

통계 기법을 이용한 부산지방의 단기 오존 농도 예측모델 개발

박종길 김지형*

인제대학교 환경시스템학부

1. 서론

도시 대기오염의 주역은 오존(Oxidants)으로 알려져 있으며 이를 형성하게 하는 mechanism 또한 잘 알려져 있다. 광화학 반응 물질의 하나이며 발전소나 소각로와 같은 고정오염원이나 자동차와 같은 이동오염원에 의해 많이 배출되는 이산화질소(NO_2) 역시 도시 대기오염을 일으키는 주요 오염물질이다. 이러한 오염물질의 제어는 도시 대기오염을 개선할 수 있는 좋은 지표가 될 수 있다.

Watson *et al.*(1988)은 오존에 의한 광화학적 두께가 25% 증가한다면 대략 0.2W/m^2 의 온실효과가 나타나게 될 것이라고 주장하였다.

도시나 전원지역의 대기 중 오존 농도는 가끔 NO_2 의 광해리에 의해서 생성될 때 보다 더 높은 경우가 있다. 이것은 O_3 을 소모하지 않고 NO 가 NO_2 로 산화되기 때문이다. Sanchez *et al.*(1994)은 오전의 NO_2 의 증가가 오존의 생성에 영향을 미친다고 하였다.

오존에 대한 경험적 통계학적 모델은 1970년대 초기 이후로 사용되어져 왔으며 가끔은 시계열 분석이라고 불렸으나 Statistics Model은 간략함과 비용상의 효과, 확실성 때문에 종종 사용되어 졌다(Da-Wei Lin, 1997).

박종길(1993)은 부산지방의 대기오염에 미치는 기상인자에 관하여 연구하였으며 김유근(1996)등은 고농도 오존일의 예측을 중심으로 부산 연안역에서의 대기오염기상 예보시스템에 관한 연구를 하였고 Ziomas *et al.*(1995)은 기상변수로부터 오염물 peak를 예보하였으며 Sanchez and Sanz(1994)은 도시지역에서의 광화학 산화의 작용을 판별분석을 이용하여 해석하였다. 그리고 Ludwing and Dabbert(1976)은 도시에 적용되는 두 가지 실제 대기 안정도 계급의 비교를 통해 기상인자를 지수화 하였다.

우리 나라에서는 1997년 7월부터는 특별시 및 모든 광역시에서 한시간의 오존농도가 120ppb이상일 때 오존 경보제를 발령하게 된다. 하지만 오존 경보제는 농도가 초과되었을 때 발령되므로 적극적인 오존의 피해를 예방할 수 없으므로 오존경보 발령 가능성을 하루전에 미리 예측할 수 있는 단기 오존 농도 예측모델을 개발하여 고농도 오존에 의한 피해를 예방하여야 한다.

2. 분석지역 및 자료

본 연구는 해안에 인접해 있는 부산 광복동지점의 대기오염농도 자료 중에서 오존

(O₃)과 이산화질소(NO₂)의 자료를 사용하였으며 1994년에서 1995년까지의 자료를 이용하여 오존 예보식을 산출하였고 1996년 자료를 이용하여 예보식을 검증하였다.

광복동 지점의 오존과 이산화질소의 결측률을 보면 오존의 경우 1996년이 50일(13.57%)로 가장 많은 결측을 보였고 다음은 1995년 1994년 순이다.

월별로 보면 8월이 가장 많은 결측을 보였으나 이는 1995년 8월에 한달중 27일이 결측되었기 때문이다. 다음으로는 7월과 12월이 16.13%이다.

기상 자료는 1994년에서 1996년까지의 부산지방 기상청의 시간별 기상자료중 온도와 풍향, 풍속, 습도, 운량 그리고 강수량의 자료를 사용하여 오존(O₃)에 영향을 미치는 기상 변수를 사용하고 일부 변수는 변조하여 대기오염농도를 예측하는 통계식을 산출하였다..

3. 결과 및 고찰

3-1. Ozone season 선정

광복동 지점의 ozone season을 선정하기 위해 anomaly level을 이용하였다.

anomaly level은 각 기간의 오존 연평균의 평균(M)과 표준편차(SD)를 가지고 오존 농도의 구간을 EA, A, UN, N, LN, S, ES로 분류하였다.

광복동 지점을 분류한 결과 4월에서 10월 사이에 N값 이상을 나타낸 날이 많았으며 6월에서 9월 사이에 EA값이 많이 나타났다.

N값 이상이 많이 나타난 4월에서 10월 사이를 ozone season이라 정한다.

3-2 Episode period 선정

O₃의 환경기준을 보면 우리나라의 경우는 1시간 평균 100 ppb(연중 3회 이상 초과해서는 안됨)이고 8시간 평균 60 ppb이며 WHO의 기준은 80 ppb이다.

오존 농도가 60ppb를 초과하는 날을 episode day로 선정하고 episode period는 episode day와 episode day의 전,후 3일로 정하였다. 연속적으로 60ppb를 초과할 경우 그 중 가장 높은 농도를 나타낸 날을 episode day로 선정하였다.

3-3 변수의 선택

(1) 기온

오존의 연변화를 보면 기온이 높은 하계에 고농도를 나타내고 기온이 낮은 동계에 낮은 온도를 나타내는 것을 볼 수 있으며 일변화의 경우는 대체적으로 기온이 낮은 오전보다는 오후에 오존 농도가 높음을 알 수 있다.

본 연구에서는 일중 오존 농도가 높게 나타나는 15시의 온도를 사용하였다.

(2) 습도, 풍속

오존 농도의 예측을 위하여 일중 최저 습도와 15시 풍속을 이용하였다.

(3) 일사 지수

Turner(1964)는 풍속과 운량에 의해 추정되는 surface heating으로부터 대기 안정도를 분류하여 사용하였다. 일사지수는 운량을 이용하여 일사량의 값을 대변하게 됨으로서 사용되는 변수의 수를 줄일 수 있다(Ludwig et al. 1976).

(4) 강우지수

강수에 의한 washout 현상은 대기중의 입자상 오염물질과 가스상 오염물질을 제거하는 가장 효과적인 과정이나 대기오염물질의 희석과 강수량과의 관계를 정확히 규명한 충분한 연구가 없을 뿐아니라, 강수량을 정량화하여 정확히 예보하는 것이 매우 어려운 일이므로 강수량을 지수화하여 나타내었다.

(5) 풍향지수

대기오염물의 분산과 수평적인 수송을 결정하는 기본적인 기상학적 변수는 평균 풍속과 풍향이며 하부 대기경계층내의 오염물의 수직확산에 기여하는 요소는 난류이다(Ziomas et al., 1995). 여기에 mesoscale의 산곡풍이나 해륙풍과 같은 국지풍이 가세할 경우 대기오염물질의 농도 pattern은 달라진다.

Ziomas et al.(1995)은 해안지방에 위치한 그리스 아테네 도시의 최대 NO₃ 농도가 해풍이 불고 있는 상황에서 SW의 해풍이 불 경우에 나타난다고 지적하였듯이 일최고 NO₂의 농도는 그 지역의 주풍의 함수로 나타나며, 풍향을 각으로 나타낼 경우 0°에서 360°까지 선형적으로 변하지만 360°에서 불연속을 이루므로 풍향각을 사용하는 대신에 식(1)과 같이 지수화하였다.

$$WDI = 1 + \sin(\psi + \pi/2) \quad (1)$$

여기서 ψ 는 풍향이며 라디안 값으로 나타낸다(Ziomas et al.,1995).

(6) 교통지수

NO₂의 농도는 교통량이 증가하는 rush hour에 높게 나타남을 알 수 있다. 그러나 교통량 자체를 변수에 넣는 것은 상당한 무리가 따름으로 교통지수를 이용하여 간단하게 나타낼 수 있다.

이 지수는 각 날의 배출량에 일주일의 평균 배출량을 이용하여 나타내었다.

3-5 오존 농도와 선택된 기상인자간의 상관관계

위에서 선택되고 변조된 기상인자(기온, 습도, 풍속, 풍향지수, 일사지수, 강우지수, 그리고 교통지수)와 전날의 오존과 이산화 질소의 농도와 오존농도와의 상관관계를 분석한 결과 오존은 전날의 오존 농도와 0.658로 높은 상관을 보였으며 다음으로는 전날의 이산화 질소와 0.24의 상관을 보였다.

3-6 오존 예보식의 산출

위에서 선택된 일최고 온도와 15시 풍속과 최저 습도 그리고 변조 기상 변수인 일사지수 강우지수 풍향지수 그리고 교통지수와 전날의 오존의 농도와 전날의 이산화 질소

농도를 stepwise방식을 이용하여 변수를 선택한 결과 전날의 오존 농도와 최저습도 그리고 풍향 지수가 선정되었으며 이를 이용하여 오존 season 동안의 데이터를 이용하여 오존 예보식을 회귀분석을 이용하여 산출하였으며 그 회귀식은 식 (2)와 같다.

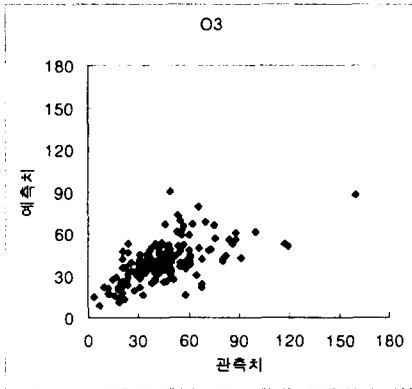
$$FO_3 = 19.87+0.66PO_3-1.38WD-0.13MH \quad (2)$$

여기서 FO_3 는 오존 예보치이며 PO_3 는 전날의 오존농도, WD 는 풍향지수 그리고 MH 는 일최저습도이다.

이 회귀식에서 산출된 예보치와 실제 관측치를 비교한 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

Fig. 1에서 볼 수 있듯이 저농도에서는 정확한 예측을 보이나 고농도에서는 과소 평가하는 경향이 나타났다.

Fig. 3 예보치와 관측치간의 산포도



3-8 예보식의 검증

예보식의 정확성을 알아보기 위해 Index of Agreement를 사용하여 통계적 검증을 하였으며 식(3)에 나타내었다.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P'_i| + |O'_i|)^2} \quad (3)$$

여기서 d 는 Index of Agreement이고 P_i 와 O_i 는 예보값과 관측값이며 $P'_i = P_i - \bar{O}$ 이며 $O'_i = O_i - \bar{O}$ 이다. d 값이 1에 가까우면 의미가 있으며 0에 가까우면 의미가 없는 것이다.

episode period에서의 예보식의 d 값은 0.99로 매우 높게 나타났다.

4. 결론

분석기간중의 부산 광복동 지점의 오존 농도는 약간씩 증가하는 것을 볼 수 있었으며 월별 분포를 보면 4월에서 6월 그리고 9월에서 10월 사이에 높은 농도를 나타내었으며 7, 8월에는 낮은 농도를 보였는데 이는 이 기간이 장마철에 속하여 강우에 의한 오염물의 washout 현상이라 생각된다.

오존의 일변화를 보면 15시를 전후하여 최고 농도를 나타냈으며, 19시를 지나면서 농도는 감소하고 다시 새벽 2시에서 5시 사이에 오존 농도가 증가함을 볼 수 있으며 이 오존농도는 7시와 9시 사이에 급격히 감소한다.

1994년과 1995년 데이터를 이용하여 오존 예보식을 산출한 후 여기서 산출된 예보식으로 1996년의 오존 농도를 예보한 결과와 실제 관측된 오존값을 비교한 결과 저농도에서는 오존 농도를 다소 과대평가 하였으며 고농도 오존 발생일의 경우는 오존 농도를 과소 예측하였다. 그러나 Index of Agreement의 경우는 0.99로 이 예측이 매우 유의함을 볼 수 있다.

5. 참고문헌

기상월보, 기상청, (1994-1996)

김유근, 이화운, 전병일, 홍정혜, 문윤섭, 1996, 부산연안역에서의 대기오염기상 예보시스템 개발에 관한 연구, 한국환경과학회지, 5(4), 399-410.

Da-Wei Lin (1997) An Ozone Prediction Model for Broward County, Florida, Based on Time-Series Regression Analysis, University of Florida.

F. L. Ludwig and Walter F. Dabberdt (1976) Comparison of Two Practical Atmospheric Stability Classification Schemes in an Urban Application Journal of Applied Meteorology, 15.

Ludwig, F. L. and W. F. Dabberdt, (1976) Comparison of Two Practical Atmospheric Stability Classification Schemes in an Urban Application J. appl. Met., 15, 1172-1176.

M. L. Sanchez and J. Sanz (1994) Application of Discriminant Analysis to Interpret the Behaviour of Photochemical Oxidants in an Urban Area Atmos. Environ., 28.

Sanchez, M. L. and J. Sanz, 1994, Application of discriminant analysis to interpret the behavior of photochemical oxidants in an urban area, Atmos. Environ., 28(6), 1147-1157.

Ziomas, I. C., Melas, D., Zerefos, C. S., Bais, A. F. and A. G. Paliatsos, (1995) Forecasting peak pollutant levels from meteorological variances, Atmos. Environ., 29(24), 3703-3711.