

# 부하평준화 휴리스틱을 이용한 선박 탑재 일정계획 편성 연구

백태현<sup>1</sup> · 정귀훈<sup>1</sup> · 박주철<sup>2</sup>

<sup>1</sup>현대중공업(주) 산업기술연구소 / <sup>2</sup>울산대학교 산업공학과

## A Study on the Application of Resource Leveling Heuristic for Ship Erection Scheduling

Tae Hyun Baek<sup>1</sup> · Kuy Hoon Chung<sup>1</sup> · Ju Chull Park<sup>2</sup>

In this paper, resource leveling heuristics are developed for ship erection scheduling. The heuristics, which enable scheduling with limited resources, are composed of the gradual resource limit decrease and the resource allocation. At first, earliest start(ES) schedule is derived by PERT to get initial resource limit. And then, the heuristics lower the resource limits by a given increment and derive a new schedule from day-by-day resource allocation procedure. The procedure is repeated until the project duration reaches at the given ship erection duration, called dock cycle. Through the application of the heuristics for real world ship erection projects, we can observe significant improvement in resource leveling.

### 1. 서론

조선업은 주문생산방식에 의해 생산이 이루어지는 복합산업으로서 꾸준한 기술개발은 물론 생산성 향상을 도모할 수 있는 생산방식의 합리화를 추구해야 한다. 일본의 경우, 80년대에 접어들면서 조선소 전체를 관리하는 대형 전산화 시스템 구축을 통해 시스템 통합화에 주력하고 있는 실정이고(川井, 1991), 최근 우리나라도 국제화 흐름에 맞추어 국내 경쟁력 강화는 물론이고 세계 우위를 점유하기 위해 조선 생산계획 시스템 구축에 박차를 가하고 있다(박주철 외, 1994; 박주철 외, 1995; 백태현, 1994; 이재규 외, 1992; 이재원과 김훈주, 1995).

본 연구에서는 선박의 발족탑재(Erection)공정에 대하여 부하평준화를 도모하는 일정을 편성하는 방안을 제시한다. 탑재단 내업 공장(Indoor Shop)에서의 최종 조립물인 블록(Block)을 순서대로 정위치에 쌓아올려 전체를 형성하는 작업을 말한다. 블록의 탑재방법은 건조 도크의 규모, 크레인 용량(Crane Capacity; 크레인의 지원 가능 시간, 총량)과 진수방법에 따라 다양한 방식이 있다(선각계획과, 1992). 대표적인 탑재방법으로는 층식 건조법, 상형 건조법, 다점 건조법, 피라미드(Pyramid) 건조법 등이 있으며, 이들 방법에 따라 블록을 쌓아나가는 순서와 탑재와 탑재 간의 공기가 정해진다. 한 척의 선박에 대하여 탑재 순서와 탑재 간의 공기를 PERT/CPM 네트워크 형태의 도표로 표시할 수 있는데 이를 탑재 네트워크라 한다.

탑재일정계획은 탑재네트워크에 표시된 순서와 공기를 준수하면서 탑재작업부하를 평준화(Load Leveling)하도록 블록별 탑재일정을 편성하는 계획을 말한다. 탑재일정계획에서 고려해야 할 또 다른 변수로는 상위계획에서 주어지는 도크 기간이 있는데, 도크 기간은 탑재의 최초 시작시점(기공; Keel Laying)부터 완료시점(진수; Launching)까지 선박이 도크(Dock)에서 건조되는 기간을 지칭한다. 도크 기간은 과거의 건조실적과 회사의 도크 회전에 대한 정책을 반영하여 선표계획이라고 불리는 중장기 생산계획에 따라 정해진다(선각 계획과 공정, 1992). 따라서 탑재일정계획은 도크 기간, 탑재순서, 탑재간 공기를 제약으로 하여 탑재에 소요되는 작업부하를 평준화하도록 편성되어야 한다.

상위계획에서 주어진 도크 기간은 탑재 네트워크상의 탑재간 공기를 기준으로 한 PERT/CPM 계획의 프로젝트 소요 기간(Project Duration)과 다르며, 탑재일정계획에서는 탑재일을 조정하여 프로젝트 소요기간이 도크 기간과 일치하도록 한다. 조선 실무에서는 이러한 조정작업을 일정편성 전문가들이 명시적인 절차나 자료 없이 경험적으로 실시하였으며, 이때 사용하는 탑재간 공기는 경험적인 공기로써 과거의 실적자료를 참조하여 생성하였다. 이들 공기는 과거 선박건조시의 도크 기간이 고려되어 만들어진 공기이며 실제공기에 부하평준화를 경험적으로 고려한 여유치가 반영되어 있다.

본 연구에서는 탑재간 공기로 여유가 포함된 과거의 경험치가 아닌 실제 작업공기만을 사용하였으며, 이를 바탕으로 명시적인 부하평준화 절차를 적용하여 도크 기간에 맞는 탑재일정

을 편성하는 방법을 제시하였다. 부하평준화를 위해서 Wiest (Levy et al., 1962; Wiest, 1967)가 제시한 프로젝트 일정계획의 자원할당 휴리스틱을 자원 평준화(Resource Leveling)와 탑재 상황에 맞게 수정한 휴리스틱을 개발하여 사용하였다.

## 2. 탑재일정계획과 부하평준화

본 절에서는 탑재공정에 대한 설명과 본 연구에서 제시하는 부하평준화 절차의 근간이 되는 기존의 부하평준화 휴리스틱에 대해 간략히 소개하였다.

### 2.1 탑재공정과 탑재일정계획

선박의 블록 탑재작업은 내입 공장에서 만들어진 블록을 대형 크레인을 이용하여 탑재하는 탑재작업, 그리고 탑재된 블록을 다른 블록에 접합하는 취부/용접작업 등으로 구성된다. 한 척의 선박을 대상으로 선박을 구성하는 블록들의 탑재는 반복적으로 이루어지며 모든 블록에 대한 탑재가 이루어지면 선박의 형태가 완성된다. 선체가 완성된 선박은 진수의 과정을 거쳐 안벽에 계류시켜 두고 마무리 작업을 하여 선주에게 인도된다.

대형 상선의 경우 한 척의 선박에 대하여 대략 100여 개 블록의 탑재작업이 이루어진다. 이때 블록들 간에는 탑재의 순서가 존재한다. 먼저 선체의 하부블 구성하는 블록들이 정해진 순서에 따라 탑재되며 선체 상부를 구성하는 블록들은 그 이후에 탑재가 이루어진다. 이들 순서들은 선박의 기하학적인 형상, 선박구조의 작업성, 그리고 선체구조의 안정성 등에 따라 정해지며 일반적으로 블록의 탑재순서는 조선소의 블록설계와 건조공법에 따라 유일하게 정해진다.

한 블록의 탑재 후 다음 블록의 탑재까지의 시간을 탑재간 공기라 하는데, 이 기간 동안 블록의 탑재와 인접 블록과의 조립작업이 이루어진다. 탑재간 공기는 다음 블록의 탑재가 이루어지더라도 현재 탑재된 블록의 접합이 안정된 상태가 되어 선체의 왜곡이 일어나지 않는 시간을 최소로 하여 정해진다. 실무에서 사용되는 공기는 이러한 최소공기에 도크 기간과 부하의 투입상태를 반영하여 여유치를 더한 후 경험적으로 정하여 사용하였다.

탑재순서와 탑재 간 공기는 탑재 네트워크에 표시되며, 일반적으로 탑재일정은 PERT/CPM의 일정 계산방식에 따라 최소착수일정(ES(Earliest Start) Schedule)으로 정해진다. 부하는 탑재간 공기 산정을 통해 경험적으로 고려되기 때문에 일정 계산시에는 부하에 대한 고려가 전혀 이루어지지 않는 실정이었다. 본 연구에서는 탑재 간 공기로 앞서 설명한 조립 최소 공기를 사용하고 일정 계산시 도크 기간과 부하를 고려하는 접근 방법을 사용하였다. 이러한 방법을 사용함으로써 부하 고려를 명시적으로 할 수 있으며 탑재일정계획의 자동화가 가능해질 것이다.

### 2.2 부하평준화를 위한 Wiest의 휴리스틱

Wiest의 휴리스틱(Levy et al., 1962; Wiest, 1967)은 자원제약하의 자원할당을 위한 알고리즘으로 다음과 같은 세 개의 휴리스틱으로 구성된다.

- 1) 첫날부터 시작하여 날짜를 증가 시켜가며 자원을 작업에 할당한다.
- 2) 같은 자원에 대하여 여러 개의 작업이 경합할 때는 여유가 적은 작업을 우선 배정한다.
- 3) 긴급(Critical)하거나 여유가 없는 작업에 자원을 배정하기 위해 가능한 범위 내에 있는 긴급하지 않은 작업의 일정을 재계획(Reschedule) 한다.

위에서 첫 번째 휴리스틱은 일정을 최소착수일로 정한 다음에 자원제약이 만족될 때까지 재계획을 하는 것보다는 처음부터 자원제약을 만족시켜가며 일정계획을 수립함으로써 재계획의 필요성을 줄이기 위한 것이다. 두 번째와 세 번째 휴리스틱은 긴급작업에 자원을 우선 배정하여 프로젝트의 완료기간의 지연을 최소화하기 위한 것이다.

Wiest의 휴리스틱을 수정하여 자원의 한계치를 점차적으로 줄여나가는 방식으로 반복 적용하면 자원평준화에 적절히 활용될 수 있는데, 본 연구에서는 이러한 접근법을 이용하여 탑재공정의 부하를 평준화하는 일정을 구하였다.

## 3. 탑재일정계획을 위한 부하평준화 휴리스틱

블록 탑재공정은 앞서 설명한 바와 같이 탑재 네트워크라고 지칭되는 PERT/CPM 네트워크에 의해 공정의 순서와 공기가 표시된다. 본 연구에서는 탑재 네트워크의 탑재 간 공기를 탑재에 필요한 최소의 공기로 사용하였다. 이 최소의 공기는 순수 작업공기의 의미를 가지며 실무에서 사용되는 공기의 여유치(Slack)를 제거한 공기를 의미한다. 일반적으로 이러한 최소공기를 사용하면 네트워크에 의한 프로젝트 공기는 상위 계획에 의해 주어진 도크 기간보다 짧아지게 된다. 본 연구에서 최소공기를 사용하고자 하는 이유는 실제 공기에 의한 작업부하를 정확하게 파악하고 이로부터 부하의 평준화를 시도하기 위함이다.

<그림 1>은 탑재 네트워크와 탑재 간 공기, 그리고 도크 기간 간의 관계를 보여주고 있다. 그림에서 좌상단에 표시된 네트워크는 간략하게 나타낸 탑재 네트워크이며, 도크 기간은 상

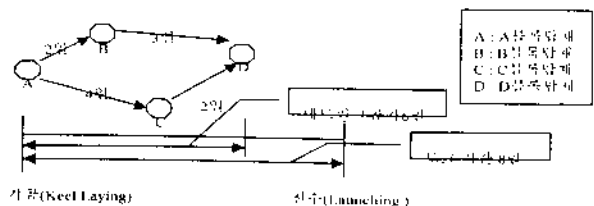


그림 1. 탑재 네트워크와 도크 기간.

위계화에 의해 주어진다.

본 연구에서는 블록 탑재공정의 부하를 평균화하기 위해 앞 절에서 소개한 Wiest 휴리스틱과 유사한 자원할당 휴리스틱을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 자원할당 휴리스틱의 부하평준화 절차를 간략히 소개하면 다음과 같다.

- <1단계> 자원의 제약을 고려하지 않고 PERT/CPM에 의한 ES(Earliest Start) 일정을 구함
- <2단계> 작업부하를 계산하고 작업부하가 최대인 날의 부하를 자원한계치로 설정
- <3단계> 자원한계치를 일정한 양만큼 감소
- <4단계> 자원할당 휴리스틱을 적용하여 일정을 수립
- <5단계> 프로젝트 공기가 도크 기간과 같아지면 종료, 그렇지 않으면 3단계부터 반복

위의 절차는 자원할당의 절차를 부하평준화의 형태로 변형 적용한 것이며, 프로젝트 공기를 최소화하도록 긴급작업에 자원을 우선 배정함으로써 정해진 기간 동안 자원이 고루 배분되도록 한다. 3단계에서 자원 한계치를 점차 줄여나감에 따라 4 단계를 통하여 프로젝트 공기는 점차 늘어나게 되며 그 공기가 도크 공기와 같아지면 적용을 종료한다. 그러나 도크 공기와 같아지는 경우가 없을 수도 있기 때문에 실제로는 도크 공기보다

작거나 같으면서 프로젝트의 공기가 가장 긴 경우를 최종 탑재 일정으로 한다.

3단계의 자원한계치 감소량은 임의로 설정할 수 있는데 그 값이 적으면 4단계 적용의 반복횟수가 많아져서 계산시간이 많이 소요되며, 그 값이 크면 부하평준화 수준이 떨어질 우려가 있다.

본 연구에서는 정해진 반복횟수(REP)를 가정하여 3단계에서 사용될 1회 반복의 자원한계치 감소량을 계산하기 위해 식(1)과 같은 형태로 정리하였다.

$$INC = [LIM - TLOAD / DUR * (1 + DEV)] / REP \quad (1)$$

여기서,

- INC: 1회 반복시의 자원한계치 감소량
- LIM: 초기 부하의 최대치(초기 자원한계치)
- TLOAD: 프로젝트 부하의 총 합계
- DUR: 도크 기간
- DEV: 허용오차
- REP: 반복횟수

식 (1)에서 허용오차는 평균부하를 기준으로 한 산포의 범위

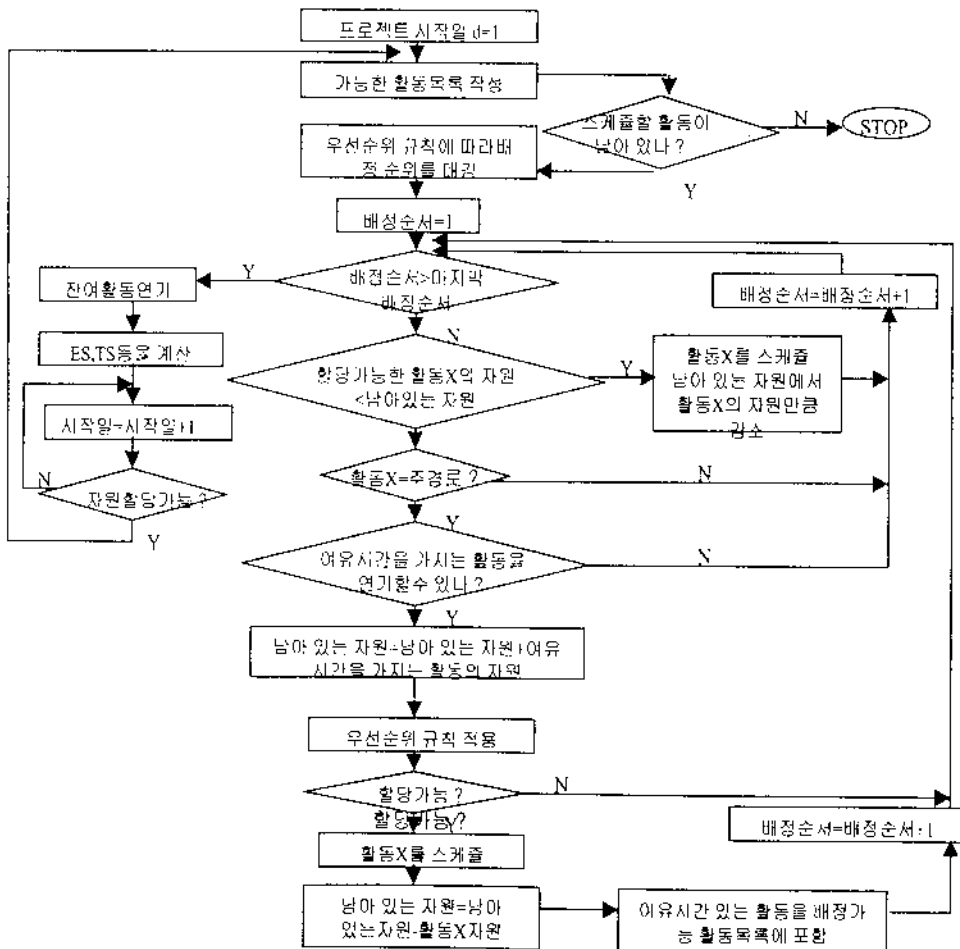


그림 2. 자원할당 휴리스틱의 흐름도.

를 나타낸다. 식 (1)의 적용에 대한 예를 들어보면, 2단계 적용 후 일변 부하의 최대치(LIM)가 210 시수(Man-Hour), 프로젝트의 전체부하(TLOAD)가 2963 시수(Man-Hour), 도크 기간(DUR)이 31일, 허용오차(DEV)가 평균대비 20%, 그리고 10회 반복(REP)을 가정하면 자원한계치 감소량은 9.53 시수(Man-Hour)가 되어 대략 1회에 10 시수 정도를 감소시키면 된다.

4단계의 자원할당 휴리스틱은 본 연구에서 제안한 휴리스틱을 기반으로 적용되며, 첫날부터 시작하여 자원의 한도 내에서 탑재가 가능한 블록을 우선순위에 따라 해당하는 날짜에 배정한다. 본 연구에서는 프로젝트 일정계획에서 일반적으로 사용(Bell et al., 1991; Boctor and Fayed, 1990; Elmaghraby, 1977; Kurtulus and Davis, 1972) 되고 있는 다음과 같은 세 가지 우선순위 규칙(Priority Rule) 중 적절한 것을 적용하도록 하였다.

- ① 최소여유시간 규칙(Least Slack First) : 여유시간이 가장 작은 작업(블록)을 우선 배정하는 규칙
- ② 최대잔여작업수 규칙(Maximum Remaining Jobs) : 후행 작업수가 가장 많은 작업을 우선 배정하는 규칙
- ③ 최장작업시간 규칙(Longest Job Duration) : 후행하는 모든 작업의 소요시간 합이 가장 큰 작업을 우선 배정하는 규칙

4단계 휴리스틱의 구체적인 적용흐름도는 <그림 2>와 같다. 그림에서 ES와 TS는 각각 PERT/CPM의 최초작업일(Early Start Time)과 총여유(Total Slack)를 나타낸다.

#### 4. 적용사례

본 절에서는 앞 절에서 소개된 휴리스틱을 탑재일정계획에 적용한 사례를 소개한다. 사례적용을 위해서 국내의 한 조선소에서 건조되고 있는 실제 선박들의 자료를 이용하였다.

##### 4.1 사례 자료

본 연구에서는 사례 적용을 위하여 임의로 석유제품운반선(P/C선; Product Carrier)을 선정하였는데, 이들 선종에서 규모가 다른 세 척의 배를 선택했다. 이들 선박들은 모두 같은 도크에서 건조되는 선박들로 구성된다. 사례 선박의 건조는 탠덤(Tandem) 건조라고 불리는 건조방식에 의해 건조되고 있다. 탠덤 건조는 도크 면적의 효율적 이용 등의 이유로 선박의 절반 정도를 탑재한 다음 일차 진수를 하고 다시 도크에 안치하여 나머지를 탑재하여 선박의 선체를 형성하는 탑재방식을 말한다. <그림 3>은 이러한 건조방식의 예를 보여주고 있다.

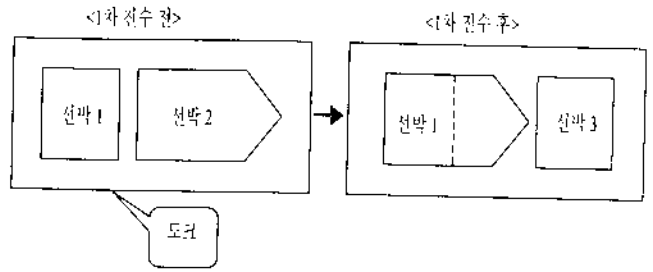


그림 3. 탠덤 건조 방식.

<그림 3>에서 왼쪽에 표시된 도크에 현재 선박 1, 2 두 선박이 배치되어 탑재작업이 진행되고 있다. 여기서 선박 1은 선박 전체 중 선미쪽(혹은 선수쪽) 절반에 대한 탑재가 이루어진다. 선박 2는 선박 전체에 대한 탑재가 이루어진다. 일정기간이 지난 후 선박 1의 선미쪽 절반(혹은 선수쪽 절반)과 선박 2 전체의 탑재가 끝나면 도크에 바닷물을 유입시켜 두 선박을 진수시킨 후 선박 2는 도크에서 빼내고 선박 1은 다시 도크에 안치하여 선박의 나머지 선수쪽(혹은 선미쪽) 절반에 대한 탑재를 하여 선박을 완성한다. 선박 2가 빠져나간 자리에는 다시 선박 3의 절반을 배치하여 탑재를 진행한다. 선박 2가 빠져나간 후의 선박배치 결과는 <그림 3>의 오른쪽 도크의 모양과 같다.

탠덤 건조를 하는 경우 한 척의 배에 두 번의 진수가 있게 된다. 이러한 경우 배 한 척에 대한 탑재네트워크는 일차진수를 기준으로 두 개의 네트워크로 분할이 된다. 최종 진수시점과 마찬가지로 일차진수시점도 상위계획에서 그 기간이 정해져 있다. 따라서 탠덤 건조를 하는 선박의 경우는 결국 일차진수 전과 일차진수 후에 대하여 각각 본 연구에서 제안한 휴리스틱을 적용해 주어야 한다.

본 연구의 대상이 되는 선박의 종류, 도크기간, 일차진수기간 등을 정리하면 <표 1>과 같다.

탑재작업의 부하에 포함되는 작업으로는 탑재를 위한 크레인 사용 시간, 탑재 후 블록 조립을 위한 시수(Man-Hour), 용접량 등이 있다. 시수와 용접량의 경우 각각 직종과 용접방법에 따라 여러 가지로 구분할 수 있다. 그러나 탑재일정계획시 이들에 관한 정확한 자료가 제공되지 않는 경우가 일반적이다. 그것은 탑재일정계획이 납기에 따른 후진계획방법(Backward Scheduling)을 사용하는 조선일정계획방법상 최초로 계획되는 일정계획인 반면, 탑재공정이 공정진행상으로는 마지막 공정에 해당하여 실제 탑재가 이루어지기 3~6개월 전에 일정계획이 이루어지기 때문이다. 따라서 직종을 구분한 시수보다는 전체 시수를 부하로 사용하며, 용접량에 대한 자료 대신에 용량을 기준으로 부하 검토 자료로 사용하는 것이 일반적이다. 또한 크레인 시간의 예측도 용이하지 않아 통상 탑재계획을 한

표 1. 적용대상 선박

선박 구분	선박 종류	도크 기간	일차진수기간
A 선박	P/C 18,000 톤	75일	32일
B 선박	P/C 30,000 톤	78일	40일
C 선박	P/C 46,000 톤	75일	32일

표 2. A 선박의 일차진수시점 전 탑재작업목록과 선후관계(i-j)/공기/부하자료

activity	i	j	Dij	ES	LS	TS	MH	WT
A	1	2	1	1	4	3	30	200
B	1	4	3	1	1	0	36	250
C	2	3	1	2	5	3	40	300
D	4	9	4	4	6	2	42	250
E	4	5	5	4	4	0	45	300
F	2	7	7	2	6	4	47	350
G	3	8	9	3	6	3	50	280
H	5	6	2	9	9	0	40	200
I	9	6	1	8	10	2	35	380
J	9	10	2	8	11	3	33	310
K	6	10	1	11	12	1	30	280
L	6	7	2	11	11	0	35	260
M	7	8	2	13	13	0	32	300
N	10	11	6	12	13	1	36	340
O	6	12	4	11	19	8	38	280
P	7	13	3	13	15	2	32	300
Q	8	14	4	15	15	0	34	320
R	11	15	6	18	19	1	46	440
S	12	11	2	15	23	8	36	340
T	13	14	1	16	18	2	32	300
AF	14	24	6	19	19	0	48	460
DM	15	24	0	24	25	1	0	0

후 실작업에 임박하여 크레인 소요량을 산정한 후 별도로 크레인  
인에 대한 운용인정을 계획하는 것이 일반적이었다. 따라서  
본 연구에서는 탑재계획의 부하로 총시수 혹은 중량을 사용하  
였다.

A 선박의 일차진수 전 탑재작업목록과 선후관계, 중량, 공수,  
부하 등의 자료를 정리하면 다음 <표 2>와 같다. <표 2>에서  
나타내는 기호의 의미는 다음과 같다.

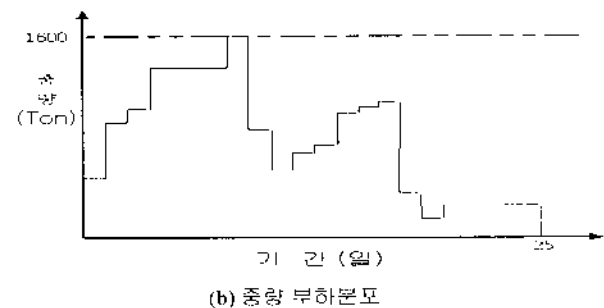
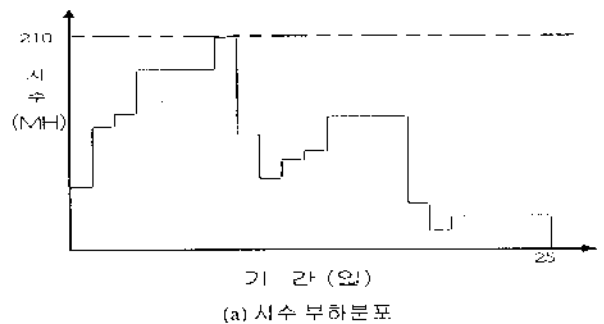


그림 4. A 선박의 일차진수시점 전 탑재부하.

- activity : 탑재 작업명 (아크)
- i, j : 선행 및 후행 노드
- D : 탑재작업의 공기
- ES, LS, TS : PERT/CPM 일정계획에 의한 최소착수일(ES : Earliest Start Time),
- 최시착수일(LS : Latest Start Time), 총여유(TS : Total Slack)
- MH : 일간 시수부하(Man-Hour/Day)
- WT : 일간 중량부하(톤/Day)

4.2 적용결과

표 3. A 호선의 일차진수시점 이전의 부하평준화 결과 - 일정결과

시수한계치=120		중량한계치=1200				
완료일=32		총부하=2963		총중량=23240		
activity	start	end	MH	WT	TMH	TWT
B	1	4	36	250	108	750
A	1	2	30	200	30	200
C	2	3	40	300	40	300
F	3	10	47	350	329	2450
E	4	9	45	300	225	1500
D	9	13	42	250	168	1000
G	10	19	50	280	450	2520
H	13	15	40	200	80	40
I	15	16	35	380	35	380
J	15	17	33	310	66	620
L	16	18	35	260	70	520
K	17	18	30	280	30	280
M	18	20	32	300	64	600
N	18	24	36	340	216	2040
P	19	22	32	300	96	900
O	20	24	38	280	152	1120
Q	22	26	34	320	136	1280
S	24	26	36	340	72	680
T	24	25	32	300	32	300
R	26	32	46	440	276	2640
AF	26	32	48	460	288	2760
DM	32	32	0	0	0	0

가. A 선박의 일차진수시점 전의 경우

<표 2>의 자료를 이용하여 시수부하와 중량부하를 각각 구해보면 <그림 4>의 (a), (b)와 같다.

본 연구에서 제안한 부하평준화 휴리스틱을 이용해 자원한계치 수준을 낮추어 가면서 평준화시킨 결과 자원한계치 시수는 초기 수준 210(MH/Day)에서 120(MH/Day)으로, 중량은 초기 수준 1600(톤/Day)에서 1200(톤/Day)으로 낮출 수 있었다. 프로

젝트 공기의 경우, 최초착수일(ES)을 기준으로 일정계획을 했을 때의 25일에서 32일로 늘어났음을 알 수 있다. 작업배정을 위한 규칙으로는 최소여유시간(Least Slack First)규칙을 적용하였다. <표 3>은 부하평준화 후의 일정결과, <그림 5>는 부하평준화 후의 시수 부하분포와 중량 부하분포를 보여주고 있다.

<그림 4>와 <그림 5>의 결과를 비교해 보면 초기 부하분포에 비해서 부하평준화 휴리스틱을 적용한 후 부하평준화 수

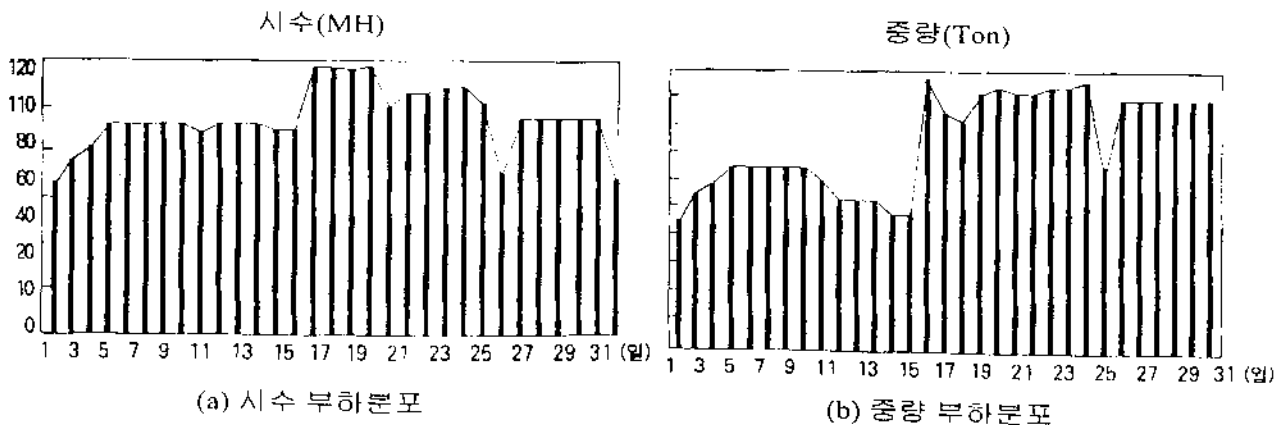


그림 5. A 선박의 일차진수시점 이전의 부하평준화 결과.

표 4. 우선순위 규칙별 적용결과

선박	규칙	최소여유시간		최대잔여작업수		최장작업기간	
		일차진수 전	일차진수 후	일차진수 전	일차진수 후	일차진수 전	일차진수 후
A 선박	시수한계치	120	160	130	160	130	160
	중량한계치	1200	1600	1300	1600	1300	1600
	완료일	32	75	32	75	32	75
B 선박	시수한계치	120	110	110	110	110	110
	중량한계치	1200	1100	1100	1100	1100	1100
	완료일	40	78	40	78	40	78
C 선박	시수한계치	130	150	150	150	130	150
	중량한계치	1300	1500	1500	1500	1300	1500
	완료일	32	75	32	75	32	75

준이 많이 개선되었음을 관찰할 수 있다. A 선박 이외의 경우에 대해서도 이러한 개선을 관찰할 수 있었다. <표 4>는 3절에서 언급한 자원할당의 세 가지 우선순위 규칙을 세 선박에 각각 적용한 결과를 종합한 것이다.

<표 4>의 시수한계치, 중량한계치, 완료일은 각각 부하평준화 후의 시수최대치, 중량최대치, 그리고 프로젝트 완료일을 나타낸다. 프로젝트별로 작업팀을 배정하는 경우 최대자원한계치는 작업팀의 규모에 해당한다. 이러한 규모의 작업팀이 배정되었을 때 가능한 자원투입규모에 대한 실제 자원요구량의 비율로 작업팀의 이용률을 식(2)와 같이 설정할 수 있다. <표 5>는 식(2)에 따른 자원 이용률 계산 결과를 보여주고 있다.

자원 이용률 = 부하합계 / (최대자원한계치 × 프로젝트 기간) (2)  
 본 연구에서 제안한 부하평준화 휴리스틱을 이용하여 사례적용을 한 결과 비교적 좋은 해를 얻을 수 있었다. 또한 기초 데이터를 이용하여 일정계획했을 때의 초기 부하분포와 부하평준화 휴리스틱 적용 후의 부하분포를 비교하여 보면 자원 이용률도 크게 개선되었음을 알 수 있었다.

5. 결론

선박의 블록 탑재공정은 프로젝트 네트워크 형태의 공정 선후관계를 가진다. 블록 탑재를 위한 인력과 장비를 효율적으로 운용하기 위해서는 탑재에 소요되는 작업의 부하가 평준화되도록 탑재 일정이 정해져야 한다. 본 연구에서는 블록 탑재공정의 부하평준화를 위한 자원할당의 휴리스틱을 개발한 후 이를 이용하여 탑재일정을 수립하는 방법을 제시하였다. 또한

이를 실제 선박들의 탑재 일정계획에 적용하여 유용성을 검증하였다.

본 연구에서 제안한 부하평준화 휴리스틱은 상위계획에서 주어지는 도크 기간 범위 내에서 블록의 탑재 일정들을 조정해감으로써 부하평준화를 도모하는 방법이다. 제시한 부하평준화 절차의 첫단계는 실제공기에 의한 PERT/CPM의 최초일정(Earliest Start Schedule)을 구한 후 이 일정에 의한 작업부하의 최대치로 초기 자원 한계치를 설정하는 것이다. 두 번째 단계는 자원 한계치 내에서 작업일정을 배정하는 휴리스틱을 이용하여 주어진 자원 한계치 내의 일정계획이 가능하도록 하고, 자원 한계치를 점차적으로 줄여나감으로써 부하평준화가 되도록 하는 것이다. 본 연구의 부하평준화 휴리스틱을 선박의 블록 탑재공정에 적용한 결과 소요 자원 한계치, 자원 이용률 등 부하평준화 정도에 대한 많은 개선이 되었음을 알 수 있었다.

본 연구에서 제안한 휴리스틱은 기본적으로 단일 선박의 부하평준화에만 적용할 수 있는데, 선박별로 작업팀이 배정되어 복수 선박을 동시에 고려하는 복수 프로젝트(Multi-Project) 부하평준화의 필요성이 적기 때문에 큰 문제는 없을 것으로 판단된다. 그러나 작업팀별 선박 배정이라는 조건을 완화하는 경우, 혹은 작업팀의 규모를 결정해야 하는 경우에는 복수 프로젝트 부하평준화 휴리스틱의 개발이 필요할 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 몇 가지 단순화한 가정들을 적용했는데 이들에 대해서는 추후 보완이 필요할 것으로 판단된다. 탑재시점에 소요되는 크레인 소요시간에 대한 고려는 자료확보의 어려움 때문에 부하평준화 대상에서 제외되었는데 이들 자료의 확보와 크레인 시간부하의 고려 방법에 대하여 추가 연구가 필요

표 5. 자원 이용률 결과

선박	규칙	최소여유시간		최대잔여작업수		최장작업기간	
		일차진수 전	일차진수 후	일차진수 전	일차진수 후	일차진수 전	일차진수 후
A 선박	시수	77.2%	88.5%	71.2%	88.5%	71.2%	88.5%
	중량	60.5%	65.5%	55.9%	65.5%	55.9%	65.5%
B 선박	시수	81.5%	70.1%	88.9%	71.1%	88.9%	71.1%
	중량	59.1%	66.1%	64.4%	66.1%	64.4%	66.1%
C 선박	시수	70.4%	92.3%	70.4%	92.3%	70.4%	92.3%
	중량	65.1%	87.0%	65.1%	87.0%	65.1%	87.0%

할 것으로 여겨진다. 또 탑재 작업부하가 발생하는 시간을 탑재 간의 공기 동안으로 가정했는데 실제로는 다음 블록의 탑재가 이루어진 다음에도 일정한 기간 동안 탑재 작업부하가 계속 발생한다. 그러나 이러한 측면은 일정 계산시에는 탑재 간의 공기를 사용하고 부하 계산시에는 부하의 발생시간을 사용함으로써 본 연구의 절차를 크게 수정하지 않고도 수용이 가능할 것으로 판단된다.

**참고문헌**

박주철, 옥철영, 이태억(1994), 기본계획시스템 개발 최종보고서, 울산대학교 생산성 연구소.  
 박주철 외 13명(1995), 선각일정계획 최적화시스템 개발 보고서, 울산대학교 생산성 연구소.  
 백태현(1994), 부하평준화 휴리스틱을 이용한 조선 탑재 일정계획 편성에 대한 연구, 석사학위논문, 울산대학교.

선각 계획과(1992), 선각 외업 공정(교육용), 현대중공업.  
 이재규 외 9명(1992), 대우조선의 일정관리 전문가시스템 개발: DAS 프로젝트, 지능정보시스템, 1(1), 9-32.  
 이재원, 김훈주(1995), 유전 알고리즘을 이용한 탑재공정과 일정계획, 대한조선학회논문집, 32(1).  
 丹羽, 本田(1991), Proceedings of the 1st CIM JAPAN Seminar No. 2 予稿集.  
 Bell, Colin E. and Jaemin, Han. (1991), A New Heuristic Solution Method in Resource-Constrained Project Scheduling, *Naval Research Logistics*, 38, 315-331.  
 Boctor, F. (1990), Some Efficient Multi-Heuristic Procedures for Resource-Constrained Project Scheduling, *European Journal of Opt. Res.*, 49, 3-13.  
 Elmaghraby, S. E. (1977), Activity Network, Project Planning and Control by Network Models, John Wiley and Sons, New York.  
 Kurtulus, I. and Davis, E. W. (1972), Multi-Project Scheduling: Categorization of Heuristic Rules Performance, *Management Science*, 28(2), 161-172.  
 Levy, F. K., Thompson, G. L. and Wiest, J. D. (1962), Multi-ship, Multi-shop Workload Smooth Program, *Naval Research Logistics*, 37-44.  
 Wiest, J. D. (1967), A Heuristic Model for Scheduling Large Projects with Limited Resources, *Management Science*, 13(6), 359-377.



**백태현**  
 울산대학교 산업공학사  
 울산대학교 산업공학 석사  
 현 재: 현대중공업 산업기술연구소 자동화 연구실 연구원  
 관심분야: 데이터베이스 응용, 통합정보시스템 설계 및 분석, 생산정보시스템



**박주철**  
 서울대학교 산업공학사  
 KAIST 산업공학 석사  
 KAIST 산업공학 박사  
 현 재: 울산대학교 산업공학과 교수  
 관심분야: 경제성공학, 생산정보시스템



**정귀훈**  
 울산대학교 조선 및 해양공학 학사  
 울산대학교 조선 및 해양공학 석사  
 현 재: 현대중공업 산업기술연구소 자동화 연구실 선임연구원  
 관심분야: 생산물류 분석 및 설계, 컴퓨터 시뮬레이션 응용, 제조정보시스템 분석 및 설계