FMC(Flexible manufacturing Cell)의 효율적인 혼합스케줄링 연구

이 종 근†

요 약

유연생산시스템의 스케줄링 문제는 생산시스템의 효율성 제고에 많은 관심을 끌고있다. 이 연구에서는 유연생산시스템의 이산적 스케줄링 문제를 변형의 개념을 가지고 해결하고자 한다. 이산적 개념을 표현 하는 데는 패트리 네트가 효율적인 방법중의 하나이다. 패트리 네트의 변형이란 기존의 모델이 가지고있는 기본적인 성질들을 변형시키지 아니하고 해석하고 분석하기가 편리한 사이즈로 기존의 모델링 변형시키는 것이다. 특히 본 연구에서는 타임 패트리 네트의 변형을 이용하여 대기시간과 완료시간을 혼합하여 스케줄링 문제를 분석하는 기법을 제시하였다.

Modeling and Analysis of Flexible Compose Schedule of FMC

Jong-Kun Lee†

ABSTRACT

How to efficiently and optimally schedule iterative is one of the critical issues in FMC(Flexible Manufacturing Cell). In this paper, we apply transformation rules to find the solution of the scheduling problem in FMC. These kinds of rules have already been applied for the analysis of autonomous Petri nets. Here in, transformation is intended to preserve the existence of at least one optimal solution for the scheduling problem. Some transformations rules to reduced TPN's size without changed the initial characteristics are proposed and applied to analyze the scheduling problem of FMC.

1. 서 론

1.1 개 요

최근의 생산 시스템의 특징은 다품종 소량 생산의 형태로 먼저 생산 설비의 자동화, 고속화와 유연화가 필수적이라고 하겠으며, 이러한 생산 형태를 FMC (Flexible Manufacturing Cell)라고 한다. FMC에서는 기기 설비가 그룹화 되어 로봇에 의하여 pick up(도입), move(이동), load(장착), unload(해제), drop(놓기), transporting the parts(부품 이동) 등의 작업 기능 들이 독립적이면서 반복적인 작업을 수행한다. FMC에서는 효율성의 향상이 매우 중요한 문제중의 하나이다 [12]. 따라서 이러한 효율성을 향상시키기 위한 연구가 많이 진행되어왔다. 한편 Petri nets은 병행화 되고 동시화 된 사건, 논리적 선후 관계 그리고 구조적 상관관계를 가진 이산현상시스템(discrete event dynamic system : DEDS)의 모델링에 적합한 분석기법 중의 하나이다. Petri nets에는 매우 다양한 부류로 구분되어 시스템의 특성에 맞게 응용되어 운영되고 있는데, 그 중에서도 Time Petri nets(TPN) 모델은 컴퓨터 시스템들과 같은 모델들을 위하여 정확한 성능 수치를 계

※ 본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단 자유공모지원 과제에 의하여 수행되었음.
† 종신회원 : 창원대학교 컴퓨터공학과 교수
논문접수 : 1999년 1월 26일, 심사완료 : 1999년 6월 23일

산하는데 쉽게 사용되고 효과적으로 이용된다. 이 모델의 목적은 도달 가능성 분석의 확장으로서 시스템의 성능을 분석하는데 있다. 특히 스케줄링 분석에 있어서는 여러 가지 상황에 따른 다양한 스케쥴중에서 최적의 스케줄을 찾아내는 것이므로 복잡한 Petri nets로 구성되어 있다면 이해 및 분석에 제한이 있다. 그러므로 이러한 복잡한 시스템을 보다 효율적이고 이해하기 쉽게 Time Petri nets 본래의 성질 즉, 도달 가능성, 안정성, 생존성 등을 유지한 채 간단한 Time Petri nets으로 변환시키는 변형 방법에 대한 연구가 활발하게 되었다[2,13,14,15,16,21]. 본 논문에서는 스케줄링의 특성을 고려하여 처리형태와 시간을 중요한 요소로 고려하여 마크로-트랜지션과 매크로-플레이스를 사용하여 Time Petri nets의 변형을 제시한다. 특히 트랜지션뿐만 아니라 플레이스에도 시간함수를 표현 할 수 있도록 하여 변형 시에 매크로플레이스로 합성된 트랜지션의 시간함수가 표현 될 수 있도록 하였다. 또한 이러한 변형을 통하여 시간에 따라 동적으로 변하는 복잡한 시스템을 단순화하여 스케줄링의 분석 시간이 상대적으로 줄었다는 것을 검증 하기 위하여 FMS에서의 스케줄링 분석에 적용하여 그 유용성과 응용성을 살펴 본다.

1.2 관련연구

스케줄링의 연구에서는 주로 Heuristic 방법과 Genetic 그리고 Petri nets를 이용한 방법들이 제시되고 있는데, 특히 Petri nets를 이용한 방법에서는 일단 Petri nets로 모델링한 후에 최적의 스케줄을 구하기 위하여 Heuristic 기법을 많이 이용한다[1,5,7,19]. 이러한 경험적 탐색 방법은 모델링한 네트를 경험적 알고리즘을 이용하여 탐색하여 최적의 스케줄링을 산출하여 내는 방법으로 경험적 탐색알고리즘의 제시가 용이하지가 않다. EC de Lille[11,17]에서는 복잡한 nets를 다시 재그룹화하여 분석하는 방법을 제시하였으며, Genetic 기법은 알고리즘을 형성하고 유전자 항들을 찾아내는 데에 많은 노력과 시간이 소요된다. 한편으로 Petri nets의 변형을 통한 스케줄링분석 연구가[9,10,17] 새롭게 대두되었는데, 이미 연구팀은 합성을 이용한 스케줄링 분석을 위하여 여러 논문[13,14,15]들을 제시하였으며 계속적으로 이에 관련된 연구를 진행하고 있다.

본 연구에서는 축조방식을 활용하여 모델링 된 네트의 분석을 용이하게 변환시킨 후 최적의 스케줄링 분석을 제시하는 기법을 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은, 2장에서 Time petri nets(TPN) 형식적 정의와 스케줄링의 정의를 정리하고, 3장에서는 Time Petri nets의 점화관계에 대응하는 Time Petri nets의 함수적 변형방법을 제시한다. 4장에서는 앞에서 정의한 변형 방법들을 이용하여 FMC에서의 스케줄링 분석을 모델링하여 분석하고, 결론과 앞으로의 연구방향에 대하여 5장에서 정리한다.

2. Time Petri Nets의 형식적 정의와 스케줄링의 정의

2.1 TPN의 일반적 정의

TPN은 일반 Petri Nets의 정의와 매우 유사하므로, 잘 알려진 정의[2-4,6,8,13,18]들을 정리한다.

(정리 1) TPN은 6가지로 구성된 튜플이다 : TPN = (P,T,E,S,Mo,τ),여기에서 $P=\{p_1,p_2,\ldots,p_n\}$, $|P|\neq0$, P는 플레이스의 유한집합, $T=\{t_1,t_2,\ldots,t_m\}$, $|T|\neq0$, T는 트랜지션의 유한집합, $P\cap T=\varnothing$, $E: P\times T\rightarrow N$, E는 입력함수, $S: T\times P\rightarrow N$, S는 출력함수(N : 양의 정수 집합), $M_o\in M=\{M\mid M: P\rightarrow N\}$, M_o는 초기 토큰상태, τ는 시간함수 : $\tau: T\rightarrow Q^*\times(Q^*\cup\infty)$, ($Q^*$는 양의 정수 집합).

TPN의 현재상태를 $S=\langle M,I\rangle$라 하자. 여기서 M은 마킹이고, $I(t_e)$는 점화시간의 집합이다. 만일 t1이 상태 $S=\langle M,I\rangle$으로부터 점화가능하면, 마킹 $M: I(t_e)$에 의해 점화가능하며, 트랜지션간의 점화 관계는 다음의 세 가지 형태[13]로 정리 할 수 있다 :

1) 트랜지션 $t_e\in T$는 다음의 식을 만족할 경우 트랜지션 $t_s\in T$와 순차관계 이다. 여기서 p는 공통 플레이스의 집합이다(t_e는 p의 입력트랜지션, t_s는 p의 출력 트랜지션).

$$C_s(t_e/t_s)=\{t_e,t_s \mid t_e\neq t_s,\ S(t_e)\cap E(t_s)\neq\varnothing=p\in P\}$$

2) 트랜지션 $t_e\in T$는 다음의 식을 만족할 경우 트랜지션 $t_s\in T$과 경합관계 이다. 여기서 t_k는 트랜지션 t_s에서 나머지 점화가능 트랜지션들의 집합이다.

$$C_f(t_e/t_s)=\{t_s \mid t_e\neq t_s,(E(t_s)\cap E(t_k)\subseteq S(t_e)\neq\varnothing=p)\ \wedge\ E(t_s)\subseteq E(t_k))\wedge E(t_k)\subseteq E(t_e))\}$$

3) 트랜지션 $t_e\in T$는 다음의 식을 만족할 경우 트랜

지션 $t_s \in T$와 병행관계 이다.

$$C_c(t_e/t_k)=\{t_e,t_k \mid t_e \neq t_s,\ (E(t_s)\cap E(t_k) = \emptyset \wedge ((E(t_s)\cap E(t_k)\subseteq S(t_e))=p\}$$

플레이스 p_i가 트랜지션 t_i의 입력 다중 집합을 갖는 경우 $\#(p_i, E(t_i))$로 나타낸다. 트랜지션 t_i는 모든 $p_i \in E(t_i)$에 대하여 $m(p_i) \geq \#(p_i, E(t_i))$가 성립되어야 점화가능하다고 한다. 점화 가능한 트랜지션 마킹 m_1에 대하여 임의의 트랜지션 계열이 점화하여 마킹 m_2를 얻게되면, m_2는 m_1으로부터 도달 가능 하다. 마킹 m을 갖는 $N=(P,T,E,S,Mo,\tau)$의 도달 집합 R(N,m)은 m으로부터 도달한 모든 마킹의 집합을 의미한다. 초기마킹 m_o를 갖는 $N=(P,T,E,S,Mo,\tau)$은 $\forall m \in R(N,m)$, $p \in P$에 대하여 $m(p) \leq 1$이면 안전하다고 한다. 또한 $\forall m \in R(N,m_o)$, $p \in P$에 대하여 $m(p) \leq k$인 정수 k가 존재한다면 보존하다고 한다.

2.2 TPN의 시간 함수

2.2.1 스케줄링에서의 시간함수

스케줄링 이론에서, 각 스케줄링에서의 처리시간이 바로 일반적인 평가 기준이라는 것은 이미 알려진 사실이다. 패트리 네트모델링에서의 스케줄링 문제 해결은 어디에서 언제 트랜지션이 점화 할 수 있느냐를 결정하는 것이다. 다시 말하면 스케줄링 문제는 소기의 목적을 달성 할 수 있는 최적의 처리시간을 구하는 것이며 또한 효율성을 위하여 작업의 지연시간의 최적화한 시간을 구하는 문제 해결도 될 것이다 .

N을 순차적 PN이라고 한다면, Mo를 초기마킹, 그리고 M_f를 최후의 마킹이라고 하고, 어떤 순차 스케줄링 s가 있다면, $Mo(s>M_f$가 되며, 이 때의 효율적인 스케줄링은 처리 시간(지연시간)이 가장 최소가 되는 스케줄링이다 :

$$\min I = \sum_{t \in T} d_t S_t$$

여기서 $Mo(s>M_f$, S_t는 순차 스케줄링 s의 트랜지션 t에 관한 특성 벡타이다. I는 처리(지연)시간, d_t는 트랜지션 t의 처리(지연)시간.

(정의 2)[19] : Mo에서 M_f까지의 일반적 패트리 네트에서 최적 스케줄의 계산은 NP-hard 문제이다.

2.2.2 시간함수의 점화 관계

트랜지션 t_e를 상태 $S=<M,I>$으로부터 시간 $I(t_e)$일 때 점화 가능하다고 가정하자. 그 때 t_e에 의해 도달한 $S'=<M',I'>$은 모든 플레이스 p에 대하여 M'는 다음과 같다.

$$(\forall p)\ M'(p)=M(p)-E(t_e,p)+S(t_e,p)$$

또한, 다음의 관계들 즉 순차관계, 경합관계, 병행관계에 의하여 계산될 수 있다.

1) 순차관계(Sequence relation)

$S=<M,I>$을 TPN의 현재 상태라 하고 트랜지션 $t \in T$가 트랜지션 $t_e \in T$와 순차 관계일 경우 그때 점화 간격집합 I(S)는 다음과 같다.

- $I(S)=I(t_e)+I(t_s)$.

2) 경합관계(Conflict relation)

$S=<M,I>$을 TPN의 현재 상태라 하고 트랜지션 $t_s \in T$가 트랜지션 $t_e \in T$와 경합관계 일 경우 그때 점화 간격집합 I(S)는 다음과 같다. 여기서 t_k는 트랜지션 t_s에서 나머지 점화 가능한 트랜지션들의 집합이다.

- $I(S)=I(t_e)+I(t_s)$ or $I(t_{e'})+I(t_{s'})$.

3) 병행관계(Concurrent relation)

$S=<M,I>$을 TPN의 현재 상태라 하고 트랜지션 $t_e \in T$가 트랜지션 $t_h \in T$와 병행 관계일 경우 그때 점화 간격집합 I(S)는 다음과 같다. 여기서 t_h는 나머지 최초 점화가능 트랜지션들의 집합이다.

- $I(S)=Max\{I(t_e)+I(t_s),\ I(t_{e'})+I(t_{s'})\}+I(t_{s''})$.

2.3 TPN의 동질성

(정의 3) X를 TPN의 부분집합 이라고 하고 TPNX 로 표현하며, X를 제외하는 부분집합의 경우(TPN X) TPN ㅣ ㄱ X로 표시한다.

이러한 정의는 점화 스케줄링의 상태표현에 이용한다. 예를 들면, TPN-{t1,t2}는 트랜지션 t1,t2를 제외하는 표현이다. 또한 t1,t2에 관련된 아크도 같이 삭제됨을 의미한다. 또한 S(N) ㅣ X를 트랜지션 X에 관련된 N의 모든 스케줄링의 집합을 의미한다.

이 연구의 목적은 기본의TPN을 초기에 갖고있는 기본적인 성질의 변형 없이 분석이 용이한 보다 작은 사이즈의 TPN'으로 변형시키는 것이다.

(정의 4) [20] TPN N에서 변형규칙을 통하여 얻은

TPN′ N′이 있다. U를 변형규칙에 의하여서도 변형되지 않은 N의 트랜지션의 집합이라고 하고, 만일 N′이 다음과 같은 성질을 갖고있다면 기본의 TPN N과 같은 성질을 갖는다고 할 수가 있다.

① S(N)U=S(N′) | U이고,

② 만일 N이 안전하고 유한하며 도달성의 성질을 갖는다면 N′도 안전하고 유한하며 도달성을 갖는다.

3. TPN상에서의 점화간격 집합의 변형

본 장에서는 앞 장에서 정리한 스케줄링의 개념을 활용하여 TPN에서의 변형들을 정리하고자 하는데, Berthelot[2]의 축조정의와 매크로 플레이스와 매크로 트랜제션으로의 대체 개념[16]을 기초로 한 정의들을 기본으로 하는 변형 유형들을 제시한다.

(정의 5) $N=(P,T,E,S,M_0,\tau)$과 $N'=(P',T',E',S',M_0',\tau')$은 두 개의 PTN이라고 하자. 만일 $P \supseteq P'$, $T \supseteq T'$, $E'=E\cap(P'\times T')$, $S'=S\cap(T'\times P')$ 라면 N′는 N의 부분집합(subnets)이라 하고 $N \supseteq N'$으로 표시한다. 이 때 만일 $t\in \bullet p(t\in p^{\bullet})$이고 $t\in T'$이면, 플레이스 $p\in p'$는 N′의 입력문(Input door : ID) (반대로, 출입문 Output door : OD)이라 한다.

(정의 6) 마킹 m을 갖는 부분집합 $N'=(P',T',E',S',Mo',\tau')$의 도달 집합 R(N,m)은 m으로부터 도달한 모든 마킹의 집합을 의미한다. 따라서, 부분집합 $N'=(P',T',E',S',Mo',\tau')$이 안전하다고 하면 전체 집합 $N=(P,T,E,S,Mo,\tau)$도 안전하다 하겠다. 또한 부분집합 $N'=(P',T',E',S',Mo',\tau')$이 보존하다고 하면, 전체집합 $N=(P,T,E,S,Mo,\tau)$도 역시 보존한다고 한다.

1) 규칙 1 : 플레이스의 삭제

하나의 입력문과 출력문을 가지며, 입력문의 에이지 수와 출력분의 에이지가 1일 경우에 부분집합은 하나의 매크로 트랜지션으로 대치 할 수 있다.

① $ID=p_e$, $OD=p_s$

② $t_e\bullet \cap \bullet t_s=\{p_c\}$

③ $T'=T-\{t_e,t_s\}+t'$, $P'=P-\{pc\}$

④ $S(t')=S(ts)-S(te)$, $E(t')=E(te)-E(ts)$

⑤ $I(\tau')=I(\tau)-I(te)-I(ts)+I(t')$, $I(t')=I(te)+I(ts)$

2) 규칙 2 : 트랜지션의 삭제

하나의 입력문과 출력문을 가지며, 입력문의 에이지 수와 출력분의 에이지가 1일 경우에 부분집합은 하나의 매크로 플레이스로 대치 할 수 있다.

① $ID=t_e$, $OD=t_s$

② $p_e\bullet \cap \bullet p_s=\{t_c\}$

③ $T'=T-\{t_c\}$, $P'=P-\{pe,ps\}+p'$

④ $S(p')=S(ps)-S(pe)$, $E(p')=E(pe)-E(ps)$

⑤ $I(\tau')=I(\tau)-I(t)+I(p')$, $I(p')=I(p1)+I(p2)+I(t)$

3) 규칙 3 : 순차적함축플레이스(Sequence Implicit place)의 삭제

순차적 부분집합에서 플레이스가 삭제되어도 마킹의 흐름에 영향을 미치지 못하는 플레이스를 함축플레이스라하고 이러한 플레이스는 삭제가 가능하다. 또한 삭제된 마킹의 흐름은 기본의 성질인 안정성과 한정성등의 성질을 그대로 유지한다.

① $ID=t_e$, $OD=t_s$

② $t_e\bullet = \bullet t_s=\{p_c\}$

③ $t_{e'}\bullet=\{t_e\bullet\}-\{p_c\}$, $\bullet t_{s'}=\{\bullet t_s\}-\{p_c\}$

④ $S(te')=S(te')-E(pc)$, $E(ts')=E(ts)-E(pc)$

⑤ $I(\tau')=I(\tau)$

4) 규칙 4 : 경합함축플레이스(Concurrent Implicit place)의 삭제

부분집합에서 경합플레이스가 삭제되어도 마킹의 흐름이 최적의 스케줄링을 유지할 때 이 플레이스를 경합적함축플레이스라한다. 또한 삭제된 마킹의 흐름은 기본의 성질인 안정성과 한정성등의 성질을 그대로 유지한다.

① $ID=t_e$, $OD=t_s$

② $\{p_c\}=\{(t_e\bullet \cap t_s\bullet)\wedge(\bullet t_e\cap \bullet t_s)\}$

③ $t_{e'}\bullet=\{t_e\bullet\}-\{p_c\}$, $\bullet t_{e'}=\{\bullet t_e\}-\{p_c\}$,
$t_{s'}\bullet=\{t_s\bullet\}-\{p_c\}$, $\bullet t_{s'}=\{\bullet t_s\}-\{p_c\}$

④ $S(te')=S(te')-E(pc)$, $E(te')=E(te)-E(pc)$,
$S(ts')=S(ts')-E(pc)$, $E(ts')=E(ts)-E(pc)$

⑤ $I(\tau')=I(\tau)$

5) 규칙 5 : 경합함축 플레이스의 에이지 삭제

경합함축 플레이스에서 여러 개의 마킹 집합이 병합관계를 가지고 있으며, 다른 병합보다 흐름적으로 늦게 마킹이 점화 될 스케줄링의 경우 해당 트랜지션과 경합함축 플레이스 사이의 에이지는 생략이 가능하다.

① $ID=t_e$, $OD=t_k$

② $(t_e\bullet \cap t_s\bullet \cap t_k\bullet)=\{p_c\}=(\bullet t_e\cap \bullet t_s\cap \bullet t_k)$

③ $S(p_c')=S(p_c)-S(t_k)$, $E(p_c')=E(p_c)-E(t_k)$
④ $I(\tau')=I(\tau)$

즉 위의 부분집합에서 te,ts와 tk의 관계는 경합플레이스를 갖는 부분집합인데, 트랜지션te와 ts는 서로 경합이 확실하나 tk의 경우 스케쥴링의 흐름에 따라 ts 이후에나 점화가 가능하고 또한 te의 점화 후에나 점화가 가능하므로 실질적으로 경합이 되지 못한다.

(정리 4) TPN N에서 변형규칙을 통하여 얻은 TPN' N'이 있다. U를 변형규칙에 의하여서도 변형되지 않은 N의 트랜지션의 집합이라고 하고, 만일 N'이 다음과 같은 성질을 갖고있다면 기본의 TPN N과 같은 성질을 갖는다고 할 수가 있다.

① S(N)U=S(N') | U이고,
② 만일 N이 안전하고 유한하며 도달성의 성질을 갖는다면 N'도 안전하고 유한하며 도달성을 갖는다.

(증명) 변형 4와 5의 경우는 기존의 마킹순서 즉 스케줄링의 흐름에 따라 점화의 순서에는 변화가 없으므로 정의를 통하여 증명이 바로 되므로 생략하고, 변형 1과 2의 경우를 증명하여 본다. 부분집합이전까지의 마킹을 s', 부분집합 네트의 마킹을 s″그리고 남은 마킹의 집합을 s‴라한다. 전체마킹의 집합은 s=s'+s″+s‴이다. 이때 s'과 s‴의 집합은 S(N) | U=s'+s‴. 여기서 s″은 변형에 의하여 변형되나 S(N) | U=s'+s‴=S(N') | U는 변하지 않는다. 따라서 s″이 유한하고 도달하며 안전하다면 변형된 네트는 기존의 성질 즉 스케줄링의 흐름을 그대로 유지하므로 동질성을 갖는다고 하겠다.

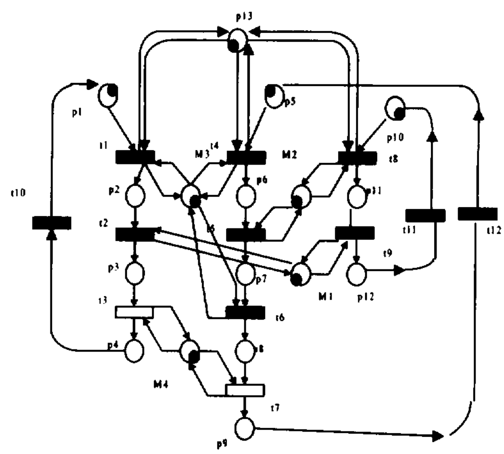
4. Time Petri nets의 FMS 모델링분석

4.1 FMS시스템 모델링

본 장에서는 FMS의 모델링의 스케쥴링작업에 관한 분석을 Petri nets의 변형을 이용하여 분석하여 보고자 한다. 먼저 본 장에서 생각하고자 하는 FMS의 모델은 4개의 기기(M1,M2,M3)와 3개의 Job 즉, JOB1, JOB2, JOB3로 구성 되는 것으로 고려하고 이러한 job의 수행 순서는 아래와 같다.

Job1 : OP11M3, OP12M1, OP13M4
Job2 : OP21M3, OP22M2, OP23M3, OP24M4
Job3 : OP31M2, OP32M1

각 Job에서는 Job1이 3개의 작업 공정, Job2에서는 4개의 공정, 그리고 Job3에서는 2개의 공정이 순차적으로 진행되며, 작업공정을 Job1과 연계하여 OP11, OP21, OP31로 Job과 공정의 관계를 표현하였다. 한편 기기별로는 M1은 Job1에서 2번째와 Job3에서는 2번째의 공정에, 기기 2는 Job2의 2번째 공정과 Job3에서 1번째 공정에, 기기 3은 Job1의 1번째와 Job2의 1번째와 세 번째의 공정에 투입된다. 기기 4는 Job1에서 마지막 공정과 Job2의 마지막 공정에 사용되는데, 앞 선 표현과 연계하여 OP11M3, OP21M3 등으로 Job1의 공정 1에서 기기 M3의 사용으로 표시하였다. 이러한 작업의 형태를 패트리 네트로 표현하면 (그림 4-1)과 같으며 <표 4-1>에서는 트랜지션 표를 나타내고 있다.



(그림 4-1) production model

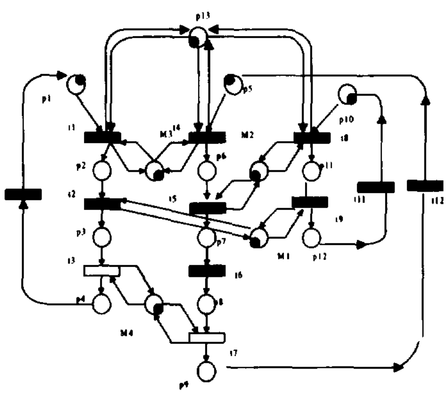
〈표 4-1〉〈그림 4-1〉의 트랜지션표

Transition	time	works	relation	transition
t1	13	Job1	Cc	t4
t2	10		Cc	t9
t3	11		Cc	t7
t4	20	Job2	Cc	t1
t5	7		Cc	t8
t6	6		Cc	t1
t7	14		Cc	t3
t8	4	Job3	Cc	t5
t9	7		Cc	t2
t10		Job1		
t11		Job2		
t12		Job3		

앞 장에서 제시된 변형들을 활용하여 모델링을 분석하여 본다면 먼저 변형 2를 이용하여 병합의 관계를 단순화 할 수가 있다.

1) 첫번째 변형 :

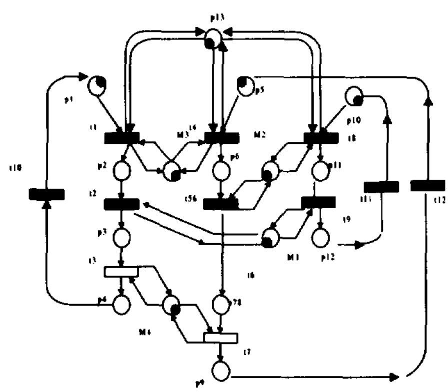
machine 3은 2개의 process에서 3개의 작업을 포함한다(t1,t4,t6). 그리고 Machine 3의 마킹 집합은 Job1과 Job2로 구분되고 특히 트랜지션 t6에 의하여 병합의 관계를 가지지만, t4와 t1의 병합이 먼저 수행되면 t6은 이러한 병합의 스케줄링에 관계 없이 t1,t4의 완료 작업 후에 처리 되어야 하는 공정의 흐름관계로 실질적인 병합의 관계를 유지하지 못하다. 즉 M3는 경합함축플레이스가 되므로 따라서 변형5를 활용하여 t6과 M3와의 에이지를 생략 할 수가 있다(그림 4-2).



(그림 4-2) 변형 1

2) 두 번째 변형 :

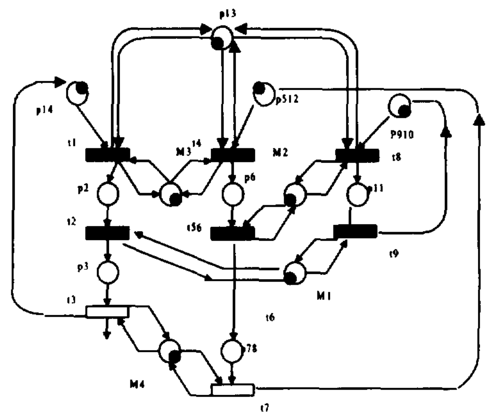
첫 번째 변형을 통하여 얻은 네트에서 트랜지션 t5,t7를 ID와 OD로하는 서브네트를 구성하게 되며, 여기에서 플레이스 p7를 삭제하고 트랜지션 t5와 t6을 합병 시켜 t56의 매크로 트랜지션으로 대치 시킬 수가 있다(그림 4-3).



(그림 4-3) 변형 2

3) 변형 3 :

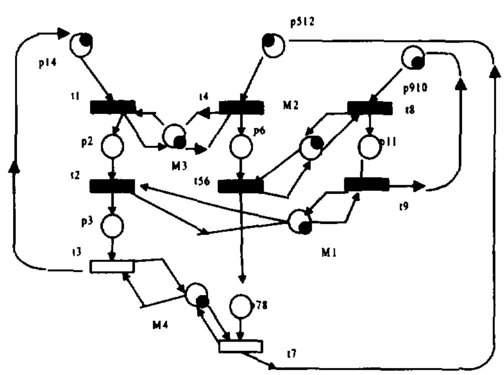
또한 Job1에서 플레이스 p1,p4,p5,p9,p10,p12와 t10, t11,t12를 각각 규칙 2를 적용하여 단일 매크로 플레이스로(p14,p910,p512) 대치 할 수 있다(그림 4-4).



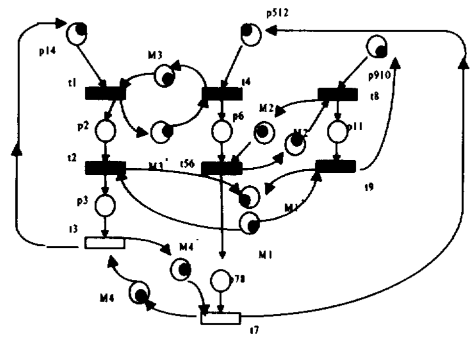
(그림 4-4) 변형 3

4) 변형 4 :

플레이스 p13의 경우 각 트랜지션 t1,t4,t8에서 경합함축플레이스가 되므로 규칙 4를 이용하여 삭제 할 수 있다(그림 4-5). 플레이스 M3,M1,M2,M4는 스케줄링의 우선 순위를 결정하는 중요한 키가 되는데 t1과 t4의 우선 점화에 따라 스케줄링의 흐름이 달라진다. 따라서 이러한 경합플레이스를 우선 순위를 갖는 확장된 사이클 네트로 달리 표현함이 트랜지션의 순차적 점화 문제를 해결할 수가 있다(그림 4-6). 여기서는 더 이상 변형 할 부문이 없게 된다.



(그림 4-5) 변형 4



(그림 4-6) 최종으로 변형된 모델링 네트

4.2 FMC모델의 스케줄링 분석

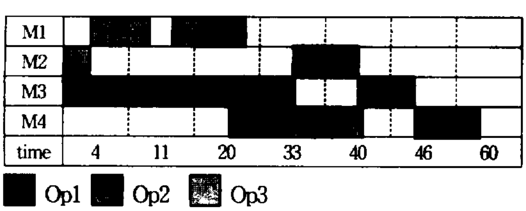
최종으로 변형된 네트에서 최적의 스케줄링을 찾아보면, 우선 Job1, Job2 그리고 Job3의 관계에서 Job1과 Job2의 관계는 기기 3의 사용에 있어 병합의 관계를 갖으나, Job3의 경우에는 병합의 관계가 없어서 항상 독자적인 공정을 진행 할 수가 있다는 것을 발견 할 수 있다. 따라서 여기에서 이러한 공정을 감안하여 두 개의 스케줄링을 발견 할 수 있다 :

1) (t1//(t8 → t9) → (t4//t2) → (t3//t56) → t7)
2) (t4//(t8 → t9) → (t1->t2 → t3//t56) → t7)

효율적인 스케줄링의 분석을 위하여 각 기기의 동작을 시작하고 다음 번 같은 기기동작까지의 시간을 대기시간으로 하여 최소의 대기시간의 스케줄링과 전체적인 작업의 완료시간의 최소화한 스케줄링을 계산하여 비교 분석하여 본다.

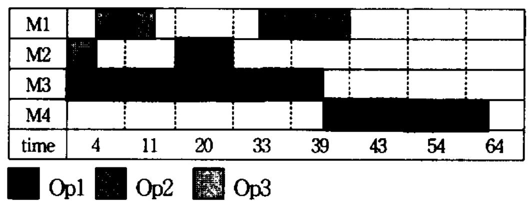
1) Job1을 우선 실행하는 경우(M3가 먼저 점화하는 경우)

우선 기기 3을 먼저 수행하고 기기 1, 기기 4의 공정으로 진행되므로 Job2가 이러한 Job1의 공정에 따라 작업의 흐름이 바뀌게 된다. 각 기기에서의 대기시간들을 계산하여 본다면 2+6+7+29=44의 시간이 총대기시간이 된다. 한편 전체의 업무가 완료되는 총작업 완료시간은 60이 된다.



2) Job2를 우선 실행하는 경우(M3'가 먼저 점화하는 경우)

Job2를 먼저 수행하면, Job3의 경우에는 전혀 영향을 받지않고, Job1의 경우 Job2의 흐름에 많은 영향을 받게 된다. 따라서 앞의 스케줄링과 같이 계산하면 전체대기시간은 16+22=38의 시간이 되나 작업 완료시간의 경우는 64가 된다.



결론적으로 각 기기의 작업대기 시간의 효율화에 대하여서는 Job2의 우선 작업 수순(M3'가 먼저 점화하는 경우)이 유리한 스케줄링이며, 또한 전체 작업 완료시간 합리화는 Job1의 우선 작업수순이(M3가 먼저 점화하는 경우) 최적의 스케줄링이라고 할 수가 있겠다.

5. 결 론

본 논문에서 우리는 FMS시스템의 스케줄링 분석에 Time Petri nets의 변형을 활용하여 분석하였다. 특히 규모가 큰 Time Petri nets모델을 본래의 성질 즉, 도달가능성(reachability), 안정성(safeness) 그리고 생존성(liveness)을 그대로 간직하는 시간함수의 변형 방법을 활용하였다. 본 변형 방법은 매크로 플레이스와 매크로 트랜지션으로 하나의 축조 가능한 네트를 대치하는 것으로 이를 위하여 순차, 병행, 결합과 같은 형태 변형에 기반을 두었다.

또한, 본 연구에서는 FMS의 스케줄링 분석을 위하여 3대의 기기에서 2개의 작업이 진행되는 다소 간단한 모델링에 적용하여 보았는데 그 결과 FMS의 기본 분석 패트리 모델을 분석하기 용이한 규모로의 변형화 시킬 수 있었으며 또한 스케줄링 분석에 적절하게 적용 되고 있음을 보이고 있다.

본 연구를 통하여 앞으로의 주요 연구 과제로서는 보다 강력한 축조력을 갖도록 그 방법을 발전시켜야 하며 또한 FMS의 보다 더 복잡하고 실질적인 자료를 이용한 시뮬레이션을 시행 함으로서 본 Time Petri nets의 축조 방법의 효율성을 더욱 더 증대 시켜야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Amar S.E. et etc.,"A Method for Hierarchical Specifiaction and Prototyping of Flexible manufacturing System," in Proceeding IEEE WETFA, Melbourne, 1992, pp.44-59.

[2] G.Berthelot, "Transformations de reseaux de Petri," TSI, 4(1), pp.91-101, 1985.

[3] B.Berthomier, M.Diaz, "Modeling and Verification of Time Dependent Systems Using Time Petri Nets," IEEE TRAN. ON S/E, 17(3), pp.259-273, 1991.

[4] G.W.Brams, "Reseaux de Petri theorie et Pratique," Masson, Paris, 1982.

[5] Borusan A., "Coloured Petri net Based Modelling of FMS," In : Proceeding ICSYMC 1993, 1993, pp.54-59.

[6] Carlier J., Chretienne P., "Timed Petri nets Schedules," T R, Univ.P.et M., 1985.

[7] DiCeseare F., Desrocher A.A., "Modeling, Control, and Performance Analysis of Automated Manufacturing Systems Using Petri Nets," Control and Dynamic System, C.T.Leondes ed., 47, pp.122-172, Academic press.

[8] Holiday M., Vernon M., "A Generalized TPN Model for Performance Analysis," IEEE. Tran. On s/w, se-13, 1987, pp.1297-1310.

[9] M.D.Jeng, "Modular Synthesis of Petri Nets for Modeling FMS," JR-FMS, 7, pp.289-310, 1995.

[10] J.C.Muganza,etc., "Reducing the Computational Complexity of Scheduling Problems in Petri nets by Means of Transformation Rules," in proceeding of IEEE SMC'98, pp.19-25, 1998.

[11] Korbaa O,Camus H. and Gentina JC, "FMS Cyclic scheduling with overlapping production cycles," 1997, pp.35-52

[12] Lee D.Y., DiCesae F., "FMS Scheduling Using Petri Nets and Heurisric Search," IEEE Tr-Robotic and Automation, 10(2), pp.123-132, 1994

[13] Lee J.K, "A Formal Definition Method for Time Petri nets Reduction," System Analysis Modelling Simulation, Vol.18-19, pp.249-252, 1995.

[14] Lee J.K., "세미죠인을 기반으로 한 페트리넷의 형식적 정의," 정보처리학회논문지, 1(2), pp.202-214, 1994.

[15] Lee J., "Time Composition Problem in Time Petri Nets," In : Proceeding CIS'97, 1997, pp.507-512.

[16] Lee H., Favrel J., "Hierarchical Reduction Method for Analysis and Decomposition of Petri nets," IEEE, Tr. On sys. Man and cyb., smc-15(2), 1985, pp.272-280.

[17] Ohl H., Camus H., Castelain E. and Gentina JC, "Petri nets Modelling of Ratio-driven FMS and Implication on the WIP for Cyclic Schedules, In : Proceeding SMC'95, 1995, pp.3081-3086.

[18] J.L.Peterson, "Petri Net Theory and the Modeling of System," Prentice-Hall, NJ, 1981.

[19] Richard P., Xie X., "Scheduling sequential and Flexible machines Using Timed Petri nets," In : Proceeding ICATPN'97, 1997, pp.151-165.

[20] Sloan R.H., Buy U., "Reduction Rules fot Time Petri nets," TR. of DEECS, Univ. of Illinois Chicargo, 1994.

[21] Zhou M.C.,DiCesear F.,Rudolph D.,"Design and Implementation of a Petri Nets Supervisor for a Flexible manufacturing System," 28(6), pp.1199-1208, Automatica, 1992.

[22] Zurawski R.,Dillon T., "Modelling and Verification of Flexible Manufacturing System Using Petri nets," in Modern Tools for Manufacturing Systems, Zurawski and Dillon ed., Elesevier Science Pub., pp.237-261, 1993.

이 종 근

e-mail : jklee@sarim.changwon.ac.kr

1974년 숭실대학교 전자계산학과 졸업

1978년 고려대학교 경영대학원 경영학 전공(경영학 석사)

1986년 숭실대학교 대학원 전산학 전공(공학석사)

1992년 USTL(프) 전산과 박사과정 수료

1987년~1992년 LSI/USTL 연구원

1993년~95년 창원대학교 전산소장

1983년~현재 창원대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 패트리 네트 이론, 스케쥴링 분석, 성능분석