

FMS에서 공구 일정계획을 고려한 부품투입 방법

이충수* · 최정상**

A Part Release Method Considering Tool Scheduling in FMS

C. S. Lee* · J. S. Choi**

■ Abstract ■

A recent trend in flexible manufacturing systems (FMS) is to utilize the identical versatile machines with fast tool delivery devices. Unlike a conventional FMS where parts are fed to the machines with the required tools, tools are acquired from other machines using a tool delivery system and parts can be finished on the same machine in these FMS. Therefore it is more important problem to plan tool flow using tool delivery system in these FMS rather than part flow in conventional FMS. According to the existing study, in FMS 20~30 percent of the total management cost is the cost related with tools and it is possible to reduce the tool inventory by 40 percent using efficient tool allocation.

In this study, in FMS under dynamic tool allocation strategy, a new method of part release considering tool flow at the stage of part release is proposed. In order to prove the efficiency of the proposed part release it is compared with other part release through simulation experiments. Performance measures in these experiments are the throughput and the number of tardy parts.

Keyword : Part Release, Dynamic Tool Allocation, Dispatching rule, Process Planning

1. 서 론

최근 제조환경은 다양한 소비자의 요구, 제품의 짧은 수명 주기, 치열한 국내외 경쟁 등으로 특징

지워진다. 이러한 제조환경에 적응하기 위하여 FMS(flexible manufacturing systems)에서 기계의 종류는 다기능 공작기계(versatile machine)로 구성되고, 공구는 빠른 공구 이동장치(tool deliv-

논문접수일 : 2002년 7월 15일 논문게재확정일 : 2003년 2월 3일

* 광주대학교 산업정보공학과 교수

** 강남대학교 산업공학과 교수

ery system)에 의하여 제어되는 추세에 있다[2, 3, 8]. 이러한 FMS는 동일한 기능의 다기능 기계들로 구성되기 때문에 각 기계는 필요한 공구만 공급된다면 다양한 작업을 수행할 수 있다. 즉, 부품의 가공을 위하여 필요한 공구를 보유한 상태에서 가공을 시작하는 전통적 FMS와 달리, 공구 이동장치를 이용하여 필요한 공구를 가공중에 다른 기계 또는 공구셀(tool cell)로부터 공급 받는 동적 공구할당(dynamic tool allocation) 전략을 이용하여 한 기계에서 부품의 가공을 완료할 수 있다. 따라서 이러한 FMS에서는 전통적 FMS에서 중요시 여기는 부품흐름(part flow)의 계획보다 공구 이동장치를 이용하여 공구흐름(tool flow)을 계획하는 것이 중요한 문제이다[6, 7]. Kashyap과 Khator[5]는 FMS에서 총 운영비의 20~30%는 공구에 관련된 비용이라고 언급했다. Jones 등[4]은 효율적인 공구할당(tool allocation)에 의하여 공구재고를 40%까지 줄일 수 있다고 주장했다.

동적 공구할당 전략을 이용하는 FMS에서 기계는 모두 동일한 종류로 구성되어 있기 때문에 시스템에 도착한 부품은 시스템 풀(pool)에 저장된다. 이러한 동적 환경에서 풀의 부품을 기계에 투입하는 부품투입(part release)은 부품선택과 기계선택(machine selection)을 수행하는 문제이다. 부품선택은 기계에서 한 부품의 가공을 완료했을 때 시스템 버퍼의 여러 후보 부품 중에서 한 부품을 선택하는 경우이다. 기계선택은 부품이 시스템에 도착했을 때 유휴상태인 여러 후보 기계 중에서 한 기계를 선택하는 경우이다. 이러한 동적 공구할당하의 FMS 부품투입에서는 공구의 원활한 흐름이 시스템의 성능에 큰 영향을 주기 때문에 공구의 흐름을 고려한 작업배정 규칙(dispatching rule)을 적용하는 것이 바람직하다.

Chandra와 Talavage[1]는 생산 시스템에서 주로 이용되는 전통적 작업배정 규칙의 단점을 다음과 같이 지적하였다. 첫째, 현장에서는 여러 목적들이 중요하게 고려되어야 함에도 불구하고 한가지 목적만을 추구한다. 둘째, 지식을 갖고 판단하는 작

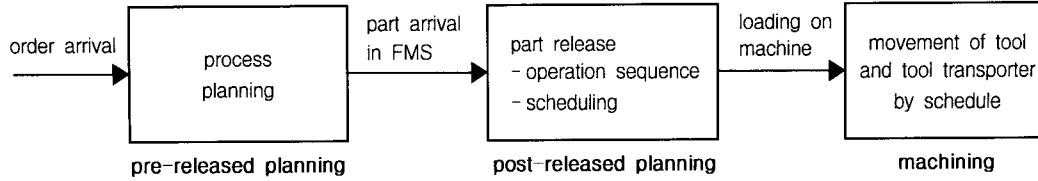
업 전문가의 사고와 다르다. 셋째, 대체기계와 같은 경로 유연성(routing flexibility)을 고려하지 않았다. 그들은 이러한 전통적인 작업배정 규칙의 단점을 극복할 새로운 작업배정규칙의 필요성을 강조하였다.

본 연구에서는 동적 공구할당 전략하의 FMS에서 부품투입시 사용하는 작업배정 규칙에 공구일정계획을 이용하여 공구 상태를 고려한 새로운 규칙을 제안한다. 제안한 규칙의 우수성을 입증하기 위하여 시뮬레이션 실험을 통하여 EDD(earliest due date), SPT(shortest processing time), 최소여유시간(minimal slack time) 등의 전통적 작업배정 규칙과 비교한다. 평가척도(performance measure)는 생산량(throughput)과 납기 지연 부품수(number of tardy parts)를 사용하였다.

2. 시스템 개요

본 연구의 목적은 동적 공구할당전략하의 FMS에서 부품을 투입하는 시점에 그 부품의 가공을 위하여 필요한 공구의 일정계획을 정확히 파악하여 같은 시간대에 같은 공구를 사용하여 발생하는 공구 대기시간을 줄이는 방향으로 부품투입을 수행함으로써, 시스템에서 같은 공구수를 유지하는 상태에서 납기 지연 부품 수를 최소화하고 생산량을 최대화하는 새로운 부품투입 방법을 제시하는 것이다. 이를 위하여 본 연구에서는 [그림 1]과 같이 부품이 시스템 풀에 도착하기 전에 수행되는 공정계획(process planning)과 시스템 풀에 도착한 후에 처리하는 부품투입(part release)의 두 단계로 FMS를 운영한다. 공정계획은 부품의 주문을 받은 시점에서 이루어지며, 부품투입은 주문 받은 부품이 FMS에 도착한 시점에 이루어진다.

투입 전 계획(pre-released planning)에서는 주문을 받은 부품을 가공하기 위한 셋업(set-up) 결정, 한 셋업에서의 작업(operation) 결정, 작업에 필요한 공구 결정, 가공시간의 계산 등을 계획하는 공정계획(process planning)이 수행된다. 투입 후 계



[그림 1] 시스템 개요

획(post-released planning)에서는 작업순서(operation sequence), 공구와 공구 이동장치의 일정계획(scheduling)을 동시에 수행하여 부품을 투입한다. 부품투입을 수행하여 한 부품을 기계위에 올린 후에 가공을 시작한다. 가공하는 중간에, 투입 후 계획에서 수립된 일정계획에 따라 공구와 공구 이동장치는 필요한 시간에 이동된다.

3. 부품투입 알고리즘

3.1 부품투입

공구이동장치를 이용한 동적 공구할당 전략을 수행하는 FMS에서는 같은 공구를 필요로 하는 부품을 가공하는 기계가 여러 개 있을 때 공구가 부족하여 가공을 중단하고 기계가 공구를 기다리는 공구대기시간(tool waiting time)이 발생할 수 있다. 기존 FMS와 달리 본 연구의 FMS에서는 부품투입 시 공구경쟁에 의하여 발생하는 공구 대기시간(tool waiting time)을 고려하는 것이 매우 중요하다. 본 장에서는 다른 기계의 공구 일정계획을 참조하여 공구 대기시간을 최소화하는 작업순서를 수행하고, 계산된 공구 대기시간을 부품투입에 이용하는 부품투입 방안(part release scheme)을 제안한다.

본 연구의 FMS에서 한 기계에서 부품의 가공을 완료하기 때문에 부품투입은 부품이 시스템에 도착했을 때 한 기계이상이 유휴상태인 경우 후보 기계 중에서 한 기계를 선택하는 기계선택(machine selection)의 상황 또는 한 부품의 가공을 완료했을 때 시스템 버퍼에 한 부품 이상이 있는 경우인 후보 부품 중에서 한 부품을 선택하는 부품선택(part

selection)의 상황에서 이루어진다. 즉 부품투입은 상황에 따라 기계선택과 부품선택중 한 방법이 선택되어 이루어진다.

부품선택의 경우, 공정계획 단계에서 계산된 부품의 가공시간을 이용하여 임시 여유시간(temporary slack time)을 계산하여 긴급한 몇 개의 후보 부품(candidate parts)을 결정한다. 후보 부품이 해당 기계에 올려졌다고 가정을 하고, 후보 부품 각각에 대하여 작업순서를 수행하여 공구 대기시간을 계산한다. 이 공구 대기시간의 계산은 다른 기계에서 가공 중인 부품의 공구 일정계획을 갖고 있기 때문에 가능하다. 그 후, 후보 부품 각각에 대하여 공구 대기시간을 포함한 여유시간을 계산하여 가장 작은 여유시간을 갖는 부품을 투입한다. 기계선택의 경우, 가용한 기계들을 모두 후보 기계(candidate machines)로 정한다. 후보 기계위에 부품이 올려졌다고 가정을 하고, 각 후보 기계에 대하여 공구 대기시간을 계산한다. 후보 기계 중 가장 작은 공구 대기시간을 제공하는 기계를 선택하여 부품을 투입한다.

이 부품투입 방안의 핵심 내용은 부품을 가공하기 위하여 주어진 공구, 공구 일정계획, 공구 이동장치의 일정계획을 이용하여 공구 대기시간을 계산하는 것이다. 이 공구 대기시간은 이 부품투입 방안에서 부품 또는 기계 선택시 큰 영향을 준다. 그러나 이 공구 대기시간은 작업순서에 따라 변화된다. 이러한 상호작용 때문에 부품 투입과 작업순서를 동시에 결정하려 한다. 이 부품투입의 수행절차는 아래와 같으며, [그림 2]에는 이 부품투입 방안의 흐름도를 정리하였다.

Case 1. 부품선택

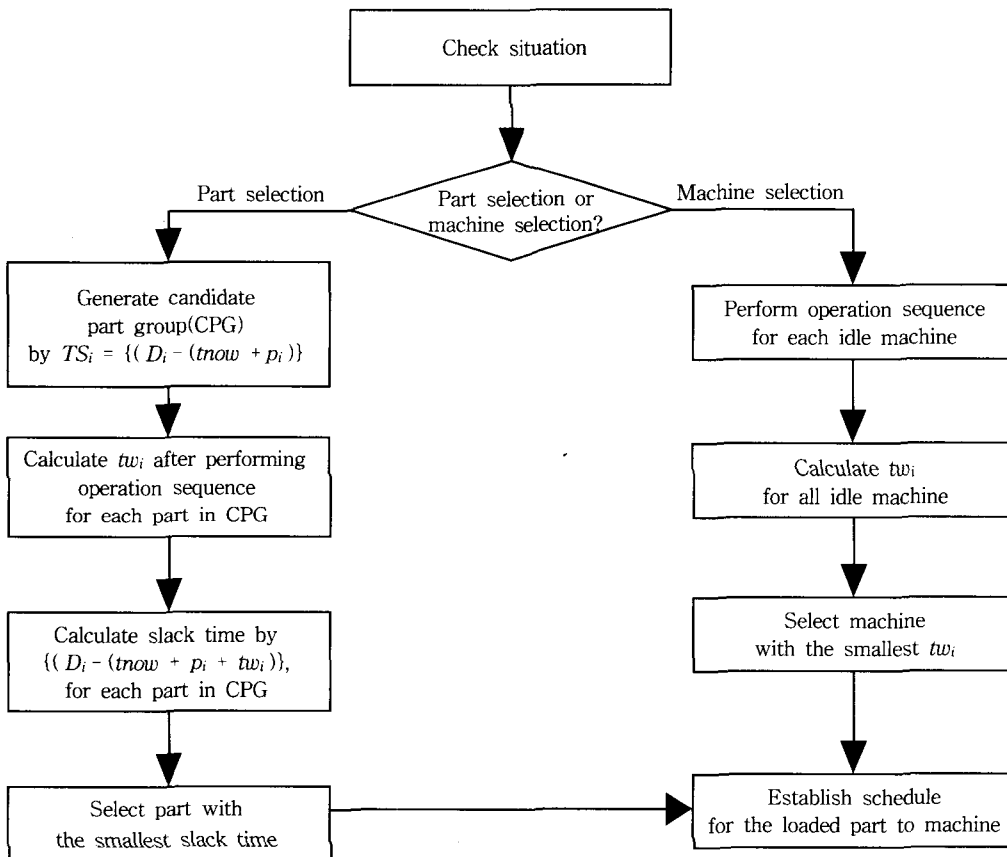
- (1) 부품을 임시 여유시간 $\{(D_i - tnow) - p_i\}$ 이 작은 순서로 나열한 후 CPG(candidate part group)를 생성
 $[D_i : \text{부품 } i \text{의 due date, } tnow : \text{현재시간, } p_i : \text{부품 } i \text{의 processing time}]$
- (2) CPG의 각 부품에 대하여 작업순서를 수행하여 공구 대기시간 tw_i 계산
 $[tw_i : \text{부품 } i \text{의 tool waiting time}]$
- (3) CPG 중에서 가장 작은 여유시간 $S_i = \{(D_i - tnow) - (p_i + tw_i)\}$ 를 갖는 부품을 선택하여 투입
- (4) 매핑된 부품 - 기계의 공구 및 공구 이동장치 일정계획 수립

Case 2. 기계선택

- (1) 모든 유휴기계에 대하여 작업순서 알고리즘을 수행하여 공구 대기시간 tw_i 를 계산
- (2) 가장 작은 tw_i 를 제공하는 기계를 선택하여 부품을 투입
- (3) 매핑된 부품 - 기계의 공구 및 공구 이동장치 일정계획 수립

3.2 작업순서 결정

부품투입을 수행하는 중에 작업순서(operation sequence)를 결정하는 시점에서는 해당 부품을 가공하기 위한 작업 및 작업 수와 작업을 수행하기 위한 공구가 정해져 있고, 다른 기계에서 가공 중인 부품의 공구 일정계획이 정해져 있다. 한 부품



[그림 2] 부품투입 알고리즘

을 가공하기 위한 작업(operation)간에는 선행관계(precedence relation)가 존재한다. 한 작업을 수행한 후, 선행관계를 만족하는 다음 작업은 여러 개가 존재할 수 있다. 그러므로 선행관계를 만족하는 작업순서는 여러 개가 존재한다. 본 작업순서 알고리즘은 선행관계를 만족하는 대체 작업순서(alternative operation sequence)중, 공구 대기시간을 최소로 하는 작업순서를 결정한다.

본 작업순서 알고리즘은 두 단계(phase)로 수행된다. 첫 번째 단계에서 선행관계 행렬(precedence matrix)을 이용하여 왼쪽 이동범위(left movement : LM)과 오른쪽 이동범위(right movement : RM)의 계산[9]을 통하여 가능한 여러 개의 대체 작업순서(alternative operation sequence)를 생성한다.

Phase I. LM과 RM에 의하여 변동 가능한 작업순서를 결정

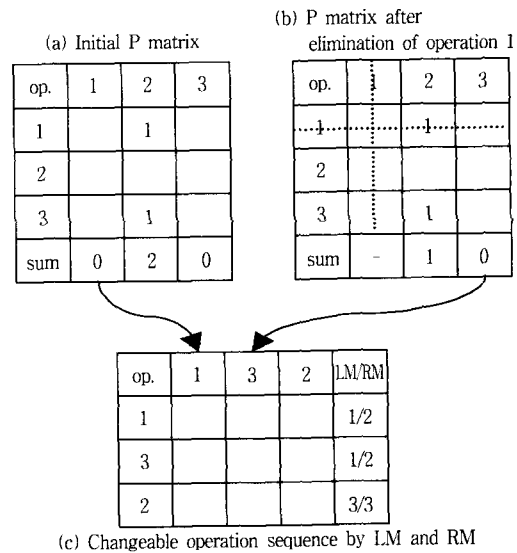
Step 1. 임시 작업순서 결정

- (1) $P(i, j)$ 생성
- (2) $sum(j) = \sum_i P(i, j)$ 계산
- (3) $sum(j) = 0$ 인 작업을 작업순서에 추가한 후, $P(i, j)$ 에서 그 작업을 제거
- (4) $P(1, 1)$ 이면 Step 2로 이동, 그렇지 않으면 Step1의 (2)로 이동

Step 2. 각 작업에 대하여 LM과 RM을 계산, Phase II로 이동

설계정보의 기하형상과 공차에 의하여 작업간에는 반드시 만족되어야 하는 선행관계가 생성된다. Phase I에서 선행관계를 만족하는 작업순서를 설명하기 위하여 [그림 3]의 (a)와 같은 선행관계 행렬(P matrix : precedence matrix) $P(i, j)$ 를 이용했다. [그림 3] (a)의 초기 선행관계 행렬에서 $P(1, 2) = 1$ 로 표시되어 있다. 이것은 작업 1(op1)이 작업 2(op2)보다 먼저 가공되어야 한다는 것을 의미한다. 이 초기 선행관계 행렬에서 열 j의 선행 작업수의 합 $sum(j)$ 를 계산하여 0인 작업을 [그림 3] (c)의 작업순서에 고정시킨다. $sum(j) = 0$ 는 작업 j보다 먼저 가공해야 할 작업이 없다는 의미이다. [그림

3]의 (a)에서 $sum(j)$ 가 0인 작업은 작업 1과 작업 3이며, 여기서는 작업 1을 임의로 작업순서에 고정시켰다. [그림 3]의 (b)에서는 작업 1을 제거한 후, $sum(j)$ 를 다시 계산하여 나머지 작업들을 작업순서에 고정시켰다. 어떤 작업 j의 LM은 작업순서에서 왼쪽으로의 이동 허용범위를 의미하고, RM은 오른쪽으로의 이동 허용범위를 의미한다. [그림 3]의 (c)에는 LM과 RM에 의하여 변동 가능한 작업순서가 나타나 있다. 여기서 작업 1과 작업 3의 LM과 RM은 1과 2이다. 따라서 작업 1과 작업 3은 작업순서에서 첫 번째 또는 두 번째에 위치할 수 있다.



[그림 3] LM과 RM에 의하여 변동 가능한 작업순서의 결정

Phase II에서는 [그림 3]의 (c)에서 결정된 LM과 RM 사이에서 변동 가능한 여러 작업순서에서 다른 기계의 일정계획을 참조하여 공구 상태, 공구 이동시간, 공구 이동장치 대기시간 등을 고려하여 공구 대기시간을 최소로 하는 공구할당과 작업순서를 결정한다. Phase II의 알고리즘은 [그림 4]와 같다. [그림 4]의 Step 1에서 작업순서의 첫 번째 위치에 올 수 있는 작업, 즉, LM이 1인 작업의 집합 POS(primary operation set)를 생성한다. POS

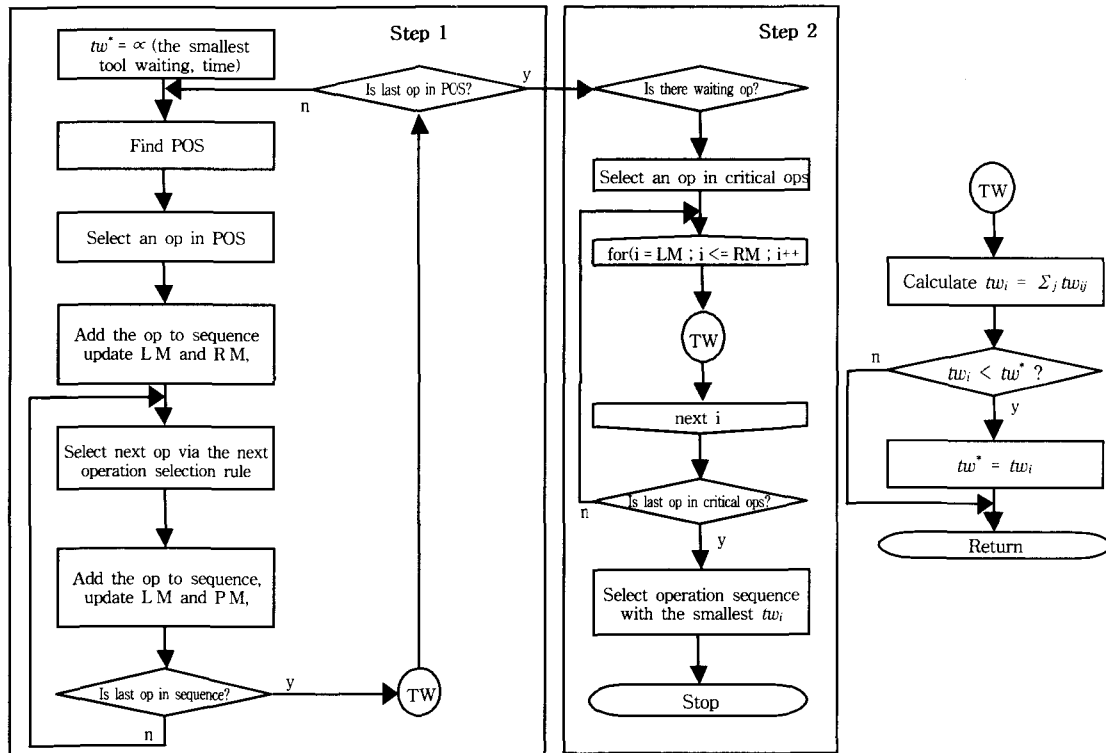
에서 임의로 한 작업을 선택한 후 다음 작업을 선택한다. 후보작업중에서 다음 작업을 선택하는 규칙은 다음과 같으며, 이 규칙은 다음 작업을 선택하는 모든 상황에서 동일하게 적용된다.

- (1) LM과 RM을 만족하며 전 작업과 동일한 공구를 사용하는 작업이면서 공구 대기시간이 없는 작업을 선택한다.
- (2) (1)을 만족하는 작업이 없으면, LM과 RM을 만족하면서 공구 대기시간이 발생하지 않는 작업을 선택한다.
- (3) (2)를 만족하는 작업이 없으면 LM과 RM을 만족하면서 공구 대기시간이 가장 작은 작업을 선택한다.

[그림 4]의 Step 1에서 다음 작업 선택규칙에 의하여 마지막 작업까지 작업순서(cur_seq)를 결정한 후, 부품의 공구 대기시간 tw_i 를 계산한다. 이

작업순서의 tw_i 를 현재까지 최적인 작업순서(cur_seq^*)의 공구 대기시간(tw^*)과 비교하여 적다면 cur_seq^* 와 tw^* 를 cur_seq 와 tw_i 로 수정한다. 그리고 작업순서의 첫 번째 순서에 위치할 수 있는 작업인 POS에서 다른 작업을 선택하여 같은 과정을 반복한다.

[그림 4] Step 1의 다음 작업 선택 규칙에서 공구 대기시간을 줄이는 시도를 했음에도 불구하고, 이 작업순서는 공구 대기시간을 더 줄일 수 있는 여지가 있다. Step 2에서는 Step 1의 작업순서 중 공구 대기시간이 발생한 작업의 공구 대기시간을 더 줄이려 시도한다. 우선 공구 대기시간이 일어난 작업의 집합 WOS(waited operation set)를 생성한다. WOS의 각 작업을 가능한 변동범위 LM과 RM 사이로 이동하면서 공구 대기시간이 적게 발생하는 위치에 고정시킨다. 즉 [그림 3]의 예에서는 다른 기계의 일정계획을 참조하여 가능한 작업순서



[그림 4] 공구 대기시간을 최소로 하는 작업순서 결정 알고리즘(Phase II)

op1 - op3 - op2과 op3 - op1 - op2 중, 공구 대기시간을 적게 일으키는 작업순서를 결정한다.

Step 1에서 다음 작업을 선택할 때 그리고 Step 2에서 공구 대기시간이 일어난 작업의 위치를 변경할 때, 공구 대기시간을 계산한다. 공구할당 시점에 필요한 공구가 다른 기계에서 사용중이라면 공구 대기시간은 0이상일 것이다. 그러나 공구할당 시점 전부터 유힬해서 미리 이동할 수 있는 상황이라면 공구 대기시간은 0일 것이다. 이 공구 대기시간의 계산식과 기호의 정의는 다음과 같다.

$$tw_{ij} = \sum_t \sum_k \{ \max(0, ct_t - t_{ijk} + mt_{ijk} + ttw_{ij}) U_{ijk} \} \text{ for all } i, j \in O_i, \quad (tw_i = \sum_j tw_{ij})$$

$$U_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{if operation } j \text{ of part } i \text{ is processed} \\ & \text{with tool } t \text{ on machine } k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

ct_t : 필요한 공구 t 가 작업을 종료한 시간

t_{ijk} : 부품 i 의 작업 j 가 기계 k 에서 작업을 종료한 시간

mt_{ijk} : 부품 i 의 작업 j 를 위해 필요한 공구 t 를 현재 기계 k 로 가져오는 공구 이동시간

ttw_{ij} : 부품 i 의 작업 j 를 위해 필요한 공구를 가져올 때 공구 이동장치의 대기시간

O_i : 부품 i 의 가공을 위해 필요한 작업의 집합

위와 같은 작업순서 결정문제는 NP 난도문제(NP-hard problem)이다. 본 연구에서는 LM과 RM을 이용하여 선행관계를 만족하면서 공구 경쟁을 줄이는 경험적 알고리즘(heuristic algorithm)으로 작업순서 문제를 풀었으며, 이 알고리즘으로부터 도출된 결과는 근사 최적해이다.

4. 시뮬레이션 실험

III장에서 제안한 부품투입 방법의 우수성을 입

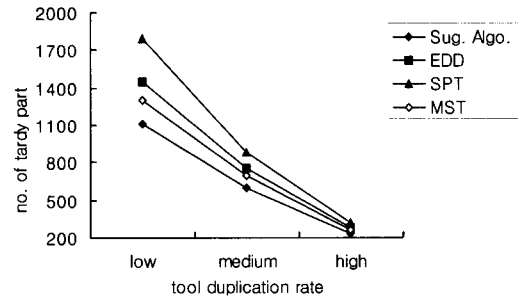
<표 1> 시뮬레이션 실험 데이터

machine	number of machines tool magazine capacity machine loading/unloading time tool mount/dismount time distance between machines machine breakdown machine repairing time	4 22 4/4 min 0.5/0.5 min 10m 1 per day 10min
tool	number of tool types tool copies tool duplication rate tool life tool break down tool replacement time due to expired life or breakdown	35 1~4 0.3, 0.6, 1 700 min 1 per day in machine 2 min
part transporter	number of part transporters part transporter velocity part transporter loading/unloading time	1 6 m/s 1/1 min
tool transporter	number of tool transporters tool transporter velocity	1~2 6 m/s
part	number of part types average number of operations per part average processing time per operation set-up time	UNFRM(4, 25) UNFRM(5, 20) UNFRM(5, 20) 5 min
simulation condition	part interarrival time distribution	exponential

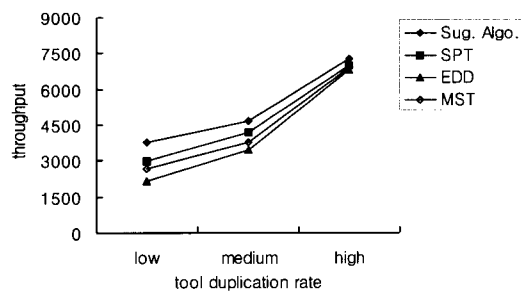
증하기 위하여 본 연구에서 제시한 공구의 상태를 고려한 작업배정규칙과 SPT, EDD 및 최소 여유 시간(MST : minimal slack time)을 이용한 부품투입과 시뮬레이션 실험을 통하여 비교한다. SPT, EDD 및 MST를 이용한 부품투입은 [그림 1]의 부품선택에서 CPG에서 한 부품을 선택할 때 SPT, EDD 및 MST를 사용하였고, 기계선택에서는 임의의 기계를 선택하였다. 실험의 성능척도는 생산량과 납기 지연 부품수이다. 실험은 기계 수 4대, 공구 종류수 35개로 이루어졌다. 다른 시뮬레이션 실험 데이터는 <표 1>과 같다.

2^k 요인실험(2^k factorial design)은 성능척도에 영향을 주는 요인분석과 요인간의 상호작용 분석에 유용한 통계적 기법이다. 이전의 연구[7]에서 2^k 요인실험으로부터 실험요인중 공구 중복율, 부품 종류 수가 시스템의 성능에 큰 영향을 주는 요인으로 분석되었다. 공구 중복율은 각 공구 종류가 시스템에 존재하는 기계대비 평균비율을 나타낸다. 예를 들어 공구 중복율 0.5는 각 공구 종류가 시스템에 평균 2개 존재한다는 것을 의미한다.

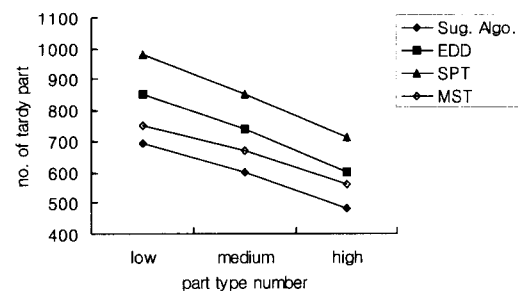
실험 결과로서 [그림 5]는 공구중복율이 변화될 때의 대안들에 대한 납기 지연 부품수이며, [그림 6]은 생산량이다. [그림 5]와 [그림 6]으로부터 공구 중복율이 저수준(0.3)인 경우와 중 수준(0.6)인 경우 다른 방안들보다 훨씬 우수함을 알 수 있다. 제안된 방안은 공구 대기시간을 줄이는 방향으로 작업순서를 결정했기 때문에 공구 경쟁이 많이 일어나는 공구 중복율이 저 수준 및 중 수준인 경우에 다른 방안들 보다 차이가 컸다. 그러나 공구 중복율이 고 수준(1)일 때는 납기 지연 부품 수와 생산량은 거의 차이가 없다. 즉, 필요한 공구가 항상 가용상태로 존재하는 공구 중복율이 고 수준인 경우, 세가지 방안에서 부품이 공구 부족에 의한 대기없이 계속해서 가공되므로 각 부품의 가공시간은 아주 유사했다. [그림 7]은 부품 종류 수가 변화될 때의 납기 지연 부품수이고, [그림 8]은 생산량이다. 부품 종류수가 저 수준일 때보다 고 수준일 때 납기 지연 부품 수를 더 줄였다. 이것은 부품의 종류가



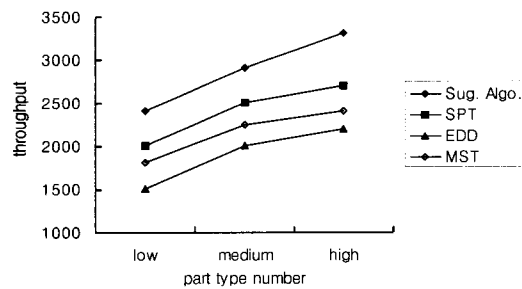
[그림 5] 공구중복율의 변화에 따른 납기 지연부품수



[그림 6] 공구중복율의 변화에 따른 생산량



[그림 7] 부품종류수의 변화에 따른 납기 지연부품수



[그림 8] 부품종류수의 변화에 따른 생산량

저 수준일 때 특정 공구의 경쟁으로 인하여 공구 대기시간이 증가 되고, 고 수준일 때 많은 공구를 사용하기 때문에 상대적으로 공구 대기시간이 줄기 때문이다.

위의 모든 실험에서 제안한 방안이 다른 방안보다 우수한 이유는 세 가지 방안중 제안한 방안이 부품 투입 단계에서 향후 일어날 공구 경쟁에 의한 공구 대기시간을 예측하여 실제 여유시간(actual slack time)을 정확히 계산하여 가장 긴급한 부품을 투입했기 때문이다.

5. 결 론

본 연구는 동적 공구할당 전략하의 FMS(Flexible Manufacturing System)에서 부품투입 문제를 언급했다. 연구의 목적은 부품투입시 공구 경쟁의 정도를 예측하고, 예측된 결과를 부품투입에 고려함으로써, 시스템 성능을 향상시키는 것이다. 이를 위하여 부품투입시 공구경쟁의 정도를 줄임으로써 공구 대기시간을 최소화하는 작업순서를 결정하였다.

시스템의 성능에 영향을 주는 요인의 값을 변화시키면서 실험을 한 결과, 공구 중복율이 1인 경우, 즉 필요한 공구가 항상 가용한 상태인 경우의 실험을 제외하고는 모든 실험에서 제안된 방안의 결과가 우수했다. 특히 공구 중복율이 작아 공구 경쟁이 빈번히 일어나는 경우의 실험에서 다른 방안들보다 큰 차이를 보였다.

제안한 방안이 다른 방안보다 우수한 이유는 다음의 두가지 이유 때문이다. 첫째, 세 가지 방안중 제안한 방안이 부품 투입 단계에서 향후 일어날 공구 경쟁에 의한 공구 대기시간을 예측하여 실제 여유시간(actual slack time)을 정확히 계산하여 가장 긴급한 부품을 투입했기 때문이다. 둘째, 제안된 방안은 공구 대기시간을 줄이는 방향으로 작업순서를 고려했기 때문에 기계 및 공구의 배치가 동일한 상황에 같은 부품이 투입되더라도, 다른 방안들보다 짧은 시간에 부품의 가공을 완료할 수 있기 때문이다.

최근 공구 이동장치를 이용하는 FMS가 늘고 있고, 새로 설계하는 FMS에 공구 이동장치를 필수적으로 구성하는 추세이기 때문에 본 연구는 실제 시스템에 유용하게 이용되리라 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Chandra, J. and Talavage, J., "Intelligent dispatching for flexible manufacturing," *International Journal of Production Research*, Vol.29, No.11(1991), pp.2259-2278.
- [2] Grieco, A., Semararo, Q., Tolio, T. and Toma, S., "Simulation of tool and part flow in FMS," *International Journal of Production Research*, Vol.33, No.3(1995), pp.643-658.
- [3] Hahn, H.S. and Sanders, J.L., "Performance analysis of a LIM-based high-speed tool delivery system for machining," *International Journal of Production Research*, Vol. 32, No.1(1994), pp.179-207.
- [4] Jones, T., "How the big(and little) guys do it," *Tooling and Production*, 1994, pp.T7-T10.
- [5] Kashap, A.S. and Khator, S.K., "Control rules for tool sharing in flexible manufacturing systems," *Computers and Industrial Manufacturing*, Vol.25, No.1(1993), pp. 507-510.
- [6] Koo, P-H., "Flow planning and control of Single-Stage Multimachines Systems," *Ph.D Thesis, Purdue university*, 1996, pp. 1-6.
- [7] Lee, C.S., Kim, S.S., Choi, I. and Rho, H.M., "A part release scheme in single-stage multimachine systems," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol.17, No.2(2001), pp.147-155.

- [8] Sharma, R., Barash, M.M. and Talavage, J.J., "Simulation based evaluation of alternative tool delivery systems in a flexible manufacturing cell," *Technical Report, TR-ERC 92-7, School of Engineering, Purdue University*, 1992.
- [9] Wang, E., Kim, Y.S., Lee, C.S., and Rho, H.M., "Feature-based machining precedence reasoning and sequence planning," *Proc. ASME Computers in Engineering Conference*, Atlanta, Georgia, (1998), pp.1-16.