

Tandem AGV System 의 Transfer Point 결정 Rule 의 수행도 평가에 관한 연구

정병도, 김정섭
(연세대학교 산업시스템공학과)

A Study on the Transfer Point Selection Rule for Tandem AGV Systems

Byung Do Chung, Kyung Sup Kim
(Dept. of Industrial Systems Engineering, Yonsei Univ.)

Tandem AGV 시스템은 기존의 AGV 시스템의 운영 문제를 쉽게 해결하기 위해 새롭게 제시된 개념의 시스템이다. 이와 같은 Tandem AGV 시스템의 성능은 설계적, 운영적 요소의 영향을 받게 된다. 본 연구에서는 Tandem AGV 시스템의 설계적 요소 중 한 부분인 Transfer Station 의 위치를 결정하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 평가하였다.

1. 서론

현재 무인 운반 차량(AGV: Automated Guided Vehicle)은 자동화된 생산 및 저장 시스템에서 시스템간의 원활한 물품의 전달 및 회수를 위한 도구로 중요한 역할을 하고 있다. 하지만 시스템의 규모가 커짐에 따라 기존의 AGV 시스템의 운영 및 통제에 많은 어려움이 발생하게 되었고, 이를 극복하기 위한 많은 연구들이 진행되고 있다. 이와 같은 효율적인 AGV 시스템 운영에 관한 연구는 크게 시스템의 설계와 운영의 측면에서 접근되고 있다.

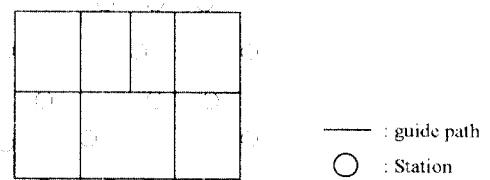
시스템의 설계에 관한 연구는 기존 시스템을 개선하거나 기존의 시스템의 형태와는 다른 새로운 형태의 시스템을 설계하는 방식으로 연구가 이뤄지고 있으며, 시스템의 운영에 관한 연구는 새로운 방법의 개발, 차량의 혼잡 및 충돌의 방지를 위한 운영 정책 등에 관련된 연구가 이뤄지고 있다.

차량의 경로 설정에 관한 연구는 시스템의 설계에 관한 연구 중 중요한 분야이다. Tandem AGV 시스템은 이러한 분야의 대표적인 예라고 할 수 있다. 기존의 AGV 시스템에서는 경로가 복잡하게 교차하고 있었기 때문에 차량의 혼잡이나 충돌 방지가 중요한 문제였다. 하지만 Tandem AGV 시스템은 차량의 경로를 몇 개의 루프로 구성하고 각 루프에 한대의 차량을 배치함으로써 이러한 문제점을 해결하였다.

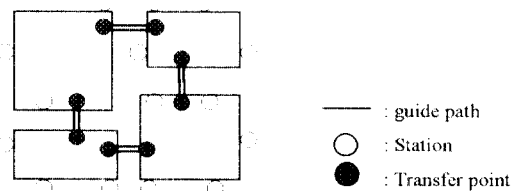
본 연구에서는 이와 같은 Tandem AGV 시스템 설계에 있어 필수적으로 발생하게 되는 Transfer Station 의 위치를 결정하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 성능을 비교, 분석하였다. 시뮬레이션 언어로는 ARENA(SIMAN)이 사용되었다.

2. 기존 관련 연구

Tandem AGV 시스템은 Bozer 와 Srinivasan[1]에 의해 처음 소개되었다. 그들은 기존에 사용되던 AGV 시스템을 Traditional AGV 시스템이라 정의하고, 이와는 달리 'divide and conquer'이론을 적용하여 만든 새로운 시스템을 Tandem configuration 이라 구분하였다. Tandem AGV 시스템은 기존의 시스템과는 달리 전체 시스템을 서로 겹치지 않는 몇 개의 루프로 나눈 뒤, 각 루프에 한 대의 차량만을 할당하는 방식으로 차량의 경로 설정이 이뤄진다. <그림 1>과 <그림 2>는 각각 Traditional AGV 시스템과 Tandem AGV 시스템의 예이다.



<그림 1> Traditional AGV 시스템



<그림 2> Tandem AGV 시스템

이와 같은 Tandem AGV 시스템은 기존의 시스템과 비교할 때 다음과 같은 몇 가지 장점을 갖게 된다. 첫째, 각 루프별로 한대의 차량이 배치되기 때문에

차량의 혼잡과 충돌에 관한 문제를 완벽하게 해결하였고, 이로 인해 차량의 운영이 한결 쉬워졌다. 둘째, 별다른 어려움 없이 양방향 차량(Bi-directional Vehicle)의 성능을 효과적으로 이용할 수 있게 되었다. 셋째, 다른 루프에 영향을 주지 않으면서 새로운 루프의 추가, 제거가 가능하며, 각 루프는 상황에 맞게 여러 종류의 차량이 사용 가능하며 개별적인 운영이 가능하다.

하지만 Tandem AGV 시스템은 다음과 같은 단점도 갖게 된다. 첫째, 운송물이 이동되어야 할 작업장이 다른 루프에 존재하는 경우 이 운송물은 한대 이상의 차량으로 운반되진다. 둘째, 루프간의 이동을 담당할 추가적인 작업장인 Transfer point(P/D point)와 추가적 설비가 필요하다. 셋째, 루프 구성이 잘못 된 경우 병목루프(Bottleneck loop)가 발생할 수도 있다. 이와 같은 단점으로 인해 효과적인 루프 구성(Partitioning), 루프간의 원활한 짐의 운송 등이 새로운 관심사로 대두되고 있다.

이과 같은 이유로 Bozer 와 Srinivasan[2]은 작업물의 이동을 최소화 할 수 있는 루프 구성 알고리즘을 제시하였으며, 박윤선, 박대희[10]는 루프간의 짐의 이동을 최소화 하는 루프 구성 알고리즘을 제시하고, 루프 간의 짐의 이동을 담당할 Central path의 개념을 제시하였다. Huang[4]는 추가적으로 발생하는 Transfer point의 수를 줄이기 위해 각 루프에 단일 Transfer point만을 설정하는 Transportation 시스템을 제시하였다.

이와 같은 연구에 더불어 Tandem AGV 시스템의 성능 또한 검증 되고 있다. Choi, Kwon, Lee[3]의 연구에 의하면 Tandem AGV 시스템은 기존의 AGV 시스템에 비해 작업 완성률(Throughput)이 좋은 반면 평균 작업 시간(Throughput time)이 좀 더 길리는 것으로 나타났다. 그리고 그들은 AGV의 속도가 Tandem에서의 중요한 요소라고 언급하였다. Ross, Mahmoodi, Mosier[6]는 Tandem AGV 시스템은 보다 쉽게 운영 할 수 있으며, 기존의 시스템 만큼의 효과를 낸다고 평가하였다.

3. Transfer Point 결정 Rule

Tandem AGV 시스템은 전체 시스템을 겹치지 않는 몇 개의 루프로 구성하기 때문에 루프간의 이동을 담당할 추가적인 Transfer point(P/D point)가 요구되며, 그 위치 결정에 따라 시스템의 성능이 달라지게 된다.

본 연구에서 제시하는 P/D point 결정 rule은 다음과 같은 기본 가정을 두고 있다. 우선 각 작업은 거쳐야 할 작업장의 순서, 즉 Job routing과 작업물의 비용은 알려져 있으며, 이를 바탕으로 루프 구성을 끝난 상태이다. 그리고 형성된 루프는 너무 복잡하게 꼬여있지 않은 단순한 형태를 취하고 있다.

3.1 기호 (Notation)

본 논문에서 알고리즘의 적용을 위해 사용되

는 기호는 다음과 같다.

i, j : 작업장 번호

k, l : 루프 번호

f_{ij} : 작업장 i 와 작업장 j 의 이동량

d_{ij} : 작업장 i 와 작업장 j 사이의 거리(비용)

f_{kl} : 루프 k 와 루프 l 의 이동량

In_i : 작업장 i 에 도착하는 작업량

$$In_i = \sum_j f_{ji} \quad j \text{는 루프에 포함된 작업장..(1)}$$

Out_i : 작업장 i 에서 출발하는 작업량

$$Out_i = \sum_j f_{ij} \quad j \text{는 루프에 포함된 작업장..(2)}$$

TF_k : 루프 k 에서 발생하는 이동량

$$TF_k = \sum_i In_i = \sum_i Out_i \quad \dots(3)$$

TC : 총 비용(Total Cost)

LVC_k : 루프 k 에서 짐을 싣고 이동하는 동안 발생하는 비용 (Loaded Vehicle Cost)

EVC_k : 루프 k 에서 빈 상태로 이동하는 동안 발생하는 비용 (Empty Vehicle Cost)

3.2 알고리즘

Transfer point 결정을 위한 단계는 다음과 같다. 우선 루프별로 From-to chart를 작성한다. From-to chart는 루프별로 <표 1>과 같이 작성된다.

<표 1> 루프 k 에 대한 From-to chart

	Station 1	Station 2	...	Station i	Out
Station 1	0	f_{12}	...	f_{1i}	Out_1
Station 2	f_{21}	0	...	f_{2i}	Out_2
...
Station i	f_{i1}	f_{i2}	...	0	Out_i
In	In_1	In_2	...	In_i	TF_k

이와 같은 From-to chart가 작성되면, 설계자는 Transfer point의 위치에 대한 범위를 정한다. 그리고 마지막으로 총 이동 비용(TC)을 최소화 할 수 있는 위치를 계산한다.

식을 통해서 최소화하고자 하는 총 비용은 각 루프 안에서 발생하는 비용과 각 루프 사이에서 발생하는 비용의 합으로 나타낼 수 있다. 또한 루프 안에서 발생하는 비용은, 차량이 짐을 싣고 이동하는 동안 발생하는 비용과 차량이 빈 상태로 이동하는 동안 발생하는 비용으로 구분할 수 있을 것이다. 따라서 다음과 같은 식이 성립된다.

$$TC = \sum_k (LVC_k + EVC_k) + \sum_k \sum_l LC_{kl} \quad \dots(4)$$

루프간의 짐의 이동이나 차량이 짐을 싣고 이동하는 비용은 이동량과 거리의 곱으로 쉽게 계산해 낼 수 있다. 하지만 차량이 빈 상태로 이동하는 동안 발생하는 비용은 f_{ij}, f_{kl} 과 같은 실질적인 이동량이 주어지지 않기 때문에 계산해 낼 수가 없다. 따라서 본 논문에서는 다음과 같은 개념으로 접근하여 근접적인 이동량을 계산하였다.

차량의 입장에서 고려를 한다면 작업장 i에서 짐을 하역하는 횟수는 In_i 와 같음을 알 수 있다. 그리고 Out_j 는 짐을 이동시키기 위해 차량이 호출되는 횟수와 같다. 한편, 차량이 빈 상태로 이동하는 거리는 짐을 하역한 후 선적하기 위해 이동하는 총 거리의 합과 같다. 따라서 작업장 i에서 짐의 하역을 끝마쳤을 때 차량이 빈 상태로 이동하는 거리는, 작업장 j에서 호출될 확률과 작업장 j까지의 거리의 곱으로 나타낼 수 있을 것이다. 이상의 발생 비용에 관련된 내용을 식으로 정리하면 (5),(6),(7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$LVC_k = \sum_i \sum_j f_{ij} * d_{ij} \quad \text{for } \forall k$$

ij는 루프 k에 속한 작업장 ... (5)

$$LVC_k = \sum_i \sum_j In_i * (Out_j / TF_k) * d_{ij} \quad \text{for } \forall k$$

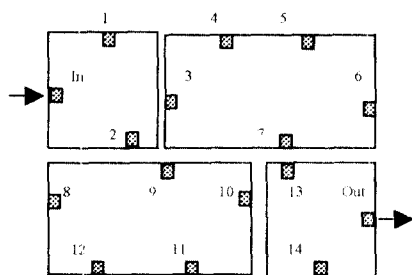
ij는 루프 k에 속한 작업장 ... (6)

$$LC_{kl} = \sum_k \sum_l f_{kl} * d_{kl} \quad \text{... (7)}$$

LVC_k 중에서 $\sum_i \sum_j In_i * (Out_j / TF_k)$ 의 값이 크지 않으며, i와 j 모두 Transfer point인 경우 계산을 간단히 하기 위해 생략할 수 있다.

4. 시뮬레이션 및 결과 분석

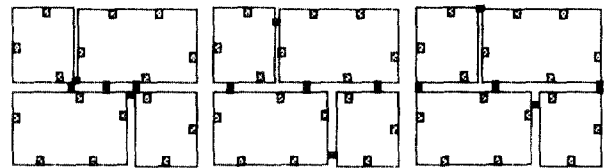
이상에 제시된 Transfer point 결정 rule의 성능을 평가하기 위해 <그림 3>과 같은 대상시스템으로 시뮬레이션을 실행하였다. 6가지 Job의 작업 경로는 <표 2>와 같다.



<표 2> 작업 경로

Job type	Route
1	In - 1 - 4 - 6 - 7 - 11 - 13 - Out
2	In - 2 - 3 - 7 - Out
3	In - 1 - 2 - 8 - 9 - 3 - 5 - 13 - Out
4	In - 12 - 11 - 10 - 14 - Out
5	In - 8 - 10 - 14 - Out
6	In - 4 - 5 - 13 - 14 - Out

Transfer Point의 결정은 다음의 세가지 방법을 통해 하였다. 첫째, Transfer point가 가능한 볼려 있도록 배치한다.(Design 1) 둘째, Transfer point가 한 작업장 근처에 몰려 있지 않도록 배치한다.(Design 2) 즉, 작업장이 루프에서 가능한 멀리 퍼져 있도록 배치한다. 이는 각 작업장과 Transfer point간의 거리의 분포를 고르게 하기 위함이다. 셋째, 본 연구에서 제시한 휴리스틱을 이용하여 배치하도록 설계한다.(Design 3) 이상의 3가지 설계에 따른 Transfer point의 위치는 <그림 4>와 같다. 시스템의 설계가 Tandem AGV 시스템에 미치는 영향을 입증하기 위해 세가지 설계 방식을 채택하였다.



A. Design 1 B. Design 2 C. Design 3

<그림 4> Transfer point 설계

한편, 루프 안에서 짐을 운송하는 차량의 발주법으로는 STT/D (Shortest Travel Time/Distance : Control 1), MVED (Minimum Vehicle's Empty Distance : Control 2) rule을 이용하였다. MVED rule은 김정섭, 정병도[9]에 의해 제안된 발주법으로 단일 루프-단일 차량 시스템에서 차량이 빈 거리로 이동하는 거리를 최소화 하는데 목적을 두고 있다. 시스템의 운영 정책이 Tandem AGV 시스템에 미치는 영향을 입증하기 위해 두 가지 설계 방식을 채택하였다.

작업장에서의 작업 시간은 기계의 효율이 70-80% 정도 되도록 설정하였으며, 각 작업의 발생 비용, 즉 Inter-arrival time은 지수분포를 따른다. 또한 AGV의 속도는 고정되어져 있으며, 고장에 의한 작업 지연은 발생하지 않는다고 가정한다. 시뮬레이션 결과는 Warm up 120, 실행시간 3000, 그리고 15회의 반복 실행을 통해 얻어졌다. 시뮬레이션은 3가지 설계, 2가지 운영 정책에 대해 시뮬레이션을 실행하였다. 따라서 총 6가지의 설계와 운영 정책의 조합이 발생하며 이는 Case 1에서 Case 6까지 설정되어 있다. 이는 <표 3>에 정리되어 있다. 예를 들어 Case 1의 경우는 Transfer point는 가능한 가깝게 모이도록 설계한 후, 운영정책으로는 STT/D rule을 사용한 경우이다.

<표 3> 대상 시스템의 설계

	Transfer 의 위치	운영 정책
Case 1	Design 1	Control 1
Case 2	Design 2	Control 1
Case 3	Design 3	Control 1
Case 4	Design 1	Control 2
Case 5	Design 2	Control 2
Case 6	Design 3	Control 2

각각의 경우에 대한 시뮬레이션 결과는 <표 4>, <표 5>와 같다. <표 4>는 작업의 도착 시간 간격이 평균 30인 지수 분포를 따를 경우의 결과이며, <표 5>는 도착 시간 간격이 평균 28인 지수분포를 따를 경우의 결과이다. 즉 작업량이 많아 짐에 따라 결과가 어떻게 변화하는 가를 살펴보았다. 결과 비교를 위해서 평균 작업 시간, 각 루프에서 선적을 하기 위해 기다리고 있는 Queue 의 평균 길이 등이 사용되었다.

<표 4> 시뮬레이션 결과(Inter-arrival time: expo(30))

	Flowtime	Q1	Q2	Q3	Q4
Case 1	177.74	1.47	2.64	2.06	0.72
Case 2	177.01	1.03	2.51	2.4	0.62
Case 3	173.63	0.72	2.56	1.83	0.57
Case 4	197.48	1.47	6.43	2.12	0.82
Case 5	174.86	0.98	2.46	2.11	0.61
Case 6	172.82	0.72	2.48	1.59	0.6

<표 5> 시뮬레이션 결과(Inter-arrival time: expo(28))

	flowtime	Q1	Q2	Q3	Q4
Case 1	216.19	2.26	3.97	2.71	0.85
Case 2	214.1	1.39	4.02	3.36	0.71
Case 3	211.09	0.9	4.14	2.39	0.65
Case 4	245.33	2.2	13	2.66	0.86
Case 5	212.74	1.35	3.7	2.79	0.72
Case 6	209.1	0.9	4.02	1.99	0.68

시뮬레이션 결과 작업량이 적을 경우와 많은 경우 비슷한 성향을 보여주었다. 같은 운영 정책을 사용한 경우, 즉 Case 1부터 Case 3 까지 그리고 Case 4 부터 Case 6 까지를 개별적으로 살펴보면 본 연구에서 제시된 알고리즘에 의해 설계된 시스템이 가장 좋은 결과를 보였고, Transfer point 를 가깝게 보아둔 Case 1 과 Case 4 가 가장 나쁜 결과를 보여주었다. 또한 같은 설계를 사용한 경우, 즉 Case 1 과 Case 4, 그리고 Case 2 와 Case 5 의 경우 MVED rule 을 사용하는 것이 보다 좋은 결과를 산출하는 것으로 나타났다. 하지만 Case 3 과 Case 6 의 경우에 있어서는 STT/D rule 이 더 좋은 결과를 보였다. 전체적으로 살펴보았을 때, 본 연구에서 제시한 알고리즘을 따라 설계하고, 효율적인 운영정책인 MVED rule 을 따라 운영한 Case 6 이 가장 좋은 결과를 나타냈음을 알 수 있다.

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구에서는 기존의 AGV 시스템을 보다 쉽게 운영하기 위해 제안된 Tandem AGV 시스템의 설계에 있어서 Transfer point 의 위치를 결정하기 위한 알고리즘을 제시하였다. 그리고 Tandem AGV 시스템에 좋은 효율을 보임을 시뮬레이션을 통해 살펴보았다. 또한 AGV 의 운영적인 요소뿐만 아니라 이와 같은 설계적 요소가 Tandem AGV 시스템에 많은 영향을 미친다는 것을 검증할 수 있었다. 추후에는 보다 다양한 시스템에 대한 검증이 있어야 할 것이며, Tandem AGV 시스템의 다른 설계적, 운영적 요소에 대한 추가적인 분석과 이를 위한 알고리즘 등이 제시되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [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., and 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] 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.
- [6] Ross, E.A., Mahmoodi, F. and Moisiere, C.T., "Tandem configuration automated guided vehicle system: A comparative study", *Decision Sciences*, Vol.27, No.1, pp.81-102, 1996.
- [7] Sinriech, D., Tanchoco, J.M.A and Herer, Y.T., "The segmented bidirectional single loop topology for material flow systems", *IIE Transactions*, Vol. 28, No.1, pp.40-54, 1996
- [8] Tanchoco, J.M.A. and Sinriech, D., "OSL - optimal single-loop guide paths for AGVS", *International Journal of Production Research*, Vol.30, No.3, pp.665-681, 1992
- [9] 김정섭, 정병도, "단일 루프-단일 차량 형태의 AGV 시스템의 효율적인 운영을 위한 받주법 개발에 관한 연구", *한국시뮬레이션학회 논문지*, Vol.7, No.1, pp.39-51, 1998
- [10] 박윤선, 박대희, "무혼잡 무인 운반 차량 시스템의 설계에 관한 연구", *대한산업공학회지*, Vol. 23, No.3, pp.559-580, 1997