2000 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

원전의 주급수 펌프를 위한 이산사건 동적 모델에 관한 연구

A Study on Discrete Event Dynamic Model for Nuclear Operations of Main Feed Water Pump

배준철, 최중인

경원대학교
경기도 성남시 수정구 복정동 산65번지

요 약

본 연구개발의 목적은 이산사건동적시스템의 제어이론을 바탕으로 한 수퍼바이저 제어기법을 정립하고 이를 원전의 운전 자동화에 적용하고자 한다. 이는 사람의 제어동작 같은 이산적 사건의 해석에 적합하면서도 견고한 이론적 배경을 바탕으로 설계의 투명성을 가질 수 있어 원전에 적용시 인허가성을 높일 수 있을 것이다. 이를 통하여 항상 안정된 제어 가능성을 해석적으로 입증, 설계 투명성을 확보함으로써 원전 적용시 인허가성을 증진시킬 수 있을 것이다.

Abstract

A major objective of the study is to propose a supervisory control algorithm based on the discrete event dynamic system (DEDS) model and apply it to the automation of nuclear operations. The study is motivated by the suitability of the DEDS model for simulation of man-made control action and the potential of the DEDS based supervisory control algorithm for enhanced licensibility, when implemented in nuclear plants, through design transparency due to strong analytic backgrounds. The DEDS model can analytically show the robust stability of the proposed supervisory controller providing design transparency for enhanced licensibility when implemented in nuclear operations.

1. 서 론

원자력 발전소는 노심의 안전성에 대한 특별한 고려 때문에 화력 등의 발전소에 비하여 운전원의 역할이 매우 중요하다. 운전원의 기능은 단순할 수도 있지만 과도운전상태시 주급수 펌프 등 주요 계통의 운전에서는 복잡하고 다양할 수 있다. 이는 항상 여러 가지 변화에 대처할 수 있는 강인성이 필요하기 때문이며 이와 같은 기능은 운전원이 미리 작성된 표준적 형태의 운전절차서에 따라 수동으로 수행하고 있다. 따라서 본 연구에서는 아러한 운전원의 기능을 컴퓨터의 알고리즘으로 대체하였으며 알고리즘은 운전원과 같이 지능적 특성을 가지고 있어야 한다. 이를 위하여 퍼지 및 신경망 등의 지능적 제어 기법들이 고려되고 있으나 이들은 설계 검증의 어려움으로 원전에 도입하는데 인허가상 어려움을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 이산사건

동적 시스템의 제어이론을 바탕으로 한 수퍼바이저 제어(Supervisory Control)기법을 원전의 제한 계통 제어[1]에 적용하고자 한다. 이는 사람의 제어 동작과 같은 이산적 사건의 해석에 적합하면서도 견고한 이론적 배경을 바탕으로 설계의 투명성을 갖을 수 있어 원전에 적용시 인허가성을 높일 수 있다.

2. 수퍼바이저 제어이론 및 설계

논리적 DEDS 모델에서 Σ를 이산사건의 집합이라 하고 물리적으로 가능한 사건의 시이퀀스 즉 스트링의 집합을 L로 나타내면, 우리가 고려하는 시스템의 동작을 사건 집합 Σ에 대한 L로 나타내게 되며 이러한 동작 L은 식 (1)과 같은 상태천이모델(state transition model)[2]을 도입함으로써 쉽게 나타내어질 수 있다.

$$G = (Q,\ \Sigma,\ f,\ q_0,\ Q_m) \qquad (1)$$

여기에서 Q는 상태(state) 집합,

q_0는 초기상태(initial state),

Q_m은 고려대상상태(marker state)의 집합을 나타내며

$f : \Sigma \times Q \rightarrow Q$ 는 상태 천이함수(state transition function)를 나타낸다.

식 (1)에서 G는 초기상태 q_0에서 시작하여 상태 천이함수 f에 따라 사건들의 시이퀀스를 발생시키는 동적 시스템(dynamic system)으로 해석될 수 있다. 상태 q에서 가능한 사건의 집합 Σ (q)는 그 원소가 되는 사건을 σ라 할 때 f(σ, q)가 정의된 집합을 말하며 q' = f(σ, q)는 상태 q에서 사건 σ가 발생하면 상태천이함수 f에 의해 상태 q'로 천이됨을 의미한다. 이를 사건스트링 s에 대한 상태천이 함수로 확장하면 q' = f(s, q)는 상태 q에서 사건들의 시이퀀스인 스트링 s가 발생하면 상태 천이함수 f에 의해 상태 q'으로 천이됨을 나타낸다. 따라서 초기상태 q_0에서 G라는 동적 시스템을 통하여 고려대상상태의 집합 Q_m에 도달하도록 하는 사건의 스트링의 집합을 L_m 이라고 할 때 다음의 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_m(G) = s : s \in L \text{ and } f(s,\ q_0) \in Q_m \qquad (2)$$

DEDS를 제어하기 위해서 어떤 사건들을 원하는 때에 일어나게 하거나(enable) 혹은 일어나지 않도록(disable) 하여야 한다. 이를 위해서는 사건집합 Σ를 제어 가능한 사건의 집합 Σ_c와 제어 불가능한 사건 Σ_u로 나눌 때, Σ_c 에 대하여 제어 입력의 집합을 U = 0, 1 로 정의하고 제어입력 $u \in U$ 는 $u : u(\sigma) \rightarrow 0, 1$ 로 나타내어지는데, 여기에서 u(σ) = 1 이면 사건 σ가 u에 의해 enable됨을, u(σ) = 0 이면 사건 σ가 u에 의해 disable됨을 나타낸다. 이때 확장된 상태 천이함수 $f_c : U \times \Sigma \times Q \rightarrow Q$ 를 정의하고 이에 따라 제어된 이산사건시스템(Controlled Discrete Event System : CDES)[3], G_c 를 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_c = (Q,\ U \times \Sigma,\ f_c,\ q_0,\ Q_m) \qquad (3)$$

CDES의 제어는 앞서 일어난 사건의 스트링을 관측하여 주어진 G_c 가 여러 조건들을 만족하도록

제어입력을 스위칭(switching) 시킴으로써 이루어지는데 그러한 제어기를 수퍼바이저 제어기라 한다. 그림 1에서 보여주는 수퍼바이저 제어기 S는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S = (R,\ \Phi) \tag{4}$$

여기에서 $R = (X,\ \Sigma,\ \zeta,\ x_0,\ X_m)$ 으로 표현되는데, X는 수퍼바이저에 의해 관측되는 상태집합, $\zeta : \Sigma \times X \rightarrow X$ 는 상태 천이함수, x_0 는 초기상태, X_m 는 고려대상상태를 나타낸다. 상태 궤환 상사(state feedback map)라 불리는 $\Phi : X \rightarrow U$ 는 수퍼바이저 제어기의 상태 x를 제어 입력 u 로 상사 시키는 함수이다. 즉 G_c 에서 발생되는 사건의 시이퀀스가 수퍼바이저 제어기의 입력으로 들어가 관측된 사건으로의 천이를 일으키고 이 상태가 Φ 에 의해 제어입력 u 를 결정하게 된다. 따라서 G_c 와 수퍼바이저 제어기 S가 결합된 시스템 $S \| G_c$ 는

$$S \| G_c = (X \times Q,\ \Sigma,\ \zeta \times f_c,\ (x_0,\ q_0),\ X_m \times Q_m) \tag{5}$$

으로 표현되며 $L(S \| G_c)$가 결합된 시스템의 동작 상태를 표시하게 된다. 수퍼바이저 제어기의 설계는 이 시스템의 동작 $L(S \| G_c) = K$ 가 되도록 수퍼바이저 제어기 S를 설계하는 것이다. 여기에서 K는 주어진 시스템이 원하는 상태로만 가도록 하는 동작으로 목적에 따라 안정동작, 강인 안정동작, 최적 동작 등의 수퍼바이저 제어기를 설계할 수 있다.

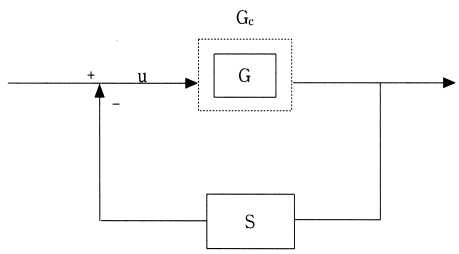

그림 1 수퍼바이저 제어시스템

이상의 정립된 논리적 DEDS 모델에 근거한 수퍼바이저 제어 개념을 원전의 주급수 펌프 운전에 적용하였다. 즉 과도 운전 상태시의 운전원 조치에 상기 수퍼바이저 제어 개념을 적용하고 평가하는 것이다. 주급수 펌프의 운전은 운전원이 미리 작성된 표준적 형태의 운전 절차서에 따라 수행되고 있으며 주급수 펌프 운전의 절차는 크게 다음 표 1과 같이 이루어진다.

순서	운 전 절 차
1	주급수 펌프 예열밸브(AE-V068/066/064)를 열어 충분히 예열한 후 닫는다.
2	고압 증기 차단밸브(FC-V94/95/96) 및 저압 증기 차단밸브(FC-v64/57/17)가 열려 있는지 확인한다.

3	윤활유 계통 기동
3-1	주 윤활유 펌프 "A"(CF-HS42/43/37)를 기동한다.
3-2	윤활유 냉각기를 통과한 윤활유의 온도가 43.3 51.7。C 가 되도록 온도 조절기 (CF-TIC 161/162/163)를 조절한다.
3-3	주 윤활유 펌프 "B"(CF-HS29/33/44)를 자동 위치에 놓고 주 윤활유 펌프 "A"를 수동 정지한다.
3-4	주 윤활유 펌프 "B"를 정지하고 "A"를 자동 위치에 놓는다.
3-5	비상 윤활유 펌프의 조작 스위치 (CF-HS30/34/38)를 자동 위치에 놓고, 주 윤활유 펌프 A, B를 모두 수동 정지한다.
3-6	주 윤활유 펌프 B를 기동한다.

표1 윤활유 계통 기동까지의 세부 절차

앞서 설명한 터빈 구동 주급수 펌프 운전 절차는 운전원의 조치를 모의하므로 이산사건 동특성으로 해석하는 것이 적절하다는 생각에서 이를 근간으로 하는 수퍼바이저 제어 기법의 적용[4]을 시도하였다. 먼저 터빈 구동 주급수 펌프 운전 절차를 위한 DEDS를 G_p라 하면 다음의 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_p = (Q_p,\ \Sigma_p,\ f_p,\ q_0,\ Q_{mp}) \tag{6}$$

터빈 구동 주급수 펌프 운전 시스템 전체의 상태는 다음과 같이 총 17가지의 상태[5]로 정의한다.

터빈 구동 주급수 펌프 운전 시스템의 상태집합 Q_p의 정의 :

$$Q_p = \{\ q_{s1\_1},\ q_{s1\_2},\ q_{s2\_1},\ q_{s2\_2},\ q_{s2\_3},\ q_{s2\_4},\ q_{s3\_1},\ q_{s3\_2},\ q_{s4\_1},\ q_{s4\_2},\ q_{s4\_3},\ q_{s5\_1},\ q_{s5\_2},\ q_{s5\_3},\ q_{s6\_1}, q_{s6\_2},\ q_{s7\_1}\}$$

여기에서

q_{s1_1} : 주급수 펌프 예열, q_{s1_2} : 주급수 펌프 예열 finish

q_{s2_1} : 고압증기 차단밸브 open, q_{s2_2} : 고압증기 차단밸브 close
q_{s2_3} : 저압증기 차단밸브 open, q_{s2_4} : 저압증기 차단밸브 close

q_{s3_1} : 주 윤활유 펌프 A start, q_{s3_2} : 주 윤활유 펌프 A stop

q_{s4_1} : 윤활유 온도 High, q_{s4_2} : 윤활유 온도 Normal, q_{s4_3} : 윤활유 온도 Low

q_{s5_1} : 주 윤활유 펌프 B auto start
q_{s5_2} : 주 윤활유 펌프 B stop
q_{s5_3} : 주 윤활유 펌프 A auto start

q_{s6_1} : 비상 윤활유 펌프 auto start, qs6_2 : 비상 윤활유 펌프 stop

q_{s7_1} : 주 윤활유 펌프 B start

이 시스템에 대하여 사건집합 Σ를 고려하면 먼저 주급수 펌프의 예열 설정치 보다 낮은 경우 예열 밸브를 여는 사건(AE-V068/066/064 open) σ_1과 예열 설정치에 도달 할 경우 예열 밸브를 닫는 사건(AE-V068/066/064 close) σ_2, 그리고 고압증기 차단 밸브를 여는 사건 (FC-V94/95/96 open) σ_3, 고압증기 차단 밸브를 닫는 사건(FC-V94/95/96 close) σ_4, 저압증기 차단 밸브를 여는 사건(FC-V64/57/17 open) σ_5, 저압증기 차단 밸브를 닫는 사건(FC-V64/57/17 close) σ_6 로 정의하며, 주 윤활유 펌프 A를 기동하는 사건 (CF-HS42/43/37 start) σ_7, 주 윤활유 펌프 A를 정지시키는 사건 (CF-HS42/43/37 stop) σ_8, 그리고 윤활유 온도 조절기를 올리는 사건 (CF-TIC 161/162/163 up) σ_9, 윤활유 온도 설정치인 사건(CF-TIC 161/162/163 normal) σ_{10}, 윤활유 온도조절기를 내리는 사건 (CF-TIC 161/162/163 down) σ_{11} 로 정의한다. 또한 주 윤활유 펌프 B의 조작스위치를 자동 위치에 놓는 사건 (B sw_auto) σ_{12}, 정지시키는 사건(B sw_stop) σ_{13}, 주 윤활유 펌프 A의 조작스위치를 자동위치에 놓는 사건(A sw_auto) σ_{14}, 그리고 비상 윤활유 펌프의 조작스위치를 자동위치에 놓는 사건(CF-HS30/34/38 auto) σ_{15}, 정지시키는 사건 (CF-HS30/34/38 stop) σ_{16} 로 정의하고, 주 윤활유 펌프 B를 기동시키는 사건(CF-HS29/33/44 start) σ_{17} 의 17가지 사건으로 다음과 같이 정의한다.

터빈 구동 주급수 펌프 운전의 사건집합 Σ_p의 정의 :

$$\Sigma_p = \{ \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5, \sigma_6, \sigma_7, \sigma_8, \sigma_9, \sigma_{10}, \sigma_{11}, \sigma_{12}, \sigma_{13}, \sigma_{14}, \sigma_{15}, \sigma_{16}, \sigma_{17} \}$$

여기에서

σ_1 (AE-V068/066/064 open), σ_2(AE-V068/066/064 close),
σ_3 (FC-V94/95/96 open), σ_4(FC-V94/95/96 close),
σ_5 (FC-V64/57/17 open), σ_6(FC-V64/57/17 close),
σ_7 (CF-HS42/43/37 A start), σ_8(CF-HS42/43/37 A stop),

σ_9 (CF-TIC 161/162/163 up),
σ_{10}(CF-TIC 161/162/163 normal),
σ_{11}(CF-TIC 161/162/163 down),
σ_{12}(B sw_auto), σ_{13}(B sw_stop), σ_{14}(A sw_auto),
σ_{15}(CF-HS30/34/38 auto), σ_{16}(CF-HS30/34/38 stop),
σ_{17}(CF-HS29/33/44 start)

다음으로 제어입력이 고려되는 CDES는 식 (7)와 같이 나타낸다.

$$G_{cp} = (Q_p,\ U \times \Sigma_p,\ \mathbf{f}_{cp},\ q_0,\ Q_{mp}) \tag{7}$$

여기에서 제어 가능한 사건집합 Σ_{cp}는

Σ_{cp} = { σ_1, σ_2, σ_3, σ_5, σ_7, σ_8, σ_{10}, σ_{12}, σ_{13}, σ_{14}, σ_{15}, σ_{16}, σ_{17} } 이고

제어 불가능한 사건집합 Σ_{up}는

Σ_{up} = { σ_4, σ_6, σ_9, σ_{11} } 이다.

다음은 모든 상태가 관측 가능하고 시스템 G_p의 상태집합 Q_{mp}가 수퍼바이저 제어기에서 관측되는 상태집합 X와 동일하다고 가정하면 수퍼바이저 제어기는 다음의 식 (8)과 같이 나타낼 수 있고 또한 이를 포함하는 G_{cp}와의 전체시스템은 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$S_p = (G_p,\ \Phi_p) \tag{8}$$

$$S_p \| G_{cp} = (X_p,\ \Sigma_p,\ \zeta_p,\ x_0,\ X_{mp}) \tag{9}$$

여기서 상태 천이함수 $\zeta_p : \Sigma_p \times X_p \rightarrow X_p$에 의한 상태천이는 다음의 표 2와 같고 상태천이에 의한 동작은 그림 2와 같다.

	q_{s1_1}	q_{s1_2}	q_{s2_1}	q_{s2_2}	q_{s2_3}	q_{s2_4}	q_{s3_1}	q_{s3_2}	q_{s4_1}	q_{s4_2}	q_{s4_3}	q_{s5_1}	q_{s5_2}	q_{s5_3}	q_{s6_1}	q_{s6_2}	q_{s7_1}
q_{s1_1}	σ_1	σ_2															

q_{s1_2}			σ_3	σ_4													
q_{s2_1}					σ_5	σ_6											
q_{s2_2}			σ_3														
q_{s2_3}							σ_7	σ_8									
q_{s2_4}					σ_5												
q_{s3_1}									σ_9	σ_{10}	σ_{11}						
q_{s3_2}							σ_7						σ_{13}		σ_{15}		
q_{s4_1}										σ_{10}							
q_{s4_2}												σ_{12}	σ_{13}				
q_{s4_3}										σ_{10}							
q_{s5_1}								σ_8									
q_{s5_2}												σ_{12}		σ_{14}			
q_{s5_3}								σ_8									
q_{s6_1}															σ_{16}		
q_{s6_2}																	σ_{17}
q_{s7_1}																	

표 2 주급수 펌프 운전의 상태천이

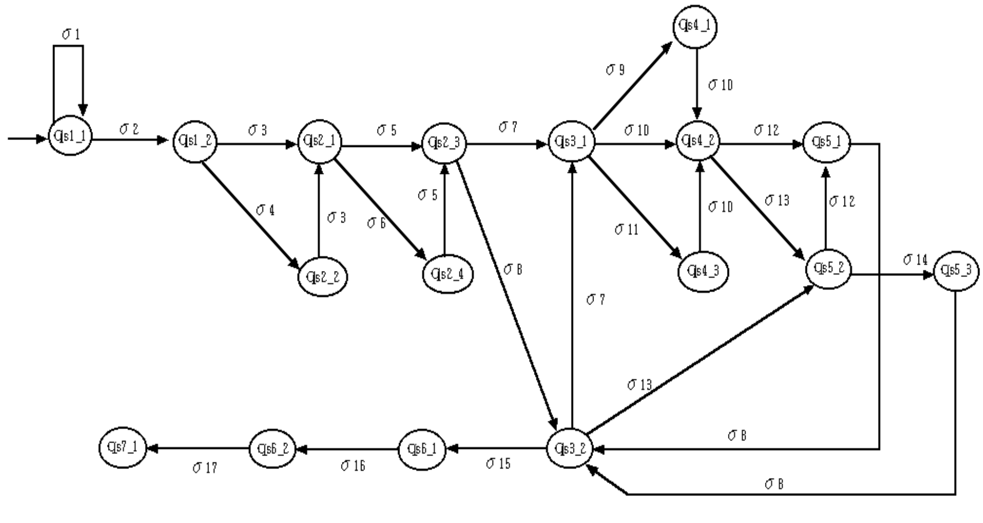

그림 2 주급수 펌프 운전의 상태 천이도

여기에서 모든 상태천이 중에 제어 가능한 사건들에 대한 수퍼바이저 제어를 통하여 항상 원하는 상태로 가도록 상태 궤환상사 Φp : $Xp \rightarrow Up$ 를 다음의 표 3과 같이 설계하였다.

	q_{s1_1}	q_{s1_2}	q_{s2_1}	q_{s2_2}	q_{s2_3}	q_{s2_4}	q_{s3_1}	q_{s3_2}	q_{s4_1}	q_{s4_2}	q_{s4_3}	q_{s5_1}	q_{s5_2}	q_{s5_3}	q_{s6_1}	q_{s6_2}	q_{s7_1}

u_1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u 3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_4	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_5	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
u_7	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
u_8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
u_9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_{10}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
u_{11}	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
u_{12}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
u_{13}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

0 = disable, 1 = enable, - = immaterial

표 3 상태 궤환 상사

이는 제어 가능한 사건 σ_1, σ_2, σ_3 및 σ_5, σ_7, σ_8, σ_{10} 그리고 σ_{12}, σ_{13}, σ_{14}, σ_{15}, σ_{16}, σ_{17} 에 대한 각의 입력신호 u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, u_7, u_8 그리고 u_9, u_{10}, u_{11}, u_{12}, u_{13}을 enable 과 disable 의 제어를 수행하여 상태가 천이되기 전에 시스템의 상태가 원하는 상태로 제어될 수 있도록 하는 상태 궤환 상사를 설계한 것이다.

3. 모의실험 및 검증

의실험 제어기는 사건집합 σ_1, σ_2, σ_3, σ_4, σ_5, σ_6, σ_7, σ_8, σ_9, σ_{10}, σ_{11}, σ_{12}, σ_{13}, σ_{14}, σ_{15}, σ_{16}, σ_{17} 을 사건집합 a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k, l, m, n, o, p, q 로 정의하여 실험하였다.

3.1 모의실험 I

시스템의 초기 시작상태 q_{s1_1}에서 임의의 사건 스트링 bcegjmn 을 모의 제어기에 입력한다. 입력된 사건 스트링에 의한 시스템의 상태천이 동작은 표 2를 참고로 하여 다음 그림 3과 같이 동작한다.

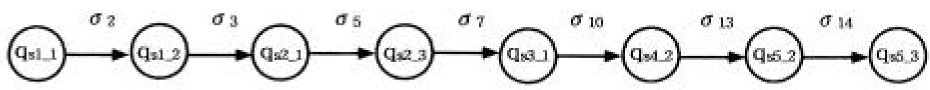

그림 3 상태천이에 의한 동작

그림 3은 표 2의 상태천이를 따르는 동작으로 상태 궤한 상사에 의한 제어입력이 고려되지 않은 동작이다. 따라서 이러한 동작은 임의의 사건으로 인하여 시스템이 불안정한 상태에 도달할 수 있으므로 설계된 수퍼바이저 제어기에 사건 스트링을 입력하여 검증한다.

그림 4 모의 제어기에 사건스트링을 입력하는 화면

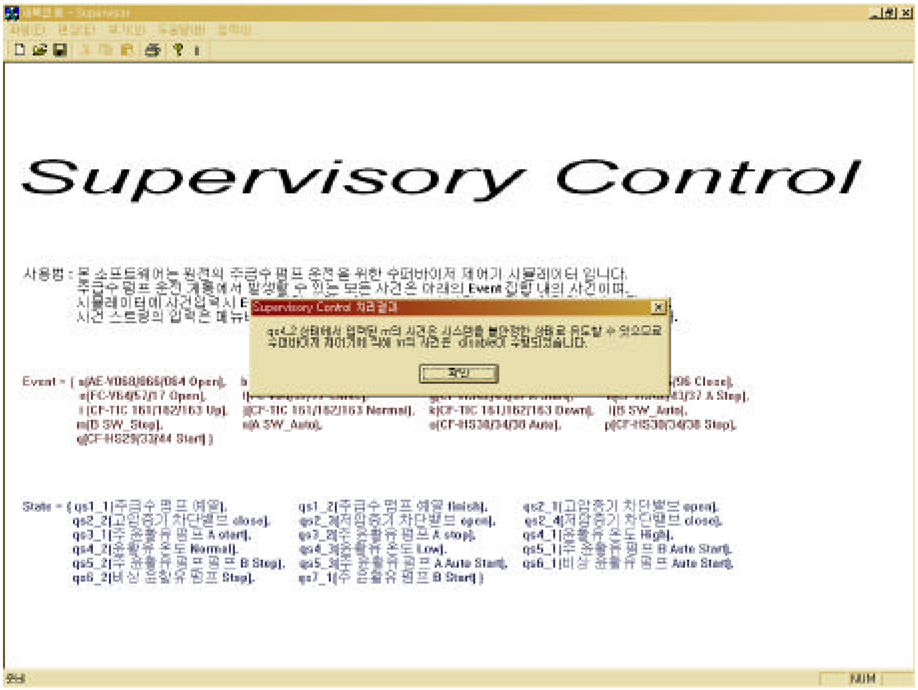

그림 5 수퍼바이저 제어기가 적용된 화면

그림 4는 모의 제어기에 사건 스트링을 입력한 그림이며, 그림 4는 수퍼바이저 제어기가 적용된 그림이다. 그림 5에서의 모의 실험 결과는 입력된 사건 스트링 중 여섯 번 째 사건인 m에 의해 그림 3과 같은 동작이 이루어 질 경우 상태 q_{s4_2} 에서의 시스템이 불안정안 상태에 도달할 수 있으므로 수퍼바이저 제어기는 이러한 임의의 사건인 m을 자동적으로 disable시켜 시스템이 불안정한 상태로 가는 것을 막는다.

3.2 모의실험 II

시스템의 초기 시작상태 qs1_1에서 임의의 사건 스트링 bcegjlhm 을 모의 제어기에 입력한다. 입력된 사건 스트링에 의한 시스템의 상태천이 동작은 표 2를 참고로 하여 다음 그림 6과 같이 동작한다.

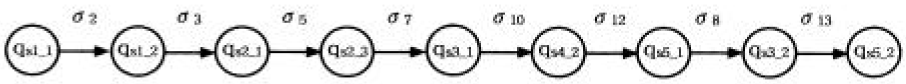

그림 6 상태천이에 의한 동작

그림 6은 표 2의 상태 천이를 따르는 동작으로 상태 궤한 상사에 의한 제어입력이 고려되지 않은 동작이다. 따라서 이러한 동작은 임의의 사건으로 인하여 시스템이 불안정한 상태에 도달할 수 있으므로 설계된 수퍼바이저 제어기에 사건 스트링을 입력하여 검증한다.

그림 7 모의 제어기에 사건스트링을 입력하는 화면

그림 8 수퍼바이저 제어기가 적용된 화면

그림 7은 모의 제어기에 사건스트링을 입력한 그림이며, 그림 8은 수퍼바이저 제어기가 적용된 그림이다. 그림 8에서의 모의 실험 결과는 입력된 모든 사건 스트링은 시스템의 동작을 정상상태로 유도하므로 수퍼바이저 제어기에 의해 입력된 모든 사건은 enable이 수행되어 시스템을 항상 안정하게 만든다.

3.4 검 증

실험 Ⅰ에서는 설계된 모의 제어기에 초기 시작 상태 q_{s1_1}에서 임의의 사건 스트링 bcegjmn을 입력하는 것으로부터 시작된다. 수퍼바이저 제어기법이 적용되지 않는 경우는 그림 3과 표 2 에서 정의한 상태천이에 의해 시스템이 동작하게 되지만 이러한 천이 동작은 시스템이 원하지 않는 상태로 동작할 수 있으므로 시스템이 항상 원하는 상태를 유지 할 수 있도록 제어입력을 가해야 한다. 기존의 원전에서는 운전원이 이러한 조치를 취하였으나 설계된 모의 수퍼바이저 제어기는 더 이상의 동작이 이루어 질 경우 시스템이 원하지 않는 상태로 천이 될 수 있는 임의의 사건을 검출하여 자동적으로 enable과 disable의 조치를 수행한다. 그림 4에서의 모의 실험 결과는 입력된 사건 스트링 중 상태 q_{s4_2}에서의 여섯 번 째 사건인 m을 disable시켜 시스템이 항상 원하는 상태를 유지하며 동작할 수 있도록 제어 입력을 가하는 것을 그림 5에서 보여 주고 있다.

실험 Ⅱ에서는 초기 시작 상태 q_{s1_1}에서 임의의 사건 스트링 bcegjlhm을 입력하였다. 역시 수퍼바이저 제어기법이 적용되지 않는 경우는 그림 6과 표 2에서 정의한 상태천이에 의해 시스템이 동작하게 되지만 이러한 천이 동작은 시스템이 원하지 않는 상태로 동작할 수 있으므로 시스

템이 항상 원하는 상태를 유지 할 수 있도록 제어입력을 가해야 한다. 그림 7에서의 모의 실험 결과는 앞서 설계된 상태 궤환 상사에 따라 입력된 모든 사건을 수퍼바이저 제어기가 enable시켜 시스템이 항상 원하는 상태를 유지하며 동작할 수 있도록 제어 입력을 가하는 것을 그림 8에서 보여 주고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 수퍼바이저 제어이론의 개념을 정립하고 이를 바탕으로 원전의 운전에 적용하였다. 적용 대상으로는 원전의 주급수 펌프 운전시 운전절차서에 따른 운전원의 조치를 선정하였다. 이는 운전원의 조치를 주급수 펌프 운전 절차서에 의하여 자동화하기 위한 알고리즘으로 이산사건 동적 시스템으로 모델링 하였다. 사건 집합은 제어 가능한 사건집합과 제어 불가능한 사건집합으로 분리하고 제어 가능한 사건에 대한 입력 신호를 제어하여 어떠한 경우에도 시스템의 상태가 우리가 원하는 상태로 제어되는 수퍼바이저 제어기를 설계하였다. 이를 통하여 항상 안정된 제어 가능성을 해석적으로 입증, 설계 투명성을 확보함으로써 원전 적용시 인허가성을 증진시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] 김명기, 홍승렬, "Supervisory Control 기법을 이용한 비상운전지원시스템 개념설계", 한국원자력학회 춘계학술발표논문집, 1996.

[2] 김대길 "오토마타와 계산이론", 생능출판사. 1996.

[3] 차달관 "이산사건 동적 시스템의 안정화 관리제어기 설계", 한양대학교, 1993.

[4] J.I.Choi,"A Conceptual Model of Power Maneuverability for Digital Supervisory Limitation System," IEEE Trans. Nucl. Scie. Vol.42, No.6, 1995.

[5] J.I.Choi, Y.J.Hah, U.C.Lee,"Automatic Reactor Power Control for A Pressurized Water Reactor," Nuclear Technology, Vol.102, pp.277-286, 1993.