

조선 선각가공공정에서 부재가공을 위한 Bay 및 가공기계의 선택

박창규¹ · 서윤호²

¹울산대학교 경영대학 경영학부 / ²울산대학교 수송시스템공학부

Bay and Machine Selection for the Parts Fabrication of Ship Hull Construction

Changkyu Park¹ · Yoonho Seo²

Shipbuilding process is composed of hull construction, in which the structural body of a ship is formed, and outfitting, in which all the non-structural parts such as pipes, derricks, engines, machinery, electrical cable, etc. are manufactured, added and assembled. Hull construction can be classified into parts fabrication, block assembly and hull erection. Among them, the parts fabrication is the first manufacturing stage that produces components or zones needed for block assembly and hull construction. More specifically, the parts fabrication is performed through machining processes including marking, cutting, pressing, and/or forming. When material is entering into the parts fabrication stage, it is important for achieving the total efficiency of production to select one of production division, so-called 'bay,' as well as machine tools on which the part is fabricated. In this paper, given production quantities of parts in the fabrication stage, the problem is to optimally select machine tools and production division, such that the total flow-time is minimized as well as the workload among machines is balanced. Specifically, three mathematical models for flow-time minimization, load balance, and simultaneously considering both objectives, and a numerical example are analyzed and presented.

1. 서 론

조선생산공정은 크게 선체의 골격과 외형을 만드는 선각작업 (Hull Construction)과 추진, 운항, 거주환경 등 중요기관과 이를 연결하는 기능을 만드는 의장작업 (Outfitting) 및 부식을 방지하기 위한 도장작업 (Painting)으로 구분된다(박명환 등, 1995; Storch, *et al.*, 1995). 특히, 이 논문에서 관심을 두는 선각작업은 강판이나 형강을 자르고 형태를 만들어 필요한 부재로 만드는 가공공정 (Fabrication Stage)과 각 부재들을 용접을 통하여 필요한 블록으로 만드는 조립공정 (Assembly Stage) 및 만들어진 블록을 도크 또는 선대에서 선박의 외형을 만들어 가는 탑재공정 (Erection Stage)으로 구성되어 있다(서윤호, 1997).

각 공정들을 좀더 살펴보면, 가공공정은 강재를 절단공정에 보내기 전에 필요한 처리를 하는 전처리공정 (Marking)과 강재로부터 부재를 절단해 내는 절단공정 및 각 부재를 프레스나 롤러를 통하여 원하는 형상으로 만드는 성형공정으로 구성되어 있다. 다음으로, 조립공정은 소조립, 중조립 및 블록조립공

정으로 이루어져 있다. 소조립공정은 평판에 단순한 형태의 골재를 취급하는 소규모 조립이며 작업물의 크기는 약 5~10톤 정도이고, 중조립공정은 소조립이 완료된 것을 평면형태로 조립하는 과정이고 작업물의 크기는 약 50톤 정도이며, 블록조립공정은 중조립에서 완성된 작업물을 입체적으로 조립하는 과정으로 작업물의 크기는 약 100~250톤 정도이다(한용섭, 1995). 마지막으로, 탑재공정은 블록조립공정에서 완성된 블록을 대형 크레인에 의해 도크 또는 선대에서 최종 선박의 형태로 조립하는 공정이다. 선각작업공정을 한 눈에 볼 수 있도록 도식적으로 표현하면 <그림 1>과 같다. 강판과 형강을 포함하는 원자재가 가공공정을 거쳐 부재로 되고, 부재는 조립공정을 거쳐 블록으로 조립되며, 블록은 탑재공정을 거쳐 하나의 선박으로 가공 및 조립된다.

이 논문은 연구범위를 좀더 좁혀서 선각작업공정 중 가공공정에 초점을 맞춘다. 구체적으로 선각가공공정이란 피가공 부재인 철판이 작업장에 들어와서 각각의 부재형태로 절단되고 형태가 만들어져서 블록으로 조립되기 위한 준비가 끝날 때까지의 과정을 말한다. 따라서 선각가공공정은 크게 Marking, 절

* 본 연구는 부분적으로 한국과학재단지원 울산대학교 지역 협력연구센터의 연구비 지원에 의하여 수행되었음.

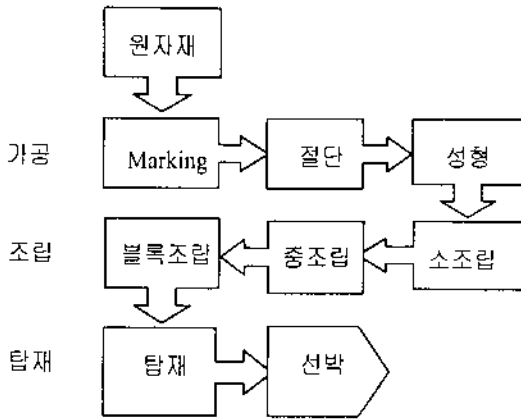


그림 1. 조선 선각작업공정 절차.

단, 성형 및 소조립을 포함하는 4단계로 나눌 수 있다. 조선소에는 이들 각 가공공정을 수행할 작업장이 존재하며, 각 작업장은 여러 개의 Bay라는 구획으로 나누어져 있다. 선각가공공정에서 가공되는 부재는 극히 중후장대하기 때문에 각 작업장간 부재의 이동 및 취급을 위하여 오버헤드 크레인을 이용하는 것이 일반적이며, 이 오버헤드 크레인의 이동은 동일 Bay를 통하여만 가능하다. 따라서 선각가공공장은 동일한 공정기능을 수행하기 위한 기계들이 각 작업장별로 배치되어 있으며, 이들은 다시 이동 및 취급을 용이하게 하기 위하여 Bay에 기계군으로 분산되어 있다. <그림 2>는 가공공장의 대략적인 배치를 도식적으로 보여준다.

	Marking 작업장	절단 작업장	성형 작업장	소조립 작업장
Bay#1				
Bay#2			대차	대차
Bay#B				

그림 2. 가공공장의 대략적인 배치도.

어떤 부재의 특정 공정을 수행할 수 있는 가공기계들은 일반적으로 다수 존재하며, 여러 Bay에 분산되어 있고, 각 기계는 가공능력면에서 차이가 있다. 그리고 어떤 공정을 거쳐야 할 부재는 해당 작업장에서 Bay를 선택한 후, 그 Bay에서 다시 가공기계를 선택하게 된다. 그러나 여기서 연속된 두 공정 사이에 Bay를 바꾸게 되면 상대적으로 큰 부재의 이동시간을 감수하여야 한다. 따라서 어떤 가공공장의 작업량, 즉 각 부재형태의 종류와 그 요구량이 정해지면 그 작업요구를 가장 효율적으로 가공하기 위한 계획이 수립되어야 한다.

이 논문의 목적은 조선 선각가공공정의 효율적인 생산 및 물류계획을 수립하기 위한 방법론과 가능한 해법을 제시하기

위한 것이다. 즉, 각 가공공정에 입력되는 각 부재형태와 그 가공요구량이 주어질 때 각 공정을 가공할 가공기계의 적절한 선택을 통하여 각 기계에 할당되는 부하량이 Bay 또는 가공기계의 관점에서 적절하게 분배되어야 하며, 또한 전체 부재의 흐름시간도 동시에 고려함으로써 가장 효율적인 작업을 계획하기 위한 방법을 제시한다.

다음 장에서는 이 논문에서 다룰 문제를 정확히 정의하고, 정의된 문제에 대한 해를 찾기 위한 수리적 모형을 제시한다. 수리적 모형을 세우는 과정 중에 논리적으로 무리가 없는 한도 내에서 복잡한 실제의 조선 선각가공공정을 단순화한다. 다음으로 제3장에서는 수리적 예제를 제시하여 제2장에서 수립한 모형에 대한 이해를 돕고, 제4장에서는 이 논문에서 취한 접근방법과 실제 조선소에서 실시중인 접근방법에 대한 토의를 제시하며, 끝으로 제5장에서는 이 논문을 정리하는 결론적 의견을 제시한다.

2. 문제정의 및 모형수립

이 논문에서 다루는 선각가공계획 문제는 다음과 같이 정의될 수 있다. 계획 기간 내에 포함되어 있는 각각의 부재형태 하나의 공정계획과 가공 요구량이 주어지면, 전체 생산을 최적화하기 위한 관점에서 각 부재에 대하여 일련의 가공기계 및 Bay를 선택하는 것이다. 만약 각 부재의 각 공정에 대하여 가장 효율이 좋은 기계만을 선택했다면, 몇몇 기계에는 과부하가 걸려 전체 생산의 효율을 떨어뜨릴 가능성이 있다. 반면에 기계부하 평균화만을 고려한다면, 각 기계에 최적기계 선택을 무시하므로 또는 Bay간 이동 때문에 전체 생산효율이 떨어질 가능성이 있다. 따라서 이 문제의 최적해는 부하를 무시한 채 최적장비를 선택한 경우와 가공효율을 무시하고 부하 평균화만을 고려한 경우에 각각 구해지는 양극단의 해 사이에 존재하게 될 것이다.

이와 같은 문제의 특성을 고려하여 이 논문에서는 다음과 같은 3단계 접근방식을 통하여 문제의 해법을 제시한다. 첫 단계는 가공기계간의 부하평균화에 대한 고려 없이 전체 부재의 흐름시간을 (i.e., 가공시간 + 이동시간) 최소화 하는 해를 찾는 단계로 최단경로를 찾는 기법을 이용하였다. 둘째 단계는 전체 부재의 흐름시간에 대한 고려 없이 가공기계에서의 부하를 평균화하는 단계이다. 따라서 첫째 단계에서 구해지는 해는 각 부재의 흐름시간을 최소화 하는 반면 부하균형을 고려하지 못하였으므로, 실제 생산시 부하 불균형으로 인한 작업 지연을 초래하게 될 것이다. 이와는 반대로 둘째 단계에서는 각 장비에 부가된 작업부하만을 평균화하는 측면에서 작업이 할당되기 때문에 전체 생산의 효율을 기하기는 어려운 측면이 있다. 셋째 단계에서는 이전의 두 단계에서 구한 양극단값을 이용하여 전체 부재의 흐름시간을 최소화하는 동시에 가공기계간의 부하를 평균화하기 위하여 목표계획법을 이용하여 수리모형을 개발하였다.

우선, 이 논문에서 수립한 수리모형에 쓰일 첨자, 매개변수,

기호 및 결정변수를 요약하면 다음과 같다.

- k 부재형태, $k = 1, 2, 3, \dots, K$
- l 공정, $l = 1, 2, 3, \dots, L$
- m 가공기계, $m = 2, 3, \dots, M$ (i, j 또는 p 로 대체된다). 단, 기계번호 1과 $M+1$ 은 네트워크 상에서 시점과 종점을 표현하는 데 이용된다.
- ml 공정 l 에 속한 기계집합. 따라서 $|m_l| =$ 공정 l 에 할당된 가공기계의 수.
- t_{ijk} 부재 k 의 기계 i 에서의 가공시간과 다음 기계 j 로의 이동시간의 합. 단, 부재 k 가 가공기계 i 에서 다음 가공 기계 j 로의 경로가 불가능하면 $t_{ik} = \infty$. 이 논문에서 이를 공정간 흐름시간이라 한다.

$$t_{ijk} = \begin{cases} t_{i \cdot k} + f_{ijk}, & \text{부재 } k \text{가 기계 } i \text{와 기계 } j \text{로} \\ & \text{연속적인 가공이 가능한 경우} \\ \infty, & \text{연속적인 가공이 불가능한 경우} \end{cases}$$
 단, 부재 k 가 기계 i 에서의 가공시간이며 f_{ijk} 는 기계 i 에서 j 로의 이동시간.
- N_k 부재 형태 k 에 대한 가공요구량
- \hat{z} 모형 1의 목적함수의 값. 즉, 기계의 부하를 무시하고 작업효율만을 고려한 극단값.
- \hat{d} 모형 2의 목적함수의 값. 즉, 작업효율은 무시한채 부하 균형을 고려한 극단값.
- α 흐름시간 최소화에 주어진 가중값.
- β 부하 평준화에 주어진 가중값.
- X_{ijk} 부재형태 k 가 가공기계 i 에서 가공기계 j 로 가는 작업량
- D_{ip}^l 공정 l 에 속한 기계 i 와 p 사이의 작업부하차.

2.1 흐름시간 최소화

가공기계에 걸리는 부하량에 대한 고려 없이 전체 부재의 흐름시간을 최소로 하는 해를 찾기 위하여 Network기법 중에 최단경로를 찾는 기법을 이용한다(Bazaraa and Jarvis(1977)의 p.405 참조). 최단경로를 찾는 기법으로 모형은 다음과 같다.

모형 1

$$\text{Minimize } z = \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M+1} \sum_{i=1}^{M+1} t_{ijk} X_{ijk}, \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{j=1}^{M+1} X_{ijk} - \sum_{i=1}^{M+1} X_{jik} = \begin{cases} N_k & \text{if } i=1, \\ 0 & \text{if } i \neq 1 \text{ or } i \neq M+1, \forall i, k, \\ -N_k & \text{if } i=M+1 \end{cases} \quad (2)$$

$$X_{ijk} = \text{양의 정수} \quad \forall i, j, k. \quad (3)$$

목적함수는 전체 부재가 가공공정을 마치는 데 소요하는 시간을 최소화하도록 하고, 제약식은 최단경로를 찾는 문제를 네트워크로 표현하여 정수계획법으로 모형화할 때 나타나는 식이다 (즉, The Flow Conservation Equations). 여기서 $i = 1$ 과 $i = M+1$ 에 해당하는 Node는 실제 기계를 의미하는 것이 아니라 네트워크상에서 시점과 종점을 표현한다. 그리고 이 모형의 Node-Arc Incidence Matrix는 Totally Unimodular이므로 결정변수 X_{ijk} 에 대한 정수의 제약을 $X_{ijk} \geq 0$ 으로 완화하여도 최적해가 구해지면 최적해는 자연히 정수가 된다(Bazaraa and Jarvis (1977)). 모형 1을 통하여 작업부하균형은 무시하고 작업효율만을 최대화하는 극단값이 구해질 것이며, 이때의 목적함수 값을 \hat{z} 이라 한다.

2.2 부하 평준화

부하 평준화 모델은 가공기계간 부하 불균등을 최소화하는 문제이다. 우선 각 공정 l 에 속한 기계 $i, p \in ml$ 사이의 부하차를 D_{ip}^l 라고 정의하면, D_{ip}^l 는 다음 식 (4)에 의하여 구해질 수 있다.

$$D_{ip}^l = \left| \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M+1} t_{i \cdot k} X_{ijk} - \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M+1} t_{p \cdot k} X_{ijk} \right| \quad (4)$$

각 공정에 대하여 부하차 D_{ip}^l 의 총합이 최소화되는 관점에서 결정변수값을 결정한다면 부하평준화를 최대로 이루는 해를 구할 수 있다.

모형 2

$$\text{Minimize } d = \sum_{l=1}^L \sum_{i,p \in ml} D_{ip}^l \quad (i,p \in l) \quad (5)$$

subject to 식 (2)와 (3).

모형 2의 목적함수는 기계선택의 효율 및 기계간 이동시간에 대한 고려 없이 각 공정의 기계에 할당된 작업부하차를 최소화한다. 따라서 이때 구해지는 해는 오직 부하 평준화를 최대로 하는 극단값이 될 것이며, 그때의 목적함수값을 \hat{d} 이라 한다.

이때 공정 l 에서의 평균부하 \bar{Z}_l 는 다음 식 (6)과 같이 정의될 수 있으며, 이 식을 이용하여 전체 공정에 대한 부하 비평준화율은 다음 식 (7)과 같이 정의될 수 있다.

$$\bar{Z}_l = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^{M+1} \sum_{j=1}^{M+1} t_{j \cdot k} X_{ijk}}{|m_l|}, \quad (6)$$

그리고

$$\text{부하비평준화율} = \frac{\sum_{i=1}^L \frac{\sum_{p=1}^K \left| \sum_{k=1}^{M+1} t_{p,k} X_{ipk} - \bar{Z}_i \right|}{\bar{Z}_i}}{|m_i|} \quad (7)$$

부하비평준화율은 각 공정에 있는 가공기계에 할당된 부하량이 그 공정의 평균 부하량과 얼마나 차이가 나는지 평균비율을 보여준다. 이 부하비평준화율은 다음 모형 3에서 가중값 α 와 β 를 구할 때 사용된다.

2.3 흐름시간 최소화 및 부하 평준화

앞서 언급했듯이 선각가공공정의 기계 및 Bay 선택은 최대 가공효율만을 고려한 모델 1과 부하 평준화만을 최대로 하기 위한 모델 2의 양극단 해 사이에 존재할 것이다. 따라서 이 문제의 최적해를 찾기 위하여 모형 1과 모형 2에서 얻은 양극단 값 \hat{z} 과 \hat{d} 을 활용하는 목표계획법으로 수리모형을 세운다. 흐름시간과 부하 평준화에 대한 가중값을 각각 α 와 β 라고 하면 모형은 다음과 같다.

모형 3

$$\text{Min } g = \alpha \left(\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M+1} \sum_{i=1}^{M+1} t_{ijk} X_{ijk} - \hat{z} \right) + \beta \left(\sum_{i=1}^L \sum_{p \in m_i} D_{ip} - \hat{d} \right) \quad (8)$$

subject to 식 (2)와 (3).

목적함수 g 는 흐름시간과 부하 평준화에 각각 α 와 β 의 가중값을 주어 합을 최소화하고, 제약식 (2)와 (3)을 추가한다. 여기서 가중값 α 와 β 에 대한 값은 다음에 정의되는 흐름시간 증가율과 앞 절에서 정의한 부하비평준화율에 대한 흥정(trade-off)으로 결정한다. 흐름시간 증가율은 다음 식 (9)와 같이 구할 수 있다.

$$\text{흐름시간증가율} = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^{M+1} \sum_{i=1}^{M+1} t_{ijk} X_{ijk} - \hat{z}}{\hat{z}} \quad (9)$$

따라서 목적함수 g 를 최소화하는 X_{ijk} 값이 이 논문에서 정의한 문제의 최적해이며, 이때의 흐름시간 목적함수값을 z^* , 부하평준화 목적함수값을 d^* 라고 하면, z^* 와 z , d^* 와 d 의 관계는 다음 식 (10)과 같다.

$$z^* \geq \hat{z} \quad \text{그리고} \quad d^* \geq \hat{d} \quad (10)$$

3. 예 제

이 장에서는 제2장에서 세운 수리적 모형에 대한 이해를 돕기 위하여 간단한 예제를 들어 설명한다. 예제로서 4가지의 부재

표 1. 부재형태 및 공정별 할당된 기계

부재형태	공정 1	공정 2	공정 3	요구량
1	기계 2		기계 11	100
	기계 3		기계 12	
	기계 4			
	기계 5			
2	기계 3	기계 8		150
	기계 5	기계 9		
3	기계 4	기계 9	기계 11	130
	기계 6	기계 10	기계 13	
			기계 14	
4	기계 7		기계 13	200
			기계 15	

표 2. 부재 형태별 각 기계에서의 가공시간

기계	가공시간 (부재형태)	기계	가공시간 (부재형태)
기계 2	5(1)	기계 9	6(2), 7(3)
기계 3	6(1), 7(2)	기계 10	5(3)
기계 4	7(1), 6(3)	기계 11	9(1), 8(3)
기계 5	8(2)	기계 12	10(1)
기계 6	8(3)	기계 13	9(3), 8(4)
기계 7	7(4)	기계 14	9(3)
기계 8	4(2)	기계 15	10(4)

Bay 간의 이동시간 = 20

표 3. Bay 및 공정에 따른 기계배치

Bay	공정 1	공정 2	공정 3
1	기계 2	기계 8	기계 11
	기계 5		기계 14
2	기계 3	기계 9	기계 12
	기계 6		기계 15
3	기계 4	기계 10	기계 13
	기계 7		

형태와 3가지의 공정을 고려하고, 각 부재형태와 공정에 할당된 가공기계가 <표 1>과 같다고 하자. <표 1>은 각 부재형태별로 요구되는 작업량도 함께 보여주고 있다. 각 가공기계 $i = 2, \dots, M$ 에 대하여 소요되는 가공시간 $t_{i,k}$ 이 부재형태에 따라서 <표 2>에 나타나 있고, 각 Bay를 따라서 공정별로 필요한 기계가 <표 3>과 같이 배치되어 있다고 하자. 또한 공정 진행 이동시간은 전공정에 걸쳐 1단위시간이며, Bay간 이동시간은 20단위시간이라 가정하면 흐름시간 f_{ijk} 를 구할 수 있다. 이 들로부터 몇 개의 흐름시간 예를 구해보자. 기계 1은 가상적인 시점을 의미하고, $\{t_{i,k} = 0, f_{ijk} = 1 \mid \forall k, j \in m_i\}$ 이므로,

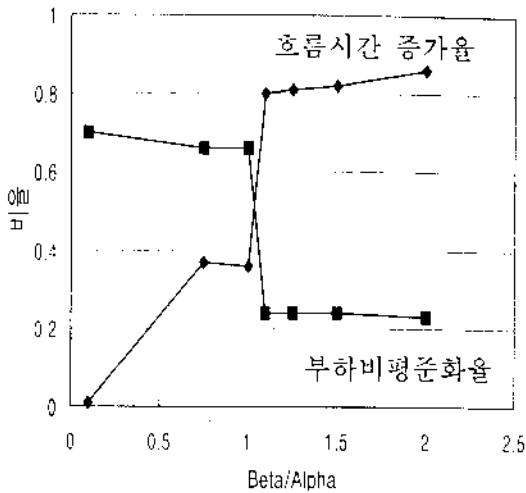


그림 3. 가중값 β/α 에 따른 흐름시간 증가율과 부하 비평준화율.

$t_{21} = t_{31} = t_{41} = t_{12} = t_{13} = t_{11} = 1$. 기계 1에서 부재 1의 가공시간 $t_{1,1}$ 은 5이고, Bay 내 공정이동시간은 1, Bay간 공정이동시간은 20이므로 $\{t_{2j} | j = 11, 12\} = \{6, 25\}$ 이며, 부재 1이 기계 2에서 8로 연속 가공되는 경우는 <표 1>로부터 불가능하므로 $t_{211} = \infty$ 이다.

이상과 같은 자료에 기초하여 제2장에서 제시한 수리모형들을 연속적으로 풀면, 흐름시간과 부하 평준화에 주어진 가중값 α 와 β 비율이 $\beta/\alpha = 1.0$ 일 때 모형 3이 최소화된다. 연속적인 계산에 근거하여 β/α 의 변화에 따른 흐름시간 증가율과 부하 비평준화율의 변화를 <그림 3>에 도시하였다. 가중값 $\beta/\alpha = 1.0$ 일 때 최적해가 구해진다는 가정하에(실제 생산현장에서는 β/α 의 비율은 의사결정자의 경험과 현실적 요인을 고려하여 임의로 결정될 수 있다) 각 부재형태에 대하여 공정별로 가공기계에 부과되는 작업량은 <표 4>와 같이 구해진다. <표 5>는 <표 4>의 결과를 각 Bay별로 재정리한

표 4. 부재 형태 및 공정에 따른 가공기계의 작업 부하량

부재형태	공정 1 (작업량)	공정 2 (작업량)	공정 3 (작업량)
1	기계 2(90)		기계 11(31)
	기계 3(9)		기계 12(69)
	기계 4(1)		
2	기계 3(67)	기계 8(92)	
	기계 5(83)	기계 9(58)	
3	기계 4(74)	기계 9(56)	기계 11(52)
	기계 6(56)	기계 10(74)	기계 13(0)
			기계 14(78)
4	기계 7(200)		기계 13(130)
			기계 15(70)

표 5. Bay 및 공정에 따른 가공기계의 작업 부하량

Bay	공정 1 (부하량)	공정 2 (부하량)	공정 3 (부하량)
1	기계 2(450)	기계 8(368)	기계 11(695)
	기계 5(664)		기계 14(702)
2	기계 3(94)	기계 9(1088)	기계 12(690)
	기계 6(38)		기계 15(700)
3	기계 4(92)	기계 10(370)	기계 13(1040)
	기계 7(200)		

* 부하 비평준화율 = 0.36

흐름시간 증가율 = 0.66

것이다. 이때 부하비평준화율과 흐름시간 증가율은 식 (7)과 (9)에 따라 각각 0.36과 0.66으로 계산된다.

모형 1의 목적함수값 $\hat{z} = 8,800$, 모형 2의 목적함수값 $\hat{d} = 6,458$ 이며, 모형 3의 목적함수값 $g^* = 7368$ 이다. 모형 3의 최적해를 모형 1과 모형 2에 대입했을 때 z^* 와 d^* 는 각각 14,554와 8,010이며, 이는 관계식 (10)을 만족한다. 또한 모형 3에 모형 1과 모형 2의 최적해를 각각 대입하면 그 목적함수값 (g^1 과 g^2 라 하자)은 각각 19,974와 8,695으로 $g^1 \geq \hat{z}$ 그리고 $g^2 \geq \hat{d}$ 를 만족함을 알 수 있다.

4. 토론

현재 조선소에서는 부재에 가공기계를 할당하고, 생산 및 물류를 계획/통제하기 위하여 '가공계열'이란 일종의 Group Technology 분류기법을 사용하고 있다(문창효, 1995; Ham, Mitomi and Yoshida, 1985). '가공계열'은 부재가 가공되기 위하여 처치는 일련의 기계들을 미리 분류해 놓은 분류기준으로 각 부재에 '가공계열'이 정해지면 이는 마치 공정계획의 공정 경로와 같은 역할을 한다. 그러나 이와 같은 '가공계열'은 분류 방식이 각 부재형태에 대한 계획이 아닌 부재군에 대한 계획이기 때문에 같은 '가공계열' 속한 부재라도 그 크기나 형태가 완전히 다를 수 있으므로 부재관리를 위하여 이용될 수 없다. 또한 '가공계열'은 부재가 가공작업에 투입되기 전에 결정되므로 작업장의 상태를 반영하기 어려운 뿐만 아니라, 각 작업장별 Line Balancing, Lot Size 결정, Scheduling 등과 같은 생산관리에 활용되기 어렵다.

이와 같은 단점을 극복하기 위하여 이 논문에서는 각 부재형태에 대하여 하나씩 존재하며, 가공경로를 명시적으로 표현한 공정계획을 이용하였다(성요경, 1992; Lee, et al., 1994; Storch, et al., 1995). 각 부재형태별 공정계획을 도입할 경우, Bay의 선택, 기계의 선택, 부하 균등화, 최적이동 등을 작업장의 현재 상태에 따라 동적으로 결정할 수 있는 생산계획이 가능할 뿐만 아니라, 부재단위의 관리 또는 실적관리가 가능하다. 또한, 작업현장의 상태를 고려한 유연공정계획이 가능할 뿐만 아니라, 가공과 이동을 함께 고려하는 계획이 가능해진다. 공정계획은 공정의 순서결정과 Bay 및 기계의 선택을 작업장의 상태를 고

려하여 동적으로 선택할 수 있기 때문에 효율적이며 유연한 작업경로 선택방법이라 할 수 있다.

<그림 4>는 문창효(1995)가 예시한 '가공계열' 중 PNL, SES, NCF, BLT에 대응되는 공정계획을 나타낸 것이다. 예를 들어, '가공계열' PNL은 부재의 크기, 형태 또는 중량에 관계없이 Hand Marking과 FPC기계에서의 절단 후, 조립공장 OP로 가는 모든 부재를 지칭한다. 그러나 부재형태별 공정계획에서는 방문공정의 순서와 각 공정에 해당하는 작업프로그램과 작업시간 및 작업량 등에 관한 정보를 가지고 있다(Lee et al., 1994).

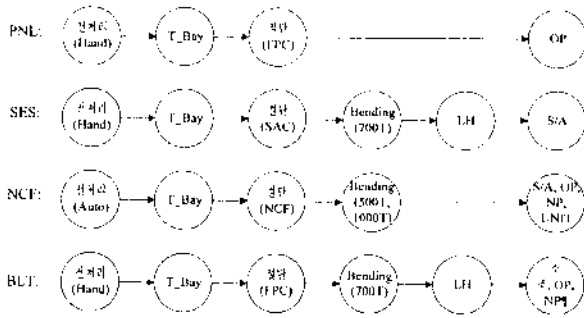


그림 4. 가공계열과 공정계획.

이와 같이 각 부재형태별 공정계획과 가공요구량이 주어질 때, 이 논문에서 제시한 연속적인 3개의 모형을 이용하여 조선 선각가공공정의 효율적인 생산 및 물류계획을 수립할 수 있다. 이 논문의 예제에서 본 것과 같이 가공기계에 할당되는 부하량에 대한 균형을 고려하지 않고 흐름시간만을 최소화하려고 할 경우, 기계가공과 이동에 소요되는 흐름시간은 현저히 좋아질 수 있으나, 각 부재형태에 대하여 공정별로 오직 한 기계만을 사용하게 된다 (즉, 흐름시간 증가율 = 0.0, 부하비평준화율 = 0.87). 반대로, 흐름시간에 대한 고려 없이 부하 평준화에만 치중할 경우, 기계 비평준화율은 현저히 좋아질 수 있으나, 전체 부재의 흐름시간은 급격히 증가하게 된다 (즉, 흐름시간 증가율 = 0.94, 부하비평준화율 = 0.17). 따라서 흐름시간 최소화와 부하 평준화를 동시에 고려하는 접근방법이 필요함을 인식하게 된다.

5. 결론

이 논문은 조선 선각가공공정에서 부재를 가공하기 위해서 필수적으로 해결하여야 하는 문제, 즉 각 공정에 대한 Bay 및 각

Bay에서의 가공기계를 선택하는 문제를 다루었고, 최선의 해를 찾을 수 있는 수리적 모형을 제시하였다.

어떤 부재의 특정 공정을 수행할 수 있는 가공기계들은 일반적으로 여러 Bay에 분포되어 있고 각각의 기계는 가공할 수 있는 공정능력면에서 서로 차이가 있다. 각각의 공정에서 가장 효율적인 가공기계만을 선택한다면 각 가공기계간에 부하 불균형이 심화되어 병목현상이 발생할 것이며 그로 인하여 생산은 지연되고 전체 생산은 매우 비효율적으로 될 가능성이 있다. 또한, 어떤 공정을 거쳐야 할 부재가 한 Bay를 선택한 후, 다음 공정에서 Bay를 바꾸게 되면 상대적으로 큰 부재의 이동 시간을 감수하여야 한다. 따라서 이 논문에서 제시한 방법을 이용하면 부재의 가공시간과 이동시간을 동시에 고려하여 효율적인 생산계획이 가능할 뿐만 아니라, 기계배치 및 물류계획에도 활용할 수 있을 것이다.

끝으로, 이 논문은 복잡한 조선소의 부재가공문제를 현장의 생산현실을 왜곡하지 않는 한도 내에서 단순하게 모형화하고, 흐름시간과 부하균형에 각각 가중값을 주어 흐름시간과 부하균형을 동시에 고려하면서 최선의 해를 찾아가는 접근방법을 보여주었다. 실제 조선소의 문제에 적용하기 위해서는 모형화된 수리모형을 바탕으로 현실적 요인을 좀더 고려하여 각 조선소 현장에 맞는 해법을 개발해야 할 것이다.

참고문헌

박명환, 이운식, 옥영석, 이태억 (1995), 국내 조선산업의 개요와 국내외 산업공학관련 연구, *산업공학* 8(2), 5-20.
 문창효 (1995), 조선 가공계열표에 대한 GT 2차원 킷락법의 적용, *산업공학* 8(2), 127-134.
 서운호 (1997), 조선 가공공정계획의 적정성평가모델 개발, 울산대학교 생산성연구소.
 성요경 (1992), 조선에서 공정계획시스템의 역할, *조선공업협회보* 9월호, 13-18.
 한용섭 (1995), 조선의 용접자동화 응용, *산업공학* 8(2), 55-64.
 Bazaraa, M. S. and Jarvis, J. J. (1977), *Linear Programming and Network Flows*, John Wiley & Sons.
 Han, I., Hitomi, K. and Yoshida, T. (1985), *Group Technology: Applications to Production Management*, Kluwer-Nijhoff Pub. .
 Lee, S., Wysk, R. A. and Smith, J. S. (1994), *Process Planning Interface for a Shop Floor Control Architecture for Computer-Integrated Manufacturing*, *International Journal of Production Research*, 33(9), 2415-2435.
 Storch, R. L., Hammon, C. P., Bunch, H. M. and Moore, R. C. (1995), *Ship Production*, Cornell Maritime Press.



박창규

1986년 고려대학교 산업공학과 학사
 1990년 한국과학기술원 산업공학과 석사
 1997년 University of Missouri-Columbia 산업공학과 박사
 현재: 울산대학교 경영대학 경영학부 조교수



서운호

고려대학교 산업공학과 졸업
 펜실바니아주립대학교 석·박사
 현재: 울산대학교 수송시스템공학부
 관심분야: 제조시스템설계, 인공지능추론, CAPP