

원자력 설비의 사보타지 방호를 위한 체계 개발 연구

김길유, 정우식, 최영, 김성호
한국원자력연구원

A Study on Developing a Framework for a Sabotage Protection of Nuclear Facilities

Kim Kilyoo, Jung Woosik, Choi Young, Kim Sungho
Korea Atomic Research Research Institute

1. 서론

원자력 설비의 사보타지에 대비한 물리적 방호에 관한 한 방법론이 IAEA에 의해 준비되고 있다¹. 그러나, IAEA 지침서는 본래 입증된 기술을 채택하기 때문에 그 방법론은 원론적이고 정량적인 리스크 개념을 도입하지 않고 있다. 따라서, IAEA 방법론으로는 원자력 설비의 사보타지 방호에 대해 정량적으로 평가하기는 어려운 상황이다. 본 논문에서는 원자력발전소에 가해질 사보타지를 방호하는 체계를 리스크 평가 기법을 사용하여, 각 원자력 설비에 대한 사보타지 방호 상태를 정량적으로 평가하는 체계를 기술하였다.

2. 방법론과 결과

2-1 사보타지 방호체계

본 논문에서 제안하는 사보타지 방호 체계가 그림 1에 나와 있다. 비록 제안하는 체계가 IAEA 것과 유사하나, 그림 1에서 Box 5, Box 15와 Box 16 부분이 다르다. 이 다른 부분은 2-2절에서 다룬다. 그림 1의 중요한 항목에 대한 간단한 설명은 다음과 같다;

- Box 2. 허용할 수 없는 방사선 결말

허용할 수 없는 방사선 결말은 일반적으로 방사선 피폭량이나 누설 제한치로, 또는 원자력발전소의 경우, 노심손상빈도 같은 발전소 상태와 관계된 설계 제한치로 정의된다.

- Box 4. 설계기준 위협(DBT)

각 회원국은 각국 고유의 사보타지 관련 설계기준 위협을 정한다.

- Box 7. 보수적인 결말 분석

각 시설물의 사고 시나리오를 최악의 경우를 가정하여 회원국에서 정한 허용할 수 없는 방사선 결말을 초래할 수 있다고 가정하므로, 사보타지로 초래될 방사선 피해의 정도는 그 시설물에 있는 방사선 물질의 양으로 결정된다. 따라서, 방사선 결말 분석은 사보타지 방호를 고려하지 않고 수행한다. 모든 상용 원자력발전소는 A 등급이고, 매우 작은 연구용 원자로는 등급 C이다¹. 그리고, 사보타지 방호는 등급에 따라 차등적으로 준비한다.

- Box 11. 핵심구역 파악

노심손상이나 방사선 누출을 초래할 수 있는 목표물을 공격하는 모든 사보타지 행위를 최소한의 목표물이나 지역을 방호하는 것만으로 방어하는 것이 필요하다. 이러한 방호해야 할

최소한의 목표물이나 지역을 구조적 방법으로 찾아내는 것을 핵심구역파악(Vital Area Identification:VAI)이라고 한다¹. 설계나 위험도정보 활용(Risk informed Regulation: RIR)에 사용되는 확률론적 안전성 평가(Probabilistic Safety Assessment: PSA) 모델이 핵심구역파악에 사용될 수 있다².

2-2 제안하는 사보타지 방호 체계 개념

본 논문에서 제안하는 사보타지 방호 체계는 그림 1과 같다. 그림 1에서, Box 5, Box 15 그리고 Box 16 과정이 IAEA에서 구상하는 체계¹와 차이가 있다.

• Box 5. 규제 요건

현재의 IAEA 체계¹는 리스크 평가를 고려하지 않고 있다. 왜냐하면, 사보타지로 인한 리스크 평가 방법론이 아직 초보단계이고 IAEA는 보수적으로 입증된 기술만을 채용하기 때문이다. 그러나, 장래의 체계에서는 리스크 평가가 반영되어야 물리적 방호 등을 정량적으로 제대로 평가할 수 있기 때문에, 새로 제안하는 사보타지 방호 체계에서는 다음과 같이 리스크 평가를 위한 규제 요건을 설정한다. 즉, 설계기준 위협(DBT)이 주어지면 이에 따른 증가된 노심손상빈도(Core Damage Frequency: CDF)를 그림 2와 같은 규제 요건 기준치에 따라 평가한다. 그림 2의 규제 요건은 위험도 정보 활용 규제(RIR)의 규제 요건³에서 빌려온 것이지만, 사보타지 방호의 규제 요건으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

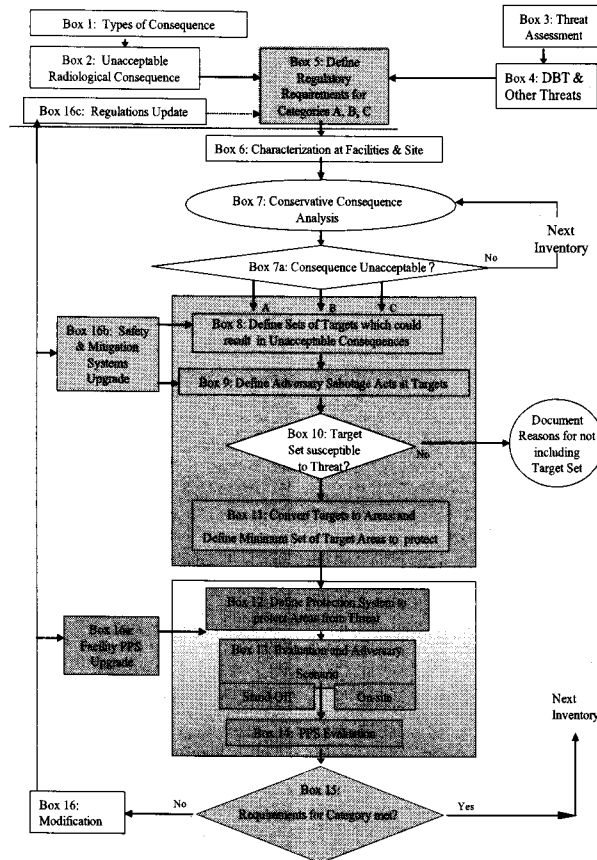


그림 1. 제안하는 사보타지 방호 체계

• Box 15. 규제요건 평가

이 과정에서, 리스크 평가가 다음과 같이 수행된다. 먼저, 다음을 정의하면,

- F_{DBT} : 설계기준 위협(DBT) (빈도 단위)
- P_{PPS_fail} : 원전설비를 공격하는 사보타지하는 자들이 건물에 들어갈 확률
- P_{access}^i : 건물에 들어온 사보타지하는 자들이 격실 i 에 접근하는 확률

사보타지 공격에 의한 격실 i 의 파괴빈도 F_{fail}^i 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_{fail}^i = F_{DBT} * P_{PPS_fail} * P_{access}^i$$

각 격실의 파괴빈도 F_{fail}^i 가 구해지면, 사보타지에 의한 노심손상빈도는 계산될 수 있다. 왜냐하면, 이 경우의 계산 방법은 화재 PSA의 경우와 매우 유사하기 때문이다.

이상의 개념을 그림으로 그리면 그림 3과 같다. P_{access}^i 는 방화문이나 방수문의 개폐 여부 및 관리방법에 따라 다를 것이다.

DBT가 주어졌을 때의 증가된 CDF(= ΔCDF) 및 증가된 LERF(Large Early Release Frequency)는 Box 5의 규제요건에서 주어진 기준치를 기준으로 평가한다. 즉, 그림 2에서, ΔCDF 및 $\Delta LERF$ 가 각각 10^{-6} 및 10^{-7} 이하이면 그 원자력 설비의 사보타지 방호는 적절하다고 평가할 수 있다.

• Box 16. 수정 및 보완

Box 15과정에서 부족함이 발견되면, 발전 사업자는 수정 및 보완 작업을 수행해야 하고 규제자가 검증하여야 한다. 이런 수정 및 보완 작업은 물리적 방호나 사고완화시스템의 개선이나 각 국가 차원의 DBT의 수정을 뜻한다.

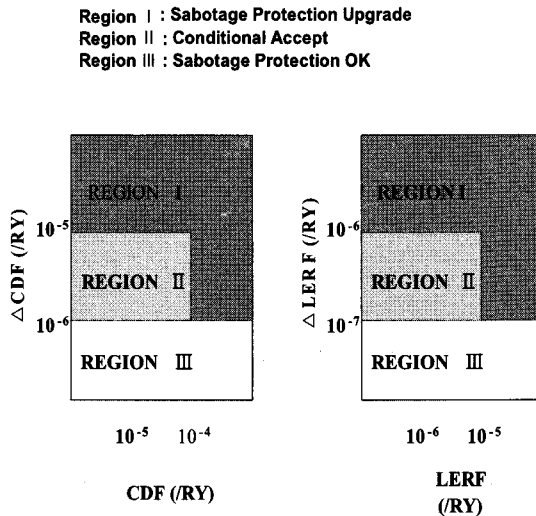


그림 2. 사보타지 방호에 대한 규제요건의 한 예

3. 결론

한 새로운 사보타지 방호에 관한 체계를 제안하였다. 새 체계에서는 사보타지 방호의 효용성이 정량적으로 평가되고 규제 요건의 기준에 맞게 개선하도록 되어있다. 아직은 원전설비를 공격하는 자들이 건물에 들어갈 확률(P_{PPS_fail})과 건물에 들어온 자들이 격실 i 에 접근하는 확률 (P_{access}^i)을 계산하기에는 더 많은 연구가 더 필요하다.

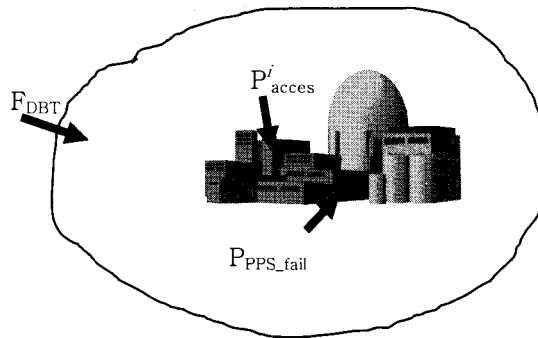


그림 3. F_{DBT} , P_{PPS_fail} 와 P_{access}^i 의 예제

알리는 글

이 연구는 대한민국 과학기술부의 “원자력 중장기 연구개발 사업”에 의해 수행되었습니다.

4. 참고문헌

1. IAEA, “Physical Protection of Nuclear Facilities and Nuclear Material against Sabotage”, Nuclear Security Series, Vienna (in preparation)
2. Chang Kue Park, et. al., “A PSA based vital area identification methodology development “, Reliability Engineering & System Safety 82 (2003)
3. NRC, Reg. 1,174, “An Approach for Using PSA in Risk informed Decisions On Plant Specific Changes to the Licensing Basis”, July 1998