

상용차 Side Frame 공정의 생산계획 및 일정계획 수립 시스템 개발*

황 학** · 차춘남*** · 선지웅** · 한규현** · 문성우** · 이 석** · 홍성표**

Development of a Computer System for the Lot-sizing and Scheduling of the Side Frame Press Shop

Hark Hwang, Chun Nam Cha, Ji Ung Sun, Kyu Hun Hann, Seong Woo Moon, Suk Lee, Seong Pyo Hong

(Abstract)

Productivity improvement is one of the most challenging problem facing the motor industry. This paper deals with the lot sizing and production scheduling problems of the side frame press shop in a domestic truck manufacturing company. The problems can not be solved simultaneously due to the computational complexity. Thus, we present a heuristic method which solves the two problems sequentially with the objective of maximizing the press utilization while maintaining a minimum inventory level. A micro-computer-based software is developed for easy implementation of the heuristic in the shop floor level.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 국내의 자동차 업계는 매우 치열한 경영 환경에 처해 있다. 대외 개방의 가속화와 신규 참여 업체의 등장에 따른 기업간 경쟁의 심화, 고객 수요에 대한 신속한 반응의 필요성 등 여러 요인이 자동차 업계의 변화와 개선을 요구하고 있다. 특히, 낭비 제거의 철학에 기초하여 재고 감축, 품질 보증, 인간성 존중의 목표를 달성하려는 도요다 생산시스템이 일본에서 성공을 거둔 이후, 세계의 우수한 자동차업체들이

원가 절감과 품질 향상을 이루기 위해 끊임없는 개선과 혁신을 이루어 나가고 있다. 이런 상황에서 현대자동차의 상용차 생산 부문에서는 Side Frame (S/FRM) 공장의 생산관리 활동에 대한 효율성제고가 중요한 문제로 인식되고 있다.

현대자동차 트럭공장의 S/FRM 생산 과정은 다음과 같은 절차로 수행되고 있다. 먼저, 연간 사업계획과 월간 운영계획에 의거하여 한달 분의 생산에 소요되는 원자재를 생산 시점 석달 전에 포철에 발주한다. 그 후, 매달 25일경 다음달 Chassis 투입 일정계획이 나오면 그것을 반영하여 Slit 판재량을 발주하고 약 보름 후부터 납품을 받는다. 현장으로 배달된 Slit 판재

* 본 연구는 현대 자동차(주)의 연구비 지원으로 이루어졌음

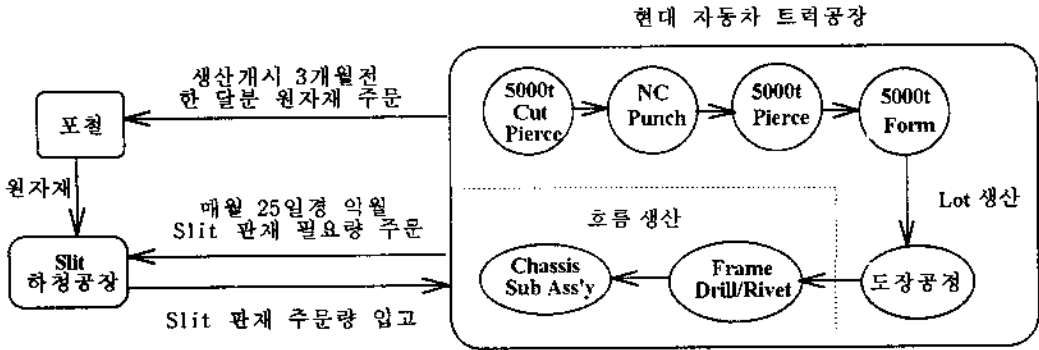
** 한국과학기술원 산업공학과

*** 현대전자

는 5000t 프레스에서 Cutting & Piercing, Piercing 그리고, Forming 공정을 거친 후, 도장공정을 거쳐 3t 라인, 5t 라인, 8t이상 라인 등의 3개 생산 라인으로 흘러 들어가게 된다. 이상의 내용을 그림으로 나타내면 <그림 1-1> 과 같다.

1.2 연구의 내용

현재 33종의 S/FRM을 생산하고 있는 현대자동차 전주 공장의 S/FRM 가공 공정은 프레스의 Setup 시간이 과다하므로 릿 단위의 생산이 이루어지고 있는



(그림 1-1) Slit 판재 발주 및 S/FRM의 생산공정

또한, S/FRM 생산을 위한 Lot 생산 공정과 Chassis 생산을 위한 호름생산 공정간의 원활한 연결을 위하여 두 공정 사이에 S/FRM의 재고를 유지하는 방식을 취하고 있다. 그러나, S/FRM의 재고유지 비용과 Setup 비용을 적절히 고려한 경제적이고 합리적인 릿 크기 결정 방안이 마련되어 있지 않고, 프레스의 가동률에만 초점을 맞추어 릿 크기를 결정하고 있는 실정이다. 이와 같은 상황에서 S/FRM의 릿 크기가 필요 이상으로 크게 설정되어 과다한 재고를 초래할 가능성이 높다. 그럼에도 불구하고 후속 공정에 대한 고려 미비로 잦은 결품이 발생하고 있는 실정이다. 더구나, 생산 설비가 전주 공장으로 이전하게 되면서 새로 NC Punching 공정이 추가되고 재공품 저장 공간이 크게 줄어들게 되어 이전보다 생산 및 재고관리에 한층 어려움을 겪을 것으로 예상된다.

본 연구에서는 S/FRM 공정을 대상으로 S/FRM의 품목별 생산계획, 일정계획을 수립하는 방안을 개발함으로써 Chassis 생산을 위한 호름생산 공정의 투입 일정계획을 맞추면서 공정간 재고를 감축하고 프레스 작업의 Setup에 소요되는 총시간을 Lot-sizing과 Sequencing으로 단축하여 총 생산비용을 최소화하는 것을 목적으로 삼는다.

며, Setup 시간이 제품의 가공순서에 따라 달라지며 한 대의 프레스에서 Cutting/Piercing, Piercing, Forming 등 세 가지의 서로 다른 종류의 가공이 수행된다는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 이러한 S/FRM 가공공정을 대상으로 다음과 같은 내용에 대한 연구를 수행하였다.

① Drilling/Riveting 이후 후속 조립공정의 일별 생산계획 (Chassis 투입 일정계획, 향후 한달 분)에 따른 S/FRM의 품목별 소요량을 확정하고, 각 S/FRM 완성품의 결품을 방지하고 총 비용을 최소화하는 S/FRM의 생산계획 (Lot-sizing)을 수립하기 위한 알고리즘을 개발하여 이를 컴퓨터 프로그램화 하였다.

② 위의 결과로부터 S/FRM의 공정 품목별 생산량이 결정되면 이를 바탕으로 각 S/FRM의 결품을 방지하면서 프레스의 Setup 시간의 합을 최소화하는 가공순서를 결정 (Sequencing)하기 위한 알고리즘을 개발하여 이를 컴퓨터 프로그램화 하였다.

1.3 기존의 연구

본 연구와 관련된 Lot-sizing과 Sequencing에 대한 기존의 연구 분야는 다음과 같이 요약해 볼 수 있다.

① Capacitated Lot Sizing Problem (CLSP)

이 유형의 문제는 대부분 생산능력이 제한된 설비에서 n개의 제품을 생산하는 경우에 Setup 비용과 재고유지 비용의 합을 최소화하기 위한 각 기간별 생산량을 결정하고자 하는 혼합정수계획 문제이다. CLSP에서 각 제품의 수요는 기간별로 다를 수는 있지만, 미리 알려져 있는 것으로 가정한다. 다품종 CLSP의 최적해를 구하는 것은 매우 어렵기 때문에 여러가지 발전적 기법이 발표되었다[1]. 단일 레벨이 아닌 멀티 레벨 CLSP[2, 14], Setup 시간을 고려한 CLSP[14], Minimum 룯 크기가 존재하는 경우의 CLSP[12] 등 현실적인 문제를 해결하려는 연구도 수행되고 있다. 또한, 최근에는 Simulated Annealing 이나 Tabu Search 등과 같은 탐색 기법을 활용한 연구 결과도 발표되고 있다[10].

② Economic Lot Scheduling Problem (ELSP)

ELSP는 CLSP와 마찬가지로 재고 비용과 Setup 비용의 합을 최소화하는 것을 목적으로 하지만, 각 제품의 수요가 기간별로 일정하다고 가정하고 일정한 주기에 따라 반복되는 제품별 생산일정을 구한다는 차이점이 있다. 따라서, ELSP는 수요가 상당히 안정적인 상황에 적합한 문제 유형이라고 할 수 있다[5]. Classical 한 ELSP 모형외에도 본 연구와 관련도가 높은 Sequence-dependent 한 제품들을 생산할 때의 ELSP를 다룬 연구결과도 발표되었다[4].

③ 순서에 따라 다른 준비시간을 갖는 Sequencing 문제

가공순서에 따라 Setup에 필요한 시간이나 비용이 달라지는 경우의 일정계획 문제는 대부분 Traveling Salesman Problem(TSP)로 표현이 가능하다. 두 대의 기계로 구성된 Flow shop의 경우 동적계획법에 기초한 최적해를 구하는 알고리즘이 제시되었지만[3], 이

러한 특징을 갖는 문제의 경우 최적해보다는 근사 최적해(near optimal solution)를 찾기 위한 발전적기법을 개발하고자 하는 연구가 대부분이고[6, 10] 최근에는 Simulated Annealing, Tabu Search, Genetic Algorithm 등과 같은 인공지능적 탐색기법을 활용한 연구들이 비교적 좋은 성과를 거두고 있다[9].

이 외에도 자동차 생산공장에서 발생하는 Lot-sizing, Sequencing, 월별 생산계획 수립 및 정보시스템 등에 대해 자세히 설명된 Monden[8]의 책도 참고할 만하다. 그러나 위에서 기술된 기존의 연구는 여러가지 가정하에서 해법을 개발하는데 목적을 두고 있어서 실용상의 어려움이 내재되어 있으며, 본 연구에서 다루는 문제상황에 대한 연구는 극히 미흡한 상태이다. 따라서 현장에서 당면하는 생산계획 및 일정계획 문제를 해결하기 위해서는 새로운 문제해결방안의 개발이 요구된다.

2. 문제 해결 방안의 개발

2.1 S/FRM의 생산계획 수립 (Lot-sizing)

5000t 프레스에서 수행되는 Setup 활동은 기계가동 중에도 수행될 수 있는 외부 Setup 과 반드시 기계가 정지된 상태에서만 수행될 수 있는 내부Setup으로 구분된다. S/FRM의 생산계획 수립 단계에서는 5000t 프레스의 가용시간에 관한 제약하에서 후속 흐름공정 (Drill/Riveting)에서의 결품을 방지하면서 총 생산비용을 목적함수로 설정하고 근사 최적해가 되는 일별 S/FRM 생산품목 및 생산량을 결정한다.

앞으로 논문에서 품목이란 용어는 33종의 S/FRM 완제품을 지칭하고, 공정 품목이란 용어는 S/FRM 품목을 공정별로 세분화한 것 (예 : 2.5톤 단축 Cargo, C/PI)을 지칭하는 것으로 정의한다. 먼저 각 S/FRM 품목별로, 한 번 생산을 위한 Setup 시 기본적으로 생산할 양을 결정하는 임시 생산 룯 크기 결정 방안을 제시하고 각 S/FRM 공정품목별 실제 생산 룯 크기 결정방안 및 생산계획 수립 단계에서 필요한 입력 자료의 종류에 대해 설명하도록 한다.

가) 임시 생산 룯 크기 결정 방안

S/FRM 생산 공정의 가장 중요한 해결 과제인 재고량을 줄이면서 프레스의 가동율을 최대화 하기 위해서는 재고비용 및 Setup 비용을 적절히 고려하여 생산 룯 크기를 결정하는 방안을 개발하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 각 S/FRM 의연간 소요량을 바탕으로 각각의 S/FRM 을 <표 2-1> 과 같이 크게 3개의 군으로 분류한 후 소요량이 비교적 많은 A 군에 대하여 경제적 주문량 결정식을 응용하여 생산 룯 크기를 결정하는 방안을 제시하였다.

값이라고 가정하면

$$T_i = \frac{c\sqrt{ST_i}}{\sqrt{D_iH_i}} \quad (\text{단 } c \text{ 는 상수}) \quad (\text{식 1})$$

ST_i: S/FRM i 각 공정의 내부 Setup 시간의 합
(3) T_i의 하한값 계산

$$\sum_i \frac{A}{T_i} \leq \frac{An}{m} \quad (\text{식 2})$$

A: 연간 가용일 수

<표 2-1> S/FAM 의 분류 기준 및 임시 생산 룯 크기

S/FRM 군	분류기준	임시 생산 룯 크기	비 고
A	1 개월 소요량 > 최소 생산 룯 크기	x ₁ 일 소요량	소요량 大
B	1 개월 소요량 ≤ 최소 생산 룯 크기	최소 생산 룯 크기	소요량 小
C	3 개월 소요량 ≤ 최소 생산 룯 크기	3 개월 소요량	소요량 極小

5000t 프레스에는 두 개의 Bolster가 존재하여 하나가 프레스 공정작업에 사용될 때, 나머지 한 개의 Bolster 위에서는 다음 작업을 위한외부 Setup이 수행된다. 따라서, 만약 공정시간이 외부 Setup 시간보다 작게 되면 프레스는 외부 Setup이 완료될 때까지 Idle한 상태가 된다. <표 2-1> 에서 최소 생산 룯 크기는 평균 외부 Setup 시간 동안 생산 가능한 수량으로 결정하였는데 이는 바로 프레스 가동율을 최대화하고자 하여 실제 생산현장에서 수행하고 있는 관행을 반영한 것이며, 준비시간에 대한 행렬형태의 자료에서 대각선에 위치한 수치값(zero)을 제외한 모든 수치값들의 평균으로 구한다.

n: 하루동안 가능한 최대 Setup 횟수

m: S/FRM 한 종을 생산하는데 필요한 평균 공정수 (= 3.5)

$$m\sum_i \frac{1}{T_i} \leq n \quad (\text{식 2})$$

(각 제품의 일일 총 Setup 횟수 X 평균공정수 ≤ 하루동안 가능한 최대 Setup 횟수)

(식 1) 과 (식 2) 로부터 $c \geq \frac{m\sum_i \sqrt{D_iH_i}}{n_i ST_i}$ (식 3)

(식 1) 과 (식 3) 으로부터

$$T_i \geq \frac{m\sum_j \sqrt{D_jH_j}}{n_j ST_j} \cdot \frac{\sqrt{D_iH_i}}{ST_i} \quad (\text{식 4})$$

(4) x₁ 값의 결정

$$T_i \geq \frac{m\sum_j \sqrt{D_jH_j}}{n_j ST_j} \cdot \frac{\sqrt{D_iH_i}}{ST_i} \quad (\text{식 5})$$

예를 들어 x₁ = 4, x₂ = 8 이값의 결정이고 일별 S/FRM 소요량이 아래의 그림과 같을 때, 임시 생산

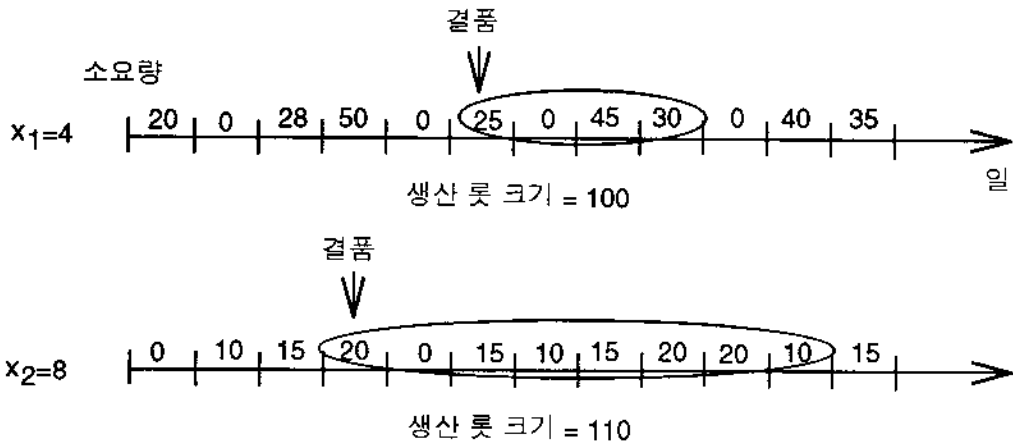
위의 <표 1> 에서 x₁ 의 결정 방안은 다음과 같다.

(1) 경제적주문량 결정식 $Q = \frac{\sqrt{2DS}}{H}$ 와 $T = \frac{Q}{D}$

로부터 $T = \frac{\sqrt{2S}}{DH}$

(D : 수요량/기간, H : 재고비용/기간, S : 준비비용/회, T : 생산주기)

(2) 작업준비 비용(Setup cost) 을 시간에 비례하는



(그림 2-1) 임시생산 롯 크기 결정의 예

롯 크기는 (그림 2-1) 과 같이 결정된다.

나) 생산 롯 크기 결정방안

가)에서 결정된 품목별 임시 생산 롯 크기를 기본으로 각 공정품목별 실제 생산 롯 크기를 결정하는 방안을 정리하면 다음과 같다.

- FO 공정의 생산 롯 크기 = 임시 생산 롯 크기
- FO 공정 직전 공정의 생산 롯 크기

(1) NCP 공정의 경우

만약 FO 공정의 생산 롯 크기 > 현 재고량	만약 FO 공정의 생산 롯 크기 ≤ 현 재고량
FO 공정의 생산 롯 크기 - 현 재고량	0

(2) NCP 의 공정의 경우

만약 FO 공정의 생산 롯 크기 > 현 재고량	만약 FO 공정의 생산 롯 크기 ≤ 현 재고량
Max {FO 공정의 생산 롯 크기 - 현 재고량, 최소 생산 롯 크기}	0

NCP 공정의 생산 롯 크기

만약 첫 상위단계 공정의 생산 롯 크기 > 현 재고량	만약 첫 상위단계 공정의 생산 롯 크기 ≤ 현 재고량
첫 상위단계 공정의 생산 롯 크기 - 현 재고량	0

그외 공정의 생산 롯 크기

만약 첫 상위단계 공정의 생산 롯 크기 > 현 재고량	만약 첫 상위단계 공정의 생산 롯 크기 ≤ 현 재고량
Max {첫 상위단계 공정의 생산 롯 크기 - 현 재고량, 최소 생산 롯 크기}	0

이상의 생산 롯 크기 결정 방안을 다음 예제를 통해 설명하기로 한다. 최소 생산 롯 크기가 80개로, 어떤 S/FRM의 임시 생산 롯 크기가 70개로 각각 결정된 상태에서 다음 재고량 자료를 토대로 생산 롯 크기를 정하면 아래와 같다.

공정 (K)	재고량 (개) (I_{ik})	생산 롯 크기 (개)
1. CUT/PI	80	0
3. NCP	30	50
4. PI	60	80
5. FO(L)	20	70
6. FO(R)	30	60

여기서 I_{ik} = S/FRM i의 공정 k의 현 재고량
 $j = 1$: CUT/PI or CUT/PI(I), $j = 2$: CUT/PI(II), $j = 3$: NCP,
 $j = 4$: PI, $j = 5$: FO(L), $j = 6$: FO(R)

다) 필요 입력자료

생산계획을 수립하는데 필요한 입력 자료에는 계속적인 수정이 요구되는 자료와 한 번의 입력만이 요구되는 자료로 구분되며 이를 정리하면 <표 2-2>와 같다.

<표 2-2> 생산계획 수립을 위한 필요 입력자료

계획관련 자료 (계속수정이 필요한 자료)	비용 및 공정관련 자료 (한번의 입력만이 필요한 자료)
① 월 Chassis 투입일정계획(일별/차종별)	① 품목별 연간소요량[대/년]
② 품목별 일별소요량[대/일] (월 Chassis 투입일정계획으로부터 계산)	② 품목별 재고유지비용[원/개]
③ 5000t 프레스의 가용시간[분/일]	③ 품목별 Setup비용[원/개]
④ 공정 품목별 재고량[개]	④ 공정 품목별 Setup시간[분/회] (Sequence-dependent; matrix 형태)
	⑤ 공정별 단위 가공시간[분/개]
	⑥ 품목별 공정 종류 및 순서

2.2 S/FRM의 일정계획 수립(Sequencing)

위의 생산계획 수립 단계에서 생산해야 할 공정품목 및 생산량이 결정되면 5일분의 자료를 대상으로 각 S/FRM의 결품을 방지하면서 Setup 시간의 총합을 최소화하기 위한 가공 순서를 결정한다.

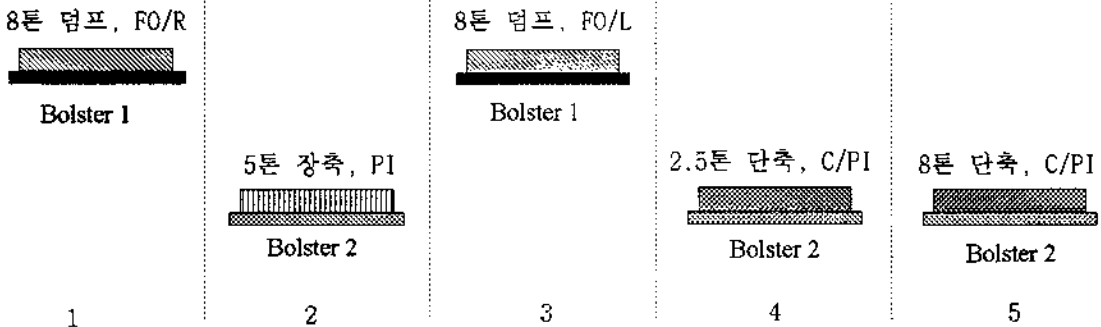
가) 개요

프레스 공장은 한 대의 5000t 프레스와 두 대의 NC 기계로 구성되어 있다. 프레스에는 두 개의 Bolster가 존재하고 각 Bolster 위에는 급형을 장착하기 위한 Holder가 놓여지는데, 현재 C/PI 용 1개, PI 용 1개 FO 용 2개의 Holder를 갖추고 있다. 일반적으로 두 개의 Bolster가 교대로 사용되나 본 연구에서는 보다 좋은 해를 찾기 위해 동일한 Bolster가 연속적으로 사용되는 경우도 허용하도록 하였으며 발생 가능한 가공 순서의 한 예를 <그림 2-2>에 나타내었다.

생산되는 S/FRM의 공정 순서는 크게 6 가지 형태로 구분되며 이를 그림으로 나타내면 <그림 2-3>과 같다. 그런데, <그림 4-3>에서 보듯이 한 대의 프레스에서 서로 다른 종류의 가공을 수행하고 있기 때문에 가공 흐름이 Re-entrant 하는 형태이고, 생산되는 공정 품목의 가공 순서에 따라 외부 Setup 시간이 달라지는 특성을 지니고 있다.

나) 초기 상태 조건

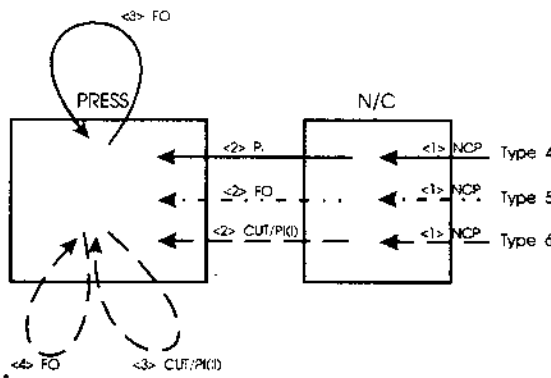
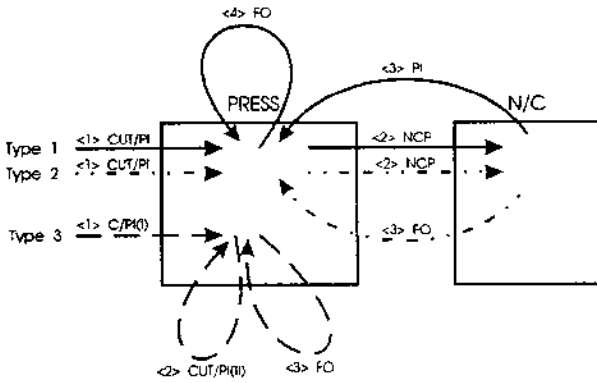
매일 생산 개시 시점에 각 Bolster의 Holder 위에는 전날에 미처 완료하지 못한 작업이 존재할 수 있으며 일별 가공순서를 결정할 때 이를 간과하면 좋은 해를 구하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 <표 2-3>와 같은 모든 발생가능한 초기 상태 조건을 반영하도록 하였으며 이 때, 필요 입력자료를 정리하면 <표 2-4>와 같다.



<그림 2-2> 발생가능한 가공순서의 예

〈표2-4〉 필요 입력자료

5000r 프레스		NC	
O	X	O	X
- S/FRM 공정 품목	- 완료된 S/FRM	- S/FRM 품목	無
- 잔여 외부 준비시간	- 잔여 내부 준비시간	- 잔여 가공시간	
- 잔여 가공시간			



〈그림 2-3〉 S/FRM의 공정 형태

〈표 2-3〉 발생 가능한 초기 상태

프레스		NC
Bolster 1	Bolster 2	
O	O	O
O	X	X
X	X	

O : 전일 작업 수행도중 중단된 경우
X : 전일 작업완료된 경우

다) 해법의 개발

1) Simulated annealing 에 기초한 탐색 기법

위에서 언급했듯이 본 문제는 여러가지 특성을 지닌 복잡한문제로서 이론적으로 최적의 해법을 구하기는 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 5일분의 생산계획을 수립하는 모듈에서 빠른 시간내에 좋은 해를

구하기 위하여 조합 최적화 문제에서 널리 사용되는 탐색 기법 중 하나인 Simulated annealing (SA)을 이용한 발견적 기법을 개발하였다.

SA 는 조합적 최적화 문제의 한 해법으로서 Kirkpatrick et al. (1983) 등에 의해 제안되었으며 기존의 반복적인 개선에 근거한 발견적 기법들이 국부적 최적해(Local optimal solution) 에 빠져버리는 단점을 개선한 범용의 최적화 기법으로 현재까지 많은 분야에서 응용되고 있다. 본 연구에서 활용된 SA 알고리즘은 아래와 같은 형태이다.

1. Get an initial solution S .
2. Get an initial temperature $T > 0$.
3. While not yet frozen do the fol
 - 3.1 Perform the following loop EL times.
 - 3.1.1 Pick a random neighbor S' of S .
 - 3.1.2 Let $\Delta = \text{cost}(S') - \text{cost}(S)$.
 - 3.1.3 If $\Delta \leq 0$ (downhill move),
Set $S = S'$.
 - 3.1.4 If $\Delta > 0$ (uphill move),
Set $S = S'$ with probability $e^{-\Delta/T}$.
 - 3.2 Set $T = rT$ (reduce temperature)
4. Return S

〈그림 2-4〉 Simulated Annealing 알고리즘

본 연구에서 개발한 SA에서 공정간의 선후관계를 만족하는 하나의 해를 생성하는 방안 및 이웃해 생성방안을 다음 예제를 통해설명한다.

단계 1. 공정의 선후관계를 고려하지 않고 스트링S를 생성한다.

$S = 1\ 2\ 1\ 1\ 3\ 3\ 2\ 1\ 2\ 2\ 1\ 3\ 3$

단계 2. 결품시점 순으로 우선순위 스트링(Priority

〈표 2-5〉 Job정의 방안

S/FRM type	S/FRM 1	job	S/FRM 4	job	S/FRM 8	job
생산공정	C/PI	1	C/PI	6		
	NCP	2	NCP	7	NCP	10
	PI	3			PI	11
	FO/L	4	FO/L	8	FO/L	12
	FO/R	5	FO/R	9	FO/R	13
결품시점	4일		5일		3일	

string) P를 생성한다.

$$P = 3\ 1\ 2$$

단계 3. Backward scanning을 하면서 각 숫자의 처음으로 만나는 위치를 체크한 후 그 위치의 값들이 P와 같지 않으면 P로 수정한다. 이 조건을 만족할 때까지 단계 3을 반복한다.

$$S = 1\ 2\ 1\ 1\ 3\ 3\ 2\ 1\ 2\ 2\ 1\ 3\ 3$$

$$\rightarrow S' = 1\ 2\ 1\ 1\ 3\ 3\ 2\ 1\ 2\ 3\ 1\ 3\ 2$$

$$\rightarrow S'' = 1\ 2\ 1\ 1\ 3\ 3\ 2\ 1\ 2\ 3\ 3\ 1\ 2$$

위에서 S의 (2, 1, 3)값을 P(3, 1, 2)로 수정하여 S'을 얻는다. S'이 조건을 만족하지 않으므로 다시 단계 3을 적용하여 S'의 (1, 3, 2)값을 P(3, 1, 2)로 수정하여 S''을 얻는다.

단계 4. Job 숫자로 변형하면 공정간의 선후관계를 만족하는 하나의 해를 얻는다.

$$\rightarrow S''' = 1\ 6\ 2\ 3\ 10\ 11\ 7\ 4\ 8\ 12\ 13\ 5\ 9$$

단계 5. S'''에서 서로 다른 두 숫자를 선택하여 위치를 바꿔줌으로써 하나의 이웃해를 생성한다. 생성된 이웃해에 대해 단계3부터 재 적용한다.

본 연구의 일정계획 수립단계에서의 목적은 S/FRM의 결품을 방지하면서 총 작업완료시간을 최소화하는 작업순서를 찾는 것이다. 이와 관련하여 SA에서 해를 개선해가는 비용함수는 다음과 같이 정의된다.

$$f(S) = C(S) + \sum_{i=0}^n \{ a W_i(C_i(S) - d_i) + \max [C_i(S) - d_i, 0] \} \quad (식\ 6)$$

$C(S)$ = 해 S의 총 작업완료시간

$C_i(S)$ = 해 S에서 S/FRM i의 작업완료시간 $i = 1, \dots, n$

d_i = S/FRM i의 예상결품시점

$W_i(x)$ = 만약 $x > 0$ 이면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는 이진변수

위 식에서 a 는 별점을 나타내는 파라미터로서 본 연구에서는 실험을 통해 $a = 100$ 으로 결정되었다. 그외에 SA를 적용하기 위해 필요한 파라미터의 값들은 초기온도 = 150, 최종온도 = 5, 내부루틴 반복횟수 = $10 \times n$, 냉각율 = 0.95로 각각 결정되었다.

2) 사선형 발견적 기법

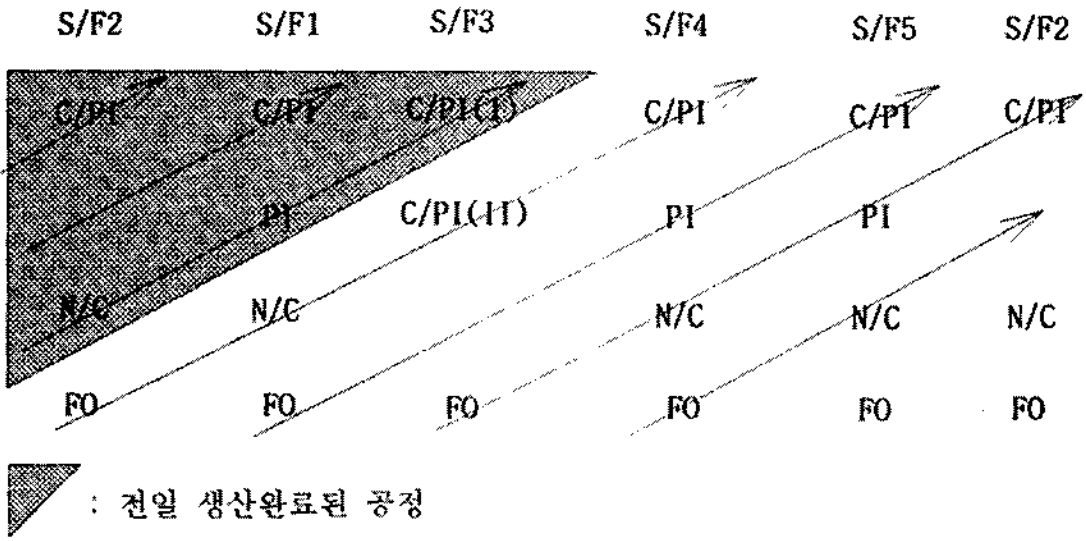
한달분의 Slit 판재 입고계획을 수립하기 위해서는 먼저 한달분의 생산계획이 수립되어야 한다. 한달분의 생산계획을 수립하는 모듈에서 빠른 시간내에 각 S/FRM의 결품을 방지하는 해를 구하기 위하여 사선형 발견적 기법을 개발하였다. 이 기법은 결품 시점이 빠른순서대로 S/FRM을 나열하고 아래의 〈그림 2-5〉와 같은 방법으로 가공순서를 결정한다. 사선형 기법이 개발된 의도는 다음과 같다. 첫째, 긴급한 S/FRM에 가공의 우선순위를 주어 결품시점 순으로 가공순서를 결정함으로써 각 S/FRM의 결품을 방지하는 해를 구할 가능성이 크며 둘째, 동일 공정을 요하는 작업이 연속으로 가공될 경우 외부 Setup 활동은 각 공정별 전용 Holder 갯수의 제약때문에 직전 공정이 완료된 후에 비로소시작될 수 있으므로 외부 Setup 시간동안 프레스는 Idle 상태가 된다. 그러나 사선형 기법으로 가공순서를 결정하게 되면 이를 방지할 수 있다.

라) 필요 입력자료

일정계획을 수립하는 데 필요한 입력 자료는 계속적인 수정을 요하는 자료와 한 번의 입력만을 요하는 자료로 구분되며 이를 정리하면 〈표 2-6〉과 같다.

2.3 문제 해결 방안

S/FRM 가공 공정을 대상으로 Lot-sizing 및 Sequencing을 순차적으로 결정하기 위한 문제 해결 방안을



(그림 2-5) 사선형 발견적 기법

(표 2-6) 일정계획 수립을 위한 필요 입력자료

계획관련 자료 (계속 수정이 필요한 자료)	공정관련 자료 (한번의 입력만이 필요한 자료)
① 공정 품목별 생산량[개/일] (생산계획 단계의 출력 자료)	① 공정 품목별 Setup시간[분/회] (Sequence-dependent; matrix형태)
② 공정 품목별 재공품 재고량[개]	② 공정별 내부 Setup시간[분/회]
③ 일별 가용시간 [분]	③ 공정별 단위 가공시간[분/개]
	④ 품목별 공정 종류및 순서

흐름도로 나타내면 <그림 2-6> 과 같다.

STEP 1. 각 S/FRM 의 일별 소요량 계산

차종별(100 여종)로 집계되어있는 월 Chassis 투입 일정계획으로부터 공통된 S/FRM 을 사용하는 차종들을 합산하여 각 S/FRM(33 종)의 일별 소요량 (단위 : 대)을 계산한다.

STEP 2. 각 S/FRM의 예상 결품시점 계산

각 S/FRM의 완성품 재고량과 소요량으로 부터 각 S/FRM의 예상 결품시점 d_i 를 계산한다.

STEP 3. 생산 룯 크기 결정

구체적인 생산 룯 크기 결정 방안은 2.1절의 나)와 같다.

STEP 4. 가공순서 결정

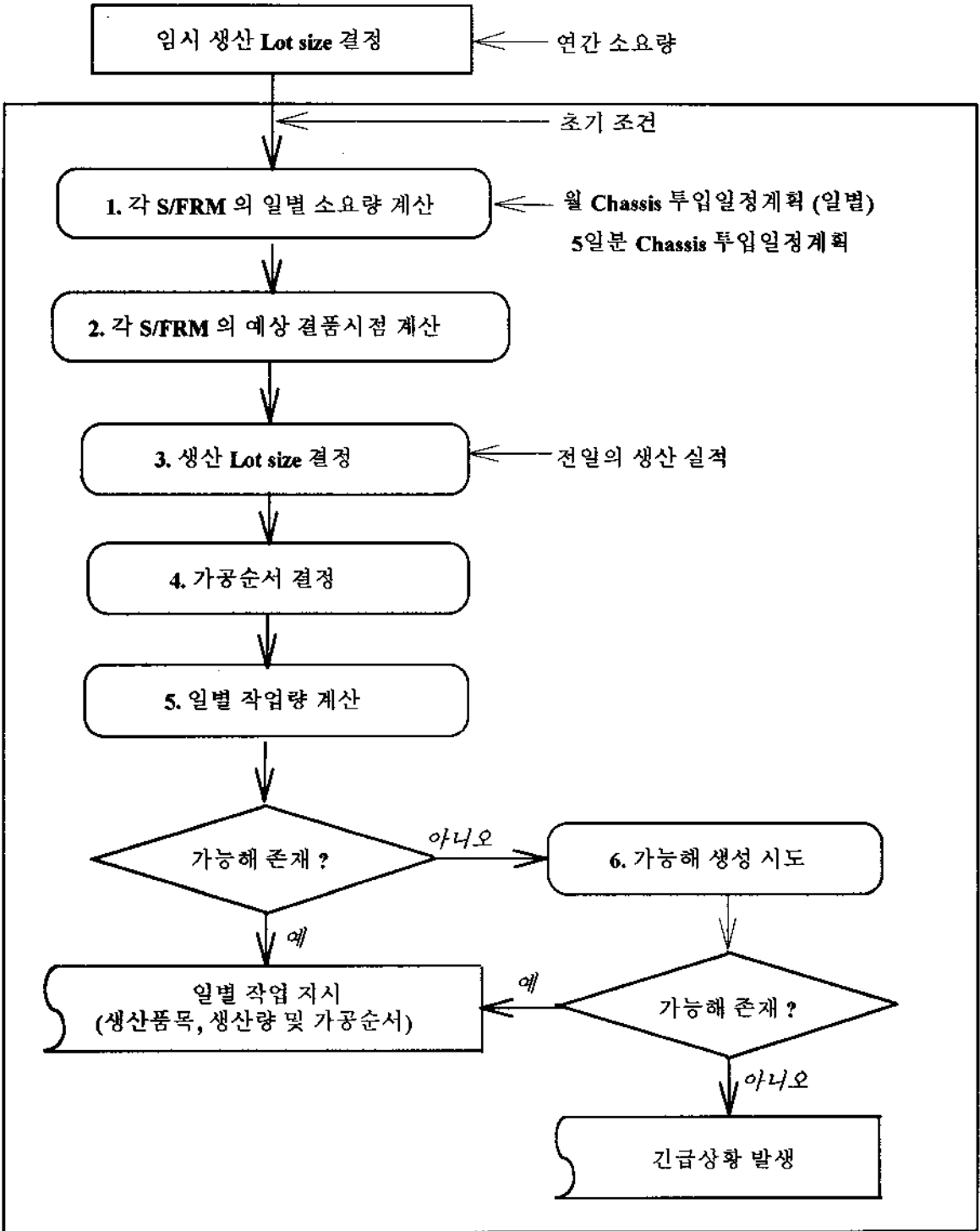
5일분 생산계획 수립 모듈에서는 SA(Simulated annealing) 에 기초한 탐색 기법을사용하고 한달분 생산계획 수립 모듈에서는 SA 해법의 계산시간의 부담 때문에 사선형 발견적 기법을 사용하여 가공순서를 결정한다.

STEP 5. 일별 작업량 결정

- (1) STEP 4 로부터 얻은 해를 대상으로 하루 가용 시간 만큼 분할하여 일별 작업량을 결정한다.
- (2) 각 S/FRM 별로 결품시점 전에 생산완료 가능한지 확인한다.
만약 가능하면 일별 작업지시 (생산품목, 생산량 및 가공순서) 를 한다.
그렇지 않으면 STEP 6 을 수행한다.

STEP 6. 가능해 생성 시도

결품이 발생한 S/FRM 들 중 결품시점이 빠른 순서로 고려하되, 아래의 해결 방안을 순차적으로 적



〈그림 2-6〉 문제 해결 방안의 절차 흐름도

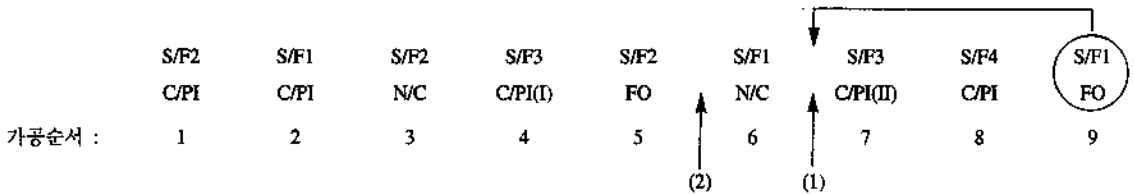
용한다.

방안 A. 가공순서 수정

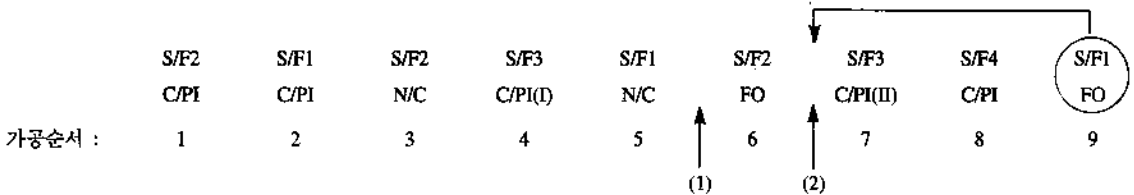
해당 S/FRM 의 FO 공정의 가공순서를 선행 공정에 영향을 미치지 않으면서 최대한 앞으로 조정해 본다. 실제 수정되는 위치는 a 공정의 바로 다음으로 결정한다.

- a 공정 = Max ((1) 동일 Lot 의 FO 직전 공정,
- (2) 직전 FO 공정)

(예제 1) 동일 Lot의 FO직전 공정의 바로 다음으로 수정되는 경우



(예제 2) 직전 FO공정의 바로 다음으로 수정되는 경우



방안 B. 생산 룯 크기 수정

(1) FO 공정의 하위단계 공정 k = 4, 3, 2, 1 의 재고량을 차례로 검색하여, 처음으로 누적재고량이 현 생산 룯 크기의 50% 이상이 되는 공정을 j라고 하면, FO 공정의 생산 룯 크기를 $\sum_{k=j}^4 I_k$ 로 수정함

(2) FO 공정의 하위단계 공정들의 생산 룯 크기를 Max 첫 상위단계 공정의 생산 룯 크기 - 현 재고량, 0으로 수정함

(3) FO 공정 직전 공정의 생산 룯 크기를 Max FO 공정의 생산 룯 크기 - 현 재고량, 0으로 수정함

가능해 생성 여부 확인

(1) 위에서 수정된 해를 대상으로 하루 가용시간 만큼 분할하여 일별 작업량을 결정한다.

(2) 각 S/FRM 별로 결품시점 전에 생산완료 가능한지 확인한다.

만약 가능하면 일별 작업지시 (생산품목, 생산량 및 가공순서) 를 내린다.

그렇지 않으면 긴급상황이 발생 하였으므로 적절한 조치 (특근, 후속라인 투입계획 변경 등) 가 필요함을 알린다.

(예제) 최소 생산 룯 크기 = 80 개

공정 (K)	재고량(개) (I _k)	생산 룯 크기 (개)	
		(변경전)	(변경후)
1. CUT/PI	0	80	0
3. NCP	<u>30</u> ; j=2	60	0
4. PI	<u>40</u>	90	30
5. FO(L)	40	<u>60</u>	30
6. FO(R)	30	<u>70</u>	40

3. Side Frame 생산정보 시스템

3.1 주메뉴의 구성 및 기능

Side Frame 생산정보 시스템은 WINDOWS 3.1 환경에서 Visual Basic 3.0 및 Broland C언어를 이용하여 개발되었으며 모든 사용자 인터페이스는 팝업윈도우와 마우스를 사용하기 때문에 누구나 쉽게 배워 사용할 수 있다. 주메뉴의 구성 및 기능은 다음과 같다.

① 파일메뉴

새로 프로그램을 기동하여 월 Chassis 투입일정계획, 5일분 Chassis 투입일정계획을 입력하거나 저장하

는 기능과 Chassis 투입일정계획, S/FRM 소요량과 Lot-sizing & Sequencing 모듈의 결과인 간트 차트 및 작업지시서, 현 재고량 등을 인쇄하거나 프로그램을 종료하는 기능을 수행하는 메뉴로 구성되어 있다.

② 수정메뉴

새로운 차종이 추가되거나 기존에 생산되던 차종이 생산 중단된경우 또는 세부차종의 변화가 발생한 경우에 세부 차종 및 해당 S/FRM 차종을 추가하거나 삭제하는 기능을 수행한다. 또한 비용 및 공정 관련 자료(한번의 입력만이 필요한 자료)가 변경되었을 시 이를 수정하는 기능을 수행하는 메뉴로 구성되어 있다.

5일분 Chassis 투입일정계획					
	5 Wed	6 Thu	7 Fri	8 Sat	10 Mon
1	5t 초장축 CARGO CUT/PI(I) 100	3.5t CARGO CUT/PI(I) 100	15t 6M MIXER NCP 80	5t 초장축 CARGO FO(L) 50	15t 6M MIXER PI 80
2	2.5t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100	2.5t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100	18t CARGO CUT/PI(I) 80	5t 초장축 CARGO FO(R) 50	3.5t CARGO FO(L) 50
3	15t DUMP CUT/PI(I) 80	2.5t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100	5t 초장축 CARGO NCP 100	2.5t 장축 CARGO FO(L) 50	3.5t CARGO FO(R) 50
4	8t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100	8t 장축 CARGO NCP 100	3.5t CARGO CUT/PI(I) 100	2.5t 장축 CARGO FO(R) 50	8t 장축 CARGO FO(L) 50
5	2.5t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100	5t 초장축 CARGO CUT/PI(I) 100	5t 초장축 CARGO NCP 100	2.5t 장축 CARGO FO(L) 50	8t 장축 CARGO FO(R) 50
6		15t 6M MIXER CUT/PI(I) 80	2.5t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100	2.5t 장축 CARGO FO(R) 50	15t DUMP PI 80
7			15t DUMP NCP 80	18t CARGO NCP 80	2.5t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100
8			5t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100	5t 초장축 CARGO PI 100	2.5t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100
9			5t 초장축 CARGO PI 100	5t 장축 CARGO NCP 100	
10			2.5t 장축 CARGO CUT/PI(I) 100		

〈그림 3-1〉 5일분 생산계획 출력화면

③ 보기메뉴

월 Chassis 투입일정계획 및 월S/FRM 소요량, 5일 분 Chassis 투입일정계획 및 5일분 S/FRM 소요량, 현재고량과 실행결과를 볼 수 있는 기능을 수행하는 메뉴이다.

④ 실행메뉴

Lot-sizing & Sequencing 모듈을 실행하는 메뉴, Slit 입고계획 모듈을 실행하는 메뉴와 임시 생산 룯 크기 모듈을 실행하는 메뉴로 구성되어 있다.

⑤ 창메뉴

시스템을 사용하다 보면 화면에 여러개의 창을 동

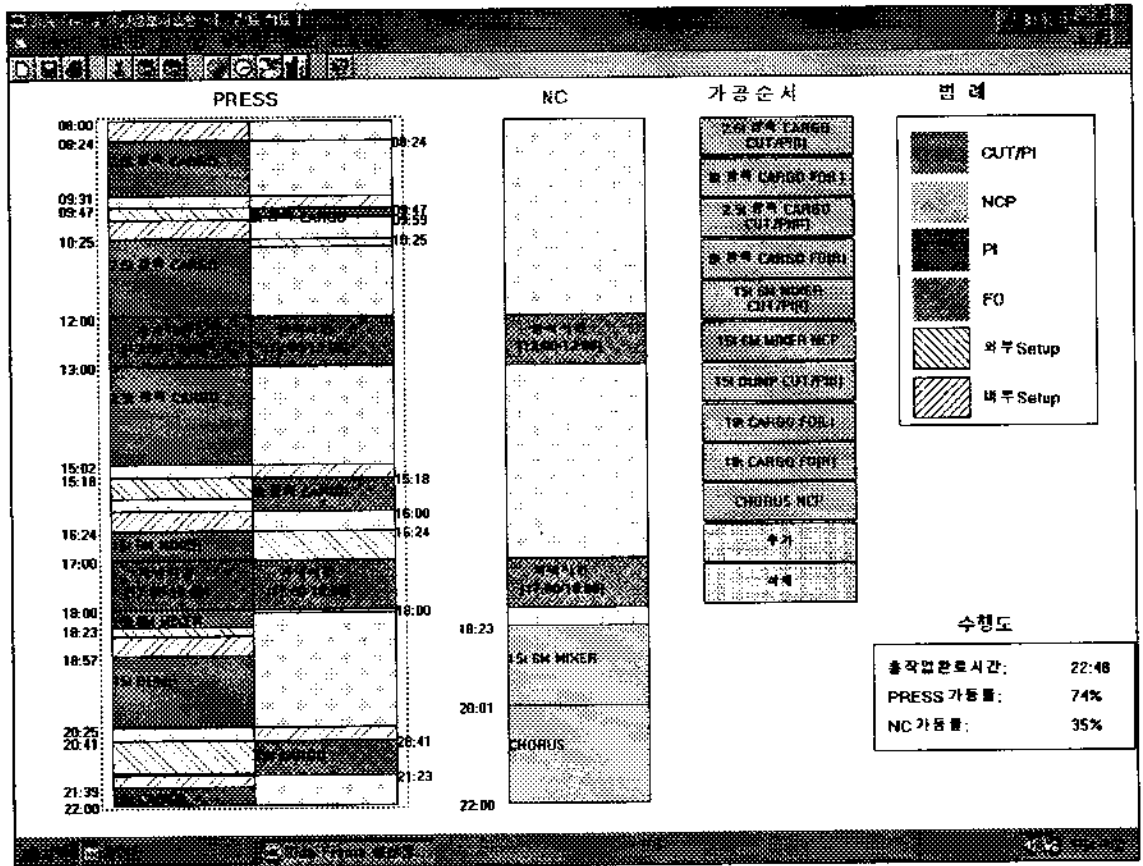
시에 열어 두어야 하는 경우가 발생하게 된다. 이때 창의 이동이나 화면에서의 창을 배열하는 방법 등의 기능을 수행하는 메뉴이다.

⑥ 도움말메뉴

시스템의 사용법에 관한 내용을 담고 있는 창을 보여주는 메뉴로서 <F1>키를 누른 후 원하는 내용을 클릭하면 원하는 정보를 얻을 수 있다.

3.2 출력화면의 예

<실행 | Lot-sizing & Sequencing> 명령을 실행시킨 후, 5일분 생산계획 결과를 보기위해서 <보기 | 결과|



<그림 3-2> 작업내용의 간트 차트 화면

5일분 생산계획) 명령을 실행시키면 <그림 3-1>과 같이 향후 5일분 생산계획을 출력해주는 창이 나타난다.

이 시스템에서는 <실행 | Lot-sizing & Sequencing> 명령을 실행시킨 후, <보기 | 간트차트> 명령을 선택하면 <그림 3-2>와 같이 일일의 작업내용 및 가공순서를 그래픽하게 간트 차트의 형태로 보여준다. 아래 그림에서 보듯이 프레스와 NC 각각에 대해 수행되어야 할 작업이 그래픽으로 표시되고 우측 하단에는 총 작업완료 시간, 프레스 및 NC의 가동율에 대한 수행도가 표시된다. 이 간트차트 화면에서는 기존 작업을 삭제 또는 새로운작업을 추가하거나 가공순서를 변경하는 등 다양한 기능을 제공해 준다.

4. 결론

본연구에서는 현대자동차의 S/FRM 생산공정을 대상으로 생산계획 및 일정계획을 수립하기 위한 해법을 개발하고 이를 컴퓨터 프로그램화 한 S/FRM 생산정보시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 현장에서의 이용 편의성에 중점을 두어 윈도우 환경하에서 개발하였으며 추후 새로운 차종이 추가되거나 기존 차종이 삭제되더라도 이를 반영할 수 있도록 확장성을 갖추었다.

본 연구 수행에 따르는 기대 효과로는 첫째, 총 생산비용을 최소화하는 생산계획과 일정계획 수립이 가능하게 됨으로써 원가 절감을 기할 수 있다. 둘째, S/FRM의 재공품 재고와 완제품 재고의 적정한 수준을 파악하고 유지함으로써 선후 공정간의 원활한 작업 진행이 가능하게 된다. 셋째, 효율적인 릿 크기 및 가공순서의 결정을 통해 Setup 시간의 절감 효과를 얻을 수 있다. 넷째, 적정한 릿 크기의 결정을 통해 프레스기계의 가동율을 높이고, 프레스 작업을 위해 인원을 추가 배치하는 일을 미연에 방지할 수 있다. 다섯째, 긴급 작업 Order에 신속하게 대처할 수 있고 부품의 결품을 최대한 방지할 수 있을 것이다.

【참고문헌】

[1]Bahl, H.C., Ritzman, L. P., and Gupta, J. N. D.,

"Determining Lot Size and Resource Requirements: A Review", Operations Research, Vol. 35, No.3, pp. 329-345, 1987.

[2]Billington, P., Blackburn, J., Maels, J., Millen, R. and Wassenhove, L.N. "Multi-item lotsizing in capacitated multi-stage serial systems", IIE Trans, Vol.26, No.2, 1994.

[3]Corwin, B.D., and Esogbue, A.O., "Two Machine Flow Shop Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Times: A Dynamic Programming Approach", Naval Research Logistic Quarterly, Vol.21, pp.515-524, 1974.

[4]Dobson, G., "The Cyclic Lot Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setups", Operations Research, Vol.40, pp.736-749, 1992.

[5]Elmaghraby, S.E., "The Economic Lot Scheduling Problem(ELSP): Review and Extensions", Management Science, Vol.24, pp.587-598, 1974.

[6]Kim, C.S., and Bobrowski, P.M., "Impact of Sequence-dependent Setup Time on Job Shop Scheduling Performance", International Journal of Production Research, Vol.32, No.7, pp.1503-1520, 1994.

[7]Kirkpatrick, C.D., Gelatt, and Vecchi, M.P., "An Efficient Heuristic Procedure for Partitioning Graphs", Bell Systems Technical Journal, Vol.49, pp.291-307, 1970.

[8]Monden, Y., Toyota Production System, 2nd ed., IE & Management Press, 1993.

[9]Paul, A.R., and Gary, L.R., "Scheduling in a Sequence Dependent Setup Environment with Genetic Search", Computers and Operations Research, Vol.22, No.1, pp.85-99, 1995.

[10]Kuik, R., Sloman, M., Luk, N., Wassenhove, V., and Maes, J., "Linear Programming, Simulated Annealing and Tabu Search Heuristics for Lotsizing in Bottleneck Assembly Systems", IIE Transactions, Vol.25, No. 1, 1993.

[11]Simons, J.V., "Heuristics in Flow Shop Scheduling with Sequence Dependent Setup Times", OMEGA,

Vol.20, No.2, pp.215-225, 1992.

[12]Stadtler,H., "Medium term production planning with minimum lotsizes", International Journal of Production Research, Vol.26, No.4, 1988.

[13]Tempelmeier,H. and Helber, S., "A heuristics for dynamic multi-item multi-level capacitated lotsizing for general product structures", European Journal of Operational Research, Vol.75, 1994.

[14]Trigeiro,W.W.,Tomas,L.J. and McClain, "Capacitated lot sizing with setup times", Management Science, Vol.35, No.3, 1989.

황 학(黃鶴)

1975년 미네소타 주립대학 산업공학 공학박사
현재 한국과학기술원 산업공학과 교수

관심분야: 공장자동화, 물류관리, 시설 계획 및 설계, 재고 및 생산관리, 작업관리

차춘남(車春南)

1986년 서울대학교 산업공학과 학사
1988년 한국과학기술원 산업공학과 석사

1996년 한국과학기술원 산업공학 공학박사

현재 현대전자 생산기술연구소 선임 연구원

선지웅(宣智雄)

1969년 11월 14일생.
1992년 서울대 공대 산업공학과 졸업.
1994년 한국과학기술원 산업공학과 졸업(석사).

현재 한국과학기술원 산업공학과 박사과정.



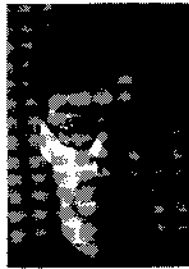
한규현(韓奎顯)

1969년 9월 25일생.
1993년 서울대 공대 산업공학과 졸업.
1995년 한국과학기술원 산업공학과 졸업(석사).
현재 한국과학기술원 산업공학과 박사과정.



문성우(文成?)

1971년 12월 26일생.
1993년 한국과학기술원 산업공학과 졸업.
1996년 한국과학기술원 산업공학과 졸업(석사).
현재 한국과학기술원 산업공학과 박사과정.



이 석(李錫)

1971년 9월 8일생.
1995년 성균관대학교 산업공학과 졸업.
현재 한국과학기술원 산업공학과 석사과정.

홍성표(洪成杓)

1995년 한국과학기술원 산업공학과 학사
현재 한국과학기술원 산업공학과 석사과정

