

## 타이어 정련 공정 스케줄링을 위한 유전자 알고리즘

안의국 · 박상철<sup>†</sup>  
아주대학교 산업공학과

### Genetic Algorithms for Tire Mixing Process Scheduling

Euikoog Ahn and Sang Chul Park<sup>†</sup>

Department of Industrial Engineering, Ajou University

Received 8 February 2013; received in revised form 4 March 2013; accepted 5 March 2013

#### ABSTRACT

This paper proposed the scheduling method for tire mixing processes using the genetic algorithm. The characteristics of tire mixing process have the manufacturing routing, operation machine and operation time by compound types. Therefore, the production scheduling has to consider characteristics of the tire mixing process. For the reflection of the characteristics, we reviewed tire mixing processes. Also, this paper introduces the genetic algorithm using the crossover and elitist preserving selection strategy. Fitness is measured by the makespan. The proposed genetic algorithm has been implemented and tested with two examples. Experimental results showed that the proposed algorithm is superior to conventional heuristic algorithm.

**Key Words:** Tire mixing process, Production scheduling, Job shop, Genetic algorithm

### 1. 서 론

타이어 제조 공정은 대부분의 자동차용 고무 부품을 만드는 공장처럼 Job-shop 배치 형태를 따르기 때문에, 하나의 공장에 큰 부지와 많은 설비의 투입이 이뤄진다. 또한, 이동하는 반제품의 이동 형태가 복잡하고 긴 동선을 가지는 특징이 있다<sup>[1]</sup>. Job shop 스케줄링은 문제의 크기에 따라 해결에 필요한 시간이 지수적으로 증가하는 NP hard 문제로 m개의 다른 job들이 n개의 다른 기계에 스케줄되는데, 각 job은 operation의 집합으로 이뤄지며, 기계에서의 operation 순서가 정해진다. 또한 각 operation은 요구되는 기계와 고정된 가공 시간을

가지며, 각 기계는 한 번에 한 작업만 처리 가능하며 시작시간과 종료시간이 명시되지 않는다. Job shop 스케줄링의 목적은 makespan을 최소화하고, 기계에서 operation의 순서를 결정하는 것이다<sup>[2,3]</sup>. Job shop 스케줄링에 대해 수행한 기존의 연구로는 각 job의 라우팅에 따라 작업 가능한 기계가 하나일 때 최적해를 찾는 방안을 휴리스틱으로 제시한 연구<sup>[4]</sup>와 각 job이 작업 가능한 기계가 복수 개이고, 각 기계에서의 작업 시간이 상이할 때 최저의 makespan을 휴리스틱으로 제시한 연구<sup>[5]</sup>가 있다. 그리고 유전자 알고리즘을 이용해 Job shop 시스템의 대체 공정에 대한 문제를 유전자 알고리즘으로 스케줄링 방안<sup>[6,7]</sup>을 제안한 연구와 혼합 유전알고리즘으로 Job shop 스케줄링 문제를 해결한 연구<sup>[8]</sup>가 있다. 하지만 일반적인 Job shop 시스템에 대해 스케줄링하기 위한 방안을 제시한 것으로

<sup>†</sup>Corresponding Author, separk@ajou.ac.kr  
©2013 Society of CAD/CAM Engineers

타이어 정련 공정에 특화되지 않은 한계가 있다. 또한 타이어 산업을 대상으로 생산 스케줄링 지원을 위해 수행되었던 기존의 연구는 휴리스틱 규칙으로 타이어 제조 환경에서 생산 프로세스를 표현하고, 이를 기준으로 모델링 한 연구<sup>[9]</sup>와 타이어 제조 생산공정 구축을 위해 타당성 검토에 대한 시뮬레이션을 수행한 연구<sup>[1]</sup>, ERP시스템을 구축해 생산 최적화를 구축한 사례연구<sup>[10]</sup>가 있었다. 하지만 타이어 제조를 위한 일정계획 수립을 위한 구체적인 연구는 많이 부족했다. 본 연구는 정련 공정을 대상으로 생산계획 수립 방안을 제시했다. 이를 위해 A타이어 회사를 대상으로 타이어 정련 공정을 분석했다. 그리고, 분석한 내용을 기반으로 타이어 정련 공정을 단순화하여 모델을 만들고, 유전자 알고리즘을 이용한 생산 스케줄링 방안을 제시했다. 이때 제시한 알고리즘의 적합도를 측정은 makespan으로 했다. 본 연구는 2장에서 타이어 정련 공정의 특징을 분석해 타이어 정련 공정의 문제를 정의했고, 3장에서 유전자 알고리즘 방안을 제시하였고, 4장에서 실험 및 결과의 평가를 수행한 후 5장에서 결론 및 향후 연구를 제시한다.

## 2. 문제 정의

타이어의 제조공정은 고무와 코드들을 원재료로 하여 정련, 압연, 압출, 비드, 재단, 포깅, 성형 및 가류공정을 거치고, 검사하여 완제품이 만들어진다<sup>[11]</sup>. 타이어 제조공정은 Fig. 1과 같다.

이 중 정련공정은 천연고무와 합성 고무를 여러 가지 약품을 첨가해 밀 또는 믹서에 넣고 혼합하는데 이 공정에서 타이어의 재료로써 고무에 필요한 특성을 갖도록 하는 기초공정이자 타이어 완제품 상에 제품 품질에 영향을 많이 주는 공정이다<sup>[12]</sup>. 또한 원재료를 가져와 처음 작업하는 공정이기 때문에 정련공정에서 다음 공정에 원활히 제품을 공급하지 못하면 타이어 제조 전체의 흐름에 차질을 주기 때문에 후 공정이 필요로 하는 제품을 제때에 제공하는 것이 무엇보다 중요한 공정이다. 하지만 과다하게 생산할 경우 재고로 남아 자원의 낭비를 초래할 수 있다. 따라서 타이어 제조에 있어 정련공정의 생산계획을 수립은 중요하다. 타이어 제조업체 A사의 정련공정은 기계에서 고무를 넣고 혼합해 Comp'd (Compound)를 생산하고 있다. 정련 공정은 천연고무에 약품을 배합

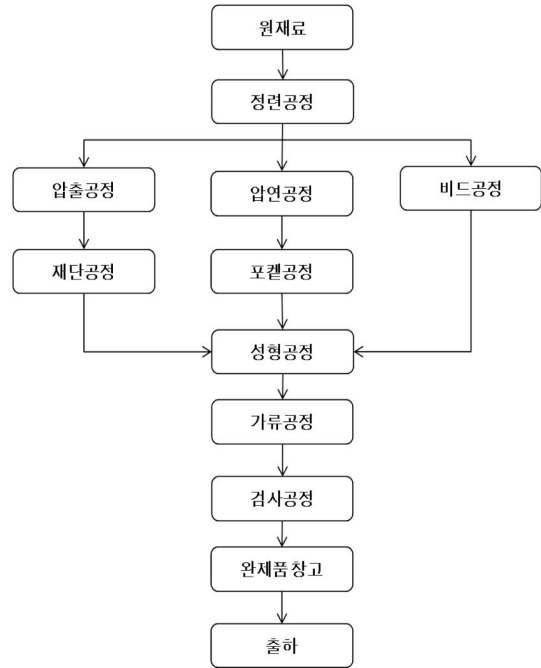


Fig. 1 Tire manufacturing process

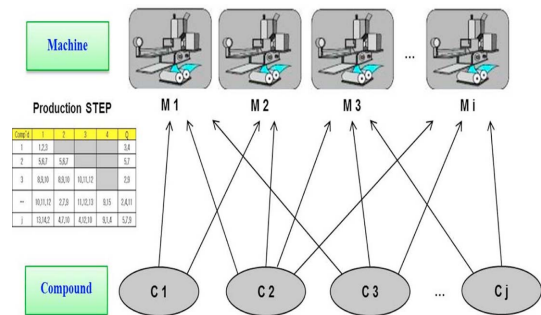


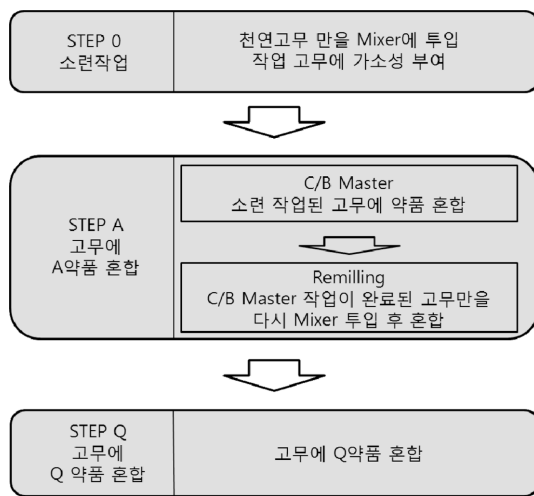
Fig. 2 Example for Mixing process

해 인공고무(Q고무)로 바꾸는 공정으로 사용고무, 시방에 따라 구분된 Comp'd에서 Q고무의 생산을 위해 거쳐야 하는 STEP이 Comp'd별로 정의되어 있으며 각 STEP 별로 생산 가능한 기계가 정의되어 있다. 이러한 작업 공정의 예는 Fig. 2에서 보여주고 있다.

각 STEP별로 Comp'd를 기계에 할당할 때 1배치 무게와 작업 시간은 Table 1과 같이 모두 다르게 정의되는데 Table 1의 C11 Comp'd를 예를 들면 작업 가능한 기계가 2, 4일 때 기계 2에서 작업하면 1배치에 300 kg을 배치할 수 있고, 작업 시간은 1.5분이 걸리는 것을 의미하며, 기계 4에서 작업하면 1배치에 280 kg을 배치할 수 있고, 1.3분의

**Table 1.** Example of machine allocation for Comp'd

Machine \ Comp'd	1	2	3	4
C11	×	(300,1.50)	×	(280,1.30)
C21	×	(310,1.30)	×	(270,1.45)
C31	×	(250,1.35)	×	(330,1.30)
C41	×	(266,1.40)	×	(309,1.35)
C51	×	(280,1.38)	×	(277,1.35)
...	×	×	(213,1.80)	(300,1.65)



**Fig. 3** Characteristic of comp'd operation process

작업 시간이 필요한 것을 나타낸다. 이때 정의된 무게는 최대 용량으로 볼 수 있다. 즉 1배치의 무게 이하로 Comp'd를 할당하는 것이 가능한 것이다.

또한 각 Comp'd는 Fig. 3과 같은 작업 단계를 거친다.

STEP 0와 STEP Q는 반드시 거쳐야 하는 단계이다. STEP 0는 천연고무만을 기계에 투입하고, mixing하는 작업으로 천연 고무에 가소성을 부여하는 역할을 한다. STEP Q는 고무에 가류제인 Q 약품을 첨가하는 단계로 정련공정의 마지막 STEP에 해당한다. STEP A는 Comp'd의 종류에 따라 선택적으로 작업하는 STEP인데 Comp'd의 종류에 따라 1부터 4 STEP을 거치게 되며, 소련 작업된 고무에 약품을 혼합하는 C/B(Carbon Black) Master단계와 C/B Master 작업이 완료된 고무를 다시 기계에 투입해 mixing하는 재내림의 단계로 세분화된다. 대상 공장이 현재 보유하고 있는 기

계의 수는 15개, 기계의 종류는 4가지이다. 기계의 종류 별 특징은 다음과 같다. 1) 최종 STEP이나 최종 STEP에서 한 단계 이전 STEP을 작업하는 기계(Machine type 1), 2) STEP 1단계의 작업은 수행하지 않는 기계(Machine type 2), 3) STEP 0은 수행하지 않으며, 주로 최종 STEP을 수행하는 기계(Machine type 3), 4) 최종 STEP은 수행하지 않는 기계(Machine type 4)이다. Set-up time조건은 Comp'd를 기계에 할당할 때 같은 배치 사이즈 내의 set-up time은 30초이고, 기계에 새로운 Comp'd를 다시 배치하면 set-up time이 평균 10분 소요된다.

### 3. 유전자 알고리즘 제안

#### 3.1 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 1975년 John Holland에 의해 개발된 최적화 알고리즘으로 적자 생존의 진화 현상을 구현한 탐색 알고리즘이다. 유전자 알고리즘은 확률적 탐색과 방향성을 지닌 탐색, 군에 의한 탐색을 하며, 초기화된 가능한 해들의 집합에서 시작하여 세대 교체를 반복함으로써 점점 더 우수한 해의 집합을 생성하는 것이 목적이다. 유전자 알고리즘은 처음 시작하여, 개체의 표현 방법을 결정하여 초기 개체군을 생성하고, 적합도를 평가해 적합하면 끝내고, 그렇지 않으면, 선택, 교차, 돌연변이의 과정을 적합한 평가결과가 나올 때까지 반복하는 동작 프로세스를 가지고 있다. 이 프로세스는 Fig. 4와 같다<sup>13,14</sup>. 유전자 알고리즘을 어떤 문제에 적용하기 위해서는 해를 유전자의 형식으로 표현할 수 있어야 하며, 이 해가 얼마나 적합한지 적합도 함수를 통해 평가할 수 있어야 한다. 유전자 알고리즘에서 유전자의 특성을 숫자의 배열이나 문자열과 같은 자료 구조로 표시하게 된다<sup>13</sup>.

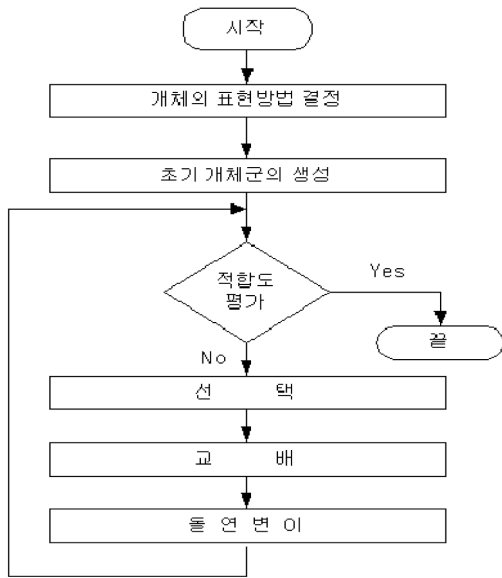


Fig. 4 Operation process Genetic Algorithm

3.2 유전자 알고리즘 제한

3.2.1 유전자 표현

아래의 Fig. 5에서 보는 바와 같이 유전자의 염색체를 표현했다. 우선 Comp'd별로 할당된 기계의 정보를 나타내는 RS(Routing String)과 작업의 우선 순위를 표현하는 PS(Priority String)로 표현했다. 이때 각 string의 자리 수는 Comp'd의 종류와 동일 Comp'd 내의 STEP을 나타내도록 염색체를 정의했다. 예를 들어 첫 번째 자리는 C1의 STEP 1에 해당하며, 5번째 자리는 C2의 STEP1에 해당하게 된다.

3.2.2. 초기 집단

초기 집단의 생성은 유전자 알고리즘에서 중요한 요소이다. 기존의 초기 해 생성 방법은 무작위로 만들어진 해를 보정하여 연산하는 방식과 항상 제약 조건을 만족하는 해를 만들어 초기화하는 방

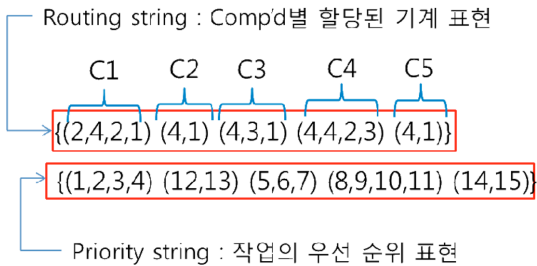


Fig. 5 Operation process Genetic Algorithm

식이 있다<sup>[15]</sup>. 본 연구는 항상 제약 조건을 만족하는 초기 해를 생성하는 방식을 채택하였다. 이를 위해 Comp'd별로 작업 가능한 기계에서 작업이 가능하도록 하였고, 동일한 Comp'd의 종류 내의 STEP이 빠른 것이 더 높은 우선 순위를 갖게 하였다. 초기 집단의 크기는 8로 정의하였고, 초기 집단 결정시 랜덤 요소와 Comp'd별 작업 가능한 기계에서의 Comp'd 무게, 작업시간, 소요량 등의 요소와 랜덤 소요량을 모두 고려하는 방식을 채택했다. 초기 집단 결정을 위해 RS의 경우 Comp'd의 STEP별 할당 가능한 기계 중 1) Comp'd 1배치의 무게가 가장 높은 기계에 배치, 2) 1배치의 무게가 가장 낮은 기계에 배치, 3) 작업 시간이 가장 낮은 기계에 배치, 4) 작업 시간이 가장 높은 기계에 배치, 5) CVt<sub>ij</sub>가 가장 낮은 기계에 배치, 6) CVt<sub>ij</sub>가 가장 높은 기계에 배치, 7~8) 랜덤 배치하는 방안을 채택했다. 이때 CVt<sub>ij</sub>는 아래의 방식으로 구할 수 있다.

$$CVt_{ij} = \text{ceil}(D_i / W_{ij}) * Pt_{ij}$$

CVt<sub>ij</sub>: Comp'd i가 machine j에서 작업될 때 실제 작업되는 시간

D<sub>i</sub> : Comp'd i의 소요량

W<sub>ij</sub> : Comp'd i가 j 기계에서 작업 가능한 Comp'd의 1배치 무게

Pt<sub>ij</sub> : Comp'd i가 j 기계에서 작업되는 시간

PS의 경우 1) 소요량이 높은 Comp'd 우선배치, 2) 소요량이 낮은 Comp'd 우선배치, 3) 소요량이 높은 Comp'd부터 순차적으로 우선배치, 4) 소요량이 낮은 Comp'd부터 순차적으로 우선배치, 5~8) 랜덤 배치하는 방안을 채택했다. 해 집단의 평가 방식은 Makespan을 기준으로 했다.

3.2.3. 교차

본 연구에서 개체를 선택하기 위해 선택한 방법은 엘리트 보존 선택방식이다. 이는 개체 중에서 가장 적합도가 높은 개체는 그대로 보존하여 다음세대에 남기고, 가장 열등한 개체는 도태시키는 방안이다<sup>[13]</sup>. RS는 복수 점 교차 방식으로 교차를 수행했으며, PS는 복수 점 교차 이후 실재하는 유전자를 얻기 위해 Comp'd의 STEP내에서 우선 순위에 위배되지 않도록 변환했다. 이는 Fig. 6과 같다.

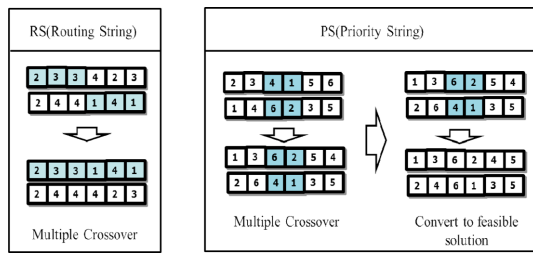


Fig. 6 Crossover for RS and PS

3.2.4 돌연변이

유전자 알고리즘에서 돌연변이 연산은 교차와 선택에 의해 해가 성숙하지 못한 상태에 빠르게 수렴하는 것을 방지하기 위해 수행하는 단계이다. RS는 염색체에 대해 무작위로 돌연변이 지점을 잡고, 해당 자리에서 작업 가능한 기계를 무작위로 결정하도록 했으며, PS는 염색체에 대해 무작위로 돌연변이 지점을 잡고, 해당 자리의 우선 순위와 같은 우선 순위에 해당하는 자리의 값으로 교체하고, 돌연변이 수행 후 Comp'd의 STEP내에서 우선 순위에 위배되지 않도록 변환했다.

3.2.5 유전자 알고리즘 구조 제안

본 연구는 두 가지 방안의 유전자 알고리즘 구조를 제안했다. 전략 1은 초기 해를 생성한 후 makespan을 측정한 이후 엘리트 보전 선택 방식으로 선택과 도태를 수행한다. 그리고, RS와 PS 특정 위치를 기준으로 교차가 동시에 이뤄진다. 교차 이후에 돌연변이 단계를 거친 이후 종료 조건이 되었으면 알고리즘을 종료하고, 종료 조건이 아니면 다시 위의 과정을 다시 반복한다. 전략 1의 유전자 알고리즘 흐름도는 Fig. 7과 같다.

또한 전략 2는 초기 해를 생성한 후 makespan을 측정한 이후 엘리트 보전 선택 방식으로 선택과 도태를 수행한다. 그리고, 각 RS에 대해 종료조건이 숫자가 될 때까지 교차를 반복하여 해당 RS에 대한 최저 makespan을 구한다. 그 이후 돌연변이 과정을 통해 새로운 세대를 생성하고, 종료 조건이 아니면 위의 과정을 반복한다. 전략 2 유전자 알고리즘 흐름도는 Fig. 8과 같다.

전략 1은 RS와 PS의 교차가 동시에 일어나는 반면 전략 2는 각 RS에 대해 최저의 makespan을 구하기 위한 PS를 찾기 위해 교차를 수행하는 차이가 있다.

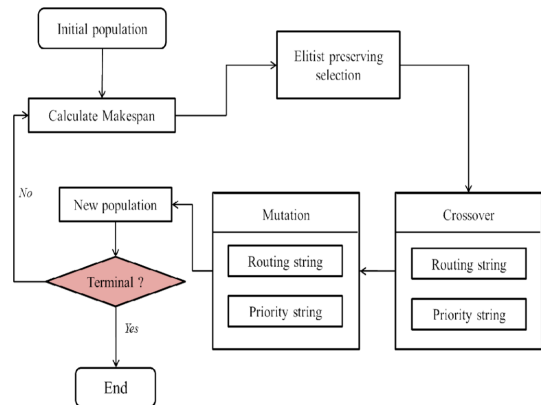


Fig. 7 Structure of Genetic Algorithm for Strategy 1

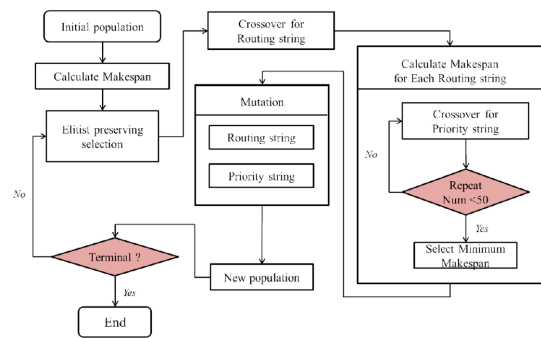


Fig. 8 Structure of Genetic Algorithm for Strategy 2

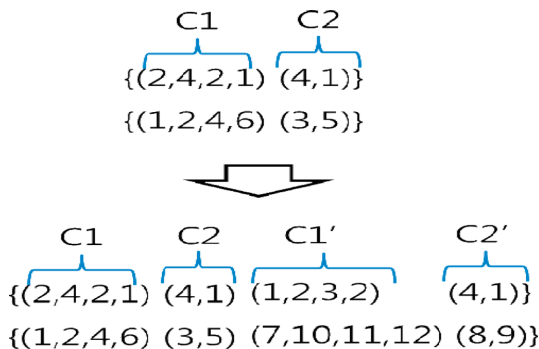
4. 실험 및 결과 분석

본 연구에서 제안한 알고리즘의 적용하기 위해 타이어 정련 공정의 특징이 반영한 실험 조건을 Table 2와 같이 구성했다. 총 4개의 대개 기계 1부터 기계 4가 각각 Machine type 1부터 Machine type 4의 특징을 갖도록 정의 하고, 5개의 Comp'd의 생산 STEP 별 작업 가능한 기계, 작업 시간 1 배치의 무게를 정의했다. 그리고 소요량의 발생을 C(Comp'd)1 : 5,800 kg, C2: 4,800 kg, C3: 5,400 kg, C4: 5,100 kg, C5: 4,700 kg을 기본 소요량으로 정의하였다. 이는 Table 2와 같다.

실험을 위해 N.Nasr and E.A. Elsayed (1990)가 제안한 휴리스틱 알고리즘<sup>[5]</sup>, 전략 1, 전략2를 고려해 makespan과 결과 도출까지의 시간을 초기 소요량과 비교해 최대 4배까지 증가시켜가며 실험 결과결과를 얻었다. 또한 무게기반의 Comp'd의 특성을 반영하기 위해 Comp'd별로 소요량이 발생 할 때 분할하여 배치하는 방안에 대해서도 실험

**Table 2** Machine allocation of Comp'd for experience

Machine \ Comp'd	1	2	3	4
C11	×	(300,1.50)	×	(280,1.30)
C21	×	(310,1.30)	×	(270,1.45)
C31	×	(250,1.35)	×	(330,1.30)
C41	×	(266,1.40)	×	(309,1.35)
C51	×	(280,1.38)	×	(277,1.35)
C12	×	×	(213,1.80)	(300,1.65)
C22	(190,1.12)	×	(190,1.17)	×
C32	(340,1.77)	×	(330,1.75)	×
C42	×	×	(310,2.10)	(325,1.85)
C52	(205,1.48)	×	(315,1.52)	×
C13	×	(350,1.05)	(308,1.05)	(300,1.30)
C33	(330,0.8)	(330,0.9)	×	×
C43	×	(325,0.90)	(200,1.08)	(290,1.20)
C14	(200,1.00)	×	(200,1.25)	×
C44	×	(200,1.05)	(200,1.00)	×



**Fig. 9** Example of Comp'd division

을 수행했다. 분할 방식은 Comp'd별로 소요량이 발생하면 이를 50%씩 나누어 할당하는 방식을 취했다. 그리고, 분할된 Comp'd는 종류는 같으나 Comp'd를 기계에 배치할 때 서로의 RS와 PS는 영향을 받지 않게 된다. 이는 Comp'd를 기계에 할당함에 있어 무게를 기반으로 1배치의 단위가 결정되는 Comp'd의 특성을 반영하기 위함이다. Fig. 9는 Comp'd가 분할하는 경우에 대해 검색체를 표현하는 방식에 대한 예를 보여준다.

그 결과 Table 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

**Table 3** Experimental result 1

		Demand x1	Demand x2	Demand x3	Demand x4
휴리스틱에 의한 배치	Makespan (min)	295	520	750	970
	Time (sec)	1.2	1.1	1.0	1.3
전략 1에 의한 배치	Makespan (min)	215	355	557	720
	Time (sec)	5.3	5.2	5.1	5.3
전략 2에 의한 배치	Makespan (min)	220	372	578	695
	Time (sec)	198	205	207	202
전략 1에 의한 배치 (분할)	Makespan (min)	258	380	549	680
	Time (sec)	5	5.7	5.6	5.3
전략 2에 의한 배치 (분할)	Makespan (min)	248	385	550	665
	Time (sec)	295	302	311	300

**Table 4** Machine allocation of Comp'd for extended experience

DATA	A(Q)	A(T)	B(Q)	B(T)	C(Q)	C(T)	D(Q)	D(T)	E(Q)	E(T)	F(Q)	F(T)	G(Q)	G(T)	H(Q)	H(T)
C11	X	X	300	1.5	X	X	280	1.3	X	X	250	1.2	X	X	230	0.9
C21	X	X	310	1.3	X	X	270	1.45	X	X	260	1.5	X	X	222	1
C31	X	X	250	1.35	X	X	330	1.3	X	X	200	1.1	X	X	280	0.8
C-1	X	X	266	1.4	X	X	309	1.35	X	X	216	1.2	X	X	256	0.95
C51	X	X	280	1.38	X	X	277	1.35	X	X	230	0.8	X	X	216	1.5
C61	X	X	300	1.5	X	X	280	1.3	X	X	250	1.2	X	X	230	0.9
C71	X	X	310	1.3	X	X	270	1.45	X	X	260	1.5	X	X	222	1
C81	X	X	250	1.35	X	X	330	1.3	X	X	200	1.1	X	X	280	0.8
C91	X	X	266	1.4	X	X	309	1.35	X	X	216	1.2	X	X	256	0.95
C101	X	X	280	1.38	X	X	277	1.35	X	X	230	0.8	X	X	216	1.5
C12	X	X	X	X	213	1.8	300	1.65	X	X	X	X	220	1.8	250	1.55
C22	189	1.12	X	X	190	1.17	X	X	230	1.5	X	X	230	1.17	X	X
C32	340	1.77	X	X	330	1.75	X	X	300	1.3	X	X	280	1.75	X	X
C-2	X	X	X	X	310	2.1	325	1.85	X	X	X	X	310	2.1	175	1.85
C52	265	1.48	X	X	315	1.52	X	X	250	1.5	X	X	300	1.52	X	X
C62	X	X	X	X	213	1.8	300	1.65	X	X	X	X	220	1.8	250	1.55
C72	190	1.12	X	X	195	1.17	X	X	230	1.5	X	X	230	1.17	X	X
C82	340	1.77	X	X	330	1.75	X	X	300	1.3	X	X	280	1.75	X	X
C92	X	X	X	X	310	2.1	325	1.85	X	X	X	X	310	2.1	175	1.85
C102	265	1.48	X	X	315	1.52	X	X	250	1.5	X	X	300	1.52	X	X
C13	X	X	350	1.65	308	1.05	300	1.3	X	X	300	1.25	308	1.22	250	1.3
C33	330	0.8	330	0.9	X	X	X	X	270	1	280	1.1	X	X	X	X
C-3	X	X	325	0.9	200	1.08	290	1.2	X	X	275	1.2	200	1.33	240	1.2
C63	X	X	350	1.65	308	1.05	300	1.3	X	X	300	1.25	308	1.22	250	1.3
C83	330	0.8	330	0.9	X	X	X	X	270	1	280	1.1	X	X	X	X
C93	X	X	325	0.9	200	1.08	290	1.2	X	X	275	1.2	200	1.33	240	1.2
C14	190	1	X	X	200	1.25	X	X	250	1.2	X	X	200	1.34	X	X
C44	200	1	X	X	200	1.25	X	X	250	1.2	X	X	190	1.34	X	X
C-4	X	X	200	1.65	200	1	X	X	X	X	250	1.3	200	1.11	X	X
C84	X	X	200	1.65	190	1	X	X	X	X	250	1.3	200	1.11	X	X

또한 실험 조건을 Table 4와 같이 확장해 구성했다. 총 6개의 대해 Machine type 1, Machine type 2는 1대, Machine type 3, Machine type 4는 2대에 대해 10개의 Comp'd의 생산 STEP 별 작업 가능한 기계, 작업 시간 1배치의 무게를 정의했다. 그리고 소요량의 발생을 C1: 5,800 kg, C2: 4,800 kg, C3: 5,400 kg, C4: 5,100 kg, C5: 4,700 kg, C6: 5,900 kg, C7: 6,200 kg, C8: 6,000 kg, C9: 4,600 kg, C10 5,000 kg을 기본 소요량으로 정의하고, 소요량을 증가시켜 가면서 실험을 수행했다. Table 5는 확장된 실험 조건에서의 실험 결과를 표로 보여준다. 실험 1과 2의 결과를 보면 제한한 전략 1과 2가 기존에 제안된 휴리스틱 방안과 비교하여 더

좋은 makespan을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 전략 1과 전략 2를 통해 구한 makespan은 전략 2가 더 나은 경향이 있으나 비교적 유사하게 측정되는 것을 알 수 있었다. 전략 1과 전략 2의 결과를 도출하는 데 필요한 시간을 비교한 결과 전략 1은 5초 내외로 일정한 시간이 필요한 반면 전략 2의 경우 소요량이 커질수록 Comp'd를 분할한 경우가 분할하지 않은 경우보다 더 많은 시간이 필요한 것을 확인할 수 있었다. 또한 소요량이 증가할수록 분할하는 것이 더 좋은 makespan을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 실험을 확장해 수행한 결과 역시 유사한 실험 결과를 얻을 수 있는 것을 알 수 있었다.

Table 5 Experimental result 2

		Demand x1	Demand x2	Demand x3	Demand x4
휴리스틱에 의한 배치	Makespan (min)	335	601	866	1137
	Time (sec)	1.2	1.1	1.0	1.5
전략 1에 의한 배치	Makespan (min)	300	571	800	1060
	Time (sec)	5.6	5.3	5.7	5.3
전략 2에 의한 배치	Makespan (min)	311	566	780	1070
	Time (sec)	315.0	319.1	310.2	322.2
전략 1에 의한 배치 (분할)	Makespan (min)	350	590	800	1020
	Time (sec)	5.7	5.2	5.5	5.6
전략 2에 의한 배치 (분할)	Makespan (min)	349	578	782	1010
	Time (sec)	763.0	753.3	768.0	753.3

## 5. 결론 및 향후 연구

본 연구는 타이어 정련 공정의 스케줄링을 위해 유전자 알고리즘 기반의 스케줄링 방안을 제시했다. 이를 위해 RS와 PS로 유전자의 염색체를 표현했으며, 유전자의 선택 방식은 엘리트 선택법을 이용했다. 또한 적합도의 판별은 makespan으로 결정했다. 그리고 정련 공정의 특징을 반영해 실험 환경을 만들고, Nasr and Elsayed(1990)가 제안한 휴리스틱 알고리즘과 제안한 전략 1, 전략 2와 비교하여 제안한 방안이 더 나은 makespan을 구하는 것을 볼 수 있었다. 그리고, 무게를 기반으로 Comp'd를 기계에 할당하는 타이어 정련 공정의 특징을 반영하기 위해 발생한 소요량을 분할하여 배치하는 것과 소요량대로 모두 배치하는 방안에 대해 Comp'd 소요량을 다르게 변화시켜 가면서 비교하는 실험을 수행했다. 그 결과 제안한 전략 1과 전략 2가 비슷한 makespan 결과를 내는 것을 알 수 있었으며, 소요량이 적을수록 분할하지 않는 것이 유리하며, 많아질수록 분할해 배치하는 것이 더 좋은 makespan 결과를 얻는 것을 알 수 있었다. 향후에는 makespan 이외에도 가동률, set-up time 등 다양한 요소를 고려해 적합도 평가를 수행하는 방안과 Comp'd의 분할 배치에 대한 정보를 염색체에 반영해 스케줄링 할 수 있는 유전자 알고리즘을 제안할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국연구재단(2010-0021040), 한국 산

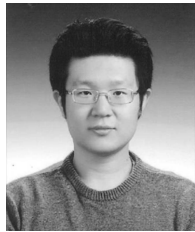
학연합회(C0003579), 국방과학연구소(UD080042AD)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Moon, D. H. and Chang, K. K., 2000, A Simulation Model for Supporting System Design of Tire Manufacturing System, *Korean Simulation Association*, Vol.9 No.2, pp. 27-38.
2. Carlier, J. and Pinson, E., 1989, An Algorithm for Solving the Job-shop Problem, *Management Science*, Vol. 35, No. 2, pp. 164-176.
3. Joseph Adams, Egon Balas, and Daniel Zawack-Reviewed, 1988, The Shifting Bottleneck Procedure for Job Shop Scheduling, *Management Science*, Vol. 34, No. 3, pp. 391-401.
4. Kenneth R. Baker, 1974, Introduction to Sequencing and Scheduling, John Wiley & Sons, Inc, pp. 178-210.
5. Nabil Nasr and Elsayed, E. A., 1990, Job Shop Scheduling with Alternative Machines, *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 9, pp. 1595-1609.
6. Park, J.-H., Choi, Hoeryon and Kim, Y. H., 1998, A Genetic Algorithm Approach to Job Shop Scheduling Considering Alternative Process Plans, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 24, No. 4 pp. 130-145.
7. Moon, I. K., Lee, S. H. and Bae, H. R., 2008, Genetic Algorithms for Job Shop Scheduling Problems with Alternative Routings, *International Journal of Production Research*, Vol. 46, No. 10, pp. 2695-2705.
8. Hong Zhou, Yuncheng Feng, and Limin Han, 2001, The Hybrid Heuristic Genetic Algorithm for Job Shop Scheduling, *Computers & Industrial*



- Engineering*, Vol. 40, No. 3, pp. 191-200.
9. Park, S. J., Kim, J. W. and Kim, H. W., 1996, Heuristic Knowledge Representation of Production Scheduling: An Integrated Modeling Approach, *Expert System With Applications*, Vol. 10, No. 3, pp. 325-339.
  10. Chung, J. B. and Yoon, J. H. 2009, The Implementation of a Production Planning System in a Tire Manufacturing Company: Case Study, *Entrue Journal of Information Technology*, Vol. 8, No. 1.
  11. [http://www.eng.buffalo.edu/Courses/ce435/2001ZGu/Firestone\\_Tires/FirestoneTiresReport.htm](http://www.eng.buffalo.edu/Courses/ce435/2001ZGu/Firestone_Tires/FirestoneTiresReport.htm)
  12. Kim, H. W., Kim, T., Cho, J. G. and Moon, S. S., 2000, Tire Engineering, Goldenbell, pp. 64-65.
  13. Lee, S. Y., 2010, The World of Artificial Intelligence, 21centries, pp. 400-410.
  14. Jeong, Y. S., Yim, H. J. Jee, H. S. and Lee, K. K., 2008, Manufacturing Line Optimization for Discrete Event Simulation and Genetic Algorithm, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, Vol. 13, No. 1, pp. 67-75.
  15. Cheng, R. and Gen, M., 1997, Resource Constrained Project Scheduling Problem Using Genetic Algorithms, *International Journal of Intelligent Automation and Soft Computing*, Vol. 3, No. 3, pp. 273-286.



### 안 의 국

2008년 아주대학교 산업정보시스템공학부 학사

2011년 아주대학교 산업공학과 대학원 석사

2011년~현재 아주대학교 산업공학과 박사과정

관심분야: Digital Manufacturing System, CAD/CAM, CAPP, Manufacturing System Modeling & Simulation, Defense modeling and simulation, Scenario Generation, Scheduling



### 박 상 철

1994년 한국과학기술원 산업공학과 학사

1996년 한국과학기술원 산업공학과 석사

2000년 한국과학기술원 산업공학과 박사

2004년~현재 아주대학교 산업정보시스템공학부 부교수

관심분야: Digital Manufacturing System, CAD/CAM, CAPP, Manufacturing System Modeling & Simulation