

유연가공셀에서 운반시간을 고려한 일정계획

최정상* · 노인규**

Scheduling for a Flexible Manufacturing Cell with Transportation Time

Jungsang Choi* · Inkyu Ro**

Abstract

This research is concerned with production scheduling for a flexible manufacturing cell which consists of two machine centers with unlimited buffer space and a single automatic guided vehicle. The objective is to develop and evaluate heuristic scheduling procedures that minimize maximum completion time. A numerical example illustrates the proposed algorithm. The heuristic algorithm is implemented for various cases by SLAM II. The results show that the proposed algorithm provides better solutions than Johnson's. It also gets good solutions to minimize mean flowtime.

1. 서 론

오늘날의 제조 환경은 국내적으로는 소비자 요구의 다양화, 급격한 임금의 인상, 자금 압박, 고객의 만족도 요구 수준의 향상, 경제 수준 향상으로 인한 작업의욕의 저하등에 직면하고 있으며 국외적으로는 거센 시장 개방 압력, 기술보호 무역주의의 팽배, 원자재값의 상승, 첨단기술의 급진적 발전 등으로 매우 급변하는

상황에 놓여 있다[5].

이와 같은 상황에서 기존의 생산 및 판매 개념으로는 다변화하고 급변하는 환경변화에 신속하게 대처하는 것이 점점 불가능해지고 있으며 다양한 종류의 제품과 다양한 모델의 구비가 요구되고 있어서 제품의 수명도 역시 급속히 짧아지고 있는 추세이다[11].

따라서 날을 거듭할수록 다변화, 급변화하는 수요환경에 보다 신속하고 능동적으로 대처할 수 있는 다품종중·소량생산체제와 같은 새로

* 조선대학교 산업공학과

** 한양대학교 산업공학과

은 생산체제로의 전환이 불가피한 실정이다 [18]. 유연생산시스템은 이러한 다양한 제조환경의 변화와 소비자의 요구에 매우 효율적이고 능동적으로 대처할 수 있는 생산시스템으로 높은 생산성과 동시에 제품의 다양화를 달성할 수 있다는 데 그 장점이 있으며[8][26], 품질의 향상, 재공품 재고의 감소와 높은 설비 가동율등을 제공한다[17]. 유연생산시스템은 1960년대 후반에 영국에서 처음으로 연구 개발이 시작된 이래 많은 연구가 수행되어 왔으며, 특히 80년대 들어 유연생산시스템의 개발 및 도입이 본격화 되었다. 이와 함께 새로운 생산시스템에 대한 적절한 운용 방법을 개발하기 위한 연구가 수행되어 왔다[7][22].

갈수록 유연생산시스템에 대한 관심과 도입이 증대되고 있지만 일시에 모든 공장을 자동화하는데는 과도한 도입비용, 운용기술의 미비, 기존설비와의 조화여부등 경제적, 기술적, 환경적인 어려움이 많다[16]. 최근 들어 이러한 자동화에 따른 부작용을 최소화하면서 다양한 변화에 대처하는 유연성을 향상시키기 위해 대규모 자동화설비보다 FMC(Flexible Manufacturing Cell)와 같은 소규모 유연생산시스템이 계속 증가하고 있다[23].

실제로 Areyes[5]는 세계 각국에 있는 687개의 유연생산시스템을 조사해 본 결과 24대의 가공기계를 갖는 소규모 유연생산시스템이 전체의 45%를 차지하고 있고, 약 60% 정도가 24개의 가공센터를 갖는다고 보고하였으며, Wassenhove[28]도 전세계의 절반이상의 유연생산시스템을 조사해 본 결과 대규모 완충재고를 갖는 소규모 유연생산시스템이 증가하고 있다고 보고하였다.

Hirabayashi[12]는 두 대의 기계로 구성되어 있고 소규모 완충재고를 갖는 유연생산시스템

에서 가공시간만을 고려한 일정계획문제에서 작업총완료시간을 최소화하는 최적알고리즘을 분해법(Decomposition Method)을 이용하여 제시하였으며, 양대용[3]은 가공과 조립을 위한 자동물자운반장치가 각각 별도로 존재하고 완충재고를 고려하지 않는 경우에 대해 작업총완료시간과 자동물자운반장치의 유희시간을 최소화하는 자동물자운반장치의 운용전략에 관한 연구를 수행하였다.

Ulusoy and Bilge[27]는 자동물자운반장치의 운반시간이 작업순서에 종속적이고 완충재고에 제한을 두지 않는 경우에 대해 작업총완료시간을 최소화하는 발견적기법을 분해법을 이용하여 제시하였고, Karabuk and Sabuncuoglu[14]는 완충재고와 경로가 제한되어 있고 자동물자운반장치의 운반시간을 고려하지 않는 경우에 대해 작업총완료시간을 최소화하는 문제를 Beam Search기법으로 접근하였다.

Makris and Sfantsikopoulos[21]는 각 가공, 조립, 검사센터간의 자동물자운반장치의 운반속도가 변할 때 기계효율을 최대로 하는 일정계획문제를 다루었고, Karsiti[15]는 동적인 작업도착과 기계고장을 고려한 일정계획문제를 두개의 부분문제로 나누어 동적계획법을 이용한 해법을 제시하였으며, Lee[19]등은 유연가공 및 조립시스템에서 기계고장, 납기일을 고려한 작업총완료시간을 최소화하는 연구를 수행하였다. 그러나 자동물자운반장치의 운반시간은 고려하지 않았다. Kise[16]는 소규모 유연생산시스템은 대형 유연생산시스템이나 복잡한 생산시스템보다 적은 비용으로 구축될 수 있으며 개선이 용이하고 Hardware 및 Software에 대한 유지 및 제어가 쉽다고 말하고 있다. 그는 두 대의 기계와 하나의 자동물자운반장치를 갖는 소규모 유연생산시스템에서 완충재고를 허

락하지 않은 경우에 대한 일정계획 문제를 다루었으며, Kusiak[18]은 두 대의 유연단조기계를 갖는 소규모 유연생산시스템에서 작업총완료시간을 최소화하는 일정계획문제를 혼합정수계획법으로 모형화하고 알고리즘을 제시하였다.

Snader[24]는 두 대의 기계를 갖는 FMC에서 작업총완료시간을 최소화하는 동적기법을 개발하였고, 김종한등[1]은 대체경로 및 일정량의 완충재고가 존재할 때 생산량을 최대화하는 일정계획문제를 정수계획법으로 모형화하고 발전적기법을 제시하였으며, Chan[9]은 두 대의 기계와 하나의 단일방향 자동물자운반장치를 갖는 소규모 유연생산시스템에서 가공시간만을 고려한 일정계획문제에서 평균흐름시간을 최소화하는 최적알고리즘을 제시하였다.

Grasso[10]는 유연조립라인(Flexible Assembly Line)에서 제품의 작업순서를 결정한 후 자동물자운반장치의 투입시점을 결정하는 발전적기법을 제시하였고, 노인규[2]는 세 대의 기계와 단일방향의 자동물자운반장치로 유연흐름시스템(Flexible Flow System)에서 완충재고를 허락하지 않고 자동물자운반장치의 운반속도를 고려한 생산 일정계획문제를 다루었으며, Maggu and Das[20]는 두 대의 기계를 갖고 자동물자운반장치의 댓수에 제한을 두지 않는 조건에서 작업총완료시간을 최소화하는 일정계획문제를 혼합정수계획법으로 모형화하였다. 이 밖에 Ahn[4], Blazewicz[6], Yamazaki[29], Solot[25]등도 소규모 유연생산시스템에 관한 연구를 수행하였다.

따라서 본 연구에서는 충분한 완충저장소를 갖는 두 대의 Machine Center와 한 대의 자동물자운반장치가 장착된 소규모유연생산셀에서 작업가공시간, 자동물자운반장치의 운반시간, 작업물의 대기시간을 고려한 작업총완료시

간을 최소화하는 생산 일정계획문제에 대한 해법을 개발함으로써 도입된 유연생산시스템의 효율을 극대화하여 고객의 다양한 요구와 변화하는 제조환경에 능동적으로 대처할 수 있게 하고자 한다.

2. 소규모 유연생산셀에서의 일정계획 모형

2.1 가정 및 부호설명

1. 가공셀은 두 대의 기계와 한 대의 자동운반장치(AGV)로 구성되어 있다.
2. 각 기계는 첫번째 작업이 시작되는 시점에서 이용 가능하다.
3. 각 기계는 한 번에 한 작업만 처리할 수 있다.
4. 각 기계는 가공도중 고장이나 보수등으로 인해 중단되지 않는다.
5. 자동운반장치는 한번에 한개의 작업물만 운반할 수 있다.
6. 각 기계 앞에는 완충저장소가 있으며 일시 보관능력은 충분하다.
7. 자동운반장치의 운반시간은 Loading/Unloading 시간을 포함한다.
8. 작업과 각 작업의 가공시간, 작업운반시간은 미리 주어진다.
9. 가공셀내에서 기계간의 운반시간은 무시될 수 없다.

i : 작업번호 ($i = 1, 2, 3, \dots, N$)

u : 기계번호 ($u = 1, 2$)

v : 기계번호 ($v = 1, 2$)

J : 작업 i

- M_u : 기계 번호
- $ST_u(J_i)$: M_u 에서 J_i 의 가공시작시각
- $CT_u(J_i)$: M_u 에서 J_i 의 가공완료시각
- $P_u(J_i)$: M_u 에서 J_i 의 가공시간
- $WA_1(J_i)$: AGV가 M_1 에서 가공을 마친 J_i 를 운반하기 위해 기다리는 시간
- $WA_2(J_i)$: AGV가 M_2 에서 J_i 를 내려놓기 위해 기다리는 시간
- $DA_1(J_i)$: AGV가 M_1 에서 가공을 마친 J_i 를 싣고 M_2 으로 출발하는 시각
- $DA_2(J_i)$: AGV가 M_2 에 J_i 를 운반하고 M_1 으로 출발하는 시각
- $AA_1(J_i)$: AGV가 J_i 를 M_2 에 운반하기 위해 M_1 으로 되돌아온 시각
- $AA_2(J_i)$: AGV가 J_i 를 M_2 에 운반한 시각
- $WJ_1(J_i)$: M_1 에서 J_i 가 가공을 마치고 AGV를 기다리는 시간
- $WJ_2(J_i)$: M_2 에서 J_i 가 가공을 받기 위해 기다리는 시간
- TT_{uv} : M_u 에서 M_v 까지의 AGV의 운반시간
- F_{max} : 주어진 모든 작업의 총완료시간

2.2 일정계획의 수리적 모형

두 대의 가공기계와 한 대의 자동물자운반장치 그리고 임시 완충저장소를 갖는 소규모 유연가공셀에서 작업가공시간, 자동물자운반장치의 운반시간, 작업물의 대기시간등을 고려한 작업총완료시간을 최소화하는 일정계획 모형을 수립하고자 한다.

기계 1에서 작업 J_i 를 가공하기 시작한 시각과 가공을 완료한 시각은 다음 식(1), (2)와 같다.

$$ST_1 J_i = CT_1(J_{i-1}) \tag{1}$$

$$= \sum_{m=1}^{i-1} P_1(J_m)$$

$$CT_1(J_i) = ST_1(J_i) + P_1(J_i) \tag{2}$$

$$= \sum_{m=1}^i P_1(J_m)$$

기계 1에서 가공을 마친 작업 J_i 가 기계 2에서 가공을 받기 위해 AGV에 실려 기계 1을 출발하는 시각은 다음 식(3)과 같다. 이는 작업 J_i 가 기계 1에서 가공을 마친 시각과 가공을 마치고 난 뒤 기계 2로 운반되기 위해 AGV를 기다리는 시간의 합이다. 또 기계 2에 작업 J_i 를 운반하고 기계 1로 출발하는 시각은 식(4)처럼 작업 J_i 가 기계 2에 도착하는 시각과 기계 2에서의 대기시간의 합이다.

$$DA_1(J_i) = \text{Max}[CT_1(J_i) - AA_1(J_i)] \tag{3}$$

$$= CT_1(J_i) + WA_1(J_i)$$

$$DA_2(J_i) = AA_2(J_i) + WA_2(J_i) \tag{4}$$

작업 J_i 가 기계 1에서 가공을 마치고 AGV를 기다리는 시간은 작업 J_i 을 기계 2에 운반한 AGV가 기계 1로 되돌아오는 시각과 작업 J_i 가 기계 1에서 가공을 마친 시각과의 차이이며 이를 식으로 나타내면 다음 (5)와 같다. 기계 2에 운반된 작업 J_i 가 AGV에서 내려지기위해 기다리는 시간은 식 (6)처럼 0(零)이다. 왜냐하면 기계앞의 완충저장이 충분하다고 가정하였기 때문이다.

$$WA_1(J_i) = \text{Max}[0, (CT_1(J_i) - (AA_2(J_i) + TT_{21}))]$$

$$= \text{Max}[0, CT_1(J_i) - AA_1(J_i)] \tag{5}$$

$$WA_2(J_i) = 0 \tag{6}$$

AGV가 작업 J를 기계 2에 운반하고 기계 1에 도착하는 시각은 식 (7)과 같이 작업 J₁이 기계 1에서 가공을 마치고 기계 2로 출발하는 시각과 같다. 그리고 작업 J가 기계 2에 도착하는 시각은 식(8)과 같이 작업 J가 기계 1에서 가공을 마치고 기계 2로 출발한 시각과 기계 1에서 2까지의 운반시간의 합이다.

$$AA_1(J) = DA_1(J_{i-1}) + TT_{21} \quad (7)$$

$$AA_2(J) = DA_2(J) + TT_{12} \\ = CT_1(J) + WA_1(J) + TT_{12} \quad (8)$$

기계 2에서 작업 J의 가공을 시작하는 시각은 작업 J₁이 기계 2에서 가공을 완료한 시각과 작업 J가 기계 2에 도착한 시각 중에 큰 값이며 이를 식으로 나타내면 식(9)와 같다.

$$ST_2(J) = \text{Max}[CT_2(J_{i-1}), AA_2(J)] \quad (9) \\ = \text{Max}[CT_2(J_{i-1}), CT_1(J) + WA_1(J) + TT_{12}]$$

기계 2에서 작업 J의 가공완료 시각은 기계 2에서 작업 J의 가공시작 시각과 기계 2에서 작업 J의 가공시간의 합으로 다음 식 (10)과 같다.

$$CT_2(J) = ST_2(J) + P_2(J) \quad (10)$$

작업 J가 기계 1에서 가공을 마치고 AGV를 기다리는 시간은 식 (11)과 같이 작업 J가 기계 1에서 가공을 마친 시각에서 AGV가 도착한 시각을 뺀 값이다. 또 작업 J가 기계 2에서

가공을 받기 위해 기다리는 시간은 식 (12)와 같이 기계 2에서 작업 J₁이 가공을 완료한 시각에서 AGV가 작업 J를 싣고 기계 2에 도착한 시각을 뺀 값이다. 식 (11)과 (12)의 값이 음수일 때는 대기가 없음을 의미한다.

$$WJ_1(J) = \text{Max}[0, AA_1(J_{i-1}) - TT_{21}] - CT_1(J) \\ = \text{Max}[0, AA_1(J_{i-1}) - AA_2(J)] \quad (11)$$

$$WJ_2(J) = \text{Max}[0, CT_2(J_{i-1}) - AA_2(J)] \\ = \text{Max}[0, CT_2(J_{i-1}) - DA_2] \quad (12)$$

작업들의 가능한 작업순서에 대한 작업총완료시간은 기계 2에서 마지막 작업을 완료하는 시각과 같으며 다음 식 (13)과 같이 표현된다. 이때 얻어지는 작업순서의 수는 (N)!개가 존재한다.

$$F_{\text{max}}(S_m) = CT_2(J_N) \\ = \text{Max}[\sum_{m=1}^j P_1(J) + (k-j+1)TT_{12} \\ + \sum_{m=k}^N P_2(J) + (k-j)TT_{21}] \quad (13)$$

단, $1 \leq j \leq k \leq i \quad i=1, 2, 3, \dots, N$

식 (13)에서 구한 작업들에 대한 가능한 작업순서들의 작업총완료시간들 중에서 최소값을 갖는 작업순서가 최적작업순서이며 다음 식 (14)에 의해 얻어진다.

$$F_{\text{max}}^* = \text{Min} F_{\text{max}}(S_m) \quad (14)$$

3. 발견적 기법의 개발 및 수치예제

자동물자운반장치의 운반시간을 고려한 일정계획문제는 외판원문제(Traveling Salseman Problem)에 해당되며 NP(Nondeterministic Polynomial)-Complete에 해당된다[16]. TSP는 분지한계법(Branch and Bound)과 동적계획법(Dynamic Progamming)으로 최적해를 구할 수 있으나, 동적계획법은 노드수가 20개만 되어도 필요한 저장소가 1,000,000개가 넘고 분지한계법의 경우도 최악의 경우 $O(n!)$ 의 Complexity를 갖기 때문에 작업수가 20개만 되어도 엄청난 양의 수행시간을 필요로 하게 된다.

따라서 빠르고 낮은 Complexity를 갖는 효율적인 발견적기법의 개발이 필요하다.

3.1 MWF(Maximum Waiting-job First) Algorithm 개발

운반시간을 고려한 작업총완료시간을 최소화하는 일정계획문제에서 초기 대기시간이 전체 작업완료시간에 영향을 미치게 된다. 특히 작업수가 적을수록 초기 대기시간이 작업총완료시간에 미치는 영향이 크다. 따라서 초기 대기시간을 최소화함으로써 주어진 작업의 총완료시간을 최소화하고자 한다.

[단계 1] 각 작업들에 대해 기계 1에서의 초기 대기시간(WI(Ji))을 계산하고 그 중 최대값을 구한다.

$$WI(J_i) = \text{Max}[0, TT_{12} + TT_{21} - P_i(J_i)]$$

$$MWI = \text{Max}[WI(J_i)]$$

[단계 2] [단계 1]에서 구한 최대 대기시간에 대해 만약 $MWI=0$ 이면 [단계 3]으로 가고, $MWI>0$ 이면 [단계 4]로 가라.

[단계 3] $P_1(J_i)$ 과 $P_2(J_i)$ 를 비교하여 $P_1(J_i)$ 이 작은 것을 으뜸차순으로 할당하고 $P_1(J_i)$ 이 큰 경우 $P_2(J_i)$ 를 내림차순으로 작업순서를 결정하고 [단계 5]로 가라.

[단계 4] MWI에 해당하는 작업을 순서의 맨앞에 놓고 나머지 작업들에 대해 [단계 3]로 가라.

[단계 5] 앞 단계들에서 확정된 작업순서에 대한 작업총완료시간을 계산하고 종료한다.

3.2 수치예제

개발한 MWF Algorithm을 아래 [표 1]과 같은 경우의 문제를 예로 들어 설명하고자 한다.

[Table1] Processing Time

Job	Machine	
	1	2
1	14	12
2	26	22
3	12	10

$$TT_{12} = TT_{21} = 10$$

위 표에서 주어진 문제를 Johnson's Algorithm[13]에 의해 작업순서를 결정하면 2-1-3이 된다. 그에 대한 작업총완료시간의

계산과정은 다음 [표 2]와 같으며 작업총완료 시간은 86이다.

또한 주어진 문제를 개발한 발견적기법인 MWF Algorithm에 의한 작업순서 결정과정을 살펴보면 다음과 같다.

[단계 1] 각 작업들에 대해 $WI(J_i)$ 와 MWI 를 계산한다.

$$WI(J_1)=6, WI(J_2)=0, WI(J_3)=8$$

$$MWI=WI(J_1)=8$$

[Table 2] Makespan by Johnson's Algorithm

M \ J	1			2		
J _i	AA _i	P _i /CT _i	DA _i	AA _i	ST _i	P _i /CT _i
2	0	26/26	26	36	36	22/58
1	46	14/40	46	56	58	12/70
3	66	12/52	66	76	76	10/86*

[단계 2] $MWI > 0$ 이므로 [단계 4]로 가라.

[단계 4] MWI 를 갖는 작업을 순서의 맨 앞에 두고 [단계 3]으로 가라.

[단계 3] 작업2를 두고 그 뒤에 작업1을 둔다.

결정된 작업순서 : 3-2-1

[단계 5] 결정된 작업순서에 대한 작업총완료시간을 계산한다.

$$\text{작업총완료시간} = 82$$

작업총완료시간을 계산하는 구체적인 과정은 [표 3]과 같다.

[Table 3] Makespan by MWF Algorithm

M \ J	1			2		
J _i	AA _i	P _i /CT _i	DA _i	AA _i	ST _i	P _i /CT _i
3	0	12/12	12	22	22	10/32
2	32	26/38	38	48	48	22/70
1	58	14/52	58	68	70	12/82*

4. 발견적 기법의 평가

일반적으로 일정계획문제는 복잡한 조합의 문제이기 때문에 작업수나 기계수와 같은 변동 요인에 따라 가능한 경우의 수가 거의 무한대에 가까워져서 최적해를 구하는 것이 사실상 불가능하다. 특히 본 연구에서 다룬 자동물자운반장치의 운반시간을 고려한 일정계획문제는 NP-Complete에 해당된다.

따라서 본 연구에서 효율적으로 근사최적해를 제공할 수 있는 발견적기법을 개발하였으며 이를 운반시간을 고려하지 않는 경우 최적해를 제공하는 Johnson's Algorithm과 비교 분석함으로써 우수성을 평가하고자 한다. 먼저 앞절에서 설명한 수치예제에 대해 살펴보면 [표 4]와 같다.

[Table 4] Comparative Results of Example

	Sequence	Markespan	ER	RE
Optimal	3-2-1	82		
Johnson's Rule	2-1-3	86	4	4.9
MWF	3-2-1	82	0	0.0

ER : | MS*(Optimal) - MS*(Heuristic) |
 RE : [ER/MS*(Optimal)] * 100

[표 4]에서 보는 바와 같이 운반시간을 고려한 경우에는 Johnson's Algorithm이 최적해를 제공하지 못한다. 개발한 MWF Algorithm이 Johnson's Algorithm에 의한 값보다 좋은 결과를 보였으며 열거법에 의한 최적해와 동일한 결과를 보였다. 보다 일반적인 경우에 대해 개발한 발견적 기법을 평가하기 위해 가공시간을 5와 30사이의 일양분포로 발생시켰으며 작업수를 3, 5, 7, 10, 15, 20, 50까지 변화시키면서 각

각의 경우에 대해 50개 문제씩을 SLAM II를 이용하여 모의실험해 본 결과가 다음 [표 5]와 같이 나타났다.

개발한 발견적 기법이 97.7%의 빈도수에서 Johnson's Algorithm보다 좋거나 적어도 같은 결과를 보였고 작업총처리시간의 단축비에서도 평균 5.0%에서 0.9%까지 향상되었으며, 최대 8.1%까지 단축되었다. 작업총완료시간에서 뿐만아니라 평균흐름시간에서도 개발한 기법이 Johnson's Algorithm보다 평균 14.7%에서 0.2%까지, 최대 18.7%까지 단축된 우수한 결과를 보임을 알 수 있었다. 이를 그림으로 나타내 보면 작업총완료시간과 평균흐름시간의 평균 단축비는 [그림 1]과 같고 최대 단축비는 [그림 2]와 같다. 두 그림에서 보는 바와 같이 작업수가 적을수록 단축비가 큰 것을 나타내고 있다.

또한 가정에서 완충재고에 제한을 두지 않았으나 [표 6]에서 보는 바와 같이 각 기계에서

[Table 5] Comparative Results for MWF by SLAM II

Number of Jobs	Makespan		Reduction Ratio(%)				Frequency(%) (MWF ≤ JA)
			Makespan		Mean Flowtime		
	JA	MWF	Mean	Max	Mean	Max	
3	85.8	81.6	5.0	8.0	14.7	18.7	98.0
5	125.7	119.3	5.1	8.1	9.5	16.0	96.0
7	160.7	154.3	4.0	7.4	4.6	8.7	98.0
10	213.0	208.7	2.8	4.1	3.0	4.3	98.0
15	317.5	312.5	1.6	2.7	2.0	2.8	98.0
20	436.3	429.7	1.5	2.7	1.3	2.2	98.0
50	1050.0	1040.0	0.9	1.0	0.2	0.2	98.0

JA : Johnson's Algorithm
 MWF : Heuristic Algorithm

평균 대기수는 작업수에 따라 Johnson's Algorithm은 0.01-1.46, 0.01-2.53, MWF Algorithm은 0.01-1.75, 0.01-2.44였으며, 최대 대기수는 Johnson's Algorithm은 1-4, 1-6, MWF Algorithm은 1-5, 1-6으로 두 기법이 큰 차이없이 비슷하게 나타났다. 본 연구에서 개발한 발견적 기법의 Complexity는 $O(n \log n)$ 으로 Johnson's Algorithm과 같다.

5. 결론

본 연구에서는 충분한 완충저장소를 갖는 두 대의 Machine Center와 한 대의 자동물자운반 장치로 이루어진 소규모 유연생산셀에서의 생산일정계획문제를 다루었다. 자동물자운반장치의 운반시간을 고려한 경우에 대한 작업총완료 시간을 최소화하는 문제를 수리적으로 모형화하고 근사최적해를 제공하는 발견적 기법을 개발하였다.

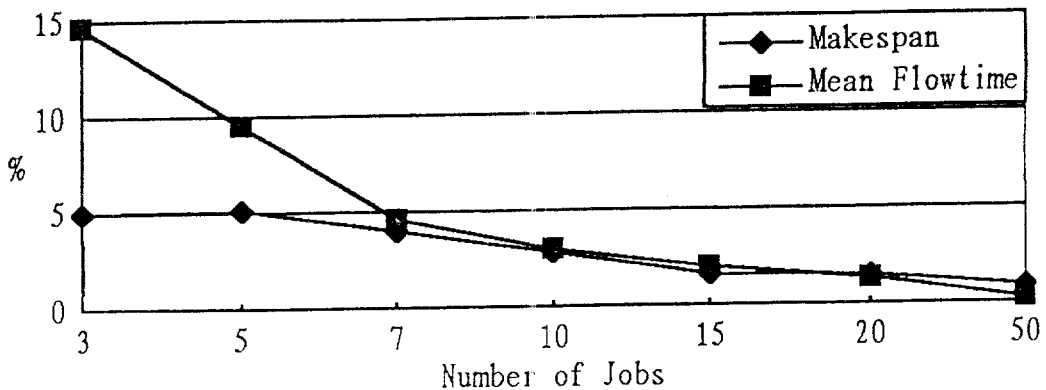
개발한 발견적 기법의 우수성을 평가하기 위해 두 대의 기계를 갖고 자동물자운반장치의 운반시간을 고려하지 않는 경우의 문제에서 최적해를 제공하는 Johnson's Algorithm과 비교 분석하였다. 이를 위해 SLAM II를 사용하였으며 다양한 조건하에서 실험해 본 결과 개발한 발견적 기법이 빈도수와 단축비에서 우수한 결과를 제공하였고, 대기 작업수에 있어서는 두 알고리즘이 비슷한 결과를 낳았으며, 특히 개발한 기법이 작업총완료시간을 최소화함과 동시에 평균흐름시간에 대해서도 우수한 결과를 제공하였다. 앞으로 기계댓수의 변화, 기계고장, 작업의 동적도착, 대체경로등을 동시에 고려한

[Table 6] Comparative Results II by SLAM II

No of job	Mean Queue				Maximum Queue			
	JA		MWF		JA		MWF	
	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂
3	0.09	0.01	0.01	0.01	1	1	1	1
5	0.16	0.04	0.14	0.03	2	1	1	1
7	0.31	0.13	0.31	0.16	2	1	1	1
10	0.43	0.16	0.58	0.19	2	2	2	2
15	0.52	0.32	0.70	0.37	2	2	2	2
20	0.64	0.41	0.78	0.45	3	3	3	3
50	1.46	2.53	1.75	2.44	4	6	5	6

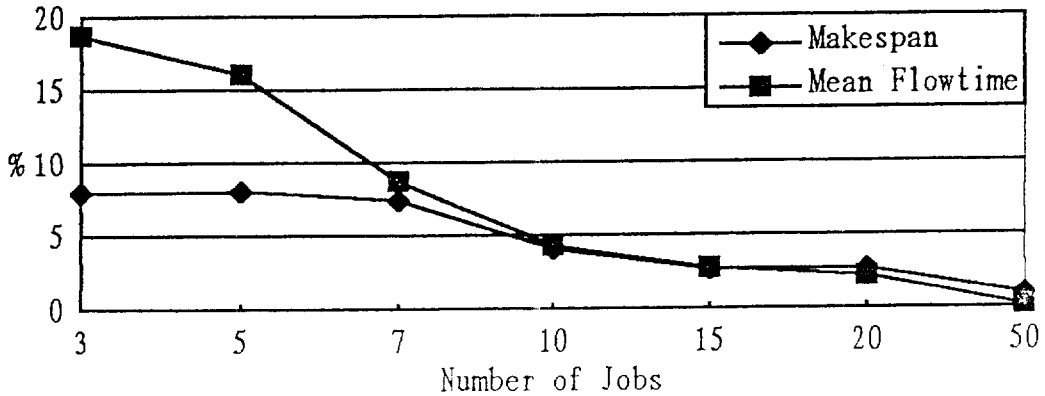
JA : Johnson's Algorithm

MWF : Heuristic Algorithm



[Figure 1] Mean Reduction Ratio

경우와 다수목표(Multi-Objective)를 갖는 경우에 대한 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.



[Figure 2] Maximum Reduction Ratio

참 고 문 헌

- [1] 김종환, 박종현, 박진우, 정성진, "FMS의 실시간 일정계획을 위한 수리적 의사결정에 관한 연구," 「대한산업공학회」, Vol. 16, No. 2(1990), pp. 119-127.
- [2] 노인규, 최정상, "자동생산시스템에서의 생산일정계획," 「대한산업공학회」, Vol. 14, No. 1(1988), pp. 73-81.
- [3] 양대용, 정병희, 윤창원, "유연가공 및 조립시스템에서의 AGV 운용전략," 「경영과학」, 제11권, 제1호(1994), pp. 23-37.
- [4] Ahn, J. Y., W. H. He and A. Kusiak, "Scheduling with Alternative Operations," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 9, No. 3(1993), pp. 297-303.
- [5] Ayres, R. U., W. Haywood and I. Tchijov, *Computer Integrated Manufacturing :Models, Case Studies and Forecasting of Diffusion*. Chapman Hall, 1992.
- [6] Blazewicz, T., G. Finke, R. Haupt, and G. Schmidt, "New Trend in Machine Scheduling," *European Journal of OR.*, Vol. 35(1988), pp. 303-317.
- [7] Buzacott, J. A., "Modeling Manufacturing Systems," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 2 (1985), pp. 25-32.
- [8] Buzacott, J. A. and J. G. Shantikumar, "Models for Understand in FMS," *AIIE Trasaction*, Vol. 12, No. 4(1980), pp. 339-349.
- [9] Chan, D. Y. and D. D. Bedworth, "Design of a Scheduling System for Flexible Manufacturing Cells," *Int. J.*

- Prod. Res., Vol. 28, No. 11(1990), pp. 2037-2049.
- [10] Grasso, V., "AGV-Served Assembly Lines : Influence of Sequencing and Launch Policy on System Performances," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 7 (1990), pp. 1385-1399.
- [11] Hartley, J., *FMS at Work*, IFS Ltd., 1984.
- [12] Hirabayashi, N., H. Nagasawa and N. Nishiyama, "A Decomposition Scheduling Method for Operating FMS," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 32, No. 1 (1994), pp. 161-178.
- [13] Johnson, S. M., "Optimal Two and Three Stage Production Schedules with Setup time Included," *Naval Research Logistics*, Quarterly 1(1954), pp. 61-68.
- [14] Karabuk, S. and I. Sabuncuoglu, "Beam Search Based Algorithm for Scheduling Machine and AGV in an FMS," *Proc. of the 2nd I. E. Conferense*(1993), pp. 308-312.
- [15] Karsiti, M. N., J. B. Cruz and J. H. Mulligan, "Performance Forecasts as Feedback for Schedule Generation," *J. of manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 5 (1992), pp. 326-333.
- [16] Kise, H., T. Shioyama and T. Ibaraki, "Automated Two Machine Flowshop Scheduling," *IIE Transaction*, Vol. 23, No. 1(1991), pp. 10-16.
- [17] Kusiak, A., "Application of Operational Research Models and Techniques in FMS," *European Journal of Operation Research*, Vol. 24(1986), pp. 336-345.
- [18] Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice Hall, 1990.
- [19] Lee, Y. H., K. Iwata and Y. Fukuda, "Flow Control Strategy for Flexible Maching and Assembly System," *Human Aspect in CIM*(1992), pp. 577-584.
- [20] Maggu, P. L. and G. Das, "On 2Xn Sequencing Problem With Transportation Time of Jobs," *Pure and Applied Mathematica Science*, Vol. 12(1981), pp. 1-6.
- [21] Makris, P. and M. Sfantsikopoulos, "Machine Serving Principle Evaluated by Necessary Part Transport Speed," *Int. J Machine Tools & Manufacture*, Vol. 33(1993), No. 1, pp. 25-29.
- [22] Morton, T. E., and T. L. Smunt, "A Planning and Scheduling System for FMS," *FMS: Methodies and Studies*, pp. 151-164, 1986.
- [23] Ohmi, T. et al., "FMS in Japan- Present Status," *International Conference on FMS*, IFS(Publication) Ltd., 1982.
- [24] Snader, K. R., "Flexible Manufacturing System: An Industry Overview," *Prod. and Inv. Manag.*, Vol. 27, No. 1(1986).
- [25] Solot, P., "A Concept for Planning and Scheduling In an FMS," *Euro. J. OR.*, Vol. 45(1990), pp. 85-95.
- [26] Stecke, K. and R. Suri, "Flexible Manufacturing Systems : Operation Research Models and Application,"

Proceedings of the 2nd ORSA/TIMS Conference, Elsevier, 1986.

- [27] Ulusoy, G. and U. Bilge, "Simultaneous Scheduling of Machine and AGV," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, No. 12(1993), pp. 2857-2873.
- [27] Ulusoy, G. and U. Bilge, "Simultaneous Scheduling of Machine and AGV," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, No. 12(1993), pp. 2857-2873.
- [28] Wassenhove, L. V., "The Trend of FMS," *Operation Research Proc.*, pp. 524-532, 1988.
- [29] Yamazaki, T. and A. Nagae, "Flexible Manufacturing System in Practice," *Japan-USA Sym. on Flexible Automation*, 1990.