

대기오염공정시험법의 체계구축과 개선방향

Current Status and Prospects of Standard Methods for the Measurements of Air Pollution in Korea

김 기 현* · 배 민 석¹⁾

세종대학교 환경에너지융합학과, ¹⁾국립목포대학교 환경공학과
(2013년 5월 7일 접수, 2013년 7월 25일 수정, 2013년 7월 25일 채택)

Ki-Hyun Kim* and Min-Suk Bae¹⁾

Department of Environment & Energy, Sejong University

¹⁾*Department of Environmental Engineering, Mokpo National University*

(Received 7 May 2013, revised 25 July 2013, accepted 25 July 2013)

Abstract

In this research, the present standard analytical methods for the monitoring of air pollution levels established by the Korean Ministry of Environment (KMOE) were examined in reference to the recent outputs of several research projects conducted for their amendments. The evaluation of the two criterion methods between the main (the present guideline) and reference methods (the proposed alternate guideline) was made in terms of authenticity and reliability of the quality assurance (QA) and of compatibility of methods. The results of this comparative evaluation are presented for the analysis of both ambient air and source samples. Based on this analysis, we propose a new direction for the future amendment.

Key words : Air quality, Monitoring method, Guideline, Quality assurance

1. 서 론

높은 경제 발전과 함께 삶의 질이 향상함에 따라, 환경오염문제에 대한 국민적 관심이 커지는 것은 필 수 불가결한 현상으로 볼 수 있다. 환경문제를 정확 히 이해하고 대처하기 위한 환경분석 분야의 전문인 력의 역할도 점차 증가하고 있다. 환경오염 문제를 해결함에 있어 가장 우선시 고려해야 할 부분들은

대략 다음과 같이 정리해 볼 수 있다. 첫째로 국가는 측정결과와 신뢰성을 높이기 위하여 표준측정방법을 지정한다. 그 시점에 적절한 오염물질에 대한 공정시 험법을 수립하고, 기술의 변화를 감안한 시험법 개선 안을 꾸준히 지속하여야 할 것이다. 둘째로 이를 기 반으로 환경관련 종사자들에게 공정시험의 기준에 준하는 내용과 원리를 이해하고 수행할 수 있게 교 육 및 관리를 하여야 할 것이다. 셋째로 그에 따른 정확한 환경오염물질의 자료를 축적하고 활용할 수 있는 기반을 제시하여야 할 것이다.

이러한 측면에서 대기오염공정시험법은 산업현장

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-3408-3233, E-mail : khkim@sejong.ac.kr

일선에서 또는 대학 연구실에서 대기오염물질의 측정의 기준으로서 대기오염을 연구하는 모든 연구자들에게 중심적 역할을 하는 하나의 중요한 기준으로 중요한 의미를 지닌다. 따라서 대기오염공정시험법에 대한 기준의 정립은 대기오염물질에 대한 분석이 생소한 초심자들에게 분석의 세계로 초대하는 역할을 하는 것과 동시에 이미 그 기준을 잘 알고 있는 연구자들에게는 보다 더 숙련도 높은 자료의 생산을 도와주는 것과 같은 중요한 분석정보의 사전적 역할을 한다. 특히, 이런 시험법이 제시하는 기술적인 기준과 정보는 측정분석을 선도하는 다수의 연구자들에게 분석기술의 발전과 더불어 끊임없이 새롭게 시험법을 보완 개선하거나 대체 시험법을 제안할 수 있는 자극을 제공한다.

결과적으로 분석기술의 발전과 함께 일정 시간이 지나면 어느 특정 시점에 수립한 대기오염물질들에 대한 측정체계와 기준은 그 당시에 인지하지 못했던 문제점들 또는 인지를 하였음에도 별다른 대안을 발견할 수 없었던 한계성을 개선 또는 극복할 수 있는 새로운 계기를 제공할 수 있다. 이러한 시험법과 관련한 문제들을 해결하기 위해 시험법을 새롭게 제정하는 것과 제정한 내용을 지속적으로 개선하기 위한 노력을 기울이는 것은 어느 한 시대에 가장 보편적이고 적절한 분석기술을 유지하기 위한 가장 근본적인 중요한 출발점이라고 할 수 있다. 특히, 이러한 체계를 1차적으로 정립하고 나면, 일정 시간 이후에 기준의 시험법들을 보다 체계적으로 보완하고 개선할 수 있는 노력을 경주해 나가는 것이 대단히 중요하다. 기존의 문제들을 보완하고 새로운 대체방식들을 보다 효율적으로 배치할 수 있는 개선방식의 기준을 제대로 정립하고 체계화하는 부분이 무엇보다 중요하다. 보완과 개선을 위한 시도들은 최초에 시험법을 제정하기 위해 막대한 노력과 예산을 쏟아 부은 것만큼 여러 가지 중요한 의미를 지닌다. 이와 같이 개선을 체계화하기 위한 기준은 단순히 문제점을 찾아서 고치거나 대체하는 지엽적인 기준을 수립하는 것에 못지 않게 보다 더 큰 틀에서 여러 가지를 고려해 주고 고민해주어야 할 내용들이 많다는 점들을 충분히 감안해 주어야 한다. 실제 이러한 노력은 대기오염물질의 분석에서 여러 가지 새로운 분석기술의 정립을 촉진하였다(Kim and Kim, 2013, 2012).

특히, 이러한 개선체계에 대한 기준을 정립하는 것

은 어떤 특정한 오염물질들에 대해 가장 적절한 수준을 유지할 수 있게 분석 정보를 제공하고 개선해야 한다는 사실 외에도 각각의 시험법들을 아우르면서 시험법들 간의 연계성을 통섭적으로 판단할 수 있는 보다 더 큰 안목을 동시에 고려하기 위한 노력을 수반하는 것이 중요하다. 또한 시간적 관점에서 보다 새롭고 참신한 시험법들이 기존의 시험법을 지속적으로 대체해서 들어올 여지를 열어 두는 체계를 마련해 두는 것이 중요하다. 다음 장에서는 기존의 대기오염공정시험기준 및 대체 기준의 존재 유무를 파악하고, 이에 따른 문제점을 제언하고자 한다. 이러한 제언을 위해, 하나의 기준으로 미국의 공정시험법의 선진적인 체계를 소개함과 더불어 현시점의 국내 시험법 체계를 비교하여 점검하였다. 그리고 앞서 언급한 바와 같이, 통섭적인 기준에서 현재체계의 부족한 측면들을 포괄적으로 살펴 봄으로, 선진적인 개선체계의 기준을 확보하는 것에 대한 필요성을 다각도로 점검해 보고자 한다.

본 연구에서는 대기오염공정시험기준에 대한 기준의 틀을 파악하고 체계적으로 개선하기 위한 기준을 제시하고자 한다. 이를 위한 노력의 일환으로, Kim *et al.* (2012)의 “대기오염공정시험기준 선진화 및 QA/QC 적용성 연구”의 결과를 하나의 중요한 기준으로 설정하고, 이를 토대로 기준의 시험법에 대한 체계와 틀을 파악하고자 하였다. 환경부는 2007년 대기오염공정시험법을 완성한 이후에 자체적으로 시험법을 보완하기 위한 노력을 더 함과 동시에 1, 2, 3차에 걸쳐 기존 기준을 대체하기 위한 용역사업을 진행하였다. 1차 2006년 5월, 2차 2007년 4월, 3차 2008년 5월에 걸쳐 기존 시험법에서 빠진 항목 등을 보완하기 위한 개선작업을 진행하였다. 이를 통해, 2007년에 총 129개의 항목으로 대기오염공정시험법을 구축하였다. 그리고 이를 보완하기 위한 3차의 용역사업을 통해 총 253개의 항목으로 추후 공정시험법을 개선할 토대를 마련하였다(참고로 이 중 13개 항목의 경우, 아직까지 대체보완할 내용을 완성하지 않은 상황이다. 따라서 추후 보완사업을 통해 대체내용을 완성해야 할 우선 순위에 있다고 할 수 있다.). 이를 감안하여, 본 연구에서는 기존 시험법을 토대로 한 129개 항목과 신규 자료를 망라한 가상의 기준 240개 항목을 중심으로 공정시험법의 체계와 개선 방향을 토의하고자 한다.

2. 현행 공정시험법의 체계 및 문제점 진단

현행 공정시험법 체계의 가장 큰 문제는 전체적으로 세가지 관점에서 논할 수 있다. 일단 1차적으로 위에서 언급한 240개의 항목 내용을 보면, 기본적인 정도관리의 부재상황에 대한 문제를 거론할 수 있다. 그리고 2차적으로 공정시험법의 가장 큰 분류기준이라고 할 수 있는 환경대기와 배출원의 측정방식에 대한 연관성에 대한 문제를 들 수 있다. 마지막으로 유해대기오염물질 (HAPs) 등과 같이 측정정보에 대폭적인 보완이 필요한 일부 항목들의 우선적인 개편과 관련한 문제점들로 분류할 수 있다.

‘국립환경과학원 고시 제2012-47호’는 환경시험, 검사기관 정도관리 운영 등에 관한 규정을 제시하고 있다. 이 규정은 시험 검사기관의 신뢰도를 확보하기 위하여 「환경분야 시험 검사 등에 관한 법률」 제18조의 2, 동법 시행령 제13조의 2, 동법 시행규칙 제17조의 3의 규정에 따라 시험 검사기관에 대한 정도관리를 합리적으로 시행하기 위한 숙련도 시험 및 현장평가 등에 필요한 세부적인 사항을 서술하고 있다. 시험 검사기관은 정도관리를 포함하는 시험 검사 결과의 신뢰도를 확보하기 위한 시험 검사기관에 대한 요구사항에 따라 해당기관의 방침, 목표 및 업무절차를 체계적으로 문서화하여야 한다. 그리고 이에 따른 정도관리 시스템을 확립하고 이를 실행하여야 한다.

이러한 문제점을 방지하기 위한 선언적인 기준의 제시에도 불구하고 대기공정시험법을 살펴보면, 적용 가능한 정도관리의 체계의 통일성이 매우 미약하다. 좀더 자세히 본문에서는 우선적으로 정도관리의 부재상황을 점검해 보고자 하였다. 일반적인 관리항목 또는 온라인 항목 등을 제외하면, 2007년 공정시험법 중 정도관리의 시험항목은 전체 129개의 시험항목으로 나눌 수 있다. 이 중에서 정도관리의 적용이 가능한 시험항목은 53개로 다시 요약할 수 있다. 이를 다시 [1] 검량선 작성, [2] 표준시료 조제방법, [3] 정밀도 및 검출한계 등과 같이 가장 기본적인 정도관리 항목들을 임의적으로 3대 항목으로 설정하여 비교해 보고자 하였다. 이러한 임의적 3대 기준을 중심으로 이들에 대한 충족여부를 53개 시험항목에 적용해 보았다. 그 결과는 3대 항목을 전혀 갖추지 않

은 항목 6종, 1개를 갖춘 항목 10종, 2개를 갖춘 항목 16종, 3개를 모두 갖춘 항목 21종으로 분류할 수 있다. 결과적으로 3종을 모두 갖춘 항목은 40%에 미치지 않는다. 그리고 이를 다시 임의로 신규 기준을 통합한 240개 항목들을 대상으로 적용해 보면, 3대 항목을 전혀 갖추지 않은 항목 47종, 1개를 갖춘 항목 7종, 2개를 갖춘 항목 18종, 3대 항목을 모두 갖춘 경우가 107종으로 분류할 수 있다. 신규기준을 통합한 240개 항목의 경우, 3차례의 용역사업을 거치면서 정도관리를 위시한 많은 부분의 문제점들을 보완하였다. 그럼에도 불구하고 3대 항목을 모두 갖춘 항목들의 비율은 45%에 미치지 않을 정도로 여전히 문제점이 그대로 나타난다.

우리의 체계에 대한 하나의 중요한 비교 기준으로 미국의 공정시험법 제도를 살펴보면 다음과 같이 요약할 수 있다. 미국 EPA에서는 대기 오염과 관련된 과학적, 기술적, 법규, 측정, 및 예방에 대한 기본적인 정보를 ‘기술공유망’ (<http://www.epa.gov/ttn>)을 통해서 정보를 공유 배포하고 있다. 따라서, 이곳을 통하여 전세계 어느 곳에서든지 미국 EPA에서 규정한 대기측정에 대한 기술적 정보 및 공정시험법을 구하고 비교 검토하여 실질적으로 적용하는 것이 가능하다. 미국의 대기오염공정시험기준은 EPA 기술공유망 내의 대기 관측 기술 정보 센터 (AMTIC Technology Transfer Network)를 통해, 대기공정시험기준을 포함하는 구체적인 대기 측정 및 분석에 대한 정보를 공유하고 있다. 대기 관측 기술 정보 센터에서 (1) 측정망관리 (SLAMS Networks), (2) 교육정보 (Training and Conferences), (3) 대기질 공정시험법 (Air Monitoring Methods), (4) 정도관리 (Quality Assurance/Quality Control), (5) 규정 (Regulations and Guidance) 등 총 5분야로 분류하여 대기질 관리 및 정보제공을 하고 있다. 이 중 (3) 대기질 공정시험법 (Air Monitoring Methods)에서 다음과 같이 1) 일반 대기환경물질 (Criteria Pollutants), 2) 국가 대기 독성물질 측정망 (National Air Toxics Trends Stations), 3) 무기물질 (Inorganic Compendium), 4) 독성 유기물질 (Toxic Organic Compendium), 5) 확장경로측정 (Open Path Monitoring), 6) 패시브 측정 (Passive Monitoring)으로 대기 측정 및 분석을 6분야로 세분화하여, 시험방법을 분류하고 있다. 위에서 구분한 바와 같이 EPA에서는 전체적인 정도관리에 대한 포괄적인 틀을 규정

하고, 그 체계와 내용을 1차적으로 일반대기 및 배출원 측정, 기상측정 등에 대하여 5개 안내서를 통해서 자세히 기술하였다. 그리고 이를 다시 대기질 공정시험법 안의 각각의 분석 항목들에 대해 검량선 작성, 표준시료 조제방법, 정밀도 및 검출한계 등을 기준으로 개별적으로 자세히 규정하고 있다.

이러한 내용을 조금 더 구체적으로 설명하기 위해, 대기 유해물질 중 독성유기물질(Toxic Organic Compendium: TOC)의 경우를 설명하면 다음과 같다. TOC는 미국 EPA 대기질 공정시험법(Air Monitoring Methods) 분류에서 4번째로 제시하고 있다. 소위 TO 방법이라고 명칭하며, 이는 TO-1부터 TO-17까지 총 17 분석단계로 분류하여, 독성물질의 추출 및 분석 방법을 각각 규정하고 있다. 예를 들어, TO-13A에서는 다환방향족탄화수소(PAHs) 대해 가스크로마토그래피법을 이용한 분석법을 제시하고 있다. 흥미로운 점은 이러한 TOC 체계는 1984년 일반 가스크로마토그래피법을 이용한 휘발성유기화합물의 제정(TO-1)을 시작으로 1999년 흡착튜브를 이용한 휘발성유기화합물의 분석법(TO-17)까지 공정시험법의 개정 및 분석 기술에 대한 시대별 필요성과 기술적 진화를 체계적으로 파악할 수 있게 한다. 흡착튜브를 이용한 휘발성유기화합물의 분석을 위한 TO-17의 서두를 살펴보면, 본 방법은 기존에 발표한 TO-1과 TO-2를 개선함으로써 TO-17을 적용하면, 보다 안정적이고 정확한 분석결과를 구할 수 있는 새로운 대체 표준 측정방법이란 점을 명시하고 있다. 즉, 측정결과의 신뢰성을 높이기 위하여 새로운 표준측정방법을 개발하고 지정하여 줌으로써, 새로운 기준에 적합한 보다 정확한 환경오염의 정도관리기준을 공정시험법의 틀에 자연스럽게 포함시켜주는 것과 동시에 과거 시험법의 한계 및 문제점들을 동시에 이해할 수 계 도와주고 있다.

다시 국내의 현행 공정시험법 체계를 살펴보면, 두 번째 문제로 대기오염공정시험법의 환경대기와 배출원의 측정방식에 대한 비연계성을 들 수 있다. 이를 세부적으로 평가하기 위해, 표 1에 제시한 것과 같이 모든 조사항목들을 동일한 분류기준으로 나누어 보았다. 즉, 환경대기의 경우, 비교 기준을 입자상 오염물질과 기체상 오염물질로 우선 구분하였다. 그리고 입자상오염물질의 경우, 다시 일반적인 PM 항목에 국한한 부분과 금속성분으로 다시 구분해 주었다. 마

찬가지로 배출원도 이러한 분류법을 적용해 주었다. 그리고 환경대기와 배출원에 대한 시험법의 호환성을 다음과 같이 3가지 기준을 적용하여 평가하였다. [1] 환경대기와 배출원의 분석방법이 일치하는 성분, [2] 환경대기와 배출가스의 분석방법이 다른 성분, [3] 환경대기와 배출가스 중, 한가지 시험법만 제시되어 있는 성분으로 나누어 제시하였다.

이와 같이 호환성에 대한 분류는 여러 가지 의미를 지닌다. 첫째, 환경대기와 배출원에 동일한 시험법을 적용하는 것이 실제 곤란한 경우를 상정할 수 있다. 예를 들어, 배출원에 대비해서 환경대기 시료를 분석하려면, 높은 감도를 갖춘 시스템이 필요하다. 구조적으로 감도를 일정 수준으로 맞추기가 어렵거나 또는 전처리방식의 차이 등으로 인해, 특정한 시험법은 배출원이나 환경대기 중 한 가지에만 적용이 가능할 수 밖에 없다고 할 수 있다. 그러나 전반적으로 기기의 감도나 전처리 기술이 향상하고 있다는 점을 가정하면, 이러한 차이를 극복하기 어려운 항목의 수는 점차 줄어들 것으로 예측할 수 있다. 그리고 두 번째로 앞서의 경우에 반해, 동일한 시험법의 적용이 가능한데도 이를 적용하지 않는 경우가 존재할 수 있다. 실제 동일한 방법을 적용하는 것이 가능함에도 충분한 증빙연구가 부족해서 그런 기준을 적용하지 않는다면 많은 낭비요인을 내재한다고 할 수 있다. 마지막으로 이런 기준을 아예 고려하지 않고, 환경대기나 배출원 중에 한 가지 시험법만 존재하는 경우도 여러 가지 문제점을 가지고 있을 수 있다. 이러한 경우, 최소 일부 성분들의 경우에 국한해서라도, 한쪽에 제시한 시험방법이 상대방에 적용가능한가의 여부를 파악하기 위한(상호 호환성을 높이기 위한) 여러 가지 실증적인 노력이 필요하다.

이러한 호환성 기준을 2007년 공정시험법에 적용하면, 표 1에 제시한 것과 같이 총 53개의 항목들을 3개 기준으로 분류할 수 있다. 그 결과에 의하면, 환경대기와 배출원 항목 중 [1]번 항의 경우 각각 8개와 8개, [2]번 항은 각각 6개와 6개, [3]번항은 각각 17개와 8개가 이에 해당한다. 이러한 비교기준을 임의로 신규 규정을 합한 시험법들에 적용하면, 그 기준 수가 총 42개 항목으로 줄어들었다. 이 때 [1]번 항의 경우, 각각 0개와 10개, [2]번 항의 경우, 각각 3개와 4개, [3]번 항의 경우, 각각 19개와 6개로 나타났다. 신규기준을 임의로 합할 경우, 전체적으로

Table 1. Comparison of air quality monitoring components in terms of QA/QC feasibility.

(A) Old air quality monitoring method QA (2007)

Order	Classification		No. of three major QA items*				Sum	
			0	1	2	3		
1	Source	Particle	General	2	0	0	0	2
2			Metal	0	0	2	8	10
3		Gas		3	6	10	0	19
4	Ambient	Particle	General	1	1	0	0	2
5			Metal	0	0	0	11	11
6		Gas		0	3	4	2	9
7	Sum			6	10	16	21	53

*Three major components of QA/QC: (1) calibration curve; (2) standard preparation; and (3) precision and detection limit

(B) Classification of a new air quality monitoring method proposed in this study

Order	Classification		No of three major QA items*				Sum	
			0	1	2	3		
1	Source	Particle	General	8	1	0	0	9
2			Metal	9	0	0	27	36
3		Gas	Inorganic gas	11	1	13	17	42
4			VOC	2	1	3	14	20
5	Ambient	Particle	General	4	4	0	0	8
6			Metal	9	0	0	29	38
7		Gas	Inorganic gas	4	0	2	17	23
8			VOC	0	0	0	3	3
9	Sum			47	7	18	107	179

*Three major components of QA/QC: (1) calibration curve; (2) standard preparation; and (3) precision and detection limit

2007년 시험법에 비해 호환성의 비교대상이 많이 줄어들었다(이러한 문제는 여전히 존재한다는 것을 알 수 있다.). 이들 분석방법에 대한 정도관리 체계의 구축 여부도 향후 대기질 분석 체계의 개선을 위한 하나의 중요한 척도라고 할 수 있다. 표 2에는 앞서 비교한 신규 체계에 대한 정도관리 항목의 구축 여부를 비교하였다. 새로운 대체 시험법으로 제시한 방법의 경우, 정도관리 체계를 염두에 두고 분석체계를 연구하였기 때문에 이러한 측면에서도 현행 시험법에 비해 훨씬 우수한 대안이라는 것을 확인할 수 있다.

3. 사례 연구: PAH를 중심으로

마지막으로 우리나라에서 지금까지 연구가 부족한 독성 유기화합물질들에 대한 객관성 높은 측정 분석

방법이 필요하다. 이를 감안하여, 우리 시험법의 질적 측면에 대한 하나의 평가기준으로 미국 TO방법과 비교를 시도해 보았다. 유해대기오염물질(HAPs)은 일반적으로 환경 대기 중에서 독성이 강하다고 알려진 물질들을 대부분 포함하고 있다. 중금속, 휘발성유기화합물(VOCs), 다환방향족탄화수소(PAHs), 잔류성유기오염물질(POPs)인 폴리염화비페닐(PCBs), 다이옥신류(PCDD/PCDFs), 유기염소계농약류(OCPs) 등 독성과 발암성이 알려진 물질들을 대부분 포함한다. 미국 EPA(US-EPA)에서는 187종의 화합물을 HAPs로 지정하여, 독성 유기물질은 위에서 제시한 TO 방법을 적용하여 분석하도록 권고하고 있다. 이렇게 1970년부터 본격적인 HAPs 관리를 시작한 미국의 경우, 최적기술들을 우선적으로 정의하고 관리를 한 정책적 접근이 매우 성공적인 사례로 평가받고 있다. 국내의 경우 다이옥신, 페놀, 디클로로메탄 등 HAPs에 해당하는 특정대기유해물질 35종이 존재

Table 2. Compatibility of different measurement methods in relation to the major classification criteria.

(A) Old air quality monitoring method QA (2007)

Order	Classification	Source					Ambient				
		Gas	Particle		Sum	Gas	Particle		Sum		
			General	Metal			General	Metal			
1	Type A	0	0	8	8	0	0	8	8		
2	B	4	1	1	6	4	1	1	6		
3	C	15	1	1	17	5	1	2	8		
4	Sum	19	2	10	31	9	2	11	22		

(B) New air quality monitoring method QA (This study)

Order	Classification	Source					Ambient				
		Gas		Particle		Sum	Gas		Particle		Sum
		Inorganic gas	VOC	General	Metal		Inorganic gas	VOC	General	Metal	
1	Type A	0	0	1	9	0	0	1	9	10	
2	B	2	1	0	1	3	2	1	0	1	4
3	C	10	9	3	0	19	4	0	1	1	6
4	Sum	12	10	4	10	22	6	1	2	11	20

A: Methods matching between ambient air and emission sources
 B: Methods differing between ambient air and emission sources
 C: Only one method available from ambient air or emission sources

한다. 그러나 HAPs의 범위 및 선정기준이 명확하지 않기 때문에 35종 특정대기유해물질만으로 HAPs의 대상을 설정한 것은 매우 적절하지 않다. 이에 미국에서 설정한 관리물질 187종 물질군과 같이 국내에서도 HAPs의 범위를 35종에서 확장하는 것이 당연한 과제라고 할 수 있다. 이에 최근 Ghim *et al.* (2012)에 의하면 대기오염측정망의 운영체계 재평가와 더불어 HAPs의 관리체계 및 공정시험법 개편을 제시하고 있다. 그리고 이와 함께 배출 통계를 가용하지 않은 물질들은 배출량 조사와 함께 관리하기 위한 체계를 구축하는 것도 시급하다.

HAPs의 범위를 확대하는 것과 동시에 이들 항목에 대한 공정시험법의 질적인 부분 또한 시급한 개정이 필요한 부분이다. 예를 들어, 우리나라 대기오염측정망설치 운영지침에 제시한 PAHs 분석방법은 HPLC와 GC/MS를 이용한 방법 두 가지의 혼용을 기술하고 있다. 그럼에도 불구하고 현재 모든 분석은 GC/MS로만 이루어지고 있다. 따라서, 유해대기측정망에서 측정, 분석한 PAHs 성분들의 농도값들은 대기오염측정망설치 운영지침과 함께 공정시험법을 기준으로 분석이 이루어지고 있다. 우리의 공정시험법

상의 PAHs 시료 전처리과정 및 분석에 대한 전반적인 기준이나 체계는 미국 EPA의 TO-13A 방법을 기본으로 제시하고 있다. 그러나, EPA TO-13A에서는 내부표준물질 (Internal Standard)을 적용한 GC/MS 분석법을 PAHs 분석의 표준시험법으로 제시하고 있다. 이에 따르면, 대체물질들을 시료에 주입하여 회수율 평가를 하도록 제시하고 있다. 그럼에도 불구하고, 우리의 현 공정시험법은 별도의 회수율 보정에 대한 기준을 명확하게 제시하지 않고 있다. 즉, 회수율 보정을 위한 정제용 내부표준물질의 주입과 분석에서의 회수율 보정을 위한 내부표준물질을 주입하도록 하였다. 그러나 최종 농도계산에는 이를 전혀 고려하지 않은 외부표준법으로 계산한다고 명시하고 있다. 표 3에 제시한 바와 같이, EPA TO-13A에서 제시한 내부표준법을 이용한 농도 계산법을 모델로 PAHs 공정시험에 대한 우리의 시험기준을 전체적으로 시급히 보완 수정해 주어야 할 것이다. 또한 정도관리 항목이 부재함으로 분석의 정확도와 정밀도를 나타내는 데 매우 제한적인 문제점도 동시에 개선할 수 있도록 유도해 주어야 할 것이다.

Table 3. Suggestion for amendment of computation approach for PAH concentration in the KMOE Standard methods.

Current	Suggested for Amendment
8.1.2 Calculation of Concentration	8.1.2 Calculation of Concentration
Concentration, $\frac{\text{ng}}{\text{m}^3} = \frac{[(Ax)(Vt)(D)]}{[(Vi)(Vs)]}$	Concentration, $\frac{\text{ng}}{\text{m}^3} = \frac{[(Ax)(ISx)(Vc)(Rf)(Df)]}{[(S)(Vs)]}$
where, Ax : area response for the compound to be measured, (area count) Vt : volume of final extraction (μL) D : dilution factor for the extract Vi : injection volume (μL) Vs : volume of air sampled in standard conditions (0°C, 760 mmHg)	where, Ax : area ratio of sample to internal standard responses S : slope between area ratios and concentration ratios of external standard to internal standard responses (calibration) ISx : amount of internal standard (ng/μL) Vc : volume of final extraction (μL) Vs : volume of air sampled in standard conditions (0°C, 760 mmHg) Rf : recovery factor from internal standard response Df : dilution factor for the extract

4. 결론 - 현행 공정시험법의 향후 개선 방향

대기환경보전법에서는 대기오염의 원인이 되는 가스·입자상물질 61종을 대기오염물질로 정의, 관리하고 있다. 이들 61종 대기오염물질 중 사람의 건강·재산이나 동·식물의 생육에 직·간접적으로 위해를 줄 우려가 있는 35종을 특정대기유해물질로 지정하고 있다. 대기환경보전법에서는 특정대기유해물질 이외에도 탄화수소류중 석유화학제품, 유기용제, 그 밖의 물질로서 환경부장관이 관계 중앙행정기관의 장과 협의하여 고시하는 것을 휘발성 유기화합물로 관리하고 있으며, 현재 37종을 이러한 목적으로 지정하고 있다. 대기질이 국민의 건강과 직접적인 관련이 있음을 감안해 볼 때, 이러한 기체 및 입자상물질에 대한 정확한 측정 및 분석 체계에 대한 기준을 정립하는 것은 매우 시급한 과제라 할 수 있다.

본 연구를 통해 확인한 가장 중요한 사안은 향후 공정시험법을 개선해 나감에 있어 얼마나 더 체계적으로 접근할 수 있는가의 기준을 정립하는 부분에 있다고 할 수 있다. 현재 기존시험법의 개선을 위한 가장 기본적인 기준은 다음과 같이 3가지의 기준을 충족하는 그룹들, [1] 현재 정립된 시험법에서 문제가 없는 부분, [2] 현재의 틀에서 문제점이 나타난 부분을 개선 보완한 부분, [3] 완전히 새롭게 추가해 주어야 할 항목들을 합해서 하나의 새로운 틀을 갖추어

주는 방식을 지향하고 있다. 이와 같은 접근법은 전반적으로 대규모의 수정작업을 하는 것을 전제로 하지 않을 수 없다. 따라서 개선작업의 궁극적인 지향 목표를 맞추기 위해서는 반복적으로 많은 연구자들이 소모적인 개선노력에 참가하여야 하고 축약적인 노력을 쏟아야 하는 과정을 필요로 한다.

이러한 문제점들을 보다 효과적으로 개선하기 위해서는 여러 가지 미래지향적인 접근이 필요하다. 앞에서 언급한 바와 같이 미국의 EPA 등에서 이런 문제를 해결하기 위해, 포괄적인 틀을 마련하고 접근하는 방식은 하나의 좋은 시사점을 남긴다. 대기오염물질들의 시험법에 대한 기본적인 분류의 틀을 미래지향적으로 구성하고, 대체 또는 보완시험법이나 새로운 항목의 추가를 종합적인 분류의 틀에서 누적방식으로 쌓아가는 접근법을 전향적으로 고려해 보는 것이 필요하다. 이러한 누적방식의 경우, 기존의 시험법에 새로운 시험법들을 자연스럽게 누적할 수 있는 틀을 제공해 주고 있다. 이를 통해 새로운 방식들의 진입과 축적이 자연스레 이루어질 수 있다. 그리고 이러한 기준은 단순히 대기라는 매체를 뛰어 넘어, 보다 더 고차원적으로 환경전반의 기준들에 동시에 녹아들게 하기 위한 부분을 감안하는 노력도 필요하다. 예를 들어, EPA 방식은 대기뿐만 아니라 물, 토양 등에서도 동시에 중요한 오염물질로 다루고 있는 페놀과 같은 성분의 시험방법은 물질을 중심으로 매체를 망라하고 있다. 기존의 시험법부터 가장 최신의

방식까지 동시에 유사한 분류체계 하에서 기준으로 제시하고 있다. 폐놀을 분석하고자 하는 연구자는 이러한 시험법들을 본인의 연구목적에 맞추어 필요한 시험법을 택하여 적용할 수 있다.

References

- Kim, K.-H., M.-S. Bae, and J.-H. Kim (2012) Upgrading of standard protocols for air pollution measurement criteria and the feasibility test of their QA/QC. KMOE report.
- Kim Y.-H. and K.-H. Kim (2012) Ultimate detectability of volatile organic compounds: How much further can we reduce their ambient air sample volumes for analysis? *Analytical Chemistry*, 84, 8284-8293.
- Kim Y.-H. and K.-H. Kim (2013) The generation of sub-part-per-billion gaseous volatile organic compounds at ambient temperature by headspace diffusion of aqueous standards through decoupling between ideal and non-ideal Henry's law behavior. *Analytical Chemistry*, 85, 5087-5094.
- Ghim, Y.-S., M.-S Bae, Y.-J. Lee, C.-H. Jung, and S.-D. Choi (2012) Upgrade of the Current Operating System of the Seoul's Atmospheric Monitoring Network for Reliability-Increase in Measurements. KMOE report.