

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구조성비 (기계공학 ME96-E-13)에 의해 연구 되었음.

## 선각 내업 가공작업의 공정계획과 일정계획의 통합화 방안 연구

조 규 갑\*, 오 정 수\*, 김 영 구\*

### Integrated Process Planning and Scheduling for Machining Operation in Shipbuilding

Kyu-Kab Cho\*, Jung-Soo Oh\*, Young-Goo Kim\*

#### ABSTRACT

This paper describes the development of an integrating method for process planning and scheduling activities for block assembly in shipbuilding. A block is composed of several steel plates and steel sections with the predetermined shapes according to the ship design. The parts which constitute the block are manufactured by cutting and/or bending operations, which are termed as machining operation in this paper. The machining operation is the first process for block assembly which influences the remaining block assembly processes. Thus process planning and scheduling for machining operation to manufacture parts for block are very important to meet the assembly schedule in the shipyard. An integrating method for process planning and scheduling is developed by introducing the concept of distributed process planning and scheduling composed of initial planning, alternative planning and final planning stages. In initial planning stage, nesting parts information and machining methods are generated for each steel plate. In alternative planning stage, machine groups are selected and workcenter dispatching information is generated. In final planning stage, cutting sequences are determined. The integrated system is tested by case study. The result shows that the integrated system is more efficient than existing manual planning system.

**Key Words** : Distributed Process Planning and Scheduling(분산형 공정 및 일정계획), Scheduling(일정계획), Hybrid Genetic Algorithms(하이브리드 유전 알고리즘)

#### 1. 서 론

조선업의 경쟁력 강화를 위해서는 생산 자원의 효율 극 대화를 통한 선박의 납기 내 건조가 관건이며, 이러한 목

적을 달성하기 위해서는 선박설계, 공정계획, 일정계획, 공정관리 및 생산 실적 집계 등 조선 생산 시스템 전반에 걸쳐 관리 체계를 합리화하고 전사적 관점에서 모든 생산 활동들이 체계적으로 통합화, 자동화된 조선의

\* 부산대학교 산업공학과

CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)를 구현하는 것이 중요하다. 이러한 조선 CIMS의 구현을 위해서는 설계, 제조 및 관리의 통합화가 필요하며, 특히 이 중에서 공정계획과 일정계획을 통합하여 자동화하는 효율적인 시스템의 구축이 선행되어야 할 것이다<sup>1), 2)</sup>.

조선의 공정계획은 선박설계 사양에 따른 선박 제조 공정에 대한 계획으로서 선박 설계 정보를 사용하여 부품의 기하학적 형상을 인식한 후 가공(절단 및 벤딩 작업)에 필요한 공정, 장비, 순서 및 조건 등을 선정하는 활동을 의미하며, 일정계획은 공정계획의 결과를 이용하여 전체 작업장의 부하 균등화(load balance)와 납기를 고려하여 생산에 필요한 자원을 할당하는 계획을 의미한다.

공정계획에서는 각 작업이 기술적인 관점에서 특정한 기계에 할당되고, 일정계획에서는 시간의 관점에서 작업이 각 기계에 할당되므로, 공정계획과 일정계획의 두 기능이 밀접히 관련되어 있음을 알 수 있다. 그러나 현재 조선 현장에 적용되고 있는 공정계획과 일정계획은 두 기능이 각각 독자적으로 수행되어 두 기간간의 유기적인 정보 교환이 이루어지지 않고 있으며, 공정계획 시점에서 제조 착수시점에 있는 자원의 가용능력을 고려하지 않는 경우가 대부분이다. 따라서 공정계획과 일정계획의 통합화를 통한 유연한 생산관리 시스템을 구축하는 것이 필요하다.

본 연구는 조선 CIMS를 구현하기 위한 기초 연구로서, 선각 블럭(block)을 구성하는 부품을 강판(steel plate) 및 형강재(steel section)로부터 절단 및 벤딩 작업을 통하여 제조하는 공정을 대상으로 하여 공정계획과 일정계획의 통합화 방법과 시스템의 개발을 목적으로 한다. 본 연구에서는 편의상 가공작업이 강재의 절단과 벤딩작업을 의미한다.

공정계획과 일정계획의 통합화 접근방법은 선박 건조 공정의 특성을 고려하여 분산형 공정 및 일정계획(distributed process planning and scheduling)의 개념을 제안하여 고찰하고<sup>3), 4), 5)</sup>, 제안된 통합화 접근방법에 따른 시스템을 구현하여 분석 및 검토한다.

## 2. 선각 내업의 가공 공정계획과 일정계획의 통합화 접근 방법

### 2.1 가공작업의 공정계획 및 일정계획

#### 2.1.1 가공 공정계획의 특성

공정계획(Process Planning)은 설계된 제품을 생산하

기 위하여 소재를 완제품으로 변환시킬 때 수행해야 할 생산공정에 대한 계획으로, 선각내업 가공작업에서의 공정계획은 일반적인 기계가공 부품에 대한 공정계획과 다소 차이는 있으나 기본적인 개념은 동일하다. 선각 내업 가공공정계획의 특징적인 요소를 설명하면 다음과 같다.

#### (1) 부품 배치 문제

선박을 구성하는 부품은 선박의 종류, 크기 및 구조에 따라 다양한 종류의 부품이 존재하고, 특히 규격화된 부품의 수가 아주 적은 특징을 가지고 있다. 선박 건조에 필요한 부품은 강판 및 형강재 등의 절단 및 벤딩작업을 통해서 제조된다. 따라서 새로운 선박을 건조할 때 마다 필요한 부품을 생산하기 위해 강재에 부품을 최적으로 배치하는 문제, 즉 nesting 문제는 강재를 경제적으로 활용하는 것이 핵심이다.

#### (2) 가공 방법 및 장비군 선정 문제

부품의 특징 중에서 부품의 두께 및 베벨(bevel)의 유무 등을 고려하여 강재의 가공 방법을 선정한다. 특히 부품의 두께에 따라 절단 방법이 결정되고, 베벨의 유무에 따라 베벨 작업의 추가 유무가 결정된다.

장비군(machine group)이란 동일한 가공방법으로 작업 수행이 가능한 장비들의 집합으로, 강재별로 사용 가능한 장비군을 선정하고 차후에 특정 장비를 할당한다.

#### (3) 강재의 가공 순서 결정문제

강재의 취급 단위는 Lot이며, 이 Lot단위로 강재가 적재되어 있다. Lot단위로 저장되어 있는 강재의 적재순서에 대한 정보를 사용하여 장비군별 강재의 가공 순서를 결정해야 한다. 장비군별로 강재의 가공 순서가 결정되고 나면, 하나의 장비군에 속해 있는 장비가 여러 대이므로 각 장비별로 강재의 가공 순서도 결정해야 한다.

### 2.1.2 가공 일정계획의 특성

가공 일정계획은 일반적으로 강재에 대한 작업장 배정 단계와 작업장 내의 장비 배정 단계로 구성되어 있다. 작업장 배정 단계에서는 계획 기간에 주어진 물량에 대해 Lot단위 물량을 작업장별로 할당하며, 장비 배정 단계에서는 작업장 배정이 확정된 물량을 현장에서 1일 단위로 작업지시를 내릴 수 있게 강재별 상세한 작업일정계획을 의미한다.

#### (1) 작업장 배정 단계

이 단계에서는 주어진 계획 기간 동안의 작업 대상인 Lot단위 물량을 중일정 계획의 정보를 사용하여 작업장별로 배정하는 기능을 수행한다. 강재는 크기가 큰 중량

플이기 때문에 1개의 Lot는 일반적으로 한 작업장으로 배정하며, 한 Lot를 구성하는 강재의 특성에 따라 크게 Plasma 절단물량, Gas 절단물량, Frame Planner (F/P) 절단물량으로 구분한다. 이 3가지의 물량으로 구성되어 있는 Lot를 작업장 및 중일정계획에 대한 정보를 사용하여 각 강재를 작업자에 배정하는 문제이다.

(2) 장비 배정 단계

Lot단위로 특정 작업장에 가공 대상물량이 할당된 결과를 사용하여 1일 작업 물량을 해당 작업장내의 각 장비에 할당하는 문제이다. 강재별 장비 배정 계획시 가장 큰 제약조건은 강재의 적재순서이며, 강재 야적장의 면적 및 강재 취급설비의 능력 제약으로 인하여 강재 저장 및 반출에 많은 문제점을 가지고 있다. 그러므로 강재 야적장에서 각 가공 작업장에 운반된 강재의 적재 순서를 파악하여 그 순서에 따라 1일 계획을 수립해야 한다.

2.2 가공 공정계획 및 일정계획의 통합 요소 분석 및 방안

본 연구에서는 가공 공정계획과 일정계획을 통합화 하기 위해서 Fig. 1과 같이 초기계획 단계, 대안계획 단계 및 상세계획 단계로 나누어서, 단계별로 공정계획과 일정계획을 통합화 하는 접근방법을 개발한다.

2.2.1 초기계획 단계

초기계획 단계의 기능은 공정계획 부분에서 강재에 부품을 배치하는 기능과 가공방법을 선정하는 기능이 있고, 일정계획 부분에서 현장의 각종 정보(가용장비, 장비능력, 작업방법 등)를 저장 관리하는 기능이 있다. 이 단계에서 공정계획과 일정계획의 통합·요소는 공정계획 부분에서 강재에 부품을 배치한 결과 정보와 일정계획 부분의 각종 제약 정보 생성 및 이에 따른 작업장의 가용 장비 상황을 정적인 관계로 묶는 것이다. 따라서 이 단계에서는 가용 장비 등의 제약을 고려하여 강재별 가공 방법을 선정하며 이 과정을 그림으로 표시하면 Fig. 2와 같다.

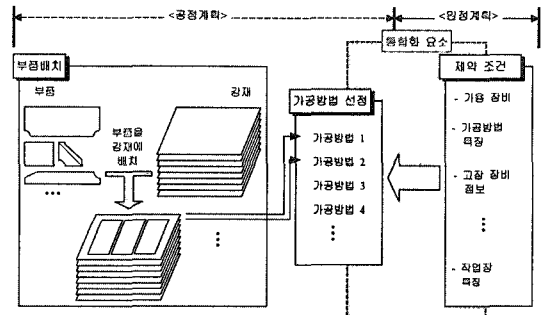


Fig. 2 Initial Planning Stage

2.2.2 대안계획 단계

대안계획 단계에서 공정계획은 Lot에 포함되어 있는 각 강재에 대안을 포함한 장비군을 선정하고 가공 공수를 계산한다. 일정계획은 계획기간 동안의 부하분석을 실시하여 각 Lot를 작업장에 배정하고 동시에 중일정계획에서 주어진 Lot별 착수완료일자도 조정하게 된다. 이 단계에서 통합요소는 일정계획의 부하분석 결과 부하평준화가 어려운 작업장의 물량 중 일부를 다른 장비군으로 변

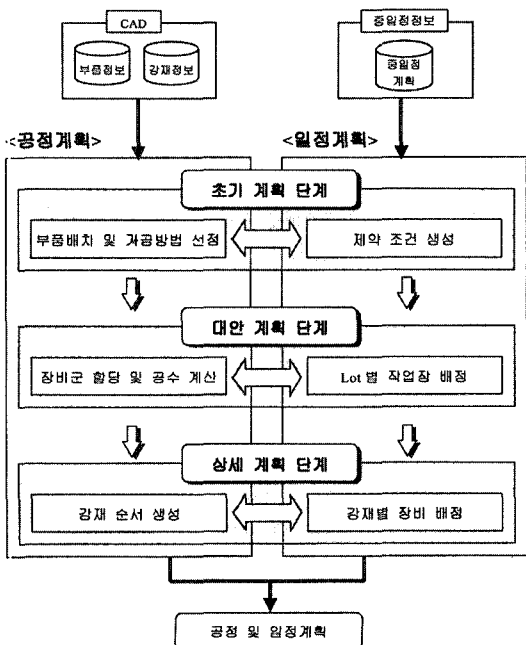


Fig. 1 Framework of Integrated Process Planning and Scheduling System

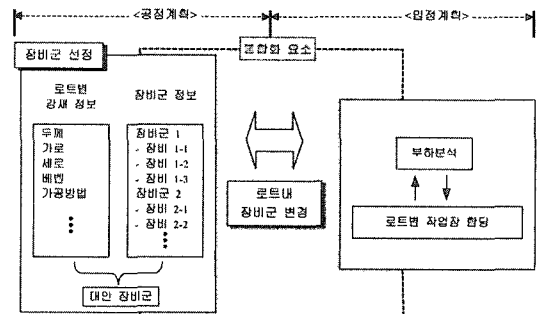


Fig. 3 Alternative Planning Stage

경하도록 공정계획에 요청하고, 공정계획에서 대안 장비군으로 변경하여 그 결과 정보를 다시 일정계획에 넘겨 주는 부분이다. 대안계획 단계의 통합요소 부분은 부하가 평준화가 될 때까지 반복해야 하며, 이 과정을 그림으로 나타내면 Fig. 3과 같다.

2.2.3 상세계획 단계

상세계획 단계에서 공정계획은 Lot에 강제가 적재되어 있는 정보로부터 사용 가능한 장비군에 대해 강제 가공순서를 생성한다. 일정계획은 1일 단위의 계획기간에 대해 작업장 내의 각 장비별 부하분석을 통해 강제를 장비에 할당한다. 이 단계에서 통합요소는 공정계획에서 생성한 강제의 가공순서에 따라 부하분석을 한 결과가 부하평준화를 이루지 못한 장비에 할당된 강제에 대해 장비 변경을 공정계획에 요청하고, 공정계획은 강제의 장비를 변경하여 일정계획에 그 결과 정보를 보내는 과정이다. 그리고 상세계획 단계의 통합요소 부분을 장비별 부하가 평준화될 때까지 적절히 반복해야 하며, 이 과정을 그림으로 나타내면 Fig. 4와 같다.

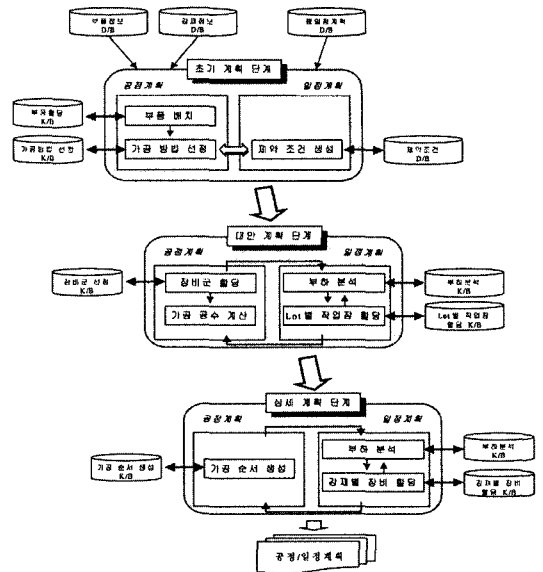


Fig. 5 Architecture of Integrated Process Planning and Scheduling System

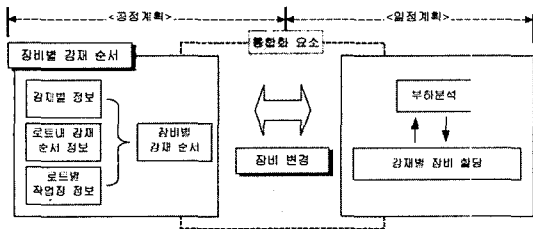


Fig. 4 Final Planning Stage

3. 가공 공정계획과 일정계획의 통합 시스템의 개발

3.1 가공 공정계획 및 일정계획의 통합 시스템 개요

본 연구에서는 공정계획과 일정계획의 통합화 시스템을 초기계획, 대안계획 및 상세계획 단계로 나누어서 개발하였다. Fig. 5는 가공 공정계획과 일정계획의 통합화 시스템의 구성도이며, 공정계획과 일정계획이 점진적으로 각 단계를 따라 수행됨을 알 수 있다.

3.2 초기계획 단계

3.2.1 부품 배치 문제

선각블럭을 구성하는 부품을 형상 및 용도에 따라 분류

하면 ①부품그룹 1 : 주로 단위블럭의 조립 베이스가 되는 주판재(약 72%), ②부품그룹 2 : 주로 소조립품의 조립 베이스가 되는 부품(약 24%), ③부품그룹 3 : 수량은 많으나 크기가 아주 작은 부품(약 4%)으로 구분할 수 있다<sup>6)</sup>. 편의상 부품그룹 1에 속하는 강제를 1GR(Group)물량, 부품그룹 2, 3에 속하는 강제는 2GR물량이라고 부른다.

부품배치는 우선 부품그룹 1을 적절한 강제에 할당하고, 나머지 부품그룹 2와 3에 대해서 좌우대칭 부품과 부품의 특징을 고려하여 Bin Packing 휴리스틱<sup>7)</sup>을 적용하여 배치한다. 부품그룹 1을 배치할 수 있는 조건은 강제 및 부품의 두께, 등급이 같고 강제의 가로, 세로, 면적 비교시 강제에 부품이 포함될 경우 배치를 한다. 부품그룹 2를 배치하는 과정은 좌우대칭인 부품을 우선적으로 고려하여 강제 및 부품의 두께, 등급이 같고, 강제에 할당된 부품의 면적을 제외한 할당가능한 면적보다 부품의 면적이 적은 경우에 배치를 한다. 부품그룹 3의 배치는 부품그룹 2가 할당된 상태의 강제에 대해 강제 및 부품의 두께, 등급이 같고, 강제에 할당된 부품군 2의 면적을 제외한 할당 가능한 면적보다 부품그룹 3의 부품의 면적이 적은 경우에 배치를 한다.

Table 1은 실제사례를 개발된 절차를 이용하여 부품배치를 한 결과이며, 강제의 활용율을 나타내는 Scrap율이 평균 11% 정도였다.

Table 1 The Result of Nesting Parts using Heuristic Algorithm

강제의 정보						부품 배치 결과		부품 면적 합	
번호	등급	두께	폭	높이	면적	수량	PART(P)		PART(S)
B18201	AH	14	3350	14160	47,436,000	1	B182-A		47,199,320
B18201	AH	14	3350	14160	47,436,000	2	B182-B	B182-B	47,227,600
B18R81	AH	20	3942	14144	55,755,648	1	B18-AP	-	47,199,320
B18R85	AH	20	3354	14197	47,616,738	2	B18-D	B18-D	42,363,440
B18110	AH	14	1810	12820	23,385,200	2	*	**	20,346,698

(주) - PART(P) : B182-T32A-K, B182-T32B-K, B182-F34C-K, B182-T32C-K, B182-T32D-K, B182-GE2-32P, B182-F34C-2D, B182-T32C-2D, B182-T32D-1D, B182-T32C-1D, B182-T32D-2D  
 \*\* PART(S) : B182-T32A-K, B182-T32B-K, B182-F34C-K, B182-T32C-K, B182-T32D-K, B182-GE2-32P, B182-F34C-2D, B182-T32C-2D, B182-T32D-1D, B182-T32C-1D, B182-T32D-2D

3.2.2 가공방법 선정

강제에 부품이 배치되고 나면 개별적인 부품 정보 보다 강제의 정보가 중요하다. 부품 배치가 된 강제의 정보는 강판의 고유 정보(강제번호, 강제등급, 강제크기, 강제수량 등)와 배치된 부품의 특징정보(부품번호, 부품등급, 부품크기, 부품형상 등)를 포함한다. 일정계획 부분에서 제공하는 각종 제약(현재 가용 장비, 고장 장비, 변경된 장비, 변경된 장비의 가공공정 정보 등)에 따라 강제별로 가공 방법을 선정하는데, 일반적으로 Table 2와 같은 가공방법 들 중에서 하나를 선정하게 된다.

Table 2 Classification of Machining Methods

가공 방법	작업 내용
1	수동 마킹 → FPC절단 → 사상 1
2	N/C 마킹 → NCP 절단 → 사상 1
3	N/C 마킹 → NCB 절단 → 사상 1
4	N/C 마킹 → NCF 절단 → 사상 2
5	N/C 마킹 → NCB 절단 → 사상 1
6	N/C 마킹 → NCP 절단 → 사상 3
7	N/C 마킹 → NCF 절단 → 사상 4
8	N/C 마킹 → NFP 절단 → 사상 1
9	N/C 마킹 → NCF 절단 → 사상 1

1) 사상 1 작업: 절단작업이후 오차를 측정하여 설계에 맞도록 한번 더 절단하는 작업  
 사상 2 작업: 사상 1 작업이후 가스절단으로 인한 거친 표면을 다듬어 주는 작업  
 사상 3 작업: 사상 1 작업이후 베벨작업(용접을 위해 끝단부에 각을 주는 작업)을 해주는 작업  
 사상 4 작업: 사상 3 작업이후 가스절단으로 인한 거친 표면을 다듬어 주는 작업

3.3 대안계획 단계

3.3.1 공정계획에서의 장비군 선정

초기계획 단계에서 결정된 가공 방법과 강제에 할당되어 있는 부품의 특징에 따라 장비군을 각 강제별로 선정하게 된다. 강제별로 선정된 가공 방법과 장비군과의 대응-관계는 가공 방법 1의 경우에는 Flame Planner 절단 장비군, 가공 방법 2, 6의 경우에는 NC 플라즈마 절단 장비군, 가공 방법 3, 5의 경우에는 NC 플라즈마 베벨

작업 가능 절단 장비군, 가공 방법 4, 7, 9의 경우에는 NC 가스 절단 장비군, 가공 방법 8의 경우에는 NC Flame Planner 절단 장비군을 선정 하면 된다. Table 3은 실제 현장에서 사용할 수 있는 장비들을 자동화의 정도, 절단 방식, 절단할 수 있는 부품의 특징, 작업 내용에 따라 분류한 장비군의 예이다.

Table 3 Classification of Machine Groups

장비군	장비 특성				
	자동화 정도	절단방식	절단부품의 특징	작업내용	배열유무
Flame Planner 절단 장비군	반자동	가스	평행부 외판	직선 작업	배열×
NC 가스 절단 장비군	자동	가스	기준두께 이상인 (N/C 절단)	곡선 작업	배열×
NC Flame Planner 절단 장비군	자동	가스	평행부 외판 (N/C 절단)	곡선 작업	배열○
NC 플라즈마 베벨 작업가능 절단 장비군	자동	플라즈마	기준두께 이하인 (N/C 절단)	곡선 작업	배열○
NC 플라즈마 절단 장비군	자동	플라즈마	기준두께 이하인 (N/C 절단)	곡선 작업	배열×

3.3.2 일정계획에서의 작업장 할당

강제의 Lot별 작업장 할당을 위한 방법으로는 계층적 하이브리드 유전알고리즘을 사용하였다<sup>(8, 9, 10)</sup>. 계층적 하이브리드 유전알고리즘의 구성은 Fig. 6과 같다. 데이터 변환은 중일정계획 등에서 입력 받은 데이터를 가공 일정 계획에서 사용할 수 있는 형태로 변환하며, 초기화에서는 작업장 능력의 가용도를 초기화하고, 작업장 배정은 계획 기간의 작업물량을 각 작업장에 배정하고, 착수/완료일자 조정에서는 일자별 부하평준화를 고려하여 일자배정을 하게 되며, 국지적 탐색에서는 현장지식을 반영한 휴리스틱 기법으로 작업장을 조정하게 된다.

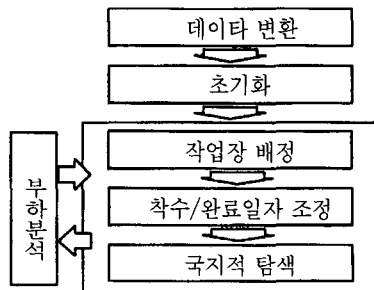


Fig. 6 Dispatching of Workshop for Lot

(1) 초기화 과정

초기화 과정은 Fig. 7과 같이 모든 Lot들을 일차적으로 착수일자가 빠른 순으로, 이차적으로는 1일당 공수가 큰 순으로 정렬한 후 하나씩 각 가공 작업장으로 배정하게 되는데, 가공 작업장을 배정하는 방법은 착수일 당일의 공수가 가장 적은 가공 작업장으로 배정하는 것이다.

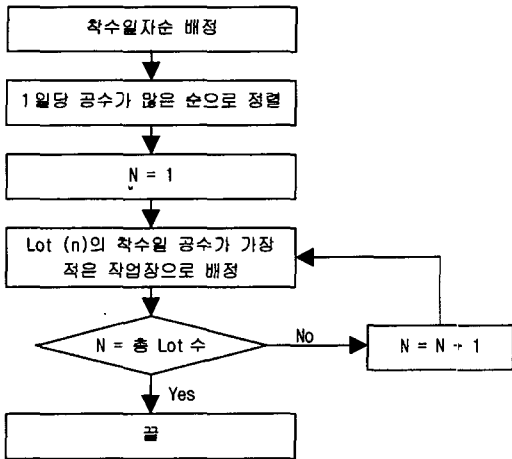


Fig. 7 The Flow of Initialization Procedure

(2) 작업장 배정

작업장 배정은 중일정계획에서 결정된 1GR, 2GR 물량에 대해서 각 가공 작업장별로 물량을 배분한다. 작업장 배정시에는 착수/완료일자를 조정하지 않고 이전 계획에 의해 결정된 착수/완료일자로 고정한다.

가공 작업장 배정을 위한 과정은 Fig. 8과 같다. 데이터 입력은 일정계획 대상 작업장의 데이터를 읽어 들이는 기능을 수행하고, 작업달력 작성은 평일과 토요일, 일요일의 작업량과 작업능력 등을 고려한 작업달력을 생성하는 기능을 수행한다. 부하 적재기 초기화는 부하 적재기에 대한 초기화를 수행하며 이 경우 각 일자에 대해서 토요일, 평일을 고려하여 작업능력을 계산한다. Gene Mapping은 동일 Lot명을 하나의 Gene으로 구성하는 기능을 수행한다. 부하 적재는 Gene 정보를 이용해서 해당 Lot의 공수를 부하 적재기에 쌓아 놓는 역할을 수행하며, 이때 공기를 고려하여 1일마다 균등하게 공수를 배분하게 된다. 부하 분석은 유전알고리즘에 있어서 적합도 (fitness)를 계산하는 기능을 수행한다. 마지막으로 벌점

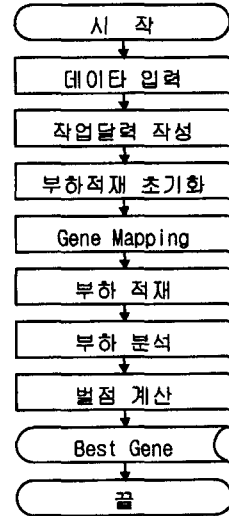


Fig. 8 Procedure of Workcenter Dispatching

계산은 제약조건을 위배하는 경우에 벌점을 부여하여 적합도 계산에 반영한다.

작업장 및 일자별 평균화를 나타내는 적합도 함수는 작업장 배정, 착수일자 및 완료일자 조정, 국지적 탐색 등의 전체 모듈에 걸쳐서 모두 동일하며 그 계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Fitness = & w_1 \cdot WV(GR_1) + w_2 \cdot WV(GR_2) + w_3 \cdot WV(GR_3) \\
 & + w_4 \cdot DV(GR_1) + w_5 \cdot DV(GR_2) + w_6 \cdot DV(GR_3) \\
 & + Penalty
 \end{aligned}$$

단,  $w_i$  : 가중치

$GR_i$  : 작업물의 특성 ( $GR_1$ 은 1GR물량 중 판넬 조립부로 보내는 물량,  $GR_2$ 는 2GR물량,

$GR_3$  은 1GR물량 중 작업장 2작업 물량)

$WV(GR_i)$  : 작업장간 분산값

$DV(GR_i)$  : 일자별 분산값

Penalty : 제약조건 위배에 따른 벌점

(3) 착수/완료일자 조정

착수/완료일자 조정은 각 Lot의 작업장을 고정시키고 착수/완료일자를 조정함으로써 일자별 부하 평균화를 유도한다. 여기서 착수일자 및 완료일자의 조정 범위는 현장의 여건을 반영하여 결정되며 Lot별로 개별적으로 정

의될 수 있다. 즉 공기가 긴 Lot의 경우에는 사용자의 판단에 의해 조정 범위가 커질 수 있으며, 반대로 공기가 짧은 Lot의 경우에는 조정 범위가 작아질 수 있다.

착수/완료 일자 조정의 수행 과정은 Fig. 9와 같으며 작업장별 물량 초과/부족 Code를 결정하는 과정을 제외하고는 작업장 배정 과정과 동일하다.

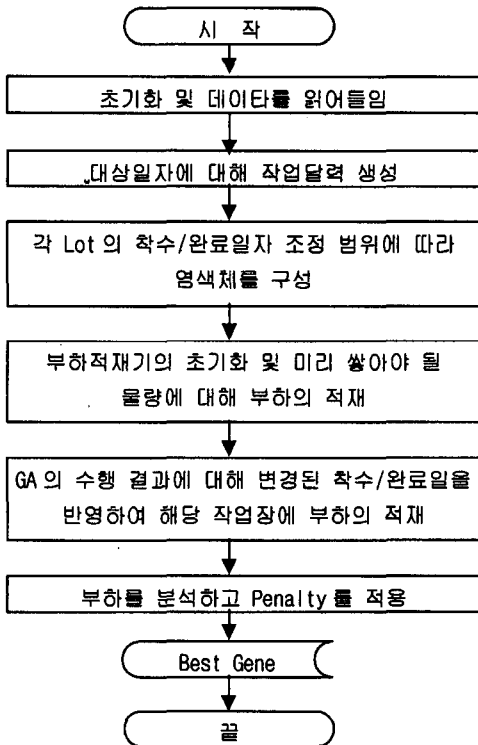


Fig. 9 Procedure for Adjustment of Starting and Ending Dates

(4) 국지적 탐색

작업장 배정을 위한 국지적 탐색은 작업특성을 고려하여 발견적 기법으로 개발하였으며, 작업장 및 일자별 부하 평준화에 가장 도움이 되지 못하는 Lot를 선정한 후 이 Lot와 다른 작업장의 모든 Lot를 순차적으로 교환해 보고 가장 부하 평준화가 좋게 나타나는 Lot와 교환하는 방식으로 작업장 배정을 하게 된다. 국지적 탐색기의 흐름도는 Fig. 10과 같고, 그 절차는 다음과 같다.

(단계 1) 중일정계획 및 후행 조립작업장의 일정계획을 토대로 한 데이터를 입력받고 후행 조립작업장

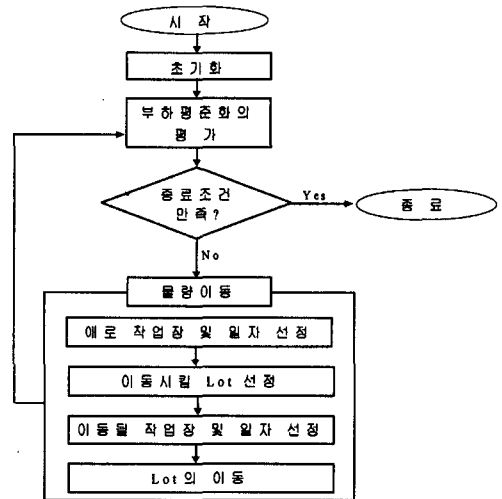


Fig. 10 Flowchart of Heuristic Algorithm for Workcenter Dispatching

에서 요구하는 일자대로 물량을 배정한다.

- (단계 2) 적합도 함수를 이용하여 부하평준화 정도를 평가한다.
- (단계 3) 사용자가 정한 한도보다 더 좋은 부하평준화 값이 결과로 나오거나 수행 반복수를 넘어서면 종료한다.
- (단계 4) 대상기간동안의 모든 작업장 및 일자에서의 개별물량(Plasma, 가스, F/P) 중 조업도가 가장 높은 항목을 찾는다.
- (단계 5) 단계 4에서 찾은 개별물량이 포함되어 있는 Lot들을 찾고 전체 물량에 비해 위의 개별물량이 차지하고 있는 비중이 가장 큰 Lot를 이동대상 Lot로 선정한다.
- (단계 6) 단계 5에서 찾은 물량이 이동 가능한 일자 및 작업장을 찾고, 그 중에서 단계 4에서 찾은 개별물량의 비중이 가장 작은 일자 및 작업장으로 Lot(단계 5에서 찾은)를 이동시킨다. 단계 2로 가서 평가한다.

3.3.3 장비군의 변경

일정계획 부분에서는 작업장 및 중일정계획의 착수/완료일자를 변경하면서 각 가공 작업장 및 일자별 부하평준화를 유전 알고리즘을 사용하여 수행한다. 공정계획과 일정계획의 통합화 부분에서는 계획 기간 중의 일정계획 부하 평준화 결과가 만족스럽지 못한 일자에 해당되는 가공

작업장에 대해 장비군 능력을 초과하는 물량을 대상으로 장비군을 변경한다. 이 기능은 공정계획 부분에서 수행되며, 변경된 장비군 정보를 다시 일정계획 부분으로 전달한다. 일정계획 부분은 변경된 장비군 정보를 바탕으로 앞 절에서 설명된 일정계획 기능을 다시 수행한다.

공정계획 부분에서는 부하가 불균형을 이루고 있는 일자에 속해 있는 Lot에 대해 얼마만큼의 양을 대상으로 장비군의 변경을 수행해야 하고 장비군을 변경하는 기준이 중요하다. 예를 들어 한 작업장에 3가지의 장비군이 있는 경우 각 장비군의 부하가 평균적으로 비슷한 값을 가지도록 장비변경을 하는 것이 좋다. 장비군 1의 부하가 95%, 장비군의 부하가 120%, 장비군 3의 부하가 85%라면 각 장비군의 부하가 100%가 되게 장비군을 변경할 수 있으면 최적이다. 그러나 장비군 변경 제약과 현장 여건 등을 고려하면 항상 이렇게 맞출 수는 없으나 최대한 각 장비군의 부하가 비슷하게 나올 수 있게 작업장 변경을 한다. 실제 현장 데이터를 사용하여 대안 계획단계를 수행한 결과를 Fig. 11에 그래프로 나타내었으며, 각 작업장의 부하상태가 낮아지면서 각 장비군의 부하 상태가 비슷해짐을 알 수 있다.

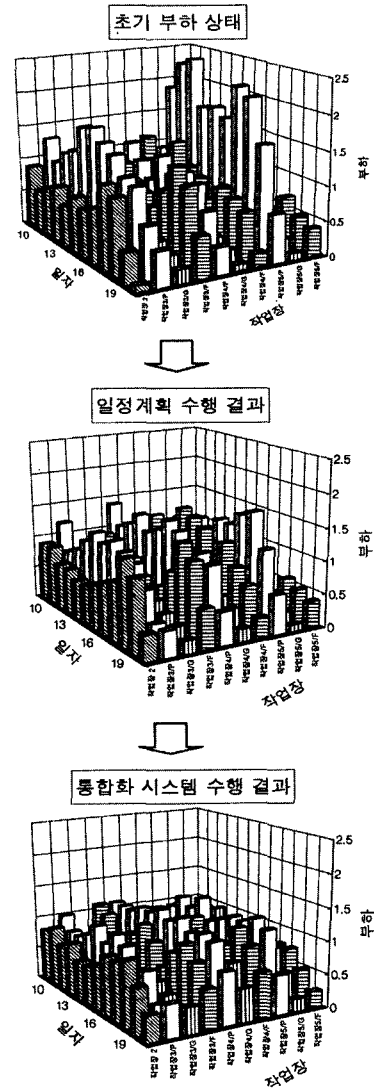


Fig. 11 An Example of Load Graph at each Workcenter through the Alternative Planning Stage

### 3.4 상세계획 단계

#### 3.4.1 공정계획에서 강재 가공 순서 생성

상세계획 단계의 공정계획 부분에서는 대안계획 단계에서 결정된 가공 작업장별 작업물량에 대해 Fig. 12와 같이 Lot에 적재되어 있는 강재 순서로부터 장비군별 가공이 가능한 순서를 결정한다. Lot별로 적재되어 있는 강재의 순서는 야적장의 면적 및 능력 제약으로 인하여 야적장에서 운반되어 각 가공 작업장 앞에 쌓여진 강재의 적재 순서를 파악한 후, 이 순서에 따라 가공 순서를 만든다.

#### 3.4.2 일정계획에서 강재별 장비 할당

일정계획 부분의 강재별 장비 할당은 각 가공 작업장마다 수행되고 각 가공 작업장에 배정된 1일 작업량을 장비별로 균등하게 배분하는 것이 중요하다. 가공 작업장의 장비 배정 계획시 가장 큰 제약조건이 되는 것은 강재의 적재순서이며 이를 반영한 1일 작업계획이 필요하다.

공정계획에서 절단 장비군별로 할당된 처리 물량을 각 장비별로 할당하는 과정은 다음과 같이 2단계로 수행된다.

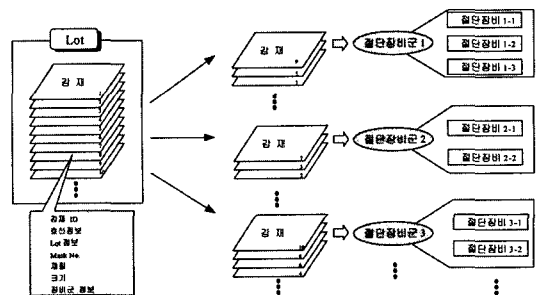


Fig. 12 Generation of Cutting Sequences for Machine Groups



- (단계 1)  $\text{Max}(AT_i)$ 인 장비  $i$ 를 찾는다.  
 단,  $AT_i$ 의 값은 다음과 같이 정의된다.  
 $AT_i = WT_i - PT_i$   
 $i = 1, \dots, n$  (같은 물량을 처리하는 장비들)  
 $WT_i$ :  $i$ 장비의 일일 작업가능 시간  
 $PT_i$ :  $i$ 장비에 할당된 당일 작업의 총수행시간합
- (단계 2) 단계 1에서 찾은 장비  $i$ 로 강제를 할당한다.  
 강제할당이 끝났으면 종료, 끝나지 않았을 경우 단계 1로 간다.

### 3.4.3 장비의 변경

상세계획 단계는 각 가공 작업장별로 공정계획 부분에서는 장비군별로 강제의 가공 순서를 생성하였고, 일정계획 부분에서는 결정된 장비군별 물량에 대해 1일 장비부하를 고려하여 장비별 강제 가공순서를 생성하였다. 일정계획 부분에서 상세한 장비별 강제 가공 순서를 결정하다 보면 부하 불균형을 이루는 장비가 발생할 수도 있다. 이때의 해결 방법은 동일한 장비군내의 다른 장비로 물량을 변경하거나 물량의 일부분을 다른 장비군으로 변경하여 강제의 가공순서를 다시 생성하면 보다 나은 결과를 얻을 수 있다.

### 3.5 통합화 시스템의 구현

공정계획과 일정계획을 통합화 한 시스템의 실행결과예를 Fig. 13과 Fig. 14에 나타내었다. Fig. 13은 가공작업장 3의 부하 평균화 상태를 나타낸 화면이고, Fig. 14는 작업 물량의 상세한 정보를 확인할 수 있는 화면의 예이다.

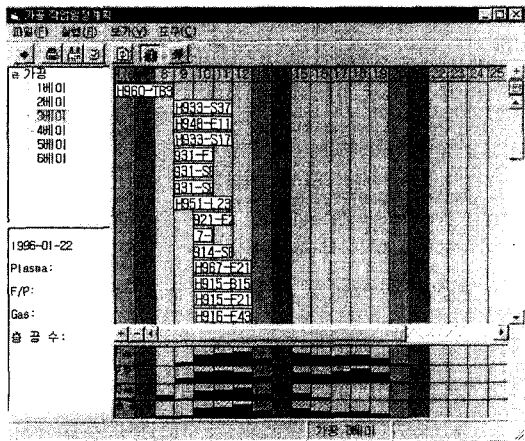


Fig. 13 An Example of Status of Load Balancing

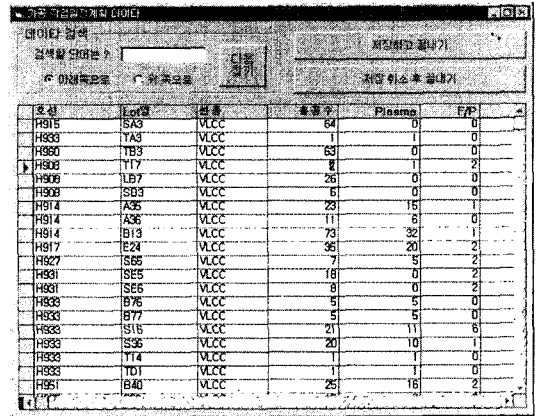


Fig. 14 An Example Windows of Data Views

## 4. 결론

선박 건조에서 기존의 공정계획과 일정계획은 두 기능이 독자적으로 수행되어서 정보의 교환이 어려웠다. 따라서 장비의 고장, 장비의 대체, 요구 작업 및 가공 방법의 변경 등을 고려한 공정계획 및 일정계획이 비효율적으로 수행되어 왔다. 본 연구에서는 조선에서의 선각 내업 공정계획과 일정계획에 대해 고찰하고 공정계획과 일정계획을 통합하는 시스템에 관한 연구를 통하여 실제 시스템에 구현될 수 있는 방법론을 개발하였다.

통합화 접근방식은 분산형 공정 및 일정계획의 개념을 개발하여 초기계획 단계, 대안계획 단계, 상세계획 단계로 나누어 점진적으로 접근하는 방식을 사용하였다

본 연구에서 개발한 시스템을 실제 데이터를 사용하여 수행하여 본 결과 일자 및 작업장별로 부하 평균화된 물량배정결과를 얻을 수 있었다. 따라서 실제 현장에서 통합화 된 시스템을 사용할 경우, 공정계획과 일정계획을 따로 수행할 때보다 보다 좋은 계획결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 연구에 필요한 자료를 제공해 주신 현대중공업(주)에 대하여 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 일본조선진흥재단, 1989년도 조선 CIMS PILOT

- MODEL 개발 연구 보고서, 1990.
2. 이규열 외, "조선 CIMS을 위한 시스템 요소기술의 현황", 대한조선학회지, 제29권, 제2호, pp. 47-93, 1992.
  3. Zhang, H. C., "A Progressive Approach for the Integration of Process Planning and Scheduling", IIE Transactions, Vol. 27, No. 4, pp. 456-464, 1995.
  4. Zhang, H. C., "IPPM- A Prototype to Integrate Process Planning and Job Shop Scheduling Functions", Annals of the CIRP, Vol. 42, No. 1, pp. 513-518, 1993.
  5. Larsen, N. E., "Methods for Integration of Process Planning and Production Planning", Int. J. of Computer Integrated Manufacturing, Vol. 6, No. 1&2, pp. 152-162, 1993.
  6. Harry Hopper, et al., "The Making and Marking of Ship Parts Cut from Steel Plate", Journal of Ship Production, Vol. 2, No. 1, pp.8-17, 1986.
  7. Hall NG et al., "Bin Packing Problems in One Dimension: Heuristic Solutions and Confidence Intervals", Comp. Opns. Res., Vol. 15, pp. 171-177, 1988.
  8. 류광렬, 황준하, 최형림, 조규갑, "계층적 유전알고리즘에 의한 부하 평준화 시스템", 한국정보과학회 '96 가을 학술발표논문집, pp.317-320, 1996.
  9. Ryu, K. R., Hwang, J., Choi, H. R. and Cho, K. K., "A Genetic Algorithm Hybrid for Hierarchical Reactive Scheduling", Proceedings of the 7th International Conference on Genetic Algorithms, pp.497-504, 1997.
  10. 조규갑 외, "유전알고리즘을 이용한 선각블럭 조립 공장의 일정계획 시스템", '96 한국전문가시스템 학회 추계학술대회, pp. 127-136, 1996.