

KSTAR 2010년 방사선 발생량 분석 및 방사선안전관리 계획

김희수 · 김정수 · 나훈균

국가핵융합연구소

E-mail:hskim21@nfri.re.kr

중심어 : KSTAR, 플라즈마, 중성입자빔 입사장치(NBI), 방사선안전관리, 방사선

서론

KSTAR 장치는 핵융합연구를 위한 실험시설로서 2008년 최초운전을 시작하여 현재까지 다양한 실험과 운전성능향상을 계속하고 있다. 초기 운전시 100kA에 지나지 않았던 플라즈마전류가 현재 500kA를 달성했으며, 토로이달 필드 마그넷(Toroidal Field Magnet)의 전류 35.5kA로 2시간 운전을 성공적으로 수행하였다. KSTAR 장치 운전성능에 가장 큰 영향을 미치는 전류 및 가열장치 등의 성능향상과 운전기술 축적으로 인한 가동시간 증가에 따라 전체적인 방사선량이 증가하였는데 2010년도에 처음 가동한 중성입자빔 입사장치(Neutral Beam Injector ; NBI)에 의한 중성자의 발생도 방사선량 증가의 요인으로 작용하였다. 이러한 방사선량 증가에 따라 방사선안전관리의 중요성도 더욱 강조되고 있는데 특히, 발생되는 중성자의 선속(Flux)이 증가함에 따라 중성자와 물질과의 상호작용에 따른 이차방사선 및 방사화생성물의 처리 또한 중요한 부분을 차지하고 있다.

여기서는 2010년도 KSTAR 장치 운전 중 발생한 방사선량을 분석하여 향후 성능향상에 따라 예상 가능한 방사선방호조치 수단을 도출하고 방사선안전관리 방안을 검토하였다.

재료 및 방법

KSTAR 장치의 주요 방사선원은 일차적으로 플라즈마내의 운동하는 전자가 진공용기나 리미터(Limiter) 등과 반응하여 생긴 광자와 일부 높은 에너지 광자에 의한 광핵반응 및 NBI 장치에서 발생하는

중성자 이다.

KSTAR 장치의 방사선량 감시 및 측정은 운전 중에는 지역감시기에 의해 주요관리 지점에 대한 온라인 측정감시가 되고 있으나 방사선안전관리 측면에서 KSTAR 장치의 표면과 시설 주요 부분에 광자극선량계(Optically Stimulated Luminescence:OSL)를 부착하여 확인하였다

KSTAR 장치의 진공용기는 플라즈마 대향장치, 초전도자석 및 냉각수 등에 의해 차폐된 부분과 여러 가지 물리적 현상을 측정하거나, 가열장치의 입사를 위한 포트(Port)부분으로 나누어지는데 Port부분은 단지 플렌지(Flange)로 덮혀있거나 일반적인 장치들이 설치되어 있다. 위의 두 부분의 방사선량분포가 다를 것으로 예상되어 중성자 측정 소자가 포함된 OSL 선량계를 총 10개 주요지점을 설정하여 부착하였고, 부착 지점은 J-카세트 내부를 포함한 방사선관리구역 6곳과 헬륨 설비실을 포함한 일반구역 4곳에 OSL선량계를 부착하여 측정하였다.

결과 및 고찰

KSTAR장치 외부표면 및 주요지점에 설치한 OSL 측정결과와 지역감시기 최대측정값을 [표 1], [표 2]에 측정지점은 [그림 1]에 나타내었다.

[그림 1]의 1번 측정 지점인 J-카세트 내부는 플라즈마 표면과 거리 약 30cm, 스테인레스강 두께 12mm의 차폐효과 밖에 없는 곳으로 측정가능한 장소의 최대 선량이 측정되는 지점이다. 그리고 지점 3번과 2번은 플라즈마로부터 비슷한 거리의 지점이나 지점 2번은 여러 가지 구조물과 냉각수로 인한 차폐로 방

사선이 감쇄되어 선량이 적을 것으로 예상되었지만 오히려 높은 선량 값이 측정되었다. 원인은 고속중성자(Fast Neutron)보다 열중성자(Thermal Neutron)에 민감한 OSL소자의 특성과 중성자에너지 준위별 선량 환산계수에 의한 특성으로 판단되며 이 부분은 다시 한번 측정해 볼 예정이다.

[표 1] 운전기간중 OSL 측정값 [단위 : mSv]

| 지점 | 2009년 | 2010년 | 비 고 |
|----|-------|---------|----------------|
| 1 | - | 5822.56 | J-카세트 내부 |
| 2 | - | 92.36 | Port Flange 표면 |
| 3 | - | 154.76 | 저온용기 표면 |
| 4 | - | 53.56 | 저온용기로 부터 1m |
| 5 | 0.01 | 0.73 | KSTAR장치하부 |
| 6 | 0.09 | 8.51 | 주 장치실 내부 북측 |
| 7 | 0.01 | 0.01 | 헬륨 설비실 |
| 8 | 0.03 | 0.01 | 가열 장치실 |
| 9 | 0.01 | 0.01 | 부지 경계 |
| 10 | 0.01 | 0.01 | 부지 경계 |

※ 1~6 : 방사선관리구역, 7~8 : 일반구역

표 2] 지역감시기 최대측정값 [단위 : Sv/hr]

| 방사선종류 | 2009년 | 2010년 | 비 고 |
|-------|--------|--------|-------------|
| 광 자 | 5.0E-2 | 5.2E-1 | [표 1] 6번 지점 |
| 중성자 | 1.0E-5 | 1.0E-1 | |



[그림 1] OSL 및 지역감시기 측정지점

지역감시기를 이용한 측정값의 경우 광자는 2009년도에 비해 최대값이 10배 가량 증가하는 결과를 볼 수 있고, 중성자의 경우는 최대값이 10,000배 증가한 것으로 나타나지만 실제 2009년도에 측정된 중성자 측정값은 실험주변 환경조건 등에 의한 노이즈 등이 포

함된 Background 개념으로 판단하였다.

그리고 지역감시기 최대측정값과 OSL 선량계의 측정값을 비교하면 지역감시기의 측정값이 매우 높게 보일 수 있지만, 실제 2010년도 플라즈마 실험 시간은 최대 5sec/회 였고, 총 유효 실험 횟수는 827회로 방사선이 방출되는 시간은 최대 70분에 못 미치는 시간이었으므로 지역감시기의 측정값은 최대값을 표기한 것이지만 정확한 실험시간, 측정 최소값 및 평균값을 등을 적용한다면 지역감시기 측정값과 OSL 선량계의 측정값은 비슷한 결과를 나타낸다.

KSTAR 장치 운전에 있어 방사선안전관리에서 중요시 되어지는 방사선관리구역과 일반구역을 경계하는 차폐벽 150 cm 밖에서의 2010년 방사선량값은 0.01mSv로 기록준위이하에 해당된다. 이 지점의 이론적 선량은 1,000 D-shots, 20sec의 Pulse 운전시 약 0.55 mSv/yr 으로 그 차이는 아직 장치의 성능이 충분히 나오지 않는 점과 큰 여유도를 갖는 차폐벽의 성능 때문이라고 판단된다. 그러나 KSTAR장치는 진공용기 내부 구성품의 유지보수를 위해 작업자가 직접 진입하여 유지보수를 진행하므로 내부의 잔류방사선이 방사선안전관리 관점에서 상당히 중요하다. 그렇게 때문에 운전 후 최초개방 시 방사선안전관리자의 승인 하에 출입하도록 절차를 확립하였다.

결 론

KSTAR장치 운영으로 발생하는 방사선량은 2009년도에 비해 2010년에 높은 값이 측정되었고, 2011년도에는 추가적인 가열장치의 확충에 따른 플라즈마 성능 향상으로 더 높은 방사선량이 측정될 것으로 예상되어 방사선안전관리의 중요성은 점점 더 강조될 것이므로 적절한 방호수단을 강구하고 대책을 마련하는 일은 지속적인 KSTAR 시설안전운영에 기여할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. KSTAR 방사선안전 보고서(2007)
2. Investigation of neutron converters for production of optically stimulated luminescence (OSL) neutron dosimeters using Al₂O₃:C[Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 260 (2007) 663 -671]