

# 공기 중 저급아민류의 분석과 측정 사례

유미선 \*·양성봉

울산대학교 화학 및 생명과학부

(2005. 2. 14 접수, 2005. 3. 14 승인)

## Analytical examples of volatile amines in ambient airs

Mee-Seon Yu \* and Sung-Bong Yang

*School of Chemistry & Biological Science, Ulsan University, Ulsan 680-749, Korea*

(Received Feb. 14, 2005, Accepted March 14, 2005)

**요 약 :** 본 연구에서는 일본의 공정시험법에 따라 7종의 아민 표준물질로부터 검량선을 작성하고 실제 공기 중의 아민시료를 채취하여 농도를 산정하였다. 검량선은 좋은 직선상관을 보였으며, 50 L의 시료채취시 트리메틸아민의 경우 검량한계가 0.033 ppb(0.040 ng)로 나타나 부지경계선에서의 규제농도(공업지역 20 ppb, 기타지역 5 ppb)까지 검출 가능함을 확인할 수 있었다. 실제 측정사례로서 하수처리장과 랜더링사업장에서 채취된 시료를 분석한 결과 methyl amine, dimethyl amine, trimethyl amine, i-propyl amine의 4종류의 아민류가 검출되었다. 하수처리장 A의 최초 침전지와 탈수실에서는 trimethyl amine이 각각 9.07 ppb, 7.79 ppb로 악취세기 2.5를 넘는 농도로 검출되었고 하수처리장 B의 폭기조와 분뇨투입동, 분뇨처리장의 기계실에서는 모두 dimethyl amine과 trimethyl amine이 평균 70.0 ppb, 2.44 ppb로 검출되어 악취에 대한 기여가 높다는 것을 알 수 있었다.

**Abstracts :** In this study, several kinds of volatile amines in ambient air were collected and their concentrations were expected from the calibration curves prepared by standard solutions of 7 amines by the official measuring method prescribed in Japanese Offensive Odor Law. The obtained calibration curves showed a good linearity and the detection limit of trimethyl amine was found to be about 0.033 ppb (0.040 ng) in case of 50 liters air. It means that trimethyl amine could be detected with the concentration of lower than its permitting level at the border line of companies. As typical examples of measuring amines in air, results of investigation of two sewage works and one rendering plant around the capital area indicated that 4 kinds of amines, i.e. methyl amine, dimethyl amine, trimethyl amine and isopropyl amine were detectable and concentrations of trimethyl amine at the primary sedimentation pond and sludge dewatering building of the sewage plant A showed 9.07 ppb and 7.79 ppb respectively, being over the concentration of odor strength 2.5, And the aeration tank, excrement input facility and indoor of maintenance room of excrement process building in the sewage plant B showed 70.0 ppb of dimethyl amine and 2.44 ppb of trimethyl amine.

**Key words :** lower amine, trimethyl amine, sewage treatment, rendering plant

### 1. 서 론

공기 중 악취성분은 다른 대기오염물의 농도에 비해 후각적으로 느끼는 최소감지농도(최소감지값)가 극히 낮은 것이 특징이다. 따라서 실제로 냄새가 나는 장소에서

채취된 시료를 기기적으로 분석하여 냄새의 원인성분을 찾아낸다는 것은 매우 어려운 작업이 아닐 수 없다. 또한 냄새 성분간의 상승 혹은 상쇄작용 등으로 인해 기기로 측정된 악취성분과 후각에 의해 계산된 악취농도와의 상관성을 이해하기란 여간 힘든 일이 아니다. 그럼에도 화학분석에 의한 냄새원인 성분의 규명은 악취 관리라는 측면에서 관능에 의존한 평가보다 기기분석에 의한 관리가 더 유리한 경우가 많기 때문일 것이다.

공기 중에서 검출되는 저비점 아민류는 생선 혹은 동물의 부패시 주로 발생<sup>1</sup>되며 발생원으로는 아민을 취급하거나 제조하는 공장, 생선가공공장, 도축처리장, 랜더링(rendering) 사업장<sup>2</sup> 등으로 알려져 있다. 그 중에서도 트리메틸아민은 최소감지농도가 0.11 ppb<sup>3</sup>로 매우 낮아 넓은 지역에게까지 악취원인을 발생시키는 사례가 알려져 있다.<sup>4</sup>

현재 우리나라 악취방지법에서 규제하고 있는 악취물질은 총 8종(암모니아, 황화수소, 메틸메르캅탄, 황화메틸, 이황화메틸, 아세트알데하이드, 스티렌, 트리메틸아민)이지만 2005년부터 4종의 알데하이드(프로피온알데하이드, 뷰탈알데하이드, i-발레르알데하이드, n-발레르알데하이드)가 추가되어 총 12종의 악취물질에 대해 물질농도 규제를 실시할 예정이다.<sup>5</sup> 그 중 트리메틸아민은 대기보전법의 악취배출허용기준에서 악취에 관한 공정시험법도 명시되고 있었지만 아마도 분석방법이 까다로운 것으로 인해 우리나라에서 실제 분석이 시도된 사례가 극히 드문 실정이다.

공기 중 저비점 아민류의 분석법은 최근에 이르러 SPME (Solid phase Micro-extraction)<sup>6,7</sup> 등을 이용하는 간편한 방법이 보고된 바가 있지만, 우리나라나 일본의 악취공정시험법에는 알카리 분해병을 사용하고 packed column에 의해 분석하는 방법<sup>8</sup>을 명시하고 있다. 본 연구에서는 그간 일본에서 측정 사례가 많은 일본의 악취 공정시험법<sup>9</sup>에 명시된 방법을 그대로 실행해보고 휘발성 아민 물질의 검출한계를 알아보았다. 그리고 이 방법에 의해 측정사례로서 아민이 냄새의 원인으로 여겨지는 하수처리장과 랜더링 사업장에서 악취시료를 채취하여 아민류의 농도를 측정하여 보았다. 측정결과로부터 우리나라의 부지경계선상에서의 트리메틸아민 농도 허용기준을 비교함으로써 해당 사업장의 악취규제에 대한 준법성 여부를 검토해 보았다.

## 2. 실험

### 2.1. 아민 표준물질과 황산 반응용액 및 분해시약의 제조

본 실험에서 사용된 표준용액 제조용 methylamine, dimethylamine, trimethylamine, n-propylamine, diethylamine, i-butylamine, n-butylamine은 Aldrich사의 시약을 구입하여 검량선 작성에 사용되었다. 각각의 아민 표준물질을 2차 증류수로 단계적으로 묽혀 약 5~8 ng/ $\mu$ L의 농도가 되도록 제조하였다.

희석된 각 아민 표준용액의 정확한 농도를 알기 위해 각각의 아민 수용액 20 mL를 각기 다른 250 mL 삼각플라스틱에 넣고 여기에 에틸알코올로 제조한 0.1% 브롬크레졸과 0.1% 메틸레드를 지시약(5 : 1)을 첨가한 다음 0.10N의 염산으로 적정하였다.

적정된 염산의 부피로부터 트리메틸아민의 농도는 아래 식(1)에 따라 계산하였다. C (g / L ) 는 적정에 의해 구한 아민의 농도이며, a(mL)는 적정에 소비된 0.10N 염산용액의 부피이다.

$$C = \frac{a \times 59.11 \times 0.1}{20} \quad (1)$$

또한 2차 증류수 359 mL에 황산(Junsei사, 특급) 1.0 mL를 넣어 만든 황산 수용액을 공기 중의 아민시료 채취용 흡수용액으로 사용하였다. 이외 분석에 사용되는 KOH(Junsei사, 특급시약) 분해시약은 2차 증류수를 사용하여 50%(w/w) 수용액으로 제조하였다.

## 2.2. 아민분해 농축장치와 분석기기

암모늄염의 형태로 된 시료를 아민으로 바꾸고 발생된 아민을 다시 농축시키는 농축장치는 모두 일본의 공정시험법과 동일한 장비(Shimadzu사 아민 분해 농축장치)를 사용하였으며 냉매로서는 액체 아르곤을 이용하였다. 그리고 아민 농축관의 충전제는 Sulpelco사의 Chromosorb 103(60/80 mesh, Max.Temp: 300°C)을, 아민 분석을 위한 GC 컬럼 충전제는 Sulpelco사의(4% Carbowax 20M+0.8% KOH, Carbowax B(60/80 Mesh))를 사용하였다. 또한 분석에는 국산(도남, DS-6200) GC (gas chromatograph)를 사용하고 검출기로서는 질소화합물에 대해 높은 선택성을 갖는 NPD(Nitrogen Phosphorous Detector)를 이용하였다. 분석과정에서 사용되는 운반기체는 고순도 헬륨가스(코아가스 울산)를 사용하였으며 분해병에 도입되기 전에 액체아르곤으로 냉각된 불순물 제거관(Molecular sieve 5A(60/80 Mesh))을 통과시켜 불순물이 제거되도록 하였다.<sup>10</sup>

## 2.3. 시료채취지점과 채취방법

시료가 채취된 지점은 수도권에 위치한 하수처리장 2곳과 동물의 사체로부터 유지를 채취하는 랜더링 사업장이며, 사업장의 부지경계에서도 아민류 냄새로 여겨지는 지점에서 시료를 채취하였다.

대기시료 중 아민류 성분을 채취하게 위해 0.10N 황산 흡수액 20 mL씩을 2개의 200 mL impinger에 각각 넣은 후 10 L/min의 유속으로 5분간 채취하였다. 시료채취시 아민의 농도가 높을 것으로 예상되는 지점에 대해서는 시료의 흡인량을 조절하여 대기 시료를 채취하였다. 시료채취 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 시료채취시 실리카겔과 먼 필터를 펌프 전단에 설치하여 버블링(bubbling)으로 인해 발생할 수 있는 수분으로부터 펌프와 유량계를 보호하였다. 시료채취가 끝난 후 impinger의 황산용액을 80 mL의 유리병에 옮기고 다시 impinger에 10 mL의 황산표준액을 넣어 세척한 후 합하였다.

# 3. 분석 방법

## 3.1. 검량선의 작성

아민 표준용액을 microsyringe를 사용하여 10  $\mu$ L~ 50  $\mu$ L를 분해병에 주입한 후 KOH를 투입한 다음 아르곤 냉매에서 저온 농축 후 GC에 도입하여 표준 용액에 든 아민을 분석하였다. 얻어진 peak의 면적으로부터 검량선을 작성하였다. 동일 표준용액에 대해 각각 5회 반복 분석하였으며 재현성과 검량한도를 검토하였다.

## 3.2. 분석방법

50%의 KOH 수용액 30 mL를 분해병에 넣고 액체 아르곤으로 냉각한 시료 농축관과 분해병을 연결하였다. 분석용 시료용액 중 5 mL를 취하여 분해병에 주입한 후 헬륨가스를 200 mL/min으로 20분간 흘려 농축관에 농축시켰다. 이후 농축관을 분해병과 분리하고 GC의 시료주입부에 연결한 후 농축관을 120°C까지 1분 안에 승온되도록 하여 피형성분이 GC로 도입되도록 하였다.<sup>11</sup> Table 1에 아민류의 분석조건을 나타내었으며, 표준용액과 채취된 시료의 분석방법은 동일하게 하였다.

식(2)는 채취된 공기 시료 중 트리메틸아민의 농도를 나타내는 계산식으로 다른 아민류도 이와 비슷한 계산식에 의해 농도를 계산하였다.

$$C = \frac{22.4 \times A}{M_w \times V \times \frac{273}{273+t} \times \frac{P}{101.3}}$$

$$A = \frac{50}{v} \times m \quad (2)$$

- C(ppb) : 대기중 트리메틸아민의 농도  
 A(ng) : 분석용 시료용액 중의 아민의 양  
 V(L) : 흡인 가스량  
 t(°C) : 시료 채취시 온도  
 $M_w$  : 아민의 분자량(g/mol)  
 P(kPa) : 시료 채취시 대기압  
 m(ng) : 검량선에 의해 구한 아민의 양  
 v(mL) : 분석용 시료용액에서 분취된 용액의 양

## 4. 결 과

### 4.1. 검량선 작성

Fig. 2는 이들 표준용액에 대한 검량선으로서, 표준용액 속에 포함된 아민 화합물의 절대량이 50~400 ng이 되는 5점을 선정하여 시료 분석조건과 동일한 조건으로 분석하여 작성하였다. 각각의 아민 검량선의 상관도  $R^2$ (correlation coefficient)는 0.995~1.000의 좋은 직선성을 나타내었으며 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

각 아민 표준물질의 선형 회귀직선으로부터 각 아민 표준용액의 검출한계를 산정하였다. 산정된 검출한계에는 선형회귀직선의 표준편차  $s_b$ 를 3배<sup>12</sup>로 하여 구하였다.

산정된 각 아민의 검출한계는 0.027 ng~0.129 ng 이었으며 trimethyl amine의 검출한계는 0.040 ng로 산정되었다. 각 검출한계량에 대해 50 L의 공기를 채취한 할 때 각 아민의 검출한계농도는 0.0022 ppb~0.0134 ppb로 나타났으며 아민의 경우 부지경계선에서의 규제농도(공업지역 20 ppb, 기타지역 5 ppb)까지는 충분히 검출할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 일본 약취공정시험법에 명시한 FID (Flame Ionization Detector)에 의한 검출한계 0.5 ppb<sup>8</sup>에 비해 본 연구에서 확인된 NPD에 의한 분석이 훨씬 낮은 검출한계를 나타내고 있음을 확인하였다.

Fig. 3에 본 연구에서 얻은 7가지 아민 표준물질의 크로마토그램 중 일부를 나타내었으며, 잘 분리된 peak를 확인할 수 있었다.

### 4.2. 재현성(반복성) 실험

본 실험에서의 신뢰성을 검증하기 위해 5~8 ng/ $\mu$ L 농도의 각 아민 표준물질 10  $\mu$ L을 5회 분석하여 얻은 시료 중의 아민량으로부터 평균( $\lambda$ ), 표준편차(s) 및 변동계수(Coefficient of Variation)를 구하여 Table 3에 나타내었다. 변동계수는 2.0%~3.4%로 이 분석법이 높은 정밀도를 나타낼 수 있었으며 특히 부지경계선상에서의 약취규제 대상물질인 trimethyl amine의 경우도 2.3%로 상당히 정확한 정량분석이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

### 4.3. 공기 중 저비점 아민류의 측정 예

수도관에 위치한 하수처리장 A와 B 그리고 랜더링(rendering, 동물유지 및 가축관련 업체) 사업장에서 채취된 아민시료를 분석하여 얻은 각 아민화합물의 농도와 약취로서의 기여 정도를 알아보기 위하여 측정된 각 아민의 예상 약취농도를 산정하여 Table 4에 나타내었다. 예상 약취농도는 분석하여 구한 각 아민의 농도를 각 아민의 최소감지농도로 나누어 산정하였다.

하수처리장 A의 최초침전지에서는 트리메틸아민의 농도가 9.09 ppb로 최소감지농도(threshold

concentration)로 나누어 얻은 예상악취농도(expected concentration, expected dilution number)는 83배에 달하여 트리메틸아민으로 인한 악취가 최초침전지의 악취원인 성분임을 예상할 수 있었다. 또한 탈수실에서 채취된 시료에서도 트리메틸아민의 농도가 7.79 ppb로 검출되어 약 91배의 예상악취농도를 나타내었다. 하수처리장 A의 경우 최초침전지와 탈수실에서는 트리메틸아민이 7~9 ppb 정도로 측정되었지만 분석한 7종의 아민 중 가장 악취로서 기여가 매우 크다는 것을 알 수 있었다.

하수처리장 B의 폭기조에서의 분석결과를 살펴보면 methyl amine 6.08 ppb, dimethyl amine 69.92 ppb, trimethyl amine 2.92 ppb, i-propyl amine 64.54 ppb로 4종의 아민의 농도가 각 아민의 최소감지농도를 매우 웃도는 수준이었으며 이 중 dimethyl amine과 trimethyl amine의 측정된 아민농도를 각 아민의 최소감지농도로 나누어 얻은 예상악취농도가 91배와 26배로 산정되었다. 분뇨처리 투입동의 시료에서는 dimethyl amine이 73.30 ppb로 검출되어 예상악취농도 95를 나타내었으며 trimethyl amine은 2.22 ppb로 약 20배의 예상악취농도를 나타내어 악취원인성분임을 확인할 수 있었다. 분뇨를 투입하는 기계실에서의 시료에서는 dimethyl amine과 trimethyl amine, i-propyl amine이 67.80 ppb, 2.18 ppb, 142.48 ppb로 검출되어 88배, 20배 6배의 예상악취농도를 나타내었고, 악취로서의 기여가 매우 클 것으로 사료되었다. 하수처리장 B의 부지경계선에서 채취된 시료에서도 methyl amine과 dimethyl amine, trimethyl amine, i-butyl amine이 최소감지농도 이상으로 검출되었으며, methyl amine과 trimethyl amine은 3의 예상악취농도를 가져 동일한 냄새수준일 것이라 여겨졌다. i-Butyl amine은 18배의 예상악취농도를 나타내어 악취로서의 기여가 클 것으로 예상되나, 하수처리장 B의 시료채취지점 이외의 장소에서 배출되는 악취성분이나 다른 사업장에서 배출되는 악취의 성분일 것이라고 사료되며 차후 주변 시설에서의 아민 발생상황에 대한 조사가 이루어져야 할 수 있을 것으로 생각되었다. 하수처리장 B의 경우 폭기조, 분뇨투입동, 분뇨처리장의 기계실에서는 공통적으로 dimethyl amine과 trimethyl amine이 악취로서 큰 기여를 하고 있다는 것을 알 수 있었다.

랜더링 사업장은 동물의 사체로부터 유지를 정제하는 사업장으로 악취세기는 공장내에서 4도, 부지경계에서도 3도 이상의 악취세기로 냄새를 느낄 수 있었다. 랜더링 사업장의 부지경계에서 채취된 시료의 크로마토그램을 Fig. 4에 나타내었다.

공장내에서 채취된 시료에서는 dimethyl amine이 72.22 ppb의 매우 높은 농도로 검출되어 약 94배의 예상악취농도를 나타내었으며, 이 외 trimethyl amine, i-propyl amine, i-butyl amine도 0.75 ppb, 162.88 ppb, 12.04 ppb로 약 7배의 예상악취농도를 나타내었다. 사업장의 정문 앞에서 채취된 시료에서는 dimethyl amine과 trimethyl amine, i-propyl amine이 113.17 ppb, 1.47 ppb, 62.03 ppb로 검출되어 약 147배, 13배, 2배의 예상악취농도를 나타내었다. 랜더링 사업장 C의 경우는 7종의 아민 중 4종의 아민류가 검출되었으며, 이 중 dimethyl amine이 악취로서의 기여가 가장 큰 것으로 사료되었다.

## 5. 결 론

GC/NPD를 이용하고 일본의 공정시험법에 따라 분석하여 7종의 아민표준물질의 검출하한과 변동계수를 산정한 결과와 실제 아민검출이 예상되는 하수처리장과 랜더링 사업장에서 시료를 채취하여 악취를 유발하는 아민성분에 대해 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 아민표준물질을 분석하여 얻은 검량선으로부터 각 아민의 검량한계는 0.027 ng~0.129 ng로 산정되었으며, 현재 악취규제물질인 trimethyl amine은 0.040 ng로 계산되었다. 이를 50 L의 공기시료로 가정하여 각 아민의 농도를 산정한 결과 0.0022 ppb ~0.0134 ppb로 계산되었고 trimethyl amine은 0.033 ppb로 산정되어 현행 부지경계선에서의 규제농도(공업지역 20 ppb, 기타지역 5 ppb)까지 검출 가능함을 확인할 수 있었다.

- 2) 분석의 신뢰성을 검토하기 위해 동일 농도의 표준물질을 5회 분석하여 변동계수를 산정한 결과 2.0% ~3.4%로 매우 우수하여 아민류에 대한 정확한 정량분석이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 실제 대기 시료가 채취된 하수처리장 A와 B 그리고 동물사체로부터 유지를 정제하는 랜더링 사업장에서의 분석결과를 보면 methyl amine dimethyl amine, trimethyl amine i-propyl amine 등이 모두 검출되며 하수처리장의 최초침전지와 탈수실에서는 trimethyl amine의 예상악취농도가 83과 71로 악취로의 기여가 매우 높다는 것을 알 수 있었다. 또한, 하수처리장 B의 경우 폭기조, 분뇨투입동, 분뇨처리장의 기계실에서는 dimethyl amine이 예상악취농도 약 91로 trimethyl amine은 약 22배의 예상악취농도로 산정되어 악취로서 기여도가 높다는 것을 알 수 있었다. 랜더링 사업장인 C의 경우는 dimethyl amine이 공장 내에서는 94배의 예상악취농도로 산정되었지만 부지경계에서는 이보다 더 높은 147배로 나타나 동일한 악취성분이 타업종 혹은 이웃한 동종업체에서도 배출되고 있을 것으로 예상되어 차후 더 자세한 조사가 이루어 져야 할 것으로 사료되었다.

본 연구에서는 하수처리장 2곳과 랜더링 사업장에 대한 아민류의 분석을 통해 현재 규제대상인 trimethyl amine 이외의 아민들도 최소감지농도 이상의 고농도로 검출되고 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 트리메틸아민의 경우 공업지역내 부지경계선상 규제농도를 초과하는 농도를 나타내지는 않았다.

#### 참고 문헌

1. S. Sadok, R. F. Uglow and S. J. Haswell, "Determination of trimethyl amine in fish by flow injection analysis", *Analytica Chimica Acta.*, **321**, 69-74(1996).
2. 국립환경연구원, 시화 반월지역 악취배출원 조사 및 저감방안 연구, 360-362(2003).
3. 양성봉, 유미선, 이창흠, "악취 원인 성분의 규명기법", *첨단환경*, **131**, 84-94(2004).
4. J. Fukuyama, "Odor Pollution Control for Various Odor Emission Sources in Japan", East Asia Workshop on Odor Measurement and Control Review, *일본환경성*, 67-77(2004).
5. 국립환경연구원, "악취방지법 시행규칙 안", 2004.
6. J. Namiesnik, A. Jastrzebska and B. Zygmunt, "Determination of volatile aliphatic amines in air by solid-phase microextraction coupled with gas chromatography with flame ionization detection", *J. Chromatogr. A*, **1016**, 1-9(2003).
7. G. A. Mills, V. Walker and H. Mughal, "Quantitative determination of trimethylamine in urine by solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry", *J. Chromatography B*, **723**, 281-285 (1999).
8. 일본환경성 대기보전국, "악취물질측정 메뉴얼", 63-64(1994).
9. 악취법령연구회, "핸드북 악취방지법", 교세이, 252-256(1996).
10. 양성봉, 이성화, "악취의 성분분석", *동화기술*, 138-160(1998).
11. (재)일본환경위생센터, "악취물질의 측정 등에 관한 연구보고서", 46-68(1977).
12. 양성봉, 유미선, "분석화학을 위한 통계학", 울산대학교 출판부, 94-101(2005).

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)52-259-2340 Fax : +82+(0)52-259-2348

E-mail: msyuuou@ulsan.ac.kr

Table 1. Analytical conditions for GC

| Gas Chromatograph |                           | Donam Instrument Inc. DS-6200                          |
|-------------------|---------------------------|--|
| Column            | Glass Packed Column       | ID : 2 mm, L : 3.05 m                                  |
| Detector          | NPD                       | H <sub>2</sub> : 4 mL / min, Air : 60 mL / min         |
| Carrier gas       | Column<br>Bubbling bottle | He : 40 mL / min<br>He : 200 mL / min                  |
| Temperature       | Injector                  | 230°C  |
|                   | Detector                  | 250°C  |
|                   | Oven                      | 100°C(4 min) → 10°C/min → 200°C(30 min)                |
|                   | Concentration             | -185.7~120°C (in 1 min)                                |
|                   | Connection tube           | 180°C  |
| Packing material  | Column                    | 4% Carbowax 20M + 0.8 KOH ,<br>Carbopack B(60/80 Mesh) |
|                   | Concentration Tube        | Chromosorb 103(60/80Mesh)                              |
|                   | Impurity trap             | Molecular sieve 5A                                     |

Table 2. Calibration equations of standard amine compounds

| Amines          | Calibration range (ng) | R <sup>2</sup> | Calibration Equation    | Detection limit (ng) | Detection Conc. (ppb)* |
|-----------------|------------------------|----------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| Methyl amine    | 65.3~326.5             | 0.995          | $y = 252945x + 1014920$ | 0.078                | 0.0123                 |
| Dimethyl amine  | 80~400                 | 0.999          | $y = 226909x + 820483$  | 0.123                | 0.0134                 |
| Trimethyl amine | 64~320                 | 0.998          | $y = 227084x - 2701517$ | 0.040                | 0.0033                 |
| n-propyl amine  | 56.8~284               | 0.996          | $y = 176504x + 352007$  | 0.027                | 0.0022                 |
| Diethyl amine   | 55.8~279               | 1.000          | $y = 168459x + 581102$  | 0.076                | 0.0051                 |
| i-Butyl amine   | 58.1~290.5             | 0.994          | $y = 150210x - 590297$  | 0.129                | 0.0086                 |
| n-Butyl amine   | 58.8~294               | 0.999          | $y = 106593x - 567859$  | 0.056                | 0.0038                 |

\* Concentration at detection limit in sampling volume of 50 L ambient air

Table 3. RSD (Relative standard deviation) of standard amine solutions (n = 5)

| Amines       | $\bar{X}$ (ng) | s    | CV(%) |
|--------------|----------------|------|-------|
| Methyl amine | 56.3           | 1.27 | 2.0   |

|                 |      |      |     |
|-----------------|------|------|-----|
| Dimethyl amine  | 79.7 | 2.26 | 2.8 |
| Trimethyl amine | 64.4 | 1.45 | 2.3 |
| n-propyl amine  | 56.9 | 1.91 | 3.4 |
| Diethyl amine   | 56.6 | 1.40 | 2.5 |
| i-Butyl amine   | 58.4 | 1.21 | 2.1 |
| n-Butyl amine   | 59.4 | 1.69 | 2.8 |

Table 4. Concentrations of amines in the samples from sewage treatments and rendering plant

|                          | Sampling point                   | Compounds       | Threshold Conc. <sup>2)</sup><br>(ppb) | Conc. of Sample<br>(ppb) | Expected Conc.<br>(Ci/Thi) |
|--------------------------|----------------------------------|-----------------|--|--------------------------|----------------------------|
| Sewage<br>treatment<br>A | Primary<br>sedimentation         | Methyl amine    | 0.95                                   | 1.08                     | 1                          |
|                          |                                  | Ethyl amine     | 46                                     | 81.07                    | 2                          |
|                          |                                  | Trimethyl amine | 0.11                                   | 9.09                     | 83                         |
|                          |                                  | i-propyl amine  | 25                                     | 48.20                    | 2                          |
|                          | Sludge<br>dewatering<br>building | Methyl amine    | 0.95                                   | 4.98                     | 5                          |
|                          |                                  | Ethyl amine     | 46                                     | 71.73                    | 2                          |
|                          |                                  | Trimethyl amine | 0.11                                   | 7.79                     | 71                         |
|                          |                                  | Aeration tank   | Methyl amine                           | 0.95                     | 6.08                       |
| Sewage<br>treatment<br>B | Aeration tank                    | Dimethyl amine  | 0.77                                   | 69.92                    | 91                         |
|                          |                                  | Trimethyl amine | 0.11                                   | 2.92                     | 26                         |
|                          |                                  | i-propyl amine  | 25                                     | 64.54                    | 3                          |
|                          |                                  | Methyl amine    | 0.95                                   | 0.59                     | -                          |
|                          | Excrement input                  | Dimethyl amine  | 0.77                                   | 73.30                    | 95                         |
|                          |                                  | Trimethyl amine | 0.11                                   | 2.22                     | 20                         |
|                          |                                  | i-propyl amine  | 25                                     | 66.48                    | 3                          |
|                          |                                  | Methyl amine    | 0.95                                   | 3.10                     | 3                          |
|                          | Border                           | Dimethyl amine  | 0.77                                   | 6.01                     | 8                          |
|                          |                                  | Trimethyl amine | 0.11                                   | 0.35                     | 3                          |
| i-propyl amine           |                                  | 25              | 21.22                                  | -                        |                            |
| i-butyl amine            |                                  | 1.5             | 27.60                                  | 18                       |                            |

|                            |                 |      |        |     |
|----------------------------|-----------------|------|--------|-----|
|                            | Methyl amine    | 0.95 | 1.63   | 2   |
| Excrement<br>indoor        | Dimethyl amine  | 0.77 | 67.80  | 88  |
|                            | Trimethyl amine | 0.11 | 2.19   | 20  |
|                            | i-propyl amine  | 25   | 142.48 | 6   |
|                            | Methyl amine    | 0.95 | 2.86   | 3   |
| Plant indoor air           | Dimethyl amine  | 0.77 | 72.22  | 94  |
|                            | Trimethyl amine | 0.11 | 0.75   | 7   |
|                            | i-propyl amine  | 25   | 162.88 | 7   |
| Rendering<br>establishment | i-butyl amine   | 1.5  | 12.04  | 8   |
|                            | Methyl amine    | 0.95 | 1.53   | 2   |
| Border                     | Dimethyl amine  | 0.77 | 113.17 | 147 |
|                            | Trimethyl amine | 0.11 | 1.47   | 13  |
|                            | i-propyl amine  | 25   | 62.03  | 2   |