

☒ 연구논문

**유연생산시스템에서 혼합할당규칙에 의한  
일정계획에 관한 연구**  
- A Study on Scheduling by Mixed Dispatching rule  
in Flexible Manufacturing Systems -

이 동 진\*  
Lee, Dong Jin  
노 인 규\*\*  
Ryo, In Kyu

Abstract

Scheduling problem in Flexible Manufacturing Systems(FMS) is complex because of various situation of Manufacturing Systems. Especially, in case of short-term scheduling demanding high efficiency, low cost at short-period, efficient scheduling is a serious problem. To solve this problem, many dispatching rules are developed. But, it leave much to be desired, because real situation in shop floor is complex and real-time scheduling is needed in real manufacturing shop floor. In this paper, search algorithm that allocate different dispatching rules to each machine is presented to complement lack of dispatching rule and develop practical real-time scheduling system. The search algorithm is described in detail. First, algorithm detect machine breakdown, evaluate each dispatching rule. dispatching rules for each machine meeting performance criteria are ranked. The algorithm selects new dispatching rule for bottleneck machine. The effectiveness and efficiency of the mixed dispatching rule and search algorithm is demonstrated.

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

유연 생산 시스템(FMS:Flexible Manufacturing Systems)은 현대적인 경제 환경에 적합한 생산 시스템으로서 최근에 각광을 받는 생산 시스템이다. 그에 따라, 근래에 이에 대한 연구가 많은 연구자들에 의해서 계속되어 왔다. 유연 생산 시스템은 높게 집적되고 컴퓨터화된 제어구조를 가진 생산 시스템으로서 이 시스템의 핵심적인 부분은 다품종 소량생산에 대응하는 생산 시스템의 설계 및 운영에 있다고 할 수 있다. 따라서, 유연 생산 시스템이 주문생산(Job shop)의 유연성과 전통적인 흐름생산(Flow shop)의 생산성을 모두 충족시키기 위해서는 보다 정밀

---

\* 한양대학교 산업공학과

\*\* 한양대학교 산업공학과

한 통제와 제어가 필요하다.

이에 대해 많은 연구가 진행되어 왔으나, 특히 일정계획 문제에서 할당규칙(dispatching rule)을 사용한 접근법이 널리 사용되어 왔다. 할당규칙은 한 기계에 대해 가공을 기다리는 부품들 중 다음에 가공할 부품을 선택하는 규칙으로 우선순위규칙으로도 불리운다[1]. 이를 테면, 최소 가공시간 규칙(SPT; Shortest Processing Time)과 같은 규칙은 기계의 대기열(queue)에 있는 부품들 중 가공시간이 가장 짧은 부품을 먼저 가공하는 규칙으로 평균 흐름시간(Mean Flowtime)의 수행척도를 가장 잘 만족시키는 것으로 알려져 있다.[1]

할당규칙은 작업 조건과 수행척도, 작업장 상황에 따라 많은 성능의 차이를 나타내며 이에 따라 많은 할당규칙들이 개발되었으나, 무엇보다 중요한 것은 모든 수행척도를 동시에 우월하게 만족시키는 할당규칙은 존재하지 않는다는 것이다.[1],[2],[5]

또한, 기존의 할당규칙과 알고리즘은 시스템 구성(system configuration)이 달라지고 투입되는 부품의 납기의 준수여유(tightness)정도에 따라 성능이 달라진다.

이러한 단점을 극복하기 위해 본 논문에서는 기존에 사용해 왔던 모든 기계에 하나의 할당규칙을 사용하는 방법이 아닌 각각의 기계에 각각의 할당규칙을 배분하는 알고리즘을 제시한다. 본 논문에서는 기계 고장(machine breakdown)에 따라 달라진 시스템 구성(system configuration)을 고려하여 애로기계(bottleneck machine)에 중점을 두고 할당규칙을 동적으로 배분한다. 이는 유연생산 시스템에서 종류가 다른 각각의 부품들은 각기 다른 가공순서(sequencing route)와 가공시간을 가지기 때문에 각각의 대기열에서 한 기계의 상황과 다른 기계의 상황이 다르며 서로 영향을 준다는 점에서 비롯된다. 또한, 기계 고장에 따른 시스템 구성의 변화로 인한 영향도 고려한다. 본 논문의 알고리즘은 각각의 기계의 고유한 상황에 맞는 할당규칙을 적용하여 단기 일정계획에서 유연생산 시스템의 성능을 높이는 알고리즘을 제시한다.

## 1.2 기존 연구

Blackstone[2]은 각종 할당규칙들의 특징들을 조사하면서 어떠한 하나의 할당규칙만으로는 다양한 작업조건과 작업장 구성하에서 모든 수행척도를 우월하게 만족시킬 수 없다는 것을 입증하였다. 이에 대한 연구는 그 이후에도 계속되어 Monazeri 와 Van Wassenhove[6]등에 의해서 입증되기도 하였다.

Baker[1]는 주문 생산 시스템에서 할당규칙과 납기와의 관계를 조사하고, 평균 납기 지연을 주된 수행척도로 삼아 납기에 관련된 우선순위 규칙들이 생산 시스템의 효율성에 미치는 영향에 관해 연구하였다. 또한, 이들은 SPT(Shortest Processing Time)규칙이나 MOD(Modified Operation Duedate)규칙과 같은 할당규칙들의 성능에 납기의 준수여유정도(tightness)가 미치는 영향에 관해서 조사하였다.[1]

Wu 와 Wysk[8]는 실시간 일정계획 시스템을 위한 다중진로(Multi-pass) 일정계획 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 일정계획기간을 일정한 간격으로 짧게 나누고 각 기간마다 바뀌는 작업장 상황에 따라 제시된 수행척도를 만족하는 할당규칙을 번갈아 사용하였다. 그러나, 이들은 각 기계마다 할당규칙을 배분하지 않고 모든 기계에 같은 할당규칙을 사용하였다.[8]

Montazeri와 Wassenhove[5]는 유연 생산시스템에 대한 범용(general-purpose)이면서 사용자-지향적인(user-oriented) 이산사건 시뮬레이터의 특징에 대해 분석하고 모의실험을 통해 각종 할당규칙들의 성능과 특징을 조사하였다. 또한, 14개의 각종 할당규칙들이 생산시스템의 각종 이용률에 미치는 영향을 모의실험으로 조사하였다.[5]

Ishii와 Talavage[4]는 기계 이용률(machine utilization)에 중점을 두고 각 기계마다 다른 할당규칙을 사용하는 혼합할당규칙 접근법으로 유연 생산 시스템의 성능을 높였으나 기계고장 등의 상황을 고려하지 않았으며, 납기에 민감한 할당규칙들을 사용하였고 수행 반복도가 높은 알고리즘을 사용하였다.[4].

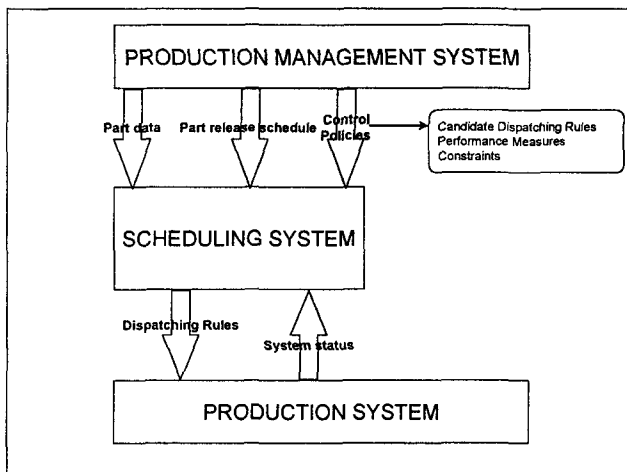
Holthaus 와 Ziegler[3]는 기계에 주어진 할당규칙에 따라 배치된 각 기계들의 대기열 수준(total work content)과 앞으로 도착할 작업(job)들을 고려하여 잉여시간(idle time)의 발생을 피하도록 재일정계획(rescheduling)을 세우는 조율규칙(coordination rule)을 제시하였다. 곧, 한 기계에 대한 가공순서 변경이 다른 기계에도 영향을 줄을 고려하여 모의실험을 통한 재일정계획을 수립하였다.[3]

Pierreval과 MeBarki[6]는 주목적과 부목적 및 작업조건, 시스템 상태에 따라 검출된 징후(symptom)에 따라 할당규칙을 동적으로 선택하는 규칙을 제시하였다. 징후는 관찰된 변수들이 미리 정해 놓은 임계치(threshold)를 초과하면 활성화 된다. 이들은 보통상태의 표준규칙(standard rule)과 징후를 검출한 후의 진단 규칙(diagnostic rule)으로 나누어 할당규칙을 적용하였다. 이 방법은 징후의 검출과 할당규칙을 선택하는 데 사용되는 방법(logic)에 크게 의존한다.[6]

## 2. 연구의 구성 및 내용

유연생산 시스템에서 실시간 일정계획(real-time scheduling)은 개념적으로 여러가지 방법이 있다. 그 한가지로 생산 시스템의 모든 구성요소들을 객체(object)화하고 이 객체들을 묶는 컴퓨터 네트워크(computerized network)를 통해 정보를 교환하며, 이 객체들은 계층 구조(hierarchical architecture)와 분산 구조(distributed architecture)가 혼합된 구조(hybrid architecture)로 엮거나 완전 분산된 구조로 엮는다. 이런 시스템에서는 구성요소간에 형식(format)이 다른 자료들을 적절히 변환하여 교환할 수 있는 프로토콜(protocol)의 표준화가 필수적이다. 이러한 시스템의 객체들 가운데 실시간 일정계획 객체가 있고 이 객체는 다른 객체들과 인터페이스(interface)하면서 작용한다. 그러나, 생산 시스템 전체를 위와 같은 방식으로 구성하는 것은 아직 많은 연구가 필요하며, 해결해야 할 과제가 많은 방대한 문제이므로 여기서는 연속적인 짧은 시간 간격을 두고 작업장 제어/계획문제에 있어서 할당규칙을 동적으로 바꾸어줌으로써 실시간 일정계획을 구현하는 문제를 다룬다.

유연생산시스템에서 일정계획시스템이 가지는 위치에 대해 다음의 그림 1에 도시되어 있다.



[그림1. 생산시스템에서 일정계획시스템의 위치]

실시간 일정계획 시스템은 위의 정보를 바탕으로 목표로 하는 수행척도에 가장 적합한 할당규칙을 선택하여 다음 단계에서 적용하게 된다. 하나의 할당규칙을 모든 기계에 적용하는 방식은 한 기계의 대기열의 상황이 다른 기계의 대기열의 상황에 영향을 줄 수 있기 때문에 각각의 기계에 다른 할당규칙을 적용하는 방식보다 성능이 떨어진다. 이에 대한 실험결과가 본

본 논문에서는 연속적인 시간구간마다 기계고장상황을 입력받아 시스템 구성(system configuration)을 변경한 후, 모의실험에 기반을 두고 할당규칙을 각 기계의 상황에 따라 동적으로 배분하므로써 실시간 일정계획이 가능하게 된다.

본 논문의 실시간 일정계획 시스템에 입력되는 정보는 다음과 같다.

1. 기본적인 단일 할당규칙
2. 종류에 따른 부품 정보 (납기, 필요한 부품 종류, 가공순서, 가공시간 등)
3. 수행 척도(Performance criterion)
4. 유연생산시스템의 현 상태

논문의 제4장에 기술되어 있다.

하나의 할당규칙을 사용하는 방식에서는 비교하고자 하는 할당규칙의 수만큼 모의실험하므로서 가장 성능이 뛰어난 규칙을 평가할 수 있다. 그러나, 각각의 기계에 다른 할당규칙을 적용하는 방식에서는 후보가 되는 할당규칙들을 각각의 기계에 할당하므로서 만들어지는 할당규칙의 조합 중 성능이 뛰어난 조합을 골라낼 필요가 있다. 만일  $n$ 대의 기계와  $m$ 개의 할당규칙이 있다면, 확정적인 할당규칙의 조합을 얻기 위해서는  $mn$ 번의 모의실험이 필요하다. 이 경우 실제로 실시간 일정계획 시스템으로 적용하기에는 비실용적인 방법이 된다. Ishii와 Talavage[4]는 각각의 기계에 다른 할당규칙을 적용하는 알고리즘을 제안하였으나, 납기에 민감한 할당규칙들을 사용하였고 할당규칙의 조합에서 탐색하는 알고리즘의 방법(logic)의 수행 반복도가 높다. 따라서, 해당 후보 할당규칙 조합에서 탐색하는 시간을 줄이는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 각각의 일정계획기간마다 기계고장을 점검하고 각 계획기간에 탐색알고리즘의 단계에 따라 모의실험을 수행하여, 일정계획을 수행한다.

### 3. 알고리즘

#### 3.1 탐색 절차

기계 고장과 애로 기계에 중점을 둔 할당규칙 탐색 알고리즘의 개략적인 절차는 다음과 같다.

1. 고장기계가 있는 지 점검한다. 고장기계는 L/U 기계와 무인 운반차(AGVs)에 한정한다.
2. 기본 할당규칙들 중에서 수행척도를 가장 잘 만족시키는 규칙을 선택하여 모든 기계들에 적용시킨다.
3. 수행척도에 대해 성능이 가장 떨어지는 형식의 부품  $P_i$  를 선택한다.
4.  $P_i$  형식인 부품의 경로(route)에 있는 애로기계(bottleneck machine)를 선택한다. 애로기계는 이용률이 가장 높은 기계이다.
5. 애로기계에 대해 성능이 더 뛰어난 할당규칙을 적용해 본다.

첫번째 단계는 기계가 고장났을 때, 또는 이와 유사한 상황일 때, 그 기계를 제외하고 할당규칙을 배분하는 단계이다. 할당규칙이 배분되는 기계 중 고장날 수 있는 기계는 L/U 기계 뿐이므로, 이 기계가 고장났다면 제외하고 할당규칙을 배분한다. 단, L/U 기계와 무인운반차는 각각 2대이고 각각 1대씩 고장난 상황만을 고려한다. L/U 기계나 무인 운반차 각각이 2대 모두 고장나는 경우는 시스템 정지(system breakdown)상황이므로, 본 논문에서는 고려하지 않는다.

두번째 단계는 할당규칙을 동적으로 배분하기 위해서 초기단계로 하나의 할당규칙을 선별해 내는 과정이다. 탐색 알고리즘을 시작하기 위해서 모의 실험을 통해 수행척도를 가장 잘 만족하는 하나의 할당규칙을 각 기계에 배분한다. 초기단계의 각 기계에 대한 할당규칙들의 조합은 한 종류의 할당규칙으로 이루어져 있다. 이 단계에서 수행척도에 대한 성능에 따라 후보할당규칙들의 순위를 매기고 각 기계의 이용률을 조사하여 평균 이용률표를 작성한다.

세번째 단계에서는 수행척도에 대해서 성능이 가장 떨어지는 종류의 부품을 선택하므로서 애로기계를 선택할 수 있도록 한다. 성능이 가장 떨어지는 부품은 성능을 향상시킬 여지가 가장 크므로 선택된 부품에 대해서 성능향상을 시도하는 것이 바람직하다.

네 번째 단계에서는 세 번째 단계에서 선택된 부품의 가공경로에 있는 애로기계를 선택한다. 이렇게 함으로써 선택된 기계의 병목현상(bottleneck)을 방지하여 유연생산시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

다섯 번째 단계는 선택된 애로기계에 두 번째 단계에서 매겨진 할당규칙의 순위에 따라 새로운 할당규칙을 적용해 본다. 새로운 할당규칙을 적용하여 성능이 더 뛰어나다면, 두 번째

단계에서 만들어진 할당규칙의 조합에서 새로 적용된 할당규칙으로 할당규칙이 바뀜으로서 새로운 할당규칙의 조합이 만들어 진다.

위의 탐색 알고리즘에 대한 자세한 사항은 4장에 설명되어 있다.

### 3.2 할당규칙

사용하는 할당규칙은 다음과 같다. 아래의 할당규칙들에서 가장 효율적인 조합을 찾아낸다.

FIFO(First In First Out)

MOD(Modified Operation Due date) :  $\text{Min}(Z_i), Z_i = \text{Max}(d_{i,j}, p+t_{i,j})$

CR/SPT(Critical Ratio/Shortest Processing Time):  $\text{Min}(Z_i), Z_i = \text{Max}(p+t_{i,j}, p+t_{i,j}*(d_i-p)/)$

where,  $i$ :  $i$ th job,

$j$ :  $j$ th work station

$d_{i,j}$  :  $j$ 번째 작업장에서  $i$ 번째 부품의 작업납기(operation due date)

$t_{i,j}$  :  $j$ 번째 작업장에서  $i$ 번째 부품의 예상가공시간

$p$  : 현재 시간

$d_i$  :  $i$ 번째 부품의 납기

위의 세가지를 사용한다.

### 3.3 탐색 알고리즘

Step 1. 고장기계를 점검한다. 고장기계는 L/U 기계와 무인 운반차에 한정된다. 이 경우, 발생할 수 있는 상황은 L/U 기계 1대/무인 운반차 2대, L/U 기계 1대/무인 운반차 1대, L/U 기계 2대/무인 운반차 1대, L/U 기계 2대/무인 운반차 2대의 네가지이다. 이 네가지 상황은 일정계획기간 초기에 임의로 주어진다. L/U 기계는 2대 모두 입고(loading)와 출고(unloading)를 수행할 수 있으며, 2대 중 1대가 고장났을 경우, 입/출고에 많은 부하가 걸리게 된다.

Step 2. 모의실험을 통해 탐색 알고리즘의 바탕으로 사용할 기본 할당규칙을 선택한다. 여기서 사용하는 기본 할당규칙은 FIFO(First In First Out), MOD(Modified Operation Due date), CR/SPT(Critical Ratio/Shortest Processing Time)의 세가지로 이 세가지가 할당규칙의 조합을 이를 후보할당규칙들이 된다. 여기서 선택된 할당규칙으로 기본 할당규칙 조합을 만들어 놓고 나중에 탐색 알고리즘의 초기해로서 이 조합을 사용한다. 초기조합은 수행척도를 만족시키는 하나의 할당규칙으로만 이루어져 있다.

Step 3. 각각의 형식의 부품에 대해 선택된 수행척도를 가장 잘 만족하는 순서대로 후보할당규칙들의 순위를 매긴다. 각 형식의 부품의 가공순서와 가공시간을 고려하여 모의실험전에 선택된 수행척도를 만족시키는 순서대로 할당규칙에 순위를 매긴다.

Step 4. 임의로 투입된 각 부품의 가공순서에 따른 기본 할당규칙에 대한 각 기계들의 평균 이용률표를 만든다. 만들어진 할당규칙 조합에 대한 각 기계들의 평균 이용률표를 만드는 단계로 이 이용률은 애로기계를 선별하는 데 사용된다.

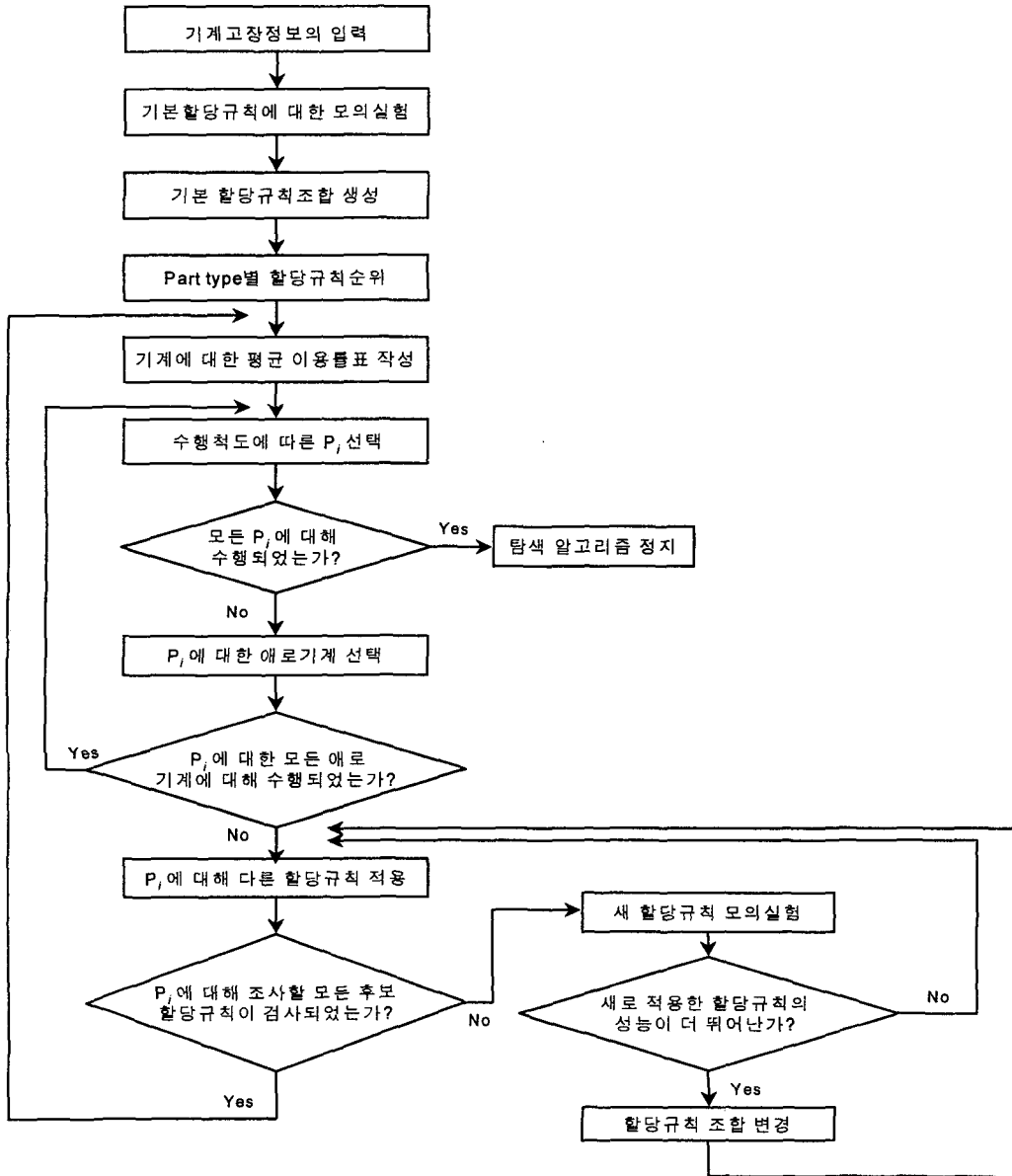
Step 5. 성능을 향상시킬 부품을 선택한다. 성능을 향상시킬 부품은 선택된 수행척도에 대해 성능이 가장 떨어지는 부품이다. 모든 형식의 부품이 다 선택되면, 이 때의 할당규칙의 조합이 최적조합이므로 탐색 알고리즘을 중단한다. 아니면, 모의실험에 의해 매겨진 수행척도에 대한 순위에 따라 가장 성능이 떨어지는 형식의 부품을 선택한다.

Step 6. 선택된 부품에 대한 애로기계를 선택한다. 애로기계는 단계4에서 계산한 평균 이용률을 바탕으로 선택한다. 이 때, 애로기계는 모든 기계에 대한 평균 이용률보다 크거나 같은 기계만 선택된다. 만일, 모든 기계에 대한 평균 이용률보다 작은 기계의 경우는 선택하지 않는다. 단계5에서 선택된 형식의 부품의 경로(route)에 있는 모든 애로기계가 선택되었다면, 단계5로 가서 그 다음으로 성능이 떨어지는 부품을 선택한다. 그렇지 않다면, 애로기계를 선택한 후, 다음 단계로 간다.

Step 7. 단계6에서 선택된 부품의 애로기계에 대해 할당규칙의 순위에 따라서 다른 할당규칙을 적용한다.

Step 8. 단계7에서 바뀐 할당규칙에 의해 기본 할당규칙의 조합이 바뀌는 지의 여부는 모의 실험결과에 의해 결정된다. 곧, 더 나은 성능을 보이면 할당규칙 조합은 바뀌게 되고 그렇지 않다면 단계7로 가서 다른 할당규칙을 적용하게 된다. 단계5에서 선택된 부품에 대한 모든 후보 할당규칙이 검사되었다면 단계5로 가서 다른 형식의 부품을 선택한다.

그림2 는 탐색 알고리즘의 절차를 순서도로 보여주고 있다.



[그림 2. 탐색 알고리즘]

본 알고리즘은 각 형식의 부품의 경로(route)에 있는 평균이용률이상인 모든 애로기계들을 대상으로 순위가 매겨진 할당규칙들이 모의실험으로 시험될 때까지 단계7,8,9를 반복한다. 기본 할당규칙의 조합이 바뀌었을 경우, 단계 4로 가서 기계 이용률을 다시 계산한다. 그렇지 않고,

기본 할당규칙의 조합이 바뀌지 않았을 경우, 단계6으로 가서 해당 부품의 다음 애로기계를 선택한다.

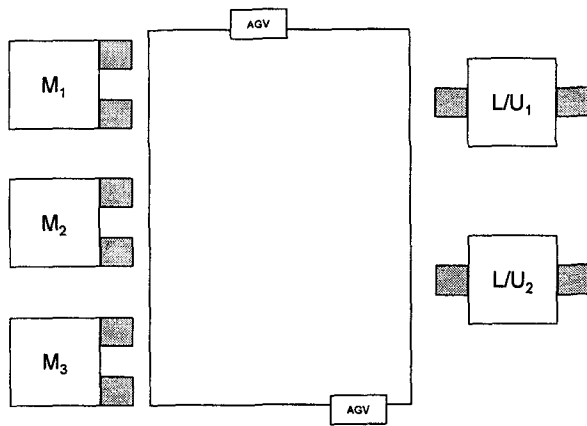
#### 4. 수치 예제 및 평가

##### 4.1 유연 생산시스템 모델

본 논문의 유연생산시스템 모델은 2대의 L/U>Loading/Unloading) 기계(station)과 3대의 기계, 2대의 AGVs가 있다. L/U 기계(station)는 2개 모두에서 부품이 들어오고 나간다. L/U 기계(station)를 포함한 각각의 기계에는 가공전/후를 위한 임시 저장소(local buffer)가 있으며, 이것들의 용량은 각각 부품 5개이다. AGV의 이송시간은 각 작업장마다 3분이며, AGV는 한 번에 한 개의 부품만을 운반할 수 있고, 반시계방향으로만 이동할 수 있다.(counterclockwise directional AGVs)

이 유연생산시스템 모델에는 5가지 형식의 부품이 있으며, 각 부품들은 서로 다른 가공 순서와 각 기계에서의 가공시간을 가진다. 각 형식의 부품에 대한 가공순서 정보가 표에 제시되어 있다.

부품투입일정(part release schedule)은 부품도착일정(part arrival schedule)과 같다. 본 논문에서는 부품투입정책은 각 형식의 부품들이 모의실험기간으로 정해진 2880분의 시간구간에 임의의 도착률을 가지고 결정적으로 도착(random part release schedule)한다.



[그림 2 유연 생산시스템 모델]

하여 결정되며, 이 규칙에 의한 납기는 다음과 같이 계산된다.

$$d_{i,j} = d_{i-1,j} + k \cdot q_{i,j}$$

where,  $i$ :  $i$ th job,

$j$ :  $j$ th work station

$d_{i,j}$  :  $j$ 번째 작업장에서  $i$ 번째 부품의 작업납기(operation due date)

$q_{i,j}$  :  $j$ 번째 작업장에서  $i$ 번째 부품의 가공시간

$k$  : allowance factor

##### 4.2 수치 예제

본 논문의 수치 예제에서 탐색 알고리즘의 단계1에 임의로 입력된 기계고장상황은 L/U기계 2대/무인 운반차 2대이다.

입력되는 부품의 가공순서에 대한 정보는 다음 표1 와 같다.

시스템의 성능을 측정하는 수행척도는

1. 평균납기지연(mean tardiness)
2. 평균흐름시간(mean flowtime)
3. 평균납기지연 + 평균흐름시간
4. [평균납기지연\* $W_i$  + 평균흐름시간\* $W_j$ ]

의 4가지를 사용하여 측정한다.

위의 수행척도를 상당한 수준으로 만족시키는 할당규칙들이 많이 연구되었으나, 본 논문의 유연 생산시스템에서는 이 할당규칙들을 적절하게 배분하므로써, 시스템의 성능을 높일 수 있다.

부품이 시스템에 투입될 때, 납기는

TWK(Total Work content)규칙을 사용

[표1] 부품의 가공 순서

가공순서 부품형식	1	2	3	4	5
P <sub>1</sub>	L/U <sub>1</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	L/U <sub>1</sub>
P <sub>2</sub>	L/U <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>3</sub>	L/U <sub>2</sub>	-
P <sub>3</sub>	L/U <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>3</sub>	L/U <sub>1</sub>
P <sub>4</sub>	L/U <sub>1</sub>	M <sub>3</sub>	M <sub>2</sub>	L/U <sub>1</sub>	-
P <sub>5</sub>	L/U <sub>1</sub>	M <sub>3</sub>	L/U <sub>2</sub>	-	-

이를테면, 종류1인 부품의 가공순서는 L/U<sub>1</sub> -> M<sub>1</sub> -> M<sub>2</sub> -> M<sub>3</sub> -> L/U<sub>1</sub> 이다. 각 부품종류별 가공시간과 납기는 다음 표2와 같다. 납기와 총 가공시간의 비는 2.0-5.0사이이다.

[표 2] 부품의 가공 시간 및 납기

가공기계 부품형식	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>3</sub>	L/U <sub>1</sub>	L/U <sub>2</sub>	납 기
P <sub>1</sub>	27.0	8.0	15.0	7.0	15.0	170.0
P <sub>2</sub>	14.0	-	16.0	9.0	6.0	140.0
P <sub>3</sub>	12.0	28.0	7.0	8.0	7.0	220.0
P <sub>4</sub>	-	11.0	23.0	11.0	6.0	240.0
P <sub>5</sub>	-	-	12.0	14.0	12.0	130.0

위와 같은 부품 및 기계에 관한 정보가 입력되면, 모의실험을 통하여, 선택된 수행척도에 따라 각 부품별로 할당규칙에 대한 순위를 매긴다. 모의실험은 Pentium 120Mhz IBM-PC에서 AweSim과 C로 수행하였으며, 본 수치예제에서는 4가지의 수행척도 중에서 평균납기지연(mean tardiness)을 수행척도로 하였다. 이 예제에서 초기단계의 할당규칙의 조합을 이를 할당규칙으로는 MOD규칙이 선택되었다. 모의실험에서 MOD규칙이 최소의 평균지연시간을 보였기 때문이다. MOD규칙이 모든 기계에 동일하게 할당되어 탐색 알고리즘의 초기할당규칙 조합을 이룬다. 다음에 각 형식의 부품들에 대한 후보할당규칙들의 순위가 나와 있다.

- P1 : CR/SPT - FIFO - MOD
- P2 : CR/SPT - MOD - FIFO
- P3 : MOD - FIFO - CR/SPT
- P4 : FIFO - CR/SPT - MOD
- P5 : MOD - CR/SPT - FIFO

위의 할당규칙에 대한 순위와 기계이용률표를 바탕으로 탐색 알고리즘이 동작한다. 다음의 표3은 각 기계의 평균이용률표이다.

M<sub>1</sub>: 69%, M<sub>2</sub>: 88%, M<sub>3</sub>:79%, L/U<sub>1</sub>:75%, L/U<sub>2</sub>:44% -> 전체평균 71%

[표 3 각 부품형식에 대한 이용률표]

이용률순위 부품형식	1	2	3
P <sub>1</sub>	M <sub>2</sub> (88%)	M <sub>3</sub> (79%)	L/U <sub>1</sub> (75%)
P <sub>2</sub>	M <sub>3</sub> (79%)	L/U <sub>1</sub> (75%)	-
P <sub>3</sub>	M <sub>2</sub> (88%)	M <sub>3</sub> (79%)	L/U <sub>1</sub> (75%)
P <sub>4</sub>	M <sub>2</sub> (88%)	M <sub>3</sub> (79%)	L/U <sub>1</sub> (75%)
P <sub>5</sub>	M <sub>3</sub> (79%)	-	-

모의 실험결과, 평균지연시간의 수행척도에 따른 지연정도의 순서를 살펴보면, P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>4</sub>, P<sub>5</sub>의 순이었다. 이에 따라, 위의 표3에서 가장 많이 지연된, 성능이 떨어지는 부품인 P<sub>1</sub>에 대한 애로기계를 선택하면, M<sub>2</sub>가 된다. 따라서, M<sub>2</sub>에 대해서, 단계3의 후보할당규칙 순위에 따라 CR/SPT규칙을 할당한 후, 모의실험을 통해 새로 적용한 할당규칙의 성능을 평가한다.



평가된 할당규칙의 성능이 이전 할당규칙인 MOD규칙에 의한 성능보다 뛰어나므로 할당규칙 조합을 바꾸어 M<sub>2</sub>에 대해서는 CR/SPT규칙을 할당한다. 따라서, 할당규칙의 조합은 M<sub>2</sub>에 대해서만 CR/SPT규칙을 적용하고 나머지 기계들에 대해서는 MOD규칙이 적용된다. 그런 다음, 나머지 후보할당규칙들에 대해서도 모의실험을 통해 성능을 평가한다. 더 성능이 뛰어난 할당규칙이 없으므로 할당규칙조합을 변경하지 않는다. M<sub>2</sub>에 대한 할당규칙을 변경했으므로, 다른 기계들의 대기열에 영향을 고려하기 위하여 모의실험된 결과에 의해 위 단계로 가서 다시 기계 이용률표를 작성하여 다음 과정을 반복한다.

이러한 반복 과정을 거쳐 탐색 알고리즘이 최종적으로 찾아낸 최적 할당규칙의 조합은 다음과 같다.

M1: MOD, M2: CR/SPT, M3: MOD, L/U1: MOD, L/U2: CR/SPT

본 수치 예제에서 위와 같은 할당규칙의 조합은 수행척도인 평균 납기 지연에 대하여 제일 좋은 성능을 보여준 MOD규칙의 성능에 비해서 7.8%의 향상을 보였다.

#### 4.3 평가

본 논문의 탐색 알고리즘을 수행한 후, 각각의 수행척도에 대한 결과는 다음의 표 4, 5와 같다.

기계고장상황1: L/U<sub>2</sub> 기계 /AGV<sub>2</sub>

기계고장상황2: L/U<sub>1</sub> 기계 /AGV<sub>2</sub>

고장 상황이 틀리므로 각각의 시스템 구성(system configuration)에 따라 모의실험 및 탐색 알고리즘을 수행하였다. 탐색 알고리즘을 사용하므로 하나의 할당규칙만을 사용하였을 때와 각각의 기계에 다른 할당규칙을 적용하는 다른 알고리즘에 비해 시스템의 성능이 향상되었다.

이것은 본 논문에서 기계고장정보를 입력하여 시스템에 부하를 높이는 상황을 상정하고, 납기와 총가공시간의 비가 2.0-5.0임에도 우수한 결과를 산출한 것으로 사용하는 할당규칙 및 알고리즘의 논리에 따라 납기의 준수여유정도(tightness)에 둔감하게 본 논문의 알고리즘이 우월한 성능을 나타내었다는 것을 말한다. 본 논문에서 수행척도에 사용한 가중치는 Wi=2.0, Wj=1.2이다.

[표 4. 기계고장상황 1에 따른 결과]

수행척도 할당규칙	평균납기지연	평균흐름시간	평균납기지연 +평균흐름시간	가중수행척도
FIFO	34.50	245.10	279.60	363.12
MOD	17.40	170.90	188.30	239.88
CR/SPT	16.10	162.30	179.40	226.96
Ishii	13.30	155.20	168.50	212.84
본 논문의 알고리즘	12.40 (7.3%)	148.40 (4.6%)	156.90 (7.4%)	197.48 (7.8%)
탐색횟수	12	18	15	21
해의 순위	1	3	2	1

[표 5. 기계고장상황2에 따른 결과]

수행척도 할당규칙	평균납기지연	평균흐름시간	평균납기지연 +평균흐름시간	가중수행척도
FIFO	46.50	395.70	442.20	567.84
MOD	27.80	361.80	389.60	489.76
CR/SPT	26.20	362.40	388.60	487.28
Ishii	21.20	312.80	334.00	417.76
본 논문의 알고리즘	18.50 (14.6%)	295.40 (5.9%)	313.90 (6.4%)	391.48 (6.7%)
탐색횟수	18	24	21	27
해의 순위	1	2	1	1

위의 결과와 같이 본 논문의 알고리즘의 수행도가 하나의 할당규칙을 적용할 때보다 우수했다. 이를 테면, 시스템 구성1에서 평균납기 지연에서 가장 우수했던 Ishii 알고리즘보다 7.3%가 우수하였고, 평균흐름시간에서도 가장 우수했던 Ishii 알고리즘보다 4.6%가 우수한 것으로 나타났다.

본 논문의 유연생산시스템 모델에는 5대의 기계가 있고 3개의 할당규칙을 할당하므로, 이 경우 가능한 할당규칙의 조합의 수는  $3^5 = 243$ 개가 된다. 본 논문의 탐색 알고리즘의 경우 이러한 탐색 공간에서 243개의 조합을 모두 모의실험한 결과에 비추어 9 - 33개의 조합을 찾는 수행 반복을 통하여 각각의 경우 대부분 가장 우수한 해를 산출하였다.

본 논문의 탐색 알고리즘을 50회 수행한 결과 각각의 경우에 가장 우수한 해를 산출한 할당규칙들보다 평균적으로 5.5%의 성능향상이 있었다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 기계고장을 고려하고 유연 생산 시스템에서 각각의 기계에 다른 할당규칙을 배분할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 본 알고리즘의 성능은 4장에서 점검하였으며, 각각의 기계에 하나의 할당규칙만을 배분했을 때보다 성능이 향상되었음을 알 수 있다. 이것은 한 기계의 부품 대기열의 상황이 다른 기계에도 영향을 미치므로 이 점을 고려한 점이 유효하게 작용한 것이다. 또한, 납기준수에 유리한 할당규칙들을 혼합하여 효율적인 논리로 알고리즘을 수행하므로써, 수행시간의 측면에서 실용적으로 실시간 일정계획 시스템으로 사용가능할 만큼 빠르다는 장점을 가지고 있다. 향후 연구로는 기계고장에 대한 보다 더 다양한 고려를 하고 좀 더 복잡한 실제 유연 생산 시스템에 적용해 볼 필요가 있다. 그러므로써, 본 논문에서 제시한 알고리즘의 유효성을 평가할 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Baker, K. R., "Sequencing rules and due-date assignments in a job shop", Management Science, Vol. 30, No. 9, pp. 1093-1104, 1984.
- [2] Blackstone, J.H., Phillips, D.T. and Hogg, G.L., "A State-of-the-Art Survey of Dispatching Rules for Manufacturing Job Shop Operations", International Journal of Production Research, Vol. 20, No. 1, pp. 27-45, 1982.
- [3] Holthaus, O. and Ziegler, H., "Improving job shop performance by coordinating dispatching rules", International Journal of Production Research, Vol 35, No. 2, pp. 539-549, 1997.
- [4] Ishii, N and Talavage, J. J., "A Mixed Dispatching Rule Approach in FMS Scheduling", International Journal of Production Research, Vol. 32, No. 1, pp. 69-87, 1994.
- [5] Montazeri, M. and Van Wassenhove, L. N., "Analysis of scheduling rules for an FMS", International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 4, pp. 785-802, 1990
- [6] Pierreval, H. and Mebarki, N. "Dynamic selection of dispatching rules for manufacturing system scheduling", International Journal of Production Research, Vol 35, No. 6, pp. 1575-1591, 1997.
- [7] Pritsker A.A.B., Reilly J.J. and LaVal D.K., "Simulation with Visual SLAM and AweSim", John Wiley & Sons, 1997.
- [8] Wu, S.-Y.D. and Wysk, R.A., "An Application of Discrete-event Simulation to On-Line

Control and Scheduling in Flexible Manufacturing", International Journal of Production Research, Vol. 27, No. 9, pp. 1603-1623, 1989.