으로 할당을 요구하는 경우에 필요한 일정계획의 형태이다. 공간 일정계획 문제는 시간과 공간의 요소를 동시에 고려해야 하는 것으로 조선 산업과 같은 대형 제품을 주어진 일정 내에 고정 작업장에서 생산하는 현장에서 자주 발생한다.

공간 일정계획 문제는 다른 제약들보다 특히 공간이라는 제약의 영향력이 큰 경우에 해당된다. 따라서 작업장의 형상 및 면적, 작업 대상물의 형상별 크기, 중량 등의 특징이 중요한 요소이다. 또한 일반적인 일정계획 문제에서 다루는 시간적인 요소를 고려해야 하므로 매우 어려운 문제라 하겠다. 결국 공간 일정계획은 공간적, 시간적인 제약의 복합적인 문제를 해결하여 최적의 일정계획을 수립하는 것이 목표라 할 수 있다.

2.2 작업 대상물의 공간배치

선박의 블록 건조공법에 의해 선각 블록을 중심으로 건조가 이루어진다. 대형 선박을 생산 가능한 수백 개의 블록으로 분할하고, 이들 각각 블록을 선행 탑재장에서 조립 후, 도크(Dock)에서 탑재 과정을 거쳐 최종적으로 선박으로 완성하게 된다. 선각 블록은 각 조선소마다 조립 작업장의 크기, 설비제약 등의 크기에 따라 다양하나 일반적으로 폭 10-15m, 길이 15-20m 정도로 200-600여개 이상의 다양한 부품들로 구성되는 대형 구조물이다. 또한 선각 블록의 형상은 선박의 중앙부에 주로 위치하는 평블록과 선박의 선수부와 선미부에 위치하는 곡블록으로 나뉘어 선행 탑재장에서 조립 되어진다.

이렇게 작업 대상물이 대형이고 작업장이라는 공간 자원을 효율적으로 활용하여 작업을 수행하게 되는 문제는 공간 일정계획의 수립이 요구된다. 공간일정계획 문제에서 배치 대상물의 형상에 따른 공간배치의 문제에 관하여 해결 방법이 연구되어 있으며, 본 연구에서는 단순하게 작업장의 유효 면적에 대한 각 날짜별 블록 면적의 합을 통한 부하조정을 통한 배치 순서를 결정하는 방법을 제안하였다.

3. 배치순서 결정 및 부하조정 방법

조선(shipbuilding)은 수주산업으로, 정해진 기일까지 효율적으로 생산을 완료할 수 있도록 하는 것이 중요하다. 따라서 모든 공정은 유기적인 흐름을 통해 흘러가야 하며, 중일정 계획에서는 탑재일정의 결정과 배치순서 및 부하조정을 통하여 생산 작업의 효율성을 높일 수 있다.

탑재 블록들은 탑재 일정계획의 특성에 관련된 사항으로서 각각의 ENT/LNT 사이에서 날짜별 부하에 따라 탑재일이 결정되며, 각 블록들의 탑재 sequence의 유기적인 관계에 의해서 후미 블록들은 ENT의 영향을 받고, 선두 블록들은 LNT의 영향을 받는다. 따라서 탑재 블록들을 하나씩 배치하는 과정에서 매번 연관된 다른 블록들은 ENT/LNT를 갱신한다.

3.1 표준 Sequence 생성

Fig. 1은 탑재 블록들 상호간의 관계를 도식화한 것으로, 화살표는 탑재 공정의 진행방향이며, 이러한 공정순서는 탑재공법과 위상정보에 의해서 결정된다.

1) ENT 갱신

탑재일이 결정된 블록을 기준으로 sequence 상의 후미 블록에 관하여 가장 이른 탑재 가능일인 ENT를 생성하며, 그 방법은 탑재 network의 tree 구조 특성을 이용한다. 즉, 탑재일이 결정된 블록을 mother node라고 하면, tree의 다음 단계에 위치한 블록은 child node라고 표현할 수 있다. ENT 계산을 위해서는 child node에 영향을 미치는 arc 값들을 비교하여 가장 큰 값을 해당 블록의 ENT로 정한다. 여기에서 node 및 arc가 점진적으로 증가하더라도 이러한 특성은 유지되므로 ENT 계산 문제는 쉽게 해결할 수 있다.

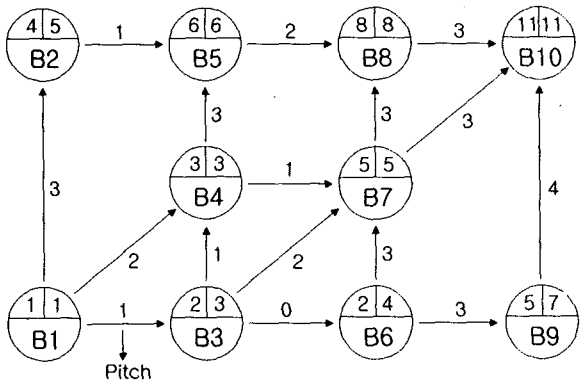

Fig. 1 Block Sequence Diagram

2) LNT 갱신

LNT 생성은 sequence 상의 선두 탑재 블록에 대해 실행되며, ENT 생성의 원리를 이용하여 쉽게 계산할 수 있다. LNT는 블록이 탑재 가능한 가장 마지막 날짜로 ENT 계산 방법의 역으로 산출하는데 값들을 비교하여 작은 값을 해당 블록의 LNT 값으로 정한다.

각 블록의 ENT/LNT 값을 생성하면 각 블록의 탑재 가능일이 결정되고, 여기서 ENT/LNT 값이 같은 블록은 critical path로 탑재 가능일이 고정되어진다. 예를 들어, Fig. 1에서 보면 B1, B4, B5, B7, B8, B10 등이 critical path에 해당하는 블록이다. 또한 ENT와 LNT 값의 차이는 탑재 가능한 여유일로서 탑재일에 따른 작업장에서 블록의 작업 시작·날짜를 결정하며, 날짜별로 부하조정을 위한 배치 결정을 할 때 여유일의 값이 작을수록 긴급도를 요하는 것으로 결정한다. 따라서 같은 날 여러 블록의 작업이 할당되어 작업장에 부하가 발생되어 부하조정이 필요할 경우 여유일이 적은 값부터 시작하여 여유일이 큰 값은 작업을 LNT 방향으로 탑재 날짜를 늦추어 부하를 조정하도록 한다.

3.2 배치순서 결정

공간 일정계획에서 배치 순서를 결정하는 방법은 매우 중요하다. 배치 순서에 따라 공간 자원의 활용이 결정되고, 이 결과는 다음 작업 대상물의 배치 가능성뿐만 아니라 전체적인 작업의 해를 찾는 속도에도 영향을 주기 때문이다.

공간 일정계획의 배치순서 결정방법에 대해서 부하조정의

선행여부와 긴급도 및 면적의 특징을 고려하여 다음과 같은 방법들로 분석할 수 있다.

첫 번째 방법은 계획 기간 동안의 전체 물량에 대해서 긴급도를 가장 우선시 하는 방법이다. 즉 긴급도가 0인 작업 대상물부터 각각 자신의 ENT에 맞추어 우선 배치해 보는 것이다. 만약 특정 작업 대상물이 해당 ENT에 배치되지 않으면, LNT 방향으로 착수일을 조정해 가면서 배치해야 한다. 방법 1은 날짜별 부하문제를 먼저 고려하지 않아서 계획 배치한 작업 대상물의 위치를 바꾸거나 배치일자를 조정해야 하는 역추적 탐색이 많이 발생하게 되고, 이로 인한 해의 탐색시간도 많이 걸리게 되는 단점을 가진다.

두 번째 방법은 부하조정이 잘 이루어져서, 부하조정을 통한 계획 착수일에 모든 작업 대상물이 배치될 수 있는 경우, 혹은 긴급도가 비슷한 작업 대상물로 배치후보 집합이 이루어지는 경우, 작업 대상물의 면적에 더 큰 비중을 두는 방법으로 사용될 수 있다. 그러나 대상 문제의 특성상 정확한 부하조정이 어렵고 배치후보 집합에 대한 긴급도 값이 다양하므로 좋은 대안이 되지 못한다.

세 번째 방법에서는 여유일에 의한 조정 긴급도를 정의하는 방법으로 부하조정 및 계획 착수일에 배치실패 등의 이유로 조정 계획 착수일을 이용한 긴급도의 계산을 의미한다. 이 방법은 날짜별 부하 문제를 고려해서 역추적 탐색 횟수 및 시간을 줄일 수 있고, 일자별 배치후보 집합 내의 작업 대상물에 대한 긴급도 및 면적을 고려할 수 있는 방법이다.

따라서 본 연구에서의 배치순서 결정방법은 세 번째 방법을 이용하여 배치순서 결정에 있어서 고려했다. 목적함수로서 탑재 sequence, 선행 탑재장의 날짜별 부하로 정의 하였으며, 작업 대상물이 가지는 변수로는 시간적인 정보로서 ENT, LNT 및 블록 작업공기를 공간적인 정보인 선행 탑재장의 면적으로 정의 하였다.

블록 탑재의 긴급도는 가장 늦은 탑재 가능일(LNT)에서 가장 이른 탑재 가능일(ENT)을 뺀 값으로 표현할 수 있다.

$$\text{긴급도} = \text{LNT} - \text{ENT} \quad (1)$$

결국 식 (1)에서 표현한 바와 같이 긴급도는 작업 대상물이 작업장에서 작업을 시작해야 하는 여유일의 정도를 나타낸다. 긴급도 값이 작을수록 착수가 긴급한 작업 대상물로 고려하고, 긴급도 값이 0인 경우는 탑재일을 지키기 위해서 반드시 작업장에서 작업공기만큼 뺀 날짜에 작업이 착수되어야 한다.

3.3 부하조정 결정 방법

작업할당 방법은 우선 ENT 기준, LNT 기준 방법을 각각 생각해 볼 수 있다. 본 대상문제의 경우, 대형 작업 대상물의 조립작업 완료 후 재고 문제를 고려할 때 LNT 기준 방법이 합리적이다. 그러나, 공간 자원의 활용도를 높이는 문제를 생각할 때는 ENT 기준 할당 방법이 효과적으로 이런 특징을 고려한 부하조정 방법의 제안은 ENT 기준으로 부하를 조정하는 방법이다.

1) ENT 기준

가장 이른 착수 가능일(ENT)에 모든 작업을 할당하는 방법이다. 이는 뒤에 발생할 수 있는 문제를 감안해서 공간적인 여우가 있다면 미리 작업을 해 두는 방법이라 하겠다.

ENT를 기준으로 작업을 할당하게 되면, 계획 기간의 앞쪽으로 작업이 몰리게 된다. 따라서 직접 작업장에 배치하는 단계에서 배치되지 않는 작업 대상물에 대해서는 LNT 방향으로의 착수일 조정이 필요하다. 계획기간의 첫째날부터 배치하게 되면, 배치실패 작업 대상물에 대해 단순히 다음 날의 배치후보 집합으로 넘기면 되므로 착수일 조정이 용이하게 이루어진다.

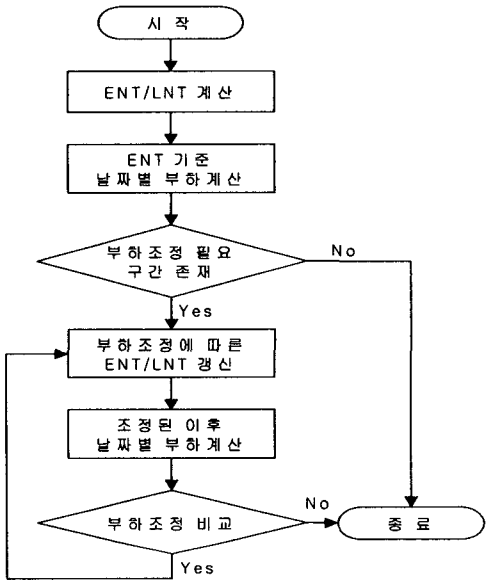

Fig. 2 부하조정 흐름도

2) LNT 기준

가장 늦은 착수 가능일(LNT)에 모든 작업을 할당하는 방법이다. 작업을 마치고 다음 공정으로 넘기기 전에 재고를 두어야 하는 것을 고려할 때 이 방법은 합리적이다. 따라서 계획기간 동안의 모든 작업 대상물에 대해 LNT를 기준으로 작업을 해도 납기를 모두 지킬 수 있다면 좋은 방법일 수 있다.

그러나 부하가 특정일에 많이 쌓여 납기를 지키지 못하게 된다면, 계획 착수일 조정이 불가피하다. 어느 정도의 재고를 쌓아 두는 것보다 납기를 지키지 못하는 것이 더욱 심각한 문제이기 때문이다. 이처럼 LNT를 기준으로 작업을 할당하고 계획기간의 첫째날부터 배치하게 되면, ENT 방향으로의 착수일 조정을 위한 역추적 탐색방법이 요구된다.

4. 시스템 개발

본 연구에서 선행 탑재장에서의 공간 일정계획 전문가 시스템을 구현하기 위해서 아래와 같이 ENT/LNT 갱신 및 부하조정 방법에 대한 알고리즘을 개발하였다.

4.1 Ship Yard 표현

시스템이 구현될 Yard의 정보를 입력하여 블록의 배치 가능성을 체크하기 위하여 Dock, P.E. Area, Crane 등의 정보를 입력하여 가상의 ship yard를 구현하도록 하였다.

본 연구에서 구현된 그래픽은 OpenGL 함수를 이용하여 단순화를 시켜 Fig. 3처럼 표현하였으며, 작업장의 면적이 계산되어 블록의 배치가 가능한 유효면적의 체크를 통해 블록의 부하를 검토할 수 있도록 하였다.

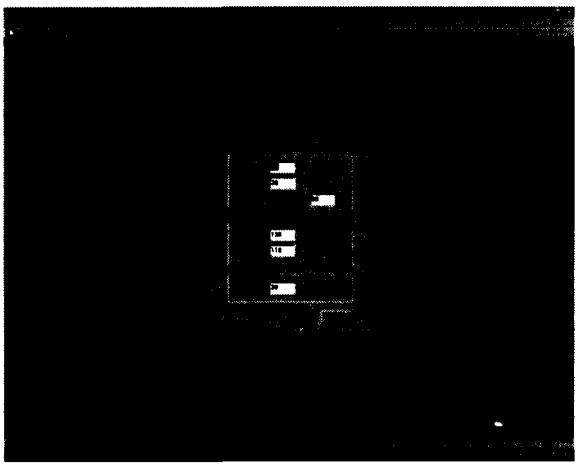

Fig. 3 Input Data for Drawing Ship Yard

4.2 배치순서 결정

본 연구에서는 시뮬레이션 과정에서 ENT/LNT를 갱신하기 위해서 Fig. 4와 같은 hybrid type의 erection network를 블록에 대한 정보와 피치(pitch)에 대한 정보로 나눈다.

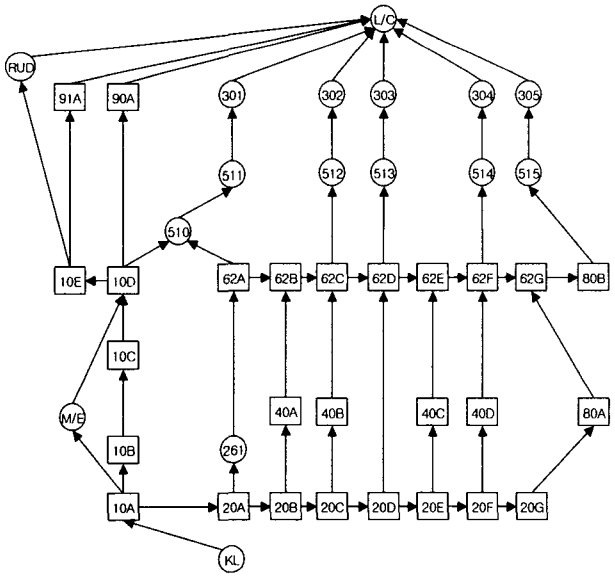

Fig. 4 Hybrid tree diagram of Erection Network

P.E. 블록을 노드(node)로 하고 각 노드가 화살표로 연결된 변형된 트리(hybrid tree) 형태로서 나타나는 탑재 네트워크(erection network)을 Table 1과 같이 각 노드는 탑재 블록에 관한 정보로서, 각 화살표는 방향과 피치의 정보로서 각각 받아들였다.

Table 1 Block and Pitch Data

Block Name	블록 형상		P.E. 작업공기
	폭	길이	
10A	23.00	25.50	4
261	10.00	14.30	4
40A	22.00	23.20	6
:	:	:	:

Pitch Name	Start Block	End Block	Pitch
P06	20D	20E	1
P17	20F	40D	2
P32	62C	62D	2
:	:	:	:

본 연구에서는 작업 계획에 있는 선박에 대해 Fig. 4에서 구현된 hybrid type의 erection network를 Fig. 5와 같이 피치에 대한 정보와 Fig. 6과 같은 블록에 대한 정보를 갖고 있는 파일을 검색하여 ENT/LNT 갱신할 수 있도록 하였다.

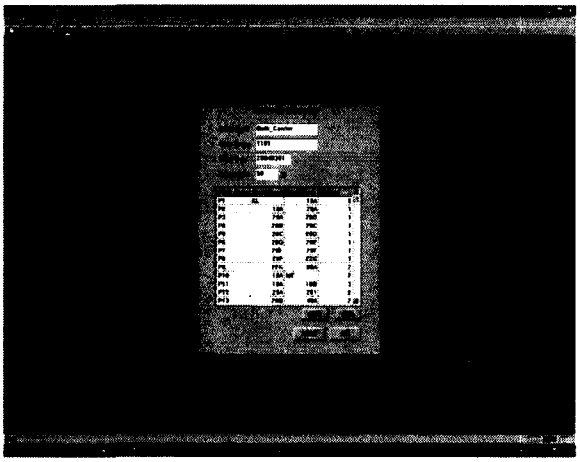

Fig. 5 Pitch Data for making the Sequence

Fig. 5와 Fig. 6에서 보여주는 바와 같이 계획선의 피치와 블록의 정보를 DB에서 검색하여 저장된 파일을 로드할 수 있도록 하였다. 계획선의 작업계획 날짜, 피치와 블록에 대한 정보는 계획선에 따라 수정하여 시스템에서 구동할 수 있도록 하였다.

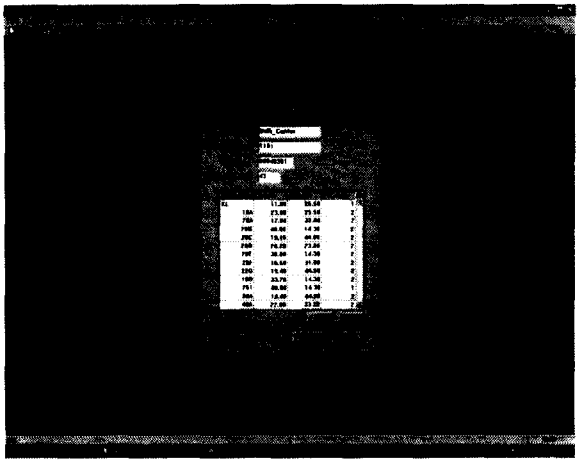

Fig. 6 Block Data for making the Sequence

피치와 블록의 정보를 통해 얻어진 erection network를 통해 ENT/LNT를 생성할 수 있으며, Fig. 7에 나타낸 것처럼 network의 시작 블록과 마지막 블록을 설정하고, 시작 날짜는 작업 계획 날짜가 자동적으로 입력되도록 하여 자동적으로 ENT/LNT를 갱신하도록 하였다. 또한 ENT와 LNT의 차이값을 구하여 어느 블록이 긴급도를 요하는지 설계자가 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

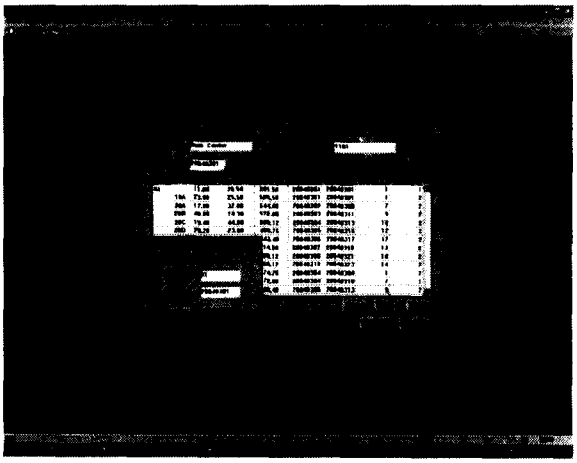

Fig. 7 Calculation of ENT/LNT

Fig. 7과 같이 구해진 작업 계획 선박의 배치순서는 부하조정을 위하여 다시 새로운 파일로 저장되도록 하였다. 부하조정을 위하여 파일에 저장되는 정보는 각 블록의 ENT/LNT, 가로, 길이, 면적, 여유일, 작업공기 등이 있다.

4.3 부하조정 결정

본 연구에서는 부하조정 결정을 위해 Peak를 피하는 설계자의 경험을 바탕으로 하는 휴리스틱 방법을 택하였다. 따라서 설계자가 만족할 수 있도록 부하조정을 여러 번 구동 할 수 있도록 하였으며, Fig. 8처럼 이미 dock에서 작업중인 선박과 작업을 계획 중인 선박의 두 종류로 파일을 불러올 수 있도록 하였다.

부하조정의 경우 앞서 밝힌바와 같이 본 시스템에서는 ENT 기준의 관점에서 LNT 방향으로 탑재 일정을 조정함으로서 해를 찾도록 하였다.

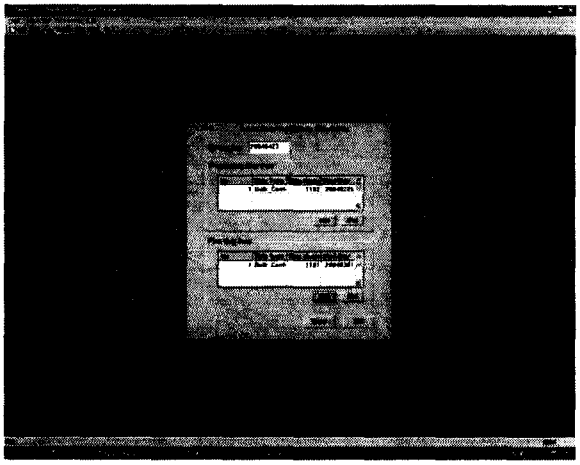

Fig. 8 File for Load Distribution

주어진 두 선박의 파일을 통해 Fig. 9와 같은 날짜별 부하를 초기값으로 확인할 수 있다. 이 초기 부하조정은 선행 탑재장의 최대 면적을 넘어서는 부분으로 인해 사용 할 수 없으며, 따라서 부하조정이 필요하다. Peak에 걸려있는 블록 중 여유일적은 블록부터 LNT 방향으로 부하를 조정하여, 몇 번의 시도 끝에 Fig. 10과 같은 부하조정의 해를 찾을 수 있었다.

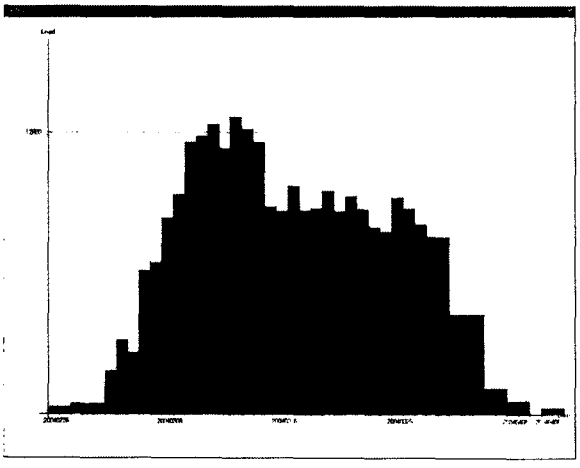

Fig. 9 Lode Distribution Diagram(1)

Peak 조정을 위한 기준점은 앞서 ship yard를 표현하면서 계산된 선행 탑재장의 총면적으로 기준하였다. 좀 더 정확한 표현이 필요하지만 본 연구에서는 우선 부하 조정을 위한 방법을 제시하기 위함이기 때문에 선행 탑재장의 총면적으로 단순화하여 블록의 날짜별 블록의 면적 합을 통한 peak를 체크하였다. 또한 load가 어느 특정 날짜에 집중되어 있을 때도 설계자가 블록의 탑재 날짜를 조정하여 부하를 조정할 수 있다.

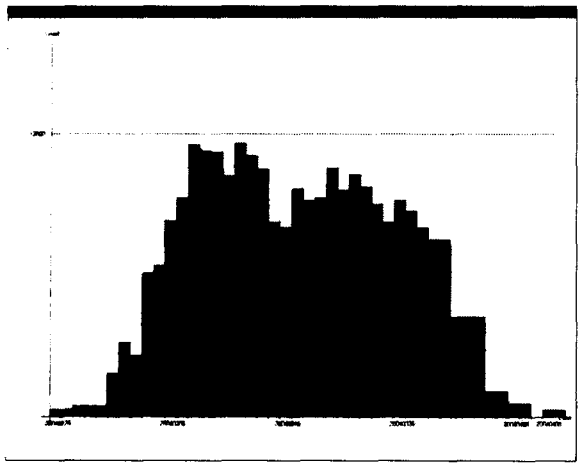

Fig. 10 Lode Distribution Diagram(2)

본 시스템에 의한 부하조정이 된 블록은 Table 2와 같이 나타냈다.

Table 2 시스템 구현 후 부하조정 블록

Block Name	초기 작업착수일	조정 작업착수일
40D	2004년 3월 9일	2004년 3월 12일
62C	2004년 3월 10일	2004년 3월 14일
62D	2004년 3월 12일	2004년 3월 15일

5. 결론 및 향후계획

본 연구에서는 공간 일정계획의 부하조정 및 배치방법에 관한 전략적인 방법을 제시하고, 실제 현장에서 사용하는 주요 데이터를 이용하여 시스템의 유용성을 검증하였다. 본 연구에서는 우선 의미 있는 배치순서 결정 방법에 대해 살펴보고, 부하 조정 후 계획기간 동안의 배치방법을 ENT(possibl earliest network start time), LNT(possible latest network start time)의 개념을 이용하여 여유일 값에 따른 긴급도에 따라 조정되어 설계자가 가장 효율적인 방법을 선택할 수 있도록 하는 경험적 판단이 중요한 휴리스틱(heuristic) 방법을 제시하였다.

향후 과제로는 다음과 같은 것들이 남아 있다.

첫째, 블록의 여유일 뿐만 아니라 면적에 의한 긴급도를 계산하여 상호 유기적인 관계를 통한 부하조정이 필요하겠다. 면적의 긴급순은 면적의 크기에 따라 크기가 클수록 긴급도를 요하는 것으로 보고 여유일과 면적의 긴급도에 의한 부하조정 및 배치순서를 결정하는 방법을 추가할 것이다.

둘째, 부하조정과 작업장 배치결과의 정보를 연속해서 피드백을 받아 일정계획을 수립할 수 있는 시스템을 개발하는 것이다. 본 연구에서는 부하조정과 작업 대상물의 배치를 순차적으로 수행하였지만, 이를 동시에 고려할 수 있는 시스템을 개발하게 된다면 보다 나은 공간 일정계획을 수립할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

이경전, 공간 일정계획과 조선 공업에의 응용, 한국과학기술원 박사학위논문, 1995.

이정승, 이재규, 최형림, 김호동, "조선의 일정계획 수정 및 통제: DAS-REACT", 한국전문가시스템 '94 추계학술대회논문집, pp.289-300, 1994.

이경전, 이재규, "공간 배치 문제에서의 우월 탐색 공간에 관한 연구", 한국정보과학회 '95 봄 학술발표논문집, Vol. 22, No. 1, pp. 179-182, 1995.

차명석, 조선소의 선행 탑재장에 적용하기 위한 공간일정계획 알고리즘에 관한 연구, 조선대학교 석사학위논문, 2000.

이상법, 현대생산운영관리, 경문사, 1999.

Lee, J. K., Lee, K. J., Hong, J. S., Kim, W. J., Kim, E. Y., Choi, S. Y., Kim, H. D., Yang, O. R., and Choi, H. R., "DAS Intelligent Scheduling System for Shipbuilding", AI Magazine, '95 Winter, pp. 78-94, 1995.