

자동생산시스템에서의 효율적인 AGV 운영규칙에 관한 연구*

(An Efficient Dispatching Rule for AGVs in Automated Manufacturing Systems)

이영해** 한상돈***

Abstract

In this paper a dispatching rule, D^* , for AGV operations in automated manufacturing system is proposed to improve the performance measures. And the algorithm is compared with existing heuristic rules via simulation to evaluate its capabilities. It is shown that the proposed rule enhances mean flow time, makespan and throughput, and avoids the locking phenomenon which can be fatal to the operation of automated manufacturing systems.

1. 서론

일반적으로 지정된 위치에 따라 작동하는 자동시스템의 능력은 실행되고 있는 운영 제어기 능력에 의해 크게 좌우된다. 자동 물류 운반장치(automated material handing device)는 비

록 컴퓨터에 의해 조종되지 않는 장치보다 유연성과 생산성을 갖추고 있지만 운영 제어에 대한 복잡하고 힘든 문제를 갖게 된다. 이 제어 문제는 시스템의 자동화 단계에 따라 더욱 복잡하여진다. 이 문제를 해결하는 방법에 따라 전체 시스템의 운용 효율성이 결정되는데

* 본 논문은 1991년도 한양대 교내 연구비에 의하여 연구되었음.

** 한양대학교 공과대학 산업공학과

*** 유한킴벌리(주)

그 대표적인 예가 AGVS(automated guided vehicle system)이다. 각기 다른 작업을 수행하는 몇개의 기계로 구성되는 제조환경에서, 단위작업물은 필요한 모든 가공작업이 만족되기 전에 몇개의 기계를 방문하며 작업장을 순환하게 된다. 이것이 AGVS에서의 할당문제(dispatching problem)를 발생시키는 단위작업물의 이동(transition)이다. AGV는 운반업무가 끝난 다음, 작업을 받지 못한 작업물이 있다면 즉시 그 작업물이 있는 기계에 할당되어 작업 받아야 할 기계로 이동하게 되며 그렇지 않으면 AGV를 유휴하다고 지정하고 다른 이동 업무가 부여될 때까지 유휴상태로 남아있게 된다.

일반적인 운반장치의 할당문제는 1959년 처음으로 Dantzig와 Ramser[3]에 의해 다루어졌다. 그 이후로 대중교통[2], 항공[7, 11], 생산[12-16]등 여러 형태의 문제들이 다루어졌으며, 최근의 연구들은 자동생산시스템에서의 AGV의 효율적인 운용을 위한 AGV의 할당 및 설계에 대해서 많이 행해지고 있다[12-16].

작업물의 이동에 따르는 AGV의 할당문제는 두가지 종류가 있다. 첫번째 경우는 어떤 기계에서 이동되어야 할 작업물이 발생되었을 때 그 물품의 이동을 위하여 유휴한 AGV들로부터 운반업무를 수행할 AGV를 선택하는 문제이다. 이 할당 문제는 하나의 기계와 하나 이상의 AGV를 포함한다. 두번째 경우는 AGV의 서비스를 동시에 요구하는 기계들로부터 기계를 선택하는 문제이다. 이 문제는 하나의 AGV와 하나 이상의 기계들을 포함한다. AGV가 유휴

하게 된 시점에서, 작업장의 여러기계에서 물품 이동 요구가 존재하며, 기계들 중에 높은 우선순위를 갖는 기계에 AGV를 할당한다. 전술한 첫번째 종류의 문제를 '기계중심 할당문제(machine initiated task assignment problem)'라 불리어지며, 두번째 문제를 'AGV중심 할당문제(AGV initiated task assignment problem)'라 불리어진다.

그러나 두 종류의 문제를 위한 규칙들을 결합해서 시뮬레이션 해본 결과 기계중심 할당문제는 시스템의 상태에 별다른 영향을 주지 않았으며[5], 일반적으로 AGV중심 할당문제가 더 유의하다고 사료된다. 따라서 본 논문에서는 AGV중심 할당문제를 위하여, AGV위치(AGV point)에서 이동 요구점(pickup point)까지의 거리뿐만 아니라 이동 요구점에서 이동 목적점(delivery point)까지의 거리까지 고려하여 AGV를 할당하므로써 작업물의 흐름을 가속시켜 작업물의 작업장내의 소요시간을 줄이고 단위시간당 생산량을 증진시키도록 하며, 아울러 대기버퍼 크기의 상태를 고려하여 '정체현상(locking phenominon)'을 없애려는 논리를 첨가하는 효율적인 AGV 할당규칙(dispatching rule)을 개발하고자 한다.

2. 기존 할당 규칙

기존의 운반장치 중심 할당규칙[12-16]을 소개하면 다음과 같다.

- (1) RW(random workcenter)
기계를 랜덤하게 선택한다.
- (2) STT/D(shortest travel time/

distance)

AGV에서 가장 가까운 이동 요구점을 갖는 기계를 선택한다.

- (3) LTT/D(longest travel time/distance)

AGV로부터 가장 먼 기계에 할당한다.

- (4) MOQS(maximum outgoing queue size)

각 기계의 출력 대기버퍼에 대기중인 작업물이 가장 많은 기계를 선택한다.

- (5) MROQS(minimum remaining outgoing queue space)

각 기계에 남아있는 출력 대기버퍼의 크기가 가장 작은 기계를 선택한다.

- (6) MFCFS(modified first come first service)

FCFS(first come first service)의 개념을 이용한 규칙으로써 다음 논리로 기계를 선택한다. 가공작업을 받은 작업물이 곧바로 AGV에 의해 다음 기계로 이동되지 못할때 그 시간이 기록되며, 이 기록된 시간이 AGV 할당에 이용된다. 만약 한 기계에서 AGV 서비스를 받기 전에 그 기계에서 이동 요구가 또 들어오면 그 요구는 기록되지 않는다. AGV가 유힘해지면 각 기계에 대한 요청시간이 가장 빠른 기계를 선택한다. AGV가 한 기계에 할당 되었을 때, 그 기계의 대기중인 작업물이 하나이면 기록되지 않는다. 그 기계의 대상 작업물

이 둘 이상이면 그 할당된 시간이 기록된다. 이 규칙은 blockage는 고려되지 않지만 한 기계에 AGV의 요청이 기록된 시간과 그 요청이 서비스되는 사이의 소요시간이 줄어드는 장점이 있다.

- (7) ULSAT(unit load shop arrival time)

각 기계의 버퍼에서 대기중인 작업물 중 작업물의 대기시간이 제일 긴 기계를 선택한다.

3. D* 할당규칙

AGV 할당규칙에서 고려되는 요소는 두가지가 있는데 하나는 AGV가 움직이는 각 기계간의 거리이고 하나는 기계의 대기버퍼의 길이이다. 기존의 규칙중 STT/D 규칙은 단지 AGV 위치와 이동 요구점까지의 거리만을 고려했지만, 여기에서는 최근 인공지능분야에서 많이 사용하는 A* search algorithm[10]의 개념을 이용하여 이동 요구점에서 이동 목적점까지의 거리도 고려하여 AGV의 결정시점이 빨리 돌아오게 함으로써 작업장내의 작업물 이동을 가속화시켜 단위시간당 생산량을 증진시키도록 한다. 아울러 각 대기버퍼의 길이를 고려하여 제한된 대기버퍼 크기에 도달하는 기계에 AGV 할당을 우선으로 하여 정체 현상을 막으려는 논리를 첨가한 D* 할당규칙을 제시한다.

다음의 간단한 예는 D* 할당규칙을 STT/D 규칙과 비교했을 때 AGV 이동시간이 짧아짐을 알 수 있고 따라서 AGV 결정시점 순환시간(decision point cycle)이 짧아짐을 알 수 있다.

(그림1)은 자동생산시스템의 일부분으로 기계들의 거리와 AGV, 작업물들의 현위치 등을 나타낸 것이다. 결정시점에 있는 AGV의 위치가 기계3(M₃)에 있고, 기계4(M₄)에서 작업을 받은 작업물 1(J₁)이 기계4의 이동 대기버퍼에서 2번 기계(M₂)의 작업을 받기 위해 기다리고 있고, 기계2에는 작업물 2(J₂)가 출력 대기버퍼에서 기계1(M₁)의 작업을 받기 위해 기다리고 있다고 가정한다. AGV 위치 M₃에서 이동 요구점(각각 M₄, M₂)까지의 이동 시간을 계산하면 J₁이 x, J₂가 y(x>y)이므로 STT/D 규칙에 의하면 기계4의 작업물 1에 AGV를 할당하게 된다.

반면에 D* 할당규칙에 의하여 AGV 위치에서 이동 요구점(각각 M₄, M₂)까지와 이동 요구점에서 이동 목적점(각각 M₂, M₃)까지의 이동시간의 합을 계산하면

J₁에 대한 시간=x+(y+x)=2x+y이고

J₂에 대한 시간=x+y이므로

기계2에 있는 작업물2에 AGV를 할당하게 된다.

이때 결과를 보면 STT/D규칙을 사용했을 경우에는 이동시간이 2x+y이 되고, D* 규칙을 사용했을 경우에는 이동시간이 x+y이 되므로 D* 규칙에 의한 것이 AGV의 이동시간이 짧고 따라서 AGV 결정시점 순환시간이 짧아진다.

D* 규칙에 의한 AGV가 할당될 작업물을 결정하는 일반적인 과정을 정리하면 다음과 같다.

Step1 : 조건(1)을 만족하면 AGV 상태를

‘유휴’로 만들고 RETURN하고 그렇지 않으면 Step2로 간다.

$$NQ=0 \quad \dots\dots \text{조건(1)}$$

여기에서 $NQ = \sum_{j=1}^k OQ_j$ 이며

OQ_j : 이동을 기다리는 기계의 출력 대기버퍼 j에 있는 작업물 수
k : 총 기계 대수

Step2 : 작업장의 대기 버퍼들로부터 조건(2)를 만족하는 기계들이 있으면 그 기계들을 선택하고, 그렇지 않으면 모든 기계들을 선택한다. 그리고 Step2로 간다.

$$C_i \leq Q_i, \text{ 모든 } i \text{에 대하여} \dots \text{조건(2)}$$

여기에서 $C_i = MQ_i * \lambda$ ($0 < \lambda < 1$)

Q_i : 기계 i의 출력 버퍼에 있는 작업물의 수
MQ_i : 기계 i에 있는 출력 버퍼의 최대용량

Step3 : Step2에서 선택된 기계들 중 버퍼에 있는 모든 작업물에 대하여 조건(3)을 만족하는 작업물이 있는 기계에 AGV를 할당하여 작업물을 이동시킨다.

$$D^* = \min \{D_i\} \quad \dots\dots \text{조건(3)}$$

여기에서 $D_i = DP_i + 4DD_i$

DP_i : AGV 위치로부터 이동을 기다리는 기계 i까지의 AGV 이동시간
DD_i : 이동을 기다리는 기계 i로부터 이동목적점까지의 AGV 이동시간

4. 시물레이션

본 논문에서 제안된 D* 규칙과 비교적 효율이 좋은 기존의 MROQS, MFCFS, ULSAT 규칙들을 비교하기 위한 자동생산시스템(FMS) 모델(8)을 가정한다. 이 자동생산시스템에는 7대의 기계가 있으며 각기 다른 공정을 수행한다. 이 자동생산시스템의 구조는 <그림2>와 같다. 이 자동생산시스템은 자동창고(AS/RS)와 연결되어 있고 자동창고로부터 작업물이 들어오면 모든 기계작업이 끝난 작업물은 창고로 저장되게 된다. 각 기계의 작업 시간은 평균 a 값을 갖는 지수분포를 하고 작업물의 작업장내 도착시간은 평균 b 의 지수분포를 한다. 각 작업물의 작업 공정수는 평균 5, 표준편차 1인 정수값을 갖는 정규분포를 한다. 그러나 공정수는 2보다 크고 7보다는 크지 않다. 각 공정들을 수행하기 위한 기계들은 랜덤으로 할당한다. 시스템내에는 한쪽 방향(uni-direction)의 AGV 2대를 운영하고 있으며 각 AGV의 속도는 일정하다고 가정한다. <그림2>의 위쪽과 우측에 있는 숫자는 작업장내의 기계간의 거리를 AGV 이동시간으로 간단히 환산한 것이다.

기존의 논문에서는 출력 대기버퍼(outgoing queue)크기에만 제한을 두어 시물레이션을 수행했지만 본 논문에서는 출력 대기버퍼의 크기뿐만 아니라 작업 대기버퍼(ingoin queue)의 크기에도 제한을 두며 그 크기는 출력 대기버퍼의 크기와 동일하게 둔다.

본 논문에서는 D* 규칙과 기존 규칙들의 시물레이션을 위해 범용 시물레이션 언어인

SLAM II (9)를 사용하여 Discrete Event 시물레이션 기법을 사용하였다. 결과비교를 위한 평가기준으로는 다음과 같은 것들을 사용했다.

- 1) 생산량(TP, throughput)
- 2) 평균 흐름시간(MFT, mean flow time)
- 3) 총 작업완료시간(MS, makespan)

D* 규칙과 기존 규칙들을 비교하기 위해 시스템의 상태는 다음 세가지를 조합하여 변화시키면서 시물레이션을 실시해 보았다.

- 1) 각 기계의 평균 작업시간과 평균 작업물 도착시간의 비율
- 2) 각 기계의 평균 작업시간과 단위거리간의 평균 AGV 이동시간 비율
- 3) 출력 대기버퍼와 작업 대기버퍼의 크기 <표 1, 2, 3>은 각 출력 대기버퍼 크기와 작업 대기 버퍼 크기가 10이고 D* 규칙의 Step2의 $\lambda=0.8$ 로 두고, 단위거리간의 평균 AGV이동시간과 각 기계의 평균 작업시간의 비율에 대해 각 기계의 평균 작업시간과 평균 작업물 도착시간의 비율을 변경시켜 시물레이션 해본 결과이고 <그림 3>은 <표 2>에 나타나 있는 데이터의 일부분을 그래프로 나타낸 것이다.

5. 결과 분석 및 결론

D* 규칙과 ULSAT, MFCFS, MROQS 규칙을 비교 시물레이션 해본 결과는 다음과 같다.

- 1) 기계의 평균 작업시간과 작업물의 평균 도착시간의 비가 1:1일 때 기계의 평균 작업시간(PT)과 AGV의 평균

이동시간(TT)의 비가 20 : 1일 때의 D* 규칙에 의한 경우를 제외하고는 모두 정체 현상이 발생했다. 그리고 정체 현상이 일어날때까지의 완료 작업물수(TP)는 D* 규칙에 의한 경우가 다른 규칙에 의한 경우보다 훨씬 큼을 알 수 있다.

2) 기계의 평균 작업시간과 작업물의 평균 도착 시간의 비가 1 : 2일 때

기계의 평균 작업시간(PT)과 AGV의 평균 이동시간(TT)의 비의 값이 10보다 작을 때까지는 D* 규칙에 의한 경우가 나머지 규칙의 경우 보다 평균 흐름시간(MFT), 총 작업 완료시간(MS), 생산량(TP) 모두가 좋음을 알 수 있다. 그러나 비의 값이 10보다 커질 때는 평균 작업시간은 MFCFS가, 총 작업 완료시간은 ULSAT가 좋음을 알 수 있다.

3) 기계의 평균 작업시간과 작업물의 평균 도착시간의 비가 1 : 3인 경우

기계의 평균 작업시간(PT)과 AGV의 평균 이동시간(TT)의 비의 값이 10보다 작을 때까지는 세가지 평가기준 모두 D* 규칙에 의한 경우가 좋았고, 10보다 커질때에는 ULSAT에 의한 경우가 좋았다.

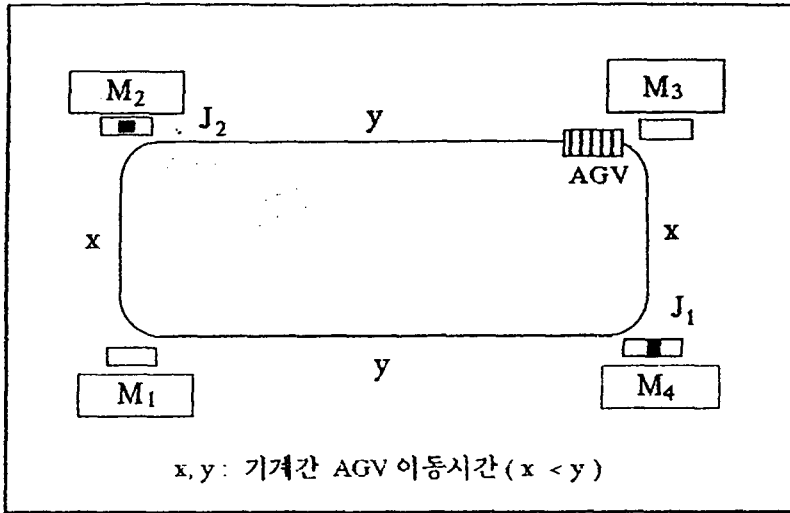
위의 결과들은 대기버퍼의 크기를 변경하였을 때도 마찬가지로 결과를 보였다.

결론적으로 D* 규칙을 이용했을 때는 시스템의 정체현상의 감소를 기대할 수 있으며 기계의 평균 작업시간과 AGV의 평균 이동시간의 비의 값이 상대적으로 작을 경우에는 D* 규칙을 적용하는 것이 시스템의 평균 작업시간, 총 작업 완료시간을 줄이고 단위시간당 생산량이 증가됨을 기대할 수 있다고 생각된다.

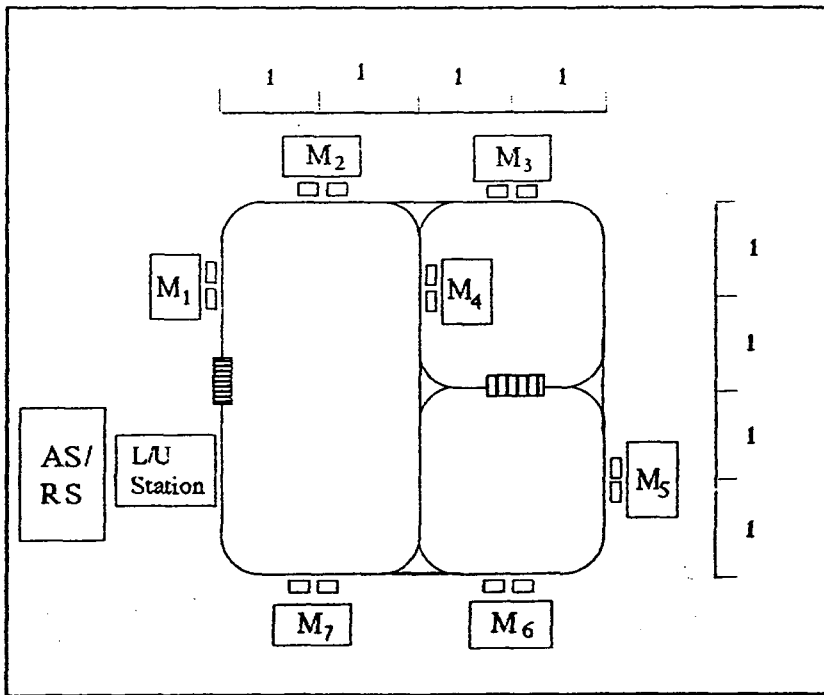
참 고 문 헌

- [1] Blair, E., "Vehicle Routing and Material Handling Subject to Stochastic Demand", *ORSA/TIMS Bulletin*, pp.72-75, 1980.
- [2] Bodin, U. and Golden, B., "Classification in Vehicle Routing and Scheduling", *Networks*, Vol. 11, pp.97-105, 1981.
- [3] Dantzig, G. B. and Ramser, J. H., "The Truck Dispatching Problem", *Management Science*, pp. 6-8, 1956.
- [4] Egbelu, P. J., "A Design Methodology for Operational Control Elements for Automatic Guided Vehicle based Material Handling Systems", Ph. D. dissertation, VPI& SU, Blacksburg, VA, 1982.
- [5] Egbelu, P. J. and Tanchoco, J. M. A., "Operational Considerations for Design of

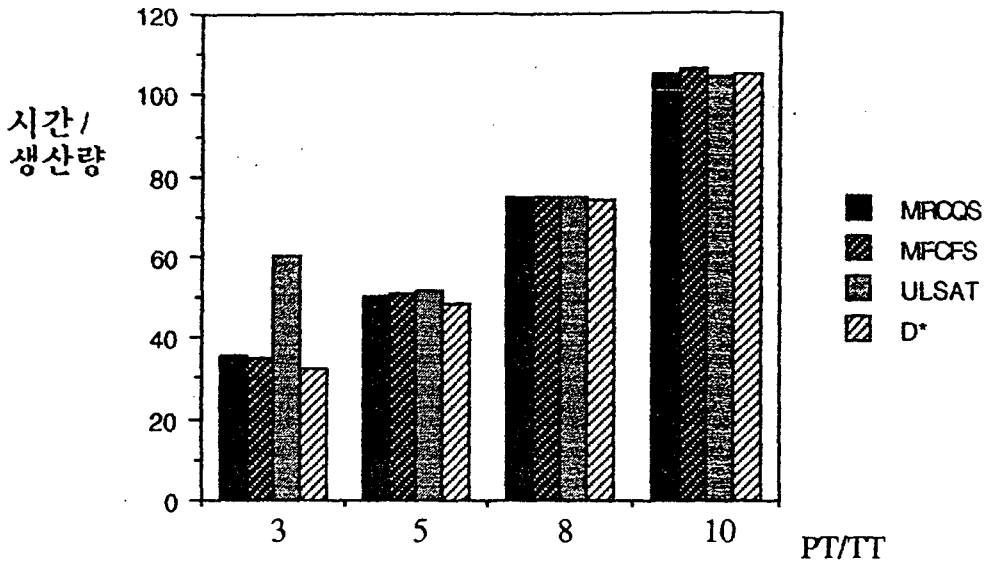
- Automated Guided Vehicle based Material Handling systems", *Technical Report* No. 8201, IEOR Dept., VPI & SU, Blacksburg, VA., 1982.
- [6] Gaskin, R. J. and Tanchoco, J. M. A., "Flow Path Design for Automated Guided Vehicle Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 25, No. 25, pp. 667-676, 1987.
- [7] McCloskey, J. R. and Hanssman, F., "An Analysis of Stewardess Requirement and Scheduling for A Major Domestic Airline", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 4, pp. 183-187, 1957.
- [8] Ranky, P., *The Design and Operation of FMS*, N-H PC., 1983.
- [9] Pritsker, A. A. B., *Introduction to Simulation & SLAM II*, 3rd Ed., John Wiley & Son., 1986.
- [10] Rich, E., *Artificial Intelligence*, McGraw-Hill, Inc., 1983.
- [11] Richardson, R., "An Optimization Approach to Routing Aircraft", *Transportation Science*, Vol. 10, pp. 52-59, 1976.
- [12] Charles J. M., "A Model for the Design of Zone Control Automated Guided Vehicle Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 10, pp. 1741-1758, 1990.
- [13] Kaspi, M. and Tanchoco, J. M. A., "Optimal Flow Path Design of Unidirectional AGV Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 6, pp. 1023-1030, 1990.
- [14] Grasso, V., "AGV-served Assembly Lines: Influence of Sequencing and Launch Policies on System Performances", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 7, pp. 1385-1399, 1990.
- [15] Amhadevan, B. and Narendran, T. T., "Design of An Automated Guided Vehicle based Material Handling System for A Flexible Manufacturing System", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 28, No. 9, pp. 1611-1622, 1990.
- [16] Gaskin, R. J., Tanchoco, J. M. A. and Taghgaboni, F., "Virtual Flow Paths for Free-ranging Automated Guided Vehicle Systems", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 27, No. 1, pp. 91-100, 1989.



〈그림 1〉 자동생산시스템의 예



〈그림 2〉 가상적인 자동생산시스템의 구조



<그림 3> 평균작업시간과 AGV 평균이동시간의 비가 1:2일 경우의 결과

<표 1> 기계의 평균 작업시간과 작업물의 평균 도착시간의 비가 1:1일 때

PT / TT		3	5	8	10	15	20
MROQS	MFT	*	*	*	*	*	*
	MS	*	*	*	*	*	*
	TP	93	58	74	77	70	86
MFCFS	MFT	*	*	*	*	*	*
	MS	*	*	*	*	*	*
	TP	63	58	68	70	81	86
ULSAT	MFT	*	*	*	*	*	*
	MS	*	*	*	*	*	*
	TP	23	58	90	90	83	86
D*	MFT	*	*	*	*	*	337.80
	MS	*	*	*	*	*	3374.19
	TP	75	140	140	141	139	148

* : 정체현상 발생

〈표 2〉 기계의 평균 작업시간과 작업물의 평균 도착시간의 비가 1 : 2일 때

PT / TT		3	5	8	10	15	20
MROQS	MFT	35.46	50.39	74.36	105.14	132.17	206.81
	MS	925.27	1539.11	2450.59	2352.91	4584.99	4705.29
	TP	117	99	58	46	31	31
MFCFS	MFT	35.14	51.06	74.77	106.34	131.99	206.72
	MS	928.09	1548.13	2450.33	2352.91	4580.38	4705.29
	TP	119	98	58	46	31	31
ULSAT	MFT	60.21	51.62	74.32	104.38	134.36	206.79
	MS	971.21	1562.47	2452.29	2352.91	4578.65	4705.29
	TP	121	100	58	46	31	31
D*	MFT	32.25	48.14	73.70	105.16	134.74	203.94
	MS	924.01	1533.41	2446.42	2352.47	4583.37	4705.29
	TP	121	100	58	46	31	31

〈표 3〉 기계의 평균 작업시간과 작업물의 평균 도착시간의 비가 1 : 3일 때

PT / TT		3	5	8	10	15	20
MROQS	MFT	27.78	41.20	61.64	91.24	108.64	228.87
	MS	1363.56	2269.48	3625.24	3055.71	3789.43	3986.06
	TP	113	60	43	50	22	29
MFCFS	MFT	28.29	41.35	61.65	91.48	108.64	228.16
	MS	1364.32	2269.48	3625.24	3055.71	3789.43	3986.06
	TP	113	60	43	50	22	29
ULSAT	MFT	28.81	41.21	61.64	91.71	108.64	228.06
	MS	1365.77	2269.48	3625.24	3055.71	3789.43	3985.33
	TP	133	60	43	50	22	29
D*	MFT	27.58	40.75	60.98	90.26	109.96	228.84
	MS	1360.37	2267.48	3625.04	3055.22	3790.03	3985.35
	TP	113	60	43	50	22	29