

광양만권의 시간별 대기오염 특성에 관한 연구

임익현[†] · 서성규* · 김상채**

한려대학교 건설방재공학과

*전남대학교 환경시스템공학과

**목포대학교 환경교육과

A Study on Spatial Distribution Characteristics of Air Pollution in the Gwangyang Bay

Ik-Hyun Lim[†] · Seong-Gyu Seo* · Sang-Chae Kim**

Department of Costructional Disaster Prevention Engineering, Hanlyo University

**Department of Environmental System Engineering, Chonnam National University*

***Department of Environmental Education, Mokpo National University*

Abstract

This study was carried to identify of air pollutants distribution and obtain of basic information for air quality management in Gwangyang-bay area. For the characterization of air pollutants distribution, data analysis was performed with the measured data during 4 years(2009-2012) in 12 monitoring stations of Gwangyang-bay area.

In the results of analysis, spatial distribution of PM10, SO₂, NO₂, O₃, CO is higher in inland areas and industrial complex. PM10 concentration(annual mean) exceeded the atmosphere environmental standard(annual mean : 50 µg/m³) in the Jinsang monitoring station. Gwangyang and Suncheon showed a high concentration of 1,000 µg/m³ to the influence of the yellow sand phenomenon. The spatial distribution of SO₂ was higher especially in the Wollae-dong of Yeosu industrial complex with high fuel consumption. O₃ showed a higher concentrations than the atmosphere environmental standard(a hour mean : 0.1 ppm) in 12 monitoring stations of Gwangyang-bay area. CO concentration(annual mean) was the lowest in Gwangyang areas, but the highest concentrations(a hour mean) of CO was found in taemin-dong of Gwangyang areas.

Keywords : Gwangyang Bay, Air quality management , Air pollutant distribution

1. 서론

최근 우리나라는 급격한 산업화 및 도시화와 함께 자동차 운행과 연료사용량 급증으로

인하여 대기오염 상황이 매년 심화되고 있으며, 특히 대도시와 산업시설 밀집지역에서는 그 영향이 심각하게 나타나기도 한다.

전남 동부권에 위치한 광양만권은 광양시,

[†]Corresponding author E-mail: lim3135@empal.com

여수시, 순천시, 하동군 일부를 포함한 지역으로 대기오염물질을 대량 배출하는 3개소 국가산업단지와 11개소 일반산업단지 등의 산업시설이 밀집된 지역이다. 또한, 광양제철소와 광양컨테이너항, 하동화력발전소 등이 위치하고, 산업단지와 관련시설이 계속 확충되고 있어 국내에서 대기오염이 가장 심각한 지역 중 하나이다^{1,2)}. 광양만권은 국가에서 1999년 12월 대기환경규제지역(여수, 광양, 순천, 하동화력발전소)으로 지정·고시되고, 이후 대기환경의 개선 및 배출량 삭감을 목표로 10년 단위의 “광양만 대기환경규제지역 실천계획”을 마련하여 지방자치단체와 사업체, 시민 등이 함께 참여하여 다양한 개선 노력을 추진하고 있다³⁾.

국가는 효율적 대기질 관리와 합리적 개선 방안의 마련 등에 필요한 기초자료의 확보를 위해 대기오염의 변화 및 실태 파악을 위한 수단으로 관할구역의 지방자치단체와 함께 대기오염 자동측정소를 설치·운영하고 있다. 현재 환경부와 지방자치단체가 관리하는 지역대기 측정망은 약 160개 측정소가 전국적으로 운영되고 있으며, 여기서 측정된 자료는 국립환경과학원에서 취합하고, 대기관리 정책 및 오염도 분석 등에서 기초자료로 활용 및 제공되고 있다^{4,5)}.

본 연구에서는 광양만권역의 광양, 순천, 여수지역에 설치·운영하는 12개소의 대기질 자동측정망에서 측정된 자료를 대상으로 공간분포와 통계분석을 수행하여 광양만권의 대기오염 현황 파악과 오염물질의 공간적 분포특성을 파악하여 향후 효율적 대기질 관리 계획 수립에서 필요한 기초자료를 제공하고 자 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상지역

본 연구에서의 연구대상 광양만권은 광양,

여수, 순천과 하동 일부를 포함하는 남해와 접한 지역으로 여수국가산단과 광양국가산단, 울춘산단, 해룡산단, 광양산단, 하동화력발전소 등의 대규모 대기오염물질 배출원이 밀집되어 우리나라에서 가장 큰 중화학 공업 지역 중에 하나로 대기오염이 매우 심각한 상태로 알려져 있다.

국가는 1999년 12월 광양만권역(여수, 광양, 순천, 하동화력발전소)을 대기환경규제지역으로 지정·고시하고, “광양만 대기환경규제지역 실천계획”을 수립하여 별도의 대기환경기준을 마련하고, 대기질 개선을 위해 지방자치단체 및 사업장, 시민들과 함께 개선 노력을 진행하고 있다. 그러나 광양만권은 협소한 내만을 둘러싸고 있는 지리적 특성과 주변으로 대형 사업장들이 집중 배치된 상태로 대기오염 개선 필요성에 대한 인식과 적절한 관리 및 투자 노력에도 불구하고 장기간 오염물질 누적으로 지역내 대기오염 농도가 주변지역보다 상대적으로 높은 실정이다.

본 연구의 분석대상 지역으로 광양만권의 위치를 Fig. 1에 나타내었다.



Fig. 1. Location of Gwangyang-Bay.

2.2. 연구방법

본 연구는 광양만권에서 대기오염물질의 공간적 분포와 지역별, 오염물질별 특성을 파악하기 위하여 광양시, 순천시, 여수시가 설치·운영하는 12개 대기오염 자동측정소(도시대기 측정)에서 2009년부터 2012년까지 4년 동안 관측된 오염물질별 시간평균 측정자료를 국립환경과학원에서 제공 받아 유효 측정자료를 대상으로 자료를 처리하고, 분석을 수행하였다.

광양만권에 설치된 12개 대기오염 자동측정소의 위치를 Fig. 2에 측정소별 세부 제원은 Table 1에 나타내었다

광양만권의 12개 대기오염 자동측정소에서

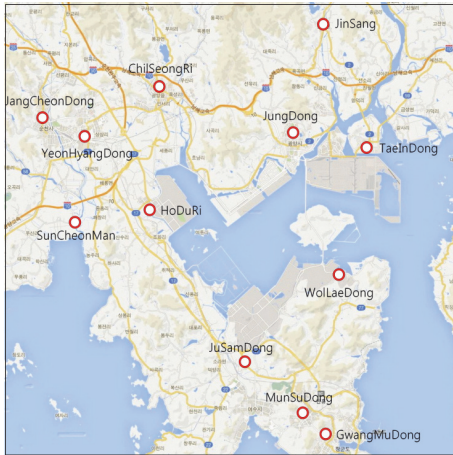


Fig. 2. The location of air pollution monitoring stations in Gwangyang Bay.

측정된 아황산가스(SO_2), 이산화질소(NO_2), 오존(O_3), 일산화탄소(CO), 미세먼지(PM_{10})의 시간평균 자료를 대상으로 지역별, 측정소별 공간적 분포와 통계적 분석을 수행하여 현재 광양만권의 대기오염 현황 파악과 변화 특성을 파악하고, 향후 광양만권의 대기질 개선계획 수립 및 지자체별 대기관리계획 수립에서 기초자료로 활용하고자 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대기오염 자동측정망 측정자료

광양시, 순천시, 여수시가 운영하는 12개 대기오염 자동측정소에서 측정된 2009년부터 2012년까지 대기오염물질의 시간평균 자료를 대상으로 측정 시도횟수 대비 측정된 2009년부터 2012년까지 시간평균 측정자료 중에서 광양시 관리대상 측정소의 평균 실측율은 97.5%로써 가장 높은 칠성리는 98.4%, 가장 낮은 태인동은 96.8%로 분석이 되었다. 순천시 관리대상 측정소의 평균 실측율은 98.0%로 순천만이 98.5%로 가장 높고, 가장 낮은 장천동은 97.3%, 여수시 관리대상 측정소의 평균 실측율은 94.9%로서 월내동이 96.7%로 가장 높고, 가장 낮은 주삼동 85.2%로 나타났다.

본 연구에서 분석한 대기질 자동측정소의 SO_2 , NO_2 , O_3 , CO , PM_{10} 시간평균 자료에 대

Table 1. The Specifications of air pollution monitoring stations in Gwangyang Bay⁶⁾

Division	Station code	Monitoring station	Coordinates	
			Latitude	Longitude
Gwangyang	336352	Jung-dong	127 41 52.08	34 56 25.02
	336353	Taein-dong	127 45 19.38	34 56 29.94
	336354	Jinsang	127 43 10.98	35 01 12.18
	336555	Chilseong-ri	127 34 56.10	34 59 51.12
Suncheon	336131	Jangcheon-dong	127 29 14.46	34 57 02.16
	336132	Yeonhyang-dong	127 31 14.88	34 56 22.14
	336133	Suncheonman	127 30 33.98	34 53 08.40
	336134	Hodu-ri	127 34 22.99	34 53 36.17
Yeosu	336121	Gwangmu-dong	127 43 40.92	34 44 48.84
	336124	Wollae-dong	127 43 54.96	34 51 00.30
	336125	Munsu-dong	127 42 10.38	34 45 15.90
	336127	Jusam-dong	127 39 13.00	34 47 16.05

한 전체 평균 실측율이 96.9%로 높은 수준으로 나타나 본 연구의 광양만의 대기오염물질별 특성 및 공간분포 분석의 기초 자료로 활용에서 문제가 없다고 판단된다.

3.2. PM10의 공간적 분포특성

광양만권에 대한 PM10의 공간분포 특성을 분석한 결과(Fig. 3), 연평균 PM10의 공간적 분포는 내륙과 산업시설 밀집지역이 다소 높았고, 배출원이 적고 해양지역과 인접한 지역은 낮은 농도특성을 나타내었다.

시간평균 PM10 농도의 분석결과(Fig. 4), 여수와 순천, 광양의 평균농도는 비슷한 수준이나 광양이 다소 높았다. 특히, 산업 배출원이 없는 농촌지역 진상의 연평균 PM10 농도가 대기환경기준(연평균 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)을 초과하는 것으로 분석되었다. 또한, 광양만권에서 단기 PM10 농도는 내륙에 위치한 순천과 광양지역이 해양과 인접한 여수보다 황사 등의

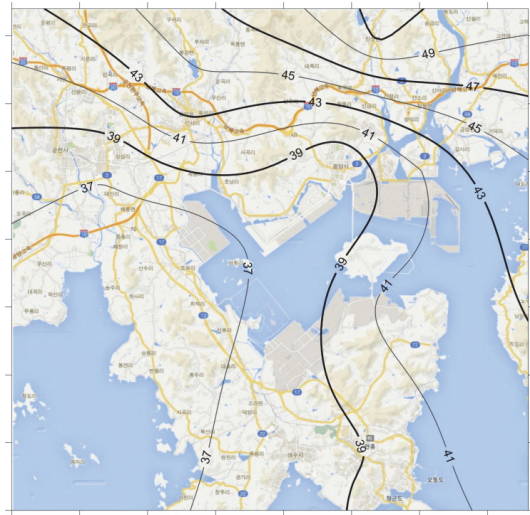


Fig. 3. The spatial distribution of PM10 in Gwangyang-Bay.

영향을 크게 받아 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 고농도로 출현하는 것으로 나타났다.

3.3. SO₂의 공간적 분포 특성

Table 2. The effective measurement rate of air pollution monitoring stations

Monitoring station		Expected data(EA)		Measured data(EA)					Effective measurement rate(%)						
		PM10	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	PM10	SO ₂	NO ₂	CO	O ₃	Ave.			
Gwang yang	Jung-dong	35,064	34,195	34,049	34,060	33,874	34,030	97.5	97.1	97.1	96.6	97.1	97.1		
	Jinsang	35,064	34,306	34,391	34,099	34,488	34,221	97.8	98.1	97.2	98.4	97.6	97.8		
	Chilseong-ri	35,064	34,662	34,582	34,579	34,463	34,200	98.9	98.6	98.6	98.3	97.5	98.4		
	Taein-dong	35,064	33,977	34,094	34,192	33,304	34,152	96.9	97.2	97.5	95.0	97.4	96.8		
	Subtotal	140,256	137,140	137,116	136,930	136,129	136,603	97.8	97.8	97.6	97.1	97.4	97.5		
Sun cheon	Suncheonman	29,232	28,872	28,801	28,739	28,648	28,916	98.8	98.5	98.3	98.0	98.9	98.5		
	Yeonhyang-dong	35,064	34,614	34,241	34,297	34,262	34,504	98.7	97.7	97.8	97.7	98.4	98.1		
	Jangcheon-dong	35,064	34,155	34,196	34,118	34,132	33,961	97.4	97.5	97.3	97.3	96.9	97.3		
	Hodu-ri	29,232	28,548	28,934	28,767	28,579	28,927	97.7	99.0	98.4	97.8	99.0	98.4		
	Subtotal	128,592	126,189	126,172	125,921	125,621	126,308	98.1	98.1	97.9	97.7	98.2	98.0		
Yeosu	Gwangmu-dong	35,064	33,985	33,503	33,540	33,760	33,850	96.9	95.5	95.7	96.3	96.5	96.2		
	Munsu-dong	35,064	34,058	33,438	33,814	33,563	34,096	97.1	95.4	96.4	95.7	97.2	96.4		
	Wollae-dong	35,064	34,403	33,479	33,473	33,941	34,277	98.1	95.5	95.5	96.8	97.8	96.7		
	Jusam-dong	16,527	14,169	14,034	14,065	14,043	14,061	85.7	84.9	85.	85.0	85.1	85.2		
	Subtotal	121,719	116,615	114,454	114,892	115,307	116,284	95.8	94.0	94.4	94.7	95.5	94.9		
Total		390,567	379,944	377,742	377,743	377,057	379,195	97.3	96.7	96.7	96.5	97.1	96.9		

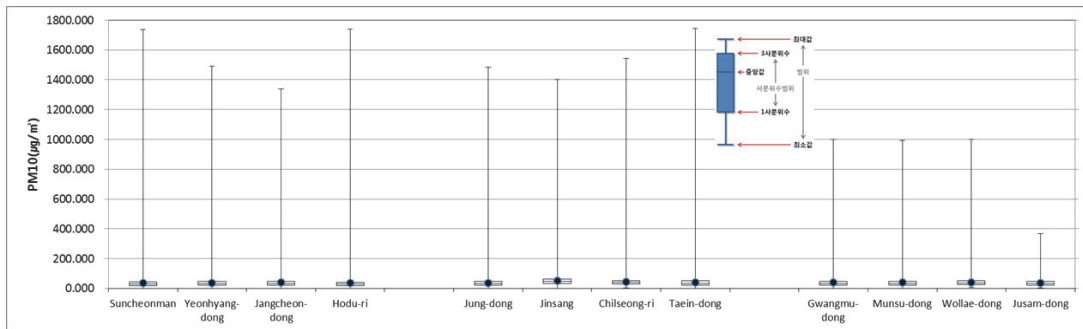


Fig. 4. The statistical analysis of PM10 in Gwangyang-Bay.

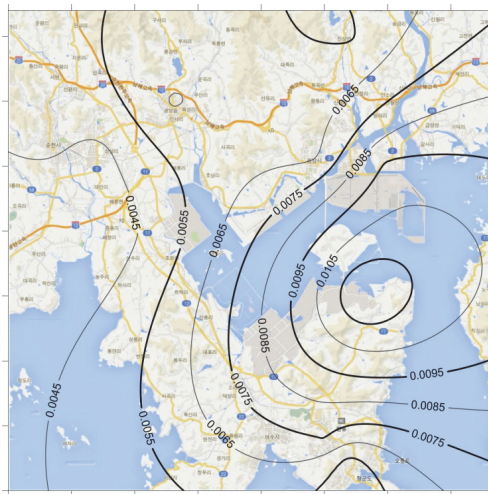


Fig. 5. The spatial distribution of SO₂ in Gwangyang-Bay.

광양만권에 대한 SO₂의 공간 분포특성을 분석한 결과(Fig. 5), 연평균 SO₂의 공간적 분포는 황(S)이 함유된 연료사용량과 밀접하게 관련되어 산업체들이 밀집된 산업단지 특히,

여수산단과 광양제철 및 주변 연관단지와 광양만권 내부에서 농도가 전체적으로 높고, 대규모 배출원이 없는 내륙과 해양지역에서는 낮은 특성을 나타내었다.

시간평균 SO₂ 농도의 분석결과(Fig. 6), 순천의 농도가 가장 낮았고, 단기 고농도 출현도 연료사용량 변화가 작은 지역적인 특성으로 광양시의 주거지역과 비슷한 수준으로 낮게 분석되었다.

그러나 여수는 평균 SO₂ 농도와 고농도의 발현이 높았고, 특히 황(S)을 함유한 연료사용량의 변화가 큰 여수산단의 월내동에서 고농도의 발현이 높게 나타났다.

3.4. NO₂의 공간적 분포 특성

광양만권에 대한 NO₂의 공간 분포특성을 분석한 결과(Fig. 7), 연평균 NO₂의 공간적 분포는 산업 및 난방, 자동차 등에서 연료사용량과 밀접한 관련으로 산업단지와 도심지, 주

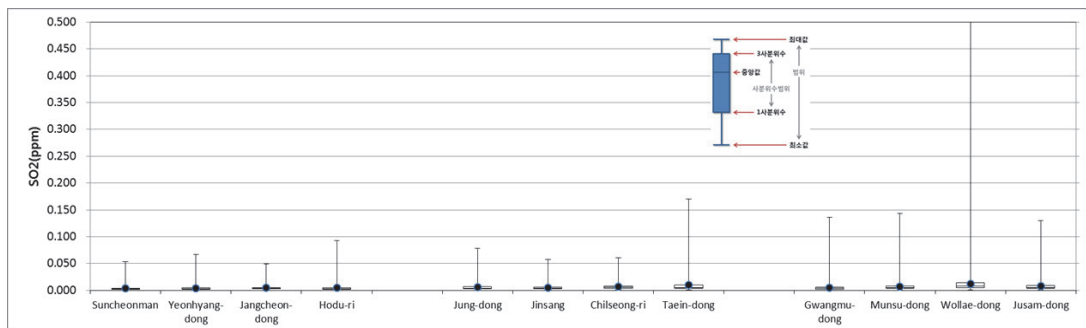


Fig. 6. The statistical analysis of SO₂ in Gwangyang-Bay.

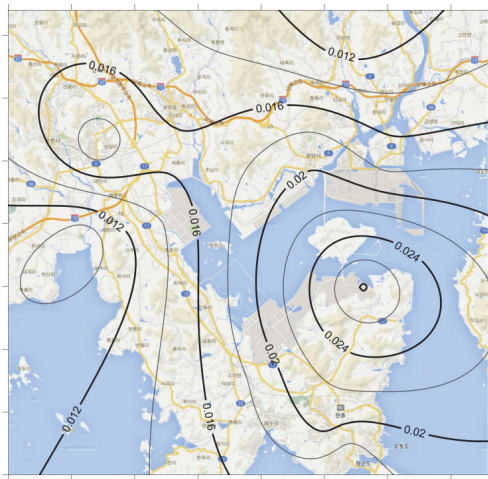


Fig. 7. The spatial distribution of NO₂ in Gwangyang-Bay

요 간선도로에서 높고, 대규모 배출원이 없는 내륙과 해양지역은 낮은 특성을 나타내었다.

시간평균 NO₂ 농도의 분석결과(Fig. 8), 순천이 농도가 가장 낮고, 광양과 여수의 순서이며, 단기 고농도는 순천과 광양이 비슷한 수준으로 평균농도와 최고농도 차이가 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 여수는 평균 NO₂ 농도와 단기 고농도가 상대적으로 높고, 특히 여수산단의 월내동에서 고농도가 나타났다.

단기적 고농도 NO₂의 출현은 오염원의 시간별 활동도 변화량에 따른 직접적 영향을 받지만 순천, 광양, 여수는 단기 고농도 출현이 지역으로 큰 차이가 없어 NO₂ 농도는 교통량과 난방, 산업시설 등에 종합적 영향을 받는 것으로 분석되었다.

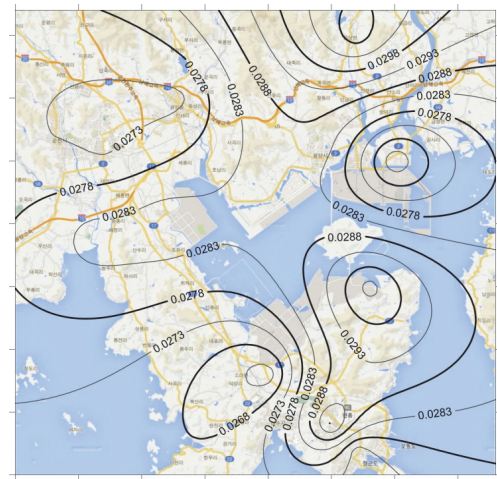


Fig. 9. The spatial distribution of O₃ in Gwangyang-Bay

3.5. O₃의 공간적 분포 특성

광양만권에 대한 O₃의 공간 분포특성을 분석한 결과(Fig. 9), 연평균 O₃의 공간적 분포는 해안지역에서 고농도가 나타나는 지리적 특성상 내륙보다 높은 농도를 나타내었다. 또한, 산업시설 배출원의 영향으로 남쪽부터 북쪽으로 위치한 여수산단, 해룡산단, 광양산단과 주변부에서 높았다. 그러나 광양의 진상은 O₃ 관련 배출원이 없는 농촌임에도 가장 높은 농도를 나타내었다.

시간평균 O₃ 농도의 분석결과(Fig. 10), 순천의 농도가 가장 낮고, 광양과 여수의 순서로 비슷한 수준이나 측정소별 농도는 광양의 진상이 가장 높고, 다음은 여수시 월내동으로

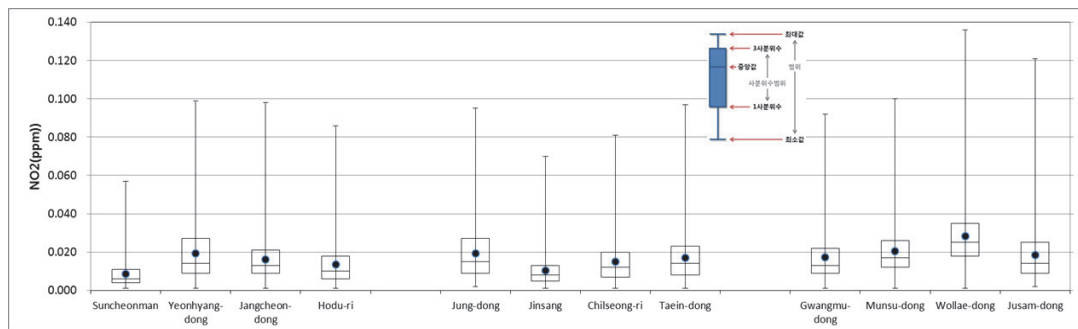


Fig. 8. The statistical analysis of NO₂ in Gwangyang-Bay.

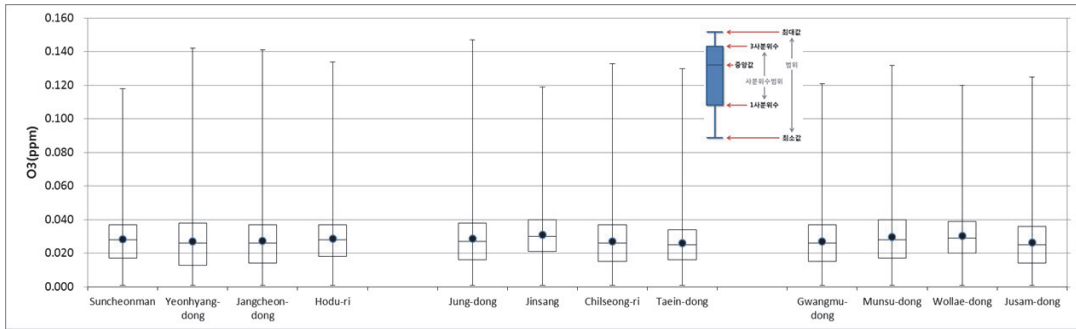


Fig. 10. The statistical analysis of O_3 in Gwangyang-Bay.

나타났다.

광양만권의 12개 대기오염 자동측정소 모두에서 O_3 의 대기환경기준(1시간 평균 0.1 ppm)을 초과하는 고농도가 나타났고, 단기 최고 농도는 광양의 중동에서 나타났다.

광양만권은 광양, 순천, 여수지역을 중심으로 매년 수차례에서 수십 차례씩 반복적으로 오존경보가 발령되는 O_3 에 의한 대기오염이 심각한 지역으로써 개선방안의 마련과 관리대책이 시급한 것으로 판단된다⁷⁾.

광양의 진상은 특별한 산업시설이 없는 농촌으로 단기 최고농도는 타 측정소에 비해 낮지만, 연평균 O_3 농도와 고농도 지속시간은 가장 높은 특성을 나타내었다.



Fig. 11. The spatial distribution of CO in Gwangyang-Bay

3.6. CO의 공간적 분포 특성

광양만권에 대한 CO의 공간 분포특성을 분석한 결과(Fig. 11), 연평균 CO의 공간적 분포는 연료사용량과 불완전 연소와의 관련성으로 인해 여수산단, 해룡산단, 광양산단 등의 산업단지 및 주변지역을 중심으로 광양만권 내부에서 높았고, 배출원이 적은 내륙 및 해양지역은 낮은 특성을 나타내었다.

시간평균 CO 농도의 분석결과(Fig. 12), 광양의 농도가 가장 낮았고, 순천과 여수의 순서이나, 고농도는 광양 태인동이 가장 높게 나타나 광양제철소의 운영특성에 따른 영향으로 판단된다.

여수의 평균 CO 농도가 다른 지역보다 다소 높았지만 여수산단 입주업체들의 연료사용량과 설비관리 등의 특성을 고려하면 그 차이는 크게 나타나지 않았다.

4. 결론

본 연구에서는 광양만권 대기오염물질의 공간분포 현황과 특성을 파악하여 장래 대기질 관리계획 수립에서 필요한 기초 자료의 확보를 위해서 12개 대기오염 자동측정소의 대기오염물질 시간평균 자료를 분석하였다.

분석결과, PM10의 공간분포는 내륙과 산업시설 밀집지역이 높았고, 여수, 순천, 광양은 비슷한 평균 농도를 나타내지만 농촌지역인 광양의 진상에서 연평균 대기환경기준 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 초과하는 것으로 나타났다. 또한, 내륙에

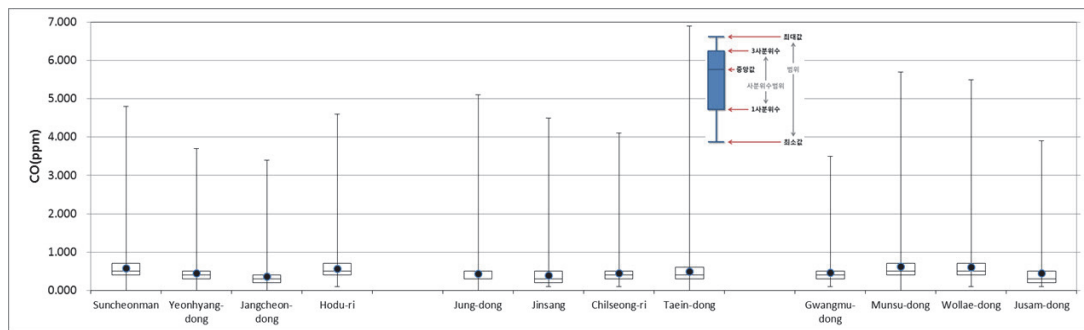


Fig. 12. The statistical analysis of CO in Gwangyang-Bay.

위치한 접한 순천과 광양은 황사의 영향을 크게 받아 $1,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 고농도가 출현하는 것으로 분석되었다.

SO_2 의 공간분포는 황(S)을 함유한 연료사용량과 관련되어 산업시설이 밀집된 산업단지 주변과 광양만 내부에서 높았고, 특히 여수의 평균농도가 주변 지역에 상대적으로 높았고, 여수산단의 월내동에서 가장 고농도가 출현되는 특성이 나타났다.

NO_2 의 공간분포는 산업단지와 도심지, 간선도로 등에서 높았다. NO_2 의 평균농도와 고농도는 여수가 높았고, 특히 여수산단의 월내동에서 고농도가 나타났다. 광양만권의 NO_2 농도는 교통 수단과 난방연료, 산업시설 등의 영향을 종합적으로 받는 것으로 분석되었다.

O_3 의 공간분포는 여수산단, 광양산단, 해룡산단 주변이 높고, 특히 주요한 산업시설이 없는 광양의 진상에서 가장 높은 것으로 나타났다. 또한, 광양만권의 12개 대기오염 자동측정소 모두에서 O_3 의 대기환경기준(1시간 평균치 0.1 ppm)을 초과하는 고농도가 측정되는 것으로 나타났다.

CO 공간분포는 연료사용량과 불완전 연소와의 관련성으로 여수산단, 해룡산단, 광양산단 등의 산업단지 주변과 광양만권의 내부에서 높게 나타났다. CO의 평균농도는 광양이 가장 낮았고, 순천, 여수의 순서이나 고농도 출현은 광양 태인동에서 가장 높게 나타났다.

사 사

본 연구과제는 환경부지정 전남녹색환경지원센터의 연구비지원에 의해 수행된 연구과제입니다.

References

1. 한국산업단지공단(2014), <http://www.e-cluster.net/>
2. 최현정, 이화운, 임헌호, 송재활(2008), 광양만 권역에서의 고농도 오존 사례에 대한 기상 및 대기질 분석, 한국환경과학회지, 17(7). pp. 743-744.
3. 전라남도(2012), 광양만권 제2차 자발적 협약서.
4. 환경부(2010), 대기오염측정망 설치·운영 지침, pp. 3-6.
5. 신동석, 김웅선, 황승만, 정용국(2006), 대기오염측정망의 종류 정의 및 자료 통계처리 방안 수립, 한국대기환경학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 370-372.
6. 환경부(2013), 대기환경연보(2012), pp. 253-258.
7. Airkorea, <http://www.airkorea.or.kr/>