

선 오염원에 의한 도로변 지역으로의 대기확산모델의 민감도 분석 - ISCST3, CALINE4 모델을 중심으로 -

안 원 식 · 박 명 희 · 김 해 동
계명대학교 환경대학 환경학부
(2006년 12월 15일 접수; 2007년 4월 20일 채택)

Sensitivity Analysis of Air Pollutants Dispersion Model in the Road Neighboring Area Due to the Line Source -The Object on ISCST3, CALINE4 Model-

Won-Shik Ahn, Myung-Hee Park and Hae-Dong Kim
Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
(Manuscript received 12 December, 2006; accepted 20 April, 2007)

The air pollutant emission is mainly caused by line sources in urban area. For example, the annually totaled air pollutant emission is known to consist of about 80% of line sources in Daegu. Hence, the appropriate assessment on the air pollutants of line sources is very important for the atmospheric environmental management in urban area.

In this study, we made a comparative study to evaluate suitable dispersion model for estimating the air pollution from line sources.

Two air pollution dispersion models, ISCST3 and CALINE4 were the subject of this study. The results were as follows; In the assessment of air pollution model, ISCST3 was found to have 4 times higher concentration than CALINE4. In addition, actual data obtained by measurement and estimated values by CALINE4 were generally identical. The air pollution assessment based on ISC3 model produced significantly lower values than actual data. The air pollution levels estimated by ISCST3 were very low in comparison with the observational values.

Key Words : Air pollutant dispersion, ISCST3, CALINE4

1. 서 론

우리나라의 과거 대기오염은 주로 공장의 굴뚝으로부터 배출되는 점 오염원(point source)에 의한 오염이었지만 경제 성장으로 인한 소득증대는 도시의 인구팽창과 함께 연료사용과 급격한 자동차의 증가를 가져와 대기오염을 증가시키는 큰 요인이 되고 있다.

이러한 도시지역 대기오염의 70~80%를 차지하는 것은 이동오염원(mobile source)으로 도로망을

따라 움직이는 자동차의 배기가스에서 발생하고 있는 실정이다. 따라서 도로에 주행 중인 차량에서 발생하는 대기오염물질이 주변지역에 미치는 영향을 평가하여 환경친화적으로 도로를 유지하고, 건설하는 것이 국민 건강 보호에 매우 중요한 의미를 갖는다. 도로에 의한 영향을 파악하기 위해서 많은 시간과 비용이 소요되어 현실적으로 불가능하므로 도로 대기확산모델을 이용한 예측 평가를 주로 수행하고 있다¹⁾.

자동차 배기가스와 같은 이동오염원에 의한 오염도 평가 연구는 평가 대상지역에서 대상 오염물질의 배출원이 독립적이기 보다는 복합적인 현상으로 나타나기 때문에 이동오염원에 의한 영향만을 별도로

Corresponding Author : Myung-Hee Park, Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: +82-053-580-5947
E-mail: savor76@kmu.ac.kr

로 실측하기가 어려운 실정에 있다²⁾. 따라서 이동오염원에 의한 오염도 분석에는 모델의 이용이 필수적이며, 정확한 평가를 위해서는 선 오염원(line source) 모델의 선정이 중요하다. 하지만 이러한 모델 역시 여러 가지 가정 상태에서 복잡한 실제 상황을 단순화한 것이기 때문에 모델을 이용한 오염도 분석은 적지 않은 문제가 따르지만 현재로서는 가능한 유일한 수단이라 할 수 있다.

현재 우리나라에서는 대기확산모델을 대부분의 환경영향평가, 대기오염 피해지역의 파악, 유해물질 누출사고 대책 등에 이용하고 있다. 특히 대도시권의 오염경보제 운영에 있어서 대형의 고정오염원(stationary source)은 조업시간이나 연료사용량과 관련한 배출량 규제를 통하여 통제가 용이하나, 선오염원의 경우에는 오염원의 이동성으로 인하여 신속하고 정확한 예측의 어려움 때문에 전체 대기오염도 평가 시 선 오염원에 대한 정확한 평가와 이에 따른 규제가 매우 중요한 역할을 할 것이다³⁾.

선 오염원 모델을 이용한 국내외적 연구는 다음과 같다. 장미숙⁴⁾은 경부고속도로 수원 부근 및 서울 톨게이트에 대해 HIWAY-2 모델을 이용하여 고속도로 주변의 단기대기오염도를 추정하였다. 박성규⁵⁾는 고속도로 주변지역에서 NO₂를 대상으로 CALINE3를 이용하여 모델 예측치와 현장조사 실측치의 비교, 평가를 바탕으로 확산형태 파악 및 예측 모델의 적용타당성을 확인하고 자동차에 의한 대기오염물질이 고속도로 주변에 미치는 영향을 파악하였다. 정진도 등⁶⁾은 TCM-2 모델을 이용하여

천안시내를 관통하는 고속도로를 대상으로 천안시 대기질에 미치는 영향을 파악하였다.

지금까지 우리나라는 도로건설 환경영향평가 시 미국보건환경국(EPA)에서 추천하고 있는 대기확산 모델 중, 선 오염원 전문 모델인 CALINE, HIWAY 등의 모델뿐만 아니라 점과 면을 주로 다루는 모델인 ISC3(Industrial Source Complex Version3) 모델도 선 오염원 평가에 활용되고 있다.

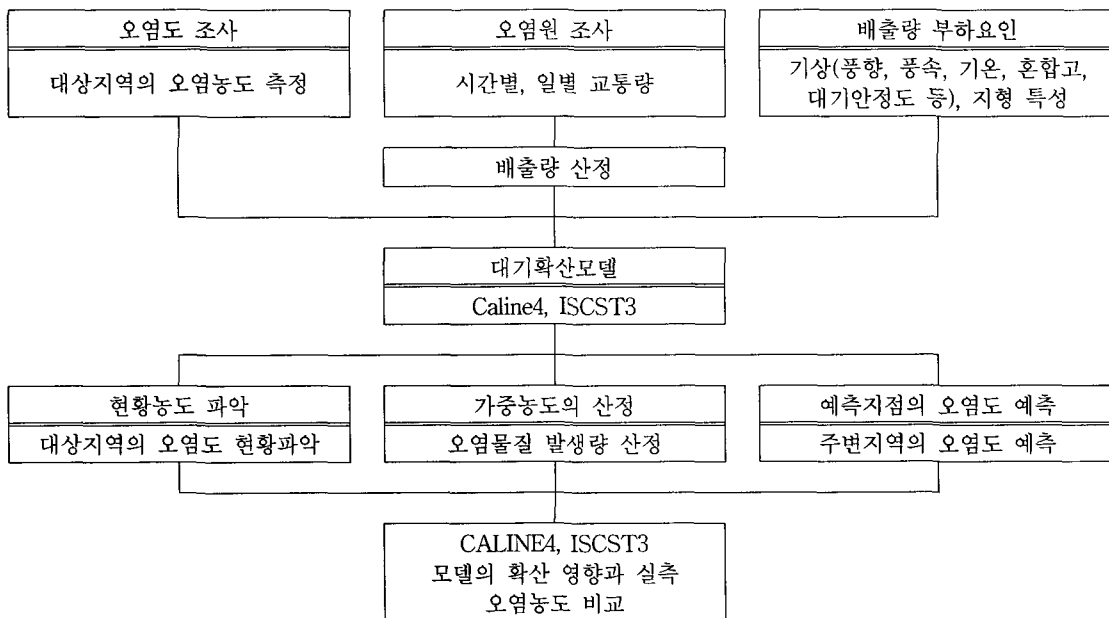
따라서 본 연구에서는 대구시 도심지의 교차로를 대상으로 CALINE4(California Line Source Dispersion Model 4) 모델과 ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term Model 3) 모델을 이용하여 도로주변지역에 미치는 영향을 파악하고 실측치와의 비교·평가를 통해 선 오염원 예측에 적합성을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

본 연구에서는 주행차량에 의한 배출량과 대상지역의 기상 및 지형과 같은 영향인자를 고려하여 ISCST3, Caline4 모델에 이용하여 도로주변지역에 미치는 영향을 파악하고 실측치와의 비교·평가하고자 한다.

2.1. 기상자료

기상자료 중 온도, 풍향, 풍속은 본 연구실에서 설치한 AWS(Automatic Weather Station)자료를 이용하여 Table 1에 나타내었고, 대기안정도(Stability)와 혼합고(Mixing height)는 대구기상대 지표기상자



선 오염원에 의한 도로변 지역으로의 대기확산모델의 민감도 분석 - ISCST3, CALINE4 모델을 중심으로 -

Table 1. Meteorological data of 13th and 16th day

hour	Temperature(°C)		Wind speed(m/s)		Wind direction(°)	
	13th day	16th day	13th day	16th day	13th day	16th day
8~9	9.3	7.7	1.4	2.4	268	309
13~14	13.7	11.5	2	2.3	346	290
18~19	12.5	9	0.5	1.5	314	329

Table 2. Atmospheric stability and mixing height of 13th and 16th day

hour	CALINE4				ISCST3					
	Atmospheric stability (1~7)		Mixing height(m)		Atmospheric stability (1~6)		Mixing height(m)			
	13th day	16th day	13th day	16th day	13th day	16th day	13th day		16th day	
							Rural	Urban	Rural	Urban
8~9	6	6	1888.6	1383.3	5	5	541.9	1888.6	371.4	1383.3
13~14	6	6	1942.5	1357.9	5	5	1942.5	1942.5	1357.9	1357.9
18~19	6	6	1486.7	1064.3	5	5	1798.8	1486.7	1340.4	1064.3

료와 포항기상대 고층기상자료를 이용하여 산출하여 Table 2에 나타내었다.

2.2. 교통량 및 배출량

2.2.1. 교통량

각 구간별 교통량은 대구광역시 교통량 조사 자료집(2003)⁷⁾ 중 두류네거리의 시간대별·차종별 교통량을 이용하여 산정하였다. 따라서 교통량을 실측해야 하지만, 현장 조사의 어려움으로 인하여 기존의 자료를 이용하여 교통량을 산정하였다.

2.2.2 일산화탄소(CO)의 배출량 산정방법

자동차로부터 배출되는 오염물질의 양은 자동차의 종류, 사용연료, 누적주행거리, 주행속도 등에 좌우된다. 그러므로 자동차로부터 배출되는 오염물질 배출량을 산출하기 위한 원단위 오염물질 배출계수는 차종에 따라 사용연료, 규제기준 등을 고려하여 산정하여야 한다.

본 연구에서는 환경부에서 산출한 1998년도의 배출계수⁸⁾를 이용하여 CALINE4에 입력되는 복합배출계수와 ISCST3에 입력되는 선 오염원 배출량을 산정하였다.

계산식은 다음과 같다.

$$\text{복합배출계수}(g/km-vehicle) = \frac{\sum_k \{ \text{교통량}(vehicle/hr) \times \text{배출계수}(g/km-vehicle) \}}{\sum_k \text{교통량}(vehicle/hr)} \quad (1)$$

$$QG(\text{선오염원배출량산정식}) = \sum (Len \times TQ_k \times EF_k) \quad (2)$$

QG : A daily emission rate of grid(g/day)

Len : Length of load in grid(km)

k : Various kind of vehicles

TQ : A traffic in grid

EF : Emission factor

CALINE4는 국지적 장소에서 빠른 운송수단의 배출물질 비율을 가중평균으로 하고, 이동대수당 g/mile로 나타낸다⁹⁾. 배출율은 EMFAC2002 컴퓨터 모델을 사용해야 하지만 우리나라에는 차량배출계수가 있기 때문에 차량배출계수를 이용하여 차량에 의한 배출량을 구할 수 있었다. 복합배출계수는 식 (1)과 같이 정의 되고, 이 식의 의미는 평균차량 한대가 1km를 달리면서 배출하는 오염물질을 g단위로 나타낸 것이며, g/km-vehicle을 g/mile-vehicle로 환산하기 위하여 1.6093을 곱하여 입력한다.

ISCST3는 각 도로 구간의 교통량을 추정하는 방법을 적용하여 선 오염원을 산정하였다. 이 방법은 도로구간의 교통량을 일일이 추정하고 도로의 길이를 고려하여 배출계수를 적용한다. 이때 각 도로구간의 주행속도를 고려하게 되며 각 도로구간의 통과 교통량을 추정하는 방법으로 소규모 도시의 경우 모든 도로구간의 교통량을 실측하거나 대도시의 경우에는 교통수요모형을 이용하여 각 도로구간의 교통량을 추정한다. 선 오염원 배출량은 식 (2)와 같이 정의 되며, 이 식의 의미는 전체차량이 관심영역 내에서 차량에 의해서 배출되는 오염물질의 양을 g 단위로 나타낸 것이다.

Table 3. The emission factors used in this study

(Unit: g/km)

Vehicle		CO	HC	NO ₂	SO ₂	Dust	
Car	Private	2.60	0.43	0.44	0.03	0.01	
	Taxi	6.17	0.75	0.82	0.00	0.00	
Bus	Small	Gasoline	6.21	0.50	1.43	-	0.01
		LPG	6.17	0.75	0.82	-	0.00
		Diesel	1.28	0.10	1.44	0.048	0.34
	Middle	Diesel	1.82	0.73	1.54	0.14	0.64
	Large	City	10.97	1.55	12.36	0.15	1.97
		Cross country	10.97	1.55	12.36	0.15	1.97
		charter	10.97	1.55	12.36	0.15	1.97
		Highway	10.97	1.55	12.36	0.15	1.97
	Etc	10.97	1.55	12.36	0.15	1.97	
Truck	Small	Gasoline	6.21	0.50	1.43	-	0.01
		LPG	6.17	0.75	0.82	-	0.00
		Diesel	1.67	0.15	1.48	0.048	0.37
	Middle	1.82	0.73	1.54	0.14	0.64	
	Large	13.12	1.64	12.70	0.15	2.03	

3. 모델의 개요

3.1. CALINE4 모델

CALINE4는 캘리포니아 도로교통국(California Department of Transportation)에 의해 개발 되었으며, 가우시안 확산방정식(Gaussian diffusion equation)을 기반으로 하여 도로에서 오염물질 확산을 묘사하기 위해 혼합구(Mixing zone) 개념을 채택하고 있으며, 모델의 주요 목적은 수송설비 인근의 대기질 영향을 평가하는 것이다.

지역의 지형, 기상, 오염원에서의 배출강도가 주어지면 CALINE4는 도로에서 500m 미만에 위치한 예측점에서의 오염물질 농도를 예측할 수 있으며, 일산화탄소(CO)와 같은 비 반응성 오염물질을 예측할 뿐만 아니라 이산화질소(NO₂)와 입자상 물질의 농도를 예측할 수 있도록 하였다.

또한, 이 모델은 교차로, 계곡, 주차설비 주변에서의 대기질을 예측할 수 있도록 특별한 옵션을 가지



Fig. 1. Map of the site.

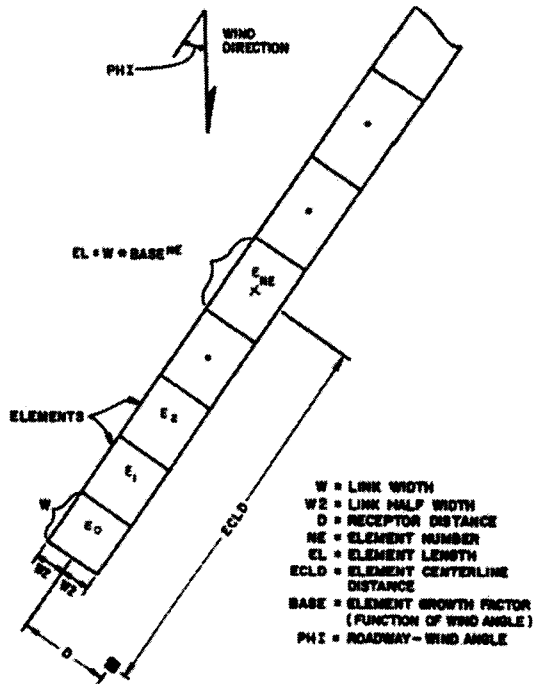


Fig. 2. Element series used by CALINE4.

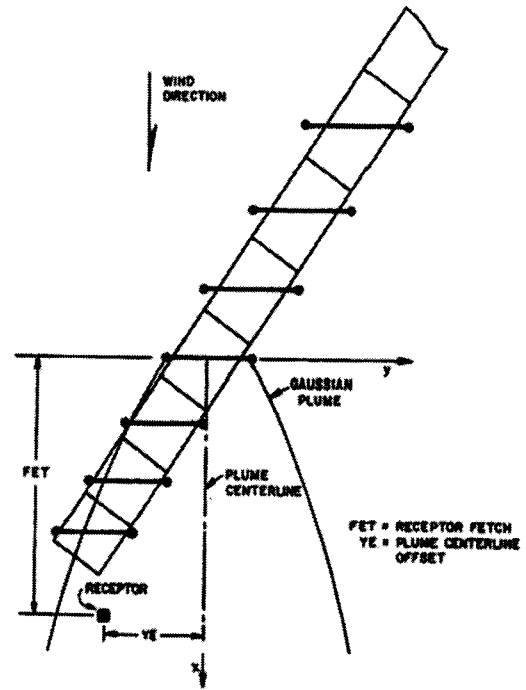


Fig. 3. Element series used by series of equivalent Finite Line Source.

고 있다.

CALINE4가 그전에 개발된 모델보다 더 많은 입력변수를 사용하지만 여전히 쉬운 모델로 구현되기 위해서 대부분의 응용을 위한 입력 옵션은 우회(bypassed)할 수 있고 많은 입력은 가정된 최악의 케이스를 부여할 수 있도록 하였다.

확산모델링으로의 더욱 복잡한 접근은 수년 후의 교통량과 배출계수를 평가하는데 있어서의 불확실성 때문에 대부분의 응용은 불필요하다.

CALINE4는 임의의 예측점에서 증가되는 농도를 계산하고, 총 농도를 구하기 위해 도로를 일련의 단위구간으로 나누며, 예측점까지의 거리는 예측점으로부터 도로 중앙선까지 수직선상의 거리이다.

Fig. 3을 통해 살펴보면, 각각의 단위구간은 풍향의 수직선상에 위치하여 단위구간의 중심점에 놓여 있는 유한선 오염원(EFLS : Equivalent Finite Line Source)으로 모델링되고, 이는 각 단위구간의 중심점에 위치한다.

단위구간에서부터 풍하측방향의 농도는 직교방향의 유한선 오염원에 따른 가우시안 방정식을 사용하여 아래의 식과 같이 모델링하며, 예측점 농도는 미소 유한선 오염원(EFLS) 구획에서 구할 수 있다.

$$dC = \frac{qdy}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \left[\exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \right] \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (3)$$

dC : Incremental Concentration,
 q : Lineal Source Strength
 u : Wind Speed, H : Source Height
 σ_y, σ_z : Horizontal and Vertical Dispersion Parameter

식 (3)을 적분하여, 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$C = \frac{q}{\sqrt{2\pi}\sigma_y u} \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \cdot PD \quad (4)$$

여기서,

$$PD = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{y/\sigma_y}^{y_h/\sigma_y} \exp\left(-\frac{p^2}{2}\right)$$

dp = Normal Probability Density Function

따라서, CALINE4는 임의의 도로선상에서 예측점의 농도를 아래의 식(4)와 같이 계산한다.

$$C = \frac{1}{\sqrt{2\pi}U} * \sum_{i=1}^n \left\{ \frac{1}{SGZ_i} * \sum_{k=-CNT}^{CNT} \left[\exp\left(\frac{-(Z-H+2*k*L)^2}{2*SGZ_i^2}\right) + \exp\left(\frac{-(Z+H+2*k*L)^2}{2*SGZ_i^2}\right) \right] * \sum_{j=1}^5 (WT_j * QE_i * PD_{ij}) \right\} \quad (5)$$

여기서,

n : Total number of elements

CNT : Number of multiple reflections required for convergence

U : Wind speed, L : Mixing height (MIXH in coding)

SGZ_i = σ_z as f(x) for ith element

QE_i = Central sub-element lineal source strength for ith element

WT_j = Source strength weighting factor for jth FLS segment

(WT1 = 0.25, WT2 = 0.75, ...)

$$PD_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{Y_j}{SGY_i}}^{\frac{Y_{j+1}}{SGY_i}} \exp\left(-\frac{p^2}{2}\right) dp \quad (6)$$

Y_j, Y_{j+1} : Offset distances for jth sub-element, SHY_i : σ_y as f(x) for ith element

3.2. ISCST3 모델

ISCST3 모델은 Straight-line, Steady-state를 가정하며 가우시안 확산방정식을 기본으로 한다. 오염원을 점 오염원으로 할 때 지표면 위의 연돌 위치를 오염원 기준으로 삼아 x축은 풍하방향(Downwind Direction), y축은 x축의 Crosswind 방향, z축은 수직방향을 나타내며, 입력된 Receptor 위치 또한 오염원 좌표에 따라 재정리 된다. 다음 식은 Steady-state의 가우시안 확산방정식을 보여주며, 풍하거리

x(m), Crosswind y(m)에서 시간당 농도 변화를 나타낸다.

$$c(x,y) = \frac{QKVD}{2\pi u_s \sigma_y \sigma_z} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \quad (7)$$

Q : Pollution emission rate

K : A scale coefficient to convert calculate concentrations to desired units($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

V : Vertical term

D : Decay term

u_s : Mean wind speed at release high(m/sec)

σ_y, σ_z : Standard deviation of lateral and vertical concentration distribution(m)

4. 연구결과

4.1. CALINE4 모델의 실행결과

Fig. 4(a)를 살펴보면, 최저농도를 보이는 시간대는 13~14시로 평균 1.2ppm이고, 최고농도를 보이는 시간대는 18~19시로 평균 1.94ppm 나타내었으며, 최저농도를 보인 지점은 구 황제예식장 방면의 5번·8번 지점, 북부정류장 방면의 9번 지점, 우방랜드 방면의 16번 지점으로 1.1ppm을, 최고농도는 교통량이 가장 많은 교차로 중앙의 17번 지점으로 2.8ppm을 나타내었다. Fig. 4(b)은 전체적으로 13일에 비해 낮은 농도를 나타내고 있으며, 최저농도를 보이는 시간대는 8~9시로 평균 1.09ppm을 보여 13일에 비해 0.11ppm 낮은 값을 보였고, 최고농도를 보이는 시간대는 18~19시로 13일에 비해 0.58ppm 낮은 값을 나타내었다. 최저농도를 보인 지점은 구 황제예식장 방면의 8번 지점, 북부정류장 방면의 9번·10번 지점, 우방랜드 방면의 16번 지점으로 1.0ppm을, 최고농도는 Fig. 4(a)와 같이 교통량이 가장 많은 교차로 중앙의 17번 지점으로 1.8ppm을 나타내었다.

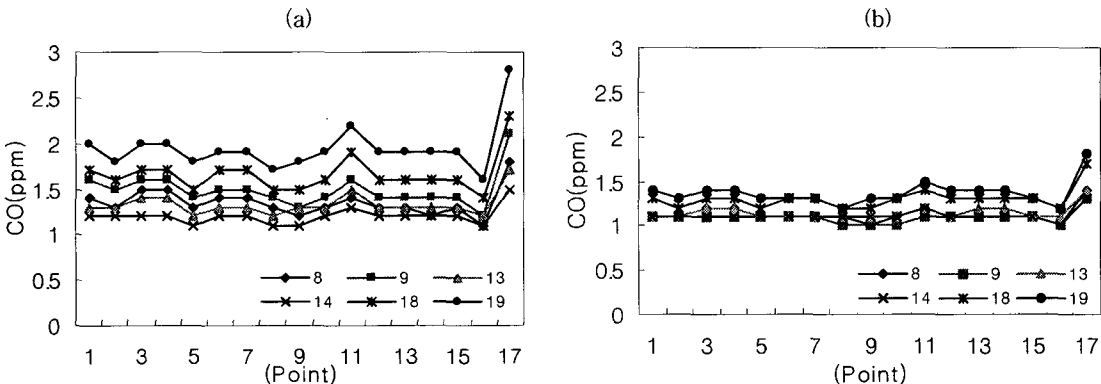


Fig. 4. CALINE4 modeling result of each point ((a) 13th day, (b) 16th day).

선 오염원에 의한 도로변 지역으로의 대기확산모델의 민감도 분석 - ISCST3, CALINE4 모델을 중심으로 -

내었다.

4.2. ISCST3 모델의 실행결과

Fig. 5의 13일(주중)의 결과를 살펴보면, 최저농도는 Fig. 5(b)(13~14시)로 평균 0.022ppm이고, 최고농도는 Fig. 5(c)(18~19시)로 평균 0.155ppm을 나타내었다.

Fig. 6의 16일(주말)의 결과를 살펴보면, 최저농도는 Fig. 6(a)(8~9시)로 평균 0.022ppm이고, 최고농도는 13일(주중)과 같이 Fig. 6(c)(18~19시)로 0.046ppm을 나타내었다.

Fig. 5~6의 지점별 농도의 경우는 교통량이 가장 많은 교차로 중심의 17번 지점에서 최고농도를 보였고, 도로와 거리가 멀어질수록 낮은 농도값을 나타내었다.

4.3. CALINE4, ISCST3 모델의 결과 비교

Fig. 7~8을 통해 동일 기상자료와 교통량에 대한 ISCST3 모델링 결과는 CALINE4 모델링 결과에 비해 4배 이상 현저한 낮은 농도값의 차이를 나타내었다.

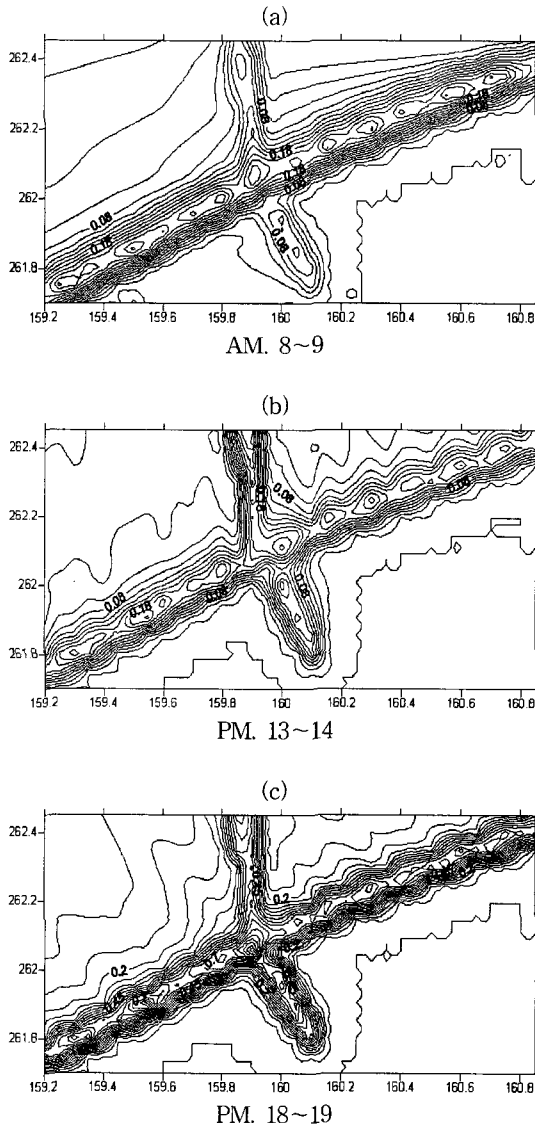


Fig. 5. ISCST3 modelling result of each point (13th day).

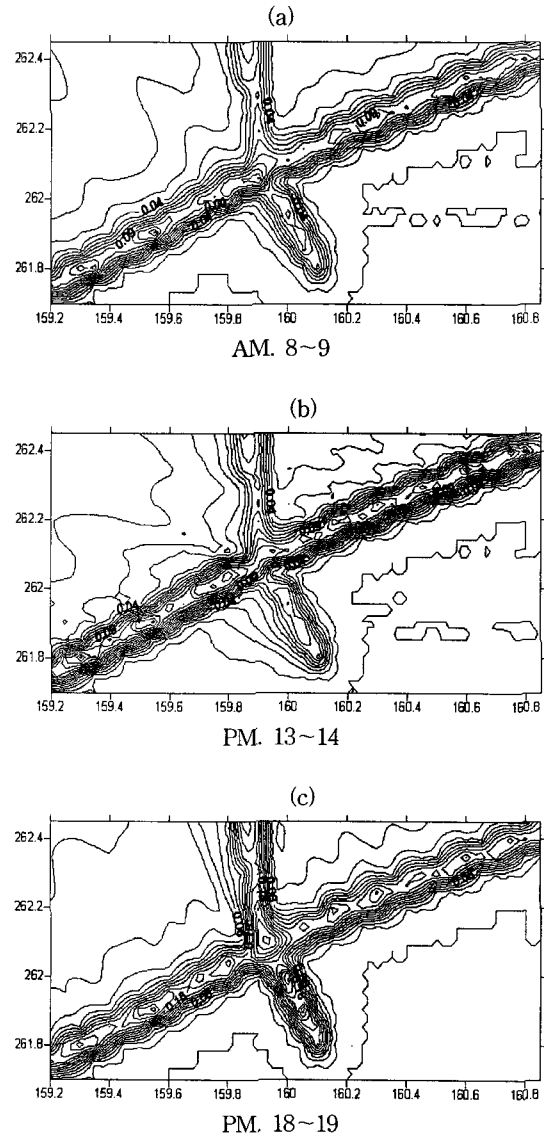


Fig. 6. ISCST3 modelling result of each point (16th day).

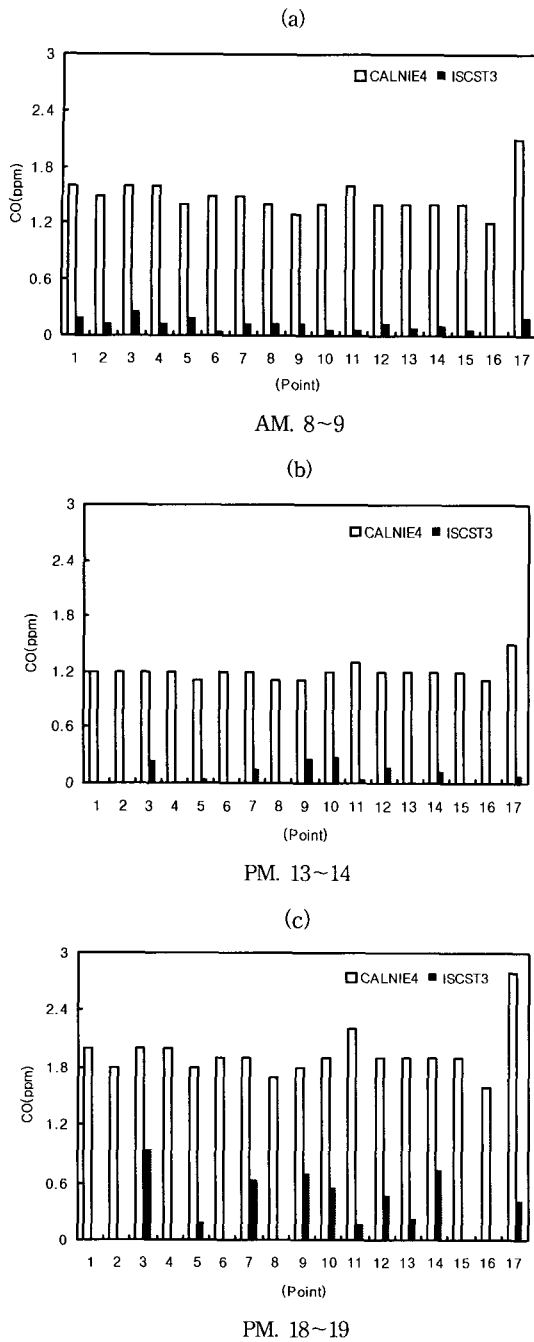


Fig. 7. A comparison of concentration of each point (13th day).

4.4. CALINE4, ISCST3 결과와 관측망의 실측치 비교

CALINE4와 ISCST3의 모델링 결과가 현저히 달랐는데, 두 모델중 어떤 것이 현실에 더 적합한지 알아보기 위해 모델링 실험 지점과 가장 가까운 곳

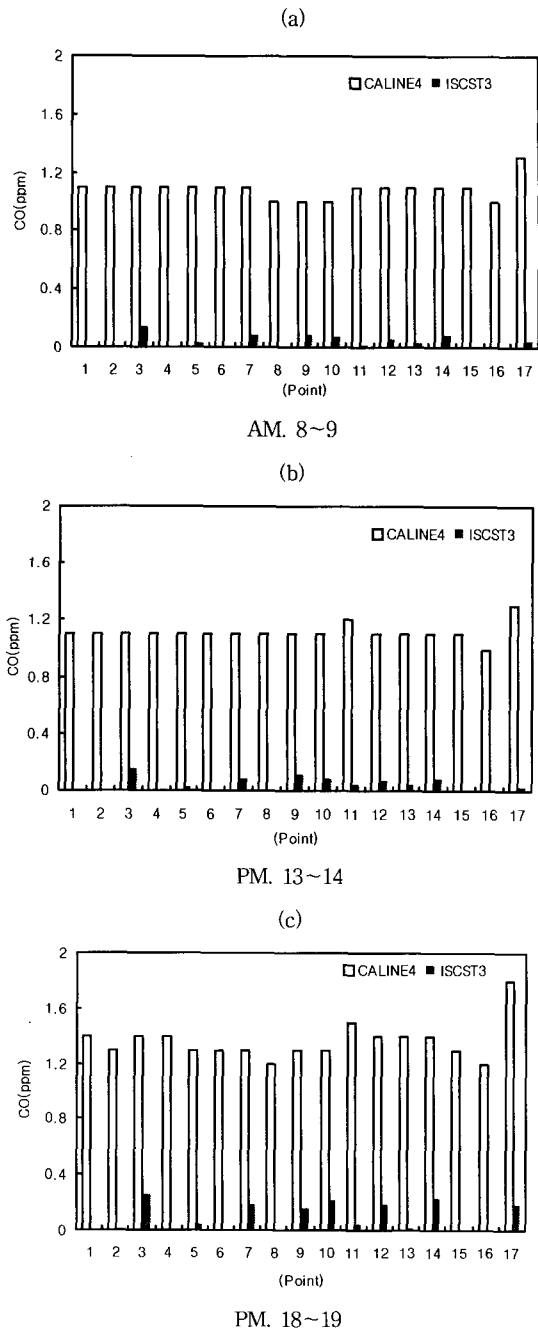


Fig. 8. A comparison of concentration of each point (16th day).

에 위치한 남산동 도로변 관측망의 농도자료를 비교하여 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9를 살펴보면 CALINE4 모델은 남산동 도로변 측정망과 유사한 값을 보이고, ISCST3 모델은 현저히 낮은 값을 보여 ISCST3에 비해 CALINE4

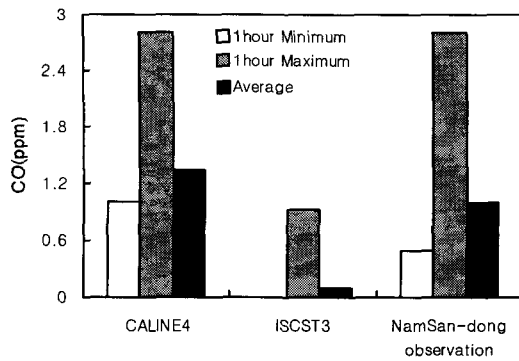


Fig. 9. A comparison of concentration of CALINE4, ISCST3 modeling result and NamSan-dong observation point.

model이 선 오염원에 의한 대기확산을 고려하는데 있어서 더욱 적합함을 잘 나타내었다.

5. 결 론

본 연구에서는 대구시의 두류네거리를 대상으로 자동차에 의해 발생한 대기오염물질이 주변지역에 미치는 영향을 파악하고, 대부분이 자동차에서 기인하는 CO를 대상으로 미국 EPA (Environmental Protection Agency) CALINE4 모델과, ISCST3 모델을 이용 기상자료, 교통량 및 배출량자료를 입력하여 모델링 한 후 각 모델링 예측치와 남산동 도로변 측정망 실측치를 비교 분석함으로써 선 오염원 예측에 적합성을 검토하였다.

본 연구의 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) CALINE4 모델의 예측 결과, 13일(주중)의 최저 농도는 구 황제예식장 방면의 5번·8번 지점, 북부정류장 방면의 9번 지점, 우방랜드 방면의 16번 지점으로 1.1ppm을, 최고 농도는 교차로 중앙의 17번 지점으로 2.8ppm을 나타내었다.

16일(주말)은 전체적으로 13일에 비해 낮은 농도를 나타내고 있으며, 최저 농도는 구 황제예식장 방면의 8번 지점, 북부정류장 방면의 9번·10번 지점, 우방랜드 방면의 16번 지점으로 1.0ppm을, 최고 농도는 교차로 중앙의 17번 지점으로 1.8ppm을 나타내었다. 또한 퇴근시간대인 17시~18시, 18시~19시에 다른 시간대에 비해 높은 농도값을 보여 이 시간대가 타 시간대에 비해 주변 지역에 미치는 영향이 클 것으로 사료된다.

2) ISCST3 모델의 예측결과 13일, 16일 양일 모두 CALINE4에 비해 현저히 낮은 농도를 나타냈으며, 최고 농도는 13일 07시~08시, 18시~19에 3지점의 0.93ppm으로 CALINE4의 최고 농도에 비해 1.87ppm 낮은 수치를 보였다.

3) CALINE4, ISCST3 모델링 예측결과를 비교하여 보면, CALINE4 모델의 결과 값이 ISCST3 모델의 결과 값에 비해 4배 이상 높은 농도값을 나타내었다.

4) CALINE4, ISCST3 모델링 예측결과를 남산동 도로변 측정망의 실측치와 비교한 결과 1시간 최저 농도, 1시간 최고 농도, 평균 농도 모두 CALINE4와 남산동 측정망의 실측치는 유사한 반면 ISCST3는 현저히 낮은 값을 확인하였다. 따라서 자동차로 인한 선 오염원을 평가하는데 있어서 점오염원, 면오염원을 다루는 ISC3 모델 보다는 선 오염원 전문 모델인 CALINE4가 예측력이 높음을 확인하였다. 이 연구의 결과는 앞으로 도로건설이나 선 오염원 평가에 있어서 어떤 모델을 선택해야 하는지 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00020-0)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 구윤서, 전의찬, 2004, 환경영향평가지 대기확산 모델의 적합성 개선 및 개성방안 연구(최종보고서), 안양대학교.
- 2) 박성규, 김신도, 이정주, 2000, 실시간 교통량을 이용한 고속도로 요금소 대기오염예측, 한국 환경위생학회지, 26(14), 134-140.
- 3) 조강래 등, 1989, 도시지역 대기질 개선에 관한 연구(I), 국립환경연구원보, 11, 53-64.
- 4) 장미숙, 이진홍, 1994, 차량 배출물로 인한 고속도로변 CO 및 TSP의 단기 오염농도의 평가, 한국대기보전학회지, 10(3), 197-202.
- 5) 박성규, 김신도, 김종호, 1998, 자동차 대기오염물질이 고속도로 인접지역에 미치는 농도 예측에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 14(6), 607- 620.
- 6) 정진도, 이보영, 박현서, 2000, 천안시 지역의 대기질 현황 및 고속도로의 영향에 관한 전사모사, 대기환경학회지, 22(9), 1707-1714.
- 7) 대구광역시, 2003, 교통량조사자료집.
- 8) 국립환경연구원, 2000, 대기오염물질배출량(1999).
- 9) Caltrans, 1989, CALINE4~A Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Concentrations Near Roadways, Final Report prepared by the Caltrans Division of New Technology and Research (Report No. FHWA/CA/TL~84/15).