

☒ 응용논문

소일정 계획 수립을 위한 부하조정과 알고리즘 개발에 관한 연구

- A Study on Development of Algorithm and Load Balancing for detail scheduling

김 정 자*

Kim, Jung Ja

김 상 천*

Kim, Sang Cheon

공 명 달**

Kong, Myung Dal

Abstract

There are two methods of load balancing for detail scheduling : One method is to generate an initial schedule and obtain an improved final schedule by load balancing only during a specific period. The other method is to generate an initial schedule and obtain an improved schedule by load balancing from current date(TIMENOW) to unlimited time with the whole manufacturing processes. This paper proposes an algorithm for detail scheduling which can be a practical solution in job shop production or project job type by applying the former method.

1. 서 론

제조업체의 생산현장에서 이루어지고 있는 작업의 형태를 살펴보면 조선, 플랜트, 건설장비, 자동차 금형과 같은 중량물을 넓은 작업장(야드)에 고정시킨 상태에서 여러 명의 작업자가 동시에 작업을 수행하는 bay식 작업, 자동차 조립공정등과 같이 작업대상물이 컨베이어 line을 타고 이동하는 상태에서 작업이 이루어지는 line식 작업, 그리고 통신, 전자제품과 같은 소형 경량인 작업대상물을 탁자(table)위에서 한 명의 작업자가 대부분의 제조공정을 작업하는 탁상식(table)작업등 크게 3가지 작업방식으로 나눌 수 있다. 그외에 기계가공업, 주물, 가구 등과 같이 1회 생산 단위가 여러개인 경우 로트(lot) 생산 방식으로 분류할 수도 있다. 어쨌든 bay식 작업은 개별생산(job shop production)방식으로 볼 수 있으며 작업의 주체가 사람위주로서 제품의 각 공정별 표준시간이 길다. line식 작업은 설비(기계)위주 작업으로서 제품의 공정별 표준 시간이 짧은 편이다. 탁상식 작업은 사람위주의 작업으로서 공정별 표준시간이 짧다. 로트 생산방식은 설비(기계)위주 작업으로서 주로 부품류에 해당하며 공정별 표준시간이 짧다.

이들 작업방식을 대상으로 한 일정계획 수립 방법은 차이가 있으나 그 기본 원리는 거의 같다고 할 수 있다. 일정 계획 수립 대상 품목의 수가 많거나 제품의 공정별 소요시간(표준시간)

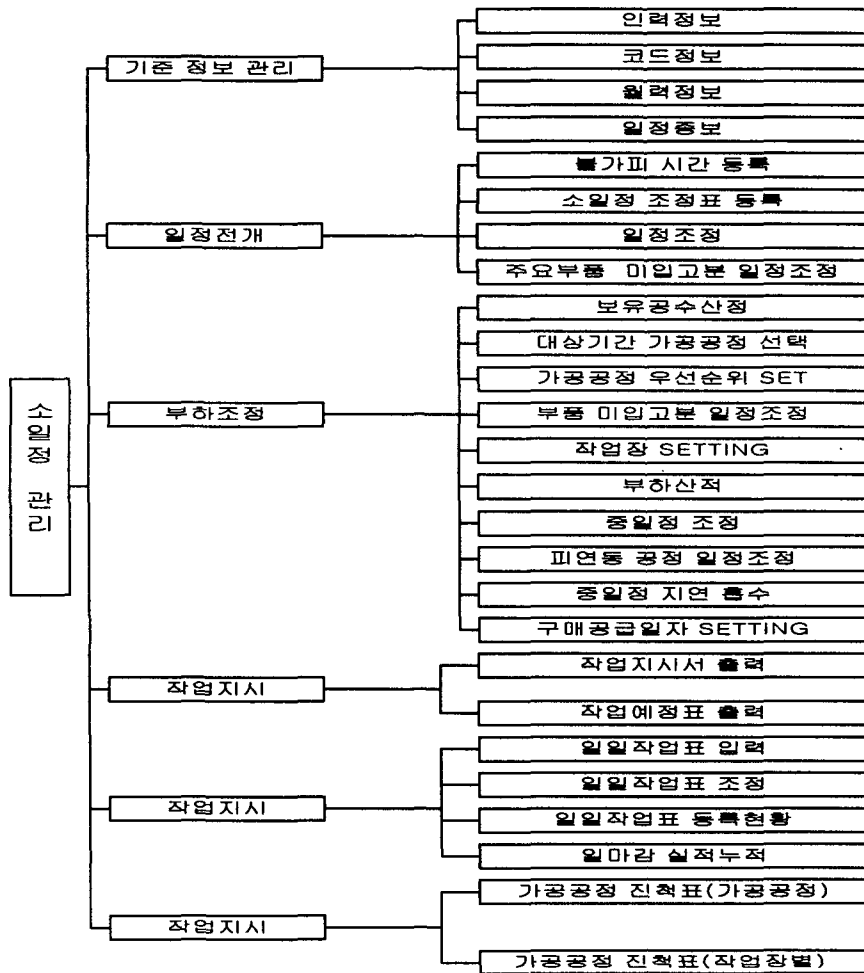
* 동아대학교 산업공학과 ** 기아정보시스템(주)

이 긴 경우에는 PERT/CPM 기법에 의한 일정계획 수립이 실제 현장에서 적용되고 있는 실정이며 기업에서는 이에 맞는 패키지 도입, 용역개발, 또는 자체 개발하여 운영하고 있다. 본 연구에서는 bay식 작업형태로서 투입자원이 작업자 중심인 자동차금형 제작공정을 대상으로 소일정 부하조정 알고리즘(algorithm)을 중심으로 고찰함으로써 소일정 계획 수립을 위한 모델을 제시하고자 한다.

2. 소일정계획 시스템의 구조

PERT/CPM 기법에 의한 소일정 계획을 수립하기 위해서는 기본적으로 제품별 공정도(Network Diagram)를 나타내는 공정 기초자료인 공정정보, 유틸리티정보, 작업장정보, 능력정보등 기준정보가 구축되어 있어야 하며, 이들을 기반으로 하여 일정계획 수립 모듈인 일정전개 모듈과 부하조정모듈이 수행되어 일정계획이 수립된다. 공정단위는 중일정과 소일정이 동일하며, 따라서 중일정계획 소일정계획 테이블은 하나로 구성되어있다.

소일정관리를 위해서는 전체적으로 <그림1>과 같이 시스템이 구성되며 일정전개 모듈과 부하조정 모듈을 중심으로 기준정보관리, 작업지시, 일일마감 및 주간실적분석등의 서브시스템들이 상호 연계성을 가지고 운영되어야 하며 본 연구에서는 이들 중 핵심모듈인 일정전개 모듈과 부하조정 모듈에 대하여 고찰하기로 한다.



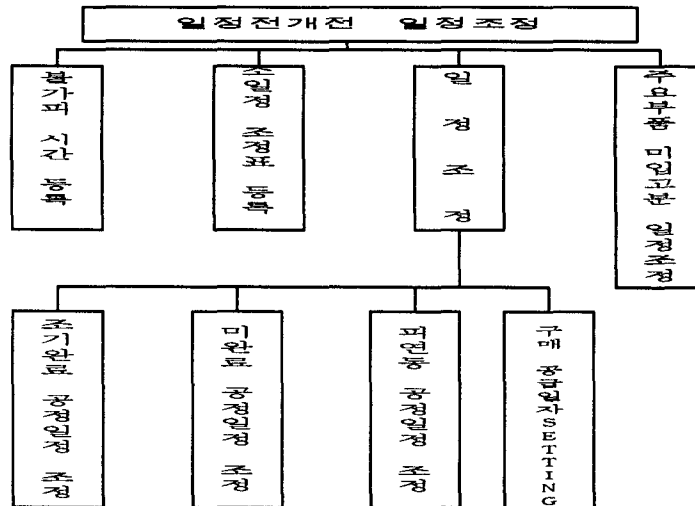
<그림 1> 소일정관리 시스템의 전체구조

2.1 소일정 전개

일정전개 모듈은 제품별 표준작업 공정도(계획공정도, Network Diagram)상의 공정별 표준시간으로서 PERT 기법의 전진계산 및 후진계산에 의하여 각 공정별 시작일/완료일을 산정한다. 여기서 표준시간은 순수한 경과개념의 작업소요시간 또는 경과시간으로서 사람, 기계등 자원이 감안된 공수와는 그 의미가 다르다. 따라서 일정전개에서는 능력이나 부하 등이 감안되지 않은 1차적인 계획으로서 항상 계획확정모듈인 부하조정모듈에 선행하여 수행된다.

일정전개시 일정계산 방법에 있어서 두 가지가 있다. 대상기간(1주일, 2주일)동안만을 고려하여 계획을 수립하는 방법과 현재기준일을 기점으로 이후 표준작업공정도의 끝 공정까지 전개계산을 하는 방법이 있다. 이것은 MRP(Material Requirement Planning)의 계획수립 방법중 전자는 Net Change 법, 후자는 Regeneration 법과 유사한 면이 있다. 각각 장단점이 있으나 본 연구에서는 대상기간에 해당하는 계획만 수립하기로 한다.

소일정 전개를 하기 전에는 현장의 작업실적이나 <그림2>과 같은 여러 현장실정을 반영한, 불가피한 사정으로 인한 작업중단시간, 작업완료여부 등의 작업실적, 소일정계획 수립 시점을 기준으로 조기완료, 미완료, 피연동공정 등의 일정조정 및 이에 따른 부품의 공급일자, 미입고분에 대한 일정조정 등을 행한다.



<그림 2> 일정전개전 일정조정

(1) 불가피시간 등록

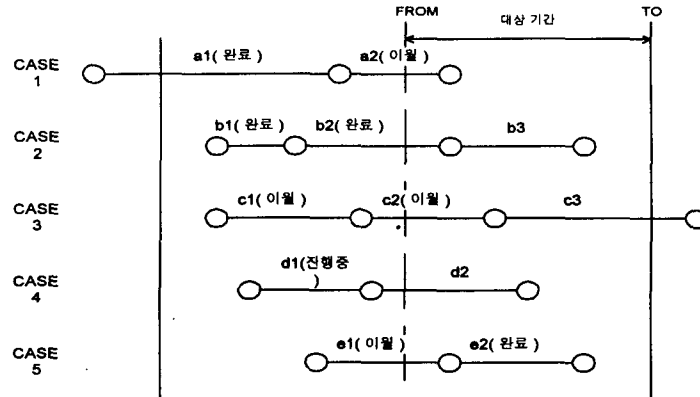
회사의 공식적인 인정시간으로 작업이 중단 될 수밖에 없는 불가피한 경우의 비근무 시간을 등록한다. 예를 들면 휴가, 교육, 출장, 조퇴, 조회, 분임조 활동, 유틸리티 공급중단, 노사분규 등으로 작업을 수행할 수 없는 시간으로서 작업장별 일자별로 비근무시간 및 사유코드를 입력받아 반영시킨다.

(2) 소일정조정표 등록

작업 실적중 해당 공정의 완료 작업과 미완료 작업(이월, 진행중)구분, 잔여 공수 등을 입력한다.

(3) 일정 조정

작업실적을 입력받아 일정 조정을 한 후 일정 전개를 하게되는데, 일정조정의 대상이 되는 경우를 나타내면 <그림3>과 같다. 여기서 완료공정(실적종료일이 있는 경우)은 일정 조정대상에서 제외된다.



<그림 3> 일정조정의 대상

① 조기완료공정 일정조정

<그림3>에서 CASE2와 CASE5에 해당되는 것으로 CASE2에서 일정조정은 b3공정의 시작일을 대상기간의 시작일로(From-Date) 앞 당겨와서 조정한다. CASE5의 경우는 e1공정의 시작일을 대상기간의 시작 일로 밀어서(늦추어)일정조정 한다.

② 미완료공정 일정조정

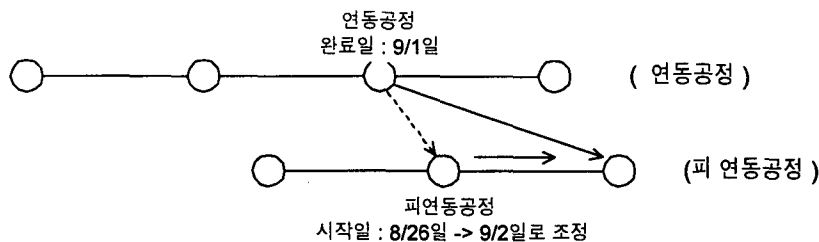
<그림3>에서 CASE1, CASE3 및 CASE4(진행중)에 해당되며, CASE1은 a2 공정의 시작일을 늦추어서 대상기간의 시작일에 맞추어 조정하며, CASE3은 c1 공정이후의 공정을 늦추어 c1 공정의 시작일을 대상기간의 시작일로 설정(setting)한다. CASE4는 진행중인 공정으로서 시작일을 대상기간의 시작일에 맞춘다. 이때 잔여 표준시간만큼만 일정전개하여 조정한다.

③ 피연동공정 일정조정

피연동공정이란 표준작업공정도 (Network Diagram)상에서 결합되는 공정으로서 후속 공정을 말하며 연동시키는 선행공정을 연동공정이라 한다. 이 경우 피연동공정이 있으면 피연동공정의 시작일을 연동공정의 완료일과 비교하여 빠르면(피연동공정의 시작일 <연동공정의 완료일) <그림4>과 같이 조정하여 이후 공정에 대하여도 일정조정을 하며 피연동공정의 시작일이 연동공정의 완료일보다 늦은 경우는 조정을 하지 않는다. 당초 일정에서 연동공정의 일정이 앞 당겨지는 경우에는 일정조정을 할 필요가 없으나 연동공정이 지연되는 경우에는 일정조정을 해야 한다.

④ 구매 공급일자 SETTING

일정 조정후 각 공정별로 SET된 일자로 구매 file의 자재 필요일을 조정한다.



<그림 4> 피연동공정 일정조정

(4) 주요부품 미입고분 일정조정

- ① 해당공정이 주요 부품의 입고 여부와 관련이 있는지 check한다.
- ② 주요부품과 관련이 있는 공정의 주요 부품 실입고일자를 납품확인서 등록에 의거 확인한다.
- ③ 공정의 주요부품이 여러개 있는 경우 하나라도 금주중 미입고되면 금주 작업분에서 제외시킨다.
- ④ 금주중 실입고일이 결정되면 이 일자를 공정의 시작일로 하고 미입고 상태이면 대상기간 종료일 다음일자를 공정의 시작일로 set한다. 그리고 지연일수를 공정여유, 여유일수에서 차감하여 일정조정한다.

2.2 소일정 부하조정

소일정 조정으로 전개된 일정을 기준으로 작업장 능력 및 부하를 감안한 부하조정(부하 평준화)을 한다.

(1) 부하조정 루틴

소일정 부하조정 루틴(routine)을 살펴보면 <그림5>와 같다. <그림5>는 소일정 부하조정 루틴을 나타내는 것으로서 소일정 일정조정, 즉 불가피 시간 산정표 등록, 소일정 조정표 등록, 조기완료 가공공정 일정조정, 미완료분 공정 조정 등의 작업 후에 이루어지는 일련의 과정이다. 화면상에서 금주 + 차주분의 2주일의 대상기간을 선택하여 가공공정 우선 순위를 결정한다. <그림5>에서 제시한 4가지 우선순위 조건중 진행중인 가공공정은 소일정 계획수립 대상 1순위가 된다. 진행중인 공정이 아닌 경우에는 그 다음 우선순위인 금주분 1 : 1 공정, 즉 일정 전개에서 잡힌 일정이 금주이고 가공공정의 등록된 대응 작업장이 1개인 공정이 그 다음 우선순위가 된다. 그 다음 우선 순위는 고속가공기이며 작업장이 1 : 1인 공정을 setting한다. 차입 가능한지 조건을 check해보고 가능하면 일정을 당겨 온다. 그 다음 우선순위는 금주분 작업공정중 복수 작업장으로 테이블에 잡혀있는 공정이다.

이들 우선순위에 의해서 공정을 우선순위를 매겨서 작업장을 setting한 다음 부하산적 및 일정조정을 행하여 소일정 계획을 수립한다.

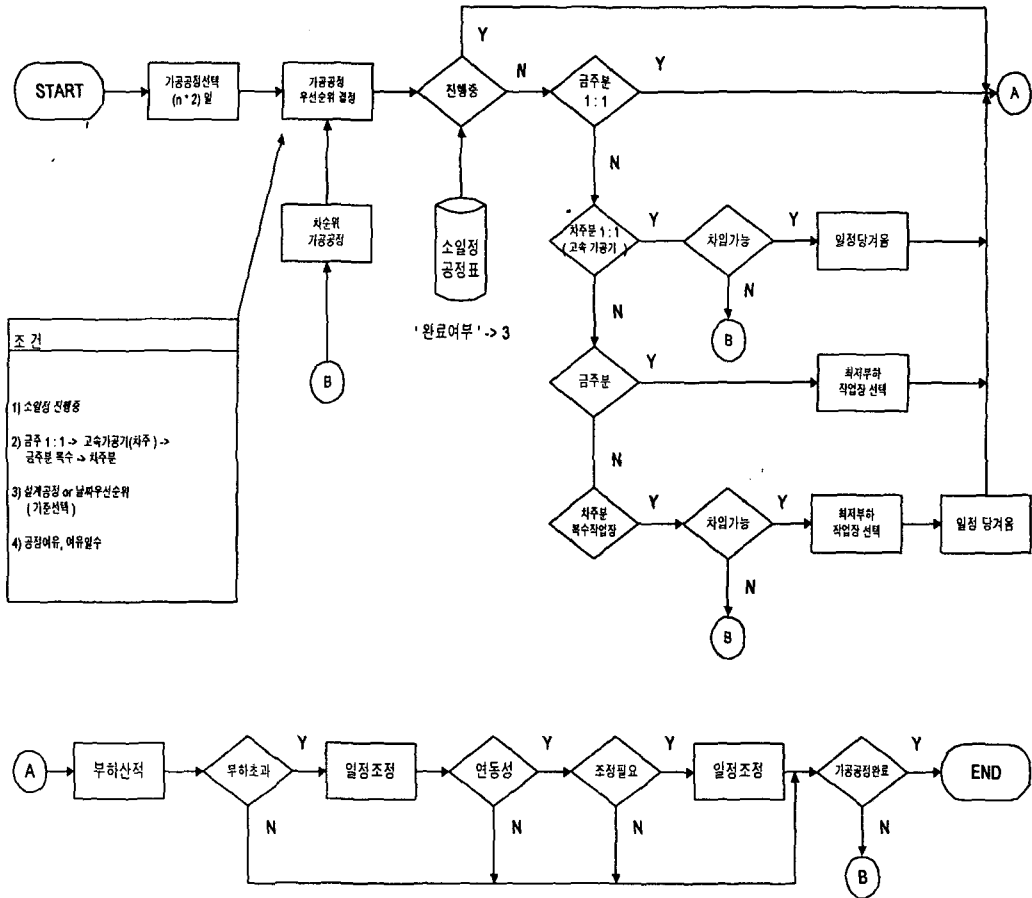
(2) 부하조정 모듈 구성 및 처리 절차

소일정 부하조정을 위해서는 프로그램 단위의 모듈은 <그림6> 와 같은 프로그램 단위의 모듈들이 서로 유기적인 관계를 가지며 수행한다. 부하조정작업 수행을 위해서는 먼저 부하조정 화면에서 대상기간, 작업장별 부하율, 공정우선순위 기준(시작일, 설계공정) 을 입력받아 다음과 같은 절차에 따라 처리한다.

- ㉠ 대상기간, 작업장, 일자별로 작업장 코드를 읽어 보유공수를 산출한다. 이때 공장월력을 감안하며 반별 실근무시간에 불가피시간을 차감하여 반별 인원수와 부하율을 곱하여 산출한다.(보유공수선정)
- ㉡ 일정계획 테이블을 읽어서 대상기간내에 해당되는 가공공정을 선택한다. 이때 가공공정의 시작일이나 완료일이 대상기간내에 하나라도 존재하면 대상이 되며, 완료된 공정(실제 완료일이 있는 경우)은 대상에서 제외된다.(대상기간 가공공정 선택)
- ㉢ 선택된 가공공정을 화면에서 입력한 가공공정 우선순위 기준에 따라 배열(sort)한다.(가공공정 우선순위 set)

가공공정 우선순위 선정기준은 다음과 같다.

- 현재 진행중인 공정
- 가공공정의 시작일이 빠른 것
- 설계공정별 우선순위
- 공정여유가 적은 것
- 여유일수가 적은 것



<그림 5> 소일정 부하조정루틴

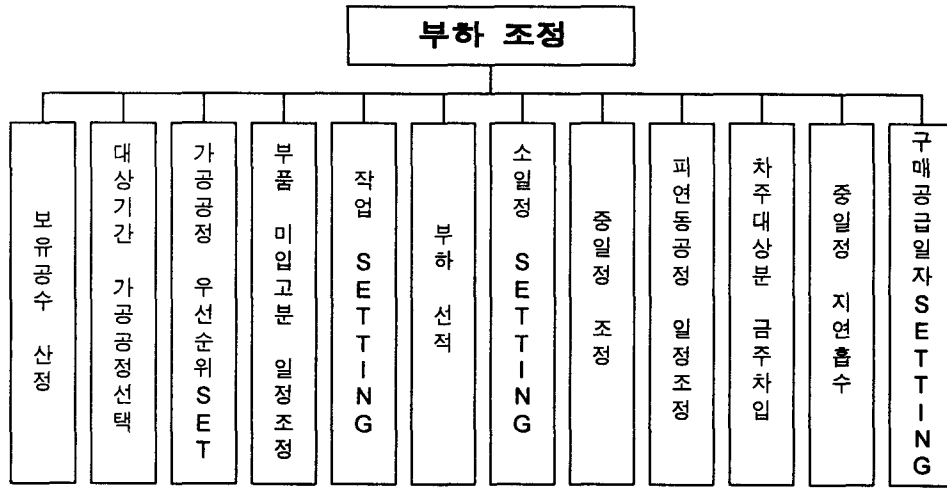
- ㉔ 우선순위가 높은 가공공정별로 처리하면서 주요부품 미입고시 입고예정일에 의해 중일정의 일자 조정을 한다.(주요부품 미입고분 일정조정)
- ㉕ 주요부품이 대상기간내에 입고된 가공공정의 경우 해당 작업장을 setting한다. 이 경우 작업장의 부하율 $(\frac{\text{부하공수}}{\text{보유공수}} \times 100)$ 이 최저인 작업장을 우선적으로 선정한다.(작업장 setting)
- ㉖ 작업장이 set된 가공공정의 경우 해당 작업장의 전개 시작일부터 부하를 일일 최대 산적시간이하로 산적한다.(부하산적)
- ㉗ 부하를 산적한후 해당 가공공정의 소일정을 set하고 소일정 setting된 소일정이 중일정을 벗어난 경우 중일정을 조정한다.(중일정 조정)
- ㉘ 중일정의 일정조정이 일어난 경우 해당 지연일수를 다음 가공공정의, 공정여유, 여유일수에서 차감하여 흡수한다.(중일정 지연흡수)
- ㉙ 대상기간내의 모든 가공공정이 처리된후 연동성을 check하여 연동조건에 위배되는 공정의 일정을 조정한다.(파연동공정 일정조정)
- ㉚ 일정조정 후 지연일수를 다음 가공공정에서 흡수한다.(중일정 지연 흡수)
- ㉛ 작업장별로 부하상태를 파악하여 능력에 비하여 부하가 미달(즉, 보유공수 > 부하공수인 경우)인 경우 차주 대상기간내에 존재하는 가공공정을 선택하여 차입조건을 check한 후 일

정을 변경하여 작업장을 set한다.(차주대상분 금주 차입)

금주 차입조건은 다음과 같다.

- 주요부품이 입고되어 있을것
- 연동성을 check하여 피연동 공정은 연동공정이 완료되어 있을 것
- 차입공정의 모든 선행공정(해당 path, 결합공정 path)이 완료된 경우
- 이전 공정과 작업장이 동일한 경우
- 이전 공정들의 모든 소일정 완료일이 금주 대상기간 완료일의 이전인 경우

① 부하조정이 완료된 후 소일정 부하조정이 끝나면 각 가공공정별로 set된 일자로 구매 테이블의 필요일 등을 변경한다.(구매공급일자 setting)



<그림 6> 부하조정모듈

3.부하산적 및 일정조정 알고리즘

부하산적은 부하조정의 핵심모듈로서 일정전개 및 일정조정에 의하여 1차적으로 수립한 계획을 과부하 여부에 따라 부분적으로 조정하여 계획을 실질적으로 확정하는 역할을 한다.

3.1 대상기간내 작업장의 부하산적

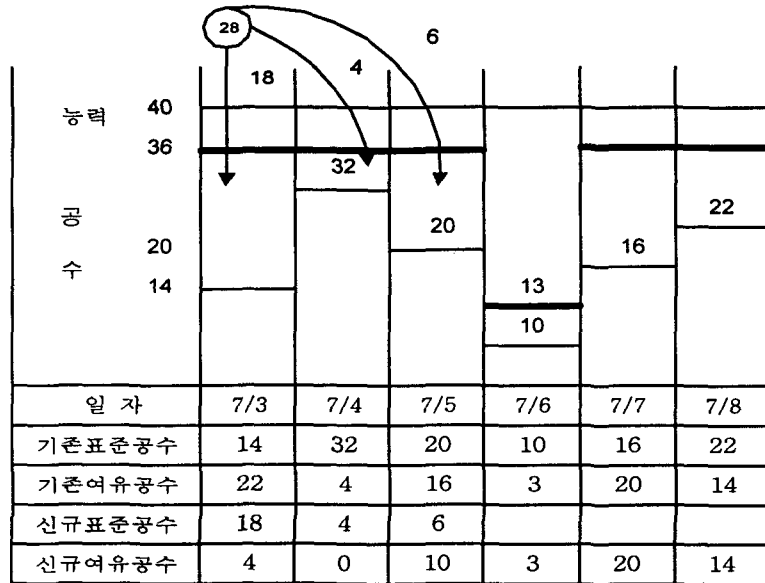
① 과부하가 아닌 경우

표준시간(부하공수)을 중일정 시작 일로부터 여유공수에 산적한다. 단, 여유공수가 1일 최대 산적시간보다 큰 경우에는 1일 최대 산적시간으로 한다. 예를 들면 <표1>에 대한 <그림7>과 같다. <그림7>은 특정 작업장(공작 1반)에서의 일자별 부하 산적의 예로서 총 보유공수는 40 (부하율 100%인 경우)이며 부하율을 감안한 보유공수(실보유공수)는 36(부하율 90%) 이다.

기존 표준공수는 빗금친 부분으로서 현재 산적되어 있는 부하공수이며 기존 작업부하량이다. 부하율을 감안한 보유공수(실보유공수)는 실제 산적할 수 있는 최대 보유공수로서 여기서 기존 표준공수(부하공수)를 빼면 기존 여유공수가 일자별로 산출되며 이 여유공수범위내에서 신규표준공수(부하공수)를 산적하게 되며 기존 여유공수에서 신규표준공수를 뺀 값이 신규여유공수이다. 표준공수가 28이므로 7/3일(기계 가동율이 80%인 경우) 18, 7/4일 4, 7/5일 6만큼 새로 산적하여 이들을 합하면 28이 된다.

<표1> 과부하가 아닌 경우

가공공정	작업장	표준공수	중일정		소일정	
			시작일	완료일	시작일	완료일
모방가공	금형1반	28	7 / 3	7 / 6	7 / 3	7 / 5



<그림 7> 대상기간내 부하산적예

② 부하초과(과부하)인 경우

초과된 신규 표준공수(부하공수)를 다음부하를 파악하여 여유공수에 깔고 이에 따라 일정 전개를 한다. 이에 대한 예를 들면 <표2>에 대한 <그림8>과 같다. <그림8>에서 S / CAR BONNET 좌면 가공공정의 중일정 계획은 7/3일 시작해서 7/5일 완료되는 것으로 잡혀있었으나 소일정 부하조정에서 38공수를 각 기간별 여유공수만큼씩 배분하여 부하산적을 한 결과 <그림8>과 같이 7/8일 까지 지연되어(7/7일은 공휴일) 소일정 계획이 조정된다. 소일정이 조정됨에 따라 중일정도 조정해야한다. 이를 도표로 나타내면 다음 <표3>과 같다.

이 예에서 도출되는 일정조정의 원칙은 다음과 같다.

첫째, 중일정 완료일이 소일정 완료일보다 크면 소일정만 set한다.

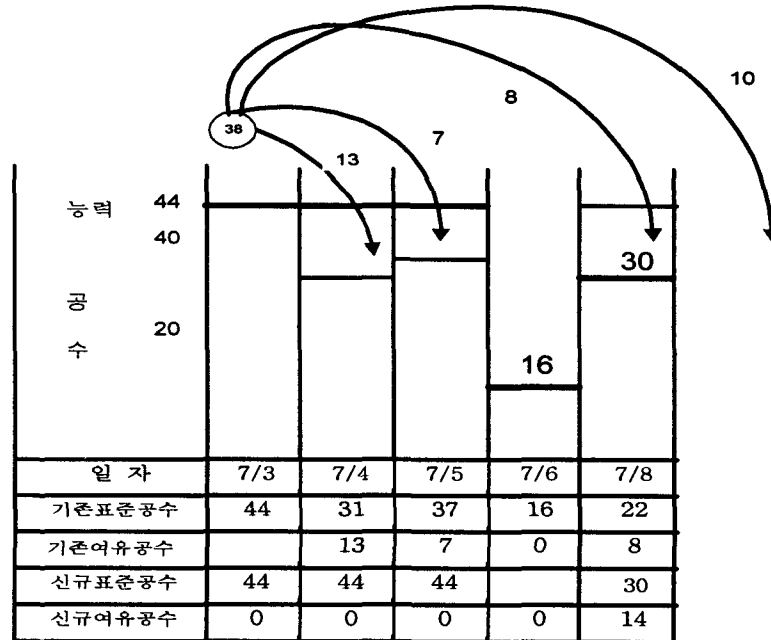
둘째, 중일정 완료일일 소일정 완료일보다 작으면 중일정과 소일정을 set한다.

<표2> 부하 초과인 경우

가공공정	작업장	표준공수	중일정		소일정	
			시작일	완료일	시작일	완료일
S / CAR BONNET좌면가공	금형 2반	38	7 / 3	7 / 5		

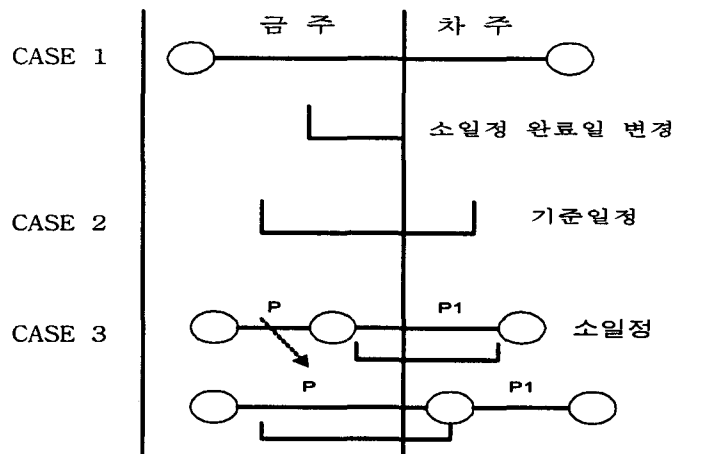
<표3>조정표

공정명	구분	중일정	소일정
	좌면가공	수정전	7/3 ~ 7/5
수정후		7/3 ~ 7/8	7/4 ~ 7/8



<그림 8> 부하 초과시 부하산적의 예(대상기간 : 7/3 ~ 7/8 기준)

3. 2 대상기간 초과시의 일정조정



<그림 9> 대상기간 초과시 일정조정

(일정 조정 단계)

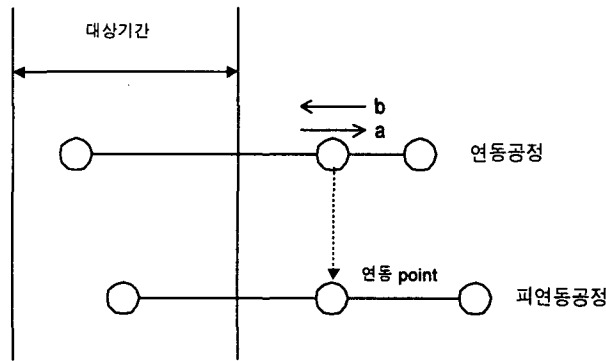
- ① 소일정 시작일을 기준으로 하여 기준일정에 의하여 소일정 완료일을 파악한다.
- ② 소일정 완료일이 대상기간 완료보다 빠르면 대상기간 완료일을 소일정 완료일로 set 한다.
- ③ 소일정 완료일이 대상기간 완료일보다 느리면 그 계산된 일자를 set한다.

- ④ 이때 소일정 완료일이 중일정 완료일 보다 느리면 중일정 완료일을 소일정 완료일의 일자 로 set하고 빠르거나 같으면 중일정은 변경하지 않는다.
- ⑤ 중일정이 변경되면 일정 조정을 한다. 일정조정시 연동성을 파악하여 일정조정을 한다.

3. 3 연동성 파악 및 일정조정

① 일정조정의 대상

㉑와 같이 PERT도상에서 2개의 서로 다른 path에 있는 각각의 공정이 연동 point를 가지고 선행, 후속관계가 성립하는 경우 연동공정의 완료일이 피연동 공정 시작일 보다 늦추어지는 일정조정 대상이 된다. 또한 ㉒와 같이 연동공정이 이전시점으로 당겨지는 경우에는 일정조정을 할 필요가 없다.

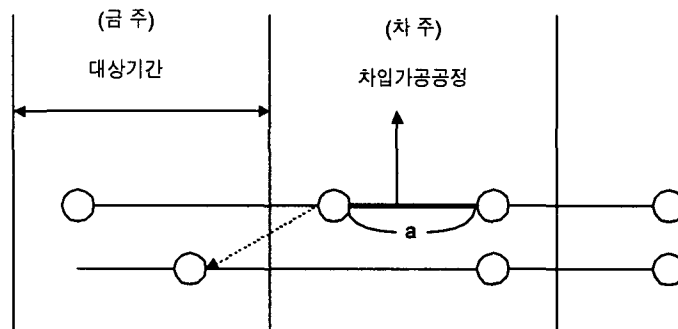


<그림 10> 일정 조정의 대상

② 일정 조정

일정조정의 대상이 되는 피연동 공정의 일정조정을 행한다.

3.4 차입 가공공정의 파악



<그림 11> 차입가공공정의 일정조정

① 차입 가공공정의 정의

차주분에 속한 가공공정중 (시작일이 금주 대상기간을 벗어난 첫 번째 가공공정, 즉 ㉑공정) 이전 가공공정의 소일정 완료일이 대상기간완료일 1일 이상 전에 set되어 있는 경우 차주분에 속한 대상 가공공정을 차입가공공정이라 하고, 이 때 부하조정 대상기간의 부하가 미달인 경우에 한하여 가능하다. 연동성 정보 및 공정결합성에 저촉되지 않는 경우에 한해서 금주로 당겨 올 수 있다.

② 차입 가공공정의 처리

차입 가공공정중 가공공정에 등록된 작업장이 1개인 경우 먼저 setting한다. 그 다음 작업장이 여러개인 경우 여유공수가 가장 큰 작업장을 set하여 시행한다. 시행은 일정조정하여 차입공정을 앞쪽으로 당겨 온 후 부하산적 및 일정조정을 한다.

4. 결론

소일정 부하조정은 크게 두가지 방법으로 나눌 수 있다. 하나는 대상기간(1주, 2주)을 설정해 두고 단순히 일정전개 또는 일정 조정만 수행한 초기계획이 대상기간내에 속한 공정의 작업장별 일자별 능력(보유공수)대 부하(소요공수)를 비교하여 능력한계를 벗어나는(over) 부하를 평준화시키는 방법과 또 하나는 현재기준일(대상작업물의 공정들 중 가장 빠른 시작예정일)을 설정해두고 현재기준일 이후에 속한 공정 전체에 대하여 부하를 평준화 시키는 방법이 있다.

이들 두 가지 방법들이 각각 장단점이 있는데 전산에서 처리할 때 전자는 수많은 데이터들 중 해당되는 데이터들만 선택(select)하여 계획을 수립하기 때문에 처리시간이 짧고 속도가 빨라 효율성이 뛰어난 반면에 전체 공정의 일정계획을 알 수 없는 단점이 있다. 후자는 현재 기준일 이후에 속한 전체 공정의 일정계획은 알 수 있으나 처리시간이 길어서 처리속도나 효율성은 많이 떨어진다. 본 연구에서는 전자에 해당되는 방법에 대하여 고찰하였다. 특히 DISPOTING(D/S)작업공정인 경우에는 다음과 같은 전체 조건과 처리기준이 필요하다. 즉 소요되는 인원은 2인을 기준으로 하여 D/S 작업을 하는 반의 사상을 위한 시간은 D/S작업시간 만큼 사상의 부하로 간주하고 부하를 산적한다. 즉, D/S 공정과 사상공정이 있을 경우 D/S 공정이 우선인 경우에는 D/S공정에 쌓여진 공수에 의해 그 2배의 공수를 같은 기간 내에 사상 작업한 것으로 감안한다. 사상공정이 먼저 부하조정과는 경우에는 사상부하를 먼저 쌓고 D/S 공정 작업시 D/S 및 사상작업장의 부하를 보고 한 곳에서라도 초과되면 일정조정을 해야한다. 기존의 다른 공정관리 프로그램 패키지 또는 시스템과 달리 차주분 금주 차입개념을 도입하여 자동으로 처리 되도록 하였다. 여기서 차주분 가공공정이 금주로 먼저 차입되기 위한 조건은 다음과 같다.

- 1) 부하조정 대상기간의 부하율이 초과되지 않은 것
- 2) 차입가공공정 이전의 가공공정이 부하조정 되어 있어야 하며 앞가공 공정 완료일부터 작업착수 가능함
- 3) 공정간 분기 또는 결합정보를 판단하여 다른 피스(piece)가 완료되지 않았으면 차입불가
- 4) 해당공정의 주요부품이 입고되었는지 확인하고 미입고시 차입불가
- 5) 연동성을 check하여 피연동 공정은 연동 공정이 완료되어 있어야 차입가능

이상에서 언급한 소일정 부하조정 알고리즘, 처리기준 전제조건은 그 회사의 관리기준 및 주안점등에 따라 조금씩 달라 질 수 있으며 업무 표준화 및 업무 처리 절차(방법)확립후 변동요인을 최소화하여 알고리즘을 개발하는 것이 효과적이다.

5. 참고문헌

- [1] 조규갑외 4명 공역, 생산시스템 시뮬레이션, 창현출판사, 1996
- [2] 김민균, 자동차 생산을 위한 유연생산시스템 구축에 관한 연구, 한양대 석사논문, 1992
- [3] Farid M. L. Amirouche, Computer-Aided Design and Manufacturing, Prentice Hall International Editions, 1993
- [4] Lee R. Nyman, Making Manufacturing Cells Work, *Society of Manufacturing Engineering*, 1992
- [5] Johns, A., and McLean, C., A proposed hierarchical control model for automated manufacturing, *Journal. manufacturing system*, vol. 4, pp159~181, 1992