

CIM 시스템에서 기계가공과 AGV의 운영을 위한 동적 작업배정 알고리즘

A Dynamic Dispatching Algorithm for Operation of Automated Guided Vehicles
and Machines in CIM Systems

김정욱*, 이종태*

Jungwook Kim*, Jongtae Rhee*

Abstract

Automated Guided Vehicles(AGVs) are widely used in computer integrated manufacturing(CIM) systems for material handling purposes. Although automated guided vehicles provide higher levels of flexibility and computer integrability, the installations are limited in number and one of the critical reasons lies in the complexity involved in the operation. The main objective of this research is to alleviate this problem by proposing efficient integrated operational control methods for AGV-based CIM systems. Particularly, this research is concerned with the mixed problem of dispatching automated guided vehicles and scheduling machines operation.

The proposed dynamic heuristic algorithm uses various priority schemes and relevant information concerning the load of the system, the status of queues, and the position of AGVs in the scheduling process. The scheduling decision process is hierarchical in the sense that different decision criteria are applied sequentially to identify the most appropriate part to be served. This algorithm consists of two sections, the section of part selection by AGVs for the next service whenever an AGV completes the current assignment, and the section of part selection by machines for next service whenever a machine completes the current operation.

The proposed algorithm has been compared with other scheduling schemes using the performance measure of mean flow-time and mean tardiness. Simulation results indicate that the proposed algorithm can reduce the mean flow-time and mean tardiness significantly.

* 동국대학교 산업공학과

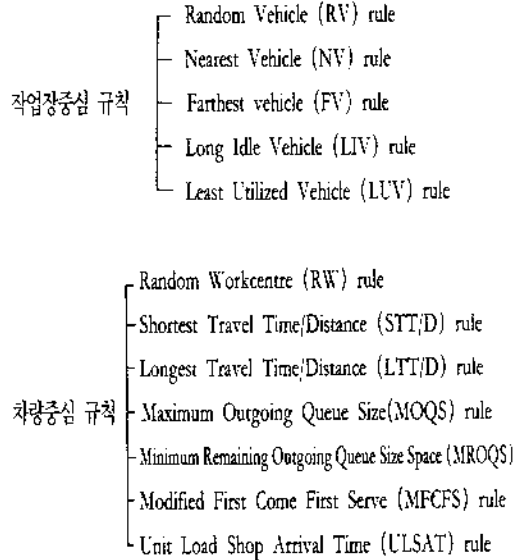
1. 서론

최근에 많은 기업들이 자동화 시스템을 도입하고 있다. 자동화 시스템을 구축하는데 있어서 물류 시스템(Material Handling System)은 핵심적인 역할을 담당하고 있다. 자동화된 공장의 물류 시스템은 공장 내의 모든 생산 설비(CNC, Robot, AS/RS 등)들을 연결하며, 모든 가공 부품들을 필요한 작업장 및 창고로 운반되도록 한다. 운반 시스템 중에서도 설치 및 경로 재설정, 그리고 운영면에서 유연성이 뛰어난 자동유도차량(Automated Guided Vehicle: AGV)이 최근에 많이 도입되고 있는 실정이다. 그러나 AGV가 뛰어난 유연성을 지녔음에도 불구하고 스케줄링의 복잡함으로 인하여 효율을 극대화하는데에는 많은 어려움이 따르고 있다.

본 연구는 AGV 운영에 있어서 가장 중요한 AGV 작업배정(Dispatching)문제에 대하여 연구하였다. AGV 작업배정은 AGV 이용도와 전체 시스템의 효율적 운영에 매우 중요한 요소가 된다. AGV의 운영에 관한 과거 연구는 대부분 작업장중심 규칙(workcentre-initiated rule)과 차량중심 규칙(vehicle-initiated rule) 형태의 작업배정 규칙을 개발한 것이었다. 작업장중심 규칙은 부품이 각 작업장에서 작업을 마치고 다음 작업장으로 운반되기 위해 유향한 차량의 집합 중에서 하나의 차량을 선택하는 것으로, 이는 작업장의 입장에서 유향한 차량을 선택하는 규칙이다. 차량중심 규칙은 차량이 유향한 상태로 되었을 때 운반할 부품을 선택하는 것으로, 이는 차량의 입장에서 작업을 선택하는 규칙이다.

1984년 Egbelu와 Tanchoco[5]은 다음과 같

은 작업장중심 규칙과 차량중심 규칙들을 제시하였다.



위의 각 규칙들은 작업장의 형태, 작업장 내의 부품수, 가공시간 대 운반시간의 비율, 부품의 작업장 내 투입빈도 등 작업환경에 따라 수행도에 많은 차이가 발생한다. Maxwell과 Muckstadt[9]는 각 작업장의 할당 시간을 균일하게 나누어지도록 하는 휴리스틱 알고리즘을 제시하였으며, Newton[11]은 부품을 하역한 작업장의 위치에서 가장 가까운 위치에 있는 운반할 작업장의 위치로 AGV를 이동시키는 규칙을 제시하였다. 또한, Hodgson et al.[10]은 마코프 의사결정 과정으로 AGV 시스템을 단순하게 모델화하여 RULE이라 불리우는 새로운 규칙을 제시하였다. 그 뒤 최근에는 Dong-soon YIM & Linn[3] 등이 푸쉬(push)와 풀(pull) 개념에 입각한 페트리네트를 기반으로 하는 시뮬레이션을 이용하여 새로운 작업배정 방법론을

제시했으며, Sabuncuoglu와 Hommertzheim[8]은 전체 시스템의 작업 균형을 유지하는 동적 작업배정 알고리즘을 제시하였다.

본 연구에서는 과거의 여러 연구들을 토대로 개별공정(job shop)형태의 CIM에서 사용될 동적 작업배정 알고리즘(dynamic dispatching algorithm)을 개발하였다. 본 알고리즘은 동적인 상황을 각 작업장의 입력 버퍼와 출력 버퍼상의 대기부품수, AGV의 위치 등에 관한 시스템의 상태를 다단계로 분석함으로써 전체 시스템의 효율을 극대화하고자 하였다. 특히, AGV운반 서비스 이외에도 작업장에서 기계가공을 위한 작업배정을 결정하기 위해서 부품 선택의 합리적인 우선순위규칙(priority index)을 제시하였다. 본 알고리즘의 수행도 척도로는 평균 흐름시간과 평균 지연시간을 적용하였다.

2. 본 론

2.1 AGV 시스템 모형

본 알고리즘의 평가를 위해서 적용된 생산시스템인 그림 1은 7개의 작업장과 1개의 검사 작업장, 1개의 중앙 버퍼, 그리고 2대의 AGV에 의해 운영된다. 본 생산시스템에 따른 가정은 다음과 같다.

- 1) AGV는 단방향 유도궤도를 가지며, 충돌은 없는 것으로 가정한다.
- 2) 각 작업장마다 입력 버퍼와 출력 버퍼를 가지고 있다.
- 3) 중앙 버퍼의 크기는 무한하다.
- 4) 각 작업장에서 중앙 버퍼로의 운반시간은 동일하다.
- 5) 차량의 속도는 일정하며 AGV가 운반

하는 부품의 용량은 1이다.

- 6) 모든 부품은 투입 시점에서 경로설정 및 작업장별 기계가공시간이 결정된다.
- 7) 각각의 부품은 주어진 경로설정에 따라 작업장을 거치며, 모든 부품은 검사 작업장에서의 검사 후 곧바로 출하된다.

2.2 알고리즘의 설계

AGV의 작업배정 문제의 해결을 위해서 앞에서 언급한 바와 같이 많은 연구가 이루어졌지만, AGV의 이용률 극대화 및 작업장별 부품대기수준 균형화와 관련한 여러가지 동적인 상황에 대비한다는 측면에 대해서는 더욱 세밀한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 AGV의 운반서비스가 끝난 시점과 부품의 기계가공서비스가 끝난 매시점마다 전체 시스템의 상황을 여러 단계로 분석하여 새로운 2가지 서비스에 대한 결정을 내리도록 한다. 제시된 알고리즘의 특성은 다음과 같다.

(1) 알고리즘에 의해 결정되는 2가지 작업 선정 내용.

a. AGV에 의한 운반부품 선택 - AGV가 운반할 부품(X)을 선택하고, 그 부품이 위치한 작업장(Y)으로 이동하고, 선택된 부품의 다음 도착 작업장(Z)으로 운반.

b. 작업장에서의 가공부품 선택 - 입력 버퍼에 있는 부품에 대하여 우선 순위 규칙에 따라 가공부품 선택.

(2) AGV에 의한 운반부품 결정시 운반 서비스를 마친 후의 다음 상황까지 고려하도록 함으로써 AGV 이용률을 극대화시키려 노력하며, 또한 작업장에서의 가공부품 선택시에는 현 작업장 및 가공부품의 다음 작업장의

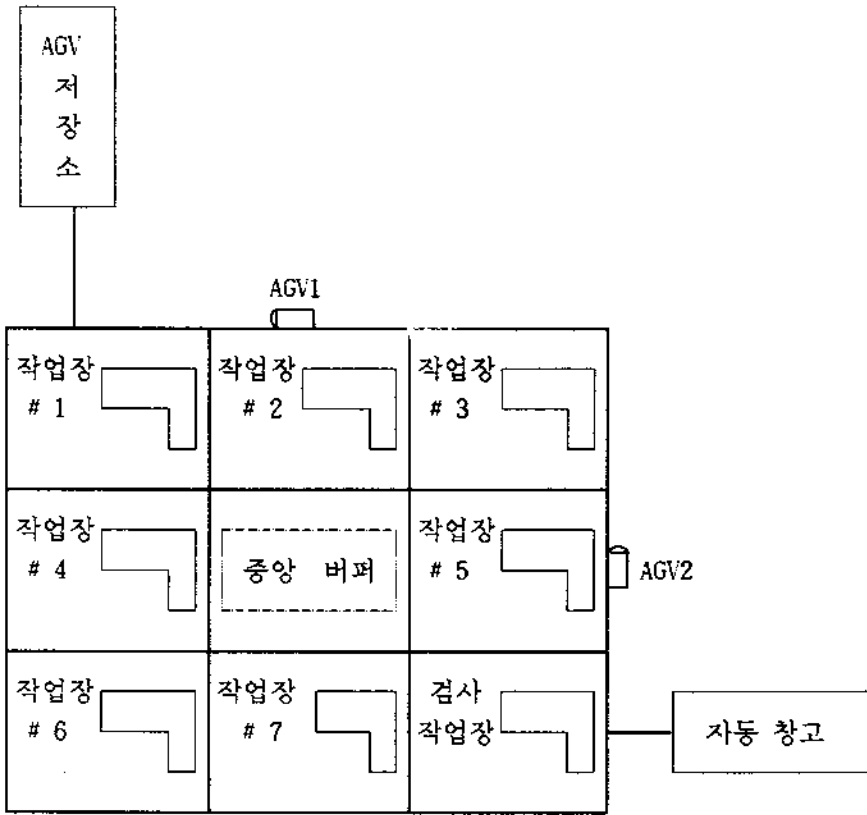


그림 1. AGV 시스템 모형

부하를 동시에 고려함으로써 전체 기계 이용율을 높이도록 한다.

(3) 각 작업장에서의 대기 수준을 기급적 균등하게 맞추어 나감으로써 차단상황(blocking)을 예방하고 기계의 유휴시간도 최소화 하며, 차단상황 발생 또는 위험상황((5)에 설명)에 있는 작업장의 부품을 우선 운반하여 차단상황 및 막힘현상을 예방하도록 한다.

(4) 본 연구에서는 작업장의 입력 버퍼의 상황을 다음과 같이 분류하였다.

- a. 유휴 상황 - 작업장의 입력 버퍼에 부품이 하나도 없어서 기계가 유휴한 경우
- b. 포화 상황 - 작업장의 입력 버퍼에 여

유 대기용량이 남아있지 않아서 더 이상의 부품을 받아들일 수 없는 경우

c. 일반 상황 - 나머지 경우

(5) 본 연구에서는 작업장의 출력 버퍼의 상황을 다음과 같이 분류하였다.

a. 차단상황 - 작업장의 출력 버퍼의 여유 대기용량이 남아있지 않고 입력 버퍼에 또는 기계가공 서비스를 수행하는 부품이 있는 경우.

b. 차단위험상황 - 작업장의 출력 버퍼의 여유 대기용량이 1개 밖에 없고 입력 버퍼에 또는 기계가공 서비스를 수행하는 부품이 있는 경우.

c. 일반 상황 - 나머지 경우

(6) AGV에 의해 선택된 운반부품이 AGV가 현재 위치한 작업장이 아닌 다른 작업장에 있는 경우, 만약 현 작업장에서 그 작업장으로 운반을 필요로 하는 부품이 있으면 이를 운반하는 추가 서비스(dual service)과정을 추가하였다.

(7) 운반할 부품 선택시 동률상황 발생을 해결하기 위해 다음과 같은 동률해결 규칙(Tie-Break-Rule)을 사용하였다.

단계 1. 남아있는 대기용량이 최대인 부품.
 단계 2. 응용 SDT 규칙에 따라 운반거리가 최소인 부품.

단계 3. 수행척도에 따라 부품을 선택.

(8) 위에서 제시한 응용 SDT 규칙은 기존의 SDT 규칙이 AGV가 운반 서비스를 할 때 운반될 부품이 있는 가장 가까운 거리에 있는 작업장을 선택하고 있는 것과는 달리, AGV의 현 위치에서 운반될 부품이 있는 작업장의 이동거리에다 그 부품의 다음 도착 작업장까지의 거리를 합한 총거리가 가장 짧은 부품을 선택하는 방안이다.

2.3 알고리즘에 사용된 기호

본 연구에서 개발한 알고리즘에 사용되는 기호는 다음과 같다.

- i : 부품, $i=1, \dots, I$
- j : 작업장, $j=1, \dots, J$
- m : 중앙 버퍼
- A : AGV가 위치한 작업장.
- P_i : 부품 i 가 있는 작업장.
- M_i : 부품 i 의 다음 도착 작업장.
- Π_i : 부품 i 의 우선순위 규칙.

- LQ_i : 시스템에서 부품 i 의 작업 형태.
 ($LQ_i = 1$ 이면 부품이 중앙 버퍼에 위치,
 $LQ_i = 0$ 이면 중앙 버퍼에 위치하지 않음)
- iq_j : 작업장 j 의 입력 버퍼의 대기 부품수.
- oq_j : 작업장 j 의 출력 버퍼의 대기 부품수.
- IQ_j : 작업장 j 의 입력 버퍼의 크기.
- OQ_j : 작업장 j 의 출력 버퍼의 크기.
- U_j : 작업장 j 의 상태.
 ($U_j = 1$ 이면 가공중, $U_j = 0$ 이면 유힬)
- B_j : 작업장 j 의 출력 버퍼의 상태.
 ($B_j = 1$: 출력 버퍼의 여유 대기 용량 = 0 이고 입력 버퍼에 대기 또는 가공 중인 부품이 존재하는 경우(차단상황)
 $B_j = 2$: 출력 버퍼의 여유 대기 용량 = 1 이고 입력 버퍼에 대기 또는 가공 중인 부품이 존재하는 경우(차단위험상황)
 $B_j = 0$: 그렇지 않은 경우)
- D_j : 작업장 j 의 입력 버퍼의 상태.
 ($D_j = 1$: 입력 버퍼의 여유 대기 용량 = 0 인 경우(포화상황)
 $D_j = 2$: 입력 버퍼의 여유 대기 용량 = IQ_j 인 경우(유힬상황)
 $D_j = 0$: 그렇지 않은 경우)
- OP_{ij} : 작업장 j 에서 부품 i 의 가공 시간.
- RPT_i : 부품 i 의 남아있는 총 가공 시간.
- MDD_i : 부품 i 의 수정 납기일.
- NR_i : 부품 i 의 남아있는 작업의 수.
- CT : 중앙 버퍼에 있는 부품수.
- TF_{kl} : 작업장 k 에서 작업장 l 로의 운반시간.
- E : 사건 형태. ($E = 1$ 이면 AGV 스케

출력, $E = 2$ 이면 기계가공 스케줄링)

V_j : 작업장 j 의 입력 버퍼의 대기 부품의 집합.

W_j : 작업장 j 의 출력 버퍼의 대기 부품 및 중앙 버퍼에 있는 부품의 집합.

S_1 : A 가 $B_A = 1$ 혹은 $B_A = 2$ 인 경우, 출력 버퍼에 있는 부품의 집합.

S_{11} : S_1 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $D_{M_i} = 1$ 인 부품의 집합.

S_{12} : S_1 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $B_{M_i} = 1$ 또는 $B_{M_i} = 2$ 인 부품의 집합.

S_{13} : S_1 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $D_{M_i} = 2$ 인 부품의 집합.

S_2 : 차단상황이 발생한 모든 작업장의 출력 버퍼에 있는 부품의 집합.

S_{21} : S_2 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $D_{M_i} = 1$ 인 부품의 집합.

S_{22} : S_2 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $B_{M_i} = 1$ 또는 $B_{M_i} = 2$ 인 부품의 집합.

S_{23} : S_2 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $D_{M_i} = 2$ 인 부품의 집합.

S_3 : W_j 에 속하는 부품 중에서 중앙 버퍼에 있는 부품의 집합.

S_{31} : S_3 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $B_{M_i} = 1$ 또는 $B_{M_i} = 2$ 인 부품의 집합.

S_{32} : S_3 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $D_{M_i} = 2$ 인 부품의 집합.

S_4 : W_j 에 속하는 부품 중에서 다음 도착 작업장이 유힤 상태인 부품의 집합.

S_{41} : S_4 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 중앙 버퍼에 있는 부품의 집합.

S_{42} : S_4 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $B_{M_i} = 1$ 또는 $B_{M_i} = 2$ 인 부품의 집합.

S_5 : W_j 에 속하는 부품 중에서 위의 S_1 에서 S_4 까지의 집합에 속하지 않는 부품의 집합.

S_{51} : S_5 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $D_{M_i} = 1$ 인 부품의 집합.

S_{52} : S_5 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 중앙 버퍼에 있는 부품의 집합.

S_{53} : S_5 에 속한 부품(i 라고 하자) 중 $B_{M_i} = 1$ 또는 $B_{M_i} = 2$ 인 부품의 집합.

X : 운반하기로 결정된 부품.

Y : X 가 위치한 작업장.

Z : X 가 운반되어질 도착 작업장.

2.4 알고리즘의 기본 흐름도

그림 2는 본 연구에서 제시한 알고리즘의 기본 흐름도이다.

2.5 알고리즘의 단계

【단계 1】 사건 형태의 구분단계.

$E = 1$ 이면 단계 2로 간다. (AGV가 운반 서비스를 완료하고 다음 운반서비스 준비)

$E = 2$ 이면 단계 11로 간다. (부품이 가공 서비스를 완료하고 다음 가공서비스 준비)

【단계 2】 운반 서비스를 필요로 하는 부품의 집합 W_j 을 검색하는 단계.

AGV 운반 서비스 후 모든 작업장(중앙 버퍼 포함)에서 AGV 운반 서비스를 필요로 하는 출력 버퍼의 대기부품의 집합 W_j 를 구성한다.

$W_j = \emptyset$ 이면, 정지한다. 그렇지 않으면, 단계 3으로 간다.

【단계 3】 현재 위치의 작업장의 출력 버퍼에서 운반할 부품을 선택하는 단계.

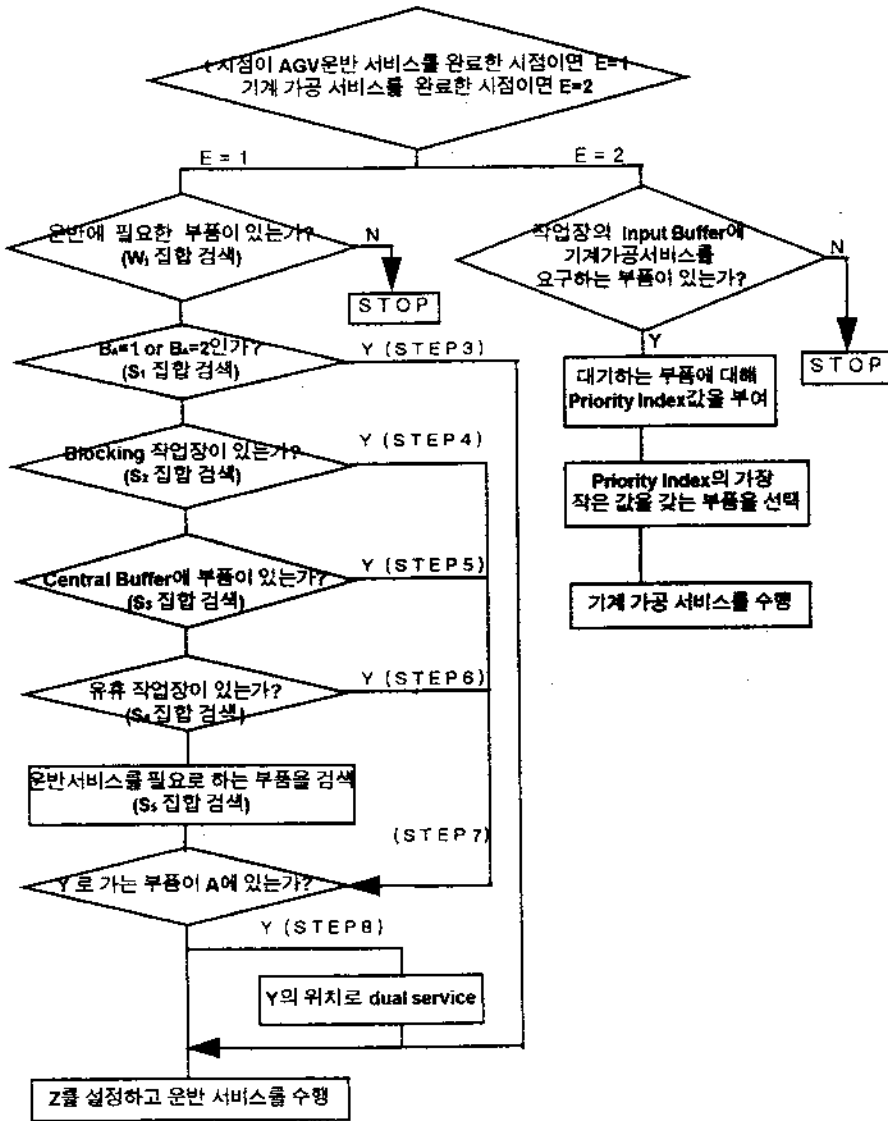


그림 2. 알고리즘의 기본흐름도

【단계 3.1】 $S_1 = \{i \mid P_i = A, IQ_A \leq iq_A + 1\}$ 을 구성한다.

$S_1 = \emptyset$ 이면 단계 4로 가라. 그렇지 않으면 단계 3.2로 간다.

【단계 3.2】 $S_{11} = \{i \mid i \in S_1, D_{M_i} = 1\}$ 을 구성한다.

$S_1 = S_{11}$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X를 선택($Y = A$)하고 단계 9로 간다. 그렇지 않으면, 단계 3.3으로 간다.

【단계 3.3】 $S_{12} = \{i \mid i \in S_1, B_{M_i} = 1 \text{ or } B_{M_i} = 2\}$ 를 구성한다.

$S_{12} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = A$)하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 3.4로 간다.

【단계 3.4】 $S_{13} = \{i \mid i \in S_1, D_{M_i} = 2\}$ 를 구성한다.

$S_{13} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = A$)하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 3.5로 간다.

【단계 3.5】 S_1 집합에서 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = A$)하고 단계 10으로 간다.

【단계 4】 차단 작업장에서 운반할 부품을 선택하는 단계.

【단계 4.1】 $S_2 = \{i \mid U_j = 1 \text{ or } i_j \neq 0, B_{P_i} = 1\}$ 를 구성한다.

$S_2 = \emptyset$ 이면 단계 5로 가라. 그렇지 않으면 단계 4.2로 간다.

【단계 4.2】 $S_{21} = \{i \mid i \in S_2, D_{M_i} = 1\}$ 을 구성한다.

$S_2 = S_{21}$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = P_X$)하고 단계 9로 간다. 그렇지 않으면, 단계 4.3으로 간다.

【단계 4.3】 $S_{22} = \{i \mid i \in S_2, B_{M_i} = 1 \text{ or } B_{M_i} = 2\}$ 을 구성한다.

$S_{22} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = P_X$)하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 4.4로 간다.

【단계 4.4】 $S_{23} = \{i \mid i \in S_2, D_{M_i} = 2\}$ 을 구

성한다.

$S_{23} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = P_X$)하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 4.5로 간다.

【단계 4.5】 S_1 집합에서 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = P_X$)하고 단계 10으로 간다.

【단계 5】 중앙 버퍼의 처리단계.

【단계 5.1】 $S_3 = \{i \mid LQ_i = 1, CT > 0\}$ 를 구성한다.

$S_3 = \emptyset$ 이면 단계 6으로 간다. 그렇지 않으면 단계 5.2로 간다.

【단계 5.2】 $S_{31} = \{i \mid i \in S_3, B_{M_i} = 1 \text{ or } B_{M_i} = 2\}$ 를 구성한다.

$S_{31} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = m$)하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 5.3로 간다.

【단계 5.3】 $S_{32} = \{i \mid i \in S_3, D_{M_i} = 2\}$ 를 구성한다.

$S_{32} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = m$)하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 5.4로 간다.

【단계 5.4】 S_3 집합의 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = m$)하고 CT 를 갱신하고 단계 10으로 간다.

【단계 6】 유티 작업장의 처리단계.

【단계 6.1】 $S_4 = \{i \mid D_{M_i} = 2\}$ 를 구성한다.

$S_4 = \emptyset$ 이면 단계 7로 간다. 그렇지 않으면 단계 6.2로 간다.

【단계 6.2】 $S_{41} = \{i \mid i \in S_4, P_i = m\}$ 를 구성한다.

$S_{41} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = m$)하고 CT 를 갱신하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 6.3으로 간다.

【단계 6.3】 $S_{42} = \{i \mid i \in S_4, B_{M_i} = 1 \text{ or } B_{M_i} = 2\}$ 를 구성한다.

$S_{42} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = P_X$)하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 6.4로 간다.

【단계 6.4】 S_4 집합에서 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = P_X$)하고 단계 10으로 간다.

【단계 7】 일반 작업장에서의 처리 단계.

【단계 7.1】 W_j 에 속하는 부품 중에서 위의 S_1 에서 S_4 까지의 집합에 속하지 않는 $S_5 = \{i \mid i \in W_j, i \in S_1, i \in S_2, i \notin S_3, i \in S_4\}$ 의 부품의 집합을 구성한다. 단계 7.2로 간다.

【단계 7.2】 $S_{51} = \{i \mid i \in S_5, D_{M_i} = 1\}$ 을 구성한다.

$S_5 = S_{51}$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = P_X$)하고 단계 9로 간다. 그렇지 않으면, 단계 7.3으로 간다.

【단계 7.3】 $S_{52} = \{i \mid i \in S_5, P_i = m\}$ 를 구성한다.

$S_{52} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = m$)하고 CT 를 갱신하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 7.4로 간

다.

【단계 7.4】 $S_{53} = \{i \mid i \in S_5, B_{M_i} = 1 \text{ or } B_{M_i} = 2\}$ 을 구성한다.

$S_{53} \neq \emptyset$ 이면, 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = P_X$)하고 단계 10으로 간다. 그렇지 않으면, 단계 7.5로 간다.

【단계 7.5】 S_5 집합에서 부품을 선택한다. 만약 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 X 를 선택($Y = P_X$)하고 단계 10으로 간다.

【단계 8】 운반 서비스 이전에 현재 작업장의 검색 단계.(추가서비스단계) AGV가 있는 현재 작업장에서 Y 로 이동할 부품이 있으면, A 의 출력 버퍼에서 Y 로 운반될 부품을 검색한다. 만약 부품이 없다면, 단계 10으로 간다. 부품이 있다면 선택하고, 복수의 부품이 선택되면 동률해결 규칙에 의해서 추가서비스할 부품을 선택한다. AGV 상태를 유히 상태에서 사용중인 상태로 변화시키고 선택된 부품을 Y 로 운반한다. 단계 10으로 간다.

【단계 9】 중앙 버퍼로 이동시키는 단계.

AGV 상태를 유히 상태에서 사용중인 상태로 변화시키고 $Z = m$ 으로 설정한다. X 를 Z 로 운반하고 CT 를 갱신한다.

【단계 10】 운반서비스를 수행하는 단계.

AGV 상태를 유히 상태에서 사용중인 상태로 변화시키고 $Z = M_X$ 로 설정한다. X 를 Z 로 운반하고 iq_Z 를 갱신하고 정지한다.

【단계 11】 기계가공 서비스를 필요로 하는 부품의 집합 W_j 을 검색하는 단계. 기계가공 서비스 후 현재의 작업장 j 에서 기계가공 서비스를 필요로 하는 입력 버퍼의 대기부품의 집합 V_j 를 구성한다.

$V_j = \emptyset$ 이면, 정지한다. 그렇지 않으면, 단계 12로 간다.

【단계 12】 V_j 집합의 각각의 부품 i 에 대한 우선순위 규칙을 결정하는 단계. 우선순위 규칙을 구성하기 전에 RPT_i 와 MDD_i 를 아래와 같이 설정한다.

$$RPT_i = \sum_{j=1}^{NR_i} OP_{ij}, \quad MDD_i =$$

(부품 i 의 납기일)-(현재 t 시점)

우선순위 규칙 PI_i 는 부품 i 가 위치한 작업장 j 에서의 작업시간 혹은 부품 i 의 MDD에 현재 대기 수준을 고려한 가중치를 부여하고, 남아 있는 기계가공시간을 구하여 두 값을 더한 값으로 한다.

이는 두가지의 스케줄링 수행척도를 기반으로 나누어 계산된다. (1) 평균 흐름시간 수행척도에 대해서는 다음의 식을 사용한다.

$$PI_i = a_1 * OP_{ij} + RPT_i$$

where $a_1 = iq_i / IQ_i$, i 는 현재의 작업장을 나타낸다.

(2) 평균 지연시간 수행척도에 대해서는 다음의 식을 사용한다.

$$PI_i = a_1 * MDD_i + RPT_i$$

단계 13으로 간다.

【단계 13】 기계가공 서비스를 수행하는 단계.

집합 V_j 로부터 최소의 우선순위 규칙의 값을 가진 부품을 선택한다. 선택한 부품에 대하여 기계 가공 서비스를 수행한 후 oq_j 를 갱신하고 정지한다.

2.6 동률해결 규칙(Tie-Break-Rule)

【단계 1】 부품 i 에 대하여 M_i 의 입력 버퍼

의 남아있는 대기용량이 최대인 부품을 선택한다.

$$MAX \quad IQ_{M_i} - iq_{M_i}$$

【단계 2】 응용 SDT 규칙을 적용하여 부품을 선택한다.

(이 때, 응용 SDT 규칙이란, A 에서 Y 까지의 이동거리에다 Y 에서 Z 까지의 운반거리를 더하여 그 총거리가 최소인 부품을 선택하는 것을 말한다.)

$$MIN \quad TF_{A,Y} + T_{Y,Z}$$

【단계 3】 수행 척도에 따라 부품을 선택한다.

수행 척도가 평균 흐름시간이라면 남아있는 작업이 가장 적은 부품 (LWKR, =least amount of work remaining)을 선택하고,

$$MIN \quad NR_i$$

수행 척도가 평균 지연시간이라면 가장 긴 박한 납기일을 가진 부품 (EDD, =earliest due-date)을 선택한다.

$$MIN \quad MDD_i$$

【단계 4】 아직도 동률이 발생하였다면, 임의의 작업을 선택한다.

2.7 Simulation의 결과

본 연구에서는 제시한 알고리즘의 비교 평가를 위해서 SPT/LQS(Shortest Processing Time/Largest Queue Size) 규칙과 SPT/SDT(Shortest Processing Time/Shortest Distance Time) 규칙, 그리고 Sabuncuoglu와 Hommert-zheim[8]의 알고리즘을 사용하였다. 또한 대기용량, 제품의 투입시간간격, 부품의 기계가공시간 대 AGV의 운반시간의 비율을 다양하게 적용 실험하여 일반적으로 우수한 수행척도를 가진 알고리즘인지를 분석하였다. 결

과 분석은 평균 흐름시간과 평균 지연시간의 두가지 수행도 척도를 실험하였다.

2.7.1 대기 용량의 변화에 따른 시뮬레이션 결과

AGV 작업배정에 있어서 입력 버퍼와 출력 버퍼의 크기는 전체시스템의 효율적 운영에 매우 중요한 요소가 된다. 즉, 그 크기가 작을수록 차단상황이 일어날 경우가 많아 중앙 버퍼로의 이동이 많아지므로 흐름시간이 길어지며, 그 크기가 클수록 기계에서 대기하는 부품이 늘어나 역시 흐름시간이 늘어날 수 있다.

대기용량은 대기용량을 고려하는 LQS 규칙과 고려하지 않는 SDT 규칙의 수행도에 큰 영향을 미친다. 즉, SDT 규칙이 LQS 규칙보다 전반적으로 우수하지만, 대기용량이 너무 작게되면 SDT 규칙이 LQS 규칙보다 오히려 그 효율이 떨어질 수 있다.

그림 3과 그림 4는 대기용량을 변화시킨 결과를 보여주고 있다.

대기용량을 여러 경우에 대해 변화하여 실험한 결과 제시한 알고리즘이 전반적으로 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 제시한 알고리즘은 대기용량이 작을수록 기존의 여러 규칙보다 우수한 결과를 가질 수 있었는데, 이는 제시한 알고리즘이 전체 대기수준을 균형화시키는 효과가 있기 때문이다. 특히, 대기용량이 일정 수준 이상으로 커지면 제시한 알고리즘을 포함한 모든 규칙들의 효율이 증가하지 못함을 알 수 있다. 그러므로, 적정 대기수준을 정하는 것은 매우 중요한 문제라 할 수 있다. 제안된 시스템에서는 5의 대기용량이 적정 대기수준임을 알 수 있었다.

2.7.2 부품의 투입시간간격 변화에 따른 시뮬레이션 결과

본 연구에서는 부품이 시스템 내로 투입되는 시간간격을 지수분포, 정규분포, 일양분포 등의 분포를 적용하여 실험하였다. 특히, 일양 분포의 경우에는 부품의 평균투입시간간격과 기계의 평균 가공시간의 비를 2:1 혹은 3:1의 비율로 나누어 실험함으로써 부품의 투입시간간격과 기계가공시간과의 비에 의한 수행도의 변화에 대해서도 분석하였다.

그림 5와 그림 6은 부품의 투입시간간격을 변화시킨 결과를 보여주고 있다.

여러가지 부품의 투입시간간격에 대해 실험한 결과 제시한 알고리즘이 전반적으로 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 특히, 제시한 알고리즘은 부품을 자주 투입하는 경우, 기존의 SPT/LQS 규칙이나 SPT/SDT 규칙보다 매우 우수한 결과를 얻을 수 있었는데, 그 이유는 부품이 자주 투입되어 시스템 내의 부품수가 증가하며, 이에 따라 차단상황이 발생할 가능성이 증가하는데, 제시한 알고리즘은 차단상황 발생 가능성을 최소화하도록 하고 있기 때문이다. 뿐만아니라 제시한 알고리즘은 유휴작업에 우선적으로 작업배정을 함으로써 작업장 대기수준을 균형화시키기 때문에 차단상황 발생을 더욱 줄일 수 있었다. 제시한 알고리즘은 기계가공시간과 제품의 투입시간간격을 대비하여 실험한 경우에도 기존의 모든 규칙보다 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

2.7.3 기계 가공시간의 변화에 따른 시뮬레이션 결과

많은 현실문제에서 부품은 그 형태에 따라

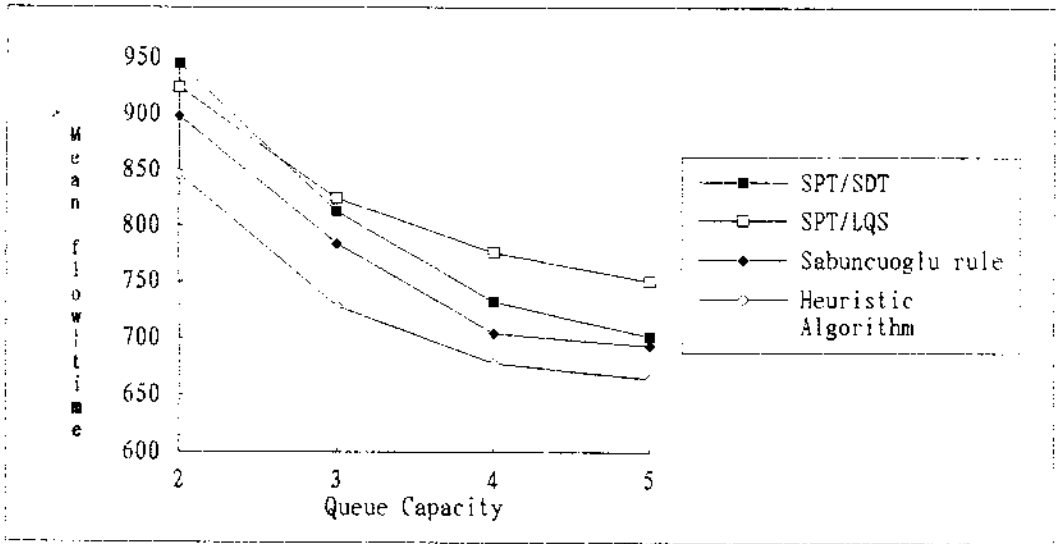


그림 3. 대기용량의 변화에 따른 결과(평균 흐름시간 수행도 척도 기준)

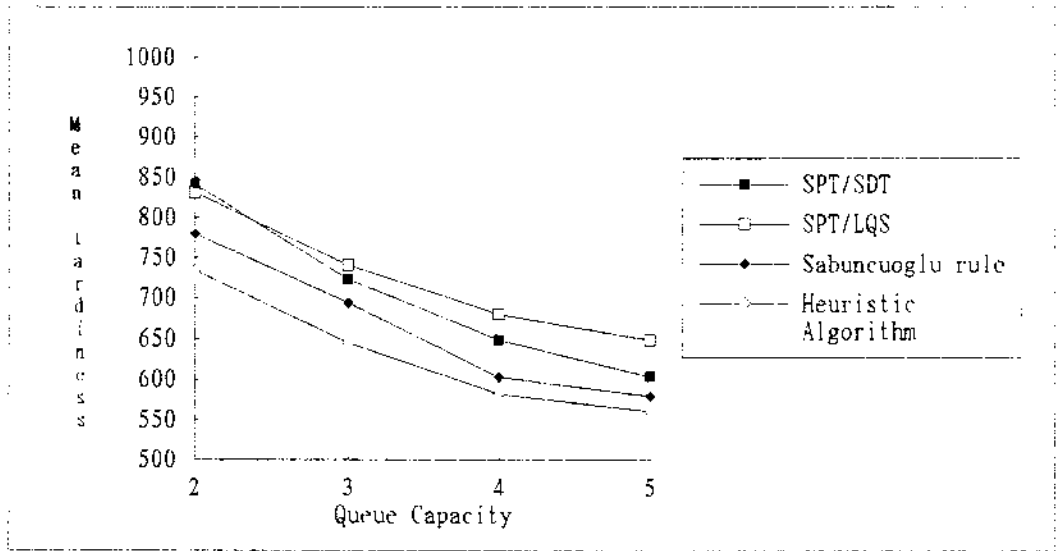


그림 4. 대기용량의 변화에 따른 결과(평균 지연시간 수행도 척도 기준)

여러 종류의 작업을 수행하며, 기계가공시간도 다양하게 발생할 수 있다. 특히, 기계가공시간과 AGV의 운반시간과의 상대적 비율은 작업배정규칙의 상대적 수행도에 변화를 가

져오게 된다. 본 연구에서는 기계가공시간을 AGV의 운반시간에 대비하여 2:1, 3:1, 4:1, 5:1 등의 여러 비율을 적용하여 실험 하였다.

그림 7과 그림 8은 기계가공시간을 변화시

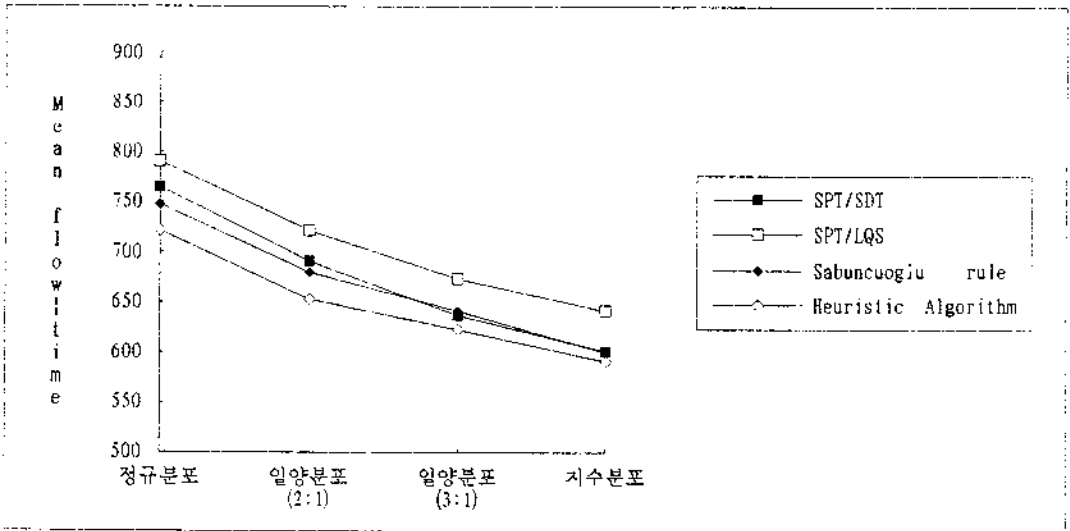


그림 5. 부품의 투입시간 간격 변화에 따른 결과(평균 흐름시간 수행도 척도 기준)

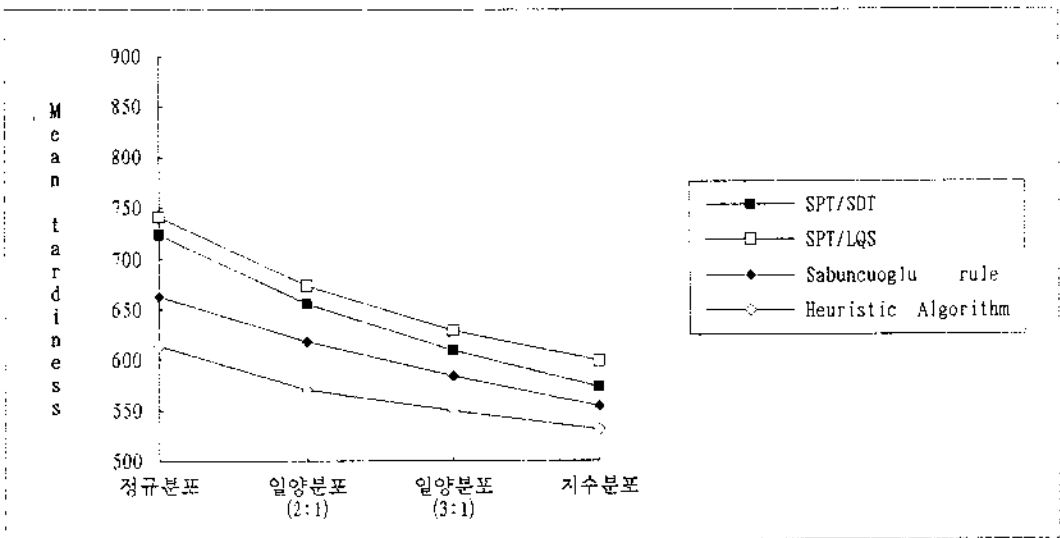


그림 6. 부품의 투입시간 간격 변화에 따른 결과(평균 지연시간 수행도 척도 기준)

킨 결과를 보여주고 있다.

실험결과 기계가공시간과 AGV의 운반시간의 비는 수행도에 상당한 차이를 주는 것을 발견하였다. 기계가공시간이 AGV의 운반

시간에 비하여 매우 길게되면 AGV는 유휴시간이 증가하게되고, 이에 따라 LQS 규칙에 비해 AGV의 유휴시간을 줄일 수 있는 SDT 규칙이 보다 우수한 결과를 가질 수 있

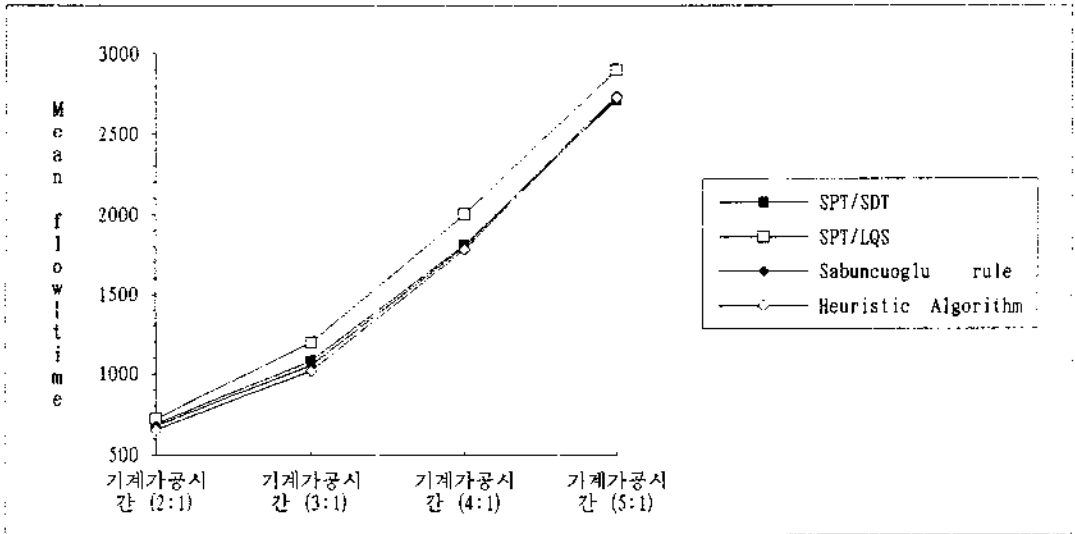


그림 7. 기계가공시간의 변화에 따른 결과(평균 흐름시간 수행도 척도 기준)

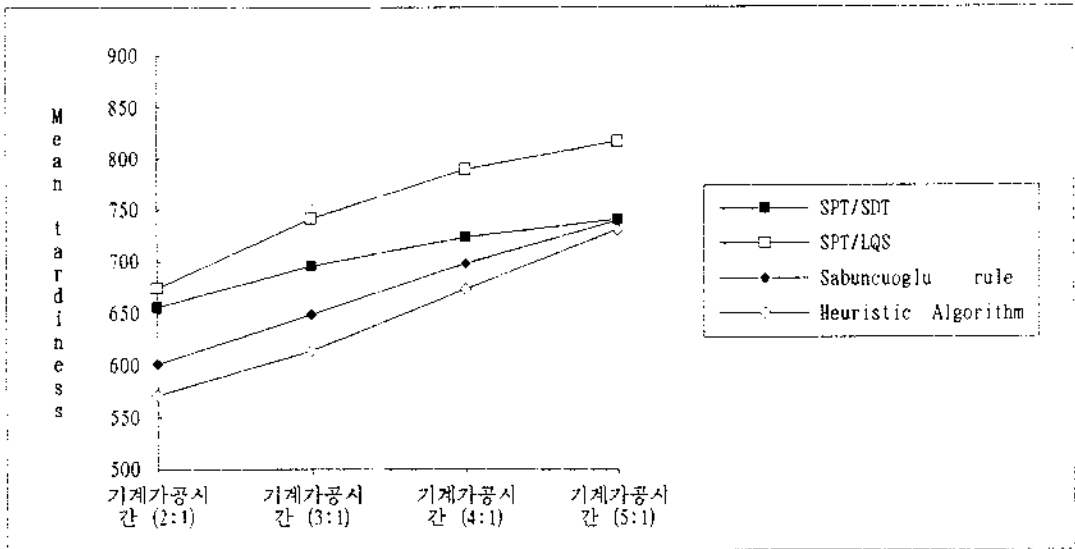


그림 8. 기계가공시간의 변화에 따른 결과(평균 지연시간 수행도 척도 기준)

었다. 제시한 알고리즘은 전반적으로 우수한 결과를 보여주지만 기계가공시간이 매우 길어지게 되면 SPT/SDT 규칙이 더욱 우수한 결과를 도출하는 경우가 있는데, 이는 기계

가공시간이 긴 경우 입력 버퍼에서 대기하고 있는 부품수가 출력 버퍼의 대기부품수에 비해 상당히 많아지므로 SPT 규칙과 같이 많은 작업량이 대기하는 경우에 높은 효율을

가지는 작업배정 방안이 높은 효율을 가질 수 있다. 그러나, 기계가공시간이 매우 길지 않는 경우라면 제시한 알고리즘이 우수한 결과를 보여주었다.

2.8 시뮬레이션 결과분석

여러 상황에서 기존 규칙과 제시한 알고리즘을 비교해 본 결과 제시한 알고리즘이 일반적으로 우수한 결과를 가질 수 있었다. 특히, 평균 지연시간의 수행 척도에 대해서는 언제나 우수한 결과를 가져온다. 또한, 본 알고리즘에서는 AGV의 운영시 차단상황을 우선 고려하고 유희작업장에 작업을 우선적으로 운반함으로써 작업장의 부하를 균형화하고 차단상황을 예방할 뿐만아니라, AGV가 운반할 때 추가서비스에 의해 공운반을 최소화하도록 노력하여 효율을 높이고 있다. 또한, 응용 SDT 규칙을 사용함으로써 기존의 SDT 규칙보다 기계이용도를 증가시키는 효과가 있는데, 그 이유는 응용 SDT가 단위시간에 더 많은 횡수의 운반작업을 수행할 수 있는 작업배정을 하기 때문이다. 특히, 제시한 알고리즘은 모든 경우에 있어서 Sabuncuoglu의 규칙보다 우수한 결과를 가져올 수 있었는데 이는 Sabuncuoglu의 규칙보다 동적인 상황을 더욱 면밀히 고려한 작업배정을 한 결과라 볼 수 있다.

3. 결론

본 연구는 CIM 시스템에서 AGV의 작업배정 문제를 해결하기 위해 동적 작업배정 알고리즘을 개발하였다. 제시된 알고리즘은 의사결정의 시점을 AGV의 운반 작업배정 측

면과 작업장에서의 기계가공 작업배정 측면의 두가지로 나누어 결정하도록 하였다. 또한 작업장별 균형을 고려한 작업배정과 본 연구에서 제시한 응용 SDT 규칙을 적용하여 유희시간을 최소화함으로써 기계 이용율과 AGV 이용율에 대한 효율을 높일 수 있었다.

제시된 알고리즘은 다소 복잡하며 AGV와 기계를 서비스 순간순간마다 제어하기위해 계산상의 복잡함을 수반한다는 단점을 가지고 있다. 하지만, 제시된 알고리즘은 다양한 상황에서 보편적으로 우수한 결과를 가져올 수 있었다. 이는 제시된 알고리즘이 기존의 연구보다 시스템 운영에서 발생할 수 있는 좀 더 동적 상황을 보다 세밀히 분석한 결과로 생각된다. 모의 실험내의 AGV 시스템 모형은 실제 현장에 비해 다소 단순화된 바가 있으나 본 연구에서 제시한 효율성제고방안을 평가하는데에는 충분하다고 생각된다.

추후 연구과제로는 여러 대의 AGV 운영시, 다른 AGV들 간의 상호 작업배정을 고려한 작업할당이 이루어질 수 있게 하는 문제와 양방향 운반경로를 고려한 문제를 들 수 있다. 특히, 양방향 운반경로 문제의 해결을 위해서는 AGV 이동시 충돌방지 문제를 전체 시스템의 효율의 저하를 극소화하면서 해결할 수 있는 방법이 연구되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Bartholdi, J. J. III and L. K. Platzman, "Decentralized Control of Automated Guided Vehicles on a Simple Loop," *IIE Transactions*, Vol. 21, No. 1, pp 76-81, 1989.

- [2] Chin-Ming, L. and D. shyh-hai, "Study of AGVS design and dispatching rules by analytical and simulation method," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 5, No. 4, pp. 290-299, 1992.
- [3] Dell'Amico, M., Fischetti M., and P. Toth, "Heuristic Algorithm for the Multiple Depot Vehicle Scheduling Problem," *Management Science*, Vol. 39, No. 1, pp 115-125, January 1993.
- [4] Dong-Soon, Y. and R. J. Linn, "Push and pull rules for dispatching automated guided vehicles in a flexible manufacturing system", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, No. 1, pp. 43-57, 1993.
- [5] Egbelu, P. J., "Pull versus Push Strategy for Automated Guided Vehicle Load Movement In a Batch Manufacturing System," *Journal of Manufacturing System*, Vol. 6, No. 3, pp 209-221, 1987
- [6] Egbelu, P. J. and J. M. A. Tanchoco, "Charecterization of Automatic Guided Vehicles Dispatching rules," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 22, No. 3, pp. 359-374, 1984.
- [7] Garry, A. K., "Automatic Guided Vehicle Systems : Application Controls and Planning," *Material Flow*, Vol. 4, pp. 3-16, 1987.
- [8] Karsiti, M. N., J. B. Cruz, and J. H. Mulligan, "Simulation Studies of Multilevel Dynamic Job Shop Scheduling Using Heuristic Dispatching Rules," *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 11, No. 5, pp 346-358, 1992.
- [9] MahaDevan, B. and T. T. Narendran, "Design of an automated vehicle-based material handling system for a flexible manufacturing system," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 9, pp. 1611-1622, 1990.
- [10] Maxwell, W. L. and J. A. Muckstadt, "Design of Automatic Guided Vehicle System," *IIE Transactions*, Vol. 14, No. 2, pp. 114-124, 1982.
- [11] Rajendran, C., "Heuristic algorithm for scheduling in a flowshop to minimize total flowtime," *Int. J. Prod. Economics*, Vol. 29, pp. 65-73, 1993.
- [12] Sabuncuoglu, I. and D. L. Hommertzheim, "Dynamic dispatching algorithm for scheduling machines and automated guided vehicles in a flexible manufacturing system," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 30, No. 5, pp. 1059-1079, 1992.
- [13] Shanker, K. and J. T. Ya-Juei, "A loading and dispatching problem in a random flexible manufacturing system," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 23 No. 3, pp. 579-595, 1985.
- [14] Shelton, D. and S. J. Marilyn, "A Selection Method for Automated Guided Vehicles," *Material Flow*, Vol. 4, pp 97-107, 1987.
- [15] Stoeva, S. P., "A due date-based dispatching rule for flexible manufacturing systems," *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 11, pp. 1991-1999, 1990.
- [16] Yih-Long, C., R. S. Sullivan, and J. R. Wilson, "Using SLAM to design the

material handling system of a flexible manufacturing system," *Int. J. Prod.*

Res., Vol. 24, No. 1, pp. 15-26, 1986.