

자동 유도 운반차량의 대기위치 결정정책에 관한 연구

A Study on the Decision Policy for the Waiting Position of an Idle Automated Guided Vehicle

송성훈*, 최형주*, 조면식**

Sung-Hun Song*, Hyung-Joo Choi*, Myeon-Sig Cho**

Abstract

A new policy to determine the waiting position of an idle Automated Guided Vehicle(AGV) is proposed and its performance is compared with the existing waiting position policies. Unlike the existing policies, the queue length in the input buffer is considered in the new policy. As a result, the waiting position based on the new policy depends on the status of the system. The simulation result indicates that the proposed policy reduces the waiting time in both the input and the output buffers significantly, regardless of the number of AGVs in the system. Therefore, the manufacturing lead time can be minimized.

1. 서론

다품종 소량 생산체제하에서 NC, CNC, DNC 등의 공작기계와 자동 유도 운반차량(AGV : automated guided vehicle), 자동창고 등의 물류시스템과 이러한 장비를 제어 관리하는 컴퓨터 시스템으로 구성된 유연제조시스템(FMS : flexible manufacturing system)은

매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 유연제조시스템을 포함한 모든 제조업체에서 자재의 운반, 저장, 검사 등의 활동은 부가가치가 없는 활동이다. 그러나 이러한 활동은 원활한 생산을 위해서 필수적이므로 가능한 최소화하여야 하며, 또한 효율적으로 운영되어야 한다. 본 논문에서는 FMS에서 자재의 운반 작업을 수행하는 AGV의 효율적 운영으로 인

* 홍익대학교 공과대학 산업공학과

** 경기대학교 공과대학 산업공학과

한 생산리드타임 감소방법을 연구하고자 한다.

AGV는 공장내의 여러 작업장간에 발생하는 자재 운반요구를 가변적인 주행궤도를 통하여 주행하므로, FMS와 같은 시스템에 적합한 물자 운반장비이다. 이와 같은 장비를 구입 설치하기 위해서는 상당한 투자가 필요하므로, 설치된 AGV의 효율적 운영은 매우 중요하다.

본 연구에서 연구하는 AGVS는 그림 1에 표시되어 있으며, 다음과 같이 운영된다. 모든 자재는 입고장을 통하여 시스템에 유입되며, 작업이 완료된 자재는 출고장을 통하여 시스템 외부로 유출된다. 시스템은 셀(cell) 형태의 작업장으로 구성된다. 작업장간에 발생하는 모든 운반요구는 AGV에 의하여 수행되며, AGV는 단위화물을 운반한다. 작업장의 선적장(loading station)에서 자재를 선적한 AGV는 목적지 작업장의 하역장(unloading station)으로 자재를 운반하여 하역한다. 하역 후, 시스템내에 운반요구가 존재할 경우에 AGV는 특정한 급송규칙에 의하여 작업장을 선정하여, 선정된 작업장으로 빈채로 이동하

여 자재를 선적하여, 선적된 자재의 목적지로 이동한다. AGV에 의하여 목적지 작업장의 하역장에 하역된 자재는 그 작업장의 입고버퍼에서 가공에 투입될 때까지 대기한다. 물론 대기중인 자재가 없고 기계가 유휴상태일 경우에는 즉시 가공이 시작된다. 가공이 완료된 자재는 해당 작업장의 출고버퍼에서 AGV에 의하여 운반될 때까지 대기한다. 자재가 출고버퍼에 들어올 때 유휴중인 AGV가 있다면, 이 자재의 운반은 작업장 중심의 AGV 급송규칙에 의하여 이루어진다. 그러나 유휴중인 AGV가 없을 경우에 자재의 운반은 AGV 중심의 작업장 급송규칙에 의하여 서비스된다.

AGV가 목적지 작업장에 자재를 운반하여 하역한 후, 모든 작업장의 출고버퍼에 운반할 자재가 없을 경우에 AGV는 일반적으로 현위치 혹은 입/출고장으로 이동하여 다음 운반요구가 발생할 때까지 유휴상태로 대기한다. 이후 어떤 작업장에서 가공이 완료되어 출고버퍼로 자재가 이동되면, AGV는 현 대기위치로부터 운반요구가 발생한 출고버퍼로 빈채로 이동하여 자재를 선적하여 다음 목적

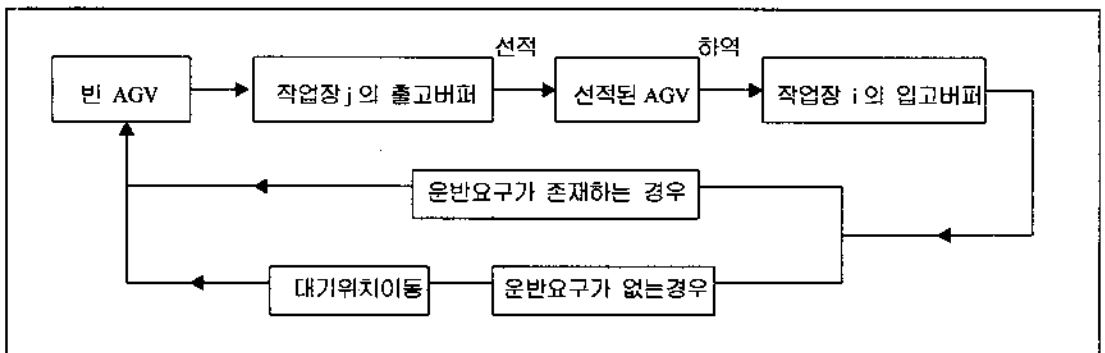


그림 1. AGV의 자재 운반내역

지로 운반하게 된다. 이러한 AGV의 대기위치의 선정은 자재가 출고버퍼에서 대기하는 시간에 영향을 준다. 한편 이러한 대기위치 결정은 출고버퍼에 있는 자재만을 고려하고, 입고버퍼에서 대기중인 자재의 양을 간과하고 있다. 즉 입고버퍼에서 고갈(starvation)현상이 발생하므로써 작업장의 유휴상태가 발생한다는 사실을 무시하고 있다. 그러므로 본 연구에서는 AGV의 대기위치 결정시 기존의 정책과는 달리 입고버퍼에서 대기중인 자재의 수를 고려한 대기위치 정책을 제안하고, 제안된 정책의 수행도를 입고버퍼와 출고버퍼에서 발생하는 대기시간의 관점에서 기존 대기위치 정책과 비교하고자 한다.

2. 기존연구의 고찰

AGV에 관한 연구는 운반요구를 수행하기 위해 필요한 AGV 댓수, AGV의 운행경로 및 이동방향 설정, 선적/하역장의 위치 결정, 그리고 AGV의 급송규칙에 의한 수행도 분석 등으로 분류된다.

작업장의 배치와 각 작업장간에 운반해야 할 자재 운반량이 결정된 상황에서 Maxwell과 Muckstadt[10]는 주어진 생산율을 만족시키기 위해 필요한 AGV의 최소 댓수를 확정적 모형(deterministic model)을 이용하여 구했으며, 또한 각 작업장의 하역장과 선적장을 배치하는데 유용한 지침을 제시하였다. Leung 등[8]은 Maxwell과 Muckstadt의 모형을 다른 종류의 AGV가 사용될 경우로 확장하였다.

Egbelu[2]는 작업장의 배치와 각 작업장간에 운반해야 할 자재 운반량이 주어진 상황

에서 필요한 AGV의 댓수를 구하기 위하여 빈 AGV의 급송규칙을 고려하지 않은 4개의 간단한 모형을 제시하였다. 이 모형들의 수행도를 Egbelu와 Tanchoco[3]에 사용된 급송규칙들을 사용하여 평가한 결과 이들 모형들의 성능은 급송규칙에 의해 영향을 받는다는 것을 실험적으로 입증하였다. 한편 Egbelu와 Tanchoco는 시뮬레이션 모델링시 각 작업장의 입고버퍼와 출고버퍼의 대기용량은 유한하며, AGV간의 간섭이 발생할 수 있다고 가정하였다.

운행경로 및 AGV의 이동방향에 따라 AGV간의 충돌 혹은 deadlock 현상 등이 발생할 수 있으므로, 효율적인 AGV 운영을 위해서 운행경로의 설정은 설계단계에서 매우 중요하다. Gaskin과 Tanchoco[5]는 단방향으로 이동하는 운행경로에서, AGV의 이동거리를 최소화하는 모형을 0-1 정수계획법을 사용하여 수리적으로 계산하였다. Kaspi와 Tanchoco[6] 역시 운행경로를 결정하는 모델을 효율적으로 계산하기 위하여 분지한계법을 사용하였다. 그러나 Gaskin과 Tanchoco, Kaspi와 Tanchoco의 연구는 문제크기, 즉 운행경로의 수가 커질 경우에 계산시간이 급속히 증가하며 또한 AGV간의 혼잡(congestion)을 고려할 수 없는 단점이 있다.

Egbelu와 Tanchoco[3]는 여러 대의 AGV가 있는 경우에 빈 AGV에 대한 급송규칙의 수행도를 모의실험에 의해 평가하였다. 이들은 급송규칙을 AGV 중심의 작업장 급송규칙과 작업장 중심의 AGV 급송규칙으로 구분하였다. AGV 중심의 작업장 급송규칙은 자재를 하역한 후, 빈 AGV를 어느 작업장에 급송할 것인지를 결정한다. 한편 작업장 중심의 AGV

급송규칙은 작업장에서 자재의 가공이 완료된 직후, 유힘상태인 AGV가 있을 경우에 어느 AGV를 급송받아 운반할 것인지를 결정한다. Egbelu와 Tanchoco는 7개의 AGV 중심의 작업장 급송규칙과 5개의 작업장 중심의 AGV 급송규칙의 수행도를 시뮬레이션을 이용하여 비교 평가하였다.

Bozer와 Srinivasan[1]은 자재운반 시스템을 여러 개의 겹치지 않는 루우프(loop)로 분할하여, 각 루우프에 한 대의 AGV를 할당함으로써, AGV의 통제를 용이하게 할 수 있는 Tandem AGVS를 제안하였다. 각 루우프내에서 AGV의 급송규칙으로 FEFS(First Encountered First Served) 규칙을 사용하였으며, 안정상태에 도달하기 위한 조건과 생산을 분석을 수행하였다.

Egbelu[4]는 단일 폐쇄형 루프에서 하나의 AGV 혹은 여러 대의 AGV가 있는 경우에 대하여, 그리고 각 AGV들이 단방향 혹은 양방향통행을 하는 경우에 대하여, 유힘상태가 된 AGV가 추후 운반요구가 발생하는 작업장까지 빈채로 이동하는 시간의 최대치를 최소화하는 AGV의 대기위치를 결정하는 모델을 제시하였다.

Kim[7] 역시 단일 폐쇄형 루프에서 유힘상태가 된 AGV가 다음 운반요구가 발생하는 작업장까지 빈채로 이동하는 평균시간을 최소화하는 대기위치를 결정하는 모델을 연구하였다. Egbelu는 모든 작업장에서 발생하는 운반요구의 발생빈도는 동일하다고 가정하였으나, Kim은 운반요구의 빈도가 확률적으로 다른 경우에 관하여 연구하였다. 또한 Egbelu는 정적인 대기장소에 관하여서만 연구하였으나, Kim은 대기장소가 동적으로 변하는 경

우, 즉 대기위치가 현재 유힘한 AGV의 대기 위치에 따라 변하는 경우 역시 연구하였다.

본 연구에서는 폐쇄형 루프가 아닌 일반적인 AGV 배치에서 사용될 수 있는 유힘 AGV의 대기위치 결정에 관한 연구를 수행하고자 한다.

3. 대기위치 결정정책

AGV가 목적지 작업장에 자재를 운반 하역한 후, 시스템내에 운반할 자재가 없는 경우 즉 모든 출고버퍼에 대기중인 자재가 없을 때, AGV는 유힘상태로 어느 위치에서 대기하게 된다. 유힘상태의 AGV는 일반적으로 다음의 대안 1 혹은 대안 2에 의하여 결정된 대기위치에서 다음 운반요구가 발생할 때까지 대기한다. 본 연구에서는 자재의 대기시간을 최소화하기 위한 대안 3을 제안하고 이의 수행도를 기존의 대안 1과 대안 2와 비교 평가한다.

대안 1 : AGV가 목적지 작업장에 자재를 하역한 후, 목적지 작업장을 포함한 모든 작업장에 운반대기중인 자재가 없을 경우에 AGV는 현 위치에서 다음 운반요구가 발생할 때까지 대기한다.

대안2 : AGV가 목적지 작업장에 자재를 하역한 후, 목적지 작업장을 포함한 모든 작업장에 운반대기중인 자재가 없을 경우에 AGV는 외부로부터 시스템에 자재가 유입되는 입고장으로 이동하여 다음 운반요구가 발생할 때까지 대기한다.

대안 3 : 본 논문에서 제안하는 대안은 운반대기중인 자재가 없을 경우에 대안 1과 대안 2와 같이 미리 정한 장소에서 대기하지

않고, 모든 작업장의 입고버퍼에 대기중인 자재의 수에 의하여 대기장소를 결정하게 된다. 즉 AGV의 대기장소는 시스템의 상태에 따라 변한다. 대안 3을 설명하기 위하여 다음 용어 및 부호를 사용하기로 한다.

선행작업장 및 후행작업장 : 어떤 자재가 작업장 1, 작업장 2, 작업장 3의 순서로 가공을 받게 된다고 가정하자. 이 경우 작업장 3의 선행작업장은 작업장 2이고, 작업장 2의 후행작업장은 작업장 3이다. 또한 작업장 2의 선행작업장은 작업장 1이고, 작업장 1의 후행작업장은 작업장 2이다. 여러 종류의 자재를 시스템에서 가공하는 경우 후행작업장 i 의 선행작업장은 여러 개가 있을 수 있으며, 이와 마찬가지로 선행작업장 j 의 후행작업장 역시 여러 개가 있을 수 있다.

N = 시스템내의 작업장 수

ET_{ki} = AGV가 자재를 하역한 작업장 k 의 하역장에서 후행작업장 i 의 선행작업장 j 의 선적장까지 빈채로 이동하는 시간

LT_j = 선행작업장 j 에서 후행작업장 i 의 하역장까지 선적한채 이동하는 시간

RT_j = 후행작업장 i 의 선행작업장 j 에서 가공중인 자재의 잔여 가공시간,

$RT_j > 0$

$X_{ji} = 1$, 만약 선행 작업장 j 에서 현재 가공중인 자재의 후행작업장이 i 인 경우

∞ , 만약 선행 작업장 j 에서 현재 가공중인 자재의 후행작업장이 i 가 아닌 경우

L_k = 작업장 k 의 입고버퍼에 대기중인 자재의 수

T_L = AGV의 선적시간

T_U = AGV의 하역시간

B_i = 작업장 i 의 선행 작업장의 집합

작업장 k 에 자재를 하역한 AGV가 이 작업장을 포함한 시스템내의 모든 작업장에서 운반할 자재가 없음을 발견할 때, 대안 3에서는 AGV의 대기위치를 결정하기 위해서, 모든 작업장의 입고버퍼에서 대기하는 자재의 수가 가장 적은 작업장을 먼저 선택한다. 이러한 작업장은 여러 개가 있을 수가 있으므로, 이러한 작업장의 집합을 Ω 라 정의하자. 즉 Ω 는 다음 식과 같다.

$$\Omega = \operatorname{argmin}_{k=1, \dots, N} L_k \quad (1)$$

한편 이 AGV는 식(2) 조건을 만족하는 후행작업장 i '의 선행작업장 j '로 빈채로 이동해서, 자재를 선적한 후, 작업장 i '로 자재를 운반한다.

$$\min_{i \in \Omega} \min_{j \in B_i} \{ \max(ET_{kj}, RT_j \cdot X_{ji}) + LT_{ji} \} \quad (2)$$

$ET_{ki} < RT_j$, 일 경우에 RT_j 시간이 지날 때까지 선행작업장 j 에서 자재를 선적할 수 없고, 즉 $(RT_j - ET_{ki})$ 만큼 AGV는 선행작업장 j 에서 대기하여야 하며, 한편 $ET_{ki} > RT_j$ 인 경우에 ET_{ki} 시간이 지날 때까지 선행작업장 j 의 출고버퍼에서 자재가 대기하여야 한다. 또한 RT_j 는 j 에서 가공중인 자재의 잔여 가공시간만을 의미하므로 이 자재가 후행작업장 i 로 운반할 자재가 아니라면 고려대상에서 제외되어야 한다. 왜냐하면 $j \in B_i$ 인 작업장 j 는 작업장 i 의 선행작업장이지만, 특정 시점에 작업장 j 에서는 작업장 i 가 아닌 다른 작업장

으로 운반해야 할 자재를 가공할 수도 있기 때문이다. 한편 작업장 i 로 자재를 공급하는데 소요되는 선적 및 하역시간은 $T_i + T_0$ 이며, 이들의 값은 상수이므로 어떤 작업장을 선택 하든지 동일하다.

그러므로 식(2)는 AGV의 선적 및 하역시간을 무시하고, AGV의 현 위치 k 에서 작업장 j 를 거쳐 작업장 i 로 자재를 운반하는데 소요되는 시간을 최소화할 수 있는 작업장 i^* 와 작업장 j^* 를 찾는 식이 된다.

4. 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 AGV의 가·감속을 고려하였을 뿐만 아니라, 작업장의 가공속도로 삼각분포를 사용하였다. 그러므로 대기위치 결정정책에 따른 입고버퍼와 출고버퍼에서 자재의 대기시간을 분석 평가하기 위하여 대기행렬 네트워크 기법 대신에 컴퓨터 시뮬레이션 기법을 사용하였다.

대안 1과 2를 모델링하기 위하여 Prisker [11]가 개발한 SLAMSYSTEM의 material handling 기능을 사용하였다. 그러나 SLAMSYSTEM의 material handling 기능만을 가지고는 본 논문에서 제안한 대안 3을 모델링할 수 없으므로 MS-FORTRAN 5.1을 추가로 사용하였다.

본 연구에서는 대기위치 결정정책에 의한 수행도 변화를 연구하기 위하여 그림 2에 나타난 예제 1과 그림 3의 예제 2를 사용하였다. 예제 1은 다섯 개의 작업장으로 구성되어 있으며, A, B, C 세 종류의 제품을 생산한다. 작업장 2부터 작업장 5는 실제 가공작업을 수행하는 작업장인 반면에, 작업장 1은

외부에서 반입된 자재를 임시로 저장하거나, 혹은 시스템내에서 가공 완료된 자재를 외부로 반출하는 작업장이다. 즉 자재는 작업장 1의 입고장으로 유입되며, 완성된 자재는 작업장 1의 출고장으로부터 외부로 반출된다. 각 작업장간의 자재 이동은 설정된 경로에 따라 AGV에 의하여 운반된다. 즉 AGV는 각 작업장의 선적장 혹은 입고장으로부터 자재를 선적하여 목적지 작업장의 하역장 혹은 출고장으로 운반한다. 작업장 2-5는 한 대의 기계로 구성되어 있으며, 각 제품별 자재의 작업순서, 생산비율, 그리고 가공시간의 최소, 최빈, 최대치는 표 1에 요약되어 있다.

예제 2는 11개의 작업장으로 구성되어 있으며, 다섯 종류의 제품을 생산한다. 작업장 1은 외부로부터 반입되는 자재를 위한 입고장이며, 작업장 11은 가공완료된 자재가 외부로 반출되는 출고장이다. 작업장 2부터 작업장 10은 가공작업장으로, 작업순서 및 배치된 기계대수, 각 제품별 생산비율, 그리고 가공시간의 최소, 최빈, 최대치는 표 2에 요약되어 있다. 한편 예제 1과 2에서 입고장에 유입되는 자재의 도착간격 시간은 평균치가 30분인 지수분포를 따른다고 가정하였다. 예를 들어 예제 2에서 제품 A를 생산하기 위해 필요한 자재의 도착간격은 평균치가 120분인 지수분포를 따른다.

예제 1에서 AGV의 최대속도는 35m/min, 가·감속도는 15m/min²으로 가정하였으며, 예제 2에서는 AGV의 최대속도를 60m/min, 가·감속도를 45m/min²으로 가정하였다. AGV의 가·감속도는 작업장간의 거리가 짧은 경우에 시스템 수행도에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 예제 1과 2에서 AGV는 단방

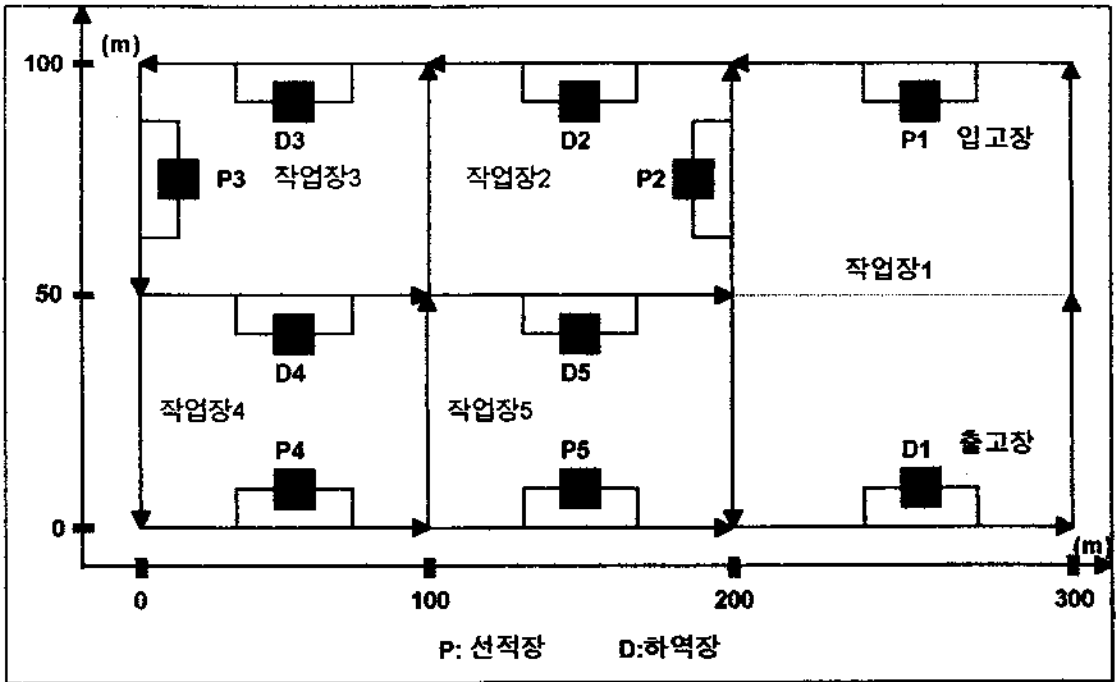


그림 2. 작업장 배치도 (예제1)

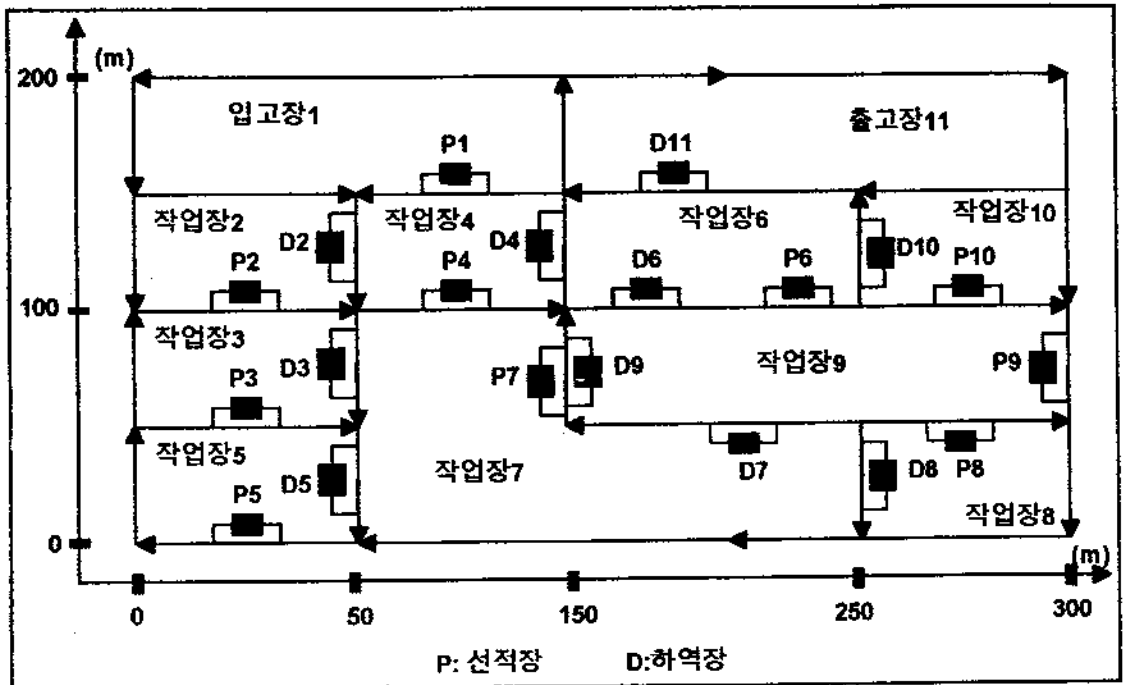


그림 3. 작업장 배치도(예제2)

표 1. 제품별 자재의 작업순서, 생산비율, 가공시간 (예제 1)

제품종류	작업순서	생산비율	가공시간 (최소, 최빈, 최대)
A	1	43%	(0.00, 0.00, 0.00)
	2		(6.30, 9.00, 11.7)
	3		(2.10, 3.00, 3.90)
	4		(9.80, 14.0, 18.2)
	1		(0.00, 0.00, 0.00)
B	1	34%	(0.00, 0.00, 0.00)
	2		(4.90, 7.00, 9.10)
	5		(4.20, 6.00, 7.80)
	4		(9.10, 3.00, 16.9)
C	1	23%	(0.00, 0.00, 0.00)
	2		(7.00, 10.0, 13.0)
	3		(7.00, 10.0, 13.0)
	5		(4.20, 6.00, 7.80)
	1		(0.00, 0.00, 0.00)

표 2. 제품별 자재의 작업순서, 생산비율, 생산을 가공시간 (예제 2)

제품종류	작업순서 (기계대수)	생산비율	가공시간 (최소, 최빈, 최대)
A	1	25%	(5.60, 8.00, 10.4)
	2(3)		(4.20, 6.00, 7.80)
	3(7)		(15.9, 23.0, 29.6)
	9(4)		(5.60, 8.00, 10.4)
	8(2)		(6.40, 8.00, 10.4)
	10(2)		(2.80, 4.00, 5.20)
B	11	30%	(0.00, 0.00, 0.00)
	1		(5.60, 8.00, 10.4)
	2(3)		(4.20, 6.00, 7.80)
	4(7)		(6.44, 9.20, 11.9)
	7(5)		(8.68, 12.4, 16.1)
	9(4)		(5.60, 8.00, 10.4)
	4(7)		(5.32, 7.60, 9.88)
	6(3)		(9.80, 14.0, 18.2)
	10(2)		(9.80, 14.0, 18.2)
	11		(0.00, 0.00, 0.00)
	C		1
2(3)		(3.15, 4.50, 5.85)	
7(5)		(16.4, 23.4, 30.4)	
9(4)		(5.04, 7.20, 9.36)	
6(3)		(6.72, 9.60, 12.5)	
10(2)		(2.10, 3.00, 3.90)	
D	11	10%	(0.00, 0.00, 0.00)
	1		(5.60, 8.00, 7.80)
	2(3)		(4.20, 6.00, 7.80)
	3(1)		(12.4, 17.2, 36.0)
	5(1)		(14.3, 20.4, 26.5)
	9(4)		(4.80, 6.80, 8.84)
E	6(3)	25%	(18.2, 26.0, 33.8)
	11		(0.00, 0.00, 0.00)
	1		(5.60, 8.00, 10.4)
	2(3)		(4.20, 6.00, 7.80)
	4(7)		(18.5, 26.4, 34.3)
	8(2)		(6.44, 9.20, 11.9)
E	10(2)	25%	(2.80, 4.00, 5.20)
	11		(0.00, 0.00, 0.00)

향으로 이동하며, 단위화물을 운반한다. 다시 닷해 자재를 선적한 AGV는 목적지에 도착 하여 하역하기 전까지는 다른 자재를 선적할 수 없다. 한편 자재를 선적 혹은 하역하는 시 간은 작업장에 관계없이 1분이라 가정하였다.

시스템에서 여러 대의 AGV를 사용할 경 우에 교차점에서의 혼잡현상 혹은 운행경로 에서의 블럭킹이 발생할 수 있다. 이러한 경 우에는 먼저 진입한 AGV에 우선순위를 주 었다. 즉 선입선출법에 의하여 혼잡현상을 해 결하였다. 한편 출고버퍼에 대기중인 자재가 있을 경우에 AGV 중심의 작업장 급송규칙 으로는 Egbelu와 Tanchoco[3]가 제안한 STTF (shortest travel time first) 규칙을 사용하였으 며, 작업장 중심의 AGV 급송규칙으로는 NV (nearest vehicle) 규칙을 사용하였다.

5. 실험결과 분석

각 예제에 대한 초기 실험결과 시스템이 약 5,000분 이후부터 안정상태에 도달하는 것으로 파악되었다. 그러므로 초기 5,000분 동안의 실험결과는 결과분석시 무시하였다. 안정상태 이후의 데이터의 결과분석을 위해서 배치평균(batch means) 기법을 사용하였다. 독립적인 데이터를 구하기 위하여 한 배치의 크기를 25,000분으로 설정하였으며, 이러한 열 개의 연속적인 배치를 구하여 결과분석을 수행하였다. 즉 결과분석을 위하여 각 예제당 255,000분의 시뮬레이션을 수행하였다.

각 예제별 입고버퍼와 출고버퍼에서의 자재 대기시간의 가중평균과 95% 신뢰구간이 표 3에 제시되어 있다. 한편 AGV 댓수의 증가에 따른 각 버퍼에서의 대기시간의 변화를 분석하기 위하여 AGV 댓수를 한대에서 네대까지 변화시킨 결과도 표 3에 제시되어 있다.

예제 1에서 AGV 한대를 이용하고 본 논문에서 제안한 대기위치 정책 즉 대안 3을 사용할 경우에, 입고버퍼에서의 대기시간의 가중평균치는 기존 대안 1에 비하여 38.8%, 기존 대안 2에 비하여는 21.0% 감소하였다. 한편 출고버퍼에서의 가중평균치는 대안 1에 비하여 25.9%, 대안 2에 비하여 11.0% 감소하였다. 이와 같은 감소현상은 예제 2에서도 관찰되었으며, 또한 AGV의 대수가 증가함에 따라 블럭킹 등의 현상으로 혼잡현상이 발생할 수 있음에도 불구하고 같은 유형의 감소현상을 나타내었다. 표 3에 제시된 대기시간 가중치의 감소율은 표 4에 나타나 있으며, 입고 및 출고버퍼에서의 총 대기시간이 그림 4

표 3. 입고버퍼와 출고버퍼에서의 자재 대기시간의 가중평균

결과항목	예제	대안1	대안2	대안3
AGV1대				
IQ ¹⁾	1	6.90±0.32	5.34±0.30	4.22±0.40
	2	19.9±1.50	14.3±1.10	10.9±1.30
OQ ²⁾	1	6.70±0.39	5.57±0.40	4.96±0.30
	2	18.2±1.64	15.2±1.70	12.8±1.60
AGV2대				
IQ	1	4.83±0.50	3.75±0.12	3.10±0.30
	2	13.9±1.29	10.3±1.22	6.17±1.10
OQ	1	4.90±0.25	3.62±0.10	2.41±0.11
	2	12.6±1.95	11.8±1.40	8.45±1.15
AGV3대				
IQ	1	2.89±0.44	2.53±0.38	1.94±0.11
	2	8.73±0.89	6.17±0.35	4.35±0.31
OQ	1	3.08±0.24	2.24±0.13	1.89±0.10
	2	7.56±0.67	6.78±0.72	5.07±0.23
AGV4대				
IQ	1	1.49±0.61	1.34±0.10	1.03±0.10
	2	4.63±0.42	3.82±0.12	2.14±0.20
OQ	1	1.63±0.23	1.12±0.23	0.92±0.40
	2	4.36±0.50	4.21±0.13	2.89±0.12

1) IQ = 입고버퍼에서의 자재 대기시간의 가중평균 (분)
 2) OQ = 출고버퍼에서의 자재 대기시간의 가중평균 (분)

에 제시되어 있다.

표 4로부터 대안 3을 적용할 경우에 입고버퍼에서의 대기시간은 대안 1에 비하여 최대 55.6% 최소 30.9% 감소되며, 대안 2에 비하여 최대 40.1% 최소 16.9% 감소함을 알 수 있다. 한편 출고버퍼에서의 대기시간은 대안 1에 비하여 최대 50.8% 최소 25.9% 감소하며, 대안 2에 비하여 최대 33.4% 최소 11.0% 감소함을 알 수 있다. 즉 표 4로부터 본 논문에서 제안한 대기위치 결정정책이 입고버퍼와 출고버퍼에서의 대기시간을 기존의 대

안 1과 2에 비하여 상당히 감소시킴을 알 수 있다.

표 4. 대안 3을 적용시 대기시간의 감소율

결과 항목	예제	대안 1에 대한 감소율	대안 2에 대한 감소율
AGV 1대			
IQ ¹⁾	1	38.8%	21.0%
	2	45.2%	23.8%
OQ ²⁾	1	25.9%	11.0%
	2	29.6%	15.8%
AGV 2대			
IQ	1	35.8%	16.9%
	2	55.6%	40.1%
OQ	1	50.8%	33.4%
	2	32.9%	28.4%
AGV 3대			
IQ	1	32.9%	23.3%
	2	48.1%	26.6%
OQ	1	38.6%	15.6%
	2	32.9%	25.2%
AGV 4대			
IQ	1	30.9%	23.1%
	2	47.9%	36.9%
OQ	1	43.6%	17.9%
	2	33.7%	31.4%

1) IQ = 입고버퍼에서의 자재 대기시간의 감소율
 2) OQ = 출보버퍼에서의 자재 대기시간의 감소율

그림 4는 입고 및 출고버퍼에서의 총 대기 시간이 AGV 댓수가 증가함에 따라 감소하고 있음을 나타내고 있다. 한편 제안된 대안 3의 수행도가 기존 대안 1과 2에 비하여 좋으며, 대안 2가 대안 1에 비하여 좋음을 알 수 있다.

자재가 시스템에 유입된 후 가공완료되어 시스템으로부터 유출될 때까지의 시간은 Lit-

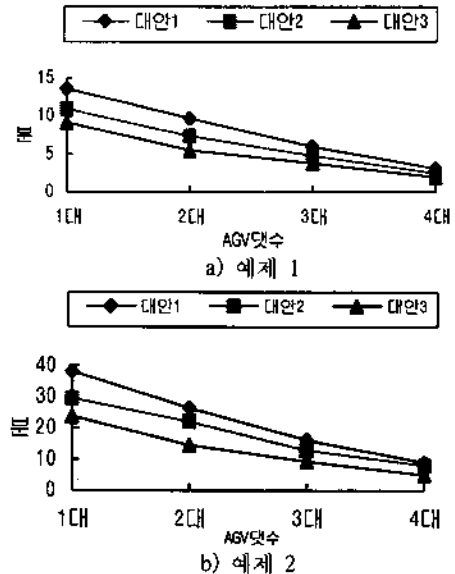


그림 4. 입고 및 출고버퍼에서의 총 대기시간

tle[9]의 규칙에 의하여 시스템내의 재공품의 수량과 정비례 관계가 있다. 시스템내에서 소요되는 시간은 운반 및 가공시간, 그리고 입고버퍼와 출고버퍼에서의 대기시간으로 구성되어 있다. 여기서 자재의 운반시간은 작업장의 배치형태 및 공정순서에 따라 미리 결정되어지고 가공시간 역시 기계의 성능에 좌우되지만, 각 작업장의 입·출고버퍼에서 자재 대기시간은 AGV의 운영정책에 따라 변할 수 있는 요인이 된다. 실험을 통해서 AGV의 3가지 대기위치 정책중 본 논문에서 제안한 정책이 입고 및 출고버퍼에서의 자재 대기시간을 가장 크게 감소시킴으로서, 시스템내에 존재하는 재공품의 양을 줄일 수 있는 가장 좋은 정책임을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 AGV가 자재를 목적지에 운

반한 후, 시스템내에 운반요구가 없을 때 발생하는 AGV의 대기위치를 결정하는 정책이, 입고버퍼와 출고버퍼에서의 대기시간에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통하여 연구하였다. 실험결과 본 연구에서 제안한 대기위치 결정 정책은 기존의 대기위치 결정정책에 비하여 대기시간을 상당히 감소시키며, 이러한 결과는 AGV 댓수에 관계없이 발생함을 알 수 있다. 즉 본 논문에서 제시한 AGV 대기정책을 사용할 경우 대기시간을 감소시킬 수 있으므로, 시스템내에서 소요되는 시간을 최소화할 수 있다. 그 결과 재공품의 감소효과를 기대할 수 있다. 또한 제안된 대기위치 결정정책은 각 작업장의 입고버퍼에 최소의 자재가 있는 작업장의 선행작업장으로 AGV를 빈채로 이동시킴으로써, 자재의 고갈(starvation)현상을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 즉 자재의 품질로 인한 기계의 유희시간을 최소화할 수 있다.

본 논문에서는 출고버퍼에 자재가 없을 경우 발생하는 유희 AGV의 대기위치 결정정책의 수행도 평가에 주안을 두었으나, 출고버퍼에 자재가 있는 경우, 즉 선행작업장이 가장 빠른 시일내에 운반되어야 할 자재를 선택하는 규칙등에 관한 추후 연구가 필요하리라 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Bozer, Y.A. and Srinivasan, M.M., "Tandem Configurations for Automated Guided Vehicle Systems and the Analysis of Single Vehicle Loops," *IIE Transactions*, Vol.23, No.1, pp.72-82, 1991.

[2] 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, pp.17-32, 1987.

[3] Egbelu, P.J. and Tanchoco, J.M.A., "Characterization of Automatic Guided Vehicle Dispatching Rules," *International Journal of Production Research*, Vol.22, No.3, pp. 359-374, 1984.

[4] Egbelu, P.J., "Positioning of automated guided vehicles in a loop layout to improve response time," *European Journal of Operation Research*, Vol.71, pp.32-44, 1991.

[5] Gaskin, R.J. and Tanchoco, J.M.A., "Flow Path Design for Automated Guided Vehicle System," *International Journal of Production Research*, Vol.25, pp.667-676, 1987.

[6] Kaspi, M. and Tanchoco, J.M.A., "Optimal Flow Path Design of Unidirectional AGV Systems," *International Journal of Production Research*, V.28, pp.1023-1039, 1990.

[7] Kim, K. H., "Positioning of automated guided vehicles in a loop layout to minimize the mean vehicle response time," *International Journal of Production Economics*, Vol.39, pp.201-214, 1995.

[8] Leung, L.C., Khator, S.K., Kimbler, D.L., "Assignment of AGVS with Different Vehicle Types," *Material Flow*, Vol.4, pp. 65-72, 1987.

[9] Little, J.D.C., "A Proof of the queueing formula $L = \lambda W$," *Operations Research*, Vol.9, pp.383-387, 1961.

- [10] Maxwell, W.L. and Muckstadt, J.A.,
“Design of Automatic Guided Vehicle
Systems,” *IIE Transactions*, Vol.14, No.
2, pp.114-124, 1982.
- [11] Prisker, A.A.B., Introduction to Simulation

and SLAM II, Systems Publishing, 1990.

95년 10월 최초 접수, 96년 5월 최종 수정