# 대규모 병렬기계 흐름생산의 재일정계획*

정남기** · 유철수*** · 김종민** · 최정길**

# A production rescheduling system for a large size parallel machine flow shop

Namkee Chung, Chulsoo Yoo, Jongmin Kim, Jeonggil Choi

〈Abstract〉

A scheduling system is developed for a parallel machine flow shop which reflects the situations of the manufacturing processes in the tire industry. The schedule is generated via simulation using heuristic rules to get satisfaction on such constraints as due dates, demands, work-in-process, process capacity, set-up times and scheduling speed. This system, constructed with relational DB, SQL and C language, consumes less than 10 minutes of PC in simulation to handle real size problems.

## 1. 서론

병렬기계 흐름생산은 단순 흐름생산과는 달리, 공장의 실제 환경을 표현하기 위해 정의된 생산시스템 모형이다[1]. 즉, 각 제품의 공정순서는 같지만, 공정마다 생산 능력이 다른 복수의 기계가 있으며, 각 제품의 규격에 따라 사용할 수 있는 기계와 사용할 수 없는 기계로 구분되고, 사용기계에도 우선 순위가 있다. 따라서, 제품의 공정순서를 보면 흐름생산과 유사하나 실제 운영 환경(공정 제약조건, 기계, 생산량)을 보면 주문생산의 특성을 갖는다.

이 병렬기계 흐름생산 모형은 타이어공장의 성형공정과 가류공정에서 나타난다. 타이어 공장의 주요공정은 압연, 압출, 비드, 재단에서 각 요소 품목들이 가공된 후, 성형에서 조립되고 가류공정을 통해 완제품이 생산된다. 압연, 압출, 비드, 재단 공정은 단순한 흐름생산 형태이나 성형공정과 가류공정 사이에는 병렬기계 흐름생산의 형태를 갖는다.

이 연구는 이전 유철수 등[1]에 의한 연구의 후속으로, 실제 타이어공장의 성형과 가류공정을 중심으로 현장에서 운영될 수 있는 일정계획 및 재일정계획 시스템을 개발하기 위한 것이다. 이 시스템은, 본사의 생산계획 시스템에 의해 月생산계획이 품목별 납기와 생산량으로 주어질 때, 이를 기초로 하여 shift(480분) 단위로 성형 및 가류 공정의 기계별 작업계획을 수립한다.

이전 연구[1]에서 강조하였던 점은 JIT의 후진전개 방식 도입이었다. 전진전개일정계획에서는, 적용 규칙이 복잡하고 일정계획을 전담하는 관리자가 있어 성형 · 가류공정의 전체 상황을 파악하고 있어야 운영된다. 이것은 궁극적으로 일정계획의 자동화 · 전산화를 어렵게 한다. 이와는 달리, 후진전개 일정계획은 별도

* 이 연구는 1995년도 전남대학교 자동차 연구소 및 (주)금호의 지원에 의하여 수행되었음

** 전남대학교 산업공학과

*** 동신전문대학 산업경영과

의 관리자가 없어도 작업자끼리의 정보교환에 의해 일정계획이 보다 쉽게 세워질 수 있다. 물론 성형공정의 능력이 가류공정보다 작지 않아야 된다는 전제조건이 있지만, 이 접근이 앞으로의 발전방향이 되어야 한다고 생각한다.

이를 발전시켜, 이 연구에서 추가된 내용은 다음과 같다.

첫째, 대상 문제의 규모가 커졌다. 이전에는 실험적 수준으로 성형기 6대, 가류기 18대, 제품규격 17종 정도의 규모를 다루었으나, 여기서는 성형기 75대, 가류기 250대, 제품규격 300종을 다룰 수 있게 하였다.

둘째, 가류공정뿐 아니라 성형공정에서도 별도의 일정계획을 수립할 수 있게 하였다. 이전 연구는 후진전개 일정계획에 의해 가류공정의 일정계획 결과가 그대로 성형공정에 적용되었었다.

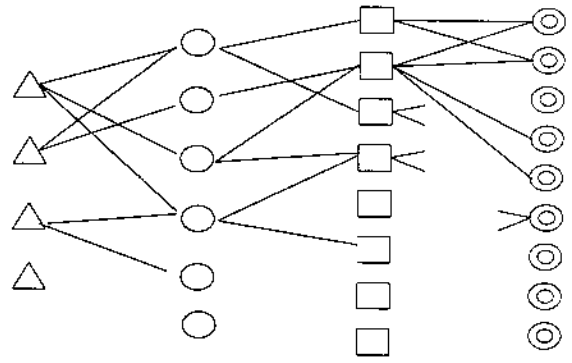
셋째, 공장환경의 변화를 반영하는 재일정계획이 가능하다. 재일정계획은 긴급 주문, 주문량의 변화, 납기의 변경 등의 외부적 요인이나, 기계의 고장, 작업자의 결근, 진도 관리 등의 내부적 요인으로 발생하는 변화된 제조 환경을 반영한 일정계획을 다시 수립하는 것을 의미한다.

넷째, 일정계획에 걸리는 시간을 단축하여 재일정계획을 쉽게 하였다. 일정계획 시스템이 실제 이용되도록 Pentium급 PC에서 일정계획이 10분 이내에 수립될 수 있도록 하였다. SLAMSYSTEM 대신 데이터베이스 관리 프로그램과 C 언어를 사용하였다.

이 외에도 일정계획 규칙을 체계화하였다. 복잡한 규칙과 계산절차는 수정, 변경이 어려울 뿐만 아니라, 전산화의 장애가 된다. 현재 적용되고 있는 규칙을 체계적으로 분류하여 적용을 단순화 시켰다. 이것은 현실 조건이 바뀌어 시스템을 수정하거나 확장할 때, 프로그램의 부분적인 수정을 쉽게 하며, 일정계획 생성시간에도 큰 영향이 있다.

## 2. 일정계획 모형

타이어 공장의 성형과 가류공정에서는 〈그림 1〉과 같이, 75대의 성형기를 통해 170여종의 반제품(Green Case)을 생산하고, 이 반제품을 250대의 가류기에서 금형 가공을 거쳐 300여종의 완성품을 생산한다.




〈그림 1〉 타이어공장 성형-가류 공정의 일정계획 문제

이 일정계획 문제를 〈그림 1〉와 같이 네트워크 형태로 표현해 보면 이해가 쉽다. 성형규격에서 출발하여 성형기, 가류기를 거쳐 제품규격으로 가는 흐름을 생각하여, 흐름량과 흐름 경로를 결정한다면, 흐름량은 생산량에 해당하고, 흐름경로는 공정별 담당 기계를 의미한다.

그리고 성형, 가류 공정간의 이동시간은 미미하기 때문에 일정계획 수립에는 감안하지 않았다. 흐름량과 흐름경로를 결정하는데는 다음과 같은 제약조건들이 있다.

① 규격별 담당 가능 기계

성형 · 가류공정은, 규격에 따라 소형, 대형, 특수용과 같이 몇 개의 그룹으로 나뉜다. 가류기는 4개 그룹으로 구분되고, 이 그룹에 대하여 반제품 규격별로 사용 우선순위가 다르다. 가능하면 우선순위가 높은 기계에 배정하고, 그렇지 못한 경우에는 그 다음 우선순위 기계에 배정하여 가공한다.

② 성형공정과 가류공정의 생산 능력 차이

성형공정과 가류공정은 가공시간의 차가 많은데, 제품에 따라 최고 8배정도의 차이가 있으며, 가류기 한 대당 동시에 2개의 타이어를 생산하므로 실제 생산속도의 차는 최고 4배가된다. 이와 같이 두 공정간의 생

산속도 차이가 많으면서, 300여종의 제품을 혼류생산하므로, 공정간의 균형을 맞추어 중간재고를 줄이려 한다.

③ 생산량과 납기

주로 주문생산이기 때문에, 각 제품규격에는 생산량, 납기가 주어진다.

④ 교체시간의 감소

제품규격과 성형규격이 교체될 때는 장비 교체가 필요하다. 교체규격에 따라 교체시간에 차이가 있다. 가급적 교체 횟수를 줄이고, 교체가 어쩔 수 없으면 교체시간이 짧은 규격이 뒤따르게 한다.

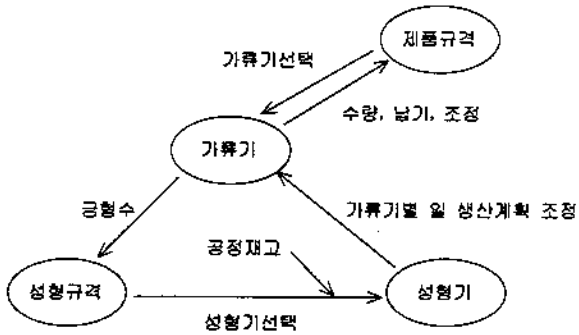
⑤ 자원 제약

작업자, 기계, 금형 등의 사용에 제한이 있다. 즉, 교체 담당 작업자가 여러 기계를 담당하기 때문에, 교체시간이 중복되지 않아야 하며, 제품에 따라 생산할 수 있는 기계와 금형 수가 한정되어있다.

이런 제약조건들을 만족시키는 개략적인 일정계획 방법은 다음 〈그림 2〉와 같다. 일정계획은 화살표(→) 방향을 따라 진행된다. 생산량을 제품규격에서 출발하여 가류기로 흐르게 한다. 이 흐름량과 경로로부터 성형규격의 흐름량이 산출되고, 이것이 성형기를 지나 흐른다. 성형기에서 흘러나와 가류기로 들어갈 양은, 이전에 제품규격에서 가류기로 직접 흘러 들어온 양과 일치시킨다. (이것은 성형기 1대가 담당할 수 있는 가류공정의 금형수, 즉 '성형기 대당 금형수'로 흐름량을 미리 조정하기 때문에 가능하다.) 생산량, 납기의 제약조건이 만족되지 않으면, 가류기→성형규격→성형기 싸이클을 반복한다. 만약 이 싸이클을 반복하여도 더 이상 개선이 없을 때는 수량, 납기의 조정을 요청한다.

이 흐름 모형은 끌어당기기 방식(pull system)을 응용한 후진전개 일정계획법에 근거한 것이다. 이것은 제품의 생산량과 납기 만족을 보장하며 공정재고를 줄이는 효과가 있다.

공정재고를 줄이고 생산흐름을 원활히 하기 위해, 가류기와 성형기 사이의 생산능력 차이를 성형기 대당 금형수로 표현하여 두 공정능력간에 균형이 유지되는 일정계획을 강구한다.




〈그림 2〉 일정계획 방법의 개요

교체시간을 줄이기 위한 절차는, 제품규격을 선택하는 방법과 생산량을 가류기에 할당하는 방법의 두 단계로 나누어 생각한다. 제품규격은 현재 일정계획 진행중인 제품과 동일하거나 교체가 용이한 제품을 선택한다. 생산량 할당 방법은, 선택된 제품의 생산량을 그 제품의 납기까지 계속 할당한다.

이상의 과정에 대한 구체적인 절차는 다음 3장에서 설명한다.

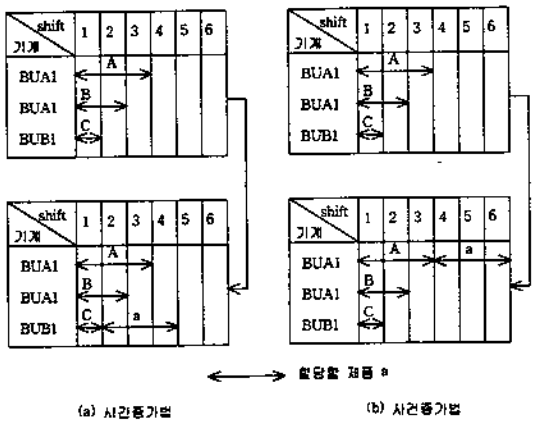
## 3. 일정계획 절차

이 연구에서 사용한 방법은 기본적으로 규칙을 이용하는 시뮬레이션이다. 제품규격을 선택하기 위해 우선순위 규칙을 사용하고, 선택된 제품규격을 가류기에 배정할 때도 미리 정해진 우선순위 규칙이 사용된다. 성형규격의 선택과 성형기 배정에서도 마찬가지이다. 실질적으로 이 방법만이 여기서 만족시켜야 할 수많은 제약조건들을 만족시킬 수 있다.

따라서, 이 연구의 촛점은 각종 우선순위 규칙을 마련하는 일과 이 규칙을 사용하여 시뮬레이션을 진행시키는 방법을 설계하는 일이 된다

여기서 사용된 시뮬레이션 진행 방법은 시간증가법과 사건중심법 2가지이다. 시간증가법은 시간을 1단위씩 차근차근 증가시키면서, 시간이 빠른 순서대로 의사결정하는 방법이다. 이 방법은 계획이 차곡차곡 수립되는 잇점이 있으나, 계산시간이 너무 많이 소요되는 단점이 있다. 한가지 더 큰 문제점은, 시간순서에 따라 의사결정되므로 최선의 결정을 막는 경우가

생긴다. 〈그림 3〉을 예로 들어, 제품 a를 기계 BUA10, BUA12 또는 BUB10 중 한군데에 배정하려 한다. 교체시간을 생각했을 때 가장 바람직한 기계는 BUA10이라 하자. 그런데, 시간증가법에서는 shift 2부터 채워가므로 shift 2에서 가장 유리한 기계를 찾게되고, 그 결과 BUB10이 선정되게 된다.




〈그림 3〉 시간 증가법과 사건중심법의 비교

사건중심법이라 함은 작업 진행 시간에 관계없이 유리한 사건이나 장소를 먼저 선택하여 의사결정하는 방법이다. 〈그림 3〉에서, 제품 a의 가공기계를 찾을 때, 교체시간을 가장 줄일 수 있는 BUA10 (제품 a와 가장 유사한 제품 A가 가공중임)에 배정한다. 계획 진행시점에서 최선의 의사결정이 가능하며, 소요시간도 줄일 수 있다.

가류 일정계획에서는 사건중심법이 사용되며, 성형 일정계획에서는 시간증가법이 응용되었다.

### 3.1 가류공정 일정계획

가류공정 일정계획은, 사건증가법의 취지대로, 우선순위가 높은 제품을 선택한 뒤, 이를 교체가 용이한 가류기에 배정하여, 그 제품의 납기에 맞도록 생산량을 할당한다. 여기서는 방법 I과 방법 II가 고안되었다. 먼저 방법 I을 중심으로 설명한다.

① 제품규격 선택

각 제품에 대해 순서대로 기계를 배정하고 생산량을 할당한다. 설명을 위해, '진행중인 제품'을 각 기계에서 가장 최근에 계획된 제품으로, '금형 단위당 주문량'은 주문량을 제품의 보유 금형 수로 나눈 값으로 정의해 두자.

제품선택을 위해 제품의 생산량, 납기, 각 제품의 보유금형수 등의 정보를 이용하여, 진행중인 제품, 납기가 빠른 순서, 금형 단위당 주문량이 큰 순서로 선택한다. 진행중인 제품을 우선적으로 선택함으로써 제품 교체 횟수를 줄이고, 재일정계획도 원활히 할 수 있게 한다. 금형 단위당 주문량이 많은 제품을 우선하는 것은, 이 제품의 납기 만족이 다른 제품에 비해 더 까다롭기 때문이다.

② 가류기 선택

가류기 진행 상태 table을 보고, 교체시간이 짧은 순서(동일규격을 가공중인 기계, 특수문자 교체, ply 및 백테/흑테 교체, brand 교체, 금형 교체 순), 작업가능 shift가 빠른 순서로 가류기를 선택한다.

③ 생산량 할당

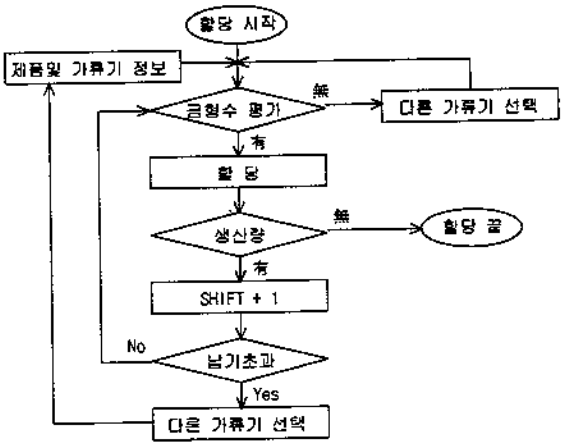
shift마다 자원 및 작업자들의 작업가능성을 조사하면서 주문량을 모두 배정할 때까지 할당한다. 단 납기를 넘기게 되면 다른 기계를 찾아 계속 할당한다. shift별 생산량은 다음과 같이 계산된다.

$$\text{생산량 / } shift = \frac{480\text{분} \times \text{가동율}}{\text{단위당 가동수}}$$

〈그림 4〉는 생산량 할당 과정을 나타낸다.

방법 II는 방법 I과 제품규격 선택과정은 같으나, 가류기를 선택하고 생산량을 할당하는 과정이 다르다. 동일한 금형을 사용하는 제품규격들을 모아서 여러 기계에 동시 배정하고, 생산량도 배정된 기계에 동시 할당한다. 다시 말해서, 사용 가능한 가류기를 모두 미리 선정하여, 금형 가용성 검사 없이 각 제품의 납기까지 할당하는 방식을 취한다. 이 제품규격들을 담당할 총기계 수를 다음 식으로 구한다.

$$\text{필요 기계수} = \frac{\text{생산량} \times \text{가공시간} \times P}{\text{납기} \times 480}$$




〈그림 4〉 가류공정의 일정계획 방법 I - 생산량 할당

여기서 P는 하나의 모수로서 납기가 빠르면 1, 늦으면 2를 갖게 한다.

선택된 제품들의 보유 금형수를 넘지 않는 범위에서, 얻어진 필요 기계 수만큼 가류기를 선택한다. 만일 가류기가 부족하면 보유금형수를 넘지 않은 범위내에서 1씩 증가시킨다. 방법 II는 방법 I에 비해 시뮬레이션 절차는 간소해지나, 납기를 만족시키는 것이 어렵다.

### 3.2 성형공정 일정계획

성형공정 일정계획에서는 가류기에 공급될 반제품(성형규격)의 생산계획이 작성된다. 가류 공정의 일정계획 결과, 금형 사용량과 사용 시기가 나오면, 이를 기준으로 성형기별 반제품 생산량과 생산시기를 정한다. 가류공정에서 사용하는 금형정보 즉, 금형 사용량과 시기가, 성형공정에서 생산해야 할 반제품 규격, 생산량 그리고 생산시점의 정보가 되기 때문이다.

성형기는 가류기에 비해 생산능력이 더 크다. 따라서 성형기 대당 금형수를 파악하고, 이를 초과하지 않는 범위에서 생산량과 생산 시기가 정해져야 공정재고를 줄일 수 있다.

〈그림 5〉에서, 왼쪽 표는 가류계획에서 나온 금형 사용량과 시기를 해당 성형규격으로 나타낸 것이며, 오른쪽은 그 성형규격이 성형기에 할당된 결과를 나타낸다. 가류계획의 금형 사용량을 합하여, 성형기 1대당 금형수를 넘지 않으면서 계획된 기간 내에 성형규격을 생산하도록 계획을 수립한다. 예를 들어, 성형규격 d는 가류기에서 4 shift까지 24단위만큼 사용되는데, 이를 위해 대당 금형수가 8인 성형기 B에서 3 shift 동안 생산하게 한다.

성형규격을 성형기에 할당하는 과정은 다음과 같다

| 성형규격 \ shift | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| a | 4 | 4 | 4 | | |
| b | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| c | 4 | 4 | 4 | 4 | |
| d | 6 | 6 | 6 | 6 | |

| 성형기 \ shift | T | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 6 | (b) | | | (c) | |
| B | 8 | | (d) | | | |
| C | 6 | | (a) | | | |

T : 성형기 1대당 금형수

〈그림 5〉 성형공정 일정계획 방법- 모형

#### ① 성형규격 및 성형기 선택

성형규격을 선택하는 기준은, 가공 진행중인 규격, 동일 금형 사이즈를 사용하는 규격, 금형 사용수가 많은 규격의 순서로 선택한다.

선택된 규격을 할당할 성형기는, 교체가 용이한 것을 선택한다. 교체에 대한 정보는 현재 공장에서 사용하고 있는 격일제 규격, 교대제 규격에 관한 자료를 테이블에 수록하여 사용하였다.

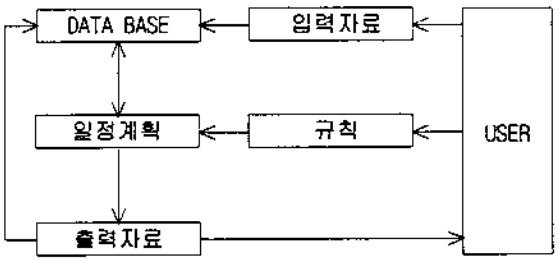
② 생산량 할당

여기는 성형규격이 성형기에서 작업 시작되는 shift와 끝나는 shift를 정하는 과정이다. 〈그림 5〉의 성형규격 d를 예로 설명하면, 늦어도 shift 4이전에 총금형사용량 24가 할당되어야 한다. 성형기 B는 1대당 금형수가 8이므로, 끝나는 shift는 3이 된다. 만약 B의 1대당 금형수가 4이었다면, shift 4까지 금형수 16이 할당되고, 나머지 8은 다른 성형기의 shift 4이전에 할당된다.

## 4. 시스템 구성

이 시스템의 기본 구조는 〈그림 6〉과 같다. 사용자는 계획을 위한 기초정보 즉, 제품, 기계, 금형에 대한 정보와 생산과정에서 발생하는 많은 제약사항들을 입력한다. 이 시스템은 PC의 Window 환경에서 사용된다. 모든 입출력자료는 관계형 DB로 관리되고, 제약조건과 규칙은 SQL과 C언어로 작성되었다.

일정계획을 집행하는 도중에 재일정계획이 필요하면, 그때까지의 생산실적과 기준 shift를 입력하여 일정계획과정을 반복한다. 이것은 일정계획 소요시간이 10분 미만이므로 현실적으로 불편함이 없다.




〈그림 6〉 시스템의 구성

### 4.1 입력자료

〈표 1〉 입력자료

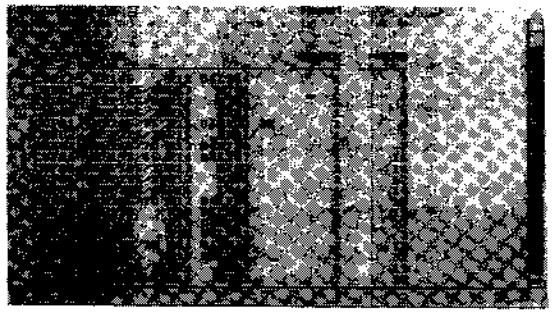
| 자 료 명 | 항 목 |
|---|---|
| 제품정보 | 제품명, 제품 번호, 생산 계획량, 납기 |
| 가류기정보 | 제품명, 제품번호, 반제품, 사용 금형, 가류기 사용 우선순위, 가류기별 작업시간 |
| 성형기 정보 | 제품명, 제품번호, 성형기 사용 우선순위, 성형기별 작업시간 |
| 금형정보 | 금형, 보유금형수 |
| 전일 가류기 정보 | 가류기, 생산 제품명, 가공 shift, 고장유무 |
| 전일 성형기 정보 | 성형기, 반제품명, 생산시작shift, 생산완료shift, 고장유무 |

### 4.2 출력자료

〈표 2〉 출력자료

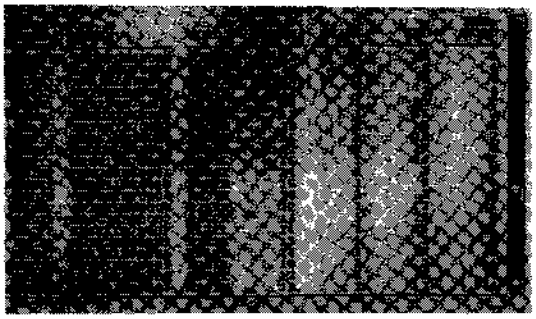
| 출력자료 | 항 목 |
|---|---|
| 가류기 계획 | 가류기, 제품명, 생산시작 shift, 생산완료 shift |
| 성형기 계획 | 성형기, 반제품명, 금형, Rim size, 생산시작 shift, 생산완료 shift, 대응금형수 |

다음은 가류기 계획 결과를 shift 순으로 출력한 화면이다.



〈그림 7〉 가류기 계획

다음은 성형기 계획 결과를 shift 순으로 출력한 화면이다.



〈그림 8〉 성형기 계획

## 5. 결 론

이 연구는 타이어 공장의 성형 및 가류 공정에 대한 일정계획 방법을 제시하고, 이를 수행하는 시스템 개발에 관한 것이다. 일정계획 업무가 컴퓨터 시스템만으로도 원활히 수행되기 위한 방법의 하나로, JIT의 개념을 도입하여 후진전개방식에 의한 일정계획을 제시하였다. 이 방식을 사용함으로써 별도의 관리자가 없어도 공정간의 정보교환에 의해 일정계획이 수립되고 운영될 수 있다. 물론 여기에는 성형공정의 능력이 가류공정보다 작지 않아야 된다는 전제조건이 있지만, 이 접근이 앞으로의 발전방향이 되어야 한다고 생각한다.

이런 연구방향에 의해, 다음과 같은 일정계획시스템이 개발되었다.

(1) 소요 시간 단축

Pentium급 PC에서, 일정계획은 10분 이내에 계획이 수립된다.

(2) shift 단위의 주간/일 생산계획

일 단위의 생산량을 세분하여 3 shift/일 단위로 생산일정계획을 세운다. 간단한 합산에 의해 생산 진도나 일 생산계획의 흐름을 파악할 수 있다. 또 주간 생산계획으로도 쓰일 수 있다.

(3) 재일정계획 기능

공장환경의 변화를 반영하는 재일정계획이 가능하다. 과거 실적을 반영하여 미래 계획이 수정된다.

(4) 일정계획 규칙의 체계화

현재 적용되고 있는 규칙을 체계적으로 분류하여 적용을 단순화시켰다.

## 【참고문헌】


[1] 유철수, 이영우, 정남기 "다단계 병렬기계 흐름생산에서 JIT 일정계획", 산업공학, 7(3), 29-37, 1994

[2] 정남기, 유철수, 김종민, 최정길, "타이어 공장의 일정계획 수립 방안 제시", 전남대학교 공업기술연구소, 1996

[2] Baker, K. R., Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley & Sons, 1974

[4] Korth, Henry F. 데이타 베이스 시스템, 생능출판사, 1992

[5] IBM, SQL Reference, 1993

정남기(鄭南基)

서울대학교 산업공학과, 한국과학기술원 산업공학과(석사), 한국과학기술원 경영과학과(박사) 졸업. 현재 전남대학교 산업공학과에 재직중. 생산관리시스템(MRP, JIT)의 설계 및 운용, 시뮬레이션, 품질경영 시스템에 관심이 있다.

유철수(兪哲秀)

아주대학교 산업공학과, 조선대학교 산업공학과(석사)를 졸업하고, 전남대학교 산업공학과(박사) 졸업. 현재 동신전문대학 산업경영과에 재직중. 한국기계연구소 재직중 GT 및 MRP에 대하여 연구한 바 있으며, 관심분야는 생산계획 및 CIM관련기술임.

김종민(金鍾玟)
전남대학교 산업공학과, 전남대학교 (석사) 졸업, 현재 전남대학교 박사과정중. 관심분야는 생산계획 및 시뮬레이션임.

최정길(崔丁吉)
전남대학교 산업공학과, 현재 전남대학교 석사과정중. 관심분야는 생산계획 및 통제.