

## AGV 유도경로 설계에 관한 연구<sup>+</sup>

최 해 운\* · 정 무 영\*\*

### Guide-Path Design for Automated Guided Vehicles

H. Choi<sup>\*</sup> and M. Jung<sup>\*\*</sup>

#### Abstract

AGVS(Automated Guided Vehicle Systems) in material handling have been used widely since late 1970s. Implementation of an AGVS generally requires substantial study to optimize the design and performance of guide-paths. Traditional mathematical approaches have been used with limited success to analyze AGVS. These approaches, however, do not provide a practical tool for guide-path designers.

This paper presents a new approach based on rules in designing and assessing AGV guide-paths to improve the design of a closed-loop layout. A framework for the integrated approach is proposed, problem solving procedures are explained, and a case study is reported to demonstrate the framework. Deletion of seldom used guide-paths, and addition of bypasses to solve the congestion problem, are conducted interactively and iteratively through simulation experiments. To visualize the results, a graphic control program is developed and integrated with the AutoMod/AutoGram simulation package.

#### 1. 서 론

물류시스템은 모든 생산요소들을 통합화하는데 있어서 중요한 부분으로 인식되고 있다. 제품 생산에 있어서 물류시스템의 불합리로 인한 공정의 지연은 전체시스템의 효율적 운영에 절대적인 영향을 미치기 때문이다. 즉, 잘 설계된 물류시스템은 불필요한 재고의 감소와 적시에 생산출하를 기할 수

있으므로 효율적인 재고 관리를 달성할 수 있게 된다. 이러한 물류시스템의 근간을 이루는 것 중의 하나가 AGV(Automated Guided Vehicle)시스템이다. AGV는 1970년 후반부터 물류시스템의 중요한 요소로서 사용이 확산되고 있다. AGV는 일반적으로 바닥에 유도선 매설, 반사 테이프 부착등의 방법으로 고정된 경로를 따라 자동적으로 움직이게 된다. 비록 AGV설치와 유지보수에 많은 어

\*이 논문은 1990년도 문교부지원 한국학술진흥재단의 지방대육성 학술 연구조성비에 의하여 연구되었음.

\*산업과학기술연구소 경영과학 연구실

\*\*포항공과대학 산업공학과

려움이 따르고는 있지만 그 응용범위는 자동창고분야, 조립라인, 그리고 건물 내부에서의 운송시스템 등에 사용되고 있다.

AGV시스템을 설계하는데 있어서 고려되어야 할 중요한 사항들을 살펴보면: 1) 필요한 AGV 댓수, 2) AGV의 유도경로의 배치, 3) 교통통제 형태, 4) AGV가 신호를 받는 통제점(control point)의 수 및 차량 대기 버퍼(buffer)수, 5) 차량 배치 규칙등이다.[1] 그 외에도 AGV시스템의 성능은 차량 스케줄링, 운반하고자 하는 물품의 용적이나 무게, 물품을 싣고 내리는 권상 및 권하 위치(pickup and delivery station)등에 따라 영향을 받는다. 이러한 제반 문제들을 다루는데 있어서 크게 두가지 방법이 사용되고 있다. 즉, 수리적 모형을 통한 분석적 방법에 의한 문제해결시도와 시뮬레이션에 의한 시도이다.

전자의 경우는 일반적으로 수리적인 모델을 세우기도 힘들뿐 만 아니라 문제의 해가 정수해를 구하는 것이기 때문에 계산 시간이 길어진다는 문제점이 있으며 변수의 수나 제약식이 조금만 커져도 문제해결에 어려움이 수반되어 실제 생산시스템에서의 사용을 저해하는 문제점을 안고 있다. 또한, 수리적인 모델로 해를 구한다고 하더라도 그 해는 AGV의 동적인 요소를 전혀 고려할 수 없기 때문에 정확한 값이 될 수는 없으며 단지 초기해를 구하는데 있어서 어느 정도의 지침을 제시해 줄 수 있을 뿐이다. 다시 말하자면, 수리적인 모형으로는 AGV사이의 간섭현상(blocking), 충돌 현상(collision), 교통혼잡(congestion)문제 등은 전혀 다룰 수가 없으며 다만 AGV의 전체 이동거리를 중심으로한 AGV의 필요 댓수, 버퍼수등을 구하는데에 아이디어를 줄 수는 있을 것이다.

반면에 시뮬레이션을 이용한 방법은 수리적 모형에 의해 해결할 수 없는 문제점들을 어느정도 극복할 수가 있어 실제의 경우에는 대부분 이 방법에 의해 문제를 해결하고 있다. AGV 경로설계를 예로들어 살펴보면, 수작업에 의해 계산을 하게되면

시스템 용량을 추정하는데 상당한 불확실성이 따르게 된다. 즉, AGV 속도, 권상시간, 물동량, 가용공간등에 대해 다양하고 충분한 고려가 뒤따라야 하는데 이러한 제반 요소들의 복잡한 변화를 수작업에 의존한다는 것은 거의 불가능한 것이다. 이러한 이유들 때문에 물류시스템의 설계에 관련된 기법들 중 시뮬레이션이 가장 다양하게 쓰이고 있으며 서로 다른 파라미터 값에 따라 다양한 시스템의 설계와 운영방법들을 제시해 주고 있다.

AGV시스템의 설계에 있어서 중요한 요소중의 하나가 AGV가 움직이는 유도경로의 설계 부분이다. 유도경로 설계는 AGV가 서로 만나는 지점이나 교통혼잡이 발생하는 지점에서의 물동량의 불균형으로 야기되는 교통혼잡 정도에 따라 전체 시스템에 큰 영향을 미치게 된다. Norman *et al.* [2]의 분석에 의하면, 전체 시스템 성능에 미치는 요소중 가장 중요한 것으로는 AGV자체의 작동결함 문제를 들고 있으며 AGV의 유도경로 설계 문제와 배치규칙에 대한 선택도 중요한 것으로 지적하고 있다. 실제 시스템을 구축하는 현장 기술자들도 경험에 의거하여 AGV 유도경로를 설계하고 있으며 시뮬레이션을 이용하더라도 어떤 확실한 규칙이나 지침이 없어 문제가 생길 때마다 여러 방안을 시도해 보고(trial and error) 적당히 수정하고 있는 실정이다.[3]

본 논문에서는 AGV 유도경로를 보다 효율적으로 설계할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다. 일단 초기 모델이 주어지면 시뮬레이션 검정을 통해 결과를 분석하고 일정한 규칙에 근거하여(rule-based) 설계가 자동 수정되는 일관화 된 시스템을 구축하는데 그 목적이 있다. 전체 시스템은 IRIS 3130 워크스테이션에서 C언어를 사용하여 구축하였으며 시뮬레이션 언어로는 오토모드/오토그램(AutoMod/AutoGram)[4]을 사용하여 일체화된 시스템을 구축하였다.

## 2. 기존 연구의 고찰

AGV 유도경로 설계 문제는 Gaskins와 Tanchoco [5]에 의해 0-1 정수 계획법으로 처음 구성되었다. AGV유도경로를 노드(node)와 아크(arc)로 구성된 네트워크(network)으로 보고 이를 수리적 모형으로 구성하였는데, 노드는 AGV의 권상 및 권하 위치나 서로 다른 두경로가 만나는 부분을 나타내고 아크는 두 노드를 잇는 경로를 나타낸다. 모형의 목적함수는 전채이동 거리의 최소화 즉, 이동거리와 이동플랑 곱의 최소화에 두고 적정 AGV 댓수와 두 노드사이 경로의 방향을 선정하는데 있었다. 그러나 실제의 복잡한 문제에 0-1 정수계획법을 적용하기에는 계산시간이 엄청나게 증가한다는 문제점을 안고있다.

Gaskins *et al.* [6]은 무궤도 AGV 시스템에 대한 경로를 설정하는 방법을 제시하였다. 허용 가능한 경로의 수와 노드사이의 주행방향을 결정하는 모델을 정수계획법을 이용하여 해를 제시하였다. Kaspi와 Tanchoco [7]는 분지한계(branch & bound)법을 이용하여 AGV 경로를 설계하는 모형을 제시하였다. 이 방법에서는 일단 정해진 주행순서(route)에 따라 AGV 경로가 양방향(bi-direction)으로 존재한다고 가정하고 모든 노드사이의 경로에 대해 전체 AGV 이동시간을 최소화 시켜주는 방향의 경로를 선택하게 된다. 이러한 방법들의 문제점으로는 정수계획법의 한계를 제외하고도 노드사이의 주행 방향 정도를 결정해 준다는 것과 실제적인 현상의 복잡한 AGV 유도경로를 결정해 주기에는 분지한계법도 제약이 많다는 점을 들 수 있다. 물론, AGV 사이의 간섭현상이나 교통혼잡등을 고려할 수 없음을 주지의 사실이다.

Goetz와 Egbelu [8]는 유도경로를 정하는 문제와 경로의 안쪽이나 바깥쪽에 AGV의 권상 및 권하위치를 정하는 문제를 이동거리의 최소화를 목적함수로 사용하고 선형 정수계획법으로 모형화 했

다. 그러나 권상 및 권하 위치가 일반적으로 관련 물류 시스템의 설비환경(예를 들면, 자동창고 시스템이나 부설된 컨베이어(conveyor) 위치 등)에 따라 결정된다는 사실을 감안한다면 권상 및 권하 위치를 쉽게 바꿀 수 있는 것도 아니다.

Sharp와 Liu [9]는 닫힌 루프(closed loop) 형태의 고정된 유도경로에 있어서 네트워크를 구성하는 분석적인 방법을 혼합 정수계획법을 이용하여 제시하였다. 쇼트컷(shortcuts), 오프라인 스퍼(off-line spurs), 또한 그것들의 길이에 관해 초기에 결정을 잘 해줌으로써 시뮬레이션에 의해 평가하기 전에 수없이 많은 가능한 네트워크 구성을 수개의 짧은 설계로 줄일 수 있음을 보여 주었다.

이러한 분석적인 수리 모형에 있어서는 AGV 시스템의 효율적 운영에 일반적으로 가장 큰 영향을 미치는 요인으로 알려진 AGV 사이의 간섭현상이나 교통혼잡 문제와 같은 동적인 특성들을 전혀 반영할 수 없고 단지 전체 이동거리의 합수로만 모형화가 가능하다는 전반적인 단점이 있다. 따라서 수리적인 모형에서 나온 결과는 시뮬레이션을 하기 위한 초기값을 얻는데에는 도움이 될지 모르지만 정확하다고는 볼 수 없다. 그 외에 유도경로를 분석하는데에 시뮬레이션을 이용한 연구는 많이 있었으나 [1, 10] 본 연구에서 시도하는 바와 같이 유도경로를 자동으로 개선시켜 주는 일체화된 시스템에 대한 시도는 없었던 것으로 보인다.

## 3. 유도경로의 설계

기존의 AGV 유도경로에 관한 연구에 있어서는 거의 대부분 양방향의 유도경로가 모든 노드사이에 존재한다고 가정하고 최적인 단일방향의 경로를 모든 노드에 대하여 선택해 주는 것이 대부분이다. 따라서, 초기 AGV 유도경로가 일단 주어지고 각 방향만을 택하는 것이기 때문에 전체 경로의 변경은 없었다고 볼 수 있다. 일반적으로 사용하는 방

법은 처음에 수리적 모형에 의한 유도경로 배치에 대한 초기치를 정한 다음 시뮬레이션 검정을 통해 전체 경로를 개선 해나가는 것이다. 그러나 실제 문제에 있어 수리적 모형으로 풀릴만한 그리 간단한 경로설계는 거의 없다고 볼 수 있다.

본 연구에서는 일단 초기 경로설계가 주어졌을 때 시뮬레이션 검정을 통해 AGV 사이의 교통혼잡 문제가 발생하게 되면 이를 해소시킬 수 있는 우회 경로를 저장된 규칙에 따라 생성시켜주는 기능과 사용이 저조한 비효율적인 경로와 통제점을 삭제시켜 주는 기능을 갖추고자 한다. 여기서 통제점이란 함은 실제 AGV 제어에 있어서 명령을 주고 받을 수 있는 센서의 위치로 생각하면 된다. AGV 유도 경로 설계자는 이 시스템을 사용함으로써 시뮬레이션 검정을 통해 계속적이고 자동적으로 유도경로를 개선시켜 나갈 수 있으며 거기에 따른 결과분석도 자동적으로 얻을 수가 있다.

### 3.1 기본 상황 및 가정

본 연구를 수행하는데 있어서 사용된 기본적인 상황과 가정은 다음과 같다.

- [1]. AGV 경로 형태(path configuration)는 닫힌 루프(closed loop) 형태이다. 이는 실제적으로 가정이라고 하기 보다는 현장에서 많이 사용하고 있는 형태이다.
- [2]. AGV는 단방향(uni-directional)으로 움직인다. AGV의 가격이 비싸다는 이유도 있으나 양방향의 경우에는 제어가 복잡해지기 때문에 현장에서는 일반적으로 단방향 주행시스템을 사용하고 있다.
- [3]. 두 통제점 사이의 거리는 최소한 AGV 길이 보다는 커야 한다. 이는 AGV가 주행할 시에

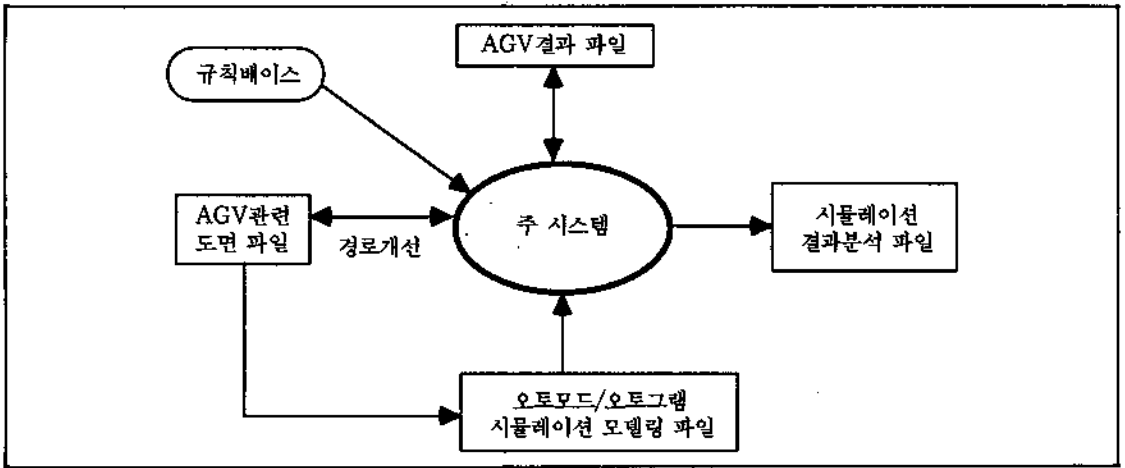
두 센서사이의 거리가 AGV자체 길이보다 짧다면 통제가 불가능하기 때문이며 그러한 설계는 있을 수도 없다.

- [4]. 새롭게 생성되는 우회경로(bypass)는 전체 경로의 내부에서 이루어진다. 이는 가용면적을 고려하여 대개의 경우에 주(main)경로를 제일 바깥쪽에 설치하고 부경로나 우회경로는 그 내부에 설치함을 따른 것이다.
- [5]. 초기 경로 배치도는 주어진다. 이는 경로 설계자가 어느 정도의 경험은 있을 것이라는 가정과 경험이 전혀 없는 사람이라도 모든 가능한 경로를 그릴 수는 있을 것이라고 가정하는 것으로 별 무리가 없을 것으로 생각된다.

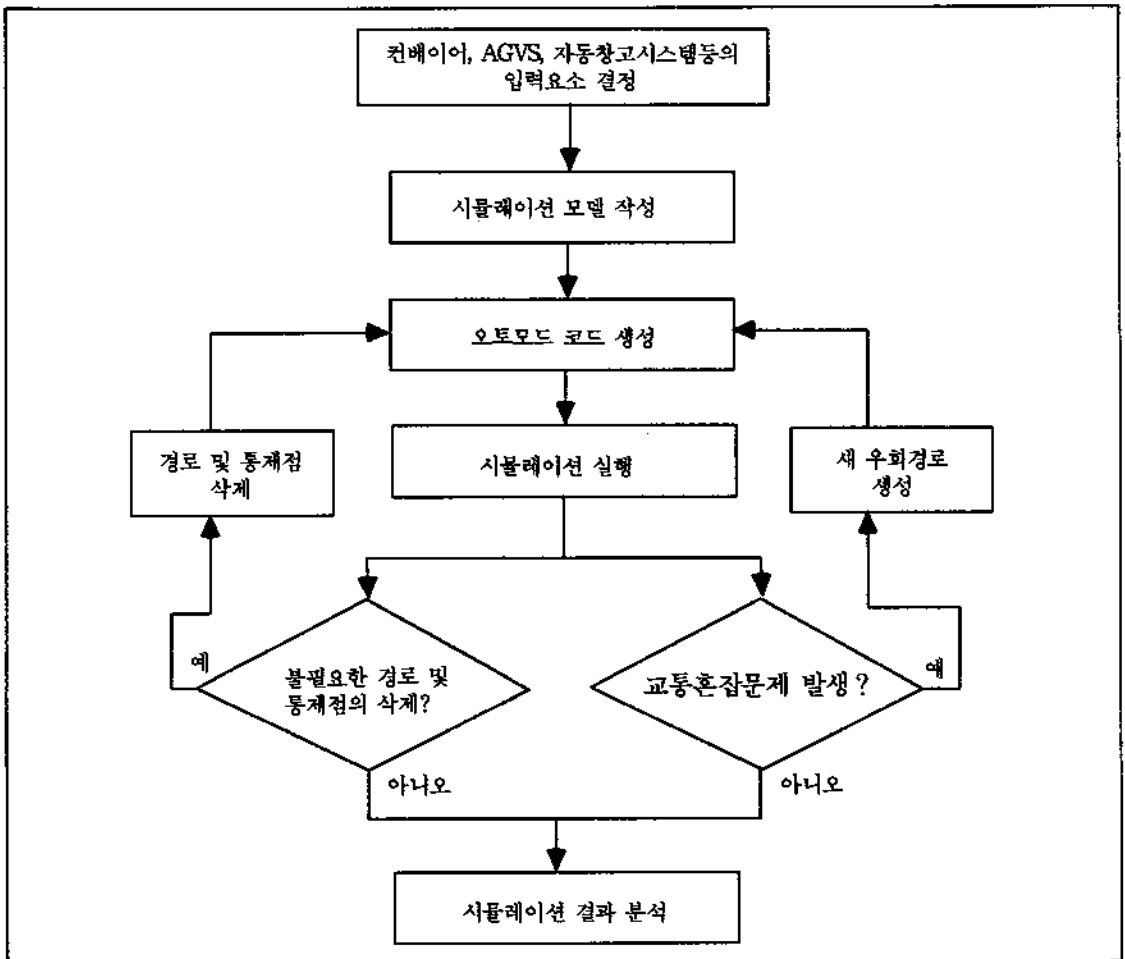
### 3.2 설계시스템의 구조 및 수행단계

유도경로 설계시스템의 전체 구조를 살펴보면, [그림 1]에서 보는 바와같이 오토모드/오토그램 시뮬레이션 모델링파일(file), AGV 유도경로 개선시 필요한 도면파일, 시뮬레이션 수행 후에 AGV 유도경로의 수정이 필요한지를 판단할 경우에 필요한 AGV 결과파일, 수정이 필요한 경우 어떻게 수정할 것인지를 알려주는 규칙베이스(rule base), 시뮬레이션 결과파일로 구성되어 있고 이들 구성 요소를 하나의 통합된 시스템으로 엮어주는 주(main)시스템이 앞서 언급한 바와 같이 C언어로 짜여져 있다.

유도경로 설계시스템의 수행은 8단계로 나뉘어져 있으며 [그림 2]에서와 같은 흐름도를 갖는다. 여기서 시스템 수행이 끝나는 조건은 더 이상의 개선이 필요없거나 저장된 규칙만으로는 더 이상 개선이 불가능한 경우이다. 각 단계를 자세히 살펴보면 다음과 같다.



[그림 1] 유도경로 설계시스템 구조



[그림 2] 유도경로 설계시스템의 수행 흐름도

단계 1. 먼저 관련되는 물류시스템을 기술한다. 예를 들면, 컨베이어, AGVS, 자동창고 시스템 등을 일반적인 CAD 시스템과 유사한 오토그램 모드(mode)에서 그래픽적으로 입력한다. AGV 시스템을 기술할 때에는 설계자가 사용 AGV의 댓수, 속도, 가속도, 감속도, 배차 규칙과 전체 유도경로 배치도와 통제점 등을 입력하여야 한다. 자동창고시스템의 경우에는 랙(rack)의 갯수, 번지(bay)의 갯수, 크기, 랙 사이의 폭, 스택커 크레인(stacker crane)의 주행 속도, 상승속도, 가속도, 감속도, 권상시간 및 권하시간 등의 필요한 자료들을 입력하여야 한다. 자동창고 시스템의 구조에 관해서는 [11]에 잘 설명되어 있다.

단계 2. 전체 시스템의 성능을 검증하기 위한 시뮬레이션 모델링을 한다.

단계 3. 오토그램에서 그래픽으로 입력한 물류시스템을 시뮬레이션에 사용하기 위해 오토모드 코드를 생성시킨다.

단계 4. 시뮬레이션을 실행시킨다.

단계 5. 시뮬레이션 결과를 도출한 다음 생성된 AGV 결과파일을 분석한다. 만약 설계한 유도경로 배치도에 문제가 없으면 단계 8로 간다. 문제가 있음이 판명되고 사용이 되지않는 유도경로가 있을 경우에는 단계 6으로, 교통혼잡이 발생한 경우에는 단계 7로 간다.

단계 6. 사용이 되지않는 유도경로 부분과 통제점들은 삭제시켜 유도경로 배치도를 개선한다.

단계 7. 교통혼잡 문제가 발생하게 되면 문제를 해결해 줄 수 있는 새로운 우회경로를 저장된 규칙에 의거 적정 위치에 생성시킨다. 그리고 다시 단계 3으로 간다.

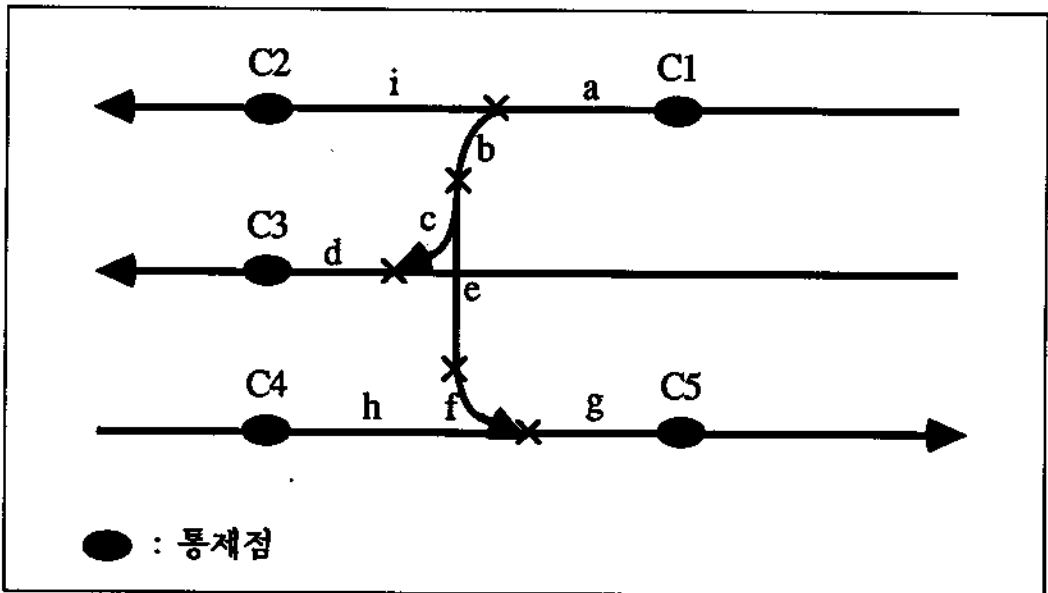
단계 8. 전체 시스템 수행을 끝낸다.

### 3.3 비효율적인 유도경로와 통제점의 삭제

설계자가 시뮬레이션 결과를 보고 사용이 되지않는 유도경로나 통제점을 일일이 찾는다라는 것은 시간도 많이 걸릴 뿐만 아니라 쉬운 작업도 아니다. 따라서, 사용이 되지않는 비효율적인 유도경로와 통제점들을 자동으로 제거해 주어 초기 설계의 잘못을 쉽게 찾아낼 수가 있도록 한다면 전체 배치도를 확정시킬 때까지 수반되는 시간과 비용을 줄여 상당한 생산성 향상을 이룰 수가 있다.

이러한 작업은 시뮬레이션 결과에서 얻어지는 통제점들에 관한 정보로 수행할 수가 있는데, 만약 교통혼잡 문제가 심각하지 않다면 통제점들의 유용도(utilization)는 전체적으로 비슷하게 나타나지만 교통혼잡이 심하면 유용도의 값들이 특정 통제점들에 대해서 지나치게 높게 나타나게 된다. 두개의 통제점은 하나의 부분경로(segment)를 구성하고 이 부분경로는 [그림 3]에서와 같이 기본요소인 선(line)과 아크(arc)의 연속적 형태로 그려지게 된다. 사용되고 있는 통제점들은 그 리스트(list)가 시뮬레이션 결과에 나타나게 되고 시뮬레이션 결과에 나오지 않는 통제점들의 리스트를 구할 수가 있으며 그러한 통제점들은 사용이 되지 않는 것으로 삭제시켜도 전체 시스템 성능에는 전혀 영향을 미치지 않는다.

또한, 사용되지 않는 유도경로도 사용이 되지않는 통제점들의 집합에서 찾을 수가 있다. 다만 사용되지 않는 두 통제점 사이의 유도경로를 삭제할 때에는 주의가 필요하다. 즉, 두 통제점 상의 부분경로중 순수하게 사용이 되지않는 부분을 골라서 삭제할 필요가 있다. 예를들어 [그림 3]에서와 같은 경우에 시뮬레이션 결과  $C_1 \rightarrow C_5$  경로는 사용이 되지 않았고  $C_1 \rightarrow C_2$ ,  $C_1 \rightarrow C_3$ ,  $C_4 \rightarrow C_5$  경로는 사용이 되고 있다면  $C_1 \rightarrow C_5$  경로를 삭제하게 되면 a, b, g 부분이 제거되어 필요한  $C_1 \rightarrow C_2$ ,  $C_1 \rightarrow C_3$ ,  $C_4$



[그림 3] 부분경로의 기본요소 구성도

→C<sub>5</sub> 경로가 동시에 없어져 버리는 결과가 된다. 이러한 결과를 보완해 주기 위해서는 C<sub>1</sub>→C<sub>5</sub> 경로 중 C<sub>1</sub>→C<sub>3</sub> 경로에 사용되는 부분을 제외한 부분만 삭제시켜 주어야 한다.

S1 및 S2를 각각 사용된 부분경로의 집합 및 모든 부분경로의 집합이라 두면,

$$S1 = \{C_1 \rightarrow C_2, C_1 \rightarrow C_3, C_4 \rightarrow C_5\}$$

$$S2 = \{C_1 \rightarrow C_2, C_1 \rightarrow C_3, C_1 \rightarrow C_5, C_4 \rightarrow C_5\}$$

이다. 여기서 부분경로는 기본요소인 선과 아크의 연속으로 그려주기 때문에

$$(C_1 \rightarrow C_2) = \{a, h\}$$

$$(C_1 \rightarrow C_3) = \{a, b, c, d\}$$

$$(C_1 \rightarrow C_5) = \{a, b, e, f, g\}$$

$$(C_4 \rightarrow C_5) = \{g, h\}$$

의 형태로 저장되어 있다. 따라서 사용이 되지않는 부분경로의 집합 S3는

$$S3 = S2 - S1$$

$$= \{C_1 \rightarrow C_5\}$$

가 되며 S3에 속하는 모든 기본요소(선과 아크)들을 E1에

$$E1 = \{a, b, e, f, g\}$$

의 형태로 저장한다. 그 다음에 순수하게 삭제할 수 있는 기본요소들을 확인하여 이를 다음과 같이 처리한 후 E2에 저장하고

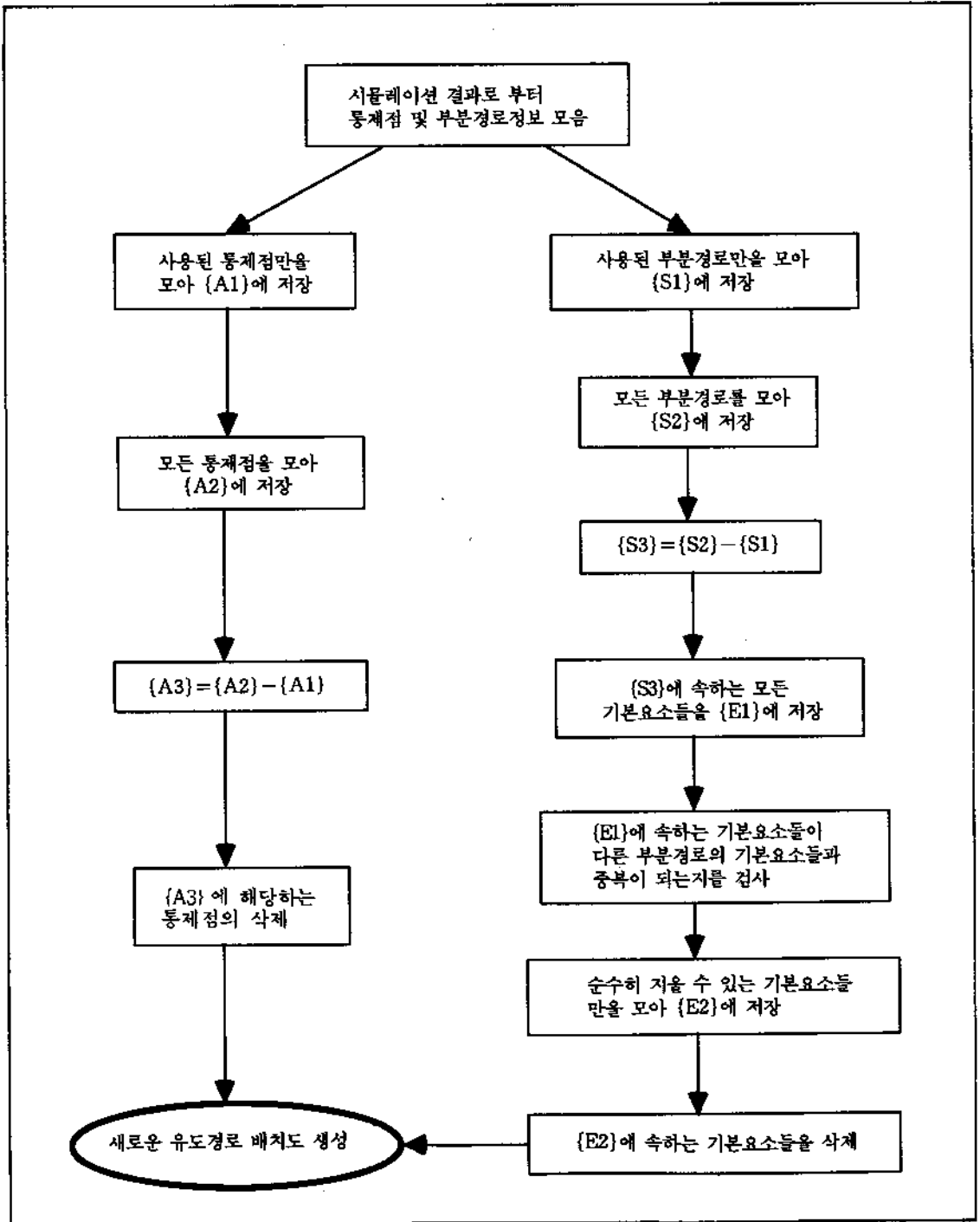
$$E2 = E1 - (C_1 \rightarrow C_2)U(C_1 \rightarrow C_3)U(C_4 \rightarrow C_5) \\ = \{e, f\}$$

E2에 저장된 기본요소들만을 삭제하게 된다.

이러한 일련의 과정 흐름도가 [그림 4]에 전체적으로 나타나 있다.

### 3.4 우회경로의 생성

교통혼잡이나 AGV 사이의 간섭현상이 일어나면 AGV 유도경로를 개선하여 그러한 문제가 발생하지 않도록 하여야 한다. 그러기 위해서는 먼저 전체적인 AGV 경로의 형태 및 AGV 주행방향, 주경로 주위에서의 우회경로의 존재 유무등을 알아야 한다. 이 과정에서는 시뮬레이션 결과로부터 가장 교통혼잡이 심한 부분경로를 찾은 다음, 전체



[그림 4] 통제점 및 경로삭제 알고리즘



배치도에서 해당 부분경로와 이웃하는 부분경로를 찾아 이 두 부분경로 사이의 관계를 조사하여 우회경로가 필요한가를 검토하고 필요하다면 어떤위치에 우회경로를 만들어 줄 것인지를 결정하게 된다. AGV 주행경로의 방향과 교통혼잡이 일어나는 부분경로와 우회경로로 연결시킬 이웃하는 다른 부분경로를 찾는데 따른 규칙을 만들어 줌으로써 어떠한 형태의 우회경로가 필요한지를 알 수가 있고 또한, 어느 위치에 우회경로를 만들지를 결정해 줄 수가 있다.

### 3.4.1 의사결정 규칙 베이스

기본적으로 규칙베이스에는 12가지의 상위규칙으로 구성되어 있으며 각 상위규칙에는 교통혼잡이 일어나는 부분경로에서의 전체적인 AGV 주행방향과 두 통제점의 상대적인 위치에 따라 두개에서 네개까지의 중간규칙(subrule)으로 나누어진다. 먼저, AGV 유도경로에서의 전체적인 주행방향이 시계방향(CW)인지 반시계방향(CCW)인지를 결정한 후, 교통혼잡이 가장 심한 부분경로로 구성되는 두 통제점의 상대적인 위치 관계를 파악해야 한다. 여기서 두 통제점의 상대적 위치관계란 두 통제점이 같은 축(X축 또는 Y축)상에 있으면서 동일 직선상에 위치하는 경우(규칙 1-규칙 8)와 같은 축상에 위치하면서 동일 직선상이 아닌 두 평행한 직선위에 따로 존재하는 경우(규칙 9-규칙 12)를 의미하며 경우에 따라 경로 선정이 달라지게 된다. 최종적으로 AGV 전체경로 형태 및 두 통제점의 상대적 위치관계로부터 원래 교통혼잡이 일어나는 부분경로에 우회경로를 만들 수 있는 이웃하는 부분경로를 저장된 규칙에 따라 찾게 된다.

처음 8개의 상위규칙(규칙 1-규칙 8)은 두 통제점의 위치가 같은 축상이면서 동일 선상에 존재할 때에 적용된다. [그림 5]에 이러한 상위규칙들이 제시되었다. 이들 상위규칙에는 각각 두가지의 중간규칙이 존재하는데, 두 부분경로를 찾았을 때

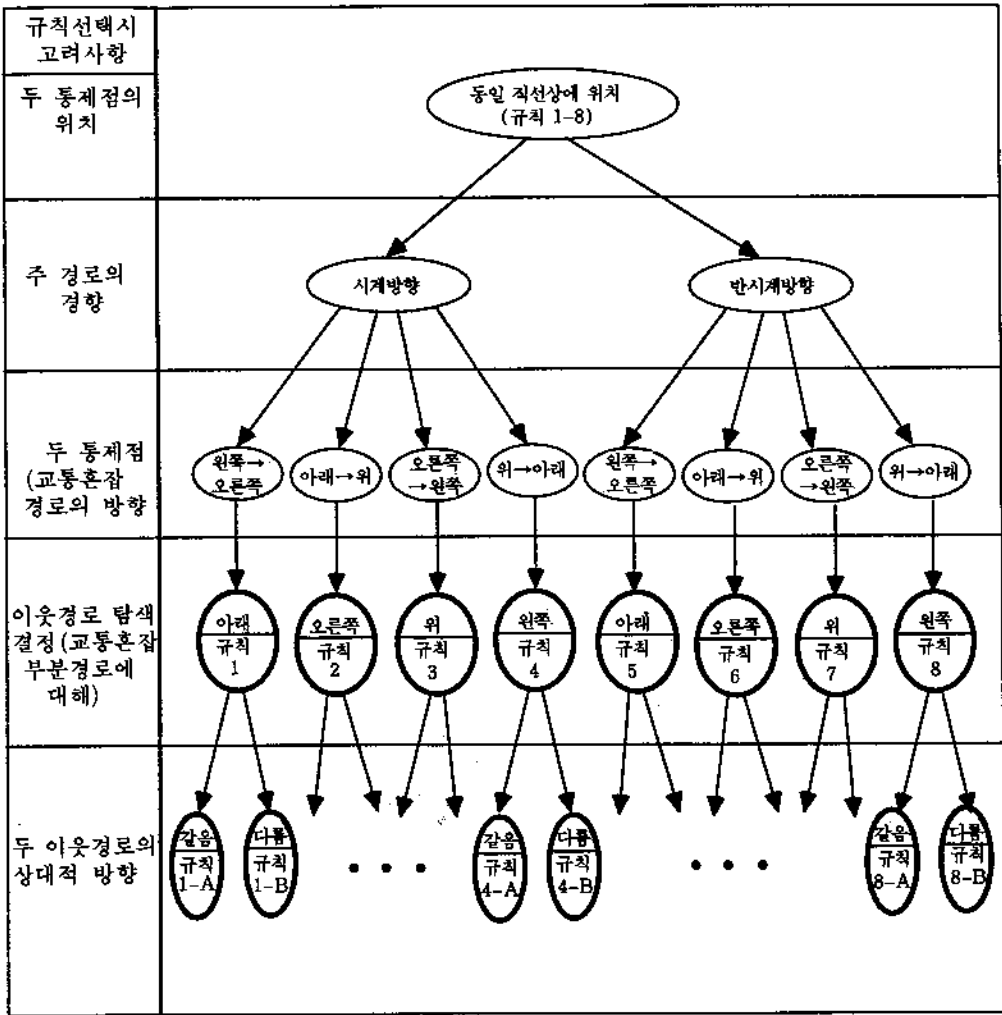
이웃하는 두 부분경로가 같은 방향인지 다른 방향인지에 따라 A, B로 구분된다. [그림 6]에 규칙 1의 A, B경우를 적용한 생성 예를 그래픽적으로 보여주고 있으며 나머지 규칙들도 비슷한 방법으로 적용된다.

규칙 9-규칙 12의 상위규칙들은 두 통제점이 동일 축(X축 또는 Y축)상에는 있으나 동일 선상에 있지 않은 경우 즉, 평행한 두 직선상에 존재할 때 적용된다. [그림 7]에서 보는바와같이 이들 4개의 상위규칙들은 통제가 시작되는 점과 끝나는 점의 상대적 관계에 따라 구분되며 각 상위규칙들은 다시 두 통제점의 축상 위치와 두 통제점이 있는 유도경로의 상대적 방향에 따라 A, B, C, D 4가지의 중간규칙으로 나누어진다. [그림 8]에 규칙 9에서의 4가지의 중간규칙들을 그래픽적으로 표현하였으며 나머지 규칙들도 비슷한 방법으로 나타낼 수 있다.

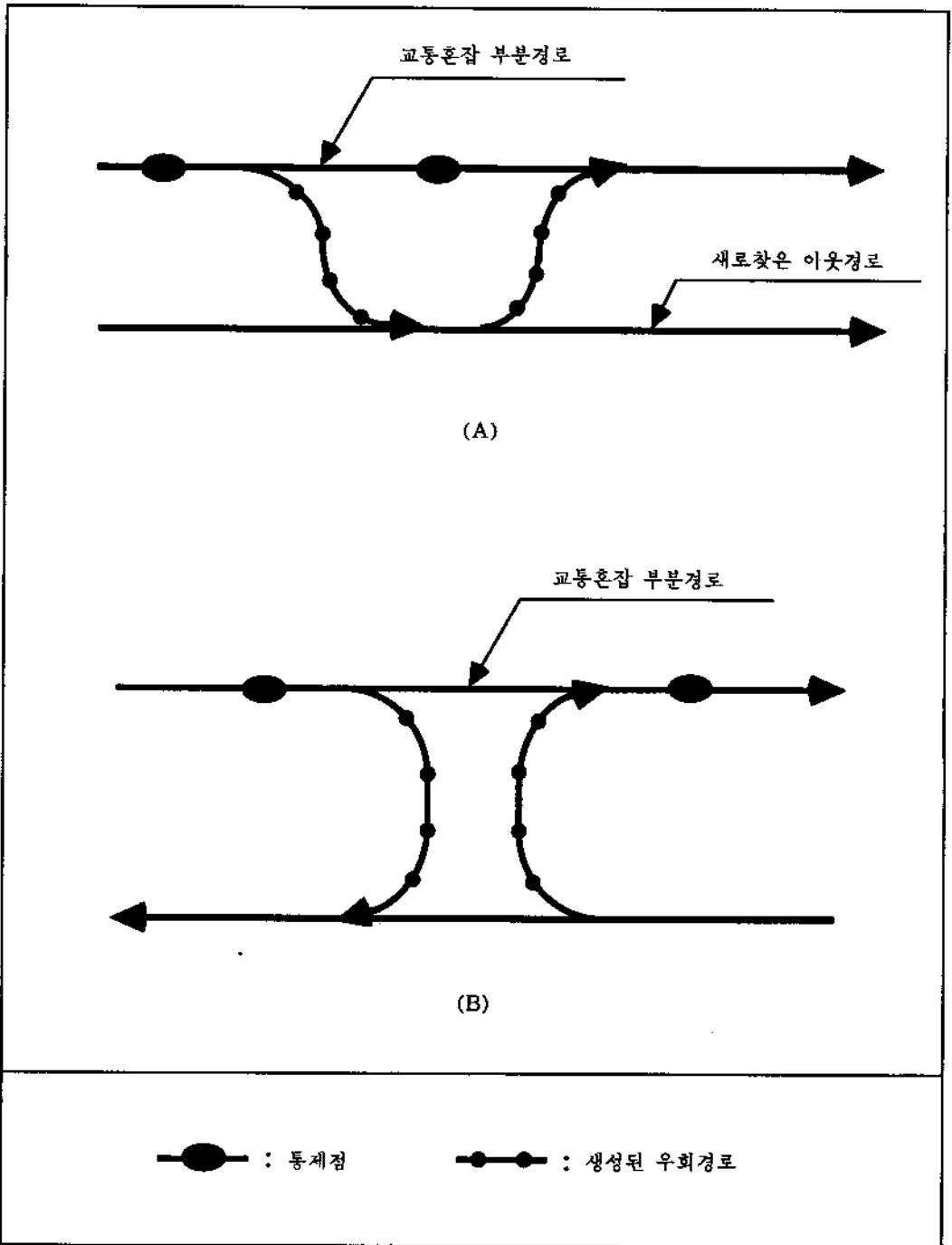
### 3.4.2 우회경로 생성 절차

통제점의 유용도는 교통혼잡 정도를 나타내는 중요한 척도가 된다. 따라서 이러한 유용도의 기준치를 설계자가 정하고 이 기준치를 초과하면 AGV 배치도의 해당 부분에 교통혼잡이 발생하고 기준치 미만이면 교통혼잡 문제는 발생하지 않는 것으로 간주한다. 여기서 통제점의 유용도는 전체 시물레이션 시간에 대한 해당 통제점들이 순수하게 사용되는 시간의 퍼센트를 의미한다. 만약 어떤 특정 통제점의 유용도가 다른 통제점의 유용도에 비해 지나치게 높게 나타난다면 유용도가 높은 통제점주위에서 교통혼잡이 일어난다고 생각할 수 있기 때문이다.

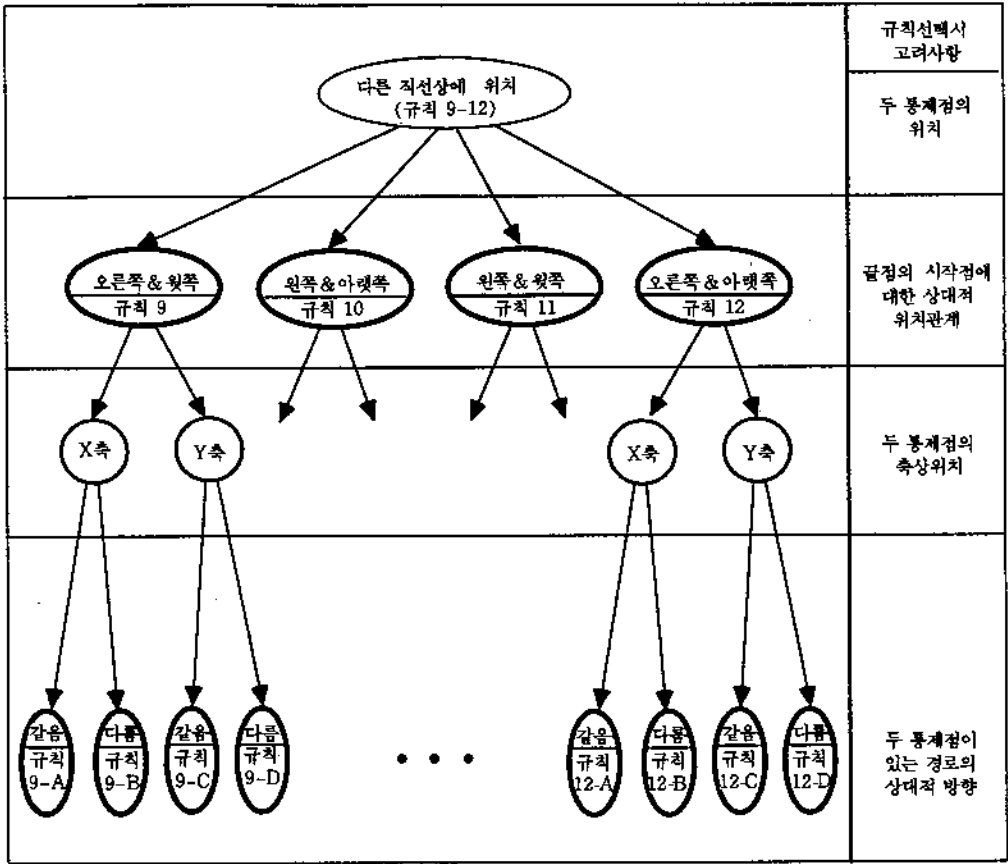
시물레이션 결과에서 얻어지는 AGV 결과파일과 원래 AGV 배치도에 해당하는 파일로부터 가장 교통혼잡이 심한 부분경로의 위치와 이웃하는 부분경로의 상대적인 위치 파악으로부터 어떤 위치에 어떤 형태의 우회경로를 생성시킬 지를 결정



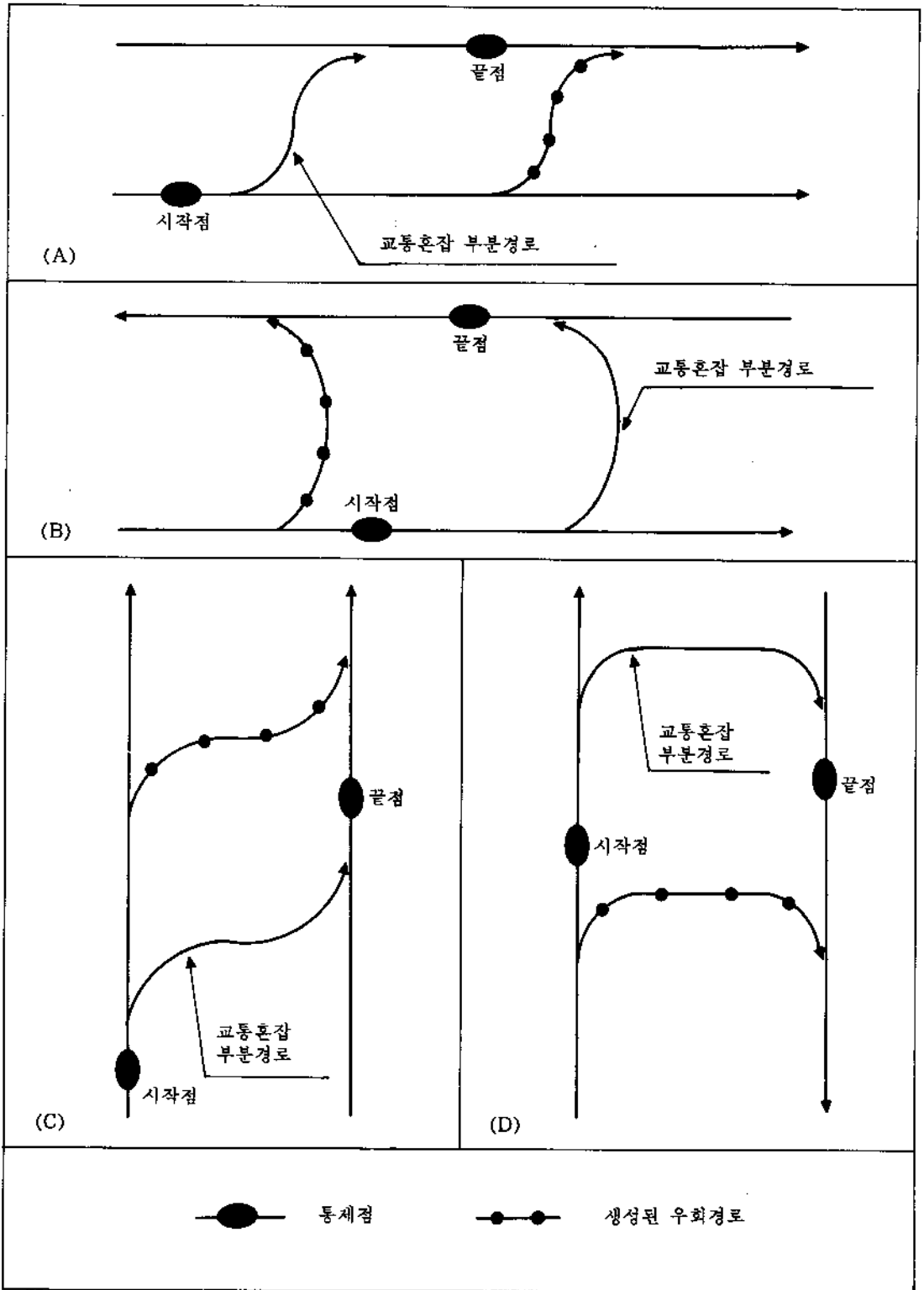
[그림 5] 의사결정 트리(규칙 1-규칙 8)



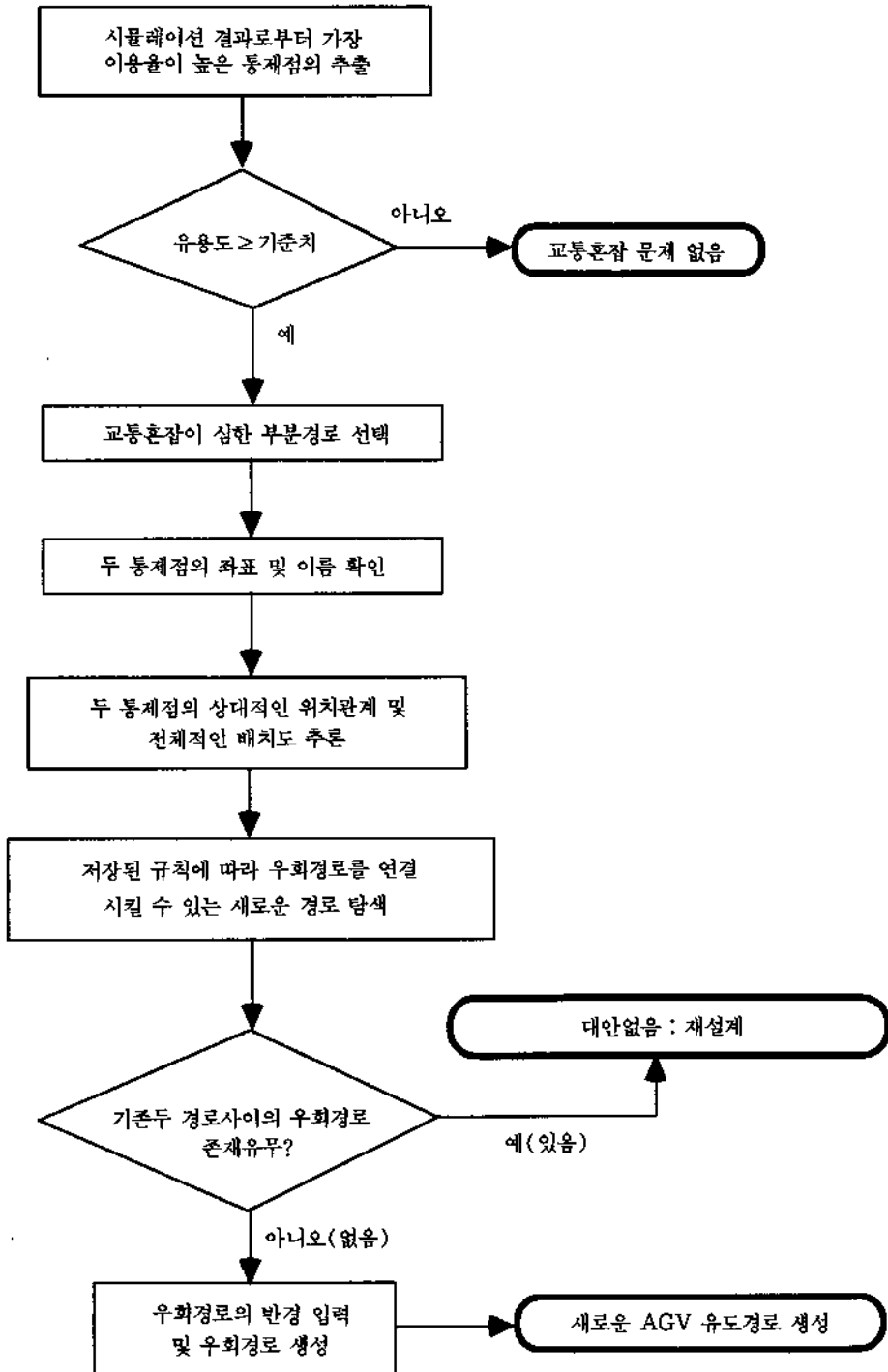
[그림 6] 규칙 1에서의 우회경로 생성 예



[그림 7] 의사결정트리(규칙 9-규칙 12)



[그림 8] 규칙 9에서의 우회경로 생성 예



[그림 9] 우회경로 생성 알고리즘

하게 된다. 이러한 일련의 과정은 [그림 9]에 나타나 있다. 각 중간구획에서는 주위 경로의 길이, 여유 공간도 등을 감안하여 우회경로를 아크 연결로만 할 것인지 선과 아크의 연속적 혼합 형태로 할 것인지에 대한 결정을 최종적으로 내리게 된다.

#### 4. 적용 사례

AGV 유도경로 배치의 효율성을 검증해주고 보완시켜 주는 본 시스템의 효과와 실용성을 시험해보기 위해 개발된 시스템을 실제 과제수행(K 타이어회사)에 사용된 물류시스템에 적용시켜 보았다. 초기의 AGV 유도경로 배치도가 [그림 10]에 나타나 있다. [그림 10]에서 보는바와 같이 전체 AGV 배치도 최상단부분에 14개의 랙을 가진 자동창고시스템과 바로 그 하단부분에 입고용 대기용 컨베이어시스템이 배치되어 있고 전체 배치도 좌측 부분과 하단부분에는 컨베이어시스템 및 다른 설비들이 배열되어 있다. 자동창고의 우측 반공간은 추후 증설을 위한 여유 공간이다.

전체적인 시스템 운영을 살펴보면, 좌측 입고출장(picking zone)의 컨베이어시스템으로 전체 물류시스템으로의 물품 반입 및 반출이 이루어지며 파레타이저(palletizer)에서 물품을 파레트(pallet)에 적재시킨 후 AGV가 파레타이저로부터 파레트를 인도받아 자동창고쪽으로 주행하여 입고 대기용 컨베이어에 파레트를 얹어준다. 자동창고시스템의 스택커 크레인(stacker crane)이 입고용 컨베이어로부터 이 파레트를 집어 창고각 랙의 셀(cell)에 입고시켜 보관하게 된다. 일정한 시간이 경과하여 출고가 되는 물품은 역으로 스택커 크레인이 각 랙의 셀에서 물품이 실린 파레트를 들어내어 출고 대기용 컨베이어에 얹어준다. 그러면 그 시점에서 작업대기중인 AGV중 어느 한대가 물품 파레트의 출고를 위해 출고대기 컨베이어에 도착하여 물품 파레트를 인수받아 디파레타이저(depa-

lletizer)로 배분하게 된다.

전체적인 AGV 경로의 방향은 반시계 방향(CCW)이고 입력요소는 다음과 같다.

##### 가. 입고 물품

두가지 종류의 물품 파레트가, 각각 230초와 238초 단위로 균일하게, 24시간 동안 계속적으로 입고가 이루어지며 출고는 하루중 낮 8시간 동안에만 이루어진다.

##### 나. AGV 파라미터

AGV는 총 11대가 사용되었으며 주행속도, 가속도 및 감속도는 각각 1m/sec, 0.8m/sec<sup>2</sup>, 0.4m/sec<sup>2</sup>이며 권상 및 권하시간은 11초이다. 곡선부분(curve)에서의 속도는 직선부분에서의 속도의 70%에 해당하며 작업대기중인 AGV는 가장 오래 기다린 물품파레트를 우선적으로 처리하는 수정된 선입선출법(MFCFS : Modified First Come First Serve)의 배차규칙을 따르도록 되어 있다.

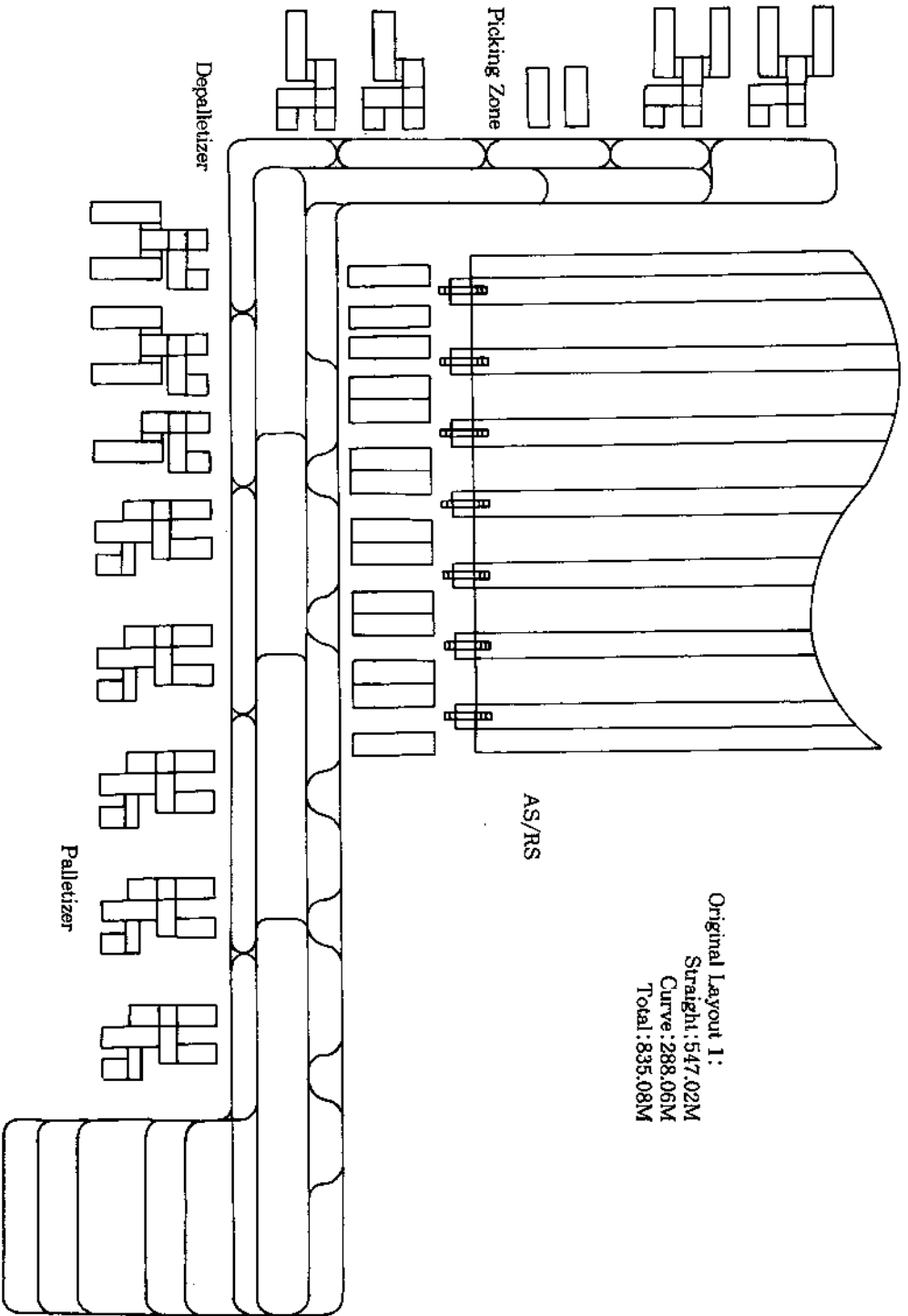
##### 다. 자동창고시스템 파라미터

7대의 스택커 크레인으로 구성되어 있고 스택커 크레인 한대가 양쪽의 랙을 담당하는 2중(double)형이다. 물품 입고시의 랙 선택 방법은 라운드 로빈 방식(round robin selection)이다. 각 스택커 크레인의 이동속도는 수평방향으로의 주행속도 및 가속도는 1.33m/sec, 0.3m/sec<sup>2</sup>이며 수직방향의 상승속도 및 가속도는 각각 0.25m/sec, 0.2m/sec<sup>2</sup>이다. 그리고 스택커 크레인의 권상 및 권하 시간은 각각 17초이다.

물품 파레트가 하나씩 저장될 수 있는 전체 랙의 셀(cell) 수는 52번지(bay)×14열(row or line)×7층(tier or level)=5096개이며 각 랙의 단위 번지의 크기는 폭 1.52m, 길이 1.61m, 높이 2m이다.

##### 라. 컨베이어 파라미터

전체 컨베이어의 이송속도는 0.17m/sec이고 컨베이어의 길이만큼 물품 파레트가 축적되어(accumulation conveyor)놓여 질 수 있다.

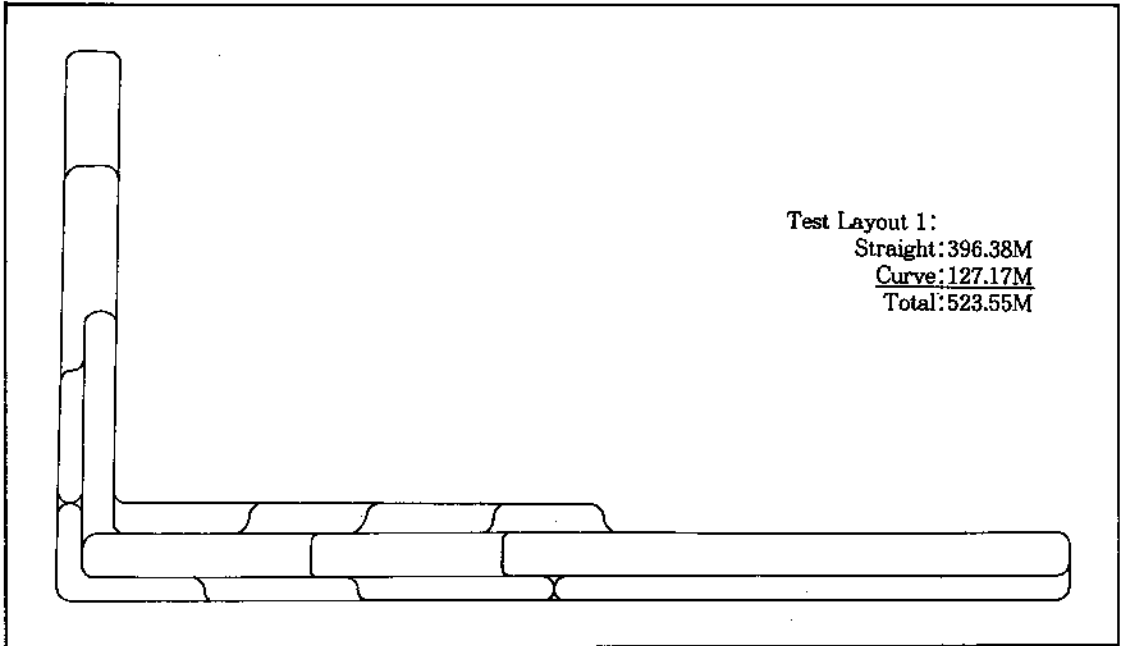


[그림 10] AGV 유도경로 배치도



위에 설명한 요소들을 입력시키고 교통혼잡이 생기는 유용도 기준치를 50%로 정하였을 경우에 [그림 10]의 초기 AGV 배치도에서 사용이 되지 않은 통제점과 부분경로를 지웠을때의 결과가 [그림 11]에 제시되어 있다. [그림 11]을 [그림 10]과 비교해 보면 상당히 많은 부분의 경로가 삭제되었음을 알 수 있으며 증설을 위한 여유 공간 부분에서의 삭제는 당연한 것이다. 물론 [그림 10]과 [그림 11]에서의 시뮬레이션 결과 차이는 없다.

교통혼잡 현상이 발생하여 새로운 우회경로를 생성시키는 방법을 취했을 때 두개의 우회경로가 생성된 결과가 [그림 12]에 나타나 있다. [그림 10]과 [그림 12]에서의 시뮬레이션 결과에 따르는 차이는 [그림 10]에서의 AGV 평균이동시간인 933초가 [그림 12]에서는 약 760초로 줄어 19% 정도의 AGV 단위이동시간을 줄임으로써 교통혼잡을 해소할 수 있는 것으로 나타났다.



[그림 11] 비효율적인 부분경로를 제거한 유도경로 배치도

### 5. 결 론

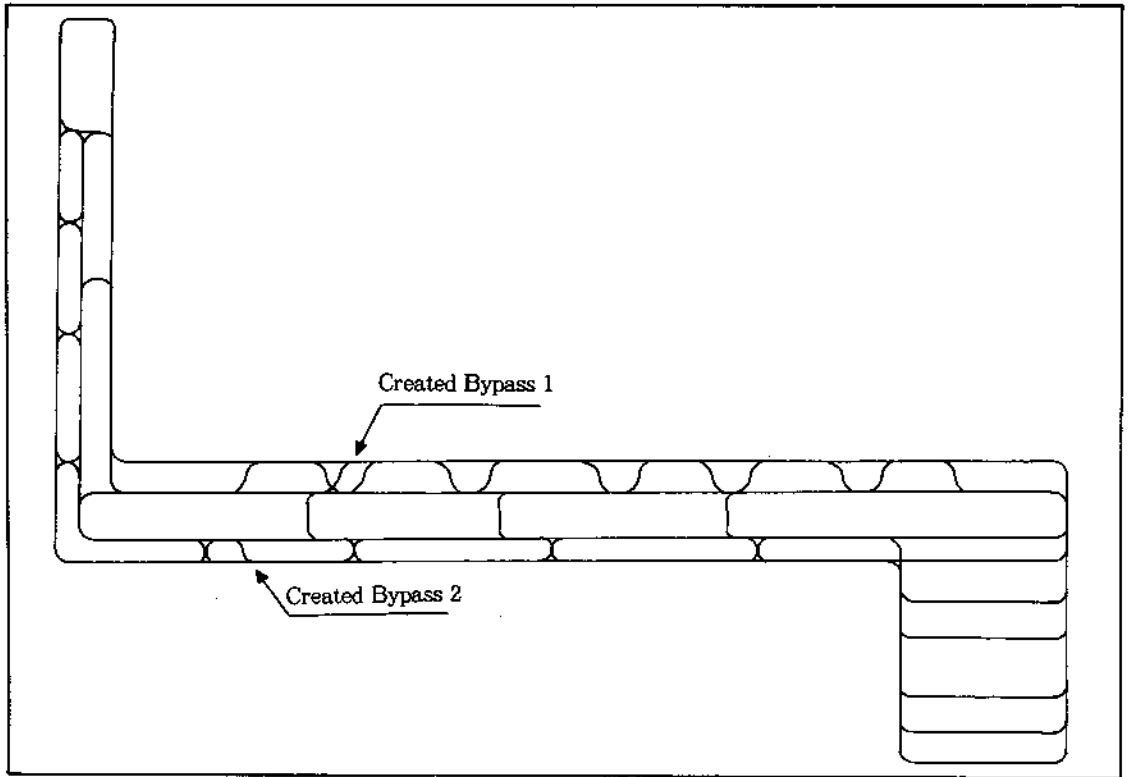
본 연구를 통해 보다 더 효과적인 AGV 유도경로의 설계방법이 모색될 수 있음을 보였다. 다음과 같은 개선점 및 의의를 일체화된 시스템을 통해 얻을 수 있다.

가. AGV 유도경로중 불필요한 부분경로와 통제점을 자동적으로 제거시켜 줌으로써 설계자는 복잡한 전체 유도경로를 단순화해서 살펴볼 수가 있고 초

기 설계시간의 감축 및 비효율적인 유도경로 설계에서 오는 설치 비용을 절감할 수 있다.

나. AGV 유도경로에서 발생할 수 있는 교통혼잡 현상을 완화시키기 위한 새로운 우회경로의 생성으로 어느 정도의 교통혼잡 현상의 해소가 가능함을 알 수 있다.

다. 규칙에 근거한 AGV 유도경로 설계로 경험이 많은 설계자 뿐만 아니라 초보자도 비교적 쉽게 설계할 수 있는 기반을 마련하였다.



[그림 12] 새로운 우회경로가 생성된 유도경로 배치도

본 연구의 문제점을 지적한다면, 개발된 시스템으로 교통혼잡 문제를 전체적으로 완전하게 제거해주는 데에는 무리가 있다는 것이다. 즉, 교통혼잡이 일어나는 주위 경로에서 개선점을 찾기 때문에 초기 AGV 유도경로가 아주 잘못 설계되어 있다면 개선에는 한계가 있다. 따라서 초기에 좋은 유도경로를 구성할 수 있는 방법론의 연구가 필요하며 인공지능을 이용한 접근방법등이 추후 연구 방향이 될 것이다.

## 참 고 문 헌

[1] Mahadeval, B. and Narendran, T.T., "Design of automated guided vehicle-based material handling system for a flexible

manufacturing system," Int. J. Prod. Res., Vol. 28, No. 9, pp. 293-308, 1990

[2] Norman, V.B., Norman, T.A., and Farnsworth, K., "Rule-based simulation of AGV systems," Proc. 5th Int. Conf. on Automated Guided Vehicle Systems, pp. 113-120, 1987

[3] 조상근, "AGV 유도경로 설계에 관하여," private communications, (주)신흥기계, 1990

[4] AutoMod/AutoGram User's Manual, AutoSimulations Inc., USA, 1989

[5] Gaskins, R.J. and Tanchoco. J.M.A., "Flow path design for automated guided vehicle systems," Int. J. Prod. Res., Vol. 25, No. 5, pp. 667-676, 1987

[6] Gaskins, R.J., Tanchoco, J.M.A., and

Taghaboni, F., "Virtual flow paths for free-ranging automated guided vehicle systems," Int. J. Prod. Res., Vol. 27, No. 1, pp. 91-100, 1989

[7] Kaspi, M. and Tanchoco, J.M.A., "Optimal flow path design of unidirectional AGV systems," Int. J. Prod. Res., Vol. 28, No. 6, pp. 1023-1030, 1990

[8] Goetz, W.G. and Egbelu, P.J., "Guide path design and location of load pickup/drop-off points for an automated guided vehicle system", Int. J. Prod. Res, Vol. 28, No. 5, pp. 927-941, 1990

[9] Sharp, G.P. and Lius, F.F., "An analytical method for configuring fixed-path closed-loop material handling systems", Int. J. Prod. Res., Vol. 28, No. 4, pp. 757-782, 1990

[10] Gaskins, R.J. and Tanchoco, J.M.A., "AGVSim2-a development tool for AGVS controller design," Int. J. Prod. Res, Vol. 27, No. 6, pp. 915-926, 1989

[11] 정 무영, 전 치혁, 서 창교, 위 현근, "코일 제품의 자동창고시스템," 산업과학기술연구소 연구기보, 제5권, 제1호, 121-130쪽, 1991