

# 다중 무인운반차량 시스템에서의 동적 라우팅과 스케줄링

## Dynamic Routing and Scheduling of Multiple AGV System

전동훈\*, 이상훈\*, 이철기\*

Donghoon Jeon, Sanghoon Lee, Chilgee Lee

### Abstract

The study of the optimization of operating policy of AGV system, which is used in many factory automation environments, has been proceeded by many researchers. The major operating policy of AGV system consists of routing and scheduling policy. AGV routing is composed with collision avoidance and minimal cost path find algorithm. To allocate jobs to the AGV system, AGV scheduling has to include AGV selection rules, parking rules, and recharging rules. Also in these rules, the key time parameters such as processing time of the device, loading/unloading time and charging time should be considered. In this research, we compare and analyze several operating policies of multiple loop - multiple AGV system by making a computer model and simulating it to present an appropriate operating policy.

## 1. 서론

1970년대 이후 생산성의 증대를 위한 많은 연구와 기술 개발이 이루어지고 있다. 그 중 대표적으로 유연 생산 시스템 (FMS : Flexible Manufacturing System) 과 유연 조립 시스템 (FAS : Flexible Assembly System)을 들 수 있다[1]. 이 시스템은 환경 변화에 유연한 생산 체계를 갖추어 이에 쉽게 대처하고자 하는 것인데, 여기에 필수적인 것이 물류의 자동화이다. 하지만 이제까지는 물류비용이 생산의 상당 부분을 차지함에도 불구하고, 생산품의 질과는 별로 상관이 없기 때문에 중요한 요소로 고려되지 않았으나 효율적인 생산을 요구하는 시대적 흐름에 의해 물류 시스템은 점점 중요해지고, 또한 빠른 속도로 발전되어 가고 있다. 이런 상황에서 AGV (Auto Guided Vehicle) 시스템은 자동화된 물류 시스템의 중요한 역할을 담당하고 있으며, 그 사용도 점차 확대되어 가고 있다.

AGV 시스템이란 무인 운반 차량 시스템 또는 자동 반송 차량 시스템이라 하며, 이는 차량의 운전자 없이 어떤 짐을 임의의 목적지까지 정해진 경로를 따라 자동으로 반송해 주는 시스템을 말한다. 이런 AGV 시스템과 관련된 연구분야는 크게 시스템의 설계, 운영, 구현의 세 가지로 구분할 수 있다. 시스템의 설계에는 필요차량의 대수 결정, 경로 (Guide Path) 의 종류 및 설계, AGV의 종류 결정 등이 있으며, 운영에는 발주법 (Scheme of AGV Routing), 충돌방지 (Collision Avoidance) 등이 있다. 또한 AGV 시스템의 종류는 경로의 구조와 AGV 대수에 의해서 구분되고 이는 크게 Single Loop - Single AGV와 Multiple Loop - Multiple AGV로 나뉘어 진다[2][3][4].

현재 이런 AGV 시스템에 관한 연구를 알아보면 Hsu Wen Jing[2]은 AGV의 여러 가지 발주 방법에 대하여 연구하였으며, Egbelu, Tanchoco[5]와 Klern, Kim J.[6]에서는 각 AGV에 작업을 할당해주는 방법의 효율을 비교하였고, Sabuncuoglu, Hommertzhaim[7]은 많은 AGV를 가진 FMS에 허용된 작업의 수가 주는 효과에 대해 연구하여 다른 장비들과 평균 순환 시간 성능이 비교된 AGV 스

케줄링 규칙들에 대해 실험하고 시스템의 허용부분 개수의 제한을 제안하였다.

다음으로 C. W. Kim과 Tanchoco[8]는 양방향 AGV에 대한 연구를 제안하였고, Tang et al.[9]은 다양한 스케줄링 기법의 성능을 시험하기 위해 Multiple-AGV가 아닌 Multi-cell FMS에 대해 실험하였다. 이렇게 현재 진행되는 연구는 주로 Single Loop - Single AGV를 기준으로 발주 방법이나 작업 할당과 같은 한가지 분야를 선택하여 실험하고 결과를 제시하였다.

한편, 현재 AGV 시스템은 여러 물류산업뿐만 아니라 복잡하고 규모가 큰 반도체 웨이퍼 가공 공정 (FAB) 라인에서도 의존도가 점점 증가하고 있다. 이렇게 AGV 시스템은 자동화된 물류 시스템이나 유연 생산 시스템에서 없어서는 안 될 하나의 중요한 요소로 자리잡고 있으며 시스템은 점점 더 다양하고 복잡하게 구성되고 있다.

이에 본 논문의 목적은 기존 연구에서는 거의 다루어지지 않았지만 최근 기업에서 사용이 증가하고 있는 Multiple Loop - Multiple AGV (MAGV) 시스템을 대상으로 컴퓨터 모델을 구축하고 여러 항목들을 실험하여 기존 시스템을 분석하였으며, 이를 바탕으로 시스템을 최적화 시키는 운영 규칙을 연구 제안하는 것이다.

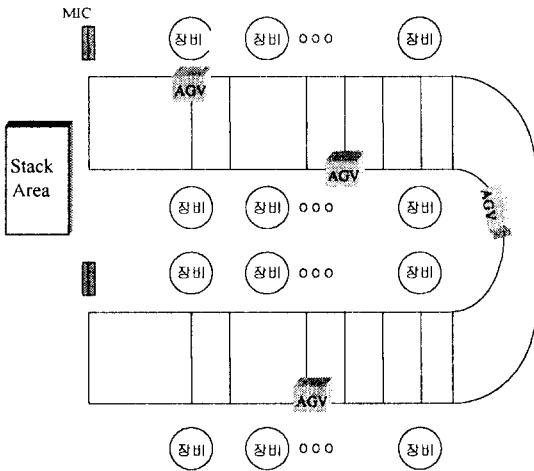
본 논문의 구성은 2장에서 본 실험에서 사용된 대상 도면과 AGV의 각종 입력 데이터를 설명하였으며 3장에서는 본 실험을 위해 구성한 모델을 각 모듈별로 나누어 구현 방법과 실험, 결과 등을 분석하였다. 4장에서는 3장에서 분석된 AGV 시스템의 특징을 바탕으로 동적 라우팅 방법을 제시하고 마지막 5장에서 본 실험의 결과와 향후 과제를 다루었다.

## 2. 시물레이션 모델 구성

### 2.1 실험 대상 도면

본 실험의 대상 도면을 그림으로 도시하면 <그림 1>과 같으며 <그림 1>을 이루고 있는 각 단위 모듈은 크게 두 가지로 경로와 그 경로 위에 위치

한 각각의 포인트 모듈과 그 외의 장치들로 나눌 수 있다. 먼저 경로는 AGV가 실제로 이동할 수 있는 안내 선으로 케이블이나 광 센서로 구축되어 있다. 구조는 두 개의 메인 라인이 가로로 놓여 있고 메인 라인을 연결하는 여러 개의 보조 라인들로 구성되어 있다. 따라서 본 경로는 Multiple Loop인 경우에 해당되며 종류는 양쪽으로 이동이 가능한 양방향 (Bi-directional) 이다[8]. 다음으로 설명할 내용은 제어 포인트 (Control Point) 로 이곳은 AGV가 멈출 수 있는 곳, 즉 노드라 해도 무방하다. AGV는 이 제어 포인트에서 짐의 싣기/내리기와 주차 등의 작업을 수행 할 수 있다. 주차 포인트는 제어 포인트의 하나로 더 이상의 할당된 작업이 없는 AGV가 대기하는 장소이며 충전 포인트는 AGV가 전원을 충전하는 장소로써 일반적으로 시스템에 있는 AGV 대수와 충전 포인트 수는 일치한다.



<그림 1> MAGV 시스템의 배치도

다음은 경로 외의 장치들로 먼저 MIC (Moving in Complete)를 들 수 있다. MIC는 짐 (Load) 을 AGV로 싣고/내리는 컨베이어로 Accumulate 방식을 채택하여 짐이 들어오는 차례대로 쌓이게 되며 최대 수용능력은 4개이다. 또한 시스템에 있는 장비는 AGV와의 작업을 위하여 입/출력 포트를 가지고 있다. AGV 위에 있는 로봇 팔은 입/출력 포트의 문이 열리면 짐을 장비로 전해주게 된다. 그

밖에 AGV의 출입을 제한하는 구역, 즉 충돌 및 혼잡 방지를 위해 사용되는 블록과 AGV 시스템으로 들어가는 짐들이 대기하는 일종의 Queue인 저장 장소 (Stack Area) 로 구성된다[10].

2.2 AGV 구성

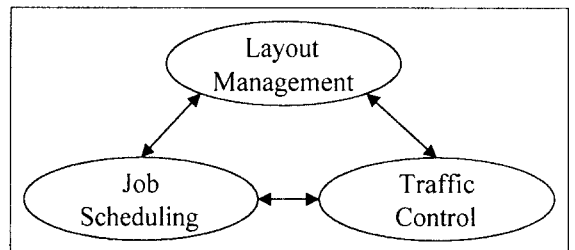
본 실험에 사용된 AGV 모델의 기본적인 구성과 입력 데이터는 <표 1>과 같다. AGV에는 각 분기점에서 90도 회전을 하여 속도가 느린 Spin 방식과 회전 없이 옆으로 이동 가능한 Crab 방식이 있는데 본 실험에서는 Crab 방식의 AGV를 사용하였다.

<표 1> AGV의 특성

Load Capacity		4
Velocity	Forward	0.5 m/sec
	Backward	0.5 m/sec
	Crab	0.3 m/sec
	Accelerate	1 m/sec/sec
	Decelerate	1 m/sec/sec
Vision Time		20 sec
Load/Unload Time		40 sec
Recharging Time		30 sec

3. 모델의 기능적 구조 및 실험

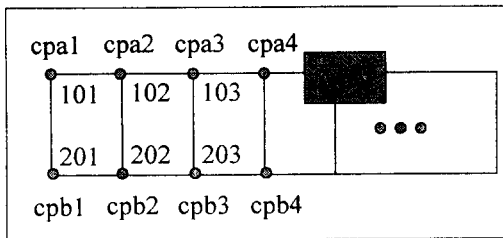
본 실험에서 구현된 전체 모델을 운영하는 주요 모듈은 크게 3부분으로 나눌 수 있는데 이는 <그림 2> 와 같다.



<그림 2> 주요 모듈의 구조

### 3.1 Layout Management 모듈

Layout Management 모듈에 사용된 주요 함수는 제어 포인트 함수로서 이는 경로 위에 있는 여러 개의 제어 포인트들을 약속된 숫자로 코드화 함으로써 스케줄러가 사용하기 편하게 인터페이스 해주는 기능을 담당한다. 메인 라인 위에 있는 제어 포인트들은 서로 1 만큼의 차이를 가지고 있다. <그림 3>에 나타난 것처럼 MIC 앞에 있는 제어 포인트부터 차례로 cpa1, cpa2, ... 순으로 명명하고, 반대편 메인 라인 위에 있는 제어 포인트 역시 cpb1, cpb2, ... 순으로 이름지었다. 하지만 50~60개 이상인 제어 포인트를 컴퓨터가 쉽게 제어하려면, 문자로 되어있는 제어 포인트 이름을 숫자화 하는 것이 필요하다. 즉, cpa1 = 101, cpa2 = 102, ..., cpb1 = 201, cpb2 = 202, ... 로 일대일 매칭을 해줌으로써 효율적인 제어가 가능하게 된다. 이러한 숫자를 코드화된 숫자 (Coded Number) 라 한다.



<그림 3> Encoding of Control Point

실제로 AGV는 MIC에서 짐을 싣고 할당된 장비로 이동할 때 장비 앞에 있는 해당 제어 포인트로 이동하는 것이다. 그러므로, 여러 개의 제어 포인트 중에서 싣고/내리기 포인트와 주차 포인트, 충전 포인트 각각을 구분하여 미리 기억하고 있어야 스케줄링에서 용이하다.

### 3.2 Job Scheduling 모듈

저장 장소에 쌓여 있는 짐들을 장비에 할당해 주는대는 알맞은 규칙이 필요하며 이는 전체 시스템 성능에 영향을 미치고 병목현상 (Bottleneck) 을

조정할 수 있다는 차원에서 매우 중요한 부분이다. 작업 스케줄러 (Job Scheduler) 는 저장 장소에 있는 짐 중 임박한 작업을 요하는 짐을 장비에 할당해 주어야 한다. 이런 작업 스케줄러가 갖추어야 할 두 가지 요건은 공정성 (Fairness) 과 응답시간의 최적화 (Minimize of Response Time) 이다. 공정성은 저장 장소에 있는 모든 짐들이 얼마나 공정하게 분할되는가를 측정하는 것이고, 응답시간의 최적화는 저장 장소에서 짐들이 지연되는 시간을 얼마나 줄이는가에 초점을 둔다.

#### 3.2.1 작업 스케줄러의 5가지 규칙 분석

작업 스케줄러는 위에서 언급한 공정성과 응답시간의 최적화를 가지고 규칙을 선정한다. 본 실험에서는 First In First Out (FIFO)과 Round Robin, First Available Job, Shortest Job First, Dynamic Priority Scheduling 등 5개의 규칙이 적용되었다 [5][6]. 먼저 FIFO는 짐이 들어오는 순서대로 장비를 할당해 준다. 이 규칙은 저장 장소에 먼저 들어온 짐이 나중에 들어오는 짐에게 영향을 줌으로 공정성이 떨어지며 응답시간도 좋지 않다. Round Robin 규칙은 스케줄러가 일정시간 동안 각각의 짐에게 장비를 할당해 준다. 따라서 모든 짐은 일정한 시간 (Time Quantum) 동안만 공정을 하고 다음 짐을 위해서 양보해야 한다. 따라서 이 규칙의 응답 시간은 빠르지만 공정성이 없다. 다음으로 First Available Job은 장비에 할당 가능한 짐을 순서대로 선택하는 규칙이고 Shortest Job First 규칙은 저장 장소에 있는 짐 중에서 가장 짧은 공정시간을 갖고 있는 순서대로 장비를 선택한다. 이는 TAT (Turn Around Time) 를 줄일 수 있는 이점이 있다. 마지막으로 Dynamic Priority Scheduling (DPS) 의 스케줄러는 저장 장소에 있는 짐들에게 우선 순위 (Priority) 를 부여한 후 순서를 할당하여 주는 것으로 기준은 Shortest Job Available 규칙을 따르지만, 공정의 최종시간 (Deadline Time) 까지 적용되어서 선택되어진다. 이상으로 알아본 규칙들을 실험, 비교하여 표로 나타내면 <표 2>와 같다.

<표 2> Job Scheduling 규칙 비교

Scheme	Fairness	Response Time
FIFO	NO	Poor
Round Robin	NO	Good
First Available Job	Yes	Poor
Shortest Job First	No	Good
DPS	Yes	Very Good

<표 3> AGV 선택 규칙 비교

Scheme	Empty Travel Overhead	Utilization
First Available	High	Average
Nearest	Low	Low
Least Utilized	High	High

### 3.2.2 AGV 선택 규칙 분석

작업 스케줄러는 장비에 작업을 할당하면서 전송할 AGV를 선택할 때 여러 대의 AGV가 있는 경우, 즉 MAGV 시스템인 경우에는 알맞은 AGV를 선택해야 한다. 따라서 AGV 선택에 여러 가지 규칙들을 적용해야 하는데, 이때 스케줄러가 고려해야 하는 점은, AGV가 현재 위치에서 짐을 싣기 위해 이동해 오는데 소비되는 시간 (Empty Travel Overhead)을 최소화해야 하고, 짐이 AGV를 요청한 시간부터 할당받은 장비로 들어가지야 하는 최종 시간 (Deadline Requirement) 을 엄수해야 한다는 점, 그리고 AGV의 효율 등을 고려해서 최종적으로 AGV를 선택해야 하는 것이다. 이러한 관점에서 본 실험에서는 First Available, Nearest, Least Utilized 등의 AGV 선택 규칙을 가지고 실험하였다[2].

First Available AGV 선택 규칙은 여러 개의 AGV 가운데 첫 번째로 검색된 사용 가능 AGV를 선택한다. 이 규칙은 AGV의 운송시간 (Retrieve Time) 이 커지는 경향이 있다. 다음으로 Nearest AGV 선택 규칙은 짐의 현 위치에서 가장 가까이 있는 AGV를 선택함으로써 AGV의 운송시간을 줄이긴 하지만 전체 AGV의 효율이 낮아지는 현상이 일어난다. 마지막으로 Least Utilized AGV 선택 규칙은 현재까지 효율이 가장 낮은 AGV를 선택한다. 이는 AGV의 운송시간이 커지긴 하지만 전체 AGV의 효율을 높이는 경향이 있다. 각 규칙들의 실험을 통한 특성 비교는 <표 3>과 같다.

### 3.2.3 주차 규칙 분석

AGV의 할당된 작업이 끝난 후 더 이상 수행해야 할 작업이 없을 때 AGV는 주차 상태로 들어간다. 그러나 이때 주차하는 장소는 매우 중요하다. 미리 정해진 주차 포인트로 이동 할 것인지 아니면 마지막 수행했던 장소에 그대로 정지할 것인지 결정해야 한다. 본 실험에서도 이러한 두 가지 주차 규칙을 가지고 실험하였고 결과로는 정해진 주차 포인트로 이동하는 것이 오버헤드가 큰 것으로 나타났다. 이를 표로 나타내면 <표 4>와 같다.

<표 4> 주차 규칙 비교

Scheme	Empty Travel Overhead
Reserved Parking Point	High
Last Job Point	Low

### 3.2.4 충전 방식 분석

AGV는 자체적으로 전원을 내장하고 있어서 일정한 수준에 이르면 재충전을 해주어야 한다. 이는 작업 스케줄러에게는 상당히 중요한 과제이다. 작업 스케줄러는 모든 AGV의 현재 전원 상태를 일정한 시간 간격으로 체크해서 필요하다면 충전 수행 루틴에 들어가야 하기 때문이다. 이는 모든 작업들보다 높은 우선 순위를 가지며 그 방식은 다음과 같이 3가지가 있다. 먼저 Time Calculation으로 AGV가 충전했던 시간을 기억해 두고서 일정 시간이 지나면 무조건 재충전을 하는 방식이다. Distance Calculation은 AGV가 이동 할 때마다 그 이동 거리를 누적하면서 일정 거리 이상 운행하였을 때 재충전하는 방식이며 마지막 방식인 Advanced Time Calculation은 AGV가 전원을 사

용하는 경우에 따라 소모량을 계산하는 방법이다. 즉, AGV의 이동시간 동안 사용되는 전원의 양과 일하는 시간, 실패/내리는 시간에서 사용되는 전원의 양은 다르므로 이를 분리하여 계산하는 방법이다 (예, 전체 시간 = 이동시간 \* 0.3 + 일하는 시간 \* 0.7). 위 세 가지 방식의 실험 결과는 <표 5>와 같다.

<표 5> 충전 방식 비교

Scheme	Total Recharging Time	Utilization
Time Calculation	Middle	Average
Distance Calculation	Large	Low
Advanced Time Calculation	Small	High

3.3 Traffic Control 모듈

MAGV 시스템에서 교통 제어가 반드시 필요한 경우는 크게 두 가지가 있는데 충돌 방지와 혼잡 조절 (Congestion Handling) 이 그것이다.

3.3.1 발주법 분석

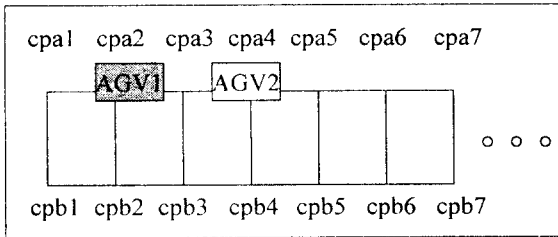
본 실험의 경로 선택 규칙은 경로 예약 방법 (Reserved Path Routing) 과 동적 우선권 방법 (Dynamic Priority Routing) 이다[2]. 경로 예약 방법은 AGV가 이동할 전체 경로를 미리 예약하고 이동하는 방법으로 다른 AGV는 예약된 경로로 진행할 수 없다. 한편 동적 우선권 방법 (DPR) 은 경로 예약 없이 AGV의 현 상황에 맞게 우선권을 주는 방법이다. 실험 결과는 <표 6>과 같다.

<표 6> 경로 선택 규칙 비교

Scheme	Collision Avoidance	Congestion Handling	Waiting Time
Reserved Path	Yes	Good	High
DPR	Yes	Very Good	Low

3.3.2 충돌 방지 방법 분석과 실험 예

MAGV 시스템에서 목적지까지 최단거리로만 운행하다 보면 반드시 충돌이 일어나므로 이를 방지하기 위한 제어가 필요하다. 실제로 제어는 중앙 컴퓨터에 의해 이루어지며 본 실험에서 제안하는 제어 방법은 다음과 같다. 우선 AGV가 이동하는데 있어서 기본적으로 고려해야 할 사항은 첫째 각 제어 포인트의 상태이다. 상태가 1이라는 것은 그 포인트가 비어있다는 뜻이며, 상태가 0이라는 것은 그 포인트가 점유 (Occupied) 되었다는 뜻이다. 두 번째로 전체 제어 포인트가 코드화된 숫자로 변환되어 있다는 사실이다. 이는 컨트롤러 (Controller) 가 정확한 제어를 가능하게 해주기 때문에 매우 중요하다. 세 번째는 각 경로에는 우선 순위가 있다는 것이다. 만약 목적지가 동일라인 상에 있으면 그대로 직진하고, 반대로 다른 쪽 메인 라인 상에 있으면, 보조 라인으로 먼저 이동 후 메인 라인을 이동해야 한다. 이는 AGV의 주차 동작 시 직진이나 후진일 때는 문제없지만 Crab으로 이동해온 AGV는 주차하기 곤란하기 때문이다. 따라서 본 실험에서는 위와 같은 고려사항을 바탕으로 충돌 방지 함수를 구현하였다. 충돌 방지 함수란 현재 운행중인 AGV의 모든 위치를 파악하여 서로 충돌이 발생하지 않게 미리 방향을 설정해 주는 함수로써 AGV가 이동할 전체 경로를 예약하지 않고 다음으로 이동할 제어 포인트만을 예약하는 기능을 가지고 있다. 따라서 충돌 방지 함수를 호출한 AGV는 현재 자신의 위치, 상태에 따라 이동할 제어 포인트를 할당받게 된다. 예를 들어 <그림 4> 와 같은 상황에서 AGV가 어떻게 충돌을 피해 가는지 살펴보도록 하자. 우선 AGV1의 목적지는 cpa7이며 AGV2의 목적지는 cpa1이다. 현재 AGV1은 cpa2에서 cpa3으로 이동 중이며 AGV2는 cpa4에 있으며 목적지까지 최단 거리로 가기 위해서는 cpa3으로 이동해야 한다. 그러나 AGV1은 짐을 싣고 있으며, AGV2는 비어 있는 상태이다. 따라서 AGV1이 더 높은 우선 순위를 가지며 AGV2가 양보해야 한다. 그리고 AGV1은 그대로 직진할 수 있게 해야 한다.



<그림 4> 충돌 방지 예

그러면 실제 코드화된 숫자의 계산은 어떻게 되는지 살펴보자. AGV2는 cpa4에 있으므로 코드화된 숫자가 104이다. 최단 거리로 목적지에 가야하기 때문에 코드화된 숫자 - 1 (= 103) 을 해준다. 그러나 103 제어 포인트로 갈 수 없기 때문에, 반대쪽 주요 라인으로 Crab 한다. 즉, 현재 코드화된 숫자 103 에 101을 더해줌으로써(103+101 = 204), AGV2는 cpb4로 가게된다. 그리고 다시 충돌 방지 함수를 호출하게 된다.

그러나 AGV1은 약간 다르다 AGV2가 cpa4에서 cpb4로 이동 중에 있으면 cpa4는 아직 작업이 없기 때문에 진입이 불가능하다. 그래서 직진해야 함에도 불구하고 충돌 방지 함수를 호출하게 된다. 이때 AGV1은 짐을 가지고 있고 AGV2는 비어 있으므로 충돌 방지 함수에서는 AGV1에게 더 높은 우선 순위를 부여하고 적당한 시간만큼 cpa3에서 멈추게 해줌으로써 충돌 방지를 하게되는 것이다. 한편 AGV2는 cpb4로 양보하지만 목적지는 cpa1으로 변하지 않으며 메인 라인보다 보조 라인이 우선되어야 하지만 AGV1에 의해서 보조 라인으로의 진입이 불가능함으로써 AGV2는 cpb3으로 다시 양보하게 된다.

지금까지 설명된 예에서 두 개의 AGV가 어떻게 제어 포인트를 소유하게 되는지 <표 7> 과 <표 8> 에서 설명하도록 하겠다.

<표 7> 충돌 방지 흐름도 (AGV1)

Event	AGV1		
	Current	Next	Action
1	102	103	Move to East
2	103	103	Wait
3	103	104	Move to East
4	104	105	Move to East

<표 8> 충돌 방지 흐름도 (AGV2)

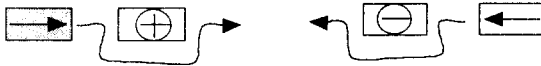
Event	AGV2		
	Current	Next	Action
1	104	204	Crab
2	104	204	Move to South
3	204	203	Move to West
4	203	103	Move to North

#### 4. 동적 우선 순위 라우팅

앞에서 설명하였듯이 교통 제어에서는 혼잡 및 충돌 방지가 가장 중요하다. 이를 해결하기 위해서 흔히 경로 예약 방법을 사용하는데, 본 연구에서는 AGV의 효율을 고려하여 동적 우선 순위 라우팅과 비교해서 다음과 같이 제안한다. 먼저 동적 우선 순위 라우팅이란 최단경로를 탐색하고 설정한 AGV가 목적지까지의 전체 경로를 미리 예약하는 방법과는 다르게, 이동 할 다음 제어 포인트만을 예약하고 이동하도록 하는 것이다[3]. 따라서 충돌이 일어나지 않을 경우는 최단경로를 따라서 이동하지만 충돌이 일어날 경우에는 그 상황에 맞게 각 AGV에게 우선 순위가 부여되고 양보할 AGV는 보조 라인으로 이동하게 된다. 이때, 중요한 것은 AGV의 상황에 따라 우선 순위가 주어져야 한다는 것이다. AGV의 상태 (Status) 는 <표 9> 에서와 같이 8가지로 구분할 수 있다고 할 때 각 상황에

따라 우선 순위가 결정되는 방법을 설명하면 다음 그림과 같다.

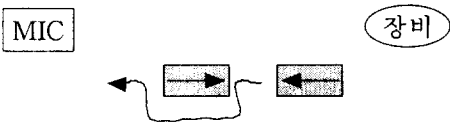
① 충전하고 있거나 충전하러 이동하는 AGV가 우선된다.



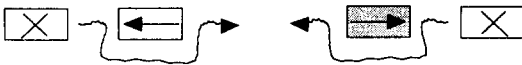
② 작업 AGV가 빈 AGV보다 우선된다. 즉, 작업을 위해 이동중인 AGV나 장비 앞에서 정지하여 장비와 작업을 수행하는 AGV가 이동중인 빈 AGV보다 우선된다.



③ 신고 있는 짐이 공정이 완료된 상태인 AGV보다 공정을 받으러 짐을 신고 이동중인 AGV가 우선된다.



④ 주차중인 AGV보다 작업을 할당받은 AGV가 우선된다. 따라서 이 경우 주차중인 AGV가 Wakeup Procedure를 거쳐 다시 Active 되어야 하고 곧바로 양보 수행 루틴으로 들어가야 한다. 일반적으로 여러 곳에 주차 포인트가 있을 경우 비어 있는 다른 주차 포인트로 이동하게 된다.



<표 9> AGV Status

	Empty AGV
	Loaded AGV
	Empty & Moving AGV
	Loaded & Moving AGV
	Recharging AGV
	Moving AGV for Recharging
	Parking AGV
	Reposing for Loding/Unloading

### 5. 결론

지금까지 우리는 MAGV 시스템을 대상으로 여러 가지 실험을 하였고, 보다 정확한 결과를 얻기 위해서 전체 운영 구조를 Layout Management, Job Scheduling과 Traffic Control의 세 가지 모듈로 구분하였다. 이를 바탕으로 세부적인 실험결과를 알아보면 작업 스케줄링에는 Dynamic Priority Scheduling과 Least Utilized AGV 선택 규칙이 상대적으로 우수한 평가를 받았다. 주차 규칙에는 Last Job Point 주차 규칙이 좋은 점수를 받았고, 충전 방식에서는 Advanced Time Calculation이 효율적인 것으로 검증되었다. 그리고 마지막으로 이 논문의 중점적인 관심이었던 교통 제어 방법에서는 Dynamic Priority Routing 방법이 우수한 성능평가를 받았다. 이런 실험결과를 바탕으로 현재 생산 시스템에 적용된 AGV의 문제점을 비교, 분석하여 성능을 보다 향상시킬 수 있으며, 새로운 시스템의 설계, 운영 시 보다 효율적인 방법의 적용을 제시함으로써 궁극적으로 생산성 향상에도 기여할 수 있으리라 생각된다.

향후 본 연구에서 개선할 점은 Layout의 변화에 크게 종속되지 않고 AGV 시스템을 시물레이션 할 수 있도록 시스템의 설계와 운영이 좀더 독립적인 모듈로 개발되고 세분화되어야 할 것이다.



## 참고문헌

- [1] MacCarthy B. L., and Jiyin Liu, "A New Classification Scheme for Flexible Manufacturing Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, No. 2, 1993
- [2] Madhav Ram Vemoory and Hsu Wen Jing, "Scheduling and Routing of AGVs", *The Fifth International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision*, 1998
- [3] A. J. Bostel and V. K. Sagar, "Dynamic control systems for AGVs", *IEE Computing & Control Engineering Journal*, 1996
- [4] R. E. King and C. Wilson, "A review of automated guide-vehicle systems design and scheduling", *Production Planning & Control*, 1990
- [5] P. J. Egbelu, and J. M. A. Tanchoco, "Characteristics of Automated Guided Vehicle Dispatching Rule", *International Journal of Production Research*, Vol. 22, No.3, 1984
- [6] Klein C. M. and Kim J., "AGV Dispatching", *International Journal of Production Research*, Vol. 34, No. 1, 1996
- [7] Sabuncuoclu I., Hommertzheim D. L., "An Investigation of Machine and AGV Scheduling Rules in an FMS", Elsevier, Amsterdam, 1989
- [8] C. W. Kim, and J. M. A. Tanchoco, *Bi-directional Automated Guided Vehicle System (AGVS)*, Material Flow Systems in Manufacturing, Chapman & HALL, London, 1994
- [9] Tang L. L., Yih Y. and Liu C. Y., "A Study on Decision Rules of a Scheduling Model in an FMS", *Computers in Industry*, Vol. 22, 1993
- [10] Choi H. G., Kwon H. J., and Lee J. "Traditional and Tandem AGV System Layouts : A Simulation Study", *Simulation*, Vol. 63, No. 2, 1994
- [11] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L. Fivest, *Introduction to Algorithms*, The MIT Press, Cambridge, England, 1989
- [12] Andrew S. Tanenbaum, *Modern Operating Systems*, Prentice Hall Inc., 1992
- [13] Huang C., "Design of Material Transportation System for Tandem Automated Guided Vehicle System", *International Journal of Production Research*, Vol. 35, No.4, 1997

## ● 저자소개 ●



전동훈

1997년 성균관대학교 제어계측공학과 학사

1999년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과 석사

1999년 ~ 현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과 박사과정  
관심 분야 : 컴퓨터 시뮬레이션, 공장 자동화, 지능형 시스템

이상훈

1999년 성균관대학교 제어계측공학과 학사

1999년 ~ 현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학과 석사과정  
관심 분야 : 컴퓨터 시뮬레이션, 물류 자동화

이철기

1980년 성균관대학교 전자공학과 학사

1985년 Arizona State University 전기 및 컴퓨터 공학과 석사

1990년 University of Arizona 전기 및 컴퓨터 공학과 박사

1979년 ~ 1983년 한국 방송 공사 (KBS) 기술 요원

1990년 ~ 1995년 삼성전자 응용소프트웨어 개발실 수석 연구원

1995년 ~ 현재 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터 공학부 부교수  
관심 분야 : 컴퓨터 시뮬레이션, 객체지향 모델링, 공장 자동화,

전문가 시스템