

다요소를 고려한 AGV 배송규칙에 관한 연구

이찬기*, 이준수*, 정병호**

* 전북대학교 산업공학과 대학원, **전북대학교 산업공학과 교수

A study on Multi-Attribute AGV Dispatching Rules

C. G. LEE, J. S. LEE, B. H. JEONG

ABSTRACT

The performance of an AGV varies with the applied AGV dispatching rule in the operation of AGVS. This study proposes a multi-attribute AGV dispatching rule. The suggested dispatching rule considers the output queue of a workstation, distance between an idle AGV and a workstation to be served, the input queue of the destination and the remaining job process of a part. This study suggests two types of multi-attribute dispatching rules. One is an one-stage rule which selects the part to be served considering four attributes simultaneously. The other is a two-stage rule by which a workstation is selected and a part is chosen from the selected workstation. The proposed rules are modeled using ARENA 3.0 and Visual C++ 5.0. A number of simulation runs were executed under different experimental conditions to obtain preliminary statistics on the several performance measures.

1. 서론

유연 생산 시스템의 작업 대상은 기존의 일정한 경로를 갖는 컨베이어 생산 방식과는 다르게 다양한 작업 경로를 갖는다. 그러므로 작업물을 이송하는 물류 운반 시스템의 효율성은 유연 생산 시스템의 운영 효율에 있어서 중요한 요소이다. 무인 운반 시스템(AGVS : Automated Guided Vehicle System)은 미국 Barret Electronic사에서 개발된 후 유럽과 일본에서 실용화되어 호텔, 병원 등 비 제조업 분야까지 광범위하게 활용되고 있다[5, 7].

또한 기존의 단일 운영 시스템이던 무인 운반 시스템은 최근에는 정보네트워크와 결합된 생산 시스템과 통합하여 생산의 모든 단계에서 유기적으로 결합된 통합 시스템의 한 요소로 구성되고 있다[1, 2].

AGVS의 운용 면에서 연구되는 내용은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 무인 운반차(AGV : Automated Guided Vehicle)의 효율적인 배송규칙에 관한 연구이고 둘째는 무인 운반 시스템의 경로 및 스케줄링에 관한 연구이다[3].

AGV의 배송규칙은 배송규칙 결정을 내리는 주체에 따라 AGV Initiated Task Assignment

Rule과 Workstation Initiated Task Assignment Rule로 구분된다. AGV의 배송규칙에 관한 최초의 연구는 Maxwell과 Muckstadt[10]에 의해 최적의 AGVS 구축에 관한 내용과 AGV의 배송규칙에 관한 연구이다. Russell과 Tanchoco[12]는 LWT(Longest Waiting Time) 배송규칙을 제안하였다. Ozden[11]은 기존 AGV의 작업물의 적재능력을 늘려 AGVS의 수행도를 비교한 연구를 수행하였다. Lee et. al[8]은 다중 적재능력의 AGV를 효율적으로 운영하기 위하여 기존의 단일요소 배송규칙에 출고장의 작업물을 선택하는 규칙을 혼합한 규칙을 제안하였다. Occena와 Yokota[9]는 MLAGV(Multi Load AGV) 규칙을 제안하고 있다. Sabuncuoglu와 Hommertzenim[6]의 연구는 작업물의 Job과 관련된 작업시간, 작업의 수, 그리고 Due-date를 고려한 배송규칙 적용에 여분의 작업의 수를 절차에 포함하고 있다. Tagaboni와 Dutta[4]는 AGV가 우선권을 갖는 작업물을 선택하여 작업을 하는 배송규칙을 제시하였다.

지금까지 발표된 배송규칙중 단일요소에서 일반적으로 가장 좋은 수행도를 보이는 배송규칙은 STT/D와 MROQS이다. 이러한 단일요소 배송규칙 중 STT/D의 단점으로는

AGV가 입고장(Destination)에 작업물을 내려 놓지 못해 발생하는 봉쇄(Blocking) 현상과 입고장과 출고장이 수용한계 상태에서 AGV가 작업물을 이송하여 발생하는 교착상태(Locking)를 유발하게 된다. 반면에 출고장을 반영한 배송규칙인 MROQS는 AGV의 이동거리를 고려하지 않아 AGV의 이용도를 저하시키게 된다[2, 4].

단일요소 배송규칙의 속성상 고려되는 수행평가 척도는 다른 척도에서 좋은 결과를 산출하지 못하는 단점을 보완하기 위해 많은 연구가 이루어지고 있으나 시스템 상황에 영향을 미치는 요소들을 AGV 배송규칙에 반영할 수 있는 다요소 배송규칙을 이용한 연구들이 많이 이루어지고 있지 않은 실정이다. 황학과 김상휘[2]는 입찰함수 개념을 이용한 BID라는 AGV의 배송규칙을 제안하였다.

본 연구에서는 시스템에 영향을 미치는 요소들로 AGV와 출고장의 거리, 출고장 대기열의 상태, 작업물의 작업 진행 상황, 입고장 대기열의 상태 등을 고려하는 다요소 AGV 배송규칙을 제안한다. 이 요소들을 배송규칙에서 동시에 고려함으로써 단일요소 배송규칙에 따라 달라지는 여러 가지 수행도를 고르게 추구할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 두 가지의 다요소 AGV 배송규칙을 제안한다. 첫 번째는 모든 요인들을 동시에 고려하여 AGV에 의해 이송될 작업물을 선정하는 방법이고 두 번째는 단계적으로 요소들을 적용하여 Workstation의 출고장에 대기중인 작업물을 선택하는 AGVS 배송규칙이다. 본 연구에서 제안하는 두 가지 다요소 배송규칙을 서로 비교하여 수행도를 분석하였다. 그리고 기존의 단일요소 배송규칙들과도 수행도를 비교·분석하였다.

2. 다요소를 고려한 AGV 배송규칙

본 연구에서 제시될 다요소 및 다요소 배송규칙에서 고려할 사항은 다음과 같다.

2.1 연구에서 고려한 다요소

출고대의 대기라인은 봉쇄나 교착현상의 발생가능성을 줄이기 위해 출고대의 대기작업을 고려한다.

$$OQ_i = \frac{NOQ_{ij}}{COQ_{ij}}$$

NOQ_i : 출고대에 대기중인 작업물 수
COQ_i : i번째 Workstation의 수용능력
O_i : 출고대 상태에 대한 표준화 점수

AGVS의 이동거리는 AGV의 이용률을 높이기 위해 유휴해진 AGV와 각 작업장의 출고대사이의 거리를 고려한다. 이는 빈 AGV의 이동거리를 줄임으로써 시스템의 전반적인 효율을 향상시킬 수 있기 때문이다.

$$D_i = 1 - \frac{d_i}{\text{Max}_i d_i}$$

d_i : 작업대의 출고대와 AGV간 이동거리
D_i : 작업대 i의 이동거리와 관련된 점수

작업물의 목적지 입고대 대기라인은 작업물이 이동해갈 Workstation의 입고대의 대기상태도 고려할 필요가 있다. 입고대의 대기열을 고려함으로써 Workstation의 고갈현상이나 봉쇄현상의 발생가능성을 줄일 수 있다.

$$IQ_{ij} = 1 - \frac{NIQ_{ij}}{CIQ_{ij}}$$

NIQ_{ij} : Workstation의 입고대 수용능력
CIQ_{ij} : 대기중인 작업물의 수
IQ_{ij} : Workstation의 입고대 대기열에 관한 표준화된 점수

마지막으로 작업물의 잔여공정은 각 작업물의 잔여공정의 수가 적은 작업물을 우선적으로 후행공정으로 이동시킴으로써 shop내의 재공품 재고를 줄일 수 있을 것이다.

$$PR_{ij} = \frac{NCP_{ij}}{NTP_{ij}}$$

NTP_{ij} - 종료해야할 전체작업 수
NCP_{ij} - 수행한 작업의 수
PR_{ij} - 작업진행에 관한 표준화된 점수

2.2 다요소를 고려한 AGV 배송규칙

본 연구는 상술한 네 가지 요소를 동시에 고려한 AGV 배송규칙과 요소의 특성에 따라 두 단계 절차에 배치한 다요소 배송규칙을 제안한다. 첫 번째 다요소 배송규칙은 상술한 네 가지 요소를 같은 기준으로 정규화 하여 가중합이 최대인 작업물을 찾아내 AGV가 선택된 작업물을 배송하는 방법이다. 두 번째 다요소 배송규칙은 두 단계로 배송대상을 선정한다. 처음 단계는 Workstation을 선정하는 단계이고, 두 번째 단계는 선정된 출고장의 대기열에서 작업물의 잔여 작업수와 이동할 작업장의 입고장 대기열을 고려하여 배송될 작업물을 선택하는 단계이다.

본 연구에서는 기존의 단일요소 배송규칙인 STT/D, MRIQS(Maximum Remaining Incoming Queue Space), MRJ(Minimum Remaining Jobstep) 배송규칙 위에서 제시한 다요소 배송규칙의 효율성을 입증하고자 한다.

2.2.1 다요소를 동시에 고려한 배송규칙

AGV가 배송할 작업물을 선택하기 위한 절

차는 다음과 같다.

단계1 배송할 작업물 선택.

(1) 출고장 대기열에 대기중인 작업물 찾음.

$$Set W = \{ W_i | O_i \neq 0 \}$$

i : Workstation Number

O_i : i 번째 Workstation의 출고장 대기열 수

(2) $WS_{ij} = w_1 OQ_i + w_2 D_i + w_3 IQ_{ij} + w_4 RP_{ij}$

단, $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$

WS_{ij} 가 i 번째 Workstation의 출고장 대기열에 j 번째 대기중인 작업물의 점수

(3) WS_{ij} 가 최대인 작업물을 선택하고 다음 단계로

단계 2. 교착 가능성 조사.

단계 1에서 선택된 작업물이 이동해야 할 Workstation의 machine, 입고장, 출고장 대기열에 여유 공간이 없을 경우 해당 작업물을 보유하고 나머지 작업물 중 가장 높은 점수를 갖는 작업물을 선택·검토한다.

2.2.2 두 단계 다요소 배송규칙

두 번째 배송규칙에서 AGV는 두 단계를 통해 작업물을 선정하게 된다. 현 과정에서 단계를 나누는 이유는 AGV가 Workstation을 선정하는데 고려하는 요인과 작업물을 선정하는데 고려하는 요인들을 분류하여 첫 번째 배송규칙에서 동시에 고려하는 경우와 비교하여 이들의 상관 관계를 분석하는데 목적이 있다.

단계 1. Workstation 선택.

(1) 출고장 대기열에 대기중인 작업물 찾음.

$$Set W = \{ W_i | O_i \neq 0 \}$$

(2) 선택된 Workstation 점수 WS_i^1 을 계산.

$$WS_i^1 = w_1 OQ_i + w_2 D_i$$

단, $w_1 + w_2 = 1$

(3) W_i^1 가 최대인 Workstation을 선택.

단계 2. 작업물 선정.

(1) 선택된 W_i 의 출고장의 대기열에 대기 중인

작업물의 점수 WS_{ij}^2 를 계산.

$$WS_{ij}^2 = w_3 IQ_{ij} + w_4 RP_{ij}$$

단, $w_3 + w_4 = 1$

(2) 가장 높은 점수 WS_{ij}^2 를 갖는 작업물을 선택하여 다음 목적지로 배송.

단계 3. 교착 가능성 조사.

실시하였다. 모의 실험 모델은 ARENA 3.0과 Visual C++ 5.0을 사용하여 개발하였고 본 연구에서 제안하는 배송규칙의 수행도를 평가하기 위해 Visual C++을 이용한 User Function을 정의하였다.

본 연구에서는 Sinriech와 Tanchoco[13]가 제시한 시스템을 모의실험 대상으로 선정하였다. 선정한 유연 생산 시스템은 11개의 Workstation으로 구성되어 있고 AGV는 작업물을 목적지에 배송하기 위해 출고장과 입고장을 단일 방향의 케도를 따라 이동하게 된다. AGV의 이동경로는 작업물을 적재하는 출고장에서 작업물을 배송 완료하는 대상 입고장까지 최단 거리를 자동으로 찾아 배송 임무를 수행한다. 작업을 마친 AGV는 다음 작업 지시가 있을 때까지 마지막 작업을 완수한 입고장에서 대기하게 된다. AGV의 이동속도와 작업물을 출고장과 입고장에서 적재하는 시간은 항상 같은 시간으로 설정하였다. AGVS에서 운영되는 AGV는 1대이며, 한번에 하나의 작업물을 배송 할 수 있다.

본 연구에서 시스템에 투입하는 작업물의 수는 150개이다. 투입되는 작업물은 5가지 유형으로 분류된다. 대상 작업물을 가공하는 Workstation들은 동류의 작업을 수행하는 서로 다른 수의 NC 또는 CNC기계로 구성되었다. Workstation은 작업물이 작업 전·후에 대기할 수 있는 입고장과 출고장을 가지고 있으며 각각의 수용량은 각기 다르게 주어졌다. 본 연구에서는 배송규칙의 수행도 평가를 위해서 Workstation과 AGV의 고장을 없는 것으로 가정한다.

본 연구에서 다요소 AGV 배송규칙의 수행도를 평가하기 위해 기존 단일요소 AGV 배송규칙과 결과를 비교하였다. 1·2장에서 설명한 단일요소 AGV 배송규칙 중 본 연구에서 비교하는 배송규칙은 STT/D, MROQS, MRIQS MRJ로 4가지이고 다요소 AGV 배송규칙은 OSMR(One Step Multi-attributes Rule), TSMR(Two Step Multi-attributes Rule) 배송규칙이다.

본 연구에서 OSMR과 TMR을 단일요소 AGV 배송규칙과 수행도를 비교·분석하기 위한 평가기준은 WIP, Unloaded Travel Time(UTT), MFT, Blocking Time(BT)이다.

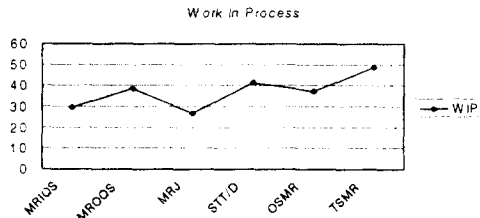
3. 모의 실험

본 연구에서 제시한 AGV의 배송규칙을 단일요소 배송규칙과 비교·평가하기 위하여 가상 유연 생산 시스템에 대하여 모의 실험을

4. 수행도 평가

모의 실험 결과 기존의 단일요소 AGV 배송규칙과 같이 STT/D 배송규칙은 UTT에 좋은

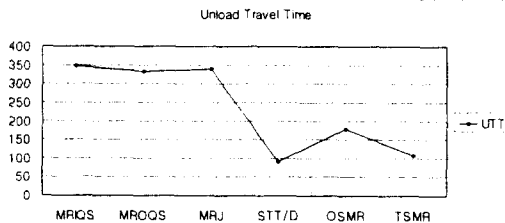
결과를 보여주고 있으며 MRIQS와 MRJ는 WIP등에서 좋은 결과를 보여 주고 있다. 본 연구에서는 평가 기준별로 가장 좋은 결과를 갖는 배송규칙을 찾기 위해 SAS의 ANOVA Test를 이용하여 일원배치 분산 분석기법을 수행하였다. 분석 결과는 [그림 1], [그림 2], [그림 3], [그림 4]와 같다.



[그림 1] Work-In-Process

[그림 1]에서 보듯이 WIP의 평가기준에서는 MRJ와 MRIQS가 가장 좋은 수행도를 보여준다. 이들은 Pull 전략의 배송규칙으로써 후속 작업장의 입고장 상태를 반영하므로 다른 배송규칙보다 WIP이 적게나타남을 알 수 있다.

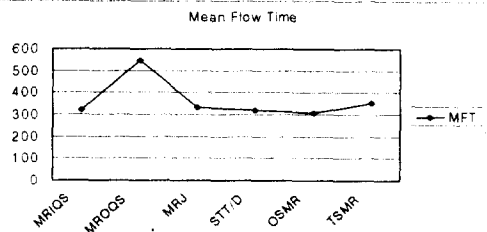
[그림 2]는 UTT의 측면에서 수행도를 비교·분석한 것이다. 이 평가 기준에서는 이동 거리가 가장 작은 Workstation에 작업을 할당하는 STT/D 배송규칙이 가장 좋은 결과를 나타낸다.



[그림 2] Unloaded Travel Time

그리고 본 연구에서 제시한 다요소 AGV 배송규칙인 TSMR와 OSMR이 다음으로 좋은 결과를 나타내고 있다.

[그림 3]은 MFT 평가 기준을 적용한 결과이다. 결과는 MROQS가 다른 배송규칙들과 많



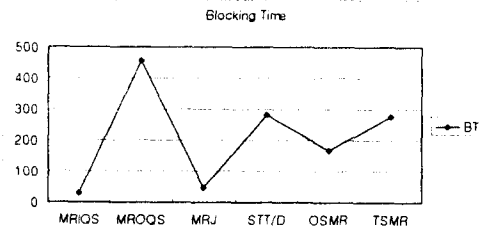
[그림 3] Mean Flow Time

은 차이를 보이고 있다. 이 기준에서도 본 연구에서 제시한 OSMR 배송규칙이 가장 좋은 결과

를 보여주고 있다. 또한 TSMR도 다른배송규칙들과 큰 차이를 보이고 있지 않다.

마지막으로 AGV가 작업물을 입고장에 하역할 때 발생하게 되는 현상인 Blocking Time을 평가 기준으로 한 결과의 분석이다. 분석 결과는 [그림 4]에서 보여 주듯이 입고장의 상태를 반영한 배송규칙인 MRIQS와 MRJ 배송규칙이 가장 좋은 결과를 보여주고 있다. 또한 OSMR, TSMR 배송규칙도 그 외의 다른 배송규칙들보다 좋은 수행도를 보여 준다.

모의 실험결과를 분석했을 때 Push 기반인 MROQS와 STT/D 배송규칙과 Pull 기반인 MRJ와 MRIQS는 각각 강점을 보이는 평가 기준이어서 다른 배송규칙보다 우수한 결과를 보여주고 있다.



[그림 4] Blocking Time

4가지의 평가기준을 비교·분석한 결과 단일 요소 배송규칙은 부분적인 일부 평가기준에서 좋은 결과를 얻었다. 그러나 본 연구에서 제시한 OSMR과 TSMR은 특정 평가기준에서 좋은 결과를 보여주는 것이 아니라 모든 평가 기준에서 나쁘지 않은 결과를 보여 주고 있다. 그 이유는 시스템에서 발생 가능한 모든 요소들을 고려한 배송규칙이기 때문이다. 그리고 OSMR 배송규칙은 몇 가지 평가 기준에서는 가장 좋은 결과를 보여주기도 했다. 이와 같이 본 연구에서 제시한 다요소 배송규칙은 단일 요소 배송규칙들이 반영하지 못하는 부분을 포함하여 배송규칙에 반영함으로써 시스템의 동적인 상황에 잘 반영한 AGV 배송규칙이라 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 단일요소 배송규칙과 모의 실험의 결과를 비교 분석한 후 다요소 배송규칙들이 가중치의 변화에 따라 어떤 결과를 보여주는지 연구하였다. OSMR과 TSMR의 평가 기준에 따른 SAS ANOVA test의 일원배치 분산 분석 결과 가중치변화와 다요소 배송규칙간의 교호작용이 존재하고 이들 교호작용이 유의하다라는 것을 알 수 있다. 또한 가중치의 변화에도 유의하고 본 연구에서 제시한 OSMR과 TSMR간의 결과도 유의 하다

는 것을 알 수 있다. 그 외 평가기준도 MFT 평가 기준과 같이 유의한 결과를 보여준다. 가중치의 변화에 민감한 요소 배송규칙을 시스템에 적절하게 적용하기 위해서는 올바른 가중치의 값을 결정해야한다. 또한 본 연구에서 제시한 두 가지 배송규칙에서 좀더 안정적인 시스템의 운영을 위해서는 모든 요소들이 서로의 관계에 따라 상쇄 효과를 줄 수 있는 OSMR 배송규칙이 좋다는 결과를 얻을 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 유연 생산 시스템에서 중요한 역할을 차지하고 있는 무인 운반 시스템의 AGV 배송규칙에 관한 연구를 수행하였다. 본 연구는 기존의 단일요소 AGV 배송규칙과 이를 확장한 다요소 AGV 배송규칙의 수행도를 비교·분석하였다. 또한 각 요소들의 가중치를 변화시키면서 가중치가 시스템에 영향을 미치는 결과를 분석하였다. 분석 결과, 본 연구에서 제시한 다요소 배송규칙이 단일요소 AGV 배송규칙보다 모든 평가 기준에서 좋은 결과를 얻어내지는 못했지만 일반적으로 좋은 결과를 산출할 수 있었다.

시스템의 안정성은 시스템과 관련된 전반적인 사항들이 지속적으로 적절한 상태를 유지해야 어느 특수한 상황에서도 기존의 효율성을 잃지 않는다는 의미에서, 본 연구에서 제시한 다요소 AGV 배송규칙은 기존의 단일요소 AGV 배송규칙보다 시스템의 안정성과 효율성에서 좋은 결과를 보였다.

마지막으로 다요소의 가중치를 변형시킴으로써 특정한 수행도의 결과를 좋게 해줄 수 있다는 것을 모의 실험의 분석을 통해서 확인하였다. AGV의 배송규칙에 다요소를 고려한 경우 앞으로 고려되어야 할 사항은 요소들의 중요성에 따라 가중치를 부여하는 방법이 중요하다. 본 연구에서는 단순히 가중치를 임의적으로 부여하였지만 추후연구로는 시스템의 동적인 상태를 즉시 배송규칙에 반영할 수 있는 가중치 부여 방법이 연구되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 배종욱, 김갑환, "시물레이션을 이용한 AGVS 콘트롤러 개발지원시스템", 산업공학, Vol. 9, No.1, 1996, pp. 25~40.
- [2] 황학, 김상휘, "자치제어구조 생산시스템에서 무인운반차량 시스템의 운영정책 개발", 대한산업공학회지, Vol. 23, No. 2, 1997, pp. 343~357.
- [3] Christine G. Co and J. M. A. Tanchoco, "A review of research on AGVS vehicle management", Engineering Costs and Production Economics, Vol. 21, 1991, pp. 35~42.
- [4] Fataneh Taghaboni and Dutta, "A Value-Added Approach for Automated Guided Vehicle Task Assignment", Journal of Manufacturing Systems, Vol. 16, No. 1, 1997, pp. 24~34.
- [5] Hort Tempelmeier and Heinrich Kuhn, "Flexible Manufacturing Systems", JOHN WILEY & SONS, INC. 1993.
- [6] Ihsan Sabuncuoglu and DON L. Hommertzhaim, "Dynamic dispatching algorithm for scheduling machines and automated guided vehicles in a manufacturing system", International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 5, 1992, pp. 1059~1079.
- [7] Koff, G. A., "Automated Guided Vehicle Systems : applications, controls and planning", Material Flow, Vol. 4, 1987, pp. 3~16.
- [8] Lee J. , M. Tangjagukij and Z. Zhu, "Load selection of automated guided vehicles in flexible manufacturing system", International Journal of Production Research, Vol. 34, No. 12, 1996, pp. 3383~3400.
- [9] Luis G. Occena and Toshiya Yokota, "Analysis of the AGV Loading Capacity in a JIT Environment", Journal of Manufacturing Systems, Vo. 12, No. 1, pp. 24~35.
- [10] Maxwell, W. L. and Muckstadt, J. A., "Design of automated guided vehicle systems", IIE Transactions, Vol. 14, No. 2, 1982, pp. 114~124.
- [11] 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, 1988, pp. 1353~1366.
- [12] Roberta S. Rusell and Jose M. A. Tanchoco, "An Evaluation of Vehicle Dispatching Rules and Their Effect on Shop Performance.", Material flow, Vol. 1, 1984, pp. 271~280.
- [13] Tanchoco, J.M.A, "Material Flow Systems in Manufacturing", Chapman & Hall, 1994, 200-235.