

# 접속행렬을 이용한 EMFG의 수학적 해석

김희정, 허후숙, 정안나, 여정모  
부경대학교

## The Mathematical Analysis of an Extended Mark Flow Graph By Using Incidence Matrix

Hee-Jung Kim, Hu-Suk Heo, An-na Jung, Jeong-Mo Yeo  
PuKyong Nat'l University

E-mail : heejung\_99@hanmail.net, yeo@pknu.ac.kr

### 요 약

확장된 마크흐름선도(EMFG: Extended Mark Flow Graph)는 이산 시스템을 설계할 수 있는 강력한 도구일 뿐만 아니라 시스템을 직접적으로 구현하기 위한 적당한 표현이다. 본 논문에서는 EMFG의 동작 해석 알고리즘을 개선하여 시간 트랜지션이 존재하는 EMFG의 동작을 분석하고자 한다. 이를 통해 시스템의 분석 및 설계가 용이하며 컴퓨터를 이용한 자동화 시스템의 분석과 설계가 가능하다.

### 1. 서 론

Petri Net 및 마크흐름선도 등의 이론들은 회로의 분석 및 해석에 이용되며, 이산제어 시스템의 표현 및 구현에도 이용되고, 공장 자동화 등에도 응용된다.[1-7] EMFG는 Petri Net에서 파생된 그래프 이론으로 Petri Net나 각종 선도로써 시스템을 설계하는 것과 마찬가지로 시스템의 동시성이나 병렬성을 잘 표현할 수 있을 뿐만 아니라, Petri Net의 장점을 모두 가지고 있다. EMFG는 시스템을 개념적으로 설계할 수 있을 뿐 아니라 이산 시스템을 표현한 EMFG인 경우에는 구성하고 있는 요소를 각각 일대 일로 변환하면 직접적인 회로를 얻을 수 있어 시스템의 구현에 용이하다.[8]

본 논문에서는 EMFG의 동작 알고리즘을 개선하여 모든 과정이 수학적으로 해석될 수 있도록 제안하고자 한다. ESPN(Extended Safe Petri Net)의 수학적 해석[2,6]에서는 아크의 종류에 따라 접속행렬을 구하는 방법이 다르고, Petri Net의 점화가능 벡터와 점화계열을 구하는 알고리즘의 단계와 상태전이 방정식에 이르는 과정이 복잡한데 비하여 EMFG의 수학적 해석에서는 접속행렬과 점화조건 행렬 2개의 행렬만이 필요하므로 방정식을 구하는 시간을 줄일 수 있고 또한, 각 트랜지션의 완료비를 통해 시간트랜지션이 존

재하는 EMFG 모델에 관한 동작해석도 가능하다.

### 2. 본 론

#### 2.1. EMFG의 접속 행렬

EMFG의 동작을 수학적으로 해석하기 위하여 먼저 EMFG에서 트랜지션들에 대한 박스들의 접속 상태를 수학적으로 표현하기로 한다.

정의 1) EMFG에서 트랜지션에 대한 입력 박스들의 아크 연결 상태를 표현한 행렬,  $T_i$ 를 EMFG의 입력 행렬이라 하고, 다음과 같이 표현된다.

$$T_i = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 트랜지션의 수,  $m$ 은 박스의 수,  $a_{ij}$  요소는 트랜지션  $t_j$ 에 연결된 입력 박스  $b_i$ 의 아크 연결 상태로서 일반 아크로 연결되어 있으면 1이고 연결되어 있지 않거나 역 아크로 연결되어 있으면 0이다.■

입력 행렬은 트랜지션이 점화했을 때 박스들의 마

크 소멸 여부를 나타낸다. 즉 1이면 박스의 마크가 소멸하고, 0이면 박스의 마크가 소멸하지 않으므로 마크 상태가 그대로 보존된다.

정의 2) EMFG에서 트랜지션에 대한 출력 박스들의 아크 연결 상태를 표현한 행렬,  $T_o$ 를 EMFG의 출력 행렬이라고 하고, 다음과 같이 표현된다.

$$T_o = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서  $n$ 은 트랜지션의 수,  $m$ 은 박스의 수,  $a_{ij}$  요소는 트랜지션  $t_j$ 에 연결된 출력 박스  $b_i$ 의 아크 연결 상태로서 일반 아크로 연결되어 있으면  $n$ 이고 연결되어 있지 않으면 0이며 역 아크로 연결되어 있으면  $-1$ 이다.■

출력 행렬은 트랜지션이 점화하였을 때 출력 박스의 마크 변화를 나타낸다. 즉  $n$ 이면 마크가 생성되고,  $-1$ 이면 마크가 소멸하며, 0이면 마크 변화가 없음을 나타낸다.

트랜지션에서 출력 일반아크로 연결되어 있는 경우에  $T_o$ 의 원소를 트랜지션의 수  $n$ 으로 한 것은 EMFG의 성질에 어긋나지 않도록 하기 위함이다. 즉 어떤 박스에 연결된 여러 트랜지션이 동시에 점화하여 마크를 생성시키고 동시에 마크를 소멸시키려고 하는 경우에 EMFG 성질에 의하여 박스에는 마크가 있도록 해야 하기 때문이다. 예를 들어 한 트랜지션이 박스  $b_m$ 에 마크를 생성시키고, 다른 모든 트랜지션( $n-1$ 개)이  $b_m$ 의 마크를 소멸시키도록 동시에 점화하는 경우에도  $b_m$ 에는 마크가 존재하도록 해야 하기 때문이다.

트랜지션의 입력 박스와 출력 박스의 연결상태를 통해 트랜지션이 점화하였을 때 박스들의 마크 변화를 수학적으로 표현하는 방법이 필요하다.

정의 3) EMFG에서 트랜지션이 점화하였을 때 박스들의 마크 변화를 표현한 행렬,  $T_b$ 를 EMFG의 접속 행렬이라고 하고, 다음과 같이 표현된다.

$$T_b = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

여기서  $n$ 은 트랜지션의 수,  $m$ 은 박스의 수이고,  $a_{ij}$  요소는 트랜지션  $t_j$ 가 점화하였을 때 박스  $b_i$ 의 마크 변화를 나타내며, 양수이면 마크가 생성됨을, 음수이면 마크가 소멸됨을, 0이면 마크 상태가 변화없음을 의미한다.■

정리 1) EMFG에서 입력 행렬을  $T_i$ , 출력 행렬을  $T_o$ , 접속 행렬을  $T_b$ 라 할 때, 접속 행렬  $T_b$ 는  $T_o - T_i$ 이다.

증명) 트랜지션  $t_j$ 와 박스  $b_i$ 에 대하여  $T_o, T_i, T_b$  행렬의  $i$  행과  $j$  열의 요소를 각각  $a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}$ 라 할 때,  $c_{ij}$ 는  $(a_{ij} - b_{ij})$ 이 되고,  $c_{ij}$ 가 계산될 수 있는 경우는 표 1과 같다. 그리고 표 1의 '해당 EMFG'란의 트랜지션은  $t_j$ 이고 박스는  $b_i$ 이다.

$a_{ij}$	$b_{ij}$	$c_{ij}$	EMFG 표현	$a_{ij}$	$b_{ij}$	$c_{ij}$	EMFG 표현
0	0	0		$n$	1	$n-1$	
0	1	-1		-1	0	-1	
$n$	0	$n$		-1	1	-2	

표 1.  $a_{ij}$ 와  $b_{ij}$  및  $c_{ij}$ 의 관계

해당 EMFG에서 트랜지션이 점화하였을 때 박스의 마크 상태 변화는  $c_{ij}$ 와 동일하다. 따라서 정리는 타당하다.■

## 2.2. 트랜지션의 점화동작의 수학적 표현

트랜지션은 모든 입력 박스(들)의 마크 상태가 모두 점화조건에 부합되어야 점화할 수 있다. 이러한 트랜지션의 점화조건을 수학적으로 표현할 수 있다.

정의 4) EMFG에서 각 트랜지션의 점화조건을 표현한 행렬,  $C$ 를 EMFG의 점화조건 행렬이라고 하고, 다음과 같이 표현된다.

$$C = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서  $n$ 은 트랜지션의 수,  $m$ 은 박스의 수,  $a_{ij}$  요소는 트랜지션  $t_j$ 가 점화하기 위한 입력 박스  $b_i$ 의 마크 수로서 역 아크로 연결된 경우는 0이고 일반 아크나 조건 아크로 연결된 경우는 1이며 아크의 연결이 없는 경우는  $x$ 이다.■

EMFG에서 박스들의 마크 벡터  $M$ 와 점화조건 행렬  $C$ 를 사용하여 트랜지션들의 점화가능 유무를 판단할 수 있다. 이를 수학적으로 표현하기 위하여 필요한 연산자들을 먼저 정의하기로 한다.

정의 5) 이항 연산자  $\odot$ 는 표 2를 만족하는 연산자이다.■

m	c	m $\odot$ c
0	0	1
0	1	0
0	x	1
1	0	0
1	1	1
1	x	1

표 2. 이항 연산자  $\odot$ 의 진리표

$\odot$  연산자는 마치 동치 연산자처럼 작용한다. 즉  $x$ 를 Don't care처럼 생각하여  $m$  값과 동일하게 한다면, 완전하게 동치 연산이 된다.

정리 2) 트랜지션  $t_j$ 와 입력 박스  $b_k$ 가 있을 때,  $m$ 을  $b_k$ 의 마크 유무,  $c$ 를 점화조건 행렬의 원소로 표현되는, 즉  $t_j$ 의 입력 아크 연결 상태라 할 때,  $m \odot c$ 의 연산 결과는  $t_j$ 에 대한  $b_k$ 의 점화조건 만족 여부를 나타낸다.

증명) 입력 역 아크로 연결된  $b_k$ 에는 마크가 없어야 하고 입력 일반 아크로 연결된  $b_k$ 에는 마크가 있어야  $t_j$ 의 점화조건을 만족시키므로, 이러한 경우의 연산 결과가 1이 된다. 그리고 입력 역 아크로 연결된  $b_k$ 에 마크가 있거나 입력 일반 아크로 연결된  $b_k$ 에 마크가 없으면  $t_j$ 의 점화조건을 만족시킬 수 없으므로, 연산 결과는 0이 된다. 그러나  $t_j$ 에  $b_k$ 가 연결되어 있지 않는 경우에는  $b_k$ 의 마크 유무가  $t_j$ 의 점화조건에 기여하지 않으므로, Don't care가 된다. 그러나  $t_j$ 에 연결된 모든 박스들의 마크 상태를 동시에 만족시키도록 해야 하므로 이러한 경우의 연산 결과는 1로 해야 한다. 따라서 정리는 타당하다.■

정의 6) 식 9와 식 10으로 표현되는 행 벡터  $M$ 와 열 벡터  $K$ 가 있을 때,  $M$ 과  $K$  사이의 이항 연산자  $\square$ 를 식 11과 같이 정의한다.

$$M = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m) \quad (5)$$

$$K = (k_1, k_2, \dots, k_m)^T \quad (6)$$

$$M \square K = \prod_{i=1}^m (\mu_i \odot k_i) \quad (7) \blacksquare$$

정의 7) EMFG에서 트랜지션들의 점화가능 상태를 표현한 벡터  $F$ 를 EMFG의 점화가능 벡터라 하고, 트랜지션들의 점화완료 가능 상태를 표현한 벡터  $Y$ 를 EMFG의 점화완료 벡터라 하며, 다음과 같이 정의한다.

$$F = [f_1, f_2, \dots, f_n] \quad (8)$$

$$Y = [y_1, y_2, \dots, y_n] \quad (9)$$

여기서  $n$ 은 트랜지션의 수이고,  $f_j$ 는 트랜지션  $t_j$ 의 점화조건 만족 상태로서 점화조건이 만족되어 있으면 1, 그렇지 않으면 0이다. 그리고  $y_j$ 는 마킹시간이 경과한 후 트랜지션  $t_j$ 가 점화를 완료할 것인지의 여부로서 점화완료 가능하면 1, 그렇지 않으면 0이다.■

일반 트랜지션의 경우, 점화조건이 만족되면 마킹시간이 경과된 후 즉시 점화 완료되므로, 일반 트랜지션만을 가지는 EMFG에서는 항상 점화가능 벡터와 점화완료 벡터는 서로 동일하다.

그러나 시간 트랜지션의 경우, 점화조건이 만족되더라도 설정된 점화시간이 경과하지 않으면 점화를 완료하지 못한다. 또한 시간 트랜지션은 점화조건이 만족되어 점화 중이더라도 다시 점화조건이 만족되지 않는다면 점화를 중지하게 되므로 시간 트랜지션이 포함된 EMFG의 점화가능 벡터는 시간에 따라 변경될 수 있으며, 점화완료 벡터와 다를 수 있다.

점화완료 벡터의 원소 중에서 1에 해당하는 트랜지션만이 점화하여 점화를 완료하게 되고, 0에 해당하는 트랜지션은 점화 중이거나 점화조건이 만족되지 않은 경우가 된다. 따라서 점화완료 벡터는 현완료비 벡터 [10]에서 구할 수 있다.

정리 3) EMFG에서 점화완료 벡터  $Y$ 는 현완료비 벡터  $W$ 에서 1이 아닌 모든 원소를 0으로 대체하여 구할 수 있다.

증명)  $W$ 의 각 원소는 트랜지션이 점화 완료할 때까지의 마킹시간비를 나타내므로 1인 경우는 마킹시간이 한번 경과하면 점화가 완료됨을 나타내고, 그렇지 않은 경우는 점화조건이 만족되어 있지 않거나 더 많은 점화 완료시간이 남아 있음을 뜻한다. 따라서  $W$ 에서 1이 아닌 원소는 마킹시간이 한번 경과한 후에 점화를 완료하지 못하므로 0으로 대체하면  $Y$ 가 된다.■

정리 4) EMFG에서 마크 벡터를  $M$ , 점화조건 행렬을  $C$ 라 할 때, 점화가능 벡터  $F$ 는 다음과 같다.

$$F = M \square C \quad (10)$$

증명) 정의 6과 정의 7 및 정리 2에 의하여 자명하다.■

### 2.3. 마킹상태 천이 방정식

EMFG에서는 트랜지션이 점화 완료하여야 관련 박스의 마크상태가 변하므로, 점화완료 벡터가 구해진 상태에서 접속 행렬을 적용시켜 박스들의 마크 상태 변화를 알아 낼 수 있고, 현재 마크 벡터와 박스들의 마크 상태 변화로서 박스들의 다음 마크 상태를 구할 수 있다.

정의 8) 함수  $L(x)$ 는  $x$ 가 0 이하인 경우에 0의 값을 가지고  $x$ 가 양수인 경우에 1의 값을 가지는 함수이며, 벡터나 행렬에  $L$  함수를 적용시키는 경우에는 벡터나 행렬을 구성하는 각 요소에  $L$  함수를 적용시키는 것을 의미한다.■

EMFG에서 박스들의 마크 상태는 트랜지션들이 점화함으로 인하여 변하게 된다. 따라서 박스들의 초기 마크 상태를 표현한 마크 벡터를  $M_0$ , 마킹시간이 한번 경과한 후의 마크 벡터를  $M_1$ , 마킹시간이  $k$ 번 경과한 후의 마크 벡터를  $M_k$ 라 할 수 있다.

정리 5) EMFG에서 현재 마크 벡터를  $M_k$ , 마킹시간이 한번 경과한 후의 다음 마크 벡터를  $M_{k+1}$ , 접

속 행렬을  $T_b$ , 현재의 점화완료 벡터를  $Y$ 라 할 때,  $M_{k+1}$ 는 식 15와 같이 구할 수 있으며, 식 15를 마킹상태 천이 방정식이라고 한다.

$$M_{k+1} = L(M_k + Y \cdot T_b^T) \quad (11)$$

증명) 다음 마크 벡터는 현재 마크 벡터에서 박스의 마킹상태 변화 벡터를 더하여 구할 수 있다. 따라서 두 번째 항이 박스의 마킹상태 변화 벡터인 것만 증명하면 된다.  $Y$ 는 점화 완료 가능한 트랜지션들을 나타내고,  $T_b$ 는 정의 3에 의하여 트랜지션이 점화 완료했을 때의 박스의 마크 상태 변화를 나타내므로  $Y \cdot T_b^T$ 의 각 원소는 해당 박스의 마크 상태 변화를 나타낸다. 따라서 정리는 타당하다.■

### 2.4. EMFG의 동작 알고리즘

EMFG가 동작된다는 것은 이에 대응되는 시스템이 동작한다는 뜻이다. 기존에는 마크상태 변화를 수학적으로 판단하기가 곤란하였다. 이로 인해 엘리베이터와 같은 규모가 큰 시스템인 경우, 설계된 EMFG가 제대로 동작하는지 검사하는데 많은 시간을 요했으며 이를 설계에 반영하는데도 어려움이 있었다.

따라서 본 논문에서는 박스의 마크 상태 변화, 즉 EMFG가 동작되는 과정을 수학적으로 판단하고 계산하는 알고리즘을 제시함으로써 시스템의 상태변화, 즉 EMFG의 마크 상태변화를 쉽게 판단하게 하여 시스템의 해석 및 분석에 도움이 되고 시스템의 설계에 반영시켜 전체적인 설계시간 단축 및 시스템의 성능 개선에 도움을 주고자 한다.

다음은 EMFG의 동작을 해석하는 알고리즘이다.

단계 1(초기화 단계) : EMFG의 동작에 필요한 초기값을 구한다.

① 마킹시간  $t_m[10]$  구함 : 식 12를 사용하여 EMFG의 마킹시간을 구한다. 여기서  $n$ 는 트랜지션의 수이며,  $s_j$ 는 트랜지션  $t_j$ 의 점화시간이다.

$$t_m = G.C.M.(s_1, s_2, \dots, s_n) \quad (12)$$

② 초기 완료비 벡터  $V_0[10]$  구함 : 식 13를 사용하여 EMFG의 초기 완료비 벡터를 구한다. 여기서  $t_m$

는 마킹시간,  $n$ 은 트랜지션의 수,  $s_j$ 는 트랜지션  $t_j$ 의 점화시간이다.

$$V_0 = [s_1/t_m, s_2/t_m, \dots, s_n/t_m] \quad (13)$$

③ 입력 행렬  $T_i$ , 출력 행렬  $T_o$ , 접속 행렬  $T_b$  등을 구함 : 정의 1과 정의 2 및 정의 3에 따라 EMFG의 입력 행렬과 출력 행렬 및 접속 행렬 등을 구한다.

④ 점화조건 행렬  $C$  구함 : 정의 4에 따라 EMFG의 점화조건 행렬을 구한다.

⑤ 초기 마크 벡터  $M_0$  구함 : 박스들의 마크 상태에 따라 EMFG의 초기 마크 벡터를 구한다.

단계 2(점화가능 벡터  $F_k$  구하는 단계) : 식 10를 사용하여 점화가능 벡터  $F_k$ 을 구하고,  $F_k$ 가 0이면 중지한다.

단계 3(예상완료비 벡터  $V_k[10]$  구하는 단계) :  $k$ 가 1인 경우에는 초기 완료비 벡터  $V_0$ 로 하고,  $k$ 가 2 이상인 경우는 경과 완료비  $X_{k-1}$ 에서 0 이하의 모든 원소를 초기 완료비로 대치하여 구한다.

단계 4(현완료비 벡터  $W_k[10]$  구하는 단계) : 식 14를 사용하여 현완료비 벡터를 구한다.

$$W_k = V_k \star F_k \quad (14)$$

단계 5(경과완료비 벡터  $X_k[10]$  구하는 단계) : 식 15를 사용하여 경과완료비 벡터를 구한다.

$$X_k = W_k - 1 \quad (15)$$

단계 6(점화완료 벡터  $Y_k$  구하는 단계) : 정리 4에 따라 점화완료 벡터를 구한다.

단계 7(다음 마크 벡터  $M_k$  구하는 단계) : 정리 7에 따라 다음 마크 벡터를 구한다.

단계 8 : 단계 2로 간다.

일반 트랜지션만 존재하는 EMFG에서 점화가능 벡터와 점화완료 벡터가 동일하므로 단계 3에서 단계 6까지의 과정이 필요하지 않다. 따라서 상당히 간단하게 EMFG의 동작을 평가할 수 있다.

### 3. EMFG 동작 해석 알고리즘의 적용 예

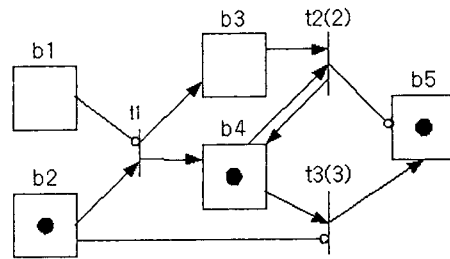


그림 3. 시간트랜지션이 존재하는 EMFG

단계 1(초기화 과정) :

① 마킹시간 :

$$t_m = \text{G.C.M.}(1, 2, 3) = 1$$

② 초기완료비 벡터 :

$$V_0 = [1/1 \ 2/1 \ 3/1] = [1 \ 2 \ 3]$$

③ 입력행렬( $T_i$ ), 출력행렬( $T_o$ ), 접속행렬( $T_b$ ) :

$$T_i = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad T_o = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 5 & 0 & 0 \\ 5 & 5 & 0 \\ 0 & -1 & 5 \end{bmatrix}$$

$$T_b = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 \\ 5 & -1 & 0 \\ 5 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 5 \end{bmatrix}$$

④ 점화조건행렬( $C$ ) :

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

⑤ 초기마크벡터( $M_0$ ) :

$$M_0 = [0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1]$$

마킹시간	F	V	W	X	Y	M
0		[1 2 3]				[0 1 0 1 1]
1	[1 0 0]	[1 2 3]	[1 0 0]	[0 -1 -1]	[1 0 0]	[0 0 1 1 1]
2	[0 1 1]	[1 2 3]	[0 2 3]	[-1 1 2]	[0 0 0]	[0 0 1 1 1]
3	[0 1 1]	[1 1 2]	[0 1 2]	[-1 0 1]	[0 1 0]	[0 0 0 1 0]
4	[0 0 1]	[1 2 1]	[0 0 1]	[-1 -1 0]	[0 0 1]	[0 0 0 0 1]
5	[0 0 0]					

표 3. 그림 3의 EMFG에 정리 5의 알고리즘을 적용시킨 결과표

정리 5의 알고리즘 단계 2에서 단계 7까지를 그림 3의 EMFG에 수행시킨 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3에서 보면 역시 어떤 트랜지션들이 점화되어 점화완료되는지 시간에 따라 판단할 수 있으며, 각 박스들의 마크 수가 변화해 가는 모습을 쉽게 파악할 수 있으므로 EMFG의 동작을 쉽게 해석할 수 있다.

따라서 시스템을 모델링한 EMFG를 제안된 알고리즘에 따라 해석하게 되면 그 동작을 쉽게 분석할 수 있어 시스템의 동작해석 및 설계에 상당히 도움이 될 것이다. 이 예와 같이 EMFG를 이용하여 개념적으로 설계한 시스템을 수치 시뮬레이션을 이용하여 시스템의 상태변화를 쉽게 확인 가능하므로 이는 시스템의 설계 및 이상 감지 등에 이용될 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 EMFG의 수학적 해석 방법을 도입하여 트랜지션의 점화 동작과 마크 상태 변화의 순차진행 과정을 분석하였으며, 시간 트랜지션이 존재하는 EMFG의 동작 해석 알고리즘을 개선하였다. 이 알고리즘은 각 단계가 수학적이므로 프로그램으로 작성하기가 쉬워, EMFG의 동작인 시스템의 동작을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 해석하고 분석할 수 있다.

따라서 시스템을 EMFG로 설계하였을 때, 설계된 EMFG 모델을 제안된 알고리즘에 따라 해석하게 되면 설계된 시스템의 동작을 쉽게 분석할 수 있으므로 설계에 재 반영하거나 시스템의 성능향상에 도움을 줄 것으로 기대된다.

#### [참고문헌]

[1] Tadao Murata, "Petri Nets : Properties, Analysis and Applications", Proceedings of the IEEE, Vol. 77, No. 4, p541-580, 1989  
 [2] C. S. Hwang and J. M. Lee, "Analysis of Matrix Equation Based on Petri Net for Discrete System Control", Proceedings of the 29th SICE

Annual Conference-International Session, p639-696, July 1990.

[3] Rene David and Hassane Alla, "Petri Nets for Modeling of Dynamic Systems a Survey", Automatica, Vol. 30, No. 2, p175-202, 1994

[4] 여정모, "마크흐름선도의 확장", 부산대학교 대학원 석사학위 논문, 1982. 2.

[5] 여정모, 황창선, "확장된 마크흐름선도와 시퀀셜 제어시스템에의 응용", 부산대학교 공과대학 연구보고 Vol. 25, p. 209 - 219, 1983. 6 .

[6] 이재만, "Extended Safe Petri Net에 의한 비연속 시스템의 모델링 및 제어에 관한 연구", 부산대학교 대학원 석사학위 논문, 1992. 2.

[7] 여정모, "EMFG 회로의 간략화에 관한 연구", 부산개방대학 연구보고 Vol. 29, p741 - 760 1987. 12 .

[8] 여정모, "이산 시스템의 설계와 해석을 위한 확장된 마크흐름선도의 재정의와 회로변환", 멀티미디어학회 논문지 Vol. 1 No. 2, p224 - 238, 1998. 12.

[9] 여정모, 하재목, "확장된 마크흐름선도의 재구성파 회로변환", 한국멀티미디어학회, 1998년도 추계학술발표논문집, p. 423 - 431, 1998. 6.

[10] 여정모, "이산제어시스템 설계를 위한 확장된 마크흐름선도의 동작해석", 정보처리논문지 Vol. 5 No. 7, p. 1896-1907, 1998. 7.

[11] 여정모, "확장된 마크흐름선도의 성질 및 간소화 알고리즘", 부경대학교 논문집 Vol. 5. No. 2, p. 17-28, 1998. 12.