

물리적방호 시스템의 평가방법



장 성 순, 곽 성 우, 유 호 식
한국원자력통계기술원 선임연구원
ssjang@kriac.re.kr

1. 서론

자연재해나 개인의 부주의 이외에 불순한 의도를 가진 집단에 의해서도 재난이 일어난다. 이러한 위협에 대비해 중요한 물질의 도난이나 기반시설에 대한 사보타주를 막는 것을 물리적방호라고 한다. 원자력과 관련된 좁은 의미로는 핵물질에 대한 도난과 원자력 시설에 대한 사보타주에 대한 방비와 대응조치를 일컫는다.

원자력 시설은 기반시설로서 매우 중요하고, 특성상 사보타주가 발생했을 때 무서운 방사능 재난이 발생하므로 정부에서는 “원자력 시설 등의 방사능 방재 대책법”을 제정하여 원자력 시설에 대한 물리적방호를 강화하고 있다. 이러한 물리적방호에 대한 업무는 “한국 원자력 통계기술원”에 위탁받아 수행하고 있다. 우리나라는 네 곳에서 원자력 시설을 운영하고 있으며 전력 생산의 40%를 담당한다. 만약 여기서 핵물질이 도난당했다면 이 물질은 추후 핵무기나 오염폭탄(dirty bomb)으로 제작될 수 있고, 사

보타주가 발생했다면 주요 전력이 마비됨은 물론 지역 주민과 원자력 종사자에 대한 방사능 피폭과 이로 인한 후유증이 있으며, 오염된 시설을 다시 원상태로 복구하기 위해서는 천문학적인 제염 비용이 소모된다. 국제 원자력 기구(IAEA)도 핵무기 비확산의 관점에서 물리적방호의 중요성을 인지하고 관련 업무를 계속해오고 있다.

우리나라에 대한 테러의 위협 또한 우려할만한 수준이다. 우리나라는 북한과 대치하고 있는 특별한 상황이며, 아프간과 이라크에 대한 파병으로 이슬람 테러 집단의 표적 대상에 올라 있고, 국내에서도 원자력 발전소에 대한 환경 단체들의 데모가 연일 계속되고 있는 실정이다. 한편, 미국의 2001년 9월 11일의 자살 테러 이후로 테러의 수단과 방법이 극력해지고 있다. 9.11 테러에서 원자력 발전소도 비행기 테러의 대상으로 고려되었으며, 영국정보부는 알카에다에서 오염폭탄 개발을 완료했다는 증거를 가지고 있다. 아직까지 우리나라의 원자력 시설에 대한 테러가 없으나 국제 정세의 변화로 9.11 이후 물리적방호를

강화하고 있다.

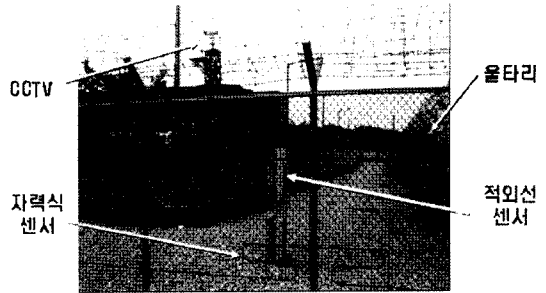
물리적방호를 위해서는 핵물질 및 원자력시설에 대한 내외적 위협을 사전에 방지하고 위협이 발생한 경우 이를 신속하게 탐지하여 적절한 대응조치를 취하며, 사고로 인한 피해를 최소화해야 한다. 이를 위해 외부 침입에 대응하는 시스템으로 각종 펜스, 잠금장치, 탐지 센서, 경비원 및 비상시 출동할 수 있는 군부대를 갖추는데 이를 통째로 포함해서 물리적방호 시스템이라고 한다.

이러한 물리적방호 시스템을 잘 고안하거나 제대로 운용하기 위해서는 물리적방호 시스템이 얼마나 잘 작동하는지 그 유효성을 평가할 필요가 있다. 이 평가 작업의 이유는 첫째 예기치 못했던 방호 상의 취약점을 발견해서 보강하고, 둘째 불필요한 방호 설비를 찾아내서 물리적방호 시스템을 효율화하는 것이다. 이러한 평가 작업은 새로 물리적방호 시스템을 디자인하거나 보수, 증축할 때 수행되어야 하며, 기존 방호 시스템들도 설비들의 고장, 노후화에 따라 정기적으로 수행할 필요가 있다.

본고에서는 물리적방호 시스템이 어떻게 구성되어 있는지 설명하고, 이에 대한 평가의 방법과 개념에 대해 설명하도록 하겠다. 또한 평가에 사용되는 물리적방호 평가 코드들에 대해 소개하도록 하겠다.

2. 물리적방호 시스템의 평가

도난이나 사보타지 시도를 막기 위해서 물리적방호 시스템은 잠금장치와 방벽으로 적의 침입을 지연시켜서 중요한 재산이나 위험물질을 보호한다. 그러나 침입자를 영원히 지연시킬 수는 없으므로, 침입자의 침입 시도를 탐지해서 알아낸 뒤 대응군을 출동시켜 이를 무력화시켜야 한다. 따라서 물리적방호는 크게 탐지, 지연, 대응으로 이루어지며, 구체적으로 센서와 방벽, 경비원, 비상시 출동하는 군부대 등으로 이루어져 있다. 그림 1은 이러한 물리적방호 시스템을 보여준다.



<그림 1> 물리적 방호 시스템

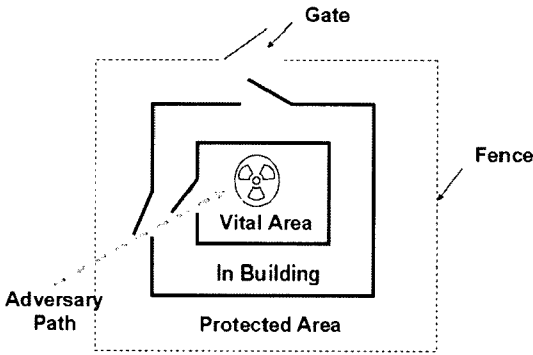
물리적방호 시스템에 대한 평가 방법은 특성 기반 분석(feature-based analysis)과 성능기반분석(performance-based analysis)으로 나뉜다. 특성 기반 분석은 필요한 방호 설비 목록을 갖고 해당 시설이 규격에 맞는 설비를 설치하였는지 여부로 물리적방호 시스템을 평가한다. 예를 들면, 그림 2에서 CCTV, 탐지 센서, 이중 울타리가 목록이 되며, CCTV의 성능과 그 구역의 조도, 울타리 높이, 이중 울타리 사이의 간격이 규격이 된다. 이렇게 물리적방호 시스템이 정해진 특성들을 갖추는지 판단하는 방법은 쉽고 간편하며, 널리 쓰이는 방법이다.

이에 반해 성능 기반 분석은 물리적방호 시스템이 침입자를 막을 수 있는지 여부를 여러 조건들을 고려해서 종합적으로 판단한다. 고려되는 조건들은 침입자를 지연시키는 시간, 탐지 확률, 그리고 대응군이 탐지 신호를 받고 출동하는 시간 등이다. 성능 기반 분석은 이를 바탕으로 탐지한 후 침입자를 지연시키는 사이에 대응군이 출동해서 침입을 저지할 수 있는지 여부를 판단한다. 따라서 성능 기반 분석은 더 정확하며, 유연성을 가진다. 예를 들어 군부대가 가깝게 위치해 있다면 펜스에 대한 규제가 완화될 수 있으며, 외부 방벽이 약하다면 경비를 늘려서 이를 보충할 수 있을 것이다.

3. 평가 코드

성능기반 분석은 많은 계산을 수행하기 때문에 이를 위해 컴퓨터 프로그램들이 개발되었다. 미국의 샌디아 국립

연구소(Sandia National Laboratory)에서 1970~80년대에 EASI와 SAVI 그리고 ASSESS가 개발되었다. EASI(Estimate of Adversary Sequence Interruption)는 정해진 한 개의 경로에 대해 분석하는 컴퓨터 도구이며, SAVI(Systematic Analysis of Vulnerability to Intrusion)는 EASI를 확장해서 목표물까지 다수의 경로에 대해 분석해준다. ASSESS(Analytic System and Software for Evaluating Safeguards and Security)는 가장 나중에 개발된 코드이며 SAVI에 추가해서 침입자와 대응군과의 전투와 내부자의 테러 요소까지 고려하였다. 한국에서도 물리적 방호 평가 코드 개발이 이루어져왔다. 한국원자력연구원에서는 SAVI를 국산화해서 KAVI(Korean Analysis of Vulnerability to Intrusion)를 개발하였으며, 물리적방호 업무를 담당하고 있는 한국원자력 통제기술원에서는 새로운 기법을 사용하는 SAPE(Systematic Analysis of physical Protection Effectiveness)를 개발하였다.



〈그림 2〉 물리적방호 시스템과 EASI의 분석

물리적방호 평가 방법에 대해서 알아보자. 그림 2와 같은 물리적방호 시스템이 있어서 침입자가 열린 화살표 방향으로 침투한다고 하자. 펜스에는 감지 센서가 달려있고, 각 문에도 센서가 붙어 있다. 침입자는 우선 펜스를 자르고 들어와서 문 두개를 열고 핵심 구역(Vital Area)에 있는 중요 설비를 폭파시켜서 사보타주를 일으키고자 한다.

단일 경로 평가 도구인 EASI로 그림 2의 물리적 방호 시스템에 대해 평가해보자. 물리적방호 시스템이 침입자를 막을 수 있는지는 적을 탐지한 후 지연시키는 사이에 탐지 신호를 받고 출동한 대응군이 도착하느냐의 여부로 결정된다. 일단 적이 사보타주하기 전에 도착해서 맞닥뜨리게 되면 침입자보다 대응군의 규모가 강력하므로 반드시 제압된다고 가정한다.

Estimate of Adversary Sequence Interruption

				Response Force Time (in Seconds) 300
Task	Description	P(Detection)	Location	Delays (in Seconds)
1	Cut Fence	0.5	B	10
2	Run to Building	0	B	12
3	Open Door	0.9	B	90
4	Run to Vital Area	0	B	10
5	Open Door	0.7	B	90
6	Sabotege Target	0	B	120
7				
8				
9				
10				
11				
12				

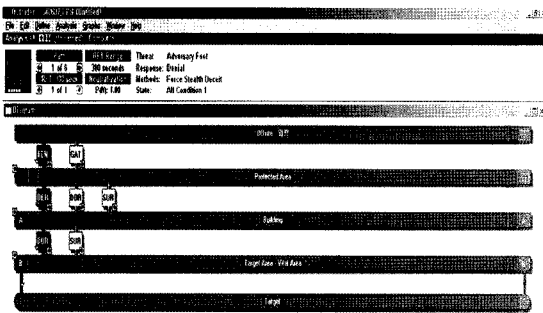
Probability of Interru 0.55893216

〈그림 3〉 EASI (Estimate of Adversary Sequence Interruption)

그림 3은 그림 2의 상황에 대한 EASI의 분석화면이다. 침입자는 펜스를 자르고 두 개의 문을 열고 들어와서 사보타주를 하게 되는데 침입자의 행동을 탐지할 확률과 행동시 소모되는 평균 시간이 나와 있다. 그림의 오른쪽 상단의 박스에는 탐지 신호를 받고 대응군이 출동해서 도착하는데 걸리는 시간이 나와 있으며, 제일 아래에는 물리적방호 시스템이 침입자를 저지할 확률(Probability of Interruption)이 나와 있다. 위치(location)는 탐지 센서의 위치로 "B"(before)는 센서가 앞에 붙어 있어서 행동을 시작하면 바로 탐지된다는 의미이다. 위 화면을 따져보면, 침입자가 작업하는데 걸리는 시간은 총 332초로 대응군 시간 300초에 비교해서 느리므로 대응군은 침입자가 일을 마치기 전에 도착해서 저지할 수 있다. 그러나 침입을 시작할 때(펜스를 자를 때) 적시에 제대로 탐지될 확률은 0.5에 불과하므로 저지확률은 0.5정도가 될 것이다. 또한, 늦게 탐지되어도 상황에 따라 지연이 더 되거나 대응

군이 일찍 도착해서 저지할 가능성을 고려하면 저지 확률은 0.5보다 약간 높은 값을 갖는데, 이는 EASI의 저지 확률에서 확인할 수 있다. 이 경우에 제일 바깥쪽 센서의 성능을 0.9정도로 높이면 물리적방호 시스템을 효율적으로 강화할 수 있다.

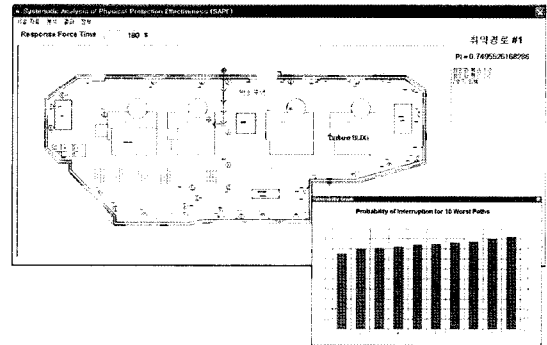
원자력 시설의 경우 목표물까지 수많은 경로가 있을 수 있는데, 많은 경로에 대해 분석해주는 프로그램이 SAVI이다. 그림 4는 SAVI의 화면으로 그림 2의 물리적 방호 시스템을 분석하였다. 가로 막대는 시설의 구역을 나타내며 각 구역은 사각형인 경로 요소들로 연결된다. 여기서, 경로 요소란 펜스(FEN)나 문(GAT, DOR), 벽(SUR)을 나타내며 각각에는 앞서 설명했듯이 탐지 센서, 정보 장치, 잠금장치 등의 방호 설비를 갖추고 있다. 이러한 도식을 Adversary sequence diagram (ASD)이라고 부르며 제일 위쪽의 외곽(offsite)에서 제일 아래의 목표물까지 갈 수 있는 모든 경로를 나타내고 있다. 빨간 색으로 칠해진 부분은 분석 결과 가장 취약한 경로이며 펜스를 자르고 들어와서 두 개의 문을 열고 목표물로 침입하는 경로이다. SAVI는 제일 취약한 10개의 경로를 찾아내 준다.



(그림 4) SAVI (Systematic Analysis of Vulnerability to Intrusion)

한국 원자력 통제 기술원에서는 SAVI의 단순한 시설 모델을 발전시켜서 SAPE를 개발하였다. 다중 경로에 대해 분석해주는 SAVI는 시설 모델을 단순화시켜서 ASD로 표현하기 때문에, 침입 경로를 이해하기 위해서는 시설의 구조에 대해서 알아야 하며, 경로를 기술하는데 정확성이

떨어진다. 예를 들어 ASD에서는 침입경로가 펜스(FEN)를 지나서 오는 경우, 전체 펜스 중에서 어느 부분을 통과하는지 알려줄 수 없다.



(그림 5) SAPE (Systematic Analysis of physical Protection Effectiveness)

이런 문제를 해결하기 위해서 그림 5에 나타난 것처럼 건물의 평면도를 기반으로 물리적방호 시스템을 모델링한 것이 SAPE이다. SAPE는 타일맵을 기반으로 하는데 여기서 타일이란 똑같은 크기의 정사각형이며, 이 타일로 나뉜 2차원 평면도를 타일맵이라고 부르겠다. 타일맵은 ASD보다 이해하기 쉽고, 거리가 정확하며, 각 빌딩의 배치 정보를 고려한다. SAPE는 가장 취약한 10개의 경로를 찾고, 그 경로를 직접 2D 맵에 보여준다. 그림 5에서 부채꼴 모양의 하늘색 지역은 CCTV에 의해 감시되는 영역이다.

4. 결론

물리적방호 시스템은 테러 시도에 대해 방지하는 시스템으로 이를 제대로 운영하기 위해서는 정기적인 평가가 필수이다. 널리 쓰이는 방법은 특성 기반 분석(feature based analysis)으로 물리적방호 시스템에 필요한 설비와 그 규격에 대한 목록을 만들어놓고 각 항목별로 기준을 충족시키는지 검사하는 것이다. 성능 기반 분석(performance based analysis)은 더 정확하며 유연성은 평가방법으로, 적의 침입에 대한 모델을 기반으로 시스템이 적의 침입을 얼마나 효율적으로 저지하는지를 판단

한다. 성능 기반 분석을 위해서는 많은 계산이 필요하며 따라서 EASI, SAVI, SAPE 등과 같은 프로그램들이 개발되었다.

본고에서는 물리적방호 시스템을 평가하는 방법을 설명하고, 평가 프로그램들을 소개하였다. 이러한 물리적방호 시스템의 평가를 통해서 물리적방호를 강화하고 불순한 의도를 가진 집단에 의해서 일어나는 재난을 방지할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 원자력 중장기 과제 '물리적방호 신기술개발' 연구 성과의 일부이며 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- Mary Lynn Garcia, The Design and Evaluation of Physical Protection Systems, Butterworth-Heinemann (2001).
- Mary Lynn Garcia, Vulnerability Assessment of Physical Protection Systems, Butterworth-Heinemann, (2005).
- IAEA, Physical Protection of Nuclear Facilities and Materials, The materials of the nineteenth international training course on physical protection, May (2006).