

## 화학공장에서 배출되는 악취규제물질의 분석 및 평가

최재성·김재우\*

경원대학교 화학과, \*경원전문대학 환경과학과  
(2005년 10월 12일 접수; 2006년 11월 30일 채택)

### Analysis of Offensive Odorous Compounds Emitted From the Chemical Plants

Jae-Sung Choi and Jae-Woo Kim\*

Department of Chemistry, Kyungwon University, Seongnam 461-701, Korea

\*Department of Environmental Science, Kyungwon College, Seongnam 461-701, Korea

(Manuscript received 12 October, 2005; accepted 30 November, 2006)

The concentrations of offensive odorous compounds emitted from the two chemical plants in Chongju and Yeosu industrial complex in Korea were determined by uv/vis spectroscopy, gas chromatography, and high performance liquid chromatography. The odorous compounds examined in this study are ammonia, trimethyl amine, formaldehyde, acetaldehyde, propion aldehyde, butyl aldehyde, n-valeric aldehyde, iso-valeric aldehyde, hydrogen sulfide, methyl mercaptan, dimethyl sulfide and dimethyl disulfide. The concentrations of those were determined from the 10 sampling points of the two plants, respectively. The emission concentrations of all odorous compounds examined in the two plants were lower than those of the regulation standard levels of industrial complex in Korea, respectively. The propion aldehyde, n-valeric aldehyde, methyl mercaptan and dimethyl disulfide in Chongju and Yeosu plants, and butyl aldehyde and iso-valeric aldehyde in Yeosu plant were not detected at any sampling points examined.

Key Words : Offensive odorous compound, Aldehyde, Ammonia, Sulfide, Mercaptan

#### 1. 서론

현대사회는 각종 산업의 발달과 더불어 악취물질에 의한 환경오염이 날로 심각해지고 있다. 그러나 이에 대한 뚜렷한 방지대책이 수립되어 있지 않아 악취 오염관리에 여러 가지의 문제점을 안고 있다. 일반적으로 공장의 굴뚝에서 검거나 회색의 연기와 같은 형태로 배출되는 대기 오염물질들은 사람의 육안으로 식별이 가능하지만 악취 오염물질은 그렇지 못한 경우도 있어 후각에 의해서 식별이 가능한 경우가 많고, 악취 오염물질은 공장의 굴뚝과 같은 단일 배출원을 통해 배출될 뿐만 아니라 대기에 개방된 장치나 설비 및 야외의 조업 등에서 산발적으로 배출되는 등 그 발생원이 매우 다양하다. 따라서

악취 오염물질의 제거에는 투자비에 비해서 개선효과가 낮기 때문에 대기오염물 중에서도 가장 까다롭고 해결하기 어려운 공해문제로 대두되고 있다<sup>1,2)</sup>.

우리나라의 악취방지법에서는 악취 오염물질을 황화수소, 머캅탄류, 아민류 및 기타 자극성 있는 기체상태의 물질들이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의하고 있다<sup>3)</sup>. 악취물질은 대단히 많은 종류의 물질들이 대기에 방출됨으로써 발생하는 환경오염으로 여러 측면에서 복잡한 특성을 지니고 있으며, 악취 오염의 결과도 단일물질에 의한다고 보다는 많은 종류 화합물들의 복합적 성질에 기인한다고 볼 수 있다<sup>4)</sup>.

현재 우리나라 악취방지법에서는 악취물질의 주 시험법으로 “공기회석 관능법”을 채택하고 있으나 일반적으로 사람의 후각은 연령, 성별, 건강상태, 흡연이나 습관 등에 따라 개인차가 있으므로 악취의 느낌 정도가 다르게 나타날 수 있으므로 객관성 있

Corresponding Author : Jae-Sung Choi, Department of Chemistry, Kyungwon University, Seongnam 461-701, Korea  
Phone: +82-31-750-5406  
E-mail: jschoi@kyungwon.ac.kr

개 악취 오염물질을 측정하기란 대단히 어려운 문제이다. 따라서 객관적이고 신뢰성 있는 측정결과를 얻기 위해 암모니아, 메틸머captan, 디메틸설파이드, 트리메틸아민, 아세트알데히드, 프로피온알데히드, 스티렌 등과 같은 12가지 항목을 지정 악취물질로 규정하여 이들의 성분 검출과 정량적 분석을 위해서 기기분석법을 병행하여 실시하고 있다<sup>5,7)</sup>.

일반적으로 악취물질의 배출은 그 공장의 제조과정, 원료물질, 생산량 및 생산일정 등 여러 가지 요인에 따라 차이가 날 수 있다. 이 연구에서는 이러한 사항을 고려하여 해당 공장에서 배출될 가능성이 있고, 또 우리나라의 악취방지법에서 규정하는 악취물질들에 대한 오염정도를 측정·평가하는 것을 연구범위로 하였으며, 본 연구에서는 악취오염물의 피해에 적극적으로 대처하고, 산업단지 주변 주민들의 생존과 삶의 질을 향상시키는 데 일조하기 위하여 화학공장에서 발생 가능한 악취규제물질의 성분 및 배출농도를 분석 및 평가하여 그 자료를 축적하고, 악취오염의 실태를 살펴보고자 한다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약 및 기기

본 연구에서 모든 분석에는 초순수를 사용하고, 악취물질의 분석과 정도관리 시험을 위한 표준시료는 황 화합물의 경우 한국표준과학연구소에서 제조한 133ppm의 황화수소와 106ppm의 메틸머captan이 혼합된 것, 10.9ppm의 디메틸설파이드와 15.3ppm의 디메틸디설파이드가 혼합된 것을 사용했다. 암모니아와 알데히드 화합물들은 각각  $0.2\mu\text{g}/\mu\text{l}$ ,  $0.1\mu\text{g}/\mu\text{l}$ 의 농도로 일본 Wako사에서 제조한 시약을 희석해서 사용하고, 트리메틸아민은 40wt%인 미국 Aldrich사에서 제조한 시약을 사용했다. 트리메틸아민의 알칼리 분해시약인 수산화나트륨과 수분제거 시약인 수산화칼륨은 관동화학의 시약을 그대로 사용하고, 트리메틸아민과 황 화합물들의 기체 크로마토그래피법 분석에서는 99.99%의 헬륨가스를 운반기체로 사용했으며, 알데히드 화합물들의 고성능 액체 크로마토그래피(HPLC) 분석용 용매는 J.T. Baker사에서 제조한 아세토니트릴을 사용했다.

암모니아의 분광광도법 분석에는 Shimadzu사의 모델 160A 자외선/가시선 분광광도계를 사용했다. 트리메틸아민의 기체 크로마토그래피법 분석에는 Shimadzu사의 모델 GC-14B를 사용하고, 황 화합물 분석에는 Agilent사의 GC, 모델 6890 Series를 사용했으며 이들 기기에는 불꽃이온화 검출기, 불꽃광도 검출기 및 불꽃열이온 검출기가 부착되어 있어 필요에 따라 선택하여 사용했다. 알데히드 화합물의

분석에는 Line AR의 자외선 검출기와 Waters사의 부품(515 펌프 등)으로 조립한 HPLC를 사용했다.

기체 크로마토그래피법 분석에서 트리메틸아민 분석용 분리관은 Top-trading사에서 제조한 Glass PT. AT. KOH 충전관(길이: 2m, 직경: 3.2mm)을 사용하고, 황화물 분석에는 J&W에서 제조한 GS-Q관(길이: 30m, 직경: 0.53mm)을 사용했다. 그리고 알데히드 화합물들의 분리·분석을 위한 분리관은 Supelco사에서 제조한 LC-18관(길이: 25cm 직경: 4.6mm, 입자크기:  $5\mu\text{m}$ )을 사용했다.

### 2.2. 시료채취 및 분석방법

청주와 여수 산업단지에 위치한 같은 종류의 제품을 생산하는 화학공장에서 발생될 가능성이 있고, 악취규제 대상물질인 암모니아, 트리메틸아민, 포름알데히드, 아세트알데히드, 프로피온알데히드, 부틸알데히드, 노르말-발레르알데히드, 이소-발레르알데히드, 황화수소, 메틸머captan, 디메틸설파이드 및 디메틸디설파이드를 선정하여 각각 8월에 공장부지 내의 10개 지점에서 시료를 채취하여 분석했다. 시료채취 시기는 청주공장의 경우 7월부터 11월 사이에 수시로, 여수공장의 경우에는 9월부터 다음해 5월 사이에 수시로 시료를 채취하여 분석했으며, 채취시간은 공장이 가동되는 오전 9시부터 오후 6시 사이에 이루어졌다.

각 악취규제물질의 시료채취와 분석방법은 공해공정시험법 중 기기분석법에 의해 이루어졌고<sup>7)</sup>, 각 악취물질의 시료채취량과 분석조건은 다음과 같다.

**암모니아** : 암모니아 시료는 봉산용액에 흡수시켜, 50.0 L을 채취하여 자외선/가시선 분광광도법으로 분석했다.

**트리메틸아민** : 트리메틸아민도 50.0 L의 시료를 채취하여 기체 크로마토그래피법으로 분석했고, 이때 기기의 작동조건은 운반기체 유속: 70ml/min., 시료주입구 온도: 150°C, 오븐온도 조절방법: 80°C에서 10분간 유지, 200°C까지 15°C/min. 속도로 승온, 200°C에서 5분간 유지, 검출기 온도: 250°C로 유지하여 분석했다.

**알데히드 화합물** : 알데히드 시료도 50.0 L을 채취하여 고성능 액체 크로마토그래피법으로 분리·분석했고, HPLC의 이동상(용리액)으로는 아세토니트릴:물(60:40) 혼합용매를 사용했고, 이동상의 용리속도는 5ml/min.로 하여 분석했다.

**황 화합물** : 황 화합물의 경우에는 시료를 5.0 L 채취하여 불꽃광도 검출기가 부착된 기체 크로마토그래피법으로 분석했고, 이때 기기의 작동조건은 운반기체 유속: 50ml/min., 시료주입구 온도: 250°C, 오븐온도 조절방법: 130°C에서 10분간 유지, 200°C

까지 50°C/min. 속도로 승온, 200°C에서 5분간 유지한 후 다시 235°C까지 40°C/min.로 승온, 235°C에서 5분간 유지, 검출기 온도: 250°C로 유지하여 분석했다.

2.3. 정도관리 시험

본 연구에서 이용한 분석방법의 검출한계, 정밀도 및 검량선의 직선성을 알기 위해서 각 악취물질의 표준시약을 단계적으로 희석하여 필요한 농도의 표준용액을 만들고, 이들을 사용하여 정도관리(quality assurance/quality control) 시험을 실시했다.

트리메틸아민, 알데히드 화합물 및 황 화합물의 검출한계는 각각 7회씩 반복 측정하여 구했고, 이들 물질을 분석할 때 얻은 크로마토그램으로부터 작성한 검량선으로부터 직선성을 구했으며, 분석의 정밀도는 검량선에서 중간정도의 농도인 표준용액으로 검량선을 작성할 때와 같은 분석조건에서 7회씩 반복 측정하여 얻은 크로마토그램 봉우리 면적과 머무름 시간 측정값으로부터 상대표준편차로 구했다<sup>7)</sup>.

암모니아 분광광도법 분석의 검출한계 시험에서는 잡음(noise)으로부터 구별 가능한 최소의 분석신호(흡광도),  $A_{min}$ 을 25회 바탕시험(blank test) 하여 구한 바탕신호의 평균값( $\bar{B}$ )에 바탕신호의 표준편차( $SD_{bt}$ )의 k배(보통 3)를 합하여 구했고( $A_{min} = \bar{B} + k \times SD_{bt}$ ), 이들 값과 검량선의 기울기(m)로부터 검출한계( $C_{min}$ )는  $C_{min} = (A_{min} - \bar{B})/m$ 과 같은 식으로 구했다<sup>8,9)</sup>.

암모니아 분석의 정밀도와 검량선의 직선성은 5개의 암모니아 표준용액을 만들어 이들의 흡광도를 측정하여 작성한 검량선으로부터 직선성을 구하고, 정밀도는 검량선에서 중간 정도의 농도 용액에 대한 흡광도를 7회 이상 측정하여 이들 값으로부터 상대표준편차로 구했다<sup>7)</sup>.

분석방법의 정확도를 알기 위해 본 연구에서 사용한 각 악취물질의 표준시약을 사용하여 실험했다. 이때 시료의 양은 각 검량선의 중간정도 농도에 해당하는 양을 취하여 각각 3회씩 분석하여 각 악취물질에 대한 회수율을 구했다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 정도관리 결과

각 분석방법에 대한 검출한계, 정밀도, 회수율 및 검량선의 직선성을 측정한 정도관리 시험결과를 Table 1에 나타내었다.

Table 1을 보면 암모니아, 트리메틸아민, 알데히드 화합물, 메틸머캅탄 및 디메틸설파이드의 검출한계 실험값들은 모두 문헌<sup>7)</sup>에서 제시한 것보다 적어 좋은 결과였으나 황화수소와 디메틸설파이드의 경우에는 실험값이 각각 0.39와 0.27 ppb로 문헌의 "0.20ppb 이하" 보다 약간 크다. 따라서 황화수소와 디메틸설파이드를 분석할 때는 1.0 L보다 더 많은 양의 시료를 채취하여 분석한 결과로부터 검출농도를 계산할 필요가 있다.

암모니아, 알데히드 화합물 및 황 화합물 분석의 정밀도는 상대표준편차로 0.21~1.61 % 범위였으며, 트리메틸아민의 경우에는 상대표준편차가 6.60%로 크지만 이들 모두 문헌 값보다는 적은 좋은 결과였다. 검량선의 직선성도 0.98~1.00으로 만족할 만한 결과였다<sup>7)</sup>.

본 연구에서 이용한 분석방법의 정확도를 알기 위해 표준시약으로 분석하여 구한 회수율은 99.2~99.8 % 범위의 값을 보였다.

3.2. 시료채취 지점의 기후조건

각 공장 내의 10개 지점에서 시료를 채취할 때

Table 1. The detection limits and precisions of analytical methods

Compounds	detection limit(ppb)	precision (rsd, %)	linearity	recovery(%)	
				taken	%
ammonia	4.78	1.26	0.98	0.60 $\mu$ g	99.2
trimethyl amine	0.07	6.60	1.00	0.25 $\mu$ g	99.8
formaldehyde	0.20	1.20	1.00	7.0 ng	99.6
acetaldehyde	0.07	0.21	1.00	7.0 ng	99.8
propion aldehyde	0.12	0.52	1.00	7.0 ng	99.7
butyl aldehyde	0.10	0.68	1.00	12.0 ng	99.6
n-valeric aldehyde	0.36	1.06	1.00	6.0 ng	99.4
iso-valleric aldehyde	0.28	0.81	1.00	6.0 ng	99.4
hydrogen sulfide	0.39	0.41	1.00	8.0 nL	99.3
methyl mercaptan	0.20	0.53	0.99	8.0 nL	99.6
dimethyl sulfide	0.27	0.44	0.99	4.0 nL	99.5
dimethyl disulfide	0.19	1.61	1.00	5.0 nL	99.5

rsd: relative standard deviation

Table 2. The climate conditions of sampling points

Sampling points	direction of wind		velocity of wind (m/s)		temperature (°C)		humidity (%)	
	Chongju	Yeosu	Chongju	Yeosu	Chongju	Yeosu	Chongju	Yeosu
1	NEE	SWW	0.7	2.2	29.6	34.4	58.8	53.6
2	NNE	ESS	1.0	2.1	28.9	32.1	60.4	49.4
3	NNE	ESS	0.7	1.2	31.1	31.5	56.1	65.2
4	NNE	S	0.9	2.8	30.6	32.5	55.2	59.2
5	NNE	ESS	1.5	1.9	29.4	30.9	60.0	62.8
6	NNE	ESS	1.1	1.2	28.1	32.8	60.7	68.1
7	NNE	ESS	1.8	1.8	30.5	34.3	55.7	58.1
8	NNE	ESS	1.0	3.1	32.5	32.4	51.7	51.2
9	NNE	ESS	1.5	1.9	28.1	34.1	54.6	55.7
10	WNN	SSW	1.9	1.8	29.5	35.2	54.3	50.3

채취지점의 기후조건인 풍향, 풍속, 기온 및 습도는 Table 2와 같다. Table 2를 보면 풍향에 있어서는 청주공장의 경우에는 대부분 북북동풍인데 비해 여수공장에서는 동남남풍으로 서로 차이가 있지만 풍속, 기온 및 습도에 있어서는 두 지역 공장에서 큰 차이가 없다.

3.3. 악취규제물질의 분석결과

3.3.1. 암모니아와 트리메틸아민

두 화학공장의 채취시료에서 암모니아와 트리메틸아민을 분석한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3을 보면 암모니아의 경우에는 청주공장에서 0.00~28.66 ppb, 여수공장에서 32.26~127.71 ppb 범위로 검출되어 여수공장에서 약간 높지만 이들 모두 한국의 공업지역 규제치, 2ppm 보다 낮았다. 트리메틸아민은 청주공장에서 0.00~2.02 ppb, 여수공장에서 0.00~2.34 ppb 범위로 검출되었으며 이들 모두 공업지역 규제치, 20ppb 보다 낮았다.

3.3.2. 알데히드 화합물

두 공장에서 채취한 시료에서 알데히드 화합물들의 분석결과는 Table 4 및 5와 같다.

Table 3. Analytical data of ammonia and trimethyl amine

Sampling points	ammonia (ppb)		trimethyl amine (ppb)	
	Chongju	Yeosu	Chongju	Yeosu
1	-	46.38	0.45	2.34
2	12.41	39.68	1.46	1.52
3	19.30	51.02	2.02	1.01
4	13.82	30.81	1.20	1.10
5	25.95	118.05	-	1.39
6	21.80	127.71	-	0.73
7	13.83	120.65	1.61	-
8	13.93	39.71	1.90	0.35
9	27.18	32.26	1.31	-
10	28.66	122.29	1.34	0.78

- : not detected

Table 4와 5를 보면 포름알데히드의 경우에는 청주공장에서 0.00~4.51 ppb, 여수공장에서 4.45~19.75 ppb 범위로 검출되어 두 공장 사이에 차이는 크지만 이들 모두 규제치, 20ppm 보다 상당히 낮다. 아세트알데히드의 경우에는 청주공장에서 0.00~

Table 4. Analytical data of aldehyde compounds in Chongju plant

Sampling points	formaldehyde (ppb)	acetaldehyde (ppb)	propion aldehyde (ppb)	butyl aldehyde (ppb)	n-valeric aldehyde (ppb)	iso-valeric aldehyde (ppb)
1	2.47	-	-	0.79	-	-
2	-	-	-	-	-	-
3	3.20	-	-	0.98	-	-
4	1.84	-	-	0.81	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	0.78	-	-	0.67	-	-
7	4.51	0.63	-	-	-	1.22
8	-	0.61	-	0.64	-	-
9	0.39	-	-	-	-	0.80
10	-	0.61	-	-	-	-

화학공장에서 배출되는 악취규제물질의 분석 및 평가

0.63 ppb, 여수공장에서 0.08~0.97 ppb 범위로 검출되어 이들도 모두 규제치, 0.1ppm 보다 낮았다. 부틸알데히드의 경우에 여수공장에서는 검출되지 않았고, 청주공장에서 0.00~0.98 ppb 범위로 검출되었으나 규제치, 0.1ppm 보다 낮았고, 특히 프로피온알데히드, 노르말-발레르알데히드는 두 공장에서 모두 검출되지 않았고, 이소-발레르알데히드는 청주공장의 시료채취지점 7과 9에서만 각각 1.22와 0.80 ppb로 검출되었고, 이들도 규제치, 0.006ppm 보다 낮았다.

3.3.3. 황 화합물

두 공장에서 채취한 시료에서 각각 황 화합물들의 분석결과는 Table 6과 같다.

Table 6을 보면 메틸머captan과 디메틸디설파이드의 경우에는 두 공장의 모든 측정지점에서 검출되지 않았고, 황화수소의 경우는 청주공장에서 0.00~39.11 ppb, 여수공장에서 19.60~45.92 ppb 범위로 검출되었으나 모두 규제치, 0.06ppm보다는 낮았다. 디메틸설파이드는 청주공장에서 0.00~10.84 ppb, 여수공장에서 14.50~27.03 ppb 범위로 검출되었고 이들도 모두 규제치, 0.05ppm 보다 낮았다.

이상의 모든 악취규제물질에 대한 한국의 공업지역 규제치는 참고문헌<sup>7)</sup>을 참조했다.

4. 결 론

같은 종류의 두 화학공장에서 발생 가능한 악취 규제물질(암모니아, 트리메틸아민, 포름알데히드, 아세트알데히드, 프로피온알데히드, 부틸알데히드, 노르말-발레르알데히드, 이소-발레르알데히드, 황화수소, 메틸머captan, 디메틸설파이드 및 디메틸디설파이드)을 청주와 여수 산업단지에 위치한 공장을 대상으로 하여, 자외선/가시선 분광광도법, 기체 크로마토그래피 및 고성능 액체 크로마토그래피법에 의한 분석결과로부터 다음 결론을 얻었다.

1) 두 공장의 모든 측정지점에서 측정된 악취물질의 배출농도는 모두 한국의 공업지역 배출허용기준보다 낮았다. 특히 프로피온알데히드, 노르말-발레르알데히드, 메틸머captan, 디메틸디설파이드의 경우에는 두 공장의 모든 측정지점에서 검출되지 않았고, 여수 공장에서는 부틸알데히드와 이소-발레르알데히드가 검출되지 않았다.

Table 5. Analytical data of aldehyde compounds in Yeosu plant

Sampling points	form-aldehyde (ppb)	acet-aldehyde (ppb)	propion aldehyde (ppb)	butyl aldehyde (ppb)	n-valeric aldehyde (ppb)	iso-valeric aldehyde (ppb)
1	6.45	0.22	-	-	-	-
2	4.45	0.08	-	-	-	-
3	19.75	0.85	-	-	-	-
4	5.40	0.08	-	-	-	-
5	18.24	0.97	-	-	-	-
6	8.91	0.38	-	-	-	-
7	7.40	0.34	-	-	-	-
8	5.53	0.11	-	-	-	-
9	10.66	0.35	-	-	-	-
10	8.36	0.12	-	-	-	-

Table 6. Analytical data of sulfur compounds

Compounds points	hydrogen sulfide (ppb)		methyl mercaptan (ppb)		dimethyl sulfide (ppb)		dimethyl disulfide (ppb)	
	Chongju	Yeosu	Chongju	Yeosu	Chongju	Yeosu	Chongju	Yeosu
1	-	20.79	-	-	-	22.46	-	-
2	-	21.51	-	-	-	20.09	-	-
3	19.01	19.60	-	-	9.60	16.95	-	-
4	-	20.93	-	-	-	22.14	-	-
5	25.66	27.87	-	-	-	19.82	-	-
6	38.26	20.00	-	-	11.14	22.11	-	-
7	-	24.42	-	-	9.15	22.96	-	-
8	-	23.65	-	-	-	20.90	-	-
9	39.11	45.92	-	-	10.84	27.03	-	-
10	33.29	33.81	-	-	10.45	14.50	-	-

2) 암모니아, 포름알데히드, 아세트알데히드, 황화수소 및 디메틸설파이드의 경우에는 여수 공장의 모든 측정지점에서 검출되었다. 이들의 배출농도는 모두 배출허용기준 보다는 낮지만 이에 대한 대책은 필요할 것이다.

3) 악취물질의 배출은 공장의 제조공정, 생산일정, 조업조건 등과 밀접한 관계가 있을 것이므로 주기적으로 배출정도를 측정하여 이에 대한 적절한 대책을 세워야 할 것이다.

본 연구에서 실시한 화학공장의 악취규제물질에 대한 분석결과 및 자료는 향후 악취방지에 관한 연구와 이에 대한 대책수립에 기여하게 될 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 연구는 “산업단지 내의 공장에서 대기환경관리방안 연구사업”으로 두 공장에서 지원받아 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

### 참고 문헌

- 1) 화학공학협회, 1997, 악취, 탄화수소 배출방지 기술, 7-11.
- 2) 일본 악취대책연구협회, 1998, 악취대책연감, 289-4294.
- 3) 환경부, 2005, 악취방지법, 15pp.
- 4) 김민구, 정영림, 박정진, 서영민, 윤인구, 2002, 관능법과 기기분석법을 접목한 악취원인물질 평가 방법, 한국냄새환경학회지, 1(1), 31-32.
- 5) 양성봉, 2002, 우리나라의 악취규제제도, 한국냄새환경학회지, 1, 6-15.
- 6) 허목, 1990, ASTM 주사기법에 의한 환경 악취의 관능 측정법에 관한 연구, 대한환경공학회지, 12, 1-8.
- 7) 국립환경연구원, 2005, 악취공정시험방법, 제2005-4호, 69-143.
- 8) Kaiser, H., 1970, Anal. Chem., 42, 53A-58A.
- 9) G. L. Long and L. D. W. Fordner, 1983, Anal. Chem., 55, 712A.