

쓰레기 적환장의 악취발생 특성

대기화학팀

김은숙 · 이준연 · 차영섭 · 김영두 · 신덕영 · 천정완 · 이종현 · 유승성 · 전재식 · 엄석원

The Emission Characteristics of Odor Compounds from the Waste Transfer Station

Atmospheric Chemistry Team

**Eun-sook Kim, Jun-yeon Lee, Yeong-seop Cha, Young-Doo Kim,
Deok-young Shin, Chung-wan Chun, Jong-hyun Lee, Seung-sung Yoo,
Jae-sik Jeon and Seok-won Eom**

Abstract

The complex odor, as well as 17 odorous compounds were measured from 18 waste transfer stations located in Seoul, identifying major substances contributing to the production of odor, and evaluating the characteristics of the odor. The dilution ratio value of complex odor ranged from 4 to 30 in the boundary layer of 18 waste transfer stations. In 6 measurement points of a total of x measurement points in 18 waste transfer stations, the dilution ratio value exceeded that of the standard (15). When the results were evaluated in terms of their contribution to the formation of malodor, the highest values were determined for i-valeraldehyde and acetaldehyde in residential wastes disposal processes, while butyraldehyde and acetaldehyde accounted for a large proportion of odorous compounds in the waste recycling process. It was found that butyraldehyde and acetaldehyde were the primary compounds released from the food waste disposal process. Overall, aldehyde compounds were the biggest contribution to odor intensity detected by people at waste transfer stations.

Key words : waste transfer station, odor, residential wastes, recyclable waste, food waste

서론

악취는 황화수소, 메르캅탄류, 아민류 등 기타 자극성 있는 기체상 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로서 발생원이 다양할 뿐만 아니라 악취물질도 종류가 많고 다양하다. 최근 삶의 질 향상과 쾌적한 생활환경에 대한 욕구가 증가되면서 악취 민원 발생의 범위가 산업 배출원에서 도심 주거지역까지 확대되고 있는 실정이다. 도시지역의 주요 악취발생원인 하수처리장과 폐기물적환장 등과 같은 환경기초시설은 처리과정에서 여러 종류의 악취물질이 발생되어 인근 주민들에게 민원발생의 대상이 되고 있다. 2007년 환경부 자료에 의하면, 2006년 환경기초시설에서의 악취 민원 발생 건수는 총 127건으로서 하수종말처리시설 43건, 생활폐기물처리시설(쓰레기적환, 매립, 소각) 32건, 축산폐수시설 9건, 음식물쓰레기처리시설 43건으로 생활폐기물처리시설 및 음식물쓰레기처리시설에서 민원 발생이 많았다(1). 환경기초시설에서 발생하는 민원은 악취로 인한 민원 외에도 혐오시설에 대한 이미지가 강해 건강위해나 지가하락 등 주변에 대한 부정적 영향으로 주민들이 인근 주변지역에 환경기초시설이 존재하는 것을 매우 기피하는 경향이 높다. 이와 같이 도시 생활 주변에 위치한 환경기초시설에서 민원발생이 증가함에 따라 악취관리의 필요성이 대두되고 있다. 이러한 생활악취 배출원의 효율적인 관리를 위해서는 악취물질 배출원 파악, 배출특성 및 강도, 배출량 등을 포함하는 배출원 목록작성과 기여도 분석 등이 필요하다(2). 그러나 악취배출시설 별로 어떤 악취물질이 주요 악취물질로서 작용하는지 조사 연구된 기초 자료가 없어, 발생 악취물질의 종류에 따른 적합한 방지시설을 설치 운영 하여야 함에도 불구하고 관련 자료들이 매우 부족한 실정이다. 특히 폐기물 적환장에서의 악취발생은 발생원이 다양하고 운반 보관시설 등 사업장 전체에서 악취가 발생하는 특성이 있어 효과적인 악취저감대책을 수립하는데 어려움이 따른다(3). 이에 본 연구에서는 서울시내 악취 민원발생 시설중의 하나인 쓰레기 적환장의 복합악취와 암모니아 등 17개 개별항목에 대해 주

요 배출원과 부지경계 지점에서 항목별 농도 조사를 하였다. 또한 분석 자료를 기초로 시설별 악취 발생물질의 기여도를 평가하여 쓰레기 적환장의 악취저감을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

시료채취 및 분석방법

1. 시료채취

본 연구는 쓰레기 적환장에서 발생하는 악취물질의 특성을 파악하기 위한 것으로 서울시내 소재 쓰레기적환장 중 민원 발생이 잦은 18지점(일반생활폐기물 7지점, 재활용 3지점, 음식물 적환장 8지점)과 공정별 특성을 파악하기 위해 1곳의 종합시설(일반생활폐기물, 재활용, 음식물 반입이 동시에 이루어짐)을 선정하였다. 쓰레기 적환장은 가정에서 나오는 생활폐기물을 최종 처리 단계로 가기 전에 적재용량이 작은 차량으로 수집한 폐기물을 큰 차량으로 옮겨 신거나 분리·선별 처리하기 위해 임시 보관하는 장소를 말한다. 주로 일반쓰레기, 재활용, 음식물쓰레기 적환장으로 구분된다. 일반쓰레기 및 음식물쓰레기는 반입 시 투입구 근처, 재활용품 보관시설내부, 부지경계에서 각 2회씩 채취하였으며, 부지경계에서의 시료채취는 악취가 가장 심할 것으로 예상되는 지점에서 채취하였다. 시료는 악취 민원이 빈번하게 발생하는 5월~10월에 걸쳐 작업시간대(새벽~오전), 주 풍향을 고려하여 기상조건이 저기압일 때 악취공정 시험방법에 따라 수행하였다.

2. 분석방법

쓰레기 적환장에서의 악취발생 특성을 파악하기 위해 복합악취 및 주요 지정악취물질 중 암모니아, 황화합물류, 알데하이드류 등 17종을 대상으로 조사 분석하였다. 복합악취 및 황화합물의 시료채취는 시료채취 전 고순도 질소(99.999%)로 3회 이상 세척한 테들러 백을 이용 5 L/min로 시료를 간접 흡입하였다. 복합악취 분석은 3점식 공기회석 관능법으로 하였다. 지정악취물질인 황화합물류는 Air sampler가 부착된 전자 냉각방식을 이용한 열탈착장치(AS/TD Unity, Markes)를 이

용, 내부 Cold trap에서 시료를 -15°C로 일정시간(용량) 농축 후 수초내에 280°C 고온 탈착하여 GC/PFPD(GC-3800 Varian)로 주입시켜 분석하였다. 표준시료($\mu\text{mol/mol}$ 농도)는 인증표준가스(Rigas, Korea, 메틸머캅탄 9.7, 황화수소 9.9, 다이메틸설파이드 9.8, 다이메틸다이설파이드 9.9)와 테들러백(Tedlar bag : 10 L, SKC)을 사용하여 고순도 질소와 혼합 희석하여 사용하였다. 암모니아의 경우 0.5% 봉산용액을 임핀저에 각각 20mL씩 채워 직렬로 연결한 후 10 L/min으로 5분간 50L를 채취하여 흡광광도계(Shimadzu UV01650 PC, 640 nm)를 이용 인도페놀법을 적용하여 분석하였다. 표준시료는 황산암모늄을 이용 공정시험방법에 준하여 준비하였다. 알데하이드류는 오존 스크리버를 연결한 DNPH 카트리지(LpDNPH S10, Supelco)를 사용 1.5 L/min으로 5분간 채취하여 acetonitrile 5 mL/min으로 용출시킨 후 HPLC(Waters2695, Waters)로 분석하였다. 표준시료는 알데하이드 표준용액(All aldehydes 0.1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$, acetonitrile solution, Wako)을 단계별로 희석하여 사용하였다.

휘발성유기화합물인 스티렌, 톨루엔, 자일렌, 메틸에틸케톤, 메틸아이스부티르케톤, 뷰티르아세테이트의 경우 고체흡착관(Tenax TA, Supelco)에 0.2 L/min로 5분간 통과시켜 채취하였다. 그리고 흡착관을 열탈착장치(STD1000, Dani)로 전처리하고 GC/MS(QP2010, Shimadzu)로 분석하였다. 표준시료($\mu\text{mol/mol}$ 농도)는 인증표준가스(Rigas, Korea)로 스티렌 5.2, 톨루엔 5.1, o,m,p-자일렌 4.9, 메틸에틸케톤 10, 메틸아이스부티르케톤 9.8, 뷰티르 아세테이트 9.8로 준비하였다. 이들 표준 가스는 희석시스템(APK610, KnR)을 사용하여 고체흡착관에 고순도 질소로 희석하여 사용하였다. 또한 트리메틸아민도 산성여과지를 여과지 홀더에 장착하여 10 L/min으로 5분간 50L 채취한 다음 헤드스페이스(Turbomatrix 40, Perkin Elmer)로 전처리하고 GC/FID(GC 2010, Shimadzu)로 분석하였다. 표준시료는 1 $\mu\text{g}/\mu\text{L}$ TMA표준용액(Wako)을 사용 희석하여 악취공정시험법(4)에 준하여 준비하였다. 위의 주요 지정 악취물질 분석에 따른 기기분석조건은 표 1과 같다.

결과 및 고찰

1. 부지경계에서의 악취발생 특성

조사대상 18지점의 쓰레기 적환장에 대한 부지경계선에서의 복합악취는 4~30배로 6개 지점에서 악취배출시설 부지경계기준 15배를 초과한 것으로 나타났다(그림 1). 기준치를 초과한 대상 지점의 대부분이 음식물류 및 노천 적환장으로, 제대로 시설이 갖추어지지 않은 채 그대로 방치하여 발생된 침출수가 바다에 고여 있거나 진입로 바다에 폐수 등이 고여 있었다. 또한 시설이 갖추어져 있다 해도 형식적으로 설치되어 있어 자동분사 탈취장비 및 소독 방역이 미흡하고 오·폐수 관로 주변 청결상태 관리가 소홀한 것으로 나타났다. 이러한 시설들은 작업상황이나 기상 등 주변 상황에 따라 언제든지 악취 민원이 제기 될 수 있다고 판단된다.

개별 지정악취성분 17종에 대한 결과는 악취방지법상 기타지역 배출허용기준치를 초과하는 항목은 없었다. 주로 유기물이 분해되면서 발생한 에탄올이 산화되는 과정에서 생성되는 아세트알데하이드, 불쾌한 냄새와 썩은 냄새를 주로 유발하는 뷰티르알데하이드, 이소발레르알데하이드류가 검출되었다. 그림 2에 복합악취의 기준이내 및 초과 지점의 개별악취 농도를 평균하여 그래프로 나타냈다. 복합악취가 기준초과된 지점에서는 아세트알데하이드 > 뷰티르알데하이드 > 이소발레르알데하이드 순으로 검출되었으며, 기준이내의 지점에서는 아세트알데하이드 > 프로피온알데하이드 > 이소발레르알데하이드 순으로 검출되었다. 기준이내 지점과 비교했을 때 기준초과 지점에서는 뷰티르알데하이드, 이소발레르알데하이드 농도가 높게 나타났다. 이들 항목은 최소감지농도가 낮아 낮은 농도에서도 강한 냄새를 유발 할 수 있다. 한편, 기온이 높은 하절기에 시료채취가 이루어졌음에도 불구하고 유기물의 부패시 발생하는 황화합물류가 검출되지 않은 것은 쓰레기의 수거가 발생원로부터 비교적 빠른 시간 내에 처리되고 있기 때문인 것으로 사료된다. 또한 암모니아, 트리메틸아민, 휘발성유기화합물류는 모두 검출한계 미만으로 나타났다.

Table 1. Summary of instrumental set-up and analytical conditions

Items	Instrument	Analytical conditions
Trimethylamine	GC/FID (GC2010, Shimadzu) HS Sampler (TurboMatrix40, Perkin Elmer)	Column Elite5Amine(30 m, 0.53 mm, 3 μ m)
		Oven 40 $^{\circ}$ C(4 min) \rightarrow 15 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 150 $^{\circ}$ C
		Detector 260 $^{\circ}$ C
		Transfer line 130 $^{\circ}$ C
		Oven 50 $^{\circ}$ C
		Carrier flow 10.0 psi
Hydrocarbons	GC/MS (GCMS-QP2010, Shimadzu) TD (STD1000, Dani)	Column VB5(60 m, 0.25 mm, 1 μ m)
		Oven 40 $^{\circ}$ C(5 min) \rightarrow 8 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 200 $^{\circ}$ C(8 min)
		Ion Mode : EI, 70eV
		Ion Temp : 180 $^{\circ}$ C
		Ion Source Temp : 230 $^{\circ}$ C
		Low temp 10 $^{\circ}$ C High temp 300 $^{\circ}$ C
		Tube 280 $^{\circ}$ C Valve 250 $^{\circ}$ C
Sulfur	GC/PFPD (CP-3800 Varian) AS/TD (Unity, Markes)	Column CP-Sil 5CB(30 m, 0.32 mm, 3 μ m)
		Oven 40 $^{\circ}$ C(6 min) \rightarrow 8 $^{\circ}$ C/min \rightarrow 150 $^{\circ}$ C
		Detector 200 $^{\circ}$ C
		Trap U-T8CUS cold trap
		Trap low -15 $^{\circ}$ C Trap high 250 $^{\circ}$ C
		Trap hold 5 min
Aldehydes	HPLC (2695, Waters)	Detector UV/Vis 360nm
		Column temp. 40 $^{\circ}$ C
		Mobile phase(acetonitrile /H ₂ O : 60/40)
		Flow rate 1.5 mL/min
		Analysis temp 15 min
Ammonia	UV-Spectrophotometer (UV-1650PC, Shimadzu)	Absorbance 640nm

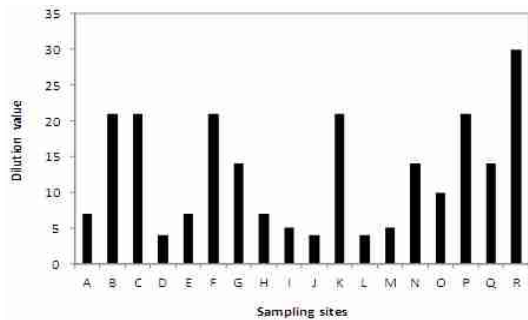


Fig. 1. The dilution ratio value of complex odor at the boundary layer of 18 waste transfer stations.

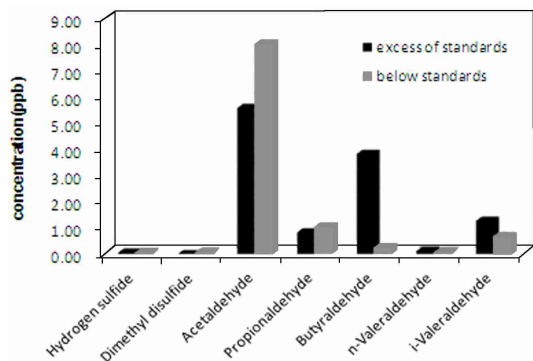


Fig. 2. Average values of odorous compounds in excess of standards and below standards measured in 18 waste transfer stations.

2. 시설별 악취물질 발생특성 및 기여도

일반생활쓰레기 처리시설의 투입구에서 측정된 복합악취는 21배로 작업이 실내에서 이루어지고 있는 점을 고려하면 높지 않았다. 작업이 진행되는 동안 작업 차량의 세척 및 탈취 작업이 동시에 이루어지고 있었으며 관리여부에 따라 악취 발생의 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

재활용 처리시설에서 복합악취는 30배로 나머지 두 개 시설에서의 농도보다 높게 나타났다. 시설 내에서의 공정은 선별, 압축이 주 작업으로 실제로 느끼는 냄새의 강도는 세지 않았으나 공기회석을 통한 관능법에서는 높게 나타났다. 병이나 캔에 남아있는 음료의 부패, 이물질의 오염, 플라스틱, 캔 등에서 기인하는 자극적이고 독특한 냄새가 복합적으로 작용하여 개별 악취물질의 농도는

높지 않음에도 불구하고 높게 나타난 것으로 생각된다. 따라서 시설내부에서 발생하는 악취가 외부로 확산, 배출되지 않도록 밀폐, 또는 국소포집, 후드 장치 등을 설치하여 관리할 필요가 있다고 판단된다.

음식물 쓰레기의 반입과정 및 저장 호퍼에서 발생하는 악취 확산을 방지하기 위해서는 반입장 밀폐가 절대적으로 필요하다. 본 연구의 대상 시설도 반입된 음식물이 투입될 때 외부로 악취가 새어나오지 않도록 에어커튼을 설치하여 복합악취는 14배로 부지경계에 영향을 줄 정도는 아니었지만 기후조건(기온이 높거나 기압이 낮을 경우)에 따라 외부로 악취가 확산될 가능성이 있으므로 이송차량 출입 시 철저히 밀폐하고 작업시설 주변 오피스를 관리하는 등 지속적인 노력이 필요하다.

악취물질은 인간이 후각으로 느끼고 감지할 수 있는 후각 최소감지농도가 서로 다르게 나타난다. 최소감지값이 작을수록 낮은 농도에서 냄새를 강하게 유발하므로 강한 냄새를 낸다고 할 수 있다. 따라서 각 물질 농도 측정만으로 악취의 높고 낮음을 판단하기에는 어려움이 있어 각 악취물질 감지 한계농도를 활용하여 악취 유발물질의 농도를 악취강도와 연계시킨다(5~8). 본 연구에서도 각 개별 악취물질별 측정농도와 악취농도지수(odor quotient : 기기분석의 측정농도를 그 물질의 최소 감지농도로 나눈 값)를 함께 활용하였다. 이를 토대로 각 악취물질별 악취기여도 $\%$ (측정한 악취의 악취농도지수 * 100 / 측정된 모든 악취 농도 지수의 합)도 산출하였다. 표 2는 각 물질의 후각최소 감지농도(9)와 개별악취물질의 평균 농도값을 지수화하여 나타난 결과이다. 일반생활쓰레기 처리 시설에서는 이소발레르알데하이드 > 아세트알데하이드 > 암모니아 순으로 나타났으며, 재활용 처리 시설에서는 뷰티르알데하이드 > 아세트알데하이드 > 암모니아 순으로 나타났다. 음식물 처리시설에서는 아세트알데하이드 > 뷰티르알데하이드 > 메틸머캅탄 순으로 나타났다. 단순 농도만 비교했을 때 아세트알데하이드의 농도가 가장 높게 나타났지만 이소발레르알데하이드, 뷰티르알데하이드 등이 악취농도지수가 높게 나타났다. 이는 최소감지농도의 차이 때문으로 악취저감대책 수립 시 개별

Table 2. Analysis result of odorous compounds according to the disposal processes of waste transfer station

Odor Compounds	Odor Threshold (ppb)	Residential wastes		Recyclable waste		Food waste	
		Avg.	Odor Quotient	Avg.	Odor Quotient	Avg.	Odor Quotient
Complex odor	-	21	-	30	-	14	-
Ammonia	0.1	0.28	2.80	0.23	2.31	0.11	1.14
Hydrogen sulfide	0.5	0.51	1.01	ND ¹⁾	0	0.5	1
Methyl mercaptan	0.1	ND	0	ND	0	0.38	3.75
Dimethyl disulfide	0.3	0.27	0.88	0.23	0.75	ND	0
Acetaldehyde	2.0	12.47	6.23	34.13	17.06	10.19	5.09
Butyraldehyde	0.3	ND	0	8.09	26.95	1.29	4.30
i-Valeraldehyde	0.2	4.91	24.53	ND	0	ND	0
Toluene	900	13.12	0.01	11.11	0.01	ND	0
Xylene	41	18.21	0.44	14.80	0.36	ND	0

¹⁾ ND : Not detected.

성분의 단순농도가 아닌 악취지수를 반드시 고려해야 한다는 것을 의미한다. 그림 3~5는 악취 기여도를 조사하여 각 악취성분들이 냄새발생에 어느 정도 기여하고 있는지 평가한 결과이다. 각 악취물질의 기여도는 전체 악취물질에서 차지하는 악취의 세기를 의미한다. 악취물질 기여도 평가 결과 일반쓰레기 처리시설에서는 이소발레르알데하이드가 68%로 기여율이 가장 높았고 아세트알데하이드가 17%로 큰 비중을 차지하였다. 또한 암모니아, 황화수소, 다이메틸다이설파이드가 소량 기여하는 것으로 나타났다. 나머지 물질들은 거의 검출되지 않거나 검출되었다 하더라도 악취에 기여하는 정도가 극히 미미했다. 재활용 처리 시설에서의 악취물질별 기여율은 뷰티르알데하이드가 57%, 아세트알데하이드 36%, 암모니아 5% 순으로 나타났다. 음식물 처리시설에서는 아세트알데하이드 33%, 뷰티르알데하이드 28%, 메틸머캅탄 25%, 황화수소, 암모니아가 각각 7%로 나타났다. 2007년 박주영(10)이 연구한 환경기초시설 악취저감방안 연구의 음식물류 폐기물 자원화

시설의 악취배출 특성에서 밝힌 결과에서도 아세트알데하이드, 황화합물(메틸머캅탄)이 높은 기여를 한 것으로 나타나 유사한 경향을 보였다. 약간의 비중 차이는 있지만, 알데하이드류, 황화합물류, 암모니아 성분 등이 쓰레기 적환장에서 발생하는 여러 가지 악취 중에서 사람이 체감하는 악취강도에 기여정도가 큰 물질임을 알 수 있다.

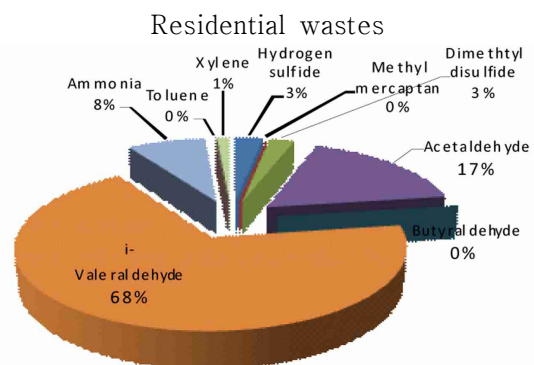


Fig. 3. Contribution ratio of major odorous compounds at the residential wastes disposal facility.

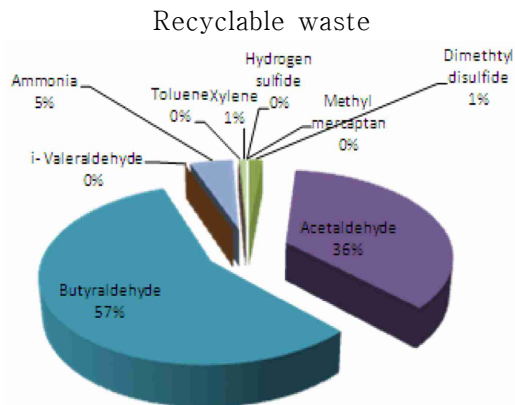


Fig. 4. Contribution ratio of major odorous compounds at the waste recycling facility.

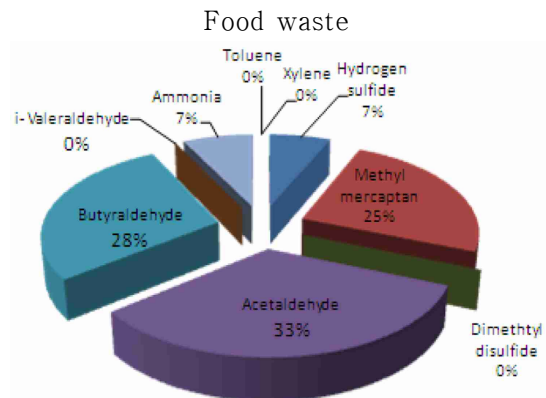


Fig. 5. Contribution ratio of major odorous compounds at the food waste disposal facility.

결론

서울시내 악취 민원발생 시설중의 하나인 쓰레기 적환장에 대하여 악취 원인물질과 물질별 특성 파악을 위해서 쓰레기 적환장을 대상으로 복합악취 및 지정악취물질 17종을 조사 분석하였다. 악취물질 기여도 평가 결과 일반쓰레기 처리시설에서는 이소발레르알데하이드, 아세트알데하이드가 주요 악취원인물질로 나타났으며, 재활용 처리시설에서는 뷰티르알데하이드, 아세트알데하이드가 주요 악취물질로 검출되었다. 음식물 처리시설에서는 아세트알데하이드, 뷰티르알데하이드가 높게 검출되어 전반적으로 알데하이드류 성분이 쓰레기 적환장에서 발생하는 여러 가지 악취 중에서 사람이 체감하는 악취강도에 기여도가 큰 물질임을 알 수 있었다. 18곳의 시설 중 부지경계에서 복합악취가 악취방지법의 배출허용기준(15배)을 초과한 시설의 대부분은 음식물 적환장으로 바다 물고임, 처리시설의 비밀폐화 등 전반적으로 관리소홀로 인한 것으로 나타났다. 따라서 이 시설들은 지속적인 민원 제기 소지가 있으므로 적환장에서의 효과적인 악취저감을 위해서는 처리시설의 옥내화, 악취발생원에 대한 일차적인 시설물의 밀폐, 국소배기 및 물청소를 수시로 실시하고 탈취제를 살포하여 악취배출을 저감할 수 있는 노력이 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 환경부 대기보전국 : 06년 악취민원 실태 분석 및 07년 악취 관리방향, p1~2, 2007.
2. 전의찬, 사재환, 김선태, 홍지형, 김기현 : 생활악취 배출원의 악취배출 특성 연구 : 하수처리장을 중심으로, 한국대기환경학회지, 22: 337~351, 2006.
3. 臭氣對策研究協會 : 惡臭防止技術の手引き (13): 一般廢棄物最終處分場編, p33~35, 1995.
4. 환경부 : 악취공정정시험방법, 2007.
5. 정의석 : 직 간접 관능법을 응용한 악취 평가 방법 및 해석에 관한 연구, 박사학위 논문, 대전대학교 환경공학과, 2004.
6. 조덕희, 송일석, 김인구, 김웅수, 김종보, 김태현, 황선민, 남우경 : 반월 시화공단화학업종의 악취물질 배출특성에 관한 연구, 경기도보건환경연구원보, p135~146, 2006.
7. 김성림, 김주인, 김영태 : 음식물 쓰레기처리 설비로부터 발생하는 악취저감방안연구, 부산시보건환경연구원보, p41~59, 2004.
8. Nagata. Y. : Odor intensity and odor threshold value, Bulletin of Japan, Environmental Sanitation Center, p17~25, 2003.
9. 환경부 : 악취관리편람, p2~22, 2007.
10. 박주영 : 환경기초시설 악취 저감방안 연구, 전라북도보건환경연구원, p.162~190, 2007.