

사용후핵연료 건식저장 캐니스터 격납 건전성 평가방안

채경선, 박병목, 신경욱, 이주형, 황영진

세안기술(주), 서울시 금천구 가산동 481-10 벽산디지털밸리2차 910호

gschae7@sae-an.co.kr

1. 서론

사용후핵연료 관리정책에 유연성을 제공 할 수 있는 경수로형 사용후핵연료의 건식저장을 위한 연구개발이 국내·외 연구진에 의해 진행되고 있다. 사용후핵연료 건식저장의 주요 안전기능으로서 일반인과 방사선작업종사자에 대해 방사선 피폭상의 영향이 미치지 않도록 사용후핵연료에 함유된 방사성물질을 적절하게 가두는 격납기능을 갖는 캐니스터는 사용후핵연료 다발을 담는 용기로서 수조내에서 충분히 냉각된 사용후핵연료를 적재후 건조과정, 헬륨기체 충전과정 등 일련의 절차를 통해 완전밀봉하여 금속 또는 콘크리트 캐스크내에 저장 보관한다. 방사선안전관리등의 기술기준에 관한 규칙[1] 제67조에 정하는 사용후핵연료 증간저장시설의 구조 및 설비에 관한 기술기준에 명시한 격납기능은 사고시를 포함한 해일·태풍 등의 불가항력적인 자연현상 일지라도 어떤 사유로든 일반인에게 방사선에 의한 장애가 발생하지 않도록 요구하고 있으므로 정상, 비정상, 사고조건 및 자연재해 상황에서 고유안전성 평가와 관련하여, 건식저장용기의 낙하, 살수, 파열, 관통, 화재 및 침수시험 등을 포함하는 안전성 입증시험을 거쳐 건식저장의 구조물, 계통 및 기기의 건전성을 확인하고 있다. 관련 요건[2,3]에서는 안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기는 그 안전기능의 중요도에 상응하는 안전등급 및 규격에 따라 설계, 제작, 설치, 시험 및 검사되도록 하고 있는데, 사용후핵연료 건식저장 캐니스터는 “안전기능의 중요도에 결정적”인 안전성등급분류 항목으로 분류하고 있다. 격납방법선정이나 격납건전성 평가 등은 사용후핵연료의 수송 및 저장 안전성 확보측면에서 중요하며, 사용후핵연료를 캐니스터에 적재후 용접에 의한 격납 방법을 일반적으로 사용하고 있는데 용접부에 대한 건전성 확인방법으로서 비파괴평가(Non-Destructive Evaluation; NDE)를 고려할 수 있다. 용접부에 대한 NDE 적용기술은 검사대상 재료와 상태, 용접형태, 검사환경 등에 따라 다양한 검사기법을 적용할 수 있다. 경수

로형 사용후핵연료는 발생 온도와 방사선량률이 중수로형 사용후핵연료보다 높게 나타나는데 필요에 따라 비파괴검사자의 방사선피폭 저감을 위한 적절한 수단이 마련되어야 한다. 경수로형 사용후핵연료를 건식저장하기 위한 캐니스터 격납 건전성 평가방안을 캐니스터 설계단계에서부터 검토할 필요가 있다.

2. 본론

2.1 관련근거

경수로형 사용후핵연료의 건식저장이 상용화된 미국의 경우 10CFR72에 따라 부지별허가와 일반허가제도를 시행중으로 NRC가 안전성평가와 관련하여 개발한 심사지침을[4,5] 적용하여 사용후핵연료 건식저장에 대한 인허가가 이루어지고 있다. 최종안전성분석보고서(FSAR), 부합성인증서(CoC; Certificate of Compliance) 및 제반 인허가 서류에 명시된 기술적 사항과 허가조건들에 따라 NDE 결과가 건식저장 허가수명기간 또는 영구적으로 관리 운영되어야 하고, NDE 적용규정, 평가시기, 평가방법 및 절차 등에 대한 사항들도 특성에 따라 다양하게 명시하고 있는데 CoC로 허가받은 건식저장의 종류만도 약 30여종이다. 공통적으로 건식저장 구조물, 계통 및 기기의 모든 용접부에 대해서 ASME B&PV Code(Section III, V, IX 등)나, AWS 등에 정하는 방법과 절차에 따라 NDE를 실시하도록 되어있는데, 품질보증체계에 의한 용접사의 자격인증과 승인된 용접절차서와 병행하여 비파괴검사자의 자격인증과 승인된 비파괴검사방법 및 절차에 의한 NDE만이 최소한의 캐니스터 격납안전성을 보장할 수 있다는 것이다.

2.2 NDE 제한요소

캐니스터 격납건전성 평가를 위한 다양한 NDE 적용검사방법의 선택 제한사항으로는 사용후핵연료가 갖는 온도와 방사선에 의한 영향이 지배적이다. 경수로형 사용후핵연료는 사용후핵연료인도 규정고시에서 정한 것 처럼 별도협의가 없는 한

최소 5년 이상의 냉각기간이 경과한 사용후핵연료를 건식저장하도록 규정하고 있으나 실제 피복관 온도는 약 300℃를 상회하고 있고, 방사선량률도 수송용기(캐스크) 표면기준으로 10mSv/h 이내이지만 캐스크 내부 캐니스터 상부의 방사선량률은 보다 높게 나타날 것이므로, 비록 실제 사용후핵연료 다발의 격납이 이루어지는 캐니스터 몸통과 상부 뚜껑 용접부 검사부위의 온도는 떨어질지라도 캐니스터 상부뚜껑의 밀봉용접이 완료된 상태에서 검사 및 평가가 가능한 비파괴검사 적용방법을 결정하는 것도 쉽지 않을 뿐만 아니라 검사시간 경과에 따라 비파괴검사가 받게 될 방사선량도 무시할 수 없기 때문이다.

2.3 해외사례

미국의 경우는 사용후핵연료의 건식저장의 격납 건전성평가를 위해 가동전검사(Pre-operational tests)와 가동중검사(Operational tests)로 구분하고, 품질보증체계에 따른 비파괴검사자의 자격인증과 승인된 검사방법 및 절차에 따라 NRC 입회하에 건식저장 캐니스터의 격납 및 회수성 등을 평가하고 있다. 캐니스터의 비파괴검사자에 대한 교육 및 자격인증 요건은 SNT-TC-1A에 정하고 있고, 검사방법은 침투탐상시험(PT;Liquid Penetrant Test- ing), 육안검사(VT;Visual Testing), 누설시험(LT; Leak Test) 방법 등을 사용하고 있다. 콘크리트 건식저장 시스템인 HI-STORM 100의 캐니스터에 대한 용접부위 및 검사요건을 Table.1에 나타내었다.

Table 1. HI-STORM 100 NDE Requirements for Multi Purpose Canister Welds[6].

| Weld Location | Requirement | Applicable Code |
|--|-------------|--|
| Lid-to-shell | PT, UT | ASME Section V, Article 6(PT), Article 5(UT) |
| Closure ring-to-shell | PT | ASME Section V, Article 6(PT), |
| Closure ring-to-Lid | PT | ASME Section V, Article 6(PT), |
| Vent & Drain port cover plate plug welds | PT | ASME Section V, Article 6(PT), |

스웨덴 및 핀란드는 사용후핵연료를 건식저장이 아닌 직접 처분을 하고 있는데 캐니스터 자체 및 격납 용접부에 대한 NDE는 주로 선형가속기를 이용한 디지털 방사선촬영방법을 사용하고 있

다. 최근에는 캐니스터 검사결과의 신뢰도향상을 위한 결합검출확률(POD; Probability of Detection)과 다양한 검사기법(VT, ECT, UT, RT 등) 적용 및 비파괴검사자에 의한 인적오류를 최소화하기 위해 원격검사(AUT등)방법에 의한 NDE 연구개발이 지속되고 있다.

3. 결론

경수로형 사용후핵연료 건식저장 캐니스터 격납건전성 평가 방안으로 용접부에 대한 비파괴평가 방법을 고려할 수 있다. 국내 사용후핵연료 여건에 적합한 건식저장 캐니스터 설계가 이루어지는 단계에서 향후 격납건전성 평가와 주기적 안전성평가 관리 목적의 NDE 최적화 검토가 병행되어야 한다. 완벽한 격납설계도 중요하지만 비파괴평가가 난해하거나 신뢰성 검증을 위한 적절한 평가방안이 마련되지 않는다면 사용후핵연료 건식저장의 안전성 보장과 관리대안의 장애요인이 될 소지가 있다. 캐니스터 설계단계에서 비파괴평가 방안을 고려하는 것은 격납 안전성확보와 향후 주민 수용성 확보 측면에서 의미 있을 것으로 판단된다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행중인 연구과제입니다.(No.2011171020001B-21-3-030)

5. 참고문헌

[1] "방사선안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙", 교육과학기술부령 제24호, 2009.
 [2] "Classification of Transportation Packaging and Dry Spent Fuel Storage System Components---", NUREG/CR-6407, INEL, 1996.
 [3] "Establishing Quality Assurance Programs for Packaging Used in the Transport of Radioactive Material", Reg.Guide 7.10, USNRC, 2005.
 [4] "Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage Facilities", NUREG-1567, 2000.
 [5] "Standard Review Plan for Spent Fuel Dry Storage ---", NUREG-1536, Rev1A, 2010.
 [6] "Final Safety Analysis Report for the HI-STORM100 Cask System", Holtec International.