

Multi-load AGV 를 사용하는 Tandem AGV 시스템 설계에 관한 연구 A Study on Design of a Tandem AGV System with Multi-load AGVs

정병도, 김경섭
연세대학교 산업시스템공학과

Abstract

AGV 는 자동화된 생산 시스템에 없어서는 안 되는 중요한 요소로 자리잡았다. 하지만 생산 시스템의 규모가 커짐에 따라 설계와 운영에 있어 많은 어려움이 생겼고, 이를 극복하기 위해서 새로운 형태의 AGV 시스템이 제시되고 있다. 이중 대표적인 것이 Tandem AGV 시스템이다. Tandem AGV 시스템은 전체 시스템을 몇 개의 지역으로 분할하고, 하나의 지역에 한대의 차량을 할당하는 방식으로 운영의 효율성을 꾀하고 있다. 본 연구에서는 Multi-load AGV 를 사용하는 Tandem AGV 시스템을 설계하기 위한 효율적인 방법론을 제시하고자 한다.

1. 서론

고객의 다양한 요구에 신속하게 대응하기 위해서 기업의 생산 시스템은 자동화, 지능화 되어가고 있으며, 이는 유연 생산 시스템(FMS : Flexible Manufacturing System), 컴퓨터 통합 생산 시스템(CIM : Computer Integrated Manufacturing) 등의 형태로 나타나고 있다. 이에 더불어 공정간의 재공, 재고를 운반해 주기 위한 물류 시스템(MHS : Material Handling System)도 자동화되어, 생산 시스템의 한 부분으로서 그 역할을 충실히 수행하고 있다. 특히 무인 운반 차량 시스템(AGVS : Automated Guided Vehicle System)은 생산 현장 뿐만 아니라 병원, 사무실 등에서도 많이 사용되고 있으며, 사용 범위는 점차 확대되어가고 있다.

AGV 시스템을 효과적으로 사용하기 위한 연구는 크게 시스템의 설계에 관한 연구와 운영의 관한 연구로 구분 할 수 있다. 시스템의 설계에 관한 연구는 사용되는 차량의 수와 종류의 결정, 차량이 이동할 수 있는 유도 경로의 설계 등이 있으며, 시스템의 운영에 관한 연구로는 차량의 운영을 위한 발주법의 개발 및 평가, 차량의 충돌 및 혼잡 방지를 위한 연구 등이 포함된다.

시스템의 새로운 설계 방식을 통해 차량의 충돌 및 혼잡 등의 운영의 어려움을 제거한 대표적인 시스템은 Tandem AGV 시스템이다.[1] Tandem AGV 시스템은 전체 시스템을 몇 개의 지역으로 구분하고, 각 지역에 한대의 차량을 할당하는 방법을 통해 차량의 혼잡 및 충돌 등의 운영상의 어려움을 해결한 시스템으로 그 성능 또한 입증되어지고 있다.[3][7] 하지만 현재는 Unit-load AGV 를 사용하는 Tandem AGV 시스템의 설계 방법만 제시되어 있으며, 이에 대한 성능 평가만이 이뤄지고 있는 실정이다. Multi-load AGV 는 성능의 우수성에도 불구하고, 설계 및 운영의 어려움 때문에 아직까지는 많은 연구가 이뤄지지 못하고 있다. 따라서 본 연구에서는 Multi-load AGV 를 사용하는 Tandem AGV 시스템을 설계하기 위한 방법론을 제시하고자 한다.

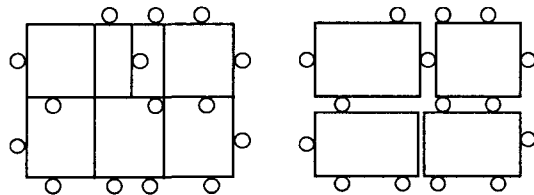
본 연구의 구성은 다음과 같다. 우선 2 장에서는 본 연구의 대상 시스템인 Tandem AGV 시스템에 대해 자세히 설명하고, 3 장에서 Multi-load AGV 를 사용하는 Tandem AGV 시스템의 설계를 위한 방법론을 제시한다. 마지막으로, 5 장에서 결론 및 추후 연구 과제에 대해 논의한다.

2. Tandem AGV 시스템

Tandem AGV 시스템은 Bozer 와 Srinivasan 에 의해 처음 제안되었다.[1][2] 그들은 기존에 사용되던 AGV 시스템을 Conventional AGV 시스템으로 정의하고, 이와는 달리 'divide and conquer'의 개념을 통해 새롭게 제안한 시스템을 Tandem AGV 시스템이라 구분하였다.

<그림 1>과 같이 Conventional AGV 시스템은 일반적으로 많이 사용되는 방식으로, 전체 작업장이 한 대 이상의 차량으로 운영되며, 각 차량은 어떠한 작업장에도 도달할 수 있다. Conventional AGV 시스템에서는 유도 경로가 복잡하게 얽혀 있기 때문에, 유도 경로를 다니는 차량의 운영 방식이 전체 시스템의 성능에 많은 영향을 미치게 된다.

반면 Tandem AGV 시스템은 모든 작업장을 겹치지 않는 지역으로 구분하고, 한대의 차량으로 각 지역을 서비스 하는 방식을 택하고 있다. 따라서 차량의 충돌 및 혼잡 문제는 전혀 발생되지 않으며 시스템 운영의 어려움 또한 많이 해소될 수 있다.



<그림 1> Conventional AGV 시스템(좌측)과 Tandem AGV 시스템(우측)

Tandem AGV 시스템은 다음과 같은 주요 장점과 단점을 가지고 있다. 가장 큰 장점으로서는 운영의 어려움이 많이 감소되어 양방향 차량도 쉽게 사용할 수 있다. 또한 Conventional AGV 시스템 내에서 차량의 충돌 및 혼잡에 의해 생겼던 작업의 지연이 없어졌다. 그리고 각 지역은 개별적인 AGV에 의해 서비스 받기 때문에, 다른 지역에 영향을 미치지 않으면서 새로운 지역을 추가하거나 제거함으로써 보다 많은 유연성을 갖게 되었다. 하지만 한 개의 작업물이 목적지에 도착하기 위해서 여러 대의 차량을 이용할 경우가 생길 수 있으며, 각 지역을 연결할 추가적인 Transfer Point가 필요하게 되는 단점도 있다.

Tandem AGV 시스템을 효과적으로 설계, 운영하기 위한 연구는 크게 세가지로 구분 할 수 있다. 첫째, 시스템의 설계에 관한 연구로 작업장 분할 방법에 관한 연구(Partitioning Problem)[2], Transit Point 결정에 관한 연구[4] 등이 있다. 둘째, 시스템의 운영에 관한 연구로는 차량 발주법의 개발에 관한 연구[8][9], 작업물의 흐름 조절에 관한 연구(Load Routing Problem)[6] 등이 있다.

3. AGV 유도 경로의 설계

본 논문에서 제시하는 Multi-load를 사용하는 Tandem AGV 시스템의 설계 방법론은 크게 두 단계로 구분된다. 제 1 단계는 작업의 흐름이 많고 거리가 가까운 작업장들을 하나의 유효 지역으로 설정하고, 한대의 차량으로 서비스가 가능한가를 검사하는 단계이며, 제 2 단계는 위에서 선택된 지역들을 대상으로 최종 유도 경로를 선정하는 단계이다.

3.1 가정 및 입력 자료

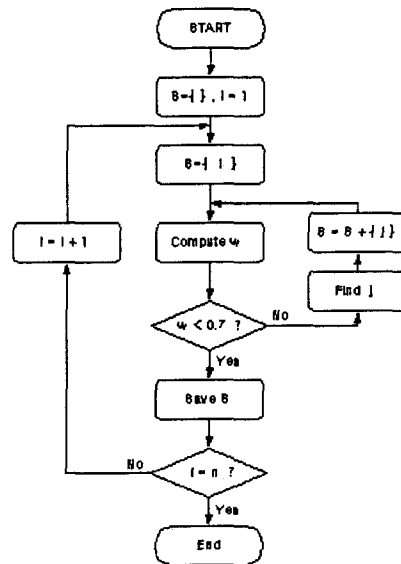
Tandem AGV 시스템 설계를 위한 기본 가정들은 다음과 같다. 첫째, 각 작업물은 독립적인 지수분포를 통해 시스템 안으로 유입되며, 각각의 지정된 작업장을 순서대로 방문한 후 시스템을 빠져 나간다. 둘째, 하나의 작업장에는 input queue와 output queue가 각각 존재하며, 선적, 하역 시간 및 두 queue 사이의 차량의 이동 시간은 적으므로 차량의 이동 시간에 포함한다. 셋째, AGV는 2개의 작업물을 싣고 이동할 수 있으며, 차량의 발주법은 FESF rule을 따른다.

본 논문에서 제시하는 방법론을 적용하기 위해서는 다음과 같은 기본 자료들이 알려져 있어야 한다. 우선 작업물의 투입 비율 및 투입 간격이 알려져 있어야 하며, 이를 통해 작업물의 From-to Chart가 작성되어야 한다. 다음으로 작업장의 위치가 알려져 있어야 하며, 이를 통해 작업장 간의 Distance Matrix가 형성되어야 한다. 이밖에 차의 이동 속도 등도 정의 되어야 한다.

3.2 유효 지역 선정 단계

AGV 시스템의 경로 설계를 위한 첫 번째 단계는 차량 한대로 서비스 할 수 있는 유효 지역을 선정하는 단계이다. 1번 작업장을 초기 작업장으로 설정한 후, 초기 작업장의 상관도(R_{ij})가 가장 높은 작업장을 찾고 이들을 하나의 지역으로 정의한다.

그리고 이 지역이 한대의 차량으로 서비스가 가능하지를 차량의 활용도(ω)계산을 통해 검토하게 된다. 차량의 활용도는 Markov Chain을 이용하여 steady state의 확률 상태를 계산함으로써 얻을 수 있다. 만일 여기서 얻어진 차량의 활용도가 사용자가 정한 기준값 이하일 경우 이를 유효 지역으로 저장하고, 이들과 가장 상관도가 높은 작업장을 선정하여 차량의 활용도를 계산하는 과정을 반복하면서 선택된 유효 지역을 저장한다. 만일 기준값 이상일 경우는 2번 작업장, 3번 작업장의 순으로 초기 지역을 새롭게 설정하고 차량의 활용도를 다시 계산하게 된다. Bozer와 Srinivassan[2]은 이러한 기준값을 0.7과 0.8 사이로 정하는 것을 권장하고 있다. 이와 같은 과정은 <그림.2>와 같은 작업 순서도로 정리할 수 있을 것이다. 작업 순서도에서 'Find j'에 해당되는 작업은 아래 설명되는 작업①에 해당되며, 'Compute ω '는 작업②,③,④,⑤에 해당된다.



<그림 2.> 유효 지역 선정 단계의 작업 흐름도

① 추가 작업장 설정

전체 작업장이 $U=\{1,2,\dots,m-1,m,m+1,\dots,n\}$ 로 정의되고 이전 단계의 유효 지역이 $S=\{1,2,3,\dots,m\}$ 으로 정의되었을 경우 다음 유효 지역은 식(1)을 통해 계산된 R_{ij} 의 값이 가장 큰 작업장 j 로 선정이 되며 새로운 유효 지역은 $S=\{1,2,3,\dots,l,j\}$ 설정되고 다음 단계로 간다. 만일 j 로 선정으로 인해 고립되는 작업장이 발생할 경우 차선택을 택한다. 이는 선정되는 유효 지역이 서로 겹치지 않도록 하기 위해서 필요한 작업이다.

$$R_{ij} = \sum_i \{(f_{ij} + f_{ji}) / d_{ij}\} \quad \dots (1)$$

where, $i = 1, 2, \dots, m$

$j = m+1, m+2, \dots, n$

f_{ij} : i 에서 j 로 이동되는 작업량

d_{ij} : i 에서 j 까지의 거리

② 유효 지역 내의 작업장 순서 선정

차량이 이동할 유도 경로의 설정에 있어서 선정된 k 작업장이 몇 번째 작업장이 될 것인가를 선정하는 단계이다. 이는 작업장들의 상관도 값(R_{ij})을 바탕으로 Rectilinear TSP(Traveling Salesman Problem)을 통해 유효 지역 내의 작업장의 순서를 결정할 수 있게 된다. 비록 TSP가 NP hard 문제이지만 하지만 현대의 AGV가 서비스하는 작업장을 찾는 본 연구의 문제는 매우 적은 수로 작업장의 문제이기 때문에 해를 구하는데 어려움은 없을 것으로 생각된다.

③ 차량의 이동 방향 선정

새로이 선정된 유효 지역과 외부와의 운송물의 석적과 하역을 담당할 Transit Station의 위치를 각 작업장의 평면 좌표 상의 중간 위치에 설정하고 이를 바탕으로 차량의 이동 경로를 만든다. 예를 들어 ②에서 10 2 0 3 - 1으로 작업장 순서가 결정되었다면 Transit Station을 포함한 작업장의 순서는 1 0 T1 0 2 - T2 0 3 - T3 0 1으로 설정될 수 있다.

이들을 대상으로 유효 지역의 외부에서 들어오는 작업물을 고려하여 유효 지역 내부의 작업장만의 From-to Chart와 Distance Matrix를 작성한다. 이를 바탕으로 차량이 시계방향으로 순회할 경우와 반 시계방향으로 순회할 경우 두 가지 경우에 대해 식(3)의 계산을 통하여 최소값을 갖는 경우를 차량의 이동 방향으로 선정한다.

$$\sum_i \sum_j f_{ij} * d_{ij} \quad \dots (3)$$

where, $i, j = 1, 2, \dots, m, k$

④ Transition Probability Matrix의 형성

차량 활용도를 계산하기 위해 Markov Chain의 state를 (V, L1, L2)로 정의한다. V는 현재 차량이 위치한 작업장의 번호이며, L1과 L2는 현재 AGV에 선적되어있는 작업물들의 목적 작업장을 나타낸다. 만일 이동될 작업물이 없으면 0으로 표기한다. 이는 차량이 작업장의 output queue에서 짐을 선적한 후의 상태를 나타내는 것이며, 만약 AGV가 운송할 수 있는 작업물의 수가 증가한다면 State를 (V, L1, L2, L3, ...)등으로 확장하여 정의할 수 있을 것이다.

만일 ②에서 결정된 차량의 이동 순서가 1 0 T1 0 2 - T2 0 3 - T3 0 1이고, 빈 상태의 AGV가 현재 1번 작업장에서 T1에 하역할 짐을 하나만 선적하고 출발한다면 현재의 state는 (1, T1, 0)이 된다. AGV가 T1에 도착하면 짐을 하역하고 두개의 짐을 선적할 수 있는 상태가 된다. 따라서 AGV가 T1을 출발할 때의 state는 (T1, L1, L2)가 된다. L1, L2는 식(4), (5), (6)의 확률에 따라 0 또는 유효 지역 내의 작업장 중의 한 곳의 값을 갖게 될 것이다. 주의할 점은 작업물이 두개가 선적되는 경우, 즉 (T1, m, n)이 될 확률은 $P[L1=m, L2=n]$ 과 $P[L1=n, L2=m]$ 의 합으로 계산되어진다는 점이다.

$$P[L1=0, L2=0] = e^{(-\lambda T)} \quad \dots (4)$$

$$P[L1=m, L2=0] = e^{(-\lambda T)} \lambda T p_{11,m} \quad \dots (5)$$

$$P[L1=m, L2=n] = \{1 - (1 + \lambda T)e^{(-\lambda T)} \lambda T\} p_{11,m} p_{12,n} \quad \dots (6)$$

where, N : 유효 지역 내의 작업장 수
T : AGV가 유효 지역을 한번 순회하는데 소요되는 시간

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N$$

p_{ij} : i 작업장에서 선적되는 작업물 중에
서 j 작업장이 목적 작업장일 확률

위에 제시된 식(4), (5)은 포아송 프로세스를 바탕으로 차량이 유효 지역을 순회하고 돌아오는 동안 선적해야 할 작업물이 발생될 확률을 제시한 것이다. 그리고 식(6)은 output queue가 2개라는 가정으로 2개 이상의 작업물은 발생되지 않는다고 판단하여 확률 1에서 작업물이 발생되지 않는 경우, 작업물이 한 개 발생되는 경우를 제외한 확률로 작성된 식이다. 따라서 차량이 한 개의 작업물(예: 목적 작업장이 n 일 경우)을 싣고 있어서 추가적으로 한 개의 짐만을 선적할 수 있는 경우의 확률은 식(7), (8), (9)로 정리될 수 있다.

$$P[L1=0, L2=0] = 0 \quad \dots (7)$$

$$P[L1=n, L2=0] = e^{(-\lambda T)} \quad \dots (8)$$

$$P[L1=n, L2=m] = \{1 - e^{(-\lambda T)}\} p_{11,m} \quad \dots (9)$$

또한 두 개의 작업물(예: 목적 작업장이 각각 m, n 일 경우)을 싣고 있어서 추가적으로 작업물을 선적할 수 없는 경우의 확률은 각각 식(10), (11), (12)로 정리될 수 있다.

$$P[L1=0, L2=0] = 0 \quad \dots (10)$$

$$P[L1=n, L2=0] = 0 \quad \dots (11)$$

$$P[L1=n, L2=m] = 1 \quad \dots (12)$$

⑤ 차량 활용도의 계산

④에서 계산된 Transition Probability Matrix를 이용하여 Limiting Probability를 계산한 후, 식(13)를 통해 AGV의 활용도를 계산할 수 있다. 차량이 유효 지역을 한 번 순회할 때 최대의 활용량은 전 지역을 두 개의 짐을 싣고 이동하는 것으로 이는 분모에 해당된다. 또한 계산된 확률을 가지고 짐을 F_i 개 만큼 싣고 D_i 거리 만큼 이동할 경우의 차량의 활용량은 분자에 해당된다. 그리고 이들의 비율을 이용하여 차량의 활용도를 계산하게 된다.

$$\omega = \frac{\sum_i \frac{\pi_i}{\sum_j \pi_j} F_i D_i}{2 * D} \quad \dots (13)$$

where, S : 정의된 모든 state의 집합
S' : i state와 V가 같은 state의 집합
 $i \in S$
 $j \in S'$
 F_i : i state에서의 이동할 작업물의 수
 D_i : i state에서 이동할 거리

3.3 최종 경로 선택 단계

AGV 시스템의 경로 설계를 위한 두 번째 단계는 첫번째 단계에서 선택된 유효 지역들을 이용하여 최종 경로를 선택하는 단계이다. 최종 경로 선택을 위한 문제는 잘 알려진 Set-partitioning problem의 변형된 문제로 접근할 수 있으며, 큰 문제점 없이 본 문제를 접근할 수 있을 것으로 판단되므로 Bozer와 Srinivassan[2]이 제시한 IP(Integer Programming)를 이용한다.

유효 지역 선정 단계에서 선택된 각 유효 지역은 p 열(p -th column)로 정의되며, L 은 설계자가 요구하는 유효 지역의 개수, 즉 필요 차량의 대수로 정의한다. 목적 변수는 x_p 로 정의되며, p 열이 최종 경로로 선택되면 1의 값을 갖고 반대의 경우에는 0의 값을 갖게 된다. a_{ip} 는 작업장 i 가 p 열에 포함될 경우 1의 값을 갖게 되며, 그렇지 않을 경우 0의 값을 갖게 된다. 비용계수는 ω_p 가 사용되었으며, 이는 p 열이 나타내는 유효 지역을 서비스하는 AGV의 활용도를 나타낸다. 제시된 IP의 목적함수는 각 유효 지역을 서비스하는 AGV의 최대 활용도가 작아져서 병목 지역이 발생하지 않도록 하게 한다.

Minimize z

Subject to

$$z - \omega_p x_p \geq 0 \quad \text{for all } p \quad \dots (14)$$

$$\sum a_{ip} x_p = 1 \quad \text{for all } i \quad \dots (15)$$

$$\sum x_p = L \quad \dots (16)$$

$$x_p = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } p \quad \dots (17)$$

그리고 제약식 중에서 식 (14)는 최종으로 선택된 유효 지역을 서비스하는 차량의 최대 활용도가 z 를 넘지 못함을 나타내며, 식 (15)는 각 작업장은 단 하나의 유효 지역에만 포함됨을 나타내며, 식(16)은 전체 시스템은 지정된 L 개의 유효 지역으로 구분되어야 함을 나타낸다. 마지막으로 식 (17)은 목적 변수가 0 또는 1 값만을 나타낼 수 있음을 의미한다.

4. 결론 및 향후 연구 계획

본 연구에서는 전체 시스템을 몇 개의 지역으로 구분하고, 각 지역에 한대의 차량을 할당하는 방식으로 차량의 운영에 관한 문제를 쉽게 해결한 Tandem AGV 시스템을 그 대상시스템으로 작업장 분할을 위한 Partitioning problem에 관한 연구를 진행하였다. 특히 본 연구에서는 Multi-load AGV를 사용하는 Tandem AGV 시스템의 설계를 위한 방법을 처음으로 제시하였다는데 큰 의의가 있으며, 이와 관련된 분야의 연구에 기초가 될 것으로 생각된다. 특히, JIT 생산 체제와 같은 빈번한 물자의 운반이 요구되는 시스템과, 큰 규모로 인해 운영이 어려운 시스템에 보다 적합한 시스템으로 Multi-load를 사용하는 Tandem AGV 시스템이 많은 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

향후에는 본 논문에서 제시한 방법론을 이용하여 설계된 Tandem AGV 시스템의 성능을 평가하기 위한 시뮬레이션 수행과 각종 통계적 기법을 이용한 타 시스템과의 비교 연구가 진행될 것이다.

References

- [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] Bozer, Y.A. and Srinivassan, M.M., "Tandem AGV systems : A partitioning algorithm and performance comparison with conventional AGV systems", *European Journal of Operational Research*, Vol.63, No.2, pp.173 - 191, 1992
- [3] 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
- [4] 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.
- [5] King, R.E. and Wilson, C., "A review of automated guide-vehicle systems design and scheduling", *Production Planning & Control*, 1990.
- [6] Lin, J.T., Chang, C.C.K. and Liu, W.C., "A load routing problem in a tandem-configuration automated guided-vehicle system", *International Journal of Production Research*, Vol.32, No.2, pp.411-427, 1994.
- [7] Ross, E.A., Mahmoodi, F. and Moisiu, C.T., "Tandem configuration automated guided vehicle system: A comparative study", *Decision Sciences*, Vol.27, No.1, pp.81-102, 1996
- [8] 김경섭, 정병도, "단일루프-단일차량 형태의 AGV 시스템의 효율적인 운영을 위한 발주법 개발에 관한 연구", 한국시뮬레이션학회 논문지, Vol.7, No.1, pp.39-51., 1998
- [9] 박대회, 박운선, "효율적인 AGVS의 운용을 위한 다단계 차량 발주 방식에 관한 연구", 한국시뮬레이션학회 논문지, Vol.6, No.1, pp.41-52., 1997