

여수국가산업단지 대기오염물질 배출특성 및 주변 대기질 분석

서성규[†] · 윤형선 · 임은옥 · 박성진 · 차규석*

전남대학교 환경시스템공학과

*광주대학교 소방행정학과

Analysis of Air Quality and Air Pollutants Emission Characteristics of Yeosu Industrial Complex

Seong-Gyu Seo[†] · Hyung-sun Yoon · Eun-Ok Lim · Seong-Jin Park · Gyu-suk Cha*

Department of Environmental System Engineering, Chonnam National University

**Department of Fire Safety, Gwangju University*

Abstract

In this study, we investigated the SO₂ and C₆H₆ emissions at Yeosu Industrial Complex during the past 8 years('03-'10), the factory operation rates at Yeosu Industrial Complex during the past 10 years('02-'11), National Atmospheric Monitoring Network concentration status around Yeosu Industrial Complex and the field study air quality(SO₂, O₃, NO₂). In the case of SO₂ emission, it presented the trend of decreasing year by year from the peak 2006. In the case of C₆H₆, it presented the trend of decreasing continuously. The factory operation rates also showed slight descent than in the past. From the National Atmospheric Monitoring Network results on the 7 main Industrial Complex areas, we can find that in the case of SO₂, it presented the trend of decreasing year by year. In the case of O₃, it tended gradually continue to increase each year. In the case of NO₂, it does not have a distinct tendency of increase or decrease. In the case of the field study of the air quality concentrations of SO₂, O₃ and NO₂ in 2011, the concentrations were 0.004-0.011 ppm(Ave.: 0.007 ppm), 0.013-0.021 ppm(Ave.: 0.015 ppm) and 0.010-0.018 ppm(Ave.: 0.013 ppm) at the general areas and 0.001-0.003 ppm(Ave.: 0.002 ppm), 0.007-0.009 ppm(Ave.: 0.008 ppm) and 0.004-0.006 ppm(Ave.: 0.005 ppm) at the control areas, respectively. By comparing the atmospheric monitoring network average annual concentration at Yeosu area with the actual measured concentration results, we can find that all of the SO₂, O₃ and NO₂ concentrations could meet the air quality standards. In the future, in order to investigate the Yeosu Industrial Complex, the new Industrial Complex development areas and air quality monitoring around this area, the annually continuous and systematic management need be considered.

Keywords : Yeosu industrial complex, SO₂, O₃, NO₂, C₆H₆, National Atmospheric Monitoring Network, Concentration distribution

[†]Corresponding author E-mail: sseo@jnu.ac.kr

1. 서론

‘90년대 이후 우리나라의 대기오염물질 패턴은 저황유와 천연가스를 공급하는 등 청정연료 정책이 효과를 거두면서 중전에 문제가 되었던 SO₂의 평균농도는 개선추세로 전환되었다. 반면, NO₂와 O₃농도 등이 높게 나타나는 이른바 선진국형 대기 특성으로 전환되고 있는 실정이다^{1,2)}. 이러한 대기오염물질 중 SO₂는 물에 잘 녹는 무색의 자극성이 있는 불연성 가스로서 주 배출원은 황을 함유하고 있는 연료(주로 석탄과 석유)가 연소되거나 금속 제련과정, 기타 산업과정 등에서 발생한다^{3,4)}. NO₂는 적갈색의 반응성이 큰 기체로서, 대기 중 일산화질소의 산화에 의해서 발생하며, VOCs와 반응하여 O₃를 생성하는 전구물질(precursor)의 역할을 한다. 주요 배출원은 자동차 및 발전소 등과 같은 고온 연소과정과 화학물질 제조과정 등이 있으며, 토양중의 세균에 의해 생성되는 자연적 현상 등이 있다⁵⁾. O₃는 대기 중에 배출된 NOx와 VOCs 등이 자외선과 광화학 반응을 일으켜 생성된 광화학 옥시단트(PAN, 알데하이드, Acrolein 등) 일종으로 2차 오염물질에 속한다^{6,7)}. 여수국가산업단지는 국가와 지역사회의 발전에 지대한 기여를 하였지만, 대기오염물질, VOCs 등과 관련된 환경 분쟁이 발생한 사례 지역이기도 하다. 이러한 사업장 특성에 따른 대기오염물질의 배출로 인하여 체감오염도와 주변 환경 및 주민건강의 유해성에 대한 관심이 높은 지역으로, 2007년 대기환경기준의 선진국 수준 강화, 2010년은 대기오염물질의 배

출허용기준이 강화 되었다⁸⁾. 최근 전국 산업단지 2012년 6월의 가동률은 전월대비 0.5%, 전년 동월대비 1.5% 감소한 84.8%를 기록하고 있는 실정이다. 단지별로는 대기업 비중이 높은 여수(92.6%), 울산(86.6%)단지는 가동률이 상대적으로 높은 반면, 중소기업 밀집단지인 남동(78.2%), 반월(81.2%), 시화(78.5%)단지의 가동률은 상대적으로 낮은 편이다. 석유화학업종 생산은 유럽의 재정위기 심화와 중국의 경기 둔화 등으로 해외수요가 감소한 것과 함께 국제유가 급락으로 생산액이 크게 줄어들었지만, 타 산업단지와 비교시 가동률은 높은 편이다⁹⁾.

따라서 본 연구에서는 여수산단의 최근 8년(‘03~‘10)간 SO₂ 및 C₆H₆ 배출량 조사와 최근 10년(‘02~‘11)간 여수산단의 공장 가동률 변화, 여수산단 주변 지역을 중심으로 국가 대기측정망 농도 측정현황, 대기질(SO₂, O₃, NO₂) 실측조사 및 농도분포 특성을 비교 분석하고자 한다.

2. 조사내용 및 방법

대기오염 물질의 실측을 위해 여수산단을 중심으로 반경 30km 이내 일반지역 및 대조지역에서 조사 지점을 선정하여 수행하였다. 대기질(SO₂, O₃, NO₂) 조사는 ‘11년 2월-12월 까지 1회/2개월 조사를 실시하였다. 대기질 조사지점은 산단 주변의 일반지역 11개 지점(Y-1-Y-11)과 청정지역으로 예상되는 3개 대조지점(C-1-C-3)을 선정하였으며, 시료채취 지점 및 분석방법은 Table 1에 제시한 바와

Table 1. The air sampling sites and analytical methods

Sampling sites	Analytical items	Analytical methods
Industrial general area (Y-1 - Y-11)	Nitrogen dioxide(NO ₂)	Chemiluminescent Method
	Ozone(O ₃)	U.V. Photometric Method
Controlled area (C-1 - C-3)	Sulfur dioxide(SO ₂)	Pulse U.V. Fluorescence Method

같다. 실측조사에 대한 시료 분석 및 측정은 대기환경공정시험방법에 의해 실시하였다¹⁰⁾. 또한 국가 대기측정망 자료조사('89- '10), 여수지역 대기측정망 자료조사('01- '10) 및 여수산단의 공장 가동율 조사('02- '11)를 실시하였다. 대기오염물질 배출량조사('03- '10)은 SO₂(여수산단 공장설문서 자료) 및 C₆H₆(화학물질배출량 조사자료, 환경부)을 대상으로 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 대기오염물질(SO₂, C₆H₆) 배출량 및 산단 가동율

여수산단의 최근 8년간('03~ '10) SO₂ 및 C₆H₆ 배출량 조사결과와 산단 가동율 현황을 Fig. 1-Fig. 4에 나타내었다.

SO₂ 배출량의 경우, '06년도에 최대 배출량을 기록한 후 계속 감소하는 경향을 나타

내고 있으며, C₆H₆ 배출량의 경우는 매년 지속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 산단 가동율도 과거보다는 소폭 하강을 하고 있어 2개 물질의 배출량 감소현상은 산단 가동율과 일부 연관성이 있는 것으로 보인다. 여수지역의 경우, 2010년 환경부 배출량 조사 결과 상위 10개 물질 중 C₆H₆의 배출량이 5.3%를 차지하며, 전국적으로 매년 감소하는 경향을 보이고 있다. 전남지역의 경우 대부분 여수산단에서 배출되고 있으나 매년 감소하는 것으로 나타났다¹¹⁾. 이러한 배출량 감소 현상은 사업장별 적절한 화학물질관리시스템 운영과 대기오염방지시설의 운영 및 관리 등을 들 수 있다. 한편, SO₂는 화석연료에 포함된 황성분이 산소와 연소 반응하여 가스로 발생되며, 무색 유취의 매우 유독한 기체로 물에 녹으면 약산이 된다. 주로 화석연료의 연소시에 많이 발생되고 있다. C₆H₆는 빛깔이 없는 휘발성액체로서 타기 쉽고 독특한 냄새

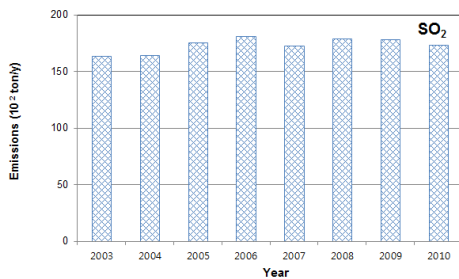


Fig. 1. SO₂ emissions of Yeosu industrial complex.

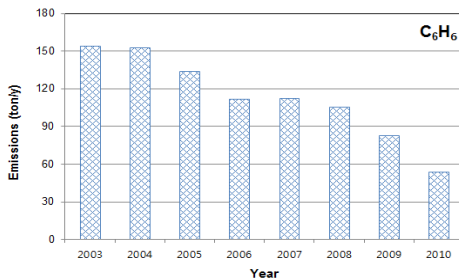


Fig. 2. C₆H₆ emissions of Yeosu industrial complex.

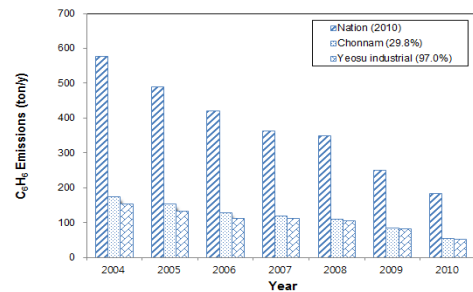


Fig. 3. C₆H₆ emissions of Nation, Chonnam, Yeosu industrial.

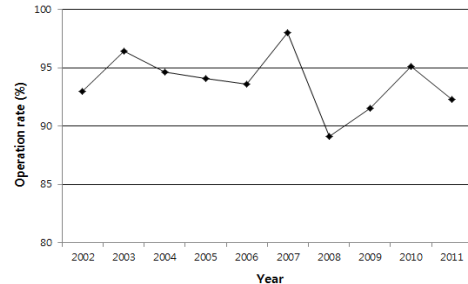


Fig. 4. Operation rate of Yeosu industrial complex.

가 있으며, 수지, 고무, 유지 등을 녹이는 용해제, 연료, 물감, 향료 등의 원료로 쓰이고 있으며, 원유저장시설 및 배관, 폐수처리장에서 발생되기도 한다.¹²⁻¹⁴⁾

3.2. 주요 국가산단의 대기 측정망 농도 분포

국가 산단이 위치한 주요 지역(시흥, 여수, 광양, 포항, 구미, 창원, 울산)을 중심으로 최근 22년('89~'10)간의 대기측정망 농도를 비교 분석하였다¹⁵⁻¹⁶⁾.

SO₂ 농도는 7개 지역에서 전반적으로 감소하는 경향을 보이고 있으며 비교 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 지역별 평균농도는 시흥, 광양(0.009 ppm) < 창원(0.010 ppm) < 포항(0.013 ppm) < 여수(0.014 ppm) < 구미(0.015 ppm) < 울산(0.018 ppm) 순서로 나타났으며, 여수의 경우, 석유화학산단이 위치한 울산에 비해 상대적으로 낮은 농도분포를 나타내었다. 전체 7개 산단 모두 지역별 농도의 경우 승합차와 화물차의 등록대수와 무연탄을 제외한 대부분의 연료에 대한 사용량이 증가 추세에 있음에도 불구하고 SO₂의 농도는 감소하고 있는데, 이는 저황유와 LNG 등 청정 연료의 공급확대, 배출 규제 강화 등을 포함한 정부의 지속적인 연료규제제도에 기인한 것으로 판단된다.¹⁷⁾

O₃ 농도 비교결과를 Fig. 6에 나타내었다. '90년대 초반이후부터 최근('10년)까지 7개 지역 모두 매년 조금씩 증가하는 경향을 나타내고 있다. 지역별 평균농도는 시흥, 울산(0.018 ppm) < 구미(0.019 ppm) < 창원, 포항(0.022 ppm) < 여수(0.024 ppm) < 광양(0.027 ppm) 순서로 나타났다. 여수의 경우는 '08년부터~현재('10년)까지 다른 지역에 비해 계속 높은 농도를 나타내고 있어, O₃농도 감소를 위한 다양한 관리방안 마련이 필요할 것으로 판단된다. 한편 '10년도는 7개지역 모두 전년대비 낮은 농도를 나타내고 있다.

이러한 O₃ 농도는 오염물질 배출량 이외에 기온, 강수량, 오염물질 확산정도, 대기안정도 등의 기상 요인에 의해 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있다¹⁸⁾.

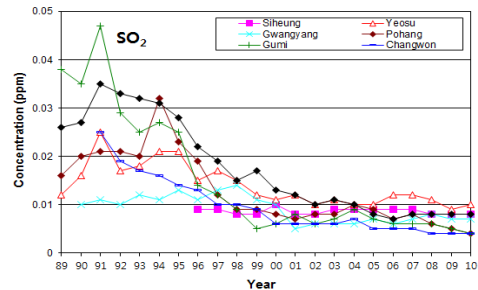


Fig. 5. SO₂ Concentration in major industrial complex area.

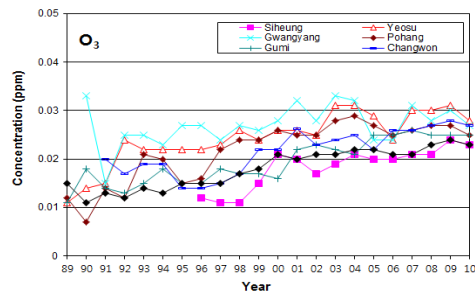


Fig. 6. O₃ Concentration in major industrial complex area.

NO₂ 농도 비교결과를 Fig. 7에 나타내었다. 연간 변화의 추이를 보면 농도의 증가 및 감소의 경향이 뚜렷하지 않는 경향을 나타내고 있다. 지역별 평균농도는 광양(0.016 ppm) < 여수(0.018 ppm) < 창원, 포항(0.021 ppm) < 구미, 울산(0.023 ppm) < 시흥(0.035 ppm) 순서로 나타났다. 전반적으로 7개 도시 중 자동차 등록대수 및 통행량이 가장 많은 수도권 인접지역인 시흥의 연평균 농도가 '99년 - '00년을 제외한 연도에서 상대적으로 높은 농도분포를 계속 나타내고 있으며, 상대적으로 보유대수와 통행량이 적은 여수 및 광양의 경우는 가장 낮은 농도분포를 나타내고 있다.

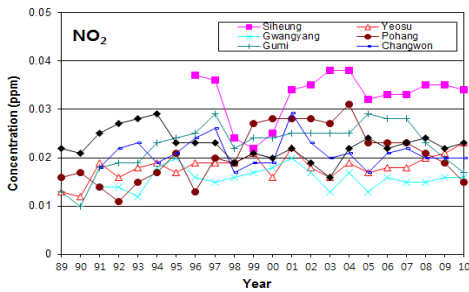


Fig. 7. NO₂ Concentrations in major industrial complex area.

3.3. 조사지점의 대기질 농도 분포

Fig. 8에 ‘11년 대기질 실측조사 결과를 각각 나타내었다. SO₂의 경우, 일반지역의 평균농도는 0.007 ppm으로 나타났으며, 최대농도는 Y-6 및 Y-7지점에서 0.011 ppm, 최소농도는 Y-1 및 Y-2지점에서 0.004 ppm으로 나타났다. 대조지역의 경우, 0.001-0.003 ppm (평균: 0.002 ppm)의 농도범위에서 나타났다. NO₂의 경우, 일반지역의 평균농도는 0.015 ppm으로 나타났으며, 최대농도는 Y-6지점에서 0.021 ppm, 최소농도는 Y-11 지점에서 0.013 ppm으로 나타났다. 대조지역의 경우는 0.007~0.009 ppm(평균: 0.008 ppm)의 농도를 나타내었다. O₃의 경우, 일반지역의 평균농도는 0.013 ppm으로 나타났으며, 최대농도는 Y-6지점에서 0.018 ppm, 최소농도는 Y-2 및 Y-11지점에서 0.010 ppm으로 나타났다. 대조지역의 경우, 0.004-0.006 ppm(평균: 0.005 ppm)의 농도범위로 나타났다. 한편, 대기질 (SO₂, O₃, NO₂) 조사 결과는 현행 대기환경기준을 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 향후 여수산업단과 신규산업 개발지역, 주변지역의 대기질 모니터링 및 변화추이를 파악하기 위해 매년 지속적이고 시스템적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

3.4. 여수지역 대기측정망 농도 분포

여수지역의 10년간(‘01~‘10년) 대기측정

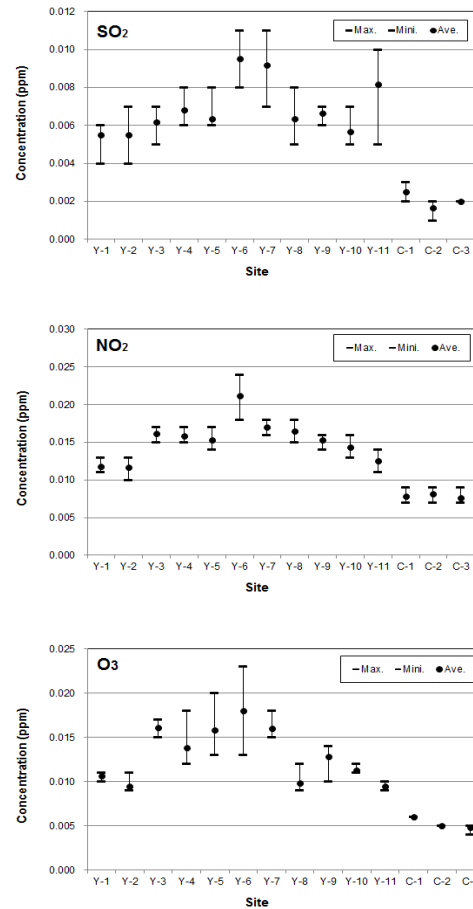


Fig. 8. SO₂, O₃ and NO₂ concentration around Yeosu industrial complex.

망 연평균 농도분포와 ‘11년 대기질 실측조사 결과를 비교하여 Fig. 9, Fig. 10 및 Fig. 11에 나타내었다. 여수지역 대기측정망 지점은 광무동, 덕충동, 문수동, 월내동, 주삼동, 삼일동으로, 2011년 3월 이후부터 삼일동 지점이 폐쇄되고, 2012년 2월부터 덕충동이 추가되었다. 본 연구자료는 2010년까지의 자료로서 삼일동을 포함하고 있다.

SO₂ 농도분포는 0.009-0.012 ppm범위로서 큰 변화가 없었으며, 조사결과는 이보다 낮은 0.002 ppm으로 나타났다. O₃ 농도분포는 0.024-0.031 ppm범위를 나타내었으며, 조사결과는 이보다 낮은 0.010 ppm으로 나타났

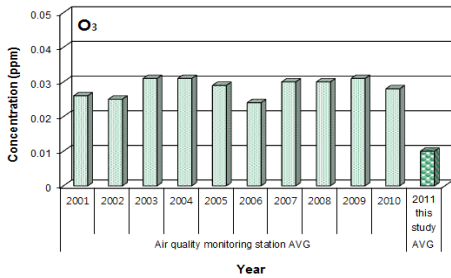


Fig. 9. Comparison of SO₂ concentration of Air quality monitoring stations and this study in Yeosu.

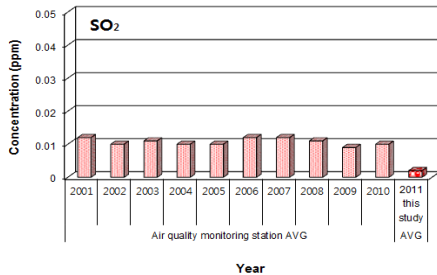


Fig. 10. Comparison of O₃ concentration of Air quality monitoring stations and this study in Yeosu.

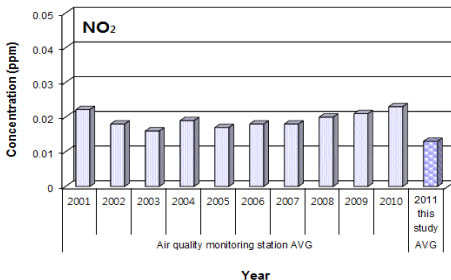


Fig. 11. Comparison of NO₂ concentration of Air quality monitoring stations and this study in Yeosu.

다. NO₂ 농도분포는 0.016-0.023 ppm범위로서 큰 변화가 없었으며, 조사결과는 이보다 낮은 0.013 ppm으로 나타났다. 대기측정망 농도와 '11년 대기질 실측조사 결과의 차이가 발생한 이유는 측정시간 및 측정조건에

따른 차이라고 판단된다.

4. 결 론

여수산단의 최근 8년('03- '10)간 SO₂ 및 C₆H₆ 배출량, 최근 10년('02- '11)간 여수산단의 공장 가동율, 여수산단 주변 지역 국가 대기측정망 농도, 대기질(SO₂, O₃, NO₂) 조사 분석 및 농도분포 특성을 비교하였다.

- 1) SO₂ 배출량의 경우, '06년도에 최대 배출량을 기록한 후 계속 감소하는 경향을 나타내고 있으며, C₆H₆ 배출량의 경우는 매년 지속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 산단의 공장 가동율도 과거 보다는 소폭 하강하는 것으로 나타나 2개 물질의 배출량 감소현상은 산단 가동율, 사업장별 적절한 화학물질관리시스템운영과 대기오염방지시설의 운영 및 관리와 연관성이 있는 것으로 보인다.
- 2) 국가 산단이 위치한 7개 주요 지역을 중심으로 '89- '10년까지 대기측정망 결과를 비교한 결과, SO₂의 경우 전반적으로 감소하는 경향을 보였고, 여수의 평균농도는 0.014 ppm으로 나타났다. O₃의 경우 매년 조금씩 계속 증가하는 경향을 보였고, 여수의 경우는 '08년부터 현재('10년)까지 다른 지역에 비해 계속 높은 농도를 나타내고 있으며, 여수의 평균농도는 0.024 ppm으로 나타났다. NO₂의 경우 연간 농도의 증가 및 감소는 뚜렷하지 않는 경향을 보였으며, 여수의 평균농도는 다른 지역에 비해 상대적으로 낮은 0.018 ppm으로 나타났다.
- 3) '11년 대기질 실측조사 결과 SO₂의 경우, 일반지역은 0.004-0.011 ppm(평균 : 0.007 ppm), 대조지역은 0.001-0.003 ppm(평균 : 0.002 ppm)으로 나타났다. NO₂의 경우, 일반지역은 0.013-0.021 ppm(평균 : 0.015 ppm), 대조지역은

0.007-0.009 ppm(평균 : 0.008 ppm)으로 나타났다. O₃의 경우, 일반지역은 0.010-0.018 ppm(평균 : 0.013 ppm), 대조지역은 0.004-0.006 ppm(평균 : 0.005 ppm)으로 나타나 조사지점별 실측 대기질 결과는 모두 대기환경기준을 만족하는 것으로 나타났다.

- 4) 여수지역의 10년간('01~ '10년) 대기측정망 연평균 농도분포와 '11년 대기질 실측조사 결과를 비교 한 경우, SO₂ 농도분포는 0.009-0.012 ppm범위로서 큰 변화가 없었으며, 조사결과는 0.002 ppm으로 나타났다. O₃ 농도분포는 0.024-0.031 ppm범위를 나타내었으며, 조사결과는 0.010 ppm으로 나타났다. NO₂ 농도분포는 0.016-0.023 ppm범위로서 큰 변화가 없었으며, 조사결과는 0.013 ppm으로 나타났다. 향후 여수산단과 신규산단 개발지역, 주변지역의 대기질 모니터링 및 변화추이를 파악하기 위해 매년 지속적이고 체계적인 관리가 필요할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구과제는 환경부 지정 전남녹색환경지원센터의 연구비 지원에 의해 수행된 연구과제입니다.

References

1. 박찬진(2003), 대기환경규제지역의 효과적인 대기오염 저감방안에 관한 연구, 환경관리학회지, 9(1), pp. 103-113.
2. 이종현, 한진석, 윤혜경, 조석연(2007), 수도권에서 오존생성 기여도 산출에 관한 연구, 한국대기환경학회지, 23(3), pp. 286-296.
3. Crabbe, H., Beaumont, R. and Norton, D.(2000), Assessment of air quality, emissions and management a local urban environment, Environmental Monitoring and Assessment, 65, pp. 435-442.
4. 윤형선, 박성진, 김상채, 서성규(2012), 여수국가산업단지 가동율을 고려한 주변지역 대기질(SO₂, O₃, NO₂) 평가, 한국대기환경회 추계학술발표논문집.
5. 장난심(2005), 부산광역시 NO₂ 농도 분포 특성에 관한 연구”, 한국환경과학회지, 14(11), pp. 1035-1047.
6. Lal, S.(2000), Seasonal variations in surface ozone and its precursors over an urban site in india, Atmos, Environ., 34(17), pp. 2713-2724.
7. Jonathan Lehrer(2011), Technical report on ozone exposure, risk, and impact assessments for vegetation, Bybeebooks LLC.
8. 전남지역환경기술개발센터(2010), 여수산단 실태조사 및 모니터링 계획수립 최종 보고서.
9. 한국산업단지공단(2012), 산업동향 및 현황통계.
10. 환경부(2007), 대기오염공정시험법.
11. 환경부(2012), 2010년도 화학물질 배출량 조사결과 세부통계.
12. Brian W. Compton(2011), Sulfur Dioxide: Properties, Applications and Hazards, Nova Science Pub Inc.
13. Richards, Gary F.(2012), Revised Sulfur Dioxide Air Quality Standard, Nova Science Pub Inc.
14. 환경부(2010), 대기환경연보.
15. 환경부(1999-2010), 환경백서.
16. 환경부 고시 제2002-52호, 청정연료 등의 사용에 관한 고시.
17. Ghim, Y. S. and Chang, Y. S.(2000),

Characteristics of ground-level ozone distributions in Korean for the period of 1990-1995, J. Geophys. Res., 105, pp. 8877-8890.

18. Dilorieto, Dante(2012), Carbon Monoxide: Sources, Uses and Hazards, Nova Science Pub Inc.