

0-1 정수계획법을 이용한 일정계획 시스템 개발

- Development of Scheduling by 0-1 Integer Programming -

유 병 철 *
Yoo, Byung-Chul
이 민 우 *
Yi, Min-Woo

Abstract

In this thesis, we suggest the application of dock scheduling which is based on zero-one integer programming. A knowledge based system for dock scheduling was developed to implement this mathematical method.

1. 서 론

조선 공업의 생산 계획 수립 및 관리의 최적화는 많은 하부 생산 계획 시스템들내에서의 최적화뿐만 아니라 전체적 최적화도 동시에 고려해야 된다. 조선공업의 생산 계획수립 및 관리 시스템은 생산 전략의 변화와 목표의 변화를 전체적인 최적화를 고려하며 각 단계별 하부 단위 생산 계획에 흡수시켜야 된다. 데이터베이스를 중심으로 하는 시스템으로서는 상기의 기능을 갖는 시스템으로 구축되기 어렵다.

조선업의 생산계획 수립 체계는 기업에 따라 다를 수 있지만 다음과 같은 흐름을 가진다. 먼저 선박의 수주, 주문 취소등이 발생한 때마다 선박 수주 현황을 고려하여 선박 조립을 위한 전체적인 선표 계획을 수립한다 (총관생산계획). 이러한 선표계획이 수립되면, 도크(Dock)와 각 블럭조립 공장 시설의 총관적 활용도를 균등화하는 탑재 대 일정계획을 수립하고, 각 블럭을 조립할 공장을 결정한다.

각 블럭조립 공장에서는 공장내의 정반 면적, 조립 인력등을 고려하여 블럭의 일별 조립 계획을 세운다 (중일정 계획). 선박을 건조하기 전에 얼마의 기간을 두고 중일정 계획을 바탕으로 탑재 일정 계획과 각 블럭조립 공장의 생산계획을 세밀화한다 (소일정 계획). 소생산계획을 기본으로 해서 구체적인 작업 위치, 작업 인원을 고려한 주간계획을 수립하고 (작업일정계획), 이를 현장에 전달한다. 여기서 가장 기본적이고 중심적인 선표 계획 수립은 일정 계획 수립전에 2~3년에 걸친 초기 중장기 계획을 세우는 업무와, 대단위 프로젝트로서의 제품을 수주할 때 건조 시기 및 장소의 할당을 결정하는 업무, 중장기적 설비 및 인력 운용상의 문제를 결정하고 이에 대한 대책을 모색하는 업무 등을 포함하고 있다. 이와 같은 업무를 포함하는 선표계획 수립은 영업과 경영자의 전략적 의지와 일정관리 시스템을 연결해 주는 역할을 한다고 할 수 있다.

본 연구의 목적은 생산 기획 전문가에 의해 수작업으로 행해진 기본 선표 작성을 0-1 정수 계획법(0-1 Integer Programming)을 이용한 지식기반 시스템으로 개발하는데 있다.

* 양산전문대학 공업경영과

2. 기본 선표의 작성

조선업에서 특정 선박을 어느 기간동안 어떤 작업들을 수행하여 완성하는가를 도크 중심으로 표현해 놓은 표를 선표라 하며 조선업의 중장기 계획이 선표를 통해 계획 조정되기 때문에 이러한 총관생산계획을 선표계획이라고 부른다.

기본선표는 선박 건조 공정의 4대 전임인 착공, 기공, 진수, 인도 일정을 기점으로 건조 도크 별로 구분하여 나타낸 일정 계획표로서 회사 내적인 측면으로는 모든 생산활동의 근본적인 목표이며 이를 기준으로 모든 생산 공장계획이 수립되며 조업량이 결정되고 회사 외적인 측면 즉 영업 측면에서는 선박 납기건의 기본이 되며 중장기 경영 활동의 지표가 된다.

3. 선표계획 지식기반 시스템의 개발

1. EXSYS

선표계획시스템의 개발도구로 이용한 소프트웨어는 EXSYS이다. EXSYS에서 전문가 시스템을 개발하기 위해 규칙을 생성하고자 할 경우 RULE Editor를 이용할 수도 있고 또는 다른 Editor에서 EXSYS의 명령 언어로서 직접 프로그램을 코딩해서 EXSYS에서 수행시켜 규칙을 생성할 수 있다.

선표 계획 지식 기반 시스템은 다른 지식기반 시스템 (Knowledge-based System)과 비교해서 0-1 정수 계획법을 이용한 것이 차이점이다. 따라서 이를 수행할 수 있는 도구가 필요하다. EXSYS는 내부 명령어에 LINDO(...) 가 있어 다음과 같은 형식으로 사용하면 시스템에서 생성된 0-1 정수 계획 모형에 대한 해를 얻을 수 있다.

```
Syntax:
LINDO(filename options)
```

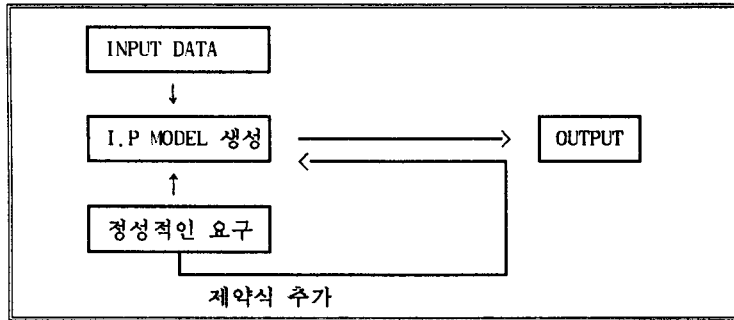
위와 같은 명령어는 규칙에서 THEN이나 ELSE 부분에서 사용될 수 있으며 명령어로서도 사용될 수 있다. 그외 RUN(...) 명령어를 이용해서 외부 프로그램을 공유할 수도 있다.

2. 선표 계획 시스템의 목적 및 방법론

선표계획 작성은 납기일, 설비 제약 등 고려해야 할 조건을 만족시키면서 매출액을 최대로 할 수 있어야 한다. 이를 위해서 조건들의 특성을 파악하면 크게 정성적 요인, 정량적 요인으로 구분된다. 우선 정량적인 요인들을 제약 조건으로 하여 0-1 정수계획 모형을 생성한다. 이 모형에서 얻어진 해는 사용자가 만족하는 해가 될 수도 있고 그렇지 않을 수도 있다. 사용자가 만족하지 않는 해가 될 경우 정성적인 요인은 중요한 요인으로 고려된다. 이러한 정성적인 요인은 그것이 가지고 있는 성격상 지식기반 시스템으로의 표현이 요구된다. 정성적인 요인을 추가하기 위해서는 0-1 정수 계획법에서 도출된 해에 사용자의 요구에 따라 0-1 정수 모형에 조건을 추가하여 다시 해를 얻는다.

선표 계획 지식 기반 시스템은 LINDO의 공유로 입력 자료에 의해 생성된 0-1 정수 계획 모형의 해를 사용자에게 선표 양식으로 생성, 이를 출력하고 사용자는 출력 상황을 보고 정성적인 요인의 고려여부를 판단한다. 여기서 지식이 제공되며 사용자는 정성적인 요인에 대한 지식의 도움으로 보다 효과적인 선박의 배치를 위해 제배치를 하고자하는 선박과 도크를 시스템에게 알린다. 시스템은 이러한 사용자의 요구를 미리 생성된 0-1 정수계획 모형에 제약식으로 추가하여 다시 선표를 얻는다. 이 모든 것이 대화형식(Interactive Mode)으로 이루어지기 때문

에 선포 계획에 익숙하지 않은 사용자 인지라도 쉽게 선포계획을 얻을 수 있다.

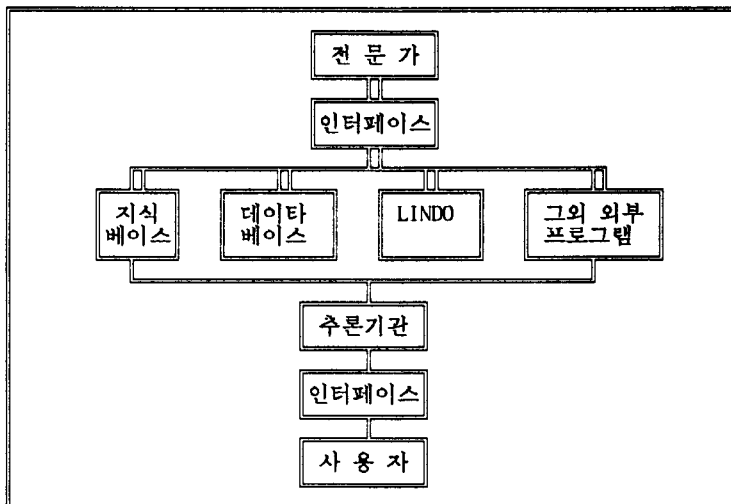


[그림 1] 선포계획 시스템의 정량적/정성적 요인의 LP적용

3. 선포 계획 시스템의 구조

입력 자료에는 각 선박의 유형, 용량, 도크내 면적 소요량, 최초 건조 개시 가능일, 납기, 건조 소요기간, 전체 공수, 매출액, 도크 배정 여부, 기간별 제 자원 사용가능량, 각 도크의 치수 등이 있다.

보통 전체 건조 방식은 3개월 분할 건조 방식으로 4개월 잡는다. 여기서는 모든 선박의 건조 형식을 전체 건조 방식으로 간주했으므로 건조 소요기간을 3개월로 설정했다. 입력자료 형식에 마지막 부분은 도크 배정 여부를 나타내는 것으로 0은 선박을 건조할 도크를 설정하지 않았음을 나타내고, 1과 2는 각각의 선박이 1도크 2도크에서 건조중 임을 나타낸다.



[그림 2] 선포 계획 지식 기반 시스템 구조

모형을 모델링 한 때 고려 요인 중 정량적인 요인으로 제약 조건을 나타내는데, 선박이 배치될 건조 도크를 선정할때 고려해야 할 점인 납기, 시설 용량 등이 있으며 필요한 입력 데이터의 예는 [표 1]과 같다.

우선 각 도크별 특성에 맞는 선종이 배열되어야 한다. 도크에 따라 선호하는 건조 선형이

다르므로 되도록이면 이러한 조건을 지켜준다. 그러나 이 조건은 절대적인 조건이 아니므로 0-1 정수계획 모형의 1차해에서 얻은 결과를 토대로 적용할 것인지를 판단한다. 또한 도크별로 그 크기와 도크에서 갖추고 있는 설비 능력을 고려하여 선박의 크기 및 선종에 따라 적절한 도크를 선정한다.

다음으로는 대표적인 정성적인 요인으로 시리즈 효과를 들 수 있는데 이는 2쌍의 선박이 동일 선주에 동일 선형인 때에는 동일 도크에 배일함을 원칙으로 하고, 그것이 어려울 때는 인접한 도크로 구분하여 배치함으로써 반목의 효과 등 연속 효과를 얻을 수 있도록 해야 한다는 것이다. 이 조건 역시 절대적인 조건이 아니므로 0-1 정수 계획 모형의 1차해에서 얻은 결과를 토대로 적용할 것인지를 사용자가 판단한다. 이때 비전문가일지라도 판단을 할 수 있도록 지식이 제공된다.

그외 자원(자재, 공수) 용량과 도크면적, 납기를 고려하여 각 선박에 알맞은 건조 도크를 선정한다. 이러한 조건들은 정량적인 요인으로 구분되어지며 0-1 정수 계획 모형에서 각각 제약 조건으로 모델링된다.

[표 1] 시스템 자료 입력 형식 예

No.	CAP (K)	선박 유형	선박 크기 L	선박 크기 B	선박 크기 AREA	선박 건조 기간 START	선박 건조 기간 DELIVERY	BUILDING TERM (IO)	BUILDING COST (10000)	DOCK	
1	300	VLCC	334	59	19706	1	10	3	22430	11400	1
2	300	VLCC	334	59	19706	3	12	3	22430	9700	1
3	300	VLCC	334	59	19706	5	14	3	22430	9700	2
4	300	VLCC	334	59	19706	6	16	3	22430	9700	2
5	300	VLCC	334	59	19706	8	17	3	22430	10500	0
6	300	VLCC	334	59	19706	10	19	3	22430	10500	0
7	300	VLCC	334	59	19706	12	21	3	22430	10500	0
8	100	COT	244	46	11224	1	8	3	10120	6200	0
9	72	BC	225	32	7200	1	8	3	5624	3200	0
10	50	BC	202	32	6464	1	10	3	7300	5700	0
11	100	COT	244	46	11224	2	12	3	10120	6200	0
12	30	CNTR	188	28	5264	2	11	3	5110	4100	0
13	30	CNTR	188	28	5264	2	12	3	5110	4100	0
14	100	COT	244	46	11224	4	13	3	10120	6200	0
15	21	MPC	163	24	3916	4	13	3	4200	3100	0
16	30	CNTR	163	24	3916	4	13	3	4200	3100	0
17	42	CNTR	240	32	7680	6	14	3	6700	5000	0
18	42	CNTR	163	24	3916	6	15	3	6700	5000	0
19	21	MPC	163	24	3916	6	15	3	4200	3100	0
20	21	MPC	163	24	3916	6	15	3	4200	3100	0
21	21	MPC	163	24	3916	8	16	3	4200	3100	0
22	150	BC	280	45	12600	8	16	3	9500	5300	0
23	72	BC	225	32	7425	8	17	3	5624	3400	0
24	150	COT	275	44	12100	9	19	3	11462	6900	0
25	72	BC	225	32	7425	9	19	3	5624	3400	0
26	40	PC	183	31	5673	9	19	3	5600	4000	0
27	150	COT	275	44	12100	11	20	3	11462	6900	0
28	72	BC	225	32	7425	11	20	3	5624	3400	0
29	40	PC	183	31	5673	11	21	3	5600	4000	0
30	150	BC	280	45	12600	2	9	3	9500	5300	0
31	100	COT	244	43	10492	4	12	3	10120	5600	0
32	100	COT	244	43	10492	7	15	3	10120	5600	0

<0-1 정수계획 모형의 모델링>

위의 형식으로 입력된 데이터를 이용해 선포 계획 지식기반 시스템에서는 다음 단계로 0-1 정수계획 모형을 생성한다. 0-1 정수계획 모형에서 사용되는 기호, 상수, 변수는 다음과 같으며 이 모든 것에 대한 값들은 사용자에게 의해 입력된 데이터들이 각각 할

당되어 0-1 정수계획 모형이 생성 된다.

< 기 호 >

j = job (선박) 번호, j = 1, 2, N
 k = dock 번호, k = 1, 2, K
 t = 기간 (time period) t = 1, 2, T
 T = 계획기간 (예: 12개월)

1기간 (time period)의 길이 = 1주 또는 1개월

< 상 수 >

aj = Job j 의 건조 개시 가능인 (arrived period for job j)
 dj = Job j 의 납기 (due date for job j)
 pj = Job j 의 건조 소요 기간 (duration time for job j)
 rjt = Job j 의 건조개시후 제 t기에서 소요되는 자원량
 (amount of resource required during the t-th period of job j's duration)
 Rt = 기간 t 에 사용가능한 자원의 총량
 (amount of resource available during period t)
 sj = Job j 의 소요 면적 (space required by job j during its duration)
 Sk = 도크 k 의 면적 (available space of dock k)
 Cj = Job j 의 매출액 (sales revenue of job j)

< 변 수 >

Yjkt = { 1 if job j를 dock k 에서 기간 t기 초에 건조개시할 경우
 { 0 otherwise
 Uj = { 0 if job j 를 수주할 경우
 { 1 if job j 를 수주하지 않을 경우

이러한 기호, 상수, 변수를 이용하여 다음과 같은 0-1 정수계획 모형이 생성 된다.

목적함수

$$\sum_{k=1}^K C_j U_j \dots\dots\dots (1)$$

제약조건

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^N \sum_{s=t-p_j+1}^t r_{j,t,s} \cdot Y_{jks} \leq R_t, \quad t=1 \dots T \text{ (resource)}$$

Where $Y_{jks} = 0$ for $s < 0$ (2)

$$\sum_{k=1}^K \sum_{s=t-p_j+1}^t s_j \cdot Y_{jks} \leq S_K, \quad k=1 \dots K, \quad t=1 \dots T$$

Where $Y_{jks} = 0$ for $s < 0$ (3)

$$\sum_{k=1}^K \sum_{t=a_j}^{d_j-p_j} Y_{jkt} + U_j = 1 \quad j=1 \dots N$$

$Y_{jkt} = 0$ or 1
 Where $Y_{jkt} = 0$ for $t < a_j, \quad j=1 \dots N$
 $Y_{jkt} = 0$ for $t > d_j-p_j, \quad k=1 \dots K$ (4)

$$\sum_{t=a_j}^{d_j-p_j} Y_{jkt} = 0, \quad \text{for cap [j]} > \text{cap [k]} \text{ 인 } j, k$$

$Y_{jkt} = 0$
 Where $Y_{jkt} = 0$ for $t < a_j, \quad j=1 \dots N$

$$Y_{jkt} = 0 \text{ for } t > d_j p_k, \quad k=1 \dots K \dots\dots\dots (5)$$

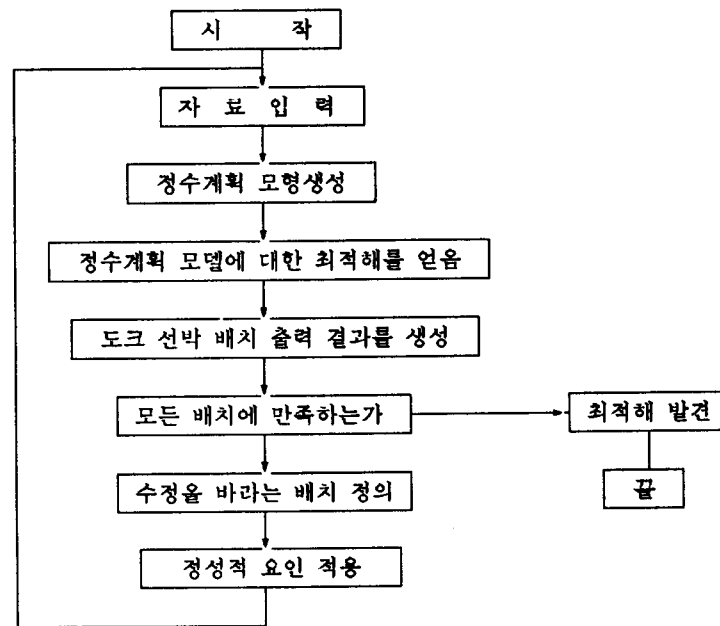
0-1 정수 계획 모형에서 (1) 식은 목적함수로서 수주하고자 하는 선박의 매출액을 최대로 하는 것이다.

(2) 식은 기간 t 의 총자원소요량은 기간 t 의 최대 자원가용량을 초과할 수 없다는 것을 나타낸다. 이 변수의 값은 0, 1 두가지 값만 가질 수 있다.

(3) 식의 기호 t, k 는 각각 기간, 도크를 나타내며 기간 t 에 도크 k 에서 건조 중인 Job 들의 면적의 합은 도크 k 의 면적을 초과할 수 없다는 것을 나타낸다.

(4) 식은 작업(선박)의 납기에 대한 제약조건으로 Job j 는 규정된 건조개시 가능일 이후에 건조를 시작할 수 있으며 이 작업은 또한 납기 이전에 완료되어야 한다는 것을 나타낸다. 그렇지 않을 경우에는 이 작업은 수주될 수 없다.

(5) 식은 도크의 선비 능력을 고려한 제약조건으로 도크마다 갖추고 있는 설비의 시설용량을 고려하여 시설용량을 초과하는 선박은 그 도크에 배치할 수 없음을 나타낸다. Y_{jkt} 에서 작업 j 의 시설용량-이것은 선박 유형으로 알 수 있다. 예를 들면 선박 유형이 Panamax인 경우 용량은 72K이고 선박 유형이 VLCC인 경우 그 용량은 250K이다



[그림 3] 시스템 흐름도

0-1 정수 계획 모형에서 고려되지 않은 시리즈 효과, 도크에서 선호하는 선형 배치 등 정성적인 요인은 이 모형에서 얻어진 1차해에 대한 사용자의 판단에 따라 적용되어 진다. 사용자의 요구에 의해 LP 최적해로 도출된 도크 일정계획에서 선박이 정성적인 면에서 비효과적으로 도크에 할당되어졌다면 사용자는 비효과적인 선박과 도크를 선정하고 정성적인 면에서 효과적인 방안을 택하도록 한다. 원하는 조건을 제약식으로 추가하여 2 차해를 도출하는 것이 시스템의 흐름인데 이 과정에서 비전문가도 쉽게 선택 작성을 할 수 있도록 정성적 요인에 대한 지식이 제공된다.

이런 과정을 통해 시스템은 결과를 도출하는데 출력에는 다음 [표 2]와 같다.

[표 2] 작업 생산계획 선표 출력 상황

JOB NO	CAPACITY	SHIP TYPE	DOCK NO	START MONTH	END MONTH	COST
1	300	VLCC	2	5	8	11400
2	300	VLCC	2	4	8	9700
3	300	VLCC	1	6	9	9700
4	300	VLCC	2	11	14	9700
5	300	VLCC	2	8	11	10500
6	300	VLCC	1	12	15	10500
7	300	VLCC	2	12	15	10500
8	100	COT	1	1	4	6200
9	72	BC	1	2	5	3200
10	50	BC	3	3	6	5700
11	100	COT	4	8	11	6200
12	30	CNTR	1	2	5	4100
13	30	CNTR	5	2	5	4100
14	100	COT	3	9	12	6200
16	30	CNTR	4	9	12	3100
17	42	CNTR	1	8	11	5000
18	42	CNTR	3	11	14	5000
19	21	MPC	4	11	14	3100
20	21	MPC	4	11	14	3100

[표 2]로서 알 수 있는 내용은 수주하여야 할 선박, 각 선박의 배정된 도크, 건조 개시일, 건조 완료일 등이다.

다음 출력은 매기별 각 도크의 이용 상황을 쉽게 파악할 수 있다.

/** DOCK 1 **/												
JOB NO	SHIP TYPE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12
3	VLCC											
6	VLCC											
8	COT											
9	BC											
12	CNTR											
17	CNTR											

/** DOCK 2 **/												
JOB NO	SHIP TYPE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12
1	VLCC											
2	VLCC											
4	VLCC											
5	VLCC											
7	VLCC											

/** DOCK 3 **/												
JOB NO	SHIP TYPE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12
10	BC											
14	COT											
18	CNTR											

/** DOCK 4 **/												
JOB NO	SHIP TYPE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12
11	COT											
16	CNTR											
19	MPC											
20	MPC											

/** DOCK 5 **/												
JOB NO	SHIP TYPE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11 12
13	CNTR											

그리고 최대 매출액을 달성할 수 있는 선박 수주안이 제시되며 새로운 선박의 긴급수주나 계약선박의 취소시, 결정된 타선박의 도크에서의 생산계획의 신속한 수정이 가능하다. 또한, 도크에서의 작업지연이 발생한 경우, 잔여 생산 계획의 변경이 용이하다. 또한 선표계획 시스템은 LINDO와 외부 프로그램의 공유로 작업이 단순하고 그 과정이 대화 형식으로 이루어 지기 때문에 비전문가인자라도 그 사용이 용이하다. 기본 출력 상황으로서는 선표, 선박 배치 계획 등이 있다. 선박 배치 계획에는 수주하여야 할 선박, 각 선박의 배정된 도크, 건조 개시일, 건조 완료일 등이 나타난다.

4. 결 론

본 연구는 생산 기획 전문가에 의해 수작업으로 행해진 기본 선포 작성을 0-1 정수 계획법을 이용한 지식기반 시스템으로 개발하는데 그 목적이 있으며 최대매출액을 올릴 수 있는 기본선포계획을 제공하 위해 수학적 방법론을 적용한 지식 기반 시스템을 개발하였다. 여기서 추가되는 요인은 도크가 신호하는 실행 배치, 시리즈 효과 등이 있다. 이것은 Constraints의 Ordering에 의해서 해를 찾는 Constraint Satisfaction Scheme을 이용하고 있다. 이렇게 하여 얻어지는 기본출력 상황으로는 수주하이어 할 작업, 각 선포별 건조 가능한 도크, 선포 (각 작업의 배정된 도크, 건조 개시일, 건조 완료일), 매기별 각 도크 의 이용 상황 등이다.

선포 계획 지식 기반 시스템은 LINDO의 공유로 입력 자료에 의해 생성된 0-1 정수 계획 모형의 해를 사용자에게 선포 양식으로 생성, 이를 출력하고 사용자는 출력 상황을 보고 정성적인 요인의 고려여부를 판단한다. 여기서 지식이 제공되며 이러한 과정이 대화 형식으로 이루어 지기 때문에 비전문가일지라도 그 사용이 용이하다.

선포 계획 지식 기반 시스템은 정성적인 요인을 고려하여 보다 현실적인 선포 계획을 제시할 수 있었다. 정량적인 요인이 선포계획에 있어 절대적이고 0-1 정수 계획 모형 같은 수식으로의 표현이 가능한 반면, 도크 및 기타 상황을 고려하여 유연성있게 적용되어야 하는 정성적인 요인은 지식 기반 시스템으로서 그 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] Baker, K.R. (1974), *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] French, S. (1982), *Sequencing and Scheduling*, Ellis Horwood Ltd..
- [3] Lee, J. G. and H. G. Lee (1987), "Interaction of Strategic Planning and Short-term Planning: An Intelligent DSS by the Post-Model An Analysis Approach," edited by E. Turban and P.R. Wartkins
- [4] Lee, J. G. and B. S. Kang (1988), "Intelligent Production Planning System Using the Post-Model Analysis Approach," edited by E. Turban and P.R. Wartkins
- [5] Lee, J. G. and M. Y. Kim (1990), "Knowledge-assisted Optimization Model Formulation: UNIK-OPT" edited by E. Turban and P.R. Wartkins
- [6] McKay, N. K., Buzacott J. A. and Frank R. Safayeni (1989), "The Scheduler's Knowledge of Uncertainty : The Missing Link," in *Knowledge Based Production Management Systems*, edited by J. Browne, Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland)
- [7] Shah, J. M., Damian, R. and J. Silverman (1990), "Knowledge-based Dynamic Scheduling in a Steel Plant," in *Knowledge Based Production Management Systems*, edited by J. Browne, Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland)
- [8] Lecocq, P. and T. Guiot (1989), "Expert System for Production Planning and Scheduling," in *Knowledge Based Production Management Systems*, edited by J. Browne, Elsevier Science Publishers B. V. (North-Holland)
- [9] Ranky, P.G. (1990), *Manufacturing Database Management and knowledge Expert Systems*, CI Mware Ltd.t
- [10] Stecke, K. E. (1988), "Production Planning Scheduling in Flexible Manufacturing Systems," in *Computer-Aided Production Management*, edited by Ashjorn Rolstadas, Spring-Verlag
- [11] Buyn, S. J. (1992), *Knowledge based Integration of Process Planning and Scheduling*, KAIST.