

대기오염관리시스템(미국) 구성과 운영



문길주 (한국과학기술연구원 환경연구센터장)

1. 서론

환경 및 환경문제는 복잡성, 상호관련성, 경제성, 피행성 등의 특성으로 인하여 단편적으로 그 특성을 논하기는 어렵다. 하지만 한가지 확실한 것은 어떻게 접근하든 최종의 목표는 좀더 나은 환경을 추구하기 위한 것이다. 경제의 성장과, 급속한 과학기술의 발달과 함께 인구의 급증, 도시화, 공업화 등으로 자연계 즉 생태계의 균형까지도 위협하게 되며 결국은 인간의 안락하던 생활터전인 환경을 위협하게 됨에, 편안한 환경을 추구하기 위한 모든 것이 허물어지는 환경위기 의식까지 느끼게 된다.

신세대의 절대적으로 필요한 에너지가 환경파괴의 주범으로 부상하면서 에너지를 사용하는 모든 공정의 필요성을 논하기 이전에 어떻게 하면 무공해 (clean technology), 저공해를 위한 에너지의 효율적 운영 및 배출가스를 저감하느냐에 노력하여 최소한의 환경피해를 줄이는데 주력하게 되었다. 새로이 건설되는 공장은 저공해를 위한 선공정 방식을 연구중이며, 기존의 공장의 굴뚝에서도 가장 적은 유해가스 및 분진을 배출하게 하려는 “end of the pipe technology” 연구가 활발히 이루어지고 있다. 사회는 이를 규제, 감시하기 위하여 “대기정화법”이란 신규정을 만들어 모든 배출가스의 농도를 규제 및 감시하게 되었다. 이에 맞추기 위한 “end of the pipe technology”로는 다음과 같은 것 환경관리인. 1993. 5

이 활발히 이루어진다.

- Best Available Control Technology(BACT)
- State-of-the-art Control Technology(SOTA)
- Best Available Technology(BAT)
- Best Practical Treatment(BPT)

상기 기술한 환경처리기술을 이용하여 신 저감대책을 설치하였다 하여도 대기정화법의 규정은 반드시 정기적으로 측정 및 감시(monitring)를 병행하여야 한다. 측정의 목적은 크게 두가지로 구분하면 배출허용치를 준수하려는 것과, 주변(Ambient)의 대기오염의 농도를 측정하여 자연 및 인간의 생활에 피해를 최소한 내지 없애려는데 목적이 있다.

2. 측정방법과 기준치

굴뚝의 측정방법으로 공정시험 방법에서 명시되어 있는 환경 기준치의 유해가스를 측정하게 되어 있다. 가장 많이 배출되는 오염물질을 자동측정 방법을 통하여 하는 방법과, 빛의 산란과 흡착을 이용한 방법으로 계측기를 굴뚝안에 넣어서 측정하는 방법이 있다. 이외에도 정기적으로 분진 및 유해가스를 “Stack Testing”이라 하는 공정시험방법의 시료채취 방법과 동일한 환경처 측정법(U.S. EPA Method 1-5)에 준하는 방식으로 측정하게 되어 있다. 이 EPA Method 1-5가 가장 정확한 방법이며 이것이 다른 계측기의 Calib-

ration 및 기준 data가 된다. 이 방법의 결점이라면 측정하는데 시간을 많이 요구할 뿐 아니라, 경험과 많은 인력이 필요하다. 연소하는 방법과 연료(석탄, 유류)가 바뀔때 마다 다시 측정하여야 한다. 분석대상 가스에 따라 공정시험 분석방법은 다음 도표 1과 같이 바뀐다.

대기환경측정은 지역의 특수성에 따라 특정항목의 변동 및 첨가는 있을 수 있겠지만 일반적으로 대기환경 기준에 명시된 먼지(Pm-10) 및 SO₂, NO₂, CO, O₃, 가스를 원칙으로 하고 THC 및 다른 특수가스도 때에 따라 측정한다. 현행 미국의 대기환경 기준표는 다음 도표 2와 같다. 측정방법은 공정시험방법에 명시된 연속 자동측정 방법으로 하며 data이송 및 처리는 Telemetry System에 의하여 집계하는 것이 일반적이다. 여기서 가장 유의할 점은 data의 질(Quality)과 량(Quantity)이라 하겠다. 예를 들어 한시간의 평균치라 함은 최소한 45분동안의 Validated된 data가 있어야만 평균치를 내는 것이고, 하루의 평균치란 Validated된 18시간 이상의 data가 있어야만 하루 평균치라고 할 수 있다.

도표 2. 현행 미국 대기환경기준표

	1시간	24시간	1년	비 고
Pm-10		150(50)*	50(30)*	10 μ m이하 부유먼지(μ g/m ³)
SO ₂		0.14(0.05)	0.03	단위: ppm
NO ₂	0.25		0.053	단위: ppm
CO			35(20)	단위: ppm
O ₃	0.12 (0.09)			단위: ppm(Oxidants)
Sulfates		25		단위: μ g/m ³
Hydrogen Sulfide	(0.03)			단위: ppm
Vinyl Chloride		(0.010)		단위: ppm

3. 측정소 설치(Monitoring Network)

측정소(기)의 위치는 2가지로 나누어 오염원(Source)이 되는 굴뚝과 대기중(Ambient)의 측정소가 필요하다 하겠다. 굴뚝의 측정은 필요로 하는 항목만 정하여 측정하면 되겠다. 하지만 "Ambient Network"는 광대한 지역에 어떻게 설정하느냐 하는 것이 늘 문제이

도표 1. 분석대상가스별 분석방법 및 흡수액

분석대상가스	분석방법	흡수액
암모니아	•인도페놀법 •중화적정법	붕산용액(0.5W/V%)
염화수소	•티오시안산제2수은법 •질산은법	수산화나트륨용액(0.1N)
염소 황산화물	•오르토폴리덴법 •침전적정법 •중화적정법	오르토폴리덴염산용액 과산화수소수용액(3%)
질소산화물	•아연환원나프틸에틸렌 디아민법 •페닐디술폰산법	•중류수 •황산+과산화수소수+중류수
이황화탄소	•흡광도법 •가스크로마토그래피법	•디에틸아민용액
포름알데히드	•크로모트로판산법 •아세틸아세톤법	•크로모노로판산+황산 •아세틸아세톤함유흡수액 •아연아민착염용액
황화수소	•흡광도법 •용량법	
불소화합물	•흡광도법 •용량법	•수산화나트륨용액(0.1N)
시아나이드	•질산은적정법 •피리딘 피라졸론법	수산화나트륨용액(2W/V%)
브롬화합물	•흡광도법 •적정법	수산화나트륨용액(0.4W/V%)
벤젠	•흡광도법 •가스크로마토그래피법	•질소암모늄+황산(1+5)
페놀	•흡광도법 •가스크로마토그래피법	•수산화나트륨용액(0.4W/V%)
비소	•흡광도법 •원자흡광도법	•수산화나트륨용액(4W/V%)

며 이것이 전체의 data를 대변할 수 있느냐 하는 것이 논란의 대상이 된다. 하지만 다음과 같은 원칙을 정하고 시행하면 좋은 측정소를 선정하리라 생각된다.

- 지역의 특수성
- 배출가스 및 분진의 특수성
- 각 측정소의 주변환경
- 평균 풍속 및 풍향
- 타오염원에 미치는 영향

상기 5가지의 원칙하에 측정소의 위치 설정기준 이외에 많은 경험이 필요로 하게 된다. 지역의 평균기상 data를 원칙으로 하여 정하는 것이 통상적이지만 미기상(micro) data가 주변의 환경과는 다르게 나타나는 경우가 있기 때문에 미기상 data를 최소 3개월에서 6개

월정도 측정 후 설정하는 것이 매우 중요하다. 끝으로 각 측정소의 위치도 주변의 오염원으로 부터의 직접적인 영향을 피할 수 있게 design되어야 한다. 예를 들어 도로변에서 가깝다던가 하면 CO같은 측정치의 data가 영향을 받으며, Sampling Inlet이 나무잎 가까이라든가 숲속에 있으면 O₃ data에 영향이 있다. 더욱이 Sampling Line이 너무 길다던가, 측정소의 실내 온도가 24°C±4°C를 유지하지 못하고 너무나 고온, 고습, 저온하면 계측기와 Computer의 오차가 심하게 되며 심지어는 작동을 안하는 경우가 많다. 그림 1에서 보여주는 것은 미국 Arizona에 위치한 Grand Canyon에서 북동쪽으로 약 100mile떨어져 있는 미국의 가장 큰 화력발전소(NGS)에서 배출되는 SO₂ gas가 Grand Canyon의 환경에 미치는 영향을 측정하기 위하여 설정된 측정도 위치이다. 그림에서 보여 주듯이 측정소가 밀집되어 있는 부분과 외곽에는 어떤 Patten을 유지하며 설정되었다. 이것은 외곽으로 부터 이동하여 올 수 있는 외부오염물질 유출입을 측정하기 위한 외곽의 측정소 위치의 설정이고, NGS에서 발생하는 오염물질의 이동으로, 피해가 가장 많이 있으리라고 예상되는 지역을 집중적으로 측정하기 위하여 측정소 위치가 설정되었다. 끝으로 측정소마다 R, B와 C의 코드로 나타낸 것은 측정소의 개성이 있음을 의미한다. 전체 24개의 측정소중에 3개는 Receptor Site(R)라 하여 모든 항목을 분석 및 집중적으로 측정하기 위한 곳이며, Research Site(B)라 한 7군데는 R Site와 같이 측정운영을 하지만 측정항목이 많이 축소되어 구성되어 있으며, 끝으로 14의 Regional Characterization Site(C)라 지정된 곳은 축소된 측정항목에 최소한의 측정회수로 구성되어 있는 것이다. 이 모든 계획은 측정 data의 최대 효율을 높이기 위하여 항목과 횟수를 줄이며 가장 큰 피해가 예상되는 위치에는 횟수가 많고 다량의 항목을 측정하여 명확한 답을 구하는데 목적을 두고 설정되었다. 24군데의 측정소 위치를 결정하기 위하여 많은 전문위원들로 구성된 팀이 약 6개월의 시간을 두고 결정하였을 만큼 측정소 위치 설정은 매우 중요한 기초이다.

4. 측정소(기)운영

측정소 위치 결정과 설치가 끝나면, 가장 중요한 것 환경관리인. 1993. 5

은 측정소(기)운영이다. 측정소(기)운영에는 단 한가지의 목적, 즉 질(Quality)좋은 data를 신속하게 수집하는데 있다. 다음으로 중요한 것은 운영비를 최소화 하면서 Quality Data의 수집이라 하겠다. 과대한 data의 량 때문에 많은 경우가 data처리에 시간과 돈을 낭비하는가 하면 결국은 좋은 data까지도 잘 다루지 못하는 경우가 많다. 측정소(기) 운영은 과학적인 바탕을 두고 짜여진 계획 아래 이루어져야만 한다. 그렇기 위하여는

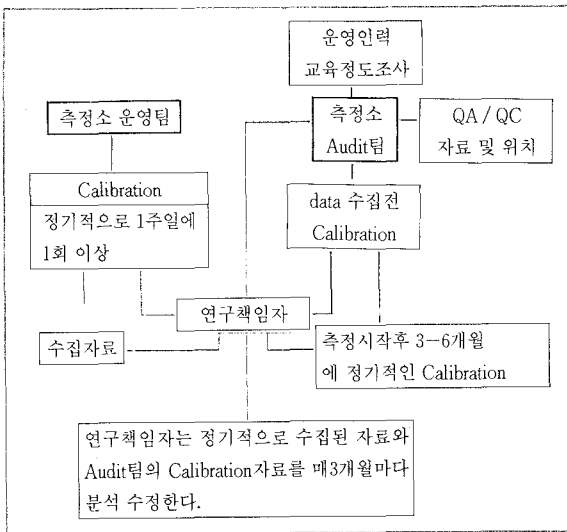
- 1) Quality Control
- 2) Quality Assurance
- 3) Data Precision(정밀)
- 4) Data Accuracy(정확)

에 역점을 두고 운영하여야만 한다.

위에서 다룬 4개의 항목은 비슷한 말이지만 각 특성과 중요성이 있다. Quality Control이 없는 data를 수치로 나타내면, 그 평균치의 오차가 심하기 때문에 질의 문제가 된다. Quality Assurance는 data를 수집하기 전부터, 측정소 위치, 측정계측기, Sampling Inlet, data를 수집하는 Format과 운영하는 인력의 교육 등 모든 것에 점검을 미치고 자료 수집을 시작하여야만 하겠다. 끝으로 가장 문제가 되는 것이 정밀도와 정확도라 하겠다. 계측기 자체가 매우 정밀하게 설계되어 있다고 하지만 대기측정치가 매우 작은 숫자(ppm, ppb단위)를 뜻하기 때문에 계측기의 Calibration이라든가 측정조건이 조금이라도 바뀌게 되면 오차의 범위가 측정치 보다 커지는 경우가 매우 많다. 이를 보장하기 위하여는 잘 교육을 받은 전문인력이 정기적으로 zero와 Precision, Calibration Check를 계속하면서 감시하여야만 계측기의 변동이 있나를 알아낼 수 있다. 끝으로 data의 정확성은 쉬운 것 같으면서도 매우 힘이 든다.

계측기의 Calibration이 잘 되었다 하여도 전체적인 "System Error"가 있기 쉽다. 다시 말하면, Inlet이 잘못되었다든가, Computer의 연결이 잘못되었다든가 하는 문제이다. 이를 알아 내기 위하여는 다른 System과 똑같은 것을 같은 장소에 반드시 "co-located sample"을 하여야만 한다. 이는 매우 중요하며 수집한 data의 정확도를 대변한다. 예를 들어 그림 1에서 보여준 전체 24개의 측정소중에서 3군데의 연속측정기에 "co-located sample"을 하였고, 분진같은 것은 약 5-10% "co-located sample"과 'field blank' test를 했다.

모든 측정소(기)운영에는 2개의 team이 필요하다. 하나는 data수집/운영 team이고 다른 team은 QA/QC와 Precision/Accuracy를 조사하는 team이라 하겠다. 각 team이 수집, 조사한 data는 다른 Channel을 통하여 연구책임자에게 보고 되고 연구책임자가 data의 질과 측정소 운영을 결정한다. 측정소 운영체제를 표로 나타내면 다음과 같다.



5. Data Validation

잘 수집된 자료(Raw Data)는 Validation이 있기까지는 이용할 수 없는 data이다. 이 부분에 대하여는 다음 기회가 있을 때 논하기로 하자.

6. 국내측정소(기)의 문제점

대기오염 측정소(기)의 문제점은 무엇보다도 전문지식이 없는 상태에서 운영하는 것과, 계측기에 대한 의존도가 너무 크다 하겠다.

전문지식이 없다함은, 어떤 원리로 어떻게 측정되는가 하는 지식이 없기 때문에 문제발생시 해결할 수

없을 뿐더러, A/S가 매우 힘든 상태이다. A/S가 매우 힘들다함은 data에 대한 Quality(질)에 문제가 있음을 뜻하는 것이기 때문에 측정을 할 필요가 있는가 까지 의문을 갖게 된다.

다음으로 계측기에 대한 의존도라함은, 계측기에 대한 신뢰성과 견고성에 대한 기대가 크다 하겠다. 대부분의 대기오염 계측기는 외부의 조건에 매우 민감할 뿐아니라, 계측기의 오차범위한도가 매우 적기 때문에 (ppb 단위), 계측기의 습성을 잘 관찰한다든가 정기적인 보정 및 보수를 요하게 된다. 더욱이 굴뚝에서의 연속측정용으로 사용되는 경우에는, 고온 고습에다 굴뚝의 진동까지 있어 계측기를 잘 유지하지 않을 경우에는 정상적인 가동을 기대하기가 매우 힘들다.

7. 결론

대기오염 측정소(기)설치 및 관리에 있어서, 상에서 서술한 과정이 모두 중요하다. 질(Quality) 높은 자료를 정확히 측정하려면 처음의 측정소(기) 위치 선정 및 계측기 선택, Calibration, Data Process 및 Validation 까지 모두다 중요한 Step들이나, 가장 중요한 것은 측정소를 운영하는 인원의 교육 및 Data에 대한 이해라 하겠다. 측정소 운영과 Audit team의 교육은 매우 중요하며, 측정소를 방문할 때마다 준수하고 검수하여야 할 사항을 미리 만들어 반드시 Check하고 연구책임자에게 보고하는 체제가 이루어져야 한다.

과학적으로 측정소(기)를 잘 운영하려면, 전문지식을 갖춘 전문인에 대한 교육이 선행되어야 한다. 측정기의 설치 당시부터 전문지식인에게 의뢰하여 설치하고, 유지와 보수를 위한 교육이 이루어진 이후에야 대기질에 대한 측정이 가능하다 하겠다.

끝으로 선진국은 모든 측정기에 대한 보정 및 보수에 대한 기록에 관한 검토와 실제의 측정을 제3자에 의뢰하여 (Audit) data에 대한 확신을 받는 규정이 정하여져 있다. ◀

오염은 순간이고 정화는 자자손손