

= 총 설 =

환경오염물질의 측정 · 분석기술

신선경* · 김태승

국립환경연구원 환경위해성연구부 미량물질분석과
(2002. 1. 22. 접수)

Measurement and Analytical Technologies of Environmental Pollutants

Sun Kyoung Shin* · Tae Seung Kim

National Institute of Environmental Research, Incheon 404-170, Korea

(Received Jan. 22, 2002)

1. 서 론

환경오염의 문제는 이제 범세계적으로 다루어지고 해결되어야 할 시대적 과제이며, 그 문제의 원인이 우리에게 있음을 직시할 필요가 있다. 화학물질에 의한 환경오염은 합성되거나 부산물로 새로운 물질이 발생하는 경우와 인간 활동에 의해 특정한 화학물질이 환경 중에 집중되는 경우를 생각할 수 있다. 농약류와 같이 목적에 따라 새롭게 합성되는 경우와 다이옥신과 같이 합성 부산물이나 소각로 운영 등 인간활동에 의한 농도 집중현상 등이 그러하다. 이러한 오염물질이 환경 중에 어떻게 존재하고 있는가를 얼마나 정확하게 파악하느냐는 환경오염을 줄이기 위해 선행되어야 할 과제이다.

측정 · 분석의 능력은 환경의 질을 파악하고 진단하는데 사용되고 있는 가장 중요한 도구이다. 환경 중 오염물질의 발생, 이동, 분포, 농축, 분해 및 복원 등에 대한 메카니즘의 규명은 측정 · 분석기술에 의한 상세한 정보가 없이는 판단이 불가능하다. 환경오염물질을

규제하고 관리하기 위하여 각 국가마다 규제 대상물질을 정하고 있으며, 이들 물질을 측정 · 분석할 수 있는 다양한 시험방법이 마련되어 있다. 환경오염물질을 무기화합물과 유기화합물로 나누어 생각할 수 있는데, 대표적으로 수은이나 카드뮴 등 같은 중금속화합물과 다환방향족탄화수소류(PAHs), 다이옥신류(PCDDs/PCDFs) 및 DDT와 같은 농약류 등의 유기화합물은 대부분의 선진 국가에서 관리하고 있는 물질로서 환경기준과 표준화된 측정분석방법이 제공되어 있다. 그러나 환경오염물질의 증가와 함께 종류도 더욱 다양해지고, 인체위해성에 대한 새로운 문제가 제기되면서 극미량 물질의 측정을 위한 새로운 분석기술의 요구가 계속 증가되고 있다. 따라서 측정 및 분석방법을 개선하는데는 다양한 기술적 발전이 뒷받침되어야 한다. 또한 장치 등을 통하여 물리화학적인 양을 정하는 기본적인 측정방법의 발전도 분석결과의 정확도 및 정밀도를 높이는 데 필수적인 요소이다.

환경 측정 · 분석과 관련하여 각 국가에서 사용하고 있는 표준시험방법 각 국가별로 규제항목의 범위가 서로 다르며, 같은 항목에 대한 공정시험방법의 적용에는 다소 차이가 있다. 일반적인 측정분석기술 수준은 모니터링 및 환경기준의 범위, 측정분석장비 보유 및

★ Corresponding author

Phone : +82+(0)32-560-7096 Fax : +82+(0)32-568-2037

E-mail : shinsun@me.go.kr

분석 인력에 의존하며, 일반적인 오염도 자료의 신뢰도는 환경기준 및 표준시험방법의 운영 방법에 좌우될 것이다. 반면에 크미량분석 등 첨단 분석기술의 수준은 전문 측정분석기관, 대학 및 연구소에서 이루어진 연구의 질에 의해 결정될 것이며, 분석법의 발전을 선도하게 될 것이다.

환경 측정·분석을 위해서는 물리학자, 화학자, 생물학자 및 공학자들은 다양한 방법이 사용되고 있으며, 특히 환경 측정·분석분야에서 가장 높은 빈도로 활용되고 있는 방법은 분광법, 크로마토그래피법, 질량분석법, 전기계량법 등이 있다. 예를 들어, 질량분석계는 1920년에 동위원소 존재비를 측정하면서 시작하여 1965년에 가스크로마토그래피 장치에 이용되면서 유기화합물의 분석에 독보적인 위치를 차지하고 있고, 현재 고분해능의 질량분석계에 의해 다이옥신류의 평가가 가능해졌으며, 최근에는 ppq(part per quadrillion) 또는 수백 펩토그램(10^{-15} g) 단위의 분석이 가능해졌다. 또한 1952년 노벨상수상자인 A.J.P.Martin와 R.L.M.Synge가 개발한 가스크로마토그래피법은 1955년에 상업화가 이루어지면서, 2000년에 50만대 이상이 사용되고 있는 것으로 알려져 있고, 다양한 검출장비를 연결한 방법이 속속 등장하고 있다.^{1,2} 금속화합물의 분석은 원자화 또는 이온화 과정에서 빛의 흡수, 방출에 의한 금속원소의 측정방법이 개발되면서 원자흡광법, 방출법 및 유도결합플라즈마법을 탄생시켰다.

본 내용에서는 환경과 관련된 미량오염물질의 분석에 대한 국내 자료와 함께 외국의 환경 측정분석기술의 총설 및 동향을 요약하여 재정리하였다.^{1~3}

2. 국내 환경분석기술의 현황^{3,4}

환경분야의 분석기술과 관련하여 기초과학 및 다른 응용과학분야에서의 학문적 관심이 급격하게 증가하고 있으며, 대학 및 연구기관에서 연구가 점차 활발해지고 있다. 그러나 국내에서 아직은 환경분야에서의 독자적인 분석기술개발은 활발하게 이루어지지 않고 있으며, 고성능분석장비 및 신기술장비 등은 대부분 선진국에서 개발된 제품에 의존하고 있는 실정이다.

일반적으로 환경오염과 관련된 측정분석은 국가적으로 이루어지고 있는 규제 및 측정망 운영 등의 환경오염도의 분석이 많은 수요를 차지하고 있으며, 이는 분야별 공정시험방법 등에 의해 이루어지고 있다. 측정

분석기술과 관련된 우리나라 공정시험방법에서는 일반적인 분석방법 외에 대기오염, 지하공기질, 수질오염, 유해화학물질, 폐기물, 토양 등의 분야에서 분야별로 기기분석법을 별도로 마련하고 있으며, 규제기준 이외의 항목에 대한 공정시험방법도 일부 포함하고 있다. 공정시험방법은 주로 환경오염기준 항목에 의존하여 만들어지고 관리 대상항목이 증가함에 따라 지속적으로 추가되어 제정될 것이다. 크미량의 분석기술을 요하는 다이옥신 분야의 경우, 최근 몇 년 동안 신속한 대처와 지원을 통하여 많은 측정분석지정기관의 증가와 함께 HRGC/HRMS(high resolution gas chromatography/high resolution gas chromatography)를 이용하여 향상된 측정 분석 수준을 유지하고 있다.

국내의 공정시험방법에서 언급되고 있는 대표적인 측정분석기술 및 장비를 Table 1에 요약하였다. 실제로 공정시험방법에서 제시하지 않은 분석장비가 사용될 수 있는데 이러한 경우는 현재의 시험방법보다 우수한 장비로 인정되는 경우이다. 무기화합물의 분석에 사용되는 측정분석기술로는 시료채취나 전처리방법과 함께 금속, 이온, 먼지 등의 분석을 위한 분광광도법(Absorptiometry Analysis), 원자흡광광도법(Atomic Absorption Spectrometry, AAS), 유도결합플라즈마-원자발광법(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy, ICP/AES), XRF(X-ray Fluorescence Spectroscopy), 이온크로마토그래피(Ion Chromatography, IC) 등이 이용되고 있다.

또한 유기화합물의 분석을 위한 기술로 추출 및 전처리, 정제법 등이 있으며, 분석기기로서 가스크로마토그래피(Gas Chromatography, GC)가 주로 사용되고 있으며 검출기의 종류에 따라 다양한 분석방법이 적용된다. 유기화합물의 분석에 사용되고 있는 GC 검출기의 종류에 따라 다양하게 응용되고 있으며, 일반적인 유기탄화수소화합물의 분석에 FID(flame ionization detector), 염소화합물의 분석에 ECD(electron capture detector) 등이 가장 널리 사용되어 왔다. 그러나 최근 질량분석방법이 발전, 보급됨에 따라 많은 유기화합물의 분석에 MSD(mass selective detector)의 사용이 증가하고 있는 추세이다. 한편 다이옥신류와 같은 이성질체가 많은 물질의 분석에는 HRGC/HRMS가 사용되고 있으며, 비휘발성 유기화합물 등의 분석에 고성능액체크로마토그래피(high performance liquid chromatography, HPLC)가 사용된다.

Table 1. Analytical techniques and equipments of official methods in Korea

Compound	Measurement & Analytical techniques	Comments
Inorganic compounds	Acid digestion, etc.	Pretreatment
	AA(Absorptiometry Analysis) AAS(Atomic Absorption spectrometry) ICP/AES(Inductively Coupled Plasma -Atomic Emission Spectroscopy) XRF(X-ray Fluorescence) Spectroscopy IC(Ion Chromatography)	Metal & ion etc.
Organic compounds	LLE, Soxhlet, Ultrasonic Extracton Purge & Trap, Headspace	Extraction
	Florisil Column Silica Gel	Clean-up
	GC/FID, ECD, TCD, FPD, PID, ELCD GC/MS NDIR(Nondispersive Infrared) Spectroscopy	VOC compounds
	HPLC/UV	Semi-VOC compounds
	HRGC/HRMS	OCDDs/PCDFs

3. 외국의 환경분석기술 현황^{1~4}

3.1 일반 현황

현대의 환경분석기술은 화학물질의 분석장비에 많이 의존하고 있다. 그러나 환경오염 분석의 결과는 분석 이전에 시료의 채취과정부터 영향을 받으며, 측정 분석 후 결과의 신뢰성(reliability)과 비교가능성(comparability)에 대한 문제가 항상 검토되어야 한다. 환경분야 측정분석기술의 발달로 다양하고 정확하게 오염물질이 측정·분석되면서 환경에 대한 사회적인 관심이 증가하여 왔으며, 환경을 관리하고 규제하는데

크게 영향을 미치고 있다. '90년대에 환경분석분야는 많은 변화를 가져 왔으며, 다이옥신류 및 PCBs 등에 대한 HRMS법의 획기적인 개선이 이루어져 유기화합물의 분석에서 ppt농도의 검출이 일반화되었고, 이것은 벤치탑 사중극자질량분석계나 이온트랩 질량분석계를 이용해서도 가능하게 되었다.

미국 등 선진국에서는 정부 및 학회 등에서 측정분석방법을 정하여 표준시험법으로 사용하고 있으며, 최근에 개발되고 있는 신기술은 지속적인 검토를 통하여 공정시험법으로 만들어지게 된다. 환경오염물질 측정분석은 대기, 수질, 폐기물 및 토양 등 매질에 따라 시료채취 및 전처리 방법 등이 서로 다르지만 측정분석기기 사용은 많은 공통점이 있다. 환경오염물질은 크게 무기 및 유기화합물류로 나눌 수 있으며, 이와 관련하여 현재 선진국에서 이루어지고 있는 일반적인 분석기술의 현황을 먼저 살펴보고자 한다.

환경 중 무기화합물의 분석에 대표적으로 이용된 분석방법은 원자분광법 및 AAS, ICP, ICP/MS등이 대표적인 분석방법이다. 발전된 무기분석법으로 전자분석기술(electroanalytical techniques), 활성분석법(activation analysis) 및 이온빔분석(ion beam analysis) 등이 있다. 금속화합물은 AAS에 많이 의존하고 있으며, 전처리를 위해서는 초임계유체추출(supercritical fluid extraction, SFE), 초음파 오븐(microwave oven) 방법이 이용되고, 빠른 스크린을 위한 면역분석법(immunoassay)이 활발하게 개발되고 있다. 또한 고체분석을 위한 XRF, PIXE, NAA, Gamma spectroscopy, TEM 등이 이용되고 있다.

시료추출을 위한 마이크로파 오븐(microwave oven)은 계속 개발되고 있으나 사용범위가 제한적이다. '90년대 후반에 새롭게 시도되고 있는 시료 추출법은 고체상미세추출법(solid phase microextraction, SPME)으로, 이 방법은 고분자가 코팅된 fiber를 이용하여 수질 및 대기시료로부터 분석물질을 추출하기 위한 방법이다. 흡착된 물질은 열탈착(thermal desorption)을 통해 SPME fiber로부터 GC로 이동되어 분석되며, 적은 양의 유기용매를 필요로 하는 장점이 있다.

환경 중의 미량 유기물질의 분석에 이용되고 있는 GC방법은 다양한 검출기를 장착하여 사용되어 왔다. 지금까지 사용되고 있는 검출기로는 TCD, FID, ECD, FPD, FTD, NPD, PID, AFD, ELED, HID, RCD, TBD, IRD, AED, MSD, MS 등이 있다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 질량분석방법이 다양하게 발전되고 검출한

계가 현저히 낮아지면서 많은 검출기의 기능을 대신하게 되었고, 궁극적으로 직접적인 분석 물질의 확인이 가능하여 고가의 장비임에도 불구하고 시험분석실에 널리 보급되고 있다.

질량분석기(MS)와 관련된 기술들은 '90년대 후반에 전자포획-MS(electron capture MS)에 대한 방법이 도입되었고, LC/MS법의 활용이 증가하였다. 특히, 환경응용 분야에서 particle beam-LC/MS가 응용되기도 하였다. 환경 토양 및 저질에 대한 동위원소 분석법으로 GC/C-IRMS(GC/Combustion-isotope ratio MS)가 소개된 바 있으며, GC분석에서 IR 및 FT-IR과 같은 멀티스펙트럼 검출(multispectral detection)법과 원자분광법이 사용되고 있다. 분석기의 결합방법으로 IR, FT-IR 및 형광(fluorescence)과 같은 분광학적 검출기(spectroscopic detector)의 2차원적 크로마토그래피 기술, MS와 초임계 유체 크로마토그래피(supercritical fluid chromatography)의 결합 및 모세관 전기영동(capillary electrophoresis)과 MS와 결합이 이루어지고 있다. 고온캐필러리 GC법(High temperature capillary GC method) 및 환경분석을 위한 GC, HPLC와 이들 기술의 결합이 시도되고 있다.

또한 현장에서 휴대할 수 있는 GC/MS, 마이크로파 유도플라즈마-MS(microwave induced plasma MS)와 레이저 유도형광분광기(laser induced fluorescence spectroscopy) 등을 사용한 분석이 이루어지고, 생물학 분야에 면역학적 방법(immunoassay)과 관련된 기술이 확대되어 적용되고 있다. 전자포획음이온-MS(electron capture negative ion-MS)가 독사핀(toxaphene)을 분석하는데 효과적으로 사용되고 있다.

현재 대표적인 극미량(ultratrace) 분석법은 ppt 수준의 검출한계를 달성할 수 있는 고분해능 질량분석법(HRMS)이다. 유기화합물의 경우 GC에 연결하여 사용되며, 분석컬럼으로 캐필러리컬럼이 일반화되었으나, 많은 충전컬럼이 아직까지 사용되어지고 있다. 이들 분석방법은 주로 염소화된 다이옥신류, 퓨란류 및 PCBs에 응용되고 있다.

저질시료의 분석법으로는 중성자활성분석법, X-선 분광법, 토양 분석을 위한 흐름주사시스템(flow injection system), 독성 금속검출을 위한 박막크로마토그래피, 모세관 전기영동법(capillary electrophoresis), 광전자유도 X-선발광법 등이 많이 응용되어 사용되고 있다.

이들 환경오염물질의 분석과 관련된 일반적인 정보는 인터넷의 많은 사이트를 통하여 얻을 수 있다

(Table 2). 특히 미국의 EPA에서는 분석방법 및 기술에 대한 많은 정보를 공개하고 있으며 일부의 측정분석기기 제작회사 및 시약제조 업체에서 관련 내용을 제공하고 있다. 또한 측정분석은 인증표준물질(certified reference material, CRM)과 같은 표준시료의 확보가 필수적이다. 선진국에서는 이러한 물질의 확보 및 보급을 위하여 관련 국가기관을 두고 있으며, 미국, 캐나다, 영국 등에서 활발하게 활동하고 있다. 국내에서 환경분야의 CRM 개발은 아직 활발하게 진행되지 못하고 있다.

환경분석은 분야별로 많은 자료가 정리되어 발표되고 있으며, 매질별 및 분석방법별로 구분하여 살펴볼 수 있다⁴(Table 3). 분석기술은 시간에 따라 매우 빠르게 발전하고 있어 시간이 상당히 경과한 경우에 측정 분석방법은 이미 적용하기 어려운 방법이 될 수 있다. 환경분석과 관련된 conference proceeding, 대기, 자동차, 폐기물, 수질, 폐수 및 해수와 관련된 특정 매질에 대한 분야⁵⁻²⁹(Table 4), 환경잔류성오염물질(persistent organic pollutants, POPs) 및 내분비계장애물질(endocrine disruptors, ECDs)과 같은 유기화합물 분야¹⁻⁷²(Table 5), 중금속 등의 무기화합물 분야^{30-50,73-88}(Table 6), 라돈 등 방사능 핵종에 대한 분야⁸⁹⁻¹⁰¹(Table 7), 원자분광법에 대한 응용, 질량분석법 및 크로마토그래피 분야¹⁰²⁻¹²³(Table 8), 센서 및 전기화학 분야¹²⁴⁻¹⁴⁵(Table 9), SPE, SPME 등 시료추출법, 시료취급 및 추출 분야¹⁴⁶⁻¹⁸⁸(Table 10), QA/QC 및 계량화학분야, 생물모니터링과 생물지표분야, 독성분야 및 기타분야 등이 종합적으로 다루어지고 있다.

Table 2. Useful internet links for environmental analytical chemists

Fields	Internet sites	Explanation
Methods and Technical Literature	http://www.epa.gov/epahome/Standards.html	· EPA environmental test methods and guidelines
	http://www.epa.gov/region01/oarm/links.html	· Links to sources of EPA test methods on the Internet
	http://www.epa.gov/ttn/amtic	· EPA's Ambient Monitoring Technology Information Center (AMTIC): contains details on monitoring methods and related information
	http://www.epa.gov/oar/	· Home page for EPA Office of Air and Radiation
	http://www.epa.gov/OGWDW/methods/methods.html	· EPA Office of Ground Water and Drinking Water: analytical methods for drinking water
	http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/main.htm	· EPA Office of Solid Waste: contains SW-846 on-line test methods for evaluating solid waste physical/chemical methods
	http://www.sampleprep.duq.edu	· Sample Prep Web: contains information and advice regarding analytical sample preparation, speciated analysis, trace analysis and microwave chemistry
Certified Reference Materials, (CRMs/SRMs)	https://ois.nist.gov/SRMcatalog/	· Technical and ordering information for National Institute of Standards and Technology (NIST) SRMs
	http://www.ems.nrc.ca/ems1.htm	· CRMs of the Canadian National Research Council
	http://www.pss.aus.net/product/ref_mat.html	· U.K. organization that acts as a central supply for CRMs from around the world
Environmental/ Analytical Conferences and Organizations	http://www.acs-envchem.duq.edu	· Home page of the American Chemical Society, Division of Environmental Chemistry
	http://www.carleton.ca/~rburk/ea2000/title.htm	· Information concerning the biennial conference EnviroAnalysis: devoted to all aspects of environmental pollution analysis and monitoring
Other	http://www.liv.ac.uk/Chemistry/Links/refanal.html	· Contains many links to analytical chemistry sources of information

Table 3. Representative techniques in environmental fields

Analyte	Measurement & analytical techniques	Comments
In-organic	Acid Digestion Microwave-Acid digestion	Pretreat extraction
	NDIR(Nondispersive Infrared) Spectroscopy	Gas phase
	AAS-Direct, Graphite Furnace ICP/AES(Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectroscopy) ICP/MS(Mass Spectrometry) Automated Colorometry IC(Ion chromatography) DPP(Differential Pulse Polarography) XRF(X-Ray Fluorescence) Spectroscopy Cold Vapor AAS NAA(Neutron Activation Analysis)	Liquid phase
	XRF(X-Ray Fluorescence) Spectroscopy PIXE(Proton Induced X-Ray Emission) Spectroscopy NAA(Neutron Activation Analysis), Gamma spectroscopy TEM(Transmission Electron Microscopy)	Solid phase
Organic	Solvent, Soxhlet, Ultrasonic Extraction, Purge & Trap, Microwave extraction, Ionexchange extraction, SPME, Derivatization, SFE(Supercritical Fluid Extraction), Headspace Post column derivatization Alumina Column, Fofisil Column, Silicagel Column Gel-Permeation, Acid-Base Partition Immunoassy	Pretreat extraction & cleanup
	Absorptiometric Analysis GC(Gas Chromatography) GC/FID, ECD, PID, NPD, HCED, AFD, FPD, ELCD MS FTIR(Fourier transform infrared Spectroscopy) NAA(Neutron Activation Analysis)	Organic compounds : VOCs, phthalates, pesticides, PAH, PCB etc.
	HPLC(High Performance Liquid Chromatography) HPLC/UV, PDA, Fluorescence Detector HPLC/MS, HRMS HPLC/TSP/MS(HPLC/Thermospray/MS) HPLC/TSP/UV	Organic compounds : PAH, carbamates, etc.
	HRGC/HRMS, HRGC/MS/MS	PCDDs/PCDFs

Table 4. Review articles of specific matrix

Matrix	Contents
air ⁵	· Air Monitoring and Detection of Chemical and Biological Agents
air ⁶	· Environmental Monitoring and Remediation Technologies
air ⁷	· Modern methods of the measurement of atmospheric trace gases
air ⁸	· X-ray fluorescence analysis of ambient air samples
ai ⁹	· The physicochemical characterization of urban air particulate matter; diesel exhaust particles and carbon black are emphasized
air ¹⁰	· Trace element determination of airborne particles by neutron activation analysis
air ¹¹	· Trace element analysis of airborne particles by atomic absorption spectroscopy, and inductively coupled plasma mass spectrometry
air ¹²	· Composition of air pollution particles; includes definitions of airborne particle types and sources of PM ₁₀
air ¹³	· Sampling and analysis of individual particles by aerosol mass spectrometry
air ¹⁴	· Organic atmospheric aerosols: review and state of the science; main objective is to present a basis for defining what data are needed in this area
air ¹⁵	· Accelerator based ion beam techniques for trace element aerosol analysis
air ¹⁶	· Health-related monitoring and assessment of airborne particulate matter: an overview of recent IAEA (International At. Energy Agency) programs
air ¹⁷	· Mass spectrometry of aerosols; off-line MS techniques discussed
air ¹⁸	· New concepts for sampling, measurement, and analysis of atmospheric anthropogenic aerosols
air ¹⁹	· Real-time single particle mass spectrometry: a historical review of a quarter century of the chemical analysis of aerosols
air ²⁰	· Correlations of personal exposure to particles with outdoor air measurements: a review of recent studies
air ²¹	· Aerosol time-of-flight mass spectrometry
auto-mobile ²²	· Gas detection for automotive pollution control; emphasis on chemical sensors
air ²³	· Reactive sorption concentration in air pollution
solid wastes and leachates ²⁴	· Multielemental analysis of solid wastes and leachates; NAA, XRF, ICP-AES methods are covered
water ²⁵	· Water analysis; extensive review of developments in water analysis
ground water ²⁶	· Field methods for site assessment and remediation of contaminated ground waters
waste water ²⁷	· Trends in monitoring of waste water systems; focus on use of sensors
river water ²⁸	· Use of flow injection analysis for continuous monitoring of river water quality
marine water ²⁹	· Introduction-environmental analytical chemistry as a tool for studying chemical processes in marine environments

Table 5. Review articles of organic compounds

Matrix	Contents
POPs ⁵¹	· Persistent Organic Pollutants (POPs): state of the science
endocrine disruptors ⁵²	· Monitoring endocrine-disrupting chemicals
endocrine disruptors ⁵³	· Endocrine-disrupting chemicals in a source water; drinking water source reservoirs
endocrine disruptors ⁵⁴	· Identifying endocrine disruptors by high-resolution mass spectrometry
endocrine disruptors ⁵⁵	· Endocrine disruptive chemicals in the aquatic environment
estrogens ⁵⁶	· Mass spectrometry applied to the analysis of estrogens in the environment
toxaphene ⁵⁷	· Toxaphene. Analysis and environmental fate of congeners
PCBs ⁵⁸	· Methods for the determination and evaluation of chlorinated biphenyls in environmental matrices
pharmaceuticals ⁵⁹	· Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change?
PAH ⁶⁰	· The analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in marine samples
PAH ⁶¹	· Application of stable carbon isotopic analysis to source polycyclic aromatic hydrocarbons in the environment
Nitro-PAH ⁶²	· Chromatographic methods for carcinogenic/mutagenic nitropolycyclic aromatic hydrocarbons
VOCs ⁶³	· Anthropogenic volatile organic compounds in ambient air and natural waters: a review on recent developments of analytical methodology, performance and interpretation of field measurements
drinking water ⁶⁴	· Analysis of organic micropollutants in drinking water
herbicides ⁶⁵	· Determination of herbicides in water using HPLC-MS techniques
phenols ⁶⁶	· Liquid chromatographic and biorecognition techniques for the determination of phenols and their substituted derivatives in water samples
aldehydes ⁶⁷	· A user's guide to aldehyde analysis using PFBHA derivatization and GC/ECD detection: avoiding the pitfalls
isocyanates ⁶⁸	· Determination of isocyanates in air
petroleum hydrocarbons ⁶⁹	· Environmental monitoring of petroleum products
petroleum hydrocarbons ⁷⁰	· Oil and greases and petroleum hydrocarbon analysis
algal analysis ⁷¹	· Algal analysis-organisms and toxins
microorganisms ⁷²	· Bacteriological analysis

Table 6. Review articles of inorganic compounds

Classification	Fields	Contents
Metals and Organo- metallics Speciation	metals ³⁰	· The role of speciation in analytical chemistry; coverage includes use of sequential extraction
	metals ³¹	· Speciation in the environmental field. Trends in analytical chemistry; special attention to need for speciation analysis in biota
	SFE ³²	· Supercritical fluid extraction in speciation studies
	LC ³³	· Liquid chromatography: a tool for the analysis of metal species
	stripping voltammetry ³⁴	· Stripping voltammetry for the determination of trace metal speciation and in-situ measurements of trace metal distributions in marine waters
	HPLC-ICPMS ³⁵	· High-performance liquid chromatography-isotope dilution inductively coupled plasma mass spectrometry for speciation studies: an overview
	atomic spectroscopy ³⁶	· Speciation studies by atomic spectroscopy
	capillary electrophoresis ³⁷	· Element speciation analysis by capillary electrophoresis
	ICPMS ³⁸	· New approaches for elemental speciation using plasma mass spectrometry
	SPME ³⁹	· Metal speciation by SPME-CGC-ICPMS
	metals ⁴⁰	· Chemical speciation of trace metals
	microwave-induced plasmas ⁴¹	· Microwave-induced plasma-optical emission spectrometry- fundamental aspects and applications in metal speciation analysis
	phosphorus ⁴²	· Phosphorus speciation in water and sediments
	organometallics ⁴³	· Improving the reliability of speciation analysis of organometallic compounds
	Hg ⁴⁴	· Analytical methods for mercury speciation in environmental and biological samples - an overview
	Hg ⁴⁵	· The determination of mercury species in environmental and biological samples
	Hg ⁴⁶	· The speciation of mercury and organomercury compounds by using high-performance liquid chromatography
	Hg, As, Se ⁴⁷	· Speciation and analysis of mercury, arsenic, and selenium by atomic fluorescence spectrometry
	As, Se ⁴⁸	· Speciation of arsenic and selenium compounds by HPLC hyphenated to specific detectors: a review of the main separation techniques; covers papers published since 1980
	Sn ⁴⁹	· Determination of tin species in environmental samples
Cr ⁵⁰	· Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation	

(Table 6 continued)

Classification	Fields	Contents
Inorganic Analytes	heavy metals in water ⁷³	· Heavy Metals; review covers the biosensor monitoring of heavy metals in water
	metals ⁷⁴	· Metals and air pollution particles; includes discussion of lung injury from exposure
	trace elements ⁷⁵	· Plasma source isotope dilution mass spectrometry: an optimum combination for high-precision analysis of trace elements
	Hg ⁷⁶	· Sampling and determination of particulate mercury in ambient air: a review
	Hg ⁷⁷	· Sample preparation procedures for total mercury determination in materials of natural origin
	Sb ⁷⁸	· Methodologies for determination of antimony in terrestrial environmental samples
	tributyltin ⁷⁹	· Collaborative evaluation of methods for tributyltin determinations in sediment and mussel tissue
	organometallics ⁸⁰	· Separation of metal chelates and organometallic compounds by SFC and SFE/GC
	phosphate ⁸¹	· Phosphate; review covers multi-enzyme-based biosensors for phosphate in water
	lanthanides ⁸²	· Trace determination of lanthanides in metallurgical, environmental, and geological samples; covers literature since 1980
	sulfide ⁸³	· Analytical strategies for the detection of sulfide: a review
	As ⁸⁴	· Arsenic compounds in terrestrial biota
	marine waters ⁸⁸	· Automated techniques for real-time shipboard determination of dissolved trace metals in marine surface waters
	marine biological samples ⁸⁶	· Trace metal status in marine biological samples: a review
	seawater ⁸⁷	· Flow injection with chemiluminescence detection for the shipboard monitoring of trace metals
marine waters ⁸⁸⁸	· Electrochemical monitor for near real-time determination of dissolved trace metals in marine waters	

Table 7. Review articles of Radio nucleotides

Matrix	Contents
Radiochemistry ⁸⁹	· Environmental radiochemistry and radioactivity. A current bibliography
Radiochemistry ⁹⁰	· Radiochemistry and radiochemical separations. A current bibliography
NAA ⁹¹	· Analysis by nuclear reactions and activation. A current bibliography
radionuclides ⁹²	· Determination of radionuclides in environmental samples
long-lived radioisotopes ⁹³	· Ultratrace determination of long-lived radioactive isotopes
radiochemistry ⁹⁴	· Radiochemistry: inconvenient but indispensable
radiochemistry ⁹⁵	· Chemical yield tracers for radiochemical analysis
proficiency testing ⁹⁶	· ISO recommended reference radiations for the calibration and proficiency testing of dosimeters and dose rate meters used in radiation protection
accelerator MS ⁹⁷	· Accelerator mass spectrometry analyses of environmental radionuclides: sensitivity, precision and standardization
Ra ⁹⁸	· Radon in the environment: a current bibliography
U ⁹⁹	· Analytical methods for the determination of uranium in geological and environmental materials
Pu ¹⁰⁰	· Determination of Pu isotopes at trace levels in environmental samples: radioisotopes and stable elements evolution during the radiochemical method. Comparison of three radiochemical protocols
actinides ¹⁰¹	· Separation of mono-, di-, tri-, tetravalent and actinide cations on a cation exchange chromatography column with ICPMS detection

Table 8. Review articles related AAS and GC/MS analysis

Classification	Fields	Contents
Atomic spectroscopy	general review ¹⁰²	· Analytical atomic spectroscopy going into the next millennium: photons or ions, atoms or molecules?
	general environmental ¹⁰³	· Environmental analysis; extensive review of field
	general review ¹⁰⁴	· Atomic mass spectrometry
	monitoring ¹⁰⁵	· Atomic spectroscopy in environmental monitoring and process control
	ICP/MS ¹⁰⁶	· Atomic spectroscopy in environmental monitoring and process control
	flow injection ¹⁰⁷	· Environmental applications of plasma spectrometry
	general review ¹⁰⁸	· Advances in atomic emission, absorption and fluorescence spectrometry, and related techniques
	XRF ¹⁰⁹	· X-ray fluorescence spectrometry
	remote sensing ¹¹⁰	· New spectroscopic methods for environmental measurement and monitoring
	acid interferences ¹¹¹	· Acid interferences in atomic spectrometry: analyte signal effects and subsequent reduction
Mass Spectrometry and Chromatography	portable MS ¹¹²	· Advances in field-portable GC/MS instrumentation
	membrane MS ¹¹³	· Membrane introduction mass spectrometry; review of MIMS techniques and applications, including environmental
	environmental MS ¹¹⁴	· Environmental Mass Spectrometry; comprehensive coverage of mass spectrometry as applied to environmental analysis, covers 1998-1999
	LC/MS ¹¹⁵	· LC/MS interfacing systems in environmental analysis: application to polar pesticides
	LC/MS ¹¹⁶	· Applications of liquid chromatography-mass spectrometry in environmental chemistry: characterization and determination of surfactants and their metabolites in water samples by modern mass spectrometric techniques
	LC/ICPMS ¹¹⁷	· Speciation of metal-containing compounds found in the environment by micellar liquid chromatography interfaced to inductively coupled plasma mass spectrometry
	INAA and ICPMS ¹¹⁸	· Comparative use of INAA and ICP-MS methods for environmental studies; review includes an element-by-element assessment
	GC-AED ¹¹⁹	· Environmental applications of gas chromatography-atomic emission detection
	IC ¹²⁰	· Advances in the determination of inorganic anions by ion chromatography
	IC ¹²¹	· Ion chromatography in elemental analysis of airborne particles
	IC and CE ¹²³	· Developments in sample preparation and separation techniques for the determination of inorganic ions by ion chromatography and capillary electrophoresis
	CE ¹²⁴	· Recent developments in the separation of inorganic and small organics by capillary electrophoresis

Table 9. Review articles related sensor and electrochemistry

Fields	Contents
biosensors ¹²⁴	• Biosensors for environmental monitoring
sensors ¹²⁵	• Proceedings of the seventh international meeting on chemical sensors
sensors ¹²⁶	• Chemical and biological sensors: meeting the challenges of environmental monitoring
sensors ¹²⁷	• Other types of sensors for organic pollutants; focus on immunosensors for organics in water
biosensors ¹²⁸	• Update on environmental biosensors
biosensors ¹²⁹	• Other organic pollutants: enzymatic biosensors
biosensors ¹³⁰	• Enzyme sensors for environmental analysis
sensors ¹³¹	• Fiber optic sensors in environmental monitoring
electrodes ¹³²	• Electrodes; extensive review on signal transduction by electrochemical techniques
biosensors ¹³³	• Gas-phase enzyme electrodes
sensors ¹³⁴	• In situ electrochemical monitoring: from remote sensors to submersible microlaboratories
sensors ¹³⁵	• Affinity sensor systems
sensors ¹³⁶	• Microelectrode sensors for biomedical and environmental applications
microelectrode arrays ¹³⁷	• Microfabricated ultramicroelectrode arrays: developments, advances, and applications in environmental analysis
sensors ¹³⁸	• Advances in the microfabrication of electrochemical sensors and systems
biosensors ¹³⁹	• Molecular probes and biosensors in bioremediation and site assessment
gas sensors ¹⁴⁰	• Next-generation diode laser gas sensors for environmental and industrial monitoring
microbial sensors ¹⁴¹	• Biochemical oxygen demand
sensor arrays ¹⁴²	• Electronic tongues for environmental monitoring based on sensor arrays and pattern recognition: a review
stripping voltammetry ¹⁴³	• Stripping voltammetry in environmental and food analysis
electrochemical detection ¹⁴⁴	• Metalloporphyrin, metallophthalocyanine and related macrocycle complex-based film modified electrodes: review of selected significant designs and applications to the electrochemical detection of pollutants
SPME ¹⁴⁵	• New developments in SPME

Table 10. Review articles related sample pretreatment

Classification	Fields	Contents
SPE, SPME and Sample Extraction	SPME ¹⁴⁶	· Analysis of industrial pollutants in environmental samples
	SPME ¹⁴⁷	· Solid-phase microextraction: a promising technique for sample preparation in environmental analysis
	SPME ¹⁴⁸	· Metal speciation by SPME-CGC-ICPMS
	SPME ¹⁴⁹	· Organometallic speciation by combining aqueous phase derivatization with SPME-GC-FPD-MS
	SPME ¹⁵⁰	· The application of SPME-LC-MS to the determination of contaminants in complex environmental matrices
	SPE ¹⁵¹	· Advances in solid-phase extraction disks for environmental chemistry
	SPE ¹⁵²	· On-line detection for supercritical-fluid extraction
	sample preparation ¹⁵³	· Sample preparation for environmental analysis; state-of-the-art review
	microwave extraction ¹⁵⁴	· Microwave assisted extraction of organic compounds
	microwave extraction ¹⁵⁵	· Application of microwave techniques in analytical chemistry
	microwave extraction ¹⁵⁶	· Microwave-assisted solvent extraction of environmental samples
	pressurized liquid extraction ¹⁵⁷	· Pressurized liquid extraction of persistent organic pollutants in environmental analysis
	membrane extraction ¹⁵⁸	· Liquid membrane extraction in analytical sample preparation
	membrane and SPE extraction ¹⁵⁹	· Ion separation in membrane and solid-phase extraction systems
	cellulose sorbent preconcentration ¹⁶⁰	· Functionalized cellulose sorbents for preconcentration of trace metals in environmental analysis
	organic analytes in water ¹⁶¹	· Chemical analysis: sample handling and analysis of organic pollutants in water matrices
	water removal from samples ¹⁶²	· Water vapour removal from gaseous samples used for analytical purposes
	SFE ¹⁶³	· Properties of supercritical fluids relevant to extraction and chromatography
POPs ¹⁶⁴	· Separation, clean-up and recoveries of persistent trace organic contaminants from soils, sediment and biological matrices	

(Table 10 continued)

Classification	Fields	Contents
Sampling, QA and QC, Chemo-metrics	sample handling ¹⁶⁵	· Sample handling and trace analysis of pollutants: techniques, applications and quality assurance
	water sampling ¹⁶⁶	· Sampling methods in surface waters
	sediment sampling ¹⁶⁷	· Sediment trap sampling in surface waters
	soil water sampling ¹⁶⁸	· Collection of soil solution
	vocs in air ¹⁶⁹	· Sorbent trapping of volatile organic compounds
Sampling, QA and QC, Chemo-metrics	passive dosimetry ¹⁷⁰	· Passive sampling for long-term monitoring of organic pollutants in water
	monitoring programs ¹⁷¹	· Designing monitoring programs to evaluate the performance of natural attenuation
	diffusive sampling ¹⁷²	· Monitoring the ambient environment with diffusive samplers: theory and practical considerations
	quality assurance ¹⁷³	· Quality assurance in environmental monitoring
	long-term monitoring ¹⁷⁴	· Ensuring quality in long-term environmental monitoring for chemical speciation
	airborne particles ¹⁷⁵	· Quality assurance, quality control, and data validation in environmental analysis of airborne particles
	airborne particles ¹⁷⁶	· Quality assurance and quality control in the elemental analysis of airborne particles
	QA and QC ¹⁷⁷	· Quality of residue data
	reference materials ¹⁷⁸	· Certified reference materials for quality control of measurements in environmental monitoring
	reference materials ¹⁷⁹	· Standard reference materials for the determination of trace organic constituents in environmental samples
	reference materials ¹⁸⁰	· Proper use of reference materials for elemental speciation studies
	uncertainty ¹⁸¹	· Sources of uncertainty in gas chromatography and high-performance liquid chromatography
	uncertainty ¹⁸²	· Sources of uncertainty in gas chromatography and high-performance liquid chromatography
	statistics ¹⁸³	· Some applications of statistics in analytical chemistry
	chemometrics ¹⁸⁴	· Pattern recognition, chemometrics, and imaging for optical environmental monitoring
chemometrics ¹⁸⁵	· Spectral pattern recognition: the methodology	
TMS derivatization ¹⁸⁶	· Artifacts in trimethylsilyl derivatization reactions and ways to avoid them	
blank optimization ¹⁸⁷	· Blank optimization for elemental analysis of laboratory water down to ppt levels	
analyte stability ¹⁸⁸	· Stability of chemical species in environmental matrices	

3.2. 최신 분석기술 현황^{1~4,189,190}

3.2.1 대기 분야

대기 중 부유오염물질(airborne pollutants)의 측정을 위한 대기분석방법이 다양하게 마련되어 있으며, 분야별로 산업 배출오염원, 연소 배출오염원(소각시설), 이동 배출오염원, 생활대기, 매립장 및 폐수 배출오염물질 등에 활용되고 있다. 이들 방법에는 화합물별로 대기시료채취 및 분석기기가 필요하며, 미국 North Carolina의 EPA/A&WMA conference에서 기술적인 프로그램이 소개된 바 있으며, 일반적인 대기오염물질의 측정분석 방법을 요약하면 Table 11과 같다.

환경대기의 분석을 위한 시료채취방법은 일반 대기 및 배출원별로 매우 다양하다. '80년대에 대기 중 유기화합물 측정은 24시간 동안 시료를 채취하는 자동 샘플러가 사용되었다. 먼지 등 고체상 물질의 다양한 시료채취장치가 있으며, 가스상 시료채취는 채취장치가 장착된 테들러백, 흡착관 및 캐니스터(canister) 등이 사

용되고 있다. 고체상 무기화합물 시료 중 추출 후 발색방법을 통한 분광광도법과 분해 후 AAS, ICP, ICP/MS, IC를 사용하여 분석되고, 고체분석을 위한 XRF, PIXE, NAA Gamma spectroscopy, TEM 등이 이용되고 있다.

또한, 일산화탄소와 같은 물질의 대기 중 측정방법으로 IR Specrometer가 이용되고 있다. 유기 화합물의 측정을 위한 분석방법에는 GC가 가장 많이 사용되며 화합물의 종류에 따라 FID, ECD, TCD, FPD, PID, MS 등을 검출기로 사용하고 있다. 또한 알데하이드 분석을 위해서는 HPLC가 사용되고 있다.

환경 대기분야의 환경오염물질 측정분석기술은 시료채취방법, 대기오염물질의 모니터링방법, 유기화합물 및 무기화합물의 분석법, 악취물질 분석법, 적외선 분석법의 응용, PAH의 분석법, 환경대기의 실시간 분석을 위한 질량분석의 응용 및 자동화분석법 등으로 세분화 할 수 있다.

Table 11. Measurement and analytical techniques in air fields

Analyte	Measurement and analytical techniques	Comments
A i r	High Volume sampler Dichotomous sampler Low Volume sampler	Particulate matter sampling
	AAS(Atomic Absorption spectrometry) ICP(Inductively Coupled Plasma) Spectrometry ICP/MS(Mass Spectrometry) XRF(X-Ray Fluorescence) Spectrometry PIXE(Proton Induced X-Ray Emission) Spectrometry NAA(Neutron Activation Analysis) Gamma spectrometry TEM(Transmission Electron Microscopy) IC(Ion Chromatography) Absorptiometric Analysis NDIR(Nondispersive Infrared) Spectrometry	Particulate matter analysis
	Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry	Hg analysis
	Absorptiometric Analysis GC/MS(Tenex adsorption, Carbon Molecular Sieve, GC/FID, ECD, TCD, FPD, PID GC/MS FTIR(Fourier transform infrared Spectrometry)	VOCs
	GC/MS(HV PUF) GC/ECD(LV PUF)	Pesticides PAH
	HPLC/UV, Fluorescence (Impinger)	Phosgen, cresol, phenol, aldehyde, ketone etc.
	HRGC/HRMS	Dioxin/furan/PCB

최신 대기분석기술을 살펴보면, 환경 대기시료에서 입자의 확인은 SEM(scanning electron microscopy) 및 TEM(transmission electron microscopy) 시스템이 사용되고 있다. 대기의 에어로졸 샘플러로 epiphaniometer가 사용되고 있으며, 채취된 에어러졸의 분석법은 FT-IR 분광기, 중성자 활성화분석(neutron activation analysis)과 고분해능 GC/MS 등이 이용되고 있으며, 실시간으로 대기 중의 에어로졸의 광학적인 흡착을 측정하기 위해 photoacoustic spectroscopy 등이 사용된다. 열광학적기술(Thermal optical technique)은 유기물질과 연소에 의해서 여과 채취된 시료의 탄소 원소를 측정한다. 현재 대기 강하물, 입자상 물질 및 무기물 등의 시료채취방법이 지속적으로 개발되고 있으며, 채취기의 시료채취 효율이 평가되고 있다.

대기모니터링에 사용되는 분석기술로는 surface acoustic wave sensors, atomic spectrometry, laser phtoacoustic spectroscopy, PIXE, lidar systems, GC/MS, ICP/MS, HPLC 및 long path FT-IR 등이 많이 적용되고 있으며, 분석대상 물질로는 에어러졸, 산성 에어러졸, 질소산화물, 황산화물, 미량 대기원소, 라돈, 저분자량 탄화수소, 다환방향족 화합물(polycyclic aromatic hydrocarbons) 등이 주로 모니터링되고 있다.

대기 중 무기화합물의 모니터링은 수은 분석, ICP/MS에 의한 분석, ICP/OES에 의한 분석, MS에 의한 분석, XRF에 의한 분석, PIXE에 의한 분석 및 기타 분석분야로 나눌 수 있다. 대기 중의 휘발성 금속 및 비금속 분석을 위한 GC/ICP-MS나 LA(ICP/MS) 법 등이 개발되었다. 철강산업지역에서 발생된 먼지 중의 중금속을 분석하기 위해 LAMMA(laser microprobe mass analysis)와 XPS(x-ray phtoelectron spectroscopy)가 사용되었다.

최근 연구되고 있는 대기 중 무기물질 및 유기화합물의 분석법을 Table 12 및 Table 13에 정리하였다. 대기 중 무기물의 응용 및 분석법은 Table 12에서 보는바와 같이 ICP/MS, IC, XRF, AA 등 여러 가지 다양한 분석법들이 이용되어 왔다. 특히, ICP/MS을 이용한 배출원 조사에서는 입자의 크기에 따른 ²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb, ²⁰⁸Pb 등의 Pb 동위원소 비율을 분석하였으며, 자동차 촉매변환장치로부터 발생한 대기의 Pt, Pd, Rh의 분석법, 니켈 화합물 중 Ni의 분석, 그리고 유기납 화합물 중 Pb 등을 분석하였다. 또한, 극성 또는 악취 휘발성유기화합물 분석을 위해서는 다른 유기화합물 분석과 마찬가지로

GC/MS와 GC가 주로 이용되었으며, 포름알데히드, 아민류, PAHs 등을 분석하기 위해 HPLC 및 LC을 이용하여 분석하였다. GC/MS나 GC을 이용하여 카르복실산, 알코올, 프탈레이트, 포름알데하이드 및 카보닐화합물 등과 같은 대기 중 극성 휘발성유기화합물의 분석은 유도체화 한 후 분석하였으며, PAHs, 니트로-PAHs, 다이옥신 및 퓨란은 고분해능 GC/MS을 이용하여 검출하였다. 황을 포함하는 휘발성 유기화합물의 분석은 흡착제 등을 사용하여 시료 채취한 후 GC/MS로 분석하거나 황화학적 발광 검출기(chemiluminescence detector)가 부착된 GC로 분석하였다. 또한, 악취의 확인과 정량을 위해 "decismell scale"이 기본 단위로 사용되고 있으며, 정보 시스템에 연결된 가스센서를 사용한 냄새지문법(fingerprinter ordor)이 개발되어 있다.

대기 중의 유기오염물질의 분석법으로는 적외선 분석법(Table 13)이 많이 응용되고 있다. IR을 이용한 대기시료의 분석은 주유소에서 방출되는 휘발성유기화합물, 비행기 배출가스 중의 CO와 NOx, 실내 미량가스, 아스팔트 코팅과정에서 배출되는 n-hexane, n-heptane, n-octane, isooctane, 2,2,4-trimethylpentane 등 미규제 배출가스의 분석뿐만 아니라 독성 가연성 대기오염물질의 분석을 위한 분석방법의 개발 및 평가가 수행되었다.

Table 12. Inorganic applications and methods in air

Method	Analytes	Comments
ICPMS based methods	^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb	• Pb isotope ratio analysis of size-fractionated aerosols for source apportionment applications
	Pt, Pd, Rh	• method performance for the analysis of airborne Pt, Pd, and Rh from vehicle's catalytic converters
	^{235}U , ^{238}U	• using $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ ratio obtained from tree bark for the discrimination of nuclear and nonnuclear emission sources
	NiCl_2 , NiO , NiCO_3	• method performance for the analysis soluble and insoluble Ni compounds in airborne particulate matter
	Mn, Fe, Co, Ni, Ag, Cd, Sn, Sb, Pb	• determination of size-fractionated particles from arctic air for trace metal monitoring
	$\text{Ni}(\text{CO})_4$, $\text{Fe}(\text{CO})_5$, $\text{Mo}(\text{CO})_6$, $\text{W}(\text{CO})_6$	• cryotrapping-GC/ICPMS analysis of sewer gas of analytes as a fermentation byproducts
	$\text{Sb}(\text{CH}_3)_3$, $\text{Sn}(\text{CH}_3)_4$, $\text{Sn}(\text{CH}_3)_2(\text{C}_2\text{H}_5)_2$, $\text{Bi}(\text{CH}_3)_3$	• GC/ITMS an GC/ICPMS analysis of volatile organometals in land fill and fermentation gases
Chromatography Assisted Methods	butylated trimethyl-, dimethyl-, triethyl-, diethyllead	• GC/ICPMS analysis of organolead compounds using tetraethyllead as internalstandard with detection limits of 2-9 fg for a 1-mL injection
	Zn, Co, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn, Cd, Pb	• isocratic ion chromatography separation, postcolumn derivatization, UV detection at detection limits of 10-60 ppb
	Zn, Cu, CO, Fe, Cd	• capillary electrophoresis separation and direct UV detection at detection limits 0.5-3 ppb
	Be	• micellar electrokinetic chromatography analysis of Be in airborne particulate at 1 ppm detection limit
	arsenic(As)	• speciation of arsenic in coarse and fine urban aerosols using sequential extraction and LC-atomic fluorescence detection with comparable results obtained from INAA analysis
XRF based methods	$\text{Sb}(\text{CH}_3)_3$, Sb	• LC/ICPMS analysis of analytes in airborne particulate
	Ca, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, V, Zn	• XRF analysis of aerosol filters of 150-mm diameter with comparable quantitative results from AA and ICP-OES
	silicon	• XRF analysis of silicon in airborne-particulate matter with quantitative results validated by LA-ICPMS
	S, Ca, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb	• performance of chemical speciation of analytes in airborne dust by sequential leaching and XRF was validated by NIST 1648 CRM
	lead	• performance evaluation of portable XRF instrument for analyzing dust wipe samples with results validated by AA
	S, Ca, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Pb	• XRF analysis of analytes in particulates of emissions from two diesel fuels with different sulfur content
	As, Ca, Co, Cd, Cr, Fe, Ga, Ni, Pb, Pt, V, Zn	• comparison of sample preparation methods using oxygen-plasma ashing on sapphire carriers and acid digestion for XRF analysis of analytes
	Hg	• silver-coated filter sampling followed by XRF analysis of mercury in flue gases
Pb	• evaluation of portable XRF for the determination of analyte in workplace air	

(Table 12 continued)

Method	Analytes	Comments
IC based method	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻	• collection, handling, and analysis of rain described
	Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , K ⁺ , Mg ²⁺ , Ca ²⁺	• procedures to avoid contamination when ng/g of snow concentrations are discussed
	Cl ⁻ , Br ⁻	• silver halides formed as analytes on silver membrane filter(sub ppm DL)
	Sulfate	• short guard column used to provide fast separation(<1mm) and determination; linear range 0.5~200 mg/L
AAS based method	Cd, Cu, Pb, Zn	• heavy metal concentrated onto tungsten wire prior to analysis; DL 0.01~0.5ng/kg of snow
	trace metal	• NAA and hydride generation with AA gave comparable results for Se determination
	trace metal	• air particulates collected on filter and metal dissolved with HNO ₃ -H ₂ O ₂ in a Teflon bomb; standard reference material analyzed to validate procedure
	Pb	• particles extracted with HCl/HNO ₃ ; air concentrations of 0.5-7 µg/m ³ measured. Pb levels correlated with NO _x levels and showed seasonal variation
Hg analysis	Hg	• analysis of ambient Hg ²⁺ using KCl-coated denuders followed by TD and cold vapor atomic fluorescence analysis at detection limit of <3 pg
	Hg	• performance evaluation of a hybrid sampling train for simultaneously sampling and analysis of Hg and other trace elements
	Hg	• method development and performance for Hg speciation applicable to both fossil fuel and waste combustion processes
	Hg	• method development and performance evaluation for the sampling and analysis of reactive gaseous mercury using cold vapor atomic fluorescence analysis
	Hg	• determined by using Au amalgamators in series
	Hg	• gold coated denuders used as samplers
Other	phosphine, arsine	• sensor with thin films SnO ₂ and ZnO on sapphire substrates; changes of conductance of the SnO ₂ and ZnO films measured to determine sub ppm concentrations
	arsine	• potentiometric sensor, based on Ag-β-Al ₂ O ₃ as solid electrolyte; estimated DL is 0.05 ppm
	Br ⁻	• in all field measurements, bromine level<30 ppb(ion mobility)
	nickel	• wet chemistry procedure developed to place airborne Ni into 4 categories(water soluble, sulfidic, metallic, oxidic)
	H ₂ O ₂	• microprocessor-based sampler/analyzer designed for sub ppb concentrations(chemiluminescence)

Table 13. Polar · odorous VOC analytical methods

Method	Analytes	Description/comments
GC/MS	ambient polar VOCs such as carboxylic acids, alcohols, and phthalates	· impinger sampling followed by solid-phase extraction (SPE) and GC/MS analysis
	airborne formaldehyde	· sampling with in situ derivatization of formaldehyde on 3,5-bis(trifluoromethyl)phenylhydrazine-coated silica followed by GC-ECD and GC/MS analysis; results were validated with NIOSH method 3500 and 2,4-dinitrophenylhydrazine derivatization
	ambient carbonyls and hydroxy carbonyls	· impinger sampling and in situ derivatization of carbonyl compounds with o-(2,3,4,5,6-pentafluorobenzyl) hydroxyamine hydrochloride; further reaction of hydroxy carbonyls with bis(trimethylsilyl) trifluoroacetamide followed by GC/ITMS analysis
	organobromines	· collected on Tenax GR; thermal adsorption 0.1~0.2ppt DL for 4L sample
	glycol ether, phenol	· collected on charcoal(5~7µg/sample DL)
	carboxylic acid	· ion exchange resin used as an adsorbent for sampling and as a catalyst for the methylation of the adsorbed acids by MeHCO ₂
	PAH, nitro-PAH	· Analysis of HRGC/MS
	PCDDs, PCDFs	· evaluation of pressurized liquid extraction and Soxhlet extraction for the fly ash, dry dust preparation for PCDD and PCDF analyses
	Cl and S containing biogases from sewage and landfill	· Summa canister followed by GC/MS or GC-atomic emission spectroscopy (GC-AES) analysis
GC	particulate matter-associated aromatic amines	· direct MS identification of vapor-phase and particulate samples collected in heavy traffic area; five chemical classes of aromatic were found to exist in the samples.
	atmospheric alcohols	· sampling with 200-mL glass bottle followed by the reaction with 200 ppmv nitrogen dioxide on the glass surface to form alkyl nitrites and then by GC-ECD analysis.
	ambient aldehydes and ketones	· multisorbent cartridge sampling followed by TD-GC using a new PLOT column capable of separating ketones and aldehydes from hydrocarbons
	ambient sulfur-containing odorous VOCs	· automated Tenax GR trap preconcentration, liquid N ₂ focusing, followed by GC and flameless sulfur chemiluminescence detection
	organic acids	· sample treated with thionyl chloride, PhNH ₂ :AcOH, propionic acid and butyric acid detectable 1-5µg/60 dm ³ sample
	aliphatic amines	· impinger sampling in dilute H ₂ SO ₄ , selective enrichment across PTFE membrane to GC
	monoethanolamines	· collected on adsorbent tubes containing XAD-4 coated cyclohexanone derivatizing reagent(1µg DL)

(Table 13 continued)

Method	Analytes	Description/comments
GC	non-methane hydrocarbon	• 2 cryogenic preconcentration techniques compared; use of Mg(ClO ₄) ₂ for water removal not recommended
	polar and nonpolar C ₄ -C ₁₄ hydrocarbons	• sampling with 3-stage traps, with C adsorbents of different surface area; >140 compounds identified
	C ₃ -C ₅ alkadienes, alkenes, benzene, toluene	• GC on Al ₂ O ₃ column compared with conventional GC analysis; good for continuous monitoring at 10µg/m ³ review with 19 refs
	monoterpenes α-HCH	• stationary phase was permethylated heptakis (2,3,6-trimethyl)-βcyclodextran in OH-terminated polysiloxane that allowed temp. programming and low pg DL
	PAHs and derivatives of PAHs	• extensive sample cleanup for derivatives of PAH such as nitrated or chlorinated PAH
	organobromine compounds, bromoform, 1,1,3-tribromopropane	• GC method for seeking flame retardant compounds in air; 20L sample volumes are required
HPLC	ambient formaldehyde and acetaldehyde	• in situ 2,4-dinitrophenylhydrazine sampling and derivatization followed by micro-HPLC analysis and fiber-optic-based UV detector
	ambient formaldehyde and acetaldehyde	• in situ 2,4-dinitrophenylhydrazine sampling and derivatization followed by HPLC-APCI-MS analysis using stable isotope- labeled standards
LC	formaldehyde	• 2,4-dinitrophenylhydrazine derivative; interference caused by O ₃
	formaldehyde	• HCHO collected as hydroxymethanesulfonate on HSO ³⁻ -coated cellulose
	aliphatic amines	• sampled on cellulose fibers impregnated with H ₃ PO ₄ or bottles containing HCl(1 pM DL)
	aliphatic polyamines	• derivitization with 1-naphthylacetic anhydride
	PAH	• on-line LC-GC for PAH in air
	nitrated-PAH	• HPLC with electrochemical detector
	toluene diisocyanate	• description of routine method based on micro-LC
	cyanuric acid, trichlorocyanuric acid	• method with air sampling with PVC membranes

Table 14. Analytical methods of PAH in air

Classification	Analytes	Comments
GC/MS	PAH	· sample preparation method for airborne particulate-associated PAHs using focused microwave extraction for GC/MS analysis with 3-h sample preparation time and superior recovery and precision
	B[a]P	· isotope dilution B[a]P analysis using a benchtop GC/MS
	NIST 1649 PAH SRM	· microscale sealed vessel (MSSV) thermal extraction-GC/MS and MSSV-pyrolysis-GC/MS methods were evaluated using the SRM and found to be useful for the characterization of PM10 organics
	PAH, nitrated-PAH	· Analysis of HRGC/MS
LC/MS	B[a]P diones	· column chromatographic cleanup of soot aerosols followed by LC/atmospheric pressure chemical ionization/MS (LC/APCI-MS) analysis
	azaarenes	· airborne particulate-associated azaarenes analysis using normal-phase semipreparative LC fractionation followed by RP/LC-FL analysis of nine azaarenes
	PAH	· critical evaluation of LC-UV, GC-FID, and GC/ITMS for the analysis of 19 airborne particulate-associated PAHs
	PAHs	· method was developed for LC/APCI-MS analysis of particulate-associated high molecular weight PAHs (MW >300)
	nitrated-PAH	· Analysis using LC/GC/MS
MS	PAH, DDT, BHC	· laser desorption-ITMS screening method of target compounds on a single airborne particle
	PAHs and nitro-PAHs	· direct screening of aerosol filter samples using laser desorption-time-of-flight-MS (LD-TOFMS)
GC	nitro-PAHs	· extraction of particulate-associated nitro-PAHs, reduction of nitro-PAH to amino-PAH, and derivatization of the amino-PAH followed by GC/ECD analysis at the picogram level
	PAHs and thiaarenes	· workplace air of an aluminum reduction plant was analyzed using GC-AED; running GC-AED in sulfur-selective mode allowed the analysis of thiaarenes without prior separation of PAH from thiaarenes
Other	PAHs	· PAHs in gasoline and diesel fuels and emissions from engine exhaust were characterized and quantitated at mg/L and g/kg levels

또한 대기오염물질 중 발암성 물질로 알려진 PAHs의 분석법(Table 14)에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 대기생성 입자상 물질과 관련된 PAH 분석을 위한

시료의 준비 및 전처리과정, 그리고 고분해능 GC/MS나 GC/MS를 이용한 분석법, 분자량이 300 이상인 PAH 분석을 위한 LC/MS를 이용한 방법 그리고 니트로화

또는 염소화된 PAH을 유도체화 시킨 후 GC/ECD로 분석하는 방법 등이 있다.

3.2.2 수질 분야

수질분야에서 사용되는 측정분석기술 중 분석방법이

잘 확립되어 있는 방법으로 액/액 추출법(LLE), GC, HPLC 및 ICP/MS가 있다. 수질측정분석 과정에서 시료 채취방법은 단순히 물을 병에 채취, 처리, 농축하고 적당한 고체에 흡착시키는 것으로 발전되어 왔으며, 유기 및 무기 분석물질의 채취에 모두 이용할 수 있는 다양

Table 15. Measurement and analytical methods in water and drinking water

		Measurement & analytical technique	Comments
Water Drinking Water	Inorganic	Acid Digestion Microwave-Acid digestion	Extraction
		TEM(Transmission Electron Microscopy) ICP/AES(Inductively Coupled Plasma -Atomic Emission Spectroscopy) ICP/MS(Mass Spectrometry) AAS-Direct, Graphite Furnace, Cold vapor Automated Colorometry IC(Ion chromatography) DPP(Differential Pulse Polarography) XRF(X-Ray Fluorescence) Spectroscopy Cold Vapor AAS Absorptiometric Analysis	Metal, trace elements, asbestos, CN, NO ₃ , NO ₂ , PO ₄ , SO ₄
	Organic	Liquid/Liquid, Liquid/Solid, Purge& Trap, Microextraction, Ionexchange extraction, Derivatization, Post column derivatization Alumina Column, Fofisil Column, Silica Gel Gel-Permeation, Acid-Base Partition	Extraction and clean-up
		Absorptiometric Analysis GC(Gas Chromatography) GC/FID, ECD, PID, NPD, HCED, AFD, FPD, ELCD GC/MS FTIR(Fourier transform infrared Spectroscopy) NAA(Neutron Activation Analysis)	Organic compounds : VOCs, Phthalates, Pesticides, PAH, PCB
		HPLC(High Performance Liquid Chromatography) HPLC/UV, PDA, Fluorescence Detector HPLC/MS	Organic compounds ; PAH, Carbamates,
		HRGC/HRMS(High ResolutionGC/HR/MS)	PCDDs/PCDFs
	Other	Electrometric, Nephelometric,	pH, Turbidity,

한 종류의 상용화된 물질(탄소 및 폴리스티렌-디비닐벤젠 수지 등)들이 있다. 채취된 시료는 추출 등 전처리가 이루어지는데 일상적인 수질 중의 유기화합물의 추출은 SPE에 의해서 수행되어지며, 대부분의 경우 전통적인 액/액 추출에 비하여 쉽고 유해 용매를 훨씬 덜 사용한다는 사실 때문에 많이 대치되고 있다.

Table 15에서와 같이 선진국에서 수질분야에서 사용되는 무기화합물의 대표적인 시험방법은 분광광도법, AAS, ICP/AES, ICP/MS, IC, DPP, Cold Vapor AAS 등이 있다. 고체 분석을 위해 XRF 방법이 사용된다. 현재 ICP/MS의 검출한계는 매우 낮아 많은 금속의 측정에 활용이 확대되고 있다. 그러나 유기금속화합물의 화학종 규명(speciation)을 위해 새로운 시험방법이 많이 시도되고 있다.

수질 시료 중 유기화합물의 전처리를 위해서 많은 방법이 있으나 액/액 추출법(Liquid/Liquid Extraction), 액/고 추출법, 퍼지트랩법(Purge & Trap), 미량추출법, 이온교환법, 유도체화법 등이 일반적으로 사용되고 있다. 경우에 따라서 추출된 시료는 정제과정이 필요하다. PCBs 및 다이옥신류의 정제과정에 가장 일반적으로 사용하는 방법은 Alumina Column, Florisil Column, Silica Gel column이 사용되며, 분자의 형태에 따라 Gel-Permeation, Acid-Base Partition방법이 사용되기도 한다. 유기화합물의 측정분석에 사용하는 장비는 GC이다. 검출 대상물질에 따라FID, ECD, PID, NPD, HCED, AFD, FPD 등이 다양하게 선택되지만 MS검출기의 사용이 가장 활발하게 증가하고 있다. 한편 PAH, 카바메이트 및 분자량이 큰 유기화합물은 HPLC로 분석할 수 있다.

수질 중 유기화합물의 최근 분석기술로는 흡광광도기술과 질량분석기술로 크게 나눌 수 있다. 흡광광도법은 OH를 포함한 방향족 탄화수소류를 선택적으로 검출할 수 있는 electrochemiluminescent sensing spectroscopy, 중합체로 코팅된 할로겐화는 섬유 등을 분석할 수 있는 evanescent wave spectroscopy(FT-IR) 및 PAHs를 현장에서 온라인 시스템으로 분석할 수 있는 fluorescence spectroscopy (fiber opticsensor) 등과 이외에도 낮은 검출한계로 PAHs를 분석할 수 있는 synchronous solid-phase spectrofluorometry와 laser-induced fluorescence spectroscopy 등의 기술 등이 있다. 또한 질량분석기술로는 살충제의 확인 및 정량에 많이 이용되는 thermospray MS, particle beam MS, atmospheric pressure ionization MS과 electrospray ion trap MS등이 있으며, 계면활성제의 확인 및 정량에는 fast atom bombardment

MS와 thermospray MS을 이용하여 분석하는 기술 등이 있다. 한편 수질시료 중에 존재하는 극성화합물질의 분석을 위해서는 LC/MS/MS, LC/ESI-MS/MS 또는 GC을 이용하여 분석하고 있다.

수질 중 무기화합물 분석 신기술은 크게 모세관 전기영동(capillary electrophoresis, CE), 온라인 실험기술, 분광기술 및 기타 기술로 구분할 수 있다. CE기술은 무기 음이온을 분리하기 위한 분석기술로 많이 연구가 수행되고 있다. 분광기술로 IR, laser-induced atomic fluorescence spectroscopy 및 X-ray fluorescence 등이 활발하게 응용되고 있다. 이들 기술 이외에 desorption chemical ionization MS 및 thermal lens spectrometry와 voltammetry 기술 등이 금속분석에 응용되고 있다.

수질분야의 측정분석기술(Table 16) 중 액/액 추출법, GC, GC/MS, LC/MS 및 ICP/MS등의 분석방법은 비교적 잘 확립되어 있다. Immunosorbent와 MIP(molecularly imprinted polymer)와 같은 새로운 SPE 물질들은 시료의 정제에 사용되고 있으며, 수질 분석에서 SPME의 사용이 증가되었다.

또한, 시료의 분리와 검출 분야에서 질량분석기가 오랜 시간 동안 사용되어 왔으며, 최근에는 상업적인 LC/MS 시스템이 열에 약하고, 극성이며, 비휘발성화합물을 검출하는데 보다 일반화되고 있으며, 독성테스트를 포함한 LC/MS의 사용은 폐수중 독성 물질의 확인에 주로 이용되고 있다. ICP/MS는 무기화합물을 측정하는 표준법이며, ICP/MS의 검출한계는 수질 시료중의 중금속을 분석하기에 충분히 낮다.

환경수 중 관심의 대상이 되고 있는 분석대상물질(Table 17)로는 소독부산물, 계면활성제 그리고 MTBE, microcystin, nonylphenol, 제초제, 방향족물질, 에스트라디올, 스테로이드 등과 Tc, Sn, Sr 및 Ti 등을 포함하고 있다. 브롬 등의 할로겐족 원소를 포함한 소독부산물은 MS, IR을 이용하여 확인되며, electrospray MS는 음용수 중의 이들 물질을 분석하기에 충분한 검출 한계를 제공하는 분석법으로 알려져 있으며, 에스트라디올(estradiol)과 스테로이드는 유도체화 한 후 GC/MS나 ELISA로 분석한다. 또한, 지하수 중의 MTBE가 GC/MS로 환경호르몬으로 알려진 nonylphenol은 atmospheric pressure ionization MS, MS/MS, electrospray MS와 LC/MS 등 여러 가지 방법으로 분석되고 있으며, 중금속은 ICP/MS나 biosensor을 이용하여 분석하고 있다.

Table 16. Integrated extraction and detection systems used for analyses of aqueous samples

Detector	Extraction/coupling method	Analyte	Sample size(mL)	DL ($\mu\text{g/L}$)
GC/FID	open-tubular traps with CP Sil-5	misc organic compds	20-200	0.1-1
GC	membrane disk extraction	herbicides		
GC/ECD	multidimensional GC	PCBs		
GC/MS	PLRP-S	pesticides, herbicides	2	<1
GC/MS	SPE	VOCs		
LC/UV	various sorbents tested; PLRP-S and Hysphere-1 in series was optimal	polar and acidic organics	40-50	0.001-0.05
LC/UV or LC/FL	immunosorbents	benzidines, PAH	10-20	0.02-5
LC/fast-scanning FL	ion-pair SPE with PLRP-S	naphthalenesulfonates	20	0.01-3
LC/MS	ion-pair SPE with PLRP-S	naphthalenesulfonates	15	0.05-1
LC/MS	PLRP-S	herbicides	100	0.005
LC/MS/MS	PLRP-S	pesticides	10	0.1-10
ICPMS	8-hydroxyquinoline resin	Mn, Ni, Cu, Zn, Pb	3	0.0003-0.01
ICPMS	PTFE knotted reactor ^{o)} pyrrolidinedithiocarbamate complex	Fe(II), Fe(III)	2.5	0.08
ICPMS	field-flow fractionation	28 elements	d50	0.0004-1
ICP-AES	knotted reactor ^{o)} diethyldithiocarbamate complex	Pb	10	0.2
ET-AAS	Chelex-100 ^㉑ octadecyl silica	Cd (speciation studies)	5	0.01
ET-AAS	pyrrolidine dithiocarbamate complex on octadecyl silica	Se (speciation studies)	4	0.005
ET-AAS	electrochemical reduction on tungsten	Pb	2	0.2
conductometric	dialysis coupled with ion chromatography	Cl ⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ³⁻ , SO ₄ ²⁻	1	5-10

AES: atomic emission spectrometer;
 SPE: solid-phase extraction;
 UV: ultraviolet absorbance detection;
 ET-AAS: electrothermal atomic adsorption spectrometer

FL: fluorescence,
 FID: flame ionization detection;
 ICP: inductively coupled plasma

Table 17. Analytes of Interest in Environmental Waters

Analyte	Comments	DL (ng/L)
anatoxin A	· SPE, derivatization with fluorenyl methylchloroformate, and electrospray MS	2
anionic surfactants	· ditallowdimethylammonium chloride and substitution products determined by microbore LC/MS at 0.4-140 g/L in surface waters	
arsenic	· method for on-site speciation of As; membrane filtration, SPE, and hydride generation atomic fluorescence detection used	50
cyanazine amide, cyanazine acid, cyanazine	· SPE, LC/MS; detection of these compounds in groundwater from New York indicate these compounds leach into groundwater	2-5
disinfection byproducts (brominated)	· MS and IR used to identify DBP in ozonated water treated with secondary chlorine or chloramine; previously unreported bromo- and chlorobromopropanones identified	
disinfection byproducts (haloacetic acids)	· different analytical methods discussed; electrospray MS provided sufficient detection limits to analyze drinking water	70
estrogens	· partitioning of estrogens between sediment and water studied; synthetic estrogens were removed more easily from water than natural estrogens	
17 \pm -ethinyl estradiol, 17 2 -estradiol	· SPE of 25 L of water, conversion to trimethylsilyl derivatives, GC/MS; 1-13 ng/L found in wastewater treatment plant effluents	1
17 \pm -ethinyl estradiol, 17 2 -estradiol	· ELISA-detected hormones, at concentrations sufficient to cause vitellogenesis in fish in municipal wastewater treatment plant effluents; ELISA had lower detection limits than GC/MS/MS and was less susceptible to matrix interferences	
fragrance materials	· extraction with C18 disk, GC/MS; wastewater treatment plant influent concentrations were 0.3-150 g/L and effluent concentrations were 0.005-2 g/L	0.5-40
herbicides	· SPE with LC/MS used to determine diuron, Irgarol, and chlorothalonil in seawater	5
ibuprofen	· GC/MS detected 3000 ng/L in wastewater treatment plant influents; 8 ng/L found in rivers and lakes	1
methyl <i>tert</i> -butyl ether	· purge and trap, GC/MS in selected ion monitoring mode; no MTBE detected in old groundwater, <20-1000 ng/L MTBE measured in shallow groundwater	20
microcystins	· collision-induced dissociation to MS3 afforded tentative identification; full scan electrospray MS data could be collected for 250 pg of material	
nonylphenol ethoxlates	· flow injection, atmospheric pressure ionization MS and MS/MS methods developed to screen sewage treatment plant effluents	50
nonylphenol ethoxlates (metabolites)	· reversed-phase LC/MS used after extraction; metabolite concentrations of 1-300 ng/L detected in water from Jamaica Bay, New York	1

(Table 17 continued)

Analyte	Comments	DL (ng/L)
nonylphenol ethoxylates	· 100 L of sample injected, separated with poly(vinyl alcohol) gel column, and analyzed by electrospray MS	200
perchlorate	· extraction as ion pair followed by electrospray MS	300
perchlorate	· direct injection, electrospray MS/MS; <0.5-35 g/L perchlorate found in local groundwaters	500
steroids	· SPE, derivatization, GC/MS used to measure steroids in spiked effluent samples	1
strontium	· four different methods used to determine 90Sr in 45 groundwater samples were compared; detection limits for these methods ranged from 40 to 150 Bq/m ³	
sulfonamide drug	· SPE, LC electrospray MS; detected at 10-100 ng/L in surface waters and 10-2000 ng/L in municipal wastewater treatment plant effluents	200-4000
sulfonated naphthalene-formaldehyde condensates (SNFC)	· ion-pair SPE, ion pair chromatography, and fluorescence detection; SNFC ranged from 1 g/L in groundwater to 200 g/L in treated effluent	3-8
surfactants	· 99% of linear alkylbenzenesulfonates and other compounds were removed during sewage treatment; concentrations of surfactants in treated sewage were 5-200 g/L	
technetium	· 99Tc biosensor and direct analysis methods reviewed with 53 refs	
thallium	· ion-exchange and atomic absorption spectroscopy; contrary to thermodynamic prediction, Tl(III) was the most dominant form of Tl in the Great Lakes	0.7
tin	· preconcentration, derivatization, GC/ICPMS detected 1-100 pg/L Sn in seawater	0.00001
volatile fatty acids	· SPME/GC/MS applied to raw sewage; headspace SPME minimized interferences	2000-6000

APEO: alkylphenol ethoxylates
 DBP: disinfection byproducts
 ECD: electron capture detector
 IR: infrared absorption spectroscopy

3.2.3 폐기물 및 토양 측정분석기술

폐기물, 토양 및 저질 분야의 환경매질은 대부분 불균질 고체물질로서 다른 환경시료에 비해 복잡한 특성을 가지고 있다. 고체상의 환경시료를 추출하는 많은 방법이 확립되어 있다. 일반적인 추출방법으로는 무기원소의 경우에는 가열 산분해 및 마이크로파 산분해를 이용한 분해방법이 있으며, 유기화합물의 추출을 위해 용매를 사용한 추출이 가장 많이 이용되고 있다. 용매 추출을 위한 자동화장치로 고속용매추출장치(accelerated solvent extraction, ASE)가 사용되며, 이외에도 용매를 사용하는 방법으로 속실렛 방법과 초음파를 사용하는 방법이 있다. 또한 헤드스페이스(headspace)방법은 직접

고체시료를 사용하기도 한다.

선진국에서 토양 및 폐기물분야에서 사용하는 일반적인 분석방법(Table 18)으로서 무기화합물의 대표적인 시험방법은 분광광도법, ICP/AES, ICP/MS, AAS, IC, DPP, XRF, Cold Vapor AAS 등이 있다. 현재 ICP/MS의 검출한계는 매우 낮아 많은 수질시료 등과 마찬가지로 금속의 측정에 활용이 확대되고 있다. 또한 유기금속화합물의 화학종 규명을 위해 새로운 시험방법이 많이 시도되고 있다.

수질과 마찬가지로 토양 및 소각재 등의 PCBs 및 다이옥신류의 정제과정에 가장 일반적으로 사용하는 방법은 알루미늄, 플로리실 및 실리카겔 컬럼 등이 사용

되며, 분자의 형태에 따라 Gel-Permeation, Acid-Base Partition 방법이 사용되기도 한다.

폐기물 및 토양 시료의 일반적인 분석방법은 다른 매질에서의 분석방법과 유사하다. 시료 중의 금속에 대하여 단일금속추출(single-metal extraction)과 연속추출방법이 이용되고, 시료의 전처리를 위해 drying, sieving 및 균질화가 필요하며 AAS, ICP 외에 ICP/MS, CE를 ICP/MS와 연결한 방법 등이 이용되고 있다. 유기금속 화합물의 분석은 고전적인 방법 외에 ICP/MS, GC/MS, Pressurized

liquid extraction-LC/ICP/MS, HPLC/(APCI)-MS 등이 정량화와 화학종 규명(speciation)에 응용되고 있다.

토양 및 저질 시료 중의 유기화합물 분석기술로는 GC, AAS, GC/MS 등이 널리 사용되고 있으나, HPLC, IR, NMR, ELISA 및 LC/MS 등을 이용하여 유기화합물을 분석하기도 한다. 특히 환경 중에서 독성이 가장 큰 유기오염물질로 알려진 다이옥신류는 HRGC/HRMS를 이용하여 분석되고 있으며, 빠르게 모니터링하기 위해서 bench top MS를 사용하기도 한다. 최근에는 토양

Table 18. Measurement and analytical technique in waste and soil

		Measurement and analytical techniques	Comments
W a s t e . S o i l	I n o r g a n i c	Acid digestion, Microwave-Acid digestion	Pretreatment
		ICP/AES(Inductively Coupled Plasma -Atomic Emission Spectroscopy) ICP/MS(Mass Spectrometry) AAS-Direct, Graphite Furnace, Hydride IC(Ion chromatography) Colorimetric, Gravimetric Method DPP(Differential Pulse Polarography) XRF(X-Ray Fluorescence) Spectroscopy Absorptiometric Analysis	Metal, Inorganic
		Cold Vapor Atomic Fluorescence Spectrometry	Hg analysis
	O r g a n i c	Solvent, Soxhlet, Ultrasonic Extraction SFE(Supercritical Fluid Extraction) Purge & Trap, VOST(Volatile Organic Sampling Train) Headspace Immunoassy	Extraction pretreatment
		Alumina Column, Flofisol Column Silica Gel Gel-Permeation Acid-Base Partition Sulfur Sulfuric Acid/Permanganate	Clean-up method
		Absorptiometric Analysis GC(Gas Chromatography) GC/FID, ECD, PID, NPD, HECD GC/MS FTIR(Fourier transform infrared Spectroscopy) NAA(Neutron Activation Analysis)	Organic compounds : VOCs, Semi-VOCs, Pesticides, PAH, PCB etc.
		HPLC(High Performance Liquid Chromatography) HPLC/UV, PDA, Fluorescence Detector HPLC/MS HPLC/TSP/MS(HPLC/Thermospray/MS) HPLC/TSP/UV	Organic compounds : PAH, NVOCs
		HRGC/HRMS(High ResolutionGC/HR/MS)	PCDDs/PCDFs

중 PAH의 분석을 위해 PSF-HPLC (polarization synchronous fluorescence-HPLC)와 L-TOF/MS (laser photoionization-time-of-flight MS)와 luminescence spectroscopy 등을 이용한 분석법이 소개되고 있다.

또한, 토양과 저질층의 미량유기물질 분석에 On-line supercritical fluid chromatography cleanup cryotrap-GC/MS, nitro-와 oxy-PAHs에 대한 Ion-trap MS와 negative chemical ionization(NCI)방법을 응용하여 측정되고 있다. 극성이 작은 화합물은 역상(reversed-phase)/APCI-MS 방법에 의해 측정되고 보다 극성이 큰 화합물의 측정은 음이온화(negative ionization) 조건하에서 이온쌍(ion-pair) LC/ESI-MS 방법에 의해 분석된다. 또한, flow injection LC/APCI-MS로 극성화합물을 분석하기도 하고, sulfides이외의 악취물질인 질소화합물(nitro musk)을 GC/(ion trap)MS/MS를 이용하여 분석하고 있다.

특히, 환경오염물질 중 수은의 측정분석은 매우 지속적인 관심 분야이다. 고체시료의 직접측정방법으로 x선 흡착분광법(x-ray absorption spectroscopy, XAS)이 있으며, 화학종에 따른 자료는 스펙트럼과 XAS Spectra를 비교하여 얻는다. 유기수은의 측정에 수용성 증류법(aqueous distillation)과 헤드스페이스법이 이용되고 있으며, GC-원자형광분광기(atomic fluorescence spectroscopy, AFS)를 이용한 분석방법도 활용되고 있다. 또한, 고체시료 중의 금속 측정분석에 동위원소 희석법(isotopic dilution, ID), 전기열적 원자흡광분광법, 그리고 시료를 알칼리 용융 분해(fusion sample decomposition) 시켜 ICP/MS에 연결하여 분석하는 분석법이 가장 정밀한 것으로 알려졌다. 토양시료 중의 비소(As) 측정은 수소화물 생성장치를 가진 GC와 HPLC를 ICP/MS와 결합하여 사용하고, 간단한 방법으로는 초음파 분해 후 원자형광 검출(AFD)로 측정된다.

4. 환경측정분석 정도관리 현황^{3,4,191}

4.1. 우리나라 현황

환경 측정분석 결과에 대한 정확성 및 정밀도를 높이는 것은 환경오염물질 측정분석기술의 수준과 함께 정도관리의 정도에 의존할 것이다. 측정분석결과의 신뢰도를 높이고 측정분석기관의 능력을 향상시키기 위해 국가적으로 실시하고 있는 정도관리는 국립환경연구원에서 '83년 법정검사기관을 대상으로 수질분야 BOD,

COD에 대하여 실시하기 시작하여 2001년도에는 분야별 27개 항목을 실시하고 있다.

4.2. 외국의 정도관리체계 현황

선진국의 정도관리체도는 미국의 경우가 가장 구체적으로 운영되고 있으며, 보다 광범위한 프로그램을 구축하여 실시하고 있다. 유럽 및 일본은 미국에 비해 정도관리 시스템의 체계가 종합적이지 못하지만 국내의 정도관리에 비해 활발하게 추진되고 있다.

미국 EPA에서는 환경데이터의 수집 및 평가, 환경기술의 설계 및 구축, 운영 등의 EPA 환경 프로그램을 수행하는데 있어서 정도관리에 관한 최소한의 규제, 미규제 관련 요구사항들을 명시하고 있다. 미국에서 실시되고 있는 법적인 근거 또는 가이드라인으로 ANSI/ASQC E4-1994, 「Specifications and Guidelines for Quality Systems for Environmental Data Collection and Environmental Technology Programs」은 환경데이터의 수집 및 평가, 환경기술의 설계, 구성, 운영을 포함하는 환경프로그램의 정도관리에 적용하고 있다. ANSI/ASQC Q2-1991 「Quality Management and Quality System Elements for Lab.-Guidelines」은 연구전용 실험실을 제외한 모든 시험 및 분석 실험실내에서의 정도시스템 운영 지침 및 모델의 제공하고 있다.

EPA Order 5360.1, 「Policy and Program Requirements for the Mandatory Agency-wide Quality System」에서는 EPA 정도시스템의 정책 및 기본적인 요구사항들을 규정하고 있으며, EPA Manual, 「EPA Quality Manual for Environmental Program」에서는 EPA 정도시스템의 세부적인 수행 사항의 규정하고 있다. 또한 Code of Federal Regulation에서 EPA계약자들이 준수해야 할 정도관리 요구사항을 계약형태별로 제시하고 있으며, 우수실험실 인정기준(GLP; Good Laboratory Practices), 국가 환경실험실 인정 프로그램(NELAP; the National Environmental Laboratory Accreditation Program), 국가 환경실험실 인정 위원회(National Environmental Laboratory Accreditation Conference)에 의한 환경관련 실험실 인정제도, EPA 먹는 물 실험실 인증 프로그램(The Drinking Water Laboratory Certification Program), 국가 실험실 인정 프로그램(NVLAP ; National Voluntary Laboratory Accreditation Program), 국가표준기술기관(NIST ; National Institute of Standards and Technology)에 의한 시험 및 측정 실험실의 인정제도 등이 운영되고 있다.

유럽에서는 미국 EPA와 같은 포괄적이고 체계적인 정도시스템은 존재하지 않고, 각 오염물질 항목이나 사업별로 실험실내 측정분석에 관한 내부 및 외부 정도관리가 이루어지고 있으며, 유럽환경국(EEA; European Environment Agency), 유럽환경정보 및 관측 네트워크(EIONET; European Environment Information and Observation Network), 유럽센터(ETC; European Topic Centre) 등이 공동연구센터(the Joint Research Centre, JRC), 세계보건기구(WHO), 국제표준화기구(ISO) 등과 협력하면서 환경데이터의 측정분석 관련 정도관리를 수행하고 있다. 유럽위원회(EC)에서는 공동연구센터(JRC; the Joint Research Centre)를 통하여 측정방법(샘플링, 교정, 분석)의 검증, 실험실간 측정분석 방법의 비교, 일상적 측정업무에 관한 정도관리, 표준화 연구, 샘플점검 및 시료조제와 보급, QA/QC의 지침 개발 및 감독 등을 수행하고 있다. EIONET의 대기질 모니터링 정도관리에서는 QA/QC manual을 제공하고, 실험실 정도관리를 위한 표준화된 정도시스템 및 SOP의 수행, 실험실 조직 및 관리, 교육 및 훈련 등을 실시하고 있다.

일본 경우, 환경기본법에서는 규제기준농도 및 측정분석방법 등에 부분적으로 정도관리의 개념을 도입하고 있으며, 수질측정분석기관의 정도관리 및 방법을 명시한 상수시험법 등이 있다. 또한 다이옥신(PCDDs/PCDFs), 내분비교란화학물질(EDCs) 등의 환경오염물질의 고정도 측정분석수법 및 간이측정수법의 개발, 각종측정수법의 평가 및 개선, 환경오염물질 분석법의 정도관리와 표준화, 환경표준시료의 작성 및 평가에 관한 연구, 환경분석에 관한 정보의 수집 및 정리 등에 관한 사항을 국립환경연구소에서 조사연구하고 있으며, 환경성의 환경관리국에서는 외부정도관리를 통하여 측정분석 능력을 파악하고 관련 시험방법 등을 개선하고자 하고 있다. 일본에서 실시하고 있는 측정분석기관의 환경측정분석 통일정도관리 조사는 환경성 및 일본환경위생센터 등이 참여하여 전국을 대상으로 환경측정분석 참여기관에게 표준시료를 배포하고 측정분석 결과에 대한 다양한 자료를 취합하여 결과를 다양하게 활용하고 있다.

5. 국내 환경분석관련 교육 현황¹⁹²

국내에서 많은 대학 및 연구소에서 환경 측정·분석과 관련한 교육이 이루어지고 있다. 환경 측정분석과 관련된 실험실에 종사하는 분석담당자들의 전공분야는

환경, 화학, 화공, 생물, 보건, 농학, 식품, 해양 및 기타 학과로 매우 다양하게 분포되어 있으며, 각 전공학과의 교육과정에서 환경 측정·분석과 관련된 교육을 받게 된다. 그러나 아직 이들 분야의 전공자가 환경 매질에서의 실질적인 분석경험이 충분하지 못할 것으로 생각되며, 아울러 새롭게 발전하고 있는 환경분야의 측정·분석기술을 습득할 재교육 시스템이 충분하지 못한 실정이다.

이와 관련하여 국립환경연구원에서 실시하고 있는 환경분야교육프로그램을 요약하여 소개하고자 한다. 국가 기관으로서 국립환경연구원의 환경연수부에서는 지식 정보화 시대의 환경전문기술 및 능력을 배양하고, 새로운 환경행정 수요에 대비하여 환경세기에 대비한 전문인력을 양성하기 위해 환경분야 교육을 실시하고 있다. 또한, 환경분야의 다양한 교육프로그램개발과 수요자 중심의 교육고객 만족을 위한 쾌적한 교육환경을 조성하여 선진교육기관으로서의 위상 제고와, 교육훈련 내용의 과학적 분석과 현안문제를 중심으로 다양한 방법의 수요조사를 통하여 필요한 수요를 예측하고 반영하고 있다.

교육과정은 공무원교육훈련과정, 민간인 교육훈련과정 및 특별과정으로 구분되어 교육이 실시되고 있으며, 공무원교육훈련과정은 부처별, 직렬·직군별, 직급별 공통필수적인 지식·기술·정보를 습득하기 위한 공통전문교육과정, 특정업무 분야별 전문적인 지식·기술·정보의 습득 및 향상을 위한 선택전문교육과정으로 구분되어 있다. 또한, 민간교육훈련과정은 민간환경기술인력에 대하여 정부시책 및 환경 신기술 보급을 위해 환경관련 법령에서 규정하고 있는 민간환경산업체에 근무하는 기술인력을 대상으로 실시하고 있다. 또한 환경보전실천의식의 사회적 확산을 위하여 민간단체 지도자 등에 대한 지속적 환경교육 실시를 위한 특별과정 등이 있다. Table 19은 현재 국립환경연구원 환경연수부에서 실시되고 있는 교육현황을 나타내었다.

국립환경연구원에서 실시하고 있는 교육내용 중 정도관리 관련 내용이 포함되어 있는 과정은 Table 19와 같다. 교육대상은 중앙부처, 청, 지자체 및 시·도 보건환경연구원에 근무하는 공무원과 정부투자기관에 근무하는 직원, 측정대행업체나 환경관리공단의 기술직 직원이다. Table 20에서 보는바와 같이 교육내용의 대부분이 측정 및 분석 기법에 관한 것이고, 대기 및 수질 분야에 정도관리의 개념 및 지침 등이 소개되고 있다.

Table 19. The education of environmental analysis in Korea

Classification	Name of course	Name of class
Required training	Course for managerial officer	Environmental administration officer's class
	Course for senior official in charge	Environmental administration senior officer's class
	Course for junior official in charge	Environmental administration junior officer's class
Optional training	Environmental policy course	Environmental policy course
		Environmental economics class
		Global environment class
	Nature preservation course	Nature preservation class
		Wildlife preservation class
		Park management class
		EIA class
		Soil preservation class
	Water & sewerage management course	Water supply class
		Sewerage class
		Spring water management class
		Sewage/livestock waste water management class
	Waste management course	Waste management class
		Toxic substance management class
	Pollution control course	Pollution discharging facility management class
		Environmental administration class
		Environmental criminal investigation class
		Environmental dispute settlement class
	Environmental monitoring course	Air monitoring class
		Vehicle emission monitoring class
		Noise/vibration monitoring class
		Water monitoring class
		Waste monitoring class
		Drinking water monitoring class
		Specialized hazardous substance monitoring class
	Micro organic materials monitoring class	
	Optional training	Environmental modeling course
Water modeling class		
Computer course		Environmental tax revenue class
		Environmental information class
Language course		English class
Environmental teacher course	Environmental teacher class	

(Table 19 continued)

Classification	Name of course	Name of class
Statutory training	Advanced environmental technology course	Environmental seminar class
	Pollution prevention facility course	Class for air pollution prevention facility operator(1,2)
		Class for water pollution prevention facility operator(1,2)
		Class for noise and vibration pollution prevention facility operator
	EIA course	EIA class
Environmental self-measuring course	Air quality self-measuring course	
	Water quality self-measuring course	
Special training	Park management course	National park management class
	NGO leader course	NGO leader class
	Environment camp course	Environment inquiry class
Total	20 course	48 class

Table 20. Education contents related QA/QC(2001)

Classification	Name of Course	Content of QA/QC	Period (week)	No.
Environmental monitoring course	Air monitoring class	- Environmental standards methods - QA/QC of air measurement and analysis - SOP and QA/QC	1	1
	Vehicle emission monitoring class	- Emission gas measurement technique	1	2
	Noise/ vibration monitoring class	- Noise/ vibration measurement technique	1	2
	Water monitoring class	- Sampling and measurement technique for measuring water pollutants - Lab. QA/QC and general guideline	1	2
	Waste monitoring class	- Sampling and preparation of waste - Measurement methods	1	1
	Drinking water monitoring class	- Drinking water measuring theory and methods	1	1
	Specialized hazardous substance monitoring class	- Measurement of specialized hazardous substance - Principle and operation of GC, AA, and UV	3	2
	Micro organic materials monitoring class	- Measurement of micro organic materials - Analysis of PCBs, pesticides etc.	2	1
Environmental self-monitoring course	Air quality self-measuring course	- Structure and theory of analytical instrument - Measurement and analysis of air pollutant	5	3
	Water quality self-measuring course	- Structure and theory of analytical instrument - Measurement and analysis of water pollutant	5	2

6. 결 론

환경오염 문제의 해결을 위해서는 원인자의 반성과 함께 실질적인 해결책을 마련하기 위해 보다 정확한 오염상태의 파악이 이루어져야 한다. 측정분석기술은 이러한 근거를 마련하는 가장 근본적인 방법 중에 하나이다. 즉 오염물질의 변화를 파악하고, 관리·복원하는데는 측정분석에 의해 얻어진 구체적인 오염도의 자료가 필요하며, 또한 환경오염의 예측이나 환경오염에 의한 인체유해성을 파악하는 것도 오염에 대한 기초적인 측정분석자료 없이는 불가능하다. 환경분야의 측정분석에 대한 수요가 급격하게 증가하고 있으며, 이에 대처하기 위해 일반적인 시험방법의 개선과 첨단 분석기술의 개발이 동시에 고려되어야 한다. 이는 기초과학분야의 분석기술과 연계한 환경분석분야의 기술개발에 많은 투자가 있어야 함을 의미한다.

환경오염물질의 분석기술로서 가스 및 액체크로마토그래피법, 원자분광법, 질량분석법 등이 집중적으로 활용되고 있으나 앞으로 면역학적 방법 등의 활용이 기대되고 있으며, 국내의 경우 아직 다양하게 응용된 검출기의 활용이나 최신 모니터링용 장비에 대한 활용연구가 확대되어야 할 것으로 생각된다. 정성·정량분석을 하기 위한 전제 조건으로 환경매질의 특성에 따른 전처리방법의 개선은 분석자료의 신뢰도를 결정하는 중요한 요인으로 작용하기도 한다. 이러한 관점에서 고체상미세추출법, 마이크로파분해법, 초임계추출법 등이 다양하게 적용되고 있으며, 특히 정제를 위한 새로운 흡착제의 개발이 주목받고 있다할 것이다.

또한 국제적인 수준으로 환경측정분석의 기술을 발전시키기 위해서는 교육분야 및 정도관리의 시스템 개발에 많은 투자가 이루어져야 할 것이다. 결국 측정·분석기술의 발전은 자료의 신뢰도를 높이게 될 것이고, 환경오염의 방지를 위해 보다 정확하고 과학적인 근거를 제공하게 될 것이다.

참고 문헌

1. R. E. Clement, ; P. W. Yang, ; C. J. Koester, *Anal. Chem.* **73**, 2761-2790(2001).
2. R. E. Clement, ; P. W. Yang, ; C. J. Koester, *Anal. Chem.* **71**, 257-292 (1999).
3. "환경 측정분석기술 동향", 국립환경연구원, (2001).

4. "환경오염물질 측정분석 정도관리 종합지침", 국립환경연구원, (1997).
5. P. Aragon, ; J. Atienza, ; M. D. Climent, *Crit. Rev. Anal. Chem.*, **30** (23), 121-151(2000).
6. R. M. Harrison, *Air Pollut. Health*, 63-81(1999).
7. U. Platt, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **1** (24), 5409-5415. (1999).
8. J. G. Watson, ; J. C. Chow.; C. A. Frazier *Adv. Environ., Ind. Process Control Technol.* **1**, 67-96(1999).
9. K. A. BeruBe, ; T. P. Jones, ; B. J. Williamson, ; R. J. Richards, *Part. Matter* 39-62(1999).
10. S.Landsberger, *Adv. Environ., Ind. Process Control Technol.* **1**, 197-233(1999).
11. P. M. Grohse, *Adv. Environ., Ind. Process Control Technol.* **1**, 1-65(1999).
12. F. D. Pooley, ; M. Mille, *Air Pollut. Health*, 619-63 (1999).
13. M. V. Johnston, *J. Mass Spectrom*, **35** (5), 585-595(2000).
14. M. C. Jacobson, ; H.-C. Hansson, ; K. J. Noone, ; R. Charlson, *J. Rev. Geophys.* **38** (2), 267-294(2000).
15. D. D. Cohen, *Adv. Environ., Ind. Process Control Technol.* **1**, 139-196(1999).
16. R. M. Parr, ; B. Smodis, *Biol. Trace Elem. Res.* **71-72**, 169-179(1999).
17. D. T. Suess, ; K. A. Prather, *Chem. Rev.* **99** (10), 3007-3035(1999).
18. K. R. Spurny, *Anal. Chem. Aerosols*, 49-99(1999).
19. C. A. Noble, ; K. A. Prather, *Mass Spectrom. Rev.* **19** (4), 248-274(2000).
20. L. Wallace, *Aerosol Sci. Technol.* **32** (1), 15-25(2000).
21. C. A. Noble, ; K. A. Prather, *Anal. Chem. Aerosols*, 353-376(1999).
22. C. Pijolat, ; C. Pupier, ; M. Sauven, ; G.Tournier, ; R.Lalauze, *Sens. Actuators*, **B59** (2-3), 195-202(1999).
23. Y. S. Drugov, *Ind. Lab.*, **65** (7), 415-422(1999).
24. S. Landsberger, ; M. Kaminski, ; M. Basunia, ; F. Y. Iskander, *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **244** (1), 35-40 (2000).
25. S. D. Richardson, *Anal. Chem.* **71** (12), 181R-215R (1999).
26. N. P. Nikolaidis, ; L. A. Hellerich, *Prog. Water Resour.* **2**, 203-244(2000).

27. A. Lynggaard-Jensen, *Talanta* **50** (4), 707-716(1999).
28. A. Wiryawan, *Lab. Rob. Autom.* **12** (3), 142-148(2000).
29. A. Gianguzza, ; E. Pelizzetti, ; S. Sammartano, *Chem. Processes Mar. Environ.*, 2nd, 1-5(2000).
30. A. Kot, ; J. Namiesnik, *TrAC, Trends Anal. Chem.*, **19** (2,3), 69-79(2000).
31. J. Szpunar, ; R. Lobinski, *Fresenius' J. Anal. Chem.*, **363** (5,6), 550-557(1999).
32. J. M. Bayona, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (2,3), 107-112(2000).
33. C. Sarzanini, *J. Chromatogr., A*, **850**(1,2), 213-228 (1999).
34. E. P. Achterberg, ; C. Braungardt, *Anal. Chim. Acta.* **400** (1,3), 381-397(1999).
35. S. J. Hill, ; L. J. Pitts, ; A. S. Fisher, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (2,3), 120-126(2000).
36. M. De La Guardia, ; M. L. Cervera, ; A. Morales-Rubio., *Adv. At. Spectrosc.* **5**, 1-98(1999).
37. A. R. Timerbaev, *Talanta* **52** (4), 573-606(2000).
38. C. B'Hymer, ; J. A. Brisbin, ; K. L. Sutton, ; J. A. Caruso, *Am. Lab. (Shelton, Conn.)* **32** (3), 17-18, 20, 22, 24-28, 30-32, 34-36, 38-39(2000).
39. T. De Smaele, ; L. Moens, ; R. Dams, ; P. Sandra, In *Applications of Solid Phase Microextraction*; Pawliszyn, J., Ed.; Royal Society of Chemistry: London, ; pp 296-310(1999).
40. M. Kumaresan, ; P. Riyazuddin, *Res. J. Chem. Environ.* **3** (4), 59-79(1999).
41. B. Rosenkranz, ; J. Bettmer, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (2,3), 138-156(2000).
42. B. Y. Spivakov, ; T. A. Maryutina, ; H. Muntau, ; M. J.-F. Leroy, ; M. Atric, ; J. S. Edmonds, ; B. Griepink, ; S. Gucer, ; M. Morita, ; H. Muntau, ; Ph. Quevauviller, ; B. Y. Spivakov, ; D. E. Wells, ; L.-G. Danielsson, ; D. G. Westmoreland, ; Y. Ataman, ; Camara, C. *Pure Appl. Chem.* **71** (11), 2161-2176(1999).
43. F. Adams, ; S. Slaets, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (2,3), 80-85(2000).
44. J. M. Cano-Pavon, ; A. G. De Torres, ; F. Sanchez-Rojas, ; P. Canada-Rudner, *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **75** (1,2), 93-106(1999).
45. M. Morita, ; J. Yoshinaga, ; J. S. Edmonds, *Pure Appl. Chem.* **70** (8), 1585-1615(1998).
46. Harrington, C. F. *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (2,3), 167-179(2000)
47. Y. Cai, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (1), 62-66.(2000).
48. T. Guerin, ; A. Astruc, ; M. Astruc, *Talanta* **50** (1), 1-24 (1999).
49. M. J. F. Leroy, ; P. Quevauviller, ; O. F. X. Donard, ; M. Astruc, *Pure Appl. Chem.* **70** (10), 2051-2064(1998).
50. J. Kotas, ; Z. Stasicka, *Environ. Pollut.* **107** (3), 263-283 (2000).
51. K. C. Jones, ; P. De Voogt, *Environ. Pollut.* **100** (1-3), 209-221(1999).
52. Reference missing.
53. P. Roefler, ; S. Snyder, ; R. E. Zegers, ; D. J. Rexing, ; J. L. Fronk, *J.-Am. Water Works Assoc.* **92** (8), 52-58 (2000).
54. A. H. Grange, ; G. W. Sovocool, *ACS Symp. Ser. No.* 747, 133-145(2000).
55. J. P. Sumpter, ; P. Sohoru, *Brighton Crop Prot. Conf.-Pests Dis.* (Vol.1), 225-232(1998).
56. T. R. Croley, ; R. J. Hughes, ; B. G. Koenig, ; C. D. Metcalfe, ; R. E. March, *Rapid Commun. Mass Spectrom.* **14** (13), 1087-1093(2000).
57. W. Vetter, ; M. Oehme, *Handb. Environ. Chem.* **3** (Pt. K), 237-287(2000)
58. D. E. Wells, ; P. Hess, *Tech. Instrum. Anal. Chem.* **21**, 39-285(2000).
59. C. G. Daughton, ; T. A. Ternes, *Environ. Health Perspect. Suppl.* **107** (6), 907-938(1999).
60. R. J. Law, ; J. Klungsoyr, *Int. J. Environ. Pollut.* **13** (1,6), 262-283(2000).
61. C. McRae, ; C.-G. Sun, ; C. E. Snape, ; A. E. Fallick, *Am. Lab. (Shelton, Conn.)* **31** (17), 1-2, 4(1999).
62. K. Hayakawa, *Biomed. Chromatogr.* **14** (6), 397-405 (2000).
63. J. Dewulf, ; H. Van Langenhove, *J. Chromatogr.*, **843** (1,2), 163-177(A1999).
64. R. A. Baumann, ; P. Van Zoonen, *Handb. Environ. Chem.* **5** (Pt. C), 33-52(1998).
65. G. D'Ascenzo, ; R. Curini, ; A. Gentili, ; F. Bruno, ; S. Marchese, ; D. Perret, *Adv. Chromatogr. (N. Y.)* **40**, 567-598(2000).

66. G. A. Marko-Vara, *Tech. Instrum. Anal. Chem.* **21**, 379-412(2000).
67. J. W. Munch, ; D. J. Munch, ; S. D. Winslow, *Proc.-Water Qual. Technol. Conf.* 898-913(1998).
68. E. B. Guglya, *J. Anal. Chem.* **55** (6), 508-529(2000).
69. S. I. Petrov, ; T. N. Tyulyagina, ; P. A. Vasilenko, *Ind. Lab.* **65** (9), 555-569(2000).
70. R. Belcheva, *Food Sci. Technol. (N. Y.)* **102**, 753-764 (2000).
71. G. Shaw, ; M. Smith, *Food Sci. Technol. (N. Y.)* **102**, 143-167(2000).
72. C. W. Michiels, ; E. L. D. Moyson, *Food Sci. Technol. (N. Y.)* **102**, 115-141(2000).
73. R. E. Williams, ; H. Peter-John, ; C. Neil, ; C. R. Lowe, In *Biosensors and Environmental Monitoring*; Bilitewski, U., Turner, A. P. F., Eds., Harwood: Amsterdam, ; pp 213-225(2000).
74. A. J. Ghio, ; J. M. Samet, *Air Pollut. Health* 635-651. (1999).
75. C. Pin, ; B. Le Fevre, ; S. Joannon, *Can. J. Anal. Sci. Spectrosc.* **45** (1), 13-27(2000).
76. J. Y. Lu, ; W. H. Schroeder, *Water, Air, Soil Pollut.* **112** (3,4), 279-295(1999).
77. E. Wieteska, ; A. Ziolk, *Chem. Anal. (Warsaw)* **45** (3), 325-339(2000).
78. M. J. Nash, ; J. E. Maskell, ; S. J. Hill, *J. Environ. Monit.* **2** (2), 97-109(2000).
79. P. Quevauviller, ; M. Astruc, ; R. Morabito, ; F. Ariese, ; L. Ebdon, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (2,3), 180-188 (2000).
80. C. M. Wai, ; S. J. Wang, *Biochem. Biophys. Methods* **43** (1-3), 273-293(2000).
81. A. Warsinke, In *Biosensors and Environmental Monitoring* ; U. Bilitewski, A. P. F. Turner, Eds., Harwood : Amsterdam, ; pp 226-235(2000).
82. T. P. Rao, ; V. M. Biju, *Crit. Rev. Anal. Chem.* **30** (23), 179-220(2000).
83. N. S. Lawrence, ; J. Davis, ; R. G. Compton, *Talanta* **52** (5), 771-784(2000).
84. K. J. Irgolic, ; W. Goessler, ; D. Kuehnelt, *Arsenic Exposure Health Eff., Proc. Int. Conf., 3rd.* 61-68(1999).
85. E. P. Achterberg, *Int. J. Environ. Pollut.* **13** (1-6), 249-261(2000).
86. A. K. Das, *Int. J. Environ. Pollut.* **13** (1-6), 208-225 (2000).
87. P. J. Worsfold, ; E. P. Achterberg, ; A. R. Bowie, ; R. C. Sandford, ; R. F. C. Mantoura, *Ocean Sci. Technol.* **1**, 71-94(2000).
88. E. P. Achterberg, ; C. Braungardt, ; D. J. Whitworth, *Ocean Sci. Technol.* **1**, 227-247(2000).
89. E. J. Bujdoso, *Radioanal. Nucl. Chem.* **241** (1), 245-255 (1999).
90. E. J. Bujdoso, *Radioanal. Nucl. Chem.* **240** (1), 397-408 (1999).
91. E. J. Bujdoso, *Radioanal. Nucl. Chem.* **240** (2), 693-704 (1999).
92. V. Valkovic, *Tech. Instrum. Anal. Chem.* **21**, 457-535 (2000).
93. K. Wendt, *AIP Conf. Proc.* **454**, 39-46(1998).
94. M. Bickel, ; L. Holmes, ; C. Janzon, ; G. Koulouris, ; R. Pilvio, ; B. Slowikowski, ; C. Hill, *Appl. Radiat. Isot.* **53** (1,2), 5-11(2000).
95. S. M. Jerome, *Spec. Publ.-R. Soc. Chem.* **234**, 272-282 (1999).
96. J. Bohm, ; W. G. Alberts, ; K. L. Swinth, ; C. G. Soares, ; J. C. McDonald, ; I. M. G. Thompson, ; H.-M. Kramer, *Radiat. Prot. Dosim.* **86** (2), 87-105(1999).
97. M. Hotchkis, ; D. Fink, ; C. Tuniz, ; S. Vogt, *Appl. Radiat. Isot.* **53** (1,2), 31-37(2000).
98. E. J. Bujdoso, *Radioanal. Nucl. Chem.* **243** (1), 273-281 (2000).
99. S. F. Wolf, *Rev. Mineral.* **38**, 623-651 (Uranium) (1999).
100. F. outelard, ; D. almet, ; S. Thomas, *Spec. Publ.-R. Soc. Chem.* **234**, 97-110(1999).
101. S. Rollin, ; U.-B. Eklund, *Spec. Publ.-R. Soc. Chem.* **241**, 150-163(1999).
102. A. Sanz-Medel, *Analyst (Cambridge, U.K.)* **125** (1), 35-43(2000).
103. M. R. Cave, ; O. Butler, ; J. M. Cook, ; M. S. Cresser, ; L. M. Garden, ; D. L. Miles, *J. Anal. At. Spectrom.*, **15** (2), 181-235(2000).
104. J. R. Bacon, ; J. S. Crain, ; L. Van Vaeck, ; J. G. Williams, *J. Anal. At. Spectrom.*, **15**(8), 1025-1053 (2000).

105. J. M. Mermet, *Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng.*, **3853**, 15-25(1999).
106. K. L. Sutton, ; J. A. Caruso, *Inductively Coupled Plasma Spectrom. Its Appl.*, 245-272(1999).
107. A. Morales-Rubio, ; M. De la Guardia, *Anal. Spectrosc. Libr.*, **9**, 309-341(1999).
108. S. J. Hill, ; S. Chenery, ; J. B. Dawson, ; E. H. Evans, ; A. Fisher, ; W. J. Price.; C. M. M. Smith, ; K. L. Sutton, ; J. F. Tyson, *J. Anal. At. Spectrom.*, **15**(6), 763-805 (2000).
109. P. J. Potts, ; A. T. Ellis, ; M. Holmes, ; P. Kregsamer, ; C. Strel, ; M. West, ; P. Wobrauschek, *J. Anal. At. Spectrom.*, **15** (10), 1417-1442(2000).
110. J. I. Steinfeld, ; R. W. Field, ; M. Gardner, ; M. Canagaratna, ; S. Yang, ; A. Gonzalez-Casielles, ; S. Witonsky, ; P. Batia, ; B. Gibbs, ; B. Wilkie, ; S. L. Coy, ; A. Kachnov, *Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng.*, **3853**, 28-33(1999).
111. J.-L. Todoli, ; J.-M. Mermet, *Spectrochim. Acta, Part B*, **54B** (6), 895-929(1999).
112. H. L. C. Meuzelaar, ; J. P. Dworanski, ; N. S. Arnold, ; W. H. McClennen, ; D. Wager, *J. Field Anal. Chem. Technol.*, **41** (1), 3-13(2000).
113. R. C. Johnson, ; R. G. Cooks, ; T. M. Allen, ; M. E. Cisper, ; P. H. Hemberger, *Mass Spectrom. Rev.*, **19** (1), 1-37(2000).
114. S. D. Richardson, *Anal. Chem.*, **72** (18), 4477-4496 (2000).
115. J. Slobodnik, ; U. A. Brinkman, *Tech. Instrum. Anal. Chem.*, **21**, 935-1001(2000).
116. H. F. Schroder, ; F. Ventura, *Tech. Instrum. Anal. Chem.*, **21**, 827-933(2000).
117. M. P. Dziewatkoski, *ACS Symp. Ser., No. 740*, 276-289 (2000).
118. G. Reverl, ; S. J. Ayrault, *Radioanal. Nucl. Chem.*, **244** (1), 73-80(2000).
119. H. Bagheri, ; M. Saraji, ; U. A. Brinkman, *Tech. Instrum. Anal. Chem.*, **21**, 211-238(2000).
120. B. Lopez-Ruiz, *J. Chromatogr.*, **881** (1,2), 607-627 (A2000).
121. J. C. Chow, ; J. G. Watson, *Adv. Environ., Ind. Process Control Technol.*, **1**, 97-137(1999).
122. P. R Haddad,.; P. Doble, ; M. Macka, *J. Chromatogr.*, **856** (1,2), 145-177(A1999).
123. J. S. Fritz, *J. Chromatogr.*, **884** (1,2), 261-275. (A2000).
124. U. Bilitewski, A. P. F. Turner, Eds. *Biosensors for Environmental Monitoring*; Horwood: Amsterdam, (2000).
125. Z.-G. Zhou, Ed. *Proceedings of the Seventh International Meeting of Chemical Sensors, Part I*; Beijing, China, July 27-30, 1998, Elsevier: Lausanne, In *Sens. Actuators B2000*, **65**, (1-3)(2000).
126. O. A. Sadik, ; A. Mulchandani, *ACS Symp. Ser. No. 762*, 1-6(2000).
127. I. Katakis, ; M. Campas, ; E. Dominguez, In *Biosensors and Environmental Monitoring*; U. Bilitewski, A. P. F. Turner, Eds., Harwood: Amsterdam, ; pp 203-211 (2000).
128. K. R. Rogers, ; C. L. Gerlach, *Environ. Sci. Technol.*, **33** (23), 500A-506A(1999).
129. I. Katakis, ; M. Campas, ; E. Dominguez, In *Biosensors and Environmental Monitoring*; U. Bilitewski, A. P. F. Turner, Eds., Harwood: Amsterdam, ; pp 182-191 (2000).
130. I. Karube, ; Y. J. Nomura, *Mol. Catal. B: Enzymol.*, **10** (1-3), 177-181(2000).
131. G. Stewart, *Opt. Fiber Sens. Technol.*, **4**, 87-112(1999).
132. F. Lisdat, ; F. W. Scheller, In *Biosensors and Environmental Monitoring*; U. Bilitewski, A. P. F. Turner, Eds., Harwood: Amsterdam, ; pp 5-28(2000).
133. M. J. Dennison, ; A. P. F. Turner, In *Biosensors and Environmental Monitoring*; U. Bilitewski, A. P. F. Turner, Eds., Harwood: Amsterdam, ; pp 285-308 (2000).
134. J. Wang, *Lab. Rob. Autom.* **12** (4), 178-182(2000).
135. G. Gauglitz, ; J. Pichler, ; U. Bilitewski, In *Biosensors and Environmental Monitoring*; U. Bilitewski, A. P. F. Turner, Eds., Harwood: Amsterdam, ; pp 150-165 (2000).
136. M. Koudelka-Hep, ; P. D. Van der Wal, *Electrochim. Acta* **45** (15-16), 2437-2441(2000).
137. R. Feeney, ; S. P. Kounaves, *Electroanalysis* **12** (9), 677-684(2000).
138. H. Suzuki, *Electroanalysis* **12** (9), 703-715(2000).

139. G. S. Sayler, ; U. Matrubutham, ; F.-M. Menn,; W. H. Johnston, ; R. D. Stapleton, Jr. *Bioremediation*, **1**, 385-434(1998).
140. R. D. May, *Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng.* **3858**, 110-118(1999).
141. K. Riedel, ; M. Lehmann, ; G. Kunze, In *Biosensors and Environmental Monitoring*; U. Bilitewski, A. P. F. Turner, Eds., Harwood: Amsterdam, ; pp 165-181 (2000).
142. C. Krantz-Rulcker, ; M. Stenberg, ; F. Winqvist, ; I. Lundstrom, *Anal. Chim. Acta*, **426** (2), 217-226(2000).
143. Kh. Z. Brainina, ; N. A. Malakhova, ; N. Y. Stojko, *Fresenius' J. Anal. Chem.* **368** (4), 307-325(2000).
144. F. Bedioui, ; S. G. Granados, ; C. Bied-Charreton, *Recent Res. Dev. Electrochem.* **2** (Pt. 1), 91-108(1999).
145. R. Eisert, ; J. Pawliszyn, In *SolidPhase Microextraction: A Practical Guide*; Scheppers Wercinski, S. A., Ed.; Dekker: New York, ; pp 217-242(1999).
146. E. Benfenati, ; L. Muller, ; L. Perani, ; P. Pierucci, In *Applications of Solid Phase Microextraction*; J. Pawliszyn, Ed.; Royal Society of Chemistry: London, ; pp 333-345(1999).
147. M. de Fatima Alpendurada, *J. Chromatogr.*, **889** (1-2), 3-14(A2000).
148. T. De Smaele, ; L. Moens, ; R. Dams, ; P. Sandra, In *Applications of Solid Phase Microextraction*; J. Pawliszyn, Ed.; Royal Society of Chemistry : London, ; pp 296-310(1999).
149. J. M. Bayona, In *Applications of Solid Phase Microextraction*; J. Pawliszyn, Ed.; Royal Society of Chemistry: London, pp 284-295(1999).
150. M. Moder, ; P. Popp, In *Applications of Solid Phase Microextraction*; Pawliszyn, J., Ed.; Royal Society of Chemistry: London, pp 311-326(1999).
151. E. M. Thurman, ; K. Snavely, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (1), 18-26(2000).
152. J. Amador-Hernandez, ; M. D. Luque De Castro, *J. Biochem. Biophys. Methods*, **43** (1-3), 329-343(2000).
153. V. Lopez-Avila, *Crit. Rev. Anal. Chem.* **29** (2), 195-230 (1999).
154. M. Letellier, ; H. Budzinski, *Analisis*, **27** (3), 259-271 (1999).
155. Q. Jin, ; F. Liang, ; H. Zhang, ; L. Zhao, ; Y. Huan, ; D. Song, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **18** (7), 479-484 (1999).
156. V. Camel, *TrAC, Trends Anal. Chem.*, **19** (4), 229-248 (2000).
157. E. Bjorklund, ; T. Nilsson, ; S. Bowadt, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (7), 434-445(2000).
158. J. A. Jonsson, ; L. Mathiasson, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **18** (5), 318-325(1999).
159. R. M. Izatt, ; J. S. Bradshaw, ; R. L. Bruening, *Perspect. Supramol. Chem.* **4**, 225-243(1999).
160. K. Pyrzynska, ; M. Trojanowicz, *Crit. Rev. Anal. Chem.*, **29** (4), 313-321(1999).
161. S. Lacorte, ; D. Puig, ; D. Barcelo, In *Biosensors and Environmental Monitoring*; U. Bilitewski, A. P. F. Turner, Eds., Harwood: Amsterdam, ; pp 309-367 (2000).
162. J. Namiesnik ; W. Wardencki, *Int. J. Environ. Anal. Chem.* **73** (4), 269-280(1999).
163. A. A. Clifford, *Chromatogr.: Princ. Pract.* **2**, 1-14 (1999).
164. D. E. Wells, ; P. Hess, *Tech. Instrum. Anal. Chem.* **21**, 73-113(2000).
165. D. Barcelo, Ed. *Sample Handling and Trace Analysis of Pollutants*; Elsevier: Amsterdam, In *Tech. Instrum. Anal. Chem.* **21**. (2000).
166. M. Liess, ; R. Schulz, *Food Sci. Technol. (N. Y.)*, **102**, 1-20(2000).
167. W. D. Gardner, *Int. Geosphere-Biosphere Programme Book Ser.* **5**, 240-281(2000).
168. K. Lajtha, ; W. M. Jarrell, ; D. W. Johnson, ; P. Sollins, *Long-Term Ecol. Res. Network Ser.* **2**, (1999).
169. M. Harper, *J. Chromatogr.*, 885 (1+2), 129-151. (A2000).
170. A. Kot, ; B. Zabiegala, ; J. Namiesnik, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (7), 446-459(2000).
171. T. H. Wiedemeier, ; P. E. Haas, *Risk, Regul., Monit. Consid.: Rem. Chlorinated Recalcitrant Compd., Int. Conf., 2nd*, 357-367(2000).
172. R. H. Brown, *J. Environ. Monit.* **2** (1), 1-9(2000).
173. G. E. Batley, *Mar. Pollut. Bull.* **39** (1-12), 23-31(1999).
174. Ph. Quevauviller, ; O. F. X. Donard, *J. Environ. Monit.* **1** (5), 503-513(1999).

175. P. K. Hopke, *Adv. Environ., Ind. Process Control Technol.* **1**, 235-254(1999).
176. S. R. Biegalski, *Adv. Environ., Ind. Process Control Technol.* **1**, 255-271(1999).
177. A. Ambrus, *Spec. Publ.-R. Soc. Chem.* **233**, 339-350 (1999).
178. E. A. Maier, *Tech. Instrum. Anal. Chem.* **21**, 625-647 (2000).
179. S. A. Wise, ; M. M. Schantz, ; D. L. Poster, ; M. J. L. De Alda, ; L. C. Sander, *Tech. Instrum. Anal. Chem.* **21**, 649-687(2000).
180. K. Okamoto, ; J. Yoshinaga, *Spec. Publ.-R. Soc. Chem.* **238**, 46-56(1999).
181. V. J. Barwick, *J. Chromatogr.*, **849** (1), 13-33(A1999).
182. A. Maroto, ; R. Boque, ; J. Riu, ; F. X. Rius, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **18** (9+10), 577-584(1999).
183. H. Nascu, ; L. Jantschi, ; T. Hodisan, ; C. Cimpoi, ; G. Cimpan, *Rev. Anal. Chem.* **18** (6), 409-456(1999).
184. K. J. Siddiqui, ; D. Eastwood, Eds. *Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng.* **3854**, (1999).
185. K. J. Siddiqui, ; D. Eastwood, ; Y.-H. Liu, *Proc. SPIE-Int. Soc. Opt. Eng.* **3854**, 84-97(1999).
186. J. L. Little, *J. Chromatogr.*, **844** (1+2), 1-22(1999).
187. D. Darbouret, ; I. Kano, *Ultrapure Water* **16** (7), 53-58 (1999).
188. J. L. G. riza, ; E. Morales, ; D. Sanchez-Rodas, ; I. Giraldez, *TrAC, Trends Anal. Chem.* **19** (2+3), 200-209 (2000).
189. R. E. Clement, ; P. W. Yang, ; C. J. Koester, *Anal. Chem.* **69**, 251-287(1997).
190. R. E. Clement, ; C. J. Koester, *Anal. Chem.* **71**, (1999).
191. 환경오염데이터 정도관리계획 수립 및 정보화 전략개발에 관한 연구, 국립환경연구원. (2001).
192. <http://www.nier.go.kr/edu/>