

환경대기 중 비소 화합물 -

2016

수소화물발생 원자흡수분광법

(Determination of Arsenic Compounds in Ambient Air -
Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry)

1.0 개요

1.1 목적

1.1.1 주요 독성 오염물질로 분류되고 있는 비소 화합물은 저 끓는 점 화합물로서 대기중에서 입자상뿐만 아니라 기체상 비소 화합물로서 존재한다. 이 시험 방법은 환경 대기 중의 입자상 및 기체상 비소 화합물의 농도 측정을 위한 기준 방법에 대해 규정하고 대기 환경오염물질을 감시하고자 하는데 그 목적이 있다.

1.1.2 비소를 수소화물 원자흡수분광법으로 정량하는 방법으로, 수소화 비소발생장치를 부착하고 비소 속빈음극램프를 점등하여 안정화시킨 후, 193.7 nm의 파장에서 원자흡수분광법 통칙에 따라 조작하여 시료용액의 흡수도 또는 흡수 백분율을 측정하는 방법이다.

1.2 적용범위

1.2.1 이 시험방법은 환경대기 중의 입자상 및 기체상 비소 화합물을 분석하는 방법에 대하여 규정한다. 입자상 비소 화합물은 고용량 공기시료채취기(high volume air sampler)법 및 저용량 공기시료채취기(low volume air sampler)법을 이용해 여과지에 채취한다. 기체상 비소 화합물은 용매채취법을 이용하여 흡수 채취한다.

1.2.2 정량범위는 As 5 ~ 50 µg/L이며, 반복표준편차는 3 ~ 10 % 이다(장치, 측정 조건에 따라 다름).

1.3 간섭물질

1.3.1 비소 및 비소 화합물 중 일부 화합물은 휘발성이 있다. 따라서 채취 시료를 전처리 하는 동안 비소의 손실 가능성이 있다. 전처리 방법으로서 고압 산분해법을 이용할 것을 권장한다.

1.3.2 시료 용액 중의 산 매질 농도에 따라 감응도에 약간의 차이가 날 수 있다. 시료와 표준용액을 동일한 방법으로 처리하여 이러한 차이를 줄여야 한다.

1.3.3 시료 용액 중에 귀금속(은, 금, 백금, 팔라듐 등)의 농도가 100 µg/L 이상, 구리, 납 등의 농도가 1 mg/L 이상, 수소화물 생성원소(비스무트, 안티모니, 주석, 셀레늄, 텔루륨 등)의 농도가 각각 0.1 ~ 1 mg/L 이상, 철, 니켈, 코발트의 함량이 각각 비소 함량의 5, 10, 80 배 정도를 초과하는 경우에는 수소화 비소의 발생에 간섭을 준다.

1.3.4 전이금속에 의한 간섭은 염산 농도에 따라 달라지며 저농도에서 보다 4 ~ 6 N 염산의 사용을 권장한다.

1.3.5 질산 분해에 의해 생기는 환원된 산화질소와 아질산염은 감도를 저하시킬 수 있다.

2.0 용어정의

2.1 교정

표준용액의 흡수도, 발광세기 또는 다른 측정된 특성에 바탕을 두고 작성된 분석적 곡선을 수립하는 작업이다.

2.2 분석 조작 절차

시료 매질로부터 측정원소를 용해하거나 분리하여 기기적 또는 다른 분석 방법에 적당하도록 측정원소가 함유된 최종 용액을 제공하는데 사용되는 절차이다. (분해, 희석, 추출, 용융 등)

2.3 시료 용액

분석 조작 절차를 통해 얻어진 분석 시료이다.

2.4 바탕시험액

시료를 제외하고 바탕시험용 여과지를 포함하여 시료에 사용된 동일한 시약과 분석 조작 절차를 통해 얻어진 용액. 시료 용액의 결과 보정에 사용된다.

2.5 검출한계(detection limit)

바탕신호(blank signal) 표준편차의 3배에 해당하는 신호 세기를 갖는 분석 성분의 농도이다.

2.6 원자흡수(atomic absorption)

원자가 바닥상태에서 들뜬상태로 되면서 전자의 에너지 준위가 높아질 때 일어나는 전자기복사선의 흡수이다.

2.7 바탕시험값 보정(background correction)

바탕선 보정이라고도 한다. 시료매질 중의 측정 성분 이외의 분자형태의 화학종이 광원에서 방출되는 빛을 산란 또는 흡수함으로써 일어나는 바탕시험값을 보정하는 방법으로 바탕시험값을 보정하지 않으면 분석결과에 큰 오차요인이 될 수 있다. 표준용액과 바탕용액의 매질을 시료조성과 일치시켜 주는 방법을 이용하거나 적절한 방법을 이용하여 보정해 주어야 한다.

3.0 분석기기 및 기구

3.1 시료 전처리를 위한 장치 및 기구

3.1.1 부피 플라스크 : 250 mL 부피 크기

3.1.2 깔때기 : 경사 각도 60°로서 거름종이 5종 A 및 5종 B를 사용하기에 적당한 것

3.1.3 원뿔형비커 : 250 mL 부피 크기

3.1.4 피펫 : 부피 5 mL, 10 mL, 20 mL, 30 mL, 50 mL 채취용

3.1.5 가열판 : 80 °C에서 300 °C까지 가열 가능한 것

3.1.6 거름종이 : 5종 A 및 5종 B

3.2 시료분석을 위한 장치 및 기구

3.2.1 수소화 비소발생장치

그림 1의 보기에 따른다.

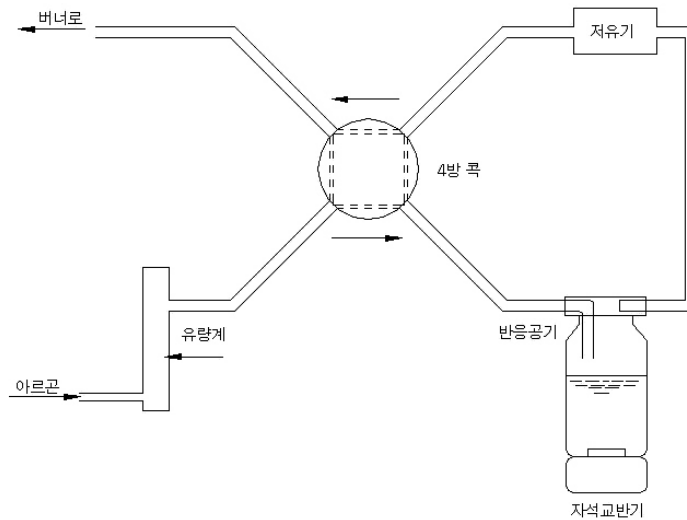


그림 1. 수소화 비소 발생장치

3.2.2 원자흡수분광계

3.2.3 비소 속빈음극램프 또는 비소 무전극방전램프

4.0 시약 및 표준용액

4.1 시약

별도의 언급이 없으면 시약은 유해금속 측정용 및 분석용을 사용한다.

4.1.1 질산 (HNO_3 , 비중 20 °C에서 약 1.41)

4.1.2 황산 (H_2SO_4 , 비중 20 °C에서 약 1.84)

4.1.3 황산 (1+1)

물 50 mL를 저어주면서 황산(4.1.2) 50 mL를 서서히 첨가한 다음 혼합하여 제조한다.

4.1.4 과염소산 (HClO_4 , 비중 20 °C에서 약 1.67)

4.1.5 염산 (HCl , 비중 20 °C에서 약 1.18)

4.1.6 염산(1+1)

물 50 mL를 저어주면서 염산(4.1.5) 50 mL를 첨가한 다음 혼합하여 제조한다.

4.1.7 아연(Zn , 원자량 65.39, 99.99+ %)

비소 분석용으로서 시험용 체로 체거름하여 눈금크기 1400 μm 체를 통과하고 1000 μ

m체에 남아있는 것.

4.1.8 요오드화 칼륨 용액(200 g/L)

요오드화 칼륨(KI, 분자량 166.00, 99.99+ %) 20 g을 물에 녹여 100 mL로 한다.

4.1.9 철(III) 용액

염화철(III)($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 분자량 270.30, 98+ %) 5 g 또는 황산철(III)암모늄[철명반, $\text{FeNH}_4(\text{SO}_4) \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 분자량 482.18, 99+ %] 9 g을 염산 5 mL와 물에 녹여 100 mL로 한다.

4.1.10 염화주석(II) 용액

염화주석(II)($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 분자량 225.65, 99.99+ %) 40 g을 염산에 녹여 100 mL로 한다. 여기에 주석입자 2 ~ 3개를 넣은 다음 색깔 있는 유리병에 보관한다. 사용할 때 적당량을 취하여 물로 10배 묽힌다.

4.2 표준용액

4.2.1 비소표준원액(0.1 mg/mL)

삼산화비소(As_2O_3 , 분자량 197.84, 99.99+ %) 0.133 g을 수산화나트륨용액 (4 W/V %) 2 mL에 녹인 후 물을 가하여 500 mL로 하고 황산(1+10)을 가하여 약산성으로 한다. 이것을 1,000 mL 부피플라스크에 옮겨 넣고 물로 눈금까지 채운다.

4.2.2 비소표준용액(1 µg/mL)

비소표준원액(0.1 mg/L) 10 mL를 1,000 mL 부피 플라스크에 취하고 물로 눈금까지 채운다.

4.2.3 비소표준용액(0.1 µg As/mL)

비소표준용액(1 µg/mL) 10 mL를 100 mL 부피 플라스크에 분취하고 염산(1+1) 2 mL를 가한 후 물로 눈금까지 채운다.

5.0 시료채취 및 관리

5.1 채취위치 및 채취점의 선정

5.1.1 채취위치의 선정

ES 01115 3.0 규정에 따른다.

5.1.2 채취점의 선정

ES 01115 2.0 규정에 따른다

5.2 시료채취장치

5.2.1 입자상 비소 화합물

5.2.1.1 고용량 공기시료채취기 또는 저용량 공기시료채취기를 사용하여, 유리섬유, 석영섬유, 나이트로셀룰로스, 테플론, 폴리스틸렌, 멤브레인 재질의 여과지로 채취한다.

5.2.1.2 고용량 공기시료채취기는 ES 01115 5.1에 규정한 것을 사용한다.

5.2.1.3 저용량 공기시료채취기는 ES 01115 5.2에 규정한 것을 사용한다.

5.2.2 기체상 비소 화합물

기체상 비소 화합물 측정을 위한 시료채취 장치는 ES 01115 4.0에 규정된 장치를 사용한다.

5.3 시료채취

5.3.1 입자상 비소 화합물의 시료 채취방법

5.3.1.1 ES 01115 5.0을 이용한다.

5.3.1.2 고용량 공기시료채취기 또는 저용량 공기시료채취기를 사용하며, 고용량 공기시료채취기를 사용할 경우의 시료채취 시간은 24 시간을 원칙으로 하고, 저용량 공기시료채취기를 사용할 경우에는 3일 ~ 7일간 연속 채취하는 것을 원칙으로 한다.

5.3.1.3 단, 대기 중의 비소 농도와 측정당시의 기상조건을 고려하여 채취기간을 결정할 수도 있다.

5.3.2 기체상 비소 화합물의 시료 채취방법

5.3.2.1 ES 01115 4.0의 용매채취법을 이용한다.

5.3.2.2 단 흡수용매(액)으로 수산화 나트륨 용액(4 W/V %)를 이용한다.

5.3.2.3 채취기간은 대기 중의 비소 농도와 측정당시의 기상조건을 고려하여 적절히 선정한다.

6.0 정도보증/정도관리(QA/QC)

6.1 내부정도관리

6.1.1 방법검출한계 및 정량한계

제시된 정량한계와 비슷한 농도의 표준기체 또는 분석물질을 첨가한 시료를 7개 준비한

다. 각 시료를 7.0 항의 절차와 동일하게 측정하여, 측정값의 표준편차에 3 및 10을 곱한 값이 방법검출한계(method detection limit) 및 정량한계(limit of quantitation)가 된다.

6.1.2 실험실의 정밀도 및 정확도

실험실의 정확도(accuracy) 및 정밀도(precision) 시험은 해당실험실이 본 시험방법을 수행할 능력이 있는지를 검증하기 위해 실시한다. 분석물질을 포함하고 있지 않은 유사한 매질에 일정량의 표준물질을 첨가(정량한계의 1 ~ 5배 농도)한 시료, 또는 유사한 매질의 인증표준물질(certified reference material: CRM) 시료를 4개 이상 준비한다. 7.0 항과 동일한 절차로 측정하여 평균값과 표준편차를 구한다. 정확도는 첨가한 표준물질의 농도에 대한 측정 평균값의 상대 백분율(recovery)로서 나타내며, 정밀도는 측정값의 상대표준편차(%RSD)로 산출한다.

$$\text{정확도} = \frac{X_m}{X_i} \times 100 \quad (\text{식 1})$$

$$\text{정밀도(상대표준편차, \%RSD)} = \frac{s}{X_m} \times 100 \quad (\text{식 2})$$

여기서, s = 표준편차

X_i = 알고 있는 농도

X_m = 평균 측정값

이와 같이 측정했을 때 상대표준편차는 10 % 이내, 정확도는 75 ~ 125 % 이내이어야 한다. 또한 전처리를 제외한 분석과정에서의 정확도는 정확한 농도를 알고 있는 표준용액을 4회 이상 분석하여, 동일한 방법으로 산출할 수 있다.

6.1.3 검정곡선의 작성 및 검증

정량범위 내 농도의 3 ~ 5 개 표준용액을 이용하여 검정곡선을 작성하고, 얻어진 검정곡선의 결정계수(R^2)가 0.99 이상, 또는 감응계수의 상대표준편차가 10 % 이내 이어야 하며, 결정계수나 상대표준편차가 허용범위를 벗어나면 재작성하도록 한다.

검정곡선의 직선성을 검증하기 위하여 각 시료군마다 1회의 검정곡선 검증을 실시하는 것이 바람직하다. 검증은 방법검출한계의 5 ~ 50 배 또는 검정곡선의 중간 농도에 해당하는 표준용액에 대한 측정값이 검정곡선 작성 시의 값과 10 % 이내에서 일치하

여야 한다. 만약 이 범위를 넘는 경우, 검정곡선을 재작성하여야 한다. 이 때 교정용 표준용액은 다른 회사의 표준물질을 사용하여 조제하는 것이 바람직하다.

6.1.4 방법바탕시료의 측정

방법바탕시료(method blank)는 실제시료와 동일한 방법으로 전처리·분석되어야 하며 측정값은 검출한계 이하이어야 한다. 시료군마다 1 개의 방법바탕시료를 측정한다.

6.1.5 현장 이중시료의 측정

현장 이중시료(field duplicate)는 동일한 시료채취 장소에서 동일한 조건으로 중복 채취한 시료로서 시료군마다 1 개의 시료를 추가 채취하여 분석하는 것이 바람직하다. 동일한 조건의 두 시료간의 측정값의 편차는 15 % 이하이어야 한다.

$$\% B = \frac{X_1 - X_2}{X_m} \times 100 \quad (\text{식 3})$$

여기서, X_1, X_2 = 이중시료의 측정값

X_m = 이중시료간의 평균값

6.1.6 내부정도관리 주기

내부정도관리 주기는 방법검출한계, 정밀도와 정확도의 측정은 연 1회 이상 측정하는 것을 원칙으로 하며, 분석자의 변경, 분석 장비의 수리나 이동 등 주요 변동사항이 발생한 경우에는 수시로 실시한다. 검정곡선의 검증 및 방법바탕시료의 측정은 시료군당 1회 실시하여야 한다.

6.1.7 필요한 경우 기체상 수소화 비소의 채취 시 흡수 효율을 표준기체를 이용한 별도의 실험을 통해 확인할 수 있으며, 흡수된 수소화 비소 측정의 정확도는 시료와 동일한 방법으로 전처리 및 분석하여 확인할 수 있다.

7.0 분석절차

7.1 전처리 방법

7.1.1 입자상 비소

7.1.1.1 깨끗이 세척한 세라믹 가위나 플렉시유리재 형판을 사용하여 시료가스로부터의 채취물이 부착된 거름종이를 적당한 크기로 절단하여 분취한다 [분취한 거름종이의 면적(A_E)을 측정해 둔다]. 절단된 거름종이 전량을 조각으로 잘라 비커 (250 mL)에 넣고 질산 30 mL 및 (1+1)황산 5 mL를 가한다.

7.1.1.2 서서히 온도를 높여 황산의 흰 연기가 발생하기 시작하면 가열을 중지하고 식힌다.

7.1.1.3 다음에 질산 10 ~ 20 mL 및 과염소산 5 mL를 가하고 다시 서서히 온도를 높여 과염소산의 흰 연기가 발생하기 시작하면 시계 접시를 덮고 과염소산이 비커의 벽을 따라 흘러내릴 때까지 강열한다.

7.1.1.4 액이 완전히 무색으로 될 때까지 **7.1.1.3**의 조작을 반복한다.^[1]

7.1.1.5 방치하여 식힌 후 물 100 mL를 가하여 가용성염류를 녹이고 거름종이 5B를 사용하여 거른다. 거른액은 250 mL 부피플라스크에 옮기고 거름종이를 물로 씻어 씻은 액은 여과액에 합치고 물로 눈금까지 채운다. 이것을 분석용 시료용액으로 한다.

7.1.1.6 별도로 여과지를 사용하여 **7.1.1.1** ~ **7.1.1.5**의 조작을 하여 바탕 용액을 만든다.

7.1.2 기체상 비소

7.1.2.1 시료를 채취한 흡수병 내의 용액을 250 mL 비커에 씻어 넣고 질산 30 mL 및 황산(1+1) 5 mL를 가하여 서서히 가열한다.

7.1.2.2 이하 **7.1.1.2** ~ **7.1.1.5**의 조작과 같이 시험하여 분석용 시료용액을 제조한다.

7.1.2.3 별도로 흡수액을 **5.3.2**에서 사용한 것과 같은 양을 250 mL 비커에 취하고 **7.1.2.1** 및 **7.1.2.2**의 조작을 하여 바탕시험용액으로 한다.

7.2 측정방법

7.2.1 입자상 비소

[1] 질산 및 과염소산의 추가량은 바탕시험액을 제조할 때에도 같은 양을 사용한다.

7.2.1.1 7.1.1에서 제조한 분석용 시료용액의 적당량(As로서 0.1 ~ 1 µg을 함유하는 것)을 그림 1에 나타낸 수소화 비소 발생장치의 수소화 비소 발생병에 분취하고 염산(1+1) 4 mL 및 물을 가하여 20 mL로 한다.

7.2.1.2 다음에 요오드화 칼륨용액(20 W/V %) 2 mL, 염화제일주석용액(10 W/V %) 2 mL 및 염화제이철 용액 1 mL를 가하고 잘 섞은 다음 약 15분간 방치한다.

7.2.1.3 수소화 비소 발생장치와 원자흡수분광장치를 연결한 후 아연분말 1.0 g을 빨리^{[2][3]} 수소화 비소 발생병에 가하고 자석교반기로 저어주면서 수소화 비소를 발생시켜 그 일정량을 채취한다.^[4]

7.2.1.4 사방밸브를 돌려 수소화 비소를 알곤-수소불꽃에 주입하여 파장 193.7 nm에서 흡광도를 측정한다.^[5]

7.2.1.5 바탕시험은 7.1.1.6에서 제조한 바탕시험액을 7.2.1.2 ~ 7.2.1.5의 조작에 따라 시험하여 흡수도를 측정하고 시료용액의 흡수도를 보정한다.

7.2.1.6 보정된 시료용액의 흡광도를 이용하여 별도로 작성된 검정곡선으로부터 비소(As)량을 구한다.

7.2.2 기체상 비소

7.2.2.1 7.1.2에서 제조한 분석용 시료용액의 적당량(As로서 0.1 ~ 1 µg을 함유)을 그림 1에 나타낸 수소화 비소 발생장치의 반응용기에 분취하고 염산(1+1) 4 mL 및 물을 가하여 20 mL로 한다.

7.2.2.2 이하 7.1.2.2 ~ 7.1.2.3의 조작에 따라 시험한다.

7.2.2.3 보정된 시료용액의 흡광도를 이용하여 별도로 작성된 검정곡선으로부터 비소(As)량을 구한다.

7.3 검정곡선의 작성

7.3.1 비소표준용액(0.1 µg/mL) 1 ~ 10 mL를 수소화 비소 발생병에 단계적으로 분취하고 염산 (1+1) 4 mL 및 물을 가하여 20 mL로 한다.

7.3.2 이하 7.2.1 및 7.2.2의 조작을 시료 용액과 동시에 실시하여 흡광도를 측정하고 비소(As)량과 흡광도와의 관계선을 만든다.

[2] 수소화 비소는 아연분말 첨가 직후에 급격히 발생하므로 누출되지 않도록 하여야 한다.

[3] 아연분말 중에는 미량의 비소가 함유되어 있으므로 아연분말 첨가량을 일정하게 한다. 이렇게 하기 위한 조작으로서 ① 아연분말에 결합제를 가하여 성형시켜 정제로 만들어 가하거나 ② 아연분말에 물을 가하여 진한 현탁액으로 하여 스포이드로 가하거나 ③ 일정량의 아연분말을 포장하여 첨가하는 방법 등을 사용한다.

[4] 채취한 기체의 양을 알기 위한 방법으로는 압력에 의한 방법, 체적에 의한 방법 등이 있다.

[5] 흡광도 또는 흡광도에 대한 비례치를 읽는다.

7.3.3 검정곡선은 반드시 시료용액을 측정할 때에 작성한다.

8.0 결과보고

8.1 비소농도의 계산방법

환경대기 중의 비소 농도는 0 °C, 760 mmHg로 환산한 공기 1 m³ 중 비소의 mg 수로 나타낸다.

8.1.1 입자상 시료의 분취 시료 중 비소농도

7.2.1.6 에서 구한 비소(As)량으로부터 7.1.1.1에서 분취한 시료 중의 비소(As)량을 다음 (식 4)에 의해 산출한다.

$$m_S = m_C \times \frac{V_f}{V_d} \quad (\text{식 4})$$

여기서, m_S : 7.1.1.1에서 분취한 시료 중의 비소량(mg)

m_C : 검정곡선에서 구한 비소량(mg)

V_f : 7.1.1.5에서의 분석용 시료용액의 제조량(mL)

V_d : 7.2.1.1에서의 분석용 시료용액의 분취량(mL)

8.1.2 입자상 비소농도

8.1.1에서 구한 분취한 시료 중의 비소량으로부터 다음 (식 5)에 의해 대기 중의 입자상 비소농도를 산출한다.

$$C = m_S \times \frac{A_U}{A_E} \times \frac{1}{V_s} \quad (\text{식 5})$$

여기에서, C : 표준상태에서 건조한 대기 중의 입자상 비소농도(mg/m³N)

m_S : 8.1.1에서 구한 분취한 여과지 중의 비소량(mg)

A_U : 시료채취에 사용한 여과지의 총 면적(cm²)

A_E : 시료용액 제조에 사용한 여과지의 면적(cm^2)

V_S : 5.3.1에서 채취한 표준상태에서의 건조한 대기기체 채취량(m^3N)

8.1.3 기체상 비소농도

7.2.2.3에서 구한 분취시료용액 중의 비소량으로부터 다음 (식 6)에 의해 대기 중의 기체상 비소 농도를 산출한다.

$$C = m_S \times \frac{V_f}{V_d} \times \frac{1}{V_s} \quad (\text{식 6})$$

여기서, C : 표준상태에서 건조한 대기 중의 기체상 비소농도($\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$)

m_S : 7.2.2.3에서 구한 시료용액 중의 비소량(mg)

V_f : 7.1.2에서의 분석용 시료 용액의 제조량(mL)

V_d : 7.2.2.1에서의 분석용 시료용액의 분취량(mL)

V_S : 5.3.2에서 채취한 표준상태에서의 건조한 대기기체 채취량(m^3N)

8.2 결과의 표시

비소 농도 측정 결과는 유효숫자 세 자리까지 구하고, 결과는 두 자리로 표시한다.

9.0 참고자료

9.1 환경부, 대기오염공정시험법, 1996

9.2 JIS K 0083, "Method for determination of metals in flue gas", 일본 규격협회, (2002)

9.3 USEPA, Compendium of methods for the determination of inorganic compounds in ambient air (Method IO-3), (1999).

9.4 Standard Method (18th) 3500-As, "Arsenic", American Public Health Association.

9.5 Standard Method (18th) 3114-"Metals by Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry", American Public Health Association

9.6 EPA Method 206.3, "Determination of Arsenic by Gaseous Hydride Generation and AAS". (1974).

9.7 EPA METHOD 206.5, "Determination of Arsenic (Sample Digestion Prior to

Total Arsenic Analysis by Silver Diethylthiocarbamate or Hydride Procedure)", (1978)

9.8 EPA METHOD 29, "Determination of Metals Emissions from Stationary Sources", (2000)

9.9 EPA METHOD 108, "Determination of Particulate and Gaseous Arsenic emissions", (2000)

9.10 Lauri H.J.Lajunen, "*Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption Emission*", Royal Society Chemistry, 1992.

9.11 Jiri Dedina and Dimiter L. Tsalev, "*Hydride Generation Atomic Absorption Spectrometry*", John Willey & Sons, 1995.

10.0 부록

표 1. 분석방법에 따른 공기여과지(air filter) 시료의 최소검출한계 비교*

원소	최소검출한계(ng/m ³)						
	FAA	GFAA	XRD	ICP	ICP/MS	PIXE	NAA
As	100	0.20	0.24	5.5	0.3	5.42	0.09
Cd	0.2	0.0003	6.62	1.1	0.02	201.62	4.2
Pb	2.2	0.05	0.45	7.0	0.01	16.85	-
Cr	0.7	0.01	0.90	2.6	0.01	3.91	0.9
Cu	0.4	0.02	0.21	2.2	0.01	2.71	0.9
Ni	1.1	0.10	0.18	3.1	0.02	2.37	-
Zn	0.2	0.0001	0.30	26.4	0.04	3.61	9.2
Fe	1.1	0.02	0.21	7.5	0.01	2.71	4.6

* EPA METHOD IO-3, "Compendium of methods for the determination of inorganic compounds in ambient air", USEPA, (1999)