

## 시료채취계통 설치위치 검증을 위한 Stack 내부 유동특성 실험

김호영, 강선행, 정문용

(주)한국필터시험원, 광주광역시 북구 오룡동 1110-23

[kftl@kftl.re.kr](mailto:kftl@kftl.re.kr)

### 1. 서론

원자력발전소에서 스택이나 덕트의 RMS (Radiation Monitoring System)는 정상상태 혹은 비정상상태 운전조건에서 방사능가스가 대기로 누출되는 것을 감지하고 관측하는 최후의 수단으로 스택이나 덕트로부터 유출되는 핵종을 감지함으로써 가스 농도나 양을 제공해주는 중요한 설비이다. 관련 기술기준인 ANSI N13.1(1999)이 이전 버전과 다른 점은 대표샘플을 취하는 측정점에 대한 기준으로 다점방식 (multi point) 대신 한 점(single point) 측정만으로도 충분하다는 점과, 이를 위해 isokinetic sampling이 대안으로 제시되어 있다는 사실이다. 뿐만 아니라 계통설계, 노즐설계 및 이송관 등의 평가는 시험을 통해 검증되어야 한다는 점이다.

대개의 경우 스택 내부 유동은 유체해석을 통해 예측하기 곤란하다. 이는 복잡한 배관계가 연결된 계통으로 관련계통과 연계된 덕트 배열 상태나 각 계통별 배출량 또는 운전조건 등에 따라 샘플링 위치에서의 유동특성이 달라지기 때문이다. 때로는 스택 내부유동이 유동각이 큰 선풍(Cyclonic Flow)이 될 수 있으므로 샘플링 위치선정과 스택 단면적 크기별 샘플링 채취점의 개수를 잘못 선정한다면 결국 잘못된 정보를 계속하게 된다. 본 연구는 스택이나 덕트의 유동 특성을 파악하기 위한 일련의 실험에 관한 것으로 시험용 스택을 구축한 후 다양한 공기유동 조건에 대해 유동각, 속도분포 등을 측정할 결과로서 RMS 샘플링 위치 결정 및 검증시험에 적용할 수 있다.

### 2. 실험 및 결과

스택이나 덕트의 시료채취계통 검증은 시료채취용 노즐, 수송관, 분석기 (가스분석기 및 입자분석기)와 시험용입자/발생기 및 추적가스 등을 필요로 한다.

#### 1) 샘플링 위치 선정시 고려사항

올바른 샘플링 위치를 선정하기 위해서는 스택이나 덕트의 기하학적 형상과 내부 유동 특성을 잘 이해하고 있어야 한다. 대개 시료채취 위치는 펜 후단과 스택 출구 사이에 위치하도록 결정하나 속도분포에 심각한 영향을 줄 수 있는 출구에 지나치게 가까워서는 안된다. 전형적으로 잘 혼합된 유동조건에 적합한 샘플링 위치는 교란장치(disturbance, 예: 곡관, 덕트, 펜 및 접합부 등)를 중심으로 하류의 5~10배에 해당하는 수력직경 거리이거나 상류측 3배 이상의 위치이다.

#### 2) 샘플링 위치 검증 요건

샘플링 위치에 대한 검증은 다음의 기준과 배경을 만족하여야 한다. 즉,

① 유동각의 측정과 선풍 여부의 판단 : swirl의 존재는 유동-입자 혼합에 좋지 않은 영향을 주며 샘플용 노즐의 성능을 저하하게 하며 평균 유동각 허용기준은 20°이내여야 한다.

② 유동의 균일성 : 각 측정점에서 속도 측정후 COV(Change of Variation)를 계산한다. 여기서 COV는 평균값에 대한 측정값의 표준편차의 백분율로서 스택면적의 중앙2/3영역에서 20%이내여야 한다.

#### 3) 시험용 스택의 구축

샘플링 설치위치 검증을 위한 유동특성 계측장비로는 유동각 측정기구(자체개발), 각도계, 경사마노미터, 삼각대, S-형 피토투브 및 열선풍속계 (FLUKE) 등이 있으며 본 연구를 위해 그림 1과 같은 실험용 스택을 구축하였다.

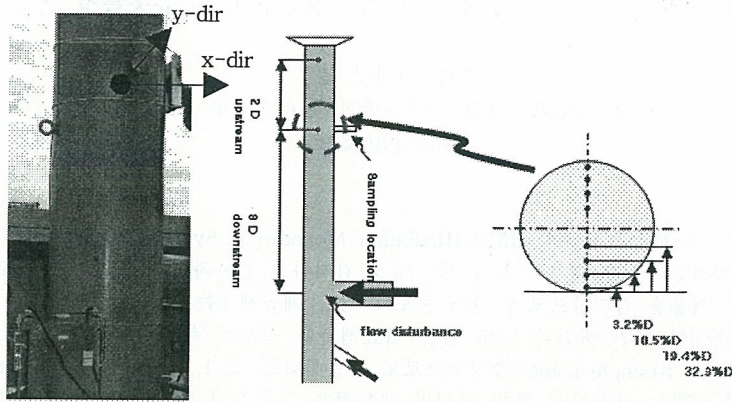
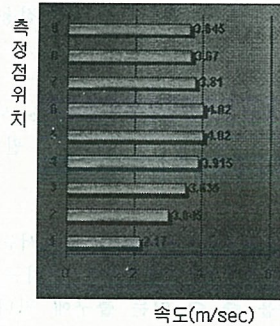


그림 1. Test Stack과 측정점의 위치

4) 유동특성 실험 및 측정결과

스택 하방에서 공급되는 주유동(926 cfm)과 유동교란기구(분지 덕트)로 공급되는 유량 비율이 2:1 일 때 실험결과는 다음과 같다. 측정단면의 유동각(3.8°)과 중앙 2/3단면에서의 COV(8.9)로 모두 허용기준을 만족하였다.

측정 방향 →		X-방향 (수평 방향)			
측정 Point	측정 깊이(mm)	1	2	3	Mean
1	12.6	2.54	1.80	2.17	2.17
2	41.8	2.98	3.11	3.06	3.06
3	76.6	3.71	3.36	5.54	3.54
4	127.6	4.02	3.81	3.92	3.92
center	197.5	4.02	4.02	4.04	4.02
5	267.4	3.92	4.12	4.02	4.02
6	318.4	3.60	4.02	3.81	3.81
7	353.5	3.36	4.02	3.69	3.69
8	382.4	3.48	3.81	3.65	3.65
Averages →		3.51	3.56	3.54	3.54
All	m/s	편차(%)	Center 2/3	X-방향	All
Mean	3.54	-	Mean	3.71	3.54
Min.Point	1.80	-49.2	표준편차	0.33	0.50
Max.Point	4.12	16.4	COV(%)	8.9	14.1



3. 결론

스택의 샘플링계통 위치검증을 위한 시험용 스택내부 유동특성 실험결과와 유동각(<math><20^\circ</math>), 2/3단면적의 속도분포기준(<math><20\%</math>) 등에서 모두 허용기준을 만족하고 있어 그림 1과 같이 유동교란장치  $8 \cdot D$  위치, 출구로부터  $2 \cdot D$ 인 위치는 시료채취용 노즐을 설치에 적합한 위치임을 알수있었다. 그 밖에 본 실험을 통해

- 샘플링 위치 검증 평가기법 개발 및 관련 시험요원 교육시스템 개발
- 스택 내부 속도분포와 유동각 측정 절차수립
- 샘플링 시스템의 검증 체계 구축
- 시험요원에 대한 측정기구에 의한 이해와 사용법 훈련
- 관련시험용 방법론과 계측기개발

등을 이룰 수 있었다. 여기에 입자농도 및 가스분포 측정체계를 추가적으로 구축한다면 RMS계통에 대한 검증이 가능하며 원전 운전성과 신뢰도 향상에 크게 기여할 것으로 판단한다.

4. 참고문헌

- (1) ANSI/HPS N13.1:1999 "Sampling and Monitoring Releases of Airborne Radioactive Substances from the Stacks and Ducts of Nuclear Facilities"
- (2) 40 CFR 60 Appendix A Method 1 "Sample and velocity traverses for stationary sources"