

울진 유리화설비 기체유출물 연속 시료채취계통 적합성 평가

박병철, 양경화, 신상운

한수원(주) 원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1번지

bcpark@khnp.co.kr

1. 서론

원자력 관계시설의 굴뚝 및 덕트를 통해 환경으로 배출되는 기체유출물에 대한 시료채취 및 방사능 감시와 관련된 기술기준인 ANSI N13.1이 1999년 개정됨에 따라 울진 유리화설비에서는 개정된 ANSI N13.1-1999을 적용하여 기체유출물 연속 시료채취계통 및 방사능 감시계통을 설계하였다.

시료채취계통 설계와 관련하여 ANSI N13.1-1969에서는 정확한 분석을 위해 배기덕트의 크기에 따라 시료채취 노즐의 크기, 수량 및 설치위치 등을 명확하게 명시하여 등속채취(isokinetic sampling)를 위한 설계방법을 구체적으로 제시하고 있다. 그러나 등속 조건에 따라 다중노즐(multiple nozzle)이 사용될 경우 노즐의 내경 감소로 인해 격벽 손실률(wall loss ratio)이 75% 정도에 이를 수 있고, 결국 시료채취계통의 입자전송률(particle transmission ratio)이 20%이하로 줄어드는 문제가 발생할 수 있다. 이에 따라 ANSI N13.1-1999에서는 입자 손실을 최소화하고 시료채취 효율을 높이기 위해 단일 위치에서 스라우드 노즐(shrouded nozzle)을 이용해 시료를 채취할 것을 권고하고 있으며, 더불어 시료채취계통 설계·시공 단계에서 시료채취구 설치 위치, 시료채취 노즐 및 이송도관에 대한 적합성을 평가하여 ANSI N13.1-1999에서 요구하는 성능요건을 만족하는지 여부를 확인하도록 하고 있다.

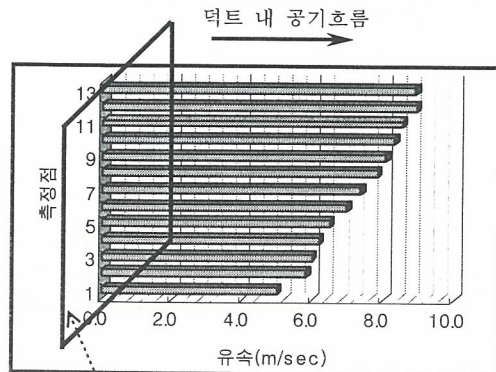
본 평가에서는 유리화설비 배기덕트 내 연속 시료채취점을 통과하는 공기들의 유속분포를 측정하였고, 또한 시료채취 노즐 및 시료이송 도관의 설계 자료를 미국 텍사스 A&M 대학에서 개발한 DEPO2001a 전산코드에 입력하여 입자전송율을 평가함으로써 ANSI N13.1-1999의 성능요건을 만족하는 연속 시료채취계통을 설계·시공할 수 있었다.

2. 배기덕트 내 공기 유속분포 측정 및 평가

유리화설비 배기덕트 내 시료채취점에서 공기의 유속분포를 측정하기 위해 피토우관(pitot tube)과 마노미터(manometer)를 이용한 피토횡단법(pitot traverse)을 사용하였으며, 유리화설비에서 각각 가로 24" × 세로 35"인 사각 덕트를 통하여 배출되는 공기량이 8,042 cfm(ft³/min)인 점과 시료채취관(probe)인 RF2-111 스라우드 노즐이 덕트 내 중앙에 공기흐름 방향과 평행하게 위치한다는 점을 고려하여 덕트 중심선을 기준으로 70mm간격으로 유속 측정점을 선정하였다. 배기덕트 내 수평방향의 유속측정은 3차례에 걸쳐 반복적으로 수행되었는데, 아래 표 1과 그림 1은 유속 측정 결과를 보여주고 있다.

표 1. 배기덕트 내 유속측정 결과

측정점	위치 (mm)	측정점별 공기유속(m/sec)			
		1차	2차	3차	평균
13	864.5	8.9	8.9	8.9	8.90
12	794.5	8.9	8.9	9.0	8.93
11	724.5	8.5	8.5	8.6	8.53
10	654.5	8.3	8.3	8.3	8.30
9	584.5	8.0	8.1	8.1	8.07
8	514.5	7.8	7.8	7.9	7.83
중앙(7)	444.5	7.3	7.4	7.4	7.37
6	374.5	7.0	6.9	7.0	6.97
5	304.5	6.5	6.5	6.5	6.50
4	234.5	6.2	6.2	6.2	6.20
3	164.5	6.0	6.0	6.0	6.00
2	94.5	5.9	5.8	5.8	5.83
1	24.5	5.0	5.0	5.0	5.00
평균		7.25	7.25	7.28	7.26



덕트 내 측정면

그림 1. 배기덕트 내 공기유속 분포

여기서, 위와 같은 측정결과를 바탕으로 유효구간(덕트 단면적의 2/3에 해당함)에 대한 평균유속과 표준편차를 산출한 결과 각각 7.32m/sec와 1.0887로 계산되었으며, 또한 변이계수(COV : Coefficient Of Variance)는 14.8%로 평가되었다. 이러한 결과는 ANSI N13.1-1999에서 요구하고 있는 성능 기준인 배기덕트 내 유효단면적에서의 유속 변이계수 20%이하를 만족하는 것으로서, 결국 유리화설비 기체 유출물의 방사능을 연속적으로 감시하기 위한 시료채취점이 적절하게 설정되었음을 의미하는 것이다.

3. 시료 이송시스템의 입자전송률 평가 및 활용

유리화설비 배기덕트에 설치된 시료 이송시스템(transport system : 시료채취 노즐과 시료이송도관으로 구성됨)은 설계단계에서 현장 여건만을 고려하여 아래 그림 2와 같이 시료이송도관의 경로가 결정되었으나, DEPO2000a 코드를 이용하여 10 μ m AD(Aerodynamic Diameter) 입자에 대한 전송율을 계산한 결과, 전체 입자전송율이 47.6%로 ANSI N13.1-1999에서 요구하고 있는 10 μ m AD 입자에 대한 전송율 50%이상을 만족하지 하지 못하는 것으로 나타났다. 결국, 시공단계에서 입자 손실율을 최소화하고 현장여건 등을 고려하여 시료이송도관의 경로를 아래 그림 3과 같이 변경하였으며, 그때 전체 입자 전송율은 62.3%로 계산되어 ANSI N13.1-1999의 성능기준을 만족하고 있는 것으로 평가되었다. 아래 표 2는 시료 이송시스템 구성기기별 10 μ m AD 입자에 대한 전송율을 보여주고 있다.

표 2. 시료입자 이송시스템 구성기기별 입자전송율

이송시스템 구성 기기	입자 전송율			비 고
	설 계	시 공	성능기준	
프로브(probe)	89.0%	89.0%	80% ~ 130%	RF2-111 스톱로드 노즐
수직 도관	98.6%	98.6%	-	직경 1.5"/0.75" SS관
수평 도관	77.8%	82.4%	-	
곡 관	69.9%	86.3%	-	곡률반경 4 혹은 5
축 소 관	99.7%	99.7%	-	1.5" 와 0.75" 도관 연결
전체 이송율	47.6%	62.3%	≥ 50%	

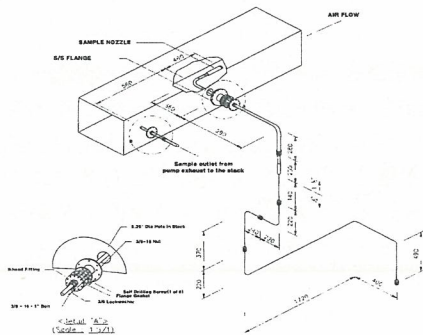


그림 2. 시료 이송시스템 변경 전 설계도

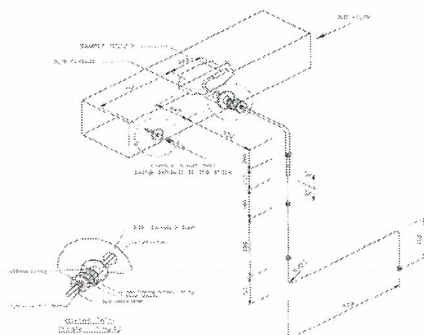


그림 3. 시료 이송시스템 변경 후 설계도

3. 결론

울진 유리화설비 배기덕트의 연속 시료채취점에서 피토횡단법을 이용하여 공기 유속분포를 측정하여 시료채취 위치의 적합성을 확인하였으며, 또한 DEPO2000a 코드를 이용하여 10 μ m AD 입자에 대한 시료채취 노즐과 시료이송도관에 대한 전송율을 평가함으로써 ANSI N13.1-1999에서 요구하고 있는 성능기준을 만족하는 연속 시료채취계통을 설계·시공할 수 있었다.

참고문헌

1. ANSI/HPS N13.1-1999, American National Standard - Sampling and Monitoring Releases of Airborne Radioactive Substances from the Stack and Ducts of Nuclear Facilities, American National Standards Institute, Inc.