

# 머시닝 센터와 다연 Pallet으로 구성된 기계 가공 공장의 일정계획\*

이철수\*\*, 배상윤\*\*\*

## Scheduling of Machining Shop Composed of Machining Center and Multiple Pallets

Cheol Soo, Lee and Sang Yun, Bae

(Abstract)

This study introduces a scheduling policy to achieve unmanned operations in machining shops representing the feature of both FMS and machining centers. The proposed policy considers the practical constraints in the machining shops such as lot sizes, multiple pallets, and jig/fixtures. In addition, rescheduling to cope with extraordinary events(eg., arrival of high-priority jobs and breakdown of machines) is included. Basically, the scheduling policy consists of four procedures: (1) selection of a job according to dispatching rule, (2) selection of a machine, (3) assignment of jobs to a multiple pallet for the unmanned operation during a certain shift, and (4) prevention of unexpected machine idle caused by constraints on jig/fixture.

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 배경과 필요성

FMS는 가공이나 검사, 물류가 자동화되어 무인 가동이 가능한 시스템이지만 완전한 무인화 생산체계인 공장은 매우 제한적이다. 그것은 ① 예측하지 못한 설비의 고장과 공구의 파손, ② 자재의 부족, ③ jig/fixture의 부족, ④ 일정계획의 오류 등의 이유 때문이다. 이 중에서 설비의 고장이나 공구의 파손과 같이 돌발적인 사고는 사전에 알아서 대처하기가 어렵지만 자재나 jig/fixture의 부족은 일정계획이 정확하게

산출된다면 미연에 방지할 수 있다.

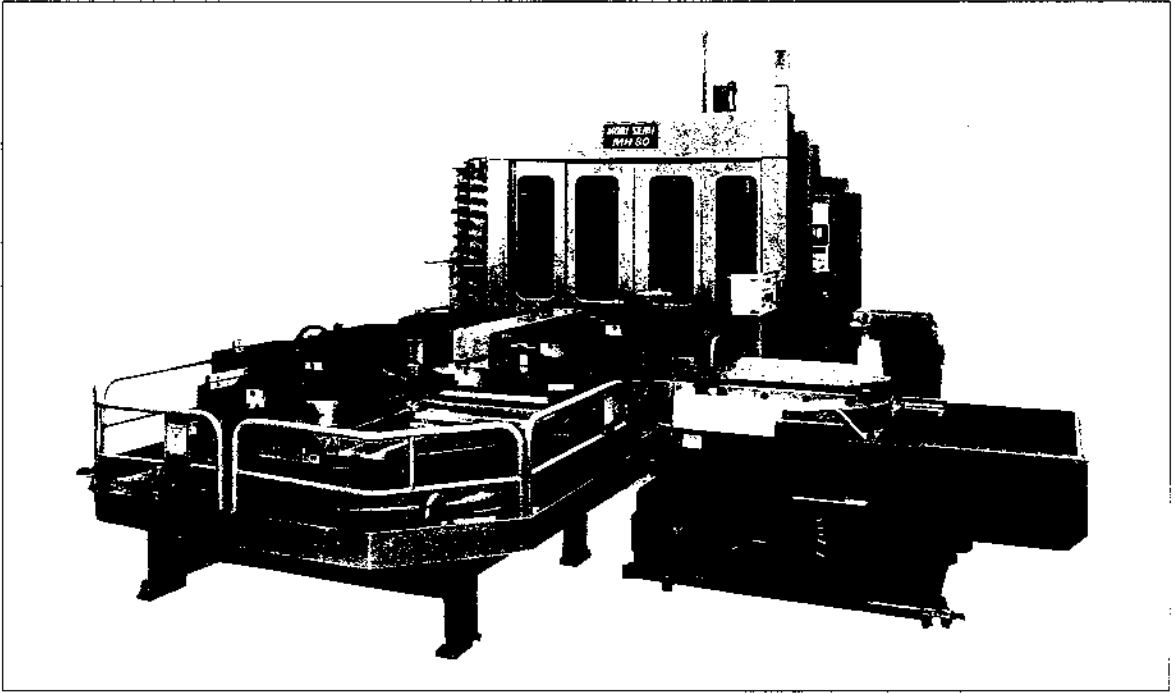
설비의 고장과 공구의 파손 등에 의해 실제의 생산이 계획대로 실시되지 못하는 것을 극복하기 위하여 생산 현장의 지속적인 feedback이 필요하고 그것을 새로운 일정계획에 반영하여야 한다. 그에 의하여 앞에서 언급한 FMS가 무인화 할 수 없는 4가지 이유 중에서 설비의 고장과 공구의 파손 문제는 feedback에 의한 새로운 일정계획에 의하여 사전이 아닌 사후에 해결될 수 있고 나머지 문제는 정확하고 빠른 일정계획에 의하여 해결된다.

실제로 FMS 시스템을 운영하는 어떤 회사들은 완전 무인화를 이루는 것에 주력하기 보다 정상 근무시

\* 이 논문은 화천기공(주)의 연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

\*\* 전남대학교 공과대학 산업공학과 조교수

\*\*\* 전남대학교 공과대학 산업공학과 박사과정



〈그림 1〉 다연(8연) pallet이 부착된 머시닝센터의 예

간 이후부터 다음날 출근 시간 이전까지, 또는 주말의 무인화에 노력하고 있다. 이것은 시스템 운영을 긴 시간동안 무인화할 경우 발생하는 설비 고장 등의 문제점을 주간에 작업하는 작업자가 감시하므로써 해결하고 전통적인 공장 운영 방식을 벗어나지 않으면서 야간에 무인가동하여 설비의 이용율을 높여려는 노력이다. 이와 같은 경우에 야간에 작업하여야 할 작업들을 분류하여 원하는 설비와 정해진 시각에 할당하는 정확한 일정계획은 더욱 필요하게 된다.

본 연구는 FMS와 머시닝 센터가 공존하는 기계 부품 가공 공장을 대상으로 한다. 기계 부품 공장의 대부분은 MRP 시스템에 의하여 자재의 준비와 생산 기계 그룹별 생산 계획을 산출한다. 산출되는 계획은 고전적인 MRP 알고리즘을 사용하고 있어 공장의 부하를 개괄적으로 계산하기 때문에 보다 세부적인 일정 계획이 필요하다. 이와 같은 회사들은 주간 작업 시간은 작업자가 기계와 함께 작업하고 야간에 작업할 공구를 준비하고 작업물을 jig/fixture에 고정하는 일을 하도록 하므로써 야간 무인 가동을 실현하려고 한다.

이러한 상황에서 주간의 작업자가 fixturing한 작업물은 stacker crane이나 다연 pallet(APC(Automatic Pallet Changer)에 장착된 pallet의 갯수: 2연은 pallet이 2개인 경우)과 같은 정해진 장소에 보관되어야 하는데 본 연구에서는 〈그림 1〉과 같은 다연 pallet에 저장하는 방식을 취하는 것을 대상으로 한다.

궁극적으로 본 연구는 MRP 시스템에 의하여 운영되고 있는 FMS에서 lot size와 다연 pallet, jig/fixture의 제약 등을 고려하여 설비의 부하를 고르게 하는 일정 계획을 작성하는 방법에 대한 연구이다.

## 1.2 연구의 내용

FMS의 무인화 요구가 있지만 현실적인 제약 때문에 야간이나 주말의 무인화를 하는 상황에 부응하기 위해서는 앞에서 언급한 공장 상황을 현실적으로 표현하는 정확하고 빠른 일정계획이 요구된다. 본 연구에서 제시하는 방법론의 골자는 크게 4가지로 나눌 수 있다. 첫째, 작업하여야 할 많은 작업들 중에서 가

장 급하다고 설정된 작업을 선택하는 것으로서 만약 가장 급하다고 설정된 작업이 2개 이상인 경우 우선 순위규칙(priority dispatching rule)에 의해 선택한다. 둘째, FMS의 장점이 어떤 작업물을 가공할 수 있는 기계가 여러대 있다는 것이므로 이런 장점에 부응하기 위하여 선택된 작업을 가공할 수 있는 여러대의 대안기계 중에서 하나의 기계를 작업에 할당하는 것이다. 셋째, 일정 시간의 무인화를 위하여 다연 pallet에 작업을 할당하는 방법에 대한 연구이다. 넷째, jig/fixture를 설비와 같이 등록하여 jig/fixture에 의한 예기치 않은 기계의 대가를 방지하는 것에 대한 방법이다. 이외에도 신속한 계산을 위하여 공정표와 기계 상태 table 등을 어떻게 데이터 베이스화 하는가의 연구는 논문의 성격상 여기서는 생략하고 앞의 4가지에 대하여 이끌어나가기로 하겠다.

### 1.3 기존의 연구

본 연구와 관련된 기존의 연구나 시스템의 개발은 많이 이루어지고 있지만 생산 시스템의 부하를 고려하여 가공할 작업물과 설비 가공 시각을 정확하게 예측하고 일정계획하는 시스템의 개발은 미진한 상황이고[2, 3, 8], 개발된 시스템들이 컴퓨터의 계산 시간을 매우 많이 요구하여 현장 적용에 어려움을 가지고 있다. 일정계획에 대한 연구는 최적해를 구하는 노력보다 발견적 기법에 의한 근사해를 구하는 노력이 많다[2, 3, 6]. FMS의 일정계획에 대한 연구는 우선순위규칙[7, 9, 11]이나 대안기계를 고려하는 연구[10]들이 이루어져 왔고 이들에 의하여 nondelay schedule를 작성[4, 5]하는 연구가 있다. 본 연구는 여러가지 우선순위규칙과 대안기계선택 방법 들을 비교하여 최선의 것을 이용할 수 있도록 한다. 또한 야간이나 주말의 무인화를 위해 다연 pallet을 사용할 수 있도록 하고 jig/fixture를 효과적으로 이용할 수 있는 일정계획을 산출할 수 있도록 하고 있다. 또한 신속한 계산으로 생산 현장의 feedback을 즉각 처리할 수 있도록 하고 있다.

## 2. 일정 시간 무인화를 위한 일정계획

### 2.1 개요

본 연구의 대상이 되는 회사들은 MRP 시스템을 사용하고 있다고 보고 제조 현장을 비롯한 거의 모든 회사의 업무는 MRP 시스템에서 제시하는 시간에 따라 움직이는 것으로 한다. 따라서 제조 현장의 일정계획은 MRP 시스템을 무시하지 않는 한 그에 종속되어 산출되도록 하여야 한다. 생산하여야 할 부품의 납기가 주어지는 것은 일반적인 일이지만 MRP 시스템에서 제시하는 시간에 맞추려면 생산하여야 할 부품의 납기(납기일)와 그 부품을 가공하기 시작할 수 있는 시각(개시일)[1]이 함께 필요하다. 이와 함께 일정계획에 필요한 데이터를 정리하면 아래와 같다.

- 생산계획: 부품별 개시일과 납기일, lot 크기
- 공정표: 부품을 가공하기 위한 일련의 공정과 각 공정에 사용될 기계들과 jig/fixture, 가공 시간
- 기계 이용 계획: 설비별로 작성된 잔업과 철야, 공휴일, 예방 보전 시간 등

위와 같은 데이터에 의하여 산출되어야 할 데이터는 '어떤 부품을 어떤 설비에서 언제부터 언제까지 가공' 한다는 일정계획이다.

일정계획 과정에서 고려하여야 할 조건들은 다음과 같다.

- 부품은 개시일 이후에만 생산될 수 있고(개시일은 MRP 시스템에서 지정된 것으로, 예를 들면 자재가 준비되어 기계 가공 생산에 투입될 수 있는 시각을 말한다) 납기일은 공장의 부하가 많으면 지키지 못하는 경우를 허용한다.
- 가공물은 lot 단위로 설비 사이를 이동한다.
- jig/fixture는 1개나 2개를 만들므로 설비에 작업물을 할당할 때 jig/fixture도 함께 할당하여 작업 시간 동안 다른 설비에서 그 jig/fixture를 사용할 수 없도록 해야 한다. 이 때문에 다연 pallet의 머시닝 센터는 여러 lot가 함께 교대로 가공하도록 하여야 한다.

## 2.2 우선순위규칙과 기계선택규칙

우선순위규칙은 가공하여야 할 공정이 2개 이상인 경우에 급하다고 생각되는 공정을 선택할 때 사용되는 규칙이다. 대표적으로 SPT[4, 7], MWKR[4, 7], Slack[7], MDD[9] 등이 있다. 기계선택규칙은 한 공정을 가공할 수 있는 기계가 2대 이상인 경우에 하나의 기계를 선택하는 것으로 후보 기계 중에서 지금까지 할당된 공정의 끝나는 시점이 가장 빠른 것을 선택하는 경우(기계선택규칙 1)와 선택된 공정을 기계에 할당하였을 때 기계의 유휴시간이 최소인 것을 선택하는 경우(기계선택규칙 2)가 있다.

본 연구에서는 이들 규칙을 임의로 선택하여 일정계획을 할 수 있도록 하였다. 따라서 주어진 상황과 평가 기준에 따라 적절한 규칙을 선택할 수 있도록 하였다.

## 2.3 Jig/fixture와 다연 pallet 머시닝 센터

FMS 가공물은 거의 모든 경우에 jig/fixture를 사용한다. Jig/fixture는 제작비용이 고가이므로 특별한 경우가 아니면 2개이상 만들지 않는다. 특별한 공정에 맞는 jig/fixture가 1개라면 같은 lot의 작업물 여러개가 동시에 pallet에 저장될 수 없다는 뜻이 된다. 이것은 lot 단위로 생산되는 경우 일정계획을 어렵게 한다. 예를 들어 <그림 2>의 (a)와 같이 lot 단위가 3개이고 이들이 한 기계에서 가공된다고 할 때 첫번째 작업물이 가공되고 있을 때 다음 작업물을 fixturing하여야 하는데 jig/fixture가 없으므로 가공이 끝날 때 까지 기다려야 되는데 이러한 상황은 기계의 가동율을 저하시킨다.

이것을 해결하기 위한 하나의 아이디어는 <그림 2>-(b)와 같이 서로 다른 부품을 가공하는 두 lot를 하나의 기계에서 번갈아 가며 가공하는 것이다. 이렇게 하면 jig/fixture 때문에 기계가 쉬어야 하는 경우는 없어진다.

머시닝 센터에 부착된 pallet의 갯수와 앞의 문제는 많은 유사점을 가지고 있다. APC가 없는 경우에는 <그림 2>-(a)와 같은 작업이 가능하다. 이때는 당연히

fixturing을 하는 동안 기계가 쉬어야 한다. APC의 pallet의 갯수가 2개인 경우는 <그림 2>-(b)와 같이 작업할 수 있다. 이 경우에는 작업 중에 fixturing이 일어나기 때문에 기계는 연속 작업이 가능하다.

앞에서 FMS의 야간과 주말을 무인가동하기 위하여 다연 pallet를 사용한다고 하였다. 무인 가동을 위해서 주간 작업 시간 동안 pallet에 가공할 부품을 fixturing해 놓아야 하는데 jig/fixture의 갯수가 1개라면 <그림 2>-(c)와 같은 형태로 가공이 이루어져야 할 것이다. 만일 퇴근 전에 이와 같은 아이디어로 작업물을 준비해 놓았다면 4개의 부품이 가공될 때까지는 (설비의 고장이 없는 한) 무인가동을 할 것이다. 일정 시간 무인 가동을 위해 8개의 pallet를 장착하면 pallet 설치 비용은 많지만 무인 가동 시간은 그만큼 증가한다.

그러나 고려하는 pallet의 갯수가 많을수록 한 lot의 lead time이 길어지는 단점이 있으므로 APC의 pallet 갯수를 실체가 아닌 가상의 숫자로 입력하여 사용하는 것이 좋다. 예를 들면 8연 pallet이라고 해도 한 lot의 lead time을 줄이기 위하여 4연이나 6연 등으로 지정하여 이용할 수 있다. 이때 무인 가동 시간은 가상으로 지정된 pallet의 수에 의해 결정된다. 왜냐하면 jig/fixture 등의 제약에 의하여 다연 pallet에 동시에 고정될 수 있는 작업물의 수는 가상으로 지정된 pallet의 수이기 때문이다.

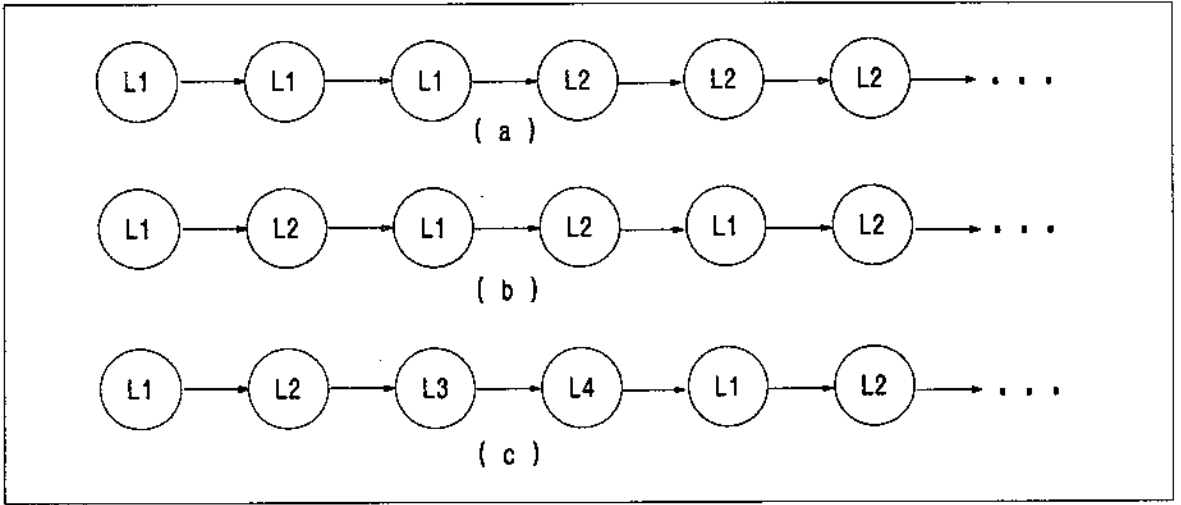
## 2.4 시스템의 흐름

본 연구에서 개발된 일정계획 시스템의 흐름은 <그림 3>과 같다.

① 데이터의 입력: 앞 절에서 제시한 데이터를 데이터 베이스화 하여 저장한다.

② 공정의 선택: 가공하여야 할 후보공정들 중에서 시작 공정이거나 선행공정이 끝난 공정들 중에서 지정된 우선순위규칙에 맞는 공정을 찾는다.

③ 공정의 기계 할당과 다연 pallet의 고려: 기계의 사용 가능, jig/fixture의 사용 가능 등을 고려하여 기계에 할당한다. 사용 가능 기계가 여러대인 경우 지정된 선택규칙을 이용한다. 다연 pallet를 사용하는 경



(그림 2) 다연 pallet 머시닝 센터에서 lot간 일정계획 방법

우에 그에 따른 계획을 한다. 본 연구에서 개발된 시스템은 작업물이 다연 pallet이 있는 기계에 할당된 경우에는 원하는 갯수와 종류만큼의 lot가 할당될 때까지 대기하였다가 모아진 lot를 <그림 2>-(c)와 같은 방법으로 일정계획을 한다.

④ 후행공정의 시작가능시간 수정: 선택된 공정의 완료시간을 후행공정의 시작가능시간으로 수정한다.

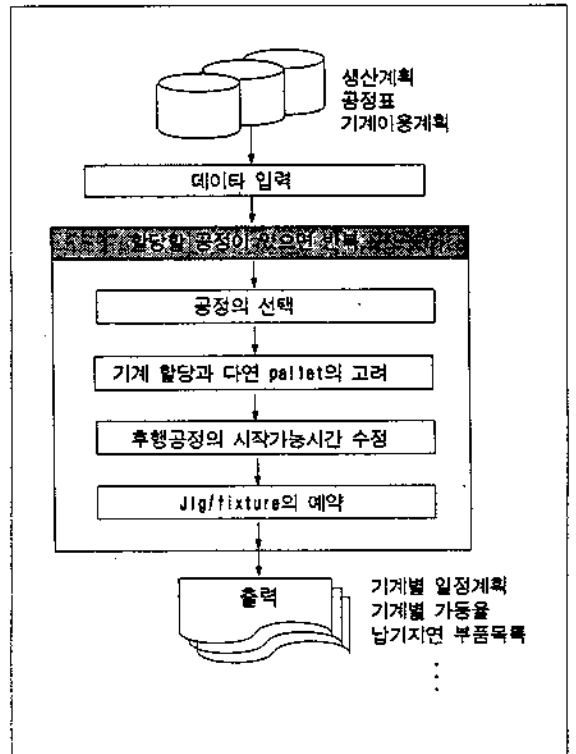
⑤ Jig/fixture의 예약: jig/fixture가 필요한 경우 할당된 기계의 사용 시간 동안 jig/fixture를 사용할 수 있도록 예약한다. 따라서 그 시간 동안은 예약된 jig/fixture를 사용할 수 없다.

⑥ ②에서 ⑤를 모든 공정이 기계에 할당될 때까지 계속한다.

⑦ 데이터 출력: 설비별 일정계획, 설비별 가동율, 납기 지연 부품 목록 등을 출력한다.

### 3. 일정 계획 절차

예를 들어 그림 3과 같은 일정계획을 위한 정보가 있다고 하자. 가공 기계는 2대이고 가공할 부품은 2개이다. 2대의 기계는 다음과 같은 특징이 있다. 1번은 pallet이 하나인 머시닝센터, 2번은 다연 pallet의 머시닝센터이다. 2개 부품의 개시일, 납기일, lot, 공정수는 <표 1>에 주어진 바와 같다. 품목 1의 공정은 1, 2



(그림 3) 일정계획 시스템의 흐름도

이고 품목 2의 공정 1은 이미 가공이 완료되었으므로 남은 공정은 2, 3이다.

주중의 작업시간은 9시부터 18시까지이고 토요일도

같다고 본다. 4월 17일은 휴일로 하고 매일 12시부터 13시까지는 점심시간으로 한다.

기계 1의 시작가능시각은 4월 18일 9시, 기계 2의 시작가능시각은 4월 16일 10시로 한다. Jig/fixture 1, 2의 시작가능시각은 4월 16일 9시이다.

MDD rule과 기계 선택규칙을 적용하는 것으로 가정한다.

단계 3.

(1) 기계선택규칙 1에 의하여 기계 2에 의하여 부품 2의 공정 2를 가공하기로 결정한다.

단계 4.

(1) 기계 2에 의하여 부품 2의 공정 2가 시작되는 시각은 부품에 의한 공정, 기계, jig/fixture의 시작가능

〈표 1〉 예제의 초기 데이터

공정 부품	1	2	3	lot	개시일	납기일
1	4시간 기계 1, 기계 2 Jig/fix. 1	2시간 기계 1 Jig/fix 없음		1	4월16일9시	4월19일18시
2	완료	3시간 기계 1, 기계 2 Jig/fix. 2	2시간 기계 1 Jig/fix. 없음	2	4월15일9시	4월19일18시

〈반복 1〉

단계 1.

(1) 일정계획 기간은 4월 16일 9시부터 4월 22일 18시 까지로 한다. 왜냐하면 납기를 지키지 못하는 경우도 생기기 때문에 납기일보다 길게 설정하는 것이다. 먼저 기계 1, 2에 대한 단위 시각별 작업가능 상태를 설정한다. 단위 시간이 10분이라면 일정계획 기간 동안 10분 단위로 작업이 가능한가와 가능하지 않은가를 표시한다. 퇴근 후에서 출근전까지와 점심시간은 작업이 가능하지 않은 것으로 표시된다. 나머지 시간은 작업이 가능한 것이 된다. 만일 고장이라면 예상 수리완료시각까지는 작업이 가능하지 않은 것으로 된다.

단계 2.

(1) 현재 부품 1의 공정 1과 부품 2의 공정 2가 가공할 수 있는 후보 공정이다. 부품 1의 공정 1은 4월 16일 9시에, 부품 2의 공정 2는 4월 15일 9시이다. 그러므로 부품 2의 공정 2가 가공되어야 할 공정으로 선택된다.

시각을 모두 만족하여야 하므로 가장 큰값을 찾는다. 따라서  $\max(4월 15일 9시, 4월 16일 10시, 4월 16일 9시) = 4월 16일 10시$ 이다.

(2) 선택된 기계가 다연 pallet 기계이고 부품 2의 공정 2의 가공 시간은 3시간인데 12시에서 13시가 점심 시간이므로 1개가 완료되는 시각은 4월 16일 14시이다. 다연 pallet 기계이므로 lot를 나누어 처리하는 것이므로 부품 2의 공정 2가 남은 갯수는 1개가 되고 부품 2의 공정 2를 위하여 기계 2를 예약한다.

단계 5.

(1) 기계 2가 다연 pallet 기계이므로 jig/fixture 2는 4월 16일 14시부터 다른 공정에 의하여 사용가능하여진다.

단계 6.

(1) 현재 가공할 수 있는 공정은 부품 1의 공정 1, 부품 2의 공정 2가 된다.

## 〈반복 2〉

## 단계 2.

(1) 부품 1의 공정 1(4월 16일 9시)이 부품 2의 공정 2(4월 16일 14시)보다 빠르므로 부품 1의 공정 1을 택한다.

## 단계 3.

(1) 부품 1의 공정 1을 가공하기 위한 기계를 선택하는데 기계선택규칙 1에 의하여 기계 2를 결정한다.

## 단계 4.

(1) 부품 1의 공정 1을 기계 2에 의하여 가공을 시작할 수 있는 시각은 부품, 기계, jig/fixture의 시작가능시각 중에서 가장 큰 값인  $\max(4월\ 16일\ 9시, 4월\ 16일\ 14시, 4월\ 16일\ 9시) = 4월\ 16일\ 14시$ 이다.

(2) 선택된 기계가 다연 pallet 기계이고 부품 1의 공정 1의 가공 시간이 4시간이므로 완료시각은 4월 16일 18시이다. lot size가 1이므로 부품 1의 공정 1은 완성되었다.

## 단계 5.

(1) Jig/fixture 1은 4월 16일 18시부터 다른 공정에 의하여 사용가능하여진다.

## 단계 6.

(1) 현재 가공할 수 있는 공정은 부품 1의 공정 2와 부품 2의 공정 2가 된다.

## 〈반복 3〉

## 단계 2.

(1) 부품 1의 공정 2(4월 16일 18시)가 부품 2의 공정 2(4월 16일 14시)보다 느리므로 부품 2의 공정 2를 택한다.

## 단계 3.

(1) 부품 2의 공정 2를 가공하기 위한 기계는 기계 2로 선택된다.

## 단계 4.

(1) 부품 2의 공정 2를 기계 2에 의하여 가공을 시작할 수 있는 시각은 부품, 기계, jig/fixture의 시작가능시각 중에서 가장 큰 값인  $\max(4월\ 16일\ 14시, 4월\ 16일\ 18시, 4월\ 16일\ 14시) = 4월\ 16일\ 18시$ 이다.

(2) 선택된 기계가 다연 pallet 기계이고 부품 2의 공정 2의 가공 시간이 3시간이므로 완료시각은 4월 18일 12시이다(4월 16일 18시부터 4월 18일 9시까지의 근무 외 시간)이므로 할당할 수 없다. 이것은 단계 1에서 이미 정의하였으므로 원하는 시간대의 할당 가능 여부를 살펴보면 된다.) Lot 2개는 완성되었다.

## 단계 5.

(1) Jig/fixture 2는 4월 18일 12시부터 다른 공정에 사용가능하다.

## 단계 6.

(1) 현재 가공할 수 있는 공정은 부품 1의 공정 2와 부품 2의 공정 3이 된다.

## 〈반복 4〉

## 단계 2.

(1) 부품 1의 공정 2(4월 16일 18시)가 부품 2의 공정 3(4월 18일 12시)보다 빠르므로 부품 1의 공정 2를 택한다.

## 단계 3.

(1) 부품 1의 공정 2를 가공하기 위한 기계는 기계 1이다.

## 단계 4.

(1) 부품 1의 공정 2를 기계 1에 의하여 가공을 시작할 수 있는 시각은 부품, 기계의 시작가능시각 중에서 가장 큰 값인  $\max(4월\ 16일\ 18시, 4월\ 18일\ 9시) = 4월\ 18일\ 9시$ 이다. Jig/fixture는 필요하지 않다.

(2) 부품 1의 공정 2의 완성시각은 4월 18일 9시에서 2시간 후인 같은 날 11시이다.

(3) 부품 1의 모든 공정은 완성되었다.

단계 6.

(1) 현재 가공할 수 있는 공정은 부품 2의 공정 3 이 된다.

<반복 5>

단계 2.

(1) 남은 공정이 부품 2의 공정 3뿐이므로 이 공정이 선택된다.

단계 3.

(1) 부품 2의 공정 3을 가공하기 위한 기계는 기계 1이다.

단계 4.

(1) 부품 2의 공정 3을 기계 1에 의하여 가공을 시작할 수 있는 시각은 부품, 기계의 시작가능시각 중에서 가장 큰 값인  $\max(4월 18일 12시, 4월 18일 11시) = 4월 18일 12시$ 이다.

(2) 부품 2의 lot size가 2이므로 부품 2의 공정 3의 총 가공 시간은  $2 \times 2 = 4$ 이다. 그러므로 완성시각은 4월 18일 17시이다. 12시부터 13시까지는 점심시간이므로 실 가공 시간에서 제외된다.

단계 6.

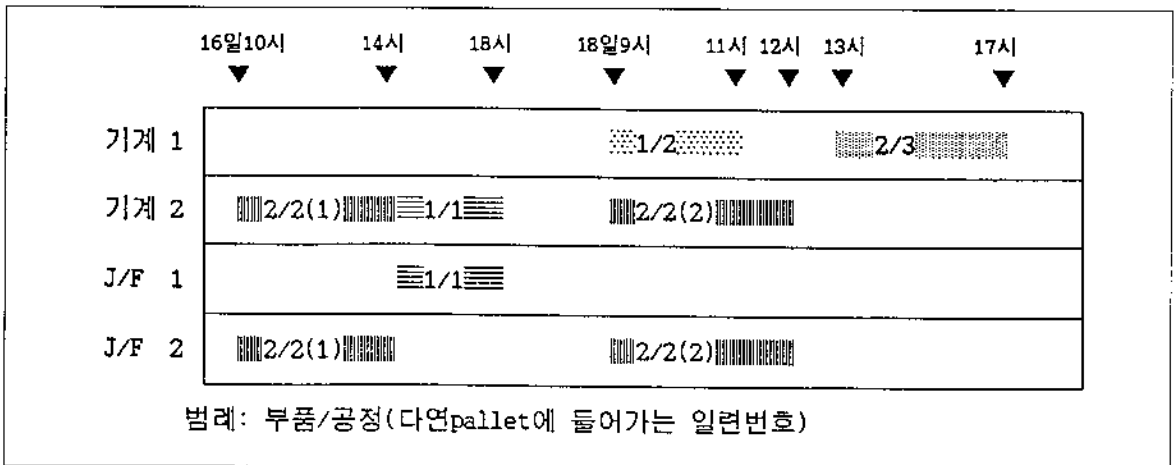
(1) 모든 부품의 가공 일정계획이 완료되었다.

<그림 4>는 예제에 대한 일정계획 결과를 Gantt chart 형식으로 표현한 것이다. 위의 예는 매우 간단한 것이지만 다연 pallet의 이용 방법과 jig/fixture의 중복 사용 등을 방지하는 것을 포함하고 있다. 고려하는 부품의 수가 수백개 이상이고 기계의 수가 수십개 이상인 경우는 수작업에 의하여 계획하는 것이 거의 불가능하다. 따라서 컴퓨터에 의하여 할 수밖에 없다. 이와같은 일반적인 경우의 공정 계획 방법에는 <부록>에 나타내었다.

4. 적용 사례

본 연구에서 개발된 시스템을 적용한 회사는 APC가 부착된(2연과 8연) 머시닝 센터, NC 선반 등을 보유하고 공작기계를 생산하고 있는 업체이다. 이 회사는 MAPICS에 의하여 생산 및 자재관리를 수행하고 있다. MAPICS는 기계별 일정계획을 정확하게 산출하지 못하고 부품에 따라 기계 가공 공정의 개시일과 납기일을 산출하여 일정계획에 이용한다.

기존에 일정계획은 주요한 기계에 대해서만 이루어지고 있으며 기타의 설비는 작업반장이 임의로 하도



<그림 4> 예제에 대한 일정계획 결과



록 하고 있다. 주요한 설비에 대하여 이루어지는 일정계획도 수작업에 의존하므로 업무가 과중하고 만일 계획이 지켜지지 않았을 경우에 작업 진도에 따른 재 일정계획(rescheduling)은 전혀 이루어지지 않고 있다. 따라서 작업 진도 보고는 실적을 파악하는데 이용될 뿐 그것을 반영한 새로운 일정계획은 작성되지 않는다. 따라서 공정의 선후관계가 맞지 않고 jig/fixture의 이용이 중복되어 대기 시간이 많이 발생하게 된다.

본 연구의 일정계획 시스템은 MRP 시스템에서 부품별 기계 가공 개시일과 납기일을 입력받아 그에 대처하므로 회사 전체적인 흐름에 따르도록 한다. 공정에 대한 데이터와 생산 계획 데이터도 MRP 시스템에서 입력받는다. 본 연구의 일정계획 방법은 컴퓨터 계산 시간이 무척 빠르기 때문에 생산 현장의 작업 실적을 이용하여 수시로 재일정계획하여 설비의 고장이나 공구의 파손, 작업자 결근 등에 대처하도록 한다. 또한 신제품 개발 시 발생하는 긴급품 가공을 할 수 있도록 재일정계획이 가능하다.

본 연구에서 개발된 시스템은 IBM-PC 호환 기종에서 개발하였다. 개발된 시스템의 용량은 100대의 기계에 대하여 90일 동안 일정계획할 수 있으며 부품의 수는 2000개까지, 부품당 최대 20개의 공정, 공정 당 대안기계는 4대까지이다.

개발된 시스템의 입력은 MRP의 생산계획과 공정정보, 기계별 가용 정보, jig/fixture 정보, 기계정보, 우선순위규칙과 기계선택규칙 등이고 출력은 기계별 일정계획, 기간별 기계의 이용율, 제품별 각 기계시수 등이다. <그림 5>, <그림 6>, <그림 7>은 본 논문과 관련된 입출력의 예이다.

<그림 5>는 MRP로 부터 받은 생산계획에 의하여 공정화일로 부터 생성된 공정정보 편집기의 예를 보이고 있다. 공정에 대한 시간은 물론 jig/fixture와 대안기계의 변경이 가능하다.

<그림 6>은 기계정보 편집기로서 다연 pallet 기계와 다연 pallet의 수를 지정할 수 있고 임의로 기계의 마가동 시간을 입력할 수 있다. 실제로 8연의 pallet을 갖고 있는 기계도 부품의 기계가공 납기를 단축하기 위하여 4연이나 6연으로 입력할 수 있다.

<그림 7>은 본 논문에서 개발된 시스템의 하나의

출력 예이다. 기계 1에 대한 생산계획을 나타내고 있는데 사용할 jig/fixture에 대한 계획도 포함하고 있다.

이와 같은 일정계획 시스템을 이용하므로써 다음과 같은 잇점을 얻을 수 있었다.

- 설비의 고장과 같은 돌발 사고가 없는 한 정확하게 수행될 수 있는 일정계획을 작성할 수 있다. 따라서 확실한 작업 준비가 가능하다.
- 기계의 가동율을 높인다.
- 작업 실적을 고려한 재일정계획이 언제든지 빠른 시간안에 가능하다.
- 신제품 개발에 따른 긴급품이나 돌발 사고에 의한 일정계획의 잘못을 재일정계획에 의하여 바로 잡는다.

## 5. 결론

일반적인 Job shop의 일정 계획 문제에서  $n$ 개 부품의 평균 공정  $o_n$ 을 평균  $m$ 대의 대안기계가 처리하도록 일정계획을 할 때 최적해를 구하기 위하여 검색하여야 할 경우의 수는  $((n \times o_n)!)^m$ 이다. 일정계획의 기본제약인 순서제약(precedence constraint)과 기계제약(capacity constraint)을 고려하면 경우의 수는  $((n \times o_n)!) / (o_n!)^m$  가 된다. 본 연구에서 제시한 발견적 기법은 가공할 공정을 찾는데  $n \times o_n$  번의 검색을 실시하고 기계에 공정을 할당하는데  $m$ 번의 탐색을 실시한다. 따라서 총 검색횟수는  $n \times o_n \times m$  번이다. 컴퓨터 계산 시간을 살펴보면 한 부품당 평균 공정 수가 20인 300개 부품을 기계 50대에 일정계획할 때 소요되는 시간은 IBM-PC 호환기종에서 1분 정도이다(RAM 4M, CPU 속도 33 MHz인 386기종).

본 연구는 일정 시간 동안 무인화하려는 FMS의 일정계획에 대한 문제를 다루었고 전체적인 절차를 제안하였다. 가공할 여러 공정이 있는 경우 공정을 선택하는 기준과 대안기계는 있는 경우에 좋은 일정계획을 산출하는 규칙을 컴퓨터 시뮬레이션에 의하여 지정할 수 있다. 또한 일정 시간에 무인화를 이루기 위해서 필요한 다연 pallet 머시닝 센터가 있는 FMS에서 jig/fixture의 제약을 고려하여 일정계획을 할 수 있는 방법론을 제시하였다. 이와 같은 현실적인 사항

Processing Information Table

Job	JNo	OPNo	PT1 <sup>1)</sup>	J1 <sup>2)</sup>	AM1 <sup>3)</sup>	AM2	AM3	AM4	PT2	J2	AM1	AM2	AM3	AM4	PT3
030015S	1	1	4	0	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
030036	2	3	3	5	19	20	0	0	3	4	19	20	0	0	2
030184	3	4	2	5	19	20	0	0	2	3	19	20	0	0	1
030351	4	6	6	10	10	0	0	0	8	8	10	0	0	0	3
030352	5	4	15	4	9	0	0	0	6	14	1	2	3	0	11
030354	6	2	4	6	12	13	14	0	4	11	12	13	14	0	0
030355	7	2	4	6	12	13	14	0	4	11	12	13	14	0	0
040250	8	4	1	3	7	0	0	0	2	9	6	0	0	0	1
050012	9	1	1	2	28	29	30	0	0	0	0	0	0	0	0
050012	10	1	1	2	28	29	30	0	0	0	0	0	0	0	0
050012	11	1	1	2	28	29	30	0	0	0	0	0	0	0	0
050012	12	1	1	2	28	29	30	0	0	0	0	0	0	0	0
050012	13	1	1	2	28	29	30	0	0	0	0	0	0	0	0
050138	14	5	1	1	7	0	0	0	2	5	25	26	0	0	2
070168	15	1	2	12	40	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0

F2 Save Esc Quit CTRL-F1 Line Delete CTRL-F2 Line Insert Job No => 8

1) 가공시간, 2) Jig/fixture, 3) 대안기계

<그림 5> Jig/Fixture를 포함한 공정 정보의 입력 화면

Kind1 = Normal MC, Kind2 = Multiple Pallet, Kind3 = Out of Factory

MC Information Table

NO	KIND	P-NO	MC-ID	MC-NAME	Start Time				IrgBk Start				IrgBk End				
					M	D	H	MI	M	D	H	MI	M	D	H	MI	
1	1	1	MP1	MPL-2	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	MP2	MPL-3	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	MP3	MPL-5	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	PF1	P-6	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	1	BF1	BF-13AQ	5	1	8	30	5	2	11	0	5	2	13	0	
6	1	1	KP1	KPL	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	HI1	HQI	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	1	1	BH1	BH	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	VI1	MPC-2540	5	1	8	30	5	3	8	30	5	4	12	30	
10	2	2	H11	MCH-1100J	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	1	CK1	COB	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	2	8	H21	HMC-630	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	2	4	H22	HMC-630	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	2	2	H23	HMC-630	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	2	8	H24	HMC-630	5	1	8	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0

F1 Start Time Column Modify F2 Save Esc Quit

P-No: 지정된 다연 pallet 수, IrgBK: 미가동 시간

<그림 6> 기계와 Pallet 정보의 입력화면

〈 기계 1 (MP1) 생산 계획 〉						가동율 = 48 %		
번호	품명	공정	지그/픽스처	착수일	완료일	Lot	표준시수	Lot시수
27	620411	1	JH12-504001	5/ 4 08:30	5/ 5 09:30	3	18	54
25	030352	3	JH21-133101	5/ 6 09:00	5/ 6 12:00	1	18	18
44	620042	1	JH21-223002	5/ 9 08:30	5/12 16:00	9	12	108
65	316001	2	JH22-241001	5/16 08:30	5/19 09:00	4	18	72
78	216002	2	JH21-111001	5/21 12:00	5/22 15:00	5	12	60
116	630245	1	JH22-111001	5/23 08:30	5/25 16:50	5	13	65
116	630245	4	JH21-115001	5/27 12:20	5/29 17:20	5	24	120
116	630245	5	JH22-114225	5/29 17:20	6/ 1 12:20	5	9	45
134	126001	2	JH22-314101	6/ 1 12:20	6/ 2 10:20	3	12	36

〈그림 7〉 일정 계획(기계 1)의 출력예

을 고려한 절차는 실제 공장에 적용하여 일정 시간 무인화에 노력하는 현장에 많은 효과를 보고 있다.

### 참고문헌

- [1] 이철근, *생산 관리 실무*, 범경 출판사, 1992.
- [2] Andrew Kusiak, *Flexible Manufacturing Systems: methods and studies*, edited by A. Kusiak, (Amsterdam:Elsevier Science Publishers), 1986.
- [3] Amitava Dutta, "Reacting to Scheduling Exceptions in FMS Environments", *IIE Transactions*, Vol. 22, No.4, pp300-314, 1987.
- [4] Baker, K., *Introduction to Sequencing and Scheduling* (New York : John Wiley and Sons Inc.), 1974.
- [5] J. Hutchison and Y. L. Chang, "Optimal Nondelay job shop schedules". *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 2, pp245-257, 1990.
- [6] Jim Hutchison, Keong Leong, David Snyder, and Peter Ward, "Scheduling approaches for random job shop flexible manufacturing systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 29, No. 5, pp1053-1067, 1991.
- [7] John H. Blackstone, Jr, Don T. Phillips and Gary L. Hogg, "A state-of-art survey of dispatching rules for manufacturing job shop operations", *Int. J. Prod. Res.*, Vol 20, No. 1, pp27-45, 1982.
- [8] Michel Baudin, *Manufacturing systems analysis*

*with application to production scheduling*, (Prentice-Hall, inc), 1990.

- [9] Michelle M. Vig and Kevin J. Dooley, "Dynamic rules for due-date assignment", *Int. J. Prod. Res.*, Vol 29, No. 7, pp1367-1377, 1991.
- [10] Nabil Nasr and E.A. Elsayed, "Jobshop scheduling with alternative machines", *Int. J. Prod. Res.*, Vol 28, No 9, pp1595-1609, 1990.
- [11] Ram Rachamadugu, Kathryn E. Stecke, "Classification and review of FMS scheduling procedures", *Working paper 448rR*(University of Michigan, MI, USA), 1987.

### 〈부록〉 일정계획의 알고리즘

일정계획의 절차를 설명하기 위하여 사용한 기호를 표시하면 아래와 같다.

it : 반복(iteration)

ss : 일정계획 시작시각

sc : 일정계획 끝시각

i : 부품(작업)의 첨자

i\* : 선택된 부품

b<sub>i</sub> : 부품 i의 lot 수량

mpb<sub>i</sub> : 다면 pallet 기계에서 가공되는 부품 i의 남은 lot 수량

$s_i$  : 부품  $i$ 의 개시일(시각)  
 $d_i$  : 부품  $i$ 의 납기일(시각)  
 $so_i$  : 부품  $i$ 의 시작공정  
 $so_{t_i}$  : 부품  $i$ 의 시작공정의 시작가능시각, 만약  $so_i = 1$  이면  $so_{t_i} = s_i$   
 $eo_i$  : 부품  $i$ 의 끝공정  
 $j$  : 공정의 첨자  
 $j^*$  : 선택된 공정  
 $pt_{ij}$  : 부품  $i$ , 공정  $j$ 의 가공시간  
 $MC_{ij}$  : 부품  $i$ , 공정  $j$ 에서 사용가능한 기계그룹(대안기계)  
 $am_{ij}$  : 부품  $i$ , 공정  $j$ 에서 사용가능한 대안기계의 수  
 $m$  : 부품  $i$ , 공정  $j$ 에서 사용가능한 기계그룹의 기계,  $m \in MC_{ij}$   
 $m^*$  : 부품  $i$ , 공정  $j$ 에서 사용가능한 기계그룹중 선택된 기계,  $m^* \in MC_{ij}$   
 $k$  : 기계의 첨자  
 $(i, j, k)$  : 부품  $i$ 의 공정  $j$ 가 기계  $k$ 에서 수행됨을 뜻한다.  
 $f_k$  : 기계  $k$ 의 시작가능시각  
 $MP$  : pallet이 두개 이상인 기계그룹(다연 pallet 기계)  
 $mpno_k$  : 다연 pallet 기계의 pallet 수,  $k \in MP$   
 $mpjob_k$  : 다연 pallet 기계에 loading된 부품 수,  $k \in MP$   
 $msmc_i$  : 부품  $i$ 의 남은 lot 수량을 가공할 다연 pallet 기계  
 $OP$  : 외주업체의 기계그룹  
 $opt_k$  : 외주업체의 생산 lead time,  $k \in OP$   
 $n$  : jig/fixture의 첨자  
 $c_{jn}$  : jig/fixture  $n$ 의 시작가능시각  
 $CJJ$  : jig/fixture를 갖는 부품  $i$ , 공정  $j$ 의 집합  
 $c_{ju}$  : 부품  $i$ , 공정  $j$ 에 해당하는 jig/fixture  
 $MonDays[k, d]$  :  $k$ 기계,  $d$ 일의 작업상태,  $d \in \{ss일, \dots, se일\}$   
 (1:정상작업일, 2:잔업, 3:철야, 4:오전 작업일, 5:기계 고장이나 휴일, ...)  
 $MonTimes[k, t]$  :  $k$ 기계,  $t$ 시각의 작업상태, (1:작업 가능, 0:작업 불가능)  
 $t \in \{\text{일정계획 시작} \times \text{일정계획 시간단위}, \dots, \text{일정계}$

획 끝  $\times$  일정계획 시간단위}  
 $\delta_{ij}$  : 기계  $k$ 에서 부품  $i$ 의 공정  $j$ 를 가장 빨리 시작할 수 있는 시각  
 만약  $m^* \notin MP$  이고  $m^* \notin OP$  이면  $\delta_{ij} = \max\{\delta_{ij-1} + pt_{ij-1} \times b_i, f_k\}$ , 만약  $m^* \in MP$ 이면  $\delta_{ij} = \max\{\delta_{ij-1} + pt_{ij-1}, f_k\}$ , 만약  $m^* \in OP$  이면  $\delta_{ij} = \delta^* + opt_k$  이다.  
 $\delta^*$  : 가장 최소인  $\delta_{ij}$   
 $S_{it}$  :  $it$  반복에서 일정계획 가능한 공정들의 집합  
 $PS_{it}$  :  $it$  반복까지 일정계획된 공정들의 집합  
 $R_{ij}$  : 부품  $i$ 의 공정  $j$ 의 가공시간과 lot 을 포함한 나머지 공정의 가공시간의 합  

$$R_{ij} = \sum_{j=j+1}^{eo_i} (pt_{ij}/am_{ij}) \times b_i$$
 $SL_{ij}$  : 여유시간(부품  $i$ , 공정  $j$ 를 일정계획하는 시점에서 납기까지 길이와  $R_{ij}$ 의 차이),  $SL_{ij} = (d_i - (\delta_{ij} + pt_{ij} \times b_i)) - R_{ij}$   
 $DD_{ij}$  : 수정된 due date,  $DD_{ij} = \max\{d_i, \delta_{ij} + pt_{ij} \times b_i + R_{ij}\}$   
 여기서  $i, j, k$  는  $i \in \{1, \dots, \text{일정계획 대상 최대 부품 수}\}$ ,  $j \in \{so_i, \dots, eo_i\}$ ,  $k \in \{1, \dots, \text{최대기계수}\}$  이다.  
 제안된 절차는 이미 생산 진행 중인 부품과 대안기계를 고려하고 기계별 잔업, 철야 등을 지정할 수 있다. 또한 다연 pallet 기계는 lot를 개별 생산하여 jig/fixture 교환 횟수를 줄이고 무인가동할 수 있다. 사용된 우선순위규칙과 기계선택규칙을 앞에서 제시한 기호에 맞추어 정리하면 <표 2>와 같다.  
 일정계획 절차는 다음과 같이 7개의 단계로 나눌 수 있다.  
 단계 1. (데이터 입력 및 변수의 초기화)  
 (1) 사용할 기계선택규칙과 우선순위규칙을 선택하고 일정계획 기간과 일별 작업상태(잔업, 철야 등)를 정하여 단위 시간별 작업가능상태를 설비별로 설정한다.  
 $it=1$  로 하고  $ss$ 와  $se$ 를 초기화한다.  
 $MonDays[k, d]$ 를 정하고  $MonTimes[k, t]$ 를 설

〈표 2〉 우선순위규칙 및 기계선택규칙

사용된 규칙	기호에 의한 정의
SPT 규칙[4, 7]	$pt^* = \min\{pt_{ij} \times b_i\}$ 를 구하고 $pt^*$ 에 의해 $pt_{ij} = pt^*$ 인 품목 $i^*$ , 공정 $j^*$ 를 결정한다.
MWKR 규칙[4, 7]	$R^* = \max\{R_{ij}\}$ 를 구하고 $R^*$ 에 의해 $R_{ij} = R^*$ 인 품목 $i^*$ , 공정 $j^*$ 를 결정한다.
Slack 규칙[7]	$SL^* = \min\{SL_{ij}\}$ 를 구하고 $SL^*$ 에 의해 $SL_{ij} = SL^*$ 인 품목 $i^*$ , 공정 $j^*$ 를 결정한다.
MDD 규칙[9]	$DD^* = \min\{DD_{ij}\}$ 를 구하고 $DD^*$ 에 의해 $DD_{ij} = DD^*$ 인 품목 $i^*$ , 공정 $j^*$ 를 결정한다.
기계선택규칙 · 1	$m^*$ 는 $\min\{f_m\}$ 인 기계 $m$ 으로 결정, $m \in mc_{ij}$
기계선택규칙 · 2	$m^*$ 는 $\min\{\delta^* - f_m\}$ 인 기계 $m$ 으로 결정, $m \in mc_{ij}$

정한다.

- (2) 각 부품에 대하여 개시일, 납기일, lot, 시작공정, 끝공정, 시작가능시각에 관한 데이터와 각 부품의 각 공정에 대한 가공시간과 대안기계에 관한 데이터를 입력한다. 또한 다연 pallet 기계에서 가공되는 부품  $i$ 의 남은 lot 수량인  $mpb_i$ 의 초기치는  $b_i$ 와 같게 입력한다.

$b_i$ ,  $mpb_i$ ,  $mpno_k$ ,  $mpjob_k$ ,  $s_i$ ,  $d_i$ ,  $so_i$ ,  $eo_i$ ,  $so_i$ ,  $pt_{ij}$ ,  $MC_{ij}$ ,  $am_{ij}$  등을 초기화한다.

- (3) 각 기계의 시작가능시각과 다연 pallet 기계와 외주업체 기계 집합을 정하고 외주 가공의 생산 lead time을 입력한다.

$MP = \{\text{다연 pallet 기계}\}$ ,  $OP = \{\text{외주업체의 기계}\}$ ,  $f_k$ ,  $opt_k$  등을 초기화 한다.

- (4) jig/fixture의 시작가능시각과 jig/fixture를 필요로 하는 공정의 집합을 초기화한다.

$c_{jn}$ ,  $CJJ = \{\text{jig/fixture를 필요로 하는 부품 } i, \text{ 공정 } j\}$ ,  $c_{jn}$ 를 초기화한다.

- (5) 각 부품의 시작공정을 가장 빨리 시작할 수 있는 시각과  $it=1$  반복에서 일정계획 가능한 공정들의 집합을 설정하고 일정계획된 집합을 공 집합으로 한다.

$\delta_{ij} = so_i$ ,  $PS_1 = \{ \}$ ,  $S_1 = \{(i, j)\}$ ,  $i \in \{1, \dots, \text{일정계획 대상 최대 부품 수}\}$ ,  $j = so_i$

#### 단계 2. (공정의 선택)

만약  $S_{it} = \{ \}$  이거나  $se \leq \delta_{ij}$  이면 일정계획 절차를 끝내고 단계 7로 간다. 아니면  $\delta^* = \min\{\delta_{ij}\}$  이다. 여기서  $(i, j) \in S_{it}$  이다.

$\delta^*$ 가 유일하면 단계 3으로 가고  $\delta^*$ 가 유일하지 않으면  $\delta^*$ 값을 갖는 모든 부품  $i$ , 공정  $j$ 에 대해 우선순위규칙을 사용하여 유일한  $i^*$ ,  $j^*$ 를 찾는다.

단계 3. (공정의 기계 할당과 다연 pallet 의 고려)  
만약 선택된 부품  $i^*$ 의 남은 lot 수량인  $mpb_{i^*}$ 가 원래의 부품  $i^*$ 의 lot인  $b_{i^*}$ 보다 작다면 이 부품의 일부 lot가 이미 어떤 다연 pallet 기계에서 가공되었으므로 기계선택규칙을 적용하지 않고 해당되는 다연 pallet 기계가 바로 지정된다. 기호로 정리하면 아래와 같다.

만약  $mpb_{i^*} < b_{i^*}$  이면  $m^* = msc_{i^*}$ ,  $mpjob_k = mpjob_k + 1$  이고 아니면 기계선택규칙을 적용한다.

단계 4. (공정시작, 공정완료 시각 결정 및 후행공정의 시작가능시각 수정)

- (1)  $k = m^*$

(2) 선택된 부품  $i^*$ , 공정  $j^*$ 을 가장 빨리 시작할 수 있는 시각인  $\delta^*$ 와 선택된 기계가 시작 가능한 시각인  $f_k$ 를 비교하여 착수시각을 구한다. Jig/fixture가 필요하다면 해당하는 jig/fixture의 사용 가능 시각에 맞추어 착수시각을 수정한다.  $n = c_{j^*n}$  이고 만일  $(i^*, j^*)$ 가  $CJJ$  집합에 있으면  $\delta^* = \max\{\delta^*, f_k, c_{jn}\}$ 이고 그렇지 않으면  $\delta^* = \max\{\delta^*, f_k\}$ 이다.

만약  $\delta^*$ 가 작업할당 가능시간내에 있지 않으면 작업할당 가능시간으로 수정한다. 즉, 만약  $MonTimes[m^*, \delta^*] = 1$  이면  $\delta^* = \delta^*$  이고 아니면 1이 될때 까지 시간 단위를 증가시켜  $\delta^*$ 에 더한다. 또한 만약  $k \in MP$  이고  $mpjob_k > mpno_k$ 이면  $\delta^*$ 를 다음날 작업 개시 시각으로 하고  $mpjob_k = 0$ 으로 한다.

(3) 선택된 기계가 다연 pallet 기계이고 해당 부품의 lot가 아직 가공 완료되지 않았으면 부품  $i^*$ 의 남은 lot 수량인  $mpb_i$ 를 한 개 감소시키고 이때의 다연 pallet 기계를  $m_{smc_i}$ 에 기억한다. 즉,

부품  $i^*$ , 공정  $j^*$ 에 대해 만약  $m \in MP$  이고  $b_i > 1$  이고  $mpb_i > 1$  이면

$j=j$ ,  $mpb_i=mpb_i-1$ ,  $m_{smc_i}=m^*$  이고, 아니면  $j=j+1$ ,  $mpb_i=b_i$  이다.

(4) 선택된 부품  $i^*$ , 공정  $j^*$ 의 완료시각인  $f_k$  와 다음 공정  $j$ 의 최소  $\delta_{ij}$ 는 선택된 기계의 특성(보통기계, 다연 pallet 기계, 외주기계)에 따라서 다음과 같이 계산한다.

만약  $m^* \in MP$ 일때  $mpb_i=b_i$ 이면  $j=j+1$ ,  $\delta_{ij}^*=\delta^*+pt_{ij}$ ,  $f_k=\delta^*+pt_{ij}$  이고

아니면  $\delta_{ij}=\delta^*+pt_{ij}$ ,  $f_k=\delta^*+pt_{ij}$  이다.

만약  $m^* \in OP$  이면  $\delta_{ij}=\delta^*+opt_m$  이다. 이때  $m=m^*$  이다.

만약  $m^* \notin MP$  이고  $m^* \notin OP$  이면  $\delta_{ij}=\delta^*+pt_{ij} \times b_i$ ,  $f_k=\delta^*+pt_{ij} \times b_i$  이다.

완료시각과 다음 공정의  $\delta_{ij}$ 가 작업가능 시간내에 있지 않으면 다음과 같이 수정한다.

만약  $MonTimes[m^*, \delta_{ij}]=1$  이면  $\delta_{ij}=\delta_{ij}$  이고 아니면 1이 될때 까지 시간단위를 증가시켜  $\delta_{ij}$ 에 더한다.

만약  $MonTimes[m^*, f_k]=1$  이면  $f_k=f_k$  이고 아니면 1이 될때 까지 시간단위를 증가시켜  $f_k$ 에 더한다. 여기서  $k=m^*$  이다.

(5)  $S_{it}$ 로부터  $(i^*, j^*)$ 를 꺼내고  $(i^*, j)$ 를 집합에 넣

는다. 일정계획된  $(i^*, j^*, m^*)$ 를  $PS_{it}$ 에 넣는다.  $it=it+1$ .

#### 단계 5. (Jig/fixture의 예약)

만일 선택된 공정이 jig/fixture가 필요하다면 단계 4에서 정해진 가공 시간동안 jig/fixture를 예약한다. 즉  $(i^*, j^*) \in CJJ$  일때  $m^* \in MP$  이면  $c_{jn}=\delta^*+pt_{ij}^*$  이고 아니면  $c_{jn}=\delta^*+pt_{ij}^* \times b_i$  이다.

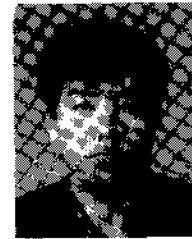
단계 6.  $S_{it}$  집합에 대해 단계 2로 돌아간다.

단계 7. 할당된 공정들을 시각과 함께 출력한다.



이철수(李喆洙)

1960년 2월 21일생. 1984년 한양대학교 산업공학과 졸업. 1986년 한국과학기술원 산업공학과 졸업(석사). 1990년 한국과학기술원 졸업(박사). 1990년 전남대학교 산업공학과 전임강사. 1992년 전남대학교 산업공학과 조교수(현재). 저서는 NC 프로그램과 커스텀 매크로가 있음. 주요 관심분야는 곡면 모델링과 NC 가공, 시뮬레이션.



배상윤(裴相潤)

1962년 9월 23일생. 1985년 전남대학교 산업공학과 졸업. 1987년 전남대학교 대학원 산업공학과 졸업(석사). 현재 전남대학교 산업공학과 박사과정에 재학중. 주요 관심분야는 일정 계획, 시뮬레이션.