

## 경로 점유권을 이용한 AGV의 경로 제어 알고리즘

### Path Control Algorithm for AGV Using Right of Path Occupation

주영훈 · 김종선

Young Hoon Joo and Jong Seon Kim

군산대학교 전자정보공학부

#### 요약

본 논문에서는 AGVS(Automated Guide Vehicle System)의 충돌 및 교착 상태를 예측 및 회피하는 방법을 제안하고 회피에 따른 AGV의 지연 시간을 분산 시킬 수 있도록 경로 점유권(PO: right of Path Occupying)을 제안한다. 이를 위해 먼저, AGV의 복잡한 작업 환경을 AGVS의 필요한 요소로 분류하는 모델을 제시한다. 이후, AGV의 최단 경로 탐색 알고리즘을 그래프 탐색 기법인 A\* 알고리즘을 이용하여 구현하고 경로의 소요 시간, 방향 및 방향 전환 벡터를 얻은 뒤 이를 시뮬레이션 프로그램의 입력 데이터 사용하였다. 시뮬레이션 수행은 충돌 예측과 회피를 평가하기 위해 사용되었으며 그 결과 본 논문에서 제안한 방법이 지연시간을 최소화하는데 효과적임을 입증하였다.

#### Abstract

This paper presents collision prediction and avoidance method for AGVS (Automatic Guide Vehicle System). Also, we propose the PO(Right of Path Occupying) with decentralized delay time for collision avoidance. Classified essential element of AGV's working environment is modeled in this paper. Using this model, we propose a new shortest path algorithm using A\* search algorithm and obtain the information on AGVs travel time, coordinates and rotation vector. Finally, we use the AGVs information data as input for simulation program. The simulation practice is used in order to evaluate a collision prediction and avoidance, and it has been presented to demonstrate the applicability of the minimize delay time.

Key Words : Automated Guide Vehicle(AGV) , A\* search , travel time. shortest path, deadlock, time-window

#### 1. 서 론

다수의 AGV를 사용하는 대규모 운송 시스템에서는 복잡, 다양한 물류이동을 효과적으로 처리하는 알고리즘 개발을 요구하고 있다[1-2]. AGV의 운용 맷수가 늘어날 수록 AGV의 충돌 및 교착의 빈도수는 더욱 증가한다. 따라서 AGV를 사용하는 운송시스템은 다수의 AGV에서 발생하는 충돌 및 교착을 얼마나 효과적으로 제어하는가에 달려 있다. 즉, 운송 시스템에서 요구하는 알고리즘이란 AGV의 경로 배정뿐만 아니라 배정된 경로에서 발생되는 AGV 간의 충돌 및 교착을 효과적으로 제어하는 알고리즘이다.

물류를 운송하는 AGV의 경로 배정 방법은 다수의 AGV들에 대한 경로 충돌을 고려하지 않은 최단 경로를 생성한다. 이후 AGV를 최단 경로로 유도하는 도중 발생하는 교착 및 충돌의 상태를 Zone-Control 방식으로 관리한다. Zone-Control은 작업 공간에서 서로 인접한 경로 및 교착 예상 구역으로 나눈 다음 이들에 대한 점유권을 오직 1개의 AGV로 제한함으로써 경로상의 충돌 문제를 해결한다. Rajotia는 강제적 경로 배정계획을 통해 에지 및 노드가 갖는 Time-Window에서 AGV의 교착을 예측하는 알고리즘을 제안하였고, Moorthy는 장애물의 위치 및 교착을 예측하는 "교착상태 예측 알고리즘(deadlock prediction algorithm)"을 제안한 뒤 한 개의 영역(zone)에서 발생하는 교

착 상태를 점유(occupied), 비점유(not occupied), 동일(equal)등 3가지로 분류하고 교착 상태에 대한 해결 방안을 제시하였다[3-4].

상기의 연구와 같은 맥락으로 본 연구 또한 AGV의 최단 경로 생성에 따른 충돌 및 교착을 효과적으로 제어하는 것을 목표로 하고 있다.

김종선 등은 작업 환경의 모델링을 AGVS(Automated Guide Vehicle System)가 필요한 기능으로 작업 환경을 분류하고 모델링 하였다[9]. 또한, AGV와 작업장간의 최단 경로 생성은 그래프 탐색 기법인 BFS (Best First Search) 및 Dijkstra, A\*알고리즘 중 시스템의 자원을 가장 적게 사용하면서 최적의 최단 경로를 생성하는 A\* 알고리즘을 이용하여 최단 경로 탐색 알고리즘을 구현하였다[5-7], [10]. 생성된 최단 경로에서 AGV의 속도 및 가속도를 정의하고 AGV의 시간에 따른 경로별 점유시간 및 경로 진입 방향, 경로 접합 형태를 산출하였다.

본 논문에서는 기 제안된 방법들을 개선시키기 위해 Moorthy가 제안한 충돌 및 교착 상태의 3가지 경우를 AGV의 경로별 입·출 시간과 경로 주행 방향을 비교 검토 함으로써 예측 하는 방법을 제안한다. 이후 예측된 충돌 및 교착 상태를 해결하기 위해 회피 시간 및 경로 점유권을 할당한다. 또한 특정 AGV에게 회피가 집중되는 것을 방지하기 위해 지연 시간을 고려한 경로 점유권을 제안한다. 마지막으로 시뮬레이션 프로그램을 구현하여 본 논문에서 제안한 방법을 적용함으로써 본 논문의 우수성을 입증한다.

접수일자 : 2008년 4월 13일

완료일자 : 2008년 8월 05일

## 2. 작업 환경 모델과 경로 탐색

### 2.1 작업 환경 모델

김종선 등은 다음과 같은 AGVS의 가능한적인 측면에서 AGVS의 작업 환경 요소 3가지를 제안하였다[9].

1. AGVS가 적용된 작업 환경 내에서 작업장의 요청에 따라 AGV의 최단 경로를 생성한다.
2. 각 AGV를 이동경로 상에서 충돌이 발생하기 이전에 이를 예측하고 충돌을 회피하도록 유도한다.
3. 각 AGV와 통신하고 정보를 송수신하여 AGV의 상태를 관리 및 감독한다.

이에 따른 AGVS의 작업 환경요소는 경로, 작업장, 통제 구역이다. 이들은 이미 정해진 작업 환경의 변하지 않는 정적인 작업 환경요소이다. 그러나 본 연구에서는 김종선 등이 제외시킨 2가지 요소 AGV, 운송 물류를 추가로 모델링 한다. 그 이유는 실제 가상의 AGVS 시뮬레이션 프로그램을 구현 시 운행 시간에 따른 AGV의 위치, 속도, 주행 경로, 목표 작업장의 정보가 필요하며 운송 물류의 작업 요청 주기, 운송 물류의 목표 위치 또한 작업을 수행할 AGV의 최단 경로 생성에 영향을 미치기 때문이다.

때문에 동적인 요소 2가지를 추가한 AGVS의 작업 환경 요소는 그림 1. 과 같다.

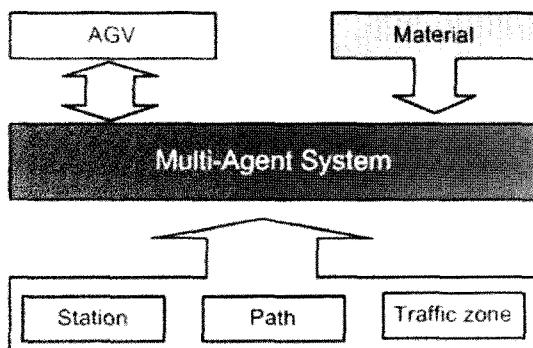


그림 1. AGVS의 작업환경 요소

Fig. 1. Working environment elements of AGVS

작업 환경 요소 AGV가 가져야 할 정보는 해당 AGV의 ID, 현재 위치, 목표 위치, 속도이며 운송 물류가 가져야 할 정보는 물류 운송 요청 주기, 작업장 위치, 목표 위치이다. 이를 정적 작업환경요소 및 동적 작업 환경요소로 표 1.에 나타내었다.

동적 작업 환경 요소 또한 정적 작업 환경 요소의 표현으로 나타내면 AGV  $A_i$ 는 식(1), 운송 물류  $M_i$ 는 식(2)와 같다.

$$A_i = \sum_{\alpha=1}^4 A_{i\alpha} \quad (1)$$

$$M_i = \sum_{\alpha=1}^4 M_{i\alpha} \quad (2)$$

( 단,  $\alpha$ 는 모델의 내부요소,  $i$ 는 입력된 모델의 수 )

표 1. 작업 환경 요소의 모델 :

Table 1. Model of working environmental elements:

(a) 동적 모델,

| Classification     | ID       | Working Position   | Target Position    | Request Period |
|--------------------|----------|--------------------|--------------------|----------------|
| Material ( $M_i$ ) | $M_{i1}$ | $M_{i2} = \{pos\}$ | $M_{i3} = \{pos\}$ | $M_{i4}$       |
| Classification     | ID       | Current Position   | Target Position    | Velocity       |
| AGV ( $A_i$ )      | $A_{i1}$ | $A_{i2} = \{pos\}$ | $A_{i3} = \{pos\}$ | $A_{i4}$       |

(b) 정적 모델

| Classification            | ID       | Position(pos)                   | Check Point (CP)          | Length    |
|---------------------------|----------|---------------------------------|---------------------------|-----------|
| Path ( $P_i$ )            | $P_{i1}$ | $P_{i2} = \{type, pos1, pos2\}$ | $P_{i3} = \{CP_1, CP_2\}$ | $P_{i4}$  |
| Working station ( $W_i$ ) | $W_{i1}$ | $W_{i2} = \{type, pos\}$        | $W_{i3} = \{CP_1\}$       | $W_{i4}$  |
| Traffic zone ( $TZ_i$ )   | $TZ_i$   | $TZ_{i2} = \{pos\}$             | -                         | $TZ_{i3}$ |

(단,  $i$ 는 입력된 모델의 수)

### 2.2 최단 경로 탐색 알고리즘

대규모 운송 시스템은 운송 물류의 다양성 및 작업 할당 AGV의 위치 변화 때문에 경로를 미리 정의 할 수 없다. 때문에 작업 할당이 주어지면 요청된 작업장으로 AGV를 유도하는 경로를 생성해야 하며 요청된 작업장에 도달한 뒤 다시 물류를 운반해야 하는 복잡 작업장으로의 유도 경로를 생성해야 한다. AGV의 유도 경로는 최단 거리를 갖는 최단 경로이며 Dijkstra 탐색 기법인 A\* 알고리즘을 이용하여 생성한다[8~10]. A\* 알고리즘은 평가함수를 사용하기 때문에 생성된 최단 경로가 항상 최소평가하도록 경로를 생성한다. 따라서 A\* 알고리즘의 최적성은 조건에 따라 다르지만, 보통 다음과 같은 \* 허용성의 가정아래 최적의 해를 가지는 것으로 본다.

\* 허용성의 가정 :  $\hat{h}(n)$ 은 실제 최단 거리  $h(n)$ 과  $\hat{h}(n) \leq h(n)$ 의 조건을 만족

A\* 알고리즘은 임의의 노드  $n$ 에 대해 식 (3)과 같은 평가함수를 갖는다.

$$f(n) = g(n) + \hat{h}(n) \quad (3)$$

여기서,  $f(n)$  : 평가함수

$g(n)$  : 시작 노드에서  $n$ 노드까지의 최단거리

$\hat{h}(n)$  :  $n$ 노드에서 목표 노드까지의 추정치

생성된  $k$  AGV의 최단 경로가 그림 2.와 같이  $m$ 개의 경로를 갖는다고 할 때, 최단 경로  $SP_a^k$ 는 식 (4)와 같이 표현하며, 최단 거리  $D^k$ 는 식 (5)와 같이 표현한다.

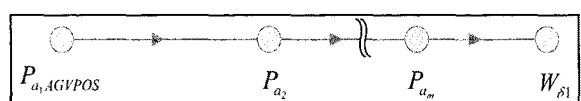


그림 2. 최단 경로의 구성 요소

Fig. 2. Components of shortest path

$$SP_a^k = \{P_{a_1}^{AGVPOS}, P_{a_2}, P_{a_3}, \dots, P_{a_m}, W_{\delta 1}\} \quad (4)$$

여기서,  $W_{\delta 1}$  : 경로  $P_{a_m}$  상의 목표 작업장 위치,  
 $P_{a_1AGVPOS}$  : 경로  $P_{a_1}$  상의  $k$  AGV의 위치.

$$D^k = W_{\delta 4} + \sum_{n=2}^m SP^{k_{a_n}} + P_{a_14AGVPOS} \quad (5)$$

여기서,  $W_{\delta 4}$  : 경로  $P_{a_m}$ 에서부터 작업장까지의 거리,  
 $P_{a_14AGVPOS}$  : AGV가 경로  $P_{a_1}$ 으로부터 떨어진 거리.

최단 경로 생성 알고리즘은 그림 3에 나타내었으며 이를 바탕으로 AGV의 요청된 작업장으로의 이동 및 작업장에서 목표 작업장 간의 경로 생성을 가능케 한다.

### 2.3 경로 소요 시간 및 방향 특성 산출

다수의 AGV가 갖는 최단경로는 항상 AGV간의 경로 충돌의 위험을 안고 있다. 따라서 생성된 최단경로에서 발생하는 AGV의 충돌 및 교착 상태를 미리 예측하고 회피하도록 AGV를 유도하여야 한다.

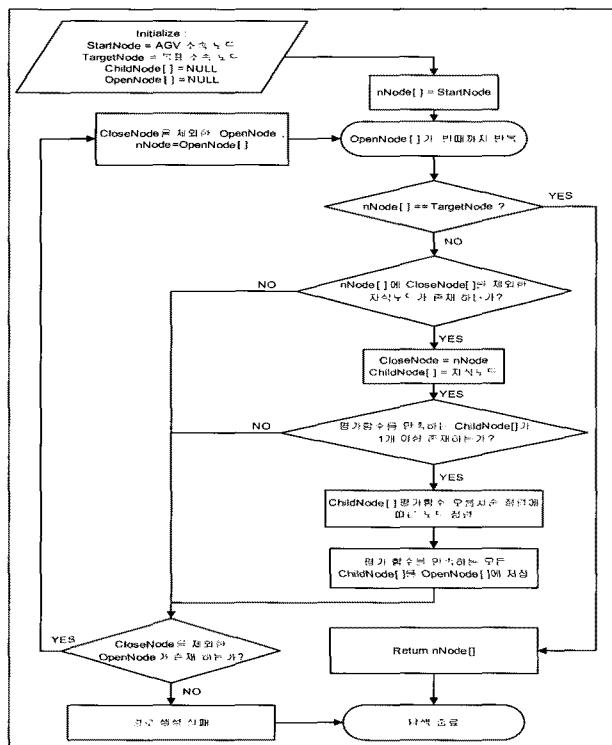


그림 3. 최단 경로 탐색 알고리즘

Fig. 3. Algorithm for searching the shortest path

김종선 등은 충돌 및 교착 상태를 예측하기 위해 AGV의 최단 경로에서 경로별 소요 시간, 입·출 시작, 진입 방향 및 통제구역(경로 변경 구간)에서의 회전 방향을 산출하는 방법을 제안하였으며 식(5),(6),(7)에 간단히 나타내었다[9].

- 최단 경로 방향 :  $SP_{C_i}$

$$SP_{C_i} \in \{0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ\} \quad (5)$$

$\theta$  : 경로 방향 (Degree)

$i$  : 최단 경로의 경로 수.

- 방향 전환 :  $n_j$

$$n_j \in \{1, 0\} \quad (6)$$

0 : 이웃하는 경로 방향이 같을 때

1 : 이웃하는 경로 방향이 다를 때

$j : i-1$

- 경로별 소요시간  $SPt_i$

$$SPt_i^k = \{t_1, t_2, \dots, t_i\} \quad (7)$$

$t$  : 경로 경로별 소요 시간

$i$  : 최단 경로의 경로 수.

$k$  : 할당된 AGV의 ID

AGV의 경로별 소요 시간 및 각 경로에서의 진입 및 탈출 시각을 예측하기 위해서는 AGV의 속도 특성을 정의할 필요가 있다. 최이 등은 가감속을 고려한 AGV의 주행경로를 연구함에 있어 AGV의 속도 특성을 가속도, 감속도, 직선구간 주행 평균 속도, 회전 구간 주행 평균 속도, 통제구역 거리로 각각 5가지로 나누어 정의하였고 표 2에 나타내었다[8].

표 2. AGV의 속도 특성

Table 2. Properties of AGV's velocity

| $v(t)$      | AGV가 직선 구간을 이동할 때의 평균 속도 |
|-------------|--------------------------|
| $\alpha(t)$ | 정지 후 출발 시 평균 가속도         |
| $\beta(t)$  | 운행 중 정지시의 평균 가속도         |
| $\gamma(t)$ | 방향 전환 시 감속 운전 평균 속도      |
| $d$         | 통제 구역의 거리                |

### 3. 충돌 및 교착 상태의 예측과 회피

#### 3.1 충돌 및 교착 상태 예측

최단 경로 탐색 알고리즘은 운행 중인 타 AGV의 경로 점유를 고려하지 않는다. 운행 중인 타 AGV의 경로를 포함한다는 것은 운행 중인 AGV 및 경로의 수 만큼 고려해야 할 요소가 증가할 뿐만 아니라 그 계산 과정 역시 매우 복잡하기 때문이다. 따라서 탐색된 최단 경로에서 타 AGV 와의 충돌 및 교착 상태를 예측하고 이를 회피하는 알고리즘이 반드시 필요하다. Moorthy는 충돌 및 교착 상태의 구분을 점유(Occupying), 동일(Equal) 및 비 점유(Not occupying) 3가지로 나누었으며 비 점유(Not occupying)는 충돌 및 교착이 없는 안정된 최단경로로 분류하였다[3]. 본 연구에서는 이를 바탕으로 경로 충돌 및 교착을 구분하여 Not occupying은 노드가 점유되어있지 않은 즉, 충돌 및 교착이 없는 상태를 말하기 때문에 제외시킨다. 경로 충돌 및 교착의 첫 번째로 아래 그림 4와 같이 같은 경로를 역방향으로 점유하는 경우이다. 그림 4에서 ID가 m인 AGV 는 최단 경로  $SP^m$ 를 갖으며 경로 간 노드(통제구역)는  $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow e \rightarrow f \rightarrow i$ (실선 화살표 방향)와 같다. ID n인 AGV는 최단 경로  $SP^n$ 를 갖으며 경로 간 노드(통제구역)

는  $j \rightarrow g \rightarrow f \rightarrow e \rightarrow d \rightarrow h$ (접선 화살표 방향)으로 m인 AGV와  $d \leftrightarrow e$ ,  $e \leftrightarrow f$ 에서 각각 루프 관계를 갖고 있으며 AGV의 경로 점유를 의미한다.

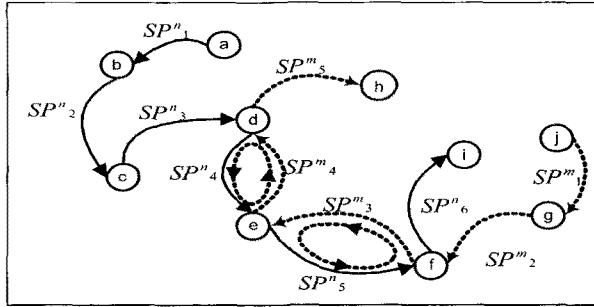


그림 4. 역방향 점유 경로의 예  
Fig. 4. Samples of backward occupying path

그러나 역방향 관계만을 갖고 있다고 해서 이들 m, n AGV의 충돌을 단정 지을 수는 없다. 즉, 이들 루프 관계에 있는 경로에서 m, n AGV의 진입 및 탈출 시각을 비교함으로써 같은 시간에 경로를 점유하는지를 반드시 알아야 한다. 점유된 경로의 진입 시각 및 탈출 시각은 AGV의 각 경로별 소요시간을 누적시킨 시간으로 ID n인 AGV의 점유 경로 진입 시각은  $SP_1^n$ 부터  $SP_3^n$ 까지 각 경로 소요시간을 더한 시간  $\sum_{i=1}^3 SP_i^n$  이고, 탈출 시각은  $SP_1^n$ 에서  $SP_5^n$ 까지의 경로 소요시간을 더한  $\sum_{i=1}^5 SP_i^n$ 이다. 같은 방법으로 ID m인 AGV의 점유 경로 진입 및 탈출 시각은 각각  $\sum_{i=1}^2 SP_i^m$ ,  $\sum_{i=1}^4 SP_i^m$ 이다. 이를 중복 경로의 진입 및 탈출 시각을 비교하였을 때 어느 하나의 시각이라도 진입 및 탈출 시각에 포함이 된다면 AGV의 충돌 및 교착 상태는 자명하다. 두 번째 충돌 및 교착은 노드를 동시에 점유할 경우이다. 여러 경로를 통해 목적지에 도착하는 AGV는 항상 노드에서 경로 변경을 하게 된다. 이때 AGV는 경로 변경 시 점유하게 되는 노드에서 직진, 또는 회전을 하게 되는데 만약 다른 AGV가 이 구간에서 경로 변경을 하고 있다면 해당 AGV와 충돌을 일으킬 수 있다. 그림 5는 이러한 충돌 위험이 있는 노드를 나타낸 것으로 ID가 m인 AGV와 n인 AGV가 서로 다른 경로를 주행하지만 경로 변경 중인 노드 c에서 충돌을 일으킬 위험이 있다.

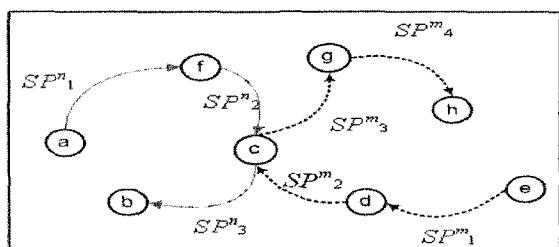


그림 5. 노드 점유의 예  
Fig. 5. Sample of node occupying

역방향 점유 경로에서 언급한 바와 마찬가지로 같은 시간에 AGV가 노드를 점유할 때에만 이러한 충돌 위험이 발생한다. 따라서 점유 시작을 그림 5의 예를 통해 찾아보면, ID가 n인 AGV의 c노드 진입 시각은 경로  $SP_2^n$ 의 탈출 시각에서 통제구역의 거리 평균 주행 시간  $d/\gamma(t)$ (표 2. 참조)를 제외하면 되고 탈출 시각은  $SP_2^n$ 에  $d/\gamma(t)$ 를 더하면 된다. c노드 진입 시각은  $\sum_{i=1}^2 (SP_i^n) - d/r(t)$ 이고 탈출시각은  $\sum_{i=1}^2 (SP_i^n) + d/r(t)$ 이다. 마찬가지로 ID가 m인 AGV의 c노드 진입 시각은  $\sum_{i=1}^2 (SP_i^m) - d/r(t)$ 이며 탈출시각은  $\sum_{i=1}^2 (SP_i^m) + d/r(t)$ 이다. 충돌 위험은 이들 ID m, n인 AGV가 진입 시각 및 탈출시각을 동시에 가질 때 발생한다. 이와 같이 분류한 두 가지 경우를 배정된 AGV의 최단 경로로부터 추출함으로써 AGV 상호간의 충돌 및 교착 상태를 예측할 수 있다.

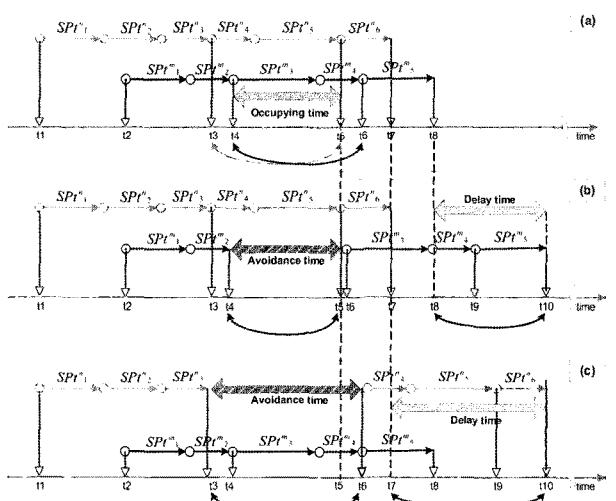
### 3.2 충돌 및 교착 상태 회피

#### 3.2.1 역방향 점유 경로

역방향 점유 경로의 해결 방안은 점유 경로를 먼저 진입한 AGV에게 경로 점유권(PO: right of path occupation)을 주고 진입 시간이 늦은 AGV에게 회피시간을 줌으로써 중복 경로를 주행 중인 AGV가 경로를 벗어 날 때까지 대기하는 것이다. 회피시간은 식 (8)과 같이 정의한다.

$$\text{회피시간} : At_j^k \quad (8)$$

여기서,  $k$ 은 해당 AGV의 ID,  $j$ 는 회피 개수이다.



(a) 충돌을 갖는 최단 경로의 점유 시간, (b) 선입 PO에 따른 회피, (c) 지연시간 PO에 따른 회피.

그림 6. 최단 경로의 충돌 회피의 예.  
Fig. 6. Sample of collision avoidance in shortest path

그림 6-(b)는 그림 4에서 보여준 역방향 점유 경로에 대해서 경로 선입에 따른 점유권 부여 후의 회피 시간을 나타

낸 것이다. ID가 n인 AGV의 작업 할당 시작이  $t_1$ 일 때 역방향 점유 경로 진입 시각이  $t_3 (= \sum_{i=1}^3 SPt_i^n)$ 이고 탈출 시각은  $t_5 (= \sum_{i=1}^5 SPt_i^n)$ 이며, ID가 m인 AGV는 작업 할당 시작이  $t_2$ 일 때 역방향 점유 경로 진입 시각이  $t_4 (= \sum_{i=1}^2 SPt_i^m)$ , 탈출 시각이  $t_6 (= \sum_{i=1}^4 SPt_i^m)$ 이다. 선입 경로 점유권은  $At_j^k$ 가 작은 값이기 때문에 그림 6.(b)에서  $t_3 < t_4$  이므로 경로 점유권은 ID가 n인 AGV가 할당 받으며 m AGV는 회피 시간을 할당 받게 된다. 이때 회피 시간은 ID n인 AGV가 점유경로를 탈출하는데 걸린 시간이며 m AGV의 역방향 점유 경로 회피 시간은 다음과 계산된다. (회피 횟수는 한번 이므로  $j=1$ 이다.)

$$At_1^m = (\sum_{i=1}^5 SPt_i^n - \sum_{i=1}^3 SPt_i^n) \quad (9)$$

그러나 회피 시간 및 횟수에 따라 들어나는 AGV의 지연 시간은 운송시스템의 성능에 많은 영향을 끼친다. 1개의 AGV가 상기와 같은 회피시간을 수개만 갖더라도 해당 물류를 운송하는데 매우 많은 시간이 소요된다. 더욱이 조립 생산 시스템의 경우 늦어진 운송 물류 때문에 다른 물품을 생산 및 조립하지 못하는 연쇄효과가 나타난다. 따라서 역방향 점유 경로와 같은 문제의 해결은 단순히 경로의 선입 여부 뿐만 아니라 회피 시간을 선택 받은 AGV의 물류 총 운송 시간이 과다하게 지연되지 않도록 해야 한다. 즉, 한 개의 AGV에만 회피가 집중되는 것과 짧은 물류 운송 시간에 비해 너무 긴 회피 시간을 갖지 않도록 방지해야 한다.

먼저, ID  $k$  AGV의 지연시간  $Dt^k$ 는 식 (10)과 같이 회피 횟수  $n$ 의 총합으로 표현하고 지연시간을 포함한 총 운송시간  $SPTt^k$ 는 식 (11)과 같이 표현한다.

$$Dt^k = \sum_{j=1}^n At_j^k \quad (10)$$

$$SPTt^k = \sum_{j=1}^i SPt_j^k + Dt^k \quad (11)$$

(여기서,  $i$ 는 최단 경로의 경로 수)

그러나 지연 시간을 고려한 경로 점유권은 회피 시간을 변화시킨다. 역방향 점유 경로에 선입한 AGV에 경로 점유권을 할당하지 않을 경우 그림 6.(a)와 같이 ID가 m인 AGV가 경로를 점유하는 시각이  $t_4$ 이지만 경로에 선입하는 n AGV는  $t_3$ 로 m AGV보다 빠르다. 때문에 n AGV는 m AGV가 역방향 점유 경로를 탈출하는 시각  $t_6$ 까지 대기 하여야 한다. 따라서 n AGV의 회피 시간은 기존 회피 시간에  $t_3 \leftrightarrow t_4$  와  $t_5 \leftrightarrow t_6$ 을 추가한  $t_3 \leftrightarrow t_6$ 이고, 이는 n AGV의 진입 시각부터 m AGV의 탈출 시각까지의 시간으로 식 (12)와 같이 다시 계산되어져야 한다.

$$At_1^n = (\sum_{i=1}^4 SPt_i^m - \sum_{i=1}^3 SPt_i^n) \quad (12)$$

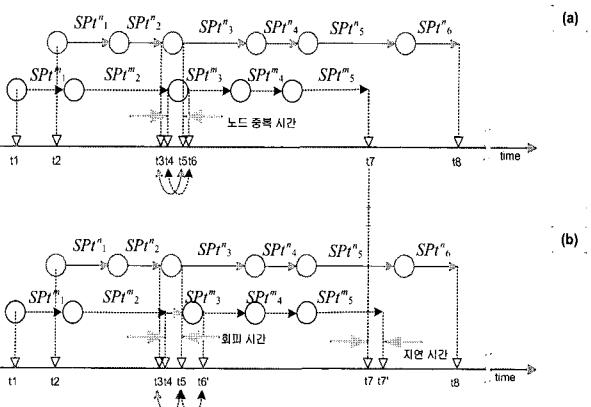
역방향 점유 경로 진입이 늦은 AGV에게 경로 점유권을 할당했을 때 선입 AGV가 갖게 되는 회피 시간의 영향, 선입 AGV에게 경로 점유권을 할당했을 때 진입이 늦은 AGV가 갖게 되는 회피 시간의 영향을 각 AGV가 갖고 있는 지연 시간과 총 운송 시간의 관계로 경로 점유권 할당을 재 표현하면 식 (13)과 같다. 이를 이용하여 특정 AGV에 과다하게 할당 될 수 있는 회피시간을 방지 할 수 있다.

$$PO = \frac{Dt^k + At_j^k}{SPTt^k} \quad (13)$$

여기서,  $j$ 는 해당 회피 번호,  $k$ 는 AGV의 ID이다.

### 3.2.2 동일 노드

동일 노드의 해결 방안은 역방향 점유 경로에서 선입 경로 점유권을 적용하여 노드 점유를 할당한다. 그러나 지연 시간을 고려한 경로 점유권은 지연 시간 및 회피 시간이 긴 경우를 고려한 것이기 때문에 경로에 비해 매우 짧은 통제 구역의 거리와 소요시간을 갖는 노드에서는 이를 적용하지 않는다. 따라서 동일 노드의 경우 점유권은 항상 선입한 AGV에게 할당 되며 그렇지 않은 AGV에게는 회피 시간을 할당한다.



(a) 충돌을 포함한 최단 경로의 점유시간, (b) 선입  $PO$ 에 따른 회피

그림 7. 동일 노드의 충돌 회피  
Fig. 7. Collision avoidance of equal node.

동일 노드에서 회피 시간 및 노드 점유권의 표현은 역방향 점유 경로의 표현을 따르며 회피 시간에 따른 해당 AGV의 지연 시간 및 총 운송 시간 역시 같은 표현을 따른다. 그림 7. (a)는 그림 5.에서 보여준 동일 노드의 충돌 위험을 나타낸 것이고 (b)는 회피를 보여주고 있다.

여기에서 ID가 n인 AGV는  $t_3$ 에서 m AGV의 진입 시간  $t_4$ 보다 노드에 선입 하고 있다. 따라서 노드 점유권은 n AGV가 할당 받고 m AGV의 회피 시간은 m AGV의 노드 진입 시각  $t_4 (= \sum_{i=1}^2 (SPt_i^m) - d/r(t))$ 부터 n AGV의 노드 탈출 시각  $t_5 (= \sum_{i=1}^2 (SPt_i^n) + d/r(t))$  까지이다. 회피시간 ( $At_j^m$ )은 회피 횟수를 1개라 가정할 때  $j=1$ 이고 식 (14)

와 같이 표현할 수 있다.

$$At_i^m = \sum_{i=1}^2 (SPt_i^n) - \sum_{i=1}^2 (SPt_i^m) + 2d/r(t) \quad (14)$$

이와 같이 동일 노드의 해결 방안은 노드에 선입하는 AGV에 노드 점유권을 할당함으로써 충돌 및 교차 상태를 해결 할 수 있다.

#### 4. 시뮬레이션 프로그램 및 결과

시뮬레이션 프로그램의 개발 툴은 Visual C++ 6.0을 이용하였으며 개발 환경은 Pentium-Core2 Quad CPU 1.8Ghz, 2Gbyte RAM이며 운영체제는 Microsoft사의 Window XP이다. 프로그램은 5개 부분으로 나뉘며 작업환경 데이터 입력과 메모리 적재 부분, 최단 경로 알고리즘, 경로 소요시간 및 방향 특성 산출 관리자, 교차 상태 회피 관리자, AGV 속도 관리자로 나뉜다.

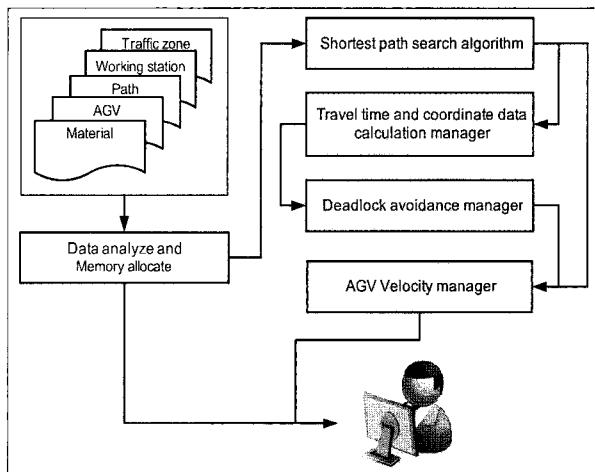


그림 8. 시뮬레이션의 시스템 블록다이어그램  
Fig. 8. System block diagram for simulation

그림 8.에서 보듯이 AGV의 작업환경은 통제구역, 작업소, 경로, AGV, 물류로 나뉘어 본 데이터베이스로의 분석 절차를 거친다. 이후 작업이 요청된 작업소에 대해 [최단 경로탐색 알고리즘]→[경로 소요 시간 및 방향 데이터 산출 관리자]→[충돌 회피 관리자]를 거쳐 충돌 회피가 적용된 AGV의 최단 경로를 얻게 된다. 마지막으로 상기 데이터를 이용하여 사용자에게 AGV의 위치를 직접 확인 가능케 하였으며 그림 8.은 실제 구현된 프로그램을 보여주고 있다. 시뮬레이션에 사용할 작업 환경은 표 3과 같이 중복 경로를 갖는 AGV 3개를 사용하였고

ID 2인 AGV는 ID 1, 3 AGV와 각각 24, 26번 경로를 역 주행한다. 그림 8.은 표 3에서 제시한 주행 경로상의 충돌을 예측한 뒤 선입 및 지연시간 PO를 할당함에 따라 나타나는 각 AGV의 총 회피시간(At)의 변화를 보여주고 있다. 총 회피시간은 선입 PO만을 적용 하였을 때 ID 2인 AGV에 과도하게 집중되어 있지만 지연시간 PO에 의해 2번 AGV에 집중되어 있던 회피시간이 1,3번 AGV에게 할당되면서 특정 AGV에 회피시간이 집중되는 것을 방지해주고 있다.

표 3. AGV 3대의 최단 경로  
Fig. 3. Shortest paths of three AGVs

| AGV ID | 주행 경로             |
|--------|-------------------|
| 1      | 25→24→23          |
| 2      | 13→14→24→26→27→28 |
| 3      | 8→17→16→26→25→39  |

#### 5. 결 론

본 논문에서는 AGV의 충돌 및 교차 상태를 예측하기 위해 역방향 중복 경로, 노드 중복의 두 가지 경우를 제안하였고 이를 회피하기 위해 선입 PO 및 지연시간 PO를 제안하고 한 개의 AGV에 과다하게 할당되는 지연시간을 방지하고자 하였다. 그림 9.는 제안한 방법을 이용한 실험결과로써 2번 AGV에게 과다 할당되는 회피시간을 각 AGV에게 할당하고 있으며 그림 10.은 4절에서 제안한 AGV의 시뮬레이션을 보여준다. 따라서 본 논문에서 제안한 AGV의 충돌 예측과 회피 방법이 AGV의 지연시간을 최소화하는데 효과적임을 증명하였다.

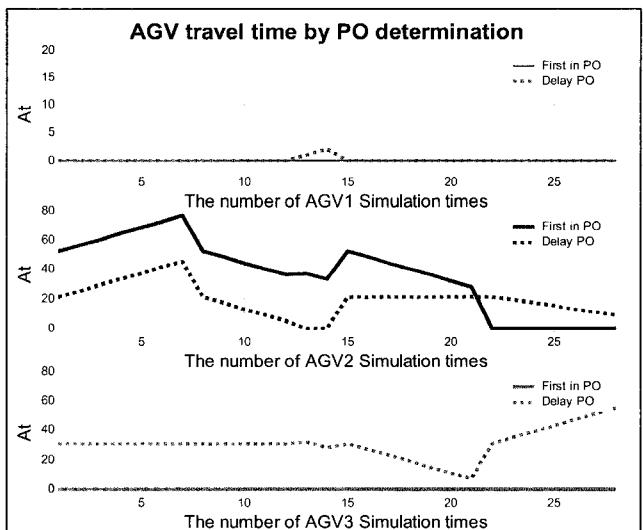


그림 9. PO 할당에 따른 AGV의 운행시간 비교  
Fig. 9. Compare AGV's travel time by PO determination

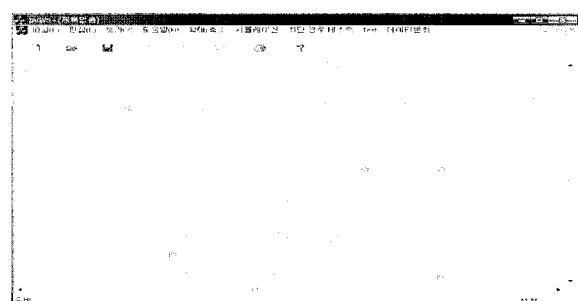


그림 10. AGV 시뮬레이션 프로그램  
Fig. 10. AGV's Simulation Program

## 참 고 문 헌

- [1] I. A. Vis, "Survey of Research in the Design and Control of Automated Guided Vehicle Systems". European Journal of Operational Research Vol. 170, No. 3, pp. 677-709, 2006, 6.
- [2] Le-Anh T, Koster, "A review of design and control of automated guided vehicle system". Eur J Oper Res, Vol. 171, pp. 1-23, 2006, 1.
- [3] R. L. Moorthy, W. H. Guan, N. W. Cheong, and T. C. Piaw, "Cyclic deadlock prediction and avoidance for zone-controlled AGV system". Int J Prod Econ, Vol. 83, pp. 309 - 324, 2003, 2.
- [4] R. S. Shanker and J. L. Batra, "A semi-dynamic time window constrained routing strategy in an AGV system". Int J Prod Res, Vol. 36, No. 1, pp. 35 - 50, 1998, 1.
- [5] G. F Luger. "Artificial intelligence structures and strategies for complex problem solving", Addison Wesley Publishers, Fifth edition, 2005.
- [6] Y. Caseau, "Heuristics for Large Constrained Vehicle Routing Problems", Journal of Heuristics, Vol. 5, 281-303, 1999, 4.
- [7] [http://en.wikipedia.org/wiki/A\\*\\_search\\_algorithm](http://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm).
- [8] 최이, 박태진, 류광렬. "가감속을 고려한 교착없는 AGV 주행경로 설정". 한국해양항만학회지, Vol. 30, No. 10, pp. 855-860, 2006, 10.
- [9] 김종선, 유영선, 김세진, 주영훈. "다중 작업환경의 AGV 경로 선정과 충돌 회피에 관한 연구". 대한 전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.1773-74, 2008, 7.
- [10] 김종선, 주영훈. "작업환경 모델 기반 AGV의 최단 경로 탐색 알고리즘". 퍼지 및 지능시스템 학회 논문지, Vol. 17, No. 5, pp.654-659, 2007, 10.

## 저 자 소 개

주영훈(Young Hoon Joo)

2008년 제 18권 제 4호 참조



김종선(Jong Seon Kim)

2007년 : 군산대 전기전자제어공학과 졸업

2007년 ~ 현재 : 동 대학원 전기전자제어  
공학과 석사과정



관심분야 : Intelligent robot, 지능제어, human-robot interaction.

Phone : 063-469-4706

Fax : 063-469-4706

E-mail : roboinside@kunsan.ac.kr