

사용후핵연료 운반시 방사선피폭저감을 위한 방사선안전관리 방안

신경욱*, 채경선, 박병목, 한재현, 최관석, 박유근, 김동률, 한경호, 정도영
세안기술(주), 서울특별시 금천구 가산디지털2로 184
*and9211@sae-an.co.kr

1. 서론

국내 사용중인 핵연료는 ^{235}U 가 약 0.7%이고 ^{238}U 이 99.3%인 천연우라늄을 사용하는 중수로형과 ^{235}U 를 3~5% 농축하는 경수로형으로 나뉜다. 이들 핵연료는 원자로에서 일정기간 사용한 후 인출하여 사용후핵연료로 일정기간 습식저장조에서 관리함으로써 발생하는 열과 방사선을 제어하게 된다. 그러나 운영을 시작한지 오래된 한빛과 고리 원전의 경우 2024년에 습식저장조가 포화됨에 따라 사용후핵연료를 건식저장으로 전환하는 것이 불가피하게 된다. 월성원전 중수로의 사용후핵연료는 1992년부터 건식저장되고 있으며 사일로건식저장 방식(Concrete Silo)은 2015년 저장용량이 포화되었고 현재는 조밀건식저장방식(MACSTOR)를 운영하고 있으므로 습식저장조에서 일정기간 사용후핵연료를 냉각시킨후 건식저장할 수 있지만 운영기간이 오래된 경수로의 사용후핵연료는 습식저장이 여유롭지 못한 발전소에서 여유로운 발전소로 사용후핵연료를 운반 및 저장을 하게 된다.

본 논문은 향후 경수로의 중간건식저장이 본격화되기전 경수로형 사용후핵연료 운반시 작업별 피폭선량을 분석함으로써 향후 본격화될 사용후핵연료 운반과 관련한 방사선안전관리를 통해 방사선피폭을 저감시키는데 그 목적이 있다.

2. 본론

2.1 사용후핵연료의 주요 방사선원

2.1.1 중성자

- 1) 자발핵분열에 의해 방출되는 중성자
- 2) 핵연료물질의 (α, n)반응에 의해 방출되는 중성자

2.1.2 감마선

- 1) 핵분열생성물 및 악티나이드(Actinide)의 붕괴로 인한 감마선
- 2) 원자로 운전기간 중 핵연료집합체 구조재의 방사화로 인해 생성된 ^{60}Co 에서 방출되는 감마선

- 3) 중성자 포획반응(n, γ)에 의해 방출되는 2차 감마선[1].

원전은 계획예방정비시 감마선에 대한 방사선안전관리를 수행하고 있다. 하지만 사용후핵연료는 경상운전시와 같이 감마선과 중성자가 함께 공존하는 혼합 방사선장으로 피폭방사선량의 저감을 위해서는 작업공정별 피폭현황을 분석하여 효율적인 방사선안전관리 기법을 적용해야 할 것으로 보인다.

2.2 사용후핵연료 운반시 방사선량률 및 표면오염도

사용후핵연료 운반시 고려해야할 방사선량률 및 표면오염도는 다음과 같이 구분될 수 있다.

2.2.1 방사선량률

1) 운반물 및 덧포장

- 외부표면에서서는 시간당 2밀리시버트(전용 운반일 경우에는 시간당 10밀리시버트)
- 외부표면으로부터 1미터 떨어진 지점에서는 시간당 0.1밀리시버트(전용운반인 경우 제외)

2) 차량(전용운반일 경우)

- 차량의 상하부 표면을 포함한 외부표면에서 시간당 2밀리시버트 초과하지 아니하여야 함
- 차량의 외부측면의 수직평면으로부터 2미터 떨어진 지점에서 시간당 0.1밀리시버트를 초과하지 아니하여야 함

3) 승차하는 위치

- 사람이 승차하는 위치에서는 시간당 0.02밀리시버트 초과하지 아니하여야 함

2.2.2 표면오염도

운반물의 외부표면과 덧포장·화물컨테이너 및 탱크의 내·외부표면의 제거성 표면오염도는 임의의 표면 300제곱센티미터 이상에 대하여 측정한 평균값이

- 1) 베타·감마방출체 및 저독성 알파방출체는 제곱센티미터당 4베크렐을 초과하지 아니하여야 함
- 2) 그외의 모든 알파방출체는 제곱센티미터당 0.4 베크렐을 초과하지 아니하여야 함[2].

2.3 작업 공정별 피폭방사선량

본 논문에서는 한울1발전소에서 2발전소로 사용

후핵연료 운반시 작업공정별 피폭방사선량 결과를 사용하였으며, 그 결과를 보면 전체 작업공정 중 “제염, 뚜껑볼트 체결”, “누설시험 및 빈용기 반입” 및 사용후핵연료 운반”작업의 피폭방사선량이 2014년에는 전체 피폭방사선량의 57.4%, 2015년에는 56.8%를 차지하고 있음을 알 수 있다[3].

2014년과 2015년 작업공정별 피폭방사선량 비율은 Table 1과 2에 나타내었다.

Table 1. The rate of exposure radiation does by a working process(2014)

한울1, 2호기 작업공정	비율	한울3, 4호기 작업공정	비율
장비점검 및 모의 운반	5.4%	장비점검 및 모의 운반	3.9%
뚜껑제거후 선적조 이동	-	볼트제거후 장전조 이동	8.6%
사용후핵연료 장전	6.6%	사용후핵연료 저장	6.4%
제염 및 뚜껑볼트 체결	19.4%	제염 및 뚜껑 체결	6.4%
누설시험 및 빈용기 반입	22.7%	빈용기 반출	0.6%
사용후핵연료 운반	15.3%	사용후핵연료 반입	4.7%
합 계		100%	

Table 2. The rate of exposure radiation does by a working process(2015)

한울1, 2호기 작업공정	비율	한울3, 4호기 작업공정	비율
장비점검 및 모의 운반	8.9%	장비점검 및 모의 운반	-
뚜껑제거후 선적조 이동	-	볼트제거후 장전조 이동	9.0%
사용후핵연료 장전	13.6%	사용후핵연료 저장	3.4%
제염 및 뚜껑볼트 체결	19.3%	제염 및 뚜껑 체결	1.7%
누설시험 및 빈용기 반입	22.7%	빈용기 반출	-
사용후핵연료 운반	14.8%	사용후핵연료 반입	6.6%
합 계		100%	

2.4 사용후핵연료 운반시 방사선피폭 저감 방안

외부피폭 방호원리는 시간, 거리, 차폐에 의한 방법이 있다. 시간은 충분한 모의훈련을 실시하고 있으며 거리는 작업여건상 피폭방사선량 저감을 하기 어렵기 때문에 차폐에 의한 피폭저감이 가장 현실적인 방법이다. 차폐 시 고려해야 할 사항은 감마선과 중성자가 함께 공존하는 혼합방사선장과 주요작업별 차폐방법이다. 먼저 감마선과 중성자 혼합방사선장에서는 중성자의 산란과 흡수로 이상적인 차폐방법으로 Fig. 1에 묘사하였다. 다음은

주요작업별 차폐방법으로 “제염 및 뚜껑볼트 체결”과 “누설시험 및 빈용기 반입” 작업은 작업자의 방사선피폭저감을 위해 차폐복을 활용한 차폐를 실시하고 “사용후핵연료 운반”은 운전자와 선탑자의 방사선피폭을 저감하기 위해 고정형 차폐체를 설치할 경우 큰 효과가 기대된다. 작업자 위주의 차폐는 작업시간, 작업내용에 따라 활동성 등을 고려할 필요가 있으며, 차폐복의 선택시 방사선의 에너지준위가 높은 경우 무거운 차폐복 착용은 작업시간 및 활동성을 저해하여 더 많은 피폭을 초래할 수 있으므로 가벼운 차폐복 착용하여 작업시간을 단축할 수 있는 방법도 고려되어야 한다. 뿐만아니라 방사선 종류별 에너지 준위를 고려 감마선용 차폐복을 선택할 것인지, 중성자용 차폐복을 선택할 것인지를 결정해야 한다.

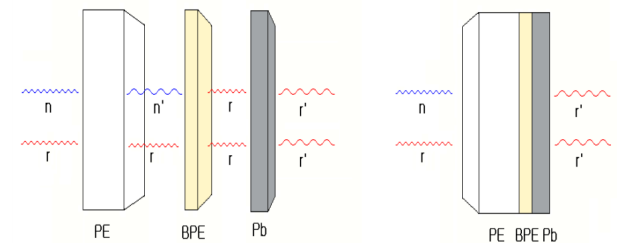


Fig. 1. Mixed radiation field shielding concept.

3. 결론

국내 사용후핵연료 운반 등 관련 작업은 향후 계속 증가할 것으로 예상되므로, 운반작업시 방사선 작업종사자의 피폭방사선량 저감은 방사선안전관리에서 매우 중요한 사항이다. 본 논문은 경수로의 사용후핵연료 운반시 피폭방사선량 결과를 토대로 한 피폭방사선량 저감을 위한 차폐에 관한 내용으로 향후 주요작업별 피폭방사선량에 결과에 따른 차폐방법과 방사선 종류별 에너지준위에 따른 최적의 차폐체 두께 및 재료를 선정하고 제시함으로써 피폭방사선량 저감에 기여하고자 한다.

4. 참고문헌

- [1] 김경오, 김순영, 고재훈, 이강욱, 김태만, 윤정현, “A Study on the Radiation Source Effect to the Radiation Shielding Analysis for a spent-Fuel Cask Design with Burnup-Credit”, 방사성 폐기물학회지, 9(2) 73-80 (2011).
- [2] “한울1,2호기 사용후연료 운반용역” 최종보고서, 2015.