

# 효율적인 AGVS의 운용을 위한 다단계 차량 발주 방식에 관한 연구\*

## A Study on Multi-Stage Dispatching Rule for Efficient AGVS (Automated Guided Vehicle System)

박대희\*\* · 박윤선\*\*\*

Daehee Park · Yunsun Park

### Abstract

It is essential to construct an efficient material flow system for the successful introduction of automated manufacturing systems. Automated Guided Vehicle System(AGVS) plays a significant role more and more in modern manufacturing environments, because of the flexibility and the precision they offer. However, as the size and the complexity of systems increase, the problems of dispatching, routing and scheduling of AGVs become complicated due to their independent and asynchronous demands. In this paper, we review relevant papers, and provide a new and more efficient method for dispatching AGV, named MEVTT(Minimum Empty Vehicle Travel Time) and demonstrate its performance and efficiency using simulation.

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경

산업 사회의 환경 조건이 날로 변화함에 있어서 기업의 생산 능력의 유연화는 매우 중요하게 되었다. 이로 인해 제조 전 분야에 있어서 자동화의 요구가 더욱 더 심화되고 있다. 더욱이 이러한 자동화된 각 부분을 통합하려는 요구가 많아짐으로 물류의 자동

화는 필수적이라 하겠다. 그러나 물류가 자동화를 위하여 모든 생산 요소들을 통합하는데 있어서 매우 중요한 요소로 인식되어 왔음에도 최근에 와서야 관심의 대상으로 부각되어지고 있다. 생산량이나 생산 물품의 종류, 자동화의 정도에 따라 정도의 차이는 있지만 전체 제조 비용의 3분의 2라는 많은 부분을 차지하는 물류 비용은 제품 가치의 향상에는 무관하게 단지 제품 생산의 비용 증대만을 유발하고 있다. 그러므로 이러한 물류 시스템의 개선은 상당한 부분의

\* 본 논문은 명지대학교 부설 산업기술 연구소의 '97 교내연구비 지원으로 수행되었음.

\*\* 삼성 데이터 시스템

\*\*\* 명지대학교 산업공학과

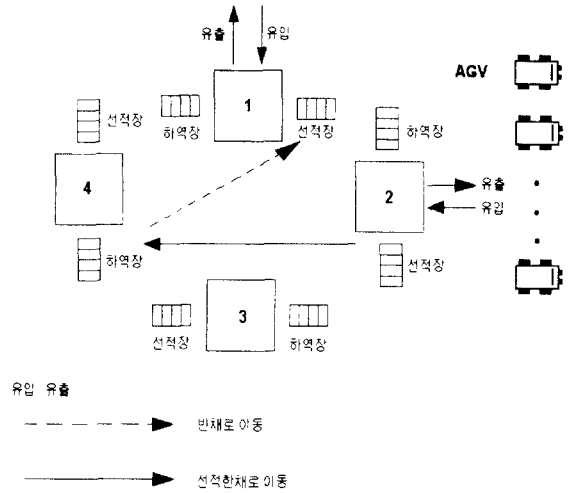
이익이 증가될 잠재력을 가지고 있다 할 수 있다. 이러한 자동화된 물류 시스템의 필요에 따라 1970년 후반부터 무인 운반 차량(AGV : Automated Guided Vehicle)이 물류 시스템의 중요한 요소의 하나로써 그 사용이 확대되어 가고 있다.

이러한 AGV의 효율성은 기기 자체의 성능에도 관련이 있지만, AGV 시스템의 유연성과 복잡도가 증가함에 따라 시스템의 설계와 그에 따른 관리 및 운용 통제에 의해 많은 영향을 받고 있다. 이에 본 연구에서는 운용, 통제면에서 하드웨어적인 변화없이 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 새로운 발주 방식을 제시하고자 한다. 개발된 발주 방식 MEVTT (Minimum Empty Vehicle Travel Time) 발주 방식은 기존의 발주 방식들이 서비스 우선 순위를 결정하는데 있어서 현재의 시스템 상황만을 고려하는데 반해, 서비스를 수행한 후 변화된 시스템의 상황을 다단계로 고려하여 보다 효율적으로 시스템의 상황을 고려할 수 있게 된다.

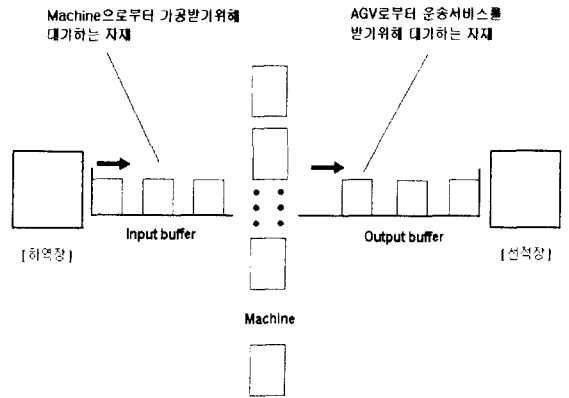
## 2. AGV System의 일반적 고찰

### 2.1 AGVS의 개념

<그림 1>은 AGV 시스템의 개략적 형태를 설명하고 있다. 각 작업장의 선적장은 작업장에서 가공이 끝난 자재가 운반되기까지 대기하는 곳이다. AGV는 이곳에서 자재를 선적한다. 또한 각 작업장의 하역장은 작업장의 가공을 받기 위하여 자재가 대기하는 곳이고, AGV는 가공 받을 자재를 운반하여 이 곳에 하역하게 된다. AGV는 항상 자재를 선적한 채로 움직이는 것이 아니라 임의의 작업장에서 수요가 발생하면 현 위치에서 서비스를 요구하는 작업장까지 빈채로 이동하게 된다. 작업장에 도착하면 운반될 자재를 선적한 후 목적지까지 이동하게 되고, 목적지에서 자재를 하역하면 서비스는 종료된다. <그림 2>는 선적장과 하역장을 포함한 작업장에서의 자재의 이동에 대한 설명을 하고 있다.



<그림 1> AGV System



<그림 2> Workcenter

### 2.2 기존 관련 연구

이러한 효율적인 AGV 시스템의 운용에 관한 연구는 1980년대 이후부터 많이 이루어지고 있다. 대부분의 기존 연구들은 필요한 차량 대수 결정, 차량의 통행 경로 결정, 선적/하역장의 위치 결정등 시스템의 설계시 고려하여야할 요소들에 관한 연구와 시스템의 설계후 AGV의 발주 방식들에 관한 수행도 평가연구, 즉 시스템의 운용에 관한 연구로 분류할 수 있다.

Maxwell[15]과 Maxwell과 Muckstadt[16]는 작업장의

배치와 각 작업장간에 운반해야할 자재 운반량이 결정된 상황에서 주어진 생산율을 만족하는 최소 차량 대수를 확정적인 모형으로 최소의 차량 주행시간을 이용하여 구한 후 기존의 guide path를 효율적으로 운용하기 위하여 트랙의 재배치를 시도하였다. 또한 이러한 배치하에서 차량의 간섭 현상(Blocking)을 줄이기 위한 차량 발주 순서를 정하는 알고리즘을 제시하였다. King 등[13]은 발전법적인(heuristic) 방법으로 시스템을 마코프 의사과정 모델로 보아 자재 도착율에 비중을 두는 RULE 발주 방식을 제안하였다. Leung 등[14]은 이러한 Maxwell과 Muckstadt[16]의 모형을 다른 종류의 AGV가 사용될 경우로 확장하였다. 조면식[18]은 AGV 시스템을 AGV가 고정된 서버의 역할을 수행하는 개념적인 대기 행렬 모델로 보고 확률적인 모형을 수립하여 시스템의 수행도와 시스템내의 평균 대기시간을 구하여 모의 실험의 결과와 비교하였다. Egbelu[8][9]는 작업장의 배치와 각 작업장간에 운반해야할 자재 운반량이 주어진 상황에서 필요한 AGV대수를 구하기 위하여 빈(선적하지 않은) AGV의 발주 방식을 고려하지 않은 4개의 간단한 모형을 제시 하였다. 또한 이러한 모형들을 Egbelu와 Tanchoco[10]에 사용된 발주 방식들을 사용하여 평가한 결과 이들 모형들의 성능은 발주 방식에 많은 영향을 받음이 실험적으로 입증되었다. Egbelu와 Tanchoco[10]는 AGV 시스템을 대기망 모형으로 취급하여 주어진 상황하에서 필요한 AGV 대수를 구하기 위해 대기망 분석 방법인 Solberg의 CAN-Q를 사용했으며 이를 모의 실험 결과와 비교하였다.

발주 방식에 대해서는 Egbelu와 Tanchoco[11]가 여러 가지 간단한 방식들을 작업장 시점(work-center initiated)과 차량 시점(vehicle-initiated)으로 분류하여 모의 실험을 통하여 비교하였다. Blair[2]는 발주 방식과 관계된 경로문제의 수학적 모델로서 서비스와 설비 이용을 향상시키기 위하여 최대 지연시간을 줄여나가는 방법을 제시하였으며, Bartholdi와 Platzman[1]은 AGV가 모든 작업장을 일정한 순서로 순회하여 방문하는 발주 방식을 제안하였다. 이 방법은 Bozer와 Srinivasan[3]에 의해 확장되어 AGV 시스템을 몇개의 루프로 구분하여 각 루프를 하나의 AGV가 담당하는 Tandem Configuration이 도입되었다. Bozer와 Srinivasan[4]은 또한 이어지는 논문에서 이러한 partitioning 방법과 그의 효율성

을 모의 실험을 통하여 측정하였다. 또한 Egbelu와 Tanchoco[12]는 양방향 경로 설정의 여러가지 문제점을 해소하는 방법을 소개하여 이의 사용에 대한 잠재적인 장점을 열거하였다. Dahlstrom[7]은 AGV의 당위성을 구현하기위해 AGV와 포크 트럭, 그리고 콘베이어의 비교 방법을 제시 하였고 이밖에도 Clavett[6]와 Nicely[17] 그리고 Burton[5]에 의하여 AGV의 도입의 당위성이 확대되었다.

### 2.3 기존 발주 방식(Dispatching Rule)에 관한 고찰

본 연구에서는 Egbelu와 Tanchoco[11]가 분류한 것을 기초한 기존의 발주 방식들과 특히 본 연구의 MEVTT 발주 방식과 관련이 높은 King 등 [13]이 개발한 RULE 발주 방식을 살펴보면 다음과 같다.

#### 2.3.1. 작업장 시점 발주 방식 (A work-center initiated task assignment problem)

작업장에서 수요가 발생할 경우 몇 대의 유휴중인 AGV중에서 어떤 AGV를 선택하여 서비스하는가에 대한 우선 순위를 결정하는 규칙이다. 본 연구에서는 1대의 AGV가 시스템 전체를 담당하므로 이러한 방식들은 고려되지 않는다.

##### (1) RV ( Random Vehicle ) rule

작업장에서 수요가 발생하면 유휴중인 AGV중에서 랜덤하게 1대를 선택하여 서비스 받는다

##### (2) NV ( Nearest Vehicle ) rule

작업장에서 수요가 발생하면 유휴중인 AGV들로부터 작업장까지의 거리를 계산하여 가장 가까운 위치에 있는 AVG를 선택하여 서비스 받는다.

##### (3) FV ( Farthest Vehicle ) rule

NV규칙과 대조적인 규칙으로 유휴중인 다수의 AGV들 중에서 수요가 발생한 작업장까지의 거리가 가장 먼 AVG를 선택하여 서비스 받는다.

##### (4) LIV ( Longest Idle Vehicle ) rule

모든 유휴한 AGV 중에서 가장 오래 동안 유휴중인 AGV를 우선적으로 선택하여 서비스를 받는다.

##### (5) LUV ( Least Utilize Vehicle ) rule

모든 유휴한 AVG 중에서 활용도(utilization)가 가장 적은 AGV를 우선적으로 선택하여 서비스를 받는다.

### 2.3.2. 차량 시점 발주 방식 (Vehicle initiated task assignment problem)

차량의 관점에서 볼 때, 서비스를 마친 AGV가 수요가 요구되는 다수의 작업장중에서 어떤 작업장을 우선적으로 서비스 하느냐에 대한 우선 순위를 결정하는 규칙이다.

#### (1) RW (Random Work Center) rule

AGV가 유힬해진 경우 서비스를 요구하는 다수의 작업장중에서 하나를 랜덤하게 선택하여 서비스한다.

#### (2) STT/D (Shortest Travel Time / Distance) rule

AGV의 현재 위치에서 서비스가 발생한 작업장중에서 가장 거리가 가까운 작업장을 선택하여 우선적으로 서비스 하는 방법이다.

#### (3) LTT/D (Longest Travel Time / Distance) rule

현재 AGV 위치로 부터 가장 먼 작업장을 선택하여 서비스한다.

#### (4) MOQS (Maximum Outgoing Queue Size) rule

각 작업장의 선적장에 대기중인 자재가 가장 많은 작업장을 우선적으로 서비스 하는 방법이다. 이 방법은 작업장의 blocking 현상을 억제하는데 유용한 발주 방법이다.

#### (5) MROQS (Minimum Remaining Outgoing Queue Size) rule

각 작업장의 선적장에 남아 있는 용량의 크기가 가장 작은 작업장을 선택하여 우선적으로 서비스한다. 앞에서의 MOQS rule과 같이 작업장의 blocking 현상을 억제하는데 유용한 방법이다.

#### (6) MFCFS (Modified First Come First Service) rule

FCFS(first come first serve)의 개념을 이용한 규칙으로써 수요가 발생한 순서대로 서비스를 하게 된다.

### 2.3.3 RULE 발주 방식

King 등 [13]이 개발한 발주 방식으로 아래와 같은 방법에 의해 작업장의 서비스 우선 순위를 결정한다.

- ① 수요가 없으면 AGV는 현 위치에서 대기한다.
- ② AGV가 선적한 경우는 가장 가까운 거리를 통해 자재를 목적지까지 운반한다.
- ③ AGV가 빈채로 서있는 경우 현 작업장에 수요가 있으면 이를 우선적으로 서비스한다.
- ④ 위의 경우들에 해당하지 않는 경우 아래의 식을

만족하는 작업장  $j^*$ 를 서비스한다.

$$\max_{\forall j \neq i} W_j = \max_{\forall j \neq i} (\lambda_j + \alpha D_j / T_{i,j} + \beta D_j / T_{j,k} + \gamma D_k / T_{k,l})$$

where :

$i$  : 현 AGV 위치

$j$  : 서비스 대상이 되는 작업장

$k$  :  $j$  작업장의 자재 운반 목적지

$l$  :  $k$  작업장의 자재 운반 목적지

$D_j$  = 작업장  $j$ 에 수요가 있는 경우는 1, 없는 경우는 0

$T_{i,j}$  : 작업장  $i$ 에서  $j$ 까지 운반하는데 걸리는 시간

$\lambda_j$  : 작업장  $j$ 에서의 자재 도착률

$\alpha, \beta, \gamma$  : scaling factors

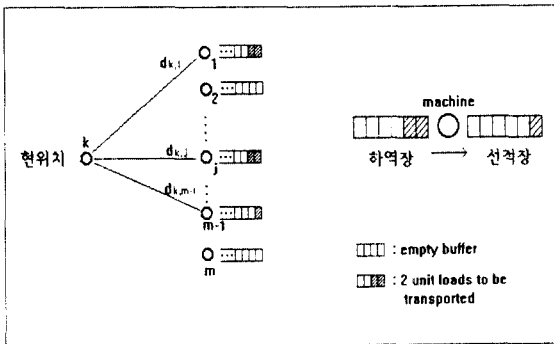
### 3. 다단계 차량 발주 방식 - MEVTT Rule

AGV 시스템에서 AGV들은 일정한 통제 알고리즘에 따라 수요를 할당받고, 이를 서비스하기위해 꾸준한 이동을 하게 된다. 이들은 일정한 경로(guide path)를 따라 움직이게 되는데, 시스템의 규모가 크고 복잡할수록 AGV의 선적/하역장, 교차로 등에서 차량들이 집중되는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 경우에 문제를 해결할 수 있는 적절한 통제 알고리즘이 필요하게 되는데, 그중의 하나가 'divide-and-conquer'의 개념을 이용하여 시스템을 분할하여 통제하는 것이다. 이는 최초로 Bozer & Srinivasan[3][4]의 Tandem Configuration에서 제안된 방법으로 그들은 전체의 시스템을 겹치지 않는 몇 개의 루프(loop)로 분할하고 분할된 각각의 루프에는 1대의 AGV를 할당하여 해당 루프만을 담당함으로써 서로다른 AGV간의 간섭 현상을 제거하고자 하였다. 따라서 하나의 루프에는 오직 1대의 AGV만이 운용되는 특성이 있는데 이러한 특성에 적합한 발주 방식이 필요하다. 본 연구에서는 1대의 AGV만이 운용되는 시스템에 적합한 새로운 발주 방식을 제시하고자 한다. 또한 기존의 발주 방식들이 작업장 서비스 우선순위를 결정하기 위해서 현재의 시스템 상태를 고려한 것과는 달리, 서비스가 수행된 후의 시스템 변화까지도 다단계로 고려할 수 있는 발주 방식을 제시하고자 한다.

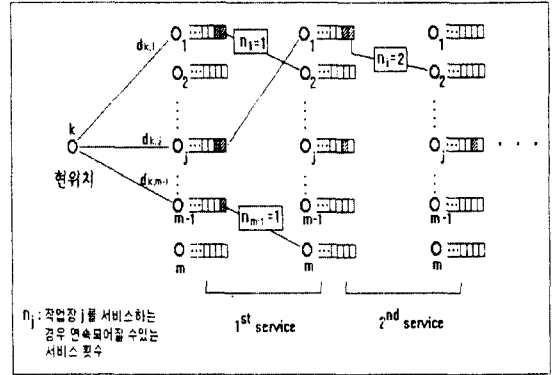
### 3.1 MEVTT Rule

본 연구에서는 기존의 발주 방식에 비해 작업장의 상황을 보다 적절히 고려할 수 있는 발주 방식으로 MEVTT(Minimum Empty Vehicle Travel Time) Rule을 제안한다. 이는 AGV가 서비스를 수행한 이후의 시스템 상황을 다단계로 고려하여 AGV가 빈채로 움직이는 시간을 최소화하고자 하는 방식이다. AGV는 서비스를 수행하는데 있어서 크게 두가지 이동을 갖게되는데 AGV의 현재 위치로부터 수요가 발생한 작업장까지 빈채로 이동하는 부분과 수요 발생 작업장에서 목적 작업장까지 선적하여 이동하는 부분으로 나뉜다. 이때 빈채로 이동하는 불필요한 부분을 최소로 하기위해 STT/D 발주 방식에서는 AGV의 현 위치에서 다수의 서비스 받을 작업장까지의 이동거리를 비교하여 거리가 최소가 되는 작업장을 선택한다. 이에 비해 MEVTT 발주 방식에서는 현 위치에서 작업장까지의 거리만을 고려하는 것이 아니라 AGV가 선적한 후, 목적 작업장에서 하역을 마치는, 즉 서비스를 종료하는 시점에서의 시스템의 변화된 상황에 따라 연속적으로 서비스를 수행할 수 있는 가능성을 확인하여 연속되는 서비스가 많을수록 가중치를 줌으로써 보다 시스템의 상황을 적절히 반영하고자 한다.

STT/D, MEVTT 두 가지 발주 방식을 비교하기 위해 이를 그림으로 표현한 것이 <그림 3, 4>에 나타나 있다. <그림 3>은 STT/D 발주 방식에 대한 표현이다.



<그림 3> STT/D Rule



<그림 4> MEVTT Rule

<그림 4>의 MEVTT 발주 방법은 아래와 같은 우선순위에 의해 서비스를 실시한다.

▶ MEVTT Rule에서의 서비스 우선순위

- ① AGV가 현재 위치한 작업장
- ② INPUT 작업장(외부로부터 자재들이 시스템내로 유입되는 장소)
- ③ 위의 두가지 작업장에 수요가 없는경우, 다음을 만족하는 작업장 'j'를 서비스

$$j^* = \arg \min_{\forall j} [d_{kj} / n_j]$$

k : AGV 현재 위치

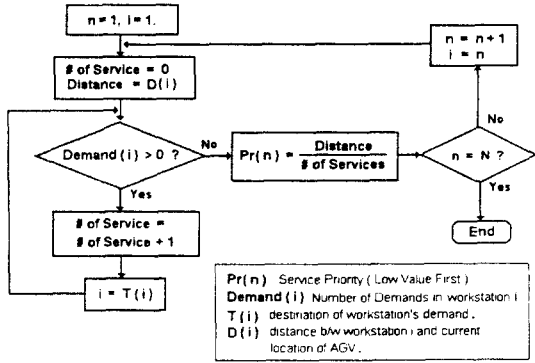
j : 수요가 발생한 작업장

$d_{kj}$  : 현 위치 k에서 수요발생작업장 j까지의 거리

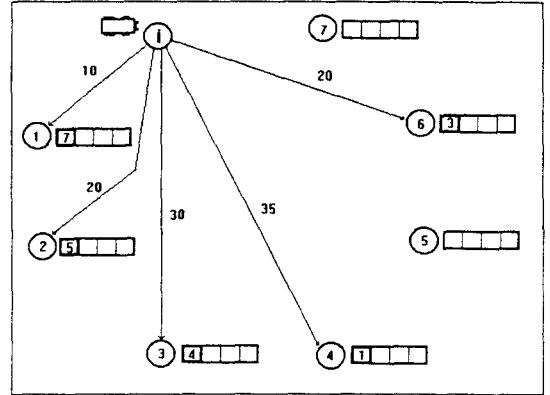
$n_j$  : j작업장을 서비스하는 경우의 연속 서비스 횟수

즉, 현위치 k에서 수요가 발생한 작업장까지의 거리를 해당 작업장을 서비스하는 경우 연속적으로 서비스할 수 있는 총 횟수로 나누어 환산된 거리가 가장 작은 작업장을 우선적으로 서비스한다.

<그림 5>는 수요가 발생한 작업장들의 우선 순위를 계산하는 절차를 flow chart로 나타낸 것이다. 우선순위 ①은 AGV가 현재 위치한 작업장에 자재가 있으면 불필요하게 다른 작업장으로 빈채로 이동하지 않고 현재 위치한 작업장을 최우선으로 서비스함을 말한다. 우선순위 ②에서 INPUT 작업장의 우선순위를 두 번째로 높게 정한 것은 일반적으로 INPUT작업장은 가공

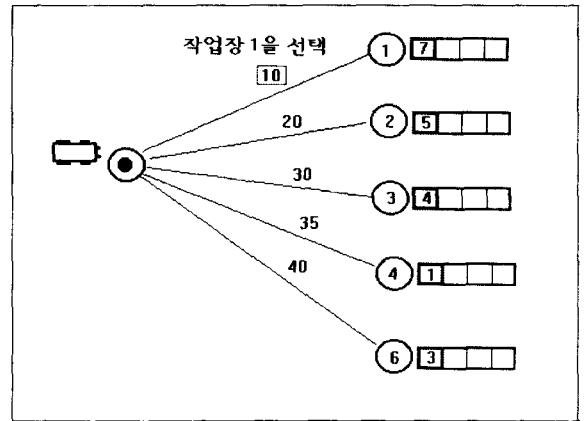


<그림 5> MEVTT 발주 방식 서비스 순위 계산 Flow Chart

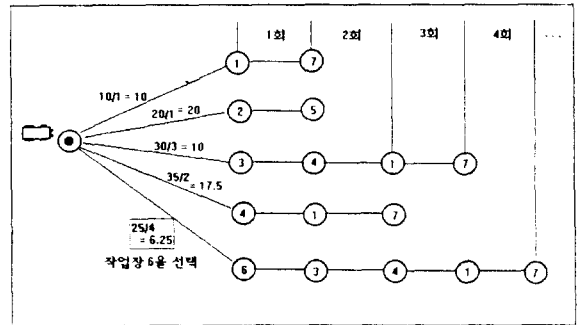


<그림 6> Example

작업장들에 비해 상대적으로 수요의 발생 빈도가 높다. 그러므로 INPUT 작업장의 서비스가 지연되면 시스템내로의 자재유입이 늦어져 전반적으로 시스템의 효율이 낮아진다. 그러나 이는 일반적인 경우에 해당하는 것이므로 실제로 외부에서 유입되는 자재가 가공 작업장으로 직접운송되는 경우에는 생략해야 하는 우선 순위이다. 우선 순위 ③의 이해를 용이하게 하기 위해서 <그림 6>과 같이 AGV가 다수의 작업장으로부터 서비스를 요구받는 경우를 가정해보자. 그림에서 원안의 번호는 작업장 번호를, 사각형안의 번호는 자재가 목적하는 작업장 번호를 나타낸다. 즉 1번 작업장의 자재는 7번 작업장으로 운송되어야 한다. 이런 경우, STT/D 발주 방식에서는 <그림 6>에서 보는 바와 같이 AGV 위치로부터 각 수요 발생 작업장까지의 거리를 계산하여 그 거리가 최소인(10) 작업장 1을 우선적으로 서비스한다. 이에 반해 <그림 7>의 MEVTT 발주 방식에서는 STT/D에서와 같이 거리를 계산하고, 여기에 해당 작업장을 서비스했을 경우 연속되어질수 있는 서비스 횟수로 거리를 나누어 그 값이 최소인(25/4=6.25)인 작업장 6을 우선적으로 서비스한다. 즉, 작업장 6을 서비스하는 경우의 AGV의 이동은 현위치→6→3→4→1→7까지 처음 이동을 제외하고는 빈이동시간 없이 연속적으로 총 4회의 서비스를 수행할 수 있다. 서비스를 수행하기위해 STT/D에서는 10만큼을 빈채로 이동하고, MEVTT에서는 그보다 먼 25만큼을 빈채로 이동하나, STT/D 에서는 서비스를 1회 수행하는 대신, MEVTT에서는 연속으로 4회의 서비스를 수행할 수 있



<그림 7> STT/D



<그림 8> MEVTT

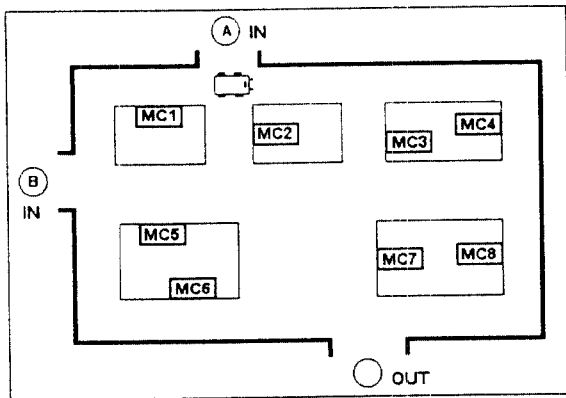
다. 따라서 평균적으로 1회의 서비스를 수행하는데 6.25 (=25/4)만큼을 빈채로 이동한다고 볼 수 있다.

그러므로 본 연구에서 개발된 MEVTT 발주 방식은 기존의 발주 방식에 비해 시스템의 상황을 보다 적절히 고려할 수 있다는 장점이 있는데, 이는 기존의 발주 방식들이 AGV가 유힬해진 상황에서 다수의 수요에 대한 우선 순위를 결정하는데 있어서 현재 시스템의 상황만을 고려하는데 반해, MEVTT 발주 방식에서는 현재의 상황뿐만 아니라 서비스가 수행되고 나서의 변화된 시스템의 상황까지 단계적으로 고려할 수 있으므로 보다 효율적이라고 할 수 있다. King 등[13]의 RULE 발주 방식도 서비스가 수행된 다음 상황을 단계적으로 시스템의 상황을 고려한다는 장점이 있으나 RULE은 전체적인 서비스의 수행을 고려한 것이 아니라 일정한 한도내에서(연속적인 3회의 서비스) 고려되므로 MEVTT 발주 방식보다는 시스템을 고려하는데 제한성을 갖는다고 할 수 있다.

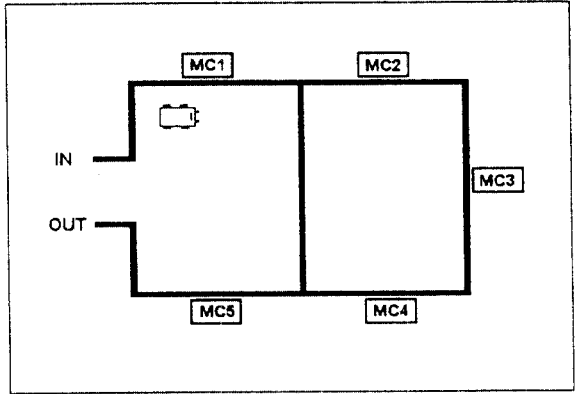
3.2 발주 방식에 따른 시스템의 효율을 비교하기 위한 모델

개발한 발주 방식의 효율을 평가하기 위해 <그림 9, 10, 11>과 같은 세가지 시스템을 설정하였다.

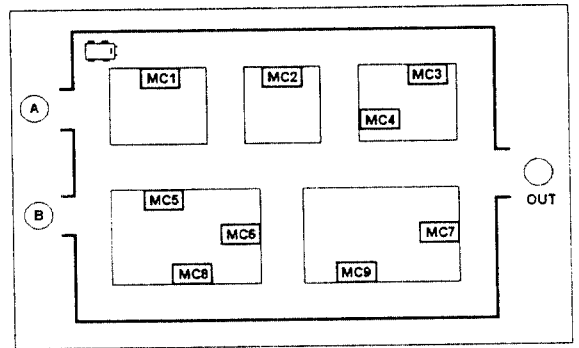
모델 I을 보면 시스템은 한대의 AGV와 자재의 유입만을 전문적으로 담당하는 2개의 input station(A, B)과



<그림 9> 모델 I



<그림 10> 모델 II



<그림 11> 모델 III

유출만을 담당하는 하나의 output station(O), 그리고 나머지 8개의 가공 작업장(MC1-MC8)으로 구성되어 있다. 모든 자재들은 input station을 통하여 시스템 내로 유입되고, 모든 작업이 완료된 자재들은 output station의 하역장에 도착하는 즉시 시스템으로 부터 유출된다. AGV는 각 작업장의 선적장에서 대기하는 자재중에서 정해진 발주 방식에 의해 선택된 작업장의 대기 시간이 가장 오래된 자재를 선적하여 목적지의 하역장까지 운반한다. 목적지에 도착한 후 자재를 하역한 AGV는 빈 상태가 되므로 다른 서비스를 수행할 수 있게 된다. 시스템내에 운반할 자재가 없다면 AGV는 당 위치에서 운반할 자재가 발생할 때까지 정지한다. 가공 작업장에서 가공이 끝난 자재는 즉시 그 작업장의 선적장으로 이동되어 AGV를 기다리게 된다. 자재는

총 5가지의 Type으로 구별되고 각기 독립적으로 서로 다른 공정순서를 거쳐 완성된다.

- 시물레이션을 수행하는데 필요한 가정은 아래와 같다.
- ① 각 작업장의 수요는 독립적이고 수요의 도착 rate는 알려져 있다.
  - ② 각 job 마다 route는 결정되어 있다. 경로는 최단 거리를 사용된다.
  - ③ 1대의 AGV로 시스템의 모든 station을 서비스한다.
  - ④ AGV는 하나의 job만을 담당한다.
  - ⑤ 이동 시간과 선적과 하역에 드는 시간은 상수로 알려져 있다.
  - ⑥ AGV는 한 번의 수요에 해당하는 양을 한 번에 처리할 수 있다.
  - ⑦ 선적/하역장은 그 용량이 충분하여 용량 부족으로 인한 지체가 발생하지 않는다.
  - ⑧ 서비스를 종료한 AGV는 수요가 없을 시에는 그 장소에서 대기한다.

모델 1, II, III에 대한 자재 이동 경로(Route) 및 작업장간의 거리에 대한 데이터는 아래의 <표 1~6>에 나타나 있다.

모델 I

<표 1> Job Type별 Route

1	A - 2 - 4 - 8 - OUT
2	B - 5 - OUT
3	A - 1 - 6 - OUT
4	B - 3 - 7 - OUT
5	A - 2 - 5 - OUT

<표 2> 작업장간 거리 데이터 (×5)

	A	1	2	3	4	5	6	7	8	B	O
A	0	3	3	5	6	8	10	7	10	7	14
1	3	0	4	6	7	5	6	8	11	4	10
2	3	4	0	5	7	3	8	4	7	6	7
3	5	6	5	0	5	6	8	3	6	9	6
4	6	7	7	5	0	8	9	5	4	11	8
5	8	5	3	6	8	0	5	5	8	3	8
6	10	6	8	8	9	5	0	5	7	4	4
7	7	8	4	3	5	5	0	5	8	3	3
8	10	11	7	6	4	8	7	5	0	11	4
B	7	4	6	9	11	3	4	8	11	0	8
O	14	10	7	6	8	8	4	3	4	8	0

모델 II

<표 3> Job Type 별 Route

1	IN - 2 - 4 - 5 - OUT
2	IN - 1 - 3 - 2 - OUT
3	IN - 1 - 3 - 5 - OUT
4	IN - 4 - 5 - OUT

<표 4> 작업장간 거리 데이터 (×5)

	IN	1	2	3	4	5	OUT
IN	0	4	8	11	9	5	5
1	4	0	4	7	9	9	5
2	8	4	0	3	6	9	9
3	11	7	3	0	3	7	11
4	9	9	6	3	0	4	8
5	5	9	9	7	4	0	4
OUT	5	5	9	11	8	4	0

모델 III

<표 5> Job Type 별 Route

1	A - 1 - 6 - 4 - 3 - 7 - OUT
2	A - 5 - 2 - 3 - OUT
3	B - 8 - 6 - 9 - OUT
4	B - 8 - 5 - 2 - OUT
5	B - 5 - 6 - 4 - OUT

<표 6> 작업장간 거리 데이터 (×5)

	IN	1	2	3	4	5	6	7	8	9	OUT
IN	0	3	5	7	7	3	6	9	5	9	9
1	3	0	2	4	4	4	5	7	6	8	7
2	5	2	0	2	2	4	5	5	8	8	5
3	7	4	2	0	2	6	5	3	8	8	3
4	7	4	2	2	0	4	3	4	6	6	4
5	3	4	4	6	4	0	3	6	4	6	6
6	6	5	5	5	3	3	0	5	3	3	5
7	9	7	5	3	4	6	5	0	6	2	2
8	5	6	8	8	6	4	3	6	0	4	8
9	9	8	8	8	6	6	3	2	4	0	4
OUT	9	7	5	3	4	6	5	2	8	4	0

3.3 Simulation 결과

시물레이션 언어는 ARENA(SIMAN V)를 사용하였으며, 입력에 이용되는 데이터는 편의를 위해 임의의 단위를 사용하였으며, 각 작업장에서의 가공시간은 Machine의 활용도(Utilization)이 70%가 되는 시간을 중



심으로 하여 자재도착율만을 변화시켜 관찰하였다. 설정된 모델에 기존의 발주 방식중에서 그 효율성이 인정되는 MOQS, STT 그리고 King 등 [13]의 RULE 발주 방식을 적용한 결과와 새로이 개발된 본 연구의 발주 방식 MEVTT 발주 방식을 모의 실험(simulation)을 사용하여 그 효율성과 수행도를 비교하였다. 자재의 도착율을 변화시켜 시스템에 걸리는 부하를 높임으로써 각 발주 방식이 어떻게 동작하는지 비교하였으며, 시스템의 성능 평가 도구로서 각 job별 T.I.S.(Time In System), Throughput, W.I.P.(Work In Process), AGV Utilization등 여러가지 수행 척도를 사용하였다. 또한, 모델들이 실제로 발주 방식들을 제대로 반영하는가에 대한 유효성 검증(validation)을 위하여 animation을 수행하여 검토하였다. 각 모델별, 자재 도착률별 시뮬레이션의 결과가 다음의 <표 7~12>에 나타나 있다.

모델 I

<표 7> Interarrival time=55인 경우

	MOQS	STT	RULE	MEVTT
Flow Time	106.8	88.19	91.995	88.07
WIP	5.64	3.95	4.29	3.94
Throughput	9133	9134	9135	9135
AGV Util.	.9953	.90466	.90489	.89976

<표 8> Interarrival time=50인 경우

	MOQS	STT	RULE	MEVTT
Flow Time	377.47	133.97	131.52	121.84
WIP	33.5	9.01	8.75	7.78
Throughput	10038	10080	10080	10081
AGV Util.	.98274	.96317	.96048	.95425

<표 9> Interarrival time=45인 경우

	MOQS	STT	RULE	MEVTT
Flow Time	6695.6	1447.5	410.56	311.9
WIP	763.1	159.9	41.04	30.0
Throughput	9698	10901	11160	11193
AGV Util.	.99934	.99918	.9972	.99496

모델 II

<표 10> Interarrival time=50인 경우

	STT	RULE	MEVTT
Flow Time	175.11	176.46	172.61
WIP	9.91	10.02	9.71
Throughput	8132	8130	8133
AGV Util.	.96357	.96438	.95956

<표 11> Interarrival time=45인 경우

	STT	RULE	MEVTT
Flow Time	1275.0	1148.3	1040.9
WIP	110.4	99.2	89.6
Throughput	8873	8903	8901
AGV Util.	.99791	.99353	.99114

모델 III

<표 12> Interarrival time=50인 경우

	STT	RULE	MEVTT
Flow Time	137.60	137.65	135.15
WIP	6.990	6.793	6.565
Throughput	9089	9087	9085
AGV Util.	.8880	.8867	.8779

<표 13> Interarrival time=45인 경우

	STT	RULE	MEVTT
Flow Time	206.69	188.03	179.03
WIP	8.179	13.261	12.259
Throughput	10091	10093	10094
AGV Util.	.9612	.9525	.9441

<표 14> Interarrival time=40인 경우

	STT	RULE	MEVTT
Flow Time	3133.4	467.17	436.53
WIP	394.472	49.963	46.146
Throughput	10750	11301	11308
AGV Util.	1.00	.9969	.9941

시물레이션을 시행해본 결과 본 연구에서 제안한 MEVTT 발주 방식이 여타의 발주 방식에 비해 매우 양호하게 동작하는 것으로 판별되었으며 이는 시스템의 부하가 높아질수록 더욱 효과적으로 수행됨을 알 수 있다. T.I.S., W.I.P., Throughput 등 모든 면에서 가장 우수한 결과를 보였다. AGV Utilization은 다른 발주 방식에 비해 낮았는데, 이는 활용도가 낮음을 의미하는 것이 아니라 Utilization이 AGV가 서비스를 수행하는데 필요한 두가지 이동, 즉 선적한 상태의 이동과 수요가 발생한 작업장까지의 빈상태 이동을 합친 것으로 계산되기때문에 다른 발주 방식에 비해서 빈채로 이동하는 시간이 적음을 의미하는 것이다. 모델 I에서는 자재의 도착율이 45가되는 경우에는 MOQS, STT 발주 방식은 이미 시스템을 적절하게 서비스할 수 없음을 보이고 있다. 모델 II에서도 자재 도착율이 45가 되는 경우 3가지 발주 방식이 모두 수요가 포화된 상태를 보인다. 모델 II에서는 모델 I에서보다 각 발주 방식의 수행도 차이가 적게 나타나는데 이는 시스템 내의 작업장의 수가 모델 I에서는 8개, 모델 II에서는 5개로 모델 II에서는 작업장의 우선 순위를 결정하는데 있어서 그 대상이 되는 작업장의 수가 모델 I에 비해 적기 때문에 발주 방식의 효율성의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않아 수행도 차이가 근소하게 나타나는 것으로 보인다.

#### 4. 결 론

AGV 시스템의 효율성은 AGV의 사용대수와 시스템의 복잡성이 증가함에 따라 AGV 시스템의 설계와 그에 따른 관리 및 운용·통제에 의해 많은 영향을 받고 있다. 특히 규모가 큰 시스템을 운용·통제하는데 있어서 가장 문제가 되는 것이 차량의 집중 및 혼잡 현상이다. 이러한 혼잡 현상을 제거하기 위한 연구로

Bozer와 Srinivasan은 Tandem Configuration이라는 새로운 시스템 설계 방법을 제시하였다. 그들은 전체의 작업장을 겹치지 않는 몇 개의 루프(loop)로 분할하고 분할된 각각의 루프에는 1대의 AGV를 할당하여 해당 루프만을 담당함으로써 서로다른 AGV간의 간섭 현상을 제거하고자 하였다. 따라서 하나의 루프에는 1대의 AGV만이 운용되므로 이러한 시스템에 적합한 발주 방식의 개발이 요구된다.

이에 본 연구에서는 1대의 AGV가 운용되는 시스템에 적합한 MEVTT 발주 방식을 제시하였다. 이는 기존의 발주 방식들이 작업장들의 서비스 우선순위를 고려하는데 있어 현재의 시스템 상황만을 고려한 것과는 달리 서비스를 수행한 후의 시스템 변화에 대해서도 다단계로 고려할 수 있는 새로운 발주 방식이다. 개발된 발주 방식의 수행도 평가를 위해 두가지 시스템을 예로들어, 발주 방식을 달리함에 따라 시스템의 성능이 어떻게 달라지는지 한대의 AGV가 운용되는 시스템하에서 기존 발주 방법과 개발된 발주 방식의 수행도를 비교하였다. 모의 실험을 통하여 비교한 결과, 수행도 면에서 그 효율이 상당량 개선되었고, 특히 시스템의 부하가 높아지는 경우 보다 탁월한 수행능력을 보임을 알 수 있었다. 또한 재공 재고량도 상당히 감소함을 알 수 있었다.

자동 유도 운반 차량 시스템내에서 AGV들은 작업장들의 수요를 충족시키기 위해서 현위치에서 수요 작업장까지 빈채로 이동해야하는 비생산적인 작업을 해야만 한다. 이러한 빈채로 이동하는 불필요한 시간을 최소화 하는 것이 AGV 시스템을 효율적으로 운용할 수 있는 방법이 될 것이다. 또한 동적으로 변화하는 시스템을 적절히 제어하기 위해서는 시스템이 갖는 현재의 상황뿐만이 아니라, 서비스를 수행하는데 따른 시스템의 변화를 고려해 주어야 보다 효율적으로 시스템을 제어할 수 있는 것이다.

## 참고문헌

- [1] Bartholdi, J.J., and Platzman, L.K., 1989, Decentralized control of automated guided vehicles on a simple Loop. *IIE Transaction*, 21, pp.76-81.
- [2] Blair, E.L., 1985, Vehicle routing to support automated manufacturing. 1985 Annual International Industrial Engineering Conference Proceedings, pp.254-256.
- [3] Bozer, Y.A., and Srinivasan, M.M., 1991, Tandem configurations for Automated Guided Vehicle Systems and the Analysis of Single Vehicle Loops. *IIE Transaction*, Vol.23, No.1, pp.72-82, 1991.
- [4] Bozer, Y.A., and Srinivasan, M.M., 1992, Tandem AGV System : A partitioning algorithm and performance comparison with conventional AGV System, *European J. of Operations Research*, 63, pp.173-191.
- [5] Burton, J., 1985, So you want to buy an AGV system. *Proceedings of the 3rd International Conference on AGVs 1985*, pp.57-62.
- [6] Clavette, D.C., 1986, Justification of BOC lancing AGV system. *Proceedings of the International Conference on AGVs 1986*, pp.1-11.
- [7] Dahlstrom, K., 1981, Where to use AGV systems, manual forklifts, traditional fixedroller conveyor systems respectively. *Proceedings of the 3rd International Conference on AGVs 1981*, pp.173-182.
- [8] Egbelu, P.J., 1987a, The use of non-simulation approaches in estimating vehicle requirements in an automated guided vehicle based transport system. *Material Flow*, 4, pp.17-32.
- [9] Egbelu, P.J., 1987b, Pull versus push strategy for automated guided vehicle load movement in a batch manufacturing system. *Journal of manufacturing systems*, 6, pp.209-220.
- [10] Egbelu, P.J., and Tanchoco, J.M.A., 1983, Designing the operations of automated guided vehicle system using AGVSim. *Proceedings of the Second International Conference on AGVS 1983*, pp.21-30.
- [11] Egbelu, P.J., and Tanchoco, J.M.A., 1984, Characteristics of automated guided vehicle dispatching rules. *International Journal of Production Research*, 22, pp. 359 -374.
- [12] Egbelu, P.J., and Tanchoco, J.M.A., 1986, Potential for bi-directional guide path for automated guided vehicle based systems *International Journal of Production Research*, 24, pp.1075-1099.
- [13] King E. Russel, Thom J. Hodgson and Steve K. Monteith., *Extracting Heuristic Control Rules for AGV's Using Markov Decision Process*, *Belgian Journal of O.R., Statistics and Computer Science*, Vol 27, nº2.
- [14] Leung, L.C., Khator, S.K., Kimbler, D.L., *Assignment of AGVS with Different Vehicle Types*, *Material Flow*, Vol.4, pp.65-72, 1982.
- [15] Maxwell, W.L., 1981, Solving material handling design problems with OR. *Industrial Engineering*, 13, pp.58-69.
- [16] Maxwell, W.L. and Muckstadt, J.A., 1982, Design of automated guided vehicle Systems. *IIE Transactions*, 14, pp.114-124.
- [17] Nicely, J., 1986, The estimating and justification of automatic guided vehicle systems. *Proceedings of the 4th International Conference on AGVs, 1981*, pp. 223-234.
- [18] 조면식, 1992, A Performance Evaluation Model of AGV system under First-Come-First-Served Rule., *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineering*, Vol.18, No.2, pp.65-72.

## ● 저자소개 ●

## 박대회

1995. 2. 명지대 산업공학과 학사  
 1997. 2. 명지대 산업공학과 석사  
 1997. 2. 삼성 데이터 시스템  
 관심분야 시물레이션, 물류 시스템



## 박윤선

1983. 2. 서울대 자원공학과 학사  
 1986. 8. Texas A&M Univ. 산업공학 석사  
 1990. 8. Univ. of Michigan 산업공학 박사  
 현 재 명지대학교 산업공학과 교수  
 관심분야 물류 시스템, 시물레이션, 시스템 분석