

원전 공기정화계통 설계특성에 따른 침착활성탄 오염 고찰

김덕기*, 소지양, 박승철

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

*darklord@khnp.co.kr

1. 서론

원전 공기조화계통 공기정화기(Air Cleaning Unit)에 장착된 원자력등급 침착활성탄은 대표시료 캐니스터(canister)가 모두 소진되거나, 정기 성능 검사 허용기준을 만족하지 못할 경우 교체된다.

한편 침착활성탄이 장착된 공기정화기들 중 발전소 정상운전시 연속 가동되는 설비는 소수에 불과하고, 공학적안전설비 공기정화기들의 경우 원전 설계기준사고 발생확률이 극히 낮기 때문에 주기 운전가능성시험 외에 발전소 수명 동안 대부분 가동되지 않는다. 운전 실적이 없는 공기정화기로부터 발생하는 폐활성탄은 ¹⁴C 물질로 오염되었을 가능성이 매우 낮기 때문에, 교체 후 일률적 장기보관하는 현행 처리방식은 원전 폐기물 임시저장공간 이용률 저하의 주요인이 되고 있다.

따라서 원전 노형·계통별 발생하는 폐활성탄 내 ¹⁴C 물질 재고량을 분석하고, 분석결과를 바탕으로 향후 교체되는 폐활성탄의 분류 처리기준을 마련하여 원전 폐기물 임시저장공간 이용률을 제고할 필요가 있다.

본 논문에서는 원전 노형·계통별 교체 폐활성탄 내 ¹⁴C 물질의 재고량 분석에 앞서, 공기조화계통 설계 관점에서 침착활성탄의 ¹⁴C 오염가능성 여부를 우선 고찰함으로써 발생하는 폐활성탄의 분류처리 기준수립에 유용한 정보를 제공하고자 한다.

2. 본론

2.1 공기정화기 폐활성탄 발생원

2015년 현재, 국내 가동중 원전은 총 23개 호기이며, Table 1과 같이 Westinghouse형, Combustion Engineering형 및 Framatome형 가압경수로 원전과 CANDU-6형 가압중수로 원전으로 분류된다. 설계기준사고 영향을 최소화하기 위해 설계된 공학적 안전설비 공기정화기는 Table 2와 같다. 설비에 장착된 침착활성탄은 대표시료가 모두 소진되거나, 활성탄의 흡착효율 시험결과 허용기준을 만족하지

못하는 경우 교체된다.

Table 1. Types of in-service domestic NPPs

Types	NPPs
Westinghouse	- KORI #1,2,3,4 - HANBIT #1,2
Combustion Engineering	- HANBIT #3,4,5,6 - HANUL #3,4,5,6 - SHINKORI #1,2 - SHINWOLSUNG #1
Framatome	- HANUL #1,2
CANDU-6	- WOLSUNG #1,2,3,4

Table 2. List of Air Cleaning Units generating Spent Activated Carbon

NPPs	ACUs
KORI #1,2	- CNMT Charcoal C/U System - Spent Fuel pit Charcoal Exh. System - Aux. Bldg. Charcoal Exh. System - Ctrl. Acc. Area Charcoal Exh. System - Rx Bldg. Ann. Negative Pr. Ctrl. System (only KR #2)
KORI #3,4 & HANBIT #1,2	- CNMT Lo. Vol. Purge ACU - FHB Emg. Exh. ACU - Aux. Bldg. Exh. ACU
HANBIT #3,4,5,6 & HANUL #3,4,5,6	- FHB Emg. Exh. ACU - PAB Emg. Exh. ACU - SAB Exh. ACU - HELB Area Exh. ACU - RWB Emg. Exh. ACU - ECCS Emg. Exh. ACU - CNMT Lo. Vol. Purge ACU
SHINKORI #1,2 & SHINWOL-SUNG #1	- FHB Emg. Exh. ACU - ECCS Emg. Exh. ACU - CNMT Lo. Vol. Purge ACU - Aux. Bldg. Emg. Exh. ACU - HELB Area Exh. ACU - Comp. Bldg. Carbon Adsorber Exh. ACU
HANUL #1,2	- Fuel Bldg. Ventilation - NAB Ventilation - Peripheral Rms. Ventilation
WOLSUNG #1,2,3,4	- Rx. Bldg. A/C Filter - Spent Fuel Bay Exh. System

2.2 ¹⁴C에 의한 공기정화기 오염 가능성

Westinghouse형 고리1,2호기의 격납건물 공기는 정상운전 중 활성탄이 장착된 공기정화기로 연

속 정화된다. 침착활성탄은 원자로냉각재계통(RCS)의 설계·비정상 누설을 통해 격납건물 대기 중에 존재하는 ^{14}C 물질로 오염될 가능성이 높다. 보조건물 배기공기 정화기의 경우도 화학 및 체적제어계통(CVCS) 설비의 비정상 누설에 따른 오염공기를 연속 처리하므로 활성탄의 ^{14}C 오염가능성이 높다.

반면 제어건물 연속 배기공기 정화기의 경우, 건물 내 설비들이 원전 1차계통과 무관한 설비로 구성되어 있기 때문에 공기중 방사성물질 농도가 매우 낮아 활성탄의 ^{14}C 오염가능성이 희박하다.

특히 고리1호기의 사용후연료저장지역 정화기는 비상시에만 운전되므로 활성탄의 ^{14}C 오염가능성은 낮으나, 고리2호기의 경우 상시 운전되므로 오염가능성이 높다. 또한 고리2호기의 격납건물환공간 부압유지 공기정화기도 격납건물 공기유입으로 오염가능성이 높다.

고리3,4호기 및 한빛1,2호기의 경우, 격납건물 내 압력제어 또는 방사성물질 제거를 위해 필요시 퍼지 정화기가 비정기적으로 가동되며, CVCS 설비들이 운전중인 보조건물의 배기정화기는 상시 운전되므로 활성탄의 ^{14}C 오염 가능성이 매우 높다. 반면 연료건물 비상 배기공기 정화기는 발전소 비상시에만 운전되므로 오염 가능성이 희박하다.

Framatome형 한울1,2호기의 경우, 원자로 연료건물 환기계통 정화기, 원자로 보조건물 환기계통 정화기 및 격납용기 주변건물 환기계통 정화기 모두 발전소 비상시에만 운전되기 때문에 활성탄의 ^{14}C 물질 오염 가능성은 매우 낮을 것으로 예상할 수 있다.

Combustion Engineering형 한빛3,4,5,6호기 및 한울3,4,5,6호기 그리고 신고리1,2호기와 신월성1호기는 격납건물 저체적 퍼지 정화기가 필요시 가동되며, CVCS 설비들이 운전되는 이차보조건물, 특히 신고리 및 신월성 원전의 복합건물배기 정화기는 상시 운전되므로 폐활성탄 내 ^{14}C 물질 재고량은 상대적으로 높을 것으로 예측할 수 있다.

CANDU-6형 월성1,2,3,4호기의 경우 감속재계통 상층공간 내 ^{14}C 물질을 함유한 기체가 감속재계통 퍼지를 통해 격납건물 대기로 이동하고, 격납건물 대기 중 공기가 공기정화기 연속운전을 통해 침착활성탄으로 유입된다. 또한 사용후연료저장 지역 공기 정화기가 연속 운전됨에 따라 폐활성탄 내 ^{14}C 물질 재고량이 높을 것으로 예상할 수 있다.

국내 원전의 설계기준사고 확률이 매우 희박한 점을 고려하면 발전소 수명 동안 공학적안전설비

공기정화기가 가동될 가능성이 극히 낮아서 오염가능성이 없으며, 대표시료 소진에 따라 교체되는 경우가 대부분이므로 폐활성탄 ^{14}C 농도는 자연방사능수준일 것이다. 따라서 이들 공기정화기로부터 교체 발생하는 폐공기정화기는 일률적인 임시저장 대신 발생즉시 우선 자체처분 대상으로 분류하여 원자력안전법상의 자체처분 절차를 진행할 수 있을 것으로 사료된다.

3. 결론

국내 원전 노형별 및 공기정화기별 교체되는 폐활성탄의 ^{14}C 물질에 의한 오염가능성에 대해 고찰하였다. 본 고찰을 통해 공학적안전설비 공기정화기로부터 발생하는 폐활성탄은 ^{14}C 물질로 오염될 가능성이 아주 낮을 것으로 예측되었고, 상대적 오염가능성이 높은 폐활성탄은 1차측 누설에 따른 연속 또는 단속적으로 처리하는 공기정화기 발생분으로 추정하였다.

향후 발전소 노형별, 계통별 대표시료를 채취하여 ^{14}C 정량분석 및 ^{14}C 물질 형태 고찰에 관한 연구진행으로 폐활성탄 분류처리 기준수립 및 자체처분을 위한 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

4. 참고문헌

- [1] Regulatory Guide 1.140 "Design, Inspection, and Testing Criteria for Air Filtration and Adsorption Units of Normal Atmosphere Cleanup Systems in Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants".
- [2] Regulatory Guide 1.52 "Design, Inspection, and Testing Criteria for Air Filtration and Adsorption Units of Post-Accident Engineered-Safety-Feature Atmosphere Cleanup Systems in Light-Water-Cooled Nuclear Power Plants".