

납기를 고려한 FMS 일정계획에서의 기계선정규칙

문일경* · 김태우**

Next Station Selection Rules for FMS Scheduling against Due-date

Ilkyeong Moon* · Taewoo Kim**

ABSTRACT

Due-date is an important factor in Flexible Manufacturing System scheduling. Even though most of researchers have focused part selection and loading problem using fixed due-date assignment rules, FMSs consist of multi-function machines which facilitate alternative processes. This research investigates interactions of three dispatching mechanisms, three NSS (Next Station Selection) rules and four due-date assignment rules using simulation. Both cost-based and time-based performance measures are considered in this research.

1. 서 론

과거에 여러 가지 생산형태가 생성, 발전, 도태를 거듭하면서 생산현장에서는 다양한 생산운영 방식이 시행착오를 거듭하며 발전을 하였다. 그러나 현대에 이르러 시장 수요의 변화와 다양한 제품의 생산 및 부품군(part family) 자체의 변동은 빠른데 비해 기업의 대응 속도는 상대적으로 느린 편이다. 80년대 이후의 전기, 전자 기술의 발달과 과거의 대형 mainframe의 성능을 능가하는 PC의 전파로 생산 현장에서도 수요의 변화에 대응하기 위한 유연성(flexibility)을 가지는 생산시스템의 형태인 FMS(Flexible Manufacturing

System)가 등장하게 되었다.

FMS의 정의로는 명확히 통일되지는 않지만 “다수의 공작기계가 자동자재이송장치 - AGVs, forklift, stacker crane 등-에 연결되어 컴퓨터 운영체제하에서 다품종 소량 생산의 유연성과 생산성을 만족시키는 자동 생산 시스템”이다. FMS의 구성요소로는 다수의 CNC 또는 NC기계, 자동자재이송장치, 자동착탈장치(load/unloadstation)와 이러한 장치들을 연결하는 컴퓨터 운영시설로 구성되어 있다. <표 1>과 같이 FMS의 설치 및 운영은 크게 4가지 영역으로 나누어 진다.

기존의 FMS의 스케줄링문제의 해결 방법으로 크게 3가지의 영역에서 접근하였다[4]. 첫번째로

* 부산대학교 산업공학과 조교수

** 현대정보기술 자동화사업부

〈표 1〉 FMS 운영 및 구축의 문제

| 구 분 | 내 용 |
|---------------|---|
| Design 문제 | 1. 생산 대상의 부품군 결정 2. 부품을 가공할 기계의 댓수 3. 로봇의 댓수 결정 4. FMS의 설비 배치를 결정 5. Pallet, Fixture수의 결정 |
| Planning 문제 | 1. 가공 부품의 선정 2. 가공 기계군의 결정 3. 부품의 생산비율 결정 4. 작업 할당 |
| Scheduling 문제 | 1. 가공할 부품의 투입순서 결정 2. 일정계획기법 알고리즘 개발 및 개선 3. 기계의 가공순서 결정 |
| Control 문제 | 1. 기계의 운영 및 수리 보전 2. 재계획에 따른 대안경로의 평가 3. 공구의 관리 및 교환 결정 4. 장비의 예방 보전 결정 |

수리 계획법으로 모델화하는 방법으로 접근하였다. 모델 자체에 부가된 많은 가정과 문제의 해를 구하는데 많은 시간이 소요되며, 정적인 환경에 사용된다는 단점이 있으나, 복잡한 모델을 단순화하여 해결하려는 시도로 시작되었다. 초기의 FMS의 스케줄링문제의 해결 방법은 대부분 수리 계획법모델의 접근으로 시작되었다. 수리 계획법의 모델화 방법으로는 정수 계획법, 선형 계획법, 네트워크 programming 방법이 있다.

두번째로 시뮬레이션을 이용한 스케줄링방법이다. 이 방법은 주로 부품투입규칙(dispatching rule)을 사용하여 작업장의 평가기준(performance measure)에 대하여 측정하는 방법으로 사용되어 왔다. 수리 계획법과 달리 동적인 환경의 스케줄링이 가능하며 빠른 시간 내에 부품투입규칙에 대한 평가 결과를 제시할 수 있다.

세번째로 인공지능을 이용한 스케줄링방법이다. 인공지능을 이용한 스케줄링방법은 해결하는 문제의 크기가 큰 경우에 사용되어진다. 이 기법 중에 대표적인 기법인 전문가 시스템은 전문가적 지식을 가진 사람에 의해 지식 베이스에 기본 규칙이 저장되고 추론기관을 통해 사용자와의 상호작용으로 새로운 규칙이 학습이 된다. 전문가 시스템은 제한된 범위에서 효율적으로 해를 빨리 찾아 주는 장점이 있다. 최근에는 유전자 변화를 응용한 유전자 알고리즘, 과거의 사례를 데이터베이스에 저장하여, 그와 유사한 경우가 있는 경우 이를 다시 검색, 추론하는 사례추론기법 등이 사용되고 있다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 이용한 스케줄링 방법으로 접근한다. Choi and Malstrom [7]은 physical simulator를 사용하여 기계선정규칙 4개

와 부품투입규칙 7개를 사용하여 FMS 작업장-6대의 동일한 기계, 자동창고 1개, 5개의 자동자재이송장치-을 대상으로 6개의 평가기준을 사용하여, 기계선정규칙과 부품투입규칙의 조합인 28가지 경우를 의사결정조합으로 만들어 평가하였다. 이 실험의 결과로 부품투입규칙중 SLACK-납기 일까지의 남은 시간과 남아있는 총가공시간과의 차이를 최소화 하는 작업에 우선권을 주는 규칙-과 기계선정규칙인 WINQ(Work in Queue)-각 기계에서 가공후에 다음 기계의 대기열에 있는 작업의 가공 시간의 합이 가장 짧은 것에 우선권을 주는 규칙-의 조합이 평균재공량(Work-In-Process Inventory:WIP)면에서 우수하였다는 것을 보였다. 또한, SPT/WINQ의 조합 (여기서 SPT는 가공시간이 짧은 작업에 우선권을 주는 규칙)은 생산량(throughput)에서 우수하다는 것을 보였다. O'Keefe와 Kasirajan [11]는 9개의 부품투입규칙과 4개의 기계선정규칙을 FMS 작업장-16개의 기계와 그에 속한 임시 buffer, 9개의 자동착탈장치-에서 6개의 부품을 가공하는 경우에서 9개의 부품투입규칙과 4개의 기계선정규칙간의 상호작용을 비교하는 실험을 하였다. 이 실험의 평가기준은 체류시간(flowtime)을 사용하였다. 실험의 결과로 체류시간적 측면에서는 WINQ와 조합한 부품투입규칙이 우수한 결과를 보였고, 그 중 WINQ와 SIO/TOT(Shortest Imminent Ratio: 전체 작업시간에 대한 가공할 공정시간의 비율이 가장 작은 작업에 우선권을 주는 규칙)의 조합이 가장 나은 결과를 보였다.

FMS 또는 job shop에서 부품투입규칙을 사용하여 대기 장소(buffer, warehouse)에서 다음 가공할 작업을 선정하는 문제로 많은 연구를 하였다. 그러나 부품의 선정 뿐만 아니라, 다음 공정을 가공 가능한 대안기계가 존재하는 경우, 기계의 선정문제가 중요한 요소가 된다. 왜냐하면 다

음 가공할 기계가 대안공정이 가능한 경우, 각 기계에서의 공정 정보가 다르며, 작업장의 상태와 자재이송장치의 활용도도 함께 고려하여야 하기 때문이다.

기존의 기계선정규칙의 연구에서는 주로 처리 시간, 대기시간, 기계효율도에 관심을 가진 접근을 하였으나, 본 연구에서는 납기와 비용 관점에서 접근한다. 납기와 관련된 기준으로는 납기 지연 일수, 납기 지연 부품수, 평균지연시간을 사용하였다. 비용관점에서는 작업장을 운영함으로써 발생하는 비용적 지출 요소의 총합을 평가기준으로 삼는 총비용적 접근과 시간에 따른 돈의 가치를 고려한 현재가치법(NPV:Net Present Value)방식을 사용하였다. 본 연구에서는 총비용적인 평가 기준을 채택하여, 90년대 이후에서부터 작업장에서의 부품이 필요한 시기에 필요한 양 만큼을 조달하여 납기에 맞추어 생산하는 방식인 Just-In-Time(JIT)생산방식이 널리 효과를 얻음으로써, Tardy/Early PenaltyCost를 최소화하는 평가 기준을 사용하려 한다[15]. 위의 평가기준으로 본 연구에서는 기계선정규칙과 부품투입규칙을 사용하여 비용을 최소화하는 규칙의 조합을 찾고자 하는 것이다. 본 연구에서는 새로운 납기결정방법과 대안기계를 고려한 기계선정규칙을 한 가지씩 제시한다. 제시된 규칙들을 포함하여, 4가지 납기 결정방법과 3가지 기계선정규칙 및 3가지 부품투입규칙의 조합에 대하여 simulation을 사용하여 실험을 행하여, 제시된 규칙들의 우월성을 입증하려고 한다.

2. 기계선정규칙과 부품투입규칙의 비교

시물레이션을 이용한 스케줄링 문제에서는 주로 부품투입규칙을 사용하여 오랜연구가 진행이

되어 왔다. Panwalker와 Iskander [12]는 110가지가 넘는 부품투입규칙을 가공시간, 납기, 가공 준비시간, 공정수, 작업의 도착시간간격, 조합된 부품투입규칙으로 나누고, 각 규칙을 평가기준 별로 구분하여 정리하였다. Blackstone *et.al* [2]는 Panwalker와 Iskander의 정리와 가장 널리 사용되는 부품투입규칙 34가지를 제시하였다. 부품투입규칙이란 작업장 내에서 어떤 특정 기계에서의 가공을 기다리기 위해서 다수의 작업들이 기계 앞에서 대기하는 경우, 여러가지 작업들 중에서 다음 가공할 작업을 선택하는 규칙이다.

이러한 부품투입규칙은 대기하는 작업들에 대해 가공하려는 다음 기계의 대기열만을 고려하는 협의의 부품투입규칙과 가공할 기계의 대기열 외에 다른 기계의 대기열까지도 함께 고려하는 광의의 부품투입규칙으로 구분되며, 부품투입의 의사결정이 시간의 흐름에 관계없는 정적인 부품투입규칙과 시간의 흐름에 따라 바뀌는 동적인 부품투입규칙으로 구분된다.

부품투입규칙은 하나의 기계와 그 기계 앞에 기다리고 있는 작업을 선정하는 규칙인 반면 기계선정규칙은 작업장 전체 시스템에서 다음 가공할 기계를 선정하는 규칙이다. 즉 기계선정규칙은 임의의 작업이 임의의 기계에서 가공을 마치고, 다음 가공할 대안기계중 기계의 부하정보를 이용하여 대안기계중 하나를 선택하는 규칙이다.

2.1 부품투입규칙 (Dispatching Rule)

대기하는 작업기준으로 부품투입규칙은 광의의 부품투입규칙과 협의의 부품투입규칙으로 나눌 수 있다[3]. 협의의 부품투입규칙은 부품투입 후 가공할 기계의 대기열만을 고려하여 작업의 정보-가공시간, 준비시간 등-를 기준으로 가공할 부품을 선정한다. 협의의 부품투입규칙으로는 SPT

(Shortest Processing Time), LWKR (Least Work Remaining) 등이 있다. 광의의 부품투입규칙으로는 부품투입 후 가공할 기계의 대기열 뿐만 아니라, 다른 기계의 대기열에 있는 작업의 상황을 고려하여 부품을 선정한다. 광의의 부품투입규칙으로는 AWINQ (Anticipated Work In Next Queue), FOFO(First Off First On) 등이 있다.

시간흐름 측면에서의 부품투입규칙은 동적인 부품투입규칙과 정적인 부품투입규칙으로 나눌 수 있다. 정적 부품투입규칙은 부품투입의 우선순위가 시간의 흐름에 관계없이 정해지는 규칙을 말한다. 정적인 부품투입규칙으로는 FASFS (First Arrival At The Shop First Service), TWORK (Total Work), EDD(Earliest Due Date) 등이 있다. 동적 부품투입규칙은 부품투입의 우선순위가 시간의 흐름에 따라 바뀌는 규칙을 말한다. 동적 부품투입규칙으로는 FCFS (First Come First Service), MST(Minimum Slack Time), OPNDD (Operation Due Date), S/OPN (Slack Per Operation) 등이 있다.

기존의 연구에서는 job shop과 같이 각 기계가 전용기계로 가정한 경우는 기계의 선정이 큰 문제가 되지 않았고, 각 부품투입규칙을 혼합하여 작업의 우선순위를 정하는 것으로 하였다. 그러나 이러한 부품투입규칙의 조합이 반드시 높은 성과를 가져다 주는 것은 아니다. 현재의 다품종 소량 생산시스템 상황에서는 각 기계가 대안공정을 수행 가능하며, 기계군(machine cell)으로 형성하여 운영하는 것이 대부분의 FMS 운영 형태이다. 이런 경우에 있어서 buffer에서의 대기열의 부하조정이 중요한 문제가 될 것이다. 이에 대안기계가 있는 경우에 각 기계에서의 release time시에 다음 기계의 대기열의 상태를 확인하여, 다음 가공할 기계를 선정해야 하는 것이 작업장의 효율을

높일 수 있다. 이에 기계선정규칙인 NSS rule이 제시되었다 [11].

2.2 기계선정규칙(NSS Rule:Next Station Selection Rule)

기계선정규칙은 부품투입규칙과 달리 다음 가공 가능한 대안의 기계가 존재하는 경우 기계 및 운반도구를 선정하는 규칙이다. 이 규칙을 제시한 것은 O'Keefe와 Kasirajan [11]로서 다음과 같다. 이들의 기계선정규칙은 기존의 부품투입규칙만을 사용하는 것과는 달리 기계의 선정에도 의 사결정을 한번 더 고려한 것이다.

1. NS (Nearest Station)

각 기계에서 가공 후에 다음 기계로 이동시에 가까운 거리의 기계에 우선권을 준다.

2. WINQ (Work in Queue)

각 기계에서 가공 후에 다음 기계의 대기열에서 대기중인 작업의 가공시간의 합이 짧은 기계에 우선권을 준다.

3. NINQ (Number in Queue)

각 기계에서 가공 후에 다음 기계의 대기열에서 대기중인 작업의 수가 작은 기계에 우선권을 준다.

4. LUS (Lowest Utilization Station)

기계에서 가공 후에 다음 선택할 기계중에서 기계의 활용도가 낮은 기계에 우선권을 준다.

위의 NSS rule중 WINQ, NINQ는 다음 가공할 기계의 부하의 정도에 따라 우선권을 주며, NS는 물류흐름 측면에서 가공물의 이동 거리가 최소인 것에 우선권을 준다. LUS는 기계활용도 측면에서 균형을 이루기 위한 기계선정규칙이다.

3. TEFS (Tardy Early Flowtime Sampling) 납기결정방법

납기란 고객의 주문에 약정한 기일까지 제품을 완료하는 시간을 의미한다. 납기를 결정한다는 것은 주로 과거의 자료를 사용하여 체류시간을 측정하는 것이다. 그러나 납기를 결정하는 체류시간의 측정은 작업장의 변동-기계의 고장, 작업자의 이상 등-에 의해 정확히 추정함은 어려운 실정이다. 그리고 기업의 입장에서는 제품의 리드타임을 결정하는 것으로 기업내부의 요소와 외부 협력업체와의 지연되는 시간적 요소들을 고려하여, 완성품의 재고와 납기지연으로 발생하는 비용을 최소화하려는 목적으로 납기를 결정하여야만 한다. 기존의 연구에서는 납기 결정에 있어서 작업의 속성-공정의 수, 가공시간 등-에 관심을 가지고, 작업의 성격이나 작업장의 상태에 대하여는 크게 고려하지는 않았다.

기존의 납기결정방법을 구분하여 설명을 하면 크게 3가지로 구분된다. 첫째로 외부적인 요소-시장환경, 경쟁 회사와의 제품의 리드타임 차이 등-로 결정되는 납기결정방식이다. 그러나 외부적 요소에 의한 납기결정방법은 도착할 작업, 작업장에 도착해 있는 작업, 작업장의 구조에 대해서는 무시한 방법이기도 하다. 둘째로 내부적인 요소-작업의 속성, 작업장의 상태, 작업장에서 내부적 환경, 제품의 가공시간, 제품의 생산비용 등-로 결정되는 납기결정방식이 있다. 셋째로 작업장 상태정보인 작업장의 밀집도를 고려한 방법도 있다[5]. Cheng [6]은 기계 1대에서의 작업당 최적의 가공시간을 구하고, 이것을 전체 작업수에 곱하여 납기를 결정하는 것을 수리적으로 모델링하였다. 시뮬레이션에 의한 납기결정방법에 대한 연구로는 Weeks와 Fryer [17]가 작업장에서의 납기의 결정은 납기의 엄격한 정도 뿐만 아

나라 부품선정규칙과 작업자의 할당문제 등이 서로 영향을 미치게 되어, 이러한 요소들의 조정이 체류시간 측정에 고려되어야 한다는 것을 JobShop 모형에서 시물레이션으로 보였다. Ragatz와 Mabert [14]는 FMS모형에서 8가지의 납기결정 방법, 2가지의 납기의 엄격한 정도, 3가지의 부품 투입규칙을 사용하여 실험을 하였다. 그 결과로 작업장 상태 정보가 납기결정에 있어서 중요한 요소가 된다는 것을 보였다. Conway [8]는 내부적 요소에 의한 납기결정법이 외부적 요소에 의한 납기결정방법보다 낫다는 것을 Job Shop모형에서의 시물레이션 실험을 통해 보였다. Eilon과 Chowdhury [9]는 Job Shop모형에서 작업장의 밀집도 정보를 이용하는 것이 작업의 속성을 아는 것보다 평균지연작업을 최소화하면서 납기결정을 하는데 우월하다는 것을 시물레이션을 통해 입증하였다. 최근에는 dedicated job shop하에서의 부하를 고려한 작업별 완료시간을 최소화하는 알고리즘을 제시하여 기존의 납기결정 방안과 시물레이션으로 비교한 논문이 발표되었다 [1].

3.1 기호 정의

- i : 작업(job, part)의 index
- j : 공정(operation)의 index
- k : 기계(machine)의 index
- s, s_1, s_2 : 여유율
- t : 의사결정 시점
- e_i : 작업 i 의 난수
- d_i : 작업 i 의 납기일
- d_{ij} : 작업 i 의 j 번째 공정의 납기시간
($d_{ij} = d_{i-1} + s * p_{ik}$)
- o_{ij} : 작업 i 의 j 번째 공정을 가공가능한 기계의 집합
- p_{ik} : 가공할 기계 k 에서 작업 i 의 공정 j 를 가

- 공할 경우 가공시간
- p_{ij} : 작업 i 의 j 번째 공정의 평균가공시간
$$\left(\frac{\sum_{k \in o_{ij}} p_{ik}}{|o_{ij}|} \right)$$
- p_i : 작업 i 의 평균가공시간
$$\left(\sum_{j=1}^{n_i} \left(\frac{\sum_{k \in o_{ij}} p_{ik}}{|o_{ij}|} \right) \right)$$
- r_i : 작업 i 의 도착시간
- n_i : 작업 i 의 공정수
- n'_i : 작업 i 의 잔여 공정수
- N_T : 지연(tardy)된 작업의 수
- N : 완료된 작업의 총수
- C_i : 작업 i 의 완료시간
- \bar{T}^* : 작업당 평균 체류시간
- F_{Ti} : 납기지연 (tardy)된 작업 i 의 체류시간
- F_{Ei} : 조기완료 (early)된 작업 i 의 체류시간
- \bar{F}_T : 납기지연(tardy)된 작업당 평균체류시간
- \bar{F}_E : 조기완료(early)된 작업당 평균체류시간
- F_i : 작업 i 의 체류시간(flow time)
- $F_{(i)}$: 최근 (i)번째 완료된 작업의 체류시간.
- $N_{(i)}$: 최근 (i)번째 완료된 작업의 공정수.
- \bar{F}^* : 작업당 평균공정시간
- W_k : 가공 가능한 기계 k 의 대기열에서 작업의 가공시간의 합
- R_k : 가공가능한 기계 k 에서의 잔여 가공시간
- α_i : 조기완료된 작업 i 의 가중비용(weighted early cost)
- β_i : 납기지연된 작업 i 의 가중비용(weighted tardy cost)
- L_i : 작업 i 의 납기지연(lateness)
- Q_i : 기계에 대기하는 작업 i 의 대기열 길이
- WIQ_K : 가동중인 기계 k 에서의 대기시간

3.2 납기결정방법

1. 외부적인 요소에 의한 납기결정방법

(a) Constant (CON) : 모든 작업에 일정한 여유율(s)을 반영한다

$$d_i = r_i + s$$

(b) Random (RAN) : 작업 i 에 대해 무작위적으로 여유율(e_i)을 반영한다.

$$d_i = r_i + e_i$$

2. 내부적인 요소에 의한 납기결정방법

(a) Slack (SLK) : 작업 i 의 가공시간에 동일한 대기시간 (D)을 반영한다.

$$d_i = r_i + p_i + D$$

(b) Number of Operation (NOP) : 작업 i 의 수행해야 할 공정수에 평균대기시간을 나타내는 여유율(s)을 반영한다.

$$d_i = r_i + sn_i$$

(c) Total Work (TWK) : 작업 i 의 총 가공시간에 평균대기시간을 나타내는 여유율(s)을 반영한다.

$$d_i = r_i + sp_i$$

3. 작업장 상태정보를 이용한 납기결정방법

(a) Jobs in Queue (JIQ) : 작업 i 가 작업장에 투입될 때 가공경로의 기계에 대기하는 작업의 수와 가공시간의 합에 여유율을 동시에 반영한다.

$$d_i = r_i + s p_i + s_2 Q_i$$

(b) Work in Queue (WIQ) : 작업 i 의 가공시간의 합과 기계 k 가 가동중일 때의 대기시간에 여유율을 동시에 반영한다.

$$d_i = r_i + s p_i + s_2 (WIQ_k)$$

위의 납기결정방법들은 정적인 납기결정방법이다. 최근 연구에서는 동적인 납기결정방법의 접근으로 Vig와 Dooley [16]가 작업장의 밀집도 정보를 이용한 동적인 납기결정방법을 개발하였다. 그들이 사용한 납기결정방법은 가장 최근에 완료된 작업 3개를 샘플링한다. 그리고 작업의 공정의 수를 각각 나누어 체류시간을 추정하는 방법 (OFS: Operation Flowtime Sampling)을 사용했다. 이러한 체류시간 측정방법인 OFS 샘플링은 가장 최근의 작업장의 밀집도 정보를 알기 위한 방법이다. 아래 식에서 최근 완료된 3가지 작업의 공정별 평균체류시간 \bar{F}^* 를 먼저 구한 후 새로 도착하는 작업 i 의 공정수 N_i 를 \bar{F}^* 에 곱하여 체류시간을 추정한다. 이렇게 구한 체류시간에 여유율 s 를 곱한 후에 작업 i 의 도착시간을 더하여 납기를 결정한다.

$$\bar{F}^* = (F_{(1)} / N_{(1)} + F_{(2)} / N_{(2)} + F_{(3)} / N_{(3)}) / 3$$

$$F_i = \bar{F}^* \times N_i$$

$$d_i = r_i + s F_i$$

TWK 납기방법으로 시뮬레이션 수행후 납기에 대하여 가장 최근에 조기완료된 작업 3개와 가장 최근에 납기지연된 작업 3개를 평균하는 납기결정방법 (TEFS: Tardy Early Flowtime Sampling)을 제시한다. 이것은 TWK의 납기결정 방법을 수행후 각 작업에 대하여 납기지연 및 조기완료의 정보를 사용하여 납기에 대한 편차를 줄이려는 의도로 시행하는 것이다.

$$\begin{aligned} \bar{F}_E &= (F_{E(1)}/N_{(1)} + F_{E(2)}/N_{(2)} + F_{E(3)}/N_{(3)}) / 3 \\ \bar{F}_T &= (F_{T(1)}/N_{(1)} + F_{T(2)}/N_{(2)} + F_{T(3)}/N_{(3)}) / 3 \\ \bar{F}^* &= \frac{\bar{F}_E + \bar{F}_T}{2} \quad F_i = \bar{F}^* \times N_i \\ d_i &= r_i + sF_i \end{aligned}$$

위의 납기결정방법과 더불어 기존의 기계선정규칙을 이용한 연구에서는 체류시간 측면으로의 기계선정을 하였으나, 본 연구에서는 대기시간과 대안기계에서의 다음 가공할 작업의 가공시간을 고려한 기계선정규칙인 AMWINQ(Alternative Machines based WINQ)를 제시한다.

$$AMWINQ \quad \min_k [W_k + p_{ik}]$$

4. 시뮬레이션 실험

납기를 고려한 경우에서의 기계선정규칙의 실험에서는 3가지요인을 고려한다. 납기결정방법의

4수준-TWK, NOP, OFS, TEFS-과 대안기계를 고려한 기계선정규칙인 AMWINQ와 기존의 기계선정규칙 WINQ, NINQ의 3수준과 부품선정규칙인 부품투입규칙 3수준-SPT, EDD, MOD-을 조합하여 실험한다. (따라서 총 36가지의 실험조합이 발생한다). 각 작업마다 납기가 다른 경우로 가정한다. 본 연구와 기존의 연구에서 제시된 규칙을 구분하여 실험하는 방법을 <표 2>에 구분하여 나타내었다.

본 연구의 시뮬레이션 실험은 dedicated FMS-생산비율과 가공경로가 결정된 FMS모델-모델로 SIMAN을 사용하여 작성하였다. 안정화 상태(Steady-State)의 결과치를 얻기 위해 시뮬레이션 수행 시간은 345,600단위시간(2교대×8시간×1주일×3600)으로, 5,000단위시간의 Warm-up 시간을 가졌고, 각 수행마다 20번의 반복을 실행하였다.

<표 2> 실험 구성표

| | 납기결정방법 | 부품투입규칙 | 기계선정규칙 |
|--------------------|-------------------|-----------------|--------------|
| 기존의 연구 내용 Rule | TWK NOP OFS | SPT, EDD MOD | WINQ NINQ |
| 본 연구에서 제시된 Rule | TEFS | | AMWINQ |

4.1 실험의 가정

1. 각 기계는 한번에 두 개의 작업을 동시에 수행할 수 없다.
2. 각 기계는 작업 도중에 다른 작업의 간섭을 받지 않는다.
3. 각 기계는 하나 이상의 공정을 수행 가능하다.

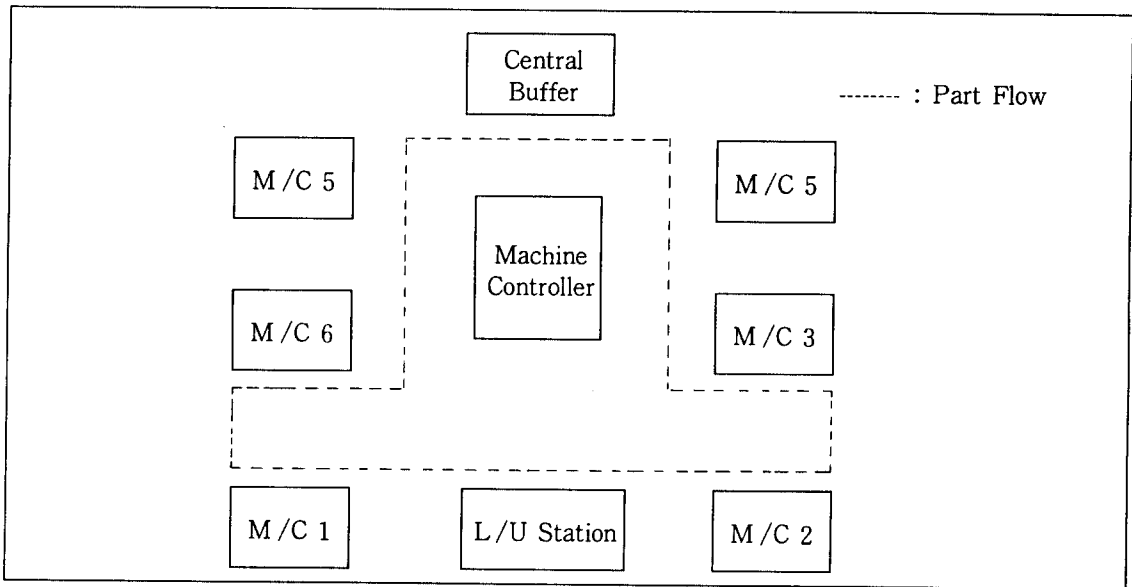
4. 각 기계의 고장이나 수리보전 시간은 고려하지 않는다.

4.2 대상시스템의 정의

실험대상이 되는 순환형 FMS는 기계6대로 구성되며 각 기계는 3가지 이상의 공정이 가능하고, 자동착탈장치 1개, 가공이 끝난 작업은 중앙임시

창고로 모아진다<그림 1>. 가공물과 기계는 컴퓨터 콘트롤러에 의해 정해진 경로로 운영된다.

1. 기계는 6대이다.
2. 작업의 도착 분포는 지수분포로 하며, 각 작업별 생산비율은 동일하다.
3. 작업의 종류는 10개이다.
4. 각 작업의 공정수는 6-8개이다.
5. 각 작업의 공정순서는 <표 3>과 같다.
6. 작업의 각 공정별 가공시간은 정규분포를 가진다.
7. 각 기계는 input buffer을 가진다. (buffer capacity는 10)
8. 자동착탈장치는 loading시와 unloading시 각각 다른 처리시간 정규분포를 가진다.
9. 납기 지연에 따른 가중비용으로는 작업당 \$10-\$15, 조기완료에 의한 완제품 재고유지비용은 작업당 \$4-\$6로 정한다.



<그림 1> FMS모델의 배치도

<표 3> 작업종류별 공정순서

| 작업 | 공정순서 |
|----|-------------------------------|
| 1 | B → A → C → F → E → I → D → G |
| 2 | B → C → F → D → I → A → C |
| 3 | C → G → A → D → B → E → I |
| 4 | F → B → C → D → H → J |
| 5 | A → C → F → G → E → B → J → I |
| 6 | C → D → E → F → G → I |
| 7 | A → H → C → B → D → E → J → I |
| 8 | A → G → F → D → B → C → I |
| 9 | A → H → F → B → D → J → C → I |
| 10 | B → E → F → D → A → H |

4.3 평가 기준 (Performance Measures)}

기존의 연구에서는 다양한 단일 평가기준을 사용하여 결과치를 평가하였다. 물론 본 연구에도 기존의 납기 지정의 연구에서와 같이 평균 지연 시간, 평균 지연작업의 수 등을 사용하고 있으나, 특히 90년대 이후의 적시 생산인 Just-In-Time (JIT)생산방법과 같이 조기완료나 지연을 최소화하려는 방법이 널리 사용하게 되었고, 이러한 평가기준은 Toyota사에서 효과적으로 사용함으로써 생산성과 이익을 크게 향상시킬 수 있었다 [10]. 본 연구에서도 두 비용을 최소화하는 평가 기준을 추가하여 평가하려고 한다. 아래의 평가 기준에서와 같이 비용적요소의 평가기준인 총비용과 시간적요소의 평가기준인 평균지연시간과 평균체류시간으로 구분되어져 있다[13].

- a) 총비용(Total Cost : Weighted Tardy / Early Penalty Cost)

$$F(S) = \sum_{i=1}^n (\alpha_i E_i + \beta_i T_i)$$

- b) 지연 작업비율(Percentage of Number of Tardy Jobs)

$$N_T / N$$

- c) 평균 지연시간(Mean Tardiness)

$$M_T = \sum_{i=1}^n \max(0, L_i) / N_T$$

- d) 평균 체류시간(Mean Flowtime)

$$M_f = \sum_{i=1}^n (C_i - r_i) / N$$

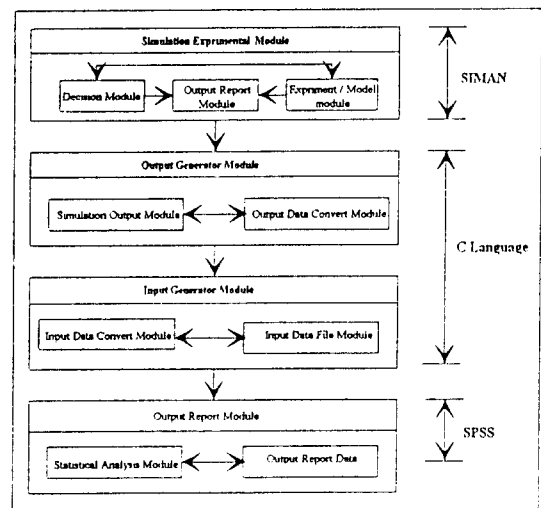
- e) 평균 대기열의 길이(Mean Queue Length)

- f) 제품 생산율(Throughput Rate of Products)
Number of Products Produced / Makespan

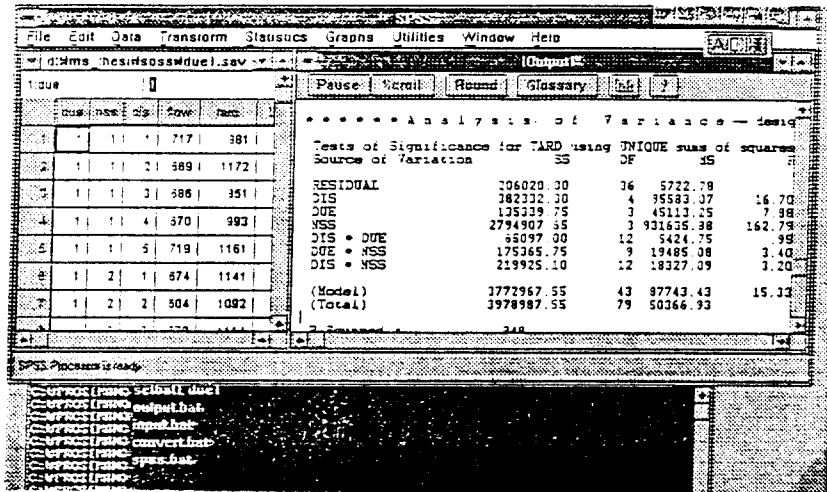
4.4 실험의 결과 및 분석

납기를 고려한 기계선정규칙은 여러 기준을 사

용하여 평가하였다. 크게 두가지로 비용적 요소와 시간적요소에 의한 분류이다. 기존의 연구와 달리 3가지 요소-기계선정규칙, 납기결정방법, 부품투입규칙-를 다양한 수준에서 결합한 실험으로서 3가지 요소에 의해 각 조합마다의 결과치를 분산 분석을 사용하여 얻었다. 본 연구에서 효율적으로 결과를 분석하기위해 <그림 2>에서와 같이 FMS 모델의 자료를 모델링한 시뮬레이션의 결과를 C 언어로된 인터페이스를 통해 시뮬레이션의 결과 데이터를 받아, 다시 통계치를 얻도록 SPSS의 입력데이터 형태로 만드는 기능을 수행한다. 그리고 이 자료를 받은 SPSS에서 여러가지 통계적 분석을 가능하게 한다. <그림 3>은 통계분석시스템의 수행화면이다. 아래의 창은 도스상태에서의 시뮬레이션과 수행 결과치를 텍스트 형식으로 전환하는 과정이다. 전환한 파일을 상단 왼쪽창은 SPSS모듈에서 입력파일 형태로 전환한다. 그리고 오른쪽 창은 전환한 파일을 통계적 분석방법을 사용하여 수행한 결과를 보여준다.



<그림 2> 시뮬레이션에 의한 통계분석시스템의 구조



〈그림 3〉 통계분석시스템의 수행화면

〈표 4〉 세부 실험결과

| 번호 | 규칙조합 | 평균체류시간 | 평균지연시간 | 총비용 | 대기열 길이 | 지연작업비율 |
|----|-----------------|--------|--------|------|--------|--------|
| 1 | TWK-WINQ-SPT | 699 | 1172 | 2585 | 6.37 | 0.26 |
| 2 | TWK-WINQ-EDD | 686 | 851 | 2595 | 6.49 | 0.25 |
| 3 | TWK-WINQ-MOD | 719 | 1161 | 2409 | 6.91 | 0.31 |
| 4 | TWK-WINQ-SPT | 604 | 1092 | 1912 | 5.66 | 0.18 |
| 5 | TWK-WINQ-EDD | 678 | 1114 | 2029 | 6.46 | 0.26 |
| 6 | TWK-WINQ-MOD | 646 | 1108 | 2219 | 6.06 | 0.22 |
| 7 | TWK-AMWINQ-SPT | 602 | 898 | 2307 | 5.61 | 0.23 |
| 8 | TWK-AMWINQ-EDD | 495 | 517 | 2067 | 4.45 | 0.13 |
| 9 | TWK-AMWINQ-MOD | 454 | 542 | 2323 | 4.02 | 0.12 |
| 10 | NOP-WINQ-SPT | 669 | 1010 | 2737 | 6.37 | 0.39 |
| 11 | NOP-WINQ-EDD | 734 | 983 | 2433 | 7.06 | 0.49 |
| 12 | NOP-WINQ-MOD | 719 | 1031 | 2761 | 6.91 | 0.46 |
| 13 | NOP-WINQ-SPT | 604 | 929 | 1890 | 5.66 | 0.36 |
| 14 | NOP-WINQ-EDD | 644 | 932 | 1993 | 6.14 | 0.39 |
| 15 | NOP-WINQ-MOD | 646 | 965 | 2266 | 6.06 | 0.38 |
| 16 | NOP-AMWINQ-SPT | 603 | 931 | 2344 | 5.62 | 0.35 |
| 17 | NOP-AMWINQ-EDD | 438 | 562 | 1535 | 3.84 | 0.17 |
| 18 | NOP-AMWINQ-MOD | 454 | 684 | 1979 | 4.02 | 0.21 |
| 19 | OFS-WINQ-SPT | 669 | 1165 | 2744 | 6.37 | 0.22 |
| 20 | OFS-WINQ-EDD | 651 | 955 | 2014 | 6.19 | 0.26 |
| 21 | OFS-WINQ-MOD | 771 | 1106 | 2464 | 7.45 | 0.39 |
| 22 | OFS-WINQ-SPT | 604 | 1016 | 4661 | 5.66 | 0.18 |
| 23 | OFS-WINQ-EDD | 650 | 1042 | 2117 | 6.15 | 0.23 |
| 24 | OFS-WINQ-MOD | 692 | 1054 | 2075 | 6.58 | 0.33 |
| 25 | OFS-AMWINQ-SPT | 603 | 964 | 2299 | 6.65 | 0.34 |
| 26 | OFS-AMWINQ-EDD | 419 | 648 | 2729 | 3.65 | 0.06 |
| 27 | OFS-AMWINQ-MOD | 461 | 752 | 1534 | 4.06 | 0.19 |
| 28 | TEFS-WINQ-SPT | 669 | 1160 | 2498 | 6.37 | 0.26 |
| 29 | TEFS-WINQ-EDD | 709 | 988 | 2364 | 6.77 | 0.32 |
| 30 | TEFS-WINQ-MOD | 600 | 1012 | 2370 | 5.56 | 0.22 |
| 31 | TEFS-NINQ-SPT | 604 | 1014 | 1759 | 5.66 | 0.25 |
| 32 | TEFS-NINQ-EDD | 604 | 950 | 1955 | 5.65 | 0.23 |
| 33 | TEFS-NINQ-MOD | 687 | 1047 | 2305 | 6.53 | 0.31 |
| 34 | TEFS-AMWINQ-SPT | 603 | 942 | 2219 | 5.64 | 0.27 |
| 35 | TEFS-AMWINQ-EDD | 411 | 700 | 1878 | 3.54 | 0.11 |
| 36 | TEFS-AMWINQ-MOD | 503 | 843 | 1489 | 4.52 | 0.23 |

36가지 실험 각각에 대한 세부결과는 <표 4>에 정리하였다. 각 평가기준별로 분산분석을 SPSS / PC를 사용하여 결과를 얻었다. <표 5>는 평균 지연시간에 대하여 각 요인별 분석한 결과이며, 평

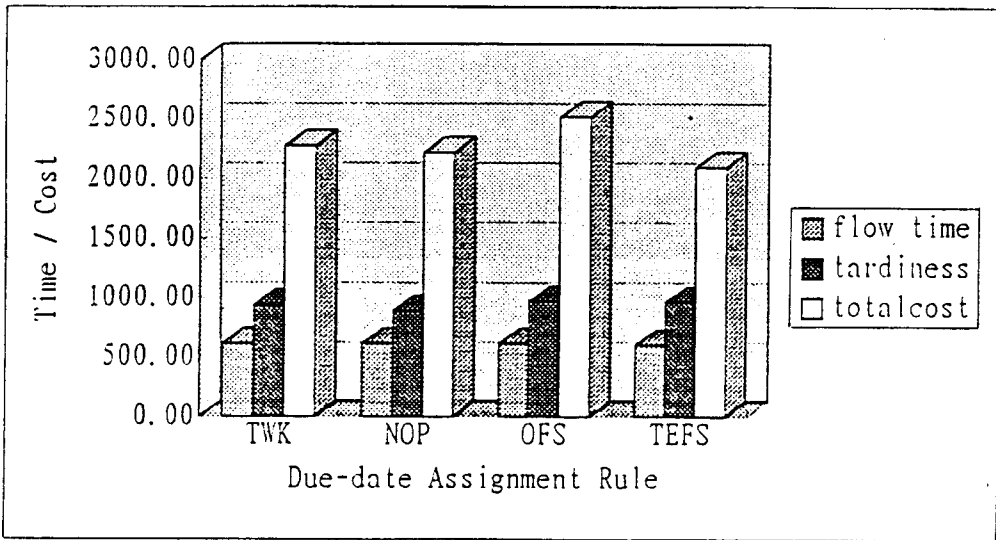
균 지연시간에 대하여 납기결정방법 및 납기결정 방법과 부품투입규칙의 교호작용을 제외하고는 유의하다는 것을 알 수 있다.

<표 5> 평균지연시간의 분산분석

| 요인 | 제공합 | 자유도 | 평균제공 | F 비 |
|-----------|-----------|-----|-----------|--------|
| 기계선정규칙(A) | 664091.17 | 2 | 332045.58 | 77.56* |
| 납기결정방법(B) | 31610.44 | 3 | 10536.81 | 2.46 |
| 부품투입규칙(C) | 175353.17 | 2 | 87676.58 | 20.48* |
| A*B | 70546.39 | 6 | 11757.73 | 2.75* |
| A*C | 123904.17 | 4 | 30976.04 | 7.24* |
| B*C | 7441.72 | 6 | 1240.29 | 0.29 |
| ERROR | 51372.94 | 12 | 4281.08 | |

<그림 4>는 납기결정방법에 따른 결과를 체류 시간, 총 비용, 지연시간에 대하여 나타내었다. 체류시간면에서는 TEFS와 NOP, 지연시간면에

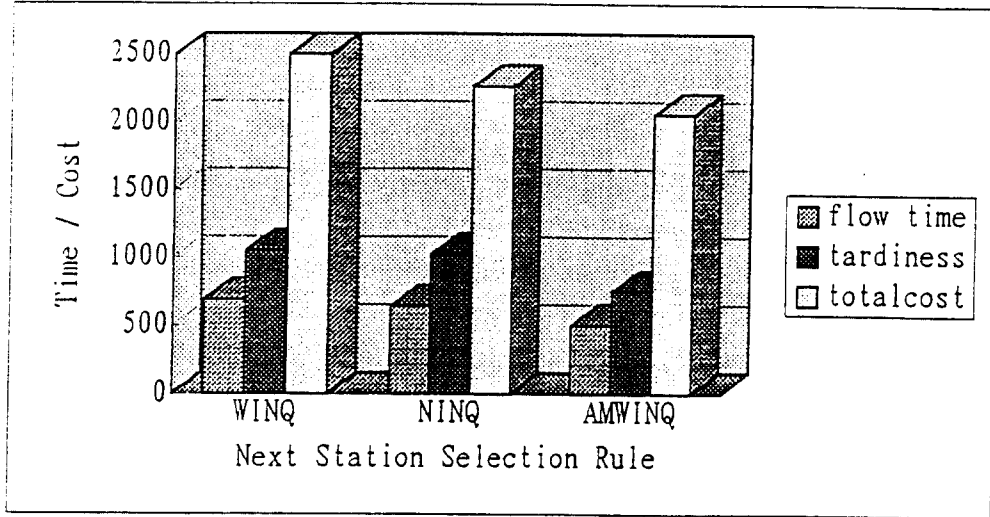
서는 NOP, 총 비용면에서는 TEFS가 우수한 것으로 평가되었다. 대기열 길이와 지연작업비율은 큰 차이를 보이지 않았다.



<그림 4> 납기결정방법에 대한 결과

기계선정규칙의 결과는 <그림 5>와 같이 세 가지 주 평가기준으로 보면 체류시간, 지연시간면에서는 AMWINQ, 총 비용과 대기열 길이에서는 AMWINQ, 지연작업비율은 AMWINQ와 WINQ

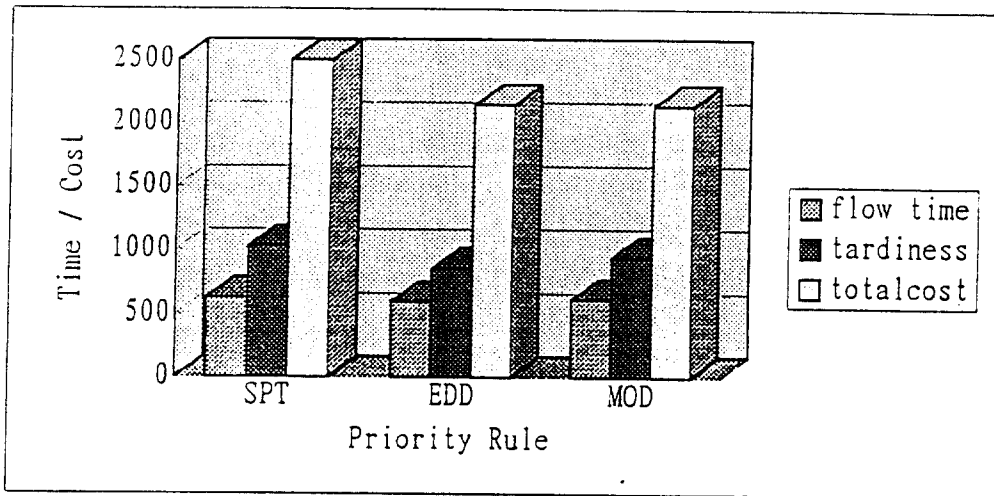
가 우수한 것으로 평가되었다. 전반적으로 기계선정규칙에서는 새로이 제시된 AMWINQ가 기존의 NSS Rule보다 우월하다는 것을 알 수 있다.



<그림 5> 기계선정규칙에 대한 결과

<그림 6>은 부품투입규칙에 대한 결과를 체류시간, 총 비용, 지연시간에 대하여 나타내었다. 체류시간면에서는 MOD, 지연시간면에서는 EDD

와 총 비용면에서는 MOD, 지연작업비율은 EDD가 우수한 것으로 평가되었다. 대기열 길이는 큰 차이를 보이지 않았다.



<그림 6> 부품투입규칙에 대한 결과

본 연구에서 제시한 TEFS는 TWK와 OFS의 결합된 형태로 기존의 작업의 속성만을 고려한 납기결정방법보다 시간적 측면의 평가기준-체류시간, 지연시간-에서는 24%정도의 향상을 보였고, 비용적 측면의 평가기준-총 비용-에서는 18%정도의 향상을 보였다. TEFS방식은 대안기계를 고려한 기계선정규칙인 AMWINQ와의 결합형태에서는 기존의 기계선정규칙의 조합보다 시간적, 비용적기준의 평가기준에서 나은 결과를 보였다.

5. 결론 및 추후 연구과제

납기결정을 하는 큰 두가지 부류는 작업장의 상태정보를 이용하는 방법-JIQ, WIQ, OFS, TEFS-과 작업의 속성을 이용하는 방법-TWK, NOP, SLK, CON-으로 나눌 수 있다.

본 연구에서 제시된 규칙들을 포함하여, 4가지 납기결정방법과 3가지 기계선정규칙 및 3가지 부품투입규칙의 조합에 대하여 simulation을 사용하여 실험을 행하였다. 시뮬레이션 실험 결과 본 연구에서 제시된 TEFS 납기결정방법과 대안기계를 고려한 기계선정규칙이 기존의 부품투입규칙만을 사용한 결과보다 나은 면을 보였다.

본 연구의 결과에서 알 수 있듯이, 첫째로 기계선정규칙과 부품투입규칙의 적절한 조합-AMWINQ와 MOD-이 납기에 많은 영향을 미친다. 둘째로 작업장의 상태정보를 이용한 납기결정방법이 작업의 속성을 이용한 납기결정방법보다 체류시간의 추정에 나은 결과를 보인 것은 Eilon과 Chowdhury [9]의 결과를 다시금 입증하여 보였다. 본 연구에서는 고려하지 못하였지만, 납기를 고려한 기계선정규칙의 결과로 마루어 작업장의 부하의 안정적 유지와 납기의 여유정도가 체류시간의 추정과 납기결정에 가장 중요한 요소가 될

을 알 수 있었다.

추후 연구과제로는 첫째로 실제 FMS작업장에서 현실적인 대안의 제시-작업장에서의 비용을 고려한 기계선정규칙-가 필요하다. 둘째로 납기결정방안에 대한 각 결과를 지식베이스된 데이터 베이스에 저장하여 시뮬레이션과 통합된 형태를 유지하면서, 사전 원가정보를 받는 공장 의사결정 시스템 (FDSS:Factory Decision Support System)을 구축할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김재만, 김성식, "전산화된 공장에서의 납기 결정 방안에 관한 연구", 「한국경영과학회지」, 제20권, 제2호, (1995), pp.23-38.
- [2] Backstone, J.H. and Phillips, D.T. and Hogg, G.L.A., "State-of-the-art Survey of Dispatching Rule for Manufacturing Job Shop Operation", *International Journal of Production Research*, Vol.20 (1982), pp.27-45.
- [3] Baker, K.R., *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, New York, 1974.
- [4] Basenet, C. and Miese, J.H., "Scheduling and Control of Flexible Manufacturing System: A Critical Review", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol.7 (1994), pp.340-355.
- [5] Cheng, T.C.E. and Gupta, M.C., "Survey of Scheduling Involving Due-Date Determination Decision", *European Journal of Operational Research*, Vol.3 (1987), pp. 156-166.
- [6] Cheng, T.C.E., "Optimal Due-date Deter-

- mination and Sequencing of n Jobs on a Single Machine”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.35 (1984), pp.433-437.
- [7] Choi, R.H. and Malstrom, E.M., “Evaluation of Traditional Work Scheduling Rules in a Flexible Manufacturing System with a Physical Simulator”, *Journal of Manufacturing System*, Vol. 7(1988), pp.33-46.
- [8] Conway, W., “Priority Dispatching and Job Lateness in a Job Shop”, *Journal of Industrial Engineering*, Vol.14 (1962), pp.228-237.
- [9] Eilon, S. and Chowdhury, G., “Due-date in Shop Scheduling”, *International Journal of Production Research*, Vol.14 (1976), pp.223-237.
- [10] Monden, Y. *Toyota Production System*, Industrial Engineering and Management Press, Norcross, 1993.
- [11] O’Keefe, R.M. and Kasirajan, T., “Interaction Between Dispatching and Next Station Selection Rules in a Dedicated Flexible Manufacturing System”, *International Journal of Production Research*, Vol.3 (1992), pp.1753-1775.
- [12] Panwalker, S.S. and Iskander, W., “A Survey of Scheduling Rule”, *Operations Research*, Vol.25 (1977), pp.45-61.
- [13] Pinedo, M. *Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1995.
- [14] Ragatz, G.L. and Mabert, V.A., “A Simulation Analysis of Due Date Assignment Rules”, *Journal of Operations Management*, Vol.5 (1984), pp.27-39.
- [15] Yang, K.K. and Sum, C.C., “A Comparison of Job Shop Dispatching Rules Using a Total Cost Criterion”, *International Journal of Production Research*, Vol.3 (1994), pp.807-820.
- [16] Vig, M.M. and Dooley, K.J., “Dynamic Rules for Due-date Assignment”, *International Journal of Production Research*, Vol.29 (1991), pp.1361-1377.
- [17] Weeks, J.K. and Fryer, J.S., “A Simulation Study of Operating Policies in a Hypothetical Dual-Constrained Job Shop”, *Management Science*, Vol.22 (1976), pp.1362-1371.