

조선산업에서의 블록 배량계획과 일정계획에 관한 연구

A Study on Loading and Scheduling of Assembly Block in Shipbuilding

김기동* 전인우** 김태현***
Kim, Ki-Dong Jeon, In-Woo Kim, Tae-Hyeon

Abstract

The shipbuilding scheduling has many possible alternatives because of its long time horizon and a lot of jobs, so it is required that the scheduling system can generate and search feasible alternatives rapidly.

The scheduling in the assembly shop is initiated by allocating, namely loading, the assembly blocks to each shop. In this step, the resource capacities (such as available man/hour, available crane) of each shop must be considered. The result of loading without above consideration can make the scheduling result based on that infeasible or worse one.

In this paper, we developed the optimal scheduling system of shipbuilding, specifically for loading and scheduling of assembly block, using ILOG Solver/ Scheduler. ILOG Solver/Scheduler is a general-purposed commercial software which supports to find a feasible or optimal solution using object oriented technique and constraints satisfaction programming, given constraints and objectives.

Also, in order to enhance the system performance, we conducted various experiments of ILOG search strategies. The experimental results showed that the impact of search strategies is significant.

키워드 : 스케줄링, 부하할당, 조선
Keywords : Scheduling, Loading, Shipbuilding

1. 서론

제조 산업에서의 이익 극대화를 위해서는, 공기 단축을 통한 매출 증대, 주어진 생산 자원(인력, 설비 등)의 효율적인 이용을 통한 생산비 절감이 필수적인 사안이다. 다시 말하면, 효율적인 자원의

이용으로 제품의 제조 공기를 줄임으로써 제조 산업에서의 이익 극대화를 도모할 수 있고, 이는 효과적인 생산계획과 관리를 통해 얻을 수 있다.

생산계획과 관리는 제조 산업의 전 과정에서 이루어지고 있는데, 조선 생산계획의 가장 중요한 의사결정 사항 중 하나는 설계, 가공, 조립, 외장, 도장(페인트 칠)과 같은 작업들의 적절한 부하 할당과 중요한 작업들에 대한 일정계획의 수립이다. 일반적으로 부하할당계획과 일정계획 수립에는, '작업 수행을 위해 필요한 자원들의 용량 제약'과 '좋은 부하할당계획과 일정계획에 대한 평가

* 강원대학교 산업공학과 조교수, 공학박사
** 강원대학교 대학원 산업공학과 석사과정
*** (주)KSTEC, 연구원

기준' 이 주어지며, 부하할당계획 수립결과를 각 작업장에 할당된 작업과 작업들의 양으로 나타내고, 일정계획 수립 결과는 '중요 작업의 수행 순서와 일시', '작업별로 중요 자원의 이용순서, 이용시간' 등으로 나타난다[4].

부하할당계획과 일정계획은 일련의 작업들을 각 작업장이나 설비에 분배하고, 수행시점을 결정하는 계획 활동으로써 목적에 따라 여러 가지 문제로 표현할 수 있다. 유연성 있는 부하할당 계획을 위해서는 계획기간(Horizon)에 생산하는 작업들의 대체작업장을 적절히 계획하고, 운용하는 것이다. 이러한 부하할당계획과 일정계획 문제는 대부분 매우 어려운 조합 최적화 문제로 알려져 있으며, 그 중요성은 간과될 수 없기 때문에 최적해 또는 좋은 해를 구하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 이러한 연구에도 불구하고, 문제의 높은 난이도로 말미암아 현실적인 크기의 문제를 대상으로 최적해 또는 근사 최적해를 구하는 것은 지금도 매우 어려운 일로 인식되고 있다[5].

본 논문에서는 조선의 생산계획 중 '조립 작업의 부하할당과 일정계획' 문제를 대상으로 하고 있다. 이러한 문제는 각 작업장에서 수행할 수 있는 작업들의 할당과 한정된 자원을 고려하는 자원 제약 프로젝트 일정계획 문제 (RCPSP : Resource-Constrained Project Scheduling Problem)이며, 이러한 종류의 부하할당계획 및 일정계획 문제는 NP-hard이다[6].

본 논문의 목적은 D조선에서의 조립작업 부하할당(조선 산업에서는 이를 배량계획이라고 부르며, 이하 배량계획이라 함)과 일정계획 시스템을 구축하고, 계획 담당자의 목적(상황)에 맞는 배량 계획 및 일정계획 결과를 제시하는 것이다. 배량 계획 시스템은 객체지향과 제약만족 프로그래밍(CSP : Constraint Satisfaction Programming)을 지원하는 도구(ILOG Solver/ Scheduler)를 사용하여 구축하였으며, 다양한 제약조건을 동시에 고려하는 What-if 배량계획 수립 기능을 제공하고, 각 작업장별 인적 물적 자원 부하를 평준화 하도록 구축되었다.

2. 관련 연구 현황

본 절에서는 부하할당과 관련된 연구 현황과 조선 산업에서의 일정계획의 연구 현황에 대해서 알아본다.

2.1 부하할당 연구 현황

부하할당은 일련의 작업들을 각 부서나 설비에 분배하는 활동으로써, 주로 공정별 대체기계를 적절히 운용하여 기계의 유연성을 높이거나, 기계/시스템 이용률(Machine/System Utilization)을 높일 목적으로 많은 연구가 되어왔다.

Stecke와 Solberg[15], Shanker와 Tzen [14], Gupta et al.[7]등은 부하할당과 일정계획을 단계적으로 해결하는 방식으로 문제를 접근하면서, 다양한 부하할당 전략과 온라인 일정계획 규칙 간의 효과와 상호작용에 대하여 시뮬레이션 실험을 통하여 분석하였다. Kim[13]은 유연생산시스템(FMS : Flexible Manufacturing System)의 부하할당 문제의 목적(부하평준화 관련)과 시스템 목적(지연, 총 가공완료시간, 지연수, 산출량)과의 관계를 규명하고자 했다. 이 관계를 수식적으로 직접 규명하는 것은 어려운 문제이므로, 단계적 접근법으로 실험을 통하여 관계를 도출하였다. 이 결과 부하균형화는 산출량, 총 가공완료시간, 지연수와 밀접한 관계가 있음을 설명하였다.

우상복[3]은 FMS 부하할당과 일정계획에 대한 총 가공완료시간(Makespan)을 최소화하는 문제에 대하여 일정계획 수행도를 기준으로 부분 일정계획을 생성하는 일정계획 모듈과 생성된 부분 일정계획 이후의 일정계획에서 공구 할당이 가능한지를 미리 검증하는 공구할당 검증 모듈로 구성된 통합적 접근법을 제시하였다.

부하할당과 일정계획의 통합과 관련된 시도는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 부하할당의 결과를 효과적으로 활용하기 위한 일정계획 문제의 발견적 해법을 개발하는 것이고, 다른 하나는 대체기계가 있는 일정계획 문제의 최적해를 구하려는 시도이다. 전자의 연구는 단계적 접근법을 기본으로 하여 공정경로 유연성을 효율적으로 활용하는 작업할당 규칙에 중점을 두고 있으며, 후자의 연구는 공구문제를 고려하지 않았으며 부하할당 문제와의 관계에 대한 설명이 없다는 한계를 가지고 있다. 즉, 부하할당 문제와 일정계획 문제를 함께 다루고 있는 대부분의 연구는 단계적 접근법을 기본으로 하고 있으며, 공정경로 유연성을 효율적으로 활용하기 위한 근본적인 통합에 대한 시도는 아직 미미한 상태이다.

2.2 조선 일정계획의 연구 현황

조선 일정계획과 관련된 보고된 연구 중 가장 많은 부분을 차지하는 분야는 탑재 일정 계획의 수립에 관련된 내용이고, 가공 및 조립 일정 계획 분야에 대해서도 연구 결과가 보고되고 있다. 여기서 탑재(Erection)란, 조선 Shop에서 가장 중요한 자원인 도크(Dock)에 크레인을 이용하여 블록(Block)들을 세우는 작업을 말하고, 선행탑재(PE:Pre-Erection)란 도크 내의 공기와 선박 제조 비용을 줄이기 위해 도크 외에서 블록들을 가능한 크게 만드는 작업을 말한다.

김훈주[1]는 탑재 순서 생성과 탑재 일정 생성 문제를 다루었다. 선정된 수행도는 탑재 부하 평균화이며, 고려한 제약은 블록간 위상 (Topology), 탑재 공법에 따른 탑재 순서, 탑재 작업의 기술적 제약 사항, 중간간수 범위, 크레인 일일 탑재 블록 수 (탑재 횟수), 탑재 블록간 용 접장 부하 등이다. 이용한 방법론은 유전자 알고리즘이다.

Hyung Rim Choi[8]는 PE/Dock 장의 탑재 일정계획 문제를 다루었다. 선정된 수행도는 전문가의 제약을 만족하는 실행 가능한 탑재 일정이다. 고려된 제약은 G/C 부하, 탑재 기술적 전문가 지식 등이다. 제약 조건하의 그래프 탐색기법 (Constraint Directed Graph Search)을 이용한 전문가 시스템을 이용해서 풀이했다.

조선의 일정계획 문제는 탑재 순서 생성 문제, 탑재 일정 생성 문제, 도크 내 배치 문제, 선행 탑재(PE)장 배치 및 선행탑재 장의 작업 일정, 가공 및 조립공장의 일정 등의 문제와 복합적으로 고려되고 있음을 알 수 있다. 이처럼 대부분의 연구가 탑재 순서와 탑재 일정 생성, 조립 후 탑재 전까지의 일정 수립, 선행탑재 장에서의 블록의 배치와 작업 일정 수립문제를 다루고 있고, 본 논문에서 다루는 조립작업 부하할당과 일정계획에 대한 연구는 현재까지 조선산업에서는 미미한 상태이다.

3. 블록 배량계획 시스템 분석

3.1 선박 건조 프로세스

선박 건조 프로세스는 크게 설계, 가공, 조립, 선행의장 및 선행 도장, 선행탑재(PE), 탑재, 그리고 안벽작업(또는 선내작업)으로 구분할 수 있다. 일정계획 수립과정을 살펴보면, 가장 중요한 자원인 도크 이용에 관한 일정(탑재 일정)을 우선 수립하고, 그 후 이의 결과를 바탕으로 가공 및 조립

공장에 대한 일정 및 도장과 의장에 관련된 일정들이 수립된다.

3.2 조선 생산계획

대일정계획은 연간계획으로서 인접 2~3년을 포함하는 사업계획의 일종이다. 대일정계획에서는 영업전략과 생산부하를 고려하여 도크별 호선 계획, 선표, Batch번호를 결정한다.

중일정계획은 일반적으로 향후 3개월 동안의 생산작업을 원활히 수행하기 위하여 매분기 시작 전에 수립되는 것으로서 다음 분기까지를 포함하여 총 6개월 동안의 생산계획을 수립한다. 중일정계획은 선행중일정, 선내중일정, 내일중일정, 선실중일정 등으로 구분되는데, 선행중일정에서 블록의 탑재일자, 블록조립완료일, 주요장비 설치 일자를 결정하면, 나머지 중일정에서는 선행중일정계획의 타당성을 독립적으로 검토하여 선행중일정 계획이 다른 중일정 측면에서 문제가 없는지 또는 조정이 필요한지를 Feedback 해준다.

3.3 블록 배량 프로세스

본 논문에서 다루는 블록 배량계획에서는 블록별로 조립이 가능한 최적 Shop(대조 블록을 기준으로 최고의 생산성을 낼 수 있는 조립 Shop)및 대체 Shop에 블록을 할당하고, 각 블록의 일정계획 수립을 다룬다.

블록 배량은 계획기간 중의 대조기준으로 블록을 내업, 타본부, 사외업체들에 할당하는 것을 말하며, 내업은 평블록 위주생산의 PBS Shop과 곡블록(선수, 선미)을 위주로 생산하는 3DS Shop과 PBS, 3DS Shop의 중간형태의 NPS Shop, 옥외에 있는 장기 정체 블록 위주 생산의 A-7 Shop의 4개 작업장으로 구성된다.

그림 1. 블록별 물량정보 및 Stage분석

또한 타본부는 D조선 내 플랜트 생산본부, 특수선 생산본부, 수리선 생산본부 등을 의미하며, 사외업체는 D조선 이외에 블록 조립작업을 할 수 있는 국내 중소기업, 중국업체 등을 의미한다.

블록은 내입, 타본부, 사외업체 순서로 배량하였으나, 본 연구에서 구현된 블록 배량 시스템은 상황에 따라 계획 담당자가 우선 할당 Shop의 종류를 선택한다.

배량계획은 분기별로 계획을 수립하며, 향후 6개월간의 계획을 수립한다.

입력 자료로 블록별 취부길이(J/L: Joint Length), 시수(M/H: Man Hour), Ton, 선행 중일장에서 계획된 시작일, 강제 절단일까지의 Buffer, 선행 중일장에서 계획된 조립 완료일, 선행 중일장에서 계획된 할당 Shop, 납기일, 일정 Setting 여부, Shop Setting 여부, 최적 Shop, 대체 Shop(최대 5개까지)과 대체 Shop의 우선 순위 정보를 이용하여, 블록 배량 담당자의 목적에 맞게 블록을 할당하고, 출력 자료로 블록별 가공할 장소 및 배분된 물량에 대한 Ton, 취부길이, 시수, 정반(일별 조립 블록)의 수 등을 제시한다.

여기서 최적 Shop 및 대체 Shop별 우선 순위의 결정은 블록별로 중량, 크기, 작업특정 정보를 이용하여, 사외업체, 타본부, 내입 작업장별로 각 작업장의 작업규칙을 감안하여 우선 순위를 정한다. 작업장별 작업 규칙은 작업장의 Crane용량, 정반 Size, 작업 가능한 블록 정보 등이다.

각 Shop별 가용 용량은 타본부와 사외업체는 월별로 틀리며, 용량 제약은 월별 할당된 물량이 각 Shop의 월별 Ton 용량을 넘으면 안되며, 정반의 이용은 일별로 주어진 용량을 넘지 않도록 한다. 반면 내입은 일별 용량 제약을 준다.

그림 1은 블록별 물량정보와 작업이 가능한 Shop, 타본부, 사외업체를 나타낸 예이다.

블록 배량계획에서 외부로 이관하는 블록의 선정 기준은 최적 Shop에 타본부 및 사외업체로 명시되어 오는 블록은 일단 해당되는 곳에 할당한다. 이때 내입에 할당되는 물량이 너무 많은 경우, 내입에 할당된 물량 중 일부를 타본부 또는 사외로 이관한다. 타본부, 사외로 이관하는 블록 선정 기준은 내입 Shop(최적 기준) 중 Bottleneck에 해당하는 블록, 정반 점유 면적이 크거나, 기간이 긴 블록, 일량은 많은데(취부길이가 큰 블록), Ton수가 적게 나가는 블록, 정반에 잘 안 맞는 블록들을 선정하여 이관한다.

4. 블록 배량계획 모델링

본 절에서는 블록 배량계획 문제를 ILOG를 이용하여 모델링한 내용에 대해 소개한다. ILOG를 이용하여 배량계획을 수립하는 경우, 객체 지향 개념을 바탕으로 대상문제를 파악하고 객체들간의 관계를 설정한다. 본 절에서는 3.3절에서 설명된 현장업무의 분석 결과 도출된 Activity와 주요 자원을 설명하고 이들간의 관계를 설명한다.

4.1 Activity와 Resource

블록 배량과 관련된 Activity는 블록별로 하나만 생성했다(이하 조립 Activity이라 함). 조립 Activity의 작업 수행 시간은 입력 자료에서 명기된 조립 공기이다.

블록 배량과 관련된 Resource는 취부길이, 시수, Ton, 일별 정반 이용 수이다.

조립 Activity는 네 가지 Resource를 이용하며, 이들 Resource를 조립 공기 동안 이용 가능한 경우에만 해당 Shop에 배량된다.

ILOG에서 Resource를 생성하는 경우, 해당 Resource의 최대 이용량을 설정해줌으로써 해당 자원의 이용에 대한 제약을 가할 수 있다. 최대 이용량에 대한 정보는 계획자의 입력 자료로부터 얻는다.

각 Shop의 가능한 작업량에 대한 정보는 배량 계획자가 준비한 입력 자료인 타본부 및 외주 업체에 대한 월별 가능한 Ton, 정반 수 자료와 내입 작업장의 일별 시수, 취부길이, Ton 자료이다. 블록 배량에서 내입 작업량은 내입 Shop 전체의 합으로 파악하기 때문에 내입 Shop을 위해서 만들어지는 Resource에 대한 최대 Resource 이용량에 대한 제약은 내입 Shop 전체의 합으로 배량 계획 기간 동안 동일하게 주어진다. 또한 내입의 개별 Shop에 대한 부하 조화를 위해 각 Shop 별로 Resource를 생성했으며, 이들 Shop별 Resource는 이용량에 대한 제약을 갖지 않는다.

타본부 및 외주 업체의 경우, 월별 처리 가능한 Ton에 대한 제약과 일별 이용 가능 정반 수에 대한 제약이 주어진다.

4.2 계획 대상 블록 선정과 계획기간 설정
배량계획 대상이 되는 블록은, 계획자가 입력한 계획 시작일과 계획 완료일 사이에 들어오는

블록이다.

배량계획의 입력 자료에는 입력된 조립 시작일, 입력된 조립 완료일이 있으며, 이는 중일정 계획에서 산출된 자료이다. 입력된 조립 완료일이 계획 시작일보다 작아서 계획기간 이전에 조립이 끝나는 블록과 입력된 조립 시작일이 계획 완료일보다 늦어서 계획 이후에야 조립이 시작되는 블록은 계획 대상에서 제외된다. 이러한 블록을 제외하곤 모두 계획 대상에 포함된다.

계획자가 설정한 계획일을 기준으로 블록을 선정한 후 일정 계획기간이 재조정된다. 선정된 블록의 조립 시작 가능일(강제 절단을 고려한 가장 빠른 조립 착수 가능일) 중 가장 빠른 날짜로 계획 시작일이 변경되고, 선정된 블록의 조립 완료 일정 중 가장 늦은 날짜로 계획 완료일이 변경된다. 단 계획 완료일의 경우, 목적함수 중에 후 공정 침입이 가능한 경우도 있으므로 이를 고려해 계획 완료일 이후 일정기간을 추가로 확보했다.

4.3 Activity의 Resource 요구와 Shop Setting

각 블록은 해당 블록의 입력 자료에 있는 조립 가능한 Shop(이하 Alternative Shop이라 함) 중 한 Shop에 배량되어야 한다. 이는 ILOG 에서 조립 Activity가 해당 Shop의 Resource를 요구하는 것으로 모델링 된다. 배량계획의 경우 이러한 Shop이 다수 개 존재하며 조립 Activity는 이 중 한 Shop의 Resource를 요구하게 된다. ILOG에서는 이를 Alternative Resource Set을 정의하고, Activity가 해당 Resource Set을 요구하는 것으로 모델링 한다. 각 Shop에 대해서도 Resource의 종류가 네 가지 있으므로, 목적함수 및 제약에 직접 관련된 Resource를 요구하고 나머지 Resource에 대해서는 추후 변수 연동을 이용해서 요구한다.

Shop Setting은 입력 자료에 이미 계획된 Shop이 Setting되어 있는 경우와 Alternative Shop이 한 개만 있는 경우에는 해당 Shop에 블록을 할당한다.

4.4 시작일과 완료일 제약과 일정 Setting

조립 Activity의 시작 가능일은 조립 전 공정인 강제 절단일 이후이며, 완료일은 조립 후 공정의 시작일 이전이다. 완료일의 경우 재고 부담의 이유로 너무 일찍 끝내는 것도 바람직스럽지 않으며, 내업 할당 물량이 많을 경우 부득이하게 조립

후 공정의 시작일을 어기기도 한다. 각 블록별 조립 Activity의 시작일은 조립 가능일(입력된 조립 시작일 - 조립 전 버퍼) 이후로 제약된다.

종료일에 대한 제약은 다소 복잡하다. 만일 해당 블록이 내업으로 할당되면, 조립 완료 가능 시작일(납기일 - 입력된 완료 전 여유일)과 조립 완료 가능 종료일(납기일 + 입력된 완료 후 여유일) 사이에서 조립이 완료되어야 한다. 타 본부나 외주 업체로 할당되면, 조립 완료 가능 시작일(납기일 - 입력된 완료 전 여유일)과 조립 완료 가능 종료일(납기일) 사이에서 조립이 이루어져야 한다. 또한 만일 목적함수가 조립 후 공정의 일정을 침범할 수 있는 경우면, 내업 할당 블록에 대해서만 조립 완료 가능 종료일에 대한 제약을 풀어준다. 어느 Shop에 할당되든지, 입력 자료에 일정을 Setting하는 정보가 있으면 주어진 일정(입력된 조립 완료일 기준)을 Setting 한다.

4.5 목적 모델링

블록 배량계획의 목적은 최적 Shop 할당 블록 수 최대화, 후공정 침입일수 최대값 최소화, 후공정 침입일수 합의 최소화, 월별 부하 평준화, 내업 부하 최대값 최소화, 내업 부하 편차 최소화이다. 이 중 후공정 침입일수 최대값 최소화와 후공정 침입일수 합의 최소화의 경우 후공정 시작일을 침입할 수 있는 경우이다.

각 목적 함수 별로 ILOG를 이용하여 어떻게 목적함수를 표현했는지 설명한다.

(1) 최적 Shop 할당 블록 수 최대화

최적 Shop에 할당되는 블록 수가 많아지도록 유도하는 목적함수이다. 해당 블록이 최적 Shop에 할당되는 Penalty를 0을 주고 최적 Shop 이외의 Shop에 할당되는 경우 계획자가 설정한 값으로 준다. 단, Alternative Shop이 하나만 있는 경우와 Shop이 미리 계획된 Shop으로 Setting되는 경우는 무조건 0을 준다. 이러한 Penalty를 모두 더 하고 그 더한 값을 최소화한다.

(2) 후공정 침입일수 최대값 최소화

조립 Activity가 후공정 시작일을 어기는 일수 중 최대값을 최소화하는 목적함수로 가능한 한 완료일을 지키도록 유도하는 목적함수이다. 각 블록의 조립 완료일과 원래의 납기일과 차이 중 큰 값을 작게 한다.

(3) 후공정 침입일수 합의 최소화

후공정 침입일수 최대값의 경우와 비슷하지만

여기서는 합을 최소화한다.

(4) 월별 부하 평준화

월별 부하 평준화는 Shop별 할당량을 균등히 하기 위해 이용되는 목적함수이다. 각 Shop별, 월별로 할당율(할당된 양/할당 가능 기준량)의 최대값을 최소화한다. 내업 Shop은 내업 전체로 계산되며, 작업량의 단위는 계획자가 선택한 단 위이다. 타본부 및 외주는 각 Shop별로 계산되며 단위는 Ton이다. 이의 계산을 위해 일별로 할당된 물량을 월별 합으로 변환시키는 작업이 선행된다.

(5) 내업 부하 최대값 최소화

내업 부하 최대값 최소화는 가능한 한 부하를 타본부 및 외주업체로 빼고, 내업으로 할당된 부하에 대해서도 일별 평준화를 시도하기 위해 이용되는 목적함수이다. 내업 Shop Resource의 일별 이용 최대값을 최소화한다.

(6) 내업 부하 편차 최소화

내업 할당 블록의 일별 자원 이용량 편차를 줄이기 위해 이용되는 목적함수이다. 내업 할당 가능 최대량과 최소량을 구하고 그 차이를 일정 계획 기간으로 나누어서 평균을 구한다. 그리고 이 평균과 일별 이용량의 차이의 절대값의 합을 최소화한다.

4.6 물량 우선 할당 Shop에서의 물량 할당

계획자가 물량 우선 할당 Shop에 대해 Check할 경우, ILOG에서는 이를 위해 본 문제를 풀기 전에 이를 위한 전단계 풀이 과정을 거친다. 다른 제약은 모두 동일하며, 목적함수는 4.5절의 (1)과 같이 최적 Shop 우선 할당과 같은 형식으로 수행되는데, 단 여기서는 Shop의 Type이 입력된 우선 할당 Shop에 해당될 경우 Penalty가 0이고 그렇지 않은 경우, 계획자가 설정한 값 만큼의 Penalty를 준다.

4.7 Goal 모델링과 탐색 전략

4.7.1 Goal 모델링

ILOG에서는 원하는 값을 얻기 위해서, ILOG Goal을 생성하여 문제의 전체 풀이를 관장하는 Manager에게 통보해주어야 한다. 블록 배량계획에서 필요한 Goal은 Alternative Shop중 하나를 선정하라는 Goal, Activity의 일정을 정하라는 Goal, 일별 자원 사용량의 정확한 값을 얻기 위해 해당 변수를 Binding하라는 Goal, 목적함수 값을 얻기 위해

목적함수를 Binding하라는 Goal이 있다.

4.7.2 탐색 방법

(1) DFS(Depth First Search)

깊이우선 탐색 전략은 그래프 상에서 단계별로 모든 노드들을 점검하지 않고 특정 노드의 자식 노드만을 계속 탐색해 나가는 전략이다. 만일 더 이상 탐색할 자식노드가 없는 경우에, 상위 단계의 부모노드의 다른 자식노드로 되돌림 추적하게 된다. 깊이우선 탐색 전략은 특정 경로를 따라 단계를 깊이 탐색하게 되므로 기억용량의 소모가 적고, 많은 상태 공간을 탐색하지 않더라도 해를 빨리 발견할 가능성도 있다. 그러나 잘못된 경로를 따라 깊이 탐색하게 되는 경우에는 해를 발견하지도 못하면서 오랜 시간을 헛되이 낭비할 가능성도 배제할 수 없다. 일반적으로 많은 단계와 노드로 이루어진 문제는 너비우선 탐색을 적용하기보다는 깊이우선 탐색 전략을 이용하게 된다[2].

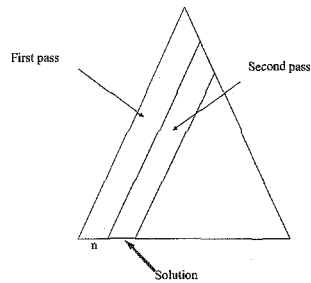


그림 2. Search Procedures : LDS

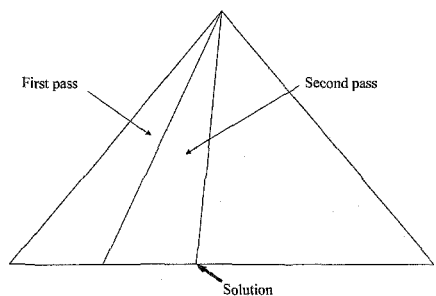


그림 3. Search Procedures : DDS

(2) LDS(Limited Discrepancy Search)

LDS는 깊이우선 탐색 전략과 너비우선 탐색 전략의 혼합형태로 탐색공간을 여러 개의 조각 (Strip)으로 분할한다. 조각 k는 미리 정해 놓은 단

계(Step)에 따라 $k*s$ 에서 $(k+1)*s-1$ 까지의 Discrepancy를 갖는 노드들로 구성된다. 여기서, Discrepancy란 Root노드에서부터 해당 노드까지 오는 경로 중, 오른쪽 가지(Branch)를 선택한 횟수이다. 오른쪽 가지란, 설정하기에 따라 다르지만 일반적으로 어떤 변수에 대하여 특정한 값을 할당하지 않을 경우를 나타낸다. LDS의 탐색과정은 위의 그림 2에서 알 수 있듯이, Strip 0에 해당되는 노드들을 탐색한 후, Strip 1, Strip 2에 해당되는 노드들의 순서로 탐색을 진행하게 되는데, 일반적으로 깊이 우선 탐색보다 수행도가 뛰어나다고 알려져 있다[9, 10].

(3) DDS(Depth-Bounded Discrepancy Search)

LDS의 변형된 형태로, 각 Strip에 대하여 탐색할 너비(Width)를 제한하는 탐색 기법이다. 즉 탐색은 위의 그림 3에서 알 수 있듯이, 각 단계별로 탐색 Tree의 윗부분에서는 제한된 부분을 탐색하고, 탐색 Tree의 아래로 갈수록 많은 공간을 탐색하는 기법이다.

탐색을 위한 휴리스틱(Heuristic)이 좋은 경우, 일반적으로 LDS보다 수행도가 뛰어나다[9, 10].

4.7.3 변수 선택 전략

변수 선택 전략은 탐색 Tree에서 값을 먼저 Binding 할 변수를 선택하는 전략으로 다음과 같다.

- (1) firstUnbound: 변수 배열 중 배열 순으로 할당되지 않은 변수부터 Binding 시킴
- (2) minSize: 변수 배열 중 가장 작은 Domain을 가진 변수부터 Binding 시킴
- (3) maxMin: 변수 중에서 최소값이 가장 큰 변수부터 Binding 시킴
- (4) minMax: 변수 중에서 최대값이 가장 작은 변수부터 Binding 시킴

5. 블록 배량계획 실험 및 분석

5.1 입력 데이터

블록 배량에 파일 형식으로 입력되는 데이터는 모두 여섯 종류이다.

- (1) Calendar : 작업 가능일이 기록된 파일
- (2) Shop Master : 내업, 타본부, 외주 업체의 모든 Shop을 기록하고 각 Shop의 Type(내업, 타본부, 외주 업체)을 적은 파일
- (3) 내업 Shop의 용량 : 내업 Shop의 일별 자

원 용량을 기록한 파일

- (4) 타본부 및 외주 업체 Shop의 용량 : 타 본부 및 외주 업체의 월별 자원 용량과 일별 정반 제약을 기록한 파일

(5) 블록별 자료 : 블록별 호선명, 블록명, 입력된 조립시작일, 입력된 조립 완료일, 조립전 Buffer, 취부길이, 시수, Ton, 납기일, 일정 Setting 여부, 계획된 Shop, Shop Setting 여부가 기록된 파일

(6) 블록별 가능 Shop : 블록별로 조립이 가능한 Shop과 해당 Shop의 우선순위를 적은 파일

5.2 실험개요 및 대상

실험은 크게 세 부분으로 나누어서 실행했다. 첫 부분은 ILOG로 작성된 프로그램의 정확한 현실 반영 여부에 대한 실험이다. 두 번째는 목적 함수에 따른 효과에 대한 실험이다. 세 번째는 ILOG를 이용하여 해를 탐색할 때 최대한 빨리 해에 접근할 수 있는 전략을 수립하기 위해 수행한 탐색 전략 실험이다.

실험에 이용된 자료는 D조선의 2001년 계획 자료이며, 이 중 2001년 7월 1일에서 2001년 12월 31일 까지를 계획기간으로 설정하고 실험을 수행했다. 단 결과 검증을 위해 수행한 실험에서는 그 특성상(프로그램의 Validation 목적) 소규모 문제(대상 블록 및 각 Shop의 Resource 제약을 임의로 주어서)로 전환해서 실험했다.

5.3 최적화 효과 비교 실험

목적함수에 따라 배량계획이 어느 방향으로 이루어지는지를 확인하기 위해 수행한 실험이다. 각 Shop에 대한 자원 제약은 풀고, 여유일에 대한 제약은 Default로 되어있는 1일로 모두 주었다. 비교가 필요한 경우 비교의 대상은 '최적 Shop 할당 블록 수 최대화'를 목적으로 풀이한 결과로 정했다. 또한 풀이 시간은 300초로 제한하였다 [11, 12].

(1) 물량 우선 확보 Shop에 대한 실험

실험에 이용된 자료에서 Alternative Shop이 둘 이상인 블록의 경우, 내업 Shop이 반드시 하나 이상 포함되어 있었다. '최적 Shop 할당 블록 수 최대화'를 목적으로 물량 우선 확보 Shop을 바꾸어 가며 실험한 결과를 표 1에 나타냈다.

표 1. 물량 우선 확보 Shop에 대한 실험 결과

우선 할당 Shop	할당블록		
	내업	타본부	외주
nothing	1147	1	0
내업	1148	0	0
타본부	839	309	0
외주	308	1	839

할당이 필요한 블록의 수는 총 1148개였으며, 이 중 내업이 최적 Shop인 블록은 1147, 타본부가 최적 Shop인 블록은 1, 외주가 최적 Shop 블록은 0개 있었으며, 모든 블록은 내업에서 작업이 가능하고, 타본부에서 가능한 블록은 309, 외주 가능 블록은 839개였다. 물량 우선 확보 Shop을 수행한 결과, 해당 Shop에 우선 할당하고 있음을 알 수 있다.

(2) 후공정 침입일수 최대값 최소화

'후공정 침입일수 최대값 최소화'는 Shop의 Resource제약을 풀고 한 실험이므로 0으로 최적해를 찾고 있었다.

(3) 후공정 침입일수 합의 최소화

'후공정 침입일수 합의 최소화'도 Shop의 Resource제약을 풀고 한 실험이므로 0으로 최적해를 찾고 있었다.

(4) 월별 부하 평준화

'월별 부하 평준화'를 수행한 결과를 다음의 그림 4에 나타냈다.

'최적 Shop 할당 블록 수 최대화'를 목적으로 수행한 결과 내업 월별 부하량 최대값(%)은 186%이었다. '월별 부하 평준화'를 수행한 결과, 내업 월별 부하량 최대값은 164%이었으며, 내업에 할당된 블록들이 타본부나 외주로 분산되는 것을 볼 수 있었다. 이 결과는 300초 제한 시간으로 풀이한 결과이다.

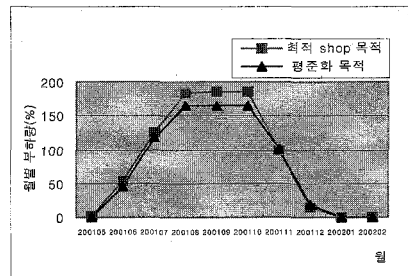


그림 4. 월별 부하 평준화 실험 결과

(5) 내업 부하 최대값 최소화

'최적 Shop 할당 블록 수 최대화'를 목적으로 수행한 결과 내업 부하(취부길이)의 일별 최대값은 40578이었다. '내업 부하 최대값 최소화'를 수행한 결과, 내업 부하 최대값은 37582이며, 7.3% 감소 효과를 보였다. 이 결과는 300초 제한 시간으로 풀이한 결과이다.

(6) 내업 부하 편차 최소화

'최적 Shop 할당 블록 수 최대화'를 목적으로 수행한 결과 내업 부하(취부길이)의 편차값은 16017이었다. '내업 부하 최대값 최소화'를 수행한 결과 내업 부하의 편차값은 14276이며, 10.87% 감소 효과를 보였다.

5.4 탐색전략 실험

ILOG에서 해를 찾는 과정은 일종의 탐색 과정으로 볼 수 있다. 따라서 탐색 Tree를 구성하는 방법이나 Tree를 탐색해나가는 방법에 따라 해를 찾는 속도에 차이가 있을 수 있다. 본 실험에서는 어떠한 탐색 전략이 우수한지 살펴보는 실험이다.

(1) Goal 생성 순서(Goal Stack의 구성)에 대한 실험

블록 배량에서의 Goal은 모두 네 가지 종류가 있다.

표 2. Goal 순서에 따른 탐색 속도에 관한 실험 결과

목적 함수	1-2-3-4			2-3-4-1			1-3-2-4		
	초기해	발견시간	최종해	초기해	발견시간	최종해	초기해	발견시간	최종해
1	1148	50.765	1148*	1148	70.203	1148*	1148	51.203	1148*
2	0	73.055	0*	0	52.976	0*	시간제약 종료		
3	0	47.028	0*	0	46.096	0*	시간제약 종료		
4	시간제약 종료			7	100.154	7	시간제약 종료		
5	시간제약 종료			40587	70.437	37582	시간제약 종료		
6	시간제약 종료			3395478	87.606	3065478	시간제약 종료		

Goal 1 : 목적 함수 값을 위한 Goal

Goal 2 : Alternative Shop Binding을 위한 Goal

Goal 3 : 일정 수립을 위한 Goal

Goal 4 : 일별 자원 이용량 Binding을 위한 Goal

이 중 탐색 속도 영향이 클 것으로 예상되는 Goal 1, Goal 2, Goal 3의 상대적 위치 (Manager에게 통보하는 순서)를 바꾸어가면서 목적함수별로 풀이 속도를 살펴보았다. 앞의 표 2에 그 결과를 정리했다.

(2) 목적 함수를 위한 변수 및 자원 사용량 변수의 탐색 방법, 변수 선택 전략에 대한 실험

앞의 (1)의 실험에서 확인된 최적의 Goal 생성 순서인 2-3-4-1로 Goal 생성 순서를 고정시키고 실험했다.

실험 결과, 모든 목적 함수에 대해 DFS 탐색에 firstUnbound 변수 우선 선택의 전략이 우수한 것으로 나타났다.

표 3. 목적 함수 및 자원사용량에 대한 탐색 전략 실험 결과

탐색 방법	자원사용량 변수선택전략	목적함수값(수행시간)	비 고
DFS	firstUnbound	1148(56.61)	최적해
	minSize	1148(56.843)	최적해
	maxMin	1148(56.860)	최적해
	minMax	1148(56.719)	최적해
LDS	firstUnbound	1148(60.079)	최적해
	minSize	1148(59.609)	최적해
	maxMin	1148(59.375)	최적해
	minMax	1148(59.437)	최적해
DDS	firstUnbound	1148(67.656)	최적해
	minSize	1148(67.625)	최적해
	maxMin	1148(67.578)	최적해
	minMax	1148(68.203)	최적해

위의 표 3에 '최적 Shop 할당 블록 수 최소화'를 목적으로 전략별 실험을 수행한 결과를 정리했으며, 나머지 실험 결과는 생략했다.

(3) Alternative Shop 할당과 관련된 Goal 탐색 전략 실험

4.7.1절에서 설명한 바와 같이 Alternative Shop의 할당을 요구하는 Goal은 두 가지로 줄 수 있다. IlcAssignAlternative를 이용한 경우가 첫 번째이고,

지금까지의 실험은 이를 이용해서 수행 했다.

IlcGenerate를 이용한 경우가 두 번째이며, 본 실험은 이와 관련된 변수 선택과 변수 값 선택 전략과 관련된 실험이다.

실험 결과, 대부분의 목적함수에서 변수 선택은 firstUnbound 변수 값은 min 우선 선택이 우수했지만, 내입 부하 평준화 관련된 목적함수인 '내입 부하 최대값 최소화'와 '내입 부하 편차 최소화'인 목적 함수 5, 6에 대해서는 변수 선택 전략으로 minSize가 우수한 것으로 나타났다. 다음의 표 4에 '내입 부하 최대값 최소화'의 실험 결과를 정리했으며, 나머지는 생략했다.

표 4. Alternative Shop 할당과 관련된 탐색 전략 실험 결과

변수	변수값	목적함수값 (수행시간)	비 고
firstUnbound	min	40587(56.969) 37582(103.985)	시간제약
	max	40587(57.484) 37582(105.031)	시간제약
minSize	min	31901(41.235) 27865(73.641)	최적해
	max	31901(41.250) 27865(73.797)	최적해
maxMin	min	40587(56.953) 37582(104.046)	시간제약
	max	40587(57.219) 37582(104.5)	시간제약
minMax	min	40587(57.218) 37582(104.562)	시간제약
	max	40587(57.078) 37582(104.172)	시간제약

6. 결론 및 추후 연구 방향

조선 산업에서의 일정계획은 주어진 계획 기간이 길고, 일정 수립의 대상이 되는 작업의 종류가 다양한 관계로 매우 어려운 문제로 인식되고 있다. 게다가 작업이 이루어지는 장소에 따라서도 주어진 일정계획 문제는 많은 차이를 보이고 있다.

조선 산업에서 일정계획의 절차는 중요한 자원인 도크 이용에 관한 일정을 우선 수립(탐색 일정계획)하고, 그 후 이의 결과를 바탕으로 가공 및 조립 공장에 대한 일정 및 도장과 의장에 관련된 일정들이 수립된다. 본 논문에서 대상으로 하는 일정계획 문제는 조립작업에서의 부하할당과 일정 계획 수립에 대한 문제이다.

ILOG를 이용하여 모델링한 결과, 조립작업의 일정계획에 등장하는 Activity들은 작업이 중간에 멈추는 경우(다른 작업으로 인해)가 없는 Activity들을 표현할 때 쓰는 IlcIntervalActivity라는 Class의 생성자 중 하나를 사용하여 표현하였고, 사용되는 자원들(취부길이, 시수, Ton, 정반)은 단위 시간당 자원의 사용 총량이 정해져 있는, 동종의 기계나 동일한 능력을 가진 인력 등을 모형화 하는데 사용되는 IlcDiscreteResource Class를 사용하여 표현하였다. 개발한 시스템의 성능 향상을 위해 탐색 Tree의 구성과 탐색 방향의 결정에 관련되는 Goal Stack의 구성, 변수 선택 전략, 그리고 변수 값 선택 전략 등 목적함수별 우수한 탐색 전략을 밝히기 위한 다양한 실험을 수행했다.

본 연구 결과를 통해, 계획 담당자의 목적에 맞는 조립작업 부하할당 및 일정계획 수립이 가능하며, 다양한 탐색 전략을 이용하여 목적함수 별로 보다 빠른 시간 내에 일정계획을 수립할 수 있었다. 추후 보다 많은 실험을 통해 목적함수 별로 가장 빠른 탐색전략을 제시하고, 계획 담당자가 탐색 전략을 선택할 수 있도록 보완할 계획이다. 그러나 성능 평가와 관련된 결과는 하나의 문제에 대해서(비록 계획기간이 길다고 해도) 실험한 자료만을 보고 분석한 것으로 일반화 시키기에는 무리가 있을 수 있다. 그러나 본 실험을 통해서 열등한 결과를 보이는 탐색 방법(예를 들면, 주어진 시간 내에 해를 구하지 못하는 경우)을 제외시키는 것은 필요한 일이다.

참 고 문 헌

- [1] 김훈주, "유전 알고리즘을 이용한 조선 탑재 공정 계획 연구," 석사학위 논문, 인하대 자동화공학과, 1995.
- [2] 이재규 외, *전문가 시스템 - 원리와 개발*, 법영사, 한국과학기술원 테크노경영대학원 교수, 1998.
- [3] 이상복, 김기태, 정대영, 박진우 "FMS의 부하 할당과 일정계획에 대한 통합적 접근법," *산업공학지*, 제 25권, 제 3호, pp.198-207, 1999.
- [4] 장용성, "객체지향기법을 이용한 조선 일정계획의 수립에 대한 연구," 석사학위 논문, 강원대 산업공학과, 2001.
- [5] Baker, K. R., *Introduction to sequencing and scheduling*, John Wiley & Sons, 1974.
- [6] Blazewicz, J., Lenstra, J.K., and Rinnooy Kan, "Scheduling subject to resource constraints: Classification and complexity," *Discrete Applied Mathematics*, Vol.5, pp.11-24, 1983.
- [7] Gupta, M. C., Gupta, Y. P. and Evans, G. W., "Operation planning and scheduling problems in advanced manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, Vol.31, No.4, pp.869-900, 1993.
- [8] Hyung Rim Choi, "Erection Scheduling at Shipbuilding Using Constraint Directed Graph Search : DAS-ERECT," 박사 학위 논문 draft, KAIST 경영정보공학과, 1993.
- [9] ILOG, *ILOG Solver 4.3 Reference Manual*, ILOG, 1998.
- [10] ILOG, *ILOG Solver 4.3 User Manual*, ILOG, 1998.
- [11] ILOG, *ILOG Scheduler 4.3 Reference Manual*, ILOG, 1998.
- [12] ILOG, *ILOG Scheduler 4.3 User Manual*, ILOG, 1998.
- [13] Kim, Y-D., "A study on surrogate objectives for loading a certain type of flexible manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, Vol.31, No.2, pp.381-392, 1993.
- [14] Shanker, K. and Tzen, Y. J. J., "A loading and dispatching problem in a random flexible manufacturing system," *International Journal of Production Research*, Vol.23, No.3, pp.579-595, 1985.
- [15] Stecke, K. E. and Solberg, J. J., "Loading and control policies for a flexible manufacturing systems," *International Journal of Production Research*, Vol.19, No.5, pp.481-490, 1981.