

ACP 공정장치 부품의 방사선영향평가 Irradiation Test of ACP Equipment Components

##이효직¹, 윤광호¹, 임광목², 박병석¹

^{##}H. J. Lee(hyojik@kaeri.re.kr)¹, K. H. Yoon¹, K. M. Lim², B. S. Park¹

¹한국원자력연구원 핵연료주기원격장치팀, ²한국원자력연구원 원자력환경안전연구센터

Key words : Irradiation, ACP, AC servo motor, Thermocouple, Accelerometer, CCD camera

1. 서론

ACP(Advanced spent fuel Conditioning Process) 시설은 사용후 핵연료 차세대 관리종합공정의 실증을 위한 시설로 탈피복, 분말화, 전해환원, 염잉곳제조, 금속잉곳제조 장치와 같은 사용후핵연료를 처리하기 위한 기계 장치 및 화공정 장치들을 갖추고 있다[1]. 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 ACP 공정장치의 중요 대상 부품에 조사시켜 그 영향을 평가하고자 하는 데에 목적이 있다. 이번 연구에서 방사선영향평가의 대상 부품으로 선정된 것으로는 AC 서보모터, 열전대, 가속도계, CCD 카메라 등이다.

2. 감마조사시설

조사시험을 수행하기 위해서 정읍 방사선과학연구소의 고준위 및 저준위 감마조사시설을 이용하였다. 고준위시설은 Co-60 선원을 사용하고 현재 장전량은 415,813 Ci이며 최대 선량률(dose rate)은 2.54×10^4 Gy/hr이다. 저준위시설은 Co-60 선원을 사용하고 현재 장전량 2,635 Ci이며 최대 선량률은 1.50×10^3 Gy/hr이다(2006년 12월 기준). Fig. 1에 고준위조사시설의 개략도를 나타내었다.

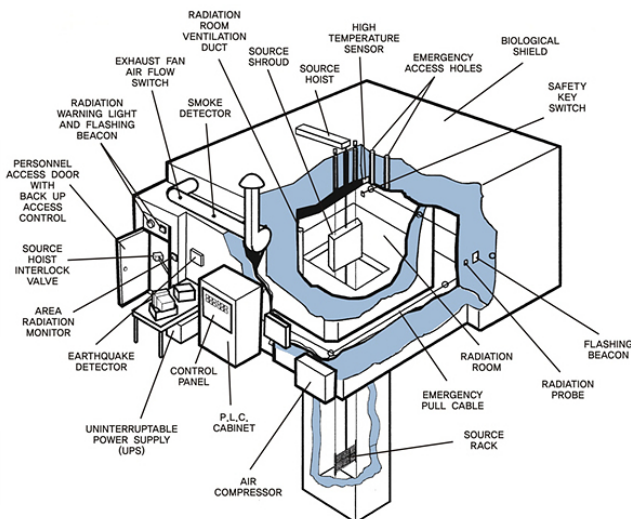


Fig. 1 고준위 감마조사시설의 구조

조사시설은 1.6 m 이상의 두꺼운 중콘크리트 차폐벽을 사용하여 외부 피폭을 없도록 하고 있다. 조사 대상물의 방사선 조사 실험을 위해서는 온라인 데이터 취득방법과 오프라인 데이터 취득방법이 있다. 온라인이란 선원을 내리지 않은 상태로 조사시설 외부에서 원격으로 데이터 취득을 하는 방법을 말하며, 오프라인이란 데이터 취득을 위해서 선원을 내린 후 대상물을 꺼내와 계측하는 방법을 말한다. 오프라인은 간단하지만, 시간이 많이 걸리고 온라인은 시간은 비교적 적게 걸리지만 장치구성이 복잡

해진다. 방사선영향평가 대상 부품 중 AC 서보모터와 가속도계는 손상분기점이 매우 높은 것으로 알려져 있기 때문에 온라인 데이터 취득방법을 이용하였고, 열전대의 경우는 손상분기점이 매우 높지만 장치구성의 문제로 오프라인 데이터 취득방법을 선택하였으며, CCD 카메라의 경우는 손상분기점이 매우 낮으므로 오프라인 방법을 선택하였다.

3. AC 서보모터

참고문헌 [2]의 결과로부터 AC 서보모터의 경우 예상 손상분기점은 약 1.0×10^7 Gy으로 예측된다. AC 서보모터의 경우 BTSM의 슬레이브 매니플레이터에 총 7개, 브릿지 transporter에 3개가 사용되고 있으며, 탈피복장치, 분말화장치 등에 걸쳐 많이 사용되는 부품이므로 방사선 영향평가가 반드시 필요한 부품이다. AC 서보모터는 $7.0 \times 10^3 \sim 2.0 \times 10^4$ Gy/hr 선량률 범위 내에서 4 개월여 동안 최종 누적선량이 1.6×10^7 Gy가 될 때까지 조사시험을 수행하였다. 본 조사시험에서는 선량률에 따른 영향은 고려하지 않고, 누적선량에 대한 영향만을 고려하였다. AC 서보모터의 누적선량에 따른 데이터를 수집하기 위한 방법으로 온라인계측 방법을 택하였다. 즉, 모든 계측장비 및 모터드라이버 등은 고준위조사시설 밖에 설치하여 방사선 영향을 막고, AC 서보모터만을 조사시설 안에 설치하여 방사선 조사를 하고, 원하는 시간에 모터를 구동시켜 그 때 얻어지는 데이터를 분석할 수 있도록 하였다. 최종 누적선량이 1.6×10^7 Gy이 될 때까지 조사시험을 수행하였고, 사다리꼴 및 정현파 속도입력에 대한 응답특성 실험 결과 Fig. 2와 같이 조사 전과 후의 응답특성이 전혀 변화가 없음을 알 수 있었다.

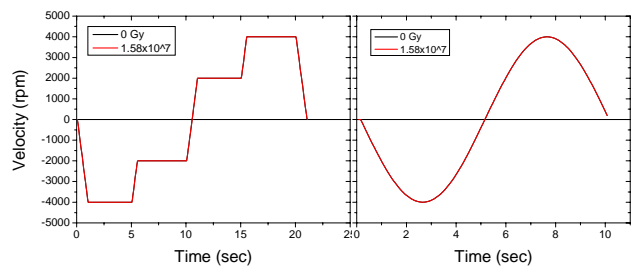


Fig. 2 AC 서보모터의 속도입력에 대한 응답특성

4. 열전대

방사선영향평가의 대상이 된 열전대는 두 가지로 하나는 금속 전환장치의 반응용기 내부의 용융염 온도를 측정할 때 사용하는 것이고, 다른 하나는 금속전환공정이 끝난 후 폐용융염을 염잉곳 장치로 이송할 때 통로가 되는 이송관의 온도측정을 위해서 사용하는 것이다. 열전대의 경우 오프라인으로 방사선영향평가를 수행하였다. 열전대의 방사선영향평가 실험을 위해 기준온도 제공을 할 수 있는 furnace를 이용하였다. furnace 온도 실험 시 온도프로그램은 승온(325 °C, 20 min) → 유지(325 °C, 30 min) → 승온(650 °C, 30 min) → 유지(650 °C, 6 hr) → 냉각의 순서로 입력하였고, furnace 뚜껑에 삽입된 세 열전대의 온도를 furnace 내부 온도가 다 식을 때까지 측정하였다. furnace 내부 주위에는 히터가 설치되어 있어 furnace 내부의 온도를 올리게 되는데,

특성을 살펴보면 바닥온도가 가장 높고 뚜껑에 가까운 쪽의 온도가 가장 낮다. TC_{long} 열전대는 금속전환장치의 반응용기 온도측정용이며 길이가 상당히 길어 furnace 바닥에 닿도록 설치되어 있다. TC_s 열전대는 염이송관 온도측정용이며 길이가 매우 짧은편이다. TC_{ref}는 furnace 내부온도 측정용 기준 열전대이며 길이가 역시 짧은편이다.

실험은 총 2 회가 실시되었는데, 1 회 때는 조사되지 않은 건전한 TC_{long}과 TC_s 열전대를 평가한 것으로 'unirradiated'로 표시가 되었고, 2 회 때는 9.5×10⁶ Gy의 누적선량을 받은 TC_{long}과 TC_s 열전대를 평가한 것으로 'irradiated'로 표시하였다. 각 실험의 프로그램 온도는 똑같지만 실제 실험 당시 외부환경의 영향으로 TC_{ref}의 온도가 약간 차이가 남을 알 수 있다. 따라서 이러한 영향을 배제시키고 오직 방사선의 영향만을 보기위하여 TC_{ref} 열전대의 온도로 TC_{long}과 TC_s 열전대의 온도를 Fig. 3과 같이 나타내었다. TC_{long}과 TC_s 열전대 모두 방사선 조사된 것과 안 된 것이 약간의 차이를 보이고 있다. 누적선량에 대한 방사선의 영향을 살펴보기 위해서는 향후 9.5×10⁶ Gy 누적선량 이상으로 조사된 열전대에 대한 추가 실험이 필요하다.

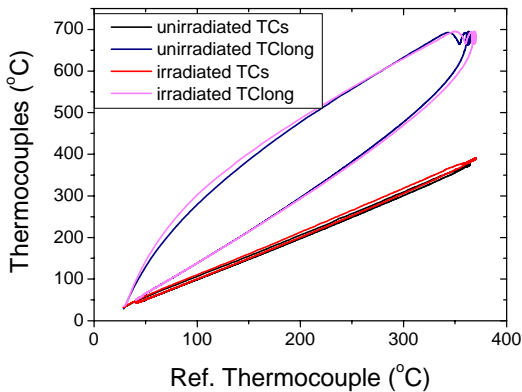


Fig. 3 기준 열전대 온도로 표시한 열전대의 방사선영향평가 결과

5. 가속도계

ACP 시설에서 사용후핵연료 처리를 위한 공정장치의 상태진단 및 모니터링을 위한 센서로 사용되는 것 중 하나가 가속도계이다. 사용후핵연료는 고방사성 물질이므로 근접한 구역에서 사용되는 가속도계의 방사선영향 특성을 파악할 필요가 있다. 이를 위해 고준위조사시설에 가속도계를 설치하고 시설 밖에 설치한 계측 시스템에서 온라인으로 제어하여 가속도계를 가진하고, 센서신호를 수집, 처리하여 누적선량에 따른 특성변화를 관찰할 수 있도록 하였다.

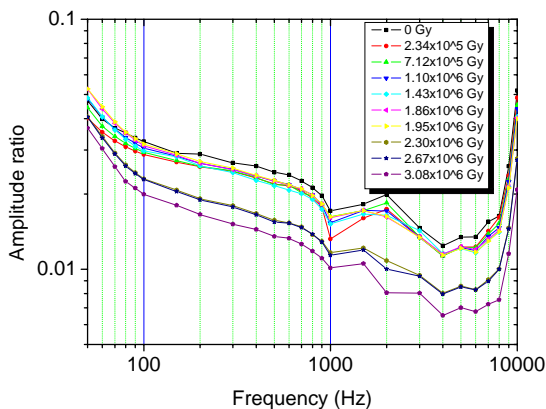


Fig. 4 주파수변화에 따른 진폭신호 변화

가진기에는 항상 정현파 형태의 파형이 입력되도록 프로그래밍 되어있고, 가속도계의 출력범위를 고려하여 50 Hz에서 10 kHz 사이에서 주파수를 변화시켜가며 데이터를 취득하도록 하

였다. 가속도계로부터 수집한 정현파의 진폭을 함수발생기의 진폭 레벨로 나누어 평균화시켜 주파수변화에 따른 진폭변화를 살펴보았다. Fig. 4에 주파수 변화에 따른 진폭신호의 크기를 나타내었다. 실험결과에 의해 누적선량 대비 변화폭이 큰 2.0×10⁶ Gy 정도가 손상분기점이라고 예측할 수 있다. 따라서 2.0×10⁶ Gy 이내에서는 방사선이 가속도계에 미치는 영향이 미미하다고 할 수 있다.

6. CCD 카메라

CCD 카메라의 경우 ACP 공정장치의 In-situ 영상 이상감사에 사용된다. CCD 카메라의 경우 방사선에 매우 취약한 것으로 알려져 있어 저준위감마조사시설을 이용하여 100 Gy/hr의 일정한 선량율으로 조사시켜가면서 데이터를 오프라인으로 취득하는 방식으로 방사선영향평가를 수행하였다. CCD 카메라의 경우 손상분기점이 100 Gy 정도로 알려져 있다. 본 실험에 의한 결과는 Fig. 5에 나타내었다. 실제 손상분기점으로 알려진 100 Gy보다는 좀 더 높은 손상분기점을 보여주고 있다. 누적선량에 따라 촬영된 평가판을 보면 183 Gy까지는 아무런 영향도 받지 않다가 233 Gy에서 모든 촬상소자가 파손되었음을 알 수 있다. 결과를 종합해 볼 때 ACP 시설 내에서 In-situ 영상 이상감시용으로 사용할 카메라의 손상분기점은 183 Gy 까지라고 말할 수 있다. 이는 다른 센서류에 비해 매우 낮은 값이다. 소형 CCD 카메라의 손상분기점이 매우 낮으므로 주기적인 교체가 필요하지만, CCD 카메라의 가격이 비교적 저렴하므로 주기적 교체는 타당성이 있는 보수 방안이라고 할 수 있다.

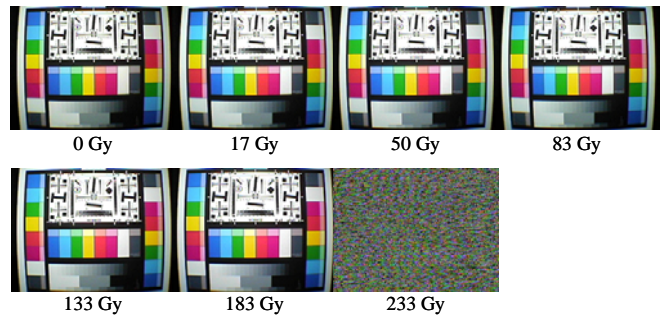


Fig. 5 누적선량에 따른 소형 CCD 카메라의 방사선 특성

7. 결론

AC 서보모터, 열전대 등과 같이 전자부품이 들어가 있지 않은 아날로그형 부품은 방사선에 굉장히 강인하여 높은 누적선량에도 특성변화가 거의 없어 유지 및 보수 비용을 크게 요구하지 않으나, CCD 카메라와 같은 경우 주기적인 교체가 필요할 것으로 사료된다. 또한 공정장치의 이상진단에 사용되는 가속도계와 같은 센서류 등은 약간의 특성변화에도 주의 깊게 살펴볼 필요가 있으며, 방사선영향평가 데이터의 보유가 반드시 필요하다. 이와 같은 ACP 공정장치의 주요부품에 대한 방사선영향평가 특성자료는 향후 계획 중인 Scale-up 공정장치 설계의 기본 자료로 요긴하게 활용될 것이다.

후기

본 연구는 과학기술부의 원자력 중장기연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 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, 191-204, 2003.
- K. U. Vandergriff, "Designing Equipment for Use in Gamma Radiation Environments," ORNL/TM-11175, ORNL, 1990.