2002 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

PSA 기법을 이용한 원자력 설비의 필수 보호 지역 파악 방법
PSA Based Vital Area Identification of Nuclear Installations

양준언, 박창규, 최선영, 김재환, 강현국
한국원자력연구소
대전시 유성구 덕진동 150

요약

미국의 911 테러 사건은 대형 항공기의 충돌과 같은 형태의 테러가 원전에 대해서도 가능함을 시사하였다. 비록, 원전의 설계 개념에 상당한 규모의 자연 재해 및 일반적인 항공기 충돌의 위험성에 대한 고려가 포함되어 있지만, 현재 어떤 원전의 격납건물도 911과 같은 대형 항공기의 충돌에 대하여 안전하다고 확신할 수는 없다. 이에 따라 미국, 프랑스 등 원자력 관련 국가와 IAEA, OECD/NEA 등 국제 원자력 기구는 911 테러 사건과 같은 "원자력 테러(Nuclear Terrorism)"에 대한 대처 방안을 강화하고 있다. 원자력 설비에 대한 테러에 대하여 효과적인 대처가 이루어 지기 위하여서는 테러리스트의 공격으로부터 보호되어야만하는 주요 원자력 설비가 들어있는 필수 보호 지역(Vital Area)을 파악하는 작업이 필요하다. 한국원자력연구소에서는 원전의 종합적 안전성 평가에 사용되는 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment, PSA) 결과를 이용하여 원자력 설비의 필수 보호 지역을 체계적으로 파악하는 방법을 개발하였다. 본 논문에서는 한국원자력연구소 개발된 원자력 설비의 필수 보호 지역 파악 방법에 대한 전반적인 내용을 기술하였다.

Abstract

Per INFCIRC/255/Rev. 4 (Corrected), Vital area (VA) is defined as the area where the important equipment and systems are located in. After 911, USA, IAEA and OECD/NEA try to strengthen the physical protection of nuclear installations. As one of such activities, VA is to be identified systematically. KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) has developed a technique to identify VA by PSA (Probabilistic Safety Assessment) methodology. In this paper described the developed technique.

1. 서론

2001년 9월 11일에 발생한 미국에 대한 테러 사건(911 테러)은 원전에 대하여서도 항공기

충돌과 같은 테러리스트의 공격이 가능함을 시사하였다. 비록 원전이 상당한 규모의 자연재해 및 항공기 충돌의 위험성에 대한 고려도 포함하여 설계되었지만, 현재 어떤 원전의 격납건물도 911과 같은 대형 항공기의 충돌에 대하여 안전하다고 확신할 수는 없다[1]. 이에 따라 미국, 프랑스 등 원자력 관련 국가와 IAEA, OECD/NEA 등 국제 원자력 기구는 911 테러 사건과 같은 "원자력 테러(Nuclear Terrorism)"에 대한 대처를 강화하고 있다.

이미 기존에도 IAEA INFCIRC/255/Rev. 4 등에 물리적 방호(Physical Protection) 체제에 대한 요건 등이 기술되어 있으나, 기존의 입장은 주로 원자력 설비에 대한 내외부의 위협으로부터 원자력 설비를 어떻게 방호할 것인가 하는 데 초점이 맞추어져 왔었다[2]. 그러나, 911 이후 단순한 위협의 방호만이 아니라, 실제 원자력 설비에 위해가 가해졌을 경우, 외부에 미치는 영향-위험도(Risk)도 물리적 방호와 연계되어 고려되어야 한다는 입장이 IAEA 등으로부터 나타나기 시작하였다. 이에 따라, IAEA에서는 방호 및 안전(Security & Safety)을 통합하여 고려하여야 된다는 새로운 개념하에 원자력 설비에 대한 내외부의 위협 및 영향을 평가하기 시작하였다[3]. 즉, 일반적 방호 체제의 적합성 여부 등은 기존의 물리적 방호에서 다루어지고 있었으나, 미국의 911사태 이후 테러/사보타지에 의한 원전 외부로의 방사선 누출이 주요 현안으로 부각되면서 안전성 측면의 평가가 추가적으로 시도되기 시작하였다.

방호 및 안전이 통합된 개념하에서 중요한 작업의 하나가 테러리스트의 공격으로부터 보호되어야만하는 주요 원자력 설비가 들어있는 필수 보호 지역(Vital Area, VA)을 파악하는 작업이다. 필수 보호 지역이란 테러/사보타지에 의하여 파손이 됨으로써 중대사고를 유발할 가능성이 있는 주요 기기/계통이 있는 지역으로 IAEA INFCIRC/255/Rev. 4에서 정의되어 있다[2]. 필수 보호 지역을 파악함으로써 내외부의 위협으로부터 보호하여야 할 중요 지역을 알 수 있으며, 이에 따라 비용-효과적인 위협 대처 방안을 강구할 수 있다[4].

일반적으로 필수 보호 지역 파악 방법은 다음과 같은 두가지 방식으로 가능하다.

- □ Top-down 방식: 원자력 설비 연관 관계를 포함하는 논리 모델을 활용하여 체계적으로 중요 지역을 파악하는 방식
- □ Bottom-up 방식: 전문가 의견 수렴이나 현장 탐방등을 통하여 각 지역별로 중요도를 파악하여 가는 방식

현재까지는 Walk-down 등의 현장 확인을 통한 필수 보호 지역 파악 방법이 많이 사용되어 왔다. 대상 설비가 간단한 경우는 이 방법으로도 충분하겠으나, 원전과 같이 설비가 복잡한 경우는 현장 확인만을 통한 방법으로는 필수 보호 지역을 완전히 파악하는 데 어려움이 있다.

한국원자력연구소에서는 기존의 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment, PSA) 결과를 이용하여 원자력 설비의 필수 보호 지역을 파악하는 방법을 개발하였다. 본 논문에서는 우선 원전을 대상으로하여 개발된 방법론을 설명하였다. 이는 원전이 원자력 관

련 설비 중 가장 복잡한 설비이며, 테러리스트의 공격으로 파손을 입을 경우 대외적 영형이 가장 큰 것으로 판단되었기 때문이다. 그러나, 개발된 방법은 기타 원자력 설비에도 용이하게 적용할 수 있다.

2. 필수 보호 지역 파악 방법

2.1 PSA 방법 개관

PSA 방법은 원전의 설계, 운전 및 정비 등을 종합적으로 고려하여 원전의 안전성 평가 및 가장 효과적인 안전성 향상 방안을 도출하는 방법이다. PSA는 다음 식과 같이 표시되는 원전의 위험도(Risk)를 평가하기 위하여 개발된 방법이다[5].

위험도 = 사고 빈도 x 사고 영향

1979년도에 발생한 미국의 TMI-2 사고가 원전에 대한 가장 최초의 종합적인 PSA인 WASH-1400에서 이미 예건 되었음이 밝혀지면서 PSA 방법은 1980년대 이후 원전의 안전성 평가를 위하여 광범위하게 사용되어오고 있다. PSA는 기본적으로 노심 손상 빈도(Core Damage Frequency, CDF)를 평가하는 1단계 PSA, 격납 건물의 파손 확률을 평가하는 2단계 PSA 및 파손된 격납 건물 밖으로 누출되는 방사능 물질이 주변 주민 및 환경에 미치는 영향을 계산하는 3단계 PSA로 구분된다. 테러로 인한 원전의 위험도를 실제적으로 평가하기 위하여서는 1~3단계에 걸치는 전 범위의 PSA가 수행되어야 한다. 그러나, 원전의 물리적 방호와 안전성을 연계한 방법론을 기술하고 있는 본 논문에서는 1단계 PSA의 결과인 노심손상빈도를 기준으로 설명을 하였다.

본 논문에 기술된 방법론의 기초가 되는 1단계 PSA의 수행 과정이 그림 1에 나와 있다. 그림 1에 나와 있는 각 요소에 대한 설명은 다음과 같다.

(1) 초기 사건(Initiating Event): 중대 사고로 발전될 수 있는 원전의 과도상태를 유발하는 사건으로서 사건 수목 (Event Tree) 분석의 시작점이 된다. 초기 사건의 도출은 기존 사고 이력 및 기존 분석에서 고려된 사건을 조사하거나 FMEA (Failure Mode & Effect Analysis)나 Master Logic Diagram 분석 등 논리적 분석을 통하여 도출된다. PSA에서 고려하는 초기사건의 예로는 소형, 중형 및 대형 노심 냉각재 상실 사고와 급수 상실 사고, 일반 과도 사건 등이 있다.

(2) 사건 수목(Event Tree, ET): 초기 사건 발생시 이를 완화시킬 수 있는 계통, 기기, 인적행위 등 모든 요소들을, 요구되는 시간적 순서대로 모델링하여 각 사고 경위의 빈도를 정량화하는 분석 방법이다. 일반적으로 사건의 전개과정 추적에 적절한 방법으로, 각 초기 사건에 대하여 한 개의 사건 수목이 개발된다.

(3) 고장 수목(Fault Tree, FT): 특정 계통의 이용불능과 같이 사전에 정의된 정점

사건(Top Event)이 발생하는 원인을 추적하여 모델 및 정량화를 하는 연역적(Deductive) 분석 방법으로 정해진 사고 결과의 원인 추적에 적절한 방법이다. PSA에서는 주로 사건 수목에 나타나는 특정 계통이 이용 불가능해지는 원인을 규명하는 데 사용된다.

일반적으로 고장 수목은 기본 사건(Basic Event)과 논리 게이트(Gate)로 구성이 된다. 기본 사건은 더 이상 하부의 원인이 없는 최종 고장 원인으로 기기 고장, 인간 실수 등이 이에 해당된다. 논리 게이트는 이들 기본 사건의 결합 조건을 나타내는 것으로 OR과 AND 게이트 등이 있다. 예를 들어, 어떤 두 기본 사건이 동시에 발생하여야 상위의 사건이 유발되는 경우는 이들 두 기본 사건을 AND Gate로 결합함으로써 표시한다.

고장 수목의 구성 예가 그림 2에 나와 있다. 그림 2에 나와 있는 예제 계통은 두 계열로 이루어진 계통으로, 펌프 P-1A와 밸브 V-1A가 있는 계열은 가동 중인 계열이며, P-1B와 V-1B로 이루어진 계열은 대기 중인 계열이다. 이 예제 계통이 기능 수행을 실패하는 경우는 A 계열과 B 계열이 동시에(AND)에 실패하는 경우이다. 따라서, 고장 수목의 정점 사건(예제 계통의 기능 상실) 바로 밑에는 A 계열과 B 계열이 동시에 실패하여야 한다는 것을 나타내는 AND Gate로 A 계열과 B 계열의 실패를 결합하고 있다. A 계열의 기능 상실은 펌프 P-1A와 밸브 V-1A 두 기기 중 하나만 실패하여도 발생된다. 따라서, 이 경우에는 펌프 P-1A와 밸브 V-1A가 OR Gate로 연결되어 표시된다. 고장 수목은 기본 사건들의 개별적인 고장 확률 값과 결합되어 계통의 기능 상실 확률을 계산하는 데 사용된다.

(4) 사고 경위 정량화(Accident Sequence Quantification): 사고 경위 정량화는 초기 사건의 발생 빈도, 사건 수목의 노심 손상 유발 사고 경위 및 각 고장 수목의 기본 사건을 연계하여 노심 손상을 유발시킬수 있는 기본 사건의 집합(Minimal Cut Set)과 그 발생 빈도를 계산하는 과정이다. 이 과정에는 Boolean 논리 연산이 사용된다.

1단계 PSA 방법은 위에서 설명하였듯이 원자력 발전소에서 발생 가능한 초기 사건, 사고 발전 경위, 계통의 고장 확률 등을 논리적으로 결합하여 원전에서 중대사고를 유발할 수 있는 가능한 모든 경우의 수를 찾아내는 방법이라고 할 수 있다. 다음 절에서는 이와 같은 1단계 PSA 방법이 어떻게 필수 보호 지역의 파악에 사용되는 지에 대하여 설명하였다.

2.2 PSA 방법을 이용한 필수 보호 지역 파악 방법

PSA를 이용한 필수 보호 지역 파악 방법에 대한 연구는 지금까지는 매우 미진한 상태이다.

현재까지로는 미국의 SNL(Sandia National Lab.) 등에서 고장 수목 방법에 기반한 필수 보호 지역 파악 방법을 제시한 몇가지 방법론이 있다[6-9]. 그러나, 현재 SNL 등 미국의 국립연구소에서 제안한 방법은 다음과 같은 몇가지 문제점을 갖고있어 실제 상황에 적용하기에는 어려움이 있다:

(1) 기존의 방법은 사건 수목 개념을 도입하지 않아 사고의 전개 경위 개념이 명확히 나타나지 않는다.

(2) 아울러, 초기 사건과 완화 계통의 구분이 명확하지 않아 필수 보호 지역을 전체 발전소의 위험도 관점에서 평가하는 데 어려움이 있다.

(3) 각 필수 보호 지역의 중요성을 평가하는 척도가 없어 필수 보호 지역의 우선 순위를 정할 수 없다.

따라서, 한국원자력연구소에서는 위의 문제점을 해결하여, 실제 현장에 적용가능한 "PSA 기반 필수 보호 지역 파악 방법"을 개발하였다[10]. PSA 방법을 사용하여 필수 보호 지역을 파악하는 경우 각 필수 보호 지역은 다음과 같은 3가지 Type으로 구분할 수 있을 것으로 판단된다.

- □ Type 1: 특정 초기 사건을 유발하는 계통이 존재하는 지역
- □ Type 2: 사건 완화 계통이 존재하는 지역
- □ Type 3: 특정 초기 사건을 유발하는 계통 및 해당 초기 사건의 완화 계통이 같이 존재하는 지역

예를 들어, Type 1의 지역만이 파손된다면, 비록 초기 사건은 발생을 하여도, 사고 완화 계통이 건전하므로 원전의 안전성은 확보될 수 있다. 또한, Type 2의 지역이 파손되어 특정 사고 완화 계통이 이용불능 상태가 되어도 원전의 과도 상태를 유발하는 초기 사건이 발생하지 않으면 원전의 안전성이 크게 위협받지 않는다. 문제가 되는 경우는 Type 3의 지역이 파손되거나, Type 1과 Type 2의 지역이 동시에 파손되는 경우이다. 원전과 같이 복잡한 설비에서는 Type 1과 Type 2의 지역이 동시에 파손되는 경우가 매우 여러가지 필수 보호 지역의 조합을 통하여 가능하므로 PSA 결과를 활용하여서만이 전체적인 필수 보호 지역의 조합에 대한 파악이 가능하다.

연구소에서 개발한 PSA 방법에 근거한 필수 보호 지역 파악 절차가 그림 3에 나와 있다. 다음에 그림 3의 각 상자에 나와 있는 일련번호에 따라 상세한 수행 절차를 기술하였다.

1) 기본 사건과 단위 지역의 연계 (Mapping Basic Events to Unit Area)

1. 지역 구분

A. 본 방법론에서는 기본적인 단위 지역으로 "방" 개념을 사용하였다. 여기서 "방"이란 일반 배치(General Arrangement) 도면에서 각기 방화벽으로 구분

된 개별 지역을 의미한다. 즉, 테러리스트의 공격하는 대상은 각 "방"이며, 이에 따라 공격에 의하여 파손되는 지역도 공격을 받는 각 "방"으로 한정하였다. 물론, 테러리스트가 강력한 폭약을 사용한다면 여러 개의 "방"이 동시에 파손이 될 수도 있으나, 이와 같은 효과는 최종적인 필수 보호 지역의 순위 결정 과정에서 " 근접성(Adjacency) " 이라는 개념을 도입하여 고려를 하였다.

B. 각 "방"에는 기기/계통/전원 케이블 등이 위치한다. 따라서, 각 방이 공격받았을 때 기능 상실이 되는 기기/계통/전원 케이블 등이 파악되어야 한다. 이때 전원 케이블의 파손 등은 단지 해당 지역의 기기 파손만을 유발하는 것이 아니라, 비록 해당 지역에는 없더라도 그 전원 케이블을 통하여 동력원을 공급받는 기기/계통의 기능 상실도 유발한다. 따라서, 이와 같이 공격받은 지역에 있는 기기/계통/전원 케이블 등의 파손으로 기능을 상실하는 모든 관련 기기/계통도 고려가 되어야 한다.

C. 정확한 현장 정보의 입력을 위하여 위와 같은 과정을 통하여 파악된 기기/계통의 위치 및 연관성 등은 Walk Down을 통하여 반드시 확인되어야 한다.

2. 기본 사건과의 연계

A. 이 절차에서는 각 "방"이 파괴됨에 따라 이용 불능이 되는 것으로 파악된 기기 및 계통과 PSA에서 해당 기기 및 계통의 기능 상실을 유발하는 것으로 모델되어 있는 기본 사건과 방번호를 연계하여 " 연계표 " 를 작성한다.

2) Classify Type Ⅰ & Ⅱ Areas

위의 과정에서 파악된 각 "방"들을 Type 1(특정 초기 사건을 유발하는 계통이 존재하는 지역)과 Type 2 (사건 완화 계통이 존재하는 지역)으로 구분을 한다. 이와 같은 구분은 다음 절차에서 초기 사건 및 사고 완화 계통 기능 상실 유발 지역 고장 수목을 구성하는 데 사용된다.

3) For Type Ⅰ Area: Construct Initiating Event Location FT

PSA 모델에서 고려되고 있는 각 초기 사건을 유발할 수 있는 Type 1 "방"들을 기반으로 초기 사건별 지역 고장 수목(Location FT)을 작성한다.

그림 4에 기존 고장 수목을 이용하여 초기 사건 지역 고장 수목을 구성하는 방법이 표시되어 있다. 그림 4의 계통은 그림 2의 설명에서 기술된 계통과 동일한 계통이다. 여기에서는, 이 계통의 두 펌프 P-1A와 P-1B가 방 A에 들어 있으며, 두 밸브 V-1A와 V-1B가 방 B에 들어 있다고 가정한다. 이 경우 방 A나 혹은 방 B 두 방 중에 한 방이라도 테러리스트의 공격에 의하여 파손된다면 이 계통은 이용 불능 상태가 되어 특정 초기 사건 α를 유발한다고 가정한다. 이 경우, 이 특정 초기 사건 α의 지역 고장 수목은 그림 4의 맨 아래에 나와 있는 고장 수목과 같이 방 A의

파손과 방 B의 파손이 OR 논리 게이트로 연결된 고장 수목으로 구성된다. 즉, 이 지역 고장 수목은 방 A의 파손과 방 B의 파손이라는 두 가지 사건 중 한가지 경우만 발생하여도 특정 초기 사건 α가 발생한다는 것을 의미한다.

위와 같이 각 "방"과 기존 고장 수목의 기본 사건을 연계하는 데 2) 절차의 2. A에서 구한 " 연계표 "를 사용한다.

4) For Type Ⅱ Area: Construct Mitigation System Location FT

3)에서 설명한 바와 유사한 과정을 통하여 각 완화 계통의 고장을 유발할 수 있는 Type 2 "방"들을 기반으로 PSA 모델에서 고려되고 있는 사고 완화 계통 기능 상실 지역 고장 수목을 작성한다.

5) Calculate the Importance of Each Unit Area

1. 위에서 구축된 고장 수목들과 PSA 모델의 사건 수목을 이용하여 필수 보호 지역의 순위를 결정하기 위하여서는 각 "방"의 실패가 전체 노심 손상 빈도에 미치는 영향을 파악하여야 한다.
2. 이를 위하여 본과제에서는 분석의 편의성을 위하여 공격을 당한 "방" 내의 모든 계통/기기는 이용 불능 상태가 되는 것으로 가정하였다.
3. 이와 같은 가정하에 각 방이 파손되는 경우 PSA 모델을 이용하여 파손된 방과 관련된 모든 기기가 기능 상실을 하는 것으로 간주하고 이 때, 증가하는 노심 손상 빈도의 양을 구하면, 이로부터 각 "방"이 전체 노심 손상 빈도에 미치는 영향, 즉, 각 " 방 "별 중요도를 구할 수 있다.

6) Generate Vital Area Set by using Boolean Algebra (PSA ASQ Code)

비록 한 개의 필수 보호 지역이 파손되었다 하여, 이 것이 바로 원전의 노심 손상을 유발하는 것은 아니다. 즉, 원전에서는 초기 사건과 해당 초기 사건의 완화 계통이 동시에 기능을 상실할 때에만 노심 손상이 발생한다. 이와 같이 원전의 노심 손상을 유발하는 필수 보호 지역들의 조합을 필수 보호 지역 집합(Vital Area Set)이라 정의한다.

각 초기 사건과 사고 완화 계통에 대한 지역 고장 수목이 위에서 언급한 방식으로 구성되면, 이들 고장 수목과 PSA 모델의 사건 수목을 이용하여 이로부터 원전의 노심손상을 유발할 수 있는 필수 보호 지역의 집합을 구할 수 있다.

예를 들어 그림 4의 지역 고장 수목에 의해 유발되는 초기 사건 α의 사고 진행을 방지하는 사고 완화 계통이 있고 그 계통은 방 C와 방 A의 파손시 기능 상실을 한다고 가정할 때, 이 경우의 필수 보호 지역의 조합의 다음과 같은 과정을 통하여 구할 수 있다.

우선, 위의 예제 계통의 경우 초기 사건 α를 유발하는 필수 보호 지역 고장 수목은 다음과 같은 Boolean 식으로 표시될 수 있다:

초기 사건 α를 유발하는 예제 계통의 파손= (A+B),

여기서 + 기호는 OR Gate를 의미한다.

한편, 초기 사건 α를 완화하는 사고 완화 계통의 필수 보호 지역 고장 수목은 다음과 같은 Boolean 식으로 표시된다:

초기 사건 α를 완화하는 계통의 기능 실패 = (C+A),

여기서 C와 A는 이 완화 계통의 고장을 유발하는 필수 보호 지역이다.

이 때, 초기 사건 α에 의한 노심 손상(CD)은 초기 사건 α가 발생하고, 동시에 이의 완화 계통이 기능 상실을 할 때 발생하므로 다음과 같은 Boolean 식으로 표시될 수 있다:

CD = (A+B)* (C+A),

여기서 *는 AND Gate를 의미한다.

따라서, 최종적으로 이 두 계통과 관련된 필수 보호 지역으로 인하여 노심 손상이 유발될 수 있는 경우는 다음과 같이 표시된다.

CD = A*C+B*C+A*A+B*A

윗 식에 A*A = A, 1+X=X 및 A*C+B*A = A*(C+B)라는 Boolean 논리식을 적용하면, 최종적으로 CD는 다음과 같이 표현된다:

CD = A+B*C

이 경우 필수 보호 지역 집합은 다음과 같이 나타난다:

- 집합 1: 방 A
- 집합 2: 방 B, C

즉, 위에 기술된 예제의 결과에 따르면, 방 A가 파손 되면 노심 손상이 발생한다. 또는, 방 B와 방 C가 동시에 파손되면 노심 손상이 발생한다. 즉, 여기서 방 A는 Type 3의 지역이며, 방 B는 Type 1, 방 C는 Type 2의 지역임을 알 수 있다.

실제 상황에서는 위와 같이 지역 고장 수목과 사건 수목의 결합함으로 매우 복잡한 Boolean 식이 생성된다. 따라서, 이와 같은 식을 푸는 데 PSA 정량화 Code가 필요하게 된다. 본 연구에서는 한국원자력연구소에서 개발된 KIRAP 코드를 사용하였다[11].

7) Ranking Vital Area Set

위와 같은 과정을 통하여 원전의 노심 손상을 유발하는 모든 필수 보호 지역 집합을 구할 수 있다. 원전과 같이 복잡한 설비의 경우 이와 같은 집합의 수는 몇 백개에서 몇 만개에 이를 수 있다. 따라서, 실제적으로 원전의 방호에 파악된 집합으로

부터 얻을 수 있는 정보를 사용하기 위하여서는 이들 집합 중 중요한 집합을 선별하여야만 한다. 이의 선별을 위하여 본 논문에서 개발된 방법에서는 다음과 같은 4가지 기준을 상정하였다.

1. "방"의 중요도: 6)의 절차에서 구한 각 "방"의 중요도가 필수 보호 지역 집합의 순서를 정하는 데 있어 가장 기본적인 척도로 사용된다. 즉, 중요도가 높은 필수 보호 지역으로 구성된 집합일 수록 높은 중요도를 갖는다.
2. 접근성(Accessibility): 각 "방"은 위치에 따라 접근의 용이성이 달라진다. 즉, 야외에 노출된 시설은 접근이 용이할 것이며, 격납건물 내부의 시설은 접근이 어려울 것이다. 이와 같은 접근성을 고려하여 접근이 용이한 지역을 포함하는 집합이 높은 중요도를 갖는 것으로 간주한다.
3. 회복성(Recoverablity): 비록 특정 "방"이 파손이 되었더라도, 그 방의 파손에 따라 영향을 받는 기기/계통의 수리/복구가 용이하다면 그와 같은 기기/계통을 포함하는 "방"이 속한 집합은 중요도가 낮은 것으로 간주한다.
4. 근접성(Adjacency): 어떤 집합에 속하는 "방"들이 서로 근접한 경우 이런 "방"들이 동시에 파손될 확률이 높으므로 이 "방"들을 포함하는 집합은 중요도가 높은 것으로 본다.

위와 같은 과정을 통하여 얻어지는 필수 보호 지역의 집합은 향후 테러/사보타지 등에 대한 효과적 대책을 수립함에 있어 매우 중요한 정보로 사용될 수 있다.

3. 결론

미국의 911 테러 사건 이후 원자력 설비를 대상으로하는 대형 테러에 대한 우려가 증가하고 있다. 이와 같은 우려로부터 원자력 설비에 대한 기존의 물리적 방호 체제에 원자력 설비가 실제 파손이 되었을 경우 발생할 수 있는 사고 영향에 대한 고려도 방호 관점과 결합되어 고려하여야 한다는 의견이 대두되었다. 이에 따라 IAEA 등으로부터 방호와 안전(Security & Safety)을 동시에 고려하는 개념이 나오고 있으며, 이와 같은 개념과 연계하여 중요한 작업 중 하나가 반드시 보호되어야 하는 원자력 설비의 중요 기기/계통이 있는 필수 보호 지역을 파악하는 것이다.

원전과 같이 복잡한 설비의 경우는 기존의 Walk down 방법 등으로는 전체적인 중요 필수 보호 지역을 파악하는 데 어려움이 있다. 따라서, 이와 같은 경우에 대비한 체계적인 필수 보호 지역 파악 방법의 필요성이 증대되고 있다. 이에 따라 원자력 연구소에서는 PSA 결과를 사용하여 필수 보호 지역을 파악하는 방법을 개발하고 있으며, 본 논문에서 그의 전체적인 방법론에 대한 소개를 하였다.

본 방법은 아직도 개발 단계에 있으며, 현재는 원전을 대상으로한 시범 적용단계에 있다.

향후 본 방법의 개발이 완료되어 국내 원자력 관련 설비에 적용되면 효과적이고도 효율적인 물리적 방호 체계를 구축하는 데 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글: 본 연구는 과학기술부의 원자력중장기연구개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

4. 참고 문헌

[1] Aybars Gurpinar, "External Event Design Considerations for Nuclear Installations Security," Proceeding of IAEA Workshop on Security & Safety Management, Daejon, Korea, 2002

[2] Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, INFCIRC/225/Rev.4 (Corrected)

[3] Aybars Gurpinar, "Guidelines for the self-Assessment of Safety and Security of Nuclear Installations," Proceeding of IAEA Workshop on Security & Safety Management, Daejon, Korea, 2002

[4] Sok Chul Kim, "Vital Area Identification Process," Proceeding of IAEA Workshop on Security & Safety Management, Daejon, Korea, 2002

[5] PRA Procedure Guide, NUREG/CR-2300

[6] Pan, P.Y. et al., Vital equipment determination techniques research study, NUREG/CP-0058-Vol.6, 1985

[7] Stack, D.W., Vital area analysis using sets, NUREG/CR-1487, 1980

[8] Boudreau, J.M. et al., Reactor sabotage vulnerability and vital-equipment identification, Los Alamos National Lab., LA-UR-82-2831, 1982

[9] Vardano, G.B. et al., fault tree analysis for vital area identification, SAND-78-1206C, 1978

[10] 양준언, 박창규외, "PSA 기반 필수 보호 지역 파악 방법" KAERI/TR-XXX (To be published)

[11] Han, Sang-Hoon, "PC-Workstation Based Level 1 PRA Code Package-KIRAP," Reliability and System Engineering, Vol.30, pp.313-322, 1990.

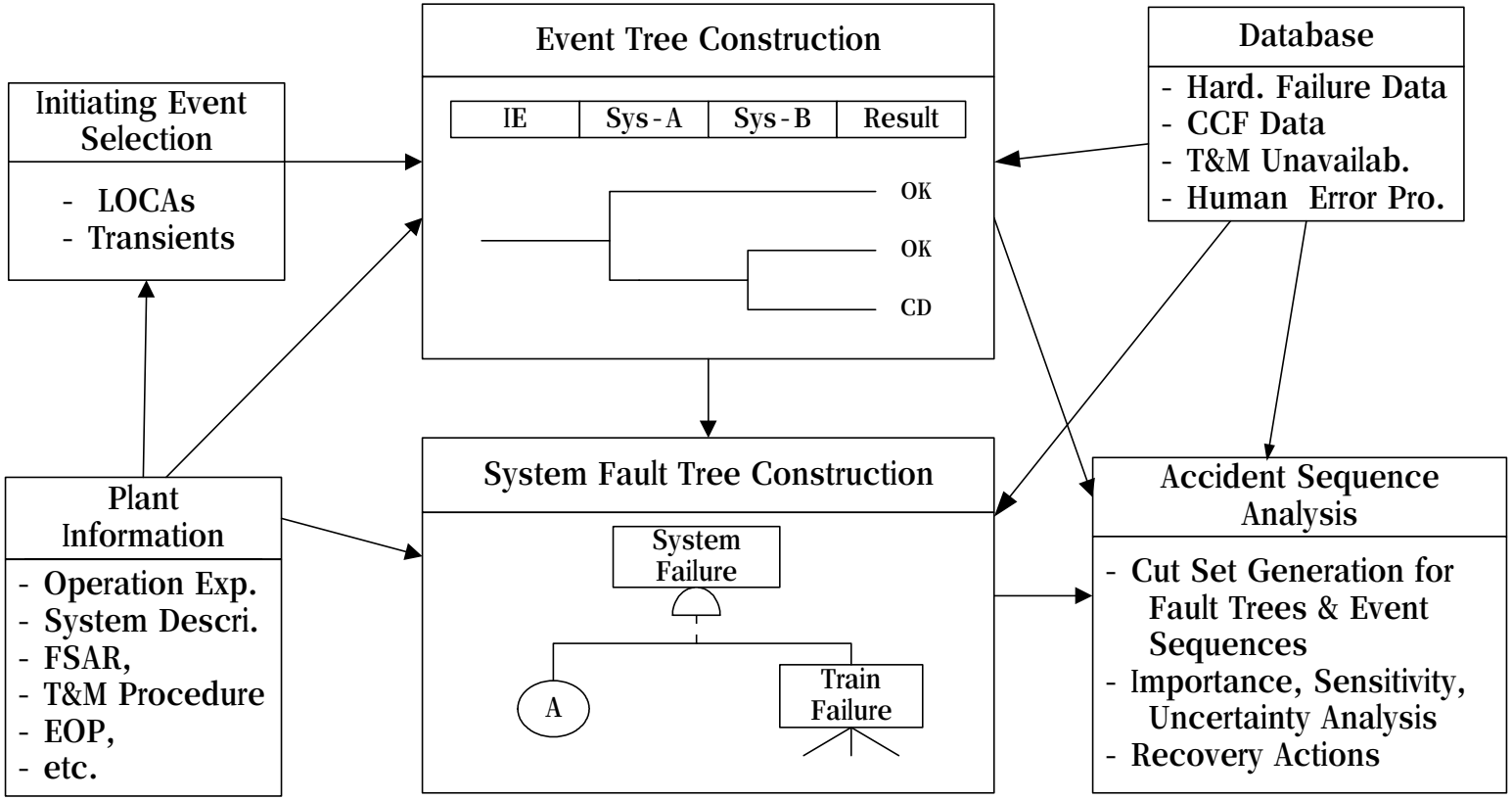

그림 1. 1단계 PSA 수행 절차

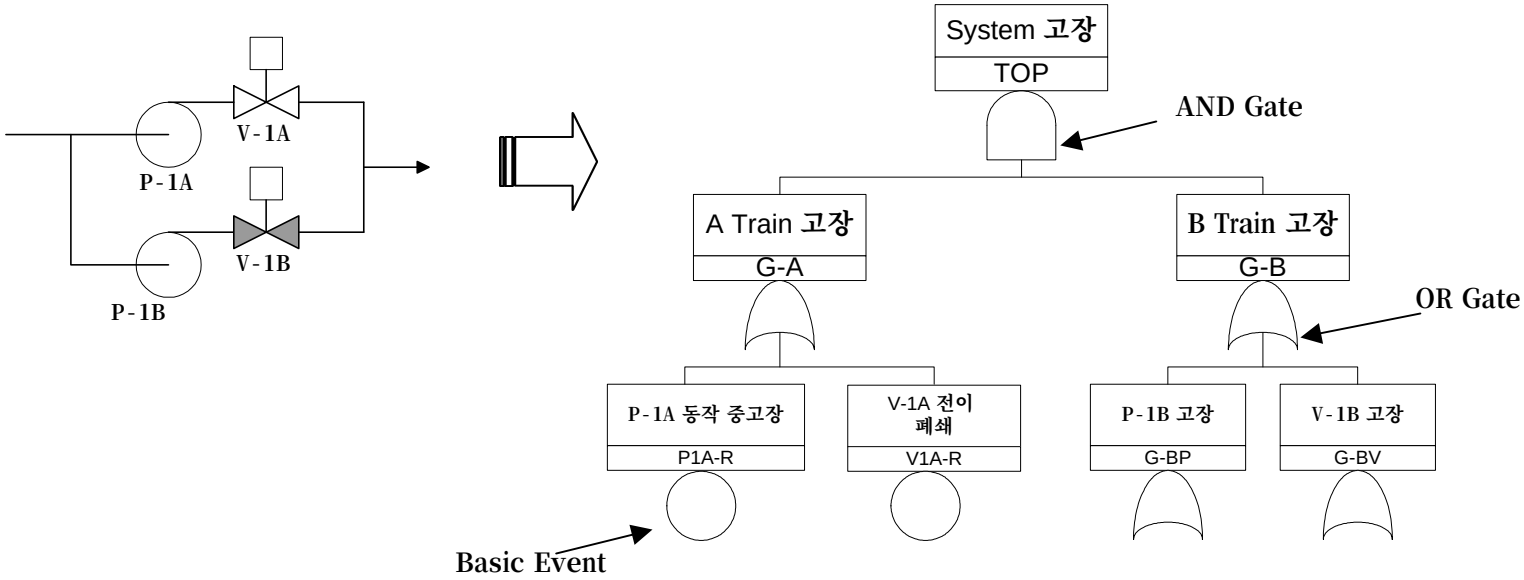

그림 2. 예제 계통 및 예제 계통에 대한 고장 수목의 구성 및 의미

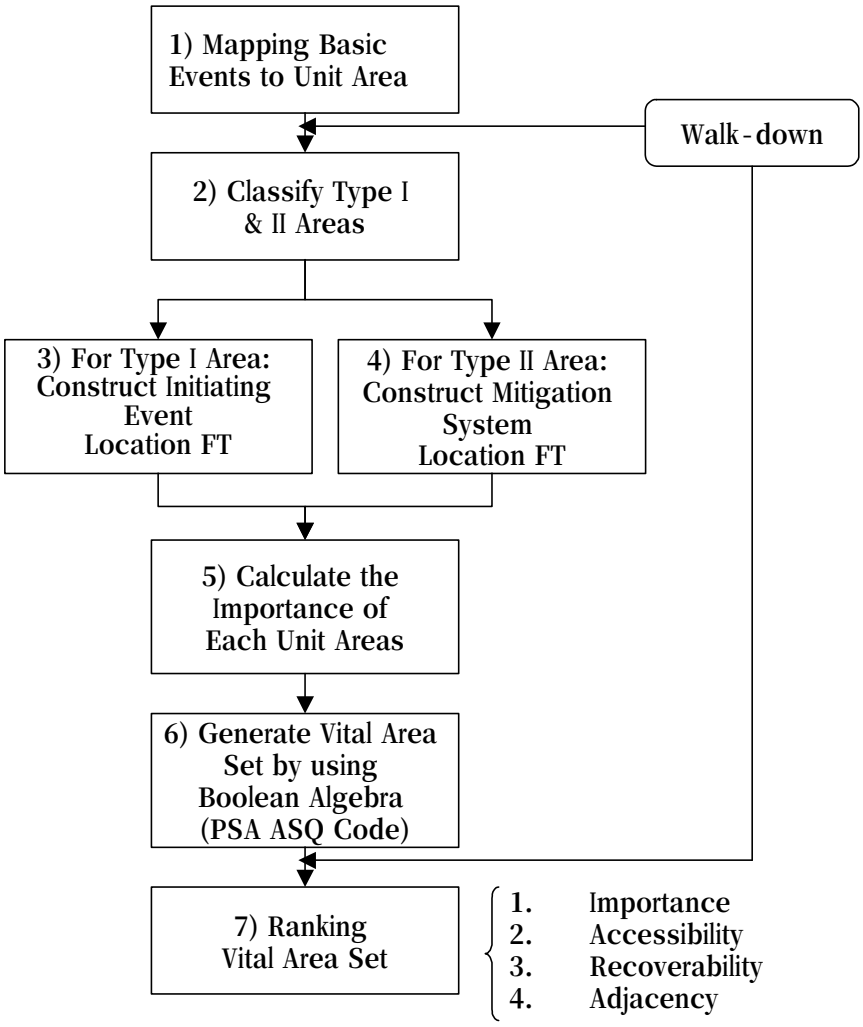

그림 3. PSA 방법을 활용한 Vital/Protection Area Set 도출 절차

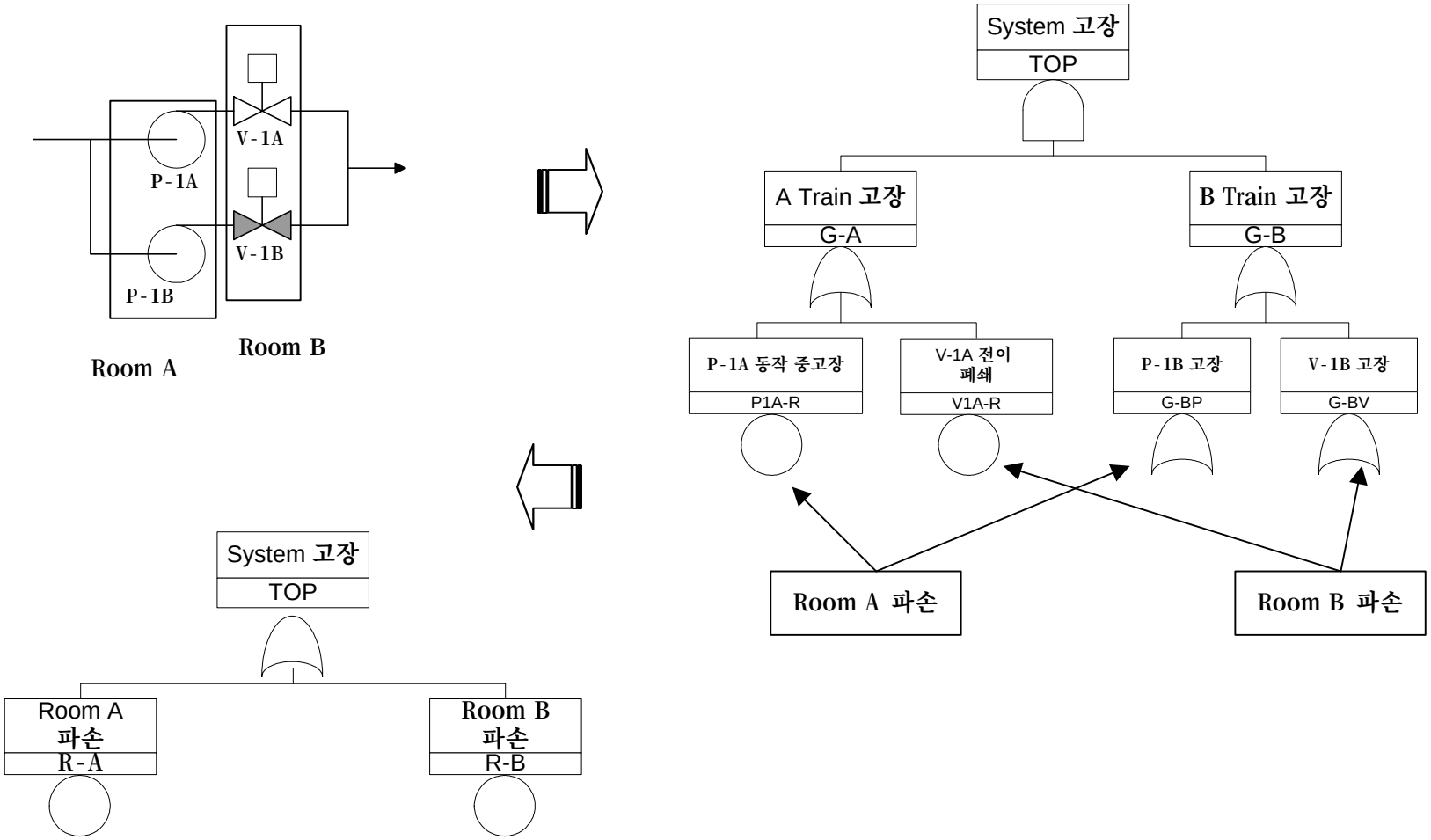

그림 4. 기존 고장 수목의 Location FT로의 변환 절차