

신경망을 이용한 무인운반차의 다요소배송규칙

A Multi-attribute Dispatching Rule Using A Neural Network for An Automated Guided Vehicle

정병호*

Byung Ho Jeong

Abstract

This paper suggests a multi-attribute dispatching rule for an automated guided vehicle(AGV). The attributes to be considered are the number of queues in outgoing buffers of workstations, distance between an idle AGV and a workstation with a job waiting for the service of vehicle, and the number of queues in input buffers of the destination workstation of a job. The suggested rule is based on the simple additive weighting method using a normalized score for each attribute. A neural network approach is applied to obtain an appropriate weight vector of attributes based on the current status of the manufacturing system. Backpropagation algorithm is used to train the neural network model. The proposed dispatching rules and some single attribute rules are compared and analyzed by simulation technique. A number of simulation runs are executed under different experimental conditions to compare the several performance measures of the suggested rules and some existing single attribute dispatching rules each other.

* 전북대학교 산업공학과

1. 서론

유연 생산 시스템(FMS)은 다른 기능을 수행하는 몇 개의 w/s(workstation)들로 구성되는 배치 생산 시스템이라 할 수 있다. 중소기업의 수요량을 갖는 다양한 종류의 부품을 가공하기 위한 시스템이다. 각 부품들은 가공이 완료될 때까지 w/s들 사이를 이동하게 된다. 따라서, 작업물을 이송하는 물류 운반 시스템의 효율적인 운영은 유연 생산 시스템의 효율에 있어서 중요한 요소이다. 무인 운반 시스템(AGVS : Automated Guided Vehicle System)은 자동화된 생산 시스템의 대표적인 물류 시스템이다.

AGVS의 운용 면에서 연구되는 내용은 크게 무인 운반차(AGV)의 효율적인 배송규칙과 AGVS의 경로 및 스케줄링에 관한 연구로 구분할 수 있다. AGV의 배송규칙은 배송 결정을 내리는 주체에 따라 Vehicle initiated task assignment rule과 Work-station initiated task assignment rule로 구분된다.[2] 물류 이동률이 높은 경우에 후자는 거의 적용이 되지 않기 때문에, 이 논문에서는 전자에 초점을 둔다. 지금까지 발표된 단일 요소 배송규칙으로는 STT/D(Shortest Travel Time/Distance), MRIQ (Maximum Remaining Input Queue Sapce), MROQS (Minimum Remaining Outgoing Queue Space)등을 들 수 있다. STT/D는 일반적으로 단일 요소 배송규칙 중에서 가장 좋은 수행도를 보여주는 것으로 보고되고 있으나, 작업장의 전체적인 배치 형태, 특히, w/s들의 입고장과 출고장의 위치에 민감하게 반응한다는 점이 단점으로 지적되고 있다. 반면에 입고장이나 출고장의 상태를 반영하는 MRIQ나 MROQS 등은 AGV의 이동거리를 고려하지 않아 AGV의 활용도를 저하시킨다.[1,7,10] Faraji & Batta[3]는 작업장을 몇 개의 작은 부분 셀로 나누고, 각 셀에 한 대의 AGV를 배치함으로써 AGV간의 충돌 현상이나 시스템 록킹 현상을 방지할 수 있다고 제안하였다. Sabuncuoglu &

Hommertzhenim[9]는 연구에서 작업물의 작업시간, 작업 수, 그리고 납기를 고려한 배송규칙 적용에 잔여작업의 수를 질차에 포함하고 있다.

단일 요소만을 고려하는 배송규칙들의 이러한 한계점을 보완하기 위해 시스템의 수행도에 영향을 미치는 복수의 요소들을 AGV 배송규칙에 반영할 수 있는 다요소 배송규칙에 대한 연구들이 최근 들어 보고되고 있다. Hwang & Kim[6]은 입찰함수 개념을 이용하여 AGV의 배송규칙을 개발하였다. 이 배송규칙은 AGV와 작업물의 거리, 작업장의 입고장과 출고장을 동시에 고려하여 AGV의 작업물을 선정하는 연구를 수행하였다. Klein & Kim[7]도 SAWM(Simple additive weighting method)과 멤버함수를 사용한 다요소 배송규칙을 제안하고 시물레이션을 이용하여 이러한 다요소 배송규칙이 수행도면에서 단일 요소 배송 규칙들보다 우월하다는 것을 보여주고 있다. 그러나, 이 논문들에서는 다요소 배송 규칙에서 사용되는 요소의 중요도가 끼치는 영향에 대해서 고려하지 않고 있다. 일반적으로 요소의 중요도는 다요소 의사결정 모형에서 중요한 역할을 한다.

본 논문에서는 시스템에 영향을 미치는 요소들인 AGV와 출고장의 거리, 출고장 대기열의 상태, 입고장 대기열의 상태를 고려하는 다요소 AGV 배송규칙을 제시하고자 한다. 특히, 다요소 배송규칙에서 사용될 요소의 가중치를 작업장의 상태 변화에 따라 연속적으로 조정하기 위해 신경망 기법을 응용한다. 본 논문에서 제안하는 다요소 배송규칙과 기존의 단일요소 배송규칙들의 수행도를 시물레이션을 이용하여 비교한다. 2절에서는 본 논문에서 제시된 다요소 배송규칙에서 고려되는 요소들에 대하여 설명하고, 3절에서는 제안된 다요소 배송규칙에 관하여 설명한다. 4절은 다요소 배송규칙들의 수행도 평가를 위한 시물레이션 모델과 시물레이션 결과에 대한 분석을 포함한다.

2. 다요소 배송규칙에서 고려할 요소

2.1 AGV의 이동거리

물류시스템의 효율성은 작업물의 운반 요구를 얼마나 빨리 충족시키느냐에 달려 있다. STT/D 규칙은 운반 작업을 완료한 AGV로부터 가장 가까운 곳에 있는 출고장에서 기다리고 있는 작업물에 그 AGV를 할당한다. 따라서, STT/D 규칙은 AGV의 유틸이동거리(unloaded travel distance)를 최소화함으로써 AGV의 이용 효율을 높이는 우수한 휴리스틱 룰로 알려져 있다. 그러나, Egbelu & Tanchoco[2]는 이 규칙이 작업장의 배치형태, 특히, w/s들의 입고장, 출고장의 위치에 매우 민감하게 반응한다고 적고 있다. 즉, AGV의 유틸이동거리는 최소화할 수 있겠지만 다른 수행도는 시스템의 배치 상태에 따라 다르게 나타날 수 있다는 것이다. 더욱이, 배치에 따라서는 일부 w/s는 상대적으로 적은 빈도로 AGV의 서비스를 받게 되고, 이에 따라서, 시스템 록킹 현상이 발생할 수 있다. 그럼에도 불구하고, AGV의 유틸이동거리는 AGV를 배송하기 위한 중요한 기준 중에 하나일 수 있다. 따라서, 유틸이동거리를 본 논문에서 제시하고자 하는 다요소 배송규칙에서 고려하는 요소에 포함시키기로 한다.

작업물의 이동을 완료한 AGV의 현 위치와 작업물을 적재할 출고장 사이의 거리를 다음과 같이 규준화(normalize)함으로써 다른 요소와 동시에 고려할 수 있다. i 번째 w/s의 출고장과 AGV간의 이동거리를 d_i 라 하면, w/s i 의 이동거리와 관련된 점수 D_i 는 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$D_i = \frac{\max_j d_j - d_i}{\max_j d_j - \min_j d_j}$$

2.2 입고장 버퍼

입고장 버퍼는 AGV에 의해 해당 작업장으로 이동된 작업물이 가공될 기계를 할당받을 때까지

대기하는 곳이다. 본 논문에서 입고장의 버퍼를 고려한 이유는 입고장 버퍼의 여유 공간이 큰 w/s에 우선적으로 작업물을 공급함으로써 블럭킹 현상을 줄이고 w/s별로 이용률을 평준화함으로써 작업장 내 물류를 원활하게 할 수 있기 때문이다.

입고장 버퍼를 배송규칙에 적용하기 위해 w/s i 의 출고장에 대기중인 첫 번째 작업물이 이동해야 할 w/s의 입고 버퍼의 수용 능력을 ciq_i , 대기중인 작업물의 수를 niq_i 라 하자. i 번째 w/s의 출고 버퍼에서 대기중인 첫 번째 작업물이 이동해야 할 w/s의 입고 버퍼에 관한 규준화된 점수 IQ_i 는 다음과 같다.

$$IQ_i = 1 - \frac{niq_i}{ciq_i}$$

2.3 출고장 버퍼

출고 버퍼는 w/s에 속해있는 기계들에 의해 가공이 완료된 작업물이 다음 w/s으로 이동하기 위해 대기하고 있는 장소이다. 출고 버퍼의 수용량은 시스템의 성능에 영향을 미치는 요소이므로 합리적인 수용량의 결정은 적은 비용으로 시스템 운영의 합리화를 꾀할 수 있는 중요한 문제이다. 출고 버퍼의 수용량을 증가시키는 방법 외에 시스템 운영의 효율화를 이루는 방법으로 출고 버퍼의 대기열에 직접적인 영향을 미치는 AGV의 배송규칙에 출고 버퍼의 상태를 반영할 수 있는 요인을 고려하는 것이다. AGV의 배송규칙 중 출고 버퍼의 대기열을 고려한 연구들 중 대표적인 것이 MROQS, MOQS (Maximum Outgoing Queue Size)로 대부분 시스템의 봉쇄와 교착상태를 방지하거나 시스템의 WIP(Work In Process)를 줄이기 위해 연구되어 왔다.

본 논문에서는 출고장 버퍼의 수용 능력과 현재 대기중인 작업물의 수를 고려하여 규준화된 점수를 부여한다. i 번째 작업장에서 출고 버퍼의 수용 능력을 coq_i 라 놓고 현재 출고 버퍼에 대기 중인 작업물의 수를 noq_i 라 놓으면, i 번째 w/s의

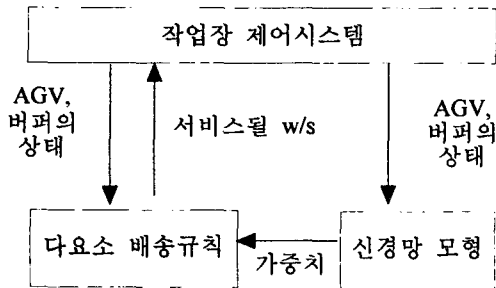
출고 버퍼에 대한 표준화된 점수 OQ_i 는 다음과 같다.

$$OQ_i = \frac{noq_i}{coq_i}$$

3. 다요소 배송규칙

3.1 배송규칙

본 절에서는 이 논문에서 제시하고자 하는 다요소 배송규칙을 설명한다. 제안하고자 하는 배송규칙의 기본적인 개념도를 <그림 1>에서 보여주고 있다. 유티한 AGV에 의해서 운반될 작업물을 선정하기 위하여 2절에서 설명되었던 세 가지 요소들을 고려한다. 이와 같이 복수의 요소 또는 기준을 고려하는 다요소 의사결정에서는 요소들의 가중치가 중요한 역할을 한다. 일반적으로 요소의 가중치는 의사결정자의 요소에 대한 주관적 선호도를 반영하는 것으로, 의사결정자에 의해 부과된다.



<그림 1> 다요소 배송규칙의 개념적 아이디어

그러나, 여기서 다루고 있는 다요소 배송규칙에서 요소의 가중치는 일반적인 다요소 의사결정 문제와는 다르게 다루어져야 한다. 요소들의 가중치가 단순히 의사결정자, 또는 운영자의 주관적인 선호도를 반영한다고 보기보다는, 특정 시점의 작업장의 상태에 따라 달라진다고 보는 것이 타당하다. 즉, 특정의 고정된 가중치를 적용하는 것보다는, 작업장의 입출고 버퍼의 상태 등을

고려하여 가중치를 계속적으로 변화시켜 적용하는 것이 시스템의 효율성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서, 이 논문에서는 시스템의 현재 상황에 적절한 요소의 가중치를 구하기 위하여 신경망 모형을 응용하기로 한다. 즉, AGV가 할당된 작업물 운송을 마치고 유티한 상태가 되면, 각 w/s 의 입고 버퍼와 출고 버퍼의 대기 상황에 적절한 요소 가중치를 학습된 신경망 모형을 이용하여 구하고, 다요소 배송 규칙은 이 가중치를 이용하여 다음에 운송될 작업물을 선정한다.

출고 버퍼에서 대기중인 작업물의 최종 평점을 구하기 위하여 SAWM 방법을 이용한다.[5] 2절에서 임의의 w/s 의 출고 버퍼에서 대기중인 작업물을 평가하기 위한 평가 함수들을 정의하였다. 이 평가 함수들은 모든 요소들에 대한 평가 결과가 비교 가능한 표준화된 0과 1사이의 수로 표현되도록 정의되었다. 따라서, i 번째 w/s 의 출고 버퍼에서 첫 번째로 대기중인 작업물의 총 평점 S_i 는 SAWM 방법에 의하여 다음과 같이 얻어질 수 있다. 단, w_1, w_2, w_3 는 각각 AGV의 유티이동거리, 입고 버퍼의 상태, 출고 버퍼의 상태 등 고려할 요소들에 대한 가중치를 나타낸다.

$$S_i = w_1 D_i + w_2 IQ_i + w_3 OQ_i,$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1$$

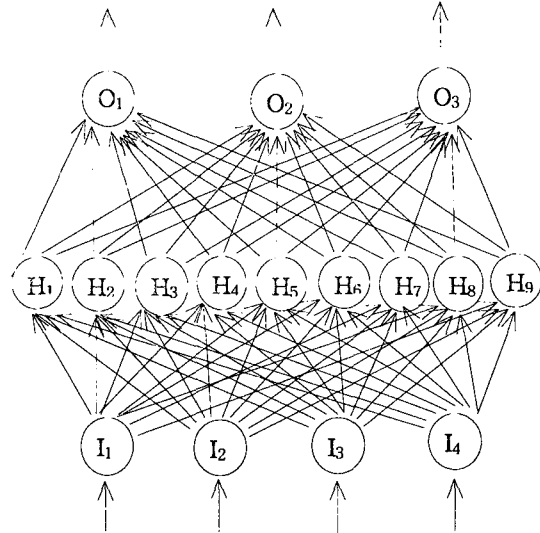
위 평가 함수는, AGV가 할당된 작업을 마쳤을 때, 하나 이상의 작업물이 출고 버퍼에서 대기하고 있는 w/s 중에서 AGV를 할당할 w/s 를 선정하기 위하여 사용된다. 다음은 유티 AGV에 의해 운반될 작업물을 선정하는 과정이다.

단계 1) 하나 이상의 작업물이 출고 버퍼에서 대기하고 있는 w/s 들의 집합

$$W = \{ W_i \mid noq_i \neq 0 \}$$
를 찾는다.

단계 2) 신경망 모형을 이용하여 현재의 입출고 버퍼의 상태에 적당한 요소들의 가중치 $\{w_1, w_2, w_3\}$ 를 구한다.

- 단계 3) 집합 W에 있는 w/s들의 출고 버퍼의 첫 번째 작업에 대하여 총 평점 S_j 를 계산한다.
- 단계 4) 집합 W에 있는 w/s들의 출고 버퍼에서 대기중인 첫 번째 작업물들 중 최고 평점을 갖는 작업물을 찾는다.
- 단계 5) 단계 4에서 선정된 작업물의 다음 w/s (destination station)을 점검한다. 다음 목적지 w/s의 입고 버퍼, 출고 버퍼, 또는 기계들 중 작업물을 위한 여유 공간이 있으면, 해당 작업물이 있는 w/s에 AGV를 할당하고 종료. 그렇지 않으면, 집합 W로부터 이 작업물이 대기하고 있는 w/s를 삭제하고 단계 4로 이동한다.



<그림 2> 요소 가중치 조절을 위한 신경망의 구조

3.2 가중치 조절을 위한 신경망 모형

신경망(Neural Network) 기법은 생체 신경계의 학습 기능을 모방하고자 하는 노력의 일환이다. 신경망 기법은 기억된 정보와 정확하게 일치하지 않는 부정확하거나 애매한 자료들을 처리할 수 있는 특성을 가지고 있다. 즉, 네트워크에 기존에 입력된 적이 없는 새로운 정보가 입력되었을 때에도 받아들일 만한 반응을 제공할 수 있는 능력을 가지고 있다. 이러한 특성 때문에 예, 아니오 등의 이분법적인 분명한 결론을 갖지 않는 이슈들을 해결할 수 있는 능력을 신경망 기법이 가지고 있다고 볼 수 있다.

다요소 배송규칙에서 요소의 가중치를 조절하기 위해서 잘 알려져 있는 신경망인 역전파 신경망이 사용되었다. 역전파 학습 알고리즘은 가장 널리 알려져 있는 신경망 훈련 알고리즘 중에 하나이다. 이 학습 기법에서는, 오차를 신경망을 통해서 역으로 전파시킴으로써 신경망 모형을 훈련시킨다.[8] 역전파 학습 알고리즘을 선택한 이유는 임의의 패턴들로부터 높은 학습 효과를 낼 수 있는 가능성과 기존의 응용 결과들에서 보여주고 있는 강력한 수렴 행태 등을 들 수 있다.

본 논문에서 사용된 신경망 모형은 3 계층을 갖는 역전파 신경망이다. <그림 2>에서 이 논문

에서 사용된 신경망의 구조를 보여주고 있다. 입력층, 은닉층, 출력층 등 세 개의 계층을 가지고 있으며 각 처리 단위(processing element)에서는 하나 이상의 입력 신호들의 가중합이 그 처리 단위의 활성화 함수(activation function)인 시그모이드 함수에 의해 수정된다. 각 처리 단위의 출력함수(output function)로는 선형식이 이용되었다.

이 신경망 모형은 실수 벡터들인 입력 패턴과 출력 패턴 사이의 관계를 학습하도록 디자인되었다. 입력층의 노드들은 입력 벡터의 원소들을 입력시키고 출력층의 노드들은 출력 벡터의 원소들을 나타낸다. 입력 벡터는 AGV가 운영될 작업장의 가능한 상태를 나타낸다. 작업장의 상태는 작업장에 있는 각 w/s의 입고 버퍼와 출고 버퍼에 대해 요약한 척도를 이용하여 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 특정 시점의 작업장 상태를 나타내기 위하여, w/s들의 입고 버퍼와 출고 버퍼에 남아 있는 여유 공간의 평균과 범위를 이용하기로 한다. 즉, I_1 과 I_2 는 특정 시점에 모든 w/s들의 입고 버퍼들에 남아 있는 여유 공간의 평균과 범위를 각각 나타낸다. I_3 와 I_4 도 마찬가지로 특정 시점에 모든 w/s의 출고 버퍼들에 남아 있는 여

유 공간의 평균과 범위를 각각 표시한다. 출력 변수인 O_1 , O_2 , O_3 는 앞에서 설명한 세 요소, 즉, AGV의 유틸이동거리, 입고 버퍼의 상태, 출고 버퍼의 상태에 대한 가중치를 각각 나타낸다.

역전파 신경망에서 은닉층의 신경세포의 적절한 수를 찾는 것은 매우 중요하다. 은닉층이 너무 적은 신경세포를 갖게 되면, 일반화시키는 경향이 강한 반면 학습 성과는 만족스럽지 못한 결과를 가져오기 쉽다. 반면, 너무 많은 처리 단위를 갖는 은닉층은 훈련을 위한 입력 데이터들로부터 통계적으로 의미 있는 패턴을 추출하는 대신 기억하는 경향을 보임으로써 오히려 좋지 않은 학습 결과를 보이게 된다. 본 논문에서는 은닉층의 노드의 수가 각각 5, 6, 7, 8, 9, 10인 신경망 모형을 학습시키고 학습 결과를 비교하여 은닉층의 신경세포의 수를 결정하였다. 오차총합(TSS)은 노드 수를 증가시킴에 따라 더 좋은 결과를 보이다 노드 수가 10개인 모형에서 급격히 커짐으로써 오히려 학습효과가 떨어지는 결과를 보였다. 따라서, 은닉층의 신경세포의 수는 9개로 하였으며 한 층에 있는 모든 노드는 바로 다음 층에 있는 모든 노드로 연결되는 표준형 연결 형태를 갖도록 하였다.

신경망은 일반적으로 실제적인 실험이나 현실 문제로부터 얻어진 사례를 이용하여 학습한다. 하나의 사례는 신경망 모형의 입력 벡터와 이에 대응하는 출력 벡터로 구성된다. 따라서, 신경망 모형을 학습시키기 위해서는 적지만 전체적인 상황을 대표할 수 있는 사례 집합을 얻을 수 있도록 잘 계획된 실험으로부터 얻어진 사례들이 필요하다. 그러나, 본 논문에서는 가상의 FMS를 대상으로 제안된 다요소 배송규칙의 수행도를 평가하려고 하기 때문에 실제적인 사례들이나 실험으로부터 신경망 모형의 훈련을 위한 사례들을 얻기는 곤란하다. 따라서, 입고 버퍼와 출고 버퍼의 여유 공간의 분포 형태와 요소의 가중치 사이의 바람직한 관계를 고려하여 학습용 사례를 만들어 사용하였다. 예를 들어서, w/s의 출고 버퍼의 여유 공간의 평균이 높고 범위가 클수록 요소 '출고 버퍼의 상태'에 상대적으로 높은 가중치를

부여하는 것이 바람직하며, 입고 버퍼의 경우에도 마찬가지로 생각할 수 있다. 반대로 출고 버퍼와 입고 버퍼의 여유 공간의 범위가 낮을 경우에는 요소 '유틸이동거리'에 상대적으로 높은 가중치를 부여하는 것이 바람직하다.

<표 1> 학습을 위한 사례

I_1	I_2	I_3	I_4	O_1	O_2	O_3
1	0	1	0	1	0	0
1	1	1	5	.3	.2	.5
1	1	4	1	.7	.3	0
1	1	4	5	.5	.2	.3
1	5	1	1	.2	.6	.2
1	5	1	5	0	.6	.4
1	5	4	1	.4	.6	0
1	5	4	5	.3	.6	.1
3	1	1	1	.8	0	.2
3	1	1	5	.5	0	.5
3	1	4	1	1	0	0
3	1	4	5	.8	0	.2
3	5	1	1	.5	.3	.2
3	5	1	5	.3	.3	.4
3	5	4	1	.7	.3	0
3	5	4	5	.5	.3	.2

<표 1>은 이와 같은 관점에서 작성된 16개의 사례들을 보여주고 있다. 먼저 입력벡터의 값들은 입고 버퍼와 출고 버퍼의 여유 공간의 평균과 범위(range)가 가질 수 있는 영역을 전체적으로 포괄할 수 있도록 하였다. 즉, I_1 은 1~3, I_2 는 0~5, I_3 는 1~4, I_4 는 0~5의 영역에 존재하므로 이들 영역의 최대와 최소를 이용하여 대표적인 사례들을 구성하였다. 이렇게 구성된 입력 벡터들에 대응하는 출력 벡터는 이들간의 적절한 관계를 고려하여 결정하였다. 즉, I_1 이 적은 값이고 I_2 가 큰 값을 가질수록 O_2 가 큰 값을 갖도록 하였고, 반대이면 O_2 에 작은 값을 부여하였다. 마찬가지로, I_3 가 작은 값이고 I_4 가 큰 값을 가질수록 O_3 에 높은 값을 부여하고 반대일수록 낮은 값을 부

여하였다. O_1 은 두 종류의 버퍼에서 상대적으로 큰 평균(I_1, I_3)과 낮은 범위(I_2, I_4)를 갖는 경우에 높은 값을 갖도록 하였다. 이와 같이 형성된 16개의 사례들을 이용하여 앞에서 설명된 신경망 모형을 학습시켰으며, 학습은 오차총합이 .0001이 될 때까지 실시하였다.

4. 수행도 평가

본 논문에서 고려하고 있는 다요소 배송규칙의 수행도 평가를 위해 시뮬레이션 기법을 적용하였다. 시뮬레이션 모델은 Arena 3.0과 C++를 이용한 사용자들의 인터페이스에 의하여 작성되었다.

4.1 수행도 평가를 위한 job shop 시스템

고려중인 배송규칙들의 비교 평가를 위해 Taghaboni-Dutta[10]에서 사용한 가상의 job shop 시스템을 사용하였다. 이 시스템은 별도의 입고장(w/s 1)과 출고장(w/s 11)을 포함하여 총 11개의 w/s으로 이루어져 있다. 각 w/s의 입고 버퍼와 출고 버퍼의 위치는 처리되는 작업물의 공정 순서들을 고려하여 수정하였다. 단방향과 양방향의 두 경우에 대하여 배송규칙들의 수행도를 비교 평가하였다.

<표 2> 각 w/s의 기계 및 버퍼 용량

w/s	기계의 수	I/O 버퍼 용량
1	5	∞/5
2	3	3/5
3	1	2/2
4	7	4/4
5	1	2/2
6	3	5/5
7	5	5/5
8	2	3/3
9	4	4/4
10	2	4/4
11	0	∞/∞

AGV는 한 대 있는 것으로 가정하였으며, 한 단위의 작업물을 목적지까지의 최단 경로를 통해 운반하는 것으로 하였다. <표 2>에서는 각 w/s의 기계와 입/출고 버퍼의 용량을 보여주고 있다. 이 작업장에서는 5가지 종류의 작업물을 처리한다. 모든 작업물은 입고장을 통해 이 작업장에 들어와서 출고장을 통해 떠난다. 각 작업 유형의 처리 경로와 처리시간이 <표 3>에 요약되어 있다. 기계나 AGV의 어떠한 형태의 고장이나 서비스가 가능하지 않은 상태는 고려하지 않기로 한다.

<표 3> 작업의 처리 경로 및 처리시간

유형	처리 경로	처리 시간
1	1-2-4-9-8-10-11	8/6/22.8/8/9.2/4/0
2	1-2-4-7-9-6-10-11	8/6/9.2/12.4/8/14/14/0
3	1-2-7-9-6-10-11	6/4.5/23.4/7.2/9.6/3/0
4	1-2-3-5-9-6-11	8/6/17.2/20.4/6.8/26/0
5	1-2-4-8-10-11	8/6/26.4/9.2/4/0

4.2 시뮬레이션 실험의 계획

시뮬레이션의 초기 상태와 종료 조건은 시뮬레이션 결과와 결과 분석에 큰 영향을 미친다. 이 작업장의 초기 상태는 비어 있는 것으로 가정한다. 즉, 모든 기계들과 AGV의 초기 상태는 유휴이고 가용한 상태이다. 작업물들은 시뮬레이션 시각 0에 입고장에 배치로 도착하는 것으로 한다. 종료 조건은 완성된 작업물의 수로 주어졌다. 다요소 배송규칙의 수행도 평가를 위해 이루어진 시뮬레이션 실험 및 분석의 특징을 관심 있는 수행 척도(performance measure), 실험에서 고려한 인자(factor), 시뮬레이션 실험의 계획 유형 등의 순으로 설명하기로 한다.

배송규칙들의 수행도를 비교 평가하기 위해 사용한 수행 척도는 평균완료시간(average time in system : ATIS), AGV의 유휴이동시간(unloaded travel time : UTT), 블러킹 타임(blocking time

: BT), 그리고, 평균재공품(work-in-process : WIP) 4가지이다. ATIS는 작업물이 시스템 내에서 보내는 평균적인 시간이다. 이 시간은 완성된 작업물의 가공시간, I/O 버퍼에서의 대기시간, 총 이동시간을 포함하며, 적용되는 AGV 배송규칙에 따라 시스템이 작업 주문에 얼마나 빠르게 반응할 수 있는지를 비교하기 위한 것이다. UTT와 BT는 각 배송규칙에 의해서 AGV가 얼마나 효과적으로 운영되는가를 비교하기 위하여 선택된 수행 척도들이다. 블러킹 타입은 특정 작업물이 목적지 w/s에 도착한 후 해당 w/s의 입고 버퍼에 여유 공간이 없어서 기다리는 시간을 말한다. 블러킹 현상은 시스템 로킹(shop locking)현상과는 다르다. 로킹 현상은 일반적으로 시스템 외적인 중재 없이는 해결될 수 없다. 반면, 블러킹 현상은 처리중인 작업물 중에서 하나가 완료되면 입고 버퍼에 있는 작업물에 대한 작업이 시작됨으로써 입고 버퍼에 여유 공간이 생성되는 일시적인 현상이다.

시물레이션 실험은 두가지 관점에서 이루어졌다. 첫 째는 단일 요소 배송규칙들과 다요소 배송규칙의 수행도를 비교하기 위한 것이다. 다음은 요소의 가중치가 다요소 배송규칙의 수행도에 미치는 영향을 조사하기 위한 것이다. 따라서, 본 연구에서는 아래의 8가지 배송규칙들을 시물레이션 실험에 의해 비교했다.

- A : STT/D 규칙
- B : MRIQ 규칙
- C : MROQS 규칙
- D : 신경망 모형을 이용하여 작업장 상태에 따라 가중치를 조정하는 MADR
- E : 동일한 가중치를 갖는 MADR 규칙
- F : 가중치가 (.50, .25, .25)인 MADR 규칙
- G : 가중치가 (.25, .50, .25)인 MADR 규칙
- H : 가중치가 (.25, .25, .50)인 MADR 규칙

<표 4>는 시물레이션 실험에서 사용된 인자들과 수준들을 요약한 것이다. 배송규칙들이 작

<표 4> 인자와 수준

	수 준
배송규칙	A-STT/D, B-MRIQ, C-MROQS, D-MADR, E-MADR(동일 가중치), F-MADR(.5, .25, .25), G-MADR(.25, .5, .25), H-MADR(.25, .25, .5)
작업물 혼합유형	I-(.25, .30, .10, .10, .25), II-(.25, .20, .15, .15, .25), III-(.20, .30, .15, .15, .20)

업물 유형의 분포에 어느 정도 민감하게 반응하는지를 알아보기 위하여, 작업물 유형의 분포를 세가지 수준을 갖는 변량인자로 포함시켰다. 시물레이션 모델은 단일 방향 경로와, 양방향 경로의 두가지 경우를 대상으로 작성하였다. 따라서, 8 가지 종류의 배송규칙과 3 종류의 작업 유형 분포의 조합에 대하여 5 반복씩 120번의 시물레이션 런이 단일 방향과 양방향 경로에 대하여 이루어짐으로써 총 240번의 시물레이션 런이 수행되었다.

4.3 결과분석

단일 방향 경로하에서 MROQS 규칙에 의해서 AGV가 배송되었을 때 로킹 현상이 발생하였다. 양방향 경로인 경우에는 모든 단일 요소 배송규칙들에서 로킹 현상이 발생하였다. 따라서, 이 경우들이 결과 분석에서 제외됨으로써, 단일 방향에 대하여 총 420(4 수행척도× 7 규칙 × 3 분포 × 5 반복)개의 관측치와 양방향에 대한 300(4 수행척도× 5 규칙 × 3 분포 × 5 반복)개의 관측치를 얻었다. <표 5>와 <표 6>에서 각각 단일 방향과 양방향 경로에 대한 시물레이션 수행 결과를 요약하여 보여주고 있다.

<표 5> 단방향 경로에 대한 시뮬레이션 결과

	ATI	UTT	BT	WIP
A-I	152.9	232.2	52.0	39.7
A-II	172.2	234.8	154.5	38.9
A-III	166.7	236.0	88.3	40.9
B-I	227.9	1121.4	4.3	27.6
B-II	224.9	1055.1	6.2	26.3
B-III	226.0	1128.7	4.6	26.9
D-I	173.1	272.1	17.9	44.7
D-II	174.4	305.7	53.9	40.6
D-III	185.8	293.8	37.0	45.0
E-I	185.6	299.7	7.8	46.8
E-II	186.2	336.0	34.9	43.2
E-III	196.5	312.5	28.4	47.4
F-I	161.6	254.1	22.1	42.3
F-II	165.0	266.1	86.3	38.5
F-III	172.1	265.6	54.6	42.0
G-I	186.0	299.4	4.2	47.3
G-II	185.5	344.5	28.1	42.9
G-III	194.0	320.1	15.5	46.8
H-I	214.1	344.4	15.0	51.0
H-II	214.1	400.8	15.9	47.9
H-III	220.5	357.5	12.1	52.2

단방향, 양방향 경로에 대하여 고려중인 수행 척도들을 대상으로 SAS를 이용하여 ANOVA 분석을 실시하였으며, 그 결과가 <표 7>에 요약되어 있다. 표에 나타난 p-value들로부터 모수인자로 고려된 배송규칙들이 본 연구에서 고려한 수행 척도들에 상당히 유의한 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. <표 8>에서는 본 연구에서 제안한 다요소 배송규칙(D)과 다른 배송규칙들 사이의 모평균 차이에 대한 검정을 95% 유의 수준으로 실시한 결과를 요약하여 보여주고 있다. 예를 들어서, 단방향 경로인 경우에, 규칙 A와 D 사이에는 척도 ATIS의 모평균에 유의한 차이가 있는 것으로 나타났으며, 배송규칙 D와 규칙 B, E, H 사이에도 역시 유의한 차이가 있다는 것을 나타내고 있다. 그러나, 규칙 D와 규칙 F, G 사

이에는 모평균에 유의한 차이가 있다고 말할 수 없다는 것을 알 수 있다.

<표 6> 양방향 경로에 대한 시뮬레이션 결과

	ATI	UTT	BT	WIP
D-I	169.1	262.1	198.3	45.3
D-II	164.1	279.1	229.8	38.8
D-III	181.9	268.6	223.5	45.1
E-I	181.2	255.5	220.1	47.3
E-II	171.2	275.6	237.9	40.9
E-III	189.3	271.2	232.4	46.2
F-I	163.7	234.8	213.3	43.9
F-II	163.7	244.5	263.8	38.8
F-III	179.9	245.9	256.7	43.8
G-I	183.7	259.9	191.4	47.5
G-II	169.1	271.8	235.0	40.3
G-III	192.6	266.8	239.1	46.3
H-I	200.0	290.4	173.2	50.6
H-II	194.8	303.1	222.9	46.4
H-III	211.4	366.2	217.4	50.2

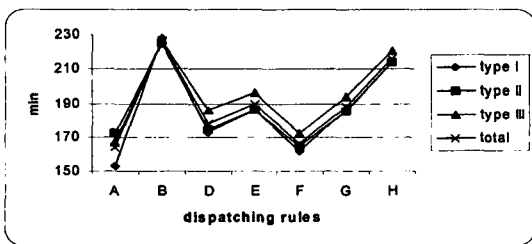
<표 7> ANOVA 분석 결과 요약

	p-value	
	단방향	양방향
ATT	<.0001	<.0001
UTT	.0007	.0061
BT	<.0001	.0034
WIP	<.0001	<.0001

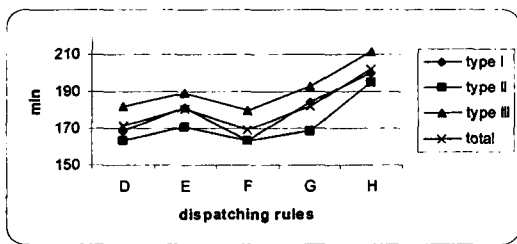
<표 8> 규칙 D와의 평균치차검정 결과 요약

	단방향	양방향
ATI	{A}, {D,F,G}, {B,E,H}	{D,F}, {E,G,H}
UTT	{A,D,E,F,G}, {B,H}	{D,E,F,G}, {H}
BT	{B,D,E,F,G,H}, {A}	{D,E,G,H}, {F}
WIP	{A,B,F}, {D}, {E,G,H}	{D,F,G}, {E,H}

<표 7>에서 요약하고 있는 ANOVA 분석 결과로부터 작업물이 작업장에서 보내는 평균 시간이 배송규칙에 의해서 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. <그림 3>과 <그림 4>에서 단방향과 양방향 경로에 대하여 작업물이 평균적으로 작업장에서 보내는 시간을 그래프로 보여주고 있다. 이 그림은 세가지 작업물 혼합 유형 분포들에 대한 그래프와 이들의 전체적인 평균에 대한 그래프를 보여주고 있다. 단방향 경로인 경우에, 규칙 A와 F가 신경망 모형에 의해 가중치가 조정되는 규칙 D보다 좋은 결과를 보여주고 있다. 그러나, 나머지 배송규칙들(B, E, G, H)은 배송규칙 D보다 좋지 않음을 알 수 있다. 배송규칙 D와 F가 다른 규칙들에 비해 상당히 좋은 결과를 갖는 것을 보여주고 있는 <그림 4>로부터 <표 8>의 결과를 다시 확인할 수 있다.



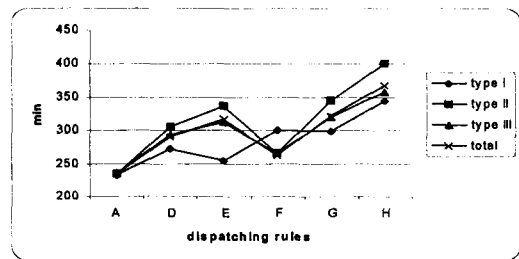
<그림 3> 단방향 경로 모형의 ATI



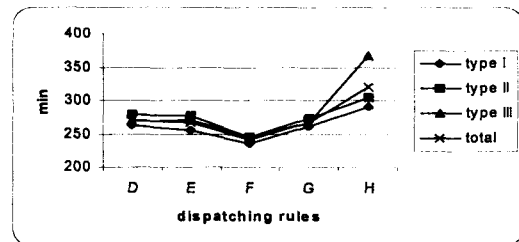
<그림 4> 양방향 경로 모형의 ATI

<그림 5>와 <그림 6>은 각각 단방향과 양방향 경로에 대하여 AGV의 유희이동시간을 그래프로 보여주고 있다. <표 5>에서 배송규칙 B의 UTT는 다른 배송규칙들에 비해 상당히 큰 값을 갖는다는 것을 알 수 있다. 따라서, 항목들간의 비교성을 높이기 위하여 규칙 B는 <그림 5>로부터 제외시켰다. 비록 통계적인 유의성은 나타

나고 있지 않지만(<표 8>), 단방향 경로인 경우에 배송규칙 A와 F가 다른 규칙들에 비해 좋은 수행도를 보여주고 있으며, 양방향인 경우에는 규칙 F가 다른 다요소 배송규칙들에 비해 좋은 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과는 배송규칙 A와 F의 특성을 잘 나타내주고 있다. 규칙 A는 유희 AGV와 가장 짧은 거리에 있는 작업물을 선정하며, 규칙 F는 다른 다요소 배송규칙들보다 요소 "유희이동거리"에 더 높은 가중치를 부여했기 때문이다. 한편, 규칙 D는 작업유형 분포의 변화에 따라 상대적으로 작은 범위에서 UTT가 변하고 있다. 이는 규칙 D는 규칙 A를 제외한 다른 규칙들보다 작업 혼합 유형의 변화에 상대적으로 덜 민감하다는 것을 말해주고 있다.



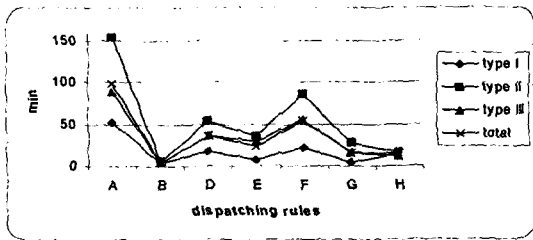
<그림 5> 단방향 경로 모형의 UTT



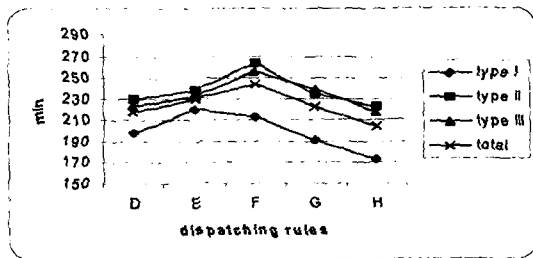
<그림 6> 양방향 경로 모형의 UTT

작업물 유형 분포와 배송규칙들에 대한 블록킹 타임(BT)의 변화를 <그림 7>과 <그림 8>에서 보여주고 있다. <그림 7>에서 볼 수 있듯이, 규칙 A가 가장 큰 BT 값을 가지며, 규칙 B는 가장 작은 BT를 주고 있다. 규칙 F를 제외한 다요소 배송규칙들은 상대적으로 작은 BT를 얻었다. <그림 8>에서도 비슷한 결과를 보여주고 있다. UTT와는 반대로 AGV의 유희이동거리에 더

의존하는 규칙 A와 F가 BT에서는 좋지 않은 결과를 보이는 것은 당연한 것으로 보인다. 두 그림에서, 규칙 H가 상대적으로 낮은 BT 값을 보여주고 있는 것은 약간은 의외의 결과라 보여질 수 있다. 규칙 H에서는 다른 요소들보다 요소 "출고 버퍼의 상태"에 높은 가중치를 부여한 것이므로 상대적으로 블록킹의 빈도가 상대적으로 높을 것으로 기대되기 때문이다. 하지만, 앞에서 서술한 다요소 배송규칙의 5번째 단계로부터 그 이유를 찾을 수 있다. 어떤 작업물이 가장 높은 점수를 갖는다 하더라도, 가야할 w/s 입고버퍼, 출고버퍼와 기계에 여유 공간이 없으면 운반이 연기되기 때문으로 보여진다. 규칙 H가 사용될 때, 그러한 작업물이 높은 점수를 얻을 가능성이 상대적으로 높을 것이기 때문이다.



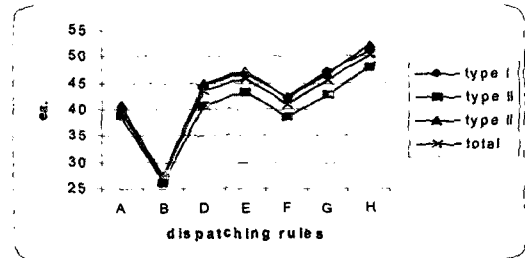
<그림 7> 단방향 경로 모형의 BT



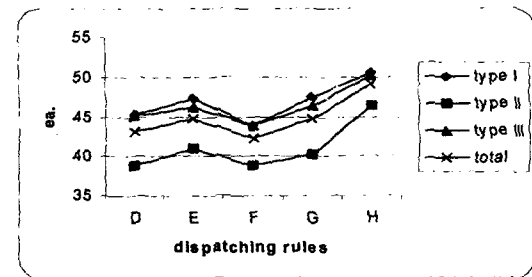
<그림 8> 양방향 경로 모형의 BT

재공재고에 대한 결과는 <그림 9>와 <그림 10>에 나타나 있다. 규칙 B가 입고 버퍼에 의한 것이기 때문에 단방향 경로인 경우에 가장 좋은 결과를 보여주고 있다. 이 규칙은 유티 AGV에 의해 운반될 작업물을 선정하는데 있어서 폴시스 템과 같은 역할을 한다. 따라서, 재공재고는 규칙 B의 경우에 가장 작게 나타나는 것은 당연하게

보여진다. 양방향 경로인 경우에 규칙 D가 좋은 결과를 보여주고 있음을 <그림 10>으로부터 알 수 있다.



<그림 9> 단방향 경로 모형의 WIP



<그림 10> 양방향 경로 모형의 WIP

이상의 내용을 종합해보면, 단일 요소 배송규칙들은 원래 의도했던 수행 척도에 대해서는 다 요소 배송규칙들에 비해 좋은 결과를 보여주고 있다. 그러나, 본 논문에서 고려한 수행 척도들을 전반적으로 고려하면 다요소 배송규칙들, 그 중에서도, 특히, 규칙 D의 수행도가 단일요소 배송규칙들보다 우월하다는 것을 알 수 있다. 예를 들어서, 단일 방향 경로에 대하여, 규칙 A는 ATIS와 WIP 등 두 척도에서 좋은 수행도를 보여주고 있다. 그러나, 규칙 A는 상당히 높은 BT를 가짐으로써 규칙 D에 비해 월등히 좋지 않은 결과를 보여주고 있다. 더욱이, 규칙 A는 입고버퍼, 출고 버퍼의 위치 등 작업장의 전반적인 배치 상태에 매우 민감한 것으로 알려져 있다. 마찬가지로, 규칙 B의 수행도는 BT를 제외한 모든 척도에서 규칙 D에 비해 좋지 않은 결과를 보여주고 있다. 결과적으로, 규칙 D는 본 연구에서 검토한 모든 수행 척도에서 비록 최선은 아니

지만 전반적으로 좋은 결과를 보여줌으로써 상호 배치되는 수행 척도들 사이에 적절한 절충관계를 제공하고 있다고 볼 수 있다.

단방향 경로인 경우에 규칙 D와 다른 다요소 배송규칙들과의 비교를 종합하면, 규칙 D의 수행도가 규칙 F를 제외한 다른 다요소 배송규칙들 보다는 좋게 나타나고 있다. 규칙 D와 F 사이에는 유의한 차이가 나타나고 있지 않지만, 규칙 F는 규칙 A와 마찬가지로 작업장의 전반적인 배치 상태에 더 민감하다고 볼 수 있다. 양방향 경로에 대해서는, 규칙 D가 고려한 다른 배송규칙들에 비하여 전반적으로 좋은 결과를 보여주고 있다. 따라서, 작업장의 상태에 따라 요소 가중치를 조정하는 규칙 D를 적용함으로써 시스템의 전반적인 수행도를 향상시킬 수 있다.

5. 결론

AGV 시스템을 위한 다요소 배송규칙을 제안하고 시뮬레이션 기법을 이용하여 수행도를 비교 평가하였다. 본 논문에서 제안된 다요소 배송규칙은 복수의 평가 척도들에 대한 수행도를 균형화함으로써 시스템의 전반적인 수행도를 향상시키려는 시도이다. 제안된 다요소 배송규칙에서 입출고 버퍼의 상태에 따라 요소의 가중치를 조정하기 위해 역전과 알고리즘에 의한 신경망 모형을 이용하였다. 요소의 가중치를 작업장의 현재 상태에 따라 변화시키는 다요소 배송규칙은 단일요소 배송규칙들과 고정된 가중치를 갖는 다요소 배송규칙들에 비교 평가되었다. 시뮬레이션을 이용한 수행도 평가 결과, 가중치를 조정하는 다요소 배송규칙이 모든 수행 척도에서 가장 좋은 결과를 주고 있지는 않지만 전반적으로 바람직한 결과를 가져온다는 것을 보여주고 있다. 특히, 실제 시스템의 특성을 고려한 적절한 사례들을 이용하여 신경망을 학습시킬 수 있다면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 따라서, 가중치 조정에 적절한 신경망 모형의 구조와 사례들의 획득 방안에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 황학 & 김상휘, "자치제어구조 생산시스템에서 무인운반차량 시스템의 운영정책 개발," 「대한산업공학회지」, 23권, 2호(1997), pp343~357.
2. Egbelu, P. J., & J. M. A. Tanchoco, "Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules," *Int. J. of Prod. Res.*, Vol. 22, No. 3(1984), pp359-374.
3. Faraji, M. & R. Batta, "Forming cells to eliminate vehicle interference and system locking in an AGVS," *Int. J. of Prod. Res.*, Vol. 32, No. 9(1994), pp2219-2241.
4. Hao, G., J.S. Shang, and L. G. Vargas, "A neural network model for the free ranging AGV route planning problem," *J. of Int. Manuf.*, Vol. 7, No. 3(1996), pp 217-227.
5. Hwang, C.L. & K. Yoon, *Multiple attribute decision making*, Springer-Verlag, New York, 1981.
6. Hwang, H. & S. H. Kim, "Development of Dispatching Rules for Automated Guided Vehicle Systems," *J. of Manuf. Sys.*, Vol. 17, No. 2(1998), pp137-143.
7. Klein, C. M. & J. Kim, "AGV dispatching," *Int. J. of Prod. Res.*, Vol. 34, No. 1(1996), pp95-110.
8. Rumelhart, D. & L. McClelland, *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition*, Vol. I: Foundations, MIT Press, Cambridge, MA, 1986.
9. Sabuncuoglu, I. & D. L. Hommertzheim, "Dynamic dispatching algorithm for scheduling machine and automated guided vehicles in a flexible manufacturing system," *Int. J. of Prod. Res.*, Vol. 30, No. 5(1992), pp1059-1079.
10. Taghaboni-Dutta F., "A value-added approach for automated guided vehicle task assignment," *J. of Manuf. Sys.*, Vol. 16, No. 1(1997), pp24-34.

● 저자소개 ●



정병호

1983년 한양대학교 산업공학과 졸업

1985년 한국과학기술원 산업공학과 석사

1989년 한국과학기술원 산업공학과 박사

현재 전북대학교 산업공학과 부교수

관심분야 : MADM, 물류관리, 시뮬레이션 모델링, 생산정보시스템