

페트리네트의 계층화를 통한 시퀀스제어계의 설계 (II)

- Bottom up에 의한 서브PN의 분할과 합성 -

정석권* · 정영미** · 유삼상***

Design for Sequential Control System Using Petri Nets with Hierarchical Expression(II)

- Composition of Sub Petri nets by Bottom up Oriented Method-

Seok-Kwon Jeong* · Young-Mi Jung** · Sam-Sang You***

Key Words : Petri Net(페트리네트), Sequential Control(시퀀스제어), PLC(Programmable Logic Controller), SFC(Sequential Function Chart), Hierarchical Expression(계층화표현)

Petri nets(PN) have been introduced as a powerful analyzing and design tool for the discrete systems such as sequential control systems. However, one of the important problems in its applications is that the model can not be analyzed easily when we deal with large scale systems because of increase of the number of components of the systems. To overcome this problem, some methods for dividing or reducing of PN have been suggested. In this paper, an approach for hierarchical expression of PN based on Sequential Function Chart(SFC) and Bottom Up oriented Methodology(BUM) is proposed. Especially, some definition and rules are defined in order to divide and compose sub PN. A measuring tank system will be described as a typical kind of discrete systems and modeled by some sub PN based on the SFC and BUM by the proposed method in this paper.

1. 서 론

시퀀스제어는 피드백제어와 더불어 SA(Ship Automtion)나 FA(Factory Automation) 실현에 있어서 중요한 요소기술의 하나이다. 그러나, 시퀀스제어계의 설계는 아직도 숙련된 기술자의 경험칙과 시행착오적인 반복법에 크게 의존하고 있는 것이 현상이다. 그 이유로는 시퀀스제어계가 기본적으로는 사상구동형(event driven system)이기 때문에 수학적 모델링이 어렵고, 이 제어계가 갖는 비동기성, 동시진행성, 병렬성에 대한 기술이 용이하지 않은 점 등을 들 수 있다.

최근, PLC의 보급이 증대됨에 따라 이를 주축으로 한 효율적인 시퀀스제어계 설계법이 요구되고 있다. 특히, PLC 베이스의 설계시 요구조건으로서는 PLC를 포함한 제어계 전체의 거동해석과 이상개소의 검출이 용이할 것, PLC의 사용언어에 독립적일

것 등이 필수 사항으로 꼽힌다. 이상의 조건을 충족시키는 표준적인 설계법은 아직 확립되어 있지 아니며, 그 대안의 하나로써 페트리네트(Petri-nets, PN)를 이용한 설계법이 제안되고 있다^{1~3)}.

PN은 이산시스템에 사용되는 시각적, 수학적인 모델링 도구로서 그래픽 표현을 통해 시퀀스제어계가 갖는 비동기성, 동시진행성, 병렬성을 나타내기에 용이하다. 뿐만 아니라 대수방정식 표현을 이용함으로써, 시퀀스제어계의 거동해석과 이를 통한 고장개소의 검출이 용이하며, 또한, PLC에 대한 국제규격의 표준언어에도 독립적이다. 그러나, 이 방법은 시스템의 구성요소가 많을 경우, PN 규모의 증대로 인해 해석상의 곤란과, 시퀀스제어계 전체 흐름에 대한 시각화가 곤란하게 되는 문제점을 갖고 있다.

이를 해결하기 위해, 저자는 PN의 계층화 방안을 제안한 바 있다^{4~6)}. 이 방법은 기존의 Cai 방법²⁾과는 달리, 전체 시스템을 SFC에 근거하여 서브PN로 분할하고 이를 전체 시스템으로 재 합성하는 로직으로 구성되어 있다. 따라서, 이 방법은 특정의 시퀀스 해석이나, 전체 시스템에 대한 시각화에는 매우 효

* 부경대 기계공학부

** 부경대 대학원 메카트로닉스공학과

*** 한국해양대 기계·정보공학부

과적이지만, 전체PN가 기지인 경우에 한하여 적용 가능한 한계성을 지닌다. 대규모의 시스템인 경우, 전체PN를 구성하는 것 자체가 사실상 대단히 어려우므로 제어계 구성요소들의 최소단위의 PN를 통해 미지의 전체PN를 구축하는 상향(bottom-up)식 설계법이 더욱 바람직하다.

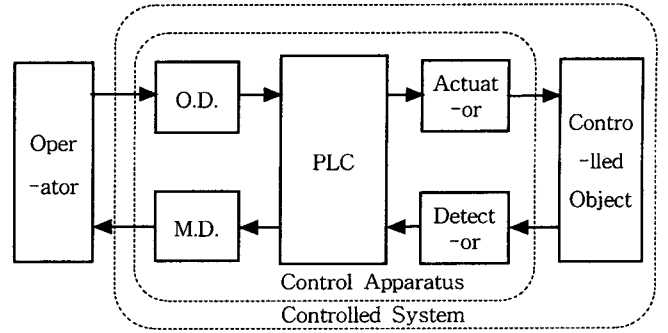
본 논문에서는 이 점에 주목하여 시스템을 구성하는 기본요소들의 최소 PN모듈을 정의하고 이들을 SFC에 근거하여 서브PN로 분할하며, 분할된 서브PN의 합성을 통해 전체PN를 구축하는 새로운 계층화 방안을 제안한다.

우선, 설계자는 시퀀스의 구성도에 따라 각 기기별 구성요소와 그들의 상태 수를 파악하게 된다. 최소 PN모듈은 이들 각 요소들의 거동을 나타내는 PN표현에 의해 얻어진다. 다음으로, 전체 제어계의 시퀀스는 SFC의 상세레벨 표현에서 설계사양이 명확히 나타나게 되며, 또한, 이 상세레벨 SFC의 각 스텝은 제어장치인 PLC의 거동에 대응되게 된다. 따라서, PLC의 PN모듈을 메인루프 PN로 하고, 서브PN는 SFC의 스텝별 제어동작과 천이조건을 나타내는 PN로 정의한다. 마지막으로, 이들 서브PN는 1개 이상의 최소 PN모듈로써 구성되며 모듈간에는 시퀀스제어계의 특성상 참조관계가 성립함을 보인다. 전체PN는 본 논문에서 정의된 서브PN의 합성칙에 의해 쉽게 구해질 수 있음을 보인다. 제안된 방법은 계량탱크 시스템을 이용한 수치해석을 통해 그 유효성이 확인된다.

2. PN에 의한 시퀀스제어계의 모델링

2.1 시퀀스제어계의 특징

Fig. 1은 하드웨어 구성면에서 본 시퀀스제어계의 기본적 개념도이다. 그림에서 화살표는 정보의 흐름을 나타낸다. 제어대상은 구성기기의 수에 따라 복수의 요소로 구성되며, 각 요소는 유한 값을 갖는 상태변수로 표현가능하다. 제어장치의 상태량도 이산치 표현이 가능하므로 시퀀스제어계는 이산시스템으로 간주된다. 일반적으로 시퀀스제어계의 구성요소 수는 대단히 많지만, 그 구성요소의 상태변수 값은 그다지 많지 않다. 어떠한 대규모의 시퀀스제어계도 기본적으로는 Fig. 1과 같이 제어용 기기를 중심으로 분류하는 것이 가능하다.



O.D. : Operating Device M.D. : Monitoring Device

Fig. 1 Block diagram of sequential control system

2.2 PN와 시퀀스제어계의 표현

PN의 구조 C 는 일반(ordinary) PN의 경우, 플레이스 P (place)와 트랜지션 T (transition)의 유한집합 및 그들의 접속관계를 나타내는 입·출력함수 I (input), O (output)로 식(1)과 같이 구성된다.

$$C = \{P, T, I, O\} \quad (1)$$

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\} \quad m \geq 0, \quad T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\} \quad n \geq 0$ 이며, 이에 따른 그래프 표현을 Fig. 2에 나타낸다.

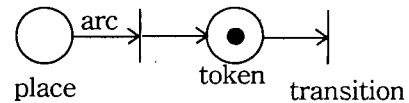


Fig. 2 Expression of PN

[정의1] $p_i \in I(t_j)$ 인 p_i 를 t_j 의 입력 P , $p_i \in O(t_j)$ 인 p_i 를 t_j 의 출력 P 라고 한다. 또한, $I(t_j)$ 에 있어서 p_i 의 다중도를 $\#(p_i, I(t_j))$, $O(t_j)$ 에 있어서 p_i 의 다중도를 $\#(p_i, O(t_j))$ 로 나타낸다. 다중도를 행렬로 표현, $B^- [i, j] = \#(p_i, I(t_j))$ 를 입력함수행렬, $B^+ [i, j] = \#(p_i, O(t_j))$ 를 출력함수행렬이라고 한다. B^- , B^+ 는 각각 $m \times n$ 의 행렬이고 행은 플레이스에, 열은 트랜지션에 대응한다. 특히, 식(2)로 정의되는 행렬을 접속행렬 B (incident matrix)로 한다.

$$B [i, j] = B^+ [i, j] - B^- [i, j] \quad (2)$$

B^- 의 j 열은 트랜지션 t_j 의 발화에 의해 각 플레이스로부터 소멸하는 토큰의 수를, B^+ 의 j 열은 트랜지션 t_j 의 발화에 의해 각 플레이스에 생성되는 토큰 수를 각각 나타낸다. 따라서, 접속행렬 B 는 시스템에 의존하는 고유치로서 트랜지션 발화로 인한 토

큰 수의 증·감을 나타낸다.

Fig. 2의 PN 그래프 표현은 모델링된 시스템을 시각적으로 이해하기 쉽게 하며, 제어계의 모델링시에 P 는 사건의 상태나 조건을, T 는 사건의 진행이나 명령 수행을 나타낸다. 사건의 흐름은 방향성을 표시하는 아크로써 나타내며, 플레이스와 트랜지션을 결합한다. 또한, PN에서는 시스템의 상태현황을 토큰 “●”로써 나타내며, Fig. 2에서와 같이 플레이스 내부에 표시하여 상태의 활성화(enabled)을 정의한다. 시퀀스제어계에서 활성화는 특정의 상태 또는 조건이 충족되고 있음을 나타낸다. 이 토큰은 시스템의 동적인 상황을 모의실험하는 데에 유용하다. 시스템의 임의의 상태를 나타내는 마킹(marking)은 M 으로, 초기상태는 M_0 로 나타낸다.

$\mu(p_i)$ 를 p_i 에 존재하는 토큰의 수로 하면, 플레이스내의 토큰의 분포는 마킹벡터 M 으로써 $M=[\mu(p_1) \mu(p_2) \dots \mu(p_m)]$ 과 같이 나타내어진다. M 는 일정조건 하에서 트랜지션이 발화(firing) 함으로써 M_k 로 변화되며 이로써 시스템의 거동을 나타내게 된다. 본 논문에서의 PN 마킹은 일반PN의 트랜지션 발화규칙⁶⁾을 따른다.

PN 그래프 표현으로 모델링된 제어계의 거동은 상태방정식 표현을 이용함으로써 쉽게 해석된다. 상태방정식 표현은 시스템의 상태변수를 M 로, 제어동작을 T 로 하여 식(3)과 같이 표현된다.

$$M(k+1) = M(k) + B \cdot t(k), \quad (k=0, 1, \dots) \quad (3)$$

여기서,

$$M(k) = [\mu(p_1(k)) \mu(p_2(k)) \dots \mu(p_m(k))]^T$$

$$t(k) = [t_1(k) \ t_2(k) \ \dots \ t_n(k)]^T$$

이다. $t(k)$ 는 t_i 의 발화벡터로서 발화일 경우 “1” 비 발화일 경우 “0”을 갖는다.

2.3 시퀀스제어계의 PN 최소모듈

Fig. 1의 블록도에 따른 각 기기들의 구성요소에 대한 PN모듈을 정의한다. 제어지령용 기기의 구성요소인 푸쉬버튼스위치(PBS)를 고려하면, PBS는 온 또는 오프인 2 상태만으로 표현 가능하므로 Fig. 3(a)와 같이 나타내어진다. 상태 수가 3의 요소이면 Fig. 3(b)와 같이 표현된다. 이와 같이 각 기기별 구성요소의 거동을 표현한 최소단위의 PN모듈을 최소모듈로 정의한다. 최소모듈은 요소의 상태 수와 동

일한 수의 P 를 가지며, 유계(boundness)와 활성 조건^{1,2)}을 만족한다.

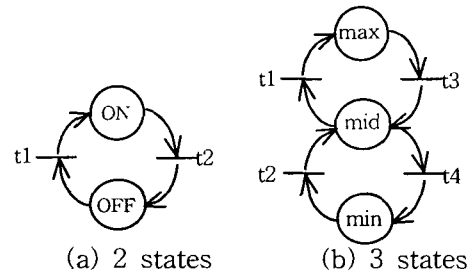


Fig. 3 Basic PN module of sequential component

시퀀스제어계는 Fig. 1과 같이 구성기기들이 상호 작용하게 되므로, 결과적으로 최소모듈간의 상호작용으로 표현됨을 알 수 있다. 시퀀스제어계는 그 특성상 PN의 유계와 활성 조건을 만족해야하므로 모듈간에는 다음에서 정의한 참조관계가 성립한다²⁾.

[정의2] $p_i \in P$ 가 $\#(p_i, I(t_j)) = \#(p_i, O(t_j))$ 를 만족하면, $t_j \in T$ 의 참조 P 라 한다. 이때, p_i, t_j 간의 관계를 나타내는 입·출력 아크는 양방향 화살표(\leftrightarrow)로 나타내고 이를 참조아크라 한다. 또한, 한 개 이상의 최소모듈을 갖는 네트 C_A, C_B 간에 $P_A \cap P_B = 0$ 인 참조 P 에 의한 접속관계만이 존재하여, $\forall p_A \in P_A, \forall t_B \in T_B$ 에 대해 $\#(p_A, I(t_B)) = \#(p_A, O(t_B))$ 가 성립할 경우, 두 네트는 참조관계에 있다고 한다.

2.4 SFC에 근거한 서브PN의 분할

Fig. 4(a)는 SFC의 상세레벨의 표기를 나타낸다. SFC는 시스템의 기능을 도표에 의해 시각적으로 이해하기 쉽게 나타낸 것으로서 스텝(step), 트랜지션 및 링크(link)의 3요소로 구성된다. 스텝은 시퀀스의 한 단계를 의미하고 수행되어야 할 동작은 스텝에 우측 횡선으로 접속된 액션(action)부에 규정한다. 링크는 스텝간을 접속, 스텝이 이동하는 경로를 나타내며, 위에서 아래 방향으로 진행한다. 트랜지션은 링크와 직교하는 횡선으로 표시되며, 상위 스텝에서 하위 스텝으로 이행하는 논리조건을 나타낸다.

SFC의 스텝은 시퀀스의 한 단계를 나타내므로 스텝을 중심으로 서브PN를 규정하면, 필요 최소한의 서브PN로 전체PN가 표현되어 시각화와 해석의 간편성을 동시에 꾀할 수 있다. 이때, SFC의 각 스텝은 시퀀스제어계의 특성상 PLC의 상태에 대응되게 된다. 이 PLC의 상태를 표현하는 최소모듈을 메인루프 PN로 하면, 전체PN는 메인루프 PN와 스텝에

부수하는 액션부 및 트랜지션을 동시에 포함하는 서브PN로 단순 구성된다.

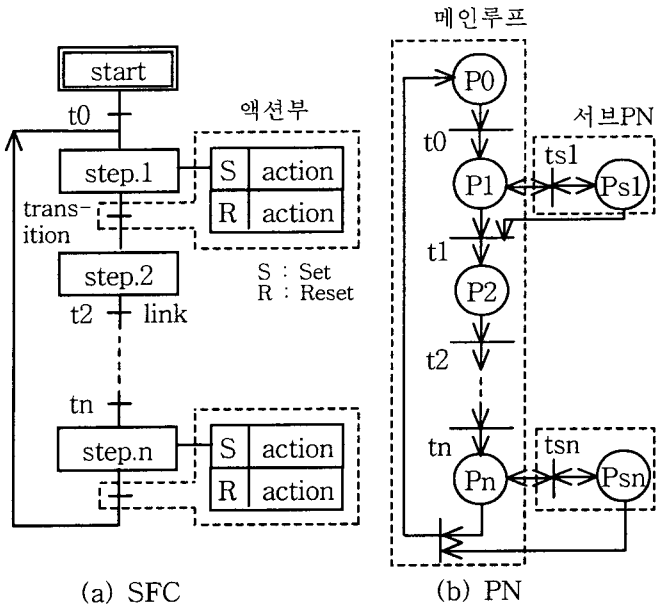


Fig. 4 Division of PN based on SFC

SFC에 근거한 PN의 분할규칙은 다음과 같다.

[규칙1] SFC의 각 스텝 s_i ($i=0, 1, 2, \dots, n$)는 PLC의 PN 모듈의 플레이스 p_i 에 일대일 대응되며 이 모듈을 메인루프 PN로 한다.

[규칙2] SFC의 각 스텝에 접속된 n 개의 액션과 트랜지션은 그 스텝에 대응하는 PLC 모듈의 플레이스 p_i 의 서브PN를 형성한다.

[규칙3] 서브PN의 T 인 t_{si} 는 메인루프 PN의 p_i 를 입력 P 로 하고, 서브PN의 p_{si} 를 출력 P 로 한다. 이때, $t_{si} = \{t_{s1}, t_{s2}, \dots, t_{sn}\}$ 이다. 서브PN는 메인루프 PN의 p_i 의 활성화와 t_{si} 의 발화조건에 따라 일련의 발화 시퀀스를 갖게 된다.

[규칙4] 서브PN의 최종 P 인 p_{sn} 은 메인루프 PN의 T 인 t_i 에 접속된다. 이때, $p_{si} = \{p_{s1}, p_{s2}, \dots, p_{sn}\}$ 이다.

Fig. 4(b)는 SFC에 근거한 서브PN의 대응관계를 보인다.

2.5 PN의 합성

서브PN 및 전체PN의 거동해석은 식(3)을 이용하며, 이때 식(2)의 접속행렬 B 를 구할 필요가 있다. 따라서, 본 절에서는 2.3절에서 정의한 최소모듈의 접속행렬 B_m 을 통해 서브PN와 전체PN의 접속행렬

B_s, B_t 를 구하는 합성칙을 정의한다.

[정의3] $b_{ij} \in B_m$ 인 b_{ij} 는 최소모듈의 p_i 와 t_j 간 접속행렬의 각 요소(element)이다. 연산기호 “ \wedge ”를 P 와 T 간의 접속관계로 규정하면, 접속행렬의 요소 b_{ij} 는 다음과 같이 표현된다.

$$b_{ij} = p_i \wedge t_j = \#(p_i, O(t_j)) - \#(p_i, I(t_j))$$

한편, 최소모듈간 참조관계인 경우의 b_{ij} 는, [정의2]에 의해 다음과 같이 된다.

$$b_{ij} = p_i \wedge t_j = \#(p_i, O(t_j)) - \#(p_i, I(t_j)) = 0$$

[정의4] $P_A \cap P_B = 0$ 인 최소모듈 A 와 B 로 구성되는 서브PN의 접속행렬 B_s 는, A, B 의 접속행렬이 각각 $B_A(x \times y), B_B(m \times n)$ 이면, 다음과 같이 정의된다.

$$B_s = B_A \vee B_B \vee (B_A \wedge B_B)$$

“ \vee ”는 확대행렬 연산기호로서 $(x+m) \times (y+n)$ 차원의 B_s 로서 $b_{ij} \in B_s$ 를 행렬 요소로 갖는다. 이때, b_{ij} 는 $b_{xy} \in B_A, b_{mn} \in B_B$ 이다. 만일, 모듈 A 와 B 가 참조관계이면, $B_s = B_A \vee B_B$ 이다.

[정의5] 최소모듈을 1개 이상 갖는 서브PN C, D 에서 동일 중복모듈을 $P_C \cap P_D$ 로, 각각의 접속행렬을 $B_C(x \times y), B_D(m \times n)$ 로 둔다. 이들의 합성 접속행렬 B_s 는 $B_s = \widehat{B}_C \vee \widehat{B}_D \vee (B_C \cap B_D)$ 로 된다. 이때 기호 “ \wedge ”는 C 와 D 에서 중복되는 최소모듈을 제외한 접속행렬을 의미한다.

이상의 정의에 의해, 전체PN의 접속행렬 B 는 전 서브PN의 접속행렬에 대해 [정의5]를 확장 적용함으로써 구해지게 된다.

3. 시퀀스제어계의 모델링 적용 예

3.1 계량탱크 시스템

Fig. 5는 시퀀스제어계의 일례로서 계량탱크 시스템(Measuring Tank System; MTS)을 나타낸다. 계량탱크는 탱크내의 액면이 하한(L)에 있고(레벨스위치 LS1은 오프, LS2는 온), 밸브1 및 밸브2가 모두 닫혀 있는 때를 정지상태로 한다. 이때, 램프1이 점등(on) 되고, 계량 준비 상태임을 나타낸다. 이 상태에서 PBS를 누르면(on), 밸브1이 오픈 상태로 되어 계량상태로 되며 램프는 소등된다.

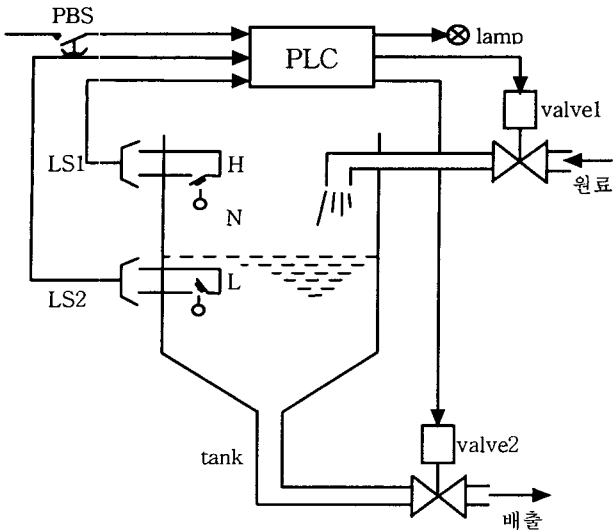


Fig. 5 Measuring tank system

원료가 탱크 내로 주입되기 시작하여 액면이 중간레벨(N)을 거쳐 상한(H)에 이르게 되고 LS1이 온 되면, 밸브1은 닫히고, 밸브2는 열려 배출상태로 된다. 액면이 하한에 도달하고 LS2가 온 되면 밸브2가 닫혀 초기상태로 복귀한다. PBS는 자기유지 기능을 갖는 것으로 하고 조작자에 의해 조작된다.

3.2 PN에 의한 모델링과 PN의 계층화

Fig. 5를 Fig. 1의 구성도에 따라 분류하면, Table 1과 같은 구성 기기별 모듈로 우선 나누어진다. 상태 수는 각 모듈의 상태 수를 파악하여 규정한다.

Table 1 Component of measuring tank system

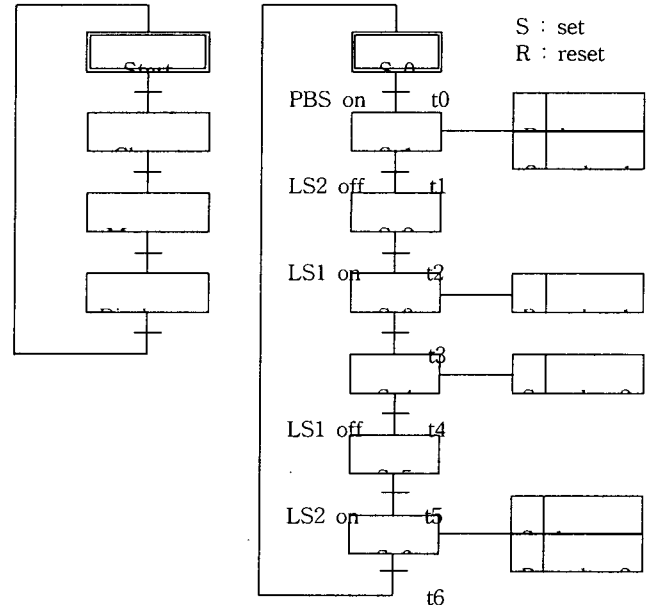
component	module	state
controlled object	tank(liquid level)	3
operator	operator	2
controller	PLC	7
actuator	valve1, valve2	2
detector	level switch1, 2	2
operating device	push button switch	2
monitoring device	lamp	2

이 시스템의 동적 거동은 Fig. 6의 SFC를 통해 파악된다. Fig. 6(b)에 사용된 각 스텝의 의미는 Table 2와 같다. PN의 최소모듈은 Table 1의 모듈별 상태 수에 따라 Fig. 3의 방법으로 용이하게 얻어진다. 또한, PLC의 S0에서 S6까지는 Table 2의 SFC 상세레벨에 대한 스텝내용과 완전히 동일하다.

Fig. 7은 Fig. 6(b)를 본 논문에서 제안한 서브PN의 분할규칙에 따라 구성한 결과를 보인다.

Table 2 The meaning of each step

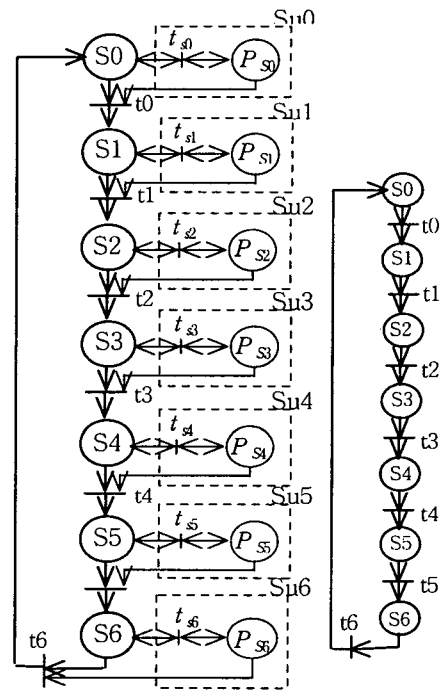
step	state / action	step	state / action
0	waiting (initial)	4	discharge start
1	charge start	5	discharging
2	measuring	6	fin. of discharg.
3	finish of measuring		



(a) Macro level

(b) Concrete level

Fig. 6 SFC of the measuring tank system



(a) Sub PN

(b) PLC PN module

Fig. 7 Composing of Sub PN in MTS

Su2:

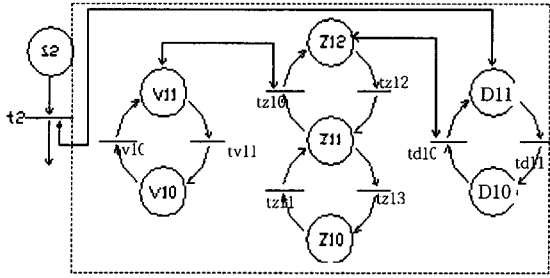


Fig. 8 An example of Sub PN in MTS

Fig. 8은 Fig. 7의 서브PN 일부를 도시한 것이다. PLC를 제외한 모듈의 P의 의미는 Table 3과 같다.

Table 3 The meaning of each place

place	state	place	state
v11	밸브1의 열림	z12	액면 상한
v10	밸브1의 닫힘	z11	액면 중간
D11	레벨스위치1 온	z10	액면 하한
D10	레벨스위치1 오프		

이상의 서브PN은 그 자체만으로도 거동해석이 가능할 뿐만 아니라 2장에서 정의된 접속행렬의 합성칙을 적용하면, 전체PN의 접속행렬의 계산이 가능하다. 구해진 전체PN의 접속행렬은 식(4)와 같다.

$$B = \begin{matrix} & \begin{matrix} t0 & t1 & t2 & t3 & t4 & t5 & t6 & tv11 & tv10 & tz10 & tz11 & tz12 & tz13 & td1C & td1J & t10 & t11 & t12 & t13 & t14 & t15 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S1 \\ S2 \\ S3 \\ S4 \\ S5 \\ S6 \\ V11 \\ V10 \\ V21 \\ V20 \\ LS11 \\ LS10 \\ LS21 \\ LS20 \\ Z12 \\ Z11 \\ Z10 \\ L11 \\ L10 \\ P11 \\ P10 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4)$$

한편, 대응하는 전체PN는 해석결과 문헌⁶⁾의 결과와 동일함을 확인할 수 있었다.

4. 결 언

본 연구에서는 PN를 이용한 시퀀스제어계의 설계시, 제어계 구성요소의 증가로 인한 해석상의 곤란과 시각화의 어려움을 해결하기 위한 PN의 계층화 방안이 제안되었다. 제안된 방법은 기존의 SFC에 근거한 PN 분할법의 장점을 활용하면서, 최소모듈 정의와 이를 통해 전체PN를 구성하는 상향식 설계법을 제시하였다. 또한, 분할된 최소모듈로부터 서브PN 및 전체PN의 접속행렬을 용이하게 구하는 방법을 정의하였다. 제안 방법은 계량탱크 시스템에 적용되어 기존의 해석결과와 일치함을 확인함으로써, 그 유효성을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 제안된 방법은 서브PN가 특정의 시퀀스에 대응하게 되어 해석상의 용이성은 물론 제어계 전체 흐름의 시각화에도 대단히 유효한 수법이다. 특히, 이 방법은 전체PN가 미지인 경우에도 적용가능하므로 향후 복잡한 시퀀스제어계의 거동해석시 효과적인 해석수단으로써 시퀀스제어계의 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- 1) 일본전기학회, シーケンス制御工學, 1988
- 2) Cai, Y., Nishii, I. and T. Sekiguchi, *Modeling by Petri Net with Place Invariants for Sequential Control Systems(in Japanese)*, T.IEE Japan, Vol. 114-D, No. 7/8, pp. 784~791, 1994
- 3) 정석권, "페트리네트에 의한 탈팬장치의 시퀀스제어계 모델", 한국해양공학회지, Vol. 12, No. 4, pp. 83~91, 1998
- 4) 정석권, 양주호, "페트리네트의 구조화를 통한 시퀀스제어계의 모델링", 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 252~257, 1998
- 5) 정석권, 양주호, 이동길, "페트리네트의 계층화를 통한 시퀀스제어계의 설계", 한국해양공학회 춘계학술대회논문집, pp. 91~98, 1999
- 6) 정석권, 양주호 "페트리네트의 계층화를 통한 시퀀스제어계의 설계(I), -SFC에 근거한 페트리네트의 분할", 한국해양공학회지, Vol. 13, No. 3, pp. 106~115, 1999
- 7) James Lyle PETERSON, *Petri Net Theory and The Modeling of Systems*, Prentice-Hall, 1981