

## INPRO 및 GEN-IV 핵확산저항성 평가방법론 비교 분석

이정원, 이용덕, 장홍래, 고원일  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045  
 iwlee3@kaeri.re.kr

### 1. 서론

최근 안전한 에너지 공급을 위한 지속 가능한 에너지원으로서 그리고 지구의 온실 효과와 관련한 이산화탄소 배출 저감을 위한 현실적 해법으로서 원자력의 위상이 재평가 되고 있어 원자력에 대한 에너지 의존도가 점점 더 증가될 것으로 예상된다. 현재 원자력 선진국들은 다음 세대를 위한 차세대 원자력 발전 시스템 개발연구를 수행하고 있으며 미국을 중심으로 하는 GEN-4 (Generation IV)와 IAEA를 중심으로 하는 INPRO (International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles)가 있다. 차세대 원자력 시스템은 개발 초기부터 지속 가능성, 안전성, 신뢰성, 경제성과 더불어 핵확산저항성(Proliferation Resistance; PR)을 만족시킬 수 있는 원자력 시스템 개발 목표를 설정하고 시스템 초기 설계 단계부터 핵확산저항성을 만족시키기 위한 방법을 개발하고 설계에 도입하고자 한다. 이에 따라 원자력 시스템에 대한 핵확산저항성을 정량적으로 평가할 수 있는 방법론 개발이 필요하게 되었고 이를 위한 국제공동연구가 진행되고 있다[1,2]. 그러나 원자력 시스템별로 다양한 공정과 특성을 가지고 있고 핵확산저항성을 정량적으로 평가하는 어려움으로 인하여 국제적으로도 핵확산저항성 평가에 대한 확립된 방법론이 없으며 다양한 방법들을 이용하여 최적의 방법론을 도출하려는 과정 중에 있다. 국내에서도 GEN-4와 INPRO의 핵확산저항성 평가 방법론 개발에 적극적으로 참여하고 있으며 국제적인 핵확산저항성평가 방법론 개발에 기여를 하고 있다. 본 논문에서는 이들 GEN-4와 INPRO의 핵확산저항성 평가 방법론 개발과 그 차이점을 비교 분석하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 INPRO 핵확산저항성 평가방법론

INPRO 핵확산저항성 평가방법론 개발은 IAEA

보고서 TECDOC-1362와 TECDOC-1434를 거쳐 TECDOC-1575가 나오기까지 많은 수정 과정이 있었다[3]. 평가 방법론 초기에 국제적, 지역적, 경향, 기술적 성취도 등을 고려하여 basic principle (BP), user requirement (UR), indicator로 구분하여 평가 체계를 설립하였다 (Fig. 1). BP는 미래 원자력 시스템의 full life cycle에 걸쳐서 핵확산저항성을 만족시키기 위한 필수 조건을 포함하도록 하였고, UR은 BP를 만족시키기 위하여 요구되는 항목들을 구분하였다. 최종적으로 핵확산저항성 평가를 위한 criteria 및 indicator와 평가 항목들을 구분하고 있다.

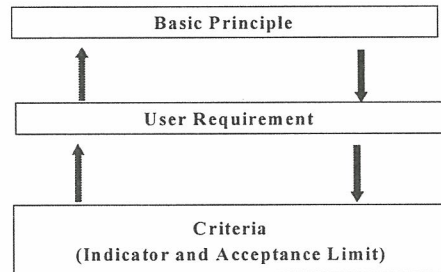


Fig. 1. INPRO Evaluation framework.

INPRO 평가방법론의 특징과 구성은 bottom-up의 방식으로 최종 아랫단계의 지표들을 시스템에 도입 평가함으로써 다음 상위 단계의 기본 목표들을 만족시키는지 여부를 결정하고 최상위단계에서의 핵비확산의 목표 달성도를 최종 평가하게 된다.

#### 2.2 GEN-IV 핵확산저항성 평가방법론

GEN-IV에서는 핵확산의 가능한 모든 전략 (Strategies)을 concealed diversion, overt diversion, concealed facility misuse, overt facility misuse, independent clandestine facility use로 분류하며, 핵확산 저항성 평가방법론에서는 핵확산에 대한 잠재력을 3단계 즉, (1) 획득단계: 핵물질의 획득을 위한 모든 행위, (2) 처리단계: 획득한 핵물질

을 핵무기 물질로 사용하기 위한 처리행위, (3) 제조단계: 핵무기로의 제조로 분류하고 있다. Fig. 2는 GEN-IV 핵확산저항성 평가방법론에 대한 평가체계를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 분석 방법론은 크게 challenge, challenge에 대한 system response 그리고 결과들(outcomes)로 나누어 구분하고 있다. 우선 challenge에서는 핵확산저항성 위협요소를 정의하고, system response에서는 시스템 구성요소 및 전용 핵물질을 결정하고, 핵물질 전용 방법론을 분석하고, 핵확산저항성 척도를 평가한다. 최종적으로 각각의 핵물질 전용방법에 대한 비교 분석을 수행함으로써 시스템에 대한 핵확산저항성 결과를 결정한다.

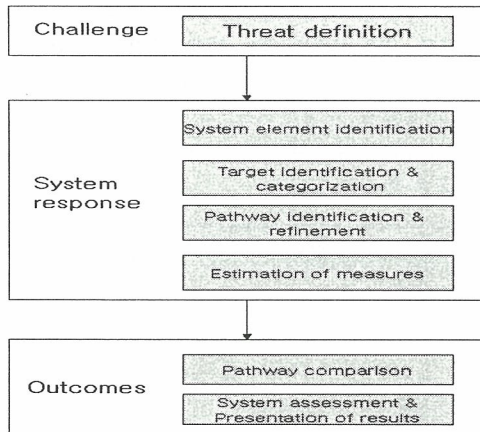


Fig. 2. Gen-IV Evaluation framework.

특히 GEN-IV의 평가에서는 시스템에서 핵물질 전용 방법론에 대한 시나리오를 설정하여 시나리오별 핵확산저항성 평가를 하고 있다. 전용 방법론에 따른 핵확산저항성 평가는 GEN-IV 방법론에서 매우 중요한 역할을 담당한다. 그러므로 핵물질 전용을 위한 모든 방법론을 포함할 수 있는 시나리오 개발이 매우 중요하고 각각의 시나리오 설정을 위하여 많은 관련 전문가들의 자문과 협력 및 도움이 절대적으로 필요하다.

### 2.3 핵확산저항성 평가방법론 비교 분석

INPRO와 GEN-IV에서의 핵확산저항성 평가 방법론 개발에서의 주요 차이점을 비교해 보면 INPRO의 경우, 특정 국가에서 안전조치 행위가 이행되고 있는 신고된 원자력시스템에 대한 것인 반면에 GEN-IV에서는 신고 및 미신고 시설, 그리고 이와 관련한 모든 활동을 대상으로 할 뿐만

아니라 breakout 후의 공개 전용(overt misuse)도 포함한다. 따라서 주 고객은 INPRO 경우, 혁신원자력시스템에 관심있는 모든 국가인 반면에 GEN-IV는 GEN-IV 회원국만 해당된다. 평가방법식은 INPRO는 평가기준(criteria)를 근간으로 하는 bottom-up 방식, GEN-IV는 위협요소(threat)부터 정의해 나가는 top-down 방식이다.

### 3. 결론

핵확산저항성 평가방법론은 원자력 에너지 시스템에 대하여 핵확산저항성 및 안전성 관련한 내용들을 나타낸다. 특히 원자력 에너지 시스템의 설계 초기 단계부터 평가 시스템을 도입함으로써 핵확산 위협에 대한 문제들을 조기에 해결하고 핵확산저항성이 반영되고 강화된 원자력 시스템 설계 및 개발을 구현할 수 있다. INPRO 및 GEN-IV 핵확산저항성 평가 방법론은 미래 원자력 에너지 시스템에 대하여 핵확산저항성 평가를 계획하고 있고 이러한 평가를 통하여 핵확산저항성에 대한 만족여부를 나타내는 평가 도구로 사용될 것이다.

### 4. 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 시행하는 한국연구재단의 원자력기술개발사업으로 지원받았습니다.

### 5. 참고문헌

- [1] GIF Symposium Proceedings, Global 2009, Paris, pp61-68, 2009.
- [2] E. Haas, ESARDA 27th Annual Meeting, London, May 10-12, 2005.
- [3] International Atomic Energy Agency; INPRO Manual for the area of Proliferation Resistance IAEA-TECDOC -1575, IAEA; Vienna; 2007.