

# 선 오염원에 의한 도로주변 지역으로의 대기확산모델의 민감도 분석

- ISCST3, CALINE4 모델을 대상으로 -

안원식·김해동·박명희  
(계명대학교 환경대학)

## 1. 서론

우리나라의 과거 대기오염은 주로 공장의 굴뚝으로부터 배출되는 점 오염원(point source)에 의한 오염이었지만 경제 성장으로 인한 소득증대는 도시의 인구팽창과 함께 연료사용과 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. 이러한 자동차의 배출가스 관련 대책의 효율적인 추진을 위해서 자동차로부터 오염물질을 정확히 파악하는 것은 무엇보다 중요하다.

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

대기질의 효과적인 관리를 위해서는 대기 중에 방출되는 오염물질의 환경에 대한 영향을 정확히 예측하는 것은 매우 중요하다. 대기오염예측 모델은 이러한 예측의 필요성을 해결하기 위한 하나의 방법이다.

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, 선 오염원의 경우에는 오염원의 이동성으로

인하여 신속하고 정확한 예측의 어려움 때문에 전체 대기오염도 평가시 선 오염원에 대한 정확한 평가와 이에 따른 규제가 매우 중요한 역할을 할 것이다.

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

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. 연구범위 및 분석방법

### 2.1 연구범위

대구시의 교차로인 두류네거리를 대상으로 2003년 11월13일(평일), 16일(일요일)에 대해 ISCST3와 CALINE4 모델을 이용하여 대기질을 예측하고 관측지점에서 가장 가까운 남산동 도로변 관측망의 실측치와의 비교·평가를 수행하였다. 분석된 영역은 동서 1700m, 남북 800m의 영역이며, 예측점은 두류네거리 주변의 인도 16개 지점(1-16)과 교차로 중앙 1개 지점을 선정하였다.

### 2.2 분석방법

#### 1) 기상자료

기상자료 중 온도, 풍향, 풍속은 본 연구실에서 설치한 감삼동 지점의 AWS(Automatic Weather Station)자료를 이용하였고, 대기안정도(Stability)와 혼합고(Mixing height)는 대구기상대 지상 자료와 포항기상대 상층 자료를 이용하여 산출하였다.

#### 2) 교통량 및 배출량

교통량은 시간대별·차종별 교통량을 이용하여 교통량 입력 및 대기오염물질의 배출량을 계산하는데 사용된다. 대구광역시 교통량조사자료집(2003) 자료 중 두류네거리의 시간대별·차종별 교통량을 이용하여 각 구간별로 산정하였다.

자동차로부터 배출되는 오염물질 양은 자동차의 종류, 사용연료, 누적주행거리, 주행

속도 등에 좌우된다. 그러므로 자동차로부터 배출되는 오염물질 배출량을 산출하기 위한 원단위 오염물질 배출계수는 차종에 따라 사용연료, 규제기준 등을 고려하여 산정하여야 한다.

배출량은 국립환경연구원의 대기오염물질배출계수(1998)와 CALINE4에 입력되는 복합배출계수를 이용하여 산정하였다.

표1. 대기오염물질 배출계수

Vehicle		CO	HC	NO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	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	-
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	

▪ 복합배출계수( $h/km - vehicle$ ) = 
$$\frac{\sum \{ \text{교통량}(vehicle/hr) \times \text{배출계수}(g/km - vehicle) \}}{\sum \text{교통량}(vehicle/hr)}$$

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

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

### 2.3 입력모델의 개요

#### 2.3.1 CALINE4모델

	입력자료	기본식
<p>CALINE 4 Model</p>	<p>▷오염원 20개 까지의 예측구간별, 도로 선형조건 (평탄, 성토, 교량, 절토)에 따른 예측 구간별 좌표, 교통량, 복합배출계수, 오염원 높이, 혼합층 폭</p> <p>▷기상자료 온도, 풍속, 풍향, 대기안정도등급, 혼합고, 배경농도</p>	$C = \frac{1}{\sqrt{2\pi u}} \times \sum_{i=1}^n \left[ \frac{1}{SGZ_i} \times \sum_{k=-CNT}^{CNT} \left[ \exp\left(\frac{-(Z-H+2 \times k \times L)^2}{2 \times SGZ_i^2}\right) + \exp\left(\frac{-(Z+H+2 \times k \times L)^2}{2 \times SGZ_i^2}\right) \right] \times \sum_{j=1}^5 (WT_j \times QE_j \times PD_{ij}) \right]$ <p>n = 단위구간의 층수, u=풍속, L=혼합고(MIXH)            CNT=Number of multiple reflections required for convergence            SGZ<sub>i</sub> = i번째 단위구간에 대한 f(x)로서의 σ<sub>i</sub>            QE<sub>i</sub> = i번째 단위구간에 대한 주요소구간 선오염원의 배출강도            WT<sub>j</sub> = j번째 소구간의 배출강도 가중치,</p> $PD_{ij} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{Y_j}{SGY_i}}^{\frac{Y_j+1}{SGY_i}} \exp\left(-\frac{p^2}{2}\right) dp$ <p>Y<sub>j</sub>, Y<sub>j</sub>+1=Offset distances for jth sub-element            SGY<sub>i</sub>=σ<sub>y</sub> as f(x) for iyh element</p>

### 2.3.2 ISCST3모델

	입력자료	기 본 식
ISCST3 Model	<p>▷오염원 예측 구간별 좌표, 교통량, 선오염원 배출량, 오염원 높이</p> <p>▷기상자료 풍속, 풍향, 대기안정도등급, 혼합고</p>	$C = \frac{Q \cdot k \cdot V \cdot D}{2 \prod U_s \cdot \sigma_y \sigma_z} \exp - 0.5 \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2$ <p>C = 오염물질의 농도(<math>\mu g / m^3</math>), y = crosswind distance(m),                      Q = 오염물질 배출량(g/sec), <math>\rho_a \cdot \rho_y</math> = 연직 수평확산계수                      D = 오염물질의 반감기를 고려하는 항                      V = 오염원의 높이나 수용점의 높이, 혼합고, 풀림의 상승,                      입자의 중력침강 및 건성·습성침적의 영향을 고려하는 항이다</p>

### 3. 결론

본 연구에서는 대구시 도심지의 교차로의 자동차에서 기인하는 CO를 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 평가하였다.

첫째, CALINE4 모델의 예측 결과, 13일(평일)의 최저 농도는 구 황제예식장 방면의 5번·8번 지점, 북부정류장 방면의 9번지점, 우방랜드 방면의 16번 지점으로 1.1ppm을, 최고 농도는 교차로 중앙의 17번 지점으로 2.8ppm을 나타내었다. 16일(일요일)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 농도 값을 보여 이 시간대가 타 시간대에 비해 주변 지역에 미치는 영향이 클 것으로 사료된다.

둘째, 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.

셋째, CALINE4, ISCST3 모델링 예측 결과를 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 기초자료로 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.

### 참고문헌

- 건설교통부. 자동차관리현황(2003). 서울: 건설교통부, 2003.
- 국립환경연구원. 대기오염물질배출량(1999). 서울: 국립환경연구원, 2000.
- 김신도, 이정주, 도연지. "HIWAY-II 모형을 이용한 대기오염 확산모델에서 공간적 변동특성." 한국환경위생학회지 22, no. 4 (1996): 122-128.
- 김유근 등. "부산지역에서의 오염물 배출량 산정에 관한 연구." 한국대기보전학회지 12, no. 4 (1996): 361-367.
- 김정수 등. "대기안정도 분류방법의 평가 및 실용화에 관한 연구." 한국대기보전학회지 12, no. 4 (1996): 122-188.
- 대구광역시. 교통량조사자료집. 대구: 대구광역시, 2003.
- 박명희, 김해동, 홍정혜. "대구시 대기오염물질 배출량 산정에 관한 연구." 한국환경과학회지 12, no. 1 (2003): 23-34.
- 박미영. "대구의 주요 산업시설에서 주거지로의 대기오염확산 평가." 석사학위논문, 계명대학교, 2002.
- 박성규, 김신도, 이정주. "실시간 교통량을 이용한 고속도로 요금소 대기오염도 예측." 환경위생학회지 26, no. 14 (2000): 134-140.

박성규, 김신도, 김종호. “자동차 대기오염물질이 고속도로 인접지역에 미치는 농도 예측에 관한 연구.” 한국대기보전학회지 14, no. 6 (1998): 607-620.

Caltrans. 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), 1989.

U.S. EPA. Guideline for Regulatory application of the Urban Airshed Model for Areawide carbon Monoxide. Volume I : Technical Report. EPA-450/4-92-011a, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, June, 1992.