

Multi-load AGV를 사용하는 Tandem AGV 시스템 : 작업장 분할 알고리즘과 시뮬레이션 분석

정병도, 김경섭

연세대학교 산업시스템공학과

Abstract

AGV 시스템은 자동화된 물류 시스템에 있어서 필수적인 요소이다. 하지만 시스템의 규모가 커질수록, 운반할 작업량이 증가할수록 차량의 운영에 있어서 많은 어려움이 발생된다. Tandem AGV 시스템은 전체 작업장을 몇 개의 지역으로 분할하고 각 지역에 한 대의 차량을 할당함으로써 이러한 운영의 문제점을 한번에 해결한 시스템이다. 본 논문에서는 Multi-load AGV를 사용하는 Tandem AGV 시스템의 설계에 필요한 작업장 분할 방법을 제시하고 시뮬레이션을 통해서 그 성능을 평가한다.

1. 서론

생산성의 증대와 고객의 다양한 요구 맞춰 기업의 생산 시스템은 자동화, 지능화 되어가고 있으며, 컴퓨터 통합 생산 시스템(CIM : Computer Integrated Manufacturing), 유연 생산 시스템(FMS : Flexible Manufacturing System) 등의 형태로 나타나고 있다. 이들 시스템의 한 부분으로 무인 운반 차량 시스템(AGVS: Automated Guided Vehicle system)이 중요한 역할을 담당하고 있으며, 그 사용도 확대되어 가고 있다. 하지만 생산 시스템의 규모가 커지고, 복잡해짐에 따라 AGV 시스템의 운영 및 통제가 점점 어려워지게 되었으며, 이를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

Bozer와 Srinivassan[1],[2]은 차량의 혼잡 및 충돌 등의 운영의 어려움을 해결하기 위해서 기존의 AGV 시스템(그림 1)과는 다른 방식의 경로 설계를 이용한 Tandem AGV 시스템(그림 2)을 제안하였다. Tandem AGV 시스템은 전체 시스템을 몇 개의 지역(Zone)으로 분할하고 각 지역에 한 대의 차량을 할당하는 방식으로 시스템이 운영된다. Tandem AGV 시스템은 각 지역간의 운송물을 처리하기 위한 추가적인 작업장(Transit Station)이 필요하다. Tandem AGV 시스템에서는 차량의 발주법 외에 작업장을 어떻게 분할하는가에 관련된 문제(Partitioning Problem)이 시스템의 성능에 큰 영향을 미치며, 이는 중요한 관심사로 부각되고 있다. 이외에 Transit Station의 위치 결정 문제, 작업물의 이동 경로 설정 문제(Load Routing Problem), Tandem AGV 시스템의 성능 평가에 관한 문제 등이 연구되어지고 있다.

하지만 이들 연구들은 모두 Unit-load 차량을 이용하는 AGV 시스템에 제한되고 있다. Multi-load 차량의 이용이 Unit-load 차량에 비해서 시스템의 성능에 많은 향상이 있다는 사실은 이미 알려져 있다. 하지만 시스템의 설계 및 운영의 어려움

때문에 아직까지 Multi-load AGV 시스템의 설계에 관련된 연구가 거의 없는 상황이다. 특히 Occena와 Yokata[3]는 재공을 줄이기 위해 lot size를 감소시키는 JIT(Just In Time) 환경에서는 운송물의 양이 증가하기 때문에 Multi-load 차량의 이용이 필요하다고 말하고 있으며, 차량의 운영이 용이한 Tandem AGV 시스템의 도입이 필요하다고 말하고 있다.

본 연구에서는 Multi-load AGV를 사용하는 Tandem AGV 시스템을 설계하기 위한 작업장 분할 알고리즘을 제시하고, 시뮬레이션을 통해 이를 분석, 평가 해보고자 한다. 2절에서는 Markov Chain을 이용하여 차량의 활용도 계산하고, 이를 통해 작업장을 분할하는 알고리즘을 제시한다. 그리고 3장에서는 기존 논문에 사용된 시스템을 대상으로 Tandem AGV 시스템을 설계하고, 이를 시뮬레이션을 통해 분석한다. 마지막으로 4장에서는 연구의 결론 및 추후 연구 과제에 대해서 논의한다.

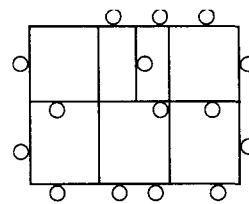


그림 1. Traditional AGV 시스템

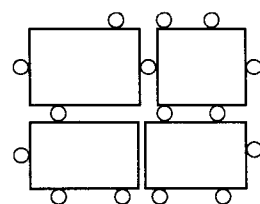


그림 2. Tandem AGV 시스템

2. 작업장 분할 알고리즘

본 논문에서 제시하는 Multi-load를 사용하는 Tandem AGV 시스템의 설계 방법론은 크게 두 단계로 구분된다.(그림 3) 제 1단계에서는 TSP(Traveling Salesman Problem)을 이용하여 작업의 흐름이 많고 거리가 가까운 작업장들을 하나의 작

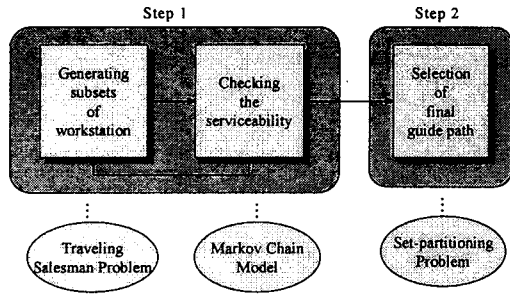


그림 3. 작업장 분할 알고리즘

업장 Set으로 설정한다. 그리고 Markov Chain Model을 이용하여 설정된 지역이 한대의 차량으로 서비스가 가능한가를 검사하여 유효지역을 선정하는 단계이다. 제 2단계에서는 한 대의 차량으로 서비스가 가능한 지역들을 대상으로 Set-partitioning Problem 형태의 문제로 최종 유도 경로를 선정할 수 있게 된다.

2.1 유효 지역 선정 단계

유효 지역 선정 단계는 다음과 같은 세부 단계로 구성되어 있다.

① 작업장의 상관도 계산

서로 가깝고, 운송물이 많은 작업장들을 하나의 Set으로 구성하기 위해서 식(1)을 이용하여 작업장간의 상관도를 계산한다.

$$R_{ij} = \sum_r \{(f_{ij} + f_{jr}) / d_{ij}\} \quad (1)$$

where, f_{ij} : i에서 j로 이동되는 작업량
 d_{ij} : i에서 j까지의 거리

② 작업장 Set의 형성

TSP를 이용하여 전체 작업장을 하나의 Loop로 구성한다. ①에서 계산된 상관도가 traveling의 비용으로 사용된다. 이는 상관 관계가 많은 작업장을 하나의 Set으로 형성하면서, 제 2 단계에서 최종 해를 쉽게 구하기 위해서이다. 단, 인근 작업장만을 고려함으로써 작업장의 고립을 방지한다.

이와 같이 TSP가 형성되면 첫 번째 작업장부터 하나의 작업장을 추가해 가면서 작업장 Set을 형성한다. 예를 들어 3-1-4-2-5-7-6이라는 해가 도출되었다면, 우선 작업장 3을 기준으로 {3,1}이라는 Set이 형성된다. 만약 형성된 Set이 한 대의 차량으로 서비스가 가능하다면 {3,1,4}가 새로운 Set으로 형성되며 다시 한 대의 차량으로 서비스 가능한가를 검사받게 된다. 만약 {3,1,4}가 한 대의 차량으로 서비스 받을 수 있다면 {3,1,4,2}가 다음 Set으로 형성되지만, 한 대의 차량으로 서비스를 받을 수 없다면 1을 기준으로 {1,4}가 다음 Set으로 형성하게 된다. 이와 같은 방식으로 각 Set들이 형성되며, 다음에 이어지는 ③, ④, ⑤ 단계들을 통하여 Serviceability를 검사받게 된다.

③ 작업장 Set의 단일 루프 시스템 구성

②에서 형성된 작업장 Set의 Serviceability를 측정하기 위해 해당 작업장만으로 형성된 단일 루

프 시스템을 구성한다. 즉, 작업장 Set만의 From-to Chart를 작성하고, 차량의 경로 및 차량의 이동 방향을 선정하게 된다.

차량의 경로는 앞서 계산된 작업장들의 상관도 값(R_{ij})을 바탕으로 Rectilinear TSP를 통해 Set 내의 작업장의 순서를 결정할 수 있게 된다.

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

이들을 대상으로 작업장 Set 외부에서 들어오는 작업물을 고려하여 Set 내의 작업장간의 From-to Chart와 Distance Matrix를 작성한다. 이를 바탕으로 차량이 시계방향으로 순회할 경우와 반 시계방향으로 순회할 경우 두 가지 경우에 대해 식(2)의 계산을 통하여 최소값을 갖는 경우를 차량의 이동 방향으로 선정한다.

$$\sum_i \sum_j f_{ij} * d_{ij} \quad (2)$$

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 선적되어 있는 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 에서 결정된 차량의 이동 순서가 1-T1-2-T2-3-T3-1 이고, 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(3), (4), (5)의 확률에 따라 0 또는 Set 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.

$$P[L1=0, L2=0] = e^{(-\lambda T)} \quad (3)$$

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

$$P[L1=m, L2=n] = \{1 - (1 + \lambda T) e^{(-\lambda T)} \lambda T\} p_{n,m} p_{n,n} \quad (5)$$

where, N : Set 내의 작업장 수
T : AGV가 순회하는데 소요되는 시간
 $\lambda = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N$

P_{ij} : i 작업장에서 선적되는 작업물 중에서 j 작업장이 목적 작업장일 확률

위에 제시된 식(3), (4)은 포아송 프로세스를 바탕으로 차량이 유효 지역을 순회하고 돌아오는 동

안 선적해야 할 작업물이 발생될 확률을 제시한 것이다. 그리고 식(5)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 n일 경우)을 싣고 있어서 추가적으로 한 개의 짐만을 선적할 수 있는 경우의 확률은 식(6),(7),(8)로 정리될 수 있다.

$$P[L1=0, L2=0] = 0 \quad \cdot (6)$$

$$P[L1=n, L2=0] = e^{(-\lambda T)} \quad \cdot (7)$$

$$P[L1=n, L2=m] = \{1 - e^{(-\lambda T)}\} p_{i,m} \quad \cdot (8)$$

또한 두 개의 작업물(예: 목적 작업장이 각각 m,n일 경우)을 싣고 있어서 추가적으로 작업물을 선적할 수 없는 경우의 확률은 각각 식(9),(10),(11)로 정리될 수 있다.

$$P[L1=0, L2=0] = 0 \quad \cdot (9)$$

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

$$P[L1=n, L2=m] = 1 \quad \cdot (11)$$

⑤ 차량 활용도의 계산

④에서 계산된 Transition Probability Matrix를 이용하여 Limiting Probability를 계산한 후, 식(12)를 통해 AGV의 활용도를 계산할 수 있다.

$$\omega = \frac{\sum_i \frac{\pi_i}{\sum_j \pi_j} F_i D_i}{2 * D} \quad \cdot (12)$$

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

2.2 최종 경로 선정 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.

Minimize Z

Subject to

$$z - \omega_p x_p \geq 0 \quad \text{for all } p \quad \cdot (13)$$

$$\sum_p a_{ip} x_p = 1 \quad \text{for all } i \quad \cdot (14)$$

$$\sum_p x_p = L \quad \cdot (15)$$

$$x_p = 0 \text{ or } 1 \quad \text{for all } p \quad \cdot (16)$$

3. 시뮬레이션 분석

3.1 대상 시스템

본 논문에서 제시한 작업장 분할 알고리즘을 평가하기 위해서 Bozer와 Srinivassan[2]의 논문에서 사용된 시스템을 바탕으로 대상시스템을 설정하였다.

대상 시스템의 작업장의 위치와 작업물의 종류 및 작업 경로는 각각 표 1과 표 2에 나타나있다.

표 1. 작업장의 위치

Station	1	2	3	4
(x,y)	(1,4)	(35,21)	(1,21)	(9,25)
Station	5	6	7	8
(x,y)	(25,15)	(15,4)	(35,9)	(9,1)

표2. 작업물과 경로

Job type	Jobs/hr	Production Routing
1	3	1-4-5-7-1
2	3	3-4-6-1
3	6	1-7-5-4-2
4	6	3-4-5-6-8-1

3.2 알고리즘의 적용

제시된 자료를 바탕으로 작업장간의 상관도를 계산하면 표 3과 같다.

표3. 작업장간의 상관도

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	-	0	0	0.13	0	0.21	0.26	0.71
2	0	-	0	0.23	0	0	0	0
3	0	0	-	1.01	0	0	0	0
4	0.13	0.23	1.01	-	0.79	0.14	0	0
5	0	0	0	0.79	-	0.4	0.77	0
6	0.21	0	0	0.14	0.4	-	0	0.9
7	0.26	0	0	0	0.77	0	-	0
8	0.71	0	0	0	0	0.9	0	-

이를 통해 인근 작업장을 고려하는 TSP문제를 풀면 1-3-4-2-7-5-6-8-1의 루프를 형성할 수 있다. 이를 통해 작업장 Set을 형성하고 각 Set에 대한 차량의 활용도를 계산하면 표 4와 같은 결과를 얻을 수 있다.

표4. 작업장 Set과 차량 활용도

작업장 Set	(1,3)	(1,3,4)	(1,3,4,2)
Utilization	0.3118	0.5266	0.7544
(3,4)	(3,4,2)	(3,4,2,7)	(4,2)
0.2067	0.5988	0.7498	0.3371
(2,7)	(2,7,5)	(2,7,5,6)	(7,5)
0.139	0.4297	0.7575	0.2792
(5,6)	(5,6,8)	(5,6,8,1)	(6,8)
0.4064	0.5235	0.6565	0.0895
(6,8,1,3)	(8,1)	(8,1,3)	(8,1,3,4)
0.4445	0.136	0.3578	0.5564

그리고 최종 작업장의 분할은 (6,8,1), (3,4,2,7,5)로 얻어질 수 있다.

3.3 시뮬레이션 분석

시뮬레이션 분석을 위해 두 가지 Layout을 설정하였다. Layout 1은 분할된 작업장들을 가장 가깝게 묶어 차량의 활용도가 위에서 계산된 활용도와 유사하도록 설계하였고, Layout 2는 차량의 활용도가 낮은 작업장을 대상으로 Guide path의 길이를 늘려서 루프간의 짐의 이동을 담당하는 컨베이어 벨트의 길이를 줄임으로써 작업장 설치의 비용 감소를 꾀하였다. 각 작업장의 작업 시간은 작업장의 Utilization을 70% 정도가 되도록 설정하여 물류의 흐름에 큰 영향을 미치지 못하도록 하였다. 시뮬레이션 언어로는 Siman(Arena)를 사용하였다.

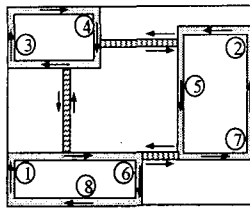


그림 4. Layout 1

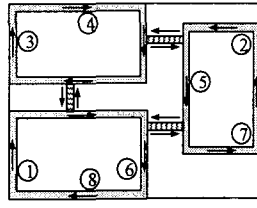


그림 5. Layout 2

시스템이 작업량이 증가할 경우 유연하게 대처할 수 있는지와 컨베이어 벨트가 시스템에 큰 영향을 미치는 가를 살펴보기 위해 표 5와 같이 실험 조건을 설정하였다.

표 5. 실험 설계

실험	컨베이어 속도	총 작업물
1	High	18개/hr
2	Middle	18개/hr
3	Middle	22.5개/hr
4	Middle	30개/hr
5	Middle	18개/hr

앞서 수식을 통한 계산에 사용된 조건과 같은 조건인 실험 2의 시뮬레이션 결과로 얻어진 차량의 활용도는 표 6과 같다. 이는 수식으로 계산된 차량의 활용도와 비슷한 패턴을 보여주고 있음을 알 수 있다.

표 6. 차량의 활용도

작업장 Set	(6,8,1)	(3,4)	(2,7,5)
Utilization	0.2058	0.1994	0.4997

그림 6과 그림 7에서 알 수 있듯이 차량의 활용도가 낮은 작업장 Set의 크기를 크게 하여도 시스템의 성능에 큰 영향을 미치지 않고 있으며, Conveyor 벨트의 속력은 컨베이어가 많이 사용된 Layout 1의 경우가 보다 민감하게 반응하고 있음을 알 수 있다. 실험 3의 경우 작업량이 증가했음에도 불구하고 Flow Time이 줄어들었는데, 이는 작업장의 Utilization을 70% 정도로 맞추어 Processing time이 줄어들어 기인한 것이다. 특히 실험 4의 경우 (2,7,5) set의 차량의 활용도가 0.84까지 증가함으로 인해 병목현상이 발생되고 서비스가 불가능해짐을 알 수 있다.

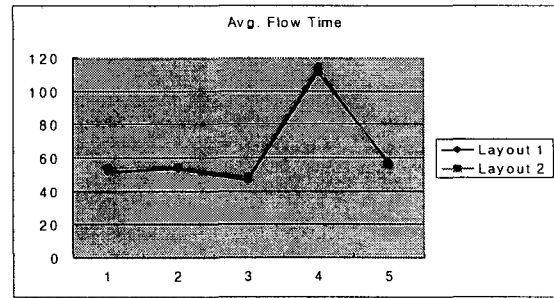


그림 6. Avg. Flow Time

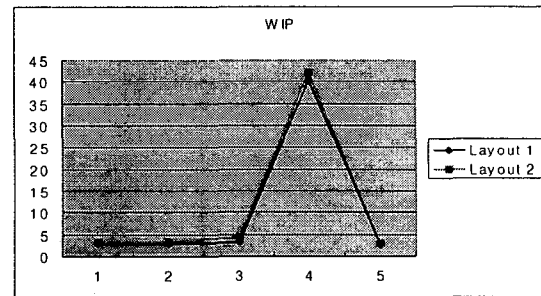


그림 7. WIP

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 Tandem AGV 시스템을 그 대상 시스템으로 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.

향후에는 Multi-load를 사용하는 Traditional AGV 시스템과 Multi-load를 사용하는 Tandem AGV 시스템과의 성능 비교, Unit-load를 사용하는 Tandem AGV 시스템과 Multi-load를 사용하는 Tandem AGV 시스템과의 성능 비교 등에 관한 연구가 수행될 것이다. 또한 Multi-load AGV를 사용하는 시스템을 보다 효율적으로 운영하기 위한 차량 발주법 등이 연구되어야 할 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] Occena, L.G. and Yokota, T., Analysis of the AGV loading capacity in a JIT environment. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 12, No.1, 1993