

HIWAY-II 모형을 이용한 대기오염 확산모델에서 공간적 변동특성

이정주* · 도연지 · 김신도

*용인대학교 환경보건학과, 서울시립대학교 환경공학과

A Study on Characteristics of Spatial Variation for Air Pollution as Line Source Using HIWAY-II Model

*Jeong Joo Lee, Yeon Ji Do, Shin Do Kim

*Dept. of Environmental Health, Youngin University

Dept. of Environmental Engineering, Seoul City University

ABSTRACT

Many computer programs have been developed for meteorological and air quality simulation. Many of the model the U.S. EPA recommends are available as part of UNAMAP. HIWAY-II can be used to estimate the concentrations of nonreactive pollutants from highway traffic. As a result, It was found that distribution of concentration wind speed was 1 m/s to 5 m/s were diminished to about 1/2. In our study, we measured air pollutants(CO), temperature and humidity to evaluate. Meteorological parameter were influenced by not only wind direction but also vertical.

Keywords : Hiway-II, line source, air modeling, mobile air pollutant, verifications.

I. 서 론

오염원으로 부터 대기 중으로 배출된 오염물질은 시간적 또는 공간적 이동을 통하여 발생 순간 또는 일정 시간의 경과 후에 임의의 지역에 피해를 나타내게 된다. 따라서 대기 중에서 오염물질의 거동을 파악하는 것은 대기질의 개선이나 오염의 사전 예방 측면에서 매우 중요하다. 오염도를 파악하기 위해서는 대상 지역에서 실제로 나타나는 농도를 측정하는 것이 가장 바람직하나, 미래의 개발 계획에 의한 대기 환경에의 영향을 평가하기 위해서는 적절한 예측 수법이 모색되어야 한다.⁵⁾

대기오염물질의 확산 예측을 위한 수법의 하나로 컴퓨터 시뮬레이션이 이용되고 있으며, 이들은 대기 확산모델로 알려져 있다.¹⁹⁾ 즉 대기확산모델은 오염물질의 확산, 대류, 화학반응, 침전 등을 고려하여 대상 지역내의 오염물질 발생량과 기상 조건 및 지형 조건 등 대기 중에서 오염물질의 농도 분포에 영향을 미치는 인자들의 복잡한 형상을 단순화시켜 수학적으 농도를 예측하는 방법이다.^{7,12,20)}

대기오염물질의 배출원은 크게 고정오염원(stationary source)과 이동오염원(mobile source)으로 구분되며 이동오염원은 도로망을 따라 움직이는 자동차가 대표적인 오염원으로 선오염원(line source)으로 분류할 수 있다. 이러한 배출원에 대해 적용하도록 개발되어 있는 모델들은 배출원의 입지 조건, 기상 조건, 수용점 조건에 따라 오염물질의 확산 거동을 파악하고 오염 농도를 산출하게 된다.^{13,14,22)}

현재 우리나라에서는 대기확산모델을 대부분 환경영향평가 사업에 이용하고 있으나, 이 외에도 국토개발 계획이나 공업단지의 조성 계획시 대기환경의 평가, 대기오염 피해지역의 파악이나 유해물질 누출사고 대책 등에도 이용할 수 있다. 또한 외국에서 운영되고 있는 스모그 경보제나 우리나라의 오존 경보제와 같이 오염물질의 예보 및 경보시스템의 운영시 오염물질의 농도 및 영향권을 파악하는데 이용될 수 있다.^{5,15-18)}

최근 대도시의 대기오염에 있어서는 선오염원이 차지하는 비중이 상대적으로 크게 증가하고 있으며, 자동차에서 배출된 오염물질은 대기 중에서 광화학

반응에 의하여 스모그 현상이나 오존의 농도를 높이므로 선오염원의 철저한 관리가 한층 요망된다.^{5,7)}

특히 대도시권의 오염경보제 운영에 있어서는 대형의 고정오염원은 조업시간이나 연료사용량과 관련하여 배출량 규제를 통하여 통제가 용이하나, 이동오염원의 경우에는 오염원의 이동성으로 인하여 신속하고 정확한 예측이 어려울 수 있다. 따라서 전체 오염도의 평가에 있어서도 이동오염원의 정확한 평가와 이에 따른 규제가 매우 중요한 역할을 할 것이다.⁶⁾

교통은 도시나 지역을 연결시켜 주는 기능을 갖고 있어 사람의 행동반경을 증대시켜 주는 도시의 중요한 기능 중의 하나이다. 최근에는 인구의 급증에 따른 교통 수요의 폭발적인 증가로 교통 문제가 매우 심각한 상황이다.²³⁾ 그 중 자동차의 운행에 의한 배기가스의 방출은 대기오염에의 기여도가 매우 크므로 시급한 대책이 필요한 실정이나 기존의 교통 문제의 해결 방안은 교통 소통을 우선시하여 대기환경에의 영향에 대한 고려는 부족하였다.^{1,24)} 또한 이제는 2차적으로 생성되는 오염물질의 농도가 점차 증가되고 있으므로 2차 오염물질의 생성에 중요한 역할을 하는 자동차 오염물질의 규제가 더욱 필요하다.

따라서 본 연구에서는 선오염원을 대상으로 기존에 개발된 모델을 바탕으로 주변 지역으로의 대기오염물질의 확산 형태 및 영향권을 예측할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

II. HIWAY-II 모형의 이론

HIWAY-II는 비교적 복잡하지 않은 지형을 대상으로 고속도로로부터 수십~수백 미터 거리에서 고속도로 차량에 의한 비반응성 오염물질의 농도를 계산하는 프로그램으로 고속도로 건설에 의한 영향을 알아보는데 유효하게 쓰여질 수 있다.^{25,27)} At-grade 형태의 고속도로에 대해 오염 농도를 예측하는 경우, 각 차선은 균일한 배출 농도를 갖는 연속적인 직선오염원으로 간주된다. 선오염원의 풍하측에 있는 대기오염 농도는 간단한 점오염원에서의 Gauss plume을 선오염원을 따라 적분해서 구한다. Cut-section형의 도로인 경우, 풍하측에서의 오염 농도는 Cut-section의 윗 부분을 면오염원으로 간주하여 계산한다. 이 면오염원은 전체 배출 강도가 도로의 전체 배출량과 같은 10개의 선오염원으로 계산된다.²⁰⁾

각 차선의 배출 강도(g/m.sec)는 계산에 의해 구해지며 교통량, 평균주행속도, 교통계수(대형차 비

율, 오염물질 제어 장치의 부착 차량비율)의 함수로 나타낸다.

이상적인 4차선의 At-grade형 도로에서 각 차선의 배출량은 각 연장의 직선 오염원의 형태로 계산에 이용된다. 도로의 위치는 도로 중심선의 한 쪽 끝 부터 다른 쪽 끝 까지의 좌표로 표시되며 차선의 순서는 1번 지점에서 2번 지점 방향을 보고 좌측에서 우측으로 정하게 되며 2-24 차선까지 가능하다. 도로폭과 중앙분리대의 폭이 모델에 입력되며, 각 차선에 균일한 배출 강도가 할당된다. 균일 배출량이 각 선오염원별로 정해지며 이 배출량은 배출계수(g/대.km)와 교통량(대/hr)의 곱으로 구해진다.

III. 모형의 적용 및 고찰

1. 대상 지역

적용 대상 도로는 수원-인천간 산업국도의 일부 구간으로 양방향 4차선의 도로이다. 측정 위치는 오염물질의 측정 및 시료 채취가 용이하고 지형이나 건물 등에 의한 반사의 영향이 비교적 적을 것으로 판단되는 곳으로 선정하였다.

측정 위치는 Fig. 1과 같이 대상 구간에서 오염물질의 수평 및 수직 이동을 파악하기 위하여 총 3개 측정점을 선정하였다. 모델의 수행을 위한 대상 오염물질은 일산화탄소(CO)로 하였다. 일산화탄소는 분자량이 28로써 공기와 비슷하고 일반 대기중에서는 농도가 낮고 비교적 안정하며 자동차로 부터 많이 배출되는 물질이다.²¹⁾

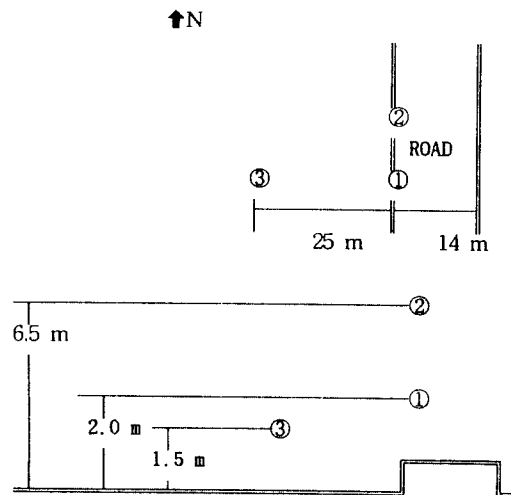


Fig. 1. Sampling point of road

2. 측정 방법

1) 측정 방법

오염물질의 측정은 발생원인 도로로부터 일정 거리로 구분하여 선정한 3개 지점에 시료 채취용의 tube를 설치하고 공기용 펌프를 연결하여 일산화탄소 측정기까지 시료를 연속적으로 흡입하였다. 각 지점에 대하여 시간당 20분 동안 자료를 축적하여 1시간의 평균값을 산출하였다.

기상 현황의 측정은 기상 측정기(Weather monitor II, Davis Co., USA)를 이용하여 측정하였으며, 측정 항목은 온도, 습도, 풍향, 풍속, 기압 등이다. 기상 측정 장치는 주변의 지형이나 나무 등의 영향을 최소화할 수 있는 도로변 지점을 선정하여 지상 약 3.5 m 정도의 높이에 설치하였다.

교통량 측정은 Video camera를 도로변에 설치하고 연속적으로 녹화한 후 통과 차량을 계수하는 방식으로 산출하였다. 교통량은 차종에 따라 1시간 동안의 총 차량수를 계수하여 파악하였으며 차량의 통과 속도는 30분 단위로 차속을 측정한 후 1시간 값을 평균하여 산출하였다.

3. 측정 결과

1) 교통량 측정 결과

교통량의 측정 결과는 Fig. 2와 같다. 교통량의 변화 추이를 보면 출퇴근 시간에 비교적 교통량이 많으며 이 중 대부분은 승용차가 차지하고 있다. 산업용 도로인 관계로 일반 자동차 전용도로와 비교해 보면 화물차의 통행이 다소 많은 편이다.

2) 기상 현황 측정 결과

시각별 평균 기상 현황(온도, 습도, 풍향, 풍속)은 Fig. 3~Fig. 5와 같다. 전형적인 초여름의 맑은 날의

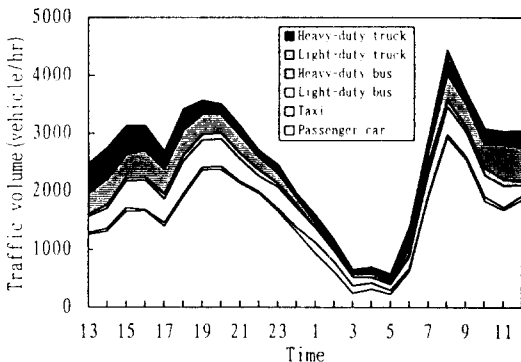


Fig. 2. Result of traffics volume

기상 상태로 온도는 15~33°C, 습도는 40~80%의 범위로 나타났다. 풍속은 0.5~2.0 m/s 범위로 오후 3시경에 가장 강하고 점차 약해져서 오전 1시에서 4시경에 가장 약하게 나타났다. 풍향은 북동풍 계열의 발생 빈도가 가장 높았다.

3) 오염물질 측정 결과

측정한 일산화탄소 농도를 시각별 평균으로 정리하면 Fig. 6과 같다. 도로에서 가장 근접하고 있는 지점1에서의 농도가 전반적으로 높으며 일몰후부터 일출전까지의 시간대에서는 대기가 매우 안정한 관계로 배출된 오염물질이 정체되어 상대적으로 고농도를 보이는 것으로 사료된다.

4. 모형의 수행

1) 오염물질 배출량의 산정

본 연구에서는 인용한 연구중⁶⁾ 구분된 자동차의 종류를 교통량을 구분하기에 용이하도록 승용차, 택시, 소형버스, 대형버스, 소형화물, 대형화물 등 6종으로 구분하였으므로 이들에 대한 배출계수식만 인용하였다. 승용차는 무연휘발유를 사용하는 촉매장치 가동 차량, 택시는 촉매 장치 가동 차량, 버스와

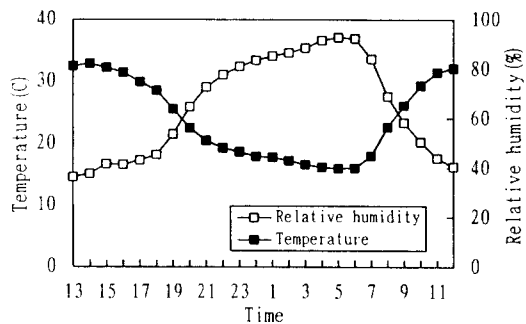


Fig. 3. Variation of temperature and humidity

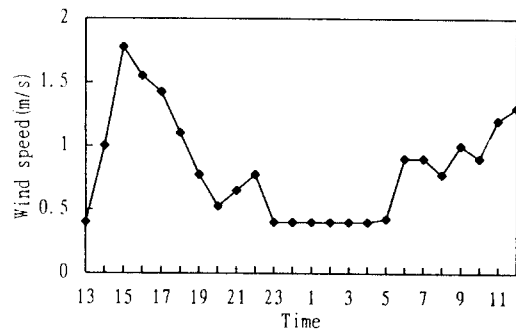


Fig. 4. Variation of wind speed

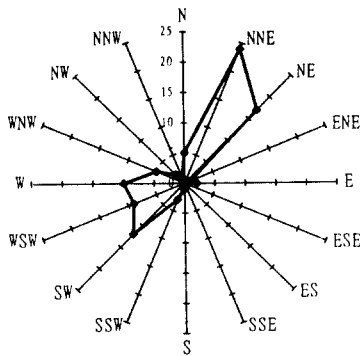


Fig. 5. Wind rose of sampling site

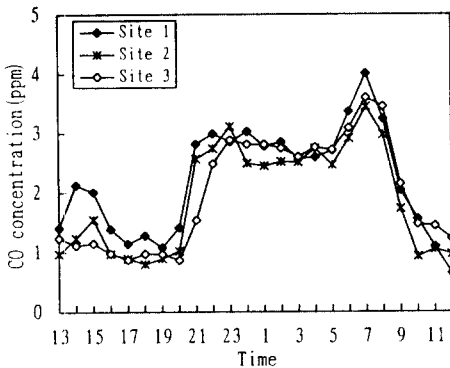


Fig. 6. Concentration of carbon monoxide

트럭은 1988년 이후 모델로 가정하였다. 또한 대형 버스와 대형 트럭의 경우에는 조사년도 당시 평균 주행속도 21.9 km/h에 대한 배출계수만 제시되어 있으므로 그 값을 기초로 배출계수가 속도에 반비례하는 단순한 산술식으로 계산하였다.

실측 조사의 교통량 및 차속을 이용하여 오염물질의 배출량을 산출하여 사용하였다. 모델의 입력자료로는 차선별 배출량이 요구되나 교통량을 계수하는 과정에서 차선별 교통량을 고려할 수 없어서 전체 차선에서의 오염물질 총량을 각 차선에 고르게 분포하는 수단을 이용하였다.

2) 기상모델의 조합

확산모델의 수행에 요구되는 기상 자료 중 계산을 요하는 부분은 대기안정도와 혼합고의 산출로 이들은 이론을 바탕으로 몇 종의 프로그램들이 개발되어 있다. 본 연구에서는 개별적으로 이용되고 있는 프로그램¹¹⁻¹²⁾을 통합하여 모델의 수행에 필요한 입력 자료의 체계로 수정하였다. 모델들의 조합

Table 1. Results of relationship for expected value and observed value

site	R ²	background conc.(ppm)
1	0.33	1.5872
2	0.20	1.5145
3	0.34	1.5362

을 행한 후 본 연구의 기상 측정 자료를 이용하기에 가장 타당한 방법을 선정하여 안정도와 혼합고를 산출하였다.

3) 확산모델의 적용

(1) 모델의 입력 조건

도로 및 수용점은 도로로부터 영향권이 될 수 있는 수용점의 크기를 500×500 m로 간주하여 수용면의 중앙에 도로가 위치하도록 하였으며 이 때 도로의 기하학적 구조는 실제 측정 도로와 동일하게 입력하였다. 전체 수용면을 50×50 m 크기의 등간격의 격자로 나누었으며 실측 지점과 동일한 좌표의 3개 지점을 추가하였다.

기상 자료는 실측한 측정자료를 분석하여 작성한 값을 이용하였다. 오염물질 배출량은 각 차선별로 단위시간과 단위길이에 배출되는 질량으로 계산한 값을 이용하였다.

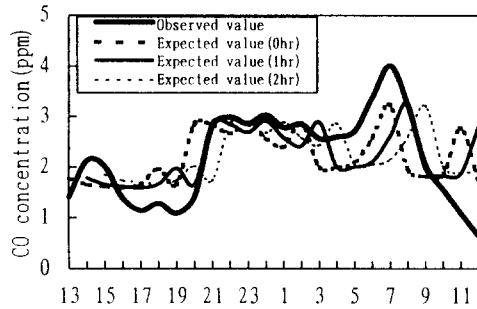
(2) 모델의 출력 결과

모델을 수행한 후 출력된 시각별 결과 중 실측 지점과 동일한 좌표에서의 농도만을 실측치와 상관분석하여 상관계수(R²)와 배경 농도를 Table 1에 나타내었다. 배경 농도는 두 수치간의 상관을 1차 선형식으로 표현하여 절편값으로 구하였다.

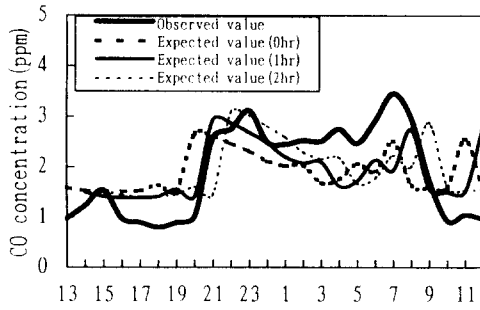
도로에 아주 근접한 지점 보다는 일정 거리(약 25 m) 떨어진 지점의 경우에 상관성이 더 양호한 것으로 나타났다. 이것은 도로에 아주 가까운 지점의 경우에는 자동차, 특히 대형 차량의 통행에 의하여 오염물질의 난류 효과가 커지므로써 이론적으로 계산되는 값과 다르게 나타난 것으로 사료된다. 또한 연직 방향으로는 도로 위 약 3 m 이내의 지점에서 상관성이 높은 것으로 나타났다.

배경 농도의 평균은 1.55 ppm으로써 1994년의 전국 연평균 일산화탄소 농도 1.4 ppm, 5월 평균 1.01 ppm, 6월 평균 0.86 ppm에 비하여 다소 높게 나타났는데, 이는 평가 지역이 오염원에 근접한 지역으로 자동차 배기가스의 영향을 직접적으로 받기 때문인 것으로 사료된다.

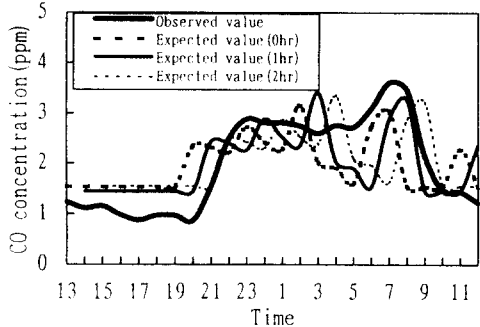
또한 모델의 수행 결과를 시간 경과에 따른 풍



(a) site 1



(b) site 2



(c) site 3

Fig. 7. Distributions of concentration during time series

하 방향에서 농도 분포로 나타내면 Fig. 7과 같다. 풍향이 남서→북동→남서 계열로 변화 가고, 풍속이 강→약→강으로 변화 가면서 도로를 중심으로 약 250 m 까지 0.01 ppm 영역이 나타나고 있다.

(3) 모델의 보정

모델 수행에 의한 예측치와 실측치간의 농도 변화 추세를 근접시키기 위한 수단으로 예측 시간을 1시간 또는 2시간씩 지연시켜 실측 농도와 비교하여 보았다. 두 값들간의 상관 분석 결과는 Table 2와 같다.

도로 위 3 m 이하 지점에서는 1시간 지연의 경우

Table 2. Results of relationship for expected value and observed value after 1 hour and 2 hour

site	after 1 hr		after 2 hr	
	R ²	background conc.(ppm)	R ²	background conc.(ppm)
1	0.34	1.5892	0.28	1.6689
2	0.38	1.3920	0.40	1.4230
3	0.49	1.4467	0.43	1.5477

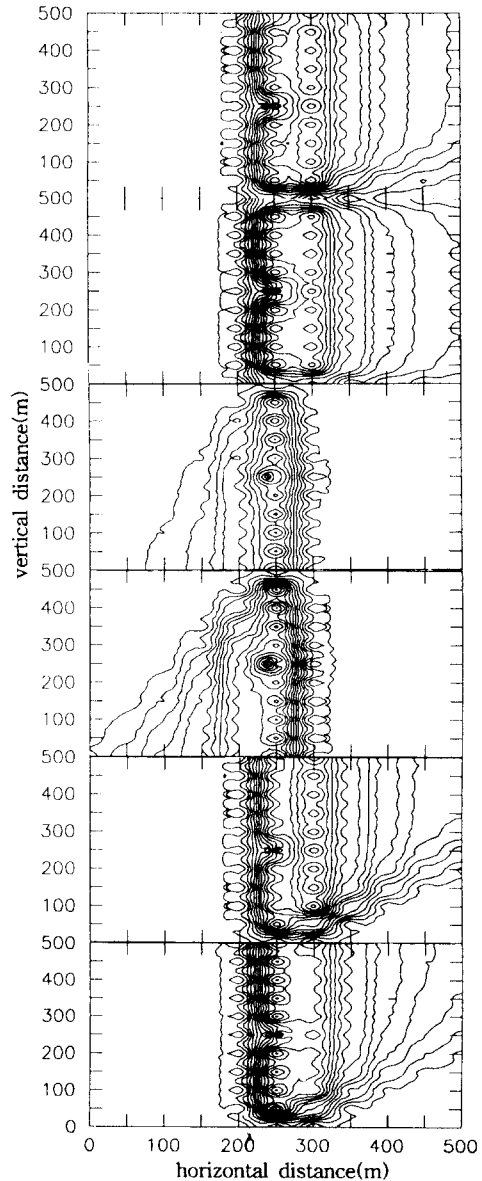


Fig. 8. Comparison of expected value and observed value at each site

가, 그 이상에서는 2시간 지연의 경우가 실측과 근접하는 것으로 파악되었으며, 도로에 가깝게 접한 지점보다는 일정 거리 떨어진 지점에 대하여 평가하는 것이 더 타당한 것으로 나타났다.

Fig. 8은 위의 결과를 토대로 지점별로 실측치와 예측치간의 농도 추세를 나타낸 것이다. 여기서 x축은 거리로서 250 m 지점을 중앙으로 발생원이며 y축은 혼합고를 500 m 인 경우의 수직높이를 말한다. 위의 결과에 의하여 현재의 배출량에 의한 영향이 1시간 지연되어 나타나는 것으로 파악된 상태에서 상관이 양호한 지점 1과 3의 예측치와 실측치를 함께 평가하였다. 이 결과로 선오염원으로 부터의 배출량만으로 구해진 예측치를 배경농도를 감안하여 실제 나타날 것으로 추정되는 농도로 변환시키는 수식을 $Y=9.3211X+1.5288(R^2=0.41)$ 로 산정하였다.

5. 모델의 응용

앞의 결과를 바탕으로 한 모델의 응용으로 기상 변동에 의한 연직 고도별 농도 분포를 알아보았다. 1000×1000 m의 수용면을 50 m의 등간격으로 분할한 후 도로의 중심이 경도(X축) 50 m 지점에 놓일 때 위도(Y축)가 도로의 중심(250 m)인 각 수용점에서 연직으로 0 m, 1.5 m, 3 m, 5 m, 10 m, 20 m, 50 m인 지점을 선정하여 모델을 수행하였다. 이 때 도로폭은 4차선(14 m)이며, 배출량은 모두 동일하게 입력하였다. 기상요소 중 풍향은 도로에 직각(90°), 풍속은 1, 3, 4, m/s의 3단계, 안정도는 불안정, 중립, 안정의 3단계, 혼합고는 500 m로 하여 9가지의 경우에 대하여 결과를 출력하였다.

모델 수행의 결과는 Fig. 9와 같다. x축은 지면의 수평거리이고 y축은 수직높이를 말한다. 풍하 방향

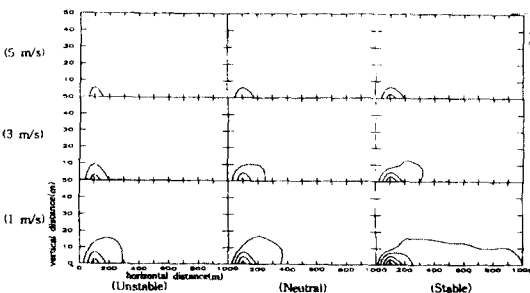


Fig. 9. Vertical plume type of pollutants with wind speed and stability

으로의 농도 분포는 동일한 대기 안정 상태에서 풍속이 1 m/s에서 5 m/s로 강해지면서 영향권이 약 1/2로 감소하였으나, 풍속이 약한 경우에는 불안정한 상태에서 안정한 상태로 변하면서 영향권이 약 5배 까지 확대되었다. 연직 방향으로는 풍속이 강해지면서 영향 고도가 약 1/2 까지 감소하였다. 기상의 영향은 풍하 방향 뿐만아니라 연직 방향으로도 농도 분포를 다르게 하므로 영향권의 결정시에는 수평 및 연직 방향 모두를 고려하여야 한다.

오염물질 측정 장비의 이용면이나 시료의 채취면에서 동시에 다수의 지점을 연속 모니터링하는 것과 순간적으로 변동하는 기상이나 오염원의 조건을 완벽하게 모사하는 것은 현실적으로 매우 어려운 작업이다.^{7,9,12)} 본 연구에서도 적은 수의 지점만을 대상으로 평가하여 부족한 점이 있으므로 향후 더 많은 자료의 축적을 통한 정확한 평가 방법에 대한 연구가 필요하다.

이러한 제한점에도 불구하고 본연구의 결과에 대한 이용가능성을 고찰해 보면 다음과 같다. 선오염원에 의한 대기오염의 영향을 예측할 수 있는 모델의 이용 수법을 개발하므로써 미래의 도로 계획에 있어서도 대기오염의 영향을 저감할 수 있는 계획을 유도할 수 있다. 또한 도로의 이용시에 교통량의 변화에 따른 대기오염의 영향 정도를 파악하므로써 자동차 오염물질의 배출규제 및 관련 교통 대책의 수립에 이바지할 수 있다. 도로건설사업의 시행에 앞서 실시되는 환경영향평가 단계에서 사업시행 후 발생할 수 있는 영향을 정량적으로 파악하는 기법을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 선오염원을 대상으로 기존에 개발된 모델을 바탕으로 주변 지역으로의 오염물질의 확산 형태를 파악한 후 실측을 통하여 얻은 결과와 비교 검토하여 모형 적용의 수평 및 연직 영향권과 예측 시간의 설정에 관한 수법을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실측치와 예측치간의 상관 분석에 따르면 선오염원에 의한 영향의 평가시에는 도로에 가깝게 접한 지점보다는 일정 거리 떨어진 지점에 대하여 평가하는 것이 더 양호한 결과를 얻을 수 있다.

2. 모델의 수행 결과 과거에 배출된 오염물질의 이동 및 축적과 기상 변동에 의해 수용점에서는 일정

시간이 경과한 후에 영향이 나타나고 있다. 즉 도로에서 약 3 m만 떨어져도 1시간이 경과한 후에 영향이 나타나는 것으로 판단되었다.

3. 선오염원으로 부터의 배출량으로 구해진 예측치를 배경농도를 감안하여 실제 나타날 것으로 추정되는 농도로 변환시키는 수식은 $Y=9.3211X+1.5288(R^2=0.41)$ 으로 제시할 수 있다.

4. 기상의 영향은 풍하 방향 뿐만아니라 연직 방향으로도 농도 분포를 다르게 하므로 영향권의 결정시에는 수평 및 연직 방향 모두를 고려하여야 한다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 학술연구 지원사업비 일부로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 원제무 : 알기쉬운 도시교통, 세진사, 1992.
- 2) 대한토목학회 : 도로시설기준령(개정안) 1995.
- 3) 대한교통학회 : 도로용량편람, 1992.
- 4) 대기환경연구회 : 대기오염개론, 동화기술, 1995.
- 5) 서울시정개발연구원 : 대기질 측정방안에 관한 연구, 1994.
- 6) 조강래 외 : 도시지역 대기개선에 관한 연구 III, 국립환경연구원보, 13권, 1991.
- 7) 동종인 외 : 도시교통 계획모델과 대기오염 확산모델을 이용한 도시지역 대기오염 예측, 한국대기보전학회지, **2**(2), 31-40, 1986.
- 8) 조강래 외 : 자동차에 의한 오염물질 배출계수 및 배출량 산정에 관한 연구, 한국대기보 전학회지, **3**(1), 55-64, 1987.
- 9) 김선태 외 : 이동오염원에 대한 대기확산모형의 감응도 분석에 관한 연구, 한국대기보전 학회지, **5**(1), 1-10, 1989.
- 10) 임강원 : 확률적 이용자 평행통행배정에 관한 연구, 대한교통학회지, **8**(1), 55-72, 1990.
- 11) 이종범 외 : Pasquill 안정도계급의 평가와 안정도 Parameter 추정방법의 개발, 한국 대기보전학회지, **6**(2), 168-175, 1990.
- 12) 김용국 외 : 대기안정도와 지형조건에 따른 풍향변동 폭의 특성, 한국대기보전학회지, **8**(2), 138-145, 1992.
- 13) 장미숙 외 : 차량배출물로 인한 고속도로변 CO 및 TSP의 단기 오염 농도의 평가, 한국대기보전학회지, **10**(3), 197-202, 1994.
- 14) McElroy J.L. : A Comparative Study of Urban and Rural Dispersion, *J. of Applied Meteo.*, **8**, 19-31, 1969.
- 15) Hanna S.R. : A Simple Method of Calculating Dispersion from Urban Area Sources, *JAPCA*, **21**(12), 774-777, 1971.
- 16) Gifford F.A., Hanna S.R. : Modeling Urban Air Pollution, *Atmos. Env.*, **7**, 1973.
- 17) Kunselman R., H.T. Mcadams, C.J. Domoke and M. Williams : Automobile Exhaust Model, EPA Contract 68-01-0438 Calspan Corp. Buffalo N.Y., 1974.
- 18) Ingram G.K., Fauth G.R. : A Transportation and Airshed Simulation Model, Vol.1-case study of the Boston Region, Havard Univ., pp. 25-27, 1974.
- 19) Calder K.L. : A Correction to the Holzworth Model of Meteorological Potential for Urban Air Pollution. *Atmos. Env.*, **11**, 761-764, 1977.
- 20) Louis J.F. : A Parametric Model of the Vertical Eddy Fluxes in the Atmosphere, *Boundary-Layer Meteorology*, **17**, 187-202, 1979.
- 21) Rao S.T. , Sistia G., Keenan M.T., Wilson J.S. : An Evaluation of Commonly Used Highway Dispersion Models, *JAPCA*, **30**(3), 239-246, 1980.
- 22) Maddukuri C.S. : A Numerical Model of Diffusion of Carbon Monoxide near Highways, *JAPCA*, **32**(8), 834-836, 1982.
- 23) Panofsky H.A., J.A, Dutton : Atmospheric Turbulence, John Wiley & Sons, New York, 1984.
- 24) Raynor G.S., Hayes J.V. : Wind Direction Meander at a Coastal Site during Onshore Flows, *J. Climate and Applied Meteorology*, **23**, 967-978, 1984.
- 25) Adolf D. May : Traffic Flow Fundamentals, Prentice Hall, 1990.
- 26) Joel L. Horowitz : Air Quality Analysis for Urban Transportation Planning, MIT, 1982.
- 27) TRB : Expanding Metropolitan Highways, Special Report 245, 1995.