

파이로시설 적용을 위한 NRC와 DOE의 위해도 기준 및 지표 비교분석

유길성^{1*}, 문성인¹, 서석준¹, 정원명¹, 이효직¹, 서중석¹, 이호희¹, 김현민¹, 전관식²

¹한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

²(주)라드웍스, 대전광역시 유성구 대덕대로 530번길 첨단상가 다308호

*yougil@kaeri.re.kr

1. 서론

한국원자력연구원은 SFR과 연계하여 사용후핵연료에 대한 파이로프로세싱 기술개발을 추진해 오고 있으며, 이를 위해서는 안전성이 확보된 파이로시설의 개발[1]이 필요하다. 이 논문에서는 파이로시설의 적용을 위해 핵주기 및 재처리시설의 안전성 평가에 사용하는 NRC 및 DOE의 위해도 기준 및 지표를 상호비교 분석해 보았다.

2. 본론

2.1 미국 NRC의 위해도 지표

현재 NRC에서 검토단계에 있는 사용후핵연료 재처리시설에 대한 위해도 지표는 SECY-0163 보고서[2]에서 보고한 다음 Table 1, 2와 같다.

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)
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 미국 DOE의 위해도 지표

미국 DOE는 최근 개정된 DOE-STD-3009-2014[3]에서 비원자력발전 원자력시설에 대해 다음 Table 3, 4, 5와 같은 위해도 기준 및 지표를 사용하도록 권고하고 있다.

Table 3. Consequence Thresholds

Consequence Level	Public	Co-located Worker	Facility Worker
High	≥25 rem TED	≥100 rem TED	Prompt death, serious injury, or significant radiological and chemical exposure.
Moderate	≥5 rem TED	≥25 rem TED	No distinguishable threshold
Low	<5 rem TED	<25 rem TED	No distinguishable threshold

Table 4. Likelihood Classification

Description	Likelihood Range (/year)	Definition
Anticipated	10^{-2}	Events that may occur several times during the lifetime of the facility (incidents that commonly occur).
Unlikely	$10^{-2} > \text{likelihood} > 10^{-4}$	Events that are not anticipated to occur during the lifetime of the facility. Natural phenomena of this likelihood class include: Uniform Building Code-level earthquake, 100-year flood, maximum wind gust, etc.
Extremely Unlikely	$10^{-4} > \text{likelihood} > 10^{-6}$	Events that will probably not occur during the lifetime of the facility.
Beyond Extremely Unlikely	Likelihood $< 10^{-6}$	All other accidents.

Table 5. Qualitative Risk Ranking Bins

Consequence Level	Beyond Extremely Unlikely 10^{-6} /yr	Extremely Unlikely 10^{-4} to 10^{-6} /yr	Unlikely 10^{-2} to 10^{-4} /yr	Anticipated Above 10^{-2} /yr
High Consequence	III	II	I	I
Moderate Consequence	IV	III	II	II
Low Consequence	IV	IV	III	III

I = Combination of conclusions from risk analysis that identify situations of major concern
 II = Combination of conclusions from risk analysis that identify situations of concern
 III = Combination of conclusions from risk analysis that identify situations of minor concern
 IV = Combination of conclusions from risk analysis that identify situations of minimal concern

3. NRC와 DOE의 위험도 기준 및 지표 비교분석

NRC는 기존 핵주기시설의 규제가이드인 NUREG-1520에서 권고한 3x3 위험도 지표와는 달리 사용후핵연료 재처리시설에 대해서는 표 2와 같이 4x4 방법으로의 변경을 계획하고 있다[2]. DOE의 경우는 NRC와 달리 재처리시설을 다른 핵주기시설과 별도로 고려하진 않고 있으며, 기존 4x4 지표에서 2014년 개정된 DOE-STD-3009-2014[3]에서는 3x4 지표의 사용(Table 5 참조)을 권고하고 있다.

양 부서의 규제기준 및 위험도 지표를 비교해 보면 결말수준(Consequence Level, C)의 경우 일

반대층에 대해서는 NRC와 DOE가 같은 문턱치 ($C < 5$ rem, $C > 5$ rem, $C > 25$ rem)를 사용하고 있으며, NRC는 DOE 보다 한 단계 위의 VHCE(Very-High-Consequence Event)로 $C > 100$ rem을 추가 고려하고 있다. 발생 가능성 (Likelihood, L)의 경우 NRC는 $L > 1E-4$, $L < 1E-4$, $L < 1E-5$, $L < 1E-6$ 의 4단계를 사용하는데 반해, DOE는 $L > 1E-2$, $1E-2 > L > 1E-4$, $1E-4 > L > 1E-6$, $L < 1E-6$ 의 4단계 사용을 고려하고 있다. 여기서 가장 높은 가능성의 경우 NRC는 $L > 1E-4$ 인 반면에 DOE는 $L > 1E-2$ 로 NRC가 더 보수적인 값의 사용을 고려하고 있다.

언급된 일반 대중에 대한 값들 외에도 NRC는 시설 작업자에 대한 기준값들도 고려하고 있으며, DOE의 경우 더욱 세분해서 시설 작업자 및 시설 건물밖 일정거리 이내에 있는 작업자에 대한 값들도 고려하고 있다.

위해도 순위에 대한 고려도 NRC의 경우 적합, 부적합으로 분류하는데 반해, DOE의 경우 I->IV의 순위로 분류하고 두 기관 모두 부적합 또는 상위 순위에 대한 지표항은 안전시스템의 설치를 권고하고 있다.

4. 결론

NRC는 사용후핵연료 재처리시설에 대해서 4x4의 위험도 지표 방법으로의 변경을 계획하고 있다. DOE의 경우는 재처리시설을 다른 핵주기시설과 별도로 고려하진 않고 있으며, 기존 4x4 지표에서 3x4 지표로 변경하였다. 결말수준은 일반대중에 대해서는 NRC와 DOE가 같은 문턱치를 사용하고 있으며, NRC는 DOE 보다 한단계 위의 VHCE를 고려하고 있다. 가장 높은 발생 가능성의 경우 NRC가 DOE보다 더 보수적인 값($L > 1E-4$)의 사용을 고려하고 있다.

5. 참고문헌

[1] Gil-Sung You, et al., Concept and safety studies of an integrated pyroprocess facility, Nuclear Engineering Design, No. 241, 415~424, 2011.
 [2] US NRC, SECY-11-0163 (2011).
 [3] US DOE, DOE-STD-3009-2014 (2014).