

사용후핵연료 수송·저장 캐니스터 리드용접부 검사 요건

채경선, 박병복, 신경욱, 전호민, 이흥근, 이주형, 황영진, 박재석
 제안기술(주), 서울시 금천구 가산동 481-10 벽산디지털밸리2차 910호
gschae7@sae-an.co.kr

1. 서론

사용후핵연료 수송·저장 캐니스터는 “안전기능의 중요도에 결정적”인 안전성등급분류 항목으로 분류될 수 있으며, 안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기는 그 안전기능의 중요도에 상응하는 안전등급 및 규격에 따라 설계, 제작, 설치, 시험 및 검사되도록 하고 있다[1]. 사용후핵연료 수송·저장 캐니스터 상부뚜껑(리드;Lid)은 사용후핵연료 건식저장의 압력경계로서 격납방법 선정이나 격납건전성 평가 등은 사용후핵연료의 수송 및 저장 안전성 확보측면에서 중요하다. 사용후핵연료를 캐니스터에 적재후 격납밀봉수단으로 용접에 의한 방법을 일반적으로 사용하고 있는데 용접부의 건전성 확인방법으로 비파괴평가(Nondestructive Evaluation;NDE)를 고려할 수 있다. 용접부에 대한 NDE 적용기술은 검사대상 재료와 상태, 용접 재료/방법/형태, 검사환경 등에 따라 다양한 검사 기법을 적용할 수 있는데 건식저장 캐니스터 리드용접부의 경우 사용후핵연료로부터 발생하는 온도와 방사선량률에 의해 용접부 검사가 제한될 수 있으므로 적절한 검사방법이 캐니스터 설계단계에서부터 검토되어야 한다. 관련 문헌[2]에서 안전성관련 품목의 용접부에 대한 비파괴검사는 공인검사원이 만족할 수 있도록 실증된 상세 서면 절차서에 따라 수행되도록 하고 있고, 이 절차서는 인정되고 검증되어야 한다는 점에서 제반요건을 반영하여 사용후핵연료 캐니스터 리드용접부 특성을 고려한 비파괴검사 절차서를 수립하고 이에 따른 검사가 이루어져야 한다. NRC에 의해 부합성인증서(CoC; Certificate of Compliance)로 허가받은 건식저장용기 형식종류만도 약 30여종에 이르는데, 공통적으로 건식저장 구조물, 계통 및 기기 등의 모든 용접부에 대해서 ASME B&PV Code나, AWS 등에 정하는 방법과 절차에 따라 NDE를 실시하도록 요구하고 있으므로, 품질보증 체계에 의한 용접사의 자격인증과 승인된 용접절차서와 병행하여 비파괴검사사의 자격인증과 승인된 비파괴검사방법 및 절차 등에 관련한 품질

인정과 기술적 검증이 강조 되고 있다. 해외 적용 사례를 참조하여 국내 여건에 적합한 기술인정 및 검증방안이 마련되어야 할 것이므로 선진기술에 대한 분석과 이해가 중요하다고 판단되고, 리드용접부 검사와 관련한 기술기준을 검토하였다.

2. 본론

2.1 관련근거 및 사례

사용후핵연료 수송·저장 관련 상용화 정도와 기술표준(Code & Standard) 등을 고려하여 미국의 사례를 관련요건의 근거로 참조할 수 있는데, 10CFR71에[4] 정한 요건에 따라 NRC로부터 승인 받은 안전성분석보고서(SAR) 등에서는 압력경계를 이루는 용접부 비파괴검사를 포함한 격납건전성 평가는 다양한 검사 및 시험방법이 상호연계성을 갖도록 설계하고 있는데, 즉 사용후핵연료 적재후 밀봉용접하고 이후 비파괴검사를 통한 용접건전성 확인으로만 끝나는 것이 아닌 성능시험, 압력시험 등과 병행한 캐니스터 압력경계 전체적인 격납건전성 평가의 일부로 다루고 있다. 즉 수송·저장용기 압력경계 부위에 발생 가능한 균열, 핀홀(Pinholes;용접부 내부 가스공동), 기공이나 기타 다른 결함에 대해, 헬륨누설시험, 수압시험 및 비파괴검사(VT, ECT, RT, UT, MT, PT등)의 조합으로 시험 및 검사한다. ASME B&PV Code 등에 정하는 방법과 절차에 따라 NDE를 실시하는 것이 범용적인 검사요건이라면, 사용후핵연료 건식저장 환경특성을 고려한 적절한 NDE 방법과 절차를 사용자가 수립하고 이것을 규제절차에 의해 승인된 방법과 절차로 검증받아 제시하는 것이 건전성평가관련 인허가 획득자료 생산 도구가 될 수 있다. 검사요건에서 비파괴평가는 반드시 작성 승인된 절차서에 따라 검사하도록 명시하고 있다. 수송·저장 캐니스터 리드 용접부 관련 사례에서는[5] 용접부에 대해 체적검사가 다층 액체 침투탐상(Multi-layer Liquid Penetrant)을 하도록 명시하고 있는데, 초음파탐상(UT)과 같은 체적검사를 실시한 경우에는 액체침투탐상(PT)만 실시

하고, 체적검사가 곤란한 경우에는 다층 액체침투 탐상을 하고 있다.

2.2 검사범위 및 시기

사용후핵연료를 캐니스터에 적재하기 이전까지는 캐니스터 제작자에 의한 제작자 검사로서 상, 하부 리드를 포함한 재료에 대한 검사와 캐니스터 용기 제작을 위한 용접부의 검사가 범위에 포함될 수 있다. 사용후핵연료를 캐니스터에 적재한 이후에 캐니스터 몸체와 리드간 밀봉용접이나, 배수 및 배기구의 밀봉용접이 완료된 상태에서 실시하는 검사는 제작검사와 다른 검사제한 요인을 갖는다. 사용후핵연료로부터 발생하는 높은 방사선량률에 대한 작업자의 방사선피폭을 고려해야하고, 고온의 검사표면에서 신뢰성을 갖도록 검사방법의 선정과 검사절차를 수립하고 절차서의 인정이나 승인된 후 시행되어야 한다.

2.3 검사방법

안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기는 그 안전기능의 중요도에 상응하는 안전등급 및 규격에 따라 설계, 제작, 설치, 시험 및 검사되도록 함으로서 사용후핵연료 수송·저장 캐니스터 재료선정, 제작, 설치, 시험 및 검사 각 단계마다 ASME B&PV Code(Section II, III, V, IX, XI 등)에 따른 요건과 합격기준을 찾을 수 있다. 국내에서 설계 개발중인 수송·저장 캐니스터의 경우도 설계가 결정되면, 재료나 용접부 설계유형에 따라 Table 1에 나타낸 검사방법을 참고로 하여 세부검사시험 및 방법도 결정할 수 있을 것이다.

Table 1. NDE Methods in ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section V.

Subsection Article	Titles
Sub.A Art.1	General Requirements
Sub.A Art.2	Radiographic Examination
Sub.A Art.22	Radiographic Standards
Sub.A Art.4	Ultrasonic Examination(Welds)
Sub.A Art.5	Ultrasonic Examination(Materials)
Sub.A Art.23	Ultrasonic Standards
Sub.A Art.6	Liquid Penetrant Examination
Sub.A Art.24	Liquid Penetrant Standards
Sub.A Art.7	Magnetic Particle Examination
Sub.A Art.25	Magnetic Particle Standards
Sub.A Art.8	Eddy Current Examination of Tubular Products
Sub.A Art.26	Eddy Current Standards
Sub.A Art.9	Visual Examination

Sub.A Art.10	Leak Testing
Sub.A Art.12	Acoustic Emission Examination of Metallic Vessels During Pressure Testing
Sub.A Art.13	Continuous Acoustic Emission Monitoring
Sub.A Art.29	Acoustic Emission Standards
Sub.A Art.14	Examination System Qualification
Sub.A Art.10	Alternating Current Field Measurement Technique(ACFMT)
Sub.A Art.31	Alternating Current Field Measurement Technique Standards
Sub.A Art.16	Magnetic Flux Leakage(MFL)
Sub.A Art.17	Remote Field Testing(RFT)

3. 결론

경수로형 사용후핵연료 수송·저장 캐니스터 리드용접부의 비파괴검사 요건을 분석하였다. 수송·저장 압력경계인 리드 용접부 건전성 확인을 위한 검사 및 시험의 일부로서 사용후핵연료 수송·저장 환경특성을 고려한 적절한 비파괴평가 방법 및 절차를 사용자가 수립하여 제시하고 규제절차에 의해 인정 또는 승인되도록 함으로서 수송·저장 캐니스터 리드 용접부에 대한 검사 신뢰성 확보뿐만 아니라 인허가 추진자료 생산 도구로 활용 가능할 것으로 판단된다.

4. 감사의 글

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

5. 참고문헌

- [1] "Classification of Transportation Packaging and Dry Spent Fuel Storage System Components---", NUREG/CR-6407, INEL, 1996.
- [2] "Nondestructive Examination", ASME Boiler & Pressure Vessel Code Sec.V, ASME.
- [3] "전력산업기술기준의 원자력시설 기술기준 적용에 관한 지침", 원자력안전위원회고시 제 2012-13호, 2012.
- [4] "Packaging and Transportation of Radioactive Materials", U.S.Code of Federal Regulations, Title 10,"Energy",Part 71.
- [5] "Safety Analysis Report for the HI-STAR100 Cask System", Holtec International.