

프레스설계 일정계획 알고리즘의 개발과 적용에 관한 연구

박주철
산업공학과

<요 약>

본 논문은 산업용 프레스를 제작하는 한 중소기업을 대상으로 개발한 프레스설계공정의 일정계획시스템에 관한 연구결과이다. 설계공정의 일정계획을 위한 자원제약하의 프로젝트 일정계획 알고리즘과 계획용 프로그램이 개발되었으며, 이를 실제사례문제들에 적용해 보았다. 본 연구의 결과물들은 설계일정계획이외에 설계부서의 설계팀 편성과 능력과악에도 활용될 수 있다.

A Study on the Development and Application of Design Scheduling Algorithm

Ju Chull Park
Dept. of Industrial Engineering

<Abstract>

This paper presents the research results on the development of design scheduling system for a real world company manufacturing industrial presses. It covers the development of resource constrained design project scheduling algorithm, computer program, and their applications to practical design process planning issues. It was revealed that the system could be utilized to build up the design project team and to evaluate the capacity of the design department besides the design scheduling.

1. 서 론

본 논문에서는 산업용 프레스를 제작하는 한 중소기업을 대상으로 개발한 프레스설계작업의 일정계획시스템에 관한 연구결과를 정리한다. 본 연구는 90년 4월부터 시작되었으며 2개월간에 걸친 실사와 6개월간에 걸친 일정계획알고리즘과 프로그램의 개발후 91년 1월에 설치되었으며 현재에 이르기까지 현업에서 사용되고 있다. 본 논문에서는 일정계획시스템의 주된 부분이 되는 일정계획 알고리즘과 계획용 프로그램에 관한 사항을 다룬다.

다품종의 제품을 소량으로 생산하는 주문생산형태를 영위하는 제조업의 특성에는 다음과 같은 것이 있다.

- 설계작업량이 많다.
- 설계일정이 제품전체의 납기에 큰 영향을 준다.

이러한 특성은 주문에 따라 사양이 달라 도면의 재활용률이 낮고 따라서 설계시간중 시간이 가장 많이 소요되는 도면작업량이 많다는 사실에 기인 한다. 실제로 프레스제작을 주로 하는 연구대상 회사의 경우에도 C형 프레스를 제외한 대부분의 제품이 주문에 따라 사양을 달리하고 있어 제품 제작을 위한 전체 일정의 대략 1/3 정도를 설계에서 소요할 정도로 설계작업의 비중이 높다. 그러나 이러한 설계의 비중에도 불구하고 설계공정관리는 회사내에서 그에 상응하는 만큼의 중요한 관리문제로 인식되고 있지 않다.

설계공정개선의 기초작업으로 CAD의 활용과 일상적 관리활동의 정비를 들 수 있다. 설계에서의 일상적 관리활동중 대표적인 것으로 공정관리가 있다. 공정의 편성, 일정계획, 그리고 이의 추진 등이 공정관리에 속하는 관리항목들이다. 공정관리는 설계작업이 계획된 납기내에서 완수되어지도록 하는 역할을 담당하며 관리의 기본기능이 된다. 공정관리체계의 정비는

관리부문에서의 일상적인 관리업무의 효율화를 가능하게 해 주어 설계능력의 증대 효과를 가져다 준다. 따라서 공정관리체계의 정비는 CAD의 도입 못지않게 중요한 과제의 하나가 된다.

본 논문에서는 공정관리의 내용중 많은 시간을 소요하는 일정편성부분에 대해서 일정편성의 알고리즘을 개발하고, 이를 실행하는 전산프로그램의 개발에 대한 연구결과를 정리한다.

2. 설계일정계획을 위한 이론적 배경

일정계획의 방법은 공정형태에 따라 다양하게 나뉘어 질 수 있지만 연구대상회사의 설계공정에 관련되는 부분만을 정리해 본다.[5]

프레스의 설계공정은 개별주문별로 공정이 편성되어 처리되어지고 있는데 이러한 형태의 공정을 프로젝트공정이라 하며 이러한 공정에서의 일정계획편성을 프로젝트일정계획이라 한다.[2] 프로젝트일정계획의 가장 기본적인 기법은 PERT/CPM이다.[2] PERT/CPM 기법은 개별프로젝트를 수행하기 위해서 필요한 독립적인 활동(activity or job)들의 목록을 구해서 일정을 편성한다. PERT/CPM 기법을 적용하기 위해 필요한 자료에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 활동의 목록
- 개별활동의 시간
- 각활동에 선행하는 활동들의 목록

필요한 자료가 모두 구해지면 활동들간의 선행관계와 활동시간을 고려하여 다음변수의 값을 계산한다.

ES_j : j 활동을 가장 빨리 시작할 수 있는 시간

EF_j : j 활동을 가장 빨리 끝낼 수 있는

시간

LS_j : 프로젝트 전체의 완성시간을 늘리지 않고 j 활동을 가장 늦게 시작할 수 있는 시간

LF_j : 프로젝트 전체의 완성시간을 늘리지 않고 j 활동을 가장 늦게 끝낼 수 있는 시간

$$\text{Slack}_j = \text{EF}_j - \text{ES}_j \text{ (or } \text{LF}_j - \text{LS}_j)$$

Slack은 여유시간으로서 프로젝트 완성시간에 영향을 주지 않고 특정활동을 지연시킬 수 있는 최대의 시간을 말한다. 여유시간이 영인 활동들로 이루어진 프로젝트의 한개 혹은 몇개의 경로를 주경로(Critical Path)라고 한다. 프로젝트의 일정은 ES 와 EF 혹은 LS 와 LF로 표현될 수 있는데 전자는 일정에 여유시간이 포함되어 있는 경우이며 후자는 그렇지 못하다. 프로젝트의 진행에는 차질이 있는 경우가 일반적이기 때문에 대부분 전자에 의해서 일정을 편성하며 이러한 일정을 'ES 일정'이라 한다.

PERT/CPM에 의한 ES일정은 특수한 경우를 제외하고는 현장에 그대로 적용할 수 없다.[8] 그것은 이러한 일정이 자원의 제약을 전혀 고려하고 있지 못하다는 사실에 기인한다. 예를 들어 프로젝트를 담당할 사람(자원)이 한명밖에 없고 한 활동을 한명이 전담해서 해야 하는 경우 ES 일정이 두개의 작업이 동시에 진행되도록 편성되어져 있다면 이러한 일정을 실행시킬 수 없게 된다. 이러한 경우 두 활동중 한 활동은 다른 활동이 끝날 때까지 기다려서 그 다음에 진행이 될 수 있도록 일정이 편성되어야 한다. 결국 PERT/CPM은 무한히 많은 자원을 가지고 있는 경우나 적용할 수 있는 일정편성기법으로 현실적으로 이러한 경우는 많지 않기 때문에 제한을 받게 된다.

자원제약하의 프로젝트일정계획은 (Project Scheduling with Limited Resources) 기본적으로 ES 일정으로부터 출발해서 이를 자원제약을 고려해 줄 수 있도록 변경

을 가함으로써 편성이 가능하다.[8] 변경이라는 것은 자원사용에 관해서 여러 활동들이 경쟁을 하게 될 때 그 중 자원이 허용하는 대로 활동에 자원을 나누어 주고 자원할당이 불가능한 활동들에 대해서 자원할당이 가능한 시점까지 연기를 해주는 것을 말한다. 이러한 변경을 체계적으로 해주기 위해서는 변경을 위한 일련의 규칙이 개발되어야 하며 이러한 규칙의 모임을 휴리스틱(Heuristics)이라 한다.[2, 3, 4, 6, 7]

자원의 종류가 프로젝트마다 다르고 이러한 제약이 실제로 적용되는 형태도 다양하기 때문에 모든 종류의 프로젝트에 동일하게 적용될 수 있는 규칙들은 없다. 필요할 때마다 프로젝트의 특성을 고려해서 이를 개발해서 사용해야 한다. 본 연구에서도 설계공정의 특성을 고려해서 ES 일정을 변경해 줄 수 있는 휴리스틱을 개발하고 이를 실행하는 전산프로그램을 개발한다. 이에 대해서는 다음 장에서 설명될 것이다.

3. 설계일정계획시스템

본 장에서는 연구를 통해서 개발되어진 자원제약하의 일정계획방법에 대해서 정리한다. 이러한 일정계획의 방법을 개발함에 있어서 설계공정의 특성을 고려하였고 이들을 일정편성을 위한 규칙으로 표현했다.

(1) 연구대상 일정계획시스템의 특성

연구대상회사에서의 설계공정 편성은 기본적으로 프로젝트 단위로 이루어지기 때문에 앞장에서 설명한 프로젝트의 일정계획방법에 의해 일정을 편성할 수 있다. 프로젝트 수행을 위한 주요자원으로 설계 인력이 있는데 제한된 설계인원으로 각종 프로젝트를 수행해야 하기 때문에 개별 프로젝트에 많은 인력을 투입할 수 없는

실정이다. 따라서 설계일정의 편성은 자원 제약하의 일정계획방법에 의해 이루어져야 한다.

인력에 관한 자원은 한가지 종류의 자원으로 생각되기 쉬운데 실제로는 그렇지 않다. 그것은 설계작업자간의 설계능력에 차이가 있어 주어진 활동을 수행할 수 있는 경우와 할 수 없는 경우가 있기 때문이다. 그래서 인력자원의 경우 기술수준에 따라 서로 다른 자원으로 처리되어 취급되어질 필요가 있다. 물론 고기술 인력자원이 저기술을 요하는 활동을 지원할 수 있는 가능성 등을 고려해 자원간의 교류를 배제해서는 안된다.

자원사용에 관한 제약외에도 설계일정 계획의 또다른 중요한 특성이 있다. 그것은 설계일정이 제품제작을 위한 전체 일정의 처음 일부에 불과하다는 것이다. 설계공정은 제품제작을 위한 도면들이 완성될 때마다 해당도면에 관련된 활동도 종결되어 전체적으로 여러개의 종결점을 갖게 된다. 이러한 특성은 완성시점에 하나의 종결점을 가지게 되는 일반적인 프로젝트와 구별되는 점이다. 일반적인 프로젝트가 각각 하나씩의 시작활동과 종결활동을 갖는 네트워크로 표현될 수 있는데 반해서 설계프로젝트는 하나의 시작활동과 여러개의 종결활동을 가진 트리의 형태로 표현되어진다.

여러개의 종결활동이 있을 때 이를 적절히 표현해서 시급히 종결해야 할 활동과 그렇지 않은 활동을 구분해서 일정계획 편성에 반영해 줄 필요가 있다. 본 연구에서는 이를 활동의 우선순위(Priority)로 표현해 일정계획 편성시에 고려해 주도록 한다.

(2) 일정편성규칙

설계일정계획의 특성을 반영해서 일정 편성을 하기 위해 필요한 자료는 다음과 같다.

- 활동 (Activity or job) 목록 및 활동 시간
- 활동간의 선행관계
- 활동의 우선순위 (Priority)
- 활동이 요구하는 작업자의 최저 기술 수준 (job type)
(조립도 : 1 혹은 2 , 부품도 : 3
혹은 4)
- 투입하는 작업자의 총수 및 기술수준

일정을 편성하기 위해 본 연구에서 사용한 일정편성의 절차와 규칙체계는 다음과 같다.

절차 1) 초기화

활동시간자료와 선행관계만을 고려해서 각 활동의 ES, EF, LS, LF, Slack을 계산하고 時點(d)을 0 일로 설정한다.

절차 2) 배정가능활동의 추출과 분류

시점 d에서 시작할 수 있는 활동들을 찾아내고 이들을 분류한다.

(규칙 2-1) 시점 d에서 시작할 수 있는 활동을 찾아내는 규칙

- ES = d 인 활동들

(규칙 2-2) 분류(Sorting)에 관한 규칙

- 1) 우선순위(Priority)가 높은 활동을 먼저 분류
- 2) 우선순위가 같으면 바로 다음에 연결되는 활동중에서 우선 순위가 가장 높은 활동의 우선순위를 비교해서 높은 것을 먼저 분류
- 3) 다음 활동의 우선순위까지 같다면 당작업의 Slack을 비교해서 적은 것을 먼저 분류
- 4) Slack 까지 같다면 그대로 둔다.

절차 3) 작업자 배정

3-1) 시점 d에서 시작할 수 있는 활동이 없다면 시점을 d+0.5 일로 설정하고 <절차 2>를 다시 실행한다.

3-2) 시점 d 에서 시작할 수 있는 활동이 있다면 분류된 순서대로 작업자를 배정하고 일정을 확정시킨다. 모든 활동에 대한 배정이 끝났으면 시점을 $d+0.5$ 로 설정하고 <절차 2>를 실행한다.

(규칙 3-2-1) 작업자배정에 관한 규칙

- 1) 조립도작성활동이고 그 활동이 요구하는 최저기술수준이상의 작업자가 있으면 가급적 최저기술수준에 가까운 작업자를 1명 배정. 이때 선행활동과 같은 작업자를 배정한다.
- 2) 부품도작성활동이고 그 활동이 요구하는 최저기술수준이상의 사람이 1명 있는 경우는 그사람을 배정하고 2명 이상 있는 경우에는 Slack이 영이면 2명 배정하고 그렇지 않으면 1명 배정. 최저기술수준에 가까운 작업자를 배정하고 그 다음으로 선행활동과의 연속성을 고려해서 가급적 선행활동과 같은 작업자를 배정. 2명을 배정하는 경우 EF를 $(EF - \text{활동시간}/2)$ 로 수정한다.
- 3) 배정할 작업자가 없는 경우에는 현재 시점까지 작업이 종료되지 않은 (active) 활동중에서 작업자를 빌려와서 배정이 가능한지를 모색한다.

(규칙 3-2-2) 작업자를 빌려오는 규칙

- 1) Slack이 영이 아니면 활동을 $d+0.5$ 시점으로 연기한다.
 $ES = d + 0.5, EF = ES + \text{활동시간}$
- 2) Slack이 영인 경우
 - 2-1) 당 활동을 할 수 있는 사람이 배정되어 있으면서 Slack이 충분하고 우선순위가 당 활동보다 낮은 active 활동을 찾는다. 이런 활동을 찾을 수 없다면 $d+0.5$ 시점으로 연기한다. 이때 Slack이 충분하다는 말은 작업자를 빌려주어 활동시간이 늘었거나 연기 되더라도 프로젝트완성 시간에는 영향을 주

지 않는 경우를 말한다.

- 2-2) 해당하는 활동이 있는 경우에는 1명만을 빌려 당 활동에 배정하고 active활동은 연기하거나 종결시간을 지연시켜 ES와 EF를 새로 계산한다.

3-3) 모든작업에 대한 배정이 끝났으면 종결

(규칙 3-3-1) 종결에 관한 규칙
 프로젝트의 종결을 나타내기 위해서 활동시간이 영인 가상의 종결활동을 만들고 이 활동에 대한 배정으로 종결을 확인한다.

절차 4) 변수값의 갱신 (updating)

이미 작업자가 배정되어 있는 작업과 시점 d 에서 시점 $d+0.5$ 로 연기된 활동들을 제외하고 ES, EF, LS, LF, Slack 을 새로 계산하고 현재시점을 $d+0.5$ 로 변경해서 <절차 2>를 실행한다.

(3) 일정계획프로그램 및 사용조건

설계일정계획의 특성과 일정편성의 규칙을 C 프로그램언어를 통해서 구현해 보았는데 이 프로그램의 구성과 입력양식, 그리고 프로그램사용의 조건등을 정리한다.

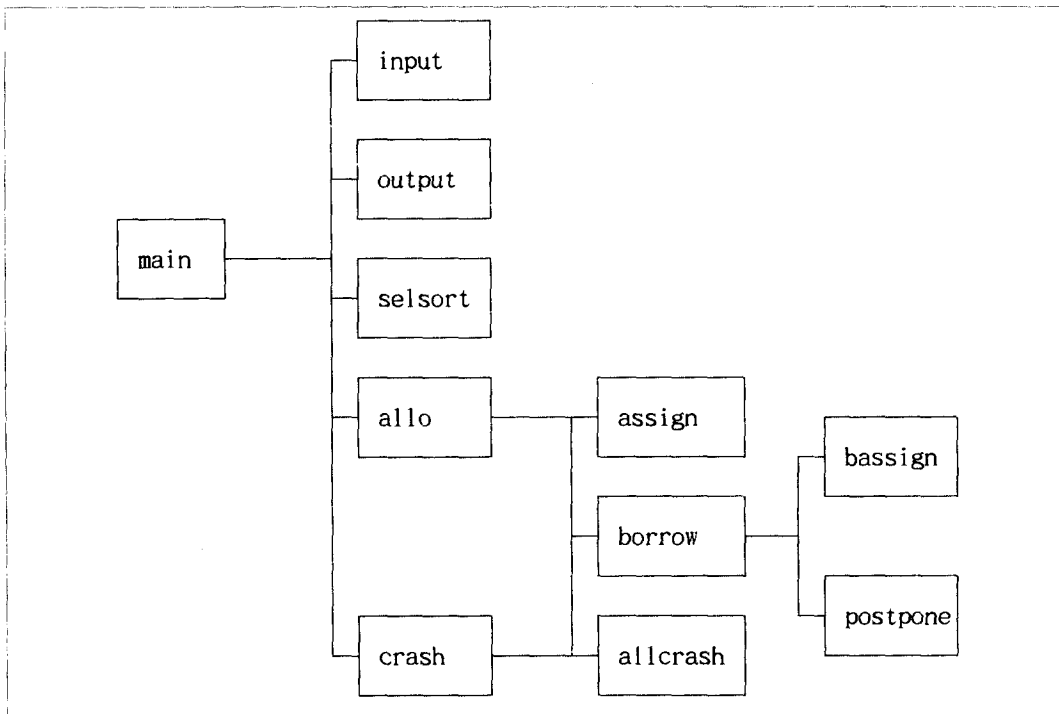
1) 프로그램의 구성

프로그램은 일정편성의 전체적인 내용을 통제하는 main 부분과 입출력부분, 그리고 조건에 따라 자원을 할당하는 부분들로 구성되어 있다. 이러한 각 구성부분들은 독립적인 함수로 만들어지고 이들이 결합되어 프로그램을 구성하게 된다. 프로그램에서 사용한 함수들은 main 함수를 중심으로 이에 연결되어져 있다. 이들 함수에는 main 함수에서 직접 호출되어지는 것들도 있고 main이외의 다른 함수에서 호출되는 것도 있다. 함수의 종류는 표 1과 같고 그 구성은 그림 1과 같다.

표 1. 함수리스트

함수명	설명
void main ()	.주 프로그램
void input ()	.데이터입력과 초기화
void output ()	.결과 출력
void nslack ()	.ES , EF , LS , LF , Slack 재계산
void selsort ()	.d에서 시작할 수 있는 작업을 찾고 분류
void allo (int sj)	.요구기술수준이 1 혹은 2인 활동 sj의 할당 가능성모색
void assign (int sj , int jt)	.활동 sj에 기술수준이 jt인 사람을 1명 할당
void borrow (int sj)	.활동 sj 를 위해 다른 활동에서 작업자를 1명 빌려올 수있는 가능성을 모색
void bassigne (sj , j , longer)	.2명 이상 작업자가 할당되어 있는 활동으로부터 작업자를 1명 빌려옴
void postpone (int sj)	.활동 sj 를 d + 0.5 로 연기
void crash (int sj)	.요구기술수준이 3 혹은 4인 활동 sj 의 할당가능성모색 (2명까지)
void allcrash (int sj)	.활동 sj에 작업자 1명 할당

그림 1. 프로그램 구성



2) 입출력 양식

입력자료는 두가지로서 활동에 관한 것(activity file)과 작업자에 관한 것(worker file)이 있다. 자료는 모두 화일 단위로 처리되며 재사용과 수정이 가능하다. 그림 2와 3은 입력화면을 나타낸다. 활동에 관한 입력화면에는 ' \, jname, time, jtype, nwork, work, pri '라는 이름이 붙어있는 칼럼들이 있는데 각각 '활동의 번호', '이름', '시간', '요구되는 최저기술수준', '선행활동의 갯수', '선행활동들', '우선순위' 등을 나타낸다. 작업자에 관한 입력화면에 입력하는 내용은 작업자 이름 (worker), 작업자의 기술수준 (skill) 이다. 여기서 기술수준은 1, 2, 3, 4의 4가지로 나뉘어지며 번호가 낮을수록 기술수준이 높다. 1, 2는 조립도작성의 기술수준 3, 4는 부품도작성의 기술수준을 나타낸다. 기술수준은 작업내용에 따라 달라지는 것으로서 작업 속도에 따라 달라지는 것은 아니며 작업 속도는 원칙적으로 모두 같은 것으로 간주한다.

그림 2. 활동목록 입

프로그램내부에서 작업자 배정을 위해서 조립도는 1명이 작업하고 부품도는 1명 혹은 2명이 작업할 수 있는 것으로 간주되며, 2명 작업시는 시간이 절반이 된다. 시간의 단위는 일(day)이며 0.5일까지 표현할 수 있다. 네트워크의 형태를 유지해 주기 위해 모든 작업의 종결을 나타내는 가상적인 마지막 활동을 설정해서 이를 활동자료 입력시에 넣어주어야 한다. 활동의 번호를 줄 때 번호가 높은 활동이 번호가 낮은 활동의 선행작업이 되지 않도록 해야 한다.

출력에는 활동별 일정을 나타내는 'activity result file', 작업자별 일정을 나타내는 'woker result file', 그리고 작업자별, 시간대별 활동배정 상태를 나타내는 'resource remaining file' 의 세가지가 있다. 그림 4, 5, 6은 출력화면을 보여주고 있다.

\	jname	time	jtype	nwork	work	pri
1		3.0000	1	0	1, 0	0
2		4.0000	1	1	1, 1	0
3		2.0000	2	1	1, 1	0
4		5.0000	3	1	1, 1	0
5		3.0000	3	1	1, 2	0
6		9.0000	4	1	1, 3	2
7		2.0000	3	2	1, 4	2
8		1.0000	2	2	1, 4	2
9		4.0000	4	1	1, 4	2
10		2.0000	3	1	1, 6	2
11		6.0000	3	2	1, 8	2
12		3.5000	2	1	1, 10	2
13		4.0000	1	1	1, 11	3
14		2.0000	3	1	1, 12	3
15		4.5000	2	1	1, 13	3
16		1.0000	3	1	1, 14	3
17		6.0000	3	1	1, 15	3
18		2.0000	3	1	1, 16	3
19		5.0000	4	1	1, 17	3
20		0.0000	0	2	1, 17	3

그림 2. 활동목록 입력화면

\	worker	skill	
1	a		1
2	b		1
3	c		3
4	d		4

그림 3. 작업자 입력화면

Project Total Duration : 29.0

act \	name	time	From	To	worker
1		3.0	0.0	3.0	1,
2		4.0	3.0	7.0	1,
3		2.0	3.0	5.0	2,
4		5.0	3.0	8.0	3,
5		3.0	7.0	8.5	1, 2,
6		9.0	5.0	14.0	4,
7		2.0	8.5	10.5	1,
8		1.0	10.5	11.5	1,
9		4.0	8.0	12.0	3,
10		2.0	14.0	16.0	2,
11		6.0	12.0	15.0	1, 3,
12		3.5	16.0	19.5	2,
13		4.0	15.0	19.0	1,
14		2.0	19.5	21.5	3,
15		4.5	19.0	23.5	1,
16		1.0	21.5	22.5	3,
17		6.0	23.5	26.5	1, 2,
18		2.0	22.5	24.5	3,
19		5.0	26.5	29.0	3, 4,
20		0.0	29.0	29.0	

그림 4. 활동별 일정 출력화면

worker \	name	start	end	%	activity
17,	a	0.000	26.500	90%	1, 2, 5, 7, 8, 11
	b	3.000	26.500	41%	3, 5, 10, 12, 17,
	c	3.000	29.000	67%	4, 9, 11, 14, 16,
	d	5.000	29.000	40%	6, 19,

그림 5. 작업자별 일정 출력화면

resource remaining

worker	1	2	3	4
name	a	.b	c	d
0.0000	0	1	1	1
0.5000	0	1	1	1
1.0000	0	1	1	1
1.5000	0	1	1	1
2.0000	0	1	1	1
2.5000	0	1	1	1
3.0000	0	0	0	1
3.5000	0	0	0	1
4.0000	0	0	0	1
4.5000	0	0	0	1
5.0000	0	1	0	0
5.5000	0	1	0	0
6.0000	0	1	0	0
6.5000	0	1	0	0
7.0000	0	0	0	0
8.0000	0	0	0	0
8.5000	0	1	0	0
9.0000	0	1	0	0
9.5000	0	1	0	0
10.0000	0	1	0	0
10.5000	0	1	0	0
11.0000	0	1	0	0
11.5000	1	1	0	0
12.0000	0	1	0	0
12.5000	0	1	0	0
13.0000	0	1	0	0
13.5000	0	1	0	0
14.0000	0	0	0	1
14.5000	0	0	0	1
15.0000	0	0	1	1
15.5000	0	0	1	1
16.0000	0	0	1	1
16.5000	0	0	1	1
17.0000	0	0	1	1
17.5000	0	0	1	1
18.0000	0	0	1	1
18.5000	0	0	1	1
19.0000	0	0	1	1
19.5000	0	1	0	1
20.0000	0	1	0	1
20.5000	0	1	0	1
21.0000	0	1	0	1
21.5000	0	1	0	1
22.0000	0	1	0	1
22.5000	0	1	0	1
23.0000	0	1	0	1
23.5000	0	0	0	1
24.0000	0	0	0	1
24.5000	0	0	1	1
25.0000	0	0	1	1
25.5000	0	0	1	1
26.0000	0	0	1	1
26.5000	1	1	0	0
27.0000	1	1	0	0
27.5000	1	1	0	0
28.0000	1	1	0	0
28.5000	1	1	0	0
29.0000	1	1	1	1

그림 6. 작업자별, 시간대별 활동배정상태 출력화면

4. 적용 및 평가

본 장에서는 본 연구에서 개발되어진 알고리즘과 도구를 사용해서 전형적인 몇 가지 형태의 실제 설계프로젝트의 일정계획을 실시하고, 이로부터 현행 설계공정을 평가하고 바람직한 설계공정관리의 방향에 관해 논의한다.

(1) 적용 및 평가

연구 대상 회사에서 제작하는 제품의 종류는 프레스를 비롯하여 각종 산업기계에 이르기까지 다양하다. 프레스의 종류도 C형에서부터 유압프레스, 대형프레스 등에 이르기까지 그 종류가 적지 않다. 또한 같은 종류의 제품이라 하더라도 그 사양의 차이로 인해서 서로 다르게 취급되어지기 때문에 실로 많은 종류의 제품이 제작되고 있는 실정이다. 여기에서는 비교적 수요가 많고 설계에 많은 시간을 소요하는 몇가지 전형적인 형태의 프레스에 대한 일정을 편성해 봄으로써 개발된 공정관리 도구들을 어떻게 활용할 수 있는가를 소개하고자 한다.

1) 적용대상 프로젝트

현장관리자와의 면담에 의해서 비교적 많은 공정이 소요되고 수주 비중이 적지 않은 다음 두가지 유형의 프레스제품을 선정해서 이들을 적용대상으로 한다.

유형 1 : CRANKLESS PRESS, SIDE FRAME PRESS

유형 2 : 유압 프레스

각 유형에 있어서 필요한 작업의 리스트는 사양에 따라 달라지기 때문에 모든 사양을 포함하는 경우로 했다. 개별작업에 대한 소요시간은 과거에 만들어졌던 도면을 얼마나 재활용할 수 있는가에 달려 있으므로 도면 활용도에 따라 각각 다음과 같은 세가지 경우로 나누어 보았다.

경우 1 : 신규설계(도면 재활용이 없음)

경우 2 : 50 % 이상 신규설계(도면 재활용율 50 % 이하)

경우 3 : 50 % 이하 신규설계(도면 재활용율 50 % 이상)

위의 세가지 경우 과거 실적에 관한 자료가 많이 있으면 좀 더 세분할 수 있을 것이다. 그러나 실적 자료의 집계는 최근에 이루어지고 있고 그나마 도면재활용 정도에 따른 분류가 제대로 되어있지 않은 실정이기 때문에 위와 같은 포괄적인 경우로 할 수밖에 없었다.

현재 기술부에는 10명의 설계자가 있는데 그 중 1명은 관리활동 등을 전담하고 있어 설계작업에 직접 투입할 수 있는 인력은 9명이다. 이들 9명의 인력은 각 제품종류별로 팀을 만들어 해당 제품만 전담해서 설계를 하고 있다. 그러나 각 설계자는 전담제품 이외의 제품도 설계할 수 있고 또한 설계자별로 기술력의 차이가 있어서 같은 제품을 설계하더라도 설계가 가능한 부분과 그렇지 못한 부분이 있다. 이러한 특성은 설계일정이 계획대로 진행되지 않아서 지원팀을 편성해야 할 경우 유용하게 활용될 수 있다.

(2) 평가 및 분석

여기에서는 본 연구에서 개발된 일정관리체계를 적용한 결과를 분석하고 그 결과 밝혀진 현행 공정관리체계의 능력과 문제점을 알아본다.

1) 분석

일정계획의 대상이 되었던 프로젝트는 앞서 이야기한 바와 같이 대형프레스와 유압프레스였는데 이들에 국한해서 분석을 한다. 이들은 각각 도면 재활용율의 관점에서 다시 세가지 경우로 분류되었는데 각 경우를 비교함으로써 공정관리를 위한 유용한 정보를 얻을 수 있다. 먼저 일정계획시스템의 적용결과로부터 구해진 자료

를 정리해 보자.

이들 자료에는 프로젝트종료기간과 인력활용율이 있다. 표 2와 3은 각각 프로젝트종료기간과 인력활용율을 정리한 표이다. 표 4는 각 프로젝트에서 요구되어지는 투입공수(man-day)를 나타낸다.

표 2. 프로젝트지속기간

단위 : 일(day)

	경우 1	경우 2	경우 3
Crankless & Side Frame Press	42.0	25.0	15.5
유압 프레스	45.5	35.5	19.0

표 3. 인력활용율

단위 : %

	작업자	경우 1	경우 2	경우 3
Crankless & Side Frame Press	A	83	100	100
	B	73	88	84
	C	88	88	77
	평균	81	92	87
유압프레스	A	100	100	100
	C	41	38	39
	평균	71	69	70

표 4. 요구되어지는 투입공수

단위 : man-day

	경우 1	경우 2	경우 3
Crankless & Side Frame Press	102.5	69.0	40.5
유압 프레스	63.5	48.5	26.0

프로젝트의 지속기간과 인력활용율의 두가지 자료가 있지만 실제로 중요한 것은 후자이다. 프로젝트지속기간은 표 4와 같은 요구 투입공수에 따라 달라지게 되는데 문제가 되는 것은 주어진 투입공수를 얼마나 단기간내에 완수할 수 있을 것인가 하는 것이다. 이 때 결정적인 영향을 미치는 것이 인력활용율이다. 인력활용율이 높은 경우 같은 요구투입공수수준에서도 프로젝트지속시간이 짧아지고 그 반대의 경우는 길어진다. 이러한 관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{인력활용율평균} = \frac{\text{요구투입공수}}{\text{프로젝트지속기간} * \text{작업자수}} \quad (1)$$

$$\text{개별작업자의 활용율} = \frac{\text{배정된 시간}}{\text{프로젝트지속기간}} \quad (2)$$

결국 인력활용율이 분석의 초점이 될 수밖에 없으며 이에 대한 문제만 해결되면 프로젝트지속기간의 문제는 자동적으로 해결된다. 지금부터는 두가지 종류의 프레스 각각에 대한 인력활용율상의 문제점을 알아 보기로 하자. 이 때 유의해야 할 사항이 하나 있는데 그것은 인력활용

율을 파악하는 관점에 관한 것이다. 표 3의 자료는 식 (2)와 (3)의 관계로부터 구해졌는데 이때 프로젝트의 지속기간은 단순히 프로젝트의 시작과 끝까지의 기간을 말한다.

설계프로젝트의 경우 초기에 고기술을 요하는 작업들이 많아 이기간 동안에는 고기술인력이 주로 사용되고 기술수준이 낮은 인력은 일정한 기간이 지난후에 투입되는 경향이 있다. 또한 프로젝트전체가 종결되지 않았더라도 고기술인력이 배정된 작업을 모두 종결하면 그 다음 프로젝트에 바로 투입하는 것이 일반적인 관행이다. 따라서 이런 측면을 고려하여 프로젝트의 종결시점은 각 작업자별로 시작과 종결시점의 관점에서 파악되어질 필요가 있다. 그러나 저기술인력은 고기술인력의 종결시점 이전에 작업이 모두 끝나더라도 고기술인력이 작업을 종결하고 다음 프로젝트에 배정될 때까지 배정이 불가능하기 때문에 이들의 종결시점은 항상 고기술인력의 종결시점 혹은 그 이후의 시점을 종결시점으로 해야 할 것이다. 이와 같은 측면을 고려해서 인력활용율 다시 계산해보면 표 5와 같다.

표 5. 재계산된 인력활용율

	작업자	경우 1	경우 2	경우 3
Crankless & Side Frame Press	A	100	100	100
	B	100	100	87
	C	100	100	87
	평균	100	100	91
유압프레스	A	100	100	100
	C	47	44	44
	평균	74	72	72

(가) 인력활용율분석

표 5에 있는 자료를 이용해서 인력활용율의 문제점을 검토해 보자. Crankless Press와 Side Frame Press에 대해서는 인력활용율이 대략 100%로서 양호한 결과를 보여주고 있다. 특히 경우 1의 신규설계의 경우는 작업자의 작업종결시점이 고기술작업자에서부터 저기술작업자의 순서로 되어 있어 프로젝트의 작업흐름과 아주 유사한 양상을 보이고 있다. 경우 3에서 약간의 인력활용율 저하가 나타나는데 이러한 현상은 프로젝트의 지속기간이 너무 짧은데 기인하는 것으로 보인다. 대체로 양호한 인력활용율을 보이고 있는데 이러한 사실로부터 본 연구에서 개발되어진 일정계획 프로그램이 최적에 가까운 일정결과를 주고 있다는 것을 관찰할 수 있다.

그러나 유압프레스에 대해서는 대략 72% 에서 74%정도의 인력활용율을 보이고 있어서 그 결과가 양호하지 못하다. 특히 C 급 기술수준 작업자의 경우 인력활용율이 50%에도 미치지 못하고 있다. 이러한 일정을 그대로 유지하는 것은 일정의 지연과 동시에 많은 유휴시간을 발생시켜 기업으로 하여금 유용한 자원을 낭비하게 하고 필요없는 경비를 지출하게 한다.

유압프레스에 이러한 문제점이 생기게 된 이유는 작업의 성격과 작업팀간의 성격이 제대로 맞지 않는데 기인하는 것으로 보여진다. 유압프레스에 관한 작업 관련 자료를 정리해보면 다음 표 6과 같다.

표 6. 유압프레스의 작업에서 요구되는 기술수준

기술수준	작업수	작업소요시간합계		
		경우 1	경우 2	경우 3
A	9	28	22.5	11.5
B	9	12.5	9.5	5.5
C	9	23	16.5	9

표 6에서 알 수 있는 것은 전체작업중에서 C급 작업자가 할 수 있는 일은 전체 소요시간중 대략 35 %에 불과하다는 것이다. 연구대상 회사에서와 같이 A급 작업자 1명과 C급 작업자 1명을 유압프레스 작업에 투입하게 되면 결국 나머지 65 %의 일을 A급 작업자가 담당하게 된다. 이러한 경우 일정을 아주 효율적으로 편성했다고 하더라도 C급 작업자의 인력활용율은 50 % 에서 60 %사이의 값을 보이게 된다. 기술수준 C급의 작업중 일부라도 작업 순서상의 문제로 A급 작업자가 담당해야 한다면 인력활용율은 더욱 떨어지게 된다.

(나) 유압프레스작업팀의 인력활용율향상방안

따라서 유압프레스에서의 저조한 인력활용율은 일정편성방법의 문제라기 보다는 설계팀 편성의 문제라고 보여진다. 이러한 사실을 뒷받침하기 위해 기존 유압 설계팀에 작업자 1명을 추가로 투입하는 경우에 대한 인력활용율을 계산해 보자. 작업자를 추가로 투입하는 이유는 A 급 작업자의 경우가 더 바람직할 것으로 기대된다. 표 7은 추가 투입시의 인력활용율이다.

표 7. 유압프레스에 인력을 추가로 투입할 경우의 인력활용율

	작업자	경우 1	경우 2	경우 3
A급 추가투입	A	100	97	100
	A	100	100	100
	C	88	76	83
	평균	96	91	94
	지속기간	25.0일	19.5	10.5일
B급 추가투입	A	100	100	100
	B	62	59	62
	C	51	45	52
	평균	71	68	71
	지속기간	32.5일	25.5일	13.0일

표 7에서 A 급 작업자를 추가투입하는 경우 인력활용율평균이 94 %에 달할만큼 높아진 것을 관찰할 수 있다. 이것은 표 5의 73 %에 비하면 20 % 이상이 증가한 것이다. C 급 작업자의 경우만 본다면 그 값이 45 %에서 82 %로 되어 무려 37 %의 증가를 보이고 있다. A 급의 경우 모든 기술수준의 작업에 고루 활용하는 것이 가능하기 때문에 그만큼 활용율이 증가한 것으로 보인다.

그러나 B급 작업자를 투입하는 경우는 기대만큼의 증가현상을 관찰할 수 없다. C 작업자의 활용율이 평균 45 %에서 49 %로 다소 높아졌지만 작업자 전체 평균은 오히려 73 %에서 70 %로 낮아졌다. 이러한 현상은 표 6의 자료로부터 설명되어질 수 있다. 표 6에서 B 급의 기술수준을 요하는 작업의 소요시간이 상대적으로 다른 기술수준의 소요시간보다 적어서 B 급 작업자의 효율이 떨어지게 되고 그 결과 전체 평균도 떨어진 것으로 보인다.

표 7에서 알 수 있는 유용한 사실은 인원을 무조건 많이 투입하는 것이 바람직하지 않다는 것이다. 인원을 투입할 때는 기술수준별 소요시간의 비중을 고려해서 각 기술수준의 작업자수를 결정해야 할 것이다. 연구대상 회사의 유압설계팀

구성은 그런 점에서 문제가 있으며 이러한 점은 A급 작업자를 추가로 1명 더 투입함으로써 해소할 수 있을 것이다.

2) 현행설계팀의 능력평가

본 연구를 위해 조사된 데이터의 종류는 두가지였고 각 종류별로 도면활용도에 따라 다시 세가지 경우로 나누어서 자료가 구해졌으므로 이에 준해서 능력을 파악해 보도록 한다.

데이터의 기본단위가 일일이고 프로젝트의 지속기간이 한달 가까이 되는 프로젝트가 많기 때문에 단위기간을 일개월로 잡는 것이 무난할 것이다. 따라서 설계능력은 한달동안에 설계가능한 프로젝트의 수로 구한다. 만약 프로젝트의 지속기간이 2주라면 한달에는 2대를 생산할 수 있을 것이다. 즉 능력은 프로젝트지속기간의 역수를 취함으로써 구해진다. 자료가 주어진 두가지제품에 대한 능력을 구하면 다음 표 8과 같다.

표 8. 설계능력

설계그룹	Crankless, Side Frame Press			유압 프레스		
인원수	3명(ABC) + 3명(ABC)			2명(AC)		
사양	경우 1	경우 2	경우 3	경우 1	경우 2	경우 3
월간능력	1.43 대	2.40 대	3.87 대	1.32 대	1.69 대	3.16 대

표 8에서 월간능력값은 8명의 인원이 6명과 2명으로 나뉘어져서 각각 주어진 경우를 전담할 때의 능력치를 나타낸다. 예를 들어 A급과 C급의 두명의 작업자가 한팀이 되어 유압프레스의 신규설계(경우 1)만을 전담할 때의 능력은 월간 1.32대이다. 표 8에 주어진 값은 계획대로 작업이 순조롭게 진행될 때 달성가능한데 실제로 프로젝트내 작업간에 존재할 수 있는 간섭효과 때문에 유효한 능력은 표 8의 값보다 작게 된다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 산업용 프레스를 생산하는 한 제조업체를 대상으로 설계공정의 일정계획을 위한 알고리즘과 계획용 프로그램을 개발하고 이를 실제로 적용한 결과를 다루었다.

관리자의 한정된 시간을 효율적으로 사용하기 위해서는 일상적이고 반복적인 관리항목들에 투입하는 시간을 줄여 좀 더 전략적이며 미래지향적인 관리항목들에 시간을 사용하도록 해야 한다. 본 연구에서는 일상적이고 반복적인 관리항목들중에서 그 중요성이 적지 않은 설계일정계획 편성작업을 대상으로 해서 관리자의 노력을 줄여주고자 노력했다. 이러한 노력은 편성 알고리즘의 개발과 전산화라는 측면에서 모색되었다.

설계공정진행의 일반적인 특성을 프로젝트별로 전담팀을 구성하고 이들이 프로젝트의 종결시까지 설계작업을 전적으로 책임진다는 것이다. 이와 같은 프로젝트공정관리는 많은 문헌에서 그 절차들이 소개되고 있으며 대표적인 것으로 '자원제약하의 프로젝트 일정계획' 기법이 있다. 본 연구에서는 이러한 기법에 근거하며 또한 연구대상 회사의 설계프로젝트의 특성을 고려하는 프로젝트일정계획의 규칙과 절차를 개발했다. 이러한 규칙과 절차들은 전산프로그램으로 만들어졌다.

본 연구에서 개발되어진 공정계획용 전산프로그램을 실제로 적용해 본 결과 공정계획뿐만 아니라 작업자이용률분석, 작업팀구성, 설계능력평가 등과 같은 분석용으로도 유용하게 활용될 수 있는 것으로 보인다. 대형프레스와 유압프레스에 대한 실제 적용결과는 대형프레스의 경우 A급, B급, C급의 작업자 3명을 투입하는 현행 방식이 인력활용율이 높아 큰 문제가 없는 것으로 나타났다. 그러나 A급과 C급의 2명의 작업자를 투입하는 유압프레스의 경우는 C급 작업자의 이용율이 50%에도 미치지 못하는 것으로 나타났다. 대안으로 A급 작업자를 추가로 투입하는 방안이 검토되었으며 인력활용율이 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

6. 참고문헌

- [1] 송주석, "제한된 자원하에서의 프로젝트 스케줄링을 위한 발견적 해법," 한국과학기술원 산업공학과 석사논문, 1987.
- [2] 이순용, 생산관리론 제 3판, 법문사, 1990, 제15장, 제16장.
- [3] Davis, E.D. & J.M. Patterson, "A Comparison of Heuristic and Optimum Solutions in Resource-Constrained Project Scheduling" MS, 21, 3, 1975, pp. 944-955.
- [4] Elsayed, E.A. & T.O. Boucher, *Analysis and Control of Production Systems*, P-H, NJ, 1985, Chapter 6.
- [5] O'Brien, J. J.(ed.), *Scheduling Handbook*, M-H, NY, 1969, Chapters 13, 18, 19.
- [6] Patterson, J. J., "A Comparison of Exact Approaches for Solving the Multiple Constrained Resource, Project Scheduling Problem," MS, 30, 7, 1984, pp. 854-867.
- [7] Slowinski, R., "Two Approaches to Problems of Resource Allocation Among Project Activities - A Comparative Study," J. Opl. Res. Soc., 31, 1980, pp. 711-723.
- [8] Wiest, J.D. & F.K. Levy, *A Managerial Guide to PERT/CPM*, 2nd ed., P-H, NJ, 1977, Chapter 7.