PSA기법을 이용한 원자력시설의 핵심구역 파악

이윤환† · 정우식 · 황미정 · 양준언
한국원자력연구원
(2009. 4. 2. 접수 / 2009. 8. 31. 채택)

Vital Area Identification of Nuclear Facilities by using PSA

Yoon Hwan Lee† · Woo Sik Jung · Mee Jeong Hwang · Joon Eon Yang
Korea Atomic Energy Research Institute
(Received April 2, 2009 / Accepted August 31, 2009)

Abstract : The urgent VAI method development is required since "The Act of Physical Protection and Radiological Emergency that is established in 2003" requires an evaluation of physical threats in nuclear facilities and an establishment of physical protection in Korea. The VAI methodology is developed to (1) make a sabotage model by reusing existing fire/flooding/pipe break PSA models, (2) calculate MCSs and TEPSs, (3) select the most cost-effective TEPS among many TEPSs, (4) determine the compartments in a selected TEPS as vital areas, and (5) provide protection measures to the vital areas. The developed VAI methodology contains four steps, (1) collecting the internal level 1 PSA model and information, (2) developing the fire/flood/pipe rupture model based on level 1 PSA model, (3) integrating the fire/flood/pipe rupture model into the sabotage model by JSTAR, and (4) calculating MCSs and TEPS. The VAI process is performed through the VIPEX that was developed in KAERI. This methodology serves as a guide to develop a sabotage model by using existing internal and external PSA models. When this methodology is used to identify the vital areas, it provides the most cost-effective method to save the VAI and physical protection costs.
Key Words : vital area identification, sabotage, PSA, VIPEX, physical protection, TEPS, MCS, minimal cut set

1. 서 론

본 논문에서는 PSA기법을 이용하여 원자력 시설의 주요 핵심구역을 파악함으로써 외부의 침입 등으로부터 원자력 시설을 보호할 수 있는 방법론을 제시하고자 한다.

지난 2001년 9월 11에 발생한 뉴욕의 세계무역센터에 가해진 비행기 테러사건(9.11테러)으로 인해 원자력 시설의 기존 물리적 방호 체제에 대한 새로운 문제점이 제기되었으며, 미국의 원자력 규제위원회(NRC; Nuclear Regulatory Commission)에서는 신규 원전 설계 시에 보안성을 평가하도록 하고 있다[1]. 또한 IAEA (International Atomic Energy Agency)에서도 단순한 위협에 대한 방호뿐만 아니라 실제 원자력 시설에 위해가 가해졌을 경우 외부에 미치는 영향-위험도도 물리적 방호와 연계되어 고려되어야 한다는 입장이다[2].

† To whom correspondence should be addressed.
yhlee3@kaeri.re.kr

이제까지 일반적 방호 체제의 적합성 여부 등은 기존은 물리적 방호에서 다루어지고 있으나, 미국의 9.11 테러 이후 테러/사보타지에 의한 원전 외부로의 방사선 누출이 주요 현안으로 부각되면서 안전성 측면의 평가가 추가적으로 시도되기 시작하였다[3].

우리나라는 핵 물질 방호협약인 INFCIRC/274[4] 및 강화된 국제 권고안 INFCIRC/225[5]를 반영하여 2004년 2월 '원자력 시설 등의 방호 및 방사능 방재 대책법'을 제정·발효함으로써 원자력 시설에 대한 보안 관련 규제의 법적 그리고 제도적 기반을 마련하였다. 따라서 국내 실정에 기반한 핵심구역 파악 기술의 개발이 시급히 요구되었으며, 이에 한국원자력연구원에서는 원자력발전소 등의 원자력 시설의 안전성평가에 사용해 오던 확률론적 안전성평가(PSA; Probabilistic Safety Assessment) 방법론을 이용하여 원자력 시설의 핵심구역을 파악하는 연구를 진행해 왔다.

핵심구역이란 INFCIRC/225[5]에 "an area inside a protected area containing equipment, systems or devices,

or nuclear material, the sabotage of which could directly or indirectly lead to unaceptable radiological consequences"로 정의되어 있다.

PSA기법을 이용한 핵심구역 파악은 노심손상을 근본적으로 방지할 수 있는 최적의 조합인 격실들을 선정하는 작업이다. 즉, 원자력 시설의 사보타지에 의한 노심손상이나 수용 불가능할 정도의 방사능 물질의 방출을 미연에 방지하기 위하여 안전하게 보호되어야 할 기기 및 설비가 위치한 격실의 조합인 정점사건 저지집합(TEPS; Top Event Prevention Sets)을 찾아내는 것이다[6,7].

PSA는 노심손상 및 방사능 물질 누출을 유발하는 최소단절집합(MCS; Minimal Cut Sets)을 계산하여 노심손상빈도 및 대규모 방사능 물질 누출빈도를 계산한다. 반면, 핵심구역 파악에서는 PSA 결과를 이용하여 사보타지 및 테러 등으로부터 원자력 시설을 보호할 수 있는 TEPS 개념이 사용된다.

본 논문에서는 TEPS를 구하기 위해 필요한 사보타지 모델 개발 방법 및 정량화 결과인 최소단절집합으로부터 TEPS를 도출하는 방법을 소개하였다.

2. 핵심구역 파악 방법론

2.1. 핵심구역 파악 방법론 개요

PSA기법을 이용하여 원자력시설의 핵심구역 파악, 즉 TEPS를 구하기 위해서는 1) 일차적으로 내부사건 1단계 PSA 모델의 확보, 2) 내부사건 1단계 PSA 모델인 기초모델로부터 화재, 침수 및 배관파손 PSA 등의 외부사건 모델을 구축, 3) 구축된 각각의 모델을 통합하여 사보타지 모델 개발, 그리고 4) 사보타지 모델로부터 최소단절집합 및 TEPS를 구한다.

상기 4단계를 통해 개발된 사보타지 모델로부터 노심손상에 이르는 최소단절집합을 계산하며, 이로부터 TEPS를 구하게 된다. 즉, 사보타지 모델의 정량화 결과는 PSA 결과와 마찬가지로 최소단절집합의 형태로 나타난다. 이 의미는 테러리스트가 수많은 최소단절집합 중 하나의 조합, 즉 하나의 조합 내 구성된 구역을 공격하면 노심손상을 일으킬 수 있다는 의미이다. 따라서 이 결과는 공격자에게 매우 중요하고 필요한 정보가 되는 한편, 원자력 시설을 방호하는 입장에서는 절대로 누출되어서는 안 될 정보이다. 또한 시설의 방호자 입장에서는 노심손상을 방지할 수 있는 중요한 격실의 조합된 정보가 필요하므로 상기에서 설명된 노심손상에 이르는 최소단절집합으로부터 시설의 방호자 입장에서 꼭 필요한 TEPS를 구한다.

2.2. 단계별 방법론

원자력시설의 방호자 입장에서 필요한 TEPS를 구하기 위한 절차는 상기 설명한 바와 같이 네 단계로 구성된다.

2.2.1. PSA 모델 확보

원자력 시설의 핵심구역 파악을 위해서는 일차적으로 내부사건 1단계 PSA 모델이 필요하다. 따라서 간단한 내부사건 1단계 PSA 모델이 아래 식과 같이 표현된다고 가정하였다.

$$CDF_{level1} = I_1AD + I_2BCD + I_3AE \quad (1)$$

여기에서 A, B, C, D 및 E는 기본사건, 즉 기기의 임의 고장을 의미하여, I_1, I_2 및 I_3는 원자로 정지를 유발하는 초기사건, CDF_{level1}는 침수 및 화재사건 등이 고려되지 않은 노심손상빈도를 의미한다. 상기 식 (1)을 고장수목으로 표현하면 아래 Fig. 1과 같다.

2.2.2. 외부사건 모델 구축

사보타지 모델을 만들기 위해서는 각 구역이 테러 및 사보타지 등의 외부 공격으로 인해 고유의 능력을 상실하게 되는 경우를 고려해야 한다. 원자력 시설 내의 격실은 약 200개이며, 이는 콘크리트 벽으로 구성되어 있다. 외부 공격으로 인해 격실 내 화재, 침수 및 배관 파손 등이 발생하게 되면 격실 내의 기기 및 설비가 기능 상실하게 되어 원자로 안전 정지의 기능을 상실하게 된다. 따라서 사보타지 모델을 구축하기 위해서는 화재, 침수 및 배관 파손 PSA 모델을 내부사건 1단계 PSA 모델로부터 구축해야 한다.

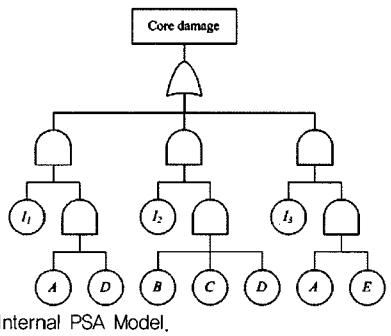

Fig. 1. Internal PSA Model.

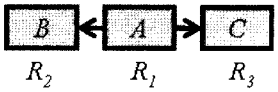

Fig. 2. A Simulated Power Plant.

1단계 PSA 모델로부터 각 외부사건 모델로의 변환을 돕고자 Fig. 2에 가상의 발전소를 나타내었다.

Fig. 2에 도시된 바와 같이 이 가상의 발전소에는 독립된 구역 R_1, R_2 및 R_3가 있으며, 각 구역에는 A, B 및 C라는 기기가 각각 위치하고 있다.

(1) 화재 PSA 모델로의 변환

상기 Fig. 2의 각 구역에서 발생 가능한 화재 사건을 다음과 같이 정의하였다.

- 구역 A에서 발생 가능한 화재사건은 F_1
- 구역 B에서 발생 가능한 화재사건은 F_2
- 구역 C에서 발생 가능한 화재사건은 F_3
- 구역 A에서 구역 B로의 화재 전파사건은 F_{12}
- 구역 A에서 구역 C로의 화재 전파사건은 F_{13}

여기에서 F_1, F_2, F_3는 단일구역의 화재를 의미하며, F_{12}, F_{13}는 인접한 화재 구역으로의 전파 화재를 의미한다.

화재에 기인된 초기사건 인자를 모델링하기 위해 다음과 같은 사항을 가정하였다.

- 화재사건 F_1, F_2 및 F_{12}는 내부 초기사건 I_2를 유발
- 화재사건 F_3 및 F_{13}는 내부 초기사건 I_3을 유발

여기에서 내부사건 고장수목을 각각의 화재사건과 연계시키면 다음과 같다.

Condition 1: $F_1 \rightarrow$ A and I_2
Condition 2: $F_2 \rightarrow$ B and I_2
Condition 3: $F_3 \rightarrow$ C and I_3 (2)
Condition 4: $F_{12} \rightarrow$ A, B and I_2
Condition 5: $F_{13} \rightarrow$ A, C and I_3

단, 여기에서 F_1, F_2, F_3, F_{12} 및 F_{13}은 발생빈도의 단위를 가진다.

내부사건 PSA 모델은 다음과 같은 JSTAR[8] 방법의 전환 규칙(Converting Rules)을 사용하여 변환된다.

- 화재에 기인된 초기사건 인자 Ii는 Ii를 유발시키는 화재사건들의 OR 논리로 대체
- 기본사건 X는 해당 기기를 이용 불능하게 만든 화재사건과 OR 논리로 결합

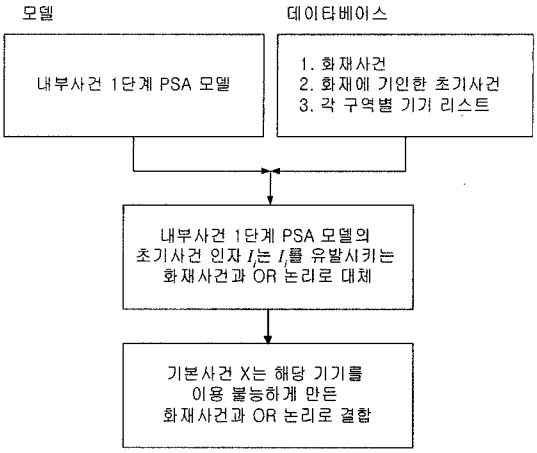

Fig. 3. Flowchart for Converting Rule.

화재에 기인된 초기사건 인자 I_2는 상기 Fig. 3의 첫 번째 규칙에 따라 화재사건 F_1, F, 및 F_{12}로 대체되며, 기본사건 A는 Fig. 3의 두 번째 규칙에 따라 $A+F_1+F_{12}+F_{13}$가 된다. Boolean Equation $A+F_1+F_{12}+F_{13}$에서 보면 알 수 있듯이, 기본사건 A는 화재 사건에 의한 영향 및 기기의 임의 고장을 반영하기 위해서 모델에 남겨 두며, 그 예가 바로 $\{F_3AE\}$이다.

식 (2)와 같은 조건 하에 상기 두 가지 규칙을 적용하여 다음과 같은 식 (3)이 유도된다.

$$\begin{aligned} A &\rightarrow A + F_1 + F_{12} + F_{13} \\ B &\rightarrow B + F_2 + F_{12} \\ C &\rightarrow C + F_3 + F_{13} \\ I_2 &\rightarrow F_1 + F_2 + F_{12} \\ I_3 &\rightarrow F_3 + F_{13} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (1)에서의 기본사건 및 화재에 기인된 초기사건 인자는 식 (3)으로 대체되며, 최종적으로 식 (4)와 같은 결과를 얻게 된다. 여기에서 I_1은 화재로 인해 발생되는 초기사건과 무관하므로, 내부사건 1단계 PSA 모델에서 화재 PSA, 모델로의 변경 시 삭제된다.

$$\begin{aligned} &I_1(A + F_1 + F_{12} + F_{13})D + (F_1 + F_2 + F_{12})(B + F_2 + F_{12}) \\ &(C + F_3 + F_{13})D + (F_3 + F_{13})(A + F_1 + F_{12} + F_{13})E \\ &= F_1BCD + F_2CD + F_{12}CD + F_3AE + F_{13}E \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 F_1F_3, F_1F_{13}, F_2F_3, F_2F_{13}, F_3F_{12} 또는 $F_{12}F_{13}$와 같은 화재사건은 정량화 시 삭제된다. 그 이유는 두 개 이상의 초기사건이 발생하여 원자로

정지를 유발시키는 사건은 PSA에서 고려하지 않는다는 기본적인 가정사항에서 출발한다. 이와 같은 사항을 가정한 이유는 두 개 이상의 초기사건이 동시에 발생하여 원자로 정지를 유발시킬 가능성이 매우 낮기 때문이다. 이와 같은 이유로 해서 대부분의 PSA 정량화 소프트웨어는 정량화 시 두 개 이상의 초기사건의 곱으로 나타난 단절집합을 삭제할 수 있는 기능을 가지고 있다. 따라서, 식 (4)에서 최소단절집합 MCSs는 정확하게 $\{F_1BCD, F_2CD, F_3AE, F_{12}CD, F_{13}E\}$이다.

(2) 침수 PSA 모델로의 변환

상기 Fig. 2의 각 구역에서 발생 가능한 침수사건을 다음과 같이 정의한다.

- 구역 A에서 발생 가능한 침수사건은 W_1
- 구역 B에서 발생 가능한 침수사건은 W_2
- 구역 C에서 발생 가능한 침수사건은 W_3
- 구역 A에서 구역 C로의 침수 전파사건은 W_{13}

여기에서 W_1, W_2, W_3는 단일구역의 침수를 의미하며, W_{13}는 인접한 구역으로의 침수 전파를 의미한다. 침수에 기인된 초기사건 인자를 모델링하기 위해 다음과 같은 사항을 가정하였다.

- 침수사건 W_1는 내부 초기사건 I_1을 유발
- 침수사건 W_2는 내부 초기사건 I_2를 유발
- 침수사건 W_3는 내부 초기사건 I_3를 유발
- 침수사건 W_{13}는 내부 초기사건 I_1을 유발

여기에서 내부사건 고장수목을 각각의 침수사건과 연계시키면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}&\text{Condition 1: } W_1 \rightarrow A \text{ and } I_1\\&\text{Condition 2: } W_2 \rightarrow B \text{ and } I_2\\&\text{Condition 3: } W_3 \rightarrow C \text{ and } I_3\\&\text{Condition 5: } W_{13} \rightarrow A, C, \text{ and } I_1\end{aligned} \tag{5}$$

단, 여기에서 W_1, W_2, W_3 및 W_{13}은 발생빈도의 단위를 가진다.

침수에 기인된 초기사건 인자 I_1은 상기 Fig. 3의 첫 번째 규칙에 따라 침수사건 W_1 및 W_{13}로 대체되며, 기본사건 A는 Fig. 3의 두 번째 규칙에 따라 $A+W_1+W_{13}$가 된다. Boolean Equation $A+W_1+W_{13}$에서 보면 알 수 있듯이, 기본사건 A는 침수 사건에 의한 영향 및 기기의 임의 고장을 반영하기 위해서 모델에 남겨 두며, 그 예가 바로 $\{W_3AE\}$이다.

식 (5)와 같은 조건 하에 상기 두 가지 규칙을 적용하면 다음과 같은 식 (6)이 유도된다.

$$\begin{aligned}&A \rightarrow A + W_1 + W_{13}\\&B \rightarrow B + W_2\\&C \rightarrow C + W_3 + W_{13}\\&I_1 \rightarrow W_1 + W_{13}\\&I_2 \rightarrow W_2\\&I_3 \rightarrow W_3\end{aligned} \tag{6}$$

식 (1)에서의 기본사건 및 침수에 기인된 초기사건 인자는 식 (6)으로 대체되며, 최종적으로 식 (7)과 같은 결과를 얻게 된다.

$$\begin{aligned}&(W_1 + W_{13})(A + W_1 + W_{13})D + W_2(B + W_2)\\&\quad (C + W_3 + W_{13})D + W_3(A + W_1 + W_{13})E\\&\quad = W_1D + W_{13}D + W_2CD + W_3AE\end{aligned} \tag{7}$$

여기에서 W_1W_3, W_1W_{13}, W_2W_3, W_2W_{13}, 또는 W_3W_{13}과 같은 침수사건은 정량화 시 삭제되며, 그 이유는 화재 PSA 모델로의 변환에서 설명된 바와 같다. 따라서 식 (7)에서 최소단절집합 MCSs는 정확하게 $\{W_1D, W_{13}D, W_2CD, W_3AE\}$이다.

2.2.3. PSA 모델 통합 및 사보타지 모델로의 변환

사보타지 모델로의 변환을 위해서 VIPEX[9]를 이용하여 내부사건, 화재, 침수 및 배관파손 모델 통합을 통합하여 Fig. 4에 나타내었다.

내부사건, 화재 및 침수 PSA 통합 모델의 정량화는 단 한 번 정량화를 통해 원하는 노심손상빈도를 구할 수 있으며, 통합모델의 노심손상빈도는 다음과 같은 식 (8)로 표현된다.

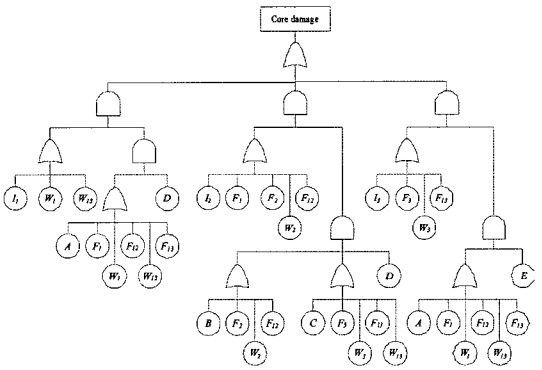

Fig. 4. Combined Model with Internal, Fire and Flooding PSA Models.

$$CDF = I_1AD + I_2BCD + I_3AE + F_1BCD + F_2CD + F_{12}CD + F_3AE + F_{13}E + W_1D + W_{13}D + W_2CD + W_3AE \quad (8)$$

Fig. 4의 통합모델에서 핵심구역을 파악하기 위해서는 핵심구역 파악용 모델로의 변환이 필요하며, 다음과 같은 세 과정이 필요하다.

- 핵심구역 파악을 위한 모델과 관련 없는 내부사건 초기사건은 FALSE(Φ) 처리
- 화재모델에서 정의된 화재사건 Fi는 해당 구역을 의미하는 구역번호 Ri로 대체
- 침수모델에서 정의된 침수사건 Wi는 해당 구역을 의미하는 구역번호 Ri로 대체

상기와 세 과정을 적용하여 Fig. 5와 같은 핵심구역 파악용 모델을 구성하였다.

2.2.4. MCSs 및 TEPS 계산

(1) MCSs 계산

상기 Fig. 5에 나타난 사보타지 통합모델을 VIPEX [9]를 이용하여 정량화하였다. 정량화 결과는 아래 식 (9)와 같이 노심손상을 일으키는 구역과 기기의 임의 고장이 조합된 최소단절집합으로 나타난다.

$$\begin{aligned} \text{CD MCSs} &= R_1(A + R_1)D + (R_1 + R_2)[(B + R_2)(C + R_3)D] \\ &\quad + R_3(A + R_1)E \\ &= R_1D + R_2CD + R_2R_3D + R_3AE + R_1R_3E \end{aligned} \quad (9)$$

여기에서 R_1D는 R_1구역이 테러 또는 사보타지 등에 의해 공격을 받아 구역 내 원자로 안전 정지를 위해 설치된 기기 또는 설비 등이 기능상실하게 되고, 또한 기기 D의 임의 고장에 의해 이용 불가능한 조합, 즉 R_1과 D가 함께 이용 불가능할 시 노심손상에 이른다는 의미이다. 따라서 이 결과는 공격자에게 매우 중요하고 필요한 정보가 되는 한편, 원자력 시설을 방호하는 입장에서는 절대로 유출되어서는 안 될 정보이다. 또한 시설의 방호자 입장에서는 노심손상을 방지할 수 있는 중요한 격실의 조합된 정보가 필요하므로 상기에서 설명된 노심손상에 이르는 최소단절집합으로부터 시설의 방호자 입장에서 꼭 필요한 TEPS를 구하였다.

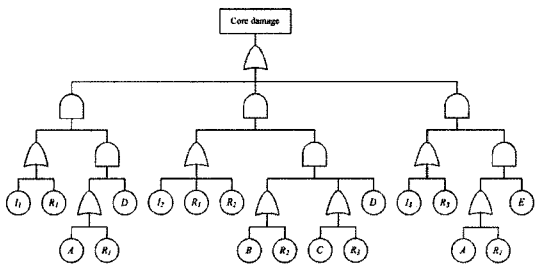

Fig. 5. Model for Vital Area Identification.

(2) TEP 도출

가상 원자력 시설의 핵심구역 파악을 위해서 노심손상 최소단절집합으로부터 TEPS를 계산하였다. 기기의 임의 고장을 고려할 경우 최소단절집합은 식 (9)에 나타낸 바와 같이 $\{R_1D\}$, $\{R_2CD\}$, $\{R_2R_3D\}$, $\{R_3AE\}$, $\{R_1R_3E\}$이다. 각 최소단절집합으로부터 TEPS를 구하는 방법은 1) 각 최소단절집합에서 AND 논리로 이루어진 조합을 OR 논리로 연결하고, 2) OR 논리로 연결된 각각의 식을 AND 논리로 연결한다. 상기와 같은 두 가지 과정을 통해서 식 (10)과 같이 정점사건 저지집합을 구하였다.

$$\begin{aligned} TEPS &= (R_1 + D)(R_2 + C + D)(R_2 + R_3 + D)(R_3 + A + E) \\ &\quad (R_1 + R_3 + E) \\ &= R_1R_2R_3 + R_1R_2A + R_1R_2E + R_1R_3C + \\ &\quad R_1AD + R_3D + DE \end{aligned} \quad (10)$$

최종적으로 파악된 핵심구역의 조합, 즉 TEPS는 $\{R_1R_2R_3\}$, $\{R_1R_2A\}$, $\{R_1R_2E\}$, $\{R_1R_3C\}$, $\{R_1AD\}$, $\{R_3D\}$ 및 $\{DE\}$이다. 그러나 $\{R_1R_2R_3\}$를 제외한 총 6개의 정점사건 저지집합은 기기의 임의 고장사건이 포함되어 있으며, 이 고장은 핵심구역 방호자 입장에서 제어할 수 있는 부분이 아니므로, 결국 기기의 임의 고장사건이 포함되지 않은 $\{R_1R_2R_3\}$가 최종 TEPS라 할 수 있다.

본 논문의 예제는 매우 간단하므로 이와 같은 분석 절차 없이도 핵심구역을 파악할 수 있다. 그러나 원자력발전소와 같이 약 200개 이상의 구역으로 이루어진 시설에서의 정점사건 저지집합은 PSA 결과와 마찬가지로 매우 많은 수의 집합이 나오게 되므로, 그 중에서 비용-효과 측면에서 가장 경제적인 정점사건 저지집합을 결정해야 한다. 결정된 정점사건 저지집합 내의 구역은 곧 해당 시설의 핵심구역이 된다.

3. 결 론

본 연구에서는 원자력 시설의 핵심구역을 파악하기 위하여 기존 PSA 결과를 사용하였다. 원자력

시설의 핵심구역 파악을 위해서는 격실 파손 기반의 사보타지 모델을 개발하여야 하며, 이를 위해 1) 직접 사보타지 모델을 만드는 방법과, 2) 내부사건 1단계 PSA, 침수 및 화재 등을 포함한 외부사건 PSA 결과를 이용하는 방법이 있다. 기존의 PSA 결과를 이용하지 않고 사보타지 모델을 직접 구성하려면 엄청난 비용이 필요하므로, 이미 완료된 PSA 모델을 변환하여 이용하면 핵심구역 파악 비용을 획기적으로 절감할 수 있고 훨씬 정확한 사보타지 모델을 만들 수 있다.

본 논문에서 제안한 사보타지 모델의 개발 방법은 세계적으로 요구되고 있는 원자력 시설에 대한 외부 침입 방지 및 저지 등의 방호 분야에 매우 효과적으로 활용 가능하며, 원자력발전소와 같이 매우 복잡하고 다수의 구역을 가진 시설의 핵심구역을 파악하는데 비용 및 정확성 측면에서 다른 방법보다 매우 우수하다고 판단된다. 또한 본 방법론은 원자력 시설뿐만 아니라 PSA 기법을 적용할 수 있는 국방관련 산업체 및 대규모 산업체에 적용할 수 있으리라 판단된다.

감사의 글 : 이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국과학재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

참고문헌

1) C. K. Park, W. S. Jung, J. E. Yang et al, "A PSA-Based Vital Area Identification Methodology Development", Reliability Engineering & System Safety, 82, pp. 133 ~ 140, 2003.
2) C. K. Park, W. S. Jung, J. E. Yang et al, "Application of PSA to the Physical Protection of Nuclear Power Plants", 8th Korea-Japan PSA Workshop, 2004.
3) 박창규, 양준언, 정우식, 강현국, "확률론적 안전성 평가 방법을 이용한 원자력시설의 대테러 필수보호구역 파악 방법", 위험통제학회 학술발표회, 2003.
4) IAEA, "Convention on the Physical Protection of Nuclear Material", INFCIRC/274, 1981.
5) IAEA, "The Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities", INFCIRC/225/ Rev.4, 1999.
6) H. M. Jung, W. S. Jung, Y. H. Lee et al., "Development of a Systematic Vital Area Identification for a Physical Protection of Nuclear Facilities", KAERI/TR-3692/2008, 2008.
7) C. K. Park, W. S. Jung, J. E. Yang, H. G. Kang, "Development of a PSA-based Vital Area Identification Methodology for the Physical Security of Nuclear Power Plants", PSAM7, Berlin, June, 12 ~ 19, 2004.
8) W. S. Jung, "Vital Area Identification Method Development using External Event PSAs", Proceeding of the ANS 2009 Annual Meeting, 2009.
9) W. S. Jung, "VIPEX Manual", KAERI/UM-13 /2006, 2006.