

# 파이로시설의 ISA 적용성 분석

유길성\*, 서석준, 전홍래, 이효직, 조우진, 임현숙, 이호희, 정원명, 유승남, 구정희  
 한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111  
 \*yougil@kaeri.re.kr

## 1. 서론

한국원자력연구원은 SFR과 연계하여 사용후핵연료에 대한 건식처리기술로 파이로프로세싱 기술개발을 추진해 오고 있다. 이를 위해서는 사용후핵연료 취급에 따른 위험을 방지할 수 있는, 안전성이 확보된 파이로시설의 개발이 필수적이다[1]. 이 논문에서는 현재 국내 원자력안전법에서는 고려하고 있지 않지만, 미국 NRC에서 일반핵주기시설에 대해 현재 적용 중이며, 사용후핵연료 재처리시설에 대해서도 강화된 방안을 고려중인 ISA(Integrated Safety Analysis)의 파이로시설에의 적용 가능성을 분석해 보았다.

## 2. 본론

### 2.1 미국 NRC의 ISA 특성

미국은 핵물질을 처리하는 시설 내 위해도와 그 위해도와의 연관성을 평가하기 위해서 ISA를 이용하도록 10CFR70 연방법에서 규정하고 있으며, ISA에는 사용후핵연료 처리시설에 대한 안전상 중요인자들을 기술하고 있다. ISA를 사용하는 주된 이유는 핵연료주기시설에서 일어나는 사고 또는 방사선 누출의 영향은 원자로 사고와 달리 화학공정에 의하여 발생할 가능성이 더 높기 때문이다. 그러나 최근 NRC 주도로 수행되고 있는 재처리시설의 안전성 평가 보완방안에는 기존 일반 핵주기시설에 적용되고 있는 ISA를 좀 더 강화된 평가방법으로의 변경을 추진하고 있다[2].

다음은 일반 핵주기시설의 인허가시 NRC에 제출하는 ISA 요약보고서의 구성 목록이다.

- ✓ Site description
- ✓ Facility description
- ✓ Criticality monitoring and alarms, Compliance with vaseline design criteria, criticality monitoring, and alarms
- ✓ ISA(Integrated Safety Analysis) method(s) description
- ✓ ISA(Integrated Safety Analysis) team

description

- ✓ Quantitative standards for acute chemical exposures
- ✓ Definition of “unlikely”, “highly unlikely”, and “credible”
- ✓ Description of processes analyzed
- ✓ Identification of hazards
- ✓ Description of accident sequences
- ✓ Characterization of high-and intermediate-consequence accident sequences
- ✓ List and description of IROFS
- ✓ Description of IROFS' link to accident sequences to show 10CFR70.61 compliance
- ✓ IROFS management measures
- ✓ List of Sole IROFS

현재 NRC에서 검토단계에 있는 사용후핵연료 재처리시설에 대한 ISA 위해도 지표는 일반 핵주기시설에 대해 요구하는 3x3 매트릭스 지표와는 달리 다음 Table 1, 2와 같이 4x4 매트릭스 지표를 고려하고 있다.

Table 1. Consequence Thresholds

	Workers	Offsite Public	Environment
Very High Consequence Event	RD>>1Sv CD>endanger life	RD>1Sv CD=endanger life	Radioactive release >500,000 x Table 2 of 10CFR20, Appendix B
High Consequence Event	RD>1Sv CD>endanger life	RD>0.25Sv sol U intake>30mg CD=long-lasting health effects	Radioactive release >50,000 x Table 2 of 10CFR20, Appendix B
Intermediate Consequence Event	RD>0.25Sv CD=long-lasting health effects	RD>0.05Sv CD=mild transient health effects	Radioactive release >5,000 x Table 2 of 10CFR20, Appendix B
Low Consequence Event	Accidents of lower radiological and chemical exposures than those above in this column	Accidents of lower radiological and chemical exposures than those above in this column	Radioactive releases producing lower effects than those referenced above in this column

Table 2. Qualitative Risk Bins

		Likelihood (Events Per Year)			
		Very Highly Unlikely (<1E-6)	Highly Unlikely (<1E-5)	Unlikely (<1E-4)	NOT Unlikely (>1E-4)
Consequence	VHCE	Acceptable	Not Acceptable	Not Acceptable	Not Acceptable
	HCE	Acceptable	Acceptable	Not Acceptable	Not Acceptable
	ICE	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Not Acceptable
	LCE	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

## 2.2 파이로시설에의 ISA 적용성 분석

우리나라의 파이로시설에 대한 인허가 안전성평가는 현재 원자력안전법상 핵연료주기사업 중 사용후핵연료 처리사업의 규제법[3]에 따라 평가하도록 되어 있다. 시설에 대한 안전성 평가를 위한 기술기준은 기술능력의 확보와 시설의 위치·구조·설비 및 성능이 [원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙]에서 규정하고 있는 기술기준에 적합하여 방사성물질에 따른 인체·물체와 공공의 재해방지에 지장이 없어야 한다. 위치기준과 품질보증기준에 대해서는 원자력발전소의 기술기준을 준용하고 있다. 환경상의 위해 방지 기준은 [방사선 방호 등에 관한 기준]에서 제시된 시설에서 배출되는 액체 및 기체상태의 제한구역 경계에서의 농도 제한치를 각 핵종별로 규정하고 있으며, 방사선량 기준치도 이 고시에서 규정하고 있다. 그리고 세부적인 안전기준은 대부분 원자로에 대한 고시를 준용하고 있다.

앞서 2.1절에서 기술된 미국 NRC의 일반 핵주기 시설의 경우 원자력 발전소에 적용하는 규제와는 달리 별도의 ISA 수행[4]을 요구하고, 수행후 ISA 요약보고서의 제출을 의무화하고 있다[5]. 이는 핵주기시설의 경우 일반 원자력발전소와는 달리 화학공정이 포함되어 산업체의 화공시설에서 다루는 안전성분석기법 적용이 추가적으로 필요하기 때문이다. NRC는 최근 개정된 일반 핵주기시설에 대해 NUREG-1520-rev.2[5]을 통해 3x3 위해도 지표의 사용을 권고하고 있으며, 핵연료 재처리시설의 경우 앞서 Table 1, 2에서 보는 것 처럼 좀 더 안전성이 강화된 4x4 방법에서의 변경을 계획하고 있다[2]. 즉, 결말수준(Consequence Level, C)의 경우 일반 핵주기시설보다 한 단계 위의 VHCE(Very-High-Consequence Event)로 C>100 rem을 추가 고려하고 있으며, 발생 가능성(Likelihood, L)의 경우 L>1E-4, L<1E-4, L<1E-5,

L<1E-6의 4단계를 고려하고 있다는 의미이다.

파이로시설과 같은 화학공정을 사용하는 사용후핵연료처리시설의 경우 일반 안전성 분야는 기존과 같이 원자력 발전소의 규제방법을 적용하고, 공정 안전성에 대해서는 미국 NRC가 계획하고 있는 핵연료 재처리시설에 대한 강화된 ISA(4x4 매트릭스) 평가방법을 사용한다면, 파이로시설의 안전성 확보에 현 국내 원자력안전법체제 보다 더욱 안전성에 대한 신뢰성을 제고할 수 있을 것으로 분석된다.

## 3. 결론

한국원자력연구원은 SFR과 연계하여 사용후핵연료에 대한 파이로프로세싱 기술개발을 추진해 오고 있으며, 이를 위해서는 안전성이 확보된 파이로시설의 개발이 필수적이다. 파이로시설의 안전성 확보를 위해 기존 원자력안전법 체계로부터 미국 NRC의 강화된 ISA 방법(4x4 매트릭스 평가방법)을 적용함으로써 화학공정이 적용된 사용후핵연료 처리시설의 특성에 맞는 안전성 확보가 더 용이할 것으로 생각 된다.

## 4. 참고문헌

- [1] Gil-Sung You, et al., Concept and safety studies of an integrated pyroprocess facility, Nuclear Engineering Design, No. 241, pp. 415~424, 2011.
- [2] US NRC, SECY-11-0163 (2011).
- [3] 원자력안전법, 시행령, 시행규칙, 안전위원회 고시 등 (2015).
- [4] US NRC, NUREG-1513 (2001).
- [5] US NRC, NUREG-1520-rev.2 (2015).