

EU-APR1400 원자로건물배기여과계통(CFVS) 성능검증

황도현, 김용수, 강용철

한수원 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

whitepeach@khnp.co.kr

1. 서론

원자로건물배기여과계통(CFVS)은 중대사고 시 대기방출을 통하여 원자로건물의 압력 상승 방지 및 감압을 위해 사용된다. 특히 원자로건물 살수 계통의 작동이 불가능한 소의전원상실사고(SBO)와 같은 경우에 원자로건물 압력 제어 기능을 수행할 수 있는 침출방어수단으로 활용가능하다.

2. 본론

2.1 EU-APR1400 CFVS 개요

세계적으로 상용화되어 있는 CFVS 타입의 적용성을 검토한 결과 EU-APR1400의 CFVS는 벤츄리 세정기(Venturi Scrubber)형으로 예비 선정되었다. CFVS는 2 계열의 배기관으로 구성되며 피동기기인 벤츄리 세정기는 양 계열이 공유한다.

계통 격리밸브를 거쳐 벤츄리 세정기로 유입된 배기 유체는 벤츄리 세정기 노즐에서 1차 제염되며 금속섬유 필터에서 2차 제염된다. 벤츄리 세정기 후단에는 오리피스가 설치되어 이곳에서 임계 유동을 가지면서 방출되어 전단의 벤츄리 세정기 내부의 압력을 원자로건물 대기압력과 거의 동일하게 만들어 포화상태를 유지한다. 오리피스 후단 방출유로에는 파열판이 설치되어 수소반응이 억제된다.

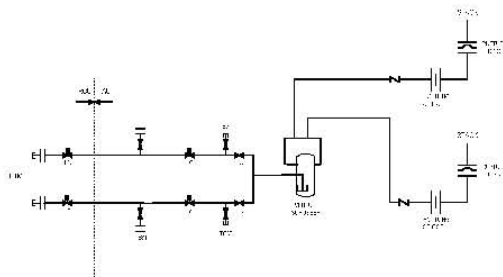


Fig. 1. EU-APR1400 CFVS 개념도.

2.2 벤츄리 세정기(Venturi Scrubber)형 CFVS

벤츄리 세정기형 CFVS는 냉각수 저장조에 Fig 2와 같이 기울어진 분기관에 수직으로 연결된 벤

츄리가 연결된 형태이다. 벤츄리 튜브는 직전의 연결관, 좁은 통로 및 확산 방출구 부분으로 구성되어 있으며 일반적으로 여러 분기관에 수백개의 벤츄리 튜브가 연결된 형태로 사용한다. 분기관은 수평의 모관에 연결되어 있고 수평 모관은 수직의 유입관에 연결되어 있다. 이 수직의 연결관은 원자로건물 배기관과 최종적으로 연결된 형태이다.

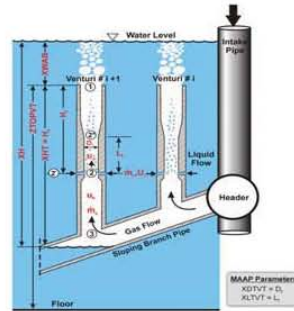


Fig. 2. 벤츄리 세정기 개략도.

2.3 MAAP5용 CFVS 모델링

CFVS 성능검증을 위해 중대사고 해석에 많이 활용되는 MAAP5 코드를 사용하여 모델링하였다. MAAP5 CFVS 벤츄리 세정기는 저장조 냉각수 풀 속에 분기관의 한 쪽 끝이 개방되어 있는 형태에서 개발되었다. 원자로건물에서 배기되는 기체의 양에 따라 분기관 내부 압력이 결정될 것이다.

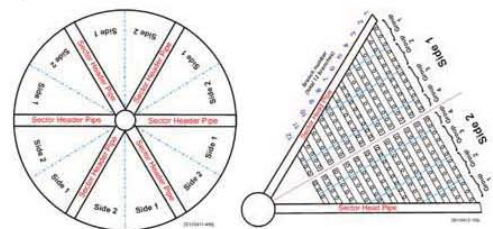


Fig. 3. 벤츄리 모관, 분기관, 세정기 튜브 배치도.

본 성능평가에서 사용된 CFVS는 6개의 모관에 서 각 모관마다 두 방향으로 12개의 분기관 마다 수직 세정기 튜브를 갖는 것으로 가정하였다.

2.4 성능평가 결과

소외진원상실사고(SBO)를 가정하여 CFVS 성능평가를 수행하였다.

2.4.1 원자로건물 과압방지가능 검증

원자로건물 과압방지 측면에서 CFVS 계통 작동조건은 설계기준사고 압력과 유사한 66 psi에서 원자로건물 배기 격리밸브를 개방하여 원자로건물의 과압방지 여부를 살펴보았다. Fig. 4에 제시된 바와 같이 원자로건물 압력은 배기를 시작하면 지속적으로 압력이 감소하였으며 원자로건물 압력이 세정기 수조의 수두와 동일해 질 때까지 감압될 것으로 예상된다.

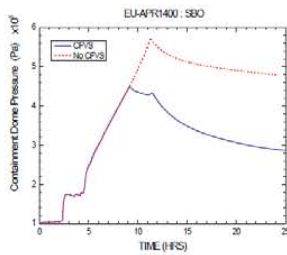


Fig. 4. 원자로건물 압력 변화.

2.4.2 대기방출 비율 비교검증

Fig. 5에서 각각 세슘-요오드(Cs-I)와 산화 스트론튬(SrO)의 경우의 질량 방출 비율을 보여주고 있다. CFVS 계통 없이 바로 외부 대기로 방출하는 경우와 CFVS 계통을 통해 외부 대기로 방출하는 경우를 비교해볼 때 CFVS 계통 유무에 따른 방출 비율의 차이가 큼을 확인할 수 있다.

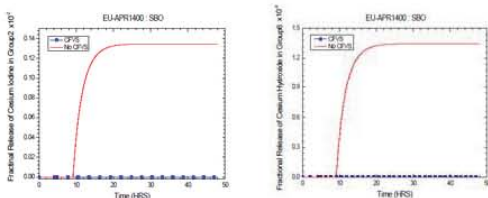


Fig. 5. 세슘-요오드 및 산화스트론튬 제거효율.

2.4.3 CFVS의 제염계수 검증

벤츨리 세정기 제염계수(DF)를 평가해보면 세정기 튜브만을 사용했을 때는 100~250 범위에서, 세정기 수조만을 사용했을 때는 1,000~1,500 범위에서, 세정기 튜브와 수조를 동시에 사용했을 때는 3,000~15,000 범위를 보이고 있다. 단순 수조형 CFVS보다는 세정기를 갖춘 수조형 CFVS가 훨씬 효과적임을 보여주는 결과라 할 수 있다.

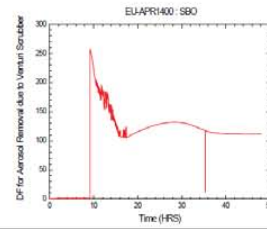


Fig. 6. 벤츨리 세정기에 의한 제염계수.

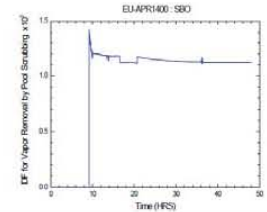


Fig. 7. 벤츨리 세정기 수조에서의 제염계수.

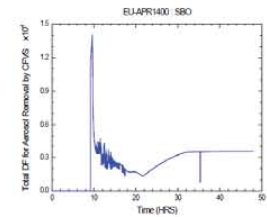


Fig. 8. 벤츨리 세정기+수조 종합 제염계수.

3. 결론

본 논문에서는 MAAP5 코드를 사용하여 유럽형 APR1400인 EU-APR1400의 CFVS 성능을 평가하였다. CFVS의 원자로건물 압력변화 및 대기방출 비율을 통해 과압방지가능 및 방사성물질 제거효율을 확인하였고, 제염계수 비교를 통해 세정기를 갖춘 수조형 CFVS의 방사성물질 제거능력이 뛰어난을 확인할 수 있었다.

4. 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 제원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

5. 참고문헌

- [1] Bernd A. Eckardt et al, "Containment Hydrogen Control and Filtered Venting Design and Implementation", Framatome ANP, Offenbach, Germany 2001.