

ASTM D 3803 침착활성탄 시험법에 의한 신품 활성탄 성능시험 판정기준 고찰

성기방, 이지훈, 양호연

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전시 유성구 장동 25-1

kbsung@khnp.co.kr

1. 서론

국내 원전에 적용되는 침착활성탄 흡착성능검사는 관련 기준에 따라 ASTM D 3803 에 제시된 방사성 유기요오드 동위원소를 이용하는 방법에 의하여 실시한다. 그런데 활성탄의 실험실 시험의 성능기준과 만족기준이 계통에 충전된 침착활성탄 베드 깊이(2", 4" 이상)에 따라 구분되어 있다. 원전 계통에 충전된 침착활성탄의 경우 관련 규정에서 베드 깊이에 맞게 침착활성탄의 시험을 요구하지만 신품 침착활성탄의 경우에는 품질검사기준으로 어느 깊이가 엄격한 조건인지 고찰해 볼 필요가 있다. 이에 침착활성탄의 성능시험 기준을 시료량의 차이에 따른 보상법인 ASTM D 3803 방법[1]의 계산값과 실제 신품 침착활성탄의 측정결과를 비교하였다.

2. 본론

2.1 원자력급 침착활성탄성능 규제 및 기술기준

원자력 산업시설에서 사용되는 침착활성탄은 사용하기 전에 성능검사를 실시하여 그 성능이 입증된 후에 공기정화계통에 사용한다. 침착활성탄 흡착성능검사는 안전계통의 경우 Reg. Guide 1.52, 정상계통의 경우 Reg. Guide 1.140의 기준에 따라 실시한다. 특히 Reg. Guide 1.52는 Table 1 과 같이 R2('78)에서 R3('01)으로 개정되면서 시험방법도 ANSI N509-76 방법에서 ASME D3803-89로 변경되었다. 이 과정에서 시험조건 중 습도는 70%에서 95%로 매우 엄격해졌고 방사성옥소의 투과율(2" 시험)은 1%(DF=100)에서 2.5%(DF=40)로 완화되었다.

2.2 방사성요오드 제거용 흡착제 성능기준

침착활성탄에 대한 연구[2]에 따르면 방사성요오드의 제거서 영향을 주는 인자로서 요오드 농도, 상대습도, 흡착층 온도, 운전시간, 풍화, 방사선의 세기, 침착제의 종류 및 제조방법, 입자크기 및 필터를 통과하는 유속 등을 들 수 있다.

Table 1. Test Conditions and Acceptance Criteria of the Impregnated Charcoal by Reg. Guide 1.52

규정 기준/조건	Reg Guide 1.52 R2('78)	Reg Guide 1.52 R3('01)	국내원전 신품활성탄 품질기준
Lab Test 기술기준	ANSI N509-76	ASME D3803-91	ASME D3803-91
활성탄 성능시험 조건	CH ₃ I/I ₂ 온도30℃, 습도 70%	CH ₃ I/I ₂ 온도 30℃, 습도95%	CH ₃ I 온도 30℃, 습도 95%
활성탄 투과율* 만족기준	1.0%(2") 0.175%(4")	2.5%(2") 0.5%(4")	1.0%(2") 0.1%(4")

* ()는 Lab Test 시 침착활성탄 Bed Depth

계통에 설치된 침착활성탄의 경우 흡수층 두께에 따라 흡착성능 기준이 마련되어야지만, 신품활성탄의 품질을 판단할 경우에는 단위무게 혹은 단위체적당 고유 흡착능을 평가하는 것이 중요하므로 본 논문에서는 흡착제의 성능기준, 즉 제거 효율에 관한 이론적인 면과 실제 흡착실험에서 측정된 흡착효율을 비교하여 보았다.

2.3 침착활성탄 흡착 투과율식

ASTM D 3803에 따라 성능시험시 때때로 검사 의뢰용 활성탄의 양이 5.08cm(2") 층 깊이를 완전히 충전하지 못할 정도로 충분하지 않는 경우가 있는데 ASTM D-3803에는 규격이하의 시료 양을 검사할 경우에는 실제 투과율 결과값을 표준 깊이에서의 예측값으로 전환하여 평가할 수 있게 하였다.

전환식은 식(1)과 같으며 투과율에 대한 로그-선형(log-linear) 함수로 나타낸다.

$$P_s = 100 \exp[(\ln(P_d/100))(5.08/d)] \text{----} \text{식 (1)}$$

여기서, P_s : 표준깊이에서의 예측 투과율, %

P_a : 규격이하 깊이에서 실제 투과율, %

d : 규격이하 깊이, cm

식(1)의 의한 활성탄의 투과율과 활성탄의 Lab

Test 만족기준을 Table 2에 제시하였으며, 투과율에 근거한 제염계수(DF)를 비교해 본 결과는 4"인 경우 2번째 흡수층, 즉 2"와 4" 사이에서의 흡착효율이 실제로는 2" 흡수층과 거의 같아야 하지만 활성탄 Lab Test 기준은 이론값보다 1/10정도로 판정하여 매우 비보수적인 것으로 나타났다.

Table 2. Efficiency and DF Criteria of Impregnated Charcoal by the Bed Depth

기준 \ 효율	활성탄 투과율(%)		활성탄 제염계수(DF)		
	2"	4"	2"	4"	2"→4"
식 (1) 만족기준	1.0%	0.01%	100	10,000	100
신품활성탄 Lab Test 만족기준	1.0%	0.1%	100	1,000	10
R.G 1.52 R3('01) 기준	2.5%	0.5%	40	200	5.0

* 투과율(%) = Back bed 방사능(cpm)/시료방사능(cpm)×100

*제염계수(DF)= 100/투과율(%)

* 2"→4" : 2" ~4" 사이 흡착층을 의미

3. 실험 결과

신품 활성탄 5개 시료(A사 제품 3건, B사 제품 2건)에 대한 성능시험결과를 Table 3에 제시하였다. 시험결과, 2" 시료인 신품-A1~신품-A3 시료의 경우 제염계수(DF)로 206~406 범위를 보여서 만족기준인 DF 100을 충분히 만족하였다. 또 다른 신품-B1과 신품-B2 시료의 경우 2" 두께의 제염계수는 47~49 정도였으며, 4" 두께의 제염계수는 약 2,612와 4,051을 나타내었다. 이 값은 4" Lab Test 만족기준인 DF 1,000으로 판정했을 때 충분히 만족하지만 2" 제염계수는 65~68정도로 Lab Test 기준을 불만족하였다. 신품 A1~A3의 Back Bed용 침착활성탄은 신품 A사의 제품과 동일한 것을 사용하였으며, 이는 Back Bed 1단을 4"로 실험한 것과 동일하다. 이러한 조건을 활용하여 4" 기준으로 제염계수를 구했을 때 신품-A2는 2,073이었고, 신품-A1 및 신품-A3는 무한대(∞)를 나타내었다. 4" 기준으로 A사 및 B사의 신품침착활성탄 시험결과는 활성탄의 성능기준을 모두 만족하지만 2" 시험조건에서는 불만족한 경우가 나타났다. 즉 신품 활성탄의 시험조건은 2"의 경우가 4" 보다 더 엄격한 시험조건이다.

Table 3. Test Results on the New Impregnated Charcoal Product

항목 \ 시료명	TB1	BB1	Ps(2")	Ps(4")
	TB2	BB2	DF(2")	DF(4")
신품-A1	4,658	11.5	0.246%	(0.00%) ⁽¹⁾
	-	0.0	406.2	(∞)
신품-A2	4,856	16.2	0.381%	(0.048%)
	-	2.350	262.3	(2073)
신품-A3	6,228	20.5	0.328%	(0.000%)
	-	0.0	304.5	(∞)
신품-B1	3,130	1.2	1.566%	0.038%
	47.8	0.0	65.5	2612
신품-B2	3,394	0.85	1.481%	0.025%
	49.4	0.0	68.7	4051

* TB1, BB2 : Test Bed 1, Back Bed 2 방사능 (cpm)

* Ps(2") : 2인치 시료의 방사능속도 투과율(%)

* DF(2") : 2인치 시료의 방사능속도 DF

(1) 신품-A1~A3의 2" 시험의 DF(4")는 Back Bed 활성탄 분석자료를 활용하여 구한 것으로 () 표 시험.

4. 결론

원전에 활용되는 신품 침착활성탄의 구매기준으로 적용되는 2"와 4" 기준에 대해 어느 기준이 엄격한 조건인지 성능시험을 수행하였다. 신품 활성탄 활성탄의 시험결과, 4" 시험조건에서는 모두 기준치보다 매우 좋은 결과를 나타내었지만 2" 시험조건에서는 불만족한 경우도 나타났다.

따라서, 사용중인 침착활성탄 시험은 규정에 따라 활성탄 Bed Depth(2" 또는 4")에 따라 시험해야 하지만 신품 활성탄의 성능시험은 2" 조건으로 하는 것이 보수적이다. 보수적인 시험조건을 적용할 경우 제거능력이 우수한 활성탄 확보 및 사용 주기연장에 따른 폐기물발생저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

- [1] ASTM D-3803-91(2009) Standard Test Method for Nuclear-Grade Activated Carbon, pp 5.
- [2] TEDA/KI 침착활성탄 성능검사 기술개발, TRA06 NS14.S2007.29, pp19~20 2007. 7, 한수원(주).