

☒ 응용논문

동시공학 환경에서 자원제약이 있는 프로세스 모델의 성능분석에 관한 연구

A Study on the Performance Analysis of Process Model with Resource Constraints in Concurrent Engineering Environment

강동진¹

Kang, Dong-Jin

이상용²

Yi, Sang-Yong

유왕진²

Yoo, Wang-Jin

정용식³

Jung, Yong-Sik

Abstract

A major concern in Concurrent Engineering is the control and management of workload in a period of process. As a general rule, leveling the peak of workload in certain period is difficult because concurrent processing is comprised of various processes, including overlapping, paralleling looping and so on. Therefore, the workload management with resource constraints is so beneficial that effective methods to analyze design process are momentous.

This study presents the Timed Petri Nets approach of precedence logic networks, and provides an alternative for users to analyze constraint processes to resolve conflicts of resources. Another approach to Continuous Time Markov Chain using Stochastic Petri Nets is also proposed. These approaches are expected to facilitate resolving resource constrained scheduling problems more systematically in Concurrent Engineering environment.

Key Words: *Concurrent Engineering, Process Modeling, IDEF, Petri Nets, Markov Chain, Resource Constrained Scheduling*

1. 서론

동시공학 환경에서의 대표적인 구조분석 및 설계방법론인 IDEF(Integrated DEfinition) 모델링 방법론은 여러 전문기술분야가 복합적으로 다분야 통합시스템(multi-disciplinary system)을 설계하기 위한 기능, 정보 및 프로세스 모델링 방법론으로서, 여러 분야에서 활발한 연구가 이루어지고 있다.[1][2][3][4] 이는 설계통합시스템인 CAD/CAM/CAE 도구와 함께 설계시스템의 기능(function), 정보(information), 행위(behaviour) 모델링을 통하여 설계자의 실시간 정보 공유와 동시수행(concurrent processing), 그리고 이로 인한 설계변경 요인과 문서화의 필요성을 감소시켜 전체 설계기간을 크게 감소시키기 때문이다. 그러나, 설계정보의 구조는 계층화, 세분

¹ 한국원자력연구소 동력로기술개발팀

² 건국대학교 산업공학과

³ 관동대학교 산업공학과

화, 복잡화되어 프로세스의 분석 필요성은 순차적 방법에 비하여 더욱 중요시되고 있다.

동시공학적 설계에서 프로세스 분석방법으로는 일반적으로 데이터 모델을 기존의 순차적 방법의 네트워크 모델로 변환하여 분석하는 방법[5], SIMAN 등의 시뮬레이션 도구를 이용하는 방법[6], 그리고 Petri Nets을 이용하는 방법이 있다. 이들은 프로세스의 유형이나 성능분석 대상에 따라서 달리 적용되지만 공통적인 것은 동시설계의 특징인, 프로세스의 병렬화(paralleling), 특정부분의 제환(feedback) 등으로 인한 특정기간에 업무부하(workload)가 집중되어 자원의 수급능력을 초과하는 문제해결을 위한 것이다.

순차적 방법에서는 프로세스의 수행활동(activity)에 투입되는 자원(resource)이 수급한도 내에서 이루어지도록 하는 자원제한계획(resource constrained scheduling) 문제는 전체 프로젝트 기간 동안에 자원 가용도(resource availability)를 초과하지 않으면서 업무부하를 적절히 배분하여 최적의 일정계획을 하는 것이다. 그러나, 동시공학적 설계에서는 자원여건에 따라서 업무부하를 순차적으로 배분하는 것이 제한적이며, 따라서 설계 단계에서 동시수행부분의 상태변화에 대한 의사결정 지원체계가 필요하다.

본 연구에서는 일반적인 논리적 네트워크이나 IDEF3 프로세스 모델을 Petri Nets으로 표현함으로써 프로세스 성능분석 방법론으로서의 적용성을 고찰하고, 동시수행으로 특정기간에 업무부하가 집중되어 발생하는 자원 불일치문제를 Markov Chain의 상태 전이도로 정립하여, 이를 Stochastic Petri Nets 모델로 분석하는 접근법을 제안한다. 이 방법론은 동시공학적 설계의 프로세스 분석 및 자원 활용도 분석 방법론으로 유용하게 적용될 수 있을 것이다.

2. Petri Nets 모델

최근의 정보처리 환경은 종래의 순차적 처리환경과는 상당히 다른 동시.분산처리 시스템이다. 시스템에 있어서의 동시성은 정확성(correctiveness)과 수행도 분석에 있어서의 어려움을 가중시키며 이에 대한 분석수단으로서 Petri Nets 모델이 활용되고 있다. 특히, Stochastic Petri Nets은 컴퓨터에 의한 자동화시스템의 모델링을 위하여 아주 중요하게 활용되고 있다. 한편, 다분야 시스템과 같이 계층적인 시스템 구조를 갖는 프로세스 모델도 이와 유사한 동시성의 특징이 있으며, 따라서 프로세스 수행도 분석을 위하여 Petri Nets 모델이 유용하게 활용될 수 있다.

2.1 기본정의

Petri Nets은 기본적으로 "4-tuple"로서 (P, T, IN, OUT) 으로 구성되는데, $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 의 위치(Places)의 집합, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ 의 전이(Transition)의 집합으로서, $P \cup T \neq \emptyset$, $P \cap T = \emptyset$ 이며, IN 은 위치에서 전이에 이르는 입력기능(INPUT function), OUT 은 전이에서 위치에 이르는 출력기능(OUTPUT function)이다. Petri Nets의 위치들은 일반적으로 시스템 내의 조건이나 자원을 표현하고, 전이는 시스템 내의 활동들의 모델이다.

또한, Petri Nets의 표시(marking) M 은 토큰의 수를 위치시켜 Petri Nets의 상태변화를 표현하는 수단이다. 초기 표시는 M_0 로 하며 Petri Nets의 표시상태를 보고 시스템의 상태를 파악하게 된다. 또한, 상태변화와 관련하여 발생(firing)과 도달가능도(reachability)의 개념이 활용되는데, Petri Nets의 전이 t_j 가 다음과 같으면 표시 M 에서 발생 가능하다고 말하며, 일정시간이 지나면 발생하게 된다.

$$M(P_i) \geq IN(P_i, t_j) \quad \forall P_i \in P \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

표시 M 에서 준비된 전이 t_j 가 발생하면 새로운 표시 M' 는 다음 식에 의하여 도달(reach)하게 된다.

$$M'(p_i) = M(P_i) + OUT(P-i, t_j) - IN(P_i, t_j) \quad \forall P_i \in P \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

표시 M' 는 M 으로부터 도달가능 하다고 말하며, $M \rightarrow^b M'$ 와 같이 표현한다.

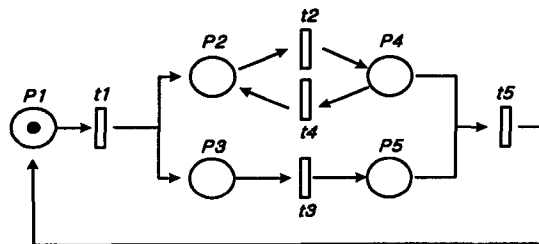
Petri Nets은 적용용도에 따라 여러 유형으로 분류할 수 있지만, 기본적으로는 상기의 표현방법으로 구성되어 있다. Petri Nets의 적용대상이 시간적인 흐름을 구성하는 프로세스의 경우, 위치나 전이가 확정적 수행기간과 관련이 있을 때에는 표시 그래프(marked graph)에 의하여 시간관계 분석을 할 수 있는데, 이를 TPN(Timed Petri Nets)이라고 부른다. 그러나, 시간관계가 확률적이라면 Markov Chain에 의한 분석이 이루어지는데, 이를 SPN(Stochastic Petri Nets)이라고 한다.

2.2 Stochastic Petri Nets

일반적인 Petri Nets의 구성요소에서, 연속시간 Stochastic Petri Nets, $SPN=(PN, \Lambda)$ 은 위치-전이관계인 $PN=(P, T, IN, OUT, M_0)$ 에 집합 $\Lambda=(\lambda_1, \dots, \lambda_m)$ 을 덧붙임으로써 형성된다. 여기서 λ_i 는 전이 t_i 의 전이율을 나타낸 것이다. 예를 들어, 전이 t_i 의 발생시간이 지수분포를 이루기 때문에 발생시간을 나타내는 확률변수 X_i 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.[8]

$$F_{X_i}(x) = 1 - e^{-\lambda_i x} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

그림 2.1은 전형적인 Stochastic Petri Nets을 나타낸 것이다.



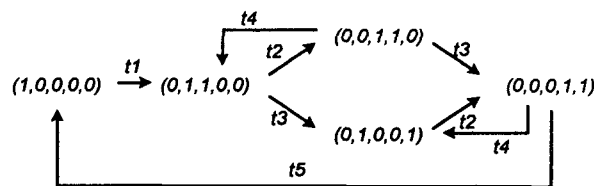
[그림 2.1] Stochastic Petri Nets

그림에서 전이 t_1 은 $M_0=(1,0,0,0,0)$ 에서 발생가능 상태이다. t_1 이 발생하기까지의 경과시간은 매개변수 λ_1 의 지수분포를 한다. 위치-전이의 발생규칙에 의하여 t_1 이 발생되면 $M_1=(0,1,1,0,0)$ 을 얻게된다. M_1 에서는 t_2, t_3 가 동시에 발생가능 상태가 된다. 즉, 이들 두 전이는 하나가 발생하고 일정시간이 경과된 뒤 다른 하나가 발생하게되는데, 만약 t_2 가 먼저 발생

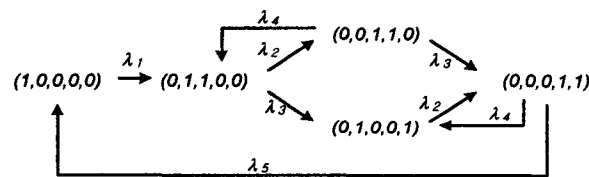
하면 SPN은 $M_2=(0,0,1,1,0)$ 으로 변한다. 그리고 t_3 가 먼저 발생하게되면 $M_3=(0,1,0,0,1)$ 이 된다. 이렇게 다음 표시는 전이상태의 변화에 좌우하게된다.

상태변화 확률이 체류시간과는 무관하다는 것은 SPN이 Markov Chain을 나타낸다는 것을 함축하고 있다. 따라서, SPN의 성능분석은 Markov 과정을 분석함으로써 수행될 수 있다. 그림 2.1의 SPN을 도달가능도(reachability graph)를 나타낸 것이 그림 2.2이다.

여기서, 전이상태를 Markov Chain에 있는 전이 i 의 발생률 λ_i 를 대치하게 되면 그림 2.3과 같이 된다.



[그림 2.2] SPN의 Reachability Graph



[그림 2.3] SPN의 Markov Process

이와 같이 SPN의 Markov Chain은 위치-전이도의 도달가능도로부터 얻을 수 있는데, Markov Chain의 상태공간(state space)은 $R(PN)$ 의 도달가능도 집합이며, 상태 M_i 에서 M_j 로 변하는 전이율은 $q_{ij}=\lambda_k$ 에 의하여 주어진다. M_i 에서 M_j 에 이르는 동안 여러 번의 전이가 일어나면 q_{ij} 는 이들 전이율의 합이다. 마찬가지로 전이가 없다면 $q_{ij}=0$ 이고, q_{ii} 는 $\sum_j q_{ij}=0$ 를 만족시키도록 결정된다. 위치-전이도의 도달가능도를 나타내는 장방형(square) 매트릭스 $Q=(q_{ij})$ 와 Markov Chain의 안정상태분포(steady state distribution) Π 는 다음의 선형관계식을 풀어서 구할 수 있다.

$$\Pi Q = 0 \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^s \pi_j = 1 \dots\dots\dots (2.5)$$

여기서 π_j 는 안정상태 확률벡터이고, $s=|R(PN)|$ 는 위치-전이네트의 도달가능도를 나타낸다. 그리고, 벡터 $\Pi=(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_s)$ 로부터 성능측정을 위한 요소들을 산정할 수 있다.

2.3 성능 측정지수

표시의 한 부분집합에 있을 확률 : $B \subseteq R(PN)$ 이 SPN에서 관심있는 부분의 표시를 구축한다고 할 때, Markov Chain의 관련 부분집합의 상태에 있을 확률은 다음과 같다.[9]

$$P[B] = \sum_{M \in B} \pi_i \dots\dots\dots (2.6)$$

평균 토큰의 수 : 위치 p_i 에서의 토큰의 수가 n 인 $R(PN)$ 의 부분집합을 $B(p_i, n)$ 즉, $B(p_i, n) = \{M \in R(PN) \mid M(p_i) = n\}$ 이라고 하면, 위치 p_i 에서의 평균 토큰의 수는 다음과 같다.

$$\bar{m}_i = \sum_{n=1}^{\infty} (n P[B(p_i, n)]) \dots\dots\dots (2.7)$$

전이 t_j 의 발생 확률 : 전이 t_j 가 가능상태인 $R(PN)$ 의 부분집합을 $E(N_j)$ 즉, $E(N_j) = \{M \in R(PN) \mid M(t_j) > 0\}$ 이라고 하면, Net에서 관찰자가 우연히 전이 t_j 의 다음 목격할 확률은 다음과 같다.

$$r_j = \sum_{M_i \in EN_j} \pi_i \left(\frac{\lambda_i}{-q_{ii}} \right) \dots\dots\dots (2.8)$$

여기서, $(-q_{ii})$ 는 M_i 로부터의 전이를 합이다.

전이 t_j 의 처리량(throughput) : 일정시간 뒤의 전이에서의 처리량은 안정상태에서의 발생의 평균수에 의하여 다음과 같이 주어진다.

$$\bar{d}_j = \sum_{M_i \in EN_j} \pi_i \lambda_j \dots\dots\dots (2.9)$$

여기서 \bar{d}_j 는 t_j 의 처리량, 즉 전이의 평균발생빈도이고 EN_j 는 M_i 에서 일어날 수 있는 전이의 집합이며, λ_j 는 M_i 에서의 전이 발생률이 된다.

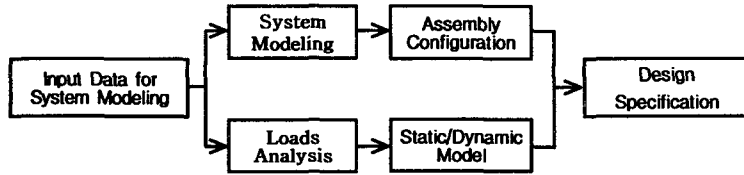
3. Petri Nets에 의한 프로세스 표현

설계 프로세스는 활동과 이들간의 논리적 상호관계로 표현된다. 프로세스의 각 단계별로 선행단계에서 제공된 데이터나 정보를 이용하는데, 이는 설계 활동들 간의 데이터 종속 상호관계를 나타낸다. 즉, 이들은 그림 3.1에서처럼 선행활동과 후속활동은 논리적, 시간적 상호관계에 의한 프로세스를 형성하는 것이다.

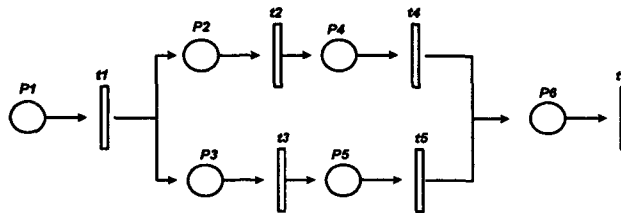
전체 설계 프로세스를 확장한 논리적 네트워크는 대단히 많은 설계 활동들과 복잡한 논리적 상호관계로 이루어진다. 이런 프로세스의 부분 부분에는 활동들간의 동시성 관계를 표현할 경우가 있는데, 이를 경우 프로세스를 세분화(decomposition)하거나 Petri Nets 모델을 활용하여 프로세스 분석을 한다. 이 장에서는 프로세스를 TPN으로 표현하는 방법을 소개한다.

TPN에서는 전이 t 가 시간 단위로 산정되는 기간 d_t 를 가진다. 시간 s 에 전이 t 가 발생하는 것은 TPN을 형성하는데 2가지 행위를 유발시킨다. 시간 s 에서 토큰들이 전이 t 의 선행(inputs)위치로부터 소멸되고, $s+t$ 시간에 토큰들이 전이 t 의 후속(outputs) 위치에 추가된다. 설

계 프로세스를 표현하는 논리적 네트워크는 이와 같이 TPN으로 표현할 수 있는데, 여기서 전이 기간은 설계 활동의 기간이 된다. 그림 3.1의 논리적 네트워크의 TPN 모델은 그림 3.2와 같다.



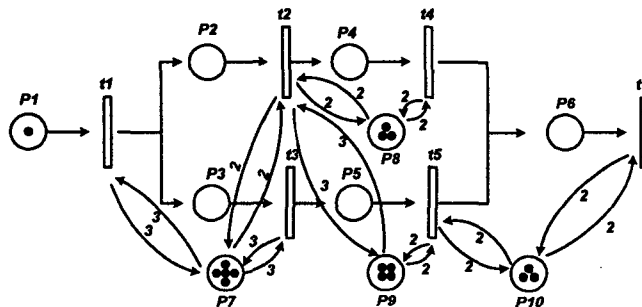
(그림 3.1) 설계 프로세스의 논리적 네트워크 예



(그림 3.2) 논리적 네트워크의 TPN 모델

어떤 설계 프로젝트의 동시공학팀이 구성되고 설계팀이나 설계분야, 설계활동에 대한 자원계획이 수립되면 분야별 할당된 자원 배정량은 다른 설계분야에 의하여 변한다. 특히, 이들 소요량은 설계 활동의 수행 진도에 따라서 프로젝트의 실행 중에 변하게 된다. 여기서 설계 프로젝트는 완성에 필요한 자원을 확보하고 설계 활동을 시작한다. 동시공학 환경에서 설계 활동의 수행은 설계자의 동시 참여를 필요로 하는데, 모든 전문분야의 이용 가능한 자원이 제한되어 있어서 전체 설계분야에 적기에 참여할 수는 없는 것이다. 설계 프로젝트에서 발생하는 사건(events)은 설계 활동이 언제 시작하여 언제 종료하느냐 하는 것이기 때문에 이산적인 사건 프로세스처럼 분석될 수 있다.[9]

그림 3.1의 논리적 네트워크에서 자원제한이 있는 설계활동은 그림 3.2에서와 같이 TPN으로 표현될 수 있다. P₇, P₈, P₉와 P₁₀은 다수의 자원을 갖는 전문가 팀을 나타낸 것인데, 설계 활동의 자원 소요량은 화살표 위에 제공 가능량으로 나타난다. 이와 같이 자원관점에서 본다면 설계 프로세스는 전문가 팀이 서버이고 설계 활동이 각 설계자의 서비스를 받기 위해 대기하고 있는 고객으로 볼 수 있다. 결국, 그림 3.3에서의 TPN은 대기행렬(queueing) 문제의 FIFO(First In First Out)의 전략으로 처리되는 설계활동을 표현한 것으로 볼 수 있다.



(그림 3.3) 자원 제한이 있는 논리적 네트워크의 TPN 모델

4. Stochastic Petri Nets에 의한 분석

설계활동의 수행기간은 확정적(deterministic)일 수도 있지만, 확률분포를 따르는 것이 더욱 현실적이다. 이 절에서는, 확률적인 시간모델을 다루고 있는데, Stochastic Petri Nets 모델은 지연발생(firing delay)이 각 전이와 관련되어 있으며, 지수분포 확률밀도함수를 갖는 확률변수이다. 목표에서의 체류시간이 음의 지수분포 확률밀도 함수를 갖는 확률변수일 때 이는 확률적 Petri Nets 모델과 연속시간 Markov Chain 모델이 된다는 것을 정립할 수 있다.

4.1 시스템 개요

설계 프로젝트가 동시공학 팀을 조직하였을 경우, 각 전문분야의 설계활동들은 동시공학팀의 지침에 의하여 수행된다. 설계팀의 업무는 일정대로 할 수 없는 경우가 있는데, 이는 각 설계 분야로부터의 가용자원이 항상 이용가능하지는 않기 때문이다. 즉, 설계업무는 다음과 같은 경우 정립된 일정을 맞추지 못할 수도 있다.

- ① 예정된 활동을 수행하기 위하여 필요한 정보가 이용가능하지 않다.
- ② 설계 활동을 수행하는데 필요한 설계자가 이용 가능하지 않다.

그리고, 시스템의 상태는 다음과 같이 분류할 수 있다.

- ① 설계팀이 설계 활동을 수행하고 있다.
- ② 설계팀이 필요한 정보를 기다리고 있다.
- ③ 설계팀은 이용할 자원이 없어, 예정된 활동을 수행할 수 없다.

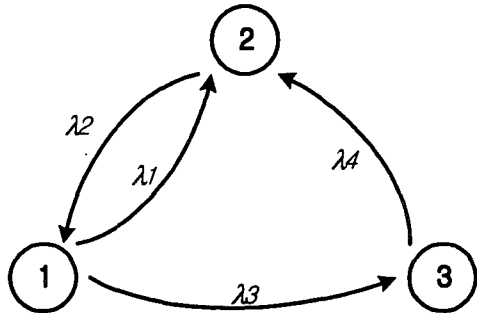
상태의 전이는 다음의 규칙을 따른다.

- ① 설계팀이 정보를 기다리고 있을 때에는 그 정보가 이용가능 하자마자 설계 활동을 시작하고자 할 것이다.
- ② 설계 활동이 예정된 일정에 따라서 수행되고 있을 동안은 설계팀은 필요한 정보를 기다리고 있거나 필요한 설계자를 기다려야만 한다.
- ③ 일단, 설계자가 이용 가능하게 된다면, 설계활동은 필요한 정보가 이용 가능할 때만이 수행된다.

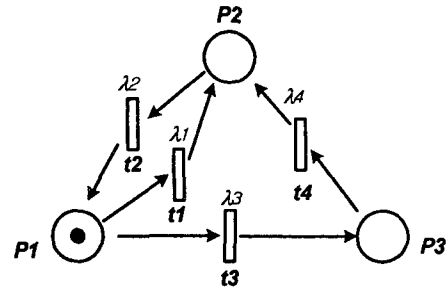
연속시간 Markov Chain 모델을 구축하기 위하여 다음과 같은 가정이 필요하다.

- ① 설계 활동이 예정된 일정대로 수행되는 시간간격은 매개변수 λ_1 인 지수분포를 한다.
- ② 설계 활동 수행에 필요한 정보를 기다리느라고 설계팀이 유휴인 시간간격은 매개변수가 λ_2 인 지수 분포를 한다.
- ③ 설계자의 부족으로 발생하는 업무차질이 발생하기까지의 정상기간의 합이 매개변수 λ_3 인 지수분포를 한다.
- ④ 설계자가 다시 이용 가능하게 되는데 필요한 시간이 매개변수 λ_4 인 지수분포를 한다.

이를 Markov Chain의 상태전이도로 표현한 것이 그림 4.1이며, Stochastic Petri Nets 모델로 표현한 것이 그림 4.2 이다.



[그림 4.1] Markov Chain 상태전이도



[그림 4.2] SPN 모델로 나타낸 상태전이도

4.2 수행도 분석 수식화

프로세스모델의 자원활용도 분석을 위하여 그림 4.1의 연속시간 Markov Chain은 2.2절의 식 (2.4), (2.5)에 의하여 안정상태 확률분포 Π 를 정립하게되고, 전이율 행렬 Q 는 다음과 같이 표현할 수 있다.[10]

$$Q = \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_3) & \lambda_1 & \lambda_3 \\ \lambda_2 & -\lambda_2 & 0 \\ 0 & \lambda_4 & -\lambda_4 \end{bmatrix}$$

이로부터, 유한집합의 분포는 다음 선형관계식을 풀어서 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} -(\lambda_1 + \lambda_3)\pi_1 + \lambda_2\pi_2 &= 0 \\ \lambda_1\pi_1 - \lambda_2\pi_2 + \lambda_4\pi_3 &= 0 \\ \lambda_3\pi_1 - \lambda_4\pi_3 &= 0 \\ \pi_1 + \pi_2 + \pi_3 &= 1 \end{aligned}$$

여기서 π 는 안전상태 확률벡터이다. 이 관계식으로부터 여러 유형의 안전상태 성능요소들의 분석이 가능하게 되었다.

그림 4.1의 Markov Chain 모델은 그림 4.2와 같이 Stochastic Petri Nets 모델로 확장이 가능한데, 프로세스의 수행과 관련한 자원, 도구, 방법론 등의 메카니즘의 상태는 여러 유형의 전이로 표현될 수 있다. 여기서는 설계 공정이 자원의 상태 변화에 따라서 지장을 받을 수 있다는 것을 모델링한 것이다. 설계공정의 경우에 전이가 일어나는 빈도가 특정기간 동안 자원의 부족으로 인하여 얼마나 빈번하게 영향을 받게되는 지를 나타내기 때문에 대단히 중요한 고려사항이다. 단위시간에 전이가 일어나는 빈도 수는 식(2.9)의 전이 발생률의 가중치 합으로 계산할 수 있다.

4.3 수치에 및 결과분석

Petri Nets을 이용한 성능분석은 설계프로세스 전과정에서 이루어질 수 있으며, 분석대상 프로세스로부터 관련 수치를 수집할 수 있다. 다분야 통합시스템 설계를 위한 프로세스 모형의 예를 들면, 분야별 전문가의 공동 참여가 필수적이며, 보유전문가의 제한으로 인하여 합리적인 의사결정에 의한 업무할당이 중요하다.

시스템 설계에 참여하는 전문가를 다시 활용할 수 있는 시간은 매개변수가 5일인 지수분포이고, 설계 활동 수행에 필요한 정보를 기다리느라고 설계팀이 유휴인 시간 간격은 매개변수가 4인 지수분포를, 설계 활동이 예정된 일정대로 수행되는 시간간격은 매개변수 1.2인 지수분포를, 그리고 설계자의 부족으로 발생하는 업무차질이 발생하기까지의 정상기간의 합이 매개변수 2.4인 지수분포를 한다.

이를 정리하면, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\lambda_1 = 1.2, \quad \lambda_2 = 4, \quad \lambda_3 = 2.4, \quad \lambda_4 = 5$$

4.2절에서의 선형관계식으로 대체하면;

$$-3.6\pi_1 + 4\pi_2 = 0$$

$$1.2\pi_1 - 4\pi_2 + 5\pi_3 = 0$$

$$2.4\pi_1 - 5\pi_3 = 0$$

$$\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1$$

이를 풀면

$$\Pi = (0.481, 0.288, 0.231)$$

이 되고, 이를 해석하면 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- ① 설계활동 수행기간의 약 48%는 자원 부족문제 없이 수행된다.
- ② 설계활동 수행기간의 약 29%는 자원 부족문제로 인하여 대기하는 상태가 발생한다.
- ③ 설계활동 수행기간의 약 23%는 자원 부족문제로 인하여 수행될 수 없다.

설계활동이 자원부족으로 인하여 중단되는 평균시간 수는 전이 t_1 의 발생빈도를 계산함으로써 산정될 수 있는데, t_1 은 p_1 의 위치에서만 가능하기 때문에 다음의 계산을 할 수 있다.

$$\overline{d_n} = \pi_1 \times \lambda_3 = 1.154$$

이것은 설계수행의 전 기간 동안 자원부족 문제로 설계업무의 일정에 차질이 발생하는 빈도는 0.87, 즉 1.154개월에 1번 정도로 발생한다는 것을 나타낸다.

5. 결론

동시공학적 설계의 애로사항 중 하나는, 프로세스의 축약설계로 인하여 특정기간에 업무부하가 시스템의 능력한계를 초과하는 문제이다. 이에 대한 수행도 분석을 위하여, 본 연구에서는 전자회로망 분석 방법론으로 활용되고 있는 Petri Nets을 프로세스 표현 방법론으로 활용하고 있으며, 성능분석을 위하여 특정 단계에서의 자원의 활용여부를 Markov Chain의 출생, 소멸과정으로 정립하는 Stochastic Petri Nets 방법론을 적용하여 분석하고 있다.

이 성능분석 방법론은, 다기능 통합시스템의 동시공학적 설계에 대한 정보모델에서 업무부하와 투입되는 자원을 동시에 관리할 수 있게되어 설계공정의 단축은 물론, 설계변경요인의 감소, 설계자의 실시간 정보공유, 설계결과물의 문서화 과정의 저감 등 설계생산성향상을 통한 설계고도화에 기여함은 물론 프로세스 분석방법론 및 자원 이용도 분석방법론으로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력연구개발 중장기사업 중 신형원자로기술개발과제의 일부분으로 수행되었다.

참고문헌

- [1] G.J. Colquhoun, et. all "A Generic IDEF0 Model of Process Planning", *International Journal of Production Research*, Vol.29, No.11, 1991, pp.2239-2257.
- [2] Kim, C., Kim, K., and I. Choi, "An Object-oriented Information Modeling Methodology for Manufacturing Information Systems," *Computers and Industrial Engineering*, Vol.24, No.3, 1993, pp.337-353
- [3] 방인홍 외, "동시공학적 접근법 및 응용사례," 「산업공학」, 제7권, 제3호, 1994, pp.77-90
- [4] 이충화 외, "제품개발 프로세스개선을 위한 동시공학시스템 K-CE 개발," 「산업공학」, 제8권, 제3호, 1995.
- [5] 강동진 외, "다분야시스템의 동시공학적 설계를 위한 SADT 방법론의 적용," 「한국경영과학회 발표논문」, 1998, 11, pp.71-80
- [6] C.D. Pegden, R.E. Shannon, R.P. Sadowski, *Introduction to Simulation Using SIMAN*, McGraw-Hill, 2nd ed., 1995.
- [7] Bause, F. and P. S. Kritzing, 1996, *Stochastic Petri Nets; An Introduction to the Theory*, Verlag Vieweg, Wiesbaden, Germany, pp.57-65
- [8] M.A. Marsan, G. Balbo, and G. Conte, A Class of Generalized Stochastic Petri Nets for the Performance Analysis of Multiprocessor Systems, *ACM Transactions on Computer Systems*, Vol.2, No.1, 1984, pp.93-122
- [9] 강동진, "동시공학 환경에서의 다기능 통합시스템 설계를 위한 프로세스 모델링 및 분석 방법론", 「박사학위논문, 건국대학교」, 1999.6
- [10] M. Ancona and L. De. Floriani, "Computational Algorithms for Hierarchically Structured Project Networks," *Operations Research Lett.*, Vol.1, No.5, 1982, pp.170-176