

## 사용후핵연료 저장조 조밀저장대 기술기준 분석

정성환, 김학수, 박종길

한국수력원자력(주) 한수원중앙연구원, 대전시 유성구 유성대로 1312번길 70  
shchung@khnp.co.kr

### 1. 서론

원전의 사용후핵연료 임시저장용량을 확충하기 위하여 사용후핵연료 저장조의 기존저장대를 조밀저장대로 교체 또는 저장조의 여유공간에 조밀저장대를 추가로 설치하고 있다. 조밀저장대는 저장대 셀의 중심간 간격을 최소로 하여 저장조의 저장능력을 극대화시키는데(Fig. 1 참조), 사용후핵연료의 미임계 유지, 잔열제거, 방사선차폐, 격납 및 구조적 건전성 등을 유지할 수 있어야 한다. 이러한 조밀저장대에 대하여 우리나라는 아직까지 구체적인 기술기준이 수립되지 않았다. 여기서는 국내의 규정요건을 분석하여 사용후핵연료 저장조의 조밀저장대에 적용하는 기술기준을 고찰하였다.

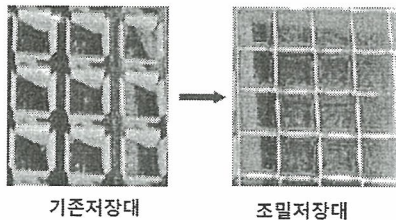
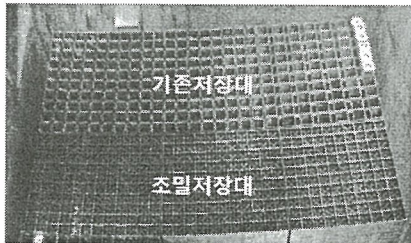


Fig. 1. 기존저장대 및 조밀저장대.

### 2. 본론

#### 2.1 국내 기술기준

“원자력법시행령” 제102조는 사용후핵연료 저장에 관하여 안전조치를 취하도록 규정하고 있고, “원자로서설등의 기술기준에 관한 규칙” 제33조 연료취급장치 및 저장설비 기준에서 사용후핵연료를 저장하는 설비는 최적감속조건에서 사용후핵연료가 임계에 도달하지 않아야 하며, 붕괴열을 제거할 수 있는 능력과 적절한 차폐·격납·제한·정

화할 수 있는 능력을 구비하여야 하며, 붕괴열 제거능력의 상실 및 과도한 방사선준위를 감지하고 적절한 안전조치를 취할 수 있어야 하며, 충격, 과도한 응력 및 부식 등에 의하여 사용후핵연료가 손상되지 않아야 한다고 규정하고 있다.

#### 2.2 IAEA 기술기준

“IAEA Safety Series No.116 사용후핵연료 저장시설 설계기준”의 201~260항(일반지침)은 미임계 유지, 잔열제거, 방사선방호, 격납, 자재 등에 대한 요건을 제시하고 있으며, 312~318항(특별설계요건)은 습식저장에 대한 미임계 유지, 구조 및 배치, 잔열제거, 방사선방호, 격납, 자재, 취급 등에 대한 기준을 제시하고 있다. “IAEA Safety Series No.117 사용후핵연료 저장시설 운전기준”의 301~330항(운영에 대한 기본 안전성 고려)은 미임계, 차폐, 격납, 잔열제거, 낙하하중 등에 대한 기준을 제시하고 있다. “IAEA Safety Series No. 118 사용후핵연료 저장시설 안전성평가기준”의 2.1~2.5항(안전성평가)은 일반적인 평가방법을 제시하고, 3.1~3.8항(운전상태 안전성평가)은 구조, 구성품 성능, 미임계 보장, 붕괴열 제거, 방사선방호 등에 대한 기준을 제시하며, 4.1~4.5항(사고 안전성평가)은 미임계, 붕괴열 제거, 방사선방호, 내진 등에 대한 기준을 제시하고 있다.

#### 2.3 미국 기술기준

미연방규정 “10 CFR Part 50 Appendix A”는 저장대에 대한 일반설계기준(GDC)을 제시하는데 조밀저장대의 설계에 적용하는 주요 기준은 다음과 같다 :

- Criterion 2(자연현상에 대비한 설계기준)  
지진, 토네이도, 태풍, 홍수, 지진해일 등의 자연재해로 인한 영향으로 미임계, 냉각, 피폭 등 저장조의 안전기능을 유지하도록 내진 1등급으로 설계하여야 한다.
- Criterion 4(환경 및 동적효과 설계기준)  
환경조건, 내외부발생 비상체의 동적영향 및 기기파손으로 인한 저장수 유출방지, 방사성물질 보존 및 미임계 유지가 가능하도록 설계하여야 한다.
- Criterion 5(구조물, 계통 및 구성품 기준)  
저장대 구조물이 해당하기와 인접하기의 안전

성능에 손상을 주지 않도록 설계하여야 한다.

- Criterion 61(연료저장/취급 및 방사선 기준)  
연료저장, 취급, 방사성폐기물 또는 방사능을 함유하는 기타계통은 정상 및 가상사고 조건에서 적합한 안전성을 보장하기 위하여 안전성에 중요한 기기에 대한 적합한 주기적 검사 및 시험이 가능하고, 방사선방호에 적합한 차폐능과 적합한 격납·제한·정화계통을 구비하고, 붕괴열 제거 등에 대한 안전성을 반영하는 신뢰성과 시험성을 갖는 잔열제거능력을 구비하여야 하며, 사고 시 저장수의 감손을 방지할 수 있도록 설계하여야 한다.
- Criterion 62(연료저장/취급 시 임계방지기준)  
기하학적으로 안전한 형상을 이용하여 임계를 방지하도록 설계하여야 한다.
- Criterion 63(감시기준)  
잔열제거성능 상실 및 고방사선준위를 감지할 수 있고 방사성물질의 유출을 방지하도록 설계하여야 한다.

"10 CFR Part 50 Section 50.68(임계사고요건)"은 임계사고를 방지할 수 있어야 하며, 저장영역이 비봉산수로 채워진 경우 유효중배계수가 0.95 이하가 되도록 설계하여야 하며, "10 CFR Part 20 Section 20.1101(방사선방호계획)"은 ALARA (As Low As Reasonably Achievable) 원칙에 따른 방사선방호설계를 하여야 한다고 규정하고 있다.

이러한 기술기준의 준수를 위하여 NRC의 "R.G 1.13(사용후핵연료 저장시설 설계기준)"은 저장조의 구조물, 계통 및 구성품은 냉각 또는 차폐에 부적합한 수위를 야기하는 저장수 손실, 연료의 기계적 손상 및 방사능 유출 또는 냉각수 손실로 인한 피폭을 방지할 수 있어야 하며, 잔열제거가 가능하여 연료의 냉각이 유지되도록 설계지침을 제시하고 있다. 또한, NRC의 "NUREG-0800(경수로용 표준심사지침서)" 9.1.2항(사용후핵연료 저장기준)에서 예측이 가능한 운전 및 사고 조건에서 연료가 안전하고 미임계를 유지하며 저장되는지에 대하여 저장조에 저장된 연료수량, 저장대, 저장조 및 저장조 라이너에 작용하는 설계하중의 영향, 지진(안전정지지진, 운전기준지진), 토네이도, 지진해일 등 자연현상 대처 성능, 냉각계통 성능, 저장조 라이너의 누설방지 성능, 저장조 및 중량물 낙하사고 가능영역, 방사선 피폭방지에 대한 차폐를 위한 적정수위 유지, 수문누설사고 등에 대하여 냉각기능 유지를 위한 설계사항, 저장조 수위, 온도, 방사선 준위 등을 감지하는 감시계통, 해당호기 및 인접호기에 대한 안전성 조치, 저장조 라이너 누설방지 성능 등에 대하여 주요 안전

성을 검토하여야 한다고 제시하고 있다.

### 3. 결 론

국내의 규정에 따라 사용후핵연료 조밀저장대는 미임계를 유지하고, 붕괴열로 인한 잔열제거능을 구비하여야 하며, 사고 시 연료의 파손으로 인하여 주변으로 방사성물질이 누출되지 않도록 건전성을 유지하여야 한다. 즉, 정상 및 사고 조건에 대하여 미임계, 잔열제거 냉각능력, 지진 및 사고 시 낙하충격하중에 대한 구조적 건전성, 중성자흡수체의 재료건전성, 방사선차폐 및 허용피폭선량 유지 등의 성능을 유지하여야 한다.

조밀저장대는 사용후핵연료를 저장하기 위한 설비이나, 원자로에 장전하기 전의 신연료도 저장할 수 있어야 하는 설비로서, "원자력법" 제2조 및 "시행령" 제9조에 따른 관계시설인 핵연료물질 취급 및 저장시설이므로, "원자력법" 제21조, "시행령" 제33조 및 "시행규칙" 제15조에 따라 조밀저장대를 설치하기 위해서는 교육과학기술부장관으로부터 운영허가를 받아야 한다. 따라서 사용후핵연료 조밀저장대의 설치에 원전의 최종안전성 분석보고서 및 운영기술지침서를 변경하여야 하며 "원자력법" 제21조에 따라 교육과학기술부장관의 허가를 받아야 한다. 이러한 인허가 획득을 위하여 조밀저장대는 국내의 규정의 기술기준을 만족시키도록 설계하고 건전성을 평가하여야 한다.

### 4. 참고문헌

- [1] 원자력법/시행령/시행규칙/원자로규칙, 2010
- [2] US, 10 CFR Part 50, Appendix A, General Design Criteria for NPPs, 2010.
- [3] US, 10 CFR Part 20, Standards for Protection Against Radiation, 2010.
- [4] US NRC, Regulatory Guide 1.13, Spent Fuel Storage Facility Design Basis, 2007.
- [5] US NRC, NUREG-0800, Standard Review Plan for the Review of SAR for NPPs(LWR Ed.), 2009.
- [6] US ANS, ANSI/ANS-57.2, Design Requirements for LWR Spent Fuel Storage Facilities at NPPs, 1983.
- [7] IAEA, Safety Series No.116, Design of Spent Fuel Storage Facilities, 1994.
- [8] IAEA, Safety Series No.117, Operation of Spent Fuel Storage Facilities, 1994.
- [9] IAEA, Safety Series No.118, Safety Assessment for Spent Fuel Storage Facilities, 1994.