

유전알고리즘을 이용한 양면·혼합모델 조립라인 밸런싱

- A Study on the Two-sided and Mixed Model
Assembly Line Balancing Using Genetic Algorithm -

이 내 형*

Lee Nae Hyung

조 남 호**

Cho Nam ho

Abstract

In this thesis presents line balancing problems of two-sided and mixed model assembly line widely used in practical fields using genetic algorithm for reducing throughput time, cost of tools and fixtures and improving flexibility of assembly lines. Two-sided and mixed model assembly line is a special type of production line where variety of product similar in product characteristics are assembled in both sides. This thesis proposes the genetic algorithm adequate to each step in tow-sided and mixed model assembly line with suitable presentation, individual, evaluation function, selection and genetic parameter.

To confirm proposed genetic algorithm, we apply to increase the number of tasks in case study. And for evaluation the performance of proposed genetic algorithm, we compare to existing algorithm of one-sided and mixed model assembly line. The results show that the algorithm is outstanding in the problems with a larger number of stations or larger number of tasks.

1. 서론

효율적인 다품종 소량생산 시스템을 구축하기 위하여 생산라인에서 여러 종류의 제품을 동시에 조립하도록 하여야 할 뿐만 아니라, 향후 수요변화와 생산요소변화에 대

* 서일대학 산업시스템경영과

**건국대학교 산업공학과

응하여 생산라인을 능동적으로 대처할 수 있는 가능성을 재고하여야 한다. 이를 위하여 여러 종류의 제품을 동시에 생산할 수 있는 조립라인이 사용되는 데 이를 혼합모델 조립라인(Mixed Model Assembly Line; MMAL)이라 한다[2].

조립라인 밸런싱은 작업장별로 계획·통제가 가능하도록 전체 계획을 중점관리 대상으로 선정한 작업장으로 분해하여 관리하는 것으로 조립라인에 부과된 여러 가지 제약을 위반하지 않고, 특정목적에 맞게 작업장에 작업을 할당하는 것이다.

양면 조립라인은 양면에서 동시에 작업이 이루어지기 때문에 작업방향, 상대 작업장의 작업간섭 등의 제약이 추가되어 단면 조립라인 보다 복잡하게 된다. 그러나 작업의 대칭성이 높고, 작업장내에서 작업자간 작업간섭이 일어나지 않는 경우 양면 조립라인은 단면 조립라인보다 라인길이를 줄일 수 있고, 제품의 완성 소요기간을 단축시킬 수 있다. 그리고 설비나 치공구를 양면에서 공유할 수 있어 비용을 절감할 수 있으며, 작업방향에 따른 작업자의 이동거리와 작업 준비시간을 줄일 수 있다.

양면 조립라인에 관한 연구로는 Bartholdi, Kim et al. 등의 연구가 있다. Bartholdi는 양면 조립라인 밸런싱을 대화형 프로그램의 설계와 사용에 관하여 연구하였다[3]. Kim et al.은 양면 조립라인에서 라인길이의 최소화, 작업장 수의 최소화, 사이클타임의 최소화, 작업부하 편차의 최소화와 작업관련성의 최대화 같은 여러 목적에 관하여 모형화하였다[7].

유전알고리즘(Genetic Algorithms)은 자연계의 적자생존과 유전법칙의 생물학적 진화과정에 기초한 일종의 인공지능 기법으로 Holland에 의하여 최초로 연구되었다[5]. 유전알고리즘은 광범위한 응용분야에 적용되고 있으며[1][6], 특히 조립라인 문제와 같은 조합최적화 문제에 효과적인 기법으로 알려져 있다[4][8].

본 연구에서는 전체적인 생산률과 라인의 효율을 향상시키기 위하여 유전알고리즘을 이용하여 양면·혼합 조립라인의 작업장쌍 수를 최소화하여 제품의 완성기간을 단축하고, 작업장쌍별 작업량의 평활화와 모델별 작업량의 평활화를 통하여 수요변화와 생산요소 변화에 능동적으로 대처하고자 한다.

2. 양면·혼합모델 조립라인 밸런싱의 효율화

2.1 기호정의

먼저 본 연구에서 사용되는 기호를 정의하면 다음과 같다.

i : 작업번호 $i = 1, 2, \dots, M$

j : 작업장쌍 번호 $j = 1, 2, \dots, N$

k : 모델번호 $k = 1, 2, \dots, K$

N : 마지막 작업장쌍 번호

D_k : MPS(Minimum Part Set) 기간 동안 모델 k 의 계획생산량

\hat{t}_{ik} = $D_k t_{ik}$: MPS 기간동안 수행되는 모델 k 의 작업 i 의 총 작업시간

\hat{t}_i = $\sum_{k=1}^K \hat{t}_{ik}$: MPS 기간동안 수행되는 작업 i 의 총 작업시간

\hat{T}_j : 작업장 j 에 할당된 총 작업량

\bar{T} : 작업장에 할당된 작업량의 평균, $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^M \hat{t}_i$

\hat{T}_{jk} : 작업장 j 에 할당된 모델 k 의 총 작업량

\bar{T}_k : 작업장에 할당된 모델 k 작업량의 평균, 즉 $\frac{1}{N} \sum_{i=1}^M \hat{t}_{ik}$

B : 1 단계에서 미할당 선행작업이 없는 작업집합

C : 2 단계에서 개체 j 인 작업집합중 미할당 선행작업이 없는 작업집합

σ_i : 작업 $i \in B$ 의 시작시점

τ_i : 작업 $i \in C$ 의 시작시점

ψ_i : 작업 $i \in B$ 의 어떤 직선행작업이 현 작업장쌍 j 에 할당되었으면 이들 작업의 가장 늦은 종료시점, 그렇지 않으면 0

ω_i : 작업 $i \in C$ 의 어떤 직선행작업이 현 작업장쌍 j 에 할당되었으면 이들 작업의 가장 늦은 종료시점, 그렇지 않으면 0

d_i : 작업 i 가 할당될 작업방향($d_i = L$ 또는 R)

F_{jd} : 작업장쌍 j 에서 작업장 방향 d 의 완료시점

α : 작업장별, 모델별 작업량의 평활화에 대한 가중치

$\mu(f_2)$: f_2 의 모집단의 평균

$\mu(f_3)$: f_3 의 모집단의 평균

WD_j : 작업장쌍 j 의 평가함수. 작업장별 작업량의 평활화와 모델별 작업량의 평활화를 결합한 평가함수.

WD_j' : 작업 $i \notin R$ 로 이루어진 작업장쌍 j 의 평가함수

$WD_j(p)$: 개체 p 에 나타난 작업장 j 의 평가함수

$WB_j(p_1, p_2)$: 개체 p_1 의 작업장 j 의 평활척도와 개체 p_2 의 작업장 j 의 평활척도의 차이

R : 삭제된 인자에 해당하는 작업집합

NR_i : 작업 $i \in R$ 의 직선행 작업중 제거된 수

$E(i)$: 작업 $i \in R$ 의 직선행 작업이 할당된 작업장쌍중 가장 늦은 작업장쌍, 즉 작

업 i 가 할당될 수 있는 가장 이른 작업장쌍, 단 직선행 작업이 없으면 1이다.
 $L(i)$ 작업 $i \in R$ 의 후행작업중에서 제거되지 않은 작업이 할당된 작업장쌍중에서 가장 이른 작업장쌍, 즉 작업 i 가 할당될 수 있는 가장 늦은 작업장쌍, 단 후행작업이 없으면 최종 작업장쌍 번호는 N 이다.

2.2 양면·혼합모델 조립라인 밸런싱

본 연구의 연구대상인 조립라인은 일정한 속도로 이동하는 컨베이어 시스템으로 제품이 일정 시간간격으로 투입되고 있으며, 컨베이어 이동에 따라 작업자가 이동하면서 작업하는 조립라인이다. 조립라인은 라인의 양면에서 조립할 수 있는 양면 조립라인으로써, 여러 제품을 생산하는 혼합모델 조립라인이며, 작업시간은 확정적이고, 각 작업은 선호하는 작업방향이 정해져 있다고 가정한다.

따라서 본 연구에서 연구하려는 대상은 양면라인에서 혼합모델 조립라인의 MPS를 고려하여 사이클생산이 이루어지는 것이다.

이 양면·혼합모델 조립라인은 수요변화와 생산요소 변화에 따라 조립라인의 능동적인 대처가 가능하고, 라인길이를 감소시켜 제품의 완성기간을 감소시킬 수 있다.

본 연구에서 라인밸런싱의 목적은 첫째, 양면·혼합모델 조립라인의 작업장쌍수를 최소화하여 제품의 완성기간을 단축하고자 하는데 있고, 둘째, 작업장쌍별 작업량의 평활화와 모델별 작업량을 평활화하여 전체적인 생산률과 라인의 효율을 높이고, 제품의 생산순서 일정에 의하여 영향을 적게 받도록 하려는 것이다.

이를 위하여 본 연구에서는 양면·혼합모델 조립라인 밸런싱의 효율화를 기하기 위하여 다음과 같은 3 단계 절차를 제시한다.

- 1 단계 : 작업장쌍 수를 최소화하기 위하여 초기모집단 생성, 적응도평가, 종료조건 만족여부, 선별, 유전연산 절차를 행한다.
- 2 단계 : 1 단계에서 결정된 작업장쌍 수를 가지고 초기모집단 생성, 적응도평가, 종료조건 만족여부, 선별 유전연산절차를 통하여 작업장별, 모델별 작업량의 평활화를 이룬다.
- 3 단계 : 만족되는 최적해를 구하기 위하여 최소화된 작업장쌍 수를 일정범위까지 늘려가며 2 단계 절차를 반복 수행한다.

2.3 표현

유전알고리즘의 성능향상을 위해서는 문제의 특성에 적합한 개체표현이 요구된다. 유전알고리즘에서 개체는 명확하게 잠재해를 나타내야 하며, 해가 중복하여 나타날 경

우 해 공간의 효율적 탐색이 이루어질 수 없기 때문에 중복 표현되지 않아야 한다. 또한 표현방법은 유전연산자와 밀접하게 관련되어 있어야 하고, 개체가 갖는 중요한 정보가 유전연산자에 의하여 추출되며, 자손에게 잘 전파될 수 있도록 개체를 표현하여야 한다.

양면·혼합모델 조립라인 밸런싱 문제는 어떤 목적에 의하여 개체를 그룹으로 나누는 분할문제이다. 지금까지의 분할문제에서는 개체가 상호 독립적이고, 그룹 상호간 순서에 관련성이 없는 경우를 다루었다. 그러나 양면·혼합모델 조립라인 밸런싱 문제는 작업을 작업장에 배분하는데 있어서 작업의 선후행관계가 존재하고, 이에 따라 작업장의 순서가 정해진다. 따라서 양면·혼합모델 조립라인 밸런싱 문제는 개체를 그룹으로 배분하는 데 제약을 갖는 분할문제의 특수한 형태라고 할 수 있다. 이제까지 분할문제에 유전알고리즘의 적용을 위해 순열표현, 그룹표현 등 여러 표현방법이 제시되었다.

순열표현은 각 작업을 작업장에 할당하는 순서로 나열하여 해를표현하는 방법이다. 이 표현방법에서 개체내의 인자는 작업번호를 나타내며, 인자의 위치는 해당작업이 작업장에 할당되는 순번을 나타낸다. 즉, 개체에서 i 번째 인자값이 j 이면 작업 j 을 i 번째에 할당하는 것을 의미한다. 순열표현에서 하나의 개체가 가능해가 되려면 작업이 개체에서 나타나는 순서가 작업간의 선후행관계를 유지하여야 한다. 그러므로 순열표현에서 사용되는 유전연산자들을 수정없이 사용하기는 어려워 가능해를 생산하는 전용 유전연산자를 개발하거나 유전연산자에 의해 사용된 비가능해를 가능해로 변환해주는 복구방법을 사용해야 한다.

그룹표현에서 개체값은 작업장 번호를 나타내며, 개체의 위치는 작업번호를 나타낸다. 즉, 작업 i 가 작업장 j 에 할당되어 있으면 i 번째 인자값은 j 이다. 이 그룹표현에서는 각 작업의 할당된 작업장이 명시적으로 표현되기 때문에 개체의 해석이 용이하나 사이클타임 제약이 있고, 작업장 수가 결정변수인 조립라인 밸런싱 문제에서는 가능해를 생산하는 유전연산자의 개발이 용이하지 않다.

본 연구에서 사용하는 표현방법은 먼저 작업장쌍 수를 줄이기 위한 1 단계에서는 가능해를 생산하는 유전연산자의 개발이 그룹표현보다 용이한 순열표현에 기초한 새로운 표현방법에 따른 해석법을 제시한다. 제시된 표현방법에서 개체의 인자값은 작업번호를 나타내며, 인자의 위치는 할당순서가 아닌 작업할당에 있어서 상대적 우선순위를 나타낸다.

따라서 본 연구에 사용된 순열표현은 작업할당에 있어서 상대적 우선 순위만을 유전연산에 의하여 결정하는 방법을 택하였다.

2 단계인 작업장별, 모델별 작업량 평활화를 위하여 순열표현과 달리 해석방법이 필요없으며, 각 인자가 갖는 정보를 명확히 나타내는 그룹표현을 사용하고, 최종 3 단계에서는 2 단계와 같은 방법을 취하는 그룹표현을 사용한다. 그리고 이 그룹표현은 순열표현에 비하여 가능해를 생산하는 유전연산자의 개발이 어렵다. 이를 해결하기 위하여 각 인자가 갖는 정보를 이용하여 가능해를 유도하는 발견적 기법을 2, 3 단계에서 사용한다.

2.4 개체해석

1 단계인 작업장쌍 수를 줄이기 위하여 제안된 개체해석 방법에는 결합 선행공정도에 의하여 첫 번째 작업장부터 순차적으로 미할당된 선행작업이 없는 작업을 작업장에 하나씩 할당한다. 가능하면 유휴시간이 발생하지 않도록 미할당 선행작업중 현 작업장쌍에 할당되어도 작업종료시간이 사이클타임을 넘지 않으면서 가장 빠른 시작시점을 갖는 작업을 선택하고, 이러한 작업이 복수개 존재할 경우 개체내에서 작업시간이 가장 큰 작업을 선택하여 작업장쌍에 할당한다.

개체해석 방법의 절차는 다음과 같다.

절차 1 : 초기화

$j = 0$. B 에 선행작업이 없는 작업들을 넣는다.

절차 2 : 작업장 생성

$j = j + 1$ 로 한다. 그리고 비어있는 작업장쌍 j 을 생성하고, $F_{jL} = 0$, $F_{jR} = 0$ 으로 한다.

절차 3 : 작업방향과 시작시점 결정

각 작업 $i \in B$ 에 대하여, 방향제약을 고려하여 작업방향 d_i 을 결정하고, 시작시점 σ_i 을 구한다.

(a) 작업방향 d_i 결정

i) 방향제약이 있는 경우 : 미리 정해진 작업방향 d_i 로 한다.

ii) 방향제약이 없는 경우

(i) $F_{jL} = F_{jR}$ 이면 각 방향에 할당되어야 할 미할당 작업의 총 작업량이 적은 방향을 d_i 로 한다.

(ii) $\min(F_{jL}, F_{jR}) < \psi_i$ 이고, $\max(F_{jL}, F_{jR}) + \hat{t}_i \leq CT$ 이면, 완료시점이 늦은 방향을 d_i 로 한다.

(iii) (i), (ii)에 해당되지 않으면, 완료시점이 빠른 방향을 d_i 로 한다.

(b) 시작시점 σ_i 결정

$\sigma_i = \max(F_{jd}, \psi_i)$ 이다.

절차 4 : 작업선택

(a) $\sigma_i + \hat{t}_i \leq CT$, $i \in B$ 를 만족하는 작업이 있으면 그 중 가장 빨리 시작될 수 있는 작업을 선택하여 i^* 로 하고 $d^* = d_{i^*}$ 로 한다. 이러한 작업이 복수개 존재하면 개체 내에서 가장 빨리 나타나는 작업을 선택한다.

(b) $\sigma_i + \hat{t}_i \leq CT$, $i \in B$ 를 만족하는 작업이 없으면 절차6으로 간다.

절차 5 : 작업할당

작업 i^* 를 작업장쌍 j 의 d^* 방향의 작업장에 할당하고, 그 작업장의 완료시점을 $F_{j\alpha} = F_{j\alpha} + \hat{t}_i$ 로 변경한다. 작업 i^* 를 집합 B 에서 제거하고, 작업 i^* 의 직후행 작업중 미할당 선행작업이 없는 작업을 집합 B 에 추가하고 절차 3으로 간다.

절차 6 : 종료조건

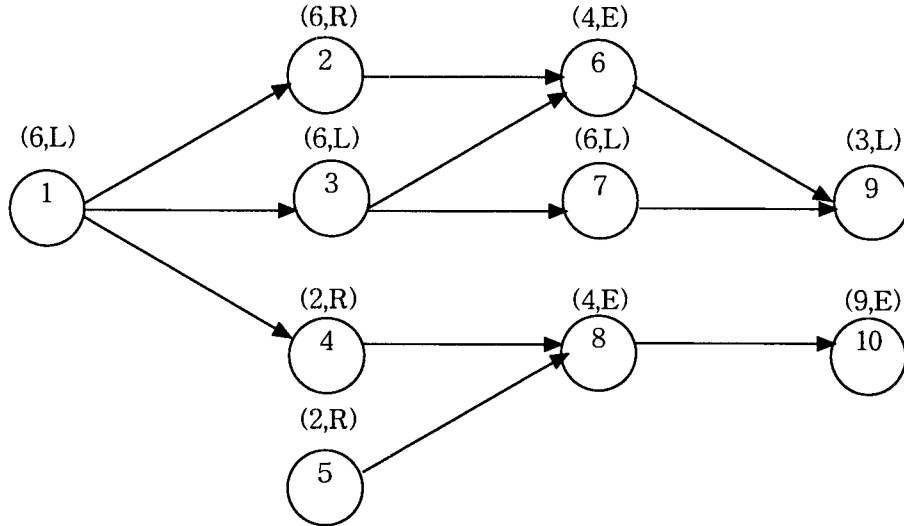
B 가 비어 있으면 $N = j$ 이고 종료한다. 그렇지 않으면 절차 2로 간다.

혼합모델 양면 조립라인에서는 상대 작업장에 할당된 작업간의 선후행관계에 의하여 유희시간이 발생할 수 있다. 그러므로 작업들마다 할당된 작업장에서 시작시점이 결정되어야 한다. 절차 3에서는 미할당 선행작업이 없는 작업의 시작시점을 구한다. 작업 $i \in B$ 의 가장 빠른 시작시점은 MPS 기간동안 작업장쌍 j 에 할당된 직선행 작업이 모두 종료되는 시점과 작업 i 가 할당되어야 하는 방향의 작업장의 종료시점중 늦은 것이 시작시점이 된다. 유희시간을 줄이기 위하여 방향제약이 없는 작업은 가능한 한 유희시간이 발생되지 않는 방향의 작업장에 할당한다.

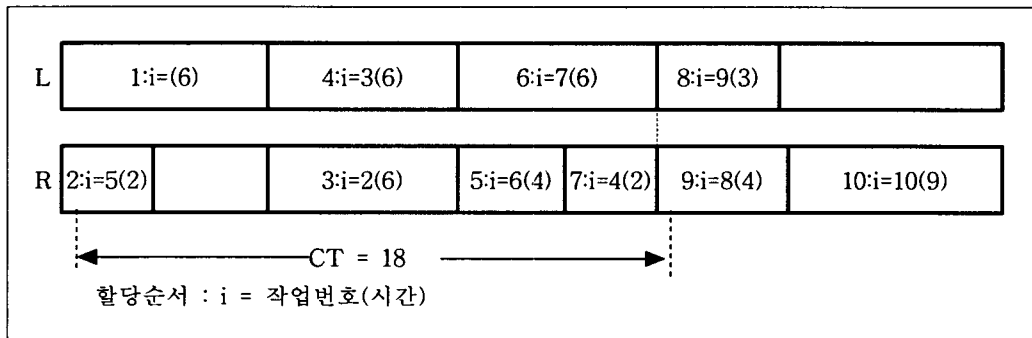
절차 3 (a)의 (ii)에서 방향제약이 없는 작업 i 가 $\min(F_{jL}, F_{jR}) < \psi_i$ 을 만족하면 이른 종료시점을 갖는 작업장에 작업 i 가 할당될 경우 유희시간이 발생한다. 이러한 경우 늦은 종료 시점을 갖는 작업장에 작업 i 를 할당되도록 하여 유희시간이 발생되지 않도록 한다. 이는 유희시간이 발생하는 방향의 작업장을 비워둠으로써 다른 작업이 그 방향에 할당될 수 있게 하기 위해서이다.

절차 4에서는 각 방향에 작업장의 종료시점이 사이클타임을 넘지 않고, 미할당 선행 작업이 없는 작업중에서 가장 일찍 시작될 수 있는 작업을 선택한다. 즉 양방향의 작업장중 할당될 수 있는 작업이 있으면 먼저 할당함으로써 작업간의 유희시간이 발생되지 않도록 한다. 그러나 많은 경우에 이러한 작업이 복수개 존재하기 때문에 개체내에서 작업시간이 큰 개체를 선택하고, 동일한 최대 작업시간을 갖는 작업이 복수개 존재하면 개체내에서 가장 빨리 나타나는 작업을 선택한다. 따라서 개체내에서 작업시간과 위치는 작업을 할당하는 데 사용되는 일종의 우선순위가 된다.

사이클타임이 18인 경우 <그림 1> 문제에서 개체가 (3 2 6 5 1 9 8 4 7 10)이라 할 때, 개체해석 결과를 간트차트로 그리면 <그림 2>와 같고, 개체해석 과정을 각 절차별로 나타내면 <표 1>과 같다. 여기서 원 안에 있는 숫자는 작업번호를 나타내며, 원 밖에 있는 숫자는 작업시간을 나타낸다.



<그림 1> 양면·혼합모델 조립라인의 결합 선행공정도



<그림 2> 1 단계 개체해석 결과의 간트차트

<표 1> 1 단계 개체해석의 예

반복수	j	F _{jd}	i ∈ B	단계 2		단계 3	단계 4
				d _i	σ _i		
1	1	F _{1L=0} F _{1R=0}	1 5	L R	0 0	i* = 5 d* = R	F _{1L=0} , F _{1R=2} B={1}
2	1	F _{1L=0} F _{1R=2}	1	L	0	i* = 1 d* = L	F _{1L=6} , F _{1R=2} B={2,3,4}
3	1	F _{1L=6} F _{1R=2}	2 3 4	R L R	6 6 6	i* = 2 d* = R	F _{1L=6} , F _{1R=12} B={3,4}
4	1	F _{1L=6} F _{1R=12}	3 4	L R	6 12	i* = 3 d* = L	F _{1L=12} , F _{1R=12} B={4,6,7}
5	1	F _{1L=12} F _{1R=12}	4 6 7	R R L	12 12 12	i* = 6 d* = R	F _{1L=12} , F _{1R=16} B={4,7}
6	1	F _{1L=12} F _{1R=16}	4 7	R L	16 12	i* = 7 d* = L	F _{1L=18} , F _{1R=16} B={4,9}
7	1	F _{1L=18} F _{1R=16}	4 9	R L	16 18	i* = 4 d* = R	F _{1L=18} , F _{1R=18} B={8,9}
8	1	F _{1L=18} F _{1R=18}	8 9	R L	18 18		
9	2	F _{2L=0} F _{2L=0}	8 9	R L	0 0	i* = 9 d* = L	F _{2L=3} , F _{2L=0} B={8}
10	2	F _{2L=3} F _{2L=0}	8	R	0	i* = 8 d* = R	F _{2L=3} , F _{2L=4} B={10}
11	2	F _{2L=3} F _{2L=4}	10	R	4	i* = 10 d* = R	F _{2L=3} , F _{2L=13} B={ }

2 단계인 작업장별 작업량, 모델별 작업량의 평활화를 위한 개체해석방법은 1 단계에서 구한 작업장쌍 수를 가지고 순열표현이 아닌 그룹표현으로 나타내면 되고, 3 단계는 작업장쌍 수를 일정범위까지 1씩 증가시키면서 2 단계와 같은 방법으로 구한다.

2, 3 단계의 개체해석 절차는 다음과 같다.

절차 1 : 초기화 : j = 0 으로 한다.

절차 2 : j = j + 1로 두고, j인 개체중에서 미할당 선행작업이 없는 집합 C을 만든다.

절차 3 : 작업방향과 작업 시작시점 결정

(a) 작업방향 d_i 의 결정

i) 방향제약이 있는 경우

미리 정해진 작업방향 d_i 로 한다.

ii) 방향제약이 없는 경우

(i) $F_{jL} = F_{jR}$ 이면, 그 작업장에 미할당 작업의 총 작업량이 적은 방향을 d_i 로 한다.

(ii) $\min(F_{jL}, F_{jR}) < \omega_i$ 이면, 완료시점이 늦은 방향을 d_i 로 한다.

(iii) (i), (ii)에 해당되지 않으면, 완료시점이 빠른 방향을 d_i 로 한다.

(b) 시작시점 τ_i 결정

$F_{jL} = 0, F_{jR} = 0$ 로 두고, $\tau_i = \max(F_{jd}, \omega_i)$ 이다.

절차 4 : 작업선택

개체가 j 인 작업중에서 가장 빨리 할당할 수 있는 작업을 i^* 로 선택하고, $d^* = d_{i^*}$ 로 한다.

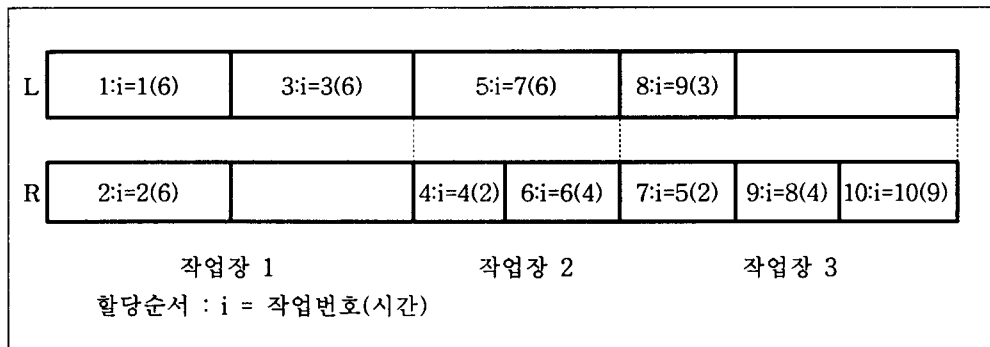
절차 5 : 작업할당

절차 4에서 선택된 작업 i^* 를 방향제약을 고려하여 작업장 j 에 할당하고, 그 작업장의 완료시점 $F_{jd^*} = F_{jd} + \widehat{t}_{i^*}$ 로 변경한다. 작업 i^* 를 집합 C 에서 제거하고 절차 3으로 가고, 개체가 j 인 작업이 모두 선택되었으면 절차 6으로 간다.

절차 6 : 종료조건

$j = N$ 이면 종료하고, 그렇지 않으면 절차 2로 간다.

2 단계는 <그림 1>의 문제에서 개체가 (1 1 1 2 3 2 2 3 3 3)이라 할 때, 개체해석 결과를 간트차트로 그리면 <그림 3>과 같고, 개체해석 과정을 각 절차별로 나타내면 <표 2>와 같다.



<그림 3> 2 단계 개체해석 결과의 간트차트

<표 2> 2 단계 개체해석의 예

반복수	j	F _{jd}	i ∈ C	단계 2		단계 3	단계 4
				d _i	τ _i		
1	1	F _{1L} =0 F _{1R} =0	1	L	0	i* = 1 d* = L	F _{1L} =6, F _{1R} =0 C={2,3}
2	1	F _{1L} =6 F _{1R} =0	2 3	R L	6 6	i* = 2 d* = R	F _{1L} =6, F _{1R} =6 C={3}
3	1	F _{1L} =6 F _{1R} =6	3	L	6	i* = 3 d* = L	F _{1L} =12, F _{1R} =6 C={ }
4	2	F _{2L} =0 F _{2L} =0	4 6 7	R R L	0 0 0	i* = 4 d* = R	F _{2L} =0, F _{2L} =2 C={6,7}
5	2	F _{2L} =0 F _{2L} =2	6 7	R L	2 0	i* = 7 d* = L	F _{2L} =6, F _{2L} =2 C = {6}
6	2	F _{2L} =6 F _{2L} =2	6	R	2	i* = 6 d* = R	F _{2L} =6, F _{2L} =6 C = { }
7	3	F _{3L} =0 F _{3L} =0	5 9	R L	0 0	i* = 5 d* = R	F _{3L} =0, F _{3L} =2 C={8,9}
8	3	F _{3L} =0 F _{3L} =2	8 9	R L	2 0	i* = 9 d* = L	F _{3L} =3, F _{3L} =2 C={8}
9	3	F _{3L} =3 F _{3L} =2	8	R	2	i* = 8 d* = R	F _{3L} =3, F _{3L} =6 C={10}
10	3	F _{3L} =3 F _{3L} =6	10	R	6	i* = 10 d* = R	F _{3L} =3, F _{3L} =15 C={ }

2.5 평가함수

평가함수는 개체의 적응도를 평가하는 함수로 흔히 최적화하려는 문제의 목적함수를 사용한다. 본 연구에서 대상으로 하는 양면·혼합모델 조립라인 밸런싱문제의 목적은 첫번째 단계인 작업장쌍수 최소화, 두번째 단계인 작업장별 작업량 평활화와 작업장 모델별 작업량 평활화하려는 것으로 평가함수는 다음과 같다.

$$J_1 = (N - 1) + \frac{\max(F_{NL}, F_{NR})}{CT} \quad (1)$$

$$f_2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N | \max(\widehat{T}_{jR}, \widehat{T}_{jL}) - \bar{T} | \quad (2)$$

$$f_3 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^K | \widehat{T}_{jk} - \bar{T}_k | \quad (3)$$

식 (1)에서 N 은 최종 작업장쌍 번호이며, 이 식은 최종 작업장쌍의 가장 늦은 완료시점이 빠를수록 전체 작업장쌍수가 줄어들 가능성이 크므로 그러한 개체의 적응도를 높게 평가하기 위해서 사용된다.

따라서 1 단계의 평가함수는 식 (1)이 된다. 식 (2)는 작업장별 작업량의 평활화, 식 3은 모델별 작업량의 평활화를 위한 식으로 작업편성자는 모델별 작업의 특성, 즉 모델간 공통작업의 작업시간 분포에 따라 작업장별 작업량의 평활화와 모델별 작업량의 평활화중 하나에 중점을 두어 작업을 편성할 수 있다. 이 두 목적의 중요도는 두 목적간의 상충관계를 나타내는 가중치에 의해 표현될 수 있다. 이 두 목적은 직접적인 상충관계에 있지는 않으나 하나의 목적에 중점을 두어 작업을 할당하다 보면 다른 목적이 부합되는 경우가 발생한다.

본 연구에서는 식 (2)와 (3)을 결합한 평가함수를 제시하려 하는 데 두 목적의 척도가 다르기 때문에 다음과 같이 정규화한 평가함수를 제시한다.

$$WD_j = \alpha \left(\frac{| \max(\widehat{T}_{jR}, \widehat{T}_{jL}) - \bar{T} |}{\mu(f_2)} \right) + (1 - \alpha) \left(\frac{\sum_{k=1}^K | \widehat{T}_{jk} - \bar{T}_k |}{\mu(f_3)} \right) \quad (4)$$

$$f_4 = \sum_{j=1}^N WD_j, \quad j = 1, 2, \dots, N \text{ and } 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (5)$$

결합된 식 (4)의 평가함수에서 α 값을 변환시켜 두 목적을 적절히 조화할 수 있다. 특히 α 가 1인 경우에는 작업장별 작업량 평활화만 고려하고, 모델별 작업량의 평활화는 고려하지 않은 것이 되고, α 가 0인 경우에는 모델별 작업량의 평활화만 고려하고, 작업장별 작업량의 평활화는 고려하지 않은 것이 되며, α 가 0.5인 경우는 작업장별, 모델별 작업량의 평활화를 똑같이 고려한 해를 구하게 된다. 따라서 2 단계에서 사용하는 평가함수는 식 (4)와 같다.

또한 식 (1)과 (5) 역시 상관관계를 가질 수 있고, 2 단계에서 구한 해가 1 단계에서 제시한 사이클 타임을 초과할 수 있으므로 작업장쌍 수를 1씩 증가시키면서 3 단계를 수행하여 최적해를 찾는 것이므로, 3 단계에서 사용되는 평가함수 역시 2 단계에서 사용된 평가함수와 같다.

2.6 선별

선별은 적응도에 기초하여 다음 세대의 생존개체를 선택하는 것이다. 선별방법에는 확률바퀴(roulette wheel), 토너먼트 선별(Tournament Selection), 순위 선별(Ranking

Selection) 등이 있다. 본 연구에서는 1, 2, 3 단계 모두 확률바퀴 방법을 사용한다.

확률바퀴 방법은 가장 대표적인 선별방법으로서 개체의 적응도에 비례하여 개체가 선택될 확률을 부과하는 방법이다.

2.7 유전연산자

유전연산자에는 교차와 돌연변이가 있는데 교차는 서로 다른 두 개체의 유전인자들이 결합하여 자손을 생성하는 과정이고, 돌연변이는 개체에서 몇 개의 인자를 임의로 변화시키는 연산이다.

2.7.1 1단계 교차변이

본 연구에서 1 단계인 작업장쌍 수를 줄이는 단계에서는 조립라인 밸런싱 문제와 같은 분할문제에서 좋은 성능을 보인 부분사상 교차(Partially Mapped Crossover)를 사용하였다. 부분사상 교차는 임의로 두 절단점을 선택하여 두 절단점 사이에 있는 각 부모와 같은 위치에 있는 인자를 사상시켜 각 부모에서 사상된 인자와 상호 교환하는 것이다.

2.7.2 2단계 교차변이

작업장별 작업량과 모델별 작업량을 줄이는 2 단계에서는 제기된 문제의 특성을 이용한 수정된 구조 교차변이와 유전연산자를 결합하여 최적해에 대한 유전알고리즘의 수렴성을 향상시킨다. 각 작업장쌍의 작업량이 평균 작업량과 근사하게, 그리고 각 작업장쌍의 모델별 작업량을 평균 모델 작업량과 근사하게 되도록 작업을 할당하고, 이러한 작업장의 정보를 추출하여 가능하면 변형되지 않고 자손에게 유전되어 다음 세대의 모집단에 전파될 수 있는 유전연산자인 수정된 발견적 구조 교차변이와 수정된 발견적 구조 돌연변이를 개발하여 사용한다.

$$WB_j(p_1, p_2) = WD_j(p_1) - WD_j(p_2), j = 1, 2, \dots, N \quad (6)$$

수정된 구조 교차변이의 절차는 다음과 같다.

절차 1 : 부모 p_1 과 p_2 중 임의의 한 부모(p_1)를 선택하고, $WB_j(p_1, p_2)$ 를 계산한다.

절차 2 : $WB_j(p_1, p_2)$ 가 큰 순서로 $Nq (< N)$ 개의 작업장을 선택하여 집합 Q 를 만든다. Nq 는 다른 부모(p_2)로부터 자손에 유전될 작업장수를 나타내는 파

라미터이다.

절차 3 : Q 에 속한 작업장의 번호를 갖는 p_2 의 인자들은 모두 자손(o_1)의 같은 위치에 복사한다. 자손 o_1 에서 결정되지 않은 인자는 p_1 의 같은 위치에 있는 인자를 상속받는다.

절차 4 : p_1 으로부터 상속받은 o_1 의 인자중 Q 에 속한 작업장의 번호를 갖는 인자와 선후행 관계를 어긴 인자들을 배제한다.

절차 5 : 절차 4에서 배제한 인자들에 대하여 작업의 선후행관계를 유지하면서 작업장 번호를 재할당한다. p_1 과 p_2 의 역할을 바꾸어 자손 o_2 를 생성한다.

2.7.3 1 단계 돌연변이

유전알고리즘에서 돌연변이는 해공간의 다양성을 유지하고, 부분 최적에 조기 수렴하는 것을 방지하는 역할을 한다. 본 연구에서 첫 째, 작업장쌍 수를 줄이는 1 단계 분할문제에서 부분사상 교차와 함께 좋은 성능을 갖는 것으로 알려져 있는 돌연변이의 역순을 사용한다. 역순은 부모에서 두 개의 절단점을 임의로 선택하고, 절단점 사이의 인자들을 역순으로 하여 자손을 생성한다.

2.7.4 2 단계 돌연변이

이어서, 작업장별 작업량과 모델별 작업량의 평활화를 위한 2 단계에서 돌연변이는 모집단의 각 개체에 유전자 단위로 돌연변이율이 적용된다. 즉 돌연변이율은 각 개체의 인자가 돌연변이될 확률이다. 돌연변이를 모든 개체에 대해 행한 후 각 개체에서 돌연변이 되는 인자를 수정된 구조 교차변이 절차와 같이 재할당기법을 이용하여 작업장 번호를 새로 부여한다.

수정된 돌연변이는 임의로 추출된 작업을 재할당기법에 의하여 새로 할당함으로써 다양한 해공간의 탐색과 함께 일부 작업장의 작업량을 평활화하는 데 기여한다.

3 단계는 작업장쌍 수를 1씩 증가시키면서 2 단계와 같은 돌연변이를 사용한다.

2.7.5 재할당 방법

수정된 구조 교차변이와 구조 돌연변이는 공통적으로 배제한 인자에 작업장 번호를 다시 부여하는 과정을 필요로 한다. 이 과정을 통해 수정된 구조 교차변이와 구조 돌연변이는 가능해를 생성한다. 가능해는 작업의 선후행관계를 유지하면서 배제한 작업을 할당가능한 작업장에 할당함으로써 얻을 수 있다.

재할당방법의 절차는 다음과 같다.

- 절차 1 : R 과 $NR_i, i \in R$ 을 구하고, $WD_j', j = 1, 2, \dots, N$ 를 계산한다.
- 절차 2 : $NR_i = 0$ 인 작업중 MPS 기간동안 총 작업시간 가 가장 큰 작업 i^* 를 선택한다. \hat{i}_i
- 절차 3 : i^* 가 할당가능한 작업장쌍의 범위 $E(i^*)$ 와 $L(i^*)$ 를 구한다.
- 절차 4 : 작업장 $j = E(i^*), E(i^*) + 1, \dots, L(i^*)$ 에 작업 i^* 를 할당할 때 WD_j' 가 최소가 되는 작업장 j^* 를 선택한다.
- 절차 5 : 작업장 j^* 에 작업 i^* 를 할당하고, i^* 를 집합 R 에서 제거한다. $R = \emptyset$ 이면 종료하고, 그렇지 않으면 $NR_i, i \in R$ 과 WD_j 를 갱신하고, 절차 2로 같다.

2.8 알고리즘 수행절차

본 연구에서 제시한 알고리즘의 절차는 다음과 같다.

- 절차 1 : 초기 모집단 생성
작업 번호를 인자로 하고, 총 작업수 만큼의 길이를 갖는 개체를 생성한다. 단, 중복된 인자나 누락된 인자가 있어서는 안된다.
- 절차 2 : 적응도 평가
2.4에서 서술한 개체해석 방법을 통하여, 2.5에 있는 작업장쌍 수를 최소화하는 평가함수를 가지고 각 개체의 적응도를 평가한다.
- 절차 3 : 종료조건
250회의 연속된 세대 교체 동안 해가 개선되지 않으면 알고리즘을 종료한다. 알고리즘이 종료되면 절차 6으로 간다.
- 절차 4 : 선별
확률바퀴 선별을 통하여 다음 세대를 이루는 개체들을 선별 한다.
- 절차 5 : 유전연산
부분사상 교차와 역순을 통한 유전연산을 한다. 절차 2로 간다.
- 절차 6 : 절차 3에서 결정된 작업장 쌍수를 가지고 작업장 번호를 인자로 하고, 총 작업수만큼의 길이를 갖는 개체를 생성한다. 작업장쌍 수가 주어진 범위를 넘으면 종료한다.
- 절차 7 : 적응도 평가
2.4에 있는 개체해석 방법을 통하여, 2.5에 있는 작업장별 작업량, 모델별 작업량 평활화를 위한 평가함수를 가지고 적응도를 평가한다.
- 절차 8 : 종료조건

250회의 연속된 세대 교체 동안 해가 개선되지 않으면 알고리즘을 종료한다.

절차 9 : 선별

확률바퀴 선별을 통하여 다음 세대를 이루는 개체들을 선별 한다.

절차 10 : 유전연산

수정된 구조 교차와 돌연변이를 통한 유전연산을 한다. 절차 8로 간다

절차 11 : 절차 8의 종료조건을 만족하면 최소 작업장쌍 수를 1 증가시켜 절차 6으로 간다.

3. 실험 및 분석

20개의 작업수를 지닌 작업모델을 기반으로 본 연구에서 제시한 기법을 단계적으로 적용하고, 실험은 모집단 크기 50, 세대수 250으로 테스트를 10회 수행하였고, 2 단계 평가함수의 가중치는 0.5씩 두었다. 또한 기존의 단일·혼합모델 조립라인에 적용된 유전알고리즘의 기법과 본 연구에서 제시한 양면·혼합모델 조립라인의 유전알고리즘 기법의 성능차이를 비교하였다.

다음 <표 3>은 실험 1에 사용된 작업모델 데이터이다. <표 3>의 작업데이터는 작업번호, 직후행작업, MPS를 고려한 각 작업의 총시간, 작업방향, A모델, B모델, C모델의 작업시간(초단위)으로 구성되었다.

<표 3> 실험 1의 작업 데이터

작업 번호	직 후행 작업	작업 총 시간	작업 방향	모델별 작업시간			작업 번호	직 후행 작업	작업 총 시간	작업 방향	모델별 작업시간			작업 번호	직 후행 작업	작업 총 시간	작업 방향	모델별 작업시간		
				A	B	C					A	B	C					A	B	C
1	1	50	E	30	0	20	6	6	12	E	12	6	4	13	13	8	E	6	0	2
1	6	50	E	30	0	20	7	7	51	R	24	15	12	13	17	8	E	6	0	2
1	7	50	E	30	0	20	7	12	51	R	24	15	12	14	14	22	E	12	6	4
2	2	72	E	24	24	24	8	8	25	R	0	15	10	14	18	22	E	12	6	4
2	7	72	E	24	24	24	8	12	25	R	0	15	10	14	19	22	E	12	6	4
2	8	72	E	24	24	24	9	9	37	L	24	9	4	15	15	64	E	4	30	30
2	9	72	E	24	24	24	9	15	37	L	24	9	4	16	16	3	L	0	3	0
3	3	14	E	0	6	8	10	10	4	L	0	0	4	17	17	45	L	30	15	0
3	9	14	E	0	6	8	11	11	33	E	18	9	6	17	19	45	L	30	15	0
3	10	14	E	0	6	8	11	13	33	E	18	9	6	18	18	39	R	18	15	6
3	16	14	E	0	6	8	11	14	33	E	18	9	6	18	20	39	R	18	15	6
4	4	24	E	24	0	0	11	16	33	E	18	9	6	19	19	37	R	24	9	4
4	11	24	E	24	0	0	12	12	25	E	6	9	10	19	20	37	R	24	9	4
5	5	22	E	12	6	4	12	15	25	E	6	9	10	20	20	42	E	30	12	0
5	11	22	E	12	6	4	13	13	8	E	6	0	2							

본 연구에서 제시한 기법을 단계별로 보면 다음과 같다.

1 단계

사이클타임을 80으로 하였을 때, 최소 작업장쌍 수는 4로 결정되었다.

2 단계

최소 작업장쌍 수를 4로 하고, 실험을 실시한 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> 실험 1의 2 단계 최적 작업개체

세대 209	1	1	1	1	2	2	3	2	2	2	Max-T	평가치
세대 209	2	4	3	2	4	2	3	3	4	4	90	44

각 작업장쌍의 작업이 종료하는 시간 중 최대 작업시간(Max-T)이 1 단계에서 제시한 사이클 타임 80보다 크므로 작업장쌍 수를 1씩 증가시켜 3 단계를 수행하여 최적해를 찾는다.

3 단계

작업장쌍 수가 5일 때 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 실험 1의 3 단계 최적 작업개체 1

세대 203	1	1	1	3	2	1	2	2	2	2	Max-T	평가치
세대 203	3	3	4	4	5	4	4	4	5	5	79	60

<표 5>에서 보는 바와 같이 사이클타임이 80을 초과하는 작업장쌍이 없으므로 <표 5>에서 제시한 작업할당이 최적이라고 볼 수 있다.

또한 작업장쌍 수와 작업장별 작업량, 모델별 작업량에서 비지배해가 나타날 수 있으므로 작업장쌍 수를 1씩 증가시켜 6에서 실험을 한번 더 수행한 결과는 <표 6>과 같다.

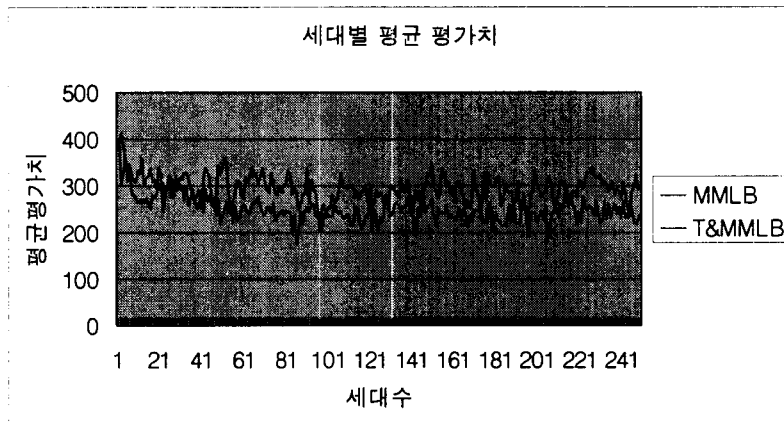
<표 6> 실험 1의 3 단계 최적 작업개체 2

세대 227	2	1	1	1	1	2	3	5	2	4	Max-T	평가치
세대 227	3	5	4	3	6	4	4	4	5	6	72	65

<표 5>에서는 작업장쌍 수는 5, 평가치는 60, <표 6>에서는 작업장쌍 수는 6, 평가치는 65가 나타났다. 따라서 작업장쌍 길이 최소화와 작업장별 작업량, 모델별 작업량의 평활화 모두 <표 5>의 결과가 최적이라고 할 수 있다.

<그림 4>는 실험한 결과 중 가장 좋은 성능을 보인 데이터이다. 상위에 위치한 라인이 기존의 단면·혼합모델 조립라인 밸런싱(MMLB)이며, 하위의 라인이 본 연구에

서 제시한 양면·혼합모델 조립라인 밸런싱(T&MMLB)기법을 이용한 방법이다.



<그림 4> 실험 1의 세대별 평균 평가치

<그림 4>에서 보는 바와 같이 본 연구에서 제시한 혼합모델을 고려한 양면라인이 기존의 혼합모델을 고려한 단면라인보다 성능이 향상된 것을 알 수 있다.

4. 결론

기존의 연구는 그 주류가 단면조립 라인밸런싱에서 단일모델이나 혼합모델에 관한 연구이거나 양면조립 라인밸런싱에 관한 연구에서는 단일모델만을 대상으로 하였다. 본 연구에서는 실제로 현장에서 많이 활용되고 있는 양면·혼합모델 조립라인에 대한 라인밸런싱 문제를 단계별로 해법을 이용하여 해결하였다.

기존의 라인밸런싱문제를 해결하기 위한 해법으로는 시뮬레이션(Simulation)이나 발견적(Heuristic) 방법으로써 단면·단일모델 조립라인 밸런싱문제의 해법으로 사용이 가능하나, 가능해가 많은 양면·혼합모델 조립라인의 밸런싱문제를 해결하는 데에는 적합하지 않다. 그러나 유전알고리즘은 복잡한 해 공간의 탐색능력이 우수하여 본 연구에서는 양면·혼합모델 조립라인 밸런싱문제를 해결하기 위하여 유전알고리즘을 이용하였다.

양면·혼합모델 조립라인 밸런싱문제를 해결하기 위하여 첫 번째 단계에서는 작업장쌍 수의 최소화를 목적으로 하였고, 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 구한 작업장쌍 수를 이용하여 작업장별 작업량과 모델별 작업량의 평활화를 달성하도록 하였으며, 세 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 구한 작업장쌍 수를 1씩 증가시키면서 최적의 라인밸런싱을 구하는 기법을 각 단계에 적합한 유전알고리즘으로 표현, 개체해석, 평가함수, 선별, 유전연산자를 이용하여 해결하였다.

본 연구에서 제시한 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여 작업수를 증가시키면서 각 단계별로 적용시켜 보았고, 또한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 기존의 단일

라인에서 사용된 기법과 비교하였다. 비교·분석한 결과 본 연구에서 제안한 알고리즘을 이용한 결과가 우수함을 알 수 있었고, 이것은 작업수가 많은 복잡한 문제일 수록 더욱 두드러지게 그 효과가 나타났다.

5. 참고문헌

- [1] 김여근, 윤복식, 이상복 공저, 메타 휴리스틱, 영지문화사, 1997.
- [2] 이태옥, 김여근, 양면 조립라인 밸런싱을 위한 할당규칙, 대한산업공학회지, 제10권, 제2호, pp.29-40, 1997.
- [3] Barthold, J. J., Balancing Two-sided Assembly Lines: A Case Study, International Journal of Production Research, Vol.31, No.20, pp,2447-2461, 1993.
- [4] Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley, New York, 1989.
- [5] Holland, J. H., Adaptation In Natural And Artificial Systems. Univ. of Michigan Press, Ann Arbor, 1975.
- [6] Homaifar, A., Guan, S. and Liepins, G. E., "A New Approach on the Traveling Salesman Problem by Algorithms," Proc., 5th Int. Conf. Genetic Algorithms, pp.460-466, 1993.
- [7] Kim, Y. K. and Lee, T. O., Two-sides Assembly Line Balancing Models, Submitted to International Journal of Production Research, on July, Vol.18, 1997
- [8] Michalewicz, Z., Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, 2nd, Extend Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1994.

저 자 소 개

이내형 : 동국대학교를 졸업하고, 연세대학교 대학원 공영경영과에서 석사를 건국대학교 산업공학과에서 박사 학위를 취득하였으며, 현재 서일대학 산업시스템 경영과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 생산관리, 안전관리, 인간공학, 작업관리 등이다.

조남호 : 한양대학교에서 석사, 박사 학위를 취득하였으며, 현재 건국대학교 산업공학과 교수로 재직 중이다. 품질관리학회장, 한국품질관리기사회장, 건국대학교 공과대 학장 등을 역임하였다. 주요 관심분야는 품질경영, 신뢰성공학, 실험계획법 등이다.