

## 입력변수의 조건에 따른 대기확산모델의 민감도 분석

정진도·김장우·김정태  
호서대학교 환경공학과

(2005년 5월 20일 접수; 2005년 9월 21일 채택)

### Sensitivity Analysis of the Atmospheric Dispersion Modeling through the Condition of Input Variable

Jin-Do Chung, Jang-Woo Kim and Jung-Tae Kim

Department of Environmental Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(Manuscript received 20 May, 2005; accepted 21 September, 2005)

In order to how well predict ISCST3(Industrial Source Complex Short Term version 3) model dispersion of air pollutant at point source, sensitivity was analysed necessary parameters change. ISCST3 model is Gaussian plume model.

Model calculation was performed with change of the wind speed, atmospheric stability and mixing height while the wind direction and ambient temperature are fixed. Fixed factors are wind direction as the south wind(180°) and temperature as 298 K(25°C). Model's sensitivity is analyzed as wind speed, atmospheric stability and mixing height change. Data of stack are input by inner diameter of 2m, stack height of 30m, emission temperature of 40°C, outlet velocity of 10m/s.

On the whole, main factor which affects in atmospheric dispersion is wind speed and atmospheric stability at ISCST3 model. However it is effect of atmospheric stability rather than effect of distance downwind. Factor that exert big influence in determining point of maximum concentration is wind speed. Meanwhile, influence of mixing height is a little or almost not.

Key Words : ISCST3 model, Sensitivity analysis, Wind speed, Atmospheric stability, Mixing height

#### 1. 서론

과학문명의 발달과 산업의 발달로 인하여 인구의 도시집중화가 이루어지고 그에 따른 대량으로 배출되는 대기오염물질의 대기 중 확산현상 규명과 예측은 우리들의 중요 관심사가 되어왔다<sup>1)</sup>. 대기 오염도를 줄이기 위해서는 오염 물질의 배출량을 줄이면 대기 오염도를 저감시킬 수 있으나, 제한된 기술과 경제적 한계성으로 일정값 이하로는 줄일 수 없다. 따라서 기상조건의 예측을 통한 제한적 법적 규제를 가함으로써 대기질은 보전되어질 수 있다<sup>2)</sup>. 대기질의 효과적인 관리를 위해서 대기 중에 방출되

는 오염물질의 환경에 대한 영향을 정확히 예측하는 것은 매우 중요하다. 대기오염 예측 모델은 이러한 예측의 필요성을 해결하기 위한 한 방법으로서, 자연계에서 일어나는 현상을 간단한 수학적식으로 단순화하여 오염물의 방출에 의해 일어나는 환경 상태를 모사하고, 그 양태를 파악함으로써 배출된 오염물질이 대기 환경에 미치는 영향을 예측하는 것을 일컫는다<sup>3)</sup>.

대기오염 현상을 모델링 할 때, 그 특성에 맞는 모델을 선정하기 위해서는 우선 적용 지역의 특성과 대상오염물질, 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 적용

Corresponding Author : Jin-Do Chung, Department of Environmental Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea  
Phone: +82-41-540-5743  
E-mail: jdchung@office.hoseo.ac.kr

하는데 있어서 유용성을 높일 수는 있으나 모델 자체의 예측력을 높일 수 없는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하여 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 수행할 때도 민감도 분석 결과는 입력 자료의 선정에 대한 기초 자료로 활용될 수 있다<sup>4)</sup>. 그러므로 모델의 특성에 관한 검토와 입력자료 준비 및 적용에 대한 연구는 입력 자료의 신뢰도를 높이고 입력된 자료의 대기 오염 농도에 대한 올바른 반응을 위한 중요한 과정이다. 따라서 대기오염예측 모델을 대상지역에 적용할 경우에는 이에 대한 합당한 검토가 선행되어야 한다<sup>3)</sup>.

이에 본 연구에서는 점 오염원에서 대기오염물질의 확산을 예측하기 위해 Gaussian plume model인 ISCST3(Industrial Source Complex Short Term version 3)모델을 이용하여 필요한 입력변수들의 값을 변화시켜 봄으로써 각 입력 인자들에 대해 얼마나 민감하게 반응하는가를 분석하였다.

## 2. 해석방법

### 2.1. 모델링 조건

#### 2.1.1. 지형자료의 적용

본 연구에서 적용된 지역은 충남 아산시 배방면 소재의 한 사업장을 중심으로 선정하였으며 TM (Transverse Mercator)좌표를 기준으로 보았을 때 TMX : 205526, TMY : 362954의 좌표를 가지고 있다. 이 사업장의 지형도를 Fig. 1에 나타내었다. 지도상의 남서쪽 부분의 고도가 상대적으로 높은 경향을 나타내고 있었으며 나머지 부분은 등고선 간격이 넓은 것으로 보아 완만한 구릉성 지형을 형성하고 있는 것으로 보인다. 지형고도의 높이는 약 20m~229m로 다양한 분포를 나타냈다.

본 연구에서 사용되는 모델링의 중심좌표인 TM 좌표(205526, 362954)에서 고도는 51m로 나타났으

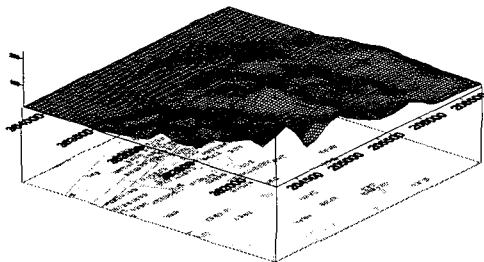


Fig. 1. Distribution of space in modeling area.

며 인근 주변 지형보다 약간 높은 지형으로 형성되어 있었다.

#### 2.1.2. 기상자료의 적용

본 연구에서는 모델이 입력인자들의 변화에 따라 얼마나 민감하게 반응하는지 알아보기 위해 기상자료를 임의로 가공하여 사용하였다. 일단, 두 가지 인자를 고정하였으며 나머지 세 가지 인자를 변화해 가며 모델을 수행하였다. 고정인자는 풍향과 기온이다. 풍향은 남풍(180°)로 고정하였으며 기온은 298K (25°C)로 고정하였다. 그리고 풍속, 대기안정도, 혼합고를 변화를 주어 모델의 민감도를 분석하였다. 다음의 Table 1은 본 연구에서 변화를 준 각 인자들의 조건을 나타낸다.

Table 1. Different condition of the meteorological parameter for the model sensitivity

CASE	WS(m/s)	AS	MH(m)	Group
1	2	1	250	I
2	2	1	500	
3	2	1	1000	
4	2	4	250	II
5	2	4	500	
6	2	4	1000	
7	2	6	250	III
8	2	6	500	
9	2	6	1000	
10	4	1	250	IV
11	4	1	500	
12	4	1	1000	
13	4	4	250	V
14	4	4	500	
15	4	4	1000	
16	4	6	250	VI
17	4	6	500	
18	4	6	1000	
19	8	1	250	VII
20	8	1	500	
21	8	1	1000	
22	8	4	250	VIII
23	8	4	500	
24	8	4	1000	
25	8	6	250	IX
26	8	6	500	
27	8	6	1000	

\* WS : Wind speed, AS : Atmospheric stability, MH : Mixing height  
 AS : 1-A : extremely unstable, 4-D : Neutral, 6-F : extremely stable

입력변수의 조건에 따른 대기확산모델의 민감도 분석

2.1.3. 배출량 자료의 적용

굴뚝자료는 내경 2m, 굴뚝높이 30m, 배출온도 40°C, 배출속도 10m/s로 입력이 되었으며 모든 조건에 대하여 고정하였다. 배출되는 오염물질의 종류는 SO<sub>2</sub>로 하였으며 배출량은 100g/s로 배출량 자료 역시 고정으로 하였다. 다음의 Table 2는 본 연구에서 이용된 점 오염원 현황이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 기상조건에 따른 영향

위의 조건에 따라 모델링을 수행하여 Case by case로 27가지의 모델수행결과를 얻었다.

풍속과 대기안정도 및 혼합고의 높이만을 변화시키고 나머지 인자 즉, 기온과 풍향은 고정하였다.

전반적으로 볼 때 ISCST3 모델의 민감도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 기존의 연구결과<sup>5)</sup>와 같이 풍속과 대기안정도였으나 대기안정도의 영향이라기 보다는 착지거리에 따라 민감하게 반응하였다. 다시 말하면 굴뚝에서 배출된 오염물질이 안정상태에서는 희석이 되지 않아 고 농도가 나타나리라고 생각될 수 있으나 모델링에서는 착지 농도를 보기 때문에 지면에 떨어지는 농도는 상당히 먼 거리 일 것이며, 먼 거리를 이동하는 동안 기계적 난류에 의해 농도가 그만큼 희석되리라고 판단된다. 즉, 대기가 안정상태 일 경우 연기 내에서 기계적인 난류와 열적 난류에 의한 혼합 및 희석이 일어나므로 착지거리가 멀수록 농도의 감소는 크다고 판단된다. 이것을 도식화하면 Fig. 2와 같다.

Table 2. Information of input parameters for the model

The present condition of point emission.					
TMX	205526	TMY	362954	Topography(m)	51
Stack Diameter(m)	2	Stack height(m)	30	Emission material	SO <sub>2</sub>
Emission emperature(°C)	40	Emission speed(m/s)	10	Emission (g/s)	100
Kind of model			Short term model		
Area of model			2.5Km×2.5Km (21×21)		
Region of model			Urban area		
Material of model			SO <sub>2</sub>		
Period			2003. 1. 1. ~ 2003. 12. 31.		
Unit			ppm		
Concentration of background			0(ppm)		

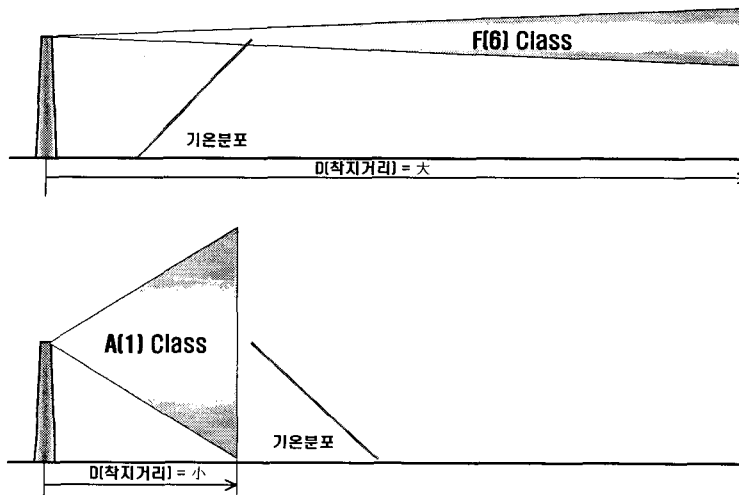


Fig. 2. Variation of downwind distance by atmospheric stability.

풍속은 최대 농도를 나타내는 지점의 결정에 있어서 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 본 ISCST3 모델에 가장 민감하게 반응하였다.

27가지의 경우의 수를 보았을 때 Group I 과 Group IV, Group VII의 경향이 거의 흡사한 것으로 나타났으며, Group II와 Group V, Group VIII 그리고 Group III과 Group VI, Group IX의 경우가 비슷한 형태로 오염물질이 확산되는 것으로 나타났다. 각 Group을 볼 때 다른 인자의 영향도 다소 있겠지만 대기안정도에 따라 확산 폭이 결정된다는 것을 알 수 있었다.

또한 혼합고의 영향을 무시한다고 보았을 때 풍속의 영향에 따른 최대 착지점이 약간씩 멀게 나타나는 현상을 보였다. 다음의 Fig. 3~Fig. 11은 9가지의 Group(27case)에 대한 대기오염물질의 확산 분포를 나타낸 것이다.

아래의 Table 3과 Fig. 12에서 보는 바와 같이 같은 풍속 조건일 경우에는 대기안정도가 중립조건일 때 혼합고 높이와는 무관하게 가장 높은 평균 농도를 보였으며 불안정상태, 안정상태의 순으로 농도가 나타났다. 이는 앞 절에서 언급했듯이 오염물질이 수용체에 도달하는 착지거리에 의한 영향이라고 판단된다. 여기에 언급된 평균농도는 최대착지농도의 평균을 의미한다.

3.1.1. 대기안정도의 영향

Table 3의 결과를 기초로 하여 대기안정도 조건만을 알기 위해 Case 1, 4, 7과 Case 10, 13, 16 그리고 Case 19, 22, 15의 농도분포를 비교하였다. 그 결과, 중립대기를 중심으로 보았을 때 Case 1(불안정)의 경우는 21.7% 감소, Case 7(안정)의 경우는 55.3% 감소하는 경향을 보였다.

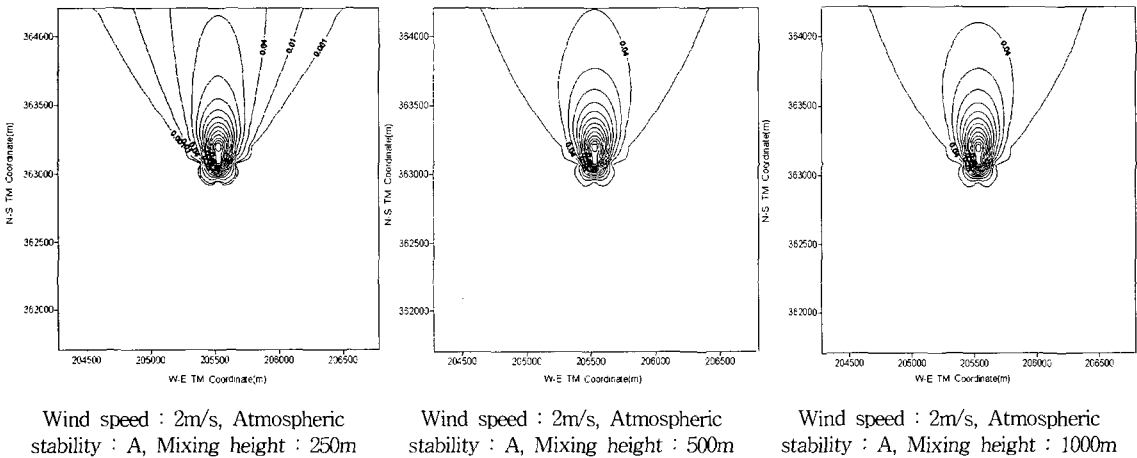


Fig. 3. Modeling result of Group 1(Case1~Case3).

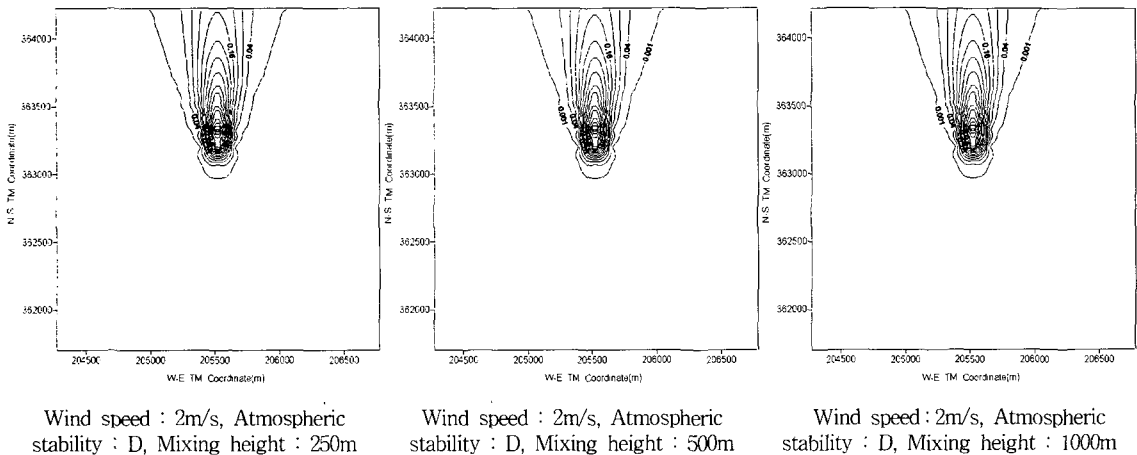


Fig. 4. Modeling result of Group 2(Case4~Case6).

입력변수의 조건에 따른 대기확산모델의 민감도 분석

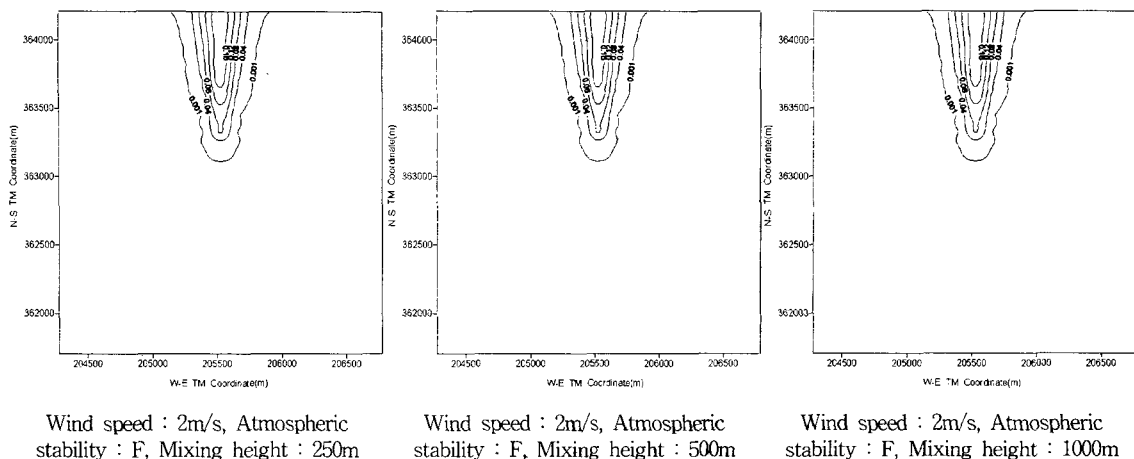


Fig. 5. Modeling result of Group 3(Case7~Case9).

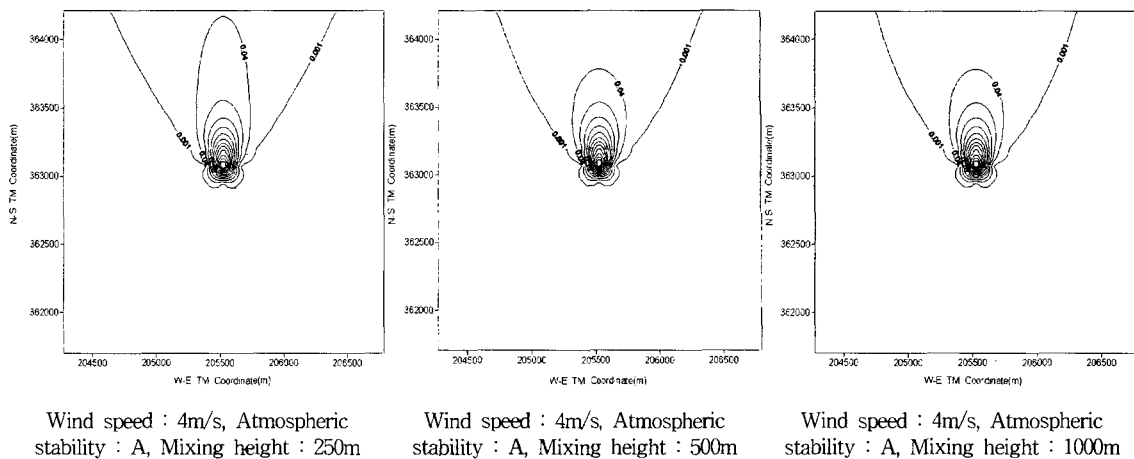


Fig. 6. Modeling result of Group 4(Case10~Case12).

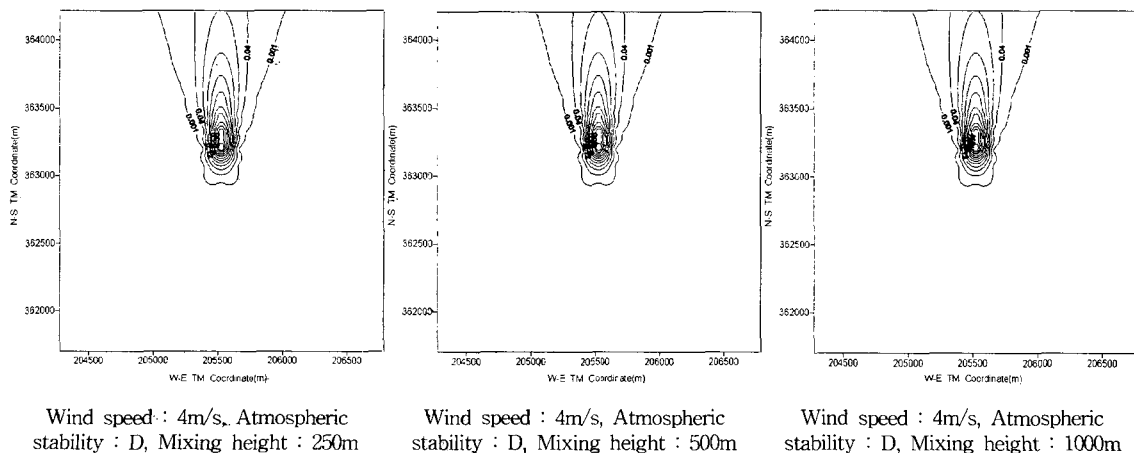


Fig. 7. Modeling result of Group 5(Case13~Case15).

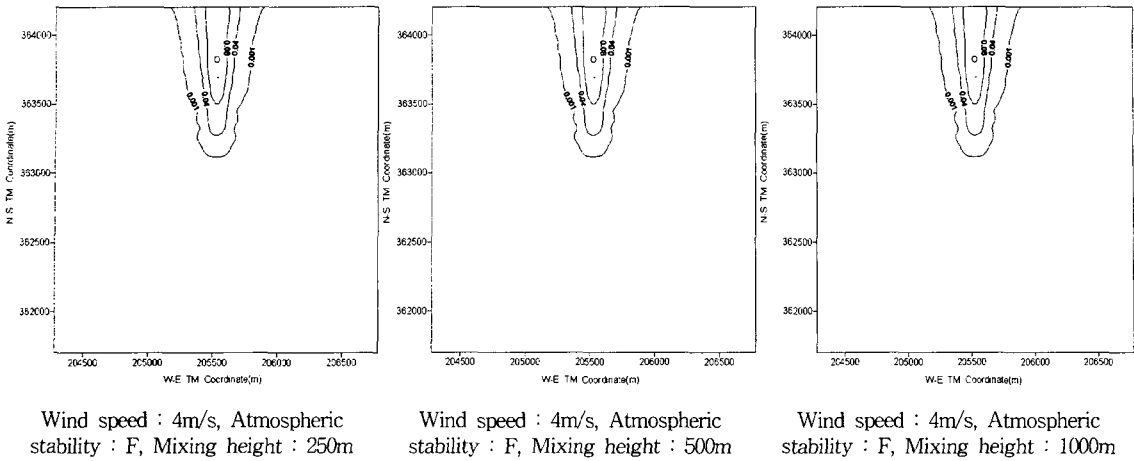


Fig. 8. Modeling result of Group 6(Case16~Case18).

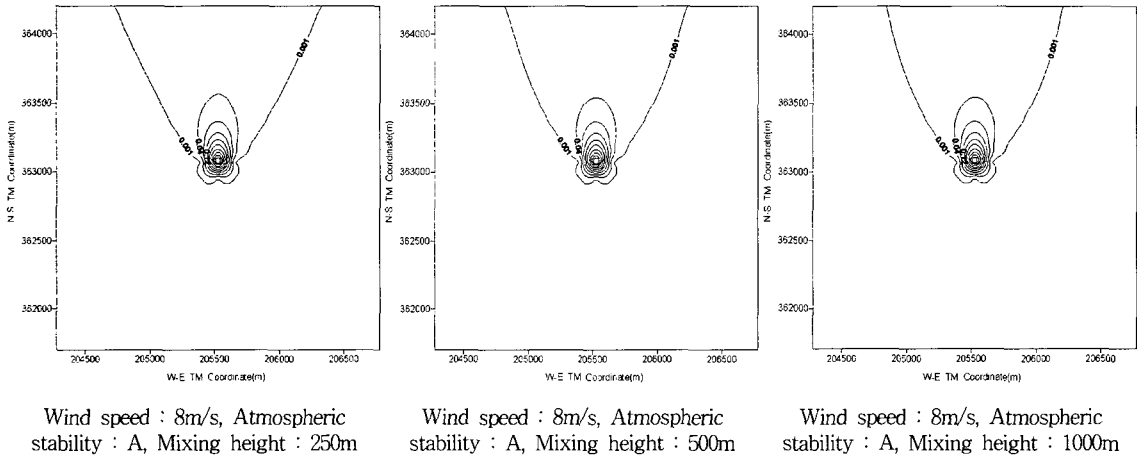


Fig. 9. Modeling result of Group 7(Case19~Case21).

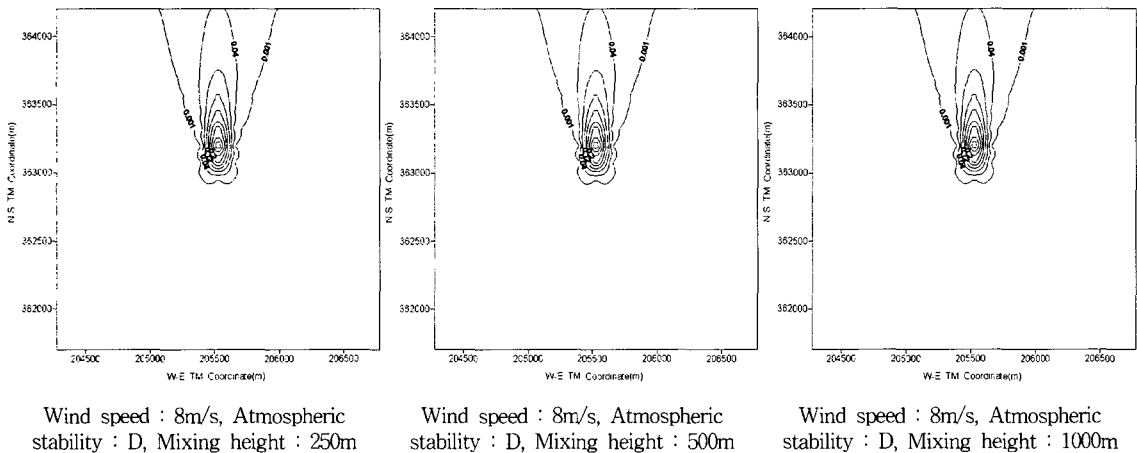


Fig. 10. Modeling result of Group 8(Case22~Case24).

입력변수의 조건에 따른 대기확산모델의 민감도 분석

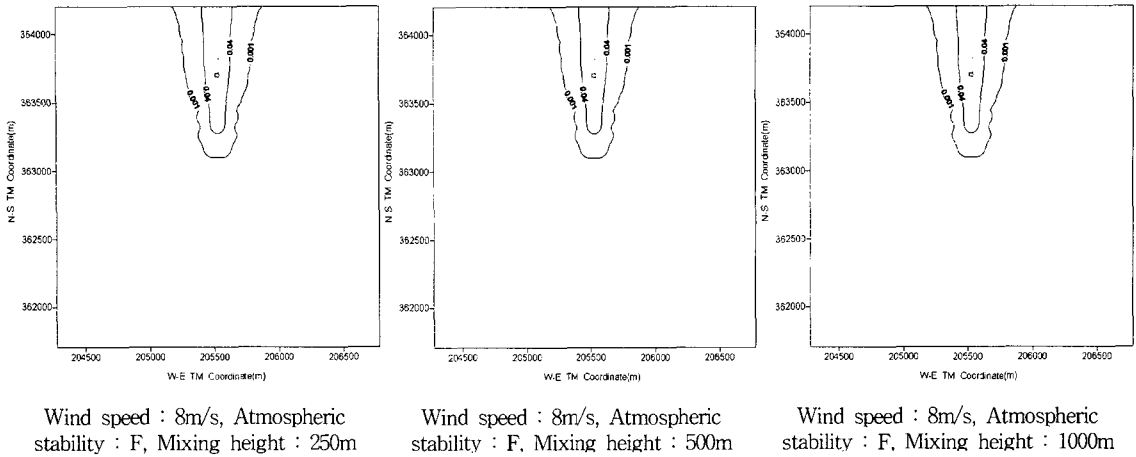


Fig. 11. Modeling result of Group 9(Case25~Case27).

Table 3. Average Concentration of each case

(unit : ppm)

Category	Average	Category	Average	Category	Average
Case 1.	0.184	Case 10.	0.114	Case 19.	0.066
Case 2.	0.170	Case 11.	0.108	Case 20.	0.063
Case 3.	0.170	Case 12.	0.108	Case 21.	0.063
Case 4.	0.235	Case 13.	0.150	Case 22.	0.094
Case 5.	0.234	Case 14.	0.150	Case 23.	0.094
Case 6.	0.234	Case 15.	0.150	Case 24.	0.091
Case 7.	0.105	Case 16.	0.069	Case 25.	0.045
Case 8.	0.105	Case 17.	0.069	Case 26.	0.045
Case 9.	0.105	Case 18.	0.069	Case 27.	0.045

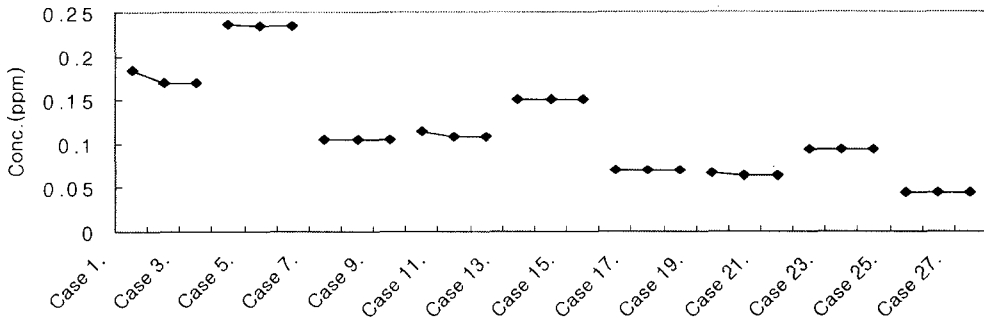


Fig. 12. Average concentration of each case.

그 이유는 앞서 3.1.절에 언급한 착지거리에 따른 영향이라 사료된다. 즉, 안정상태일 경우 확산이 잘 일어나지 않아 고농도라고 생각할 수 있으나 착지 거리가 멀기 때문에 그만큼의 농도감소가 일어났으리라 판단되며, 불안정할 경우 오염물질의 착지거리

가 가깝기 때문에 오염물질이 수용체에 도달하는 거리가 짧다는 것이다. 만약 착지점의 농도를 보지 않고 연기 자체의 농도를 본다면 반대의 양상을 나타내리라 판단된다. 안정조건이 가장 높은 농도를 나타내고, 중립, 불안정의 순서로 오염물질의 농도

가 나타날 것이다.

### 3.1.2. 풍속의 영향

풍속의 영향을 알아보기 위해 Table 3의 결과를 기초로 Case 1, 10, 19와 Case 4, 13, 22 그리고 Case 7, 16, 25의 농도분포를 비교 한 결과 풍속이 2m/s에서 4m/s로 두 배 증가하면 농도는 34.3~38.0% 정도 감소하는 것으로 나타났으며 8m/s로 네 배 증가하면 57.1~64.1% 감소하는 것으로 나타났다. 일반적인 이론 및 이전의 연구<sup>4,7)</sup>와 잘 맞는 결과가 도출되었다. 풍속이 증가하면 기계적 난류(Mechanic Turbulence)가 강해져 일정구간의 오염물질이 잘 섞이게 되기 때문에 오염물질의 농도는 풍속과 반비례 관계를 성립하게 된다는 것이다.

### 3.1.3. 도시혼합고의 영향

도시혼합고의 영향을 알아보기 위해 Table 3의 결과를 기초로 Case 1, 2, 3과 Case 4, 5, 6 그리고 Case 7, 8, 9의 농도분포를 비교 한 결과 Table 6에서 보는 바와 같이 Case 1, 2, 3의 경우만 약간의 감소가 일어났고 다른 경우에는 거의 농도의 변화가 보이지 않는 것으로 나타났다. 이것으로 보아 오염물질의 대기확산의 경우 혼합고의 영향은 거의 작용하지 않는 것으로 나타났다.

이 결과로 알 수 있듯이 ISCST3 모델은 열적난류(Thermal Turbulence)의 영향을 많이 받는 대기안정도와 기계적 난류(Mechanic Turbulence)의 영향을 많이 받는 풍속에 강한 민감성을 보였으며 대기 혼합고에 대한 영향은 거의 나타나지 않거나 미

Table 4. Effect of atmospheric stability

(unit : ppm)

Category	Average	Category	Average	Category	Average
Case 4. (D)	0.235	Case 1. (A)	0.184	Case 7. (F)	0.105
			21.7% 감소		55.3% 감소
Case 13. (D)	0.150	Case 10. (A)	0.114	Case 16. (F)	0.069
			24% 감소		54% 감소
Case 22. (D)	0.094	Case 19. (A)	0.066	Case 25 (F)	0.045
			29.8% 감소		52.1% 감소

Table 5. Effect of wind speed

(unit : ppm)

Category	Average	Category	Average	Category	Average
Case 1. (2m/s)	0.184	Case 10. (4m/s)	0.114	Case 19. (8m/s)	0.066
			38.0% 감소		64.1% 감소
Case 4. (2m/s)	0.235	Case 13. (4m/s)	0.150	Case 22. (8m/s)	0.094
			36.2% 감소		60.0% 감소
Case 7. (2m/s)	0.105	Case 16. (2m/s)	0.069	Case 25. (8m/s)	0.045
			34.3% 감소		57.1% 감소

Table 6. Effect of urban mixing height

(unit : ppm)

Category	Average	Category	Average	Category	Average
Case 1. (250m)	0.184	Case 2. (500m)	0.170	Case 3. (1000m)	0.170
			7.6% 감소		7.6% 감소
Case 4. (250m)	0.235	Case 5. (500m)	0.234	Case 6. (1000m)	0.0234
			0.4% 감소		0.4% 감소
Case 7. (250m)	0.105	Case 8. (500m)	0.105	Case 9. (1000m)	0.105
			-		-



비하다는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 점 오염원에서 대기오염물질의 확산을 예측하기 위해 Gaussian plume model인 ISCST3 (Industrial Source Complex Short Term version 3) 모델을 이용하여 필요한 입력변수들의 값을 변화시켜 봄으로써 각 인자들이 계산결과들에 얼마나 민감하게 반응하는가를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전반적으로 볼 때 ISCST3 모델의 민감도에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 풍속과 대기안정도였으나 대기안정도의 영향이라기보다는 착지거리에 따라 민감하게 반응하였다.
- 2) 풍속과 대기안정도는 최대 농도를 나타내는 지점의 결정에 있어서 큰 영향을 미치는 것으로 나타나 본 ISCST3 모델에 가장 민감하게 반응하였다. 또한 오염물질의 농도는 풍속과 반비례 관계를 성립한다는 것을 알 수 있었으며 혼합고의 영향은 미비하거나 거의 나타나지 않았다.
- 3) 풍속이 일정하다는 조건 하에서 Case 4(중립조건)가 0.235ppm으로 가장 높은 평균 농도를 나타내고 있으며 Case 27(안정조건)의 경우는 0.045 ppm으로서 가장 낮은 농도분포를 보이고 있었다. 그 이유는 모델링 결과는 지표면에 도달하는 농도만을 간주하기 때문이다. 즉, 안정상태일 경우 확산이 잘 일어나지 않아 고농도라고 생각할 수 있으나 최대농도가 나타날 수 있는 착지거리가 멀기 때문에 그만큼의 농도감소가 일어났으리라 판단되며, 불안정 할 경우 오염물질의 착지거리가 가깝기 때문에 오염물질이 수용체에 도달하는 거리가 짧아 오염물질의 농도가 안정상태 보다는 높게 나타났으리라 판단된다.
- 4) 본 연구를 통하여 ISCST3 모델의 입력변수들의 민감도를 분석한 결과 확산 폭의 결정에 있어서는 대기안정도가 가장 민감하게 반응을 하였고, 최대착지농도를 나타내는 지점의 결정에는 풍속이 가장 높은 민감성을 보였다.
- 5) 실제 대기 중에서는 안정 상태일 때 가장 높은 농도를 나타내지만 모델에 의한 예측은 중립 조건일 때 가장 높은 농도를 보였다. 이것은 Gaussian Plume Model은 정상상태를 가정하고 있으나 실제 대기상태는 난류 등의 영향으로 비정상상태이므로 나타난 결과라 생각되며 모델의 수행에 있어서 이를 감안한 보정계수라든지 플룸모델, 퍼프모델 등 여러 모델들을 접목시켜 보다 신뢰성

있는 모델의 개발이 이루어져야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2005년도 호서대학교 교내학술연구비 지원의 일환으로 수행된 과제입니다. 관계자에게 깊은 감사를 표합니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 전상기, 이성철, 1997, 대단위 발전소의 대기오염물질 확산에 관한 모델링 및 평가에 관한 연구, 환경영향평가학회지, 6(2), 81-92.
- 2) 박종길, 2002, 김해시 대기질 관리를 위한 대기오염 조사 -대기오염물질의 농도와 배출량 추정(1)-, 한국환경과학회지, 11, 1-36.
- 3) 방종선, 김유근, 이화운, 전병일, 문운섭, 홍정혜, 1996, 부산지역에서의 대기확산모델의 적용 및 평가 -TCM2, CDM2.0, ISCLT2모델을 중심으로-, 한국환경과학회지, 5(6), 699-712.
- 4) 이화운, 원경미, 배성정, 2000, 점 오염원의 대기 확산에 관한 민감도 분석에 관한 연구, 한국환경과학회지, 9(1), 57-64.
- 5) 박명희, 김해동, 박미영, 2005, 기상자료에 따른 대기오염확산 민감도 평가-대구성서산업단지에 대한 사례연구-, 한국환경과학회지, 14(2), 141-156.
- 6) 김용국, 이종범, 1992, 대기안정도와 지형조건에 따른 풍향변동폭의 특성, 한국대기보전학회지, 8(2), 138-145.
- 7) 이화운, 김유근, 장난심, 이용희, 1999, 부산광역시에서의 NO2 농도특성 및 기상 영향 인자 분석, 한국환경과학회지, 8(4), 465-471.
- 8) 구운서, 윤희영, 김성태, 전경식, 박성순, 권희용, 황주현, 김종화, 이임화, 대기확산모델링 software Airmaster 개발, 환경영향평가학회지, 9(4), 323-338.
- 9) 이종범, 1995, 우리나라에 적합한 국지확산 모델의 개발 방향, 한국대기보전학회지, 11(1), 15-28.
- 10) Ohio, F. 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, J. Air & Manage. Assoc., 44, 418-427.
- 11) Peterson, W. B. and L. G. Lavas, 1986, INPUFF: A Multifurcated gaussian puff dispersion algorithm, U. S. EPA, Research TRIANGLE Park,

- N. C. Environ., 176, 2837-2848.
- 12) Huber, A. H. and W. H. Synder, 1982, Wind tunnel investigation of the effect of a rectangular-shaped building on dispersion of effluents from short adjacent stacks, Atmos. Environ., 17, 48-86.
- 13) Cooper, C. D. et. al., Air Pollution Control : A Design Approach, 607-640.
- 14) Gifford, F. A., 1976, Nucl. Safety, 17, 48-86.