

論 文

大韓造船學會論文集
第 32 卷 第 1 號 1995年 2月
Transactions of the Society of
Naval Architecture of Korea
Vol. 32, No. 1, February 1995

유전 알고리즘을 이용한 탑재 공정과 일정 계획

이재원*, 김훈주**

Erection Process Planning & Scheduling using Genetic Algorithm

by

J. W. Lee* and H. J. Kim**

요 약

탑재 공정 계획은 도크 공기를 만족토록 탑재 전략과 탑재 블록 순서를 결정하는 것이며, 탑재 일정 계획은 결정된 탑재 순서에 따라 블록의 탑재일을 결정하는 것이다. 일정 계획에 따라 부하 분포가 다양한 양상을 보이며, 이는 생산 비용에 영향을 미친다. 제한된 가용 자원을 효율적으로 사용하면서 최단 공기에 탑재를 완료할 수 있는 최적의 공정 계획을 수립하기 위해서는 공정 계획과 일정 계획의 다양한 조합에 대해 시뮬레이션해 볼 수 있어야 한다. 최적 탑재 공정 계획 시스템 구축을 위해서는 탑재 순서를 자동으로 생성하는 시스템과 부하 평준화 시스템이 요구된다.

본 논문에서 탑재 순서 자동 생성 방안을 약술하였다. 부하 평준화는 같은 도크 기간에 건조하는 모든 선박에 대해 동시에 행하여야 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있다. 이럴 경우 탐색 범위가 매우 넓어짐으로 효율적인 최적화 기법이 필요하다. 본 연구에서는 유전 알고리즘을 이용한 부하 평준화 시스템을 구현하였다. 본 시스템 개발로 일정 계획이 고려된 다양한 공정 계획 시뮬레이션이 가능하다.

Abstract

The erection process planning is to decide erection strategy and sequence that satisfies dock duration. The erection scheduling is to decide erection date of each block. The load profile varies according to scheduling and it is related to building cost. It must be possible to simulate the various combinations of process plan and schedule for optimal planning. To develop the process planning system for optimal planning, the system that generate the sequence of erection automatically and the load leveling system are required.

발 표 : 1994년도 대한조선학회 추계연구발표회('94. 11. 12)

접수일자 : 1994년 12월 9일, 재접수일자: 1995년 1월 28일

* 정회원, 인하대학교 자동화공학과

** 정회원, 대우중공업 선박해양설비연구소

This paper suggests the method that generates the erection sequence. The load leveling should be done to all the ships in the same dock batch to get reliable results. In this case since the search space is very large, efficient optimization method is needed. Our research achieved the load leveling system using *Genetic Algorithm*. This system made it possible to simulate various process plans to which schedule is considered.

1. 서론

1.1 조선 탑재 공정 계획과 일정 계획

탑재 공정 계획(erection process planning)이란, 기점(keel laying) 블록의 위치와 중간 진수(floating out) 범위를 정하여, 건조 기술상의 제약 조건을 만족도록 블록간의 탑재 순서(sequence)를 결정하는 것이며 탑재 전략에 따라 다양한 경우 수가 발생한다. 공정 계획에 따라 전체 탑재 소요 기간이 영향을 받으며, 이는 조선소의 매출 능력을 결정짓는다.

탑재 일정 계획은 각 탑재 블록에 대하여 탑재 개시 가능일 범위 내에서 탑재일을 결정하는 것이며, 가용 능력(resource capacity) 범위 내에서 작업이 이루어 질 수 있도록 부하 평준화가 필요하다. 일정 계획 여하에 따라 부하 분포가 다양한 양상을 보이며, 이는 건조 비용에 영향을 준다.

1.2 탑재 공정/일정 계획 시스템의 필요성

공정 계획의 주요 관점은 도크 공기를 최소화하는 탑재 순서를 결정하거나, 혹은 제한된 도크 공기를 만족시키는 탑재 전략을 도출하는 것이지만, 공정 계획을 일정 계획 시에 예상되는 문제점의 고려 없이 오로지 탑재 순서에만 국한하여 다루면, 일정 계획에서 부하 평준화(load leveling)를 이루는데 있어, 유연성이 상당히 제한 받게 된다. 따라서 공정 계획 시 부하 영향도 함께 고려하여, 일정 계획에서 해결하기 곤란한 사항은 Fig.1과 같이 공정 계획에서 재 반영하는 형태로 공정/일정 계획을 진행해야 바람직하다.

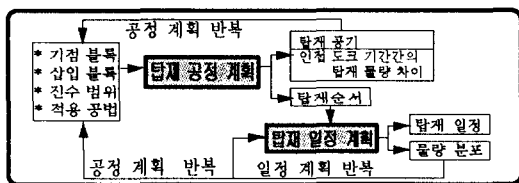


Fig. 1 Work process of the erection process planning & scheduling

제한된 공기 내에 시스템 지원 없이 여러 경우의 공정 및 일정 계획을 오류 없이 수립하고, 이를 분석하여 부하 평준화까지 검토하기에는 큰 무리가 따르며, 공정 계획 혹은 일정 계획 자체만의 충분한 검토도 이루어지기 어렵다. 따라서 블록 정보로부터 탑재 전략과 공법에 따른 다양한 탑재 순서(sequence)를 자동 생성하고, 이에 따라 탑재 작업 물량 분포를 평준화하여, 도출된 탑재 순서를 일정 계획 관점에서 평가해 볼 수 있는 시스템이 요구된다.

1.3 연구 방향

탑재 순서는 블록간 기하학적 접합 관계에 의해 지배되기 때문에, 다른 생산 공정과는 달리 블록간 위상 관계와 적용되는 탑재 방향에 따라 비교적 용이하게 자동으로 생성시킬 수 있다. 본 연구에서 모델로 삼은 도크의 탑재 공정에서는 네 척의 선박 약 200 개 수퍼블록을 탑재하고, 각 탑재 액티비티(activity)의 여유일은 평균 16 일이며, 따라서 일정 계획의 경우 수는 최대 16^{200} 이다. 이같이 복잡한 경우에서 최적해를 도출하기 위해서는 효과적인 최적화 탐색 기법이 필요하다. 본 연구에서는 최근 복잡하고 탐색 공간이 넓은 문제의 최적화에 많이 적용되기 시작한 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)을 사용하였다.

현재 Fig.2와 같은 탑재 컴퓨터원용공정계획(CAPP : Computer Added Process Planning) 시스템을 연구하고 있으며[1], 본 논문에선 탑재 순서 생성 방법은 간략히 소개하고, 유전 알고리즘을 부하 평준화에 적용하는 방안을 중점적으로 기술하였다.

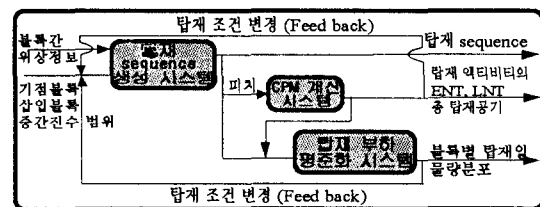


Fig. 2 Erection process planning system

2. 탑재 순서 생성과 CPM 계산

탑재 CAPP 시스템[1]에서 연구 중인 블록간 위상 정보로부터 탑재 순서를 생성하는 절차를 Fig.3에 간략히 소개하였다.

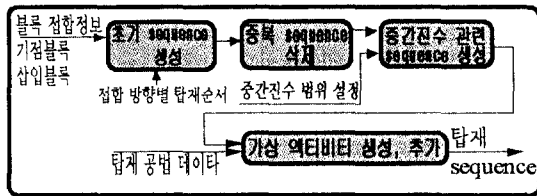


Fig. 3 Procedure of generating erection sequence

CPM(Critical Path Method) 계산을 통해 각 블록의 가장 빠른 탑재 가능일(ENT; Earliest Node Time)과 가장 늦은 탑재 가능일(LNT; Latest Node Time)을 계산하고, 주공정(Critical Path)을 파악한다. 본 연구에선 일반적인 CPM 계산법을 이용하여 모듈을 구현하였다[2].

생성한 탑재 순서에 대해 CPM 계산을 하면 정해진 도크 공기 내에 탑재 완료 가능한지 파악되며, 그 결과 완료 불가능 순서이면 탑재 조건을 변경하여 재생성 하든지, 피치를 줄이는 방법으로 공정 계획을 시뮬레이션해 볼 수 있다.

3. 탑재 부하 평준화

3.1 부하 평준화 방법론

공정의 부하 평준화는 자원(resource)의 한계에 따라, 무한 자원과 제한 자원 문제로 나눌 수 있다. 무한 자원 문제는 자원에 대한 제한 없이 공기 내의 작업 물량을 평준화시키는 문제이고, 제한 자원 문제는 인력이나 설비에 제한이 있는 상황에서 부하 평준화를 꾀하는 문제이며, 전체 공기에 걸쳐 부하가 가용 능력을 초과해서는 안된다는 제약이 따른다. 블록 탑재 공정은 작업 인력과 크레인과 같은 장비에 제한이 있기 때문에 후자에 속한다고 할 수 있다.

제한 자원 문제에서 부하 평준화를 이루는 방법으로는, 크게 각 액티비티에 대한 작업 강도를 조절하는 방법과 액티비티의 착수 개시일을 조절하는 방법이 있다[3,4]. 탑재 공정과 같이 액티비티의 공기 변경이 어렵고, 액티비티간의 순서 관계와 도크 공기에

대한 제약이 명확한 문제에서는, CPM 계산을 통해 도출한 각 액티비티의 착수 개시 가능일 범위 내에서 그 개시일을 조절하여 부하 분포에 변화를 주는 후자의 방법에 의해 부하 평준화를 이루어야 한다.

탑재 개시일을 조절하여 해를 도출하는 방법론에는, 선형 혹은 비선형 계획법과 휴리스틱에 의한 최적화 접근법이 있다. CPM 계산에 따른 부하 평준화 문제엔 정수 계획법(integer programming)을 최적화 기법으로 많이 이용한다. 하지만, 본 문제와 같이 액티비티가 많아 폭발적인 조합이 발생하는 공정에서 정수 계획법은 초기 비정수 해를 구하는데도 많은 시간을 요하며, 더구나 정수해의 도출은 더욱 어려워짐으로[2], 공정 계획의 평가를 위한 신속한 평준화용론 부적합하다.

넓은 탐색 공간으로 인한 최적해를 구하는데 있어서의 어려움을 극복하기 위해 여러 가지 휴리스틱 접근법이 많이 연구되었다. 적용하는 경험 규칙에 따라, 소요 시간엔 다소 효과가 있지만, 결국 근사적인 방법이기엔 최적해로부터 많이 벗어나는 것은 감수하여야 한다. 본 연구에서는 좀더 신뢰성을 높이고 신속하게 해를 구하기 위하여, 최적화 기법으로 유전 알고리즘을 적용하였다.

3.2 문제의 모델링(Modelling)

탑재 일정 계획의 수리 모형은 다음과 같다.

◆ 상수 정의

A, B, C : 가중치 계수

크레인_{max} : 크레인의 최대 탑재 가능 횟수

◆ 의사 결정 변수(decision variable)

탑재일_{s,b} / ENT_{s,b} / LNT_{s,b} :

s호선 b블록의 탑재일/ENT/LNT

일별탑재횟수_d : d일의 탑재 블록 갯수

◆ Minimize ;

$A \times \text{표준편차} + B \times \text{잔업} + C \times \text{유휴}$

◆ Subject to ;

$ENT_{s,b} \leq \text{탑재일}_{s,b} \leq LNT_{s,b} \quad (\forall s, b)$

$\text{일별탑재횟수}_d \leq \text{크레인}_{\text{max}} \quad (\forall d)$

3.3 모형의 분석

3.3.1 목적 함수

부하 평준화는 도크 공기에 걸친 부하 변동 최소화 와 가용 능력에 대한 평준화의 두 가지 관점에서

생각해 볼 수 있다. 블록별 탑재일이 결정되면 날짜별 탑재 작업 물량으로부터 부하 분포의 표준편차와, 가용 능력에 대한 잔업율과 유휴율을 계산할 수 있다. 본 논문에서 정의한 목적 함수에서 표준편차 항은 부하 변동을 줄이고, 잔업율은 가용 능력을 초과하는 부하를 분산시키며 유휴율은 가용 능력에 많이 못 미치는 날로 부하를 이동시키는 작용을 한다. 가중치 계수 A, B, C 값의 조절로 상대적인 중요도를 반영한다.

3.3.2 제한 조건

블록의 탑재일은 개시 가능일 범위(ENT/LNT) 내에서 정해져야 하며, ENT/LNT는 인접 블록의 탑재일에 따라 매번 재 계산되어야 한다.

하루 탑재 횟수가 크레인 한계 횟수보다 많으면 안된다. 엄밀히 모델링 하자면 크레인은 다수이므로 각 크레인별로 블록을 할당하여야 하는데, 그러면 비선형 문제가 되어 해를 구하기가 매우 복잡해진다. 본 논문에서는 크레인 제한 조건을 상수(하루 최대 10회)로 하여 적용하였다.

4. 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)

4.1 유전 알고리즘이란 ?

자연 유전법칙에 따르면 일정한 무리를 지어 살고 있는 생명체들은 기존 환경에 적합한 형질을 가진 개체(個體)가 생존할 확률이 높으며, 개체간의 교배나 돌연변이를 통해 보다 더 적합한 형질의 후손이 된다. 세대를 거듭하면서 개체군(個體群; population)의 각 개체는 형질이 개선되는 방향으로 집단적 변화를 진행한다.

유전 알고리즘은 자연계 유전에서 자연 선택 및 적자 생존 현상을 모방하여 최적화 탐색에 응용한 기법이며[11,12], 최근 로봇트 운동 경로 최적화, 고장 진단[6], 스케줄링 최적화[7], 최적 구조 설계 [8,13] 및 영상 인식[10] 등 다방면에서 적용 연구되고 있다.

4.2 유전 알고리즘에서의 최적화 과정

4.2.1 변수를 암호화한 개체 생성

유전 알고리즘에선 의사 결정 변수(variables)를 일반적으로 Fig.4와 같이 이진 문자열(bit string)로 암호화하여 표현한다. 이 문자열을 주어진 문제의 제

한 조건을 만족하는 한 개체(individual)로 보며, 그 구성 단위를 유전자(gene)로, 각각의 이진 코드는 형질(形質; genotype)로 본다. 적정 수의 개체를 무작위로 생성하여 개체군을 만든다. 모든 개체는 세대를 거듭하면서 복제, 교배 및 돌연변이 유전 연산 과정을 반복하여, 형질이 점차 개선된다. 즉, 의사 결정 변수의 값이 희망하는 방향으로 변하여 해에 이른다.

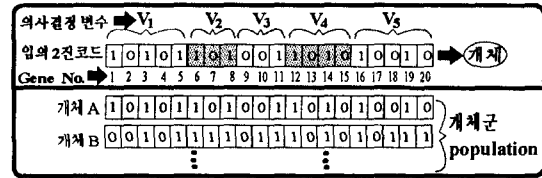


Fig. 4 String representation of variables

4.2.2 개체 평가(Evaluation)

의도하는 상태에 대한 각 개체의 적합도를 평가할 수 있는 목적 함수를 정의하고, 이에 따라 각 개체의 적합도(fitness measure)를 계산한다.

4.2.3 복제, 도태(Reproduction)

개체군에서 적합도가 높은 개체는 복제하고, 떨어지는 개체는 삭제한다. 이 연산 과정을 거치면 개체군에서 고적합도의 개체 비율이 이전 세대보다 높아지고 적합도가 낮은 개체는 점차 도태되기 때문에, 개체군의 적합도가 상승하게 된다. 개체 선택에는 개체의 적합도에 따라 비례 선택과, 승사 선택이 있다.

4.2.4 교배(Crossover)

Fig.5와 같이 개체군에서 두 개의 임의의 개체를 선택한 후, 임의의 지점을 선정하여 이를 중심으로 유전자를 맞교환하여 새로운 개체 둘을 만든다.

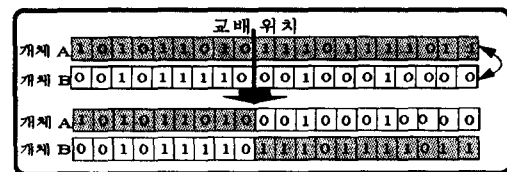


Fig. 5 Crossover

4.2.5 돌연변이(Mutation)

복제와 교배는 기존에 생성된 유전자들을 반복해

서 사용함으로써 수렴성을 높여 주지만, 탐색 영역 확대에는 한계가 있다. 따라서 Fig.6과 같이 임의의 지점 유전자에 강제적 변화를 주는 돌연변이 연산을 하면, 탐색 공간에서 색다른 개체를 인위적으로 만들게 되며, 탐색 범위 확대 효과를 얻는다.

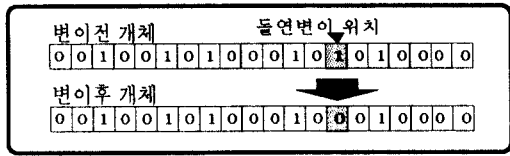


Fig. 6 Mutation

4.3 유전 알고리즘의 특징

유전 알고리즘은 기존의 최적화 방법과는 다른 다음의 특성을 갖는다[11].

- 1) 의사 결정 변수로 문자열을 사용한다.
- 2) 일반적인 최적화 방법은 한 지점씩 국부적인 탐색 과정을 통해 진행되는 반면에, 다수 개체들이 집단을 이루어 병행 탐색(parallel search)하기에 보다 넓은 영역을 탐색하며 전체 최적값의 가능성이 상대적으로 높다.
- 3) 단일 해가 아닌, 최적점 근처에서 적합도가 우수한 다수 해(population)가 도출됨으로, 해에 대한 선택의 폭이 넓다.
- 4) 목적 함수와 제한 조건의 값만을 사용하고, 미분 값이나 그 외의 다른 정보를 요구하지 않는 직접 탐색 방법을 사용하기 때문에, 적용하고자 하는 문제에 대한 의사 결정 변수의 모델링이 명확하게 도출되면 복잡한 문제에 대해서도 용이하게 적용할 수 있다.

5. 유전 알고리즘을 이용한 부하 평준화

5.1 일정 계획 개체 표현

5.1.1 개체 표현

각 탑재 블록을 유전자(gene)로 간주하고 여기에 임의의 탑재일을 형질(genotype)로 삼아 개체를 표현할 수 있다. 이때 탑재일은 ENT/LNT 내에 있어야 공기를 준수할 수 있다. 유전자에 무작위로 이진 코드를 부여하면, 이를 탑재일로 환산(decoding)할 때 대부분 ENT/LNT 범위를 벗어난다. 또한 교배나 변이 연산을 통해서도 대부분 탑재일 범위에 위배되

는 날짜가 탑재일로 나타나는 문제가 발생한다. 즉, 타당치 않은 일정 계획을 반영하는 개체가 양산된다. 물론 이런 개체들을 도태시키기 위해 목적 함수에 벌칙항(penalty term)을 추가하여 처리할 수도 있으나[11], 이런 방법의 단점은, 대부분 타당하지 못한 개체가 만들어지고 이에 대한 평가를 계속하기 때문에 매우 비효율적인 탐색이 된다. 따라서, 본 문제에는 개체 표현법으로서 이진 코드는 부적절함으로, Fig.7과 같이 각 블록에 대하여 ENT/LNT 범위 내의 탑재일을 직접 할당하여 만든 탑재일의 배열을 일정 계획을 반영하는 단위 개체로 하였다.

이와 같은 표현법을 사용하면, 모든 개체가 도크 공기를 준수할 수 있는 타당한 일정 계획을 나타내게 되어, 개체의 부하 평준화에 대한 적합도만 검토함으로 탐색이 효율적으로 이루어진다.

블록	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	ENT/LNT 범위에서 탑재일을 임의로 선정
ENT	0	3	7	17	27		
LNT	6	9	15	27	39		
개체A	1	5	9	27	30		
개체B	6	4	14	19	35		
	⋮						

Fig. 7 Individuals representing schedules

5.1.2 탑재일에 따른 ENT/LNT 재계산

임의 블록의 탑재일이 결정되면 이에 따라 후속 블록의 탑재 가능일 범위(ENT/LNT)가 매년 달라지게 된다. 이때 후속 블록의 ENT/LNT를 구하는 알고리즘은 아래와 같다.

- Step 1. ENT/LNT를 계산할 블록 선정.
- Step 2. 선행 블록 중 탑재일 미결정 블록의 ENT에 피치를 더한 값과 기결정 블록의 탑재일에 피치를 더한 값 중 최대값이 현 블록의 ENT.
- Step 3. 후행 블록 중 탑재일 미결정 블록의 LNT에 피치를 감한 값과 기결정 블록의 탑재일에 피치를 감한 값 중 최소값이 현 블록의 LNT.

5.1.3 초기 개체군(population) 생성

선박 네 척, 203 개 탑재 블록에 대하여 탑재 가능일(ENT/LNT) 내의 임의의 날짜를 부여하는 방식으로 100 개 개체를 생성하여 개체군을 만들었다. 이 같은 방식으로 생성한 Fig.8의 초기 개체들은 물량 평준화 조건만 제외한다면 모두 도크 공기를 만족하는 일정 계획이 된다.

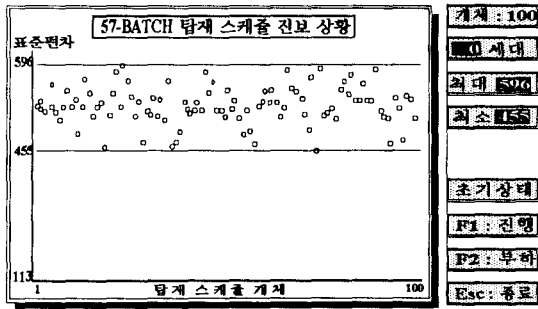


Fig. 8 Distribution of the load standard deviation of 100 initial individuals

5.2 개체(individual) 평가

새로운 개체마다 부하 평준화 정도를 반영하는 적합도를 목적 함수로부터 계산한다. Fig.9는 초기 개체군중 적합도가 가장 좋은 개체의 일정 계획을 보여준다.

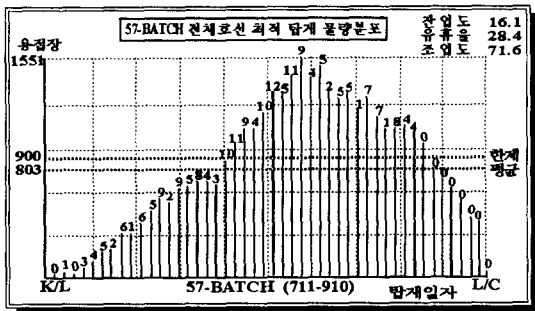


Fig. 9 Load profile of the best individual in initial population

5.3 개체의 복제

시스템 실험을 통해 도출한 0.4의 확률로 복제가 일어나도록 하였으며, 복제를 위한 개체 선택 방법은 승자 선택법을 취하였다. 즉, 개체군에서 무작위로 세 개 개체를 선발하여 그 중 적합도가 가장 좋은 개체를 가장 나쁜 개체에 복제하였다.

크레인 제한 조건을 반영하기 위해, 각 개체마다 하루 최대 탑재 블록수의 정보를 갖도록 하고 복제 연산 시에 최대 탑재 블록 수가 미리 설정한 상수(크레인max)보다 큰 개체는 도태시켰다.

5.4 개체간 교배

실험을 통해 도출한 0.3의 확률로 교배가 일어나도록 하였다. 같은 블록에 대해서도 개체마다 탑재 개시 가능일 범위(ENT/LNT)가 다르기 때문에 일반적인 방식으로 교배하면 전체 탑재 공기를 준수할 수 없는 이상 개체가 발생한다.

이를 피하기 위해, 유전자를 교환할 때 그 블록의 현재 ENT/LNT를 조사하여 교환할 탑재일이 그 범위에 드는 경우만 교환하도록 하고, 아니면 교환하지 않았다. 이와 같은 방식을 취함으로써, Fig.10과 같이 실질적으로 한 곳이 아닌 여러 지점을 기준으로 교배하는 효과를 준다.

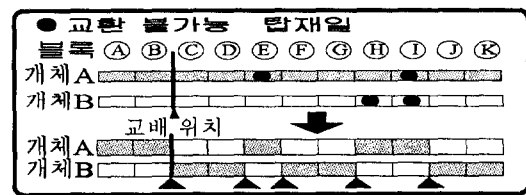


Fig. 10 Crossover satisfying ENT/LNT constraint

5.5 개체 돌연변이

유전 알고리즘을 적용하는 대부분의 경우, 지나친 발전을 막기 위해 돌연변이 연산은 상대적으로 작은 확률(0.1 이하)로 일어나도록 하고 있다. 한편, 본 연구에서는 개체 표현 시 각 변수에 대하여 다수의 이진 코드를 사용하는 대신, 한 유전자에 탑재일을 직접 대입하였기에, 교배를 통해서 두 개체가 본래 갖고 있는 탑재일 이외의 날짜가 만들어지지 않는 단점이 있다. 즉, 본 연구와 같은 표현법에선 교배를 통해 탑재일이 직접 교환되기 때문에 새로운 개체는 만들어지지만 각 블록에 대하여 새로운 형질(形質) 즉 새로운 탑재일이 생성되지는 않는다. 따라서 새로운 형질을 돌연변이 연산을 통해 충분히 만들어 탐색 범위 확장을 보장하기 위해 돌연변이 횟수를 다소 높게 잡은 0.3의 확률로 일어나도록 하였다.

돌연변이에 의한 새로운 유전자 생산의 효과를 배가하기 위해 일반적인 소규모 돌연변이 연산과 더불어 Fig.11과 같이 임의 호선을 선정하여 전체 블록의 탑재일을 바꾸는 대규모 돌연변이 연산을 0.1확률로 함께 적용하였다.

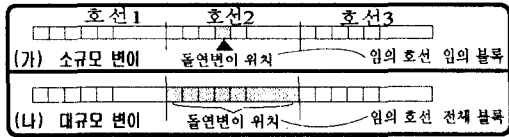


Fig. 11 Small & large scale mutation

5.6 세대 유전 종료 조건

초기에 임의로 생성한 100 개체가 복제, 교배 및 돌연변이 연산을 세대별로 거듭하면서 점차 개선된 개체로 변해 간다. 초반에는 개선 속도가 빠르며 얼마 후엔 대부분의 개체가 비슷한 정도로 개선이 되었기에 점차 개선 속도가 느려지며 수렴하는 경향을 보인다. 본 시스템에서는 최대 세대수를 700 회로 하고, 최고 우수한 개체에 대한 새로운 개선이 30 세대 내에서 일어나지 않을 때를 종료 시점으로 하였다.

6. 최적화 실험(experimentation) 결과

선박 네 척 203개 블록의 탑재 액티비티에 대하여 부하 평균화를 이룬 탑재 일정 계획을 실험하여 보았다. Fig.12는 100 세대 후의 최적해를 보여 주며, 초기 개체군에서 보다 많이 평균화되었지만 한 계치를 초과하는 물량이 제법 나타나고 있다. 실험 공정은 493세대에서 종료하였다. 소요 시간은 IBM PC 486 DX2 상에서 약 7분 정도였으며, 이 정도 시간 안에 동시 네 척의 선박에 대한 부하 평균화 결과를 도출할 수 있음으로 유전 알고리즘이 탑재 일정 계획에 적용하기가 매우 실용적인 기법임을 확인하였다. Fig.13은 유전 종료후 각 개체의 부하 표준편차를 보여주며, Fig.14는 이중 최고 적합도를 갖는 개체의 일정 계획에 대한 물량 분포를 보여준다.

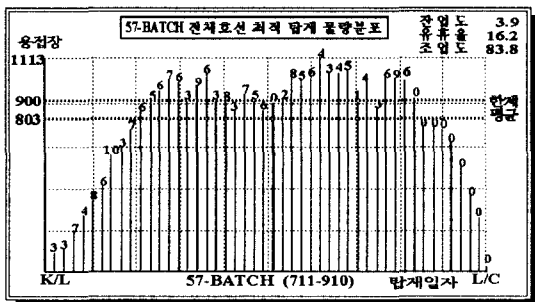


Fig. 12 Best solution after the 100th generation

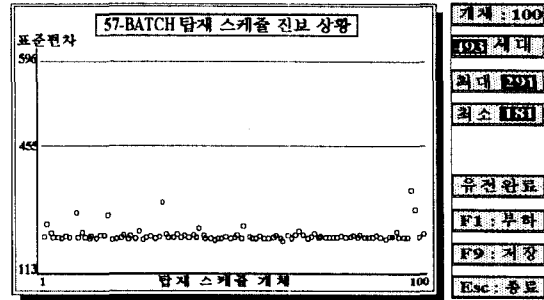


Fig. 13 Final population

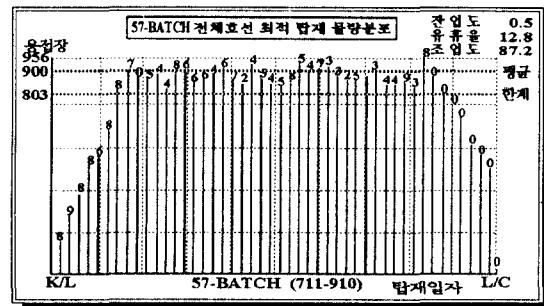


Fig. 14 Enhanced load profile of the best individual in final population

본 시스템에서 도출한 최적해의 결과가 초기 개체군 중 우수해 보다 상당한 수준으로 개선되었음을 Table.1과 같이 확인할 수 있었다.

Table 1 The result of load leveling

검토 항목	초기 개체군중 우수해(A)	유전 종료후 최적해(B)	개선 정도 (A-B)/B [%]
물량 표준편차	455	181	60
조업도 [%]	71.60	87.20	22
잔업율 [%]	16.14	0.50	97
유휴율 [%]	28.40	12.80	55
하루 최대 탑재 횟수(10)	12	9	크레인 제한 조건을 만족
	불만족	만족	조건을 만족

한편, 본 시스템에서 도출한 네 척의 탑재 일정 계획 결과를 각 호선별 물량 분포로 확인해 보면, 개별 호선별로는 부하 평균화가 잘되었다고 볼 수 없었다. 이를 역으로 해석하여, 단일 호선별 부하 최적화 만으론 전체 도크 공기에 걸친 물량 평균화를 보장해 주지 못함을 확인할 수 있었다.

7. 결 론

7.1 시스템 개발 효과

본 시스템의 개발로, 공정 계획 단계에서 도크 공기와 가용 자원의 활용도를 고려한 최적 공정 계획 수립이 가능하다.

부하 평준화 시, 종래의 최적화 방법으론 여러 척을 동시에 시뮬레이션하여 신속히 해를 얻기가 곤란하였으나, 유전 알고리즘을 적용하여 전체 호선에 대한 최적해를 실용적인 수준에서 빠르게 얻을 수 있었다. 또한, 우수해가 집단으로 존재하기에 해의 선택이 한결 유연하다.

7.2 본 연구에 적용한 유전 알고리즘의 특징

본 연구에서 적용한 유전 알고리즘의 특징을 일반적인 경우와 비교 검토하면 다음과 같다.

- 1) 개체 표현에 있어서 이진 코드 무작위 할당 방법 대신, ENT/LNT 내의 탑재일을 직접 대입함으로써, 모든 개체가 합당한 개체가 되며 탐색 효율이 높아진다.
- 2) 교배 연산은 상호 교환할 위치의 탑재일이 탑재일 제한 조건을 만족하는 경우만 교환함으로써, 교배 경계점이 결국 여러 군데로 되며, 자연스럽게 다점(多点) 교배가 이루어지고, 아울러 교배 후에도 개체의 타당성을 계속 유지할 수 있다.
- 3) 본 연구에서의 개체 표현법으론 교배 연산을 통해 새로운 탑재일의 유전 형질이 생성되지 않기 때문에, 돌연변이 연산을 다소 많이 하였다.

7.3 향후 연구 과제

블록의 탑재 순서를 자동 생성하기 위해서 본 시스템에선 블록의 위상 정보를 필요로 함으로, 관련 정보 생성을 위한 지원 시스템을 구축하면 필요한 데이터의 입력이 자동으로 처리되어 개발 시스템의 활용도가 증대될 수 있다.

본 시스템에서는 부하 평준화의 관점을 탑재 작업 물량에 국한하여 다루었지만, 탑재 계획에 따른 선행 공정의 부하 분포를 함께 고려하여야 궁극적인 최적 계획을 수립할 수 있다. 이는 다중 목적 함수를 갖는 최적화 문제가 되며, 이를 위해 탑재와 선행 공정의 부하 분포가 동시에 최적치를 갖는 Pareto 최적해 집합을 도출하는 연구가 필요하다[13,14].

참 고 문 헌

- [1] 이재원 외, 대우조선의 CIMS를 위한 공정계획 Prototype 시스템 개발 연구 최종 보고서, 인하대학교, 1994.
- [2] Lee J. Krajewski, Larry P. Ritzman, *Operations Management : Strategy and Analysis 3rd ed*, Addison-Wesley, 1992.
- [3] 이재동, 블록조립공장의 부하평준화를 위한 생산 일정계획, 포항공과대학 석사학위논문, 1994.
- [4] Robert C. Leachman, "Multiple Resource Leveling in Construction Systems Through Variation of Activity Intensities", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.30, 1983
- [5] 李鎮植, 最新 工程管理, 螢雪出版社, 1993.
- [6] Lawrence Davis, *Handbook of Genetic Algorithms*, Van Nostrand Reinhold, 1991
- [7] J. E. Biegel and J. J. Davern, "Genetic Algorithms and Job Shop Scheduling", *Computer & Industrial Engineering*, Vol.19, No.1-4, 1990.
- [8] R. L. Riche, R.T. Haftka, "Optimization of Laminate Staking Sequence for Buckling Load Maximization by Genetic Algorithm", *AIAA Jour.* Vol.31, No.5, 1993.
- [9] 김석주 외 "유전 알고리즘을 이용한 플라스틱 사출 성형 조건의 최적화", 대한기계학회 '94 생산 및 설계공학부문 학술대회 논문집, 1994.
- [10] Bir Bhanu, Sungkee Lee, and John Ming, "Self-Optimizing Image Segmentaton System Using a Genetic Algorithm", *Proceeding of The Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, 1991.
- [11] Goldberg. D.E., *Genetic Algorithm .in Search, Optimization & Machine Learning*, Addison-Wesley, 1989.
- [12] John R. Koza, *Genetic Programming*, MIT press, 1992..
- [13] 김기화, "유전적 알고리즘을 이용한 최적 구조 설계", 대한조선학회지, 제 31권, 제 1호, 1994.
- [14] J. Horn, N. Nafpliotis & D. E. Goldberg, "A Nished Pareto Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization", *Proceedings of The First IEEE Conference on Evolutionary Computation*, Vol.1, 1994.