

## 多段階 自動加工/組立시스템에서의 日程計劃†

-Scheduling in a multi-stage automated machining and assembly systems-

崔 政 祥\*

高 樂 溶\*\*

### Abstract

In this paper a new heuristic algorithm has been developed and presented for minimizing the total completion time of a scheduling problem in a multi stage automated machining and assembly systems. The proposed Higher Ratio First(HRF) algorithm is based on the idea that jobs with higher processing time ratio should be a higher priority. The heuristic algorithm is implemented on the various problem cases by number of jobs and machines. The proposed algorithm provided smaller makespan than the makespan applied by three previously documented heuristics. The results obtained show a superior solution by the new heuristic over previous heuristics on all problem sizes.

### 1. 서 론

오늘날과 같이 인건비 및 원자재비의 증가, 과학기술의 급속한 발달, 선진국의 개방압력, 기술보호주의등의 국내외적인 경제환경속에서 대외경쟁력을 향상시키기 위해서 고객에 대한 만족도의 향상, 제품의 다양화 및 품질의 향상등을 효과적으로 달성할 수 있는 자동화생산시스템의 도입되어 왔다 [18].

그러나, 자동화생산시스템의 근간은 자동화에 기초를 두고 있으므로써 도입비용, 도입방법, 운용방법등 도입에 따른 문제들이 병존한다. 아무리 좋은 자동화생산시스템을 도입한다 할찌라도 이에 대한 운용이 미숙하면 오히려 많은 부작용과 손실을 초래하여 도리어 역효과를 가져오게 된다. 그래서 그동안 많은 사람들에 의해 자동화생산시스템의 도입에 따른 제반 문제를 해결하는데 많은 관심과 연구가 활발히 수행되고 있다[13].

갈수록 유연생산시스템에 대한 관심과 도입이 증대되고 있지만 일시에 모든 공장을 자동화하는데는 과다한 도입비용, 운용기술의 미비, 기존설비와의 조화여부등 경제적, 기술적, 환경적인 어려움이

---

\* 朝鮮大學校 産業工學科

\*\* 朝鮮大學校 制御計測工學

† 이 논문은 한국과학재단 지정 지역협력연구센터인 조선대학교 수송기계부품 공장자동화 연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

많다[5]. 최근 들어 이러한 자동화에 따른 부작용을 최소화 하면서 다양한 변화에 대처하는 유연성을 향상시키기 위해 대규모 자동화 설비보다 FMC와 같은 소규모 유연생산시스템이 계속 증가하고 있다 [15][20]. Ohmi[15]등은 소규모 FMC가 실제로 현장에서 많이 활용되고 있으며 특히 일본에서는 중·소규모의 제조업에서 많이 사용하고 있다고 보고하고 있고, Snader[16]는 제조현장의 FMS분포 현황조사에서 소규모 FMC의 추세를 발표하였으며, Wassenhove[20]는 전세계의 절반 이상의 유연생산 시스템을 조사해 본 결과 소규모 대완충시스템(Small Scale Large Buffer System)이 확실히 증가하고 있다고 보고하였다.

본 연구에서는 이와 같은 소규모 자동가공/조립셀이 다단계로 구성된 자동화생산시스템을 연구모형으로한 일정계획기법의 개발에 관한 연구를 수행하고자 한다. 다수의 기계나 몇 개의 소규모 셀로 구성된 유연생산시스템에서의 일정계획에 관한 연구를 살펴 보면 Morton[13]은 유연생산시스템에서 납기지연시간을 최소화 하는 일정계획문제를 정수계획문제로 모형화 하였고, Sawick[17]은 여러대의 기계로 구성된 유연생산시스템에서 최대지연시간을 최소화하는 일정계획문제를 혼합정수계획법으로 모형화 하였으며, Huang등[6]은 각 작업이 서로 다른 중요도를 가질 때 총가중지연시간을 최소화하는 문제를 Lagrange Relaxation방법을 이용하여 다루었다. 또 Montazeri등[12]은 세 대의 기계로 구성된 유연생산시스템에서 평균기계효율을 최대화하는 문제를 시뮬레이션 방법으로 다루었고, Yao and Pei[21]는 작업경로에 유연성이 있는 경우 작업총완료시간을 최소화하는 부품및 기계선택 규칙을 개발하여 기존의 기법과 비교하였다.

Lee등[10]은 유연가공 및 조립 시스템에서 기계고장, 납기일, 낮은 재공품재고등을 만족시키면서 작업완료시간을 최소화 하는 연구를 수행하였고, Karabuk and Sabuncuoglu[7]는 제한된 완충재고와 경로가 제한되어 있을 때 작업총완료시간을 최소화하는 일정계획문제를 Beam Search기법으로 접근 하였다. 또 Karsiti[8]는 동적인 작업도착과 기계고장을 고려한 일정계획문제를 두개의 부분문제로 나누어 동적계획법을 이용한 해법을 제시하였으며, Gosh[5]는 유연조립라인(Flexible Assembly Line)에서 제품의 작업순서를 결정한 후 자동물자운반장치의 투입시점을 결정하는 발견적기법을 제시하였고, 노인규 등[1]은 세 대의 기계와 단일방향의 자동물자운반장치로 유연흐름시스템(Flexible Flow System)에서 완충재고를 허락하지 않고 자동물자운반장치의 운반속도를 고려한 생산 일정계획문제를 다루었으며, 최정상 등[2]은 가공셀과 조립셀로 구성된 자동화생산시스템에서 완충재고를 허용할 때 자동물자운반장치의 운송시간을 고려한 작업제어에 대한 문제를 모형화하고 발견적기법을 제시하였다.

또 O'Keefe and Kasirajan[14]은 16개의 workstation과 9개의 load/ unload station으로 구성된 유연생산시스템에서 6개의 서로 다른 부품형태를 생산하는 경우에 흐름시간을 최소화하는 9개의 작업 배정규칙을 비교하였으며, Lane and Sidney[9]는 가공작업들간의 복잡한 대기 네트워크를 포함하는 유연생산시스템에서 작업총완료시간과 평균흐름시간을 최소화하는 일정계획문제를 다루었다. Choi et al.[4]은 유연생산시스템에서 각 가공기계의 가용여유가중합계 개념을 도입하여 최대지연을 최소화하고 가용여유가중합계를 최대화하는 일정계획문제를 분지한계법(Branch and Bound)을 이용한 해법을 제시하였다. Liu and Wu[11]는 유연생산시스템에서 완충재고의 과대흐름과 deadlock을 방지하는 작업 순서를 결정하는 문제를 Petri nets을 이용하여 접근하였고, Chen and Alfa[3]는 하청업체와 같이 시간에 따라 수요가 자주 변하는 소규모 제조시스템에서 작업순서와 부품경로를 결정하는 발견적 기법을 개발하였다. 이 외에도 Solot[18], Ulusoy and Bilge[19], Zijm and Nellisen[22]등 많은 연구가 수행 되었다.

따라서 본 연구에서는 다양한 형태의 가공 및 조립기계를 갖거나 두 개이상의 가공셀에서 처리를 요하는 자동화생산시스템에서 작업총완료시간을 최소화하는 일정계획 기법들을 개발함으로써 자동생산시스템의 도입효과를 높이고 다양한 변화에 신속하고 능동적으로 대응할 수 있는 도구를 제공하고 자 한다.

## 2. 일정계획 모형

### 2.1 가정 및 부호설명

- (1) 시스템은 다양한 형태의 가공(조립)기계와 자동운반장치로 구성되어 있다.
- (2) 각 기계는 첫번째 작업이 시작되는 시점에서 이용가능하다.
- (3) 각 기계는 한번에 한 작업만 처리할 수 있다.
- (4) 각 기계는 가공도중 고장, 보수등으로 인해 중단되지 않는다.
- (5) 자동운반장치는 한번에 한개의 작업물만 운송할 수 있다.
- (6) 자동운반장치의 운반시간은 가공시간에 포함된다.
- (7) 처리해야 할 작업과 가공시간은 일정계획 초기에 주어진다.
- (8) 각 작업은 서로 독립적이다.

$i$  : 작업번호(  $i = 1, 2, \dots, M$  )

$k$  : 가공기계(셀) 번호 (  $k = 1, 2, \dots, K$  )

$r$  : 선행작업번호 (  $r = 1, 2, \dots, M$  )

$P_i^k$  : 기계(셀)  $k$ 에서 작업  $i$ 의 가공소요시간

$C_i^k$  : 기계(셀)  $k$ 에서의 작업  $i$ 의 완료시간

$Q_i$  : 모든 기계(셀)에서의 작업  $i$ 의 완료시간

$MI_i^k$  : 기계(셀)에서 작업  $i$ 의 유희시간

$X_{ri}$  : 1, 작업  $r$ 이 작업  $i$ 에 선행  
0, 기타

$MS$  : 주어진 모든 작업의 총완료시간

$MR_i$  : 작업  $i$ 의 가공기계(셀)에서의 최소 가공시간비율

$RR$  : 작업완료시간의 감소율

### 2.2 수리적 모형

일반적으로 자동화생산시스템은 하나의 가공셀에서 모든 가공을 완료하는 것이 바람직하나 이는 한 셀에 많은 기계를 포함함으로써 시스템이 복잡해지고 셀구성 비용이 증가하며, 생산성이 낮아질 수 있어서 실제 제조현장에서는 하나의 셀에 많은 기계를 포함하기 보다 소수의 기계를 포함하는 몇 개의 소규모 자동화생산셀을 구성하는 경우가 많다. 본 연구에서는 이와 같이 다양한 형태의 가공 또는 조립기계를 거치면서 가공받거나 둘이상의 소규모 가공셀을 거쳐서 처리받게 되는 경우의 작업총 완료시간을 최소화하는 작업일정계획 모형을 수립하고자 한다.

본 연구에서 연구모델로 설정한 자동화생산시스템에서 주어진 모든 작업의 총완료시간을 최소화하는 목적함수식은 식(1)과 같이 마지막 기계(셀)에서 주어진 작업의 완료시간과 같다. 즉 마지막 기계(셀)에서의 작업가공시간과 유희시간의 합으로 표현된다.

$$Min MS = Min \sum_{i=1}^M P_i^K + \sum_{i=1}^M MI_i^K$$

단,  $i = 1, 2, 3, \dots, M$  (1)

$r = 1, 2, 3, \dots, M$

목적함수식 (1)를 만족시키기 위한 제약조건식은 다음과 같다. 식 (2)은 기계(셀) 1에서 임의의 작업  $i$ 의 완료시간은 적어도 작업 가공시간보다는 커야하는 제약조건을 나타낸다.

$$C_{i1} \geq P_i \tag{2}$$

단,  $i = 1, 2, 3, \dots, M$

식 (3)은 각 기계(셀)별 작업완료시간의 관계를 나타내는 제약조건식으로 기계(셀)  $k$ 에서 작업  $i$ 의 완료시간은 적어도  $k-1$ 에서 작업  $i$ 의 완료시간보다는 커야하는 제약조건을 표시한다.

$$C_i^k \geq C_i^{k-1} + P_i^k \tag{3}$$

단,  $i = 1, 2, 3, \dots, M$

$k = 1, 2, 3, \dots, K$

식 (4)과 (5)는 작업간의 선행관계를 나타내는 식으로 작업  $r$ 과 작업  $i$ 에 대해 각 기계(셀)에서 두 작업간의 선행관계에 따라 두 제약조건중 하나를 만족하게 된다.

$$C_r^k - C_i^k + LX_{ri} \geq P_i^k \tag{4}$$

단,  $i = 1, 2, 3, \dots, M$

$k = 1, 2, 3, \dots, K$

$r > i \geq 1$

$L$  : 매우 큰 실수

$$C_i^k - C_r^k + L(1 - X_{ri}) \geq P_i^k \tag{5}$$

단,  $i = 1, 2, 3, \dots, M$

$k = 1, 2, 3, \dots, K$

$r > i \geq 1$

$L$  : 매우 큰 실수

식 (6)은 주어진 임의의 어떤 작업 앞에 올 수 있는 작업은 오직 한 작업임을 나타내고, 식 (7)은 임의의 작업순서에서 어느 작업 다음에 한 작업만이 할당됨을 나타낸다.

$$\sum_{n=1}^M X_{ni} = 1 \tag{6}$$

단,  $i = 1, 2, 3, \dots, M$

$X_{ni} = 1$  또는  $0$

$$\sum_{r=1}^M X_r = 1$$

단,  $r = 1, 2, 3, \dots, M$  (7)

$$X_r = 1 \text{ 또는 } 0$$

### 3. 기법 개발

다수의 가공(조립)기계나 두 개 이상의 셀을 이동하면서 처리받는 자동화생산시스템에서 작업총완료시간을 최소화하는 새로운 발견적 기법의 단계를 설명하면 다음과 같다.

[단계 1] 식 (8)에 의해 각 작업  $i$ 가 가공받는 모든 기계(셀)에서의 가공시간의 합을 구한다.

$$Q_i = \sum_{k=1}^K P_i^k \quad (8)$$

[단계 2] 식 (9)를 이용하여 작업  $i$ 가 가공받는 각 기계(셀)에서의 가공시간의 비율을 계산한다.

$$R_i^k = \frac{P_i^k}{Q_i} \quad (9)$$

[단계 3] [단계 2]에서 계산한 각 작업  $i$ 의 가공시간의 비율중에 최대값을 구한다.

$$MR_i = \text{Max}[R_i^k] \quad \text{단, } k = 1, 2, \dots, K \quad (10)$$

[단계 4] [단계 3]에서 계산한 각 작업의 가공시간비율을 내림차순으로 정렬한다.

[단계 5] [단계 4]에서 구한 가공시간비율순위에서 처음 두 작업을 선정하여 가능한 부분순서를 생성한다.

[단계 6] [단계 5]에서 만들어진 부분순서에 대한 완료시간을 계산하여 그 중 최소값을 갖는 부분순서를 찾는다. 만약 최소값이 같은 부분순서가 있으면 모두 택한다.

[단계 7] [단계 4]에서 구한 차순위 작업을 택하여 새로운 가능한 부분순위를 생성한다.

[단계 8] [단계 7]에서 만들어진 각 부분순서의 총완료시간을 계산하고 그 중 최소값을 갖는 부분순서를 찾는다. 만약  $r$ 번째 작업을 새로 삽입하여 얻은 가능한 부분순서들에 대해 첫번째 계산한 부분순서의 완료시간을 임시 최소값으로 놓고 그 다음 부분순서의 총완료시간을 계산하는 도중에 이 임시 최소값보다 큰 값이 나오면 계산하고 있는 부분순서는 더 이상 계산하지 않고 도태시킨다. 새로 계산한 부분순서의 총완료시간이 임시최소값보다 작으면 임시 최소값을 수정하고 이전의 임시값을 갖는 부분순서를 제거한다.  $r$ 번째 작업을 새로 삽입한 부분순서의 총완료시간이 앞에서 정해진 부분순서의 총완료시간과 같으면 그때의 부분순서를 최소값을 갖는 부분순서로 확정하고 차순위의 작업으로 간다. 이때 최소값이 같은 부분순서가 있으면 모두 택한다.

[단계 9] 만약 작업이 남은 작업이 없으면 끝내고, 아니면 [단계 7]으로 간다.

#### 4. 수치예제

개발한 Algorithm을 3개의 셀로 구성된 유연생산시스템에서 4개의 그룹을 처리하는 경우의 문제를 예로 들어 설명한다. 주어진 문제를 개발한 Algorithm으로 작업순서를 결정할 때 [단계 1]에서 부터 [단계 3]까지의 과정이 [표 1]와 같다.

[Table 1] Processing Time, Ratio

Cell Group	Processing Time			Qi	LRi
	1	2	3		
1	18	80	0	98	0.82
2	0	80	60	140	0.57
3	64	0	80	144	0.56
4	0	0	58	58	1.00

[표 1]에서 주어진 작업을 LR<sub>i</sub>의 내림차순으로 정리하면 4-1-2-3이다. 처음 두 작업을 선택하여 임시부분순서를 생성하고 작업종료시간을 계산하는 [단계 4]에서 [단계 5]까지의 과정이 [표 2]에 나타나 있으며 최소값은 부분순서 4-1일 때의 98이다.

[Table 2] First iteration of the proposed algorithm

Cell Group	1		2		3	
	PT	CT	PT	CT	PT	CT
1	18	18	80	98	0	98
4	0	18	0	90	58	156
4	0	0	0	0	58	58
2	18	18	80	98	0	98*

또 [표 2]에서 구한 최소값을 갖는 부분순서에 그 다음 순위의 작업을 선택하여 새로운 임시 부분순서를 생성하고 작업완료시간을 계산하는 [단계 6]에서 [단계 8]까지의 과정은 [표 3]과 같으며, 두 번째 Iteration에서의 최소 작업완료시간은 160이고 부분순서는 4-2-1이다.

[Table 3] Second iteration of the proposed algorithm

Cell Group	1		2		3	
	PT	CT	PT	CT	PT	CT
4	0	0	0	0	58	58
2	0	0	80	80	60	140
1	18	18	80	160	0	160*

주어진 작업이 아직 남아있음으로 앞에서와 같은 방법으로 [단계 6]에서 [단계 8]까지를 반복하여 수행하면 최종 작업순서와 작업총완료시간을 구할 수 있게 된다. 주어진 모든 작업을 완료한 작업총 완료시간은 작업순서는 4-2-3-1에서 220이다.

### 5. 기법의 평가

두 개 이상의 셀을 거치되 준비시간을 무시하는 조건에서 단일 목표를 갖는 경우에 대해 본 연구에서 개발한 Algorithm을 MW(Montazeri and Wassenhove[57]) Algorithm 및 CDS(Campbell, Dudeck and Smith[15]) Algorithm과 비교 분석한 결과가 [표 4]과 같다.

[Table 4] Comparative Analysis by the proposed algorithm

C	G	Reduction Ratio				Frequency						Optimal		
		Mean		Max		MW			CDS			RE		FQ
		MW	CDS	MW	CDS	BD	EQ	GD	BD	EQ	GD	Mean	Max	
3	4	20.4	3.2	53.4	27.0	0.0	8.0	92.0	2.0	66.0	32.0	0.0	1.8	98.0
3	6	18.4	6.6	44.8	23.7	0.0	8.0	92.0	6.0	22.0	72.0	1.1	13.6	78.0
3	8	18.4	5.7	41.4	23.5	0.0	4.0	96.0	16.0	30.0	54.0	2.6	16.3	60.0
3	10	17.6	5.5	37.5	21.9	0.0	6.0	94.0	12.0	38.0	50.0			
3	20	14.9	4.9	33.9	16.1	0.0	0.0	100.0	18.0	24.0	58.0			
3	30	13.5	4.0	32.4	21.6	0.0	0.0	100.0	14.0	28.0	58.0			
3	50	11.4	2.9	22.2	11.9	0.0	2.0	98.0	16.0	26.0	58.0			
3	70	9.6	2.6	18.6	10.0	0.0	0.0	100.0	14.0	18.0	68.0			
3	100	8.7	2.0	25.6	9.3	0.0	2.0	98.0	12.0	24.0	64.0			
4	4	15.8	3.1	47.6	16.9	0.0	14.0	86.0	8.0	60.0	32.0	1.4	18.6	74.0
4	6	21.9	5.4	43.3	24.8	0.0	0.0	100.0	8.0	26.0	66.0	2.0	23.2	68.0
4	8	26.3	7.7	48.2	30.4	0.0	0.0	100.0	18.0	16.0	66.0	2.6	18.0	54.0
4	10	20.8	8.0	36.1	25.9	0.0	0.0	100.0	16.0	14.0	70.0			
4	20	19.5	7.3	32.5	19.7	0.0	0.0	100.0	12.0	6.0	82.0			
4	30	17.7	6.0	35.9	14.3	0.0	0.0	100.0	6.0	4.0	90.0			
4	50	14.4	5.5	24.6	13.0	0.0	0.0	100.0	8.0	4.0	88.0			
4	70	13.2	4.5	23.4	12.3	0.0	0.0	100.0	10.0	2.0	88.0			
4	100	11.2	3.6	19.5	9.5	0.0	0.0	100.0	2.0	6.0	92.0			
5	4	17.5	2.1	43.6	21.4	2.0	6.0	92.0	10.0	58.0	32.0	0.8	13.6	78.0
5	6	22.2	6.3	39.6	23.2	2.0	2.0	96.0	12.0	22.0	66.0	2.5	17.9	50.0
5	8	21.3	6.2	41.4	25.7	0.0	0.0	100.0	14.0	8.0	78.0	4.2	21.5	26.0
5	10	24.2	8.4	47.8	25.2	0.0	0.0	100.0	16.0	6.0	78.0			
5	20	21.2	10.2	36.0	23.2	0.0	0.0	100.0	10.0	0.0	90.0			
5	30	21.4	7.1	36.5	19.3	0.0	0.0	100.0	2.0	0.0	98.0			
5	50	17.8	7.1	30.4	19.7	0.0	0.0	100.0	6.0	0.0	94.0			
5	70	16.9	6.5	25.7	15.0	0.0	0.0	100.0	6.0	0.0	94.0			
5	100	14.2	5.3	25.2	12.5	0.0	0.0	100.0	2.0	0.0	98.0			
7	4	15.8	1.5	45.7	10.0	0.0	6.0	94.0	6.0	68.0	26.0	0.8	11.3	78.0
7	6	18.5	5.2	38.5	22.5	0.0	2.0	98.0	10.0	24.0	66.0	2.9	14.3	48.0
7	8	21.2	6.2	44.3	22.2	2.0	2.0	96.0	6.0	8.0	86.0	4.2	14.1	20.0
7	10	23.9	6.9	42.8	20.0	0.0	0.0	100.0	2.0	10.0	88.0			
7	20	23.2	9.6	34.7	20.3	0.0	0.0	100.0	2.0	2.0	96.0			
7	30	23.5	8.5	32.0	22.5	0.0	0.0	100.0	10.0	0.0	90.0			
7	50	21.0	8.8	32.0	14.6	0.0	0.0	100.0	4.0	0.0	96.0			
7	70	18.8	7.1	26.4	13.9	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
7	100	16.3	7.1	23.2	13.6	0.0	0.0	100.0	2.0	0.0	98.0			

C	G	Reduction Ratio				Frequency						Optimal		
		Mean		Max		MW			CDS			RE		FQ
		MW	CDS	MW	CDS	BD	EQ	GD	BD	EQ	GD	Mean	Max	
												Mean	Max	
10	4	14.3	0.6	40.0	5.9	2.0	6.0	92.0	12.0	68.0	20.0	0.8	11.0	74.0
10	6	18.1	3.7	40.6	14.1	2.0	0.0	98.0	14.0	22.0	64.0	2.7	9.9	30.0
10	8	20.2	7.1	34.7	16.7	0.0	0.0	100.0	20.0	4.0	76.0	3.6	11.2	18.0
10	10	21.5	6.2	43.7	18.2	0.0	0.0	100.0	12.0	4.0	84.0			
10	20	24.0	9.7	35.4	18.6	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
10	30	25.8	10.6	36.0	19.1	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
10	50	23.5	10.2	31.9	18.9	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
10	70	22.8	10.8	31.0	17.3	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
10	100	20.1	9.6	29.3	14.5	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
15	4	11.1	0.7	26.2	5.8	0.0	6.0	94.0	30.0	54.0	16.0	0.9	7.0	66.0
15	6	13.8	3.4	30.1	8.1	4.0	0.0	96.0	32.0	8.0	60.0	2.9	11.3	20.0
15	8	17.8	4.6	34.3	12.7	0.0	0.0	100.0	16.0	4.0	80.0	4.2	11.3	6.0
15	10	17.7	5.7	33.1	12.7	0.0	0.0	100.0	14.0	0.0	86.0			
15	20	22.8	9.2	35.8	15.7	0.0	0.0	100.0	4.0	0.0	96.0			
15	30	25.4	10.0	34.1	16.8	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
15	50	24.0	12.0	32.4	18.6	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
15	70	23.4	11.9	31.3	17.6	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
15	100	22.4	11.8	28.9	18.3	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
20	4	8.8	0.6	26.5	7.3	4.0	4.0	92.0	32.0	52.0	16.0	1.1	6.7	60.0
20	6	13.8	1.8	27.3	5.7	2.0	2.0	96.0	52.0	14.0	34.0	3.2	10.0	14.0
20	8	16.5	4.0	28.5	10.5	0.0	0.0	100.0	18.0	4.0	78.0	3.5	10.2	8.0
20	10	17.1	5.5	28.8	14.8	0.0	0.0	100.0	28.0	0.0	72.0			
20	20	21.2	8.6	31.3	14.9	0.0	0.0	100.0	2.0	0.0	98.0			
20	30	22.6	9.9	31.5	17.2	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
20	50	24.4	12.1	30.7	16.7	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
20	70	23.8	12.3	29.8	16.3	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
20	100	23.5	12.2	29.9	16.4	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0			
Mean		19.0	6.6	34.0	17.0	0.3	1.3	98.4	9.6	13.6	76.9	2.3	13.1	49.0

(1) 빈도수에 의한 평가

개발한 Algorithm에 의해 구한 해가 MW Algorithm에 비해 평균 98.4%의 빈도수에서 우수한 해를 제공하였으며, 동일한 해를 제공하는 경우는 1.3%였고, 나쁜 해를 나타낸 경우는 불과 0.3%에 지나지 않았다. 좀더 구체적으로 살펴 보면 작업수와 셀 수가 각각 중,대규모일 때는 개발한 Algorithm이 100% 우수한 해를 제공하였다.

또한 CDS Algorithm에 비해서는 평균 76.9%의 빈도수에서 우수한 해를 제공하였으며, 13.6%에서 동일한 해를 제공하였고, 나쁜 해를 나타낸 경우는 불과 9.6%에 지나지 않았다. 좀더 구체적으로 살펴 보면 작업수가 소규모일때는 셀 수가 적을수록 더 좋은 해를 제공하는 경우가 더 많았으며, 작업수와 셀 수가 커질수록 개발한 Algorithm이 우수한 해를 제공하는 빈도가 높아지고, 특히 10×10이상에서는 100%의 우수한 빈도수를 나타내었다.

개발한 Algorithm에 의해 구한 해의 최적해에 대한 근사정도를 알아보기 위해 작업수가 소규모문제일 때 열거법에 의한 최적해와 비교해 본 결과, 개발한 Algorithm에 의한 해가 각 경우에 8.0 - 98.0%, 평균 49.0%의 빈도수에서 최적해와 동일한 해를 제공하였다. 특히 셀수가 소규모문제일 때는 50.0 - 98.0%, 평균 65.1에서 최적해와 동일한 해를 제공하였으며, 이는 셀수가 적을수록 개발한 Algorithm이 최적해와 동일하거나 더욱 근사한 해를 제공하게 됨을 말해주고 있다.



(2) 단축비에 의한 평가

개발한 Algorithm에 의해 구한 해가 MW Algorithm으로 구한 작업총완료시간에 비해 평균 단축비는 각 경우에서 8.7 - 26.3%, 전체 평균 19.0%의 단축비를 나타내었으며, 최대 단축비는 각 경우에서의 평균 19.5 - 53.4%, 전체 평균 34.0%의 단축비를 나타내었다. 또한 개발한 Algorithm에 의해 구한 해가 CDS Algorithm으로 구한 작업총완료시간에 비해 평균 단축비는 각 경우에서 0.6 - 12.3%, 전체 평균 6.6%의 단축비를 나타내었으며, 최대 단축비는 각 경우에서의 평균 5.7 - 30.4%, 전체 평균 17.0%의 단축비를 나타내었다.

개발한 Algorithm에 의해 구한 해의 최적해에 대한 근사정도를 알아보기 위해 작업수가 소규모문제일 때 열거법에 의한 최적해와 비교해 본 결과, 개발한 Algorithm에 의한 해의 상대오차는 각 경우의 평균 0.0% - 4.2%, 전체 평균 2.3%의 상대오차를 나타내어 최적해에 97.7%의 근사해를 제공하고 있다. 이를 그림으로 나타낸 한 예가 다음과 같다. [그림 1], [그림 2]은 총 63가지의 경우중에서 셀(기계) 수가 20개일 때와 그룹 수가 100개 일 때의 작업총완료시간의 단축비를 나타낸 것이다.

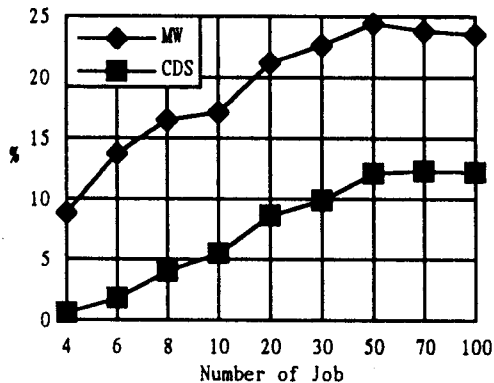


Figure 1. Reduction ratio of MS(C20)

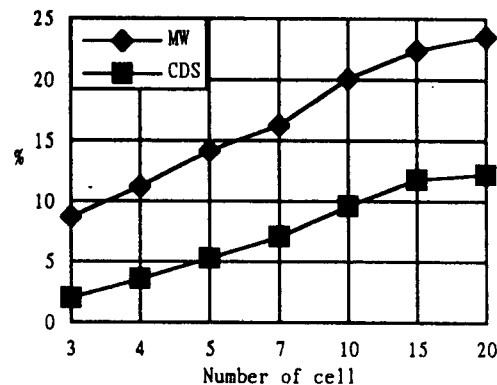


Figure 2. Reduction ratio of MS(G100)

3) 다중비교 분석

앞에서 수행한 빈도수 및 단축비의 분석을 통계적으로 검정하기 위해 SAS(Statistical Analysis System)에서 최소유의차(Least Significant Difference : LSD)방법을 이용한 결과, [표 5]에서 보는 바와 같이 유의수준 0.05에서 개발한 Algorithm은 그룹 C에, MW Algorithm은 A에 CDS Algorithm은 B에 속하였다.

[Table 5] LSD Test Output

Alpha= 0.05 df= 9447 MSE= 80.24556			
Critical Value of T= 1.96			
Least Significant Difference= 0.4425			
Means with the same letter are not significantly different			
T Grouping	Mean	N	A
A	127.415	3150	1
B	106.108	3150	3
C	100.000	3150	2

이는 개발한 Algorithm이 CDS와 모평균이 다르다는 것을 말하며, 유의수준 0.05에서 개발한 Algorithm에 의한 해가 다른 Algorithm에 구한 해들에 비해 유의한 차가 있다고 볼 수 있다. 즉 본 연구에서 개발한 Algorithm으로 구한 작업총완료시간이 다른 Algorithm의 한 값보다 우수하다고 말할 수 있다,

4)요인별 분산분석

개발한 Algorithm으로 구한 해가 다른 Algorithm으로 구한 해와 비교할 때 단축비에서 셀수, 작업수, 작업수와 셀수의 교호작용에 어떤 영향을 받는지를 알아보기 위해 분산분석을 수행해 본 결과 [표 6], [표 7]과 같았으며 각각 MW, CDS에 대한 것이다. 즉 작업수와 셀수, 교호작용이 유의수준 0.001에서 개발한 Algorithm의 개선 효과에 크게 영향을 끼치는 것을 알 수 있다. 즉 작업수와 셀수가 커질수록 개발한 Algorithm의 개선효과가 크다.

[Table 6] ANOVA Output I

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CELL	6	11835.87231	1972.64539	36.48	0.0001
GROUP	8	13195.19672	1649.39959	30.50	0.0001
CELL*GROUP	48	36912.18488	769.00385	14.22	0.0001

[Table 7] ANOVA Output II

Source	DF	Type I SS	Mean Square	F Value	Pr > F
CELL	6	5484.60638	914.10106	40.62	0.0001
GROUP	8	17027.78952	2128.47369	94.59	0.0001
CEL*GROUP	48	15296.59135	318.67899	14.16	0.0001

5. 결론

본 연구에서는 다양한 가공기계나 조립기계를 갖는 자동화생산시스템이나 두 개이상의 셀을 이동하면서 처리받는 자동화생산시스템에서 작업총완료시간을 최소화하는 생산일정계획 문제를 수리적으로 모형화하고 효율적으로 근사최적해를 제공하는 Algorithm을 개발하였다.

개발한 발견적 기법의 우수성을 평가하기 위해 기존의 기법- SPT Rule, LPT Rule, Montazeri and Wassenhove's Rule과 다양한 조건 - 작업수를 4, 6, 8, 10, 20, 30, 5, 70, 100개 까지 9가지 경우에 대해, 셀수를 3, 4, 5, 6, 7, 10, 15, 20까지 7가지 경우에 대해 변화시키면서 각 경우에 대해 50개의 문제씩 총 3,150문제를 모의실험해 본 결과 본 연구에서 개발한 Algorithm이 기존의 다른 세 개의 기법들보다 빈도수, 단축비에서 모두 월등하게 우수한 결과를 제공하였다. 이 모의실험 결과를 통계패키지 SAS를 이용해서 다중비교분석을 수행한 결과 개발한 기법이 우수함을 통계적으로 입증했다. 앞으로 보다 짧은 시간내에 최적해를 제공하는 최적해법 및 보다 효율적으로 근사최적해를 제공하는 발견적 기법의 개발이 요구되며 또한 대체경로, 기계의 고장, 작업의 무작위 도착등을 고려한 경우나 다수의 목표(Multiple Objective)를 갖는 경우에 대한 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 노인규, 최정상, "자동생산시스템에서의 생산일정계획," 「대한산업공학회」, Vol. 14, No.1, pp.73-81, 1988.
2. 최정상, 노인규, "유연가공셀에서 운반시간을 고려한 일정계획," 「한국경영과학회」, Vol. 19, No.2, pp.107-118, 1994.
3. Chen, M.Y. and Alfa, A.S., "Parts Routing in a FMS with Time Varying Demands," *Euro. J. O.R.*, Vol.60, No.2, pp.224-232, 1992.
4. Choi, J.G., Hitomi, K., Econ, P. and Econ, P.E., "A Method of Flexible Scheduling for FMS," *Int. J. Prod. Eco.*, Vol.33, No.1-3, pp.247-255, 1994.
5. Gosh, S. and Gaiman, C., "Production Planning and Scheduling in a FMS with Setup," *IIE Transactions*, Vol.25, No.5, 1993.
6. Huang, W.V. and Tang, J., "A New Scheduling Method for Manufacturing Systems," *Proceeding of the 12th Annual Conference on Computers and Industrial Engineering*, pp.22-26, 1990.
7. Karabuk, S. and Sabuncuoglu, I., "Beam Search Based Algorithm for Scheduling Machine and AGV in an FMS," *Proc. of the 2nd I.E. Conferense*, pp.308-312, 1993.
8. Karsiti, M.N., Cruz, J.B. and Mulligun, J.H., "Performance Forecasts as Feedback for Schedule Generation," *J. of Manufacturing Systems*, Vol.11, No.5, pp.326-333, 1992.
9. Lane, D.E. and Sidney, J.B., "Batching and Scheduling in FMS Hubs-Folw Time Considerations," *Oper. Res.*, Vol.41, No.6, pp.1091-1103, 1993.
10. Lee, Y.H., Iwata, K., and Fukuda, Y., "Flow Control Strategy for Flexible Maching and Assembly System," *Human Aspect in CIM*, pp.577-584, 1992
11. Liu, C.M. and Wu, F.C., "Using Petri Nets to Solve FMS Problems," *Int. J. CIM*, Vol.6, No.3, pp.175-185, 1993.
12. Montazeri, M and Wassenhove, L.N. Van, "Analysis of Scheduling Rules for an FMS," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28, No.4, pp.785-802, 1990.
13. Morton, T.E., and Smunt, T.L., "A Planning and Scheduling System for FMS," *FMS: Methodies and Studies*, pp.151-164, 1986.
14. O'Keefe, R.M. and Kasirajan, T., "Interaction between Dispatching and Next Station Selection Rules in a Dedicated Flexible Manufacturing System," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.30, No.8, pp.1753-1772, 1992.
15. Ohmi, T. et al., "FMS in Japan-Present Status," *International Conference on FMS*, IFS(Publication)Ltd, 1982.
16. Snader, K.R., "Flexible Manufacturing System: An Industry Overview," *Production and Inventory Management*, Vol.27, No.1, 1986.
17. Sawick, T., "Modelling and Scheduling of an FMS," *Euro. J. of O.R.*, Vol.45, pp.177-190, 1990.
18. Solot, P., "A Concept for Planning and Scheduling In an FMS," *Euro. J. of O.R.*, Vol.45, pp.85-95, 1990.
19. Ulusoy, G. and Bilge, U., "Simultaneous Scheduling of Machine and AGV," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.31, No.12, pp.2857-2873, 1993.

20. Wassenhove, L.V., "The Trend of FMS," *Operation Research Proc.*, pp.524-532, 1988.
21. Yao, D. and Pei, F., "Flexible Parts Routing in Manufacturing Systems," *IIE Transactions*, Vol.22, No.1, 1990.
22. Zijm, W.H.M. and Nellisen, E.H.L.B., "Scheduling A Flexible Maching Center," *Engineering Costs and Production Economics*, Vol.19, pp.249-258, 1990.