

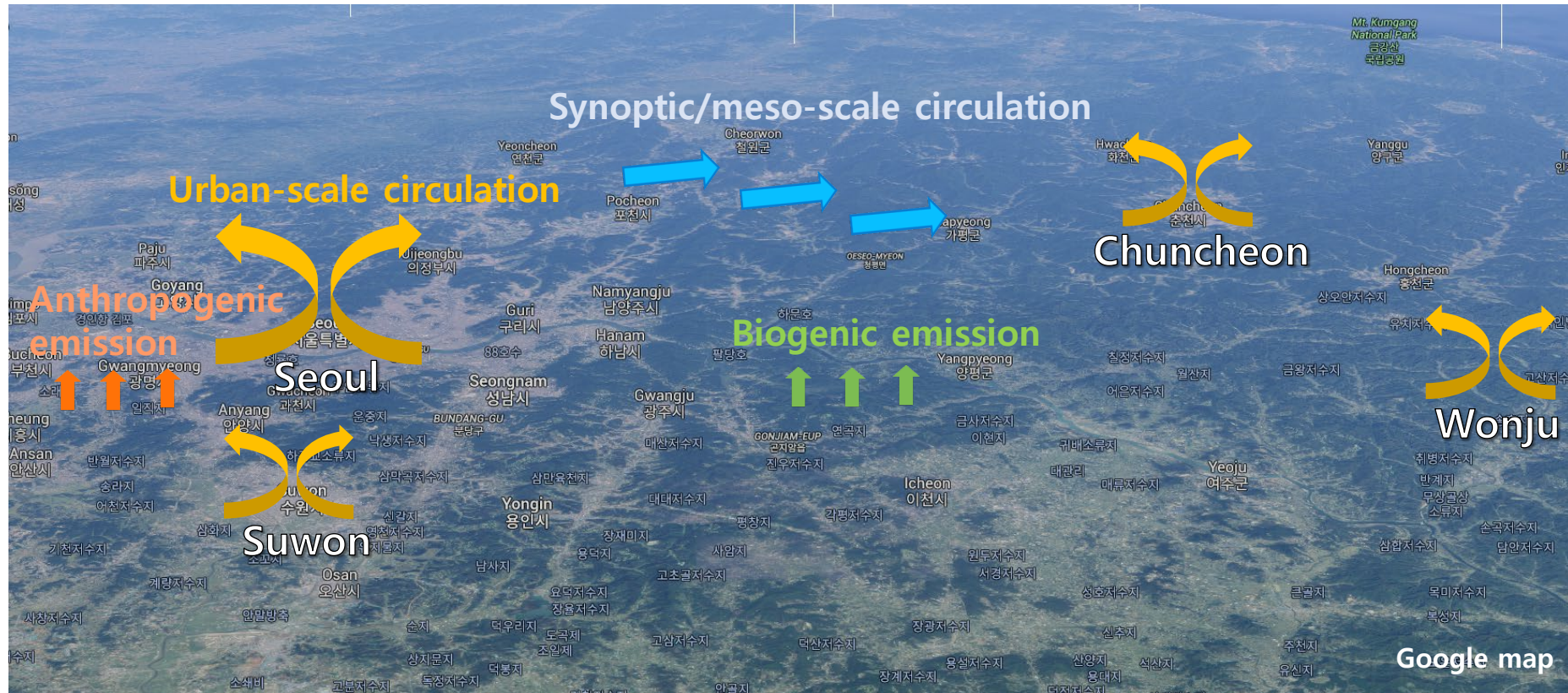
권역별·지자체별 미세먼지 맞춤 대응 전략

강원대학교 환경학과
곽 경 환

2025. 08. 13.

공항철도 서울역 회의실(B1-3)

대기 권역 간 이동: 수도권 & 강원 영서권



1. 수도권 → 강원 영서권 인구 이동(주말/공휴일 효과): 강원 영서권 오염물질 배출량 증가
2. 수도권 전구물질의 수송 : 강원 영서권 2차 생성 오염물질 증가
3. 수도권 배출/생성 오염물질의 수송 : 강원 영서권 오염물질 유입량 증가

유역 관리

유역(流域, watershed): 강우 시 하천으로 물이 모여드는 주변 지역

* 출처: 물백과사전

유역관리: 건강한 하천을 유지하기 위해 침식, 유사, 유량, 퇴적 등의 제어나 개량을 통하여 관리하는 것

* 출처: 물백과사전

유역관리업무지침 (환경부훈령 제1426호)

제4조(유역관리의 기본방향) 유역은 다음 각 호의 기본원칙에 따라 보전·관리되어야 한다.

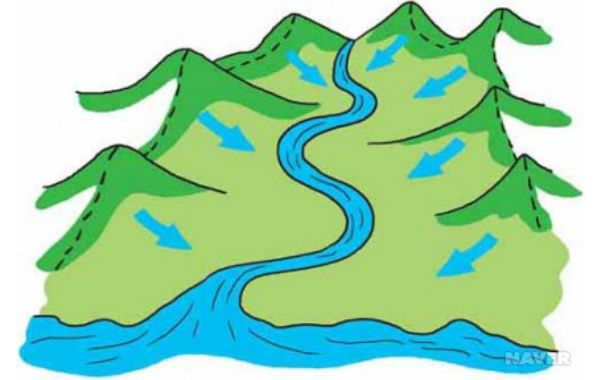
1. 유역은 유역공동의 이익에 적합하게 보전되고 현재와 미래의 세대를 위하여 지속가능하게 이용되어야 한다.
2. 유역은 **상류지역과 하류지역의 상황을 균형있게 고려**하여 관리되어야 한다.
3. 유역에 부존하는 **수자원은 공평하게 이용**되어야 한다.
4. 유역에 관한 정보는 공유되어야 하며, 유역환경보전에 관한 활동은 유역민의 참여와 협력을 토대로 이루어져야 한다.
5. 유역관리에 관계된 당사자들은 효율적인 유역관리를 위하여 합리적인 토론과 합의의 문화가 정착되도록 노력하여야 한다.
6. 유역환경의 보전에 관한 시책과 유역의 이용·개발에 관한 시책은 **유역단위로 상호 유기적으로 연계·관리**되어야 한다.

한강유역환경청

낙동강유역환경청

금강유역환경청

영산강유역환경청



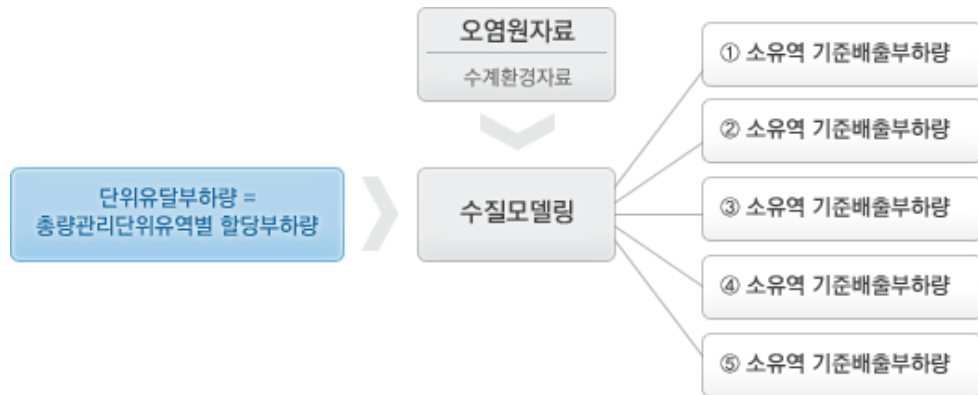
* 출처: i

* 출처: 한국환경공단

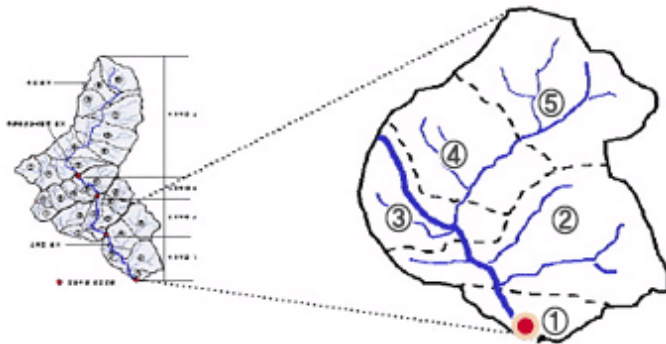
유역 관리

수질오염총량제도: 목표수질 한도 내에서 지역과 배출원에 오염물질 배출총량을 할당하고
" 환경과 개발 " 을 함께 고려하는 지속가능성을 확보할 수 있는 핵심적 유역관리제도

- 총량관리단위유역별 할당부하량 = 목표수질 x 기준유량(10년 평균 저수량)



● 목표수질 설정지점



장점

- 규제의 효과가 높음
: 배출 총량이 환경용량 이하로 항상 유지
- 오염자 간 형평성 유지
: 배출량에 비례하여 부담을 지울 수 있음

단점

- 허용 오염총량 설정이 어렵고 오래 걸림
: 방대한 정보를 바탕으로 모델링을 수행함
: 정확성에 대한 논란의 소지가 많음
: 실제 허용총량 준수 여부를 단속하기가 어려움

* 출처: 낙동강유역환경청

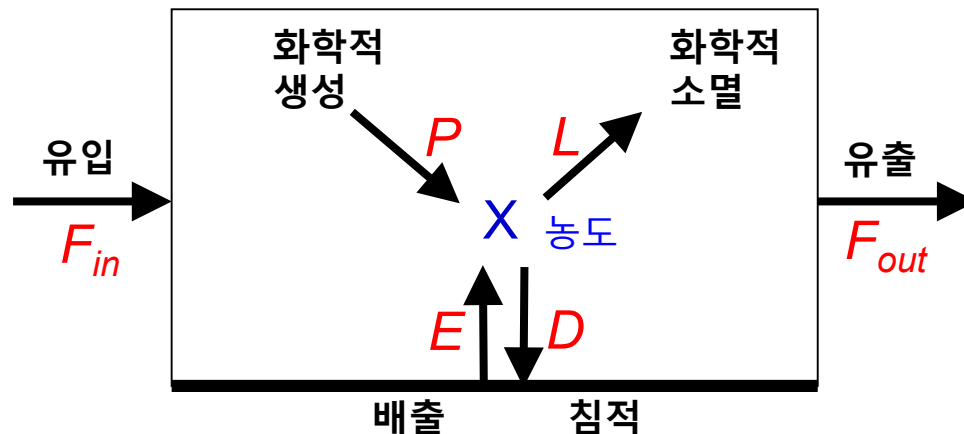
대기질 유역 관리

* 1960년대 처음 제시된 개념

대기 유역(airshed): 대기오염물질 배출, 물리화학적 변환, 기상 및 지형적 영향에 의해 시공간적으로 유사한 대기질을 보이는 지역

- Kohn (1970)이 미국 St. Louis airshed의 대기오염 관리 방안으로 적용 : 1963년 오염물질 배출량과 1963년 대기 중 농도로부터 1975년 대기질 목표 농도를 달성하기 위해 배출량을 얼마나 줄여야 하는지 제시함.

- 대기 상자 모델: 농도는 공간적으로 균일하다고 가정함 (Jacob, 1999)



Mass balance equation: $\frac{dm}{dt} = \sum \text{sources} - \sum \text{sinks} = F_{in} + E + P - F_{out} - L - D$

Table 1. Air pollutant emissions in the St. Louis airshed in 1963, observed air concentrations at the St. Louis Civic Center in 1963 (1964 where 1963 data are not available), and selected air quality goals.

1 Pollutant	2 Emissions in 1963 in Millions of Pounds ^a	3 Air Concentration at the St. Louis Civic Center	4 Air Quality Goal
Particulates	300	128 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ annual geometric mean for suspended particulates ^b	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sulfur dioxide	1180	0.059 ppm annual average of 24-hr samples ^c	0.02 ppm
Hydrocarbons Nitrogen oxides	995 305	0.15 ppm maxi- mum hourly con- centration for oxidants ^c	0.15 ppm
Carbon monoxide	2920	75 ppm maximum hourly concen- tration ^{c,d}	60 ppm ^d

^a Total emissions were obtained by multiplying 1963 pollution source magnitudes by corresponding emission factors and summing for each pollutant.

^b J. R. Farmer and J. D. Williams, Interstate Air Pollution Study, Section III, Air Quality Measurements, U. S. Public Health Service, Cincinnati, Ohio, Dec. 1963, p. 36.

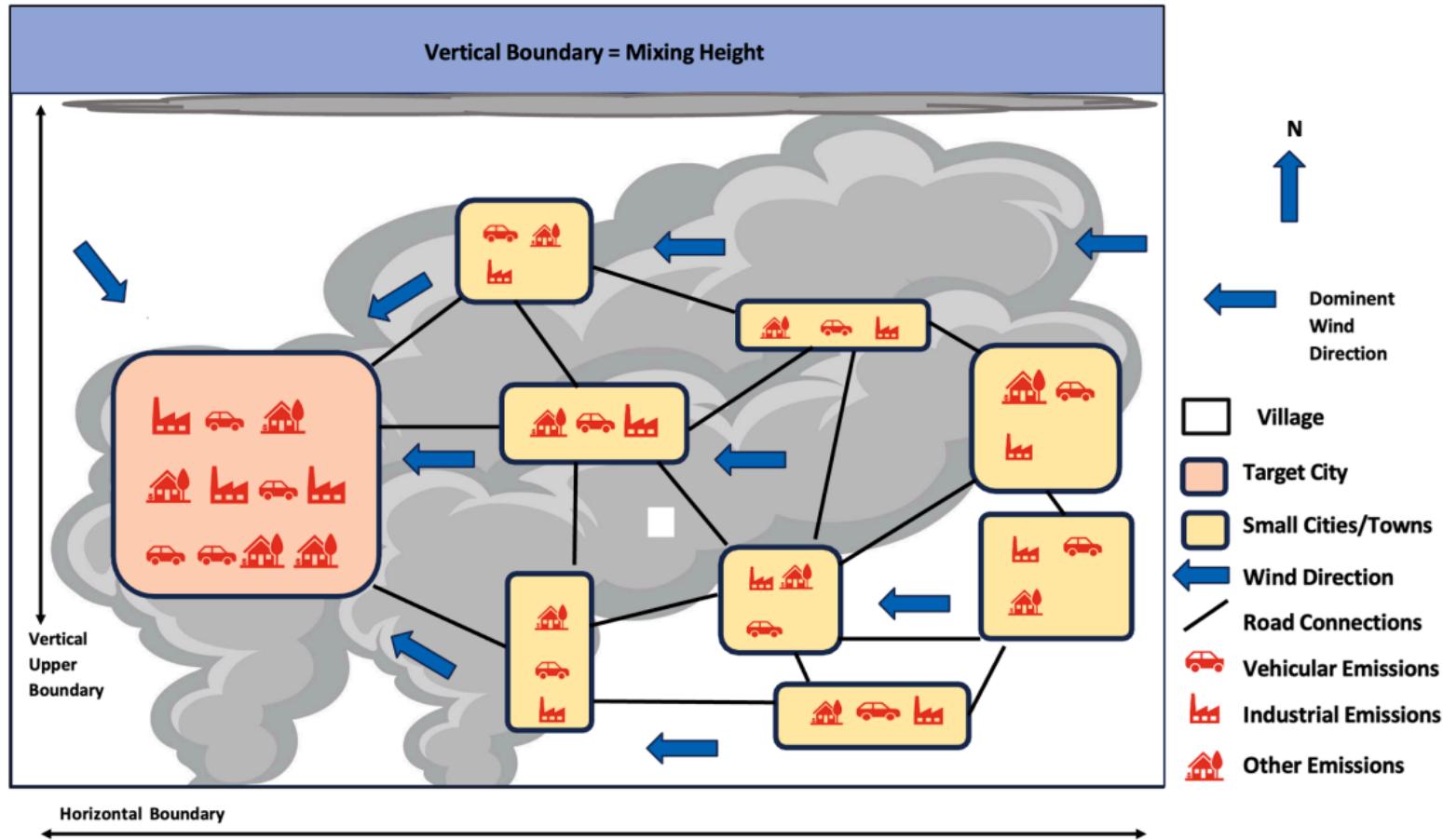
^c "Sulfur Dioxide, Total Oxidant, Carbon Monoxide," Continuous Air Monitoring Project Data Summary, U. S. Public Health Service, Cincinnati, Ohio, 1964.

^d Observed concentration of carbon monoxide at the CAMP station is multiplied by 3 to approximate the concentration in traffic. See J. D. Williams, G. Ozolins et al., Interstate Air Pollution Study, Section VIII, A Proposal for an Air Resource Management Program, U. S. Public Health Service, Cincinnati, Ohio, May 1967, p. 66.

Kohn (1970)

대기질 구역 관리

대기질 구역 관리(air quality management through airshed approach)
: 대기오염물질의 배출 - 수송 - 영향이 일어나는 지역을 통합적으로 관리



(Khan et al., 2024)

대기질 유역 관리

대기질 유역 관리(air quality management through airshed approach)

: 대기오염물질의 배출 – 수송 – 영향이 일어나는 지역을 통합적으로 관리

	도시(행정구역) 단위 관리	VS	유역 단위 관리
배출 규제 단위	개별 배출원(사업장)		소유역별 배출 총량
대기오염 형태	국지 오염		광역 오염
관리 지역	동일 행정 구역		동일 대기 유역
관리 대상 물질	1차 배출		1차 배출 + 2차 생성
감시 수단	배출 농도(점오염원 중심)		대기 농도(모든 오염원 포함)

대기질 유역 관리

대기질 유역 관리(air quality management through airshed approach)

: 대기오염물질의 배출 – 수송 – 영향이 일어나는 지역을 통합적으로 관리

(예) 사업장 대기오염물질 총량관리제도

: 사업장에 연도별 배출허용총량을 할당

: 배출권 거래로 잔여 할당량 판매 또는 초과 시 총량초과과징금 부과 및 다음 연도 할당량 삭감

2008년 1월~: 수도권 시행

2020년 4월~: 대기관리권역 시행

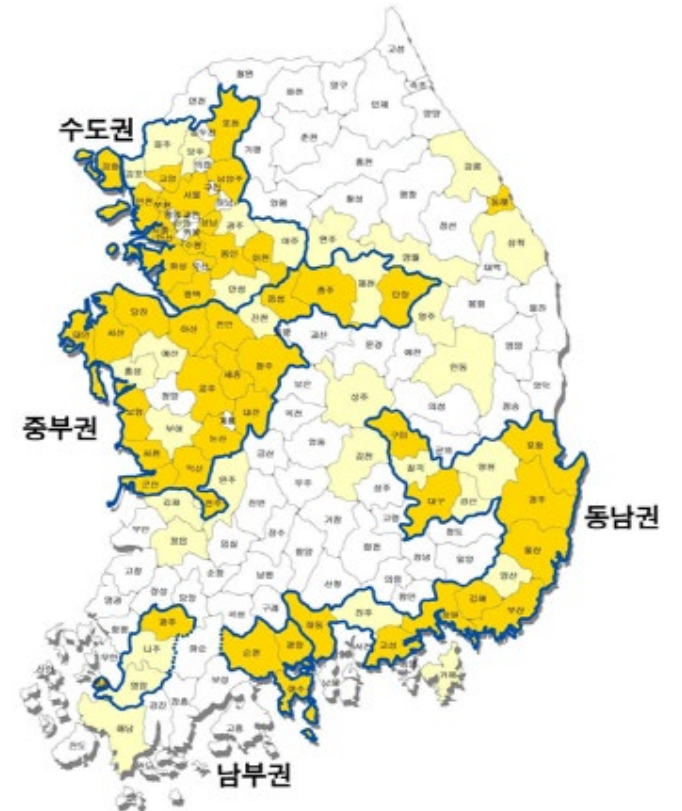
*수도권, 중부권, 동남권, 남부권

[한계 1] 사업장에만 적용

[한계 2] 관리 대상오염물질을 NO_x , SO_x , TSP로만 한정

[한계 3] 시군구 배출량 기준으로 지정한 대기관리권역이 유역을 대표하지 못함

대기관리권역(2020년 4월~)

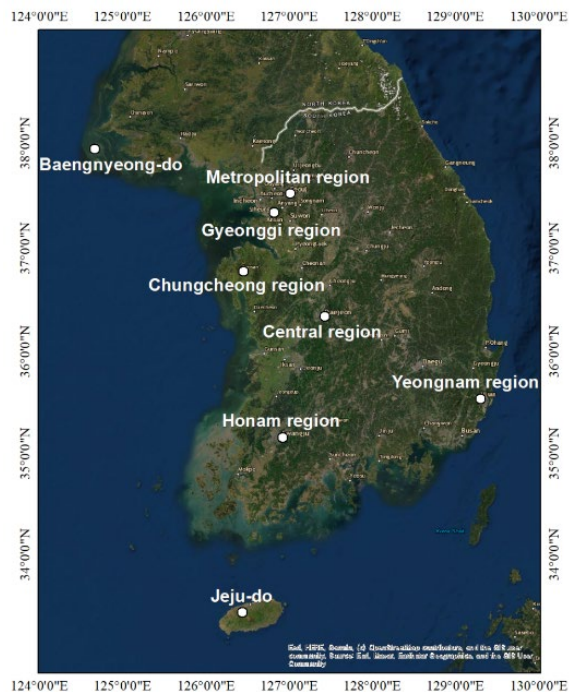


권역 간 상호 영향 연구 결과

국내 PM_{2.5} 농도 고농도 사례 유형 분류: 미세먼지사업단(2021-2025)

[유형 분류 기준]

[연구 지역 및 기간]



[대상 지점] 대기환경연구소(8개 지점)
백령도, 수도권(서울), 경기권(안산), 중부권(대전), 충청권(서산), 호남권(광주), 영남권(울산), 제주도

[대상 기간] 2021년 1월 ~ 12월

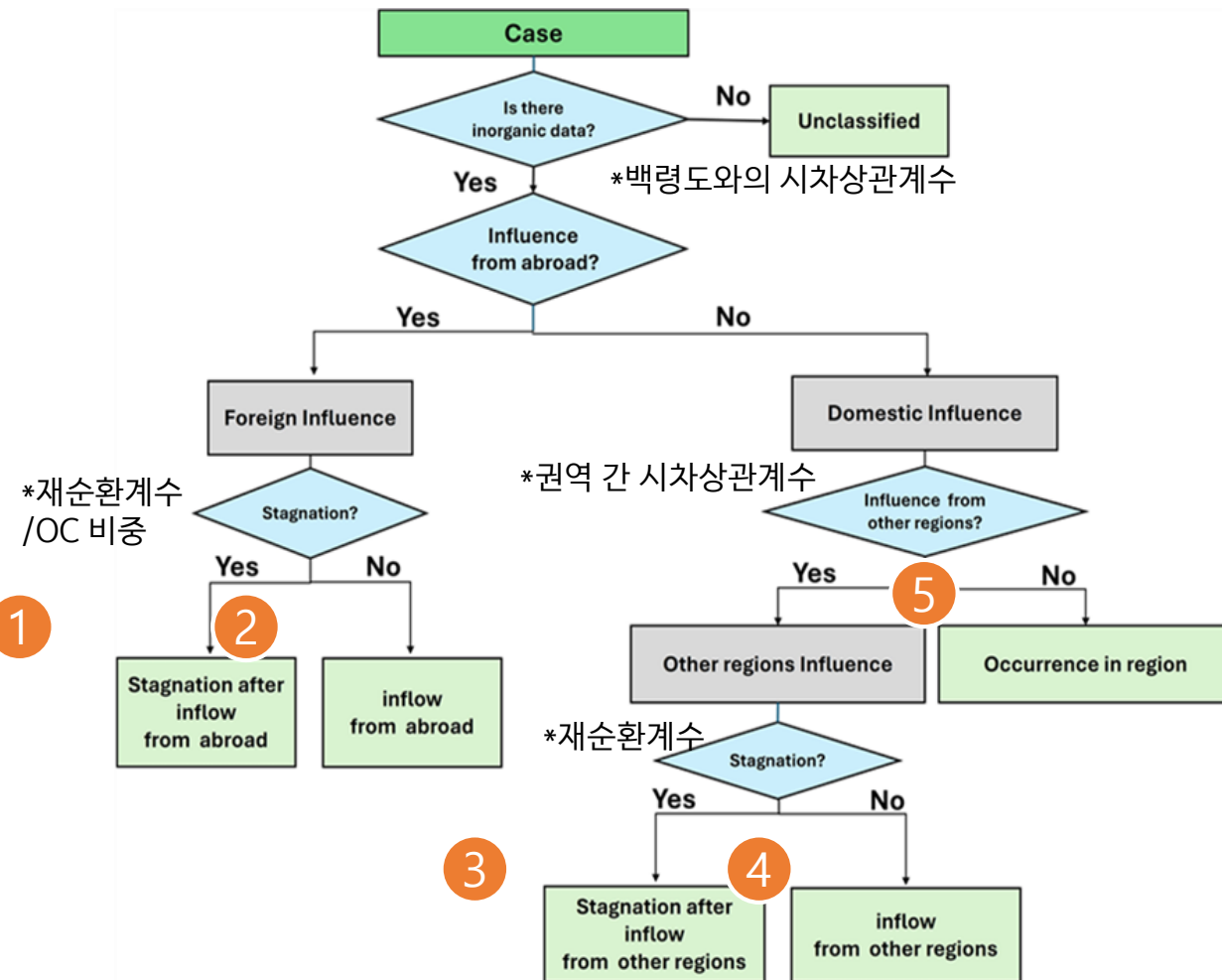
[분석 자료]

각 권역 측정 지점

: PM_{2.5}, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, OC

국지예보모델(LDAPS, 등압면)

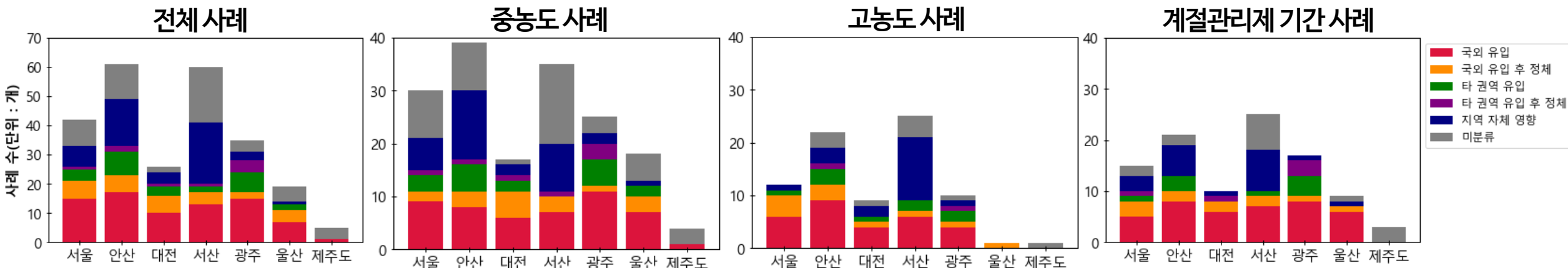
: U, V



권역 간 상호 영향 연구 결과

국내 PM_{2.5} 농도 고농도 사례 유형 분류: 미세먼지사업단(2021-2025)

[유형 분류 결과]

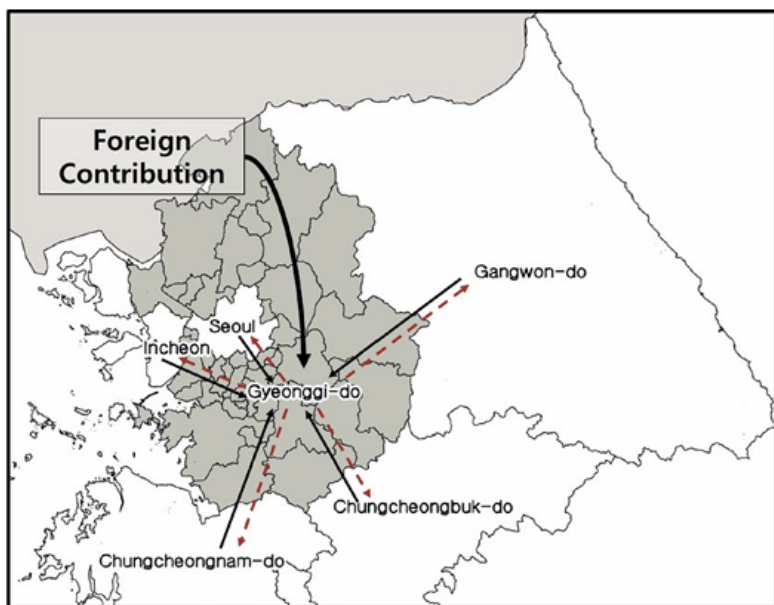


- I. 각 유입 유형별 사례 수는 총 248개 중에서 **국외 유입(82개, 33%)**, **국외 유입 후 정체(24개, 9.7%)**, **타 권역 유입(30개, 12.1%)**, **타 권역 유입 후 정체(5개, 2.0%)**, **지역 자체 영향(52개, 21.0%)**, **미분류(55개, 22.2%)**로 분류됨.
- II. 고농도 사례에서는 국외 영향, 중농도 사례에서는 국내 영향 비중이 높음.
- III. 타 권역의 영향 비중이 높은 지역은 안산과 광주였음.
- IV. 계절관리제기간, 모든 권역에서 국외 영향 사례 수가 유사하며 안산과 서산은 타 권역에 비해 자체 영향 비중이 높음.

권역 간 상호 영향 연구 결과

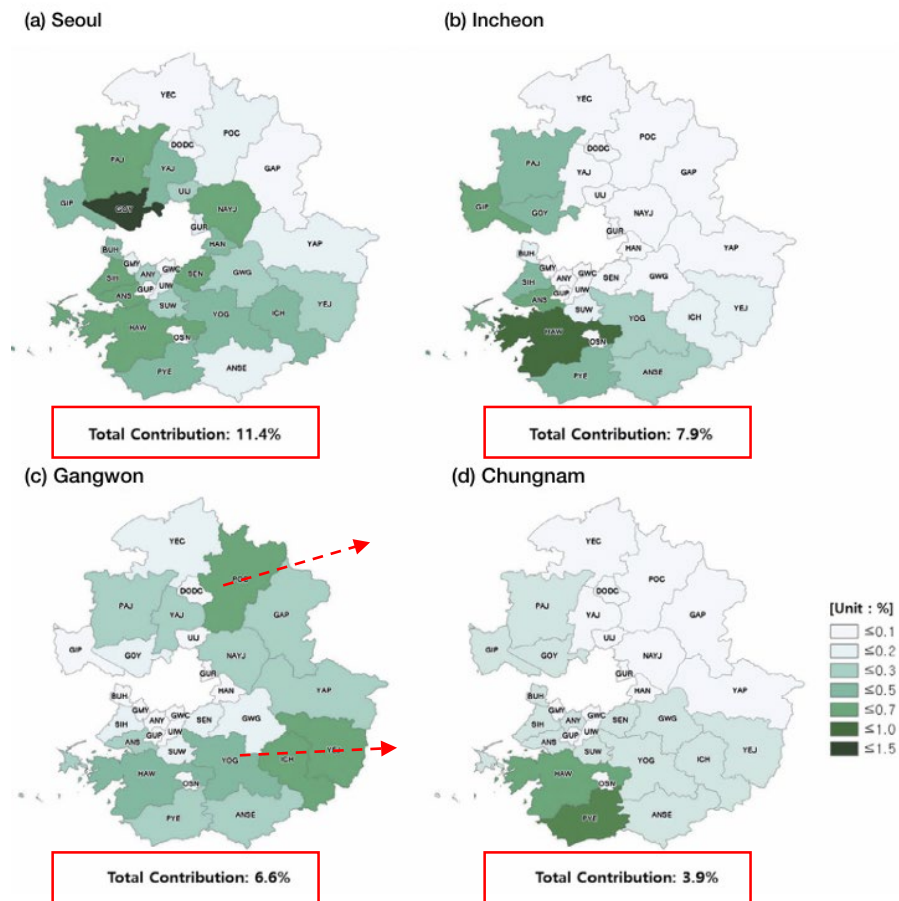
광역지자체 간 PM_{2.5} 기여도 분석: 모델링 연구 (유승희 등, 2021)

분석 대상 광역지자체 및 국외 기여원



- 기간: 2016년 1~12월
- 모델: WRF v3.9.1 & CAMx v6.1

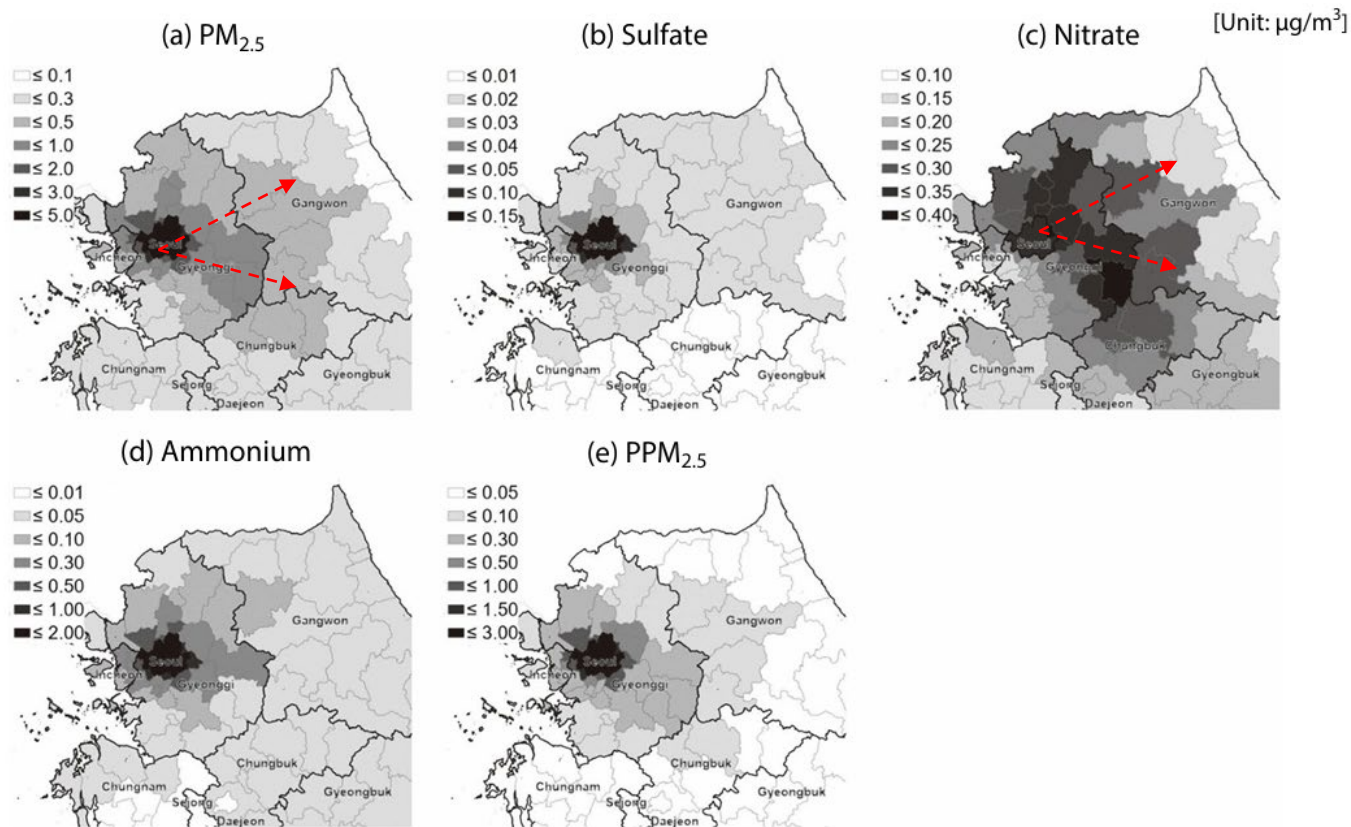
경기도 배출에 의한 인접 지자체 PM_{2.5} 기여율



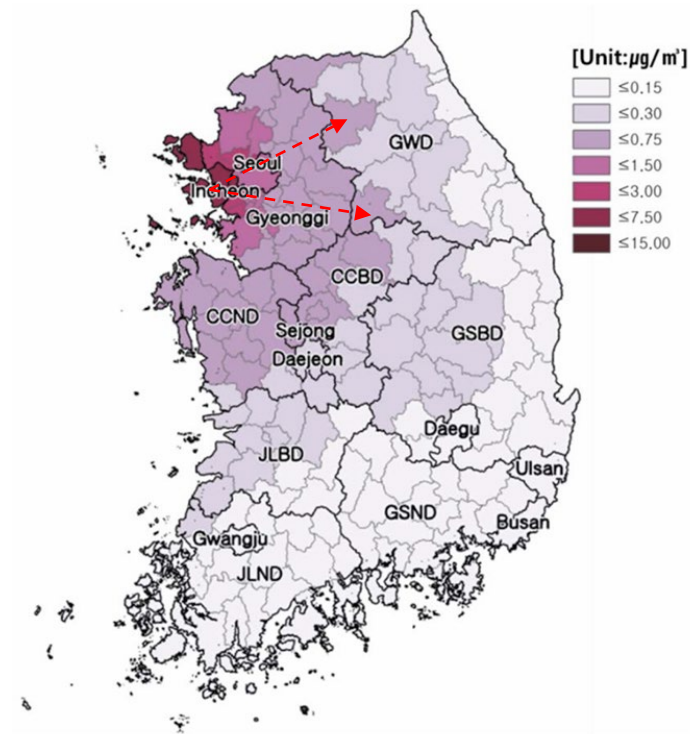
권역 간 상호 영향 연구 결과

광역지자체 간 PM_{2.5} 기여도 분석: 모델링 연구 (김순태 등, 2021; 배민아 등, 2021)

서울특별시 배출에 의한 PM_{2.5} 기여 농도

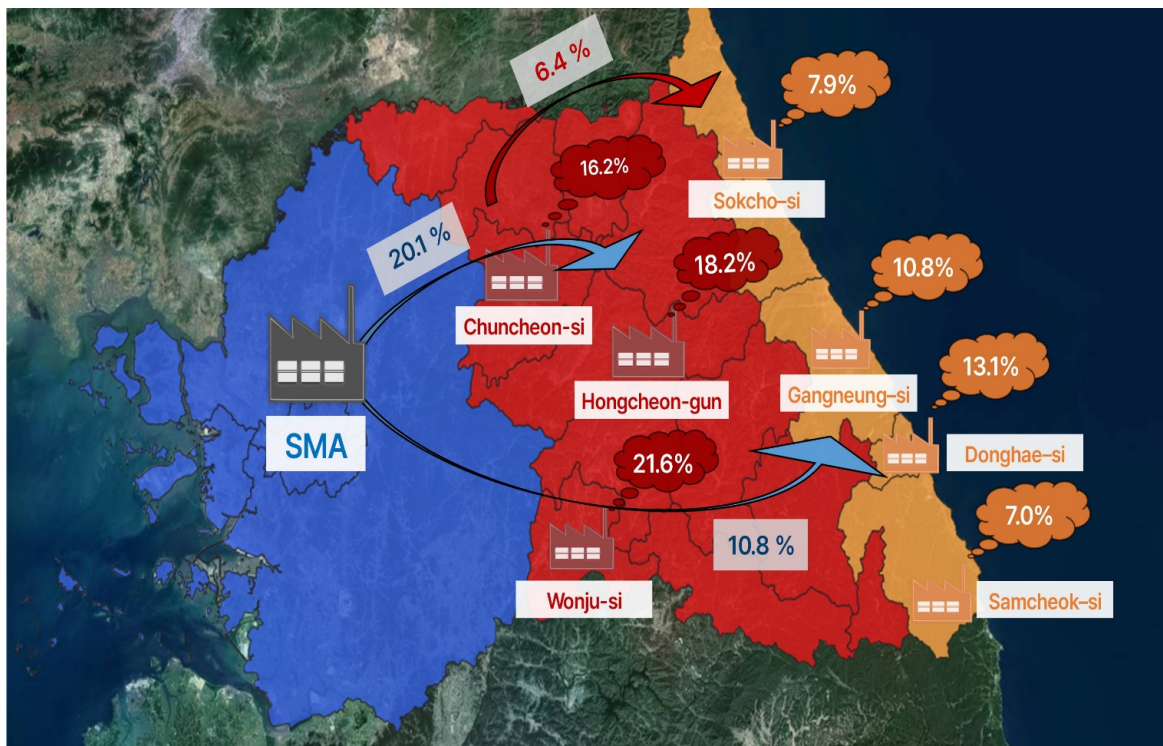


인천광역시 배출에 의한 PM_{2.5} 기여 농도



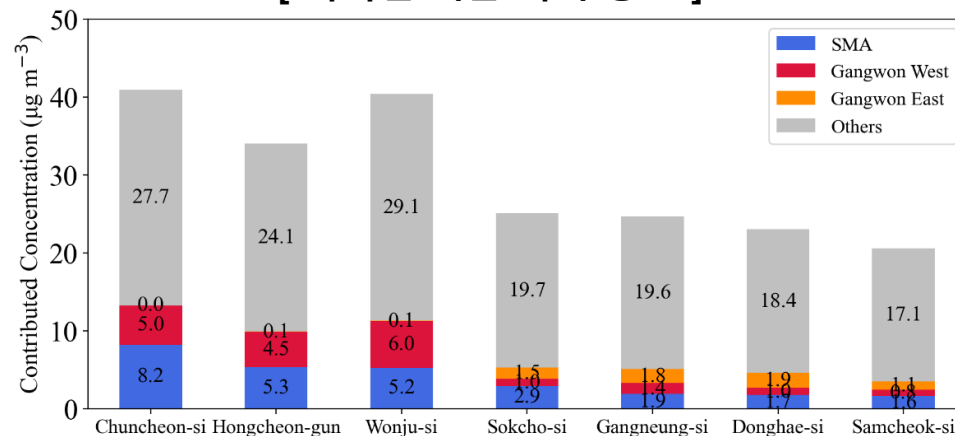
권역 간 상호 영향 연구 결과

강원도 PM_{2.5} 기여도 분석: 23년 2월 사례 (강원권 미세먼지연구관리센터, 2023-현재)

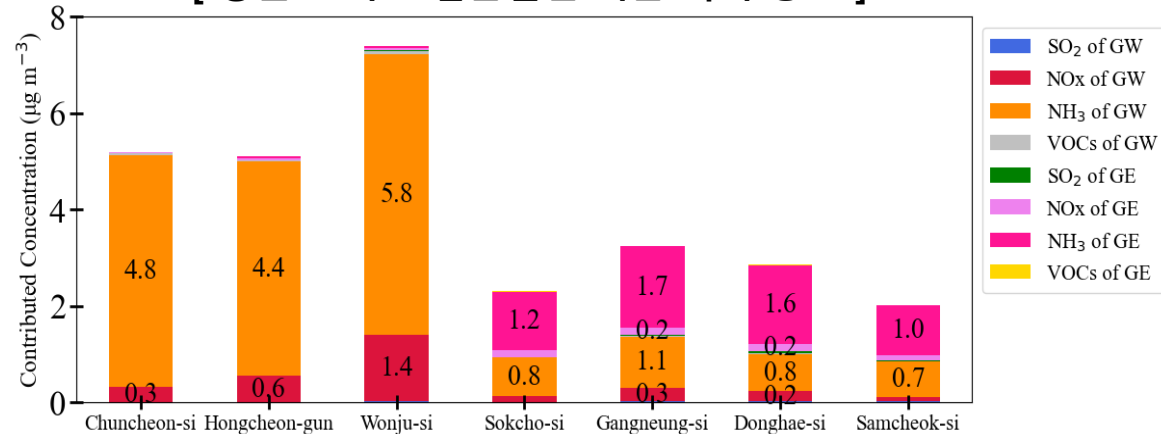


* BFM 기법 기여 농도 산정: 배출량 100% 삭감

[지역별 배출 기여 농도]



[강원도 내 오염물질별 배출 기여 농도]



대기질 유역 관리 전략

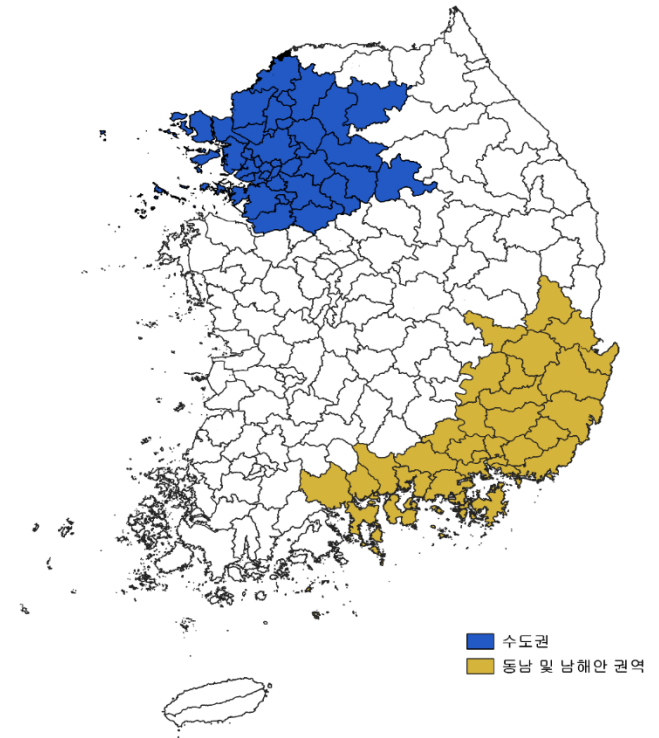
- 오존 & 미세먼지를 통합할 수 있는 광역적인 관리지역 설정 필요

✓ 오존 & 미세먼지 통합 관리지역 설정 기준

1. 현행 대기관리권역을 바탕으로 한 유역 단위 광역관리지역 설정
2. 전구물질 **배출 지역**(NO_x, VOC 배출량 기준)과 **수송 및 생성에 의한 영향 지역**(PM_{2.5}, O₃ 농도 기준)을 함께 포함

※ 관리지역 설정에서 고려해야 할 사항

1. 같은 배출원의 영향(수송 및 2차 생성까지 포함)을 포함하는 유역 경계 지정
: 행정구역 또는 지리적 거리가 아닌 지형 분포, 바람장, 대기 안정도 등을 고려해야 함.
2. 배출 지역과 수송 및 생성에 의한 영향 지역의 관리 정책(규제 및 지원 등) 차별화
: 배출 지역은 계절 및 시간 관리 제도 도입 등
: 영향 지역은 모니터링 및 취약계층 지원 제도 도입 등



대기질 유역 관리 전략

단기적인 목표

1. 최근 수 년간 대기오염측정망 기준 동일 대기 유역 범위 설정 → 예) 수도권 & 강원 영서권
: 현재 전국 모든 시군구에 AQMS 설치 및 운영
2. 최근 수 년간 대기오염물질 배출량 & 수송량 자료 확보 및 분석
: 국가미세먼지정보센터의 CAPSS 배출량 & CMAQ/CAMx 모델링 자료

중장기적인 목표

1. 동일 대기 유역 내 오염물질별 부하 총량 산정
: 오염물질 배출량 자료 및 모델링 결과 신뢰도 확보
2. 소유역별 오염물질 배출량 할당 및 감시
: 사업장 외 배출원의 배출량 감시 체계 마련(예, 관측 기반 배출량 산정 방법 도입)
3. 관련 전문인력(배출원 할당, 배출원 감시, 대기질 모델링 등) 양성



감사합니다.