

Siphon 특성을 이용한 FMS의 Deadlock 해석과 제어

Deadlock Analysis and Control of FMS's Using Siphon property

김정철*, 김진권, 황형수
(Jung-Chul Kim, Jin-Kwon Kim, and Hyung-Soo Hwang)

Abstract : Concurrent competition for finite resources by multiple parts in flexible manufacturing systems(FMS's) and inappropriate initial marking or net structure of Petri net with share resources results in deadlock. This is an important issue to be addressed in the operation of the systems. Deadlock is a system state so that some working processes can never be finished. Deadlock situation is due to a wrong resource allocation policy. In fact, behind a deadlock problem there is a circular wait situation for a set of resources. Deadlock can disable an entire system and make automated operation impossible. Particularly, an unmanned system cannot recover from such a status and a set of jobs waits indefinitely for never-to-be-released resources. In this paper, we proposed a deadlock prevention method using siphon and trap of Petri net. It is based on potential deadlock which are siphon that eventually became empty. This method prevents the deadlock by the control of transition fire and initial marking in the Petri net. An given example of FMS is shown to illustrate our results with deadlock-free.

Keywords : petri net, FMS, siphon, trap

I. 서론

FMS's와 같은 이산 사건 동적 시스템에서 deadlock 해석과 제어는 매우 중요한 연구 과제이다. Deadlock의 발생은 전체 시스템을 사용 못하게 할 수도 있으며, 특히 자동화된 생산 시스템의 경우 자동화 동작을 불가능하게 만든다. 또한, 전체 시스템 중에서 한 부분에서 발생한 deadlock은 시스템의 다른 부분으로 영향을 끼칠 수 있으며, 결국에는 완전히 전체 시스템의 모든 동작들이 멈추게 된다. Deadlock은 시스템을 통한 각각의 작업들의 순열이 동시에 유한 자원을 경합하는 복잡성에 따라 증가하므로 일반적으로 예측하기가 어렵다. 올바르게 설계된 FMS's에서 deadlock 발생은 저장 공간 또는 기계 장치들을 단지 수작업으로 수정하여 deadlock을 제거하거나 초기 조건으로 시스템을 복원하여 다시 시작해야 한다. 이런 방법으로 시스템을 다시 설정하는 것은 큰 손실을 가져오며, 이는 설계와 안정적인 동작 제어에 의해 회피할 수 있다.

Colored 페트리 네트를 이용한 deadlock 회피 및 방지[1]와 FMS에서 정책적인 deadlock 방지[2-4]를 하는 연구가 그동안 많은 방면에서 제안되었으나, 일반적인 페트리 네트(general Petri net)에서 deadlock에 대한 연구는 많지 않았다. 따라서 범용성을 가지는 일반적인 페트리 네트에서 deadlock을 효과적으로 방지하는 방법이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 Feng Chu와 Xiao-Lan Xie가 제시한 siphon의 특성[5]을 기초로 일반적인 페트리 네트에서 초기 마킹과 점화 벡터 사이의 관계식을 이용하여 트랜지션의 점화를 제어함으로써 deadlock을 제어하는 방법을 제시한다.

II. 페트리 네트

페트리(Carl Adam Petri)가 이산사건 시스템의 모델링과 해석에서 페트리 네트를 제시한 이래 많은 분야에서 응용되고 있다[6-9]. 그래픽 도구로서, 페트리 네트는 시각적인 정보매체로 사용될 수 있으며, 정보의 흐름을 나타내는 토큰(token)은 시스템의 동적이고 동시 발생적인 상황과 활동을 모의실험 하는 데에 사용될 수 있다.

1. 페트리 네트의 기호와 표현

일반적으로 5개의 원소로 구성되어 있다.

정의 1: 일반적인 페트리 네트는 $N = \langle P, T, I, O, M_0 \rangle$ 로 구성되며, 각 요소들은 다음과 같다.

P : 유한한 플레이스의 집합

T : 유한한 트랜지션의 집합

I : 플레이스에서 트랜지션으로의 입력 함수

O : 트랜지션에서 플레이스로의 출력함수

M: 마킹 - 각 플레이스에 있는 토큰의 개수로서, M_0 는 초 마킹이다.

페트리 네트는 트랜지션의 모든 입력 플레이스에 토큰이 있을 때, 트랜지션은 활성화(enabled)된다는 활성화 규칙과 활성화된 트랜지션이 점화하면, 모든 입력 플레이스에서 하나의 토큰이 제거되고, 모든 출력 플레이스에 하나의 토큰이 더해지는 점화규칙을 따른다.

2. Siphon과 Trap

Siphon과 trap은 페트리 네트의 deadlock 특성으로부터 도입된 특별한 구조이다[10,11]. Siphon과 trap을 통하여 페트리 네트의 모든 도달 가능한 마킹을 조사함이 없이 페트리 네트의 생존성 성질을 분석할 수 있다[5].

Siphon과 trap에 관한 정의는 다음과 같다.

정의 2: 어느 플레이스 집합 S에 대하여 $\cdot S \subseteq S \cdot$ 을 만족하는 집합 S를 siphon이라고 한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 2. 22., 채택확정 : 2007. 5. 11.

김정철 : 전북대학교 메카트로닉스공학과(chul7@wonkwang.ac.kr)

김진권 : 원광대학교 제어계측공학과(jinpang@wonkwang.ac.kr)

황형수 : 원광대학교 정보디지털시스템(hshwang@wonkwang.ac.kr)

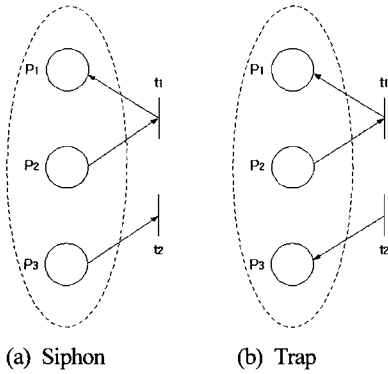


그림 1. Siphon과 trap.
Fig. 1. Siphon and trap.

정의 3: 어느 플레이스 집합 Q에 대하여, $Q \cdot c \cdot Q$ 를 만족하는 집합 Q를 trap이라고 한다.

Minimal siphon(trap)이라는 것은 다른 siphon(trap)을 포함하고 있지 않은 siphon(trap)을 의미하는 것으로 deadlock 해석에서 중요한 용어이다.

III. Siphon을 이용한 deadlock 해석[5]

이번 장에서는 Feng Chu와 Xiao-Lan Xie가 제시한 siphon과 deadlock이 발생하지 않는 조건과의 관계를 설명한다.

Siphon과 관련된 잠재적인 deadlock에 대한 정의는 다음과 같다.

정의 1: 결국에는 토큰이 모두 빠져나가는 siphon S를 잠재적인 deadlock(potential deadlock)이라 한다.

Deadlock의 해석에서 siphon과 trap의 중요한 특성은 다음과 같다.

특성 1:

- (1) 어떤 마킹에서 토큰이 없는 siphon S는 토큰이 없는 상태를 유지한다.
- (2) 어떤 마킹에서 토큰이 생성된 trap은 마크된 상태를 유지한다.
- (3) 활성화된 트랜지션이 없는 어떤 마킹에서, 빈(empty)플레이스의 집합은 siphon을 형성한다.

특성 1과 minimal siphon의 정의로부터 다음의 특성을 얻을 수 있다.

특성 2: 만약 결국에는 토큰이 모두 빠져나가는 minimal siphon이 없다면 페트리 네트는 deadlock이 발생하지 않는다.

특성 2는 만약 모든 minimal siphon이 초기 마킹에서 마크된 trap을 포함한다면 deadlock이 발생하지 않지만 모든 minimal siphon이 trap을 포함하고 있지 않을 수 있다.

특성 3: 마크된 trap을 포함한 어떤 siphon은 잠재적인 deadlock이 아니다.

위의 정의와 특성으로부터, siphon S가 만약 $F(S) = 0$ 이면 잠재적인 deadlock이다. 여기서 $F(S)$ 는 다음으로 정의된 함수이다.

$$F(S) = \min\{M(S) \mid M = M_0 + CY, M \geq 0, Y \geq 0\}$$

C는 사건 발생 행렬(incidence matrix)이고 M과 Y는 양의

정수 vector이며, self loop는 없는 것으로 간주한다. 관계 $M = M_0 + CY$ 는 일반적으로 상태 방정식(state equation)으로 불려진다[5].

특성 2, 3과 함수 $F(s)$ 로부터 deadlock이 발생하지 않는 것과 siphon과 관련된 다음의 중요한 특성을 얻는다.

특성 4: 만약 각각의 minimal siphon S가 마크된 Trap을 포함하거나 $F(S) > 0$ 이면, 페트리 네트는 deadlock이 발생하지 않는다.

특성 4는 minimal siphon과 deadlock 발생과의 중요한 관계를 나타내는 특성이다. 즉, 주어진 시스템을 페트리 네트로 모델링하여 모든 minimal siphon을 구한 후, 각각의 minimal siphon이 마크된 trap을 포함하거나 $F(s) > 0$ 을 만족하도록 초기 마킹을 설정하고, 초기 마킹으로만 해결하지 못할 경우 트랜지션의 접화를 제어하여 특성 3.4를 만족하게 하면 deadlock이 발생하지 않는다.

IV. Siphon의 특성을 이용한 Deadlock 제어

Feng Chu와 Xiao-Lan Xie가 제시한 방법으로 초기 마킹을 찾을 경우 deadlock이 발생하지 않는 조건이 초기 마킹으로만 이루어지지 않은 경우가 있다. 이러한 경우 deadlock이 발생하지 않는 조건은 초기 마킹과 접화 벡터 사이의 관계식으로 나온다. 따라서, 이번 장에서는 Feng Chu와 Xiao-Lan Xie가 제시한 초기 마킹 설정의 특성을 살리면서 효과적으로 deadlock을 제어하기 위하여 초기 마킹과 접화 벡터 사이의 관계식을 이용해 트랜지션의 접화를 제어함으로써 deadlock을 회피하는 방법을 제시한다.

다음의 예는 참고문헌 [7]등에 있는 간단한 FMS로서 Feng Chu와 Xiao-Lan Xie가 제시한 방법을 사용할 경우 deadlock이 발생하지 않는 조건이 확정된 값으로 나오지 않는 시스템이다.

1. 간단한 FMS 모델

(1) 구성

- 두 개의 기계공작 장소: M1, M2.
- 적재(loading)와 하역(unloading)을 위한 로봇.
- 중간의 부품을 저장하기 위한 저장 공간.

(2) 동작 방법

부품이 시스템에 들어감. → 팔레트에 고정하여 M₁에 적재하여 처리 → M₁에서 저장 공간으로 하역함 → M₂로 적재한 후 처리 → M₂에서 최종 생산품으로 하역.

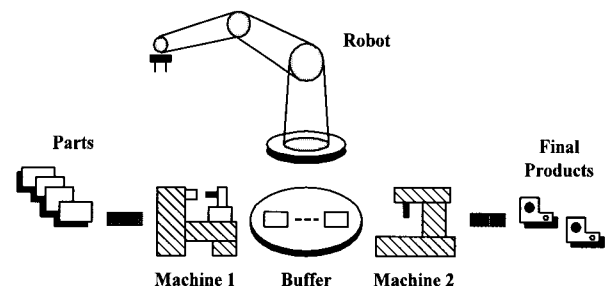


그림 2. FMS 모델.
Fig. 2. FMS model.

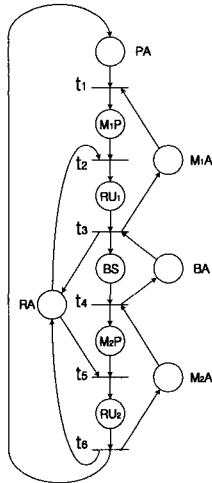


그림 3. FMS의 페트리 넷.
Fig. 3. Petri net model of FMS.

(3) 페트리 넷 표현

그림 3에 표현한 플레이스와 트랜지션의 의미는 표 1과 같다.

2. Deadlock이 발생하지 않을 조건

그림 3의 minimal siphon은 $S_1 = \{p_4, p_8\}$, $S_2 = \{p_2, p_3, p_7\}$, $S_3 = \{p_3, p_6, p_{10}\}$, $S_4 = \{p_5, p_6, p_9\}$, $S_5 = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}$, $S_6 = \{p_6, p_8, p_9, p_{10}\}$ 이다.

S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 는 또한 trap이다. 따라서, $F(S_6) > 0$ 이기 위한 조건을 구하기 위해 상태 방정식을 전개한다. 간결하게 표현하기 위해 $m_i = M_0(p_i)$ 로 표현한다.

상태방정식은[5] 다음과 같다.

$$M = M_0 + CY$$

M_0 : 초기 설정에 따라 다름

$$Y = [y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6]^T$$

$$C = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

위의 상태 방정식을 전개하여, S_6 에 포함된 플레이스에 해당되는 마킹에 토큰의 수를 0으로 하여 그들 방정식을 간략화 하면 다음과 같다.

$$y_2 = m_6 + m_8 + m_9 + m_{10} + y_6 \tag{1}$$

$$y_3 = m_8 + m_9 + y_6 \tag{2}$$

$$y_4 = m_9 + y_6 \tag{3}$$

$$y_5 = -m_6 + y_6 \tag{4}$$

이들을 이용하여, 나머지 방정식들을 간략화 하면,

$$M(p_1) = m_1 - y_1 + y_6 \tag{5}$$

표 1. 그림 3의 플레이스와 트랜지션.

Table 1. Place and transition of Fig. 3.

Number	플레이스	설 명
p_1	PA	이용 가능한 팔레트의 수
p_2	M_1P	M_1 에 적재하여 원자재를 팔레트에 고정된 후 처리.
p_3	RU_1	로봇으로 중간단계의 물품을 저장 공간에 하역
p_4	BS	저장 공간에 중간단계의 물품을 저장.
p_5	M_2P	중간 단계의 물품을 M_2 에 적재하여 처리.
p_6	RU_2	로봇으로 M_2 로부터 최종 생산품으로 하역한 후, 고정된 것을 해제하여 팔레트를 처음단계로 돌려줌
p_7	M_1A	기계 장치 1의 유용성
p_8	BA	저장 공간의 유용성
p_9	M_2A	기계 장치 2의 유용성
p_{10}	RA	로봇의 유용성
트랜지션	설 명	
t_1	M_1P 동작의 시작	
t_2	M_1P 동작의 끝. RU_1 동작의 시작	
t_3	RU_1 동작의 끝. BS 동작의 시작	
t_4	BS 동작의 끝. M_2P 동작의 시작	
t_5	M_2P 동작의 끝. RU_2 동작의 시작	
t_6	RU_2 동작의 끝	

$$M(p_2) = y_1 - y_2 \tag{6}$$

$$M(p_3) = m_3 + m_6 + m_{10} \tag{7}$$

$$M(p_4) = m_4 + m_8 \tag{8}$$

$$M(p_5) = m_5 + m_6 + m_9 \tag{9}$$

$$M(p_7) = -y_1 + y_6 + 2 \tag{10}$$

(7)-(9)는 초기 마킹으로만 구성된 방정식이며, (5), (6), (10)은 초기 마킹과 점화 벡터사이의 관계로 이루어진 확정적이지 않은 방정식이다. $M(p_i) \geq 0$ 이므로, (7)-(9)는 항상 참이며, (5), (6), (10)은 점화하는 횟수에 따라서 참·거짓이 판명된다. 따라서, $M(p_i) \geq 0$ 을 항상 만족해야 하므로 (5), (6), (10)을 이용하여 트랜지션 t_1, t_2 와 t_6 의 점화를 제어해야만 한다.

(5)과 (10)에서 t_1 의 점화는 다음을 만족할 때 점화를 할 수 있다.

$$m_1 \leq 2 \text{ 일 때 : } -y_1 + y_6 + m_1 > 0 \tag{11}$$

$$m_1 > 2 \text{ 일 때 : } -y_1 + y_6 + 2 > 0 \tag{12}$$

(6)에서 t_2 의 점화는 제어가 되어야 하며 다음을 만족할 때 점화를 할 수 있다.

$$y_1 - y_2 > 0 \tag{13}$$

Trap을 포함하고 있는 siphon의 조건과 (11)-(13)의 조건을 합하면 그림 3의 FMS의 deadlock이 발생하지 않을 조건은 다음과 같다.

• Deadlock이 발생하지 않을 조건

$$m_4 + m_8 > 0 \tag{14}$$

$$m_2 + m_3 + m_7 > 0 \tag{15}$$

$$m_3 + m_6 + m_{10} > 0 \tag{16}$$

$$m_5 + m_6 + m_9 > 0 \tag{17}$$

$$m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5 + m_6 > 0 \tag{18}$$

• t_1 의 접화

▷ $m_1 \leq 2$ 일 때 :

$$-y_1 + y_6 + m_1 > 0 \text{을 만족하면 접화가능.} \tag{19}$$

▷ $m_1 > 2$ 일 때 :

$$-y_1 + y_6 + 2 > 0 \text{을 만족하면 접화가능.} \tag{20}$$

• t_2 의 접화

$$y_1 - y_2 > 0 \text{를 만족하면 접화 가능.} \tag{21}$$

V. 시뮬레이션 결과 및 고찰

공정은 초기에 작업 중인 물품이 없는 것으로 간주한다. 따라서, $m_2 = m_3 = m_4 = m_5 = m_6 = 0$ 이며, $m_7 = m_9 = m_{10} = 1$ 이다. 개수를 조절할 수 있는 자원은 팔레트와 저장 공간으로 간주하며 m_1 과 m_8 의 개수 즉 팔레트와 저장 공간의 개수는 각각 1~5까지이다. 그 외의 시뮬레이션 조건은 표 2와 같다.

간단한 FMS모델은 4가지 제품을 만들 수 있으며, 각각의 제품은 다음과 같은 처리 과정을 거쳐서 만들어 진다고 가정한다.(M1 = Machine 1, M2 = Machine 2)

- 제품 1: M1에서 20분 가공 후 M2에서 5분 가공
- 제품 2: M1에서 20분 가공 후 M2에서 10분 가공
- 제품 3: M1에서 10분 가공 후 M2에서 20분 가공
- 제품 4: M1에서 5분 가공 후 M2에서 10분 가공

각각의 조건은 작업 전에 설정이 되며, 목표 수량을 채우거나 deadlock이 발생하지 않는 이상 변경이 불가능하다고 가정한다.

표 2. 프로그램 조건.

Table 2. Program condition.

프로그램 수행 조건	
플레이스	작업 수행 시간(단위: 분)
p_2	20, 10, 5
p_3	3
p_5	20, 10, 5
p_6	3
나머지 플레이스의 작업 수행 시간은 zero로 간주한다.	

표 3, 4, 5, 6은 프로그램 수행 결과로, 왼쪽의 배경색이 있는 부분은 트랜지션 t_1 과 t_2 의 접화를 제어한 결과이며,

표 3. 제품 1.

Table 3. Product 1.

물품 생산량										
$p_2=20, p_5=5$										
$m_i \backslash m_s$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
2	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
3	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
4	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
5	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

표 4. 제품 2.

Table 4. Product 2.

물품 생산량										
$p_2=20, p_5=10$										
$m_i \backslash m_s$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
2	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
3	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
4	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
5	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21

표 5. 제품 3.

Table 5. Product 3.

물품 생산량										
$p_2=10, p_5=20$										
$m_i \backslash m_s$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
2	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
3	21	21	21	21	21	D	21	21	21	21
4	21	21	21	21	21	D	D	21	21	21
5	21	21	21	21	21	D	D	D	21	21

표 6. 제품 4.

Table 6. Product 4.

물품 생산량										
$p_2=5, p_5=20$										
$m_i \backslash m_s$	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
2	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
3	21	21	21	21	21	D	21	21	21	21
4	21	21	21	21	21	D	D	21	21	21
5	21	21	21	21	21	D	D	D	21	21

오른쪽은 제어하지 않은 결과이다. 표에 D로 표시된 부분은 deadlock이 발생한 부분을 의미하며, 표 상단에 표기한 p_i 의 값은 플레이스 p_i 의 작업 수행 시간이며 단위는 분이다.

Deadlock이 발생한 경우는 machine 1에서 제품 가공을 끝내는 속도가 빠른 경우 발생하였다. 다시 말하면 machine 1에서 가공한 제품을 buffer에 적재해 놓는 속도가 machine 2가 buffer에서 가공 제품을 가져가는 속도보다 빠른 경우이다. 이러한 경우 machine 1에서 buffer로 제품을 하역하기 위하여 robot의 제어권을 가져갔을 때 machine 2에서 제품 가공이 완료되어 최종 하역 장소로 하역하지 못하여 deadlock이 발생한다. 제품 3과 제품 4가 deadlock 없이 효율적으로 생산되기 위하여 트랜지션의 점화 제어는 필수적이다. deadlock이 발생하지 않을 조건이 초기 마킹과 점화 벡터 사이의 관계식으로 나왔을 경우 이를 이용하여 트랜지션의 점화를 제어함으로써 [9]에서 제시한 초기 마킹 설정의 장점을 살리면서 시스템이 deadlock이 발생하지 않고 효과적으로 동작함을 알 수 있다.

VI. 결론

Deadlock은 시스템을 통한 각각의 작업들의 순열이 동시적으로 유한 자원을 경합하는 복잡성에 따라 증가하므로 일반적으로 예측하기가 어렵다. 올바르게 설계된 FMS에서 deadlock 발생은 저장 공간 또는 기계장치들을 단지 수작업으로 수정하여 deadlock을 제거하거나 초기 조건으로 시스템을 복원하여 다시 시작해야 한다. 이런 방법으로 시스템을 다시 설정하는 것은 노동자 임금 측면과 제품 손실 측면의 양쪽 모두 큰 손실을 가져오며, 이는 설계와 안정적인 동작 제어에 의해 회피할 수 있다.

Deadlock을 방지하기 위하여 그동안 페트리 네트를 이용하여 많은 연구가 있었으나, 대부분의 연구 결과들은 각각이 모델링하는 방법을 달리하는 페트리 네트에서의 deadlock 회피와 방지에 관한 연구 결과들이었으며, 그들 결과를 일반적인 페트리 네트에 적용하고자 하려면 처음부터 다시 모델링해야만 했었다.

본 논문에서는 일반적인 페트리 네트에서 deadlock 제어와 초기 마킹 설정을 동시에 만족시킬 수 있는 방법을 제시하였다. Feng Chu와 Xiao-Lan Xie가 제시한 방법을 사용하여 deadlock이 발생하지 않는 조건을 만족하는 초기 마킹을 설정하였으며, 만약 이들의 관계식이 초기 마킹으로만 이루

어지지 않고 점화벡터와 초기 마킹으로 이루어진 관계식일 경우 트랜지션의 점화를 제어함으로써 deadlock이 발생하지 않도록 하였다. 간단한 FMS에 적용하여 트랜지션의 점화를 제어함으로써 deadlock이 발생하지 않음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] N. Wu, "Necessary and sufficient condition for deadlock-free operation in flexible manufacturing systems using a colored petri net model," *IEEE Trans. on SMC-PART C: Applications and reviews*, vol. 29, no. 2, May 1999.
- [2] J. Ezpeleta, J. M. Colom, and J. Marthinez, "A petri net based deadlock prevention policy for flexible manufacturing systems," *IEEE Trans. Robot. Automat.*, vol. 11, pp. 173-184, 1995.
- [3] Z. A. Banaszak and B. H. Krogh, "Deadlock avoidance in flexible manufacturing systems with concurrently competing process flows," *IEEE Trans. Robot. Automat.*, vol. 6, pp. 724-734, 1990.
- [4] N. Viswanadham, Y. Harahari, and T. L. Johnson, "Deadlock prevention and deadlock avoidance in flexible manufacturing systems using Petri net models," *IEEE Trans. Robot. Automat.*, vol. 6, pp. 713-723, 1990.
- [5] Feng chu and Xiao-Lan Xie, "Deadlock analysis of petri nets using siphon and mathematical programming," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 13, no. 6, pp. 793-804, December 1997.
- [6] 고인선, "페트리 네트(Petri nets)," 전기학회지 제 43권 제 3호, 1994.
- [7] J. L. Peterson, *Petri Net Theory and the Modeling of Systems*, Prentice-Hall, Inc., 1981.
- [8] J. Wang, *Timed Petri Nets: Theory and Application*, Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [9] J.-M. Proth and X. Xie, *Petri nets: A Tool for Design and Management of Manufacturing Systems*, Chichester. New York, 1996.
- [10] G. W. Brams, *Reseaux de Petri, Theorie et Pratique*, Masson, France, 1983.
- [11] T. Murata, "Petri nets: Properties, analysis and applications," *In Proceedings of IEEE*, 1989, vol. 77, pp. 541-580.

**김 정 철**

2000년 원광대 제어계측공학과 졸업.
2002년 동 대학원 제어계측공학과 석
사 졸업. 현재 전북대 메카트로닉스공
학과 박사과정. 관심분야는 이산사건
시스템, 자동제어, 지능제어, 퍼지제어.

**김 진 권**

1998년 원광대 제어계측공학과 졸업.
2000년 동 대학원 제어계측공학과 석
사 졸업. 2005년 동 대학원 전기공학과
박사 졸업. 관심분야는 이산사건시스템,
자동제어, 지능제어, 퍼지제어.

**황 형 수**

1991년~1992년 캐나다 Ottawa대학교
전기 및 컴퓨터공학과 Post-Doc. 1988
년~현재 원광대학교 전기전자 및 정보
공학부 교수. 관심분야는 퍼지 및 지능
제어, 이산사건시스템 모델링 및 제어.