

원전 공학적안전설비 공기정화계통 모사실험장치의 설계, 제작 및 검증

이숙경, 김광신, 손순환, 홍순준*, 강선행**

한국전력공사, 305-760 대전시 유성구 문지로 65

* FNC(주), 151-742 서울 관악구 신림9동 산 56-1 서울대 135동 306호

** 한국필터시험원, 500-480 광주시 북구 오룡동 1110-23

sklee@kepcoco.kr

1. 서론

원자력발전소의 공학적안전설비 공기정화계통 (ESF ACS; Engineered Safety Feature Atmosphere Cleanup System)은 설계기준사고 대비용으로서, 한국 표준형 원전의 경우 주제어실 공기조화계통, 연료건물 비상배기계통 및 비상노심냉각계통 기기실 배기정화계통의 세 계통에 호기별로 각각 이증으로 설계, 배치되어 있다. 공학적안전설비 공기정화계통은 일반적으로 습분분리기, 전기가열기, 중급 필터, 전단 HEPA 필터, 활성탄 필터 및 후단 HEPA 필터로 구성되어 있으며, 미국 NRC Reg. Guide(이하 RG) 1.52를 기준으로 관리된다. 본 논문은 RG 1.52(Rev.3)의 개정내용을 영광5,6호기 공학적안전설비 공기정화계통에 적용하고자 수행한 연구중에서 현장에서 실험할 수 없는 부분의 실험을 위해 제작한 모사실험장치의 설계, 제작 및 검증과정을 기록한 것으로, 현장과 실험장치의 내부유동 비교 및 실제 검증시험을 통해 현장 계통의 모사 신뢰성을 확보하는 과정을 기술하였다.

2. 본론

2.1 실험장치 설계

원전 공학적안전설비 공기정화계통 모사실험장치의 설계를 위해 영광6호기 주제어실 공기정화계통의 제작자 공급자료, 도면 및 현장 실사를 통해 공기정화계통의 내부 구성요소인 습분분리기, 중급 필터, 전단 HEPA 필터, 활성탄 흡착기, 후단 HEPA 필터에 대한 설계자료를 구하고, 6" 이상의 형상을 갖는 구조물에 대해 3차원 CAD 모델을 작성하였다. 3차원 전산유체해석을 수행하기 위한 격자 생성은 전산유체역학 프로그램인 ICEM CFD를 사용하였다. 해석 프로그램으로 CFX를 사용하여 유동 조건과 공기정화계통의 각 필터 조건을 설정하였다[1].

실험장치 축소 비율은 Table 1과 같다. 실험장치 설계분석시 필터의 4대 포집 메카니즘 중 판성충돌

과 확산을 주로 고려하였다. 간섭현상은 현장설비와 실험장치의 필터 사양이 동일하므로 동일한 간섭 현상을 갖는 것으로 가정하고, 침강현상은 유동이 느리거나 입자의 무게가 매우 클 경우 적용하는 것이므로 고려 대상에서 제외하였다.

단면적 감소로 인한 유량 감소 및 필터의 포집효율을 고려하여 원전 현장 설비와 실험장치의 필터 성능을 평가한 결과 포집율의 오차가 5% 미만으로 실험장치 설계치의 유량과 구조는 누설 시험검사를 위한 유동장 형태에 적합한 것으로 판단하였다.

Table 1. Scale down ratio of simulator of ESF ACS of Yonggwang#5,6 control room

parameter	ESF ACS	simulator	ratio
flow area	3×3	1×1	1/9
flow rate (CFM)	12,000	1,500	1/9
flow speed (axial, m/sec)	1.8~8.0	≈ 1.8~8.0	1/1
flow length	actual length	actual length	1/1

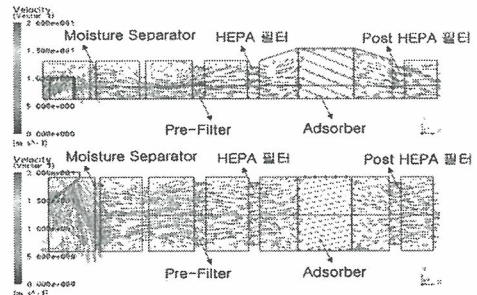


Fig. 1. Analysis of internal flow in ESF ACS of Yongkwang#5.6(top and side view)

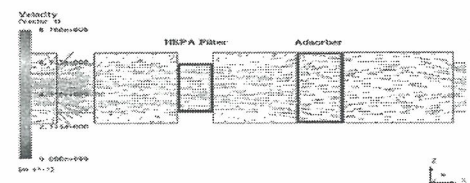


Fig. 2. Analysis of internal flow in simulator

2.2 실험장치 제작

실험장치의 주요 정격사양은 AC 220V, 60 Hz, 단상에 정격 송풍기 유량은 2,000 CFM, 운전 압력은 10" W.G., 입구 및 출구관 크기는 직경 10", 활성탄 필터 베드 깊이는 4"로 결정하였다. Fig. 3 과 같이 SUS304로 제작한 실험장치는 유량 조절이 가능하고, 유량 측정장치를 구비하였다. 입, 출구 온도 ΔT 5°C의 전기가열기를 구비하였고, 활성탄 필터뱅크에는 4" 베드의 케니스터 4개를 실험 편의 도모를 위해 별도의 라인으로 설치하고, 유입 공기 유량 조절장치도 설치하였다. 장치 유입구 덕트에 가습장치가 있어 습도조절이 가능하게 하였고, HEPA필터 누설시험을 위한 에어로졸 발생기는 NUCON사의 SN-5, 에어로졸 검출기는 F-1000-DD(Nucon)를 사용하였다.



Fig. 3. Nuclear power plant ESF ACS simulator (front and rear view)

제작된 실험장치 및 부품은 ASME N510, KEPIC-MH 공기기에 따라 전문 시험기관에 의뢰하여 관련 요건에 의거하여 모든 시험 및 검사를 수행하였으며, 수행 결과 제작한 실험장치와 모든 부속품이 기준에 합격함을 확인하였다.

2.3 실험장치 신뢰도 검증

제작한 실험장치로 수행하는 실험중 HEPA 필터 현장누설시험을 수행하기 위해서는 선형조건으로 공기 유속분포도 시험을 시행하여 공기 유동량이 일정한지 확인하여야 한다. 앞서 설계단계에서 CFD 분석을 통해 이론적으로 검증을 하였으나 실제 적용현상을 관찰하기 위하여 제작된 실험장치에서 필터로 접근하는 공기 흐름이 균일한지를 실험으로 확인하였다.

유속은 실험장치의 송풍 유량이 적정 유량의 $\pm 10\%$ 이내인지 확인 후 최소 15분 이상을 운전한 후 측정하여야 한다. 시험유량은 1,487 CFM으로 이는 HEPA 필터 정격유량인 1,500 CFM 기준으로 $\pm 10\%$ 이내에 해당한다. 중급 필터 영향유무를 함께 관찰하기 위하여, 중급 필터가 장착된 조건과 제거된 조건에서 각각 전단 HEPA 필터 전,

후에서 유속을 측정하였다. 유속 측정은 Fig. 4.에서와 같이 25개 위치에서 측정하였다.

실험 결과, 25개 측정 위치 중 외곽 16개 측정값의 경우 필터 소켓용 Bracket의 영향으로 유속이 낮았다. 또한 HEPA 필터 앞의 중급 필터를 제거하면 유속측정값의 차이가 크게 나왔다.

결론적으로 중급 필터를 장착한 상태에서 필터 고정턱 내부의 측정점에서 편차 8.6~9.5% 내외로 공기유속분포가 균일함을 확인하였다.

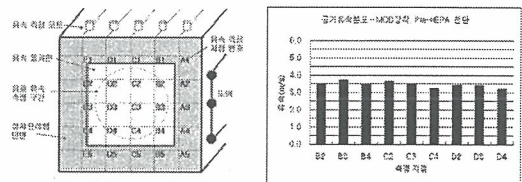


Fig. 4. flow rate measuring points on HEPA filter and measured values at the points

이와 같이 철저한 검증을 거쳐 제작된 본 장치는 활성탄 수분탈착시험 및 현장누설시험 시험물질 변경실험에 활용되었다.

3. 결론

원전 공학적안전설비 공기정화계통 관련 규제요건인 RG 1.52(Rev.3)의 국내 적용을 위해, 주요 개정사항 확인실험을 위한 모사실험장치를 제작하였다. 모사장치의 충실성을 확보하기 위해 설계자료, 현장 실사, 컴퓨터 시뮬레이션을 거쳐 실험장치를 설계하였고, 제작후 공인 시험기관을 통해 원자력등급의 각종 시험과 검사를 수행하였으며, 최종적으로 공기 유속 분포도 시험을 통해 장치의 신뢰도를 검증하였다.

4. 감사의 글

본 논문은 한국수력원자력(주) 협약과제로서, 영광 제3발전소, 한전전력연구원, FNC(주)가 공동연구하였고, 한국필터시험원이 검증시험에 참여하였다.

5. 참고문헌

- [1] S. J. Hong, H. G. Ahn, B. C. Lee, S. K. Lee, S. H. Sohn, Design of Small Test Facility for Engineering Safety Feature Air Clean-up System, Korean Nuclear Society Autumn Meeting, pp.531-532, 2007.