방사선환경에서 ACP 주요부품의 신뢰도 평가

이효직, 윤광호, 임광묵, 박병석
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
hyojik@kaeri.re.kr

ACPF는 사용후핵연료 차세대 관리종합공정의 실증을 위한 시설로 탈피복, 분말화, 전해환원, 염잉곳제조, 금속잉곳제조 장치와 같은 사용후핵연료를 처리하기 위한 기계 장치 및 화공정 장치들이 설치되어 있다. 이러한 공정장치들은 사용후핵연료를 직접다루기 때문에 사용후핵연료에서 발생하는 방사선에 대한 내방사선 요건을 만족해야 한다. 내방사선 기능이 없거나 수명이 짧은 공정장치의 부품들은 간단히 원격으로 유지, 보수 또는 교체가 용이해야 한다. 특히 장치의 구동에 관여하거나 장치의 공정상태를 모니터링하는 센서 부품 등은 공정의 생산성 및 효율성 측면에서 그 신뢰도가 매우 중요하다. 본 연구는 로봇, 전자, 계측 시스템 등에 가장 위협이 되는 감마선을 ACP에서 사용되는 중요 대상 부품에 조사시켜 그 영향을 평가하고자 하는 데에 목적이 있다. 이번 연구에서 방사선영향평가의 대상 부품으로 선정한 것으로는 AC 서보모터, 포텐쇼미터, 열전대, 가속도계, CCD 카메라 등이다.

- AC 서보모터

AC 서보모터의 경우 BTSM의 슬래이브 매니퓰레이터에 총 7개, 브릿지 transporter에 3개가 사용되고 있으며, 탈피폭장치, 분말화장치 등에 걸쳐 많이 사용되는 부품이므로 방사선 영향평가가 필요한 부품이다. AC 서보모터는 7.0×10^{3}~2.0×10^{4} Gy/hr 선량률 범위 내에서 조사시험을 4 개월여 동안 최종 누적선량이 1.6×10^{7} Gy가 될 때까지 조사시험을 수행하였다. AC 서보모터가 조사시설에 놓이는 위치에 따라 선량률의 변화가 있었으므로, 선량률의 변화에 대한 영향은 본 실험에서 볼 수 없었지만, 누적선량에 대한 결과만을 얻을 수 있었다. 누적선량 1.6×10^{7} Gy 이내에서는 아무런 조사영향이 없는 것으로 나타났다.

- 포텐쇼미터

포텐쇼미터의 구조는 단순하게 회전량에 따라 저항값이 변화하게 되는 원리를 이용하는 것이다. 내부에 저항 이외에는 어떠한 전기/전자 소자도 포함되어 있지 않으므로 고방사선에도 큰 영향을 받지 않을 것으로 예상되는 아날로그 센서 중 하나이다. 누적선량이 1.8×10^{7} Gy이 될 때까지 조사시험을 수행하였고, 독립선형성을 비교대상으로 하였다. 누적선량 1.8×10^{7} Gy 이내에서는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

- 열전대

열전대의 경우 ACP 핫셀에서 내부반응용기의 온도를 측정할 때 사용되어진다. 방사선영향평가의 대상이 된 열전대는 두 가지로 하나는 금속전환장치의 반응용기 내부의 용융염 온도를 측정할 때 사용하는 것이고, 다른 하나는 금속전환공정이 끝난 후 폐용융염을 염잉곳장치로 이송할 때 거치게 되는 이송관의 온도측정을 위해서 사용하는 것이다. 열전대의 경우 오프라인으로 방사선영향평가를 하였다. 열전대의 방사선영향평가 실험을 위해 기준온도를 제공할 수 있는 furnace를 이용하였다. 9.5×10^{6} Gy의 누적선량까지 조사시험을 수행하였고 약간의 영향을 받은 것으로 나타났다. 결과를 그림 1에 나타내었다.

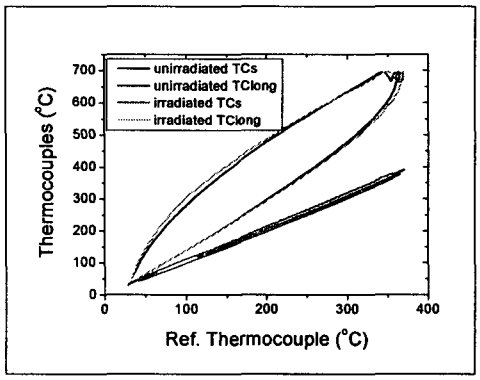

그림 1. 평준화된 온도로 표시한 열전대 방사선영향평가 결과

- 가속도계 및 CCD 카메라

이상감시의 용도로 사용되는 진단센서로는 가속도계, CCD 카메라 등이 있으며 가속도계의 경우 탈피복장치의 실시간 이상진단에 사용되어지고 CCD 카메라의 경우 Campaign 간 In-situ 영상 이상검사에 사용된다. ACP 핫셀은 1 batch 당 20 kg의 사용후핵연료를 다루도록 되어있는데, 1 batch 당 소요시간이 대략 1500 시간으로 예측되므로 이 기간 동안 진단센서가 실제 받을 방사선의 양은 매우 크며 센서의 신뢰도를 확보하기 위해서는 방사선 영향평가를 수행하여 손상분기점을 찾아낼 필요가 있다. 가속도계의 경우 그림 2의 결과와 같이 누적선량 대비 변화폭이 큰 $2.0\times10^{6}Gy$ 정도가 손상분기점이라고 말할 수 있다. 따라서 $2.0\times10^{6}Gy$ 이내에서는 방사선이 가속도계에 미치는 영향이 미미하다고 할 수 있다. CCD 카메라의 경우 알려진 바에 의하면 손상분기점이 100 Gy 정도이지만 그림 3의 실험결과에 의하면 실제 손상분기점으로 알려진 100 Gy보다는 좀 더 높은 200 Gy 정도로 예측된다.

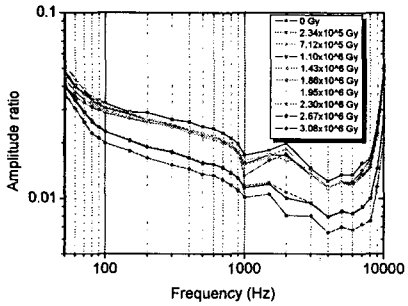

그림 2. 주파수변화에 따른 진폭신호 변화

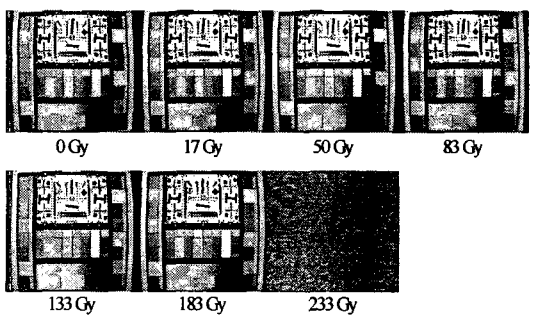

그림 3. 누적선량에 따른 CCD 카메라의 신호 변화

- 결론 및 향후 계획

AC 서보모터 및 포텐쇼미터 등은 방사선의 영향에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났고, 열전대의 경우는 향후 추가 실험을 통한 손상분기점을 찾아낼 필요가 있다. 가속도계와 CCD 카메라의 경우 손상분기점 및 특성변화 자료가 유지보수 시점을 찾아내는 데 요긴하게 사용될 수 있을 것이다.

References

1. G. You, et al., "Development of hot cell facilities for demonstration of ACP," Proceedings of the 4th Korea-China Joint Workshop on Nuclear Waste Management, pp. 191-204, 2003.