

## 제약만족기법 기반의 최대부하감소를 통한 탑재네트워크의 부하평준화

류지성\*, 김홍태†\*\*, 박진형\*\*, 이병로\*\*\*, 신종계\*

서울대학교 조선해양공학과\*, 해양(연) 해양시스템안전연구소\*\*,  
삼성중공업 생산운영팀\*\*\*

### Load Leveling of Block Erection Network Using Diminution of Maximum Load Based on Constraint Satisfaction Technique

Ji-Sung Ryu\*, Hongtae Kim†\*\*, Jin H. Park\*\*, Byung-No Lee\*\*\* and Jong-Gye Shin\*

Naval Architecture & Ocean Engineering, Seoul National University\*,  
Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering, KORDI\*\*,  
Geoje Shipyard, Samsung Heavy Industries\*\*\*

#### Abstract

The logistics of entire shipbuilding process are integrated during the block erection process and the schedules for the erection process are made prior to the schedules of any other processes. Therefore, efficient scheduling of the block erection process are one of most important issues in shipbuilding. There are only a few studies published regarding block erection scheduling methods because of its complexity and variability. This paper proposes an algorithm for diminution of maximum load based on constraint satisfaction technique. it is developed primarily for the efficiency in load leveling and applicability to the actual block erection process. The proposed algorithm is applied to actual block erection process and the results shows improvements in load leveling. It can also be used for the scheduling of fabrication, sub-assembly, and assembly to improve load leveling.

※Keywords: Erection Process(탑재공정), Block Erection Network(블록탑재 네트워크), Scheduling(일정계획), Constraint Satisfaction Technique(제약만족기법), Load Leveling(부하평준화), Diminution Method of Maximum Load(최대부하 감소기법)

---

접수일: 2004년 4월 12일, 승인일: 2004년 7월 22일

† 주저자, E-mail: kht@kriso.re.kr

Tel: 042-868-7236

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경

2000년대에 들어서면서 한국은 조선산업 대국으로서 발돋움하고 있다. 한국의 조선산업이 국제 경쟁력을 유지하기 위해서는 지속적인 생산성 향상과 원가절감이 요구된다. 이러한 요구를 달성하기 위하여 많은 조선소들이 생산공정을 최적화하고자 노력하고 있으며, 구체적으로 조선소가 가지고 있는 자원들의 활용을 극대화하기 위한 생산공정의 부하평준화에 많은 관심을 기울이고 있다.

특히 탑재공정은 조선소의 물류가 최종적으로 합쳐지는 곳이고, 가장 먼저 일정계획(scheduling)이 세워지는 공정이므로, 다른 공정에 비하여 효율적인 일정계획의 중요성이 요구된다. 그러나 탑재공정이 갖고 있는 복잡성 때문에, 현장에서 활용이 가능한 탑재 일정계획에 대해서는 아직 연구가 미진하다. 탑재공정은 수많은 제약(constraint)들로 인해 정형화하기가 어렵고 또 실제 현장에서 일정에 맞추어 작업을 하는 일정계획 적중률이 낮기 때문에, 실질적인 업무를 관장하는 직장 및 반장에 의해 일정계획이 수정되고 있는 것이 현실이기 때문이다. 이러한 이유로 실제 적용이 가능한 탑재 일정계획 시스템을 구축하려는 연구가 이루어지고 있다(Choi 1994, 정동수 등 1997).

### 1.2 연구 동향

탑재 공정에 관련된 연구는 크게 탑재순서의 생성, 부하평준화(load leveling), 탑재공정 시뮬레이션 등으로 나누어 볼 수 있다.

먼저 탑재순서 생성에 관해 이재원/김훈주(1995)는 접합블록의 정보를 이용해 탑재 순서를 생성하고, 유전알고리즘을 사용하여 부하평준화된 탑재네트워크를 생성하고자 하였다. 또한 홍윤기 등(1997)은 조선 공정계획에서 탑재순서의 자동생성을 위해 인접블록의 정보를 이용하여 탑재가능 조건을 만족하는 블록을 찾아내는 방법을 제시하였고, 김도현(1998)은 탑재네트워크의 자동생성에 관한 연구에서 조립 제품의 정보, 블록 배치에 관한 정보, 선후 관계 생성에 관련된 정보, 네트워크 정보를 관계형 데이터 테이블로 구축하고, 이를

통해 탑재 네트워크 자동생성시스템을 구현하였다.

부하평준화에 관해 백태현 등(1999)은 조선 탑재 일정계획 편성에 관한 연구에서 자원의 침투치를 줄여나가는 휴리스틱(heuristic) 기법을 이용하여 탑재일정의 부하평준화를 꾀하였다. 김정제/김용태(2001)는 도크(dock)의 자원 제약을 고려한 조선 탑재 네트워크의 작성을 위해, 조선소의 가장 중요한 자원인 골리앗 크레인(goliath crane; 이하 크레인)의 부하평준화를 연구하였다.

탑재 공정 시뮬레이션에 관해 김홍태 등(1997)은 탑재 일정을 기준으로 하여 선행공정의 일정계획을 작성하기 위한 시뮬레이션 모델을 개발하여 전체 공정의 부하평준화를 분석하였다. 차희철(2002)은 도크의 자원과 작업환경을 고려한 탑재 시뮬레이션을 위해 탑재공정 의사결정지원도구에 관하여 연구하였다. 한편 김홍태 등(2002)은 조선소 설비의 운용효율과 장비교체시간을 감안하여 탑재방식을 평가할 수 있는 3D 시뮬레이션 기반의 방법론을 제안하였다.

### 1.3 연구 목적

대부분의 탑재 공정 부하평준화에 대한 연구들의 경영과학(OR : Operation Research)적 접근방법을 사용하였으며, 이러한 접근방법은 탑재 공정과 같이 많은 제약들로 구성된 문제에 대해서는 정식화하기가 어렵다는 단점이 있다. 또한 탑재공정에서 일정계획의 문제는 조합적 최적화(combinatorial optimization) 문제이기 때문에, 문제의 크기가 커지면 최적 해를 찾는 데 어려움이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 부하평준화의 효율성 측면에서 우수한 최대부하감소(diminution of maximum load) 알고리즘을 제안하였고, 구현을 위해 제약만족기법(constraint satisfaction technique)을 사용한 탑재 작업일을 결정하는 프로그램을 개발하였으며, 기존의 일정계획 방법에 비하여 향상된 부하평준화 결과를 얻을 수 있었다.

## 2. 탑재 네트워크의 부하평준화

### 2.1 탑재 네트워크

탑재네트워크는 한척의 선박에 대하여 탑재순서와 탑재 작업기간을 PERT(Program Evaluation and Review Technique) 기법으로 나타낸 것이며, 조선소의 특성에 따라 변화를 주어 작성하게 된다. 일반적으로 탑재네트워크는 작업활동(activity)를 아크(arc) 위에 표시하는 AOA(Activity on Arc) 방식을 따르며, Fig. 1은 대표적인 탑재네트워크를 나타내고 있다.

이러한 탑재네트워크를 통해 탑재 작업일을 결정할 수 있고, 탑재 블록의 선후행관계도 정의할 수 있다. 탑재 작업일을 결정하기 위해서는 CPM(Critical Path Method)을 사용해서 후진(backward)계산에 의한 LNT(Latest Node Time)와 전진(forward)계산에 의한 ENT(Earliest Node Time)를 구하게 된다. LNT와 ENT의 차이가 여유일정(float)이 되며, 여유일정이 없는 블록은 주공정(critical path)이 되고, 나머지 여유일정을 갖는 블록들의 작업일정은 부하평준화의 관점에서 결정해야 한다.

탑재네트워크를 이용한 탑재 작업일의 결정은 탑재일정계획을 의미하며, 이러한 탑재일정계획을 통해 건조선표에서 계획된 batch 기간 안에 선박을 진수시킬 수 있도록 모든 탑재 블록의 탑재 작업일이 결정된다.

### 2.2 최대부하감소 알고리즘

최대부하감소란 최대 부하를 계속 줄여나가면서 부하를 평준화하는 것이다. 일반적으로 기존 연구에서는 부하평준화의 기준으로 분산값의 최소화, 편차의 최소화, 부하지수(부하의 표준편차를 부하의 평균으로 나눈 값)의 최소화 등을 사용하였다(민상규 2000, 이재원/김훈주 1995). 그러나 이러한 편차의 최소화는 변경되는 작업수가 많아지고, 계산시간이 과다하게 걸리는 단점이 있다.

본 연구에서 제안하는 최대부하감소 알고리즘은 편차의 최소화를 위한 최적해는 보장하지 못하나, 빠른 시간내에 만족스런 부하평준화를 이룰 수 있어, 중일정 단계에서의 탑재일정계획에 적합한 방

법이다.

Fig. 2의 (a)와 (b)는 일반적인 부하평준화의 기준으로 사용하는 표준편차는 같다. 하지만 그림에서 보듯이 두 그래프는 차이를 가지고 있으며 어떤 그래프가 부하평준화가 잘 이루어졌는지에 대한 평가도 모호하다. Fig. 2에서 굵게 표시된 선은 자원의 한계치를 나타내며, Fig. 2(a)는 자원의

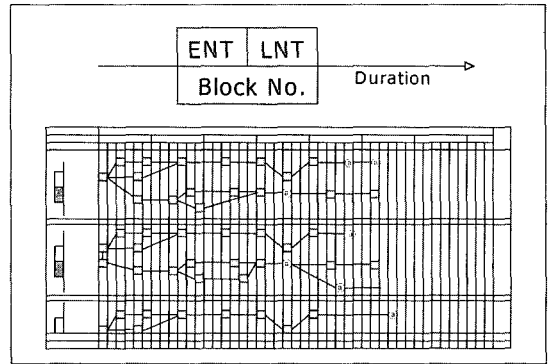
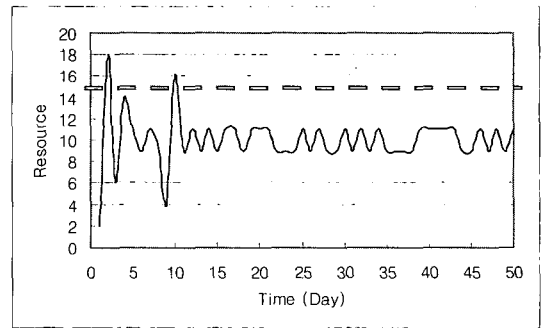
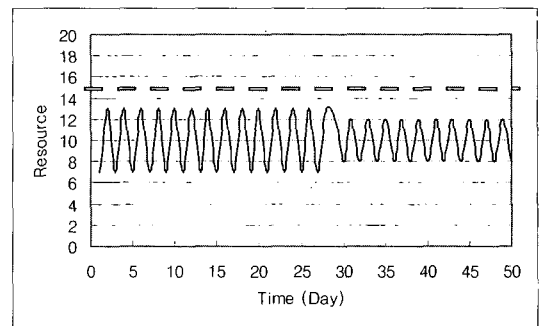


Fig. 1 Typical erection network



(a)



(b)

Fig. 2 Comparison of load distribution

한계치를 넘어서는 자원량을 가지고 있다. 이러한 경우에는 전체적으로는 부하평준화가 되어 있지만, 실제 자원을 투입하는 과정에서는 시간외 작업을 하거나 추가적으로 자원을 투입해야 하는 문제점이 생긴다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 편차를 최소화하는 부하평준화뿐만 아니라, 최대치를 낮출 수 있는 방법이 필요하다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 최대부하 감소 알고리즘을 제안하였다.

최대부하 감소 알고리즘을 적용하게 되면 기존의 연구에서 기준으로 삼았던 편차의 최소화에 있어서도 만족스런 결과를 얻을 수 있다. 즉, Fig. 3의 정규분포 그림에서 알 수 있듯이 최대부하를 계속적으로 감소시켜 나가면 평균근처에 분포하는 부하들이 많아지게 때문에, 편차도 계속적으로 감소할 수 있다(박정식/윤영선 2002).

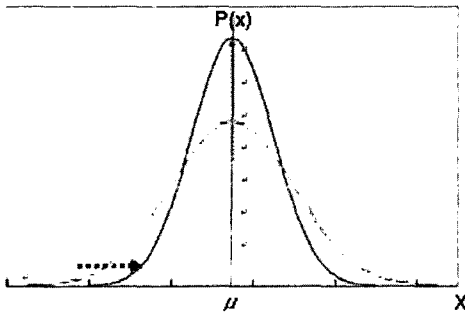


Fig. 3 Effectiveness of diminution of maximum load

2.3 제약만족기법

탐재 공정은 거의 인력에 의존하는 공정이며 비정형적인 요소를 많이 가지고 있다. 뿐만 아니라 탐재 일정계획은 전형적인 조합적 최적화에 관한 문제이다. 또한 조선소에서는 탐재 네트워크를 단일 호선이 아닌 batch 별로 일정 계획을 수립하고 있기 때문에 탐색공간이 매우 넓어져 최적해를 찾는 데 있어서 많은 시간이 요구된다. 이러한 탐재 공정의 특징을 반영할 수 있는 기법은 비정형적 요소 반영도가 크고 계산 요구량이 많지 않은 제약만족기법이 가장 적절하다.

제약만족기법은 비교적 최근에 연구되고 있는 분야이며 경영과학과 인공지능을 결합한 형태이다. 이 방법은 논리 프로그래밍과 경영과학기법을 사용하여 탐색조건을 향상시켜 해를 찾는 성능을 개선시키기 위한 방법이다. (Russell/Norvig 2002, Kumar 1992) 특히 최적해를 찾을 수 없는 경우나 최적해 보다는 가능해를 빨리 찾는 것이 더 의미가 있을 때, 해당 문제를 제약만족문제로 정식화하면 더 효과적으로 해를 찾을 수 있다. 이러한 제약만족기법을 일정계획에 적용하면 대상 문제를 변수와 제약조건으로 쉽게 표현이 가능하다. 또한 변수와 제약 조건들을 첨가 및 삭제함으로써, 현장의 동적인 상황을 반영할 수 있고, 문제를 단순화시키거나 자세하게 표현해야 하는 경우에 현실감 있는 일정계획을 수립할 수 있다.

제약만족기법을 간략히 정의하면 각 변수에 이산형 값이 계량적, 비계량적으로 주어져 있을 때, 인접변수의 값끼리 상호 호환성을 유지하는 값을 할당하는 문제를 말한다(이재규 등 1996). 특히, 이러한 문제 유형을 푸는 것을 목적으로 하는 프로그래밍을 제약 프로그래밍(constraint programming)이라 한다. 즉, 제약만족문제(constraint satisfaction problem)를 푼다는 것은 X의 각 변수들에 대해 아래의 두 조건을 만족시키도록 값을 할당하는 것을 말한다.

$$\forall x_i \in X : v(x_i) \in D_i \quad 1 \leq i \leq n$$

$$\forall C_j \in C : c_j(v(x_1), v(x_2), \dots, v(x_n))$$

$$X = \{x_1, \dots, x_n\}$$

$D_i$  : possible value (domain) for  $x_i$

$C$  : set of constraints (c)

$v(x_i)$  : value of  $x_i$

제약 프로그래밍 기법은 모든 변수가 가질 수 있는 값들의 조합을 나열하여 가능해나 최적해를 찾아 나간다. 하지만 이러한 모든 조합을 찾아내서 탐색하기에는 대상공간이 너무 넓어져 시간이 오래 걸리게 된다. 이 기법은 어떻게 하면 효율적으로 탐색공간을 줄여서 해를 찾는 검색시간을 줄일 수 있느냐가 가장 중요한 문제이다.

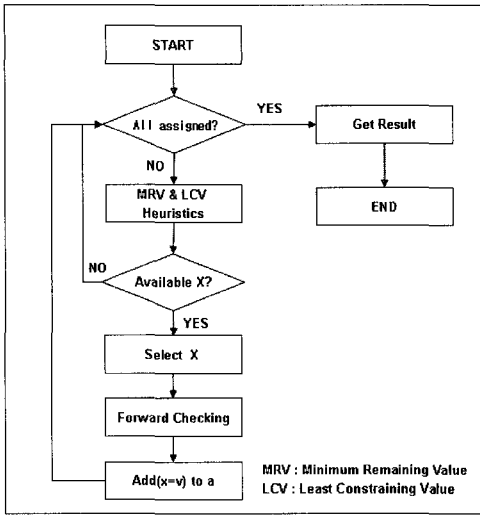


Fig. 4 CSP-backtracking function

따라서 탐색공간을 줄이는 기법으로 constraint propagation, arc consistency, backtracking, forward checking 등을 자주 사용하고 있다. Fig. 4는 본 연구에서 사용한 backtracking 함수의 구현절차를 나타내고 있다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 변수에 모든 값이 정해져 있지 않으면, 현재 변수의 값을 도메인에서 할당하고 제약에서 과거 변수값과 충돌하지 않는지 검사한다. 즉 현재 변수와 과거 변수 사이의 제약만을 검사한다(MRV & LCV Heuristics). 현재 변수의 모든 값을 다 검사했다면 이전 변수로 돌아가서 새로운 값을 할당한다. Forward checking은 현재 변수에 값을 할당하면 미래 변수의 도메인에서 현재 변수의 값과 충돌하는 값들을 임시로 제거한다. 미래 변수 도메인이 비게 되면 바로 현재 변수에 다른 값을 할당하거나 backtrack 할 수 있다. 새로운 변수를 고려할 때마다 남아 있는 모든 값들은 과거값 할당과 consistent 하다고 보장할 수 있기 때문에 consistency check 는 필요하지 않다.

### 3. 제약만족기법 기반의 최대부하감을 통한 부하평준화

본 논문에서는 탑재일정계획의 특성의 가장 잘

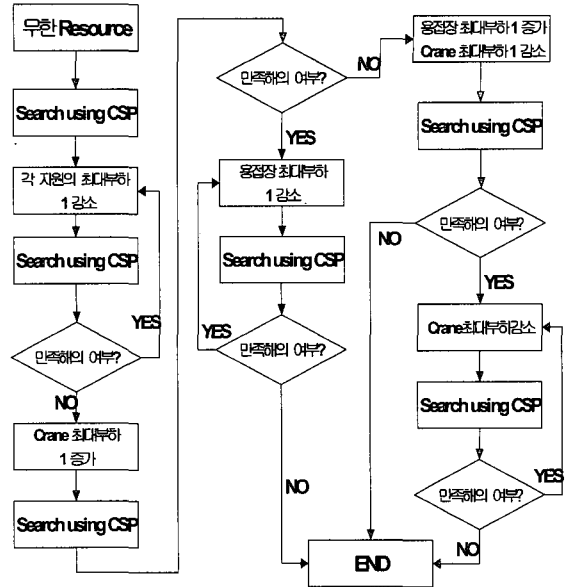


Fig. 5 Diminution method of maximum load based on CSP

반영할 수 있고 부하평준화의 효율성 측면에서 좋은 결과를 가져올 수 있는 제약만족기법 기반의 최대부하감소 알고리즘을 제안하였다. Fig. 5는 본 연구에서 제안한 제약만족기법 기반의 최대부하감소 알고리즘을 탑재네트워크의 부하평준화 문제에 적용하기 위한 절차를 나타낸다.

우선, 자원의 제약이 없이 가능해를 생성하여 최대부하를 체크한다. 그리고 각각의 최대 부하에서 1 만큼 감소시켜, 이를 기준부하로 하여 다시 가능해를 생성하고 계속적으로 최대부하를 감소시켜 나간다. 이때 1이라는 숫자는 최대부하가 감소하는 스텝 사이즈(step size)를 의미하는 것이 아니라, 앞서 체크된 최대부하에서 1을 뺀 값을 자원의 제약조건을 둔다는 뜻이다. 최대 부하를 1만큼 줄이면서 자원의 제약조건을 만족하기 위해서는 블록 단위로 움직여야 하기 때문에 감소하는 스텝 사이즈는 1이 아니다. 따라서 최대부하를 1만큼 감소시키더라도 용접장과 크레인 이용횟수가 1만큼 감소하면서 줄어드는 것이 아니라, 한 블록이 가지고 있는 일별 용접장과 크레인 이용횟수만큼 줄어들게 된다.

이렇게 각각의 최대 부하를 감소시킨 후, 더 이

상 감소가 안 될 경우에는 각 제약조건별로 더욱 감소시키게 된다. 하나의 제약은 더 이상 감소시킬 수 없지만, 다른 제약은 감소시켜 나갈 수 있는 경우를 고려하기 위해서이다.

본 논문에서는 탑재공정의 기술적 제약조건이 반영된 초기 탑재 네트워크와 탑재블럭의 피치(pitch)를 이용하여 탑재 네트워크를 구성하였고, 이를 통해 탑재작업일이 이미 결정된 주공정에 해당하는 탑재블럭을 찾아내어 초기 제약조건으로 할당하였고, 각 블럭들의 필요 자원정보를 초기 블럭정보로 입력하였다. 여기서 만든 초기 탑재네트워크와 초기 제약정보, 초기 블럭정보를 이용하여 Fig. 5의 CSP (Constraint Satisfaction Problem) solver로 탐색하여 가능해를 찾게 된다.

또한 최대부하 감소를 통하여 계속해서 최대치를 낮추어 가면서 부하평준화를 시도하여 더욱 평준화된 탑재작업일을 결정할 수 있다.

#### 4. 실험결과 및 분석

본 논문에서 제안한 방법의 효율성을 검증하기 위해 대상 조선소 A Dock의 No.000 batch 탑재계획을 대상으로 하여 적용해 보았다. No.000 batch에 대한 도크 배치(dock arrangement)는 Fig. 6과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 No.000 Batch에서는 5척의 선박이 탠덤건조법(tandem building system)에 의해 건조되며, 각각의 선박에 대한 탑재 일정계획의 수립이 필요하다.

2001호선, 2002호선, 2003호선은 이전 batch에서 탠덤 존(tandem zone)이 탑재된 선박들이고, 2004호선과 2005호선은 이번 batch에서 탠덤 건조가 시작되는 선박들이다.

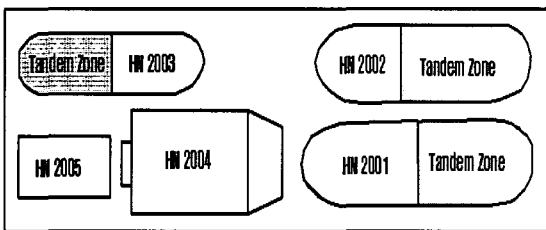


Fig. 6 Dock arrangement of the batch

#### 4.1 실험을 위한 가정

제약만족기법 기반의 최대부하감소 알고리즘을 탑재일정계획에 적용하기 위해서 다음 4가지 가정을 하였다.

- ① 탑재 작업에 영향을 미치는 제약은 용접장과 골리앗 크레인 이용횟수이다.
- ② 골리앗 크레인을 2대 동등 시에는 크레인 이용횟수를 2회로 한다.
- ③ Port 블럭과 Starboard 블럭은 같은 날 탑재한다.
- ④ Batch 전체에 대해서 적용하며(5척), 도크 기간은 26일이다.

#### 4.2 실험 결과

제약만족기법을 이용한 최대부하감소 알고리즘의 반복적 적용을 통하여 부하평준화된 탑재일정의 결과를 나타낸 것이 Fig. 7과 Fig. 8이다.

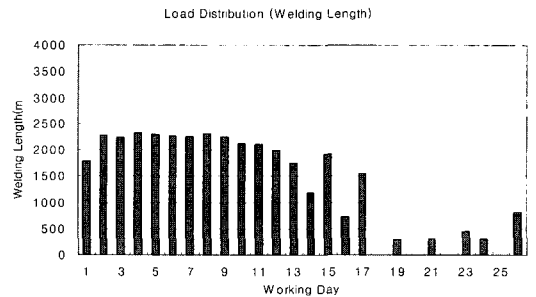


Fig. 7 Load distribution by diminution method of maximum load (welding length)

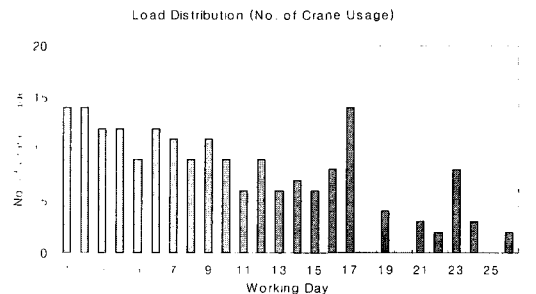


Fig. 8 Load distribution by diminution method of maximum load (no. of crane usage)

그림에서 보는바와 같이 용접장과 크레인 부하가 전체적으로 평준화된 것으로 알 수 있다. 도크 기간의 후반부에 부하가 갑자기 감소하는 것은 탑재공정에 투입되었던 자원이 선행탑재(pre-erection)에 투입되기 때문이다.

이러한 결과를 표로 정리한 것이 Table 1이다. Table 1에서 보는 바와 같이 제안된 제약만족기법 기반의 최대부하감소 알고리즘의 반복적 적용을 통해 최대 31.63%의 용접장 최대부하 감소와 30.00%의 크레인 최대부하 감소 효과를 얻을 수 있었다. 물론 이러한 최대부하감소의 효과로 각 제약의 편차도 점차 감소됨을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 적용대상으로 삼은 조선소의 경우에는 이러한 탑재 네트워크를 작성함에 있어 PERT/CPM 기법을 사용하지 않고 있으며, 실적인

의 데이터를 토대로 하여 탑재 일정계획 전문가에 의한 부하평준화 및 일정계획을 하고 있다. 탑재공정의 부하평준화를 위해 고려되는 제약조건으로는 크레인의 사용시간, 탑재물량과 관련된 용접장 및 블록중량, 그리고 PE (Pre-Erection)장 면적 등이 있다. 그러나 경험이 많은 일정계획 전문가라 할지라도 이러한 여러 가지 제약조건을 동시에 만족시키면서 부하평준화된 일정을 찾아내는 것은 매우 어려운 일이다.

Table 2는 탑재 일정계획 전문가가 작성한 일정계획 결과와 본 논문에서 제안한 방법의 결과를 비교한 것이다. Table 2에서 보는 바와 같이 본 논문에서 제안한 방법을 통한 일정계획의 결과가 탑재 일정계획 전문가가 작성한 일정계획 보다 용접장 최대부하는 47.39%가 감소하였고, 크레인 이용횟수 최대부하는 35.7% 정도 감소함을 알 수 있었다.

이러한 결과는 탑재 일정계획 전문가가 본 논문에서 고려하지 못했던 현실적인 제약을 추가적으로 고려했기 때문일 수도 있지만, 근본적인 원인은 많은 계산량으로 인해 탑재 일정계획 전문가가 적절한 해를 찾지 못했기 때문이다. 따라서 효과적인 탑재일정계획을 위해서는 탑재공정의 다양한 제약조건을 반영하고, 자원제약으로 인한 부하의 평준화를 실현할 수 있는 일정계획 지원 소프트웨어 시스템의 개발이 필요할 것으로 생각된다.

5. 결론

본 논문에서는 조선소의 생산성에 가장 중요한 영향을 미치는 탑재공정의 일정계획을 보다 효율적으로 수립하기 위한 방법을 제시하였다. 이를 위해 제약만족기법 기반의 최대부하감소 알고리즘을 제안하였고, 실제 사례연구를 통하여 부하평준화 관점에서 기존의 일정계획 보다 우수한 결과를 얻었다.

연구결과를 실제 현장에 적용하기 위해서는 탑재공정과 주요한 자원을 공유하고 있는 선행탑재공정에 대한 고려가 이루어져야 하며, 용접장과 크레인 이용횟수 외에 추가적인 자원제약에 대한 반영이 필요하다.

Table 1 Result of diminution method of maximum load based on CST

횟수	용접장 최대부하 (m)	용접장 최대부하 감소율	용접장 편차	크레인 최대부하 (no.)	크레인 최대부하 감소율	크레인 편차
1	3386	-	146.32	20	-	9.72
3	2889	14.75%	145.02	19	5.00%	9.63
5	2765	18.41%	136.87	18	10.00%	9.58
7	2737	19.24%	136.42	17	15.00%	9.02
9	2683	20.83%	134.73	15	25.00%	8.99
17	2489	26.55%	133.25	14	30.00%	8.76
23	2317	31.63%	124.84	14	30.00%	8.33

Table 2 Comparison of load by scheduler and algorithm based on CST

비교값 \ 방법	탑재일정계획 전문가	본 논문제안 알고리즘	비교 결과
용접장 최대부하(m)	3415	2317	47.39% 감소
용접장 편차	142.2708	124.8357	13.97% 감소
크레인 이용횟수 최대부하(회)	19	14	35.70% 감소
크레인 이용횟수 편차	9.6616	8.3311	15.97% 감소

제안된 제약만족기법 기반의 최대부하감소 알고리즘은 탑재일정을 중심으로 후진 일정계획(backward scheduling)을 하게 되는 가공, 소조, 조립공정 등의 부하평준화에도 활용이 가능할 것이며, 블록 탑재 후의 선각 용접작업과 일반 의장작업의 부하평준화에도 적용할 수 있을 것이다. 또한, 평준화된 작업물량과 자원부하는 장기계획의 관점에서 능력계획(capacity planning)이나 인원계획(manpower planning)의 기초가 될 수 있을 것이며, 단기적으로는 단기 인력의 활용과 시간외작업의 비효율성을 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 논문의 내용은 IMT-2000 출연금 기술개발 사업으로 수행중인 “고부가가치선박 개발용 디지털 통합건조공법 개발”과제의 연구결과 중 일부를 밝힌다.

참 고 문 헌

- 김도현, 1998, 조선 탑재 네트워크의 자동생성에 관한 연구, 울산대학교 석사학위논문
- 김정제, 김용태, 2001, “Dock의 자원제약을 고려한 조선 탑재 Network 작성,” 대한조선학회 추계학술대회 논문집, pp. 26-29.
- 김홍태, 임재민, 유병세, 1997, “시뮬레이션 방법을 이용한 조선 탑재공정 기준선행 중일정계획의 수립,” 한국경영과학회/대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, pp. 447-450.
- 김홍태, 이종갑, 황규옥, 2002, “가상생산기술을 이용한 시뮬레이션 기반의 선박설계 및 생산체계의 수립,” 산업공학지(IE Interface), 제 15권, 제 3호, pp. 230-240.
- 민상규, 2000, 조선탑재일정의 부하평준화를 위한 유전 알고리즘, 울산대학교 석사학위논문.
- 박정식, 윤영선, 2002, 현대 통계학, 다산출판사
- 백태현, 정귀훈, 박주철, 1999, “부하평준화 휴리스틱을 이용한 선박탑재 일정계획 편성 연구,” 산업공학지, 제 12권, 제 3호, pp. 354-361.
- 이재규, 최형림, 김현수, 서민수, 주석진, 지원

철, 1996, 전문가 시스템 원리와 개발, 법영사, pp. 539-549.

- 이재원, 김훈주, 1995, “유전알고리즘을 이용한 탑재공정과 일정계획,” 대한조선학회 논문집 제 32권, 제 1호, pp. 9-16.
- 정동수, 장정호, 황하용, 유희철, 이용순, 이병철, 박주철, 1997, “선각 중일정계획 System 개발에 관하여,” 기술현대, 제 17권, 제 1호, pp. 8-14.
- 차희철, 2002, Dock의 자원과 작업환경을 고려한 탑재 시뮬레이션, 울산대학교 석사학위논문.
- 홍윤기, 정은경, 전 진, 김세영, 1997, “조선공정계획에서 탑재순서생성,” 산업공학지(IE Interface), 제 10권, 제 1호, pp. 189-207.
- Choi, H., 1994, "Scheduling using constraint directed graph search ; DAS-ERECT", International J. of Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management, Vol. 3, pp. 111-123.
- Kumar, V. 1992, " Algorithms for constraint-satisfaction problems : a survey", AI Magazine, Vol 33, pp. 32-44.
- Russell S. and Norvig P., 2002, "Artificial Intelligence ; A Modern Approach", Prentice Hall.



< 류 지 성 >



< 김 홍 태 >



< 박 진 형 >



< 신 종 계 >