

무혼잡 무인 운반 차량 시스템의 설계에 관한 연구*

A Study on a Congestion-free Design of AGV System*

박윤선** · 박대희***

Yunsun Park** · Daehee 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 partitioning the AGV system by introducing the concept of Central Path.

This method named Central Path design has advantages, since each partitioned workstation group is served by one AGV and the material handling between groups is performed by special AGV that is used for the Central Path. Therefore the congestion problems never occur. Furthermore Central Path Design has a high flexibility for alteration and extension of system.

Finally, we demonstrate its efficiency using simulation.

* 이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

** 명지대학교 산업공학과

*** 삼성 테이터 시스템

1. 서론

1.1 연구 배경 및 목적

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 자동화는 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 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.

본 연구는 AGV System의 효율 개선에 그 목적이 있다. AGV의 효율성은 AGV 자체의 성능에도 관련이 있지만, AGV 사용 대수와 시스템의 복잡도가 증가함에 따라 AGV 시스템의 설계와 그에 따른 관리 및 운용 통제에 많은 영향을 받고 있다. 그러나 시스템의 복잡도가 증가할수록 최적의 운용 체계를 찾

기는 어려워진다. 이는 비 동시적이고, 독립적으로 발생하는 수요에 의해 어느 시점 어느 곳에서도 발생 가능한 차량의 집중 및 혼잡 현상(*congestion : collision, blocking*)을 통제하기에 어려움이 따르기 때문이다. 그러므로 이러한 *congestion* 현상을 제거하기 위한 시스템의 설계와 이에 적합한 발주 방법의 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 *Partitioning*과 *Central Path* 라는 개념을 도입하여 *congestion* 현상이 제거된 무혼잡 AGV System(이하 *Central Path Design*이라 명시)을 구축하고자 한다.

2. AGV System의 일반적 고찰

2.1 AGVS의 개념

그림 1은 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 종료되는 것이다. 그림 2는 선적장과 하역장을 포함한 작업장에서의 자재의 이동에 대한 설명을 하고 있다.

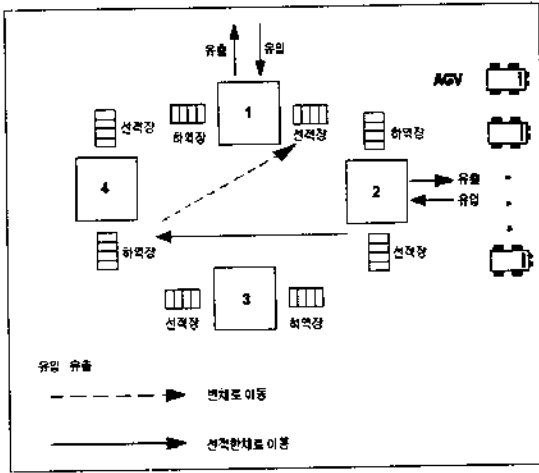


그림 1. AGV System

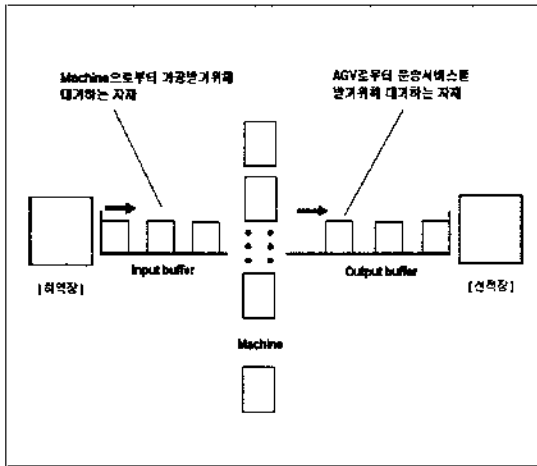


그림 2. Workcenter

2.2 기존 관련 연구

AGV 시스템의 효율성에 관한 연구는 1980년대 이후부터 많이 이루어지고 있다. 이에 관한 연구는 다음과 같이 크게 3가지 부류로 나누어 질 수 있다. (King and Wilson[18])

- (1) 시스템 설계 : 트랙(guide path) 배치(layout), 필요한 AGV의 필요대수 및 종류.

- (2) 경로 설정 및 스케줄링 : 발주 방법(dispatching rule), congestion 현상(blocking), control strategy.

- (3) 당위성 및 구현

시스템 설계는 처음으로 Maxwell[19]과 Muckstadt[20]에 의하여 시도되었다. 그들은 주어진 시스템 배치 하에서 물건을 실지 않은 차량의 주행시간을 최소로 하는 최소의 차량 댓수를 구한 후 이 최소한의 차량대수를 이용하여 기존의 guide path를 효율적으로 운영하기 위한 트랙의 재배치를 시도하였다. 또한 이러한 트랙의 배치 하에서 차량들 사이의 congestion현상(blocking)을 줄이기 위한 차량 발주 순서를 정하는 알고리즘을 제시하였다. Egbelu[10][11]는 congestion현상의 확률성을 고려하여 발주 방법(dispatching rule)이 AGV 필요대수에 영향을 끼친다는 것을 모의실험(simulation)을 통하여 밝혔고, Egbelu & Tanchoco[12]은 AGV 시스템을 대기망 모형으로 취급하여, 이것을 대기망 분석 방법인 CAN-Q를 이용하여 AGV의 필요 대수를 추정한 후 simulation의 결과와 비교하였다.

위의 연구들을 포함하여 대부분이 (Egbelu & Tanchoco[12], Egbelu & Tanchoco [13]) simulation을 통하여 분석된 것에 반해 Johnson & Brandeau[17]은 AGV 시스템의 필요 차량대수를 구하기 위하여 분석적인(analytic) 방법을 사용하는 두 가지 알고리즘을 제시하였다.

트랙 배치에 관한 연구로는 Gaskins & Tanchoco[15]가 물건을 실은 차량의 주행거리를 최소화하고자 할 때, 단 방향 AGV 시스템에 있어서 각 노드 사이의 최적 운행 방향을 결정하는 방법에 대해 연구하였고, 그

후의 연구(Gaskins & Tanchoco[16])에서 이에 대한 시뮬레이션 시스템이 개발되었다.

다음은 AGV 시스템 연구의 두 번째 부류인 경로 설정 및 스케줄링에 대한 지금까지의 연구를 살펴보겠다. AGV 시스템의 경로 설정 문제는 실제 차량의 경로 설정과 매우 비슷한 특성들을 가지고 있다. Bodin, et al[4]은 이러한 경로 문제에 대해 잘 설명을 하고 있고, 특히 'dial-a-ride' 시스템은 AGV 경로 설정에 밀접한 관계를 나타내고 있는 것으로 판명되었다.

발주 방법에 대해서는 Egbelu & Tanchoco [13]가 여러 가지 발주 방법들을 작업장 시점(workcenter-initiated)과 차량시점(vehicle-initiated)의 견지에서 분류하여 simulation을 통해 비교하였다.

Blair[3]는 발주 방법과 관계된 경로 문제의 수학적 모델을 제시하였으며, Bartholdi & Platzman[2]는 AGV가 모든 작업장을 일정한 순서로 순회하여 방문하는 발주 방법을 제안하였다. 이 방법은 Bozer & Srinivasan[5]에 의해 확장되어 AGV 시스템을 몇 개의 루프로 구분하여 각 루프를 하나의 AGV가 담당하는 Tandem Configuration으로 발전하였다. 이어지는 논문에서 Bozer & Srinivasan[6]은 이러한 partitioning의 방법과 그의 효율성을 simulation을 통하여 측정하였다. 또한 Egbelu & Tanchoco[14]는 양방향 경로 설정의 여러 가지 문제점을 해소하는 방법을 소개하여 이의 사용에 대한 잠재적인 장점을 열거하였다.

AGV 시스템의 경제적인 입장에서 의 당위성 및 구현방법은 물론 시스템 설계나 차량 대수와 밀접한 관계가 있다. Dahlstrom[9]은 AGV와 포크 트럭, 그리고 컨베이어의 비교

방법을 제시하였고, Clavette[8]와 Nicely[21]는 AGV 도입의 당위성을 보여주는 예들을 소개하였다. 또한 Burton[7]는 AGV 시스템의 도입을 위한 절차를 설명하고 있다.

이상의 연구들은 대부분이 작은 규모의 시스템을 대상으로 하고 있다. 이유는 단지 시스템의 복잡성으로 인한 시스템 제어의 어려움으로 인한 것이다. 그러나 실제로 복잡한 시스템의 제어에 있어서 대처할 능력이 없다는 것은 단점이기를 넘어서 시스템의 도입 필요성 자체가 의심되는 커다란 문제점이라 하겠다. 보다 정도가 심해지는 기업 환경의 빠른 변화 속에서 시스템의 확대, 변화는 불가피하기 때문이다. 또한 기존 연구의 대부분이 어느 한가지의 논제로 부분적으로 연구되어져 왔으나 3가지 AGV에 대한 연구 분야는 서로 독립적인 것이 아니라 유기적인 관계를 가지고 있다. 따라서 부분적으로보다는 전반적으로 고려되어야만 한다. 즉, 시스템의 설계와 이에 적합한 제어 방법이 함께 개발되어야만이 시스템이 효율적이고 유기적으로 작동하는 것이다.

본 연구와 관련하여 가장 밀접한 관계가 있는 논문은 Bozer & Srinivasan [5][6]의 것이다. 그들은 본 연구의 Central Path Design 개념과 비슷한 AGV 시스템의 Tandem Configuration을 제안하였다. 두 개념이 모두 시스템의 traffic control에 있어서의 가장 큰 문제인 congestion 현상을 제거하려는 데는 같으나 Central Path Design은 Central Path라는 가상의 경로를 설정하여 그들의 여러 가지 단점을 해소하려 하고, 작업장의 partitioning에 있어서도 보다 효율적인 방법을 개발 시스템의 능력을 배가할 수 있도록 하며, Tandem

Configuration에서의 발주 방법인 FEFS(First Encountered First Served)와 달리 MEVTT(Minimum Empty Vehicle Travel Time)을 적용하여 1대의 AGV가 운용되는 상황을 보다 효율적으로 반영할 수 있도록 하였다.

3. 본 론

AGV 시스템에서 AGV들은 일정한 통제 알고리즘에 따라 수요를 할당받고, 이를 서비스하기 위해 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[5][6]의 Tan-

dem 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. 예를 들어 설명하면 그림 3의 왼쪽은 기존의 작업장 배치이고 이를 분할한 형태가 오른쪽에 나타난다.

Tandem Configuration의 시스템 설계 방법은 규모가 크고 복잡한 AGV 시스템에서 거의 해결이 불가능해 보였던 혼잡 현상에 대한 해결 방안으로 매우 혁신적인 것이라 하겠다. 그러나 혼잡현상을 해결할 수 있는 새로운 대안으로서는 가치가 있으나, 세부적으로 그들이 제시한 발주 방법, 분할 알고리즘 등에는 비효율적인 요소가 많이 있다. 따라서 본 연구에서는 분할 통제되는 시스템에 적합한 새로운 개념의 발주 방법 및 분할 알고리즘을 제시하고자 한다.

본 연구는 혼잡 현상이 제거된 AGV시스

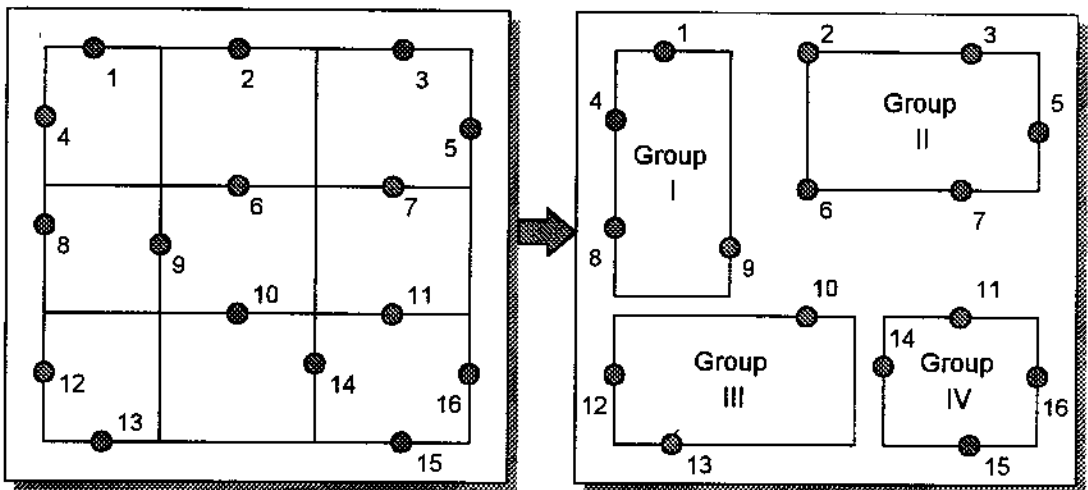


그림 3. 작업장 분할의 예

템을 설계하기 위하여 크게 4가지 부분으로 나뉘어진다. 첫째로 3.1에서는 Central Path Design에 적합한 MEVTT(Minimum Empty Vehicle Travel Time) 발주 방법에 대하여 설명하고, 3.2에서는 작업장을 분할하는 알고리즘에 대해 설명한다. 3.3에서는 분할된 작업장들은 연계시켜주는 Central Path에 대하여 설명하고 마지막으로 3.4에서는 시뮬레이션을 통한 성능 평가가 수행된다. 각 단계에서 Central Path Design의 이해 및 효율성 비교를 위해 예를 들어 Tandem Configuration과 비교하여 설명된다.

3.1 분할 통제되는 시스템에 적합한 MEVTT(Minimum Empty Vehicle Travel Time) 발주 방법

Tandem Configuration에서는 발주 방법으로 FEFS(First Encountered First Service) 발주 방법이 사용된다. 이는 AGV가 작업장을 일련의 순서로 이동해가며 수요의 유무를 파악하여 서비스하는 것으로, 루프에 해당하는 작업장들을 작업장간의 거리를 이용하여 순회 세일즈맨문제(TSP : Traveling Salesman Problem)로 풀어 일련의 순서를 주고 AGV는 순서에 따라 작업장을 계속해서 방문하게 된다. 예를 들어 그림 4와 같은 하나의 루프가 있는 경우 작업장 방문 순서가 번호와 같고, 작업장 2에 수요가 없다면, AGV는 다른 작업장의 수요 상황에 대한 고려없이, 작업장 3을 방문하게 된다. 작업장 3에서 다시한번 수요 상황을 고려하여, 이후의 과정이 결정되게 된다. 방문한 작업장에 수요가 있는 경우, 이를 서비스하고 없으면 계속해서 다음 순서의 작업장을 방문한다. 그러므로 AGV는 쉬지않고

움직이게 된다. Tandem Configuration에서는 FEFS 발주 방법을 III.2.2에서 나오는 가능성 검토에 사용하기 위하여 사용하였다. 그러나 그림 4에서 보듯이 만일 AGV가 작업장 2에 위치하고 수요가 1, 5, 7 작업장에서 발생하는 경우, AGV는 불필요한 3, 4 작업장 방문이 발생하게 되는 단점이 있다.

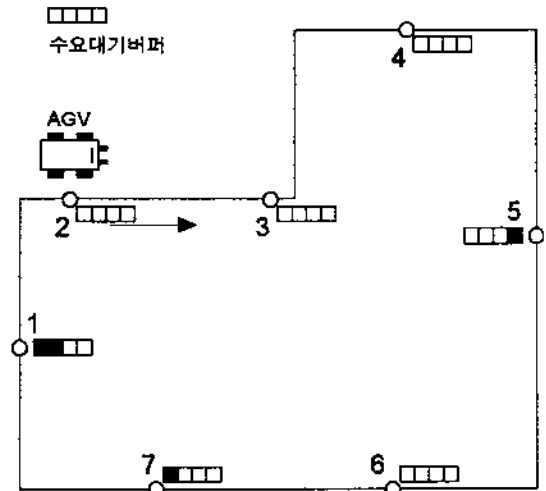


그림 4. FEFS 발주 방법의 예

이에 반해 Central Path Design에서는 MEVTT(Minimum Empty Vehicle Travel Time) 발주 방법을 사용하였다. MEVTT 발주 방법의 효율성은 입증되었으므로[23] 본 논문에서는 간단히 그 알고리즘만을 소개한다. AGV는 수요가 발생하면 이를 서비스하기 위하여 두가지의 이동을 갖게되는데 먼저 현재의 위치에서 수요가 발생한 작업장까지 빈채로 이동하는 것이고, 나머지는 선적인 채로 이동하는 것이다. MEVTT 발주 방법은 전자, 즉 AGV가 빈채로 이동하는 불필요한 부분을 최소화하고자 하는데 목적이 있다. 기존의 발주 방법중에서 STT(Shortest Travel Time) 발

주 방법과 그 목적이 같으나, 기존의 발주 방법들이 서비스의 우선순위를 결정하기 위해서 현재의 시스템 상태만을 고려하는데 반해 MEVTT 발주 방법은 서비스가 수행된 이후의 시스템 변화에 대해서도 다단계로 고려가 가능하므로 보다 효율적이다 하겠다.

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 없는 경우, 다음을 만족하는 작업장 i^* 를 서비스

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

k : AGV 현재 위치

j : 수요가 발생한 작업장

d_{kj} : 현 위치 k 에서 수요발생작업장 j 까지의 거리

n_j : j 작업장을 서비스하는 경우의 연속 서비스 횟수

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

3.2 작업장 분할(Partitioning)

앞에서 언급했듯이 AGV System이 확장되고 복잡해질수록 이를 제어하고, 통제하는데 있어서 가장 심각한 문제점으로 부각되는 것

이 바로 congestion 현상이라 할 수 있는데, 이러한 문제점을 해결하기 위해 Bozer & Srinivasan[5][6]은 Tandem Configuration이라는 새로운 개념의 작업장 설계 개념을 도입하였다. 이는 divide-and-conquer의 개념을 도입하여, 전체 작업장들을 몇 개의 루프(그룹)로 분할(Partitioning)하여 분할된 그룹내에는 1대의 AGV만을 할당시켜 AGV의 움직임이 서로 어긋나거나 겹치지 않도록하여 congestion 현상을 제거하고자 하는 것이다. 그러나 이러한 작업장 분할은 congestion 현상을 제거한다는 장점이 있지만, 필요에 따라서는 서로 다른 작업장 그룹간의 물자 수송(transit load)이 발생한다는 단점이 생기게 된다. 예를 들어, 그림 3에서 작업장 I에서 작업장 16으로 자재 운송이 필요한 경우 하나의 수요를 서비스하기 위해서 그룹 I의 AGV의 서비스와 그룹 IV의 AGV, 그리고 이를 연계해주는 수단등 추가적인 서비스가 필요하게 되는 것이다. 따라서, 작업장을 분할하는 방법에 따라 시스템의 효율성은 크게 영향을 받게 되므로, 적절한 알고리즘이 요구되어 진다. 작업장을 분할하는 방법은 크게 3단계로 나뉘어진다. 첫째로 대안이 될 수있는 작업장들의 그룹들을 생성하는 단계, 둘째로는 생성된 그룹의 실제 사용 가능성을 검토하는 단계, 셋째로 수 많은 대안들 중에서 가장 효율적인 대안들을 찾는 단계이다.

3.2.1 그룹생성(Group Generation)

첫 단계로 작업장을 분할할 수 있는 효과적인 대안(그룹)들을 가능한한 많이 생성하는 단계이다. 작업장을 분할하는데 있어서 가장 중요한 점은 서로 연관성이 많은 작업장들을,

즉 상호 작업장간의 자재 운송 빈도가 높고, 서로 근접거리에 있는 작업장들을 한 그룹에 포함시키도록 하는 것이다. 또한 작업장 그룹들이 서로 겹치거나 교차되지 않으려면 작업장이 다른 작업장 그룹에 의해서 고립되지 않아야 한다. 즉 어느 작업장이 다른 작업장 그룹에 의해 둘러싸여지게 되면 그 작업장이 속하게 되는 그룹과 둘러싼 그룹간에는 겹치는 부분이 발생하여 분할하는 것이 무의미하게 되는 것이다. 그림 3에서 만일 2, 4, 6, 8 작업장을 하나의 그룹으로 형성하게 되면 작업장 1은 고립되어 다른 어떤 그룹에 속하더라도 2, 4, 6, 8 작업장 그룹과 교차될 수밖에 없는 것이다.

Tandem Configuration에서는 이러한 특성을 만족시키기 위해 전체 작업장을 작업장간의 거리를 이용하여 순회세일즈맨 문제로 풀어 일련의 순서를 정하고 첫 번째 작업장부터 차례로 작업장을 하나씩 추가하는 방법을 사용하였다. 예를 들어 설명하면 아래와 같다.

Example) Tandem Configuration에서의 그룹 생성 예

작업장 수가 7이고 작업장간의 거리를 이용하여 순회세일즈맨 문제로 풀은 해가 3-5-1-6-7-4-2 이라면,

- ① 작업장 3을 기준으로 (3,5), (3,5,1), (3,5,1,6), ...
- ② 작업장 5를 기준으로 (5,1), (5,1,6), (5,1,6,7), ...
- ③ 작업장 1을 기준으로 (1,6), (1,6,7), (1,6,7,4), ...
- ④ ...

과 같은 방법으로 그룹을 생성한다. 생성된

그룹에 대해서는 III.2.2에서 설명될 가능성 검토를 통해 1대의 AGV로 서비스 가능한가에 대한 검토가 뒤따르고 합격하는 경우는 가능성 있는 그룹으로 기록되고, 다음의 작업장을 그룹에 추가하여 새로운 그룹을 생성하고, 합격하지 못하는 경우는 다음 작업장을 기준으로 새로이 그룹을 생성하게 된다.

그러나 Tandem Configuration에서는 고립되는 작업장의 발생을 억제하기 위하여 작업장간의 거리만을 고려하였다. 이것은 작업장간의 연관성은 배제된 그룹생성 방법으로 연관성이 높은 작업장이 서로 다른 그룹에 속하는 경우 그룹간의 자재 운송이 빈번하게 되는 단점이 생긴다.

이에 반해 Central Path Design에서는 작업장간의 거리 및 연관성, 그리고 고립되는 작업장의 발생의 억제 등의 특성들을 고려하기 위해서 아래와 같은 방법을 사용하여 작업장을 분할하게 된다.

- ① 각 작업장간의 연관성을 수치화하기 위해 운반되어야 할 자재의 발생빈도(rate)에 따라 그에 따른 작업장간의 이동 경로를 고려하여 각 작업장간의 자재 운송 빈도(R_{ij})를 구한다.
- ② 작업장간의 거리(D_{ij})로 ①에서 구한 R_{ij} 를 나누어 환산된 값 $F_{ij} (= R_{ij} / D_{ij})$ 를 구한다.
- ③ 작업장 n ($n = 1, 2, 3, \dots, N$)을 기준으로 하여 인접 작업장중에서 F_{ij} 값이 가장 큰 작업장 m 을 찾아 두개의 작업장으로 이루어지는 Group (n, m)를 형성. 인접군만을 고려함으로써 고립 작업장의 발생을 억제한다.
- ④ 인접 작업장중에서 F_{ij} 를 이용 Group($n,$

m)과 관련도가 가장 높은, 즉 (Fnl+Fml) 값이 가장 큰 작업장 l를 선정하여 기존의 그룹에 포함시켜 Group(n, m, l)를 형성한다.

⑤ ③에서의 방법을 이용, 순차적으로 군의 범위를 늘려간다.

* ②, ③, ④단계에서 형성된 작업장이 1대의 AGV로 운용이 가능한가에 대한 가능성 검토(feasibility test)를 실시하여 만족하는 경우는 해당 그룹을 가능한 그룹으로 save하고 다음 단계로간다. 만족시키지 못하는 경우는 기존 작업장을 순차적으로 바꾸어(n < n + 1) 단계 ②로 간다.)

3.2.2 가능성 검토(Check feasibility)

작업장을 그룹으로 분할하고 분할된 그룹에 1대의 AGV만을 할당하기 위해서는 III.2.1에서 생성되는 그룹들이 과연 1대의 AGV로 서비스가 가능한가를 알아야 한다. 이러한 가능성의 검토는 AGV의 이용율을 이용해서 이루어진다. 생성된 그룹을 1대의 AGV로 서비스하는 경우의 AGV 이용율이 1 이하가 되어야만 AGV가 해당 그룹의 수요를 만족할 수 있다. AGV의 이용율은 발주 방법에 따라 차이가 나게되는데, Tandem Configuration에서는 FEFS 발주 방법을 따르는 경우의 AGV 이용율을 근사적으로 구하여 이를 사용하였다.

Central Path Design에서는 AGV의 이용율을 구하기 위하여 아래의 식을 이용한다.

$$\rho = \sum_{i=1}^M \lambda_i \left(\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^M P_{jk} \rho_{ki} \frac{\lambda_i}{\Delta_T} + \sum_{j=1}^M P_{ij} \tau_{ij} \right)$$

사용되는 기호는 다음과 같다.

N = 입/출고 작업장수

M = 입/출고 작업장을 포함한 모든 작업장 수

λ_i = 작업장 i에 도착하는 자재의 도착율

Δ_T = 자재 도착율의 합 = $\sum \lambda_i$

P_{ij} = 작업장 i에서 선적된 자재가 작업장 j로 운반될 확률

τ_{ij} = 작업장 i에서 작업장 j까지 자재를 선적한채 이동하는 시간과 선적/하역 작업에 필요한 시간의 합

α_{ij} = 작업장 i에서 작업장 j까지 빈채로 이동하는 시간

α_f = 선적한채로 이동하기위해 소요되는 AGV의 평균이용율

α_e = 빈채로 이동하기위해 소요되는 AGV의 평균이용율

ρ = AGV의 평균이용율 = $\alpha_f + \alpha_e$

이는 AGV 발주 방법을 FIFO(First In First Served)로 하는 경우에 있어서 AGV의 이용율을 근사적으로 계산하게 된다[24]. 이는 본 연구에서 적용될 MEVTT 발주 방법과는 차이가 있겠지만, MEVTT 발주 방법이 FIFO 발주 방법보다 비교적 우수하므로[23] 1대의 AGV로 운용할수 있는 한계점을 구하는데 있어서는 문제가 발생하지 않는다. 또한 이용율을 구하는 것이 정확한 해가 아니라 근사적으로 유도하는 것이므로, 안전한 설계를 위해서는 이보다 여유를 두어 이용율을 0.8, 0.7 등으로 축소하여 사용하는 것이 바람직하므로 발주 방법에 따른 이용율의 차이는 크게 문제되지 않을 것으로 보인다.

하나의 그룹을 대안으로서 고려할때, 그룹 내의 작업장 사이의 자재 운송에대한 데이터

뿐만 아니라, 생성된 그룹과 그룹외부간의 자재 흐름(transit load)도 고려해주어야 한다. 이런 이유로 가능성 검토시에는 이러한 transit load를 담당하는 가상의 입/출고 작업장을 설정하여 이를 고려하여 계산한다.

3.2.3 작업장 분할(Partitioning)

그룹생성과 가능성 검토의 단계가 해결된 경우, 1, 2에서 얻은 다수의 feasible한 그룹들 중에서 최종적으로 작업장의 분할에 사용될 그룹들을 선정하기 위해서 Tandem Configuration에서는 선정된 그룹들의 작업량을 균등히 하는 0-1 Integer Programming을 사용하였다. 이에 반해 Central Path Design에서는 그룹간의 자재의 흐름양(transit load)을 최소

로 하는 작업장 분할 방법을 찾는다. 시스템 내의 작업장의 수를 N 이라 하고, 작업장 i 와 j 간의 자재 운송 빈도를 R_{ij} 라 할 때 아래와 같은 0-1 Integer Programming problem을 얻을 수 있다. 목적 함수는 Z 는 각 그룹내에서 그룹 외부로 또는 그룹외부에서 그룹내로 운송하게되는 transit load를 모든 그룹에 대해서 합산하여 그 값이 최소가 되도록하는 것이고, 제약조건 ①은 분할되는 작업장의 수가 필요 AGV 대수가 되도록하는 조건이다. 여기서는 L 로 고정되어있지만, 실제로 계산되어질 때는 R.H.S.(Right Hand Side) 값만을 변화시켜 $L \pm 1, L \pm 2$ 대의 AGV를 사용하는 대안도 고려할 수 있다. 제약조건 ②는 하나의 작업장은 하나의 그룹에만 포함되어야 함

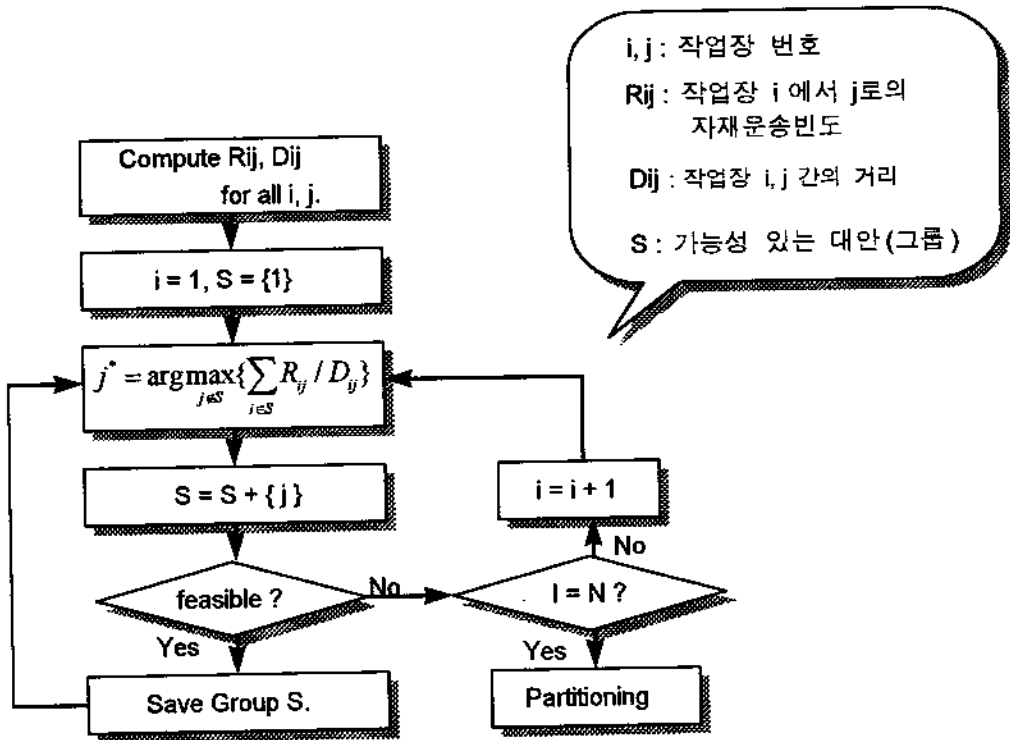


그림 5. 작업장 분할 알고리즘 Flow Chart

을 나타내는 제약조건이다. 본 연구에서는 아래의 0-1 Integer Programming 문제를 풀기 위해 Hyper-Lindo 프로그램을 사용하였다.

$$\text{Min } Z = \sum_p X_p \left[\sum_{l \in X_p} \sum_{m \notin X_p} (R_{lm} + R_{ml}) \right]$$

subject to

$$\sum_p X_p = L \text{ ----- ①}$$

$$\sum A_{ip} X_p = 1 \text{ for all } i \text{ ----- ②}$$

$R_{l,m}^p$: the number of transit loads b/w group
1 and m

$$X_p = \begin{cases} 1 & \text{if group } p \text{ is used at the final partition} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A_{ip} = \begin{cases} 1 & \text{if } i \in p \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

L : the number of AGVs or groups

그림 5는 작업장을 분할하는 절차를 flow chart로 표현한 것이다.

3.3 Central Path

Central Path 라 함은 시스템 내의 모든 작업장 그룹들을 연결해 주는 기준 guide path 라 할 수 있다. Central Path의 필요성은 서로 다른 원거리의 그룹간 수송이 발생하는 경우에 하나의 자재가 여러 그룹을 경유하게되고 따라서 여러대의 AGV를 이용해야 한다는 Bozer & Srinivasan[5]의 partitioning 방법의 단점을 보완하기 위함이다. 또한 Tandem Configuration에서는 그룹간의 자재 이동을 conveyor가 담당하게 되는데, 이는 AGV 시스템의 본래의 장점인 유연성을 감소시키는

비효율적인 요소이다. Central Path Design에서는 작업장이 partitioning됨으로 인해 불가피하게 발생하는 transit load 를 효과적으로 서비스하기 위하여 1 대의 AGV를 이러한 transit load 만을 위하여 할당함으로써 이를 전문적으로 담당시킨다. 이러한 Central Path의 장점은 시스템의 유연성을 높일수 있어 미래에 요구되어지는 시스템의 변화에 민감하게 대응할 수 있다. 시스템의 확장에 있어서도 새로운 작업장 그룹을 기존의 Central Path에 접속함으로써 간단히 해결되어질 수 있으며, 더 큰 규모의 시스템을 형성하기 위해 새로운 시스템과의 연결도 Central Path들을 연결해 줌으로써 보다 용이하게 이루어질 수 있다. 이러한 경우, Central Path상의 AGV에 과다한 작업량이 주어질 수도 있으나 Central Path가 담당해야 하는 작업장 그룹을 분류하여 추가의 AGV를 운용함으로써 해결되어질 수 있다.

Central Path라는 개념은 본 연구의 중요한 특성이라 할 수 있는 것으로, 산업사회는 날로 변화하여 다품종 소량의 생산체제를 만족시킬수 있는 유연 생산체제를 원하고 있다. 이러한 상황에서 유연성이 높은 AGV 시스템의 장점을 십분 발휘하기 위해서는 계속해서 변화하는 생산 형태를 만족시킬 수 있어야 한다. Conveyor를 사용하는 Tandem Configuration의 경우 생산 조건이 변하게되면 새로이 작업장을 배치하는데 있어 문제점(Conveyor의 재배치등)이 발생하게 되나, Central Path Design의 경우에는 기존의 Partitioning 방법에 따라 새로이 작업장을 분할하고 Central Path만을 변경함으로써 변화에 쉽게 대응할 수 있게 된다. 또한 Central Path에 무경로

AGV를 운용하게 되면, 하드웨어적인 변화없이도, 시스템을 변화시킬수 있다는 장점이 있다.

3.4 시뮬레이션 및 성능 평가

Central Path Design의 성능평가 및 기존의 방법과의 비교를 위해 simulation을 수행하였으며, simulation 언어로는 ARENA(SIMAN V)를 이용하였다. 또한, 모델들이 실제로 발주 방법들을 제대로 반영하는가에 대한 유효성 검증(validation)을 위하여 animation을 수행하여 검토하였다.

3.4.1 가정

simulation을 위한 가정은 다음과 같다.

- ① 각 작업장의 수요는 독립적이고 수요의 도착 rate는 알려져 있다.
- ② 각 job 마다 route는 결정되어 있다. 운송 경로는 최단 거리를 사용된다.
- ③ 1대의 AGV는 동시에 하나의 job만을 담당한다.
- ④ 이동 시간과 선적과 하역에 드는 시간은 알려져 있다.
- ⑤ AGV는 한 번의 수요에 해당하는 양을 한 번에 처리 할 수 있다.
- ⑥ 선적/하역장은 그 용량이 충분하여 용량 부족으로인한 지체가 발생하지 않는다.
- ⑦ 선적/하역장은 동시에 독립적으로 서비스 받을수 있다.

3.4.2 모델 설정

개발된 Central Path Design의 성능 평가와 효율성 입증을 위해 그림 6과같은 모델을 설

정하였다. 시스템내로 유입되는 자재에 대한 자료는 표 1에 나타나 있다.

이는 Tandem Configuration에서 사용했던 모델로 본 연구와 가장 밀접한 관계를 갖는 Tandem Configuration과의 성능 비교를 위해 선정하였다. 다각적인 성능 비교를 위해 Tandem Configuration-FEFS (모델 A), Tandem Configuration-STT (모델 B), Central Path Design-STT-Conveyor (모델 C), Central Path Design-MEVTT-Conveyor(모델 D), Central Path Design-MEVTT-AGV(모델 E, F), 등 총 5 가지 통제방법을 설정하여 simulation을 시행하였다. 모델 C, D는 Tandem Configuration과 단순히 분할방식의 효율성을 입증하기 위해 마련된 모델이다. 모델 A, B와의 비교를 통해 Central Path Design 분할 방식의 효율성을 상대적으로 평가할 수 있다.

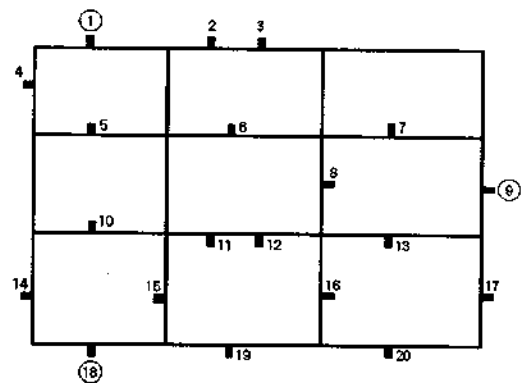


그림 6. 기존의 작업장 배치

그림 6은 기존의 작업장 배치를 보여준다. 작업장 ①, ⑨, 은 입출고 작업장으로 시스템 내부로 유입되거나 외부로 유출되는 자재를 처리하며, 가공은 이루어지지 않는다.

이러한 시스템에 Tandem Configuration의 개념을 도입하여 작업장을 분할하여 각 그룹

표 1. Job type 별 Route와 도착율

Job Type	Production Route	Arrival Rate (Jobs/hr)
1	1 - 3 - 6 - 2 - 5 - 4 - 1	1.5
2	1 - 6 - 8 - 7 - 9	1.5
3	9 - 7 - 8 - 16 - 20 - 17 - 13 - 9	1.5
4	18 - 15 - 11 - 12 - 16 - 13 - 17 - 9	1.5
5	18 - 15 - 19 - 12 - 11 - 10 - 14 - 18	1.5
6	18 - 14 - 10 - 4 - 5 - 1	1.5

을 conveyor로 연결한 작업장 배치가 그림 7에 나타나 있다. 그들은 전체작업장을 총 6개의 그룹으로 분할하였으며, 분할된 작업장 그룹간의 자재 운송을 위하여 12개의 conveyor를 설치하였다.

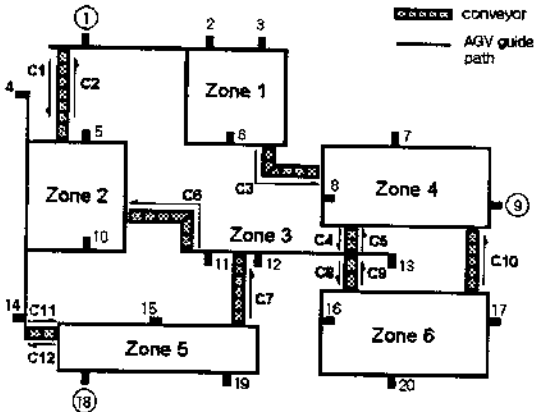


그림 7. Tandem Configuration

리즘의 효율성을 비교하고자 설정한 모델로서 Central Path를 사용하는 대신에 Tandem Configuration에서와 같이 컨베이어를 사용하여 그룹들을 연결하였다.

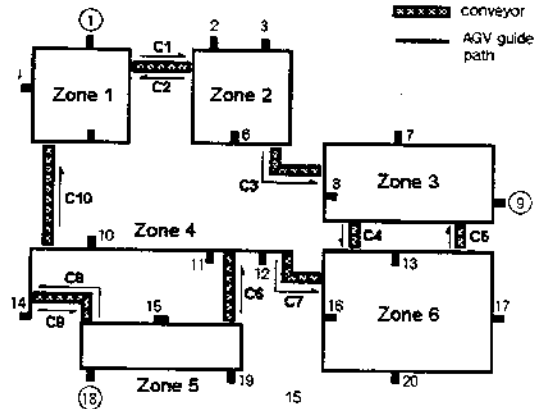


그림 8. Central Path Design (Conveyor사용)

이에 반하여 Central Path Design 알고리즘을 적용한 것이 그림 8에 나타나 있다.

그림에서 알 수 있듯이 Tandem Configuration에서는 총 12개의 Conveyor가 추가적으로 필요하게 되나, Central Path Design에서는 Conveyor를 운용하는 경우, 10개의 Conveyor로 가능한 작업장 배치가 이루어진다. 이는 Tandem Configuration과의 작업장 분할 알고

그림 9, 10은 Central Path Design 방법에 의해 작업장을 분할하고 이에 Central Path를 설정하여 작업장을 운용하는 작업장 배치를 보여준다. 그림 9는 Central Path에 1대의 AGV를 운용하는 경우이며, 그림 10은 2대의 AGV를 사용하는 경우의 작업장 배치를 보여준다.

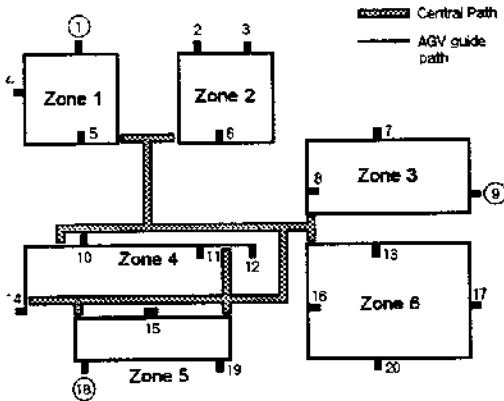


그림 9. Central Path Design (1대의 AGV사용)

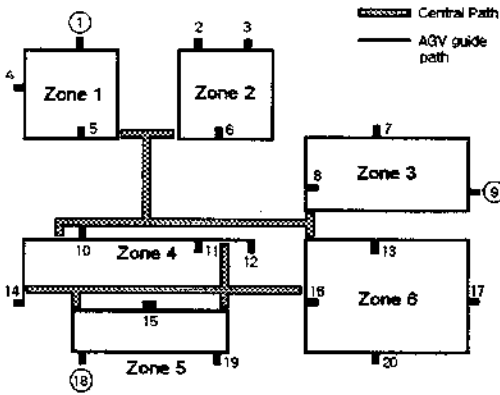


그림 10. Central Path Design (2대의 AGV사용)

3.4.3 시뮬레이션 결과

자재의 도착율, AGV의 이동 속도, Conveyor의 속도등을 변화시켜 시스템에 걸리는 부하에 따라 각 모델들이 어떻게 동작하는지 비교하였으며, 각 입력 자료 수준이 표 2에 나타나 있다. 입력 자료 수준은 수준 1을 기준으로 자재 도착 간격을 짧게하여 시스템의 부하를 높인 경우(수준 1, 2, 3), 수준 2를 기준으로 conveyor의 이용시간을 높이는 경우(수준 4, 5, 6, 7), AGV 이용시간을 높이는 경우(수준 8, 9)로 설정하였다. 시스템의 성능 평가 도구로서 각 job별 T.I.S.(Time In System), Throughput, W.I.P.(Work In Process), AGV utilization등 여러가지 measure를 사용하였다. 각 가공 작업장에서의 가공 시간은 이용율이 60%이상, 80%이상이 되도록 설정하였다. 각 수준에 대한 simulation 결과가 [표 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]에 나타나 있다.

표 2. 수준별 입력 자료 수준

수 준	자재 도착 간격 (min./job)	conveyor 속도	conveyor 선적/하역시간	AGV 속도
1	40	25	0.2	75
2	20	25	0.2	75
3	15	25	0.2	75
4	20	15	0.2	75
5	20	15	0.3	75
6	20	15	0.5	75
7	20	10	0.5	75
8	20	25	0.3	60
9	20	25	0.2	50

표 3. 수준 1 에서의 모델별 성능

성능		모델A Tandem Conf. (FEFS)	모델B Tandem Conf. (STT)	모델C C.P. Design (STT) Conveyor	모델D C.P. Design (MEVTT) Conveyor	모델E C.P. Design (MEVTT) 1 AGV 사용
T.I.S.	Type 1	165.68	153.81	151.70	152.01	147.47
	2	87.24	82.14	88.42	88.98	83.61
	3	162.82	153.47	142.28	142.61	145.80
	4	174.17	163.87	157.86	156.78	149.28
	5	190.62	181.08	168.54	168.52	168.96
	6	111.34	101.16	109.04	108.95	107.85
	Total	148.58	139.18	136.26	136.26	133.77
W.I.P.	AGV	2.97	0.62	0.50	0.49	0.71
	Machine	4.54	4.47	4.51	4.55	4.59
Throughput		8998	8997	8997	8998	8995
AGV Util.		1.00	0.40	0.31	0.30	0.35

표 4. 수준 2 에서의 모델별 성능

성능		모델A Tandem Conf. (FEFS)	모델B Tandem Conf. (STT)	모델C C.P. Design (STT) Conveyor	모델D C.P. Design (MEVTT) Conveyor	모델E C.P. Design (MEVTT) 1 AGV 사용	모델F C.P. Design (MEVTT) 2 AGV 사용
T.I.S.	Type 1	156.20	122.17	113.51	113.65	157.20	103.05
W.I.P.	2	66.901	61.47	66.00	66.39	96.41	54.64
	3	117.05	104.16	97.59	97.44	110.50	100.11
	4	136.80	124.54	123.68	120.80	184.35	107.92
	5	150.43	141.30	126.05	125.46	237.03	121.60
	6	115.68	83.22	81.46	81.83	181.42	75.53
	Total	123.62	105.87	101.17	100.73	160.90	93.58
	AGV	10.97	3.89	3.06	2.97	5.13	4.55
	Machine	5.99	5.96	6.11	6.05	10.09	5.94
Throughput		17927	17922	17924	17921	17921	17922
AGV Util.		1.00	0.74	0.56	0.56	0.61	0.63

표 5. 수준 3 에서의 모델별 성능

성능		모델A Tandem Conf. (FEFS)	모델B Tandem Conf. (STT)	모델C C.P. Design (STT) Conveyor	모델D C.P. Design (MEVTT) Conveyor	모델E C.P. Design (MEVTT) 1 AGV 사용	모델F C.P. Design (MEVTT) 2 AGV 사용
T.I.S.	Type 1	7995.40	129.09	97.71	97.84	215.96	91.45
	2	70.287	63.88	64.02	64.63	157.48	73.12
	3	124.67	105.22	116.23	113.15	128.87	137.08
	4	148.54	125.30	187.45	150.76	15948.00	150.04
	5	166.20	141.11	118.74	119.54	16105.00	131.06
	6	8078.30	117.87	77.74	76.95	696.59	86.07
	Total	2389.30	113.74	110.55	103.89	3919.10	111.47
W.I.P.	AGV	1088.00	13.88	12.36	10.28	2182	18.30
	Machine	6.43	6.13	7.20	6.45	12.34	5.77
Throughput		22370	24037	24042	24031	20839	24030
AGV Util.		1.00	0.89	0.68	0.68	0.66	0.74

표 6. 수준 4 에서의 모델별 성능

성능		모델A Tandem Conf. (FEFS)	모델B Tandem Conf. (STT)	모델C C.P. Design (STT) Conveyor	모델D C.P. Design (MEVTT) Conveyor	모델F C.P. Design (MEVTT) 2 AGV 사용
T.I.S.	Type 1	161.97	130.79	127.97	128.08	103.05
	2	76.90	70.76	79.89	80.36	54.64
	3	129.76	116.25	103.65	102.86	100.11
	4	159.94	146.97	141.74	138.90	107.92
	5	168.83	158.62	135.83	136.29	121.60
	6	117.52	88.00	95.22	94.84	75.53
	Total	135.54	118.25	113.86	113.37	93.58
W.I.P.	AGV	10.58	3.86	3.07	2.95	4.55
	Machine	6.07	5.82	6.15	6.10	5.94
Throughput		17927	17925	17921	17923	17922
AGV Util.		1.00	0.74	0.56	0.56	0.63

표 7. 수준 5 에서의 모델별 성능

성능		모델A Tandem Conf. (FEFS)	모델B Tandem Conf. (STT)	모델C C.P. Design (STT) Conveyor	모델D C.P. Design (MEVTT) Conveyor	모델E C.P. Design (MEVTT) 2 AGV 사용
T.I.S.	Type 1	165.60	131.98	129.13	128.62	103.05
	2	77.28	71.36	80.86	81.33	54.64
	3	130.87	118.12	103.64	103.66	100.11
	4	162.30	149.95	142.43	139.80	107.92
	5	169.78	160.03	136.81	137.56	121.60
	6	119.61	89.10	96.14	96.14	75.53
	Total	137.30	119.77	114.65	114.33	93.58
W.I.P.	AGV	10.78	3.88	3.05	2.93	4.55
	Machine	6.06	5.88	6.09	6.10	5.94
Throughput		17926	17923	17924	17922	17922
AGV Util.		1.00	0.74	0.56	0.56	0.63

표 8. 수준 6 에서의 모델별 성능

성능		모델A Tandem Conf. (FEFS)	모델B Tandem Conf. (STT)	모델C C.P. Design (STT) Conveyor	모델D C.P. Design (MEVTT) Conveyor	모델F C.P. Design (MEVTT) 2 AGV 사용
T.I.S.	Type 1	166.13	133.79	131.38	130.68	103.05
	2	77.96	72.42	83.44	83.34	54.64
	3	133.39	120.85	105.61	105.12	100.11
	4	166.24	155.02	145.55	142.87	107.92
	5	171.49	162.29	138.56	139.02	121.60
	6	120.46	90.68	97.83	97.73	75.53
	Total	138.99	122.18	116.88	116.28	93.58
W.I.P.	AGV	10.69	3.89	3.05	2.93	4.55
	Machine	6.02	5.84	6.12	6.06	5.94
Throughput		17926	17923	17923	17923	17922
AGV Util.		1.00	0.74	0.57	0.56	0.63

표 9. 수준 7 에서의 모델별 성능

성능		모델A Tandem Conf. (FEFS)	모델B Tandem Conf. (STT)	모델C C.P. Design (STT) Conveyor	모델D C.P. Design (MEVTT) Conveyor	모델F C.P. Design (MEVTT) 2 AGV 사용
T.I.S.	Type 1	179.16	146.40	149.25	148.88	103.05
	2	91.01	84.97	101.63	101.65	54.64
	3	150.01	137.62	112.37	112.34	100.11
	4	197.23	185.67	169.47	166.67	107.92
	5	195.50	186.04	152.65	152.65	121.60
	6	126.11	97.82	114.32	114.95	75.53
	Total	155.67	139.41	133.12	132.71	93.58
W.I.P.	AGV	10.49	3.88	3.05	2.93	4.55
	Machine	6.07	5.86	6.12	6.09	5.94
Throughput		17930	17927	17926	17927	17922
AGV Util.		1.00	0.74	0.56	0.56	0.63

표 10. 수준 8 에서의 모델별 성능

성능		모델A Tandem Conf. (FEFS)	모델B Tandem Conf. (STT)	모델C C.P. Design (STT) Conveyor	모델D C.P. Design (MEVTT) Conveyor	모델F C.P. Design (MEVTT) 2 AGV 사용
T.I.S.	Type 1	3122.70	136.92	117.57	117.60	112.05
	2	97.87	68.22	69.97	70.45	67.47
	3	160.50	112.59	115.13	114.45	125.47
	4	207.51	134.49	155.70	142.03	136.77
	5	211.52	155.38	137.29	137.44	141.99
	6	3089.3	108.85	87.88	88.25	91.71
	Total	1108.6	119.15	113.69	111.46	112.31
W.I.P.	AGV	310.13	7.60	6.10	5.58	9.12
	Machine	5.83	5.57	6.18	5.97	5.60
Throughput		17512	17926	17926	17924	17925
AGV Util.		1.00	0.83	0.63	0.63	0.70

표 11. 수준 9 에서의 모델별 성능

성 이		모델A Tandem Conf. (FEFS)	모델B Tandem Conf. (STT)	모델C C.P. Design (STT) Conveyor	모델D C.P. Design (MEVTT) Conveyor	모델F C.P. Design (MEVTT) 2 AGV 사용
T.I.S.	Type 1	10383.00	182.40	122.41	122.11	122.80
	2	90.47	81.01	75.08	76.75	121.05
	3	153.58	124.03	141.33	143.04	199.80
	4	189.47	152.18	287.44	206.91	230.09
	5	225.70	181.27	154.71	155.14	186.52
	6	10457.00	174.84	97.74	96.50	126.63
	Total	2941.80	149.12	146.36	133.13	164.21
W.I.P.	AGV	1054.78	16.47	15.08	11.67	23.38
	Machine	5.55	5.14	6.30	5.65	4.89
Throughput		16346	17923	17950	17930	17942
AGV Util.		1.00	0.90	0.69	0.69	0.75

simulation 결과 거의 모든 수준에서 Central Path Design의 효율성이 우수함을 볼 수 있었다. 수준 1, 2, 3 에서는 자재 도착율을 증가시켜 부하를 높이는 경우로 Tandem Configuration-FEFS는 수준 3에서는 시스템을 서비스할 수 없게 됨을 나타낸다. Central Path Design의 경우에도 수준 3에서부터는 Central Path에 2대의 AGV를 운용해야 함을 알 수 있다.(표 5. 참조)

수준 4, 5, 6, 7 에서는 conveyor의 이용 시간을 높임으로써 모델 A, B, C, D 가 수행능력이 감소되고(모델 F는 일정), 수준 9, 10 에서는 AGV의 이동 속도를 낮게한 결과 다른 시스템보다 모델 F 가 다른 모델에 비해 영향을 많이 받는 것으로 나타난다. 이는 transit load를 conveyor 와 AGV를 사용하는 차이로 기인한 것으로 보인다. 모델 A의 경우 발주

방법의 불합리함으로 인해 시스템을 만족하지 못하는 것으로 나타난다.

또한 모든 결과에서 볼 수 있듯이 분할 방법은 Tandem Configuration보다 Central Path Design 이 우수하고(모델 A 와 C, B 와 D의 비교) 발주 방법에 있어서는 FEFS 발주 방법 보다는 STT 발주 방법이, 그 보다는 MEVTT 이 가장 우수함을 볼 수 있다(모델 A와 B, 모델 C 와 D 비교).

그러나 simulation 결과에서는 나타나지는 않았으나, 무엇보다 중요한 Central Path Design의 장점은 시스템의 변화에 대해 유연성이 매우 높다는 것이다. 앞에서의 simulation 대상은 자재의 흐름이 일정하고 알려져 있으나, 실제 생산 현장에서는 일정 시간이 경과하면 수요의 변화에 따라서 시스템은 계속해서 변화하게 된다. 이렇게 시스템의 생

산 조건이 변화하거나 시스템 자체의 확장, 변경등이 요구되는 경우 그룹간의 연결을 Conveyor로 운용하게 되는 경우 변화에 따라 물리적으로 작업장 배치를 변경할 수 밖에 없게 된다. 그러나 Central Path Design에서는 그룹간의 연결이 AGV로 이루어지므로 물리적인 변경이 거의 필요치 않다. Central Path의 Guide Path만을 변경하거나, 무경로 AGV를 사용하는 경우 거의 시스템의 변경이 필요치 않으므로 이러한 유연성은 매우 중요한 장점이라 하겠다.

4. 결 론

AGV 시스템은 물류 자동화의 매우 중요한 요소로서 그 사용이 점차 확대되어지고 있다. 이러한 AGV 시스템의 효율성은 기기 자체의 성능에도 관련이 있지만 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.

이에 본 연구에서는 무혼잡 AGV 시스템을 구축하기위해 작업장을 분할하고, 분할된 작업장들을 통제하는 방법으로 Central Path Design 이라는 새로운 개념의 방법을 소개하였으며, 그 효율성을 기존의 방법과 비교하였다. 개발된 방법을 simulation을 통하여 기존의 방법인 Tandem Configuration과 비교한 결과, 수행도 면에서 그 효율이 상당량 개선되었음을 알수 있었다. 이러한 Central Path Design의 가장 중요한 특징은 변화에 적응하

는 유연성(flexibility) 이 높다는 것으로 AGV 시스템의 장점을 심분 발휘할 수 있다는 것이다.

산업 환경의 변화에 따라 다품종 소량 생산 체제로 이루어지는 생산 환경에서 제품의 수명 주기가 단축됨으로 야기되는 생산 조건의 변화는 시스템 자체의 변화를 요구하게 된다. 이러한 면에서 Central Path Design의 유연성은 매우 중요한 장점이 될것으로 기대되며, 또한 장래에 요구되어질 수 있는 시스템의 확장이나 다른 시스템과의 연계의 필요성이 생기는 경우에도 시스템 자체의 변경을 최소화할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] Anderson, S.R., Porter, A., and Trevino, J., "Automated Guided Vehicle Systems Technology Forecast and Evaluation", 1987, MHRC-OP-87-01.
- [2] Bartholdi, J.J., and Platzman, L.K., "Decentralized Control of Automated Guided Vehicles on a Simple Loop", *IIE Transactions*, Vol.21, No.1, pp.76-81, 1989.
- [3] Blair, E.L., "Vehicle Routing to Support Automated Manufacturing", *1985 Annual International Industrial Engineering Conference Proceedings*, pp.254-256, 1985.
- [4] Bodin, L. et al., "Routing and Scheduling of Vehicles and Crews", *Computers and Operations Research*, Vol.10, pp.63-211, 1983.
- [5] 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.
- [6] Bozer, Y.A., and Srinivasan, M.M., "Tandem AGV Systems: a Partitioning Algorithm and Performance Comparison with Conventional AGV Systems", *European Journal of Operations Research*, Vol.63, pp.173-191, 1992.
- [7] Burton, J., "So You Want to Buy an AGV System", *Proceedings of the 3rd International Conference on AGVs 1985*, pp. 57-62, 1985.
- [8] Clavette, D.C., "Justification of BOC Lansing AGV system", *Proceedings of the International Conference on AGVs 1986*, pp.1-11, 1986.
- [9] Dahlstrom, K., "Where to Use AGV Systems, Manual Forklifts, Traditional Fixedroller Conveyor Systems Respectively", *Proceedings of the 3rd International Conference on AGVs 1981*, pp.173-182, 1981.
- [10] 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.
- [11] Egbelu, P.J., "Pull Versus Push Strategy for Automated Guided Vehicle Load Movement in a Batch Manufacturing System", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.6, pp.209-220, 1987.
- [12] Egbelu, P.J., and Tanchoco, J.M.A., "Designing the Operations of Automated Guided Vehicle System Using AGVSim", *Proceedings of the Second International Conference on AGVS 1983*, pp.21-30, 1983.
- [13] Egbelu, P.J., and Tanchoco, J.M.A., "Characteristics of Automated Guided Vehicle Dispatching Rules", *International Journal of Production Research*, Vol.22, pp.359-374, 1984.
- [14] Egbelu, P.J., and Tanchoco, J.M.A., "Potential for Bidirectional Guide Path for Automated Guided Vehicle Based Systems", *International Journal of Production Research*, Vol.24, No.6, pp.1075-1099, 1986.
- [15] Gaskings, R.J., and Tanchoco, J.M.A., "Flow Path Design for Automated Guided Vehicle Systems", *International Journal of Production Research*, Vol.25, No.5, pp. 667-676., 1987.
- [16] Gaskings, R.J., and Tanchoco, J.M.A., "Virtual Flow Paths for Free-Ranging Automated Guided Vehicle Systems", *International Journal of Production Research*, Vol.27, No.1, pp.91-100, 1989.
- [17] Johnson, M.E., and Brandeau, M.L., "An Analytical Model for Design of a Multiplevehicle Automated Guided Vehicle System", *Management Science*, Vol.39, No. 12, pp.1477-1489, 1993.
- [18] King, R.E., and Wilson, C., "A Review of Automated Guide-Vehicle Systems Design and Scheduling Production Plan-

- ning and Scheduling”, *Production Planning and Control*, Vol.2, No.1, pp.15-24, 1991.
- [19] Maxwell, W.L., “Solving Material Handling Design Problems with OR”, *Industrial Engineering*, Vol.13, pp.58-69, 1981.
- [20] Maxwell, W.L. and Muckstadt, J.A., “Design of Automated Guided Vehicle Systems”, *IIE Transactions*, Vol.14, pp. 114-124, 1982.
- [21] Nicely, J, “The Estimating and Justification of Automatic Guided Vehicle Systems”, *Proceedings of the 4th International Conference on AGVs 1986*, pp.223-234, 1986.
- [22] Tanchoco, J.M.A., and Egbelu, P.J., and Tashabon, F., “Determination of the Total Number of Vehicles in an AGV-Based Material Transport system”, *Material Flow*, Vol.4, pp.33-51, 1987.
- [23] 박대회, 박운선, “효율적인 AGVS를 위한 다단계 발주 방법에 관한 연구”, 한국시물레이션학회지 게재예정, 1997.
- [24] 조면식, “선입선출법에 입각한 자동 유도 운반차량 시스템의 성능평가”, 대한산업공학회지, Vol.18, No.2, pp.65-72, 1992.