

# 다단계 자동가공/조립제조시스템에서 다목표 작업제어 기법

최정삼\*, 박해천\*

## Operation control method for multiple objectives on multiple stages automated machining/assembly systems

Jung-Sang Choi\*, Hai-Chun Park\*

### Abstract

This paper is concentraed on a study of operation control for mutiple objectives in a automated manufacturing system with multiple machining cells or assembly cells. Largest Sum Processing-time First(LSPF) was developed in order to minimize makespan, mean flowtime and maximize mean utilization and compare with Ho and Chang's algorithm(HC) and Hunsucker and Shah's algorithm(HS). The results show that LSPF provides better soutions than HC at 78.2% and than HS at 67.8% of total problems to frequency. LSPF reduces 5.8% of makespan by HC and 22.1% of the value by HS and curtails 15.8%, 7.5% of mean flowtime by repective algorithms(HC, HS). And mean utilization is also higher about 5.5%, 20.8% than HC and HS.

Keywords : Automated manufacturing system(자동화생산시스템), Multi-stage(다단계), Multi-objective (다목표), Operation control(작업제어)

### 1. 서론

유연생산시스템(Flexible Manufacturing System : FMS)과 같은 자동화 생산시스템에 대한 관심과 도입이 증대되고 있지만, 일시에 모든 공장을 자동화하는데는 과다한 도입비용, 운용기술의 미비, 기존설비와의 조화여부 등 경제적, 기술적, 환경적인 어려움[1]으로 최근 들어 이러한 자동화에 따른 부작용을 최소화하면서 다양한 변화

에 대처하는 유연성을 향상시키기 위해 대규모 자동화 설비보다 유연가공셀(Flexible Machining Cell : FMC)과 같은 소규모 유연생산시스템이 계속 증가[2],[3]하고 있다.

Kise et al.[1]는 대형 유연생산시스템이나 복잡한 생산시스템보다 소규모의 유연생산시스템이 적은 비용으로 구축될 수 있으며 개선이 용이하고 Hardware 및 Software에 대한 유지 및 제어가 쉽다고 말하고 있으며, Ohmi et al.[2]은 소규모 FMC가 현장에서 많이 활용되

\* 조선대학교 산업공학과

고 있으며, 특히 일본에서는 중·소규모의 제조업에서 많이 사용하고 있다고 보고하고 있고, Snader [3]는 제조현장의 FMS분포 현황조사에서 소규모 FMC의 증가추세를 발표하였으며, Wassenhove[4]는 전세계의 절반 이상의 유연생산시스템을 조사해 본 결과 소규모 대완충시스템이 확실히 증가하고 있다고 보고하였다. 또한 Blazewicz et al.[5]은 두 대의 CNC와 로봇트 운반장치로 구성된 소규모 FMC의 증가추세를 보고하였으며, Yamazaki and Nagae[6]도 제조현장에서 사용하고 있는 시스템을 조사하고 나서 소규모 유연생산시스템의 증가를 보고하였고, Chan and Bedworth[7]도 제조현장에서 FMS와 같은 대규모시스템보다 관리하기 용이한 소규모 FMC로의 증가추세를 발표하였다. Panwalkar[8]는 두 대의 기계와 한 대의 자동운반장치로 구성된 소규모 유연생산셀에서 운반시간을 고려한 최적해법으로 Johnson[9]의 algorithm의 수정기법을 제시하였다. Ayres[10]는 세계 각국에 있는 687개의 유연생산시스템을 조사해 본 결과 2-4대의 가공기계를 갖는 소규모 유연생산시스템이 45%를 차지하고 있고 약 60%정도가 2-4개의 가공센터를 갖는다고 보고하였다.

지금까지 수행되어 온 대부분의 일정계획문제는 단일목표(Single Objective)를 갖는 경우였으며 일부 연구자들에 의해 다목표(Multiple Objective)에 대한 연구가 수행되어 왔다. 최근 들어 다목표에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 대부분 단일기계나 두 대의 기계에서 다목표를 갖는 일정계획문제이며, 다수 기계나 셀로 구성된 시스템에서의 다수목표 일정계획에 관한 연구는 그리 많지 않다. Wassenhove and Gelders[11]는 단일 기계에서 모든 가공시간이 동일할 때 보관비용과 최대지연시간을 최소화하는 일정계획문제를 선형계획법으로 접근하였고, Sen and Gupta[12]는 단일기계에서 주어진 작업의 흐름시간과 최대지연시간을 최소화하는 문제를 분기한계법을 이용하여 최적해법을 제시하였다.

Du et al.[13]은 단일단계에서 동일한 다수의 기계를 갖는 시스템에서 작업완료시간과 평균흐름시간을 최소화하는 일정계획문제를 다루었고, Rajgopal and Bidanda[14]는 단일단계에서 동일한 다수의 기계를 갖는 시스템에서 작업완료시간과 평균흐름시간, 준비시간을 최소화하는 일정계획문제를 다루었으며, Singh et al.[15]은 하나의 셀로 구성된 제조시스템에서 작업할당에 대한 총가공비용과 총가공시간을 최소화하는 일정계획문제를 혼합정수계획법으로 모형화하고 해법을 제시하였다.

Daniels and Chambers[16]는 두 대의 기계로 구성된 흐름생산시스템에서 작업총완료시간과 최대지연시간을 최소화하는 일정계획문제에 대한 발견적 해법을 제시하고 수행지수간의 질충질차를 제시하였고, Lashine et al.[17]은 두 대의 기계로 구성된 폐쇄형 흐름시스템에서 비용목표(준비비용, 완제품 보관비용, 기계유희비용, 재공품 재고비용)와 생산목표(작업총완료시간, 평균지연시간, 평균흐름시간)를 동시에 추구하는 비선형 혼합정수목표계획 모델을 제시하였으며, Ahmadi et al.[18]은 두 대의 기계로 구성된 시스템에서 배칭 및 일정계획문제에 대해 작업총처리시간과 흐름시간을 최소화하는 발견적기법을 제시하였다. Wittrock[19]은 유연흐름라인에서 산출량을 최대화하고 재공품 재고를 최소화하는 일정계획문제를 선형계획법으로 모델링하고 발견적 기법을 제시하였고, Kochhar and Morris[20]는 유연흐름라인에서 제한된 완충재고를 갖는 경우에 준비시간과 Blocking/Starvation을 최소화하는 문제를 해결하기 위해 Beam Search 기법을 이용한 발견적 기법을 개발하였다. Ro and Kim[21]은 Local Buffer가 제한되어 있고 기계고장으로 인해 시스템의 상태가 바뀔 때 다수의 수행지수를 갖는 작업 및 AGV제어규칙을 개발하였고, Ho and Chang[22]은 다수의 기계로 구성된 시스템에서 작업총완료시간, 평균흐름시간, 평균효율을 최소화하는 발견적 기법을 제안하였으며, Hunsucker and Shah[23]는 다단계 다수 기계를 갖는 경우에 작업총완료시간, 평균흐름시간, 최대흐름시간을 최소화하는 일정계획문제에 대해 기존 해법들을 적용한 결과를 제시하였다. 따라서 본 연구에서는 두 개 이상의 소규모 가공셀로 구성된 자동 가공및조립시스템에서 작업총완료시간, 평균흐름시간, 기계효율을 최적화시키는 해법을 개발하고자 한다.

## 2. 수리적 모형

본 연구에서 다루게될 연구모델은 크게 [그림 1]과 같이 두 대의 가공센터(기계)와 한 대의 자동운반장치로 구성된 자동화생산셀의 형태가 두 개 이상으로 구성된다.

다단계 자동 가공 및 조립시스템을 연구모델로 하여 수리적 모형을 수립한다. [그림 1]에 해당하는 각 단계에서의 작업제어를 위한 수리적 모형은 최정상[24]의 결과를 그대로 활용하고 [그림 2]와 같이 다단계 셀에 대한 수리적 모형을 제시하고자 한다.

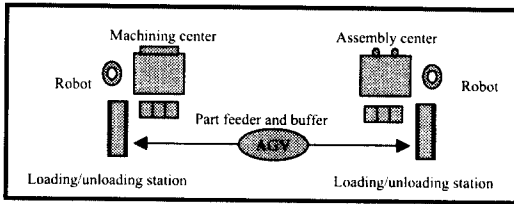


Fig. 1 A flexible machining cell

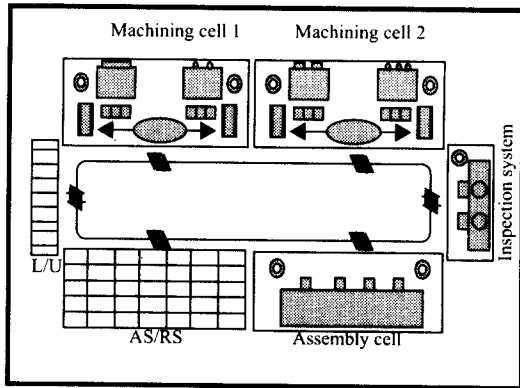


Fig. 2 A manufacturing system with multi-stages

본 연구에서 수리적 모형을 수립하기 위해 사용한 부호 ((Notation)는 각각 다음과 같다.

- $i$  : 그룹번호 ( $i = 1, 2, \dots, M$ )
- $j$  : 작업번호 ( $j = 1, 2, \dots, n_i$ )
- $k$  : 가공셀 번호 ( $k = 1, 2, \dots, K$ )
- $r$  : 선행그룹번호 ( $r = 1, 2, \dots, M$ )
- $u, v$  : 가공센터(또는 기계) 번호 ( $v = 1, 2$ )
- $N$  : 전체작업수 ( $N = \sum_{i=1}^M n_i$ )

- $G_i$  : 그룹  $i$
- $J_{ij}$  :  $G_i$ 의 작업  $j$
- $C^k$  : 가공셀  $k$
- $M_u^k$  :  $C^k$ 안에 있는 가공센터  $u$
- $Q_i^k$  :  $C^k$ 에서  $G_i$ 의 그룹가공시간
- $CT_i^k$  :  $C^k$ 에서  $G_i$ 의 가공완료시간
- $MI_i^k$  :  $S^k$ 에서  $G_i$ 의 유희시간
- $X_{ri}$  : 1. 그룹  $r$ 이 그룹  $i$ 에 선행 0. 기타
- $MS$  : 주어진 모든 작업의 처리를 완료하는 시간
- $MF$  : 작업들이 시스템에 머무는 평균흐름시간

- $ST_u^k(J_{ij})$  :  $M_u^k$ 에서  $J_{ij}$ 의 가공시작시각
- $CT_u^k(J_{ij})$  :  $M_u^k$ 에서  $J_{ij}$ 의 가공완료시각
- $P_u^k(J_{ij})$  :  $M_u^k$ 에서  $J_{ij}$ 의 가공소요시간
- $TT_{uv}$  :  $M_u^k$ 에서  $M_v^k$ 까지의 AGV의 운반시간
- $SQ_i^k$  :  $C^k$ 에서 그룹  $i$ 안의 작업들의 가능한 작업순서
- $N(SQ_i^k)$  :  $SQ_i^k$ 의 수

[그림1]에 해당하는 한 셀에서의 수리적 모형의 결과를 살펴 보면, 임의의 그룹  $i$ 안의 작업들의 가능한 작업순서에 대한 작업총완료시간은 기계 2에서 그룹  $i$ 의 마지막 작업을 완료하는 시각과 같으며, 다음 식 (1)과 같이 표현된다. 이때 얻어지는 그룹  $i$ 의 가능한 작업순서의 수는  $(n_i)!$ 개가 존재한다.

$$MS(SQ_i^k) = CT_2^k(J_{mi})$$

$$= \text{Max}_{1 \leq p \leq q \leq j} [ \sum_{j=1}^p P_1^k(J_{ij}) + (q-p+1)TT_{12}^k + \sum_{j=q}^n P_2^k(J_{ij}) + (q-p)TT_{21}^k ]$$

단,  $i = 1, 2, 3, \dots, M$   
 $j = 1, 2, 3, \dots, n_i$

(1)

식 (1)에서 구한 각 그룹의 작업들에 대한 가능한 작업순서들의 작업완료시간들 중에서 최소값을 갖는 작업순서가 최적작업순서이며, 다음 식(2)에 의해 얻어진다.

$$MS(SQ_i^k)^* = \text{Min} MS(SQ_i^k)$$

$$= \text{Min} [ CT_2^k(J_{mi}) ]$$

$$= \text{Min} [ \text{Max}_{1 \leq p \leq q \leq j} [ \sum_{j=1}^p P_1^k(J_{ij}) + (q-p+1)TT_{12}^k + \sum_{j=q}^n P_2^k(J_{ij}) + (q-p)TT_{21}^k ] ]$$

단,  $i = 1, 2, 3, \dots, M$   
 $j = 1, 2, 3, \dots, n_i$

(2)

그 때의 평균 작업흐름시간은 식 (3)에 의해 얻어진다.

$$MF(SQ_i^k) = \sum_{j=1}^{n_i} CT_2^k(J_{ij}) / n_i$$

(3)

앞에서는 하나의 가공셀에서 모든 가공을 다 마칠 경우의 작업일정계획 모형을 수립하였다. 그러나 실제 생산현

장에서는 하나의 가공셀에서 모든 작업이 완료되는 경우 보다는 두 개 이상의 가공셀간을 이동하면서 처리를 받는 경우가 많다. 따라서 본 절에서는 두 개 이상의 가공셀을 거쳐서 처리되는 경우에 대한 일정계획 모형을 수립하고자 한다. 두 개 이상의 가공셀을 거쳐서 가공을 받고 준비시간이 무시되는 경우에 주어진 모든 작업의 총완료시간을 최소화하는 목적함수식은 식(4)과 같이 마지막 그룹의 완료시간과 같다. 즉 마지막 그룹의 가공시간과 유휴시간의 합으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \text{Min } MS &= \left[ \sum_{i=1}^M Q_i^k + \sum_{s=1}^M MI_s^k \right] \\ \text{단, } Q_i^k &= MS(SQ_i^k)^* \end{aligned} \quad (4)$$

목적함수식 (4)를 만족시키기 위한 제약조건식은 다음과 같다. 식 (5)은 셀 1에서 그룹 i의 완료시간은 적어도 그룹 가공시간보다는 커야하는 제약조건을 나타낸다.

$$\begin{aligned} C_i^k &\geq Q_i^k \\ \text{단, } i &= 1, 2, 3, \dots, M \end{aligned} \quad (5)$$

식 (6)은 각 셀별 그룹의 완료시간의 관계를 나타내는 제약조건식으로 k에서 그룹 i의 완료시간은 적어도 k-1에서 그룹 i의 완료시간보다는 커야하는 제약조건을 표시한다.

$$\begin{aligned} C_i^k &\geq C_i^{k-1} + Q_i^k \\ \text{단, } i &= 1, 2, 3, \dots, M \\ k &= 1, 2, 3, \dots, K \end{aligned} \quad (6)$$

식 (7)과 (8)은 그룹간의 선행관계를 나타내는 식으로 그룹 r과 그룹 i에 대해 각각에서 두 그룹간의 선행관계에 따라 두 제약조건중 하나를 만족하게 된다.

$$\begin{aligned} C_r^k - C_i^k + LX_{ri} &\geq Q_i^k \\ \text{단, } i &= 1, 2, 3, \dots, M \\ k &= 1, 2, 3, \dots, K \\ r &> i \geq 1 \\ L &: \text{매우 큰 실수} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} C_i^k - C_r^k + L(1 - X_{ri}) &\geq Q_i^k \\ \text{단, } i &= 1, 2, 3, \dots, M \\ k &= 1, 2, 3, \dots, K \\ r &> i \geq 1 \\ L &: \text{매우 큰 실수} \end{aligned} \quad (8)$$

식 (9)은 주어진 어떤 그룹 앞에 올 수 있는 그룹은 오직 한 그룹을 나타내고, 식 (10)은 임의의 그룹순서에서 어느 그룹 다음에 한 그룹만이 할당됨을 나타낸다.

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^M X_{ri} &= 1 \\ \text{단, } i &= 1, 2, 3, \dots, M \\ X_{ri} &= 1 \text{ 또는 } 0 \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \sum_{r=1}^M X_{ri} &= 1 \\ \text{단, } r &= 1, 2, 3, \dots, M \\ X_{ri} &= 1 \text{ 또는 } 0 \end{aligned} \quad (10)$$

주어진 모든 그룹에 대한 평균 작업흐름시간은 식 (11)과 같다.

$$MF = \left[ \sum_{i=1}^M Q_i^k + \sum_{s=1}^M MI_s^k \right] / M \quad (11)$$

### 3. 해법개발

두 개이상의 셀(기계)을 거치고 다수 목표를 갖는 상황에서 준비시간을 무시하는 경우에 대해 작업총완료시간과 평균 작업흐름시간을 동시에 최소화하고 평균효율을 최대화하는 기법으로 다음의 LSPF algorithm을 제시한다. LSPF algorithm은 두 개이상의 셀을 거치되 준비시간을 무시하는 조건에서 다수의 목표인 작업총완료시간과 평균 작업흐름시간 최소화하고 평균효율을 최대화하는 기법으로 그 절차는 다음과 같다.

[단계 1] 각 그룹 i가 가공받는 셀에서 최소 그룹완료시간을 계산한다.

[단계 2] [단계 1]에서 구한 그룹 i가 가공받는 각 셀들에서의 가공시간의 합을 계산한다.

$$Q_i = \sum_{s=1}^M Q_i^k$$

[단계 3] [단계 2]에서 계산한  $Q_i$ 를 내림차순으로 정렬하고 순위(RK = 1, 2, 3, ..., M)를 부여한다.

[단계 4] [단계 3]에서 구한 순위에서 처음 두 그룹(RK을 선정하여 가능한 부분순서를 만든다.

[단계 5] [단계 4]에서 만들어진 부분순서에 대한 완료시간을 계산하여 그 중 최소값을 갖는 부분순서를 찾는다. 만약 최소값이 같은 부분순서가 있으면 모두 택한다.

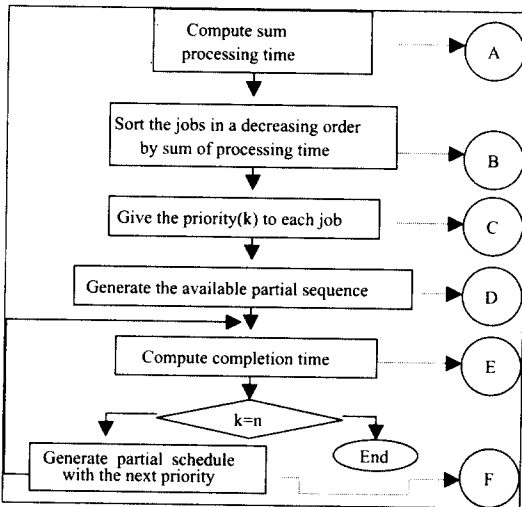
[단계 6] [단계 3]에서 구한 차순위 그룹을 택하여 가능한 부분순위를 만든다.

[단계 7] [단계 6]에서 만들어진 각 부분순서의 총완료시간을 계산하고 그 중 최소값을 갖는 부분순서를 찾는다. 만약 순위 RK번째 그룹을 새로 삽입하여 얻은 가능한 부분순서들에 대해 첫번째 계산한 부분순서의 총완료

시간을 임시 최소값으로 놓고 그 다음 부분순서의 총완료 시간을 계산하는 도중에 이 임시 최소값보다 큰 값이 나오면 계산하고 있는 부분순서는 더 이상 계산할 필요없이 도태시킨다. 새로 계산한 부분순서의 총완료시간이 임시 최소값보다 작으면 임시 최소값을 수정하고 이전의 임시값을 갖는 부분순서를 제거한다. RK번째 그룹을 새로 삽입한 부분순서의 총완료시간이 앞에서 정해진 (RK-1) 번째까지의 부분순서의 총완료시간과 같으면 그때의 부분순서를 최소값을 갖는 부분순서로 확정하고 다음 순위의 그룹(RK=RK+1)으로 간다. 이때 최소값이 같은 부분순서가 있으면 모두 택한다.

[단계 8] 만약  $RK = M$ 이면 끝내고 그렇지 않으면 [단계 6]으로 간다.

LSPF algorithm을 요약정리하면 [그림 3]과 같은 흐름도로 나타낼수있다.



\* A, B, C, D, E, F는 서브루틴을 의미함.

Fig. 3 LSPF algorithm

## 4. 수치예제 및 해법 평가

### 4.1 수치예제

LSPF algorithm에 의해 작업순서를 결정할 때 [단계 1]에서 부터 [단계 3]까지의 과정이 [표 1]에 나타나 있다. [표 1]에서  $Q_i$ 는 그룹  $i$ 의 가공시간의 합이고, RK는 각  $Q_i$ 의 내림차순을 의미한다. [표 1]에서 구한 순위의 처음 두 작업을 선택하여 임시부분순서를 생성하고 작

업총완료시간을 계산한다. LSPF algorithm에 의한 최종 작업순서 및 작업총완료시간은 다음 [표 2]에서 보는 바와 같이 작업순서 4-3-2-1에서 224이며, 평균 작업흐름 시간은 각 그룹의 마지막 셀에서의 완료시각의 합을 그룹수로 나눈 값으로 157.5이다.

Table 1. Ratio and Rank by LSPF

Group \ Cell	Processing Time			$Q_i$	RK
	1	2	3		
1	18	80	0	98	3
2	0	80	60	140	2
3	64	0	80	144	1
4	0	0	58	58	4

Table 2. Final Iteration of LSPF algorithm

Group \ Cell	1		2		3	
	PT	CT	PT	CT	PT	CT
4	0	0	0	0	58	58
3	64	64	0	64	80	144
2	0	64	80	144	60	204
1	18	82	80	224	0	224*

### 4.2 모의실험 및 해법평가

두 개 이상의 셀을 거치는 단단계 자동화 가공/조립시스템 다목적(작업총완료시간과 작업평균흐름시간)을 갖는 경우에 대해 본 연구에서 개발한 LSPF algorithm을 HC(Ho and Chag[22])algorithm 및 HS(Hunsucker and Shah[23])algorithm과 비교분석한 결과가 [표 3]과 같다.

#### 1) 빈도수에 의한 평가

LSPF algorithm에 의해 구한 해가 HS algorithm에 비해 평균 67.8%의 빈도수에서 동시에 두 목표에 대해 우수한 해를 제공하였으며 동일한 해를 제공하는 경우는 1.1%였고 나쁜 해를 나타낸 경우는 30.1%였다. 좀더 구체적으로 살펴 보면 작업수와 셀 수가 커질수록 개발한 algorithm이 우수한 해를 제공하는 빈도수가 증가하였으며, 대규모 문제에서는 100%에서 우수한 해를 제공하였다. 또한 HC algorithm에 비해서는 평균 78.2%의 빈도수에서 우수한 해를 제공하였으며, 6.4%에서 동일한 해를 제공하였고, 나쁜 해를 나타낸 경우는 불과 15.4%였다. 구체적으로 살펴 보면 작업수와 셀 수에서 중,대규모일때는 100%의 빈도수에서 우수한 해를 제공하였다.

Table 3. Comparative Analysis by LSPF

C	G	Reduction ratio								Frequency						Mean Utilization	
		MS				MF				HS			HC			HS	HC
		Mean		Max		Mean		Max		BD	EQ	GD	BD	EQ	GD		
		HS	HC	HS	HC	HS	HC	HS	HC								
3	4	24.5	1.9	45.6	27.1	10.4	6.9	25.0	30.1	50.0	4.0	46.0	16.0	0.0	84.0	76.1	96.8
3	6	22.3	4.7	47.2	18.0	7.0	7.4	25.4	23.0	46.0	4.0	50.0	2.0	0.0	98.0	78.5	95.7
3	8	24.8	3.6	39.9	15.4	8.0	15.0	22.4	32.7	30.0	0.0	70.0	0.0	0.0	100.0	77.3	97.3
3	10	26.6	3.3	46.2	14.6	9.0	11.8	28.4	38.5	56.0	0.0	44.0	0.0	0.0	100.0	78.2	97.4
3	20	19.2	3.2	34.9	16.7	7.1	20.9	16.7	39.9	52.0	0.0	48.0	0.0	0.0	100.0	82.5	96.5
3	30	16.2	2.1	34.0	9.8	5.4	21.2	16.5	38.0	32.0	0.0	68.0	30.0	52.0	18.0	85.2	97.7
3	50	14.7	0.8	24.6	6.2	7.0	26.6	19.8	42.9	48.0	0.0	52.0	46.0	4.0	50.0	87.7	98.8
3	70	12.6	1.1	21.5	8.0	7.5	29.5	21.0	41.0	30.0	0.0	70.0	34.0	4.0	62.0	89.1	98.9
3	100	9.6	0.9	18.7	7.1	5.7	31.3	14.8	40.5	24.0	0.0	76.0	46.0	2.0	52.0	91.3	100.0
4	4	21.2	3.0	45.8	16.9	7.6	4.6	22.2	20.1	52.0	8.0	40.0	4.0	0.0	96.0	80.0	96.0
4	6	22.6	4.7	42.1	24.9	8.1	7.6	18.9	27.2	48.0	2.0	50.0	6.0	0.0	94.0	78.3	95.0
4	8	28.8	5.2	47.7	18.9	10.5	9.6	19.1	27.4	48.0	0.0	52.0	2.0	0.0	98.0	76.1	95.5
4	10	25.0	6.8	42.3	21.1	7.3	11.4	19.5	29.6	30.0	0.0	70.0	0.0	0.0	100.0	76.0	92.9
4	20	23.4	5.3	35.6	17.0	7.9	13.5	26.2	26.9	42.0	0.0	58.0	0.0	0.0	100.0	77.7	95.0
4	30	22.2	4.8	36.7	14.9	8.9	17.9	20.0	33.6	24.0	0.0	76.0	32.0	54.0	14.0	78.8	95.2
4	50	16.6	2.7	27.8	13.4	6.7	21.8	18.4	37.5	36.0	0.0	64.0	44.0	4.0	52.0	83.9	97.7
4	70	15.2	3.2	23.6	12.7	7.0	24.3	23.5	37.1	26.0	0.0	74.0	54.0	0.0	46.0	86.5	97.7
4	100	13.3	2.0	22.3	9.7	7.7	26.6	15.5	41.8	18.0	0.0	82.0	48.0	0.0	52.0	87.7	98.8
5	4	23.7	0.6	47.3	6.2	7.0	2.7	22.2	18.2	50.0	2.0	48.0	22.0	0.0	78.0	79.5	97.7
5	6	27.2	5.0	43.0	23.2	8.2	7.5	27.3	26.7	50.0	2.0	48.0	12.0	0.0	88.0	77.3	94.3
5	8	25.7	4.9	43.1	16.4	7.9	8.5	25.2	28.2	42.0	0.0	58.0	2.0	0.0	98.0	76.2	96.6
5	10	24.8	7.6	38.1	21.6	7.3	10.2	20.7	24.3	24.0	0.0	76.0	2.0	0.0	98.0	75.3	92.3
5	20	26.9	8.0	39.8	21.6	8.1	12.0	30.7	39.0	20.0	0.0	80.0	0.0	0.0	100.0	76.5	93.8
5	30	25.1	6.3	34.9	16.3	8.9	13.8	23.3	26.4	28.0	0.0	72.0	32.0	52.0	16.0	76.5	93.8
5	50	19.6	5.2	33.3	17.1	7.6	17.2	23.9	27.9	28.0	0.0	72.0	64.0	10.0	26.0	81.1	94.1
5	70	19.7	4.4	32.9	10.4	8.6	19.2	19.5	31.8	28.0	0.0	72.0	56.0	0.0	44.0	82.0	95.5
5	100	16.3	3.4	22.8	8.7	8.6	22.4	18.8	35.2	18.0	0.0	82.0	50.0	0.0	50.0	84.4	96.6
7	4	14.3	1.1	41.4	9.9	4.5	4.4	17.0	23.7	62.0	12.0	26.0	24.0	0.0	76.0	87.5	100.0
7	6	22.1	5.4	37.1	17.9	6.7	7.1	19.6	27.3	48.0	0.0	52.0	10.0	0.0	90.0	78.0	95.1
7	8	24.2	6.0	45.9	20.2	7.0	7.7	20.4	26.6	50.0	0.0	50.0	2.0	0.0	98.0	78.7	95.7
7	10	28.8	6.6	51.3	17.0	8.3	7.3	26.7	19.3	44.0	0.0	56.0	2.0	0.0	98.0	75.0	94.2
7	20	26.7	8.5	38.9	17.9	7.5	8.8	24.8	18.9	16.0	0.0	84.0	0.0	0.0	100.0	73.5	91.1
7	30	27.4	8.1	38.3	19.3	11.4	21.9	23.1	27.3	8.0	0.0	92.0	2.0	0.0	98.0	73.3	92.0
7	50	24.2	7.7	33.8	16.8	11.1	20.3	25.5	23.3	12.0	0.0	88.0	0.0	0.0	100.0	76.5	92.5
7	70	22.5	5.9	32.6	14.0	13.9	20.5	25.4	22.2	8.0	0.0	92.0	0.0	0.0	100.0	77.6	94.1
7	100	19.2	5.5	27.4	12.5	16.1	19.2	28.1	18.7	8.0	0.0	92.0	0.0	0.0	100.0	81.6	94.2
10	4	12.2	0.4	34.5	9.9	1.3	8.8	14.1	13.1	62.0	16.0	22.0	30.0	52.0	18.0	84.0	100.0
10	6	22.2	4.8	43.5	18.7	4.7	22.4	16.6	18.3	46.0	2.0	52.0	46.0	4.0	50.0	81.2	96.8
10	8	24.1	6.2	42.0	14.2	6.0	12.9	20.9	21.3	42.0	0.0	58.0	34.0	4.0	62.0	78.9	94.7
10	10	26.1	7.5	35.3	19.3	5.7	24.4	19.9	23.1	46.0	0.0	54.0	46.0	2.0	52.0	76.7	93.0
10	20	26.9	10.7	40.2	19.6	7.1	22.3	16.4	26.7	8.0	0.0	92.0	4.0	0.0	96.0	72.4	89.6
10	30	28.0	10.1	39.7	19.1	6.6	18.0	15.3	27.7	10.0	0.0	90.0	6.0	0.0	94.0	71.6	89.5
10	50	26.8	9.7	35.4	16.6	7.9	16.9	17.3	26.7	6.0	0.0	94.0	2.0	0.0	98.0	73.3	90.6
10	70	24.9	10.5	31.4	16.8	10.0	26.1	18.5	24.9	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	75.0	90.0
10	100	24.0	8.6	29.8	14.8	10.9	20.1	21.1	23.9	4.0	0.0	96.0	0.0	0.0	100.0	76.1	90.4
15	4	11.5	0.5	35.9	4.8	1.3	12.9	24.9	9.9	60.0	10.0	30.0	32.0	54.0	14.0	88.8	100.0
15	6	18.4	3.7	31.3	11.1	4.0	13.7	23.9	15.4	52.0	0.0	48.0	44.0	4.0	52.0	86.9	100.0
15	8	21.1	5.2	29.7	14.5	4.5	18.0	15.8	19.4	48.0	0.0	52.0	54.0	0.0	46.0	82.1	96.4
15	10	21.0	5.8	32.5	14.7	4.5	13.4	21.6	20.3	52.0	0.0	48.0	48.0	0.0	52.0	78.1	93.7
15	20	26.2	9.5	35.8	15.2	4.3	16.2	11.9	25.6	10.0	0.0	90.0	22.0	0.0	78.0	73.9	91.3
15	30	26.4	10.6	35.9	18.6	6.2	17.8	12.8	26.2	6.0	0.0	94.0	12.0	0.0	88.0	74.5	89.0
15	50	26.5	11.3	35.6	17.5	7.8	15.2	15.6	26.5	0.0	0.0	100.0	2.0	0.0	98.0	73.8	89.2
15	70	25.3	11.5	31.8	16.0	7.1	15.5	12.5	25.3	0.0	0.0	100.0	2.0	0.0	98.0	74.6	88.7
15	100	25.4	10.8	30.8	16.0	7.8	20.9	18.5	25.4	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	75.0	89.4
20	4	13.2	0.3	35.0	7.3	0.7	17.4	11.8	10.0	66.0	8.0	26.0	32.0	52.0	16.0	85.7	100.0
20	6	14.8	2.2	29.4	5.8	2.1	12.1	8.9	12.7	68.0	2.0	30.0	64.0	10.0	26.0	88.8	100.0
20	8	19.2	4.8	31.6	9.1	3.9	14.2	12.7	16.4	62.0	0.0	38.0	56.0	0.0	44.0	82.6	95.6
20	10	21.9	5.7	32.1	10.0	2.8	16.2	8.6	18.7	50.0	0.0	50.0	50.0	0.0	50.0	80.7	96.1
20	20	23.8	9.2	33.4	18.5	5.5	15.7	15.8	23.0	16.0	0.0	84.0	24.0	0.0	76.0	76.9	89.7
20	30	24.8	10.4	32.2	16.2	5.3	16.1	13.1	24.6	4.0	0.0	96.0	10.0	0.0	90.0	74.4	89.3
20	50	25.8	11.7	33.8	16.2	5.5	16.0	11.3	25.7	4.0	0.0	96.0	2.0	0.0	98.0	74.1	87.9
20	70	25.4	11.9	30.1	15.4	6.1	15.7	12.8	25.4	0.0	0.0	100.0	2.0	0.0	98.0	75.0	87.5
20	100	25.6	11.6	31.7	15.3	6.3	15.6	14.3	25.6	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	100.0	74.6	88.7
Mean		22.1	5.8	35.5	15.1	7.5	15.8	19.6	24.0	31.1	1.1	67.8	15.4	6.4	78.2	79.2	94.5

\* BD : Bad, EQ : Equal, GD : Good

2) 단축비에 의한 평가

LSPF algorithm에 의해 구한 해가 HS algorithm으로 구한 해에 비해 작업총완료시간의 평균 단축비는 각 경우에서 9.6 - 28.8%, 전체 평균 22.2%의 단축비를 나타내었으며, 평균작업흐름시간은 평균 0.7-16.1%, 전체 평균 7.5%의 단축비를 나타내었다. 또한 LSPF algorithm에 의해 구한 해가 HC algorithm으로 구한 해에 비해 작업총완료시간의 평균 단축비는 0.3 - 11.9%, 전체 평균 5.8%의 단축비를 나타내었으며, 평균작업흐름시간은 각 경우에 대해 평균 4.4 - 31.3%, 전체 평균 16.4%의 단축비를 나타내었다. 좀 더 자세히 살펴 보면 LSPF algorithm이 HS에 비해 평균작업흐름시간보다 작업총처리시간에서 더 효율적이고, HC algorithm에 비해서는 평균흐름시간에서 더 효율적이었다. 또한 평균효율은 LSPF에 비해 HS는 73.5%, HC는 83.7% 수준이었다.

3) 적합도 검정

앞에서 수행한 모의실험 결과들이 기존의 algorithm에 비해 우수하다는 것을 객관적으로 입증하기 위해 통계학 기법인  $\chi^2$ -Test를 통해 적합도 분석을 수행하였다.

$P_{ij}$ 는 결합확률분포(Joint Probability Distribution)라 하고,  $P_{i.} = \sum_j P_{ij}$ 이고,  $P_{.j} = \sum_i P_{ij}$ 를 주변확률분포(Marginal Probability Distribution)라 할 때 가설은 다음과 같다.

$$H_0 : P_{ij} = P_{i.}P_{.j}$$

$$H_1 : P_{ij} \neq P_{i.}P_{.j}$$

Table 4. Output Case

		Meanflow	
		Good or Equal	Bad
Makespan	Good or Equal	$P_{11}$	$P_{12}$
	Bad	$P_{21}$	$P_{22}$

Table 5.  $\chi^2$ -Static Range by LSPF

	$\chi^2$ 통계량	$\chi^2(1) \alpha=0.005$
HS	40.7 - 150.0	7.9
HC	16.1 - 150.0	

먼저 LSPF algorithm과 HS algorithm에 대한  $\chi^2$  통계량이 42.5 - 150으로 나타났으며, HC algorithm에 대한  $\chi^2$  통계량은 16.1 - 150으로 나타났다. 유의수준 0.005에서  $\chi^2$  통계량은 7.88이므로 귀무가설을 기각한다. 즉 LSPF algorithm으로 구한 해가 다른 algorithm에 구한 해들에 비해 우수한 결과를 나타내는 유의한 차이가 있다고 볼 수 있다. 즉 LSPF algorithm에 의해 구한 해가 다른 algorithm에 의한 값보다 작업총완료시간과 평균흐름시간을 최소화하는데 우수하다고 말할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 최근 증가하고 있는 소규모 자동화생산 셀로 구성된 자동화생산시스템에서 작업제어 기법문제에 대해 다루었으며, 최적해를 제공하는 발전적 기법을 개발하고 IBM PC 586/133에서 Borland C를 사용하여 다양한 조건에서 모의 실험을 수행하였다. 두 개 이상의 셀을 거치는 경우에 대해서 다수 목표로 작업총완료시간과 평균작업흐름시간을 갖고 준비시간을 고려하는 경우에 대해 LSPF algorithm을 제시하였다. 두 개 이상의 셀을 거치는 경우에 대해 개발한 기법들을 평가하기 위해 셀 수를 7가지 작업수를 9가지까지 63가지에서 각각 50문제씩 총3,150문제를 모의 실험을 실행하였다. 모의실험에 의한 결과에 대해 빈도수와 단축비에 의한 평가를 수행하고 적합도검정을 통해 해법의 우수성을 통계적으로 입증하였다.

LSPF algorithm은 HS 및 HC algorithm에 비해 67.8 - 78.2%의 빈도수에서 우수한 해를 제공하였고, 작업총완료시간은 5.8 - 22.1%, 평균흐름시간에서 7.5 - 15.8%의 단축비를 나타내었다. 아울러 이와 같은 결과들을 SAS를 이용하여 최소유의차 방법으로 다중비교분석 및 적합도 검정을 수행한 결과, 위의 분석들대로 본 연구에서 개발한 기법들이 기존의 기법들 보다 우수함을 검정할 수 있었다. 또한 분산분석을 수행한 결과 작업수 및 셀 수가 커질수록 더 큰 개선효과를 나타내었다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 본 연구에서 개발한 기법들이 기존의 기법들에 비해 상당히 우수한 해를 제공함을 알 수 있었다. 한편 수행시간에 있어서는 두 개 이상의 셀을 거치는 경우는 기존의 기법들에 비해 수행시간 ( $O(n^2/2)$ )이 다소 많이 소요되는 단점이 있다.

따라서 향후 연구 방향으로 첫째 작업수 및 도착이 무작위로 발생하는 동적상황을 고려한 일정계획, 둘째 다른

평가기준에서 다수 목표를 갖는 경우, 세계 긴급상황에 의해 Preemption을 고려한 경우, 끝으로 생산계획 및 자재소요계획을 동시에 고려하는 통합생산일정계획등을 제안한다.

본 연구는 한국과학재단 해외연수지원프로그램에 의해 수행되었음.

### 참 고 문 헌

1. Kise, H., Shioyama, T. and Ibaraki, T., "Automated Two Machine Flowshop Scheduling," IIE Transaction, Vol.23, No.1, pp.10-16, 1991.
2. Ohmi, T. et al., "FMS in Japan - Present Status," International Conference on FMS, IFS(Publication)Ltd, 1982.
3. Snader, K.R., "Flexible Manufacturing System: An Industry Overview," Production and Inventory Management, Vol.27, No.1, 1986.
4. Wassenhove, L.V., "The Trend of FMS," Operation Research Proc., pp.524-532, 1988.
5. Blazewicz, T., Finke, G., Haupt, R. and Schmidt, G., "New Trend in Machine Scheduling," Euro. J. of O.R., Vol.35, pp.303-317, 1988.
6. Yamazaki, T. and Nagae, A., "Flexible Manufacturing System in Practice," Japan-USA Sym. on Flexible Automation, 1990.
7. Chan, D.Y. and Bedworth, D.D., "Design of a Scheduling System for Flexible Manufacturing Cells," I.J. Prod. Res., Vol.28, pp.2037-2049, 1990.
8. Panwalkar, S.S., "Scheduling of a Two-Machine Flowshop with Travel Time Between Machines," J. Opl. Res. Soc., Vol.42, No.7, pp.609-613, 1991.
9. Johnson, S.M., "Optimal Two and Three Stage Production Schedules with Setup time Included," Naval Research Logistics, Quarterly 1, pp.61-68, 1954.
10. Ayres, R.U., Haywood, W and Tchijov, I., Computer Integrated Manufacturing :Models, Case Studies and Forecasting of Diffusion, Chapman Hall, 1992.
11. Wassenhove, L.V. and Gelders, L.F., "Solving a Bicriterion Scheduling Problem," Euro. J. of O.R., Vol.4, pp.42-48, 1980.
12. Sen, T. and Gupta, S.K., "A Branch and Bound Procedure to Solve a Bicriterion Scheduling Problem," IIE Transaction, Vol.15, No.1, pp.84-88, 1983.
13. Du, J., Leung, J.Y-T. and Young, G.H., "Scheduling Chain - Structured Tasks to Minimize Makespan and Mean Flow Time," Information and Computation, Vol.92, pp.216-236, 1991.
14. Rajgopal, J. and Bidanda, B., "On Scheduling Parallel Machines with Two Setup Classes," Int. J. Prod. Res., Vol.29, No.12, pp.2443-2458, 1991.
15. Singh, N., Aneja, Y.P. and Rana, S.P., "A Bcriterion Framework for Operations Assignment and Routing Flexibility Analysis in Cellular Manufacturing Systems," Euro. J. of O.R., Vol.60, pp.200-210, 1992.
16. Daniels, R.L. and Chambers, R.J., "Multiobjective Flow Shop Scheduling," Naval Res. Logistics, Vol.37, pp.981-995, 1990.
17. Lashine, S., Foote, B. and Ravindran, A., "A Nonlinear Mixed Integer Goal Programming Model for the Two Machine Closed Flow Shop," Euro. J. of O.R., Vol.55, pp.57-70, 1991.
18. Ahmadi, J.H., Ahmadi, R.H., Dasu, S. and Tang, C.S., "Batching and Scheduling Jobs on Batch and Discrete Processors," Operation Research, Vol.39, No.4, pp.750-763, 1992.
19. Wittrock, R.J., "Adaptive Scheduling Algorithm for Flexible Flow Line," Operation Research, Vol.36, No.3, pp.445-453, 1988.
20. Kochhar, S. and Morris, R.J.T., "Heuristic Methods for Flexible Flow Line Scheduling," J. of Manufacturing Systems, Vol.6, No.4, pp.299-314, 1987.



21. Ro, I.K. and Kim, J.I., "Multi-Criteria Operational Control Rules in FMS," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28., No.1, pp.47-63, 1990.
22. Ho, J.C. and Chang, Y.L., "A new Heuristic for the N-Job, M-Machine Flow shop Problem," *Euro. J. of O.R.*, Vol.52, pp.194-202, 1991.
23. Hunsucker, J.L. and Shah, J.R., "Comparative Performance Analysis of Priority Rules in a constrained Flow Shop with Multiple Processors Environment," *Euro. J. of O.R.*, Vol.72, pp.102-114, 1994.
24. 최정상, 노인규 "유연가공셀에서 운반시간을 고려한 일정계획," 「한국경영과학회」, Vol. 19, No.2, pp.107-118, 1994.