

## 이종병렬기계생산의 일정계획지원 시스템

정남기\* · 정민영\*\*

### A Scheduling Support System for Non-identical Parallel Machine Lines

NamKee Chung\*, Min-Young Jeong\*\*

#### ■ Abstract ■

This paper describes a scheduling support system for a plant where the machine environment may be modeled as non-identical parallel machine lines (NPML). That is, there are a number of stages in series with various different-capability-machines at each stage. Arriving continuously are jobs with their specific due dates, processing times and candidate processing machines. We've developed a real-time scheduling module in conjunction with a supporting production information system which supplies necessary data to the module. This scheduling module is one of the 9 modules in this system, and is composed of both a scheduling interface and a production monitoring interface. This module allows users to generate many candidate schedules by selecting their business policies. The selective arguments which are available consist of allocation costs, batch sizes and machine selection intervals. They are now being implemented at a powder metallurgy plant.

### 1. 서 론

이종병렬기계생산(Non-identical Parallel Machine Lines ; NPML)은, 각 주문(제품)에 대한 공정순서는 같지만 공정마다 생산 능력이 다른 복수 기계가 있는 생산 형태이다. 그리고, 각 제품의 규

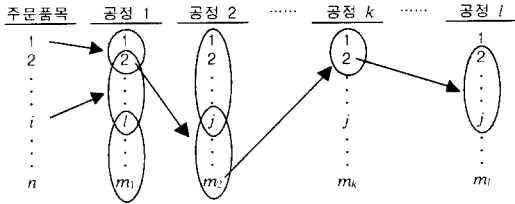
격에 따라 사용될 수 있는 기계가 제한되어 있다. 따라서 이것은 공정순서가 같은 점에서는 흐름생산(flow shop)과 유사하나, 사용기계가 서로 다르다는 점에서는 주문생산(job shop)과 같다고 볼 수 있다.

이 NPML을 더 구체적으로 표현하면 <그림 1>

\* 전남대학교 산업공학과

\*\* ICOLS(주)

과 같다.



<그림 1> 이종병렬기계생산(NPML)의 작업흐름도

여기서,  $i(=1, 2, \dots, n)$ 는 현 시점의 일정계획 대상 품목 일련번호,  $k(=1, 2, \dots, l)$ 는 공정 일련번호,  $j(=1, 2, \dots, m_k)$ 는 공정  $k$ 의 기계 일련번호를 표시한다.

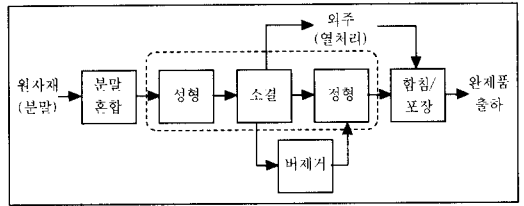
화살표는 작업 흐름을 나타내며, 화살표의 시작점은 각 주문 품목이 사용한 기계를 가리킨다. 화살표 끝은 타원(O)을 가리키는데, 타원 안의 기계들은 각각 작업을 할당 받을 수 있는 기계그룹을 뜻한다. 한 품목은 각 기계그룹 안의 기계 하나에만 할당될 수 있고, 할당되는 기계에 따라 가공시간이 다르다.

이 생산방식이 K 분말야금공장에 적용되고 있다. 이곳은 원재료인 금속분말을 사용하여 성형, 소결, 정형, 합침/포장 등의 공정을 거쳐 소결합유 베어링과 소결기계부품을 생산한다(<그림 2> 참조). 생산품의 규격이 500여종에 달하고, 변화도 많아서 새 규격과 단종되는 규격이 각각 매년 100여종이 넘는다.

분말혼합공정은 철, 구리 등의 분말을 작업표준서 규격에 맞추어 혼합하는 공정이며, 성형공정에서는 프레스에 금형을 장착하여 일정한 형태(규격)의 가공품을 생산한다. 소결공정에서는 전기로를 사용하여 성형공정을 거친 가공품을 열처리한다. 정형공정은 열처리과정에서 생긴 물리적 변화를 교정하기 위해 프레스에 금형을 장착하여 원하는 규격으로 만든다. 완성된 가공품은 합침/포장 공정을 거쳐 출하된다.

대부분의 품목은 위에서 설명한 공정을 따르나, 품목에 따라 가공품을 다듬는 버(bur) 제거 공정,

외주를 통한 열처리 공정이 추가될 수 있고, 마지막 정형공정을 수행하지 않을 수도 있다. 따라서, <그림 2>의 점선 내에 포함된 성형, 소결, 정형의 세 공정이 NPML 모형이다.



<그림 2> 사례회사의 제조공정

이 연구는 NPML의 실시간 일정계획 지원 시스템 구현에 관한 것이다. 일정계획은 <그림 1>에서 각 품목을 타원 안의 한 기계에 할당하는 문제를 해결하는 것이며, 실시간이라 함은 주문품목의 변동과 생산실적이 실시간으로 일정계획에 반영된다는 의미이다. 이 일정계획에는 다음과 같은 현실적 제약조건이 고려된다. 즉,

- (i) 기계의 금형을 바꾸는 작업인원이 한정되어 교체작업 횟수가 한정된다. 예를 들어, 품목 교체 작업은 하루 2회(오전, 오후)만 가능하다.
- (ii) 기계의 특성에 따라 교체준비시간이 다르다. 예를 들어, 성형과 정형공정은 대략 3~6시간, 소결공정은 5분 정도 소요된다.
- (iii) 경우에 따라 추가작업(수정, 재작업)이 발생한다. 이로써 가공시간이 일정치 않다.
- (iv) 공정간 이동시간이 이동단위에 따라 달라지며, 저장장소의 크기 제한이 있다.
- (v) 주문품목이 시간이 경과하면서 변한다. 새 주문이 들어오고, 완성된 주문은 나간다.
- (vi) 생산도중 생산계획량이 변경된다.
- (vii) 기계가용시간이 사정(고장, 수리)에 따라 일정치 않다.

이 논문은, 2장에서 일정계획문제 해결을 위한 기본 접근방향을 설정하고, 3장에서는 일정계획 자료를 얻기 위한 생산정보시스템 구축에 관하여

설명한다. 4장에서 일정계획 방법을 설명하고 시스템 구현 결과를 보고한다.

## 2. 일정계획의 접근방법

생산시스템의 이론적 일정계획모형이 현실에 비해 단순하여, 실제로 현장에서 활용될 수 있는 일정계획시스템에는 추가적인 제약조건이나 사건들이 반영될 필요가 크다. 여기서 다루는 NPML에는 기계의 가용시간제약, 준비작업을 담당하는 작업인원의 제약, 공정간 부품 이동방법, 주문의 추가, 작업완료 등이 고려된다. 또, 일정계획지원 시스템 구축은 이러한 현실 제약과 동적 상황변화를 반영하기 위해, 데이터베이스, 자료자동입력, 일정계획해법, 시스템운영방법 등과 함께 종합적으로 검토되어야 한다. 이 연구는 일정계획방법의 현장 적용에 중점을 두며, 생산정보시스템의 구축, 이를 이용한 일정계획 시스템 운영, 실시간에 적합한 해법 개발에 초점을 둔다. 1절에서 언급된 현실적인 제약들을 시스템 운영방법, 일정계획 해법 등에 반영하여, 시스템의 현장적응능력을 높인다.

이 연구는 연속적인 시간의 흐름 속에서 재일정계획이 이루어지며, 동적 상황의 변화를 감당할 수 있도록, 실시간 일정계획 수립을 지원하는 시스템 구축에 관한 연구이다. 실시간 일정계획의 바람직한 특성을 반영하여[3], 이 시스템은 다음과 같은 특성을 갖도록 설계된다.

- 1) 일정계획에 걸리는 시간이 짧다.
- 2) 사용자의 목표를 반영하여 여기에 맞는 해를 제공한다.
- 3) 현실적인 작업제약조건과 생산정보가 실시간에 반영된다.

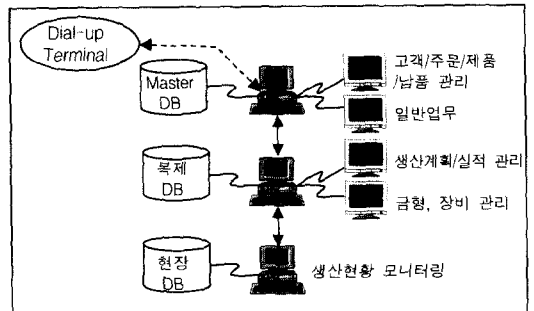
이것은 현실 조건을 반영하고, 사용자의 판단을 활용할 수 있는 접근 방법이다. 이는, 일정계획이 수주, 생산, 판매와 직접 연결된 분야로서, 기업의 시스템 통합을 달성하는데 유리한 접근이라 생각

한다.

지금까지 NPML의 일정계획 연구는 많지 않다. NPML이 최적해를 구할 수 있는 모형이 아니어서 이론적 연구자들의 관심이 저조한 것으로 보이며, 산업체 응용에 관한 보고도 드문 편이다. 정남기 등[1]은 타이어 제조공장을 NPML로 모형화 하였으며, 제품규격과 사용기계를 선택하는 발견적 규칙을 찾아 일정계획을 수립하였다. 또 다른 사례로는, Adler et al.[4]이 종이부대 생산공장에서 예로 공정에 우선순위 규칙을 적용한 연구가 있다. 강용혁 등[2]은 단일공정의 이종병렬기계 모형에서 할당해법을 이용한 납기만족 중심의 일정계획법을 개발하였다. 이종기계가 아닌 동종(identical) 기계의 유연흐름생산(Flexible Flow Lines ; FFL) 모형은 NPML과 유사하다. FFL모형에 관해서는 최적해 알고리즘[5], 발견적 규칙의 개발[6]과 산업체응용[7]에 관한 연구가 있다.

## 3. 생산정보시스템

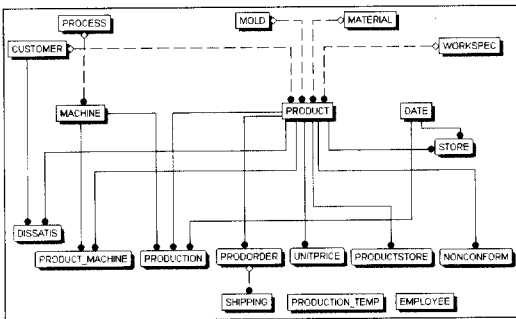
먼저 생산정보시스템을 구축하여 일정계획을 위한 기초정보를 얻게 한다. 주문, 제품, 장비, 금형, 고객 등에 관한 기초 정보가 충실히 제공되어야 하므로, 주문정보관리, 제품정보관리, 납품정보관리, 매출현황, 장비정보관리, 금형정보관리, 고객정보관리, 사원정보관리가 가능한 생산정보시스템이 먼저 구축되었다. <그림 3>은 사례 회사인 K분말야금공장의 생산정보시스템 구성도이다.



<그림 3> 생산정보시스템의 구성도

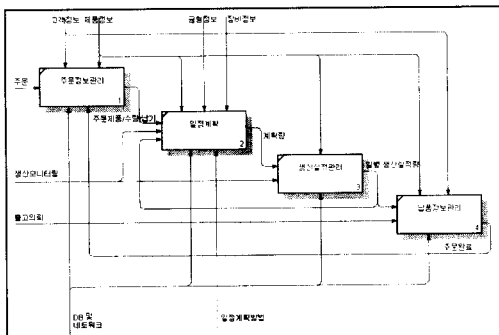
DBMS는 Access를 사용하였고, Client 프로그램은 Visual Basic 5.0과 Excel97을 사용하여 구현되었다. Access의 성능을 고려하여, 고객/주문/제품/납품관련 업무와 생산계획/실적, 금형/장비 관련 업무를 구분하여 분산시켰다. 전자는 Master DB에, 후자는 복제 DB에 연결하여, 부하 분산, 자료의 백업과 보안유지 기능을 살렸다. 생산현황 모니터링 시스템은 현장의 PLC에서 생산정보를 입력받아 현장DB에 입력시킨 후, 복제DB에 저장한다.

다음 <그림 4>는 생산정보시스템에 대한 정보공학(IE) 표기법의 ERD(Entity Relationship Diagram)이다.



<그림 4> 생산정보시스템(일정계획)을 위한 ERD

일정계획 시스템은 생산계획/실적관리의 하부모듈로 설계된다. 생산정보시스템과 일정계획시스템의 관계를 IDEFO 방법론으로 표현하면 <그림 5>와 같다.



<그림 5> 생산정보시스템과 일정계획시스템의 IDEFO 모형 분석

생산계획/실적관리는 일정계획과 생산현황 모니터링으로 구성된다. <그림 6>은 생산현황 모니터링 화면이다. 성형 및 정형 공정 프레스에 리미트 스위치를 붙이고, 프레스 스트로크 수를 PLC로 집계하여 PC로 전송한다. 화면에는 생산량, 경과시간이 표시되고, 일자별, 기계별 생산실적이 집계되어 현장 DB에 저장되고 수시로 서버에 전송된다.

Date		생산 현황											
기계	번호	제품	특포량	생산량	작업시간	기계	번호	제품	특포량	생산량	작업시간		
101	5					114	5						
102	5					115	3						
103	10					116	5						
104	10					117	5						
105	30					118	10						
106	30					119	10						
107	20					120	10						
108	10					124	10						
109	10					140	40						
110	10					160	60						
111	3					190	100						
112	3												
113	3												
125	3												

<그림 6> 생산현황 모니터링 화면

### 4. 일정계획 방법

앞서 설명한 바와 같이, 이 일정계획은 각 공정별로 가공품목을 사용 가능한 기계에 할당하는 문제이다. 쉽게 말하여, 어느 한 시점에서 각 공정의 가공대기 품목(가용품목)과 쉬고있는 기계(가용기계)를 파악하여, 이들을 연결시키는 것이다. 이것은 가용품목을 열로 삼고 가용기계를 행으로 삼아 할당행렬을 구성하고, 한 품목을 한 기계에 할당하고 이에 수반되는 비용을 산정하는 일이다. 비용이 포함된 할당행렬을 "할당표"라 정의해 두자.

할당표는 시간의 흐름에 따라 변화한다. 할당표는 가용품목과 가용기계의 변화를 반영하여 갱신되고, 항상 조회될 수 있다. 할당표에 관련된 의사결정에는 다음 3가지로, 할당표 작성방법, 할당비용 산정방법, 그리고 할당 해법이다. 이들은 일정계획 수립방법을 결정하는 중요한 역할을 한다.

### 4.1 할당표 작성방법

이것은 할당표 작성시기와 대상 품목 및 대상기계를 선정하는 방법을 의미한다. 원칙적으로 할당표는 가용품목의 변화(새 품목 도착, 기존 품목 가공완료)나 가용기계의 변화(사용중단, 사용개시)가 있을 때마다 작성된다. 그렇지만, 한 시점에서 어느 기간동안의 변화를 모아 한번에 갱신할 수도 있다. 우리는 이 시구간(時區間)을 “가용기계 선택구간”이라 말한다. 즉, 이 기간동안에 가용상태가 되는 가용기계와 가용품목을 할당표 작성 대상으로 선정한다. 이 구간이 0이면 가용기계가 변경될 때마다 할당표가 작성되며, 큰 값일수록 오랜 기간을 기다려 작성된다.

“가용품목” 대신 “가용기계” 선택기간을 사용한 것은, 이종기계의 특성상 가용기계 수가 가용품목 수보다 적은 경우가 대부분이므로, 사용할 기계를 먼저 정하는 것이 유리하다고 판단되기 때문이다.

### 4.2 할당비용 산정방법

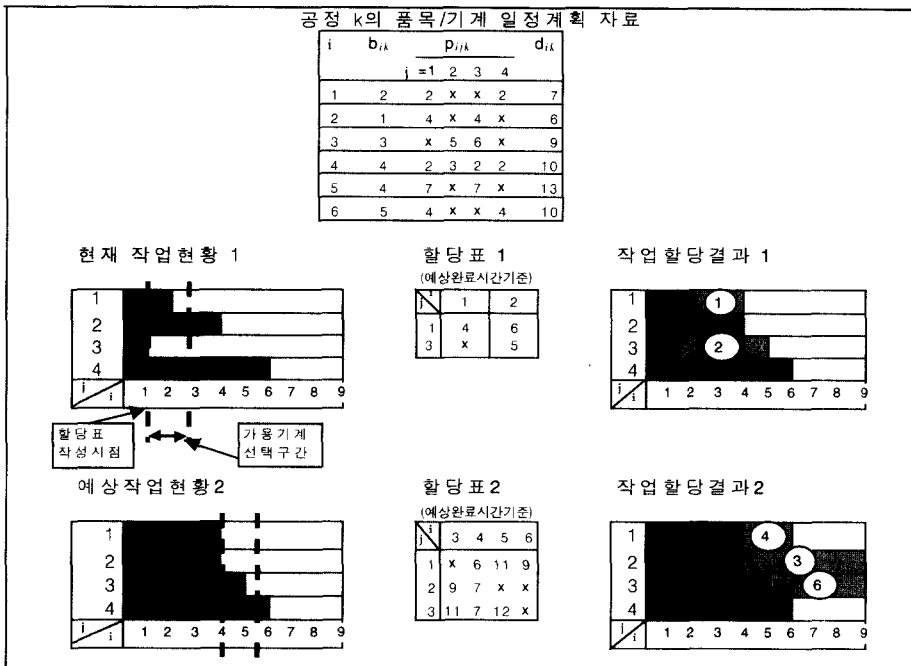
품목 - 기계간의 관계를 계량화하는 방법으로, 일정계획의 목표에 따라 선택된다. 납기, 가공시간, 품목 - 기계간 선호도, 기계 부하량 등이 사용될 수 있다. 복수의 비용을 벡터 형식으로 정해둘 수도 있다.

### 4.3 할당 해법

할당표에 대한 해법이며, 할당비용 산정방법과 연계하여 발견적 규칙, 최적해법 등이 적용될 수 있다. 할당표의 행렬이 정방형이 아니기 쉬우므로, 즉, 가용품목과 가용기계의 수가 같지 않을 수 있으므로, 발견적 규칙이 유용하게 사용될 수 있다.

위 내용의 이해를 돕기 위해 다음 <그림 7>의 예제를 보자. 여기에 사용된 기호는 공정 k에서 다음 의미를 갖는다.

- $d_{ik}$  : 품목 i의 납기
- $a_{jk}$  : 기계 j의 가용시점



<그림 7> 일정계획 방법 설명을 위한 예제

- $b_{ik}$  : 품목  $i$ 의 가용시점
- $D_{ijk}$  : 기계  $j$ 의 품목  $i$  가공시간(작업준비시간 포함, 생산량에 비례)
- $C_{ijk}$  : 기계  $j$ 에 품목  $i$ 가 할당될 때 발생하는 비용

품목별 현황은 각 품목의 예상 가용시점과 가공 시간, 납기를 보여주며, 현재 작업현황은 모든 기계의 현재 부하를 보여준다. 할당표 작성시점은 기계 3의 가용 시점인 기간 1이고, 가공기계선택구간은 (1, 2.5)로 정해두었다. 따라서 할당표 1은 가용 기계 1, 3과 가용품목 1, 2로 구성된다. 할당비용 산정 기준으로 예상완료시간을 사용한다면, 기계 1, 품목 1의 경우  $c_{ijk} = \min(a_{ik}, b_{ik}) + p_{ijk} = 4$ 가 된다. 이렇게 작성된 할당표 1에 최소비용할당법을 적용하면, 품목 1이 기계 1에, 품목 2가 기계 3에 할당된다.

위의 과정이 반복되어 기간 4에서 할당표 2가 작성되고, 남은 가용 품목들이 기계에 할당된다. 모든 가용품목이 할당되면 다음공정  $k+1$ 로 넘어간다.

이 할당방법에 근거하여, 일정계획 수립방법은 다음 3단계로 요약 정리된다.

- 단계 1 : (초기화) 품목 및 기계에 관한 일정계획 입력자료를 얻는다.
- 단계 2 : (일정계획 수립) 첫 공정부터 마지막 공정까지 반복한다.
  - 2-1 할당비용 산정방법, 할당해법, 가공기계 선택구간을 정한다.
  - 2-2 품목을 기계에 할당한다.
  - 2-3 현 공정의 기계가용시점을 갱신한다.
  - 2-4 품목이동시간을 반영하여 다음 공정의 품목가용시점을 갱신한다.
- 단계 3 : (계획 검토 및 승인)
  - 3-1 수립된 일정계획을 검토하고, 재계획 여부를 결정한다.
  - 3-2 승인된 계획을 DB에 저장한다.

초기화 단계에서, 인원제약에 따른 교체작업 제

약이 고려된다. 이것은 기계의 가용시점 ( $a_{jk}$ )을 늦추는 것으로, 가공 중이거나 지금 할당될 기계를 제외한 나머지 기계들에 대해 일정시간 ( $V$ )만큼 늦춰준다 ( $a_{jk} + V$ ).

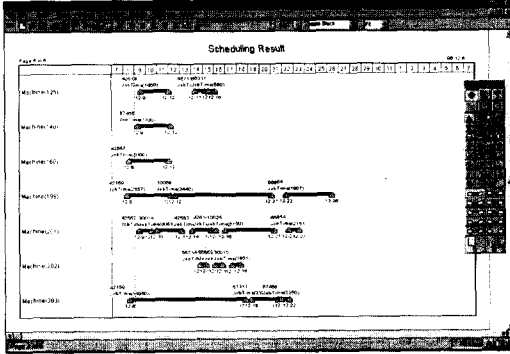
- 할당비용 ( $c_{ijk}$ ) 산정방법은,
  - 작업완료시간  $\min(a_{ik}, b_{ik}) + p_{ijk}$ ,
  - 납기 ( $d_{ik}$ ), 가공시간 ( $p_{ijk}$ ),
  - 긴급률 ( $p_{ijk} / (d_{ik} - \min(a_{ik}, b_{ik}))$ )

등이 선택될 수 있다. 할당해법은 우선적으로 최소비용할당법이 적용되며, 가공기계선택구간은 사용자가 임의로 정할 수 있다. 또, 다음 공정의 품목 등이 선택될 수 있다. 할당해법은 우선적으로가용시간은 품목 이동로트 크기에 따라 달라지므로, 주문단위와 현장에서 정해지는 이동로트 단위 중에서 선택할 수 있게 하였다.

이 일정계획 시스템은, 담당자가 일정계획 정책을 정하고 이에 따른 결과를 산출하며, 여러 정책 중에서 최선의 결과를 선택할 수 있게 한다. 즉, 담당자의 판단을 반영하면서 일정계획시스템의 도움을 받도록 설계되었다. 다음 <그림 8>은 긴급률, 이동로트단위를 사용한 일정계획의 결과를 보여주며, <그림 9>는 같은 결과의 간트차트 표현이다.

품목번호	기계번호	작업시작시간	작업종료시간	작업종료시간	작업종료시간	작업종료시간	작업종료시간	작업종료시간	작업종료시간
317	42553	12-10 08:00	12-10 10:10	12-10 10:10	12-10 10:10	12-10 10:10	12-10 10:10	12-10 10:10	12-10 10:10
316	67496	12-08 13:00	12-09 11:40	12-09 11:40	12-09 11:40	12-09 11:40	12-09 11:40	12-09 11:40	12-09 11:40
315	42514	12-08 13:00	12-14 13:20	12-14 13:20	12-14 13:20	12-14 13:20	12-14 13:20	12-14 13:20	12-14 13:20
314	30114	12-09 08:00	12-12 13:10	12-12 13:10	12-12 13:10	12-12 13:10	12-12 13:10	12-12 13:10	12-12 13:10
316	68711	12-09 13:00	12-15 13:20	12-15 13:20	12-15 13:20	12-15 13:20	12-15 13:20	12-15 13:20	12-15 13:20
317	42553	12-10 08:00	12-12 16:10	12-12 16:10	12-12 16:10	12-12 16:10	12-12 16:10	12-12 16:10	12-12 16:10
313	22019	12-10 13:00	12-12 11:40	12-12 11:40	12-12 11:40	12-12 11:40	12-12 11:40	12-12 11:40	12-12 11:40
306	68811	12-11 08:00	12-14 10:10	12-14 10:10	12-14 10:10	12-14 10:10	12-14 10:10	12-14 10:10	12-14 10:10
302	68211	12-11 13:00	12-16 08:10	12-16 08:10	12-16 08:10	12-16 08:10	12-16 08:10	12-16 08:10	12-16 08:10
322	10025	12-12 13:00	12-15 11:13	12-15 11:13	12-15 11:13	12-15 11:13	12-15 11:13	12-15 11:13	12-15 11:13
315	66311	12-14 13:00	12-17 14:20	12-17 14:20	12-17 14:20	12-17 14:20	12-17 14:20	12-17 14:20	12-17 14:20
307	30115	12-15 08:00	12-17 10:10	12-17 10:10	12-17 10:10	12-17 10:10	12-17 10:10	12-17 10:10	12-17 10:10
316	68714	12-15 13:00	12-21 13:20	12-21 13:20	12-21 13:20	12-21 13:20	12-21 13:20	12-21 13:20	12-21 13:20
317	51311	12-16 08:00	12-19 13:10	12-19 13:10	12-19 13:10	12-19 13:10	12-19 13:10	12-19 13:10	12-19 13:10
302	10069	12-16 13:00	12-24 11:20	12-24 11:20	12-24 11:20	12-24 11:20	12-24 11:20	12-24 11:20	12-24 11:20
306	22020	12-17 08:00	12-19 16:10	12-19 16:10	12-19 16:10	12-19 16:10	12-19 16:10	12-19 16:10	12-19 16:10
302	30018	12-17 13:00	12-19 11:40	12-19 11:40	12-19 11:40	12-19 11:40	12-19 11:40	12-19 11:40	12-19 11:40
315	68729	12-18 13:00	12-22 14:20	12-22 14:20	12-22 14:20	12-22 14:20	12-22 14:20	12-22 14:20	12-22 14:20
314	68724	12-19 08:00	12-22 13:40	12-22 13:40	12-22 13:40	12-22 13:40	12-22 13:40	12-22 13:40	12-22 13:40
317	42159	12-22 13:00	12-26 11:10	12-26 11:10	12-26 11:10	12-26 11:10	12-26 11:10	12-26 11:10	12-26 11:10

<그림 8> 작업일정계획 결과



〈그림 9〉 간트차트로 본 작업일정결과

## 5. 결 론

일정계획에 관한 많은 이론적 모형이 정적모형으로 연구되었으며, 생산현장의 여건변화 및 고객의 요구사항 변경에 따른 적절한 계획을 제공하기 위해서는 이 모형을 활용할 수 있는 추가/보완적인 연구가 필요하다. 이 연구는 연속적인 시간의 흐름 속에서 재일정계획이 가능하며, 상황의 동적변화를 감당할 수 있는 일정계획 지원시스템의 구축에 관한 연구이다.

이 연구에서는 분말야금공장인 K사를 이종병렬기계생산(NPML)으로 모형화한 후, 업무프로세스의 분석/재설계, 데이터 모델링과정을 거쳐 생산정보시스템을 구축하였다. 센서와 PLC를 이용한 생산현황 모니터링 시스템을 구현하여 생산 실적 자료 입력을 실시간에 자동화하였으며, 이 자료를 이용한 일정계획 지원시스템을 구축하였다. 이 시스템은 사용자가 일정계획 목표에 따라 할당비용, 이동단위의 크기 그리고 기계선택방법을 달리할 수 있도록 설계되었다.

이 시스템은 상황의 변화에 대응할 수 있다. 또 사람의 수동작업에 의존했던 일정계획 자료의 수정, 통계분석 작업들을 자동 처리할 수 있는 부수효과도 있다. 이 시스템이 운영되면서, 현실적인

제약조건 추가, 사람과 컴퓨터의 역할 분담, 자동화 수준을 점진적으로 높여가는 일들이 가능해질 것으로 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 정남기, 유철수, 김종민, 최정길, 대규모 병렬기계 흐름생산의 재일정계획, 산업공학 제9권, 제2호, (1996). pp.75-82.
- [2] 강용혁, 이홍철, 김성식, 서로 다른 납기를 갖는 작업에 대한 이종 병렬기계에서의 일정계획 수립, 대한산업공학회지, 제24권, 제1호, (1998). pp.37-50.
- [3] Hess, Ursula, "The Care and Feeding of Real-Time Advanced Planning and Scheduling," APICS-The Performance Advantage, March(1998), pp.44-46.
- [4] Adler L., N. Fraiman, M. Pinedo, J.C. Plotnicoff, and T.P.Wu, "BPSS : A Scheduling Support System for the Packaging Industry," Operations Research, Vol.41, No.4(1993), pp.641-648.
- [5] Rajendran, C. and D. Chaudhuri, "Multi-stage Parallel-Processor flowshop Problem with Minimum Flowtime," European J. of Operational Research, Vol.57, No.1(1992), pp.111-122.
- [6] Ding, F.-Y. and D. Kittichartphayak, "Heuristics for scheduling flexible flow lines, Computers," Ind. Engng, Vol.26, No.1(1994), pp.27-34.
- [7] Guinet, A., "Textile Production Systems : A Succession of Non-identical Parallel Processor Systems," Journal of the Operation Research Society, Vol.42, No.8(1991), pp.655-671.