

지형을 고려한 단기 대기확산모형의 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of the Short-term Atmospheric Dispersion Models with Terrain Adjustment

최일경 · 전의찬¹⁾ · 김정욱¹⁾

한국전력공사 기술연구원

¹⁾서울대학교 환경대학원

(원고접수 : 1990. 5. 31)

Eel Gyung Choi, Eui Chan Jeon¹⁾, Jung Wk Kim¹⁾

Research Center, Korea Electric Power Corporation, Daejeon 300-200, Korea

¹⁾Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Received 31 May 1990)

Abstract

The purpose of this study is to assess the performance of Short-term atmospheric dispersion models — ISCST, MPTER, VALLEY — with terrain adjustment. The models are evaluated through correlation analysis, paired analysis and log-normal cumulative analysis between the measured and predicted concentrations in Samcheonpo area.

The correlation coefficients between the measured and predicted concentrations turn out to be higher with terrain adjustment than those without terrain adjustment.

In paired analysis, the mean differences and average absolute gross errors of concentrations do not change significantly with terrain adjustment. But the variances of the residuals become much smaller when the terrain is adjusted.

Through the log-normal cumulative analysis, it is found that the terrain adjustment improve the prediction performance of MPTER and VALLEY, but do not affect significantly that of ISCST.

Overall, it is concluded that the performance of short term atmospheric dispersion models improve when the terrain is considered in computation, especially in MPTER and VALLEY.

1. 서 론

대기오염 문제를 해결하기 위한 효과적인 관리 대책을 수립하기 위해서는 환경에 배출된 대기오

염물질들이 환경에 미치는 영향을 정확히 예측하여야 한다.

이러한 예측을 위하여 자연 현상을 간략히 수식화하여 배출된 오염물질들이 대기환경에 미치는 영향을 예측하는 것을 대기확산모형이라 하며, 모

형에 의한 어느 지점의 대기오염 농도는 영향을 미치는 오염원에서의 오염물질 배출량, 오염물질의 물리·화학적 특성, 해당 지역의 기상학적 특성, 예측 지점의 지형적 특성에 따라 영향을 받게 된다.

대기오염 농도예측시 사용되는 대부분의 가우스 대기확산모형에는 지형을 평탄한 것으로 가정하여 지형의 영향을 고려하지 않는 모형과 지형을 고려할 수 있는 모형이 있으나, 우리나라에서는 대부분 지형을 고려하지 않는 모형을 사용하거나, 지형을 고려할 수 있는 모형을 사용하는 경우에도 (신용배 등, 1986; 이상원, 1989) 지형의 영향을 고려하지 않고 농도를 예측하고 있다.

본 연구에서는 단기 대기오염확산모형중 지형을 고려할 수 있는 모형을 선정하여, 지형을 고려한 경우와 지형을 고려하지 않는 경우의 예측치를 실측치와 비교하므로써, 지형 고려에 의한 모형의 예측력 변화를 조사하여 대기오염확산모형의 유용성을 높이고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구의 범위 및 연구 진행 방법

본 연구에서는 지형을 고려하는 방법이 서로 다른 단기 대기확산모형인 ISCST, MPTEP, VALLEY를 지형을 고려하기 위한 모형으로 선정하였다.

선정된 모형에 있어서 지형을 고려한 경우의 영향은, 지형을 고려하여 산출한 예측치와 지형을 고려하지 않고 산출한 예측치를 실측치와 비교하고, 이들을 상관분석, 쌍체분석, 누적빈도 분포도 분석 등의 통계적 방법을 이용하여 분석하였다.

본 연구의 대상 지역은 그림 1과 같이 삼천포화력발전소의 대기오염 영향권에 위치한 삼천포시와 인접 고성군 하일면과 하이면 일대이다.

대상 오염물질로는 화력발전소에서 주로 배출되며, 화학적 활성이 적은 아황산가스(SO₂)를 선정하였으며, 대상 오염물질의 실측은 1988년의 계절

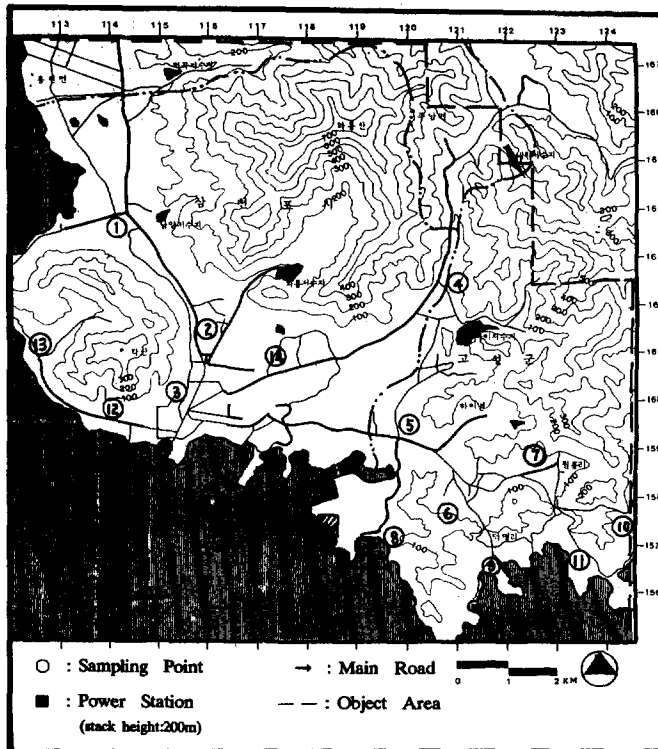


Fig. 1. Sample sites and main roads.

별로 1월 27일~1월 29일, 7월 30일~8월 1일, 10월 19일~10월 21일로서 각 측정일의 오전 7시에서 익일 오전 7시까지 24시간 동안 행해졌다.

모형에 적용된 배출원 자료중 점오염원의 배출자료는 대규모 배출원에 대해서는 실측 기간의 배출자료를 이용하였다. 소규모 배출원과 면오염원의 배출자료는 기존 자료(한국전력(주) 전원계획처, 1986)를 이용하여 추정하였다. 오염원의 배출자료는 기존자료(건설부, 1987)를 이용하여 대상지역을 통과하는 일일 자동차 대수와 차종별 배출계수를 적용하여 산정하였다.

기상 자료는 대상 지역에서 측정한 시간별 기상 자료를 적용하였으며, 착지점의 해발 고도는 시료 채취장치의 설치 높이를 고려하여 산정하였다.

2.2 지형 고려 단기 대기확산모형의 원리

ISCST 모형

ISCST 모형(Bowers et al., 1979)은 ISC(Industrial Source Complex Dispersion Model) 모형의 단기(Short Term) 모형으로서, 1시간에서 24시간까지의 분진 및 가스상 대기오염물질의 대기중 평균농도를 산출하며, 농도계산식은 일반적인 가우스 확산식을 이용하고 있다.

ISCST 모형에서 지형고려시 고려할 수 있는 높이는 굴뚝의 바닥에서 굴뚝의 상단까지의 높이이다.

ISCST 모형에서 지형고려시의 대기오염 농도

는 착지점의 높이 변화에 따른 유효고의 변화를 고려하여 착지점의 농도를 계산하게 되는데, 그림 2에서 보는 바와 같이 최종 높이에 도달한 연기의 중심선은 일정한 고도를 유지하고 혼합고는 지면과 일정한 간격을 유지하는 것으로 가정한다.

지형 미고려시의 유효연돌고는 $He=h+\Delta h$ 이며, 지형고려시의 유효연돌고는 $He'=h+\Delta h+Zs-Z(x,y)$ 이다. 여기에서 h 는 실제의 연돌고(m), Δh 는 연기상승량(m), Zs 는 연돌 바닥의 해발고도(m), $Z(x,y)$ 는 착지점의 해발고도(m)이다.

MPTEr 모형

MPTEr(Multiple Point Model with Terrain Adjustment) 모형(Pierce and Turner, 1980)은 다수의 점오염원을 대상으로 하는 가우스 모형의 하나로서, 지형의 영향을 고려할 수 있는 CRSTER 모형과 다수의 점오염원을 처리할 수 있는 RAM 모형을 이용하여 개발된 모형이다.

MPTEr 모형에서 착지점의 대기오염 농도 계산식은,

안정상태 :

$$\chi = [Q/L] \cdot (g1/(2\pi)^{1/2}/\sigma_y) \cdot (g2/(2\pi)^{1/2}/\sigma_z)$$

불안정 : $\delta_z > 1.6L$,

$$\chi = [Q/(u \cdot L)] \cdot (g1/(2\pi)^{1/2}/\sigma_y) \text{ 및}$$

중립 : $\delta_z < 1.6L$,

$$\chi = [Q/u] \cdot (g1/(2\pi)^{1/2}/\sigma_y) \cdot (g3/(2\pi)^{1/2}/\sigma_z)$$

이고 단, $He > L$ 인 경우 $\chi = 0$ 이다.

여기에서,

$$g1 = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right\},$$

$$g2 = \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-He}{\sigma_z}\right)^2\right\} +$$

$$\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+He}{\sigma_z}\right)^2\right\},$$

$$g3 = \sum_{N=-\infty}^{\infty} \left[\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-He+2NL}{\sigma_z}\right)^2\right\} + \right.$$

$$\left. \exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+He+2NL}{\sigma_z}\right)^2\right\} \right]$$

이다. 또 z 는 착지점의 높이(m), L 은 혼합고(m), N 은 지표면 및 역전층과의 반사 횟수이다.

MPTEr 모형에서 지형의 영향은 지형고려계

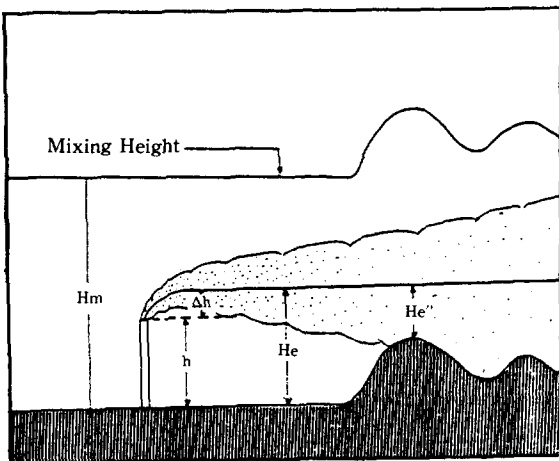


Fig. 2. Plume dispersion at rolling terrain (ISCST).

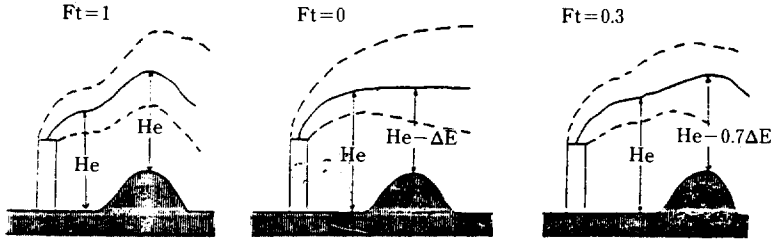


Fig. 3. Plume dispersion with terrain adjustment coefficient (MPTEr).

수를 이용하여 계산하게 되는데, 지형고려시에는 지형을 고려하지 않을 때의 유효고(He) 대신, 지형을 고려할 때의 유효고(He')를 입력하여 대기오염 농도를 산출하게 된다.

지형고려계수는 불안정상태 및 중립상태에서 Ft=1, 안정상태에서는 Ft=0이 입력되어 안정상태에서만 지형의 영향이 반영되어 진다(그림 3 참조).

즉, $He' = He - \Delta E + Ft * \Delta E$ 이고, 여기에서 He는 지형고려시의 수정된 유효연돌고, He는 지형이 고려되지 않을 때의 유효연돌고, ΔE 는 $E_r - E_s$ 이며, E_r 은 착지점의 해발고도, E_s 은 오염원의 해발고도이다. 또한 Ft는 지형고려계수(0과 1사

이의 값)이다.

VALLEY 모형

VALLEY 모형(Burt, 1977)은 산악지대에서 대기오염농도 예측을 위하여 개발된 모형으로서, 대부분의 대기화산모형과는 달리 수평확산계수 y 대신 선형보감계수인 $(C-y)/C$ 를 사용한다.

VALLEY 모형에서 대기오염 농도 계산식은

$$\chi = 2.03 \cdot 10^6 \cdot Q \cdot K \cdot ((c-y)/c) \cdot ((401-D)/400)$$

$$\cdot F \cdot \sum_{N=-j}^{+1} \exp\left\{-0.5\left(\frac{H+2NL}{\sigma_z}\right)^2\right\}$$

$$\left[\exp\{-0.693 X_p/(3600 \cdot u \cdot I)\}\right] / (\sigma_z \cdot u \cdot x)$$

로 주어지며, C는 22.5° 풍하구간의 수직거리, F

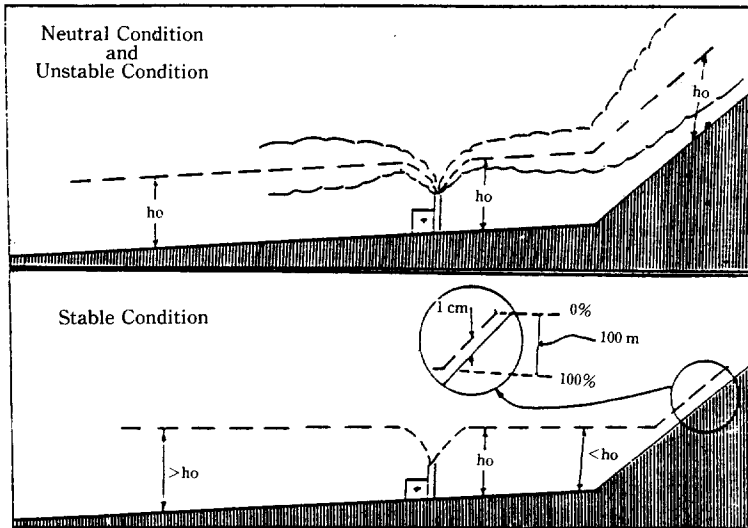


Fig. 4. Plume dispersion with terrain and atmospheric stability (VALLEY).

는 농도단위 결정계수, K 는 표준상태로의 환산계수, X_p 는 오염원에서 착지점까지 거리(m), I 는 오염물질의 반감기(hr), D 는 착지점 고도(연기중심선 고도)이다.

VALLEY 모형은 ISCST나 MPTER과 달리 착지점이 굴퍽보다 높은 경우에도 농도계산이 가능하므로 구릉지뿐 아니라, 산악 지형에도 적용할 수 있다. VALLEY 모형에서는 안정도에 따라 연기의 최종 높이가 다른 것으로 가정하고 있는데, 그림 4에서 보는 바와 같이 안정상태에서는 굴퍽에서 배출된 연기가 지형에 관계없이 일정한 높이를 유지하게 되며, 불안정 및 중립 상태에서는 연기가 지형을 따라 평행으로 상승하는 것으로 고려하고 있다.

2.3 모형의 평가 기법

본 연구에 적용되는 단기 대기확산모형의 지형 고려시와 비고려시의 모형의 예측력 평가는 다음 3가지의 통계적 방법에 의하여 수행된다.

상관 분석

상관분석은 두 확률 변수사이의 상호연관성을 상관계수와 단순 회귀식을 이용하여 파악하는 통계분석 방법으로서, 상관계수는 1에 가까울수록, 회귀식의 기울기는 1에 절편은 0에 가까울수록 상호연관성이 높은 것으로 평가하게 된다.

쌍체 분석

쌍체 분석(강병준, 1987)은 동질성을 갖는 두 변수에 대하여, 두 변수의 대응 요소간의 차이가 갖는 성질을 파악하는 방법으로서 본 연구에서는 차의 평균, 절대편차의 평균, 차의 분산 등에 의한 통계적 방법을 이용한다.

누적빈도 분포도 분석

누적빈도 분포는 농도를 크기순으로 배열하고 어떤 농도가 출현하는 누적 확률을 구하여 누적확률을 X축에 농도의 대수 값을 Y축에 대응시켜 통계적으로 검증하는 방법으로서 농도 등급별 출현빈도를 파악할 수 있으므로, 단기 고농도 출현빈도에 기준을 두는 법적규제제도나 단기 모형의 정합도 분석에 편리한 방법이다(Mertens et al., 1983; Getfreud et al., Tourna et al., 1983).

2.4 입력 자료의 선정

배출원 자료

연구 대상 지역의 아황산 가스 배출원을 점오염원, 면오염원, 이동오염원으로 구분하여 각각의 배출원 자료를 산정하였는데, 점오염원은 대규모 배출원인 삼천포화력발전소와 기타 소규모 배출원으로 구분하여, 삼천포화력발전소의 경우는 실측 기간동안 실제 배출량의 실측자료를 사용하였으며, 소규모 배출원은 한국전력(주)(1986, 1987)의 자료를 이용하여 작성하였다.

면오염원은 가정에서의 난방 및 취사에 의한 오염물질의 배출이 대부분인데, 본 연구에서는 1 km~2 km의 격자로 구분된 총 81개의 면오염원을 고려하였다. 면오염원의 배출원 자료는 기존자료(한국전력(주) 전원계획처, 1986)에 삼천포시와 고성군의 가구수 증가율을 고려하여 가구수와 가구분포도를 구한 다음, 연평균 격자별 무연탄 사용량과 무연탄 단위 무게당 아황산 가스 배출계수 10.9 kg/ton(이덕길 등, 1987)를 곱하여 격자별 아황산 가스 배출량을 산정하였다. 아황산 가스 배출율은 격자별 연평균 배출량에 월별 무연탄 사용량의 연평균에 대한 비(국립환경연구원, 1987)를 곱한 다음 단위시간당 배출량으로 환산하였다.

이동오염원에 의한 아황산 가스 배출원 자료는 삼천포시를 중심으로 일반국도, 지방도의 도로망(건설부, 1987)과 각 도로별 연평균 1일 차종별 교통량을 계산하고 도로가 통과하는 격자별 도로 길이를 구한 다음, 차종별 아황산 가스 배출계수를 고려하여 각 격자별 이동오염원에 의한 아황산 가스 배출량을 산정하였다.

기상 자료

본 연구에 적용된 지형 고려 단기 모형에는 시간별 풍향, 풍속, 대기 안정도, 대기 온도 및 혼합고 등의 기상 자료가 필요하다.

대상 지역의 풍향, 풍속 등은 실측에 의하여 구하였고, 대기 온도는 삼천포시 인근의 남해 측후소의 자료를 이용하였다. 대기안정도는 Irwin의 방법(U.S. EPA, 1984)에 의하여 산출한 것이며, 혼합고는 실측이 곤란하여 고려하지 못하였다.

착지점 실측자료

실측은 1988년에 계절별로 3회에 걸쳐 행하여졌

는데, 매 계절별 3일씩 7~10개 지점에 대하여 아

황산 가스의 농도와 착지점의 고도를 실측하였다.

Table 1. Location and height of receptor point, and sampling date.

Serial Mo of Receptor Point	TM code			Sampling date (1988)											
	X (m)	Y (m)	Height (ft)	1 /27	1 /28	1 /30	Mark	7 /30	7 /31	8 /1	Mark	10 /19	10 /20	10 /21	Mark
Point 1	114350.	163800.	111.55	*	*	*	W1	*	*	*	S1				
Point 2	115800.	162000.	160.76	*			W2	*	*	*	S2	*	*	*	F1
Point 3	115650.	159700.	59.06	*	*	*	W3	*	*	*	S3				
Point 4	122450.	161800.	160.76	*			W4	*	*	*	S4	*	*	*	F2
Point 5	119700.	159200.	45.93	*	*	*	W5	*	*	*	S5	*	*	*	F3
Point 6	121400.	158200.	78.74	*	*	*	W6	*	*	*	S6	*	*	*	F4
Point 7	123100.	158800.	259.17	*	*	*	W7								
Point 8	119500.	157200.	124.67	*	*	*	W8					*	*	*	F5
Point 9	121800.	156600.	16.40	*	*	*	W9								
Point 10	124900.	157400.	62.37		*	*	W10								
Point 11	123400.	156800.	78.27												
Point 12	114550.	159600.	45.93					*	*	*	S7	*	*	*	F6
Point 13	112500.	161100.	45.93					*	*	*	S8				
Point 14	117600.	160800.	111.55					*	*	*	S9	*	*	*	F7

Note : * means the day when the sampling was implemented.

Wi, Si and Fi are seasonal average concentrations of the receptor points.

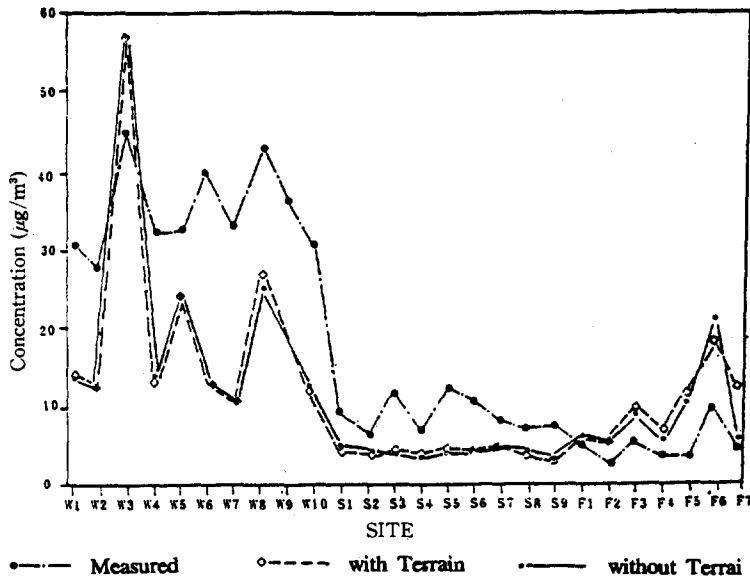


Fig. 5. Measured and predicted concentration by ISCST.

3. 결과 및 고찰

3.1 실측치 및 대기확산모형에 의한 예측치

실측치는 착지점에서 직접 채취한 대기 표본을

파라로자닐린법(환경청, 1988)으로 분석한 아황산 가스의 측정지점별, 계절별 평균 농도이며, 예측치는 ISCST, MPTER, VALLEY 모형에 의하여 지형 고려시와 지형 비고려시의 아황산 가스 예측 농도로서, 그림 5~그림 7과 같다.

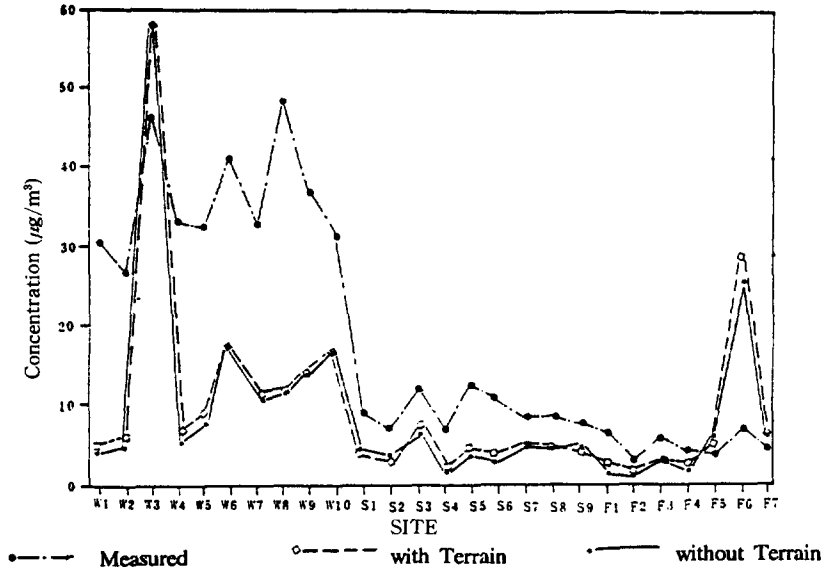


Fig. 6. Measured and predicted concentration by MPTER.

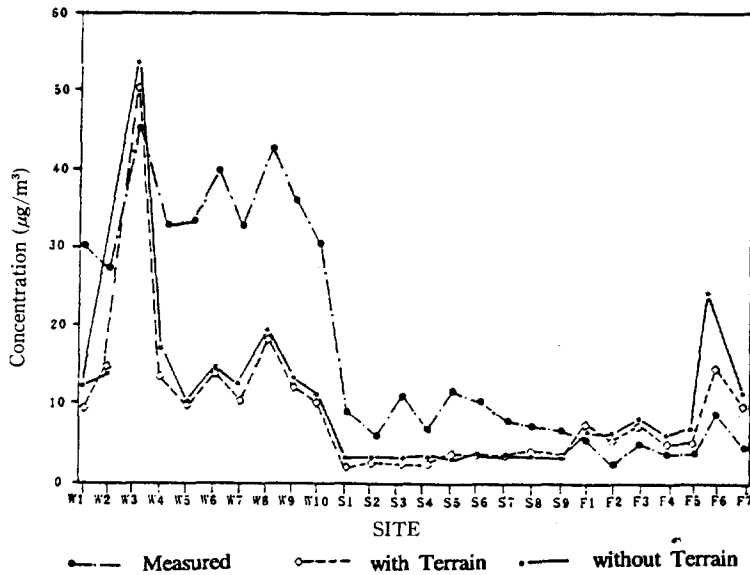


Fig. 7. Measured and predicted concentration by VALLEY.

Table 2. Correlation analysis between measured and predicted concentration.

Correlation Analysis	ISCST		MPTER		VALLEY	
	with Terrain Adjustment	w/o Terrain Adjustment	with Terrain Adjustment	w/o Terrain Adjustment	with Terrain Adjustment	w/o Terrain Adjustment
Correlation Coefficient	0.644	0.636	0.500	0.469	0.640	0.633
Intercept	9.811	10.064	12.912	13.505	10.373	10.195
Slope	0.806	0.795	0.762	0.600	0.900	0.829

Table 3. Paired analysis between measured and predicted concentration.

Paired Analysis	ISCST		MPTER		VALLEY	
	with Terrain Adjustment	w/o Terrain Adjustment	with Terrain Adjustment	w/o Terrain Adjustment	with Terrain Adjustment	w/o Terrain Adjustment
Mean-Differences	-6.9924	-7.4459	-10.1017	-9.5631	-8.2915	-7.3182
Average Absolute error	13.0406	13.40098	13.2530	13.1442	12.6663	12.7249
Variance of the difference	322.5129	331.1267	261.3704	290.0110	265.4250	282.3071

3.2 지형에 의한 영향의 평가

각 모형별 지형 고려시와 지형 비교시의 영향 정도는 계절별 착지점별 24시간 평균농도를 이용하여 평가하였다.

상관 분석

상관분석 결과는 표 2와 같다.

상관계수는 본 연구에 적용된 모형들에 있어서 모두 지형 고려시의 값이 지형 비교시의 값보다 크며, 큰 차이는 없으나 지형 고려시의 모형 예측치가 실측치에 보다 접근하고 있음을 알 수 있다.

선형 회귀식에 있어서 기울기는 어느 경우나 지형고려시의 기울기가 지형 비교시보다 큰 값을 갖고 있으며 1에 가까우며, 절편의 경우도 VALLEY 모형을 제외하고는 지형고려시의 값이 보다 0에 근접하게 되므로, 지형 고려시 모형의 예측정도가 개선됨을 알 수 있다.

쌍체 분석

차의 평균, 절대 편차 평균, 차의 분산 등에 의한 적용 모형의 쌍체 분석결과는 표 3과 같다.

ISCST 모형의 쌍체 분석 결과, 지형 고려시 차의 평균이 지형 비교시(평탄한 지형으로 가정) 보다 절대치가 더 작으므로 지형 고려시 모형의 예측정도가 향상됨을 알 수 있다. 절대 편차의 평균

은 거의 같은 값을 갖고 있으나, 차의 분산은 지형 고려시의 값이 지형 비교시보다 작으므로 지형 고려시 실측치와 예측치의 차가 보다 일정한 값을 갖게 되고 교란이 적어지므로 모형의 예측정도가 향상되는 것으로 판단된다.

MPTER 모형의 경우는 차의 평균이 지형을 고려할 때보다 더 큰 절대값을 갖게 되나, 그 정도가 적으며, 절대 편차의 평균은 거의 같은 값을 나타내고 있으나 차의 분산은 지형고려시의 값이 훨씬 적으므로, 지형 고려시 모형의 예측정도가 향상됨을 알 수 있다.

VALLEY 모형의 경우에도 차의 평균은 지형 고려시의 값이 지형 비교시보다 더 큰 절대값을 갖고 있으나, 절대 편차의 평균과 차의 분산은 더 작은 값을 나타내고 있으므로 지형 고려시 보다 안정적으로 대기오염 농도를 예측할 수 있는 것으로 판단된다.

누적빈도 분포도 분석

ISCST 모형에 의한 누적빈도 분포도 분석결과, 지형 고려시와 지형 비교시의 예측치가 거의 같은 빈도로 실측치에 접근하고 있으므로, 누적빈도 분포도 분석에 의하여 ISCST 모형의 지형 고려시 영향을 평가하기는 곤란하다.

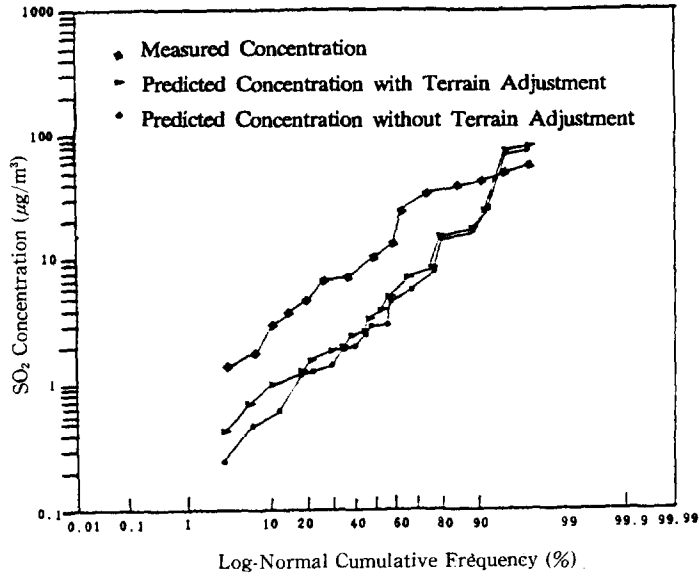


Fig. 8. Log-normal cumulative distribution (MPTEr)

MPTEr 모형에 의한 누적빈도 분포도 곡선은 그림 8과 같으며, 그 정도가 작기는 하나 지형 고려시의 예측치가 지형 비고려시의 예측치보다 실측치에 접근하고 있으므로, 지형을 고려할 경우 모형의 예측정도가 향상됨을 알 수 있다.

VALLEY 모형에 의한 누적빈도 분포도 곡선은 MPTEr의 경우와 유사하며, 지형을 고려할 경우 모형의 예측정도가 향상됨을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 현재 우리나라에서 적용되고 있는 대기확산모형들이 지형의 영향을 고려하지 않고 있으므로, 지형을 고려할 수 있는 단기 대기확산모형들인 ISCST, MPTEr, VALLEY 모형에 대하여 지형 고려시와 비고려시의 예측치를 산출하고 이것을 실측치와 비교하므로써, 대기확산모형의 유용성을 높이하고자 하였다.

모형의 평가에 사용된 방법은 상관 분석, 쌍체 분석, 누적빈도 분포도 분석 등이었으며, 결과는 다음과 같다.

1) 본 연구에 적용된 단기 대기확산모형의 상관 분석 결과, 상관계수와 선형 회귀식의 기울기 및 절편 등이 VALLEY 모형의 절편을 제외하고는

모두 지형을 고려한 경우의 예측치가 지형 비고려시의 예측치보다 실측치와의 상호연관성이 큰 것으로 분석되어 지형 고려시 모형의 예측정도가 향상되는 것으로 판단된다.

2) 쌍체 분석의 경우 차의 평균과 절대 편차의 평균은 모형에 따라 서로 다른 결과를 나타내고 있으나, 그 정도가 작으며, 차의 분산의 경우는 적용된 모형들에 있어서 모두 지형을 고려한 경우가 고려하지 않은 경우보다 보다 안정된 값을 나타내고 있는 것으로 분석되었다.

3) 누적빈도 분포도 분석에 있어서는 ISCST 모형의 경우 지형을 고려한 경우의 영향을 판단할 수 없으나, MPTEr 모형 및 VALLEY 모형의 경우에는 지형을 고려하는 경우의 예측치가 실측치에 보다 접근하고 있으므로, 지형 고려시 모형들의 예측력이 향상되는 것으로 분석되었다.

4) 이상의 결과를 종합해 보면, 지형을 고려할 경우 고려하지 않는 경우에 비하여 대기확산 모형의 예측정도가 개선되는 것으로 평가되었으나, 본 연구의 대상지역인 삼천포지역에 있어서는 개선 정도가 크지 않았다.

참 고 문 헌

- 강병준(1987) 대기확산모형의 정합도에 관한 연구, 20 - 21, 서울대학교.
- 건설부(1987) 도로교통량 통계연보.
- 국립환경연구원(1987) 택지개발사업에 대한 환경영향 평가방법 연구, 227 - 236.
- 신용배 등(1986) 여천공업단지 대기오염 영향평가 연구, 한국과학기술원.
- 이덕길 등(1987) 대기오염 예측모형 개발에 관한 연구(II), 국립환경연구원, 63.
- 이상원(1989) Downwash 현상을 고려한 대기오염 예측모형에 관한 연구, 서울대학교.
- 한국전력(주) 전원계획처(1986) 삼천포화력 대기질 환경농도 전산예측.
- 한국전력(주) 전원계획처(1986) 삼천포화력 대기질 환경농도 전산예측, 20 - 21.
- 한국전력(주) 전원계획처(1986, 1987) 화력발전소 대기질 환경농도 전산예측.
- 환경청(1988) 환경오염공정시험법 - 대기분야, 374 - 386.
- Bowers J.F. et al. (1979) Industrial Source Complex (ISC) Model User's Guide, U.S. EPA.
- Burt E.W. (1977) VALLEY Model User's Guide, U.S. EPA.
- Getfreud P.D. et al. Complex I and II Model Performance Evaluation in Nevada and New Mexico, Journal of Air Pollution Control Association, 33, 9.
- Mertens et al. Influence of the Meteorological Input Data on the Comparison between Calculated and Measured Aerosol Ground Level Concentration and Deposition, in C. DE Wispelaere (1983) Air Pollution Modeling and it's Application II, 663 - 673, Plenum Press.
- Pierce T.D. and D.B. Turner (1980) User Guide for MPTER, U.S. EPA.
- Tourna J.S. et al. Development and Validation of a Multi-source Plume Downwash Model, in C.DE Wispelaere (1983) Air Pollution Modeling and it's Application II, 729 - 750, Plenum Press.
- U.S. EPA (1984) Guideline on air quality models, 15 - 20.