

1F2) 대기오염측정망의 측정 품질 보증을 위한 불확도 요소의 파악과 정량화

Evaluation and Quantification on the Sources of Uncertainty for Quality Assurance of the Air-Pollution Monitoring Stations

우진춘 · 문동민 · 김현호 · 임종명¹⁾ · 이진홍¹⁾ · 홍유덕²⁾ · 한진석²⁾ · 이석조²⁾
한국표준과학연구원 유기분석그룹, ¹⁾충남대 환경공학과, ²⁾국립환경연구원

1. 서 론

현재, 대기 환경 자료의 정확한 분석을 위하여 정부와 지자체는 여러 종류의 대기 오염 측정망을 설치하여 운영하고 있다. 측정망으로부터 산출된 이러한 자료들의 품질은 대기 환경 학자 및 전문가들은 물론이고 일반 국민들의 일상적인 활동에도 중요한 영향을 미치고 있기 때문에, 측정 결과의 정확한 이해와 사용을 위한 품질 보증이 매우 중요한 실정에 있다. 그러나, 국제적인 수준의 품질 보증이 이루어지기 위해서는 측정 실험실의 인증 요건(ISO 17025) 및 측정 불확도 표기(ISO Guide) 등에 관한 국제적인 규격들의 적용이 매우 엄격하게 요구되고 있는 실정이다.

본 연구 그룹은 국립환경연구원과 공동으로 수행한 “대기오염 측정망의 정도관리 체계 확립 사업”으로 각종 대기 오염 측정망의 측정 절차 및 지침을 검토하고, 국제적인 기준에 맞춰 측정 결과의 품질 보증을 위한 절차서 및 측정 불확도 적용 지침서를 개발하였다. 본 발표에서는 이 과제의 연구 결과로 파악한 각 측정망의 항목별 중요 품질 요소와 불확도 산출 방법 그리고 품질 보증 방법을 소개하고자 한다.

2. 연구 방법

공해공정시험법, KS의 대기 관련 규격, 환경부 고시 및 EPA의 측정 방법 그리고 환경 연구소 등에서 발행된 각종 보고서 등을 참조하여 항목별로 측정 품질 요소들을 파악하였다. 이들의 상호 영향을 면밀히 검토하여 중요도에 따라서 코드화하였으며, 각 품질 요소들을 정량화할 수 있는 방법을 개발하였다. 상업용 불확도 계산 프로그램인 PUMA를 적용하여 측정불확도를 계산하고 측정 보증에 이용하도록 예시하였다.

3. 결과 및 고찰

대기오염 측정망에서 대부분의 측정 및 분석은 측정기를 표준가스(또는 표준기) 또는 자체 제작한 작업 표준 가스(스팬 및 제로 가스 등)로 교정한 후에 측정하게 된다. 이와 같은 과정에서 필수적으로 관리되어야 하는 품질 관리 요소는 표 1과 같으며, 이외에도 해당 측정 항목에 따라서 중요한 품질 요소들이 추가적으로 검토되어야 한다.

측정 항목별로 관리되는 각각의 품질 관리 요소는 매 측정 결과를 얻은 다음 정량적으로 비교하고 차기 관리주기 설정과 품질 평가에 이용하는데, 이 때 표 2와 같은 관리표를 이용한다. 각 측정망의 담당자는 처음 정도 관리를 계획하는 단계에서는 절차서에 설정된 초기 관리 주기에 따라 품질 요소별로 관리할 수 있으나 이 주기는 표 2를 산출한 단계에서 경제성, 과학성 및 측정 결과의 종합 품질에 따라 조정되어야 한다. 표 2는 개발된 절차의 예로서, 대기오염 측정망에서 산출된 NOx 결과에 대한 불확도 산출과 품질 보증 예이다.

기본 항목인 NOx, SO₂, CO, O₃, PM10을 비롯하여, 광화학평가측정망의 VOC, PM2.5, 지구대기측정망의 CFCs, CH₄, CO₂, N₂O, 유해대기측정망의 VOC, PAHs, 산성강하물측정망의 pH, 전기전도도, 중금속측정망의 중금속 및 황사의 금속성분에 대하여 표 2와 같은 절차서를 각각 작성하여 품질 보증에 이용할 수 있게 정리하였다.

표 1. 측정 결과에 대한 필수 품질 관리 요소

품질 요소	해설
측정의 반복성	측정의 각 단계에서 같은 시각에 같은 사람이 같은 측정 조건에서, 반복 측정하는 경우 자료의 분산된 정도
교정(검정곡선)의 직선성	측정의 지시값(반응값)이 두 개의 교정점 사이에서 직선적이지 않는 정도
교정 주기 동안의 변동성	측정 감도 등이 변하는 정도 (측정은 교정한 후 연속적으로 수행되는데, 교정 시점과 측정 시점의 차이가 발생하기 때문)
매질 효과에 의한 차이	교정에 사용되는 시료 또는 표준시료와 측정 대상 시료가 각각 다른 매질을 가지고 있기 때문에 발생하는 측정의 차이
시료의 안정성	시료 채취 후 시간이 경과함에 따라서 발생하는 경시 변화
표준시료의 정확성	사용한 표준시료(스팬 가스 및 제로 가스)의 정확성
기타 기기 교정의 정확성	교정이 필요한 기기 및 방법의 교정 상태 및 사용한 표준기 등의 정확도

표 2. NOx 측정의 품질 요소 관리 및 측정 불확도 산출을 통한 측정 결과의 품질 보증 예

품질 요소코드	입력량			측정의 반복성				분산(%), $\left(\frac{u_i(L)}{u_c(L)}\right)^2 \times 100$
	입력 변수	입력값	단위	변수 기호	값	자유도	평가 방법	
NOX-QU-01	R_x	65.5	-	$u(R_x)$	3.6	3	B	54.1
NOX-QU-02	R_1	0.25	-	$u(R_1)$	1.8	3	A	9.6
NOX-QU-03	R_2	410	-	$u(R_2)$	2.0	3	A	0.4
NOX-QU-04	f_{lin}	1	-	$u(f_{lin})$	0.012	12	B	2.6
NOX-QU-05	f_{drift}	1	-	$u(f_{drift})$	0.027	12	B	13.0
NOX-QU-06	f_{conv}	1	-	$u(f_{conv})$	0.012	12	B	2.6
NOX-QU-07	f_{hum}	1	-	$u(f_{hum})$	0.009	12	B	1.4
NOX-QC-01	M_1	8.0	L/min	$u(M_2)$	0.12	50	A	4.0
NOX-QC-02	M_2	0.040	L/min	$u(M_1)$	0.00021	50	A	0.5
NOX-QR-01	C_s	80100	$\mu\text{mol}/\text{mol}$	$u(C_s)$	1200	50	B	4.0
NOX-QR-02	C_1	0	$\mu\text{mol}/\text{mol}$	$u(C_1)$	1.6	3	B	8.0
측정대상	C_x	63.5	$\mu\text{mol}/\text{mol}$	$u_c(C_x)$	4.7	9	-	100.0
품질 보증	1. 대기 시료 중의 NOx에 대한 측정 농도(C_x)는 $63.5 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 이고, 측정 대상은 $63.5 \pm 10.8 \mu\text{mol}/\text{mol}$ (확장불확도) 이내에 존재한다고 95 % 신뢰수준으로 말할 수 있다. 2. 이러한 범위는 측정의 반복성, 사용기기의 직선성, 대기 습도의 매질효과, 컨버터의 효율, 스펀 교정 사이의 drift, 제로 가스의 순도 그리고 표준 시료 및 MFC의 정확성을 고려하여 결정하였다.							

참 고 문 헌

- 공정시험법 대기편, 2002.
- “측정불확도 표현 지침,” KRIS-99-070-SP, 한국표준과학연구원, 1999.