

단일루프-단일차량 형태의 AGV 시스템의 효율적인 운영을 위한 발주법 개발에 관한 연구*

A Study on Developing Dispatching Rule
for Efficient Control of Single Loop-Single Vehicle AGV systems

김경섭**, 정병도**

Kyung Sup Kim, Byung Do Chung

Abstract

In this paper, MVED (Minimum Vehicle's Empty Distance), a new dispatching rule for a Single Loop-Single Vehicle AGV system, is developed. Single Loop-Single Vehicle AGV system consists of segmented bi-directional single loops, in which only one AGV is assigned. The MVED rule is focused on minimizing vehicles empty travel distance. Using simulation, the performance of the MVED is compared with that of existing dispatching rules such as STT/D and MEVTT. The results show MVED rule's better performance than others. ARENA is used as a simulation language.

* 이 논문은 1997년 한국 학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의해서 연구되었음.

** 연세대학교 산업시스템공학과

1. 서론

1970년대 이후 생산성의 증대를 위한 많은 연구와 기술 개발이 이뤄지고 있다. 그 중 유연 생산 시스템(FMS : Flexible Manufacturing System)과 유연 조립 시스템(FAS : Flexible Assembly System)이 대표적이다. 이들 시스템은 환경의 변화에 유연한 생산 체계를 갖춰서 이에 쉽게 대처하자는 것인데, 여기에 필수적인 것이 물류의 자동화이다. 하지만 이제까지는 물류비용이 생산의 상당 부분을 차지함에도 불구하고, 생산품의 질과는 별로 상관이 없기 때문에 그 동안 많이 고려되지 않았다.

그러나 효율적인 생산을 요구하는 시대적 흐름에 의해 물류 시스템은 빠른 속도로 발전되어가고 있다. 1970년대 후반부터는 무인 운반 차량 시스템(AGVS: Automated Guided Vehicle System)이 자동화된 물류 시스템의 중요한 역할을 담당하고 있으며, 그 사용도 확대되어 가고 있다. 이제 AGV는 자동화된 물류 시스템이나 유연 생산 시스템에서 없어서는 안 될 하나의 중요한 요소로 자리잡고 있다. 하지만 생산 시스템의 규모가 커지고, 복잡해짐에 따라 AGV 시스템의 운영 및 통제가 점점 어려워지게 되었으며, 이를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

AGV 시스템을 효율적으로 운영하기 위한 연구는 크게 시스템 설계와 시스템 운영의 측면에서 접근되고 있다. 시스템의 설계는 기존의 시스템의 설계를 개선하거나 기존의 시스템의 형태와는 다른 새로운 형태의 시스템을 설계하는 방식으로 연구가 이뤄지고 있으며, 시스템의 운영은 새로운 발주법의 개발, 차량의 혼잡 및 충돌의 방지를 위한 운영정책 등에 관련된 연구가 이뤄지고 있다. AGV 시스템을 연구함에 있어서 최적의 설계와 운영을 위한 조건들은 서로 연관을 갖고 있기 때문에 이들 문제를 처음부터 한꺼번에 다루는 것이 가장 적절한 방법이다. 하지만 이 두 가지 문제를 동시에 다루기에는 문제가 매우 복잡하기 때문에 현실적으로 불가능하다. 이런 이유로 인해 일반적으로 시스템의 설계와 운영은 순차적으로 연구되어져 왔다. 일단 시스템의 설계가 완성된 상태라면, 시스템의 효율은 운영을 위

한 정책(경로 설정 및 스케줄링 등)에 크게 영향을 받는다. 즉, 운영 정책이 주어진 환경에 얼마나 알맞게 선정되느냐에 따라서 시스템의 효율은 크게 변하기 때문에 적절한 운영 정책이 수립되어야 새롭게 설계되거나 개선된 시스템을 성공적으로 구현할 수 있는 것이다.

현재 운영이 복잡해진 AGV 시스템을 보다 쉽게 운영하기 위한 방안으로 기존의 AGV 시스템과 경로 설계가 다른 Tandem Configuration[1], SBSL (Segmented Bi-directional Single Loop) 시스템[12], Divided AGV 시스템[10] 등이 고안되었으며, 그 성능도 검증되고 있다.[2],[11] 따라서 이들 시스템의 특성에 맞는 새로운 운영 정책의 개발이 요구되고 있다. 본 연구에서는 이들 시스템 모두가 차량의 충돌이나 혼잡 방지를 위해 하나의 루프에 한대의 차량을 할당하는 공통된 모습을 가지고 있다는 점을 주목하고, 이와 같은 단일 루프-단일 차량(SBSL: Single Loop-Single Vehicle) 시스템에서 차량을 효율적으로 운영하기 위한 새로운 발주법을 제시하고자 한다. 그리고 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하고자 한다.

2. 무인 운반 차량 시스템

무인 운반 차량 또는 무인 반송차라고 불리는 AGV는 일반적으로 차량의 운전자가 없이 운반물만을 작업장에서 다른 작업장으로 반송해주는 차량을 말한다. 임의의 작업장에서 이동할 운반물이 발생하면 AGV는 그 작업장으로 이동하여 짐을 선적하고, 지정된 작업장으로 이동하여 짐을 하역하는 방식으로 작업을 수행한다. 이러한 차량의 운행은 컴퓨터 제어에 의해 통제되며, AGV는 바닥에 설치된 케이블이나 광센서 등의 경로를 따라 자동으로 이동하게 되어있다.

2.1 기존 관련 연구

AGV system에 관한 연구는 1980년대 이후 다양하게 이뤄지고 있다. AGV system에 관련된 연구 분야는 크게 시스템의 설계, 운영, 당위성 및 구현의

세 가지로 구분할 수 있다.[7] 시스템의 설계에 관한 연구는 필요 차량의 대수 결정, guide path의 종류 및 설계, 사용될 AGV의 종류 결정, 작업장 분할 방식 등에 관한 문제들이다. 그리고 시스템의 운영에 관한 연구는 발주법, 충돌 및 혼잡 방지, 작업 경로 문제 등에 관련 내용이 포함된다.

시스템의 설계에 관련된 연구 가운데 대표적인 것이 경로설계에 관한 것이다. Bozer와 Srinivasan[1]은 기존에 사용되던 AGV system을 Traditional AGV system이라 정의하고, 이와는 달리 'divide and conquer'이론을 적용하여 만든 새로운 시스템을 Tandem configuration이라 구분하였다.

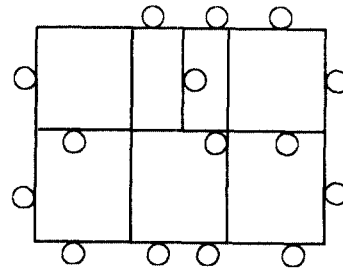
Traditional AGV system은 일반적으로 많이 사용되는 방식으로, 전체 작업장이 한 대 이상의 차량으로 운영되며, 각 차량은 어떠한 작업장이라도 도달할 수 있는 시스템이다. Traditional AGV system에서는 차량 발주법, 차량의 밀집 및 충돌 방지가 시스템을 운영하는데 있어서 중요한 문제가 된다.

한편 Tandem configuration은 Traditional AGV system의 규모가 커짐에 따라 사용되는 차량의 수가 증가하고 이로 인해 운영의 어려움이 발생하자, 시스템을 새롭게 설계하여 이를 극복하고자 한 대표적인 시도였다. Tandem configuration은 전체 시스템을 몇 개의 루프로 나눈 뒤, 각 루프에 한 대의 차량만을 할당하는 방식으로 차량의 혼잡과 충돌에 관한 문제를 해결하였고, 양방향 차량(Bi-directional Vehicle)의 성능[3][6]을 효과적으로 이용할 수 있게 하였다. 각 작업장은 하나의 루프에만 속하며, 하나의 차량만이 담당하게 된다. 그리고 각 루프 사이를 이동해야 하는 운반물을 위하여 루프간의 Pick-up/deposit (P/D) point를 추가적으로 만들어 줘야 한다. Tandem configuration에서는 차량 발주법 외에 루프 구성(Partitioning)이 효과적인 시스템을 구성하는데 큰 역할을 하고 있으며, 이는 새로운 관심사로 대두되고 있다.

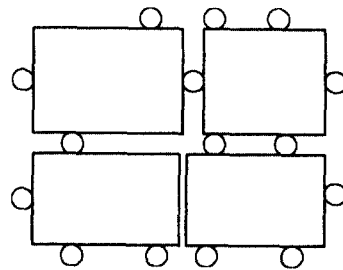
Tanchoco와 Sinriech[12]은 시스템 상의 모든 Pickup/Drop-off 작업장을 하나의 최적 경로로 연결하는 Optimal single-loop AGV system을 고안하였으며, optimal single-loop를 몇 개의 지역으로 나눈 후 각 지역에 한대의 AGV를 할당하여 혼잡이나 충돌

현상을 완전히 없애도록 한 SBSL(Segmented bi-directional single-loop) AGV system도 고안하였다. Optimal single-loop AGV system에서도 최적의 단일 루프를 어떻게 구성할 것인가에 관련된 내용이 이슈가 되고 있다.

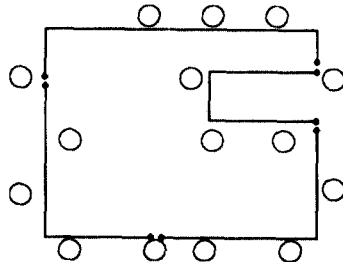
이밖에 Huang[5]은 Tandem configuration을 구현하기 위해서는 추가적인 P/D point가 필요한데, 이는 공간의 낭비라고 지적하고 이를 해결하기 위해 루프간의 운송을 담당할 루프를 설치하는 Material transportation system for tandem AGV system을 고안하였다. 그리고 그밖에도 Liu와 Chen[10]에 의해 고안된 The Divided AGVS 등이 있다.



A. Traditional AGVS



B. Tandem Configuration



C. SBSL AGVS

<그림 1> 경로설계에 따른 AGV system의 구분

<그림 1>에서 알 수 있듯이 동일한 Layout이라도 경로 설계가 어떻게 되는가에 따라 서로 다른 AGV system이 형성됨을 알 수 있다.

시스템의 운영에 관한 연구 중에서 대표적인 것은 발주법에 관련된 연구이다. Egbelu와 Tanchoco [4]는 발주법을 작업장 시점 발주 방식과 차량 시점 발주 방식으로 구분하고 이들의 성능을 모의실험을 통해 비교하였다. 작업장 시점 발주 방식은 작업장에서 작업이 끝나고 이동되어야 할 운송물이 발생할 때 여러 대의 차량 가운데서 어떤 차량을 선택할 것인가를 결정해 주는 것이며, 차량 시점 발주 방식은 차량이 하역을 마치고 빈 상태 되었을 때 어떤 작업장으로 이동하여 짐을 선적을 할 것인지를 결정해 주는 것이다.

이후 많은 발주법이 개발됨에 따라 Klein과 Kim [9]은 발주법을 단일 속성(Single-attribute) 발주법과 다중 속성(Multi-attribute) 발주법으로 구분하였다. 단일 속성 발주법은 차량, 작업장, 선적해야 할 짐의 상태 등과 같은 의사결정의 여러 요소 중 하나의 조건만을 고려하는 것이며, 다중 속성 발주법은 두 가지 이상의 조건을 동시에 고려한 후, 차량의 운영을 결정하는 것을 의미한다. 다중 속성 발주법은 일반적으로 가능한 몇 개의 대안을 생성한 후 생성된 대안 가운데서 하나의 대안을 선택하는 방식을 취하게 된다.

이 밖에 새로운 발주법의 개발에 관련된 연구가 있는데, King과 Hudgson[8]은 작업장의 여러 가지 상황, 즉 자재 도착율, 운반에 걸리는 시간 등의 여러 가지 요소를 고려하는 Rule 발주방식을 개발하였다. 또 박대희, 박윤선[13]의 다단계 차량 발주법인 MEVTT (Minimum Empty Vehicle Travel Time) rule이 있다. MEVTT rule은 차량이 빈 상태로 이동하는 거리와 연속 작업의 회수를 기준으로 차량의 이동 순서를 결정해준다.

2.2 기존 관련 발주법

이미 많은 연구를 통해서 발주법들이 개발되었고, 성능도 비교 정리되고 있다. 하지만 시시각각 변화하는 시스템에서 최적의 발주법을 찾기란 매우 어

려운 일이다. 따라서 대부분의 발주법은 발견적 기법(heuristic)을 통해서 얻어지고 있다.

기존에 개발된 발주법들은 Traditional AGV 시스템에 적절히 쓰여왔다. 하지만 Tandem Configuration과 같이 하나의 루프에 한대의 차량을 할당하는 새로운 형태의 시스템에서는 이와는 다른 발주법이 사용되어야 할 것이다. 하나의 루프에 한대의 차량을 할당하는 단일 루프-단일 차량 시스템에 적절히 사용할 수 있는 발주법을 소개하면 다음과 같다.

STT/D (Shortest Travel Time / Distance) rule

AGV가 하역한 후, 현재 위치에서 가장 가까운 거리에 있는 작업장을 선택하여 우선적으로 서비스를 하는 방법이다. 가장 기본적인 발주법으로 일반적으로 사용되며, Egbelu와 Tanchoco[4]의 구분에 의하면 차량 시점 발주방식에 속한다.

MEVTT (Minimum Empty Vehicle Travel Time) rule

박대희, 박윤선[13]이 개발한 발주법으로 AGV가 빈 상태로 이동하는 부분을 최소화하고자 하는데 목적이 있는 것으로 본 연구와 많은 관련이 있다. MEVTT rule은 AGV가 현재 위치한 작업장과 외부로부터 자재들이 시스템으로 유입되는 장소에 우선적으로 서비스를 하며, 이에 해당 사항이 없으면 현재 위치에서 수요가 발생한 작업장까지의 거리를 해당 작업장을 서비스하는 경우 연속적으로 서비스할 수 있는 총 횟수로 나누어 환산된 거리가 가장 작은 작업장을 우선적으로 서비스하게 된다.

MEVTT 발주법은 다음과 같은 우선순위에 의해 서비스를 실시한다.

- ① AGV가 현재 위치한 작업장
- ② Input 작업장 (외부로부터 자재들이 시스템 내로 유입되는 장소)
- ③ 위의 두 가지 작업장에 수요가 없는 경우, 다음을 만족하는 작업장 i 를 서비스

$$i = \arg \min_{v_j} [d_{kj} / n_j]$$

- k : AGV의 현재 위치
- j : 수요가 발생한 작업장
- d_{kj} : 현위치k에서 수요발생 작업장j까지의 거리
- n_j : j 작업장을 서비스하는 경우의 연속 서비스 횟수

본 연구를 통해 개발한 MVED rule의 성능의 비교를 위해 사용될 발주법으로 일반적으로 가장 많이 사용되고있는 STT/D rule과 성능이 좋다고 알려져 있는 MEVTT rule을 선정하였다. 이 두가지 발주법 가운데 MEVTT는 기존에 개발, 이용되어온 MOQS, Rule발주법보다 좋은 성능을 가지고 있음이 이미 보여진 바 있으며[13], 본 연구의 목표와 부합되는 점이 많기 때문에 좋은 비교의 대상이라 생각된다.

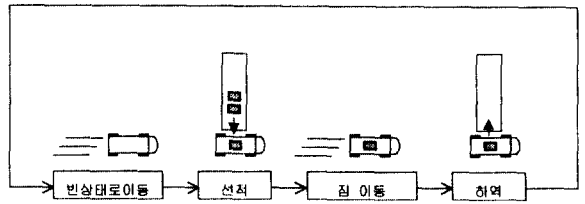
3. MVED(Minimum Vehicle's Empty Distance) 발주법

3.1 배경지식

다품종 소량 생산 형태의 생산시스템에 있어서 각각의 작업은 이미 지정되어져 있는 일정한 경로를 따라 이동하기 된다. 따라서 AGV가 하나의 작업장에서 짐을 선적했다면, 하역하기 위한 작업장은 이미 결정되어 있다는 것을 의미하며, 하역하기 위한 작업장까지 가는 경로 또한 지정되어 있음을 쉽게 알 수 있다. 이것은 AGV가 짐을 선적한 후 하역하기 위해서 이동하는 거리는 지정되어져 있다는 것을 의미한다. 만일 차량이 다닐 수 있는 경로가 여러 개가 있다면 어떠한 경로를 따라서 차량이 움직이는가에 의해서 시스템의 효율이 달라지겠지만 '하나의 루프에 한대의 차량만이 할당되는 단일 루프-단일 차량 형태의 무인 운반시스템(SLSV system : Single Loop- Single Vehicle system)'과 같은 경우는 차량이 이동할 수 있는 길이 단 하나이기 때문에 짐을 선적한 후 하역하기 위해 이동하는 거리는 발주법에 관계없이 일정함을 알 수 있다.

하지만 하역한 후 다시 짐을 선적하기 위해서 어

떤 작업장을 향해 갈 것인지는 결정되어 있는 사항이 아니며, 시스템의 상태에 따라 시시각각 변화하는 사항이다. 이때 AGV는 발주법에 정해진 규칙에 따라 이동하게 되며 빈 상태로 이동하는 거리 또한 발주법에 따라 달라질 것이다. 따라서 <그림 2>를 기준으로 볼 때, AGV의 운영에 있어 발주법의 영향을 받는 부분은 짐을 선적하기 위해 이동하는 부분, 즉 AGV가 빈 상태로 이동하는 거리만 해당됨을 알 수 있다.



<그림 2> AGV의 작업

또한 본 연구에서는 AGV가 빈 상태로 이동하는 것은 생산성의 향상에 도움이 되지 않는다는 점을 주목하고 여기에 초점을 맞추었다. AGV가 빈 상태로 이동하는 거리가 적으면 적을 수록 시스템의 효율은 높아지고, AGV기계 자체의 수명에도 도움이 된다는데 주안점을 두어 이러한 거리를 줄일 수 있는 발주법을 개발하였다.

3.2 MVED 발주법

MVED 발주법은 현위치 검사, 대안 생성, 이동 경로 선택의 세가지 단계를 통해 작업장의 우선 순위를 결정한다.

현위치 검사 단계

현위치 검사 단계에서는 AGV가 짐을 하역한 후, 현재 위치한 작업장에 이송할 짐이 있는 가를 검사하는 단계이다. 만일 이송할 짐이 있다면 기존에 생성된 우선 순위를 모두 무시하고 그 짐을 이송하게 된다. 그리고 이송할 짐이 없다면 대안 생성과 최단 무효 이동 거리 선택의 단계를 통해서 우선 순위를 다시 결정하게 된다.

대안 생성 단계

작업장 검사 단계에서 AGV가 현재 위치한 작업장에 이송할 짐이 없다면, AGV가 위치한 작업장을 기준으로 일정 거리(Dist.) 안에 있는 작업장 중에서 이송할 짐이 있는가를 살펴본다. 그리고 만일 이송할 짐이 존재한다면 그 짐들을 각 대안의 첫번째 운반물로 등록한다. 그리고 첫번째 운반물로 등록된 각각의 짐이 이송될 하역장을 기준으로 일정 거리 안에 있는 작업장을 다시 살펴본 후, 해당 사항이 있으면 두번째 운반물로 등록한다. 이와 같은 방식으로 n번째 운반물까지 가능한 모든 경우의 등록을 마치는 방식으로 AGV가 이동할 순서에 대한 여러 가지 대안을 생성한다.

MVED 발주법의 대안 생성 단계를 적용하기 위해서는 2가지 변수를 결정해야 한다. 하나는 현재 작업장으로부터 일정 거리 안에 있는 작업장을 검사할 때, 일정 거리(Dist.)를 얼마로 잡아야 할 것인가에 관련된 것이고, 다른 하나는 작업장을 등록할 때 몇 개(n)까지 등록하고, AGV가 빈 상태로 이동하는 거리를 검사하여 경로를 선택할 것인가에 관련된 것이다.

최단 무효 이동 거리 선택 단계

대안 생성 단계를 통해 생성된 여러 가지의 대안 가운데 한 가지를 선택하는 단계이다. 이 단계에서는 각각의 대안을 따라 AGV가 이동하게 되면 빈 상태로 이동하는 무효 이동 거리가 얼마나 되는가를 계산한 후 이중 무효 이동 거리가 가장 짧은 대안을 AGV의 경로로 선택하게 된다. 그리고 AGV는 이 경로를 따라 이동하면서 선적, 하역을 하게 된다.

이상의 상황을 정리하면 다음과 같다.

MVED 발주법의 우선 순위

- ① AGV가 현재 위치한 작업장
- ② ①을 만족하지 않을 경우 k 작업장

$$k = \min\left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ED_{ij} * X\right)$$

n : 작업장의 개수

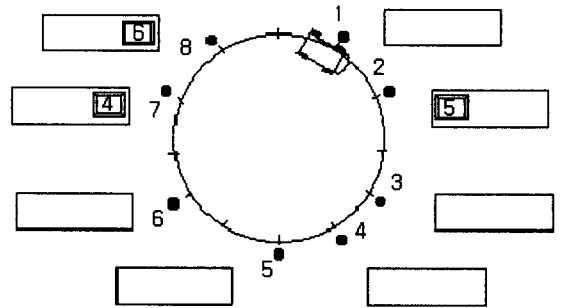
$$ED_{ij} : \text{작업장 } i \text{에서 작업장 } j \text{까지의 거리}$$

$$X = \begin{cases} 1 & \text{if } ED_{ij} \text{가 등록} \\ 0 & \text{o.w} \end{cases}$$

시스템은 시간의 변화에 따라 동적으로 변화하기 때문에 이에 적절히 대응하기 위해 차량의 하역이 이뤄질 때마다 MVED rule이 적용되며, 차량은 위와 같은 세가지 단계를 통해 선정된 경로를 따라 이동하면서 이동 경로를 지속적으로 수정하게 된다.

3.3 적용 예제

<그림 3>과 같이 8개의 작업장이 시계모양의 시스템으로 구성되어 있으며 전체 루프의 길이는 120이다. 그리고 각 시스템의 대기행렬(Queue)에는 이송할 짐이 존재하며 각각의 목적지가 쓰여져 있다. 그리고 대안생성 단계에서 사용할 변수 Dist와 n의 값은 각각 40과 2로 결정되어져 있다고 하자.

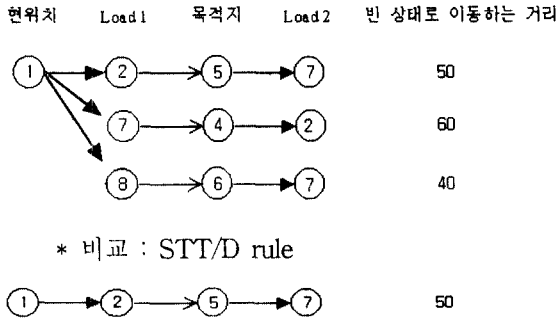


<그림 3> MVED rule 예제

현재 AGV는 1번 작업장에서 하역을 한 후, 빈 상태가 되어 있다. MVED rule의 첫번째 단계인 현재 작업장 검사 단계를 통해 1번 작업장에 짐이 없음을 확인하고, 두번째 단계인 대안 생성 단계로 넘어간다. 우선 AGV가 현재 위치하고 있는 1번 작업장을 기준으로 거리 40 안에 있는 작업장들만 대상으로 이송할 짐이 있는가를 검사한다. 그림 2의 예제에서는 2,7,8번 작업장에 짐이 있으므로 이들을 각 대안의 첫번째 짐으로 등록한다. 그리고 각 짐의 목

적지를 기준으로 거리 40안에 있는 작업장들을 검사하고 두번째 짐을 등록한다. 이렇게 해서 <그림 4>와 같은 3가지 대안이 생성될 수 있다.

마지막 단계인 이동 경로 선택 단계를 실시하기 위해 차량이 빈 상태로 이동한 거리의 합을 계산한다.



<그림 4> MVED rule 적용 예제

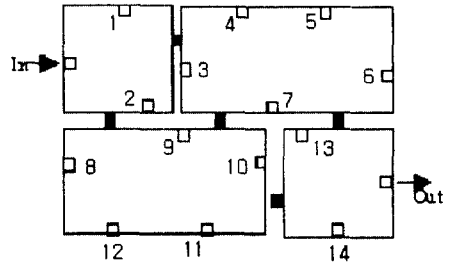
각 대안에서 차량이 빈 상태로 이동한 부분은 현재 AGV가 위치한 작업장부터 첫번째 짐을 싣기 위해 이동하는 부분과 첫번째 짐을 하역한 후 다시 두번째 짐을 싣기 위해 이동하는 부분이며, <그림 4>에서의 굵은 화살표에 해당한다. 그리고 이 두 거리의 합을 각각 계산하여 주면 각 대안의 총 무효 이동 거리, 즉 차량이 빈 상태로 이동한 거리가 계산된다. AGV는 이중 빈 상태로 이동하는 거리가 가장 짧은 세 번째 대안을 따라 이동하게 된다. 비교를 위해 '현재 위치에서 가장 가까운 작업장을 찾아가는 방식'을 취하고 있는 STT/D rule도 적용해보았다.

4. 시뮬레이션을 이용한 수행도 평가

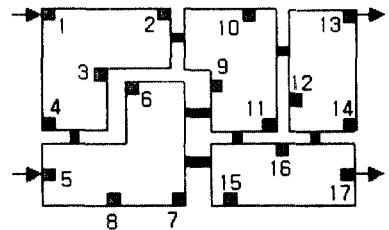
4.1 모델 설정

MVED rule의 성능을 검증하기 위해 <그림 5>, <그림 6>과 같은 두 가지 대상 시스템을 설정하였다. 대상 시스템은 각각 4개와 5개의 루프로 구성되어 있으며 작업장간의 거리는 <표 1>, <표 2>와 같다. 따라서 사용되는 AGV의 대수도 각각 4대, 5대이며, 루프간의 운송을 담당하는 추가적인 장치가 설치되어

있다. 시뮬레이션을 위한 초기화시간(warm _up period)은 120이며, 시뮬레이션의 총 실행 시간(replication time)은 3000, 반복 회수는 15회 이다. 이는 초기화 2시간, 실행 시간 2일, 반복 실행 15(총 실행 시간 1달)에 해당된다.



<그림 5> 대상시스템1



<그림 6> 대상시스템2

시뮬레이션을 실시하기 위해서는 몇 가지 가정이 필요하다. 우선 각 작업의 발생 비율과 작업 경로는 알려져 있다. 대상 시스템에서 이뤄지는 작업의 종류와 경로는 <표 3>, <표 4>와 같다. AGV는 양방향으로 움직이는AGV이며, 한 번에 한 개의 짐만 운송한다. 그리고 AGV는 하나의 출발지에서 하나의 목적지까지 이동할 때 가장 짧은 경로를 따라 이동하게 된다. AGV 혹은 작업장의 고장에 의한 작업 지연은 일어나지 않는다고 가정한다. 그 외 AGV의 속도, 선적시간, 하역시간 등은 <표 5>와 같이 상수로 정해져 있다.

본 연구에서는 시스템의 여러 상황을 고려하기

<표 1> 작업장간의 거리 - 대상시스템1

Loop1			Loop2					Loop3					Loop4		
	In	1 2		3 4 5 6 7		8 9 10 11 12		13 14 Out							
In	-	20 26	3	- 24 44 56 31	8	- 30 52 42 24	13	- 38 27							
1	20	- 34	4	24 - 20 40 55	9	30 - 22 48 54	14	38 - 15							
2	26	34 -	5	44 20 - 20 45	10	52 22 - 26 40	Out	27 15 -							
			6	56 40 20 - 25	11	42 48 26 - 18									
			7	31 55 45 25 -	12	24 54 40 18 -									

<표 2> 작업장간의 거리-대상시스템2

Loop1				Loop2				Loop3			Loop4			Loop5		
	1 2 3 4		5 6 7 8		9 10 11		12 13 14		15 16 17							
1	- 20 40 20	5	- 31 25 15	9	- 29 18	12	- 26 14	15	- 28 20							
2	20 - 20 40	6	31 - 26 36	10	29 - 23	13	26 - 20	16	28 - 16							
3	40 20 - 20	7	25 26 - 10	11	18 23 -	14	14 20 -	17	20 16 -							
4	20 40 20 -	8	15 36 10 -													

<표 3> 작업경로 및 발생비율-대상시스템1

Job type	Route	Inter-arrival time		
		Case 1	Case 2	Case 3
1	In-1-4-6-7-11-13-Out	$Exp\alpha(29)$	$Exp\alpha(27)$	$Exp\alpha(25)$
2	In-2-3-7-Out	$Exp\alpha(28)$	$Exp\alpha(26)$	$Exp\alpha(24)$
3	In-1-2-8-9-3-5-13-Out	$Exp\alpha(30)$	$Exp\alpha(28)$	$Exp\alpha(26)$
4	In-12-11-10-14-Out	$Exp\alpha(29)$	$Exp\alpha(27)$	$Exp\alpha(25)$
5	In-8-10-14-Out	$Exp\alpha(28)$	$Exp\alpha(26)$	$Exp\alpha(24)$
6	In-4-5-13-14-Out	$Exp\alpha(28)$	$Exp\alpha(26)$	$Exp\alpha(24)$

<표 4> 작업경로 및 발생비율-대상시스템2

Job type	Route	Inter-arrival time		
		Case 1	Case 2	Case 3
1	1-2-3-12-13	$Exp\alpha(15)$	$Exp\alpha(14)$	$Exp\alpha(13)$
2	1-4-8-7-15-11-13	$Exp\alpha(16)$	$Exp\alpha(15)$	$Exp\alpha(14)$
3	1-4-3-9-12-16-17	$Exp\alpha(15)$	$Exp\alpha(14)$	$Exp\alpha(13)$
4	5-6-10-14-13	$Exp\alpha(14)$	$Exp\alpha(13)$	$Exp\alpha(12)$
5	5-7-15-16-17	$Exp\alpha(15)$	$Exp\alpha(14)$	$Exp\alpha(13)$

<표 5> 기타 데이터

AGV 속도	20 or 25 Unit distance/Unit time
선적/하역 시간	0.2 Unit time
루프간 이동시간	0.5 Unit time
작업 시간	Unif (4,6)

위해 작업량을 변화시키면서 시뮬레이션을 실행하였다. 작업량의 변화는 새로운 작업이 시스템에 도착하는 간격, 즉 작업의 작업 발생 시간 간격(Inter-arrival time)을 조절하는 방식으로 Case 1부터 Case 3까지 세 가지 단계를 설정하였다. Case 1은 작업이 시스템에 도착하는 간격이 긴 경우, 즉 작업의 양이 적음을 의미하며, Case 2, Case 3은 작업 발생 간격이 더 짧아져서 해야 할 작업의 양이 더 많아진 상태를 나타낸다.

4.2 시뮬레이션 결과

발주법의 비교를 위한 시뮬레이션 언어로는 ARENA(SIMAN)를 사용하였으며, 기존의 발주법과의 수행도 비교를 위한 척도로는 평균 작업 시간(Flow time), AGV 대기 행렬 길이(AGV_Q), AGV 이용률(AGV_Util), 무효 이동 거리 비율(AGV_Empty)이 사용되었다.

평균 작업 시간은 하나의 작업이 시스템에 도착하여 모든 작업을 마치고 시스템을 떠나는 데까지 걸리는 평균 시간을 의미하며, 대기행렬 길이는 하나의 작업장에서 작업을 마치고 다른 작업장으로 이동하기 위해 대기행렬에서 AGV를 기다리는 운송물의 개수의 합이다. AGV이용률은 대상 시스템에서 사용된 차량의 이용률의 총 합이며, 무효 이동거리

비율은 차량의 이용률 중에서 빈 상태로 움직이는데 사용된 시간의 비율을 의미한다. 15번의 반복에 대한 결과치는 신뢰구간을 유의 수준 0.01로 구하였으며, 두 가지 대상 시스템에 대한 결과치가 각각 <표 6>, <표 8>에 제시되어 있다. 각 발주법의 성능에 대한 명확한 차이의 비교를 위해 추가적으로 Paired-t test를 통해 STT, MEVTT, MVED의 작업시간의 차이에 대한 통계결과를 15번의 반복 수행을 통해서 유의 수준 0.01로 계산하였다. 그 결과는 <표 7>와 <표 9>에 나타내었다. MVED의 변수값으로 n 값은 2, dist값은 루프 길이의 50-70%에 해당되는 수치가 사용되었다.

두개의 대상 시스템 모두 MVED rule이 STT와 MEVTT보다 좋은 결과치를 보이고 있다. 작업 시간, 대기 행렬의 길이 모두 가장 작은 수치를 보이고 있으며, 작업의 양이 많아 질수록 값의 차이가 점점 벌어지는 것으로 나타났다. 작업량이 적을 때에는 MVED와 MEVTT가 비슷한 결과치를 보이기도 하지만 작업량이 많아질수록 그 차이가 현저히 나타난다. 결과치에서 주목할 만한 점은 AGV의 이용률이다. MVED는 더 좋은 성능을 보임에도 불구하고 이용도면에서 작은 값을 보이고 있다. 이는 AGV가 필요 없이 움직이는 거리가 줄었음을 나타내며 이는 무효 이동 거리 비율에서도 비슷한 차이로 나타나고 있다.

Paired-t test의 결과를 보면 <표 7>의 Case1에서 MEVTT-MVED의 결과치만 0의 값을 포함하고 있을뿐 나머지 결과치들은 모두 0을 포함하고 있지 않다. 즉 작업시간에 있어서 유의 수준 0.01로 두 발주법에 의한 작업 시간의 차이가 나타난다는 것을 알 수 있으며 MVED의 수행도가 다른 발주법들보다 좋다는 것을 알 수 있다. 작업량이 많은 Case 3의

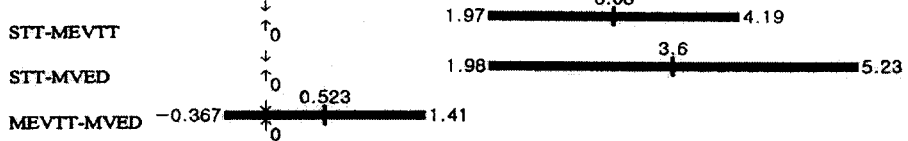
<표 6> 수행도 비교-대상시스템1

	Case1			Case2			Case3		
	STT	MEVTT	MVED	STT	MEVTT	MVED	STT	MEVTT	MVED
Flow Time	84.1	81.6	81	101	95.8	94	140	130	127
AGV_Q	8.54	8.13	7.90	12.95	12.11	11.57	23.97	21.82	20.81
AGV_Util	3.49	3.45	3.44	3.633	3.611	3.603	3.79	3.77	3.76
AGV_Empty	1.36	1.32	1.32	1.36	1.34	1.33	1.37	1.34	1.33

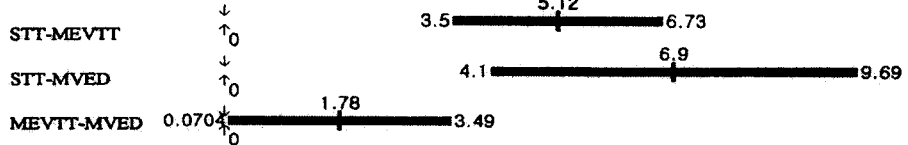
<표 7> 평균작업시간(Flow Time)의 차이 비교-대상 시스템1

	Case1		Case2		Case3	
	평균	0.99 C.I	평균	0.99 C.I	평균	0.99 C.I
STT- MEVTT	3.08	±1.11	5.12	±1.61	10.2	±4.92
STT- MVED	3.6	±1.63	6.9	±2.8	13.7	±5.78
MEVTT- MVED	0.523	±0.89	1.78	±1.71	3.54	±2.33

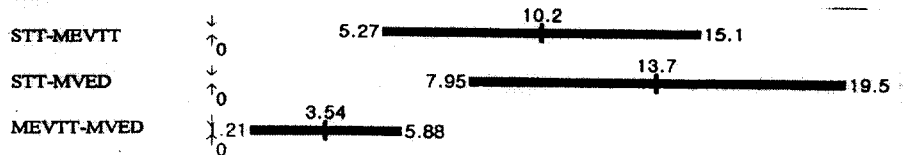
Case1



Case2



Case3



경우 STT와 MVED의 평균 작업 시간이 13이상 차이가 나타나는 것을 알 수 있다. <표 9>의 경우에 있어서도 이와 비슷한 성향을 보이고 있다. 이 밖에 대기 행렬길이 등의 Paired-t test 등에서는 Case에 따라서 약간의 차이를 보이고 있으나 전반적으로 MVED의 성능이 좋게 나타났다.

MVED rule은 차량의 하역이 이뤄질 때마다 새롭게 대안이 작성되고, 선택되기 때문에 n값이 그다지 클 필요는 없다. 또한 한 루프 안에서 AGV의 서

비스를 받기 위해 대기하고 있는 이동물의 숫자가 4개가 넘는다는 것은 루프 구성에 문제가 있는 것이기 때문에 n값은 2,3 정도면 적당하다. 또한 dist의 경우는 작업장의 종류에 따라 달라지지만 일반적으로 루프 길이의 60-80%로 선정하였을 때 좋은 결과가 나타났다. 하지만 보다 명확한 해석을 위해서는 민감도 분석등의 추가적인 연구가 필요하다고 생각된다.

MEVTT 발주법의 단점으로 지적할 수 있는 것

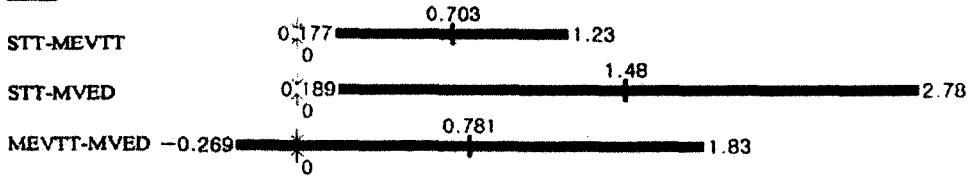
<표 8> 수행도 비교-대상 시스템2

	Case1			Case2			Case3		
	Stt	Mevtt	Mved	Stt	Mevtt	Mved	Stt	Mevtt	Mved
Flow Time	59.3	58.6	57.8	70.8	69.1	66.4	94.9	89.6	85.1
AGV_Q	7.08	6.82	6.42	11.71	10.74	9.50	21.53	19.29	16.52
AGV_Util	4.13	4.14	4.07	4.47	4.35	4.32	4.59	4.57	4.54
AGV_Empty	1.50	1.47	1.44	1.57	1.52	1.45	1.59	1.55	1.52

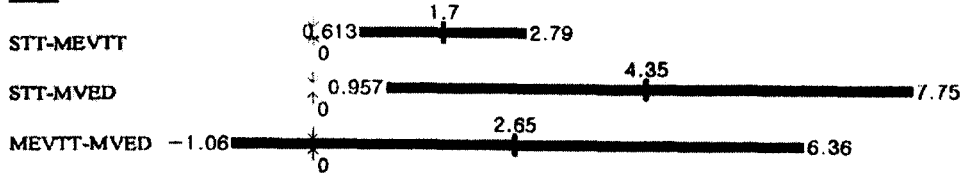
<표 9> 평균작업시간(Flow Time)의 차이 비교-대상 시스템2

	Case1		Case2		Case3	
	평균	0.99 C.I	평균	0.99 C.I	평균	0.99 C.I
STT- MEVTT	0.703	±0.526	1.7	±1.09	5.34	±3.38
STT- MVED	1.48	±1.29	4.35	±3.4	9.82	±5.54
MEVTT- MVED	0.781	±1.05	2.65	±3.71	4.47	±4.18

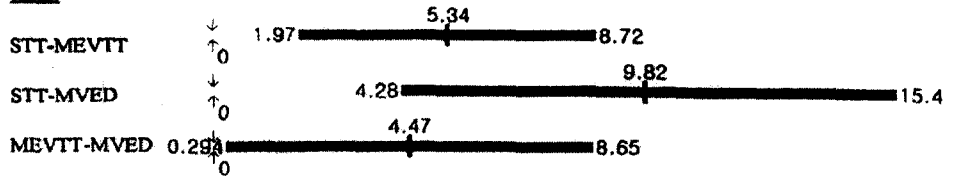
Case1



Case2



Case3



은 하나의 루프 내에서 연속작업이 발생하지 않으면 MEVTT 발주법은 STT/D 발주법과 비슷한 효과를 낼 수밖에 없다는 점이다. 만일 Tandem Configuration에 루프간의 이송 물자를 담당하는 Material transportation system을 설치하게 되면 각 물자는 한 지점에서 다른 한 지점으로 이송 될 뿐 루프 안에서의 연속 작업이 거의 발생하지 않기 때문에 MEVTT의 성능은 그만큼 떨어질 가능성이 있는 것이다. 하지만 MVED의 경우는 연속작업을 구분하지 않고 일정 거리 안에 있는 운송물을 모두 고려하기 때문에 성능에 크게 영향을 받지 않게 된다. 이와 같이 MVED발주법은 기존의 발주법에 비해 보다 좋은 성능으로 보다 유연하게 시스템에 적용할 수 있다.

5. 결론

기존의 AGV시스템의 규모가 커지고 운영이 복잡해짐에 따라 하나의 루프에 한대의 차량을 배치하는 새로운 시스템 설계를 통해 이를 해결하려는 노력이 이뤄지고 있다. 하지만 시스템의 설계에만 초점이 맞춰질 뿐 이를 적절하게 운영하기 위한 운영 정책 등은 특별히 제시되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 이와 같이 새롭게 제시되고 있는 형태의 AGV 시스템인 단일 루프-단일 차량 형태의 시스템에서 적절하게 사용할 수 있는 발주법을 개발하였다. MVED발주법은 AGV 작업의 분석을 통해 차량이 빈 상태로 이동하는 불필요한 거리를 줄이는데 그 초점을 맞추었으며, 시뮬레이션 결과 기존의 발주법보다 좋은 성능을 보였다. 특히

차량이 빈 상태로 이동하는 거리가 줄어들어 따라 작업의 흐름이 좋아지고, 더불어 차량의 운영에 있어서도 충분한 효과를 볼 수 있는 것으로 나타났다.

MVED 발주법은 루프의 특성에 따라 Dist와 n값을 변화시켜줌으로써 시스템의 효율을 높일 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 아직까지는 Dist와 n값의 결정을 위한 확실한 기준이 제시되지 못하였다. 이상의 연구를 바탕으로 하여 Dist와 n값의 변화가 시스템의 흐름에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위한 민감도 분석 등이 행해져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Bozer, Y.A. and Srinivassan, M.M., "Tandem configuration for AGV system offer simplicity and flexibility", *Industrial Engineering*, Vol.21, No.2, pp.23-27, 1989.
- [2] Choi, H.G., Kwon, H.J., Lee, J., "Traditional and Tandem AGV System Layouts: A Simulation Study", *Simulation*, Vol.63, No.2, pp.85-93, 1994.
- [3] Egbelu, P.J. and Tanchoco, J.M.A., 1986, "Potentials for bi-directional guide-path for automated guided vehicle based systems", *International Journal of Production Research*, Vol.24, No.5, pp.1075-97, 1986.
- [4] Egbelu, P.J. and Tanchoco, J. M. A., "Characteristics of automated guided vehicle dispatching rules", *International Journal of Production Research*, Vol.22, No.3, pp.359-374, 1984.
- [5] Huang, C., "Design of material transportation system for tandem automated guided vehicle systems", *International Journal of Production Research*, Vol.35, No.4, pp.943-953, 1997.
- [6] Kim, C.W. and Tanchoco, J.M.A., "Bi-directional automated guided vehicle systems (AGVS)", *Material Flow Systems in Manufacturing*, Chapman & HALL, London, pp.239-272, 1994.
- [7] King, R.E. and Wilson, C., "A review of automated guide-vehicle systems design and scheduling", *Production Planning & Control*, 1990.
- [8] King, R.E. and Hodgson, T.J. and Monteith, S.K., "Extracting Heuristic Control rules for AGV's using Markov decision process", *Belgian Journal of O.R., Statistics and Computer Science*, Vol.27, No.2, 1986.
- [9] Klein, C.M. and Kim, J., "AGV dispatching", *International Journal of Production Research*, Vol.34, No.1, pp.95-110, 1996.
- [10] Liu, F.H. and Chen, J.T., "Analytical framework for designing the divided automated guided vehicles system", *International Journal of Industrial Engineering*, Vol.4, No.2, pp.90-102, 1997.
- [11] Ross, E.A., Mahmoodi, F. and Moisisier, C.T., "Tandem configuration automated guided vehicle system: A comparative study", *Decision Sciences*, Vol.27, No.1, pp.81-102, 1996.
- [12] Tanchoco, J.M.A. and Sinriech, D., "Single-loop guide paths for AGVs", *Material Flow Systems in Manufacturing*, Chapman & HALL, London, pp.177-199, 1992.
- [13] 박대희, 박운선, "효율적인 AGVS의 운용을 위한 다단계 차량 발주 방식에 관한 연구", 명지대학교 산업공학과 Technical Report 96-3, 1996.

● 저자소개 ●



김경섭

1982년

연세대학교 기계공학과 졸업(학사)

1986년

Univ of Nebraska-Lincoln 산업공학과 졸업(석사)

1993년

North Carolina State Univ. 산업공학과 졸업(박사)

1994-1995년

삼성 데이터 시스템 선임연구원

현재

연세대학교 산업공학과 조교수

관심분야

물류시스템, 시뮬레이션 모델링 및 분석



정병도

1998년

연세대학교 산업공학과 졸업(학사)

현재

연세대학교 산업시스템공학과 석사과정

관심분야

물류시스템, 시뮬레이션 모델링 및 분석