

다중회귀분석을 이용한 악취 관리지역에서의 복합취기강도와 개별악취물질들의 관계에 대한 연구

김종보*,**† · 정상진**

*경기도보건환경연구원, **경기대학교 환경에너지시스템공학과
(2009. 4. 24. 접수/2009. 5. 11. 수정/2009. 5. 25. 채택)

The Relationship Between Odor Unit and Odorous Compounds in Control Areas Using Multiple Regression Analysis

Jong-Bo Kim*,**† · Sang-Jin Jeong**

*Gyeonggi-do Institute of Health and Environment, Suwon 440-290, Korea
**Department of Environmental and Energy Systems Engineering, Kyonggi University
(Received April 24, 2009/Revised May 11, 2009/Accepted May 25, 2009)

ABSTRACT

We investigated a trait of odor and the relationship between odor unit and odorous compounds using multiple regression analysis based on data compiled from Sihwa (SIC), Banwol (BIC), Banwol plating (BPIC) and Poseung industrial complex (PIC). These areas are odor control areas in Gyeonggi province. It was revealed that NH₃ and styrene concentrations in SIC and BPIC were relatively higher and H₂S concentration especially in BIC was more than five times higher than other areas. As a result of regression analysis using SAS, intensity of odor unit was highly related to concentrations of H₂S, TMA, styrene and n-valeraldehyde in SIC, H₂S, acetaldehyde, and butyraldehyde in BPIC and NH₃ in BIC.

Keywords: field study, odor unit, odorous compounds, industrial complex, multi-regression analysis

I. 서 론

산업화로 인한 환경오염은 생태의 파괴와 먹이사슬을 통한 오염물의 인체축적 등 위해요소이자 생활에 불편을 주는 혐오요소이기도 하다. 이 중 악취는 생활에 불편을 초래하고 삶의 질을 저해하는 환경오염의 하나이자 감각오염으로 그 피해의 확산이 순간적이고 광범위하여 신속한 원인규명과 해결이 요구된다.

일정한 냄새를 악취로 인식하는 데에는 지역특성, 생활수준 등 사회문화적인 특성과 성별, 연령, 건강상태, 흡연습관, 음식물에 대한 기호 등 개인적인 특성이 중요하게 작용한다. 예민한 사람과 둔감한 사람이 악취를 느끼는 정도를 구별하는 한 예로서 최소감지농도(Threshold)의 경우 냄새물질에 따라 10배 이상의 차이가 날 수도 있다. 또한 동일물질에 대한 후각반응에 있

어서도 개인별로 쾌·불쾌를 느끼는 정도에 차이가 있으며 동일인의 경우에도 냄새를 맡는 빈도에 따라 차이가 있어 단기적으로 좋은 냄새로 인식 되더라도 장기적으로 노출되는 경우에는 악취로 여길 수 있다. 이와 같이 냄새를 감지하고 이에 대한 쾌·불쾌를 인식하는 데 있어 사람마다 느끼는 정도가 다르므로 대기 중의 악취오염도를 단순히 특정 악취 물질의 농도만으로 표시하기에는 어려운 점이 있다.¹⁾

현재 우리나라 악취방지법에서는 후각측정법인 복합악취와 기기분석법인 17개의 지정악취물질에 대한 농도규제를 실시하고 있다.²⁾ 후각측정법은 다양한 냄새물질에 대응이 가능하고 피해지역의 주민이 느끼는 피해감과 유사한 상황에서 냄새의 존재 여부를 측정할 수 있는 장점이 있다. 그러나 냄새의 강도를 표현함에 있어 개인별 생리적 요인과 후각 반응의 차이로 완전한 객관성을 보장하지 못한다. 반면 물질농도 규제의 의미로 도입된 기기분석법은 17종의 단일악취물질을 대상으로 하여 객관적인 자료를 제시할 수 있으나 이들 물질만으로 악취를 규명하기에는 미흡하다.³⁾ 또한 후각측

†Corresponding author : Gyeonggi-do Institute of Health and Environment
Tel: 82-31-250-2592, Fax: 82-31-250-2564
E-mail : k1820814@gg.go.kr

정법은 악취물질별로 고가의 분석 장비를 필요로 하는 기기분석법에 비해 훨씬 경제적이란 큰 장점을 가지고 있으며 후각측정법 즉, 복합악취가 주 시험법으로 통용되고 있다.

개별악취와 복합악취의 관련성에 대한 최근의 연구로는 Koe,⁴⁾ Gostelow와 Parsons,⁵⁾ 박 등^{6,7)} 그리고 김 등⁸⁾의 연구가 있다. Koe⁴⁾와 Gostelow와 Parsons⁵⁾는 황화합물이 전체 악취에 미치는 영향을 조사 하였고 박 등^{6,7)}은 산업공정의 배출시설을 대상으로 한 악취의 상관성을 연구 하였으며 김 등⁸⁾은 GC와 Olfactometry를 이용하여 악취원인물질을 평가하였다. 저자는 본 논문의 선행 연구로 공단주변 주거지역의 악취현황 및 체감도,³⁾ 산단지역에서의 복합취기 강도와 개별 악취물질의 관계에 대해 연구한 바 있다.^{9,10)} 이러한 선행 연구들은 복합악취로 표현되는 악취현상을 해석하는 데 있

어 가능성 있는 유용한 상관관계들을 유추하였으나 통계학적 근거가 미약하였다.

본 연구에서는 경기도의 악취 관리지역에서 측정된 악취 자료들을 이용하여, 악취의 월별 변화 특성을 분석 제공하고, 영향지역내 악취 농도의 관련성을 비교하였다. 다음으로 이들 지역 악취 측정 자료를 이용하여 다중회귀분석¹¹⁾을 실시하여 복합악취와 개별 악취물질들의 관계를 알아보고자 하였다.

II. 연구방법

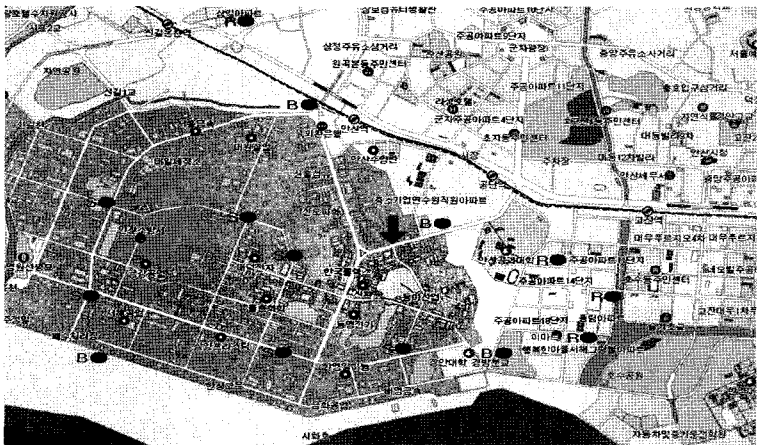
1. 조사대상지역 및 시료채취

1) 시료채취지점 및 기간

대상지점은 악취방지법 시행 이후 경기도내 악취관리 지역으로 고시된 시화국가산업단지(SIC-20,867천m³), 반



<Sihwa industrial complex>



<Banwol industrial complex>

Fig. 1. Sampling site of this study.

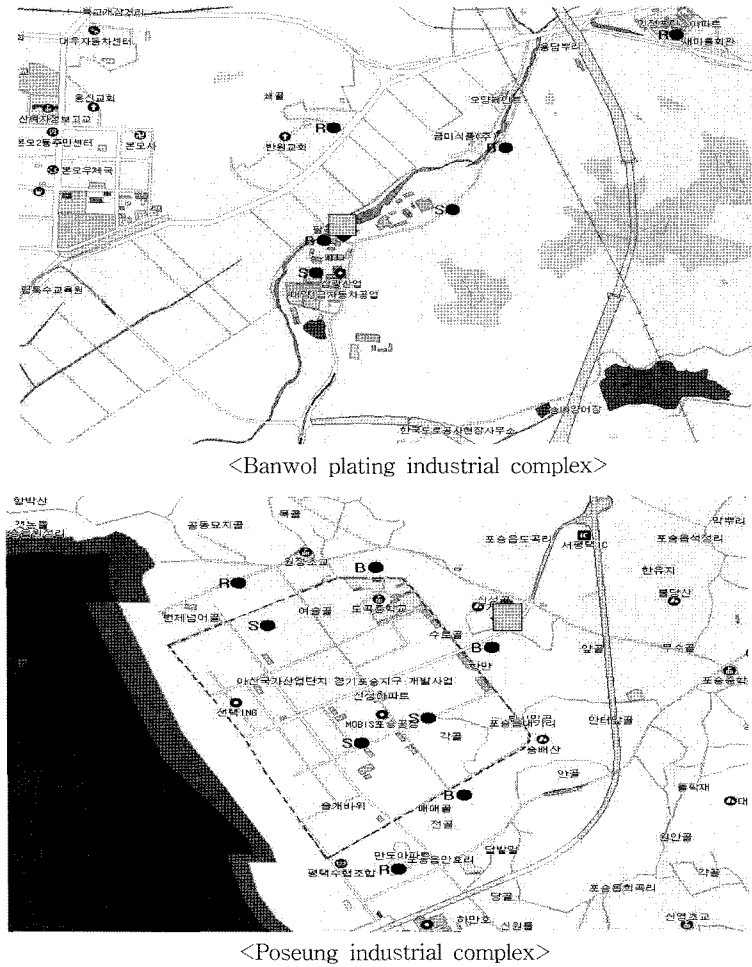


Fig. 1. Continued.

월국가산업단지(BIC-15,374천m³), 반월도금지방산업단지(BPIC-1.47천m³), 아산국가산업단지 포송지구(PIC-6.33천m³) 4개 지역이다. Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 악취 물질의 포집은 총 42개 지점에서 하였다. 각 지역 별로 관리지역내(S), 경계지역(B), 영향지역(R)으로 구분하여 시화국가산업단지 14개, 반월국가산업단지 14개, 반월도금지방산업단지 6개, 아산국가산업단지 8개를 선정하였다.

조사대상 악취 오염물은 현행 악취방지법이 규정하고 있는 복합악취 및 지정악취물질 12항목으로 하였다. 조사기간은 2006년과 2007년 2년간이고 각 2, 4, 6, 8, 10월(야간은 2월 제외)에 주간(14:00~17:00) 및 야간(22:00~24:00) 1회씩 실시하였다. 아울러 각 공단별 측정 당시의 기상 조건을 Table 1에 요약하였다. Table 1과 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 조사기간 중의

Table 1. Trend of meteorological data (mean) during sampling periods

Item	Site	Sihwa	Banwol	Banwol plating	Poseung
Temperature (°C)		12.1	13.9	15	12.2
Humidity (%)		71.6	72.7	70.1	72.9
Atmospheric pressure (hpa)		1012	990	1014	1011
Wind speed (m/s)		1.8	1.7	1.6	2.3
Wind direction		SW	SW	S	SW

풍향은 남풍과 남서풍이며 풍속은 1.6~2.3 m/s로 나타났으며 이들 풍향은 공단 지역의 배후에 있는 주거지역으로 악취의 이동에 기여할 것으로 생각된다.

2) 시료채취 및 농도측정

시료의 채취는 악취공정시험법에 따라서 암모니아와

Table 2. Summary of analytical method

Target compound	Instrument	Analytical conditions
Aldehydes	LC/MS Waters, Micromass ZQ)	Column : C18 column (Xterra MSC18 3.5 μ m, 2.1 \times 150 mm, Waters) Injection Volume : 5 μ l Column Flow : 0.2 l/min Mobile phase : gradient flow (acetonitrile and water) Analysis mode : SIR (Selected Ion Record) Analysis Ions : [M-H] ⁻ Source Temperature : 120°C Desolvation Temperature : 300°C
TMA	GC/NPD (Varian, CP-3800)	Column : CP-volamin (60 m \times 0.32 mm) Column Flow : 2 ml/min Oven Condition : 40°C(5 min) \rightarrow 10°C/min \rightarrow 200°C(4 min) SPME Combi PAL (CTC Analysis) adsorption at 30°C, 15 min desorption at 260°C, 3 min
Sulfur Compounds	GC/PFPD (Varian, CP-3800)	Column : CP-Sil 5CB (60 m \times 0.32 mm \times 5 μ m) Column Flow : 1.5 ml/min Oven Condition : 80°C(5 min) \rightarrow 8°C/min \rightarrow 250°C(10 min) Sample Volume : 200 μ l (50 ml/min \times 4min)
Styrene	GC/FID (Varian, CP-3800)	Column : CP-Sil 5CB (60 m \times 0.32 mm \times 5 μ m) Column Flow : 1.5 ml/min Oven Condition : 80°C(5 min) \rightarrow 8°C/min \rightarrow 250°C(10 min) Sample Volume : 50 (50 ml/min \times 10 min)
Ammonia	UV/VIS (Beckman, DU-800)	Wavelength range 640 nm

트리메틸아민(TMA)은 임핀저 흡수법, 복합약취와 황화합물은 Tedlar Bag, 알데하이드류는 DNPH카트리지법, 스타이렌은 Canister를 이용하여 채취하였다.

시료의 분석은 황화합물과 스타이렌은 전기냉각저온 농축장치(Markes, Unity)와 GC(PFPD, FID/Varian CP-3800), 트리메틸아민은 SPME-GC(TSD/Varian CP-3800), 알데하이드류는 LC/MS(Waters, Micromass), 암모니아는 분광광도계(Varian Cary300)를 이용하여 분석하였다. 시료의 농축 및 분석에 사용한 각 분석기기의 조건은 Table 2에 나타내었다. 아울러 항목별 정도관리는 선행연구³⁾에서 나타내었다.

2. 통계분석 방법

본 연구에서는 약취방지법상 주 시험법으로 통용되고 있는 복합약취가 기기분석법에 의한 개별 지정약취물질들의 농도를 어느 정도 반영하고 있는지를 알아보기 위해 다중회귀분석(Multiple Regression Analysis)을 사용하였다. 회귀분석은 통계 소프트웨어 SAS(Version 9.1)를 이용하여 수행하였다. 관련 변수들 간에 상호관련성을 알아보는 통계적 방법 중의 하나인 다중회귀분석은 자료에 포함된 한 변수(복합약취)가 또 다른 하나 이상의 여러 변수(지정약취물질)에 의해 어떻게 설명

또는 예측되는지를 적절한 함수식으로 표현하여 자료를 분석한다.

원래 데이터 분석은 일반적으로 많은 단계를, 때로는 몇몇 단계를 거듭 반복하는 과정을 필요로 한다. 데이터의 각 변수 값의 분포 형태라든지, 두 변수간의 플롯이라든지, 기타 자료의 특성을 알아보는 기술적(descriptive)인 단계를 거쳐서 통계적 모형을 세운 후 적합(fitting)하는 단계에 들어선다. 그리고 관심있는 모수(parameter)에 대한 추론(추정과 검정)으로 흔히 데이터 분석을 끝맺음한다. 그러나 데이터 분석이 과학적 과정(scientific process)이기 위해서는 모형 적합 이후 적합 모형에 대한 검토, 다른 말로 모형진단(model diagnostics)이 필요하다. 이러한 작업의 결과 적합한 모형이 부적당하다고 판단되면 새로운 모형을 찾아보게 되고, 이후 모형적합이 이루어지며, 이에 대한 모형진단이 뒤 따른다.

가능한 모든 후보 변수들을 독립변수로 사용하여 예측모형을 만드는 경우 일부 회귀계수 추정치의 분산과 예측값의 분산이 매우 커지게 되므로 이를 신뢰할 수 없기 때문에 불필요한 변수들이 들어 있는 완전모형(full model)보다는 필요한 변수들만 들어 있는 축소모형(reduced model)을 통해 모형을 보다 간명하게 하는

것이 바람직하다.¹¹⁾ SAS에서 회귀분석을 지원하는 분석절차에는 모형화 과정 안에서 필요한 독립변수를 선택하는 작업을 통해 변수선택을 수행할 수 있는데 본 연구에 사용된 변수 선택방법은 다음과 같다.

- PROC RSQUARE - 모든 가능한 축소모형에 대해 회귀분석을 수행한 후 특정한 기준에 따라 모형을 선택할 수 있는 방법.
- BACKWARD - 모든 변수를 포함하는 완전모형으로부터 시작하여 불필요한 변수를 하나씩 제거해 나가는 방법.
- STEPWISE - FORWARD와 BACKWARD를 절충한 것으로 매 단계마다 선택과 제거를 반복하면서 중요한 변수를 찾아내는 방법.

변수 선택 과정 중 모형선택의 기준(model selection criteria)으로는 수정결정계수(R^2), 델타우즈의 C_p 통계량, 아카이케의 정보량기준(information criteria: AIC) 등이 있으며 변수선택법에서의 변수의 선택과 제거의 기준이 되는 F-통계량 등이 있다.¹²⁾

III. 결과 및 고찰

1. 측정분석 결과

1) 공단별 악취 물질의 월 변화

현장 측정자료는 경기도내 악취관리지역으로 지정된 4개 산업단지에 대한 2년간의 악취실태조사결과로 각 산업단지별로 관리지역내, 경계지역, 영향지역으로 구

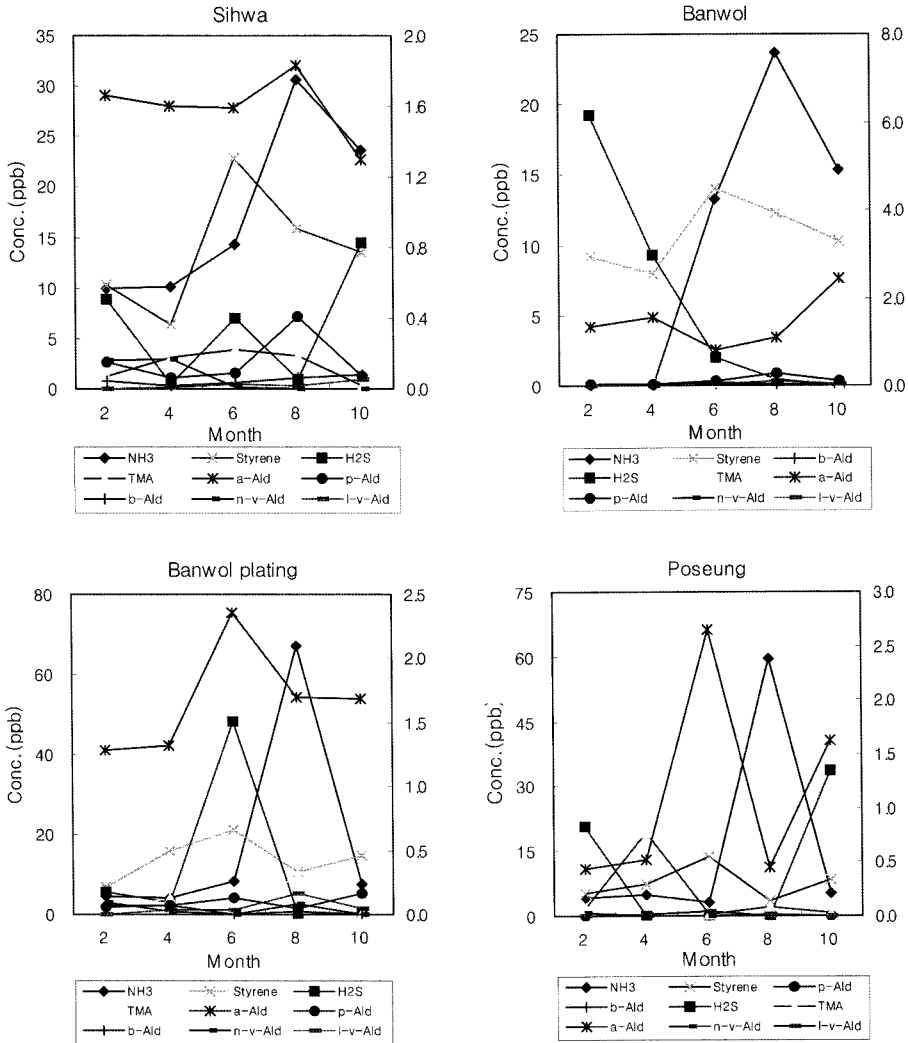


Fig. 2. The trend of odorous compounds concentration in source area (Left y-coordinates reveal NH₃ and Styrene).

분한 42개 지점을 대상으로 실시하였고 4개 산업단지의 배출원지역(관리지역내)에 대한 주요악취물질의 월별 변화를 평균하여 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에서 나타낸 바와 같이 NH₃와 Styrene이 수~수십 ppb(왼쪽 축)를, 그 외는 수 ppb이하의 낮은 농도를 보였다.

전체적으로 하절기에 악취물질의 농도 상승이 특징을 이루고 있고 특히 NH₃는 8월, Styrene은 6월에 4개 공단 모두 최고농도를 보여 계절적 특징을 보이는 물질로 조사되었다.

Acetaldehyde의 경우 시화, 반월도금, 포승공단에서는 6월과 8월에 최고 농도를 나타내었으나 반월공단에서는 이 기간에 근소하나마 가장 낮은 농도를 보여 공단별 배출 현황이 다름을 반영하고 있다. 공단별로는 시화공단과 반월도금공단에서는 비교적 NH₃와 Styrene이 높고 반월공단에서는 H₂S가 다른 공단에 비해 약 5배 정도 높은 평균농도를 보였다. 특히 H₂S의 경우 원유의 정제나 황을 취급하는 사업장에서 발생할 수 있으며 하수처리장의 포기조나 피혁가공공정에서 고농도로 배출된다고 볼 때 피혁가공 관련 업종이 상대적으로 많은 반월공단의 특성을 보여준다 하겠다.³⁾ 아울러 포승공단은 타 공단과 유사하거나 비교적 낮은 농도의 배출 형태를 보였는데 이는 가장 최근에 조성된 공단으로 전체 공단에 대한 입주가 완료되지 않은 점과 무관하지 않은 것으로 생각된다.

Fig. 3은 산업단지별 복합악취에 대한 월별 추이를 나타낸 그림으로 4개 공단 모두 하반기에 농도가 증가하는 특징을 보였으나 평균 복합취기강도에 유사한 범위내에 있어 큰 의미는 없는 걸로 생각되며 6월과 8월에 최고농도를 보인 일부 지정악취물질과도 유사한 형태로 생각된다.

개별 악취물질의 기준초과 회수는 2006년의 경우 관리지역내가 5회, 경계지역 4회 이며 2007년에는 관리지역내 4회, 경계지역 5회, 영향지역 3회로 영향지역에

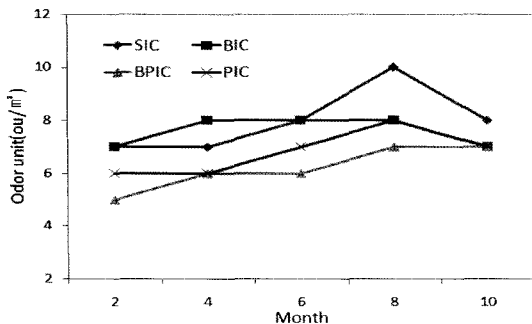


Fig. 3. The trend of odor unit in source area.

서의 기준초과가 발생하였다. 아울러 공단별로는 2006년 시화공단 2회, 반월공단 5회, 반월도금 및 포승공단 각 1회로 나타났으며 2007년에는 시화공단 4회, 반월공단 5회, 포승공단 3회로 대규모 공단에서의 기준초과 횟수가 많은 것으로 조사되었다. 이 중 복합악취는 2006년 전체 기준초과 횟수 9회 중 8회, 2007년 전체 기준초과 횟수 12회 중 5회로 주요 지정악취물질보다 기준초과 비율이 매우 높은 것으로 나타났다.

2) 영향지역의 측정결과

악취관리지역에 대한 악취실태조사는 악취 발생원(관리지역 내)의 영향을 받는 주거지역(영향지역)에 대한 조사를 실시하고 있으며 중요한 조사 목적 중의 하나라고 할 수 있다.

각 산업단지별 주변 주거지역은 위치상 산업단지와 인접해 있을 뿐만 아니라 Fig. 1에서 알 수 있듯이 산업단지의 주요 입지 특징인 해안가와 멀지 않아 해륙풍의 영향을 주로 받는다(시화공단, 반월공단, 포승공단). 이로 인하여 악취의 이동과 확산은 풍하의 배후 주거지역으로 집중된다. 또한 반월도금공단의 경우 야산을 등지고 자리한 소규모의 공단지지만 도로를 경계로 주거지역과 인접해 있고 곡물 및 금속 가공업체들이 밀집되어 순간적인 악취의 이동과 영향이 강하다.

Fig. 4는 각 공단별 영향지역에서의 주요 지정악취물질의 주·야간 측정결과를 보여주고 있다.

Fig. 4에서 공단별 특징을 살펴보면 시화공단은 NH₃의 야간농도가 주간보다 2배 높게 나타났고 반월도금공단에서는 Styrene의 농도가 다른 공단에 비해 2~3배 높았으며 대부분의 알데하이드 화합물의 야간 농도도 주간보다 높게 나타났다. 포승공단은 H₂S의 농도가 주·야간 모두 타 공단과 비교하여 매우 높게 검출되고 아울러 주간보다 야간농도가 높았다. 산업활동이 주로 주간에 이루어지는 산업공단의 특성상 배후 주거지역에서 특정물질의 야간농도가 높게 나타나는 것은 특정악취물질의 발생이 많은 산업공정의 야간 조업이 많은 것과 관련이 있는 것으로 생각된다.

Fig. 5는 각 공단별 복합악취의 주·야간 측정결과로 4개 공단 모두 복합악취(OU: Odor Unit)의 야간농도가 주간보다 높게 나타났다. Fig. 3에서 각 공단별 야간농도가 주간보다 높은 지정악취물질이 일부임에도 야간 복합악취가 높게 나타나는 것은 지정악취물질 이외의 많은 악취유발물질이 존재하며 야간에 이들 물질에 대한 관리가 잘 이루어지지 않고 있음을 보여준다 하겠다.

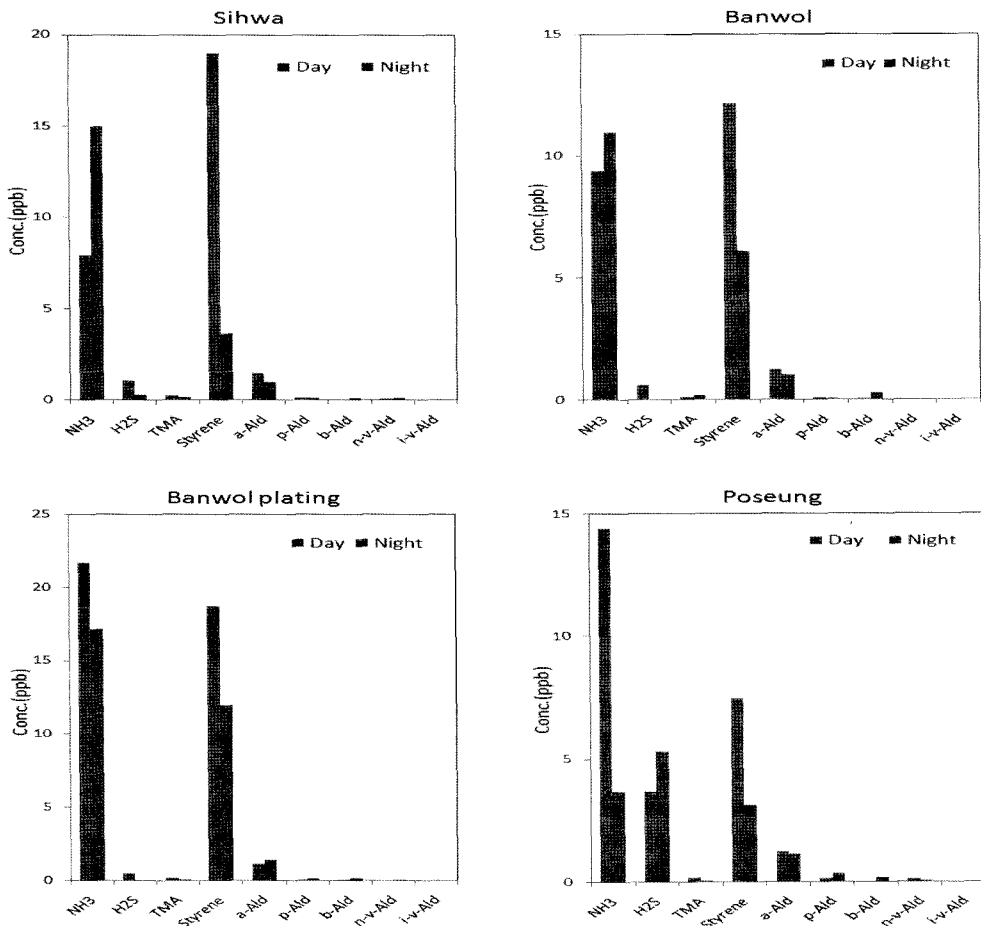


Fig. 4. Concentration fractions of each compound for day/night in residential area.

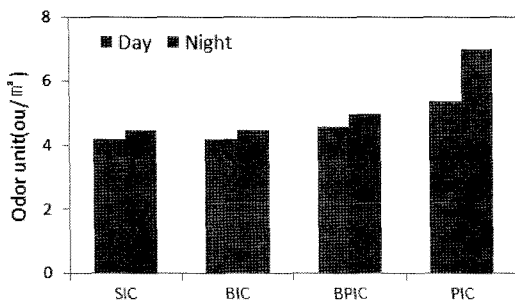


Fig. 5. Concentration fractions of odor unit for day/night in residential area.

3) 배출원과 주거지역의 농도 비교

악취는 발생원에서 발생 후 일정 거리를 이동하여 영향을 미치기까지 기상요소, 화학적 반응, 악취물질별 특성, 피해주민의 후각반응의 차이 등 다양한 요소의 영향을 받는다.¹³⁾ 이러한 영향으로 인해 악취 피해의 과

학적이고 객관적인 규명은 쉽지 않으나 발생원과 피해지역의 악취물질의 농도 추정을 통해 상호관련성을 유추할 수 있으리라 생각된다.

Fig. 6은 배출원(관리지역내)과 주거지역(영향지역)의 악취물질의 농도분포를 알아보기 위해 두 지점에서의 평균농도를 백분율로 나타낸 것이다. 대부분의 악취물질들이 관리지역내의 농도가 영향지역보다 높게 나타났지만 일부는 영향지역이 높고 공단별 물질 종류 다르게 조사되었다.

시화공단에서는 Styrene, TMA, NH₃가 영향지역에서 높은 형태를 보였고 포송공단에서는 n-v-Aldehyde와 H₂S의 역전이 두드러졌으며 반월 및 반월도금공단은 비교적 관리지역의 비율이 높게 나타났다. 한편 관리지역내 보다 영향지역에서의 농도가 높은 것은 영향지역 자체 내에서도 그 주변에 발생원이 잠재해 있다고 보아야 할 것이다.

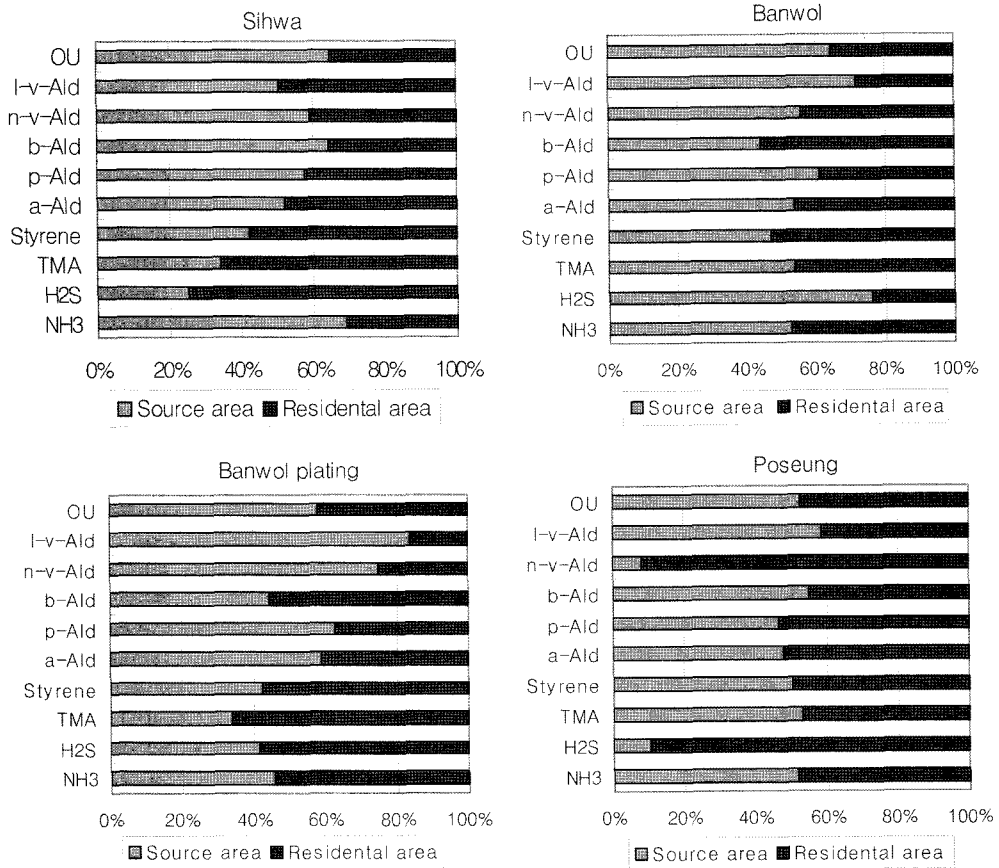


Fig. 6. Concentration fractions of each compound for source area/residential area.

2. 공단별 복합취기강도와 개별 악취물질의 관련성
 악취방지법상의 주 시험법으로 통용되고 있는 복합악취와 지정악취물질들 간의 상호관련성을 알아보기 위해 통계 소프트웨어인 SAS를 이용 회귀분석을 실시하

였다. SAS에서 사용한 분석절차는 반응변수 y에 영향을 미칠 가능성이 있는 변수 k개에 대해 2^k개의 회귀모형을 적합시키는 Proc Rsquare와 변수소거법에 의한 변수선택을 수행하는 Backward를 사용하였으며 단계적

Table 3. Backward elimination procedure for dependent variable OU

Backward elimination						
Site	Variable	Parameter estimate	Standard error	Type II SS	F Value	Pr > F
Sihwa	Intercept	6.85857	0.35709	4843.39493	368.90	<.0001
	H ₂ S	0.24735	0.03687	590.89768	45.01	<.0001
	TMA	-1.16901	0.64448	43.19800	3.29	0.0710
	Styrene	-0.03355	0.01548	61.68709	4.70	0.0312
	nvAldehyde	-3.90918	1.99572	50.37471	3.84	0.0514
Banwol	Intercept	5.22706	0.41195	2548.56026	161.00	<.0001
	H ₂ S	0.16092	0.02298	776.21715	49.04	<.0001
	aAldehyde	0.71361	0.24120	138.56231	8.75	0.0034
	bAldehyde	-1.26629	0.72924	47.72935	3.02	0.0839
Banwol plating	Intercept	5.73538	0.34061	2467.44503	283.54	<.0001
	NH ₃	-0.01643	0.00729	44.16782	5.08	0.0268

방법에 의해 변수선택을 수행하는 Stepwise를 통해 결정하였다.

반응변수(Response variable)는 복합악취이며 설명변수(Explanatory variable)는 NH₃, H₂S, TMA, Styrene, Acetaldehyde, Propionaldehyde, Butyraldehyde, n-Valeraldehyde, i-Valeraldehyde이고 각 공단별 전체자료의 통계분석을 통해 복합악취의 특성을 알아보았으며 아울러 영향지역에서만 자료를 이용한 통계분석으로 비교평가 하였다.

Table 3는 각 공단별 3개 지역의 측정자료를 이용한 통계분석의 결과로써 최종 단계의 각 회귀계수의 추정치(Parameter Estimate)와 표준오차(Standard Error) 등을 보여주고 있다.

Backward Elimination에서는 전체 9개의 설명변수 중 불필요한 변수를 하나씩 제거해 나가면서 적합한 모형을 만들어 나가는데 주요기준은 각 변수가 회귀식에서 제거되었을 때 발생하는 회귀제곱합의 감소분을 나타내는 Type II SS와 부분 F, 이에 따른 유의확률(Pr > F)이다. 즉 처음 단계(Step 0)에서 회귀제곱합의 감소를 최소로 하는 변수를 탈락시키므로 Type II SS가 가장 작은, 부분 F가 가장 작은 변수를 찾고 이때 그 변수의 유의확률(Pr > F)이 유의수준(α : 10%)보다 크면 변수탈락이 확정되고 다음 단계(Step 1)가 진행되며 탈락 후보 변수의 유의확률이 유의수준보다 작으면 최종모형이 적합된다.

Table 3의 결과로부터 각 공단별 복합악취와 지정악취물질간의 관계는 다음의 회귀식으로 나타낼 수 있다.

$$(Sihwa) OU = 6.859 + 0.247H_2S - 1.169TMA - 0.034Styrene - 3.909nvAldehyde \quad (1)$$

$$(Banwol) OU = 5.227 + 0.161H_2S + 0.714 aAldehyde - 1.266 bAldehyde \quad (2)$$

$$(Banwol Plating) OU = 5.735 - 0.016NH_3 \quad (3)$$

식 (1)에서 시화공단의 복합악취는 H₂S, TMA, Styrene, nvAldehyde와의 관련성이 높은 것으로 조사되었는데 공단별 측정결과(Fig. 1)에서도 Styrene과 nvAldehyde의 농도가 타 공단에 비해 높은 농도로 나타나 통계분석의 결과를 뒷받침하고 있다. 아울러 반월공단의 H₂S의 농도가 다른 공단 대비 5배 정도 높게 검출되고 반월도금의 NH₃ 평균농도가 가장 높은 것도 회귀식과 무관하지 않음을 보여주고 있다. 한편 포승공단은 복합악취와 지정악취물질간의 관계에서 특별한 유의성을 보이지 않아 회귀식이 성립되지 않았으며 앞선 측정결과에서 특별한 고농도 물질 없이 일반적인 배출형태를 나타낸 점이 부분적인 원인인 것으로 추정된다.

Table 4는 영향지역에서만 자료를 통계 분석한 결과로 각 산업단지별 주거지역에서 느끼는 악취의 주요 기여물질을 유추해 볼 수 있다. 시화공단의 경우 전체 12개 지정악취물질 중 H₂S 등 4개물질이 반월공단은 H₂S와 aAldehyde, 반월도금공단은 일부 알데하이드화합물, 포승공단은 aAldehyde가 악취에 영향을 주는 주요물질로 추정된다. 이와 같은 결과는 전체자료의 결과보다 지역적인 특성을 보여주고 있으나 전체자료와도 비교적 유사한 형태를 이루고 있어 이 방법에 대한 유효성을 보여주고 있다 하겠다.

Table 4. Backward elimination procedure for dependent variable OU in residential area

Backward elimination						
Site	Variable	Parameter estimate	Standard error	Type II SS	F Value	Pr > F
Sihwa	Intercept	5.15628	0.35985	781.22471	205.32	<.0001
	H ₂ S	0.32057	0.11055	31.99336	8.41	0.0050
	TMA	-0.72554	0.42120	11.29003	2.97	0.0894
	Styrene	-0.03030	0.01086	29.63316	7.79	0.0068
	pAldehyde	-2.04447	1.20961	10.86998	2.86	0.0954
	nvAldehyde	-4.09938	2.15118	13.81774	3.63	0.0608
Banwol	Intercept	3.41566	0.19960	443.49804	292.84	<.0001
	H ₂ S	0.44845	0.07313	56.95418	37.61	<.0001
	aAldehyde	0.42024	0.12436	17.29316	11.42	0.0012
Banwol plating	Intercept	3.75241	0.62673	169.93142	35.85	<.0001
	aAldehyde	1.25115	0.54845	24.67003	5.20	0.0310
	pAldehyde	-15.85968	5.66848	37.10861	7.83	0.0096
	bAldehyde	5.66305	2.71187	20.67204	4.36	0.0467
Poseoung	Intercept	4.35949	0.83937	188.59269	26.98	<.0001
	aAldehyde	1.15079	0.65458	21.60831	3.09	0.0897

복합악취는 지정악취물질 대비 분석기기 도입 비용, 각 물질별 시료채취와 분석에 투입되는 인력과 시간 등 많은 장점과, 실질적 피해감각인 후각을 이용해 악취를 신속히 판정할 수 있어 주 시험법으로 활용되고 있으나 주관적이고 비과학적이라는 한계를 지니고 있어 지정악취물질의 분석과 병행되어야 한다. 더욱이 악취피해 민원지역에서의 원인 조사를 위해서는 두 방법이 동시에 조사되고 관련성의 연구가 필요하다. 수만종의 악취물질에 대한 분석이 불가능한 현재 이러한 통계분석법을 통한 관련성의 연구는 매우 유용하다고 생각되며 다양한 통계기법의 도입이 필요하리라 사료된다.

IV. 결 론

본 연구는 경기도내 악취관리지역으로 지정된 시화국가산업단지, 반월국가산업단지, 반월도금지방산업단지, 아산국가산업단지(포송지구) 4개 공단에 대하여 2006년과 2007년에 실시한 악취실태조사 자료를 종합하여 각 공단별, 지역별, 시간대별 악취특성을 조사하였고 측정된 자료를 통계분석 기법을 이용 복합악취와 지정악취물질간의 상관관계를 연구하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 시화공단과 반월도금공단에서는 비교적 NH_3 와 Styrene이 높고 반월공단에서는 H_2S 가 다른 공단에 비해 약 5배 정도 높은 평균농도를 보였으며 포송공단은 일반적인 배출 형태와 크게 다르지 않았다.

2. 영향지역에서는 시화공단은 NH_3 의 야간농도가 주간보다 2배 높게 나타났고 반월도금공단에서는 Styrene의 농도가 다른 공단에 비해 2~3배 높았으며 포송공단은 H_2S 의 농도가 주·야간 모두 타 공단 비교 매우 높게 검출되었다.

3. 관리지역과 영향지역의 농도분포는 시화공단에서는 Styrene, TMA, NH_3 가, 포송공단에서는 n-v-Aldehyde와 H_2S 가 영향지역에서의 농도가 높게 나타났고 반월 및 반월도금공단은 비교적 관리지역의 비율이 높게 나타났다.

4. SAS를 이용한 통계분석 결과 시화공단의 복합악취는 H_2S , TMA, Styrene, nAldehyde와의 관련성이 높고 반월공단은 H_2S , aAldehyde, bAldehyde, 반월도금공단은 NH_3 의 관련성이 높은 것으로 조사되었다.

개별 악취물질들과 복합취기강도와의 관련성을 알아보기위해 본 연구에서는 다중회귀분석을 시도하였으며 유효성을 확인하였다. 향후 보다 장기간의 악취실태조

사자료를 토대로 공단별 또는 각 공단내 지역별 악취특성에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. The ministry of environment (Korea) : A handbook of odor control, 2-3, 2007.
2. The ministry of environment (Korea) : The method of odor examination, 2007.
3. Kim, J. B., Jeong, S. J., Song I. S. : The concentrations of sulfur compounds and sensation of odor in the residential area around Banwol-Sihwa industrial complex. *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, **23**(2), 147-157, 2007.
4. Koe, L. C. C. : Hydrogensulphide odor in sewage atmospheres. *Water Air Soil Pollution*, **24**, 297-306, 1985.
5. Gostelow, P., Parsons, S. A. : Sewage treatment works odour measurement. *Water Science and Technology*, **41**(6), 33-40, 2000.
6. Kim, S. T., Park, M. S., Jun, Y. C., Kim, D. H., Hong, J. H. : A fundamental study of SOQ, odor unit and odor intensity interrelations for odor phenomenon evaluation. *Proceeding of the 39th Meeting of KOSAE*, 290-291, 2005.
7. Kim, M. G., Jung, Y. L., Park, J. J., Seo, Y. M., Yoon, I. K. : Evaluation method of odor-active compounds combine sensory method with instrumental analysis. *Korean Journal of Odor Research and Engineering*, **1**(1), 31-38, 2002.
8. Kim, S. T., Park, M. S., Jun, Y. C., Kim, D. H., Hong, J. H. : An analysis between odor concentration quotient and odor concentration unit. *Proceeding of the 38th Meeting of KOSAE*, 270-271, 2004.
9. Kim, J. B., Jeong, S. J., Lee, J. P. : A study on the relationship between odor unit and odorous compounds in the industrial complex. *Proceeding of the 46th Meeting of KOSAE*, 471-472, 2008.
10. Kim, J. B., Jeong, S. J. : A study on the relationship between odor unit and odorous compounds in industrial complex. *Proceeding of the Korean Environmental Sciences Society Conference*, Nov, 20-22, 134-137, 2008.
11. Heo, M. H., Seo, H. S. : SAS regression analysis, Free Academy Inc., 2001.
12. Kang, H. C., Choi, B. J., Kim, G. Y. : An introduction of SAS data analysis, Free Academy Inc., 2005.
13. Drew, G. H., Smith, R., Gerard, V., Burge, C., Lowe, M., Kinnersley, R., Sneath, R., Longhurst, P. J. : Appropriateness of selecting different averaging times for modelling chronic and acute exposure to environmental odours. *Atmospheric Environment*, **41**, 2870-2880, 2007.