

기본연구 2005-01

# 오존경보제 운영 개선 방안

Improvements of Air Quality Forecasting System

2005. 10

연구책임 : 김동영 (환경정책연구부 연구위원)

공동연구 : 조진식 (환경정책연구부 연구원)


## 머 리 말

최근 몇 년간 경기도를 포함한 수도권 지역의 대기환경은 오존, 질소산화물, 미세먼지 등과 같은 물질을 중심으로 계속해서 악화되고 있다. 특히 경기도는 인구, 교통, 산업시설 규모가 서울보다 크고 앞으로도 더욱 증가할 것으로 예상되고 있어, 이에 따른 대기환경 또한 점차 확대, 심화될 전망이다.

경기도 24개 시군에서는 오존에 대한 경각심을 고취하고 시민의 건강을 보호하기 위한 목적으로 1997년부터 오존경보제를 시행해 오고 있다. 최근 들어 오존오염도 악화와 함께 발령권역 및 발령기법, 제도의 운영방법 등을 개선할 필요가 제기됨에 따라, 본 연구에서는 그 개선방안을 검토 제시하고 있다. 22개 시군에 대해 개별적으로 운영해 오던 오존경보제를 크게 4개 혹은 8개 권역으로 나누어 운영하는 방법과 그에 따른 오존경보 발령 방법과 전파 방법, 모니터링 체계 개선 등을 검토하고 있다. 그 외에도 포괄적인 대기질 예측시스템 구축사업의 단계적 추진 방안 등을 제시하고 있다.

이 연구는 현재 추진되고 있는 수도권 대기환경 개선 특별대책과 관련된 정책개발이나 연구에서 보다 과학적이고 합리적인 근거 자료로 사용될 수 있을 것으로 생각된다. 본 연구가 경기도의 대기질 개선에 실질적인 보탬이 되기를 바라며, 연구를 수행한 연구진과 도움을 주신 전문가 및 경기도 공무원 여러분께 감사드린다.

2005. 10

경기개발연구원장 

# 목 차

요 약 문 .....	ix
제1장 서 론 .....	3
제1절 연구배경 및 목적 .....	3
제2절 연구범위 및 내용 .....	4
1. 연구범위 .....	4
2. 연구내용 .....	4
제2장 오존경보제 현황 및 문제점 .....	9
제1절 대기질 예보의 필요성과 목적 .....	9
1. 시민 건강 보호를 위한 예보 .....	9
2. 고농도 발생 관리를 위한 예보 .....	10
3. 특별 관측 등 과학적 목적을 위한 예보 .....	10
제2절 대기질 예보제 현황 .....	11
제3절 대기질 예보제 외국 사례 .....	17
1. 미국의 대기질 예보제도 .....	17
2. 일본의 대기질 경보제도 .....	20
제4절 대기질 예측모형의 종류 및 특성 .....	23
1. Persistence Model .....	23
2. 기후학적 예측방법 .....	23
3. 준거치 방법 .....	24
4. Classification and Regression Tree(CART) .....	25

5. 회귀모형 .....	26
6. 신경망 모형 .....	27
7. 대기질 모델링에 의한 예보 .....	28
8. 현상적 직관적 예보 .....	30
제5절 현행 오존경보제의 문제점 .....	32
1. 경보 발령권역의 문제 .....	32
2. 경보 발령방법 문제 .....	33
3. 경보제 운영상의 문제점 .....	33
<b>제3장 오존경보제 개선방안 .....</b>	<b>37</b>
제1절 오존경보제 권역조정 방안 .....	37
1. 고려요인 .....	37
2. 발령권역 변경안 .....	45
제2절 오존경보제 운영 검토 .....	51
1. 측정소 미설치 지역의 오존경보제 운영 유보 .....	51
2. 권역별 발령방법 검토 .....	51
3. 경보 전파방법 보완 .....	51
4. 예측 및 운영 프로토콜 작성 활용 .....	52
제3절 대기질 예보체계 보완 방안 .....	54
1. 예측기법 보완 .....	54
2. 기상모형체계의 구축 .....	55
3. 배출모형 및 관련 자료체계 보완 .....	57
4. 예보체계 구축 추진 방안 .....	58



<b>제4장 결론 및 정책건의</b> .....	<b>63</b>
제1절 결론 .....	63
제2절 정책건의 .....	66
1. 오존경보제 발령권역 조정 .....	66
2. 오존경보제 전파체계 보완 .....	67
3. 대기질 측정망 보완 .....	67
4. 포괄적인 대기질 예보체계의 단계적 구축 .....	68
5. 수도권 대기질 예보체계의 통합 구축 .....	69
<b>참고문헌</b> .....	<b>73</b>
<b>부 록</b> .....	<b>77</b>

## 표 목 차

〈표 2.1〉 현행 경보제도 개요 .....	11
〈표 2.2〉 오존경보제 발령기준 .....	14
〈표 2.3〉 경기도 오존주의보 발령 현황 .....	14
〈표 2.4〉 서울시 오존주의보 발령 현황 .....	14
〈표 2.5〉 오존경보제 발령시 단계별 조치사항 .....	15
〈표 2.6〉 미국 주요지역의 오존경보제 .....	19
〈표 2.7〉 일본 주요지역의 오존경보제 .....	21
〈표 2.8〉 대기질 예측 기법 요약 .....	31
〈표 3.1〉 대기질 모델링 격자체계 .....	39
〈표 3.2〉 고농도 오존발생일과 기상 .....	40
〈표 3.3〉 경기도 시군별 인구 .....	44
〈표 3.4〉 오존 발령권역별 현황 .....	46
〈표 3.5〉 발령권역별 특징 요약 .....	47
〈표 3.6〉 현행과 변경안1 적용시 권역별 오존경보제 발령회수 변화 .....	48
〈표 3.7〉 오존발령권역별 현황 .....	50
〈표 3.8〉 현행과 변경안2 적용시 권역별 오존경보제 발령회수 변화 .....	50
〈표 3.9〉 기상청이 운영중인 기상모형 .....	56
〈표 3.10〉 대기질 예보체계의 단계별 구축 방안 .....	59
〈표 4.1〉 오존 발령권역 조정 제1안 .....	64
〈표 4.2〉 오존 발령권역 조정 제2안 .....	64
〈표 4.3〉 대기질 예보체계의 단계별 구축 방안 .....	64

## 그림 목 차

〈그림 1.1〉 공간적 범위(3km×3km) .....	4
〈그림 2.1〉 경기도 오존경보제 발령 지역 .....	12
〈그림 2.2〉 서울특별시 오존예보구역 구분 .....	13
〈그림 2.3〉 인천광역시 오존경보구역 구분 .....	13
〈그림 2.4〉 오존경보 전달체계 .....	16
〈그림 2.5〉 미국 EPA의 대기질 예보 시스템 Airnow .....	17
〈그림 2.6〉 미국 EPA, Airnow 시스템의 AQI 예보지수 .....	18
〈그림 2.7〉 SCAQMD의 오존예보제 운영 .....	20
〈그림 2.8〉 동경도의 오존경보제 운영 .....	21
〈그림 2.9〉 CART에 의한 예측 예 .....	25
〈그림 2.10〉 신경망 모형의 개요 .....	27
〈그림 2.11〉 대기질 모델링 시스템의 구성요소 .....	28
〈그림 2.12〉 Eulerian-type 대기질 모형의 대기오염 해석 개요 .....	29
〈그림 3.1〉 대기질 모델링 체계 .....	38
〈그림 3.2〉 공간적 범위 1(3km×3km) .....	39
〈그림 3.3〉 공간적 범위 2(2km×2km) .....	39
〈그림 3.4〉 고농도 오존 발생시 배출물질별 민감도의 권역별 구분 .....	41
〈그림 3.5〉 오존경보의 이동 패턴 .....	42
〈그림 3.6〉 경기도의 지형지세 .....	43
〈그림 3.7〉 경기도 시군별 인구분포 .....	44
〈그림 3.8〉 발령권역 조정안1 .....	45
〈그림 3.9〉 발령권역 조정안2 .....	49
〈그림 3.10〉 대기질 모델링 시스템의 구성 .....	54

〈그림 4.1〉 발령권역 조정안1 .....	66
〈그림 4.2〉 발령권역 조정안2 .....	66

# 요약문



# 요 약 문

## 제1장 서론

### 제1절 연구배경 및 목적

- 경기도는 대기중 오존으로부터 주민 건강과 생활 환경상의 피해를 줄이기 위해 1997년부터 오존경보제를 실시해 오고 있음. 경기도 지역은 현재 22개 시·군에 대해 각각 오존을 발령하므로 발령횟수 자체가 증가하고 있으며, 인접한 지역에 동시에 잦은 발령으로 인해 통보 지연 문제 등이 발생하고 있음.
- 이로 인해 상시 통보대상자들이나 시민에 대한 전달효과가 감소하고 있는 실정임. 또 반월, 시화공단이나 안양, 군포, 의왕 등지는 오존발생시 같은 영향권역이지만 개별적으로 경보를 발령함으로써 대응 및 저감대책 수립 등에 문제가 있는 것으로 드러남. 또 오존경보가 풍향을 따라 권역별로 이동하는 양상을 보이므로 지역적인 발생 특성을 고려한 광역적인 대책 방안도 검토되어야 할 필요가 있음. 이 같은 배경에서 현행 오존 경보제의 경보 발령 방법, 권역구분 등에 대해 검토하여 보다 실질적인 예보체계가 될 수 있도록 개선해 나갈 필요가 있음.
- 따라서 본 연구에서는 오존 경보제 운영을 효율적으로 운영하기 위해 경보 발령 방법, 권역 구분 등에 대해 검토하여 운영방법을 개선하고자 함. 이 연구를 통해 오존 경보제 운영을 개선하여 시민의 삶의 질과 오존 등 대기질 관리 정책의 효율성을 제고하고, 오존 감소방안의 광역화 대책 수립 근거를 제시할 수 있을 것으로 기대됨.

### 제2절 연구범위 및 내용

- 시간적 범위는 2004년을 기준 연도로 하였으며, 최근 3년간의 관련 자료를 분석하였음.
- 공간적 범위는 경기도 전역을 대상으로 하며, 관련 부분은 서울 및 인천 전역을 포함하였음.
- 연구의 내용적 범위는 다음과 같음.

- 현재 운영되는 대기질 관련 예경보 체계에 대한 현황 조사 정리
- 오존경보제 현황 조사, 먼지예보제, 황사 예보제 등 현황 조사
- 선진 대기질 예보 사례 조사
- 대기질 예측모형의 종류 및 특성 조사 정리
- 현행 오존경보제의 문제점 분석
- 경보 발령권역의 조정, 경보 발령 방법, 경보제 운영문제 검토
- 오존경보제 권역 조정 방안 제시. 고농도 오존 발생의 지역적 특성을 분석하여 현행 시군 별로 운영하는 오존경보제를 권역별로 변경하는 방안에 대하여 검토 제시
- 오존경보제의 권역별 발령방법, 통보방법 등 운영제도에 대한 보완 방안 검토 제시
- 대기질 모형을 이용한 중장기적 예보체계 구축 방안 검토, 대기질 모형, 기상모형, 배출모형을 포함한 상시적 대기질 예측체계 구축 방안 제시

## 제2장 오존경보제 현황 및 문제점

### 제1절 대기질 예보의 필요성과 목적

- 지금까지 대기질 예보는 주로 오존과 미세먼지에 관심이 집중되어 왔으며, 그 필요성은 크게 1) 시민 건강 보호를 위한 경보, 2) 고농도 발생 저감을 위한 관리, 3) 특별 관측 프로그램 일정 정하기 등 과학적 필요성에 따른 것 등으로 구분됨<sup>1)</sup>.

### 제2절 대기질 예보제 현황

- 현행 대기오염 관련 경보제는 오존경보제, 미세먼지경보제, 황사경보제가 운영되고 있음. 오존 경보제는 1995년 서울시에서 시작된 이후 현재는 대부분의 대도시 지역에서 운영하고 있음. 미세먼지경보제는 서울시에서 운영하고 있고, 경기도에서도 운영을 위해 준비 중임. 황사경보제는 기상청에서 전국을 대상으로 운영하고 있음.

---

1) U. S. EPA, Guidelines for Developing an Air Quality(Ozone and PM2.5) Forecasting Program, OAQPS, Information Transfer and Program Integration Division, AIRNow Program, June 2003

### 제3절 대기질 예보제 외국사례

- 미국은 2003년부터 대기질 예보시스템 개발에 착수하여, 현재는 주요 대도시 지역에 대해 연중 계속하여 오존 및 PM2.5에 대한 예보를 시행하고 있음. 주로 회귀모형 및 CART(Classification and Regression Tree) 모형에 의한 예측을 기본으로 하고 있음. 현재 미국 EPA와 NOAA는 수치모형에 기반한 예측 모형을 개발하여 시험하고 있음.
- 일본 환경성은 오존과 황산화물에 대한 주의보 및 경보 시스템을 운영하고 있음. 동경, 요코하마, 오사카 등 주요 대도시 지역에서는 대부분 광화학스모그 경보제도를 운영하고 있음. 관할 지역별로 측정망 관측치에 의존하여 경보를 발령하고 있음.

### 제4절 대기질 예측모형의 종류 및 특성

- 대기질 예측기법으로 (1) persistence model, (2) 기후학적 예측방법, (3)준거치 방법, (4) classification and Regression Tree(CART), (5) 회귀모형, (6) 신경망 모형, (7) 대기질 모델링에 의한 예보, (8) 현상적 직관적 예보 등에 대하여 비교 검토함.

### 제5절 현행 오존경보제의 문제점

- 정보 발령권역 검토
  - 잦은 정보 발령으로 혼선 초래.
  - 현재 교외지역은 발령권역에서 제외되어 있음.
  - 주위 광역단체와의 운영방식 차이로 인한 문제 발생
  - 동일 영향권역에서 개별적으로 운영하므로 시민 대응이나 저감대책 추진이 비효율적임.
- 정보 발령방법 검토
  - 현재 정보는 측정망 관측에만 의존하기 때문에 고농도 발생이후 발령함으로써 실질적인 예보가 되지 못하고 있음.
  - 오존뿐만 아니라 전체 대기오염도의 위해도에 따른 발령 체계 필요.
  - 최근의 대기질 예측 관련 과학 기술적 성과를 최대한 활용한 예측기법 개발 필요.
- 정보제 운영방법 검토



- 정보전파체계 및 전파 방법 개선, 효율성 제고 필요.
- 학교, 병원, 터미널, 아파트 등 다중이용시설 자체 방송 활용 미비
- 지역 Cable TV, 라디오 등을 통한 통보 미비
- 전자우편 mailing list service 활용
- 예측 및 운영 프로토콜 작성 활용 필요

## 제3장 오존경보제 개선방안

### 제1절 오존경보제 권역조정 방안

#### ○ 고려요인

- 고농도 오존발생시 전구물질 배출에 따른 민감도 분석 결과 활용. VOCs-limited 지역과 NOx-limited 지역의 구분.
- 과거 오존관측 및 경보제 발령 현황 활용. 경기도 남서부지역은 안산, 시흥-수원(군포, 의왕, 안양)-과천-성남(용인) 등의 순으로 고농도 오존이 관측됨. 남부지역은 평택-오신(화성)-이천, 북동지역은 하남(구리)-남양주(의정부), 북서지역은 김포-고양(부천, 광명)-과주 등지에서 고농도가 일관되게 관측되는 경우가 많음.
- 이외에도 지형 및 행정구역, 인구분포 등을 고려하여 발령권역을 구분함.

#### ○ 발령권역 조정 제1안

- VOCs 및 NOx 배출에 따른 오존 민감도 분석 결과와 지형 및 관측치 분포 등을 종합적으로 고려하여, 8개 경보권역으로 구분하여 운영하는 방안을 생각해 볼 수 있음. 측정망 미설치 지역(연천, 포천, 가평, 양평, 여주)에 대해서도 포함하는 것이 바람직함.

#### ○ 발령권역 조정 제2안

- 경기도 전체를 4개 권역으로 나누어 오존 경보제를 운영하는 것을 생각해 볼 수 있음. 고농도 오존의 지역적 분포를 결정하는 공간적 규모는 통상 중관 기상 규모(synoptic scale)와 매우 상관이 큼. 제1안에 비해 개별 권역의 넓이는 훨씬 커지지만, VOCs 및 NOx 배출에 따른 오존 생성 민감도 분석 결과나 지형 및 관측치 분포 등을 종합적으로

고려하여도 4개 권역구분이 가능할 것으로 판단됨.

- 발령권역별로 운영하면 개별 운영시보다 경보발령 횟수가 상당히 줄어드는 것으로 분석됨.



〈그림 1〉 발령권역 조정안 1



〈그림 2〉 발령권역 조정안 2

## 제2절 경보제 운영 보완 방안

### 1. 측정소 미설치 지역의 오존경보제 운영 유보

- 현재 경기도의 외곽 시·군 지역에 대기질 자동 측정망을 연차적으로 보완해 나가고 있는 중임. 이들 측정소 미설치 지역에 대해 관측자료가 없는 상태에서 오존경보제를 운영할 경우 해당 지역 주민들에게 대기질에 대한 불신을 조장할 우려가 있음. 따라서 이들 지역에 대해서는 향후 측정소를 설치하여 1년 이상 농도를 측정하고 그 결과를 바탕으로 오존경보제를 도입할 것인지 여부를 결정하는 것도 좋은 방법이라고 판단됨.

### 2. 권역별 발령방법 검토

- 오존 경보는 현재 측정망 자료의 실측치를 바탕으로 해당 시·군에 대해 경보를 발령하고 있음. 권역별로 운영할 경우 권역내에 설치된 측정망 중에서 단 한 곳이라도 기준 이상의

오존농도를 기록하면 해당권역에 대해 경보를 발령하는 것이 타당함.

### 3. 경보 전파방법 보완

- 전파 효과가 특히 큰 공중파 방송, 지역 cable TV, 라디오, 신문 등을 통한 통보는 잘 안되고 있는 실정임. 그 이유는 내일 혹은 모레의 실질적인 예보가 이루어지지 못하고 예보의 정확성이 문제가 있기 때문일 것임. 단지 지나간 경보 사실만 보도되는 실정임.
- 또 학교, 병원, 터미널, 아파트 등 다중이용시설에 대해 통보하고, 각 기관은 다시 자체 방송 등을 활용해 시민에게 통보하는 방법도 상당히 미진한 편임. 통보 기관 파악, 경보시 전파 방법 표준화 등 관련 사항을 정비할 필요가 있는 것으로 보임.
- 최근에는 직장, 학교 등에서 일과시간 동안 항상 인터넷에 연결되어 있는 경우가 많고, 전자우편 등이 광범위하게 사용되고 있음. 따라서 휴대전화 단문서비스처럼 원하는 사람의 등록을 받아 상시적인 전자우편 mailing list service를 활용하는 것도 한 방법임.
- 또 야후, 다음, 네이버 등 인터넷 포털 서비스는 정보 전달 영향력이 기존 거대 언론에 필적하는 수준임. 방송이나 신문 등과 같이 활용방안을 모색할 필요가 있음.

### 4. 예측 및 운영 프로토콜 작성 활용

- 예측 및 운영에 관한 내용과 절차, 책임자 등 프로토콜을 작성하여 활용할 필요가 있음. 이를 통해 관측 자료 획득부터 예측결과의 도출, 경보전파 등 일련의 과정에서 신속성과 일관성을 확보할 수 있음.

## 제3절 예보체계 보완 방안

### 1. 예측기법 보완

- 대기질 예측 모형에는 회귀모형이나 CART 모형같은 간단한 방법부터 방대한 수치모형까지 다양한 방법이 있지만, 대기질 인과관계 설명이나 대도시 규모의 복잡한 대기질을 모사하기 위해서는 대기질 예측 모델링 체계를 도입할 필요가 있음.

- 최근 대기질 예측관련 과학기술적 성과를 최대한 활용한 예측기법 개발이 필요함. 예보를 위해서는 예단모형(prognostic model)의 도입이 필수적임.

## 2. 예보 시스템 구축 추진

- 전체적으로 예보모형의 도입 및 운영은 단기적으로 실효성을 확보하기 어려우므로 중장기적으로 추진해 나갈 필요가 있음. 현재 경기도의 여건을 고려할 경우 각 단계별 내용과 개략적인 예산은 다음과 같이 생각해 볼 수 있음.

〈표 1〉 대기질 예보체계의 단계별 구축 방안

단계	주요 내용	소요기간	추정 예산
초기 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 예보시스템 및 운영체계 구상</li> <li>◆ 모형 검토 및 선정</li> <li>◆ 예보 모델링 원형(proto-type) 개발</li> <li>◆ 예보 모델링 및 대기질 관리 관련 대기정보시스템 개발</li> <li>◆ 관련 장비 1차 구비</li> </ul>	1년	H/W 1억 시스템 개발비 2억
구축 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 예보모형 선정 및 시스템 안정화</li> <li>◆ 대기정보시스템 자료체계 구축</li> <li>◆ 기상/배출모형 보완 개발</li> <li>◆ 예보전파체계 구축 (홈페이지, 메일링시스템 등)</li> <li>◆ 관련 장비 2차 구비</li> </ul>	1년	H/W 1억 S/W 1억 시스템 개발 및 DB 구축비 3억
발전 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 모형 운영 안정화 및 보완</li> <li>◆ 상시적인 모델링 및 결과물 배포 등 시범 서비스 실시</li> </ul>	1년	시스템 개발 및 운영비 3억
보완 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 시스템 운영 및 보완</li> <li>◆ 안정적 서비스 실시</li> <li>◆ 안정적 활용 단계</li> </ul>	2년	1억/연간
계	-	5년	13억

## 제4장 결론 및 정책건의

### 제1절 결론

- 경기도는 대기중의 오존으로부터 주민 건강과 생활 환경상의 피해를 줄이기 위해 1997년부터 오존 경보제를 실시해 오고 있음. 최근 대기질 악화로 인해 오존경보 발령 횟수가 급증하고 있는 실정임. 오존경보제를 시행함으로써 오존에 대한 경각심을 고취하고 저감대책 수립에 기여하고 있음.
- 경기도 지역은 현재 22개 시·군에 대해 각각 오존을 발령하므로 발령횟수 자체가 증가하고 있으며, 인접한 지역에 대한 잦은 동시 발령으로 인해 통보 지연 문제 등이 발생하고 있음. 이로 인해 상시 통보대상자들이나 시민에 대한 전달효과가 감소하고 있는 실정임. 또 반월, 시화공단이나 안양-군포-의왕, 광명-부천, 구리-남양주 등지는 고농도 오존 발생시 같은 영향권역임에도 개별적으로 경보를 발령함으로써 경보대응, 저감대책 수립 등에 문제가 있는 것으로 드러남. 또 오존경보가 풍향을 따라 권역별로 이동하는 양상을 보이는 등 지역적 발생 특성을 고려한 광역적인 대책 접근도 검토되어야 할 필요가 있음.
- 이 같은 배경에서 현행 오존 경보제의 경보 발령 방법, 권역구분 등에 대해 검토하여 보다 효율적인 예보체계가 될 수 있도록 개선해 나갈 필요가 있음. 본 연구에서는 오존 경보제 운영을 효율화하기 위해 경보발령 권역 조정 방안, 발령방법 및 운영체계 보완 방안, 예보 시스템 발전 방안 등에 대하여 검토하였음.
- 먼저 오존경보제 발령 권역은 고농도 오존발생시의 전구물질 배출에 따른 오존생성 민감도 분석결과와 오존농도의 지역별 분포 및 이동 양상, 지형 및 인구분포 등을 고려하여 2가지 시안을 제시하였음. 제1안은 앞의 관련 요인들을 종합적으로 고려하여 현재 측정망이 미설치된 지역까지 포함하여 총 8개 경보권역으로 구분하여 운영하는 방안을 제시하였음. 제2안은 경기도 전체를 4개 권역으로 나누는 방안을 제시하였음. 제2안은 제1안보다 권역 규모를 크게 것으로, 발령 지역에 대한 표현이나 인식이 간명하여 운영의 효율성을 기할 수 있을 것으로 판단됨. 또 고농도 오존의 지역적 분포를 결정하는 공간적 규모는 통상 중관 기상 규모(synoptic scale)와 매우 상관이 크므로, 제1안에 비해 개별 권역의 넓이는 훨씬 커지지만, VOCs 및 NOx 배출에 따른 오존 생성 민감도 분석 결과나 지형 및 관측치 분포 등을

종합적으로 고려하여도 4개 권역구분이 가능할 것으로 판단됨.

- 오존 경보는 현재 시·군 개별 운영에서 권역별 운영으로 바뀔 경우 해당 권역 내에 설치된 측정망 중에서 단 한 곳이라도 기준 이상의 오존농도를 기록하면 해당권역에 대해 경보를 발령하는 것이 타당함. 오존은 평균 농도보다는 최고치 농도가 인체나 환경영향에 특히 중요하고, 오존의 발생 특성상 한정된 특정 지역보다는 넓은 지역에 걸쳐 고농도가 발생하는 것이 보통임. 발령권역 조정이후 전체적인 오존경보 발령회수는 상당히 줄어들지만, 경보지역에 해당하는 주민 수는 대폭 늘어나는 것으로 분석됨.
- 오존경보의 전파체계 및 전파방법도 개선하여 효율성을 제고할 필요가 있음. 특히 옥외도·시·군정 홍보, 대기오염 전광판 활용, 학교, 병원, 터미널, 아파트 등 다중이용시설 자체 방송 활용, 공중파 방송, 지역 cable TV, 라디오 등을 이용한 통보, 이동전화 SMS 단문 송신, 전자우편 mailing list service 실시, 홍보 웹페이지 보완 등이 필요한 것으로 판단됨.
- 고농도 오존의 예측과 경보제 운영에 관한 내용과 절차, 책임자 등을 규정한 프로토콜을 작성하여 활용할 필요가 있음. 이를 통해 관측 자료 획득부터 예측결과의 도출, 경보전파 등 일련의 과정에서 신속성과 일관성을 확보할 수 있음.
- 고농도 오존의 예측기법도 보완할 필요가 있음. 대기질 예측 모형에는 회귀모형이나 CART 모형 같은 간단한 방법부터 방대한 수치모형까지 다양한 방법이 있지만, 대기질 인과관계의 설명이나 대도시 규모의 복잡한 대기질을 모사하기 위해서는 대기질 예측 모델링 체계를 도입할 필요가 있음. 실질적인 예보를 위해서는 최근의 대기질 예측관련 과학기술적 성과를 최대한 활용한 예측기법 개발이 필요함. 예보를 위해서는 예단모형(prognostic model)의 도입이 필수적임. 전체적으로 예보모형의 도입 및 운영은 단기적으로 실효성을 확보하기 어려우므로, 중장기적으로 추진해 나갈 필요가 있음.

## 제2절 정책건의

### 1. 오존경보제 발령권역 조정

- 경기도 지역은 현재 22개 시·군에 대해 각각 오존을 발령함으로써 발령횟수 자체가 증가하고 있으며, 인접한 지역에 동시에 잦은 발령으로 인해 통보 지연 문제 등이 발생하고 있음.

이로 인해 상시 통보대상자들이나 시민에 대한 전달효과가 감소하고 있는 실정임. 또 반월, 시화공단이나 안양, 군포, 의왕 등지는 오존발생시 같은 영향권역이지만 개별적으로 경보를 발령함으로써 경보대응, 저감대책 수립 등에 문제가 있는 것으로 드러남. 또 오존경보가 풍향을 따라 권역별로 이동하는 양상을 보이는 등 지역적 발생 특성을 고려한 광역적인 대책 접근도 검토되어야 할 필요가 있음.

- 모델링을 통한 오존생성 민감도 분석, 고농도 오존발생 양상 및 이동패턴, 지형, 인구분포 등을 분석한 결과, 2가지 권역별 시행 안이 도출되었음. 두 안 모두 측정망이 설치되지 않은 지역도 포함하고 있음. 1안은 지역별로 보다 세부적인 경보 운영이 가능하지만, 지역구분이 많아 발령기관이나 주민이 인지하기 어렵다는 단점이 있음. 상대적으로 2안은 발령기관이나 주민이 인지하기 쉬워 효율적인 제도 운영이 가능할 것으로 판단됨.
- 현재 경기도의 외곽 시·군 지역에는 대기질 자동 측정망이 연차적으로 보완되어 가고 있음. 측정소 미설치 지역에 대해 오존경보제를 운영할 경우 해당 지역 주민들에게 대기질에 대한 불신을 조장할 우려가 있음. 이 지역에 대해서는 향후 측정소를 설치한 후 1년 이상 농도를 측정하고 자료 분석 결과를 바탕으로 오존경보제를 도입할 것인지 여부를 결정하는 것도 좋은 방법이라고 판단됨.

## 2. 오존경보제 전파체계 보완

- 오존경보의 전파체계 및 전파방법도 개선하여 효율성을 제고할 필요가 있음. 특히 옥외 도·시·군정 홍보, 대기오염 전광판 활용, 학교, 병원, 터미널, 아파트 등 다중이용시설 자체 방송 활용, 공중파 방송, 지역 cable TV, 라디오 등을 통한 통보, 이동전화 SMS 단문 송신, 전자우편 mailing list service 실시, 홍보 웹페이지 보완 등이 필요한 것으로 판단됨.

## 3. 대기질 측정망 보완

- 현재 경기도내 사군중 대기질 측정망이 설치되지 않아 대기질 자료가 확보되지 않는 지역이 있음. 현재 2010년까지 전 지역에 최소 1개소 이상의 측정망이 설치될 예정으로 있음. 측정망 설치 운영은 대기환경정책의 가장 기본적인 요건인 만큼 가급적 신속하게 추진해 나갈 필요가 있음.

- 오존과 미세먼지는 해당 지역의 배출영향 보다는 중장거리 이동영향이 매우 큰 물질들임. 따라서 풍상방향이나 풍하방향 모두 원거리의 배경농도 관측이 매우 중요시 됨. 현재 추진되고 있는 측정망 설치 계획은 주로 도심지역 위주임. 배경농도 관측을 위한 측정망 설치를 재검토할 필요가 있음.
- 도심지역과 외곽지역 측정망은 측정항목에 차별을 두어 운영해 나가는 것도 한 방법임. 도심 지역은 이산화황, 질소산화물, 일산화탄소, (오존, 미세먼지) 등 지역 배출영향이 크고 사람의 건강에 직접 영향을 미치는 물질들 중심으로 운영하고, 외곽지역 배경대기 측정망은 오존, 미세먼지, 산성비 등 중·장거리 이동영향이 큰 물질들 중심으로 운영하는 것이 한 방법임. 배경 측정망은 환경부, 기상청 등 중앙정부에서도 운영하고 있으므로 기존 계획들을 보완하는 방향에서 추진하는 것이 필요함.

#### 4. 포괄적인 대기질 예보체계의 단계적 구축

- 포괄적인 대기질 예보체계 구축을 단계적으로 추진해 나갈 필요가 있음. 오존뿐만 아니라 미세먼지, 질소산화물 등을 모두 포함하는 대기질 예보체계 구축으로 발전시킬 필요가 있음.
- 대기질 예측 모형에는 회귀모형이나 CART 모형 같은 간단한 방법부터 방대한 수치모형까지 다양한 방법이 있지만, 대기질 인과관계의 설명이나 대도시 규모의 복잡한 대기질을 모사하기 위해서는 대기질 예측 모델링 체계를 도입할 필요가 있음. 실질적인 예보를 위해서는 최근의 대기질 예측관련 과학기술적 성과를 최대한 활용한 예측기법 개발이 필요함. 예보를 위해서는 예단모형(prognostic model)의 도입이 필수적임.
- 포괄적 예보모형의 도입 및 운영은 단기간에 정확성과 실효성을 확보하기가 어려우므로 중장기적 계획 아래 단계별로 추진해 나갈 필요가 있음.

#### 5. 수도권 대기질 예보체계의 통합 구축

- 현재 운영되고 있는 대기질 예보체계는 오존과 미세먼지 중심임. 이 물질들은 대기중 반응특성이 중요하기 때문에 해당지역 자체의 영향과 함께 중장거리 이동 영향이 매우 큼.
- 현재 수도권에서 서울시, 인천시, 경기도는 각기 별도의 경보체계를 운영하고 있으나, 오염물질의 특성상 수도권 단위로 통합하여 운영하는 것이 효율적임. 서울시, 인천시, 경기도는 각



- 각 어느 지자체를 배제하고 자체 현황 분석이나 예측이 불가능함. 따라서 예보체계의 통합 운영은 자원 낭비를 크게 줄일 수 있음. 실측 자료 관리, 예보 모형의 운영 등은 단일 단위로 통합하여 운영하고, 결과의 활용 및 대민 서비스는 별개 지자체로 운영하는 것이 필요함.
- 최근 수도권 대기환경개선 특별대책 추진과 함께 수도권 단위에서 경보제의 통합운영 필요성은 더욱 커지고 있음.

# 제1장 서론

제1절 연구배경 및 목적

제2절 연구범위 및 내용

# 제1장 서론

## 제1절 연구배경 및 목적

- 경기도는 대기중 오존으로부터 주민 건강과 생활 환경상의 피해를 줄이기 위해 1997년부터 오존경보제를 실시해 오고 있음. 최근 대기질 악화로 인해 오존경보 발령 횟수가 급증하고 있는 실정임.
- 오존경보제는 선진국을 중심으로 10여년 정도 실시해 오음. 우리나라도 1995년 서울지역을 시작으로 실시해 오고 있음. 오존경보제를 시행함으로써 오존에 대한 경각심을 고취하고 저감 대책 수립에 기여하고 있음.
- 최근 선진국에서는 오존뿐만 아니라 먼지, 시정(visibility) 등을 포함한 포괄적인 대기질 예보체계 구축 형태로 발전해 오고 있음. 대기질 예보는 관측뿐만 아니라 대기질 모델링 기법을 활용함으로써 예보의 정확도와 효율성이 크게 증가하고 있음.
- 경기도 지역은 현재 22개 시·군에 대해 각각 오존을 발령하므로 발령횟수 자체가 증가하고 있으며, 인접한 지역에 대한 잦은 동시 발령으로 인해 통보 지연 문제 등이 발생하고 있음. 이로 인해 상시 통보대상자들이나 시민에 대한 전달효과가 감소하고 있는 실정임.
- 또 반월, 시화공단이나 안양, 군포, 의왕 등지는 오존발생시 같은 영향권역이지만 개별적으로 경보를 발령함으로써 경보대응, 저감대책 수립 등에 문제가 있는 것으로 드러남. 또 오존 정보가 풍향을 따라 권역별로 이동하는 양상을 보이는 등 지역적 발생 특성을 고려한 광역적인 대책이 검토되어야 할 필요가 있음.
- 이 같은 배경에서 현행 오존 경보제의 경보 발령 방법, 권역구분 등에 대해 검토하여 보다 실질적인 예보체계가 될 수 있도록 개선해 나갈 필요가 있음.
- 따라서 본 연구에서는 오존 경보제 운영을 효율화하기 위해 경보 발령 방법, 권역구분 등에 대해 검토하여 운영 방법을 개선하고자 함.
- 이 연구를 통해 오존 경보제 운영을 개선하여 시민의 삶의 질과 오존 등 대기질 관리 정책의 효율성을 제고하고, 오존 감소방안의 광역화 대책 수립 근거를 제시할 수 있을 것으로 기대됨. 또 선진 대기질 예보체계 구축 방향 제시 등을 통한 대기환경관리의 합리성을 높이고, 발령권역을 조정하여 시민편의를 도모할 수 있을 것으로 기대됨.

## 제2절 연구범위 및 내용

### 1. 연구 범위

- 시간적 범위는 2004년을 기준 연도로 하고, 최근 3년간의 자료를 분석하였음.
- 공간적 범위는 아래 그림과 같이 경기도 전역을 대상으로 하며, 관련 부분은 서울 및 인천 전역을 포함하였음.



〈그림 1.1〉 공간적 범위(격자는 3km×3km)

### 2. 연구 내용

#### 1) 기존 대기질 예경보 체계 조사

- 현재 운영되는 대기질 관련 예경보 체계에 대한 현황 조사 정리
- 오존경보제 현황 조사
- 먼지예보제, 황사 예보제 등 현황 조사

#### 2) 선진 대기질 예보 사례 조사

- 선진 대기질 예보체계 운영 사례 조사
- 미국 EPA의 Airnow 시스템, 주요 도시의 대기질 예보제 운영 사례 조사
- 일본 동경도 등 주요도시의 대기질 예보제 운영 사례 조사

### 3) 대기질 예측모형의 종류 및 특성 조사 정리

- Persistence model, 기후학적 예측방법, 준거치에 의한 예측방법, CART(Classification and Regression Tree) 모형, 회귀모형, 신경망 모형, 결정론적 대기질 모형에 의한 예측 방법, 현상적-직관적 예보 방법 등 현재 사용되고 있는 대기질 예측모형에 대한 조사 정리

### 4) 현행 오존경보제의 문제점 분석

- 경보 발령권역의 조정 문제
- 경보 발령 방법상의 문제
- 경보제 운영상의 문제

### 5) 오존경보제 운영 개선 방안 제시

- 오존경보제 권역 조정 방안 제시. 고농도 오존 발생의 지역적 특성을 분석하여 현행 사군별 오존경보제 운영에서 권역별로 변경하는 방안에 대하여 검토 제시
- 오존경보제의 권역별 발령방법, 통보방법 등 운영제도에 대한 보완 방안 검토 제시
- 대기질 모형을 이용한 중장기적 예보체계 구축 방안 검토. 대기질 모형, 기상모형, 배출모형을 포함한 상시적 대기질 예측체계 구축 방안 제시

## 제2장 오존경보제

# 현황 및 문제점

---

제1절 대기질 예보의 필요성과 목적

제2절 대기질 예보제 현황

제3절 대기질 예보제 외국사례

제4절 대기질 예측 모형의 종류 및 특성

제5절 현행 오존경보제의 문제점

## 제2장 오존경보제 현황 및 문제점

### 제1절 대기질 예보의 필요성과 목적

- 대기질 예보 프로그램의 성공은 예보 결과의 정확성과 함께 예보 필요성과 목적을 얼마나 충족할 수 있는가에 달려 있음. 지금까지 대기질 예보는 주로 오존과 미세먼지에 관심이 집중되어 왔으며, 그 필요성은 크게 1) 시민 건강 보호를 위한 예보, 2) 고농도 발생 저감을 위한 관리 목적의 예보, 3) 특별 관측 프로그램 일정 정하기 등 과학적 필요성에 따른 예보 등으로 구분됨<sup>1)</sup>.

#### 1. 시민 건강보호를 위한 예보

- 고농도 발생 사례를 예측하여 인체와 재산에 미치는 피해를 최소화하기 위한 목적임. 시민들에게 대기오염 상태를 사전 통보하여 예방 및 대책에 참여할 수 있는 시간적 여유를 제공하여야 함. 시민들에게 대기오염에 대한 주의를 환기하여 장기적으로 대기질 향상에 기여하게 됨.
- 대기질 예측 담당기관에서 예측한 결과는 대중들이 오염된 공기에 노출되는 것을 피할 수 있도록 텔레비전, 라디오, 신문, 인터넷, 팩스 등을 통해 전달됨. 예보는 매일 그날과 다음날의 최고 농도를 발표함. 통상 오존은 최고농도, 미세먼지는 일평균 농도를 지역별로 예측하여 발표함.
- 시민에 대한 예보는 통상 다음과 같은 사항을 포함하여야 함.
  - 하루중 최고농도가 발생하는 시기와 최고농도가 발생하는 지점이 예측되어 함.
  - 대도시 권역의 경우 지리적 특성이나 배출 특성이 다를 수 있으므로 가능하면 지역을 구분하여 특정 사항에 대한 예보가 필요함.
  - 가능하면 이른 시간에 발표하여 시민들이 대응할 수 있는 시간을 줄 수 있어야 함.

1) U. S. EPA, Guidelines for Developing an Air Quality(Ozone and PM2.5) Forecasting Program, OAQPS, Information Transfer and Program Integration Division, AIRNow Program, June 2003

## 2. 고농도 발생 관리를 위한 예보

- 고농도 배출원을 사전 탐지하고 대기질 개선을 위한 배출원을 효율적으로 조절하기 위하여 대기질 예측이 필요함. 고농도 대기오염이 예측되는 날에는 오염물질 배출을 줄여야 함. 시민, 기업 등이 오염물질을 배출하는 일상적인 행위와 효율적으로 저감할 수 있는 방안이 무엇인지를 잘 파악하고 있어야 하며 자발적으로 참여할 수 있어야 함. 이것이 성공적이기 위해서는 정확한 예보가 가장 중요함.
- 통상 오전 중에 다음날 최고 오존농도와 일평균 미세먼지농도를 발표함. 관련 기관에서는 다음날의 배출량을 줄일 수 있는 구체적인 방안을 계획하고 대중에게 발표함. 이 같은 목적을 위해 유념해야 할 사항으로는 다음과 같은 것이 있음.
  - 부정확한 예측을 최대한 줄여야 함. 잘못된 예보가 반복되면 당사자들의 긴장감이 떨어져 정작 필요할 시 필요한 행동을 이끌어 낼 수 없게 됨(늑대와 소년의 우화).
  - 당사자들에게 충분히 정보가 전달되고 행동으로 연결될 수 있도록 가능하면 예보시간을 빨리 하여야 함.
  - 예보에는 대기질이나 기상상태와 같은 필요한 사항들이 포괄되어 있어야 함. 이 같은 사항들이 포함되어야 당사자들의 이해를 도울 수 있음.
  - 예측의 불확실성에 대한 정보도 같이 포함되어 있어야 함. 관련 대응의 강도 등을 판단할 수 있게 함.

## 3. 특별 관측 등 과학적 목적을 위한 예보

- 공기가 나쁜 날의 대기질 및 기상 상태를 집중하여 관측할 필요가 있음. 통상 관측이나 분석은 많은 비용을 수반하게 되므로 특정한 날의 정확한 관측과 분석은 매우 중요하데, 이때 대기질 예측 정보는 매우 중요하게 됨.
- 관측지점이나 시기를 선택할 수 있도록 고농도 발생과 끝나는 시점, 장소를 예측.
- 관측에 필요한 사항을 준비할 수 있도록 여러 날(multi-day)에 걸친 예측이 필요.



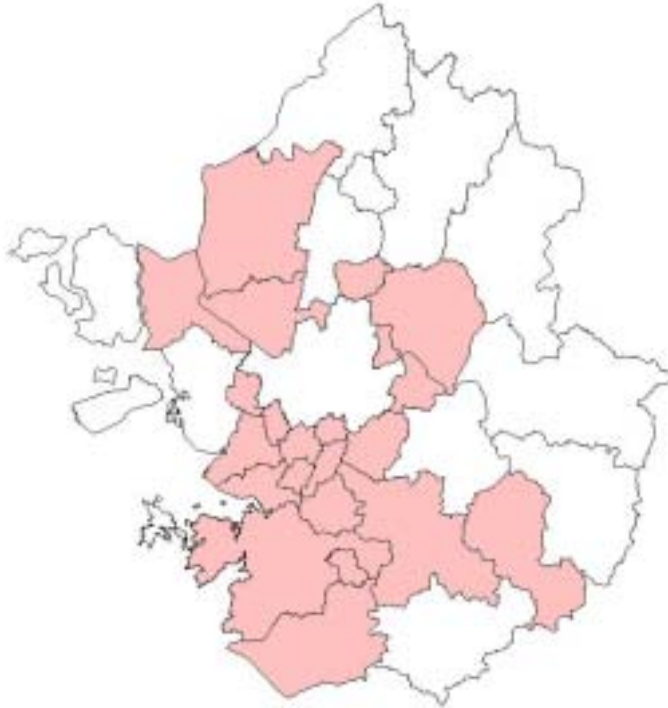
## 제2절 대기질 예보제 현황

- 대기오염 경보제는 대기중 오염물질의 농도가 일정 기준이상 높게 나타났을 때 주의보, 경보 등을 발령함으로써 환경보전에 대한 시민의 협조를 유도하고 지역거주 주민들의 건강과 생활환경상의 피해를 최소화하기 위해 실시되는 제도임.
- 현행 대기오염 관련 경보제는 오존경보제, 미세먼지경보제, 황사경보제가 운영되고 있음. 오존 경보제는 1995년 서울시에서 시작된 이후 현재는 대부분의 대도시 지역에서 운영하고 있음. 미세먼지경보제는 서울시에서 운영하고 있고, 경기도에서도 운영을 위해 준비 중임. 황사경보제는 기상청에서 전국을 대상으로 운영하고 있음.
- 현행 대기질 경보 제도를 간략히 요약하면 <표 2.1> 과 같음.

<표 2.1> 현행 경보제도 개요

구분	오존 경보제	황사 특보제	미세먼지 경보제
법적 근거	대기환경보전법 제7조의2	기상업무법	서울 먼지예보 및 경보에 관한 조례
발령 구분	주의보 : 시간평균 0.12ppm이상 경보 : 시간평균 0.30ppm이상 중대경보 : 시간평균 0.50ppm이상	주의보 : 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 경보 : 1,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간	주의보 : 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간 경보 : 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이상 2시간
발령 기관	시·도	기상청	시·도
조치 사항 개요	주의보 : 주민의 실외활동 자제, 자동차 사용자제 요청 경보 : 주민의 실외활동 제한, 자동차의 사용제한 명령, 사업장의 연료사용 감축 중대경보 : 주민의 실외활동 금지, 자동차의 통행금지, 사업장의 작업시간 단축	주의보 : 노약자 실외활동 금지 권고, 유치원, 초등학교 실외활동 금지 권고, 일반인의 과격한 실외 활동 자제 권고 경보 : 외출금지 권고, 유치원, 초등학교 휴업권고	주의보 : 노약자, 천식환자 외출 자제, 병원의 호흡기 질환자 옥외활동 자제, 유치원, 초등학교 실외수업 자제, 자동차 도심운행을 자제, 배출업소에 대해서는 작업을 하향 조정 (연료 사용량 감축), 공사장의 먼지발생 작업 자제 경보 발령시 : 일반시민들의 과격한 실외활동 자제, 병원의 호흡기 질환자 옥외 활동 금지, 유치원, 초등학교 휴업 또는 수업 단축, 중·고등학교 실외 수업 자제, 자동차의 도심 운행 금지 (사업용 제외), 배출업소에 대해서는 작업중지(연료사용 제한)

- 경기도는 97년부터 오존경보제를 운영해 오고 있음. 현재 발령 대상지역은 22개 시·군으로, 개별 지역별로 발령하고 있음. 대상지역 22개 시·군은 수원, 안양, 성남, 부천, 안산, 의정부, 광명, 과천, 구리, 시흥, 고양, 군포, 평택, 의왕, 남양주, 용인, 김포, 하남, 오산, 화성, 이천, 파주 등지임.



〈그림 2.1〉 경기도 오존경보제 발령 지역

- 서울의 경우 1995년 7월부터 오존경보제를 실시해 오고 있으며, 2005년 2월부터는 먼지 경보제를 실시하고 있음. 현재는 당일 측정값을 기준으로 주의보 및 경보를 발령하고 있음.
- 서울시는 4개권역, 인천시는 3개권역별로 발령하고 있음. 경보구역 및 경보에 사용되는 측정소 위치는 각각 〈그림 2.2〉, 〈그림 2.3〉과 같음.



〈그림 2.2〉 서울특별시 오존예보구역 구분



〈그림 2.3〉 인천광역시 오존경보구역 구분

- 오존경보제 발령 기준은 <표 2.2>과 같음.

<표 2.2> 오존경보제 발령기준

구분	발령기준	인체영향
주의보	오존농도 0.12ppm 이상	눈, 코자극, 불안, 두통, 호흡불안 등
경 보	오존농도 0.3ppm 이상	호흡기자극, 가슴압박, 시력감소 등
중대경보	오존농도 0.5ppm 이상	폐기능 저하, 기관지 자극, 폐혈증 등

- 오존경보제 발령방법은 실시간 자동측정망의 관측 자료에 기반하여 담당자의 판단에 의존하고 있음. 경보제 시행 초기에 통계모형에 기반한 예측방법 등을 개발하여 사용한 바 있으나 예측력이 떨어져 현재는 활용도가 매우 낮은 것으로 조사됨.
- 경기도 지역의 오존경보 발령 현황은 <표 2.3>과 같음.

<표 2.3> 경기도 오존주의보 발령 현황

구분	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
발령일수	5	6	13	13	11	7	8	14
발생횟수	5	16	22	29	17	38	23	83
발령지역	3	6	7	9	8	17	11	17

- 서울시의 오존경보는 1995년부터 운영중이며 현재까지 주의보 발령현황은 <표 2.4>와 같음.

<표 2.4> 서울시 오존주의보 발령 현황

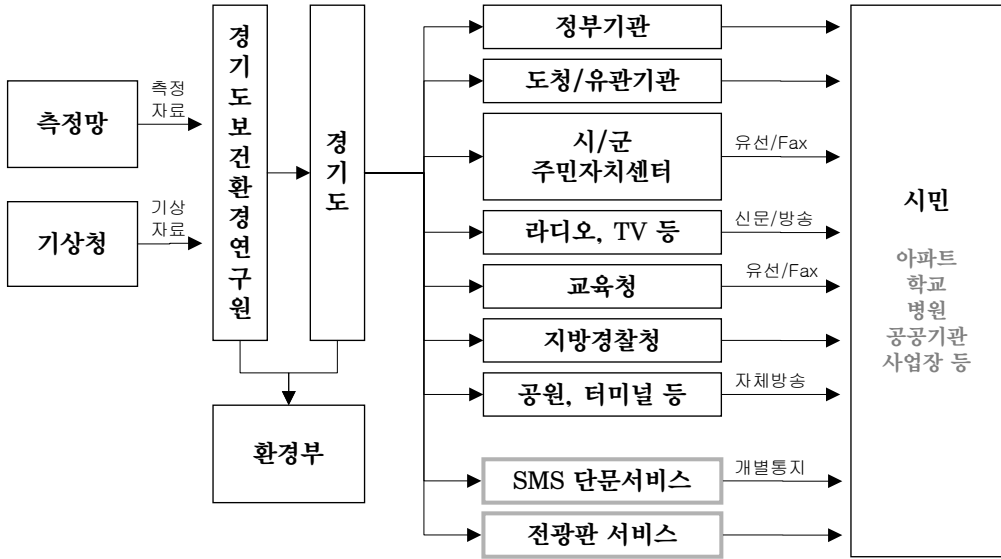
구분	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
계	2	11	19	18	16	22	7	4	2	9
북서지역	1	2	3	1	2	6	1	1	-	3
북동지역	1	6	9	13	5	6	3	1	1	3
남서지역	-	1	2	1	4	4	1	1	-	3
남동지역	-	2	5	3	5	6	2	1	1	-

○ 오존경보제 발령시 단계별 조치사항은 <표 2.5>와 같음.

<표 2.5> 오존경보제 발령시 단계별 조치사항

종류 및 발령기준	시 민	차량 운전자 (소유자)	관계기관	사업장
주의보 (0.12ppm이상)	<ul style="list-style-type: none"> <li>노천소각금지 요청</li> <li>대중교통이용 권고</li> <li>주민실외활동 및 과격운동자제 요청</li> <li>노약자, 어린이, 호흡기환자, 심장질환자 실외활동 자제권고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>경보지역내 차량운행 자제 권고(키플제시행)</li> <li>대중교통 이용권고</li> <li>불필요한 자동차 자제 권고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>주의보상황 통보</li> <li>대중홍보매체에 의한 대국민 홍보 요청</li> <li>대기오염도 변화분석 및 기상관측자료 검토요청</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>오존유발물질 저감 요청</li> </ul>
경보 (0.3ppm이상)	<ul style="list-style-type: none"> <li>소각시설 사용 제한요청</li> <li>주민실외활동 및 과격운동제한 요청</li> <li>유치원, 학교 등 실외학습 제 한 권고</li> <li>노약자, 어린이, 호흡기환자, 심장질환자 실외활동제한 권고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>경보지역내 자동차 사용 자제 요청</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>경보상황 통보</li> <li>대기오염 측정 및 기상관측 활동강화 요청</li> <li>경보상황에 대한 대국민 홍보강화 요청</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>연료 사용 감축 권고</li> </ul>
중대경보 (0.5ppm이상)	<ul style="list-style-type: none"> <li>소각시설 중지 요청</li> <li>주민실외활동 및 과격운동금지 요청</li> <li>유치원, 학교 등 실외 학습 중지 및 휴교 권고</li> <li>노약자, 어린이, 호흡기 환자, 심장 질환자 실외 활동 중지 권고</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>경보지역내 자동차 통행 금지</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>중대경보 상황통보</li> <li>대기오염 측정 및 기상관측 활동 강화 요청</li> <li>위험 사항에 대한 국민홍보 강화요청</li> <li>경찰에 교통규제 협조요청</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>조업 단축</li> </ul>

- 오존경보 전달체계는 <그림 2.4>와 같음. 경기도 보건환경연구원에 설치된 오존경보 상황실에서 매시간 측정결과와 기상자료를 검토한 후, 경보발령 여부를 판단하고, 경보가 발령되면 경기도는 각 유관기관과 방송, 인터넷, 전광판 등 각종 매체를 통하여 시민에게 전파함.



<그림 2.4> 오존경보 전달체계

### 제3절 대기질 예보제 외국사례

#### 1. 미국의 대기질 예보제도

- 미국은 2003년부터 대기질 예보시스템 개발에 착수하여, 현재는 주요 대도시 지역에 대해 1년내내 계속하여 오존 및 PM2.5에 대한 예보를 시행하고 있음.
- 주로 통계모형에 기반한 예측을 수행하고 있음. 회귀모형 및 CART(Classification and Regression Tree) 모형에 의한 예측을 기본으로 하고 있음. 현재 미국 EPA와 NOAA는 수치모형에 기반한 예측 모형을 개발하여 시험하고 있음.
- 미국 전역에 대한 예보는 미국 EPA에서 수행하고 있으며, 주요 도시는 지역특성을 반영한 개별 모형을 개발하여 사용하고 있음. 미국 EPA의 대기질 예보 시스템인 Airnow는 <그림 2.5> 참고<sup>2)</sup>.



<그림 2.5> 미국 EPA의 대기질 예보 시스템 Airnow

2) <http://www.epa.gov/airnow>

- 미국 EPA의 Airnow시스템은 5단계의 AQI 지수에 따라 예보하고 있으며, 개별 도시에서는 우리나라와 같이 농도기준으로 예보를 하는 경우도 있음. Airnow 시스템의 AQI 지수는 <그림 2.6>과 같이 악화정도에 따라 6단계로 나누고 있음.

Air Quality Index (AQI) Values	Levels of Health Concern	Colors
<i>When the AQI is in this range:</i>	<i>...air quality conditions are:</i>	<i>...as symbolized by this color:</i>
0 to 50	Good	Green
51 to 100	Moderate	Yellow
101 to 150	Unhealthy for Sensitive Groups	Orange
151 to 200	Unhealthy	Red
201 to 300	Very Unhealthy	Purple
301 to 500	Hazardous	Maroon

<그림 2.6> 미국 EPA, Airnow 시스템의 AQI 예보지수

- 미국내 대부분의 지자체는 EPA의 자료와 모델링 기법을 기초로 지역 특성에 맞는 예보시스템을 구축하여 운영하고 있음. 미국내 인구 35만명 이상의 주요 도시는 대부분 오존과 미세먼지에 대한 농도 현황을 일반 대중에게 공개하고 있으며, 기준치를 초과하는 경우에는 경보를 발령하고 있음. 캘리포니아와 시카고시의 사례는 다음 <표 2.6>과 같음.



〈표 2.6〉 미국 주요지역의 오존경보제

구 분	캘리포니아주	시카고시
경보단계별 기준	주의보 : 0.15ppm 1 단계 : 0.20ppm 2 단계 : 0.35ppm 3 단계 : 0.5ppm	주의보 : 0.12ppm 황색경보 : 0.20ppm 적색경보 : 0.30ppm 중대경보 : 0.50ppm
조치사항	o 주민 외출금지 o 차량통제 (Carpool제 시행) o 석유정제 등 18개 업종 배출량 감축	o 주민외출금지 o 차량통제 (중대경보시 운행금지) o 연간 100톤 이상 오염물질 배출공장 배출량 감축
발령지역	10개 지역	6개 지역
발령권자	주지사	일리노이 EPA
경보발령 횟수	연간 100여회	없음('90년대 이후)

- 특히 캘리포니아 SCAQMD(South Coast Air Quality Management District)는 미국내에서도 가장 대기오염이 심한 캘리포니아 남부 해안지역을 관할하고 있음. 여기서는 통계모형을 이용하여 다음 〈그림 2.7〉과 같은 형태로 24시간 오존농도 예보제를 시행하고 있음.
- SCAQMD의 예보는 기압배치도, 고도별 기온자료, 풍향 및 풍속, 습도, 자상기온 등의 기상자료와 대기오염도 사이의 통계모형을 이용하고 있음. 그 정확도는 평균 80% 이상인 것으로 평가되고 있음<sup>3)</sup>.

3) South Coast Air Quality Management District, <http://www.aqmd.gov/smca/index.html>

SOUTH COAST AIR QUALITY MANAGEMENT DISTRICT  
DAILY AIR QUALITY FORECAST  
VALID: FRI., OCT. 14, 2009

SRA NUMBER	AREA	1-HR OZONE PPM	8-HR OZONE PPM	8-HR CO PPM	24-HR PM10 UG/MT	24-HR PM2.5 UG/MT	24-HR NO2 PPM	MAX AQI
Los Angeles County: South Coast Air Basin								
1	Central LA Co	.07	.05	2.7	50	20	.04	59
2	SW Coastal LA	.06	.05	2.1	38	18	.02	58
3	EW Coastal LA	.06	.05	2.1	34	18	.04	58
4	E Coastal LA	.06	.05	2.4	37	19	.03	57
5	Southeast LA Co	.06	.05	2.5	41	22	.04	63
6	W San Fernando Vly	.07	.05	2.2	40	16	.04	58
7	E San Fernando Vly	.07	.05	2.9	38	18	.05	58
8	W San Gabriel Vly	.07	.05	2.2	45	22	.04	60
8-1	E San Gabriel Vly-1	.07	.05	2.3	48	23	.04	69
8-2	E San Gabriel Vly-2	.08	.06	2.3	48	23	.04	67
10	Pomona Walnut Vly	.07	.05	3.5	48	25	.04	69
11	E San Gabriel Vly	.06	.05	2.3	38	15	.04	50
12	S Central LA Co	.06	.05	2.7	30	14	.04	50
13	Santa Clarita Vly	.07	.05	1.5	35	14	.04	58
15	San Gabriel Rte	.07	.04	1.6	48	18	.03	58

〈그림 2.7〉 SCAQMD의 오존 예보제 운영

## 2. 일본의 대기질 경보제도

- 일본 환경성은 오존과 황산화물에 대한 주의보 및 경보 시스템을 운영하고 있음. 동경, 요코하마, 오사카 등 주요 대도시 지역에서는 대부분 광화학스모그 경보제도를 운영하고 있음. 관할 지역별로 측정망 관측치에 의존하여 경보를 발령하고 있음.
- 다음 〈그림 2.8〉은 동경도에서 운영하고 있는 오존경보제의 예임.



〈그림 2.8〉 동경도의 오존경보제 운영

○ 주요 도시의 오존경보제 운영 현황은 〈표 2.7〉과 같음.

〈표 2.7〉 일본 주요 지역의 오존경보제

구 분	동경	오사카
경보단계별 기준	· 예보 : 주의보에 가까운 농도 · 주의보 : 0.12ppm · 경보 : 0.24ppm · 중대긴급경보 : 0.40ppm	· 예보 : 주의보에 가까운 농도 · 주의보 : 0.12ppm · 경보 : 0.24ppm · 중대긴급경보 : 0.40ppm
조치사항	· 주민 외출금지 · 자동차 통과 자제 요청 · 배출업소연료사용 삭감 권고	· 주민 외출금지 · 자동차 통과 자제 요청 · 배출업소연료사용 삭감 권고
발령지역	· 4개 지역	· 7개 지역
발령권자	· 동경도 환경보전국장	· 오사카부 환경보전국장
경보발령 횟수	· 연간 30-40여회	· 연간 10-20여회

자료: <http://www.kankyo.metro.tokyo.jp/ox/bunpu/smog.htm>

- 오존 경보제와 함께 최근 인터넷, 전자우편, 휴대전화망 등을 통해 전국의 오염도 실측치를 실시간으로 제공하여 오염도에 따라 시민들의 행동요령을 제공하고 있음.

## 제4절 대기질 예측모형의 종류 및 특성

### 1. Persistence Model

- 대기질은 종관기상에 크게 의존하므로 몇 일 동안 같은 유형의 오염 양상이 지속되는 사례가 많음. 전날의 최고 농도로 다음날의 농도를 예측하는 방법임.
- 이 방법은 여타 복잡한 다른 예측기법을 사용할 때 시작점(starting point)으로 활용하기에 좋은 방법이며, 또 여타 방법에 의한 예측결과를 비교할 기준점으로 활용할 수 있음. 그러나 이 방법만으로는 고농도 발생시기의 시작과 끝을 예측하는 것이 어렵기 때문에 대기질 예보를 하기 위한 유일한 방법으로 사용하는 것은 어려움.
- Persistence model의 개발
  - 최소한 4년 이상의 모니터링 자료 확보
  - 일 최고농도로 다음날의 농도 예측(persistence method)
  - 과거 자료를 사용하여 예측과 실측값 비교하여 오차에 대한 분석 실시
- 이 방법의 장점은 전문성이 덜 요구되고 운용이 쉬움. 또 유사한 종관기상 패턴이 유지되면 예측이 우수함.
- 단점으로는 정확성이 떨어지고, 고농도 발생 첫 날과 마지막 날의 예측은 불가능하며, 날씨 패턴이 변하는 중에는 예측이 어려움.

### 2. 기후학적 예측방법

- 기후학(climatology)은 특정 지역의 평균 및 극단적 날씨 양상에 대한 연구 분야임. 대기질은 날씨 양상과 관계가 크므로 기후학적 분석을 통해 대기질 예측에 응용할 수 있음. 장기간에 걸쳐 분석 작성된 기후표(climate table)는 예측 범위가 크게 벗어나는 것을 방지할 수 있음. 여타 예측방법의 결과를 판단할 때 예측범위(bound)나 지침(guide) 제공이 가능.
- 기후표의 작성방법
  - 최소 4년이상의 모니터링 자료 확보
  - 배출양상의 급격한 변화, 모니터링 장소 여건의 변화 등에 따라 수반되는 특정 대기질 변

- 화에 대한 자료 검증 수행
- 통상 다음 항목의 표 및 그래프 작성을 통해 대기질을 예측함.
  - 점별 월별 최대농도
  - 고농도 발생시간 분석(연속발생일, 각 날짜의 고농도 시간)
  - 월별, 주별 고농도 발생 지속 평균일수
  - 고농도 발생일수의 주중 분포(Day-of-week distribution)
  - 주중/주말, 휴일/비휴일 평균 및 최고 미세먼지 농도
- 특별한 배출변동 같은 것이 있으면 그 전과 후의 자료를 따로 작성하는 것이 유용함.
- 주중 및 주말의 농도 차이와 같이 최종적으로 도출된 결과의 유용성 검토.
- 이 방법은 특별한 전문성이 필요 없으며, 다른 예측 방법을 보완할 수 있고 개발이 쉽다는 장점이 있음.
- 이 방법만으로는 대기질을 예측할 수 없음. 연료규제, 인구변화, 산불과 같이 배출양상 변화에 의한 대기질 변화 예측은 불가능함.

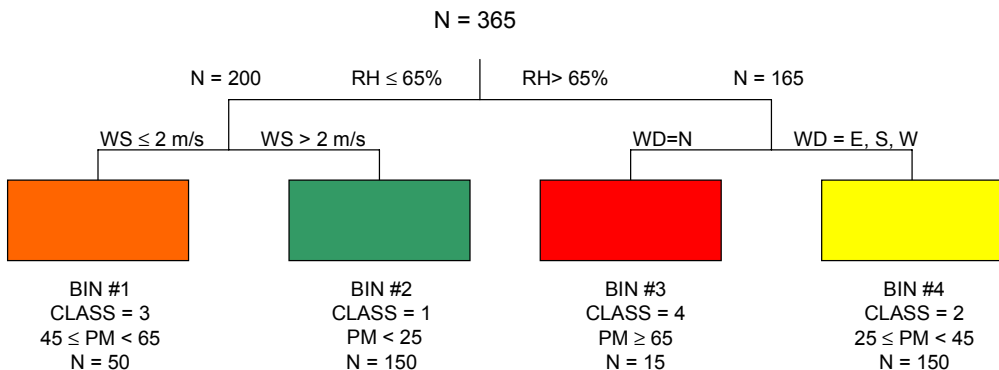
### 3. 준거치 방법

- 기상 혹은 대기질 관련 변수의 준거치(threshold value, criteria)를 사용하여 대기질을 예측하는 방법임. 준거치는 통상 무엇을 판단할 수 있는 기준이나 원칙을 의미함. ‘Rules of thumb’ 이라고도 함. 오존 관련 준거치 변수로는 일최고온도, 일온도범위, 일풍속, 15-21 UTC 풍속, 전날 최고오존농도 등이 있음. 농도치 예측보다는 초과 비초과 여부의 예측이 유의하므로 AQI(air quality index) 같은 범주 예측에 적합.
- 예측에 필요한 주요 변수는 최고온도, 오전 오후 풍속, 운량, 상대습도, 500mb ~ 850mb 온도 등임. 독립된 자료로 결과를 평가.
- 월 및 계절별 준거치를 평가하여 변화를 파악할 필요가 있음. 배출양상이 변하면 재평가 필요함. 기상현상이나 대기오염 현상에 대한 이해가 필요 없음.
- 장점으로는 개발과 운영이 쉽고, 사람의 자위적 판단에 따른 오차를 배제할 수 있는 객관적 방법임. 또 여타 예측방법을 보완할 수 있음.
- 단점으로는 변수선택과 그에 따른 준거치가 주관적임. 관측 및 예측된 자료에 내재된 정보

에 근거한 농도만을 예측하므로 objective tool임. 예측된 기상정보의 변화는 반영할 수 없으므로 불확실성이 커질 수 있음.

#### 4. Classification and Regression Tree(CART)

- 특정 범주로 자료를 분류하기 위해 고안된 통계적 방법임. 예측 변수들로 농도 예측을 위한 의사결정나무(decision tree) 개발하여 사용함. 기상변수, 오염도, 요일, 일길이(length of day) 등이 예측변수가 됨. 특정 예측 변수를 사용하여 최고 농도치를 연속적으로 분류해 나가는 의사결정 프로그램을 사용하게 됨. 예측 변수와 분류 기준치는 CART 프로그램에 의해 결정됨.
- 개발과 운용이 간편하고 기상 및 대기질 현상에 대한 이해가 없어도 됨.
- 같은 고농도라도 주요 발생 원인이 다른 경우를 구분해 낼 수 있음. 특히 미세먼지의 경우 장점이 있음. 또 여타 방법을 보완할 수 있음.
- 개발에는 상당한 전문성과 경험이 필요. 기본적으로 진단적 기법(objective tool)으로 관측치에 기반하여 예측할 수밖에 없음. 배출양상이 변해서 생기는 농도 예측은 불가능. 그러나 예측자의 주관적인 보완이 가능할 것임.



〈그림 2.9〉 CART에 의한 예측 예

## 5. 회귀모형

- 가장 많이 사용되고 있는 통계모형임. 다양한 회귀모형 기법 중에서 multi-linear regression이 가장 많이 사용됨. 오존 예측은 변수사이의 비선형관계 설명이 가능한 curvilinear regression이 많이 사용됨.
- 오존과 미세먼지는 log-normally distributed. 농도는 자연대수값으로 예측하는 것이 좋은 것으로 알려져 있음.
- 통상 회귀모형의 결과는 평균값을 예측하는 경향이 있음. 고농도는 과소 평가, 저농도는 과대 평가하는 경향이 있음. 고농도 예측을 위한 2차 회귀식이 예측 정확도를 높일 수 있음.
- 너무 많은 변수를 사용하여 회귀식을 구성하면 'over fit'되어 예측 정확도가 떨어짐. 적당한 변수의 수는 5-10개 정도임.
- 객관적인 예측 방법이며 다른 예측 방법 보조 혹은 단독 예측 방법으로 사용 가능함.
- 개발과 운영에는 상당한 노력과 전문성이 요구됨.
- PM<sub>2.5</sub> 회귀모형의 예<sup>4)</sup>

$$\begin{aligned} \text{PM}_{2.5} = & 53.429 + 3.382 \times \text{Holiday} - 0.189 \times \text{Precip} - 0.31 \times \text{Tmax} \\ & - 0.541 \times \text{SurfaceWS} + 1.008 \times (\text{T@700mb} - \text{Tmin}) \\ & + 0.838 \times (\text{Stability}) + 0.183 \times \text{Td@700mb00Z} - 0.292 \times \text{WS@850mb00Z} \end{aligned}$$

Where as,

Holiday, 1 for Valentine's Day, Martin Luther King, Jr. Day, Presidents' Day, Veterans' Day, and Super Bowl Sunday.

2 for Thanksgiving weekend and Christmas Eve through New Year's Day.

1 for weekends immediately preceding or following any of above holidays.

0 for all other days.

Precip, Forecasted precipitation in inches during the 24-hr forecast period.

Tmax, Forecasted daytime maximum temperature(°F)

SurfaceWS, Average resultant wind speed from 12Z to 00Z (0500 to 1700 MST)

T@700mb, Temperature at 700 mb at 12Z (0500 MST) (°C)

Tmin, Forecasted or observed minimum temperature (°C)

Stability, Temperature at 700 mb at 00Z (1700 MST) (°C) minus the forecasted daytime maximum temperature(°C) at the surface

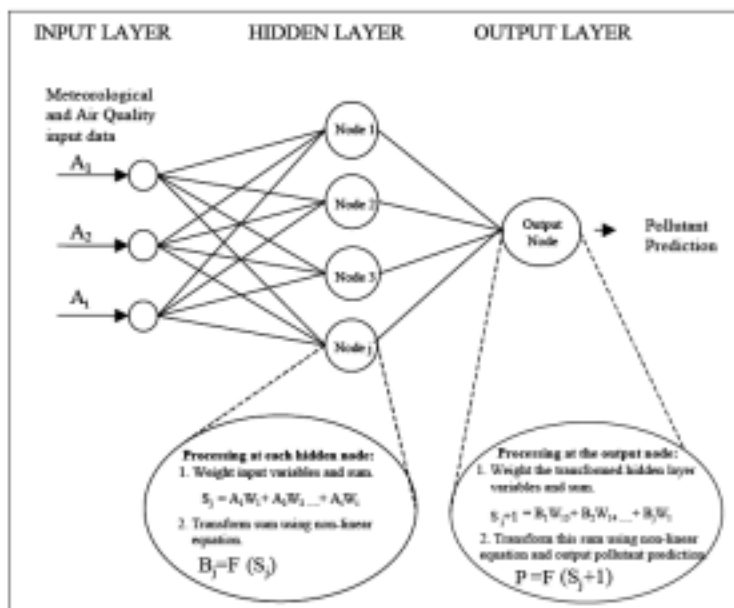
4) Dye T. S., MacDonald C. P./ and Miller D. S. (2002) Summary of PM<sub>2.5</sub> forecasting tool development for Pittsburgh, Pennsylvania, Technical memorandum prepared for the Pennsylvania Department of Environmental Protection and Allegheny County Health Department, Petaluma, CA.



Td@700mb00Z, Dew-point temperature at 700 mb at 00Z (1700 MST) (°C)  
 WS@850mb00Z, Wind speed at 850 mb at 00Z (1700 MST) (m/s)

## 6. 신경망 모형

- 신경망 모형(artificial neural networks)은 원래 인간의 뇌와 같은 생물학적 신경망을 학습 및 패턴인식의 관점에서 모사하기 위해 고안된 전산 프로그램임. 신경망 모형은 복잡한 자료체계에서 일정한 규칙과 의미를 추출하고 예측하기 위해 다양한 분야에서 연구개발 중에 있음. 복잡하고 부정확한 자료에서 일정한 경향을 추출하고 패턴을 결정하기 위한 도구로서 오존이나 미세먼지 같은 비선형적 오염현상에 응용할 수 있는 가능성이 매우 큰 편임.
- 복잡한 가중치 및 함수의 조합(a complex combination of weights and functions)을 사용하여 온도, 바람 같은 입력 자료를 농도 예측치로 전환. 통상 회귀모형 개발보다 더 어려운 것으로 알려져 있음.
- <그림 2.10>은 신경망 모형의 개요임<sup>5)</sup>.



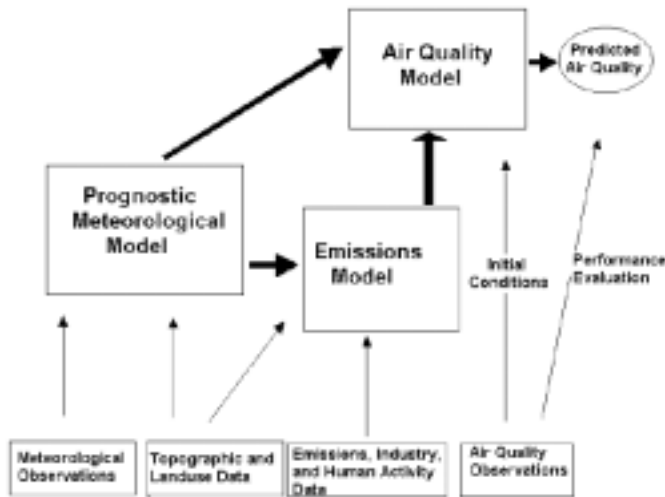
<그림 2.10> 신경망 모형의 개요

5) Corrie A. C. (1997) Comparing neural networks and regression models for ozone forecasting, J. Air & Waste Management Association, 47, pp. 653-663

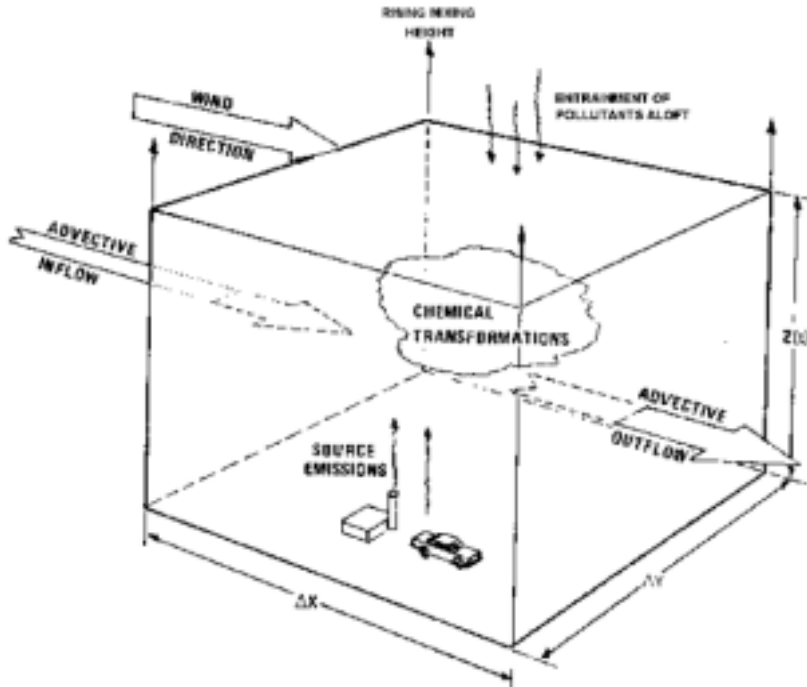
- 신경망 모형의 장점으로 변수사이의 비선형 관계를 반영하는 것이 가능하므로 오존과 미세먼지 예측에 부합됨. 회귀모형에 비해 극단적인 값에 대한 예측력이 좋고, 한번 개발되면 특별한 전문성이 요구되지 않음. 또 다른 예측방법과 함께 쓰거나, 단독 예측도구로 사용가능.
- 단점으로는 방법이 복잡하고 보편적이지 않아 이해가 어렵고, 개발도 어려워 잘못 적용될 가능성이 큼. 또 자료의 외삽(extrapolate) 예측력은 떨어지는 것으로 알려져 있고, 개발 단계에 극단적인 값이 포함되지 않으면 예측이 어려움.

### 7. 대기질모델링에 의한 예보

- 기상모형-배출모형-대기질모형이 연계된 수치모델링 시스템에 의한 예측방법으로 현재의 가장 발달된 과학기술이 포괄되어 있는 기법임. 대기질 모형은 오염물질의 배출, 이동 및 확산, 반응, 침적 등 일련의 과정을 수학적으로 표현한 것으로 인과관계를 분석할 수 있음.
- 전통적으로 대기질 모델링 기법은 대기환경정책 수립에 사용되어 오고 있음.
- 통상적인 대기질 모델링 시스템의 구성요소, 대기질 모사 방법의 개요는 각각 <그림 2.11> 및 <그림 2.12>와 같음.



<그림 2.11> 대기질 모델링 시스템의 구성요소



(그림 2.12) Eulerian-type 대기질 모형의 대기오염 해석 개요

- 현재 사용되고 있는 가장 발전된 형태의 대기질 모델링 체계로는 다음과 같은 것들이 있음.
  - 기상모형: MM5, RAMS
  - 배출모형: EPS2.0, EMS, SMOKE
  - 대기질모형: CALGRID, CAMx, SAQM, CMAQ, MAQSIP, UAM-Aero, UAM-IV, UAM-V
- 수치 모델링에 의한 예측을 위해서는 시스템을 운영하는 전담 전문가와 막대한 컴퓨터 자원이 필요함. 통상적으로 개발과 운영에는 수년 이상의 상당 기간이 소요됨.
- 수치모델링에 의한 가장 큰 장점은 현상에 기초한 예측(phenomenological based prediction)으로 인과관계 분석이 가능하여 저감대책 수립에 매우 유용하다는 것임. 이외에도 광범위한 지역에 대한 예측 가능하고, 실측 자료가 없어도 예측 가능하다는 장점이 있음. 또 지도, 동영상(animation) 형태의 결과 표출이 가능해 시각적인 효과가 매우 우수함.

- 그러나 기상요소 예측이 부정확하면 대기질 예측의 정확도가 크게 떨어짐. 또 결과의 정확성은 배출모형의 정확성에 의존하고 배출계수 및 활동도의 부정확성 문제가 상존하여 정확한 예측이 어려움. 특정지점 농도 예측의 부정확성, 격자크기 이하의 기상요인, 배출요인에 의한 효과 등은 표현할 수 없음.

## 8. 현상적 직관적 예보

- 현상적 직관적 예측(Phenomenological/Intuition Method)은 전문가의 경험과 능력에 의존하여 예측하는 것임. 문헌조사, 이전 사례 연구, 기후학적 분석 등 오존과 미세먼지 농도에 영향을 미치는 요인들에 대한 개념적 이해가 매우 중요.
- 종관, 지역, 국지규모의 기상현상과 해당 지역 대기오염 현상에 대한 풍부한 이해와 경험이 필요.
- 예보 일기도, 위성정보, 대기질 관측망 정보, 여타 방법에 의한 오염도 예측 정보 등을 종합하여 판단. 판단 근거를 위한 각각의 정보에 가중치가 필요하며, 예측 전문가들 사이의 합의가 필요함.
- 새로운 자료원이 생기면 쉽게 통합 가능하고, 많은 자료를 한꺼번에 쉽고 빠르게 통합, 판단하는 것이 가능. 극단적인 배출특성 변화 등을 쉽게 고려할 수 있음. 다른 객관적 예측도구(objective forecasting methods) 보완 가능. 고도의 전문성 요구됨.
- 주관적이므로(subjective) 오차가 크게 일어날 가능성이 상존. 객관적 예측도구로 보완하는 것이 필요.

〈표 2.8〉 대기질 예측 기법 요약

구분	Persistence Model	기후학적 모형	준거치 모형	CART	회귀모형	신경망 모형	대기질 모델링 시스템	현상적 직관적 방법
개발 난이도	낮음	낮음 /약간 높음	낮음 /약간 높음	약간 높음	약간 높음	약간 높음 /높음	매우 높음	높음
운영 난이도	낮음	낮음	낮음	낮음	약간 높음	약간 높음	높음	높음
정확도	낮음	낮음	약간 높음	약간 높음 /높음	약간 높음 /높음	약간 높음 /높음	높음	높음
방법 개요	오늘 관측된 농도가 내일의 예측 농도.	과거 고농도 발생 빈도가 오염도 예측의 기준이 됨.	오염도에 영향을 주는 변수가 특정 준거치 이상이면 고농도로 예측.	영향 변수 범위에 따라 의사결정 나무를 통해 예측	회귀모형 사용	관련 변수의 비선형 수식들과 가중치 합수를 통해 예측	진단모형을 사용하여 대기오염의 물리 화학적 과정을 모사	각종 관련 정보에 기반한 전문가의 판단
S/W & H/W	Spreadsheet /PC	Spreadsheet /PC	통계팩키지 /PC	CART s/w /PC	통계팩키지 /PC	통계, 신경망 팩키지/PC	배출, 기상, 대기질에 대한 예단 모형/고속 대응량 전산 필요	필요 없음.
예측 소요 시간	< 30분	< 1시간	< 1시간	< 1시간	1시간	1시간	6-12시간	1-3시간
필요 자료	어제 관측치	-	관측 및 예측 기상, 대기질 자료	관측 및 예측 기상, 대기질 자료	관측 및 예측 기상, 대기질 자료	관측 및 예측 기상, 대기질 자료	배출, 기상, 경계조건 예측자료	관측 기상 및 대기질 자료
장점	중관기상 패턴이 일정하게 유지되면 정확도가 큼.	타 방법에 의한 예측결과 판단에 도움을 줄 수 있음.	예측에 대한 초기 판단에 도움을 줌.	유사 농도 발생일에 대한 자동 분류 가능	비교적 우수한 예측력. 쉽게 사용 가능	비선형 관계의 예측력 우수	관측치가 없는 지역에 대한 예측 가능. 인과관계에 대한 분석 가능	예측력 우수. 경험에 의해 결과 판단.
제한점	부정확. 고농도 발생 시기의 처음과 끝 예측이 어려움.	단독으로 쓰일 수 없음.	특정 상태의 예측이 어려움.	개발에 높은 전문성이 요구됨.	특정 상태의 예측이 정확하지 못함.	극단적 경우에 대한 예측 부정확. 개발이 어려움.	개발이 어렵고, 매우 큰 비용이 필요.	전문가들 사이의 판단오차가 있을 수 있음.

## 제5절 현행 오존경보제의 문제점

### 1. 경보 발령권역의 문제

- 잦은 경보 발령으로 혼선초래.
  - 최근 경기도 외곽 시·군 지역에 대기질 자동측정망이 빠르게 확충되고 있음. 대기질 측정망이 설치된 지역에 대해 측정치에 근거하여 오존 경보를 발령하기 때문에 최근 발령 횟수가 급증하고 있음. 이것은 22개 시·군에 대해 각각 오존을 발령하게 됨으로써 권역별 고농도 오존 발생 특성이 고려되지 못하고, 발령횟수만 증가하고 있는 것으로 분석됨.
  - 인접 시·군에 대한 동시 발령 및 잦은 발령 및 해제로 인한 통보 지연 문제가 발생하고 있음. 언론 및 관계공무원 등 상시통보대상자들에 대한 전달효과 감소됨.
- 현재 교외지역은 발령권역에서 제외되어 있음.
  - 오존은 반응에 의해 형성되는 2차 오염물질이기 때문에 교외지역에서도 고농도가 나타날 개연성이 매우 큼. 측정망이 운영되지 않는다는 이유로 경보지역에서 제외되는 것은 문제임. 현재 이들 지역에 대해 측정망이 보완되는 단계이므로 권역에 포함하여 검토할 필요가 있음.
- 주위 광역단체와의 운영방식 차이로 인한 문제발생
  - 서울, 인천과 달리 경기도는 개별 시·군 대상으로 운영하고 있어 발령 횟수가 2004년 83회로 서울, 인천의 9-10배에 이룸. 실제 경기도 해당 시·군의 오염도가 특별히 높은 것이 아닌데도 횟수만 증가함으로서 대기오염도 심각성에 대한 확대 해석여지가 있음.
- 동일 영향권역에 대해 개별적으로 운영하므로써 시민의 대응이나 저감대책 추진이 효율적이지 못함.
  - 반월-시화공단(시흥-안산)이나 안양-군포-의왕-과천, 성남-용인수지 등의 지역은 실제 같은 권역으로 고농도 오존 발생시 동일하게 영향을 받는 지역이지만 개별적으로 저감대책이 추진되고 있어 비효율적임. 그리고 오존은 특히 풍향을 따라 이동하는 양상을 보이므로 광역적인 접근이 필요함.

## 2. 경보 발령방법 문제

- 현재 경보는 측정망 관측에만 의존하기 때문에 고농도 발생이후 발령함으로써 실질적인 예보가 되지 못하고 있음. 관계기관이나 개별 시민이 고농도 오존에 따른 대비를 하기 위한 시간적 여유가 매우 부족하게 됨. 실제 예보체계는 매일 내일과 모래의 오염도를 예측하여 통보할 수 있어야 함.
- 오존뿐만 아니라 전체 대기오염도의 위해도에 따른 발령 체계가 필요함. 오존, 미세먼지 등을 통합적으로 고려한 대기오염지수에 의한 평가, 예보 방안 등을 검토해 볼 필요가 있음.
- 최근의 대기질 예측 관련 과학 기술적 성과를 최대한 활용한 예측기법 개발 필요.

## 3. 경보제 운영상의 문제점

- 정보전파체계 및 전파 방법 개선, 효율성 제고 필요.
  - 학교, 병원, 터미널, 아파트 등 다중이용시설 자체 방송 활용 미비
  - 지역 Cable TV, 라디오 등을 통한 통보 미비
  - 전자우편 mailing list service 활용 가능
- 예측 프로토콜을 작성하여 활용. 관측 자료 획득부터 예측결과의 도출, 정보전파 등 일련의 과정에서 신속성과 일관성을 확보할 필요가 있음.
  - 종관기상 및 권역별 기상상태의 기술
  - 매일 매일의 업무계획과 담당자 개인별 책임사항 기술
  - 업무 흐름도 및 단계별 지침
  - 문서화, 정보화에 필요한 정형화된 form, worksheets 개발
  - 예측결과 송수신의 정확한 담당자 목록
  - 문제발생 유형에 따른 해결방법 목록
  - 관련자료 및 결과의 backup 및 archiving

## 제3장 오존경보제 개선방안

---

제1절 오존경보제 권역조정 방안

제2절 오존경보제 운영 검토

제3절 대기질 예보체계 보완 방안



## 제3장 오존경보제 개선방안

### 제1절 오존경보제 권역조정 방안

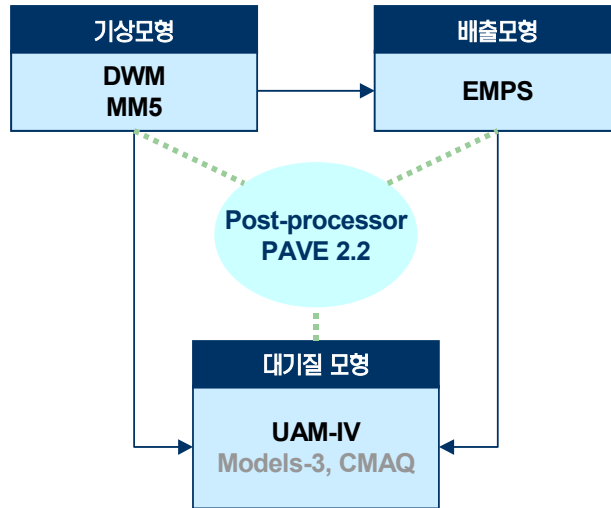
#### 1. 고려요인

##### 1) 고농도 오존발생시 선구물질 배출에 따른 민감도 분석결과

- 많은 선행연구에서 오존 선구물질의 배출량이 감소하더라도 오존농도가 실제 저감될 지의 여부는 단순한 인과 관계로서 파악될 수 없다는 것이 밝혀진 바 있음. 오존 모델링 연구에서 배출량이 감소하더라도 오히려 오존농도가 증가하는 것으로 분석되는 경우가 많음.
- 일반적으로 VOCs 농도를 감소시키면 오존농도는 감소하고, 반면 NO<sub>x</sub>의 농도를 감소시키면 오히려 증가하는 경우 VOCs-limited라 하고, VOCs 농도 변화에 따른 오존 농도 변화는 거의 없고, NO<sub>x</sub>를 감소시키면 오존농도가 감소하는 경우는 NO<sub>x</sub>-limited라 함. 결론적으로 오존 대책을 위해서 VOCs-limited의 경우는 VOCs의 저감이 효과적이고, NO<sub>x</sub>-limited의 경우는 NO<sub>x</sub>의 저감이 효과적이란 의미가 됨.
- VOCs-limited와 NO<sub>x</sub>-limited는 수도권내에서도 지역적으로 서로 다름. 그 이유는 오존농도가 선구물질의 배출패턴과 함께 기상영향을 복합적으로 받기 때문임.
- 2000년과 2002년 기준 오존 고농도 발생시 UAM 모형을 사용하여 민감도 분석을 실시하였음<sup>1)</sup>. 선행 연구에서 <그림 3.1>과 같은 모델링 체계 구축 연구를 수행한 바 있음<sup>2)</sup>. 대기질 모형, 기상모형, 배출모형이 포함된 대기질 모델링체계로, 이 연구의 성과 및 축적된 자료를 보완하여 민감도 분석을 수행하였음.

1) 김동영, 수도권 대기질의 지역간 영향 분석, 경기개발연구원 2004

2) 김동영, 최상민, 수도권 대기질 모델링체계 구축 방안, 경기개발연구원 2003



〈그림 3.1〉 대기질 모델링 체계

- 모델링 대상 영역은 〈그림 3.2〉 및 〈그림 3.3〉와 같음. 수평방향의 격자는 3km×3km, 2km×2km 크기이며, 격자수는 x, y방향 각각 50개로 설정하였음. 수평방향의 격자수가 너무 많으면 계산시간이 문제가 되고, 너무 적으면 대기질의 지역적 분포 변이를 분석하는 것이 어렵게 됨. 대상영역은 경기권 전체와 서울을 중심으로 대기질이 문제가 되는 대도시 영역을 포괄적으로 포함할 수 있도록 하였음. 수직방향은 통상 혼합고 상하를 기준으로 5개 ~6개 층으로 구분하며, 실제 높이는 시간별 혼합고의 변화와 함께 변함.



〈그림 3.2〉 공간적 범위 1(3km×3km)



〈그림 3.3〉 공간적 범위 2(2km×2km)

〈표 3.1〉 대기질 모델링 격자체계

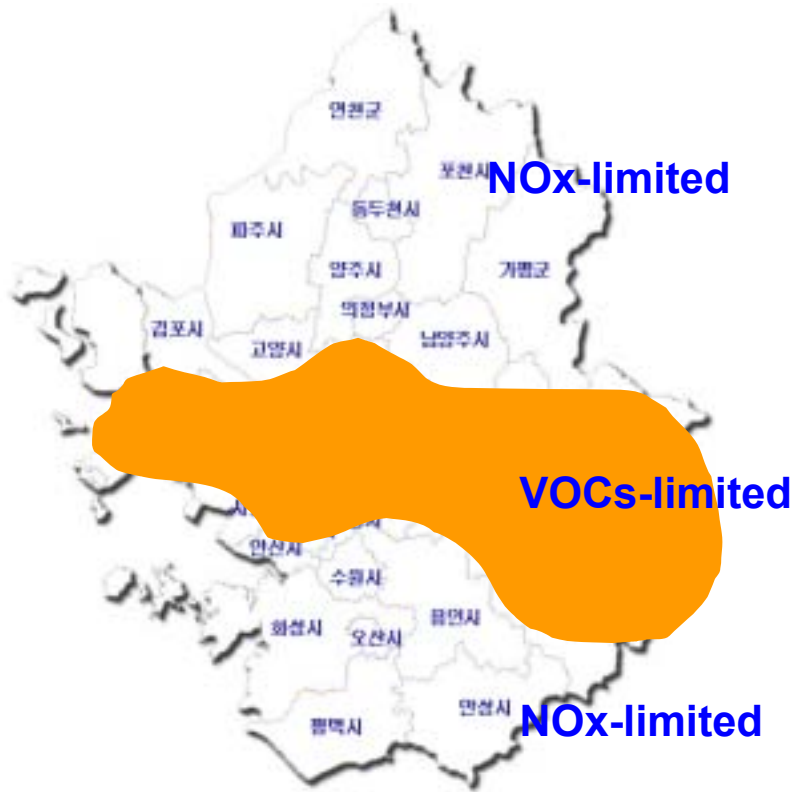
2KM, SMA Domain			3KM, GG Domain		
	X	Y		X	Y
Origin UTM	280,000	4100,000	Origin UTM	250,000	4085,000
NX, NY	50	50	NX, NY	50	50
Delta XY	2,000	2,000	Delta XY	3,000	3,000

- 분석 대상 기간은 2000년 및 2002년을 대상으로 고농도 발생일을 분석하여 선정하였음. 수도권 영역의 전체적인 오존농도 수준과 오존주의보 발령 여부 등을 고려하였음. 선정 결과는 다음 〈표 3.2〉와 같음.

〈표 3.2〉 고농도 오존발생일과 기상

년도	NO	고농도 오존발생일	요일	기상
2000	CASE 2	2000. 06. 18 ~ 20	일/월/화	구름/구름/맑음
	CASE 4	2000. 07. 03 ~ 05	월/화/수	소나기/소나기/맑음
	CASE 5	2000. 07. 26 ~ 28	수/목/금	맑음/맑음/소나기
2002	CASE 1	2002. 06. 03 ~ 05	월/화/수	맑음/맑음/구름
	CASE 2	2002. 06. 06 ~ 08	목/금/토	맑음/맑음/흐림
	CASE 3	2002. 06. 28 ~ 30	금/토/일	구름/흐림/맑음

- 모델링은 위의 6가지 경우에 대해 수행하여 그 결과를 분석하였음. 따라서 전체적으로 평균적인 의미의 민감도를 분석했다고 보기는 어렵지만, 고농도 발생시의 민감도를 여러 경우 분석하였으므로 그 함의는 충분할 것으로 판단됨.
- 민감도 분석 결과 서울, 인천, 성남, 부천, 안양, 광명, 군포, 광주, 하남, 의왕, 양평, 과천, 구리는 VOCs-limited 상태인 것으로 나타났고, 수원, 안산, 용인, 시흥, 화성, 오산, 고양, 의정부, 남양주, 파주, 포천, 양주 등은 NOx-limited인 것으로 나타남. 이를 그림으로 나타내면 〈그림 3.4〉와 같이 구분됨



〈그림 3.4〉 고농도 오존 발생시 배출물질별 민감도의 권역별 구분

## 2) 과거 오존관측 및 경보제 발령 현황

- 경기도에는 2004년 현재 23개시에 54개 대기질 자동 측정망이 운영되고 있음. 측정 자료는 실시간으로 취합됨. 고농도 오존은 일반적으로 같은 영향권역 안에서 동시에 관측됨. 또 시간에 따른 이동경향도 관측치를 통해 확인할 수 있음.
- 통상 경기도 남서부지역은 안산, 시흥-수원(군포, 의왕, 안양)-과천-성남(용인) 등의 순으로 고농도 오존이 관측됨. 남부지역은 평택-오산(화성)-이천, 북동지역은 하남(구리)-남양주(의정부), 북서지역은 김포-고양(부천, 광명)-과주 등지에서 고농도가 일관되게 관측되는 경우가 많음<sup>3)</sup>.

3) 나경호, 경기도지역의 하절기 오존거동, 경기도보건환경연구원 2004.12

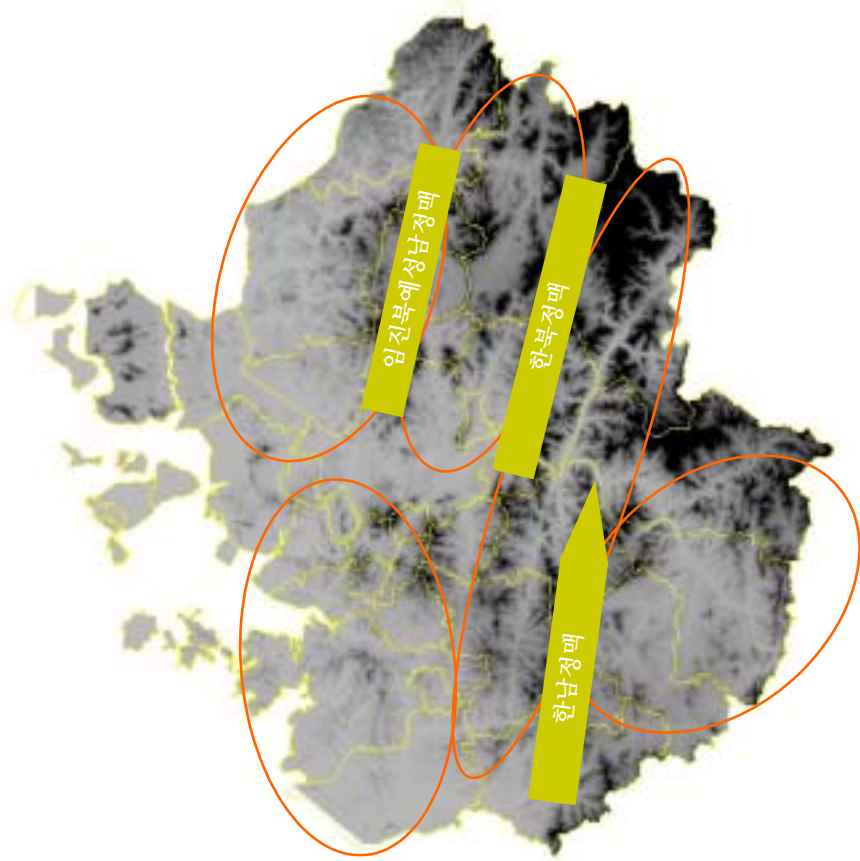
- 고농도 오존발생시 시간별 확대, 이동 패턴도 이와 유사한 형태를 보임. 최근 3년간 오존경보 발령 현황을 분석하여 <부록 1>에 실었음. 또 2004년 고농도 오존 발생시 농도의 분포 패턴 및 이동 양상 분석 결과를 <부록 2>에 실었음.



<그림 3.5> 오존경보의 이동 패턴

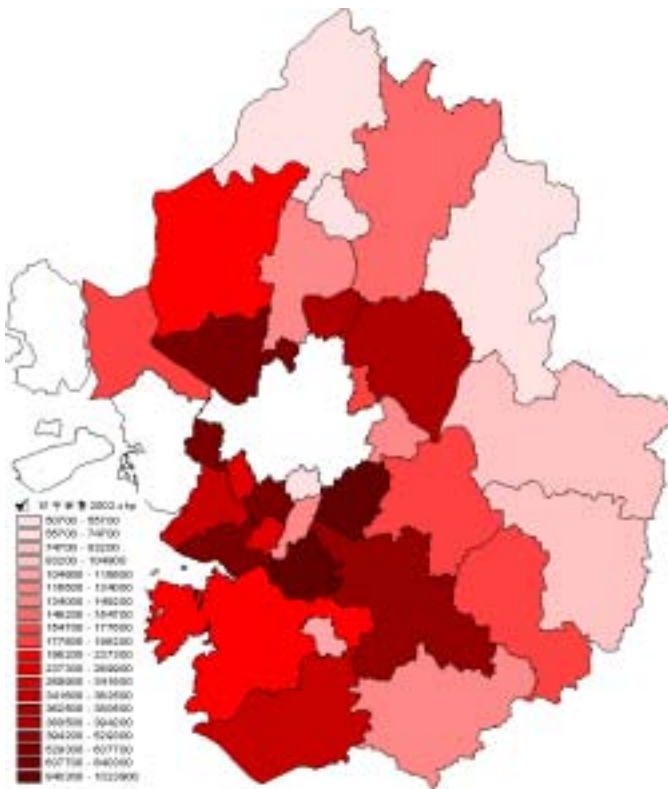
### 3) 지형

- 지형 및 고도분포는 인구뿐 아니라 기상현상에도 크게 영향을 미침. 경기도의 지형은 북쪽의 임진북예성남정맥과, 동북쪽의 한북정맥, 서쪽의 한남정맥으로 크게 구성됨.
- 경기도의 지형분포에 따라 다음 <그림 3.6>과 같이 크게 5개의 권역으로 구분할 수 있음.



〈그림 3.6〉 경기도의 지형 지세

4) 행정구역 및 인구분포



〈그림 3.7〉 경기도 시군별 인구분포

〈표 3.3〉 경기도 시군별 인구

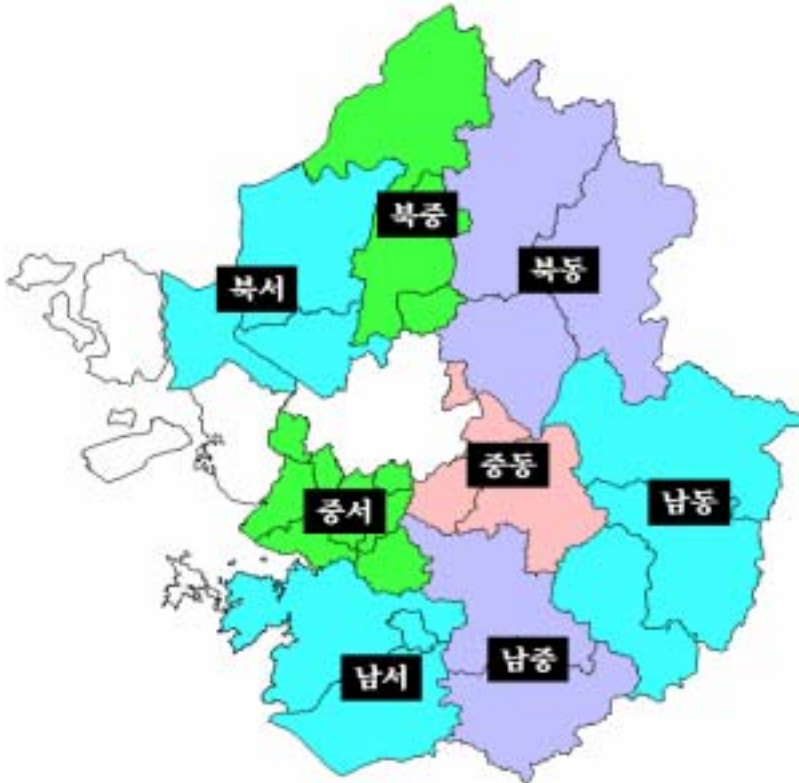
구분 시·군	면적 (km <sup>2</sup> )	세대수 (천)	인구 (만명)
계	10,183	3,748	1,063
수원시	121	366	104
성남시	142	364	99
고양시	267	315	89
부천시	53	298	86
안양시	59	214	63
안산시	147	245	69
용인시	591	226	65
의정부시	82	140	40
남양주시	460	147	42
평택시	452	133	38
광명시	39	118	33
시흥시	134	138	39
군포시	36	96	28
화성시	688	101	29
파주시	673	90	25
이천시	461	66	19
구리시	33	68	19
김포시	277	74	22
포천시	826	56	16
광주시	432	75	21
안성시	554	56	16
하남시	93	49	13
의왕시	54	51	15
양주시	310	54	16
오산시	43	43	12
여주군	608	37	10
양평균	878	33	9
동두천시	96	30	8
과천시	36	25	7
가평균	843	21	6
연천군	695	19	5



## 2. 발령권역 변경안

### 1) 제안

- VOCs 및 NO<sub>x</sub> 배출에 따른 오존생성 민감도를 분석한 결과와 지형 및 관측치 분포 등을 종합적으로 고려하여, 다음 8개 경보권역으로 구분하여 운영하는 방안을 생각해 볼 수 있음.
- 측정망 미설치 지역(연천, 포천, 가평, 양평, 여주)이 있지만 오존 및 미세먼지는 이동 영향이 큰 물질들로 이들 지역에서도 고농도 발생 개연성이 매우 큼. 그러므로 이들 지역에 대한 경보제도 같이 포함하는 것이 바람직함. 향후 측정망이 보완되면 관측결과를 바탕으로 다시 권역을 분석해 볼 필요가 있음.



〈그림 3.8〉 발령권역 조정안 1

○ 별령권역별 해당 시군과 인구, 면적 등은 <표 3.4>와 같음.

<표 3.4> 오존 발령권역별 현황

권역구분	해당 시군	시군수	인구(만)	면적(km <sup>2</sup> )
8개		31	1,063	10,183
경기북서부	김포, 고양, 파주	3	136	1,217
경기북중부	의정부, 양주, 동두천, 연천	4	69	1,183
경기북동부	남양주, 포천, 가평	3	64	2,129
경기중서부	수원, 부천, 광명, 안양, 과천, 시흥, 안산, 군포, 의왕	9	444	679
경기중동부	구리, 성남, 하남, 광주	4	152	700
경기남서부	평택, 오산, 화성	3	79	1,183
경기남중부	용인, 안성	2	81	1,145
경기남동부	양평, 이천, 여주	3	38	1,947

○ 권역별 특징을 살펴보면 다음과 같음. 북서권역은 김포, 고양, 파주시에 해당되며, 이 지역은 수도권 매립지 및 검단공단 등에서 배출된 오염물질이 서풍을 따라 이동하여 고양 및 파주 등지에서 고농도 오존이 동시 관측되는 경우가 많음. 북중권역은 의정부, 양주, 동두천시와 연천군이 포함되며, 주로 자체 배출에 의한 영향보다는 서울에서 배출된 오염물질이 의정부지역을 통해 이동 확산되면서 영향을 미치는 권역임. 남양주, 포천, 가평군이 포함되는 북동권역은 경기도내 청정권역으로 주로 풍상방향인 서울권역으로부터의 이동 영향을 많이 받는 권역임. 수원, 부천, 광명, 시흥, 안양, 과천, 군포, 의왕이 포함된 중서권역은 경기도내에서 가장 인구가 밀집된 대도시 지역이고 서로 인접해 있음. 이 지역은 경기도내에서 대기오염이 가장 심각한 지역임. 중동권역은 성남, 하남, 구리, 광주시가 포함된 지역으로 주로 풍상방향인 서울의 영향을 많이 받는 권역임. 남서권역은 평택, 오산, 화성시가 포함된 지역으로 발전소, 포승공단 등의 영향이 큰 지역이며 경기도내에서 개발압력이 가장 큰 지

역으로 향후 대기질이 악화될 잠재성이 매우 큰 지역임. 용인 및 안성시가 포함된 남중권역은 주로 주변지역의 영향을 많이 받는 권역임. 용인시의 수지지역은 대기환경 특성상 성남과 같은 권역으로 보는 것이 타당하지만 행정구역에 따라 남중권역에 포함됨. 양평, 이천, 여주가 포함된 남동권역은 북동권역과 유사하게 경기도내 청정권역의 하나임. 주로 풍상방향의 영향을 많이 받는 지역임.

〈표 3.5〉 발령권역별 특징 요약

권역구분	해당 시군	특징 및 발생원
경기북서권역	김포, 고양, 파주	수도권 매립지 및 검단공단 등에서 배출된 오염물질이 서풍을 따라 이동. 고양 및 파주 등지에서 고농도 오존이 동시 관측되는 경우가 많음.
경기북중권역	의정부, 양주, 동두천, 연천	서울 북부지역에 위치. 자체 배출보다는 의정부 지역을 통로로 하여 서울의 영향을 직간접적으로 받는 지역임.
경기북동권역	남양주, 포천, 가평	동부 청정권역으로 중장거리 이동에 의한 영향을 많이 받는 지역임.
경기중서권역	수원, 부천, 광명, 시흥, 안양, 과천, 군포, 의왕	도시지역의 밀집된 지역이며, 지형적으로도 거의 하나의 구역이라 볼 수 있는 지역임. 경기도내 배출원이 밀집되어 대기오염이 가장 심각한 지역임.
경기중동권역	구리, 성남, 하남, 광주	서울에 인접하여 영향을 많이 받는 지역임.
경기남서권역	평택, 오산, 화성	평택발전소, 포승공단 등에서의 배출된 선구물질의 서풍계열의 바람에 의해 영향을 받는지역.
경기남중권역	용인, 안성	용인시는 인구가 밀집된 수지읍 지역은 성남과 같은 권역으로 봐야함. 나머지 대부분 지역은 지역특성 및 영향권역으로 보아 안성시와 같은 권역으로 보는 것이 타당함.
경기남동권역	양평, 이천, 여주	고농도 오존 발생시 주로 풍상지역의 배출에 의해 영향을 많이 받는 지역임.

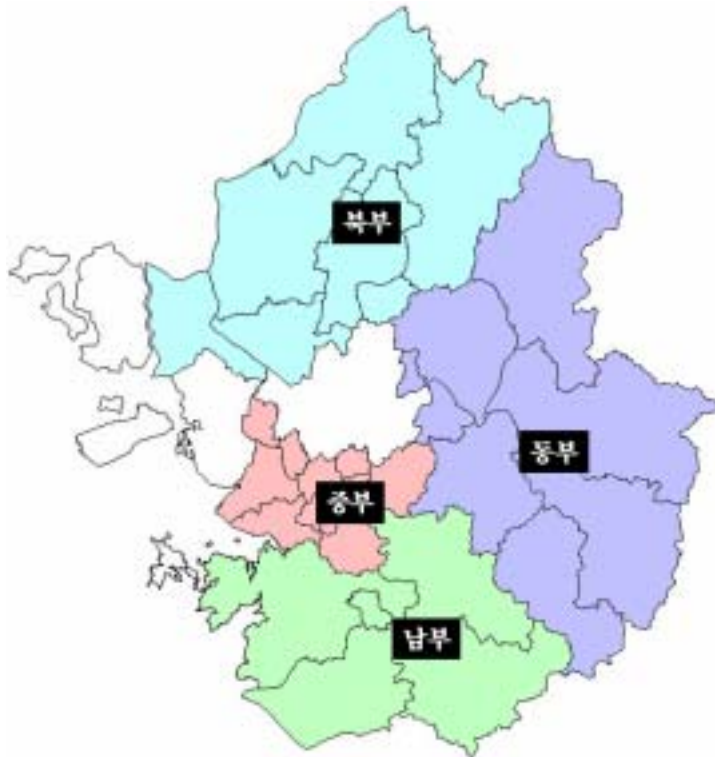
- 〈표 3.6〉은 권역조정 이후의 경보제 발령의 변화를 분석한 것임. 약 절반정도 발령 횟수가 줄어드는 것으로 분석되었음.

〈표 3.6〉 현행과 변경안1 적용시 권역별 오존경보제 발령회수 변화

권역구분	해당 시군	2002년		2003년		2004년	
		현안	변경안1	현안	변경안1	현안	변경안1
경기북서부	김포, 고양, 파주	7	6	0	0	9	6
경기북중부	의정부, 양주, 동두천, 연천	2	2	0	0	2	2
경기북동부	남양주, 포천, 가평	1	1	2	2	3	3
경기중서부	수원, 부천, 광명, 안양, 과천, 시흥, 안산 군포, 의왕	22	5	17	8	44	11
경기중동부	구리, 성남, 하남, 광주	5	2	3	2	19	11
경기남서부	평택, 오산, 화성	1	1	1	1	4	4
경기남중부	용인, 안성	0	0	0	0	2	2
경기남동부	양평, 이천, 여주	0	0	0	0	0	0
계		38	17	23	13	83	39

## 2) 제2안

- 경기도 전체를 4개 권역으로 나누어 오존 경보제를 운영하는 것을 생각해 볼 수 있음. 제1안보다 권역 규모를 보다 크게 설정한 것으로, 발령 지역에 대한 표현이나 인식이 간명하여 운영 효율성과 편의성이 커질 것으로 기대됨.
- 고농도 오존의 지역적 분포를 결정하는 공간적 규모는 통상적으로 중관기상 규모(synoptic scale)와 상관이 매우 큼. 제1안에 비해 개별 권역의 넓이는 커지지만, VOCs 및 NO<sub>x</sub> 배출에 따른 오존 생성 민감도 분석 결과나 지형 및 관측치 분포 등을 종합적으로 고려하여도 4개 권역구분은 충분히 타당성을 가지고 있음.
- 제2안 역시 측정망 미설치 지역을 포함하여 경기도 전역을 대상으로 하고 있음. 오존 및 미세먼지는 이동 영향이 특히 큰 물질들임. 향후 측정망이 보완되는 대로 관측 결과를 바탕으로 권역별 타당성을 추가로 분석해 볼 필요가 있음.



〈그림 3.9〉 발령권역 조정안 2

〈표 3.7〉 오존 발령권역별 현황

권역구분	해당 시군	시군수	인구(만)	면적(km <sup>2</sup> )
4개		31	1,063	10,183
경기북부	김포, 고양, 파주, 양주, 의정부, 동두천, 포천, 연천	8	221	3,226
경기동부	남양주, 양평, 가평, 여주, 이천, 광주 구리, 하남	8	129	3,808
경기중부	수원, 안양, 부천, 광명, 안산, 시흥, 의왕, 군포, 과천, 성남	10	543	821
경기남부	화성, 평택, 오산, 용인, 안성	5	160	2,328

○ 〈표 3.8〉은 제2안을 적용하였을 때 경보제 발령 횟수의 변화를 분석한 것임. 제2안 역시 약 절반정도 발령 횟수가 줄어드는 것으로 분석됨.

〈표 3.8〉 현행과 변경안2 적용시 권역별 오존경보제 발령회수 변화

권역구분	해당 시군	2002년		2003년		2004년	
		현안	변경안2	현안	변경안2	현안	변경안2
경기북부	김포, 고양, 파주, 양주, 의정부, 동두천, 포천, 연천	9	6	0	0	11	6
경기동부	남양주, 양평, 가평, 여주, 이천, 광주, 하남, 구리	1	2	2	2	3	7
경기중부	수원, 안양, 부천, 광명, 안산, 시흥, 의왕, 군포, 과천, 성남	27	5	20	8	63	12
경기남부	화성, 평택, 오산, 용인, 안성	1	1	1	1	6	5
계		38	14	23	11	83	30

## 제2절 오존경보제 운영 검토

### 1. 측정소 미설치 지역의 오존경보제 운영 유보

- 현재 경기도의 외곽 시·군 지역에 대기질 자동 측정망을 연차적으로 보완해 나가고 있음. 오존은 반응에 의해 생성되므로 선구물질이 배출되는 지역보다 교외지역에서 특히 고농도로 발생할 가능성이 있음. 그러나 측정소 미설치 지역에 대해 오존경보제를 운영할 경우 해당 지역 주민들에게 대기질에 대한 불신을 조장할 우려가 있음.
- 측정소가 미설치된 지역에 대해서는 향후 측정소를 설치하여 1년 이상 농도를 측정하고 자료 분석 결과를 바탕으로 오존경보제를 도입할 것인지 여부를 결정하는 것도 좋은 방법이라고 판단됨.

### 2. 권역별 발령방법 검토

- 오존 경보는 현재 측정망 자료의 실측치를 바탕으로 해당 시·군에 대해 경보를 발령하고 있음. 권역별로 운영할 경우 권역내에 설치된 측정망 중에서 단 한 곳이라도 기준 이상의 오존농도를 기록하면 해당권역에 대해 경보를 발령하는 것이 타당함.
- 오존은 평균 농도보다는 최고치 농도가 인체나 환경영향에 특히 중요하고, 오존의 발생 특성상 한정된 특정 지역보다는 넓은 지역에 걸쳐 고농도가 발생하는 것이 보통임. 따라서 고농도 관측 측정소가 있으면 해당권역에 대한 발령과 함께 이웃 권역에 대한 농도도 주의해서 관찰할 필요가 있음.

### 3. 경보 전파방법 보완

- 오존경보 발령시 전파 방법 및 전파 체계에 있어서도 개선할 부분이 있는 것으로 판단됨.
- 현재는 주로 옥외 도·시·군정 홍보, 대기오염 전광판을 활용하고 있음. 또 발령 기관의 웹페이지에 현황을 실시간으로 공개하고, 등록된 사람에 대해 휴대전화 단문서비스를 통해

통보하고 있음.

- 미국의 경우 경보가 발령되면 TV, 라디오, 신문 등 지역매체를 통해 홍보하고, 관내 기업이나 사업장에는 주로 팩스를 사용하여 알리고 있음. 개인에 대해서는 이메일을 사용하여 알리는 비중이 큼<sup>4)</sup>.
- 전파 효과가 특히 큰 공중파 방송, 지역 cable TV, 라디오, 신문 등을 통한 통보는 잘 안되고 있는 실정임. 그 이유는 내일 혹은 모레의 실질적인 예보가 이루어지지 못하고 예보의 정확성이 문제가 있기 때문일 것임. 단지 지나간 경보 사실만 보도되는 실정임.
- 또 학교, 병원, 터미널, 아파트 등 다중이용시설에 대해 통보하고, 각 기관은 다시 자체 방송 등을 활용해 시민에게 통보하는 방법도 상당히 미진한 편임. 통보 기관 파악, 경보시 전파 방법 표준화 등 관련 사항을 정비할 필요가 있는 것으로 보임.
- 최근에는 직장, 학교 등에서 일과시간 동안 항상 인터넷에 연결되어 있는 경우가 많고, 전자우편 등이 광범위하게 사용되고 있음. 따라서 휴대전화 단문서비스처럼 원하는 사람의 등록을 받아 상시적인 전자우편 mailing list service를 활용하는 것도 한 방법임.
- 또 야후, 다음, 네이버 등 인터넷 포털 서비스는 정보 전달 영향력이 기존 거대 언론에 필적하는 수준임. 방송이나 신문 등과 같이 활용 방안을 모색할 필요가 있음.

#### 4. 예측 및 운영 프로토콜 작성 활용

- 예측 및 운영에 관한 내용과 절차, 책임자 등 프로토콜을 작성하여 활용할 필요가 있음. 이를 통해 관측 자료 획득부터 예측결과의 도출, 경보전파 등 일련의 과정에서 신속성과 일관성을 확보할 수 있음.
- 예측 및 운영 프로토콜에 필수적으로 포함되어야 할 사항들은 다음과 같음.
  - 종관기상 및 권역별 기상상태의 기술
  - 매일 매일의 업무계획과 담당자 개인별 책임사항 기술
  - 업무 흐름도 및 단계별 지침
  - 문서화, 정보화에 필요한 정형화된 form, worksheets 개발
  - 예측결과 송수신의 정확한 담당자 목록

4) <http://daq.state.nc.us/airaware>

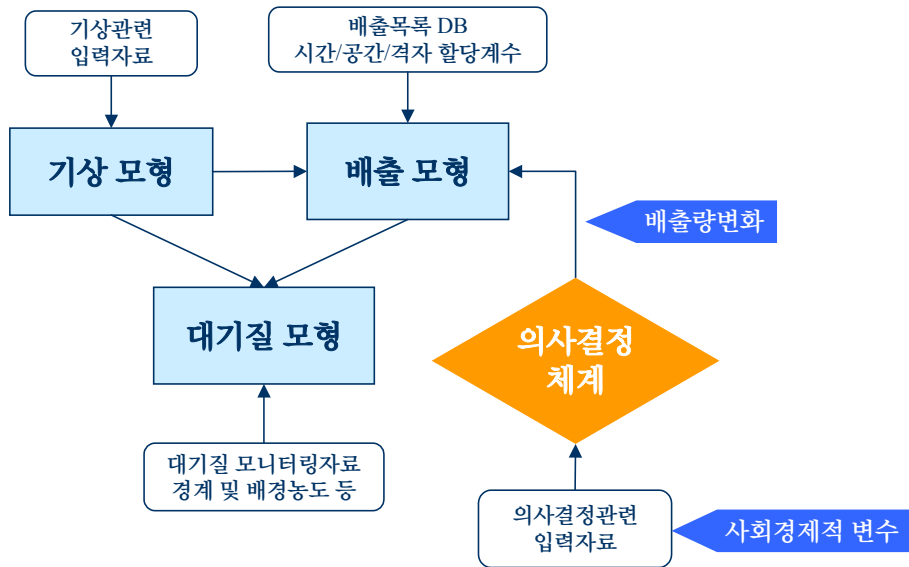


- 문제발생 유형에 따른 해결방법 목록
- 관련자료 및 결과의 backup 및 archiving

### 제3절 대기질 예보체계 보완 방안

#### 1. 예측기법 보완

- 대기질 예측 모형에는 앞장에서 살펴 본 회귀모형이나 CART 모형같은 간단한 방법부터 방대한 수치모형까지 다양한 방법이 있지만, 대기질 인과관계의 설명이나 대도시 규모의 복잡한 대기질을 모사하기 위해서는 대기질 예측 모델링 체계를 도입할 필요가 있음.
- <그림 3.10>은 통상적인 대기질 모형체계의 구성임.



<그림 3.10> 대기질 모델링 시스템의 구성

- 실질적인 대기질 예보를 위해서는 최근의 대기질 예측관련 과학기술적 성과를 최대한 활용한 예측기법 개발이 필요함. 예보를 위해서는 예단모형(prognostic model)의 도입이 필수적임.
- 도입 가능한 기상모형
  - Penn State/NCAR Meso-scale Model version 5, MM5<sup>5)</sup>

5) Grell G.A., Dudhia J., and Stauffer D.R., A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). Prepared by National Center for Atmospheric

- The Regional Atmospheric Modeling System, RAMS<sup>6)</sup>
- WRF(Weather Research & Forecasting) Model<sup>7)</sup>
- 응용 혹은 도입 가능한 배출 모형. 배출모형은 우리나라 배출목록의 구성내용이 외국의 그것과 판이하므로 직접 도입하여 사용하는 것이 어려움.
  - Emissions Modeling System, EMS 2002<sup>8)</sup>
  - Sparse Matrix Operator Kernel Emission Modeling System, SMOKE<sup>9)</sup>
- 사용가능한 대기질 모형
  - Comprehensive Air Quality Model with Extensions, CAMx<sup>10)</sup>
  - Community Multi-scale Air Quality Model, CMAQ<sup>11)</sup>
  - Urban Airshed Model with Aerosol, UAM-AERO<sup>12)</sup>, UAM-IV<sup>13)</sup>, UAM-V<sup>14)</sup>

## 2. 기상모형 체계의 구축

- 신뢰성 높은 기상 분석은 대기질 모델링을 위해 필수적임. 수도권 지역은 건물과 도로가 밀집한 시가지 구역과 배출시설이 없는 산지 등이 혼재하고 있으므로 이들 경계지역은 하루를 주기로 산곡풍이 형성되어 오염물질의 확산형태에 영향을 줌. 또 수도권은 서해 바다를 끼

---

Research, Boulder, CO, NCAR Technical Note-398, 1994

6) Pleike R.A., Cotton W.R., Walko R.L., Tremback C.J., Lyons W.A., Grasso L., Nicholls M.E., Moran M.D., Wesley D.A., Lee T.J., and Copeland J.H. (1992) A comprehensive meteorological modeling system - RAMS, *Meteor. Atmos. Phys.* 49, pp. 69-91., 1992

7) <http://www.wrf-model.org/>

Skamarock, W.C. et al, A description to the advanced research WRF version 2, National Center for Atmospheric Research, 2005, 6  
Wicker, L. J., and W. C. Skamarock, 2002: Time splitting methods for elastic models using forward time schemes, *Mon. Wea. Rev.*, 130, 2088-2097

8) Bruckman L, Overview of the Enhanced Geocoded Emissions Modeling and Projection (Enhanced GEMAP) System, *In proceeding of the Air & Waste Management Association's Regional Photochemical Measurements and Modeling Studies Conference*, p 562, San Diego, CA, 1993

9) Coats C. J., High performance algorithms in the sparse matrix operator kernel emissions modeling system, *Proceedings of the Ninth Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology of the American Meteorological Society and the Air and Waste Management Association*, Atlanta, GA., 1996

10) <http://www.camx.com/>

Environ (1998) User's Guide - Comprehensive Air Quality Model with Extensions (CAMx), Version 2.0, By Environ International Corporation, Novato, CA, 2005

11) U. S. EPA, EPA third-generation air quality modeling system, Models-3, Volume 9B: user manual, Report prepared by *the National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development*, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, EPA-600/R-98/069(a), 1998, 6

12) Lurmann F.W., Wexler A.S., Pandis S., Musarra S., Kumar N., Seinfeld J.H., and Hering S.V., Development of an acid deposition model (UAM-AERO) for the South Coast Air Basin. Final report prepared for *California Air Resources Board, Sacramento, CA by California Institute of Technology, Pasadena, CA, Sonoma Technology, Inc., Santa Rosa, CA, and Aerosol Dynamics, Inc., Berkeley, CA, ARB Contract No. 92-311, 1997*

13) Morris R.E., Myers T.C., Carr E.L., Causley M.C., and Douglas S.G., User's Guide for the Urban Airshed Model, Volume II: User's Guide for the UAM (CB-IV) Modeling System, Prepared for *the Office of Air Quality Planning and Standards*, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, EPA-450/4-90-007B, 1990

14) SAI, User's Guide to the Variable-Grid Urban Airshed Model (UAM-V). By Systems Applications International, Inc./CF Consulting, 101 Lucas Valley Road, Suite 160, San Rafael, California 94903, Systems Applications International, 1999

고 있어 해륙풍의 영향도 매우 큼. 또 중심에 한강이 관통하고 있고 대도시 지역에서 나타나는 열섬현상도 있어 이러한 미기상 현상들도 적절히 분석되어야 함.

- 수도권 기상관측점은 기상청이 운영하는 지상관측소가 7개(서울, 인천, 수원, 동두천, 강화, 이천, 양평), 상층관측소가 1개(오산) 있음. 기상현상은 보통 1,000 ~ 2,000 km 정도 넓이의 중관기상규모(synoptic scale)에서 다루는 것이 보통인데 수도권 범위의 관측자료만으로는 3차원 기상모델링이 사실상 불가능함. 또 수도권 정도 범위의 기상현상은 국지적인 영향을 매우 크게 받으므로 외국의 기상모형을 그대로 도입해서는 신뢰성을 확보하기 어려움. 그러므로 수도권 고유의 영향 요인을 반영한 연구 및 검증을 통하여 신뢰성을 높여 나갈 필요가 있음.
- 현재 기상청에서는 <표 3.9>와 같이 다양한 규모에서 다양한 기상예보 모형들이 일기예보를 위하여 사용되고 있음. 기상청의 기상모형은 상시적으로 운영되고 있으므로 이들 결과를 직접 대기질 모델링체계내의 기상모형과 연계하는 방안을 마련할 필요가 있음.
- 기상청 수치모형의 예보 결과를 바탕으로 대기질 모형에 맞게 변환하고, 지속적으로 운영하면서 정확도를 향상시켜 나간다면 대기질 모델링의 예측력을 크게 높일 수 있음.

<표 3.9> 기상청이 운영중인 기상모형

모형	수평분해능 (연직층수)	운영횟수/일	예측기간	비고
전자기 예보모델 (GDAPS)	55km(21층)	2회(00, 12 UTC) 1회(12 UTC)	+3, 5일 +10일	전구규모
	110km(21층)	1회(12 UTC)	+28일	양상불 예측
지역 예보모델 (RDAPS)	50km(33층)	2회(00, 12 UTC)	+2일	아시아 규모
	10km(33층)	2회(00, 12 UTC)	+1일	한반도 규모
	5km(33층)	2회(00, 12 UTC)	+1일	한반도 규모
국지 약기상 예측모델(ARPS)	29km	2회(00, 12 UTC)	+15시간	동아시아 규모
	9km	2회(00, 12 UTC)	+15시간	동아시아 규모

자료 : 기상청, [http://www.kma.go.kr/kmas/kma/info/info\\_work03\\_4.htm](http://www.kma.go.kr/kmas/kma/info/info_work03_4.htm)

### 3. 배출모형 및 관련 자료체계 보완

- 대기질 모델링에 필요한 배출자료는 배출목록 데이터베이스에서 출발함. 그러므로 주기적이고 정확한 배출목록 체계의 유지는 대기질 관리에서 가장 중요함.
- 배출목록체계를 효율적으로 구축하기 위해서는 관련된 자료와 함께 산출된 결과를 적절하게 유지, 관리할 수 있는 시스템이 있어야 함. 현재 환경부가 구축하고 있는 '대기환경정책 수립 지원 시스템'<sup>15)</sup>이나 기존에 '경기도 대기오염물질 배출목록체계 구축 방안'<sup>16)</sup> 등에서 제시된 것이 대안이 될 수 있음.
- 그러나 대기질 모델링에 필요한 배출자료는 공간적으로는 격자화(griding) 분석을 거쳐야 하고, 시간적으로는 매시간별 자료까지 확대하여야 하며, 대상 물질은 대기질 모형의 화학반응 메커니즘에 맞는 화학종으로 구분하여야 하므로 별도의 배출모형체계가 필요함. 이같이 모형에 필요한 배출자료를 산출하기 위해서는 관련 활동강도 자료나 배출 계수가 같은 정도의 정확성으로 뒷받침되어야 하므로 지금 여건으로서는 간단치가 않음.
- 현재 배출자료의 격자화 분석은 선행 연구를 통해 어느 정도 실용 단계에 와 있음. 배출시설 자료는 개별 좌표로 관리되므로 누락되거나 부정확한 부분은 향후 보안을 통해 향상시킬 수 있음. 또 교통이나 연료소비 등 면배출원 부분은 활동강도의 격자화를 위한 공간정보체계와 공간모델링이 어느 정도 일반화되어 있어 자료의 갱신이나 정확도 향상만 따라 준다면 실용적으로 사용될 수 있음.
- 그러나 배출량의 시간별 변화 분석이나 휘발성유기물질의 화학종 구분 분야는 아직까지도 초보적인 수준임. 국내에서는 아직까지 해당분야에 대한 직접적인 조사나 분석이 없어 검증되지 않은 외국 자료를 가져다 쓰는 수준에 있음.
- 시간별 변화분석을 위해서는 먼저 배출시설 부분에 대한 조사에서 관련된 부분을 포함하여 자료체계를 유지할 필요가 있음. 여기에는 배출과 관련된 기존의 조사체계에 활동도 관련 자료를 보강하여 시간적 해상도를 높여 나가는 데 필요한 자료가 포함되어야 함. 또 대도시에서 특히 기여도가 큰 교통부부분이나 연료소비 부분 등에서는 활동강도의 시간별 변화에 대한 조사도 같이 되어야 할 것임. 화학종 구분은 주요 배출원에 대한 실측이 있어야 하므로

15) 환경부, 대기환경정책 수립 지원 시스템, 2003

16) 김동영, 경기도 대기오염물질 배출목록체계 구축방안, 경기개발연구원, 2002

자동차 배기가스나 유기용제 같은 중요한 부분부터 실측 분석이 뒤따라야 함.

#### 4. 예보체계 구축 추진 방안

- 대기질 모형은 대기오염물질의 배출, 이류 및 확산, 반응, 제거 등 일련의 과정을 해석하여 배출원과 수용체 사이의 인과관계를 이해하는 핵심적인 도구임. 또 현재의 대기질을 평가하고 미래의 대기질을 예측하며, 각종 관련 정책 실시에 따른 영향을 평가하는 도구로도 사용됨.
- 그러나 지금까지 대기질 모형을 운영하기 위한 기술이나 비용상 제약이 커서 실질적인 예보 도구로 사용되지 못했음. 최근 들어 모형체계 운영을 위해 필수적으로 선행되어야 할 기상 모형이나 배출모형 운영이 가능해 지고 전산관련 비용이 큰 폭으로 줄어들어, 예보도구로서의 운영 기반은 어느 정도 조성되었다고 판단됨. 기술적 보완을 통해 예측기능을 강화하면 현재 기상청이 하고 있는 일기예보와 같은 개념의 대기질 예보체계로도 발전시켜 나갈 수 있음.
- 아직까지 수치모형에 의한 예측은 방법상의 정교함에도 불구하고 정확도에 문제가 되는 경우가 많음. 대기질 모형에 의한 예측과 함께 통계모형, CART 모형 등을 병행하면서 예측력을 높여 나가고, 그 결과를 수치모형에 반영해 나가면서 지역 특성에 맞도록 운영해 나갈 필요가 있음.
- 또 수치 모형은 그것을 운영하는 전문적인 인력의 자질에 따라 예보 정확도 및 운영 효율성이 좌우되는 경우가 많음. 그러므로 중장기적 관점에서 전문 인력 확보와 훈련이 매우 중요함. 또 이 같은 과정을 통해 '현상적/직관적 대기질 예보 기법' 도입 및 정확도의 향상이 가능함.
- 전체적으로 예보모형의 도입 및 운영은 단기적으로 실효성을 확보하기 어려우므로 중장기적으로 추진해 나갈 필요가 있음. 현재 경기도의 여건을 고려할 경우 각 단계별 내용과 개략적인 예산은 다음과 같이 생각해 볼 수 있음.

〈표 3.10〉 대기질 예보체계의 단계별 구축 방안

단계	주요 내용	소요기간	추정 예산
초기 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 예보시스템 및 운영체계 구상</li> <li>◆ 모형 검토 및 선정</li> <li>◆ 예보 모델링 원형(proto-type) 개발</li> <li>◆ 예보 모델링 및 대기질 관리 관련 대기정보시스템 개발</li> <li>◆ 관련 장비 1차 구비</li> </ul>	1년	H/W 1억 시스템 개발비 2억
구축 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 예보모형 선정 및 시스템 안정화</li> <li>◆ 대기정보시스템 자료체계 구축</li> <li>◆ 기상/배출모형 보완 개발</li> <li>◆ 예보전파체계 구축 (홈페이지, 메일링시스템 등)</li> <li>◆ 관련 장비 2차 구비</li> </ul>	1년	H/W 1억/S/W 1억 시스템 개발 및 DB 구축비 3억
발전 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 모형 운영 안정화 및 보완</li> <li>◆ 상시적인 모델링 및 결과물 배포 등 시범 서비스 실시</li> </ul>	1년	시스템 개발 및 운영비 3억
보완 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 시스템 운영 및 보완</li> <li>◆ 안정적 서비스 실시</li> <li>◆ 안정적 활용 단계</li> </ul>	2년	1억/년간
계	-	5년	13억

## 제4장 결론 및 정책건의

---

제1절 결론

제2절 정책건의



## 제4장 결론 및 정책 건의

### 제절 결론

- 경기도는 대기중의 오존으로부터 주민 건강과 생활 환경상의 피해를 줄이기 위해 1997년부터 오존 경보제를 실시해 오고 있음. 최근 대기질 악화로 인해 오존경보 발령 횟수가 급증하고 있는 실정임. 오존경보제를 시행함으로써 오존에 대한 경각심을 고취하고 저감대책 수립에 기여하고 있음.
- 경기도 지역은 현재 22개 시·군에 대해 각각 오존을 발령하므로 발령횟수 자체가 증가하고 있으며, 인접한 지역에 대한 잦은 동시 발령으로 인해 통보 지연 문제 등이 발생하고 있음. 이로 인해 상시 통보대상자들이나 시민에 대한 전달효과가 감소하고 있는 실정임. 또 반월, 시화공단이나 안양, 군포, 의왕 등지는 오존발생시 같은 영향권역이지만 개별적으로 경보를 발령함으로써 경보대응, 저감대책 수립 등에 문제가 있는 것으로 드러남. 또 오존경보가 풍향을 따라 권역별로 이동하는 양상을 보이는 등 지역적 발생 특성을 고려한 광역적인 대책 접근도 검토되어야 할 필요가 있음.
- 이 같은 배경에서 현행 오존 경보제의 경보 발령 방법, 권역구분 등에 대해 검토하여 보다 효율적인 예보체계가 될 수 있도록 개선해 나갈 필요가 있음. 본 연구에서는 오존 경보제 운영을 효율화하기 위해 경보발령 권역 조정 방안, 발령방법 및 운영체계 보완 방안, 예보 시스템 발전 방안 등에 대하여 검토하였음.
- 먼저 오존경보제 발령 권역은 고농도 오존발생시의 전구물질 배출에 따른 오존생성 민감도 분석결과와 오존농도의 지역별 분포 및 이동 양상, 지형 및 인구분포 등을 고려하여 2가지 시안을 제시하였음. 제1안은 앞의 관련 요인들을 종합적으로 고려하여 현재 측정망이 미설치된 지역까지 포함하여 총 8개 경보권역으로 구분하여 운영하는 방안을 제시하였음. 제2안은 경기도 전체를 4개 권역으로 나누는 방안을 제시하였음. 제2안은 제1안보다 권역 규모를 크게 나눈 것으로, 발령 지역에 대한 표현이나 인식이 간명하여 운영의 효율성을 기할 수 있을 것으로 판단됨. 또 고농도 오존의 지역적 분포를 결정하는 공간적 규모는 통상 중관 기상 규모(synoptic scale)와 매우 상관이 크므로, 제1안에 비해 개별 권역의 넓이는 훨씬 커지지만, VOCs 및 NOx 배출에 따른 오존 생성 민감도 분석 결과나 지형 및 관측치 분포

등을 종합적으로 고려하여도 4개 권역구분이 가능할 것으로 판단됨. 각 안별 시도의 구분은 다음과 같음.

〈표 4.1〉 오존 발령권역 조정 제1안

권역구분	해당 시군	시·군수	인구(만)	면적(km <sup>2</sup> )
8개		31	1,063	10,183
경기북서부	김포, 고양, 파주	3	136	1,217
경기북중부	의정부, 양주, 동두천, 연천	4	69	1,183
경기북동부	남양주, 포천, 가평	3	64	2,129
경기중서부	수원, 부천, 광명, 안양, 과천, 시흥, 안산 군포, 의왕	9	444	679
경기중동부	구리, 성남, 하남, 광주	4	152	700
경기남서부	평택, 오산, 화성	3	79	1,183
경기남중부	용인, 안성	2	81	1,145
경기남동부	양평, 이천, 여주	3	38	1,947

〈표 4.2〉 오존 발령권역 조정 제2안

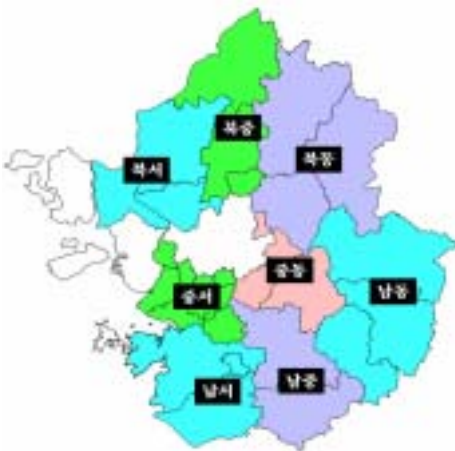
권역구분	해당 시군	시·군수	인구(만)	면적(km <sup>2</sup> )
4개		31	1,063	10,183
경기북부	김포, 고양, 파주, 양주, 의정부, 동두천, 포천, 연천	8	221	3,226
경기동부	남양주, 양평, 가평, 여주, 이천, 광주, 구리, 하남	8	129	3,808
경기중부	수원, 안양, 부천, 광명, 안산, 시흥, 의왕, 군포, 과천, 성남,	10	543	821
경기남부	화성, 평택, 오산, 용인, 안성	5	160	2,328

- 오존 경보는 현재 시·군 개별 운영에서 권역별 운영으로 바뀔 경우 해당 권역 내에 설치된 측정망 중에서 단 한 곳이라도 기준 이상의 오존농도를 기록하면 해당권역에 대해 경보를 발령하는 것이 타당함. 오존은 평균 농도보다는 최고치 농도가 인체나 환경영향에 특히 중요하고, 오존의 발생 특성상 한정된 특정 지역보다는 넓은 지역에 걸쳐 고농도가 발생하는 것이 보통임. 발령권역 조정이후 전체적인 오존경보 발령회수는 상당히 줄어들지만, 경보지역에 해당하는 주민 수는 대폭 늘어나는 것으로 분석됨.
- 오존경보의 전파체계 및 전파방법도 개선하여 효율성을 제고할 필요가 있음. 특히 옥외도·시·군정 홍보, 대기오염 전광판 활용, 학교, 병원, 터미널, 아파트 등 다중이용시설 자체 방송 활용, 공중파 방송, 지역 cable TV, 라디오 등을 통한 통보, 이동전화 SMS 단문 송신, 전자우편 mailing list service 실시, 홍보 웹페이지 보완 등이 필요한 것으로 판단됨.
- 고농도 오존의 예측과 경보제 운영에 관한 내용과 절차, 책임자 등을 규정한 프로토콜을 작성하여 활용할 필요가 있음. 이를 통해 관측 자료 획득부터 예측결과의 도출, 경보전파 등 일련의 과정에서 신속성과 일관성을 확보할 수 있음.
- 고농도 오존의 예측기법도 보완할 필요가 있음. 대기질 예측 모형에는 회귀모형이나 CART 모형 같은 간단한 방법부터 방대한 수치모형까지 다양한 방법이 있지만, 대기질 인과관계의 설명이나 대도시 규모의 복잡한 대기질을 모사하기 위해서는 대기질 예측 모델링 체계를 도입할 필요가 있음. 실질적인 예보를 위해서는 최근의 대기질 예측관련 과학기술적 성과를 최대한 활용한 예측기법 개발이 필요함. 예보를 위해서는 예단모형(prognostic model)의 도입이 필수적임. 전체적으로 예보모형의 도입 및 운영은 단기적으로 실효성을 확보하기 어려우므로, 중장기적으로 추진해 나갈 필요가 있음.

## 제2절 정책 건의

### 1. 오존경보제 발령권역 조정

- 경기도 지역은 현재 22개 시·군에 대해 각각 오존을 발령함으로써 발령횟수 자체가 증가하고 있으며, 인접한 지역에 대한 잦은 동시 발령으로 인해 통보 지연 문제 등이 발생하고 있음. 이로 인해 상시 통보대상자들이나 시민에 대한 전달효과가 감소하고 있는 실정임. 또 반월, 시화공단이나 안양-군포-의왕, 광명-부천, 구리-남양주 등지는 고농도 오존 발생시 같은 영향권역임에도 개별적으로 경보를 발령함으로써 경보에 대한 대응, 저감대책 수립 등에 문제가 있는 것으로 드러남. 또 오존경보가 풍향을 따라 권역별로 이동하는 양상을 보이는 등 지역적 발생 특성을 고려한 광역적인 대책 접근도 검토되어야 할 필요가 있음.
- 모델링을 통한 오존생성 민감도 분석, 고농도 오존발생 양상 및 이동패턴, 지형, 인구분포 등을 분석한 결과, 다음 2가지 권역별 시행 안이 도출되었음. 두 안 모두 측정망이 설치되지 않은 지역도 포함하고 있음. 1안은 지역별로 보다 세부적인 경보 운영이 가능하지만, 지역구분이 많아 발령기관이나 주민이 인지하기 어렵다는 단점이 있음. 상대적으로 2안은 운영기관이나 지역주민이 인지하기 쉬워 효율적인 제도 운영이 가능할 것으로 판단됨.



〈그림 4.1〉 발령권역 조정안 1



〈그림 4.2〉 발령권역 조정안 2

- 현재 경기도의 외곽 시·군 지역에는 대기질 자동 측정망을 연차적으로 보완해 가고 있음. 오존은 반응에 의해 생성되므로 선구물질이 배출되는 지역보다 교외지역에서 특히 고농도로 발생할 가능성이 있음. 그러나 측정소 미설치 지역에 대해 오존경보제를 운영할 경우 해당 지역 주민들에게 대기질에 대한 불신을 조장할 우려가 있음.
- 측정소가 미설치된 지역에 대해서는 향후 측정소를 설치하여 1년 이상 농도를 측정하고 자료 분석 결과를 바탕으로 오존경보제를 도입할 것인지 여부를 결정하는 것도 좋은 방법이라고 판단됨.
- 오존 경보는 현재 측정망 자료의 실측치를 바탕으로 해당 시·군에 대해 경보를 발령하고 있음. 권역별로 운영할 경우 권역내에 설치된 측정망 중에서 단 한 곳이라도 기준 이상의 오존농도를 기록하면 해당권역에 대해 경보를 발령하는 것이 타당함.

## 2. 오존경보제 전파체계 보완

- 오존경보의 전파체계 및 전파방법도 개선하여 효율성을 제고할 필요가 있음. 특히 옥외 도·시·군정 홍보, 대기오염 전광판 활용, 학교, 병원, 터미널, 아파트 등 다중이용시설 자체 방송 활용, 공중파 방송, 지역 cable TV, 라디오 등을 통한 통보, 이동전화 SMS 단문 송신, 전자우편 mailing list service 실시, 홍보 웹페이지 보완 등이 필요한 것으로 판단됨.

## 3. 대기질 측정망 보완

- 현재 경기도내 사군중 대기질 측정망이 설치되지 않아 대기질 자료가 확보되지 않는 지역이 있음. 현재 2010년까지 전 지역에 최소 1개소 이상의 측정망이 설치될 예정으로 있음. 측정망 설치 운영은 대기환경정책의 가장 기본적인 요건인 만큼 가급적 신속하게 추진해 나갈 필요가 있음.
- 오존과 미세먼지는 해당 지역의 배출영향 보다는 중·장거리 이동영향이 매우 큰 물질들임. 따라서 풍상방향이나 풍하방향 모두 원거리의 배경농도 관측이 매우 중요시 됨. 현재 추진되고 있는 측정망 설치 계획은 주로 도심지역 위주임. 배경농도 관측을 위한 측정망 설치를

재검토할 필요가 있음.

- 도심지역과 외곽지역 측정망은 측정항목에 차별을 두어 운영해 나가는 것도 한 방법임. 도심지역은 이산화황, 질소산화물, 일산화탄소, (오존, 미세먼지) 등 지역 배출영향이 크고 사람의 건강에 직접 영향을 미치는 물질들 중심으로 운영하고, 외곽지역 배경대기 측정망은 오존, 미세먼지, 산성비 등 중장거리 이동 영향이 큰 물질들을 중심으로 운영하는 것이 한 방법임. 배경 측정망은 환경부, 기상청 등 중앙정부에서도 운영하고 있으므로 기존 계획들을 보완하는 방향에서 추진하는 것이 필요함.

#### 4. 포괄적인 대기질 예보체계의 단계적 구축

- 포괄적인 대기질 예보체계 구축을 단계적으로 추진해 나갈 필요가 있음. 오존뿐만 아니라 미세먼지, 질소산화물 등을 모두 포함하는 대기질 예보체계 구축으로 발전시킬 필요가 있음.
- 대기질 예측 모형에는 회귀모형이나 CART 모형 같은 간단한 방법부터 방대한 수치모형까지 다양한 방법이 있지만, 대기질 인과관계의 설명이나 대도시 규모의 복잡한 대기질을 모사하기 위해서는 대기질 예측 모델링 체계를 도입할 필요가 있음. 실질적인 예보를 위해서는 최근의 대기질 예측관련 과학기술적 성과를 최대한 활용한 예측기법 개발이 필요함. 예보를 위해서는 예단모형(prognostic model)의 도입이 필수적임.
- 포괄적 예보모형의 도입 및 운영은 단기간에 정확성과 실효성을 확보하기가 어려우므로, 다음과 같이 중장기적 계획아래 단계별로 추진해 나갈 필요가 있음.

〈표 4.3〉 대기질 예보체계의 단계별 구축 방안

단계	주요 내용	소요기간	추정 예산
초기 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>예보시스템 및 운영체계 구상</li> <li>모형 검토 및 선정</li> <li>예보 모델링 원형(proto-type) 개발</li> <li>예보 모델링 및 대기질 관리 관련 대기정보시스템 개발</li> <li>관련 장비 1차 구비</li> </ul>	1년	H/W 1억 시스템 개발비 2억
구축 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>예보모형 선정 및 시스템 안정화</li> <li>대기정보시스템 자료체계 구축</li> <li>기상/배출모형 보완 개발</li> <li>예보전파체계 구축 (홈페이지, 메일링시스템 등)</li> <li>관련 장비 2차 구비</li> </ul>	1년	H/W 1억 S/W 1억 시스템 개발 및 DB 구축비 3억
발전 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>모형 운영 안정화 및 보완</li> <li>상시적인 모델링 및 결과물 배포 등 시범 서비스 실시</li> </ul>	1년	시스템 개발 및 운영비 3억
보완 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>시스템 운영 및 보완</li> <li>안정적 서비스 실시</li> <li>안정적 활용 단계</li> </ul>	2년	1억/연간
계	-	5년	13억

## 5. 수도권 대기질 예보체계의 통합 구축

- 현재 운영되고 있는 대기질 예보제는 오존과 미세먼지 중심임. 이 물질들은 대기중 반응특성이 중요하기 때문에 해당지역 자체의 영향과 함께 중·장거리 이동 영향이 매우 큼.
- 현재 수도권에서 서울시, 인천시, 경기도는 각기 별도의 경보제를 운영하고 있으나, 오염물질의 특성상 수도권 단위로 통합하여 운영하는 것이 효율적임. 서울시, 인천시, 경기도는 각각 어느 지자체를 배제하고서는 자체 현황 분석이나 예측이 불가능함. 따라서 예보체계의 통합 운영은 자원 낭비를 크게 줄일 수 있음. 실측 자료 관리, 예보 모형의 운영 등은 단일 단위로 통합하여 운영하고, 결과의 활용 및 대민 서비스는 개별 지자체 중심으로 운영하는

것이 필요함.

- 최근 수도권 대기환경개선 특별대책 추진과 함께 수도권 단위에서 경보제의 통합운영 필요성은 더욱 커지고 있음.



# 참고문헌



## 참 고 문 헌

- 김동영, 경기도 대기오염물질 배출목록체계 구축방안, 경기개발연구원, 2002
- 김동영, 수도권 대기질의 지역간 영향 분석, 경기개발연구원, 2004
- 김동영, 최상민, 수도권 대기질 모델링체계 구축 방안, 경기개발연구원, 2003
- 나경호, 경기도지역의 하절기 오존거동, 경기도보건환경연구원, 2004.12
- 환경부, 대기환경정책 수립 지원 시스템, 2003
- Bruckman L., Overview of the Enhanced Geocoded Emissions Modeling and Projection (Enhanced GEMAP) System. In proceeding of the Air & Waste Management Association's Regional Photochemical Measurements and Modeling Studies Conference, p 562, San Diego, CA., 1993
- Coats C. J., High performance algorithms in the sparse matrix operator kernel emissions modeling system. Proceedings of the Ninth Joint Conference on Applications of Air Pollution Meteorology of the American Meteorological Society and the Air and Waste Management Association, Atlanta, GA., 1996
- Comrie A. C. (1997) Comparing neural networks and regression models for ozone forecasting, J. Air & Waste Management Association, 47, pp. 653-663
- Dye T. S., MacDonald C. P./ and Miller D. S. (2002) Summary of PM<sub>2.5</sub> forecasting tool development for Pittsburgh, Pennsylvania. Technical memorandum prepared for the Pennsylvania Department of Environmental Protection and Allegheny County Health Department, Petaluma, CA.
- Environ (1998) User's Guide – Comprehensive Air Quality Model with Extensions (CAMx). Version 2.0. By Environ International Corporation, Novato, CA, 2005
- Grell G.A., Dudhia J., and Stauffer D.R., A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). Prepared by National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, NCAR Technical Note-398, 1994
- Lurmann F.W., Wexler A.S., Pandis S., Musarra S., Kumar N., Seinfeld J.H., and Hering S.V., Development of an acid deposition model (UAM-AERO) for the South Coast Air Basin. Final report prepared for California Air Resources Board, Sacramento, CA by California Institute of Technology, Pasadena, CA, Sonoma Technology, Inc., Santa Rosa, CA, and Aerosol Dynamics, Inc., Berkeley, CA, ARB Contract No. 92-311, 1997
- Morris R.E., Myers T.C., Carr E.L., Causley M.C., and Douglas S.G., User's Guide for the Urban Airshed Model. Volume II: User's Guide for the UAM (CB-IV) Modeling System. Prepared for the Office of Air Quality Planning and Standards, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, EPA-450/4-90-007B, 1990
- Pielke R.A., Cotton W.R., Walko R.L., Tremback C.J., Lyons W.A., Grasso L., Nicholls M.E., Moran M.D., Wesley D.A., Lee T.J., and Copeland J.H. (1992) A comprehensive meteorological modeling system – RAMS. Meteor.

- Atmos. Phys. 49, pp. 69–91., 1992
- SAI, User's Guide to the Variable-Grid Urban Airshed Model (UAM-V). By Systems Applications International, Inc./ICF Consulting, 101 Lucas Valley Road, Suite 160, San Rafael, California 94903, Systems Applications International, 1999
- Skamarock, W.C. et al, A description fo the advanced research WRF version 2, National Center for Atmospheric Research, 2005, 6
- U. S. EPA, EPA third-generation air quality modeling system, Models-3, Volume 9B: user manual. Report prepared by the National Exposure Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, EPA-600/R-98/069(a), 1998, 6
- U. S. EPA, Guidelines for Developing an Air Quality(Ozone and PM<sub>2.5</sub>) Forecasting Program, OAQPS, Information Transfer and Program Integration Devision, AIRNow Program, June 2003
- Wicker, L. J., and W. C. Skamarock, 2002: Time splitting methods for elastic models using forward time schemes, Mon. Wea. Rev., 130, 2088–2097

# 부 록



## 부록 1, 오존경보 발령 현황

### 1. 2002년

발령일자	지역	발령지역 (측정소)	발령농도 (ppm)	해제농도 (ppm)	발령 및 해제시간	최고농도 (ppm)
6월 5일	의정부	의정부동	0.124	0.099	13 - 18	0.165
"	평택	신평동	0.127	0.091	14 - 20	0.143
"	김포	통진면	0.126	0.075	14 - 16	0.126
"	수원	권선동	0.122	0.092	15 - 19	0.146
"	성남	단대동	0.12	0.092	15 - 18	0.132
"	구리	수택동	0.142	0.102	15 - 19	0.152
"	안양	부림동	0.136	0.096	16 - 18	0.139
"	안산	고잔동	0.121	0.097	16 - 17	0.121
"	고양	행신동	0.129	0.119	16 - 19	0.137
"	과천	별양동	0.128	0.076	16 - 18	0.128
"	의왕	부곡3동	0.14	0.091	16 - 18	0.14
"	군포	당동	0.121	0.084	16 - 18	0.127
6월 6일	의정부	의정부동	0.122	0.113	12 - 18	0.168
"	구리	수택동	0.129	0.084	12 - 20	0.203
"	성남	단대동	0.121	0.113	13 - 19	0.166
"	안양	부림동	0.122	0.106	13 - 18	0.143
"	광명	철산동	0.128	0.101	13 - 16	0.146
"	고양	행신동	0.136	0.118	13 - 18	0.199
"	의왕	부곡동	0.131	0.106	13 - 17	0.132
"	부천	심곡동	0.129	0.101	13 - 15	0.129
"	수원	신평동	0.122	0.102	14 - 18	0.14

6월 6일	하남	신장동	0.124	0.11	14 - 18	0.159
"	과천	별양동	0.136	0.096	15 - 18	0.139
"	남양주	금곡동	0.126	0.109	15 - 16	0.126
6월 7일	고양	행신동	0.123	0.117	14 - 16	0.128
6월 29일	의왕	오전동	0.12	0.095	13 - 14	0.12
"	김포	사우동	0.143	0.113	13 - 18	0.143
"	부천	내동	0.13	0.085	15 - 18	0.13
"	안산	고잔동	0.142	0.079	16 - 20	0.142
"	시흥	시화공단	0.123	0.108	16 - 17	0.123
"	의왕	부곡3동	0.127	0.084	17 - 19	0.139
"	안양	안양동	0.148	0.077	18 - 20	0.148
"	군포	당동	0.142	0.116	18 - 19	0.142
6월 30일	김포	사우동	0.126	0.092	14 - 16	0.133
7월 25일	부천	내동	0.121	0.076	15 - 18	0.177
"	김포	고촌면	0.149	0.095	16 - 18	0.149
"	광명	광명3동	0.125	0.071	17 - 19	0.128
9월 11일	군포	당동	0.124	0.119	15 - 16	0.124

## 2. 2003년

발령일자	지역	발령지역 (측정소)	발령농도 (ppm)	해제농도 (ppm)	발령 및 해제시간	최고농도 (ppm)
5월 4일	시흥시	정왕동	0.122	0.081	17 - 18	0.122
5월 5일	시흥시	정왕동	0.129	0.107	17 - 18	0.129
"	안산시	고잔동	0.123	0.097	18 - 19	0.123
5월 13일	수원시	우만동	0.122	0.051	14 - 20	0.126
"	안양시	호계동	0.13	0.083	14 - 19	0.171
"	과천시	별양동	0.123	0.113	14 - 19	0.183
"	구리시	수택동	0.122	0.092	14 - 19	0.147
"	군포시	산본동	0.124	0.104	14 - 19	0.165
"	안산시	고잔동	0.124	0.093	15 - 19	0.155
"	성남시	수내동	0.12	0.093	15 - 19	0.139
"	남양주시	금곡동	0.133	0.112	16 - 19	0.133
"	시흥시	정왕동	0.159	0.117	16 - 17	0.159
"	의왕시	부곡3동	0.131	0.096	16 - 19	0.141
"	오산시	오산동	0.12	0.108	18 - 20	0.123
6월 5일	수원시	천천동	0.126	0.111	14 - 15	0.126
7월 15일	과천시	별양동	0.129	0.113	19 - 20	0.129
"	시흥시	정왕동	0.123	0.046	20 - 21	0.123
7월 3일	안양시	부림동	0.138	0.11	17 - 18	0.138
"	과천시	별양동	0.128	0.1	17 - 18	0.128
7월 31일	성남시	수내동	0.12	0.115	14 - 15	0.12
"	안양시	부림동	0.123	0.104	14 - 16	0.127
"	남양주	금곡동	0.128	0.091	14 - 16	0.128
8월 9일	안양시	호계동	0.12	0.058	15 - 16	0.12

## 3. 2004년

발령 일자	지역	측정소	발령농도 (ppm)	해제농도 (ppm)	발령 및 해제시간	최고 농도
6월 1일	안양	안양동	0.130	0.100	15 - 16	0.130
"	과천	별양동	0.120	0.090	16 - 17	0.120
"	성남	수내동	0.121	0.102	17 - 18	0.121
6월 2일	구리	동구동	0.122	0.109	14 - 15	0.122
"	안산	본오동	0.125	0.098	15 - 17	0.131
"	시흥	정왕동	0.125	0.110	15 - 16	0.125
"	수원	권선동	0.126	0.078	16 - 17	0.126
"	성남	수내동	0.125	0.100	16 - 17	0.125
"	안양	안양동	0.127	0.097	16 - 17	0.127
"	평택	신평동	0.138	0.112	16 - 17	0.138
"	군포	산본동	0.120	0.106	16 - 17	0.120
6월 3일	평택	신평동	0.129	0.117	13 - 18	0.148
"	수원	우만동	0.127	0.058	14 - 19	0.167
"	안산	원시동	0.136	0.101	14 - 16	0.195
"	의왕	오전동	0.129	0.075	14 - 18	0.166
"	김포	고촌면	0.132	0.107	14 - 16	0.132
"	성남	단대동	0.146	0.113	15 - 18	0.146
"	안양	안양동	0.125	0.082	15 - 18	0.157
"	구리	수택동	0.131	0.104	15 - 18	0.154
"	시흥	대야동	0.131	0.089	15 - 16	0.131
"	하남	신장동	0.120	0.111	15 - 16	0.120
"	군포	당동	0.160	0.092	16 - 18	0.160
"	남양주	금곡동	0.125	0.113	17 - 18	0.125
"	용인	김량장	0.130	0.094	18 - 19	0.130
6월 4일	김포	통진면	0.148	0.065	12 - 16	0.173
"	수원	권선동	0.130	0.077	13 - 17	0.168

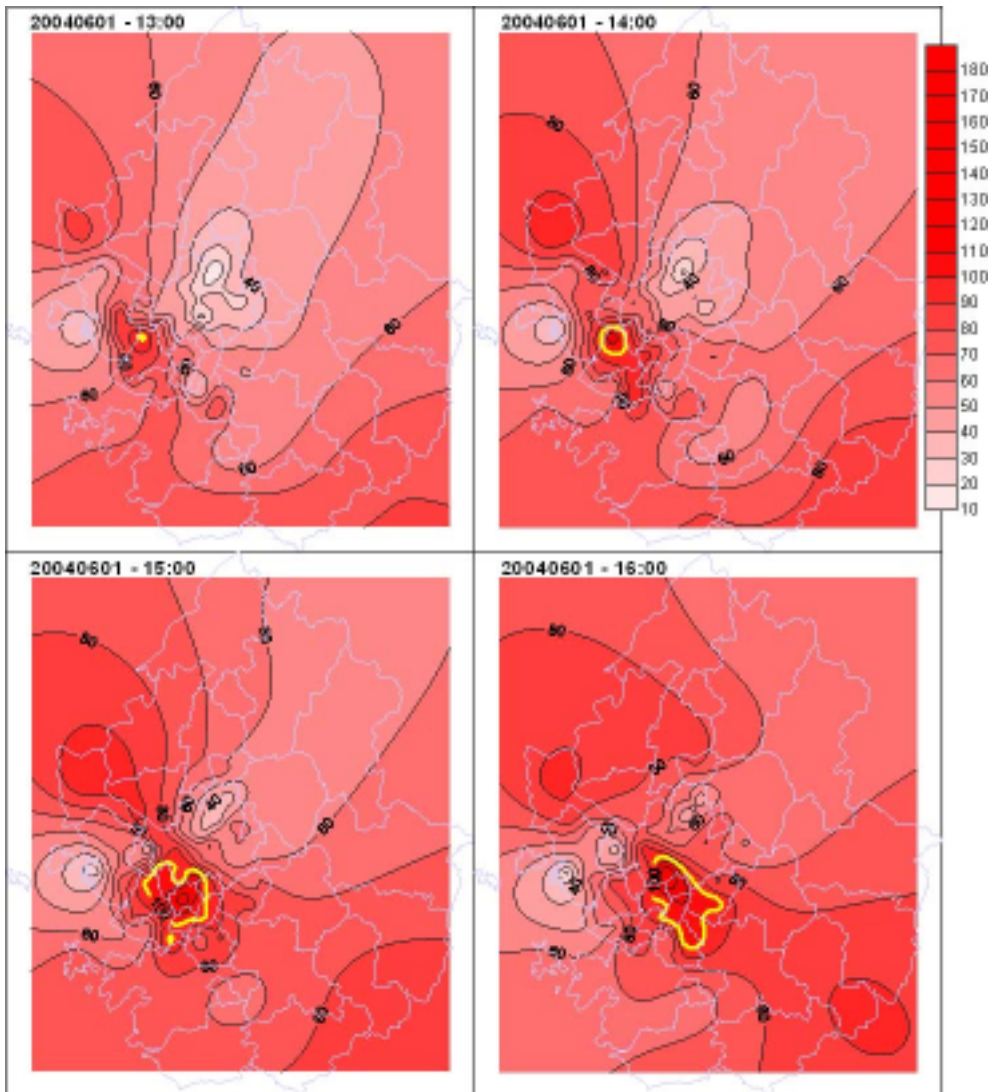


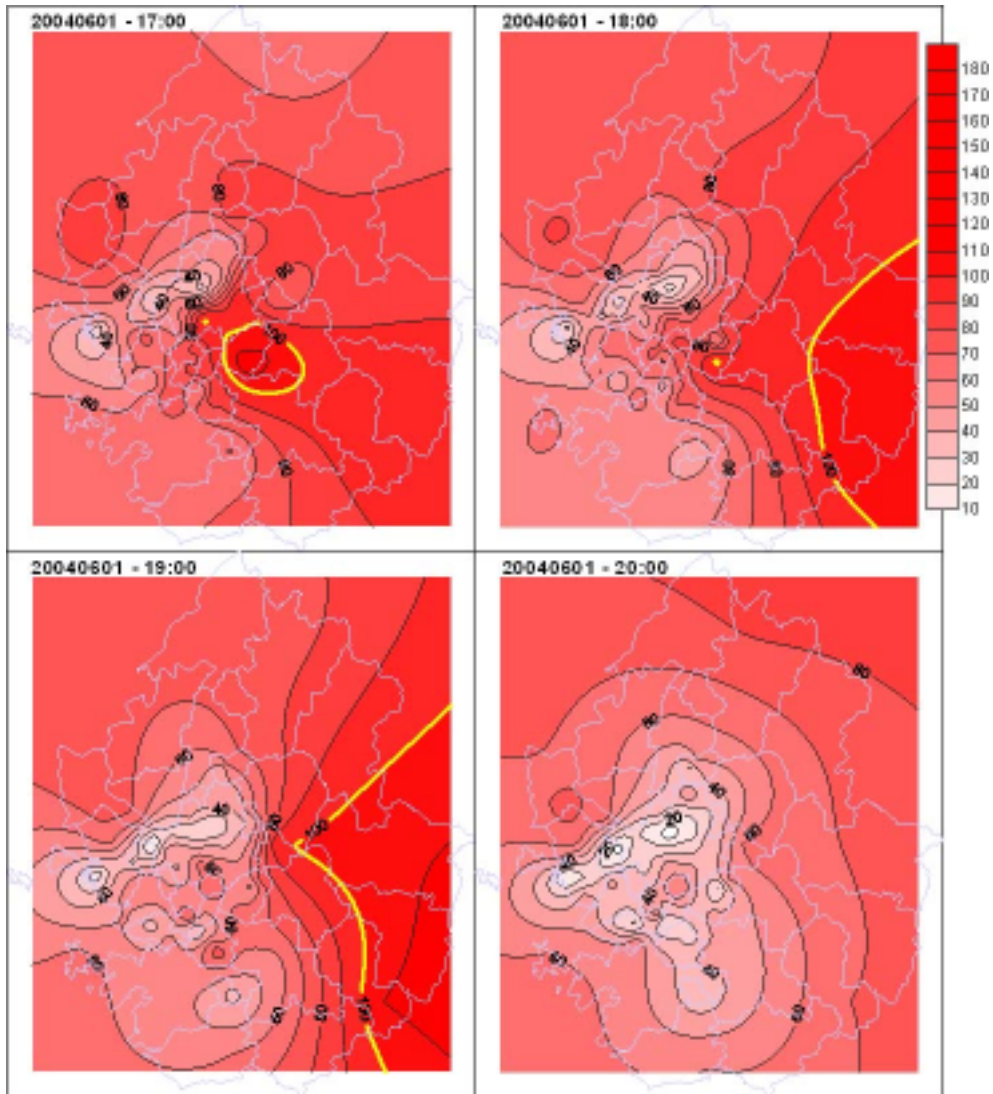
6월 4일	안산	부곡동	0.122	0.104	13 - 16	0.142
"	시흥	대야동	0.122	0.117	13 - 15	0.122
"	안양	안양동	0.143	0.107	14 - 16	0.147
"	구리	동구동	0.126	0.093	14 - 16	0.130
"	의왕	오전동	0.128	0.099	14 - 16	0.151
"	군포	산본동	0.131	0.080	14 - 17	0.142
"	용인	김량장	0.121	0.056	15 - 18	0.121
"	하남	신장동	0.135	0.115	15 - 16	0.135
"	성남	단대동	0.137	0.095	16 - 17	0.135
"	과천	별양동	0.127	0.088	16 - 17	0.127
"	시흥	대야동	0.142	0.086	16 - 17	0.142
6월 10일	안양	부림동	0.121	0.112	15 - 16	0.121
"	평택	신평동	0.120	0.109	16 - 17	0.120
"	고양	행신동	0.127	0.113	16 - 17	0.127
"	구리	동구동	0.126	0.105	16 - 19	0.131
"	하남	신장동	0.125	0.092	17 - 18	0.125
"	김포	사우동	0.121	0.114	17 - 19	0.131
"	남양주	금곡동	0.121	0.115	17 - 18	0.121
6월 11일	김포	사우동	0.123	0.114	13 - 16	0.123
"	성남	수내동	0.126	0.093	14 - 18	0.155
"	부천	내동	0.124	0.119	14 - 16	0.132
"	고양	일산동	0.126	0.103	14 - 15	0.126
"	구리	동구동	0.140	0.103	14 - 20	0.162
"	남양주	금곡동	0.121	0.075	14 - 20	0.151
"	시흥	대야동	0.121	0.111	14 - 15	0.121
"	안양	부림동	0.149	0.089	15 - 17	0.149
"	과천	별양동	0.133	0.112	15 - 17	0.133
"	군포	산본동	0.123	0.113	15 - 16	0.123
"	의정부	의정부	0.125	0.102	16 - 18	0.125
"	하남	신장동	0.129	0.118	16 - 19	0.133

6월 11일	안산	대부동	0.130	0.083	17 - 18	0.130
"	시흥	정왕동	0.131	0.092	18 - 19	0.131
"	부천	내동	0.129	0.097	19 - 20	0.132
"	평택	신평동	0.132	0.091	20 - 21	0.132
6월 15일	성남	수내동	0.121	0.090	18 - 19	0.121
6월 16일	김포	통진면	0.126	0.109	15 - 16	0.126
7월 22일	과천	과천동	0.134	0.091	15 - 16	0.134
"	성남	성남동	0.154	0.079	16 - 17	0.154
7월 23일	구리	수택동	0.126	0.097	14 - 15	0.126
7월 29일	군포	산본동	0.135	0.116	15 - 17	0.135
"	과천	별양동	0.123	0.095	16 - 18	0.123
"	의왕	오전동	0.121	0.102	16 - 17	0.121
"	성남	수내동	0.121	0.083	17 - 19	0.121
8월 10일	안산	본오동	0.143	0.113	15 - 18	0.143
"	시흥	정왕동	0.136	0.112	15 - 17	0.136
"	안양	호계동	0.130	0.084	16 - 18	0.130
"	군포	산본동	0.138	0.099	16 - 18	0.138
"	의왕	부곡3동	0.129	0.108	16 - 18	0.129
"	수원	천천동	0.135	0.087	17 - 19	0.135
"	과천	별양동	0.133	0.115	17 - 18	0.133
8월 11일	안산	본오동	0.123	0.111	16 - 19	0.123
"	시흥	정왕동	0.122	0.115	18 - 19	0.122
8월 12일	고양	일산동	0.133	0.085	14 - 18	0.137
"	김포	통진면	0.125	0.119	14 - 16	0.131
"	의정부	의정동	0.126	0.118	16 - 18	0.126
"	구리	수택동	0.131	0.106	16 - 19	0.131
"	시흥	정왕동	0.13	0.118	18 - 19	0.130

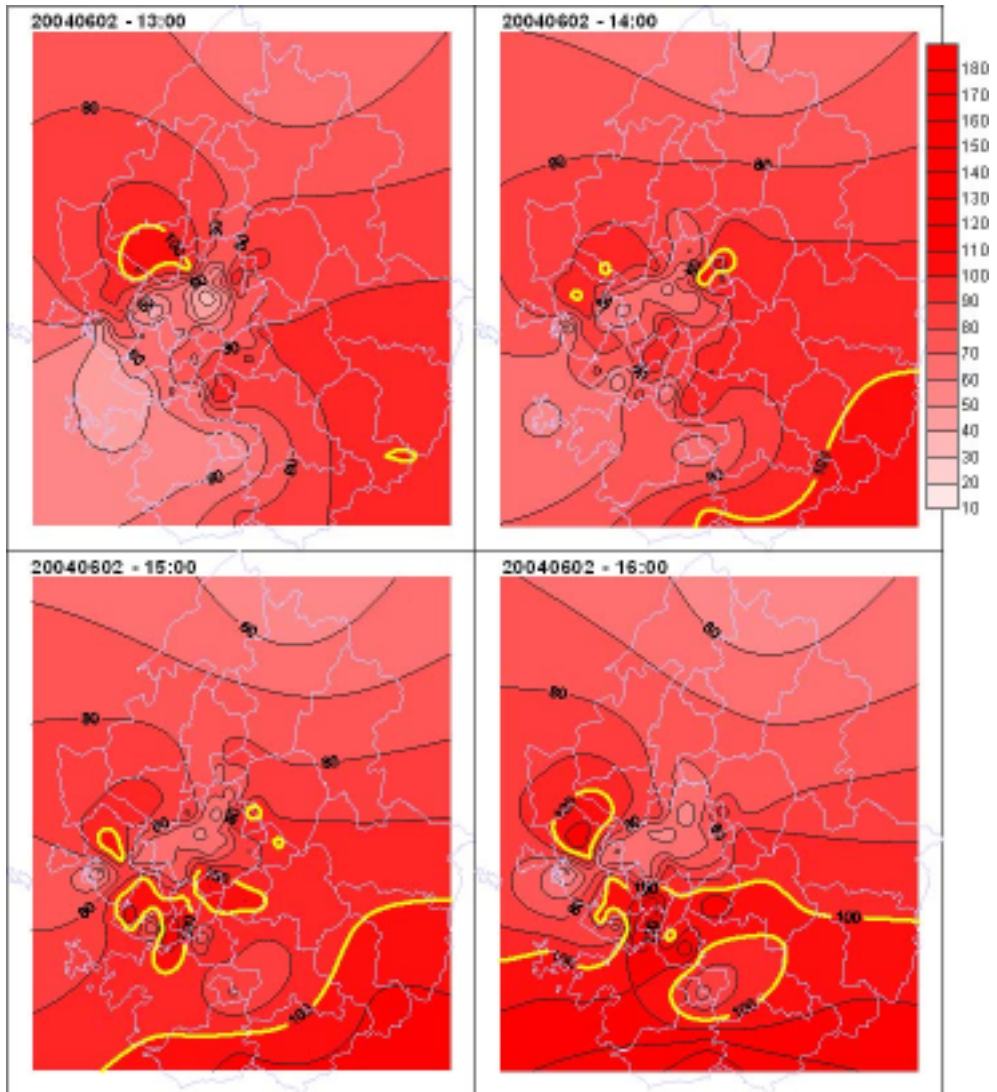
## 부록 2. 고농도 오존 발생시 농도분포 및 이동 사례 분석

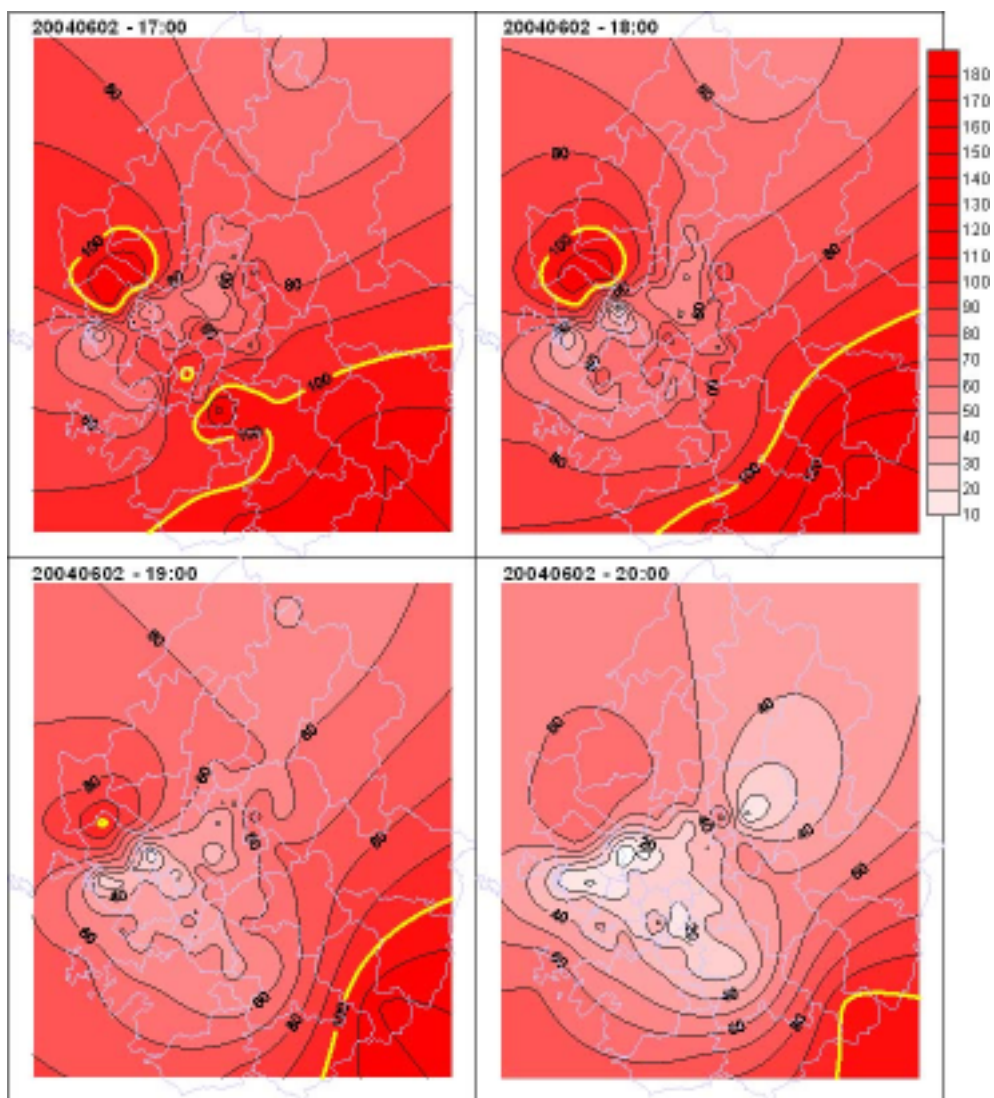
### 1. 2004년 6월 1일





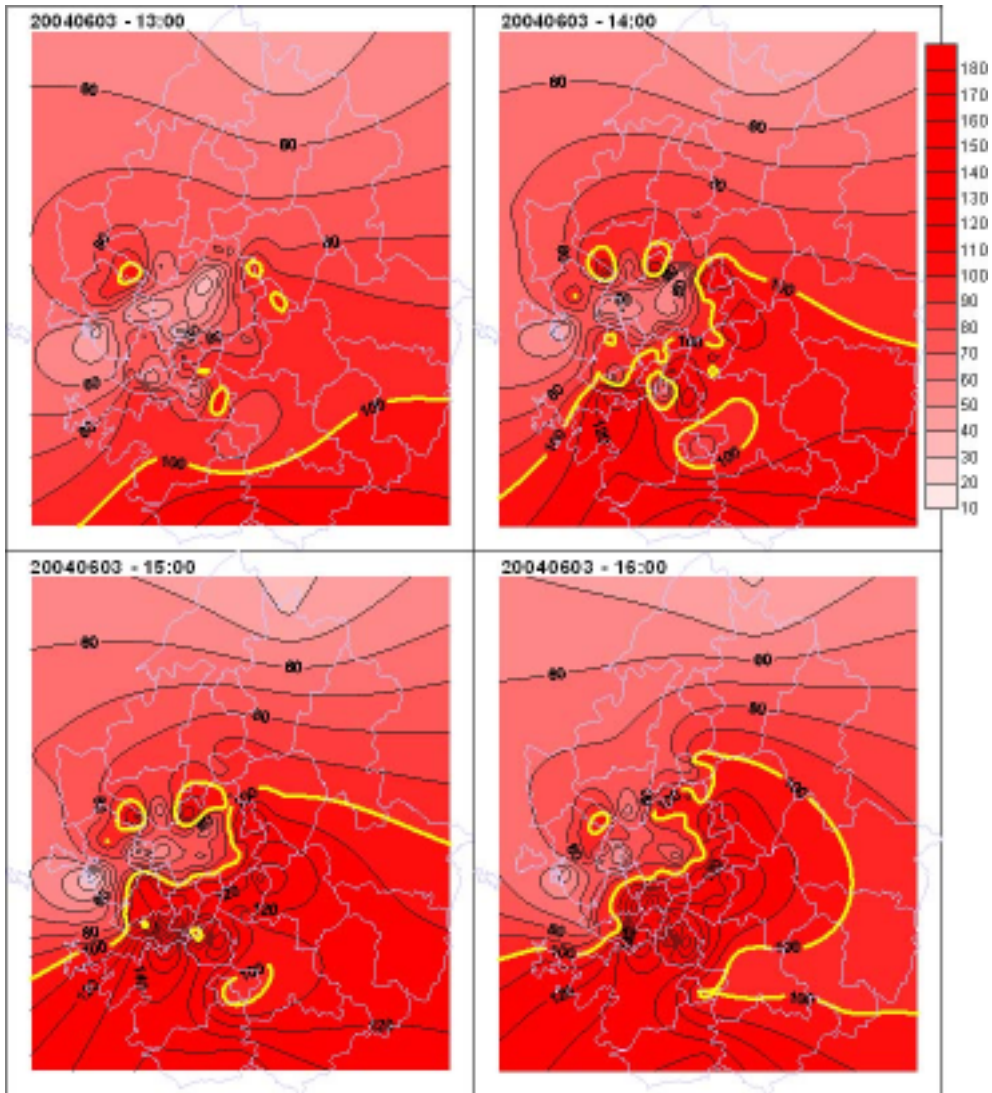
## 2. 2004년 6월 2일

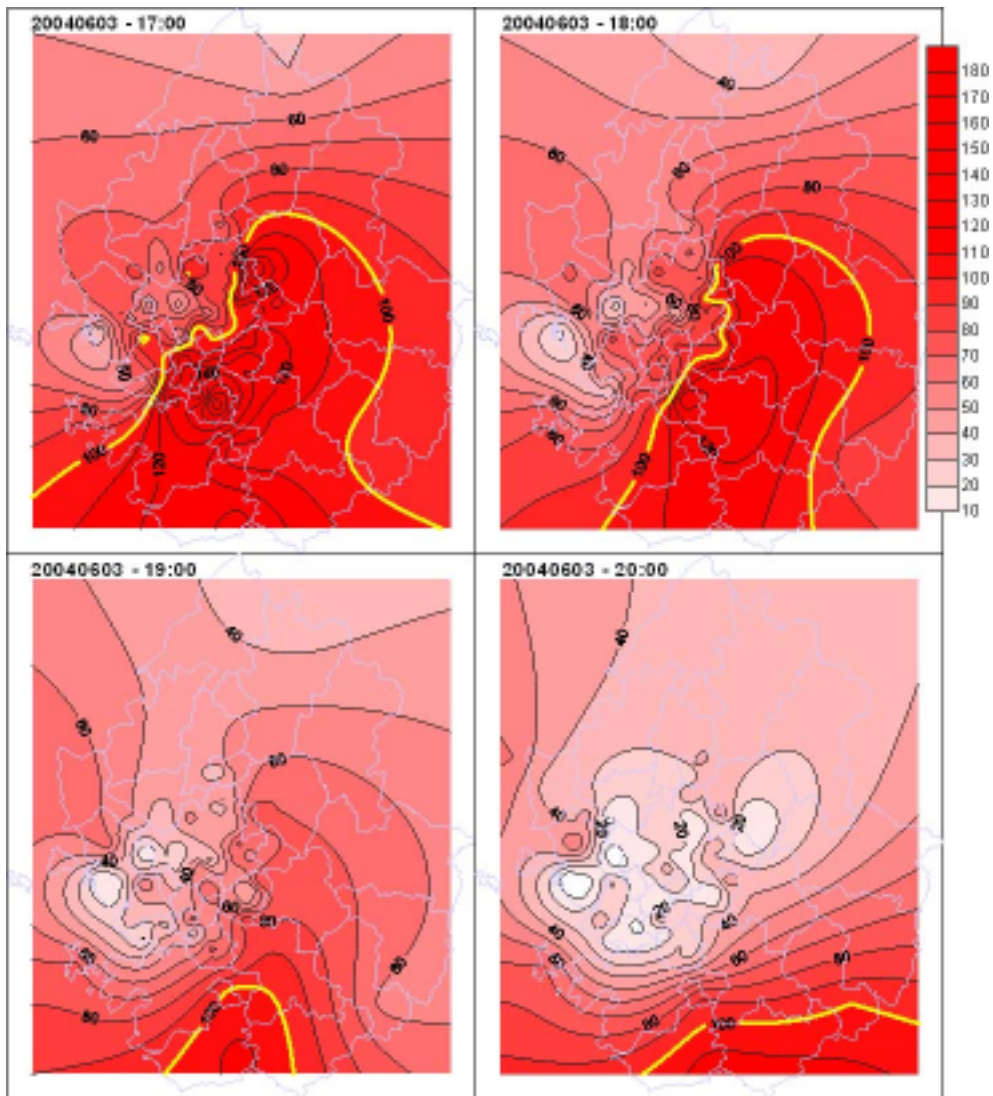






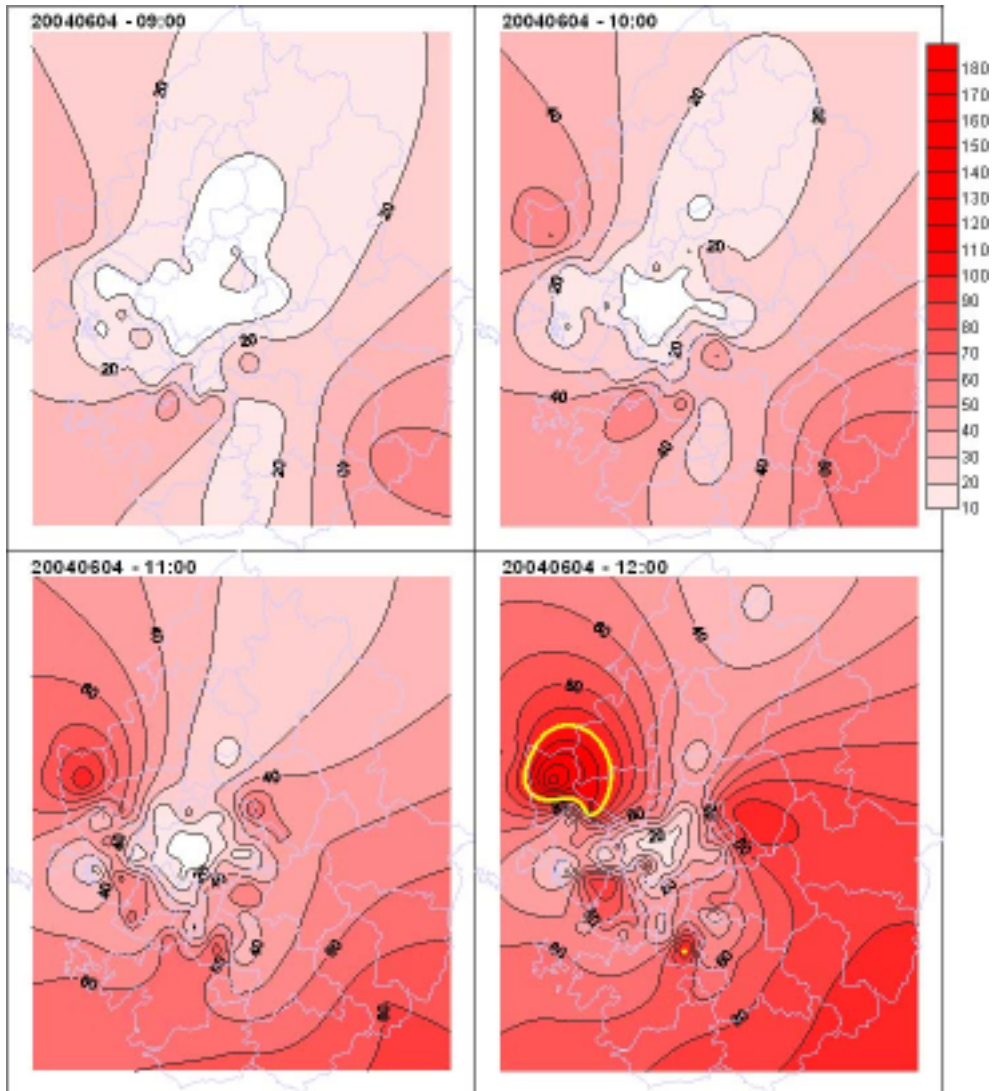
3. 2004년 6월 3일

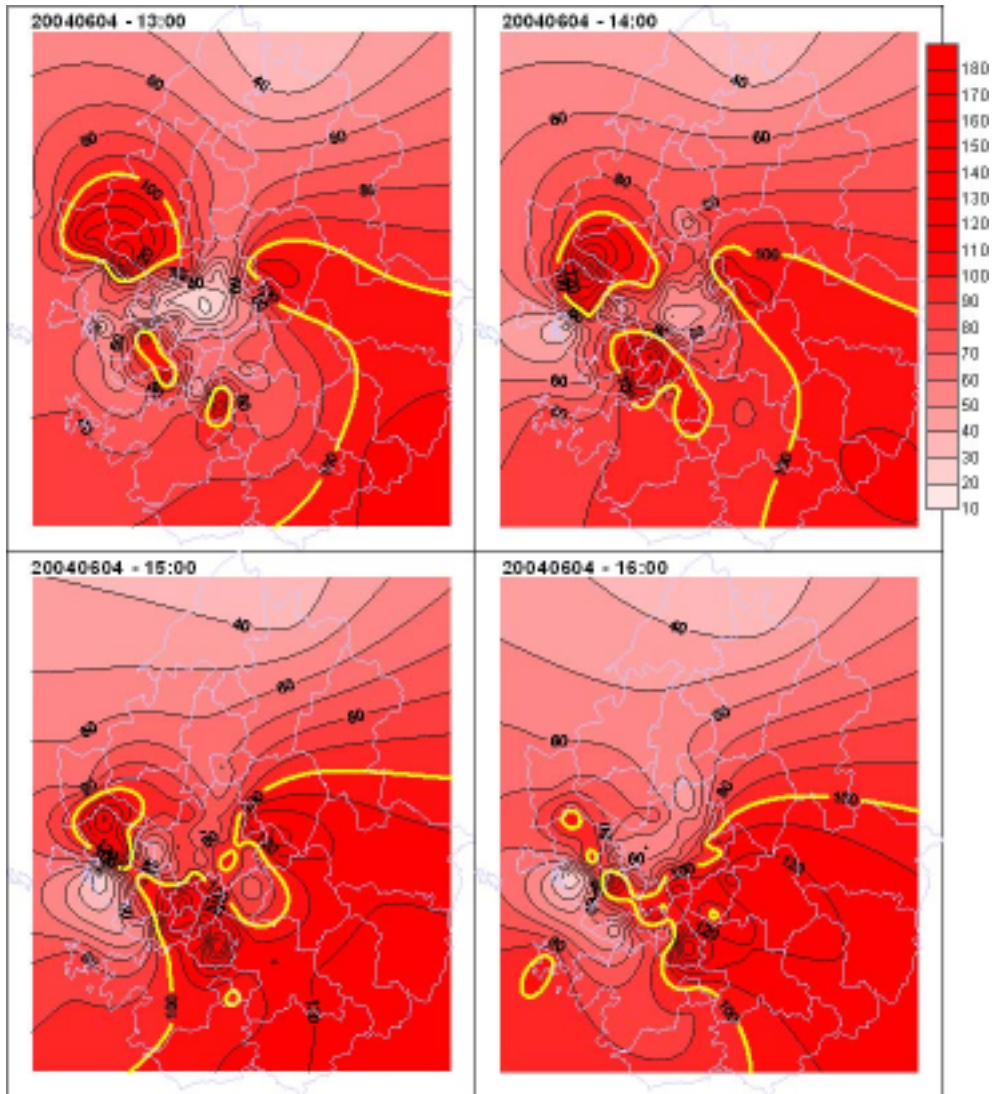


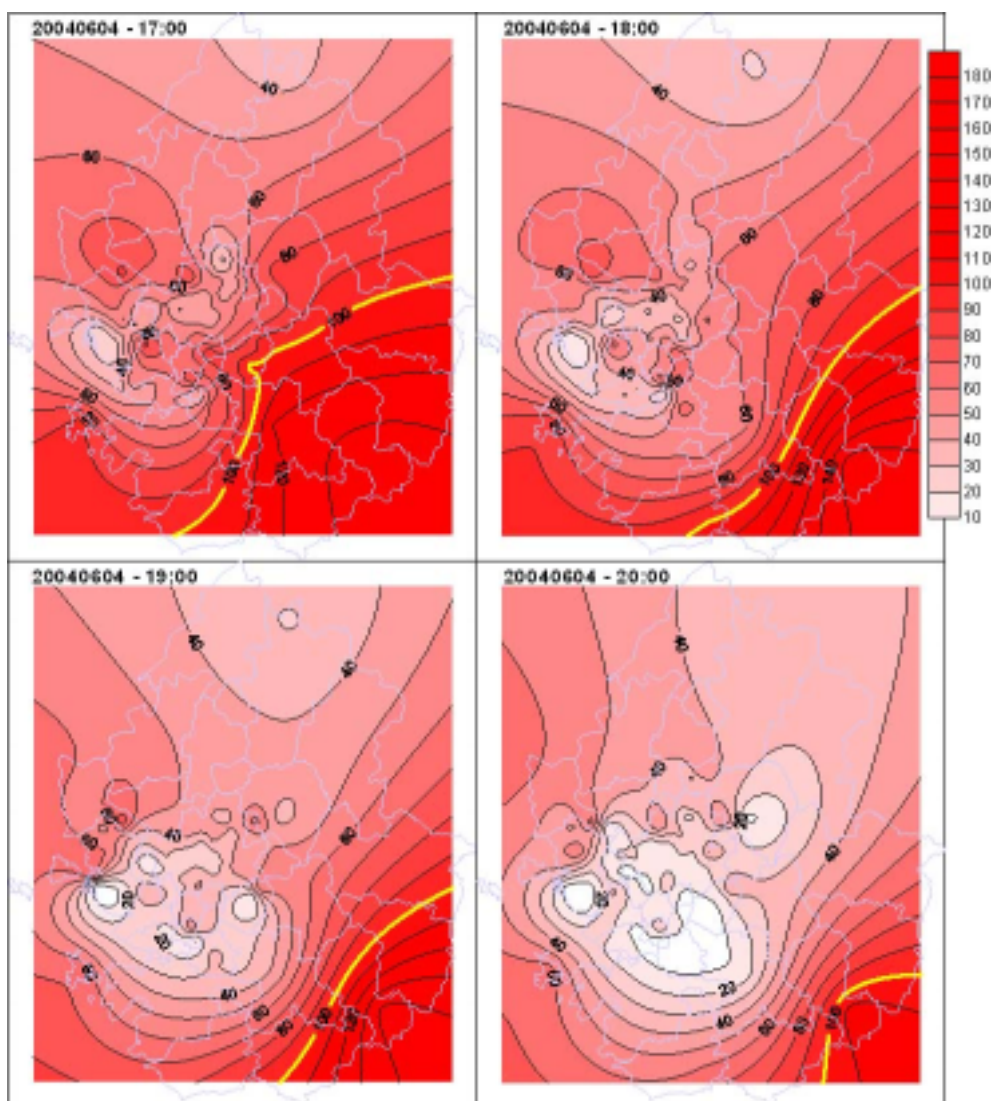




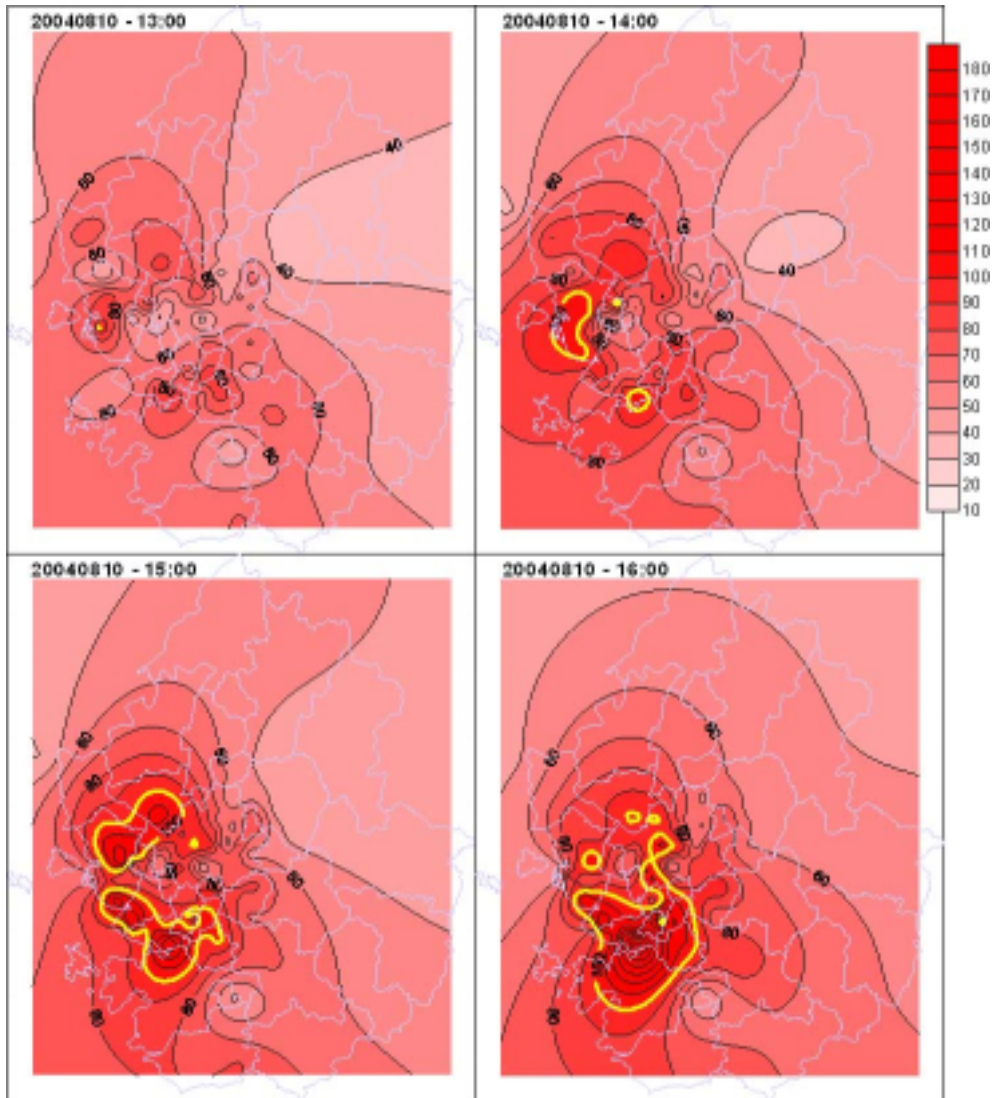
## 4. 2004년 6월 4일



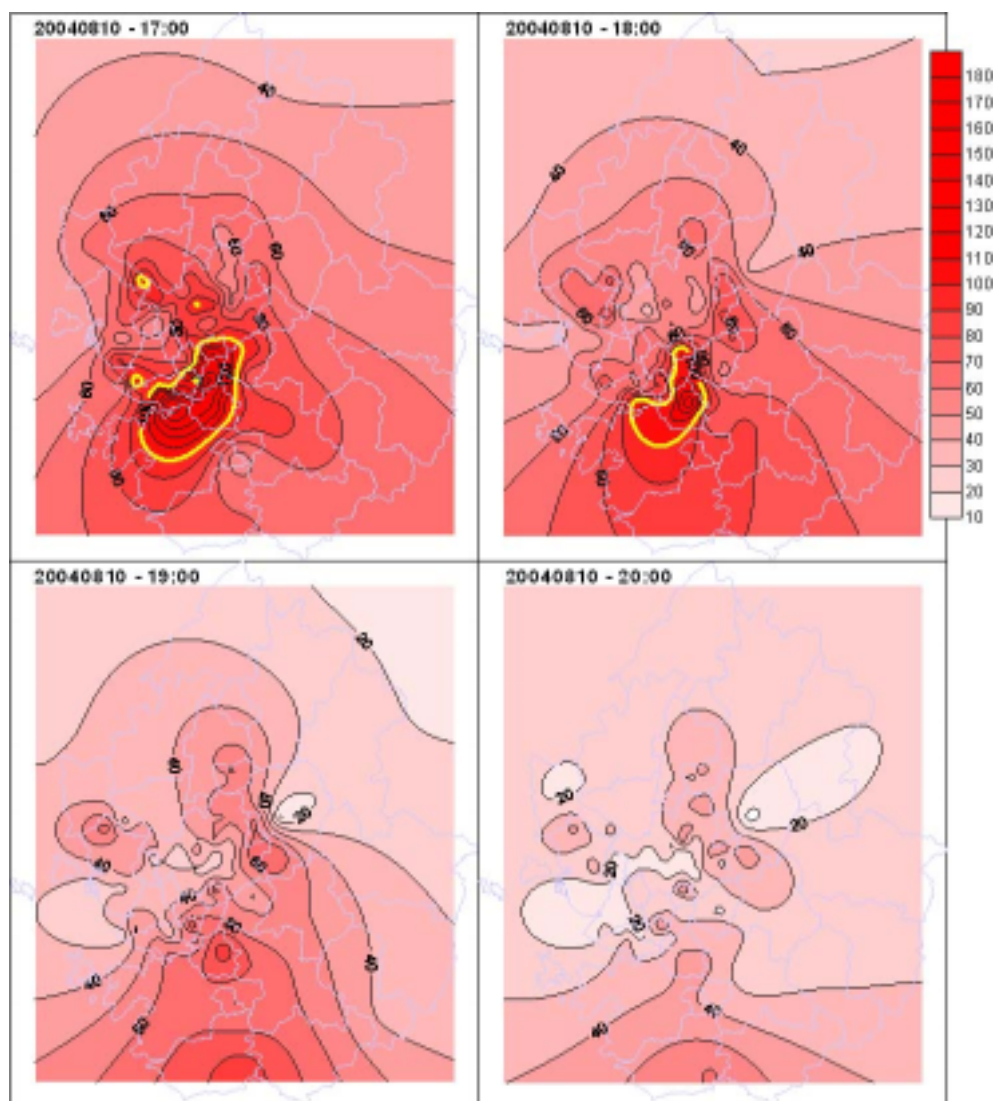




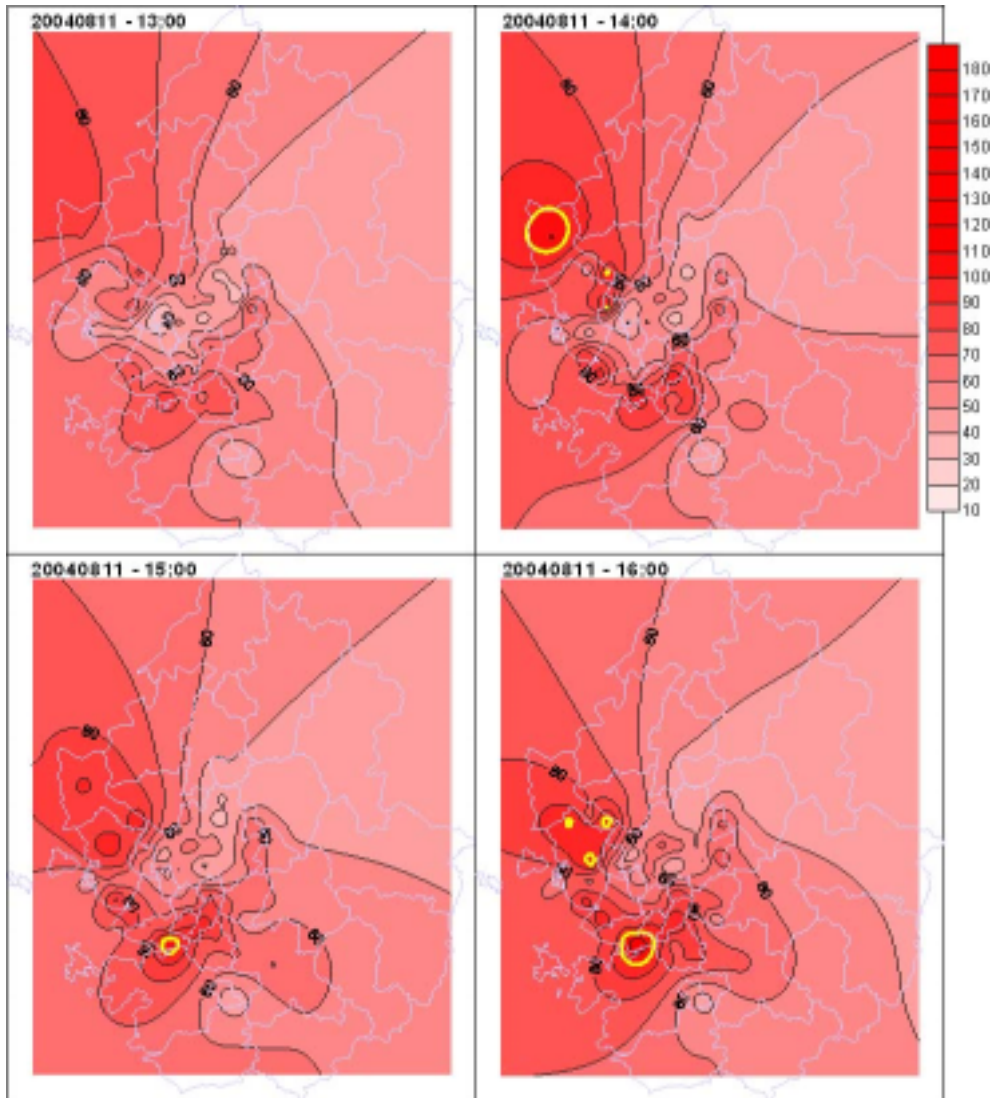
5. 2004년 8월 10일

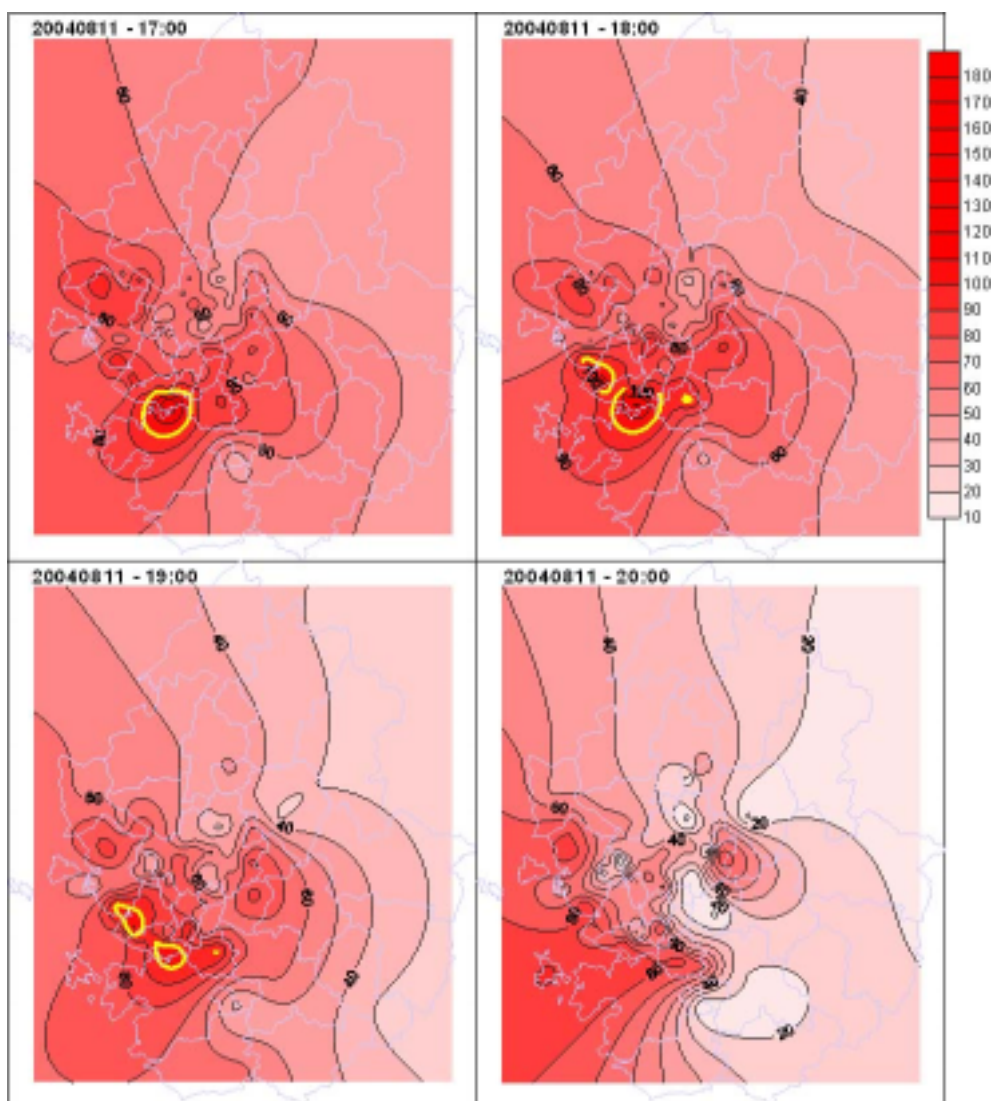






6. 2004년 8월 11일





---

---

연구보고서 2005-01

**오존경보제 운영 개선 방안**

---

2005년 10월 인쇄

2005년 10월 발행

---

발행인 한현규 경기개발연구원장

발행처 경기개발연구원

(440-290) 경기도 수원시 장안구 파장동 179

전화 : 031)250-3114 팩스 : 031)250-3111

홈페이지 : [www.gri.re.kr](http://www.gri.re.kr)

등록번호 제99-3-6호

© 경기개발연구원, 2005

---

ISBN : 89-8178-295-4 93530

정가 : 8,000원