

자동화생산시스템에서 AGV의 운송시간을 고려한 작업제어기법†

-Operation control algorithm for an automated manufacturing
system with travel time of AGV-

최 정상*

Choi, Jung Sang

고 낙용**

Ko, Nak Yong

Abstract

This research is concerned with operation control problem for an automated manufacturing system which consists of two machine centers and a single automatic guided vehicle. The objective is to develop and evaluate heuristic scheduling procedures that minimize maximum completion time to be included travel time of AGV. A new heuristic algorithm is proposed and 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 the previous algorithms.

1. 서 론

자동화생산시스템은 다양한 제조환경의 변화와 소비자의 요구에 매우 효율적이고 능동적으로 대처할 수 있는 생산시스템으로 높은 생산성과 동시에 제품의 다양화를 달성할 수 있다는 데 그 장점이 있으며[7], 품질의 향상, 재공품 재고의 감소와 높은 설비 가동율등을 제공한다[16]. 자동화생산시스템은 1960년대 후반에 영국에서 처음으로 연구 개발이 시작된 이래 많은 연구가 수행되어 왔으며, 특히 80년대 들어 자동화생산시스템의 개발 및 도입이 본격화 되었다. 이와 함께 새로운 생산시스템에 대한 적절한 운용 방법을 개발하기 위한 연구가 수행되어 왔다[6][21].

* 조선대학교 산업공학과

** 조선대학교 제어계측공학과

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

갈수록 자동화생산시스템에 대한 관심과 도입이 증대되고 있지만 일시에 모든 공장을 자동화하는 데는 과도한 도입비용, 운용기술의 미비, 기존설비와의 조화여부등 경제적, 기술적, 환경적인 어려움이 많다[15]. 최근 들어 이러한 자동화에 따른 부작용을 최소화하면서 다양한 변화에 대처하는 유연성을 향상시키기 위해 대규모 자동화설비보다 FMC(Flexible Manufacturing Cell)와 같은 소규모 자동화생산시스템이 계속 증가하고 있다[22].

실제로 Areyes[6]는 세계 각국에 있는 687개의 자동화생산시스템을 조사해 본 결과 2-4대의 가공센터를 갖는 소규모 자동화생산시스템이 전체의 45%를 차지하고 있고, 약 60% 정도가 2-4개의 가공센터를 갖는다고 보고하였으며, Wassenhove[26]도 전세계의 절반이상의 자동화생산시스템을 조사해 본 결과 대규모 완충재고를 갖는 소규모 자동화생산시스템이 증가하고 있다고 보고하였다.

Hirabayashi[11]는 두 대의 기계로 구성되어 있고 소규모 완충재고를 갖는 자동화생산시스템에서 가공시간만을 고려한 일정계획문제에서 작업총완료시간을 최소화하는 최적알고리즘을 분해법(Decomposition Method)을 이용하여 제시하였으며, 양대용[2]은 가공과 조립을 위한 자동물자운반장치가 각각 별도로 존재하고 완충재고를 고려하지 않는 경우에 대해 작업총완료시간과 자동물자운반장치의 유휴시간을 최소화하는 자동물자운반장치의 운용전략에 관한 연구를 수행하였다.

Ulusoy and Bilge[25]는 자동물자운반장치의 운송시간이 작업순서에 종속적이고 완충재고에 제한을 두지 않는 경우에 대해 작업총완료시간을 최소화하는 발견적기법을 분해법을 이용하여 제시하였고, Karabuk and Sabuncuoglu[13]는 완충재고와 경로가 제한되어 있고 자동물자운반장치의 운송시간을 고려하지 않는 경우에 대해 작업총완료시간을 최소화하는 문제를 Beam Search기법으로 접근하였다.

Makris and Sfantsikopoulos[20]는 각 가공, 조립, 검사센터간의 자동물자운반장치의 운반속도가 변할 때 기계효율을 최대로 하는 일정계획문제를 다루었고, Karsiti[14]는 동적인 작업도착과 기계고장을 고려한 일정계획문제를 두개의 부분문제로 나누어 동적계획법을 이용한 해법을 제시하였으며, Lee[18]등은 자동화가공 및 조립시스템에서 기계고장, 납기일을 고려한 작업총완료시간을 최소화하는 연구를 수행하였다. 그러나 위 연구들은 자동물자운반장치의 운송시간은 고려하지 않았다.

Kise[15]는 소규모 자동화생산시스템은 대형 자동화생산시스템이나 복잡한 생산시스템보다 적은 비용으로 구축될 수 있으며 개선이 용이하고 Hardware 및 Software에 대한 유지 및 제어가 쉽다고 말하고 있다. 그는 두 대의 가공센터와 하나의 자동물자운반장치를 갖는 소규모 자동화생산시스템에서 완충재고를 허락하지 않은 경우에 대한 일정계획 문제를 다루었으며, Kusiak[16]은 두 대의 자동화단조기계를 갖는 소규모 자동화생산시스템에서 작업총완료시간을 최소화하는 일정계획문제를 혼합정수계획법으로 모형화하고 알고리즘을 제시하였다.

Snader[23]는 두 대의 기계를 갖는 FMC에서 작업총완료시간을 최소화하는 동적기법을 개발하였고, 김종한등[1]은 대체경로 및 일정량의 완충재고가 존재할 때 생산량을 최대화하는 일정계획문제를 정수계획법으로 모형화하고 발견적기법을 제시하였으며, Chan[9]은 두 대의 기계와 하나의 단일방향 자동물자운반장치를 갖는 소규모 자동화생산시스템에서 가공시간만을 고려한 일정계획문제에서 평균흐름시간을 최소화하는 최적알고리즘을 제시하였다.

Grasso[10]는 자동화조립라인(Automated Assembly Line)에서 제품의 작업순서를 결정 한 후 자동물자운반장치의 투입시점을 결정하는 발견적기법을 제시하였고, 최정상과 노인규[3]는 세 대의 기계와 단일방향의 자동물자운반장치로 자동화흐름시스템(Automated Flow System)에서 완충재고를 허락하지 않고 자동물자운반장치의 운반속도를 고려한 생산 일정계획문제를 다루었으며, Maggu and Das[19]는 두 대의 가공센터를 갖고 자동물자운반장치의 댓수에 제한을 두지 않는 조건에서 작업총완료시간을 최소화하는 일정계획문제를 혼합정수계획법으로 모

형화하였다. 최정상과 노인규[4]는 두 대의 가공센터와 한 대의 자동운반장치로 구성된 유연생산셀에서 작업총처리시간을 최소화하는 기법을 제시하였다. 이 밖에 Ahn[5], Blazewicz[7], Yamazaki[27], Solot[24]등도 소규모 자동화생산시스템에 관한 연구를 수행하였다.

소규모 자동화 생산시스템에서 자동운반장치의 운송시간을 고려한 작업제어문제는 관련된 각 가공셀에 재공품을 보관하는 임시 완충보관소의 형태에 크게 임시보관을 허락지 않는 경우, 임시보관할 수 있는 크기를 제한하는 경우, 그리고 제한을 두지 않는 경우 3가지 유형으로 나누어진다. 본 연구에서는 충분한 완충보관소를 갖는 두 대의 가공센터와 한 대의 자동물자운반장치가 장착된 소규모 자동화생산시스템에서 작업가공시간, 자동물자운반장치의 운송시간, 작업물의 대기시간을 고려한 작업총완료시간을 최소화하는 생산 일정계획문제에 대한 해법을 개발함으로써 도입된 자동화생산시스템의 효율을 극대화하여 고객의 다양한 요구와 변화하는 제조 환경에 능동적으로 대처할 수 있게 하고자 한다.

2. 연구 모형

본 연구에서는 충분한 임시 완충보관소를 갖는 두 대의 가공센터와 한 대의 자동물자운반장치로 구성된 소규모 자동화생산시스템을 연구모형으로 설정하였으며 사용할 가정 및 부호를 다음과 같다.

2.1 가정 및 부호설명

- (1) 각 가공센터는 첫번째 작업이 시작되는 시점에서 이용 가능하다.
- (2) 각 가공센터는 한 번에 한 작업만 처리할 수 있다.
- (3) 각 가공센터는 가공도중 고장이나 보수등으로 인해 중단되지 않는다.
- (4) 자동운반장치는 한번에 한개의 작업물만 운반할 수 있다.
- (5) 각 가공센터 앞에는 완충보관소가 있으며 일시 보관능력은 충분하다.
- (6) 자동운반장치의 운송시간은 Loading/Unloading 시간을 포함한다.
- (7) 작업과 각 작업의 가공시간과 AGV운송시간은 미리 주어진다.
- (8) 가공셀내에서 가공센터간의 운송시간은 무시될 수 없다.

- i : 작업번호 ($i = 1, 2, 3, \dots, N$)
- u : 가공센터번호 ($u = 1, 2$)
- v : 가공센터번호 ($v = 1, 2$)
- J_i : 작업 i
- M_u : 가공센터 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 로 출발하는 시각
- $DA_2(J_i)$: AGV가 M_2 에 J_i 를 운반하고 M_1 로 출발하는 시각
- $AA_1(J_i)$: AGV가 J_i 를 M_2 에 운반하기 위해 M_1 로 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 운송시간
- F_{max} : 주어진 모든 작업의 총완료시간

2.2 수리적 모형

두 대의 가공센터와 한 대의 자동물자운반장치 그리고 임시 완충보관소를 갖는 소규모 자동화가공셀에서 작업가공시간, 자동물자운반장치의 운송시간, 작업물의 대기시간등을 고려한 작업총완료시간을 최소화하는 일정계획 모형을 수립하고자 한다.

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

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

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

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

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

가공센터 1에서 가공을 마친 작업 J_i 가 가공센터 2에서 가공을 받기 위해 AGV에 실려 가공센터 1을 출발하는 시각은 다음 식(3)과 같다. 이는 작업 J_i 가 가공센터 1에서 가공을 마친 시각과 가공을 마치고 난 뒤 가공센터 2로 운반되기 위해 AGV를 기다리는 시간의 합이다. 또 가공센터 2에 작업 J_i 를 운반하고 가공센터 1로 출발하는 시각은 식(4)처럼 작업 J_i 가 가공센터 2에 도착하는 시각과 가공센터 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 가공센터 1에서 가공을 마치고 AGV를 기다리는 시간은 작업 J_{i-1} 을 가공센터 2에 운반한 AGV가 가공센터 1로 되돌아오는 시각과 작업 J_i 가 가공센터 1에서 가공을 마친 시각과의 차이이며 이를 식으로 나타내면 다음 (5)와 같다. 가공센터 2에 운반된 작업 J_i 가 AGV에서 내려지기위해 기다리는 시간은 식 (6)처럼 0(零)이다. 왜냐하면 가공센터앞의 완충저장이 충분하다고 가정하였기 때문이다.

$$WA_1(J_i) = \text{Max}\{0, (CT_1(J_i) - (AA_2(J_{i-1}) + TT_{21}))\} \tag{5}$$

$$= \text{Max}\{0, CT_1(J_i) - AA_1(J_i)\}$$

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

AGV가 작업 J_i 를 가공센터 2에 운반하고 가공센터 1에 도착하는 시각은 식 (7)과 같이 작업 J_{i-1} 이 가공센터 1에서 가공을 마치고 가공센터 2로 출발하는 시각과 같다. 그리고 작업 J_i 가 가공센터 2에 도착하는 시각은 식(8)과 같이 작업 J_i 가 가공센터 1에서 가공을 마치고 가공센터 2로 출발한 시각과 가공센터 1에서 2까지의 운송시간의 합이다.

$$AA_1(J_i) = DA_2(J_{i-1}) + TT_{21} \tag{7}$$

$$AA_2(J_i) = DA_1(J_i) + TT_{12} \tag{8}$$

$$= CT_1(J_i) + WA_1(J_i) + TT_{12}$$

가공센터 2에서 작업 J_i 의 가공을 시작하는 시각은 작업 J_{i-1} 이 가공센터 2에서 가공을 완료한 시각과 작업 J_i 가 가공센터 2에 도착한 시각 중에 큰 값이며 이를 식으로 나타내면 식(9)와 같다.

$$ST_2(J_i) = \text{Max}[CT_2(J_{i-1}), AA_2(J_i)] \tag{9}$$

$$= \text{Max}[CT_2(J_{i-1}), CT_1(J_i) + WA_1(J_i) + TT_{12}]$$

가공센터 2에서 작업 J_i 의 가공완료 시각은 가공센터 2에서 작업 J_i 의 가공시작 시각과 가공센터 2에서 작업 J_i 의 가공시간의 합으로 다음 식 (10)과 같다.

$$CT_2(J_i) = ST_2(J_i) + P_2(J_i) \tag{10}$$

작업 J_i 가 가공센터 1에서 가공을 마치고 AGV를 기다리는 시간은 식 (11)과 같이 작업 J_i 가 가공센터 1에서 가공을 마친 시각에서 AGV가 도착한 시각을 뺀 값이다. 또 작업 J_i 가 가공센터 2에서 가공을 받기 위해 기다리는 시간은 식 (12)와 같이 가공센터 2에서 작업 J_{i-1} 이 가공을 완료한 시각에서 AGV가 작업 J_i 를 신고 가공센터 2에 도착한 시각을 뺀 값이다. 식 (11)과 (12)의 값이 음수일 때는 대기가 없음을 의미한다.

$$W_1(J_i) = \text{Max}[0, (AA_1(J_i) - CT_1(J_i))] \tag{11}$$

$$= \text{Max}[0, (AA_2(J_{i-1}) + TT_{21}) - CT_1(J_i)]$$

$$W_2(J_i) = \text{Max}[0, (CT_2(J_{i-1}) - AA_2(J_i))] \tag{12}$$

$$= \text{Max}[0, (CT_2(J_{i-1}) - DA_2(J_i))]$$

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

$$F_{\max}(S_m) = CT_2(J_N) \tag{13}$$

$$= \text{Max}[\sum_{m=1}^N P_1(J_i) + (k-j+1)TT_{12} + \sum_{m=k}^N P_2(J_i) + (k-j)TT_{21}]$$

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

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

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

3. 기법의 개발 및 수치예제

자동물자운반장치의 운송시간을 고려한 작업제어문제는 외판원문제(Traveling Salesman Problem)에 해당되며 NP(Nondeterministic Polynomial)-Complete에 해당된다[15]. TSP는 분

지한계법(Branch and Bound)과 동적계획법(Dynamic Programming)으로 최적해를 구할 수 있으나, 동적계획법은 노드수가 20개만 되어도 필요한 저장소가 1,000,000개가 넘고 분지한계법의 경우도 최악의 경우에는 열거법과 같은 $O(n!)$ 의 Complexity를 갖기 때문에 작업수가 많아지면 많은 양의 수행시간을 필요로 하게 된다. 따라서 빠르고 효율적으로 근사최적해를 제공할 수 있는 발견적기법의 개발이 필요하다.

3.1 GPS(Generating partial schedule by waiting time) Algorithm 개발

AGV의 운송시간을 고려한 작업총완료시간을 최소화하는 문제에서 초기 대기시간이 전체 작업완료시간에 영향을 미치게 된다. 특히 작업수가 적을수록 초기 대기시간이 작업총완료시간에 미치는 영향이 크다. 따라서 초기 대기시간을 최소화하면서 열거법과 비슷한 부분순서를 생성 시킴으로써 주어진 작업의 총완료시간을 최소화할 수 있을 것으로 기대되는 기법을 제시한다.

[단계 1] 각 작업들에 대해 가공센터 1에서의 초기 대기시간(WI(J_i))을 계산한다.

$$WI(J_i) = \text{Max}\{0, (TT_{12} + TT_{21}) - P_1(J_i)\}$$

[단계 2] WI>0인 작업은 WI에 의한 내림차순으로 정리하여 임시작업순서 S1에두고, WI=0인 작업은 [단계 3]에 의해 정리한다.

[단계 3] P₁(J_i)과 P₂(J_i)를 비교하여 P₁(J_i)이 작은 것을 오름차순으로 할당하고 P₁(J_i)이 큰 경우 P₂(J_i)를 내림차순으로 작업을 정리하고 임시작업순서 S2에 둔다.

[단계 4] S0를 주어진 작업의 임시순서라 하고 S1과 S2의 순서(S0={S1, S2})로 정리한다. S0안에 있는 순서에 따라 순위(rank)를 부여한다.

[단계 5] [단계 4]에서 구한 순위에서 처음 두 작업으로 임시부분순서를 생성시키고, 생성된 각 임시부분순서에 대한 작업완료시간을 계산하여 그중 최소값을 갖는 임시부분순서를 현재까지의 부분순서로 정한다. 만약 최소값이 같은 임시부분순서가 두 개 이상이면 모두 택한다.

[단계 6] [단계 4]에서 구한 차순위의 작업을 택하여 가능한 임시부분순서를 생성시키고, 생성된 각 임시부분순서들에 대한 작업완료시간을 계산하고 그중 최소값을 갖는 임시부분순서를 찾는다. 만약 최소값이 같은 임시부분순서가 두 개 이상이면 모두 택한다. 이때 전단계에서 정해진 부분순서에 포함된 작업의 순서는 바꿀 수 없다.

[단계 7] 남은 작업이 없으면 끝내고, 그렇지 않으면 [단계 6]으로 간다.

3.2 수치예제

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

[표 1] Processing Time

Machine \ Job	1	2
1	14	13
2	21	27
3	12	15
4	8	10

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

위 [표 1]에서 주어진 문제를 개발한 기법 GPS ALgorithm에 의한 작업순서 결정과정과 작업완료시간의 계산과정을 살펴보면 다음과 같다.

[단계 1] 각 작업들에 대해 $WI(J_i)$ 를 계산한다.

$$WI(J_1)=6, WI(J_2)=0, WI(J_3)=8, WI(J_4)=10$$

[단계 2] $WI>0$ 인 작업들에 대해 WI 의 내림차순으로 작업을 정리한다. $S1=\{J_4, J_3, J_1\}$

[단계 3] $WI=0$ 인 작업들을 정리한다. $S2=\{J_2\}$

[단계 4] 전체 작업을 정리한다. $S0=\{S1, S2\}=\{J_4, J_3, J_1, J_2\}$

$S0$ 안의 순서에 따라 각 작업에 순위($R(J_i)$)를 부여 한다. $R(J_4)=1, R(J_3)=2, R(J_1)=3, R(J_2)=4$

[단계 5] [표 2]에서 보는 바와 같이 [단계 4]에서 구한 순위 1과 2를 갖는 작업 4와 3으로 임시부분순서 4-3과 3-4를 생성시키고, 작업완료시간을 계산한 결과 적은값을 갖는 임시부분순서 3-4를 택한다.

[단계 6] [표 3]에서 보는 바와 같이 [단계 5]에서 구한 부분순서에 차순위를 갖는 작업 1를 삽입해 임시부분순서 1-3-4, 3-1-4, 3-4-1을 생성시키고, 작업완료시간을 계산한 결과 최소값을 갖는 임시부분순서 3-1-4를 택한다. 이때 전단계에서 정해진 부분순서에 포함된 작업의 순서(3-4)는 바꿀 수 없다.

[표 2] First Partial Schedule

$\begin{matrix} M \\ J \end{matrix}$	1			2		
J_i	AA_1	P_1/CT_1	DA_1	AA_2	ST_2	P_2/CT_2
4	0	8/8	8	18	18	10/28
3	28	12/20	28	38	38	15/53
3	0	12/12	12	22	22	15/37
4	32	8/20	32	42	42	10/52*

* 결정된 부분순서에 의한 작업완료시간

[표 3] Second Partial Schedule

$\begin{matrix} M \\ J \end{matrix}$	1			2		
J_j	AA_1	P_1/CT_1	DA_1	AA_2	ST_2	P_2/CT_2
1	0	14/14	14	24	24	12/36
3	34	12/26	34	44	44	15/59
4	54	8/34	54	64	64	10/74
3	0	12/12	12	22	22	15/37
1	32	14/26	32	42	42	13/55
4	52	8/34	52	62	62	10/72*
3	0	12/12	12	22	22	15/37
4	32	8/20	32	42	42	10/52
1	52	14/34	52	62	62	13/75

* 결정된 부분순서에 의한 작업완료시간

[단계 7] 남은 작업에 대해서 [단계 6]을 반복하면 최종적으로 [표 4]와 같은 결과를 얻게 된다.

[표 4] Final Partial Schedule

M J	1			2		
	AA ₁	P ₁ /CT ₁	DA ₁	AA ₂	ST ₂	P ₂ /CT ₂
3	0	12/12	12	22	22	15/37
2	32	21/33	33	43	43	27/70
1	53	14/47	53	63	70	13/83
4	73	8/55	73	83	83	12/93*

* 최종적으로 결정된 작업순서와 작업완료시간

4. 개발한 기법의 평가

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

따라서 본 연구에서 효율적으로 근사최적해를 제공할 수 있는 발견적기법을 개발하였으며, 이를 운송시간을 고려하지 않는 경우 최적해를 제공하는 Johnson's Algorithm[12]과 운송시간을 고려한 근사해법인 MWF Algorithm[5]과 비교 분석함으로써 우수성을 평가하고자 한다. 먼저 앞절에서 설명한 수치예제에 대해 살펴보면 [표 5]에서 보는 바와 같이 개발한 GPS Algorithm이 Johnson's Algorithm이나 MWF Algorithm에 의한 값보다 좋은 결과를 보였으며, 열거법에 의한 최적해와 동일한 결과를 보였다.

[표 5] Comparative Results of Example [표 6] Comparative Results to Optimal

	Sequence	Makespan	ER	RE	N. of Job	Relative Error(%)		Frequency(%)		
						Mean	Max	GD	EQ	BD
Optimal	3 - 2 - 1 - 4	93	-	-	2	0.000	0.00	0.0	100.0	0.0
					3	0.000	0.00	0.0	100.0	0.0
Johnson's Rule	4 - 3 - 2 - 1	98	5	5.4	5	0.182	2.53	0.0	98.0	2.0
					7	0.052	1.79	0.0	98.0	2.0
					10	0.038	0.67	0.0	96.0	4.0
MWF	4 - 3 - 2 - 1	98	5	5.4	20	0.029	0.72	0.0	93.0	7.0
					30	0.026	0.41	0.0	94.0	6.0
GPS	3 - 2 - 1 - 4	93	0	0.0	50	0.023	0.86	0.0	91.0	9.0

ER : $| MS^*(Optimal) - MS^*(Heuristic) |$ GD:Good case, EQ:Equal case, BD:bad case

RE : $[ER / MS^*(Optimal)] * 100$

보다 일반적인 경우에 대해 개발한 기법을 평가하기 위해 가공시간을 1와 99사이의 일양분 포로 발생시켰으며, 작업수를 2, 3, 5, 7, 10, 20, 30, 50까지 변화시키면서 각각의 경우에 대해 100개 문제씩을 SLAM II를 이용하여 모의실험해서 [표 7]와 같은 결과를 얻었다. 개발한 GPS Algorithm이 빈도수에서 각 경우의 100개의 문제에 대해 91개 이상의 문제에서 열거법에 의한

최적해와 같은 해를 제공하는 것을 알 수 있었으며, 작업수가 2, 3개 일때는 모든 문제에서 최적해와 같은 값을 제공하였다. 작업총처리시간에 있어서도 작업수가 증가함에 따라 평균 99.2-99.7%의 우수한 근사 최적해를 제공하였다.

[표 7] Comparative Results for GPS Algorithm

N. of Job	Reduction Ratio(%)		Frequency(%)	
	JA	MWF	GPS ≤ JA	GPS ≤ MWF
3	8.7	3.9	100.0	100.0
5	8.5	3.5	100.0	100.0
7	7.1	3.0	100.0	100.0
10	6.5	3.1	100.0	100.0
20	5.6	2.9	100.0	100.0
30	5.2	2.7	100.0	100.0
50	3.8	2.3	100.0	100.0

Johnson's Algorithm과 MWF Algorithm과 비교해 본 결과 [표 7]과 같이 작업총처리시간의 단축비에서는 Johnson's Algorithm보다는 평균 8.7%에서 3.8%까지, MWF Algorithm보다는 평균 3%에서 2.3%까지 향상된 해를 제공하였으며, 빈도수에서는 실험한 모든 문제에서 두 기법에 의한 값보다 좋거나 같은 해를 제공하였다.

또한 완충재고를 무한대로 가정하였으나 실제로는 [표 8]에서 보는 바와 같이 평균 대기수는 작업수에 따라 Johnson's Algorithm은 가공센터 1에서 0.01-1.46, 가공센터 2에서 0.01-2.53까지, MWF Algorithm은 가공센터 1에서 0.01- 1.75, 가공센터 2에서 0.01-2.44까지 변화하였으며, GPS Algorithm은 가공센터 1에서 0.01- 1.77, 가공센터 2에서 0.01-2.28까지로 MWF Algorithm과 비슷한 결과를 나타냈다. 최대 대기수에서도 작업수에 따라 가공센터 1에서 1- 4, 가공센터 2에서 1-6까지로 MWF와 비슷하였다. Complexity는 Johnson's Algorithm이나 MWF와 같은 $O(n \log n)$ 이다.

[표 8] Comparative Results for queue

No. of job	Mean Queue						Maximun Queue					
	JA		MWF		GPS		JA		MWF		GPS	
	M ₁	M ₂	M ₁	M ₂	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	0.01	0.01	1	1	1	1	1	1
5	0.16	0.04	0.14	0.03	0.12	0.03	2	1	1	1	1	1
7	0.31	0.13	0.31	0.16	0.31	0.15	2	1	1	1	1	1
10	0.43	0.16	0.58	0.19	0.60	0.20	2	2	2	2	1	2
20	0.52	0.32	0.70	0.37	0.68	0.37	2	2	2	2	2	2
30	0.79	0.64	0.81	0.69	0.79	0.71	3	3	3	3	3	2
50	1.46	2.53	1.75	2.44	1.77	2.28	4	6	5	6	4	6

5. 결 론

본 연구에서는 충분한 완충보관소를 갖는 두 대의 가공센터와 한 대의 자동물자운반장치로 이루어진 소규모 자동화생산시스템에서의 생산일정계획문제를 다루었다. 자동물자운반장치의 운송시간을 고려한 경우에 대한 작업총완료시간을 최소화하는 문제를 수리적으로 모형화하고 근사최적해를 제공하는 기법을 개발하였다.

개발한 기법의 우수성을 평가하기 위해 두 대의 가공센터를 갖고 자동물자운반장치의 운송시간을 고려하지 않는 경우의 문제에서 최적해를 제공하는 Johnson's Algorithm과 운송시간을 고려한 근사해법 MWF와 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 가공센터고장, 작업의 동적도착, 완충재고의 제한, 대체경로등을 동시에 고려한 동적상황에서의 작업제어 기법이나 Job shop환경이나 다목표를 갖는 경우등에 대한 연구가 있어야 할 것으로 생각된다.

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] 양대용, 정병희, 윤창원, "유연가공 및 조립시스템에서의 AGV 운용전략," 「 경영과학 」, 제11권, 제1호(1994), pp.23-37.
- [3] 최정상, 노인규, "자동생산시스템에서의 생산일정계획," 「 대한산업공학회 」, Vol. 14, No.1 (1988), pp.73-81.
- [4] 최정상, 노인규, "유연가공셀에서 운반시간을 고려한 일정계획," 자동생산시스템에서의 생산일정계획, 「 한국경영과학회 」, Vol. 19, No.2 (1994), pp.107-118.
- [5] 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.
- [6] Ayres, R.U., W. Haywood and I. Tchijov, *Computer Integrated Manufacturing : Models, Case Studies and Forecasting of Diffusion*, Chapman Hall, 1992.
- [7] Blazewicz, T., G. Finke, R. Haupt, and G. Schmidt, "New Trend in Machine Scheduling," *European Journal of OR.*, Vol.35(1988), pp. 303-317.
- [8] Buzacott, J.A., "Modeling Manufacturing Systems," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, Vol.2(1985), pp. 25-32.
- [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] 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.

- [12] Johnson, S.M., "Optimal Two and Three Stage Production Schedules with Setup time Included," *Naval Research Logistics*, Quarterly 1(1954), pp.61-68.
- [13] Karabuk, S. and I. Sabuncuoglu, "Beam Search Based Algorithm for Scheduling Machine and AGV in an FMS," *Proc. of the 2nd I.E. Conference*(1993), pp.308-312.
- [14] 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.
- [15] Kise, H., T. Shioyama and T. Ibaraki, "Automated Two Machine Flowshop Scheduling," *IIE Transaction*, Vol.23, No.1(1991), pp. 10-16.
- [16] Kusiak, A., "Application of Operational Research Models and Techniques in FMS," *European Journal of Operation Research*, Vol.24(1986), pp. 336-345.
- [17] Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice Hall, 1990.
- [18] 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.
- [19] Maggu, P.L. and G. Das, "On $2 \times n$ Sequencing Problem With Transportation Time of Jobs," *Pure and Applied Mathematica Science*, Vol.12(1981), pp. 1-6.
- [20] 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.
- [21] Morton, T.E., and T.L. Smunt, "A Planning and Scheduling System for FMS," *FMS: Methodies and Studies*, pp. 151-164, 1986.
- [22] Ohmi, T. et al., "FMS in Japan-Present Status," International Conference on FMS, IFS(Publication) Ltd., 1982.
- [23] Snader, K.R., "Flexible Manufacturing System: An Industry Overview," *Production and Inventory Management*, Vol.27, No.1(1986).
- [24] Solot, P., "A Concept for Planning and Scheduling In an FMS," *Euro. J. OR.*, Vol.45(1990), pp. 85-95.
- [25] Ulusoy, G. and U. Bilge, "Simultaneous Scheduling of Machine and AGV," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.31, No.12(1993), pp. 2857-2873.
- [26] Wassenhove, L.V., "The Trend of FMS," *Operation Research Proc.*, pp. 524- 532, 1988.
- [27] Yamazaki, T. and A. Nagae, "Flexible Manufacturing System in Practice," *Japan-USA Sym. on Flexible Automation*, 1990.