

설계기반 안전조치를 위한 안전조치성 평가 인자 분석

정연홍*, 한재준, 이정현, 장선영, 안승호

한국원자력통제기술원, 대전광역시 유성구 유성대로 1534

*jyh1404@kinac.re.kr

1. 서론

원자력 관련 기술은 그 기술의 원천이 핵무기에 기원하기 때문에 원자력 시설을 건설·운영하기 위해서는 핵비확산성을 담보하여야 한다. 국제적으로 이러한 핵비확산성에 대한 우려를 바탕으로 NPT를 채택하고 IAEA를 통해 국제사회에서의 핵확산을 방지하려는 노력이 지속적으로 수행되고 있다. IAEA는 각 국가와의 협정을 바탕으로 적절한 안전조치 접근법을 적용하고 있으며 원자력 시설의 설계정보에 대한 검증, 핵물질에 대한 계량관리에 대한 검증, 격납 감시에 대한 검증 등의 다양한 검증 활동을 바탕으로 이를 수행한다. 하지만 원자력 시설의 특성 상 시설이 건설·운영되는 상황에서는 설계변경이 매우 어려우므로 안전조치를 위한 수단을 설계단계부터 적용하는 것이 안전성과 핵비확산성, 경제성을 달성하는데에 필수적이다[1]. 설계기반 안전조치란 이와 같이 시설 도입의 결정단계부터 개념설계, 예비설계, 설계, 건설 등의 단계에서 지속적으로 안전조치 수단을 적용하기 위한 검토를 수행하는 것을 말한다.

본 연구에서는 안전조치성 평가 인자에 대한 선행 연구[2]를 바탕으로 설계 단계에서부터 안전조치에 대한 유용성을 평가·검토하기 위한 평가 인자를 설계 단계에 따라 분석하고자 한다. 여기서 안전조치성이라함은 안전조치를 적용하는 데에 따르는 유용성에 대한 지표라고 할 수 있다.

2. 본론

2.1 설계기반 안전조치

우리나라에서는 아직 설계기반 안전조치를 규제화하고 있지 않기 때문에 명확한 절차가 마련되어 있지 않지만 개념적으로 다음과 같은 절차를 통해 수행된다. 먼저 국가의 정책결정에 따라 원자력시설의 도입에 대해 검토하게 되며, 이에 대한 정보를 IAEA에 제공하게 된다. 이후 사업자를 선정하게 되며, 사업자는 설계자가 제공하는 견적을 바탕으로 설계자를 선정하게 된다. 이 경우 규제당국에서는 안전, 핵안보, 핵비확산의 관점에서 견적에 대한 평가를 수

행하게 된다. 설계자가 지정되어 개념설계를 수행하면 이는 사업자와 규제당국의 승인을 받게 되며, 승인된 개념설계 정보는 IAEA에 제공하게 된다. 이러한 개념설계가 끝나면 이를 바탕으로 예비설계를 수행하게 되며 사업자는 이를 검토하여 승인한다. IAEA는 규제 당국을 통해 제공받은 설계정보를 바탕으로 DIQ를 작성하게 되며 규제당국에 피드백을 제공한다. 마찬가지로 규제당국은 다시 사업자에게, 사업자는 설계자에게 해당 사항에 대한 피드백을 제공하게 되며 이를 바탕으로 최종 설계를 제출한다. 사업자를 통해 승인된 최종 설계는 규제당국을 통해 IAEA에 제출하게 된다. 그러면 IAEA는 시설부록에 대한 초안을 작성하게 되고 이를 바탕으로 건설단계에서 DIV를 수행하게 된다. DIV 결과에 따라 IAEA는 최종 시설부록을 작성하게 되고 최종적으로 시설을 운영하고 IAEA 검증활동을 수행하게 된다[3].

이와 같이 효율적인 안전조치 시스템의 적용을 위해서는 설계의 과정 중에 지속적으로 안전조치에 대한 검토를 수행해야만 한다.

2.2 안전조치성 평가 인자

설계기반 안전조치 절차를 살펴보면 중간에 규제당국이 설계에 대한 평가와 검토를 수행하게 되는데 이 경우 평가나 검토를 수행하기 위한 평가도구가 필요하다. 이러한 평가도구에는 실제로 안전조치를 적용하는 데에 영향을 줄 수 있는 인자들이 도출되어야 하며 각 단계에서 검토해야할 인자를 분류해야만 한다.

실제로 설계 절차에 대해 구분할 수도 있겠지만 안전조치성 평가의 편의를 위해 다음의 세 가지 단계로 구분하여 안전조치성 평가 인자를 선정하고자 한다.

- [Phase 1] 시설의 선정단계에서 제공하는 내재적 특성에 따른 안전조치성 평가 인자
- [Phase 2] 시설의 공정 및 설비 단계에서의 안전조치성 평가 인자
- [Phase 3] 안전조치의 효율성과 효과성을 증대시키기 위한 안전조치성 평가 인자

우선, 시설 도입이 결정되는 단계에서 시설자체의 특성으로 고려되는 안전조치성 평가 인자에 대해서 살펴보도록 하겠다. 실제로 앞서 언급했던 설계단계에 견주어보면 시설의 선정과 예비개념설계 단계에 해당한다고 볼 수 있을 것이다. 먼저 시설이 정해지면 다루는 대상 핵물질이 정해지게 되며, 이때 핵물질 자체의 내재적 특성과 관련된 인자들을 도출할 수 있다. 이러한 인자로는 대상 핵물질의 종류(사용 후핵연료/농축우라늄/천연우라늄 등), 핵물질 내에 존재하는 특정핵물질의 종류 및 양(Pu, U233, U235 등), 대상 핵물질의 물리·화학적 상태(혼합물/화합물 등), 핵물질의 조사 여부, 시설에 대한 접근성, 부가 시설 및 경로의 은폐 가능성 등이 있을 것이다.

다음으로 공정과 설비에 따른 안전조치성 평가 인자를 살펴보면 다음과 같다. 기본적으로 안전조치를 수행하기 위해서는 핵물질에 대한 분명한 계량 관리가 가능하여야 하며 계측장비의 불확실성, Holdup Material 양의 변동성, 핵물질의 균질성 등과 같이 계량관리에 영향을 줄 수 있는 인자들을 도출할 수 있다. 또한 MBA나 KMP 정보, 시설의 layout, 공정 내외부의 핵물질 운송 경로 등 전반적인 공정 및 핵물질의 이동과 관련된 인자들도 존재한다. 또한 시설에서 다루는 핵물질의 양과 비축되는 양 등에 영향을 줄 수 있는 시설의 용량, Inventory의 양, 물질의 생산 및 발생 주기 등도 유용한 인자가 될 수 있을 것이다. 또한 전용을 탐지하기 위한 추가적인 수단이 존재할 수 있으며 이러한 추가적인 수단에 대한 평가도 이루어져야한다. 여기에 해당하는 인자들은 준시실시간계량관리 시스템(NRTA; Near Real Time Accountancy)나 공정모니터링(PM; Process Monitoring)과 같은 보조적 수단의 적용여부 및 효용성에 대한 평가 결과를 들 수 있다. 추가적으로 격납감시나 공정모니터링에서 활용할 수 있는 모니터링 장비의 시야확보 여부나 적절한 조명의 확보 여부, 모니터링 장비 등을 포함한 안전조치 장비의 건전성, 원격 송수신 정보 및 핵물질 관련 정보의 위·변조 가능성 등을 그 인자로 들 수 있다.

마지막으로 안전조치의 효율성 증진을 위한 안전조치성 평가 인자를 들 수 있는데 이러한 인자는 반드시 갖추어야할 요건이라기보다는 안전조치 활동에 추가적인 이점을 제공하는 인자들이라고 할 수 있다. 여기에는 저장된 핵물질에 대한 식별의 용이성, 안전조치 관련 장비의 중복성, 공정 자동화정도, PIV 시에 사찰관에게 노출되는 방사선량, 핵물질의

Passive detection 가능성, 수조 내 물의 상태 등을 포함시킬 수 있을 것이다.

하지만 이러한 인자는 비단 한 가지 단계에만 해당한다고 할 수 없으며 복합적으로 작용하게 된다. 이를 간단히 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1. Factors of safeguardability

Phase 1	Phase 2	Phase 3
핵물질 종류	시설용량 공정 및 운송 정보	식별의 용이성
핵물질 조성	계량관리의 정확성 정보 변조 가능성	장비의 중복성 공정 자동화 정도
조사 여부	모니터링의 용이성 안전조치 기기의 건전성	Radiation field
시설의 위치	전용 탐지를 위한 수단 핵물질 집합체의 건전성 접근 가능성	Passive detection 수조 내 물의 상태

3. 결론

이를 바탕으로 각 설계 단계에서부터 안전조치 접근법에 대한 검토를 수행할 수 있을 것이며, 이러한 인자를 check list화하거나 정량화하여 시설에서 최소한 달성하고자 하는 안전조치 수준을 설정하고 안전조치 기법을 적용하는 데에 있어서 혼란을 사전에 예방할 수 있을 것이다. 다만, 각 인자가 안전조치에 있어서 갖는 중요도가 다를 것이며 대체적 수단을 적용할 가능성도 있으므로 해당 인자에 대한 우선순위를 설정하고 대체 수단에 대한 부분도 보완할 수 있어야 할 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 원자력안전위원회와 한국방사선안전재단의 지원을 받아 수행한 원자력안전연구사업의 연구 결과입니다 (No. 1305015).

5. 참고문헌

- [1] 이나영, 핵확산저항성 강화를 위한 안전조치성 평가방법론 분석, 한국원자력통제기술원, 2015 KINAC/TR-019/2015(B4-9150).
- [2] F. Sevini et. al., A Safeguardability Check-List for Safeguards by Design, ESARDA BULLETIN, No. 46, 2011.
- [3] RA Bari et. al., Overview of the Facility Safeguardability Analysis (FSA) Process, PNNL-21698, 2012.