

한국표준원전 증기발생기 전열관 Bobbin 검사의 폐기물발생 증가 요인 분석

심은섭, 김광제, 김희성, 박천웅, 서용범

케이엔디티엔아이(주), 서울시 금천구 가산동 685번지 디지털엠피아이 803호

usshim@paran.com

1. 서론

증기발생기 전열관 와전류탐상검사는 원자력발전소의 가동기간동안 시간의 경과에 따른 안전관련 설비의 취약화 정도를 감시, 평가하기 위한 가동중검사(In-Service Inspection)[1]의 하나로 원자력발전소의 매 차수 계획예방정비 시 마다 수행되며, 검사에서 발생하는 방사성폐기물의 가장 많은 양을 차지하는 것이 Bobbin 검사 시 발생하는 폐 Probe이다.

본 연구에서는 한국표준원전 증기발생기 전열관 Bobbin 검사의 폐기물발생률 증가 요인을 분석하기 위하여 케이엔디티엔아이(주)가 2008년 11월부터 2011년 6월까지 수행한 6회의 ‘증기발생기 전열관 가동중검사’ 결과[3, 4, 5, 6, 7, 8]를 자료로 하여 폐기물발생률 증가 요인을 분석하였다.

2. 본론

2.1 한국표준원전 증기발생기 전열관의 형태

한국표준원전에는 미국 CE사가 설계한 System 80 Scale Down Model의 증기발생기 2대가 설치되어 있으며, 각각 SG 01과 SG 02로 부른다. 각 증기발생기는 수직형 재순환식으로 Fig 1.과 같이 ‘∩’와 ‘∏’ 형태의 전열관이 설치되어 있다.

전열관 배열은 Fig 2.와 같으며, 전열관의 구분은 Row 번호와 Column 번호를 붙여서 구분하며 Row 번호는 Partition Plate에 가장 가까운 것을 1번으로 하여 차례로 증가하여 138번까지이며, Column 번호는 고온관의 Manway쪽의 처음을 1번으로 하여 차례로 증가하여 165번까지이다.

2.2 Bobbin 검사방법 및 폐기물발생 현황

한국표준원전 증기발생기 전열관의 Bobbin 검사는 증기발생기 전열관 100%를 대상으로 전열관의 전 길이에 대하여 Probe를 전열관 내부에 삽입하여 인출하면서 신호를 수집한다. 따라서 전열관의 내부 상태가 Probe의 수명에 많은 영향을 미치게 된다.

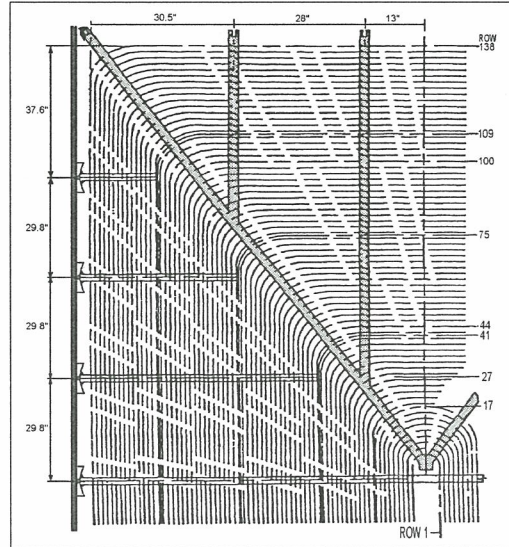


Fig. 1. KSNP 증기발생기 전열관의 형태 및 제원.

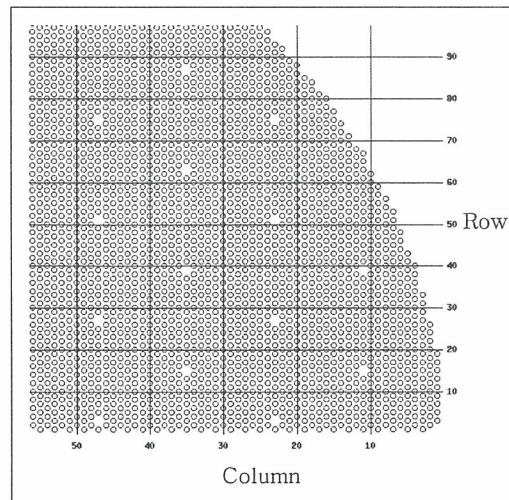


Fig. 2. KSNP 증기발생기 전열관의 배열도.

케이엔디티엔아이(주)가 수행한 6회의 Bobbin 검사수량과 폐기물발생률을 Table 1.로 정리하였으며, 폐기물발생률은 검사 전열관 1,000tubes 당 폐기되는 탐촉자의 수로 정의하였다.

Table 1. Bobbin 검사수량 및 폐기물발생률* 현황.

발전소 및 검사차수	검사수량 (tubes)	Probe 사용량(ea)	폐기물발생률 (ea/1,000tubes)
영광6호기 5차**	16,948	52	3.07
영광5호기 6차**	17,140	68	3.97
영광3호기 12차**	16,505	54	3.27
영광4호기 12차	17,133	45	2.63
울진3호기 10차	16,573	39	2.35
영광3호기 13차	16,533	41	2.48
평균	16,805	50	2.96

* 검사 전열관 1,000tubes 당 폐기되는 Probe의 수

** Bobbin 검사 중 전열관 내부에 표면 결로 발생

2.3 전열관의 표면 결로 발생 원인

한국표준원전 증기발생기의 전열관은 Fig 1.과 같이 전열관의 Row 번호가 1~17인 전열관은 ‘ \cap ’ 형태이고, 18~138인 전열관은 ‘ \sqcap ’ 형태이다.

이러한 전열관 형태로 인하여 증기발생기의 1차 냉각재를 배수하여도 Row 번호가 18 이상인 전열관은 상부 수평부위에 있는 냉각재가 완전히 배수가 되지 않고 전열관 내부에 남게 된다.

이렇게 전열관 내부에 남아있는 냉각재와 증기 발생기 전열관 내부의 습기를 제거하기 위하여 와진류탐상검사 수행기간 중 증기발생기의 Manway에 Air Blower를 설치하여 전열관 내부를 건조시키고 있지만 여러 가지 원인으로 전열관 내부에 표면 결로(Surface condensation)가 발생하고 있다.

케이엔디티앤아이(주)가 수행한 6회의 증기발생기 전열관 가동중검사 기간 중 표면 결로가 발생하였던 3회 검사의 발생 원인을 검사기간 중 기록된 검사일지 등을 참고로 분석한 결과 다음과 같이 분석되었다.

영광6호기 5차와 영광3호기 12차의 결로 발생 원인은 증기발생기 전열관 와진류탐상검사 기간 중 Air Blower 배기관이 연결된 Low Volume Purge Fan이 발전소 계획예방정비기간 중의 정전작업으로 운전이 정지되어 Air Blower의 배기가 이루어 지지 않아 이로 인하여 전열관 내부에 표면 결로가 발생한 것으로 추정되며, Low Volume Purge Fan이 정지된 기간 중의 Bobbin 검사 수행 시 검사장비에 부착된 수של Camera로 전열관 내부에서 응축된 물이 흘러내리는 것을 확인할 수 있었다.

영광5호기 6차 검사의 표면 결로 발생 원인은

원자로 Head 인양과 원전연료 인출 작업을 위하여 Reactor Cavity에 물을 충수하며 이때 발생하는 수증기 제거를 목적으로 Reactor Containment Fan Cooler가 운전되는데 영광5호기 6차 증기발생기 전열관 가동중검사 기간 중에는 원자로 내부의 수증기 제거를 위하여 평상시 보다 더 많은 2대의 Reactor Containment Fan Cooler가 운전되었다. 이로 인하여 원자로건물 내부의 공기 온도가 내려가고 증기발생기의 온도 이하로 내려간 차가운 공기가 Air Blower의 운전으로 증기발생기 전열관 내부를 지나면서 표면 결로가 발생한 것으로 추정된다.

3. 결론

Table 1.에 집계된 6회의 증기발생기 전열관 검사기간 중 3회의 검사에서 표면 결로가 발생하였으며, 표면 결로가 발생하였던 검사가 그렇지 않았던 검사보다 폐기물발생률이 더 높은 것을 확인할 수 있었다. 이로서 전열관 내부의 습기가 Bobbin 검사 시 발생하는 폐 Probe 즉 폐기물발생률 증가에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

4. 참고문헌

- [1] “원자로시설의 가동중 검사에 관한 규정”, 과학기술부 고시 제2009-23호.
- [2] 심은섭 외, “한국표준원전 증기발생기 전열관 검사의 방사성폐기물 발생량 분석 및 처리방법에 대한 고찰”, 2006년도 추계 한국방사성폐기물학회 학술논문요약집.
- [3] 케이엔디티앤아이(주), “영광6호기 5차 증기발생기 전열관 가동중검사 최종보고서”, (2008).
- [4] 케이엔디티앤아이(주), “영광5호기 6차 증기발생기 전열관 가동중검사 최종보고서”, (2009).
- [5] 케이엔디티앤아이(주), “영광3호기 12차 증기발생기 전열관 가동중검사 최종보고서”, (2010).
- [6] 케이엔디티앤아이(주), “영광4호기 12차 증기발생기 전열관 가동중검사 최종보고서”, (2011).
- [7] 케이엔디티앤아이(주), “울진3호기 10차 증기발생기 전열관 가동중검사 최종보고서”, (2011).
- [8] 케이엔디티앤아이(주), “영광3호기 13차 증기발생기 전열관 가동중검사 최종보고서”, (2010).