

# D-1 현업운영 가능한 일 최고 대기오염도 예보모델 개발에 관한 연구

A Study on the Development of an Operable Model Predicting Daily Maximum Concentrations of Air Pollutants

김용준  
기상청 기상개발관실

## I. 서론

이러가지 대기질 개선 대책을 실시한 결과 일부 대도시지역의 연평균 이산화황과 먼지의 오염도가 상기환경기준치 이내로 개선되었다. 그러나 이산화질소와 오존 오염도는 개선되지 않고 있으며, 특히, 먼지와 오존 등 일부 환경기준 오염물질의 오염도가 계절 및 지역에 따라 단기환경기준치를 자주 초과하고 있는 실정이다. 따라서, 대기오염물질에 의한 건강과 동식물, 재산 피해를 줄이기 위해서는 상기적인 오염 저감대책은 물론 단기간의 고농도 발생을 줄이기 위한 대책도 실시해야 한다. 현재, 오존정보제가 서울과 인천지역을 대상으로 실시되고 있으며 주요 도시로 점차 확대 실시할 예정이다. 그러나 오존 오염도가 경보치를 초과한 후에 발령이 내려지고 있어 경보발령에 의한 오염도 및 피해 저감효과가 그리 크지 않을 것으로 판단된다. 대기오염물질의 일 최고 농도를 하루 전에 예보하여 적절한 대책을 실시한다면 단기 오염피해를 크게 줄일 수 있을 것이다.

본 연구에서는 우리 실정에서 현업운영 가능한 예보모델을 5가지 환경기준 대기오염물질에 대하여 개발하여 검증하였고, 현업운영 모델 결과와 비교하였다.

## II. 예보모델

현재 배출원 자료, 침적 및 화학변환 자료 등의 기초자료가 조사, 정리되지 않은 상태이기 때문에 3차원 대기오염모델을 개발, 현업운영하기가 어렵다. 현실적으로 통계적 방법을 이용한 예보모델이 현업운영 가능하며, 본 연구에서는 중회귀방정식을 이용한 예보모델을 개발하였다.

### 2.1. 예보모델의 개발

예보 오염물질은 5개 환경기준 오염물질(O<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, TSP, NO<sub>2</sub>, CO)이며, 1시간 평균 오염도중 가장 높은 일 최고 오염도를 예보하였다. 기상예보자료가 생산되는 시각인 기상청의 정기 일기예보 시각(16:00), 오염예보 담당자의 근무시간(9:00 - 18:00), 언론매체를 이용한 보도와 시민의 대비 편의성 등을 고려하여 매일 17:00에 예보하는 것으로 하였다. 예보 대상지역은 서울과 인천지역으로, 현재 실시되고 있는 오존정보제와 부합되도록 북서(NW), 북동(NE), 남서(SW), 남동(SE), 인천(IN)지역으로 세분하였다.

1994년의 오염도와 기상 자료를 사용하여 계절별로 예보모델을 개발하였다. 사용자료에 따른 예보모델의 정확도를 알기 위해 오염도 자료와 기상자료 중 관측자료만을 사용한 경우(NOW)와 예보자료까지 함께 사용한 경우(FORE)에 대해 개발하였다. 각 지역의 예보모델 개발에 사용된 독립변수 수는 총 71개의 오염도와 기상자료이다. 각 오염물질의 농도에 중요한 역할을 하는 변수와 각 변수의 계수값은 「SAS」의 STEPWISE 기법으로 산출하였고, 이때 유의수준은 0.15였다.

### 2.2. 예보모델 정확도 분석

각 오염물질 예보모델의 연평균 독립변수 수, 결정계수 및 Root Mean Square Error(RMSE)를 표 1에 나타내었다. 일반적으로, 오염도 자료와 기상관측자료만을 사용한 경우(NOW)보다 기상예보자료를 함께 사용한 경우(FORE)의 결정계수가 높고 RMSE가 작게 나타나 예보자료를 포함할 때 더 좋은 결과를 보였다. 5개 오염물질 모두 지역별로 큰 차이를 보이지 않았으며, 계절별로는 평균 오염도가 상대적으로 작은 계절에 더 작은 오차를 보였다.

표 1. 각 오염물질 예보모델의 연평균 독립변수 수(N), 결정계수 ( $R^2$ ) 및 RMSE(ppb,  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

|                 |      | N    | $R^2$ | RMSE  |
|-----------------|------|------|-------|-------|
| O <sub>3</sub>  | NOW  | 7.4  | .59   | 9.03  |
|                 | FORE | 8.8  | .70   | 8.02  |
| SO <sub>2</sub> | NOW  | 7.2  | .71   | 10.81 |
|                 | FORE | 8.9  | .71   | 8.71  |
| TSP             | NOW  | 6.3  | .53   | 39.20 |
|                 | FORE | 8.1  | .64   | 34.67 |
| NO <sub>2</sub> | NOW  | 8.5  | .62   | 9.82  |
|                 | FORE | 11.3 | .74   | 8.39  |
| CO              | NOW  | 11.3 | .63   | 5.84  |
|                 | FORE | 12.9 | .75   | 4.80  |

개발한 예보모델들의 정합도가 현실적으로 사용가능한 수준인지를 알아보기 위해 미국 South Coast Air Basin, CA(SoCAB)에서 현업운영하고 있는 오존 예보모델 결과(Cassmassi, J. C., 1987, 1995)와 비교하였다. 본 모델(FORE)들의 결정계수와 RMSE가 각각 0.70, 8.02ppb인 반면, SoCAB는 각각 0.59, 34.96ppb로, 본 예보모델이 더 우수한 결과를 보였다. 따라서, 본 예보모델을 일 최고 오존농도 예보모델로 현업운영하여도 될 것으로 판단되었다. 기타 오염물질에 대해서는 비교자료가 없어 비교할 수 없었다.

### III. 예보모델의 검증

개발한 예보모델을 1995년 사례로 시험운영하여 모델을 검증하였다. 각 오염물질의 연평균 최소, 최대, 평균값, RMSE, Normalised Mean Square Error(NMSE), MRE(Mean Relative Error)를 표 2에 나타내었다. 일반적으로 NOW 모델보다 FORE 모델이 더 우수한 결과를 보이거나 큰 차이를 보이지 않았다. 또한, 지역 및 계절에 따라 다른 결과를 보여 지역 및 계절별로 사용 모델을 결정해야 함을 나타내었다. 지역별 오차는 크게 나타나지 않았으며 계절별로는 평균 오염도가 높은 계절에 큰 오차를 보였다. 90ppb 이상의 고농도 오존이 발생하는 경우에 관측값보다 낮게 예보하는 경향이 있었다.

오존 예보결과를 국내의 다른 연구 결과(김용국 등, 1994)와 비교하였을때, 유사한 오차범위를 보였다. 다른 오염물질에 대해서는 비교자료가 없었다.

### IV. 결론

5개 대기환경기준물질에 대해 현실적으로 현업운영 가능한 통계 예보모델을 개발하여 1995년 사례로 시험운영하였다. 본 예보모델들의 결정계수와 RMSE를 현재 현업운영하고 있는 미국 SoCAB의 결과와 비교하였을때 본 오존 예보모델을 현업예보모델로 사용 가능한 것으로 판단되었다. 다른 오염물질에 대해서는 현업운영 또는 연구 예보결과 자료가 없어 비교할 수 없었다.

본 모델이 현업운영되면 고농도 발생을 하루전에 예보할 수 있으므로 고농도 발생과 시민의 노출을 막아 단기 대기오염 피해를 현저하게 줄일 수 있을 것이다. 본 모델이 현업운영되기 위해서는 유관기관간 업무분담을 규정하고 기초 및 예보자료의 송수신 체계를 구축한다. 이 작업은 유관기관간 행정협력으로 가능하다.

표 2. 각 오염물질 예보모델의 연평균 예보결과

|                 |      | MIN  | MAX   | MEAN  | RMSE  | NMSE  | MRE  |
|-----------------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| O <sub>3</sub>  | NOW  | 10.7 | 56.9  | 33.5  | 14.94 | .0145 | .021 |
|                 | FORE | 15.0 | 60.7  | 37.7  | 16.27 | .0133 | .077 |
|                 | OBS  | 8.2  | 59.0  | 31.7  |       |       |      |
| SO <sub>2</sub> | NOW  | 10.6 | 68.6  | 37.3  | 18.16 | .0165 | .062 |
|                 | FORE | 6.9  | 68.7  | 38.0  | 16.75 | .0159 | .056 |
|                 | OBS  | 8.2  | 78.0  | 34.0  |       |       |      |
| TSP             | NOW  | 80.2 | 287.5 | 171.1 | 70.58 | .0030 | .065 |
|                 | FORE | 62.0 | 269.7 | 153.4 | 64.07 | .0031 | .035 |
|                 | OBS  | 52.7 | 338.2 | 146.7 |       |       |      |
| NO <sub>2</sub> | NOW  | 27.0 | 89.0  | 55.4  | 23.64 | .0086 | .042 |
|                 | FORE | 17.7 | 83.2  | 50.7  | 18.64 | .0077 | .000 |
|                 | OBS  | 22.1 | 95.2  | 50.4  |       |       |      |
| CO              | NOW  | 9.6  | 59.3  | 29.2  | 16.31 | .0267 | .099 |
|                 | FORE | 6.4  | 48.3  | 26.2  | 12.28 | .0223 | .065 |
|                 | OBS  | 7.9  | 48.1  | 22.8  |       |       |      |

대기오염물질의 예보 정확도를 더 높이기 위해서는 기상조건에 따라 고농도와 저농도로 세분하고 더 합리적인 독립변수를 포함시키는 등 통계예보모델을 계속 개선한다. 또한, 3차원의 역학모델로 발전시키기 위한 연구와 기초자료 조사를 한다. 고농도 오염이 발생하는 기간에만 예보모델을 운영하는 방향으로 추진한다면 업무 부담을 줄일 수 있다.

감사

본 연구는 환경부의 용역사업 "대기오염 예보기법 개발연구"의 일부로 이루어졌다.

참고문헌

김용국, 이종범, 1994: 하계의 일최고 오존농도 예측을 위한 신경회로망 모델의 개발. *한국대기보전학회지*, 10(4), 224-232.

Cassmassi, J. C., 1987: Development of an objective ozone forecast model for the South Coast Air Basin. Presented at the 80th Annual Meeting of APCA, June 21-26, 1987, New York, U. S. A.

Cassmassi, J. C., 1995: Weather and Smog Forecasting in the SoCAB.