

# 방사선 환경에서 사용되는 원격취급장치의 내방사선 요건분석

정운목\*, 김성현, 박병석, 김기호, 이종광

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*jym@kaeri.re.kr

## 1. 서론

사용후핵연료와 같은 고준위 방사선은 재료의 특성을 변화시켜 구성품의 설계수명을 단축시킨다. 따라서 고방사선 환경에서 사용되는 장비를 설계할 때 실제 공정이 성공적으로 달성될 수 있도록 방사선환경과 구성품에 대한 내방사선 평가가 선행되어야 한다. 사용후핵연료 차세대 공정의 주요장치들에 사용되는 구성품으로는 모터, 케이블, 센서, 윤활재 등이 있으나 이들에 대한 상용 내방사선 제품은 많지 않다. 부품선택에 있어 상용부품보다 내방사선 부품은 가격이 높고 상대적으로 일반 제품보다 성능이 떨어지며 시중에서 구하기도 어렵고 수급기간이 많이 걸린다. 그렇기 때문에 상용화 된 부품을 이용하여 내방사선 부품을 선별하는 것이 필요하고 이에 대한 성능평가가 체계적으로 이루어져야한다. 본 논문은 방사선 환경에서 사용되는 원격취급장치 및 그 부품들의 내방사선 요건을 분석하여 향후 고방사선 환경에서의 원격취급장치 및 부품 선정에 도움이 될 수 있는 기초자료를 생산하는데 목적이 있다.

## 2. 주요부품에 대한 방사선 조사영향 분석

### 2.1 윤활재

윤활재는 표면마찰을 줄이고 부식방지 및 냉각을 위해 사용이 되며 대표적으로 베어링, 기어박스 모터, 기타 이동부품에 사용이 된다. 윤활재는 방사선 환경에서 경도, 점도, 밀도 등 중요 기계적인 성질의 변화가 최소화 되어야 한다. 윤활재는 한계점 이상의 고방사선 환경에 노출되거나 장시간의 방사선 환경에 노출되면 다음과 같은 특징이 나타나게 된다. (1) 색깔이 검게 변화되며 산화가 진행되어 매캐한 냄새가 난다. (2) 밀도와 점도가 증가된다. (3) 고체상으로 중합이 발생하게 된다. 또한 고체 윤활재는 방사선과 온도변화에 좋은 내구성을 보이고 있으나 습도, 산소, 먼지 등에 쉽게 그 성질이 변하는 단점을 갖고 있어 고체 윤활재 보다는 액체 윤활재(오일)사용이 권고된다. 일반적으로 윤활재는 다음 Table 1과 같은 조사범위에 따라 구분이 된다.

Table 1. The property changes of lubricant according to radiation dose

Dose (M Gy)	Comments
< 0.01	방사선에 의한 영향 없음
0.01 ~0.1	온도, 및 대기상태(진공 및 기압)등의 환경인자의 영향을 받음
0.1~1.0	물리적 성질이 변화하며, 산화안정성과 열적안정성이 변화하기 시작
1.0~10	대부분의 윤활재의 산화안정성과 열적 안정성이 심각하게 변화하며 물리적 변화로 인한 주요 영향들이 발생하기 시작
10-100	Polyphenyls, Poly(Phenyl Ethers), Alkylaromatics가 사용됨
>100	내방사선이 가장 좋은 유기성분일 경우에도 제한을 받는다. 칼코게나이나 황화물리브덴 같은 고체 윤활이 사용되어야 한다.

### 2.2 모터

모터의 내방사선 유지에 있어 고려해야 할 부분은 절연, 윤활 등이다. 지속되는 모터사용은 전류가 통하는 모터와 제동장치 코일에서 열을 발생하게 하며 열은 온도를 상승시켜 방사선에 의한 손상을 가속화 시킬 수 있다. ITER에서는 여러 상용모터에 대해 내방사선 실험을 진행하였으며 문턱선량(방사선에 대한 영향이 시작되는 가장 낮은 선량)을 제시하였다(Table 2).

Table 2. Acceptance dose for commercial motors

구분(제조회사)	문턱선량 ( M Gy)
Small-sized radiation hard AC servo motor	60
Servo Motor, type BLS072	40
AC servo motor(Yasukawa Electric Co.)	55
Reduction gear box (Harmonic DriveTM)(SK-2)	30
Reduction gear box (Harmonic DriveTM)(GK-1)	25

표준형 윤활재(구리스)를 사용한 SK-2와 hard 타입의 윤활재를 사용한 GK-1 사이의 문턱선량 차이는 윤활재가 모터의 내방사선에 많은 영향을 미치고 있음을 보여준다. 따라서 윤활재의 선택은 방사선 환경에서 모터의 수명을 결정하는데 중요한 인자가 될 수 있다.

## 2.3 센서

### 2.3.1 strain gauge

strain gauge는 여러 센서들의 기본적인 구성요소이며 strain signal 관점에서 응력, 리드선의 절연저항, 게이지의 전기적 특성 등이 평가되어야 하며  $3 \times 10^4$  Gy/hr 이하의 선량에서 사용되기를 권고하고 있다. ITER에서는 strain gauge를 foil type과 capsule type으로 나누어 내방사선 실험을 진행하였으며 다음과 같은 문턱선량을 제시하였다(Table 3).

Table 3. Acceptance dose for commercial strain gauge

구분(제조회사)	문턱선량 (MGy)
Strain gauge_foil type (Kyowa Electronic Instruments Co.)	20
Strain gauge_capsule type) (Kyowa Electronic Instruments Co.)	20

또한 리드선과 게이지 사이의  $1.6 \times 10^5$  M Ohm 이었던 절연저항이 80 MGy의 선량을 조사시킨 후에는  $1.2 \times 10^4$  M Ohm으로 줄어들었다. 이를 통해 지속적인 방사선으로 인해 조사선량이 누적되면 strain gauge의 저항을 변화시켜 중대한 손상을 입힐 수 있음을 보여준다.

### 2.3.2 Encoder

디지털 전자회로에서 어떤 부호계열의 신호를 다른 부호계열 신호로 변환 시켜주는 부호 변환기를 encoder 라하며  $3 \times 10^4$  Gy/hr 이하의 선량에서 사용하기를 권고하고 있다. ITER에서는 여러 상용 encoder에 대한 내방사선 실험을 진행하였으며 다음과 같은 문턱선량을 제시하였다(Table 4).

Table 4. Acceptance dose for commercial encoder

구분(제조회사)	문턱선량 (MGy)
Optical fiber used rotary encoder_prototype (Micro Servo Inc.)	16.4
Resolver, type FN 1071 (ADMOTEC SA/, 8700 Kussnacht)	28
Hollow shaft resolver_pancake type (Moore Reed)	16
Resolver (Artus)	6.5

## 2.4 금속

일반적으로 금속은 지속되는 방사선 조사로 인해 인장강도와 항복강도가 증가되고 연성이 감소하게 된다. 주요 금속의 문턱선량은 Table 5와 같으며 알루미늄 합금과 SUS가 방사선의 영향을 가장 덜 받는 것을 알 수 있다.

Table 5. Acceptance dose and rank for metals under radiation condition

순위	구분	문턱선량 (MGy)
1	Aluminum and its alloys	$5 \times 10^5$
2	300 Series stainless steel	$1 \times 10^5$
3	400 Series stainless steel	$5 \times 10^4$
4	Iron	$3 \times 10^4$
5	Copper	$2 \times 10^4$

## 3. 결론

고방사선 환경에서 사용되는 장비를 설계할 때는 각 부품별 내방사선 평가가 필수적이며 방사선 영향을 평가한 후 차폐를 할 것인지, 저준위 방사선 구역으로 이동을 시킬 것인지, 방사선에 강한 다른 제품을 사용할 것인지 등과 같은 방안을 강구하는 것이 선행되어야 한다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 정부가 지원하는 한국연구재단의 원자력 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 5. 참고문헌

- [1] 송태길 외 5명, "차세대관리공정 기계/제어 장치의 내방사선 요건 분석", KAERI/TR-2116/2002(2002).
- [2] 오승철 외 4명, "감마 방사선 환경에서 사용되는 장비의 설계", KAERI/TS-59/98(1998).
- [3] J.Campbell, "RADIATION HARDNESS MANUAL (Volume II Gamma Irradiation)", ITER Organization(2007).