

원전 침착활성탄의 재활용을 통한 폐기물 발생량 저감방안(I)

최종락*, 권혁철, 성기방

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

*jrchoi62@khnp.co.kr

1. 서론

원전에서는 기체 아이오딘 배출을 방지하기 위해 침착활성탄을 사용하고 있으며 침착활성탄 운용에는 Reg. Guide 1.52 및 1.140을 적용하고 있다. 아이오딘 처리 과정에서 발생하는 침착활성탄의 비방사능은 매우 낮은 수준이나 C-14 등이 수 Bq/g 수준으로 포함되어 현재는 자체처분 기준을 만족하고 있지 않다. 본 논문에서는 대량 발생하는 침착활성탄의 처분대상 폐기물 양을 감소시키기 위한 재사용 방안에 대해 고찰하였다.

2. 본론

2.1 침착활성탄 관리기준

2.1.1 원전 침착활성탄 관리기준

원전에서 사용하는 침착활성탄 교체는 흡착성을 기준으로 하는데 이는 안전성계통 및 비안전성계통에 대해 별도의 코드를 적용한다. 안전성계통은 격납건물, 사용후연료 저장시설 및 주제어실 배기계통 등이며 이에 Reg. Guide 1.52를 적용한다. 비안전성계통은 안전성계통을 제외한 나머지 계통으로 Reg. Guide 1.140을 적용한다. 침착활성탄 계통 depth 별 적용기준은 Table 1과 같다.

Table 1. Criteria of Activated Charcoal in NPP

계통	적용코드	Depth	흡착률 기준	시험방법
안전성	Reg. G	2"	97.5%	ASTM D 3803
	1.52	4"	99.5%	
비안전성	Reg. G	2"	95%	
	1.140	4"	99%	

2.1.2 침착활성탄 신탄 흡착성능 기준

침착활성탄 생산업체에서 원전에 납품하기 전 신탄의 성능기준은 ASTM D 3083을 적용한다. 흡착성능기준은 온도 30°C, 상대습도 95% 조건에서 메틸아이오딘을 투과하였을 때 2" 시험기준으로

99.0% 또는 4" 시험시 99.9% 이상이어야 한다. 이 때 4" 시험기준은 2" 시험의 97%에 해당하므로 일반적으로 원전 납품용 신탄의 시험은 2" 시험 기준을 적용하도록 권한다.

2.2 원전 침착활성탄 충전량

원전에서 사용하는 침착활성탄은 발전소별로 많은 차이가 난다. 현재까지 조사된 원전별 침착활성탄 충전량은 Table 2와 같은데 발전소 가동시기가 빠른 순서로 나타내었다.

Table 2. Activated Charcoal Used in NPP sites

발전소	충전량 (kg)		총계
	안전성계통	비안전성계통	
A	13,350	6,050	19,400
B	4,350	19,450	19,300
C	1,120	2,280	3,400
D	1,900	13,000	14,900
E	4,800	14,350	19,150
F	19,600	64,700	84,300
G	20,000	71,300	91,300
H	16,400	76,700	93,100
I	22,000	62,100	84,100
J	71,420	32,280	103,700

Table 2에서 알 수 있듯이 최근에 건설하는 원전은 발전용량도 증가하지만 상대적으로 침착활성탄의 충전량은 더욱 큰 폭으로 증가하고 있다.

2.3 폐활성탄 발생량 추정

Table 2에 나타난 침착활성탄 사용량에 조사되지 아니한 발전소의 수를 고려해 볼 때 현재 전체 원전에서 사용되는 침착활성탄 총량은 약 600,000 kg 으로 추정된다. 사고발생이나 예기치 않은 침착활성탄에 대한 영향을 제외한 일반적 원전 활성탄 교체기간이 6 년 내지 10 년인 점을 고려하면 연간 평균 폐활성탄의 발생량은 최소 60,000 kg에 달하게 되고 이를 밀도(약 0.5 kg/L)를 적용하여 부피로 환산하면 약 120,000 L, 즉 200 L 드럼 약 600 드럼에 해당하는 양이 발생하는 것으로 추정된다.

2.4 폐활성탄 재활용 방안

2.4.1 자체 처분기준

침착활성탄은 원전 운영에서 발생하는 기체 핵분열생성물인 아이오딘을 포집하여 환경으로 배출되는 아이오딘의 양을 제한하는 목적으로 사용되고 있다. 주요 아이오딘 동위원소인 I-131의 반감기는 8.2일 이므로 10 반감기인 약 3달을 보관하면 폐침착활성탄 내 I-131은 1/1,000 로 감쇠하게 되어 I-131 방사능이 거의 없게 된다. 그러나 원전에서 중성자 조사에 의해 발생하는 C-14중 일부가 기체로 배출되는데 이 또한 기체 처리 계통을 통과하면서 침착활성탄에 포획된다. 현재 자체 처분기준에 의하면 C-14의 제한치는 1 Bq/g 이하로 천연동위원소 비를 고려하면 매우 낮다. 또한 C-14의 반감기가 5,000 년을 넘는다는 점을 고려할 때 현재로서는 발생하는 침착활성탄을 자체 처분하기는 어렵다고 판단된다.

2.4.2 침착활성탄 활용방안

안전성계통의 침착활성탄은 교체가 되더라도 2" 시험조건을 기준으로 흡착성능이 93%(4" 99.5%인 경우)이고, 비안전성계통은 90%(4" 99%에 해당)이다. 교체 침착활성탄의 사용에 기준제한이 없다면 99% 성능의 신탄이 97.5%(안전성) 또는 95%(비안전성)에서 교체되어야 한다는 점에 비교해 볼 때 상당히 활용도가 높다는 것을 알 수 있다. 안전성계통의 성능기준이 비안전성계통의 침착활성탄보다 높으므로 안전성계통에서 발생한 침착활성탄을 비안전성계통에서 재사용할 수 있다고 판단되지만 일부 계통에만 적용된다.

따라서 침착활성탄을 재사용하더라도 기존 시스템의 운용에 지장을 주지 않는 방안으로 하여야 한다. 발전소 안전성분석보고서에 따르면 각 침착활성탄 계통에는 6개 내지 18개의 기체흡입구가 있다. 이 기체 흡입구에 카트리지 형태의 침착활성탄을 부착하는 방안을 강구하였다. 카트리지는 재사용이 가능한 사각형 또는 원통형이고 외형은 각 계통 기체흡입구의 형태에 맞춘다. 기체흡입구와 카트리지 사이에는 누설을 방지하는 O-Ring이 있다. 카트리지 길이는 설치위치에 따라 다른데, 인력이 빈번히 출입하여 수시로 교체가 가능한 비방사성지역(제어실 등)에 설치하는 카트리지는 약 30 cm, 인력의 출입이 드물고 방사성물질의 유입이 비교적 많을 격납용기 및 방사성지역에는 60 cm 이상이 적용된다. 이 때 교체주기는 기본적으로

O/H 주기와 같은 18개월 정도이나 침착활성탄 성능에 많은 영향을 미치는 도장작업 및 살수작업 시에는 작업 시작 전과 종료 후 카트리지를 교체하여야 한다.

2.4.3 폐침착활성탄 발생량 기대 저감 효과

활성탄 카트리지 사용에 의한 침착활성탄 저감 효과는 2가지로 생각할 수 있다. 첫째는 침착활성탄 계통 본연의 기능인 아이오딘 흡착 성능이다. 이는 침착활성탄 계통 전단에 독립적인 전단계 침착활성탄을 배치함으로써 침착활성탄 계통으로 들어가는 아이오딘의 양과 기타 성능에 영향을 줄 수 있는 기체의 양을 줄일 수 있으므로 본 계통 침착활성탄의 성능 저하를 늦출 수 있게 된다.

두 번째 효과는 C-14의 유입을 줄여 자체 처분 가능성을 높이는 것이다. 즉 계통에 유입되던 미량의 C-14를 전단계인 카트리지에서 흡착함으로써 대량의 침착활성탄이 사용후 자체 처분할 수 있게 하는 것이다.

3. 결론

카트리지 형태의 침착활성탄에 추가함에 따라 전체 침착활성탄 수명이 약 2배 정도 증가할 것으로 예상된다. 또한 약 30% 이상의 침착활성탄을 자체 처분할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 연간 평균 처분대상 침착활성탄은 현재보다 65% 정도인 390 드럼이 감소될 것으로 판단된다.

4. 참고문헌

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