

점오염원의 대기확산에 관한 민감도 분석과 모델링

이 화 운 · 원 경 미 · 배 성 정*
부산대학교 대기과학과 · *부산대학교 환경시스템학과
(1999년 3월 12일 접수)

The Sensitivity Analysis and Modeling for the Atmospheric Dispersion of Point Source

Hwa-Woon Lee, Gyeong-Mee Won, and Sung-Jung Bae*
Dept. of Atmospheric Sciences, Pusan National University, Pusan, Korea
*Dept. of Environmental System, Pusan National University, Pusan, Korea
(Manuscript received 12 March, 1999)

The sensitivity analysis of two short-term models (ISCST3, INPUFF2.5) is performed to improve the model accuracy. It appears that the sensitivities on the changes of wind speed, stack height and stack inner diameter in the near distance from source, stability and mixing height in the remote distance from source, are significant. Also, the gas exit velocity, stack inner diameter, gas temperature and air temperature which affect the plume rise have some effects on the concentration values of each model within the downwind distance where final plume rise is determined. And in modeling for the atmospheric dispersion of point pollutant source INPUFF2.5 can calculate amount, trajectory of puff and concentration versus time at each receptors. So, it is compatible to analyze distribution of point pollutants concentration at modeling area.

Key words : sensitivity analysis, ISCST3, INPUFF2.5, atmospheric dispersion, point source

1. 서 론

대기오염 현상을 모델링할 때 그 특성에 맞는 모델을 선정하기 위해서는 우선 적용지역의 특성과 대상 오염물질, 오염원의 종류, 이용 가능한 기상자료 등을 충분히 파악할 필요가 있다. 또한 모델링 결과의 검증과 보정작업이 필요하며, 이를 위해 실측치와 모델을 통하여 얻은 예측치 사이의 상관관계를 이용하여 모델을 보정하는 정합도 평가가 이용된다. 그러나 정합도 평가는 모델을 현실에 적용하는 데 있어서 유용성을 높일 수는 있으나 모델자체의 예측력을 높일 수 없는 단점이 있다. 모델의 예측력을 보다 높일 수 있는 방법으로 이용되고 있는 것 중 민감도 분석이 있다. 특정한 지역을 대상으로 오염물질의 대기확산을 예측할 경우, 지역조건에 적합한 모델을 선정하거나 선정된 모델의 특성을 파악할 때, 또는 예측목적에 따라 모델을 수정할 때도 민감도 분석결과는 입력자료의 선정에 대한 기초자료로 활용할 수 있다.

현재 대기오염 확산모델은 대기오염물질과 대상지역의 지형적 특성, 오염물의 종류에 따라 수십 종이 개발되어 있으며, 국내에는 미국에서 개발된 UNAMAP(User's Network for Applied Modelling of Air Pollution)에 수록된 Gaussian 모델들이 널리 사용되고 있다. 김양균 등¹⁾은 서울지역을 대상으로 TCM, CDMQC, ISCLT(Industrial

Source Complex Long Term)모델을 사용하였고, 김신도 등²⁾이 서울지역에 TCM, CDMQC, ISCLT모델을 적용시켰으며, 정용과 장재연³⁾은 역시 서울지역에 Hanna - Gifford모델과 AQDM(Air Quality Dispersion Model)모델을 사용하였다. 한국토지개발공사⁴⁾에서는 단지개발에 따르는 대기환경의 영향을 평가하기 위한 목적으로 TCM모델을 서울지역에 적용하였고, 최일경⁵⁾은 삼천포 지역을 대상으로 지형을 고려한 MPTE(Multiple Point Source Model)과 VALLEY모델 그리고 ISCST(Industrial Source Complex Short Term)모델을 적용하여 지형고저에 의한 효과를 살피고, 국내에서 U. S. EPA모델을 적용하고자 할 때는 지형의 고저에 대한 고려가 필요함을 나타내었다. 송동웅과 김원만⁶⁾은 울산지역을 대상으로 하여 CDM2과 TCM2에 대한 정합도 분석을 행하였고, 한국동력자원연구소⁷⁾와 한국에너지기술연구소⁸⁻¹⁰⁾에서는 에너지 소비에 따른 대기환경영향평가기법을 개발하기 위하여 미국 EPA에서 권장하고 있는 대기확산모델들을 소개하고, ISCLT를 이용하여 서울지역에 모델링을 수행하였다. 또한, 김영성과 손재익¹⁰⁾은 서울지역에 대해 ISCLT를 적용하고 정합도를 평가하였고, 조창래¹²⁾는 Mesopuff II 모델을 이용하여 수도권 지역의 대기질 영향권을 분석하였다. 이 이외에도 많은 연구가 여러 지역을 대상으로

행하여져 왔으며, 부산광역시를 대상으로 모델을 수행한 연구는 한국과학기술원¹³⁾이 CDMQC를 이용하여 대기질 확산 현황을 파악하였고, 최근에는 방중선¹⁴⁾이 TCM2, CDM2.0, ISCLT2 모델을 중심으로 부산 지역을 대상으로 하여 대기확산모델을 적용하였다. 특히 기존의 연구에서는 CDMQC, TCM 등의 대기오염모델이 지역 대기질 관리를 위한 연구에 많이 활용되고 있다.

본 연구에서는 점오염원에서 대기오염물질의 확산을 예측하기 위해 Gaussian plume model인 ISCST3 모델^{15,16)}과 Gaussian puff model인 INPUFF2.5 모델¹⁷⁾을 이용하여 필요한 입력변수들의 값을 변화시켜 봄으로서 계산결과들이 얼마나 민감하게 반응하는가를 분석하였다. 모델이 갖는 한계범위 안에서 모델의 예측력을 높이는 민감도 분석 방법을 통하여 상대적으로 민감하게 반응하는 입력변수들과 이 입력변수값의 구간을 미리 파악하였고, 모델의 이용시에 입력변수값을 정확히 측정 입력함으로써 모델의 예측력을 높일 수 있도록 하였다. 또한 ISCST3 모델과 INPUFF2.5 모델에 의해 예측된 점오염원의 농도 분포 특성을 각각 비교하였다.

2. 연구방법

2.1. 민감도 분석 방법

민감도 분석을 위해 사용된 제어변수는 대기안정도와 풍속, 기온 등의 기상자료와 연돌높이, 배출가스속도, 배출가스온도, 굴뚝의 직경 등 오염원 자료로 구분하였다. ISCST3 모델과 INPUFF2.5 모델은 가스상 및 입자상(분진) 오염물질을 모두 예측할 수 있으나, 계산 수행시 입자상 물질의 경우 지표면 반사의 문제가 있어 가스상 물질인 SO₂를 선택했으며 8개의 입력변수 중 하나의 입력변수만을 각각 변화시켜 감으로서 풍하거리별 차지 농도 등의 민감도 분석을 행하고, 그 결과를 토대로 각 모델의 입력자료의 중요성을 평가하였다. 이 때 다른 변수들을 같은 값으로 고정시키고 오염물질 방출량을 100g/s로 고정하였다.

2.2. 입력자료

2.2.1. 기상 요소

사용된 기상입력 변수는 풍향과 대기안정도, 풍속, 혼합고, 기온이며, 모델 수행시 기상자료에 대한 입력값은 Table 1에 요약하였다.

대기안정도는 안정도 1등급을 고정 값으로 지정하고 3, 6등급으로 변화시켰다. 풍속은 우리나라의 연간 평균 풍속인 2.5m/s를 고정값으로 택하고 이를 1.25m/s, 5.0m/s, 10.0m/s로 변화시켰다. 풍속은 전체농도에 큰 영향을 미치기 때문에 풍속에 의한 영향을 최소화시키기 위해 다른 변수들을 변화시킬 때, 풍속 값은 기준값으로서 평균 풍속 2.5m/s를 지정하였다. 풍향은 일정한 점오염원에 대한 모델의 풍하거리별 농도분포를 알기 위하여 서풍으로 고정시켰다. 혼합고는 다른 변수들이 변화할 때 혼합고에 의한 영향을 줄이기 위해 고정 값을 1000m로 택했으며, 이를 1500m, 750m, 500m, 250m로 변화시켰다. 기온은 연기상승 높이를 계산하는데 주로 사용되므로 1년

중 봄, 여름, 가을, 겨울의 평균기온을 선정하였으며, 상온을 283K를 고정하여 각각 273K, 293K, 303K로 변화시켰다.

Table 1. Specifications of meteorological input parameter

Parameter	Reference value	Varying values
atmospheric stability	1	3, 6
wind speed	2.5m/s	1.25m/s, 5m/s, 10m/s
wind direction	west	
mixing height	1000m	1500m, 750m, 500m, 250m
air temperature	283K	273K, 293K, 303K

2.2.2. 오염원 요소

주요 입력변수로서 오염물질의 배출량과 연돌의 높이, 오염물질의 배출가스속도, 연돌상부직경, 오염물질의 배출가스온도를 택하였다. 모델 수행시 사용된 오염원 자료의 입력값은 Table 2에 요약하였다.

오염물질의 배출량은 하나의 굴뚝에서 방출되는 SO₂의 양은 대체로 부산지역의 경우 1~450g/s이지만 다른 변수가 변화할 때 결과를 명확히 하기 위해 평균값인 100g/s를 기준으로 하였다. 연돌고는 일반적으로 연돌고가 10~150m이지만 고정 값을 10m로 하고 20m, 40m, 80m로 변화시켰다. 오염물질 배출가스속도는 일반적으로 0.7~15m/s이지만 고정 값을 0.5m/s로 하고 1m/s, 1.5m/s, 2.0m/s로 변화시켰다. 연돌상부직경은 일반적으로 0.5~6m이지만 고정 값을 1m로 하고 2m, 4m, 8m로 변화시켰다. 오염물질 배출온도는 일반적으로 점오염원의 경우 오염물질의 연돌 최종 배출가스의 온도는 각 시설에 따라 다르지만¹⁸⁾ 보통 340~523K정도이므로 고정 값을 373K로 하고 423K, 473K, 523K로 변화시켰다.

Table 2. Specification of source input parameter

Parameter	Reference value	varying values
number of source	point(stack) 1	
source location	(0.0, 0.0)(km)	
pollutant identification	SO ₂	
emission rate	100g/s	
stack height	10m	20m, 40m, 80m
stack gas temperature	373K	423K, 473K, 523K
stack exit velocity	0.5m/s	1m/s, 1.5m/s, 2m/s
stack inner diameter	1.0m	2m, 4m, 8m
stack-tip downwash effect	utilized	
decay term	no decay	

2.3. 민감도 계수의 결정

각 모델에서의 특정 입력자료에 대한 민감도를 비교하기 위해 임의로 민감도계수(sensitivity coefficient)를 정의하여 민감도분석의 도구로 사용하였다.

본 연구에서는 풍하거리에 따른 민감도 변화를 고려하기 위해서 풍하구간별 민감도계수를 정의해 사용하였다. 구간 민감도는 각 입력변수별 풍하거리에서의 기준

의 풍하거리 농도값을 100으로 정의하고 동일구간에서 변수조건별 농도값을 이에 대한 상대적인 값으로 나타내어 풍하거리에 따른 민감도 계수로 표시한 후 그래프로 나타내었다. 이 구간 민감도는 각 구간의 폭 -농도차- 이 작을수록 기준조건 농도값에 근접하여 민감도 차이가 작음을 나타내고, 각 구간의 폭이 클수록 주어진 변수가 그 농도값에 큰 민감도를 나타낸다.

2.4. 결과 및 분석

2.4.1 기상자료 변화별 민감도 변화

2.4.1.1. 대기안정도에 따른 민감도 변화

대기안정도의 변화는 수평, 수직 확산계수, 연돌 높이에서의 풍속을 결정지어 주는 풍형 지수 및 연기상승고와 관련이 있으므로 농도 변화에 영향을 미치게 된다.

대기안정도 변화에 따른 풍하거리 구간별 민감도는 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 오염원에서 멀어지는 풍하거리에서 민감도가 크게 나타난다. 그리고 안정도가 증가할수록 민감도가 상대적으로 크게 나타나는데, 특히 6등급에서는 풍하거리에 따른 농도의 민감도 차이가 뚜렷하였다.

각 모델별로 비교해 보면, ISCST3모델은 1등급과 3등급에서 풍하거리에 따른 농도 변화 경향이 거의 일정하였다. 6등급에서는 민감도가 상당히 크게 나타나는 반면 0.1km이내의 오염원 근방에서는 1등급과 3등급에 비해 농도가 낮았다.

INPUFF2.5모델은 ISCST3모델에 비해 오염원과의 0.2km이내의 거리에서는 3등급과 6등급에서 1등급에 비해 농도가 낮게 산출되었다. 3등급에서는 민감도 변화가 거의 일정하였던 ISCST3모델과는 달리 풍하거리에 따른 민감도 변화가 오염원에서 멀어질수록 커지는 경향이 있으며 특히 6등급에서는 1km이상에서 뚜렷한 민감도를 나타내었다.

대체로 두 모델에서 대기안정도 변화에 대한 민감도 변화는 비슷한 양상을 보이고 있으나, 중립인 C등급에서 큰 차이를 나타냈다. 이러한 결과는 각 모델의 농도 결정식에서 ISCST3모델의 경우에는 Pasquill-Gifford 방법에 의해 기온감율, 일사량, 운량, 온도, 풍속 등 기온요소를 척도로 대기안정도를 A ~ G까지 나누며, INPUFF2.5모델의 경우에는 안정도 D를 D-Day, D-Night으로 나누고 전체 안정도를 7개 등급으로 나누기 때문에 특히 중립부근의 대기안정도 등급에서 큰 차이를 보인 것으로 사료된다.

전반적으로 대기안정도 변화에 대한 민감도계수는 오염원과 가까운 근거리에서는 안정도등급에 따른 농도 변화의 민감도가 미세하나 오염원에서 멀어질수록 민감도는 상대적으로 크게 높아져 예측농도는 대기안정도 등급의 변화에 의한 영향을 받을 수 있었다.

2.4.1.2. 풍속 변화에 따른 민감도 변화

풍속은 연기상승고와 수평 방향의 확산 정도에 영향을 주고 이론적으로 풍속이 증가하면 연기상승고는 낮아짐으로써 농도계산식에서 농도의 감소를 초래하는 동시에 수평방향의 유체 이동에 의한 확산이 증대되어 그 농도가 감소하게 된다.

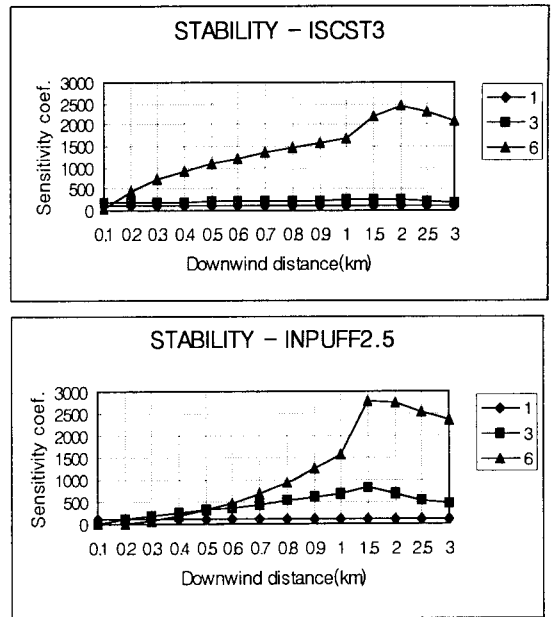


Fig. 1. Sensitivity analysis of ISCST3 and INPUFF2.5 models for the different stability.

풍속의 변화에 따른 풍하거리별 민감도의 정도는 Fig. 2에서 알 수 있듯이 두 모델 모두 농도차이를 보이고 있는데 특히 풍속이 낮은 경우에 민감도가 높게 나타났다. 그리고 오염원과 가까운 풍하거리에서부터 먼 풍하거리까지 ISCST3모델의 경우 어느 정도 일정한 민감도를 나타내었으나, INPUFF2.5모델은 오염원 근방에서 변화를 나타내었다.

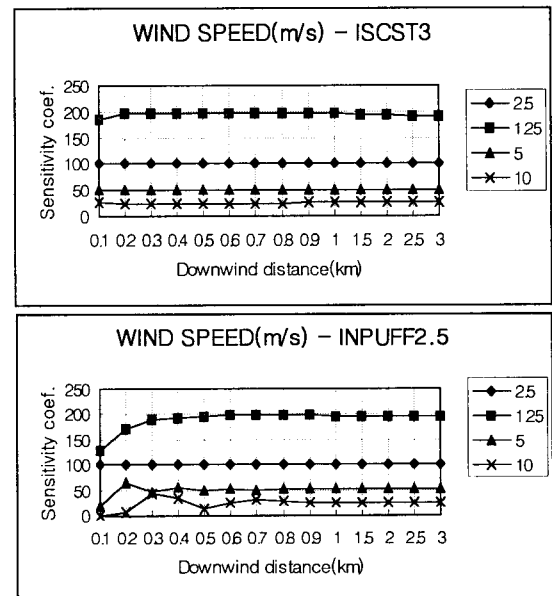


Fig. 2. Same as Fig. 1 but for wind speed.

2.4.1.3. 혼합고 변화에 따른 민감도 변화

혼합고의 변화는 대기의 수직방향 확산 정도에 영향을 주게 되는데, 약 0.5km 이내의 풍하거리에서의 농도값은 혼합고의 영향을 거의 받지 않았으며 그 이상의 풍하거리에서는 혼합고의 높이에 반비례적으로 농도에 크게 영향을 미쳤고, 혼합고가 낮을수록 민감도 영향범위의 풍하거리가 짧아지며 혼합고가 높을수록 풍하거리가 길어짐을 알 수 있다(Fig. 3). 실제로 풍하거리 약 0.7km 이내에서는 두 모델 모두 혼합고가 250m일 때와 1500m일 때의 모델의 결과는 크게 다르지 않고 풍하거리 0.7km 이상에서는 혼합고에 변화를 주었을 때 혼합고에 따른 농도변화를 보이고 있는데, 특히 낮은 혼합고에서 뚜렷한 민감도의 차이를 나타내고 있다.

따라서 혼합고의 변화에 대한 민감도의 영향은 오염원과 가까운 거리의 경우 극히 작았으며, 오염원과 떨어진 먼 거리에서는 민감도가 크게 나타났다. 또한 혼합고가 낮을수록 민감도변화는 뚜렷하였다. 오염원 주변에서 다소 떨어진 착지점의 농도 예측시에는 혼합고가 중요한 인자로 작용함을 판단할 수 있다.

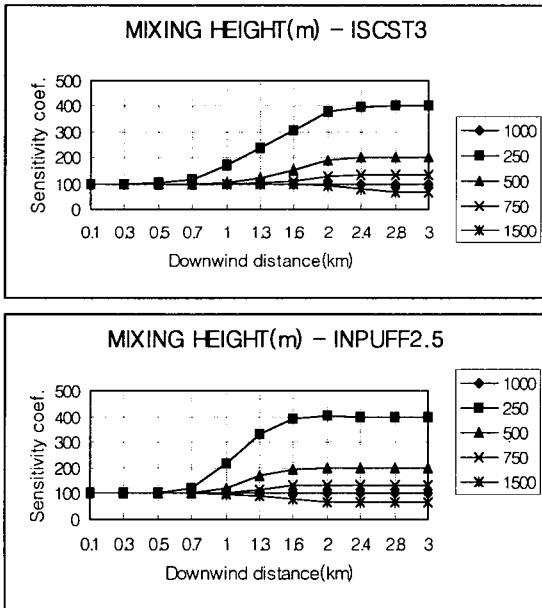


Fig. 3. Same as Fig. 1 but for mixing height.

2.4.1.4. 대기의 온도 변화에 따른 민감도 변화

기온의 변화는 연기 상승고의 결정 단계에서 부력에 의한 연기상승에 영향을 주기 때문에, 기온이 상승할 경우 상대적으로 배출가스의 부력에 의한 상승력을 감소시키는 결과를 나타낸다. 따라서 기온이 상승할 경우 부력 상승력의 감소로 인해 유효 고도의 감소가 일어나며, 이에 대한 착지점의 농도는 증가하게 된다.

각 모델의 풍하거리별 민감도의 정도는 Fig. 4에서 알 수 있듯이 일정한 풍하거리 0.4km 이내에서는 미세한 변화를 나타내지만 그 이상의 풍하거리에서는 ISCST3모

델의 경우 기온의 변화에 따른 민감도가 거의 나타나지 않음을 알 수 있는데, 이는 연기 상승고의 적용에서 최종 상승고 이상의 풍하거리에서는 연기상승고의 값을 일정하게 적용하기 때문이다. 그러나 INPUFF2.5모델의 경우 미세하지만 기온의 변화에 따른 민감도의 변화 경향을 나타냈다. 따라서 기온의 변화에 대한 착지점의 농도에 미치는 영향은 극히 미미하며, 연기의 최종 상승고 (final plume rise)가 계산되어지는 ISCST3모델에서는 일정한 풍하거리 이상의 구간에 대해서는 착지농도에 전혀 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

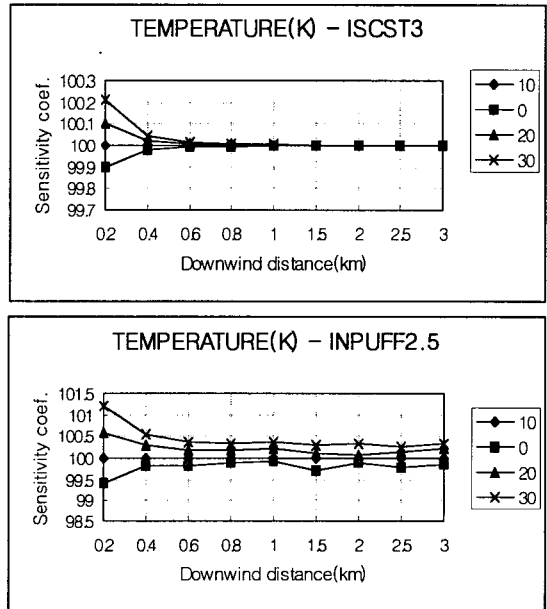


Fig. 4. Same as Fig. 1 but for air temperature.

2.4.2. 오염원 요소별 민감도 변화

2.4.2.1. 연돌가스의 배출속도에 따른 민감도 변화

연돌가스의 배출속도는 부력에 의한 연기상승고와 운동량에 의한 연기상승고에 다 같이 영향을 주는데, Briggs식에 의해 운동량에 의한 연기상승고에 더 큰 영향을 준다. Fig. 5에서 알 수 있듯이 앞서 기온 변화에서처럼 연돌 배출속도가 증가할 경우, 연기상승고가 증가되고 그 착지점의 농도는 모든 대상 풍하거리에 걸쳐 낮은 농도값으로 나타나고, 최대 착지점의 위치도 멀어지게 된다.

연돌가스의 배출속도에 따른 풍하거리 구간별 민감도를 살펴보면 ISCST3모델은 일정한 풍하거리 0.4km 이상에서 연돌배출속도 변화에 따른 민감도의 변화는 나타나지 않으며, INPUFF2.5모델은 0.7km 이상에서 미세한 변화를 나타냈다. 또한 두 모델 모두 오염원 가까운 풍하거리에서는 연돌 배출속도가 증가할수록 농도는 낮은 값으로 산정되어 민감도가 크게 나타났다.

대체적으로 오염원 주위에서 모든 배출가스 속도에 대한 민감도 계수는 다른 입력변수 변화에 따른 경우보다 높게 나오므로써 배출가스의 속도가 착지농도에 미치

는 영향이 크다는 사실을 알 수 있다. 따라서 연기의 배출 속도값은 농도값의 계산에 영향을 크게 미치며, 또한 이 영향은 일정거리 한도 내에서만 적용되므로, 모델의 적용시 대상구간의 범위에 따라 연돌가스의 배출속도를 정확히 측정 입력해야 할 필요가 있음을 알 수 있다.

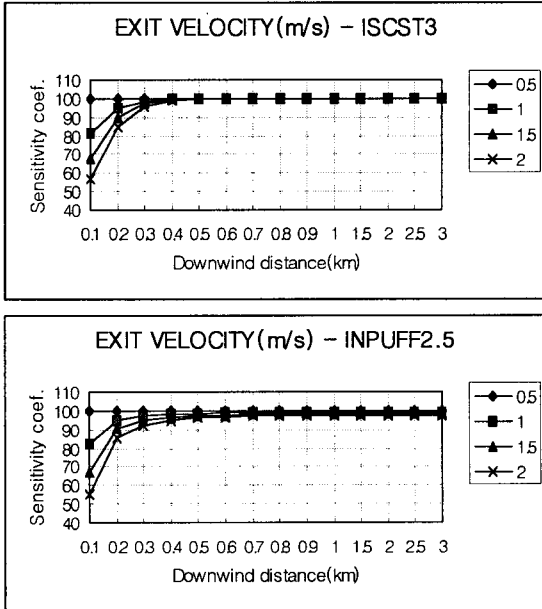


Fig. 5. Same as Fig. 1 but for stack exit velocity.

2.4.2.2. 배출가스온도에 따른 민감도 변화

오염물질의 연돌배출가스의 온도변화는 부력에 의한 연기상승에 영향을 주므로 배출가스온도의 증가는 부력에 의한 연기상승을 증가시킴으로써 전체구간에 대한 농도값을 낮게 산정하게 된다. 이는 연기상승효과가 연기의 최대상승고에 도달할 때까지 그 영향을 주며, 연기의 최대상승고 이상의 풍하거리 구간에서는 연돌가스의 배출온도에 관계없이 일정한 값으로 적용된다.

오염물질의 연돌배출 가스온도변화에 따른 각 풍하거리 구간별 민감도(Fig. 6)는 ISCST3모델의 경우 일정한 풍하거리 구간 0.4km 이내에서는 다소 미세한 민감도가 나타나고 있으나, 0.4km 이상의 풍하거리 구간에서는 각 모델별 오염물질의 배출온도에 관계없이 그 민감도가 일정하게 나타나고 있다. 이는 연기상승고의 적용에서 최대 연기상승고 이상의 풍하거리구간에서 같은 값으로 고정된 최대연기상승고를 사용하기 때문으로 그 민감도가 낮게 나타나는 것이다. INPUFF2.5모델의 경우 ISCST3 모델과 유사한 경향을 보이지만 0.4km 이상의 풍하거리에서도 민감도 변화는 나타났다.

전반적으로 오염물질의 배출가스온도의 변화는 각 모델의 일정한 풍하거리구간 0.4km 이내에서만 민감도가 나타나고 그 이상의 풍하거리에서는 민감도가 나타나지 않으므로, 모델의 적용시 대상 풍하거리 조건을 고려하여 정확한 배출가스의 온도의 입력이 필요하지만 대체로

큰 민감도를 나타내는 입력 변수로 작용하지 않는다.

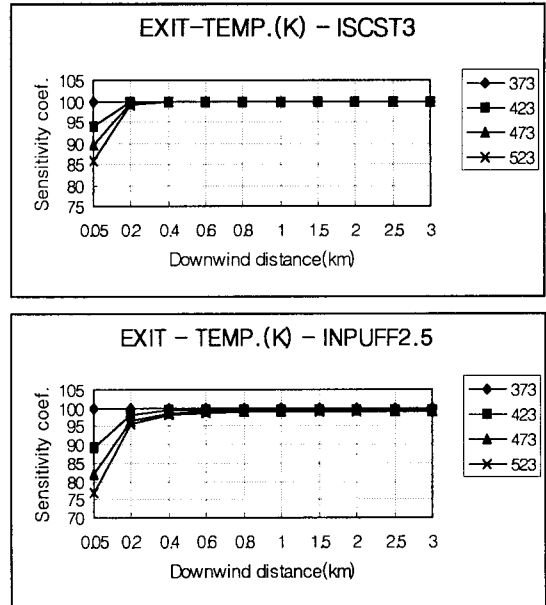


Fig. 6. Same as Fig. 1 but for stack exit temperature.

2.4.2.3. 연돌높이 변화에 따른 민감도 변화

연돌 높이의 변화는 연돌의 유효높이 산정에 직접 영향을 미치며, 연돌높이에서의 풍속 결정에 관련되어 농도값을 변화시킨다. 특히 연돌의 높이 변화는 오염원을 중심으로 공간좌표상에서 연돌 높이 만큼의 평행이동한 효과가 일어난다.

연돌 높이 변화에 따른 민감도 변화(Fig. 7)는 연돌높이가 높아질수록 모든 풍하거리구간에서의 농도값이 낮아지는 경향을 보이고 있는데, 각 모델 0.6km 이상의 풍하거리에서는 연돌높이 변화에 대한 농도값의 변화는 적게 나타나고 있다. 이는 연돌높이의 변화가 오염원에 가까운 일정한 풍하거리내에서 연기상승식에만 영향을 주어지기 때문이며, 연기의 최대상승고 이상의 풍하거리에서는 일정한 값으로 계산되어졌기 때문이다.

따라서 다른 요소에 비해 아주 먼 풍하거리까지 영향이 있으며, 풍하거리 0.6km 이하의 구간에서는 연돌높이의 변화에 따라 상당히 높은 민감도를 나타내고 있으므로, 모델의 사용할 때 정확한 연돌고의 입력이 요구되며, 오염물질의 확산의 측면에서 가능한 한 연돌고를 높게 설계함으로써 대상 풍하거리 구간에서 농도를 감소시킬 수 있을 것이다.

2.4.2.4. 연돌 상부직경의 변화에 따른 민감도 변화

연돌 상부직경의 변화는 연기상승고에서 부력에 의한 연기상승에 영향을 주어 부력을 크게 증가시키게 하며 downwash효과에도 비례적으로 영향을 줌으로서 연돌 상부직경이 증가함에 따라 착지점의 농도값이 감소되어진다. 연돌 상부 직경의 변화에 대한 풍하거리 민감도의 변화

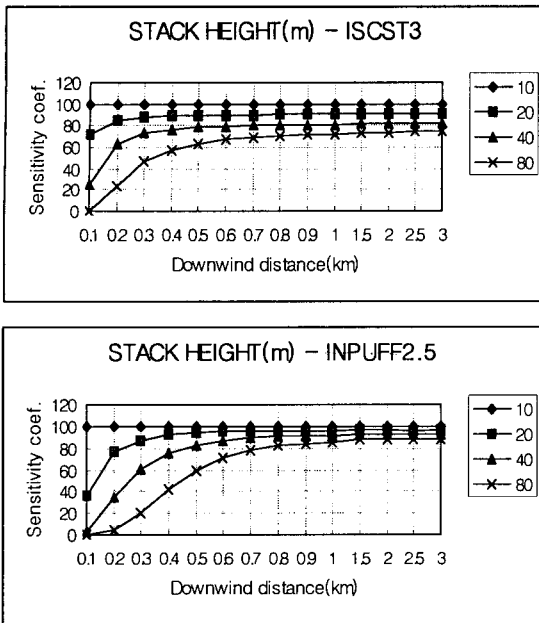


Fig. 7. Same as Fig. 1 but for stack height.

(Fig. 8)는 일정한 풍하거리 1km이상에 대해 ISCST3모델은 민감도 변화가 나타나지 않으나, INPUFF2.5모델에서는 변화가 나타났다. 풍하거리 0.4km이하의 구간에서는 연돌상부직경의 변화에 대해 민감도가 크게 나고 있는데, 연돌상부의 직경이 클수록 민감도의 계수는 크게 나타났다.

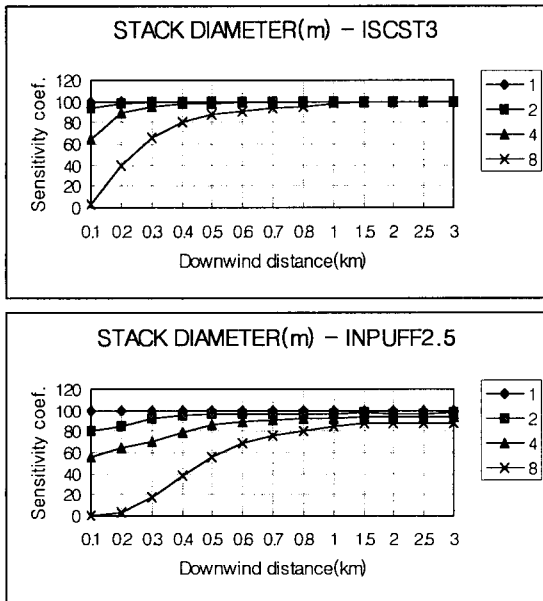


Fig. 8. Same as Fig. 1 but for stack diameter.

따라서 연돌상부직경의 변화에 따른 각 모델의 민감도는 일정 풍하거리 1km이상의 구간에 대해서는 민감도

변화가 나타나지 않고, 오염원과 가까운 풍하거리에서는 연돌의 직경에 대해 높은 민감도변화를 나타내고 있음을 알 수 있다.

2.5. 점오염원의 영향권분석

Gaussian plume model인 ISCST3모델과 Gaussian puff model인 INPUFF2.5모델을 점오염원의 농도예측을 통해 각 모델의 특성을 분석하였다.

부산지역의 주요 배출원인 사상공단지역에 위치해 있는 D공장을 선정하여 SO₂의 농도를 예측해 보았다. D공장은 이 지역에서 최대의 오염물질을 방출하고 있다. 우선 D공장의 실제 위치는 분석의 편의를 위해 TA좌표 (13, 13)km로 변경시켰고 그 주변지역에 10개의 착지점을 선정하였는데, 여러 방향의 풍향의 영향을 알아보기 위하여 착지점은 배출원을 둘러싸고 모든 방향에 위치하도록 하였다(Fig. 9).

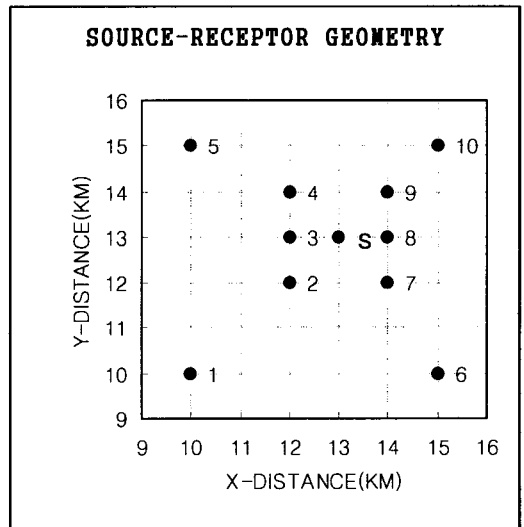


Fig. 9. Source - Receptor geometry for modeling.

입력자료로서 오염원자료는 1995년도 낙동강환경관리청의 점오염원 배출업소자료를 이용하였고, 기상자료는 부산대학교 대기환경연구실의 모델링 영역에 설치한 기상자동관측장비(AWS) 자료를 이용하였는데, 1995년 12월 2일을 선택하여 모델링하였다. 이 날의 기상상태는 대체로 서풍계열이 우세하였으며, 풍속은 1~7m/s이고 안정도등급은 중립등급이 우세하였다. 대기의 온도상태는 3~8℃로써 현저한 차이가 없으며 혼합고의 일변화는 뚜렷하였다.

모델링 결과를 분석하면 두 모델은 약간의 농도값의 차이는 있으나 대체로 비슷한 농도분포를 나타냈는데 (Fig. 10). 두 모델은 모두 8번 착지점에서 최대농도값을 나타냈고 5번 착지점에서 최소농도값을 나타냈다.

그러나 ISCST3모델의 경우에는 모델링 기간의 평균 농도를 계산하기 때문에 각 착지점에 대한 농도분포의

분석이 용이하지 못하다. 따라서 각 시간대별로 점오염원에서 방출되는 puff의 양을 계산하고 puff의 위치 추적이 가능하며 착지점에서 각 시간대의 농도예측이 가능한 INPUFF2.5모형을 이용하여 착지점에 대한 농도분포를 분석하였다.

는 입력변수는 연돌 배출속도, 연돌 상부직경, 연돌 배출가스온도, 대기온도, 풍속 등이었다. 이들은 일정한 풍하거리까지만 풍하거리별 농도값에 영향을 주고 그 이후의 풍하거리에는 일정한 농도값으로 수렴하여 입력변수의 변화에 무관한 결과를 보였다.

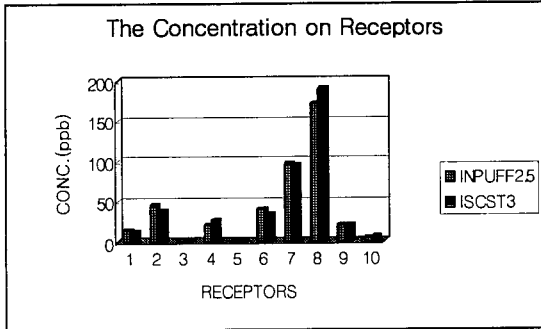


Fig. 10. Comparison with concentration on receptors by ISCST3 and INPUFF2.5 models.

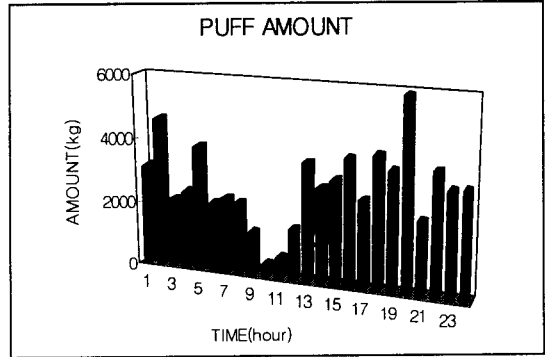


Fig. 11. Amount of puff emitted from modeling area.

Figs. 11 ~ 13은 각각 모델링 기간동안 1시간 간격으로 방출되는 puff의 양과 시간대별의 puff의 Trajectory, 각 착지점의 시간대별 농도분포이다.

puff의 양은 대체로 SO₂가 많이 배출되는 13시에서 19시 사이에 많이 배출되었고(Fig. 11), 이 시간대의 puff의 위치를 추적해 보면 오염원에서 8번 착지점으로 puff가 방출되는 것을 볼 수 있다(Fig. 12). 따라서 8번 지점의 농도의 일변화를 분석해 보면 많은 puff가 방출되고, puff가 대체로 8번 지역으로 방출된 14, 15, 16시의 시간대에 높은 농도를 나타냈다(Fig. 13).

이상의 결과에서 점오염원의 농도 예측시 각 착지점에 대한 농도분포의 분석의 경우에는 점오염원에서 방출되는 puff의 양의 계산과 puff의 위치 추적이 가능하며 착지점에서 각 시간대의 농도예측이 가능한 INPUFF2.5 모델이 적합하였다.

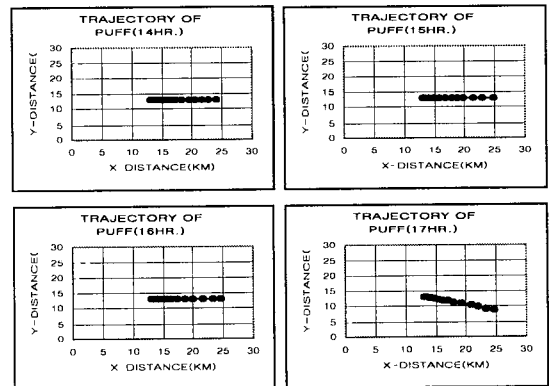


Fig. 12. Location of puff from 14 to 17 hour. All figures represent 1-hour interval.

3. 결 론

점오염원에서 대기오염물질의 농도를 예측할 수 있는 Gaussian plume model인 ISCST3모델과 Gaussian puff model인 INPUFF2.5모형을 이용하여 필요한 입력변수들의 값을 변화시켜 봄으로써 계산결과들이 얼마나 민감하게 반응하는지를 분석하였고, 점오염원의 영향권을 분석하였다.

민감도 분석결과, 모든 조건에 대해서 ISCST3와 INPUFF2.5모델이 비슷한 분포양상을 보였으나 각 입력 변수들에 대하여 INPUFF2.5모델이 ISCST3모델보다 더욱 민감한 결과를 보였다. 오염원과 가까운 풍하거리에서의 농도값에 가장 민감한 입력변수는 연돌고, 연돌상부직경 등이었으며, 특히 연돌고의 경우 다른 요소에 비해 아주 먼 풍하거리까지 영향이 있었다. 그리고 오염원과 다소 떨어진 풍하거리에서 농도값에 민감한 요소는 대기안정도와 혼합고 등이었다. 연기상승고에 영향을 주

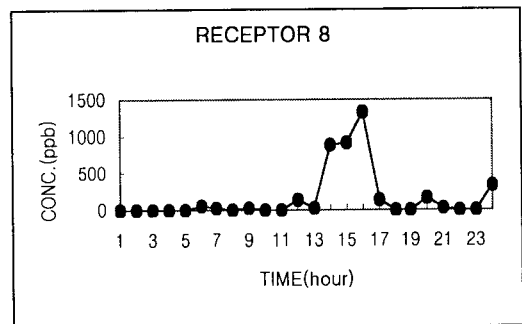


Fig. 13. Concentration versus time plots at each receptor.

또한 ISCST3와 INPUFF2.5 모델에 의한 점오염원의 단기농도 예측결과 각 착지점에 대해 대체로 비슷한 농도 분포양상을 보였다. 그러나, 점오염원의 각 착지점에

대한 농도분포를 분석하고자 할 경우에는 비정상 상태와 비균질 상태에서 시간대별 puff의 양과 puff의 위치 추적이 가능하고 각 착지점에 있어 시간대별 농도예측이 가능한 INPUFF2.5 모델이 더욱 적합한 것으로 판단되었다.

참 고 문 헌

- 1) 김양균, 최덕일, 이민희, 조강래, 나진균, 정장해, 1985, 대기오염확산모델 개발에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 1(1), 53~70.
- 2) 김신도, 김희강, 김정욱, 1986, 서울특별시 대기오염 감축대책 연구, 서울특별시.
- 3) 정용, 장재연, 1986, 대기오염모델의 정합도에 관한 연구(서울특별시 대기오염추계에 있어 Hanna-Gifford Model과 AQDM의 적용에 대하여), 한국대기보전학회지, 2(1), 81~90.
- 4) 한국토지개발공사, 1989, 단지개발에 따른 대기오염 확산 모델에 관한 연구, 222pp.
- 5) 최일경, 전의찬, 김정욱, 1990, 지형을 고려한 단기 대기확산모형의 평가에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 6(2), 125~134pp.
- 6) 송동용, 김원만, 1991, 장기예측모델의 정합도 분석에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 150~155.
- 7) 한국동력자원연구소, 1988, 확산 모델링의 최근동향과 한국형 모델개발 연구, 88pp.
- 8) 한국에너지기술연구소, 1990, 에너지소비에 따른 대기 환경영향 평가기법 개발(I), 104pp.
- 9) 한국에너지기술연구소, 1991, 에너지소비에 따른 대기 환경영향 평가기법 개발(II), 105pp.
- 10) 한국에너지기술연구소, 1992, 에너지소비에 따른 대기 환경영향 평가기법 개발(III), 110pp.
- 11) 김영성, 손재익, 1992, ISCLT에 의한 서울지역의 SO₂오염도 조사, 한국대기보전학회지, 9(2), 168~173.
- 12) 조창래, 1993, MESOPUFF II 모델을 이용한 수도권 대기오염물질이 주변지역에 미치는 영향분석, 강원대학교 석사학위논문, 82pp.
- 13) 한국과학기술원, 1982, 부산시 일원의 대기관리에 관한 연구, 112pp.
- 14) 방중선, 1990, 부산지역에서의 대기확산 모델의 적용 및 평가 - TCM, CDM2.0, ISCLT2모델을 중심으로 -, 부산대학교 대학원 석사학위논문, 82pp.
- 15) Fisher, P. W. and J. A. Foster, 1994, Comparison of the ISCST model with two alternative U. S. EPA models in complex terrain in Hamilton County, Ohio, J. Air & Manage. Assoc., 44, 418~427.
- 16) U. S. Environmental Protection Agency, 1995, User's Guide for the Industrial Source Complex(ISC3) dispersion models volume I.
- 17) Peterson, W. B. and L. G. Lavas, 1986, INPUFF: A Multiple Source Caussian Puff Dispersion Algorithm, User's Guide, U. S. EPA, Research TRIANGLE Park, N.C.
- 18) 환경부, 1995, 점오염원 배출업소 시설조사표.