

원자력발전소 공기정화계통내 침착활성탄 수명평가 방법에 대한 고찰

김학수*

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

*hskim0071@khnp.co.kr

1. 서론

원자력발전소는 운영과정에서 발생하는 기체상 방사성물질을 환경에 배출되지 않도록 공기여과계통 및 공기정화계통을 설치하여 운영하고 있다. 특히 원자력발전소에서 배출되는 입자성요오드는 공기정화계통내 고효율여과기(HEPA)에, 유기성요오드는 침착활성탄에 의해 제거된다. 방사성요오드를 처리하는 침착활성탄의 성능기준은 안전계통의 경우에는 Reg. Guide 1.52 그리고 비안전계통의 경우에는 Reg. Guide 1.140에서 요구하는 CH_3I 투과율을 만족해야 한다. 침착활성탄은 장기 연속운전 및 대기운전기간 동안에 시간이 경과됨에 따라 성능이 저하될 것으로 예상되어 침착활성탄 수명에 대한 관심이 증가하고 있다. 본 논문에서는 침착활성탄수명에 영향을 미치는 요인과 이들 요인 중 노화에 의한 침착활성탄 수명평가 방법에 대해 고찰하였다.

2. 본론

2.1 침착활성탄 교체 주기

Reg. Guide 1.52 및 1.140[1, 2]에 의해 안전계통에서 연속 운전하는 경우에 사용된 침착활성탄은 매 720시간마다 샘플링하고, 안전계통 대기운전 및 비안전계통의 연속운전과 대기운전의 경우에는 Reg. Guide 1.140에 의해 24개월마다 샘플링하여 ASTM D 3803(1989)에 의해 CH_3I 투과율을 측정하여 침착활성탄 성능을 확인하고 있으며 교체주기는 Table 1과 같다.

Table 1. Replacement Interval for Activated Carbon

침착활성탄 교체 조건	교체시기
• 현장누설시험 실패, 활성탄의 방사능 흡착시험 부적합, 계통의 습도가 높거나 물에 젖은 경우, 페인트/신나/기타 유기용제에 노출, 캐스킷 또는 필터유닛 손상 시	즉시
• 연속 사용 시(18개월)	18개월
• 간헐적 사용 시	3년
• 포장된 상태에서 보관 시	5년

2.2 침착활성탄 수명에 영향을 미치는 요인

침착활성탄 수명에 영향을 미치는 요인은 다양한 문헌을 통해 확인할 수 있으며, 침착활성탄 수명에 영향을 미치는 주요 요인으로는 노화(Aging) 및 피독(Poisoning)을 들 수 있다[3, 4]. 노화란 침착활성탄이 공기나 기체 중에 노출되지 않은 경우라도 요오드 제거효율이 시간이 경과함에 따라 감소하는 현상을 말하며, 피독은 침착활성탄이 요오드 이외의 다른 오염물질(페인트, 신나, 유기용제 등)을 흡수함에 따라 침착활성탄의 활성화 정도가 현저히 손상되는 현상을 말한다.

2.3 노화에 의한 침착활성탄 수명평가 방법

○ 침착활성탄 수명관련 요건

ASME AG-1 및 KEPIC MHD, TA-4820에 흡착기뱅크에 설치되는 새로운 흡착제는 방사능 요오드 침투에 대한 제조사의 시험자료에 따라 인정되어야 하며, ASME AG-1, Div. II, FF-5000에 따라 제조자가 지정한 자체수명 50% 또는 5년 이상 저장된 흡착제는 설치에 앞서 ASTM D 3803에 따라 실험실 시험을 수행하도록 요구하고 있다. ERDA (Energy Research and Development Administration) 76-12에서는 침착활성탄의 유효수명 평가에 대한 유효한 지침이 없으며, 침착활성탄의 불확실한 수명 때문에 미국원자력규제위원회는 공학안전설비계통의 침착활성탄 시료에 대해 매 720시간마다 실험실 시험을 수행할 것을 권고하고 있다. 상기에서 알 수 있듯이 침착활성탄 수명과 관련된 기술기준이 없어 수명평가는 침착활성탄 성능시험기준(물리적 특성, CH_3I 투과율 등)을 통해 간접적으로 입증한다.

- 물리적 특성 : ASME AG-1, FF-5000에서 요구하는 밀도, 입도, 발화온도, Ball-Pan
- CH_3I 투과율 : Reg. Guide 1.52/1.140
- 기타 : pH(ASTM D3838), Moisture Content (ASTM D2867)

○ 노화에 의한 수명평가용 실증장치 설계 방안

일반적으로 노화시험은 "accelerated aging test"

방법을 사용하나 침착활성탄에 대해서는 이러한 방법이 현재 존재하고 있지 않다. 따라서 침착활성탄 노화에 의한 수명에 미치는 영향을 평가하기 위해 원자력발전소 공기정화계통과 유사한 설계조건 및 구조를 고려하였다. Table 2에 이러한 조건을 제시하였다.

Table 2. Design conditions for evaluating the life of impregnated activated carbon

Items	Design conditions
Residence time (sec/2inch)	0.25
HEPA	Industry or Nuclear grade
Impregnated activated carbon	TEDA(Same product applied to NPP)
Type III carbon absorber	Not use. But design to meet as much as possible to ASME AG-1, FE-4000 design requirements
Air flow rate (cfm)	Not a critical factor for evaluating the aging effect
Temp. & Relative humidity	Apply conservative than the operation conditions

실증장치의 구성 및 개략도는 Fig. 1과 같다. Air condition chamber는 발전소 운전조건외 온도 및 습도를 만들어 제어하며 Pre- 및 Medium-filter는 Air condition chamber로부터 유입되는 공기 중 비교적 크고 작은 입자를 제거하고, Heater는 유입공기 온도를 제어하여 상대습도를 관리하며 HEPA는 공기 중 미세입자를 제거한다. Buffer tank는 전단에 설치된 다양한 필터를 통과하여 유입된 공기를 침착활성탄에 보내기 전에 임시 저장하고 후단에 있는 침착활성탄에 필요한 공기유량을 보내는 기능을 가진다.

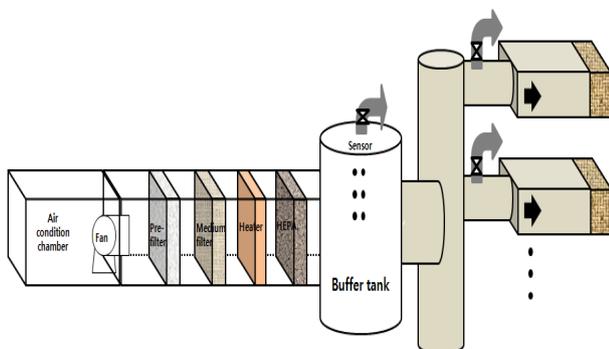


Fig. 1. Schematic design and configuration of pilot scale equipment.

원자력발전소 공기정화계통내 HEPA는 규제기관에서 승인된 정격용량 1,500 혹은 2,000 cfm의 필터를 사용하고 있으나 침착활성탄 노화평가에서는 유입공기 중 미세입자를 제거하는 기능만이 요구되기 때문에 일반산업용 HEPA를 사용할 예정이다. 노화평가대상인 침착활성탄은 공기정화계통내 설치된 TYPE III 형태가 아닌 별도의 침착활성탄 시편을 제작한다. 시편제작은 수명평가 성능확인을 위해 요구되는 분석량(물리적 특성 1,000ml 및 CH₃I 투과율 1,100 ml(2인치기준))과 유입공기량을 고려하고 결정하고, 노화에 가장 큰 영향을 미치는 운전조건은 원자력발전소의 운전환경조건(온도 및 습도)보다는 조금 더 보수적으로 설정하여 시험할 예정이다.

3. 결론

원자력발전소 공기정화계통내 설치되어 있는 침착활성탄은 장기 연속운전 및 대기운전기간 동안에 시간이 경과함에 따라 성능이 저하되는 노화현상을 겪게 되며 최근 이에 대한 관심이 증가하고 있다. 이와 관련하여 본 논문에서는 노화에 의한 침착활성탄 수명평가 방법을 제시하였고 이를 이용하여 장기간에 걸친 침착활성탄 노화실험을 수행할 예정이다.

4. 참고문헌

- [1] USNRC Reg. 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 NPPs", Rev. 3, (2001).
- [2] USNRC Reg. Guide 1.140, "Design, Inspection, and Testing Criteria for Air Filtration and Adsorption Units of Normal Atmosphere Cleanup systems in Light-Water-Cooled NPPs", Rev. 2, (2001).
- [3] ORNL, "Nuclear Air Cleaning Handbook", ERDA 76-21, (1977).
- [4] W. Kevin Winegardner, "Filter-Adsorber Aging Assessment", 23rd DOE/NRC Nuclear Air Cleaning and Treatment Conference, (1994).