

## 자동화된 제조시스템에서의 단기간 생산계획 -Short-Term Production Planning of an Automated Manufacturing System

김 진 규\*

### Abstract

The short-term production planning of an automated manufacturing system is to determine the production rate of each part type or family of part types. The purpose of this paper is to develop an optimal algorithm for solving the short-term production planning problem while machine failures, repairs, and changes in demand requirements are anticipated. The problem is formulated by LP and it shows that the production surplus is approached or stays at the hedging point. In addition, the long-term average frequencies of set-ups with relation to a multilevel hierarchical production planning scheme are considered. An example to show the effectiveness of the algorithm is presented.

### 1. 서 론

대규모의 투자를 필요로 하는 FMS(Flexible Manufacturing System)와 같은 자동화된 제조시스템(automated manufacturing system)의 투자효과를 살리기 위하여는 투자된 설비를 최대한 효율적으로 운영하여야 하며, 효율적 운영은 적절한 생산계획, 일정계획 및 현장관리에 의해서만이 가능하다. 그러나 회적의 생산계획 등을 수립하기 위하여는 합성된 생산자원의 이용가능성과 제품 생산을 위하여 필요한 공정, 공정순서등이 모두 고려되어야 하므로 매우 복잡한 수리적 모델이 필요하다[3, 10, 11].

특히 자동화된 제조시스템을 구성하는 기계가 우발적으로 고장(failure)이 나며, 또한 수리(repair)도 확률적(stochastic)인 시간으로 될 때 생산계획을 종합적으로 수립하는 문제는 지금까지의 기계고장과 수리를 무시한 대부분의 확정적(deterministic)인 수리 모델과는 아주 다르게 된다[1, 2, 5, 6, 7, 9].

이산적(discrete)인 제품을 제조하는 데 있어서 생산계획과 통제를 효율적으로 하기 위한 모델링 체계를 Maxwell et al.(1983)이 일목요연하게 항목별로 비교 연구하여 제시하였는데, 여기서 시간이 확률변수이면서 공급과 수요에서 불확실성을 해결할 수 있는 생산계획체계는 계층적(hierarchical)인 체계라고 분석을 하였다. Liberatore와 Miller(1985)는 이 계층적 생산계획체계를 수송까지 고려한 장치산업공장에 실제로 적용하여 혼합형수계획모형으로 수식화하여 해결하였다. 그러나 FMS의 체인으로 구성된 다단계 단제품 제조공장에서의 생산계획문제는 계층적으로 해결한다고 하더라도 문제의 복잡성 때문에 효율적인 해법을 개발하는데에는 상당한 어려움이 따른다. 따라서 Villa(1988)는 이를 해결하기 위하여 기존에 개발된 해석적인 방법과 이를 보완해 줄 수 있는 지식기반(knowledge-based)방법을 개발하여 이를 혼용한 계층적 복합구조(hybrid architecture)의 알고리즘을 개발하였다.

자동화된 제조공장의 생산계획문제에 대하여서는 많은 연구가 이루어졌지만, 이 자동화된 설비에 신뢰성이 의문시 되는 즉 고장과 수리가 확률적으로 발생하며 또한 유지·보수(maintenance)와 생산환경이 주시로 변화하는 상황에서의 실질적인 생산계획문제를 해결해 주지는 못하였다. 이에 Kimemia와 Gershwin(1983)은 위와 같은 상황에서의 생산계획문제를 처음으로 연구하여 단계별 계층적 통제 알고리즘을 제시하였다. 이 연구를 토대로 Akella et al.(1984)은 FMS에 대한 계층적 생산설계계획문제를 더욱 확장하여 그 결과를 다양하게 분석하였으며 또한 계층적 단계로 다시 수정하여 제시하였다. Gershwin et al.(1985)은 위의 두 연구결과를 IBM PCB카드 조립공장모델에 적용하여 평균 재공품 재고(work in process)를 최소한으로 유지시키면서 소비자의 생산요구량을 충족시키는 데는 계층적인 전략이 매우 효과적이라는 것을 입증하였으며, Choong과 Maimon

\*한양대 산업공학과 박사과정  
접수: 1991. 10. 25.

(1986) 그리고 Maimon과 Gershwin(1988)은 위 연구들의 연장으로 작업 경로(routing)문제를 함께 고려하였다. 그러나 이들 연구에서는 가공시간에 비하여 작업준비시간(setup time)이 아주 미세하여 무시하였으나 실제로의 자동화된 기계에서는 공구교환시간과 같은 작업준비시간이 존재하기 때문에 Gershwin(1986)은 이를 고려한 장기적인 생산계획을 연구하였다.

이들 연구에서는 전체의 생산계획 및 통제체계를 포함적으로 다루었기 때문에 세부적인 지역적(local) 의사 결정문제에 관한 것은 구체적으로 다루지 않았다.

따라서 본 연구는 기계고장과 수리, 수요량의 변화가 예기되는 상황에서 현재 이용 가능한 생산능력을 고려하여 제품의 단기간 생산계획 즉 생산율(production rate)을 결정하는 수리적 모델과 이를 해결하는 알고리즘을 개발한다. 또한 이 문제를 계층적 차원에서 연계하여 장기간에 있어서 작업준비시간을 고려한 장기간 생산계획문제도 해결한다. 각 경우에 이론적인 내용을 잘 반영하여 이해할 수 있는 수치에도 나룬다.

## 2. 계층적인 생산계획체계

자동화된 제조시스템에 있어서 기계고장과 수요량 변동에 대해서 효율적으로 대응할 수 있는 3수준의 계층적인 생산계획체계(hierarchical production planning scheme)는 그림 1과 같다.

### 2.1 최상위수준(Top Level)

최상위수준은 하위수준들의 정책결정을 위한 의사결정 매개변수값을 발생시키는 것으로서 생산을 개시할 때 단 한번만 계산하도록 설계된 것으로서 오프라인(off-line)으로 처리된다. 생산요구량, 시스템의 시설배치, 현장에서의 기계에 관한 생산자료(가공시간, MTBF, MTTR, 유지보수) 등을 이용하여서 요구된 생산업무를 총괄시키기 위한 의사결정 매개변수(hedging point, 비용계수등) 값을 결정한다.

### 2.2 중간수준(Middle Level)

최상위수준과 중간수준이 합쳐져서 총괄생산계획(aggregate production planning)단계를 구성한다. 이 중간수준에서는 요구된 생산량을 총괄시키기 위하여 최상위 수준에서의 값을 이용하여 최종제품, 부·분품, 공정등의 단기생산계획(short-term production planning)을 수립한다. 즉, 이 수준은 계층적인 생산계획의 가장 중요한 단계로서 기계고장과 수리, 수요변화를 고려하여서 현재 이용 가능한 생산능력하에서 각 작업물(part)에 대하여 단기간의 생산계획 즉 생산율을 설정하는 것이다. 연속된 각 공정의 효율적인 운영을 위하여 최대로 허용된 공정보유량은 기계고장에 기인해서 일어날 수 있는 가공시간의 편차나 변동에 대하여 보충할 수 있도록 수학적기법이나, 대기(queuing)네트워크, 시뮬레이션등에서 하나의 방법을 사용하여 얻을 수 있다[7].

### 2.3 하위수준(Low Level)

하위수준은 계산된 생산율과 동일한 작업물의 부하율을 유지할 목적으로 작업물을 제조시스템에 배포(dispatch)하는 단계로서 실시간 통제(real-time control)단계이다. 요구된 부품, 하부조립품, 조립품을 만들기 위하여 필요한 공정의 실시간 통제는 주어진 납기(duedates)내에서 최저의 공정 간 재고수준을 유지시키면서 최소의 작업총처리시간(makespan)을 가진 단기간 생산요구량을 총괄시키는 것이다. 이 요구량은 총괄생산계획단계에서 구하여진 값이다.

본 연구에서는 위의 3수준 중에서도 가장 중요한 중간수준에서의 생산계획을 수립하는 것이다. 그러나 중요한 사실은 전체적(global)이든 지역적(local)이든 간에 계층적 의사결정정책은 분리하여 이루어질 수 있는데, 지역적인 의사결정은 전체적인 의사결정의 토대 아래 이루어져야 한다.

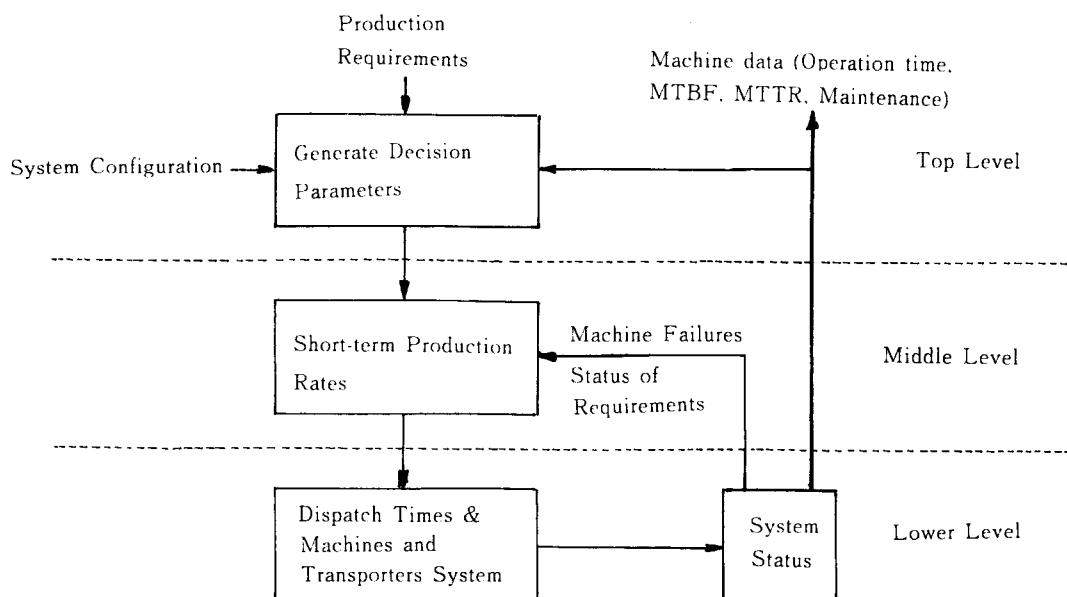


Figure 1. Hierarchical Production Planning Scheme for Automated Manufacturing System.

### 3. 수리적 모델과 해법

#### 3.1 전제조건과 부호정의

본 연구의 알고리즘 개발을 위한 전제조건은 다음과 같다.

1) 수리적 모델에 사용되는 시간들의 관계는 다음과 같다.

$$\text{준비시간} \ll \text{가공시간} \ll \text{MTBF}, \text{MTTR} \ll \text{생산계획기간}$$

여기서 MTBF(Mean Time Between Failure)는 고장간의 동작시간 평균치이며 MTTR, (Mean Time To Repair)은 평균수리시간이다.

또한 준비시간은 미세하여 가공시간에 포함된다.

- 2) 작업물은 언제든지 시스템에 부하/loading)될 수 있도록 준비되어져 있다. 즉 시스템의 기근 (starvation)현상은 절대 발생하지 않는다.
- 3) MTBF와 MTTR은 기계효율에 독립적이다.

본 연구의 수리적 모델 전개에 필요한 부호들은 다음과 같이 정의된다.

$i$  : 기계 ( $i=1, \dots, I$ )

$j$  : 작업물 ( $j=1, \dots, J$ )

$\tau_{ij}$  : 작업물  $j$ 가 기계  $i$ 에서 가공될 때의 시간

$W_j(t)$  :  $t$ 시점까지 기계  $i$ 에서 처리된 작업물  $j$ 의 총량

$d_j(t)$  : 작업물  $j$ 의 수요율

$x_j(t)$  : 작업물  $j$ 의 생산재고나 부족분(production surplus)

$T_i$  : 총생산계획기간  $T$ 동안에 기계  $i$ 에서 이용 가능한 시간 ( $T_i \leq T$ )

$\alpha_i(t)$  : 기계  $i$ 의 가동상태(operational state)

$$\alpha_i(t) = \begin{cases} 0, & \text{if machine } i \text{ is down} \\ 1, & \text{if machine } i \text{ is up} \end{cases}$$

### 3.2 모델 전개

기계에서의 모든 작업은 유한한 양의 시간을 필요로 한다. 이 의미는 시스템으로 유입되는 작업물의 율은 제한되어야 한다는 것이다. 그렇지 않으면 작업물은 처리능력이 상으로 시스템에 유입되어서 공정간 많은 대기와 재공품재고를 유발시키게 된다. 이 결과로 부하율이 증가함에 따라 생산량은 떨어지고 그 부하율도 생산능력을 초과하게 된다. 따라서 시스템의 생산능력을 신중히 규정하는 것은 실시간 일정계획에서 매우 중요한 첫번째 단계이다.

모든 작업물을 생산하기 위하여 기계  $i$ 에 대해서 요구된 용량제약식은 다음과 같이 정의된다.

$$\sum_j \tau_{ij} W_j \leq T_i \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

그런데  $T_i/T$ 는 기계  $i$ 의 이용율(availability)로서  $e_i$ 라는 값으로 정의되며,  $W_j/T$ 는 작업물  $j$ 의 평균생산율(production)로서  $u_j$ 라는 값으로 정의된다. 따라서 작업물  $j$ 의 재고나 부족분(production surplus) $x_j$ 는  $t$ 시점까지 총생산량에서 총수요량을 차감한 값으로 다음과 같다.

$$x_j = W_j - t \cdot d_j \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

단기간 생산목표는 총생산계획기간  $T$ 시점에서 이  $x_j$ 값이 가능한 한 '0'이 되게끔 하는 것이다. 식 (1)을 총생산계획기간  $T$ 로 양변을 나누면,

$$\begin{aligned} \sum_j \tau_{ij} W_j / T &\leq T_i / T \\ \sum_j \tau_{ij} u_j &\leq e_i \quad \dots \dots \dots \quad (3) \end{aligned}$$

과 같이 된다.

기계  $i$ 의 이용율  $e_i$ 는 장기간에 걸친 기계상태  $\alpha$ 의 평균값이므로, 각 작업물  $i$ 에 대한 순간적인(instantaneous or current) 용량제약식은 다음과 같이 정의된다. 이 정의된 모든 생산물의 집합을  $\Omega(\alpha)$ 라고 하자.

$$\Omega(\alpha) = \{u_j \mid \sum_j \tau_{ij} u_j \leq \alpha_i \text{ and } u_j \geq 0\} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

for all  $i, j$

식 (2)에서 정의한 작업물  $j$ 의 재고나 부족분  $x_j$ 를 적게 유지시키는 것이 수요를 추적(tracking)하는 가장 효율적인 방법이다. 그러나 기계의 우발적인 고장 등은 생산용량에서 감소를 가져온다. 그래서 가능할 때 초과생산을 해서 안전재고(safety stocks)를 축적하여서 이와 같은 상황에 보충을 할 수 있어야 한다. 즉 모든 생산기간 동안에  $x_j$ 값을 거의 '0'으로 유지시키기 보다는 기계상태  $\alpha$ 를 고려한 안전재고수준  $H_j(\alpha)$ 로 유지시키는 것이 보다 합리적이다. 이 최적수준  $H_j(\alpha)$ 를 hedging point라고 한다.

Hedging point  $H_j(\alpha)$ 값을 추정해 보자.  $x_j$ 가 기계고장전에 기계상태  $\alpha$ 에 대응된  $H_j(\alpha)$ 에 도달했다면, 그 다음은  $u_j$ 가  $d_j$ 값으로 선택되어  $x_j$ 는 상수가 된다. 만약  $t_0$  시점에서 기계고장이 발생하여  $u_j$ 가 '0'의 값이 되면,  $x_j$ 는  $d_j$ 만큼씩 감소한다. 고장이  $T_r$ 시간 동안 즉 MTTR의 기대치 동안 계속된다면 다음에 정상 가동하면  $x_j$ 의 최소값은  $H_j(\alpha) - d_j T_r$ 이 되었다가 다시  $u_j - d_j$ 로 증가한다.  $u_j$ 값은  $x_j$ 가  $H_j(\alpha)$ 값에 도달하기 전의 평균생산율값을 나타낸다. 그리하여  $t_1$ 시점에서  $H_j(\alpha)$ 까지 증가한 다음, 다시  $u_j$ 는  $d_j$ 값 만큼 생산하므로  $x_j$ 는 다음 고장 시점  $t_0 + T_r + T_r$ 까지 상수값을 유지한다. 여기서  $T_r$ 는 MTBF의 기대치이다. 이 궤도추적(trajecoty) 상황을 그림으로 나타내면 그림 2와 같다.

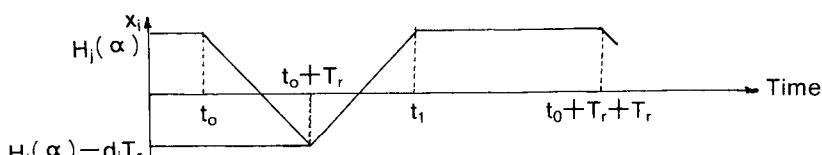


Figure 2.  $x_j$  Trajectory for Estimating the Hedging Point  $H_j(\alpha)$

따라서 기계상태  $\alpha$ 로서 작업물 j의 hedging point  $H_j(\alpha)$ 는 다음과 같이 정의된다[2, 6].

$$H_j(\alpha) = \frac{T_r \cdot d_j(b \cdot u_j' - a \cdot d_j) - T_f \cdot a \cdot d_j(u_j' - d_j)}{(a+b)u_j'} \quad (5)$$

단, a, b는 채도가 양수, 음수가 될때의 가중치, 즉 재고나 부족분의 가중치별과금.

분석을 간단히 하기 위해서식 (5)을 다음과 같이 단순화된 식으로도 사용한다.

$$H_j(\alpha) = \frac{d_j \cdot T_r}{2} \quad (6)$$

이  $H_j(\alpha)$ 값으로 단기간에 있어서 고장이 나기 쉬운 세조시스템(failure prone manufacturing system)의 생산율  $u_j'$ 를 다음과 같이 제한할 수 있다.[1]

$$u_j' = \begin{cases} 0, & \text{if machine for part } j \text{ is down} \\ [0, u_j'], & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

식 (7)에서 기계상태  $\alpha$ 가 정상가동일 때의 최적 생산율 정책은 다음과 같다.

$$u_j^* = \begin{cases} u_j', & \text{if } x_j < H_j(\alpha) \\ d_j, & \text{if } x_j = H_j(\alpha) \\ 0, & \text{if } x_j > H_j(\alpha) \end{cases} \quad (8)$$

다음은 단기간의 생산율을 결정하는 선형계획문제에서의 목적식 비용계수인  $C_j$ 값을 구하여 보자.  $x_j$ 의 합수인 계수  $C_j$ 는 작업물 j가  $H_j(\alpha)$  아래로 떨어지면 음수값을 가지며, 그의 절대값은 더욱더 고가(more valuable)하거나 유동성(vulnerability) 있는 작업물에 대해서는 그 값이 커지게 된다. 그리하여 생산에서의 수요를 차질없이 충당하게 된다.

$$C_j(x_j) = A_j(\alpha)(x_j - H_j(\alpha)) \quad (9)$$

여기서  $A_j(\alpha)$ 는 각 작업물 j에 대한 상대값(relative value)과 유동성을 반영하는 변수로서, 이 값을 작업물 j가 방문하는 모든 기계의 수를 나타낸 값이다.

따라서 각 작업물의 생산율은 기계상태  $\alpha$ 와 재고수준을 고려하여서 결정하여야 하며, 이는 순간적인 현행의 생산용량 제약하에서의 선형계획문제로 다음과 같이 정식화된다.

$$\begin{aligned} \text{Min } & C(U) \\ \text{s.t. } & U \in \Omega(\alpha) \end{aligned} \quad (10)$$

위의 선형계획모형에서 U는 생산율( $u_1, u_2, \dots, u_n$ )의 벡터이며,  $C(U)$ 는 목적식함수로서 식 (9)에서 구한  $C_j$ 값을 이용하여 다음과 같이 정의된다.

$$C(U) = \sum C_j u_j \quad (11)$$

제약식은 식(4)에서의 용량제약식이다.

기고장과 주리, 수요변화가 예기되는 상황에서 현재 이용 가능한 생산능력을 고려하여 단기간의 생산계획 즉 생산율을 구하는 알고리즘은 앞에서 논의한 세종식인 생산계획체계 개념과 모델 전개에서 개발된 선형계획 문제를 중심으로 하여 다음과 같이 제시한다.

단계 1. 주어진 입력자료를 이용하여 기계상태  $\alpha$ 와 용량제약식 집합  $\Omega(\alpha)$ 를 구한다.

단계 2. 생산수요량  $d_j$ 값을 기준으로 수요 충족 가능성을 체크한다.

단계 3. 식 (9)의 선형계획문제의 비용계수인  $C_j$ 값을 계산한다.

단계 4. 매순간마다 식 (10)의 선형계획문제를 계산하여 각 작업물에 대한 단기간의 생산계획 즉 생산율을 구한다.

### 3.4 수치예

단기간에 있어서 계층적인 생산계획의 적용 수치에는 그림3과 같은 유연이동라인(flexible transfer line)에서의 생산율을 결정하는 것이다. 시스템은 2개의 작업장(WS1, WS2)으로 구성되며, 각 작업장은 동일한 능력의 2대의 기계로 구성되어져 있다( $M_{ij}$ 는  $WS_i$ 의  $j$ 번째 기계임).

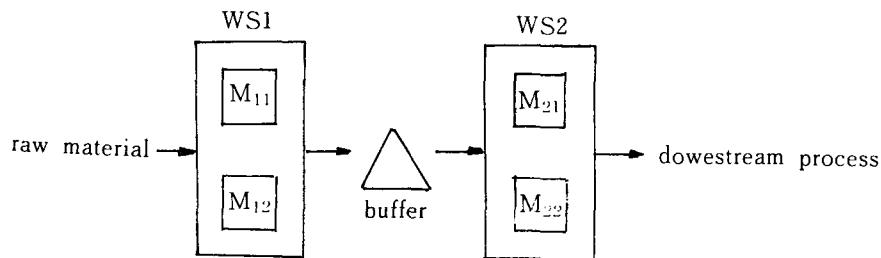


Figure 3. Flexible Transfer Line

작업장에서 작업물 처리상황과 소요시간은 표 1과 같다.

Table 1. Processing Time for the Parts

(unit : min)

part	WS	WS1	WS2	
1	$M_{11}$	0.33	$M_{21}$	0.33
2	$M_{12}$	0.67	$M_{22}$	—

작업물에 대한 수요는 다음과 같이 일정하다.

$$d_1 = 2.5$$

$$d_2 = 1.25$$

본 수치예의 자료를 이용하여 기계상태  $\alpha$ 와 용량제약식 집합  $\Omega(\alpha)$ 을 구하면 표 2와 같다.

Table 2. Control Constraint Sets for Machine States

Machine State( $\alpha$ )	Control	Constraint	Sets( $\Omega(\alpha)$ )
(0, 0)		$u_1 + 2u_2 \leq 0$	$u_1 \leq 0$
(1, 0)		$u_1 + 2u_2 \leq 3$	$u_1 \leq 0$
(0, 1)		$u_1 + 2u_2 \leq 0$	$u_1 \leq 3$
(1, 1)		$u_1 + 2u_2 \leq 3$	$u_1 \leq 3$
(2, 0)		$u_1 + 2u_2 \leq 6$	$u_1 \leq 0$
(0, 2)		$u_1 + 2u_2 \leq 0$	$u_1 \leq 6$
(2, 1)		$u_1 + 2u_2 \leq 6$	$u_1 \leq 3^*$
(1, 2)		$u_1 + 2u_2 \leq 3$	$u_1 \leq 6$
(2, 2)		$u_1 + 2u_2 \leq 6$	$u_1 \leq 6^*$

생산의 용량제약식 집합에서의 수요의 충족성 여부를 살펴보면, 표 2에서 \* 표시한  $\alpha$ 에서만 생산이 수요를 충족시킬수 있고 나머지는 모두 수요가 시스템의 생산용량을 초과한다. 따라서 \* 표시한 기계상태에서만 시(7)에서의 비용계수  $C_j$ 값을 계산하여 다음의 선형계획문제에서 각 작업물에 대한 단기간의 생산율을 구한다.

1)  $\alpha = (2, 1)$ 

$$\text{Min } C_1 u_1 + C_2 u_2$$

$$\text{s.t. } u_1 + 2u_2 \leq 6$$

$$u_1 \leq 3$$

$$u_1, u_2 \geq 0$$

2)  $\alpha = (2, 2)$ 

$$\text{Min } C_1 u_1 + C_2 u_2$$

$$\text{s.t. } u_1 + 2u_2 \leq 6$$

$$u_1 \leq 6$$

$$u_1, u_2 \geq 0$$

#### 4. 준비시간을 고려한 생산계획

확률적 상황에서의 생산계획문제에서 기존 연구들 [2, 6, 7, 9]뿐만 아니라, 본 연구의 세 3장에서도 작업준비시간은 무시되었으나, FMS와 같은 자동생산시스템에서는 실제적으로 준비시간이 상당한 양으로 존재한다. 왜냐하면 금속절단, PCB조립, VLSI제작 등과 같은 다양한 작업물군(family)을 처리하는 데에는 기계공구들의 집합개념인 시설배치(configuration)의 변경을 필요로 하기 때문이다.

따라서 본 장에서는 작업준비시간을 고려한 생산계획 즉 생산율을 결정하는 것이다. 그러나 기간 개념은 제 3장에서의 기간 개념을 단기간 규모(short time scale)라고 한다면, 본 장에서의 기간 개념은 장기간 규모(long time scale)라고 할 수 있다. 이는 단기간에서는 기계고장, 수리와 같은 사건은 일어날 수 있으나 시설배치의 변경은 절대로 일어나지 않으며, 장기간에서는 시설배치의 변경으로 인한 많은 작업준비가 발생한다.

##### 4.1 수리적 모델

수리적 모델 전개를 위한 기호를 다음과 같이 정의한다.

$s_{mk}$  : 시설배치를  $m$ 에서  $k$ 로 변경하는데 걸리는 시간, 즉 작업준비시간

$w_m$  : 시스템이 시설배치  $m$ 에 있는 시간의 비율로서 준비시간은 포함 안됨

$f_{mk}$  : 시설배치가  $m$ 에서  $k$ 로 변화하는 빈도수

$\phi_{mk}$  : 시스템이 시설배치  $m$ 에 있는 동안에 시설배치가  $m$ 에서  $k$ 로 변화하는 빈도수

위의 기호정의에서 부터 다음 관계식이 존재한다.

$$f_{mk} = \phi_{mk} \cdot w_m \quad \dots \dots \dots \quad (12)$$

시스템이 어떤 시설배치에 있을 수 있는 총시간은 다음과 같다.

$$\sum_m w_m + \sum_{m \neq k} s_{mk} \cdot f_{mk} = 1 \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

이 시설배치의 변경문제는 Markov Process의 평형상태 확률분포 방정식과 유사한 개념으로, 시설배치  $m$ 과  $k$ 간에 있어서 평형상태방정식은 다음과 같이 정의된다.

$$[\sum_{m \neq k} \phi_{mk}] w_m = [\sum_{m \neq k} \phi_{km}] w_k \quad \dots \dots \dots \quad (14)$$

빈번한(frequent) 작업준비는 이용 가능한 생산용량을 감소시켜서 생산 요구량의 충족을 불가능하게 하며, 빈번하지 않은(infrequent) 작업준비는 작업주기시간(cycle time)과 재고를 증가시키므로 적절한 빈도수의 작업준비를 설정해야 한다.

장기간 규모의 생산율은 장기간 규모의 용량제약식을 만족해야 하는데 이를 식 (4)에서와 같은 개념으로 집합  $\Omega_L^m(\alpha)$ 로서 규정한다.

$$\Omega_L^m(\alpha) = \{u_i \mid \sum \tau_{i,m} u_i < E(\alpha_i) \text{ and } u_i \geq 0\} \quad \dots \dots \dots \quad (15)$$

위 식에서  $m$ 은 시스템이 시설배치  $m$ 에 있음을 나타내며,  $L$ 은 장기간 규모를 나타내는 첨자(index)로서 그 이외의 부호정의는 제 3장에서와 같다. 단,  $E(\alpha_i)$ 는  $\alpha_i$ 의 장시간 규모에 걸친 기계  $i$ 의 평균 이용도(average availability)이다.

작업물  $i$ 에 대한 장기간의 평균 수요를 총족시킬기 위해서는 다음 식을 총족시켜야만 한다.

$$d_{i,j} = \sum_m w_m u_{i,j}^m \dots \quad (16)$$

식 (13)에서  $f_{mk}$ 가 증가함에 따라  $w_m$ 은 감소한다. 따라서 만약  $w_m$ 이 너무 작다면, 즉 시스템이 생산을 하는데 충분한 시간을 소비하지 못하면 식 (16)은 어떤 가능한  $w$ 에 대해서도 만족되지 않을 수도 있다. 그러므로 식 (16)에는 작업준비 빈도수에 있어서 상한한계(upper limit)가 부과되어야 한다.

따라서 식 (13), (14)를 만족하면서 식 (15), (16)을 총족시킬 수 있는  $\phi_{mk}$ (혹은  $f_{mk}$ ),  $w_m$  그리고 생산율  $u_{i,j}^m$ 을 결정하는 것이다.

#### 4.2 수치예

두 종류의 시설배치로 세 가지 유형의 작업물을 가공처리하는 FMS시스템을 고려해보자. 시스템은 두 개의 다른 기계공구 고정장치가 부착되어 있는 한대의 기계로 구성되어 있다. 시설배치 1에서 시스템은 유형1과 2의 작업물을, 시설배치2에서는 유형1과 3의 작업물을 가공한다. 가공시간  $\tau_{ij}^m$ 은 신뢰성을 고려한 후에 각 작업물에 있어서 모두 평균 한시간 걸린다. 그리고 작업물의 수요율은 시간당  $d_{1,1}=0.3$ ,  $d_{1,2}=0.2$ ,  $d_{1,3}=0.4$ 이며 작업준비시간은  $s_{12}$ ,  $s_{21}$ 로서  $s_{12}$ 는 시설배치 1에서 2로 기계공구를 변경(교체)하는데 걸리는 시간이다.

위의 문제에 대한 해법은 다음과 같다.

식 (13)의 정상화 방정식 :

$$w_1 + w_2 + s_{12}\phi_{12}w_1 + s_{21}\phi_{21}w_2 = 1 \dots \quad (17)$$

식 (14)의 시스템의 평형상태 :

$$\phi_{12}w_1 = \phi_{21}w_2 \dots \quad (18)$$

식 (15)의 용량 제약식 집합 :

$$\begin{aligned} m=1 : u_{1,1}^{-1} + u_{1,2}^{-1} &\leq 1 \\ m=2 : u_{1,1}^{-2} + u_{1,3}^{-2} &\leq 1 \end{aligned} \dots \quad (19)$$

식 (16)의 시스템 평형상태에서의 수요총족 :

$$\begin{aligned} w_1 u_{1,1}^{-1} + w_2 u_{1,1}^{-2} &= 0.3 \\ w_1 u_{1,2}^{-1} &= 0.2 \\ w_2 u_{1,3}^{-2} &= 0.4 \end{aligned} \dots \quad (20)$$

식 (17), (18)에서  $w_1$ ,  $w_2$ 를 구해서, 이 값을 식 (20)에 대입해서, 그 식과 식 (19) 그리고  $w_1 + w_2 \geq 0.9$ 를 이용하여 해답을 구하면 다음과 같다. 단, 모든 부등식은 등식으로 만족한다고 가정한다.

$$\begin{aligned} w_1 &= w_2 = 0.45 \\ \phi_{12} &= \phi_{21} = 2/[9(s_{12} + s_{21})] \\ u_{1,1}^{-1} &= 5/9, \quad u_{1,2}^{-1} = 4/9 \\ u_{1,1}^{-2} &= 1/9, \quad u_{1,3}^{-2} = 8/9 \end{aligned}$$

부수치예의 FMS시스템은 시설배치 1에서 출발하여 유형 1, 2의 작업물을  $5/9$ ,  $4/9$ 율로 생산하고, 약  $2/[9(s_{12} + s_{21})]$  시간후에 시설배치 2로 변경 되는데  $1/9$ ,  $8/9$ 율로 생산하며, 시스템은 이 시설배치에  $2/[9(s_{12} + s_{21})]$  시간 머물게 된다. 그런 다음 다시  $s_{21}$ 시간 걸려서 시설배치 1로 시스템은 되돌아 간다. 이 상황을 그림 4와 같이 나타낼 수 있다.

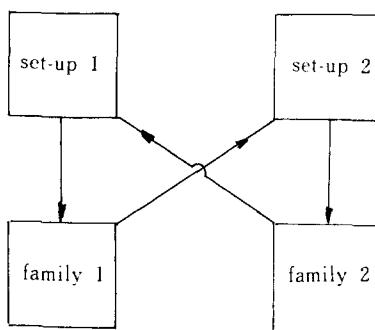


Figure 4. Configuration States of Numerical Example

## 5. 결 론

자동화된 제조시스템에 있어서의 단기간 생산계획문제는 기계고장과 수리, 수요량의 변화가 예기되는 상황에서 현재 이용 가능한 생산능력을 고려하여 제품의 단기간 생산계획 즉 생산율을 결정하는 것이다.

본 연구에서는 이와 같은 최적의 생산율을 결정하는 수리식 선형계획 모델을 수립하여 이를 해결하는 제제적인 알고리즘을 개발하였다. 이 알고리즘은 현재 충분한 생산능력이 허용되는 상황에서 생산의 증분량 즉 재고나 부족분이 hedging point에 근접하거나 머물도록 하는 상황을 구사하여 생산율을 결정하는 것이다.

본 연구는 자동화된 제조시스템의 단계총작업 생산계획체계를 제시하였으며, 또한 장기간에 있어서 작업준비의 평균민도문제를 단기간 생산계획문제와 연계하여 해결하였다. 그리고 각 강우에 있어서 수차례로 제시하였다.

앞으로의 연구과제는 작업준비에 있어서의 다양한 상황고려와 작업경로문제, 그리고 생산일정계획 및 통제문제를 종합적으로 고려하여 자동화된 제조시스템의 종합식이면서 계층적인 생산일정계획체계를 구축하는 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Akella, R. and P. R. Kumar, "Optimal Control of Production Rate in a Failure Prone Manufacturing," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, AC-31(2), pp. 116-126, 1986.
- [2] Akella, R., Y. F. Choong and S. B. Gershwin, "Performance of Hierarchical Production Scheduling Policy," *IEEE Trans. Components Hybrids Mfg. Technol.*, CHMT-7(3), pp. 225-240, 1984.
- [3] Buzacott, J. A., "Optimal Operating Rules for Automated Manufacturing Systems," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, AC-27(1), pp. 80-86, 1982.
- [4] Choong, Y. F. and O. Z. Maimon, "On Dynamic Routing in FMS," *Proc. IEEE Int'l. Conf. on Robotics and Automatic.*, pp. 1476-1481, 1986.
- [5] Gershwin, S. B., "Stochastic Scheduling and Setups in a FMS," *Proc. of the second ORSA/TIMS conf. on FMS*, Ann Arbor, Mich., August, pp. 431-442, 1986.
- [6] Gershwin, S. B., R. Akella and Y. F. Choong, "Short-Term Production Scheduling of an Automated Manufacturing Facility," *IBM J. Res. Dev.*, 29(4), pp. 392-400, 1985.
- [7] Kimemia, J. and S. B. Gershwin, "An Algorithm for the Computer Control of a FMS," *IE Trans.*, 15(4), pp. 353-362, 1983.
- [8] Liberatore, M. J. and T. Miller, "A Hierarchical Production Planning System," *Interfaces*, 15(4), pp. 1-11, 1985.
- [9] Maimon, O. Z. and S. B. Gershwin, "Dynamic Scheduling and Routing for FMS that have Unreliable Machines," *OR* 36(2), pp. 279-292, 1988.

- [10] Maxwell, W., J. A. Muckstadt, L. J. Thomas and J. VanderEecken, "A Modeling Framework for Planning and Control of Production in Discrete Parts Manufacturing and Assembly Systems," *Interfaces*, 13(6), pp. 92-104, 1983.
- [11] Ranky, P., *The Design and Operation of FMS*, IFS Ltd, UK, North-Holland Publishing Company, 1983.
- [12] Villa, A., "A Hierarchical Knowledge-Based/Analytical Approach to Fault-Tolerant Control in Flexible Manufacturing," *Proc. IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automatic*, pp. 1120-1125, 1988.