

응용논문

자동생산시스템에서 추계적 모델을 이용한 Multi-AGV의 수행도 평가에 관한 연구

Performance Evaluation of Multi-AGV using Stochastic Model in Automatic Manufacturing System

조 동 원*

Cho, Dong-Won

이 영 해*

Lee, Young-Hae

Abstract

To construct the stochastic model for performance evaluation of Multi-AGV, two aspects must be considered. The first is stochastic situation for moving jobs. The second is the dispatching rule of AGV. In this paper, the stochastic model for performance evaluation of Multi-AGV is developed. The case of stochastic model with two AGV is developed. But it is difficult to solve in the case of stochastic model with more than three AGV because the model has three-ordered equations. The evaluation factor of the model is utilization and empty travel time of AGV. Using these factors, one can easily evaluate a wide range of handling and layout alternatives from given flow data. Hence, the model would be most effective when used in the early stage of designing to narrow down the number of alternative prior to simulation.

1. 서론

자동생산시스템의 여러 분야를 통합적으로 운영 및 관리하는 것은 전체 시스템의 유연성과 효율성을 향상시키는데 있어서 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다. 특히 자동생산시스템내에서도 작업물의 이동을 직접적으로 담당하는 자재운반시스템은 전체 시스템의 효율 향상에 직접적인 영향을 주기 때문에 자재운반시스템의 주의 깊은 설계와 효율적인 운영은 무엇보다도 중요하다고 할 수 있다.

자재운반장치에는 forklift, crane, monorail, conveyor, AGV, stacker crane 등 여러 운반 장치가 있으나 최근 자동생산시스템이 더욱더 자동화 및 유연화됨에 따라 무인운반으로 일정한 통제에 의해 작업물을 운반할 수 있는 자재 운반 장치가 필요하게 되었다. 무인운반장치 중에 현재 가장 많이 이용되고 있는 장치중의 하나는 AGV 시스템으로서 AGV 시스템은 지난 몇 년에 있어서 많은 발전과 연구가 진행되었다.

* 한양대학교 산업공학과

최근까지 자동생산시스템 내에서의 AGV 시스템을 설계 및 분석하기 위해서는 주로 시뮬레이션에 의한 방법으로 연구되었다. 그러나 시뮬레이션에 의한 방법은 같은 대안을 기초로 여러 가지 실험 및 분석이 필요하며 특히, 초기 설계 단계에서는 더욱더 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 무엇보다도 짧은 시간과 적은 비용으로 시스템의 특성을 근사적으로 파악할 수 있는 간단한 모델이 요구된다. 이러한 모델은 AGV 시스템의 충돌(Collision) 및 Blocking, Deadlock 등을 고려한 세부적인 시뮬레이션 방법을 수행하기 전에 대안의 수를 줄일 수 있는 방법이다.

AGV 시스템을 설계하기 위해서는 AGV가 작업물을 운반하면서 발생하는 추계적인 상황과 AGV가 어떤 배차 규칙(Dispatching rule)에 따라 운영 할 것인가에 대한 두 가지 측면을 고려해야 한다. 본 연구에서는 AGV 시스템의 수행도를 평가하기 위한 추계적인 모델을 제시한다. AGV가 따르는 배차 규칙으로는 WIA(Workcenter Initiated Assighment, WIA)의 경우 최장유 휴차량(Longest Idle Vehicle, LIV)배차규칙을 따르고 VIA(Vehicle Initiated Assighment, VIA)의 경우에는 수정선입선출(Modified First Come First Served, MFCFS) 배차규칙을 따라 작업물을 운반한다. 선입선출(First Come First Served, FCFS)배차규칙을 약간 수정한 MFCFS 배차규칙의 특징은 AGV가 작업물을 작업장으로 운반한 후 즉시 해당 작업장의 출력버퍼에 작업물의 유무를 확인하여 작업물이 있을 경우에는 현 위치의 출력버퍼에 있는 작업물을 가장 먼저 운반하는 특징이 있다. 본 연구에서 제시한 추계적 모델의 평가요소로는 AGV의 수행도와 AGV가 작업물을 적재하지 않고 이동한 평균시간이다.

2. 기존 연구

AGV의 배차규칙에 따라 수행도를 평가한 기존 연구는 일반적으로 시뮬레이션에 의한 방법과 분석적인 방법에 의해 연구가 진행되어왔다.

시뮬레이션에 의한 연구로서 Bilge와 Tanchoco[2]는 Single-Load Multi-Vehicle과 Multi-Load Multi-Vehicle의 수행도 평가를 하였으며 Kim과 Tanchoco[4]는 AGV의 충돌방지를 위해 양방향 이동이 가능한 네트워크에서 최단경로(shortest-path)알고리즘과 서비스시간대(time window)그래프를 혼합한 알고리즘을 제시하였다. Occena와 Yokota[6]는 JIT 환경하에서 Pull 전략을 이용하여 Multi-Load Multi-Vehicle의 작업장간 및 작업장내의 작업물의 흐름을 제어하는 AGV 배차규칙알고리즘을 제시하였다.

분석적인 접근을 통한 연구로 Thonemann과 Brendeau[8, 9]는 작업물의 이동이 자동화되어 있지 않은 생산시스템내에 AGV 시스템을 도입하기 위해 go-when-filled 배차규칙을 적용하여 Multi-Load Single-Vehicle를 $M/G^B/1$ 대기행렬모형으로 분석하였으며 또한 Multi-Load Multi-Vehicle이 있고 AGV가 한 장소에서 서비스하는 상황에서 $GD/G/C$ 대기행렬모형을 이용하여 작업물 요청이 있을 경우에 제한된 시간내에 작업물을 운반하기 위한 차량의 대수와 관련된 연구를 하였다. Kobza et al.[5]은 각 작업장에서 작업물 운반에 대한 요청이 매우 작게 발생하는 상황에서 AGV가 작업물을 적재하고 이동하는 평균시간과 빈 차량으로 이동하는 평균시간의 총합을 계산하는 알고리즘을 제시하였다. Srinivasan et al.[7]은 운반장치(single device)가 MFCFS 배차규칙에 따라 작업물을 운반하는 상황과 시스템의 추계적인 상황을 동시에 고려한 추계적인 모델을 제시하였으며 Bozer et al.[3]은 같은 모델을 이용하여 운반 요청을 한 해당 작업물의 평균대기시간을 분석적인 방법을 통하여 제시하였다. Koo et al.[10]은 FCFS 배차규칙에 따라 작업물을 이동하는 AGV를 개방형 대기행렬 네트워크 개념과 분해법(Decomposition)을 이용하여 주어진 생산시스템에 필요한 AGV 대수를 결정하는 분석적인 방법을 제시하였다.

현재까지의 기존 연구결과, 자동생산시스템의 추계적인 상황과 AGV의 배차 규칙을 동시에

고려한 분석적인 접근 방법과 AGV가 두 대이상인 경우에 대한 연구에 대해서는 연구가 미진하였다.

3. Multi-AGV의 수행도 평가를 위한 추계적 모델 개발

본 모델은 시스템내에 한 대의 자재운반장치가 있을 경우에 대해 Srinivasan et al.[7]에 의 해 제시한 추계적 모델을 확장하여 AGV가 두 대인 경우의 모델이다.

3.1 시스템의 가정 및 기호정의

3.1.1 시스템의 가정

- (1) 시스템내의 전체작업장은 입출력작업장과 가공작업장으로 구성된다.
- (2) 작업장은 모두 입력 및 출력 버퍼가 있으며 용량(Capacity)은 무한대이다.
- (3) 가공작업장의 입력 및 출력 버퍼 도착률은 동일하다.
- (4) 입출력작업장의 입력 버퍼의 도착률의 합과 출력 버퍼의 도착률의 합은 같다.
- (5) AGV는 어떤 물리적인 제약 없이 본래의 성능을 100% 발휘한다.

3.1.2 기호정의

- M : 작업장의 수, A : 입출력작업장의 집합, B : 가공작업장의 집합
- λ_i : 작업장 i의 출력버퍼에 작업물이 도착하는 도착률
- Λ_i : 작업장 i의 입력버퍼에 작업물이 도착하는 도착률
- λ_T : 전체작업장의 입력 또는 출력버퍼에 작업물이 도착하는 도착률의 총합
- P_{ij} : 작업장 i의 출력버퍼에서 작업장 j의 입력버퍼로 이동될 작업물의 경로 확률
- τ_{ij} : AGV가 작업장 i에서 작업장 j까지의 적재, 이동 및 하역 시간의 합
- σ_{ij} : AGV가 작업장 i의 작업물을 적재하지 않고 작업장 j까지의 이동 소요 시간
- ρ : AGV의 효율(적재이동 총소요시간/(적재+공차)이동 총소요시간과의 비율)
- α_I : AGV가 유힤했던 총시간의 비율
- α_L : AGV의 효율 중 AGV가 작업물을 적재하고 이동해서 하역을 수행했던 비율
- α_E : AGV의 효율 중 AGV가 작업물 적재를 위하여 해당작업장까지 이동했던 비율
- q_{i_e} : 임의의 시점에서 작업장 i의 출력버퍼에 작업물이 없을 확률
- \tilde{q}_{i_e} : 임의의 시점에서 작업장 i의 출력버퍼에 작업물이 있을 확률
- C_k : 임의의 작업장 k에 AGV가 도착한 후 다시 도착할 때까지의 방문간격 주기시간
- $V_{i_e} : C_k$ 시간동안 k 작업장이외의 작업장 i를 AGV가 빈차로 도착할 평균 도착회수
- $V_{i_l} : C_k$ 시간동안 k 작업장이외의 작업장 i를 AGV가 적재하고 도착 할 평균도착회수
- $V_i : C_k$ 시간동안 k 작업장이외의 작업장에 유힤한 상태로 진입할 평균기대회수
- T_{i_l} : 적재하 i작업장으로 이동상태에서 이동/유힤 상태로 전이하는 데까지의 기대시간
- T_{i_e} : 공차로 i작업장으로 이동하는 상태에서 적재 상태로 전이하는 데까지의 기대시간
- T_I : AGV가 유힤한 상태에서 다시 유힤한 상태로 전이하기까지의 기대시간

3.2 모델의 설정

3.1.1의 (4)에 따라 $\sum_{i \in B} \Lambda_i = \sum_{i \in B} \lambda_i$ (단, $i : 1, 2, 3 \dots M$)로 나타낼 수 있으며, 3.1.1의 (3)에 근거하여 가공작업장 입력버퍼의 도착률과 출력버퍼의 도착률은 같다는 관계가 성립한다. 즉, $\Lambda_i = \lambda_i, i \in A$. 또한 작업장간 작업물의 경로확률인 P_{ij} 와 입력버퍼의 λ_i 를 이용하여 Λ_i 의 값을 다음의 관계식으로 표현할 수 있다.

$$\Lambda_i = \sum_j \lambda_j P_{ji} \tag{3-1}$$

그리고 λ_T 는 모든 작업장의 출력버퍼에 작업물이 도착하는 도착률의 합이므로 다음과같은 관계가 성립한다.

$$\lambda_T = \sum_i \lambda_i = \sum_i \Lambda_i \tag{3-2}$$

AGV의 효율인 ρ 는 α_L 과 α_E 의 합($\rho = \alpha_L + \alpha_E$)으로 나타낼 수 있으며, α_L 은 작업물이 거쳐야 할 각 작업장의 경로확률인 P_{ij} 와 입력버퍼의 도착률을 나타내는 λ_i , 작업장사이에서 작업물을 적재하고 이동한 시간인 τ_{ij} 를 이용하여 아래식으로 나타낼 수 있다.

$$\alpha_L = \sum_i \lambda_i \sum_j P_{ij} \tau_{ij} \tag{3-3}$$

한편 α_i 는 AGV가 유히했던 총시간의 비율이므로, $\alpha_i = 1 - \rho$ 의 관계가 성립한다. 임의의 시점에서 작업장 i 의 출력버퍼에 작업물이 없을 확률은, $\bar{q}_{iL} = 1 - q_{iL}$ 로 나타낼 수 있다. 이상의 확률값을 기초로 임의의 시점에서 모든 작업장의 출력버퍼에 작업물이 없을 경우의 확률은 $\prod_i q_{iL}$ 이므로 AGV의 효율 ρ 는, $\rho = 1 - \prod_i q_{iL}$ 이다. 한편, AGV가 한 대인 경우의 전이확률은 다음과 같다.

- (1) 작업장에 빈 차량으로 이동하는 경우 : P_{ij}
- (2) 작업장에 작업물을 적재하고 이동하는 경우
 - ① 출력버퍼에 작업물이 있으면 적재하고 다른 작업장으로 이동하는 경우: $\bar{q}_{iL} P_{ij}$
 - ② 출력버퍼에 작업물이 없고 다른 작업장에서 운반요청이 있을 경우

$$q_{iL} (1 - \prod_{j \neq i} q_{jL}) \frac{\lambda_j}{\lambda_T - \lambda_i} = (\rho - \bar{q}_{iL}) \frac{\lambda_j}{\lambda_T - \lambda_i}$$
 - ③ 출력버퍼에 작업물이 없고 다른 작업장에서 운반요청이 없을 경우 : $1 - \rho$
- (3) 유히한 상태에 있을 경우 : $\frac{\lambda_i}{\lambda_T}$

3.2.1 AGV가 두 대인 경우의 상태(State)정의

- (1_E,1_E) : 두 대의 AGVs 모두가 작업물을 적재하지 않고 작업장 1로 이동하는 상태.
- (1_E,1_L) : 한 대의 AGV는 작업물을 적재하지 않고 작업장 1로 이동하는 상태이고 다른 AGV는 작업물을 적재하고 작업장 1로 이동하는 상태.
- (1_E,1_I) : 한 대의 AGV는 작업물을 적재하지 않고 작업장 1로 이동하는 상태이고 다른 AGV는 작업장 1에서 유히하게 있는 상태.
- (1_E,2_E) : 한 대의 AGV는 작업물을 적재하지 않고 작업장 1로 이동하는 상태이고 다른 AGV는 작업물을 적재하지 않고 작업장 2로 이동하는 상태.
- (1_E,2_L), (1_E,2_I), (1_E,M_E) (M_E,M_E). (M_E,M_L)

따라서 두 대의 AGV가 있을 경우 총 상태 수는, $(M \times 3) \times (M \times 3) = 9M^2$ 이다.

3.2.2 AGV가 두 대인 경우의 주기시간동안 작업장을 도착하는 평균도착회수

주기시간 C_k 를 임의의 입출고작업장 1인 작업장으로 선정했을 경우에 이 작업장의 평균도착회수 V_1 는, $V_1 = V_{1L} + V_{1E} = 1$ 과 같다. 그리고 AGV가 주기시간 C_1 동안에 작업장 1 이외에 다른 작업장에 도착하는 평균도착회수는 다음과 같은 세 가지 경우로 나타낼 수 있다.

(1) 작업장 m에 빈 차량으로 도착하는 평균도착회수

$$V_{mE} = \sum_{k \neq m} V_{mL} (\rho - \bar{q}_{kL}) \frac{\lambda_m}{\lambda_T - \lambda_k} + V_I \frac{\lambda_m}{\lambda_T} \quad (3-4a)$$

(2) 작업장 m에 작업물을 적재하고 도착하는 평균도착회수

$$V_{mL} = \sum_{k \neq m} (V_{kE} + V_{kL} \bar{q}_{kL}) P_{km} \quad (3-4b)$$

(3) 유희한 상태로 진입할 평균기대회수: $V_I = (1 - \rho) \sum_m V_{mL}$ (3-4c)

3.2.3 AGV가 두 대인 경우 전이확률(Transition Probability) 및 기대시간

AGV가 한 대인 경우의 전이확률을 기초로 AGV가 두 대인 경우에 대해 전이확률을 유도할 수 있다. 만약 한 대의 AGV가 빈 차량으로 어떤 작업장을 방문할 때 나머지 한 대는 적재하고 이동중인 상태, 빈 차량으로 이동중인 상태, 유희한 상태 중에서 어느 한 상태에 있을 수 있으므로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\sum_{k \neq m} \frac{(\rho - \bar{q}_{mL}) \lambda_m}{\lambda_T - \lambda_k} \left[\sum_{j \neq i} \frac{(\rho - \bar{q}_{iL}) \lambda_i}{\lambda_T - \lambda_j} + \sum_{j \neq i} P_{ji} + \sum_M (1 - \rho) \right]$$

위 식의 우측에 있는 식은 한 대의 AGV가 어떤 상태에 있을 때 나머지 한 대가 시스템내에 전이할 수 있는 모든 상태를 나타낸다. 위 식을 간결하게 표현하기 위해 다음과 같은 변수 S를 도입한다.

$$S = \sum_{j \neq i} \frac{(\rho - \bar{q}_{iL}) \lambda_i}{\lambda_T - \lambda_j} + \sum_{j \neq i} P_{ji} + \sum_M (1 - \rho)$$

또한 AGV 한 대가 작업물을 적재하고 어떤 작업장으로 이동중일 때 나머지 한 대는 S의 전이상태에 있을 수 있으므로, $\sum_{k \neq m} P_{km} S$ 와 같은 식으로 나타낼 수 있으며, AGV 한 대가 유희하게 한 작업장에 있을 때 나머지 한 대는 S의 전이상태에 있을 수 있으므로 $(1 - \rho) S$ 로 나타낼 수 있다. 각 상태에 대한 기대시간과 평균도착회수를 이용하면 주기시간 C_1 은, $C_1 = \sum_{m \in \omega} V_m T_m$ 으로 나타낼 수 있다.

AGV가 두 대인 경우에 대한 각 상태의 전이기대시간은 3.2.1에서 고려했던 한 대인 AGV의 경우에 대해 다른 AGV가 취할 수 있는 모든 상태 S를 이용하여 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$T_{mE} = \sum_{k \neq m} P_{mk} \tau_{mk} S, \quad T_I = S / \lambda_T \quad (3-5a)$$

$$T_{mL} = \sum_{k \neq m} \bar{q}_{mL} P_{mk} \tau_{mk} S + \frac{\sum_{k \neq m} (\rho - \bar{q}_{mL}) \lambda_k}{\lambda_T - \lambda_m} P_{mk} \sigma_{mk} S + \sum_k \frac{(1 - \rho) \lambda_k}{\lambda_T} \sigma_{mk} S \quad (3-5b)$$

3.2.4 작업장의 출력 버퍼에 작업물이 없을 확률과 빈 차량의 이동시간 계산

주기시간동안 AGV가 작업장 m의 입력버퍼에 작업물을 적재하고 방문한 기대회수와 같은 주기시간동안 입력된 입력회수는 같으므로 $V_{mL} = \Lambda_m \cdot C_1$ 이 성립된다. 이 관계식을 (3-4a)와 (3-4b)에 대입하면 다음의 관계식이 유도된다.

$$V_I = (1 - \rho) \lambda_T C_1 \quad (3-6a)$$

$$V_{m\varepsilon} = \sum_{k \neq m} \Lambda_k C_1 \frac{(\rho - \bar{q}_{kL}) \lambda_m}{\lambda_T - \lambda_k} + (1 - \rho) \lambda_m C_1 \quad (3-6b)$$

작업장 m 을 방문하는 빈 차량은 확률 1로 작업장 m 의 출력버퍼의 작업물을 적재한후 이동하고 또한 작업물을 적재하고 방문하는 AGV는 m 작업장의 출력버퍼에 있는 작업물을 확률 \bar{q}_{mL} 로 작업물을 적재하고 이동한다. 그러므로 주기시간동안 m 작업장의 출력버퍼에 도착한 평균작업물의 개수와 AGV가 작업장 m 의 출력버퍼에서 작업물을 적재하고 이동할 평균회수는 식 (3-7)로 나타낼 수 있으며, (3-7)과 $V_{m\varepsilon} = \Lambda_m \cdot C_1$ 을 이용하여 임의의 시점에서 m 작업장에 작업물이 없을 확률을 계산하면 (3-8)과 같다.

$$\lambda_m C_1 = V_{m\varepsilon} + V_{mL} \bar{q}_{mL} \quad (3-7)$$

$$q_{mL} = \frac{V_m - \lambda_m C_1}{\Lambda_m C_1} \quad (3-8)$$

그리고 작업장 m 에 작업물이 없을 확률을 계산하는 식의 유도과정은 다음과 같다. 식에 대한 표현을 간결히 하기 위해 다음의 변수를 도입한다.

$$\theta_m = \sum_k \lambda_k \sigma_{km}, \quad \chi = \sum_m \lambda_m \theta_m, \quad \hat{\chi} = \sum_m \Lambda_m \theta_m \quad (3-9)$$

$V_{mL} = \Lambda_m \cdot C_1$ 과 (3-6b)를 이용하면 다음과 같은 식을 유도해 낼 수 있다.

$$V_m = \sum_k \Lambda_k C_1 \frac{(\rho - \bar{q}_{kL}) \lambda_m}{\lambda_T - \lambda_k} + (1 - \rho) \lambda_m C_1 + \Lambda_m C_1 - \Lambda_m C_1 \frac{(\rho - \bar{q}_{mL}) \lambda_m}{\lambda_T - \lambda_m} \quad (3-10)$$

(3-8)과 (3-10)을 이용하여 다음 식을 유도할 수 있다.

$$\Lambda_m q_{mL} = \sum_k \frac{\Lambda_k (\rho - 1 + q_{kL}) \lambda_m}{\lambda_T - \lambda_k} + (1 - \rho) \lambda_m + (\Lambda_m - \lambda_m) - \frac{\Lambda_m (\rho - 1 + q_{mL}) \lambda_m}{\lambda_T - \lambda_m} \\ \frac{\Lambda_T q_{mL}}{\lambda_T - \lambda_m} \lambda_T = \lambda_m (1 - \rho) \left[1 + \frac{\Lambda_m}{\lambda_T - \lambda_m} - \sum_k \frac{\Lambda_k}{\lambda_T - \lambda_k} \right] + (\Lambda_m - \lambda_m) - \sum_k \frac{\lambda_m \Lambda_k q_{kL}}{\lambda_T - \lambda_k} \quad (3-11)$$

(3-4), (3-5a), (3-5b)를 이용하여 C_1 을 유도한다.

$$C_1 = \sum_m V_{m\varepsilon} \sum_k P_{mk} \tau_{mk} S + \sum_m V_{mL} \sum_k \bar{q}_{mL} P_{mk} \tau_{mk} S + \\ \sum_m V_{mL} \sum_k (\rho - \bar{q}_{mL}) \frac{\lambda_k}{\lambda_T - \lambda_m} \sigma_{mk} S + \sum_m V_{mL} \sum_k (1 - \rho) \frac{\lambda_k}{\lambda_T} \sigma_{mk} S + (1 - \rho) C_1 S \\ = \alpha_L C_1 S + (1 - \rho) C_1 \left[\sum_m \sum_k \Lambda_m \sigma_{mk} \left(\frac{\lambda_k S}{\lambda_T} - \frac{\lambda_k S}{\lambda_T - \lambda_m} \right) + S \right] + \sum_m \sum_k \frac{\Lambda_m q_{mL}}{\lambda_T - \lambda_m} \lambda_k \sigma_{mk} S C_1$$

윗 식에서 C_1 을 삭제한 후 (3-9)를 대입하면 다음과 같은 식이 유도된다.

$$\sum_m \frac{\Lambda_m q_{mL}}{\lambda_T - \lambda_m} \theta_m = (1 - \rho) \sum_m \frac{\Lambda_m \lambda_m \theta_m}{\lambda_T (\lambda_T - \lambda_m)} - (1 - \rho) - \alpha_L + \frac{1}{S} \quad (3-12)$$

(3-11)에 θ_m 을 곱한 후 모든 m 에 대하여 합하면 다음과 같은 식이 유도된다.

$$\lambda_T \sum_m \frac{\Lambda_m q_{mL}}{\lambda_T - \lambda_m} \theta_m = (1 - \rho) \left[\chi + \sum_m \frac{\lambda_m \Lambda_m \theta_m}{\lambda_T - \lambda_m} - \chi \sum_k \frac{\Lambda_k}{\lambda_T - \lambda_k} \right] \\ + \hat{\chi} - \chi + \chi \sum_k \frac{\Lambda_k q_{kL}}{\lambda_T - \lambda_k} \quad (3-13)$$

(3-12)를 (3-13)에 대입한 후 정리하면 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\sum_k \frac{\Lambda_k q_{kL}}{\lambda_T - \lambda_k} = \frac{\lambda_T}{\chi} (\rho - 1 - \alpha_L + \frac{1}{S}) + (1 - \rho) \sum_k \frac{\Lambda_k}{(\lambda_T - \lambda_k)} - \frac{\hat{\chi}}{\chi} + \rho \quad (3-14)$$

(3-14)를 (3-13)에 대입한 후 정리하면 식 (3-15)를 유도할 수 있고, (3-15)를 이용하여 q_m 값

을 유도하면 다음과 같다.

$$\frac{\Lambda_m q_{m_i} \lambda_T}{\lambda_T - \lambda_m} = \lambda_m (1 - \rho) \left[\frac{\Lambda_m}{\lambda_T - \lambda_m} + \Lambda_m - \lambda_m \right] - \frac{\lambda_m \lambda_T}{\chi} \left(\rho - 1 - a_L + \frac{1}{S} \right) - \frac{\lambda_m \hat{\chi}}{\chi} + \Lambda_m \quad (3-15)$$

$$q_{m_i} = \frac{\lambda_T - \lambda_m}{\Lambda_m \lambda_T} \left\{ \lambda_m (1 - \rho) \left(\frac{\Lambda_m}{\lambda_T - \lambda_m} + \Lambda_m - \lambda_m \right) - \frac{\lambda_m \lambda_T}{\chi} \left(\rho - 1 - a_L + \frac{1}{S} \right) - \frac{\lambda_m \hat{\chi}}{\chi} + \Lambda_m \right\}$$

빈 차량으로 m작업장에 도착하는 기대시간은 (3-5b)의 두 번째 및 세 번째 식이 작업물을 적재하기 위하여 다른 작업장에 빈 차량으로 이동하는 경우이고 작업장 m에 작업물을 적재하고 도착하는 평균도착회수는 V_{i_i} 이기 때문에 주기시간당 작업장 m을 빈 차량으로 도착하는 평균기대시간은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$E_m = \Lambda_m C_1 S \left(\sum_{k \neq m} (\rho - \bar{q}_{m_i}) \frac{\lambda_k}{\lambda_T - \lambda_m} \sigma_{mk} + \sum_k (1 - \rho) \frac{\lambda_k}{\lambda_T} \sigma_{mk} \right) \quad (3-16)$$

(3-16)을 이용하여 주기시간당 작업장 m에 빈차로 도착하는 AGV의 시간적 비율은 빈차로 작업장 m에 도착하는 평균기대시간을 주기시간으로 나눔으로서 구할 수 있다.

$$\frac{E_m}{C_1} = e_m = \frac{\Lambda_m \theta_m}{(\lambda_T - \lambda_m)} \left(q_{m_i} - (1 - \rho) \frac{\lambda_m}{\lambda_T} \right) \quad (3-17)$$

3.2.5 AGV의 효율 계산 알고리즘

단계1: $n=0$ 에서 ρ^n 의 초기값과 ϵ 값을 입력한다. 단계2: 각 작업장의 q_{i_i} 을 계산한다 ($i=1, 2, \dots, M$). 단계3: q_{i_i} 값을 (2-5)에 대입 후 ρ 값을 계산한다. 단계4: 작은 Δ 값을 대입하여 $\rho^{n+1} = \rho^n + \Delta(\rho - \rho^n)$ 을 계산한 후, $n = n + 1$ 로 둔다. 두 개의 연속적인 ρ^n 의 값이 충분히 작을 때까지 단계 2~4를 반복 수행한다(그림 3-1참조).

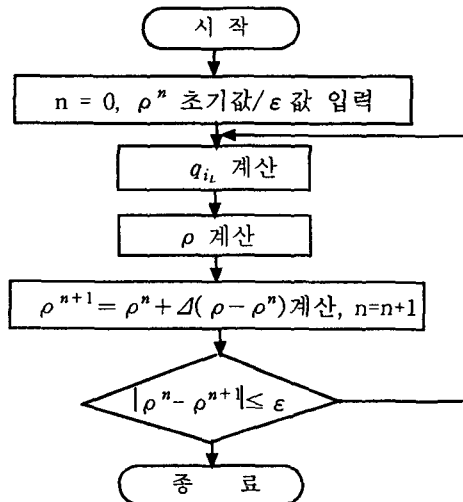


그림 3.1 AGV 효율 계산 흐름도

4. 수치 예제

전체 네 개의 작업장중 입출고작업장은 작업장 1이고 나머지는 가공작업장이다. AGV의 속도는 10m/Min이고 시스템 내에 AGV는 2 대이다.

[표3.1] 작업물의 작업장간 이동확률

작업장번호	1	2	3	4
1	0.0	0.5	0.0	0.5
2	0.4	0.0	0.0	0.6
3	0.5	0.0	0.6	0.4
4	0.7	0.3	0.0	0.3

[표3.2] 작업장간 거리행렬

작업장번호	1	2	3	4
1	0	5	6	7
2	6	0	8	13
3	15	6	0	5
4	9	10	4	0

$$\lambda_1 = A_1 = 0.1, \quad \lambda_2 = A_2 = 0.49, \quad \lambda_3 = A_3 = 0.08, \quad \lambda_4 = A_4 = 0.1$$

[표3.1]과 [표3.2]를 이용하여 각 작업장의 θ_m 값을 구한 후 효율 계산 알고리즘을 적용한다. 각각의 θ_m 값을 구하면, $\theta_1=0.063$, $\theta_2=0.077$, $\theta_3=0.2$, $\theta_4=0.505$ 가 된다.

단계 1: $\rho^0=0.9$ 일 때, 단계 2: $q_{1L}=0.716$, $q_{2L}=0.357$, $q_{3L}=0.724$, $q_{4L}=0.716$ 이며, 단계 3: $\rho = 1 - \prod_i q_{iL} = 0.867$ 이 된다. 단계 4: $\rho^1 = 0.9 + 0.01(0.867 - 0.9) = 0.8797$ 이 된다.

다음으로 두 개의 연속적인 ρ^n 의 값이 충분히 작을 때까지 반복한다.

단계 1: $\rho^1=0.8797$ 이며, 단계 2: $q_{1L}=0.677$, $q_{2L}=0.360$, $q_{3L}=0.693$, $q_{4L}=0.677$ 이 된다. 단계 3: $\rho = 1 - \prod_i q_{iL} = 0.886$ 이 되고, 단계 4: $\rho^2 = 0.8797 + 0.01(0.886 - 0.8797) = 0.8795$ 이 된다. 따라서 ρ^1 값과 ρ^2 값의 차이가 충분히 작으므로 효율 계산 알고리즘을 종료한다.

5. 결론 및 추후과제

기존 연구는 AGV가 한 대인 경우에 관한 추계적인 모델은 제시되었으나 AGV가 두 대인 경우에 대해서는 연구가 미진하였다. 본 연구에서는 자동생산시스템의 추계적인 상황을 반영하여 작업물의 운반을 담당하는 AGV에 대한 효율을 평가하기 위해 AGV가 두 대인 경우에 대한 추계적인 모델을 제시하였으며 AGV가 두 대인 경우의 추계적 모델은 고려할 상태수가 급격히 증가하여 매우 복잡한 식으로 유도 및 전개됨을 알 수 있었다.

추후 과제로는 시스템내의 추계적인 상황을 반영하면서 더욱더 효율적인 배차규칙을 이용한 추계적인 모델의 수립과 또한 AGV 대수가 3대이상인 경우에도 위와 같은 방법으로 접근할 수 있는지에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 구 평희, 송 준엽, 이 승우, 자동생산시스템에서의 AGV 대수 결정을 위한 분석적 접근, 대한산업공학회/한국경영과학회 '98 춘계공동학술대회 논문집, 1998.
- [2] Bilge, U., and Tanchoco, J. M. A., AGV Systems with Multi-Load Carriers: Basic Issues and Potential Benefits, *Journal of Manufacturing Systems*, 16, 3, 159-174, 1997.
- [3] Bozer, Y. A., Cho, M. S., and Srinivasan, M. M., Expected waiting times in single-device Trip-based Material Handling Systems; *European Journal of Operational Research*, 75, 200-216, 1994.
- [4] Kim, C. W., and Tanchoco, J. M. A., Conflict-free Shortest-time Bidirectional AGV Routeing, *International Journal of Production research*, 29, 12, 2377-2391, 1991
- [5] Kobza, J. E., Shen, Y. C., and Reasor, R. J., A Stochastic model of empty-vehicle travel time and load request service time in light-traffic material handling systems, 30, 133-142, 1998.
- [6] Occena, L. G., and Yokota, T., Analysis of the AGV Loading Capacity in a JIT Environment, *Journal of Manufacturing Systems*, 12, 1, 24-35, 1993..
- [7] Srinivasan, M. M., Bozer, Y.A., and Cho, M. S., Trip-based Material Handling Systems: Throughput Capacity analysis, *IIE Transactions*, 26, 1, 70-91, 1994
- [8] Thonemann, U. W., and Brandeau, M. L., Designing a Single-Vehicle Automated Guided Vehicle System with Multiple Load Capacity, *Transportation Science*, 30, 4, 351-363, 1996.
- [9] Thonemann, U. W., and Brandeau, M. L., Designing a Zoned Automated Guided Vehicle System with Multiple Vehicles and Multiple Load Capacity, *Operations Research*, 45, 6, 857-873, 1997.
- [10] Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A., and Trivino, J., *Facilities Planning*, 2nd edition, John Wiley & Sons, 1996.