

유연생산 시스템에서 기계와 무인 운반차의 할당규칙에 관한 연구

-A Study on Machine and AGV Dispatching in Flexible Manufacturing Systems-

박성현*
Park, Sung-Hyun
노인규*
Ro, In-Kyu

Abstract

This study is concerned with the scheduling problems in flexible manufacturing systems(FMSs). The scheduling problem in FMSs is a complex one when the number of machines and jobs are increased. Thus, a heuristic method is recommended in order to gain near-optimal solutions in a practically acceptable time. The purpose of this study is to develop a machine and AGV dispatching algorithm. The proposed dispatching algorithm is a on-line scheduling algorithm considering the due date of parts and the status of the system in the scheduling process. In the new machine and AGV dispatching algorithm, a job priority is determined by LPT/LQS rules considering job tardiness. The proposed heuristic dispatching algorithm is evaluated by comparison with the existing dispatching rules such as LPT/LQS, SPT/LQS, EDD/LQS and MOD/LQS. The new dispatching algorithm is predominant to existing dispatching rules in 100 cases out of 100 for the mean tardiness and 89 cases out of 100 for the number of tardy jobs.

1. 서론

유연생산 시스템은 자동 자재 운반 및 보관 시스템을 통해 서로 연결되고, 통합 컴퓨터 시스템에 의해 제어되는 가공 스테이션군으로 구성되며, 대량 생산 방식과 주문 생산 방식의 장점을 결합한 생산 시스템이다[11]. 그러나 유연생산 시스템은 과거의 생산 시스템에 비해 상당히 복잡하기 때문에 시스템의 설치와 효율적 운영에 많은 어려움을 가지고 있는데, 이는 크게 시스템의 설계, 계획, 일정계획, 통제 등의 문제로 나뉘질 수 있다[10].

본 연구에서는 시스템의 효율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 고객의 주요 요구사항 중 하나인 납기를 고려한 실시간 일정계획 문제를 다루고자 한다. 유연생산 시스템의 일정계획은 빠른 시간 안에 최대의 효율로 고객의 요구를 충족시키기 위해 필요한 작업들을 기계와 AGV 그리고 다른 보조 장비에 할당하는 것이다. 많은 학자들이 이 분야에 대하여 여러 방법을 제시하였으며, 이는 크게 수리적 방법, 발전적 해법, 모의실험에 의한 방법 그리고 최근 각광 받고 있는 인공지능을 이용한 방법으로 분류된다.

* 한양대학교 산업공학과

수리적 방법은 명확한 목적식과 제약식으로 표현되는 최적화 문제로서 문제가 커지면 계산량이 크게 늘어나 푸는데 많은 시간이 걸리거나 풀리지 않는 문제도 있다. 반면 발견적 해법은 전역 최적해를 보장하지는 않지만 수리적 방법의 단점인, 문제가 커질 경우 계산량이 급속히 증가하는 문제를 피하기 위한 방법으로, 작업이 완료됐을 때 적당한 우선 순위 규칙에 의해 기계나 AGV에 작업을 할당하는 방법이다. 이때 사용되는 우선 순위 규칙은 어떤 특정 상황에서만 효율적이라는 단점을 가지고 있다. 최근에는 모의실험을 이용한 방법뿐 아니라 인공지능을 이용한 방법이 출현하고 있으며, 발견적 해법과 인공지능 또는 모의실험 방법을 결합한 해법도 제시되고 있다.

본 연구와 관련된 기존 연구는 다음과 같다.

Ro와 Kim[6]은 유연생산 시스템의 운영 통제 문제를 초기 투입 단계에서의 작업물 선정 문제, 일반 투입 단계에서의 작업물 선정 문제, 작업물-기계 할당 문제, 공정 선택 문제, 무인 운반차 작업분배 문제, 무인 운반차 이동경로 문제로 분류하여 해결하였다.

Montazeri와 Wassenhove[5]는 납기를 기준으로 한 여러 가지 할당 규칙에 대해 연구하였다. 이들은 기계의 여러 할당 규칙중 S/O가 가장 우수한 규칙이라는 결론을 내렸으며, AGV의 할당 규칙은 고려하지 않았다.

Egbelu와 Tanchoco[4]의 연구는 AGV 수행도가 할당규칙에 의해 영향받음을 입증한 최초의 논문중 하나로 여러 가지 할당 규칙을 비교하였다.

Klein과 Kim[3]은 다양한 AGV 할당규칙을 여러 수행도에 대하여 비교하였다. 이들은 AGV 할당 규칙을 크게 Single-attribute dispatching rule(LQS, STD)과 multi-attribute dispatching rule(SWAM, MAWM)로 분류하였으며, 실험 결과 퍼지 이론을 이용한 MAWM이 여러 수행도에 대하여 비교적 우수하다고 결론지었다.

Sabuncuoglu와 Hommertzhaim[7]은 모의실험을 통해 부품이 시스템에 머무는 평균시간에 대하여 기계와 AGV의 일정계획을 평가하였다. 모의실험 결과 가장 우수한 할당규칙은 기계의 경우 SPT 규칙이었으며, AGV는 LQS 규칙으로 나타났다.

Sabuncuoglu와 Hommertzhaim[8]은 모의실험을 이용해 다양한 시스템 환경에서 여러 납기 기준에 대하여 기계와 AGV의 할당규칙을 평가하였다. 모의실험 결과는 작업시간이 일양분포일 경우, 우수하다고 평가할만한 규칙은 없었으며, 지수분포인 경우에 기계는 MOD가 그리고 AGV는 LQS가 평균 지연 시간을 최소화하는 할당 규칙으로 나타났다.

본 연구는 유연생산 시스템에서 기계와 무인 운반차의 실시간 일정계획을 위한 새로운 할당 규칙을 제시한다. 제시한 할당 규칙은 작업장의 생산성 향상과 부품의 납기지연을 최소화하기 위해 각 부품의 작업시간, AGV의 상태, 가공 작업장의 상태 그리고 부품의 납기 정보를 고려해 부품을 할당하였으며, 부품의 평균 지연시간과 지연 작업 개수를 수행도로 사용하여 기존 할당 규칙과 비교하였다.

2. 알고리즘

2.1 개념

유연생산 시스템은 크게 가공 시스템과 물류 시스템으로 나뉘지며, 생산 활동은 두 서브 시스템의 밀접한 관계 속에서 이뤄진다. 예를 들면 가공 시스템의 작업 완료는 물류 시스템의 작업 도착을 의미하며, 마찬가지로 물류 시스템의 작업 완료는 가공 시스템의 작업 도착을 의미하게 된다. 따라서 각각의 서브 시스템은 서로 밀접하게 연관되어 있기 때문에 시스템 전체의 성능 향상과 납기를 준수하기 위해서는 두 시스템의 적절한 조화가 필요하며, 시스템의 환경과 상황에 맞게 자원을 할당해야 한다.

먼저 물류 시스템 경우, 무인 운반차는 시스템에서 완성품과 재공품을 이동시키는 중요한 역할을 한다. 따라서 AGV 할당 알고리즘은 부품의 납기, 가공 시간, 현 작업장의 출력 대기열, 다음으로 이동될 작업장의 입력 대기열, AGV의 현재 위치 등을 고려해야 한다. 특히 유연생산 시스템은 납기가 다른 여러 가지 부품을 동시에 가공할 수 있기 때문에 납기 준수를 위해서는 무인 운반차 역시 납기를 고려해 할당해야 한다.

물류 시스템과 마찬가지로 가공 시스템 할당규칙도 부품의 가공 시간, 납기, 가공 완료 후 이동될 다음 작업장의 대기열을 고려해 작업을 기계에 할당해야 한다.

2.2 내용

1) 기계의 할당 규칙

작업장의 입력 대기열에 있는 부품을 기계에 할당하기 위해 고려된 요소는 다음과 같다.

- 부품의 납기 : 부품의 납기지연을 최소화하기 위하여 대기하고 있는 각 부품의 납기를 고려한다. 만일 납기지연이 예상되는 부품이 있다면 가장 높은 우선 순위를 부여함으로써 납기지연을 최소화 할 수 있다.
- 부품의 가공 시간 : 하나의 배치에 대한 총 가공시간(makespan)을 최소화하기 위해 가공 시간이 가장 긴 작업물을 우선적으로 가공한다.
- 가공 완료 후 이동될 작업장의 대기열 : 부품의 납기와 가공 시간을 이용해 작업 우선 순위가 결정된 후 우선 순위가 같다면 가공 후 이동될 작업장의 대기열을 고려해 우선 순위를 결정함으로써 각 작업장의 부하를 평준화 할 수 있다.

2) 무인 운반차의 할당 규칙

AGV 할당 규칙은 다음 두 가지 경우로 나뉘며, AGV가 작업을 끝냈을 때 시스템 상황에 가장 적합한 할당 장소를 결정하기 위해서는 다음과 같은 정보를 사용해야 한다.

◆ AGV가 유휴한 순간에 작업장의 운반 요구가 없는 경우

작업이 끝난 작업장에서 작업 요구가 있을 때까지 대기한다.

◆ AGV가 유휴한 순간에 여러 작업장에서 운반 요구가 있는 경우

이 경우 AGV 할당 결정은 여러 가지 목적에 가장 잘 부합될 수 있는 작업장을 선택하기 위해 다음과 같은 요인들을 고려한다.

- 부품의 납기 : 납기가 임박한, 즉 납기와 남은 예상 가공 시간(이동시간 포함)을 비교해 납기를 지키지 못할 것이 유력하다면 가장 높은 우선 순위를 부여한다. AGV를 이용한 유연생산 시스템의 경우, 각 작업장에서 부품의 납기를 고려해 아무리 빨리 작업을 완료한다 해도 이를 AGV가 다음 작업장으로 이동시키지 않는다면 원하는 시간 안에 모든 작업을 완료할 수 없을 것이다. 또한 시스템에 긴급 주문이 도착한다면 시스템이 이에 반응할 수 있는 중요한 단서가 될 수 있다.
- 부품이 이동될 작업장의 대기열 : 가공이 끝난 부품이 이동되어야 할 다음 작업장의 입력 대기열이 길다면 미리 이동해서 기다릴 필요가 없다. 또한 다음 작업장의 입력 대기열에 여유가 전혀 없다면 이동 요구가 있어도 이를 허용하지 않음으로써 blocking을 방지할 수 있다.
- 각 작업장의 이동되어야 할 부품의 개수 : 여러 작업장에서 이동할 부품을 가진 경우 각 작업장의 대기열을 고려해 가장 많은 부품이 대기하고 있는 작업장을 선택함으로써 부품의 대기시간을 최소화 할 수 있으며, 부품의 흐름을 원활히 할 수 있다.
- AGV의 위치 : AGV의 이용률, 즉 빈 차량의 이동시간 최소화를 위한 요인으로 상황이 같다면 가까운 작업장의 부품을 먼저 이동시키는 것이 유리하다.

2.3 기계의 할당 규칙

부품의 가공을 위한 작업 우선 순위는 다음과 같이 결정된다.

Step1. 납기 체크

$$d_k - t > f \times R_k$$

Where,

d_k : 부품 k의 납기, t : 현재시간

f : allowance factor, R_k : 부품 k의 남은 가공 시간

Step2. 만일 작업장의 입력 대기열에 있는 부품k가 납기조건을 만족한다면 우선 순위는 다음과 같이 결정된다.(LPT rule)

우선 순위 지수 = $W1 \times$ 가공 시간 ($W1 = 1$)

그렇지 않다면

우선 순위 지수 = $W2 \times$ 가공 시간 ($W2 =$ 매우 큰 값(예 100))

Step3. 만일 우선 순위가 같다면 가공 후 이동될 작업장의 대기열이 작은 부품을 선택하고, 이것 또한 같다면 선입선출 적용(Tie-break-rule)

Step4. 우선 순위가 가장 큰 부품을 기계에 할당시킴

2.4 무인 운반차의 할당 규칙

무인 운반차의 작업 우선 순위는 다음과 같이 결정된다.

Step1. 만일 유희한 자동운반 차량이 하나만 있다면 그 차량을 선택

만일 두개 이상의 유희한 차량이 있다면 가장 가까운 차량을 선택

그렇지 않다면 차량의 이용이 가능할 때까지 대기하고 GOTO step2.

Step2. 만일 자동운반 차량이 유희해진 순간에 운반 요구가 하나만 있다면 그 작업을 수행.

만일 운반 요구가 여러 곳에서 발생했다면 GOTO Step3.

Step3. 이동되어야할 작업장의 입력 대기열 체크

만일 이동될 작업장의 대기열에 여유가 없다면 이동을 위한 우선 순위 결정에서 제외시킨다.

Step4. 이동되어야할 모든 부품의 납기를 체크함.

$$I_k = d_k - t - f \times R_k$$

Where,

I_k : 부품 k의 납기 만족 지수, d_k : 부품 k의 납기

t : 현재시간, f : allowance factor

R_k : 부품 k의 남은 가공 시간

Step5. 우선 순위 부여

만일 이동되어야할 부품 K의 납기 만족 지수가 양수라면 우선 순위는 다음과 같이 결정된다.(LQS rule)

우선 순위 지수 = $W1 \times$ 부품 k가 속해있는 작업장의 대기열 크기, $W1 = 1$

그렇지 않다면,

우선 순위 지수 = $W2 \times$ 부품 k가 속해있는 작업장의 대기열 크기,

$W2 =$ 매우 큰 수(예, 100)

step6. 우선 순위가 가장 큰 부품에 AGV를 할당함

step7. 우선 순위가 같은 부품이 발생한 경우에는 납기 만족지수가 가장 작은 부품(납기를 위반할 가능성이 가장 큰 부품)을 선택하고 이것 또한 같다면 선입선출 적용(Tie-Break-Rule)

3. 모의실험

본 연구에서는 제시한 알고리즘의 우수성을 입증하기 위해 가상 유연생산 시스템에 대하여 모의실험을 실시하였다. 모의실험을 위한 모델은 SLAM II[9]와 FORTRAN을 사용하여 개발하였으며, 그림 1은 유연생산 시스템의 가상 모델을 도식화한 것이다.

유연생산 시스템의 가상 모델은 유한한 버퍼(5개)를 가진 4개의 CNC 기계와 L/U Station으로 구성되어 있다. 이 모델에서 사용되는 무인 운반차는 두 대이며, 한 번에 하나의 팔렛만 옮길 수 있다. 각 작업장간을 이동하는데 소요되는 시간은 2분으로 가정하였다. (eg. L/U station에서 MC3까지의 이동시간: 4분)

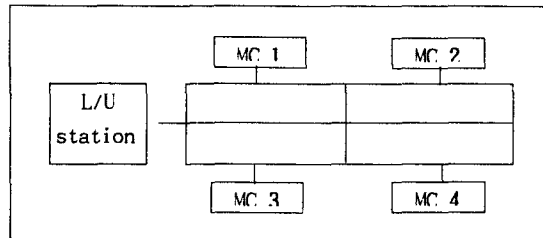


그림 1. 유연생산 시스템 모델

기계에 설치된 버퍼의 크기가 유한하기 때문에 각 작업장에서 blocking이 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 입출력 통제 및 흐름 통제로 작업장의 blocking을 방지한다[1,6].

입출력 통제의 경우 부품은 팔렛이 사용 가능할 때만 시스템에 투입될 수 있으며, 마지막 작업을 끝낸 부품은 AGV 작업 우선 순위 결정시(step 5) 가장 높은 우선 순위를 갖는다. 흐름 통제의 경우 팔렛이 모두 사용되지 않은 초기 단계에서는 납기가 가장 빠른 부품을 시스템에 우선 투입하며, 이후 투입은 무인 운반차의 할당 규칙을 따르도록 하였다. 본 연구에서 팔렛의 개수는 15개로 제한하였다.

표 1은 모의실험을 위해 사용된 샘플 데이터를 나타낸 것이다. 실험에 사용된 부품의 종류는 4가지(A, B, C, D)이며, 각 부품은 가공을 세 번한 후 시스템에서 방출된다. 또한 다양한 환경에서 할당규칙을 평가하기 위해 각 부품의 가공순서는 실험 수행시 둘 중 하나가 임의로 선택될 수 있도록 실험을 설계하였다.

표1. 실험에서 사용된 입력 데이터

부품종류	생산량	도착시간	도착간격	가공순서	가공시간
A	10	0	7	1-3-2 or (1-2-3)	지수분포(6)
B	6	50	15	2-4-3 or (2-3-4)	지수분포(7)
C	4	70	15	3-1-4 or (3-4-1)	지수분포(5)
D	6	100	10	4-1-2 or (4-2-1)	지수분포(6)

부품이 시스템에 도착했을 때, 납기는 TWK(Total WorK content) rule에 의해 결정된다[2,6]. 이 규칙은 납기를 정하는데 있어서 가장 효율적이라고 알려져 있으며, 부품K의 납기는 다음과 같이 결정된다.

$$D_k = t + F \times P_k$$

Where,

D_k : 부품 k의 납기, t : 부품 k가 도착한 시간

F : Flow allowance, P_k : 부품 k의 총 가공 시간

4. 모의실험 결과

본 연구에서는 개발한 알고리즘의 우수성을 증명하기 위해 기존 연구 결과와 비교하였다. 기존 연구 고찰에서 이미 언급했듯이 작업의 평균 지연 시간을 최소화하는 기계 할당 규칙은 MOD이며, 무인 운반차 할당 규칙은 LQS로 나타났다[7]. 그러나 이 논문에서는 기계 할당규칙에서 EDD나 MOD와 같은 납기를 고려한 규칙만 사용했으며, LPT나 SPT와 같은 할당 규칙은 실험에서 제외시켰다.

본 연구에서는 기존 연구와 달리 LPT와 SPT를 모의실험에 포함하였다. 모의실험 결과, 납기를 고려한 할당 규칙만을 대상으로 결과를 비교했을 때 기존 연구와 같은 결과를 얻었다. 그러나 이들 보다는 LPT(Longest Processing Time)규칙이 평균 지연 시간에 대하여 더 우수하게 나타났다. 이는 LPT 규칙이 부품의 납기를 고려하지는 않지만 하나의 배치에 대한 총 처리 시간을 최소화 할 수 있는 특징을 가지고 있기 때문이다.

무인 운반차의 할당 규칙 경우, 본 연구에서는 SDT와 FCFS를 제외한 LQS규칙만을 가지고 본 알고리즘과 비교하였다. 왜냐하면 기존 연구에 이미 나타나 있듯이 가장 가까운 작업장을 선택하는 SDT 규칙은 시스템이 blocking에 빠지기 쉽고, FCFS 또한 좋은 해를 주지 못했기 때문이다.

4.1 Allowance factor(f)와 Flow allowance(F)의 관계

Allowance Factor(f)는 제시한 알고리즘에서 사용되는 파라메타로 기계와 무인 운반차 할당을 위해 우선 순위를 결정할 때, 부품의 납기 위반 가능성 판단을 위한 파라메타이다. 그리고 Flow Allowance(F)는 시스템에 도착한 부품의 납기 결정에 사용되는(TWK rule) 파라메타이다.

모의실험 결과 Flow Allowance값을 변화시켰을 때, 제시한 알고리즘에서 사용된 Allowance Factor(f)는 Flow Allowance(F)값에 1을 더한 값을 사용하는 것이 가장 우수하였다. ($f=F+1$) 표 2는 두 파라메타 값을 변화시켰을 때 부품의 평균 지연시간을 나타낸 것이다.

표2. F와f의 변화에 따른 부품의 평균 지연시간

F \ f	3	4	5	6
3	65.32	58.19	59.22	59.39
4	45.55	38.62	34.07	34.15
5	20.59	19.11	13.06	12.03

4.2 평균 지연시간에 대한 비교

그림 2는 부품의 평균 지연시간에 대하여 본 연구에서 제시한 알고리즘과 다른 규칙을 비교한 것이다.

모의실험 결과 본 연구에서 제시한 알고리즘으로 부품을 할당한 경우 작업의 평균 지연시간에 대하여 100회의 실험을 각각 비교했을 때, 100회 모두 우수하였으며, 평균 또한 월등히 우수하였다.

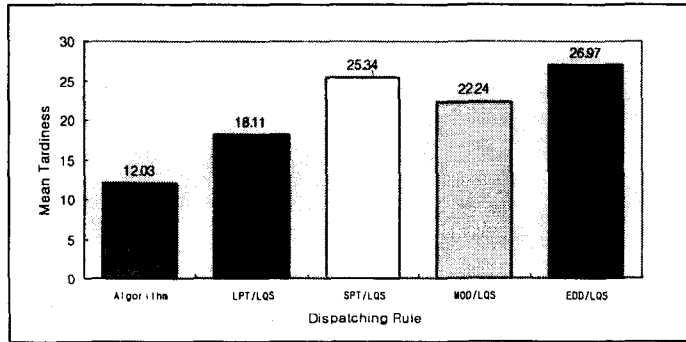


그림 2. 부품의 평균 지연 시간

4.3 납기를 위반한 부품의 개수에 대한 비교

그림 3은 납기를 위반한 부품의 개수에 대하여 본 연구에서 제시한 알고리즘과 다른 규칙을 비교한 것으로, 100회 실험 결과의 평균은 제시한 알고리즘이 가장 우수하다.

또한 본 연구에서 제시한 알고리즘과 다른 규칙을 100회 각각 비교했을 때, 제시한 알고리즘은 89회, LPT/LQS는 4회, SPT/LQS는 1회, MOD/LQS는 1회, 그리고 EDD/LQS가 2회 우수하였고, 세 번의 실험에서 제시한 알고리즘과 LPT/LQS 규칙의 결과가 같았다.

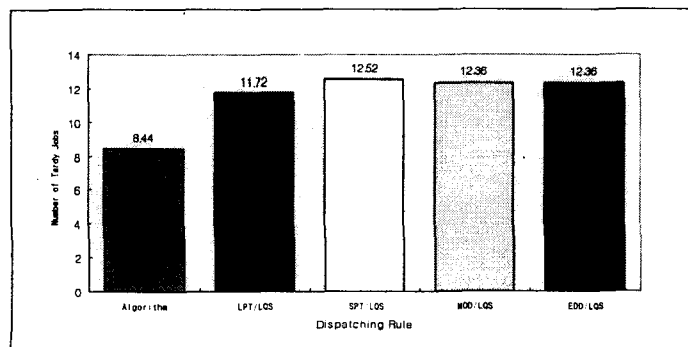


그림 3. 납기를 위반하는 부품의 개수

5. 결론 및 추후 연구과제

본 연구는 유연생산 시스템의 실시간 생산 일정 계획을 위한 기계 및 무인 운반차의 할당 규칙에 대한 것으로 제시한 할당 규칙의 목적은 고객의 만족을 높이기 위해 평균 지연 시간을 최소화하는 것이다.

먼저 기계의 할당 규칙 경우, 하나의 배치에 대한 총 처리 시간을 최소화 할 수 있다고 알려진 LPT규칙을 기본으로 하여 부품의 납기지연 가능성을 타진해 작업의 우선 순위를 결정하였다. 무인 운반차 할당은 운반해야 할 부품의 납기지연 가능성을 고려한 LQS규칙을 적용하여 알고리즘을 구성하였다.

즉 본 연구에서 제시한 알고리즘은 납기가 충분히 남아있는 경우에는 일반 할당 규칙중 가장 우수한 규칙으로 나타난 LPT/LQS 규칙으로 부품을 할당하고 납기가 임박한 부품이 발생한 경우에는 이를 우선적으로 처리함으로써 부품의 평균 지연 시간과 납기를 위반하는 부품의 개수를 최소화 할 수 있었다. 또한 수행도를 배치의 총 처리시간으로 했을 때, LPT/LQS 규칙보다는 못하지만 다른 규칙에 비해 상당히 우수한 결과를 산출하였다.

특히 본 연구에서 제시한 할당 규칙을 사용할 경우, 기계와 무인 운반차 모두 납기를 고려해 작업을 선택하기 때문에 고객의 긴급 주문이 시스템에 도착한다면, 시스템이 이에 적절히 대처할 수 있을 것이다.

추후 연구과제로는 부품 할당을 위한 우선 순위를 결정할 때, 필요한 요소들을 단계적으로 고려하기보다는 여러 요소들을 동시에 고려할 수 있는 해법을 개발하는 것이 필요하다.

參 考 文 獻

1. 노인규, 양시준, 자동생산체제에서의 작업할당 및 작업 우선 순위에 관한 연구, 한양대학교 대학원 산업공학과, 1993
2. Baker, K.R., Sequencing Rules and Due-date Assignment in a Job Shop, Management Science, Vol.30, No. 9, 1093-1104, 1984
3. Klein C. C. and J. Kim, AGV Dispatching, International Journal of Production Research, Vol. 34, No.1, 95-110, 1996
4. Egbelu, P.J., and Tanchoco, J. M. A., Characterization of automatic guided vehicle dispatching rules, International Journal of Production Research, Vol. 22, No. 3, 359-374, 1984
5. Montazeri, M. and Wassenhove, L.N., Analysis of Scheduling Rules for an FMS, International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 4, 785-802, 1990
6. Ro. I. K. and J. I. Kim, Multi-criteria operational control rules in Flexible Manufacturing Systems, International Journal of Production Research, Vol. 28, No. 1, 47-63, 1990
7. Sabuncuoglu, I, and Hommertzhein, D. L., Experimental investigation of FMS machine and AGV scheduling rules against the mean flow time criterion, International Journal of Production Research, Vol. 30, No. 6, 1617-1635, 1992
8. Sabuncuoglu, I, and Hommertzhein, D. L., Experimental investigation of FMS due-date scheduling problem : evaluation of machine and AGV scheduling rules, International Journal of Flexible Manufacturing Systems, Vol. 5, Iss. 4, 301-323, 1993

9. PRITSKER, A.A.B., Introduction to simulation and SLAM II, 1986
10. Stecke, K.E., Design, Planning, Scheduling and Control Problems of Flexible Manufacturing Systems, Annals of Operations Research, Vol. 3, 3-12, 1985
11. Van Looveren, A.J. and Gelders, L.F., and Wassenhove, LN., A Review of FMS Planning Models, Modeling and Design of Flexible Manufacturing System, 3-31, 1989