

오존 자동측정망 자료 중의 이상치 점검

Anomaly Test for Ozone Concentration Data from National Air Monitoring Stations

김 영 성

한국과학기술연구원 환경연구센터

(1998년 6월 18일 접수, 1999년 4월 6일 채택)

Young-Sung Ghim

Environment Research Center, Korea Institute of Science and Technology

(Received 18 June 1998; accepted 6 April 1999)

Abstract

The ozone concentrations measured at the National Air Monitoring Stations between 1990 and 1995 were reviewed to detect any anomalies in the measurements. By screening the cases, in which variation of the ozone concentration from the previous measured value is greater than 75 ppb, 125 station-days were identified as the test cases for the anomaly test. Historical and parallel consistencies of the measured concentrations were examined by plotting data for each test case. The detected anomalies can be classified into four categories: single outliers, anomalous variations during the startup period, baseline rises, and fluctuations in the diurnal variations. Anomalies were detected in as many as 80 cases among 125 test cases. Because of these anomalies, the number of hours exceeding 100 ppb in the areas other than the Greater Seoul Area (GSA) could decrease from 157 to 107. Further studies for developing the methodology for eliminating the abnormal monitoring data are warranted for the data from the National Air Monitoring Stations are official to the both inside and outside of the country.

Key words : ozone data validation, anomalies, concentration variation, exceedances

1. 서 론

대기오염 측정망의 측정 결과는 효과적인 대기오염 저감대책의 수립·추진에 기초가 되는 물론, 환경문제의 국제화에 따라 국제 협약 등에 배경 자료로 이용될 수 있으며, 오염물질의 장거리 이동과 지구 온난화와 같은 지역규모 혹은 지구규모 대기오염 현상을 규명하기 위한 국제 측정망 구축의 일부

가 될 수 있다는 점에서 중요하다(환경부, 1998). 이에 따라 환경부에서는 "2000년대 대기오염측정망 기본계획"을 수립 중에 있으며, 측정망 운영의 효율화와 측정망 운영 관리의 전문화를 위하여 대대적인 측정망의 정비와 확충을 계획하고 있다.

WHO와 UNEP(1994)는 1980년대 말 이미 서울을 LA, 뉴욕, 도쿄 등과 함께, 인구가 1,000만에 근접하거나 이를 넘는 20개 도시 중 대기질 측정망이 잘 갖추어져 실시간 측정 자료 제공이 가능한 1 그

롭으로 분류한 바 있다. 1990년부터 1995년까지 6년간 서울, 수도권과 전국의 측정망의 오존 측정치 수집율은 각각 78~92%와 80~93%로 오히려 서울, 수도권의 수집율이 약간 낮다(김영성, 1997). 그러나 이 때의 자료 수집율은 측정기기로부터 자료가 수집되었음을 의미하는 것일 뿐 자료 검증 절차를 거치지 않아 통상의 자료 회수율(recovery rate)과 구별하기 위하여 지칭한 용어이다.

우리나라에서 흔히 '정도 관리'라는 말로 통용되는 QA/QC 중 QC(quality control)는 양질의 자료를 제공하고자 하는 노력을 의미하며, QA(quality assurance)는 양질의 자료가 제공되고 있음을 확인하는 절차를 의미한다. 따라서 QC가 측정망의 관리를 의미한다면, QA는 얻어진 측정 자료의 관리를 의미하는 것으로 볼 수 있다. 미국 EPA에서는 경험상 대기오염 측정 예산의 10~25%를 QA 프로그램에 할애하여야 하는 것으로 생각하고 있다(USEPA, 1977). 그러나 환경부의 "2000년대 대기오염 측정망 기본계획(안)"에는 QC에 해당하는 정도 관리가 간단히 언급되었을 뿐이다.

자료 검증은 다양한 QA 업무 중 가장 핵심적 업무의 하나이다(USEPA, 1984). 그림 1은 1990년부터 1995년까지 6년간 서울, 수도권(GSA, Greater Seoul Area)과 여타 지역의 월별 오존 1시간 환경기준 100 ppb 초과 시간 수이다. 특히 기타 지역에서 통상 오존 시즌으로 인식되는 5월부터 9월 이외의 달에 100 ppb 초과 시간이 다수 기록되어 있다. 김영성(1996)은 이른 봄철의 오존 농도 상승을 서울, 수도권과 비교되는 기타 지역의 특성으로 지적하였으나, 그럼에도 겨울철인 1, 2월에 100 ppb를 초과하는 농도 상승은 믿기 어렵다.

본 논문은 1990년부터 1995년까지 6년간 전국 대기오염 측정망 측정 오존 농도를 대상으로 신뢰성에 의심이 가는 이상치를 가려내기 위한 것이다. 그러나 이와 같은 작업을 포괄적으로 진행하기보다는 고농도를 중심으로 발굴이 가능하였던 이상치를 사례별로 제시하고자 하였는데, 무엇보다 작업량이 방대하였기 때문이지만, 한편으로는 제시된 사례를 토대로 체계적 검증 절차를 마련하고 이를 통하여 국가가 운영하는 대기오염 측정망으로부터 신뢰성 있는 자료를 제공하는 일은 기본적으로 국가가 행하여야 할 업무로 판단하였기 때문이다.

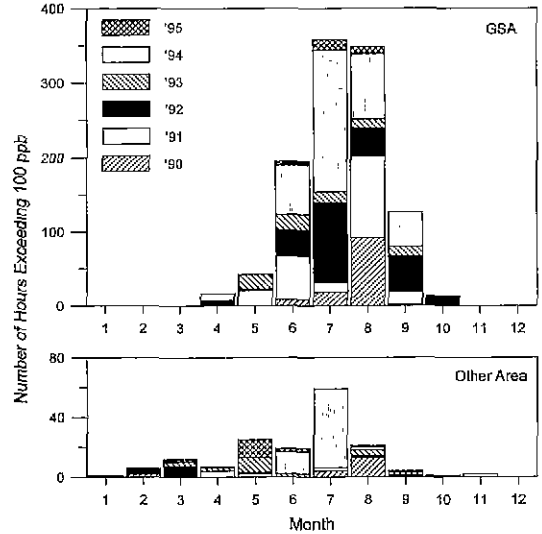


Fig. 1. Number of hours exceeding 100 ppb in the Greater Seoul Area (GSA) and the other area between 1990 and 1995.

2. 방 법

자료의 검증을 위하여서는 대상 자료군내 다른 자료와의 일관성(consistency), 과거 자료군과의 일관성, 주변 자료군과의 일관성들을 통계적 방법론을 이용하여 점검하는 것이 보통이다(USEPA, 1984; Nelson *et al.*, 1980) 이때 현재의 자료가 다른 자료나 과거 자료군, 혹은 주변 자료군의 변화 범위 내에 들면 정상. 그렇지 않으면 이상을 의심하게 된다. 그러나 오존 농도와 같이 배출과 기상이 복잡하게 얽혀 있고, 특히 정체에 따른 국지 변화가 심하며, 경제·사회 변화에 따른 배출 변화마저 심한 우리나라에서 과거 자료나 인접 자료의 변화 범위를 토대로 자료의 이상성을 판단하기는 매우 어렵다.

그림 2는 우리나라에서 오존 농도가 측정된 이래 가장 높은 두 농도가 기록된 1994년 8월 23일부터 24일까지 광화문의 농도 변화를 서울, 수도권 지역 여타 측정소의 측정치와 함께 22일부터 살펴본 것이다. 23일과 24일에 기록된 일련의 고농도는 1998년 현재까지도 유례를 찾기 힘들 뿐 아니라 당일 여타 지역의 측정치에 비하여서도 월등 높은 까닭

에 일관성 측면만을 통계적으로 조사한다면 이상치로 판정될 가능성이 매우 높다. 그러나 (1) 이와 같은 농도가 아침의 정체 조건을 토대로 발생하였고, 이 둘을 제외하여도 광화문 뿐 아니라 구로, 반포 등 여타 지역에서도 240, 227 ppb와 같이 버금가는 고농도가 유사한 정체 조건에서 기록되고 있으며 (김영성, 오현선, 1998), (2) 8월 25일 44 mm의 강우와 함께 서울, 수도권의 오존 농도가 저하되었으나 기상 조건이 회복된 27일 다시 잠실에서 172 ppb까지 농도가 상승하였다는 점 (오현선, 김영성, 1999), (3) 무엇보다도 농도의 상승과 하락이 오존 농도 변화에 대한 통상적 이해에 비추어 자연스럽다는 점에서 사실로 인정된다.

따라서 본 논문에서는 통계적 방법론을 이용하는 대신 이상이 의심되는 사례를 선정한 후 그림 2와 같이 조사 대상 경우와 여타 자료와의 시간적 공간적 일관성을 하나씩 플롯으로 확인하였다. 이와 같은 자료 플롯에 의한 검증은 노력이 많이 들고 자료를 광범위하게 취급하기 어렵다는 단점이 있으나, 통계적 방법론에 의하여 발굴이 어려운 여타 자료군 변화 범위 내 이상치를 가려낼 수 있고, 여타 자료군의 변화 범위를 벗어나더라도 오존 농도 변화에 대한 일반적 이해를 바탕으로 수용 여부를 판

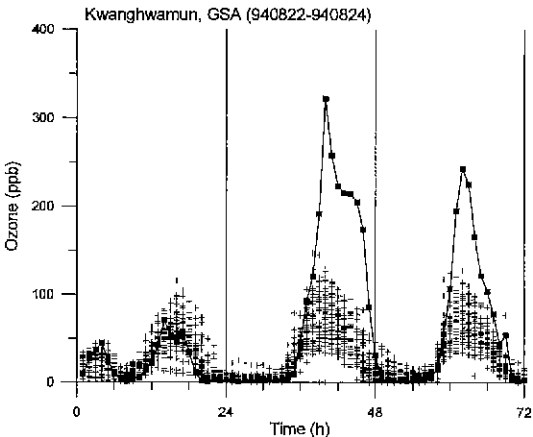


Fig. 2. Ozone concentration variations at Kwanghwamun from August 22 to 24, 1994 showing the two highest concentrations recorded up to now in Korea. Crosshairs in the background represent measurements from other stations in GSA.

단할 수 있다는 장점이 있다.

이상치 점검은, 개별 경우에 대한 시간적 공간적 일관성을 조사하기 위하여, 조사대상 농도가 기록된 날짜를 중심으로 전후 72시간 동안 해당 측정소의 농도 변화를 인접 지역 측정소의 농도 변화와 비교하는 방식으로 시행하였다. 그러나 이로써 충분치 않을 때에는 비교 기간을 1주일이나 한달 등 변화를 파악하기에 충분할 만큼 연장하였다. 인접 지역으로는 오존 농도가 유사한 경향을 보일 수 있는 지역으로 한정하여 그림 3과 같이 18개 지역을 설정하였다. 춘천, 강릉, 목포, 서산 등은 1개의 측정소만이 별도로 분리됨으로써 사실상 인접 지역과의 비교가 불가능하였는데, 지리적으로 고립되어 있기도 하였지만 해당 지역의 오존 농도 변화가 여타 지역에 비하여 충분히 독특한 것으로 판단되었기 때문이다 (김영성, 1998, 1996).

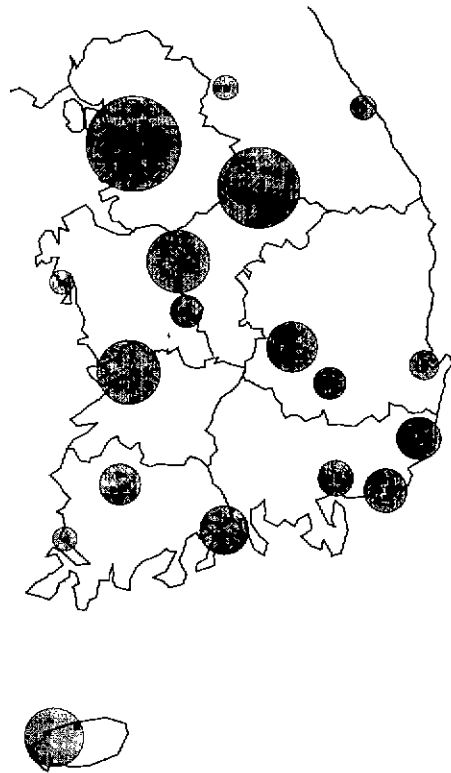


Fig. 3. Grouping of the monitoring stations expected to show similar variations in ozone concentrations in order to test the parallel consistencies.

3. 사례 선정

사례 선정에 앞서 오존 농도가 1,000 ppb를 넘어 착오가 명백한 94. 6. 15 청주 송정의 측정치와 95. 3. 30 대전 대화동의 측정치는 제외하였다. 또한 94. 2. 16부터 24까지 진해 경화에서는 그림 4와 같이 100 ppb 이상 고농도가 지속적으로 관찰되었는데 이 역시 현실성이 없다고 판단되어 제외하였다.¹⁾

본 논문에서는 우선 앞 시간²⁾에 비하여 큰 변화를 보인다면 이상치일 가능성이 있다고 보아 앞 시간에 대한 차이의 빈도 분포를 조사하였다. 그림 5가 그 결과인데, 빈도는 낮으나, 차이가 클 때의 변화를 자세히 살펴보기 위하여 차이가 0인 경우를 제외하고 log-log로 플롯하였다. 차이가 작을 때는 차이가 증가할수록 빈도가 균일하게 감소하다 차이가 일정 수준을 넘어서면 이와 같은 경향이 차츰 흐트러지고 있다. 본 논문에서는 빈도 분포의 일관성이 크게 훼손되기 시작하는 75 ppb를 하나의 기

준으로 잡아, 6년간 전국의 측정치로부터 전시간에 비하여 농도가 75 ppb 이상 변하는 160개 사례를 추려냈다. 그러나 160개 사례에는 급상승과 급하락이 잇달아 2개의 사례로 간주되는 경우가 있었고, 하루에 2건 이상 발생하는 경우도 있어 이를 날짜별로 정리하여 사례수를 125개로 축소시켰다. 여기서 사례를 날짜별로 정리한 것은 본 연구에서 날짜 단위로 플롯하여 이상치를 점검하였기 때문이다.

또 다른 기준으로 그림 1에서 오존 시준으로 인식되고 있는 5월과 9월 이외에 농도가 100 ppb를 초과하는 경우들을 점검하였다. 94. 2 진해 경화동의 이상치를 제외하고 79건이 검출되었으나, 39건이 전시간에 비하여 75 ppb 이상 변하는 경우와 중복되어 40건이 이에 해당되었다. 역시 날짜별로 정리하기 위하여 하루에 2건 이상 100 ppb를 초과하는 경우를 하나의 사례로 계산한 결과 사례수는 20건이 되었다. 결국 두가지 기준을 토대로 일단위 145개 사례에 대하여 이상치 여부를 점검하였다.

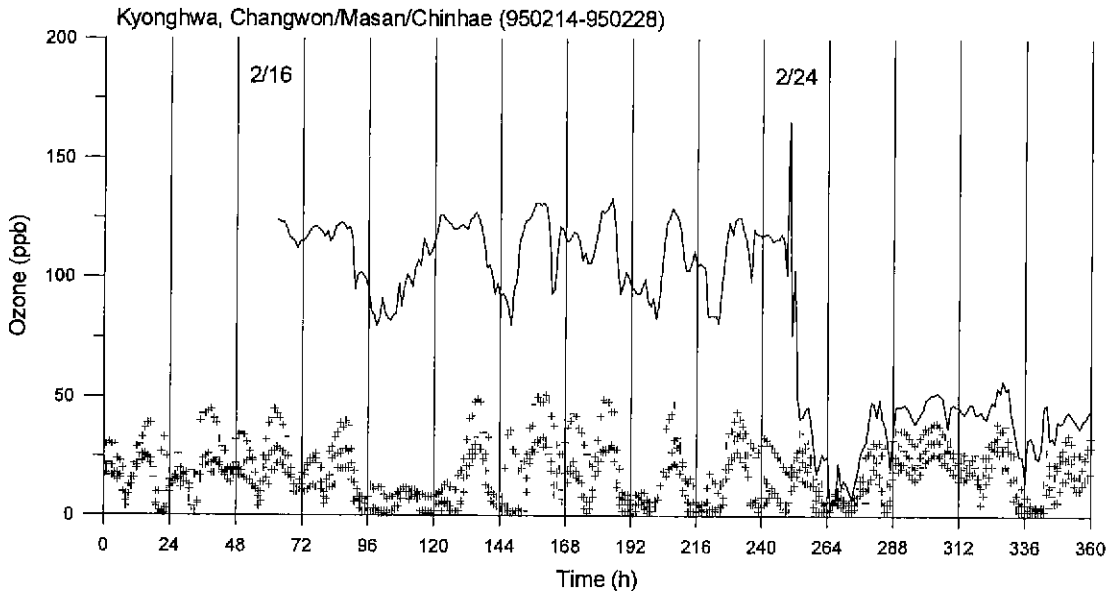


Fig. 4. Ozone concentration variations at Kyonghwa, Chinhae from February 14 to 28, 1995. Crosshairs in the background represent measurements from other stations in the area of Changwon, Masan and Chinhae.

1) 이들 사례들은 쉽게 이상성을 판단할 수 있었기 때문에 그림 1의 집계에서도 이미 제외된 것들이었다.
 2) 대부분 1시간 전을 의미하나 측정이 중단되었다가 다시 시작될 때에는 수 시간 혹은 수 일전의 마지막 측정 시간일 수 있다.

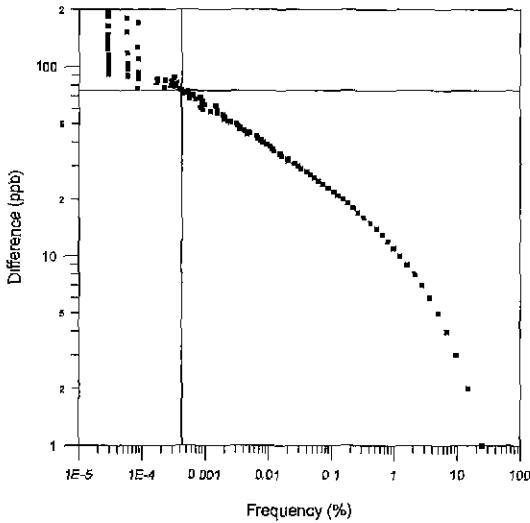


Fig. 5. Frequency distribution of the difference between the two consecutive measurements of ozone concentrations from the monitoring stations in Korea between 1990 and 1995.

4. 결과 및 고찰

4.1 이상치 유형

다음은 본 연구에서 이상치로 인정되거나 혹은 이상치로 의심되는 사례들을 유형별로 정리한 것이다.

4.1.1 급격한 상승 혹은 하락

그림 6(a)는 95. 4. 24 원주 평륜동에서 관찰된 단일 급상승의 경우이다. 이상치의 대표적 예로 일정 기간 동안 경시변화를 추적하거나 인접 측정소와의 일관성을 점검함으로써 쉽게 검출할 수 있으며, 통계적 방법에 의하여서도 기계적으로 검출이 가능한 예이다. 그러나 본 연구의 조사 사례 중 최소한 50개 사례에서 그림 6(a)와 같은 전형적인 급상승을 관찰할 수 있었으며, 92. 7. 30과 31 서울 잠실과 94. 5. 26과 27 의정부에서는 이와 같은 급상승이 연속하여 관찰되기도 하였다.

그림 6(b)는 95. 6. 29 서울 잠실에서 관찰된 단일 급하락의 경우이다. 본 연구에서 흔하지는 않았으나 Nelson 등(1980)이 지적한 바와 같이 기존 자료의 변화 범위 내에 위치함으로써 통계적 처리에 의하여 검출이 어려우므로 유의하여야 할 사례이다.

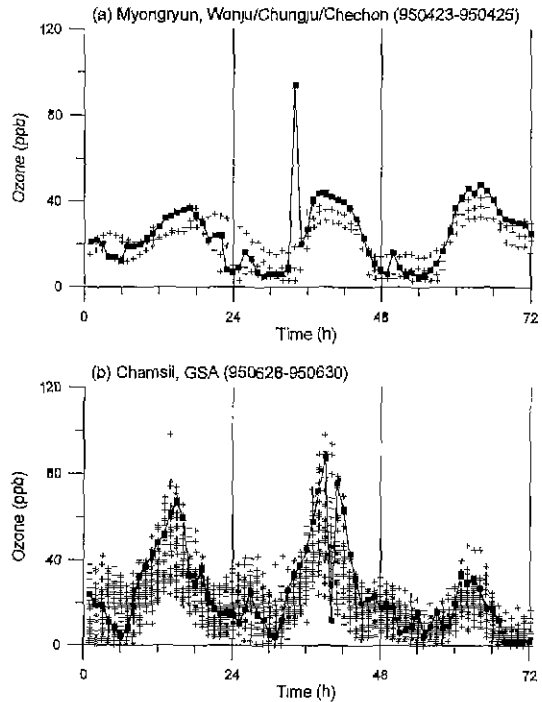


Fig. 6. Single outliers. (a) An unusual high value observed at Myongryun, Wonju on April 24, 1995 in comparison with measurements from other stations in Wonju, Chungju and Chechon. (b) An unusual low value observed at Chamsil, Seoul on June 29, 1995 in comparison with measurements from other stations in GSA.

4.1.2 측정 재개 초기의 이상 변화

그림 7은 91. 9. 9 서울 마포에서 관찰된 사례이다. 8일 중단 후 9일 오전 측정이 재개되었으나 초기의 변화가 의심스럽다. 94. 7. 18 안산 원시, 94. 8. 31 성남, 95. 3. 31 수원 팔달 등에서도 유사한 현상이 관찰되고 있다. 초기의 변화가 이상치로 인식될 만큼 큰 폭이라면 일상적 통계 검증으로 검출될 수 있으나 변화폭이 여타 측정치의 변화 범위 내에 있으면 검출이 어려울 수 있다. 따라서 자료 검증 단계보다는 QC 차원에서 측정이 재개될 때 정상 작동 여부를 주의깊게 확인한 후 자료 회수에 나서야 할 것으로 생각된다.

4.1.3 기준선의 변화

그림 8은 95. 7. 1부터 8. 31까지 2달간 청주 송정

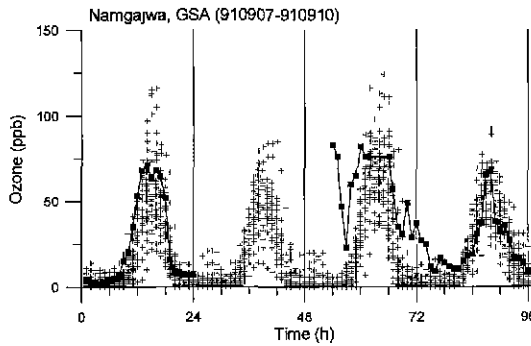


Fig. 7. Abnormal variations during the startup period observed at Nangajwa, Seoul on September 9, 1991. Crosshairs in the background indicate measurements from other stations in GSA.

의 측정 기록이다. 기준선이 1로 지정된 상태에서 7월 측정이 시작되었고 7월 2째주부터는 10~11로 상승하였다가 8월에 들어서서는 6으로 내려가고 있다. 자료 검증 단계보다는 QC 단계에서 확인되어야 할 이상 현상으로, 자료 검증 단계에서 발견하였을 때에는 이미 상당 기간 잘못 측정되었을 수 있기 때문에 측정기기를 관리하는 입장에서는 가장 조심하여야 할 부분이다. 그러나 그림 8 이외에도 92. 8.

12부터 18까지 마포에서는 측정이 중단되었다 재개된 후 다시 중단될 때까지 일주일간 기준선이 14~23으로 높게 지정되었고, 91. 1 강릉 임당에서는 2주 이상 매일 12시에 이상 급상승과 함께 기준선이 10 ppb를 넘게 지정되기도 하였다. 낮 시간의 농도 상승 측정에까지 영향을 미쳤으리라 생각되지는 않으나 94년 부천 내동에서는 1년간 0이 한번도 측정되지 않았고, 특히 6, 8, 9월에는 0~2 ppb가 전혀 없이 최저치가 3 ppb로 기록되어 역시 기준선 지정이 의심스럽다.

4. 1. 4 빈번한 하루 중 변화

급격한 상승 또는 하락의 일환으로 검출될 수 있으나 하루 중에도 변화가 빈번하여 판단이 쉽지 않은 경우이다. 그림 9(a)는 92. 5. 30부터 6. 11까지 13일간 구미 공단과 원평의 측정 기록이다. 6월 4일과 5일 공단의 변화가 가장 의심스러우나 이때의 변화가 이미 이틀전인 6월 2일부터 시작된 상승의 바탕 위에서 나타났을 뿐 아니라, 변화폭은 줄었어도 그 후에도 수일간 유사한 양상의 변화가 지속되어 판단이 쉽지 않다. 그림 9(b)는 92. 1. 19부터 2. 8까지 21일간 대구 노원에서의 측정 기록이다. 거의 전 기간에 걸쳐 하루 중 농도 변화가 매우 심할 뿐 아니라 대부분 농도의 상승과 하락이 보편적인 일변화

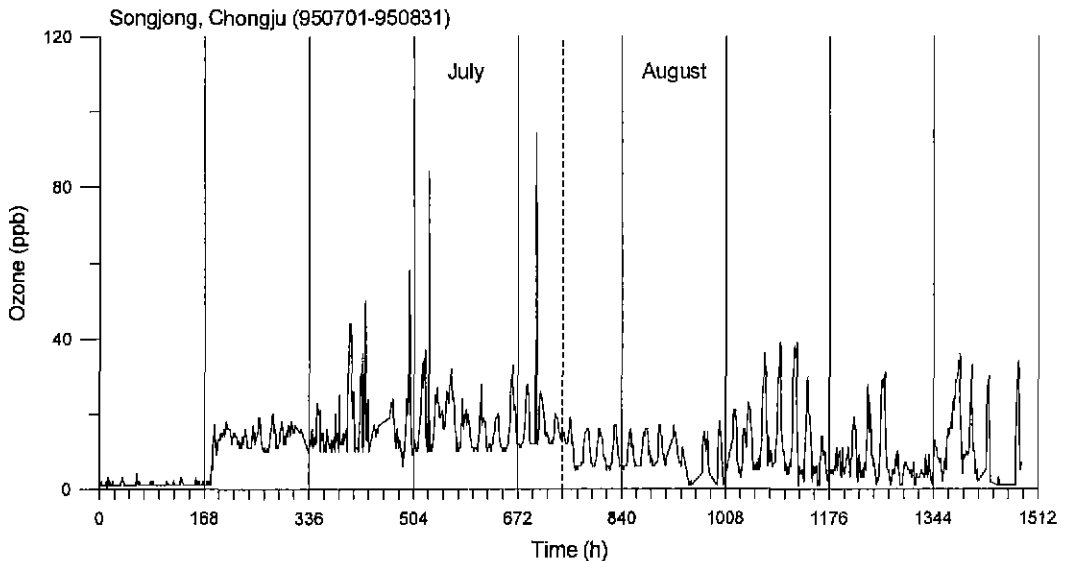


Fig. 8. Baseline rises observed at Songjong, Chonju in July and August 1995.

와 다르고, 1. 28과 2. 6에는 겨울임에도 농도가 100 ppb를 넘었으며, 기간 내내 기준선이 상승해 있다.

4.2 이상치 판정

결과적으로 앞 시간에 비하여 75 ppb 이상 변한 125개 사례 중 64%인 80개 사례를 이상치로 판정

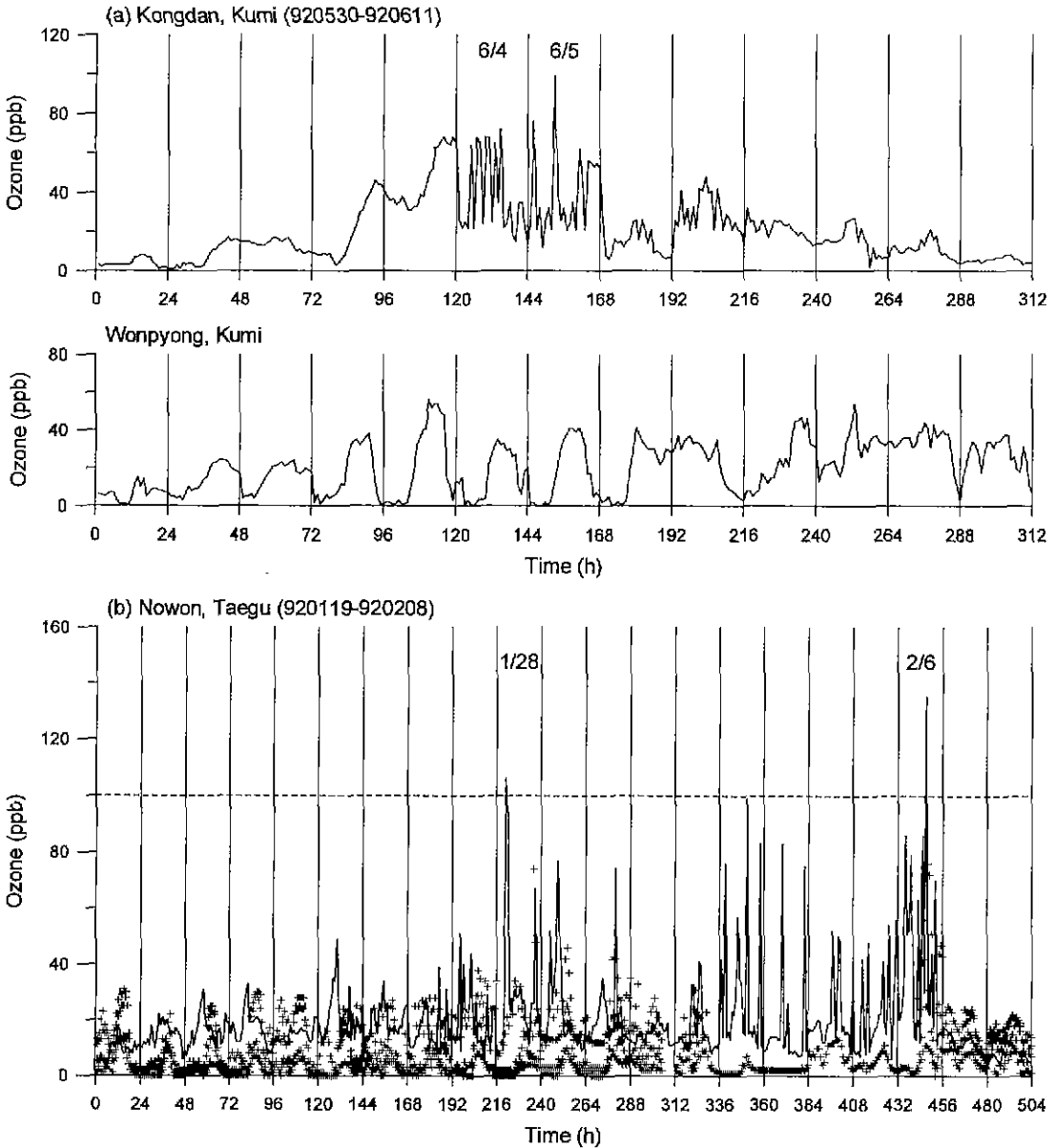


Fig. 9. (a) Fluctuations in diurnal variations observed at Kongdan, Kumi on June 4 to 5, 1992. Measurements from Wonpyong, Kumi for same period are shown for comparison. (b) Fluctuations in diurnal variations observed at Nowon, Taegu in January and February 1992. Ozone concentrations exceeded 100 ppb on January 28 and February 6. Crosshairs in the background indicate measurements from other stations in Taegu.

하였다. 이들 대부분은 4.1.1항에서도 언급한 것과 같이 단일 급상승으로 쉽게 처리할 수 있었으나, 10 여개 사례는 1.2주 혹은 한달 이상의 변화 추이와 오존 농도 변화에 대한 통상적 이해들을 바탕으로 하였을 때 비로소 판단이 가능한 것들이었다. 특히 4.1.4항의 빈번한 변화는 매우 애매한 경우가 많았

는데, ① 어느 정도까지의 변화를 수용할 수 있느냐에 대한 기준 문제와 ② 그림 9(b)와 같이 이러한 현상이 장기간 계속될 경우 혹시 통상적으로 이해하고 있는 농도 변화와는 다른 제3의 원인에 의한 변화의 가능성을 배제할 수 없었기 때문이다.

결국 하루 중 변화가 빈번하여도 농도 상승 시간

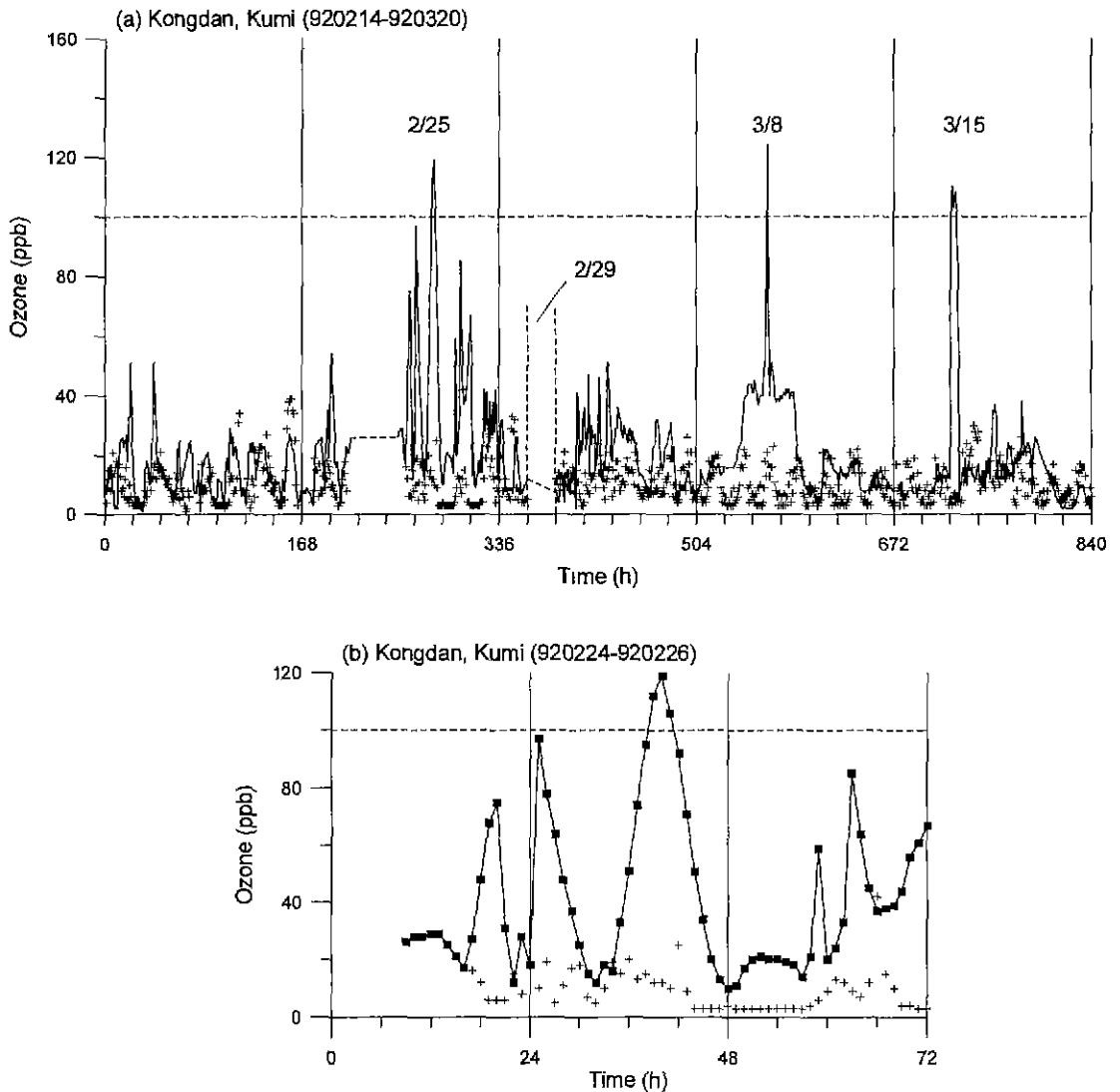


Fig. 10. (a) Ozone concentration variations at Kongdan, Kumi from February 14 to March 20, 1992. Ozone concentrations exceeded 100 ppb on February 25, March 8 and 15. Crosshairs in the background represent measurements from other station in the area of Kumi. (b) Ozone concentration variations at Kongdan, Kumi from February 24 to 26 showing 100-ppb exceedances on February 25.

이 통상적 광화학 반응의 범위 내에서 이해가 가능하거나, 주변의 측정소에서 관측된 농도의 변화 범위 내에 들면 정상, 그렇지 않으면 이상으로 판정하였다. 주변 측정소의 변화를 살피게 된 이유는, 설사 ②에서 지적한 제3의 원인에 의하여 농도가 급격하게 변하였다 하더라도 인접 측정소와 전혀 별도로 한 개의 측정소에서만 특수한 변화를 보이는 경우를 현재로서는 생각하기 어려웠기 때문이다. 이에 따라 그림 9(a)와 (b)의 변화는 모두 이상으로 처리된 반면, 주변의 측정소 수가 많은 서울, 수도권 지역에서는 주변 측정치의 변화 범위가 커서 유사한 변화도 상대적으로 관대하게 정상 처리되는 경우가 있었다.

5월부터 9월까지 오존 시즌 이외에 농도가 100 ppb를 초과한 40건에 대한 조사에서는 92. 3. 8 구미 공단의 경우만이 이상치로 판정되었다. 그러나 전시간에 비하여 75 ppb 이상 변한 사례와 겹친 39건에서는 상당수가 이상치로 판정되었고, 또한 92. 3. 8 구미 공단의 경우도 다음에 기술한 바와 같이 변화가 심한 사례를 조사하는 중에도 검출될 수 있었기 때문에 결국 본 논문의 이상치는 모두 전시간에 비하여 75 ppb 이상 변한 사례로부터 검출된 것으로 볼 수 있다.

4.3 100 ppb 초과 고농도의 점검

그럼에도 100 ppb를 초과한 농도 상승은 고농도 오존 연구에 중요하므로 그림 1에서 오존 시즌 이외에 100 ppb를 초과 상승한 경우 중 일부를 별도로 살펴보면 다음과 같다. 그림 1에서 1, 2월과 11월에 100 ppb를 초과하여 농도가 상승한 것은 모두 9차례로, 90. 2. 2와 6 울산 상남, 92. 1. 28과 2. 6 대구 노원에서 각기 1차례, 92. 2. 25 구미 공단에서 3차례, 94. 11. 26 대전 대흥에서 2차례 등이다. 이 중 울산 상남의 2차례와 대전 대흥의 2차례는 단일 급상승에 의한 전형적인 이상치로 판단되어 배제할 수 있었다. 그러나 92년 1, 2월의 대구 노원과 92년 2월의 구미 공단의 농도 상승은 잠기간의 이상 변화의 일부분이었으며, 그림 9(b) 대구 노원의 농도 변화는 상당 부분 주변 측정소와 별개로 이루어졌

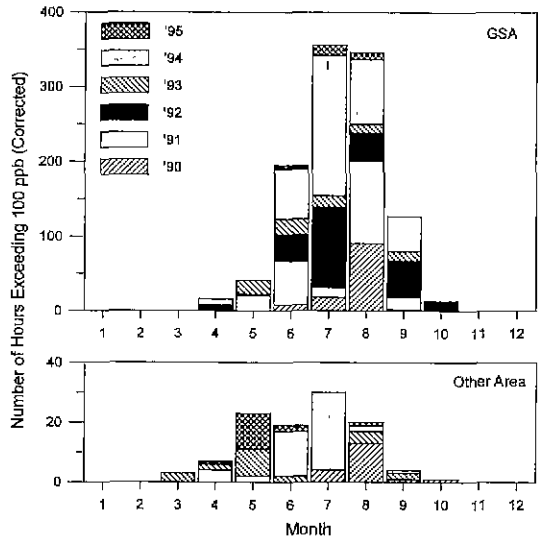


Fig. 11. Number of hours exceeding 100 ppb in the Greater Seoul Area (GSA) and the other area between 1990 and 1995, corrected by eliminating anomalies.

다는 점에서 이상 변화로 판단하였음은 이미 언급한 바와 같다.

그림 10(a)는 92. 2. 14부터 3. 20까지 5주간 구미 공단의 농도 변화이다. 2. 25의 3차례 100 ppb 초과 농도 상승은 각기 15, 16, 17시에 연이어 발생하여 정상인 듯 보이나 그림 10(b)에서 볼 수 있는 것과 같이 이날 1시에 전시간의 18 ppb에서 97 ppb로 급상승하였다 하락한 후에 재상승하였다는 점에서 미심쩍다. 그림 10(a)의 기간 동안 구미 공단에서는 이외에도 3월 8일 13시에 124 ppb까지 상승하였으나 역시 매우 특이하며, 3월 15일에는 5차례 100 ppb를 초과하여 상승하였으나 이날은 새벽 1시부터 7시까지 매우 높다. 뿐만 아니라 이들 대부분의 변화는 구미와 김천의 여타 측정소 측정치의 변화와 거의 무관하다.

그림 11은 본 연구에서 판정한 이상치를 제외한 1990년부터 1995년까지 6년간 서울, 수도권과 여타 지역의 월별 오존 1시간 환경기준 100 ppb 초과 시간 수이다. 그림 10(a)의 구미 공단 변화 역시 이상

3) 그림 10(a)는 1992년이 윤년임에도 2. 29 측정치가 미어 있는데, 이와 같은 현상은 모든 측정소 측정치에서 동일하며, 심지어 1996년도 동일하다

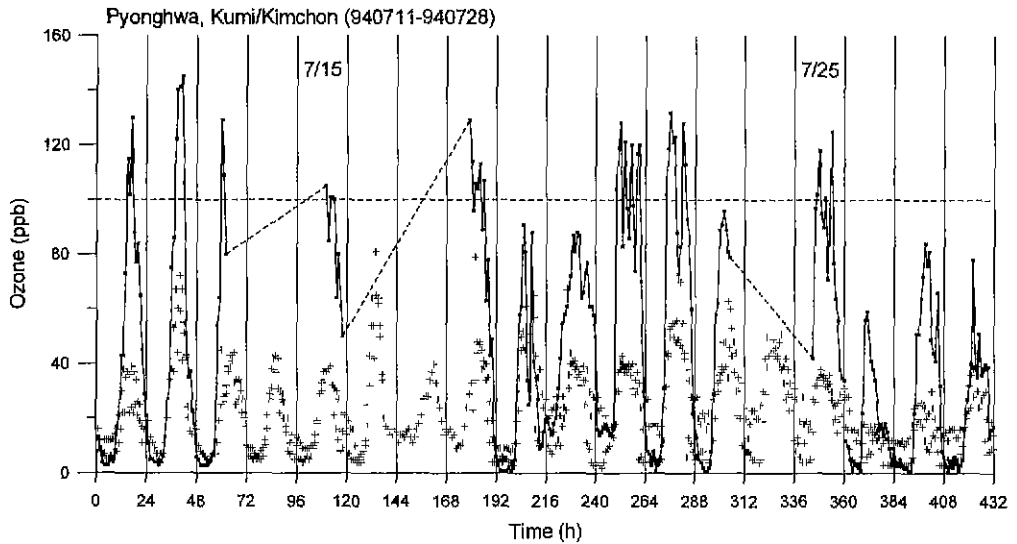


Fig. 12. Fluctuations in diurnal variations observed at Pyonghwa, Kimchon in the middle of July 1994. In the meantime, ozone concentrations frequently exceeded 100 ppb. Crosshairs in the background indicate measurements from other stations in the area of Kumi and Kimchon.

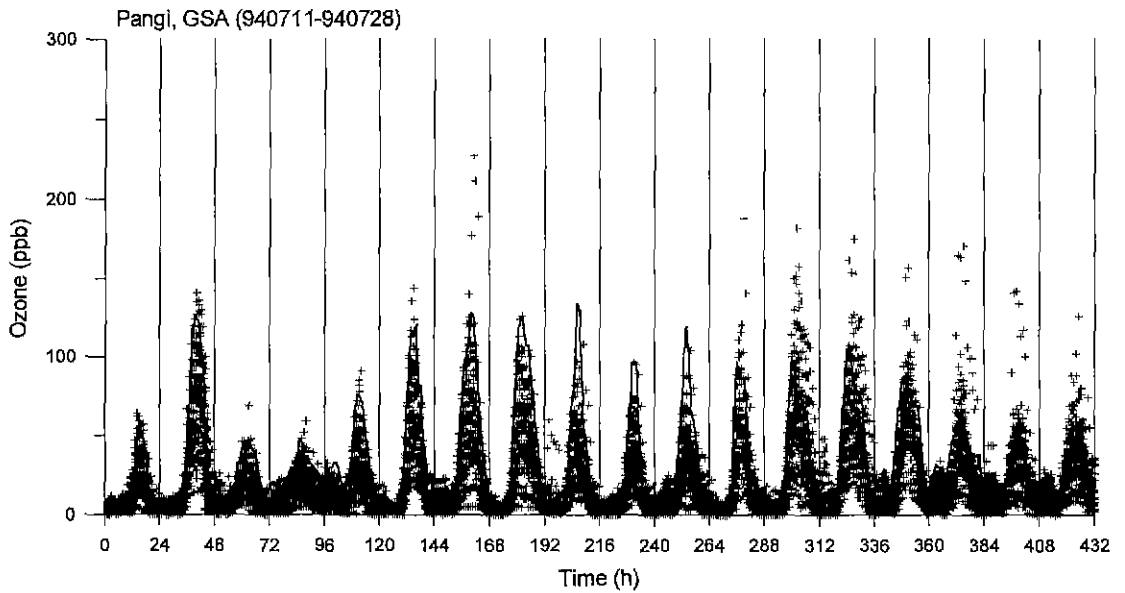


Fig. 13. Ozone concentration variations at Pangj, Seoul in the middle of July 1994. Ozone concentrations frequently exceed 100 ppb, but generally show normal behaviors. Crosshairs in the background indicate measurements from other stations in GSA.

치로 판정하여 제외하였으며, 이에 따라 1.2월과 11월의 100ppb 초과 시간 수가 모두 삭제되었다. 특히

94년 7월 기타 지역의 100 ppb 초과 시간수가 현저하게 감소하였는데, 주로 94. 7. 15부터 25까지 11일

간 김천 평화에서 기록된 37건의 100 ppb를 초과한 농도 상승을 이상치로 판정한 때문이다.

그림 12는 94. 7. 11부터 28까지 18일간 김천 평화의 농도 측정 결과이다. 15일부터 25일까지 측정 기록을 이상치로 판정한 것은 ① 측정기간 동안 3차례 하루 이상 측정 중단이 있었고 측정 중단과 재개가 반복되는 가운데 하루 중 농도 변화가 너무 빈번하였으며, ② 이들 변화가 주변의 측정치 변화 범위 바깥에서 이루어졌고, ③ 그림 1의 결과가 94년 7월 전국에서 100 ppb 초과 243회, 1990년부터 1995년까지 6년간 서울, 수도권을 제외한 기타 지역의 100 ppb 초과 157회를 보여주고 있는데 비하여 94년 7월 중 11일 동안 김천 평화 1곳에서 27건의 100 ppb 초과는 정상으로 보기에 너무 많다고 판단하였기 때문이다.

결국 서울, 수도권 지역에서는 100 ppb 초과 1,099건 중 5건이 이상치로 판정된 반면, 기타 지역에서는 157건 중 32%인 50건이 이상치로 판정되었다. 그림 13은 비교를 위하여 당초 자료에서 94년 7월 100 ppb 초과 건수가 25건을 기록하여 김천 평화 다음으로 많았던 서울 방이의 같은 기간 측정 기록을 보여준 것이다. 변화 양상이 무난하고 특히 농도가 100 ppb 이상 상승하였을 때 일변화가 매끈한데, 강우 등 돌발적인 기상 변화가 없는 상태에서 대부분 국지 배출의 광화학 반응에 의하여 오존이 생성되고 소멸되며 전형적 일변화가 반복되었기 때문으로 해석된다(오현선, 김영성, 1999).

5. 결 론

전국 대기오염 측정소 오존 측정의 이상치를 가려내기 위하여 1990년부터 1995년까지 6년간 1시간 평균 오존 농도 측정 결과를 점검하였다. 앞 시간에 비하여 75 ppb 이상 농도가 변한 160개 사례를 날짜별로 정리하여 125개 사례에 대하여 최소한 72시간, 길게는 2달간의 농도 변화를 개별 플롯에 의하여 인근 측정소 측정 결과와 함께 분석하였다. 조사 대상 사례의 64%인 80개 사례가 이상치를 포함하고 있는 것으로 판단되었으며, 이상치 유형으로는 급격한 상승 또는 하락, 측정 계개 초기의 이상 변화, 기준선의 변화, 빈번한 하루 중 변화들이 관찰되었다.

5월부터 9월까지 오존 시즌 외에 오존 농도가 100 ppb를 초과한 경우에 대하여서도 조사하였으나 앞의 조사와 중복되거나 앞의 조사의 연장선상에서 검출될 수 있는 이외의 이상치를 발견하지는 못하였다. 그러나 앞의 조사에 의한 이상치 판정으로 인하여 서울, 수도권 이외 지역에서 100 ppb를 초과한 시간수는 157건에서 107건으로 32% 감소하였고, 특히 기존에 관찰되었던 1, 2월과 11월의 100 ppb 초과 농도 상승은 모두 이상치로 판단되었다.

가장 판정이 어려웠던 경우는 하루 중에서도 농도가 매우 빈번하게 변하며 고농도를 기록한 사례들이었다. 오존 농도가 광화학 반응에 의하여 상승할 때에는 복잡한 대기화학 반응에 소요되는 시간으로 인하여 2~3시간 후에 반응결과가 나타날 만큼 급격한 변화가 어려운 것이 보통이다. 그러나 복잡한 대류권 오존 변화에서 제3의 원인을 완전히 배제할 수 없었기 때문에, 일변화가 아주 이상하지 않은 한 주변 측정소 측정 결과의 변화 범위 내에 들면 정상으로 판정하였다. 그림에도 이와 같은 판정 기준으로 인하여 94. 7 김천 평화의 100 ppb 초과 농도 27건이 이상으로 처리되었고, 단일 사례로써 우리나라, 특히 서울, 수도권 외 기타 지역의 고농도 발생 분포에 가장 큰 변화를 초래하기도 하였다.

본 연구의 이상치 판정은 다음의 두 가지 큰 제약점을 지니고 있다. 첫째, 앞 시간에 비하여 75 ppb 이상이라는 임의의 기준으로 조사 대상 사례를 선정하였다. 이와 같은 기준에 의한 사례 선택이 오존 시즌 이외의 100 ppb 초과 시간을 토대로 한 사례 선택보다 이상치 판정에 효과적임은 판명되었으나 75 ppb라는 임의의 기준으로써 전체 이상치의 얼마만한 부분이 검출되었는가는 별개의 문제이다. 둘째, 빈번한 하루 중 변화 사례의 이상치 판정에서 볼 수 있는 것과 같이 자의적 판정이 가능할 수 있다. 극단의 경우 급격한 상승이나 하락 등 분명한 이상치만을 가려낼 수도 있었으나 일면 문제를 제기한다는 측면에서 가능한대로 복수의 기준을 마련하고 이에 따라 판정하고자 노력하였다. 따라서 논문에서 제시한 판정의 예도 하나의 시도로써 이해되어야 할 것이며, 이상치에 대한 보다 명확한 기준 설정과 함께 많은 예시가 이루어질 수 있도록 연구가 필요하다.

감사의 글

무엇보다도 측정 자료를 제공하여 주신 환경부와 우리나라 측정을 책임지고 계신 관계자 여러분께 감사드립니다. 서론에서도 언급하였지만 우리나라의 대기오염 측정은 미국 등 극소수 국가를 제외하고는 충분히 세계적 수준이고, 역설적이지만 이와 같은 바탕이 있기에 본 논문과 같은 이상치 점검이 가능하였습니다. 본 논문은 마지막 1~2%를 위한 제안으로 받아들여지기를 바랍니다. 본 연구는 한국과학기술연구원 자체 지원 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

김영성 (1996) 1991~1993년 사이 우리나라의 오존 농도 변화. 한국대기보전학회지, 12, 55-66.

김영성 (1997) 1990~1995 서울·수도권 지역의 광화학 오염현상, 한국대기보전학회지, 13, 41-49

김영성 (1998) 1995~1997 우리나라 오존 농도 변화, 미발표 자료

김영성, 오현선 (1998) 1990~1997 기간 중 서울·수도권 지역의 고농도 오존 사례 연구. 한국대기환경학회지, 심사 중.

오현선, 김영성 (1999) 서울·수도권 지역 고농도 오존 사례의 지상 및 종관 기상 특성, 한국대기환경학회지, 심사 중.

환경부 (1998) 2000년대 대기오염측정망 기본계획 (안).

Nelson, A.C., Jr., D.W. Armentrout and T.R. Johnson (1980) Validation of Air Monitoring Data, EPA-600/4-80-030, PEDCo Environmental, Inc., Durham, NC

U.S. Environmental Protection Agency (1977) Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: Volume II. Ambient Air Specific Methods, EPA/600/4-77/027a, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC.

U.S. Environmental Protection Agency (1984) Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems: Volume I. Principles, EPA/600/9-76-005, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC

WHO and UNEP (1994) *Urban Air Pollution in Megacities of the World*, World Health Organization, United Nations Environment Programme, Blackwell, Oxford (Edited excerpts from the report can be found in Air pollution in the world's megacities, Environment, 36, 4-13, 25-37, 1994).