

다중 플랜트를 갖는 공급사슬에서 납기준수를 위한  
통합 공정 및 일정계획

문치웅 김규웅 김종수

한양대학교 정보경영공학과

**1. 연구 목적**

- 다중 플랜트로 구성된 공급사슬에서 각 부품의 공정순서 결정
- 공정별 장비선정
- 납기 지연시간 최소화를 위한 일정계획을 수립

### 3. 관련 연구

- Iwata et al.(1978):
  - 대체 장비를 고려한 job shop환경에서의 최적 Makespan 문제 (분지한계법 이용)
- Chryssolouris 와 Chan(1985):
  - 용량 제약이 있는 다중 플랜트에서의 주일정계획 문제 (LP 해법을 기초로 한 휴리스틱 기법 이용)
- Carlo Vercellis(1999):
  - 공정계획과 스케줄 통합 문제
  - 대체 장비 할당 문제

### 2. 문제 정의

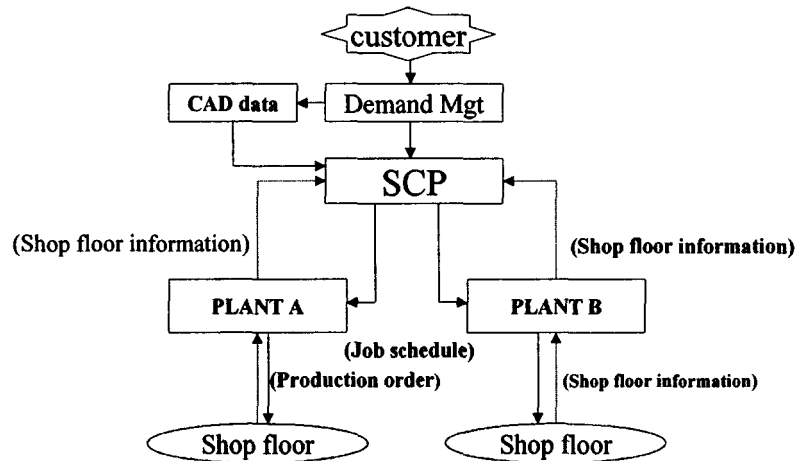


그림 1. 다중 플랜트를 갖는 생산 공급망 구조

### 4. 제안 해법

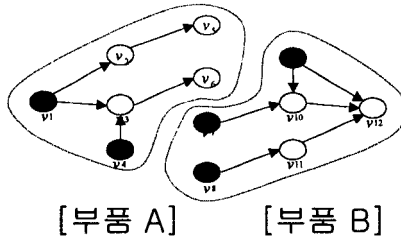
- 부품 공정 순서 결정:

위상 정렬 기법을 이용한 선행 제약이 있는 TSP 해법

- 납기 지연 최소화를 위한 일정계획 수립

제품 납기를 고려한 장비 스케줄 알고리즘

#### 4-1. 공정 계획 수립 (1)

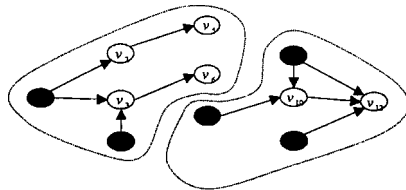


7	5	8	6	9	1	2	12	11	3	10	14
---	---	---	---	---	---	---	----	----	---	----	----

(1) 최초 방문 가능한 노드 집합 구성  
 $S = \{1, 4, 7, 8, 9\}$

(2) 노드 집합의 원소들로 부터 유전자의 선택 우선순위에 의해 방문 노드 결정

$$Path = v_8$$



[부품 A]      [부품 B]

(3) 선택된 노드와 이와 연결된 모든 경로들을 네트워크로부터 제거한 후 새로운 네트워크를 구성

$$S = \{1,4,7,11,9\}$$

(4) 집합내의 모든 원소가 사라질때 까지 (1)부터(3) 반복

$$(Path = v_8 \rightarrow v_9 \rightarrow v_{11} \rightarrow v_1 \rightarrow v_4 \rightarrow v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_5 \rightarrow v_7 \rightarrow v_{10} \rightarrow v_{12} \rightarrow v_6)$$

(5) 각 부품에 해당하는 공정을 발생순서에 따라 분류

$$part A = v_1 \rightarrow v_4 \rightarrow v_3 \rightarrow v_2 \rightarrow v_5 \rightarrow v_6$$

$$part B = v_8 \rightarrow v_9 \rightarrow v_{11} \rightarrow v_7 \rightarrow v_{10} \rightarrow v_{12}$$

#### 4-2 장비 선정 시 고려사항 (2)

임의의 부품에 대한 공정 순서가 A -> B이고 A를 수행한 장비와 비교해 볼때 B를 수행하는 장비로

- 동일 장비를 이용:
  - 이동시간은 없다
- 동일 플랜트내의 다른 장비를 이용:
  - 이송장치의 적재단위 만큼씩 운반한다.
- 다른 플랜트의 장비를 이용:
  - 부품의 로트전체를 한번에 옮긴다.

### 4-3. 유전 알고리즘

- **해의 선택 과정(Selection)**
  - 발생 확률에 의한 유전자 임의 선택법(Roulette wheel)
  
- **해의 교배 과정(Crossover Operation)**
  - *Position Based Crossover*
  
- **해의 돌연변이 과정(Mutation Operation)**
  - 상호 교환에 의한 돌연변이

### Swap Mutation

(1) 임의의 한 부모 유전자로부터 두개의 위치 임의선정

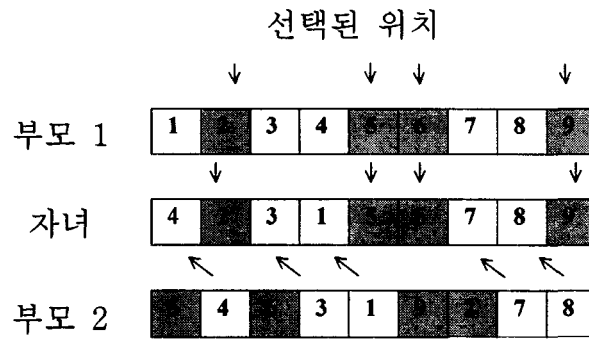
Node No	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$
weight	5	1		2	4		3

(2) 선택된 검색체 값의 교환

Node No	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$	$v_5$	$v_6$	$v_7$
weight	5	1		2	4		3

[ Swap Mutation 과정 ]

### Position Based Crossover



[ Position-Based Crossover ]

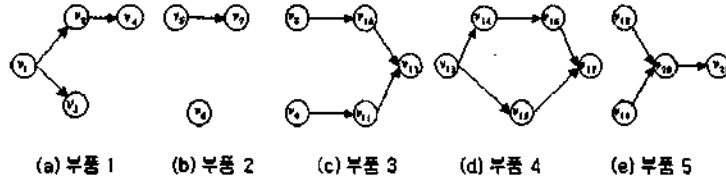
```

Begin
    t <- 0;
    initialize P(t);
    evaluate P(t);
    While (not termination criteria) Do
        genetic operation into the P(t) to yield C(t);
        evaluate C(t);
        select P(t+1) from P(t) and C(t);
        t <- t+1;
    End;
End:
    
```

그림 2. 전체적인 유전 알고리즘의 흐름

5. 수치 실험

● 데이터 (1)



납기	1000	1300	2000	1600	1400
로트	40	70	60	30	60
공정	4	3	5	5	4

그림 3. 부품 데이터 (1)

● 데이터 (2)

부품	M1	부품 1				부품 2				부품 3				부품 4				부품 5			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
M1	7	7	-	5	-	3	6	-	10	5	15	-	-	-	-	5	-	-	13	-	
M2	-	-	6	-	6	5	-	-	5	-	6	-	5	-	5	-	6	7	-	-	
M3	-	-	5	-	-	-	12	5	-	-	-	6	-	6	-	-	-	10	-	7	
M4	5	6	-	-	6	-	9	-	10	-	6	-	6	-	4	3	-	6	-	6	
M5	-	-	6	-	-	6	-	6	-	6	-	5	-	6	-	-	4	-	6	6	
M6	-	-	-	5	-	-	6	-	7	-	5	-	6	-	-	5	-	6	-	6	

표 1 공정별 장비 가공 시간 (시간/부품 1단위)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	0	95	46	39	28	35	20	16	12	39	40	29	49	9	20	20	47	14	9	36	40
2	39	0	30	23	47	39	40	30	6	6	34	2	48	15	12	4	12	24	30	44	34
3	15	6	0	27	24	34	32	26	33	19	43	6	35	40	26	32	46	28	14	41	26
4	19	36	13	0	1	44	14	27	48	30	36	35	37	39	14	32	22	10	26	25	29
5	34	48	24	10	0	36	12	48	9	24	28	18	6	36	17	6	28	6	22	22	45
6	5	18	30	12	1	0	12	32	0	39	12	19	19	18	5	27	42	37	16	24	31
7	28	37	46	15	17	15	0	44	36	15	5	1	5	36	2	29	17	15	0	10	34
8	17	15	0	42	41	13	17	0	30	22	35	25	2	33	26	35	41	35	4	9	22
9	37	10	41	27	35	48	30	16	0	35	39	15	28	6	8	30	22	25	39	10	36
10	6	5	49	47	0	1	16	37	6	0	44	30	23	7	4	3	4	30	3	14	16
11	44	30	21	11	46	15	30	17	46	14	0	44	6	4	6	14	48	29	27	29	15
12	34	25	34	4	10	14	27	7	26	42	19	0	40	20	15	15	49	7	26	43	47
13	9	9	4	42	1	36	31	15	36	27	20	11	0	33	41	46	2	39	44	2	7
14	29	25	29	24	47	26	28	30	46	29	26	20	49	0	38	24	39	26	6	25	36
15	7	19	10	14	17	44	27	13	10	14	9	17	48	13	0	28	17	46	45	21	36
16	31	1	37	3	21	9	23	46	13	41	21	47	15	16	49	0	18	9	24	27	11
17	23	35	9	30	49	39	2	45	3	33	36	26	23	40	29	0	32	17	38	23	1
18	2	12	10	9	32	14	45	11	24	43	15	2	16	0	32	15	30	0	15	37	38
19	9	20	35	6	16	48	27	12	41	30	47	16	2	41	13	29	23	7	0	6	8
20	27	49	46	29	9	36	23	12	24	45	30	10	18	34	5	6	8	39	36	0	31
21	27	4	34	31	29	3	32	47	12	9	44	30	42	21	25	2	40	28	26	25	0

표 2 공정간 Setup시간

● 데이터 (3)

		플랜트 1			플랜트 2		
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
플랜트 1	M1				-	-	-
	M2				-	-	-
	M3				-	-	-
플랜트 2	M4	-	-	-			
	M5	-	-	-			
	M6	-	-	-			

표 3 장비간 운송 시간

- 플랜트간 이동 시간은 50 시간
- 플랜트내의 운송 장비의 1회 부품 적재 용량: 부품 10 단위

6. 실험 결과 (1)

- 노드 번호
- 유 전자
- 공정순서

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	18	7	16	9	12	4	15	10	11	20	19	13	17	3	14	21	8	5	2	6
8	13	14	16	6	10	9	11	12	5	18	19	7	15	17	20	21	1	2	4	3

- 부품의 공정 순서와 할당 장비

	공정 - (수행 장비)				
부품 1	1-(M4)	2-(M4)	4-(M6)	3-(M3)	-
부품 2	6-(M1)	5-(M2)	7-(M1)	-	-
부품 3	8-(M3)	10-(M1)	9-(M6)	11-(M6)	12-(M5)
부품 4	13-(M4)	14-(M2)	16-(M2)	15-(M3)	17-(M1)
부품 5	18-(M6)	19-(M5)	20-(M5)	21-(M4)	-

표 5. 부품 공정 순서



6. 실험 결과 (2)

	공정 1		공정 2		공정 3		공정 4		공정 5		
	시작	종료	시작	종료	시작	종료	시작	종료	시작	종료	
물류노드 1	M1	6	30	7	27	1379	1529	—	—	—	
	M2	5	16	16	—	—	—	—	—	—	
	M3	8	3	15	—	—	—	—	—	—	
물류노드 2	M4	1	2	13	11	—	—	—	—	—	
	M5	10	20	21	—	—	—	—	—	—	
	M6	10	4	9	11	—	—	—	—	—	
	M7	250	450	485	725	779	953	968	1328	—	—
	M8	250	550	838	1038	1188	1333	—	—	—	—

표 6. 다중 플랜트 스케줄 결과

6. 실험 결과 (3)

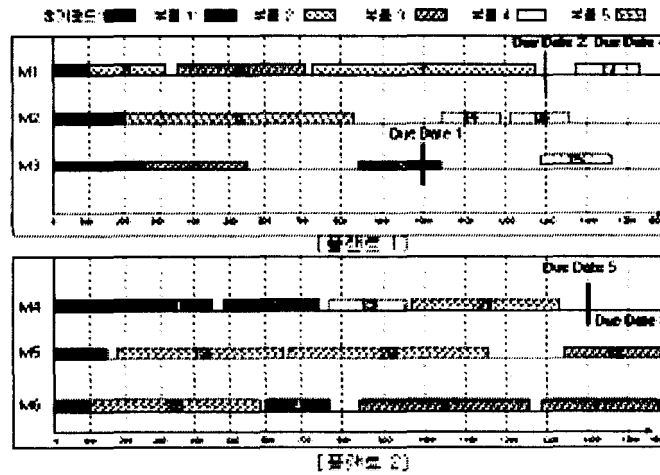


그림 3. 다중 플랜트 스케줄 결과

### 6. 실험 결과 (4)

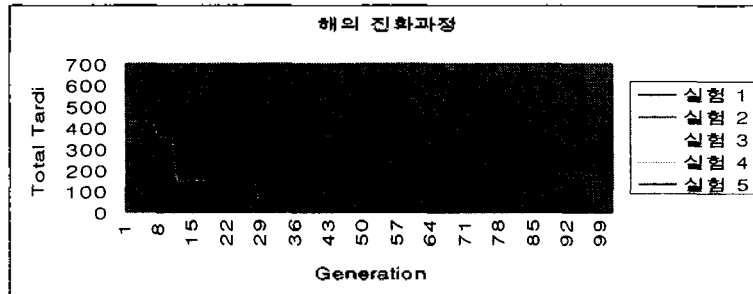


그림 4. 해의 진화 과정

- 대부분 50회 내의 Generation안에 주어진 문제에 대한 해 도출
- 문제에 대한 해는 39로 일정하게 수렴 (부품 1의 납기 지연)

### 7. 결론

- 다중 플랜트에서 공정 선행관계가 있는 제품 생산에 관한 공정계획과 장비 스케줄 생성
- 생산공급사슬에서의 자원을 효율적으로 활용할 수 있는 스케줄 수립

### 8. 향후 연구 과제

- 공급지와 생산지 그리고 수요지를 연결하는 통합 생산 환경에서 납기지연을 극복하기 위한 효율적인 Outsourcing 전략 수립