

Texas Climatological Model에 의한 短期 大氣汚染濃度 發生頻度の 推定

Estimation of Occurrence Frequency of Short Term Air Pollution Concentration
Using Texas Climatological Model

李 鍾 範*

Chong-Bum Lee

ABSTRACT

To estimate the probability of short term concentration of air pollution using long term arithmetic average concentration, the procedure was developed and added to Texas Climatological Model version 2. In the procedure, such statistical characteristics that frequency distribution of short term concentration may be approximated by a lognormal distribution, were applied.

This procedure is capable of estimating not only highest concentration for a variety of averaging times but also concentrations for arbitrary occurrence frequency.

Evaluation of the procedure with the results of short term concentrations calculated by Texas Episodic Model version 8 using the meteorological data and emission data in Seoul shows that the procedure estimates concentrations fairly well for wide range of percentiles.

1. 서 론

장래의 인간활동 변화에 따른 대기오염 농도의 예측은 대기오염을 관리함에 있어서 필연적으로 요구된다. 특히 장래의 산업활동에 따른 영향을 미리 예측하여 적절한 대책을 수립하기 위한 환경영향평가를 시행함에 있어서 장래의 대기오염 농도를 예측할 필요가 있으며, 이를 위하여 장기간에 걸친 평균농도를 산출할 수 있는 대기오염 확산모델이 흔히 이용된다.

한편, 대기오염물질에 관한 우리나라의 환경기준을 보면 장기간(1년)의 평균농도 이외에도 단

기간(물질에 따라서 1시간~24시간)의 고농도 발생이 연간 3회 이하 이어야 하는 농도의 상한값도 규정되어 있다. 그러므로 환경영향평가를 실시할 경우 단순히 장기간에 걸친 평균농도가 환경기준치를 만족하는가 하는 것 이외에 단기간의 농도중 고농도측으로부터 3번째 농도값이 환경기준치를 만족하는가 하는 것도 평가항목에 포함되어야 하며 대기오염 확산모델도 장기간의 평균농도 이외에 단기간의 농도의 발생빈도를 예측할 수 있는 방법을 포함할 필요가 있다.

여러가지 대기오염 확산모델중 K-theory에 의한 수치시뮬레이션 모델은 이론적으로는 여러가

* 江原大學校 環境學科 (Dept. of Environmental Science, Kangweon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

지 장점을 가지고 있으나 특별한 측정을 하여 얻어야 하는 입력자료를 필요로 하며 또한 전자계산기의 계산시간이 길다. 따라서 실용적으로 사용되기에는 앞으로 많은 시일이 걸릴 것으로 보이며 당분간은 Gaussian 형태의 확산식을 이용하는 모델이 유용하다고 생각된다.

본 연구에서는 Gaussian 확산식을 이용하여 장기간의 평균농도를 계산하는 모델로서 UNAMAP (User's Network for Applied Modeling of Air pollution)의 version 5에 포함된 Texas Climatological Model version 2 (TCM2)를 선정하고 이를 보완하여 단기간의 농도중 고농도측으로부터 임의번째 농도값(이하 n번째 고농도로 표기함, n은 임의의 정수)을 산출하도록 개선하였으며 단기모델인 Texas Episodic Model version 8 (TEM8)에 의한 단기간의 농도결과로서 이 방법을 평가하였다.

2. 단기간 대기오염농도의 임의번째 고농도값 산출방법

장기간에 걸친 단기간별 대기오염농도의 농도구간별 발생빈도는 대체로 그림 1과 같은 lognormal 분포를 나타낸다는 것이 알려져 있다.¹⁾

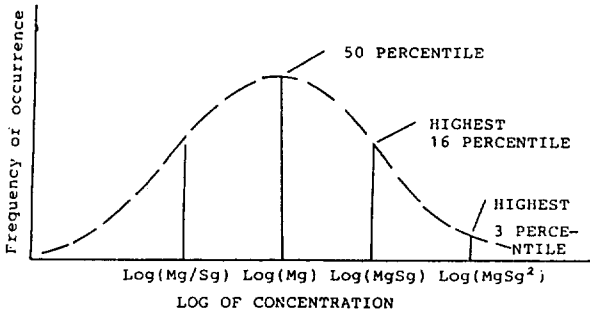


Fig.1 Lognormal distribution.

1) 확률 함수

어떤 장기간의 시간 N (예 : 1년 = 8760 시간) 동안에 단시간 간격 T (예 : 1 시간, 3 시간, 24 시간 등) 별 농도에 대하여 n번째 고농도 Cn의 발생확률 P는

$$P = \frac{n}{N/T} \quad (1)$$

이다.

한편 대기오염농도의 발생빈도가 lognormal 분포를 나타낼 경우에 대기오염농도값 Cn 보다 높은 농도가 발생할 확률 P는

$$P = \frac{1}{2\pi} \int_z^{\infty} \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] dx \quad (2)$$

이다. 여기에서

$$Z = \frac{\ln(Cn) - \ln(Mg)}{\ln(Sg)} \quad (3)$$

또는

$$Cn = Mg Sg^Z \quad (4)$$

이며 Mg는 장기간에 걸친 단기간별 대기오염농도의 기하평균, Sg는 기하표준편차이다.

2) 기하표준편차 및 기하평균

어떤 단시간 간격 T'에 대한 기하표준편차 Sg'를 알고 있을때 임의의 단시간 간격 T에 대한 기하표준편차 Sg는

$$Sg = (Sg')^k \quad (5)$$

이며 여기에서 k는

$$k = \left[\frac{\ln(N/T)}{\ln(N/T')} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

이다.

또한 Sg와 산술평균농도 Ma를 알고 있을때 기하평균 Mg는

$$Mg = Ma Sg^{-\frac{1}{2} \ln(Sg)} \quad (7)$$

이다.

3) 계산 과정

계산 과정을 요약하면 다음과 같다.

1. 어떤 단시간의 평균화시간 T'인 농도의 측정치로부터 기하표준편차를 구하고 (5)식과 (6)식에 의하여 원하는 단시간의 평균화시간 T에 대한 기하표준편차를 구한다.

2. 원하는 receptor에서의 장기간의 산술평균농도를 TCM2에 의하여 구한다.

3. 산술평균농도와 기하표준편차로부터 (7)식

에 의하여 기하평균을 구한다.

4. n번째 고농도의 발생 확률 P를 (1)식에서 구한다.

5. 발생 확률에 대한 Z를 (2)식에서 구한다.

6. n번째 고농도값 C_n 을 (4)식에서 구한다.

이와 같은 계산과정을 subroutine화하여 TCM2에 추가하였다.

3. 임의번째 고농도 산출방법 평가

앞에서 기술한 방법을 평가하기 위하여 이 방법을 추가한 개선된 TCM2에 의한 고농도의 추정 결과와 TEM8에 의하여 장기간에 걸쳐서 3시간별 오염농도를 계산하여 얻은 발생 확률을 서로 비교하였다. 여기에서 단기모델로서 TEM8을 택한것은 TCM2와 TEM8은 대상으로 하는 적용기간은 장기와 단기로서 다르지만 Gaussian 확산식, 유효굴뚝고도, 확산폭 계산방법등이 매우 유사하기 때문이다. TCM2 및 TEM8의 실행에 필요한 입력자료는 서울특별시에 대한 자료를 이용하였으며 배출원의 분포는 계산상의 편의를 위하여 단순화하였다.

적용한 기간은 1985년 12월, 1986년 1월과 2월의 90일간(N=2160시간)이며 단기간의 평균화시간 T'는 3시간으로 하였다.

1) 입력 자료

배출량 자료 : 서울의 1년간 먼원과 점원의 총 SO₂ 배출량은 이 덕길등²⁾에 의하면 145800 ton이며 동계 3개월간에 이중 50퍼센트가 배출된다고 가정하면 9375 g/sec가 된다. 이 배출량을 가로, 세로, 각각 28 km인 평면에 격자간격이 2 km 되도록 225개의 점원을 배치하고 각 점원에서의 배출량을 균등하게 42 g/sec씩으로 하여 TCM2의 배출량자료로 입력하였다.

TEM8의 경우 3시간별로 농도를 계산하기 위하여는 3시간별 배출량이 필요하다. 실제에 있어서 배출량은 일변화가 있을 것이나 조사된 자료가 없으므로 본 연구에서는 배출량의 일변화를 단순화하여 주간과 야간의 배출량은 야간의 2배가 되는 것으로 가정하여 결국 각 점원에서의 배출량을 주간에는 56 g/sec씩으로 하고 야간에는 28 g/sec씩으로 하여 TEM8에 입력하였다. 또한 TCM2와

TEM8의 225개 점원에 대하여 굴뚝고도 50 m, 직경 1 m, 배출속도 2 m/sec, 배출온도 200°C로 입력하였다.

Pasquill 안정도계급과 Joint frequency function : Pasquill 안정도계급은 서울시의 3시간별 풍속과 운량자료로부터 A,B,C,D,E,F의 6계급으로 구분하였으며 D계급은 주간(DD)과 야간(DN)으로 나누어 총 7계급으로 세분하여 TEM8에 입력하였다. 단 TCM2의 경우는 E계급과 F계급을 합하여 총 6계급으로 나누었다.

TCM2에 필요한 Joint frequency function (JFF)는 Pasquill 안정도계급과 풍향 및 풍속으로부터 작성하였다.

혼합층고도 : TEM8을 실행시키기 위하여 3시간별 혼합층고도가 필요하나 상층기상 관측은 서울에서 60 km 남쪽에 위치한 오산에서 1일 2회(9시와 21시) 측정할 뿐이다. 따라서 본 논문에서는 오산의 9시의 자료로 다음과 같이 서울의 3시간별 혼합층고도를 구하였다. 우선 오산의 9시 기온 수직분포 자료와 서울시의 6시 기온에 5°C를 더한 기온과 15시의 기온으로 Holzworth 법³⁾에 의하여 매일의 6시와 15시의 혼합층고도를 구한다. 그리고 9시와 12시의 혼합층고도는 그림 2와 같이 내삽에 의하여 구한다. 혼합층고도

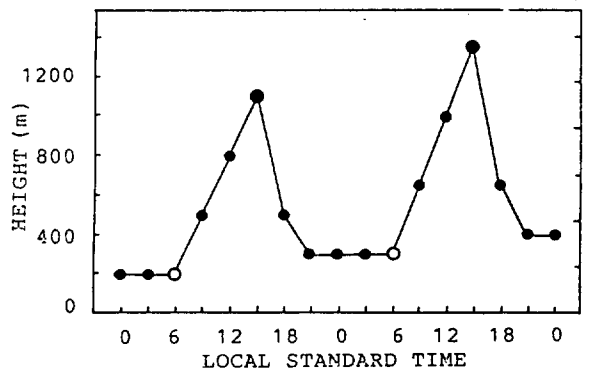


Fig.2 Mixing height (3hourly) determination from maximum(●) and minimum(○) mixing heights.

의 상승과 하강의 일변화를 보면 일반적으로 하강속도가 상승속도보다 크므로 18시의 혼합층고도는 9시의 혼합층고도와 같은 값으로 한다. 그후 야간의 21시, 24시와 다음날 3시는 다음날 6시와 같

은 고도로 간주하였다. 단 6시의 혼합층고도가 200 m 이하인 경우는 대도시에서의 야간경계층 고도를 고려하여 200 m로 간주하고 또한 6시의 혼합층고도가 15시의 혼합층 고도보다 높은 날은 15시의 혼합층고도로 하였다.

2) 계산 결과

농도의 계산은 225개 격자점중 중앙 1지점의 receptor에서의 계산농도만을 취하여 다음과 같이 분석하였다.

TEM8에 의하여 3시간별로 총 90일간 계산한 720개의 SO₂ 농도의 산술평균치는 253.6 μg/m³, 최고치는 1577.4 μg/m³이며 기하평균치는 201.7 μg/m³, 기하표준편차는 1.923 μg/m³이었다. 3시간별 계산농도값에 자연대수를 취하여 16개의 구간으로 나눈 후 농도구간별 발생빈도를 구한 결과는 그림 3과 같으며 Skewness는 0.36, Kurtosis는 2.99으로서 발생빈도는 대체로 log-normal 분포를 나타내고 있다.

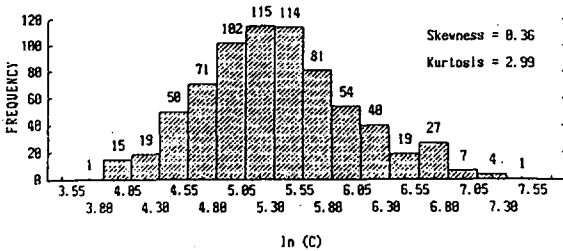


Fig.3 Frequency distribution of natural log of 3 hourly concentrations (μg/m³) calculated by TEM8.

개선된 TCM2에 의하여 n번째 고농도를 산출하기 위하여서는 장기간(90일간)동안의 단시간의 평균화시간 T'(3시간)인 농도의 기하표준편차가 필요하며 이 값을 TEM8에 의하여 계산된 3시간별 농도 결과로부터 얻은 1.923 μg/m³을 입력하였다. 개선된 TCM2에 의한 90일간의 SO₂의 평균농도는 288.3 μg/m³이며 TEM8의 평균농도 253.6 μg/m³와 같아지도록 보정하였다. 개선된 TCM2로서 표 1에 보인 바와 같은 n 값을 입력하여 n번째 고농도를 구하였으며 TEM8에 의하여 계산된 720개의 3시간별 농도의 n번째 고농도값과 비교하였다.(그림 4)

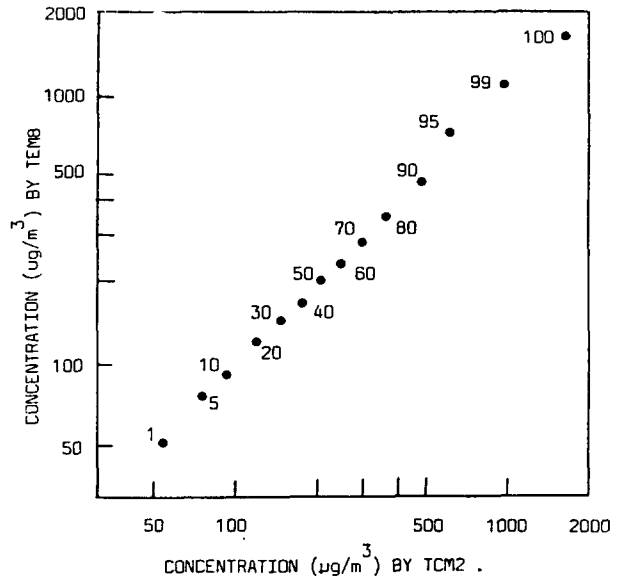


Fig.4 Comparison between concentrations calculated by TCM2 and TCM8. Numerics indicate percentiles.

Table 1과 Fig.4에서 보는 바와 같이 개선된 TCM2에 의하여 추정된 n번째 고농도 값은 Table 1. Comparison between n th highest short term concentrations calculated by TCM2 and TEM8.

n	Percentile	Concentration(μg/m ³)	
		TCM2	TEM8
1	100	1607.2	1577.4
7	99	946.8	1052.2
36	95	601.4	711.6
72	90	473.8	459.9
144	80	355.0	338.9
216	70	288.3	270.0
288	60	241.3	227.3
360	50	204.5	194.3
432	40	173.3	162.8
504	30	145.4	140.7
576	20	118.7	117.0
648	10	90.6	89.8
684	5	73.7	74.5
713	1	53.6	50.5

M8에 의하여 구한값과 대체로 일치하므로 개선된 TCM2에 의하여 장기간의 평균농도 뿐 아니라 임의의 단시간의 평균화시간 농도의 임의번째 고농도값의 추정도 가능하다고 할 수 있다. 단 이상에서는 TEM8에 의하여 계산된 단시간 농도와 비교하였으나 앞으로 실측 농도자료에 의한 평가를 할 필요가 있다고 생각된다.

개선된 TCM2에 의한 n번째 고농도 추정방법은 단시간평균화시간의 대기오염농도의 발생빈도가 일반적으로 lognormal 분포를 한다는 가정을 근거로 하므로 추정오차가 작기 위하여서는 실제 대기오염농도의 발생빈도분포가 lognormal에 가까워야 한다. 또한 입력자료로서 대상지역의 대상계절(또는 년간)의 실측농도의 기하표준편차가 필요하다. 이 기하표준편차는 주로 확산조건에 관여하는 기상상태의 발생빈도에 의하여 이러한 기상상태는 대상지역의 기후적인 특징으로서 과거 또는 미래에도 크게 변화하지 않는다고 할 수 있다. 그러므로 농도의 기하표준편차를 기존의 농도자료로서 구해두면 환경영향평가의 경우와 같이 장래에 오염물질배출량이 변할 경우에도 이용할 수 있다. 우리나라의 환경기준에 의하면 SO₂의 년평균농도가 0.05ppm(약 130 μg/m³)이며 24시간 평균농도가 년 평균농도의 3배에 해당하는 0.15ppm(약 390 μg/m³)을 년 3회 이상 초과하지 않아야 한다고 규정되어 있다.

개선된 TCM2에 의한 동계 90일간의 평균 SO₂ 농도는 253.6 μg/m³이며 평균화시간을 24시간으로 한 경우의 3번째 고농도값을 산출하면 591.8 μg/m³으로서 이 값은 동계 3개월 중의 3번째 고농도 값이지만 SO₂는 대부분 겨울철에 고농도가 된다는 것을 고려하면 1년중의 3번째 고농도값과 같다고 보아도 무방할 것이다. 한편 년평균 SO₂ 농도는 동계 90일간의 평균농도 253.6 μg/m³에 비하여 현저히 낮을 것이므로 서울시의 경우 비록 년평균농도가 환경기준치 130 μg/m³을 만족한다고 할지라도 평균화 시간이 24시간인 3번째 고농도는 591.8 μg/m³로서 환경기준치 390 μg/m³을 훨씬 초과한다. 한편 13번째 고농도값은 389 μg/m³

으로서 고농도가 빈번히 발생한다고 생각되는 동계의 경우 SO₂의 24시간 평균농도가 0.15ppm을 초과하는 날은 13일이 된다. 따라서 오염농도의 환경기준 적합성 여부를 판단할 경우 년 평균치 뿐만 아니라 년 3회 발생하는 고농도값의 환경기준치 초과 여부를 검토해야 할 필요가 있다.

이와 같은 결과는 비록 서울시 뿐만 아니라 우리나라의 타지역도 해당되리라 생각되므로 환경영향평가시에는 해당지역의 년평균농도 이외에 년간 3회 발생하는 고농도값의 환경기준치 초과여부도 검토되어야 하며 이 경우에 본 논문에서 개선된 TCM2 모델이 활용될 수 있으리라 생각된다.

5. 결 론

장기 대기 확산모델인 TCM2를 개선하여 단시간의 농도의 고농도 순으로 임의번째의 농도를 산출할 수 있는 계산과정을 추가하였다. 이와같은 계산과정을 평가한 결과 만족한 결과를 얻었다. 개선된 TCM2 모델은 대기질관리, 환경영향평가 등에서 년(또는 계절) 평균농도 뿐만 아니라 단기간 고농도의 발생 빈도를 예측할 필요가 있는 경우 유용하다. (原稿接受 '88.10.10)

참 고 문 헌

- 1) Larsen, R. I., (1974), An air quality data analysis system for interrelating effect, standard, and needed source reduction, Part 2, J. Air Poll. control Assoc., 24, 511-558.
- 2) 이덕길외 9인(1987), 대기오염예측모델 개발에 관한 연구(11), 국립환경연구원, NIER NO. 87-03-199, 54~76.
- 3) Holzworth, G. C., (1964), Estimates of mean maximum mixing depths in the contiguous United State, Monthly Weather Review, 92, 235~242.