

論文93-30B-2-1

패트리네트를 이용한 병행 시스템의 설계 및 신뢰성 분석 : 승강기 시스템을 중심으로

(Design and Reliability Analysis of Concurrent System by Petri Nets : A Case on Lift System)

金基範*, 李康壽**

(Gy Bum Kim and Gang Soo Lee)

要約

본 논문에서는 우리 생활속에서 가장 접하기 쉬운 병행, 실시간, 임베디드 및 비동기적 시스템인 승강기 시스템을 사례로하여, 패트리네트가 이런 형태의 시스템 개발 및 신뢰성 분석에 이용될 수 있음을 보인다. 승강기 시스템의 특성을 모형화하기 위해, 표준 패트리네트에 상수지연 시간 트랜지션, 고장형 트랜지션, 난수지연 시간 트랜지션, 및 조건 트랜지션 개념을 추가 정의하여 사용하였고, 설계 및 신뢰성 분석 결과를 함께 보였다. 본 방법은 다른 병행 시스템의 개발과 분석에도 적용할 수 있을 것이다.

Abstract

In this paper, we show that Petri nets can be applied to design and reliability analysis of concurrent, parallel and embedded mode system such as a lift system that is familiar to our daily life. Modeling the behavioral characteristics of the lift system, we extend the standard Petri nets by additionally constant timed transition, fault transition, stochastic timed transition and conditional transition concepts. Likewise, we present results of design and analysis of the system. This method can be applied to design and analysis of any other concurrent systems.

1. 서론

패트리네트는 최근 시스템의 근간을 이루는 병행 (concurrent), 실시간 (real-time) 또는 임베디드 (embedded) 시스템의 개발, 분석에 적합하며, 이에 대한 연구는 활발하다.^[1] 그러나, 대부분의 연구는

이미 주어진 패트리네트 모형을 바탕으로 데드락, 신뢰성 및 성능 등을 평가하는 것이며, 병행 시스템을 패트리네트로 모형화하는 방법에 관한 연구는 미비하다.

이러한 배경으로, 본 논문에서는 우리의 생활과 밀접한 병행 및 임베디드 시스템의 특성을 지닌 승강기 시스템을 사례로하여, 패트리네트가 이러한 시스템의 설계와 신뢰성 분석에 직접 이용될 수 있음을 보인다. 본 방법은 대부분 다른 병행 시스템의 개발에서 그대로 적용할 수 있을 것이다.

지금까지 승강기 시스템에 대한 연구로서, Knuth

* 學生會員, ** 正會員 韓南大學校 電子電算機工學科
(Dept. of Electronic and Computer Eng.,
Han-Nam Univ.)

接受日字 1992年 3月 21日

[2] 는 단독 승강기 시스템을 어셈블리 프로그램으로 모형화 하였고, Barringer^[3] 는 다중 승강기 시스템을 temporal logic으로 추상적 명세화를 하였으며, Hale^[4] 은 temporal logic으로 통제 부분에 대한 prototyping을 제시하였다.

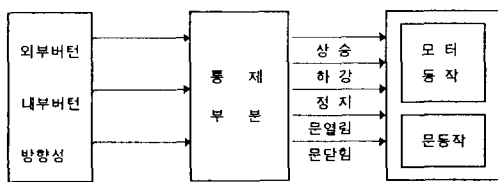
temporal logic에 의한 방법들은 텍스트적 표현 형태로서, 논리적인 흐름을 이해할 수 있으나, 승강기 시스템의 복잡한 비동기 및 병렬적 특성을 가시화 하기에는 부적당한 방법이라고 판단된다. 또한, 시스템의 개발 단계에서 신뢰성 분석 방법이 제시되지 않고 있다. Papelis^[5] 는 "transition enabling functions"을 사용하여 표준 패트리네트에 수학적 개념을 추가한 승강기 시스템을 모형화하고 있다. 그러나, 승강기의 통제 부분에 대한 모형은 매우 추상적 이므로 이 방법을 실제의 시스템 개발에 직접 적용하기는 곤란하다.

승강기 시스템에 대한 전형적인 기능적 분해 방법^[6] 과 Booch^[7] 의 객체 지향적인 분해 방법은 각 객체의 요구 사항, 다른 객체와의 관계, 다른 객체와의 인터페이스 등을 표현 하기에는 부족하다. 따라서, 개발 초기 단계에서 객체 지향 설계 방법과 패트리네트를 함께 이용하여 인터페이스 부분을 모형화 한다면, 객체 사이의 관계는 패트리네트로서 명확히 모형화할 수 있고 인터페이스 부분의 정당성들도 파악할 수 있을 것이다.

2장에서는 승강기 시스템의 일반적 구성을 논한다. 3장에서는 시간 및 고장 트랜지션 개념, 조건 및 거시적 place 개념을 표준 패트리네트에 추가하여, 이를 이용해 승강기 시스템을 설계하는 과정을 제시한다. 4장에서는 승강기의 신뢰도를 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 승강기 시스템

승강기 시스템은 그림 1 처럼 하드웨어 부분, 인터페이스 부분 및 통제 부분으로 나누어 생각할 수 있다.



<인터페이스 부분> <하드웨어 부분>

그림 1. 승강기 시스템 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of lift system.

하드웨어 부분은 동력 모터와 문의 개폐를 위한 기계 장치를 의미하며, 인터페이스 부분은 승객과 승강기 간의 매개체 역할을 하는 각종 내,외 버튼과 표시기들로 구성된다. 통제 부분은 승객으로부터의 요구 신호를 받아 원하는 층까지 이동시킬 수 있도록 각 하드웨어 부분에 신호를 보내는 소프트웨어적인 부분이다.

III. 패트리네트 모형 설계

1. 확장형 패트리네트의 정의

본 논문에서는 표준 패트리네트^[1,9] 에 관한 정의는 생략하고 승강기 시스템을 모형화하기 위해 다음과 같은 개념들을 추가하여 사용한다. 본 논문에서는 이러한 개념들이 추가된 패트리네트를 단순히 "확장형 패트리네트"로 칭하며, 각 개념들을 다음과 같이 비공식적으로 정의한다.

1) 트랜지션: '확장형 패트리네트'에서는 트랜지션이 enabling된 후 점화시점에 따라 다음과 같은 트랜지션들을 이용할 수 있다.

- 즉시 트랜지션(immediate transition): 즉시 점화된다. 시스템내에서 지연시간이 필요없는 기능을 모형화 할때 이용되며, 얇은 막대로 표시한다.

- 상수지연 시간 트랜지션(constant timed transition): 상수 지연시간 후에 점화된다. 시스템내에서 지연시간을 고려해야 하는 기능들(예; 승강기의 문 개방시간 및 1층 이동 시간등)을 트랜지션으로 모형화 할때 이용된다. 두꺼운 막대로 표시하며 상수형 지연시간을 해당 트랜지션에 부여한다. 기존 Timed Petri Net^[9,10] 의 트랜지션과 같다.

- 난수지연 시간 트랜지션(stochastic timed transition): 난수적인 지연시간후에 점화된다. 시스템내에서 임의로 발생하는 사건(예; 승강기 내,외부 버튼)을 모형화 할때 이용된다. 두꺼운 막대로 표시하며 점화 확률분포를 해당 트랜지션에 부여한다. 기존 Stochastic Petri Net^[10] 의 트랜지션과 같다.

- 조건 트랜지션(condition transition): 주어진 조건이 만족될때 점화된다. 시스템내에서 어떤 조건을 만족되어야만 수행되는 기능들을 모형화 할때 이용된다. 두꺼운 막대로 표시하며 점화조건을 해당 트랜지션에 부여한다. Neo의 resolution node^[11] 와 유사한 개념을 갖는다.

- 고장형 트랜지션(fault transition): enabling된 트랜지션은 항상 정상 점화된다는 것을 가정하고 있으나, 고장 트랜지션은 정상 점화되지 않을 확률도 고려한 것이다.^[10,12]

위의 각트랜지션들에 필요에 따라 추가로 정의하여

이용할 수 있으며, 속이 빈 막대로 표시한다. 정상 점화되지 않을 (고장) 확률 또는 정상 점화확률(신뢰도)을 각 트랜지션에 부여한다. 승강기 시스템에서는 고장날 확률이 있는 기능(모터 작동, 문 작동 기능 등)을 모형화와 신뢰도 평가에 이용된다.

2) place: '확장형 패트리네트'에서는 다음과 같은 place들을 사용할 수 있다.

- safe형: 1개이하의 토큰만 허용하며, 기존 Condition-Event Net^[10] 과 같다. 시스템에서 단순히 어떤 조건의 만족을 나타내며, 얇은 원으로 나타낸다.

- bound형: k개까지의 토큰을 저장할수 있고, 시스템에서 다수의 신호들을 기억할때 이용되며, 굵은 원으로 나타낸다.

3) 금지 호선(inhibitor arc): 기존의 inhibitor arc^[11] 와 동일한 의미와 표시 방법을 따른다.

4) 확장형 패트리네트의 종류: 패트리네트의 형태에 따라 다음과 같이 분류된다.

- 폐쇄형: 패트리네트의 수행중 추가적인 토큰의 공급이나 소멸이 없다. 그 도달성 그래프가 싸이클을 이루고 있으며, 교통신호등 제어 시스템을 모형화하면 이런 형태가 된다. 지금까지 연구된 대부분의 모형들은 이 부류에 속하며 분석이 용이하다.

- 개방형: 패트리네트 수행중 수시로 토큰이 'source 트랜지션' (입력 place없는 트랜지션)으로부터 공급되며, 'sink 트랜지션' (출력 place없는 트랜지션)으로부터 소멸된다. 승강기 시스템처럼 작동도중 수시로 다른 버튼이 눌러지는 형태의 시스템은 개방형 패트리네트가 된다. 분석이 매우 어렵고 새로운 분석법의 개발이 필요하다. 본 논문에서 제시된 승강기 시스템의 패트리네트도 이런 형태이다.

2. 인터페이스 부분

1) 승강기의 방향성: 그림 2는 승객의 요구에 따른 승강기의 이동 방향을 확장형 패트리네트로 모형화한 것이다.

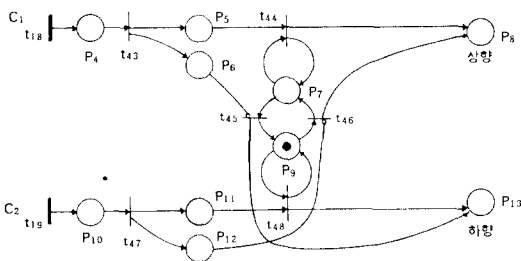


그림 2 승강기의 방향성
Fig. 2. Direction of lift system.

그림 2에서 승강기의 이동방향은 2가지의 동작을할 수 있는데, 첫번째는 현재의 방향성에서 반대 방향으로 전환하는 경우로 t45는 상향에서 하향으로의 전환됨을 나타내고, t46은 하향에서 상향으로의 전환됨을 나타낸다. 두번째는 자신의 방향을 계속 유지하는 경우이다. 이 경우에는 자신의 방향을 유지하는 t44 또는 t48가 점화되어 자신의 방향성을 유지한다.

두가지 동작은 표 1의 조건 트랜지션 C1(t18) 과 C2(t19)에 의해 선택된다. 이들 승강기의 이동 방향은 바로 전 방향의 영향을 받으며, 이동중인 방향에 우선권이 있음을 나타내기 위한 조건 트랜지션이다.

2) 버튼: 승객과 시스템과의 인터페이스를 위해 각 층마다 외부 버튼과 승강기 내부 버튼이 필요하다. 외부 버튼은 현재 승객의 위치에서 위치 이동을 위하여 각 층에는 상향 버튼과 하향 버튼 두 가지가 존재한다. 특히, 승강기 시스템의 가장 상위층과 하위층에는 하나의 버튼만이 존재한다.

승객이 자신의 위치인 i층에서 상향 버튼이나 하향 버튼을 누르면 이 신호는 통제부에 전달되어 통제 조건으로 사용되어 최종적으로 조건을 만족하면 i층에서 정지하여 승객의 요구 사항을 처리하게 된다. 내부 버튼은 승강기안에 있는 층수 만큼 존재하며, 승강기문의 열림과 닫힘을 위한 버튼이 존재하고, 비상시 승강기의 비상정지와 입력신호의 reset을 위한 버튼과 해제 버튼이 존재한다.

승객이 원하는 층은 내부 버튼에 의해 전달 되고, 시스템은 입력이 들어온 층에서 정지하게 된다. 열림, 닫힘 버튼은 승강기가 정지한 동안 주어진 지연 시간을 무시하고 승강기의 문을 더 열거나 빨리 닫게 한다. 비상 버튼은 발생 즉시 시스템에 신호를 전달 하여 입력신호(각 층의 버튼상태)를 reset 시키고 비상 정지동작을 한다. 각 내,외부 버튼은 트랜지션으로 나타낸다.

3. 하드웨어 부분

1) 문 개폐: 승강기는 3가지 조건에 따라 정지하게 되는데 첫째는 외부적 신호(버튼)에 따라 정지하게 되고, 둘째는 승강기 요구 신호가 없으면 정지하게 되며, 세번째는 비상 신호 입력시 정지한다. 첫번째 조건의 동작시 승강기는 자동적으로 승강기의 문이 열림, 닫힘 동작을 한다. 이들 동작은 그림 3 처럼 각 문은 비동기적(asynchronous)으로 작동한다.

승강기의 문은 안전성을 고려하여 이중문으로 되어 있으며, 내부문이 열려야 외부문이 열리게 된다. 승강기문의 열림 시간은 시간 트랜지션으로 모형화할 수 있다. 주어진 지연시간 이상으로 문을 열고싶을 때는 승강기 내부의 열림 버튼을 누르거나 해당층의

외부 버튼을 계속 누르면 된다. 반대로 지연 시간보다 빠르게 문을 닫을 때에는 승강기 내부의 닫힘 버튼을 누름으로서 즉시 닫힘 동작을 일으킨다. 이러한 동작은 전체적으로 각 층마다 발생하는 동작이지만, 실제적으로는 승강기의 현재 위치 이동과 함께 이동되는 반복적 동작이다.

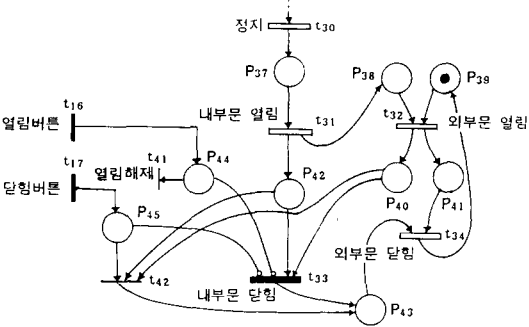


그림 3. 문 동작

Fig. 3. Behavior of door.

2) 동력 모터: 승강기의 주동력 모터는 고출력 감속형 스텝 모터로서 정지, 회전(승강기 상승시) 및 역회전(승강기 하강시) 기능을 갖는 별도의 시스템으로서, 본 연구에서는 이 부분을 모형화하지 않았다.

4. 통제 부분

승강기의 통제 부분은 앞에서 논한 인터페이스 부분으로부터 입력과 승강기의 현재 상태(이동위치, 방향등) 정보를 이용하여 해당하는 하드웨어 부분으로 통제 신호를 발생하는 부분으로서, 소프트웨어적 요소라고할 수 있다.

1) 입력: 승강기 내, 외부 버튼 트랜지션 및 승강기의 현재 위치 및 상, 하 이동방향 정보가 통제 부분으로 입력된다.

2) 통제 규칙: (가) 조건 트랜지션의 정의: 표 1은 11개의 조건 트랜지션의 의미를 나타내며, 이들도 패트리네트로 모형화할 수 있지만, 매우 복잡해지므로 가시성을 높이기 위해 조건 트랜지션을 이용한다. 조건 트랜지션은 입력 자료로부터 해당 조건이 만족되면 점화되며, 정지, 상승, 하강 동작을 통제한다. 물론 각 동작은 동력 모터에 신호를 가함으로서 수행된다.

(나) 정지 동작: 정지 동작은 4가지 경우에 따라 발생하게 된다. 첫째는 방향성이 '상향' 상태에서 승강기의 현재 위치가 i층에 존재하며, i층에서 상향 버

튼의 신호가 들어오면 정지하게 되거나 내부 버튼이 i층을 표시하는 경우이다. 둘째는 방향성이 '하향' 상태에서 승강기가 현재 위치에 존재하며, i층에서 하향 버튼이 들어오거나 내부 버튼이 i층을 가르키는 경우이다. 셋째는 전체적 시스템에 신호의 입력이 없으므로 idle 상태에 의한 정지가 발생하는 경우이며, 넷째는 비상 버튼에 의한 정지 동작으로 승객이 승강기안의 비상 버튼을 누름으로서 현재층에서 즉각적인 정지 동작을 발생한다.

기호	조 건	의 미	t(*)
C1	if bd = ud then true;	전방향이 상향이고 현재도 상향	t18
C2	if bd = dd then true;	전방향이 하향이고 현재도 하향	t19
C3	if incip = 1 then true and incip = 0;	현재층 내부버튼의 요구가 있다	t20
C4	if Ahead(up[incip]) = 1 then true;	현재층보다 상위층의 내부에서 요구신호가 있다	t21
C5	if Ahead(dn[incip]) = 1 then true;	현재층보다 하위층의 내부에서 요구신호가 있다	t22
C6	if upcp = 1 then true and upcp = 0;	현재층의 외부상향버튼의 요구가 있다	t23
C7	if Ahead(up[upcp]) = 1 then true;	현재층보다 상위층의 외부상향 요구신호가 있다	t24
C8	if Ahead(dn[upcp]) = 1 then true;	현재층보다 하위층의 외부상향 요구신호가 있다	t25
C9	if dnup = 1 then true and dnup = 0;	현재층의 외부하향버튼의 요구가 있다	t26
C10	if Ahead(dn[dnup]) = 1 then true;	현재층보다 하위층의 외부하향 요구신호가 있다	t27
C11	if Ahead(up[dnup]) = 1 then true;	현재층보다 상위층의 외부하향 요구신호가 있다	t28

여기서 : bd:전이동방향 ud:상향 dd:하향 cp:현재위치 up:외부상향버튼 dn:외부하향버튼 m:최상위층 Ahead(x) = case
 up : if [(in(x+1) = 1) V (in(x+2) = 1) V ... (in(m) = 1)] then true;
 dn : if [(in(1) = 1) V (in(2) = 1) V ... (in(x-1) = 1)] then true;
 end-case
 in(y) : y층으로 부터의 내,외부버튼 입력값.
 (여기서, '1'의 의미는 버튼이 on 되고 다른 1개가 생성된 경우임)
 (*): 그림 4에서의 해당 조건 표현식

표 1. 조건 트랜지션 정의

Table 1. Definition of condition transitions.

(다) 상승 동작: 상승 동작은 2가지 경우에 따라 발생하게 된다. 첫째는 방향이 '상향' 상태에서 현재 위치보다 상위층에서 내부 버튼의 신호가 들어오거나, 상위 층에서 외부 버튼의 상향 또는 하향 신호가 들어오는 경우이다. 둘째는 방향성이 '하향' 상태에서 현재 위치보다 하위층에서 내부 버튼의 신호가 없고, 상위층에서 외부 버튼의 하향 신호가 있고, 외부 버튼의 하위층에서 하향 신호가 없을때 상승한다.

(라) 하강 동작: 하강 동작도 상향 동작과 마찬가지로 2가지 경우에 따라 발생한다. 첫째는 방향성이 '상향'인 상태에서 하위층의 내부 버튼과 외부 버튼의 상위층에서 상향 신호가 없거나, 외부 버튼의 하위층에서 상향을 요구하는 경우이다. 둘째는 방향성이 '하향' 상태에서 내부 버튼의 하위층에 입력이 있거나, 외부 버튼의 하위층에서 상향 신호가 있거나, 하위층에서 하향 신호가 있는 경우이다.

5. 전체적 모형화

지금까지 제시한 승강기 시스템에 대한 각 요소들의 부분적 모형들을 결합하면, 전체 시스템의 패트리네트 모형을 얻을 수 있다. 그림 4는 5층 건물의 승

강기 시스템에 대한 전체적 패트리네트 모형을 나타낸다. 예를 들어, 10층일 경우는 그림 4 에서 내.외 부 버튼만을 추가하여 그리면 된다.

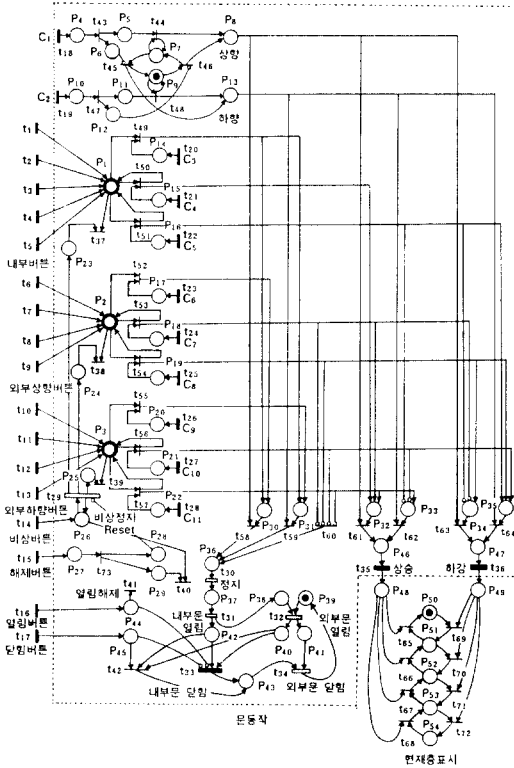


그림 4. 전체 시스템 모형
Fig. 4. Overall system modeling.

전체적인 패트리네트 모형은 인터페이스 부분(좌측 각 버튼 부분), 통제 부분(중앙 부분) 및 하드웨어 부분(하단 출력 arc)부분으로 구성된다.

그림 4 에서 각 조건 트랜지션(C1 - C11)는 표 1 에서 이미 정의 하였고, place P1, P2, P3은 내.외 부 버튼의 난수적 발생 정보를 저장하기 위하여 K-bounded한 place이다.

표 2 에서 정의한 각 고장 트랜지션(t29-t36)은 승강기에서 고장이날 수 있는 기능(모터 작동 등)을 모형화한 트랜지션으로서, 모터의 성능 자료로부터 그 신뢰도를 구할 수 있다. 여기서 제시한 숫자는 가정된 것이며, 다음 장에서 논할 신뢰도 분석에 필요한 자료이다. 또한, 어떤 고장 트랜지션은 시간 트랜지션의 형태이기도 하며(예: t33, t35, t36), 신뢰도와 함께 지연시간을 부여한다. 예를 들어, 문을 5초 동안

개폐해야 하는 경우 해당 트랜지션의 지연시간은 5초로 한다 (t33의 지연시간은 5초). 또한, 승강기가 1층을 이동하는 시간이 2초 라면 t35와 t36의 지연시간은 2초가 된다.

표 2. 각 트랜지션과 place의 정의 ((*) :가정된 신뢰도)

Table 2. Definition of transitions and places. ((*) :assumed reliability)

트랜지션	명 칭	형 태(*)	신뢰도, 시간값	기 타
t1-t5	내부 버튼	RT	-	승강기 내부에 존재
t6-t9	외부 상향버튼	RT	-	각 층당 1개(최상위층 제외)
t10-t13	외부 하향버튼	RT	-	" (최하위층 제외)
t14	비상 버튼	RT	-	승강기 내부에 존재
t15	비상 해제버튼	RT	-	-
t16	열림 버튼	RT	-	-
t17	닫힘 버튼	RT	-	-
t18-t28	조건 트랜지션	CT	-	각 조건은 표 1 참조
t29	비상 정지	FT	0.999% (**)	비상정지 및 입력버튼 reset
t30	정지	FT	0.999%	-
t31	내부문 열림	FT	0.999%	-
t32	외부문 열림	FT	0.999%	-
t33	지연 및 내부문 닫힘	FCT	0.999%, 5초	-
t34	외부문 닫힘	FT	0.999%	-
t35	1층 상승	FCT	0.999%, 2초	-
t36	1층 하강	FCT	0.999%, 2초	-
t37-t41	토른소멸	T	-	-
t42-t73		T	-	-
P1-P3	k-bounded place	BP	-	k개 이하 토른 저장가능
P4-P54	표준 place	P	-	1개 이하 토른 저장가능

(*) T:표준형 트랜지션, RT:난수지연 시간 트랜지션, CT:조건 트랜지션, FT:고장형 트랜지션, FCT:고장형 상승지연 시간 트랜지션, BP:k-bounded place, P:표준형 place

(**) 가정된 신뢰도 및 시간값

[동작사례] : 승강기가 현재 5층에 비어 있고, 2층의 승객이 5층으로 가려고할 경우를 보자. 현재 P9, P39, P50가 마킹되고, 이상태에서 2층의 승객이 상향 외부 버튼을 누르면 t8이 점화되고, 통제 부분은 C8(t25)을 마킹하므로서 t54를 점화한다. P13와 P34가 마킹되어 t63을 점화하고, t36을 점화 하므로서 동력 모터에게 1층 하강 신호를 보낸다. 계속하여 다른 버튼이 없으므로 2층까지 도달하면, C6(t23)이 만족되어 t30(정지)가 점화된다. 또한 정지후 승강기 내부문과 2층문이 5초 동안 열린다 (t31과 t32의 점화 결과). 승강기에 탑승한 승객은 5층 버튼(t1)을 누름으로 C4(t21)가 만족되어 중간에 다른 버튼이 눌러지지 않는한 5층까지 이동한 후 C3(t20)이 만족되어 승강기문과 5층 문이 5초 동안 열린다. 이때 승객은 승강기를 떠나게 된다. 즉, 승강기 시스템으로 부터 벗어 나는 것이다.

여기서는 한가지 가능한 시나리오를 표현하였으나, 그림 4는 승강기에서 가능한 모든 상황을 나타내고 있음을 알 수 있다.

IV. 신뢰성 분석

그림 4 에서 제시한 승강기 모형의 가능한 모든 동작상태, 특성 및 신뢰도는 도달성 그래프를 이용하여 구할 수 있다. 특히, 승강기의 가능한 상태는 패트리네트에서 마킹으로 나타내며, 그림 4의 경우 최대 $54C_1+54C_2+54C_3+\dots+54C_{54}$ (place수가 54개이고, 각 place는 safe하므로)가 존재할 수 있으므로 모든 상태를 표현할 수 없다. 따라서, 그림 4는 기존의 축소 규칙을 적용하여 간략화한 후, 쉽게 분석할 수 있다. 본 논문에서는 축소에 관한 사항은 다루지 않았다.

특히, 그림 4의 패트리네트는 '개방형' (초기 마킹으로 부터 수행중에도 승객이 외부 버튼들을 누름으로서 토큰이 수시로 공급되는 형태)이므로, 표준적인 도달성 그래프 [1] 를 생성하기가 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 수많은 동작중 가정된 한가지 시나리오에 대해서만 도달성 그래프를 구하고 이에 대한 신뢰도를 구한다. 이러한 '개방형' 패트리네트의 일반적인 분석법은 향후 연구할 분야이다.

1) 가정: 승강기는 현재 5층에 대기중(P39, P50 마킹)인 상태에서, 2층의 승객이 상향 버튼을 누른 경우(P9 마킹, t8, C2(t19) 점화)를 초기 마킹으로 한 후 그림 2 에 표시된 마킹은 이 경우를 나타낸다), 승강기에 들어간 승객이 5층 버튼을 누르고, 5층에서 내린 후 승강기 그 자리에서 계속 대기한다고 가정하자. 또한 가정된 동작 이외에 다른 일을 하지 않는다고 하자.

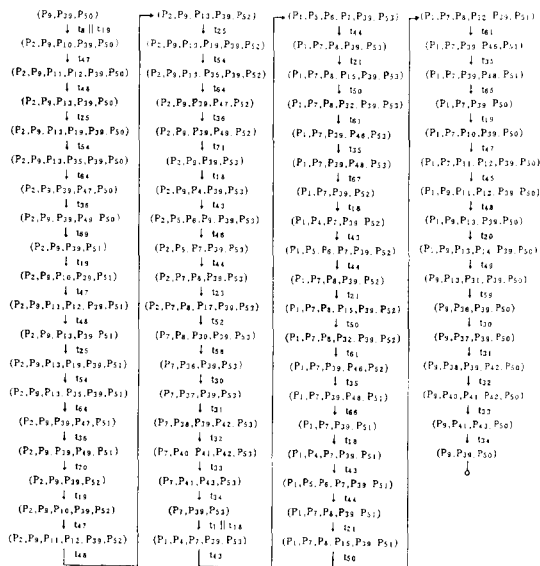


그림 5. 승강기 시스템의 도달성 그래프
Fig. 5. A reachability graph of lift system.

2) 도달성 그래프: 가정된 상황에 대한 도달성 그래프는 그림 5에서 보이며, 도달성 그래프를 간략화하기 위해 최다 수행 규칙 [12] 을 적용하였다. 가정된 상황에서는 데드락이 발생하지 않음을 도달성 그래프로 부터 알 수 있다.

3) 신뢰도 측정: 가정된 상황이 정상적으로 수행될 신뢰도는 앞에서 구한 도달성 그래프와 가정된 ti들의 신뢰도 값을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있으며, [6] ¹²⁾ 승객이 원하는 층까지의 이동 소요시간도 구할 수 있다. R(ti)를 ti의 주어진 신뢰도라 하고, T(ti)를 ti의 주어진 지연시간이라 할때 전체 신뢰도와 이동 소요시간은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\text{전체 신뢰도 } R = R(t_{36}) R(t_{36}) R(t_{36}) R(t_{30}) R(t_{31}) R(t_{32}) R(t_{33}) R(t_{34}) R(t_{35}) R(t_{35}) R(t_{35}) R(t_{35}) R(t_{30}) R(t_{31}) R(t_{32}) R(t_{33}) R(t_{34}) = 0.999^6 = 0.984119 (98.51 \%)$$

$$\text{이동 소요시간 } T = T(t_{36}) + T(t_{36}) + T(t_{36}) + T(t_{33}) + T(t_{35}) + T(t_{35}) + T(t_{35}) + T(t_{33}) = 22 \text{ 초}$$

즉, 주어진 조건에서 가정된 일(2층 승객을 5층으로 이동)을 수행하는 신뢰도는 98.41% 가 된다. 즉, 100회중 1.6회는 승강기 문이 안 열리거나, 원하는 층으로 안가거나 승강기가 1층으로 추락한다는 것이다. 또한, 승객이 원하는 층까지 이동하는데 걸리는 시간은 5층에서 2층까지 내려가는 시간 6초(3 T(t36)=6), 2층에서의 승강기 문동작 5초(T(t33)=5), 승객을 싣고 2층에서 5층까지 올라가는 시간 6초(3 T(t35)=6) 및 5층에서 승객이 내리기 위한 문동작 5초(T(t33)=5)를 더하면 전체적으로 22초가 걸린다.

V. 결론

본 논문에는 우리 생활속에서 가장 접하기 쉬운 병행, 실시간, 임베디드 및 비동기적 시스템인 승강기 시스템을 사례로하여, 패트리네트가 이런 형태 시스템 개발 및 신뢰성 분석에 실제로 이용될 수 있음을 보였다. 또한, 패트리네트를 연구실내에서 모형화 도구로서뿐만 아니라, 각 공장에서도 시스템 설계 및 제작 도구로 이용할 수 있는 가능성을 보였다.

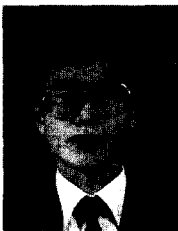
본 연구에서 택한 승강기 시스템은 1개의 승강기만을 모형화 하였으나, 다수의 승강기의 경우 승강기의 '최적이동'과 이용자의 '대기시간 최적화'를 위한 모형은 계속 연구할 문제다. 끝으로, 승강기 통제 문제는 컴퓨터 디스크의 scan algorithm과 같으므로, 본 연구의 결과를 디스크 통제기에 적용하는 문제도

향후 연구 과제로 남겨두었다.

參 考 文 獻

- [1] J.L. Peterson, "Petri Net theory and the modeling of systems", Prentice-Hall, 1981.
- [2] D.E.Knuth, "The art of computer programming", vol.1, Addison-Wesley, London, 1969.
- [3] H.Barringer, "Up and down the temporal way", Technical Report, UMCS-85-9-3, University of Manchester, Manchester, England, September 1985.
- [4] R.Hale, "Using temporal logic for prototyping : The design of a lift controller", H.Zedan (editor), Real Time System, North-Holland, pp.81-118, 1990.
- [5] Y.E.Papelis, T.L.Casavant, "Mathematical transformation of Petri Net for development of parallel/distributed program", Proc.COMPSAC, pp.92-98, 1990.
- [6] E.Yourdon, L.Constantine, "Structured design", Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall, 1979.
- [7] G.Booch, "Object - oriented development", *IEEE tran. on S.E.*, vol. SE-12, No.2, pp.211-221, Feb.1986.
- [8] J.Musa, A.Iannino, K.Okumoto, "Software reliability : measurement, prediction, application", McGraw-Hill, 1987.
- [9] 이강수, "패트리네트에 관한 기술 해설", 한국정보과학회지, 1권 2호, pp.39-47, 1983.
- [10] So Yeon Kim, Gang Soo Lee, "Timed Ada Tasking Net (TATN) model for reliability analysis of the ada tasking that involve delay and exception instruction", *Proc. 1 'st Joint Conf. on Software Engineering (JCSE' 92)*, Seoul, March 1992.
- [11] J.D.Noel, G.J.Nutt, "Macro E-Nets for representation of parallel systems", *IEEE tran. on Computer*, vol.C-22, No.8, pp.718-727, Aug. 1973.
- [12] 이강수, 우치수, "동적인 소프트웨어 신뢰도 예측을 위한 신뢰도 패트리네트 모형", 한국정보과학회 논문지, vol.16, No.1, pp.66-76, Jan. 1989.

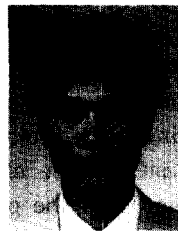
著 者 紹 介



李 康 壽(正會員)

1958年 8月 5日生. 1981年 2月 홍익대학교 전자계산학과 이학사학위 취득. 1983年 2月 서울대학교 대학원 계산통계학과 이학석사학위 취득. 1989年 2月 서울대학교 대학원 계산통계학과 이학박사학위 취득.

1987年 3月 ~ 현재 한남대학교 전자계산공학과 부교수. 1992年 7月 ~ 1993年 7월 미국 일리노이대학교 Post Doc. 주관심분야는 소프트웨어 신뢰도, 패트리네트 및 병행 시스템 모형화 등임.



金 基 範(學生會員)

1963年 10月 25日生. 1991年 2月 한남대학교 전자계산공학과 공학사학위 취득. 1993年 2月 한남대학교 대학원 전자계산공학과 석사학위 취득. 주관심분야는 소프트웨어 공학, 병행 시스템 모형화 등임.