



10. 24~10. 25 / 용평리조트

미래의 원자력 시스템의 개발과 핵확산 저항성 기준

정익 · 김현준 · 양맹호 · 오근배
한국원자력연구소

핵확산 저항성은 현재 원자력 이용에서의 중요 이슈로 사회적 수용도의 증진과 미래 원자력의 전개에 있어서 필수적 요소중의 하나로 제시되고 있다. 본 연구에서는 핵확산 저항성의 속성과 함께 미래 원자력 시스템에서의 핵확산 저항성 기준 및 요건을 INPRO와 Gen IV 원자력 시스템을 대상으로 서술하였다. 미 TOPS 프로그램은 민간 원자력 시스템의 핵확산 저항성 평가를 위하여 방벽의 속성에 근거한 평가 체제를 개발하였고, INPRO는 미래 원자력 시스템의 요건으로 핵확산 저항성을 구성하는 특성과 요소를 개발중이다. GIF는 제4세대 원자력 시스템의 선정과 연구 개발 계획 수립을 위하여 주요 목표로 핵확산 저항성을 설정하였고 이를 바탕으로 평가 기준을 작성하여 원자로형의 평가를 수행하였다. 원자력 시스템의 개발에 있어서 핵확산 저항성의 기준 및 요건의 개발은 원자력 시스템의 투명성과 안정성의 확보로 미래 원자력의 순조로운 전개를 이룰 수 있는 바탕이다.

서 론

1995년 제5차 핵확산금지조약(NPT) 평가 및 연장회의에서 NPT의 무기한 연장이 결정되고 NPT는 원자력 이용 당사국들의 모든 원자력 관련 활동에서 전면 안전 조치 및 사찰을 의무화하고 사찰 주요 대상은 특수 핵물질의 계량과 감시에 두어왔으며, 특히 기술적 측면에서는 핵연료 주기에서 핵확산 저항성이 강조되어왔다.

최근에 들어 원자력 이용에 있어 서의 현재의 주요 이슈는 경제성,

안전성, 방사성 폐기물의 처분 및 핵확산 저항성 등으로 미래 원자력 이용의 전개는 기술적 측면의 충족과 함께 정책적·사회적 요인에 의해 결정된다.

새로운 원자력 시스템의 도입에 있어서 사회적 수용도의 증진을 위한 전제 조건으로 원자력 시스템은 다른 발전원 및 에너지 계통과 비교하여 경제성 측면에서 경쟁력이 있어야 하며 이와 함께 원자력에 대해 적용되는 핵확산의 위협으로부터의 안전의 확보가 필요하다.¹⁾

현재 개발중인 미래형 원자력 시

스템은 기존의 원자로에 비해 각 이슈에 대한 향상된 특성을 지니고 있다. IAEA는 미래 혁신형 원자력 시스템인 INPRO(International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles)를 추진중이며 미국 에너지부(DOE: Department of Energy)를 중심으로 결성된 GIF(Generation IV International Forum)는 제4세대(Gen IV) 원자력 시스템으로 제안되는 세부 노령의 평가 항목으로 이슈별 카테고리를 작성하고 원자로형의 평가를 수행하여 6개의 개념

을 선정하였다.²⁾

IAEA의 INPRO는 이슈별 사용자 요건의 세부 사항을 2002년 말 까지 완료하여 이를 바탕으로 혁신 원자력 시스템의 평가를 수행할 예정이다.

본 연구에서는 핵확산 저항성의 속성과 함께 미래 원자력 시스템에서의 핵확산 저항성 기준 및 요건을 INPRO와 Gen IV 원자력 시스템을 대상으로 서술하였다.

원자력 시스템 핵확산 저항성의 속성

1999년 11월 미 에너지부의 원자력 에 너 지 연 구 자 문 위 원 회 (NERAC; Nuclear Energy Research Advisory Committee)의 TOPS(Technology Opportunities for Increasing the Proliferation Resistance of Global Civilian Nuclear Power System)의 Task Force는 핵확산 저항성을 판단하고 기술적 기여도가 유용한 분야를 명확화 하기 위하여 정성적인 측정 기준 집합을 결정한 바 있다.³⁾

최종적으로 서로 다른 기술의 평가와 비교를 위한 체제로서 핵확산 저항성의 속성이 정의되었으며, 기술 평가 체제는 다음을 포함하고 있다.

- 핵확산의 위협, 핵연료 주기

관련 활동과 핵확산 사이의 연계 성

- 위협에 대한 다양한 방벽의 명확화

• 각각의 시스템과 보조 시스템에 대하여 방벽의 유효성을 특성화할 중요 속성에 대한 개요
민간 원자력 시스템의 일반적인 핵확산 위협은 ① 전용 및 탈취에 대한 핵물질의 오용 ② 시설·장비 및 기술의 오용 ③ 원자력 숙련기술 및 전문 지식의 전파의 세 가지로 이루어진다.

민간 원자력 시스템과 핵무기와의 주된 연결은 핵물질로 정의하여 방벽에 대한 논의도 여기에 초점을 두고 있다. 관심은 핵물질이 폭발력 있는 핵분열성으로 될 수 있는 것인가하는 점으로 물리적으로 속임계 질량(fast critical mass)으로의 핵합성이다.

방벽은 크게 핵물질의 품질과 기술적 장애 정도 및 제도적 정비를 들 수 있으며 앞의 두 항목은 고유(intrinsic) 방벽으로 세 번째는 외부(extrinsic) 또는 제도 방벽이다.

고유 방벽은 기술에 고유한 것들로 핵연료 주기의 요소·시설 및 장비에 관계되며, 외부 방벽은 고유

방벽의 세부적 이행 및 취약점의 보완에 의존한다.

연료 주기의 요소 및 요소의 위협과 이를 억제하기 위한 방벽의 유효성과의 관계를 기술하기 위하여 속

성의 집합을 정의할 목적으로 TOPS에서는 전체 핵연료 주기를 대상으로 평가 체제를 작성하였다.

주기의 단계에서 선행 주기에는 채광·정련·변환·농축·성형 과정과 각 과정 사이의 저장 및 수송 과정이 포함되며, 원자로 운전의 단계는 초기 연료 저장, 연료 처리, 원자로 조사, 사용후 연료 처리, 사용후 연료 습식 저장 및 부지 내 건식 저장이 포함된다.

후행 주기의 경우 사용후 연료의 수송과 저장 과정 후에 비순환 주기의 경우 직접 처분 공정, 수송, 간이 저장 및 저장소 정치의 과정을 포함하며, 순환 주기의 경우는 재처리, 회수 물질의 저장·수송, 액티나이드 폐기물의 수송/처분, 연료의 성형/수송/저장 후에 원자로 운전의 단계로 순환한다. 위 연구에서는 각 방벽의 속성은 아래와 같이 구분하였다.

1. 물질 방벽

핵확산 잠재성을 보유한 집단 및 개인에 의한 물질의 고유 호감성(desirability)에 관계된 물질의 성질이다.

가. 동위원소적 방벽

용인될 수 있는 화학적 형태로 가용한 개별적인 핵분열성 물질이 핵무기로 제조되는 과정의 난점으로, 임계 질량, 동위원소적 농축도, 즉 발 중성자 생성, 열생성, 방사선 방



출 등의 성질 등이며, 농축도를 제외하고 큰 값을 가질수록 방벽은 높게 평가된다.

물질을 예로 분류하면 고농축 우라늄(HEU)의 경우가 가장 낮은 방벽을 가지며, 핵무기급 플루토늄, 원자로급 플루토늄이 비교적 낮고, 저농축 우라늄은 비교적 높으며, 천연 우라늄 및 열화 우라늄은 가장 높은 방벽 속성을 지닌다.

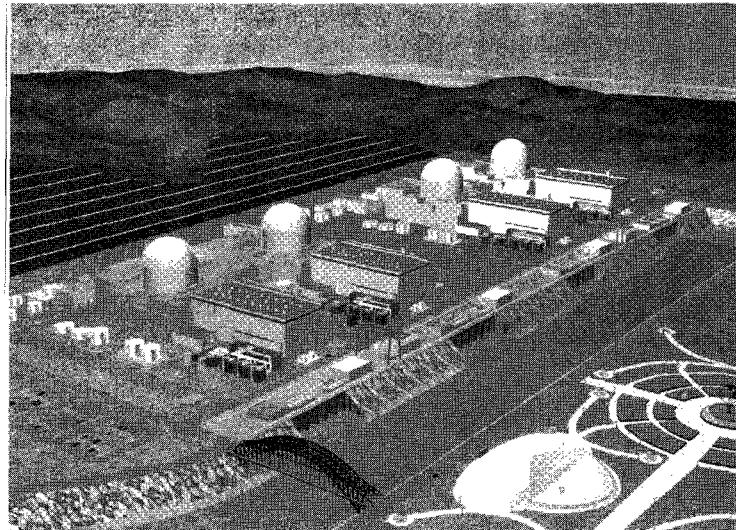
나. 화학적 방벽

핵무기 사용 가능한 물질들을 동반하는 회석물 및 오염물로부터 분리하기 위한 화학적 공정의 범위 및 난점을 나타내며, 예로 아주 큰 방사선의 방벽은 난이도를 증가시킨다. 적절한 형태로 정련하기 위해 요구되는 기술적 난이도와 관계된다.

연료 주기에 관련된 물질 중 순수 금속이 가장 낮은 방벽을 가지며, 순수 금속 추출을 위한 화학 공정의 차이에 의해 순수 화합물인 산화물 및 질산화물, 핵분열 생성물을 포함하지 않으나 회석 물질이나 자연성 독물질 및 혼합 산화 연료(MOX) 등의 혼합물, 사용후 연료와 유리고화한 폐기물의 순으로 낮은 방벽 속성을 갖는다.

다. 방사선학적 방벽

탈취 및 전용의 용이성과 화학 공정의 복잡성에 영향을 미치며, 특정 선량률(물질 표면이나 용기에서의 선량률 등) 또는 영향을 미칠만한



새로운 원자력 시스템의 도입에 있어서 사회적 수용도의 증진을 위한 전제 조건으로 원자력 시스템은 다른 발전원 및 에너지 계통과 비교하여 경제성 측면에서 경쟁력이 있어야 하며 이와 함께 원자력에 대해 적용되는 핵확산의 위협으로부터의 안전의 확보가 필요하다.

선량, 즉 평균 치사 선량이 축적되는 시간 및 원격 취급이 요구되는 정도 등이다.

방벽이 낮은 순서로 물질을 분리하면 천연 및 고갈 우라늄과 농축 우라늄, 분리 플루토늄, 사용후 핵연료 및 고준위 폐기물 순이다.

라. 질량 및 부피 방벽

물질의 획득, 수송 및 공정에 관계된다. 물질의 농도(농축도), 부피 또는 외형(기계적 구성) 등이다. 방벽 속성은 소량으로 무기 제조가 가능한 물질의 경우가 낮고 많은 양과 특수 장비를 요하는 물질일수록 크다.

마. 탐지 방벽

탐지와 식별의 용이성이며 수동적 탐지 정도(방출 형태와 강도), 중성자 stimulation 등의 능동적 방법이 요구되는 정도, 탐지기로부터 은닉 및 차폐의 난점, 표식의 특

이성, 탐지 장비의 불확실성 등이다.

2. 기술 방벽

연료 주기, 관련 시설, 공정 및 장비 등의 고유 기술적 요소이다.

가. 시설 비매력성

핵무기 사용 가능한 물질 획득을 위한 시설 개조의 복잡성, 공정이나 설비의 개조 비용, 안전성 시간 요구도, 작업량 및 관측 가능 유효성 등이다.

나. 시설 접근성

안전 접근 통제 등의 제도 방벽 외에 시설이나 장비의 핵분열성 물질에 대한 접근을 고유하게 제한하는 정도로 운전의 난이도 및 운전을 위해 필요한 시간, 접근을 위한 특별 장비, 숙련 기술, 지식 등의 가용성과 요구 정도, 원격 조정 및 자동 운전의 정도, 핵확산 의도자 목

표를 지원할 수 있는 운전의 빈도 등이다.

다. 가용 질량

무기로 사용 가능한 물질의 임계 질량 획득에 대한 가능성으로 핵연료 주기의 임의의 시점에서 존재하는 물질의 양이다.

라. 전용 탐지능

공정이나 시설로부터의 물질의 전용이나 탈취에 대한 척도로 다양한 설비·기술·공정 자체까지 포함한다. 제도적 방벽이 아닌 기술에 내재하는 방벽으로 물질 및 공정의 유형, 탐지 기기의 불확실성, 제제 받는 물질의 형태 등이다.

마. 숙련/전문 기술, 지식

이중 사용 숙련 기술, 무기 제조에 바로 사용될 수 있는 정보와 이중 사용 기술의 적용성, 숙련 기술의 대안원으로 가용한 정보와 전문 기술의 습득을 위한 시간 등이다.

바. 시간

물질·시설 및 기술을 핵확산 잠재자가 입수할 수 있는 시간, 즉 보관 기간이다.

3. 제도 방벽의 속성

위협으로부터 보호를 위한 내부의 물질 및 기술 방벽의 취약점을 보상하는 관습·통제·제도나 합의

로 국제적 보장 조치, MPC&A(Materials Protection, Control, and Accounting), 안전 보장 법령과 민감한 정보에 대한 통제, 수출

입 통제 등의 방책이다.

가. 보장 조치

물질의 전용이나 탈취와 시설의 오용을 감시·탐지·억제하기 위한 외부적 방책으로 상용하는 정보의 입수 가능성 및 접근성, 물질의 최소 탐지 능력, 불법적 활동의 탐지 능력 및 뚜렷한 표지의 존재 여부, 탐지기 및 감시 기기의 반응 시간, 물질의 존재 여부, 공정의 정확도 및 제어 절차의 빈도, 보장 조치 방책의 시설과 공정 설계와 운전에의 결합 정도 등이다.

나. 접근 제어와 안전

물질의 탈취와 전용을 인도하는 3자 행동의 억제에 효과적인 방벽으로 접근을 위해 필요한 관리 절차 단계, 물리적 방호와 안전 제도, 효과적 대체 지원 존재 여부, 접근 제어와 안전의 효과적 이행 등이다.

다. 위치

여러 측면에서 평가하기 어려운 방벽 중의 하나로 민간 거주지에서 멀리 떨어진 부지는 공격에 어려움이 있으나 방어의 어려움과 방어자의 응답 시간이 증가된다. 산재된 위치의 운전은 물질의 수송 과정에서 위험도를 증가시키므로 동일 부지의 개념으로 위험도를 감소시킨다.

4. 속성의 평가

각 방면의 속성의 중요성은 기술의 보유 대상에 따라 다르게 적용될

수 있다. 공개적으로 기술 개발을 추진중인 나라의 경우 방벽이 비교적 잘 유지되며, 암암리에 기술 개발을 추진중인 경우 제도 방벽 중 보장 조치의 속성들이 중요하다.

진보된 기술을 보유한 국가의 경우 기술 장벽 중 시설의 비매력성 속성이 중요하며 기술을 개발중인 국가는 물질 방벽의 동위원소 및 화학적 방벽과 기술 방벽의 가용 질량 속성이 중요하다.

준국가 집단의 경우 기술 방벽의 시설 비매력성은 가장 중요한 속성이다. 그와 함께 물질 방벽은 전체적으로 중요하고, 기술 방벽은 가용 질량과 시간 속성이 중요하다.

미래형 원자력 시스템의 기준으로의 핵확산 저항성

1. IAEA INPRO

원자력과 지속적인 발전에 관한 IAEA의 과학포럼, 핵연료 및 원자력 발전의 연구 개발 자문위원회의 권고 등에 따라 2000년 9월 IAEA 총회의 결의에 의거하여 IAEA는 원자력국이 주도하여 혁신적인 원자로 및 핵연료 주기 기술 개발 국제 프로젝트인 INPRO가 추진되고 있다.

INPRO는 21세기 세계 에너지 수요를 충족하기 위하여 안전하고 지속성을 가지며, 경제적이고 핵비 확산성을 가진 원자력 기술 개발을



지원하는 것을 목적으로 추진되고 있으며, 현재 우리 나라를 비롯한 12개 회원국과 유럽연합으로 구성되어 있다.

INPRO는 사용자 요건을 크게 4개의 범주로 구분하고 있으며 이 네 범주에 공통된 cross-cutting 이슈를 포함하여 총 5개로 하고 있다. 각 항목은 ① 경제성 ② 환경, 핵연료주기 및 폐기물 ③ 안전 ④ 핵확산 저항성이며 이에 각 범주 공통(cross-cutting) 이슈가 포함된다.

가까운 미래에 가장 우선시되는 항목으로 안전하고 확실한 방사성 폐기물의 처분과 공학적 안전 설비에 의존성을 감소시켜 안전성을 확장하고, 핵확산 및 테러리즘에 대한 강인함을 갖추어야 하며, 시장에서의 경제적 경쟁력을 갖추어야 한다고 기술하고 있다.

미래형 원자력 시스템이 핵확산 저항성을 확장하기 위한 방법으로는 ① 기술적 특성으로 핵연료 주기 기술이 고유의 핵비확산성을 가져야 하며, ② 원자력 시스템이 제도적으로 정비된 체계하에서 개발·건설·운영되어야 하며, 마지막으로 ③ 지방·국가·지역 및 국제 기관에 의한 통제와 검증이 이루어져야 함을 제시하고 있다.

IAEA는 핵확산 저항성을 국제적인 핵비확산성 체제에 도입하기 위하여 인센티브에 근거한 체계를 제안하고 있으며, IAEA의 권한 내에

서 핵확산 저항성 및 테러리즘의 방지에 기여하는 기술의 개발 및 사용을 장려하여 미래 원자력의 평화적 이용에 반영하고자 하고 있다.

일반적으로 핵확산 저항성은 무기로 사용 가능한 물질의 전용 및 신고하지 않은 생산을 통한 핵확산에 대하여 효과적인 방벽을 생성하는 특성으로 정의되며 절대적인 수치로 나타내기가 어렵기 때문에 상대적인 개념으로 해석되고 있다.

핵확산 저항성은 방사선, 장벽, 핵물질의 물리적·화학적 형태와 같은 고유 핵확산 방벽과 핵물질 계량 관리, 격납, 감시 및 물리적 방호로 구성되는 제도적 핵확산 방벽으로 구분하여 이들 두 방벽의 적절한 조화로 시스템의 수명 주기 동안 물질·기술·설비의 매력성을 제한하고 전용 및 생산을 탐지는 능력이 확장된 것으로 나타난다.

핵확산 저항성 원자력 시스템의 예로 아래와 같은 개념들이 제안되었다.

- Pu나 U-233의 생산이 불가능한 원자로
- 고농축 우라늄을 사용하지 않는 원자력 시스템
- Pu-239의 농도가 매우 낮은 플루토늄을 생산하는 시스템
- 핵무기를 보유하지 않은 국가에 새 핵연료의 공급 후 모든 사용후 연료의 제거
- 한 형태의 원자로의 사용후 연

료를 다른 시스템에 연료로 사용

- 농축 및 재처리의 관리
- 다국간 에너지 파크를 통한 에너지의 생산 공급

이외에 IAEA에 의한 보장 조치가 잘 이루어질 수 있도록 감시 및 네트워크 기능이 잘 이루어져야 함을 강조하고 있다.

인센티브에 근거한 접근법으로 핵확산 저항성 시스템의 사회적 지지도를 증진시키며, 수출입, 인가 및 재정 제도의 정비를 통한 용이성의 부여, 확실한 연료의 공급과 폐기물 처리의 촉진, 사찰의 비용 및 관입의 감소 등이 있다.⁴⁾

전문가 회의는 핵확산 저항성 기본 원칙으로 ① 오용을 위한 핵확산 의도자의 능력, 숙련 기술의 요구도를 증가시키고, ② 고유 방벽을 통하여 핵물질의 비매력성을 증가시키며, ③ 보장 조치 등의 외부(제도) 방벽을 통한 핵확산 동기의 감소 및 ④ 탐지 소요 기간 단축 등을 통한 핵확산 기회의 감소를 통한 핵확산의 위험을 감소시킬 것을 제시하고 있다.

또한 핵테러의 의도로 원자력 시스템의 오용을 최소화하기 위한 시스템 특성으로 세 그룹으로 나누어, 첫째로 고유/공학적 방벽으로 사용물질, 공정, 취급 측면의 물리적·화학적 특성 및 설계 고려 사항, 두 번째로 보장 조치와 통제 특성으로 소유/운전 주체, MPC&A 방책,

IAEA 보장 조치 측면에서의 설계, 비용/노력, 활동에서의 고려, 마지막으로 그 이상의 제도적 특성으로 국가의 제도 정비와 다국적 에너지 파크 등을 통한 에너지원의 생산을 예로 들고 있다.

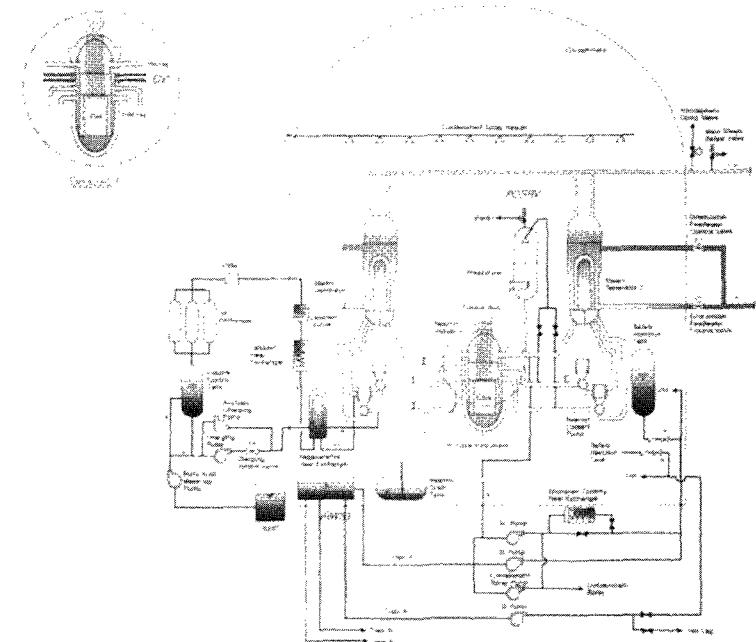
현재 INPRO의 핵확산 저항성 사용자 요건은 개발 단계이며 2002년 내의 보고서 발간으로 예정되어 있다.

2. GEN IV International Forum

Gen IV 원자력 시스템은 미래의 급격한 에너지 소비 증가에 대비하고 인류의 지속 가능한 발전에 기여하기 위해, 사회적 지지와 경제성 및 안전성이 획기적으로 향상된 원자력 시스템의 개발 필요성에서 출발하였다.

미국은 2000년 1월 원전 기술을 보유한 주요 8개국과 함께 국제 공동으로 Gen IV 개발을 목적으로 회의체를 결성하였고, GIF 회원국은 미국·한국·프랑스·일본·영국·캐나다·아르헨티나·남아공·브라질의 초기 9개국과 2001년 10월 가입한 스위스를 포함하여 10개국으로 운영되고 있다.

2002년 7월 브라질의 리우회의에서는 Gen IV 개념의 최종 선정이 이루어졌으며, 미래의 원자력 시스템의 연구 개발 계획을 위한 기술지도(roadmap)가 작성중이다.



핵확산 저항성의 평가 방법론의 개발은 미래 원자력 시스템의 연구 개발 계획의 수립에 있어서 필수적으로 이를 통한 원자력 시스템의 투명성과 안정성의 확보로 시스템이 핵확산의 위험과 핵테러로부터 안전할 수 있다는 확신이 유지되어야만 사회적 수용도를 증진시킬 수 있으며 미래 원자력의 순조로운 전개를 이를 수 있을 것이다.

핵확산 저항성은 GEN-IV 원자력 시스템의 평가에 사용된 시스템의 목표(Goal) 중의 하나로 목표는 지속 가능성(sustainability), 안전성 및 신뢰성(Safety & Reliability), 경제성(Economy) 및 핵확산 저항성과 물리적 방호(Proliferation Resistance /Physical Protection)로 구성되어 있다.

평가시 기준 노령을 선정하여 전문가 그룹이 상대적인 우위를 점수로 표현하였으며 이를 종합하여 기술적인 평가를 수행하였다. 목표의 최상위 기술(Goal Statement)은 핵확산 저항성과 물리적 방호에 대하여 아래와 같이 되어 있다.⁵⁾

■ GEN IV 원자력 시스템은 핵 확산 의도자로부터 호감성을 얻지 말아야 하고(비매력성) 무기로 사용 가능한 핵물질의 전용이나 탈취의 경로나 수단이 거의 없어야 한다.

GEN IV 원자력 시스템의 선정 평가에 사용된 기준은 제안된 원자로 개념의 수명 주기 동안 고유 방벽 및 외부 방벽을 포함하여 상대적인 핵확산 저항성을 다루고 있다.

원자력 주기 기술의 지속 가능성은 핵연료 주기를 망라하고 지질학적으로 처분한 폐기물까지 고려하여 모든 전용과 무기로 사용 가능한 핵물질의 미신고 생산에 관계된 국



가 수준의 핵확산에서 높은 저항성을 가지느냐에 의존한다.

또한 지속 가능성은 준국가 집단에 의한 탈취나 파괴 행위(사보타지)에 관계된 핵테러에 대한 저항성에도 의존한다.

최종적인 심사는 원자로에 사용되는 물질의 취약성을 최소화할 수 있는 고유 특성에 초점을 두고 수행되었다.

실행 가능성과 성취에 대한 평가가 수송 과정도 포함한 전반적 에너지 시스템에 대하여 이루어졌으며 수명 주기 동안의 물질 통제/개량(MC&A), 물리적 방호 및 국제적 보장 조치를 제공하기 위해 요구되는 재원을 측정하고 최소화함으로써 강한 고유 핵확산 저항성을 가질 수 있는 시스템을 신용하였다.

두 카테고리의 평가 기준으로 첫째는 국가 수준의 핵확산 정도로 최소화된 수명 주기 동안의 전용과 무기로 사용 가능한 핵물질의 미신고 생산에 대한 민감성 및 효과적인 IAEA 보장 조치의 이행의 용이성으로 주내용은 아래와 같다.

- 무기로 사용 가능한 물질의 수명 주기 동안의 접근성

- 신고되지 않은 방사선 조사의 탐지성 및 안전성의 이행

- 필수적 보장 조치 장비를 포함한 수명 주기 동안의 IAEA 사찰 비용

두 번째는 준국가적 집단에 대한

핵확산 위험도로 무기로 사용 가능한 물질이나 유해한 방사능 물질의 탈취에 대한 취약성 및 시설물과 수송 시스템의 파괴 행위로부터의 취약성으로 그 내용은 아래와 같다.

- 무기로 사용 가능한 물질의 수명 주기 동안의 접근성

- 유해한 방사능 물질의 수명 주기 동안의 접근성

- 내부의 파괴 행위와 외부 공격이나 은밀한 침입에 대한 설비와 수송 시스템의 강건함

- 물질 통제/계량과 물리적 방호 비용의 최소화

각각의 기준의 정의로 국가 수준의 기준은 핵무기를 만들 수 있는 양의 핵물질을 획득할 수 있는가 관계되며, 이는 신고된 원자력 시스템에 일반적으로 사용되는 물질이나 부산물로 생산되는 물질의 전용과 신고되지 않은 상용 원자로에서의

핵분열성 물질의 은밀한 조사에 의해 생산되는 물질이나 농축 시설에서의 고농축 우라늄의 생산에 의한 오용에 의해 이루어진다. 전용과 미신고 생산은 국제적인 보장 조치에 의한 적절한 시기의 탐지에 의해 억제될 수 있다.

준국가 단체에 의한 핵테러에 관계되는 것은 원자력 시설이나 운송 시스템으로부터 무기로 사용 가능한 물질이나 유해 방사는 물질의 탈취 및 방사능 물질의 누출을 야기하는 의도로 벌이는 원자력 시설이나

수송 시스템의 파괴 행위에 관련되어 있다.

탈취의 방지를 위해서는 국가에 의한 MC&A와 물리적 방호의 제도적 방벽뿐 아니라 물질이 갖는 고유 특성과 이를 잘 가둘 수 있는 방벽이 필요하다.

예로 핵연료 및 저장 물질의 방사능 전파를 막을 수 있는 설계상의 기계적 방벽과 접근성을 방해하는 특성과 함께 파괴 행위를 방지할 수 있는 국가 차원의 물리적 방호에 의해 억제될 수 있다.

국가 수준의 핵확산에 대한 요건으로 핵무기 사용 가능한 물질의 가용도를 제한하는 것과 이러한 물질의 전용이나 미신고 생산의 탐지를 강화함으로써 국가 수준에서 핵무기 사용 물질의 획득을 위한 경로로 Gen IV 시스템을 사용할 수 없도록 하여야 한다.

핵테러에 대한 것으로 Gen IV 시스템의 탈취나 파괴 행위로부터 강력과 방벽을 지닐 수 있도록 하는 것으로 테러 집단이 핵테러의 경로로 Gen IV 시스템을 선택하지 않도록 하는 것이다.

Gen-IV 시스템의 선정에 사용한 척도는 아래와 같다.

■ 국가 수준의 핵확산 정도

- ① 핵무기 사용 물질의 분리 : 물질의 분리 공정이 없을 수록 높은 점수를 받으며 평가 기준은 5% 미만 농축도의 지르칼로이 피복재의 산

화 우라늄 저농축 핵연료를 적용.

② 핵무기 제조에 사용 가능한 핵 분열성 물질의 취급이나 회수를 방해할 수 있는 사용후 연료의 특성 : 고연소 연료로 취급의 난이도와 물지르이 회수 매력성을 감소시킬수록 높은 점수를 받으며 평가 기준으로 50,000MWd/tU 정도로 연소한 경우의 조사를 받은 사용후 저농축 산화 우라늄 연료를 적용.

■ 핵테러 관점의 준국가 집단의 핵 확산

③ 파괴 행위에 저항성이 있는 원자로 : 반응도 정지, 열제거, 방사선 핵종 수용에 외부의 물리적 방호에 적게 의존할수록 높은 점수를 받으며 기준으로 능동형 비상 노심 냉각 계통을 갖춘 신형 경수로(ALWR)를 적용

Gen IV 시스템으로 제안된 개념들의 평가 결과 핵확산 저항성 측면에서는 신개념 그룹의 VCR(Vapor Core Reactor)과 MSR(Molten Salt Reactor), 가스로그룹의 PMR(Prismatic Modular Reactor), PBR(Pebble Bed Modular Reactor), HNGR(High Temperature Gas Reactor)과 GFR(Gas Fast Reactor), 액체금속군의 Pb Alloy 냉각재형과 Na 냉각재 금속 연료 등이 높은 점수를 획득하였으며, 이 중 다른 목표의 점수를 고려하여 GFR, MSR, Pb Alloy 등이 선정되었다.⁶⁾

결 롬

핵확산 저항성 영역에서의 현재 까지의 평가는 핵연료 주기의 특정 부분에 국한되어 있거나, 특정 핵연료 주기에 초점을 두고 있으며 또한 전문적 의견에 기반을 두고 있었다. 이러한 관점으로 TOPS에서 시도한 방벽의 속성에 근거한 평가 체계나 INPRO와 GIF에서 원자력 시스템 수명 주기 전체를 대상으로 한 상대적인 평가는 큰 의미를 가진다.

또한 일반적으로 이전의 연구에서 핵연료의 재순환 공정에서 핵무기로 전용 가능한 플루토늄과 같은 핵물질이나 동위원소를 따로 분리하는 과정이 없고, 고방사선 환경의 공정을 적용함으로써 인간의 접근을 막을 수 있다면 핵확산 저항성을 갖춘 것으로 판단되었으나 핵무기로의 전용의 방지와 함께 원자력 시스템을 대상으로 파괴 행위의 결과로 인한 비상시에도 시스템의 안전성을 확보하고 핵방사능 물질의 시스템의 경계 내에 수용할 수 있는 능력을 보유하는 것이 중요하다.

또한 시스템의 고유한 핵확산 저항성과 함께 유해한 물질의 이동 경로를 최대한 줄이고 외부로부터의 접근을 막는 것 등을 포함한 제도 방벽을 포함하여야 한다.

이전의 어떠한 연구도 핵확산 저항성을 구성하는 다양한 요소에 대한 전반적인 평가는 이루어지지 못

했다.

핵확산 저항성의 평가 방법론의 개발은 미래 원자력 시스템의 연구 개발 계획의 수립에 있어서 필수적으로 이를 통한 원자력 시스템의 투명성과 안정성의 확보로 시스템이 핵확산의 위협과 핵테러로부터 안전할 수 있다는 확신이 유지되어야만 사회적 수용도를 증진시킬 수 있으며 미래 원자력의 순조로운 전개를 이룰 수 있을 것이다. ☺

〈참고 문헌〉

- 1) NUCLEAR POWER IN THE OECD, OECD/IEA, 2001
- 2) 원자력선진기술확보사업추진을 위한 기획연구, 한국과학기술기획평가원, 2002
- 3) DOE, "Attributes of Proliferation Resistance for Civilian Nuclear Power Systems", October 2000
- 4) Thomas E. Shea, et al. PROLIFERATION RESISTANCE IN INNOVATIVE NUCLEAR REACTORS AND FUEL CYCLES, ICONE 10-22501
- 5) Evaluation of Generation IV Systems:FINAL SCRENING METHODOLOGY, 21 May 2002, GIF
- 6) 한국원자력연구소, GIF 회의 참가보고서, KAERI/OT-967 /2002