

자동화제조시스템에서 다수목표를 위한 물류관리 (Logistics for multiple objectives in automated manufacturing system)

최정상* · 장길상**

Abstract

In this paper a new heuristic algorithm has been developed and presented for logistics for multiple objectives in an automated manufacturing systems. We proposed Smallest Processing and Average setup time Ratio First(SPARG) algorithm for multiple criteria under sequence setup time. The heuristic algorithm is implemented on the various problem cases by number of jobs and machines. The proposed algorithm provided smaller than the previously documented heuristics. The results obtained show a superior solution by the new heuristic over previous heuristics on all problem sizes. we perform analyses of variance to fortify the above results of comparison with the previous algorithms to the four cases using Statistical Analysis System(SAS) package. The results show that the larger is the number of groups or cells, the bigger is the amount of improvement by the proposed algorithms. It suggests that the algorithms proposed is strongly influenced by the number of cells, groups and interaction of these factors.

* 강남대학교 이공대학 지식정보공학부

** 동국대학교 상경대학 경상학부

1. 서론

오늘날의 제조 환경은 국내적으로는 소비자 요구의 다양화, 급격한 임금의 인상, 자금 압박, 고객의 만족도 요구 수준의 향상, 경제 수준 향상으로 인한 작업 의욕의 저하 등의 문제에 직면하고 있으며, 국외적으로는 거센 시장 개방 압력, 기술 보호 무역주의의 팽배, 원자재 값의 상승, 첨단 기술의 급진적 발전 등으로 매우 급변하는 상황에 놓여 있다.

이러한 추세가 국내외적으로 급속히 진전되고 있어 급변하는 수요 환경의 변화에 능동적으로 대처하는 것이 갈수록 힘들어지고 있다. 뿐만 아니라, 이처럼 현대 사회가 급속하게 다변화하고 소비자의 기호와 요구가 다양해짐에 따라 다양한 종류의 제품이 필요하게 되었으며 같은 종류의 제품이라도 다양한 모델의 구비가 요구되고 있다. 즉, 현대에 있어서 특기할 만한 것은 인구 증가에 따른 제품 수요의 증가보다도 제품의 다양성이 점점 더 요구되고 있다는 점이다. 이로 인해 제품의 수명도 역시 급속히 짧아지고 있는 추세이다.

갈수록 자동화생산시스템에 대한 관심과 도입이 증대되고 있지만 일시에 모든 공정을 자동화하는데는 과도한 도입비용, 운용기술의 미비, 기존설비와의 조화 여부 등 경제적, 기술적, 환경적인 어려움이 많이 따른다[7]. 최근 들어 이러한 자동화에 따른 부작용을 최소화하면서 다양한 변화에 대처하는 유연성을 향상시키기 위해 대규모 자동화 설비보다 FMC(Flexible Manufacturing Cell)와 같은 소규모 자동화 생산시스템이 계속 증가하고 있다[22].

따라서 본 연구에서는 완충저장이 충분한 두 개의 셀로 구성된 다단계 자동화생산시스템에서 다

수의 목표를 갖고 동시에 준비시간을 고려해야 하는 생산물류관리 기법을 개발하고자 한다.

2. 기존연구의 고찰

Ohmi[22]등은 소규모 FMC가 실제로 현장에서 많이 활용되고 있으며, 특히 일본에서는 중·소규모의 제조업에서 많이 사용하고 있다고 보고하였고 Snader[26]는 제조현장의 유연생산시스템 (Flexible Manufacturing System :FMS)분포 현황조사에서 소규모 FMC의 추세를 발표하였으며, Wassenhove[30]는 전세계의 절반 이상의 자동화생산시스템을 조사해 본 결과 소규모 대완충시스템(Small Scale Large Buffer System)이 증가하고 있다고 보고하였다.

또한 Blazewicz[3]도 두 대의 CNC(Computer Numeric Control)와 로봇트 운반장치로 구성된 소규모 FMC의 증가 추세를 보고하였으며, Yamazaki [31]도 제조현장에서 사용하고 있는 시스템을 조사하여 소규모 자동화생산시스템의 증가를 보고하였고, Chan[5]도 제조현장에서 FMS와 같은 대규모 시스템보다 관리하기 용이한 소규모 FMC로의 증가추세를 발표하였다. Kise[17]는 대규모 자동화생산시스템이나 복잡한 생산시스템보다 소규모의 자동화 생산시스템이 적은 비용으로 구축될 수 있으며 개선이 용이하고 Hardware 및 Software에 대한 유지 및 제어가 쉽다고 말하고 있으며, Ayres 등[2]은 세계 각국에 있는 687개의 자동화생산시스템을 조사해 본 결과 2-4대의 가공기계를 갖는 소규모 자동화생산시스템이 45%를 차지하고 있고 약 60%정도가 2-4개의 가공센터를 갖는다고 보고하였다.

많은 경우에 있어서 자동화 생산시스템에서 준비작업을 고려하는 경우가 흔하지 않았다. 그러나, 로

봇팔과 같은 자동화 기기가 작업물의 Loading/Unloading에 소요되는 시간을 현저히 줄였다. 그로 인해 자동화생산시스템에서의 준비시간을 크게 절감시킨 것은 사실이나, 궁극적으로 준비시간(Setup Time)자체를 제거한 것은 아니다[33]. 따라서 자동화생산시스템에서 작업준비에 대한 논의는 매우 중요하며, 이에 대한 연구들이 수행되어 왔다.

Stecke and Brown[28]은 자동화생산시스템에서도 생산이 시작되기 전에 수작업으로 공구함(Tool Magazine)에 공구를 장착해야 하는 경우가 많아 준비시간이 요구된다고 말하고 있고, Jaikumar and Wassenhovel[16]가 자동화생산시스템을 조사해 본 결과 자동화생산시스템에서의 평균 시스템 손실시간은 총작동시간의 16.6%였으며, 이중에서 5%가 작업준비시간에 기인한 것이었다. 이는 시스템에서의 총 손실시간의 30%가 작업준비시간으로 인해 유발되고 있다는 지적이다. Lee and Mirchandani[20]는 기계나 공구함 용량의 한계로 인해 유발되는 작업준비시간을 고려한 경로 및 순서 결정에 관한 연구를 수행하였으며, Gosh and Gaiman[10] 역시 자동화생산시스템에서 작업준비시간을 고려한 생산일정계획 문제를 다루었다.

Rolstadas[24]는 공구용량(Tool Capacity)의 제한 때문에 공구를 교환하거나, 교체 또는 생산요구 조건의 변화를 충족시키기 위해서는 Batching이 필요하며, 그로 인해 작업준비시간이 야기된다고 지적하였으며, Aanen등[1]과 Perkins 등[23]도 자동화생산시스템에서 준비시간이 존재하는 경우의 일정계획 문제를 다루었으며, Zijm and Nellisen[32]은 유연가공셀 최대지연을 최소화하는 일정계획문제를 다루면서 보다 실제적인 경우로 작업준비시간을 고려한

일정계획의 알고리즘을 제시하였다.

Kusiak[18]은 유연가공시스템에서 준비시간이 작업순서에 종속인 경우에 대한 일정계획 문제를 다루었고, Stecke and Kim[29]은 부품혼합의 변화, 부품(Part Type)에 대한 생산요구의 완료, 기계의 고장, 공구함(Tool Magazine)의 용량제한 등으로 인해 주기적으로 작업준비를 행해야 한다고 말하고 있으며, Gosh and Gaiman[11]은 자동화생산시스템에서 작업준비시간을 무시할 수 없는 상황에서의 생산일정계획을 제시하였다.

3. 수리적인 모형개발

본 연구의 수리 모형을 개발하기 위해 다음과 같은 조건을 가정한다.

1. 작업은 Group Technology 개념에 의해 설계 및 제조특성에 따라 그룹화되어 있다.
2. 각 작업은 서로 독립적이다.
3. 각 작업물은 모든 작업이 끝날때까지 가공셀을 떠나지 않는다.
4. 각 가공셀의 준비시간은 그룹순서에 종속이다.
5. 각 가공셀의 완충저장은 충분하다.
6. 모든 그룹에 대한 가공셀의 가공순서는 같다.

수리모형 개발을 위한 부호는 아래와 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 : 기계번호 ($u = 1, 2$)

v : 기계번호 ($v = 1, 2$)

G_i : 그룹 i

N : 전체작업수 ($N = \sum_{i=1}^k n_i$)
 J_{ij} : 그룹에 속한 j 번째 작업
 C^k : 가공셀 k
 M_u^k : 가공셀 $k(C^k)$ 안에 있는 기계 번호
 S_r^k : 가공셀 $k(C^k)$ 에서 그룹 r 다음에 그룹 i 가 올 때의 준비시간
 Q_i^k : 가공셀 $k(C^k)$ 에서 그룹(G_i)의 그룹가공시간
 CT_1^k : 가공셀 $k(C^k)$ 에서 그룹(G_i)의 가공완료시간
 MI_i^k : 가공셀 $k(C^k)$ 에서 그룹(G_i)의 유희시간
 X_{ri} : 1, 그룹 r 이 그룹 i 에 선행
 0, 기타
 MS : 주어진 모든 작업의 완료하는 시간
 MF : 주어진 각 작업들이 처리받기 위해 시스템에 머무는 평균흐름시간
 MU : 시스템을 구성하는 셀의 평균효율 (Mean Utilization)
 AGV : 자동운반장치(Automatic Guided Vehicle)
 $ST_u^k(J_{ij})$: M_u^k 에서 J_{ij} 의 가공시작시간
 $CT_u^k(J_{ij})$: M_u^k 에서 J_{ij} 의 가공완료시간
 $P_u^k(J_{ij})$: M_u^k 에서 J_{ij} 의 가공소요시간
 $WA^k(J_{ij})$: AGV 가 M^k 에서 J_{ij} 를 내려놓기 위해 기다리는 시간($l=1,2$)
 $DA^k(J_{ij})$: AGV 가 M^k 에서 J_{ij} 를 싣고 M_u^k 로 출발하는 시간 ($l,m=1,2$ 이고 $l \neq m$)
 $AA_1^k(J_{ij})$: AGV 가 J_{ij} 를 M_2^k 에 운반하기 위해 M_1^k 로 되돌아온 시간
 $AA_2^k(J_{ij})$: AGV 가 J_{ij} 를 M_2^k 에 운반한 시간
 $WJ^k(J_{ij})$: 가공셀 $k(C^k)$ 의 M^k 에서 J_{ij} 가 가공을 마치고 AGV 를 기다리는 시간($l=1,2$)
 TT_{uv} : M_u^k 에서 M_v^k 까지의 AGV 의 운반시간
 SQ_i^k : 가공셀 $k(C^k)$ 의 그룹 i 안에 있는 작업들의

가능한 작업순서
 $N(SQ_i^k)$: SQ_i^k 의 수
 AS_i^k : 가공셀 $k(C^k)$ 에서 그룹 i 를 가공하기 위한 평균준비시간 (Average Setup Time)
 PS_i^k : 가공셀 $k(C^k)$ 에서 그룹 i 를 가공을 위해 가장 작은 준비시간을 갖는 작업순서를 선택하지 못했을 때의 기회손실 준비시간 (Penalty Setup Time)

가공셀 k 의 기계 1에서 작업 J_{ij} 를 가공하기 시작한 시각과 가공을 완료한 시각은 식(1), (2)와 같다.

$$ST_1^k(J_{ij}) = CT_1^k(J_{ij-1}) \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 &= \sum_{m=1}^{i-1} P_1^k(J_{im}) \\
 CT_1^k(J_{ij}) &= ST_1^k(J_{ij}) + P_1^k(J_{ij}) \quad (2) \\
 &= \sum_{m=1}^i P_1^k(J_{im})
 \end{aligned}$$

가공셀 k 의 기계 1에서 가공을 마친 작업 J_{ij} 가 기계 2에서 가공을 받기 위해 AGV 에 실려 기계 1을 출발하는 시각은 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 DA_1^k(J_{ij}) &= \text{Max}[CT_1^k(J_{ij}), AA_1^k(J_{ij})] \\
 &= CT_1^k(J_{ij}) + WA_1^k(J_{ij}) \\
 &= \text{Max}_{1 \leq p \leq j} [\sum_{m=1}^p P_1^k(J_{im}) + (j-p)(TT_{12}^k + TT_{21}^k)] \\
 &\quad \text{단, } j=1,2,3, \dots, n_i \quad (3)
 \end{aligned}$$

이는 작업 J_{ij} 가 기계 1에서 가공을 마친 시각과 가공을 마치고 난 뒤 기계 2로 운반되기 위해 AGV 를 기다리는 시간의 합이다.

또 AGV 가 기계 2에 작업 J_{ij} 를 운반하고 기계 1로 출발하는 시각은 식 (4)처럼 작업 J_{ij} 의 기계 2에 도착시각과 작업 J_{ij} 의 기계 2에서의 대기시간의 합이다.

$$DA_2^k(J_{ij}) = AA_2^k(J_{ij}) + WA_2^k(J_{ij}) \quad (4)$$

작업 J_{ij} 가 기계 1에서 가공을 마치고 AGV 를 기

다리는 시간은 작업 J_{ij-1} 을 기계 2에 운반한 AGV가 기계 1로 되돌아오는 시각과 작업 J_{ij} 가 기계 1에서 가공을 마친 시각과의 차이이며, 이를 식으로 나타내면 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} WA_1^k(J_{ij}) &= \text{Max}[0, CT_1^k(J_{ij}) - (AA_2^k(J_{ij-1}) + TT_{21}^k)] \\ &= \text{Max}[0, CT_1^k(J_{ij}) - AA_1^k(J_{ij})] \end{aligned} \quad (5)$$

기계 2에 운반된 작업 J_{ij} 가 AGV에서 내려지기 위해 기다리는 시간은 식 (6)처럼 0(영)이다. 왜냐하면 기계앞의 완충저장이 충분하다고 가정하였기 때문이다.

$$WA_2^k(J_{ij}) = 0 \quad (6)$$

AGV가 작업 J_{ij} 를 기계 2에 운반하기 위해 기계 1에 도착하는 시각은 식 (7)과 같이 작업 J_{ij-1} 를 기계 2에 운반한 시각과 기계 2에서 1까지의 운반시간의 합이다.

$$AA_1^k(J_{ij}) = DA_2^k(J_{ij-1}) + TT_{21}^k \quad (7)$$

그리고 작업 J_{ij} 가 기계 2에 도착하는 시각은 식 (8)과 같이 작업 J_{ij} 가 기계 1에서 가공을 마치고 기계 2로 출발한 시각과 기계 1에서 2까지의 운반시간의 합이다.

$$\begin{aligned} AA_2^k(J_{ij}) &= DA_1^k(J_{ij}) + TT_{12}^k \\ &= CT_1^k(J_{ij}) + WA_1^k(J_{ij}) + TT_{12}^k \\ &= \text{Max}_{1 \leq p \leq j} [\sum_{m=1}^j P_1^k(J_{im}) + (j-p+1)TT_{12}^k \\ &\quad + (j-p)TT_{21}^k] \\ &\quad \text{단, } j=1,2,3,\dots,n_i \end{aligned} \quad (8)$$

기계 2에서 작업 J_{ij} 의 가공을 시작하는 시각은 작업 J_{ij-1} 이 기계 2에서 가공을 완료한 시각과 작업 J_{ij} 가 기계 2에 도착한 시각중에 큰 값이며, 이를 식으로 나타내면 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} ST_2^k(J_{ij}) &= \text{Max}[CT_2^k(J_{ij-1}), AA_2^k(J_{ij})] \\ &= \text{Max}[CT_2^k(J_{ij-1}), CT_1^k(J_{ij}) + WA_1^k(J_{ij}) + TT_{12}^k] \\ &= \text{Max}_{1 \leq p \leq q \leq j} [\sum_{m=1}^j P_1^k(J_{im}) + (q-p+1)TT_{12}^k \\ &\quad + \sum_{m=q}^j P_2^k(J_{im}) + (q-p)TT_{21}^k] \\ &\quad \text{단, } j=1,2,3,\dots,n_i \end{aligned} \quad (9)$$

기계 2에서 작업 J_{ij} 의 가공완료시각은 기계 2에서 작업 J_{ij} 의 가공시작시각과 기계 2에서 작업 J_{ij} 의 가공시간의 합으로 식 (10)과 같다.

$$\begin{aligned} CT_2^k(J_{ij}) &= ST_2^k(J_{ij}) + P_2^k(J_{ij}) \\ &= \text{Max}_{1 \leq p \leq q \leq j} [\sum_{m=1}^j P_1^k(J_{im}) + (q-p+1)TT_{12}^k \\ &\quad + \sum_{m=q}^j P_2^k(J_{im}) + (q-p)TT_{21}^k] \\ &\quad \text{단, } j=1,2,3,\dots,n_i \end{aligned} \quad (10)$$

작업 J_{ij} 가 기계 1에서 가공을 마치고 AGV를 기다리는 시간은 식 (11)과 같이 작업 J_{ij} 가 기계 1에서 가공을 마친 시각에서 AGV가 도착한 시각을 뺀 값이다.

$$\begin{aligned} WJ_1^k(J_{ij}) &= \text{Max}[0, (AA_1^k(J_{ij}) - CT_1^k(J_{ij}))] \\ &= \text{Max}[0, (AA_2^k(J_{ij-1}) + TT_{21}^k) - CT_1^k(J_{ij})] \end{aligned} \quad (11)$$

또 작업 J_{ij} 가 기계 2에서 가공을 받기 위해 기다리는 시간은 식 (12)와 같이 기계 2에서 작업 J_{ij-1} 이 가공을 완료한 시각에서 AGV가 작업 J_{ij} 를 싣고 기계 2에 도착한 시각을 뺀값이다. 식 (11)과 (12)의 값이 음수일 때는 대기가 없음을 의미한다.

$$\begin{aligned} WJ_2^k(J_{ij}) &= \text{Max}[0, (CT_2^k(J_{ij-1}) - AA_2^k(J_{ij}))] \\ &= \text{Max}[0, (CT_2^k(J_{ij-1}) - DA_2^k(J_{ij}))] \end{aligned} \quad (12)$$

임의의 그룹 i 안의 작업들의 가능한 작업순서에 대한 작업총완료시간은 기계 2에서 그룹 i 의 마지막 작업을 완료하는 시각과 같으며, 식 (13)과 같이 표현된다. 이때 얻어지는 그룹 i 의 가능한 작업순서의 수는 $(n_i)!$ 개가 존재한다.

$$\begin{aligned}
MS(SQ_i^k) &= CT_2^k(J_{i,n_i}) \\
&= \text{Max}_{1 \leq p \leq q \leq j} \left[\sum_{j=1}^n P_1^k(J_{ij}) + (q-p+1)TT_{12}^k \right. \\
&\quad \left. + \sum_{j=q}^n P_2^k(J_{ij}) + (q-p)TT_{21}^k \right] \\
\text{단, } i &= 1, 2, 3, \dots, M \\
j &= 1, 2, 3, \dots, n_i
\end{aligned} \tag{13}$$

식 (13)에서 구한 각 그룹의 작업들에 대한 가능한 작업순서들의 작업총완료시간들 중에서 최소값을 갖는 작업순서가 그 그룹에서의 최적작업순서이며, 식 (14)에 의해 얻어진다.

$$\begin{aligned}
MS(SQ_i^k)^* &= \text{Min } MS(SQ_i^k) \\
&= \text{Min } [CT_2^k(J_{i,n_i})] \\
&= \text{Min Max}_{1 \leq p \leq q \leq j} \left[\sum_{j=1}^n P_1^k(J_{ij}) + (q-p+1)TT_{12}^k \right. \\
&\quad \left. + \sum_{j=q}^n P_2^k(J_{ij}) + (q-p)TT_{21}^k \right] \\
\text{단, } i &= 1, 2, 3, \dots, M \\
j &= 1, 2, 3, \dots, n_i
\end{aligned} \tag{14}$$

그리고 그 때의 평균 작업흐름시간은 식 (15)에 의해 얻어진다.

$$MF(SQ_i^k) = \sum_{j=1}^n CT_2^k(J_{ij}) / n_i \tag{15}$$

두 개 이상의 가공셀을 거쳐서 가공을 받고 준비 시간을 고려해야 하는 경우에 주어진 모든 작업의 총완료시간을 최소화하는 목적함수식은 식(16)과 같이 마지막 그룹의 완료시간과 같다.

$$\begin{aligned}
\text{Min } MS &= \left[\sum_{i=1}^M Q_i^K + \sum_{i=1}^M S_n^K X_{ni} + \sum_{s=1}^M MT_s^K \right] \\
\text{단, } Q_i^K &= MS(SQ_i^k)^* \\
i &= 1, 2, 3, \dots, M \\
r &= 1, 2, 3, \dots, M \\
r &\neq i
\end{aligned} \tag{16}$$

목적함수식 (16)를 만족시키기 위한 제약조건식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
CT_i^k &\geq CT_i^{k-1} + Q_i^k + S_n^k X_{ni} \\
CT_r^k - CT_i^k + LX_{ni} &\geq S_{ir}^k + Q_r^k \\
CT_i^k - CT_r^k + L(1 - X_{ni}) &\geq S_{ri}^k + Q_i^k \\
\text{단, } i &= 1, 2, 3, \dots, M \\
k &= 1, 2, 3, \dots, K \\
r &> i \geq 1 \\
L &: \text{매우 큰 실수}
\end{aligned} \tag{17}$$

또한 평균 작업흐름시간은 식 (18)에 의해 얻어진다.

$$\begin{aligned}
MF &= \left[\sum_{i=1}^M Q_i^K + \sum_{i=1}^M S_n^K X_{ni} + \sum_{s=1}^M MT_s^K \right] / M \\
i &= 1, 2, 3, \dots, M \\
r &= 1, 2, 3, \dots, M \\
r &\neq i
\end{aligned} \tag{18}$$

4. 해법개발

두 개 이상의 셀을 거치고 순서에 종속인 준비 시간을 고려하는 상황에서 다수목표로 작업총완료시간, 평균 작업흐름시간을 최소화하고, 시스템의 평균 효율을 최대화하는 기법으로 Smallest Processing & Average setup time Ratio First(SPARF) Algorithm 을 제시한다.

SPARF Algorithm은 각 셀에서 각 그룹이 가공 받기 위해 필요한 준비시간의 평균치와 가공시간의 비율을 이용한 기법으로 절차는 다음과 같다.

[단계 1] 식(13)에 의해 각 그룹의 작업완료시간 (Q_i)과 식(19)에 의해 작업완료시간과 준비 시간의 셀평균을 계산한다.

$$\begin{aligned}
AS_i^k &= \sum_{r=1}^M \frac{S_{ri}^k Y_i^k}{M} \\
\text{단, } Y_i^k &= 1 \text{ when } Q_i^k \geq 0 \\
&= 0 \text{ otherwise} \\
r &\neq i
\end{aligned} \tag{19}$$

[단계 2] [단계 1]에서 계산한 Q_i^k 와 AS_i^k 의 합에

대한 비율을 계산한다.

$$R_i^k = \frac{[Q_i^k + AS_i^k]}{\sum_{k=1}^K [Q_i^k + AS_i^k]} \tag{20}$$

[단계 3] 각 i 에 대해 [단계 2]에서 계산한 R_i^k 의 최소값을 SR_i 라 하고 오름차순으로 정렬하여 순위($RK = 1, 2, 3, \dots, M$)를 부여한다.

[단계 4] [단계 1]에서 계산한 Q_i 를 내림차순으로 정렬하고 순위 ($RK = 1, 2, 3, \dots, M$)를 부여한다.

[단계 5] [단계 4]에서 구한 순위에서 처음 두 그룹 ($RK=1, 2$)을 선정하여 가능한 부분순서를 만든다.

[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 그룹을 택하여 가능한 부분순위를 만든다.

[단계 8] [단계 5]에서 만들어진 각 부분순서의 총완료시간을 계산하고 그 중 최소값을 갖는 부분순서를 찾는다. 만약 순위 RK 번째 그룹을 새로 삽입하여 얻은 가능한 부분순서들에 대해 첫번째 계산한 부분순서의 총완료시간을 임시 최소값으로 놓고 그 다음 부분순서의 총완료시간을 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. RK 번째 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 9] 만약 $RK = M$ 이면 끝내고, 그렇지 않으면 [단계 7]로 간다.

5. 수치예제

주어진 문제를 SPARF 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, AS_i 는 각 셀에서 그룹 i 를 처리하기 위한 준비시간의 평균으로 식 (19)에 의해 구한다. SR_i 는 식 (20)에 의해 각 셀에서 그룹 i 의 가공시간과 평균 준비시간의 합을 Q_i 와 AS_i 의 합으로 나눈 비율중 제일 작은 값이며, RK 는 각 그룹의 SR_i 의 오름차순을 의미한다.

표 1. Average setup time & rank by SPARF

Cell Group	Processing Time			Q_i	AS_i	Q_i+AS_i	SR_i	RK
	1	2	3					
1	60	44	0	104	119	223	0.38	2
2	90	20	50	160	148	308	0.24	1
3	89	0	39	128	108	233	0.50	4
4	76	84	0	160	99	259	0.49	3

[단계 4]에서 [단계 9]까지의 계산 결과는 다음 [표 2]에서 보는 바와 같이 작업순서 4-3-2-1에서 463, 평균 작업흐름시간은 식 (18)에 의해 마지막 셀에서 각 그룹 완료시간의 합을 그룹 수로 나눈 값 ($\sum_{i=1}^4 CT_i^3/4$)으로 293.5이다.

표 2. Final Iteration of SPARF Algorithm

Cell Group	1		2		3	
	PT	CT	PT	CT	PT	CT
4	76	76	84	160	0	160
3	89	170	0	170	39	209
2	90	272	20	292	50	342
1	60	419	44	463	0	463*

6. 해법평가

두 개 이상의 셀을 거치고 순서에 종속인 준비시간을 고려하는 조건에서 작업총완료시간과 평균 작업흐름시간을 갖는 경우에 대해 본 연구에서 개발한 SPARF Algorithm을 직접 비교할 Algorithm이 개발되어 있지 않아서 준비시간을 무시하는 경우에 사용한 HS Algorithm과 HC Algorithm으로 비교 분석하였으며, 그 결과가 [표 4]과 같다.

1) 빈도수에 의한 평가

SPARF Algorithm에 의해 구한 해가 HS Algorithm에 비해 평균 83.6%의 빈도수에서 동시에 두 목표에 대해 우수한 해를 제공하였으며 동일한 해를 제공하는 경우는 0.5%였고, 나쁜 해를 나타낸 경우는 15.9%였다. 좀 더 구체적으로 살펴 보면 작업수와 셀 수가 커질수록 개발한 Algorithm이 우수한 해를 제공하는 빈도수가 증가하였으며, 대규모 문제에서는 100%에 가까운 빈도수에서 우수한 해를 제공하였다.

또한 HC Algorithm에 비해서는 평균 86.0%의 빈도수에서 우수한 해를 제공하였으며, 3.4%에서 동일한 해를 제공하였고, 나쁜 해를 나타낸 경우는 10.6%였다. 좀 더 구체적으로 살펴 보면, 작업수와 셀 수에서 중, 대규모일 때는 거의 100%의 빈도수에서 우수한 해를 제공하였다. 본 연구에

서 개발한 SPARF Algorithm을 비교해 본 결과 두 Algorithm이 비슷한 해를 제공하였다.

2) 단축비에 의한 평가

SPARF Algorithm에 의해 구한 해와 HS Algorithm으로 구한 해를 비교할 때 작업총완료시간의 평균 단축비는 각 경우에서 평균 26.3%의 단축비를 나타내었으며, 평균작업흐름시간은 각 경우에서 평균 9.0%의 단축비를 나타내었다.

또한 HC Algorithm으로 구한 해에 비해 작업총완료시간의 평균 단축비는 각 경우에서 평균 16.3%의 단축비를 나타내었으며, 평균작업흐름시간은 각 경우에서 평균 13.7%의 단축비를 나타내었다.

좀 더 자세히 살펴 보면, SPARF Algorithm이 HS Algorithm에 비해 작업총처리시간에서 더 효율적이고, HC Algorithm에 비해서는 평균흐름시간에서 더 효율적이었다. 또한 평균효율은 SPARF에 비해 HS는 79.2%, HC는 94.5% 수준이었다.

3) 적합도 검정

앞에서 수행한 결과를 χ^2 -Test를 통해 적합도 분석을 수행하였다. P_{ij} 는 결합확률분포(Joint Probability Distribution)라 하고, $P_{i\cdot} = \sum_j P_{ij}$, $P_{\cdot j} = \sum_i P_{ij}$ 를 주변확률분포(Marginal Probability Distribution)라 할 때 가설은 다음 [표 3], [표 5]와 같다.

$$H_0 : P_{ij} = P_{i\cdot}P_{\cdot j}$$

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

표3 Output Case

		Meanflow(j)		
		Good	Equal	Bad
Makespan (i)	Good	P_{11}	P_{12}	P_{13}
	Equal	P_{21}	P_{22}	P_{23}
	Bad	P_{31}	P_{32}	P_{33}

Æ 4. Comparative Analysis by SPARF

C	G	Reducon ratio												Mean Utilization		
		MS						MF								
		Mean			Max			Mean			Max					
		HS	SPAR	HC	HS	SPAR	HC	HS	SPAR	HC	HS	SPAR	HC	HS	SPAR	HC
3	4	24.3	0.7	9.1	50.6	14.4	37.7	4.6	1.9	9.3	31.0	43.0	34.7	75.6	97.8	91.1
3	6	23.0	-1.2	11.6	55.6	11.2	31.6	2.3	-0.3	10.0	39.2	25.5	25.9	76.6	102.1	89.4
3	8	26.7	-0.3	16.5	45.6	11.8	28.9	4.7	2.8	16.3	33.6	28.8	37.5	72.0	100.0	84.0
3	10	29.0	-0.6	16.1	50.1	17.9	28.8	9.0	1.4	17.6	32.8	33.7	39.1	71.2	100.0	84.6
3	20	30.5	0.1	23.8	44.6	11.3	35.1	7.7	0.2	25.2	25.4	22.0	45.5	69.0	100.0	75.9
3	30	32.2	1.4	25.8	51.9	9.6	32.8	12.0	3.5	27.7	36.2	21.3	46.5	67.7	98.4	74.2
3	50	33.2	1.7	28.2	40.0	7.1	35.3	13.7	3.8	32.2	24.4	14.4	44.7	66.2	98.5	70.8
3	70	34.2	1.7	29.6	41.9	5.7	34.5	16.0	4.6	34.8	30.8	17.4	45.2	65.7	98.5	70.1
3	100	34.5	1.8	30.6	40.0	5.6	34.7	16.3	2.7	36.6	31.3	14.7	47.3	65.2	97.1	69.6
4	4	21.6	-1.0	5.5	56.9	15.0	24.0	3.3	1.6	4.5	36.2	24.7	20.0	75.7	100.0	94.6
4	6	24.2	1.4	13.6	41.6	18.7	44.3	4.9	3.0	11.4	33.9	24.0	39.7	76.2	100.0	85.7
4	8	25.8	-0.2	15.4	50.3	13.9	36.3	2.8	0.2	11.2	31.3	27.3	26.3	75.0	100.0	84.1
4	10	26.8	1.0	15.1	43.8	9.0	34.0	7.8	4.0	13.1	36.1	20.1	37.0	72.3	97.9	85.1
4	20	30.7	1.3	21.0	40.1	9.7	32.3	9.8	3.3	19.2	26.7	22.1	34.6	69.8	100.0	79.2
4	30	33.7	2.5	24.9	46.0	12.7	41.3	15.4	5.8	25.0	29.3	23.3	42.6	65.5	96.6	74.1
4	50	32.9	2.1	26.2	43.9	6.1	33.6	14.0	6.1	29.1	30.5	16.7	41.8	66.7	98.3	75.0
4	70	33.3	1.8	27.8	44.7	5.6	37.6	14.4	3.5	30.4	27.2	20.1	43.0	67.7	98.4	72.6
4	100	35.6	2.1	29.0	43.9	6.7	36.4	17.5	5.2	31.8	27.0	13.3	45.0	64.6	96.9	70.8
5	4	20.6	-0.3	5.7	55.3	16.4	26.1	1.9	0.8	4.4	24.6	24.2	28.2	78.8	100.0	93.9
5	6	23.2	-0.1	10.8	41.4	13.4	31.3	3.4	1.0	8.7	24.9	27.9	31.3	75.7	100.0	89.2
5	8	25.8	0.5	12.2	42.6	10.7	26.1	4.6	1.3	8.9	25.6	19.4	34.4	73.2	97.6	87.8
5	10	27.4	0.6	16.3	45.2	10.4	29.0	8.9	3.4	13.5	32.2	22.2	29.6	72.1	100.0	83.7
5	20	30.2	1.6	20.0	41.7	10.6	31.2	10.4	3.5	17.6	26.0	19.4	36.9	70.0	98.0	80.0
5	30	32.2	1.8	22.3	44.5	9.5	34.6	12.6	3.8	21.4	33.0	15.9	34.1	67.9	98.1	77.4
5	50	32.2	1.6	25.5	41.9	7.8	32.8	14.3	4.5	25.3	25.8	14.3	36.0	66.7	98.2	73.7
5	70	32.9	2.1	26.2	40.4	6.9	32.3	14.4	4.3	26.1	26.4	16.3	37.9	66.7	96.7	73.3
5	100	34.0	2.7	27.7	38.7	5.8	32.9	15.3	4.0	28.1	22.0	12.6	35.8	66.1	96.8	72.6
7	4	16.6	0.9	4.7	48.6	9.9	20.6	-0.6	1.8	4.5	33.7	21.2	26.8	80.8	96.2	92.3
7	6	21.5	0.9	10.1	49.1	11.8	37.0	5.5	3.6	8.3	28.4	24.7	35.9	80.0	100.0	90.0
7	8	22.8	-0.1	11.9	40.4	15.2	33.1	2.5	0.6	7.8	23.7	23.4	30.2	78.8	100.0	87.9
7	10	26.1	1.0	12.8	50.2	12.8	23.2	7.0	1.1	9.6	24.5	25.1	21.9	74.3	100.0	88.6
7	20	28.1	1.1	17.3	45.8	9.5	29.8	9.3	1.7	12.9	24.6	16.1	25.7	72.1	97.7	81.4

표 5 χ^2 -Static Range by SPARF

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

먼저 SPARF Algorithm과 HS Algorithm에 대한 χ^2 통계량이 42.5 - 150으로 나타났으며, HC Algorithm에 대한 χ^2 통계량은 16.1 - 150으로 나타났다. 유의수준 0.005에서 χ^2 통계량은 7.88이므로 귀무가설을 기각한다. 즉 SPARF Algorithm으로 구한 해가 다른 Algorithm에 구한 해들에 비해 우수한 결과를 나타내는 유의한 차가 있다고 볼 수 있다. 즉 SPARF Algorithm에 의해 구한 해가 다른 Algorithm에 의한 값보다 작업총완료시간과 평균흐름시간을 최소화하는데 우수하다고 말할 수 있다.

7. 결론

본 연구에서는 최근 증가하고 있는 소규모 자동화 생산시스템에서 준비시간을 고려해야 하는 경우에 대해 다수의 목표를 갖는 문제에 대해 다루었다. 다수 목표로 작업총완료시간과 평균작업흐름시간을 갖고 준비시간을 준비시간을 고려하는 경우에 대해서는 SPARF Algorithm을 제시하였다.

두 개 이상의 셀을 거치는 경우에 대해 개발한 기법들을 평가하기 위해 셀 수를 7종류, 그룹 수를 9종류 총 63가지의 경우에 대해 각각 50개씩 총 3,150문제에 대하여 모의 실험을 수행하고, 빈도수에 의한 평가, 단축비에 의한 평가, 다중비교분석, 요인별 분산분석을 수행했다.

SPARF Algorithm은 HS 및 HC Algorithm에 비해 83.6 - 86.0%의 빈도수에서 우수한 해를 제공하

였고, 작업총완료시간은 16.3 - 26.3%, 평균흐름시간에서 9.0 - 13.7%의 단축비를 나타내었다. 아울러 이와 같은 결과들을 SAS를 이용하여 최소유의차 방법으로 다중비교분석 및 적합도 검정을 수행한 결과, 본 연구에서 개발한 기법들이 기존의 기법들 보다 우수함을 검정할 수 있었다. 또한 분산분석을 수행한 결과 그룹 수 및 셀 수가 커질수록 더 큰 개선 효과를 나타내었다. 이상에서 살펴 본 바와 같이 본 연구에서 개발한 기법들이 기존의 기법들에 비해 상당히 우수한 해를 제공함을 알 수 있다.

자동화생산시스템에서의 생산일정계획은 생산현장과 매우 밀접한 문제로서 많은 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 끝으로 자동화생산시스템에서 생산일정계획문제에 대한 향후 연구방향은 다음과 같다.

첫째, 작업수의 도착이 무작위 등 동적상황을 고려한 경우, 둘째, 다수의 가공센터와 다수의 자동운반장치를 가질 때 운반시간을 고려하는 경우, 셋째, 기계 고장이나 작업중인 작업보다 긴급한 작업이 발생함으로 인해 선취(Preemption)를 고려하는 경우의 일정계획, 넷째, 공정능력, 자재소요계획 등을 동시에 고려한 통합생산일정계획, 다섯째, 다른 평가기준에서 다수 목표를 갖는 경우 등에 대한 보다 효율적인 해법 개발이 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Aanen, E., Gaalman, G.J., and Nawijin, W.M., "Planning and Scheduling in an FMS," *Engineering Cost and Production Economics*, Vol.17, pp.89-97, 1989.
2. Ayres, R.U., Haywood, W and Tchijov, I,

- Computer Integrated Manufacturing :Models, Case Studies and Forecasting of Diffusion, Chapman Hall, 1992.
3. 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.
 4. Cao, J. and Bedworth, D.D., "Flowshop Scheduling in Serial Multi - Product Processes with Transfer and Setup Time," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.30, No.8, pp.1819-1830, 1992.
 5. Chan, D.Y. and Bedworth, D.D., "Design of a Scheduling System for Flexible Manufacturing Cells," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.28, pp.2037-2049, 1990.
 6. Choi, J. S. and Ro, I. K., "A scheduling algorithm in a flexible manufacturing cell," *J. of Korean Operations Research and Management*, Vol.19, No.2, pp.107-118 1994.
 7. Choi, J. S. and Ko, N.Y., "A new heuristic procedures for operations control in a manufacturing systems with multi-stage machining cells," *The International Conference on I.E*, Nov.,pp31-40,1997.
 8. Choi, J. S., Ko, N.Y. and S.S. Jarng, "Developing scheduling procedures with sequences dependent setup time to minimize makespan in AMS," *J. of on Information & Communications*, Vol. 2, No.1, pp. 403-408., 2000.
 9. Choi, S. W., "Analysis of Multi-Stage Flowshop Scheduling Problem with Sequence Dependent Setup Time," Ph.D Dissertation, Hanyang Univ., 1990.
 10. Gosh, S. and Gaiman, C., "Routing Flexibility and Production Scheduling in a FMS," *Euro. J. of O.R.*, Vol.60, pp.344-3645, 1992.
 11. Gosh, S. and Gaiman, C., "Production Planning and Scheduling in a FMS with Setup", *IIE Transactions*, Vol.25, No.5, 1993.
 12. Hirabayashi, N., H. Nagasawa and N. Nishiyama, "A Decomposition Scheduling Method for Operating FMS ," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.32, No.1, pp.161-178, 1994.
 13. 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.
 14. Hutchinson, G.K. and Pflughoeft, K.A., "Flexible Process Plans ; Their Value in Flexible Automation Systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.32, pp.707-719, 1994.
 15. 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.
 16. Jaikumar, R., and Van Wassenhove, L.N., "Production Planning in FMS," *J. of Manufacturing and Operation Management*, Vol.2, pp.52-78, 1989.
 17. Kise, H., Shioyama, T. and Ibaraki, T., "Automated Two Machine Flowshop Scheduling," *IIE Transaction*, Vol.23, No.1, pp.10-16, 1991.
 18. Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice Hall, 1991
 19. Lane, D.E. and Sidney, J.B., "Batching and Scheduling in FMS Hubs: Flow time Considerations," *Operation Research*, Vol.41, No.6, pp.1091-1103, 1993.
 20. Lee, E.J. and Mirchandani, P.B., "Concurrent Routing, Sequencing and Machine Setups for FMS," WP, Resselear Polytech Institute, NY, 1986.
 21. 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.
22. Ohmi, T. et. al., "FMS in Japan-Present status,' *International Conference on FMS*, IFS, 1992
 23. Perkins, J.R. and Kumar, P.R., "Stable Distributed Real-Time Scheduling of Flexible Manufacturing/Assembly/Disassembly Systems, *IEE Trans. on Automatic Control*, Vol.34, No.2, 1989.
 24. Rolstadas, A., "Production Planning in a Cellular Manufacturing Environment," *Computer in Industry*, Vol.8, pp.151-156, 1987.
 25. Sawick, T., "Modelling and Scheduling of an FMS," *Euro. J. of O.R.*, Vol.45, pp.177-190, 1990.
 26. Snader, K.R., "Flexible Manufacturing System: An Industry Overview," *Production and Inventory Management*, Vol.27, No.1, 1986.
 27. Solot, P., "A Concept for Planning and Scheduling in a FMS," *Euro. J. of O.R.*, Vol.45, pp.85-95, 199
 28. Stecke, K and Browne, J., "Variations in Flexible Manufacturing System according to the Relevant Types of Automated Material Handling," *Material Flow*, Vol.2, pp.179-185, 1985.
 29. Stecke, K and Kim, "A Flexible Approach to Part Type Selection in Flowshop System Using Part Mix Ratio," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.29, No.1, pp.53-75, 1991.
 30. Wassenhove, L.V., "The Trend of FMS," *Operation Research Proc.*, pp.524-532, 1988.
 31. Yamazaki, T. and Nagae, A., "Flexible Manufacturing System in Practice," *Japan -USA Sym. on Flexible Automation*, 1990.
 32. 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.
 33. Zhou, C. and Egbelu, P.J., "Scheduling in a Manufacturing Shop with Sequence Dependent Setups," *Robotics and CIM.*, Vol.5, No.1, 1989.