투입되도록 적용하여 배치 공정의 제품 도착률이 더욱 현실에 가까워지도록 하였다. 또한, 배치 공정의 배치 크기가 증가하게 되면 Lead Time과 대기행렬의 길이가 모두 감소하기 때문에 기존의 선행 연구에서는 배치 공정의 가동률, 제품에 대한 대기행렬의 평균 길이, Lead Time 최소화 등의 척도 중 한가지만을 고려하여 연구하였지만, 본 연구에서는 허용할 수 있는 평균 Lead Time의 범위 내에서 평균 대기행렬의 길이가 최소에 가까워질 수 있는 절충점을 찾도록 배치 크기를 실시간으로 결정하는 알고리즘을 구현한다. 따라서 시스템 내 WIP을 제어함과 동시에 현 시스템 내 제품의 정보를 이용하여 총 대기시간이 최소가 되는 시점과 가정된 Lead Time을 충족시킬 수 있는 배치 크기로 배치 작업을 실시하는 전략을 수행한다.

2. 기존 논문 연구

2.1 Push/Pull 시스템

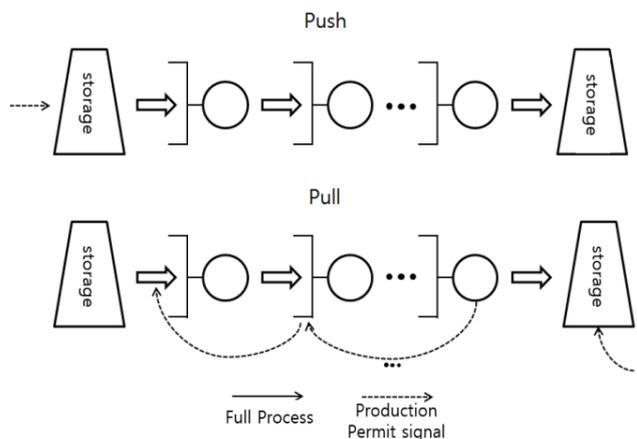
대부분의 현실 시스템들은 실제로 Push와 Pull이 혼합적으로 이루어져 있다고 볼 수 있다. Push 시스템과 Pull 시스템의 차이점은 Push 시스템에서 제품이 생산 공정 시스템 내로 투입되는 경우 외부 생산 일정계획에 의하여 생산 허가를 받는 경우이며, 투입시점은 공정 상태에 따라서 변경되지 않는다. 반면에 Pull 시스템은 생산 라인 시스템의 상태에 변화를 알리는 생산 허가 신호가 발생하는 경우에만 제품이 생산 공정 시스템 내로 투입되도록 허용하는 것이다. 즉, Push 시스템은 공정의 작업이 완료된 제품을 그 다음 공정으로 바로 전달하는 방식으로 생산 라인을 운영하는 전략이며, Pull 시스템은 다음 공정에서 생산 허가 신호를 받는 시점까지 그 공정에 제품을 저장하거나 또는 정해진 저장장소에서 저장하는 전략을 말한다.

Push 시스템은 수요변화를 재고로 흡수하여 생산 라인의 안정을 추구하여 생산 시스템의 Line Balancing에 목적을 두고 있고, 두 시스템의 흐름은 <Figure 1>에서 볼 수 있다.

Push 시스템에서 각 단계의 작업 지시는 수요예측과 생산 공정의 제품 혹은 재공품에 관한 정보에 의해서 작업 계획이 구성되며, 제조 소요시간(Manufacturing Lead Time) 이전에 완료되도록 계획된다. 이러한 생산방식에서 각 생산 공정의 작업지시는 중앙통제에 의해서 관리되고, Push 시스템을 중앙 집권적 지시 시스템(Centralized Ordering System)이라고 한다[6]. 고객의 주문이 많아지면 공정이 허용하는 최대의 생산 능력으로 제품을 생산하게 되어 각

공정의 대기행렬에 많은 재공품이 쌓이게 되는데 이런 현상이 지속되면 재공품 재고량이 무한히 증가하여 Push 시스템에서 'Buffer의 크기는 무한하다'라는 이론적인 가정을 뒷받침해주는 근거가 될 수 있다. 하지만 재고량의 증가는 Lead Time과 평균 대기행렬의 길이를 증가시키는 단점이 될 수 있다[7].

Pull 시스템 전략의 가장 대표적인 생산방식으로는 일본의 Toyota 자동차의 JIT(Just In Time)이 있다. JIT 시스템은 필요한 만큼, 필요한 시간에 적시 생산하여 공정간의 Buffer를 최소화하는 것으로 Kanban에 의해 관리된다. Kanban은 전 공정과 후 공정 사이의 생산 허가 신호를 보낼 때 사용되는 것으로 Kanban의 총 개수는 시스템의 효율에 큰 영향을 미친다. Kanban의 수를 줄이는 것은 생산 시스템의 생산성이 증가되는 결과를 쉽게 확인할 수 있지만, Kanban의 무리한 감소는 공정이 정지되는 상태가 발생할 가능성이 많으므로 생산 라인 운영전략을 잘 계획하여 적용하여야 한다. 일반적으로 Pull 시스템 방식으로 생산 라인 운영전략을 적용하는 경우 Push 시스템 방식보다 생산량의 감소 현상에 대한 감수를 해야 한다. 또한, Pull 시스템은 수요변화에 따라 생산량을 맞추는 유연성을 추구하여 생산 시스템의 수요변화에 따른 유연성을 우선시하는 것을 목적으로 두고 있으며 Line Balancing은 차선으로 간주한다[13].



<Figure 1> Push and Pull System

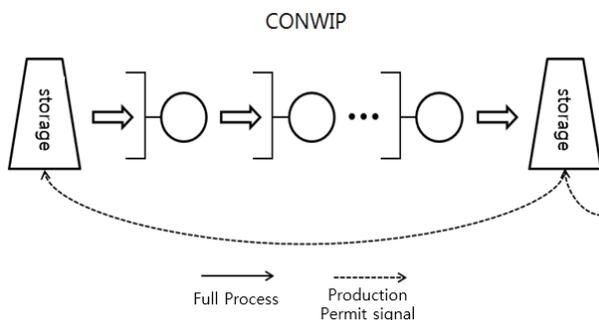
2.2 CONWIP 시스템

JIT 시스템에서 제품의 종류가 다양해지면 Kanban의 수가 증가하는 단점이 발생하게 된다. 이를 보완하기 위해 CONWIP 생산 시스템 방식이 개발되었다. CONWIP 시스템은 CONstant WIP을 뜻하며, 생산 시스템 내 재공품의 수를 일정하게 유지 하는 생산 방식으로 최종 공정에서 완제품이 출하될 때만 초기 공정에 같은 양의 부품이

투입되는 방식으로 전체 공정의 WIP 수준을 관리하는 생산 시스템 운영방식이다. 따라서 현 시스템 내 WIP의 수가 CONWIP 시스템의 WIP 수준보다 낮을 때에만 첫 번째 공정으로 제품을 받을 수 있으며 첫 번째 공정의 대기열에 있는 재공품은 Push 시스템과 동일한 과정으로 공정을 흘러가게 된다.

Spearman, Duenyas, Hopp의 CONWIP에 대한 연구에서 Spearman은 처음으로 Kanban 시스템이 생산 공정에서 성공적으로 적용될 수 있었던 이유가 수요가 발생할 때마다 선행 공정에서 견인하는 Pull 시스템 방식에서 기인되는 것이 아니라 재공품 재고를 일정한 수준 이하로 유지, 통제하는 방식 때문이라는 것을 증명하였다[9]. 이송되는 배치의 정의는 제품이 모여서 다음 공정으로 이송되는 제품의 수를 의미한다. 그래서 배치의 수가 적을수록 제품이 모이는 시간은 적어지고, 이를 이용하여 Cycle Time을 줄일 수 있다. 하지만 이송되는 빈도가 많아질 수도 있어 최적의 배치크기를 결정하는 것은 중요하다[3]. 최적의 이송 배치크기를 결정하기 위하여 기존에 알려진 최적화 알고리즘이 아닌 동적인 배치크기를 정하는 방법론인 인공 신경망(Artificial Neural Network)을 이용하여 변화가 많은 생산환경에서 동적인 배치크기를 결정하였다[14].

일반적인 CONWIP 시스템은 <Figure 2>에서 보이고 있고 CONWIP 시스템을 적용을 고려할 때, CONWIP 시스템이 다른 운영 시스템에 비하여 절대적으로 우수한 것은 아니고, 생산시스템의 특성에 맞게 적용해야 최적의 운영 효과를 기대할 수 있다[9]. 특히 수요변동, 품질변동, 고장률 등이 높은 생산 라인의 경우에는 JIT 시스템보다 CONWIP 시스템이 우수한 적용 결과를 보일 수 있다[8].



<Figure 2> CONWIP System

2.3 배치 작업

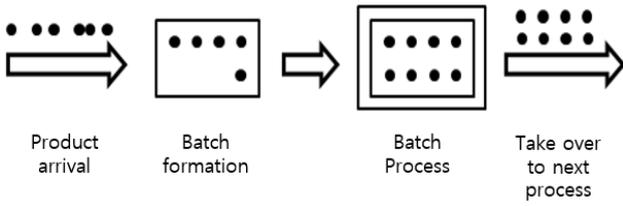
배치 작업은 생산 형태에 따라 개별 생산 공정(Discrete Processing Machine)과 배치 생산 공정(Batch Processing Machine)으로 분류될 수 있다. 개별 생산 공정은 웨이퍼를

하나씩 날개로 생산하는 공정을 말하고 배치 생산 공정은 여러 개의 제품을 묶어 배치로 구성된 후 구성된 배치를 동시에 처리하는 공정을 말한다. 웨이퍼 팹에는 확산(Diffusion), 습식각(Wet etching), 산화막 형성(Oxidation) 공정 등이 배치 생산 공정에 속한다. 배치 공정은 반도체 산업뿐만 아니라 열처리 공정, 놀이동산 기구, 물품 운송 등 서비스 산업에서도 찾아 볼 수 있다. 일반적으로 배치 생산 공정은 생산 능력에 제한이 있어 한 번에 수용할 수 있는 최대 수용능력이 존재한다. 일단 작업이 시작되면 중단 없이 작업이 진행되며 작업 중간에는 제품이 새롭게 추가되거나 공정에서 빠져 나올 수 없고 모든 제품이 동시에 작업을 마치게 된다[10]. 제조기업에서 배치는 크게 작업 배치(Process Batch)와 이송배치(Transfer Batch) 두 가지 유형이 존재한다.

이송배치의 크기를 줄이는 것은 제품 생산의 Cycle Time을 줄이는데 효과적임을 증명되었다. 로트 스트리밍(Lot Streaming)이라는 동적인 배치 크기 결정방법론으로 제품의 생산량이 많을 경우 작은 사이즈의 로트로 나누어 다음 연속적으로 제품을 생산하여 기다리는 시간을 최소화하여 Cycle Time을 줄였다[12]. 로트 스트리밍의 조건하에 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 이용하여 잡샵(Job Shop) 스케줄링 문제의 전체 Cycle Time을 최소화하였고 여러 가지 복합적인 지표를 만족시키는데 유효함을 보였다[1].

중복되는 생산 스케줄을 해결하기 위하여 네트워크 구조의 반복되는 계산식을 풀기 위하여 개미 군집 최적화(Ant Colony Optimization)를 사용하여 기계의 유휴시간, 기다리는 시간, 지연시간을 최소화하였다[4]. 이송배치 문제 해결을 위하여 유전 알고리즘을 적용하여 각 작업을 위한 이송배치 크기를 증가시키고, makespan 요소를 고려하여 최종 스케줄링을 하였다[11]. 유전 알고리즘이나 개미 군집 최적화 알고리즘을 사용한 연구들은 계산적인 효율성을 높이는 하였으나, 매일 반복되는 동적인 배치 크기의 결정 문제를 풀기에는 제약이 있다. 생산 라인의 최적화 및 생산성 향상을 위한 생산계획 및 일정 계획의 연구는 메타 휴리스틱을 이용하여 연구되어 왔고, 조선소의 소조립 라인 작업시간에 적용되어 최적화를 하였다[5]. 어셈블리 공정과 라인 밸런싱을 위하여 새로운 하이브리드 알고리즘이 제안되었고 이 알고리즘은 다중목적 문제를 해결하는데 효과적이다[2].

<Figure 3>은 배치 크기가 8인 배치 공정의 배치 형성 과정을 나타낸 것이다. 제품이 배치 공정으로 도착하게 되면 배치 형성 과정을 거친다. 배치 공정의 대기행렬에 제품이 8개가 도착되면 배치 작업을 실시하는 과정을 거친 후 제품 8개가 동시에 다음 공정으로 인계되는 과정이다.



<Figure 3>Batch Formation Process

2.3.1 작업 배치

작업 배치에는 직렬 배치와 병렬 배치 두 가지 배치 유형이 있다. 직렬 배치의 크기는 하나의 공통 군에 속한 제품의 수인데, 작업장이 다른 제품 군 생산으로 교체되기 전에 작업한 것들이다. 직렬 배치라고 부르는 이유는 작업장에서 부품들이 한 번에 하나씩 직렬로 생산되기 때문이다. 병렬 배치의 크기는 용광로나 열처리 장치와 같은 배치 작업장에서 동시에 생산된 부품의 수이다. 직렬 배치와 병렬 배치는 물리적으로는 상당히 다르지만, 운영 측면에서 유사한 영향을 미친다. 직렬 작업 배치의 크기는 작업 준비의 길이와 밀접한 관련성을 가진다. 작업 준비가 길수록 다음 작업 준비 이전에 더 많은 부품을 생산해야 하는데, 이는 주어진 생산 능력을 달성하기 위해서이다. 병렬 작업 배치의 크기는 작업장에 대한 수요에 따라서 달라진다. 기계 가동률을 최소화하려면 최대 배치 크기로 생산해야 한다. 하지만 병목이 아니라면 가동률의 최소화는 그다지 중요하지 않으며, 따라서 최대 부하량 보다 작게 가동하는 것이 Cycle Time을 줄이는데 더 유용하고 Cycle Time의 함은 <Figure 4>에서 보여준다.



<Figure 4> Cycle Time of Work Batch

배치 형성 시간은 제품들이 배치를 형성하는 과정에서 대기하는 시간과 한 부품이 자기 작업 차례가 올 때까지 배치에서 대기한 시간에서 작업장에서 자기와 결합될 품목을 대기하는 시간이다. 대기 시간은 작업장에서 작업을 대기하거나 다음 작업장으로 가기 위하여 대기하는 시간이며 작업 시간은 실제로 작업장에서 작업 하는 시간을 나타낸다.

2.3.2 이송 배치

이송 배치는 다음 작업장으로 인계되기 전에 누적된 부품의 수이다. 이송 배치가 작을수록 Cycle Time은 작는데, 이는 배치 형성을 위한 대기시간이 짧기 때문이다.

하지만 이송 배치가 작으면 자재 취급 회수가 많아지므로, 상충 관계가 존재한다. 이송 배치의 Cycle Time은 이송 설비에 대기할 필요가 없는 경우에서 공정 한 부분에서의 대략 그 부분에서의 이송 배치 크기에 비례한다는 법칙이 있다. 이 법칙은 Cycle Time을 쉽게 줄일 수 있는 방법을 제시한다. 이송 배치 축소는 간단하며 비용도 많이 들지 않기 때문에, 다른 복잡한 Cycle Time 축소 방안을 도입하기 전에 충분히 고려할 만하다. 물론 이송 배치가 작을수록 더 많은 자재 취급이 필요할 것이며, 이는 “이송 설비에 대기할 필요가 없는 경우에 해당 한다”는 룰에 저촉될 가능성이 크다. 만일 작업장 간의 부품 이동이 잦아져서 이송 설비에 더 많이 기다려야 한다면, 추가 대기시간은 배치 형성 대기시간의 절감분을 일부 상쇄할 것이다. 따라서 이송 배치 법칙은 자재취급설비가 충분하여 대기 없이 부품이 이동 가능하다는 가정 하에서, 이송 배치를 줄임으로써 Cycle Time을 줄일 수 있음을 설명한다[8].

3. 실험 조건 및 프로세스 정의

본 연구에서는 CONWIP 시스템 내 배치 공정의 실시간 배치 크기에 대한 의사결정에 도움을 줄 수 있는 알고리즘을 제시하는데 목적을 두고 있다.

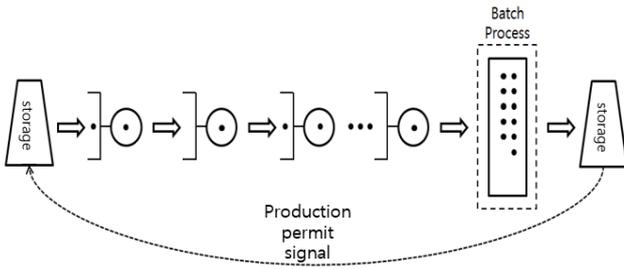
제품이 생산되는 생산 시스템 내의 WIP을 제어하기 위해 CONWIP 생산 시스템 방식을 적용하여 생산량을 최대로 하면서 WIP을 최소로 유지하도록 함과 동시에 긴 작업준비시간이 존재하는 배치 공정을 생산 시스템 내에 적용하여 배치 공정의 배치 크기 수준을 결정해야 하는 문제가 발생하도록 가정하였다

본 연구를 실험하기 위해 가정된 생산 환경 조건은 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Production Environment Conditions of the Production System

Overview	Conditions
Common Rule	<ul style="list-style-type: none"> • Flow production line • Single path, single product production • Process without fault • Products in the process are regarded as WIP • One batch process exists • The batch process has a long preparation time • General process except batch process has no preparation time

본 연구에서 실험할 배치 공정을 포함한 생산 시스템은 <Figure 5>와 같다.



<Figure 5> CONWIP with Batch Process System Model

생산 시스템 내 공정의 수는 일반 공정 9개와 배치 공정 1개로 총 10개의 공정으로 이루어져 있다고 가정한다. 총 10개의 공정 중 배치 공정은 가장 마지막에 위치하고 있다.

배치 생산 공정을 시스템 내 존재하도록 하기 위해 긴 작업준비시간이 있도록 가정하였으며, 다른 일반 공정에 비해 작업시간이 더 크도록 가정하여 배치 공정이 병목 공정이 되도록 하였다. 병목 공정이 되었기 때문에 배치 공정의 배치 크기 수준은 1보다 클 때 Cycle Time을 줄일 수 있다. 배치 생산 공정은 생산 능력에 제한이 있어 한 번에 수용할 수 있는 최대 수용능력이 존재한다. 배치 생산 공정은 일단 작업이 시작되면 중단 없이 작업이 진행되며 작업 중간에는 제품이 새롭게 추가되거나 공정에서 빠져 나올 수 없고 모든 제품이 동시에 작업을 마치게 된다. 모든 공정은 고장이 발생하지 않으며 단일 경로의 단일 제품을 생산 하도록 가정하였고 공정의, 대기행렬에 기다리는 제품만 WIP으로 간주하는 것이 아닌 공정에서 작업 중인 제품도 WIP으로 간주하였다.

본 연구를 실험하기 위해 가정된 프로세스의 세부 생산 환경 조건은 <Table 2>와 같다.

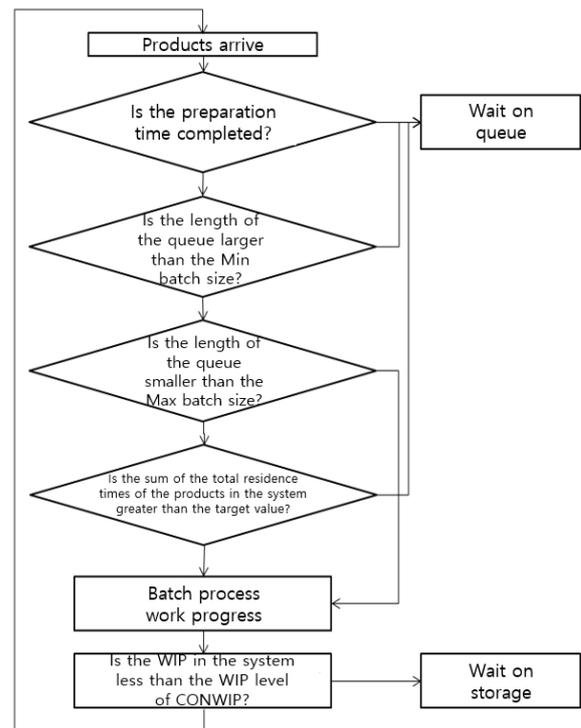
<Table 2> Detailed Production Environment Conditions of the Process

Overview	Conditions
Number of Simulation Runs	Run until 1000 products are produced
Number of General Process	9
Number of Batch Process	1
General Process Working Time	normrnd(5, 1) Minutes
Batch Process Working Time	normrnd(30, 3) Minutes
Batch Process Work Preparation Time	If the batch size of the batch process is 10, 20minutes If the batch size of the batch process is 11, 22minutes ... If the batch size of the batch process is 14, 28minutes
Batch Size of Batch Process	Max 10, Min 14
Performance Measurement Scale	Lead Time Throughput A

4. 알고리즘 구현

실험은 동일한 생산 환경 조건에서 최대 배치 크기 수준의 배치 공정, 최소 배치 크기 수준의 배치 공정, 실시간 배치 크기 수준의 배치 공정을 구현한 알고리즘을 1,000개의 제품이 생산될 때까지 Simulation하고 결과값을 비교·분석한다.

<Figure 6>과 같이 배치 공정은 제품이 도착하게 되면 작업준비시간 동안은 배치 공정은 작업이 이루어질 수 없기 때문에 배치 공정의 작업준비시간이 완료되었는지를 판단하게 된다. 만약 작업준비시간이 완료되어 작업을 수행할 준비가 되었다면 현재 배치된 제품의 수가 최소·최대 배치 크기 사이에 있다면 시스템 내 제품들의 Lead Time 정보를 이용하여 배치 공정의 작업을 실시할 것인지에 대한 의사결정 과정을 거친다. 현재 배치된 제품의 수가 최대 배치 수와 동일하다면 의사결정 과정을 거치지 않고 바로 배치 공정의 작업을 수행하게 된다. 배치 공정을 마친 제품들은 시스템 내 WIP이 CONWIP



<Figure 6> Flow Diagram of Batch Process

시스템의 WIP 수준보다 낮으면 다시 시스템 내로 투입되는 과정을 거친다. 본 연구에서는 CONWIP 시스템 내 배치 공정의 실시간 배치 크기에 대한 의사결정에 도움을 줄 수 있는 알고리즘을 제시하는데 목적을 두고 있다.

작업시간에 대한 데이터는 <Table 3>에 정의하였다. 시간의 단위는 분(min)이며, 첫 번째 시간 1은 가상의 준비 시간이고 두 번째 시간 1은 실제 시간을 나타낸다. 가상의 준비 시간은 실제 시간이 일어나기 전 공정의 대기행렬과 작업 유무 상태와 제품의 이동 상태를 나타내기 위해 사용하였다.

프로세스는 총 10개로 구성되어 있으며, 각 프로세스 당 대기행렬의 길이(Q)와 공정 1의 작업 상태(P)를 나타내는 값이 존재 한다. 대기행렬에는 공정 앞에 대기하고 있는 제품의 수가 표현 되고 공정의 작업 상태를 나타내는 값은 '1'일 때 Busy 상태를 나타내고, '0'이면 Idle 상태를 나타낸다.

일반적인 공정의 작업시간은 <Table 4>에 정의하였다. 제품의 투입 신호를 받은 일반 공정 1-9는 normrnd(5, 1) 분(min)이며, 배치 공정은 normrnd(30, 3)분(min)의 작업 시간을 부여 받게 된다. 현재까지 작업한 시간(WT)은 단위 시간당 1씩 증가하게 되고, WT가 공정이 부여 받은 작업 시간(TP)과 일치하게 되면 작업을 완료하게 되는 과정을 거친다.

배치 공정의 작업시간은 <Table 5>와 같이 구현하였다.

배치 공정도 일반 공정과 같은 과정으로 작업을 진행하게 된다. <Table 5>를 간략히 설명하면, 132시간에 배치 공정의 대기행렬(BQ)이 13의 배치 크기로 31분(min)의 작업

<Table 5> Processing Time for Batch Process

Time	Process			
	BQ (WIP)	BP (On or Off)	BWT (Time)	BTP (Time)
131	12	0	0	0
132	13	0	0	0
132	0	1	1	31
133	0	1	1	31
133	0	1	2	31
134	0	1	2	31
134	0	1	3	631
. . .				
157	4	1	26	31
158	5	1	26	31
158	5	1	27	31
159	5	1	27	31
159	5	1	28	31
160	5	1	28	31
160	5	1	29	31
161	5	1	29	31
161	5	1	30	31
162	5	1	30	31
162	5	1	31	31
163	5	0	0	0

시간을 부여 받아 162시간에 작업이 완료된다. 162시간에 배치 공정의 대기행렬(BQ)의 5가 의미하는 것은 배치 공정이 작업하는 동안 배치 공정의 대기행렬에 들어온 제품의 수이다.

5. 실험 결과

본 연구에서 실시간 배치 크기 알고리즘의 배치 형성 과정의 조건으로 시스템 내 제품의 시스템 내 체류시간의 총합과 대기 행렬의 WIP 수를 고려하여 배치 공정으로 제품이 도착할 때마다 작업을 실시할 것인지, 말 것인지를 실시간으로 결정하게 하였다. 실시간 배치 크기의 의사결정을 거친 알고리즘을 통하여 실험 결과 척도로써 Lead Time과 Throughput, 대기행렬의 평균 WIP에 어떤 영향을 미치는지 확인하였고 결과값은 <Table 6>에서 볼 수 있다.

<Table 6> Results of Experiments

Batch size	Lead Time	Throughput	Average WIP of Queue
Real-Time	170.4970	5.7617	29.5560
Batch Size 10	175.6492	5.787	30.2582
Batch Size 11	174.6655	5.7856	30.1895
Batch Size 12	174.0427	5.7849	30.0855
Batch Size 13	173.1381	5.7714	29.9991
Batch Size 14	170.6230	5.7689	29.5766

제품의 Lead Time이 줄어들면 대기행렬의 평균 WIP과 Throughput도 같이 줄어드는 모습을 볼 수 있었으며, 시스템 내 모든 제품과 대기행렬의 평균 WIP 수를 허용하는 범위를 넘지 않는 조건으로 설정하여 실시간 배치 크기 결정 알고리즘으로 실험을 했을 때 Lead Time은 170.4970 분(Min), 대기행렬의 평균 WIP은 29.5560개의 수치를 보여주어, 이 수치는 고정된 배치 크기 알고리즘의 결과값보다 더 효과적이라는 것을 확인 할 수 있다.

6. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 배치 공정을 포함하는 반도체 산업, 열처리 공정 등의 분야에서 배치 생산 공정의 실시간 배치 크기에 대해 의사결정을 도울 수 있는 알고리즘을 제시하고 Simulation을 통하여 Lead Time, Throughput, 대기행렬의 평균 WIP을 비교·분석하였다.

생산 라인 내 긴 작업준비시간을 필요로 하는 배치 공정이 존재하면 큰 변동성이 발생하여 장기 대기시간이라는

결과를 초래 하게 되어 Lead Time과 대기행렬의 WIP에 영향을 주게 된다. 변동성을 줄이기 위해서 본 연구에서는 WIP을 제어하기 위한 수단으로 CONWIP 시스템을 도입하였으며, 긴 작업준비시간을 가지는 배치 공정의 배치 크기를 결정하였다.

배치 공정의 작업준비시간은 배치 공정의 배치 크기에 따라 시간이 증가하도록 하였다. 배치 크기가 10이면 작업준비시간은 20분(Min), 배치 크기가 14이면 28분(Min)과 같이 설정하여 실험을 진행하였다. 실시간 배치 크기 알고리즘의 배치 형성 과정의 조건은 시스템 내 제품의 시스템 내 체류시간의 총합, 대기 행렬의 WIP, 배치 크기에 따른 작업준비시간을 고려하여 배치 공정으로 제품이 도착할 때마다 작업에 대한 실시여부를 실시간으로 결정하도록 설정하였다.

기존의 선행 연구에서는 제품이 배치 공정으로 투입되는 도착률을 확률분포로 사용하였지만, 본 논문에서는 CONWIP 시스템을 사용하여 생산 시스템의 WIP 수준에 의해 배치 공정으로 제품이 투입되어 배치 공정으로의 제품 도착률이 더욱 현실에 가까워지도록 구현하였다.

Batch Size 10에서 Batch Size 14까지의 고정된 배치 크기의 알고리즘과 실시간 배치 크기의 알고리즘을 구현하여 Lead Time, Throughput, 대기행렬 평균 WIP의 결과값을 도출했다. 실시간 배치 크기에서 고정된 배치 크기보다 생산성 향상에 효과가 있었다.

본 연구에서는 작업 배치 중 병렬 배치에 대해서만 연구하였지만, 현업에 가까운 실험을 위해 병렬 배치와 직렬 배치가 모두 포함된 생산 시스템에서 유동적인 실시간 배치 크기를 연구할 필요가 있으며, 본 연구에서 가정한 생산시스템은 배치공정을 마지막 공정으로 설정하였으나, 배치 공정이 일반 공정들 사이에 위치하게 되면 어떤 영향을 미치는지 확인해 볼 필요가 있으며, 배치 공정이 한 개가 아닌 다수의 배치 공정이 포함된 생산 시스템에서도 실시간 배치 크기 결정이 적용될 수 있는지에 관한 지속적인 연구와 개선이 필요하다.

Acknowledgement

This paper was supported by Kumoh National Institute of Technology(2018-104-046).

References

- [1] Chan, F.T.S., Wong, T.C., and Chan, L.Y., The application of genetic algorithm to lot streaming in a job shop scheduling problem, *International Journal of Production Research*, 2009, Vol. 47, No. 12, pp. 3387-3412.
- [2] Che, Z.H., A multi-objective Optimization Algorithm for Solving the Supplier Selection Problem with Assembly Sequence Planning and Assembly Line Balancing, *Computers & Industrial Engineering*, 2017, Vol. 105, pp. 247-259.
- [3] Hopp, W.J. and Spearman, M.L., *Factory Physics*, Hankyungsa, 2005, pp. 163-418.
- [4] Huang, R.-H. and Yang, C.-L., Overlapping production scheduling planning with multiple objectives-An ant colony approach, *International Journal of Production Economics*, 2008, Vol. 115, No. 1, pp. 163-170.
- [5] Hwang, I.H., Noh, J., Lee, K.K., and Shin, J., Short-Term Scheduling Optimization for Subassembly Line in Ship Production Using Simulated Annealing, *Journal of The Korea Society for Simulation*, 2010, Vol. 19, No. 1, pp 73-82.
- [6] Kim, H.N., A Study on Optimization of Manufacturing Flow Line, Using TOC and Pull-Push System, Chungnam National University, 2008.
- [7] Kim, J., Jung, J.Y., and Lee, J., Optimizing Work-In-Process Parameter using Genetic Algorithm, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2017, Vol. 40, No. 2, pp. 79-86.
- [8] Kim, T.H., *The Establishment of JIT Production Systems in Korea Manufacturing Circumstance*, Myungji University, 1996.
- [9] Kim, W.K., Comparison and Analysis of performance values for CONWIP Systems and Kanban Systems, Kung Hee University, 2007.
- [10] Koo, P.H., A Real-Time Loading Strategy of Batch Processing Machines for Average Tardiness Minimization, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 2014, Vol. 40, No. 2, pp. 215-222.
- [11] Millas, V.S. and Vosniakos, G.-C., Transfer batch scheduling using genetic algorithm, *International Journal of Production Research*, 2008, Vol. 46, No. 4, pp. 993-1016.
- [12] Ramasesh, R.V., Fu, H., Fong, D.K.H., and Hayya, J.C., Lot Streaming in Multistage Production System, *International Journal of Production Economics*, 2000, Vol. 66, No. 3, pp. 199-211.
- [13] Ryoo, I., Lee, J.-H., and Lee, J., Production Control in Multiple Bottleneck Processes using Genetic Algorithm, *Journal of Society of Korea Industrial and Systems Engineering*, 2018, Vol. 41, No. 1, pp. 102-109.
- [14] Yang, T. and Shen, Y.-A., The Dynamic Transfer Batch-

size Decision for Thin Film Transistor-liquid Display Array Manufacturing by Artificial Neural-network, *Computers & Industrial Engineering*, 2011, Vol. 60, No. 4, pp. 769-776.

ORCID

Kihyun Na | <http://orcid.org/0000-0003-2462-0354>
Minje Kim | <http://orcid.org/0000-0001-5794-3921>
Jonghwan Lee | <http://orcid.org/0000-0001-9630-5236>