

무인운반차 시스템에서의 유휴차량 대기위치 결정방법에 대한 시뮬레이션 연구

김재연¹ · 김갑환²

¹동양대학교 산업공학과 / ²부산대학교 산업공학과

A Simulation Study on Positioning Methods of Idle Vehicles in AGVS

Jae-Yeon Kim¹ · Kap-Hwan Kim²

It is discussed how to locate idle vehicles of AGVS considering dynamically changing situation. Several positioning methods are suggested including static positioning, dynamic positioning with time-independent pickup probabilities, dynamic positioning with time-dependent pickup probabilities, and dynamic positioning with a look-ahead capability. These positioning strategies are compared with each other by a simulation experiment.

1. 서론

AGVS (Automated Guided Vehicle System)의 유연성(flexibility)은 오늘날 생산현장에서 AGV를 더욱 폭넓은 분야에서 활용할 수 있게 하고 있다. 호스트 컴퓨터의 명령에 따라 설비간을 다양한 경로를 통해 이동시키고 와이어나 페인트로 만들어진 유도 경로를 새로운 수요나 확장에 따라 쉽게 변경할 수 있다는 점이 큰 장점으로 알려져 있다.

AGVS가 비록 재래식 시스템보다 더 높은 유연성을 제공한다 하더라도 AGVS의 운영문제는 여전히 해결해야 할 점들이 많이 있다. 그 중에서 유휴차량 대기위치 결정전략은 전체적인 AGVS의 효율에 큰 영향을 미치는 한 요소로 간주되고 있다(Egbelu, 1993; Kim, 1995). 어느 작업장이 과부하가 걸려 있지 않다면 AGV가 유휴상태로 되는 것은 피할 수 없다. AGV의 유휴상태는 하역작업을 마친 AGV에 즉시 다음 운반요구가 없을 경우에 발생하게 된다. AGV가 유휴상태가 되었을 때, 공장내의 어느 곳에서 발생될지 모르는 선적작업 요구에 대비하여 그 차량을 어느 특정 장소에다 위치시켜 둔다는 것은 유휴시간을 활용한다는 측면에서 의미 있는 전략이라고 할 수 있다.

AGVS에서의 대기위치(parking location) 결정문제에 관하여 최근에 들어서 몇몇 연구가 수행되었다. 최근까지의 연구를 요약하면 다음과 같다.

Egbelu(1993)는 단일 루프에서 하나의 AGV 또는 복수대의 AGV들이 단방향 또는 양방향 운행하는 경우에 대하여 유휴상태가 된 AGV가 차후의 운반요구가 발생하는 선적장까지 빈 상태로 운행하는 시간의 최대치를 최소화할 수 있도록 AGV의 대기위치를 결정하는 수학적 모형을 제시하고, 해를 구하는 간단한 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. Egbelu는 모든 작업장에서 발생하는 운반요구의 발생빈도가 동일하다고 가정하였으며, 고정적인 대기위치에 관해서만 언급하였다.

Kim(1995)은 단일 루프 유도경로상에서 유휴상태가 된 AGV가 다음의 운반요구가 발생되는 선적장까지 빈 상태로 이동하는 평균시간을 최소화하는 대기위치를 결정하는 수학적 모형을 수립하고 해를 구하는 효율적인 휴리스틱 알고리즘을 제시하였다. Kim은 작업장에서의 운반요구의 발생빈도가 확률적으로 다른 경우를 가정하였고, 시간이 지남에 따라 AGV의 대기위치가 동적으로 변하는 경우, 즉 현재 위치한 유휴AGV의 대기위치에 따라 다음 차량의 대기위치가 달라지는 경우에 대해서도 언급하였다.

Majety and Wang(1995)은 터미널베이스 (terminal base) AGV시스템에서 유휴차량의 최적 대기위치를 결정하는 모형을 제시하였다.

Chang and Egbelu(1996) 역시 단일 루프 유도경로하에서 유휴상태의 AGV 최적 대기위치를 빈 AGV의 다음 작업요구 발생 작업장까지 운행시간의 평균을 최소화하는 기준을 사용하여 구하였다. Chang and Egbelu는 작업장에서의 운반요구가 발생

할 확률이 시간이 지남에 따라 변화하는 경우, 즉 현재까지 작업이 이루어진 상태를 고려하여, 특정 작업장에서 운반요구가 발생할 확률이 시간이 지남에 따라 달라진다는 전제하에서 대기위치를 결정하는 방법을 제시하였다.

대기위치 결정문제와는 정확히 일치하지 않는 문제이지만 McHaney(1995)는 AGVS에서 AGV의 충전위치가 시스템의 성능에 크게 영향을 미치고 있음을 여러 가지 모의실험 조건하에서 보여 주었다.

AGV에 관한 문헌에서 나타나는 유티차량 운영정책은 다음의 세 가지로 나눌 수 있다.

- 1) 중앙집중 위치(central zone positioning) 규칙
 - 2) 순환 루프(circulatory loop positioning) 규칙
 - 3) 작업종료위치 대기(point of release positioning, 이하 PRP) 규칙
- 그리고 대기위치 결정에 있어서 흔히 사용되는 목적함수들은 아래와 같은 3가지 유형으로 나눌 수 있다(Egbelu, 1993).

- 1) 최대 AGV반응시간의 최소화
- 2) 평균 AGV반응시간의 최소화
- 3) 운행경로망 내 유티 차량의 균등분포(even distribution)화

Co and Tanchoco(1991)는 AGV의 상태를 적재상태(loaded), 할당되었으나 빈 상태 (assigned but empty) 그리고 할당되지 않고 빈 상태 (unassigned and empty)의 3가지로 구분하였다. 일반적으로 반응시간 (response time)이라 함은 중앙통제장치로부터 운반요구를 수신하여 출발위치부터 운반요구의 상차위치까지 운행하는 시간을 가리킨다. 즉, 운반요구를 받고 빈 상태로 상차위치로 이동하는 상황이 바로 할당되었으나 빈 상태이다.

대부분의 제조시스템에서 AGV의 최대서비스시간보다는

평균서비스시간이 보다 보편적인 AGVS의 운영전략 평가기준이 된다. 이는 최대서비스시간은 주로 긴급 상황에서만 타당성이 있기 때문이다. 평균서비스시간은 할당되었으나 빈 상태의 시간 (반응시간), 적재상태의 시간 그리고 AGV와 이재장치(transfer facility)간의 이적시간을 합제한 값의 평균치이지만 적재상태의 시간과 이적시간은 일정하다고 볼 수 있으므로 AGV의 최적 대기위치결정을 위하여 평균반응시간은 좋은 기준이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서도 평균반응시간의 최소화 기준을 사용하도록 한다.

본 연구에서는 유티상태의 차량을 위하여 대기위치를 제공하는 다양한 운영전략을 대상으로 모의실험을 통하여 성능을 비교 분석하는 데 그 목적이 있다.

여러 가지 AGVS의 문제 형태 중에서 본 연구에서는 단방향 유도경로를 지니고 일반적인 배치도, 특히 순환네트워크(cyclic network) 형태의 배치도를 갖는 AGVS를 대상으로 하며 동적인 대기위치 결정정책을 중심으로 한다. 여기서 동적이라고 함은 차량이 새롭게 유티상태로 된 경우, 현재 시스템의 상태를 고려하여 추가 대기위치를 새롭게 결정해 나간다는 것을 의미한다. 이에 반하여 시스템의 상태나 시간의 경과에 상관없이 그 위치가 항상 일정한 것을 고정적 (static)인 대기위치 결정정책이라고 한다.

본 연구에서는 1절에서 서론을, 2절에서는 대기위치 결정문제에 대하여 소개하고, 3절에서는 고정 대기위치 결정법을, 4절에서는 고정 운반요구 확률을 이용한 동적 대기위치 결정법을, 5절에서는 총 운반횟수가 알려진 경우의 동적 대기위치 결정법에 대하여 서술하고, 6절에서는 작업완료시간을 예측한 동적 대기위치 결정법을, 마지막으로 7절에서는 결론과 향후

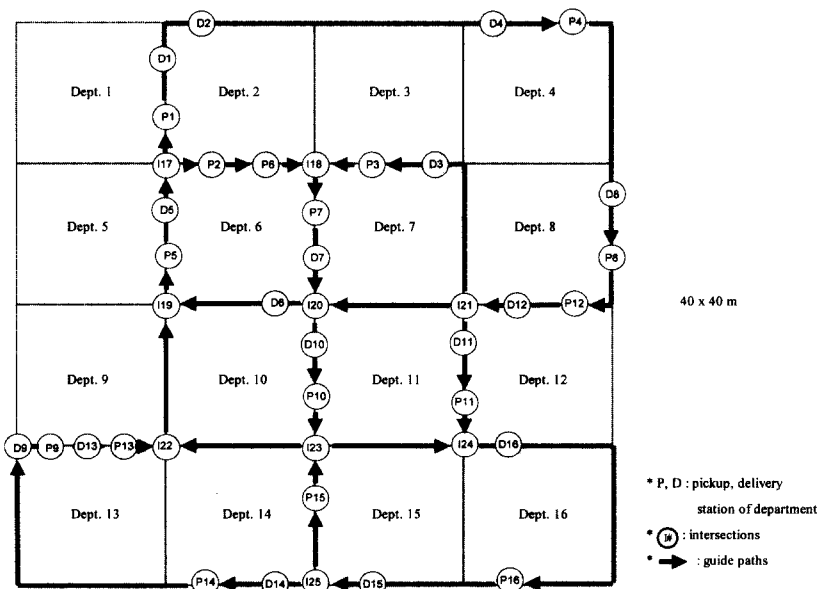


그림 1. AGVS 유도경로의 예.

표 1. 제품별 공정 및 물류흐름량

제품	공정(부서번호)	교대시간(shift) 동안의 총생산량(팔렛단위)
제품 1	5→1→4→8→12→3→7→10→16	80
제품 2	6→7→10→16→14→9→13	40
제품 3	10→16→14→13→5→2→6	20
제품 4	5→8→11→16→15→1	10

연구과제에 대해 언급한다.

2. 대기위치 결정문제와 실험조건

<그림 1>과 같은 유도경로를 갖는 AGVS를 고려해 보자. 각각의 제품들은 <표 1>과 같은 처리공정을 따라 처리되어야 하며, 각 공정에서의 작업물의 가공시간 분포는 <표 2>와 같다고 하자. <표 1>의 제품별 흐름량은 <표 3>의 유입유출표 형태로 변환시킬 수 있다.

AGVS의 유도경로는 선적장, 하역장 그리고 교차로를 노드로, 노드들간의 유도경로는 방향있는 아크 (directed arc)로 표현되는 네트워크로 변환시킬 수 있다. <그림 1>에서 굵은 선과 노드로 이루어진 네트워크가 여기에 해당한다. 이와 같은 상황에서 AGV가 유휴상태가 되었을 때, 어느 위치에 주차시키는 것이 반응시간을 최소화시킬 수 있겠느냐 하는 것이 본 연구의 주제이다.

본 연구에서는 다음과 같은 가정하에서 분석을 수행하였다.

1) 유도경로는 단방향이다. 단방향 경로로 가정한 이유는 양방향 경로는 교착상태(deadlock)를 회피하기 위한 통제능리가 복잡하기 때문에 본 연구에서는 제외시킨다. 본 연구에서의 최적의 대기위치는 통상 선적장(pickup position)이나 교차로 중의 하나가 된다. 그러므로 이곳을 대기위치로 선택할 경우는 2대 이상의 차량을 운영할 시 교착상태나 막힘현상(blocking)이 발생할 수도 있다. 이 문제점은 시스템의 성능에 중요한 요소로 작용하기 때문에 본 연구에서는 해당 대기가능 위치에 주경로의 통행에 지장이 없도록 우회대기선로가 있는 것으로 가정한다.

2) 모든 작업장은 가장 가까운 곳에 위치한 유휴 AGV로부터 서비스를 받는다.

3) 모든 작업장과 AGV들은 고장 없이 계속해서 운영이 가능하다. 또한 모든 작업장의 입출력버퍼의 크기는 무한대이다.

4) AGV의 이동속도는 일정하며, 운반물의 이적 (loading/unloading)시간은 일정하므로 무시한다. 차량이 도착하거나 출발하거나 방향 변경시 속도 가감이 없다는 가정은 문제의 분석을 쉽게 하기 위한 것이나, 대부분의 AGVS의 성능 평가에 영향을 주지 않는다고 알려져 있다(Pegden, Shannon and Sadowski, 1990).

5) AGV는 한번에 하나의 unit-load만 운반할 수 있다.

6) 두 위치간의 AGV의 이동은 최단경로를 따른다.

7) 유휴차량이 대기위치로 이동중에 발생하는 작업요구가 있으면 즉시 그 운반 작업을 수행한다.

그리고 성능평가를 위한 시물레이션 연구에서 설정한 상황과 실험조건은 다음과 같다:

1) <그림 1>의 작업장 배치도를 사용한다.

2) 작업대상물의 도착시간 간격은 지수분포를 따른다.

3) 실험에 사용할 변수로는 운영 AGV 대수(1 ~ 4대), 작업물의 시스템 내 도착률(0.01 ~ 0.5), 대기위치의 수(1 ~ 8개소) 등이며, 운행되는 차량 모두는 동일한 성능을 갖고 있다.

4) AGV의 운행속도는 1.2m/sec이다.

5) 모의실험은 각 실험마다 5회 반복하고 각 반복시의 실험 수행시간은 60000단위시간으로 초기의 10000단위시간은 워밍업(warming-up)시간으로 실험 통계치 평가에서 제외한다. SIMAN(Pegden, Shannon and Sadowski, 1990)을 사용하여 실험을 수행하였다.

문제의 모형을 위하여 다음의 기호들을 사용한다:

N : 유도경로 네트워크상의 노드들의 집합

n : 유도경로 네트워크상의 노드들의 수. 즉, $|N|$

m : 대기위치의 수 ($m \geq 1$)

표 2. 작업장별 가공시간 분포

작업장 번호	1	2	3	4	5	6	7	8
시간(분)	U[7,9]	U[5,7]	U[6,8]	U[2,4]	U[5,7]	U[8,10]	U[9,11]	U[5,7]
작업장 번호	9	10	11	12	13	14	15	16
시간(분)	U[4,6]	U[7,9]	U[1,3]	U[3,5]	U[6,8]	U[9,11]	U[2,4]	U[1,3]

* U[a,b]는 하한이 a이고 상한이 b인 연속 일양분포를 나타낸다.

표 3. 유입유출량과 작업요구 확률

To \ From	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	합계	Pickup 확률 \hat{P}_{Li}
1				80													80	.0762
2						20											20	.0190
3							80										80	.0762
4								80									80	.0762
5	80	20						10									110	.1048
6							40										40	.0381
7										120							120	.1143
8											10	80					90	.0857
9													40				40	.0381
10																140	140	.1333
11																10	10	.0095
12				80													80	.0762
13					20												20	.0190
14									40					20			60	.0571
15	10																10	.0095
16														60	10		70	.0667
합계	90	20	80	80	20	20	120	90	40	120	10	80	60	60	10	150	1050	

V : AGV의 대수
 x_k : 대기하고 있는 k 번째 AGV의 대기위치 ($k = 1, 2, \dots, m$)
 X : AGV의 대기위치 (x_1, x_2, \dots, x_m)의 집합
 f_{ij} : 노드 i 에서 노드 j 까지의 물자 흐름량 ($i, j = 1, 2, \dots, n$)
 P_i : 노드 i 에서 최초의 선적작업이 발생될 확률 (최초호출확률)
 $d(i, j)$: 노드 i 에서 노드 j 까지의 AGV의 최단운행거리
 v : AGV의 운행속도

어느 특정한 유타량 운영정책이 얼마나 효과적인가 하는 문제에 대해 본 연구에서는 궁극적으로 시뮬레이션을 통해서 평가하려고 한다. 그러나 본 연구에서는 유타량의 최적 대기위치 결정문제를 다음과 같은 목적함수를 가지는 문제로 보고자 한다. 이와 같은 관점을 바탕으로 이후의 절에서 여러 가지 운영정책을 제시하겠다.

$$\text{Min}_X (1/v) \sum_{i=1}^n P_i \text{Min} [d(x_i, i), d(x_2, i), \dots, d(x_m, i)] \quad (1)$$

만약, 위의 식에서 상수항, $(1/v)$ 을 제거하면 최종적으로 다음과 같은 목적함수를 얻을 수 있다.

$$\text{Min}_X f(x) = \sum_{i=1}^n P_i \text{Min} [d(x_i, i), d(x_2, i), \dots, d(x_m, i)] \quad (2)$$

그러므로, 식 (2)는 가장 인접한 대기위치로부터 각각의 선적장까지의 최단거리의 가중평균을 최소화하는 문제로 해석

할 수 있다. 여기서 하역장은 고려할 필요성이 없다. 왜냐하면 하역장에서는 작업요구가 발생되지 않기 때문에 P_i 는 0이 되어 목적함수 값에 영향을 끼치지 않는다. 아울러 합류노드 (merging only node, <그림 1>에서 I22나 I24처럼 두 개 이상의 입력아크가 있고 하나의 출력아크가 있는 교차점)도 최적의 대기위치가 될 수 없으므로 고려 대상에서 제외할 수 있다(Kim and Kim, 1998). 여기서 P_i 는 노드 i 에서 최초로 운반요구(pickup call)가 발생할 확률인데, 최초의 운반요구만을 고려하는 이유는 그 이후의 운반요구 발생가능성을 고려하는 것이 현장의 불확실한 상황을 고려할 때 큰 의미가 없다고 보기 때문이다. 또 최초의 운반요구 발생확률도 사용하는 정보의 내용에 따라 달리 추정될 수 있는데, 뒤에서 소개되는 서로 다른 대기위치 결정법들은 이 확률의 추정에 있어서 사용되는 자료와 추정방법이 다르다는 것이 차이점이다.

3. 고정 대기위치(Static Positioning: SP)

3.1 고정 대기위치 결정법

평균반응시간을 가능한 한 짧게 하기 위해서는 유타 AGV들을 다음 운반요구가 발생할 가능성이 높은 작업장 근처에 미리 위치시켜 놓는 것이 좋을 것이다. 따라서, 작업 요구들이 서로 독립이라고 한다면 다음 작업요구가 특정 상차위치에 관련 될 확률(P_i)의 추정치를 다음과 같이 구할 수 있다.

표 4. 고정 대기위치 결정법에 의한 대기위치와 반응시간

구분 \ m	1	2	3	4	5	6	7	8
최적 대기위치	(P8)	(P5,P8)	(P5,P8, P16)	(P3,P5, P8,P16)	(P3,P4, P5,P8, P16)	(P3,P4, P5,P8, P10,P16)	(P3,P4, P5,P8, P9,P10, P16)	(P3,P4, P5,P8, P9,P10, P14,P16)
반응시간(분)	0.5660	0.3835	0.2513	0.1788	0.1587	0.1142	0.0704	0.0514

그림 2. 대기위치수별 평균반응시간의 변화.

할 수도 있을 것이다.

$$\hat{P}_{li} = \frac{\sum_{j=1}^n f_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij}} \quad (3)$$

3.2 고정 대기위치 규칙의 성능분석

시뮬레이션 분석에서는 <그림 1>의 작업장 배치도를 대상으로 고정 대기위치 운영방법의 효율을 분석하였다.

고정 단일 대기위치모형을 사용하였을 경우의 실험 결과에서는 시스템상에서 운행되는 AGV의 대수 (I)가 증가함에 따라 전체적으로 1회 운반작업요구에 대한 평균반응시간은 감소한다. 이것은 너무도 당연한 결과이지만 이를 통하여 AGV시스템의 필요 차량대수 추정의 도구로서 활용할 수 있다. 한가지 유의할 점은 식 (1)을 이용해서 추정된 <표 4>의 반응시간에 비해서 시뮬레이션에 의한 반응시간의 값이 크다는 사실이다. 그 이유는 식 (1)에 따른 반응시간의 추정치는 운영 AGV의 대수에 대한 제한을 두고 있지 않았을 뿐만 아니라 항상 지정된 대기위치에서 대기하고 있던 유틸차량이 운반요구를 수용한다는 전제하에 나온 결과이다.

그러나 실제상황에 있어서는 차량이 대기위치로 이동하고 있는 도중에 운반요구를 통보받을 수가 있고 현재 수행중인 운반작업이 다 끝나기도 전에 이미 다른 운반요구가 대기하고

\hat{P}_{li} 값들의 예가 <표 3>의 마지막 열에 나열되어 있다. $P_i = \hat{P}_{li}$ 로 두고 목적함수 (2)를 만족시키는 X를 $m=1,2,\dots,8$ 각각의 경우에 대해서 전체탐색방식 (total enumeration)을 통하여 구하고 그에 따른 목적함수 f(X)의 값을 구해 보면 <표 4>와 같다. 단일 대기위치를 가진 고정 대기위치 결정문제는 Kim and Kim(1998)에 의해서 자세히 분석되었으며 해 탐색을 위한 효율적인 방법도 제시되어 있다.

<표 4>와 <그림 2>를 보면 새로운 대기위치를 추가로 확보해 나가는 것이 반응시간을 단축할 수 있으나 대기위치의 수를 증가시킴에 따라 반응시간의 감소폭이 체감하고 있음을 알 수 있다.

따라서, 만약 특정 반응시간 이하로 시스템을 운영하여야 한다는 제약이 존재할 경우에는 대기위치의 수를 증가시켜 가면서 그 제약조건을 만족시키는 최소 개수의 대기위치를 결정

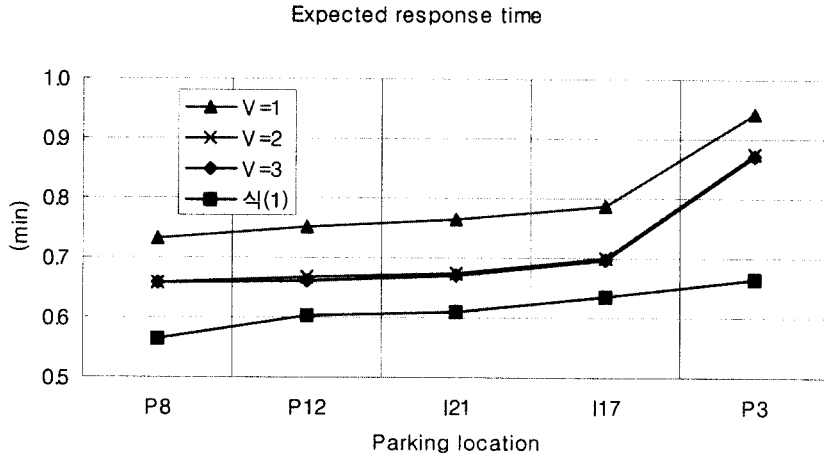


그림 3. 정적인 분석과 시뮬레이션 분석의 평균반응시간 비교.

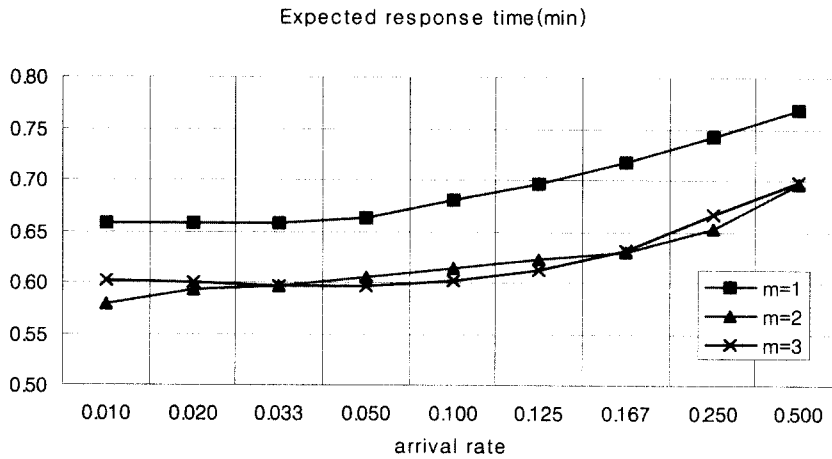


그림 4. 대기위치 수에 따른 평균반응시간의 변화.

있는 경우도 있다. 따라서 차량이 최단반응시간을 목표로 설정된 대기위치에서 항상 출발한다는 가정에서 도출된 식 (1)의 결과보다는 시뮬레이션에 의한 결과가 더 큰 반응시간 값을 가진다는 것은 당연하며 차량의 숫자가 적을수록 그 차이가 크다는 것도 당연한 결과라고 할 수 있다. 그러나 식 (1)이 사용하기 간편하고 나름대로의 직관적인 합리성을 갖추고 있다는 점을 고려할 때 비교기준으로서 식 (1)의 역할에 의미를 둘 수 있다고 생각한다. 또한 시뮬레이션과 식 (1)의 결과가 대기위치의 선호도에 있어서 그 순위가 유지되고 있으므로 식 (1)에 의해서 대기위치를 결정한다 하여도 시뮬레이션 결과에 따라 결정하는 것과 동일한 결과를 준다는 것을 <그림 3>을 통해서 알 수 있다.

그 다음으로 작업요구의 도착률과 대기장소의 수(m)를 변화시켜 가면서 시스템의 성능을 비교하여 보았다. 대기장소의

수에 따른 평균반응시간의 추이는 <그림 4>와 같다. 그림에서 알 수 있듯이 대기위치수에 따라 차량의 반응시간이 상당한 차이를 보이고 있다. $m=1$ 과 $m=2$ 는 차이가 많았으나 $m=3$ 의 경우는 $m=2$ 의 경우보다 오히려 성능이 떨어지는 부분도 있는 것을 미루어 보아, 무조건 대기위치를 늘인다고 해서 평균 반응시간이 개선되는 것은 아니므로 적절한 수의 대기위치를 결정하는 것이 필요하다는 것을 알 수 있다.

<그림 5>는 대기위치 수의 변화에 따른 차량의 이용률의 변화를 보여주고 있는데 이용률은 전체시간 중에서 물건을 싣고 주행하는 시간과 공차 상태이지만 임무를 받아 상차하기 위하여 주행하는 시간 및 대기위치로의 이동시간의 합을 비율을 말한다. 운반요구발생 시점이 동일하고 적재한 상태에서 운행하는 시간이 대기위치 수에 상관없이 동일하다는 점을 고려하면 이용률의 차이는 상차를 위해 주행하는 시간의 차이에

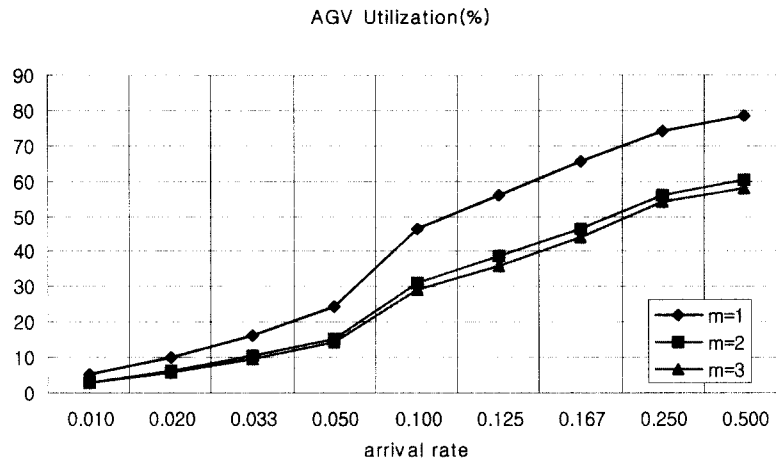


그림 5. 대기위치 수의 변화에 따른 AGV이용률의 변화.

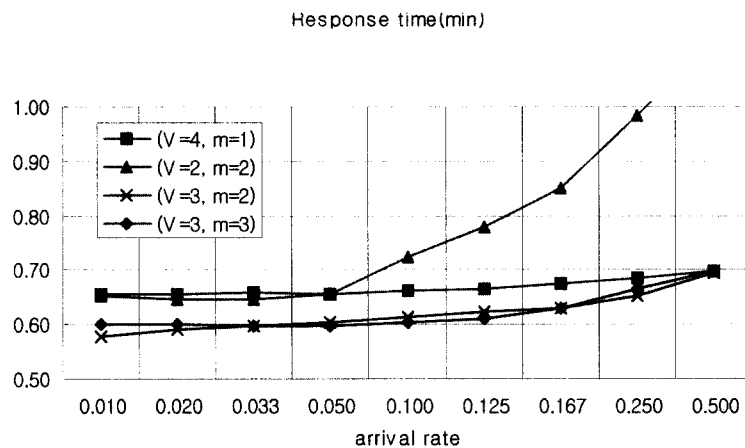


그림 6. 차량과 대기위치의 수의 여러 조합에 대한 평균반응시간.

기인하므로 대기위치의 수가 증가할수록 이용률이 감소하는 것은 반응시간이 줄어드는 것과 일치하는 결과이다.

한편, 유틸상태의 차량이 대기지역에 머문 시간의 비율은 예상대로 AGV 이용률과는 반대의 경향을 보여주고 있다.

다음으로는 차량과 대기위치의 수의 여러 조합이 시스템의 성능에 어떤 영향을 미치는지를 알아보기 위하여 (V=4, m=1), (V=2, m=2), (V=3, m=2), 그리고 (V=3, m=3)의 4가지 조합에 대해서 성능을 비교하여 보았다. 실험한 결과가 <그림 6>에 요약되어 있다.

앞서도 언급하였듯이 운영차량의 대수와 대기위치 수와의 관계를 보면, 대기위치의 수가 많을수록, 운영차량의 대수가 많을수록 반응시간은 감소하는 경향을 보이고 있다. (V=4, m=1)인 경우와 (V=2, m=2)인 경우를 비교해 보면 작업 도착률이 0.05 이하에서는 반응시간이 비슷한 경향을 보이거나 도착률이 이 수준을 초과하면 대기위치의 수보다 운영차량이 많은

(V=4, m=1)인 경우가 반응시간이 낮았다. 이는 다시 말해서 아주 빈번한 운반작업을 수행하여야 하는 시스템에서는 운영차량의 수를 증가시키는 전략을 취하는 것이 차량응답시간의 측면에서는 유리할 것으로 생각된다. 또한, (V=4, m=1)보다는 (V=3, m=2)인 경우나 (V=3, m=3)인 경우가 주어진 도착률 범위내에서는 차량응답시간이 다 낮은 것을 알 수 있다. 종합하면 어느 낮은 범위내의 도착률에서는 대기위치의 수가 반응시간에 더 큰 영향을 주지만 어느 범위를 넘어서면 운영차량의 수가 더 큰 영향을 준다는 사실을 알 수 있다.

지금까지의 고정 대기위치 결정법에서는 실험분석 내용에서 언급된 바와 같이 시스템 내의 상황변화를 반영한 요소(시스템의 시간경과에 따른 상태변화, 운반실적에 따른 작업요구 확률의 변화, 가공물의 가공완료 예정시간 정보 등)를 반영하고 있지 못하다. 그러므로 이러한 요소를 반영하여 AGV 시스템에서의 유틸차량에 대한 대기위치를 다이내믹하게 결정하

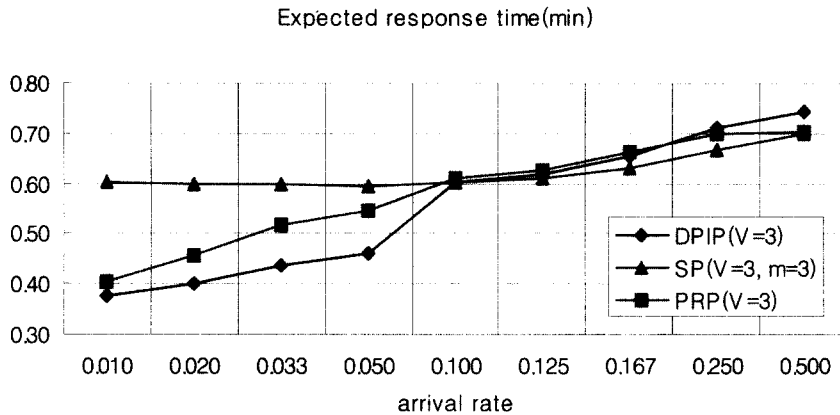


그림 7. DPIP, SP, PRP 방법의 평균반응시간 비교.

여야 할 필요성이 있다. 다음 절부터는 유휴차량의 동적 대기 위치 결정방법을 제시하고자 한다.

4. 고정 운반요구 확률을 이용한 동적 대기위치 결정법(Dynamic Positioning with time Independent pickup Probability, DPIP)

고정 대기위치 결정법에서는 대기위치의 수와 장소를 미리 정해두고 유휴차량이 발생하면 비어 있는 가장 가까운 대기 위치로 가든지, 비어 있는 대기위치가 없으면 채워져 있더라도 가장 가까운 대기위치로 간다. 그렇게 하면 유휴차량의 수가 대기위치의 수보다 많아지게 되는 경우에는 동일한 대기위치에 여러 대의 유휴차량이 대기하게 된다. 이는 유휴차량의 중복으로 인해 다른 곳에 대기시켰을 경우에는 추가로 반응시간을 줄일 수 있는 기회를 놓친 것이라고 할 수 있다. 또, 일단 한번 대기위치가 정해진 차량은 대기위치를 변경하지 않는다고 하면 차량이 대기위치를 떠나는 것은 운반요구의 무작위한 발생에 달려 있는 것이므로 대기위치에 남게 되는 차량의 위치들은 최적의 분포가 아닐 가능성이 많다. 사용 가능한 대기위치의 수가 유휴차량의 수를 능가하는 경우에 위와 같은 상황이 발생할 것이다. 이 경우 고정 대기위치 결정법에서처럼 유휴차량이 새로 생겼을 때, 가장 가까운 빈 대기위치로 가기보다는 현재의 분포를 고려하여 새롭게 최적의 추가 대기위치를 찾아 볼 수 있을 것이다. 이와 같은 점들을 고려하여 모든 비어있는 노드들을 유휴차량의 대기가능 위치라고 가정하고, 새롭게 유휴차량이 생겼을 때 그 중에서 어느 노드가 가장 반응시간을 많이 줄여줄 수 있을지를 계산하여 대기위치를 동적으로 결정하여 나가는 방식이 이 절에서 제안하는 고정 운반요구 확률을 이용한 동적 대기위치 결정법이다. 여기서 고정 운반요구 확률이란 말을 사용한 것은 시간에 따라 운반요구가 특정 노드에서 발생할 확률이 변하지 않는다는 뜻이다.

즉, m 개의 대기위치에 유휴차량이 이미 대기하고 있는 상태에서 한 차량이 작업을 완료하고 유휴상태로 되었을 때, 다음과 같은 문제를 풀어 대기위치를 결정한다:

$$\text{Min}_{x_{m+1}} f(x_{m+1}|x_1, x_2, \dots, x_m) =$$

$$\sum_{i=1}^m P_i \text{Min} [d(x_i, i), d(x_2, i), \dots, d(x_m, i), d(x_{m+1}, i)] \quad (4)$$

식 (4)에서 P_i 의 추정치로서 고정 대기위치 결정법에서 사용한 식 (3)의 추정식을 사용한다.

이 결정법을 사용한 경우의 모의실험 수행결과가 <그림 7>에 주어졌다.

고정 운반요구 확률을 고려한 동적 대기위치 결정방법인 DPIP법의 경우를 고정 대기위치 결정법의 경우 ($V=3, m=3$)와 비교하여 보면, 작업도착률이 0.1이하에서는 반응시간이 큰 폭으로 더 낮았으나 그 이후부터는 고정 대기위치 정책의 경우가 작업장의 운반요구에 대하여 차량의 반응시간이 오히려 조금 낮음을 볼 수 있다.

그 원인을 분석해 보면, 동적으로 대기위치를 결정하는 방식에서는 시스템 내로의 유입량이 증가하게 되면 그 만큼 각 작업장에서의 운반요구 건수가 증가하게 된다. 그 경우 대기위치가 너무 분산되는 DPIP법의 경우는 정작 차량의 대기가 필요한 대기위치에는 차량이 비게 되는 경우가 빈번하게 발생하게 되어 오히려 성능의 저하를 가져온 것으로 생각된다.

또한, 작업종료위치 대기방법 (PRP)과의 비교에서도 시스템 내의 작업도착률이 0.1이하에서는 대체적으로 DPIP법이 보다 우수한 반응시간을 보여주고 있으나, 그 이상이 되면 제시한 방법과 PRP법이 비슷한 결과를 보여주고 있다. 따라서 시스템 내로의 유입량이 증가함에 따라 동적으로 대기위치를 변화시키는 DPIP 방법이 별다른 효과를 거두고 있지 못함을 시사한다 할 수 있다.

다른 성능변수로서 체류시간 (flow time)과 운반요구 대기열

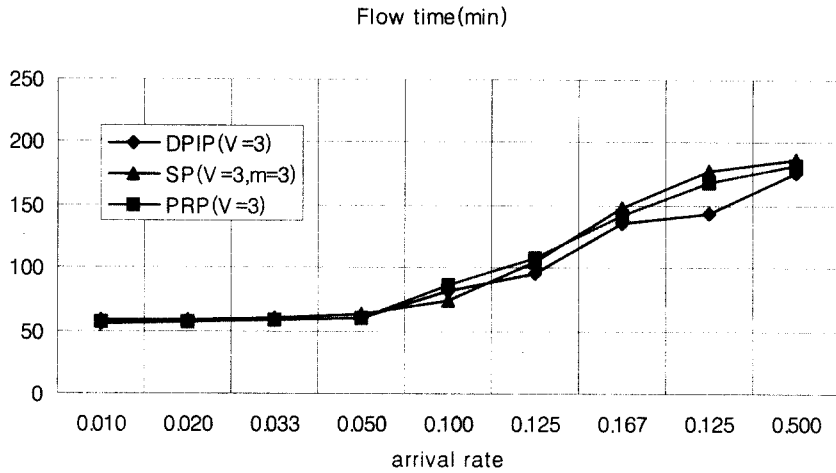


그림 8. DPIP, SP, PRP 방법의 체류시간 (flow time) 비교.

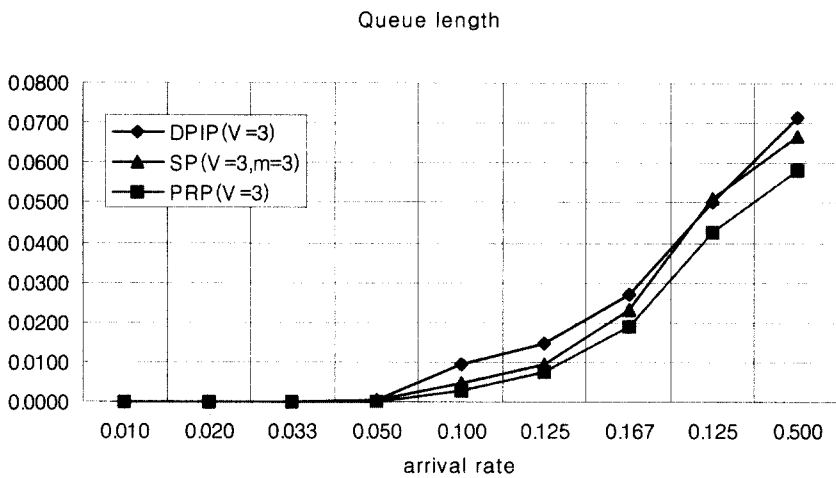


그림 9. DPIP, SP, PRP방법의 운반요구 대기열의 길이 비교.

(작업장에서 가공을 마치고 운반을 대기중인 작업들의 평균 수)은 <그림 8> 및 <그림 9>에 나타내었다. <그림 8>에서 보듯이 체류시간은 작업도착률이 0.1이하에서는 별차이를 보이고 있지 않다가 그 이상이 되면 PRP 방법에 비하여 나은 결과를 보여주고 있다. 아울러 SP 방법의 경우는 작업도착률이 0.125 이상이 되면 약간 증가함을 볼 수 있다. 한편, 운반요구 대기열의 길이는 DPIP 방법의 경우가 다소 길게 나타났다.

이상을 종합하여 보면 작업도착률이 증가함에 따라 제시한 DPIP 방법이나 PRP 방법에 비하여 SP 방법의 체류시간이 좀 더 증가함을 볼 수 있고(<그림 8> 참조), 반면에 평균반응시간이나 운반요구 대기열에 있어서는 큰 차이를 보이고 있지 않다(<그림 7>과 <그림 9> 참조). 이는 역으로 현재 실제적으로 고정대기위치 결정방법이 적용의 편리성으로 인하여 가장 흔히 사용되고 있다는 점을 고려하면 동적으로 대기위치를 결

정해야 할 필요성이 있다는 점을 시사하고 있다고 할 수 있다.

5. 총 운반횟수가 알려진 경우의 동적대기위치 결정법(Dynamic Positioning with time Dependent pickup Probability, DPDP)

일정기간 동안 처리하여야 할 각 작업장의 운반요구량은 시간이 경과함에 따라 최초의 상태보다 감소하게 되는 것이 일반적이라 할 수 있다. Chang and Egbelu(1996)은 각 작업장의 남은 운반요구량이 시간이 경과함에 따라 점차적으로 줄어들므로 작업요구확률도 작업시간이 경과함에 따라 초기상태와는 달리 변화한다는 점을 고려하였다. Chang의 논문에서는 단일 루프 형태의 네트워크를 대상으로 하였지만 본 연구에서도 일

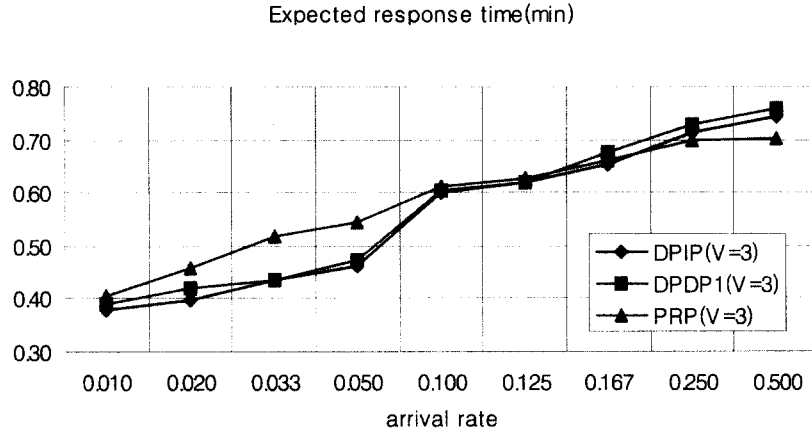


그림 10. DPDP 1, DPIP, PRP 방법의 평균반응시간 비교.

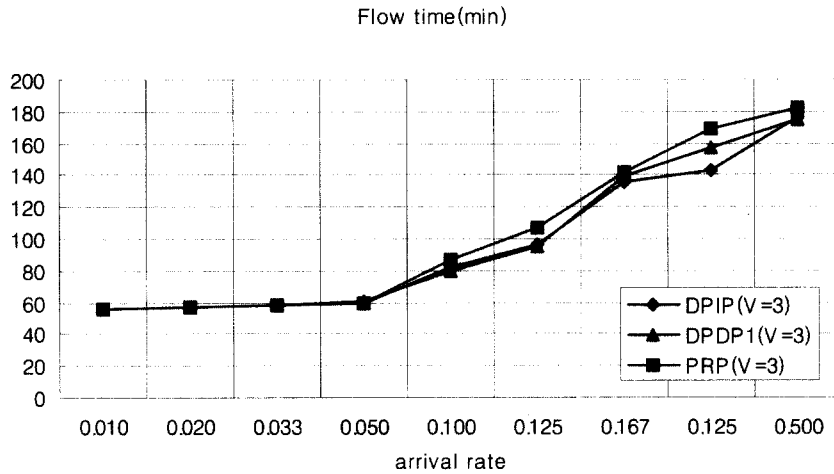


그림 11. DPDP 1, DPIP, PRP 방법의 체류시간 비교.

반적인 네트워크를 대상으로 Chang의 개념을 적용한 동적 대기위치 결정법의 성능을 테스트해 보고자 한다.

어느 특정 교대작업시간이 시작할 시점에서 생산계획에 의거해서 그 교대작업시간 동안 발생할 작업장들 사이의 운반량을 예측할 수 있다. 그 예측량이 <표 3>과 같이 주어졌다고 하자. 시간이 경과함에 따라 작업장에서 작업이 진행되는 속도가 다르기 때문에 남게 되는 운반 요구량의 비율은 초기 비율과 차이가 난다. $f_{ij}(t)$ 를 i 시점에서 수행되지 않고 남은 작업장 i 에서 j 까지의 운반예정량이라고 한다면 $f_{ij}(0)$ 는 초기 운반예정량이라고 할 수 있다. 시간이 진행됨에 따라 운반이 진행되므로 $f_{ij}(t) < f_{ij}(0)$ 가 항상 성립된다. 고정대기위치 방법에서는

$$\hat{P}_{1i} = \sum_{j=1}^n f_{ij}(0) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij}(0)$$

을 이용하였으나 $f_{ij}(t) \neq f_{ij}(0)$ 이므로 다음과 같이 새로운 추정식을 제시한다.

$$\hat{P}_{2i} = \sum_{j=1}^n f_{ij}(t) / \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij}(t) \quad (5)$$

본 절의 모의실험을 위한 가정은 DPIP법의 경우와 동일하게 설정하였다. 실험조건으로는 다음과 같은 2가지 경우를 고려하였다.

실험 조건 1 (DPDP 1): <표 1>에 언급된 4가지 다른 제품들이 서로 혼합되어 무작위로 도착하는 경우이다. 단, 전체 제품별 도착비율은 <표 1>에 제시된 물량만큼의 비율을 교대시간 동안 유지한다.

실험 조건 2 (DPDP 2): <표 1>에 언급된 4가지 다른 제품들이 도착하는 비율이 시간에 따라 변하는 경우이다. 이 실험에

서는 일정기간 동안은 특정한 하나의 제품만 도착하고 다른 기간 동안에는 다른 제품만이 시스템 내에 도착하는 특수한 상황을 설정하였다. 물론, 전체 교대기간 동안의 제품별 도착비율은 <표 1>에 제시된 물량만큼의 비율을 유지하도록 하였다.

실험중에 유휴차량이 발생할 때마다 식 (5)를 이용하여 새로운 $P_{2i}(t)$ 를 노드별로 계산한 다음, 식 (4)를 이용하여 다음 대기위치를 결정하였다.

먼저, 실험조건 1의 결과치를 동일 조건하에서 운반실적을 고려치 않은 DPIP법의 실험 결과와 비교하여 반응시간을 <그림 10>에 나타내었다. 실험조건 1하에서의 DPDP법의 효과는 운반실적을 고려치 않은 DPIP법의 실험결과와 비교해서 평균 반응시간 측면에서는 그다지 개선되지 않음을 보여준다. 이는 작업장의 운반이 하나씩 수행될 때마다 최초호출확률을 계산에 반영시키더라도 운반요구가 여러 작업장 사이에 균일하게 발생하므로 초기의 작업장별 운반요구 확률과 거의 일치되고 있음으로 인해 나타난 결과로 보여진다. 다시 말해서 시스템 내에 도착하는 제품들이 혼합되어 들어올 경우에는 작업장의 운반요구 확률의 변동 정도가 거의 비슷하게 변화하기 때문에 이러한 시스템 조건하에서는 그 효과가 미비하게 나타나고 있는 것이다.

다른 성능변수로서 체류시간의 결과는 <그림 11>에 나타내었다. <그림 11>에서 보듯이 체류시간은 거의 모든 작업도착률에서 PRP 방법에 비하여 나은 결과를 보인다. 아울러 DPIP 방법과는 거의 유사한 결과를 보여주고 있음을 알 수 있다. 따라서 DPDP 1방법은 4절에서 제시한 DPIP 방법과 같이 체류시간을 보다 단축할 수 있기 때문에 생산율을 증가시킬 수 있는 대기위치 결정방법이라 생각된다. 즉 운반작업의 진행에 따라 변화되는 호출확률을 반영하면서 동적으로 대기위치를 결정하는 방법이 이러한 변화를 고려치 않는 PRP 방법에 비하여 유입량이 많은 경우에 더 나은 결과를 보여주고 있다. 다시 말해서 총 작업량이 정해진 경우에 작업이 진행됨에 따

라 작업장의 운반요구 발생확률이 변화하게 되는데, 이를 반영하여 대기위치를 결정하는 DPDP 1 방법이 체류시간측면에서 보다 효과적인 방법이라는 것을 알 수 있다.

실험조건 2에서의 결과치를 비교하여 보면, 작업장별 운반요구 발생확률이 시간대별로 변동폭이 큰 상황하에서는 DPDP법의 효과가 확연히 나타남을 알 수 있다. <그림 12>를 보면 시스템 내 작업도착률이 0.167까지는 DPDP방식이 효과가 큼을 알 수 있다.

또한, 작업종료위치 대기방법 (PRP)과의 비교에서도 시스템 내의 작업도착률이 크게 증가(0.25)하지 않는 이상 DPDP 2법이 보다 나은 반응시간을 보여주고 있다.

한편, AGV 이용률, 적재상태 AGV의 운행시간 비율, 빈 상태 AGV의 운행시간 비율, 유휴상태 AGV의 대기지역 내 대기시간 비율에 있어서는 DPIP 방법과 DPDP 2 방법간의 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 운반요구 대기열의 길이에서는 <그림 13>에서와 같이 작업도착률이 0.125이상에서는 DPDP 방법에 의한 대기위치 결정방법이 DPIP법이나 PRP법에 비하여 보다 나은 결과를 보여 주었다. 이는 동일 제품이 연속적으로 작업장에 투입되는 특수한 상황을 설정하였기 때문에 전체 유입량을 기준으로 호출확률을 계산하여 대기위치를 결정하는 DPIP 방법이나 이를 전혀 고려치 않는 PRP 방법에 비하여 보다 효과적임을 보여 주었다고 할 수 있다. 즉, 일정기간 동안에는 일정한 작업장을 통과하는 제품들이 도착하게 되는데, 이를 고려치 않는 DPIP 방법이나 PRP 방법에 의한 대기위치 선정은 유입량이 많아질수록 더욱 더 운반요구 대기열의 길이를 증가하게 하는 요인으로 작용하는 것이다.

따라서 총 운반횟수가 알려진 경우의 동적 대기위치결정법은 앞서 언급한 바와 같이 시간의 경과에 따라 작업장별 운반요구량의 변동폭이 큰 작업상황에 더욱 효과적인 방법이라 할 수 있다.

이와 같이 실제로 최초호출확률은 작업이 진행되는 작업장

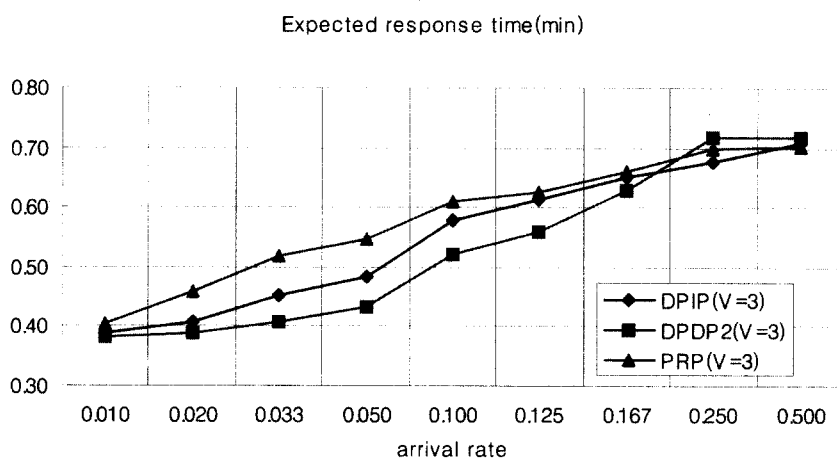


그림 12. DPDP 2, DPIP, PRP 방법의 평균반응시간 비교.

에서는 시간이 경과함에 따라 초기값과는 달라질 것이며, 이를 고려한 동적 대기위치 결정법을 통하여 실제현장의 AGVS 운영전략의 수립에 도움을 줄 수 있으리라 생각된다. 따라서, 다품종 소량생산방식에서와 같이 하루중 시간대별로 생산되는 제품이 다른 경우와 같이 하루 중 또는 월중의 작업장별 운반작업 패턴의 변동이 큰 상황에서 작업장의 운반작업요구에 대한 운반차량의 반응시간이 중요한 결정요소로 작용하는 차량 대기위치 결정문제는 DPDP법을 적용하는 것이 보다 효과적이라 할 수 있다.

6. 작업완료시간을 예측한 동적 대기위치 결정법
(Dynamic Positioning with a Lock-ahead Capability, DPLC)

DPLC법이란 시스템 내에서 차량이 운반작업을 완료한 후에 다음 운반요구가 존재하지 않을 경우, 각 작업장에서 현재까지 진행중인 가공작업의 진행상황을 고려하여 언제 완료될 것인지에 대한 예측치를 이용하여 유휴차량의 대기위치를 결정하는 방법을 말한다. 즉, 모든 작업장에서 진행중인 가공작업의 완료 예상시점을 새로운 대기위치를 결정할 필요가 발생할 때마다 점검하여, 이로부터 예상 최초호출확률을 추정한 후 이 확률을 근거로 최적 대기위치를 결정하여 그곳으로 유휴차량을 이동시키는 전략이라 할 수 있다.

DPLC법에 있어서도 DPIP법의 경우와 동일하게 가정하였다.

t_0 를 현재 시간, $f_i(x)$ 를 작업장 i 의 가공시간에 대한 확률밀도함수, $F_i(x)$ 를 작업장 i 의 가공시간에 대한 누적 확률밀도함수라고 하고, $g_i(x)$ 를 $f_i(x | x > t_0)$ 라고 하면,

$$g_i(x) = \frac{f_i(x)}{1 - F_i(t_0)}, \quad x > t_0 \tag{6}$$

로 쓸 수 있다.

최초호출확률은 특정 작업장에서 가장 먼저 운반작업요구가 발생할 확률이므로, 작업장 i 에서의 P_i 는 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{P}_{3i} &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{x_i}^{\infty} \dots \int_{x_i}^{\infty} g_i(x_i)g_1(x_1)\dots g_{i-1}(x_{i-1}) \\ &\quad g_{i+1}(x_{i+1})\dots g_n(x_n)dx_n \dots dx_{i+1}dx_{i-1}\dots dx_1dx_i \\ &= \int_{t_0}^{\infty} g_i(x_i) \prod_{all k(\neq i)} G_k(x_i)dx_i \end{aligned} \tag{7}$$

이때 $G_k(x) = \int_x^{\infty} g_k(y)dy$ 이다.

시간 t_0 에서 유휴차량이 발생하였을 때, 각 작업장의 최초호출확률을 식 (7)로부터 추정하여 그 값이 가장 큰 노드로 차량을 보낸다.

실제 모의실험에서는 $f_i(x)$ 로 일양분포를 사용하였으며, 실험의 조건으로서 가공시간분포의 구체적인 매개변수는 <표 2>의 자료를 사용하였으며, 나머지는 DPIP의 경우와 동일하게 설정하였다.

실험의 결과로서 시스템 내로의 작업도착률에 따른 반응시간은 <그림 14>와 같다. <그림 14>에 나타난 바와 같이 반응시간 측면을 보면, 예상 호출확률을 고려한 DPLC 방법이 이를 고려하지 않은 DPIP법에 비하여 전반적으로 더 나은 결과를 보여주고 있다. 이는 앞서 언급한 대로 가공작업이 완료되어 각 작업장에서 다음 작업장으로 운반요구할 가능성을 반영한 추정확률을 사용함으로써 미리 그 장소(작업장)를 대기위치로 결정하여 차량을 이동 대기시키는 효과가 가공작업 완료시간에 대한 정보를 사용하지 않고 작업장 내의 운반실적을 토대로 한 고정된 작업요구확률을 사용하는 방법에 비하여 더 나은 결과를 보여주고 있음을 입증하고 있다. 그러나, 그림에서

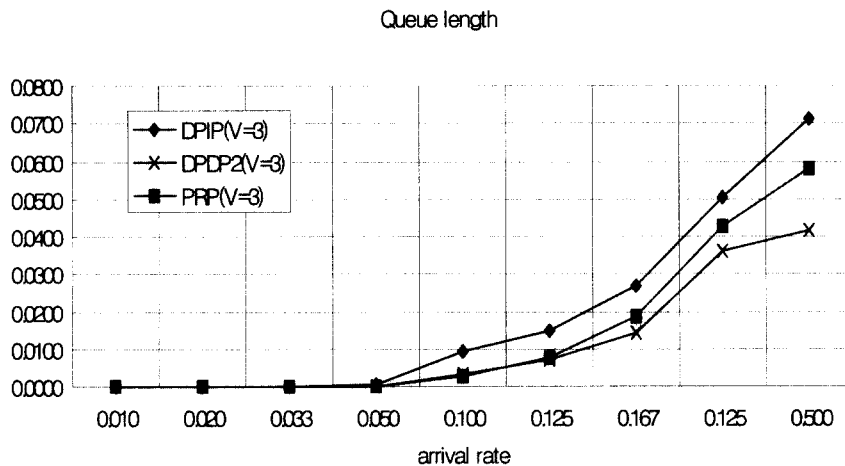


그림 13. DPDP 2, DPIP, PRP 방법의 운반요구 대기열의 길이 비교.

보듯이 시스템 내로의 작업도착률이 클 경우에는 그다지 큰 차이를 보여주고 있지 않다.

고정 대기위치 결정법($SP(V=3, m=3)$)과 비교해도 작업의 시스템 내 도착률이 0.1미만에서는 현저한 차이를 보여주다가 그 이상이 되면 그 차이가 크게 줄어들고 있음을 알 수 있다. 또한, PRP 방법과의 비교에서도 DPLC법이 보다 나은 반응시간을 보여주고 있다. 따라서 작업완료시간을 고려하여 이를 바탕으로 예상호출확률을 추정하는 것이 기존의 방법인데 비하여 반응시간 측면에서는 보다 효과적인 방법임을 보여주고 있다.

한편, 체류시간에 있어서는 DPLC 방법이 DPIP 방법이나 PRP 방법에 비해 비교적 나은 결과를 보여주고 있음을 볼 수 있다. 운반작업 대기중인 작업장의 운반요구 대기열 길이에 있어서는 작업도착률이 0.1 이상에서는 다른 방법에 비하여 좋은 결과를 보여주고 있지 못함을 볼 수 있다. 이러한 결과는

DPLC 방법에 있어서의 작업완료시간의 추정에 따른 대기위치 결정이 실제 작업완료시간과 어느 정도 차이가 발생한 결과로 보인다. 전반적으로 DPLC 방법이 평균반응시간이나 체류시간의 측면에서는 다른 방법에 비하여 보다 효과적임을 보여주고 있다.

다른 기타 성능변수의 경우를 보면, 차량이용률의 경우 DPLC 방법이 예상호출확률을 고려치 않은 방법에 비하여 그 이용률이 전반적으로 높게 나타나고 있다. 또한, 빈 상태 차량의 운행시간비율에서는 예상호출확률을 고려치 않을 때와 비교해서는 전반적으로 증가하는 현상을 보여주고 있다. 이러한 결과는 대기장소에서의 유류차량 대기시간비율이 이러한 운영전략을 사용치 않을 때보다 더 작음을 통해서도 알 수 있다. 그러나 시스템 내로의 작업도착률이 크게 증가하는 경우에는 이 운영전략이 차량이용률과 빈 상태 차량운행시간 비율면에 있어서는 더 낮은 값을 가짐을 보여주고 있다.

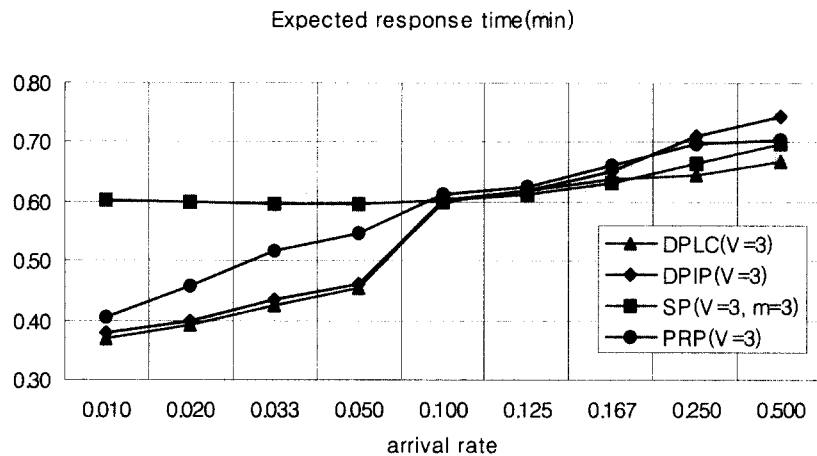


그림 14. DPLC, DPIP, SP 그리고 PRP 방법의 평균반응시간 비교.

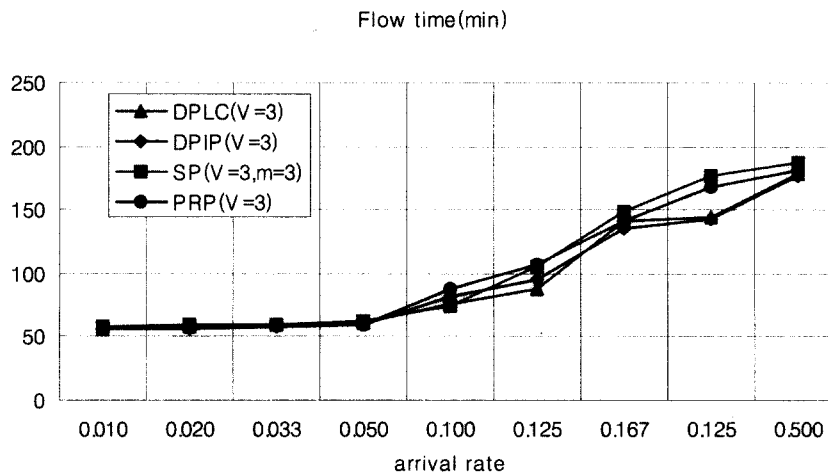


그림 15. DPLC, DPIP, SP 그리고 PRP 방법의 체류시간 비교.

따라서, 반응시간은 이 전략을 사용하지 않을 때보다 감소시킬 수 있으나 차량이 좀더 빈번하게 움직여야 하는 관계로 차량이용률이나 빈 상태 이동비율 등은 전략을 사용하지 않을 때보다 증가하므로 반응시간이 중요한 성능평가 척도일 경우에 적절한 운영전략으로 사용가능할 것으로 생각된다.

이와 같은 대기위치 결정법을 사용할 경우에는 가공대상 작업물의 가공종료확률의 예측이 특정 수준 이상 가능할 경우보다 효과적일 것으로 생각된다. 따라서 이 방법의 적용에 대한 좀더 명확한 가이드 라인을 제공하기 위하여 여러 가지 가공시간분포를 적용해 보거나 분포의 매개변수의 형태에 따른 시스템의 성능변화에 대한 연구를 해야 할 것으로 사료되나 이 부분에 대한 것은 향후 연구과제로 남겨둔다. 다만, 본 연구에서는 이러한 동적 대기위치 결정법의 접근방식과 그 적용효과의 제시에서 그 의미를 부여할 수 있을 것이다.

7. 고정대기위치, 동적대기위치, 작업종료위치 대기 방법의 비교

지금까지의 제시된 여러 가지 대기위치 결정방법들에 대한 실험결과를 종합해 보면 일반적으로 그 결과가 성능변수에 따라 유사한 패턴을 보임을 알 수 있다. 먼저, 평균반응시간 측면에서는 작업도착률이 0.1 이하인 경우에는 상황에 따라 제시된 동적 대기위치 결정방법(이하, DP 방법)들의 성능이 SP 방법이나 PRP 방법보다 확연히 나은 결과를 보여 주었으며, SP 방법보다는 PRP 방법이 보다 나은 결과를 보여주었다. 그러나 작업도착률이 큰 경우(보통 도착률이 0.1 이상인 경우)에는 제시된 SP 방법과 DP 방법들보다는 PRP 방법이 조금 나은 경우도 있었으나 그 차이는 미미하였다.

다른 성능변수로 제시한 체류시간 측면에서는 시스템으로

의 유입량이 적을 경우, 즉 작업도착률이 0.1이하인 경우에는 SP 방법, DP 방법 그리고 PRP 방법간에 별다른 차이를 보이지 않다가 0.1 이상에서는 DP 방법들을 적용하는 것이 SP 방법보다 전반적으로 성능이 좋았으며, PRP 방법보다도 조금 나은 결과를 보여 주었다. 아울러 SP 방법보다는 PRP 방법이 보다 나은 결과를 보여주었다.

한편, 작업요구 대기열의 길이 측면에서는 유입량이 적은 경우에는 제시된 SP 방법과 DP 방법들간이나 PRP 방법간에 비슷한 성능을 보이다가 0.1 이상으로 커질수록 제시된 방법들보다는 PRP 방법에 의한 결과가 조금 나은 성능을 보였으며, SP 방법과 DP 방법들간에는 그다지 큰 차이를 보이지 않았다.

따라서, 시스템으로의 유입량이 적을수록 평균반응시간 측면에서는 본 연구에서 제시된 DP 방법들이 PRP 방법보다는 대체적으로 좋은 성능을 보였으며, 체류시간과 작업요구 대기열 길이측면에서는 제시된 방법들과 PRP 방법간에 비슷한 결과를 보이고, 유입량이 많아지는 경우에는 일반적으로 평균반응시간 측면에서는 방법 사이에 큰 차이가 없었으며, 체류시간 측면에서는 전반적으로 제시된 DP 방법들이 그리고 작업요구 대기열 길이 측면에서는 PRP 방법이 좋은 결과를 보이는 성향을 발견할 수 있었다.

이러한 성능변수에 따른 대기위치 방법들간의 비교분석 결과를 하나의 표로 요약하였다(<표 5> 참조).

이와 같이 본 연구에서 제시된 대기위치 결정방법들의 효과가 성능변수와 시스템 내로의 유입량의 많고 적음에 따라 다른 결과를 보이고 있는데, 그 중에서 SP 방법의 체류시간이 유입량이 많아질수록 다른 DP 방법이나 PRP 방법보다 좋지 못한 원인을 추정하여 보면, SP 방법의 대기위치는 유입유출표상의 유출량을 기준으로 미리 확정된 운반요구확률을 사용하여 결정하게 된다. 즉, 결정된 초기 대기위치들은 작업의 진행과는

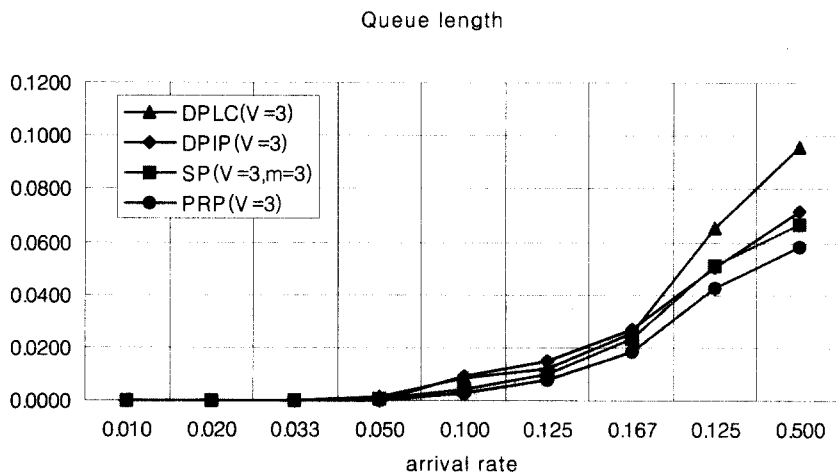


그림 16. DPLC, DPIP, SP 그리고 PRP 방법의 운반요구 대기열의 길이 비교.

표 5. 고정대기위치, 동적대기위치, 작업종료위치 대기 방법간의 성능비교

성능변수		대기위치 방법	고정대기위치 (SP)	동적대기위치 (DP)	작업종료위치 (PRP)
유입량이 적은 경우	반응시간		C	A	B
	체류시간		E	E	E
	운반요구 대기열		E	E	E
유입량이 많은 경우	반응시간		E	E	E
	체류시간		C	A	B
	운반요구 대기열		B	B	A

* 유입량이 많고 적은은 작업도착률 0.1을 기준으로 한 것임.
A, B, C의 결과 순위는 A>B>C이며, 비슷한 결과인 경우는 E로 표기함.

무관하게 변경없이 운영되고 있기 때문에 동적 대기위치 결정 방법보다는 작업처리 능력이 떨어진다고 할 수 있다. 또 유입량이 많아지게 되면 차량이 대기위치에 대기중인 상태에서 운반요구를 받는 경우가 드물게 되므로 대기 위치가 어디냐 하는 것은 의미가 적고, 오히려 이동중에 운반작업을 받는 경우에는 단일방향의 경로 특성상 우회 운행거리가 길어져 PRP에 비해서도 불리한 측면이 있게 된다.

유입량이 많아질수록 운반요구 대기열의 길이 측면에서 PRP 방법보다 제시된 대기위치 방법들의 성능이 좋지 않은 결과를 보이는 원인도 위와 유사한 설명으로 해석이 가능하다. 즉, SP 방법의 경우나 DP 방법의 경우를 막론하고 유입량이 많아지게 되면 한정된 차량으로는 대기위치에서 대기하고 있는 상태에서 운반요구를 수용하는 것보다는 운반작업을 마치고 다음 운반요구를 수행하기 위하여 이동하거나 대기위치로 이동하는 도중에 다음 운반요구를 수용하는 경우가 많아지게 된다. 따라서 대기위치로의 이동을 위하여 작업장을 출발한 직후 바로 전에 운반을 완료한 작업장에서 가장 먼저 운반요구를 받게 되면 단방향 유도경로 특성상 상당한 거리를 우회하여 그 전 작업장으로 이동하게 됨으로써 그곳에서 운반작업을 종료하고 대기하고 있는 PRP 방법보다도 작업장의 운반요구 대기열의 길이를 증가시키는 작용을 하게 되는 것으로 판단된다.

8. 결 론

본 연구에서는 일반적인 유도경로를 갖고 있고 대기위치가 동적으로 변화하는 상황하의 AGV시스템에서의 여러 가지 대기 위치 결정문제에 대하여 상황에 따른 접근방법을 제시하고, 각각의 접근방법에 따라 여러 가지 관련요소들을 고려하여 각 요소의 변화에 따른 시스템의 성능변수에 대한 변화를 시뮬레이션을 사용하여 분석하였다.

고정 대기위치 결정법(SP)에서는 시스템의 운영 AGV의 대수와 대기위치의 수에 따른 반응시간의 변화를 비교 분석하였

다. 이 결정법은 고정된 대기위치를 사용하는 경우에 운영차량의 대수를 산정하는 기초자료로서 활용이 가능할 것이다.

고정 운반요구 확률을 이용한 동적 대기위치 결정법(DPIP)은 대기위치를 결정하기 위하여 운반차량의 작업상황이나 기존 대기위치를 고려하여 그 상황에 최적인 유휴차량의 새로운 대기위치를 결정하여 줌으로써 대기위치를 고정적으로 운영하는 고정 대기위치 결정법에 비하여 반응시간을 크게 감소시킬 수 있음을 보여 주었다.

총 운반횟수가 알려진 경우의 동적 대기위치 결정법(DPDP)은 작업장의 시간에 따른 운반실적의 변화를 고려하여 동적 대기위치를 결정하여 줌으로써 시스템 내의 작업장별 운반작업 패턴이 시간의 경과에 따라 변동이 큰 경우보다 효과적임을 보여 주었다.

작업완료시간을 예측한 동적 대기위치 결정법(DPLC)에서는 작업물의 가공완료시간을 예측하여 이를 예상호출확률화 하여 동적 대기위치를 결정하였으며, 이 방법을 통한 기대효과로서는 작업장에서 가공이 완료된 작업물이 다음 작업장으로 신속하게 옮겨짐으로써 작업장의 출고버퍼(선적장)의 포화를 사전에 예방할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 주된 성능 측도로 삼고 있는 평균반응시간 측면에서는, 시스템으로의 유입량이 적을수록 상황에 따라 제시된 동적 대기위치 결정방법들이 그 효과가 있음을 보였을 뿐만 아니라, 상황을 막론하고 흔히 사용되고 있는 작업종료위치 대기 방법보다도 대체적으로 좋은 성능을 보였다. 그러나 유입량이 적은 경우, 체류시간과 작업요구 대기열 길이 측면에서는 제시된 방법들과 작업종료위치 대기 방법이 비슷한 결과를 보였고, 유입량이 많아지는 경우에는 작업요구 대기열 길이 측면에서 작업종료위치 대기 방법이 오히려 더 나은 결과를 보여주었다. 결론적으로 본 연구에서 제시한 대기위치 결정방법의 경우, 반응시간이 시스템의 중요한 판단기준인 경우이고 시스템으로의 유입량이 그다지 크지 않는 AGV시스템에서의 대기위치 결정방법으로서 효과가 크다고 할 수 있다.

실제 AGV 시스템에서의 유휴차량 대기위치 결정문제는 시

시스템 운영에 영향을 끼칠 수 있는 여러 상황(운영 AGV 대수, 유희차량의 대기위치 수, 운반작업의 발생빈도, 운반작업의 작업패턴 변화, 작업장의 가공시간 분포 등)을 상세히 분석하여 그 득실을 따져 적절한 대기위치 결정방법의 적용여부를 검토하여야 할 것으로 판단된다.

따라서, 이러한 여러 접근방법을 통하여 향후 대기위치 결정문제의 분석을 용이하게 함으로써 앞으로 이 분야 연구를 위한 기초를 제공하여 주었다는데 그 의미를 찾을 수 있을 것이다.

향후 연구과제로서는 본 연구에서 고려하지 못한 AGV의 충전위치 및 시기 등을 고려한 실험, 평균반응시간과 아울러 시스템 내의 체류시간과 운반요구 대기열을 동시에 고려한 대기위치 결정법의 개발, 최적의 pickup 장소와 delivery 장소를 포함할 경우에 대기위치 결정과의 관계 분석, 동적 대기위치 결정을 위한 효율적인 대기위치 탐색방법 (genetic algorithm, beam search 등), Real-time interactive 대기위치 결정 시뮬레이션 프로그램의 개발을 들 수 있다.

참고문헌

- Chang, S. H. and Egbelu, P. J. (1996), Dynamic relative positioning of AGVs in a loop layout to minimize mean system response time, *International Journal of Production Research*, 34(6), 1655-1673.
- Co, G. C. and Tanchoco, J. M. A. (1991), A review of research on AGVS vehicle management, *Engineering Costs and Production Economics*, 21, 35-42.
- Egbelu, P. J. (1993), Positioning of automated guided vehicles in a loop layout to improve response time, *European Journal of Operational Research*, 71, 32-44.
- Kim, J. Y. and Kim, K. H. (1998), Positioning idle vehicles of AGVS on unidirectional guide paths, *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, 24(1), 77-93.
- Kim, K. H. (1995), Positioning of automated guided vehicles in a loop layout to minimize the mean vehicle response time, *International Journal of Production Economics*, 39, 201-214.
- Majety, S. V. and Wang, M. H. (1995), Terminal location and guide path design in terminal based AGV systems, *International Journal of Production Research*, 33(7), 1925-1938.
- McHaney, R. (1995), Modeling battery constraints in discrete event automated guided vehicle simulations, *International Journal of Production Research*, 33(1), 3203-3040.
- Pegden, C. D., Shannon, R. E. and Sadowski, R. P. (1990), *Introduction to simulation using SIMAN*, McGraw-Hill, Inc., New Jersey, USA.