

유연가공 및 조립시스템에서의 AGV 운용전략

양대용* · 정병희** · 윤창원**

A Strategic operating model of AGVs in a Flexible
Machining and Assembly System.

Dae-Yong Yang* , Byung-Hee Chung** and Chang-Won Yun**

ABSTRACT

This paper discusses the methodology for the operational performance of unit-load automated guided vehicles(AGVs) in a flow-shop-type flexible machining and assembly systems(FM/AS). Throughout the paper, AGVs are working as a carrier and mobile workstation.

For a double-loop FM/AS, in which one loop is dedicated to machining and the other to assembly, three AGV operating strategies are proposed. Considering the entering interval and travel time of AGVs between workcenters, the strategies are developed to determine the best job sequence which minimizes the makespan and vehicle idle time. Entering times of AGVs and the required minimum number of AGVs are obtained on the basis of the best job sequence. When the number of AGVs are limited, entering times of AGVs are adjusted to maximize the utilization of AGVs.

1. 서 론

최근들어 생산자동화와 함께 자동운반수단으로 AGV(Automated Guided Vehicles)의 도입이 확산되고 있다. AGV는 특정 유도방식에 의하여

공장내의 조립공정이나 가공공정간을 작업물·부품·제품 등을 적재한 후 무인으로 주행하여 특정장소에 운반하는 장치이다. 생산현장에 도입되어 운용되고 있는 AGV는 작업장간에 필요한 부품 또는 제품 등을 이동하는 운반기능만을 수행하거나 단위부하가 적재된 채 작업이 가능한

* : 수원전문대학 공업경영과

** : 숭실대학교 산업공학과

운반과 작업대의 두 기능을 동시에 수행하는 형태로 이용되고 있다. 운반 및 작업대(Carrier and Mobile Workstation) 기능을 동시에 수행하는 AGV는 각 작업장마다 발생하는 부품의 적재·하역시간이 없는 장점이 있지만 운반기능만을 수행하는 AGV에 비하여 상대적으로 다수의 AGV를 필요로 한다.

AGV 댓수의 증가는 상대적으로 많은 투자비를 필요로 하므로 가능한 한 필요댓수를 최소화 하면서 동시에 전체시스템의 생산성을 최대화할 수 있는 효율적인 운용 및 관리가 필요하다.

지금까지 이루어진 대다수의 연구는 운반기능만을 수행하는 AGV에 관한 것으로 부품의 작업 순서와 투입시점을 동시에 고려하지 않았다. AGV가 운반 및 작업대의 기능으로 사용될 때, 운반기능만을 수행하는 것에 비해 제기되는 두가지 문제는:

- 1) 모든 부품을 생산하는데 필요한 총처리 완료시간의 최소화
- 2) 라인에 투입되는 AGV의 필요댓수를 최소화

하는 것으로 요약될 수 있다.

이러한 문제는 라인에 투입된 AGV의 대기시간과 이동시간을 포함한 모든 부품의 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서와 AGV 투입시점을 동시에 결정함으로써 가능하다.

AGV 도입시 고려해야할 주요 요소는 설계문제(Design Problems)와 운용문제(Operational Problems)의 두가지로 나뉘어진다[3,5,6,11]. AGV의 설계 및 운용에 중요한 요소중의 하나인 필요한 AGV 댓수에 관한 연구로는 다음과 같다.

Maxwell & Muckstadt[12]는 From-To-Chart를 이용한 해석적 방법에 의해 주어진 배치의 최소 AGV 댓수를 결정하는 모델을 제시했다. Egbelu[7]는 AGV 댓수를 구함에 있어 요소가

다른 4가지 경우에 대해 해석적 방법에 의한 수식을 제시함으로써 모의실험을 하지 않고 필요한 AGV 댓수를 구하였다. Newton[13]은 AGV 평균운반거리를 줄이기 위한 VLFW(Vehicle Looks For Work)와 운반요청순에 따른 FIFO(First In First Out)규칙에 의한 연속적인 시스템에서의 AGV 댓수를 결정하는 모의실험 모형을 제시했다. Tanchoco, Egbelu & Taghaboni[14]는 AGV 시스템에 대한 시뮬레이션 모형을 개발하여 필요한 AGV 댓수를 모의실험에 의해 추정하였다.

이러한 연구들은 모두 AGV가 작업장간의 물류를 위한 운반기능으로만 이용되는 경우의 필요 댓수에 관한 것이다. 운반과 작업대 기능을 동시에 가지며, 단위부하(Unit load)가 적재된 상태에서 생산라인의 흐름에 따라 운반과 작업이 진행되는 경우에 관한 연구는 다음과 같다.

Egbelu & Roy[8]는 AGV를 바탕으로한 단순 생산 라인에서의 총처리 완료시간을 최소화하기 위한 AGV의 최적 투입시점을 결정하고 필요한 AGV의 댓수는 가공하고자 하는 부품의 총수를 AGV의 최대용량으로 나누어 결정하는 모형을 제시했다.

Grasso[18]는 FAL(Flexible Assembly Line)에 있어 발견적 기법에 의해 제품의 작업순서를 결정한 후 AGV의 투입시점을 결정하는 모형을 제시하였다.

FM/AS(Flexible Machining and Assembly System)에 관한 연구로서, Kusiak[10]은 두 부문을 동시에 고려하는 계층적 일정계획 알고리즘을 개발하였다. 즉 상위단계에서 Johnson's Algorithm에 의해 제품별 일정계획을 수립한 후 하위단계에서 제품의 우선순위에 따른 발견적 기법에 의해 일정계획을 수립하였다. 엄완섭[2]은 FM/AS의 통제문제에 있어서 Set-up과 기계고

장을 고려하여 단기생산율을 결정하는 동적 통제 모형을 제시하였다. 이러한 연구들은 모두 작업물의 흐름을 중심으로 하는 일정계획이다.

위의 연구동향에서 알 수 있듯이 기존의 연구는 Single-loop의 FMS를 대상으로 하거나 운반 기능만을 담당하는 분야에 치중되어 있다.

따라서, Single-loop의 형태보다는 확장된 형태의 FMS인 FM/AS에서 운반기능과 작업대 기능을 갖춘 AGV를 대상으로 하는 연구가 실질적으로 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서는 하나의 생산라인에서 다수품목의 제품이 생산될 수 있으며, 경우에 따라 공정(기계)을 건너 뛸 수 있는 가공과 조립의 두 순환고리로 구성된 유연가공 및 조립시스템에서 한 방향으로만 움직이는 AGV가 운반 및 작업대로써 이용되는 경우를 대상으로 한다. 연구의 목적은 기존의 연구내용과 달리 AGV의 대기시간을 최소화 하면서 총처리 완료시간과 필요한 AGV 댓수를 최소화하는 부품의 작업순서와 AGV의 투입시점을 결정하는 AGV 운용전략의 수립과 전략의 구체적 실행에 필요한 세부 알고리즘을 개발하는데 있다.

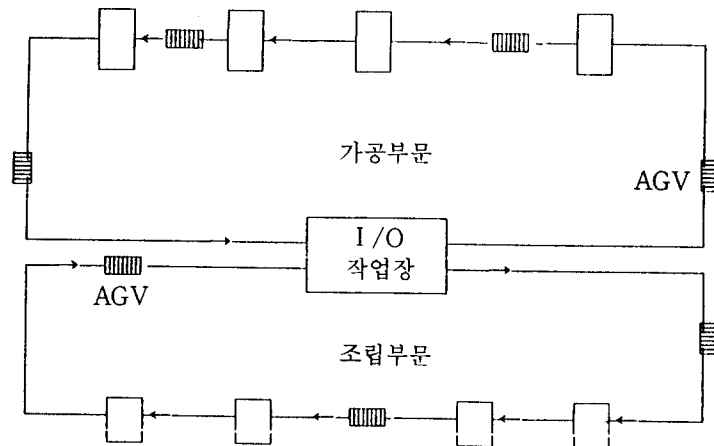
2. 기본수식모형

대부분의 FMS에 관한 일정계획은 가공과 조립을 독립적으로 고려하거나 가공만을 고려하였다. 그러나 가공을 마친 일부 부품이 [그림1]과 같이 조립단계를 거친 후 작업이 완전히 끝나서 FM/AS 상황에서는 가공과 조립을 동시에 고려하여 일정계획을 수립하는 것이 보다 효율적으로 AGV를 운용할 수 있다.

이러한 Double-loop의 FM/AS 상황에서 AGV의 효과적 운용을 위한 기본 수식 모형은 Single-loop의 FMS에서 AGV의 대기시간을 최소화 하면서, 동시에 총처리 완료시간을 최소화 하는데 필요한 조건식들로 구성된다[1,4].

FM/AS 상황에서의 AGV 운용전략에 필요한 기본 수식모형과 알고리즘은 다음의 가정을 기본으로 한다.

- 1) 작업장간의 AGV 이동시간은 일정하고, 운반되는 단위부하와는 무관하다.
- 2) 단위부하들의 처리시간은 정해져 있다.
- 3) 각 작업장은 AGV를 도착 즉시 받아들이므로 작업장간 버퍼(Buffer)는 고려 하지 않는다.
- 4) AGV는 한 번에 단위부하만을 취급한다.



[그림 1] FM/AS 환경하의 AGV 운용

고가장비인 AGV의 필요한 댓수를 최소화하고 모든 생산제품의 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서를 결정함으로써 전체 FMS시스템의 효율을 최대화할 수 있다. Single-loop의 FMS에서 AGV가 언제 라인에 투입되느냐에 따라 I/O 작업장에서의 AGV 휴지 또는 라인에 투입된 AGV의 대기가 발생하게 된다. AGV의 휴지 및 대기는 총처리 완료시간과 필요한 AGV 댓수를 증가시키므로 최적 작업순서와 투입시점의 결정에 의해 이를 최소화해야 한다. 작업장간 버퍼를 허용하지 않으므로 AGV의 대기시간은 작업장에서 선행부품 (j-1)의 완료시간과 후행부품 j의 투입시간과의 차이가 된다. 따라서 선행부품의 완료시간과 후행부품의 투입시간에 따라 대기시간은 M개의 모든 작업장에서 발생가능하며, 발생가능한 최대 AGV 대기시간은 다음식에 의해 구해진다.

$$\text{AGV대기 시간} = \max \left[\sum_{i=2}^M \{P_{j-1}(i) + S_{j-1}(i)\} - \sum_{i=2}^M \{P_j(i-1) + S_j(i)\}, 0 \right] \quad ; j = 2, \dots, N \quad (1)$$

여기서 $P_j(i)$ 는 부품 j가 작업장 i에서 필요한 처리시간, $S_j(i)$ 는 부품 j가 작업장 (i-1)에서 작업장 i로 이동하는데 소요되는 시간을 나타낸다. 결국 후행부품 j의 AGV가 라인에 투입된 후 발생가능한 대기시간을 최소화하기 위해서는 식(1)에 의해 구해진 대기시간과 선행부품 (j-1)의 첫 번째 작업장에서 처리시간 만큼의 시간간격을 두고 I/O 작업장에서 투입되어야 한다. $\Delta E_j(0)^*$ 를 연속되는 두 부품의 생산에 있어 라인상의 AGV 대기를 최소화하는 두 부품간의 최소 투입 간격이라면, 이는 식(2)와 같이 표현된다.

$$\Delta E_j(0)^* = P_{j-1}(1) + \max \left[\sum_{i=2}^M \{P_{j-1}(i) + S_{j-1}(i)\} - \sum_{i=2}^M \{P_j(i-1) + S_j(i)\}, 0 \right] \quad ; j = 2, \dots, N \quad (2)$$

식(2)에 의해 두 부품 (j-1)과 j간의 최소 투입간격이 정해지면, 작업순서가 j번째인 부품의 I/O작업장에서의 투입시점 $E_j(0)$ 와 작업장 i에서의 방출시점 $E_j(i)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\left. \begin{aligned} E_1(0) &= 0 \\ E_j(0) &= E_{j-1}(0) + \Delta E_j(0)^* \quad ; j=2, \dots, N \\ E_j(i) &= E_j(i-1) + S_j(i) + P_j(i) \\ &\quad ; i = 1, \dots, M, j=2, \dots, N \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

결국 식(1),(2),(3)에 의해 AGV 대기시간을 최소화할 때의 N개 부품에 대한 총처리 완료시간은 식(4)와 같다.

$$\text{MK}(N) = \sum_{j=2}^N \Delta E_j(0)^* + \sum_{i=1}^M P_N(i) + \sum_{i=1}^M S_N(i) \quad (4)$$

식(4)는 두 부품간의 AGV 투입간격과 최종 부품의 총처리시간 및 운반시간을 더한 값이다. 그리고 경로 i에서 j간의 운반비용을 C_{ij} 라 한다면, 식(4)는 다음과 같은 외판원 문제(TSP)의 비용형태로 된다.

$$\left. \begin{aligned} C_{ij} &= \Delta E_j(0)^*, \quad i=1, \dots, M, j=1, \dots, N \\ C_{01} &= \sum_{i=1}^M S_N(i) \\ C_{M0} &= \sum_{i=1}^M P_N(i) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

따라서 Single-loop의 FMS에서 라인상의 AGV 대기시간을 최소화 하면서 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서의 결정은 TSP 모형이 되므

로, 투입간격의 행렬표를 TSP 모형으로 변환시켜 작업순서와 방출시점을 구한다. 또한 식(2)에 의해 구해진 비용 C_j 의 최소화에 의한 총처리 완료시간을 최소화하는 작업순서는 AGV의 운용효율을 최대화하기 때문에 모든 부품을 처리하는데 필요한 AGV댓수는 최소화 된다.

v 를 FMS에서 이용할 수 있는 AGV의 댓수라 한다면, 이용댓수의 제한이 없는 경우 필요로 하는 최소 AGV의 댓수는 다음 식을 만족하는 v 의 최소치와 같다.

$$E_j(M) + S_j(0) \leq E_{j+v}(0) \quad (6)$$

$: j=1, \dots, N-v, v=1, \dots, N$

그러나 AGV의 댓수가 v 대로써 제한적일 때, 한정된 AGV의 라인상 대기가 발생하지 않고서 모든 부품에 이용될 수 있도록 하기 위해서는 이용하고자 하는 AGV의 투입시점이 식(6)을 만족해야 한다. 만약, $E_j(M) + S_j(0) > E_{j+v}(0)$ 인 경우, 부품 j 에 이용되었던 AGV가 다음 부품 즉 $(j+v)$ 번째에 이용될 수 없기 때문에 투입시점 $E_{j+v}(0)$ 는 다음 식에 의해 식(6)을 만족할 수 있도록 수정되어야 한다.

$$E'_{j+v}(0) = E_{j+v}(0) + \Delta E_{j+v}(0)$$

여기서, $\Delta E_{j+v}(0) = E_{j+v}(0) - \{E_j(M) + S_j(0)\}$
 $: j=1, \dots, N-v, v=1, \dots, N \quad (7)$

이 때 $E_{j+v}(0)$ 가 전혀 수정되지 않았다면, v 대 이하의 AGV가 필요함을 의미하므로 식(6)에 의해 구해진 최소댓수를 v 에서 빼면 그 값이 유희상태의 AGV 댓수가 되며, 필요한 경우 다른 부문에 이용될 수 있을 것이다.

3. AGV 운용전략

가공과 조립의 두 부문을 독립적으로 고려하는 것과 동시에 고려하는 것에 대한 AGV 운용상의 차이는 부문간 이동시 발생하는 적재·하역·지연에 의한 시간을 고려하는 방법에 있다. FM/AS의 가공과 조립부문에서 처리되는 각 부품의 부문별 처리시간의 영역은 <표 1>과 같다.

<표 1> 부품의 부문별 처리시간

부품 \ 부문	가공부문	조립부문
1	M_1	A_1
2	M_2	*
3		
⋮	*	A_2
N		

여기서 각 영역을 설명하면 다음과 같다.

M_1 : 가공과 조립을 필요로 하는 부품(가공/조립부품)의 가공부문에서의 작업장별 처리시간

A_1 : 가공과 조립을 필요로 하는 부품(가공/조립부품)의 조립부문에서의 작업장별 처리시간

M_2 : 가공만을 필요로 하는 가공부품의 작업장별 처리시간

A_2 : 조립만을 필요로 하는 조립부품의 작업장별 처리시간

(*의 경우는 가공 또는 조립의 한 부분만을 필요로 하는 부품이므로 고려대상의 영역이 아니다.)

가공과 조립의 두 부문을 거치는 부품과 한 부분만을 거치는 부품이 혼합 생산되는 FM/AS에서의 AGV 운용은 두 부문이 상호 의존관계에 있기 때문에 수식모형에 의한 최적해를 구하기가 때

우 힘들다.

따라서, 본 연구에서는 FM/AS에서 AGV의 운용을 위한 구체적인 알고리즘의 개발을 위해 Single-loop의 FMS에서 제시된 기본 수식모형을 토대로 발전적 기법에 의한 부품의 작업순서와 AGV 투입시점을 결정하는 다음과 같은 세 가지 전략을 수립하고, 전략별 수행도의 평가에 의해 제기된 운용전략을 비교, 평가하고자 한다.

전략 1 : 가공부품의 처리에 우선권을 둬

전략 2 : 가공, 가공/조립부품의 처리에 우선

을 둬

전략 3 : 가공/조립부품의 처리에 우선권을 둬

AGV의 효율적 운용을 위해 라인상의 대기시간과 총처리 완료시간을 동시에 최소화하는 작업순서와 투입시점을 구하기 위해 우선적으로 고려하는 처리시간에 따라서 전략을 구분하였다. 각 전략별로 부품의 작업순서와 AGV 투입시점을 결정하는 알고리즘에서 <표 1>의 처리시간 중 1차로 고려되는 전략별 처리시간은 <표 2>와 같다.

<표 2> 전략별로 고려되는 처리시간

	작업순서 결정	투입시점 결정
전략 1	M_1, M_2	M_1, A_1, M_2
전략 2	M_1, A_1, M_2	M_1, A_1, M_2
전략 3	M_1, A_1	M_1, A_1

<표 2>에서 전략 1은 가공부품과 가공/조립부품의 작업순서를 가공부품의 처리시간에 의해 결정하고, 투입시점은 가공/조립부품의 조립시간까지 고려한 투입간격에 의해 결정한다. 전략 2는 가공부품과 가공/조립부품의 모든 시간을 고려한 투입간격에 의해 작업순서와 투입시점을 결정한다. 전략 3은 가공/조립부품의 가공시간과 조립시간을 고려한 투입간격에 의해 작업순서와 투입시점을 결정한 후 가공부품의 처리시간으로부터 구한 투입간격에 의해 작업순서와 투입시점을 결정한다.

4. 세부 알고리즘 및 사례연구

Single-loop의 FMS에서 제시된 기본 수식모

형을 토대로 한 FM/AS에서의 AGV 운용전략에 대한 발전적 기법의 전략별 세부 알고리즘은 다음과 같고, <표 3>의 자료를 토대로 전략별 부품의 작업순서와 AGV 투입시점을 구하였다.

<표 3>에서 작업장 1,2,3,4는 가공부품을 나타내고, 작업장 5,6,7,8,9,10은 조립부품을 나타낸다. 부품 1,2,3,4,5는 가공과 조립작업을 모두 필요로 하며, 부품 6,7은 가공작업을, 부품 8,9,10은 조립작업만을 필요로 한다.

작업장간 AGV 이동시간은 I/O작업장과 라인상의 작업장, 가공부문에서 조립부품으로 이동될 때는 2, 그 외에는 모두 1로 가정한다.

〈표 3〉 가공 및 조립부문에서의 부품의 작업장별 처리시간 $[P_i(i)]$

j \ i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20	15	9	10	15	17	20	19	15	17
2	25	23	32	27	12	20	18	25	10	15
3	26	15	24	20	23	18	19	12	25	14
4	20	16	23	25	18	20	15	25	20	18
5	26	20	25	8	18	15	20	17	25	15
6	19	25	17	15						
7	17	20	23	14						
8					23	15	15	15	12	22
9					20	23	21	19	18	15
10					26	15	20	17	17	21

4.1 가공부문의 처리시간에 우선을 두는 경우

가공부문의 처리시간에 우선을 두는 전략 1에서는 가공부문에서 처리되는 각 부품의 처리시간 M_1 , M_2 를 대상으로 부품간 투입간격을 구한 후 이를 이용하여 부품의 작업순서를 결정한다. 가공부문에서 결정된 작업순서에 의해 조립부문에서도 가공/조립부품의 작업이 그대로 계속된다. 투입시점은 조립부문의 조립시간을 포함한 시간 M_1 , A_1 , M_2 를 고려하여 작성된 비용표를 이용한다. 전략 1에 의해 가공부문과 조립부문에서의 부품별 작업순서와 투입시점을 결정하는 과정은 다음과 같다.

전략 1의 주알고리즘

〈단계 0〉

가공, 가공/조립, 조립부품의 부문별 부품간 투입간격표와 비용표를 부알고리즘 1에 의해 작성한다.

〈단계 1〉

가공부품과 가공/조립부품의 작업순서를 〈단계 0〉에서 구하여진 가공시간의 비용표에 TSP 알고리즘을 적용하여 결정한다.

〈단계 2〉

작업순서에 대한 각 부품의 투입시점을 〈단계 0〉에서 구한 혼합 비용표에 의해 결정한다.

〈단계 3〉

조립부품의 작업순서와 투입시점은 부알고리즘 2에 의해 결정한 후 투입지연이 발생되면 〈단계 4〉, 아니면 〈단계 5〉로 간다.

〈단계 4〉

AGV 투입시점을 식(7)을 이용하여 수정한다.

〈단계 5〉

필요한 AGV 댓수를 식(6)을 만족하는 v 의 최소치에 의해 결정한다.

부알고리즘 1에서는 〈표 1〉의 부문별 처리시간 영역별로 식(2)를 사용하여 주알고리즘의 전개에

필요한 부품 투입간격표와 각종 비용표를 작성한다.

부알고리즘 1

<단계 0>

M_1 과 M_2 의 가공시간을 대상으로 가공부문의 부품간 투입간격표를 작성하고, 부품별 이동시간과 처리시간의 합을 0행과 0열에 각각 첨가하여 가공시간 비용표로 전환한다.

<단계 1>

M_1 과 A_1 의 가공 및 조립시간을 대상으로 가공부문과 조립부문을 하나의 순환고리로 하는 부품간 투입간격표를 작성하고, 부품별 이동시간과 처리시간의 합을 0행과 0열에 각각 첨가하여 가공 및 조립시간 비용표로 전환한다.

<단계 2>

<단계 1>의 비용표와 <단계 2>의 비용표를 혼합하여 M_1 , A_1 , M_2 의 처리 시간에 대한 합성된 혼합 비용표를 작성한다.

<단계 3>

A_1 과 A_2 의 조립시간을 대상으로 조립부문에서의 부품간 투입간격을 작성하고, 부품별 이동시간과 처리시간의 합을 0행과 0열에 각각 첨가하여 조립시간 비용표로 전환한다.

부알고리즘 2에서는 부알고리즘 1의 <단계 3>에서 구한 조립시간 비용표를 이용하여 조립부문의 작업순서를 결정하며, 부품별 AGV 투입시점은 식(3)을 이용하여 결정한다.

부알고리즘 2

<단계 0>

가공/조립부품 중 가공이 끝난 첫번째 부품이 조립부문에 투입되기 전에 투입되어 가공/조립부품을 지연시키지 않고 완료될 수 있는 조립부품의 작업 순서를 TSP 알고리즘에 의해 구한 후 투입시점을 결정한다.

<단계 1>

가공/조립부품이 가공이 끝나고 조립부문에 투입되는 시점을 출발점으로 <단계 0>에서 제외된 조립부품 중에서 가공/조립부품 사이에 투입될 수 있는 부품의 작업순서를 TSP 알고리즘에 의해 구한 후 투입시점을 결정한다.

<단계 2>

가공/조립부품 중 가공이 끝난 마지막 부품이 조립부문에 투입되는 시점을 출발점으로 <단계 0>, <단계 1>에서 제외된 조립부품의 작업순서를 TSP 알고리즘에 의해 구한 후 투입시점을 결정한다.

이러한 주 알고리즘과 부 알고리즘에 의한 전략 1의 적용과정은 다음과 같다. 먼저 주알고리즘 <단계 0>에 의해 투입간격의 비용표를 만든다.

〈표 4〉 가공시간을 고려한 투입간격표

$j-1 \backslash j$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	*	4	4	4	4	4	4	4
1	54	*	20	20	20	20	20	20
2	107	63	*	42	48	36	46	47
3	85	41	26	*	29	26	26	28
4	84	40	20	20	*	20	23	24
5	79	36	26	30	35	*	27	34
6	76	32	19	20	25	19	*	27
7	74	30	17	19	24	17	18	*

〈표 5〉 가공/ 조립시간을 고려한 투입간격표

$j-1 \backslash j$	0	1	2	3	4	5
0	*	10	10	10	10	10
1	157	*	20	20	20	20
2	207	76	*	42	48	50
3	196	59	26	*	29	33
4	200	60	20	25	*	33
5	189	49	26	30	35	*

〈표 6〉 가공, 가공/ 조립부품의 합성된 비용표

$j-1 \backslash j$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	*	10	10	10	10	10	4	4
1	157	*	20	20	20	20	20	20
2	207	76	*	42	48	50	46	47
3	196	59	26	*	29	33	26	28
4	200	60	20	25	*	33	23	24
5	189	49	26	30	35	*	27	34
6	76	32	19	20	25	19	*	27
7	74	30	17	19	24	17	18	*

〈표 7〉 가공, 가공/ 조립시간을 고려한 투입간격표

j-1 \ j	0	1	2	3	4	5	8	9	10
0	*	6	6	6	6	6	6	6	6
1	103	*	21	15	18	19	23	15	15
2	100	23	*	15	22	22	22	12	14
3	111	28	29	*	23	27	31	23	23
4	116	30	31	26	*	28	36	18	21
5	110	24	25	23	18	*	30	18	18
8	102	23	26	23	23	23	*	23	23
9	116	32	33	29	30	31	36	*	23
10	116	30	31	26	26	28	36	26	*

다음은 가공부품과 가공/조립부품의 작업순서를 〈표 4〉의 가공시간에 의해 먼저 구한다. 결정된 작업순서에 의해 가공/조립을 필요로 하는 부품은 조립부문에서도 그대로 작업이 이루어진다.

가공부문에서 정해진 작업순서의 투입시점은 가공시간만을 고려한 투입간격에 의해 결정하였다. 가공을 마치고 조립부문으로 이동되어 작업이 계속되는 가공/조립부품 중에는 투입된 AGV의 라인상 대기상태가 발생하는 경우가 있다. 그러므로 가공/조립부품들은 가공부문과 조립부문을 하나의 순환고리로 하는 처리시간 M_1 과 A_1 을 고려하여 계산된 투입간격의 비용표인 〈표 6〉에 의해 투입시점을 결정한다.

조립부품은 가공/조립을 필요로 하는 부품 중 가공이 끝난 첫번째 부품이 조립부문에 투입되는 시점을 종점으로 하는 작업순서와 투입시점 〈표 7〉에 부알고리즘 2의 〈단계 0〉을 적용하여 결정한다.

그리고 조립부문의 남은 부품들은 부알고리즘 2의 〈단계 1〉과 〈단계 2〉에 의해 작업순서와 투입시점을 결정한다.

가공부문의 가공시간에 우선을 두는 전략1에 대해 위에서 제시한 알고리즘 및 부알고리즘을 적용하여 결정한 부품의 작업순서와 AGV 투입시점의 최종결과는 다음과 같다.

〈표 8〉 전략 1에 의한 작업순서 및 AGV 투입시점

가 공 부 문			조 립 부 문		
작업순서	AGV No.	투입시점[E _i (0)]	작업순서	AGV No.	투입시점[E _i (0)]
4	1	0	8	2	0
3	4	25	9	3	23
7	6	53	10	5	46
6	7	71	4	1	100
2	8	90	3	4	116
5	3	140	2	8	203
1	5	189	5	3	225
			1	5	249
총처리 완료시간 :		248	총처리 완료시간 :		358
필요한 AGV 댓수 : 8					

전략 1의 작업순서와 투입시점에 의하면 조립부품 8,9,10은 가공/조립부품 4를 적재한 AGV가 투입되기 전에 모두 투입되므로 부품 4를 적재한 AGV의 대기상태가 발생하지 않는다.

4.2 가공, 가공/ 조립부품에 우선을 두는 경우

가공, 가공/조립부품에 우선을 두는 전략 2는 가공부품과 가공/조립부품의 모든 시간을 동시에 고려하여 작업순서와 AGV 투입시점을 결정한다. 따라서, 전략 2는 가공작업만 필요로 하는 부품의 가공시간과 가공/조립부품의 가공 및 조립시간에 의해 가공 및 가공/조립부품의 작업순서와 AGV 투입시점을 결정한다.

이 경우, 먼저 <표 1>의 M_1, A_1, M_2 값에 의해 부품간 투입간격을 계산하고 이를 재 구성된 비용표에 의해 가공, 가공/조립부품에 대한 작업순서와 투입시점을 구한다. 전략 2에 의해 정해진 가공부품 및 가공/조립부품의 작업 순서와 투입시점을 그대로 유지하면서 조립부문의 조립부품에 대한 작업순서와 투입시점을 결정하는 단계는 다음과 같다.

전략 2의 주알고리즘

<단계 0>

가공, 가공/조립, 조립부품의 부분별 부품간 투입간격표와 비용표를 부알고리즘 1에 의해 작성한다.

<단계 1>

가공부품과 가공/조립부품의 작업순서를 <단계 0>에서 구하여진 혼합 비용표에 TSP 알고리즘을 적용하여 결정하고, 식(3)을 이용하여 AGV 투입시점을 결정한다.

<단계 2>

조립부품의 작업순서와 투입시점은 부알고리즘 2에 의해 결정한 후 투입지연이 발생되면 <단계 3>, 아니면 <단계 4>로 간다.

<단계 3>

AGV 투입시점을 식(7)을 이용하여 수정한다.

<단계 4>

필요한 AGV 댓수를 식(6)을 만족하는 v 의 최소치에 의해 결정한다.

가공, 가공/조립부품에 우선을 두는 전략 2에 대해 위에서 제시한 알고리즘 및 부알고리즘을 <표 3>에 적용하여 결정한 부품의 작업순서와 AGV 투입시점의 최종결과는 <표 9>와 같다.

<표 9> 전략 2에 의한 작업순서 및 AGV 투입시점

가 공 부 분			조 립 부 분		
작업순서	AGV No.	투입시점 $[E_i(0)]$	작업순서	AGV No.	투입시점 $[E_i(0)]$
1	1	0	8	2	0
4	3	20	10	4	23
2	5	40	1	1	60
3	7	82	9	6	78
7	8	110	4	3	110
5	2	127	2	5	153
6	4	154	3	7	173
			5	2	212
총처리 완료시간 :		235	총처리 완료시간 :		328
필요한 AGV 댓수 : 8					

전략 2에 의해 정해진 부품의 작업순서와 AGV 투입시점에 의해 FM/AS에서 AGV가 운용될 때 조립부품 9는 가공/조립부품 1과 4사이에 투입되었음을 알 수 있고, 총처리 완료시간이 328로 전략 1에 비해 현저히 감소하였다.

4.3 가공/ 조립부품에 우선을 두는 경우

가공부문과 조립부문을 통합하여 운용할 때, 작업순서와 AGV 투입시점을 결정하기 위해 고려되는 시간은 모든 시간을 다 포함한다. 전략 1과 전략 2를 통해, 가공 및 조립작업이 혼합된 FM/AS에서 조립부문의 각 부품별 작업순서와 투입시점은 가공부품과 가공/조립부품의 작업순서와 투입시점에 종속된다는 것을 알 수 있다.

그러므로 전략 3은 가공/조립부품의 가공시간과 조립시간을 고려하여 부품의 작업순서와 AGV 투입시점을 결정한 후 가공시간을 고려한 가공부품의 작업순서를 결정한다. 그리고 결정된 작업순서의 부품별 AGV 투입시점은 식(3)을 이용하여 결정한다. 가공/조립부품의 비용표에 의해 작업순서와 투입시점을 결정한 후 가공부품과 조립부품의 작업순서와 투입시점을 결정하는 단계는 다음과 같다.

전략 3의 주알고리즘

<단계 0>

가공, 가공/조립, 조립부품의 부문별 부품간 투입간격표와 비용표를 부알고리즘 1에 의해 작성한다.

<단계 1>

가공/조립부품의 작업순서를 <단계 0>에서 구하여진 혼합 비용표에 TSP 알고리즘을 적용하여

결정하고, AGV별 투입시점을 결정한다.

<단계 2>

가공/조립부품의 작업순서 중 마지막 부품의 투입시점을 출발점으로 하는 가공부품간 투입간격의 가공시간 비용표에 TSP 알고리즘을 적용하여 가공부품의 작업순서를 결정하고, AGV별 투입시점을 결정한다.

<단계 3>

조립부품의 작업순서와 투입시점은 부알고리즘 2에 의해 결정한 후 투입지연이 발생되면 <단계 4>, 아니면 <단계 5>로 간다.

<단계 4>

AGV 투입시점을 식(7)을 이용하여 수정한다.

<단계 5>

필요한 AGV 댓수를 식(6)을 만족하는 v 의 최소치에 의해 결정한다.

가공/조립부품에 우선을 두는 전략 3에 대해 위에서 제시한 알고리즘 및 부알고리즘을 <표 3>에 적용하여 결정한 부품의 작업순서와 AGV 투입시점의 최종결과는 <표 10>과 같다.

〈표 10〉 전략 3에 의한 작업순서 및 AGV 투입시점

가 공 부 문			조 립 부 문		
작업순서	AGV No.	투입시점[E,(0)]	작업순서	AGV No.	투입시점[E,(0)]
4	1	0	8	2	0
2	3	20	9	4	23
3	6	62	10	5	46
5	7	95	4	1	100
1	2	144	2	3	133
7	4	164	3	6	153
6	5	182	5	7	180
			1	2	204
총처리 완료시간 :		263	총처리 완료시간 :		313
필요한 AGV 댓수 : 7					

두 부분을 동시에 고려한 전략 3은 가공/조립부품이 우선적으로 처리되므로 AGV 댓수나 총처리 완료시간이 가장 우수함을 알 수 있다.

지금까지 FM/AS에서 AGV의 효과적 운용전략을 위한 전략별 세부알고리즘을 설명하였다. AGV 운용전략의 검증을 위해 고려하는 시간에 따라 구분된 전략별 수행도를 처리시간과 문제구

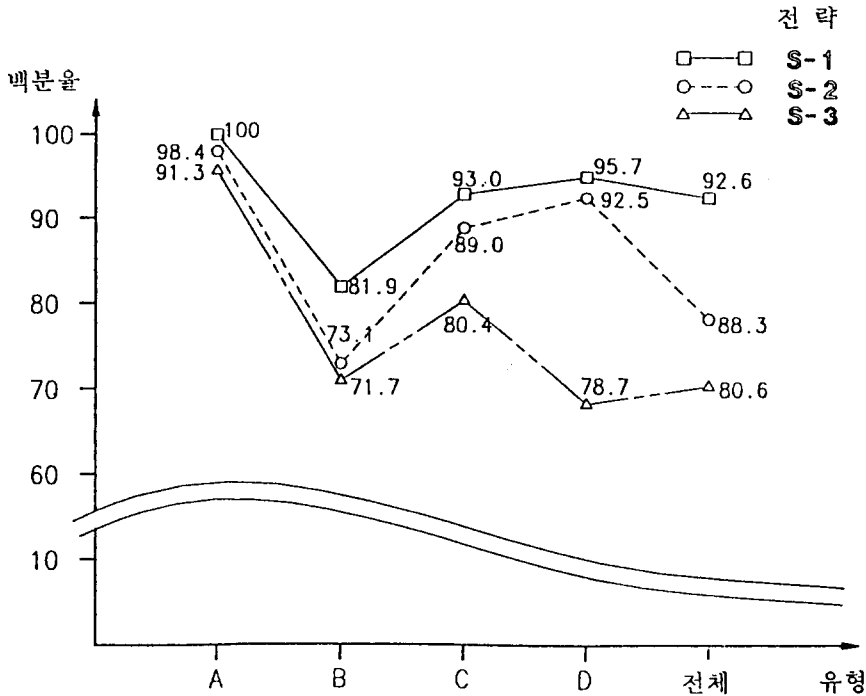
성이 다른 4가지 유형문제에 적용하여 10회씩 실험하였다. 실험에 이용된 4가지 유형 A, B, C, D의 부품구성은 10개 부품의 필요한 작업에 따라 구분되며, 그 내용은 〈표 11〉과 같다.

〈표 11〉 유형문제의 부품구성

유형	부 품			부분별 단위당 처리 시간비율(가공/조립)
	가공	가공/조립	조립	
A	2	5	3	1.2 : 1
B	2	5	3	2.3 : 1
C	3	4	3	1.3 : 1
D	4	3	3	1.3 : 1

4가지 유형에 대한 전략별 완료시간을 유형 A의 전략1을 기준으로 백분율에 의해 비교한 것이 [그림 2]이다. 실험결과 가공과 조립의 두 부분을

동시에 고려한 FM/AS에서는 전략 3에 의해 AGV가 운용될 때 보다 효율적임을 유의성 검정에 의해 신뢰율 99.73%로 입증할 수 있었다.



[그림 2] 백분율에 의한 유형별 완료시간의 비교

5. 결 론

하나의 순환고리로 구성된 FMS에서 라인에 투입된 AGV의 대기시간과 총처리 완료시간 및 필요댓수를 최소화하는 부품의 최적 작업순서와 AGV 투입시점을 결정하는 수식모형을 토대로 FM/AS에서 AGV의 효과적 운용을 위한 세가지 기본전략을 발견적 기법에 의해 제시하였다. 가공부분과 조립부분의 두 순환고리로 구성된 FM/AS 상황에서는 가공/조립부품의 작업순서를 우선적으로 결정한 후 가공부품의 작업순서를

결정하는 세가지 전략 중 전략 3에 의해 AGV를 운용하는 것이 좋다는 것을 알 수 있었다. 제시된 AGV 운용전략의 수식모형 및 알고리즘은 기계 가공과 조립이 순차적으로 이루어지는 FMS에서 운반과 작업대의 기능을 동시에 수행하는 고가의 AGV를 운용할 때에 실제적인 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다. 특히, 다양한 FM/AS의 유형을 고려한 각 운용전략의 비교 평가결과는 전략의 채택과정에서 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 제시된 알고리즘은 TSP의 최적화를 바탕으로 진전되므로 생산되는 제품의 수가 많은 경우

에는 문제해결의 시간적 제약으로 인한 어려움이 있을 것이다. 본 연구에서는 두개의 순환고리로 구성된 FM/AS의 경우를 대상으로 하였지만 기본 수식모형과 운용전략을 확장 보완하면 일반적인 복잡한 구조를 갖는 생산시스템의 운용방안과 운행경로의 설계에도 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. 양 대용, 정 병희, 이 종민, "Flow Shop 형태를 갖는 FMS에서의 AGV 투입시점과 필요대수의 결정", 「대한 산업공학회지」, 제17권, 제1호(1991), pp. 109-115.
2. 엄 완섭, "기계고장과 가동준비작업을 고려한 FM/AS의 동적통제", 서울대학교 박사학위논문, 1992.
3. 임 석철, "AGV시스템의 장단점과 활용방향", 「물류시대」, 8월호(1992), pp. 26-29.
4. 정 병희, 양 대용, "AGV 투입간격을 고려한 Flow Shop형 FMS의 최적 작업순서 결정", 「한국경영과학회지」, 제17권, 제3호(1992), pp. 47-57.
5. 최 해운, 정 무영, "AGV 유도경로 설계에 관한 연구", 「대한산업공학회지」, 제18권, 제1호(1992), pp. 121-139.
6. Bozer, Y. A., R. L. Smith and M. M. Srinivasan, "Proposal on Automated Guided Vehicle System Design and Operation", The University of Michigan, June 1986.
7. Egbelu, P. J., "The Use of Non-Simulation Approaches in Estimating Vehicle Requirements in an Automated Guided Vehicle Based Transport System", *Material flow*, Vol. 4(1987), pp. 17-32.
8. Egbelu, P. J. and N. Roy, "Material Flow Control in AGV Unit Road Based Production Lines", *International Journal of Production Research*, Vol. 26, No. 1(1988), pp. 81-94.
9. Grasso, v., "AGV-Served Assembly Lines : Influence of Sequencing and Launch Policies on System Performances", *International Journal of Production Research*, Vol. 28, No. 7(1990), pp. 1385-1399.
10. Kusiak, A., "Scheduling Flexible Machining and Assembly Systems", *Annals of Operations Research*, No. 15(1988), pp. 337-352.
11. Lee, S. B. and Y. M. Kim, "An Optimal Guide Path Design of Bi-Directional Automated Guided Vehicle Systems (AGVS)", *IE Interfaces*, Vol. 2, No. 1 (1989), pp. 37-45.
12. Maxwell, W. L. and J. A. Muckstadt, "Design of Automated Guided Vehicle Systems", *IIE Transactions*, Vol. 14, No. 2(1982), pp. 114-124.
13. Newton, D., "Simulation Model Helps Determine How Many Automate Guided Vehicles Are Needed", *Industrial Engineering*, Vol. 17, No. 2 (1985), pp. 68-78.
14. Tanchoco, J. M. A., P. J. Egbelu and F. Taghaboni, "Determination of the Total Number of Vehicles in an AGV-Based Material Transport System", *Material Flow*, vol. 4(1987), pp. 33-51.