

# 유한버퍼하에서 기계이용률과 산출량을 고려한 급송규칙

김종화<sup>1\*</sup> · 차상수<sup>2</sup>

<sup>1</sup>건국대학교 산업공학과/<sup>2</sup>Hynix 반도체

## A Dispatching Rule Considering Machine Utilization and Throughput under Finite Buffer Capacity

Jonghwa Kim<sup>1</sup> · Sang-Soo Cha<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering, Konkuk University, Seoul, 143-701

<sup>2</sup> Hynix Semiconductor, Cheongju, 361-725

Automated Guided Vehicles are widely used as an essential material handling system for FMS to provide flexibility and efficiency. We suggest a new dispatching rule based on priority function which considers urgency and empty vehicle travel time under finite buffer capacity. We evaluate the performance of the proposed rule by comparing the performance of Shortest Travel Time/Distance(STT/D) rule in terms of machine utilization, throughput and WIP level using simulation. The simulation results show that the suggested dispatching rule is robust and provides better machine utilization, throughput with comparable WIP level compared to STT/D rule.

**Keywords:** dispatching rule, finite buffer capacity, AGVS, WIP, locking, machine utilization

### 1. 서론

무인반송차량(Automated Guided Vehicle : AGV)은 다른 운반장비에 비해 유연성, 공간 이용률, 안전성이 높고 다른 자동화된 시스템과의 연계가 용이하기 때문에 유연생산시스템에 널리 사용되고 있으며 그 수요는 시간이 흐를수록 빠르게 증가하고 있다 (Tharma, Nicholas and Chelliah, 1998).

유연생산시스템의 각 작업장에는 물자가 대기할 수 있는 버퍼공간을 필요로 하는데 버퍼공간의 용량 제약으로 인해 시스템의 성능을 저하시키는 현상들이 발생할 수 있다. 운반장비가 부품을 싣고 목적지에 도착하였으나 입력버퍼에 부품을 하역할 공간이 없으면 빈 공간이 생길 때까지 운반 장비가 대기하는 차량막힘(vehicle locking) 현상이 발생하는데, 이는 한정된 자원인 운반장비를 한 곳에 오랫동안 붙잡아두게 되므로 다른

작업장의 부품 공급을 지연시키게 된다. 또한 출력버퍼에 가공을 마친 부품을 하역할 공간이 없으면 기계막힘(blocking) 현상이 발생하여 기계의 이용률을 떨어뜨리고 부품의 이동을 지연시킨다. 막힘 현상들은 각 작업장으로의 부품 공급을 지연시켜 부품고갈(starving) 현상을 발생시키고 이는 기계 이용률 감소와 시스템의 산출량 저하로 연결된다. 따라서 무인반송차량의 효율적인 운영을 통하여 이런 현상들을 최소화 또는 제거함으로써 시스템의 생산성을 향상시킬 수가 있다.

본 논문에서는 유한 버퍼하에서 차량막힘 현상을 방지하면서 부품고갈 현상 · 기계막힘 현상을 줄여서 기계의 이용률과 산출량을 향상시킬 수 있는 급송규칙을 제안하고자 한다. 이를 위해 기존의 복잡한 알고리즘보다는 순위함수를 이용하여 각 운반 작업의 우선순위를 설정하는 급송규칙을 제시하고자 한다.

이 논문은 2000학년도 건국대학교 학술연구지원비에 의한 논문임.

\* 연락저자: 김종화 교수, 143-701 서울시 광진구 화양동 1 건국대학교 산업공학과, Fax : 02-445-5802, e-mail : jhkim@konkuk.ac.kr  
2002년 4월 접수, 2회 수정 후 2002년 6월 게재 확정.

## 2. 급송규칙의 이론적 고찰

일반적으로 무인반송차량은 한정된 자원이므로 특정 시점에 시스템 내에서 운반을 요청한 물자의 수가 가용한 차량의 수보다 많으면 정해진 규칙에 따라 우선순위를 평가한 후 그 순위가 높은 물자를 우선적으로 운반하게 된다. 이렇게 우선순위를 정하는 규칙을 "차량 중심의 급송규칙"이라고 한다. 반대로 시스템 내에서 운반을 요청한 물자의 수보다 유휴차량의 수가 많으면 그 중에서 하나의 차량을 선택하게 되는데 이를 "작업장 중심의 급송규칙"이라 한다. 그러나 시스템에 요구되는 무인반송차량의 수가 충족이 되면 작업장 중심의 급송규칙은 적용되는 횟수가 적기 때문에 운반시스템의 수행도에 미치는 영향이 극히 미미하다고 알려져 있다(Egbelu and Tanchoco, 1984). 따라서 급송규칙이라 함은 일반적으로 차량 중심의 급송규칙을 의미한다.

차량 또는 작업장 중심의 급송규칙들을 요약하면 <표 1>과 같은데 이중 STT/D 규칙이 비교적 단순하면서도 수행도가 뛰어나기 때문에 가장 널리 사용되고 있다. 하지만 버퍼공간이 제한되어 있을 때는 교착 현상(shop locking)이 발생할 수 있다는 단점이 있다(Egbelu and Tanchoco, 1984).

한편, Hodgson(1987) 등은 장비의 현재 위치와 그 작업장의 도착률, 목적지까지의 이동거리 등을 고려하여 마코프 과정을 이용하여 단위시간당 출력을 최대화하는 급송규칙을 제안하였다.

Han and McGinnis(1989)는 기계막힘 시간과 부품고갈시간, 차량의 현재 위치에서 운반요청 작업장까지의 이동시간, 그리고 병목작업장을 동시에 고려한 급송규칙을 제안하고 MFCFS 및 STT/D 규칙과 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 그 결과, 제안한 규칙이 산출량과 기계이용률 관점에서 우수하다는 것을 보여주었다. 그러나 적용한 제조 시스템이 라인형이라는 점과

한 대의 차량만을 고려하였다는 한계점이 있다.

Klein and Kim(1996)은 급송규칙을 단일요소 급송규칙과 다중요소 급송규칙으로 분류하고 대기시간, 대기행렬 그리고 이동시간을 고려한 급송규칙을 제안하고 STT/D, MQS, LWT 규칙과 비교하였다. 그 결과, 다중요소 급송규칙은 작업 완료시간, 차량 이동시간 등에서 우수한 결과를 보여주었다. 그러나 이들이 제안한 급송규칙은 주관적으로 가중치를 부여해야 하고 가장 우수한 결과를 찾아내기 위해 여러 가중치를 실험해 보아야 한다는 문제점을 가지고 있다.

Bozer and Yen(1996)은 차량이 빈 채로 이동하는 시간을 줄이기 위하여 이미 할당된 운반작업일 지라도 상황이 변하면 변경할 수 있는 규칙을 제안하였다. 시뮬레이션을 통해 STT/D 및 MFCFS 규칙과 성능을 비교하여 빈차 이동시간과 출력버퍼에서의 평균대기시간이 감소한다는 것을 보여주었다. 그러나 운반요청이 발생할 때마다 모든 차량의 상태를 고려해야 하므로 시스템 통제가 복잡하다는 단점이 있다.

Hwang and Kim(1998)은 입찰(bidding) 개념을 도입하여 최단거리, 목적작업장의 입력버퍼수준, 그리고 출발작업장의 출력버퍼수준을 고려하여 이들을 동시에 고려한 급송규칙을 제안하였다. 제안한 규칙을 MFCFS 및 STT/D 규칙과 비교하여 산출량이 더 많음을 보여주었다. 하지만 규칙에 사용된 모수의 최적 조합을 찾기 위해 격자탐색법을 사용하기 때문에 많은 단순반복작업이 필요하다는 단점이 있다.

Kim, Tanchoco and Koo(1999)는 Han and McGinnis와 유사한 방식으로 기계막힘현상·부품고갈현상, 차량의 평균이동거리 등을 고려하여 기계이용률을 높일 수 있는 급송규칙을 제안하고, 제안한 급송규칙이 MFCFS, MROQS, MSM, STT/D 규칙에 비해 우수한 결과를 보인다는 것을 보였다.

## 3. 순위함수를 이용한 급송규칙

### 3.1 기계이용률을 고려한 긴급도

기계의 고장이 발생하지 않는다고 가정하면 유한 버퍼를 갖는 작업장에서 기계 이용률에 가장 큰 영향을 미치는 현상은 부품고갈현상과 기계막힘현상이다. 특히, 기계막힘현상이 발생한 상태에서 출력버퍼의 부품을 빨리 빼주지 못하면 계속 입력버퍼에 부품이 쌓이게 되고 결국에는 입력버퍼의 여유공간이 없어져 차량이 운반한 부품을 하역하지 못하여 교착현상(shop locking)이 발생하게 된다. 이러한 현상들을 방지하려면 의사결정시점(차량이 유휴되는 시점에서 각 작업장의 기계막힘현상이나 부품고갈현상이 발생하기까지 남은 시간을 고려하여 긴급한 작업장에 차량을 우선적으로 할당할 수 있도록 해주어야 한다.

차량이 빈 상태가 되는 순간, 더 이상의 부품 공급이 없을 경우 작업장 k에서 부품고갈 현상이 발생할 때까지의 남은 시간,

표 1. 급송규칙 요약

차량 중심의 급송규칙	작업장 중심의 급송규칙
First Come First Served	Farthest Vehicle
First Encountered First Served	First Available Vehicle
Largest Queue Size	Least Cumulative Idle Time
Longest Interarrival Time	Least Utilized Vehicle
Longest Travel Time	Longest Idle Vehicle
Longest Waiting Time	Most Cumulative Idle Time
Maximum Demand	Nearest (Idle) Vehicle
Maximum Outgoing Queue Size	Random Vehicle
Minimum Remaining Outgoing Queue Size	
Minimum Work in Queue	
Modified First Come First Served	
Random Work Center	
Shortest Travel Time/Distance	
Unit Load Shop Arrival Time	
Vehicle Looks For Work	

$T_k$ 는 입력버퍼에 대기 중인 부품들의 총가공시간과 가공 중인 부품의 남은 가공시간의 합으로 다음과 같이 나타낼 수 있다 (Han and McGinnis, 1989).

$$T_k = R_k + \sum_{j=1}^l P_{kj} \quad (1)$$

- 단,  $R_k$  : 현재 가공 중인 부품의 남은 가공시간
- $l$  : 입력버퍼에서 대기 중인 부품수
- $P_{kj}$  : 대기 중인 부품  $j$ 의 가공시간

한편, 부품을 운반하려면 차량의 이동시간이 수반되므로 부품고갈현상 방지를 위해 필요한 여유시간은 부품고갈현상이 발생할 때까지 남은 시간에서 차량이 다른 작업장으로부터 부품을 운반하는 데 걸리는 시간(적재 이동시간)을 빼주어야 한다. 따라서 작업장  $i$ 의 출력버퍼에서 운반요청을 한 부품이 목적작업장  $k$ 에 부품고갈이 발생하기 이전에 도착하려면 늦어도 시각  $TS_i$ 에 출발해야 하는데  $TS_i$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$TS_i = \max(0, T_k - LT_i) \quad (2)$$

- 단,  $i$  : 출발작업장
- $k$  : 목적작업장
- $LT_i$  : 목적작업장까지의 적재 이동시간

식(2)에서  $\max(0, T_k - LT_i)$ 를 사용한 이유는 만약  $T_k - LT_i$ 가 음일 경우 지금 당장 출발해도 부품고갈을 막을 수 없다는 것을 의미하므로 이 경우에는 부품고갈현상에 대한 여유시간을 0으로 부여하기 위해서이다.

다음으로 기계막힘현상은 더 이상의 부품 공급이 없다고 가정하면 현 시점에서 출력버퍼의 남은 공간수가 입력버퍼에 있는 부품수와 기계가 점유하고 있는 부품수의 합보다 적은 경우에 발생한다. 따라서 작업장  $i$ 에서 기계막힘현상이 발생할 때까지의 여유시간,  $TB_i$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다(Han and McGinnis, 1989).

$$TB_i = \begin{cases} R_i + \sum_{j=1}^n P_{ij} & \text{if } bs - O_i < I_i + X_i, \\ M & \text{그 외} \end{cases} \quad (3)$$

- 단,  $M$  : 매우 큰수
- $bs$  : 입·출력 버퍼용량(buffer size)
- $O_i$  : 출력버퍼에서 대기 중인 부품수
- $I_i$  : 입력버퍼에서 대기하고 있는 부품수
- $X_i$  : 가공 중인 부품수(0 또는 1)
- $n$  : 출력버퍼의 남은 공간수에 해당하는 입력버퍼의 부품수

한편, 차량이 부품을 운반하기 위해서는 부품이 대기 중인 출력버퍼로 이동하는 시간이 필요하므로 위에서 구한  $TS_i$ 와  $TB_i$ 에서 빈차이동시간을 빼주어야 하므로 부품고갈현상과

기계막힘현상을 동시에 고려한 긴급도  $u(i)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$u(i) = \exp[-(1/Tp)] * \max\{0, \min(TS_i - UT_i, TB_i - UT_i)\} \quad (4)$$

- 단,  $Tp$  : 평균가공시간
- $UT_i$  : 빈차량의 현재 위치에서 작업장  $i$ 까지의 빈차 이동시간

식(4)에서 기계막힘현상이나 부품고갈현상이 발생하기까지 남은 시간이 적을수록 지수적(exponentially)으로 높은 값을 부여하기 위해 지수함수를 사용하였으며, 식(2)에서와 같은 이유로 음의 값을 방지하기 위하여 max 함수를 사용하였다. 한편,  $u(i)$ 는 지수함수이기 때문에  $TS_i - UT_i$ 나  $TB_i - UT_i$ 의 값이 양이면 많은 경우에 0에 가까운 값을 갖게 될 수가 있으므로 상대적인 차이를 크게 하기 위해서  $Tp$ 로 나누어 주었다. 따라서 긴급도  $u(i)$ 는 여유시간이 클수록 적은 값을 가지므로  $u(i)$ 의 값이 클수록 높은 우선순위를 갖게 된다.

### 3.2 차량효율을 고려한 차량 이동시간 함수

차량 이동시간은 전체 시스템의 효율과 산출량에 매우 큰 영향을 미치기 때문에 시스템 설계나 운영을 위해서 필요한 가장 기본적이고 중요한 요소이다(Sinriech and Tanchoco, 1992). 차량 이동시간은 운반요청이 있을 때 해당 부품을 적재하기 위하여 빈차상태로 할당된 운반요청작업장까지 이동하는 시간과 운반요청 작업장에서 부품을 적재하고 목적지 작업장까지 이동하는 시간의 합으로 주어진다.

적재 이동시간은 급송규칙과 상관없이 부품의 경로와 투입률이 정해지면 결정이 되지만 빈차 이동시간은 어떤 급송규칙을 적용하느냐에 따라 출발작업장과 목적작업장의 조합이 달라지기 때문에 큰 차이를 보일 수 있다. 따라서 차량효율을 위해서는 빈차 이동시간을 줄여 주어야 하므로 앞서 고려한 기계막힘·고갈현상에 대한 긴급도가 비슷할 때는 빈차 이동시간을 최소화할 수 있도록 우선순위를 할당한다. 이를 위해 다음과 같이 빈차 이동시간을 정규화한 함수  $t(i)$ 를 사용한다.

$$t(i) = \frac{t_i}{\max t_i} \quad (5)$$

- 단,  $t_i$  : 운반요청 작업장까지의 이동시간

빈차 이동시간이 가장 적은 운반요청을 우선적으로 할당해야 하기 때문에  $t(i)$ 의 값이 적을수록 더 높은 우선순위를 부여한다.

### 3.3 긴급도와 차량 효율을 고려한 순위함수

기계막힘현상과 부품고갈현상을 고려한  $u(i)$ 는 값이 클수

특 우선순위가 높고,  $t(i)$ 는 값이 적을수록 우선순위가 높아야 한다. 따라서  $u(i)$ 와  $t(i)$ 를 통합한 순위함수,  $p(i)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$p(i) = \frac{t(i)}{u(i)} \quad (6)$$

즉, 순위함수  $p(i)$ 는 값이 적을수록 높은 우선순위를 갖게 된다.

한편, 목적작업장의 입력버퍼에 여유공간이 없는 상태에서 차량이 부품을 싣고 목적작업장에 도착할 때까지 여유공간이 생기지 않는다면 차량이 목적작업장에 도착할지라도 부품을 하역할 공간이 없기 때문에 대기하는 차량막힘현상이 발생한다. 따라서 이러한 현상이 발생할 수 있는 작업장에 대해서는 사전에 낮은 우선순위를 부여하여 할당되지 않도록 해주기 위해 순위함수  $p(i)$ 를 다음과 같이 수정한다.

$$p(i) = M * f(i) + \frac{t(i)}{u(i)} \quad (7)$$

단,  $M$  : 매우 큰 수

$f(i)$  : 목적작업장의 입력버퍼에 여유공간이 없고 가공 중인 부품의 남은 가공시간이 차량 이동시간보다 크면 1, 아니면 0

만약 시스템 내에 하나의 운반요청만 존재하고 해당 작업장의  $f(i)$  값이 1일 경우는 차량막힘현상을 피할 수 없으므로 출발작업장에서 부품을 싣고 목적작업장으로 이동하지 않고 곧바로 임시저장소로 운반하는 것으로 가정한다.

#### 4. 수행도 분석

제안한 급송규칙의 수행도를 평가하기 위해 다음과 같은 가정 하에 시뮬레이션을 하였다.

- (1) 차량은 한 번에 하나의 단위화물을 운반한다.
- (2) 기계와 차량의 고장은 고려하지 않는다.
- (3) 부품의 적재/하역 시간은 고려하지 않는다.
- (4) AGV의 가·감속은 고려하지 않는다.
- (5) 작업장의 입력버퍼와 출력버퍼 간의 거리는 무시한다.
- (6) 시스템에 도착하는 부품의 도착시간 간격은 지수분포를 따른다.
- (7) 시스템에서 생산되는 부품의 유형과 부품유형별 가공순서 및 생산비율은 알려져 있다.
- (8) 부품은 선입선출에 따라 가공이 이루어진다.
- (9) 작업장 중심의 급송규칙은 "최근거리 차량" 규칙을 사용한다.
- (10) 차량은 양방향으로 운행 가능하다.
- (11) 시스템 내에 운반요청이 없으면 차량은 마지막 위치에서 대기한다.

부품은 입력작업장을 통해 시스템 내로 들어와서 주어진 가공순서에 따라 각 작업장에서 가공을 마친 후 출력작업장을 거쳐 시스템을 떠난다. 각 작업장의 입·출력 버퍼의 용량은 유한하나 입력작업장은 외부 시스템을 통제하기 어렵기 때문에 출력버퍼 용량에 제한이 없다고 가정한다. 따라서 입력작업장에 대해서는 기계막힘현상은 발생하지 않기 때문에 긴급도 함수를 다음과 같이 수정해 준다.

$$u(i) = \exp[-(1/Tp) * \max \{0, TS_i - UT_i\}] \quad (8)$$

수행도 분석을 위한 척도로는 기계이용률, 산출량 그리고 재공품 재고수준을 사용하였으며 비교적 단순하면서도 수행도가 뛰어나기 때문에 가장 널리 사용되고 있는 SIT/D 규칙의 결과와 비교하였다. SIT/D 규칙을 적용할 경우, 교착현상을 방지하기 위해 차량막힘 현상이 발생하면 일단 임시저장소로 운반한 후 다른 운반요청이 없는 경우에만 후행 작업장으로 운반해 남은 가공을 계속하는 것으로 가정하였다.

시뮬레이션 모델은 ARENA를 사용하였으며 실행결과는 초기 상태의 편차를 없애기 위하여 200분 동안 초기가동(warm-up)을 한 후 10000분을 실행하여 2000분마다 한 번씩 모두 5번 반복하여 얻어진 결과를 평균하여 사용하였다. 또한 모든 결과는 95% 신뢰구간 내에 포함되는 것으로 나타났다.

#### 4.1 소규모 시스템

실험 대상으로 사용한 시스템은 <그림 1>과 같이 4개의 가공 작업장과 각각 하나의 입·출력작업장 및 임시저장소로 구성되어 있으며 작업장간의 거리는 <그림 1>에 주어져 있다. 시스템에서는 3가지의 부품이 동일한 비율로 시스템 내로 들어온다고 가정하였으며 부품의 평균 도착시간간격은 4.5분으로 설정하였고 부품비율과 가공순서는 <표 2>에 나타나 있다.

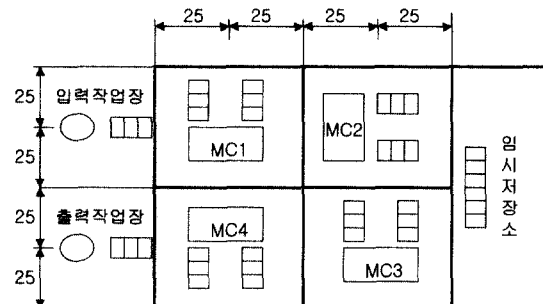


그림 1. LAYOUT 1.

표 2. 부품비율과 가공순서

부품유형	부품비율	가공순서
1	1/3	1-3-2-4
2	1/3	3-1-4-2
3	1/3	2-4-3-1

표 3. 기계이용률과 산출량에 대한 버퍼용량의 영향

급송 규칙	기계이용률(%)			산출량(개)		
	STT/D	제한한 급송규칙	개선율	STT/D	제한한 급송규칙	개선율
1	64.73	68.91	6.47%	346.4	375.0	8.26%
2	71.83	75.24	4.75%	403.4	429.8	6.54%
3	73.19	75.07	2.58%	417.2	428.8	2.78%
4	73.32	75.37	2.81%	418.4	428.8	2.49%
5	73.42	75.37	2.56%	419.0	430.8	2.82%

가공작업장에서의 가공시간은 도착시간 간격과 기계이용률을 고려하여 작업장에 지나친 과부하가 걸리지 않도록 설정하였는데 모든 가공작업장에 대해 동일하게 3.5분으로 설정하였다.

4.1.1 버퍼용량의 영향

버퍼용량이 기계이용률과 산출량 및 재공품 수준에 미치는 영향을 평가하기 위해 차량의 수는 2대, 속도는 70 m/분으로 고정하고 버퍼용량을 1에서 5까지 증가시키며 구한 결과가 <표 3>에 주어져 있다. <표 3>을 살펴보면 버퍼용량이 증가함에 따라 기계 이용률과 산출량 모두 증가하다가 STT/D 규칙의 경우 3 이상에서, 제안한 급송규칙의 경우 2 이상에서는 거의 변화를 보이지 않는다. 이는 버퍼용량이 클수록 기계막힘 · 부품 고갈현상이 상대적으로 적게 발생하여 기계 이용률이 향상된다는 것을 보여준다. 또한 버퍼용량이 일정 수준을 초과하면 더 이상 시스템의 성능에 큰 영향을 주지 못한다는 것을 보여준다.

두 급송규칙의 수행도를 비교해 보면 버퍼용량에 관계없이 제안한 급송규칙의 기계이용률과 산출량이 높게 나타났다. 특히 버퍼용량이 적을 경우 더 큰 차이를 보이는데 이는 제안한 급송규칙에 포함된 기계막힘 · 부품고갈현상을 방지하기 위한 함수 때문으로 해석할 수 있다.

한편, 시스템 내의 평균 재공품 수준은 <표 4>와 같은데 버퍼용량이 증가하면 입력버퍼와 출력버퍼의 재공품 수준이 증가하지만 임시저장소의 경우 입 · 출력 버퍼의 용량이 적을수록 평균대기수가 급격하게 증가하는 것으로 나타났다. 이는 차량막힘현상이 빈번히 발생한다는 것을 의미한다.

입 · 출력 버퍼의 재공품 수준은 제안한 급송규칙이 높게 나타났는데 이는 STT/D 급송규칙에 비해 제안한 급송규칙은 목적작업장의 부품고갈현상을 고려하고 있기 때문에 입력작업장의 부품을 시스템 내로 더 많이 공급하기 때문이다. 이것은 산출량과 기계이용률을 비교해 보아도 알 수 있다. 임시저장소의 재공품 수준은 버퍼용량이 적을수록 STT/D 규칙이 제안한 급송규칙에 비해 매우 높다. 이는 제안한 급송규칙은 차량막힘현상을 줄여주기 위한 함수를 포함하고 있기 때문에 차량막힘 현상이 발생할 가능성이 상대적으로 적으나 STT/D 규칙 하에서는 차량막힘현상이 상대적으로 자주 발생하기 때문에 생긴 결과이다.

표 4. 재공품(개)에 대한 버퍼용량의 영향

급송 규칙	STT/D			
	입력버퍼	출력버퍼	임시 저장소	전체 재공품
1	0.14880	0.44325	222.89720	223.48925
2	0.28607	0.59980	54.96728	55.85315
3	0.32003	0.64969	9.62265	10.59237
4	0.33432	0.66517	1.42020	2.42020
5	0.33635	0.67821	0.74476	1.75932
제안한 급송규칙				
1	0.19294	0.52441	116.37500	117.09235
2	0.29162	0.72744	1.60046	2.61952
3	0.30802	0.78139	0.12772	1.21713
4	0.32879	0.80059	0.00000	1.12938
5	0.32796	0.86371	0.00000	1.19168

4.1.2 차량수의 영향

차량 대수의 변화가 기계이용률과 산출량에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 버퍼용량은 3으로 고정하고 차량 수를 1대에서 5대까지 증가시키면서 시뮬레이션을 실행한 결과가 표 5에 주어져 있다. <표 5>에서 보는 바와 같이 차량수가 증가하면 기계이용률과 산출량은 증가하지만 3대 이상이 되면 큰 변화가 없는 것으로 나타나는데 이는 차량 수가 많아지면 운반요청이 발생하는 빈도보다 유희상태의 차량 수가 많아지기 때문이다.

한편, 제안한 급송규칙의 경우 차량 대수가 2대 이상이면 기계이용률과 산출량은 거의 개선되지 않으나 STT/D 규칙의 경우 3대 이상일 경우 같은 현상이 발생한다. 이는 제안한 급송규칙을 적용할 경우 STT/D 규칙에 비해 수행도 목표를 달성하면서 고가의 장비인 차량 수를 줄일 수 있음을 의미한다.

차량 대수의 변화에 따른 재공품 수준의 변화는 <표 6>과 같다. 차량 대수가 증가하면 입력버퍼의 수준은 증가하는 반면, 출력버퍼의 수준은 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 차량 대수가 증가할수록 출력버퍼에서 기다리는 부품의 대기시간이 감소하기 때문이다.

두 규칙을 비교해 보면 차량 대수가 2대일 경우를 제외하면

표 5. 기계이용률과 산출량에 대한 차량수의 영향

급송 규칙	기계이용률(%)			산출량(개)		
	STT/D	제한한 급송규칙	개선율	STT/D	제한한 급송규칙	개선율
1	37.667	39.509	4.9%	215.6	225.6	4.6%
2	73.188	75.074	2.6%	417.2	428.8	2.8%
3	75.961	76.069	0.1%	434.0	433.8	0.0%
4	75.952	76.397	0.6%	433.8	433.8	0.0%
5	75.991	76.716	1.0%	433.8	433.8	0.0%

표 6. 재공품(개)에 대한 차량수의 영향

급송규칙	STT/D			
	입력버퍼	출력버퍼	임시 저장소	전체 재공품
차량수				
1	0.01396	0.52648	0.00000	0.54044
2	0.32003	0.64969	9.62265	10.59237
3	0.53126	0.32938	0.44873	1.30936
4	0.57193	0.23557	0.21453	1.02204
5	0.56234	0.17953	0.14886	0.89073
제한한 급송규칙				
1	0.01247	0.94050	0.00000	0.95297
2	0.30802	0.78139	0.12772	1.21713
3	0.54324	0.34098	0.22902	1.11324
4	0.60539	0.24065	0.31975	1.16579
5	0.62076	0.19247	0.33071	1.14394

STT/D규칙과 제안한 급송규칙을 적용할 경우 전체 재공품의 수준에 대해서는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이는 차량이 1대 일 경우에는 시스템 내로 충분한 부품공급이 이루어지지 않기 때문(<표 5>의 산출량 참조)이며 3대 이상일 경우에는 여유차량이 많아 신속하게 운반작업이 이루어지기 때문이다. 그러나 STT/D 규칙을 적용할 경우, 2대의 차량으로는 시스템 내에 충분히 부품공급을 못하여 기계이용률과 산출량이 적을 뿐만 아니라 차량막힘현상이 자주 발생해 임시저장소의 재공품 수준이 높게 나타나고 있다.

4.2 확장된 형태의 시스템 배치

시스템의 크기가 수행도에 미치는 영향을 분석하기 위하여 앞 절의 7(4)개의 작업장으로 구성된 시스템을 확장하여 <그림 2>와 같이 12개(8)의 작업장으로 구성된 시스템으로 확장하여 동일한 가정하에서 수행도를 분석하였다. 각 부품유형에 따른 부품비율과 가공순서는 <표 7>과 같은데 LAYOUT 1과

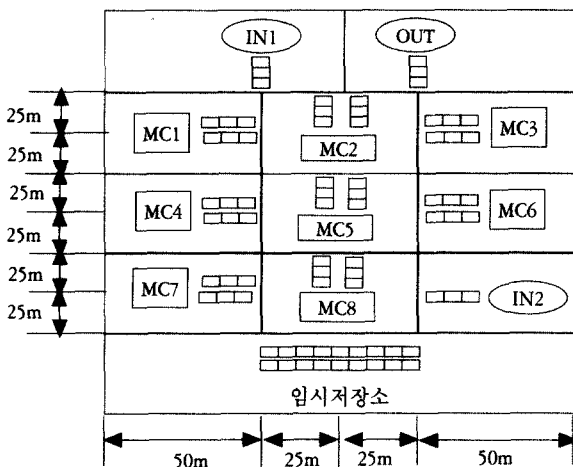


그림 2. LAYOUT 2.

표 7. 부품유형별 부품비율과 가공순서(L2)

부품유형	부품비율	가공순서
1	0.25	IN1-8-4-6-3-1-OUT
2	0.25	IN1-6-3-4-7-OUT
3	0.25	IN1-5-2-8-4-OUT
4	0.25	IN1-7-4-1-2-5-OUT
5	0.25	IN2-3-5-6-OUT
6	0.25	IN2-2-5-8-3-OUT
7	0.25	IN2-7-1-6-OUT
8	0.25	IN2-1-7-2-8-OUT

동일한 이유로 각 작업장을 방문하는 횟수를 동일하게 설정하였으며 가공시간 역시 모든 가공작업장에 대하여 동일하게 5분으로 설정하였으며 각 입력작업장의 평균 도착시간 간격은 7분으로 설정하였다.

4.2.1 버퍼용량의 영향

먼저 차량의 수는 2대, 속도는 80 m/분으로 고정하고 버퍼용량을 1부터 5까지 증가시킬 때 기계 이용률과 산출량을 살펴보면 <표 8>과 같다. <표 8>을 살펴보면 LAYOUT 1과 유사하게 버퍼용량이 증가할수록 기계이용률과 산출량이 증가하다가 버퍼용량이 3 이상인 경우에는 큰 변화를 보이지 않는데 이것은 버퍼용량이 3 이상인 경우에는 버퍼용량이 시스템의 효율에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다. 그러나 두 규칙을 비교해 보면 LAYOUT 1과 달리 버퍼용량에 관계없이 제안한 급송규칙이 STT/D 규칙에 비하여 기계이용률과 산출량이 높게 나타나고 있다. 이는 시스템이 커질수록 제안한 규칙의 효율성이 크게 나타나는 것으로 볼 수 있다.

버퍼용량에 따른 재공품 수준은 <표 9>와 같은데 입·출력 버퍼의 재공품은 제안한 규칙이 조금 높게 나타나고 있으나 임시저장소를 포함한 전체 재공품 수준은 제안한 규칙이 낮게 나타나고 있다. 이는 LAYOUT 1에서와 마찬가지로 제안한 급송규칙이 차량막힘 현상을 줄여주기 위한 합수를 포함하고 있기 때문에 임시저장소의 재공품 수준이 적은 반면, STT/D 규칙

표 8. 기계이용률과 산출량에 대한 버퍼용량의 영향(L2)

급송규칙	기계이용률(%)			산출량(개)		
	STT/D	제안한 급송규칙	개선율	STT/D	제안한 급송규칙	개선율
버퍼용량 1	54.988	59.340	7.8%	386.8	427.0	10.4%
2	58.839	64.293	9.3%	448.2	515.0	15.1%
3	60.498	65.593	8.4%	469.2	518.0	10.4%
4	60.572	65.886	8.8%	471.4	518.6	10.0%
5	60.666	66.288	9.3%	472.8	521.0	10.2%

표 9. 재공품(개)에 대한 버퍼용량의 영향(L2)

버퍼용량	급송규칙			
	STT/D			
	입력버퍼	출력버퍼	임시 저장소	전체 재공품
1	0.1205	0.3017	379.5010	379.9232
2	0.2234	0.3156	102.5156	103.0546
3	0.2790	0.3243	24.4313	25.0347
4	0.2919	0.3241	10.9440	11.5600
5	0.3107	0.3275	4.5408	5.1788
제한한 급송규칙				
1	0.2102	0.5410	299.5492	300.3003
2	0.2545	0.6861	15.1849	16.1256
3	0.2767	0.6895	0.5723	1.5385
4	0.2812	0.6851	0.0000	0.9663
5	0.2955	0.6949	0.0000	0.9904

표 11. 재공품(개)에 대한 차량수의 영향(L2)

차량수	급송규칙			
	STT/D			
	입력버퍼	출력버퍼	임시 저장소	전체 재공품
1	0.0681	0.8230	0.5597	1.4508
2	0.2790	0.3243	24.4313	25.0347
3	0.5003	0.2126	0.8976	1.6106
4	0.5371	0.1474	0.4338	1.1184
5	0.5488	0.1265	0.2510	0.9263
제한한 급송규칙				
1	0.0521	1.0955	0.0000	1.1476
2	0.2767	0.5895	0.5723	1.5385
3	0.5136	0.3096	0.6336	1.4568
4	0.5817	0.1835	0.5046	1.2698
5	0.6047	0.1481	0.4441	1.1969

을 적용할 경우 차량막힘 현상이 상대적으로 자주 발생하기 때문으로 분석된다.

4.2.2 차량수의 영향

버퍼용량은 3, 차량의 속도는 80 m/분으로 고정하고 차량의 수를 변화시킬 때 기계이용률과 산출량의 변화가 <표 10>에 나타나있는데 차량의 수가 증가하면 적용한 급송규칙에 관계없이 기계이용률과 산출량은 증가하다가 3대 이상에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 이는 이 시스템에서는 3대의 차량으로 운반 요구조건을 만족시킬 수 있다는 것을 보여준다.

두 규칙을 비교해 보면 제한한 급송규칙이 차량 대수가 3대 미만일 경우 기계이용률과 산출량이 더 좋은 결과를 보여주고 있으나, 3대 이상일 경우에는 제안된 규칙의 수행도와 STT/D 규칙의 수행도가 크게 차이가 나지 않는데 이는 차량이 충분하면 AGV 시스템이 병목이 아니므로 급송규칙에 크게 영향을 받지 않기 때문이다.

차량의 수가 재공품 수준에 미치는 영향을 살펴보면 <표 11>과 같다. AGV대수가 2대일 경우를 제외하면 STT/D규칙과 제안한 급송규칙을 적용할 경우 전체 재공품의 수준에 대해서는 큰 차이를 보이지 않고 있다. 이것은 LAYOUT 1의 결과와

표 10. 기계이용률과 산출량에 대한 차량수의 영향(L2)

차량수	급송규칙		기계이용률(%)			
			제안한		개선율	
	STT/D	제안한 급송규칙	STT/D	제안한 급송규칙	STT/D	제안한 급송규칙
1	39.662	40.5563	2.3%	282.4	290.2	2.8%
2	60.498	65.5999	8.4%	469.2	518.0	10.4%
3	70.195	70.7357	0.8%	560.4	560.4	0.0%
4	70.198	71.0079	1.2%	560.2	559.8	0.0%
5	70.196	71.0486	1.2%	560.2	559.8	0.0%

마찬가지로 차량이 1대일 경우에는 시스템 내로 충분한 부품 공급이 이루어지지 않기 때문(<표 10>의 산출량 참조)이며 3대 이상일 경우에는 여유차량이 많아 신속하게 운반작업이 이루어지기 때문이다. 그러나 STT/D 규칙을 적용할 경우 2대의 차량으로는 시스템 내에 충분히 부품공급을 못할 뿐만 아니라 차량막힘현상이 자주 발생해 전체 재공품 수준이 높게 나타나고 있다.

4.3 변형된 형태의 시스템 배치

앞 절의 LAYOUT 2에서는 IN1과 OUT의 거리가 IN2에 비해 상대적으로 가깝게 위치하고 있는데 본 연구에 사용된 두 규칙 모두 빈차 이동시간을 고려하고 있기 때문에 OUT에서 완제품을 하역한 유틸차량은 IN2보다는 상대적으로 가까운 거리에 위치하는 IN1의 운반요청에 응할 확률이 높다. 특히 상대적 거리만을 고려하는 STT/D 급송규칙의 경우 IN2로 입하되는 부품은 상대적으로 차량을 할당받을 우선순위가 떨어지게 된다. 또한 IN1과 IN2를 통해 입하되는 부품의 도착시간 간격은 동일하다고 가정하였기 때문에 IN2로 입하되는 부품이 상대적으로 대기시간이 길어질 수도 있다.

이러한 입·출력 작업장의 상대적 위치가 시스템의 효율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 LAYOUT 2에서 IN2와 OUT의 작업장 위치를 바꾸어서 수행도를 비교해 보고자 한다. 변형된 형태의 시스템 배치(LAYOUT 2-1)는 <그림3>과 같으며 기타 다른 모든 조건은 LAYOUT 2와 동일한 조건에서 실험하였다.

4.3.1 버퍼용량의 영향

버퍼용량의 변화에 대한 기계이용률과 산출량에 대한 결과는 <표 12>에 주어져 있는데, LAYOUT 2와 유사하게 제안한 급송규칙의 수행도가 더 좋게 나타나고 있으나 STT/D 규칙과의 차이는 LAYOUT 2에 비해 적게 나타나고 있다. 이는 STT/D

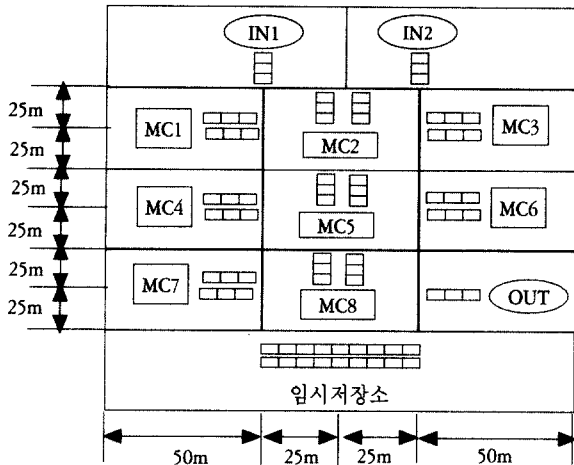


그림 3. LAYOUT 2-1.

표 12. 기계이용률과 산출량에 대한 버퍼용량의 영향(L2-1)

급송 규칙	기계이용률(%)			산출량(개)		
	STT/D	제한한 급송 규칙	개선율	STT/D	제한한 급송 규칙	개선율
1	55.899	56.669	1.4%	398.4	405.2	1.7%
2	62.656	63.488	1.3%	486.4	491.0	0.9%
3	64.594	65.321	1.1%	515.2	524.0	1.7%
4	65.315	65.784	0.7%	523.0	525.4	0.5%
5	65.461	65.778	0.5%	525.8	527.4	0.3%

규칙의 수행도가 LAYOUT 2에 비해 크게 개선된 반면에, 제안한 급송규칙의 수행도는 크게 개선되지 않았기 때문이다. 이를 통해 STT/D 급송규칙이 시스템의 배치형태에 더 민감하다는 것을 알 수 있다.

재공품에 대한 버퍼용량의 영향을 살펴보면 <표 13>과 같은데 LAYOUT 2의 결과와 큰 차이를 보이지 않는다. 이는 재공

표 13. 재공품에 대한 버퍼용량의 영향(L2-1)

급송규칙	STT/D			
	입력버퍼	출력버퍼	임시 저장소	전체 재공품
1	0.1245	0.3512	377.2408	377.7165
2	0.2593	0.5233	120.4236	121.2062
3	0.3363	0.5233	28.3861	29.2457
4	0.3690	0.7424	11.4283	12.5396
5	0.3894	0.7547	3.4597	4.6038
제한한 급송규칙				
1	0.1235	0.4592	375.1514	375.7341
2	0.2596	0.6463	101.9646	102.8705
3	0.2395	0.6395	0.0000	0.8790
4	0.2702	0.6704	0.0000	0.9406
5	0.2707	0.6796	0.0000	0.9502

표 14. 기계이용률과 산출량에 대한 차량수의 영향(L2-1)

급송 규칙	기계이용률(%)			산출량(개)		
	STT/D	제한한 급송 규칙	개선율	STT/D	제한한 급송 규칙	개선율
1	32.836	33.354	1.6%	264.4	267.2	1.1%
2	64.594	65.321	1.1%	515.2	524.0	1.7%
3	70.192	70.519	0.5%	560.0	560.4	0.0%
4	70.195	71.709	2.2%	560.2	560.2	0.0%
5	70.198	71.017	1.2%	560.0	559.8	0.0%

품의 주원인이 되는 임시저장소의 재공품은 차량막힘현상의 발생과 밀접한 연관성을 갖고 있기 때문에 전체 재공품 수준은 시스템의 배치보다는 사용하는 급송규칙에 더 민감하다는 것을 보여준다.

#### 4.3.2 차량수의 영향

차량의 수가 기계이용률과 산출량에 미치는 영향은 <표 14>와 같은데 LAYOUT 2의 결과와 비교해 보면 STT/D 규칙의 수행도가 향상되어 두 규칙 간의 차이가 좁혀진 것을 살펴볼 수 있다. 이 결과도 역시 STT/D 규칙의 수행도가 시스템의 배치에 민감한 영향을 받는다는 것을 보여준다.

차량의 수가 재공품 수준에 미치는 영향을 살펴보면 <표 15>와 같은데 LAYOUT 2의 결과와 큰 차이를 보이지 않는다. 즉, 차량수가 적으면 시스템으로의 부품 공급이 적어 재공품이 줄어 들고 차량 수가 많으면 차량막힘현상의 발생이 줄어들어 임시저장소의 재공품 수준이 감소하여 시스템의 재공품이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 재공품 수준은 다른 조건이 동일하면 시스템 배치에 민감하지 않다는 것을 보여준다.

표 15. 재공품에 대한 차량수의 영향(L2-1)

급송규칙	STT/D			
	입력버퍼	출력버퍼	임시 저장소	전체 재공품
1	0.0363	0.5181	0.0000	0.5544
2	0.3363	0.5233	28.3861	29.2457
3	0.5086	0.2136	0.8643	1.5865
4	0.5363	0.1534	0.3982	1.0880
5	0.5435	0.1307	0.2466	0.9207
제한한 급송규칙				
1	0.0187	0.5422	0.0000	0.5609
2	0.2395	0.6395	0.0000	0.8790
3	0.5025	0.3049	0.5922	1.3996
4	0.5712	0.1837	0.4321	1.1871
5	0.6018	0.1508	0.4667	1.2194



## 5. 결론

본 연구에서는 기계막힘·부품고갈현상을 줄여 기계이용률과 산출량을 높일 수 있는 급송규칙을 제안하였다. 제안한 급송규칙은 시스템 변수들에 대해 하나의 함수형태로 표현되므로 비교적 계산이 쉽고 필요할 경우 다른 시스템 변수들을 조합하여 사용하기가 편리하다는 장점이 있다.

시뮬레이션을 통해 제안한 급송규칙이 STT/D 규칙과 비교해 볼 때 재공품의 수준은 비슷하게 유지하면서 기계이용률과 산출량을 높여주고 생산목표를 달성하기 위해 필요한 차량의 수도 더 적어질 수 있음을 보였다. 이는 제안한 급송규칙이 재공품과 비용의 감축을 지향하는 JIT 생산방식이나 린 제조방식에 적합하다는 것을 보여준다.

또한 시스템의 수행도에 영향을 미칠 수 있는 요인들 - 버퍼용량, 차량의 수, 시스템의 배치 형태에 대해 실험한 결과 급송규칙에 관계없이 버퍼용량이나 차량의 수를 적정 수준까지 올려주면 기계이용률과 산출량이 증가한다는 것을 보였다. 반면에, 시스템의 배치형태는 STT/D 규칙에 대해서는 민감한 영향을 미쳤으나 제안한 급송규칙은 시스템의 크기나 배치 상황에 관계없이 강건한 수행도를 보이고 있다는 것을 보였다.

## 참고문헌

Bozer, Y. A. and Yen, C. K. (1996), Intelligent Dispatching Rules for Trip-Based Material Handling Systems, *Journal of Manufacturing Systems*, 15(4), 226-239.



### 김종화

서울대학교 산업공학과 학사

서울대학교 산업공학과 석사

University of Michigan Industrial and Operations Engineering 박사

건국대학교 산업공학과 조교수

현재: 건국대학교 산업공학과 부교수

관심분야: Material Handling, SCM, 시뮬레이션

Egbelu, P. J. and Tanchoco, J. M. A. (1984), Characterization of Automatic Guided Vehicle Dispatching Rules, *International Journal of Production Research*, 22(3), 359-374.

Han, M. H. and McGinnis, L. F. (1989), Control of Material Handling Transporter in Automated Manufacturing, *IIE Transactions*, 21(2), June, 184-190.

Hodgson, T. J., King, R. E., Monteith and Schultz, S. R. (1987), Developing Control Rules for an AGVS Using Markov Decision Processes, *Material Flow*, 4, 85-96.

Hwang, H. and Kim, S. H. (1998), Development of Dispatching Rules for Automated Guided Vehicle Systems, *Journal of Manufacturing Systems*, 17(2), 137-43.

Kim, C. W. and Tanchoco, J. M. A. (1991), Conflict-free Shortest-time Bidirectional AGV Routing, *International Journal of Production Research*, 29, 2377-2391.

Kim, C. W., Tanchoco, J. M. A. and Koo, P. H. (1999), AGV Dispatching Based on Workload Balancing, *International Journal of Production Research*, 37(17), 4053-4066.

Klein, C. M. and Kim, J. (1996), AGV Dispatching, *International Journal of Production Research*, 34, 95-110.

Sinriech, D. and Tanchoco, J. M. A. (1992), Impact of Empty Vehicle Flow on Performance of Single-Loop AGV System, *International Journal of Production Research*, 30(10), 2237-2252.

Tharma, G., Nicholas, G. H. and Chelliah, S. (1998), Design and Operational Issues in AGV-served Manufacturing Systems, *Annals of Operations Research*, 76, 109-154.

Srinivasan, M. M. (1994), Trip-based Material Handling Systems : Throughput Capacity Analysis, *IIE Transactions*, 26(1), 70-89.



### 차상수

건국대학교 산업공학과 학사

건국대학교 산업공학과 석사

현재: 하이닉스 반도체 SYSTEM I/C Company

근무

관심분야: 물류 자동화, 품질경영, 시뮬레이션