

도심지 빌딩주변 자동차 배가스 분산에 관한 연구

유경석 · 유일광
광주보건대학 환경행정과

Numerical Simulation of Air Contaminant Dispersion around Urban City

Kyung Seok Yu · Il Kwang Ryu
Dept. of Environmental Administration, Kwangju Health College

Abstract

Ran numerical analysis about simplicity warm current model (simple turbulence model) to examine closely distributed laying stress on NOx of contaminant that happen in downtown that building is massed and result is as following.

Downtown building is massed and transfer of vehicles can know that frequent area receives greatly effect of building. Pollution displays class kind phenomenon striking in the building, class kind done pollution that show high density being mixed with pollution that happen in vehicles being flowed in again side know can .

Divide velocity vector of pollution and density change to ancient city and did numerical analysis. Because NOx is flowed in diversion of water neighborhood by continuous this kind in Godo 20m point, density showed density of 0.0907 mg/m's, and can know that Banryuhyeon that pollution strikes in the building at ancient city 30m point is decreased and approaches with freedom flowing without cooperation (cavity) phenomenon remarkably.

Because pollution strikes in the building at distance shaft 383m point, class kind do phenomenon that know appeared notably Nopeungeonmulgwanat between building pollution density 0.067 mg/m' head of a families high appear .

Corresponding author E-mail : ryuik@kjhc.ac.kr

I. 서론

도심지는 인구밀도가 높고 운용면적이 좁은 관계로 고층건물이 밀집되어 있고 차량으로 인한 자동차 배출오염물질이 거리협곡(street canyon)에 분산되게 된다. 대부분의 이러한 문제는 빌딩의 실내 환기시 빌딩내로 다시 오염물질이 유입해 들어감으로써 또 다른 실내오염문제를 야기 시키게 된다¹⁾. 자동차 배출오염 물질 중 NOx는 1차 오염물질로서도 중요 하지만 광화학 반응을 통하여 오존 같은 2차 대기오염물질을 생성해냄으로서 그 문제의 심각성이 대두되고 있는 실정이다²⁾.

우리나라는 좁은 면적에 인구밀도가 높으며 급진적 공업화로 환경문제가 심각할 우려가 있으므로 적극적인 환경개선 정책이 요구된다. 따라서 적절한 대기오염 확산모델이 필요하다³⁾. 지표면에 영향을 받는 경계층 즉 대류층에서의 오염물질 확산에 대한 예측은 장기 확산일 경우에는 확산모델중 Gaussian 모델을 사용되어 왔다. 그러나 Gaussian모델은 그 사용 빈도와 모델의 다양성 즉 공업단지, 재오염, 자동차오염, 복잡 지형, 일정한 풍하 방향의 속도, 입경 20 μ m 이하 등에서 여러 제약을 받는다⁴⁾. 따라서 계산과정이 비교적 간단하고 입력자료의 수집이 용이하므로 그동안 널리 사용되어 왔으나, 여러 가지 오차에 의하여 모델의 계산결과는 실제와 크게 다를 가능성이 있다⁵⁾. 또한, 대기오염 물질의 순환과정에서 분산과정을 정확히 이해하는 것은 주어진 배출규제 농도를 토대로 오염물의 분포상태를 정확히 예측하기 위해 필요하다. 특정지역의 대기오염물질 분산을 예측하기 위해서도 일반적으로 Gaussian 모델을 따르지만⁶⁾ 그러나 가우시안 모델의 Pasquill-Gifford dispersion 상수는 평탄지 지표부근 배출원에서만 타당성이 있고 고층빌딩이 밀집해 있는 도시에서는 사용이 불가능하다. 오염물질의 확산은 빌딩주변의

난류장에 의해 알 수 있는데, 최근 난류 모델링의 진보는 수치 해석적 기술과 computer power에 의해 난류장 주위의 고립된 건물에 대하여서는 거의 정확히 해석할 수 있게 되었다⁷⁾.

본 연구에서는 자동차에서 발생하는 오염물질 중 NOx 물질이 빌딩에 미치는 난류분산을 해석하기 위해 난류점성항을 미분방정식으로 풀지 않고 직접 해석하는 소위 zero equation model인 단순난류모델(simple turbulence mode)대하여 building block내에 자동차로부터 배출되는 NOx의 분산농도를 해석하는 것을 목적으로 하였다.

II. 연구 방법

본 연구에서 빌딩 주위의 자동차로부터 배출되는 주요 대기오염물인 NOx의 분산(dispersion)에 대한 해석을 위해 정상상태, 비압축성으로 하고 빌딩주위 대기는 3차원 난류운동으로 해석하였다. 난류모델은 비등방성 유효계수(unisotropic effective coefficients)를 직접 사용한 단순난류모델에 대해 수치 해석 하였다.

1) 단순난류모델

종속변수 x-, y-, z- 방향의 속도 u, v, w와 NOx의 농도 C 및 압력 P에 대한 지배미분방정식은 식(1)-식(3)과 같다.

- 연속방정식(continuity equation)

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

- 운동방정식(momentum equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho K (\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i})) \quad (2)$$

- 화학종 보존방정식

(species conservation equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i C) = \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho h_i \frac{\partial C}{\partial x_i}) + S \quad (3)$$

빌딩 주위의 유체유동 및 오염물의 분산을 예측을 위해 중요한 factor는 유효에디확산 계수 K_y 및 가스상 오염물의 확산계수 h_i 의 영향이다. 이를 위해 본 연구에서는 K_y 와 h_i 를 미분방정식에 의해 계산하지 않고 직접 해석하는 zero equation model을 상용하여 비등방성 단순난류모델을 적용하였다. 비등방성계수는 Tropical Ocean Meteorology 연구소⁸⁾와 Monin & Obukhov⁹⁾에 의해 실험적으로 구한 값을 사용했는데 x-, y-, z-방향의 유효에디확산계수 K 는 식(4)와 같고 가스상오염물질의 확산계수 h_i 는 식(5)와 같다.

$$K_1 = K_3 = 6.7 \text{ m}^2/\text{S},$$

$$K_2 = 2.6 \text{ m}^2/\text{S}, \quad y > 100\text{m} \quad (4)$$

$$K_2 = 2.6 \left(\frac{y}{100} \right) \text{ m}^2/\text{S}, \quad y < 100\text{m}$$

$$h_1 = h_3 = 6.7 \text{ m}^2/\text{S},$$

$$h_2 = 2.6 \text{ m}^2/\text{S}, \quad (5)$$

2) 수치해석 방법

난류 유동에 대한 유동장 및 농도장을 해석하기 위한 일반 종속변수에 대한 지배 방정식은 텐서(tensor)와 단위체적당 생성항의 합으로 식(6)과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho_i V \phi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\rho \Gamma_\phi \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right] + S_\phi \quad (6)$$

일반적인 2차 편미분 지배방정식의 해를 얻기 위해서는 검사체적(control volume)에 기초한 유한차분방법(control-volume based finite difference method)을 사용했고, 상류도식(upwind scheme)을 사용하여 이산화방정식을 유도하였다. Navier-Stokes 운동방정식에서 나타나는 압력과 속도의 연계는 SIMPLEST알고리즘¹⁰⁾을 사용하였다. SIMPLEST(Semi Implicit Method for Pressure-Linked Equations Shor Tened) 알고리즘은 SIMPLE알고리즘의 수렴속도를

높이기 위해 개발된 것이다.

Table 1. Constants of Turbulent Model

C_1	C_1	C_μ	σ_ϵ	σ_k
1.44	1.92	0.09	1.30	1.0

3) 경계조건

외부에서 계내로 유입되는 입구유속분포(inlet wind velocity profile)는 식(7)과 같고, 출구압력은 작용하지 않는다.

$$u(y) = 2.6 \left(\frac{y}{10} \right)^{0.25} \quad \text{m/s} \quad (7)$$

바닥면과 빌딩표면은 no-slip조건인 난류 벽함수(turbulent wall function)를 사용하였다. 계상부 및 양측은 자유흐름(free stream)의 parallel slip flow로 한다. 도로는 차도와 인도로 구성되어 있으며 차도는 자동차로부터 NOx가 배출되는 선오염원(line source)으로 식(3) 생성항 S에 해당된다. 생성항 S는 다음 식(8)과 같다.

$$S(Kg \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}) =$$

$$\frac{\text{automobile flow rate (cars}^{-1}) \times \text{emission factor (g car}^{-1} \text{ m}^{-1})}{\text{width of middle road (m)} \times \text{unit height of middle road (m)}}$$

본 연구에서는 계내에 시간당 차량수(automobile flow rate)는 5개 지점으로 나누어 1500car/h, 1300car/h, 500car/h, 300car/h, 200car/h로 하고, NOx emission factor는 Duprey⁹⁾에 의해 제안되어진 $2.3956 \times 10^{-3} \text{ g car}^{-1} \text{ m}^{-1}$ 로 하며 차도(middle road)의 폭과 단위높이를 각각 35m, 25m, 14m, 8m, 6m로 하였으며, 생성항 S는 $15.83 \text{ kg m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ 이 된다. NOx의 지면으로 흡수는 5%로 하였고, 초기 오염물의 농도는 계 모든 영역에서 0으로 하였다. 총 오염물의 농도 C_T 는 식(9)과 같다.

$$C_T = C + C_a \quad (9)$$

여기서 C는 단순난류모델 경우 각각 식

(3)에 의해서 구해진 값이고 C_a 는 주위 배경농도(background concentration)로 외부에서 계 입구로 공기와 함께 유입되어 0.02 mg m^{-3} 이다.

$$V^+ = \frac{1}{K} \ln(Ey^+) \quad (10)$$

도심지 차도의 자동차로부터 배출되는 오염물질인 NO_x 가 빌딩주위로 분산을 규명하기 위해 식(4), (5)와 같이 비등방성 유효계수(unisotropic effective coefficients)를 이용한 단순 난류 모델에 대하여 수치해석적 연구를 수행하기 위하여 설정한 모델링 대상지역은 광주광역시 광산동에 위치한 도청 앞 분수대를 중심으로 수행 하였다. Fig. 1

과 같이 격자계로는 x축(폭)은 400m, y축(길이)500m, z축(높이)100m로 설정 하였으며 격자계로는 $10 \times 10 \times 10 \text{m}$ 로 모델링 영역은 자동차의 유입이 많고 고층 빌딩이 밀집되어 있는 대표적인 도심지이다.

Fig. 2는 수치해석을 위해 3차원 모델을 평면도로 도식해 놓은 것으로 오염물질이 발생되는 도로를 5개 지점으로 나누어 각각 35m, 25m, 14m, 8m, 6m로 구분하였으며 이동오염원인 자동차의 유입은 시간당 각각 1, 500car, 1, 300car, 500car, 300car, 200car로 유입된다. 또한 오염물의 이동에 영향을 미치는 바람은 북북동(NNE) 즉 위에서 아래로 불어오고 풍속(Wind velocity)은 1.67m/sec 이다.

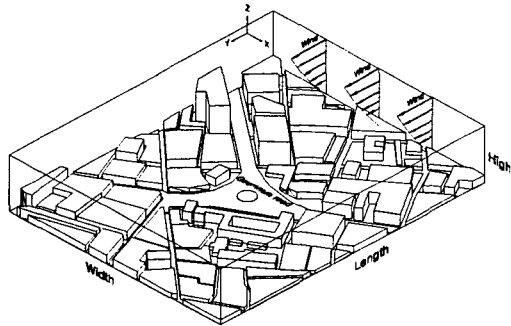


Fig. 1. Downtown penal servitude for numerical simulation.

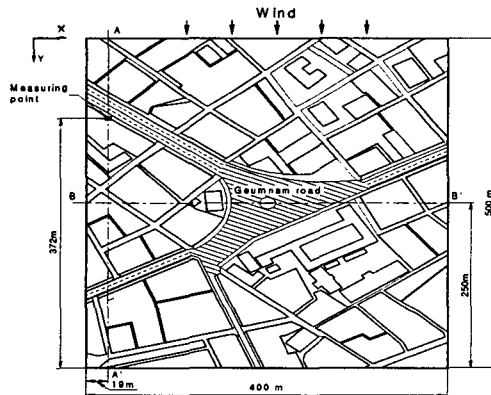


Fig. 2. Cross section of numerical simulation.

III. 결과 및 고찰

도심지 차도의 자동차로부터 배출되는 오염물질인 NO_x가 빌딩주위로 분산을 규명하기 위해 단순 난류 모델에 대하여 수치 해석적 연구를 수행하기 위하여 설정한 모델링 대상지역은 광주광역시 광산동에 위치한 구 전남도청 앞 분수대를 중심으로 수행 하였다.

Fig. 3은 단면 A-A'에서 속도벡터, NO_x 농도분포, 압력분포를 나타낸 것이다.

Fig. 3(a)의 속도벡터를 보면 고층빌딩 B2 후단부에서는 재순환영역(recirculation zone)이 존재하며, 고층빌딩 후단면에 반류(counter flow)가 형성되어 웨이크효과(wake effect)가 발생되어 풍하방향으로 흐른다.

Fig. 3(b)는 NO_x의 농도분포를 나타낸 것으로 차도가 있는 건물 B1과 B2사이, 건물 B3과 B4사이의 거리협곡 내에 NO_x 농도가 큰 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 이 영역의 경우 Fig. 3(a)에서 상세히 보기는 어렵지만 국부적으로 데드존(dead zone)이 형성되는 영역이라고 할 수 있다.

특히, 풍하방향 선단부 근처에 있는 건물 B₁과 B₂사이 협곡은 Fig. 3(c)의 압력분포에서 볼 수 있듯이 압력이 높은 상태로 NO_x가 정체되어 있다고 할 수 있다. 또한, 고층건물 후단부의 경우 재순환영역이 형성되어 NO_x 농도가 큰 값을 갖지만 웨이크효과로 인해 NO_x가 고층건물 후벽기류를 타고 풍하방향으로 분산된다.

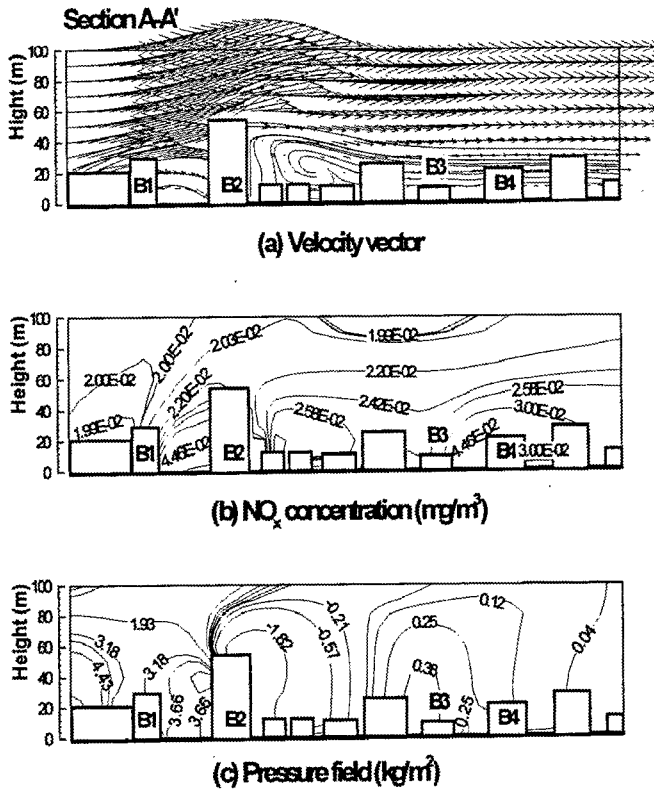


Fig. 3. Velocity vector, NO_x concentration and pressure field at section A-A'.

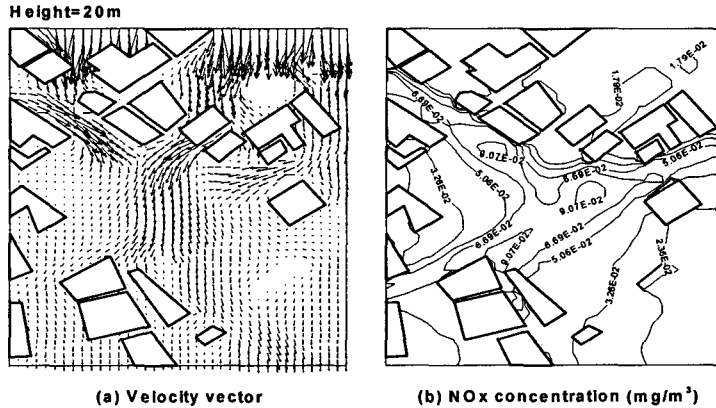


Fig. 6. Velocity vector and NO_x concentration on the 20m height.

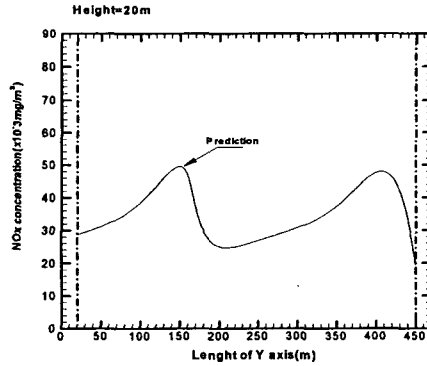


Fig. 7. NO_x concentration at 20m height of section A-A'

방향 주도도로 빠져나간다. NO_x의 농도분포는 Fig. 5(b)에서 볼 수 있듯이 도로에서 발생한 NO_x가 도청 분수대로 집중되어 NO_x가 최대농도인 0.111mg/m³을 보인 후, 이류(advection)에 의해 풍하방향으로 일부 분산된다. Fig. 6은 고도 20m에서 속도벡터와 NO_x의 농도분포를 나타낸 것이다.

Fig. 6(a)는 높이 20m에서의 속도벡터를 나타낸 것이다. 건물주위로부터 도로로 유입되는 흐름이 낮은 건물 상단을 통해 하류로 이동하므로 반류 현상이 약화되지만 건물 후단부로 유동이 모아져 작은 wake영역을 형성하며 흐른다. 또한 건물 주위에는 낮은 농도를 보이지만 건물에 부딪쳐 반류

하는 현상으로 인하여 오염원인 도로로 유입되어 높은 농도를 보이고 있다.

Fig. 6(b)는 NO_x의 농도분포를 보면 구 전 남도청 분수대 부근으로 도로에서 발생한 NO_x가 계속적으로 이류에 의해 유입됨으로 최대 농도 0.0907 mg/m³을 보인다. Fig. 7은 도심지의 측정소와 동일한 위치를 A-A'단면으로 설정하여 측정점 고도 20m 위치에서 풍하방향으로 NO_x의 농도를 나타낸 것이다.

NO_x 농도는 풍하방향에서 풍하길이 150m와 400m에서 각각 0.0496mg/m³와 0.0477 mg/m³의 값을 보이는데, 이는 도로 양변에 고층건물로 거리 협곡(street canyon)이 형성된 상태에서 차도의 자동차로부터 NO_x가

지속적으로 발생되기 때문이다.

Fig. 8은 고도 30m 지점에서의 속도벡터 및 농도를 나타낸 것이다. 오염물이 건물에 부딪치는 반류 현상이 현저하게 감소한 것을 알 수 있다. 건물 후류 쪽의 속도벡터가 주위 흐름보다 다소 작은 것을 보이며 공동(cavity)현상이 없이 자유흐름과 거의 같은 것을 알 수 있다. 오염물의 농도도 건물에 부딪쳐 도로로 유입되는 현상이 감소하여 도로나 주변 농도가 비슷하게 나타난 것을 알 수 있다.

다음은 수직단면 B-B'면에 대한 속도벡

터와 농도를 나타낸 것이다. Fig. 9는 B-B 면에 대한 Y(거리)축의 378m지점에서의 단면이다. 오염물이 건물에 부딪쳐 반류 하는 현상이 두드러지게 나타난 것을 알 수 있다. 또한 높은 건물과 낮은 건물 사이의 농도가 0.067 mg/m³로 가장 높게 나타나고 도로로 유입되는 오염물이 고도가 높아지면서 점차적으로 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 NO_x 오염물이 일정량 지속적으로 발생되어 거리 협곡 양측면에서 건물 후단부로 모이게 되므로 NO_x의 농도가 가장 큰 것을 알 수 있다.

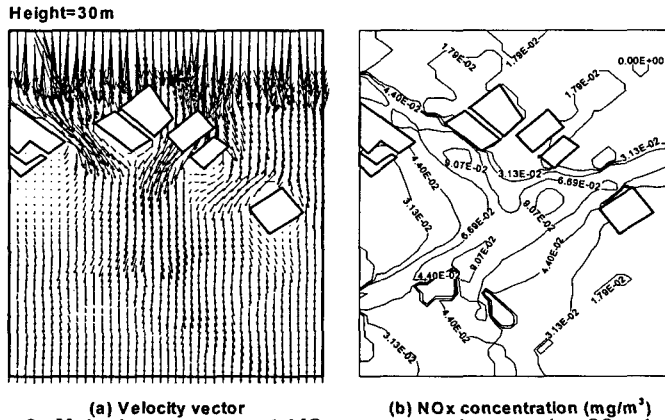


Fig. 8. Velocity vector and NO_x concentration on the 30m height

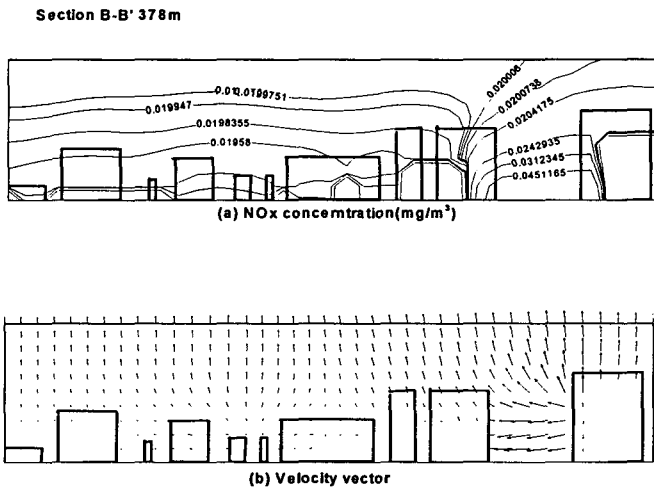


Fig. 9. Velocity vector and NO_x concentration at section B-B' 378m

IV. 결 론

건물이 밀집되어진 도심지에서 발생하는 오염물질 중 NO_x를 중심으로 분산을 규명하고자 단순난류모델에 대한 수치 해석을 수행하였으며 결과는 다음과 같다.

도심지 건물이 밀집되고 차량의 이동이 빈번한 지역에서는 건물의 영향을 크게 받는다는 것을 알 수 있다. 오염물이 건물에 부딪쳐 반류 현상을 나타내며 반류된 오염물은 도로 쪽으로 유입되어 차량에서 발생하는 오염물과 혼합되어 높은 농도를 보이고 있는 것을 알 수 있다.

오염물의 속도벡터(Velocity vector) 및 농도변화를 고도별로 구분하여 수치해석을 하였다. 고도 20m지점에서는 단순난류모델을 통해 수치 해석한 농도가 0.0907 mg/m³의 수치를 보였으며, 고도 30m지점에서는 건물 후류 쪽의 속도벡터가 주위 흐름보다 다소 작은 것을 보이며 공동(cavity)현상이 없이 자유흐름과 거의 같은 것을 알 수 있다. 오염물의 농도도 건물에 부딪쳐 도로로 유입되는 현상이 감소하여 도로나 주변 농도가 비슷하게 나타난 것을 알 수 있다.

사 사

본 연구는 광주보건대학 학술연구지원비로 수행되었습니다. 본 연구를 위해 후원해주신 대학당국에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 전영남, 엄태인, 조선희 : 빌딩주위의 자동차 배기가스의 분산에 관한 수치해

석, 한국환경공학회지, 19, 601-610 (1997)

2. Bowers, J.F., Bjorklund, J.R., and Cheung, C.S. : Industrial source Complex Dispersion Model User's Guide, Vols I & II, U. S. EPA (1979)

3. 이종범, 김산, 김용국, 조창래, 유승도 : 추적자 확산실험에 의한 야간 강안정층 하에서의 가우시안 퍼프모델의 평가, 12, 529-540 (1996)

4. 이종범 : 우리나라에 적합한 국지 확산 모델의 개발방향, 한국대기보전학회지, 11, 15-28 (1995)

5. KOT, S.C. : Numerical Modeling of Contaminant Dispersion Around Building, Building and Environment, 24, 33-37 (1989)

6. Monin, A.S. and Obukhov, A.M. : Basic turbulent mixing laws in the atmospheric surface layer, Trudy Geofiz, Inst. AN.S.S.S.R. 24, 163-187 (1954)

7. Patanker, S.V. : Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, Hemisphere Publishing Corporation, New York (1980)

8. Spalding, R.B, PHOENICS : Training Course Notes, CHAM TR/300 (1988)

9. Duprey, R.L. : Compilation air pollutant emission factors, PHS Publication 999-AP-42, Durham, NC, National Center for Air Pollution Control (1986)

10. Qin, Y. and Kot, S.C. : Validation of Computer Modeling of Vehicular Environment 25(2), 125-131 (1990)