

# 도시형-TCM 개발에 관한 연구

## A Study on the Development of TCM Urban-Mode

장 영 기 · 조 경 두<sup>1)</sup>

수원대학교 공과대학 환경공학과

<sup>1)</sup> 서울대학교 환경계획학과 박사과정

(접수일자 1993. 2. 20)

Young-Kee Jang and Kyeong-Doo Cho<sup>1)</sup>

Dept. of Environmental Engineering, Suwon University

<sup>1)</sup>Dept. of Environmental Planning, Seoul National University

(Received 20 February 1993)

### Abstract

TCM has been used for many environmental impact assessments and many case studies in Korea. TCM was applied to urban areas and rolling terrains. But original TCM was developed for rural area, and this model could not reflect the characteristics of these study sites. This paper analyzed the characteristics of TCM, and modified the algorithm of area source, and modified the vertical wind speed profile exponents and diffusion parameter to make it applicable in urban area. In the process of modification, an important error in area source calculation of original TCM program was found. So that was corrected as follows.

Before modification

$$QC = 0.79788456 * (0.5 * GRID) ** BA / (U(IA, IRUN) * AA * BA) \quad \text{TCM09310}$$

After modification

$$QC = 0.79788456 * (500 * GRID) ** BA / (U(IA, IRUN) * AA * BA) \quad \text{modified}$$

Then original TCM and modified TCM -urban mode were compared, and it was found that predicted mean value by original TCM was 7 times higher than observed mean value. But mean value by modified TCM -urban mode was very similar to observed value.

### 1. 서 론

대기오염확산모형은 현재 및 미래의 오염물질 배출량이 대기질에 미치는 영향을 파악함으로써 대기오염관리에 없어서는 안 될 중요한 도구이다. 현재 대기오염 확산모형은 대상오염물질, 대상지역의 지형특성, 오염물의 종류에 따라 수십 종이 개발되어 있으며, 현재 국내에는 미국에서 개발되어 UNAMAP에 수록된 Gaussian 모형들이 널리 사용되고 있다

(김영성·손재익, 1988). 이들 모형이 국내에 적용된 사례를 살펴보면 옥치완 등(1980)에 의하여 CDMQC가, 권숙표 등(1980), 정용과 장재연(1986)에 의하여 Hanna-Gifford모형과 AQDM이, 김양균 등(1985)에 의하여 TCM, CDMQC, ISCLT가, 김신도와 김정욱(1986)에 의하여 TCM, CDMQC, ISCLT가 서울지역에 적용된 바 있다. 또한 여러 환경영향평가에도 이들 모형들이 많이 이용되어 왔다. 그러나 외국에서 개발된 이 모형들을 모형의 특성

과 제한사항을 고려하지 않고 국내지역에 그대로 적용하는 것은 많은 문제가 있다고 생각된다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 국립환경연구원은 1985년부터 서울지역에 대한 일련의 연구를 수행하였으며 여기에서 얻어진 확산계수를 TCM모형에 반영하여 지역적 확산특성을 반영하고자 한 바 있다(나진균 등, 1985, 1986; 이덕길 등, 1987). 이러한 노력들은 단순히 외국의 대기오염예측모형을 그대로 적용하는 것에서 대상지역의 지역적 특성을 반영하기 위한 노력으로 한걸음 나갔다고 할 수 있으나 아직 보완되어야 할 미비점들이 남아 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 UNAMAP모형 중 국내에서 환경영향평가와 사례연구 등에 가장 널리 이용되고 있는 TCM의 구조를 분석하여 특성과 제한사항을 검토하고, 이를 토대로 평탄한 지역에 적합한 이 모형을 수정, 보완하여 국내 도시지역 또는 비평탄지역에도 적용할 수 있는 도시형-TCM을 개발하고자 한다.

2. 자료 및 방법

본 연구에 사용된 기상자료는 기상청 서울측후소의 1985년 일기상통계자료(기상청, 1986)를 이용하여 장기모형에 적용할 수 있는 기상결합빈도함수를 작성하였고, SO<sub>2</sub> 실측농도는 서울시와 환경처에서 운영하고 있는 자동측정망에서 측정된 시간별 농도 측정자료(환경처, 1986)를 이용하여 결측치로 인한 오차를 줄이기 위해 하루 16시간 이상의 측정치를 기록한 날에 대하여 일평균치를 구한 후 월평균치를 계산하고 다시 월평균치로 연평균치를 계산하였다.

배출원자료 중 점오염원자료는 국립환경연구원에서 조사된 서울지역 1-3종 배출업소 377개의 자료(이덕길 등, 1987)를 이용하였고 면오염원은 서울지역을 TM 좌표에 의해 1×1km<sup>2</sup>의 640개 격자로 나누고 경제기획원의 1985년 인구 및 주택센서스 자료(경제기획원, 1987)를 이용하여 난방시설에 따른 격자별 가구수를 구하고 난방시설별 가구당 연료사용량을 서울특별시 통계연보 자료(서울특별시, 1986)에 의해 계산하여 배출계수(김양군 등, 1984)와 함께 격자별 가구수에 곱해줌으로써 격자별 배출량을 산정하였다. 또한 1-3종 이외의 점오염원에 의한 배출량은 면오염원의 배출량에 배분하여 면오염원에 포함시켰다. 이동오염원은 서울시내 643개 도로노선의 차종별 교통량과 배출계수를 이용하여 1×1km<sup>2</sup> 격자별 SO<sub>2</sub> 배출량을 산출하였다.

Table 1. SO<sub>2</sub> emissions in Seoul area (1985).

Source	Emission(ton/year)	Portion (%)
Point	23133.8	16.14
Area	115578.9	80.63
Line	4639.7	3.24
Total	143352.4	100.00

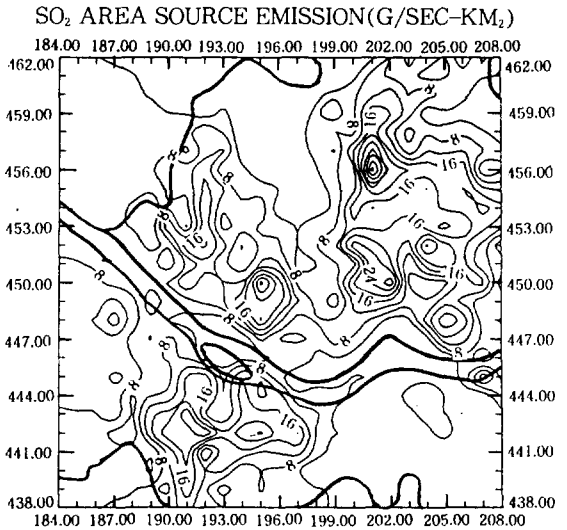


Fig. 1. Distribution of SO<sub>2</sub> emissions from area sources in Seoul(1985).

서울지역의 오염원별 SO<sub>2</sub> 배출현황은 표 1과 같으며 면오염원에 의한 SO<sub>2</sub> 배출량의 전체배출량에 대한 비율은 80.6%였다. 면오염원의 경우 점오염원보다 배출높이가 낮고 서울 전지역에 널리 분포되어 있는 점을 감안한다면 면오염원이 지상농도에 기여하는 정도는 이보다 더 높을 것으로 예상된다. 따라서 서울지역 대기오염예측에는 면오염원모형의 비중이 매우 클 것을 예상할 수 있다. 면오염원에 의한 SO<sub>2</sub> 배출량의 지역적 분포는 그림 1과 같다.

3. TCM의 특성

TCM-2 (Texas Climatological Model-2)는 대기오염물질의 장기, 지상농도를 예측하기 위하여 1975년 Texas Air Control Board에 의하여 개발되어 1980년에 수정된 모형으로 Briggs의 연기상승식과 오염확산계산에 Pasquill과 Smith의 확산계수식을 사용하고 있다(Texas Air Control Board, 1980). 면오염원계산에는 Hanna-Gifford가 개발한 방식(ATDL모형)을 이용하고 있으며 다른 모형에 비하여 사용이 간편하고 전산소요시간이 매우

짧다는 장점을 갖고 있다. 이들 특성을 살펴보면 다음과 같다.

3.1 면오염원 계산방식

TCM에서 면오염원에 의한 농도계산에는 Hanna-Gifford가 개발한 면오염원으로부터 대기오염 영향을 예측하기 위한 ATDL(Atmospheric Turbulence & Dispersion Laboratory) 모형을 이용하고 있는데 이 모형의 전개과정은 다음과 같다(Hanna, 1971, 1978, ; Miller, 1978; Noll, 1975). 이론적으로 가우스 확산식에서 오염원으로부터 풍하거리 X에서 농도, Ct(x)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$C_t(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} (Q/\pi U \sigma_z) \exp[-(y^2/2\sigma_y^2) - (H^2/2\sigma_z^2)] dy$$

$$= (Q/\pi U \sigma_z) \exp[-(H^2/2\sigma_z^2)] \int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-y^2/2\sigma_d^2) dy \quad (1)$$

- Ct(x) : 풍하거리 x에서의 농도 ( g/m<sup>3</sup> )
- Q : 오염배출량 ( g/sec )
- σy, σz : 풍하거리 X에서의 수평 및 수직확산 표준편차 ( m )
- H : 유효배출높이 ( m )
- U : 유효배출높이에서의 풍속 ( m/sec )

이때  $\int_{-\infty}^{+\infty} \exp(-y^2/2\sigma_d^2) dy = (2\pi)^{0.5} \sigma_d$  이므로 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$C_t(x) = (Q/\pi U \sigma_z) \exp(-H^2/2\sigma_z^2) (2\pi)^{0.5} \sigma_d$$

$$= (2/\pi)^{0.5} (Q/U \sigma_z) \exp(-H^2/2\sigma_z^2) \quad (2)$$

그리고 면오염원의 배출높이를 지면(H=0)으로 하면 식 (2)는 식(3)와 같이 쓸 수 있다.

$$C_t(x) = (2/\pi)^{0.5} (Q/U \sigma_z) \quad (3)$$

면오염원의 배출량은 단위면적당 단위시간에 대한 배출량으로 나타내는데, 면오염원격자의 한 쪽 변에서부터 착지점까지의 거리를 X<sub>z</sub>, 풍상방향으로 다른 변까지의 거리를 X<sub>1</sub> 이라고 하면 면오염원격자로부터 착지점에 미치는 농도, C<sub>A</sub>는 풍하거리 X에 대하여 적분하여 다음과 같이 구하여진다.

$$C_A = \int_x^{x_2} C_t dx$$

$$= (2/\pi)^{0.5} \int_x^{x_2} (Q/U \sigma_z) dx \quad (4)$$

여기서 수직방향확산계수 z는 z=aX<sup>b</sup>로 구하여 지므로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$C_A = (2/\pi)^{0.5} Q(Ua) \int_x^{x_2} x^{-b} dx$$

$$= (2/\pi)^{0.5} \frac{Q}{Ua(1-b)} [(X_2)^{1-b} - (X_1)^{1-b}] \quad (5)$$

이때 풍하거리를 면오염원격자크기(Δx)로 나타 내면 풍상방향 i번째 격자에 의한 농도는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$C_A = (2/\pi)^{0.5} \frac{Q}{Ua(1-b)} \{ \langle (2i+1)\Delta x/2 \rangle^{1-b} - \langle (2i-1)\Delta x/2 \rangle^{1-b} \}$$

$$= (2/\pi)^{0.5} \frac{Q}{U-b} (\Delta x/2)^{1-b} \{ (2i+1)^{1-b} - (2i-1)^{1-b} \} \quad (6)$$

따라서 풍상방향 첫 번째 격자에서 N번째 격자까 지에서 받게되는 총농도는 다음과 같이 구하여진다.

$$C_A = (2/\pi)^{0.5} \frac{Q}{Ua-b} (\Delta x/2)^{1-b} [Q_0 + \sum_{i=1}^n Qi \langle (2i+1)^{1-b} - (2i-1)^{1-b} \rangle] \quad (7)$$

이 방식은 TCM, TEM모형에서 면오염원 계산방 식으로 적용되고 있으며(Texas air control board, 1979, 1980) 풍상방향 4개까지의 격자로부터의 영 향을 고려하도록 되어 있다. 따라서 TCM, TEM에 서 착지점 격자(Receptor Grid)의 크기를 너무 작 게 하면 면오염원 계산시 농도영향을 받는 풍하거 리를 충분히 고려하지 못할 수 있으므로 주의하여 야 한다. 그리고 인접격자로부터의 영향은  $\{ (2i+ 1)^{1-b} - (2i-1)^{1-b} \}$ 에 의해 결정되는데 이는 확산계수 식  $\sigma = aX^b$ 에서 안정도에 따른 b값에 의해 달라진 다. 여기에 16 방위의 풍향빈도를 고려하여 계산하 고 이들 농도를 합산하여 각 격자의 농도를 계산하 게 된다.

3.2 전산소요시간

TCM은 다른 모형에 비하여 전산소요시간이 매우 짧는데 이는 Christiansen 과 Porter가 개발한 기법 을 사용하기 때문이다. TCM에서 점오염원에 의한

농도는 다음과 같이 계산된다.

$$C = \frac{32 \times 10^6 QF}{(2/\pi)^{1.5} \times U \sigma z} \text{EXP}(-H^2/2\sigma z^2) \quad (8)$$

$$= K \frac{QF}{U}$$

여기에서

$$K = \frac{32 \times 10^6}{(2/\pi)^{1.5} \times \sigma z} \text{EXP}(-H^2/2\sigma z^2)$$

F : 기상결합빈도함수

X : 풍하거리(m)를 나타낸다.

여기에서  $\sigma z$ 값은 대기안정도별로 풍하거리, X에 따라 구하여지므로 K값을 풍하거리 X, 유효굴뚝높이 H, 대기안정도 6개 등급 각 경우에 대하여 미리 계산하고 이를 data table로 작성하여 계산식에 따라 일일히 계산하는 대신 이를 이용하여 전산소요 시간을 줄이는 것이다. 따라서 TCM에는 풍하거리 1.1km~60km 범위의 20개, 유효굴뚝높이 10m~2000m 범위의 19개, 대기안정도 6등급에 대한 총 2280개(20×19×6) 경우에 대한 K계산값이 입력되어 있으며, 각 등급의 사이에 해당하는 계산값은 양쪽 등급에 의한 계산값에서 선형으로 구하여 사용한다. 그리고 이러한 방식에 의한 계산값은 풍하거리가 1.1km 이상일 때에만 이용하고, 풍하거리가 1.1km 이하인 경우에는 이 계산치를 이용하지 않고 원래의 계산식에 의하여 계산하여 오차를 줄이도록 하고 있다.

### 3.3 도시지역의 적용

기존 TCM에서는 점오염원의 경우에는 Pasquill의 확산계수식, 면오염원의 경우에는 Smith의 확산계수식을 적용하고 있는데 이들 확산계수식은 모두 평탄한 지역에서 산출된 확산계수식이다. 따라서 TCM은 평탄한 지형에 적합한 모형이라고 할 수 있다. 기존 TCM에는 도시지역에 적용할 때 선택할 수 있는 통제변수가 있으나 이를 선택할 경우 실제 계산과정은 입력된 안정도 등급을 대기안정도 A일 때를 제외한 나머지 등급에 대하여는 한 단계씩 낮추어 계산하도록 되어 있다. 따라서 이 기능을 이용하여 TCM을 도시지역에 적용하는 것은 정확한 방법이라고 할 수 없다.

## 4. TCM의 Urban-mode 개발

### 4.1 면오염원 계산방식의 수정

ATDL모형의 중심격자(착지점이 속하여 있는 격

자,  $i=0$ )로부터 받게되는 오염농도는 다음과 같이 계산된다.

$$C_A = (2/\pi)^{0.5} \frac{Q}{Ua(1-b)} (\Delta x/2)^{1-2} \quad (9)$$

여기에서 착지점을 격자의 중앙으로 하여 계산하므로 중심격자에서의 농도는 바로 착지점에서 배출되는 오염물의 영향까지 착지점에서 고려하게 되므로 비현실적으로 높은 농도가 산출될 수 있다. 또한 식 (9)에서 알 수 있듯이 수직확산계수를 구하기 위한 값이 1보다 크게 되면 산출되는 농도가 음수가 된다는 문제가 있는데 이 점은 기존 ATDL모형에서도 지적될 수 있는 문제점이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 중심격자에서의 농도계산은 착지점(격자중심)에서부터 풍상방향으로 어느 정도 떨어진 지점에서부터 계산하도록 하여야 하는데 이를 10m로 하여 기존의 모형을 다음과 같이 수정하였다.

$$C_A = (2/\pi)^{0.5} \frac{Q}{Ua(1-b)} [(\Delta x/2)^{1-b} - 10^{1-b}] \quad (10)$$

또한 기존 TCM에서 면오염원에 의한 오염도를 계산하는 과정에서  $(\Delta x/2)$ 를 표현하는  $(0.5 \times \text{GRID})$ 는  $(500 \times \text{GRID})$ 의 오류라고 판단된다. 왜냐하면 수직확산계수를 산출하기 위한 풍하거리  $(\Delta x/2)$ 의 단위가 meter인데 기존 TCM에서 "GRID"는 kilometer 단위로 입력되어 그대로 사용되므로 meter단위에 맞추기 위해서는  $(\text{GRID} \times 1000)/2$  곧  $(500 \times \text{GRID})$ 이 되어야 한다. 이러한 오류를 수정한 것들 중의 한 예는 다음과 같다.

$$\text{수정전 } QC = 0.79788456 * (0.5 * \text{GRID}) * * \text{BA} / (U(\text{IA}, \text{IRUN}) * \text{AA} * \text{BA})$$

TCM09310

$$\text{수정후 } QC = 0.79788456 * (500 * \text{GRID}) * * \text{BA} / (U(\text{IA}, \text{IRUN}) * \text{AA} * \text{BA})$$

modified

이 부분은 기존 TCM을 평탄지역에 그대로 적용하더라도 기존 TCM의 오류로써 정정되어야 할 부분이라고 판단된다.

### 4.2 확산계수의 수정

TCM을 도시지역에 적용하기 위하여는 먼저 도시지역에 적합한 오염확산계수식을 찾아야 한다. 이를 위하여 기존의 여러 연구에 의하여 보고된 확산계수식들(Weber ed., 1982)과 국립환경연구원이 서울지역에서 산정한 확산계수식(나진균 등, 1986)과

Table 2. Environment of experiments for diffusion parameter calculations.

Researcher	Emission height(m)	Downwind distance(km)	Surface roughness
SMITH	108	10	medium
KLUG	0	3	low
McELROY	0	16	large
PASQUILL	0	1	low
VOGT	50	11	large
NESTER	60	8	large
BULTYNCK	69	5	
NIER			large

Table 4. Coefficients of vertical dispersion parameters.

Researcher \ Stability	Stability						
	A	B	C	D	E	F	
SMITH	a	0.4000	0.3300	0.2200	0.1500	0.0600	0.0600
	b	0.9100	0.8600	0.8000	0.7500	0.7100	0.7100
PASQUILL	a	0.0003	0.0494	0.1014	0.2591	0.2527	0.2017
	b	2.890	1.1140	0.9260	0.6869	0.6341	0.6020
McELROY	a	0.0790	0.0790	0.1310	0.9100	1.9300	1.9300
	b	1.2000	1.2000	1.0460	0.7020	0.4560	0.4560

그 실험환경을 표 2와 같이 살펴보았다. 국립환경연구원(NIER)이 산정한 확산계수는 wind fluctuation에 의하여 산출되었고 나머지 확산계수식은 tracer 실험을 통하여 산출되었는데 이들 확산계수식은 그 실험의 환경조건 즉 배출높이, 풍하거리, 표면거칠기에 따라 큰 차이가 있다.

기존 TCM에서 면오염원의 계산은 Smith의 확산계수식을 사용하고 있고, 점오염원의 계산은 Pasquill의 확산계수식을 이용하고 있다. 그러나 표면거칠기가 작은 지역에서 산출된 Pasquill의 확산계수식과 배출높이 108m에서의 실험결과인 Smith의 확산계수식을 적용하고 있는 TCM을 도시지역에 그대로 적용하는 것은 적합치 않음을 알 수 있다. 또한 서울 지역에 대하여 ATDL을 이용하여 기존의 대기오염확산계수를 비교한 장영기 (1991)의 사례연구(표 3 참조)에서도 표면거칠기가 작은 지역에서 산출된 Smith, Klug, Pasquill의 확산계수식에 의한 예측치가 실측치에 비하여 3.5~5.0배의 과대평가를 하고 있는 반면 표면거칠기가 큰 지역에서 산출된 나머지 확산계수식에 의한 예측치는 실측치에 상당히 접근하고 있음을 확인할 수 있었다. 그 중에서도 예측치와 실측치의 비율과 지점별 농도의 상관계수를 비교하여 보면 McElroy의 확산계수식이 가장 적합하다고 할 수 있다. 이는 McElroy의 확산계수식이 도시지역인 St. Louis에서 배출높이를 지면으

Table 3. Comparison of dispersion parameters for Seoul area by ATDL.

Researcher	Predicted value/observed value	Correlation coeff.
SMITH	5.02	0.716
KLUG	5.02	0.737
McELROY	0.96	0.736
PASQUILL	3.47	0.727
VOGT	1.37	0.709
NESTER	1.51	0.705
BULTYNCK	0.88	0.722
NIER	1.16	0.651

로한 실험(McElroy, 1969)에서 언어져서 표면거칠기가 크고 대부분의 오염원이 면오염원으로 배출높이가 낮은 우리나라 도시지역의 경우와 유사하다는 점에서도 뒷받침될 수 있다.

따라서 이러한 분석결과와 기존의 많은 도시형 모형에서 McElroy의 확산계수를 사용하고 있는 점을 고려하여 기존 TCM에서 면오염원계산에 적용하고 있는 Smith의 확산계수식 대신 McElroy의 확산계수식을 입력하고, 점오염원계산을 위하여 Pasquill의 확산계수식에 의하여 계산되어 내장되어 있는 기존 TCM의 K값 data table도 McElroy의 확산계수식을 이용하여 풍하거리와 대기안정도에 따라 새로 산출하여 대체하였다. 표 4는 기존 TCM에서 사용하고 있는 Pasquill과 Smith의 확산계수식과 수정된 TCM - urban mode에 사용한 McElroy의 수직 확산계수식  $\sigma_z = aX^b$ 에 사용되고 있는 안정도에 따른 a, b 값이다.

#### 4.3 고도별 풍속변화 지수의 수정

TCM에서 고도에 따른 풍속의 증가는 다음식에 의하여 고려한다.

$$U = U_0 (Z/Z_0)^P \quad (11)$$

U : 고도 Z에서의 풍속(m/sec)

$U_0$  : 고도  $Z_0$ (10 m)에서의 풍속(m/sec)

P : 대기안정도에 따른 지수

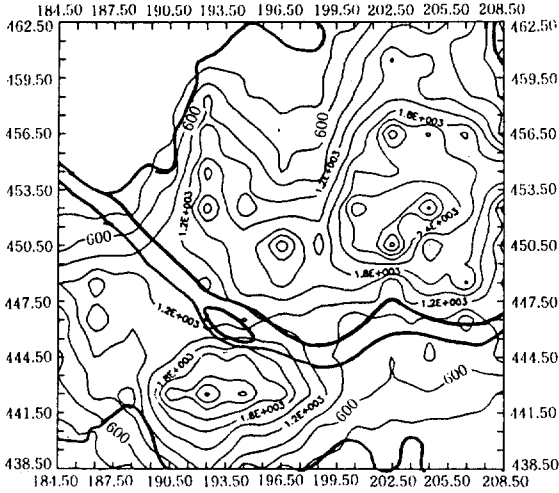


Fig. 2. Distribution of predicted SO<sub>2</sub> levels by conventional TCM.

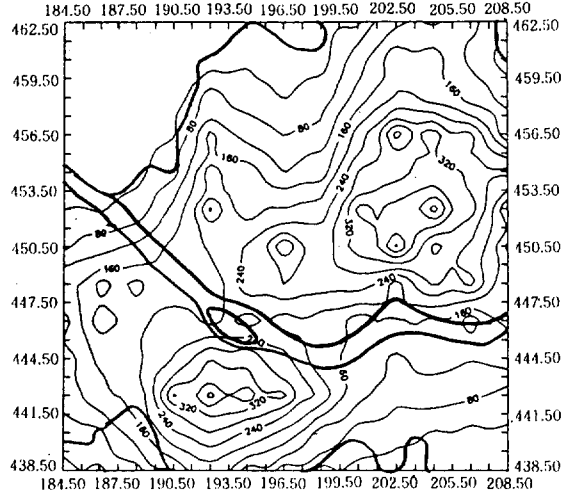


Fig. 3. Distribution of predicted SO<sub>2</sub> levels by developed TCM-urban mode.

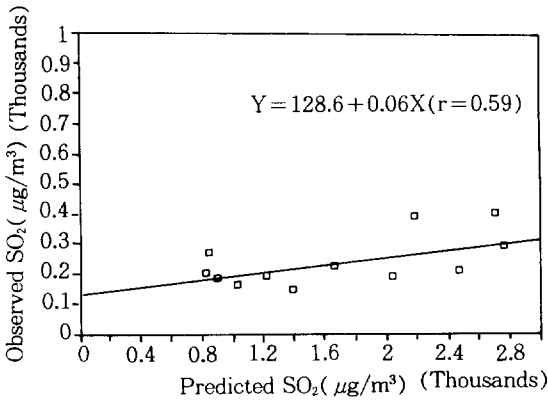


Fig. 4. Comparison of observed and predicted SO<sub>2</sub> levels by conventional TCM.

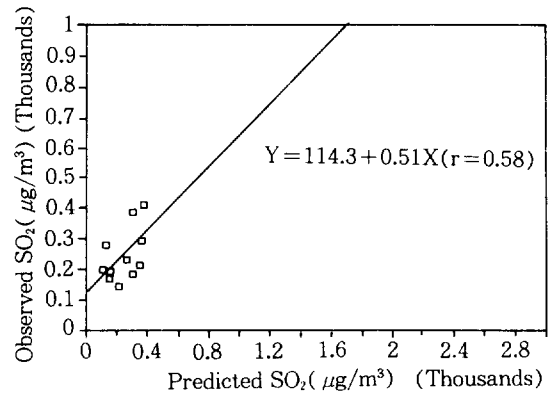


Fig. 5. Comparison of observed and predicted SO<sub>2</sub> levels by TCM-urban mode.

여기서 지수 P는 지표면의 거칠기에 따라 다른데 표 5에서 보는 바와 같이 몇 가지의 지수가 보고되어 있다. 기존 TCM에는 De marris에 의한 지수가 적용되고 있는데 이는 평탄한 지형에서 적용되는 지수이므로 이를 기존 모형(RAM)의 urban-mode에 적용하고 있는 지수로 교체하였다.

5. 서울지역에 대한 사례연구

기존 TCM과 개발된 도시형-TCM을 사용하여 서울지역의 1985년 SO<sub>2</sub> 배출자료와 기상자료를 적용하여 연평균농도를 산출하고 이를 12개 지점의 실측치와 비교하였다(표 6 참조). 각 모형에 의한 예

Table 5. Vertical wind speed profile exponents.

Model Stability	TCM, CDMQC	RAM(urban)	RAM(rural)
A	0.10	0.15	0.07
B	0.15	0.15	0.07
C	0.20	0.20	0.10
D	0.25	0.25	0.15
E	0.30	0.40	0.35
F	0.30	0.60	0.55

측치의 지역적 분포는 그림 2, 그림 3과 같고 예측치와 실측치의 상관관계를 비교하여 보면 그림 4, 그림 5와 같다.

Table 6. Comparison of predicted SO<sub>2</sub> levels by conventional TCM and modified urban-mode TCM.  
(Unit :  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Site	Measured levels (A)	Predicted levels by original TCM(B)	Difference (B-A)	Predicted levels by TCM Urban-mode(C)	Difference (C-A)
GILUM	288.6	2767.5	2478.9	359.1	70.5
BULKWANG	199.1	813.3	614.2	117.5	-81.6
MAPO	185.4	2042.8	1857.4	288.7	103.3
MYONMOG	387.4	2182.9	1795.5	311.4	-76.0
SINSUL	406.6	2724.3	2317.7	380.2	$\nu$ -26.4
GUIE	167.7	1016.8	849.1	170.7	3.0
SUNGSU	228.0	1651.5	1423.6	270.4	42.4
SSANGMUN	192.9	1206.1	1013.2	167.7	-25.2
SINCHON	149.1	1393.6	1244.5	217.9	68.8
GURO	208.0	2464.7	2256.7	349.7	141.7
BANPO	187.1	903.2	716.1	156.6	-30.5
ORYO	269.1	833.0	563.3	135.6	-134.1
AVERAGE	239.1	1666.7	1427.5	243.8	4.7

이를 살펴보면 면오염원 계산방식의 오류(본문 4.1 참조)가 수정된 기존의 TCM에 의한 예측치의 평균농도는  $1666.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실측치의 평균농도  $239.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 7.0배의 과대평가를 하고 있었다. 이는 기존 TCM이 평탄지역에 적합한 확산계수를 사용하고 있어 실제 도시지역에서의 확산 효과를 작게 평가하기 때문이라고 판단된다. 그러나 본 연구에 의하여 수정, 보완된 도시형-TCM에 의한 예측치의 평균농도는 실측치의 1.0 배로 실측치와 매우 유사한 예측치를 보이고 있었다. 그러나 실측치와의 상관계수는 0.59에서 0.58로 약간 낮아졌다.

## 6. 결 론

본 연구에서는 국내에서 환경영향평가와 대기오염연구 등에 가장 널리 이용되고 있는 TCM모형의 구조를 분석하여 그 특성과 제한사항을 살펴보고, 이를 토대로 평탄지역에 적합한 이 모형을 비평탄지역에도 적용할 수 있도록 수정, 보완하여 국내 도시지역 대기오염연구에 적용할 수 있는 도시형-TCM을 개발하였다.

1) 기존 TCM모형에서 면오염원에 의한 오염도를 계산하는 과정에서 ( $\Delta x/2$ )를 표현하는 ( $0.5 \times \text{GRID}$ )는 ( $500 \times \text{GRID}$ )의 오류라고 판단된다. 따라서 이 부분들을 정정하였다. 이 부분은 기존 TCM의 오류로써 평탄지역에 그대로 적용하더라도 정정되어야 할 부분이라고 판단된다.

2) 기존 TCM에서 면오염원의 계산은 Smith의 확산계수식을 사용하고 있는데 이는 표면거칠기가

크고 배출높이가 낮은 도시지역의 면오염원 계산에 적합치 않으므로 이를 McElroy의 확산계수식으로 대체하였다.

3) 기존 TCM에서 점오염원의 계산은 Pasquill의 확산계수식을 이용하고 있으나 이는 도시지역에 적합치 않다. 따라서 도시지역에 적합한 McElroy의 확산계수식을 이용하여 기존 TCM에 내장되어 있는 K값 data table을 새로 계산하여 대체하였다.

4) 기존 TCM에는 풍속의 수직적 변화를 계산하는 함수에 De marris에 의한 지수가 적용되고 있는데 이는 평탄한 지형에서 적용되는 지수이므로 이를 도시지역에 적합한 지수로 교체하였다.

5) 도시지역에 적용할 수 있도록 수정한 도시형-TCM과 기존 TCM을 이용하여 서울지역의 연평균농도를 산출하고 이를 실측치와 비교하였다. 그 결과 기존 TCM에 의한 예측치의 평균농도는  $1666.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 실측치의 평균농도  $239.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에 비하여 7.0배의 과대평가를 하였으나 수정, 보완된 도시형 TCM에 의한 예측치는 실측치와의 상관계수는 다소 낮아졌으나 실측치에 매우 접근하는 값을 보였다.

## 참 고 문 헌

- 권숙표, 정 용, 임동구 (1980) Hanna-Gifford 모델에 의한 서울시 대기오염도 추정, 환경보전협회지, 1(1), 25-38.  
 경제기획원 (1987) 1985 인구 및 주택센서스보고, 경제기획원.

- 기상청 (1986) 일기상통계표, 기상청.
- 김신도, 김정옥 (1986) 서울시 대기오염 감측대책 연구, 서울특별시.
- 김양균, 최덕일, 정영희, 유기호 (1984) 주요대도시 대기오염 배출원별 오염물질 배출부하량 산정에 관한 조사연구, 국립환경연구소.
- 김양균, 최덕일, 이민희, 조강래, 나진균, 정장해 (1985) 대기오염확산모델 개발에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 1(1), 53-70.
- 김영성, 손재익 (1988) 대기확산모델링의 최근 동향과 한국형 모델개발 연구, 한국동력자원연구소.
- 나진균, 김양균, 이석조, 권영수, 김명식, 김진규, 조천호 (1985) 대기오염확산모델 개발을 위한 수직, 수평확산계수 산정에 관한 연구, 국립환경연구원.
- 나진균, 김양균, 이석조, 권영수, 김종춘, 김명식, 김진규, 김정수, 박병무, 문무일 (1986) 대기오염예측모형의 개발에 관한 연구(I), 국립환경연구원.
- 서울특별시 (1986) 서울 통계연보, 서울특별시.
- 옥치완, 임근상, 성유운, 이민희, 최덕일, 한의정, 조운승, 배정오, 조강래, 정일록, 나진균, 설중민, 정장해, 이병구, 김정옥, 조병환, 이법신, 김종석 (1980) 서울 시내의 대기오염 확산 현황과 측정오염도와의 비교분석에 관한 조사연구, 국립환경연구원, 한국과학기술연구소, 환경청.
- 이덕길, 나진균, 김양균, 이석조, 유승도, 김진규, 김정수, 박보현, 김명식, 윤순창 (1987) 대기오염예측모형의 개발에 관한 연구(II), 국립환경연구원.
- 장영기 (1991) 면오염원모형 ATDL을 이용한 서울지역 대기오염 확산계수 비교연구, 수원대 이공학연구소 논문집, 6, 87-94.
- 정용, 장재연 (1986) 대기오염모델의 정합도에 관한 연구(서울특별시 대기오염추계에 있어 Hanna-Gifford Model 과 AQDM 의 적용에 대하여), 한국대기보전학회지, 2(1), 81-90.
- 환경처 (1986) 대기오염 자동측정망 측정자료, 환경처.
- Hanna, S. R. (1971) A simple method of calculating dispersion from urban area sources, JAPCA, Vol. 21, No. 12, 774-777.
- Hanna, S. R. (1978) Diurnal variation of the stability factor in the simple ATDL urban dispersion model, JAPCA, Vol. 28, No. 2, 147-150.
- McElroy, J. L. (1969) A comparative study of urban and rural dispersion, Journal of Applied Meteorology, Vol. 8, 19-31.
- Miller, C. W. (1978) An application of the ATDL simple dispersion model, JAPCA, Vol. 28, No. 8, 798-800.
- Noll, K. E. ed. (1975) Industrial Air Pollution Control, Ann Arbor Science.
- Texas Air Control Board (1980) Users' Guide to the Texas Climatological Model.
- Texas Air Control Board (1979) Users' Guide to the Texas Episodic Model.
- Weber, E. ed. (1982) Air Pollution: Assessment methodology and modeling, 329 pp.