

페트리네트를 이용한 유연생산시스템 설계에 관한 연구

김 기 범,* 이 교 일**

A Study on the Design of Flexible Manufacturing Systems by using Petri Nets

Gi-bom Kim,* Kyo-il Lee**

ABSTRACT

Flexible Manufacturing Systems(FMS), which consist of various machine groups, can produce machine parts in different physical dimensions and lot sizes. In this paper, a novel method which utilizes Colored and Timed Petri Net is proposed to model a FMS. Each machine group of FMS is modularized and modeled using expanded Petri Nets. Colored and Timed Petri Nets are defined, and the flexible manufacturing systems's design algorithm based on this definition is developed and verified in a real FMS plant by computer simulations.

1. 서 론

생산원가의 절감, 단순작업의 기피 및 품질제고를 위하여 공장자동화가 추진되고 있으며, 최근 연구⁽¹⁾에 의하면 금속가공품목중 약 70%의 로트크기가 50개미만으로 보고되어 유연생산시스템의 도입이 필요하게 되었다. 유연생산시스템은 기계(Machine), 물류(Material Handling), 작업(Operation), 확장(Expansion), 생산(Production), 공정(Process), 수량(Volume)에 대한 유연성을 확보하여, 지정한 생산품목의 생산에 있어 낭비시간을 최소화 한다. 유연생산시스템은 이산현상시스템의 대표적인 예로서, 비동기성(Asynchronicity), 비확장성(Non-Determinism)등의 특징을 나타내며, 수학적인 모델링을 이용하여 해석

하기에 거의 불가능하다.

유연생산시스템은 여러 기계설비군으로 이루어져, 전체 시스템 성능에 영향을 미치는 많은 설계변수가 존재하며, 시스템을 설계하기 전에 결정하여야 한다. 모든 설계변수를 고려하는 것이 용이하지 않으므로 물류이동에 따른 변수는 일정하다고 가정하여 구성요소수를 대략적으로 구한 후, 시스템 배치 문제를 해결하는 것이 합리적이다. 그러므로, 본 논문에서는 시스템 설계단계 중에서 시스템 배치문제의 해결 전단계인 기계설비군의 요소기계수를 결정하는 방법을 제시하고자 한다.

Oba⁽⁶⁾는 정수계획법(Integer Programming)을 이용하여 최적설비조건을 구하였으나, 제한조건이 간단하며 확장하는데 제약조건이 있다는 단점이 있으며, Dallery⁽⁷⁾는 Queueing Network을 이용하여 최적설

* 고등기술연구원

** 서울대학교 기계설계학과

비조건을 구하려 하였으나 계산상의 어려움으로 근사적 해결을 구하였다. 페트리네트는 시물레이션 모델을 이용한 기법으로서, 시각적으로 이해하기 용이하고, 제어 시스템 구현까지 일관되게 적용할 수 있으며, 모델로부터 이산현상시스템의 성능을 평가하기에 용이하다는 장점이 있다. 페트리 네트는 1962년 Carl A. Petri⁽³⁾가 개발한 기법으로서, 기본적인 이산현상시스템을 표현할 수 있다. 그러나 유연생산시스템과 같이 다양한 품종을 처리하며, 또한 유연생산시스템의 성능을 평가하기 위하여는 Colored and Timed 페트리네트가 필요하다.

또한 유연생산시스템의 설계에 있어서는 기계구성이 빈번하게 바뀌며, 이에 따른 성능평가가 수행되어야 하므로, 유연생산시스템의 구성에 따라 페트리 네트 시물레이션 모델을 새로이 작성하여야 한다. 이를 해결하기 위하여는 유연생산시스템을 모듈화하여, 유연생산시스템의 구성이 바뀌에 따라 체계적으로 시물레이션 모델을 구성할 필요가 있다.

그러므로, 본 연구에서는 유연생산시스템을 표현하기 위하여, Colored and Timed 페트리네트를 정의하며, 체계적으로 시물레이션 모델을 구성하기 위하여 유연생산시스템을 모듈화하고, 모듈화된 유연생산시스템을 Colored and Timed 페트리네트를 이용하여 모델링하고자 한다. 또한 시물레이션을 수행하여 유연생산시스템의 성능을 평가하며, 평가결과를 통하여 유연생산시스템의 구성을 변화시켜, 주어진 조건을 만족하는 유연생산시스템을 설계하고자 한다.

2. Colored and Timed 페트리네트

초기 페트리네트는 정보처리분야의 이산현상을 모델링하기 위하여 개발되었으며, Dubois와 Steche⁽⁵⁾는 생산시스템의 동적해석을 위하여 페트리네트를 이용하였다. Silva⁽⁴⁾는 Colored Petri Net를 이용하여 상이한 제품을 생산하는 생산시스템을 해석하였다. 본 논문에서는 상이한 제품을 생산하는 유연생산시스템의 성능을 평가하기 위하여 기존의 페트리네트를 확장한 Colored and Timed 페트리네트를 정의하였으며, 다음과 같다.

Def.1 Colored and Timed 페트리네트 Z는 6개의 요소로 이루어져 있다.

$$Z ; (P, T, I, O, C, t)$$

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_m\} : \text{플레이스}$$

$$T = \{T_1, T_2, \dots, T_m\} : \text{트랜지션}$$

$$P \cup T \neq \phi, P \cap T = \phi$$

$$I : (P \times T) : \text{입력함수(input function)}$$

$$O : (P \times T) : \text{출력함수(output function)}$$

$$C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_k\} : \text{색(color)}$$

$$t = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_m\} : \text{시간(time)}$$

Def. 2 트랜지션 T_j 의 입력 플레이스의 군(set) $IP(T_j)$ 와 트랜지션 T_j 의 출력 플레이스의 군 $OP(T_j)$ 는 다음과 같다.

$$IP(T_j) = \{P_i \in P, I(P_i, T_j) \neq 0\} \quad \forall T_j \in T$$

$$OP(T_j) = \{P_i \in O(P_i, T_j) \neq 0\} \quad \forall T_j \in T$$

Def. 3 페트리 네트 Z의 marking을 M이라 할 때, M은 음이 아닌 정수의 집합이다.

Marking M은 페트리네트의 상태를 나타내는 m-벡터이며, m은 플레이스의 총수이다. 그러므로 Marking M의 요소는 플레이스에 위치한 토큰의 수를 뜻하므로 음이 아닌 정수이다.

Def. 4 페트리 네트 Z의 시간함수 $t(T_j)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$t = \text{현재시간}$$

$$t_0 = \left\{ \min t_i ; m(IP(T_j)) \neq 0 \text{ at } t_i \right\}$$

$$t(T_j) = PT_{i,j} - (t - t_0)$$

Def. 5 트랜지션 T_j 는 다음과 같은 조건을 만족하면 enable하다.

$$m(P_i) \geq I(P_i, T_j) \quad \forall P_i \in IP(T_j)$$

$$c(m(P_j)) = c(T_j) \quad \forall P_i \in IP(T_j) \text{ and } f(T_j) = 0$$

그리고 페트리 네트 Z가 Safe하면, 트랜지션 T_j 는 다음과 같은 조건을 만족하여야 Enable하다.

$$I(P_i, T_j) = 1 \quad \forall P_i \in IP(T_j)$$

$$c(m(P_j)) = c(T_j) \quad \forall P_i \in IP(T_j)$$

$$O(P_i, T_j) = 0 \quad \forall P_i \in OP(T_j)$$

$$t(T_j) = 0$$

3. 유연생산시스템 모델링

유연생산시스템은 다양한 제품을 동시에 생산할 수 있으므로 제어시스템은 전체 라인부하를 고려한 작업일정을 도출하여 생산지시를 내리게된다. 이때 유연생산시스템을 여러 기계설비군으로 분류할 수 있으며, 한 기계설비군내의 기계는 성능 및 보유공구를 동일하도록 한다. 기계수가 S_m 인 기계설비군을 페트리네트를 이용하여 모델링하면 <Fig.1>과 같이 나타낼 수 있다.⁽¹⁵⁾

<Fig.1>에서 기계설비군 내의 기계요소가 가공, 대기 및 가공후 대기를 나타내고 있으며 상세한 상태를 표현할 경우에는 <Fig.1>에서 status를 자세히 세분할 수 있다. 페트리네트에서는 일반적으로 플레이스와 토큰을 이용하여 시스템상태를 표현한다. <Fig.1>는 유연생산시스템을 앞장에서 정의한 Colored and Timed 페트리네트로 표현하였으므로 부품의 종류에 따라 여러 가지 색의 토큰이 존재할 수 있다. 기계상태 플레이스는 단지 기계의 대기상태를 나타내므로 기계상태 플레이스에 위치하는 토큰은 부품종류와는 관계없는 무색토큰(colorless token)이다. 유연생산시스템을 구성하는 다른 기계설비군을 <Fig.1>과 같이 모델링하면, 전체 시스템을 모델링할 수 있다. 유연생산시스템을 <Fig.1>과 같이 모델링하는 이유는 시스템모델을 시뮬레이션 결과에 따라 빈번히 변화시키고자 할 때, 변화된 모델에 대한 페트리네트모델을 신속히 구하기 위함이다. 페트리네트 모델에서 기계설비군의 기계수가 S_m 이라면,

$$\text{플레이스 수} : N_p = 2S_m + 1$$

$$\text{트랜지션 수} : N_t = 2S_m$$

이상과 같이 모든 기계설비군이 모델링되면, 각 부품의 가공순서에 따라 각각의 기계설비군을 연결하여 전

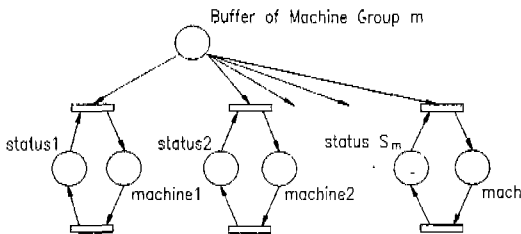


Fig. 1 유연생산시스템 요소기계설비군의 페트리네트 모델링

체 유연생산시스템을 구성하게 된다. 그런데 부품의 종류에 따라 가공순서가 다르게 되므로, 즉 토큰의 색에 따라 Colored and Timed 페트리네트 모델에서의 흐름이 바뀌게 되므로, 토큰 뿐만아니라 플레이스를 연결하는 트랜지션 또한 색을 갖게된다. 그러나 설계대상이 되는 유연생산시스템은 기계설비군들은 공유하고 있으므로 플레이스들은 토큰의 색과는 무관하게 된다. 이제 각 부품의 공정순서에 따라 각각의 기계설비군을 연결하게 되는데, 이는 앞서 정의된 트랜지션을 이용하여 전체 시스템을 구성한다. 아래의 시스템을 Colored and Timed 페트리네트로 구성하면 <Fig.2>, <Fig.3>과 같다.

부품종류 : 2종

작업번호	1공정		2공정	
	설비군	표준시간	설비군	표준시간
부품1	1군	10	2군	20
부품2	2군	30	3군	20

기계설비군 수 : 3군

기계설비군 1의 기계대수 : 2 대

기계설비군 2의 기계대수 : 3 대

기계설비군 3의 기계대수 : 3 대

4. FMS설계 소프트웨어 개발

1장에서 언급한 바와 같이, 유연생산시스템은 다양한 작업공정을 거치는 여러 제품을 동시에 가공하는 시스템이므로 설계자는 설계요구사항을 만족하는 유연생산시스템을 설계하기가 무척 어렵다. 복잡한 시스템설계의 경우, 해석적인 방법을 이용하는 것은 불가능하며, 기존의 시뮬레이션방법을 이용하면 시스템 설계변수에 따른 경우의 수가 증가하여 계산시간 및 노력이 많이 필요하게 된다. 그러므로 설계요구사항을 만족하는 시스템 초기설계치를 구한 후, 시스템 상세사항을 고려하여 기존의 시뮬레이션 방법을 이용하면 빠른 시간내에 시스템 설계를 수행할 수 있으므로, 본 논문에서는 시스템 초기설계치를 계산하는 소프트웨어를 개발하고자 한다.

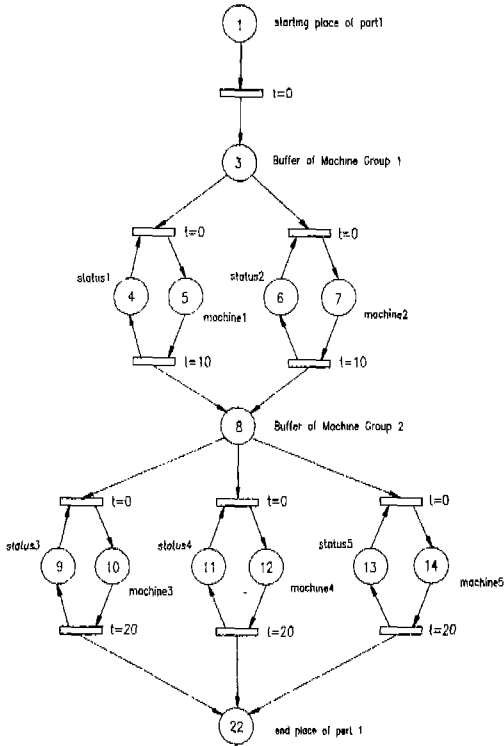


Fig. 2 부품1에 대한 시스템 모델링

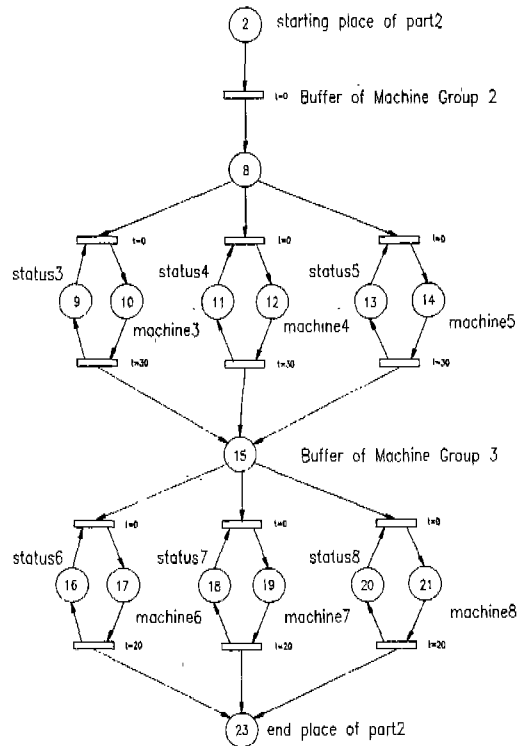


Fig. 3 부품2에 대한 시스템 모델링

서론에서 언급한 바와 같이 유연생산시스템의 성능에 영향을 미치는 인자는 1)생산품목, 2)목표생산량, 3)공정절차(Route), 4)대체공정, 5)시스템 구성요소 및 대수, 6)시스템 배치(Layout)등으로 매우 많다. 위의 인자중 생산품목 및 목표생산량은 영업부에서 제시되며, 생산품목의 공정설계로부터 생산에 필요한 시스템 구성요소를 결정할 수 있다. 그러면 생산품목의 공정절차 및 대체공정을 도출할 수 있다. 그 밖에도 가공공구, 펠릿수, 치구수, 버퍼수 등의 H/W와 관련된 인자들과 원자재 투입순서, 운영규칙(Dispatching Rule), 반제품 처리규칙, 이상상태 처리규칙 등 시스템 운영 S/W에 관련된 인자가 있다. 이와 같이 모든 인자를 고려하여 유연생산시스템을 설계하는 것은 불가능하며, 본 논문에서는 다른 모든 설계변수는 동일하다는 가정하에 생산품목, 목표생산량, 공정절차가 입력되었을 경우 여러가지 운영규칙에 따라 가장 최소의 기계요소수를 결정하고자 한다. 설계소프트웨어는 모듈화되어 있어, 운영규칙을 설계자의 목적에 따라 쉽게 변환할 수 있다. 개발된 소프트웨어는 SPT(Shortest Process-

ing Time)규칙, 최소슬랙(Minimum Slack)규칙, 선입선출(First In First Out)규칙을 이용하였다.

주어진 생산품목 및 목표생산량을 만족하는 기계요소수를 통하여 구하기 위하여 기계부하율, 버퍼대기시간 및 가공시간에 대한 민감도분석(Sensitivity Analysis)을 이용하여 반복계산을 수행하는 방법을 적용하였다. 기계요소수는 운영규칙 및 성능척도에 따라 다르게 구하여지며, 본 논문의 목적은 적용결과보다 운영규칙 및 성능척도를 설계자의 의도에 따라 적용하며 원하는 유연생산시스템의 기계설비군을 구성할 수 있는 방법을 제시함에 있다.

본 소프트웨어는 크기 1)초기설계, 2)페트리네트 모델링, 3)시뮬레이션, 4)성능평가로 나뉘어진다. 초기설계 모듈은 목표생산량의 각 요소기계별 가공시간을 계산하여 주어진 납기안에 생산할 수 있는 최소의 기계요소수를 구하는 모듈이며, 계산식은 다음과 같다.

$$\text{기계설비군 } i \text{의 초기 기계수} \\ = \sum_{j=1}^n \text{route}(j)(1) \times \text{product}(j) \times p / 1000 + 1$$

단, $p=1$ if $i=route(j)[0]$,
 $p=0$ if $i=route(j)[1]$,
 n_p 는 부품종류수

계산된 결과는 기계대기시간이 영일 경우의 기계요소 수이며 반복계산의 초기설정값이 된다. 초기설계 모델을 작성한 이유는 복잡한 유연생산시스템 설계시의 반복계산수를 줄이기 위함이다. 페트리네트 모델링 모델은 초기설계 모듈에서의 입력정보를 2장 및 3장의 정의에 따라 플레이스, 트랜지션 및 토큰을 할당하며 시뮬레이션의 준비작업을 수행한다. 시뮬레이션 모듈은 아래와 같은 규칙을 이용하여 앞서 구한 페트리네트 모델의 시뮬레이션을 수행한다. Colored and Timed 페트리네트 시뮬레이션을 수행시 Escudero 알고리즘⁽⁶⁾을 이용하여 원자재투입순서를 결정하였으며, 원자재투입순서에 따라 기계설비군의 시작플레이스에 color토큰을 투입하기 시작한다.

Rule 1: Transition T_i is enable
 iff $C(token(I_i(T_i)))=C(T_i)$ and $t(T_i)=0$
 and $token(O_j(T_i))=0, i, j$ are integer.

Rule 2: If transition T_i is fired, and

- 1) if $O(T_i)$ is machine place,
 $token(O_j(T_i))=token(I(T_i))$
 $C(token(O_j(T_i)))=C(token(I(T_i)))$
 $token(I(T_i))=0$
 $t(T_i)=pt_{i,j}$
- 2) if $O(T_i)$ is status place,
 $token(O_j(T_i))=token(I(T_i))$
 $C(token(O_j(T_i)))=0$
 $token(I(T_i))=0$
 $t(T_i)=pt_{i,j}$

네번째로, 성능평가 모듈은 시뮬레이션 결과로부터 현 요소설비구성이 주어진 납기를 만족하는가를 판단하고, 만족하지 못하면 병목기계를 선정하여 병목현상을 완화시키는 작업을 수행한다. 병목기계설비군을 선정하는 기준은 설계자에 따라 수많은 방법이 있으나, 본 소프트웨어에서는 앞서 언급한 기계부하율, 부품대기시간 및 가공완료시간을 이용하여 병목기계설비군을 검색할 수 있도록 하였다. 병목기계설비군이 선정되면

기계요소수를 증가시켜 상위의 페트리네트 모델링 모델로 이동시킨다. 이러한 방법을 이용할 수 있는 가장 큰 이유는 유연생산시스템을 모듈화하고 모델을 체계적으로 구성하였으므로 시스템 하드웨어(hardware)구성이 바뀔지라도 바로 유연생산시스템의 모델링을 수행하고 시뮬레이션할 수 있기 때문이다.

위와 같이 크게 4모듈로 구성된 설계소프트웨어를 개발하였으며, 이를 흐름도로 나타내면 (Fig.4)와 같다.

5. 결과 및 분석

예제를 통하여 4장에서 언급한 유연생산시스템 설계 소프트웨어의 성능을 확인하였다. 입력정보는 설계자가 가정하였으며, 시스템 요구사항으로 생산품목, 생산량, 생산공정 및 납기가 주어졌을 경우에 주어진 요구사항을 만족하는 최소요소기계수를 결정하였다. 유연생산시스템에서는 생산가능한 제품종이 관리자 및 설계자에 의하여 미리 결정되며, 본 예제에서는 10가지의 서로 다른 제품을 생산하는 시스템으로 가정하였다. 또한 영업예측 및 판매전략을 통하여 시스템의 목표생산량을 결정하는 데, 본 예제에서는 (Table 1)과 같이 생산품목 및 목표생산량이 주어졌을 경우를 가정하였다.

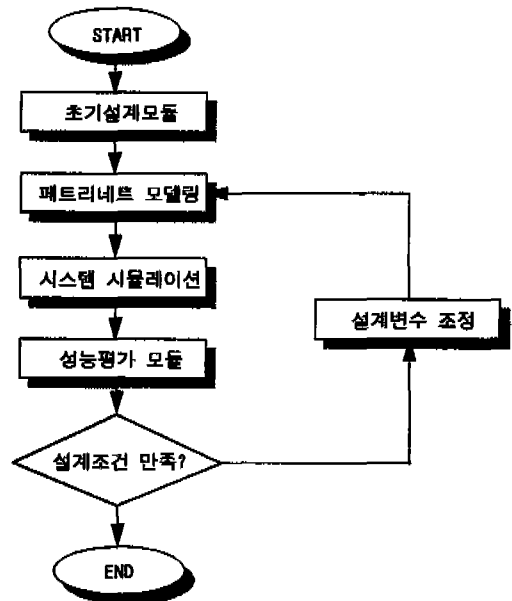


Fig. 4 유연생산시스템 설계소프트웨어 흐름도

Table 1 Production capacity of FMS during given time

부품종류	목표생산량
1	22
2	15
3	10
4	5
5	10
6	6
7	12
8	20
9	10
10	15

〈Table 1〉에서 주어진 목표생산량을 가공하기 위하여 유연생산시스템의 초기공정인 셋업스테이션에 원소재를 투입한다. 투입순서는 4장에서 언급한 Escudero 알고리즘을 이용하여 목표생산량만큼의 부품종류별 투입순서를 결정한다. 10가지 부품종류에 대한 생산공정 및 가공시간은 실제시스템을 고려하여 〈Table 2〉 및 〈Table 3〉과 같이 설정하였다. 설계하고자 하는 유연생산시스템은 총 30개의 요소기계설비군으로 이루어져 있으며, 〈Table 2〉에 10가지 종류의 부품이 30가지 종류의 기계요소설비군을 통과하는 가공공정을 나타낸다. 〈Table 3〉은 10가지의 부품이 30가지 종류의 기계요소설비군에서 가공되는 표준시간을 나타낸다. 본 가공공정에는 절삭가공 뿐만아니라 물류이동을 공정에 포함시켰으며, 물류장치로는 무인운반차(AGV), 스택크레인(Stacker Crane) 등을 의미하며 물류장치의 수도 설계변수에 포함된다. 본 예제에서, 같은 종류의 기계요소일 경우에도 보유하고 있는 공구가 달라 가공할 수 있는 공정이 상이하거나, 성능에 차이가 있어 가공시간을 다르게 입력할 경우에는 다른 요소설비군으로 모델링하며, 대체공정은 고려하지 않았다.

위와 같은 입력정보에 대하여 본 소프트웨어에서는 3가지 운영규칙, 즉 선입선출(First Input First Out-

Table 2 Production route of example 2

가공공정

공정 부품	가공공정														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	2	3	4	5	6	7	0	9	11	12	13	14	15
2	10	11	12	13	14	15	9	7	1	2					
3	15	1	12	7	8	9	3	4	1	2	17				
4	20	21	22	1	24	25	20	10	11	12	13	14			
5	20	19	21	23	14	15	6	10	11	12	3	4	10	1	
6	8	11	29	23	24	25	26	0	1	12	3	14	28	29	2
7	5	11	12	23	24	25	26	27	28	29	3	4	0		
8	20	11	12	13	4	5	16	10	29	27	23	25	18	19	9
9	19	15	12	18	14	25	26	20	17	15	3				
10	13	14	24	23	1	20	16	0	7	6	3	4	27	19	29

Table 3 Standard time of example 2

가공시간

표준시간 (분)

공정 부품	표준시간 (분)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	11	12	13	14	15
2	15	11	12	13	14	15	6	7	10	22					
3	25	21	12	17	8	9	13	14	21	22	17				
4	20	21	22	23	24	25	26	10	11	12	13	14			
5	20	19	21	23	14	15	26	10	11	12	23	24	30	21	
6	18	11	21	23	24	25	26	30	19	12	23	14	28	29	12
7	15	11	12	23	24	25	26	27	28	29	23	14	30		
8	20	11	12	13	4	5	16	10	29	27	23	25	18	19	29
9	19	11	12	18	24	25	26	20	17	15	23				
10	13	14	24	23	24	20	16	20	17	16	13	14	27	19	29

put), 최소가공시간(Shortest Processing Time), 최소슬랙(Minimum Slack)에 대하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 병목기계설비군을 선정하는 방법으로는 최대기계부하율, 최대대기시간 및 가공완료시간에 대한 민감도를 이용하였다. 그러므로 총 9가지에 대한 설계소프트웨어를 수행한 결과 선입선출법과 가공완료시간의 민감도를 이용하였을 경우에 가장 수렴속도가 빨랐다. 〈Fig.5〉에서 보는 바와 같이 반복계산을 17회 수행한 후, 가공완료시간 1000분내에 목표생산량을 모두 가공하였다. 이때 계산된 기계요소수는 〈Table 4〉에 나타났다. 총 9가지 방법에 대한 설계소프트웨어 수행중 시스템 성능이 상위 3위안에 포함된 다른 방법에 대한 결

과도 <Fig.6> 및 <Fig.7>에 나타내었다. 최소가공시간과 민감도를 이용한 결과, 반복계산 19회에 요구조건을 만족하는 요소기계수를 얻을 수 있었으며, 최소슬랙법과 민감도를 이용하였을 경우에는 반복계산 22회에 만족하는 해를 얻을 수 있었다. 계산시간은 HP9000/725 워크스테이션에서 약 2시간이 소요되었다.

본 예제를 통하여 여러가지 경우에 대하여 요소기계수를 결정할 수 있으며, 요소기계를 선정하는 과정에서 시스템 운영규칙에 대한 성능평가도 아울러 얻을 수 있었다. 본 설계소프트웨어에 설계자가 원하는 운영규칙 및 목적함수를 선정하여 삽입한다면 여러가지 경우에 대한 결과도 얻을 수 있다.

6. 결 론

동시성, 비동기성 등의 다양한 특성을 가진 이산현상 시스템을 모델링하기 위하여 Colored and Timed 페트리넷을 정의하였다. 유연생산시스템을 각각의 요소

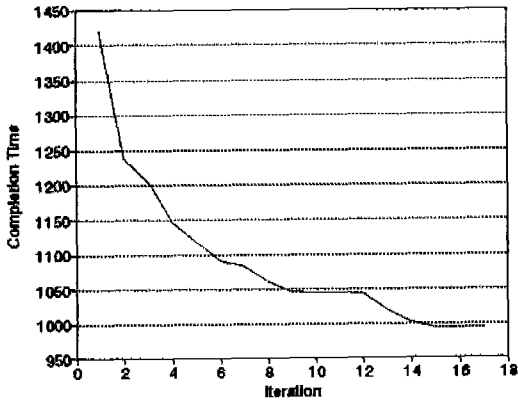


Fig. 5 Completion time at each iteration (First Come First Serve, Sensitivity Analysis)

Table 4 Machine numbers of machine groups at last iteration (First Come First Serve, Sensitivity Analysis)

기계설비군	기계대수	기계설비군	기계대수
0	2	15	3
1	3	16	2
2	2	17	2
3	4	18	2
4	3	19	2
5	3	20	3
6	2	21	1
7	2	22	1
8	1	23	2
9	2	24	2
10	1	25	4
11	2	26	2
12	3	27	2
13	3	28	1
14	4	29	3

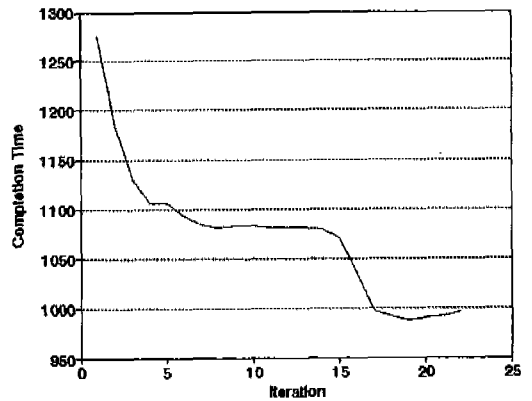


Fig. 6 Completion time at each iteration (Minimum Slack, Sensitivity Analysis)

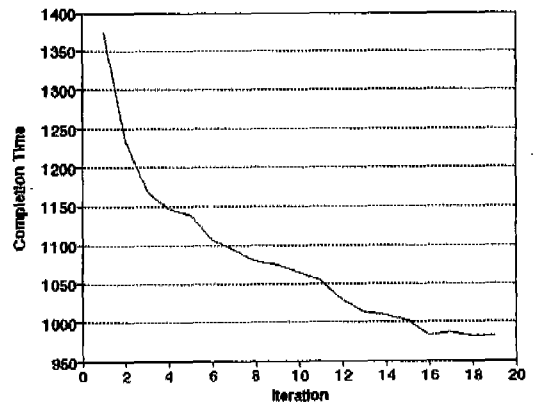


Fig. 7 Completion time at each iteration (Shortest Processing Time, Sensitivity Analysis)

기계설비군으로 모듈화하여, 입력조건에 따라 모델링 및 성능평가가 자동적으로 수행되는 소프트웨어를 개발하였다. 또한 부품종류, 가공공정, 표준시간, 생산량 및 납기가 주어지면, 최소한의 요소기계수로 구성되는 유연생산시스템의 설계방법을 제시하였다. 설계알고리즘을 예제를 통하여 검증하였으며, 요약하면 다음과 같다.

(1) 다양한 품종을 생산하며 여러 상이한 기계설비군으로 이루어진 유연생산 시스템을 모델링하고 성능을 평가하는 데에, 페트리네트를 확장한 Colored and Timed 페트리네트를 정의하였으며, 예제를 통하여 유용함을 검증하였다.

(2) 유연생산시스템을 설계하는 경우, 시스템모델은 운영알고리즘, 목적함수에 따라 빈번히 바뀌어질 수 있으며, 구성하는 기계에 따라, 새로운 모델을 구하고 성능을 평가하여야 되는 데, 본 논문에서는 유연생산시스템을 기계설비군으로 모듈화하여, 입력조건에 따라 모델링이 체계적이고 자동적으로 이루어 지도록 하였다.

(3) Colored and Timed 페트리네트 모델의 성능을 평가할 수 있는 소프트웨어를 개발하여, 시간에 따른 유연생산시스템의 상태 및 성능을 파악할 수 있었다. 성능평가 결과로는 기계설비군의 가동률, 부품의 대기시간, 가공완료시간 등을 구할 수 있었다.

(4) 유연생산시스템의 생산부품, 가공순서, 생산량, 기계설비군 및 납기가 주어졌고, 설계목적함수로 총 가공완료시간을 정하였을 경우, 이를 만족하는 유연생산시스템의 설계방법을 제시하였다. 예제를 통하여 이를 검증하였으며, 설계목적함수가 바뀌어도 적용가능하다.

참고문헌

1. Tadao Murata, "Petri Nets : Properties, Analysis and Applications", Proc. of the IEEE, Vol 77, No 4, pp541-579, 1989
2. Peterson, J.L., "Petri Net Theory and The Modeling of Systems", Prentice. Inc. , Englewood Cliffs, NJ
3. Petri C. A., "Communication for Automation", Doctoral Dissertation, University of Bonn, Bonn, West Germany, 1962
4. Alla H., P. Ladet, J. Martinez and M. Silva, "Modeling and Validation of Complex Systems by Colored Petri Nets : App-

lication to a Flexible Manufacturing System", In Advanced in Petri Nets, G. Rozenberg, H. Genrich and G. Roucairel (ed.), Springer-Verlag, pp15-31, 1984

5. D.Dubois and K. Stecke, "Using Petri Nets to Represent Production Processes", Proc. of the 22nd IEEE Conf. on Decision and Control, pp1062-1067, San Antonio, TX, 1983
6. F. Oba, Y. Kosyo, K. Kato, K.Yasuda, "Optimal Design of Flexible Manufacturing System and Selection of Robust System", JSME Transaction C, Vol 55, Nov. 1989
7. Y. Dallery, Y. Frein, "An Efficient Method to determine the Optimal Configuration of a Flexible Manufacturing System", Annals of Operations Research, Vol 15, 1988
8. L. F. Escudero, "An Inexact Algorithm for Part Input Sequencing and Scheduling with Side Constraints in FMS", The International Journal of Flexible Manufacturing Systems, pp 143-174
9. Andrew Kusiak, "Modeling and Design of Flexible Manufacturing Systems", Elsevier, 1986
10. Martinez J., H.Alla and M. Silva, "Petri Nets for The Specifications of FMSs, In Modeling and Design of Flexible Manufacturing Systems", A. Kusiak(ed.), pp 389-406, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1986
11. Hoda A.Elmaraghy and T.Ravi, "Modern Tools for The Design", Modeling and Evaluation of Flexible Manufacturing Systems, Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol 9, No 4/5, pp 335-340, 1992
12. 고명삼 외, "CIMS(컴퓨터 통합 생산시스템) 개발에 관한 연구", 서울대학교 자동화시스템 공동연구소, 1992

13. Sifakis, J., "Use of Petri Nets for Performance Evaluation in Manufacturing", Modelling and Evaluation Computer Systems, Amsterdam, North-Holland, pp 75-93, 1977
14. Valette, R., "Analysis of Petri Nets by Stepwise Refinements", J. of Comp. and Syst. Sci., 18, pp 35-46, 1979
15. 김기범, 이교일, "페트리네트를 이용한 유연생산시스템의 성능평가에 관한 연구", 한국정밀공학회지, 제11권 제4호, pp174-181, 1994