

울산 지역에서 2001년 이후 이산화황(SO₂)의 고농도 사례 분석과 저감 정책 방안의 검토

문 윤 섭

한국교원대학교 제3대학 환경교육과
(2008년 1월 2일 접수; 2008년 2월 13일 채택)

Case Analysis on High Concentration of SO₂ and Review on Its Reduction Policy in the Ulsan Metropolitan Area since 2001

Yun-Seob Moon

*Department of environmental Education, Korea National University of Education,
Chungbuk 363-791, Korea*

(Manuscript received 2 January, 2008; accepted 13 February, 2008)

Abstract

Until comparatively lately, the annual time series of the SO₂ concentration had been shown in a decreasing trend in Ulsan as well as other Korean cities. However, the high concentration of SO₂ was frequently found in the specific countermeasure region including the national industrial complex such as Mipo and Onsan in the Ulsan city for the period of 2001~2004. There are many conditions that can influence the high concentration of SO₂ at monitoring sites in Ulsan, such as: First, annual usage of the fuel including sulfur increased in comparison with the year before in spite of the fuel conversion policy which wants to use low sulfur oil less than 3% and LNG. Second, point source, such as the power plants and the petroleum and chemistry stacks, was the biggest contributor in SO₂ emission, as a analyzed result of both the air quality modeling and the stack tele-monitoring system (TMS) data. And third, the air pollutants that occurred in processes of burning and manufacturing of the fuel including sulfur were transported slow into a special monitoring site by accumulating along the frontal area of sea-breeze. It was concluded that Ulsan's current environmental policy together with control methods should be changed into the regulation on total amount of emission, including a market-based emission trading with calculating of atmospheric environmental critical loads, for the SO₂ reduction like the specific countermeasure for the O₃ and PM₁₀ reduction in the Seoul metropolitan area. And this change should be started in the big point sources of 1~3 species because they are big contributors of Ulsan's SO₂ pollution. Especially it is necessary to revitalize of the self-regulation environmental management. Other control methods for sustaining the SO₂ reduction are as follows: maintenance of the fuel conversion policy, reinforcement of the regional stationary source emission standard, and enlargement of the stack TMS.

Key Words : Annual usage of the fuel including sulfur, Point source, The regulation on total amount of emission, The self-regulation environmental management, The stack TMS

1. 서 론

1960년대부터 정부 주도로 추진된 중화학공업 육성시책에 따라 울산시의 온산공단, 울산·미포공

단, 석유화학공단과 여수시의 여천 산단이 해안가에 조성되었다. 이들 산단은 석유화학, 비철금속, 조선, 자동차 등 다양한 오염물질을 대량으로 배출하는 대형공장이 밀집되어 있고, 주거지역이 인접하여 있기 때문에 해륙풍을 따라서 공단에서 배출된 황산화물이 주거지역으로 이동하여 고농도를 발생시킴으로써 악취와 함께 주변을 산성화시킬 수 있다는 점에서 많은 민원이 제기되어 왔다.

1980년에 환경청이 성립되어 대기질 관리가 본격적으로 시작된 이래 영향권별 관리보다는 서울과 같은 대도시 중심 또는 전국 단위로 관리하게 되었고, 그 결과 일부 대도시에서는 이산화황(SO₂)의 오염도가 개선되었으나 울산, 여수 등의 지역에서는 여전히 전국 평균이 높고 대기환경기준을 초과하고 있다¹⁾.

SO₂를 포함한 어떤 지역의 대기오염물질의 농도는 배출원으로부터의 배출량 증감과 배출후의 확산 속도에 따라 상이하게 변화하게 되며, 타 지역으로부터의 오염물질의 유입량에 큰 영향을 받게 된다²⁻⁴⁾. 또한 이들 대기오염물질의 농도변화는 지역적인 특성을 나타내는 기후와 지형 및 해양의 영향으로 그 양상이 매우 복잡하게 진행될 수 있다^{2,5)}.

이와 한⁶⁾은 온산 공업단지의 대기 중에 이산화황의 농도를 분석한 바 있고, 박과 김⁷⁾, 김⁸⁾ 및 박과 안⁹⁾은 서울지역 SO₂ 고농도 분포에 있어 지형의 중요성을 강조하였다. 또한 민 등¹⁰⁾과 전 등¹¹⁾은 광주 및 부산 지역의 SO₂농도 변화와 기상인자에 관해 고찰하였고, 최²⁾는 황사기간 중 강수현상 전후에 강릉지역을 중심으로 SO₂의 장거리 수송의 영향을 기상학적 관점에서 해석하였다. 박과 김¹²⁾은 남한지역에서의 연료 사용량에 따른 SO₂ 배출량의 연별 변화 경향을 추정하였고, 김¹⁾은 전국의 206개 시군 단위로 1993년의 배출량을 산정하여 대기오염도의 현황 진단과 함께 장래 예측에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 강 등¹³⁾과 김과 손¹⁴⁾, 박과 김¹⁵⁾, 장과 이¹⁶⁾, 조와 이¹⁷⁾, 이 등¹⁸⁾, 이¹⁹⁾는 대기질 모델을 통하여 서울, 경기, 부산, 광양 지역의 SO₂의 오염도 및 건성 침적 플럭스 등을 수치모의 하였으며, SO₂의 저감 기술과 관련하여서는 정²⁰⁾과 박 등²¹⁾이 점오염원에 있어서 제어방법과 함께 고유황 저질무연탄의 유동

총 연소 시 SO₂의 배출저감 특성을 각각 소개한 바 있다. SO₂에 대한 이들 연구의 대부분은 10년 전의 지역적인 대기오염도 및 배출량 현황 파악에 국한되어 있거나 수도권 및 부산 지역을 중심으로 한 대기질 모델링과 특정 점오염원의 제어방법을 소개하고 있다.

그동안 국가에서는 특별대책지역인 울산지역에서 SO₂ 대기오염 문제를 해결하고자 많은 노력을 기울여 왔다. '86년도에는 울산 산단을 환경정책기본법에 의해 특별대책지역으로 지정하였고, '96년도에는 여천 산단도 특별대책지역으로 지정하여 타 지역보다 엄격한 배출허용기준을 설정하였을 뿐만 아니라 저유황유 사용을 의무화하고, 청정 연료 사용을 권장하여 많은 성과를 거두어 왔다. 그 결과 SO₂ 연평균 오염도는 지속적으로 감소하여 연평균 기준을 잘 만족하고 있다. 그러나 최근 '02년부터 '04년까지 울산 특별대책지역에서 1시간 및 24시간 평균농도가 일부 측정소에서 단기환경기준을 초과하다가 '05년부터 갑자기 줄어들었는데 그 원인을 분석할 필요가 있다. 최근까지 황산화물의 경우는 감소추세에 있었기 때문에 연구 관심 대상에서 제외되는 경향이 있었으나 황산화물의 배출 사업장이 집중된 울산, 여수, 시화·반월 등의 산업 단지는 악취문제와 함께 여전히 대기환경기준을 초과하여 민원을 야기하고 있기 때문에 이에 대한 원인 규명과 함께 황산화물의 저감 정책 방안을 검토할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 특별대책지역인 울산·미포 및 온산 국가산업단지 내의 SO₂ 오염도가 단기 대기환경기준을 초과함에 따라 이들 산업단지를 대상으로 배출시설별·배출원별 연료사용량과 발생량 및 바람장 등을 고려하여 단기 대기환경기준 초과 원인을 밝히고자 한다. 또한 연료사용량 및 굴뚝 TMS(Telemetry System) 자료 등을 이용하여 연료사용 전환정책 및 배출허용기준 강화, 그리고 환경자율협약제도 등의 SO₂ 저감 정책 방안을 검토코자 한다.

2. 자 료

울산·미포공단과 온산공단 및 주변지역에서의

전반적인 대기오염도 현황을 파악하기 위하여 울산 시 대기오염 자동측정망 자료와 기상청 자동기상측정망 자료를 사용하였다. 울산의 대기오염 자동측정망은 총 13개의 지역 대기(SO₂, NO₂, O₃, CO, PM-10) 측정망과 1개의 자동차 배출가스 측정망(도로변)이 있다. Fig. 1은 울산 지역의 대기질 및 기상 측정망을 나타낸 것이고, Fig. 2는 기상측정망 중 공단 및 울산기상대에서의 2003년 풍향·풍속 자료를 이용한 바람장미도를 나타낸 것이다. 이들 기상 관측소는 좌우 지형적 영향을 받아 주로 북서풍과 북

풍이 나타나고 있다. 특히 울산 지역은 해안가 평지에 위치한 국가산업단지를 중심으로 서쪽과 북동쪽에 산지가 위치하고 있으며, 동쪽은 바다와 인접하였고 북서쪽으로 주거지가 위치해 있다. 따라서 지형 효과에 의한 풍향을 고려할 때 해풍 발달 시에는 남동풍의 영향이 약하게 작용하며 육풍 시에는 북풍 내지 북서풍의 강한 영향이 예상되므로, 울산 지역의 대기오염물질도 이들 지리적 조건과 해륙풍의 영향을 받아 이동할 것으로 판단된다.

그리고 울산 지역에서 SO₂의 고농도 사례를 분석하기 위해서는 대상 지역의 오염원을 파악할 수 있는 사업장별 배출량 자료가 요구된다. 본 연구에서는 국립환경과학원 대기정책지원시스템(CAPSS, Clean Air Policy Support System)의 '01년~'03년 배출량 자료와 환경관리공단의 굴뚝 TMS 자료를 활용하였고, 동시에 울산지역 1~3종의 주요 배출시설에 대한 자체 조사 자료를 수행하여 오염물질 발생량 및 배출량 자료를 보완하였다.

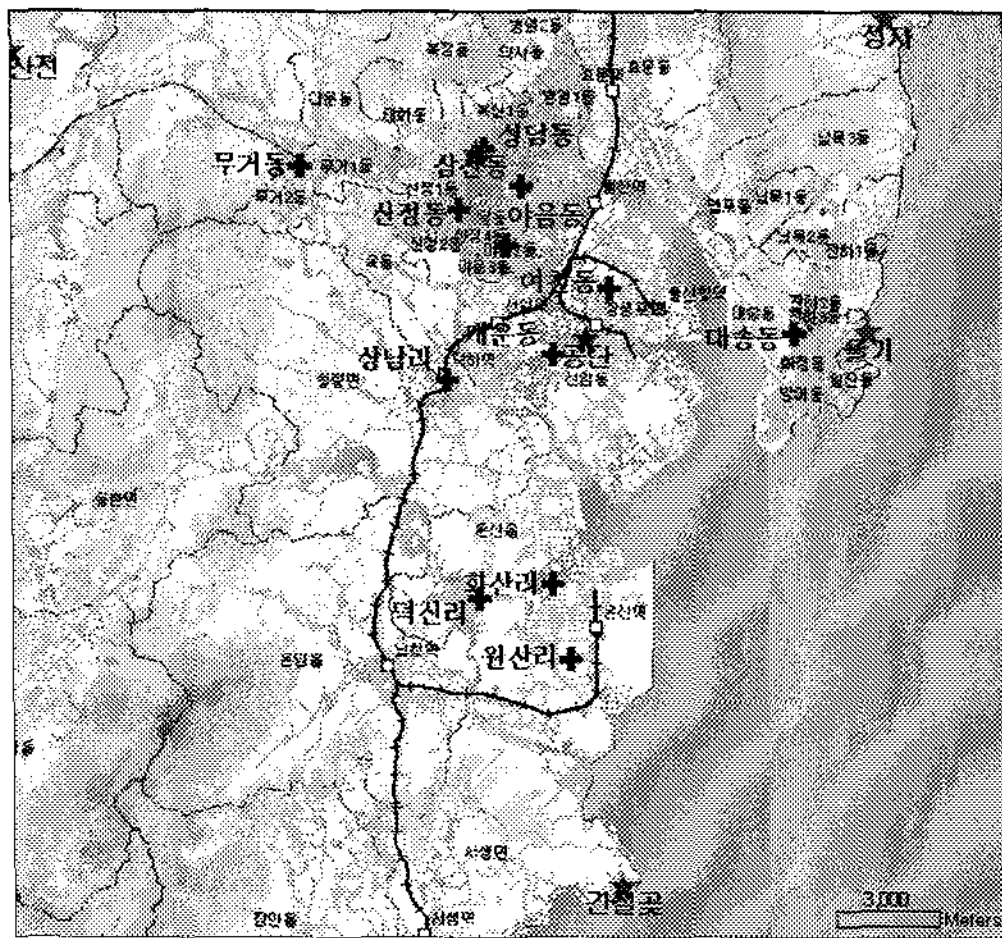


Fig. 1. Meteorological(5 stars) and air quality (12 crosses) monitoring sites in the Ulsan metropolitan area.

3. 울산 지역에서 SO₂ 농도의 대기환경기준 초과현황과 고농도 사례 분석

3.1. 울산 지역에서 SO₂ 농도 변화 및 대기환경기준 초과현황 분석

SO₂ 농도는 Fig. 3에 제시한 바와 같이 최근 16년 동안('89년~'04년) 전국 주요 도시에서 전반적으로

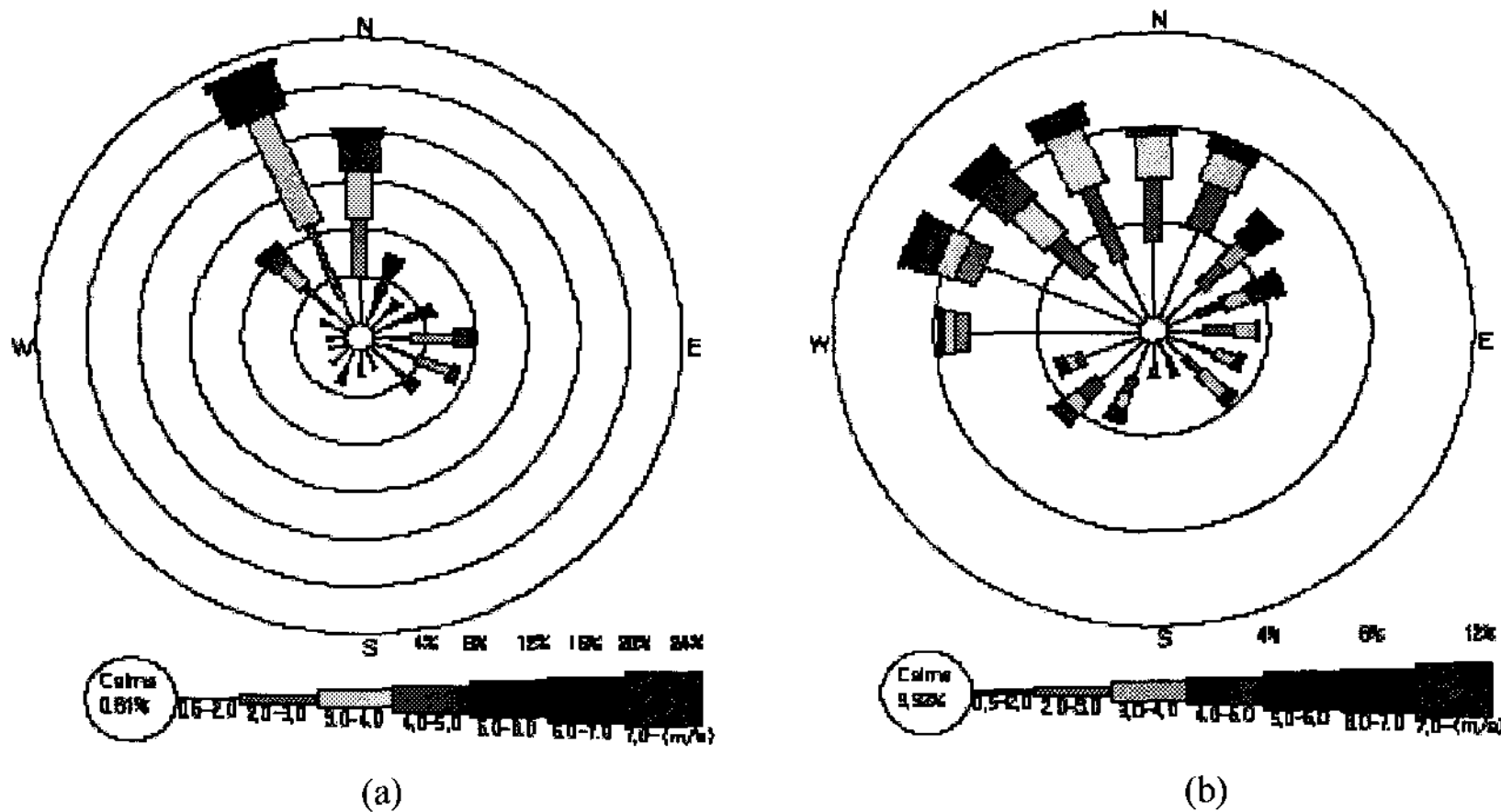


Fig. 2. Windroses at Gongdan's (a) and Ulsan's (b) meteorological monitoring sites in the Ulsan metropolitan area in 2003.

감소하여 대기환경기준('01년부터 0.02 ppm)을 만족하고 있으나 '02~'04년의 경우 연평균 오염도는 더 이상 감소하지 않고 있다. 특히, 이 시기의 울산시 경우는 그동안의 SO₂ 저감정책에도 불구하고 다른 도시에 비해 상대적으로 높은 농도를 나타내고 있었는데 이는 여천동, 부곡동, 화산리 및 원산리 등의 공단지역에서 SO₂ 평균 농도가 주거지역과 상업지역에 비해 상대적으로 높았기 때문으로 조사되었다. Fig. 4는 '04년에 대해 주요도시의 SO₂의 월평균 농도변화 경향을 나타낸 것이다. 울산시의 경우는 다른 도시에 비해 SO₂의 월평균 농도가 상대적으로 높고 1월에서 7월까지 계속해서 증가하고 있는 것을 알 수 있다. '04년 울산시 SO₂의 월평균 농도 분포와 대기환경기준 초과 횟수 분포를 알아보기 위해 공단내에 위치하는 원산리 지점을 중심으로 한

시간별 농도 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 1월~7월 사이에 온산 국가산업단지 내의 원산리 지점에서 SO₂의 고농도가 가장 빈번하게 발생하였는데 이것이 월평균 농도 분포와 관련이 있음을 알 수 있다.

다른 도시와 울산시와의 대기환경기준 초과빈도를 비교하기 위해 '00년~'04년까지 주요 도시별 대기환경기준 초과횟수를 지역별 측정소수로 나누어 Table 1에 나타내었다. SO₂의 대기환경기준이 '01년에 개정되면서 1시간 대기환경기준은 0.25 ppm에서 0.15 ppm으로 강화되었고, 24시간 대기환경기준은 0.14 ppm에서 0.05 ppm으로 강화되어 '00년도에는 초과횟수가 없었으나, '01년부터 대규모 국가산업단지가 있는 울산시에서 초과횟수가 증가하고 있었으며, '03년과 '04년의 경우에 특히 증가하여 나타났다. '01년과 '02년 우리나라에서는 축구 월드컵의 개최 여파로 대기환경기준 강화와 0.03%의 저유황사

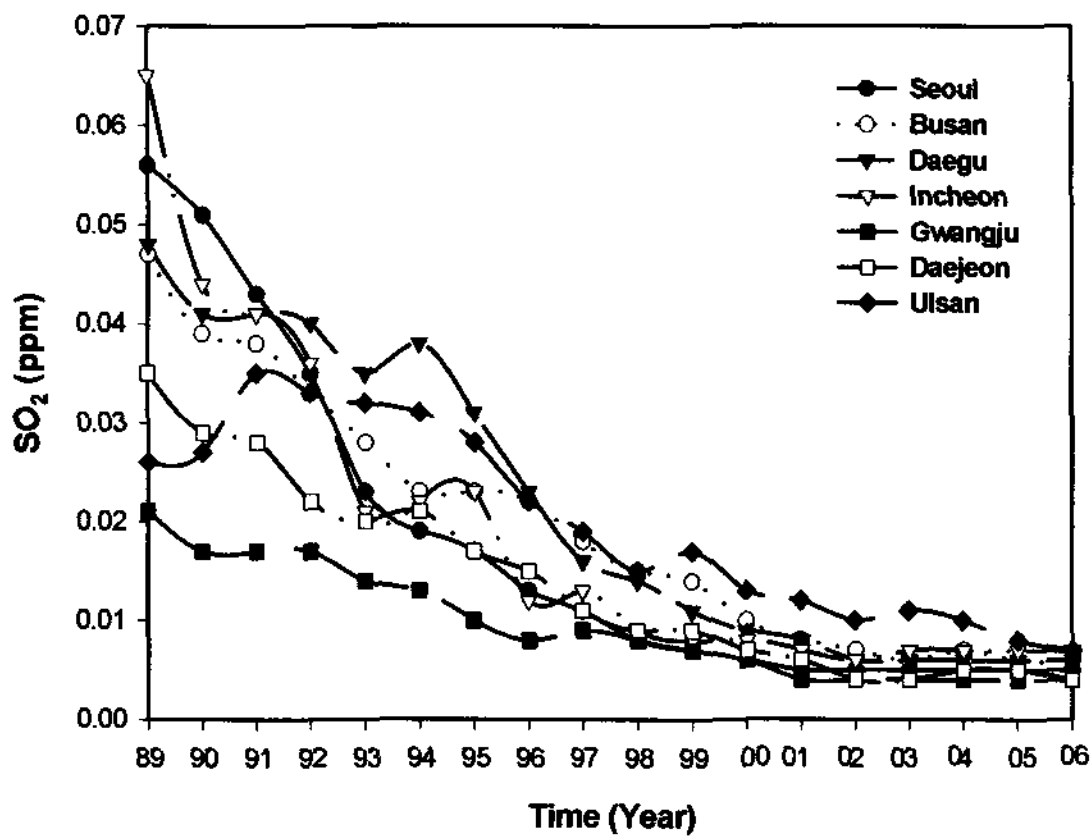


Fig. 3. Annual distribution of SO₂ concentration in Korean's main cities.

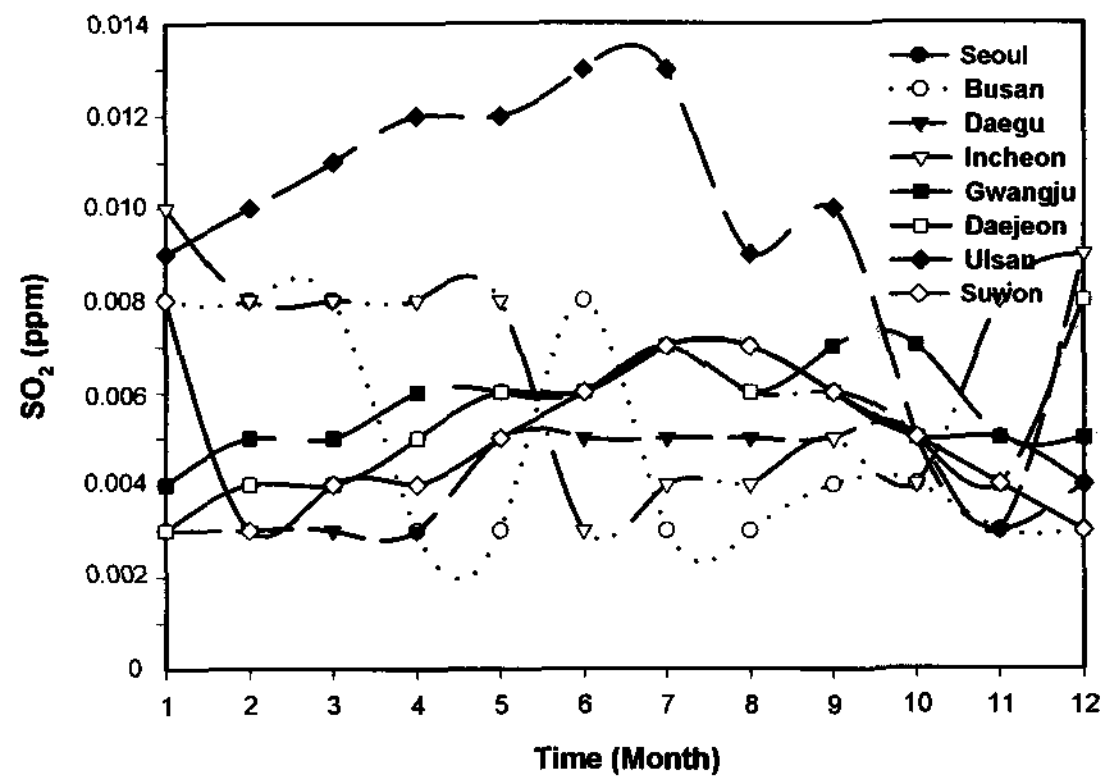


Fig. 4. Monthly distribution of SO₂ concentration in Korean's main cities in 2004.

Table 1. An excessive number of the SO₂ standard in Korean's main cities during the periods from 2000 to 2004

City	2000			2001			2002			2003			2004		
	Num. monitoring	1h	24h	Num. monitoring	1h	24h	Num. monitoring	1h	24h	Num. monitoring	1h	24h	Num. monitoring	1h	24h
Seoul	27	0.0	0.0	27	0.0	0.0	27	0.0	0.0	27	0	0.0	27	0.0	0.0
Busan	9	0.0	0.0	9	0.0	0.0	13	0.0	0.0	14	0.1	0.1	16	0.6	0.0
Daegu	6	0.0	0.0	6	0.0	0.0	7	0.0	0.0	11	0.0	0.0	11	0.0	0.0
Incheon	10	0.0	0.0	10	0.0	0.0	10	0.0	0.0	11	0.0	0.0	11	0.0	0.0
Gwangju	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0	4	0.0	0.0
Daejeon	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	3	0.0	0.0	5	0.0	0.0	6	0.0	0.0
Ulsan	11	0.0	0.0	12	0.8	1.2	12	0.8	1.3	13	7.1	4.3	13	11.5	3.8
Kyeonggi	31	0.0	0.0	32	0.0	0.0	43	0.0	0.0	47	0.1	0.0	51	0.2	0.0

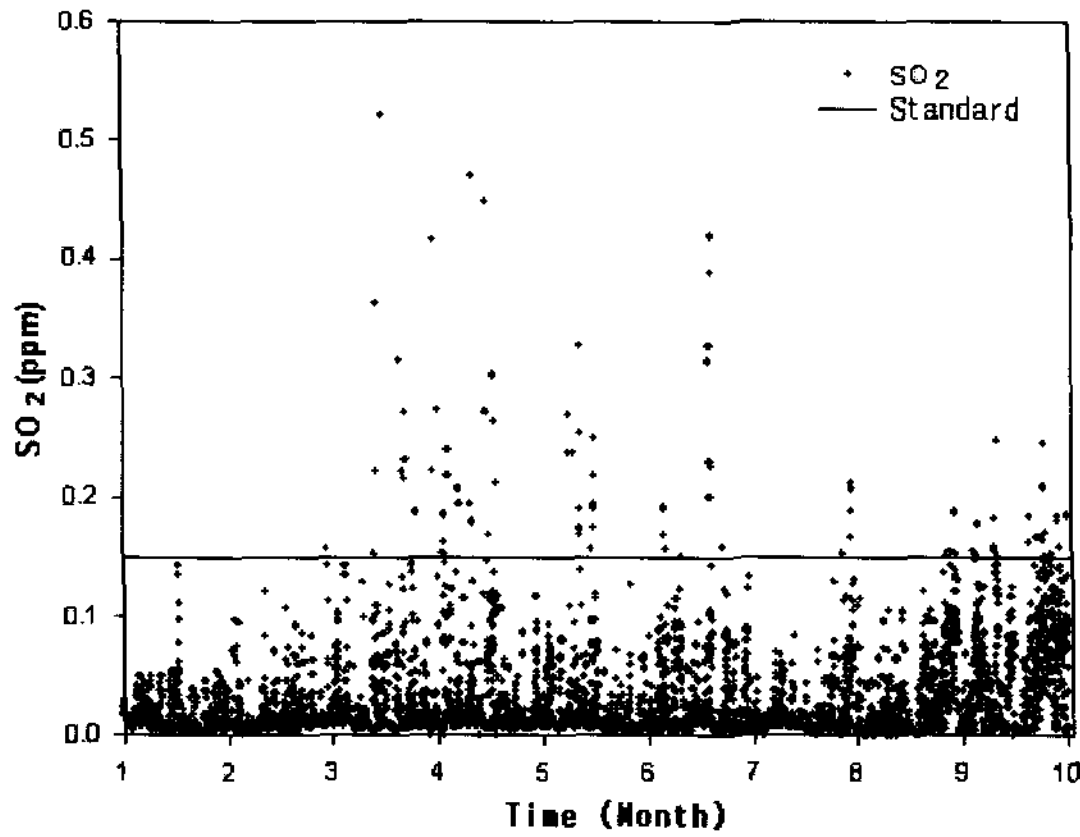


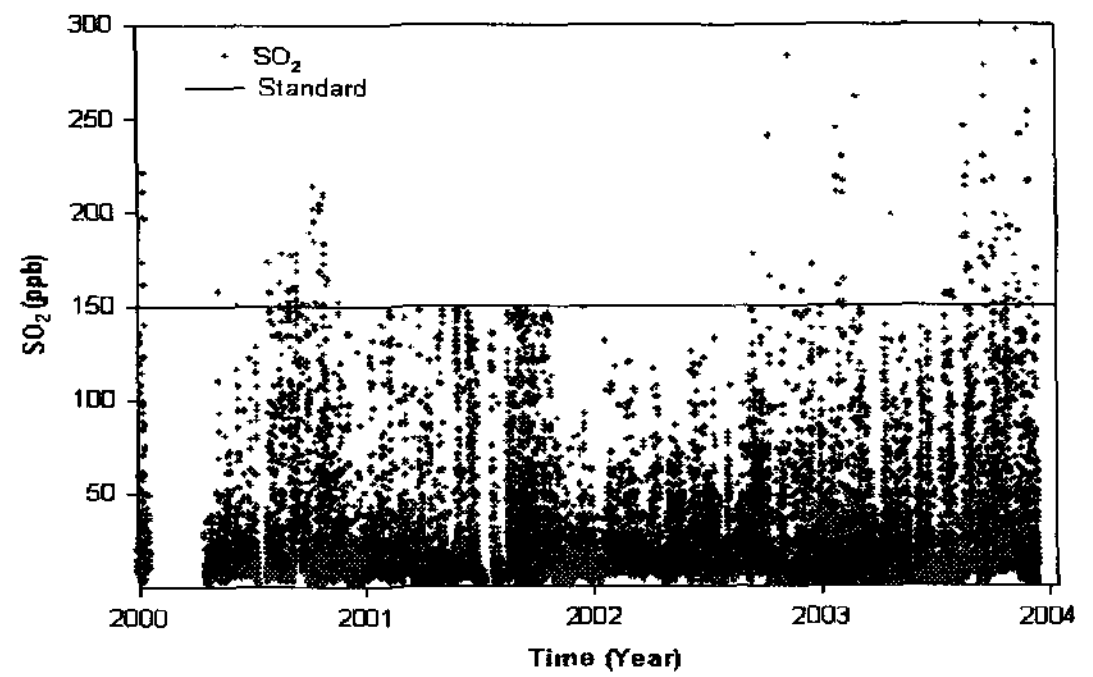
Fig. 5. Hourly distribution of SO₂ concentration at Wonsanri's monitoring site in Ulsan during the periods from February to October in 2004.

용정책을 강화함으로써 SO₂ 대기오염물질의 저감 효과가 어느 정도 나타난 것으로 판단되었으나 '03년과 '04년에는 이러한 효과가 낮은 것으로 예상되었다. 오히려 평균 농도는 '02년에 비해 '03년에 증가하였음을 알 수 있다.

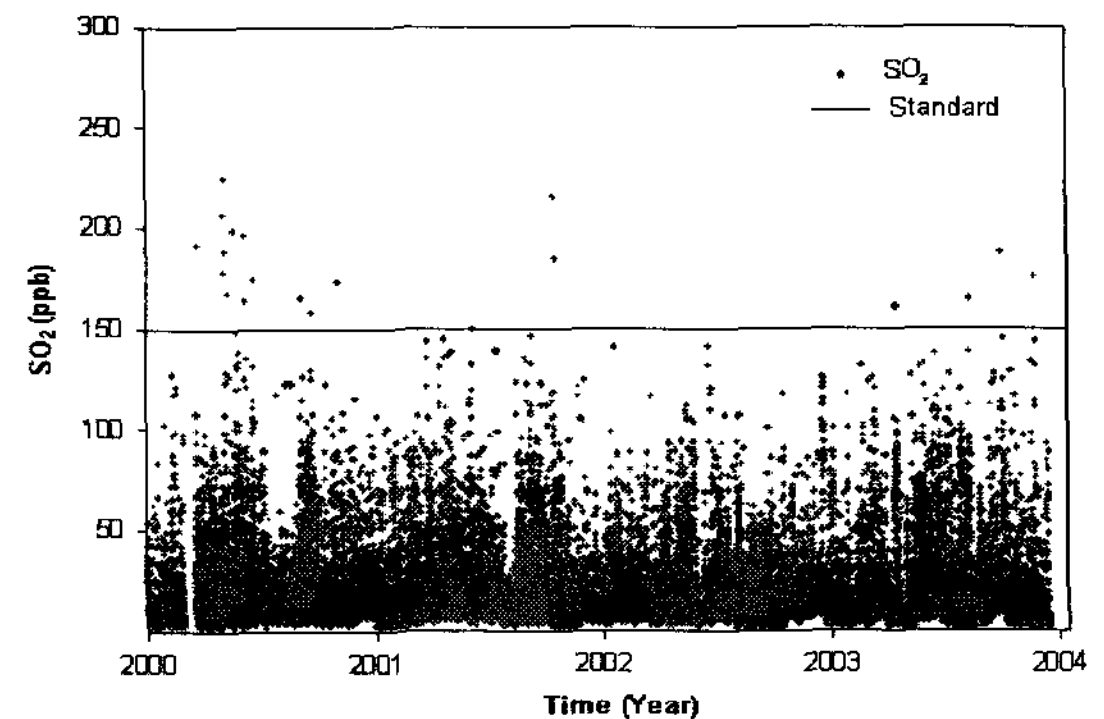
본 연구에서 표로 제시 되지는 않았지만 울산시의 각 대기질 측정망에서 SO₂의 1시간 대기환경기준 초과현황을 분석한 결과 '03년은 주로 여천동과 원산리 지점에서 각각 14회와 69회로 대부분을 초과하여 나타났고, '04년의 경우에는 공단 내 화산리 지점도 추가되어 '03년 보다 초과횟수가 더 증가한 것으로 조사되었다. 즉, 울산시는 공단인근 상업지역과 주거지역에서의 SO₂ 초과횟수는 연도별로 개선되어 나타났으나, 대부분의 공단지역에서는 이를 초과한 것으로 확인 되었다. 또한 24시간 대기환경기준 초과도 1시간 초과 횟수 분포와 같이 온산공단내 원산리 및 화산리 지점에서 연차별로 증가하여 나타났다. Fig. 6은 '00~'03년의 울산시 온산공단내 원산리 및 화산리 지점에서의 한 시간별 농도 변화를 나타낸 것이다. 화산리 및 원산리 지점은 계절에 관계없이 SO₂의 고농도가 가장 빈번하게 발생하고 있었으며, 동시에 울산·미포 국가산업단지 내의 부곡동 및 여천동 지점에서도 상대적으로 높은 농도와 함께 시간별 대기환경기준치를 초과하고 있었다.

3.2. SO₂의 단기초과 원인의 사례별 분석

본 연구에서는 주거지역인 덕신리 측정망 지점



(a)



(b)

Fig. 6. Hourly distribution of SO₂ concentration at Wonsanri's (a) and Whasanri's (b) monitoring sites in Ulsan during the periods from 2000 to 2003.

(2001년 8월 2일~ 5일)과 공단의 원산리 지점(2002년 9월 2일~ 9월 5일)을 중심으로 SO₂ 고농도 초과 사례를 분석한 후 특별히 '03년도에 온산공단지역의 원산리 및 화산리 지점에서 단기 초과가 많은 이유를 밝히고자 한다. SO₂의 시간별 단기기준 초과 원인을 시계열 분석을 통하여 연소 또는 공정에서 발생한 오염원을 구별하고 풍향 및 풍속, 오염장미도 등을 통한 SO₂ 발생원의 이동을 해석코자 하였다. 이 때 오염장미도의 풍향 풍속은 공단의 자동기상관측자료를 사용하였다.

Fig. 7은 주거지역인 덕신리 지점에서 2001년 8월 2일부터 5일까지 대기오염물질의 시계열과 오염장미도를 나타낸 것이다. 주거지역인 덕신리 지점에서의 SO₂ 대기환경기준 초과는 오염장미도에서처럼 남동풍의 해풍이 발생할 때로 온산공단에서 발생한 오염물질이 바람을 따라 직접 이동한 것으로

나타났다. 또한 오염물질의 시계열 변화에서 SO₂ 고농도 발생시 CO와 NO₂ 농도도 함께 증가하는 현상을 보이고 있는데, 이는 주변에 인접한 연소 배출시설이 있을 경우에 가능하므로 SO₂의 고농도를 유발하는 발생원이 남동쪽에 위치한 연소시설임을 알 수 있다. 실제로 덕신리의 남동쪽에 위치한 온산공단지역은 SO₂ 발생원과 관련하여 '03년을 기준으로 1종 사업장 14개, 2종사업장 13개, 3종 사업장 3개의 점오염원이 위치해 있다.

Fig. 8은 온산공단 내 원산리 지점에서 2002년 9월 2일부터 5일까지 대기오염물질의 시계열과 오염

장미도를 나타낸 것이다. 원산리 지점도 SO₂ 고농도 발생시 CO와 PM10 농도가 동시에 증가하고 있으므로 연소배출시설의 영향임을 알 수 있다. 실제로 남동쪽에 위치한 1~3종의 황산화물 배출 사업장과 북쪽에 위치한 특정 사업장으로부터 이 지역 주풍인 북풍계열과 특히 일부 남동풍 내지 남풍이 접근할 때 고농도가 발생하고 있었다. Fig. 9는 2002년 9월 12시에 울산지역 5개 자동기상측정망(울산기상대, 공단, 불기, 정자, 간절곶)의 바람장 자료와 기상청 예보 바람장을 자료동화 처리한 바람 분석장이다. 원산리 지점의 북쪽에 대부분의 오염원이 위치

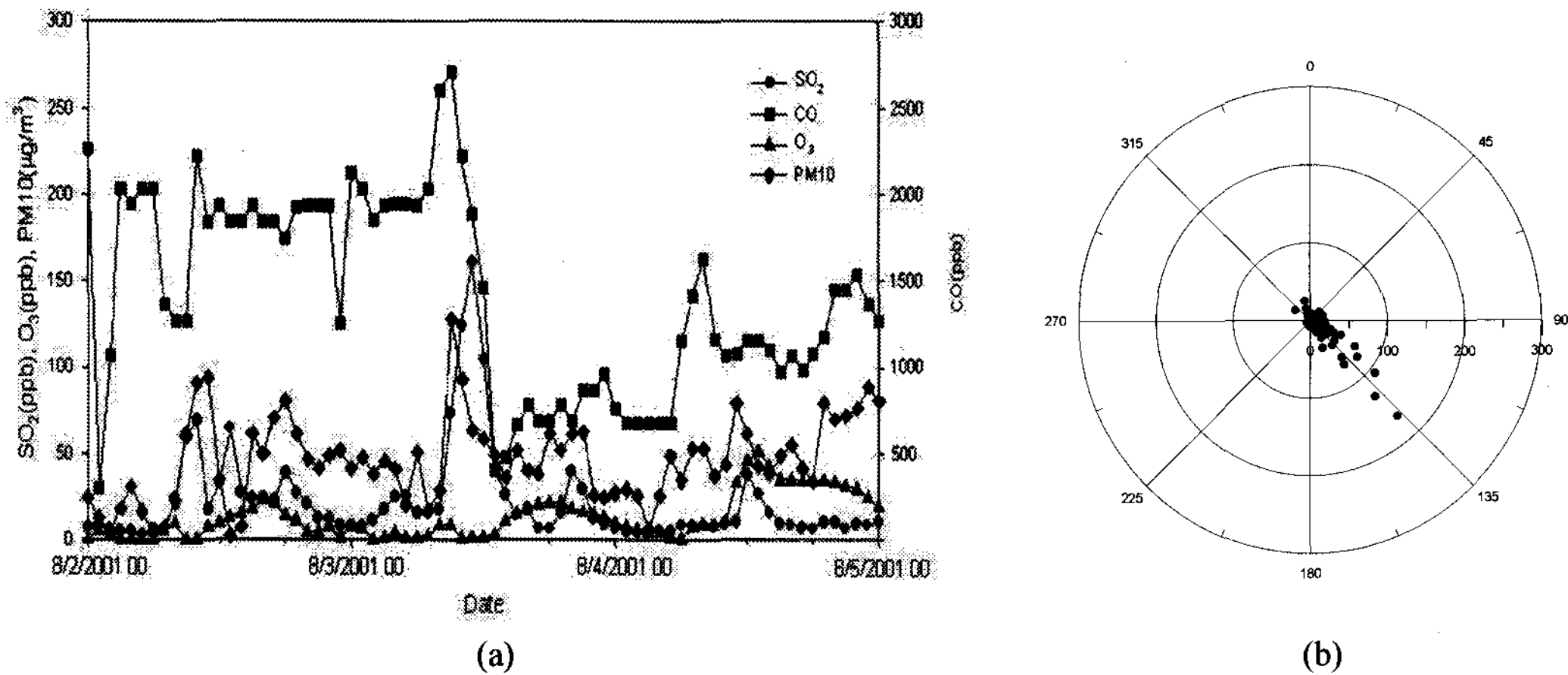


Fig. 7. Time series of air quality (a) and concentration & windrose (b) of SO₂ at Deogsanri's monitoring site in Ulsan on 2-5 August 2001.

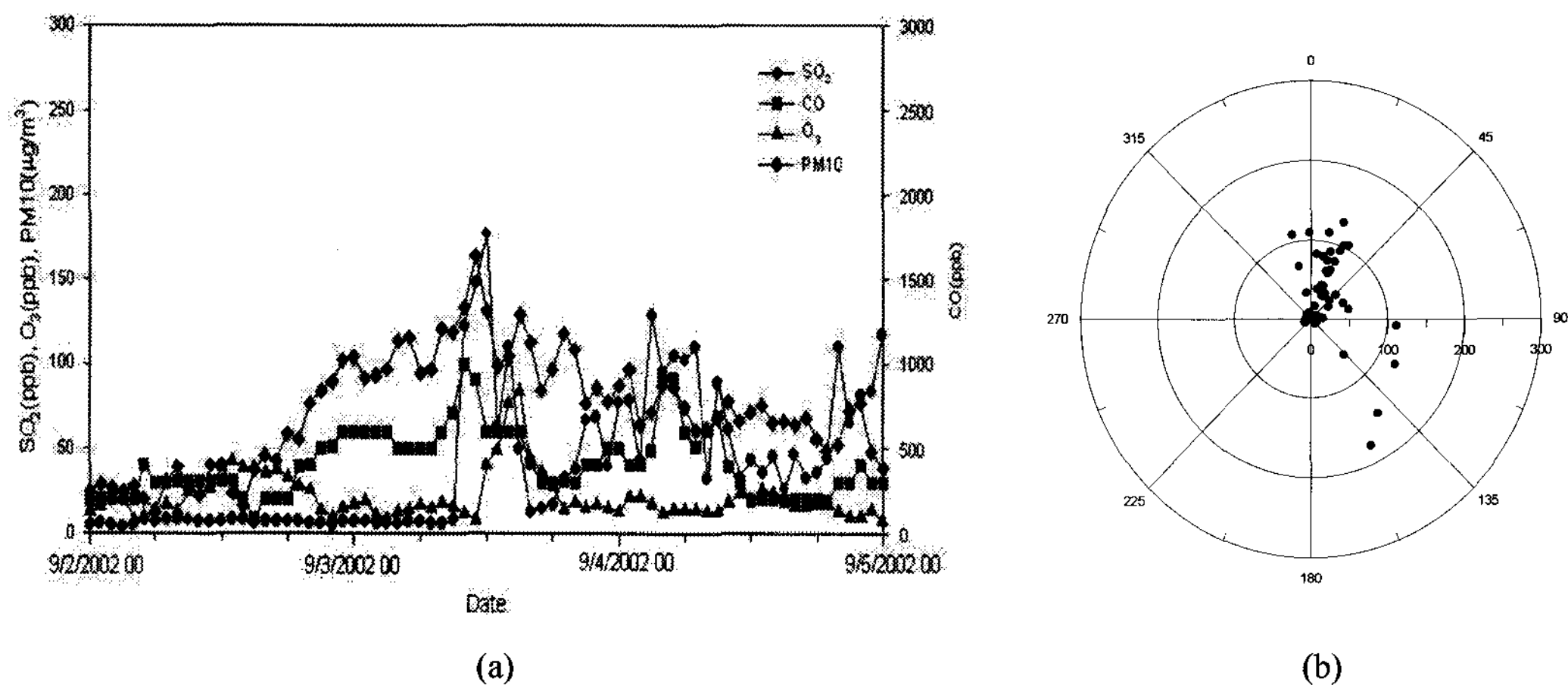


Fig. 8. Time series of air quality (a) and concentration & windrose (b) of SO₂ at Wonsanri's monitoring site in Ulsan on 2-5 September 2002.

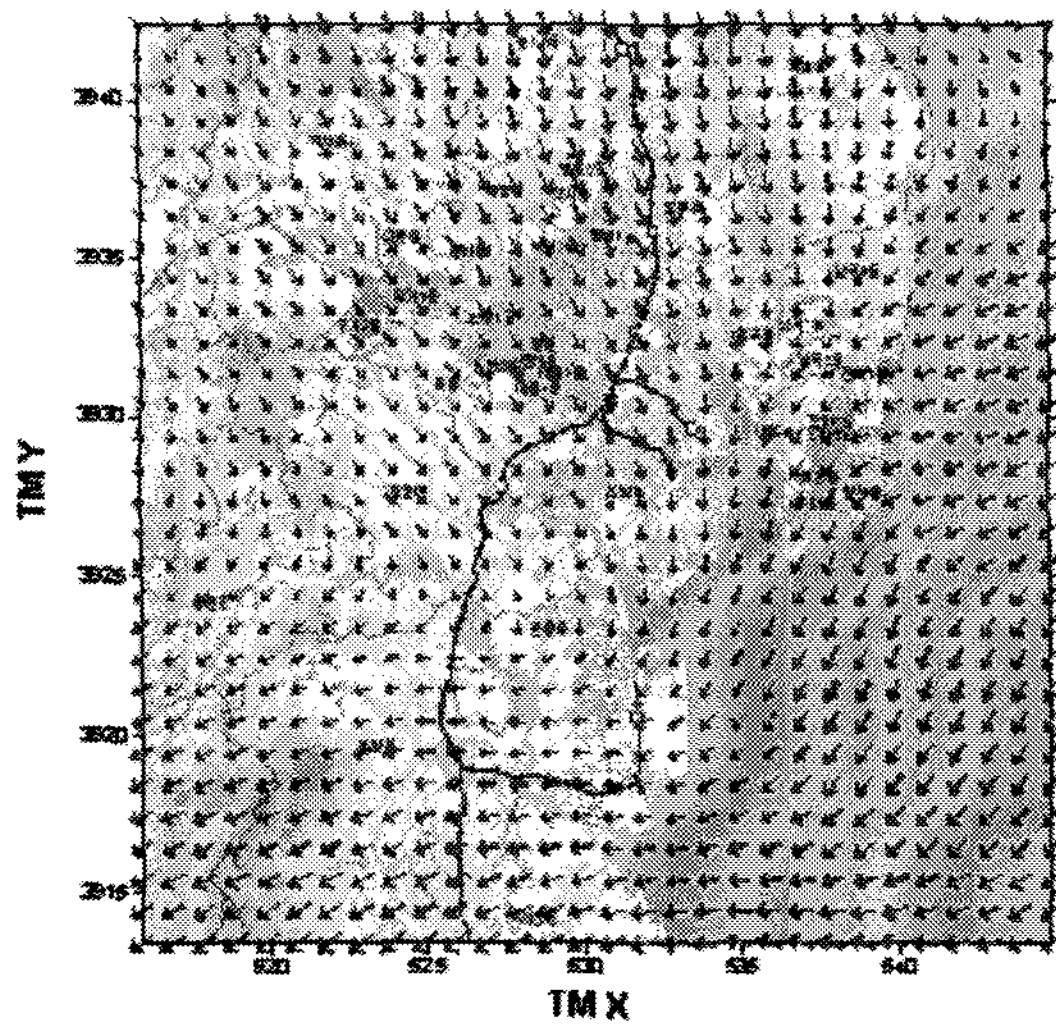


Fig. 9. Wind fields at 1200 LST on 3 September 2002 in Ulsan.

해 있으므로 주풍인 북풍 계열의 바람에 의해 이동한 SO₂ 오염물질은 남풍의 영향으로 원산리 지점에서 누적되고 이 때 남동쪽에 위치한 점오염원들로부터 또다시 영향을 받아 대기환경기준을 초과하였던 것으로 해석되었다.

한편, Fig. 10에는 원산리 지점 북쪽에 위치한 특정 사업장의 2002년 9월 2일부터 5일까지 황산화물의 굴뚝 TMS 배출농도와 원산리 지점의 SO₂ 농도를 비교한 것이다. 2002년 울산시에서 황산화물이 배출되는 굴뚝 TMS 사업장은 대부분이 원산리 지점의 북쪽에 위치하였으며, 이 중 A-001 사업장이

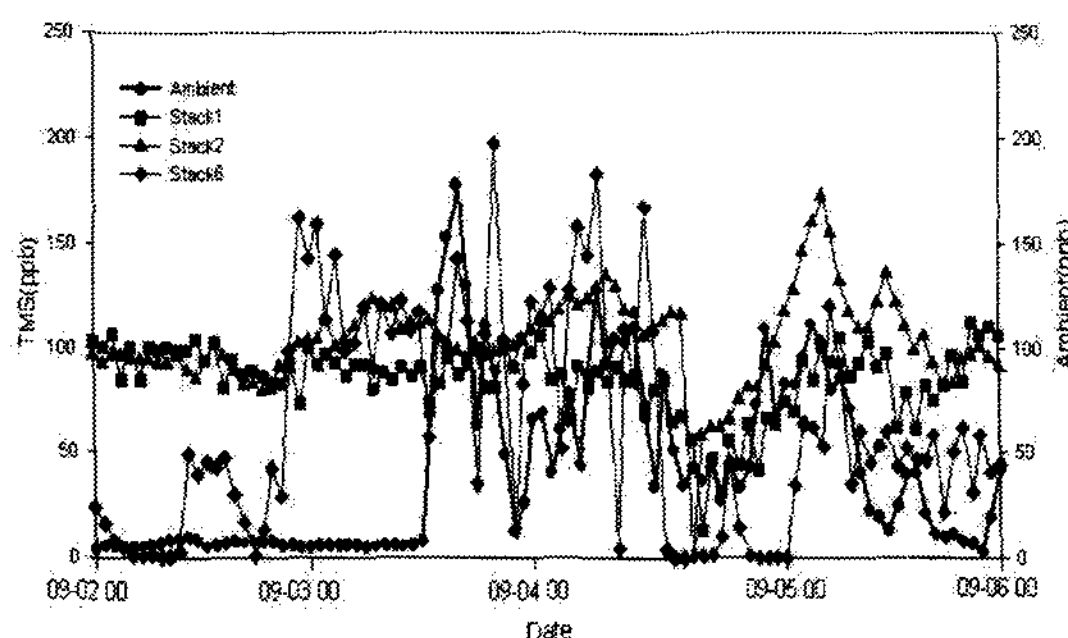


Fig. 10. Comparison of SO₂ concentration at Wonsanri's monitoring site with emission concentration of SO₂ at three stacks of A-001 point source in Ulsan on 2-5 September 2002.

원산리 지점과 가장 인접한 곳에 위치하고 있다. 그림에서 점선은 원산리 지점의 자동측정망 농도(ppb)이고, 실선은 A-001 사업장에서 굴뚝 TMS의 시간별 배출농도(ppm)을 나타낸 것이다. A-001 사업장의 두 개의 굴뚝에서 황산화물이 지속적으로 배출되고 있는 상황에서 또 다른 하나의 굴뚝에서 배출된 황산화물이 어느 정도 시간 지연을 통해 원산리 대기질 측정망의 농도에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

여기서 각 사업장의 SO₂ 배출량 농도가 대기질 측정망에 영향을 미치는 실제 기여도는 대기질 모델링을 통해 추정이 가능하다. 원산리 지점의 경우 7개 대형 사업장의 배출량은 총 점오염원에 대한 배출량의 57% 이상을, 그리고 먼, 점 및 이동의 전체 배출량의 연평균에 대해서는 약 30%로 조사되었다. 또한 원산리 측정망의 남동쪽에 위치한 특정 오염원들이 남동풍의 해풍 발생시에는 측정망 지점에 단기적으로 높은 농도의 영향을 줄 수 있음이 배출량 조사 자료로부터 확인 할 수 있었다. 화산리 지점의 경우도 원산리 지점과 비슷하나 이들 사업장에 대한 배출 기여도는 후속 연구에서 상세히 소개키로 한다.

울산시에서는 원산리 지점의 대기질 측정망의 신뢰도를 확인하기 위해 2003년 11월 6일 16:00~11월 12일 13:00에 측정망 바로 옆에서 SO₂ 고농도가 발생하는 날 대기오염 이동측정차량을 이용하여 측정소 주변의 총 13개 항목(SO₂, CO, NO, NO₂, NO_x, O₃, PM10, 풍향, 풍속, 대기압, 온도, 습도, 일사량)에 대하여 분석한 결과 변화폭이 심한 미세먼지(PM10)를 제외하고 나머지 일반 측정항목(SO₂, NO₂, CO, O₃)은 거의 동일한 값을 나타내었음을 확인한 바 있다 (Table 2). 원산리 지점 대기질 측정망 주변을 직접 방문한 결과 이 지점의 북쪽 인접한 곳에서 SO₂의 특정 오염원이 있다는 사실도 확인할 수 있었다.

따라서 원산리 지점의 대기질 모니터링 장소는 북풍이 불 경우 북쪽에 위치한 다양한 오염원의 황산화물 수송에 더하여 특정 사업장의 연소 시설에 의한 영향이 가중되어 나타나거나 해풍의 영향에 따라 남풍 내지 남동풍의 풍향이 바뀔 경우에는 풍향이 바뀌기 전에 수송되었던 황산화물과 남동쪽 오염원으로부터의 연소 시설에 의해 수송된 황산화물이 2차적으로 가세할 경우 대기환경기준을 자주

Table 2. Mean concentration of air pollutants measured on moving monitoring bus and at Wonsanri's monitoring site in Ulsan during the period from 16:00 6 November 2003 to 13:00 12 November 2003 (Unit: ppm except for $\mu\text{g}/\text{m}^3$ of PM10)

Site	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	PM10
Moving monitoring bus	0.025	0.265	0.021	0.024	48.8
Wonsanri's monitoring site	0.028	0.234	0.023	0.022	32.1

초과하고 있는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 현상은 화산리 및 덕신리에서도 비슷하게 나타났지만 그 초과횟수는 원산리 지점과 큰 차이를 나타내었다. 이미 소개했던 것처럼 원산리 지점 주변 지역에는 SO₂의 대형 점오염원들이 너무 인접해 있다는 사실과 '01년 대기환경기준 강화로 인해 '02년 이후에 원산리 지점에서 특히 대기환경기준을 자주 초과하여 나타난다는 것이다. 즉 '01년과 '02년에 황산화물의 발생량에 큰 차이가 없다고 한다면 SO₂ 대기환경기준 강화로 인해 그 초과횟수가 상대적으로 증가하여 나타날 수 있기 때문이다. 이에 대한 자세한 논의는 다음 장에서 다루기로 한다.

3.3. 울산시 공단지역에서 2003년 및 2004년 SO₂ 단기초과에 대한 종합적 해석

울산시의 경우는 '03년 및 '04년에 원산리뿐만 아니라 화산리 지점의 온산공단지역에서 대기환경기

준 초과 횟수가 갑자기 증가하고 있다. Fig. 11은 '03년도 SO₂의 1시간 및 24 시간 대기환경기준(각각 150ppb와 50ppb) 초과 농도와 풍향을 고려한 원산리와 화산리 지점의 오염장미도를 나타낸 것이다. 이 기간 동안 SO₂가 고농도를 나타냈을 경우 다른 오염물질과의 시계열을 분석한 결과, 70~80%가 NO₂와 동시에 증가를 하였고, CO의 경우와도 약 70%정도가 동시에 증가하여 나타났으므로, 주로 연소 시설에 의해 SO₂의 고농도가 발생하였으며, 나머지 20~30%의 경우가 각 사업장의 공정상에서 발생한 것으로 분석되었다.

화산리 지점에서는 장시간 북동풍이 부는 경우에 고농도가 주로 주변 오염원의 연소에 의해 발생하는 것으로 나타났다. Fig. 11과 12에서처럼 화산리 지점에서 고농도 발생은 배출원 조사 결과 북동쪽에 위치하고 있는 두 대형 점오염원으로부터의 직접적인 연소뿐만 아니라 보다 북쪽에 위치한 울산·미포 국가산단 지역으로부터의 일부 수송에 의해 영향 받았음을 확인할 수 있었다. 또한 남서쪽의 경우에도 대형 점오염원이 위치하여 이곳으로부터 연소에 의한 단기초과현상도 1회 나타났다.

원산리 지점에서 SO₂의 시가별 고농도의 발생은 전년도와 같이 북풍계열의 바람이 불 때 주로 주변 오염원의 연소에 의해서, 그리고 남동풍의 계열이 바람이 부는 경우에는 주변 오염원으로부터 연소뿐

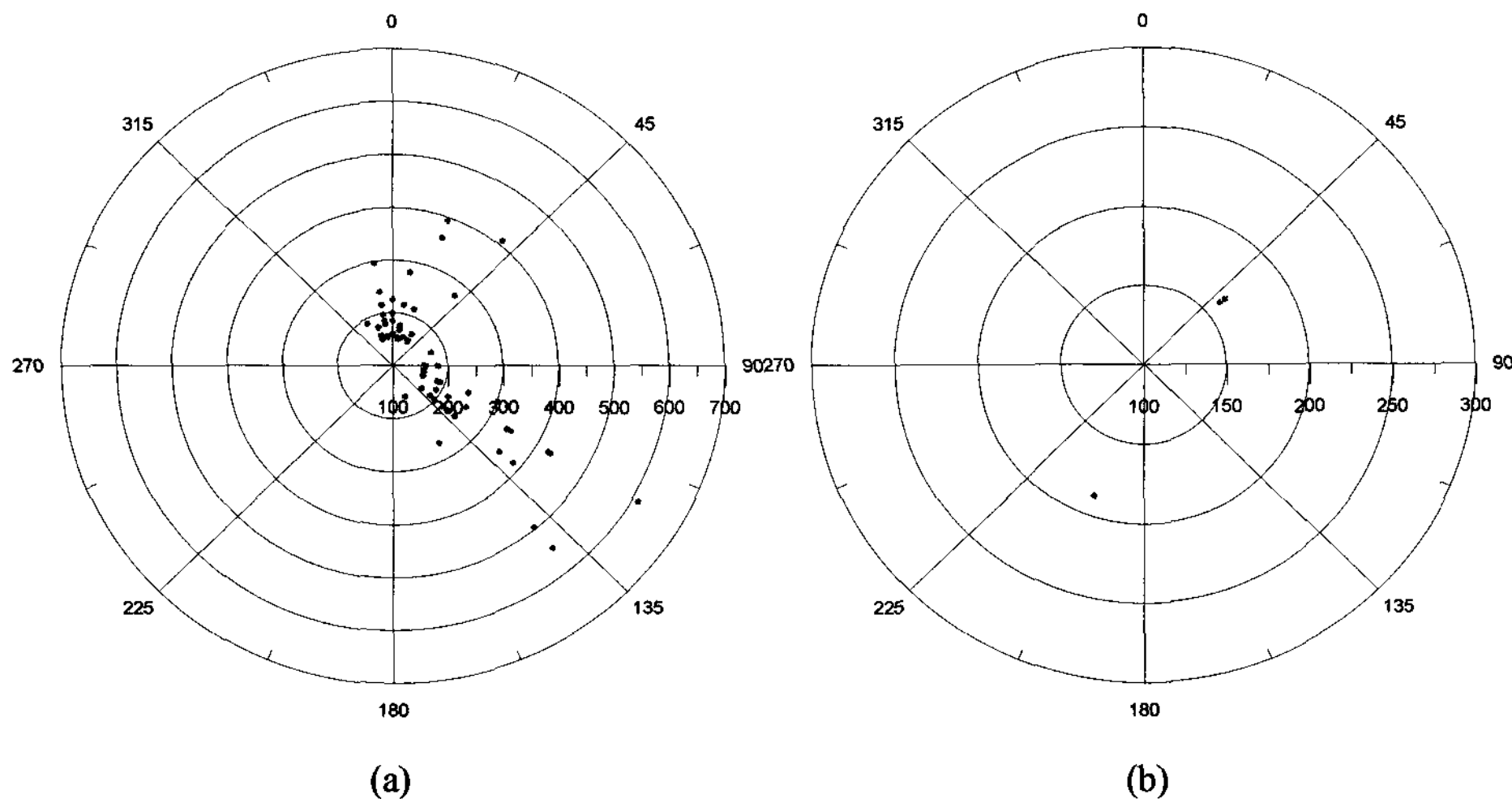


Fig. 11. Windrose on hourly exceeded concentration of the SO₂ standard at Wonsanri's (a) and Whasanri's (b) monitoring sites in Ulsan in 2003.

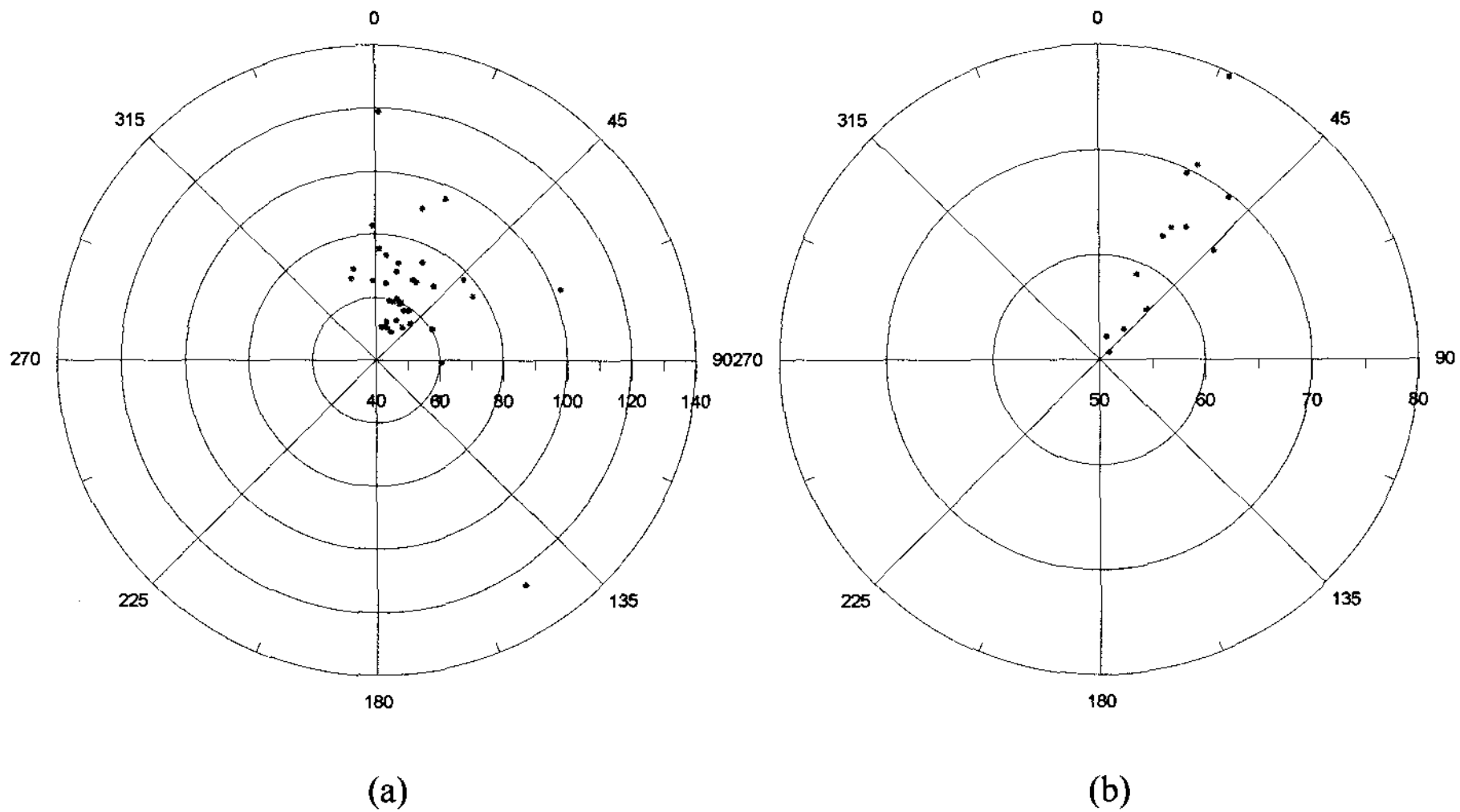


Fig. 12. Same as Fig. 11 except for daily.

만 아니라 공정상에 의해서 발생되었다. 원산리의 북쪽 또는 남동쪽에 대형점오염원이 존재하고 있으므로, 이들 대형오염원으로부터 직접적인 연소에 의해, 그리고 특정 오염원의 공정상에서 일부 기인하였다는 것을 알 수 있다. 이 때 '02에서 '03년도의 공단 기상관측소의 풍계는 북서풍과 남동풍 계열로 나눌 수 있으며 주 풍향은 북서풍으로 주로 북서풍 계열의 바람이 많이 나타났다. 이들 풍계를 통하여 남동풍의 해풍 발생빈도는 전체의 약 20%를 나타내고 있었다.

Fig. 13은 '01년부터 '03년간 울산시 대기질 측정망의 시간대별 단기환경기준 초과빈도를 나타낸 것이다. '03년의 경우 주로 낮 동안 해풍발생시 고농

도가 나타났음을 알 수 있다. 해풍 발생 시에는 해풍 전선 부근에서 풍향이 급변하고 기압이 낮게 되어 전선면 근처에 오염물질이 축적되고 이들이 이동함에 따라 고농도가 발생하게 된다¹¹⁾. 따라서 온산공단지역 고농도 현상에 기상이 미치는 영향으로는 북풍 또는 북동풍계열, 남동풍 계열로 주로 해풍발생시 나타났으며, 이 때 해풍 전선은 오염원이 멀리 확산되지 않고 축적되도록 벽 역할을 하면서 서서히 이동한다는 것이다.

그리고 '03년도 원산리 및 화산리 지점의 24시간 초과일의 오염장미도를 살펴보면 고농도가 북풍 내지 북동풍에서 발생하고 있을 때로 북쪽 또는 북동쪽에 위치한 배출원으로부터 장시간의 지속적인 배출에 의해 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

Table 3과 4는 '02년 대비 '03년도의 SO₂ 대기환경기준 초과횟수의 증가 원인을 알아보기 위해 울산시 각 공단지역을 중심으로 한 연료 사용량과 이를 고체 연료인 무연탄의 톤(ton) 단위로 환산하여 나타낸 것이다. '01년 울산·미포 및 온산 국가산업단지에서는 대기환경기준 강화뿐만 아니라 7월 1일부터 0.3%의 저황중유 사용과 청정연료인 LNG 전환 및 황함유량이 0.1% 이하인 경유의 사용 정책이 시행되었다. 이에 따라 울산시의 경우 SO₂의 연평균농도는 '01년과 '02년의 경우 각각 0.12 ppm과 0.10 ppm으로 0.002 ppm 감소하였다. 하지만 '03년의 경

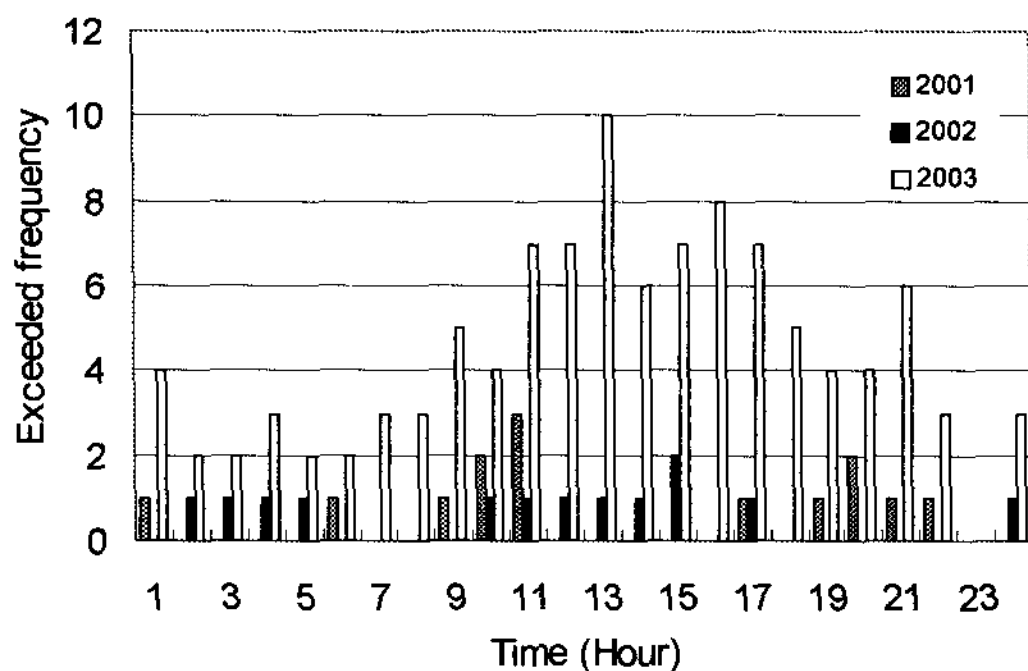


Fig. 13. Hourly distribution of excessive number of the SO₂ standard at each monitoring site in Ulsan in 2003.

Table 3. Amount of fuel usage in Ulsan during the period of 2000-2003

Industrial Area	Year	Kero-sene (kl/yr)	Diesel (kl/yr)	B-C (kl/yr)					LNG (m ³ /yr)	LPG (ton/yr)	Soft coal (ton)	Solid coal (ton)
				4%	2.59%	1.0%	0.5%	0.3%				
Petroleum & Chemistry	2002	4,274	75,947	133,266	0	0	80,393	125,199	99,730,248	23,290	346,655	0
	2003	0	85,793	0	0	0	79,853	337,586	150,131,648	33,337	371,245	0
Mipo	2002	74,546	14,194	172,338	1,428,224	54,677	449,214	1,605,609	2,329,218,193	29,286	183,119	0
	2003	12,417	68,427	0	0	82,024	37,751	3,599,040	2,236,012,904	34,260	167,676	0
Onsan	2002	2,091	417,867	73,971	0	0	234,928	582,322	813,298,220	231,733	152,705	666,469
	2003	1,108	80,503	0	0	0	255,531	636,791	887,738,790	213,099	157,412	662,083
Other	2002	1,486	28,059	0	0	0	2,450	26,928	53,824,941	1,433	27,793	0
	2003	205	5,695	0	0	0	0	39,277	50,912,278	2,689	690	182
Total	2002	82,397	536,067	379,575	1,428,224	54,677	766,985	2,340,058	3,296,071,602	285,742	710,272	666,469
	2003	13,730	240,418	0	0	82,024	373,135	4,612,695	3,324,795,620	283,384	697,023	662,265

Table 4. Total amount converted all fuels into solid coal in Ulsan during the period of 2000-2003(unit: ton)

Year	Kero-sene	Diesel oil	B-C					LNG	LPG	Soft coal	Solid coal	Total (ton)
			4.0%	3.0%	1.0%	0.5%	0.3%					
2002	148,315	1,029,249	759,150	2,856,448	109,354	1,533,970	4,680,116	5,141,872	685,781	951,765	666,469	18,562,487
	0.8%	5.5%	4.1%	15.4%	0.6%	8.3%	25.2%	27.7%	3.7%	5.1%	3.6%	100%
2003	24,714	461,602			164,048	746,270	9,225,390	5,186,681	680,122	934,010	662,265	18,085,104
	0.1%	2.6%			0.9%	4.1%	51.0%	28.7%	3.8%	5.2%	3.7%	100%

우는 0.011 ppm으로 다시 0.001 ppm이 증가하였다. 특히 울산내 온산(국가산업)공단의 경우 '03년과 '04에 대기환경기준 초과횟수가 빈번하였는데 표에서 처럼 여전히 0.5% 이상의 황이 포함된 중유 사업업체가 여전히 있고 '02도에 비해 '03년도의 중유 연료 사용량이 오히려 증가하여 나타났기 때문에 해석되었다. Table 3에서 '02년도에는 4%와 2.59%중유를 각각 379,575 kl와 1,428,224 kl 사용하였으나 '03년에는 사용하지 않은 것으로 조사되었다. 반면, 0.3% 중유는 '02년도에는 2,340,058 kl 사용했으나 '03년도에는 4,612,695 kl로 크게 증가하였다. 또한 공단별로 중유사용량을 분석한 결과, 석유화학공단은 '02년도 4%중유를 133,266 kl를 사용했으나 '03년도에는 모두 0.3%중유로 전환하였다. 울산미포공단도 4%와 2.59%중유를 '03년도에는 모두 0.3%중유로 전환하여 '02년도 대비 '03년도에는 연료사용부분에서 많이 개선된 것처럼 나타났다. 하지만 '03년에 SO₂ 단기 대기환경기준을 자주 초과하는 온산공단의 경우는 0.5% 이상 고탄중유와 0.3% 저탄중유 연료사용이 각각 255,531 kl/년과 636,791 kl/년으로 오히려 전년도에 비해 증가하였다. 또한 고체연료(무

연탄+유연탄)의 경우도 온산공단에서만 819,495 톤/년으로 공단 내 46%(울산시 전체의 13%)로 전년도와 큰 차이가 없었다. 그리고 Table 4에서 제시된 울산시 공단별 연료 사용량에 대한 고체연료 환산(톤) 결과를 살펴보면, '02년의 경우 중유가 전체의 약 54%, LNG가 약 28%로 나타났고, '03년의 경우에는 중유가 56%, LNG가 약 29%로 나타났다. 따라서 '03년의 경우 청정연료전환정책으로 0.5% 이상 황함유의 중유는 감소하였으나 상대적으로 0.3% 중유 사용량이 증가하여 전체적으로 중유의 사용량은 약 2%가 증가함으로써 오히려 황산화물의 발생량은 전년도에 비해 증가하였다는 사실을 알 수 있다. 그 결과 공단지역은 '03년 및 '04년의 경우 대기환경기준 초과횟수도 상대적인 대기환경기준 강화로 인해 증가하였다는 사실이다. 즉 '02년을 기점으로 저황유 유도정책과 대기환경기준 강화로 인해 울산지역의 연평균 SO₂의 농도는 어느 정도 개선되는 것처럼 보였지만, 황산화물을 위한 특별한 저감제어 시설 없이 전체 연료사용량에 따른 황산화물의 발생량이 오히려 증가한 관계로 '03년과 '04도에는 화산리 및 원산리 등의 공단 지점에서 1시간 및 24시간

단기 대기환경기준의 초과횟수가 증가하여 나타났다고 해석 할 수 있다.

한편, 원산리 측정망 주변 공정과정에 의한 단기 기준 초과 기여도(약 20~30%)를 확인하기위하여 측정망 주변 특정 사업체의 배출조사표를 분석한 결과 주 연료는 청정연료인 LNG를 사용하고 있었으나 주 생산 공정상에서 소성시설의 배가스 처리 시 SO₂를 배출하고 있다는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 울산시에서 이러한 청정연료를 사용하는 사업장은 방지시설 면제에 해당하므로 공정상에서 발생하고 있는 SO₂의 발생량을 추정할 수가 없다는 사실이다. 따라서 이러한 사업장의 경우에는 다음 장에서 소개하는 자율환경관리협약 대상업체에 포함시켜 특별 관리가 필요한 실정이다.

무엇보다도 울산시의 SO₂ 단기 환경기준초과 원인을 분석한 결과 이를 저감하기 위한 정책 방안의 제시가 중요하다고 판단되므로 다음 장에서 이를 검토코자 한다.

4. 울산시 SO₂ 배출에 대한 저감 정책 방안의 검토

Fig. 3에서 울산시의 SO₂ 평균농도는 '05년과 '06년의 경우 0.008 ppm과 0.007 ppm으로 2003과 2004년의 0.011 ppm과 0.010 ppm에 비해 상대적으로 감소하였고 대기환경기준 초과횟수의 경우도 화산리의 24시간에 대한 1회 초과를 제외하고 크게 감소하여 나타났다. 그 원인으로는 원산리 지점의 대기질 측정망의 폐쇄조치에 따른 평균 농도 감소와 함께 '05년 배출허용기준 강화 및 자율환경관리협약제도의 활성화, '06년까지 1~3종의 굴뚝 TMS 설치 강화 정책 등이 어느 정도 효과가 있었던 것으로 해석할 수 있다. 특히, 울산시 온산공단 내 설치된 원산리 대기질 측정망의 경우 '04년 SO₂ 평균은 0.025 ppm으로 14개 지점의 전체 평균 0.010 ppm에 비해 큰 비중을 차지하고 있었지만 '05년에 폐쇄 조치됨에 따라 전체 평균 농도에 직접적으로 영향을 주었다는 것을 알 수 있다. 따라서 본 장에서는 울산시에서 SO₂의 대기환경기준 초과를 근본적으로 저감하기 위한 SO₂의 저감 정책 방안 들을 검토하여 제시하였다.

4.1. 연료 전환 정책 및 배출허용기준 강화

울산시는 특별대책지역으로서 '01년 7월의 연료 전환정책으로 전 지역이 0.3% 이하 저황중유 사용 의무지역이었으나 '03년 7월부터 저황중유의 연료 사용승인제도가 폐지되고 연료사용변경신고제도로 바뀜에 따라 여전히 0.5% 이상의 중유를 사용할 수 있게 되었고, 오히려 특정지역(온산공단)에서는 0.3% 저황중유가 전년도에 비해 상대적으로 증가하였다는 사실이다. 그 결과 '03년에 공단지역에서 SO₂ 단기환경기준치는 초과하였고, 연평균 농도도 증가하여 나타났다. 따라서 울산시의 경우 연료전환정책의 효과는 매우 낮았다는 것을 알 수 있다.

Table 5는 '03년 0.5% 이상 고황중유와 고체연료를 0.3% 이하 저황중유로 전환시키는 정책을 제안하였을 때의 SO₂ 발생량과 삭감량을 나타낸 것이다. '03년 0.5% 이상 고황중유와 고체연료를 0.3% 이하 저황중유로 전환시키는 정책의 경우 SO₂ 삭감량은 각각 2,509톤과 3199톤의 삭감량을 기대할 수 있으며, 이는 전체 총 발생량대비 SO₂의 삭감율이 각각 6%와 8%에 해당된다. 하지만 고체연료의 저황중유 전환정책은 현실적으로 쉽지 않기 때문에 고체연료 사용 대신 청정연료인 LNG로의 전환정책을 지속적으로 유도하여 SO₂의 배출을 저감하는 것이 필요하다. 이 때 주의할 점은 청정연료 사업장의 경우라도 방지시설 및 공정상에서 발생하고 있는 SO₂의 발생량을 추정할 수 있도록 제도를 마련하는 것이 중요하다.

또한 울산·미포 및 온산 특별대책지역에 대하여는 엄격 및 특별배출허용기준이 적용되고 있다. 그러나 공단지역으로서 특별대책지역임에도 불구하고 SO₂의 이 기준은 기존의 적용 대상에서 제외되었고, 단지 일반 배출허용기준에 적용을 받고 있다.

배출허용기준 강화에 따른 효과를 분석하기 위해 '03년 울산시 특정 사업장에서 실시간 관측되고 있는 굴뚝 TMS 배출량 자료를 이용하여 '05년 배출허용기준을 적용한 경우와 특별대책지역의 엄격 및 특별 배출허용기준에 SO₂의 항목을 신설하는 정책안을 적용한 경우에 대해 각각 삭감량을 산정하였다. '03년 배출허용기준이 300 ppm인 석유정제 시설을 '05년 SO₂ 배출허용기준의 시행규칙 개정안에 해당하는 180 ppm으로 강화 시킬 경우 SO₂ 배출량 저감율은 약 0.2%로 나타났고, 150 ppm으로 엄격한

Table 5. Rate and amount of SO₂ reduction to fuels converted 1% & 0.5% B-C (a) and coals (b) into 0.3% B-C in 2003 in Ulsan

(a)				
Classification	Fuel	B-C		Amount converted into 0.3% B-C
		1.0%	0.5%	
Amount of B-C (kl)		82,024	373,135	455,159
Amount of SO ₂ production (ton)		1,558	3,545	2,594
Amount of SO ₂ reduction (ton)				2,509
Rate of SO ₂ reduction to total fuels (%)				6

(b)				
Classification	Fuel	Coal (Soft +Solid)		Amount converted into 0.3% B-C
Amount of coals and 0.3% B-C		1,359,288 (ton)		798,138 (kl)
Amount of SO ₂ production (ton)		7,748		4,549
Amount of SO ₂ reduction (ton)				3199
Rate of SO ₂ reduction to total fuels (%)				8

Table 6. Rate and amount of SO₂ reduction the emission standard of SO₂ at a petroleum facility in Ulsan in 2003

Emission standard	Amount of SO ₂ emission (ton/year)	Amount of SO ₂ reduction (ton/year)	Rate of SO ₂ reduction (%)
300 ppm ('03)	8.41	-	-
180 ppm ('05)	8.39	0.02	0.23
150 ppm (strict)	8.23	0.17	2.03

기준을 적용할 경우에도 약 2%로 낮게 나타났다 (Table 6). 비록 '03년 울산 지역의 석유정제시설 및 소성시설관련 143개 사업장 중 굴뚝 TMS가 설치되어 '05년 SO₂ 배출허용기준안에 해당하는 효과를 검증할 수 있는 시설이 한 개밖에 없었다는 문제점은 있었지만 이들 시설에 대해 보다 특별한 배출허용기준을 적용하지 않는 한 그 효과는 낮을 것으로 예상되었다. 왜냐하면 '04부터 '06년에 1종 사업장외에 추가로 2종과 3종 사업장의 굴뚝에 모두 TMS가 부착 되었지만 대부분의 사업장의 굴뚝에서는 평균 배출농도를 배출허용기준보다 다소 낮게 배출하고 있었기 때문에 배출허용기준이 강화되더라도 그 효과가 크지 않다는 것이다.

4.2. 자율환경관리협약제도의 활성화 및 배출총량허용제도의 도입

울산시는 특별대책지역으로서 “자율환경관리협

약 운영 규정”에 근거하여 '03년 11월에 대형 사업장별로 대기질(SO₂, NO₂, PM10)과 악취 및 VOC 등을 저감할 목적으로 자율환경관리 협약제도를 시행하고 있다. '03년에 총 48개 울산시 자율환경관리협약 사업장중 14개 사업장이 SO₂ 삭감계획을 제시하고 있었으며, 이들 사업장의 SO₂ 총배출량을 조사한 결과 약 11,423 톤/년으로 전체사업장 발생량(39,677 톤/년)의 29%에 해당하였다(Table 7). 그리고 13개 사업장은 SO₂를 발생하면서도 특별히 저감계획안을 제시하지 않고 있었는데, 그 배출량은 4,537톤/년으로 전체 발생량의 11%에 해당하였다. 따라서 기존 및 추가 사업장에 대해 30%의 배출저감목표(대기환경기준의 80% 수준)를 세워 사업장 스스로가 연차적으로 SO₂ 저감을 유도할 수 있는 자율환경관리협약제도의 활성화가 꼭 필요하다고 볼 수 있다. 울산시에서는 이 제도가 성공적으로 정착되는 것이 가장 바람직한 것으로 판단된다. 그러나 이 제도의 성과가 미흡할 경우에는 사업장 간의 형평성과 배출권 거래 등을 고려하여 1~3종의 사업장에 대해 수도권과 같이 배출총량허용제도를 도입함으로써 황사화물에 대한 최적방지시설을 구축하여 최종적으로 저감 목표량을 달성하는 것이 필요하다.

특별대책지역인 울산시는 다양한 산업시설이 밀집되어 있으므로 다음의 문제점을 고려함으로써 배출총량허용제도 도입이 필요한 실정이다.

Table 7. Amount of SO₂ emission estimated by some business fields in Ulsan in 2003. Left panel shows Business fields having control facilities for SO₂ reduction through the auto-environmental management agreement system

Business fields having control facilities for SO ₂ reduction	SO ₂ emission (ton/yr)	Business fields not having control facilities for SO ₂ reduction	SO ₂ emission (ton/yr)
A1	4,991	B1	1,130
A2	4,568	B2	821
A3	855	B3	635
A4	617	B4	497
A5	161	B5	384
A6	112	B6	327
A7	58	B7	291
A8	50	B8	246
A9	6	B9	86
A10	4	B10	43
A11	0.2	B11	34
A12	0.2	B12	23
A13	0.1	B13	20
Total	11,422.5	Total	4,537

(1) '03년 및 '04년과 같이 황산화물의 경우 단기 대기환경기준을 자주 초과하고 있다.

(2) 1~3종 점오염원의 경우 연료전환정책으로는 그 한계에 도달하였다.

(3) 실시간 관측되고 있는 굴뚝 TMS 배출량 자료를 이용하여 '05년 배출허용기준을 보다 강화한 경우와 특별대책지역의 엄격 및 특별 배출허용기준에 SO₂의 항목을 신설할 경우에 대해 삭감량을 산정한 결과 그 저감효과가 매우 낮게 나타나고 있다.

(4) 사업장의 경우 SO₂, NO_x 및 VOC 등의 배출 저감계획을 제출하는 자율환경관리협약제도를 강화할 필요가 있지만 사업장간의 형평성과 황산화물의 가시적 저감을 고려할 경우 이 제도의 도입이 필요하다.

(5) 국내에서는 “수도권 대기 환경개선에 대한 특별법”으로서 2010년 이후 10개년 계획에 의해 관리 대상 오염물질로서 NO_x 50%, PM-10 60%, SO_x 70% 및 VOCs 40%를 삭감할 계획이며, 지역배출 허용총량제 및 배출권 거래제 도입 등의 대기환경 관리체계 혁신, 제작차의 저공해화를 주요 내용으로 하고 있다. 따라서 특별대책지역인 울산시에서도 이 제도의 도입에 따른 황산화물의 최적방지시설을 구축하여 이를 저감할 필요가 있다.

하지만 배출총량허용제도 및 배출권거래제도 자

체의 장점에도 불구하고, 이들 제도의 도입을 위해서는 다음의 다양한 제약요인도 선결되어야 한다.

(1) 환경부는 특별대책지역인 울산시에 본 제도 도입을 위한 기반 구축을 재검토할 필요가 있다. 이를 위해 우선, 사업장 상시감시체계(TMS) 구축 및 배출량 조사사업 등을 체계적으로 확대 관리하는 것이 필요하다.

울산시는 '03년 61개 굴뚝 TMS 사업장 중 13개 사업장만이 SO₂를 배출하고 있다. 이들 사업장의 굴뚝 TMS로부터의 연간 배출량은 조사결과 약 4917.3 톤으로 전체 사업장의 배출총량 대비 12%를 차지하고 있다. 따라서 울산시 SO₂ 배출 사업장이 380개 이상임을 감안하여 볼 때 굴뚝 TMS 부착대상 배출 시설 및 측정 오염물질 항목에 있어 SO₂ 항목을 지금보다 추가할 필요가 있다. 즉, 소각시설과 시멘트 제조시설의 소성시설, 용융 및 용해시설 등의 경우 SO₂가 발생하고 있으므로 이에 대하여 측정항목을 추가한다거나, 일반보일러 사용시설에서 현재 40톤 이상의 기준을 10톤으로 강화하여 측정망을 확대할 수 있도록 유도하는 것이 필요하다.

(2) 배출총량허용제도 도입을 근거할 수 있도록 대기질의모델링을 통한 대기환경용량의 지속적 산정과 함께 배출총량의 저감 목표량을 제시할 필요가 있다.

대기환경용량(Atmospheric environmental critical loads, 이하 CL)이란 어떤 지역의 대기환경상태에 어느 일정수준 이상의 피해를 주지 않고 수용할 수 있는 정도의 배출량으로 정의할 수 있다. 여기서 '어느 일정 수준'이란 선진국의 경우 대기환경기준의 80% 농도로 정의하게 되는데, 대기환경용량에 해당하는 배출량은 대기질모델링을 통하여 이 농도 수준에 해당하는 각 사업장의 총배출량으로 산정할 수 있다. 동시에 대기환경용량을 초과하는 배출총량의 경우는 저감 목표량이 되는 것이다.

(3) 배출권거래제 도입 제약요인 등을 감안하여 오염물질 배출량 저감을 위한 최적방지시설의 구축과 제도 도입의 필요가 있다.

특히 배출구를 통하여 오염물질이 배출되지 않고 공정과정 또는 휘발되어 배출되는 물질에 대해서는 최적인전기술의 적용을 고려할 필요가 있고, 배출구를 통하여 배출되는 부분에 대해서는 최적방지기술을 적용할 필요가 있다. 울산시에서는 5개 사업장 내 14개 굴뚝에 대해 황산화물에 대한 최적방지기술인 배연탈황시설이 설치되어 평균 70~90%이상의 저감효율을 유지하고 있다. 1차적으로 자율환경관리협약 사업장을 중심으로 유도하되 이를 제도화하여 관리하는 것이 필요하다. 배연탈황시설의 건설에는 많은 투자비와 운영비가 소요되지만, 배연탈황시설이 갖추어지면 0.5%의 고탄중유를 사용할 수 있게 되므로 연료비의 절감도 도모할 수 있게 되며, 부산물인 석고회수를 통하여 폐기물 처리비용을 절감시킴으로써 경제성을 확보할 수 있게 된다.

5. 결 론

본 연구는 2001-2004년 특별대책지역인 울산미포 및 온산 국가산단 내의 SO₂ 오염도가 단기 환경기준을 초과함에 따라 그 원인을 분석한 것이며, 이를 토대로 기존 연료사용량 및 굴뚝 TMS 배출량 자료 등을 이용하여 황산화물의 저감 정책 방안을 검토하여 제시한 것이다.

울산시의 각 대기질 측정망에서 SO₂의 단기 대기환경기준 초과현황을 분석한 결과 '02년을 기점으로 '03년은 주로 여천동과 원산리 지점에서 대부분을 초과하여 나타났고, '04년의 경우에는 공단 내 화

산리 지점도 추가되어 '03년 보다 초과횟수가 더 증가한 것으로 조사되었다. 70~80%가 연소 시설에 의해 발생하였으며, 나머지 20~30%의 경우는 각 사업장의 공정상에서 발생한 것으로 나타났다.

주거지역인 덕신리 지점에서의 SO₂ 대기환경기준 초과는 남동풍의 해풍이 발생할 때로 온산 국가산업단지에서 연소 배출시설에서 발생한 SO₂ 오염물질이 바람을 따라 직접 이동한 것으로 나타났다. 또한 원산리 지점도 남동쪽에 위치한 1~3종의 황산화물 배출 사업장과 북쪽에 위치한 특정 사업장으로부터 이 지역 주풍인 북풍계열과 특히 일부 남동풍 내지 남풍이 접근할 때 주로 연소 배출시설에 의해 대기환경기준을 초과하여 발생하였다. 그리고 화산리 지점의 경우는 주로 북풍계열에서 원산리 지점과 유사한 특성을 나타내고 있었다.

특히, '03년을 기준으로 공단지역인 원산리 및 화산리 지점 주변 지역에는 황산화물의 대형 배출 사업장들이 울산시 총 SO₂ 점오염원에 대해 57% 이상을, 그리고 연간 SO₂ 배출량에 대해 약 30%를 차지하고 있었다. 또한 원산리 및 화산리 지점 주변 지역에는 0.5% 이상의 황이 포함된 중유 사용 사업장이 여전히 남아 있고 '02년에 비해 '03년의 중유 연료사용량이 오히려 증가하였던 것으로 나타났다.

한편, 울산시의 SO₂에 대한 대기환경기준 초과횟수를 줄이기 위해서는 무엇보다도 황산화물의 배출량을 저감하기 위한 정책 방안과 이의 검토가 필요하다. 따라서 울산시 SO₂의 저감 정책 방안을 검토하여 요약하면 다음과 같다.

첫째, 기존의 연료전환정책의 효과가 낮고 고체연료의 저황중유 전환정책도 현실적으로 쉽지 않기 때문에 고체연료 사용 대신 청정연료인 LNG로의 전환정책을 지속하여 SO₂의 배출 저감을 유도하는 것이 필요하다.

둘째, 굴뚝 TMS 분석결과 배출허용기준 강화 정책으로는 한계에 도달하였으므로 자율환경관리협약 제도를 활성화하여 기존 및 추가 사업장에 대해 일정량의 배출저감목표를 설정함으로써 SO₂의 배출을 저감하는 것이 필요하다.

셋째, 사업장간의 형평성과 배출권 거래 등을 고려하여 1~3종의 사업장에 대해 수도권과 같이 배출총량허용제도를 도입함으로써 황산화물에 대한

최적방지시설을 구축하여 일정량의SO₂ 배출을 저감하는 것이 필요하다.

이와 같이 울산시는 황산화물의 저감 방안 중 효과가 큰 두 번째 및 세 번째 안을 중심으로 사업장 스스로가 최적방지시설을 구축함으로써 지속가능한 저감 정책을 유지하는 것이 바람직하다. 끝으로 대기오염 측정망의 설치 또는 폐쇄에 있어서는 통계적 방법, 선형계획법, 모형을 이용한 방법 등에 근거함으로써 자료의 신뢰성을 확보하는 것이 중요하다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 한국교원대학교 학술연구비(RI20070149)의 지원을 받아 수행되었습니다. 재정 지원에 감사를 드립니다. 또한 본 연구를 위해 자료를 제공하여 준 환경부, 국립환경과학원, 환경관리공단, 울산광역시 및 울산광역시보건환경연구원에 감사드립니다.

참고 문헌

- 1) 김용준, 1997, 시군별 이산화황(SO₂) 오염도의 현황 진단과 장기 예측에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 13(1), 19-29.
- 2) 최 효, 1996, 봄철 황사기간중 지역기상 영향에 의한 강릉지역에서의 아황산가스 농도 변화, 한국환경과학회지, 5(2), 131-140.
- 3) Martin A., Barber F. R., 1967, Sulfur dioxide concentration measured at various distance from a modern power plant, Atmos. Environ, 1, 655-677.
- 4) Stephene E. R., 1968, Chemistry of atmospheric oxidants, J. Air Pollution Control Assoc., 19, 181-185.
- 5) Kimura F., 1983, A numerical simulation of local winds and photochemical air pollution(I): two-dimensional land and sea breeze, J. Meteor. Soc. Japan, 61, 862-878.
- 6) 이동인, 한영호, 1984, 온산 공업단지의 대기중의 아황산가스와 강하분진에 대하여, 부산수산대학교 연

- 구보고, 24(1), 153-162.
- 7) 박일수, 김정우, 1991, 서울시 SO₂ 농도 분포에 미치는 지형의 영향, 한국대기보전학회지, 7(2), 105-113.
- 8) 김성천, 1992, 서울시의 대기중 SO₂와 TSP의 농도에 관한 연구, 대한보건협회지, 18(1), 121~130.
- 9) 박준환, 안재호, 2001, 서울지역에서의 겨울철 SO₂ 고농도 현상에 대한 연구, 환경관리학회지, 7(1), 161-172.
- 10) 민홍홀, 고춘남, 김명활, 1996, 광주 지역의 SO₂농도 변화와 기상인자 관련에 관한 고찰, 환경관리학회지, 2(1), 17-23.
- 11) 전병일, 김유근, 이화운, 1994, 부산 지역의 SO₂ 농도 변화 특성에 관한 고찰, 한국대기보전학회, 10(4), 245-251.
- 12) 박순웅, 김철희, 1995, 남한지역에서의 연료 사용량으로 추정된 SO₂와 NO_x 배출량의 연별 변화 경향, 한국기상학회지, 31(1), 65-78.
- 13) 강인구, 김양균, 이석조, 나진균, 유승도, 김진규, 김정수, 박보현, 1988, 대기오염예측모델 개발에 관한 연구 (III)-수치모델 중심으로, 국립환경연구원보, 10, 213-224.
- 14) 김영성, 손재익, 1992, ISCLT에 의한 서울지역의 SO₂ 오염도 조사, 한국대기보전학회, 8(2), 128-137.
- 15) 박순웅, 김철희, 1996, 경인지역의 SO₂농도 시뮬레이션, 한국기상학회지, 32(5), 553-568.
- 16) 장은숙, 이화운, 1997, 부산지역에서의 대기흐름과 관련된 SO₂농도 3차원 수치모의, 한국환경과학회지, 6(4), 359-367.
- 17) 조창래, 이종범, 1998, MESOPUFF모델을 이용한 서울시 SO₂ 배출량이 주변지역 대기질에 미치는 영향 분석, 한국대기보전학회지, 14(2), 563-575.
- 18) 이종범, 김용국, 박일환, 2001, 우리나라 도시지역의 SO₂건성침적 플럭스 산출, 한국환경과학회지, 10(1), 1-7.
- 19) 이상득, 2003, 국지순환풍 모델을 이용한 광양만권 대기오염물질의 수치모델링, 한국대기환경학회지, 19(1), 13-23.
- 20) 정종식, 1993, 고정원에서의 SO_x 배출저감을 위한 기술, 한국대기보전학회지, 9(1), 25-32.
- 21) 박영성, 이창근, 손재익, 1994, 고유황 저질무연탄의 유동층 연소시 아황산가스 배출저감특성, 한국폐기물 학회지, 11(4), 578-587.