

# 플라스틱 사출공장용 실시간 생산계획 및 통제시스템 개발

백종관<sup>1</sup> · 김영호<sup>2</sup> · 김성식<sup>1</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 산업공학과 / <sup>2</sup>(주)한연테크

## Development of Real Time Production Planning & Control System for Plastic Extrusion Factories

Jong-Kwan Baek<sup>1</sup> · Young-Ho Kim<sup>2</sup> · Sung-Shick Kim<sup>1</sup>

This study presents a ready-to-use production planning and control (PP&C) system for the plastic extrusion industry of this country. From the view point of production management, the problems of the industry which are composed of small to midium size manufactures can be summarized as i) poor field data gathering ii) absence of systematic factory management. This study first attempts to devise a simple but useful field monitoring system. Then it presents a PP&C scheme that utilizes the special characteristics of plastic extrusion factory. Various algorithms for the scheme are devised. The resulting system is now realized and ready to implement.

### 1. 서론

#### 1.1 연구 배경

생산관리는 역동적으로 변화하는 생산환경에 적절히 대처하며 주어진 여건에서 최적의 결과를 낼 수 있도록 이루어져야 한다. 그러나 현재 국내 많은 중소기업들의 생산관리방식은 아직 생산 결과에 대한 자료처리 수준에 그치고 있고 수시로 변화하는 상황에 대처하는 데 많은 문제점을 드러내고 있는 게 사실이다. 이러한 상황은 공장의 효율적 관리를 위해 필요한 현장 정보를 실시간으로 수집하기 어렵고, 다양한 공장 상황을 유연하게 처리할 수 있는 관리시스템이 준비되어 있지 않은 데에서 원인을 찾을 수 있을 것이다.

본 연구의 대상이 되는 플라스틱 성형 사출공장은 대부분 중소기업형이며, 여기서도 역시 소수 관리자의 경험에 의한 비효율적인 생산계획 수립과, 예기치 않은 이상상황에 대처하기 위한 방법과 현장의 생산진행 현황과 같은 상태정보 수집 방법 등의 부재로 인해 일반적으로 실시간 생산계획 및 통제가 이루어지지 않고 있는 실정이다.

이러한 문제를 인식하여 정부의 지원을 받아 중소형 플라스틱 사출공장에 사용될 수 있는 생산관리 통제시스템의 개발 연구가 이루어졌고 본문은 그 연구 결과의 중요 부분을 소개

하고 있다. 본 논문에서는 1) 플라스틱 성형 사출공장에 알맞은 관리시스템의 구조를 보이고 2) 공장 내의 설비와 관리시스템 간의 인터페이스를 구현하여 현장 정보를 실시간으로 수집할 수 있도록 하는 방법과, 3) 수시로 변하는 현장정보·주문정보를 계획에 반영하는 효율적인 알고리즘을 보이고 있으며 이들을 시스템화함으로써, 현실성, 실용성 있는 사출공장용 생산관리시스템을 구현하였다.

#### 1.2 문제정의 및 기존 연구

본 연구의 대상이 되는 플라스틱 성형 사출공장들은 대표적인 다품종 소량생산, 주문생산방식의 중소기업형 제조회사이다. 규모에 따라 약간의 차이는 있지만, 사출공장은 일반적으로 <그림 1>에서처럼 사출작업장과 조립작업장으로 나누어져 있다. 사출작업장에는 사출품을 찍어내는 기계군들이 있다. 각 사출기계들은 용량별로 특정 크기의 금형을 걸 수 있고, 한 금형이 생산할 수 있는 제품도 한정되어 있기 때문에 사출기계에 걸 수 있는 용량별로 기계군을 구성하게 된다. 각 기계군은 제작회사나 제작시기가 다르고 생산능력이 다른 기계들로 구성된다. 조립작업장은 사출작업장에서 생산된 사출품 중 조립공정이 필요한 제품들이 조립되는 곳으로 특정 제품을 조립하는 1 개 또는 그 이상의 조립라인으로 구성되어 있다.

생산되는 제품은 크게 사출공정에서 생산이 완료되는 제품

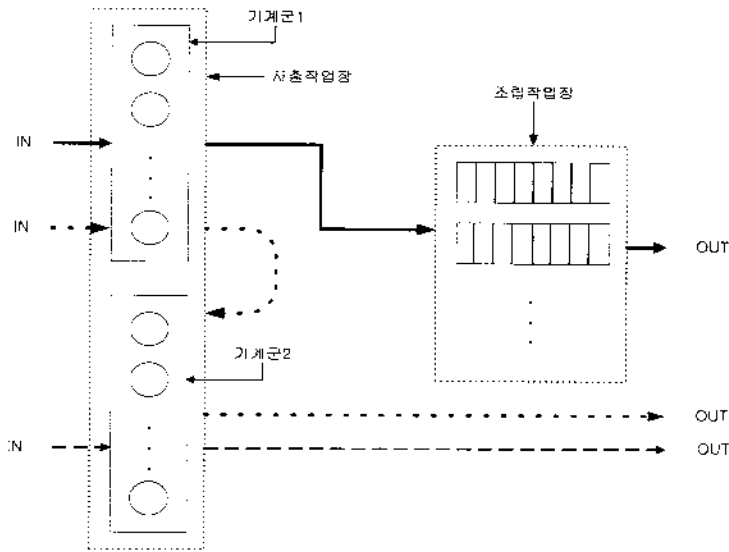


그림 1. 대상공장의 작업흐름도.

과 사출공정과 조립공정 모두를 거쳐야 하는 제품으로 나눌 수 있는데, 이 제품들을 공정의 흐름별로 다시 세분하면 다음과 같다.

- ① 사출작업장의 하나의 기계군에서 생산이 완료되는 제품 - 하나의 기계군에는 생산능력이 다른 여러 대의 기계가 존재하므로 어느 기계에서 생산하는 것이 효율적인 생산계획이 될 것인가 하는 문제가 존재한다.
- ② 사출작업장의 여러 기계군을 거쳐서 생산이 완료되는 제품 - 기계군 내의 순서뿐만 아니라 기계군 간의 가공 순서를 고려해야 한다.
- ③ 사출작업장에서 부품이 만들어지고 이들을 조립하여 이루어지는 제품 - 사출작업장에서 생산이 이루어진 후 조립작업을 거치게 되므로, 조립작업장에서의 생산 가능 시점은 사출작업장에서의 공정납기가 되며 사출작업장에서의 선행관계와 함께 조립작업장의 선행 관계도 고려해야 한다.

이러한 사출공장의 특수한 상황에 적용 가능한 시스템이 되기 위해서는 위에서 언급한 여러 가지 생산 제약조건들을 만족하는 효율적인 알고리즘 개발과 이를 전체 기능들과 조화시킬 수 있는 시스템 구성이 필요하며, 이러한 시스템을 가능하게 하기 위해서는 실시간으로 현장의 데이터들이 제공되어야 한다. 먼저 시스템 구축에 관한 기존의 연구를 살펴보면, Bruno and Agarwal(1997)는 CIMOSA(Computer Integrated Manufacturing Open System Architecture)에서 CIM 시스템의 시작에서부터 하루 단위의 시스템 가동에 이르기까지, 시스템의 모든 단계를 지원하기 위한 방법론을 정의하고, 여러 가지 객체지향기법을

이용해 구현하였다. 정양근(1995)은 다공장 구조의 CIM 구축을 위한 계층적 생산계획 및 통제시스템을 제안했으며, 다양한 계획 및 통제기능들을 계층별 모듈 문제로 분해하고, 상위 계층의 결정사항들을 정해진 정보교환방식(message)을 통하여 효과적으로 연결시키는 계층적 구조의 개념을 적용하였다.

효율적인 시스템 운영을 위해서는 사출공장의 특징적인 공장구조와 복잡하고 다양한 제품 흐름을 고려할 수 있는 알고리즘이 필수적이다. 플라스틱 사출공장은 제품마다 가공경로가 다른 Job Shop 형태로 볼 수도 있지만 사출공장에 존재하는 기계군을 고려하면 하나의 기계군 내에서는 생산능력이 다른 병렬기계에서 단일 공정의 제품을 생산하는 형태로 단순화시킬 수 있다. 이와 같은 상황에서 생산계획을 수립하는 데 고려할 만한 기존의 연구를 살펴보면, Guinet(1991)는 그래프 이론 알고리즘(Graph Theory Algorithm)을 적용하여 이종의 병렬기계로 이루어진 방직공장에서 평균 납기 지연을 최소화하는 알고리즘을 개발하였고, Randhawa와 Smith(1995)는 이종의 병렬공정으로 이루어진 시스템에서 생산계획과 시스템 수행도에 영향을 주는 여러 가지 요인들을 실험계획을 통하여 분석하고, 시스템 디자인과 경험적 생산계획 수립 (heuristic scheduling)의 지표 (guide line)를 제시하였다.

Li(1995)는 동종의 병렬기계에서 서로 다른 납기를 가지는 작업에 대해서 경험적 해법을 개발하고, 동적 계획법(dynamic programming)을 적용한 하한(lower bound)을 제시하였다. 강용혁(1998)은 작업능력이 서로 다른 이종의 병렬기계에서 납기가 서로 다른 작업에 대하여 납기를 맞추지 못하는 작업의 수를 최소화하는 생산계획 수립을 위해 할당 문제 (Assignment Problem)를 푸는 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 사출공장을 기본 모델로 하고 있지만 사출공장에서 존재하는 여러

공정 흐름을 가지는 제품을 고려하지 않고 단일 흐름의 공정으로 가정하고 있기 때문에 선행 조건이 존재하는 작업이 있는 경우에 적용할 수 없다.

실제 상황에 적용할 수 있는 시스템이 되기 위해서는 이상 상황이 발생하였을 때, 기존의 생산계획을 적절한 시간 내에 조정해 줄 수 있는 알고리즘이 필요하다. 이러한 동적 생산계획에 관한 연구를 살펴보면, Li(1993)는 SBT(Scheduling Binary Tree)와 MRP 시스템의 net change 개념을 이용하여 선행관계를 가지는 작업들에 대하여 생산계획 후 조정을 쉽게 할 수 있는 구조를 제안하였다. 그러나 이 알고리즘은 각 기계에서의 작업들의 작업순서(Sequence)가 고정되어 있다고 가정하고 있기 때문에 작업순서 조정에 의한 계획 개선 효과를 고려하지 못한다는 문제가 있다. Smith(1990)는 동적으로 변화하는 생산환경하에서 적용이 가능한 OPIS(Opportunistic Intelligent Scheduler) Scheduling 구조를 제안하였는데, 여기서는 시스템을 여러 KSs(Knowledge Sources)들로 구성되어 있다고 보고, 어떤 이벤트가 발생하였을 때 여러 가지 시스템 상태 파라미터 분석(Analysis KSs)에 의해 서로 다른 기법(Scheduling KSs)들을 적용하고 있다.

Norbis(1988)는 다목적(multiobjective), 다수준(multi-level)계획 환경하에서 세 가지 우선순위 법칙을 제안하고, 이상상황 발생시에 변수값 조정을 통한 재계획 알고리즘을 개발하였다. Hadavi(1990)등은 생산계획을 계획기간을 기준으로 하여 여러 수준으로 나눠 고려함으로써 하위수준의 계획변화가 상위 수준의 계획에 미치는 영향을 최소화시키기 위한 구조를 제안하였다. 특히 작업을 실시간으로 할당할 때, 여러 가지 시스템 상태정보와 작업정보에 중요도를 주어 우선순위를 결정하는 DSR(Dynamic Sequence Rule)를 적용하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 시스템의 구성

앞에서 언급한 경험에 의한 생산계획 수립의 비효율성 및 데이터의 실시간 처리 어려움으로 인해 발생하는 문제들을 해결하기 위해서는, 현장 모니터링을 통한 데이터의 실시간 수집기능과 이상상황에 적절히 대처할 수 있는 동적 생산계획 알고리즘의 통합에 의한, 유연한 실시간 생산계획 및 통제시스템 구성이 필수적이다. 본 연구에서는 이러한 필수 기능들과 기타 생산관련 기능들을, 정양근(1995)이 제안한 계층적 구조의 개념을 적용하여 <그림 2>처럼 통합관리계층과 모니터링 계층으로 구성하였다.

<그림 2>에서 제시된 구조에서 모니터링 계층은 현장에서 발생하는 다양한 이벤트에 관련된 데이터를 실시간으로 갱신하고, 관리자에게 보여주는 역할을 한다. 이러한 모니터링 계층에서의 기능은 현장 상황 모니터링이라는 계층 자체의 목적

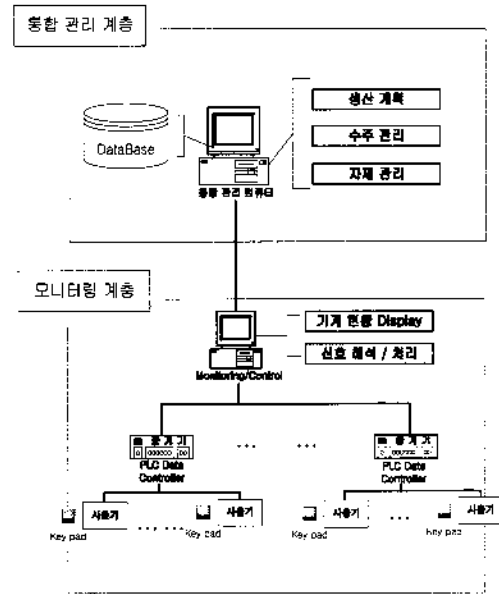


그림 2. 사출 공장용 생산 계획 및 통제 시스템.

뿐만 아니라, 이상상황 발생시 통합관리계층에서의 재생산 계획 수립을 위해 필요한 정보를 실시간으로 제공해 주기 위해 필요하다.

통합관리계층은 시스템의 상위계층으로 수주관리, 자재관리, 생산계획 등의 기능을 가지고 있다. 기존 이미 개발된 생산관리시스템들은 그 기능이 너무 일반적인 공장에 맞추어져 있기 때문에 실제 중소기업형인 사출공장에서 사용하지 않는 많은 기능들이 포함되어 있고 시스템이 커지며 설치비용도 많이 들게 된다. 현재 사출공장은 영세하며 자체적인 제품의 판매보다는 대기업에서 수주를 받아서 생산을 하고 있으며, 간단한 주문관리와 자재관리만이 필요하며 공장내 수작업으로 수행하는 자료수집 및 정리, 사출공장에 적당한 합리적인 일정계획 수립 등의 기능이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 수주관리, 자재관리, 생산계획의 세 가지 큰 모듈로 구분하여 꼭 필요한 기능만으로 단순화하였다.

또한 본 연구의 대상이 중소기업형인 사출공장이므로 기존의 생산관리시스템이 MPS, MRP, 일정계획의 순서로 생산계획을 수립하도록 되어있는 데 반해 본 연구에서 제안한 시스템은 주문 수주로부터 일정계획의 수립까지 하나의 모듈로 통합하였다. 이는 사출공장이 자체 제품을 판매하기보다는 대기업으로부터 수주를 받아 생산을 진행하며, 따라서 예측생산보다는 주문생산을 수행하기 때문에 주문이 직접생산계획에 반영된다. 결과적으로 MPS나 MRP 등의 기능은 불필요하며 시스템을 복잡하고 커지게 만들기 때문에 본 연구에서는 주문 수주로부터 일정계획의 수립까지 하나의 모듈로 통합하여 간단하고 작은 시스템으로 만들며 가격이 싼 액세스(Access) 같은 데

이터베이스(database)를 사용하여 시스템을 꾸밀 수 있도록 하였다.

본 연구에서의 수주관리나 자재관리 모듈은 기존 개발된 시스템과 그 기능면에서 크게 다르지 않으며 주문에 대한 정보와 자재에 대한 정보를 관리하는 기능 외에 특별한 기능이 필요 없기 때문에 자세히 설명하지 않았다.

다음 장에서는 이러한 시스템 구조하에서의 필수요소가 되는 이상상황에 적절히 대처할 수 있는 동적 생산계획 알고리즘 개발과 현장 데이터 수집을 위한 모니터링 시스템의 구성에 대하여 설명한다.

### 2.2 생산계획 모듈

앞에서 언급한 통합관리 계층의 생산계획 모듈은 일반적인 사출공장에 적용하기 위해 제안되었다. 하지만 생산계획의 특성상 사출공장의 규모나 형태가 달라진다면 공장에 맞는 형태로 변형되어야 한다. 본 연구에서 제안한 알고리즘은 다품종 소량생산의 보편적인 사출공장을 대상으로 개발되었으며 소품종 다량생산과 같은 전혀 다른 형태의 공장을 위해서는 새로운 알고리즘의 개발이나 기존 알고리즘의 변형이 필요하다.

시스템의 통합관리계층의 생산계획 알고리즘이 기계고장, 자재 미입고, 주문 변경 등 다양한 생산환경의 변화에 적절히 대응하기 위해서는 동적인 생산계획 수립이 가능해야 한다.

일반적으로 현실 상황에 적용 가능한 생산계획은 다음의 세 가지 조건을 만족해야 한다.

- 생산 제약 조건을 만족하는 생산계획인가?
- 이상상황 발생시 유연하게 처리할 수 있는 생산계획이 가능한가?
- 생산 계획/재계획 수립 시간이 허용할 만한가?

본 연구에서는 위의 조건들을 만족시키기 위한 다단계 알고리즘을 제안하고 있는데 크게 다음과 같은 세 가지 중요한 단계로 이루어진다.

첫째, 각 사출기계를 생산이 가능한 제품별로 기계군을 결정하고 각 기계군을 능력이 다른 병렬기계로 가정하고 할당문제를 풀어서 기존 생산계획을 수립하는 단계

둘째, 수립된 기준계획을 각 제품의 가공선행조건 (precedence constraint)에 맞게 조정해 주는 단계

셋째, 선행조건을 만족시키는 계획에 대하여 기계유휴시간 (machine idle time)을 고려한 계획 개선 단계

생산계획 알고리즘에서 생산계획 수립절차는 <그림 3>과 같이 주문 입력과 이상 상황의 두 가지 조건에 따라 다른 접근 방식을 따르게 된다. 첫째, 주문 입력 이벤트에 의한 흐름은 기존의 생산계획 일부를 취소하여 새로운 주문과 함께 고려하는 방법이다. 먼저 기계군 내에서의 생산계획을 능력이 다른 병렬기계에 작업을 할당하는 것으로 가정하고 각 기계군에 대한

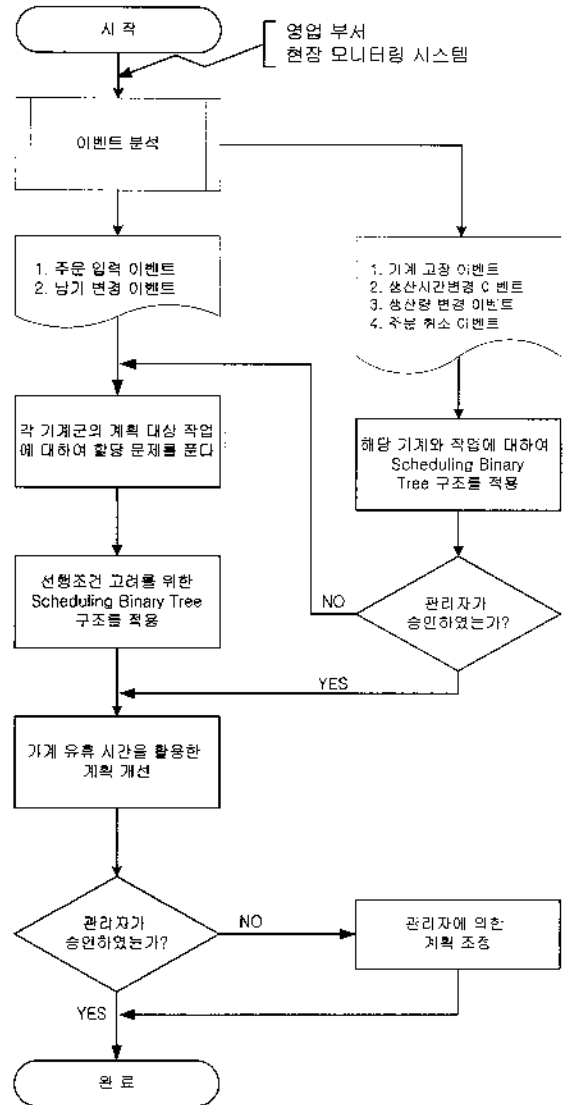


그림 3. 전체 생산 계획 알고리즘 흐름도.

생산계획을 수립한다. 생산계획 수립시 고려하지 않은 선행조건 제약은 Li(1993)가 제안한 SBT (Scheduling Binary Tree) 구조를 이용하여 조정하게 된다. 마지막으로 SBT 구조로 인해 생기는 기계유휴시간(machine idle time)을 활용한 계획 개선단계를 거쳐서 생산계획이 완료된다. 둘째, 이상 상황에 의한 흐름은 기존의 생산 계획 내에서의 조정이 가능한 이벤트(기계 고장, 주문 취소, 주문 변경 등)에 의한 것으로 계획된 작업순서를 유지한 상태에서 선행조건을 만족시키기 위한 단계와 계획개선 단계를 거치게 된다. 여기서 생성한 생산계획이 만족스럽지 못한 경우에는 기존의 생산계획 일부를 취소하고, 대상 작업들의 작업순서 변경까지 고려하는 위에서 설명한 접근방식을 따르게 되며 만족스러운 조정이 되면 위의 절차 중 기계유휴 시간을 활용한 계획개선작업으로 바로 진행된다.

<그림 3>에서 발생하는 상황에 따라 흐름이 다르지만 세

가지 세부 알고리즘을 거쳐 생산계획이 완성되며 각 알고리즘의 세부 절차는 다음과 같다.

### 2.2.1 기계군에서의 작업할당

먼저 알고리즘에서 첫번째 단계는 각 기계군에 대한 할당문제를 푸는 것이다. 이 알고리즘은 강용혁(1998)이 제안한 작업능력이 서로 다른 이종의 병렬기계에서 납기가 서로 다른 작업에 대하여 납기를 맞추지 못하는 작업의 수를 최소화하는 생산계획 수립을 위해 할당문제(Assignment Problem)를 푸는 알고리즘을 적용했다. 이 알고리즘은 사출공장을 기본 모델로 하고 있지만 사출공장에서 존재하는 여러 공정 흐름을 가지는 제품을 고려하지 않고 단일 흐름의 공정으로 가정하고 있기 때문에 선행조건이 존재하는 작업이 있는 경우에 적용할 수 없다. 따라서 먼저 할당 문제를 푸는 알고리즘을 통해 선행 관계가 고려되지 않은 생산계획을 수립하고 다음 단계에서 설명할 선행 관계를 고려한 계획의 수정과 기계유휴시간(machine idle time)을 적용하여 보완하였다.

알고리즘을 살펴보면, 사출공장에서 기계군은 제작회사나 제작시기가 다르고 생산능력이 다른 사출기계들로 구성되기 때문에 대상 공장에서 각 기계군에 대한 일정계획 수립 문제는  $m$ 개의 작업능력이 다른 병렬기계로 이루어진 작업장에서  $n$ 개 작업의 작업순서를 결정하는 것으로 볼 수 있다. 각각의 작업은 서로 다른 공정납기를 가지고 있으며, 하나의 기계에 할당되고, 할당되는 기계에 따라 가공시간이 달라진다. 만일 작업  $i$  ( $i=1,2,\dots,n$ )가 기계  $j$  ( $j=1,2,\dots,m$ )에 할당되었을 경우 가공시간은  $P_{ij}$ 로 정의된다. 각 기계는 한번에 하나의 작업만을 처리할 수 있고, 각각의 기계는 기존에 할당된 작업을 가지고 있다. 즉 새로운 작업에 대해 일정계획을 수립할 때 기계 가공시간이 현재시점이라는 가정을 하지 않는다. 또한 본 연구에서는 다음과 같은 사항을 가정하고 있다.

- ① 작업변환시간은 작업의 가공시간에 포함된다.
- ② 각 기계는 하나의 작업이 완료될 때까지 다른 작업을 할 수 없다(Nonpreemptive).
- ③ 한 기계군 내의 작업 사이에 선후관계가 존재하지 않는다.
- ④ 각 기계의 임시저장장소는 충분히 크다.
- ⑤ 조립작업장의 각 조립라인은 사출작업장의 사출기처럼 하나의 기계로 가정한다.

위의 가정에서 ①~④는 일반적인 가정으로 사출공장에서 적용이 가능하며 ⑤에서 조립라인을 하나의 사출기계와 같이 생각한 것은 조립작업장의 조립라인을 거치는 제품을 위한 새로운 알고리즘을 만들지 않고 조립라인을 거쳐 생산이 완료되는 제품과 거치지 않고 생산이 완료되는 제품을 하나의 알고리즘으로 통합하여 적용하기 위해서이다. 즉, 조립라인을 하나의 사출 기계로 생각하여 각 조립 라인을 다른 사출기와 같이 생산을 진행하는 병렬 기계로 가정하는 것이다. 다만 각 조

립라인에서 조립되는 제품의 종류별로 기계군을 형성하여 할당문제를 푼다. 조립라인은 사출공정 뒤에 위치하고 있지만 사출작업장 내에서도 선후행 관계가 존재하기 때문에 같은 알고리즘으로 적용이 가능하다. 각 조립라인에서의 생산 시간은 기존 업체에서 사용하는 시간을 사용할 수 있으며 자료가 없을시 작업별 평균 작업 시간을 측정하여 이용할 수 있다. 이는 사출공정의 조립 라인이 사람들의 수작업에 의해 이루어지고 있어 조립시간은 제품의 개수에 비례하며 조립시간이 정해지면 사람의 수를 조절하여 생산시간을 맞출 수 있기 때문이다.

이와 같은 가정에서 기계군별 할당 문제에서의 목적함수는 납기를 맞추지 못하는 작업(tardy job)의 수를 최소화하는 것이다. 사출작업장에서 납기를 맞추지 못하는 작업이 발생할 경우 조립라인의 생산에 영향을 미치게 되어 주문에 대한 납기를 지킬 수 없으며, 이는 사출공장에 대한 큰 손실이 된다. 따라서 납기를 맞추지 못하는 작업이 발생할 경우 외주를 주어 납기를 맞추어야 하므로 생산에 추가적인 비용이 발생하게 된다. 따라서 외주를 주어야 하는 작업의 수가 적을수록 생산에 추가적으로 발생하는 외주 비용을 줄일 수 있다. 물론 주문이나 제품별로 외주 비용에 커다란 차이를 보이는 경우라면, 단순히 납기를 어기는 작업의 수만을 고려하는 것에는 문제가 있다. 이런 경우에는 납기와 외주비용을 포함하여 가중치를 준 납기를 어기는 작업의 수(weighted number of tardy job)를 최소화하는 것으로 목적함수를 바꿀 수 있을 것이다. 하지만 본 연구에서는 주문별 외주비용이 커다란 차이를 보이지 않는다고 가정하여 납기를 어기는 작업의 수를 최소화하는 것으로 하였다.

본 연구에서 제시하는 일정계획 방법에서는 <그림4>에서처럼 대상작업을 납기가 빠른 순서대로 나열한 후, 주어진 기계의 대수만큼의 작업을 선택하여 할당문제(Assignment Problem)를 이용하여 작업을 기계에 할당하며, 각 기계에 할당된 작업들의 할당된 순서가 곧 그 기계에서의 작업순서가 된다. 즉,  $m$ 개의 기계와  $n$ 개의 작업이 주어졌을 때 먼저 주어진  $n$ 개의 작업에 대해 납기가 빠른 순서대로 나열하고 순서대로  $m$ 개의 작업을 선택한 후 이  $m$ 개의 작업을  $m$ 개의 기계에 할당하는 문제로 보고 할당문제를 푼다.

할당 문제에서 비용( $C_{ij}$ )은 작업가능 시점과 공정 납기 사이의 여유시간과 작업의 가공시간의 비율로 계산하며, 이것은 CR(Critical Ratio)의 역수가 된다. 이때 각 기계별 할당 비용을 계산하기 위해서는 각 공정의 공정 가능 시점과 공정 납기가 미리 계산되어 있어야 한다. 본 연구에서는 각 공정의 가능 시점과 납기를 구하기 위하여 이주한(1998)이 제시한 알고리즘을 사용한다. 각 제품의 공정 납기와 공정 가능 시점은 제품의 작업 시작 가능 시점과 납기로부터 거쳐야 할 모든 공정에서의 작업 소요시간의 합을 제외하여 구해진 전체 공정에서의 여유시간(SLACK)을 구하고 여유시간을 전체 공정에서의 작업 소요시간의 합에 대한 각 공정에서의 작업 소요시간 비율로 분배하여 구한다. 각 공정에 대한 공정 가능 시점과 공정 납가가 미리 결정되면 알고리즘은 다음의 단계로 구성된다.

업이 생기면 그 작업과 관련된 모든 작업을 할당에서 제외시키고 나머지 작업들만 할당을 시킨다. 모든 작업이 다 할당되지 않았을 경우 남아 있는 작업에 대해 다시 Step2를 수행한다.

Step4. 남아 있는 기계군이 있으면 Step1을 수행하고 없으면 계획 완료

위에서 할당문제는 Hungarian 방법(Wu and Coppins, 1981)을 이용하여 풀며 납기를 맞추지 못하는 작업의 수를 줄이기 위해 각 작업은 어느 기계에 할당이 되어야 하는지를 알 수 있다. 그러나 이 알고리즘은 각 기계군을 따로 고려하고 있기 때문에 서로 다른 기계군에 할당된 작업들 간의 선행관계를 고려할 수 없는 문제가 있어 이에 대한 처리가 필요하다.

2.2.2 선행조건 고려를 위한 SBT

기계군별 작업 할당시 해결하지 못한 작업들 간의 선행관계를 고려하기 위해서 본 연구에서는 Li(1993)가 제안한 SBT(Scheduling Binary Tree) 구조 개념을 단순화하여 적용하였다. SBT 구조는 어떤 이벤트가 발생하였을 때, 직접적인 영향을 받는 작업(Independent affected operation)을 기준으로 하여 간접적인 영향을 받는 작업(dependent affected operation)들로 tree를 구성함으로써 각각의 작업들 간의 선행조건을 쉽게 고려할 수 있도록 되어 있다. 즉, 이벤트의 직접 영향을 받는 작업을 기준으로 하여, 이 작업의 기계 내 후행작업들과 가공경로상의 후행작업들을 한꺼번에 고려하여 계획을 조정하는 방식이다. 하지만 본 연구에서는 이벤트의 직접 영향을 받는 기계내의 계획 조정은 이전 단계에서 처리하고 있기 때문에, Li(1993)의 접근 방식을 그대로 적용하기에는 무리가 있다. 따라서, 이전 단계에서 계획 조정이 이루어진 작업들 중에서 후행작업이 존재하는 작업들을 생산 시작 시간 순서로 선택하여 기준작업으로 하고, 다음의 조건을 만족하는 작업들과 함께 tree를 구성하는 것으로 하였다.

- ① 기준 작업의 가공경로상의 후행작업
- ② 가공경로상의 후행작업들의 기계 내 후행작업

이 알고리즘은 다음의 단계로 구성된다.

- Step0. 생산 가능한 공정을 기준으로 기계군을 형성한다.
- Step1. 선택한 기계군의 대상작업들을 공정 납기 순서로 나열한다.
- Step2. 기계의 대수만큼 작업을 선택하고, 선택된 작업과 기계간의 비용( $c_{ij}$ )을 구하여 할당문제를 푼다. 만일 후보작업이 기계대수보다 적은 경우, 모자라는 작업의 수만큼 가상작업(dummy job)을 만들며 가상작업의 비용은  $M$ (이하  $M$ 은 무한히 큰 수)으로 둔다.
- Step3. 할당문제를 푼 결과 납기를 만족시키지 못하는(할당된 결과의 할당비용이 1보다 큰) 최종제품의 작

- Step1. 계획대상작업 중에서 생산시작시간이 가장 빠른 작업을 선택한다.
- Step2. 선택된 작업을 기준으로 위의 조건을 만족하는 작업들로 SBT를 구성한다.
- Step3. tree 탐색을 통해서 작업들 간의 선행관계를 검사하고 조정한다. 조정된 작업들 중 가공경로상의 후행작업이 존재하는 것이 있는 경우에는 해당작업을 계획대상 집합에 추가한다.
- Step4. 계획대상 집합에 남아 있는 작업이 있으면 Step1을

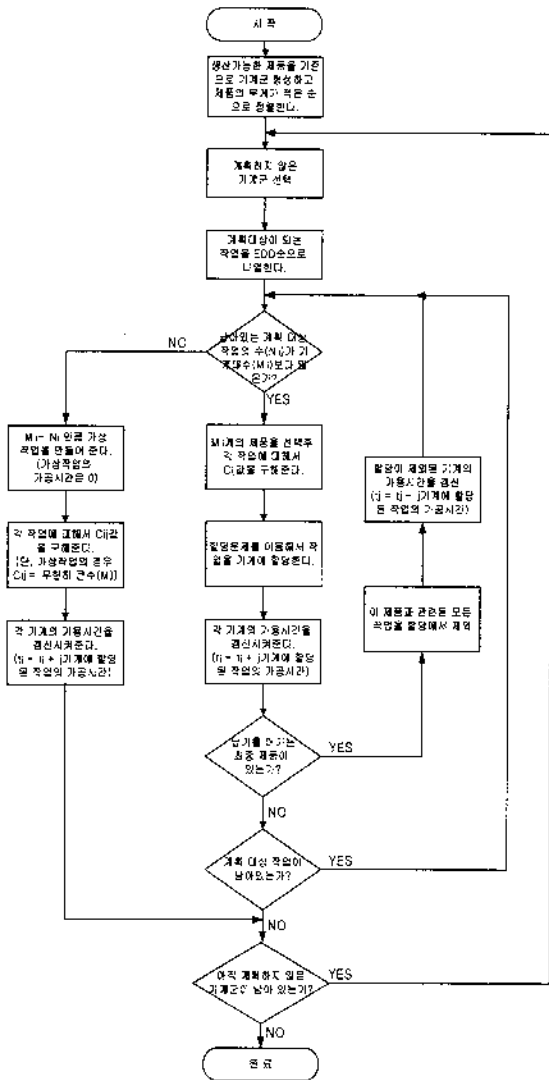


그림 4. 각 기계군 내의 생산계획 알고리즘 흐름도.

수행하고, 없으면 계획을 완료한다.

예를 들어, <그림 5>에서 시점  $T_b$ 에 작업지연 이벤트가 발생하여 시점  $T_r$ 까지 지속된다고 가정할 때, 선행처리단계에서 이벤트 분석에 의해 작업 지연 이벤트에 대한 처리(즉,  $M_1$ 에서의 작업지연시간의 영향을 받는 해당 기계 내에서의  $T_r$ -

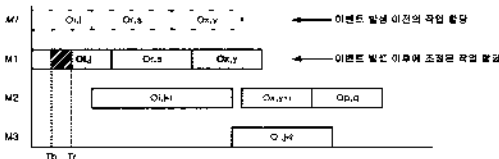


그림 5. SBT 구성 예제(1).

$T_b$  만큼의 계획 조정이 이루어졌다.  $O_{i,j}$ 를 제품  $i$ 의  $j$ 번째 작업이라고 할 때, 이제 남은 것은 가공경로상의 선후관계를 어기고 있는 작업,  $O_{i,j}$ 와  $O_{x,y}$ 를 대상으로 선후관계를 만족시켜주는 것이다.  $O_{i,j}$ 와  $O_{x,y}$ 로 계획대상 집합  $\{O_{i,j}, O_{x,y}\}$ 을 구성하고, <그림 6>에 대하여 알고리즘을 적용하면,

- ① 생산시작시간이 가장 빠른  $O_{i,j}$ 를 기준작업으로 선택한다. - Step1
- ②  $O_{i,j}$ 의 가공경로상의 후행작업( $O_{i,j+1}$ ,  $O_{i,j+2}$ )들과 이들의 기계 내 후행작업( $O_{i,j+1}$ 의  $O_{x,y+1}$ ,  $O_{p,q}$ )들로 Scheduling Binary Tree를 구성한다.<그림 7>- Step2

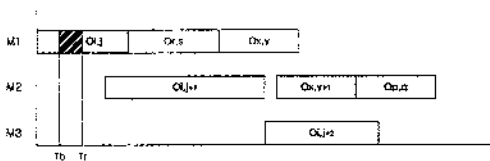


그림 6. SBT 구성 예제(1차 조정대상).

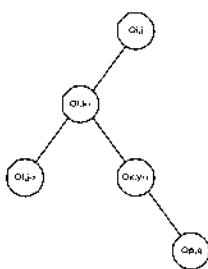


그림 7. SBT(1).

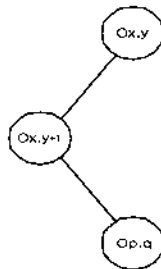


그림 8. SBT(2).

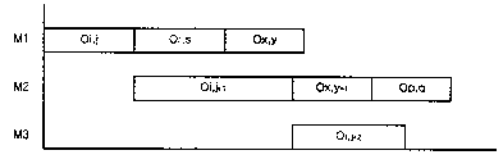


그림 9. SBT 구성 예제(1차 조정 결과).

- ③ tree 탐색에 의해 선후관계를 검사하고 조정한다.<그림 9>- Step3
- ④ 계획대상작업이 남아 있으므로, <그림 9>에 대해 다시 Step1을 적용한다. - Step4
- ⑤  $O_{x,y}$ 를 기준작업으로 선택한다. - Step1
- ⑥  $O_{x,y}$ 의 가공경로상 후행작업 ( $O_{x,y+1}$ )과 이것의 기계 내 후행작업 ( $O_{p,q}$ )으로 SBT를 구성한다.<그림 8>- Step2
- ⑦ tree 탐색에 의해 선후관계를 검사하고 조정한다.<그림 10>- Step3
- ⑧ 남아있는 계획대상작업이 없으므로 계획을 완료한다. - Step4

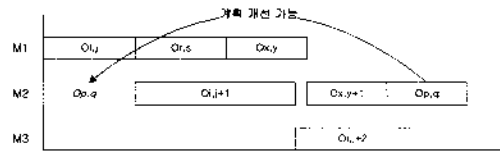


그림 10. SBT 구성 예제(2차 조정 결과).

하지만 이 알고리즘은 <그림 10>에서 알 수 있듯이, 선후관계 조정에 의해 발생한 기계유휴시간에  $O_{p,q}$ 를 할당함으로써 얻을 수 있는 개선 효과를 반영하지 못하는 한계가 있기 때문에 이를 해결하기 위한 처리가 필요하다.

2.2.3 기계유휴시간을 활용한 계획 개선

앞에서 설명한 두 단계의 알고리즘을 거친 생산계획은 선후관계를 만족하는, 납기 지연을 줄이기 위한 작업할당이었다. 그러나 SBT 단계의 경우, 선후관계를 맞추기 위한 계획 조정으로 작업들 간의 여유시간이 상당히 커질 수도 있다. 따라서 SBT 구성단계에서 생길 수 있는 기계유휴시간을 활용한 계획 개선 과정이 필요하다. 본 연구에서는 단일 공정을 거치는 제품만을 고려하고 있는데, 이것은 단일 공정 제품의 경우, 계획 조정이 용이하고 그것의 계획 변화가 기존 계획에 미치는 영향을 최소화할 수 있기 때문이다. 따라서 선후관계가 없기 때문에 작업순서 조정이 자유로운 단일 공정을 거치는 제품들을 이용한 계획 개선과정이 필요하다. 이 알고리즘은 다음의 단

계로 구성되어 있다.

- Step1. 기계군별로 기준값 이상이 되는 기계유휴시간들의 집합을 구성한다.
- Step2. 이 집합에서 순서상 빠른 기계유휴시간을 선택하고, 그 시점 이후에 계획된 해당 기계군 내의 작업 중 단일 공정만을 거치는 작업들을 선택한다.
- Step3. 이 작업들 중에서 기계유휴시간에 생산 가능한 작업을 찾아 할당하고 영향받는 작업들의 계획을 조정한다. 만일 이러한 작업이 여러 개 존재할 경우에는 납기가 빠른 작업을 우선 할당한다.
- Step4. 기계유휴시간 집합에 남아 있는 것이 있으면 Step2를 수행하고, 없으면 계획을 완료한다.

<그림 11>에서 기계군별로 기준값 이상이 되는 기계유휴시간들의 집합을 구성하고, 순서상 빠른 것부터 선택하여, 그 이후에 할당되어 있는 단일 공정 중 해당 시간에 할당 가능한 작업들을 찾아 계획을 조정하게 된다. 위에서 기계유휴시간의

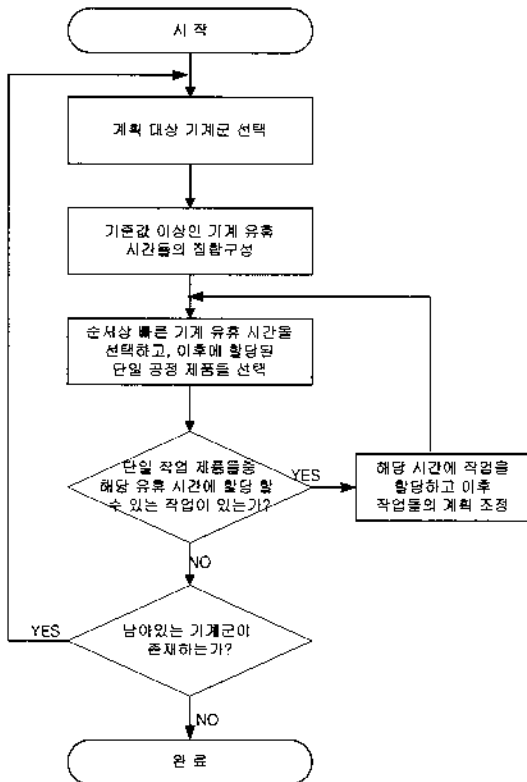


그림 11. 기계 유휴시간을 활용한 계획 개선 단계.

집합을 구성할 때는 일정 기준값과 비교하게 함으로써 계획 개선의 가능성이 없는 기준 이하의 기계유휴시간은 고려 대상에서 미리 제외하여 계산 시간을 줄일 수 있도록 하였다.

이상에서 생산계획 및 재계획단계의 주요 부분을 이루는 세

가지 알고리즘에 대하여 설명하였다. 생산계획 및 재생산계획 모듈은 여러 가지 이벤트에 의해 수행되며 새로운 주문 수주, 주문 취소, 납기 변경 등의 수주관리 모듈에서 발생하는 이벤트와 작업 지연, 생산시간 변경, 기계 고장 등의 모니터링 시스템에서부터 발생하는 이벤트로 나뉜다. 각 이벤트들은 생산계획 및 재생산계획 모듈에 상황 정보를 제공하며 모듈은 이들 정보를 바탕으로 서로 다른 조합을 이루어 계획을 수립하게 된다. 결과적으로 본 연구에서 제안한 알고리즘은 작업의 선후 관계를 고려하면서 현장의 여러 상황에 적절히 대응할 수 있는 동적인 생산계획을 수립할 수 있도록 하였다.

2.2.4 수행도 평가

본 연구에서 제안한 생산계획 알고리즘은 최적의 해를 구하는 것보다는 적절한 시간 내에 만족할 만한 해를 제공해 주는 것을 목적으로 하고 있다. 본 연구에서는 다양한 생산 상황을 반영하는 가상의 작업과 기계군의 조합으로 이루어진 실험 대상 집합을 만들어 각각에 대하여 계획을 수립하고 그 결과를 분석함으로써 제안한 알고리즘이 실제로 적용 가능한 것인지, 또한 어느 정도 만족스러운 해를 줄 수 있는지에 대해 확인해보려고 한다. 실험은 같은 상황에서의 비교를 위하여 기존에 잘 알려진 알고리즘들을 실험 상황에 맞게 변형하고 확장하여 이루어졌다.

알고리즘 A : 본 연구에서 제시하는 알고리즘

알고리즘 B : 기계군 할당 후 Li(1995)의 알고리즘 적용

알고리즘 C : 작업 할당시에 Moore(1968)의 알고리즘을 적용한 알고리즘

알고리즘 B는 다단계 알고리즘의 마지막 단계인 기계유휴시간을 활용한 계획 개선 단계의 성능을 비교하기 위한 것이고, 알고리즘 C는 첫번째 단계인 기계군 할당문제의 성능을 비교하기 위한 것이다. 실험은 본 연구에서 제안하는 알고리즘의 각 단계의 성능과의 비교를 위하여 다음의 다섯 가지 실험 대상 집합에 대하여 150회의 데이터를 생성하여 이루어졌다. 또한 각 실험 대상 집합은 기계대수와 작업의 수를 서로 다르게 하여 구성하되, 기계의 평균 능력이 작업의 양보다는 같거나 많도록 하였고, 각각의 경우에 대하여 가공경로상의 선후 관계가 존재하는 작업은 임의로 정하여 실험하였다.

1) 실험대상 집합 1: 기계 10(대) 작업 50(개)

=> (10,50)

2) 실험대상 집합 2: 기계 12(대) 작업 70(개)

=> (12,70)

3) 실험대상 집합 3: 기계 15(대) 작업 100(개)

=> (15,100)

4) 실험대상 집합 4: 기계 23(대) 작업 150(개)

=> (23,150)



5) 실험대상 집합 5: 기계 30(대) 작업 200(개)  
=> (30,200)

표 1. 알고리즘의 수행도 비교 결과

실험 대상	기계대수	10	12	15	23	30
		작업수	50	70	100	150
알고리즘 A	Tardy	1.2	2.7	7.9	12.3	13.8
	작업수					
	Mean Tardiness	1.23	1.85	5.8	9.61	5.73
	Max Tardiness	50.5	81.6	147.7	251.3	181.2
알고리즘 B	Tardy	3.1	5.8	8.9	17.3	17.7
	작업수					
	Mean Tardiness	7.95	14.02	7.23	25.13	14.31
	Max Tardiness	179.3	333.5	177.5	631.4	488.9
알고리즘 C	Tardy	3.4	5.8	11.3	20.1	22.9
	작업수					
	Mean Tardiness	6.98	17.17	6.85	22.61	11.89
	Max Tardiness	175.5	373.7	153.1	613.7	459.1

각 알고리즘마다 위에서 언급한 다섯 가지 실험 대상 집합을 구성하여 실험한 결과는 <표 1>과 같다. <표 1>에서 본 연구에서 제안한 알고리즘이 여러 상황을 나타내는 실험 대상 집합에 있어서, 다른 비교 대상 알고리즘에 비하여 좋은 결과를 나타내고 있음을 알 수 있다. 알고리즘 B의 경우는 기계유 휴시 시간을 활용한 계획 개선 단계가 생략된 것으로, 세 가지 성능지표 모두에서 제시한 알고리즘이 더 나은 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 가공경로상의 선후관계가 존재하는 작업의 수가 증가할수록 계획 개선 여지가 많아 지게 되고, 따라서 수치상의 차이도 커지게 된다. 알고리즘 C는 기계군 할당 과정에서 Moor(1968)의 알고리즘을 변형하여 적용한 것으로 납기를 지키지 못한 작업의 수에 있어서 가장 나쁜 결과를 보이고 있다.

현실적으로 적용 가능한 생산계획 알고리즘이 되기 위해서는 위에서 보인 생산계획 결과의 만족도뿐만 아니라, 계획을 수립하는 데 걸리는 시간도 중요하다. 본 연구에서는 여러 가지 기계대수와 작업수의 변화에 따른 계획 수립 시간의 변화를 알아보기 위하여 여러 수준의 실험 대상 집합을 만들어 실험하였고, 그 결과는 다음과 같다. 여기서의 계획 수립 시간은 첫 번째 실험 대상을 기준으로 하여 환산한 값이다.

본 연구에서 제안한 알고리즘의 계획 수립 시간이 기계대수와 작업수의 증가폭보다는 더 크게 나타나고 있지만 허용할

표 2. 여러 실험 대상 집합에서의 계획 수립 시간

실험 대상	기계대수	작업수	계획 수립 시간
알고리즘 A	5	50	1
	10	100	1.79
	15	150	4.01
	20	200	10.86
	25	250	22.06

만한 수준의 값이었다. 또한, <표 2>의 결과는 임의로 생성한 모든 주문을 한꺼번에 계획할 경우에 걸리는 시간을 측정된 것으로, 기존 계획의 일부만을 고려하게 되는 재계획 수립 시에는 이보다 더 작은 값을 나타내게 된다. 이상의 실험을 통해 본 연구에서 제안하고 있는 알고리즘은 계획 결과의 만족도에서 다른 알고리즘보다 나은 결과를 보였고, 계획 수립 시간에 있어서도 허용할 만하다고 할 수 있다.

2.3 모니터링 계층

본 연구에서 제안하는 시스템을 구성하기 위해서는 효율적인 생산계획 알고리즘과 함께 생산정보를 실시간으로 수집하여 처리해 줄 수 있는 모니터링 계층이 개발되어야 한다. 모니터링 계층은 수시로 변하는 현장 상황의 모니터링뿐 아니라, 이상상황 발생으로 인한 생산계획 및 재생산계획 수립에 필요한 데이터를 실시간으로 제공해 주기 위해 필수적인 요소이다.

<그림 12>는 현장 이벤트 처리를 위한 모니터링 계층에서의 통계 사이클을 나타내고 있다. 그림에서 중계기는 이중의

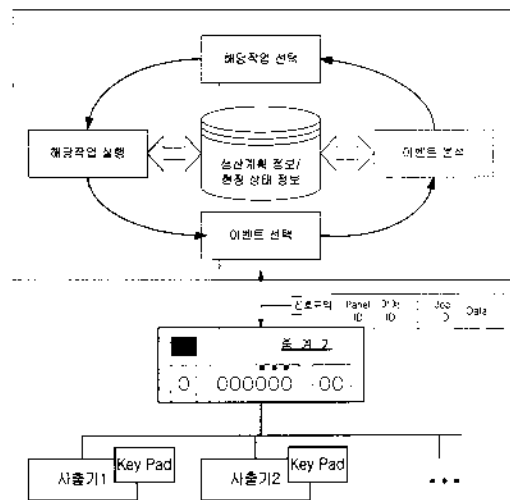


그림 12. 모니터링 통제 사이클.

사출기계로부터 신호를 수집하기 위한 장치로, 수집된 정보를 일정한 형태의 정보로 바꾸어서 모니터링 계층으로 보내준다. 모니터링 계층은 중계기로부터 올라오는 신호를 현장상태정보와 생산계획정보를 이용하여 분석하고, 분석한 결과를 바탕으로 해당 작업을 선택하여 수행하는 방식을 반복하게 된다. 각 부분의 기능은 다음과 같다.

1) 이벤트 선택

위에서 언급한 두 가지 종류의 신호에 대한 처리를 하는 부분이다. 물론 이벤트에 대한 처리는 도착한 순서대로(FIFO) 하게 되어 있지만 단위생산신호인 경우는 발생이 빈번하기 때문에 일정단위로 묶어서 처리하게 된다.

2) 이벤트 분석

올라온 신호를 신호규약에 의해 재해석하여 의미 있는 값으로 바꾼다. 본 연구에서는 중계기번호, 기계번호, 작업번호, 관련 데이터의 네 가지 데이터를 묶어 처리하는 것으로 되어 있다.

3) 해당 작업 선택

해석된 신호를 바탕으로 수행해야 할 작업을 선택한다. 이때 현장 상태정보와 생산계획정보를 이용하여, 선택된 작업이

수행될 순서가 맞는지를 검사한다.

4) 해당 작업 실행

모니터링 통제 사이클에서 이루어지는 작업은 데이터베이스 갱신 작업과 사용자 화면 갱신작업으로 나뉜다. 데이터베이스 갱신작업은 신호가 발생할 때마다 항상 이루어져야 하는 반면, 사용자 화면 갱신작업은 화면상의 변화가 필요한 경우에만 수행된다.

본 연구에서는 사출기와 관리시스템을 시리얼 포트를 통해 연결하여 정형화된 데이터를 주고 받을 수 있게 함으로써, 현장에서 발생하는 다양한 이벤트에 관련된 정보들을 실시간으로 얻을 수 있도록 하였다. 모니터링 계층에서 처리하는 신호는 크게 작업자가 key pad를 통해 입력하는 준비신호/이상신호와 기계에서 자동으로 얻어내는 단위생산신호로 나눌 수 있다. 물론 가능한 한 많은 신호를 자동으로 얻는 것이 바람직하겠지만 기존의 사출기들이 제조회사와 제작시기가 다른 이종의 기계들로 이루어져 있어서 신호의 종류가 서로 다르기 때문에 다양한 기계의 특성에 관계없이 시스템을 구성하기 위해서 모든 기계에서 공통적으로 얻어 낼 수 있는 신호를 기준으로 하였다.

2.4 시스템 구현

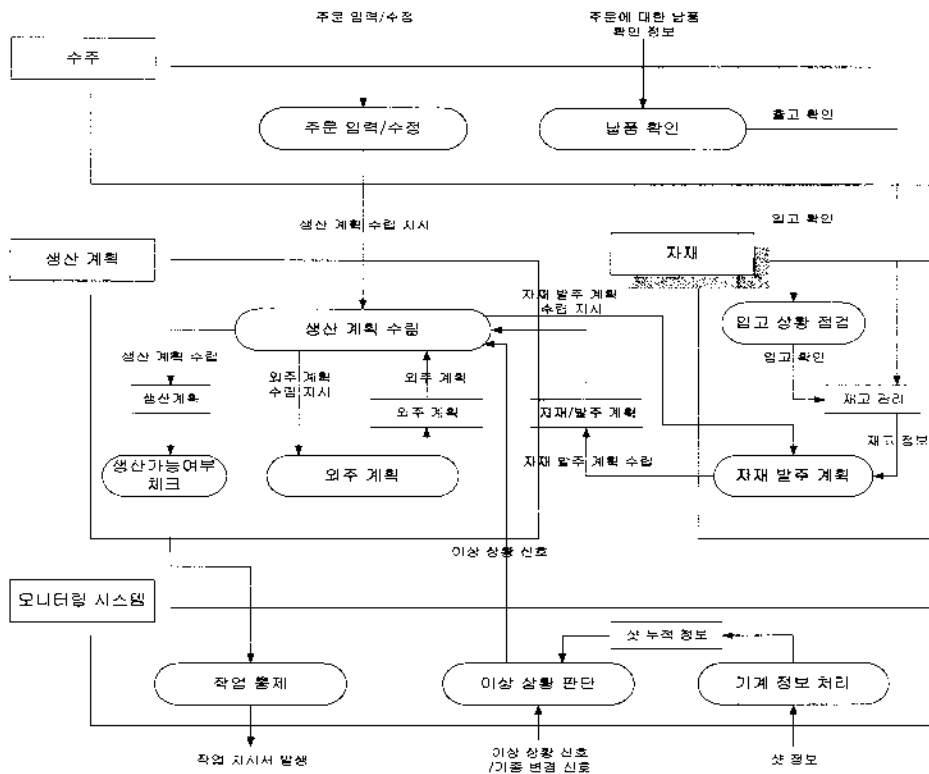


그림 13. 각 기능간의 상호관계도.

본 연구에서의 모든 모듈은 Pentium PC 환경하에서 Visual C++을 이용하여 개발하였고, 자료 저장을 위한 데이터베이스로는 대상이 중소기업인 관계로 비용을 고려하여 Microsoft Access를 사용하였다.

<그림 13>은 시스템의 각 모듈들 간의 상관관계를 나타내고 있다. 생산계획 모듈은 주문 모듈에서 새로운 주문에 의하여 실행되는 경우와 모니터링 시스템에서 이상상황 판단에 의해 실행되는 경우가 있다. 모니터링 시스템에서의 요청에 의해 이루어지는 것이, 물론 작업자의 판단이 필요한 부분이지만, 현장 상황을 즉시 반영할 수 있게 하는 실시간 생산계획의 근간이 된다. 알고리즘에 의한 계획 결과를 화면을 통하여 관리자에게 보여주고, 관리자의 확인·수정을 거쳐 데이터베이스에 저장하게 된다.

각각 모듈에서 중요한 사용자 인터페이스 화면(GUI : Graphical User Interface)은 각각 <그림 14>, <그림 15>와 같다. <그림 14>는 생산계획을 수행한 후에 생산계획을 사용자에게 보여주는 간트 차트(Gantt Chart) 화면이며 <그림 15>는 모니터링 시스템에서의 사용자 화면이다. 기계에서 생성되는

정보를 실시간으로 사용자에게 보여주는 부분으로 공장상황과 작업자, 계획량, 현재 생산량 등 생산에 관련된 간단한 정보를 쉽게 살펴볼 수 있다. 또한 화면의 그림을 선택함으로써 화면에서 보여지지 않는 정보들(작업시작시간, 예상종료시간 등)을 얻을 수 있다.

이렇게 현장의 실시간 정보를 포함한 생산관련 정보들을 제때에 적절히 관리하고 사용자가 쉽게 사용할 수 있게 함으로써, 기존에 해오던 여러 가지 복잡한 업무들을 단순화하고 자동화하여 전체 생산성 향상을 도모할 수 있다. 또한 보다 다양한 실시간 정보를 고려한 생산계획으로, 보유한 공장의 능력을 최대한 활용할 수 있도록 하고, 이상 상황에 신속히 대처할 수 있게 됨으로써 불필요한 재고를 상당 부분 줄일 수 있을 것이다.

### 3. 결 론

본 연구는 대표적인 중소기업형 제조업의 하나인 플라스틱 성형사출공장을 대상으로, 실시간 생산계획 및 통제를 위한 시스템을 제안하고 있으며, 이러한 시스템을 위한 기계고장, 자재 미입고 등의 이상 상황에 유연하게 대처할 수 있는 동적 생산계획 알고리즘과 현장의 데이터를 실시간으로 집계하고 모니터링하기 위한 모니터링 시스템을 개발하였다.

동적 생산계획 알고리즘에서는 각 기계군별 작업할당, 선행조건 만족을 위한 SBT, 기계유휴시간 활용을 위한 계획 개선의 다단계 알고리즘을 제안하였다. 즉, 생산계획수립시에 계획에 영향을 주는 모든 제약조건들을 한꺼번에 고려하기보다는 발생 이벤트에 따라서 그와 관련된 제약조건들만을 우선 고려하고, 가능해가 아닌 경우에만 그 다음 단계를 통해 나머지 제약조건들을 만족시키는 것이다. 이러한 방식은 커다란 생산계획 문제를 제약식을 기준으로 한 작은 단위 문제들로 나누어 고려함으로써 가능해를 빠른 시간 안에 제공해 줄 수 있다.

모니터링 계층에서는 제작사와 제작시기 등이 다른 이종의 사출기계신호를 처리하기 위하여 중계기를 통한 데이터 변환과 데이터 처리를 위한 모니터링 통제사이클 구조를 제안하였다.

본 연구에서는 이러한 동적 생산계획 수립을 위한 알고리즘 및 데이터의 실시간 처리를 위한 모니터링 통제사이클 구조를 제안하였고, 다른 생산 관련 기능들과 함께 계층적 구조로 통합하여 플라스틱 성형 사출공장을 위한 실시간 생산관리 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 제안된 시스템은 일반적인 사출공장에 보편적으로 적용 가능하도록 설계되었다. 특히 사람의 손으로 관리하기 어려운 큰 규모의 사출공장에서는 본 시스템을 적용할 경우 생산성 향상과 이상 상황의 대처에 큰 도움이 될 것이다. 또한 영세한 사출공장에 적은 비용으로 꼭 필요한 기능만으로 구현할 수 있도록 설계되어 현재 주먹구구식 운영과 정확하지 않은 정보(data) 관리 등을 해결할 수 있을 것

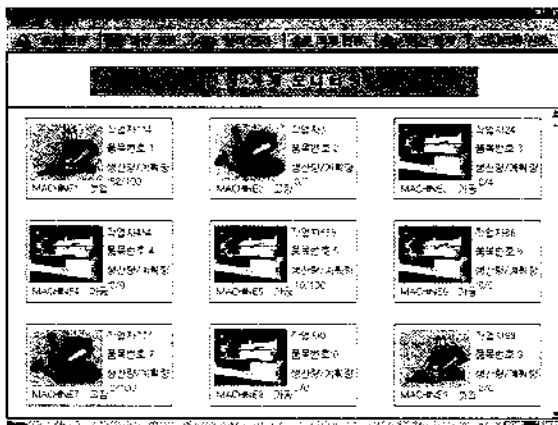


그림 14. 모니터링 시스템의 사용자 화면.

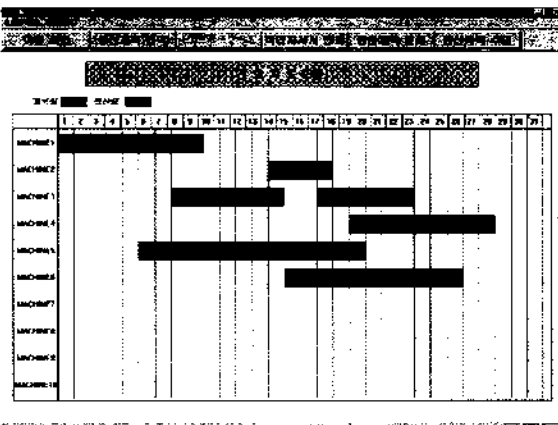


그림 15. 생산 계획 모듈의 사용자 화면.

으로 예상된다.

**참고문헌**

강용혁, 이홍철, 김성식(1998), 서로 다른 납기를 갖는 작업에 대한 이중 병렬기계에서의 일정계획수립, *대한산업공학회지*, 24(1), 37-50.  
 이주한, 김성식(1998), 시작시기와 납기를 고려하는 유연흐름공장의 일정계획, 11(3), 1-14.  
 정양근(1995), 다공장구조의 CIM 구축을 위한 계층적 생산계획 및 통제 시스템, *박사학위 논문*, 고려대학교.  
 Bruno, G. and Agarwal, R. (1997), Modeling the enterprise engineering environment, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 44(4), 20-30.  
 Guinet, A. (1991), Textile production systems: A succession of non-identical parallel processor systems, *Journal of the Operation Research Society*, 42(8), 655-671.  
 Hadavi, K., Shahraray, M. S. and Voigt, K. (1990), ReDS-A dynamic planning, scheduling, and control system for manufacturing, *Journal of Manufacturing*

*Systems*, 9(4), 332-344.  
 Li, C. L. (1995), A heuristic for parallel machine scheduling with agreeable due dates to minimize the number of late jobs, *Computers & OR*, 22(3), 277-283.  
 Li, R. K., Shyu, Y. T. and Adiga, S. (1993), A heuristic rescheduling algorithm for computer-based production scheduling systems, *International Journal of Production Research*, 31(8), 1815-1826.  
 Moore, J. M. (1968), Sequencing n jobs on one machine to minimize the number of tardy jobs, *Management Science*, 17(1).  
 Norbis, M. I. and Smith, J. M. (1988), A multiobjective, multi-level heuristic for dynamic resource constrained scheduling problems, *European Journal of Operational Research*, 33, 30-41.  
 Randhawa, S. U. and Smith, T. A. (1995), An experimental investigation of scheduling non-identical, parallel processors with sequence-dependent set-up times and due dates, *International Journal of Production Research*, 33(1), 59-69.  
 Smith, S. F., Ow, P. S., Potvin, J. Y., Muscatola, N. and Marthys, D. C. (1990), An integrated framework for generating and revising factory schedules, *Journal of the Operation Research Society*, 41(6), 539-552.  
 Wu, N. and Coppins, R. (1981), *Linear Programming and Extensions*, McGraw-Hill Inc., New York.



**백종관**

1994년 고려대학교 산업공학과 학사  
 1996년 고려대학교 산업공학과 석사  
 현재: 고려대학교 산업공학과 박사과정  
 관심 분야: 생산 및 재고관리시스템, CIM, ERP, SCM 등의 기업운용시스템과 스케줄링 및 시뮬레이션



**김성식**

1972년 고려대학교 기계공학과 학사  
 1974년 고려대학교 산업공학과 학사  
 1976년 S.M.U 산업공학 석사  
 1979년 S.M.U 산업공학 박사  
 현재: 고려대학교 산업공학과 정교수  
 관심 분야: Queueing Theory, 시뮬레이션, 생산 및 재고관리시스템, CIM, ERP, SCM 등의 기업운용시스템 분석 및 운용 소프트웨어 개발



**김영호**

1997년 고려대학교 산업공학과 학사  
 1999년 고려대학교 산업공학과 석사  
 현재: (주)한연 테크 FASTech Korea Team  
 관심 분야: MES(Manufacturing Execution System), CIM