

## 분산계수의 전처리에 의한 대기분산모델 성능의 개선

### Improvement of Atmospheric Dispersion Model Performance by Pretreatment of Dispersion Coefficients

박 옥 현\* · 김 경 수

부산대학교 환경공학과

(2007년 3월 26일 접수, 2007년 7월 13일 채택)

Ok-Hyun Park\* and Gyung-Soo Kim

*Department of Environmental Engineering, Pusan National University*

(Received 26 March 2006, accepted 13 July 2007)

#### Abstract

Dispersion coefficient preprocessing schemes have been examined to improve plume dispersion model performance in complex coastal areas. The performances of various schemes for constructing the sigma correction order were evaluated through estimations of statistical measures, such as bias, gross error, R, FB, NMSE, within FAC2, MG, VG, IOA, UAPC and MRE. This was undertaken for the results of dispersion modeling, which applied each scheme. Environmental factors such as sampling time, surface roughness, plume rising, plume height and terrain rolling were considered in this study. Gaussian plume dispersion model was used to calculate 1 hr SO<sub>2</sub> concentration 4 km downwind from a power plant in Boryeung coastal area. Here, measured data for January to December of 2002 were obtained so that modelling results could be compared. To compare the performances between various schemes, integrated scores of statistical measures were obtained by giving weights for each measure and then summing each score. This was done because each statistical measure has its own function and criteria; as a result, no measure can be taken as a sole index indicative of the performance level for each modeling scheme. The best preprocessing scheme was discerned using the step-wise method. The most significant factor influencing the magnitude of real dispersion coefficients appeared to be sampling time. A second significant factor appeared to be surface roughness, with the rolling terrain being the least significant for elevated sources in a gently rolling terrain. The best sequence of correcting the sigma from P-G scheme was found to be the combination of ① sampling time, ② surface roughness, ③ plume rising, ④ plume height, and ⑤ terrain rolling.

**Key words** : Gaussian plume dispersion model, Dispersion coefficient, Preprocessing, Statistical measure, Prediction performance

#### 1. 서 론

\*Corresponding author.  
Tel : +82-(0)51-510-2415, E-mail : ohpark@pusan.ac.kr

정규플룸확산모델 (Gaussian Plume Dispersion Mo-

del: GPDM)은 특정 배출원에서 방출된 대기오염물질의 확산평가를 위해 일반적으로 사용되는 기본적인 모델이다. 이 모델은 방출물의 지속성 및 정상상태, 오염물질의 보전성, 기상조건의 정상상태, 지형의 평탄·광활함, 그리고 풍향에 직교하는 횡 방향 및 연직방향 오염농도의 정규분포 등 여러 가정사항들에 입각하여 입식(立式)되었으며 계산이 비교적 간단하고 단시간(평균화시간 ≤ 24시간) 평균농도의 계산결과가 실측치와 비교적 양호한 정확도를 보여주는 등의 이유로 지금까지 널리 사용되고 있다. 하지만 모델 입식을 위한 가정조건들이 실제의 상황을 그대로 반영하지 못하는 한계로 인해 혹은 무리하게 이 모델을 적용함으로써 인해 예측결과가 상당한 오차를 포함하는 경우가 많은 것으로 알려져 있으며 모델링정확도를 개선하기 위해 대기안정도 부류화 및 시그마 곡선들에 관한 Hanna *et al.* (1977)의 보고를 위시하여 Park *et al.* (1999), 그리고 Park and Yoon (2000) 등 여러 연구들이 이루어져 왔다.

본 연구에서는 GPDM의 입력자료 중 분산계수를 보정(전처리)하여 모델링 결과를 개선하는 방법을 검토하였다. 오염물질 농도 평균화 시간, 지형의 기복, plume의 부력상승, plume 중심축의 높이, 지표면 거칠기 등 여러 가지 요인들이 plume의 분산계수에 미치는 영향이 중복되는 점과 각 요인들에 대한 보정순서에 따라 총체적으로 모델링 결과에 미치는 영향의 정도가 각각 상이함을 고려하여 분산계수를 조합별로 각 요인들에 대해 순차적으로 보정한 뒤 GPDM에 적용하여 모델링한 후 예측치를 실측치와 비교하여 가장 양호한 예측정확도에 이르는 분산계수 전처리 체계(scheme)를 찾는 데 목표를 두었다. 여기서 전처리 체계란 분산계수에 영향을 미치는 각 요인별 보정순서조합을 의미한다. 모델예측성능은 예측치와 실측치 사이의 통계적 측도들을 이용하여 평가하였다. 성능평가에 동원된 각 통계적 측도들의 기능과 판정기준이 서로 다르기 때문에 하나의 측도들 기준으로 모델링 성능 우열순위를 판단할 수 없으므로 완벽한 모델링 시의 각 측도값을 고려하여 각 통계적 측도 값( $M_i$ )의 크기에 따라 예측성능 우열 순위를 정하고 가중치( $W_i$ )를 각각 부여하여  $\sum M_i \cdot W_i$ 를 각 scheme별로 구하여 성능비교평가를 함으로써 상대적으로 보다 나은 분산계수 전처리 scheme을 찾는 방법을 제시하였다.

## 2. 횡방향 및 연직방향 분산계수 ( $\sigma_y, \sigma_z$ )의 보정

### 2.1 농도 평균화 시간

Plume이 지표에 반사하는 경우의 정규플룸 분산 모델(식(1))과 여러 변형 모델들은 복잡한 지형, 장거리 수송 및 복잡한 실제 성층대기의 영향을 모의하는데 한계를 가지는 것으로 알려져 있다(Hanna *et al.*, 1982).

$$C = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left( \exp\left(-\frac{(z-\text{He})^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+\text{He})^2}{2\sigma_z^2}\right) \right) \quad (1)$$

여기서, C: 풍하 어느 장소(x, y, z)에서의 오염농도 ( $\text{g}/\text{m}^3$ ), Q: 연속배출원의 배출강도( $\text{g}/\text{s}$ ),  $\sigma_y, \sigma_z$ : 풍향에 직교한 횡방향 및 연직방향 분산계수(m), He: 유효굴뚝높이(m), U: He에서의 평균풍속( $\text{m}/\text{s}$ )이다.

정규플룸 분산모델 등을 이용한 오염농도의 예측결과와 측정농도 사이에 차이를 가져오는 요인 중 하나로 오염농도의 평균화 시간이 지목되고 있다. 이전의 연구들(Scire *et al.*, 2000; Engel *et al.*, 1997)에 의하면 일반적으로 오염농도와 평균화 시간 사이의 관계는 식(2)처럼 표현된다.

$$C_s = C \left( \frac{T}{T_s} \right)^p \quad (2)$$

여기서,  $C_s$ : 평균화 시간  $T_s$  (min) 동안의 평균농도( $\text{g}/\text{m}^3$ ), C: 평균화 시간 T (min) 동안의 평균농도( $\text{g}/\text{m}^3$ ), p: 0.2에서 0.5에 걸치는 멱수이다.

GPDM을 이용한 대기오염확산모델링에서 오염농도 평가치와 측정치 사이의 차이는 평탄·광활하며 지표면 거칠기  $z_0$ 가 약 3 cm 정도 되는 지형에서의 지표면 배출에 대한 평균화 시간 약 10분에 해당하는 조건에서 얻어진 Pasquill-Gifford (P-G) scheme으로부터 시그마값들을 구해 그대로 GPDM에 적용하는 데 크게 연유한다. 1시간의 평균화시간 동안의 농도측정치와 비교할 1시간 평균농도 계산치를 구할 때는 P-G scheme으로부터 구한  $\sigma_y$  값들은 평균화시간 3분,  $\sigma_z$  값들은 평균화 시간 10분에 해당하는 것이므로 Angell and Pack (1965)가 제안했던 식(3)을

사용하여 1시간 평균화 시간에 대한 분산계수 값들로 보정한 뒤 적용하였다.

$$\sigma(t_2) = \sigma(t_1) \cdot \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^q \quad (3)$$

여기서  $q$ :  $3 \text{ min} < t_2 < 1 \text{ hr}$  일 때 0.2,  $1 \text{ hr} < t_2 < 100 \text{ hr}$  일 때 0.25~0.30,  $\sigma$ :  $\sigma_y$  (m) 혹은  $\sigma_z$  (m),  $t_1$ :  $\sigma_y$ 에 대해선 3 min,  $\sigma_z$ 에 대해선 10 min,  $t_2$ : 농도 평균화 시간 (min)이다.

식(3)을 3분의 평균화 시간에 해당하는 확산실험 자료로 구축된 P-G scheme에 적용해 구한 1시간 평균화 시간에 대한  $\sigma_y$  값은 안정도 등급을 거의 한 등급 더 불안정한 쪽으로 변화시킨 값에 해당한다 (Hanna *et al.*, 1982).

### 2.2 지표면 거칠기 ( $z_0$ )

지표면 거칠기 길이  $z_0$ 는 풍속의 연직방향 분포에 의해 영향을 받을 수 있을지라도 기본적으로는 지표면 거칠기 자체의 함수이고, 풀이나 나무 등과 같은 장애물의 높이에 따라 증가한다 (Wilczak and Phillips, 1986). 본 연구에서는 Hanna *et al.* (1977)의 식(4)를 이용하여 지표면 거칠기에 따른 분산계수 보정을 행하였다.

$$\sigma_{z(x)(z_{02})} = \sigma_{z(x)(z_{01})} \cdot \left(\frac{z_{02}}{z_{01}}\right)^q \quad (4)$$

여기서,  $z_{02}$ ,  $z_{01}$ : 지형조건 2 및 1에서의 거칠기 길이 (참조: P-G 분산계수는 거칠기 길이 0.03 m 조건에서 구해진 것임),  $q$ : 지표면 거칠기와 plume 비과거리에 따라 0.10~0.25이다.

본 연구의 대상지역인 보령화력발전소 인근지역은 나무로 덮인 산이 대부분을 차지하므로 Wieringa (1992)의 지표면 형태분류에 따른 거칠기 길이 범위 값과 Zannetti (1990)의 거칠기 길이 노모그램을 참조하여 거칠기 길이를 1 m로 취하였다.

### 2.3 Plume의 상승

연돌에서 배출되어 상승하는 부력성 plume에 대해서는 plume이 가진 주변공기에 대한 상대속도로 인해 야기되는 와류(eddy)에 의한 분산 증대효과를 고려해서 분산계수들을 수정해야 한다. 본 연구에서

는 Briggs (1970)의 식을 이용하여 plume의 상승고  $\Delta H$ 를 구하고 Hanna *et al.* (1977)이 제안한 식(5)와 (6)을 이용하여  $\sigma_y$  및  $\sigma_z$ 의 부력상승에 따른 보정을 행하였다.

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_{y(x_1)(P-G)}^2 + \Delta H^2/10} \quad (5)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_{z(x_1)(P-G)}^2 + \Delta H^2/10} \quad (6)$$

여기서  $x_1$ : plume 상승이 완결되는 풍하거리 (m),  $\Delta H$ : plume 상승고 (m), P-G: Pasquill-Gifford scheme이다.

### 2.4 Plume의 비과고도 (flight height)

일반적으로 지표면으로부터 고도가 증가하면서 풍속은 대수 함수적으로 증가하고 이에 따라 횡 및 연직방향으로의 풍향변동에 있어서도 고도에 따른 변화가 있게 되며 이는 plume의 분산에도 직접적으로 영향을 미치게 된다. Mason and Thompson (1987)에 따르면 횡방향 및 연직방향 풍향의 표준편차인  $\sigma_\theta$  및  $\sigma_\phi$ 는 지구경계층(planetary boundary layer: PBL) 내에서 현저히 변화하나 높이가 증대할수록 절대값은 감소하고 약 2 km 높이에서는 그 값이 0에 접근한다.

보령화력발전소에서 얻어진 2002년 1년 동안의 기상자료를 바탕으로 구한 안정도별 횡방향 및 연직방향의 풍향 표준편차 값들의 고도에 따른 변화를 그림 1에 나타내었다.

모든 안정도 등급에서 고도 약 50~60 m까지는  $\sigma_\theta$  및  $\sigma_\phi$ 가 고도가 증가함에 따라 급격히 감소하다가 그 이상 고도에서는 서서히 감소함을 보여주고 있다. 그림 1로부터 평가된 보령지역에서의 지표면 경계층(surface boundary layer)의 높이는 약 50~60 m에 이르는 것으로 추정된다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이  $\sigma_\theta$ 와  $\sigma_\phi$  값은 대체로 대기가 안정할수록 작아지는 일반적인 원칙에 부합하는 분포를 나타내지만, Pasquill의 안정도 C등급일 때가 강한 불안정인 A등급 및 중정도 불안정인 B등급 때보다 각 고도에서의  $\sigma_\theta$  및  $\sigma_\phi$ 의 값이 더 크게 나타났다. 이는 해풍과 육풍이 자주 교차하는 기상특성을 가진 임해 지역에서는 10 m 높이에서의 풍속과 일사량 혹은 운량에 기초한 Pasquill의 안정도등급 구분법보다 실제 적 확산에 직접 관계되는  $\sigma_\theta$  및  $\sigma_\phi$  값을 기준으로 한 안정도 등급 구분법을 취하는 것이 보다 현실적인 방법이 될 수 있음을 시사하는 것으로 보여진다.

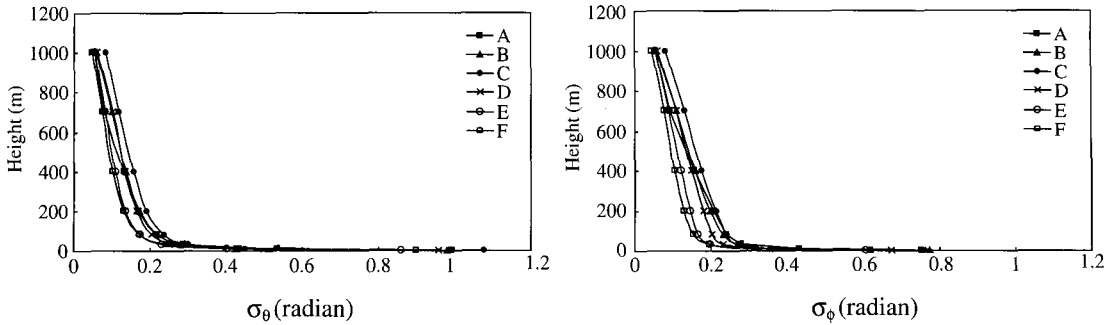


Fig. 1. Variation of  $\sigma_\theta$  and  $\sigma_\phi$  with height for various stability classes at Boreung Power Plant.

Table 1. Height dependence of  $\sigma_\theta$  and  $\sigma_\phi$  in Boryeung coastal area.

Stability class	$\sigma_\theta$		$\sigma_\phi$	
	$z \leq 60$ m	$z > 60$ m	$z \leq 60$ m	$z > 60$ m
A	$1.144z^{-0.383}$	$2.691z^{-0.542}$	$0.833z^{-0.312}$	$3.503z^{-0.565}$
B	$1.080z^{-0.397}$	$2.163z^{-0.492}$	$0.829z^{-0.344}$	$2.545z^{-0.505}$
C	$1.188z^{-0.409}$	$1.414z^{-0.388}$	$0.816z^{-0.333}$	$1.556z^{-0.394}$
D	$0.980z^{-0.413}$	$1.668z^{-0.452}$	$0.732z^{-0.341}$	$1.613z^{-0.435}$
E	$1.073z^{-0.407}$	$1.211z^{-0.430}$	$0.670z^{-0.355}$	$1.132z^{-0.405}$
F	$1.030z^{-0.411}$	$1.516z^{-0.475}$	$0.692z^{-0.365}$	$1.214z^{-0.442}$

그림 1에 나타난 바와 같이 횡방향 및 연직방향 풍향 변동량의 변곡점이 나타나는 60m를 기준으로 각 안정도등급별로 고도에 따른  $\sigma_\theta$  및  $\sigma_\phi$  값의 변화에 관한 회귀식을 구하여 표 1에 정리하였다.

횡방향 및 연직방향 풍향변동의 고도에 따른 변화가 횡방향 및 연직방향 확산계수에 미치는 영향에 대한 보정은 식(7) 및 (8)을 적용하여 수행하였다.

$$\sigma_{y(z_2)} = \left( \frac{\sigma_{\theta(z_2)}}{\sigma_{\theta(z_1)}} \right) \sigma_{y(z_1)} \tag{7}$$

$$\sigma_{z(z_2)} = \left( \frac{\sigma_{\phi(z_2)}}{\sigma_{\phi(z_1)}} \right) \sigma_{z(z_1)} \tag{8}$$

### 2.5 지형기복

언덕이나 산이 위치한 복잡한 지형 내에서 특정 배출원으로부터 방출된 배가스로 인한 풍하지역의 오염농도를 예측할 때, 평탄지역에서 얻어진 분산계수를 복잡한지형의 그것으로 보정해서 적용할 필요가 있다. Okamoto *et al.* (1986)은 풍동실험 연구를 통해 Terrain Factor Model (TFM)을 만들어 기복이 있는

지형에서 분산계수를 보정·평가하는 방법을 제안하였다. 그들이 제안한 지형인자모델을 이용하여 보령 화력발전소를 거쳐 송학측정소를 지나는 북서풍 시의 지형기복 영향을 반영하기 위해 구한 확산계수 보정식들은 식(9) 및 (10)과 같다.

$$\sigma_{y(\text{terrain})} = 1.169\sigma_{y(\text{plain})} + 7.684 \tag{9}$$

$$\sigma_{z(\text{terrain})} = 1.534\sigma_{z(\text{plain})} + 8.587 \tag{10}$$

여기서,  $\sigma_{(\text{terrain})}$  및  $\sigma_{(\text{plain})}$ : 기복지형 및 평탄지형에 대한 분산계수(m)이다.

### 3. 모델링 결과의 평가

#### 3.1 배출원 및 오염농도 측정점

본 연구에 사용된 오염농도 실측자료는 보령화력발전소 주변에 설치된 환경농도 원격감시시스템 중 송학측정소에서 2002년 1년 동안 확보한 1시간 평균  $\text{SO}_2$  농도자료였다. 배출원은 석탄을 연소하는 발전소이고, 배가스 온도는  $90 \sim 130^\circ\text{C}$ , 굴뚝높이 150 m, 굴뚝직경 8.86 m, 배가스 유속  $10.3 \sim 10.9$  m/s의 특성을 가진다. 오염농도 자료가 얻어진 송학측정소는 배출원으로부터 남동방향으로 약 4km 떨어져 위치하고 있으며 배출원과 농도측정지점 주변의 지리를 그림 2에 나타내었다. 송학에서의  $\text{SO}_2$  오염도에 영향을 미치는 기타의 현저한 배출원은 없었다.

#### 3.2 기상 및 지형자료

충남 보령화력발전소 및 보령기상관측소에서 2002년 1~12월 기간 중 60m 높이에서 매시간 측정된

기온, 풍향, 풍속 등의 자료와 백엽상(높이 1.5 m)에서 매시간 측정된 기온, 6시간 간격으로 측정된 지표 기온, 일사량, 운량 자료를 사용하였다. 수치지도는 국토지리정보원에서 작성된 것(축척 1/25,000)을 사용하였고, 수치지도로부터 Arcview software를 이용하여 불규칙삼각망보간법(TIN)을 선택하여 대기확산모델링을 위한 지표면 고도자료를 생성해서 사용하였다.

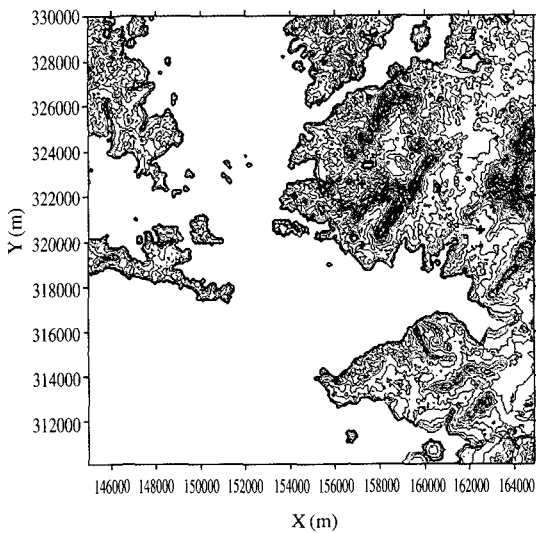


Fig. 2. A terrain map for the vicinity of Boryeung Power Plant (◆: power plant, +: monitoring station, ⊕: Songhak station).

### 3. 3 통계적 측도

각 측도들의 완벽치(perfect value) 및 권장범위(recommended range)들이 많은 실험적 연구들을(Zawar-Reza *et al.*, 2005; Chang and Hanna, 2004; Ziomas *et al.*, 1998; Sarma *et al.*, 1973) 바탕으로 구해졌고 모델의 선정이나 예측성능평가에서 고려되어야 할 중요한 개념으로 알려져 있다. 본 연구에 동원된 통계적 측도들은 편차(bias), 총 오차(gross error), 편차분율(FB: fractional bias), 표준화된 오차제곱평균(NMSE: normalized mean square error), 상관계수(R: correlation coefficient), 기하평균(MG: geometric mean), 기하분산(VG: geometric variance), 2인수범위내 일치도(FAC2: Within a factor of two), 일치도지표(IOA: Index of agreement), 최대농도 계산치와 측정치가 짝을 이루지 못하는 경우의 정확도(UAPC: Unpaired accuracy of peak concentration), 그리고 상대오차평균(MRE: Mean relative error)이었다.

### 3. 4 분산계수 보정 전처리 scheme에 따른 GPDM 성능 평가

샘플링 시간, 지표면 거칠기, 부력 plume 상승, plume 고도, 지형기복 등의 요인들이 분산계수 크기에 미치는 영향을 고려한 보정식들을 이용하여 실제 상황에 해당하는 분산계수를 구함에 있어 각 요인별 보정순서 조합(전처리 scheme)을 그림 3처럼 단계식으로 구성하였다. 각 요인조합별로 보정한 분산계수들을 GPDM에 적용해서 배출원을 기준으로 남동쪽으로 4 km 떨어진 지역에 위치한 송학측정소에 대

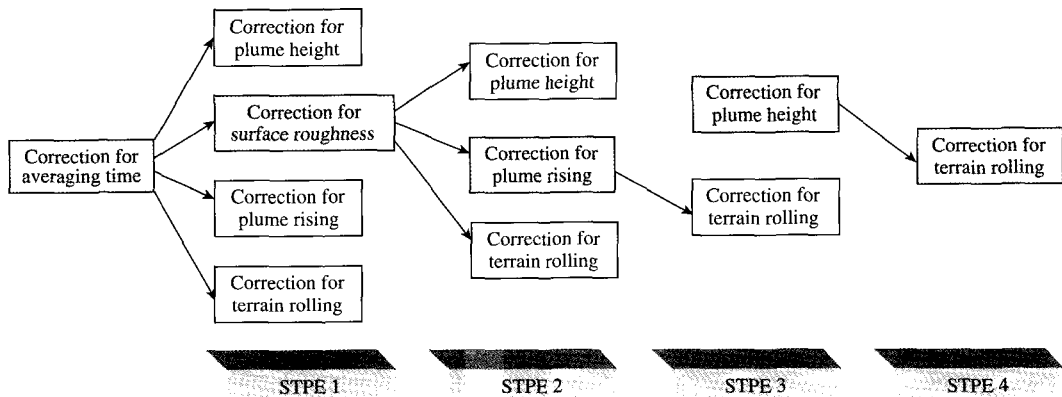


Fig. 3. Organization of sigma preprocessing scheme using step-wise method.

**Table 2. Statistical measures for the results of Gaussian plume dispersion model used to evaluate various sigma preprocessing schemes.**

Preprocessing scheme		Statistical measure	Bias	Gross error	R	FB	NMSE	FAC 2	MG	VG	IOA	UAPC	MRE	Order within each step (relative score)	Overall order
STEP 1	s.t-s.r	A	0.292	4.247	0.034	-0.077	0.006	0.357	2.917	-	0.091	-2.603	-0.206	1 (32)	6
	s.t-p.h	B	-1.948	2.696	0.042	0.726	0.607	0.443	88.604	3.091	0.414	-6.466	0.315	2 (25)	8
	s.t-p.r	C	2.417	5.409	0.034	-0.497	0.263	0.571	1.104	-	0.085	-4.449	-0.888	4 (22)	10
	s.t-ter	D	0.801	4.537	0.032	-0.197	0.039	0.400	4.378	-	0.076	-3.116	-0.373	3 (23)	9
STEP 2	s.t-s.r-p.h	E	-2.196	2.783	0.040	0.857	0.901	0.329	-	-	0.453	0.401	0.458	2 (20)	3
	s.t-s.r-p.r	F	0.245	4.125	0.036	-0.065	0.004	0.386	1.705	3.651	0.099	-2.403	-0.187	1 (21)	2
	s.t-s.r-ter	G	-0.583	3.900	0.040	0.173	0.030	0.343	3.015	-	0.138	-1.723	0.071	3 (19)	7
STEP 3	s.t-s.r-p.r-p.h	H	0.504	3.992	0.033	-0.129	0.017	0.429	1.480	5.210	0.122	-1.613	-0.360	1 (17)	5
	s.t-s.r-p.r-ter	I	-0.906	3.749	0.032	0.282	0.081	0.257	2.568	8.178	0.184	-1.114	0.158	2 (16)	4
STEP 4	s.t-s.r-p.r-p.h-ter	J	0.083	3.823	0.038	-0.022	0.000	0.343	1.588	3.390	0.130	-1.613	-0.175	-	1

(s.t: sampling time, s.r.: surface roughness, p.h.: plume height, p.r.: plume rise, ter.: terrain)

한 1시간 평균 SO<sub>2</sub> 농도를 계산하고 그 결과에 대한 통계적 측도들을 각각 비교함으로써 모델의 예측 정확도가 가장 크게 개선되는 분산계수 전처리 scheme을 결정하였다.

먼저 step 1에서 각 scheme별로 분산계수를 보정·전처리해서 결과를 확산 모델링 과정에 각각 적용했을 때 가장 우수한 1시간 SO<sub>2</sub> 농도 예측성능을 나타내는 전처리 기법(scheme)을 결정하였다. 그 다음 단계에서는 step 1에서 가장 우수한 예측성능을 나타낸 보정인자와 이를 제외한 나머지 인자들 중 하나를 조합하여 그 요인조합별 농도예측 성능을 평가하는 순으로 진행하였다. 보정인자 한 가지씩을 추가함으로써 이 같은 예측성능 평가과정을 반복하여 새로운 scheme들을 step 4까지 구성하였다. 이들 scheme의 평가는 전처리 결과 얻어진 분산계수를 GPDM에 적용한 모델링 결과들에 대한 Bias, Gross error, FB, NMSE, R, MG, VG, FAC 2 등의 통계적 측도들을 검토함으로써 이뤄졌다. 그런데 각각의 통계적 측도들의 기능과 판정기준이 서로 다르기 때문에 (Ziomas *et al.*, 1998; Hanna *et al.*, 1993) 각 확산 모델링 결과로부터 구한 어느 단일의 측도 값(M<sub>i</sub>)을 상호 비교해서 성능 최상의 전처리 scheme을 결정할 수가 없으므로 평가하는 각각의 통계적 측도들에 있어 가장 성능이 우수한 모델링에 기여한 보정 서열의 전처리 scheme에 가장 후순위의 서열수치를 가중치(W<sub>i</sub>)로 부여하고 예측성능이 가장 낮은 서열까지 가

중치를 1점씩 차감하는 방법으로 가중치를 각각 부여하여 각 측도별 M<sub>i</sub> · W<sub>i</sub> 점수(score)를 각 전처리 scheme별로 합산하여 각 전처리 scheme에 대한 성능 비교평가를 함으로써 상대적으로 보다 나은 전처리 scheme을 찾는 방향으로 접근하였다.

표 2는 그림 3에 따라 step 4까지 단계별로 구성된 분산계수 전처리 scheme들을 적용하여 보정된 분산계수들을 적용한 확산모델링 결과에 대한 통계적 측도들을 단일지표로 점수화하여 각 전처리 scheme별 성능 우열순위를 정리한 것이다. 각 단계 내에서 각 scheme의 서열을 구하기 위한 최대 w<sub>i</sub> 값은 경쟁 scheme의 수가 된다(총괄서열 구할 때 최대 w<sub>i</sub> 값은 10). 이 표는 실제상황에 맞는 분산계수를 구하기 위해서는 P-G scheme의 분산계수를 샘플링시간, 지표면 거칠기, 부력성 plume 상승, plume 비과고도, 지형 기록 등 5가지 요인들을 순서대로 보정하는 것이 가장 양호한 모델링 결과를 가져오는 분산계수 전처리 scheme이 되며 샘플링시간, 지표면 거칠기, 부력성 plume 상승 등 3가지 요인들을 순서대로 조합한 보정 scheme이 차선의 것임을 나타내고 있다. 지표면 거칠기의 높은 중요도는 지표면 거칠기가 지표면 인접 대기층 내의 난류강도에 큰 영향을 미친다는 것을 의미한다.

지형기록이 가장 중요도가 낮은 요인으로 나타난 것은 본 연구의 대상지역인 보령화력발전소 주변지역이 완만한 기록의 구릉지역이고 plume이 150 m의

높은 굴곡에서 방출되어 부력상승 하였고 때문에 이 동 중 지형의 영향을 상대적으로 덜 받았음을 시사하는 것으로 보여진다. 따라서 최상의 전처리 scheme은 지역에 따라 달라질 수 있을 것이라고 판단된다. 그러나 제1단계 조합에서 샘플링시간과 지표면 거칠기 등 2가지 요인들의 조합이, 제 2단계에서 샘플링시간, 지표면거칠기, plume 상승 등 3가지 요인들을 순서대로 배열한 조합이 분산계수를 보정하는 가장 우수한 전처리 scheme이라는 것이 각각 밝혀졌다는 것은 plume 분산이 지표면 기복의 영향을 적게 받는 높은 배출원의 경우엔 의미 있는 것으로 보여진다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 모델링을 통한 대기오염농도 예측치와 측정치 사이의 차이를 나타내는 각 통계적 측도들의 평가기능과 기준이 서로 다르므로 인하여 단일측도로 모델링예측성능을 판별하기 어려운 문제를 합리적으로 해결하기 위해 완벽한 모델링시의 각 측도값을 고려하여 각 분산계수 전처리 scheme을 적용한 오염농도 모델링 결과에 대한 각列의 통계적 측도 값( $M_i$ )의 크기에 따라 scheme별 우열순위를 정하고 가장 우수한 서열의 scheme에 경쟁 scheme의 수에 해당하는 가중치를 부여하고 가장 나중 서열까지 1점씩 차감하는 방법으로 가중치를 각각 부여하여  $M_i \cdot W_i$  값을 점수화하고 각 scheme별로 이 점수를 행을 따라가면서 관련 통계적 측도들에 대해 통합하는 방법으로 단일 지표값( $\sum M_i \cdot W_i$ )을 구하여 각 후보 모델링 scheme들에 대한 성능을 비교 평가하는 하나의 방법론을 제안하였다.

요인별 분산계수 보정순서를 결정하기 위해 각 단계별로 요인들을 순차대로 배열하여 조합한 분산계수 전처리 scheme에 따라 보정된 각 조합별 분산계수들을 정규플룸 확산식에 적용하여 계산한 지상 1시간 평균  $SO_2$  오염농도치와 실측농도치 사이의 11가지 통계적측도 값들을 종합적으로 검토한 결과 샘플링 시간, 지표면 거칠기, 부력 plume 상승고, plume 비과고도, 지형기복 등 5가지 요인들에 대해 순서대로 분산계수를 보정하는 것이 상대적으로 가장 우수한 분산계수 전처리 scheme인 것으로 나타났다. 또한, 총 10개의 scheme들을 비교했을 때 샘플링 시간,

지표면 거칠기, 연기상승고 등 3개의 요인들에 대해 순서대로 보정하는 scheme이 임해의 완만한 구릉지역에서 높은 굴곡으로부터 배출된 부력성 연속 plume에 대해 두 번째로 우수한 전처리 scheme인 것으로 나타났다. 지상오염농도 모델링과 관련하여 분산계수 크기에 샘플링시간 다음으로 큰 영향을 미치는 요인은 지표면 거칠기로 밝혀졌으며 화력발전소와 같이 높은 배출원의 경우엔 plume의 분산이 지표면 기복의 영향을 적게 받는 것을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

Angell, J.K. and D.J. Pack (1965) Atmospheric lateral diffusion estimates from tetroons, *Journal of Applied Meteorology*, 4, 418-425.

Briggs, G.A. (1970) Some recent analysis of plume rise observations, Contribution 38, NOAA Research Laboratories, Oka Ridge, Tennessee.

Chang, J.C. and S.R. Hanna (2004) Air quality model performance evaluation, *Meteorology and Atmospheric Physics*, 87, 167-196.

Engel, P.L., T.O. Williams, and T. Muirhead (1997) Utilizing ISCST to model composting facility odors, 90th Annual Air and Waste Management Association Meeting and Exhibition, Toronto, Ont., Canada, 8-13, June.

Hanna, S.R., G.A. Briggs, J. Deardoff, B.A. Egan, F.A. Gifford, and F. Pasquill (1977) Meeting review-AMS workshop on stability classification scheme and sigma curve-summary of recommendations, *Bulletin American Meteorological Society*, 1305-1309.

Hanna, S.R., G.A. Briggs, and R.P. Hosker (1982) *Handbook on Atmospheric Diffusion*, U.S. DOE, Technical Information Center of DOE.

Hanna, S.R., J.C. Chang, and D.G. Strimaitis (1993) Hazardous gas model evaluation with field observations, *Atmospheric Environment*, 27A, 2265-2285.

Mason, P.J. and D.J. Thompson (1987) Large eddy simulations of the neutral-static-stability planetary boundary layer, *Meteorological Society*, 113, 413-443.

Okamoto, H., R. Ohba, and S. Kinoshita (1986) Prediction of diffusion taking account of topographical effects, *Proc. 7th World Clean Air Congress*, Sydney, Australia, 34-41.

Park, O.H., S.J. Seo, and S.H. Lee (1999) An experimental

- study on the vertical dispersion of plume in convective boundary layer using a composite turbulence water tank, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 15, 639-647.
- Park, O.H. and C.O. Yoon (2000) An experimental study on the variation of vertical dispersion within boundary layer with surface roughness, *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 16, 237-246.
- Sarma, P.B.S., J.W. Delleur, and A.R. Rao (1973) Comparison of rainfall-runoff models for urban areas, *Hydrology*, 18, 329-347.
- Scire, J.S., D.G. Strimaitis, and R.J. Yamatino (2000) A User's Guide for the CALPUFF Dispersion Model (version 5). Earth Tech. Inc., Concord, MA.
- Wieringa, J. (1992) Updating the Davenport roughness classifications, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 41, 357-368.
- Wilczak, J.M. and M.S. Phillips (1986) An indirect estimation of convection boundary layer structure for use in pollution dispersion models, *Climate and Applied Meteorology*, 25, 1609-1624.
- Zannetti, P. (1990) *Air Pollution Modeling*, Van Nostrand Reinhold, New York, 56-60.
- Zawar-Reza, P., S. Kingham, and J. Pearce (2005) Evaluation of a year-long dispersion modeling of PM10 using the mesoscale model TAPM for Christchurch, New Zealand, *Science of the Total Environment*, 349, 249-259.
- Ziomas, I.C., P. Tzoumaka, and D. Balis (1998) Ozone episodes in Athens, Greece. A modelling approach using data from the medcaphot-trace, *Atmospheric Environment*, 32, 2313-2321.