

# 대기오염물질 저감을 위한 농도분석에 관한 연구

김 윤 선

인천대학교 안전공학과

(2007. 3. 28. 접수 / 2007. 4. 30. 채택)

## A Study on Concentration Analysis for Decreasing Air Pollutants

Yunseon Kim

Department of Safety Engineering, Incheon University

(Received March 28, 2007 / Accepted April 30, 2007)

**Abstract** : Often · Regular Measurement Target 32 Spots which are distributed at Seo-gu in Incheon Metropolitan and Odour Emission Target 100 Factories based on the task instruction of Ministry of Environment in Korea were selected by considering to atmosphere phenomena and regional characteristics etc. This paper aims at building the Decreasing Prediction System of Odour which is capable of comparing and examining the concentration distribution by odour compounds, the distribution maps of odour diffusion and the contribution degree of sphere of influence, which is discharged from these above spots and factories.

**Key Words** : odor, decreasing prediction system, sphere of influence

### 1. 서 론

악취는 감각대기오염물질로써 황화수소 · 메르캅탄류 · 아민류 그밖에 자극성이 있는 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새인데 인천광역시에는 남동, 주안, 부평의 주요산업단지를 중심으로 서구의 도금산업, 가공금속, 주물산업, 사료제조업, 축산산업, 화학 · 펄프제조업, 폐기물 · 폐수수탁처리산업 등의 많은 악취유발업체가 산재하고 있다.

특히, 서울특별시, 인천광역시, 경기도내 수도권에 인접한 십 수개의 시, 군에서 배출하는 폐기물을 처리하고 있는 서구 점암동 일대의 동양최대의 수도권매립지가 위치하고 있어 악취로 인한 인근 지역 주민의 생활피해와 이에 따른 다발성 민원의 제기 등으로 악취발생의 대책 수립에 보다 근본적이고 체계적인 악취발생요인 분석 및 배출원 대책의 필요성이 무엇보다도 절실하게 요구되고 있다.

이에 본 연구에서는 인천광역시 서구지역에 분포하고 있는 32개 정기 · 수시 측정대상지점 및 환경부 과업지시서에 의거한 악취오염물질배출대상사업

장 100곳을 기상 · 지역특성 등을 고려하여 조사대상지역으로 선정해서 이들 지점 및 사업장에서 배출되는 악취오염물질의 성분별 농도분포, 확산분포도, 영향권에 기여도 등을 비교검토할 수 있는 대기오염악취물질저감예측시스템의 구축을 본 연구의 목적으로 한다.

### 2. 본 론

#### 2.1. 연구대상지역

본 연구 대상지역은 인천광역시 서구지역으로써 극동지점은 동경 126°43'28", 북위 37°35'21"으로 공촌동이며 극서지점은 동경 126°33'11.9", 북위 37°34'28.5"로써 원창동이고 극남은 동경 126°60'59.6", 북위 37°28'13.5"으로 가좌3동, 극북지점은 동경 126°39'15", 북위 37°38'13"으로 검단동이며 동서간 연장거리는 13.2Km, 남북간은 18.4Km로써 한개 구로써는 매우 넓은 면적을 점유하고 있다.

본 연구에서는 연구대상지역을 크게 4개권역으로 구분하였으며 제 1권역에는 서북쪽에 위치하고 있는 금호동, 오류동을 중심으로 수도권매립지와 목재가공(38%), 금속제품(16%) 등의 산업체 및 마을회관, 초등학교, 주택의 인근영향권이 입지하고 있

다. 제 2권역에는 마진동, 당하동, 불로동, 검단동 지역으로 목재가공, 금속, 비금속, 폐기물처리, 화학제품, 도장 등의 산업체 및 비교적 규모가 큰 여러 아파트 등이 입지하고 있다. 제 3권역에는 원창동을 중심으로 환경사업소가 밀집되어 있으며 울도위생처리사업소, 가좌수질 및 위생사업소와 원창동의 산업지역 그리고 주물공단 등이 위치하고 있다. 제 4권역에는 연희동, 석남동, 가좌동, 부평지구 청천동 일대의 다양한 업종의 산업체 및 상시 민원다발지역인 미나리밭, 그리고 크고 작은 아파트 지역이 입지하고 있어 일반적으로 서구에는 악취 발생원인 산업체와 아파트를 중심으로한 영향권이 다수 혼재되어 있다.

## 2.2. 샘플링

본 연구에서의 시료채취지점은 악취발생원과 그 영향권역의 입지여건과 배치상태, 조업상태, 현장 전체의 악취분포상태, 풍향·풍속 및 습도 등 기상상태를 고려하여 악취세기가 높을 것으로 판단되는 지점을 선정하였다.

정기·수시 측정대상 32개 지역에 대해서는 산업체 및 영향권 공동으로 비가오거나 풍속이 5m/s 이상인 경우에는 측정의 정확을 기하기가 어려워 가급적 시료채취를 하지 않았으며 시료채취기는 공기 샘플이 흡인 펌프를 통과하여 bag으로 포집되지 않고 밀폐된 박스내부를 공기펌프로 감압하여 공기샘플이 직접 Tedlar bag으로 유입되도록 하였다.

채취시료는 직사광선을 피하고 상온이 유지되도록 운반, 보관하여 시료 채취후 48시간 이내에 관능시험과 기기분석이 진행되도록 하였다.

## 2.3. 관능분석

공기회석관능법은 채취시료를 실험실에서 단계적으로 회석시키면서 판정인이 냄새를 느낄 수 없을 때까지 회석하여 악취감지한계회석배수를 구하는 관능법으로써 회석배수에 의해 산출된 판정인의 악취감지한계 회석배수(dilution threshold)를 취기농도라 하고 취기농도를 대수 변환한 것을 취기지수(혹은 Order 값)라 하는데, 냄새농도에 비하여 인간의 감각량에 가까운 대응을 나타내는 방법이라고 할 수 있다.

$$I = 10 \log C$$

여기에서 I는 취기지수이고 C는 악취감지한계 회석배수로 나타낸 취기농도를 의미한다.

Table 1. Odour intensity by direct sensory measurement

악취도	악취세기구분	설명
0	무취(None)	상대적인 무취로 평상시 후각으로 아무것도 감지하지 못하는 상태
1	감지취기 (Threshold)	무슨 냄새인지 알 수 없으나 냄새를 느낄 수 있는 정도의 상태
2	보통취기 (Moderate)	무슨 냄새인지 알 수 있는 정도의 상태
3	강한취기 (Strong)	쉽게 감지할 수 있는 정도의 강한 냄새를 말하며, 병원에서 특유의 크레졸냄새를 맡는 정도의 상태
4	극심한 취기 (Very Strong)	아주 강한 냄새, 여름철 재래식 화장실에서 나는 냄새를 느낄 수 있는 정도의 상태
5	참기 어려운 취기 (Over Strong)	견디기 어려운 강렬한 냄새로서 호흡이 정지될 것 같이 느껴지는 정도의 상태

한편, 시료를 채취하는 현장에서 취기를 직접 감지하여 강도를 기록하는 방법이 직접관능법이며 악취조사 판정자는 조사대상 지역에서 거주하지 않는 사람으로서 후각이 정상이고 건강한 사람 5인으로 구성하였다. 취기에 대한 판정은 사람에 따라 매우 주관적이므로 객관성을 담보하기가 어려운 점이 있으므로 정확도가 다소 떨어지지만 현장에서 즉시 판정이 가능하다는 특성이 있으며, 직접관능법에 의한 취기강도는 Table 1과 같다.

## 2.4. 배출량의 산정

본 연구에서는 다양한 업종별 분야별 분포를 고려하여 분야별 사업장을 직접 연구원팀이 방문하여 현장 조사와 관계자 면담을 실시하였으며 사전에 조사한 공장 평면도를 이용하여 stack 위치를 확인 후 대표적인 stack 샘플링과 일부공정의 경우 사업장내부와 원료저장소의 가스채집, 측정지점에서의 가스온도와 유속 및 수분을 대기공정시험방법에 의거하여 pitot관법과 증량측정법 및 자가측정기록부를 이용하여 산출하였다.

배출량 산출식은 다음과 같다.

$$\text{배출량} = \text{평균배출유속} (\text{Sm}^3/\text{hr}) \times \text{조사대상 물질 농도} \times \text{조업시간} (\text{hr})$$

또한, 표준상태의 기체배출량을 산정하기위한 식은 다음과 같다.

$$\text{표준 배출 유속} = \text{측정배출유속} \times 20^\circ\text{C} + 273 / (\text{측정온도} (\text{C}) \times 273)$$

Table 2. Volume of compound emission by each field of factory(kg/yr)

	도금	유식용제제	목재 가공	기타화학	석유 정제	도장
Dichlorodifluoromethane	0.000	0.018	-1.095	0.196	-0.134	0.101
Chloromethane	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoroethane	46,678	11,711	1,297	3,904	5,799	4,268
Methyl chloride	18,131	0.034	0.828	0.409	0.080	0.053
Bromomethane	53,588	25,176	3,390	-1,365	-9,545	2,038
ethyl chloride	0.000	0.015	0.000	0.000	0.141	0.000
Trichlorofluoromethane	9,902	2,362	2,025	0.454	9,878	0.451
1,1-dichloroethene	16160,240	0,731	3,102	19,536	48,060	65,407
Methylene chloride	5958,698	38,501	12,990	65,216	45,179	32,658
1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoroethane	35,663	4,481	1,595	0,935	2,239	2,330
1,1-dichloroethane	978,347	0,439	9,442	2,639	12,638	0,289
~~~~~						
tetrachloroethylene	52,268	0,848	17,471	0,574	5,302	0,563
Chlorobenzene	10,735	1,018	0,440	0,093	2,090	0,194
Benzene	876,438	31,650	106,428	12,535	26,452	19,737
m-xylene	905,340	50,133	110,011	18,067	39,148	26,180
Styrene	783,166	13,671	45,392	5,638	24,016	5,405
o-xylene	686,954	35,119	81,674	7,912	25,898	13,044
1,3,5-trimethylbenzene	134,968	13,586	11,248	5,448	20,479	3,941
1,2,4-trimethylbenzene	1100,018	54,734	81,312	24,466	96,439	19,251
p-Ci + m-dichlorobenzene	33,313	1,396	22,418	0,675	29,587	0,979
o-dichlorobenzene	15,433	1,377	8,696	0,393	32,369	0,911
p-dichlorobenzene	165,245	22,031	8,674	0,822	22,370	0,969
1,2,4-trichlorobenzene	80,316	0,006	15,092	-0,419	-0,104	0,090
Hexachlorobutadiene	14,088	1,026	3,126	3,128	4,000	0,737
H2S	0,000	0,001	30,559	116,331		2,074
MESH	9,458	0,010	0,281	0,214	0,027	0,010
DMS	180,877	0,018	0,083	0,391	-0,010	0,020
DMSO	0,592	0,000	0,039	0,109	0,000	0,000
MFO	1029,764	0,001	58,069	659,546		0,000
MESH	2,429	0,285	0,360	0,029	0,022	0,017
MCHO	5149,556	233,474	223,917	76,461	276,939	145,460
PCHO	1178,852	27,428	0,905	9,584	45,373	34,639
n-BuCHO	43,927	7,070	0,070	0,471	2,143	1,290
n-BuCHO	1220,967	2,691	47,367	1,292	10,676	10,472
iso-ValCHO	23,111	36,198	0,167	0,173	0,570	1,014
Isobutand	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,053
MEK	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	9,101
Ethylacetate	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,364
CO2S	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

연구대상지역내 위치하고 있는 악취에 대한 배출량을 stack기준으로 각 성분별 배출물질을 질량단위로 산정한 후 산업특성에 따라 나타낸 것이 Table 2이다.

### 2.5. 대기오염 확산 모델

대기오염 확산 모델은 최근 가장 많이 사용되고 있는 미국 EPA에서 공인한 ISC(Industrial Source Complex) Model을 사용하였다. ISC Model의 기본적인 입력자료로써 기상자료, 오염원, 배출량, 수용체 등 구체적인 자료를 표로 나타냈다.

시간당 농도변화를 나타내는 Gaussian확산방정식은

$$C = \frac{QKVD}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right]$$

여기서 Q : 오염물질의 배출량(g/sec)

K : 단위전환 상수

D : 오염물질의 소멸을 나타내는 항

$$D = \exp\left(-\phi \frac{x}{u_y}\right)$$

χ : 풍향거리(m)

φ : decay coefficient

σ<sub>y</sub>, σ<sub>z</sub> : 수평, 수직방향으로 확산계수(m)

u : 배출되는 지점에서의 평균풍속(m/s)

v : 오염물질의 수직방향이동

$$V = \frac{\sqrt{2\pi} \sigma_z}{z_i}$$

Z<sub>i</sub> : 혼합고(m)

$$\bar{C}_i = \frac{\int f(\theta)c(\theta)d\theta}{S} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N-1} \frac{f_{ij}c(\theta_{ij}) + [f_{i1}c(\theta_{i,N})]}{2} + \epsilon(\theta)$$

$$\epsilon(\theta) = \frac{\bar{C}_N - \bar{C}_O}{\bar{C}_M}$$

$$\bar{C}_M = \frac{\bar{C}_N - \bar{C}_O}{2}$$

여기서 C<sub>i</sub> : i<sub>th</sub> Sector의 평균농도

S : Sector 넓이

f<sub>ij</sub> : i<sub>th</sub> Sector, j<sub>th</sub> 풍향의 발생빈도

ε(θ) : error term

C(θ<sub>ij</sub>) : i<sub>th</sub> Sector, j<sub>th</sub> 풍향시의 농도

### 2.6. 대기오염 악취물질 확산 예측 시스템 Model

본 연구에서는 정기 수시 측정대상 32개 발생원 및 영향권과 환경부과업지시서에 의한 100개 사업장에 대해서 공기회석관능법과 직접관능법을 사용하여 악취를 분석하였으며 동시에 32개 지역의 시료를 채취하여 1700여개의 시료를 또한 100개 사업장에서 600여개의 시료를 채취하여 기기분석을 행하여 각 사업장 및 영향권의 악취물질 성분별 농도를 분석하여 제시하였다.

그리고 본 연구대상지역의 악취발생 사업장으로부터 배출량을 산출하여 ISC(Industrial Source Complex) 대기확산 Model에 적용하여 각 사업장별 악취농도 확산분포를 산출하였으며 수도권 매립장 및 사업장 연돌에서 배출되는 악취의 확산이 영향권에 차지되는 농도를 파악하기위해 주변지역의 대표지점을 선정하여 ISCLT Model을 적용시켜 기여도를 제시하여 관능법에 의한 농도분석, 기기분석에 의한 악취물질성분별농도분석, 그리고 영향권 차지농도 및 기여도 분석을 종합적으로 분석 할 수 있는 광역지역의 대기오염 악취물질 저감 예측시스템 Model을 Fig. 1과 같이 설계했다.

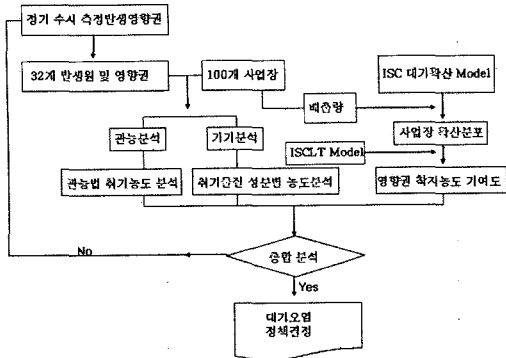


Fig. 1. Decreasing prediction system model of odour.

## 2.7. 분석 및 고찰

본 연구에서 설계한 대기오염 악취물질 저감에 측시스템은 크게 3가지의 악취오염물질 농도 분석을 제시하고 있다. 먼저 관능법(직접관능법)에 의한 제1권역의 악취농도는 수도권매립지 1공구의 경우 새벽에는 악취가 심하지 않다가 한낮이 되어서는 악취농도가 1440을 넘어섰고 저녁에는 다시 낮아지는 분포를 보였다.

한편 기기분석의 경우 수도권 매립지 제1공구의 경우 H<sub>2</sub>S 성분의 농도가 높은 9월, 10월이 가장 악

Table 3. Concentration variation of odour compound in landfill

Compounds	2000 -0712 -1-1-1	2000 -0712 -1-1-2	2000 -0712 -1-1-3	2000 -0718 -1-1-1	2000 -0718 -1-1-2	2000 -0718 -1-1-3	2000 -0724 -1-1-1	2000 -0724 -1-1-2	2000 -0724 -1-1-3
Methylene chloride				3					
Toluene	4	3	10	1	19	3	7	7	4
Styrene	1	1	1	1	7	1	2	1	2
H <sub>2</sub> S		86	718				136	146	
MeSH									
NH <sub>3</sub>								2	4
MeCHO	10		15	1		2	7	8	

Compounds	2000 -1106 -1-1-1	2000 -1106 -1-1-2	2000 -1106 -1-1-3	2000 -1122 -1-1-1	2000 -1122 -1-1-2	2000 -1122 -1-1-3	2000 -1218 -1-1-1	2000 -1218 -1-1-2	2000 -1218 -1-1-3
Methylene chloride									
Toluene	14	20	21	430	100	30	33	39	34
Styrene				2	6	2		2	2
H <sub>2</sub> S	60	690	31						
MeSH									
NH <sub>3</sub>				9	13				
MeCHO									

취농도가 높은 것으로 조사되었으며 7월과 11월의 경우도 대체로 취기농도가 높은 것으로 분석되었으며 다른 성분들보다 H<sub>2</sub>S 성분이 악취를 미치는 기여도가 상당히 큰 것으로 판단된다(Table 3 참조).

또한 사업장별 악취확산분포를 살펴보면 수도권 매립지를 포함하여 100여개 이상의 사업장에서 배출되는 악취오염 물질 중 H<sub>2</sub>S와 CH<sub>3</sub>CHO의 확산분포를 ISCLT Model을 적용하여 겨울과 여름을 대표하는 2월과 8월의 악취물질 확산결과를 Fig. 2와 같이 나타냈다.

2월달의 H<sub>2</sub>S와 CH<sub>3</sub>CHO의 악취물질 확산분포도를 살펴보면 바람장미도에 나타난 것과 이 H<sub>2</sub>S 및 CH<sub>3</sub>CHO 두 물질 모두 비슷한 분포도를 보이고 있어 매립지 주변 남쪽지역과 원창동, 석남동 지역까지 영향을 미치고 있다.

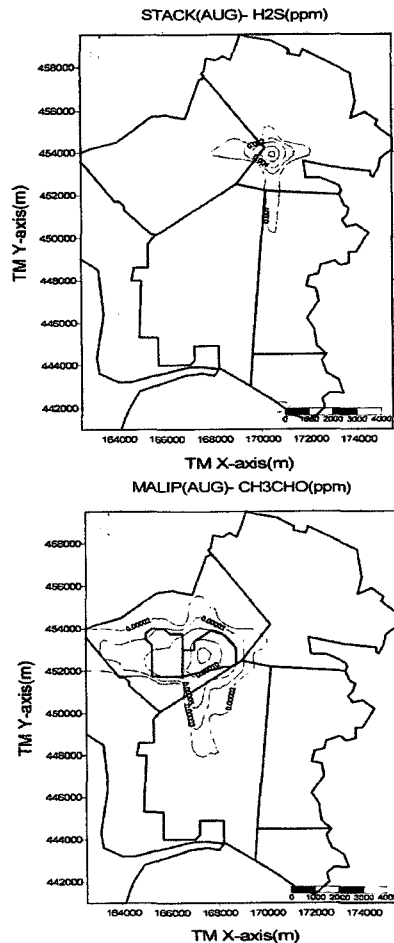


Fig. 2. Distribution map of odour diffusion which is discharged from landfill.

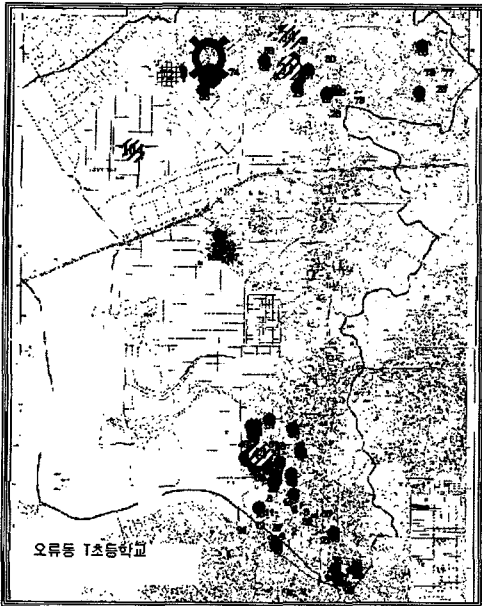


Fig. 3. Contribution degree map of CH<sub>3</sub>CHO in T primary school.

8월의 경우에는 동풍 및 남풍이 전반적으로 우세하며 약간의 북풍도 불고 있어 H<sub>2</sub>S의 경우 매립지 전반에 걸친 금호동, 오류동, 마전동, 당하동 그리고 원창동 남부까지 영향을 미치고 있다. CH<sub>3</sub>CHO의 경우에는 황화수소보다 더 넓은 확산분포를 보여 매립지부근 전반에 걸쳐 영향을 미치고 있는 것을 Fig. 2와 같이 보여 주고 있다.

한편 각 영향권에 대한 각 사업장들의 악취물질 CH<sub>3</sub>CHO의 기여도를 분석해 보면 오류동 T초등학교의 경우 주변사업장인 S-73이 55.65%, S-72가 24.76%로 두 사업장이 전체사업장의 80.41%의 기여율을 Fig. 3과 같이 나타내고 있다(Table 4 참조).

한편 H<sub>2</sub>S 배출기여도의 경우에는 주변사업장인 S-29가 55.67%, 매립지가 33.33%로 전체사업장의 89%의 기여율을 나타내고 있다.

본 연구에서 설계한 대기오염 악취물질 저감예측시스템에 의거 3종류의 악취오염물질 농도분석을 관능분석, 기기분석, 영향권차지농도, 기여도분석을 행하였으나 여기에는 많은 시·공간적인 제약 하에서 이루어졌음을 밝힌다.

Table 4. Contribution degree and concentration of sphere of influence

		T 초등학교	
배출원	배출원	합(ppm)	합(%)
		0.001842	100.00
S-72	S-73	0.001025	55.65
S-73	S-72	0.000456	24.76
S-44	S-44	0.00008	4.34
S-34	S-34	0.000055	2.99
M	M	0.000021	1.14
S-5	S-33	0.00002	1.09
S-15	S-5	0.000018	0.98
S-33	S-31	0.000016	0.87
S-71	S-15	0.000014	0.76
S-31	S-42	0.000011	0.60
S-56	S-56	0.00001	0.54
S-60	S-60	0.00001	0.54
S-28	S-55	0.000002	0.11
S-29	S-59	0.000002	0.11
S-32	S-1	0.000001	0.05
S-41	S-13	0.000001	0.05
S-55	S-24	0.000001	0.05
S-12	S-12	0	0.00
S-53	S-53	0	0.00
S-6	S-6	0	0.00
S-88	S-88	0	0.00
S-9	S-9	0	0.00

#### 4. 결론

본 연구에서는 연구대상지역을 4개의 권역으로 나누어 32개 발생원 및 영향권을 정기·수시측정 지점으로 설정하였으며 더욱이 확산분포 및 각 사업장의 기여도를 손쉽게 확인할 수 있는 대기오염 악취물질 저감예측시스템의 개발이 본 연구의 목적으로 다음과 같은 연구성과를 도출했다.

1) 본 연구에서 설계한 대기오염 악취물질 저감예측시스템은 산업현장에서 배출되는 악취물질 확산분포도 및 각 사업장의 물질별 기여도를 비교적 정확하게 표현할 수 있게 기능하는 표준모델로 입증되었다.

2) 발생원지역의 희석배수가 인접영향권에 비하여 매우 높은 수치를 나타내고 있으며 낮은 농도로 유지되다가 오후와 저녁이 되면서 악취농도가 900~1500까지 상승하였으며 한 밤중에는 1500~6700까지 높은 수치를 나타내었다.

3) 수도권매립지 1공구의 경우 기기분석과 H<sub>2</sub>S 이외의 다른 성분들의 취기농도와와의 상관성은 낮은 것으로 판정되었으며 H<sub>2</sub>S 성분의 악취농도는 9월, 10월이 가장 높은 것으로 조사되었으며 다른 성분들보다 H<sub>2</sub>S 성분이 악취에 미치는 기여도가 큰 것

으로 조사되었다.

4) 제1권역에 위치하고 있는 T초등학교에  $CH_3CHO$  물질의 기여도를 S-73 사업장이 55.65%, S-72 사업장이 24.76%로 두사업장이 80.41%로 인근사업장이 크게 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 또한  $H_2S$  물질의 경우 S-29 사업장이 55.67%, M 사업장이 33.33%로 두 사업장이 89%의 기여율을 나타내고 있다.

**감사의 글 :** 이 논문은 2004년도 인천대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 岩崎好陽, “臭氣の測定方法”, 大氣汚染學會誌, 第27卷, 1992.
- 2) 환경부, “악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사연구”, 2001.
- 3) 김윤선 외 6인, “인천지역 악취저감을 위한 종합대책”, 인천대학교, 2001.
- 4) 김노중, “악취현황과 탈취신기술(1)”, 첨단환경기술, 1996.
- 5) 김노중, “악취현황과 탈취신기술(2)”, 첨단환경기술, 1996.
- 6) 수도권매립지관리공사, “수도권매립지 사후 환경영향조사 보고서”, 2001.