

# 가감속을 고려한 교착없는 AGV 주행경로설정

최이\* · 박태진\*\* · †류광렬\*\*\*

\*,\*\*부산대학교 대학원, \*\*\*부산대학교 컴퓨터공학과 교수

## Deadlock-free Routing of an AGV in Accelerated Motion

Ri Choe\* · Tae-Jin Park\*\* · †Kwang-Ryel Ryu\*\*\*

\*,\*\* Graduate school of Pusan National University, Busan 609-735, Korea

\*\*\*Division of Computer Engineering, Pusan National University, Busan 606-735, Korea

**요 약** : 컨테이너 터미널과 같이 다수의 AGV(Automated Guided Vehicle)를 한정된 공간에서 동시에 운용하는 환경에서는 AGV의 작업생산성에 악영향을 주는 충돌, 데드락(deadlock), 라이브락(livelock)이 발생할 확률이 높다. 또한, AGV의 가/감속 운동은 AGV의 주행시간을 예측하기 어렵게 만들기 때문에 AGV 라우팅을 더욱 어렵게 만드는 요인이다. 본 논문에서는 AGV 사이의 충돌, 데드락, 라이브락을 방지하기 위해 점유영역 예약테이블(Occupancy Area Reservation table; OAR table)을 이용하는 방법과 최적주행경로를 선택하기 위해 가감속 운동을 고려하여 AGV의 주행시간을 추정하는 방법을 제안한다. 시간중심 시뮬레이션(time-driven simulation)을 통해 제안방안을 실험한 결과 제안방안의 효과를 확인하였다.

**핵심용어** : AGV, 데드락, 주행경로설정, 가감속운동, 컨테이너터미널

**Abstract** : In the environment where multiple AGVs(Automated Guided Vehicles) operate concurrently in limited space, collisions, deadlocks, and livelocks which have negative effect on the productivity of AGVs occur more frequently. The accelerated motion of an AGV is also one of the factors that make the AGV routing more difficult because the accelerated motion makes it difficult to estimate the vehicle's exact travel time. In this study, we propose methods of avoiding collisions, deadlocks, and livelocks using OAR(Occupancy Area Reservation) table, and selecting best route by estimating the travel time of an AGV in accelerated motion. A set of time-driven simulation works validated the effectiveness of the proposed methods.

**Key words** : AGV, Deadlock, Routing, Accelerated motion, Container terminal

## 1. 서 론

자동화 컨테이너 터미널에서 사용하는 무인 자동화 장비로는 무인운반차량(AGV; automated guided vehicle), 무인운반크레인(ATC; automated transfer crane), 안벽크레인(QC; quay crane)이 있다. 컨테이너 터미널에서 선적작업을 위한 영역은 선박이 접안하는 안벽(quay), 수출입 컨테이너를 임시로 쌓아두는 장치장(stacking yard) 그리고 안벽과 장치장 사이의 에이프런(apron) 영역으로 구분된다. QC는 안벽에서, ATC는 장치장에서 컨테이너 운반을 위해 사용된다. 이때, AGV는 QC와 ATC 사이의 컨테이너 운반을 위해 사용되므로 터미널의 생산성을 향상시키기 위해서는 AGV가 효율적으로 작업해야 한다.

AGV는 무인장비이므로 AGV를 운용하기 위해서는 주행경로설정(routing)이 필요하다. 주행경로설정이란 AGV가 목적지까지 주행할 수 있도록 AGV의 현재위치로부터 목적지까지

의 이동경로를 선택하고 주행 중에 충돌, 데드락(deadlock), 라이브락(livelock) 등의 교통문제가 발생하지 않도록 주행 중 AGV의 동작을 제어하는 작업이다. 데드락이나 충돌은 AGV의 교통흐름을 마비시키고 차체나 컨테이너에 손상을 가할 수 있으므로 반드시 방지해야 한다. 또, 목적지까지 <sup>1)</sup>최소비용으로 컨테이너를 운반할 수 있으면 AGV의 작업효율을 향상시킬 수 있으므로 AGV주행경로 설정에 대한 연구는 주로 충돌, 데드락 방지 및 최소비용경로 선택을 목적으로한다.

기존 연구로는 AGV의 주행 공간을 존으로 나누고 AGV의 이동을 존 단위로 파악하여 AGV를 제어하는 존 제어 방식이 있다.(임, 2000; Evers et al., 1996; Kim et al., 1991; Rajeeva et al., 2003; Reveliotis, 2000; Yeh et al., 1998). 존 제어 방식은 AGV가 짐을 주고받는 지점, 이동 경로 상의 교차로 등을 존으로 정의한 후, 주행공간을 존과 존 사이의 링크로 구성된 그래프로 표현한다. AGV 주행 경로는 AGV가 주행 중 지나 는 존의 순서로 표현한다.

\* 정회원, choilee@pusan.ac.kr, 051)510-3531

\*\* 정회원, parktj@pusan.ac.kr, 051)510-3531

† 교신저자 : 류광렬(중신회원), krryu@pusan.ac.kr, 051)510-2453

1) 목적지까지 주행하는 데 걸리는 시간, 소모한 연료 등이 있다.

또 다른 연구로는 주행 경로를 유연하게 생성할 수 있고 주행 공간을 보다 효율적으로 활용함으로써 주행 효율을 높이기 위하여 AGV의 크기보다 작은 그리드로 주행공간을 나누고 AGV가 주행 중 점유하는 그리드의 순서에 의해 주행경로를 표현하는 그리드 제어 방식이 있다.(이 등, 2003; Kim et al., 2004).

강 등(2005)은 그리드 제어방식에서 AGV회전 시 그리드의 점유순서가 AGV의 이동방향과 일치하지 않아 제어가 어려워지는 점을 개선하기 위하여 각 AGV마다 이동경로를 따라 주행공간을 점유영역으로 나누고 이를 이용하여 AGV의 주행을 제어하는 방안을 제안하였다.

본 논문에서는 강 등(2005)이 제안한 AGV의 이동경로를 따라 주행공간을 점유영역으로 분할하는 방안을 바탕으로 점유영역 예약테이블(Occupancy Area Reservation table; OAR table)을 이용하여 AGV사이의 충돌, 데드락, 라이브락을 방지하는 방안을 제안한다. 또한 목적지까지의 최단시간 주행경로를 선택하기 위해 가감속 운동 및 다른 AGV와의 간섭을 고려하여 AGV의 주행시간을 추정하는 방법을 제안한다. 제안방안은 충돌, 데드락, 라이브락이 발생하지 않음을 보장하며 적은 계산비용으로 AGV의 주행시간 추정이 가능하기 때문에 실시간 적용에 적합하다. 제안방안을 시뮬레이션 실험으로 검증함으로써 AGV의 작업 당 주행시간이 감소함을 검증하고자 한다.

## 2. AGV 운영

Fig. 1은 본 논문에서 대상으로 하는 자동화 컨테이너 터미널의 장치장 및 안벽영역을 나타낸 모식도이다. AGV는 장치장의 ATC와 안벽의 QC 사이에서 컨테이너를 운반하는 역할을 한다. 안벽에서의 컨테이너 이동은 QC아래에 위치한 TP(transfer point)에서 이루어지며 장치장 블록에서의 컨테이너 이동은 장치장 블록의 해측 끝에 위치한 TP에서 이루어진다. AGV의 작업은 크게 적하컨테이너를 운반하는 경우와 양하컨테이너를 운반하는 경우로 나눌 수 있다. 양하컨테이너를 운반하는 경우, AGV는 양하컨테이너를 내릴 QC로 주행한다. 이 때, 해당 QC가 현재 다른 작업을 하고 있는 경우 Fig. 1에서 실선사각형으로 표시된 대기영역에서 현재 AGV가 적재할 컨테이너를 양하할 준비가 될 때까지 대기한 후 QC밑으로 주행한다. QC가 컨테이너 적재를 완료 하면 컨테이너를 장치장 장치장 블록으로 이동한다. 장치장에 도착하면 ATC가 컨테이너를 AGV로부터 내리고 그 후, 다음 작업을 시작한다. 적하컨테이너의 경우 컨테이너가 장치된 블록으로 주행하여 컨테이너를 실은 후, 컨테이너를 배에 적하할 QC 밑으로 주행한다. 이 때, 양하와 마찬가지로 해당 QC가 현재 다른 작업을 하고 있는 경우 대기영역에서 현재 AGV가 적재 중인 컨테이너를 적하할 차례까지 대기한 후 QC밑으로 주행한다.

AGV는 장치장에서 안벽으로 주행을 하는 경우 블록 TP에서 출발하여 블록레인(block lane), 크로스레인(cross lane) 순

으로 주행하며 오른쪽에서 왼쪽으로 QC레인(QC lane)을 주행하여 목적 QC밑으로 진입한다. 반대로 QC에서 블록으로 주행하는 경우 QC레인, 크로스레인, 블록레인 순으로 주행한다. 단 QC레인의 경우 QC마다 사용하는 QC레인이 지정되어 있다. 따라서 AGV가 장치장에서 QC로 주행할 때 선택 가능한 경로의 수는 최대 블록레인 수 × 크로스레인 수와 같다.

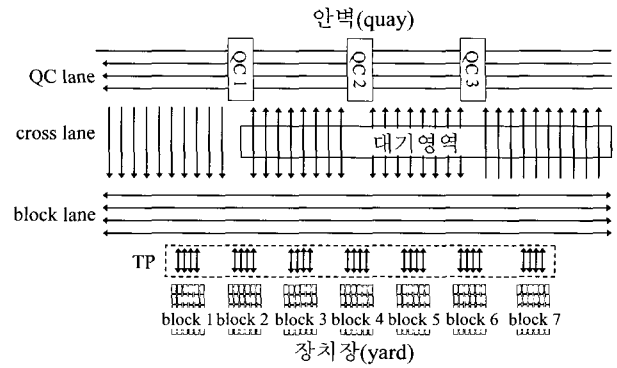


Fig. 1 Layout of an automated container terminal

## 3. 주행경로 설정

AGV 주행경로 설정은 주행경로를 생성하는 과정과 주행경로를 따라 AGV가 주행 할 때의 AGV의 동작을 제어함으로써 AGV사이의 충돌, 데드락, 라이브락을 미리 파악하고 이를 방지하는 과정으로 나누어진다.

### 3.1 주행경로 생성

AGV의 주행경로는 AGV의 현재 위치에서부터 목적지까지의 이동경로, 이동경로를 따라 주행할 때의 실제동선과 AGV가 주행하면서 지나가는 영역으로 정의할 수 있다. Fig. 2의 (a)와 같이 이동경로가 주어지면 AGV의 속도, 가속도, 차체의 길이 등의 물리적 특성을 고려하여 Fig. 2의 (b)와 같이 AGV가 실제로 주행할 때의 동선을 계산할 수 있다. AGV 사이의 충돌은 AGV가 주행하는 영역을 일정하게 분할하고 하나의 영역은 한 대의 AGV만 점유할 수 있도록 하면 방지할 수 있는데, 본 논문에서는 이러한 영역을 점유영역(OA; Occupation Area)이라 칭한다. AGV가 주행 중에 지나가는 영역은 점유영역의 순서로 나타낼 수 있다.

AGV는 주행할 때 앞으로 지나갈 점유영역을 미리 예약하며 주행하는데, 만약 점유영역을 예약하지 못하면 충돌을 회피하기 위해 예약할 수 있을 때까지 대기한다. 이 때 점유영역 예약의 허가여부를 결정함으로써 AGV의 주행을 제어할 수 있다. 점유영역의 면적이 클수록 AGV의 주행제어는 간단해지지만 불필요하게 예약하는 영역의 면적이 늘어나기 때문에 공간 활용 효율이 감소하게 된다. 따라서 본 논문에서는 공간 활용 효율을 높이기 위하여 Fig. 2 (c)와(d) 같이 AGV의 주행 중 동선을 따라 점유영역을 정의함으로써 불필요하게 예약하는 영역의 면적을 최소한으로 줄인다. 그러나 Fig. 3과 같이

점유영역이 각 주행경로마다 독립적으로 정의되기 때문에 서로 다른 주행경로에 속한 점유영역의 예약여부는 공유되지 않는다. 따라서 서로 다른 주행경로를 따라 주행하는 AGV 사이의 충돌은 AGV가 앞으로 진입할 단위영역을 예약할 때 해당 단위영역과 겹치는 다른 주행경로에 속한 단위영역들의 예약 여부를 모두 확인한 후에 예약함으로써 방지한다. 예를 들어 Fig. 3의 주행경로  $r_2$ 를 따라 주행하는 AGV가 점유영역 a를 예약하기 위해서는 a의 예약여부 뿐만 아니라 주행경로  $r_1$ 의 점유영역 b와 c의 예약여부도 확인해야 한다.

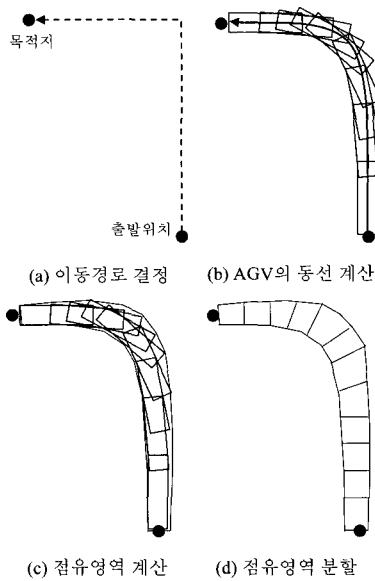


Fig. 2 An example of the procedures to create a route

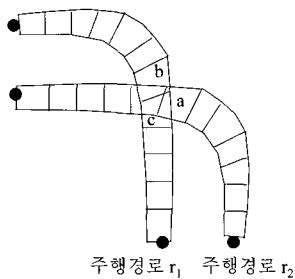


Fig. 3 Overlapping OAs which belong to different route

### 3.2 AGV 주행 제어

본 논문에서는 점유영역 예약 테이블(OAR table; Occupation Area Reservation table)을 이용하여 데드락과 라이브락을 해결한다. OAR테이블은 주행경로 상의 각 점유영역을 AGV가 예약한 시점부터 AGV가 점유영역을 완전히 이탈할 때까지의 점유기간을 기록한 테이블이다. AGV는 주행 중에 OAR테이블 상의 점유기간 동안에만 해당 점유영역을 예약할 수 있다.

Fig. 4는 AGV 주행경로를 할당할 때, 현재 주행 중인 AGV와 데드락 또는 라이브락을 일으키지 않도록 OAR테이블을 작성하는 알고리즘이다. 설명의 편의를 위해 AGV는 1단위시

간에 하나의 점유영역만큼 전진하며 AGV의 길이는 두 개의 점유영역의 길이와 같다고 가정한다.  $OAR(i)$ 는 AGV가 점유영역의  $i$ 를 점유하는 기간을 나타낸다.  $OAR_e(i)$ 는 점유기간의 종료시점을 의미한다.  $UAR_s(i)$ 는 점유영역의  $i$ 의 점유 불가능 기간의 시작시점이며  $UAR_e(i)$ 는 점유 불가능 기간의 종료시점이다.  $canReserve_i(s,e)$ 는 기간  $(s, e)$ 가 점유영역  $i$ 의 점유불가능 기간과 겹치는지 여부를 반환한다.

```

input    end: 주행경로 마지막 점유영역
output  OAR table
variables t: 현재시간 i: AGV가 현재 위치한 점유영역
algorithm start
t = 0 i = 0
while( i <= end ) {
  ++t
  if( canReserve_{i+1}(t, t+2) ) {
    ++i
    OAR(i) = (t, t+2)
  } else {
    OAR_e(i) = t+2
    while( !canReserve_e(OAR(i)) ) {
      i = i-1
      OAR_e(i) = t+2
    }
    t = UAR_e(i)
    OAR_e(i) = t+2
  }
}
return OAR

```

Fig. 4 Deadlock free routing algorithm

AGV가 데드락에 빠지기 위해서는 세 가지 필요조건을 만족해야 한다. 첫째, 하나의 점유영역을 여러 대의 AGV가 동시에 예약할 수 없다. 둘째, AGV는 이미 여러 개의 점유영역을 예약한 상태에서 다음 점유영역 예약을 시도한다. 셋째, 어떤 AGV가 먼저 예약한 점유영역을 다른 AGV가 강제로 예약을 풀어 자신이 예약할 수 없다. 제안알고리즘은 OAR테이블을 작성할 때 뒤에 출발한 AGV가 먼저 점유영역을 예약할 수 있더라도 앞서 출발한 AGV가 이후에 그 점유영역을 예약하려 한다면 뒤에 출발한 AGV가 예약을 포기하고 그 이전 점유영역에서 대기하도록 점유기간을 조정한다. 따라서 데드락이 발생하기 위한 세 번째 필요조건을 만족하지 않으므로 제안방안을 이용하여 설정한 주행경로는 데드락이 발생하지 않는다.

라이브락 현상의 경우 AGV는 최악의 경우에도 자신보다 먼저 주행경로를 설정 받은 모든 AGV가 교차점을 지날 때까지만 대기하므로 라이브락은 발생하지 않는다.

### 4. 주행시간 추정 알고리즘

AGV의 주행경로를 설정할 때 목적지까지 최단시간경로를

선택하면 AGV의 주행시간을 줄일 수 있으므로 AGV의 작업 효율을 향상시킬 수 있다. 그러나 AGV는 가감속 운동을 하기 때문에 같은 거리를 주행하더라도 AGV의 속도변화에 따라 주행시간이 달라진다. 또, 다른 AGV와의 충돌방지나 데드락 방지 등의 이유로 주행 중에 받는 간섭으로 인한 지연이 발생하기 때문에 AGV의 정확한 주행시간을 계산하기 위해서는 이 두 가지 요소를 동시에 고려해야한다.

#### 4.1 가감속을 고려한 주행시간 추정

본 논문에서는 AGV가 등가속도 운동을 한다고 가정한다. 가속도의 법칙을 이용하여 초기속도  $v_0$ , 도달속도  $v$ , 가속도  $a$ 로 등가속운동하는 AGV가 길이  $d$ 인 주행경로를 주행하는데 걸리는 시간을 구하는 식을 유도한 결과는 다음과 같다. 만약  $d$ 가 AGV의 초기속도  $v_0$ 에서 도달속도  $v$ 에 도달하기까지 필

요한 가속거리  $d_a = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$  보다 큰 경우 주행시간  $t$ 는

$$t = \frac{v - v_0}{a} + \frac{d}{v} - \frac{v}{2a} + \frac{v_0^2}{2av} \quad (1)$$

와 같다. 만약  $d$ 가  $d_a$ 보다 작으면 주행시간  $t$ 는

$$t = -\frac{v_0}{a} + \sqrt{\frac{v_0^2}{a^2} + \frac{2d}{a}} \quad (2)$$

와 같다. 따라서 AGV의 출발점, 회전점 및 종료점 사이의 거리와 AGV의 회전거리를 알면 즉 (1)과 (2)를 이용하여 AGV의 추정주행시간을 계산할 수 있다.

#### 4.2 간섭을 고려한 주행시간 추정

3.2절에서 제안한 주행경로 설정방안에 따르면 AGV에 주행경로를 설정할 때, 앞서 주행을 시작한 AGV와 충돌하거나 데드락에 빠지는 일을 방지하기 위해 새롭게 주행경로를 설정하는 AGV를 충돌 및 데드락 발생지점 직전 점유영역에서 다른 AGV<sup>2)</sup>가 완전히 지나갈 때까지 대기시킨다. 이와 같이 AGV는 주행 중에 다른 AGV에 의해 주행에 간섭을 받으며 그로 인하여 AGV의 주행에 지연이 발생한다. 따라서 AGV의 주행시간을 보다 정확하게 추정하려면 이러한 간섭으로 인한 지연을 고려해야 하며 본 논문에서는 다음과 같은 방안을 제안한다.

AGV  $k$ 에 대해  $p_i$ 는  $k$ 의 주행경로와  $k$ 를 제외한 주행 중인 모든 AGV의 주행경로와 각각 교차하는 지점이라 하고,  $p_i$ 는  $k$ 의 출발지점으로부터 주행경로를 따라 가까운 순으로 정렬되어 있다고 가정한다. 또한  $T(i, j)$ 는  $k$ 의 주행경로 상의 두 점  $i$ 와  $j$ 사이의 주행시간이라 하고  $T_s(i)$ ,  $T_e(i)$ 는 교차점  $i$ 를 지나가는 기존 AGV가 점  $i$ 를 지나가기 시작한 시간과 완전히

지나간 시간을 나타낸다. 이 때 AGV의 주행시간을 추정하는 알고리즘은 Fig. 5와 같다.

```

input
  P: 출발점부터 거리를 기준으로 오름차순 배열된 교차점
      $p_i$ 의 배열
output
   $t_{out}$ : 주행시간 추정치
variables
   $t$ : AGV의 현재 위치까지 주행한 시간
   $i$ : AGV의 현재위치
algorithm start
   $t = 0$ 
   $i = 0$ 
  for all  $p_i \in P$  {
     $t = t + T(i, p_i)$ 
     $i = p_i$ 
    if(  $T_s(p_i) < t < T_e(p_i)$  ) {
       $t = T_e(p_i)$ 
    }
  }
   $t_{out} = t$ 
  return  $t_{out}$ 
    
```

Fig. 5 AGV travel time estimation algorithm

본 알고리즘에서  $T_s(i)$ ,  $T_e(i)$ 의 값은 AGV에 주행경로를 설정할 때 모의 주행시뮬레이션을 통해 주행경로상의 각 점유영역을 예약하기 시작하는 시간과 완전히 이탈하는 시간을 OAR테이블에 기록하므로 교차점  $i$ 를 포함하는 점유영역을 찾은 후 OAR테이블을 검색하여 얻을 수 있다.

## 5. 실험 및 결과

### 5.1 실험환경

제안방안의 효과를 검증하기 위한 시뮬레이션 실험을 위해 다음과 같은 환경을 설정하였다. 앞서의 Fig. 1과 같이 선석 하나 크기의 터미널을 가정하였으며 터미널에는 3대의 안벽크레인과 7개의 장치장 블록이 있다. 안벽크레인과 장치장 크레인인 시간 당 컨테이너 50개를 처리할 수 있다고 가정하였다. Table 1은 실험에 사용한 AGV의 사양이다. AGV의 이동경로 레이아웃은 Fig. 1의 레이아웃을 따른다.

Table 1 AGV specification

직진속도	회전속도	가속도(가속)	가속도(감속)
4m/s	2m/s	0.64m/s <sup>2</sup>	1.55m/s <sup>2</sup>

### 5.2 실험결과

본 논문에서 제안한 주행시간 추정알고리즘이 AGV의 주행

2) 이미 주행경로를 설정 받아 주행 중인 AGV를 말한다.

시간을 얼마나 정확하게 추정할 수 있는지 검증하기 위해 실제 주행시간과의 오차를 측정하였다. AGV사이의 간섭을 고려하는 것이 주행시간을 추정하는데 미치는 영향을 확인하기 위해 간섭을 고려하지 않고 AGV의 가감속 모델만 이용하여 주행시간을 추정한 경우와 정확성을 비교하였다. Table 2는 20000회의 주행경로를 대상으로 오차를 측정한 결과를 나타낸다. AGV사이의 간섭을 고려함으로써 주행시간 추정오차가 1.9% 감소하였음을 확인할 수 있다.

Table 2 Travel time estimation accuracy

	절대오차	상대오차	제곱오차
제안방안	84.6초	11.5%	126.7
간섭무시	99.0초	13.4%	152.4

주행시간 추정 알고리즘을 AGV의 주행경로 설정에 적용하였을 때의 주행시간 감소효과를 확인하기 위해 시뮬레이션 실험을 수행하였다. AGV의 수를 6대에서 24대까지 3대씩 변화시켜가며 각각 실험하였다. 매 실험마다 AGV는 24시간동안 양하작업을 수행하였으며 5회씩 반복하여 결과를 평균하였다.

세 가지 주행경로 설정방안에 대해 각각 시뮬레이션을 수행하고 결과를 비교하였다. 최단예측시간 방안은 제안방안을 이용하여 AGV사이의 간섭을 고려하여 주행시간을 추정하고 추정치가 가장 작은 이동경로를 선택한다. 비교방안인 최단거리 방안은 가장 주행거리가 짧은 경로를 선택하며 랜덤방안은 무작위로 경로를 선택한다.

Fig. 6과 Fig. 7은 AGV가 장치장 블록에서 안벽으로 주행할 때의 주행거리와 주행시간을 보여준다. 주행거리의 경우 최단예측시간 방안과 최단거리방안은 거의 차이를 보이지 않으며 랜덤방안과 주행거리를 비교하면 AGV가 6대일 때 가장 차이가 나며 AGV 수가 증가할수록 주행거리차가 감소한다. 주행시간의 경우 최단예측시간 방안이 가장 짧은 주행시간을 보였다. 최단거리방안과 비교하면 AGV수가 6대일 때 가장 감소폭이 작고 AGV수가 늘어남에 따라 감소폭이 커지며 AGV의 수가 15대 일 때 최대값인 6.6%의 감소폭을 보인다. 그 이상 AGV의 수가 늘어나면 다시 소폭 감소한다. 이와 같은 현상은 AGV의 수가 적을 때는 AGV사이의 간섭이 적기 때문에 간섭을 고려함으로써 얻는 이득이 적은 반면 AGV의 수가 늘어나면 AGV사이의 간섭이 증가하여 상대적으로 AGV사이의 간섭을 고려하는 최단예측시간 방안이 유리해지기 때문에 일어난다. 한편 AGV수가 18대 이상으로 늘어나게 되면 에이프런 영역에서 주행하는 AGV의 수가 증가하고 그로 인하여 AGV가 선택할 수 있는 이동경로의 가짓수가 적어지기 때문에 간섭을 고려하는 효과가 감소한다.

Fig. 8과 Fig. 9는 AGV가 안벽에서 장치장 블록으로 주행할 때의 평균 주행거리와 주행시간이다. 장치장에서 안벽으로 주행할 때와는 달리 최단예측시간 방안과 최단거리방안이 거의 동일한 주행시간을 보였다. 안벽에서 장치장 블록으로 주행하

는 경우 안벽크레인의 작업 사이클 타임 때문에 한 번에 주행할 수 있는 AGV는 안벽크레인의 수와 같은 3대이다. 따라서 블록에서 안벽으로 주행할 때에는 안벽크레인 밑으로 진입할 때 병목현상이 일어나 AGV사이의 간섭의 영향이 커지는데 비해 안벽에서 블록으로 주행할 때에는 간섭의 영향이 작다.

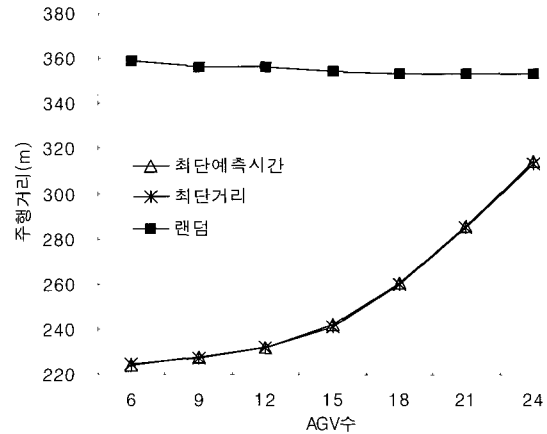


Fig. 6 Average travel distance of an AGV which travels from a block to a QC

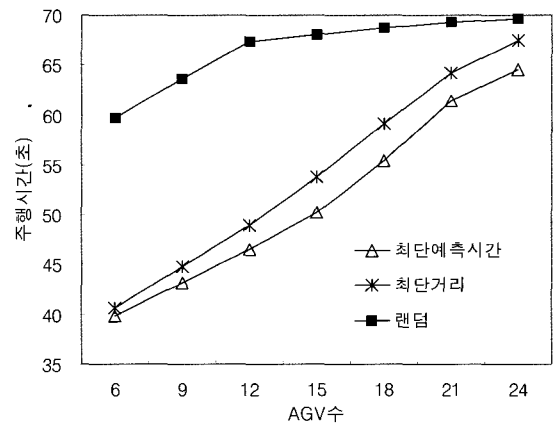


Fig. 7 Average travel time of an AGV which travels from a block to a QC

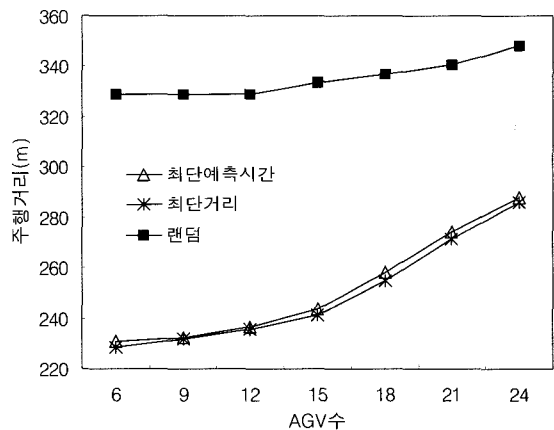


Fig. 8 Average travel distance of an AGV which travels from a QC to a block

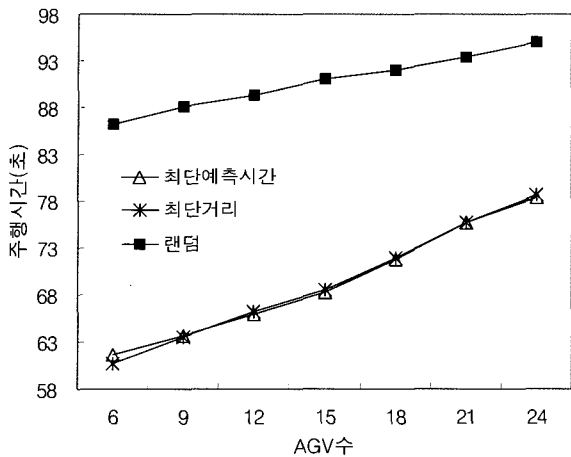


Fig. 9 Average travel time of an AGV which travels from a QC to a block

### 6. 결 론

본 논문에서는 AGV 시스템의 작업효율을 개선하기 위하여 데드락이 발생하지 않도록 AGV의 주행경로를 설정하는 방안과 AGV의 가감속 및 다른 AGV의 주행에 의한 간섭을 고려하여 적은 계산비용으로 AGV의 주행시간을 추정하는 방안을 제안하였다. 제안방안을 시뮬레이션 실험으로 검증한 결과 AGV의 작업 당 평균주행시간이 AGV 사이의 간섭을 고려하지 않는 경우에 비해 감소함을 확인하였다.

향후, 제안한 주행시간추정알고리즘을 주행경로 선택뿐만 아니라 AGV의 컨테이너 운반계획을 수립할 때, 운반계획대로 작업을 진행하였을 때 전체 작업완료에 걸리는 시간을 추정하는 데 적용하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

실제 컨테이너 터미널 작업환경에서는 센서오차, 장비의 동작오차, 예측하지 못한 장비의 오작동과 같은 불확실성이 존재한다. Reveliotis(2000)는 존 제어방식을 바탕으로 하나의 존을 지날 때마다 주행경로의 안전성과 작업성공과를 고려하여 다음에 지나갈 존을 결정함으로써 이러한 불확실성에 적절히 대응하는 주행경로 설정방안을 제안하였다. 제안방안 역시 불확실한 환경에 적용하기 위해서는 예측하지 못한 상황변화를 감지하고 새로운 상황에 맞추어 주행 계획을 수정하거나 새로 수립하는 방안에 대한 연구가 필요하다.

### 후 기

본 논문은 교육인적자원부 지방연구중심대학육성사업(차세대물류IT기술연구사업단)의 지원에 의하여 연구되었습니다.

### 참 고 문 헌

- [1] 강재호, 최이, 강병호, 류광렬, 김갑환(2005), "자동화 컨테이너 터미널에서의 AGV 충돌 방지 및 교착 해결 방안", 한국지능정보시스템학회지 11권 5호, pp. 25~43
- [2] 이용환, 박은경, 박태진, 류광렬, 김갑환 (2003), "그리드 단위의 제어에 기반한 자동화 컨테이너 터미널의 AGV 운영 방안", 한국해양항만학회지 27권 2호, pp. 223-231.
- [3] 임동순 (2000), "존 조정 하에서의 AGV 교착 방지", 대한선업공학회지, 26권, 4호, pp. 392-401.
- [4] Evers, J. J. M and Koppers, S. A. J. (1996), Automated guided vehicle traffic control at a container terminal, Transportation Research-A 30, pp. 2134
- [5] Kim, C. W. and Tanchoco, J. M. A (1991), "Conflict-free shortest-time bidirectional AGV routing", International Journal of Production Research, 29(12), pp. 2377-2391
- [6] Kim, K. H., Jeon, S. M. and Ryu, K. R. (2004), "A deadlock detection method for automated guided vehicles in port container terminals", Proceedings of the 33rd international conference on computers and industrial engineering.
- [7] Rajeeva, L. M., Wee, H. G., Ng, W. C., and Teo, C. P., (2003), "Cyclic deadlock prediction and avoidance for zone-controlled AGV system", International Journal of Production Economics 83, pp. 309-324.
- [8] Reveliotis, S. A. (2000), "Conflict resolution in AGV Systems", IEEE Transactions, Vol. 32, pp. 647-659.
- [9] Yeh, M. S. and Yeh, W. C. (1998), "Deadlock Prediction and Avoidance for Zone-control AGVs", International Journal of Production Research, Vol. 36, No. 10, pp. 2879-2889

원고접수일 : 2006년 12월 14일

원고채택일 : 2007년 1월 5일