

자차제어구조 생산시스템에서 무인운반차량 시스템의 운영정책 개발*

Development of Operating Rules for Automated Guided Vehicle Systems in Heterarchical Manufacturing System*

황 학** · 김상휘**

Hark Hwang** · Sang Hwi Kim**

Abstract

This paper proposes a new AGV dispatching algorithm which is suitable for heterarchical manufacturing control structure. It is developed on the basis of bidding concept utilizing the information of work-in-process in incoming and outgoing buffers of workstation, and travel time of AGV. Since the bidding functions are functions of two parameters, sensitivity test is performed to find their appropriate values. The performance of the algorithm is compared with those of well-known existing rules in terms of system throughput through simulation on a hypothetical job shop type manufacturing system.

1. 서론

현대의 제조업계는 치열한 경영환경 속에서 당면하고 있는 여러가지 어려움을 극복하기 위하여 생산라인의 자동화, 성력화 및 합리화를 지속적으로 추진해 오고 있다. 이러한 노력의 일환으로 무인운반차(Automated

Guided Vehicle : AGV)의 도입을 통하여 물류자동화를 이룩하고자 하는 방안이 산업체의 관심을 끌고 있으며, 실제 미국의 산업현장 실태에 관한 연구내용[17]에 의하면 생산공장내의 운반수단으로서 인력, 지게차, 콘베이어 다음으로 AGV가 많이 활용되고 있다. AGV는 프로그램에 의해 주행경로를 따라 운

* 이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

** 한국과학기술원 산업공학과

직이는 배터리구동 무인차로서 각종 공정간의 물량 반송 및 이체를 하기 위한 무인운반 설비라고 정의된다. 이 운반차는 1950년대 미국의 Barret Electronic사에서 개발된 이래로 유럽 및 일본에서 실용화되어 전기, 전자, 기계, 자동차 산업 등의 제조업뿐만 아니라 호텔, 병원, 사무실 등 비제조업 분야의 성력화까지 광범위하게 그 용도가 확산되고 있다 [13, 14, 15].

AGV는 무인운반시스템을 구축하는데 있어서 필수불가결한 운송장치로서, 특히 다품종 소량생산, 혼합생산 등의 생산방식에서 절실히 요구되는 유연성(Flexibility)이 뛰어나며 동정간의 물류이동을 유연하게 결합시킬 수 있는 기기이다. 또한 컨베이어등 다른 운송시스템에 비해 비교적 자유로운 설비배치가 가능하며 다양한 반송조건에 대응할 수 있기 때문에 공장자동화(Factory Automation) 혹은 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System)을 구성하는데 핵심적인 구성요소라고 할 수 있다. 또한 정보 네트워크와 결합된 생산시스템의 자동화가 급격히 확대되면서 생산시스템의 각 단계 공정인 입고-가공-보관-조립-검사-출하 등의 모든 단계를 유기적으로 무인 운반시스템과 결합시키는 종합자동화 시스템이 가능해지고 있다. 국내에 무인운반차가 국산화로 실용화된 것은 1980년도이며, 기술개발과 원가절감, 그리고 자동화기기(FMC, 자동창고, 컨베이어 등)와의 연계성 때문에 무인운반차의 도입이 급속도로 증가하고 있다[8, 10]. AGV시스템이 고액의 투자를 요구하고 생산성이 운영정책에 의해 크게 좌우되므로 효과적인 운영정책을 개발하는 것은 매우 중요하다.

AGV의 효율적인 운영은 생산시스템의 전체적인 제어구조(Control Architecture)와도 밀접한 관련이 있다. 생산시스템의 제어구조로는 중앙제어구조(Centralized Control Architecture) 그리고 계층제어구조(Hierarchical Control Architecture) 등을 들 수 있는데, 이러한 생산제어구조는 폐쇄성, 낮은 신뢰도, 시스템 확장의 난이성 그리고 정보의 과도한 중앙집중으로 인한 정보처리의 과부하 및 통신의 병목현상 등과 같은 단점을 가진다. 최근에는 기존 제어구조의 단점을 보완한 자치제어구조(Heterarchical Control Architecture)가 새롭게 등장하였다. 이 제어구조는 시스템의 구성요소 각각이 자치적인 객체이기 때문에 정보를 분산 처리할 수 있는 장점을 가진다. 이러한 장점때문에 자동화된 생산기기, 물류기기가 도입된 생산시스템에서 자치제어구조가 적합한 것으로 보여진다. 그림 1에 이러한 세 가지 유형의 제어구조에 관한 개념도를 도시하였다. 이에 본 연구에서는 자치제어구조를 갖는 생산시스템(Heterarchical Manufacturing System : HMS)을 대상으로 생산성향상을 위한 AGV의 운영정책을 개발하고자 한다.

본 연구에서 제시하고자 하는 알고리즘은 HMS의 특징을 반영하여 개개 요소들이 제한된 정보만을 이용하여 부분적인 최적화를 추구함으로써 궁극적으로는 전체시스템의 목표인 생산성을 향상시키고자 한다. 작업대 객체가 AGV를 선택, 그리고 AGV 객체가 작업대를 선택하는 일련의 과정들이 입찰(Bidding)의 양상을 띠고있다는 점에 착안하여 "입찰함수"라는 것을 개발하고 이를 이용하여 AGV급송규칙을 개발하고자 한다.

자재취급 시스템이 연계된 생산시스템의

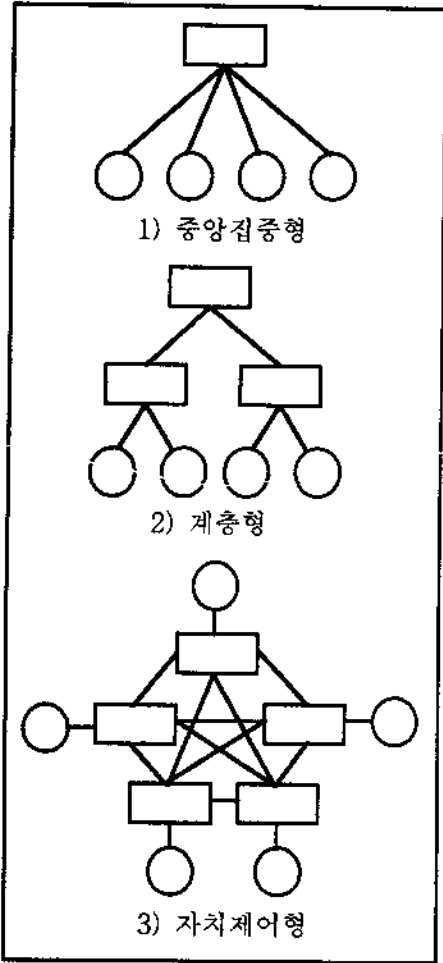


그림 1. 제어구조의 여러 유형

분석은 일반적으로 그 특성상 수리적인 연구가 불가능하다. 극히 제한적인 시스템에 대해 시스템의 평균적인 특성치(가동률, 유휴시간, 대기시간, 단위시간당 생산량)를 구하는 수리적인 모델이 대기이론을 이용하여 개발되어 있지만, 일반적인 시스템에 대한 수리적인 연구는 미약하다. 시뮬레이션은 안정적인 특성치를 획득하기 위해서 수행시간이 수리적인 모델에 비해 많이 걸린다는 단점이

있지만 시스템의 현실적인 상황을 충분히 고려하여 분석할 수 있다는 점에서 매우 유용한 분석기법이라 할 수 있다. 또한 시뮬레이션 기법은 대상시스템의 특성치를 다양하게 평가할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 특히 AGV 시스템의 봉쇄(Blocking), 교착(Dead-lock), 고갈(Starvation) 등의 현상을 쉽게 관찰할 수 있다.

AGV 급송규칙의 성능은 생산시스템의 다양한 사양, 즉 사용기계 댓수, 가공시간, 입/출고대 용량, 사용 AGV 댓수, AGV 운반경로 그리고 가공품의 특성 등에 밀접하게 관련되어 있다. 다양한 시스템 사양에 따라 AGV 급송규칙의 성능을 평가하기 위해서는 시뮬레이션 모듈이 필수적이다. 본 연구에서는 SLAM SYSTEM을 사용하여 PC급 컴퓨터에서 사용가능한 시뮬레이션 모델을 개발하고, 개발된 시뮬레이션 모델을 이용하여 본 연구에서 개발한 운영정책의 분석뿐만 아니라 기존의 운영정책에 대한 비교분석도 수행하고자 한다. 또한 시뮬레이션이 수행되는 과정을 가시적으로 분석할 수 있는 애니메이션 모듈을 함께 개발하여 현장에의 적용성도 도모하고자 한다.

AGVS에 관한 연구로는 크게 설계문제와 운영문제로 분류할 수 있다. 설계문제로는 작업장의 설비배치, AGV가 이동하는 경로의 설정, 필요한 생산율을 만족할 수 있는 최소한의 AGV의 필요댓수 산정 등의 문제가 있고 운영문제로는 급송규칙(dispatching rule)과 경로설정(routing) 등이 있다. AGV의 운영정책 중 급송규칙은 생산성을 결정하는 중요한 요소이며 급송규칙에 관한 많은 연구가 진행되어 왔다.

Egbelu와 Tanchoco[4]의 연구는 AGVS의 수행도가 급송규칙에 의하여 영향을 받음을 실험적으로 입증한 최초의 논문중의 하나이다. 이들은 Nearest vehicle rule, Farthest vehicle rule, Longest idle vehicle rule 등의 '작업대에 의한 급송규칙'(Workstation initiated assignment rule)은 선적장(Output Buffer)에 도착하는 자재가 여러대의 사용가능한 AGV중에서 어떤 AGV를 사용할 것인가를 결정하고자 하였다. 그리고 'AGV에 의한 급송규칙'(AGV initiated assignment rule)은 하역을 마친 AGV가 운반을 필요로 하는 여러개의 자재가 있는 경우에 이들 중에서 어떠한 자재를 운반할 것인가를 선택하는 문제로 다섯가지의 급송규칙을 제시하였는데, Shortest travel time rule, Longest travel time rule, Maximum outgoing queue space rule, Minimum remaining outgoing queue space rule, Modified first come first served rule(MFCFS)이 이에 해당된다. 하나의 배치안에 대하여, 앞에서 언급한 급송규칙의 조합에 관한 그들의 시뮬레이션 결과에 의하면 출고대(output buffer)의 크기가 매우 크다면 작업장에 의한 급송규칙은 AGVS의 전반적인 수행도에 영향을 거의 미치지 않으며, AGV에 의한 급송규칙에서는 MFCFS 규칙이 생산율을 최대화함을 알 수 있다.

Russel과 Tanchoco[16]는 하나의 AGV에 의하여 서비스를 받는 job shop에 대하여 Output queue with largest number of move requests served first, Service in random order, First come first served(FCFS), Shortest travel time first(STTF) 등의 급송규칙을 사용하여 시스템의 수행도를 시뮬레이션에 의해 평가하였

는데 Egbelu와 Tanchoco[9]의 결과와는 다르게, AGV의 효율도와 자재가 시스템내에 잔류하는 시간은 급송규칙에 의하여 영향을 받지 않는다는 것을 보여 주었다. 이러한 불일치는 아마도 하나의 배치에 대하여만 실험을 수행했기 때문에 발생한 것이라 생각된다.

Hodgson등[11]은 네개의 작업장이 있고, 각각의 출고대의 크기가 하나인 시스템에 대하여 개발된 해석적인 모델에 관한 관찰을 통하여 하나의 유향한 AGV의 급송규칙, 즉 "RULE"을 제안하였다. 이는 후에 Hodgson등[12]에 의하여 AGV가 서로 상호작용을 하지 않는다는 가정하에 두 대의 AGV가 있는 경우로 확장되었다. 이들이 제안한 급송규칙은 empty AGV가 목적지로 향하여 이동하는 경로상에 있는 작업장을 지나칠 때마다, 목적지를 재평가하므로 매우 동적(dynamic)이지만, 목적지를 재평가하기 위해서 필요한 세개의 scaling factor를 사용자가 주관적으로 할당해야 한다는 점과 목적지 결정빈도가 지나치게 높다는 단점이 있다.

조면식[2]은 AGV의 급송규칙이 선입선출인 경우에 시스템의 수행도 평가치를 예측하는 근사적인 확률적 모형을 개발하였으며, 시뮬레이션을 통해 모델이 수행도 평가치를 매우 정확히 예측함을 보여주었다. 그러나 선입선출법은 AGV가 빈채로 움직이는 거리가 커질 수 있으므로 이 규칙은 효율적이라 할 수 없다. 따라서 여기서 예측된 수행도 평가치는 시스템의 하한치로 간주되어야 한다.

Bozer와 Kim[1]은 조면식[2]의 모델을 여러대의 AGV가 있는 경우로 확장하고, AGV의 급송규칙이 선입선출인 경우에 최적 단위하물의 크기를 결정하였으나, 이 모델 역시 선

입선출이라는 상대적으로 비효율적인 급송규칙을 사용한 단점이 있다.

Srinivasan, Bozer와 Cho[18]는 Egbelu와 Tanchoco의 MFCFS와는 별개로[9] 하역 후 그 작업장의 출고대에 운반할 자재가 있는 경우에는 기다린 시간에 관계없이 자재를 선적할 수 있는 수정 선입선출법(MOD FCFS) 급송규칙을 제안하였고, 이 규칙을 사용할 경우의 시스템 수행도 평가치, 즉 AGV의 평균 이용률과 각 작업장간의 평균 주기시간을 예측하기 위한 근사적인 해석적 방법을 제시하였다. 또한 그들은 시뮬레이션을 통해 MOD FCFS를 기존의 FCFS, MFCFS, STTF와 성능을 비교하였는데, 가장 좋은 규칙중의 하나인 STTF와 비슷한 수행도를 보임을 실험적으로 증명하였다.

Bozer, Cho와 Srinivasan[6]은 단일 AGV의 급송규칙이 MOD FCFS인 경우에 자재가 운반되기 위하여 출고대에서 대기하는 시간의 평균치를 예측하는 근사적인 해석적 모델을 연구하였는데, 자재를 운반할 수 있는 경우에 시스템 수행도, 즉 출고대에서 대기하는 시간의 평균치를 해석적으로 구하였다는 측면에서 Srinivasan, Bozer와 Cho[18]의 것과 차이가 있다.

조면식[3]은 Bozer, Cho와 Srinivasan[6]의 결과를 사용하여 출고대에서 대기하는 시간을 구하고, 입고대에서 대기하는 시간을 $M/G/1$ 대기행렬로 간주하여, 자재가 시스템에 들어와서 나갈 때까지의 시간을 해석적으로 구하였다. 그리고 작업장의 효율과 AGV의 효율이 같을 경우에는 입고대에서의 대기시간이 출고대에서의 대기시간보다 많음을 보여 주었다.

Bartholdi와 Platzman[5]은 하나의 폐쇄형 루프(closed loop)인 경우에 First encountered first served(FEFS) 급송규칙을 사용하여, 일정 시점에 고정된 수의 물자를 운반하기 위해 필요한 폐쇄형 루프의 회전수는 최적회전수에다 1을 더한 값보다 적음을 해석적으로 보여 주었다. 또한 이런 형태의 설비배치하에서는 동적으로 자재의 운반요구가 발생하는 경우에도 FEFS의 수행도가 상당히 좋음을 보여 주었다.

Bozer와 Srinivasan[7]은 자재운반 시스템을 여러개의 겹치지 않는 루프(Loop)로 분할하여, 각 루프에 한 대의 AGV를 할당함으로써, AGV의 통제를 용이하게 할 수 있는 Tandem AGV를 제안하였다. 각 루프내에서의 AGV의 급송규칙은 Bartholdi와 Platzman[5]이 제안한 FEFS를 사용하였으며, 안정상태에 도달하기 위한 조건과 생산성분석을 수행하였다. 그리고 이효성과 조면식[4]은 이러한 시스템에서 자재의 도착이 Poisson Process일 경우에 자재의 평균 대기시간을 근사적으로 구하였다.

2. 자치제어구조 생산시스템에서 급송규칙의 framework

HMS는 시스템을 구성하는 요소들이 자체적으로 정보처리를 할 수 있는 프로세서와 다른 요소들과 정보를 교환할 수 있는 통신 설비를 구비하고, 자신의 프로세서로 가공된 정보와 통신을 통해 획득한 정보를 토대로 스스로 의사결정을 한다는 것이 특징이다. 본 연구의 대상시스템처럼 AGV가 자재의 이동을 담당하는 생산시스템은 작업대와 AGV가 독립적인 객체로 간주되며 LAN을 통하여 필

요한 정보를 다른 객체로부터 획득하고 스스로 정보를 가공한다. 그림 2는 HMS의 구성요소와 요소들간의 정보교환 수단을 도시한 것이다.

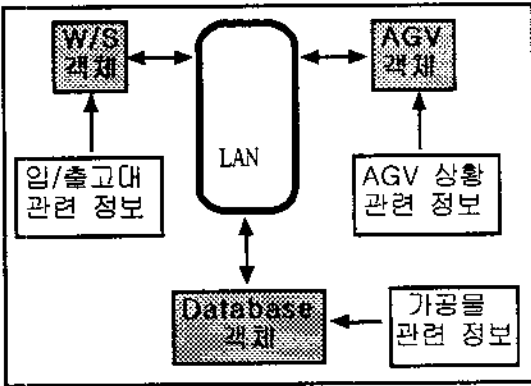


그림 2. HMS의 구성요소

본 연구의 대상시스템인 HMS는 AGV 객체, 작업대 객체, 그리고 Database 객체로 구성되어 있으며 LAN을 통하여 통신할 수 있다. AGV 객체는 가동/유휴 여부, 이동경로, 다음 운반작업의 선택, 유휴시의 거주정책 등과 같은 정보를 담당하고, 작업대 객체는 가동/유휴 여부, 입/출고대의 상황에 관한 정보를 담당한다. Database 객체는 시스템내에 있는 모든 작업물에 관한 정보, 즉, 가공/가공되기, 운반/운반대기에 관한 정보를 개개 작업물별로 관리한다. 시스템내에 있는 모든 작업물은 가공이나 운반이 완료될 때마다 Database 객체는 해당 작업물에 관한 정보를 갱신한다. AGV 급송규칙은 두가지로 분류되며 하나는 작업대가 작업가능한 다수의 AGV중에서 선택하는 경우이고 다른 하나는 AGV가 다수의 운반작업중에서 선택하는 경우이다. 그림 3은 유휴한 AGV가 발생했을 때부

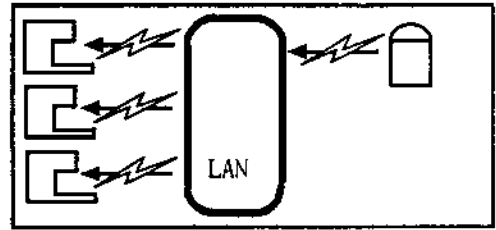


그림 3(a). 작업요청

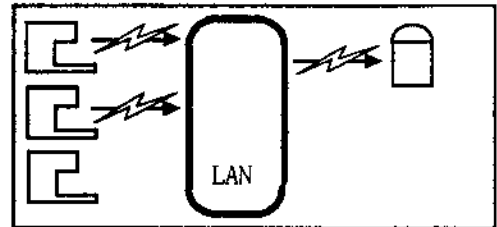


그림 3(b). 운반요청

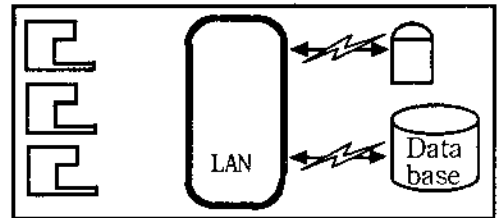


그림 3(c). 가공물 정보조회

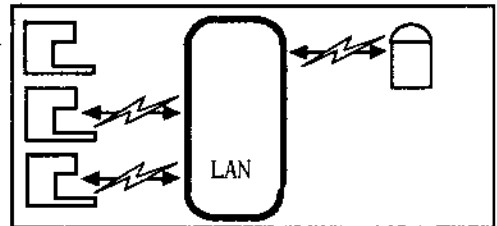


그림 3(d). 입고대 상황조회

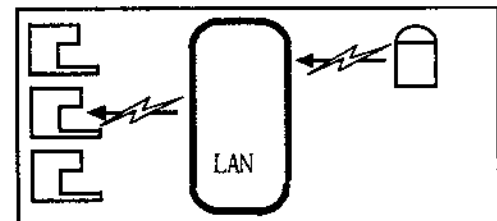


그림 3(e). 작업선택

그림 3. 급송절차

터 다음 운반 작업을 선택하기까지의 과정을 순차적으로 도시한 것이다.

먼저 AGV가 유힘해지면 다음 운반작업을 선택하기 위해서 시스템내에 있는 작업대 객체에 유힘상황을 공지한다(a). 출고대에 운반대기 가공물이 있는 작업대는 AGV에게 운반을 요청한다(b). AGV는 운반해야 할 가공물에 관한 정보(다음 순서로 가공하는 작업대)를 Database 객체에 조회하고(c), 연이어 가공하는 작업대의 입고대에 관한 정보(가공대기물의 갯수, 여유공간 존재여부)를 해당 작업대에 조회한다(d). 최종적으로 AGV는 운반을 요청한 작업대의 출고대와 연이어 가공하는 작업대의 입고대에 관한 정보, 그리고 AGV의 이동시간을 고려하여 다음 작업을 선택한다(e).

3. 입찰합수를 이용한 급송규칙의 개발

3.1 시스템 환경

본 연구에서는 일반적인 AGV의 운행형태를 대상으로 AGV 운영정책을 개발하기 위해 그림 4와 같은 Job shop형태의 생산시스템을 대상으로 한다.

본 연구대상 시스템인 AGV 시스템은 자동화된 제조시스템의 구성요소로서 다수의 AGV가 정해진 이동경로를 따라 작업대에 가공물을 공급한다. AGV는 최단경로를 따라 이동하며 한번에 하나의 가공물만을 운반한다. AGV의 속도와 상/하역 시간은 상수로 고정되어 있으며 가공품의 종류별 가공순서, 가공시간 및 생산비율도 고정되어 있다. 각 작업대는 입고대(incoming buffer)와 출고대(outgoing buffer)를 가지고 있으며 입/출고대의 용

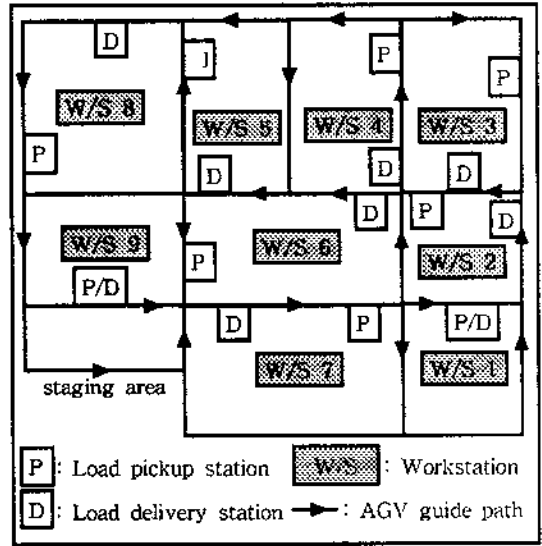


그림 4. 무인운반차 시스템의 구성

량은 고정되어 있다. 시스템에 투입되는 가공품은 생산비율에 따라 무작위하게 발생된다.

이상적인 자재취급 시스템이라면 자재이동에 관한 요구가 발생하는 즉시 처리할 수 있어야 하겠지만 자재취급 설비의 용량, 자재이동 요구의 분포적인 특성 등으로 인해 현실적으로는 불가능하다. 따라서 일반적인 생산시스템은 가공설비와 함께 일시적인 자재보관을 위한 공간(Buffer)을 확보한다. Buffer는 자재이동에 관한 요구가 발생하는 시점과 자재이동이 수행되는 시점과의 차이를 완충시켜주는 역할을 수행한다. Buffer는 개개 작업대마다 존재하며 입고대와 출고대로 분류될 수 있다. 입고대는 해당 작업대에서 가공을 받기위해 대기중인 자재들을 보관하며 출고대는 가공을 끝내고 다음 작업대로의 이동을 위해 대기하고 있는 자재들을 보관한다. 출고대가 가득 차면 해당 작업대는 가공을

할 수 없는 상황이 발생하며, 입고대가 가득 차면 AGV가 자재를 하역할 수 없는 상황이 발생하게 되는데 이러한 상황을 봉쇄(Blocking)라 하며, 생산성을 심각하게 떨어뜨리는 원인이 된다. 한편 어떤 경우에는 AGV가 적재한 자재를 하역할 수 없고, 작업대는 더 이상 가공을 할 수 없는 상황이 발생하여 시스템이 멈추게 되는데 이를 교착(Locking)이라 한다. 봉쇄와 교착은 생산성 저하의 치명적인 원인으로 작용하기 때문에 이를 해결할 수 있는 방안이 필요하다. 봉쇄와 교착은 두 단계로 조절할 수 있는데 첫단계로 AGV의 급송규칙자체가 봉쇄와 교착이 발생하지 않도록 예방하는 것이고 두번째 단계는 예방에도 불구하고 발생한 봉쇄나 교착을 제거해주는 알고리즘을 작동하는 것이다. 봉쇄와 교착을 제거하기 위해서 본 연구에서는 시스템의 Input Station을 Central Buffer로 이용하고자 한다. 즉, 이동불가능한 자재를 임시로 시스템 Input Station에 저장함으로써 봉쇄나 교착을 제거할 수 있다.

3.2 입찰함수

본 연구에서는 AGV 시스템의 효율적인 운영을 위해 입찰개념을 응용한 급송규칙을 개발하였다. 여기서 입찰개념이라함은 여러개의 운반과업이 있을 경우, 각각의 운반과업은 자신과 관련된 정보(입/출고대 상황, 이동거리)를 수치로 환산하여 제시함으로써 선택되도록 하는 일련의 과정이 입찰의 양상을 띠고있음에 기인한다. 본 연구의 대상 시스템은 자치제어구조를 갖고 있으므로 운반과업을 선택할 때마다 객체(작업대, AGV)는 자신의 정보를 관련객체에게 전달하고, 과업을

선택하는 객체는 본 연구에서 제시하는 급송규칙에 의거하여 의사결정을 수행한다. 이때, 객체가 자신의 정보를 수치로 환산하기 위한 방법으로 입찰함수를 이용하며 본 연구는 다음과 같은 세종류의 입찰함수를 사용한다.

$$f_A(a) = a, \quad 0 \leq a \leq 1 \quad (1)$$

$$f_D(d) = (1-d)^a, \quad 0 \leq d \leq 1 \quad (2)$$

$$f_S(s) = s^\beta, \quad 0 \leq s \leq 1 \quad (3)$$

f_A 는 AGV입찰함수로서 유티 AGV로부터, 운반해야 할 가공물이 대기하고 있는 작업대의 출고대까지의 거리를 환산한다. 변수 a 는 실제 이동거리를 최대이동거리로 나눈 값을 사용한다. f_D 는 목적지(Destination Workstation)의 입찰함수로서, 목적지의 입고대에 있는 가공대기 작업물의 갯수를 환산한다. 변수 d 는 입고대에 있는 실제 작업물의 갯수를 입고대의 용량으로 나눈 값을 사용한다. f_S 는 근원지(Source Workstation)의 입찰함수로서 가공이 끝난 작업물이 다음 작업대로 이동하기 위해서 대기하고 있는 출고대의 상황을 표현한다. 변수 s 는 출고대에 있는 실제 작업물의 갯수를 출고대의 용량으로 나눈 값을 사용한다. 세가지 변수 모두 0과 1사이로 정규화된(normalized) 변수로서 상대적인 값이 평가되도록 하였다. 그림 5는 세가지 입찰함수의 개형을 도시한 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 입/출고대와 관련된 함수 f_D, f_S 는 상응하는 입/출고대의 상황이 긴급할수록 큰(1에 가까운) 함수값을 발생시키며 AGV입찰함수(f_A)는 이동거리가 클수록 큰 함수값을 발생시킨다. 본 연구에서 제시

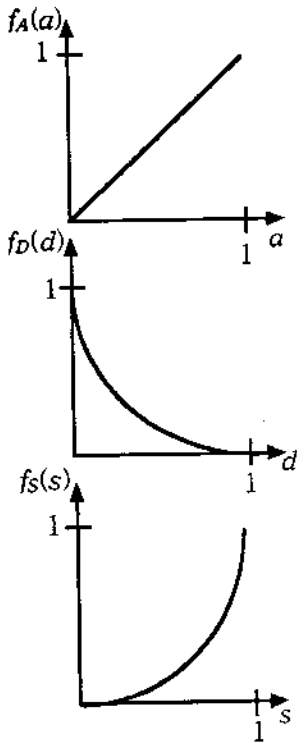


그림 5. 입찰함수의 개형

하는 입찰함수는 선형함수와 승수함수(power function)로서 이들 함수는 간단하면서도 상대적인 AGV의 이동거리와 입/출고대의 긴급정도를 간명하게 반영할 수 있는 특징이 있다.

본 연구에서 제시되는 급송함수는 두개의 모수(α, β)를 사용하는데 이들은 급송함수의 형태를 결정한다. 예를 들어, f_S 에서 β 가 1보다 작으면 볼록함수(concave function)꼴이 되고 β 가 1보다 크면 오목함수(convex function)꼴이 된다. 볼록함수일 경우 출고대의 재공품재고가 적은 수준에서 큰 변별력을 발휘하며 오목함수일 경우에는 출고대의 재공품재고가 많은 수준에서 큰 변별력을 발휘하게 된다. 그림 6에 모수값의 변화에 따른 입찰

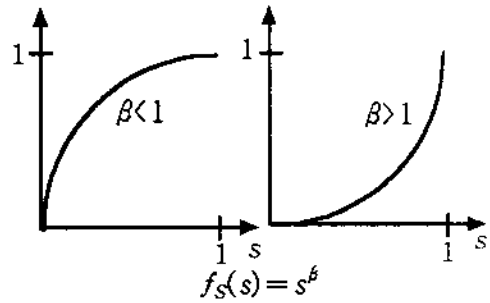


그림 6. 급송함수의 형태

함수의 형태를 도시하였다.

3.3 급송함수

본 연구에서 제시하는 급송규칙은 이동거리와 입/출고대의 재공품재고량에 관한 정보를 입찰함수 형식을 통해 이용한다. 급송함수는 이러한 세가지 정보를 통합하는 함수로서 본 연구에서 제시하는 급송함수는 다음과 같다.

$$D^1 = f_D + f_S - f_A \tag{4}$$

$$D^2 = \frac{f_D \times f_S}{f_A} \tag{5}$$

위의 두가지 급송함수는 모두 입/출고대의 상황이 긴급하고 AGV의 이동거리가 짧을수록 상대적으로 큰 값을 발생시키는 구조이다. 급송함수에 포함되어 있는 두 개의 모수는 그 값의 크고 작음 여하에 따라 간접적으로 가중치의 역할을 수행한다. 예를 들어, f_D 의 α 값이 f_S 의 β 값보다 크면, 입고대와 출고대의 재공품재고가 같은 수준에서 f_S 값이 f_D 값보다 크므로 출고대에 관한 정보가 입고대에 관한 정보보다 큰 비중을 갖는다. 마찬가지로 α 나 β 가 1보다 크면, 입/출고대에 관한

정보보다 이동거리에 관한 정보가 더 큰 비중을 갖고, α 나 β 가 1보다 작으면, 입/출고대에 관한 정보가 이동거리에 관한 정보보다 더 큰 비중을 갖게 된다. 단 D^2 의 경우는 f_A 가 분모항에 있으므로 D^1 처럼 명확하게 비중이 결정되지는 않는다.

D^1 과 D^2 이외에도 여러가지 다른 급송함수들이 있을 수 있지만 본 연구에서는 위의 두 가지로 범위를 한정한다. 위의 급송함수는 단순하면서도 두 개의 모수때문에 상당히 자유로운 표현이 가능하므로 기타 다른 함수들의 급송함수를 어느정도 대표할 수 있으리라 기대된다. 본 연구는 위의 두가지 급송함수를 대상으로 적절한 모수값의 결정에 주안점을 두고자 하며, 차후 보다 다양하고 효과적인 함수들의 급송함수를 개발하는 것도 의미있는 연구가 될 수 있다고 기대된다.

급송규칙은 위에서 정의한 급송함수를 이용하여 다음과 같은 간단한 절차로 설명할 수 있다.

Step 1. 모든 운반물에 대하여 급송함수값을 평가

Step 2. 급송함수값이 가장 높은 것을 선택

위의 급송규칙은 AGV가 선택하는 경우나 작업대가 선택하는 경우 모두 적용되며 후자의 경우 f_D 값과 f_S 값은 고정되므로 f_A 값에 의해서 선택이 이루어진다. 환언하면, AGV가 선택하는 경우는 이동거리와 입/출고대의 재공품재고량에 관한 정보를 모두 활용하지만 작업대가 선택하는 경우에는 이동거리가 짧은, 즉 작업대에서 가장 가까운 AGV가 선택된다.

본 알고리즘에서 운반물이 선택되기 위해

서는 이동거리가 짧거나 출고대의 재공품재고가 많거나 목적지의 입고대가 비어 있을수록 유리하다. 이동거리가 짧은 운반물이 선택되는 경향은 가공물의 시스템내 체류시간(flow time)을 줄이는 역할을 하고, 재공품재고가 많은 출고대가 선택되는 경향은 봉쇄(blocking) 현상을 방지하려는 역할을 하고, 비어있는 입고대가 선택되는 경향은 고갈(starvation) 현상을 방지하려는 역할을 한다.

연구대상 시스템의 생산성은 급송함수에 의해 영향을 받으므로 적절한 모수값의 결정이 성공적인 AGV 시스템의 관건이 된다. 최적의 모수값은 시스템의 여러가지 요인들, 즉 AGV 갯수, 입/출고대 용량, 작업대의 배치, 이동경로의 방향 등과 같은 하드웨어적인 요소 이외에도 제품의 종류, 생산비율, 가공경로 등과 같은 요소에도 영향을 받으므로 모수값과 생산성과의 일반적인 연관을 유추하는 것은 그리 간단하지 않다. 본 연구는 효과적인 모수값을 결정하기 위해서 격자탐색기법(Grid Search Method)을 사용하였다. 격자탐색기법은 독립변수(여기서는 모수)와 종속변수(생산성) 사이에 일반적인 연관성을 찾을 수 없는 경우 사용할 수 있는 최적화기법으로서 독립변수들을 특정 구간에 대하여 일정한 간격으로 변화시키며 탐색한다. 이 기법은 독립변수가 증가할수록, 탐색구간이 넓을수록, 탐색간격이 좁을수록 계산량이 폭증하는 단점이 있지만 일반적인 문제해결에 광범위하게 사용되고 있다.

4. 수행도 분석

시물레이션 분석을 수행하기 위해서 그림

4와 같은 AGV 시스템을 설정하였다. loading station(작업대 1)과 unloading station(작업대 9)을 포함하여 9개의 작업대로 구성되어 있으며 원자재는 loading station에서 항상 대기하고 있으며 unloading station에서 작업을 마친 가공물은 즉시 시스템을 떠나는 상황이다. 모든 입/출고대의 용량은 같으며 분석자가 자유롭게 선택할 수 있다. AGV 닷수 역시 임의로 선택할 수 있도록 하였다. AGV는 미리 정해진 경로를 따라 이동하며 운반을 마친 AGV는 다음 운반을 처리하거나 대기 가공물이 없으면 staging area로 귀환한다(그림 4 참조). 입/출고대의 가공물은 선입선출에 의거하여 처리된다. 작업대와 AGV의 고장은 고려하지 않았으며 AGV의 속도는 상수로써 감가속도를 무시하였다. 총 10 종류의 가공물을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였으며 표 1에 가공물의 가공순서와 가공시간에 관한 정보를 요약하였다.

표 1. 가공물에 관한 시뮬레이션 입력자료

part type	가공순서	가공시간 (분)	생산비율
1	1,6,4,7,9	1,15,25,20,1	0.1
2	1,7,5,4,2,8,3,9	1,5,20,15,15,5,15,1	0.1
3	1,8,6,2,5,3,7,9	1,8,10,20,15,5,15,1	0.1
4	1,6,2,5,9	1,20,10,15,1	0.1
5	1,3,5,2,7,8,9	1,15,5,15,18,20,1	0.1
6	1,2,3,9	1,20,25,1	0.1
7	1,4,7,3,6,5,9	1,15,20,12,8,15,1	0.1
8	1,5,3,8,4,2,9	1,20,5,15,20,8,1	0.1
9	1,3,5,8,7,4,6,9	1,8,20,10,10,5,5,1	0.1
10	1,8,6,7,4,9	1,15,15,20,13,1	0.1

시뮬레이션 모델은 SLAM SYSTEM 언어를 사용하여 구축하였으며 가시적 분석이 가

능하도록 애니메이션 기능을 추가하였다. 시뮬레이션과 애니메이션은 사용자 편의를 고려하여 메뉴방식의 통합환경하에서 작동하며 그림 7은 시뮬레이션 모델의 초기화면이다.

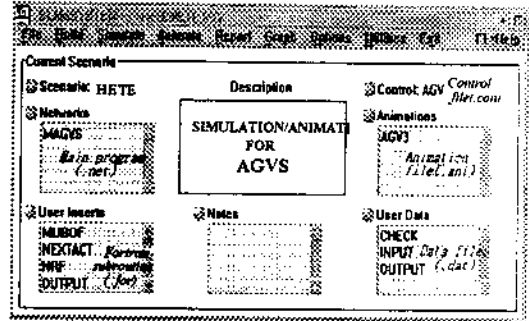


그림 7. 시뮬레이션 모델의 초기화면

본 시뮬레이션 모델은 다음과 같은 가정을 하였다.

- 1) AGV는 한 번에 하나의 가공물을 운반한다.
- 2) 작업대나 AGV의 고장은 고려하지 않는다.
- 3) AGV의 pick-up/drop-off time은 상수로 알려져 있다.
- 4) AGV는 최단경로를 따라 이동한다.
- 5) AGV의 감가속도는 무시한다. 즉, AGV의 속도는 상수로 알려져 있다.

4.1 급송함수의 수행도 비교

우선, 3. 3절에서 제시한 두가지 급송함수에 대하여 수행도를 비교하였다. 표 2에 AGV의 닷수와 입/출고대의 용량을 변화시키며 수행한 실험결과를 요약하였다.

이 실험에서 사용된 모수(α , β)의 값은 구간 (0.5, 1.5) 사이에서 무작위로 발생시켰다. 수행도의 척도로는 생산량(단위시간당 작업이 완료된 제품의 갯수)을 사용하였으며 표의 결과는 3일(4,320분) 동안 수행한 결과이

표 2. 급송함수에 대한 수행도 비교결과

AGV의 갯수	입출고대 용량	(α, β)	생산성	
			D^1	D^2
2	2	(1.34, 1.26)	287	291
	3	(0.72, 1.31)	303	306
	4	(0.82, 1.31)	310	312
3	2	(0.57, 0.77)	368	378
	3	(0.86, 0.80)	380	396
	4	(1.18, 0.75)	392	397
4	2	(0.83, 0.84)	405	408
	3	(0.82, 1.01)	410	411
	4	(0.74, 1.09)	408	415

다. 위의 실험결과는 제시한 급송함수중에서 D^2 가 우수한 결과를 보여주고 있다. 이는 급송규칙에 영향을 미치는 3가지 요소, 즉 입출고대의 재공품재고 요소, 출고대의 재공품재고 요소, AGV의 이동거리 요소의 단순합(D^1) 보다는 거리요소가 예민하게 작용하는 곱फल(D^2)이 효과적임을 의미한다고 보여진다. 이후의 실험에서는 급송함수로서 D^2 를 사용하

고자 한다.

4.2 모수값 결정을 위한 격자탐색

본 연구에서 개발한 급송규칙에 사용되는 두개의 모수(α, β)를 결정하기 위해 격자탐색기법을 적용하였다. 두개의 모수에 대해서 각각 11개의 수준씩 모두 121회의 실험을 수행하였으며 그 결과를 표 3에 요약하였다.

표 3에서 생산성은 3일(4,320분) 동안 수행한 결과이다. 3대의 AGV가 자재를 운반하고, 각 작업대의 입/출고대는 동시에 3개까지 가공물을 저장할 수 있는 상황이다.

표의 결과에서 알 수 있듯이 주어진 탐색구간에서 시스템은 최저 376개에서 최고 401개까지 완제품을 생산한다. 399개 이상 생산하는 모수조합을 만족할만한 우수한 수준이라고 했을 때, 이들 조합이 탐색구간에 고루 퍼져있음에 미루어 세밀한 탐색을 하지 않더라도 우수한 모수조합을 찾을 수 있다. 이와 같이, 우수한 해들이 고루 퍼져있는 성질은 급송규칙 개발이나 현장에 실제 시스템을 구

표 3. 모수값의 변화에 따른 생산성 변화

$\alpha \backslash \beta$	0.10	0.25	0.40	0.55	0.70	0.85	1.00	1.15	1.30	1.45	1.60
0.10	391	387	398	399	400	399	397	394	399	391	394
0.25	393	393	397	400	401	396	394	397	394	395	400
0.40	392	388	390	394	401	396	395	395	395	399	395
0.55	397	398	397	392	388	392	396	391	397	399	399
0.70	382	388	396	397	389	393	389	391	399	395	392
0.85	383	392	392	397	397	399	396	392	400	395	395
1.00	387	388	393	391	397	396	398	399	399	393	394
1.15	389	388	394	395	396	394	397	399	398	396	399
1.30	386	387	388	390	393	386	397	392	395	397	395
1.45	376	384	389	389	392	391	392	391	396	399	393
1.60	389	397	392	387	393	394	391	386	397	394	393

측할 때 매우 유리하게 작용한다. 왜냐하면 효과적인 모수값을 찾기 위해서 많은 노력을 기울일 필요가 없기 때문이다. 특히 시뮬레이션을 동반하는 격자탐색기법은 일반적으로 많은 계산량을 요구한다는 점을 감안하면 이러한 성질은 매우 바람직한 현상이라 할 수 있다.

4.3 급송규칙의 수행도 비교

본 연구에서 제시하는 급송규칙의 성능을 평가하기 위해서 기존에 연구된 잘 알려진 급송규칙과 비교하는 실험을 수행하였다. 비교대상으로 정한 급송규칙은 MFCFS(Modified First Come First Served)와 STTD(Shortest Travel Time Distance)이다. MFCFS는 AGV가 운반과업을 선택할 때 가장 먼저 운반을 요청한 작업대를 선택하는 방법이다. 이 때 'A-작업대'가 AGV에게 운반을 한번 요청하면 그 요청이 선택될 때까지 'A-작업대'에서 발생한 운반요청은 요청목록에 기록되지 않는다. 기록되지 않은 운반과업은 기록된 요청이 선택된 시점에서 기록된다. STTD는 AGV가 운반을 완료한 직후, 가장 가까운 위치에 있는 운반물을 선택하는 방법이다. 두 방법 모두 알고리즘의 단순성에 비해 우수한 수행도를 갖고 있어서 광범위하게 사용된다.

MFCFS와 STTD는 모두 AGV가 작업대를 선택하는 경우의 급송규칙이며, 본 연구에서 제시하는 입찰개념을 이용한 급송규칙을 비롯하여 MFCFS와 STTD 모두 작업대가 선택하는 경우에는 NV(Nearest Vehicle) Rule을 사용하였다.

비교실험은 AGV댓수와 입/출고대의 용량을 변화시키며 수행되었으며, 제시되는 급송

규칙의 모수값으로는 앞에서 결정한 $(\alpha, \beta) = (0.4, 0.7)$ 의 조합을 사용하였다. 시스템 사양이 결정된 후에 보다 효과적인 모수값을 탐색하면 수행도가 다소 향상될 수 있다.

그림 8은 AGV의 댓수를 변화시키며 실험한 결과를 보여주고 있다. 각 작업대의 입/출고대 용량은 3단위로 고정하였다. 본 연구에서 제시하는 급송규칙을 BID라고 표시하였다. 아래의 수행도는 3일(4,320분) 동안 수행한 결과이다.

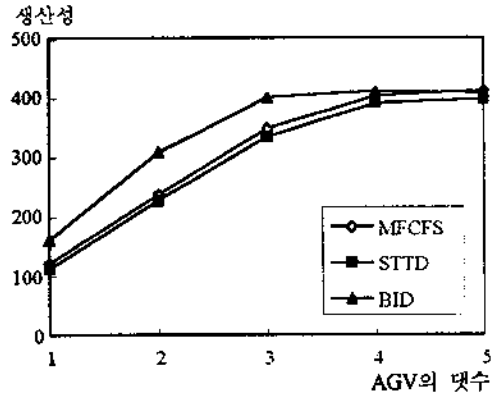


그림 8. AGV댓수변화에 따른 생산성 비교

결과는 BID 규칙이 다른 규칙들에 비해 우수한 수행도를 보여주고 있으며, AGV댓수가 3대 이상일 경우에는 시스템의 생산성이 수렴하는 현상이 나타난다. 다른 규칙들은 AGV 댓수가 4대 이상일 경우에 생산성이 수렴하는 것에 비추어 실험대상 시스템의 생산성은 BID규칙을 적용할 경우 3대, 다른 규칙을 적용할 때는 4대의 AGV를 사용하면 충분하다는 결론을 유추할 수 있다. 비교대상으로 제시된 급송규칙중 STTD 규칙은 AGV의 이동거리에 관한 정보만을 이용하고, MFCFS 규칙은 재공품재고에 관한 정보만을 이용하므로 이동

거리와 재공품재고에 관한 정보를 모두 활용하는 BID규칙이 유리하다고 할 수 있다.

그림 9는 AGV갯수를 3대로 고정하고 작업대의 입/출고대 용량을 변화시키며 3일(4,320분) 동안 실험한 결과를 보여주고 있다.

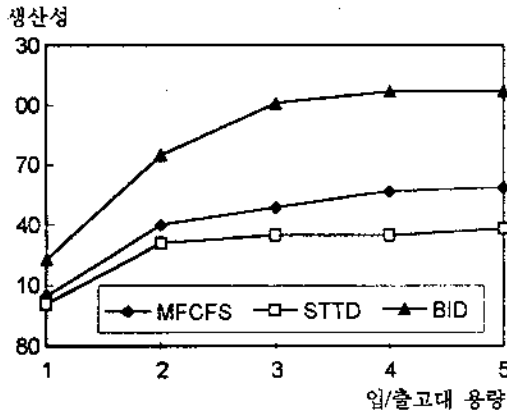


그림 9. 입/출고대 용량변화에 따른 생산성 비교

위의 실험결과는 본 연구에서 제시한 BID 규칙이 다른 규칙에 비해 우수한 수행도를 보여주고 있다. 3개의 규칙 모두 입/출고대 용량이 3단위부터 생산량이 수렴하는 현상을 보여주고 있으며 입/출고대 용량이 클수록 BID 규칙이 다른 규칙에 비해 효과적으로 작동하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 BID 규칙이 입/출고대에 저장되어 있는 재공품재고에 대한 정보를 효과적으로 활용하고 있음을 보여준다.

5. 결론

본 연구에서는 입찰함수를 이용한 새로운 급송규칙을 개발하였다. 제안되는 급송규칙은 운반작업에 관한 세가지 유형의 정보(운

반시간, 입/출고대의 재공품재고 현황)를 입찰함수의 형태로 사용하며 이 세가지 정보를 통합하는 급송함수를 다양하게 제시하고 각 급송함수에 대한 수행도를 비교하였다. 제시된 급송함수중에서는 D^2 가 대체적으로 우수한 결과를 나타냈다. 본 연구의 급송규칙이 사용하는 모수(α, β)의 최적조합을 찾기 위해 격자탐색기법을 적용하였으며 실험결과를 통해 우수한 해들이 비교적 적은 탐색으로 발견됨을 알 수 있다. 또한, 본 연구에서 제안하는 급송규칙을 기존의 급송규칙들과 수행도를 비교하였으며 제안된 급송규칙이 다른 규칙들보다 우수한 결과를 나타냈다.

참 고 문 헌

- [1] Bozer, Y. A. and Kim, J. H., "Transfer Batch Size in Trip-Based Material Handling System," Presentation at the Ajou University, April, 1994.
- [2] 조면식, "선입선출법에 입각한 자동 유도 운반차량 시스템의 성능평가," 대한산업공학회지, Vol. 18, No. 2, pp. 65-82, 1992.
- [3] 조면식, "Analysis on Time in System of Trip-Based Material Handling systems," 경기대학교 산업기술종합연구소 논문집, Vol. 9, pp. 53-80, 1993.
- [4] 이효성, 조면식, "자동 유도 운반차량 시스템의 성능평가를 위한 근사적 방법," 대한산업공학회지, Vol. 16, No. 2, pp. 23-36, 1990.
- [5] Bartholdi, J. J., III and Platzman, L. K., "Decentralized Control of a Fixed Route Automatic Guided Vehicle System," IIE

- Transactions, Vol. 21, No. 1, pp. 76-81, 1989.
- [6] 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, Vol. 75, No. 1, pp. 200-216, 1994.
- [7] Bozer, Y. A. and Srinivasan, M. M., "Tandem Configuration for Automated Guided Vehicle Systems and Analysis of Single Vehicle Loops," IIE Transactions, Vol. 23, No. 1, pp. 72-82, 1991.
- [8] Bozer, A. Yavuz and White A. John, "Design and performance model for end-of-aisle order picking system," Management Science, Vol. 36, No. 7, pp. 852-866, 1990.
- [9] Egbelu, P. J. and Tanchoco, J. M. A., "Characterization of Automatic Guided Vehicle Dispatching Rules," International Journal of Production Research, Vol. 22, No. 3, pp. 350-374, 1984.
- [10] Egbelu, P.J and Roy, N. "Material flow control in an AGV/unit load flow control," International Journal of Production Research, Vol. 26, No. 1, pp. 81-94, 1988.
- [11] Hodgson, T. J., King, R. E. and Monteith, S. K., "Developing Control Rules for AGVS using Markov Decision Process," Material Flow, Vol. 4, pp. 85-96, 1987.
- [12] Hodgson, T. J., King, R. E. and Monteith, S. K., "Extracting Heuristic Control Rules for AGV's using Markov Decision Process," Belgian Jour. of OR Stat. and Comp. Sci., Vol. 27, No. 2, pp. 3-17, 1987.
- [13] Koff, G. A., "Automated guided vehicle systems : applications, controls and planning," Material Flow, Vol. 4, pp. 3-16, 1987.
- [14] Maxwell, W. L. and Muckstadt, J. A., "Design of automated guided vehicle systems," IIE Transactions, Vol. 14, No. 2, pp. 114-124, 1982.
- [15] Ozden, M., "A simulation study of multiple-load carrying automated guided vehicle systems in a flexible manufacturing system," International Journal of Production Research, Vol. 26, No. 8, pp. 1353-1366, 1988.
- [16] Russell, R. S. and Tanchoco, J. M. A., "An Evaluation of Vehicle Dispatching Rules and Their Effect on Shop Performance," Material Flow, Vol. 1, pp. 271-280, 1984.
- [17] Seller, C. J. and Nof, S.Y "Part kitting in robotic facilities," Material Flow, Vol. 3, pp. 163-174, 1986.
- [18] Srinivasan, M. M., Bozer, Y. A., and Cho, M. S, "Trip-Based Material Handling Systems : Throughput Capacity Analysis," IIE Transactions, Vol. 26, No. 1, pp. 70-89, 1994.