

## 장기예측모델의 정합도 분석에 관한 연구

### A Study on the Validation of Long-Term Dispersion Models

송 동 응 · 김 원 만<sup>1)</sup>

한국과학기술연구원 대기환경연구소

<sup>1)</sup>한양대학교 도시공학과

(원고접수 : 1991. 9. 20)

Dong Woong Song, Won Man Kim<sup>1)</sup>

Air Pollution Control Laboratory, KIST

<sup>1)</sup>Dept. of Urban Engineering, Hanyang University

(Received 20, September 1991)

#### Abstract

The Gaussian models were selected as the reference models for the study. During the study of the model verification in the Ulsan Industrial Complex, the accuracy and limitation of models were assessed.

The correlation coefficients of the observed and the predicted values for CDM 2.0 and TCM2B were ranged from 0.57 to 0.73 and from 0.72 to 0.86, respectively. And there were relatively large discrepancies between the predicted and the measured concentrations for several locations. Therefore, the Gaussian models should be used with careful discretion to apply the urban area in Korea.

#### 1. 서 론

대기확산모델은 오염원과 착지점간의 인과관계를 규명하여 현존 및 장래의 오염도를 예측하거나 새로운 오염원에 대한 영향을 예측할 때 이용되는 수단으로 모델의 예측도가 얼마나 정확하느냐에 따라 대기오염관리대책의 성패와 직결된다고 할 수 있다.

우리나라의 경우 지난 10여년간 확산모델에 대한 연구와 적용이 광범위하게 이루어졌으나 대부분의 경우 외국에서 개발된 모델들을 충분한 검토없이 국내에 그대로 적용하여 예측치의 정확도가 매우 낮은 실정이다. 특히 우리나라는 도시의 인구 밀집도가 높고 산악이 많아 오염물질의 확산 특성이 매우 복잡하여 많은 가정을 내포한 Gaussian 모델을 국내에 적용할 경우 모델의 검정이나 보정 등 충분한 검토

가 이루어져야 한다(심상규와 송동응, 1991).

본 연구에서는 Gaussian 모델 중 국내에서 널리 사용되고 있는 CDM2.0(Climatological Dispersion Model-Version 2.0)과 TCM2B(Texas Climatological Model Version 2)를 선정, 실제 국내에 적용하여 모델의 정합도와 불확실성을 분석하였다.

#### 2. 연구방법

본 연구에서는 울산공업단지를 대상으로 1986년부터 1988년까지 3년간 배출원 조사와 기상자료를 분석하여 모델링의 입력자료로 이용하였으며 대상 오염물질은 비교적 화학적 활성이 낮은 이황산 가스(SO<sub>2</sub>)를 선정하였고 오염도 예측기간은 매년 농작물 생육기간인 4월에서 10월까지로 하였다.

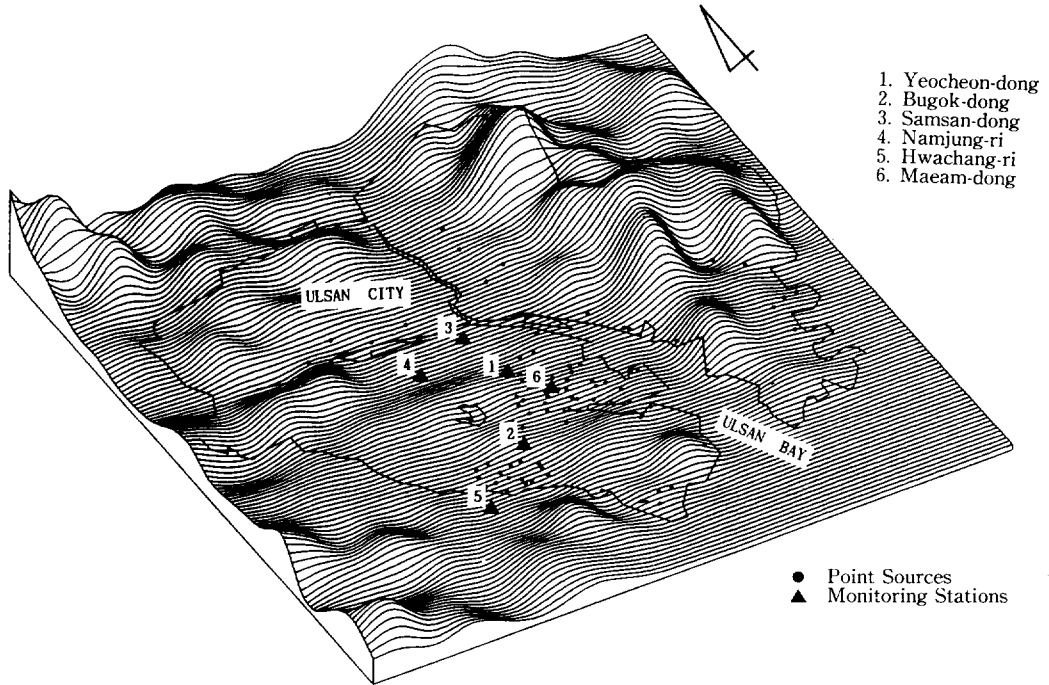


Fig. 1. Topographic map of Ulsan city showing principal sources and monitoring stations.

Table 1. Fuels used in point sources.

연료명	연도	'86 (102개 업소)	'87 (104개 업소)	'88 (108개 업소)
B-C	(Kℓ)	1,378,894	929,796	2,011,584
B-B	(Kℓ)	3,189	5,079	2,062
B-A	(Kℓ)	1,946	2,009	2,046
경유	(Kℓ)	13,244	14,900	22,835
등유	(Kℓ)	1,410	1,382	1,509
납사	(Kℓ)	100,867	24,928	108,242
코크스	(ton)	18	87	662
ST-200	(ton)	16,663	5,857	8,358
유연탄	(ton)	—	53,756	61,095
유황	(ton)	—	3,932	4,329

그림 1은 대상지역인 울산시의 3차원 지형도로서 주요 점오염원과 대기질 측정지점이 도시되어 있다.

2.1 배출원 조사

1) 점 오염원

울산시에 등록된 총 공장수는 '86년에 248개, '87년에 298개, '88년에 303개로 주로 화학 및 기계공업이 주종을 이루고 있다(울산시, 1987~1989). 이 중

본 연구에서는 유류와 석탄 등의 연료 연소 및 제조 공정 등으로 부터 대기오염물질이 배출되어 대기질에 영향을 줄 것으로 예상되는 대규모 오염원을 점오염원 대상으로 하였으며 가내공장이나 연료사용량이 적은 기타 소규모 오염원은 면오염원으로 분류하였다. 대상 점오염원수는 '86년에 102개, '87년에 104개, '88년에 108개로서 그 위치는 그림 1과 같다.

선정된 업소를 대상으로 배출원 조사를 실시한 결과 보일러, 소각로, 제조공정의 각종 연소시설 등에서 사용한 연료는 표 1과 같다.

각 오염원에서 배출되는 대기오염물질의 양을 추정하기 위해 각 업소의 제품 생산량, 원료 및 연료 사용량, 연료내의 유황 함량, 오염방지시설의 종류와 제거효율 등을 검토한 후 대기오염물질 배출계수를 적용하여 4월 부터 10월까지의 SO<sub>2</sub> 배출량을 산정

Table 2. Total SO<sub>2</sub> emissions from the point sources.

연도	월							
	4	5	6	7	8	9	10	
1986	4,434	5,838	4,531	4,218	4,671	4,663	3,251	
1987	3,107	2,013	1,911	2,339	1,755	2,364	2,377	
1988	4,068	5,563	5,454	5,425	5,420	5,860	5,992	

하였으며 산정된 월별 SO<sub>2</sub> 배출량은 표 2와 같다.

**2) 먼 오염원**

먼 오염원은 점 오염원에서 제외된 소규모 업소와 가정난방 그리고 자동차 운행 등을 들 수 있으며 본 연구에서는 주거지역에서의 무연탄사용으로 인한 오염물질 배출량을 산정하기 위해 한국과학기술연구소에서 측정된 결과(한국과학기술연구소, 1980)인 민수용탄 3.3 kg당(by dry weight) 13.0 g의 SO<sub>2</sub>가 배출되는 것으로 추정하였으며 유류 연료 사용량에 대한 것은 문헌(U.S.EPA, 1977)의 배출계수를 적용하여 산출한 SO<sub>2</sub> 배출량을 녹지대를 제외한 도시지역에 주거인구비율에 따라 차등분포시켰으며 차량 운행으로 인한 배출량을 산정하기 위해 울산시의 자동차 운행현황을 조사하여 차량운행으로 인한 연료별 대기오염 배출계수(U.S.EPA, 1977)를 적용하여 대기오염배출량을 산정하였고 이를 울산시내 주요 도로망에 분포시켰다.

이와 같이 산정된 울산공업단지의 먼 오염원에 의한 SO<sub>2</sub> 배출총량은 1986년에 6,147톤, 1987년에 8,477톤 그리고 1988년에 9,318톤으로 추정되었다.

**2.2 기상자료 분석**

본 연구를 위해 기상청으로부터 1986년에서 1988년까지 3년간의 울산측후소 자료를 입수, 안정도별 풍향, 풍속의 발생빈도를 구하였다.

대기안정도 분류는 Turner의 이론(Turner, 1964)을 근거로 7등급으로 구분하였으며 실제 모델링시에는 7등급을 6등급에 포함시켜 6등급으로 분류하고 있다.

연구기간중 울산지역의 안정도별 발생빈도는 안정한 6등급의 발생빈도가 35~36%로 가장 크며 다음이 4등급, 3등급 순이고 불안정한 1등급의 빈도가 가장 적게 나타났으며 연도별로는 비슷한 경향을 보

였다.

풍속별 발생빈도는 매년 미풍인 1등급의 발생빈도가 가장 크고 다음이 2등급, 3등급의 순으로 대기오염물질의 확산에 불리한 조건이었다.

풍향별 발생빈도는 '86년에는 북, 북북동풍, '87년에는 북, 북북동, 북동풍 그리고 '88년에는 북북서, 북북동, 북, 북동풍 순으로 주로 북풍계열의 발생빈도가 큰 것으로 분석되었으며 울산지역의 연도별 풍향 발생빈도를 도시하면 그림 2와 같다.

**3. 결과 및 고찰**

본 연구에서 선정된 장기예측모델 CDM2.0와 TCM2B의 정합도 분석을 위해 앞에서 추정한 3년간의 배출원 자료와 기상자료를 이용하여 울산공업단지에서 매년 농작물 생육기간인 4월부터 10월까지의 월평균 SO<sub>2</sub> 오염도를 예측하였다.

**3.1 모델 예측치와 실측치의 비교**

모델링 결과 6개 측정지점에서 월평균 예측치와 24시간 단위로 측정된 월평균 실측치의 상관계수는 표 3에서와 같이 CDM2.0 예측치와 실측치의 상관계수는 연도별로 0.57~0.73이며 TCM2B 예측치와 실측치의 상관계수는 0.72~0.86으로 나타나 TCM2B 예측치가 다소 높음을 알 수 있었다. 한편 두 모델의 예측치와 실측치에 대해 회귀분석을 한 결과는 그림 3, 4와 같으며 그림에서와 같이 회귀선의 기울기가 CDM2.0의 경우 '87년에 0.82 그리고 TCM2B의 경우 역시 '87년에 0.91로 1에 가깝게 나타났으나 '88년의 경우 두 모델 모두 기울기가 0.2 이하로 많은 차이를 보였다.

이와같이 모델 예측치와 실측치가 차이를 보이는 것은 확산모델 자체가 복잡한 자연현상을 많은 가정

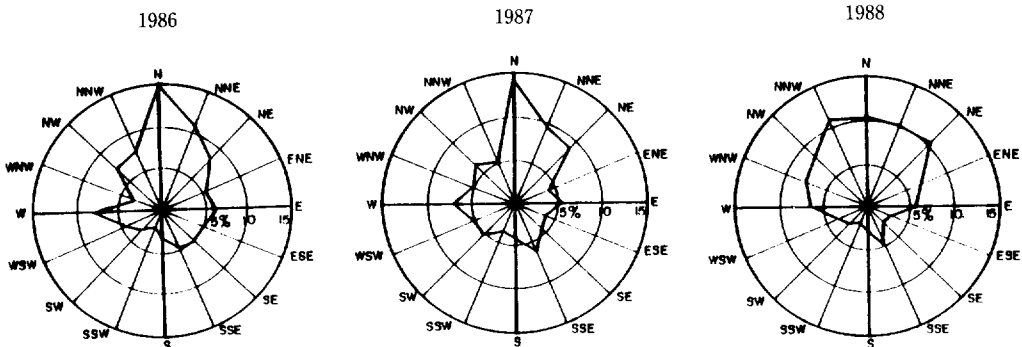
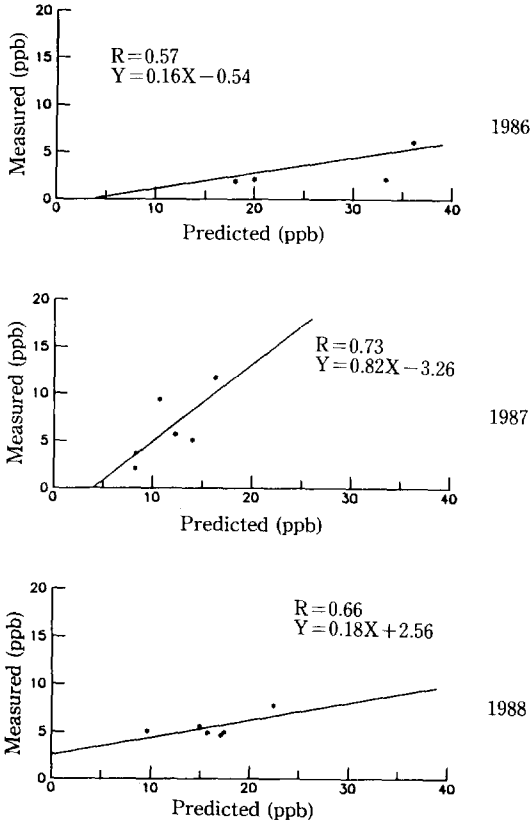


Fig. 2. Frequency distribution of wind direction in Ulsan city.

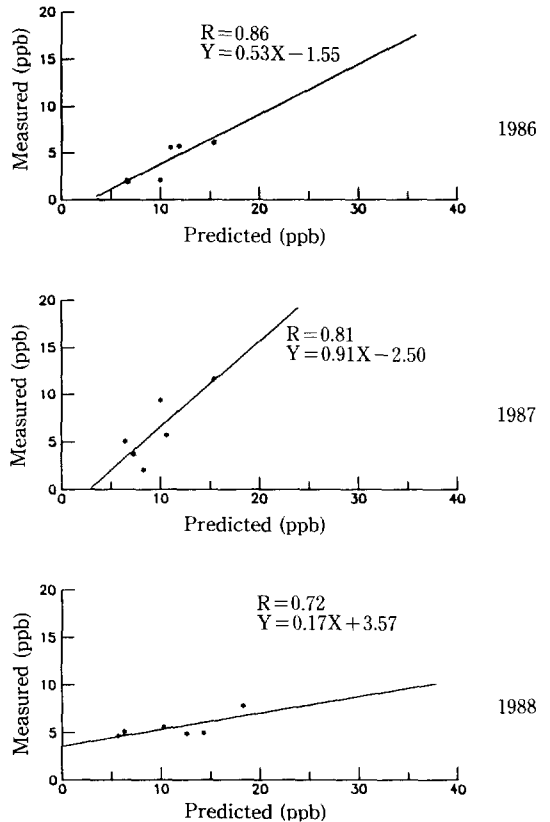
**Table 3.** Correlation coefficient (R) of measured and predicted SO<sub>2</sub> concentration.

Year	Correlation coefficient (R)	
	CDM2.0-Measured	TCM2B-Measured
1986	0.57	0.86
1987	0.73	0.81
1988	0.66	0.72



**Fig. 3.** Regression lines of predicted (CDM2.0) vs. measured SO<sub>2</sub> concentrations.

을 통해 단순화시켜 수 없이 반복되는 오염현상을 평균화시키는 것으로 오염원과 착지점간의 인과관계를 제한된 풍속, 풍향, 혼합고 등의 기상조건과 오염물의 배출특성 등으로 규정지워 수학적으로 풀이하므로써 알 수 없는 자연현상에 의한 불확실성을 항상 내포하고 있기 때문이다. 따라서 아무리 정확한 모델이라 하여도 여러 요인에 의해 예측치와 실제 농도와는 항상 차이가 있을 수 있다(Turner, 1979).



**Fig. 4.** Regression lines of Predicted (TCM2B) vs. measured SO<sub>2</sub> concentrations.

### 3.2 모델 예측치 간의 비교

CDM2.0와 TCM2B는 Gaussian 장기예측모델로 농도계산방식이 유사하지만 다음과 같은 3가지 다른 점을 가지고 있다(심상규와 송동웅, 1991).

- 1) TCM2B는 계산속도를 빠르게 하기 위해 농도 계산식중의 지수항을 미리 계산하여 입력시켰으며 또한 6등급으로 구분된 풍속을 가중평균풍속으로 대신하여 농도계산을 간편하고 신속하게 하였다.
- 2) CDM2.0에서는 도시지역의 지형특성을 고려하여 50 m 이하의 낮은 연돌에 대해서는  $\sigma_z$ (수직확산계수)의 초기치를 지정한다.
- 3) CDM2.0에서는 도시지역의 경우 다른 지역에서 처럼 안정한 대기상태가 발생되기 어렵다는 이유로 5, 6등급의  $\sigma_{z0}$ 값 대신에 4등급의 값을 사용한다. 본 연구에서는 두 모델의 차이점으로 인한 농도계산결과를 비교해 보기 위해 모델링을 실시하였으며 그 결과 모델 예측치간의 상관계수는 '86년에 0.49, '87년에 0.62, '88년에 0.75로 나타났으며 예측치간의 회귀분석결과는 그림 5와 같다.

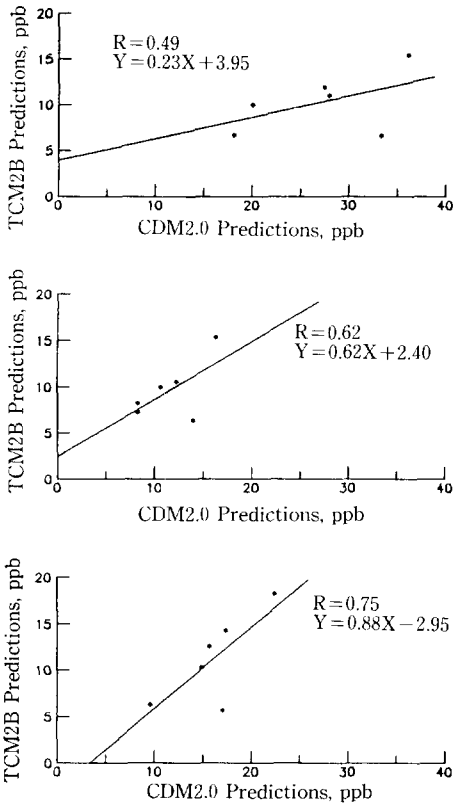


Fig. 5. Regression lines of CDM2.0 and TCM2B predictions.

이와같이 두 모델의 예측치가 다소 차이를 보이는 것은 CDM2.0에서  $\sigma_z$ (수직확산계수)의 초기치 사용으로 인해 착지점 가까이에 낮은 연돌이 있는 경우 예상외의 고농도가 예측되기 때문인 것으로 분석되었다.

그림 6은 6개 측정지점에서의 CDM2.0, TCM2B의 예측치와 실측치를 연도별로 도시한 것으로 전체적으로 CDM2.0 예측치가 가장 높고 다음이 TCM2B 예측치, 실측치 순으로 모델 예측치가 실측치보다 높게 예측되었다. 측정지점별로는 면오염원의 영향을 많이 받을 것으로 예상되는 남중리 지역이 CDM2.0 예측치와 실측치의 차이가 많은 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 국내에서 널리 사용되고 있는 Gaussian 모델중 장기확산 모델인 CDM2.0와 TCM2B를 대상으로 울산공업단지에서 1986년부터

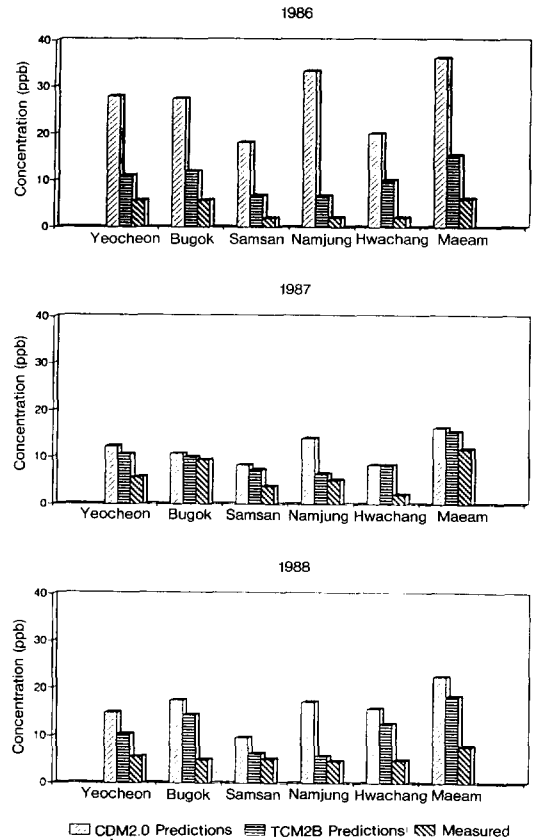


Fig. 6. Predicted and measured annual average SO<sub>2</sub> concentrations for 6 stations in Ulsan.

1988년까지 3년간의 SO<sub>2</sub> 오염도를 예측하여 실측치와의 정합도를 분석하였으며 결과를 종합해보면 다음과 같다.

1) CDM2.0 예측치와 실측치의 상관계수는 연도에 따라 0.57~0.73으로 나타났으며 TCM2B 예측치와 실측치의 상관계수는 0.72~0.86으로 다소 높게 나타났으나 전체적으로 모델 예측치가 실측치에 비해 높게 예측하는 경향이 있었다.

2) 면 오염원의 영향을 받는 일부 착지점에서 모델 예측치와 실측치간에 큰 차이를 보였으며 따라서 모델의 정확성을 높이기 위해 면 오염원 처리시 신중을 기하여야 할 것이다.

3) 두 모델의 예측치간의 상관계수는 연도에 따라 0.49~0.75로 나타났으며 예측치간의 이와같은 차이는 CDM2.0에서  $\sigma_z$ (수직확산계수)의 초기치 사용으로 인해 착지점 가까이에 낮은 연돌이 있는 경우 예상외의 고농도가 예측되기 때문인 것으로 분석되었다.

## 참 고 문 헌

- 심상규, 송동웅(1991) 한국형 대기확산 및 산성비 모델  
정립 연구, 한국과학기술연구원보고서 UCN7502  
-4235-6.
- 울산시(1987) 울산통계연보.
- 울산시(1988) 울산통계연보.
- 울산시(1989) 울산통계연보.
- U.S. EPA, (1977) Compilation of Air Pollution Emission Factors, OAP Publication No. AP-42, Research Triangle Park, N.C.
- 한국과학기술연구소(1980) 고온공정연구실 자료.
- Turner, D.B., (1964) "A Diffusion Model for an Urban Area", J. of Applied Meteorology, Vol. 3, p. 83-91.
- Turner, D.B., (1979) "Atmospheric Dispersion Modeling-A Critical Review", JAPCA, 29, p. 502-519.