

완주산단 주변의 주요 악취물질 규명 및 저감을 위한 실태연구

박비오¹ · 박성순^{2,†} · 고영삼¹ · 양고수¹ · 송영일³

¹전북대학교 환경공학과, ²동강대학교 보건환경전공, ³조선대학교 링크사업단

Research on the Actual Condition for Confirmation and Reduction of Odor Materials in the Wanju Industrial Complex

Bi-Oh Park¹, Seong-Soon Park^{2,†}, Young-Sam Ko¹, Go-Su Yang¹, and Young-il Song³

¹Dept. of Environmental Engineering, Chonbuk University, Jeonju 561-756, Korea

²Dept. of Environmental Science, Dongkang College, Gwangju 500-714, Korea

³Leaders in Industry University Cooperation, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

Received August 5, 2014/Revised September 12, 2014/Accepted September 29, 2014

The purpose of this study is to measure composite odor and designated odor in 33 emission sources at 11 business sites generating odor in the Wanju Industrial Complex, examine characteristics and problems of major odor substances for each odor emission source, and establish an optimal means to reduce odor according to characteristics of the site. As a result of assessing odor emission characteristics in this study, major odor substances were found to be ethylbenzene, toluene and xylene for automobile parts manufacturing business, styrene, ethylbenzene and toluene for synthetic resin and other plastic materials manufacturing business, and styrene, trimethylbenzene, ethylbenzene, nitric acid and formic acid for other manufacturing businesses. Apartments located closest in the northern and southern boundaries of the industrial complex were predicted to be surrounding regions receiving greatest effect of odor emitted by business sites, and increase in apartment floor was predicted to show greater effect of odor.

Key words: Designated odor, Complex odor, Emission characteristic, Business source, Odor effect

1. 서 론

주민들의 보다 쾌적한 환경에서의 생활 욕구와 도시의 지속적인 확장에 의하여 산업단지과 주거지역이 혼재하여 존재하는 지역이 많아짐으로써 악취의 민원은 지속적으로 증가하는 추세에 있다. 환경부의 발표자료(2013년 4월)에서도 2005년부터 2012년까지 증가 추세에 있으며, 이 중 산업단지 및 농공단지의 기여도는 15% 이상인 것으로 평가되었다.¹⁾ 양산시 산업단지에서 발생하는 악취물질에 의한 영향조사에서도 주풍의 풍하측에 위치한 주거지역에서는 상당히 큰 악취오염의 영향을 받는 것으로 조사되었다.²⁾

완주지역의 경우 다양한 종류의 산업체와 공장이 밀

집되어 있는 산업단지로서, 도심지역과 그 배출유형 및 배출원은 다를지라도 원료 사용과 제품 생산 공정, 부산물 및 폐수처리, 소각 공정 등으로부터 다양한 종류의 휘발성유기화합물(VOCs: Volatile Organic Compounds) 물질과 악취 등이 다양한 수준으로 배출되고 있다. 2012년 완주산단지 악취 현황조사에서 산단 내에서 야간에 회석배수 30(2회 발생)으로 분석되어 복합악취 허용기준(공업지역 20 이하)을 초과하였다.³⁾ 완주산단 내 입주업체에서 발생하는 악취물질은 총 4개 항목으로 이 중 2011년도 기준 자일렌(44,677 kg/년)이 가장 많은 배출량을 보여주었으며, 다음으로는 톨루엔(33,458 kg/년), 스티렌(5,065 kg/년), 메틸에틸케톤(606 kg/년) 순으로 조사되었다.⁴⁾ 산단 주변 주거지역에 위치한 3지점에서 20.8(6

[†]To whom correspondence should be addressed.

회 발생)로 분석되어 복합악취 허용기준(기타지역 15 이하)을 초과하였고, 지정악취물질은 메틸메르캡탄이 13-16 ppb의 범위로 검출되어 공업지역 배출허용기준(일반지역 2 ppb, 공업지역 4 ppb)을 초과한 것으로 조사되어, 완주산단의 악취관리 필요성을 보여주고 있다. 그러나, 산단 내 배출원에 대한 정확한 진단자료가 없어 발생원별 악취 저감 방안을 수립하는 데에 한계가 있다. 또한, 완주산단 인구 밀집지역의 주변으로 전주과학산업연구단지과 완주지방산단이 인접하여 있어 대규모 민원이 발생되고 있으며, 민원 횡수도 지속적으로 증가하는 경향을 보여주고 있다.^{2,5)} 이와 같이 세부적인 대책방안의 부재와 지속적인 민원은 지역사회의 갈등을 야기시키고 있다. 그러므로, 지속적인 민원에 의해 사회갈등을 해소하기 위해서는 주요 악취배출 사업장에 대한 세부적인 실태 조사가 필요하며,^{6,7)} 조사된 물질특성에 근거한 저감 방안 수립에 의한 악취의 저감을 유도하여 민원해결을 위한 근본적인 저감 실천이 중요하다.

본 연구에서는 완주산단 주요 악취배출사업장내 악취 배출원에 대한 세부적인 실태조사를 실시하여 배출원별 악취종류 및 농도 등을 파악하여 악취 원인물질을 평가하고, 산단에서 발생하는 악취가 주변지역에 미치는 영향을 살펴보았다.

2. 연구의 내용 및 분석방법

완주산단 인구 밀집지역의 주변으로 전주과학산업연구단지와 완주지방산단이 인접하여 있어 대규모 민원이

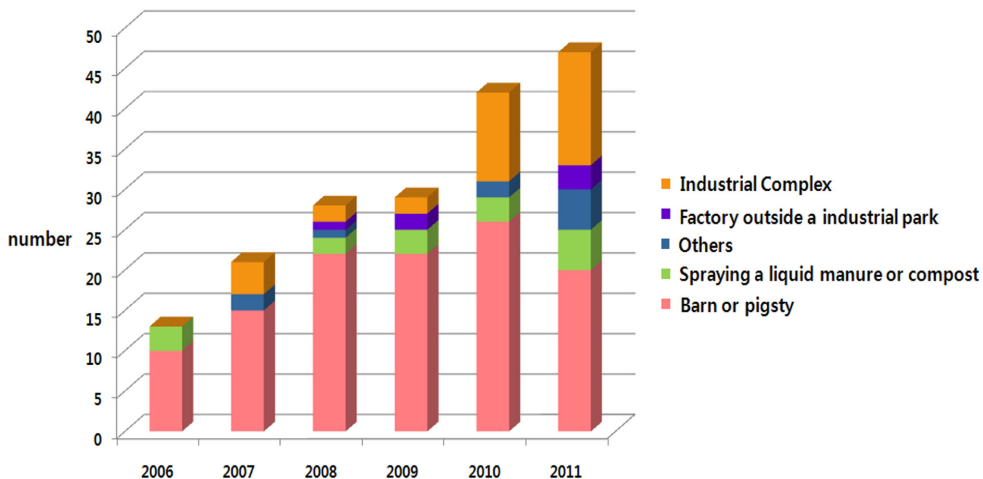
발생되고 있으며, Fig. 1과 같이 완주산단 주변민원 횡수도 지속적으로 증가하는 경향을 보여주고 있다.^{3,12)}

그러므로 산단 악취의 배출특성을 파악하기 위하여 우선적으로 완주산단 내 주요 악취 배출업종을 선정하였다. 주요 악취 배출업종의 선정을 위하여 전주과학산업연구단지와 완주지방산단에 입주한 업종별 사업장수를 조사하여 사업장수가 많은 업종을 우선적으로 선정하였다. 선정된 업종은 기초유기화학물제조업, 합성수지 및 기타 플라스틱물제조업, 기타자동차부품제조업, 의약품 화학물 및 향생물질제조업, 기타 유기화학물제조업, 일반도료 및 관련제품제조업 등 5개 업종을 우선 선정하였다. 또한, 과거 주변주거지역의 민원인이 악취 발생원으로 의심하는 2개 업종(다이오드, 트랜지스터 및 유사반도체 제조업, 계면활성제, 전자재료 케미칼, 도로침가제 제조업)도 추가적으로 포함하여 총 7개 업종을 선정하였다.

위와 같이 선정된 제조업 중 주요 사업장을 선정하여 악취 배출원별 배출농도, 배출항목 등을 분석하여 중점적인 악취 배출특성을 파악하고, 측정된 배출량이 주변 주거지역에 미치는 영향을 파악하기 위하여 사업장내 악취 배출구와 악취유발 공정을 사업장별로 세부적으로 조사 및 분석하여 악취의 고농도 배출이 예측되는 지점을 선정하였다.

2.1. 측정대상 및 분석방법

Table 1과 Fig. 2에서 제시한 바와 같이 측정 시 선정된 시료채취 지점은 총 11개 사업장 33개 배출원으로,



* 자료 : 완주 지역 악취 민원 갈등 해소를 위한 실태 조사, 전북녹색환경지원센터, 2012

Fig. 1. Trends on odor civil appeals in Wanju.

Table 1. Sampling points of business odor sources

Site	Name of business	Type of industry	Type of facility	Designated offensive odor
Os-1	A business	Manufacture of Basic Organic Chemicals	RTO outlet	analysis
Os-2	B business	Manufacture of Synthetic Resin and Other Plastic Materials	scrubber outlet	analysis
Os-3			packaging process of product	analysis
Os-4			wastewater treatment plant	analysis
Os-5	C business	Manufacture of Synthetic Resin and Other Plastic Materials	shipment site of product	-
Os-6			reaction process 1	analysis
Os-7			reaction process 2	-
Os-8	D business	Manufacture of Other Parts and Accessories for Motor Vehicles	Fabric filter outlet	analysis
Os-9			scrubber outlet	analysis
Os-10			cutting process	-
Os-11	E business	Manufacture of Other Parts and Accessories for Motor Vehicles	A/C tower outlet 1	analysis
Os-12			scrubber outlet	-
Os-13			A/C tower outlet 2	-
Os-14	F business	Manufacture of Other Parts and Accessories for Motor Vehicles	scrubber outlet	analysis
Os-15			cutting process	-
Os-16	G business	Manufacture of Medicinal Chemicals and Antibiotics	A/C tower outlet	analysis
Os-17			scrubber outlet	-
Os-18			production process	-
Os-19	H business	Manufacture of Diodes, Transistors and Similar Semi-conductor Devices	scrubber outlet	analysis
Os-20			A/C tower outlet	-
Os-21	I business	Manufacture of Surface-Active Agents and paint additive	A/C tower outlet	-
Os-22			wastewater treatment plant	-
Os-23			scrubber outlet	analysis
Os-24	J business	Manufacture of General Paints and Similar Products	A/C tower outlet 1	analysis
Os-25			A/C tower outlet 2	analysis
Os-26			mixing process	-
Os-27	K business	Manufacture of Synthetic Resin and Other Plastic Materials	RTO outlet	-
Os-28			A/C tower outlet 1	analysis
Os-29			factory floor	-
Os-30			A/C tower outlet 2	-
Os-31	A business	Manufacture of Basic Organic Chemicals	dewatering	-
Os-32	C business	Manufacture of Synthetic Resin and Other Plastic Materials	reaction process outlet 1	analysis
Os-33			reaction process outlet 2	analysis

33개 악취 배출원 중 복합악취 측정 시 비교적 고농도로 측정된 17개 배출원은 지정악취(10개 항목)를 추가로 분석하였으며, 배출원에서의 시료채취는 간접채취법으로 테플론백이 내장된 흡입상자내부를 에어펌프로 감압하여 간접적으로 가스를 포집하였으며, 2 L/min의 유속으로 포집하였다.

주요 배출원에 대한 악취 시료채취는 Fig. 3과 같다. 또한, 17개 배출원은 가스크로마토그래피-질량분석기(GC-MS: Gas Chromatography-Mass Spectrometer)로 스캔하여 지정악취 물질 외의 주요 배출물질을 파악하였다.^{1,10-13)}

2.2. 복합악취 분석(공기회석관능법)

관정요원 선정에 합격한 5인의 분석요원이 3의 배수로 취기를 감지할 수 없을 때까지 회석하였으며, 공정배출원은 10배부터, 배출구는 300배부터 회석하였다. 무취로 판정된 시료회석배수의 바로 전단계의 시료회석배수를 시험시료의 회석배수로 하고 전체 관정요원의 시료회석배수 중 최대 및 최소값을 제외한 나머지의 기하평균한 값을 전체 회석배수로 평가하였다.

2.3. 고농도 악취 유발지점에 대한 지정악취 분석(기분석법)

황화합물은 분석방법(GC-PFPD) 시료가스를 -170도

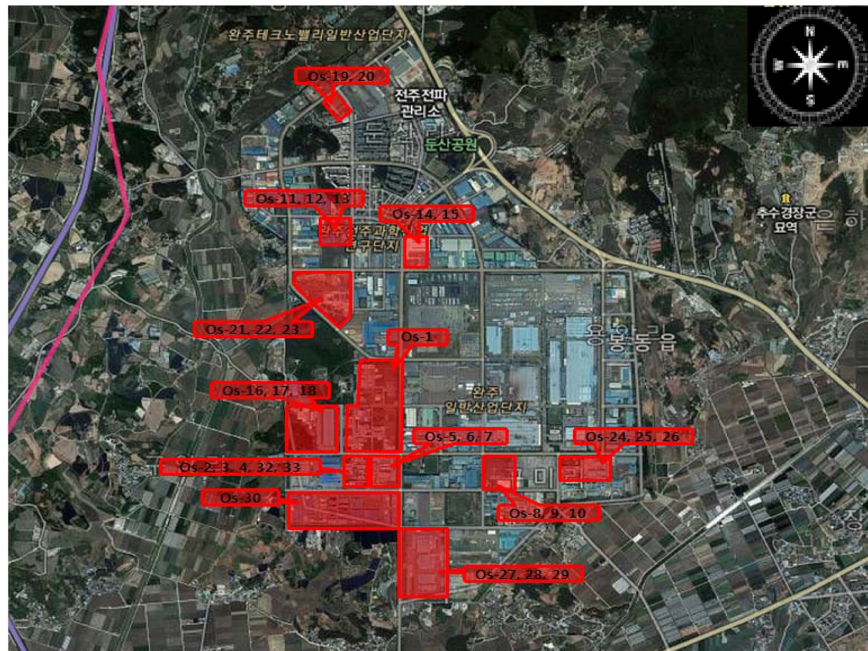


Fig. 2. Sampling points of business odor sources in the Wanju Industrial Complex.



Fig. 3. Sampling pictures of major odor source.

SPT로 저온흡착 농축시키고 이것을 다시 가열하여 탈착시킨 후 가스크로마토그래프에 주입시켜 분석하였으며,

검출기로는 불꽃광도검출기(Flame Photometric Detector: FPD)를 사용하였다.^{5,6)}

암모니아는 용액흡수법을 이용하여 펜타시아노 니트로실 철(III)산 나트륨용액과 차아염소산 나트륨 용액을 가하여 640 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 휘발성 악취물질(자일렌, MEK, 스티렌, 톨루엔)은 고체흡착관에 포집된 시료를 열 탈착시킨 후 preconcentrator에 의해 일정량을 흡착시키며 농축된 대기 중의 샘플을 탈착시켜, Cryo-Focusing Module을 통해 GC (Agilent 6890N)로 주입하여 MSD (Agilent 5973N)를 사용하여 분석하였다 한다.^{6,7)}

트리메틸아민(Trimethylamine: TMA)의 분석은 황산 용액(1+359) 200 mL가 든 2개의 흡수병을 직렬로 연결하고 10 L/min 정도의 유량으로 5분 이내 흡입하여 전량 50 L정도를 채취하여, 수산화칼륨용액으로 분해하여 분해된 TMA는 저온농축관으로 농축 및 탈착하여 GC-FID로 분석하였다.^{7,14)}

2.4. 사업장 배출악취가 주변지역에 미치는 영향분석

Table 2, 3과 같이 사업장 배출악취가 주변지역에 미치는 영향을 분석하기 위하여 CALPUFF 모델을 이용하였으며,²⁾ CALMET의 대상지역은 완주산단을 중심으로 6×6 km로 하였으며, 영역크기는 500 m 간격으로 하였다. 기상입력 자료는 완주군의 2013년 기상자료를 사용했으며, 입력되는 인자는 풍향, 풍속, 온도, 기압, 대기

안정도, 혼합층고도이다.

지표기상은 완주군과 인접한 전주시기상대의 자료를 사용하였으며, 상층기상은 주변의 가까운 지역에 고층기상대가 존재하지 않아 약 85 km 이격된 광주고층기상대의 자료를 사용하였다. 기상장의 생성방법은 우리나라처럼 지형이 복잡하고 바다와 인접하고 있어 기상의 편차가 생길 수 있으므로 편차를 최소화하고자 본 연구에서는 CALMET라는 가상기상장 파일을 생성하였다. 이러한 파일을 생성하기 위하여 Meteorological 항목인 인근의 지표기상대 자료 및 고층기상대에서 실측한 상층기상자료와 함께 Geophysical data인 상세지형자료 등을 이용하여 가상기상장 파일을 생성하였다. 지표기상자료는 현지에서 관측된 1시간 단위의 풍향, 풍속, 온도 등을 CD-144 형식의 기상자료로 변환하여 이용하였고, 상층기상자료는 현지에서 실측된 6시간 단위의 고도별 풍향, 풍속, 기압, 온도 등을 TD6201 형식의 기상자료로 변환하여 이용하였다.

악취배출원은 본 연구에서 실측된 배출구를 대상으로 하였으며, 악취 배출원 입력 자료는 측정 대상 배출구의 지경, 높이, 가스배출량 등을 조사하여 Table 4와 같이 입력하였으며, 각 배출구별 배출량은 실측된 복합악취 희석배수를 적용하였다. 모델링의 결과 분석은 2013년 완주군의 기상상태에서 주변지역에 가장 높은 1시간 최

Table 2. Modeling domain information

Item		Contents
Grid Origin (reference point)	Business sources	X (Easting) UTM coordinate: 327.5
		Y (Northing) UTM coordinate: 3,976.5
Grid spacing (dX)		500 m
Domain Size	Nx (no. x grid Cell)	12
	Ny (no. y grid Cell)	12
Projection		Universal Transverse Mercator (UTM)
UTM zone		52 (Northern)
NO. of Vertical layers		6
Cell face heights (m)		0, 20, 50, 100, 300, 500, 1000
Time Zone		UTC+0900
Modeling period		2013.01.01~2013.12.31
Continent/Ocean		Asia
Geoid-Ellipsoil		Korean Geodetic System 1995: WGS 84
Region		South Korea
Datum		KGS

Table 3. Terrain input data

Item	File name	Contents
Land Use	eademla.img	USGS Land Use File
Terrain	E100N40.DEM	GTOPO30 30-sec datda (~900)

Table 4. Input data of sources

Name of business	Site	Stack Ht. (m)	Stack Diam. (m)	Exit vel. (m/s)
A business	Os-1	6	0.6	3.2
B business	Os-2	9	0.3	6.4
C business	Os-32	15	0.6	7.1
	Os-33	35	0.5	4.2
D business	Os-8	18	1.2	6.2
	Os-9	13	0.5	8.9
	Os-11	15	1.2	10.3
E business	Os-12	8	0.5	5.5
	Os-13	10	0.3	5.7
F business	Os-14	7	0.6	8.5
G business	Os-16	10	0.8	9.3
	Os-17	10	0.8	16.7
H business	Os-19	11	0.9	9.9
	Os-20	5	0.7	3.0
I business	Os-21	32	0.7	6.1
	Os-23	30	0.7	4.5
J business	Os-24	8	0.8	17.3
	Os-25	11	0.8	17.8
K business	Os-27	15	1.1	12.7
	Os-28	29	1.1	9.7
	Os-30	10	0.6	12.4

고평균농도와 24시간 최고평균농도를 기준으로 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 완주군 기상특성 조사

완주군 연간 바람장미도(2013년) 연평균 풍향빈도는 남동풍(SE)이 15.13%로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 풍속에 대한 빈도는 0.5~2.0 m/s의 빈도가 49.16%로 가장 높은 것으로 조사되었고, 그 다음으로 2.0~3.0 m/s의 빈도는 20.21%로 조사되었다. 전체 풍속에 대한 무풍빈도는 10.15%로 조사되었다.^{3,15)}

Table 5와 같이 풍속 빈도는 봄철 풍향 빈도는 남동풍(SE)이 13.50%로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 풍속에 대한 빈도는 0.5~2.0 m/s의 빈도가 48.23%로 가장 높은 것으로 조사되었고, 그 다음으로 2.0~3.0 m/s의 빈도는 20.02%로 조사되었다. 전체 풍속에 대한 무풍 빈도는 5.43%로 조사되었다. 여름철 풍향 빈도는 남동풍(SE)이 19.61%로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 풍속에 대한 빈도는 0.5~2.0 m/s의 빈도가 49.55%로 가장 높은 것으로 조사되었고, 그 다음으로 2.0~3.0 m/s의 빈도는 24.64%로 조사되었다. 전체 풍속에 대한 무풍 빈도는 5.89%로 조사되었다. 가을철 풍향 빈도는 남

동풍(SE)이 16.03%로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 풍속에 대한 빈도는 0.5~2.0 m/s의 빈도가 48.03%로 가장 높은 것으로 조사되었고, 그 다음으로 2.0~3.0 m/s의 빈도는 17.99%로 조사되었다. 전체 풍속에 대한 무풍 빈도는 17.40%로 조사되었다. 겨울철 풍향 빈도는

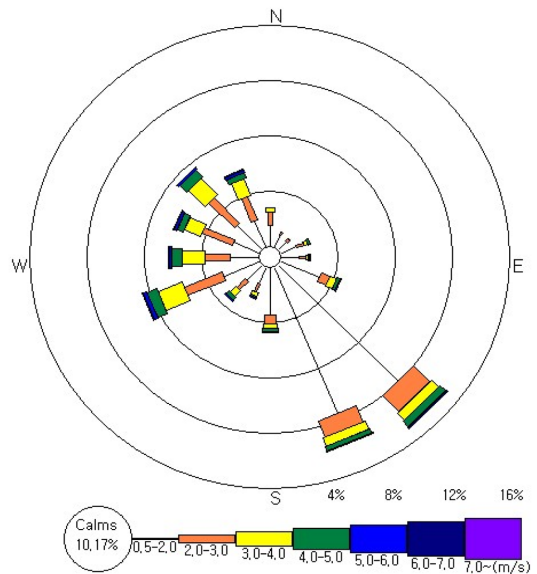


Fig. 4. Annual wind rose on Wanju (2013 year).

Table 5. Seasonal frequency of wind speed (100%)

Wind (m/s)		0.5~2.0	2.0~3.0	3.0~4.0	4.0~5.0	5.0~6.0	6.0~7.0	7.0~
Wind speed (%)	Spring	48.23	20.02	14.27	7.79	2.67	1.13	0.45
	Summer	49.55	24.64	12.18	4.76	1.63	0.63	0.72
	Autumn	48.03	17.99	9.75	4.21	1.60	0.78	0.23
	Winter	50.82	18.13	11.68	5.17	1.97	0.18	0.05

Table 6. Measurement results of Designated offensive odor substances emitted oder from business sources (Unit; ppb)

Division	Toluene	Xylene	Styrene	Methyl ethyl ketone	Ammonia	Trimethyl-amine	Hydrogen sulfide	Methyl mercaptan	Dimethyl sulfide	Dimethyl disulfide
Os-1	5.96	80.4	710.48	LOQ	1,054	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-2	9.86	LOQ	LOQ	N.D.	2,972	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-3	79.01	LOQ	LOQ	N.D.	460	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-4	73.38	49.92	257.0	LOQ	1,627	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-6	127.6	0.98	1,038	LOQ	541	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-8	8.16	LOQ	LOQ	N.D.	1,254	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-9	6.48	9.02	86.86	N.D.	1,172	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-11	142.2	59.48	2.46	LOQ	1,434	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-14	90.52	38	LOQ	N.D.	1,440	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-16	21.42	LOQ	N.D.	N.D.	617	N.D.	2.51	3.36	N.D.	N.D.
Os-19	51.80	1.33	N.D.	N.D.	527	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-23	26.29	5.52	N.D.	N.D.	250	N.D.	1.66	1.38	N.D.	N.D.
Os-24	1,168	561.6	10.52	6.39	590	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-25	1,219	747.7	17.63	14.50	347	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Os-28	1173	467.1	1,572	32.19	195	N.D.	2.82	2.94	N.D.	N.D.
Os-32	772.9	223.6	1,653	27.51	534	N.D.	2.72	3.16	N.D.	N.D.
Os-33	562.2	128.4	1,421	15.97	298	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

N.D: No-detection, LOQ: limit of quantitation.

남남동풍(SSE)이 12.41%로 가장 높은 것으로 조사되었으며, 풍속에 대한 빈도는 0.5~2.0 m/s의 빈도가 50.82%로 가장 높은 것으로 조사되었고, 그 다음으로 2.0~3.0 m/s의 빈도는 18.13%로 조사되었다. 전체 풍속에 대한 무풍 빈도는 12.00%로 조사되었다.

위의 결과와 같이, 산단 발생악취에 의한 주변지역에 미치는 영향은 봄철, 여름철, 가을철에는 주풍의 풍하지역인 산단의 북서쪽 주거지역, 겨울철에는 주풍의 풍하지역인 북북 서쪽 주거지역이 주된 영향지역임을 유추할 수 있다. 또한, 사람이 감지할 수 있는 악취의 유발 빈도수도 중요하지만, 대부분의 대규모 민원은 지역 내 지리적 조건과 결합된 최악의 기상상태가 형성될 때 발생되므로 주변지역에 최고 농도를 유발할 수 있는 기상 조건 중 쉽게 평가할 수 있는 풍속범위별 빈도수 확보도 중요하다. 그러므로, 계절별 풍향, 풍속 빈도수에 대한 자료는 다음절의 모델링 결과를 고찰할 수 있는 중요자료가 될 것이다.

3.2. 사업장 배출원별 지정악취 측정결과

Table 6과 같이 주요 악취배출업체별 지정악취물질 측정결과를 나타낸 것으로, 주요 검출물질은 Toluene (5.96~1,219 ppb), Xylene (Tr-747.7 ppb), Styrene (Tr-1,653 ppb), Ammonia (541~2,972 ppb)로 조사되었다. Table 7과 같이 각 지점별로 측정된 지정악취 물질을 악취강도로 변환하여 비교분석한 결과로 Os-1, 6, 28, 32, 33 지점은 스타이렌이 가장 높은 악취강도를 보여주었으며, Os-2, 3, 4, 8, 9, 11, 14, 16, 19, 24지점은 압모니아, Os-25 지점은 자일렌, Os-23 지점은 메틸메르캅탄이 가장 높은 악취강도를 보여주었다. 그러나, 모든 지점에서 검출된 지정악취물질의 악취강도가 0~3.38로 배출구에서 검출된 강도보다는 비교적 낮은 수준으로 주요 악취를 유발하는 타 악취물질에 대한 평가가 필요하다.

3.3. 부문별 사업장별 악취 원인물질 평가

지정악취 분석결과에서 검출된 지정악취물질은 주요 악취 원인물질로 평가하기에는 검출된 농도 및 예측된

Table 7. Conversion results of odor intensity by Designated offensive odor substances emitted from business sources (Step 6 notation) (Unit; ppb)

Division	Toluene	Xylene	Styrene	Ammonia	Hydrogen sulfide	Methyl mercaptan
Os-1	0	0.42	2.89	2.42	0	0
Os-2	0	0	0	3.17	0	0
Os-3	0	0	0	1.82	0	0
Os-4	0	0.08	2.26	2.73	0	0
Os-6	0	0	3.12	1.93	0	0
Os-8	0	0	0	2.54	0	0
Os-9	0	0	1.59	2.50	0	0
Os-11	0	0.21	0	2.64	0	0
Os-14	0	0	0	2.64	0	0
Os-16	0	0	0	2.03	1.67	2.90
Os-19	0	0	0	1.92	0	0
Os-23	0	0	0	1.37	1.50	2.41
Os-24	1.14	1.82	0.29	2.00	0	0
Os-25	1.17	2.03	0.61	1.61	0	0
Os-28	1.15	1.69	3.38	1.19	1.72	2.83
Os-32	0.89	1.16	3.41	1.92	1.70	2.86
Os-33	0.70	0.76	3.32	1.50	0	0

Table 8. Evaluation of major offensive odor substances emitted from business sources

Division	Major offensive odor substances
Os-1	Styrene, Trimethylbenzene, Ethylbenzene, Ammonia
Os-2	Nitric acid, Cyclohexane, Formic acid, Ammonia
Os-3	IPA, Cyclohexane, Toluene, Ammonia
Os-4	IPA, Styrene, Naphthalene, Xylene, Ammonia
Os-6	Styrene, Toluene, IPA, Acetone, Ammonia
Os-8	Nitric acid, Ammonia
Os-9	Styrene, Ethyl benzene, 1,2,4-Trimethylbenzene, Cyclohexane, Ammonia
Os-11	Toluene, Xylene, Ethyl benzene, 1,2,4-Trimethylbenzene, MIBK, Ammonia
Os-14	Toluene, Xylene, Ethyl benzene, 1,2,4-Trimethylbenzene, Acetic acid, Ammonia
Os-16	Methylene Chloride, Acetic acid, MIBK, Toluene, Ammonia, Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan
Os-19	Methylene Chloride, Toluene, Heptane, Acetic acid, Ammonia
Os-23	Chloroform, Toluene, Heptane, Decane, Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan
Os-24	Toluene, Methyl ester, Xylene, Ethyl benzene, Benzene, Ammonia
Os-25	Toluene, Ethyl benzene, Xylene, Benzene, Ammonia
Os-28	Styrene, Toluene, Methyl ester, Xylene, Ethyl benzene, Butyl alcohol, Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan
Os-32	Styrene, Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Butyl alcohol, Ammonia, Hydrogen sulfide, Methyl mercaptan
Os-33	Styrene, Toluene, Xylene, Ethyl benzene

강도가 낮아, 본 연구에서 배출원별 주요 악취 원인물질을 평가하기 위하여 GC/MS로 정성분석을 시행하였다.^{6,9,16)} GC/MS로 정성분석 및 정량분석(면적에 의한 개략적인 분석) 결과, 각 배출원별 주요 배출물질은 Table 8과 같다.

Fig. 5와 같이 검출된 지정악취물질은 Os-1 지점은 스타이렌, 트리메틸벤젠, 에틸벤젠, 암모니아 등, Os-24 지점은 톨루엔, 메틸에스테르, 자일렌, 에틸벤젠, 벤젠, 암

모니아 등, Os-28 지점은 스타이렌, 톨루엔, 메틸에스테르, 자일렌, 에틸벤젠, 부탄올, 황화수소, 메틸머캅탄 등이 주요 배출 물질로 평가되었다. 이와 같은 주요 배출 물질은 악취 원인물질 또는 주요 기여물질로 예측된다.

그러나, 싸이클로헥산, 포름산, 아세톤, 질산, 에틸아세테이트, 메틸에스테르, 부탄올 등은 GC/MS에 의한 개략적인 정성 분석(표준가스로 확인되지 않은 물질로 단지 분자량과 이성질체 수에 의하여 예측된 물질)으로 신뢰

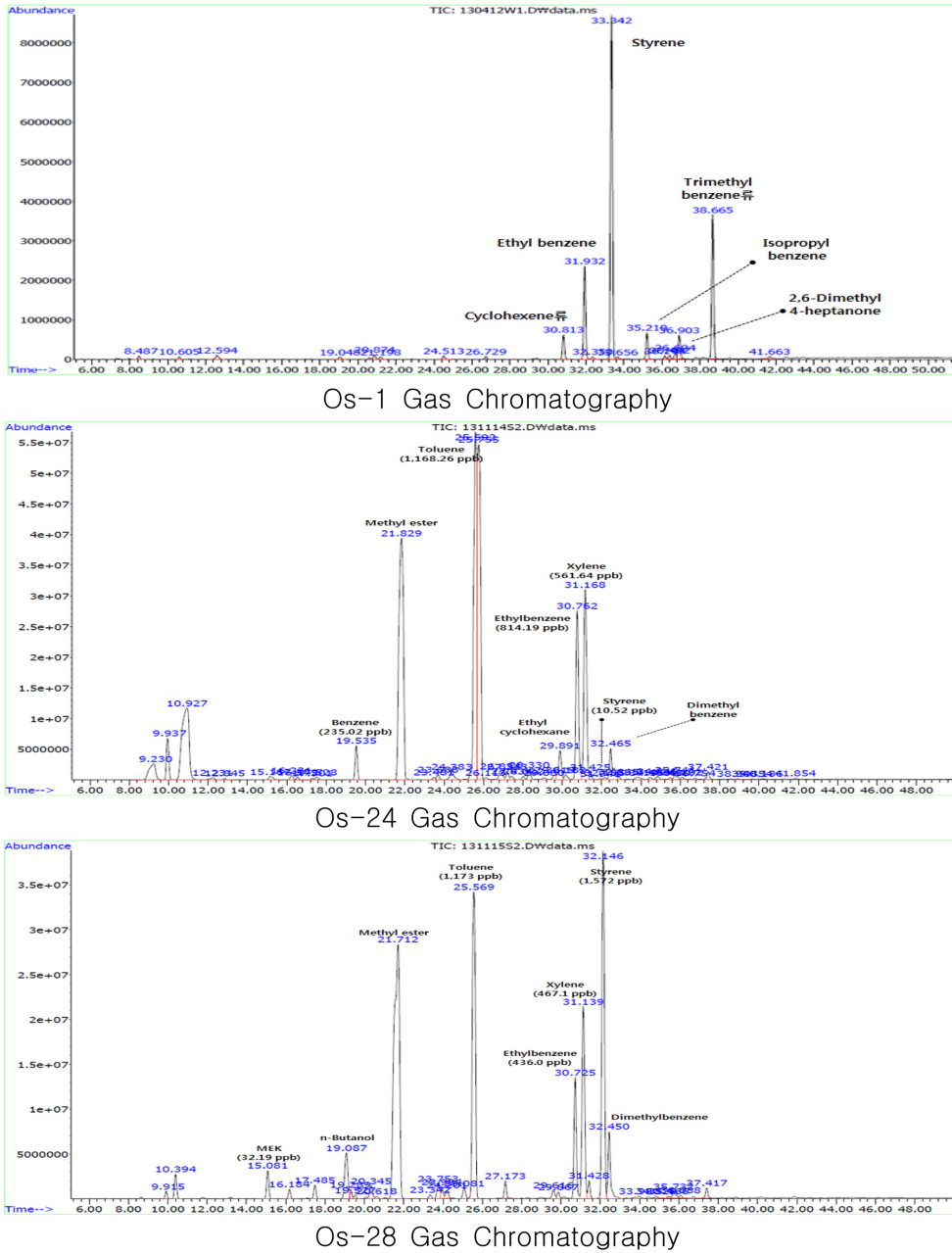


Fig. 5. Gas Chromatogram of gases emitted from business sources.

성 비교적 낮으나 다음 그림의 배출원별 크로마토그램과 같이 배출원별 배출물질의 배출 패턴을 파악할 수 있는 중요한 자료로 판단된다.

3.4. 부문별 사업장별 악취 원인물질 평가

Fig. 6과 Table 9는 사업장 배출구에서 측정된 복합

악취 측정결과를 이용하여 주변 지역에 미치는 영향을 예측한 결과를 나타낸 것으로 1시간 최대평균농도는 모델링 기간 중 1시간 평균농도 값이 가장 높을때의 농도를 나타낸 것이며, 24시간 최대평균농도는 모델링 기간 중 24시간 평균농도 값이 가장 높을 때의 농도를 나타낸 것이다. 대상 사업장 배출구 악취에 의한 연간평균농

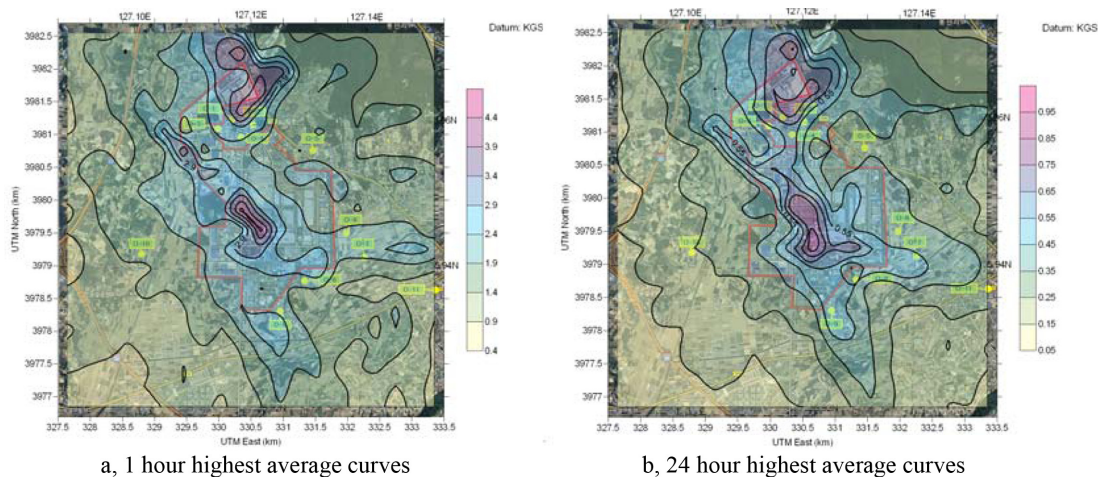


Fig. 6. Concentration curves of the surrounding area by complex odors emitted from business sources.

Table 9. Effect results on the surrounding area by complex odors emitted from business sources (Unit; air dilution)

Site	Distance from the industrial park	Reception height (m)	1 hour average	24 hour average	annual average
a APT	25 m from the southern boundary	1.5	2.71	0.59	0.16
		10	2.30	0.48	0.15
		20	2.25	0.43	0.12
		30	2.42	0.44	0.11
b park	30 m from the southeast boundary	1.5	1.78	0.36	0.10
c APT	30 m from the western boundary	1.5	2.52	0.46	0.15
		10	3.21	0.53	0.16
		20	3.55	0.54	0.16
d APT	130 m from the southeast boundary	30	3.71	0.54	0.16
		1.5	1.55	0.36	0.12
		10	1.87	0.45	0.15
e APT	130 m from the northern boundary	20	3.16	0.57	0.18
		30	4.64	0.70	0.20
		1.5	1.34	0.33	0.08
f village	45 m from the eastern boundary	1.5	1.91	0.29	0.06
g village	300 m from the eastern boundary	1.5	2.15	0.34	0.05
h golf driving range	60 m from the southern boundary	1.5	1.43	0.46	0.07
i village	65 m from the southeast boundary	1.5	1.69	0.34	0.06
j village	850 m from the western boundary	1.5	1.56	0.28	0.05

도와 24시간 최대평균농도는 희석배수 모든 지점에서 희석배수 1배 이하로 비교적 낮은 악취 강도로 예측되었으나, 1시간 최대평균농도는 일부 지역에서 3배 이상으

로 나타나 대상사업장 배출구의 악취만으로도 주변 주민이 악취를 감지할 수 있는 것으로 평가되었으며, 가장 높은 농도로 예측된 지역은 산단 남북쪽경계지역과 가

장 인접한 d 아파트로 예측되었다. 이는 앞의 3.1의 완주군의 바람장미도 결과에서도 제시된 본 지역의 주풍이 남남동풍으로 주풍의 풍하지역에 위치한 대규모 아파트 지역이 다른 주변지역보다 사업장 악취에 대한 더 큰 영향을 받는 것으로 평가된다. 그러나, 완주군의 풍속 빈도수가 가장 많은 0.5~2.0 m/s 범위의 풍속보다는 0.5 m/sec 이하의 무풍에 가까운 풍속일 경우에 주변지역에 미치는 영향이 큰 것으로 예측되었다. 또한, 산단내 발생악취로 가장 영향이 큰 공동주택의 경우, 아파트가 고층일수록 더 높은 영향을 미치는 것으로 예측되었다. 이는 사업장내 배출구의 높이가 대부분 20 m 이상이므로 아파트의 층수가 높을수록 사업장 악취에 대한 더 큰 영향을 받는 것으로 평가되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 법적인 규제지역이 아닌 일반산업단지 악취발생 사업장을 대상으로 사업장내 11개 사업장 33개 배출원으로, 고농도로 측정된 17개 주요 배출원의 지정악취물질을 측정하여 맞춤형 저감방안 수립, 도출된 악취 발생원별 주요 악취원인물질 확인, 문제점 파악, 최적의 개선방향 제시를 통해 사업체의 악취저감 필요성을 인식시킴과 동시에 환경투자를 유도하고, 완주산단내 주요 악취배출사업장내 악취 배출원별 악취종류 및 농도를 파악하여 주변지역에 미치는 영향, 저감 방안 등의 대책을 수립코자 한다.

완주군 12년간(2000~2011년) 평균 기상개황의 경우 평균기온 13.68(평균 최고 20.48, 평균 최저 6.95), 평균강수량 1,312 mm, 평균 상대습도 66.3%, 평균풍속 1.89 m/s로 조사되었으며, 2012년 바람장미도 실시결과, 주풍은 SE(남동풍), 준주풍은 SSE(남남동풍), SEE(남서서풍)으로 조사되었다.

본 연구의 주요 사업장별 악취 실측에 의한 악취 배출특성 평가 결과, 측정대상 지점의 전 배출구(21개 지점)에서 공업지역 배출허용기준(희석배수 1,000배)을 만족하였으나, 일부의 배출구(7개 지점)에서는 배출허용기준(희석배수 1,000배)의 70% 이상 수준으로 분석되어 배출구 악취 저감에 대한 중점적인 노력이 필요하다. 그 외 지점도 기상상태와 풍향에 따라 주변지역에 고농도의 악취를 유발할 수 있으므로 방지시설의 최적관리에 의하여 악취 배출을 최소화해야 한다. 또한, 배출구가 아닌 공정(12개 지점) 중에서의 악취 측정 결과는 2개 지점을 제외하고는 부지경계선에서의 공업지역 배출허용

기준을 모두 만족하였다. 2개 지점은 희석배수 21배로 측정되어 기상상태에 따라 주변지역에 고농도의 악취를 유발할 수 있으므로 악취 저감이 필요하다. 업체별 지정악취물질 측정결과는 Toluene (5.96~1,219 ppb), Xylene (Tr-747.7 ppb), Styrene (Tr-1,653 ppb), Ammonia (541~2,972 ppb)로 조사되었다.

사업장 배출구에서 측정된 복합악취 측정결과를 이용하여 주변 지역에 미치는 영향을 예측한 결과, 가장 높은 영향을 나타내는 지역은 산단 남·북쪽 경계지역과 가장 인접한 아파트로 예측되었으며, 아파트가 고층일수록 더 높은 영향을 미치는 것으로 예측되었다. 이는 본 지역의 주풍이 남남동풍으로 주풍의 풍하지역에 위치한 대규모 아파트 지역이 다른 주변지역보다 사업장 악취에 대한 더 큰 영향을 받는 것으로 평가되며, 또한 사업장내 배출구의 높이가 대부분 20 m 이상이므로 아파트의 층수가 높을수록 사업장 악취에 대한 더 큰 영향을 받는 것으로 평가되었다.

감사의 글

이 연구는 환경부 전북녹색환경지원센터 사업비 지원으로 수행되었습니다(JBGEC 2013).

참고문헌

1. 환경부, “악취관리 정책방향, 환경부 대기관리과”, 2013, 11.
2. 송상근, “양산시 산업단지에서 측정된 악취물질의 농도 분포 특성 및 대기확산 모델링”, *한국환경과학회지*, 2009, 18(10), 1103-1104.
3. 전북녹색환경지원센터, “완주지역 악취원인 갈등해소를 위한 실태조사”, 2012.
4. 환경부, “화학물질배출량 정보공개시스템”, 2011.
5. 박비오, 박미영, 박성순, 양고수, “전북지역 산업단지(전주, 완주)의 VOCs 및 악취물질 대기환경 모니터링”, *한국냄새환경학회*, 2004, 3(2), 127-134.
6. 박미영, 박비오, 양고수, 박성순, “전북산업단지의 VOCs 및 악취물질 대기환경 모니터링”, *한국냄새환경학회 춘계학술대회*, 2004. 6, 173-176.
7. 양고수, 박비오, 박성순, 박미영, “Canister 및 GC/MSD을 이용한 전북지역산단내 VOCs 특성연구”, *한국냄새환경학회 추계학술대회*, 2004. 11, 59-63.
8. 박성순, “환경기초시설 악취현황과 처리기술”, *참좋은환경*, 2009. 7, 66-69.
9. 박성순, “발생원에 따른 다양한 악취제어기술 현황”, *참좋은환경*, 2009. 11, 66-72.

10. 박성순, 김성천, 양고수, “전북지역 대기환경용량 예측”, *전북대학교 공학연구*, **2005**, 제36집, 57-65.
11. 환경부, 대기관리과, “악취물질 발생원관리방안 개선을 위한 조사연구”, **2000**.
12. 울산대학교, “악취물질 발생원 관리방안 개선을 위한 조사연구 용역”, **2001**.
13. 전북녹색환경지원센터, “군산시 악취발생원별 배출특성 규명 및 관리(해소) 방안”, **2012**.
14. 권영호, 박성순, 양고수, “전주·익산지역 산업단지 악취 및 유해대기오염물질 발생원 조사”, *전북대학교 공학연구*, **2002**, 제33집, 171-177.
15. 전북녹색환경지원센터, “익산시 악취발생원에 따른 계절별, 시간대별 악취영향권 분석 및 기류도 작성”, **2013**.
16. 박성순, 김용문, 박비오, 양고수, “전주산업단지 및 주변 지역 VOCs 및 악취물질 모니터링(II)”, *전북대학교 공학연구*, **2003**, 제34집, 81-92.