

김해시 본산공단 주변지역의 환경대기 중 주요 악취물질의 농도 특성에 관한 연구

정성욱^{1,2)} · 변기영²⁾ · 박흥재^{2)*}

¹⁾인제대학교 환경·산업의학연구소, ²⁾인제대학교 환경공학부
(2011년 8월 25일 접수; 2011년 11월 5일 수정; 2011년 12월 22일 채택)

Odorous Compound Concentration Levels in Bon-San Industrial Area and Its Surrounding Regions

Seong-Wook Jeong^{1,2)}, Ki-Yeong Byeon²⁾, Heung-Jai Park²⁾

¹⁾Institute of Environmental & Occupational Medicine, Inje University, Pusan 633-165, Korea

²⁾Environmental Engineering, Inje University, Gimhae, 621-749, Korea

(Manuscript received 25 August, 2011; revised 5 November, 2011; accepted 22 December, 2011)

Abstract

In this study, the characteristic of offensive major odorous compound from the Bon-San industrial complex in Gimhae were determined by analytical methods of Gas Chromatography, High Performance Liquid Chromatography and UV/VIS Spectrophotometer. The kind of major odorous compounds examined acetaldehyde, sulfur compounds, ammonia and styrene. The concentration of all odorous compounds at 3 sampling points of industrial complex were lower than those of regulation standard levels of the industrial complex in Korea. The mean concentration of hydrogen sulfide was 0.0235 ppm at sampling point 2, it was higher than other sampling point. Complex odors was lower than regulation standard levels of the industrial complex in Korea.

Key Words : Acetaldehyde, Sulfur compounds, Ammonia, Styrene, Complex odors

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 사

람의 육안으로 식별이 가능하지만 악취 오염물질은 그렇지 못한 경우도 있어 후각에 의해서 식별이 가능한 경우가 많고(문 등, 2005), 악취 오염물질은 공장의 굴뚝과 같은 단일 배출장소에서 배출될 뿐만 아니라 대기에 개방된 장치나 설비 및 야외의 조업 등에서 산발적으로 배출되는 등 그 발생원이 매우 다양해서 악취물질의 제거에는 투자비에 비해 개선효과가 낮으므로 대기오염물 중에서도 까다롭고 해결하기 어려운 공해문제로 대두되고 있다(부산지역환경기술개발센터, 2006). 우리나라는 인구밀도가 높고 공업지역과 주거지역이 인접한 경우가 많아 악취에 대한 민원의 소지가 높다.

*Corresponding author : Heung-Jai Park, Environmental Engineering, Inje University, Gimhae 621-749, Korea
Phone: +82-55-320-3418
E-mail: envphj@inje.ac.kr

생활수준의 향상으로 과거에는 참고 살았던 생활민원형 악취에도 민감하게 반응하는 등 삶의 질에 대한 욕구가 높아지면서 민원의 형태로 행정기관 등에 불만을 호소하는 사례가 급증하면서 악취에 대한 인식이 새롭게 부각되고 있다. 그러나 공업단지에 산재한 배출원의 악취성분에 대한 규제보다는 생활악취에 대한 규제에 중점을 두고 관리하여 왔다. 그 이유는 악취원인물질은 그 종류가 이미 알려진 200만종의 유기화합물 중 약 1/5인 약 40만종이나 되고, 수 ppb이하의 미량물질도 악취의 원인이 될 수 있다는 점, 여러 물질이 복합적으로 작용한다는 점 등의 제약으로 인하여 악취원인물질규명을 어렵게 하고 있다(악취법령연구회, 2002).

우리나라 악취방지법에는 악취 오염물질을 황화수소, 머캅탄류, 아민류 및 기타 자극성 있는 기체상태의 물질들이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의하고 있다. 악취물질은 대단히 많은 종류의 물질들이 대기에 방출됨으로써 발생하는 환경오염으로 여러 측면에서 복잡한 특성을 지니고 있으며, 악취 오염의 결과도 단일물질에 의하다기보다는 많은 종류 화합물들의 복합적 성질에 기인한다고 볼 수 있다(김 등, 2002; 최와 김, 2007). 또한 악취는 감각적이고 주관적인 오염물질로 상황 또는 개인의 성향에 따라 문제의 심각성 여부와 정도가 판단되기 때문에 정량적인 측정이 어려운 물질이다. 그러나 이러한 악취로 인한 민원이 계속 발생하고, 쾌적한 생활환경을 원하는 요구가 점점 커지기 때문에 이를 충족시키기 위해서는 반드시 악취문제를 해결해야만 한다.

최근 산업단지화 인접해 있는 주거지역에서 악취민원이 지속적으로 제기됨에 따라 산업단지 중심 악취관련 조사연구, 악취 원인물질 조사 분석, 악취 저감방안 연구가 활발히 수행되고 있으나, 김해지역 악취관련 조사가 거의 이루어지지 않는 상태이다.

따라서 본 연구에서는 공단 인근 지역 주민들의 쾌적한 생활환경을 위해 악취 유발 물질의 성분 및 배출 정도를 계절별 및 시간대별로 분석 및 평가하여 자료를 축적하고, 계절에 따른 악취오염의 실태를 파악하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 조사 지점 및 조사대상

본 연구의 측정지점인 본산공단에서의 악취특성을 평가하기 위하여 Fig. 1.과 같이 도농복합지역인 본산공단의 주요 3개 지점을 측정 지점으로 선정하였으며, 직접적인 농도 측정(Site 1, 2, 3)과 공기희석 관능법(Site I, II, III)을 통하여 복합악취를 조사하고, 조사된 결과를 바탕으로 수치모의를 하였다.

각 조사지점에 따라 계절별(March, July, September) 및 시간대별(오전, 오후, 저녁)로 조사를 실시하였으며, 이 결과를 바탕으로 수치모의를 위한 기초자료로 사용하여 악취 유발 물질의 확산범위를 조사하였다. 본 연구에서 사용된 모델은 기존의 악취영향평가에 활용되고 있으며, 미국 환경보호청(EPA)에서 공급되는 대기확산 프로그램 중의 하나인 ISC3을 사용하여 수행하였다.

측정 항목은 스타이렌(Styrene), 암모니아(Ammonia), 황화수소(Hydrogen Sulfide), 아세트알데하이드(Acetaldehyde), 메틸머캅탄(Methyl Mercaptan), 디메틸설파이드(Dimethyl Sulfide), 디메틸디설파이드(Dimethyl Disulfide) 물질을 중심으로 조사하였다.

복합악취 조사는 캐니스터를 이용하여 시료를 포집 후 공기희석 관능법을 이용하여 성인 남 3명, 여 3명으로 실시하였다.

2.2. 분석방법

2.2.1. 악취물질 분석방법

암모니아는 분석용 시료용액에 페놀 니트로프루시드 나트륨용액과 차아염소산 나트륨용액을 가하고 암모늄이온과 반응시켜 생성되는 인도 페놀법에 기초하여 분석을 실시하였다. UV/VIS Spectrophotometer (SHIMADZU 1650PC, Japan)를 640 nm의 파장대에 고정하여 암모니아를 분석하였다. 황화합물은 시료를 채취하여 GC/FPD (SHIMADZU GC-17A, Japan)를 이용하여 분석하였다. 알데하이드는 알데하이드 물질을 2,4-디니트로페닐히드라존(DNPH) 유도체를 형성하게 하여 액체크로마토그래피(WATERS LC Module I plus, USA)로 분석하였다.

스타이렌은 고체 흡착관을 이용시료 채취하여, 저



Fig. 1. Sampling points selected in Bonsan Industrial Complex.

온농축 기체크로마토그래피/질량분석기(PERKIN ELMER, ATD 400)로 분석하였다.

2.2.2. 복합악취 분석방법

복합악취 측정은 악취공정시험법에 의거하여 공기희석 관능법으로 하였으며, 시료채취 및 희석은 캐니스터를 이용하여 시료채취 후 N₂ 가스로 희석하여 판정원에 의해 악취 판정도를 작성하고, 관능시험 희석배수 결정을 하였다.

2.2.3. 수치모의 적용방법

수치모의에서는 ISC3모델 내에서 각 물질 자체의 수송 및 확산을 보기 위해 다른 물질과의 반응을 고려하지 않은 비 반응성으로 가정하여 수치모의 하였다. 사례일은 본 과제에서 수행한 측정일 중 대부분의 조사지점에서 암모니아가 검출된 2009년 7월31일로 선정 하였으며, 입력자료 및 조건으로 대기질 예측범위는 사업지구를 중심으로 하여 TM좌표로 동서방향, 남북방향으로 설정하였으며 계산범위 내에 500 m ×

500 m의 격자계를 구성하고 각 기상조건에 대하여 각 격자별로 계산된 값이 출력되도록 하였다. 또한 예측 지점은 현황 농도를 고려하기 위하여 현황조사 지점과 동일하게 하였다. 계산영역내의 지형변화 효과를 고려하도록 하였으며 EPA에서 규정된 기본 option (regulatory option)들을 모두 채택하도록 하였다. 또한 모델링 적용인자 산정은 조사지역을 대상으로 모델링을 시행하기 전 현황농도를 이용한 평균농도를 나타내었으며, 조사지점에서 발생하는 악취 확산을 본산공단 지역으로 선정하였으며, 오전, 오후, 저녁 시간대별로 평균농도를 산정하였다. 대기 확산 모델에 필요한 기상 자료는 기상청의 시간별 풍향, 풍속, 기온, 안정도 자료를 사용하였으며, 특히 안정도는 풍향, 풍속, 일사량자료를 이용하여 Pasquill-Turner의 안정도 분류법으로 산정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 측정조사 결과

공기 중 악취 유발물질의 농도는 인근 지역 공장의 생산일정, 생산량 및 계절별 또는 시료채취지점의 기후 조건에 따라 밀접한 관계가 있으므로 본 연구에서는 계절별 및 시간대별로 악취 유발물질을 측정하여 비교 분석 하였다. 측정조사 지점은 Site 1, 2, 3으로 본산공단 인근 지역에 위치하고 있다(Fig 1).

아세트알데히드의 계절별 경향은 3월:0.0061~0.0102 ppm, 7월:0.0010~0.0021 ppm, 9월: 0.0009~0.0027 ppm 의 범위로 모든 조사 지점에서 검출되었으며, 이들은 공업지역의 배출허용기준인 0.1 ppm보다는 낮게 검출되었다. 최 등(2006)의 연구에서 시간대별 농도 변화는 아세트알데히드가 오전에 높은 경향을 나타내는 것으로 보고하였으나, 본 연구에서도 유사한 농도값을 나타내었다. 휘발성유기화합물(VOCs) 성분 중 대표적인 물질인 스타이렌의 계절별 농도 범위는 3월:0.006~0.0053 ppm, 7월:0.005~0.0357 ppm, 9월:0.0015~0.0025 ppm 의 범위로 조사되었으며, 이들은 공업지역의 배출허용기준인 0.8 ppm보다는 낮게 검출되었다.

시간대별 농도는 Site 1, 3의 경우 조사 시간대에서 유사한 농도를 나타내었으나, Site 2의 경우 다소 높은 농도를 나타내었으며, 특히 오후 시간대에서 0.0357 ppm으로 본 연구 기간 동안 가장 높은 농도를 나타내

었다. Site 2의 경우 공단의 가운데 위치한 조사 지점으로, 인근 공장의 배출에 의한 영향을 직접적으로 반영된 것으로 판단된다.

이전의 연구(최 등, 2006)와 유사한 경향을 나타내었다. 암모니아의 계절적 측정 분석 결과 3월에는 모든 조사지점에서 검출되지 않았고, 7월:0.00~0.0817 ppm, 9월:0.00~0.0766 ppm으로 검출되었으며, 이들은 계절, 시간대 및 측정위치에 관계없이 모든 조사지점에서 공업지역의 배출허용기준 미만으로 배출되었음을 알 수 있다. 황화합물의 경우 계절별 측정 분석 결과 3월:0.00~0.0092 ppm, 7월:0.0011~0.0431 ppm, 9월:0.0011~0.0219 ppm으로 검출 되었다. 황화수소의 경우 Site 2 주변지역의 조사기간 동안 전체 평균농도가 0.0235 ppm으로 다른 조사지점 보다는 다소 높게 검출되었으며, 7월 조사기간 동안 황화수소 평균농도가 0.0285 ppm으로 가장 높은 농도를 나타내었다. 특히 오후, 저녁 시간대의 황화수소 농도가 0.0227 ppm, 0.0431 ppm으로 조사되어 시간이 지남에 따라 점차 높은 농도를 나타내었다. 이는 인근 공장의 배출에 의한 영향을 직접적으로 반영된 것으로 판단된다.

황화수소의 경우 대부분 조사지점에서 검출되었으나, 공업지역의 배출허용기준인 0.06 ppm 미만으로 조사되었다. 디메틸디설파이드의 경우 계절, 시간대별 및 조사지점에 관계없이 모든 지점에서 검출 되지 않았다(Table 1~3).

Table 1. The concentration of offensive odorous compound at sampling point 1

unit : ppm

Item	Styrene	Ammonia	Hydrogen sulfide	Methyl mercaptan	Dimethyl sulfide	Dimethyl disulfide	Acetaldehyde		
Regulation standard levels (Industrial complex)	0.8	2.0	0.06	0.004	0.05	0.03	0.1		
Sampling point 1	March	Morning	0.0007	N.D	0.0058	0.0015	N.D	N.D	0.0100
		Afternoon	0.0007	N.D	0.0010	N.D	N.D	N.D	0.0087
		Evening	0.0006	N.D	0.0021	N.D	N.D	N.D	0.0061
	July	Morning	0.0006	0.0817	0.0039	N.D	N.D	N.D	0.0021
		Afternoon	0.0006	N.D	0.0038	N.D	N.D	N.D	0.0010
		Evening	0.0005	0.0160	0.0048	0.0018	0.0018	N.D	0.0013
	September	Morning	0.0018	N.D	0.0029	N.D	N.D	N.D	0.0019
		Afternoon	0.0018	N.D	0.0031	N.D	N.D	N.D	0.0018
		Evening	0.0020	0.0005	0.0034	0.0002	0.0002	N.D	0.0021

* N.D : not detected.

Table 2. The concentration of offensive odorous compound at sampling point 2

unit : ppm

Item	Styrene	Ammonia	Hydrogen sulfide	Methyl mercaptan	Dimethyl sulfide	Dimethyl disulfide	Acetaldehyde		
Regulation standard levels (Industrial complex)	0.8	2.0	0.06	0.004	0.05	0.03	0.1		
Sampling point 2	March	Morning	0.0011	N.D	0.0223	0.0020	N.D	N.D	0.0100
		Afternoon	0.0008	N.D	0.0121	0.0009	N.D	N.D	0.0099
		Evening	0.0008	N.D	0.0302	0.0028	N.D	N.D	0.0088
	July	Morning	0.0102	0.0210	0.0197	0.0018	N.D	N.D	0.0013
		Afternoon	0.0357	0.0210	0.0227	0.0016	N.D	N.D	0.0015
		Evening	0.0163	0.0081	0.0431	N.D	0.0016	N.D	0.0015
	September	Morning	0.0015	0.0458	0.0195	N.D	N.D	N.D	0.0015
		Afternoon	0.0015	0.0539	0.0219	N.D	N.D	N.D	0.0021
		Evening	0.0017	0.0518	0.0201	0.0002	0.0002	N.D	0.0027

* N.D : not detected.

Table 3. The concentration of offensive odorous compound at sampling point 3

unit : ppm

Item	Styrene	Ammonia	Hydrogen sulfide	Methyl mercaptan	Dimethyl sulfide	Dimethyl disulfide	Acetaldehyde		
Regulation standard levels (Industrial complex)	0.8	2.0	0.06	0.004	0.05	0.03	0.1		
Sampling point 3	March	Morning	0.0053	N.D	0.0012	0.0009	N.D	N.D	0.0097
		Afternoon	0.0008	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.0087
		Evening	0.0009	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	0.0102
	July	Morning	0.0007	0.0041	0.0012	N.D	N.D	N.D	0.0013
		Afternoon	0.0016	0.0318	0.0011	N.D	N.D	N.D	0.0015
		Evening	0.0015	0.0372	0.0015	N.D	N.D	N.D	0.0015
	September	Morning	0.0019	0.0766	0.0013	N.D	N.D	N.D	0.0009
		Afternoon	0.0025	0.0340	0.0011	N.D	N.D	N.D	0.0011
		Evening	0.0022	0.0388	0.0019	0.0002	0.0002	N.D	0.0021

* N.D : not detected.

3.2. 복합악취 조사결과

본 연구에서 선정된 조사지점의 공업지역 및 인근에 위치한 주거지역에서 복합악취를 조사한 결과를 Table 4 에 나타내었고, 조사지점은 I, II, III으로 나타내었다(Fig 1). 공단 인근 지역(Site I)의 복합 악취 희석배수가 11배로 조사되어 배출허용기준(희석배수) 미만으로 조사되었으나, 다른 조사지점(Site II, III)의 복합악취 농도 보다는 높은 것으로 조사되었다. 그러나 조사결과가 배출허용기준 미만이라 하더라도

년 1~2회 특정시점의 측정결과를 일반적인 경향으로 볼 수는 없을 것이며, 사람의 개인적 특성과 지형, 기상상태 등의 환경요인에 의해 일반인이 일상적으로 느끼는 정도는 크게 달라질 수 있을 것으로 판단된다.

3.3. 수치모의 결과

악취 유발 물질이 대기 중에 미치는 영향을 ISC3 (Industrial Source Complex Dispersion 3) 중 단기 확산 모델인 ISCST3을 이용하여 암모니아 농도분포를 예측한 결과 본산 공단의 암모니아 예측농도는 오전

Table 4. The concentration of complex odors

Sampling point	Site I	Site II	Site III
Dilution	11	9	3
Remark	Lower than standard levels	Lower than standard levels	Lower than standard levels

에 0.0417~0.0437 ppm 범위를 나타내었고, 오후 시간대는 0.0309~0.0324 ppm 범위를 나타내었으며, 저녁 시간대의 예측농도 범위는 0.0239~0.0250 ppm 으로 예측되어 본산 공단의 경우 오전 시간대에 가장 높은 예측 농도를 나타내었으며, 시간이 지날수록 대기의 확산 및 수송 효과에 의해 점차 농도가 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 2~4).

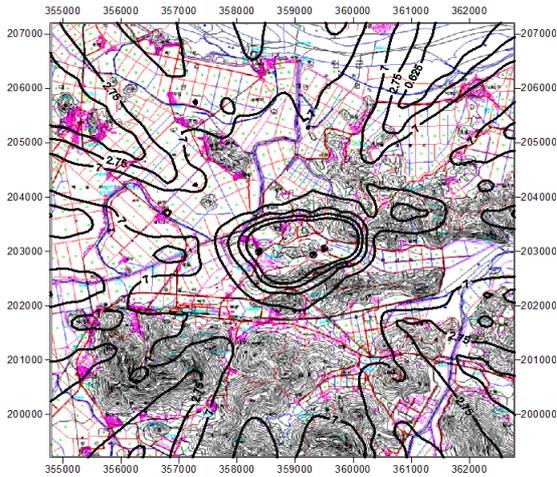


Fig. 2. The distribution chart of ammonia in Bon-san industrial complex [Morning].

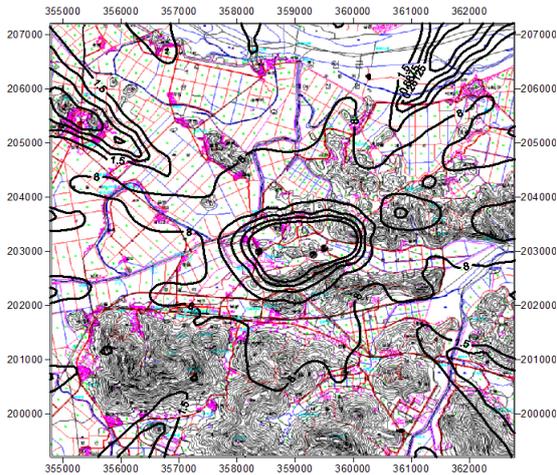


Fig. 3. The distribution chart of ammonia in Bon-san industrial complex [Afternoon].

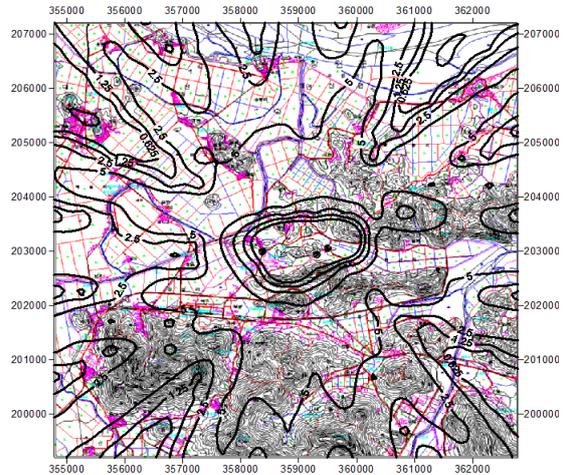


Fig. 4. The distribution chart of ammonia in Bon-san industrial complex [Evening].

4. 결론

- 본산공단 지역에 위치한 조사지점 3곳 모두 배출허용기준 미만으로 검출 되었으며, 스타이렌의 계절별 농도에서 여름철 Site 2에서 오후시간대에 0.0357 ppm으로 배출 허용기준 미만으로 검출 되었지만 다른 조사지점 보다는 다소 높게 검출되었다. 황화합물의 경우 조사지점 3곳 모두에서 황화수소가 검출되었으며, Site 2 주변지역의 조사기간 동안 전체 평균농도가 0.0235 ppm으로 다른 조사지점 보다는 다소 높게 검출 되었으며, 6월 조사기간 동안 황화수소 평균농도가 0.0285 ppm으로 가장 높은 농도를 나타내었다.

- 복합약취의 조사지점은 공업지역의 인근에 위치한 주거지역에서 복합약취를 조사한 결과 공단 인근 지역(Site I)의 복합 약취 희석배수가 11배로 조사되어 배출허용기준 미만으로 조사 되었지만, 본산공단 지역에서 가장 높은 복합약취 농도를 보였다. 측정결과가 배출허용기준 미만이라 하더라도 년 1~2회 특정시점의 측정결과를 일반적인 경향으로 볼 수는 없으며, 사람의 개인적 특성과 지형, 기상상태 등의 환경요인에 의해 일반인이 일상적으로 느끼는 정

도는 크게 달라질 수 있다. 그러나 공업지역 인근에 상가 및 주거지 등 인구 밀집지역도 포함하고 있기 때문에 잠재적 민원 발생의 소지가 많은 곳이라고 볼 수 있다.

- 악취 유발 물질이 대기 중에 미치는 영향을 ISC3(Industrial Source Complex Dispersion3) 중 단기 확산 모델인 ISCST3을 이용하여 암모니아 농도분포를 예측한 결과 본산 공단의 암모니아 예측농도는 오전에 0.0417~0.0437 ppm 범위를 나타내어, 오전 시간대에 가장 높은 예측 농도를 나타내었다.
- 따라서, 본산공단 지역의 경우 공업지역 인근에 주거지역이 형성되어있으므로, 저감시설의 지속적인 유지 보수 및 악취유발물질의 정확한 배출원 분포와 산정을 위해 여러 곳에 산재되어 있는 배출원의 지속적인 감시관리가 필요하며, 향후 보다 쾌적한 대기 질 향상을 위해서는 공업지역과 주거지역의 차별화된 지역 관리가 필요한 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 경남지역 환경기술개발센터의 연구비 지원(2009)에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

김민구, 정영림, 박정진, 서영민, 윤인구, 2002, 관능법과 기기분석을 접목한 악취 원인물질 평가방법, 한국냄새환경학회지, 1(1), 31-32.

문난경, 이영수, 강영현, 김영하, 2005, 환경영향 평가 시 대기확산모델의 적용에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원 연구보고서, 153.

부산지역환경기술개발센터, 2006, 악취오염의 현황과 관리방안에 관한 심포지엄 요약집, 57.

악취법령연구회, 2002, 핸드북 악취방지법(일본), 28-29.

최여진, 김기현, 전의찬, 2006, 산업단지 및 주거지역에 대한 환경대기 중 주요 악취물질의 농도특성에 관한 연구-안산시 반월공단을 중심으로-, 한국지구과학회지, 27(2), 209-220.

최재성, 김재우, 2007, 계절별 악취물질의 배출량 분석 및 평가에 관한 연구, 한국환경과학회지, 16(1), 27-32.