

사용후핵연료 수송·저장 캐니스터 리드용접부 위상배열 초음파 비파괴검사용 시험편 설계

kejseon, bakbeomok, sinegyuk, jeonhoimin, hwanyejin, bakjesik, seogiseok*
 세안기술(주), 서울시 금천구 가산동 481-10 벽산디지털밸리2차 910호
 *한국원자력연구원, 대전 유성구 대덕대로 989번길 111
gschae7@sae-an.co.kr

1. 서론

사용후핵연료 수송·저장 캐니스터 리드(Lid)용접부는 사용후핵연료 다발을 담은 캐니스터 용기 격납을 위한 압력경계로서 격납방법 선정이나 격납건전성 평가 등은 원자력관계규정[1] 등에서 명시하고 있다. 격납방법으로서 용접공법에 의한 밀봉을 권고하고, 적절한 산업기술기준에 따라 설계, 제작, 용접 및 시험되도록 하고 있는데, 전력산업기술기준의 원자로시설 기술기준 적용에 관한 지침[2]에 따라 전력산업기술기준의 원전가동중검사 또는 그에 상응하는 ASME Code Sec.XI 과 같은 기술기준을 적용할 수 있다. 캐니스터 리드용접부에 대한 비파괴검사 적용기술은 캐니스터 재료와 형상, 용접재료와 용접방법 및 용접형태, 용접 및 비파괴검사 환경조건 등에 따라 다양한 비파괴검사방법을 사용할 수 있으나, 관련사례[3]에서는 초음파검사(UT; Ultrasonic Examination)와 침투탐상(PT; Penetrant Examination) 및 누설검사(LT; Leak Testing)를 고려하고 있는데, 사용후핵연료 다발을 캐니스터에 적재한 후에는 사용후핵연료로부터 발생하는 높은 온도와 방사선량을 인하여 검사가 곤란하여 누설검사만 실시하고 있다. 최근 전자기센서 및 비파괴검사장비 기술의 발달로 고온, 고방사선장에서도 비파괴검사를 할 수 있는 다양한 수단이 개발되고 있고, 신뢰도 향상을 위한 지속적인 연구가 계속되고 있어서, 조만간 캐니스터 건전성평가와 관련한 다양한 비파괴검사방법이 상용인허가 기술기준으로 제시될 수도 있을 것이다.

캐니스터내에 사용후핵연료 다발을 적재후 리드용접부에 대한 용접건전성 확인수단으로서 초음파검사를 고려한다면, 사용후핵연료 다발을 적재한 캐니스터가 캐스크내에 배치된 기하학적 형태로 인하여 비파괴검사가 곤란하거나 검사결과 신뢰성이 미흡한 영역이 발생하기 때문에 위상배열(Phased Array)기법을 이용한 초음파검사 방법을

유용할 수 있다. 초음파가 통과하는 매질의 특성에 따라 검사결과가 상이하므로 검사장비는 통상적으로 시험편 등으로 교정하여 활용하는데, 인공결함을 갖는 교정 또는 대비시험편 등의 결함 신호에 대응하는 상대적인 초음파 신호의 양으로서 실제 용접부의 결함여부를 평가한다. 사용후핵연료 캐니스터 리드용접부의 재료, 용접조건, 열처리 등의 제반조건이 동일한 시험편을 사용하는 것은 검사의 신뢰성 확보 측면에서 중요하다.

2. 본론

2.1 관련요건

원자로시설등의 기술기준에 관한 규칙(원자로규칙) 제12조(안전등급 및 규격), 원자로규칙 제63조(시험·감시·검사 및 보수), 원자로규칙 제75조(특수작업의 관리)는 원자로 및 관계시설과 핵연료주기시설의 위치, 구조, 설비, 성능, 운영에 관한 기술기준을 정하고 있다. 특수작업의 범주에 포함되는 비파괴검사에 대한 세부기술기준은 전력산업기술기준(KEPIC) 및 그에 상응하는 기술기준(ASME Code & Standard 등)에 상세하게 명시되어있으며, 초음파검사 장비는 교정하여 사용하고, 교정시에는 시험편을 사용토록 하고 있다.

2.2 교정시험편 설계

전력산업기술기준의 용접부에 대한 초음파탐상검사 일반기준(MEN A4)에 명시된 교정시험편 및 대체시험편은 검사장비의 교정을 위한 초음파 반사체로서 측면공(구멍), 평지공, 노치 등의 인공결함을 사용하여 검사장비의 성능시험 또는 감도(Sensitivity)를 보정토록 하고 있다. 교정은 초음파검사 장치의 직선성과 스크린 높이의 직선성, 진폭조정 직선성을 보정(조정)하는 것으로서 거리-진폭교정(DAC)기법에 사용하는 기본적인 것이지만, 위상배열의 경우 기존의 단일소자 탐촉자와 동일한 일정한 고정빔각도를 가진 특정 활성소자

에 적용하는 다중송신방식의 단일집속에 대한 보정이다. 관련문헌[4]에서 용접 깊이는 캐니스터 원통형 몸통(Shell) 두께와 같거나 그 이상 깊이로 용접하도록 권고하고 있으므로 캐니스터 리드용접부의 용접깊이가 캐니스터 Shell두께 이상이면 되겠지만, 여기서는 리드용접부의 두께를 리드두께와 동일하다고 가정하고 Table1.과 같이 시험편 설계에 적용하였는데[5], 이것은 시험편에 인공적으로 만든 각 결합이 초음파신호에 의한 지시상호간섭이나 지시의 증폭됨이 없이 서로 구분될 수 있도록 하는데 유리하기 때문이다.

Table1. Calibration Block design for Phased Array UT to inspect Canister Lid-weld.

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Weld Thickness | 250-300(mm) |
| Calibration Block Thickness | 275or Lid T(mm) |
| Side Drilled Hole diameter | 11(mm) |
| Round Bottom Hole diameter | 16(mm) |

2.3 다중각 집속빔 교정시험편 설계

위상배열 초음파 특성이 갖는 장점으로서 전체 탐촉자를 구성하는 각 압전소자의 발진시간을 전자기적으로 조절하여 초음파의 진행방향을 자유롭게 조절하고 원하는 지점으로 초음파를 집속하는 방법으로 부채꼴형(S-scan;방위주사;다중각 스윕핑)주사가 있다. 검사에 적용되는 음파 경로에 대한 거리 및 진폭교정을 위해 집속빔을 조정해야 하며, 웨지(Wedge)의 음파경로 변화와 감쇠효과에 대해 적용 가능한 보상이 필요하다.

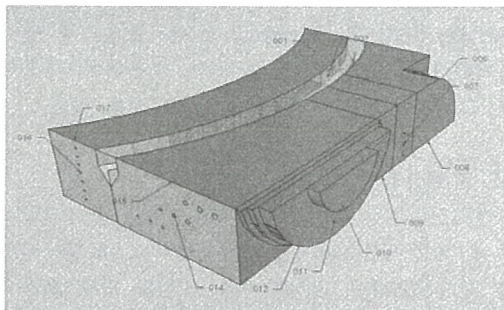


Fig. 1. S-scan Calibration Block design for Phased Array UT to inspect Canister Lid-weld.

초음파의 다중각 집속빔을 조정하기 위하여 크기가 서로다른 원호 및 반원, 깊이 방향으로 측면공 4개와 수평방향의 측면공 6개, 깊이에 따른 초음파 신호의 동적집속기능(Dynamic Depth Focus)

평가를 위한 깊이 방향으로 간격이 같은 동일한 크기의 측면공, 결합의 크기에 따른 검출능과 감도의 측정을 위하여 같은 깊이의 크기가 다른 측면공과, 같은 크기의 깊이가 다른 측면공을 갖도록 하였다. 위상배열초음파 검사방법의 특징으로서 다중각 집속빔 조정을 위하여 설계한 시험편을 Fig.1에 나타내었다.

3. 결론

캐니스터 리드용접부의 리드재료, 성분, 용접형태 및 열처리조건 등이 동일하고 인공결합을 만들어 놓은 시험편으로부터 나오는 인공결합 초음파신호에 대응하는 상대적인 초음파 신호를 평가하는 방법으로 실제 리드용접부의 결합여부를 평가할 수 있는데, 사용후핵연료 다발을 적재한 캐니스터가 캐스크내에 배치된 기하학적 형태로 인하여 위상배열초음파 검사방법을 사용할 수 있다. 위상배열초음파 검사를 위하여 리드용접부의 재료와 형상 및 조건을 동일하게 하여 설계, 제작한 시험편은 리드용접부에 대한 용접건전성평가 뿐만 아니라 비파괴검사 방법의 결정 및 검사의 신뢰성 확보에 필수적이다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행중인 연구과제입니다.(No.2011171020001B-22-3-030)

5. 참고문헌

- [1] "방사성폐기물 처리설비의 구조 및 설비에 관한 기술기준", 원자력안전위원회고시 제2012-62호.
- [2] "전력산업기술기준의 원자로시설 기술기준 적용에 관한 지침", 원자력안전위원회고시 제2012-13호.
- [3] "Safety Analysis Report for the HI-STAR100 Cask System", Holtec International.
- [4] "Cask Closure Weld Inspections", NRC Interim Staff Guidance-4, Rev.1.
- [5] "ASME Boiler & Pressure Vessel Code Section V Nondestructive Examination", A4, Fig.J-431, ASME 2007.