

## 사용후핵연료 건식 중간저장시설의 안전등급 분류방안에 관한 고찰

정재학, 이운근

한국원자력안전기술원, 대전광역시 유성구 과학로 34

radwaste@kins.re.kr

### 1. 서론

사용후핵연료 중간저장에는 부지 선정, 설계, 제작, 건설, 운영 및 해체단계 등이 포함되며, 이 중 설계단계에는 주요 구조물·계통 및 기기(SSCs)의 안전등급, 내진범주 및 품질등급을 분류하는 과정이 필수적이다. 이 논문에서는 국내에 도입될 가능성이 높을 것으로 예상되는 콘크리트 캐스크 방식 건식 중간저장시설의 주요 SSCs에 대한 안전등급 분류와 관련, 국내의 요건 및 적용사례 등을 고찰하고 그 적용방안을 제시하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 국내요건

원자력관계법령에서는 “안전에 중요한 구조물·계통 및 기기는 안전기능의 중요도에 상응하는 안전등급 및 규격에 따라 설계·제작·설치·시험 및 검사되어야 한다”고 규정하고 있으며, 발전용원자료의 안전등급을 1, 2 및 3과 비안전등급으로 분류하고 있다[1]. 위 규정들은 사용후핵연료 중간저장시설에 직접 적용되는 것은 아니지만, 원전 사용후핵연료 임시저장시설과 중간저장시설의 설계·안전특성의 유사성을 고려할 때, 중간저장시설에도 위 규정을 사안별로 준용할 수 있을 것이다.

한편, '08년 한국원자력안전기술원이 도출한 “사용후핵연료 중간저장시설의 안전성분석보고서 작성지침(안)”에서는 주요설계기준의 일환으로 안전중요도, 내진설계 고려사항 및 품질보증의 관점에서 설계시 채택한 SSCs의 등급 분류기준을 안전성분석보고서에 제시하도록 하고 있다.

#### 2.2 건식 중간저장시설의 주요 안전특성

건식 중간저장시설의 안전기능은 격납, 핵임계, 차폐, 열제거, 구조적건전성, 운영지원 등으로 분류할 수 있으며, 콘크리트 캐스크 시스템의 주요 구조물과 계통은 Fig. 1과 같이 요약할 수 있다.

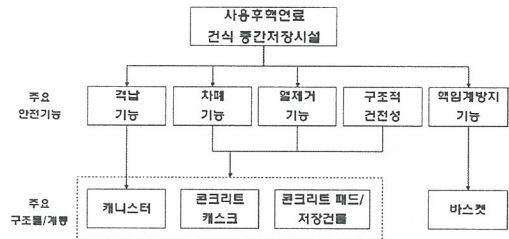


Fig. 1. Structures and systems important to safety at a concrete cask-type spent fuel interim storage

#### 2.3 안전등급 분류방법

우선 개별 SSC가 전체 시설의 종합적인 안전특성에 기여하는 수준에 따라 주요 SSCs의 안전등급을 차등적으로 분류하는 성능/리스크기반 접근방법을 고려할 수 있다. 이 경우 정상, 비정상 및 사고조건에서 개별 SSC가 시설 안전제한치를 유지하는데 기여하는 수준을 정량적으로 평가해야 하며, ANSI/ANS-57.9에 제시된 설계사건(design event)을 기본 시나리오로 고려할 수 있다[2]. 그러나 이와 같은 정량적인 평가를 통해 SSCs의 안전등급을 부여하는 접근방법은 아직까지 폭 넓게 적용되지 못하고 있다.

실제 국내의 원전에서는 정량적인 평가 보다 안전기능에 대한 정성적인 평가기준에 따라 개별 SSC의 안전등급을 부여하는 방법이 널리 적용되고 있다. 미국 NRC는 중간저장시설의 SSCs에 대한 안전등급을 A(안전운전에 결정적인 역할을 하는 것), B(안전에 중요한 영향을 주는 것), C(안전성에 미치는 영향이 미미한 것) 등으로 정성적으로 구분하는 방안을 제시한 바 있다[3].

#### 2.4 해외사례

Table 1은 NUREG/CR-6407에 제시된 콘크리트 건식 저장시스템의 주요 SSCs별 안전등급 분류방식과 실제 저장시스템(HI-STORM 100: Multi-Purpose Canister, 오버팩, 이송캐스크로 구성)에 적용된 안전등급 분류체계를 비교한 것이다[4].

Table 1. Safety classification of major SSCs at a concrete-shielded spent fuel dry storage system

기능	콘크리트 건식 저장시스템의 안전등급	
	NUREG/CR-6407	HI-STORM 100 적용사례
적용 기능	<b>안전등급 A</b> · 배수/배기/누설감지 · 포트 플러그 · 배수/배기포트 플러그 및 압력완화장치 밀봉 · 캐니스터 바닥/뚜껑 · 캐니스터 몸체 · 캐니스터 뚜껑 밀봉 · 캐니스터 상단부 · 뚜껑 폐쇄장치 · 압력완화장치	<b>안전등급 A</b> · MPC(헬, 바닥판, 뚜껑, 폐쇄링, 포트 덮개판)
임계 제어	<b>안전등급 A</b> · 바스켓 집합체 · 중성자흡수재	<b>안전등급 A</b> · MPC(바스켓셀판, 중성자 흡수재)
차폐	<b>안전등급 A</b> · 감마선차폐체 · 캐니스터 상부 차폐플러그 <b>안전등급 B</b> · 중성자차폐체	<b>안전등급 A</b> · MPC(감마선차폐체, 캐니스터 상부차폐플러그) <b>안전등급 B</b> · MPC(이중뚜껑) · 오버팩(방사형차폐체, 차폐블록링, 뚜껑차폐링, 차폐블록 몸체, 바닥차폐체, 뚜껑차폐체, 차폐블록, 받침플랫폼, 뚜껑외부링, 베기차폐) <b>안전등급 C</b> · MPC(배기/배수차폐블록) · 오버팩(감마선차폐교판/덮) <b>비안전등급</b> · MPC(천공플러그)
열 제거	<b>비안전등급</b> · 온도조절기기	<b>안전등급 B</b> · 오버팩(배기구수평/수직/ 측면, 열차폐체/링)
구조 적건 전성	<b>안전등급 B</b> · 콘크리트기초/지붕 슬라브 · 콘크리트구조물접근 볼트 · 캐니스터 지지구조물 <b>안전등급 C</b> · 캐스크 장치 · 콘크리트 지지패드	<b>안전등급 A</b> · MPC(미복제, 바스켓지지대 [라판, 중간개움개 연결평판]) <b>안전등급 B</b> · MPC(핵연료상/하단지지봉 중판, 바닥판, 외벽, 내벽, 받침면, 받침판, 뚜껑바닥판, 뚜껑셀, 흡기구수평/수직판, 상판, 뚜껑상판, 방사형판, 뚜껑스터드/너트, 뚜껑와셔, 볼트앵커블록, 체널, 체널마운트, 기초바닥판, 기초지지블록, 기초차폐블록, 기초상판, 기초지지대, 뚜껑 내부링, 뚜껑방사형보강판, 뚜껑폐쇄볼트, 뚜껑덮개판, 뚜껑건전링) <b>안전등급 C</b> · MPC(인양러그/바닥판, 베기구차폐블록지지대) <b>비안전등급</b> · MPC(끼움재, 바스켓 지지대[평판], 뚜껑폐쇄 볼트취급장치)
운영 지원	<b>안전등급 A</b> · 인양러그제결장치 및 고정장치 · 인양러그/제결장치 볼트 <b>안전등급 B</b> · 출입문인양러그, 차폐 출입문, 이송 캐스크 <b>안전등급 C</b> · 지붕슬라브인양장치, 보안 잠금와이어/밀봉	<b>안전등급 B</b> · 오버팩(뚜껑인양블록) <b>안전등급 C</b> · MPC(배기/배수튜브, 베기/배수캡, 손상연료 용기) · 오버팩(온도감지장치, 뚜껑스터드와셔) <b>비안전등급</b> · MPC(배기/배수캡 밀봉와셔/볼트, 배수포트 감소판, 배수관/안내관) · 오버팩(저장표지판, 베기 여과판, 배수관, 급/배기여과 프레임, 스크린, 도장, 뚜껑 베기덕트, 뚜껑스터드판 /지지대, 뚜껑스터드캡) ※ 이송캐스크(HI-STAR 100)는 SSCs에 따라 A~비안전등급

2.5 안전등급 결정절차

주요 SSCs의 안전등급은 허가신청자가 안전성 분석보고서에 서술한 후 규제기관의 안전심사를 통해 결정되어야 한다. 따라서 Fig. 2에 도시한 바와 같이 정성적 분류기준에 따른 허가신청자의 SSC별 안전등급 초안에 대한 심사를 통해 필요 시 정량적 평가를 통해 확정하는 방안을 고려할 수 있다.

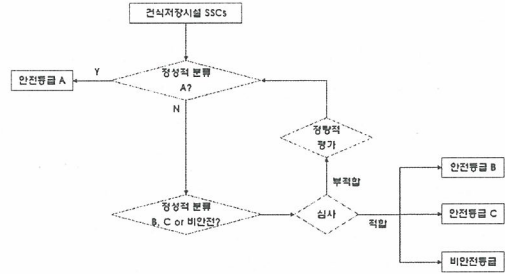


Fig. 2. Proposed stepwise process for determination of safety classes of major SSCs

3. 결론

아직까지 국내에 도입될 사용후핵연료 중간저장 시스템의 설계가 결정되지 않은 상태에서 주요 구조물·계통 및 기기의 표준 안전등급을 사전에 설정할 수는 없으나, 우선 정성적인 분류기준에 기초하여 개별 안전등급 초안을 제안하고 필요한 경우에 국한하여 개별 구조물·계통 및 기기가 시설의 안전제한치를 유지하는데 기여하는 수준을 정량적으로 평가하는 절차를 고려할 수 있다.

4. 참고문헌

[1] 교육과학기술부, 원자로서설의안전등급과등급별규격에관한규정고시(과기.원자로.015), 2008.  
 [2] ANSI/ANS-57.9, Design Criteria for an Independent Spent Fuel Storage Installation (Dry Type), 2000.  
 [3] US NRC, Classification of Transportation Packaging and Dry Spent Fuel Storage System Components According to Importance to Safety, NUREG/CR-6407, 1996.  
 [4] Holtec International, Final Safety Analysis Report for the HI-STORM 100 Cask System, Rev. 5, 2007.