

## Job Shop 통합 일정계획을 위한 유전 알고리즘\*

박병주\*\* · 최형립\*\*\* · 강무홍\*\*\*

### A Genetic Algorithm for Integration of Process Planning and Scheduling in a Job Shop\*

Byung Joo Park\*\* · Hyung Rim Choi\*\*\* · Moo Hong Kang\*\*\*

#### ■ Abstract ■

In recent manufacturing systems, most jobs may have several process plans, such as alternative sequence of operations, alternative machine etc. A few researches have addressed the necessity for the integration of process planning and scheduling function for efficient use of manufacturing resources. But the integration problem is very difficult and complex. Many prior researches considered them separately or sequentially. It introduces overlapping or partial duplications in solution efforts. In this paper, Integration problem of jobs with multiple process plans in a job shop environment is addressed. In order to achieve an efficient integration between process planning and scheduling by taking advantage of the flexibility that alternative process plans offer, we designed GA(Genetic Algorithm)-based scheduling method. The performance of proposed GA is evaluated through comparing integrated scheduling with separated scheduling in real world company with alternative machines and sequences of operations. Also, a couple of benchmark problems are used to evaluate performance. The integrated scheduling method in this research can be effectively applied to the real case.

Keyword : Scheduling, Process Planning, Integrated Scheduling, Job Shop, Genetic Algorithm

논문접수일 : 2004년 11월 16일 논문게재확정일 : 2005년 5월 20일

\* 이 논문은 2003년도 정부재원(교육인적자원부)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2003-214-M01-2003-000-20318-0).

\*\* University of Nebraska-Lincoln Post-Doctor

\*\*\* 동아대학교 경영정보과학부

## 1. 서론

최근 SCM(Supply Chain Management) 환경에서 APS(Advanced Planning & Scheduling)에 대한 관심이 커지고 있다. APS에서의 주요 문제는 고객의 주문에 맞추어 공정을 계획하고, 일정을 계획해서 고객을 만족시킬 수 있는 정확한 납기일을 산출하는 것이다. 그리고 SCM에서는 정확한 납기일을 준수 할 수 있도록 관리하는 것도 중요한 부분이라 할 수 있다. 이러한 SCM 환경에서 외주업체 또는 협력업체의 생산 능력까지 고려해 납기일을 산출하기 위해서는 그들의 대체 설비나 능력을 고려한 일정계획이 필요해지고 있다. 이를 위해서는 다양하게 존재하는 계획과 제약들을 동시에 고려하여 일정계획 문제를 최적으로 해결하는 것이 가능해야 한다. 이처럼 복잡해져 가는 환경에서 더욱 정확한 일정계획을 위한 방법론들이 필요하다 하겠다.

이러한 일정계획의 수립에는 공정순서와 기계의 부하 그리고 기계의 사용가능 여부를 고려하여 수립되어야 한다. 이는 선행된 공정계획을 토대로 이루어진다는 것이다. 공정계획(process planning)은 제품의 디자인과 생산을 위한 일정계획 사이의 교량적 역할을 하는 것으로, 제품을 제조하기 위한 가용자원과 공정들을 할당해주는 과정이다[10]. 이와 같이 공정계획과 job shop 일정계획은 서로 크게 연관되어 있지만, 이전의 연구들은 이들을 분리해서 다루어왔다. 공정계획은 자원의 효율적인 활용의 측면에서 제조 shop의 능력에 대한 고려 없이 이루어졌고, 일정계획 또한 대체 공정계획이 생산의 흐름을 더욱 원활하게 해주는 기회를 고려하지 않고 이루어져 왔다. 대체 공정계획(process plan)이 존재하면, 일정계획 시에 각 공정들이 고정된 경우에 비해 여러 다른 기계에 할당될 수 있게 함으로써 job과 기계간의 충돌을 줄일 수 있다. Weintraub *et al.*[14]은 최대 지연시간(lateness)을 최소로 하는 대체 공정계획을 가진 일정계획 문제를 위해 타부서치 알고리즘을 제안하였고, 다양한 크기의 문제에 이 방법을 적용시켜 더 많은 job들이 대체 계획

을 가진 경우가 더 나은 목적함수 값을 산출해 줌을 보여주었다. 그러나 공정계획과 일정계획 문제의 분리는 긴 생산리드타임, 생산 비용 증가, 납기 지연의 원인이 되고 있지만, 이들 공정계획과 일정계획의 동시 고려는 NP-complete 문제인 일정계획 문제보다 더욱 풀기 어려운 문제가 된다[5]. 이런 문제의 복잡성 때문에 충분한 관심을 받지 못했다. 최근 대체 공정순서와 대체 기계 등을 가진 문제에서 대체 공정순서와 기계 선정을 일정계획과 동시에 해결하기 위한 연구들이 이루어지고 있는데, 이처럼 대체 가능한 여러 자원과 공정순서를 고려하여 공정계획의 선택과 일정계획을 동시에 하는 것을 통합된 공정계획과 일정계획이라 한다[10]. 즉, 공정계획과 일정계획의 통합 문제는 공정순서 제약과 대체 공정계획을 가진 경우에,  $m$ 대의 기계에서 처리되어야 하는  $n$ 개의 job들을, 제약들을 만족시키며 평가기준을 최적으로 만족시키는 기계들에서 공정의 처리순서와 각 기계들에서 처리순서를 동시에 찾는 것이라 할 수 있다[13]. 각 공정(operation)들이 기계에 미리 할당되어 있지 않는 대체 공정 계획을 가진 일정계획 문제와 flexible job shop 문제들도 공정계획과 일정계획의 통합 문제라 할 수 있다. 이 통합은 공정계획과 일정계획을 하나의 최적화 문제로 고려하는 것으로 생산 자원의 가장 효율적인 사용과 잦은 변경 없는 실현가능한 현실적인 공정계획을 가능하게 한다.

이전 연구들은 통합 문제의 복잡성 때문에 공정계획과 일정계획을 동시에 고려하지 않고 순차적으로 계획하였다. 이러한 문제를 통합적으로 해결하기 위한 연구들이 진행되어오고 있다. 초기의 연구로 Khoshnevis and Chen[5]과 Huang *et al.*[4]의 연구는 공정계획과 일정계획의 통합에 대한 기본적인 이슈와 방법론을 제시하였다. Palmer[10]은 공정계획과 일정계획의 통합을 위해 simulated annealing 방법을 사용한 모델을 통해, Khoshnevis and Chen의 결과 보다 나은 해를 제시하였다. Brandimarte and Calderini[2]는 선후제약이 있는 공정들이 여러 개의 대체 공정을 가진 문제를 다루기 위한 계층적

접근법으로 혼합정수 계획 모델을 제안 하였다. 이 문제는 대체 기계를 가진 job shop 문제로 간주되었다. 그리고 Brandimarte[1]는 flexible job shop 문제를 해결하기 위해 계층적인 타부서치 구조를 제시하였다. Makespan을 최소화하기 위해 라우팅(routing) 문제와 일정계획 문제를 디스패칭(dispatching) 룰을 통해 동시에 해결한 뒤, 얻은 스케줄을 job shop 문제의 타부서치 알고리즘으로 개선하는 방법을 제안하였다. Nasr and Elsayed[9]와 Kim and Egbelu[6]은 job shop 환경에서 공정계획(process planning)과 일정계획(scheduling) 통합의 필요성을 제시하였다. 하지만 이들은 문제의 복잡성 때문에 특정한 대체 공정계획만을 고려하였다. Nasr and Elsayed은 각 공정들에 대한 대체 기계들은 고려하였으나 각 job은 하나의 공정순서에 의해 처리되었다. Kim and Egbelu은 여러 개의 공정계획(process plans)을 가진 job들을 일정계획 하기 위한 혼합정수계획모형을 제시하였는데, 각 job에 대한 가능한 공정계획들은 주어지고, 일정계획 전에 대체 공정계획들에 대한 선택이 이루어져야 했다. 이를 통해 각 job이 많은 수의 공정계획을 가진 경우 효과적으로 다룰 수 있는 방법론을 제시하였다.

이들은 순차적으로 다루던 이전 연구들에 비해서 동시 고려를 통해 넓어진 해 공간에서 보다 나은 해를 찾으려는 노력을 하였지만, 방법론의 한계에 의해 큰 현실적인 문제를 다루기에는 부족함이 있었다. 이후 좀 더 탐색의 효율을 높이기 위한 방법으로 메타 휴리스틱 방법론과 이들과 결합된 수리적 최적화 방법론들이 제시되었다. Tan[12]은 통합 문제를 위해 선형 혼합정수 계획(linear mixed-integer programming : LMIPM) 모델을 제안하였고, LMIPM의 탐색 속도와 해의 질을 높이기 위해 LMIPM과 타부 서치 알고리즘을 결합시킨 모델을 제안하였다. Lee 등[8]은 선후행 제약을 가진 대체 공정순서와 대체 기계를 가진 경우에서 공정계획과 일정계획의 통합 고려하기 위해 GA(Genetic Algorithm)에 기반한 방법을 제시하였다. Kim *et al.*[7]은 대체 기계와 대체 공정순서 뿐만 아니라 대체

가능한 공정을 가진 문제를 풀기 위해 공생 진화(Symbiotic Evolution) 알고리즘을 제시하였다. 그리고 제안된 알고리즘을 평가하기 위해 임의의 문제에 공진화(Coevolutionary) 유전 알고리즘과 수행도를 비교 평가하였다.

이들 연구들이 공정계획과 일정계획 통합 문제를 다루어왔지만, 이들은 실제 생산 현장의 문제로 보기에는 비현실적이거나 복잡한 문제들을 전제로 하였고, 수행도 평가에 있어서도 평가를 위해 사용할 문제와 최적해의 부재로 객관적인 평가들이 이루어지지 않은 문제를 가지고 있다. 그래서 본 연구에서는 실제 제조업체에서의 문제를 대상으로 통합 일정계획이 이루어지는 과정을 보일 것이며, 보다 객관적인 수행도 평가를 위해 검증된 벤치마크 문제와 해를 통해 비교 평가한다. 또한 Tan[12] 논문에서 제시된 특정 job들의 작업 개시시간(release time)이 다른 경우의 평가 문제를 쉽게 다룰 수 있고, 염색체 표현에서부터 유전 연산자 수행 후에도 항상 실행가능한 해를 유지할 수 있는 표현방법을 통해 빠른 탐색시간 내에 좀 더 효율적으로 해결할 수 있도록 하는 유전 알고리즘을 제시한다. 본 연구는 각 job에 속하는 공정들이 대체 기계를 가지거나 대체 공정순서를 가지는 경우에 제품의 작업완료시간(makespan)을 최소화하기 위하여 각 공정을 위한 대체 기계와 선후제약을 만족시키는 다수의 대체 공정순서의 선택과 일정계획을 통합 수립하는 유전 알고리즘을 제시하고자 한다.

## 2. 통합 일정계획을 위한 유전 알고리즘

### 2.1 문제 정의

각 공정들이 기계에 미리 할당되어 있지 않는 대체 공정 계획을 가진 일정계획 문제와 flexible job shop 문제들도 공정계획과 일정계획의 통합 문제라 할 수 있다. 본 연구에서는 주문에 의해 생산되는 형태인 job shop의 통합문제를 대상으로 한다. Job

Shop에서는 다양한 고객의 주문에 따라 여러 제품을 동시에 제조하기 위한 공정계획과 일정계획을 한다. 한 제품은 여러 개의 부품들로 만들어지는데, 한 개 부품의 생산을 job으로 간주한다. 그리고 그 하나의 job은 여러 개의 공정들로 이루어지는데, 그 공정들은 선후 제약을 가지기도 하고, 그런 제약이 없기도 한다. 예를 들어 직육면체 모양의 금속 모서리를 깎아 내는 밀링 작업과 가운데 드릴링을 하는 작업에는 선후 제약이 없어 어느 공정을 먼저 해도 관계없다. 그러나 다듬는 작업과 열처리 작업은 이들 작업이 마쳐지고 난 다음 이루어져야 한다. 이 부품을 만들기 위한 4개 공정들의 작업순서는 밀링-드릴링-다듬기-열처리 또는 드릴링-밀링-다듬기-열처리로 두개가 가능해 진다. 한편 각 공정들의 작업을 수행할 수 있는 여러 대의 대체 기계들이 존재하기도 한다. 특히 SCM 환경에서 외주업체의 기계 능력까지 고려한 일정계획을 할 때는 보다 많은 대체 기계들이 존재한다. 이러한 유연한(flexible) 공정 작업순서와 대체 기계를 고려하면 같은 시각에 job과 기계의 충돌을 줄일 수 있을 것이다.

Job Shop에서 중요한 부분 중의 하나는 고객의 주문에 대한 최소의 makespan 산출을 통한 정확한 납기일을 산출하는 것이다. 이를 위해 각 job들에 대한 공정 순서의 결정, 각 공정들에 대한 기계의 선택 그리고 각 기계들에 대한 작업순서를 결정하는 일정계획이 동시에 통합적으로 고려되어야 한다. 통합된 공정계획과 일정계획은 공정계획과 일정계획을 분리해서 고려하는데 따른 시행착오와 재계획 작업을 줄이고 최상의 공정순서와 일정계획을 동시에 생성하는 것을 가능하게 할 것이다.

## 2.2 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 모집단 내의 많은 수의 개체를 가지고 다중방향으로 해를 찾기에 큰 크기의 문제에서도 효율적인 해의 탐색이 가능하다. 유전 알고리즘을 기반으로 하는 접근법을 대체 가능한 공정계획과 동시에 일정계획을 고려하도록 설계하는데

있어 가장 중요한 문제는 이들을 고려하여 실행 가능해를 표현하기 위한 염색체를 구성하는 방법으로, 이는 여러 제약조건들을 만족시킬 수 있어야 한다. 또한 유전 알고리즘을 사용하기 위해서는 문제에 대한 특성에 적합한 평가함수, 모집단 구성방법, 유전연산자, 유전 파라미터 등이 결정되어야 한다. 본 연구에서 이들과 전체적인 유전 알고리즘 절차는 이전에 검증된 절차를 따랐고[11], 염색체 표현, 유전 연산자, 평가함수 등은 통합 문제를 다루기 위해 수정하였다.

### 2.2.1 염색체 표현

본 연구에서는 유전 알고리즘으로 job shop의 공정계획과 일정계획의 통합 문제를 해결하기 위해서 대체 공정순서와 대체기계를 동시에 고려한 통합 문제의 해를 염색체로 표현한다. 이렇게 표현된 염색체들은 유전 알고리즘의 진화과정을 통해 각 job들에 대해 다양한 공정순서와 각 공정들에 대한 대체기계의 더 나은 조합이 선정될 수 있도록 하여, 통합 일정계획에서 기계별 공정들의 처리 순서와 대체 공정순서 그리고 대체기계를 결정할 수 있도록 한다. 염색체 표현은 먼저 공정의 처리순서를 나타내기 위해 job 번호를 공정의 수만큼 반복시키는 형태를 사용한다. 하나의 유전인자는 하나의 공정을 의미하고, 표현 순서대로 기계에 할당되어 일정 계획 되어진다. 예를 들어 <표 1>에서의 3개 job과 3대 기계 문제는 순열 형태의 염색체로 [그림 1]과 같이 표현된다. 염색체의 첫 번째 줄에 세 번씩 반복된 숫자는 job의 번호이고, job들이 3개의 공정을 가지고 있기에 세 번씩 반복 되도록 하였다. job 번호의 첫 번째 반복은 그 job의 첫 공정을 두 번째 반복은 두 번째 공정을 의미한다. 그리고 염색체의 나열 순서는 왼쪽부터 순서대로 기계에 할당하여 스케줄을 생성하는 할당 순서이다. 이 염색체는 job 번호가 공정의 수만큼만 표시된다면 항상 실행가능성을 유지한다. 두 번째 줄은 각 공정들이 가지는 대체 공정순서를 정하기 위한 난수 값들이다. 각 job은 하나의 공정순서로 처리되어야 하기에 각 job

마다 한 난수 값을 최대 대체 공정순서 수내에서 발생시켰다. 예를 들어 <표 1>에서 job 2는 작업 가능한 공정순서가 3개이므로 숫자 3 이내에서 난수 값을 발생시킨다. 그리고 세 번째 줄은 각 공정들이 가지는 대체기계를 결정하기 위한 난수로, 어떤 한 공정의 최대 대체기계 수 내에서 발생시킨다. <표 1>에서 job 1의 두 번째 공정이 기계 M2에서 처리되지만, 기계 M1과 M3에서도 처리될 수 있다. 이 경우 job 1의 두 번째 공정을 처리할 수 있는 기계의 대수는 3대이다. <표 1>에서 이보다 많은 대체 기계를 가진 경우가 없으므로, 모든 대체 기계에 대한 난수 값은 3 이내에서 발생시킨다. 마지막 줄의 인덱스(index) 값은 job 번호의 반복 횟수로, 그 job에서 몇 번째 공정인지를 나타낸다.

3 2 2 3 1 1 1 3	
2 3 3 3 2 1 1 1 2	... (대체공정순서)
3 2 2 1 1 2 1 1 2	... (대체기계)
(1 1 2 3 2 1 2 3 3)	... (Index)

[그림 1] 염색체의 표현

<표 1> Job이 가진 대체기계와 대체 공정순서

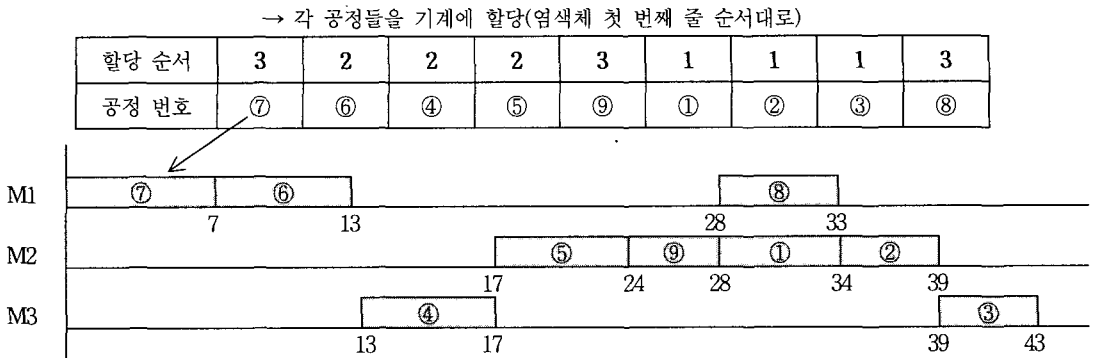
Job	공정(Operation) (기계, 가공시간)	대체기계, 가공시간	(대체) 공정순서
1	① (M1, 6)	(M2, 6)	①→②→③ (①→③→②)
	② (M2, 5)	(M1, 6), (M3, 6)	
	③ (M3, 4)		
2	④ (M1, 3)	(M3, 4)	④→⑤→⑥ (④→⑥→⑤) ⑥→④→⑤)
	⑤ (M2, 7)		
	⑥ (M3, 6)	(M1, 6), (M2, 7)	
3	⑦ (M1, 7)	(M3, 8)	⑦→⑧→⑨ (⑦→⑨→⑧)
	⑧ (M3, 5)	(M1, 5), (M2, 6)	
	⑨ (M2, 4)		

[그림 1]의 염색체 표현에서 첫 번째 줄의 첫 번째 3은 job 3의 첫 번째 공정을 의미하고, 두 번째 줄의 2는 job 3이 처리되어야 하는 공정순서로 두 번째의 대체 공정순서 ⑦→⑨→⑧을 의미한다.

그리고 세 번째 줄의 3은 job 3의 첫 번째 공정 ⑦을 여러 대체 기계 중 3번째 대체 기계에 할당한다는 의미로, 이 경우는 대체 기계가 두 대로 세 번째 기계가 없으므로 첫 번째 기계 M1에 할당한다. 대체 기계 할당 시 할당할 기계가 없는 경우는 첫 번째 기계를 할당하도록 하였다. Makespan은 첫 번째 줄의 순서대로 공정을 기계에 할당하여 구한다. <표 2>의 음영으로 표시된 부분은 <표 1>의 문제가 [그림 1]의 염색체에 따라 결정된 각 job 별 공정순서와 각 공정 별 처리 기계를 나타낸다. 이들 공정들을 염색체의 순서에 따라 기계에 할당하여 얻은 스케줄의 결과는 [그림 2]와 같이 간트 차트로 표현된다. 여기서는 염색체의 순서에 따라 어떠한 보정(repair) 절차 없이 할당시킨다.

<표 2> 염색체에 의해 선택된 공정순서와 기계

Job	공정순서	각 공정별 할당 기계 (대체기계)		
		공정 1	공정 2	공정 3
1	1 ①→②→③	M1	M2	M3
		(M2)	(M1)	
			(M3)	
	2 ①→③→②	M1	M3	M2
		(M2)		(M1)
				(M3)
2	1 ④→⑤→⑥	M1	M2	M3
		(M3)		(M1)
				(M2)
	2 ④→⑥→⑤	M1	M3	M2
		(M3)	(M1)	
			(M2)	
3	3 ⑥→④→⑤	M3	M1	M2
		(M1)	(M3)	
		(M2)		
	1 ⑦→⑧→⑨	M1	M3	M2
		(M3)	(M1)	
			(M2)	
2 ⑦→⑨→⑧	M1	M2	M3	
	(M3)		(M1)	
			(M2)	



[그림 2] 염색체 표현에 대한 결과 값(간트 차트)

이러한 염색체 표현 방법은 항상 해의 실행가능성을 유지 할 수 있게 해주어, 이전에 제시된 유전 알고리즘에서 염색체 표현과 유전 연산 과정에서 실행가능한 해를 유지하기 위해 특별히 설계된 알고리즘을 적용하는 과정을 생략할 수 있게 한다.

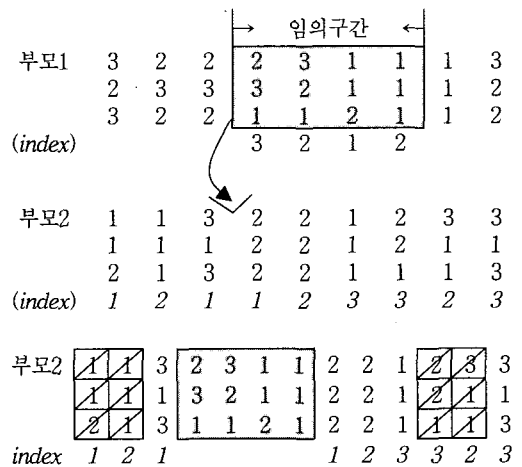
2.2.2 선택 방법

선택방법으로 씨종자 선택을 사용한다[11]. 씨종자 선택은 가족의 개체 증식을 위해 일상에서 사용하는 개체 선택과 좋은 개체 보존 방법을 유전 알고리즘 진화과정에 도입한 것이다. 두 부모 중 부(父)에 해당하는 개체는 임의로 발생시킨 값이 확률 값(0.9)의 범위 내에 들면 한 집단 내에서 정해진 순위 내에 드는 우수한 개체를 선택하고 그렇지 않으면 전체 집단에서 하나를 임의대로 선택한다. 나머지 모(母)는 전체 집단 내에서 임의대로 선택하는데, 두 개체를 임의대로 선택하여 일정한 확률 값에 따라 적합도가 좋은 개체 하나만을 선택한다. 이들을 부모로 사용하고 개체집단에 되돌려 다시 선택할 수 있게 한다.

2.2.3 교차와 돌연변이 연산자

교차연산자(Crossover)는 염색체의 좋은 순서관계를 유지하면서 진화시킬 수 있어야 한다. 본 연구에서 사용된 교차연산자는 먼저 임의의 구간을 산출한 뒤 그 구간 내 모든 유전인자들을 부모 2에 삽입한다. 삽입 위치는 임의의 구간이 시작된 유전인자 바

로 앞이다. 만약 첫 번째 부모에서 임의구간의 시작 위치가 4번째라면 삽입 위치는 부모 2의 4번째 유전인자 앞이 된다. 그리고 나서 임의의 구간내의 유전인자와 같은 인덱스(index)를 가진 유전인자들을 부모 2에서 삭제한다. 교차 연산 후 같은 job에 대한 대체 공정순서를 일치시키기 위해, 두 부모에서 각 job이 가졌던 공정순서에 대한 난수 값 중에서 랜덤으로 선택하여 일치시킨다.



[그림 3] 교차연산의 예

이들 과정을 부모 1과 2를 바꾸어서 수행하여 두 개의 자식 개체를 생성하고, 두 자식 개체 중 평가 기준에 적합한 한 개체만을 다음 세대로 보낸다. 그 과정은 [그림 3]과 같고 이 연산자는 이전 연구에서 좋은 수행도를 보여주었다[11].

돌연변이(mutation)는 염색체에 변화를 주어 집단내의 다양성을 유지하기 위해 사용한다. 본 연구에서는 서로 다른 3개의 유전인자를 선택하고 이를 교환하여, 이웃해 생성을 통하여 돌연변이 개체를 산출하는 이웃 탐색 기법에 근거한 돌연변이 연산자를 사용한다. 그리고 이웃해를 비교하는데 있어서는 두 가지 전략을 사용하였다[11].

#### 2.2.4 목적함수(Objective Function)와 교체방법(Replacement)

Job Shop 일정계획 문제에서 최소의 makespan을 가진 스케줄은 기계의 높은 효율을 의미한다. 순열 형태의 염색체로 표현하였을 때 makespan은 왼쪽에서 오른쪽으로 유전인자를 읽어, 대체 공정순서와 대체 기계를 고려하여 job의 선후관계를 지키면서 기계에 할당하여 구한다. 또한 makespan을 구하는 과정에서 [그림 4]에서처럼 각 job의 개시시간과 기계사용 가능시간을 고려할 수 있도록 하였다. 다음 세대의 구성은 현 세대에서 선택 방법과 유전 연산자들을 이용하여 새롭게 구성한다. 새로운 개체들을 초기 모집단의 개수만큼 생성하여 다음 세대를 구성하고 난 뒤 엘리티즘(elitism)을 적용하여 나쁜 개체는 엘리티즘 적용 개수만큼 좋은 개체로 다시 대체한다. 또한 교차율과 돌연변이율에 따라 일부 개체들은 유전 연산자를 거치지 않고 그대로 다음 세대로 이동하도록 한다.

### 3. 수행도 평가

제시된 알고리즘의 수행도(performance)는 대체 기계, 대체 공정순서가 모두 존재하는 대표적인 job shop 형태인 금형업체의 실제 자료를 통해 통합 일정계획을 수행한 경우와 순차적으로 한 경우를 비

교하였고, 다른 연구에서 제시된 대체 기계 문제와 통합 문제의 해를 통해 비교하였다. 통합 문제를 다룬 이전 연구들이 목적함수로 makespan을 이용하여 해를 제시하고 있어, 본 연구에서 비교 평가를 위해 makespan을 목적함수로 사용하였다. 그리고 모집단의 크기는 200, 세대수는 1000, 교차율 0.8, 돌연변이율은 0.1로 하였다[11].

#### 3.1 통합 일정계획 문제

먼저 대표적인 job shop 생산형태인 금형 생산업체에서의 통합 일정계획 문제를 대상으로 한다. 금형은 고객의 주문에 따라 제품의 설계가 이루어지고 이에 따라 제품을 제조하기 위한 공정계획이 세워진다. 1개의 제품을 완성하기 위해서는 여러 개의 부품이 필요하며, 한 개의 부품은 하나의 job으로 간주된다. 하나의 job은 여러 공정들을 가지며, 그 공정들 중 일부는 선후 제약을 가지지 않는다. 예를 들어 <표 3>의 Elbow 제품에서 job 2의 두 공정은 어느 공정이라도 먼저 이루어질 수 있다. <표 3>, <표 4>, <표 5>에서 음영으로 표시된 공정들은 선후제약을 가지지 않는 공정들이다. 특히 <표 3>의 job 5에서 MM 작업은 RD 작업 보다 먼저 이루어져야 하는 제약을 가지지만, NCL 작업은 MM 또는 RD 작업 이전에 수행될 수 있어 3개의 대체 가능한 공정순서가 생긴다. 그리고 일부 공정들은 수 개의 대체 기계에서 가공될 수 있다. 이 문제에서는 3대의 MM 기계와 2대의 E기계가 있다. <표 3>, <표 4>, <표 5>는 각 제품에 대해 대체 공정순서와 대체기계를 임의대로 결정한 공정계획의 결과이다. 이는 일정계획을 고려하지 않고 한 여러 번의 공정계획에서 가장 좋은 makespan을 구한 경우이다.

<표 6>은 각 제품에 대해 임의대로 결정한 공정계획을 바탕으로 일정계획을 수행한 결과와 공정계획과 일정계획을 통합한 경우의 makespan 값이다. 같은 유전 알고리즘의 진화과정으로도 공정계획과 일정계획을 통합 고려한 경우의 makespan이 개선되어짐을 확인할 수 있다. 최종 모집단 내에는 같은 값

을 가지는 많은 해가 존재하기에 최종 결정된 공정 계획은 제시하지 않았다.

(가) 염색체

3	2	2	2	3	1	1	1	3
2	3	3	3	2	1	1	1	2
3	2	2	1	1	2	1	1	2

(나) 가공순서

Job	공정순서 (대체기계)			
1	1	M1	M2	M3
		(M2)	(M1)	
			(M3)	
	2	M1	M3	M2
		(M3)		(M1)
				(M3)
2	1	M1	M2	M3
		(M3)		(M1)
				(M2)
	2	M1	M3	M2
		(M3)	(M1)	
				(M2)
	3	M3	M1	M2
		(M1)	(M3)	
				(M2)
3	1	M1	M3	M2
		(M3)	(M1)	
				(M2)
	2	M1	M2	M3
		(M3)		(M1)
				(M2)

(다) 기계별 가공순서

기계	순서
M1	⑦ → ④
M2	⑥ → ⑧ → ①
M3	⑤ → ③

```

Procedure : Objective function (makespan)
// job_cnt : job의 수,
machine_cnt : 기계의 수,
genotype_length : 염색체의 길이

begin
job_startj = 작업 개시시간 for all j ;
job_nextj = 1 for all j ;

machine_startm = 작업 개시시간
for all m ;
machine_nextm = 1 for all m ;

For k=1 to genotype_length do

i = genotype_job_arrayk ;
j = genotype_process_arrayk ;
l = genotype_machine_arrayk ;
m = genotype_machine_process_time_arrayk ;

start = 0 ;

If job_starti > machine_startl ;
start = job_starti ;
Else start = machine_startl ;

job_starti = start + m ;
machine_startl = start + m ;

job_nexti = job_nexti + 1 ;
machine_nextl = machine_nextl + 1 ;
End
End
    
```

[그림 4] 유전 알고리즘에서 염색체 평가(Makespan을 구하는 과정)



<표 3> Elbow 제품의 공정계획

Job	공정순서(가공시간)					
1. 이젝트판	MM2 (20)	RD (15)				
2. 고정축/ 가동축 고정판	MM1 (20)	RD (10)				
3. 고정축형판	LM (16)	MM3 (30)	RD (12)			
4. 가동축형판	LM (30)	MM2 (30)	RD (12)			
5. 고정축코아	MM1 (18)	RD (3)	NCL (4)	E1 (20)	SF1 (10)	L (10)
6. 이동축코아	MM2 (30)	RD (12)	L (10)	E2 (20)	SF1 (15)	
7. 슬라이드 코아	MM3 (5)	E1 (4)	SF1 (6)	L (10)	RD (5)	

<표 4> Picnic Case 제품의 공정계획

Job	공정순서(가공시간)					
1. 가동축형판	LM (14)	RD (17)				
2. 고정축형판	LM (14)	RD (5)				
3. 이젝트판	MM1 (4)	RD (8)				
4. 고정축/ 가동축고정판	RD (2)	MM1 (1)				
5. 스트립판	MM2 (6)	RD (2)				
6. 고정축코아	MM3 (4)	RD (6)	NCM (15)	E1 (8)	SF1 (10)	
7. 가동축코아	MM2 (5)	RD (6)	NCM (17)	E2 (12)	SF1 (10)	
8. 스트립판코아	MM3 (3)	RD (4)	NCM (8)	E1 (3)	SF1 (5)	
9. 슬라이드코아	MM1 (10)	AS (2)	SF1 (3)			

<표 5> Cake Box 제품의 공정계획

Job	공정순서(가공시간)				
1. 가동축형판	LM (18)	RD (20)			
2. 고정축형판	LM (17)	RD (10)			
3. 이젝트판	MM1 (6)	RD (2)			
4. 고정축/ 가동축고정판	MM1 (6)	RD (2)			
5. 가동축코아	MM2 (4)	RD (7)	E1 (4)	NCM (19)	SF1 (10)
6. 고정축코아	MM2 (4)	RD (8)	E2 (4)	NCM (25)	SF1 (10)
7. 스트리퍼판	MM3 (22)	RD (4)	E1 (3)	SF2 (5)	

<표 6> 통합 일정계획의 결과 비교

제품명	Makespan(단위 : 시간)	
	비통합	통합
Elbow	92	88
Picnic Case	65	62
Cake Box	69	61

### 3.2 Chambers의 대체기계 문제

본 연구에서 제시된 유전 알고리즘의 수행도를 좀 더 객관적으로 비교, 평가하기 위해 이미 평가된 대체 기계문제를 사용하였다. Chambers[3]는 대체 기계를 가진 job shop 문제에서 제시한 알고리즘의 수행도를 검증하기 위해 전통적인 job shop 벤치마크 문제에서 단순한 기준들에 따라 특정 기계를 추가하는 방법으로 MT10 문제를 변형하여 사용하였다. 그 기준은 기계에 요구되어지는 가공시간의 합이었다. 대체 기계를 추가를 위해 사용된 규칙은 아래와 같다.

- P1 문제 : 각 기계마다 요구되어지는 가공시간의 합이 가장 큰 기계를 한 대 더 추가

- P1, P1 문제 : 각 기계마다 요구되어지는 가공시간의 합이 가장 큰 기계를 두 대 더 추가
- P1, P1, P1 문제 : 각 기계마다 요구되어지는 가공시간의 합이 가장 큰 기계를 세 대 더 추가
- P1, P2 문제 : 각 기계마다 요구되어지는 가공시간의 합이 가장 큰 기계와 두 번째로 큰 기계를 한 대씩 더 추가

〈표 7〉 MT10 문제 변형을 통한 대체기계 문제의 결과

문제	Dispatching[3]	Chambers' Tabu search[3]	제시된 GA
P1	1023	929	929
P1, P1	1023	929	929
P1, P1, P1	1023	936	929
P1, P2	982	913	909

〈표 7〉에서 제시된 유전 알고리즘이 더 나은 해를 구하고 있음을 확인 할 수 있다.

### 3.3 Tan의 통합 일정계획 문제

Tan[12]의 연구에서는 통합 문제를 풀기 위해 제안된 방법론인 LMIPM(linear mixed-integer programming model)의 수행도를 평가하기 위해 5개의 job이 전체 20개의 공정을 가진 문제를 제시하였다. 이 문제에서 대부분의 job과 공정들은 4개 이상의 대체 공정순서와 대체 기계를 가진다. 또한 문제에서 각 job의 작업 가능시간들을 다르게 설정해 두었다. 이 문제에서 비교를 위해 사용된 방법들은 ECTF(Earliest Completion Time First)와 같이 통합 문제에서 실행 가능한 초기해를 만들기 위해 특별하게 설계된 디스패칭(dispatching) 규칙들이었다. 본 연구에서는 제안된 유전 알고리즘을 통해 LMIPM에 의해 얻어진 최적해를 쉽게 얻을 수 있었다.

〈표 8〉 Tan의 통합 문제 예에서 얻은 결과

방법론	ECTF	OS	FS	SA	LMIPM	제시된 GA
makespan	43.33	44.91	55.51	43.40	34.15*	34.15*

## 4. 결 론

제조업체에서의 중요한 부분 중의 하나는 최대한 빠르게 고객의 주문을 처리할 수 있는 납기일을 산출하는 것이다. 납기일의 산출을 보다 정확하게 하기 위해서는 각 job들에 대한 공정순서의 결정, 각 공정에 대한 기계선정 그리고 각 기계들에 대한 일정계획이 동시에 통합적으로 고려되어 결정되어야 한다. 공정계획과 일정계획의 통합은 공정계획과 일정계획의 순차적인 수행으로 생기는 시행착오와 재계획 작업을 줄이는 최상의 공정순서와 일정계획을 동시에 생성하는 것으로, 본 연구에서는 유전 알고리즘 기반으로 한 접근법을 통해 공정계획과 일정계획을 통합함으로써 makespan을 개선할 수 있음을 보였다. 또한 대체 기계를 가진 job shop 문제와 대체 공정순서와 대체 기계를 가진 문제에서 개선된 해와 최적해를 산출하여 제시된 유전 알고리즘의 수행도를 증명하였다. 이러한 통합 일정계획을 통해 보다 실제적이고 효율적으로 고객납기에 대응할 수 있을 것이다. 향후 통합 문제에 있어서는 문제의 복잡성과 어려움으로 인해 이들 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 방법론의 연구가 더욱 필요하다. 수리 계획법과 메타 휴리스틱 방법론의 결합을 통해 탐색 능력과 효율을 높이는 것이 가장 좋은 방법으로 제안되기도 하지만, 수리 계획법과의 결합은 다룰 수 있는 문제의 범위를 줄이고 탐색 시간이 길어진다는 단점을 가지고 있기 때문에 효율적인 로컬 탐색 기법들에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Brandimarte, P., "Routing and Scheduling in a Flexible Job Shop by Tabu Search," *Annals of Operations Research*, Vol.41(1993), pp. 157-183.
- [2] Brandimarte, P. and M. Calderini, "A Heuristic Bicriterion Approach to Integrated

- Process Plan Selection and Job Shop Scheduling," *International Journal of Production Research*, Vol.33(1995), pp.161-181.
- [3] Chambers, J.B., *Classical and Flexible Job Shop Scheduling by Tabu Search*, Ph.D. Dissertation, The University of Texas at Austin, 1996.
- [4] Huang, S.H., H.C. Zhang, and M.L. Smith, "A Progressive Approach for the Integration of Process Planning and Scheduling," *IIE Transactions*, Vol.27(1995), pp.456-464.
- [5] Khoshnevis, B. and Q. Chen, "Integration of Process Planning and Scheduling Functions," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.1(1990), pp.165-176.
- [6] Kim, K.H. and P.J. Egbelu, "Scheduling in a Production Environment with Multiple Process Plans per Job," *International Journal of Production Research*, Vol.37, No.12 (1999), pp. 2725-2753.
- [7] Kim, Y.K., K.T. Park, and J.S. Ko, "A Symbiotic Evolutionary Algorithm for the Integration of Process Planning and Job Shop Scheduling," *Computer and Operations Research*, Vol.30(2003), pp.1151-1171.
- [8] Lee, Y.H., C.S. Jeong, and C.U. Moon, "Advanced Planning and Scheduling with Outsourcing in Manufacturing Supply Chain," *Computers and Industrial Engineering*, Vol.43(2002), pp.351-374.
- [9] Nasr, A. and E.A., Elsayed, "Job Shop Scheduling with Alternative Machines," *International Journal of Production Research*, Vol.28, No.9(1990), pp.1595-1609.
- [10] Palmer, G.J., "A Simulated Annealing Approach to Integrated Production Scheduling," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.7(1996), pp.163-176.
- [11] Park, B.J., H.R., Choi, and H.S. Kim, "A Hybrid Genetic Algorithms for Job Shop Scheduling Problems," *Computers and Industrial Engineering*, Vol.45(2003), pp.597-613.
- [12] Tan, W., *Integration of Process Planning and Scheduling - A Mathematical Programming Approach*, Ph.D. Dissertation, University of Southern California, 1998.
- [13] Tan, W. and B. Khoshnevis, "Integration of Process Planning and Scheduling - A Review," *Journal of Intelligent Manufacturing*, Vol.11 (2000), pp.51-63.
- [14] Weintraub, A., D. Cormier, T. Hodgson, R. King, J. Wilson, and A. Zozom, "Scheduling With Alternatives : A Link Between Process Planning and Scheduling," *IIE Transactions*, Vol.31(1999), pp.1093-1102.