(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0007411
(43) 공개일자 2024년01월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01W 1/06 (2006.01) *G01N 15/00* (2024.01)
G01N 15/02 (2024.01) *G01N 15/10* (2024.01)
G01W 1/10 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G01W 1/06 (2013.01)
G01N 15/02 (2024.01)
(21) 출원번호 10-2022-0084269
(22) 출원일자 2022년07월08일
심사청구일자 2022년07월08일

(71) 출원인
대한민국(기상청 국립기상과학원장)
제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33, 1층 (서호동)
국립부경대학교 산학협력단
부산광역시 남구 용소로 45, 부경대학교내 (대연동)
(72) 발명자
강덕두
제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33
구태영
제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인(유한) 대아

전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치와 이를 이용한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법**

(57) 요 약

본 발명은 에어로졸 고농도 현상 판별 장치와 방법에 대한 것으로서, 특히 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치 및 방법에 관한 것이다. 본 발명은 고농도 에어로졸 기상 현상 분류 알고리즘을 통해 연무, 박무, 황사, 강수, 맑음 사례를 보다 객관적이고 과학적으로 분류할 수 있다. 따라서, 본 발명은 에어로졸 물리적 특성을 고려한 기상 현상 분류는 도시 대기 오염과 시정 장애 등과 같은 현상의 예측 정확도 향상에도 기여할 수 있다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01W 1/10 (2013.01)
G01N 2015/0096 (2013.01)
G01N 2015/1021 (2024.01)
G01W 2201/00 (2013.01)
(72) 발명자
이철규
제주특별자치도 서귀포시 서호북로 33
이동인
부산광역시 남구 용소로 45 충무관 4310호실

명 세 서

청구범위

청구항 1

에어로졸 관측 자료의 질량농도를 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값과 비교하는 질량농도 판단부와,

상기 에어로졸 관측 자료의 수집 기간 동안 강수 발생 여부를 판단하는 강수 판단부,

상기 에어로졸 관측 자료의 수집 기간 동안 상대 습도를 판단하는 상대 습도 판단부,

미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율을 비교하여 판단하는 에어로졸 질량 농도 비율 판단부, 및

상기 질량농도 판단부와 상기 강수 판단부, 상기 상대 습도 판단부 및 상기 에어로졸 질량 농도 비율 판단부를 기반으로 상기 에어로졸 관측 자료에 대한 기상 현상을 분류하는 분류부를 포함하며,

상기 분류부는, 상기 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이고 상기 강수 판단부를 통해 에어로졸 관측 자료를 수집하는 기간 동안 강수 현상이 확인되면, 상기 에어로졸 질량 농도 비율 판단부를 통해 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율을 비교하여 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 초과하면 박무와 강수 현상이 함께 발생한 사례로 분류하는에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 분류부는,

미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율이 에어로졸 질량 농도 비율 기준값 이하일 경우, 강수만 발생한 사례로 분류하는 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값은 $0.261 \mu g\ m^{-3}$,

상기 에어로졸 질량 농도 비율 기준값은 3.09인 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 분류부는,

상기 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이고 상기 강수 판단부를 통해 에어로졸 관측 자료를 수집하는 기간 동안 강수 현상이 확인되지 않으면, 상기 에어로졸 관측 자료가 수집된 기간 동안의 상대 습도가 상대 습도 기준값을 초과할 경우 박무 사례로 분류하며, 상대 습도가 상대 습도 기준값 이하일 경우 장거리 수송 여부를 판단한 후 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 질량 농도 비율이 3.4를 초과할 경우 장거리 수송 연무(LH)로 분류하고, 질량 농도 비율이 3.4 이하일 경우 황사(AD) 현상으로 분류하며, 미세 입자 영역 질량 농도가 기준값 이하이면 질량 농도 비율을 판단하여 지역 발생 연무(UH)와 맑음

(CD) 현상으로 분류하는 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 분류부는,

상기 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 이상이고 상기 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 맑음 사례의 미세 입자 영역 질량 농도 기준값을 초과할 경우, 미세 입자와 조대 입자 모두 맑음 사례보다 높은 고농도 사례로 분류하는 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값은 $0.261 \mu g\ m^{-3}$,

상기 미세 입자 영역 질량 농도 기준값은 $0.339\ \mu g\ m^{-3}$,

상기 상대 습도 기준값은 80%인 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치.

청구항 7

관측 자료 입력부가 에어로졸 관측 자료를 입력받는 단계와,

상기 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도를 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값과 비교하는 단계,

상기 에어로졸 관측 자료의 질량 농도가 상기 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이면, 상기 에어로졸 관측 자료의 수집기간 동안 강수 현상을 확인하는 단계, 및

강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계를 포함하며,

상기 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는,

강수 현상이 확인되고 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율이 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 초과하면 박무와 강수 현상이 함께 발생한 사례로 분류하는 단계를 포함하는 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는,

강수 현상이 확인되고 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율이 에어로졸 질량 농도 비율 기준값 이하일 경우, 강수만 발생한 사례로 분류하는 단계를 포함하는 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값은 0.261㎍ m^{-3},

상기 에어로졸 질량 농도 비율 기준값은 3.09인 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는,

상기 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이고 상기 강수 판단부를 통해 에어로졸 관측 자료를 수집하는 기간 동안 강수 현상이 확인되지 않으면, 상기 에어로졸 관측 자료가 수집된 기간 동안의 상대 습도가 상대 습도 기준값을 초과할 경우 박무 사례로 분류하며, 상대 습도가 상대 습도 기준값 이하일 경우 장거리 수송 여부를 판단한 후 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 질량 농도 비율이 3.4를 초과할 경우 장거리 수송 연무(LH)로 분류하고, 질량 농도 비율이 3.4 이하일 경우 황사(AD) 현상으로 분류하며, 미세 입자 영역 질량 농도가 기준값 이하이면 질량 농도 비율을 판단하여 지역 발생 연무(UH)와 맑음(CD) 현상으로 분류하는 단계를 포함하는 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법.

청구항 11

제10항에 있어서,

상기 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는,

상기 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 이상이고 상기 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 맑음 사례의 미세 입자 영역 질량 농도 기준값을 초과할 경우 강수 현상 유무와 관계없이, 미세 입자와 조대 입자 모두 맑음 사례보다 높은 고농도 사례로 분류하는 단계를 포함하는 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값은 0.261㎍ m^{-3},

상기 미세 입자 영역 질량 농도 기준값은 0.339 ㎍ m^{-3},

상기 상대 습도 기준값은 80%인 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 에어로졸 고농도 현상 판별 장치와 방법에 대한 것으로서, 특히 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치 및 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0003] 황사는 사막이나 황토 지대의 모래나 흙 또는 먼지가 공중을 떠다니다가 상층 바람을 타고 먼 거리까지 날아가 낙하하는 현상을 의미하며, 연무는 먼지 현상의 하나로 대기 중에 먼지나 오염물질 등이 부유하는 현상을 의미한다. 이러한 황사나 연무 등과 같은 기상 현상은 사람이 살아가는데 영향을 주는 것으로 발생 유무에 대한 정확한 예측 기술이 요구된다.

[0004] 하지만, 기존의 예측 기술은 이러한 기상 현상에 대한 예측 정확도가 높지 않다. 따라서, 기상 현상을 기존보다 정확하게 예측할 수 있는 기술이 요구된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0006] (특허문헌 0001) 대한민국공개특허 제10-2017-0025709호(2017.03.08. 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명의 목적은 에어로졸 관측 자료를 통해 기상 현상을 보다 정확하게 예측할 수 있는 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치와 이를 이용한 황사와 연무 예측 방법을 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명의 목적은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 발명의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있고, 본 발명의 실시예에 의해 보다 분명하게 이해될 것이다. 또한, 본 발명의 목적 및 장점들은 특허 청구 범위에 나타낸 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0010] 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치는, 에어로졸 관측 자료의 질량농도를 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값과 비교하는 질량농도 판단부와, 에어로졸 관측 자료의 수집 기간 동안 강수 발생 여부를 판단하는 강수 판단부, 에어로졸 관측 자료의 수집 기간 동안 상대 습도를 판단하는 상대 습도 판단부, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율을 비교하여 판단하는 에어로졸 질량 농도 비율 판단부, 및 질량농도 판단부와 강수 판단부, 상대 습도 판단부 및 에어로졸 질량 농도 비율 판단부를 기반으로 에어로졸 관측 자료에 대한 기상 현상을 분류하는 분류부를 포함한다.

[0011] 분류부는, 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이고 강수 판단부를 통해 에어로졸 관측 자료를 수집하는 기간 동안 강수 현상이 확인되면, 에어로졸 질량 농도 비율 판단부를 통해 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율을 비교하여 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 초과하면 박무와 강수 현상이 함께 발생한 사례로 분류한다.

[0012] 분류부는, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율이 에어로졸 질량 농도 비율 기준값 이하일 경우, 강수만 발생한 사례로 분류한다.

[0013] 분류부는, 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이고 강수 판단부를 통해 에어로졸 관측 자료를 수집하는 기간 동안 강수 현상이 확인되지 않으면, 에어로졸 관측 자료가 수집된 기간 동안의 상대 습도가 상대 습도 기준값을 초과할 경우 박무 사례로 분류하며, 상대 습도가 상대 습도 기준값 이하일 경우 장거리 수송 여부를 판단한 후 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 질량 농도 비율이 3.4를 초과할 경우 장거리 수송 연무(LH)로 분류하고, 질량 농도 비율이 3.4 이하일 경우 황사(AD) 현상으로 분류하며, 미세 입자 영역 질량 농도가 기준값 이하이면 질량 농도 비율을 판단하여 지역 발생 연무(UH)와 맑음(CD) 현상으로 분류한다.

[0014] 분류부는, 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 이상이고 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 맑음 사례의 미세 입자 영역 질량 농도 기준값을 초과할 경우, 미세 입자와 조대 입자 모두 맑음 사례보다 높은 고농도 사례로 분류한다.

[0015] 또한, 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법은, 관측 자료 입력부가 에어로졸 관측 자료를 입력받는 단계와, 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도를 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값과 비교하는 단계, 에어로졸 관측 자료의 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이면, 에어로졸 관측 자료의 수집기간 동안 강수 현상을 확인하는 단계, 및 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계를 포함한다.

[0016] 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는, 강수 현상이 확인되고 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율이 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 초과하면 박무와 강수 현상이 함께 발생한 사례로 분류하는 단계를 포함한다.

[0017] 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는, 강수 현상이 확인되고 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율이 에어로졸 질량 농도 비율 기준값 이하일 경우, 강수만 발생한 사례로 분류하는 단계를 포함한다.

[0018] 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는, 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이고 강수 판단부를 통해 에어로졸 관측 자료를 수집하는 기간 동안 강수 현상이 확인되지 않으면, 에어로졸 관측 자료가 수집된 기간 동안의 상대 습도가 상대 습도 기준값을 초과할 경우 박무 사례로 분류하며, 상대 습도가 상대 습도 기준값 이하일 경우 장거리 수송 여부를 판단한 후 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 질량 농도 비율이 3.4를 초과할 경우 장거리 수송 연무(LH)로 분류하고, 질량 농도 비율이 3.4 이하일 경우 황사(AD) 현상으로 분류하며, 미세 입자 영역 질량 농도가 기준값 이하이면 질량 농도 비율을 판단하여 지역 발생 연무(UH)와 맑음(CD) 현상으로 분류하는 단계를 포함한다.

[0019] 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는, 강수 현상 유무와 관계없이 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 이상이고 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 맑음 사례의 미세 입자 영역 질량 농도 기준값을 초과할 경우, 미세 입자와 조대 입자 모두 맑음 사례보다 높은 고농도 사례로 분류하는 단계를 포함한다.

[0020] 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값은 0.261 $\mu g\ m^{-3}$, 미세 입자 영역 질량 농도 기준값은 0.339 $\mu g\ m^{-3}$, 에어로졸 질량 농도 비율 기준값은 3.09, 상대 습도 기준값은 80%로 예시한다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치와 이를 이용한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법은 고농도 에어로졸 기상 현상 분류 알고리즘을 통해 연무, 박무, 황사, 강수, 맑음 사례를 보다 객관적이고 과학적으로 분류할 수 있다.

[0023] 또한, 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치와 이를 이용한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법은 에어로졸 물리적 특성을 고려한 기상 현상 분류는 도시 대기 오염과 시정 장애 등과 같은 현상의 예측 정확도 향상에도 기여할 수 있다.

[0024] 상술한 효과와 더불어 본 발명의 구체적인 효과는 이하 발명을 실시하기 위한 구체적인 사항을 설명하면서 함께 기술한다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치의 블록도이다.

도 2는 에어로졸 수농도 관측지점의 위치를 표시한 지도이다.

도 3은 PM10과 온도, 상대습도, 풍속, 기압 사이의 DCCA 분석 결과를 나타낸 그래프이다.

도 4는 에어로졸 입자크기 채널별 수 농도와 온도와의 DCCA 결과 그래프이다.

도 5는 TP(a)와 NADP(b) 각각에서 크기 범위에 의한 에어로졸 수 농도와 상대습도간에 계산된 ρ_{DCCA} 대 박스 크기 n 그래프이다.

도 6은 TP(a)와 NADP(b) 각각에서 크기 범위에 의한 에어로졸 수 농도와 풍속간에 계산된 ρ_{DCCA} 대 박스 크기 n 그래프이다.

도 7은 TP(a)와 NADP(b) 각각에서 크기 범위에 의한 에어로졸 수 농도와 압력간에 계산된 ρ_{DCCA} 대 박스 크기 n 그래프이다.

도 8은 PM10과 에어로졸 수 농도와의 상관 분석 결과 그래프이다.

도 9는 전체 관측 기간에 대한 에어로졸 입자 크기별 수농도와 질량농도를 나타낸 그래프이다.

도 10은 기상청 일별 자료를 통하여 확인한 2009년에서 2011년 봄철 부산지역에서 발생한 황사 (AD)와 연무 (HZ), 강수 (PR), 복합 사례 (ME) 발생 빈도를 보여주는 그래프이다.

도 11은 전체 관측 기간에서 AD(a), HZ(b), MI(c), PR(d) 사례에 대한 에어로졸 수 농도 크기 분포 그래프이다.

도 12는 전체 관측 기간에서 AD(a), HZ(b), MI(c), PR(d) 사례에 대한 에어로졸 질량 농도 크기 분포 그래프이다.

도 13은 전체 관측 기간에서 황사, 연무, 박무, 강수 사례를 제외한 일반적인 맑은 날의 입자 직경별 수 농도와 질량 농도 분포를 나타낸 그래프이다.

도 14는 에어로졸 수(a)와 AD, HZ, MI, PR 및 CD 현상(b)에 대한 에어로졸 농도 분포 그래프이다.

도 15는 CD 및 PR 사례에 대한 에어로졸 질량 농도 분포 그래프이다.

도 16은 각 현상별 기상 변수의 분포를 나타낸 그래프이다.

도 17은 CD의 경우와 비교한 입자 크기별 각 현상(AD, HZ, MI 및 PR)의 에어로졸 질량 농도 비율(점선) 그래프이다.

도 18은 각 현상별 에어로졸 질량 농도 분포의 확률 밀도 함수를 나타낸다.

도 19와 도 20은 관측 기간동안 mode 1과 mode 2의 에어로졸 질량 농도 중간값을 각각 나타낸 그래프이다.

도 21은 2009년 12월 25일 1900UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다. 도 22와 도 23은 2009년 12월 25일부터 26일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다.

도 24는 2010년 1월 10일 1000UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

도 25는 2010년 1월 11일 1000UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

도 26 및 도 27은 2010년 1월 9일부터 12일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다.

도 28은 2010년 1월 20일 1300UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

도 29 및 도 30은 2010년 1월 19일부터 21일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다.

도 31은 2010년 1월 31일 0400UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

도 32및 도 33은 2010년 1월 30일부터 2월 2일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다.

도 34는 2010년 2월 8일 0300UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

도 35 및 도 36은 2010년 2월 7일부터 2월 9일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다.

도 37은 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법의 순서도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 전술한 목적, 특징 및 장점은 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 후술되며, 이에 따라 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명의 기술적 사상을 용이하게 실시할 수 있을 것이다. 본 발명을 설명함에 있어서 본 발명과 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 상세한 설명을 생략한다. 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 도면에서 동일한 참조부호는 동일 또는 유사한 구성요소를 가리키는 것으로 사용된다.

[0028] 도 1은 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치의 블록도이다.

[0029] 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치는 도 1에 도시된 바와 같이, 조대 입자 영역의 질량농도를 판단하는 질량농도 판단부(100)와, 질량농도 판단부(100)에서 기준값 미만일 경우 강수 발생 여부를 판단하는 강수 판단부(200), 상대 습도를 판단하는 상대 습도 판단부(300), 에어로졸 질량 농도 비율을 판단하는 에어로졸 질량 농도 비율 판단부(400), 장거리 수송 여부 판단부(500) 및 조대 입자 영역의 질량농도와 강수 발생 여부, 상대 습도, 에어로졸 질량 농도 비율을 기반으로 기상현상을 분류하는 분류부(600)를 포함한다.

[0030] 질량농도 판단부(100)는 입력받은 에어로졸 관측 자료의 질량농도를 조대 입자 영역의 질량농도 기준값과 비교한다. 여기서, 맑음 사례의 조대 입자 영역(mode2)의 질량 농도 중간값을 기준값으로 질량농도를 판단한다. 본 실시예는 조대 입자 영역(mode2)의 질량 농도 중간값으로 $0.261\,\mu g\ m^{-3}$을 예시한다. 여기서, 조대 입자 영역(mode2)의 질량 농도 중간값은 2009년 12월 25일부터 2010년 2월 28일까지 관측한 기상청 일별 자료와 해당기간 동안 부산의 부경대학교에서 관측된 LPC 자료를 통해 검증을 수행하였다. 해당 기간 동안의 에어로졸 질량 농도를 2009년부터 2011년 봄철의 관측값과 비교하였을 때, 미세 입자 영역(mode1)에서 에어로졸 질량 농도의 차이는 6.2배, 조대 입자 영역(mode2)에서는 1.6배이며, 본 발명의 조대 입자 영역(mode2)의 질량 농도 중간값은 이 차이를 고려하였다. 이러한 질량농도 판단부(100)는 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도와 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값을 비교하여 질량농도를 판단한다. 여기서, 질량농도 판단부(100)는 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값인 $0.261\,\mu g\ m^{-3}$과 비교한다.

[0031] 한편, 본 발명은 에어로졸 관측 자료를 입력받기 위한 관측 자료 입력부(미도시)를 포함할 수 있다. 관측 자료 입력부는 에어로졸 관측 자료를 전송받는 네트워크 장치일 수 있으며, 휴대용 저장장치를 통해 에어로졸 관측 자료를 전송받을 수 있는 USB 입력 장치일 수도 있다.

[0032] 강수 판단부(200)는 입력받은 에어로졸 관측 자료의 수집 기간 동안 강수 여부를 판단한다. 여기서, 강수 판단부(200)는 질량농도 판단부(100)에서 판단된 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 기준값 미만일 경우 강수 여부 판단을 수행하는 것이 바람직하다.

[0033] 상대 습도 판단부(300)는 입력받은 에어로졸 관측 자료의 수집 기간 동안 상대 습도를 판단한다. 여기서, 상대 습도 판단부(300)는 강수 판단부(200)에서 강수가 발생하지 않은 것으로 판단할 경우 상대 습도를 판단하는 것이 바람직하다.

[0034] 에어로졸 질량 농도 비율 판단부(400)는 미세 입자 영역(mode1)과 조대 입자 영역(mode2)의 에어로졸 질량 농도 비율을 비교하여 판단한다. 여기서, 에어로졸 질량 농도 비율 판단부(400)는 에어로졸 질량 농도 비율 기준값으로 미세 입자 영역(mode1)과 조대 입자 영역(mode2)의 에어로졸 질량 농도 비율을 비교하며, 본 실시예는 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 3.09로 예시한다.

[0035] 장거리 수송 여부 판단부(500)는 장거리 수송 연무(LH)를 판단한다. 이를 위해서, 장거리 수송 여부 판단부(500)는 HYSPLIT 모델을 통해 역궤적 분석을 수행하여 장거리 수송 여부를 판단한다. 여기서, 장거리 수송 여부 판단부(500)는 후술될 분류부(600)의 제어에 의해 장거리 수송 여부를 판단한다. 다만, 장거리 수송 여부 판단부(500)의 기능은 후술될 분류부(600)에 포함될 수도 있다.

[0036] 분류부(600)는 입력받은 에어로졸 관측 자료를 기반으로 질량농도 판단부(100)와 강수 판단부(200), 상대 습도 판단부(300) 및 에어로졸 질량 농도 비율 판단부(400)를 이용하여 황사와 연무를 분류하여 예측한다.

[0037] 구체적으로, 분류부(600)는 질량농도 판단부(100)를 통해 에어로졸 관측 자료에서 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역(mode2)의 질량 농도 중간값, 즉, 기준값인 0.261 $\mu g\ m^{-3}$ 미만일 경우, 강수 판단부(200)를 통해 에어로졸 관측 자료를 수집하는 기간 동안 강수 여부를 판단한다. 여기서, 강수 현상이 확인되면 에어로졸 질량 농도 비율 판단부(400)를 통해 미세 입자 영역(mode1)과 조대 입자 영역(mode2)의 에어로졸 질량 농도 비율을 비교하고, 기준값인 3.09를 초과하면 박무와 강수 현상이 함께 발생한 사례로 분류한다. 또한, 미세 입자 영역(mode1)과 조대 입자 영역(mode2)의 에어로졸 질량 농도 비율이 기준값인 3.09 이하일 경우, 강수만 발생한 사례로 분류한다. 다만, 전술된 경우에서 강수 현상이 확인되지 않았을 경우 분류부(600)는 상대 습도 판단부(300)를 통해 입력받은 에어로졸 관측 자료가 수집된 기간 동안의 상대 습도와 상대 습도 기준값을 비교하여 사례를 분류한다. 이는 예를 들어, 상대 습도가 상대 습도 기준값을 초과할 경우 박무 사례로 분류하며, 상대 습도가 상대 습도 기준값 이하일 경우 장거리 수송 연무(LH), 지역 발생 연무(UH) 또는 맑음(CD) 현상으로 분류할 수 있다. 여기서, 장거리 수송 연무(LH), 지역 발생 연무(UH) 또는 맑음(CD) 현상의 분류는 미세 입자 영역(mode1)의 질량 농도 중간값인 0.339 $\mu g\ m^{-3}$을 고려하여 분류할 수 있다. 이는 예를 들어, 장거리 수송 여부를 판단한 후, 미세 입자 영역(mode1)과 조대 입자 영역(mode2)의 질량 농도 비율이 3.4를 초과할 경우 장거리 수송 연무(LH)로 분류하고, 질량 농도 비율이 3.4 이하일 경우 황사(AD) 현상으로 분류한다. 조대 입자 농도가 높더라도 미세 입자 농도가 기준값 이하이면 질량 농도 비율을 판단하여 지역 발생 연무(UH)와 맑음(CD) 현상으로 분류한다. 여기서, 장거리 수송 여부의 판단은 HYSPLIT 모델을 통해 역궤적 분석을 수행할 수 있으며, 부산과 안면도에서의 에어로졸 관측 자료의 비교를 수행하였다. HYSPLIT 모델 수행 시 LPC 관측 지점인 부경대학교(위도: 35.1349, 경도: 129.1047)를 역궤적 시작점으로 지정하였고, 사례에 따라 GDAS 0.5 또는 1.0 degree 자료를 사용하였다.

[0038] 또한, 분류부(600)는 질량농도 판단부(100)를 통해 에어로졸 관측 자료에서 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역(mode2)의 질량 농도 중간값, 즉, 기준값인 0.261 $\mu g\ m^{-3}$ 이상일 경우, 맑음 사례의 미세 입자 영역(mode1) 기준 농도를 고려하여 사례를 분류할 수 있다. 이는 예를 들어, 에어로졸 관측 자료에서 에어로졸 질량 농도가 맑음 사례의 미세 입자 영역(mode1) 기준 농도를 초과할 경우 미세 입자와 조대 입자 모두 맑음 사례보다 높은 고농도 사례인 것으로 분류할 수 있다.

[0039] 한편, 본 발명은 전술된 구성의 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치를 구현하기 위해서, 에어로졸의 물리적 특성과 기상 현상의 관계를 살펴보았다.

[0040] 도 2는 에어로졸 수농도 관측지점의 위치를 표시한 지도이다.

[0041] 우선, 본 발명은 입자 크기별 에어로졸 수농도를 관측하기 위해, 도 2에 도시된 바와 같이, 한반도 남동쪽에 위치한 부산 부경대학교에서 광학 입자 계수기(LPC, KANOMAX, Model: 3900)를 사용하여 관측을 28.3 L min^{-1}유량으로 매 10분마다 관측을 수행하였다. 광학 입자 계수기(LPC)는 광전 증폭관에서 산란된 빛의 양에 비례하는 파형 모양의 크기가 입자의 크기와 관련되고, 파형의 수는 입자 수와 관련이 있다는 원리를 사용하여 입자 직경별 농도를 측정한다. 광학 입자 계수기(LPC)의 특징은 아래의 표 1과 같다.

표 1

[0042]

Item	Contents
Light collection	Wide-angle light collection by the ellipsoidal mirror
Light source	Laser diode
Particle diameter	Less than 10.0 ㎛
Size channels (㎛)	0.3, 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 and 10.0 ㎛
Sample flow rate	28.3 L min^{-1}
Power Supply	Ni-cd Battery with AC adaptor (standard) dry cell battery/U2X9 (optional)

[0043] 또한, 표 2를 참조하면, 측정가능한 에어로졸 범위는 0.3 ㎛ 부터 10.0㎛까지이다.

표 2

[0044]

Channel	Range (㎛)
1	0.3 ~ 0.5
2	0.5 ~ 1.0
3	1.0 ~ 3.0
4	3.0 ~ 5.0
5	5.0 ~ 10.0

[0045] 안면도 (36° 32′ N, 126° 19′ E, 45.7 m a.s.l)에 위치한 세계기상기구 지구대기감시소에서 관측된 공기역학 입자 크기 분석기(Aerodynamic Particle Sizer, APS) 자료와 부산 부경대학교에서 관측한 에어로졸 입자 분포를 비교하였다. 안면도 관측 지점은 한반도 중부 서해안에 위치하며, 이 지역의 대기를 대표할 수 있는 배경 대기 관측 지점이다.

[0046] 공기역학 입자 크기 분석기(APS)는 입자 가속 노즐과 광산란 장치로 구성된 측정 모듈로 유입되는 입자의 크기에 따른 속도를 측정하고, APD(Avalanche Photo Detector)에서 산란을 감지하여 각 입자크기의 농도를 측정한다. 공기역학 입자 크기 분석기(APS)는 에어로졸 수농도를 0.5㎛ 부터 20.0 ㎛까지의 관측 범위를 가지는 52개의 채널에서 매 3분마다 관측한다. 채집 유량과 외부 유량은 각각 1 $L \cdot min^{-1}$ 과 4 $L \cdot min^{-1}$ 이다. 관측 불확실성은 약 ± 10%이다.

[0047] 대기 중 에어로졸의 크기는 넓은 범위에 걸쳐 존재하기 때문에 입자 크기 분포는 농도를 정확하게 계산하는 수학적 묘사에 의하여 표현된다. 에어로졸은 같은 광학 특성을 가지는 구형 물질로 추정된다. 크기 범위 $(D_p, D_p + dD_p)$ 의 입자 개수를 $dN = n_N(D_p)dD_p$ 로 가정하면, 에어로졸 수농도 크기 분포 $n_N(D_p)$, 에어로졸 표면적 농도 크기 분포 $n_s(D_p)$, 에어로졸 체적 농도 크기 분포 $n_V(D_p)$, 그리고 에어로졸 질량 농도 크기 분포 $n_m(D_p)$는 아래의 수학식1 내지 수학식4와 같이 표현된다.

수학식 1

[0048]
$$n_N(D_p) = \frac{dN}{dD_p}$$

수학식 2

[0049]
$$n_S(D_p) = \pi D_p^2 n_N(D_p)$$

수학식 3

[0050]
$$n_V(D_p) = \frac{\pi}{6} D_p^3 n_N(D_p)$$

수학식 4

[0051]
$$n_m(D_p) = \frac{\rho_p}{10^6} \frac{\pi}{6} D_p^3 n_N(D_p)$$

[0052] 여기서 N 은 단위 체적 (cm^{-3}) 당 입자 개수를 의미하며, D_p는 입자 직경 (μm)을 나타낸다. 입자의 밀도 ρ_p($g\ cm^{-3}$)는 일반적으로 1에서 2사이의 값을 가진다. 이것은 입자의 크기와 유형, 계절과 지역 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 본 발명은 주로 봄철에 관측되는 대기 입자를 분석하기 때문에, 1.6을 사용하였다. 아래의 수학식5 내지 수학식8은 전술된 수학식1 내지 수학식4를 상용 로그화하여 표현한 방정식이다.

수학식 5

[0053] $$\frac{dN}{dlogD_p} = 2.303 D_p n_N(D_p) \quad (cm^{-3})$$

수학식 6

[0054] $$\frac{dS}{dlogD_p} = 2.303 D_p n_S(D_p) \quad (\mu m^2 \cdot cm^{-3})$$

수학식 7

[0055] $$\frac{dV}{dlogD_p} = 2.303 D_p n_V(D_p) \quad (\mu m^3 \cdot cm^{-3})$$

수학식 8

[0056] $$\frac{dM}{dlogD_p} = 2.303 D_p n_m(D_p) \quad (\mu g \cdot cm^{-3})$$

[0057] 고농도 에어로졸 현상별 에어로졸 크기에 따른 농도 분포를 통계적으로 조사하기 위하여, 각 현상 별 최적확률밀도함수를 에어로졸 직경에 따른 질량 농도 자료를 활용하여 유도하였다. 단위 체적 당 질량 농도는 로그정규분포를 따르며, 통계학적 지수는 관측 자료를 통해 계산된다.

[0058] 일반적으로 대기 중 에어로졸의 입자크기분포는 자연적 그리고 인위적으로 다양한 발생원의 영향으로 미세 입자와 조대 입자 영역에서 각각의 변곡점을 가지는 바이모달 분포를 보인다.

[0059] 에어로졸 입자 크기에 따른 질량 농도 분포를 통계적으로 살펴보기 위하여, 두개의 피크를 가지는 최적 로그정규분포 함수를 아래 수학식과 같은 형태로 나타낼 수 있다.

수학식 9

[0060] $$\frac{dM}{dlogD} = A_1 exp\left[-\frac{[logD - D_{g1}]^2}{2[log\sigma_{g1}]^2}\right] + A_2 exp\left[-\frac{[logD - D_{g2}]^2}{2[log\sigma_{g2}]^2}\right]$$

[0061] 여기서 A_1과 A_2는 진폭, D_1과 D_2는 기하학적 평균 질량 직경, σ_1 and σ_2는 모드1(mode1)과 모드2(mode2)의 기하학적 표준 편차를 나타낸다.

[0062] 에어로졸 농도와 기상학적 변수 사이의 교차 상관성은 DCCA를 활용하여 분석하였다. 다른 교차 상관 분석법과는 달리, DCCA는 박스 이론법을 활용하여 각 시간 구간(박스 크기로 정의할 수 있음)별 상관 분석 값을 유도할 수 있다.

[0063] 시계열 자료의 단순화를 위하여, 두 시계열 자료를 $\{x_i\}$ 와 $\{x_i{}'\}$로 산정하였고, 여기서 $i = 1, 2, \ldots, N$이다. 그리고 각 시계열의 합은 $X_k = \sum_{i=1}^{k} x_i$ 와 $X_k{}' = \sum_{i=1}^{k} x_i{}'$ 로 정의할 수 있으며, 여기에서 $k \leq N$이다. 시계열 $\{x_i\}$의 평균과 분산은 다음 수학식과 같이 정의된다.

수학식 10

[0064] $$\mu = \bar{x_i} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i \text{ and } \sigma^2 = \overline{(x_i - \mu)^2} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} (x_i - \mu)^2$$

[0065] 시계열 $\{x_i{}'\}$는 평균 $\mu' = \overline{x_i{}'}$, 분산 $\sigma'^2 = \overline{(x_i{}' - \mu')^2}$ 로 정의한다. 본 발명에서는 시계열 $\{x_i\}$ 와 $\{x_i{}'\}$의 자기 상관성에 대해 다음 수학식과 같이 추정하였다.

수학식 11

[0066] $$A(n) = \overline{(x_i - \mu)(x_{i+n} - \mu)}/\sigma^2$$

수학식 12

[0067] $$A'(n) = \overline{(x_i{}' - \mu')(x_{i+n}{}' - \mu')}/\sigma'^2$$

[0068] 또한, 교차 상관 함수는 다음과 같이 정의된다.

수학식 13

[0069] $$C(n) = \overline{(x_i - \mu)(x_{i+n} - \mu)}/\sigma\,\sigma'$$

[0070] 자기 상관 척도는 $0 < \alpha,\ \alpha' < 1$ 범위를 가지는 멱법칙 $A(n) \sim n^{-\alpha}$ 와 $A'(n) \sim n^{-\alpha'}$ 이며, 교차 상관 척도는 $0 < \beta < 1$ 범위를 가지는 멱법칙 $C(n) \sim n^{-\beta}$ 이다.

[0071] DCCA는 탈경향변동분석법(Detrended Fluctuation Analysis, DFA)의 일반화이다. 이 방법은 다음과 같이 설계되었다: 먼저, 동일한 길이 N를 가지는 시간 단위의 PM_{10} 편차를 $\{x_i\}$, 기상 변수 자료의 편차를 $\{x_i{}'\}$로 고려한다. 그리고 두개의 적분된 값 X_k 와 $X_k{}'$ 로 계산되고, 여기서 $k = 1, 2, \ldots, N$ 이다.

[0072] 두번째 단계로, 전체 시계열은 각각 $n+1$ 을 포함하는 $N-n$ 개의 중첩되는 박스로 나뉘어 진다. 두 시계열 모두 로컬 추세는 i 에서 $i+n$까지 각 상자에 정의되며, $\bar{X}_{k,i}$ 와 $\bar{X}_{k,i}{}'$ $(i \leq k \leq i+n)$는 최소자승법에 의해 생성된다. 이것은 기존의 경향성과 로컬 경향성과의 차이로 탈경향 경향으로 정의된다.

[0073] 세번째로 각 박스별 잔차의 공분산을 아래 수학식을 통해서 계산한다.

수학식 14

[0074] $$f_{DCCA}^2(n,i) = \frac{1}{n+1}\sum_{k=i}^{i+n}(X_k - \overline{X_{k,i}})(X_k^{'} - \overline{X_{k,i}^{'}})$$

[0075] 네번째로 크기가 n인 중첩된 $N-n$ 개의 박스 모두에 대한 합산에 의하여 탈경향 공분산 함수가 아래의 수학식 15를 통해 계산된다.

수학식 15

[0076] $$F_{DCCA}^2(n) = \frac{1}{N-n}\sum_{i=1}^{N-n} f_{DCCA}^2(n,i)$$

[0077] 만약 $X_k = X_k^{'}$ 이면, 두 시계열은 하나의 시계열로 바뀌므로 이 경우 탈경향 공분산은 탈경향 분산이 된다. $F_{DCCA}(n)$는 평균제곱근 변이 함수 $F_{DFAx_i}(n)$ 로 감소한다.

수학식 16

[0078] $$F_{DFAx_i}(n) = \sqrt{\frac{1}{N-n}\sum_{i=1}^{N-n} f_{DFA}^2(n,i)}$$

[0079] 여기서 $f_{DFA}^2(n,i) = \frac{1}{n-1}\sum_{k=i}^{i+n}(X_k - \overline{X_{k,i}})^2$ 이다.

[0080] 마지막 단계로 DCCA 교차 상관 계수를 도출한다. ρ_{DCCA}는 다음과 같이 정의된다.

수학식 17

[0081] $$\rho_{DCCA}(n) = \frac{F_{DCCA}^2(n)}{F_{DFAx_i}(n)F_{DFAx_i^{'}}(n)}$$

[0082] 여기서 $F_{DCCA}^2(n)$는 탈경향 공분산 함수를 나타내며 ρ_{DCCA} 값은 $-1 \le \rho_{DCCA} \le 1$의 범위이다. 만약 변수 x_i와 $x_i^{'}$가 완벽한 양의 교차 상관성을 보이면, ρ_{DCCA}는 1이다. 반면에, 두 변수가 완벽하게 음의 상관성을 띄면 $\rho_{DCCA} = -1$ 이다. $\rho_{DCCA} = 0$은 두 변수 간의 관계에 교차 상관이 없는 경우에 해당한다. ρ_{DCCA}를 계산할 때 n의 크기는 특정 시간의 교차 상관을 판단하고 계산 효율을 고려하여 3시간 간격으로 설정하였다.

[0083] 공기괴의 기원을 결정하기 위한 후방 궤적은 국립해양기상청 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)의 Air resources laboratory (ARL)에서 개발한 hybrid single-particle lagrangian integrated trajectory (HYSPLIT) 모델(model)을 사용하여 계산하였다. 이 모델은 공기괴가 초기 위치에서 이류 및 확산 과정을 통하여 이동하는 정도를 기준 프레임의 이동을 계산하는 Lagrangian 방법과 대기오염 물질농도를 계산하기 위한 기준 프레임으로 고정된 3차원 격자를 사용하는 Eulerian 접근 방식 사이의 하이브리드 계산 방법을 기반으로 한다. 본 모델은 NOAA의 Real-time environmental applications and display system (READY)를 통하여 웹에서 실행할 수 있다. 본 발명에서는 Global data analysis system (GDAS)를 초기자료로 사용하여 평균 해수면 0km에서 72시간 동안 HYSPLIT 역궤적 모델링을 수행하였다. 분석을 위한 수직 이동 옵션은 모델에서 생성된 연직 속도를 선택하였다. 관측 장비가 설치된 지점에서 각 사례의 농도가 최대치로 나타난 시점을 기준으로 3개 고도 (50, 500, 1000m)에서 역궤적 분석을 실시하였다.

[0084] 기상요소와 미세입자 농도 시계열 자료 간의 교차 상관성을 분석하기 위해서 부산 지역에서 관측한 관측자료에 특정 경향성을 제거하여 상관성을 도출하는 DCCA 기법을 적용하였다.

[0085] 먼저 10 μm 이하 전체 미세먼지 농도와 기상 자료 사이의 탈경향 상관성을 분석하기 위하여 PM_{10} 농도 자료를 사용하였다.

[0086] PM_{10}자료는 본 발명에서의 분석 지점인 부경대학교와 가장 인접한 환경부 도시대기 관측지점인 대연(35° 08´ N, 129° 06´ E) 지점 자료를 사용하였으며, 기상 자료 (온도, 상대습도, 풍속, 기압)는 기상청 대청동 지점 (35° 06´ N, 129° 01´ E) 지점 자료를 사용하였다. 본 발명에서 황사 현상이 교차 상관성에 미치는 영향을 고려하기 위하여 기상청에서 발표한 황사 일수를 기준으로 전체 자료의 기간을 전체 기간 (TP)와 비 황사 기간 (NAPD)으로 나누었다. 교차 상관 계수 계산에서 박스 크기 n은 3시간 간격으로 설정하였으며 최대 1440 시간 (2개월)까지 계산하였다.

[0087] 도 3은 PM_{10}과 온도, 상대습도, 풍속, 기압 사이의 DCCA 분석 결과를 나타낸 그래프이다. 도 3 (a)는 전체 기간 (TP), 도 3 (b)는 비 황사기간 (NAPD)이다.

[0088] 상관 분석 결과, 두 기간에서 모든 기상 요소와의 상관 계수는 -0.2에서 0.3 사이의 범위를 보였으며, 온도와의 상관성은 전체 박스 크기에서 양의 상관성을, 상대 습도의 경우에는 대부분 음의 상관성을 보였다. 풍속과 기압은 박스 크기에 따라 다른 결과를 보였으나, 풍속은 24시간을 기준으로 각기 다른 상관성을 보였으며, 기압은 전체 기간에서는 72시간을 기준으로 상반된 상관값을 보였다.

[0089] 비황사 사례 (NAPD)의 경우 교차 상관성은 전체 기간의 결과 보다 더 뚜렷하게 나타났고, 24시간 이상의 시간 범위에서 더 명확하게 나타났다. 이런 차이는 황사 사례 동안 기록된 높은 PM_{10} 농도가 상관 결과에 영향을 미친 것으로 사료된다. 표 3과 표 4를 참조하면, 비황사 기간에서 온도와 PM_{10}과의 상관성이 가장 뚜렷하게 나타났고, 기압은 두 기간 모두 가장 약한 상관성을 보였다.

표 3

[0090]

Box size (hour)	TP			
	Temperature	Humidity	Wind speed	Pressure
3	0.01	0.03	-0.01	-0.02
6	0.03	-0.01	-0.03	0.02
12	0.09	-0.07	-0.03	0.04
24	0.07	-0.01	0.00	0.03
48	0.04	-0.12	0.02	0.00
72	0.05	-0.10	0.03	-0.04
168	0.11	-0.10	0.07	-0.08
336	0.12	-0.11	0.11	-0.10
720	0.10	-0.10	0.08	-0.14
1440	0.03	-0.07	0.09	-0.16

표 4

[0091]

Box size (hour)	NADP			
	Temperature	Humidity	Wind speed	Pressure
3	0.00	-0.01	-0.02	0.01
6	0.06	-0.03	0.02	0.05
12	0.17	-0.07	0.05	0.08
24	0.22	-0.11	0.10	0.05
48	0.22	-0.12	0.12	0.07
72	0.23	-0.11	0.12	0.07
168	0.26	-0.09	0.16	0.06
336	0.25	-0.11	0.16	0.06
720	0.25	-0.05	0.06	0.03
1440	0.29	0.08	0.07	-0.13

[0092] 에어로졸 수농도 자료는 2009년부터 2011년까지 봄철 관측된 자료를 통하여 한 시간 간격 자료로 재생산하였다. 에어로졸 농도는 5구간으로 구분되어 관측되며, 각각 0.3 μm (0.3 ~ 0.5 μm), 0.5 μm (0.5 ~ 1.0 μm), 1.0 μm (1.0 ~ 3.0 μm), 3.0 μm (3.0 ~ 5.0 μm), 5.0 μm (5.0 ~ 10 μm) 이다. 수농도값은 각 관측 채널별 에어로졸 개수를 통해 계산하였다.

[0093] 도 4는 에어로졸 입자크기 채널별 수 농도와 온도와의 DCCA 결과 그래프이다.

[0094] 도 4를 참조하면, 온도와 에어로졸 수 농도 사이의 교차 상관성은 PM_{10}과의 결과(도 3)와 유사하게 도출되었다. 비황사 기간의 상관성이 전체 기간보다 높게 나왔으며, 24시간 이상일 때 더 강한 상관성을 보였다. 표 5를 참조하면, 박스 크기가 12에서 72 사이에서 두 기간 모두 뚜렷한 양의 상관성을 보였고, 입자 크기가 3.0 μm 이상일 때 상대적으로 강한 상관성을 보였다.

표 5

[0095]

Box size (hour)	TP				
	0.3 ㎛	0.5 ㎛	1.0 ㎛	3.0 ㎛	5.0 ㎛
3	-0.01	0.00	-0.03	-0.04	-0.03
6	0.01	0.04	0.04	0.05	0.05
12	0.05	0.09	0.08	0.12	0.11
24	0.04	0.09	0.08	0.14	0.12
48	0.06	0.09	0.06	0.11	0.09
72	0.06	0.10	0.06	0.10	0.09
168	0.11	0.15	0.10	0.09	0.11
336	0.17	0.17	0.12	0.09	0.11
720	0.12	0.10	0.10	0.08	0.08
1440	0.13	0.13	0.04	0.04	0.04
Box size (hour)	NADP				
	0.3 ㎛	0.5 ㎛	1.0 ㎛	3.0 ㎛	5.0 ㎛
3	0.00	0.01	-0.02	-0.03	0.00
6	0.02	0.03	0.02	0.05	0.06
12	0.05	0.08	0.03	0.11	0.11
24	0.04	0.08	0.04	0.18	0.18
48	0.05	0.09	0.07	0.18	0.19
72	0.05	0.10	0.07	0.16	0.18
168	0.09	0.13	0.09	0.11	0.15
336	0.16	0.15	0.09	0.08	0.11
720	0.19	0.10	0.05	0.01	-0.03
1440	0.17	0.09	0.04	-0.05	-0.15

[0096] 도 5는 TP(a)와 NADP(b) 각각에서 크기 범위에 의한 에어로졸 수 농도와 상대습도간에 계산된 ρ_{DCCA} 대 박스 크기 n 그래프이다.

[0097] 상대습도와 에어로졸 수 농도 사이의 상관성은 기상 요소와 비교하였을 때 가장 강한 상관성이 도출되었다. 온도와의 상관 결과와는 달리, 채널별 상관성이 각기 다르게 산출되었다.

[0098] 도 5를 참조하면, 전반적으로 PM_{10}과는 음의 상관성을 보인 것과는 대조적으로 입자 크기가 가장 작은 0.3 μm 채널에서는 전체 박스 크기 영역에서 양의 상관성을 보였으며, 3 μm보다 큰 입자 크기 채널에서는 음의 상관성을 보였다. 이것은 대기 중 수증기가 1 μm 보다 작은 초미세입자의 수 농도를 증가시키는 요인으로 작용한 것으로, 조대 입자의 경우에는 흡습으로 인한 침식 효과로 인한 결과로 사료된다.

[0099] 도 6은 TP(a)와 NADP(b) 각각에서 크기 범위에 의한 에어로졸 수 농도와 풍속간에 계산된 ρ_{DCCA} 대 박스 크기 n 그래프이다.

[0100] 도 6을 참조하면, 풍속과 에어로졸 수 농도 사이의 상관성은 비 황사 기간에서 더 뚜렷했으며, 그 상관성은 일반적으로 입자 크기가 증가할수록 강하였다. 그리고 온도나 상대습도의 상관성보다는 상대적으로 낮은 상관성을

보였다. 두 기간 모두 3 μm보다 큰 입자 크기 채널에서는 상대적으로 뚜렷한 양의 상관성을 보이고, 초미세입자 채널인 0.3 μm에서는 음의 상관성을 보인다.

표 6

[0101]

Box size (hour)	TP				
	0.3 ㎛	0.5 ㎛	1.0 ㎛	3.0 ㎛	5.0 ㎛
3	0.02	-0.01	-0.03	-0.03	-0.06
6	0.01	-0.04	-0.05	-0.05	-0.08
12	0.03	-0.06	-0.06	-0.08	-0.12
24	0.03	-0.08	-0.06	-0.10	-0.14
48	0.07	-0.04	-0.05	-0.12	-0.14
72	0.10	-0.02	-0.03	-0.12	-0.14
168	0.12	0.01	-0.02	-0.14	-0.19
336	0.10	0.00	0.01	-0.14	-0.19
720	0.10	0.02	0.05	-0.11	-0.16
1440	0.24	0.17	0.04	-0.14	-0.15
Box size (hour)	NADP				
	0.3 ㎛	0.5 ㎛	1.0 ㎛	3.0 ㎛	5.0 ㎛
3	0.03	0.00	-0.01	0.01	0.01
6	0.01	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02
12	0.03	-0.04	0.01	-0.04	-0.07
24	0.03	-0.06	0.06	-0.05	-0.09
48	0.07	-0.02	0.09	-0.07	-0.09
72	0.10	0.00	0.09	-0.08	-0.11
168	0.12	0.02	0.08	-0.19	-0.21
336	0.09	-0.01	0.09	-0.18	-0.20
720	0.12	0.01	0.08	-0.18	-0.25
1440	0.25	0.14	0.09	-0.21	-0.25

[0102] 도 7은 TP(a)와 NADP(b) 각각에서 크기 범위에 의한 에어로졸 수 농도와 압력간에 계산된 P_{DCCA} 대 박스 크기 n 그래프이다.

[0103] 도 7을 참조하여 기압과 에어로졸 수 농도와의 상관 분석 결과를 살펴보면 다른 기상변수들 과의 상관성 결과보다 전체 박스 크기 영역에서 상당히 일관적인 상관 패턴을 보였고, 특히 전체 기간 (TP)에서 그 특성이 뚜렷하였다. 한 달 (720시간) 이하의 박스 크기에서는 0.1 이하의 약한 상관성을 보였으나, 그 이상의 장기간 패턴에서는 1 μm 이하의 미세 입자 채널에서 대부분 음의 상관성을 보였다. 이것은 종관적 기압 패턴의 변화로 인한 강수 현상 발생/소멸이 에어로졸 감소/증가에 영향을 미친 것으로 보여진다.

[0104] 도 8은 PM_{10}과 에어로졸 수 농도와의 상관 분석 결과 그래프이다.

[0105] 도 8을 참조하면, 전체 기간의 경우 PM_{10}과 1 μm 이상의 조대 입자 사이의 상관성은 0.5 이상의 강한 양의 상관성을 보였고, 비 황사 기간의 결과와 비교하였을 때 상대적으로 더 뚜렷하게 나타났다. 이것은 황사 현상이 결과값에 영향을 미친 것으로 판단된다.

[0106] 반면 비 황사 기간의 경우에는 1 μm 이하의 미세 입자 영역에서 상관값이 더 높았다. 이것은 봄철 비 황사 기간에 발생하는 에어로졸 고 농도 사례의 경우, 조대 입자의 농도가 많은 영향을 미치는 PM_{10}보다 미세 입자의 농도인 PM_1의 영향이 더 강조되는 결과이다.

표 7

[0107]

Box size (hour)	TP				
	0.3 ㎛	0.5 ㎛	1.0 ㎛	3.0 ㎛	5.0 ㎛
3	-0.01	0.00	0.03	0.06	0.04
6	-0.01	-0.01	0.00	0.03	0.03
12	0.00	0.01	-0.02	0.00	0.01

24	-0.01	0.04	0.00	0.04	0.04
48	-0.02	0.04	0.00	0.02	0.04
72	-0.01	0.05	0.01	0.01	0.04
168	-0.03	0.06	0.06	0.07	0.08
336	-0.03	0.05	0.11	0.14	0.12
720	0.01	0.07	0.05	0.10	0.10
1440	0.01	0.18	0.02	0.05	0.12
Box size	NADP				
(hour)	0.3 ㎛	0.5 ㎛	1.0 ㎛	3.0 ㎛	5.0 ㎛
3	-0.02	-0.01	-0.01	0.01	0.01
6	-0.02	-0.01	-0.02	0.01	0.02
12	-0.01	0.02	-0.01	0.03	0.05
24	-0.02	0.04	0.01	0.08	0.11
48	-0.02	0.05	0.04	0.08	0.11
72	-0.02	0.05	0.05	0.09	0.12
168	-0.03	0.05	0.08	0.13	0.14
336	-0.03	0.05	0.09	0.15	0.14
720	0.04	0.10	0.04	0.07	0.10
1440	0.11	0.16	-0.03	0.01	0.08

표 8

[0108]

Box size	TP				
(hour)	0.3 ㎛	0.5 ㎛	1.0 ㎛	3.0 ㎛	5.0 ㎛
3	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02
6	0.04	0.02	0.01	-0.01	0.01
12	0.09	0.07	0.02	-0.01	0.03
24	0.05	0.03	-0.03	-0.03	-0.01
48	-0.03	-0.04	-0.08	-0.04	-0.06
72	-0.05	-0.06	-0.10	-0.04	-0.07
168	0.00	-0.01	-0.07	-0.01	-0.05
336	-0.02	-0.01	-0.08	0.00	-0.06
720	-0.06	-0.09	-0.17	-0.08	-0.10
1440	-0.26	-0.27	-0.15	-0.04	-0.10
Box size	NADP				
(hour)	0.3 ㎛	0.5 ㎛	1.0 ㎛	3.0 ㎛	5.0 ㎛
3	0.02	0.01	0.00	0.00	-0.01
6	0.04	0.02	0.03	0.02	0.01
12	0.09	0.06	0.05	0.05	0.04
24	0.05	0.03	-0.03	-0.02	-0.03
48	-0.02	-0.03	-0.09	-0.02	-0.06
72	-0.03	-0.03	-0.09	0.00	-0.04
168	-0.01	-0.01	-0.06	0.08	0.03
336	-0.02	-0.01	-0.09	0.07	0.05
720	-0.10	-0.11	-0.16	0.01	0.10
1440	-0.24	-0.20	-0.11	0.10	0.17

[0109] 에어로졸 입자의 농도 변동 특성을 조사하기 위하여 2009년 3월부터 5월, 2010년 3월부터 4월, 2011년 3월부터 5월까지 관측한 에어로졸 입자 크기별 수 농도 자료를 분석하였다. 에어로졸 입자의 크기가 작을수록 총 수 농도에 큰 기여를 하지만, 총 표면적 또는 부피 농도에서는 기여도가 작다.

[0110] 도 9는 전체 관측 기간에 대한 에어로졸 입자 크기별 수농도와 질량농도를 나타낸 그래프이다. 도 9의 가로축과 세로축은 상용 로그로 표현하였고, 각 입자크기 채널별 중간값을 가로축에 표기하였다.

[0111] 도 9를 참조하면, 수 농도 분포는 입자 크기가 커질수록 농도가 작아지는 전형적인 경향을 보이고 있다. 질량농도 분포는 1에서 10 μm 채널까지 증가하는 경향을 보였으며, 수 농도 분포와는 다른 양상을 보였다.

[0112] 3-5 μm과 5-10 μm 채널의 에어로졸 질량 농도 5와 95분위수에서 확인할 수 있듯이, 다른 채널에 비해 넓은 농도 분포가 확인되었고, 중간값의 peak는 3-5 μm에서 나타났다 (0.123 $\mu g\ m^{-3}$).

표 10

[0113]

Channel	1	2	3	4	5
Size range (μm)	0.3~0.5	0.5~1	1~3	3~5	5~10
Median (μm)	0.4	0.75	2	4	7.5

[0114] 전체 기간동안 LPC로 관측한 자료를 기반으로 총 173일의 자료가 분석되었고, 1시간 간격의 자료를 사용하였다. 만약 하루 중 6시간 이상 자료 손실이 발생하면, 자료 품질 측면에서 그 날은 분석에서 제외하였다.

[0115] 도 10은 기상청 일별 자료를 통하여 확인한 2009년에서 2011년 봄철 부산지역에서 발생한 황사 (AD)와 연무 (HZ), 강수 (PR), 복합 사례 (ME) 발생 빈도를 보여주는 그래프이다. 도 10에서 현상이 없었던 날은 맑음 (CD)으로 표기하였다. 분류된 현상은 기상청 유인관측소에서 관측자의 목측과 기상관측장비를 활용하여 판별한다.

[0116] 도 10을 참조하면, 전체 사례 중 강수가 단독으로 발생한 사례는 20일이고, 박무는 17일, 연무는 9일, 황사는 4일이다. 본 발명에서는 에어로졸 농도에 변화를 주는 위 사례들에 대한 에어로졸 물리적 특성 분석을 수행하였다.

[0117] 도 11은 전체 관측 기간에서 AD(a), HZ(b), MI(c), PR(d) 사례에 대한 에어로졸 수 농도 크기 분포 그래프이고, 도 12는 전체 관측 기간에서 AD(a), HZ(b), MI(c), PR(d) 사례에 대한 에어로졸 질량 농도 크기 분포 그래프이다.

[0118] 본 발명에서는 에어로졸 입자 크기별로 넓은 농도 분포를 효율적으로 분석하기 위하여 중간값을 주로 사용하였다. 도 11을 참조하여 기상 현상에 따른 에어로졸 수 농도 분포를 보면, 가장 높은 수 농도는 첫번째 채널 (0.3-0.5 μm)을 제외한 모든 채널에서 황사 사례 (AD)에서 가장 높은 농도를 기록하였으며, 2 채널부터 5채널까지 중간값은 각각 1.376, 0.164, 0.047, 0.006 c^{m-3}이다.

[0119] 질량 농도 분포는 수 농도와 같은 결과를 보여주며, 1채널을 제외한 4개 채널에서 0.148, 0.141, 0.990, 0.591 $\mu g\ m^{-3}$ 로 나타났다.

[0120] 1번째 채널의 농도의 경우에는 박무 현상이 관측되었을 때 가장 높은 질량 농도와 수 농도가 관측되었고 (82.180 cm^{-3}, 1.905 $\mu g\ m^{-3}$), 황사 사례에서 가장 낮은 농도를 보였다 (33.802 cm^{-3}, 0.784 $\mu g\ m^{-3}$).

[0121] 황사와 관련된 선행 연구들을 살펴보면, 황사 발생 시 작은 입경의 에어로졸 농도는 큰 입경의 농도가 증가하는 것과 반대로 감소한다고 알려져 있다. 표 11을 참조하면, 1 μm 이상의 조대 입자 농도는 황사, 연무, 박무, 강수 사례 순서로 높게 관측되었으며, 1 μm 이하의 미세 입자 농도는 박무, 연무, 황사, 강수 순으로 높게 관측되었다.

표 11

[0122]

	D (μm)	AD	HZ	MI	PR
Number concentration (cm^{-3})	0.3-0.5	33.802	49.968	82.180	34.295
	0.5-1.0	1.376	1.671	0.775	0.480
	1.0-3.0	0.164	0.046	0.024	0.025
	3.0-5.0	0.043	0.009	0.004	0.004
	5.0-10	0.006	0.002	0.001	0.0005
Mass concentration ($\mu g\ m^{-3}$)	0.3-0.5	0.784	1.159	1.905	0.795
	0.5-1.0	0.148	0.179	0.083	0.051
	1.0-3.0	0.141	0.039	0.021	0.021
	3.0-5.0	0.990	0.201	0.104	0.094
	5.0-10	0.591	0.165	0.148	0.053

[0123] 도 13은 전체 관측 기간에서 황사, 연무, 박무, 강수 사례를 제외한 일반적인 맑은 날의 입자 직경별 수 농도와

질량 농도 분포를 나타낸 그래프이다.

[0124] 도 13을 참조하면, 맑음 사례에서 미세 입자 영역의 농도 분포는 강수 사례보다 더 높은 수 농도값을 보였으며 (0.3-0.5 μm: 36.714 cm^{-3}, 0.5-1.0 μm: 0.509 cm^{-3}), 조대 입자 영역에서는 박무 사례의 1-3 μm과 3-5 μm 채널의 농도보다 높은 값을 기록하였다. 하지만 가장 입경이 큰 5-10 μm 채널에서는 황사, 연무, 박무, 맑음, 강수 순서를 보였다 (5 ~ 10 μm: 0.001 cm^{-3}).

[0125] 도 14는 에어로졸 수(a)와 AD, HZ, MI, PR 및 CD 현상(b)에 대한 에어로졸 농도 분포 그래프이다.

[0126] 도 15는 CD 및 PR 사례에 대한 에어로졸 질량 농도 분포 그래프이다.

[0127] 각 현상별 에어로졸 농도 특성에 대한 보다 심층적인 분석을 위하여, 도 14와 같이 5가지 현상에 대한 농도 분포를 살펴보았다. 강수 사례의 경우, 맑음 사례와 비교하여 24.8 %의 농도 감소가 전체 입경 채널에서 관측되었으며, 특히 가장 큰 5-10 μm 채널에서는 54 %의 농도 차이를 보였다. 즉, 도 15와 같이 강수 현상이 조대 입자 영역의 에어로졸 세정 효과에 기여한 것을 보여준다.

[0128] 본 발명에서 관측 기간동안 총 59일의 박무 현상이 기록되었다: 단독 발생-17일, 강수 혼합 사례-31일, 기타 혼합 사례-11일. 대부분의 박무 사례는 강수와 함께 발생하였으나 (61 %), 단독으로 발생한 경우 맑음 현상과 비교하였을 때 5-10 μm 채널에서 농도가 증가하였다.

[0129] 박무 사례의 경우, 일 평균 습도는 68 %였고, 황사 (48 %), 연무 (47 %), 맑음 (47 %)와 비교하였을 때 상당히 높았다. 이는 1 μm 이하의 미세 입자들이 흡습성일 때, 입자의 응집과 성장이 에어로졸 수 농도 증가에 영향을 주는 것으로 판단된다.

[0130] 도 16은 각 현상별 기상 변수의 분포를 나타낸 그래프이다.

[0131] 도 16을 참조하면, 대기 수상체와 관련된 박무와 강수 사례는 높은 상대 습도를 보였으며, 황사를 제외한 대부분의 사례는 2.5 m/s 이하의 낮은 풍속을 기록하였다.

[0132] 도 17은 CD의 경우와 비교한 입자 크기별 각 현상(AD, HZ, MI 및 PR)의 에어로졸 질량 농도 비율(점선) 그래프이다.

[0133] 도 17을 참조하면, 각 현상에 따른 입경별 에어로졸 질량 농도의 비중을 맑음 사례와 비교하였다. 1 μm 입자 직경을 기준으로 황사 사례의 경우 조대 입자 영역에서 평균 농도가 5배 이상 높게 관측되었고, 0.5-1 μm 채널에서는 2.7배 높게 기록되었다.

[0134] 연무 사례의 경우에는 모든 입경 분포에서 농도가 1.23에서 3.28배 높게 관측되었다. 박무 사례에서는 1-3 μm와 3-5 μm 채널에서 0.83과 0.64배의 농도 차이를 보였으나, 0.3-0.5 μm 채널에서는 오히려 2.24배 높은 농도를 기록하였다.

[0135] 관측 자료의 입경별 질량 농도 분포에 대한 통계적 분석을 위하여 두 개의 피크를 가지는 최적 확률 밀도 함수를 이전에 설명한 수학식9를 통해 계산하였다. 앞 절에서 분류한 다섯가지 각 기상 현상의 에어로졸 관측값을 통해 최적확률밀도 함수를 산출하였다.

[0136] 계산된 각 현상별 총 질량 농도 (Mt), 기하 평균 직경 (Dg), 기하 표준 편차 (σ)와 같은 로그 정규 분포 상수는 표 12와 같이 정리하였다.

[0137] 도 18은 각 현상별 에어로졸 질량 농도 분포의 확률 밀도 함수를 나타낸다.

[0138] 도 18을 참조하면, 산출된 최적 확률밀도 함수는 명확하게 bi-modal 형태의 로그 정규 분포를 보이며, 미세입자 영역을 mode1, 조대입자 영역을 mode2로 명명하였다.

[0139] 표 12를 참조하면, 황사 사례의 경우, 각 영역별 총 질량 농도는 1.76 $\mu g\ m^{-3}$ 과 4.03 $\mu g\ m^{-3}$으로, 평균 직경은 각각 0.42 μm와 5.10 μm로 산출되었다. 다른 현상의 결과와 비교하였을 때, mode 2 (조대 입자 영역)의 총 질량 농도가 매우 높은 값을 보였고, 가장 뚜렷한 bi-modal 형태의 결과값이 도출되었다. 또한 mode 1에서 가장 큰 평균 직경값을 보였으며, mode 2의 표준 편차는 1.52 μm로, 비교군 중 가장 큰 값을 보였다.

[0140] 연무 현상은 작은 에어로졸 영역의 총 질량 농도가 큰 에어로졸 영역보다 큰 값을 보였다. 각 영역별 농도는 3.00 $\mu g\ m^{-3}$와 0.53 $\mu g\ m^{-3}$로 계산하였고, 평균 직경은 각각 0.38 μm와 5.14 μm로 도출하였다. 박무 사례는

3.79 μg m^{-3}과 0.36 μg m^{-3}의 질량 농도를 보였고, 각각 0.40 μm, 5.28 μm의 평균 직경을 기록하였다. mode 1에서의 질량 농도가 현상 중 가장 높게 산출된 것에 반해, 표준 편차는 가장 작은 1.28 μm이 산출되었고, 또한 mode 2의 농도는 강수 현상과 함께 0.36 μg m^{-3}으로 가장 작은 값을 보였다.

[0141] 강수 현상에서는 mode 2에서 가장 큰 평균 직경인 5.49 μm를 기록하였으며, mode 1에서의 질량 농도는 황사 사례에서 보다 1.44배 높은 2.14 μg m^{-3}로 산출되었다. 맑음 사례에서는 각 영역별 에어로졸 농도가 2.14 μg m^{-3}와 0.62 μg m^{-3}, 평균 직경은 0.36 μm 와 5.24 μm로 도출되었다.

[0142] 표 13을 참조하면, 산출된 결과를 서울 지역에서 관측된 에어로졸 관측 자료를 통해 황사 사례에 대한 질량 농도 특성을 분석한 Park과 Kim (2006)의 결과와 비교하였다. 황사 사례의 각 영역별 평균 직경은 0.89 μm와 9.12 μm이였고, 표준편차는 각각 2.4 μm와 2.14 μm이다. 비 황사 사례의 경우에는 평균 직경이 0.6 μm와 8.51 μm, 표준편차가 1.78 μm와 2.14 μm를 기록하였다. 황사가 발생한 경우, mode 1보다는 mode 2에서의 농도가 본 발명의 결과와 더 일치하는 것을 보였으나, 평균 직경은 약 4 μm 차이를 보였다. 본 발명에서 모든 현상들의 mode 1 평균 직경과 선행 결과와 비교하였을 때, 유사한 결과가 도출되었지만, mode 2에서는 선행 연구에서 도출된 mode 2의 평균 직경 결과와 상당히 큰 차이를 보였다. 이는 황사 발원지에서부터 선행 연구 지역인 서울과 본 발명에서의 연구 지역인 부산과의 이격 거리로 인한 조대 입자의 감소로 인한 영향으로 추정된다.

표 12

[0143]

Case	Parameter	Nt (μg m^{-3})	d (μm)	σ (μm)
AD	mode1	1.76	0.42	1.42
	mode2	4.03	5.10	1.52
HZ	mode1	3.00	0.38	1.36
	mode2	0.53	5.14	1.49
MI	mode1	3.79	0.40	1.28
	mode2	0.36	5.28	1.47
PR	mode1	2.55	0.35	1.34
	mode2	0.36	5.49	1.51
CD	mode1	2.14	0.36	1.35
	mode2	0.62	5.24	1.46

표 13

[0144]

Lognormal mode	Mode 1	Mode 2
Asian dust		
d (μm)	0.89	9.12
σ (μm)	2.4	2.14
Non-Asian dust		
d (μm)	0.66	8.51
σ (μm)	1.78	2.14

[0145] 다음은 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치의 성능에 대해 살펴본다.

[0146] 전술된 기상 현상 분류 알고리즘, 즉, 본 발명의 정확도를 검증하기 위해 2009년 12월 25일부터 2010년 2월 28일까지 약 2달간 관측된 에어로졸 입경별 수 농도 관측자료를 사용하였다.

[0147] 도 19와 도 20은 관측 기간동안 mode 1과 mode 2의 에어로졸 질량 농도 중간값을 각각 나타낸 그래프이다.

[0148] 도 19를 참조하면 맑음 사례의 기준값과 비교하였을 때, mode 1의 농도는 대부분 기준치 이상이였으며, 도 20을 참조하면 mode 2에서는 상대적으로 기준치와 근접하게 나타났다.

[0149] 관측 자료가 누락된 날짜를 제외하고 총 57일 동안의 기상청의 일별 기상 현상은 황사 2일, 연무 7일, 박무 9일, 강수 12일, 맑음 57일이였다. 표 14는 기상청에서 관측한 기상 현상과 현상 분류 알고리즘을 통해 도출된 결과를 보여준다. 만약 두 결과가 일치하면 ‘0’, 일치하지 않으면 ‘X’, 부분적으로 일치하면 ‘△’를 표기

하였다.

[0150] 57일 동안 41일에 대한 기상 현상 분류 정확도가 일치하였고, 8일은 부분적 일치, 8일은 일치하지 않았다. 황사 현상의 경우 2009년 12월 26일에 발생한 사례는 분류 알고리즘 결과와 기상청 결과가 잘 일치하였지만, 연무나 박무와 함께 복합적으로 발생한 사례는 황사를 제외한 나머지 현상들만 부분적으로 일치하였다. 본 알고리즘에 초기 자료로 사용된 관측 자료가 일 중간값이기 때문에, 각 현상에 대한 관측값이 평준화된 경향인 것으로 사료된다.

[0151] 연무 현상의 결과를 살펴보면, 기상청이 발표한 연무 사례 중 단독으로 발생한 것은 3건이였으며, 본 알고리즘은 2 사례에 대하여 일치하는 결과를 도출하였다. 타 현상과 복합적으로 발생한 사례의 경우, 기상청 3건이였으며 알고리즘 결과는 3건 모두 부분적으로 일치하였으나, 연무 현상보다는 함께 발생한 강수나 박무 현상으로 판별하였다. 이것은 연무 현상이 박무나 강수와 같이 높은 상대 습도 조건을 주요 메커니즘으로 작용하는 현상과 함께 발생하였기 때문에, 연무 사례의 낮은 mode 1 영역의 질량 농도가 상대적으로 높게 계산되면서 연무를 제외한 결과로 도출된 것으로 사료된다.

[0152] 박무 현상은 단독 발생이 한 사례가 있었고, 알고리즘이 일치하는 결과를 도출하였다. 복합 발생은 총 9개의 사례가 있었으며, 강수 현상과 함께 발생한 것은 7 사례이다. KMA 관측 결과와 알고리즘 결과는 4개의 사례가 일치하였고, 강수와 함께 발생하지 않은 2개의 사례가 부분적으로만 일치한 것은 앞선 연무 현상의 분석과 같이 초기 자료의 시간 간격에 의한 한계로 사료되며, 강수와 함께 발생한 사례는 기상청 관측 지점과 에어로졸 관측 지점의 이격거리로 인한 박무 현상의 유무로가 반영된 것으로 판단된다.

[0153] 강수 현상의 경우, 단독 발생은 4개의 사례가 있었고, 복합 발생은 8개 사례가 있었다. 판별 알고리즘은 각각 2개와 4개의 사례 정확도를 보였다. 연무 사례와 유사하게 불일치한 사례는 없었으나, 단독 발생 사례는 박무와 함께 발생한 경우로 추정되었으며, 복합사례는 발생한 강수현상을 정확하게 분류하였으나 함께 발생한 다른 현상의 정확도는 상대적으로 낮았다.

표 14

[0154]

Date	Algorithm	KMA	Verification
2009-12-25	LH	AD/HZ/MI	△
2009-12-26	AD	AD	O
2009-12-27	CD	CD	O
2009-12-28	CD	CD	O
2009-12-29	CD	CD	O
2009-12-30	MI/PR	AD/MI/PR	△
2009-12-31	CD	CD	O
2010-01-01	CD	CD	O
2010-01-02	UH	CD	X
2010-01-03	CD	CD	O
2010-01-04	MI/PR	PR	△
2010-01-05	CD	CD	O
2010-01-06	CD	CD	O
2010-01-07	CD	CD	O
2010-01-08	UH	CD	X
2010-01-09	CD	CD	O
2010-01-10	LH	CD	X
2010-01-11	LH	HZ	O
2010-01-12	CD	CD	O
2010-01-15	UH	CD	X
2010-01-16	CD	CD	O
2010-01-17	CD	CD	O
2010-01-18	CD	CD	O
2010-01-19	UH	CD	X
2010-01-20	MI/PR	MI/PR	O
2010-01-21	MI	MI	O
2010-01-22	CD	CD	O
2010-01-23	CD	CD	O
2010-01-24	CD	CD	O

2010-01-25	CD	CD	O
2010-01-26	CD	CD	O
2010-01-27	PR	PR	O
2010-01-28	MI/PR	HZ/PR	△
2010-01-29	CD	CD	O
2010-01-30	UH	CD	X
2010-01-31	LH	HZ	O
2010-02-01	MI	HZ/MI	△
2010-02-02	CD	CD	O
2010-02-03	CD	CD	O
2010-02-04	UH	CD	X
2010-02-06	CD	CD	O
2010-02-07	CD	CD	O
2010-02-08	MI/PR	MI/PR	O
2010-02-09	MI/PR	MI/PR	O
2010-02-10	MI/PR	PR	△
2010-02-11	PR	MI/PR	△
2010-02-12	PR	PR	O
2010-02-13	PR	MI/PR	△
2010-02-14	CD	CD	O
2010-02-15	CD	CD	O
2010-02-16	CD	CD	O
2010-02-19	CD	CD	O
2010-02-20	CD	CD	O
2010-02-21	CD	CD	O
2010-02-22	CD	HZ	X
2010-02-27	MI/PR	MI/PR	O
2010-02-28	CD	CD	O

[0155] 분류된 사례들 중에서, 농도 증가가 뚜렷한 6개 사례에 대한 HYSPLIT 모델과 안면도와 부산 관측지점 사이의 에어로졸 질량 농도 및 상대습도 시계열 자료를 분석하였다.

[0156] 도 21은 2009년 12월 25일 1900UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다. 도 22와 도 23은 2009년 12월 25일부터 26일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다. 여기서, 파란색 점은 부산의 상대 습도이며, 점선은 mode1과 mode2의 CD 사례의 에어로졸 질량 농도 중간값이다.

[0157] 첫 번째 사례는 2009년 12월 26일에 발생한 황사 사례이다. 기상청 부산 관측소에서는 황사 단독 발생으로 발표하였으며, 본 연구의 분류 알고리즘에서도 동일하게 분류하였다. 도 21의 역궤적 분석 모델 결과를 보면, 고비사막 부근에서 생성된 공기괴가 한반도 남부쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있다.

[0158] 도 22와 도 23에 두 지점 사이의 에어로졸 질량 농도 차이를 살펴보면, 강한 황사 현상이 12월 25일에 안면도에서 관측되었고, 12월 26일 새벽부터 부산에서 관측되는 것을 확인할 수 있다. 두 지점의 질량 농도가 피크일 때 시간차를 살펴보면, mode 2를 기준으로 5시간 차이가 있었고, mode 1과 mode 2의 질량 농도 비율은 1.929로 기준값인 3.4보다 낮은 황사 현상으로 분류하였다.

[0159] 도 24는 2010년 1월 10일 1000UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

[0160] 도 25는 2010년 1월 11일 1000UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

[0161] 도 26 및 도 27은 2010년 1월 9일부터 12일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다. 여기서, 파란색 점은 부산의 상대 습도이며, 점선은 mode1과 mode2의 CD 사례의 에어로졸 질량 농도 중간값이다.

[0162] 두번째 사례는 2010년 1월 10일에 발생하였다. 기상청은 특정 현상이 없는 맑음 사례로 분류하였으나, 알고리즘은 장거리 수송 연무로 분류하였다. 역궤적 분석 결과를 살펴보면, 도 24와 같이 상층 공기는 중국 북동 지역에서부터 유입되지만 하층은 한반도 서해지역에서부터 유입되는 것을 확인할 수 있다. 안면도와 부산 지점의 mode 1 에어로졸의 질량 농도 시간차는 약 7시간이였고, 이는 1월 9일에 안면도에서 생성된 mode 1 영역의 고농도 에어로졸이 다음 날인 10일에 부산지역에 영향을 미친 것으로 사료된다. 도 26 및 도 27을 참조하면, 이 기간동안

부산 지역의 상대습도는 60 % 이하였으며, mode 2에 비해 mode 1의 에어로졸 질량 농도가 기준값을 상회하므로 박무가 아닌 연무로 분류하였다.

[0163] 세번째 현상은 장거리 수송 연무 사례로 두번째 사례와 연속적으로 발생하였으며, 기상청에서는 연무 단독 발생으로 관측하였다. 72시간 역궤적 분석 결과 공기괴가 베이징 부근에서 생성된 것을 확인하였고, 1월 10일 안면도에서 mode 1의 에어로졸 질량 농도가 높게 관측되고 약 13시간 후인 1월 11일에 부산지역에서도 고농도 에어로졸 사례가 관측되었다. 상대 습도는 60 % 이하였으며, 두번째와 세번째 사례 모두 mode 1과 2의 질량 농도 비율이 3.4보다 높은 5.584와 5.977을 기록하였으므로 지역적으로 발생한 연무가 아닌 장거리 수송 연무로 분류하였다.

[0164] 도 28은 2010년 1월 20일 1300UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

[0165] 도 29 및 도 30은 2010년 1월 19일부터 21일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다. 여기서, 파란색 점은 부산의 상대 습도이며, 점선은 mode1과 mode2의 CD 사례의 에어로졸 질량 농도 중간값이다.

[0166] 네번째 사례는 2010년 1월 20일에 발생하였으며, 박무와 강수가 함께 관측되었고 분류 알고리즘과 기상청 관측값이 일치한 사례이다. 도 28을 참조하면, 역궤적 분석 결과, 한반도 북서지역에서 장거리 수송되는 황사나 장거리 수송 연무 현상과는 다른 패턴을 보였으며, 안면도와 부산 지점 사이의 에어로졸 질량 농도의 피크 시간차가 기록되지 않았다. mode 1의 질량 농도를 보면, 안면도 관측값은 1월 19일 기준치 이상의 농도를 기록하였지만 20일 이후로 기준치 부근의 값을 기록하였지만, 부산 지점은 최고 4 $\mu g\ m^{-3}$ 이상의 농도를 기록하였다. 또한, 도 29 및 도 30을 참조하면, 강수와 높은 상대습도의 영향으로 mode 2의 질량 농도는 두 지점 모두 1월 20일에 기준치 이하로 관측되었다. mode 1과 2의 농도 비율은 59.470이며 부산 지역에 강수가 기록되었으므로, 본 사례는 박무와 강수 현상이 동시에 발생한 사례로 분류하였다.

[0167] 도 31은 2010년 1월 31일 0400UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

[0168] 도 32및 도 33은 2010년 1월 30일부터 2월 2일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다. 여기서, 파란색 점은 부산의 상대 습도이며, 점선은 mode1과 mode2의 CD 사례의 에어로졸 질량 농도 중간값이다.

[0169] 다섯번째 현상은 연무 사례로 2010년 1월 31에 발생하였고, 도 31과 같이 역궤적 분석을 통하여 중국 산둥 반도에서부터 공기괴가 유입되는 것을 확인하였다. 이전 사례들과 비교하였을 때, 두 지점 사이의 농도 시간차는 4시간으로 다른 사례에 비하여 상대적으로 빠르게 이동한 것으로 보이며, mode 1의 질량 농도는 mode 2의 농도보다 상당히 뚜렷하게 기준치를 상회하는 것을 볼 수 있다. 도 32 및 도 33을 참조하면, 상대습도는 약 60 %로 관측되었고, 에어로졸 두 영역간 농도 비율은 6.532로 장거리 수송 연무로 확인되었다.

[0170] 도 34는 2010년 2월 8일 0300UTC 부산에서의 기단 후방 궤도이다.

[0171] 도 35 및 도 36은 2010년 2월 7일부터 2월 9일까지 부산(검정선)과 안면도(빨간선)의 mode1(a) 및 mode2(b)의 에어로졸 질량 농도 시계열이다. 여기서, 파란색 점은 부산의 상대 습도이며, 점선은 mode1과 mode2의 CD 사례의 에어로졸 질량 농도 중간값이다.

[0172] 마지막 현상은 2010년 2월 8일 사례로, 기상청에서는 박무와 강수가 동시에 발생하였다고 관측하였으며, 분류 알고리즘에서도 동일한 결과를 도출하였다. 도 34의 역궤적 분석 결과, 뚜렷한 장거리 수송 패턴이 보이지 않았고, 안면도와 부산 지점 사이의 에어로졸 질량 농도 시간차가 관측되지 않았다. 강수가 기록되었고, 상대습도는 90 % 이상 관측되었으며, 이러한 기상 조건으로 인하여 박무가 발생하기 유리한 기상 조건이 형성되었다. 그리고 도 35 및 도 36을 참조하면, mode 1의 질량 농도는 기준값보다 약 10배 이상의 값을 보였고 mode 1과 mode 2의 농도 비율은 42.949로 계산되었다.

[0173] 표 15는 6개 사례에 대한 기상 현상 분류 결과, 에어로졸 질량 농도 중간값, mode 1과 mode 2의 농도 비율, 안면도와 부산 관측 지점의 농도 피크 시간차를 나타낸다.

표 15

[0174]

Date	Algorithm	KMA	mode 1 ($\mu g\ m^{-3}$)	mode 2 ($\mu g\ m^{-3}$)	Time lag (hr)	Ratio
2009-12-26	AD	AD	1.158	0.600	5	1.929

2010-01-10	LH	CD	1.786	0.320	7	5.584
2010-01-11	LH	LH	2.064	0.345	13	5.977
2010-01-20	MI/PR	MI/PR	1.522	0.026	-	59.470
2010-01-31	LH	LH	1.480	0.227	4	6.532
2010-02-08	MI/PR	MI/PR	0.749	0.017	-	42.949

[0175] 상술한 바와 같이 본 발명은, 2009년부터 2011년까지 봄철기간동안 한반도 남동 지역에서 수행된 에어로졸 수농도 자료에 탈경향 교차 상관법 (DCCA)를 활용하여 기상 변수와 미세 입자 농도 사이의 관계를 분석하였다. 우선적으로 미세 입자 직경 전체 범위에 대한 농도와 기상 변수 사이의 상관성을 먼저 살펴보기 위하여, PM_{10} 농도와 기상 변수 사이의 교차 상관성을 조사한 결과, 온도와 상대 습도가 가장 높게 도출되었고, 비 황사 기간에서 더 뚜렷하였다. 박스 크기가 168에서 336 사이일 때 상관성이 뚜렷하였고, 기압 사례에서는 상관성이 거의 없는 것으로 도출되었다.

[0176] 에어로졸 입경별 농도와 기상 변수 사이의 교차 상관성은 앞선 결과보다 비 황사 기간에 더 뚜렷하게 도출되었고, 3 μm 이상의 조대 입자와의 상관성이 상대적으로 높게 나왔다. 상대 습도의 경우, 0.3 μm의 미세 입자 채널에서 양의 상관성을 보였으며, 1 μm 이상의 조대 입자 채널에서는 음의 상관성을 보였고, 이는 에어로졸 입자들의 흡습으로 인한 농도 증가와 세정 효과로 사료된다.

[0177] 에어로졸 입경별 수 농도와 PM_{10} 농도 사이의 상관 분석 결과, 황사 기간 동안의 조대 입자는 0.736 이상의 높은 양의 상관성을 보였다. 하지만 비 황사 기간의 경우, 1 μm 이하 미세 입자와의 상관성은 더 높았으며, 이는 비 황사 기간의 봄철 대기 에어로졸 농도에는 조대 입자의 영향 보다 1 μm 이하의 미세 입자에 의한 영향이 더 큰 것으로 분석된다.

[0178] 각 기상 현상별 에어로졸 물리적 특성과 기상학적 특징을 조사하고 이를 고려한 고농도 에어로졸 현상 분류 알고리즘을 구축하기 위해서, 먼저 황사, 연무, 박무, 맑음 현상에 대한 입자 직경별 에어로졸 수 농도와 질량 농도를 분석하였다. 황사 사례의 경우, 전체 입경 분포에서의 평균 질량 농도와 비교하였을 때 1.94배 증가하였고, 특히 조대 입자 영역 (1 μm보다 큰)에서 2.56배 증가하였다.

[0179] 연무 사례에서는 1 μm 이하의 축적 모드 에어로졸의 농도가 1.76배 증가하였다. 박무 사례 대부분은 강수 현상을 동반하였고, 세정 효과로 인하여 전체 입경 분포에서 0.56배의 농도 감소를 보였다. 강수와 습한 대기 조건으로 인한 세정 효과와 입자 농도 변동에 대한 분석 결과를 살펴보면, 총 질량 농도는 비 강수 일자와 비교하였을 때 91 % 감소하였고, 상대 습도 80 % 이상일 때는 78.4 % 감소하였다.

[0180] 에어로졸 입경별 질량 농도의 분포 특성을 통계적으로 산출하기 위해서, 기상 현상별 최적확률밀도함수를 입경별 질량농도를 통하여 도출하였다. 축적 입자 영역와 조대 입자 영역으로 구분하였고, 현상별 총 에어로졸 질량 농도, 기하 중간 직경, 기하 표준편차를 계산하였다.

[0181] 조대 입자 영역에서는 황사 사례의 총 질량 농도가 16.3 $\mu g\ cm^{-3}$으로 가장 높았으며, 축적 입자 영역에서는 연무 사례가 22.86 $\mu g\ cm^{-3}$으로 가장 높았다. 평균 직경은 조대 영역에서 4.41 μm이며 축적 영역에서는 0.41 μm로 산출되었다.

[0182] 부산 지역에서 발생한 기상 현상에 대한 분류 알고리즘은 각 현상에 대한 에어로졸과 기상학적 요인 사이의 물리적 특성의 결과를 고려하여 제안하였다.

[0183] 먼저, mode 1과 mode 2의 에어로졸 질량 농도 일 중간값을 사용하여 맑음 현상 (CD)의 기준값을 초과하는지를 판단하였다. 만약 mode 2 농도값이 초과하지 않는다면, 강수 현상이 발생했는지를 확인하였다. 강수가 발생하였으면, mode1과 2의 에어로졸 질량 농도의 비율로 강수 사례인지 박무와 강수가 혼합된 사례인지 분류하였다. 강수가 발생하지 않았다면, 상대 습도가 에어로졸 농도 변동에 가장 큰 영향을 미친다는 DCCA 결과를 적용하여, 상대 습도 80 %를 기준값으로 현상을 분류하였다. 만약 80 % 이상이면, 박무 사례로 분류하였고, 만약 그 이하면 맑음 사례의 mode 1 질량 농도 기준치를 통해서 연무 또는 맑음 사례로 분류하였고, 장거리 수송 여부를 판단하여 장거리 수송 연무 (LH) 또는 지역 발생 연무 (UH)로 분류하였다.

[0184] 만약 모드1과 모드2의 농도가 기준치를 초과하면, 안면도와 부산의 에어로졸 농도 관측값을 비교하고 역궤적 분석 결과를 통해 장거리 수송 여부를 판단하였다. 마지막으로 황사, 장거리 수송 연무, 지역 발생 연무, 맑음 현상을 mode 1과 2의 농도 비율을 통하여 분류하였다. 기상청이 관측한 현상 일수 사례 57개 중, 알고리즘 결과

41개 사례가 일치하였고, 8개 사례는 부분적으로 일치하였다.

[0185] 이와 같이 본 발명은 고농도 에어로졸 기상 현상 분류 알고리즘을 통해 연무, 박무, 황사, 강수, 맑음 사례를 보다 객관적이고 과학적으로 분류할 수 있다. 따라서, 본 발명은 에어로졸 물리적 특성을 고려한 기상 현상 분류는 도시 대기 오염과 시정 장애 등과 같은 현상의 예측 정확도 향상에도 기여할 수 있다.

[0187] 다음은 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법에 대해 도면을 참조하여 설명한다. 후술될 내용 중 전술된 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 장치의 설명과 중복되는 내용은 생략하거나 간략히 설명한다.

[0188] 도 37은 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법의 순서도이다.

[0189] 본 발명에 따른 에어로졸의 물리적 특성을 고려한 에어로졸 고농도 현상 판별 방법은, 관측 자료 입력부가 에어로졸 관측 자료를 입력받는 단계와, 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도를 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값과 비교하는 단계, 에어로졸 관측 자료의 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이면, 에어로졸 관측 자료의 수집기간 동안 강수 현상을 확인하는 단계, 및 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계를 포함한다.

[0190] 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는, 강수 현상이 확인될 경우 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율이 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 초과하면 박무와 강수 현상이 함께 발생한 사례로 분류한다. 하지만, 강수 현상이 확인되더라도 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율이 에어로졸 질량 농도 비율 기준값 이하일 경우 강수만 발생한 사례로 분류한다. 여기서, 본 실시예는 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값은 0.261 $\mu g\ m^{-3}$, 에어로졸 질량 농도 비율 기준값은 3.09로 예시한다.

[0191] 또한, 강수 현상 유무와, 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 에어로졸 질량 농도 비율과 에어로졸 질량 농도 비율 기준값을 비교하여 기상 현상을 분류하는 단계는, 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 미만이고 강수 판단부를 통해 에어로졸 관측 자료를 수집하는 기간 동안 강수 현상이 확인되지 않으면, 에어로졸 관측 자료가 수집된 기간 동안의 상대 습도가 상대 습도 기준값을 초과할 경우 박무 사례로 분류하며, 상대 습도가 상대 습도 기준값 이하일 경우 장거리 수송 여부를 판단한 후 미세 입자 영역과 조대 입자 영역의 질량 농도 비율이 3.4를 초과할 경우 장거리 수송 연무(LH)로 분류하고, 질량 농도 비율이 3.4 이하일 경우 황사(AD) 현상으로 분류하며, 미세 입자 영역 질량 농도가 기준값 이하이면 질량 농도 비율을 판단하여 지역 발생 연무(UH)와 맑음(CD) 현상으로 분류한다. 또한, 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 조대 입자 영역의 질량 농도 중간값 이상이고 에어로졸 관측 자료의 에어로졸 질량 농도가 맑음 사례의 미세 입자 영역 질량 농도 기준값을 초과할 경우 강수 현상 유무와 관계없이, 미세 입자와 조대 입자 모두 맑음 사례보다 높은 고농도 사례로 분류한다. 여기서, 미세 입자 영역 질량 농도 기준값은 0.339 $\mu g\ m^{-3}$이다.

[0192] 이상과 같이 본 발명에 대해서 예시한 도면을 참조로 하여 설명하였으나, 본 명세서에 개시된 실시 예와 도면에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술사상의 범위 내에서 통상의 기술자에 의해 다양한 변형이 이루어질 수 있음은 자명하다. 아울러 앞서 본 발명의 실시 예를 설명하면서 본 발명의 구성에 따른 작용 효과를 명시적으로 기재하여 설명하지 않았을 지라도, 해당 구성에 의해 예측 가능한 효과 또한 인정되어야 함은 당연하다. 즉, 본 발명은 전술된 구성들, 즉, 질량농도 판단부와 강수 판단부, 상대 습도 판단부, 에어로졸 질량 농도 비율 판단부 및 분류부가 프로그램으로 구현되어 저장된 저장매체의 형태일 수 있으며, 각 구성들이 칩(모듈)의 형태로 구현된 장치일 수도 있다. 이에 따라, 본 발명은 서버를 포함하는 컴퓨터나 태블릿, 휴대폰 등에 내장되며 질량농도 판단부와 강수 판단부, 상대 습도 판단부, 에어로졸 질량 농도 비율 판단부 및 분류부가 프로그램으로 구현되어 저장된 저장매체이거나, 해당 저장매체가 구비된 서버를 포함하는 컴퓨터나 태블릿 또는 휴대폰 등일 수 있다. 물론, 질량농도 판단부와 강수 판단부, 상대 습도 판단부, 에어로졸 질량 농도 비율 판단부 및 분류부가 칩의 형태로 만들어져 서버를 포함하는 컴퓨터나 태블릿 또는 휴대폰에 내장될 수도 있다.

부호의 설명

[0194] 100: 질량 농도 판단부

200: 강수 판단부

300: 상대 습도 판단부

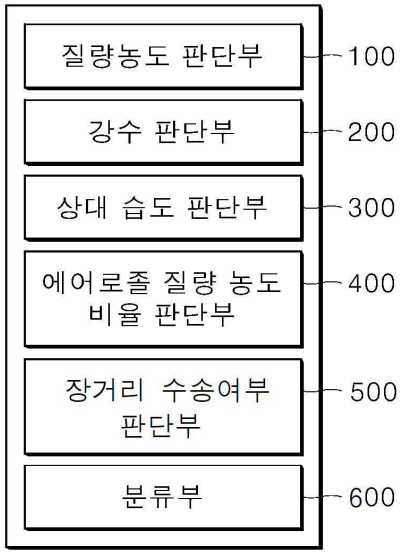
400: 에어로졸 질량 농도 비율 판단부

500: 장거리 수송 여부 판단부

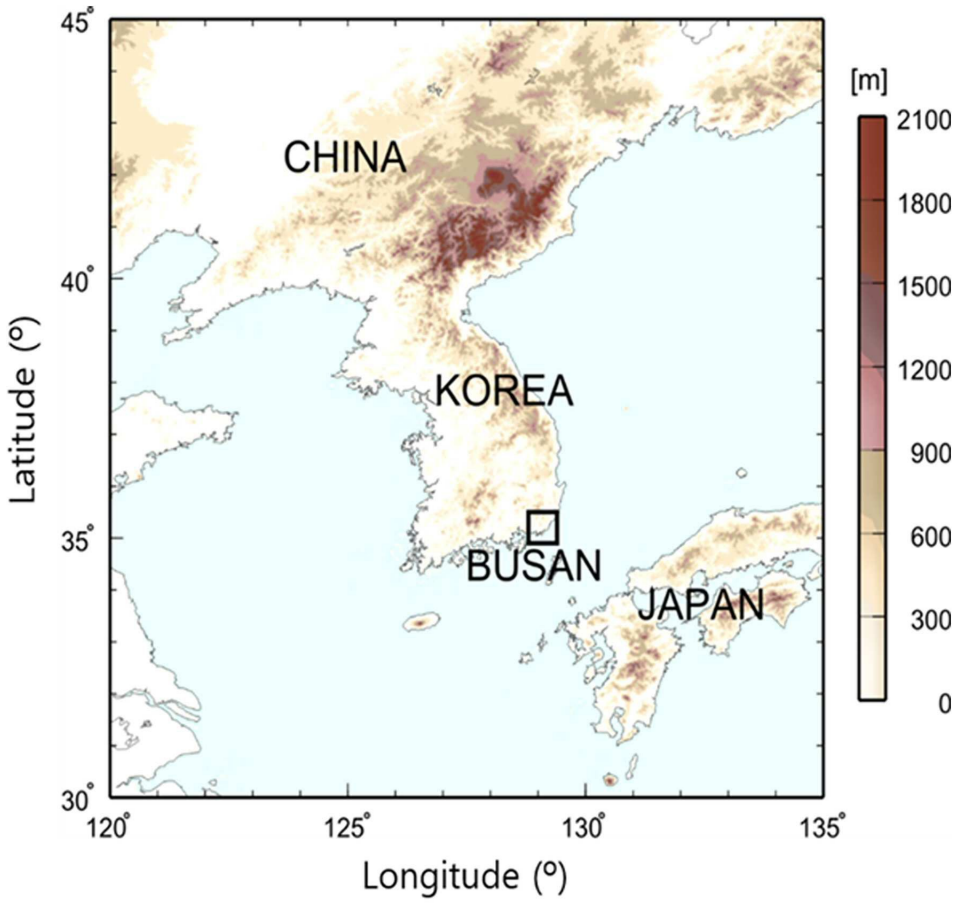
600: 분류부

도면

도면1

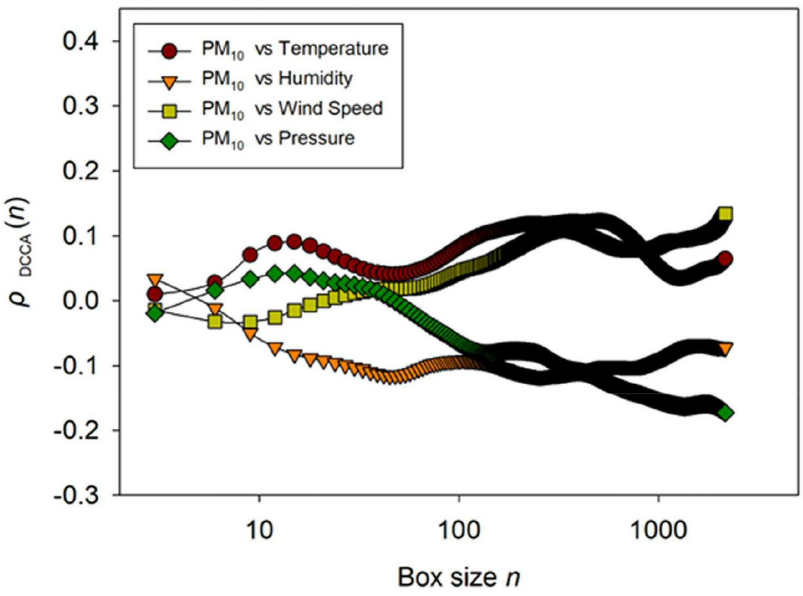


도면2

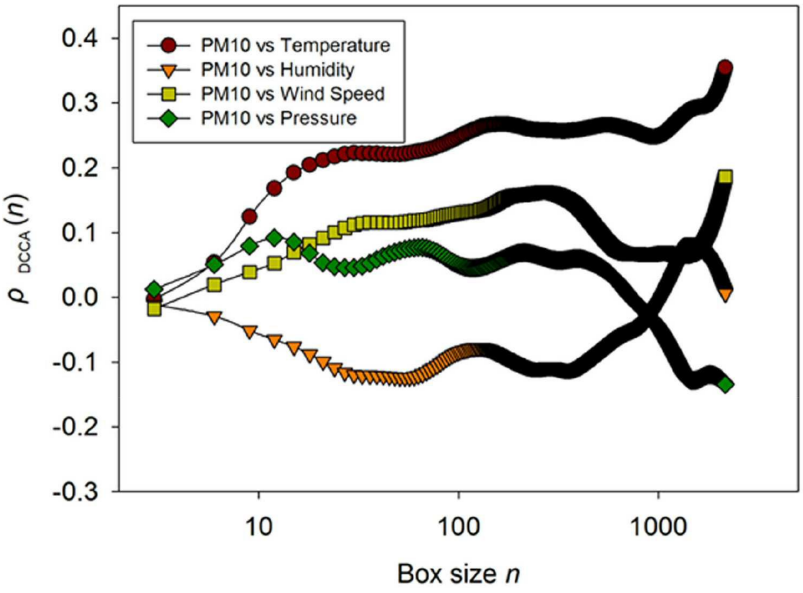

45°
40°
35°
30°
120°
125°
130°
135°
Latitude (°)
Longitude (°)
CHINA
KOREA
BUSAN
JAPAN
[m]
2100
1800
1500
1200
900
600
300
0

도면3

(a)

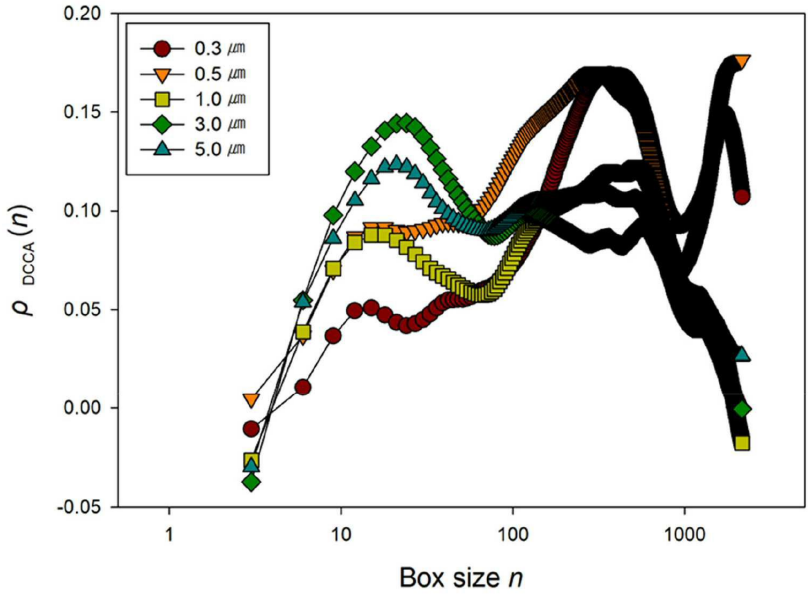

PM10 vs Temperature
PM10 vs Humidity
PM10 vs Wind Speed
PM10 vs Pressure
ρ DCCA (n)
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
10
100
1000
Box size n

(b)

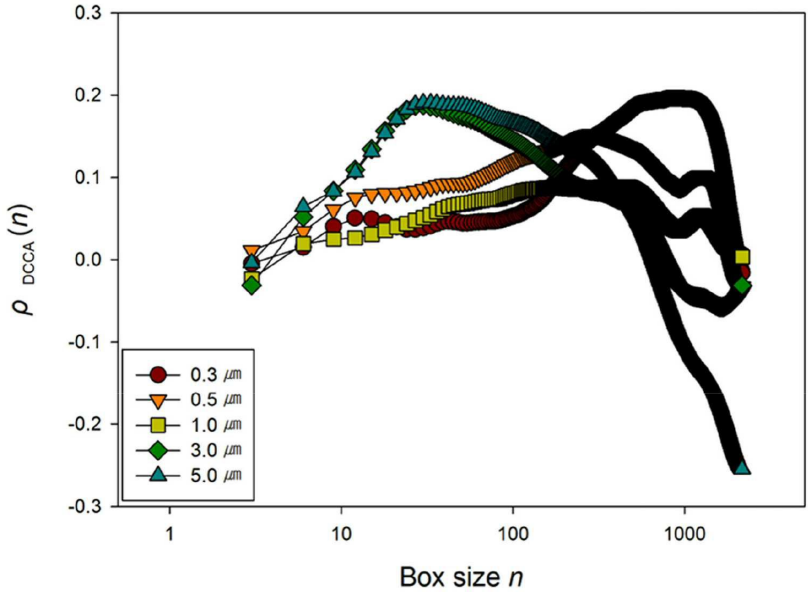

PM10 vs Temperature
PM10 vs Humidity
PM10 vs Wind Speed
PM10 vs Pressure
ρ DCCA (n)
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
10
100
1000
Box size n

도면4

(a)

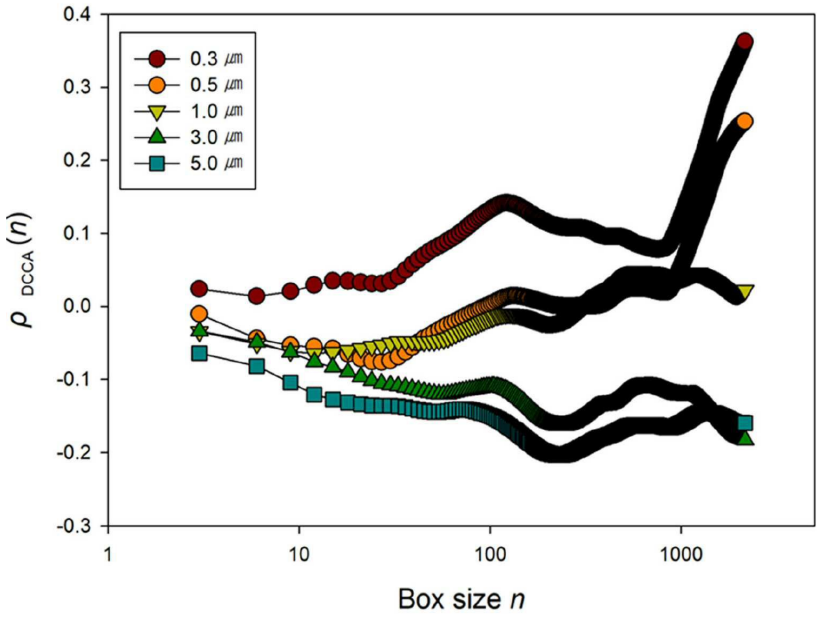

0.3 ㎛
0.5 ㎛
1.0 ㎛
3.0 ㎛
5.0 ㎛
ρ DCCA (n)
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
-0.05
1
10
100
1000
Box size n

(b)

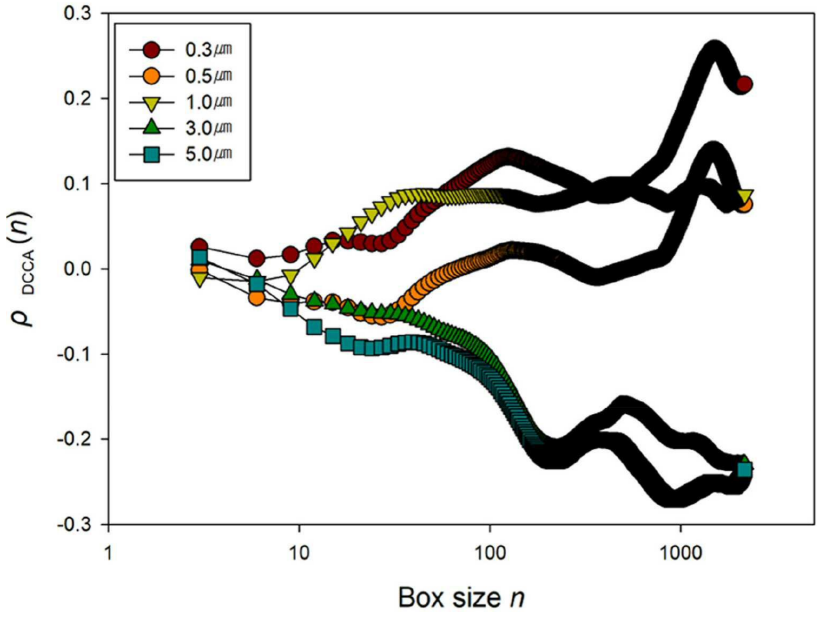

0.3 ㎛
0.5 ㎛
1.0 ㎛
3.0 ㎛
5.0 ㎛
ρ DCCA (n)
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
1
10
100
1000
Box size n

도면5

(a)

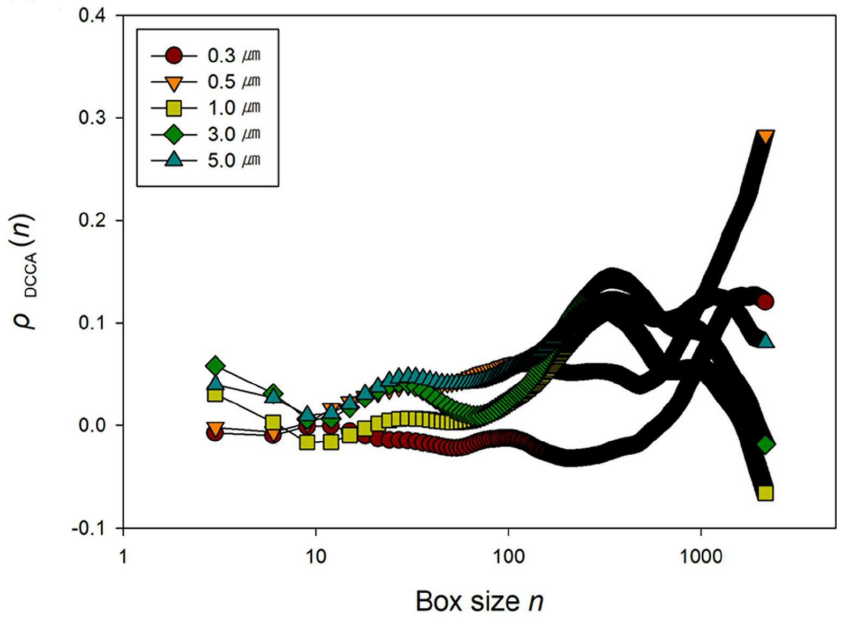


(b)

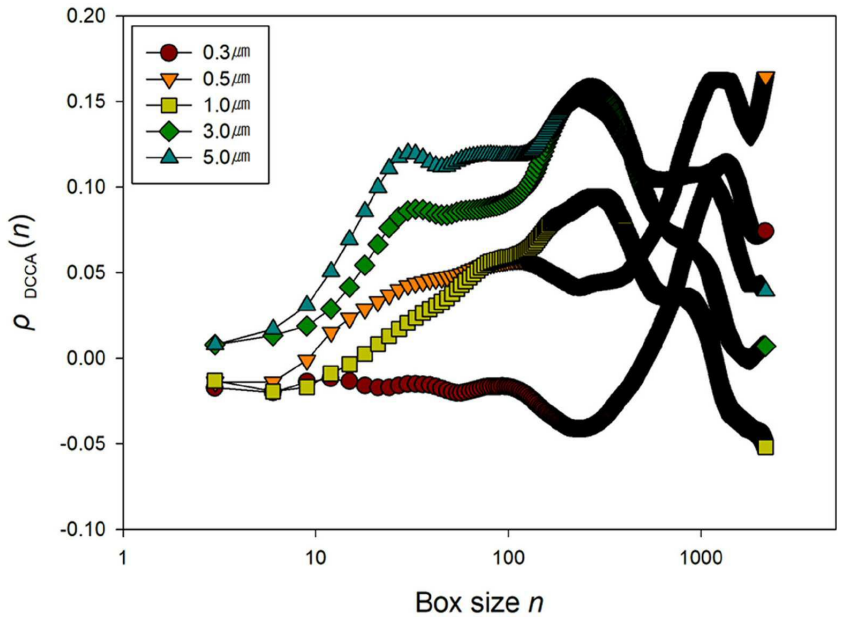


도면6

(a)

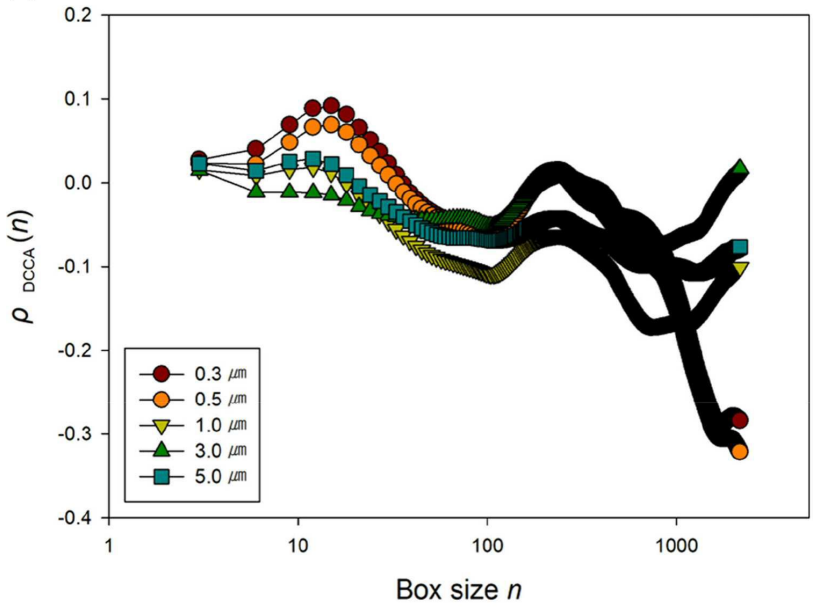

0.3 ㎛
0.5 ㎛
1.0 ㎛
3.0 ㎛
5.0 ㎛
ρ DCCA (n)
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
1
10
100
1000
Box size n

(b)

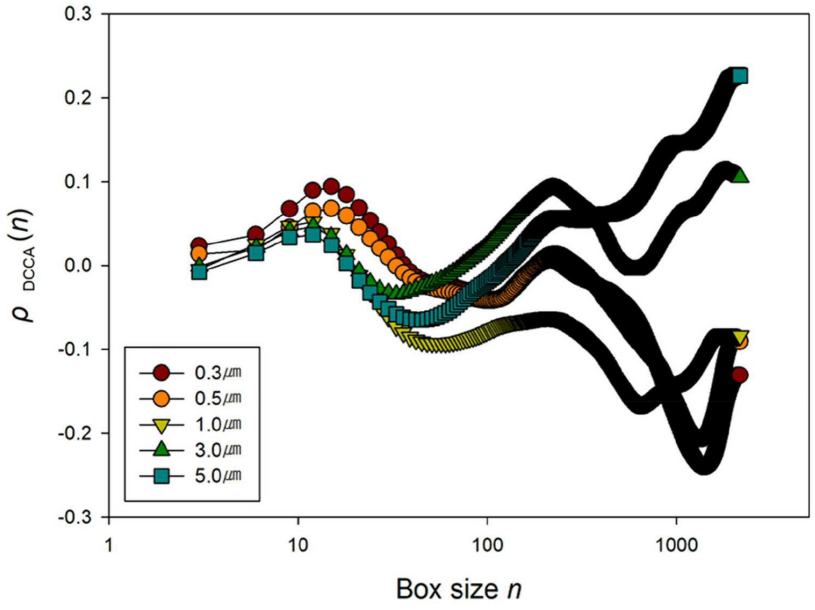

0.3㎛
0.5㎛
1.0㎛
3.0㎛
5.0㎛
ρ DCCA (n)
0.20
0.15
0.10
0.05
0.00
-0.05
-0.10
1
10
100
1000
Box size n

도면7

(a)

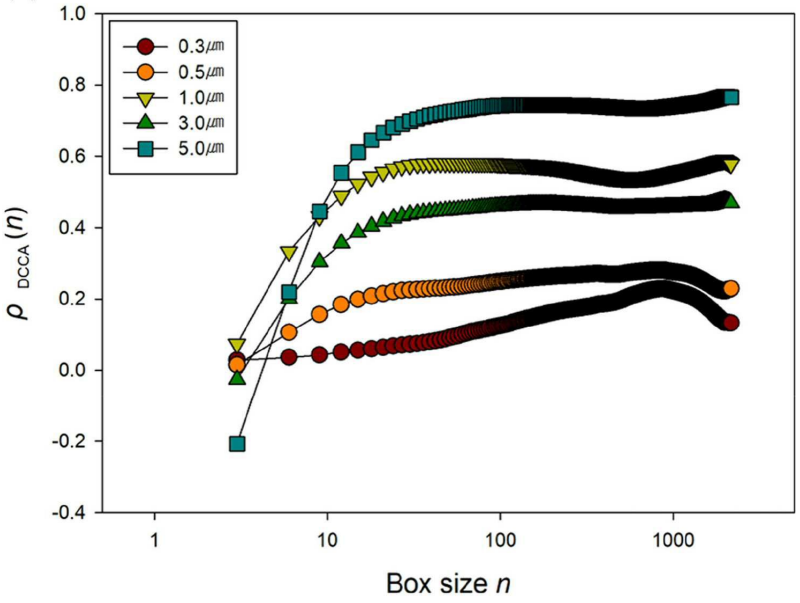

0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
-0.4
ρ DCCA (n)
0.3 ㎛
0.5 ㎛
1.0 ㎛
3.0 ㎛
5.0 ㎛
1
10
100
1000
Box size n

(b)

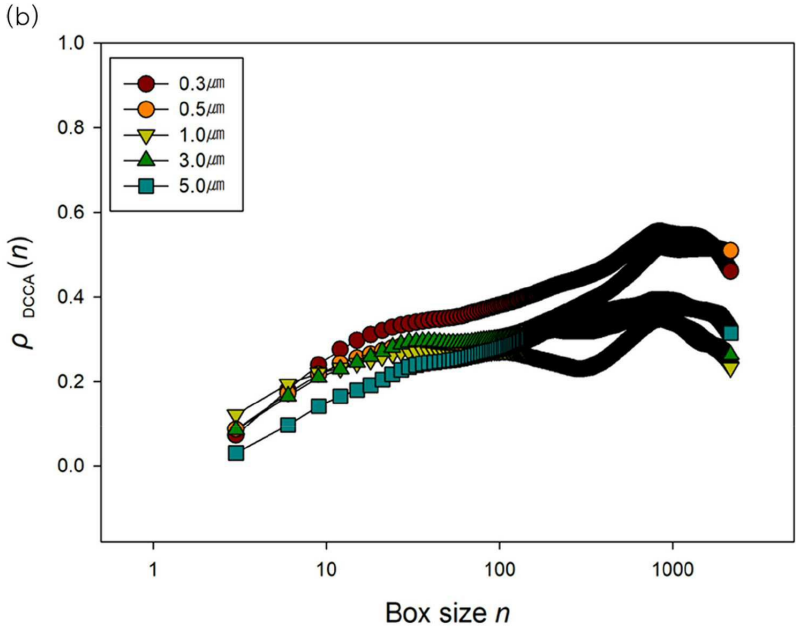

0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2
-0.3
ρ DCCA (n)
0.3㎛
0.5㎛
1.0㎛
3.0㎛
5.0㎛
1
10
100
1000
Box size n

도면8

(a)

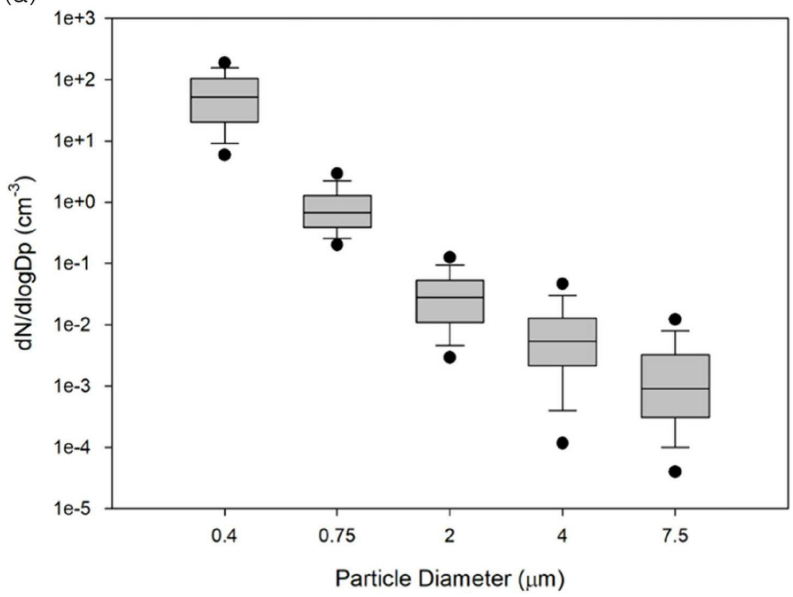


(b)

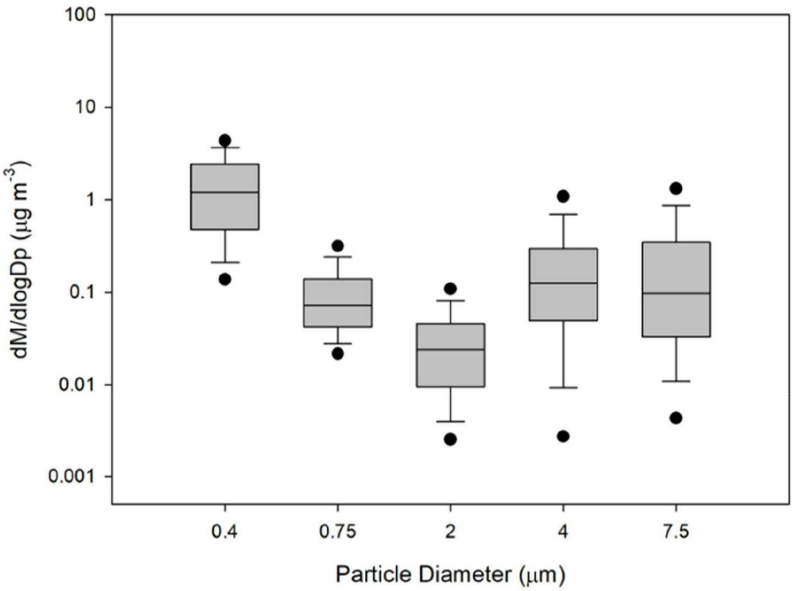


도면9

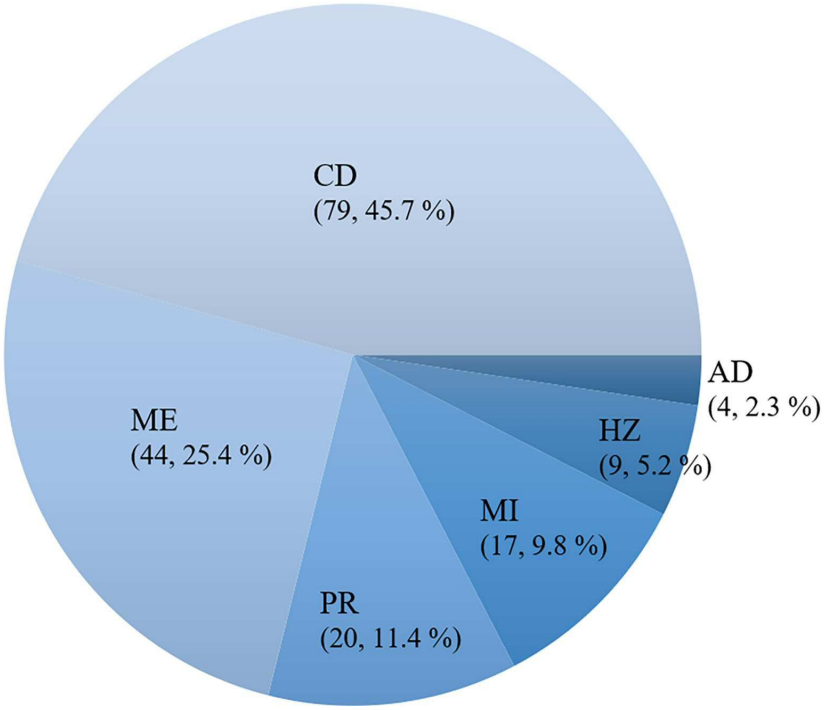
(a)


1e+3
1e+2
1e+1
1e+0
1e-1
1e-2
1e-3
1e-4
1e-5
dN/dlogDp (cm-3)
0.4
0.75
2
4
7.5
Particle Diameter (μm)

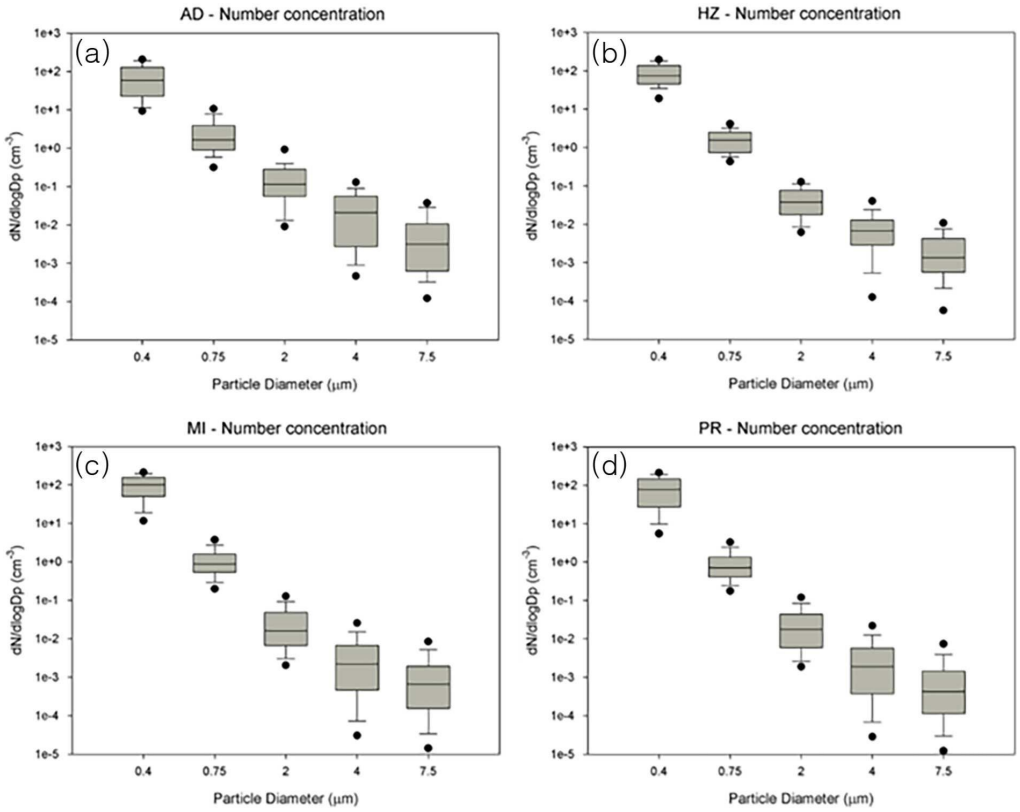
(b)


100
10
1
0.1
0.01
0.001
dM/dlogDp (μg m-3)
0.4
0.75
2
4
7.5
Particle Diameter (μm)

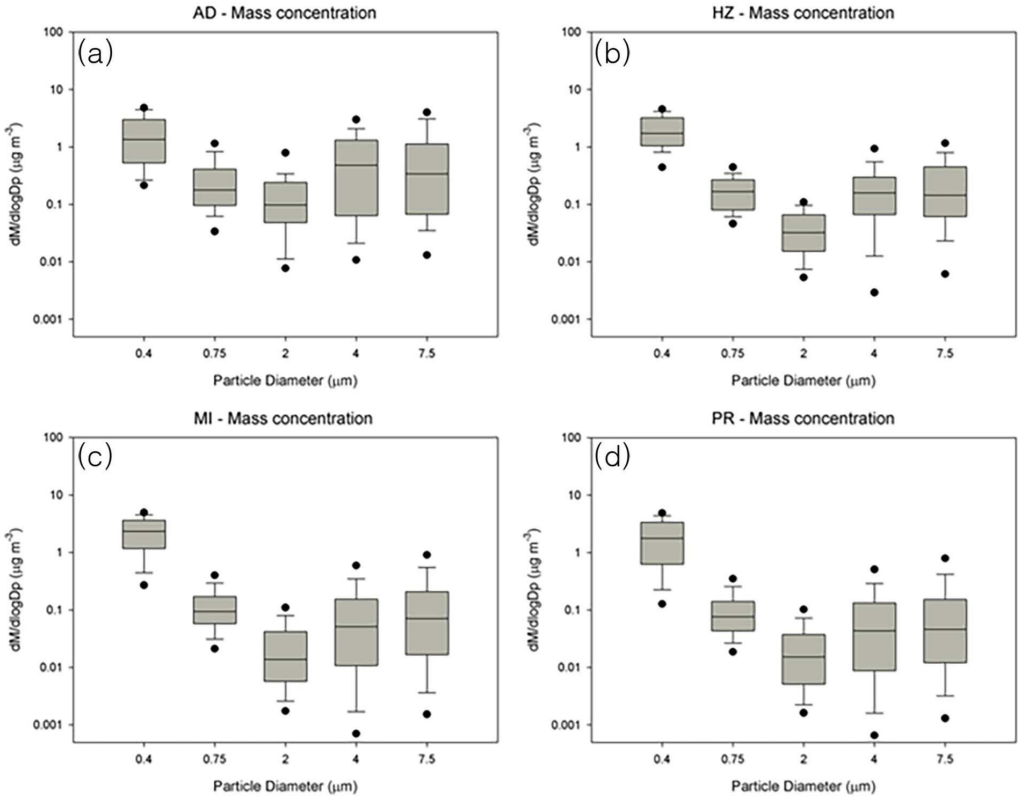
도면10


CD
(79, 45.7 %)
AD
(4, 2.3 %)
HZ
(9, 5.2 %)
MI
(17, 9.8 %)
PR
(20, 11.4 %)
ME
(44, 25.4 %)

도면11

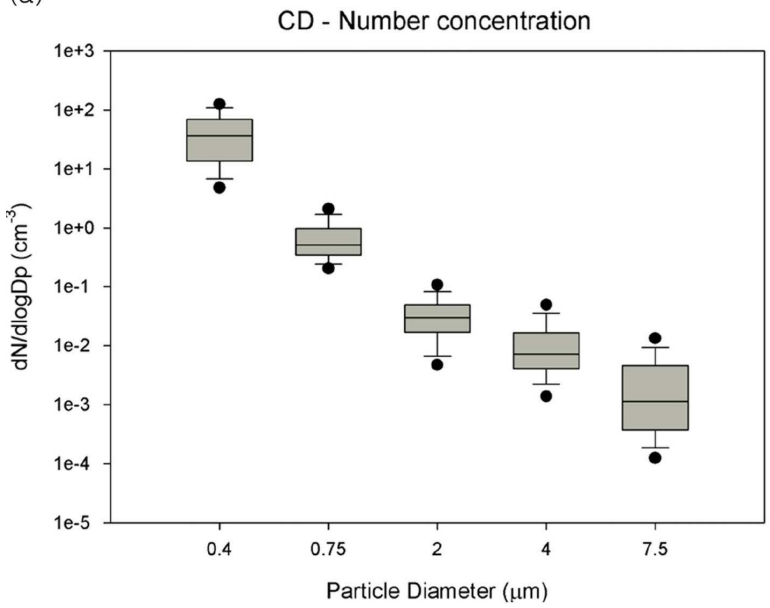

AD - Number concentration
HZ - Number concentration
MI - Number concentration
PR - Number concentration
(a)
(b)
(c)
(d)
dN/dlogDp (cm-3)
Particle Diameter (μm)
0.4
0.75
2
4
7.5

도면12

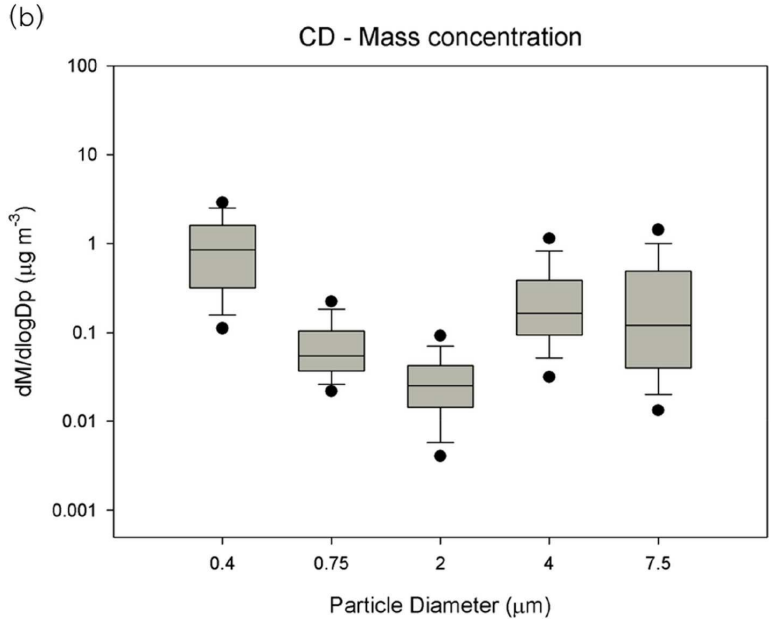

AD - Mass concentration
(a)
HZ - Mass concentration
(b)
MI - Mass concentration
(c)
PR - Mass concentration
(d)
dM/dlogDp (μg m-3)
100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.4
0.75
2
4
7.5
Particle Diameter (μm)

도면13

(a)

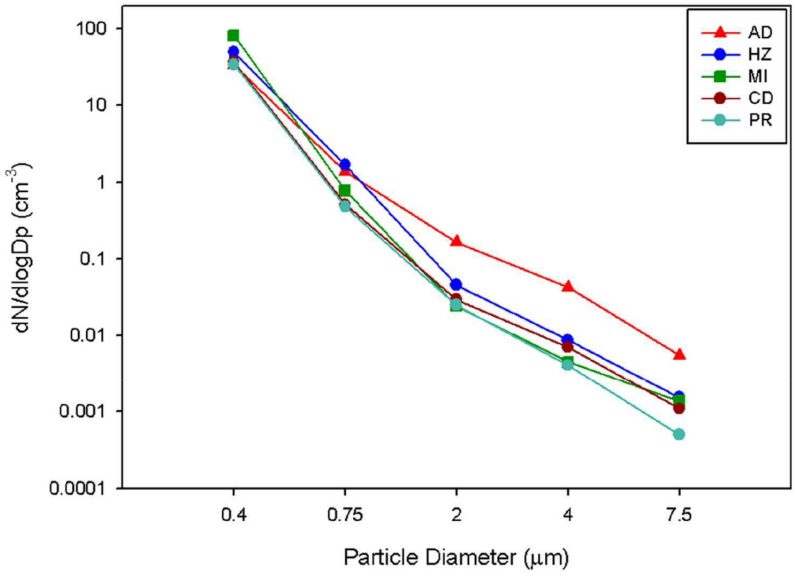

CD - Number concentration
1e+3
1e+2
1e+1
1e+0
1e-1
1e-2
1e-3
1e-4
1e-5
dN/dlogDp (cm-3)
0.4
0.75
2
4
7.5
Particle Diameter (μm)

(b)

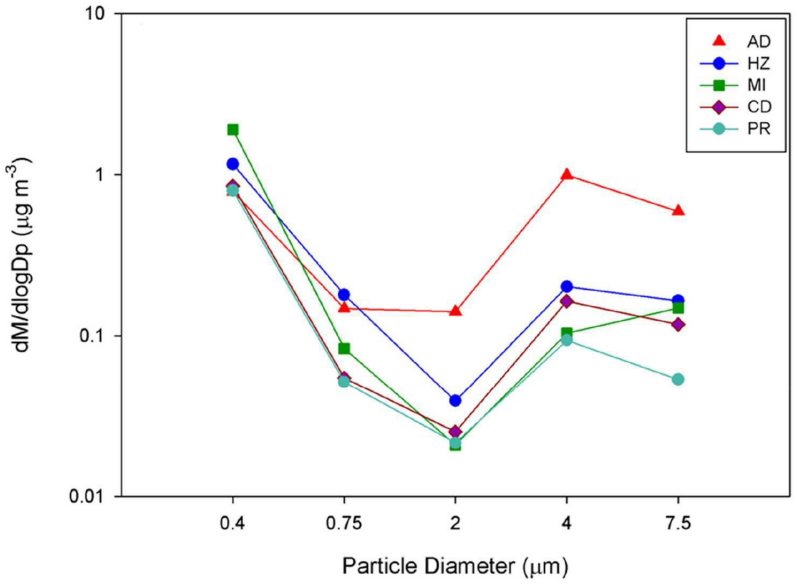

CD - Mass concentration
100
10
1
0.1
0.01
0.001
dM/dlogDp (μg m-3)
0.4
0.75
2
4
7.5
Particle Diameter (μm)

도면14

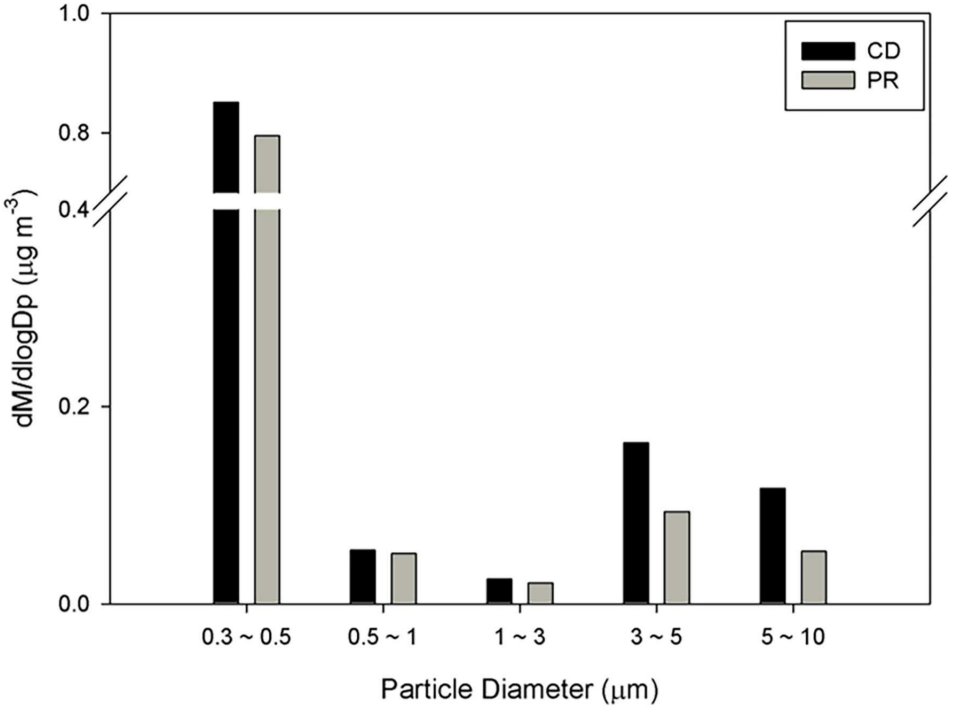
(a)


100
10
1
0.1
0.01
0.001
0.0001
dN/dlogDp (cm-3)
0.4
0.75
2
4
7.5
Particle Diameter (μm)
AD
HZ
MI
CD
PR

(b)

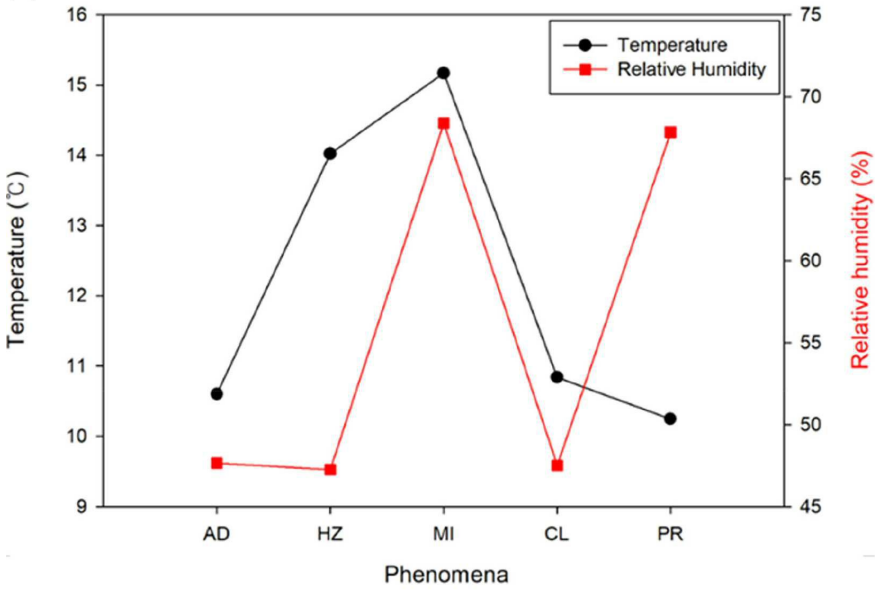

10
1
0.1
0.01
dM/dlogDp (μg m-3)
0.4
0.75
2
4
7.5
Particle Diameter (μm)
AD
HZ
MI
CD
PR

도면15

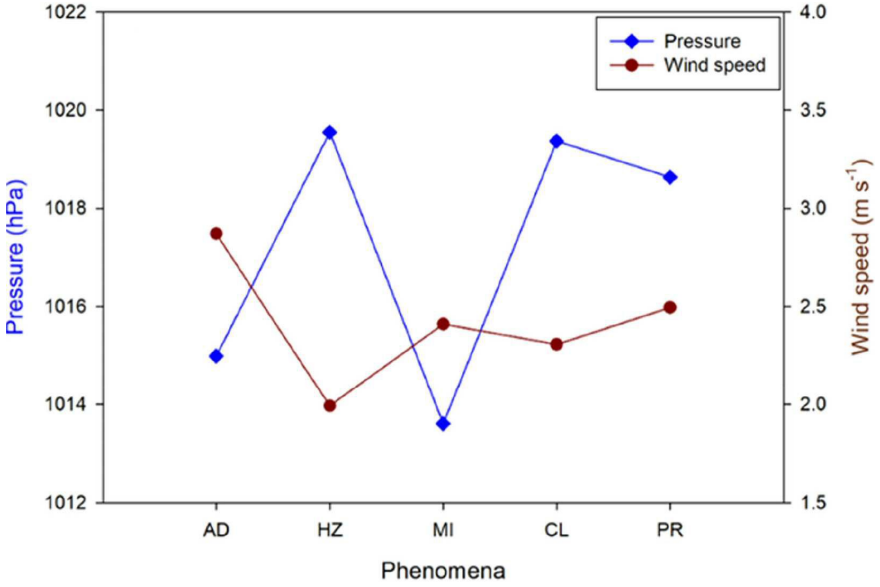

1.0
0.8
0.4
0.2
0.0
dM/dlogDp (μg m-3)
CD
PR
0.3 ~ 0.5
0.5 ~ 1
1 ~ 3
3 ~ 5
5 ~ 10
Particle Diameter (μm)

도면16

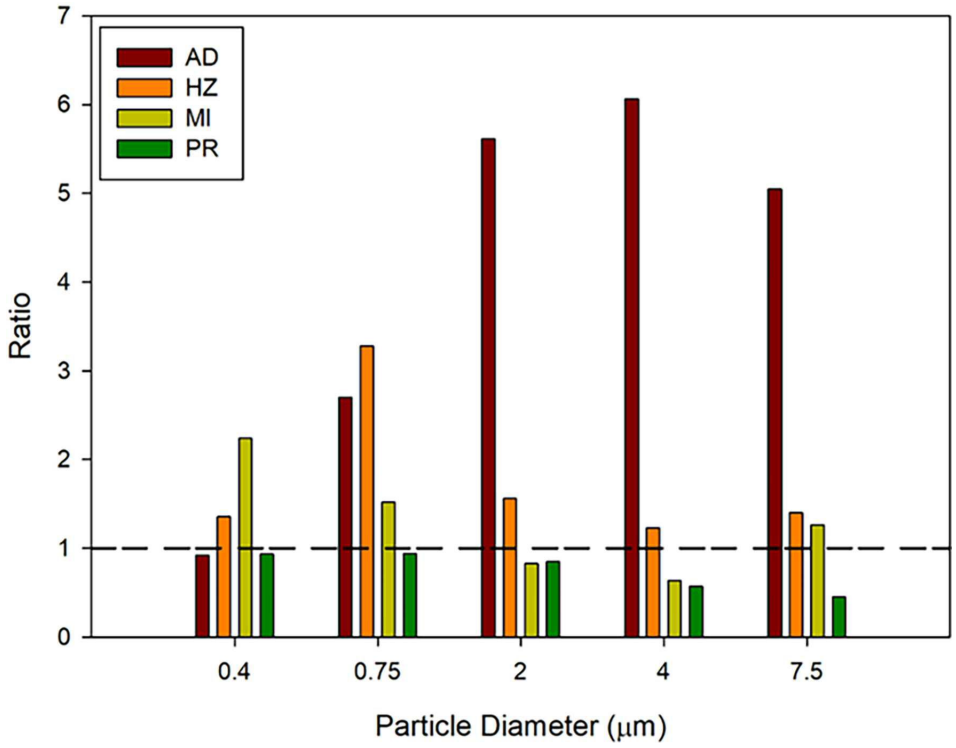
(a)


Temperature
Relative Humidity
Temperature (℃)
Relative humidity (%)
16
15
14
13
12
11
10
9
75
70
65
60
55
50
45
AD
HZ
MI
CL
PR
Phenomena

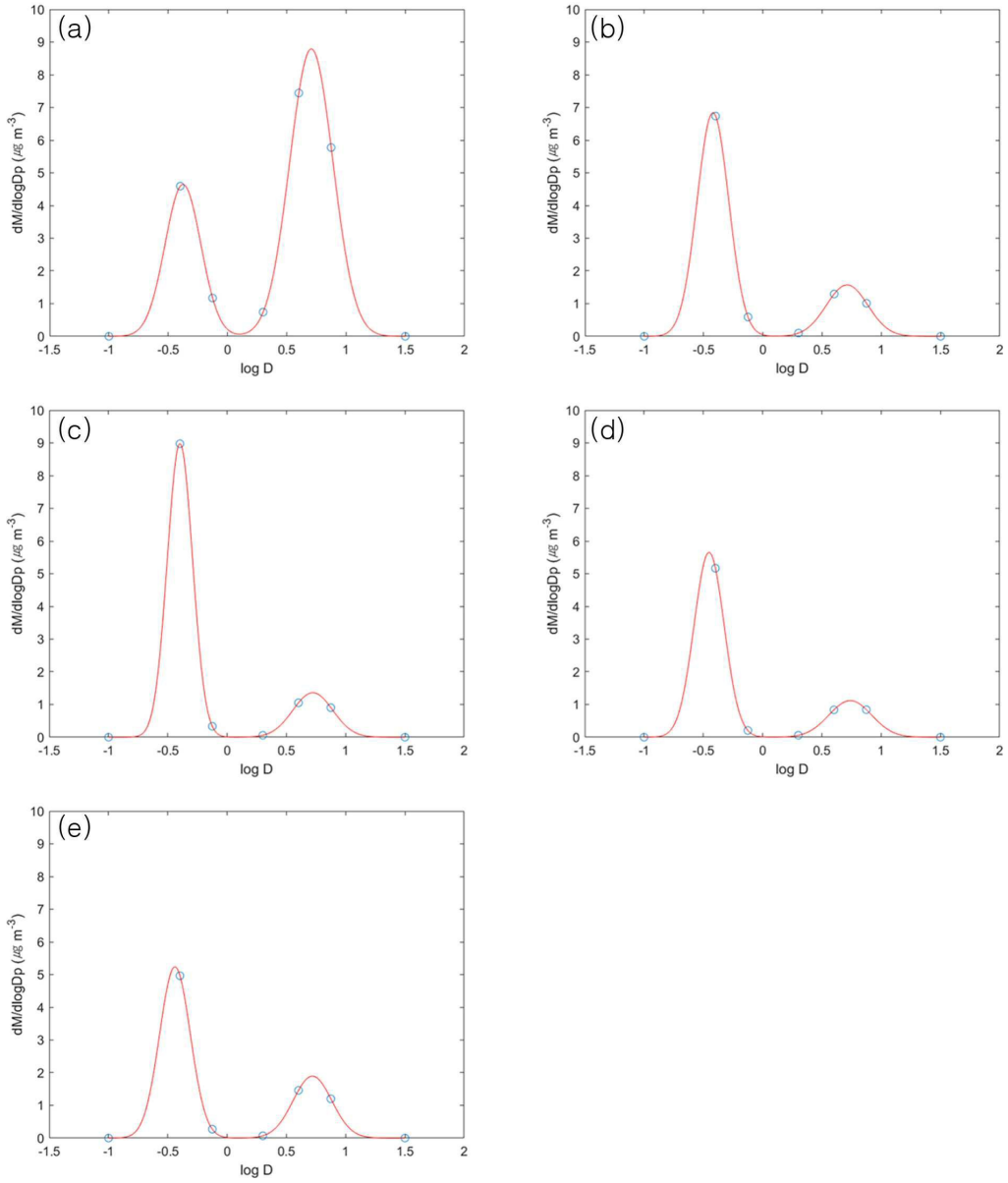
(b)


Pressure
Wind speed
Pressure (hPa)
Wind speed (m s-1)
1022
1020
1018
1016
1014
1012
4.0
3.5
3.0
2.5
2.0
1.5
AD
HZ
MI
CL
PR
Phenomena

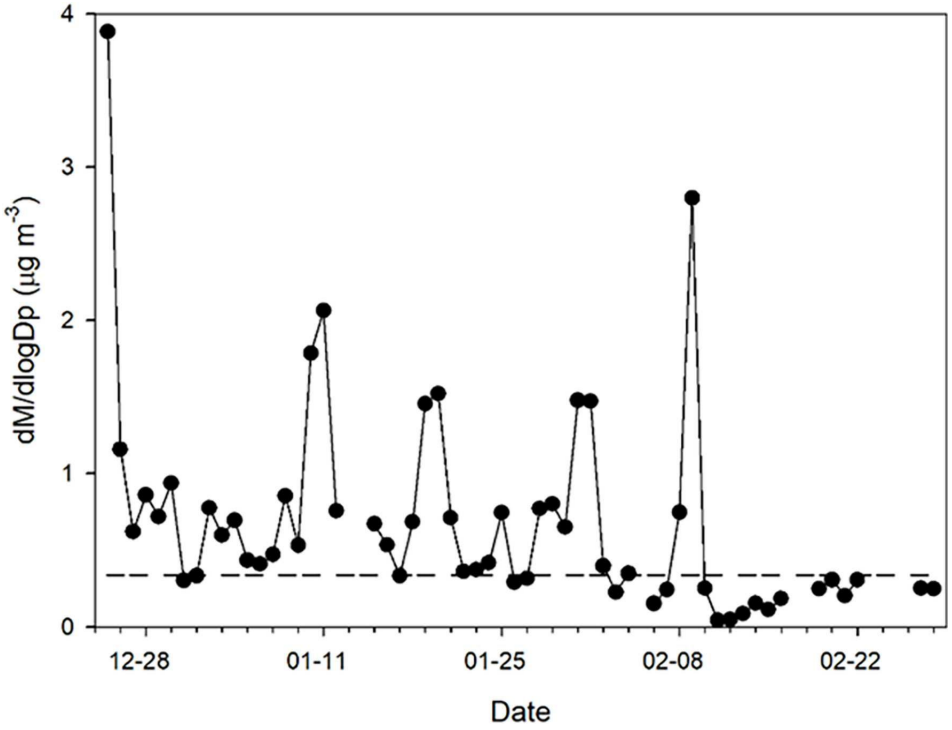
도면17



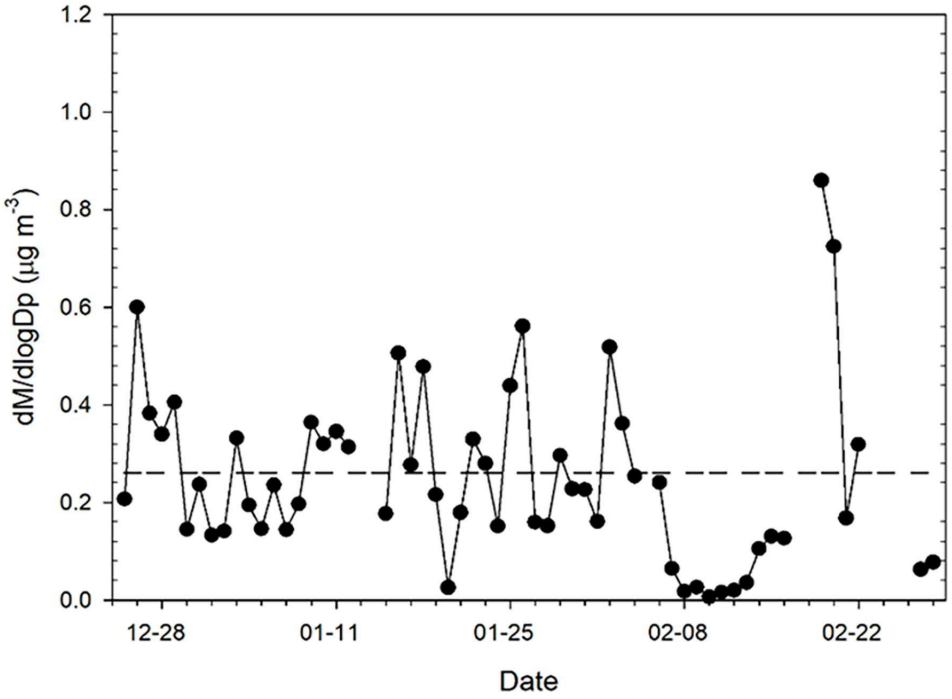
도면18



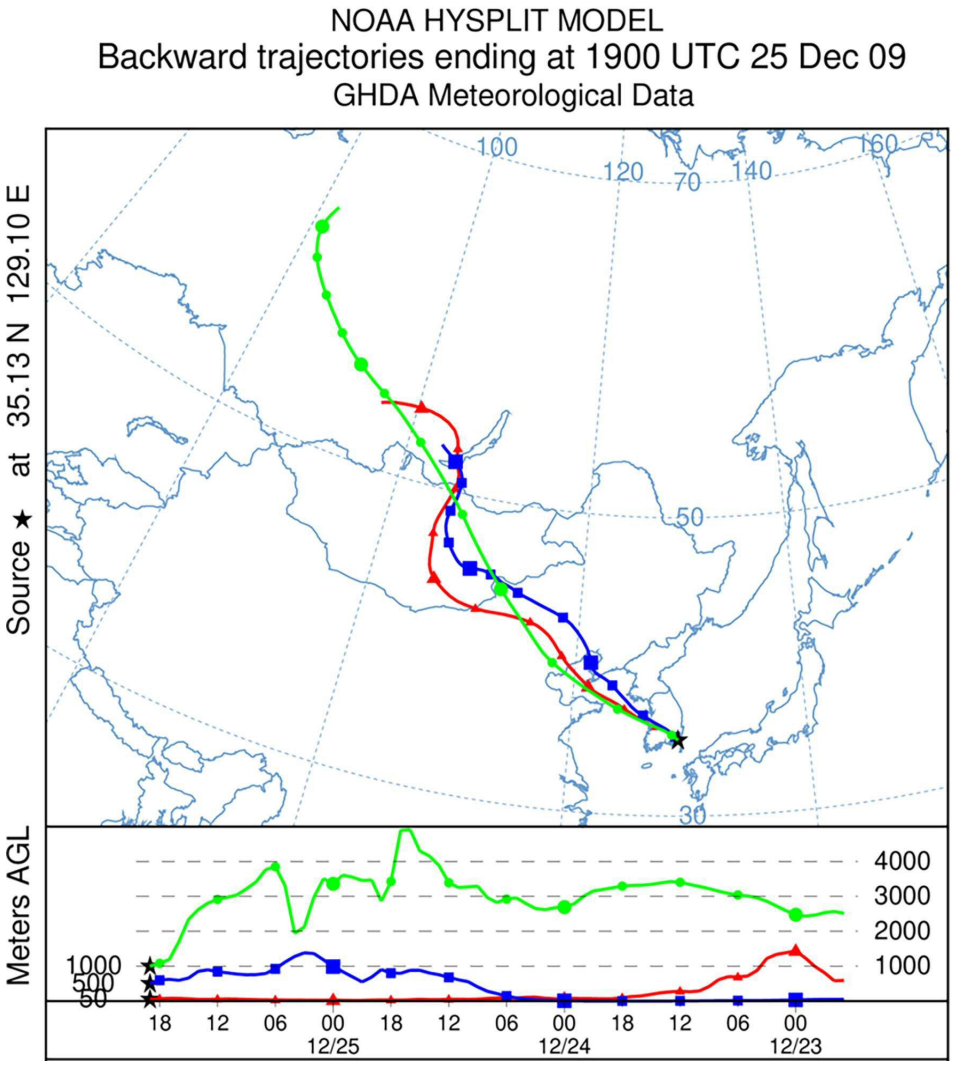
도면19


dM/dlogDp (μg m-3)
4
3
2
1
0
12-28
01-11
01-25
02-08
02-22
Date

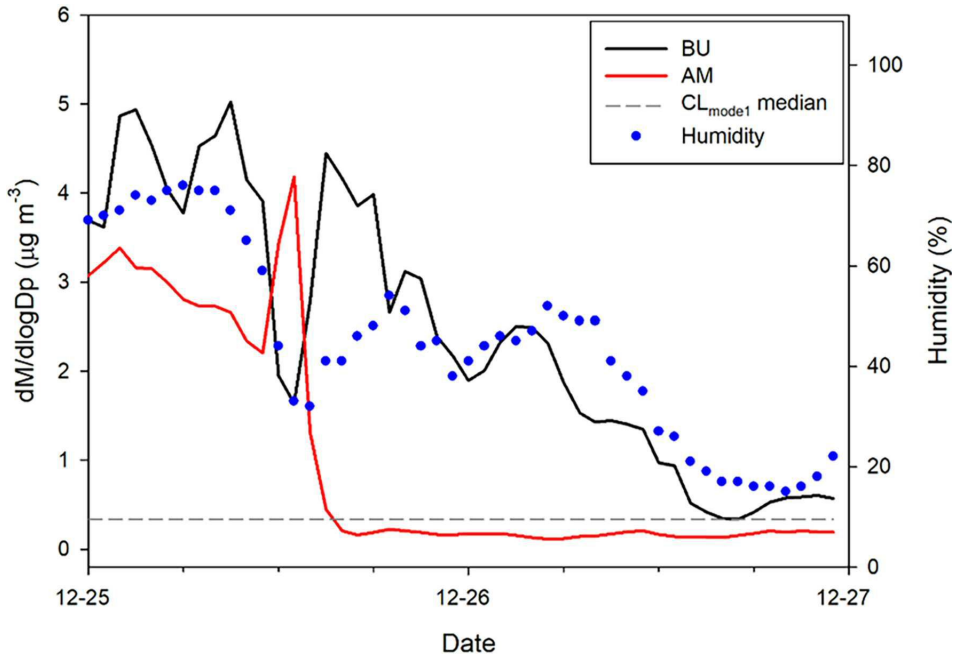
도면20


dM/dlogDp (μg m-3)
1.2
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
12-28
01-11
01-25
02-08
02-22
Date

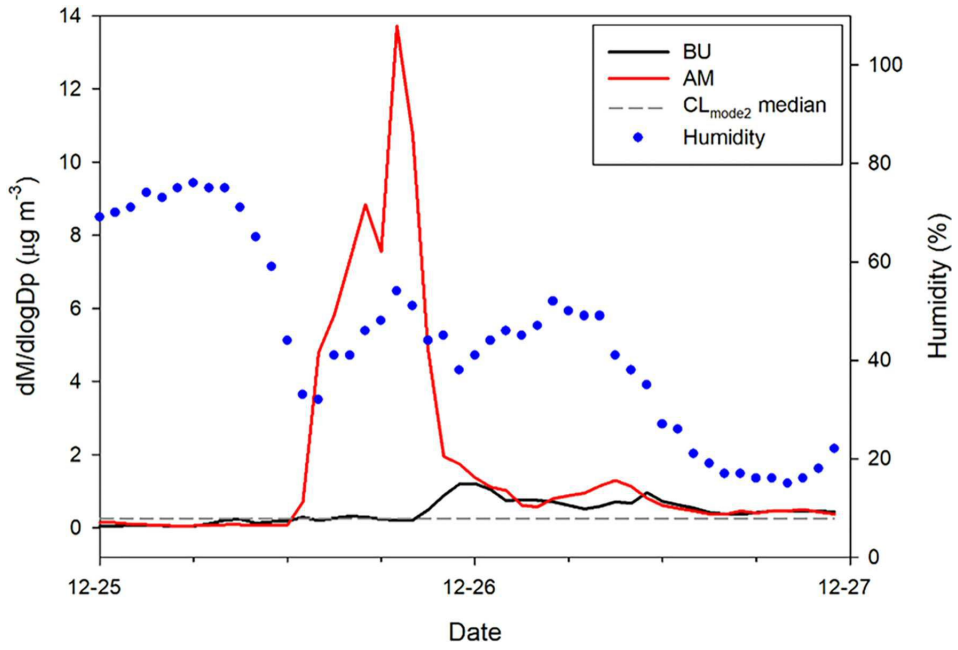
도면21


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1900 UTC 25 Dec 09
GHDA Meteorological Data
Source ★ at 35.13 N 129.10 E
Meters AGL
4000
3000
2000
1000
1000
500
50
18 12 06 00 18 12 06 00 18 12 06 00
12/25
12/24
12/23

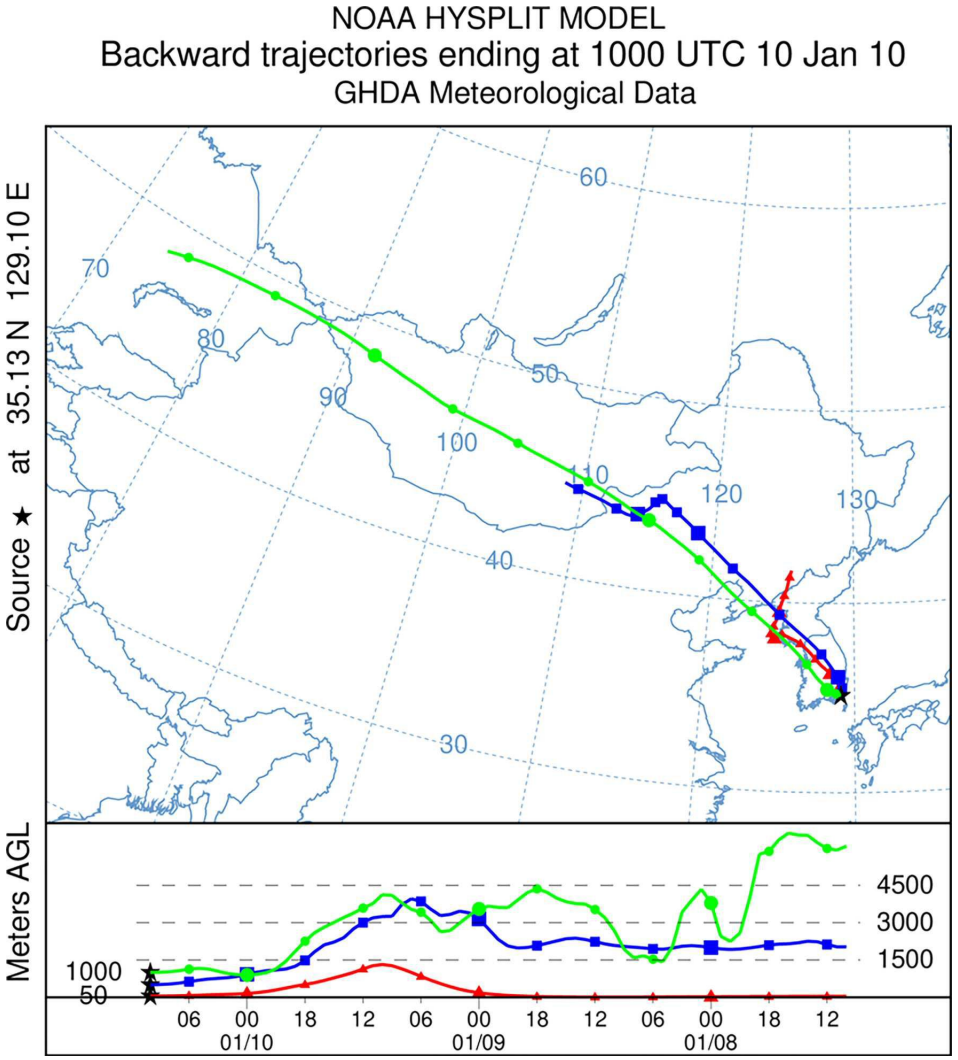
도면22


BU
AM
CL mode1 median
Humidity
dM/dlogDp (μg m-3)
Humidity (%)
12-25
12-26
12-27
Date

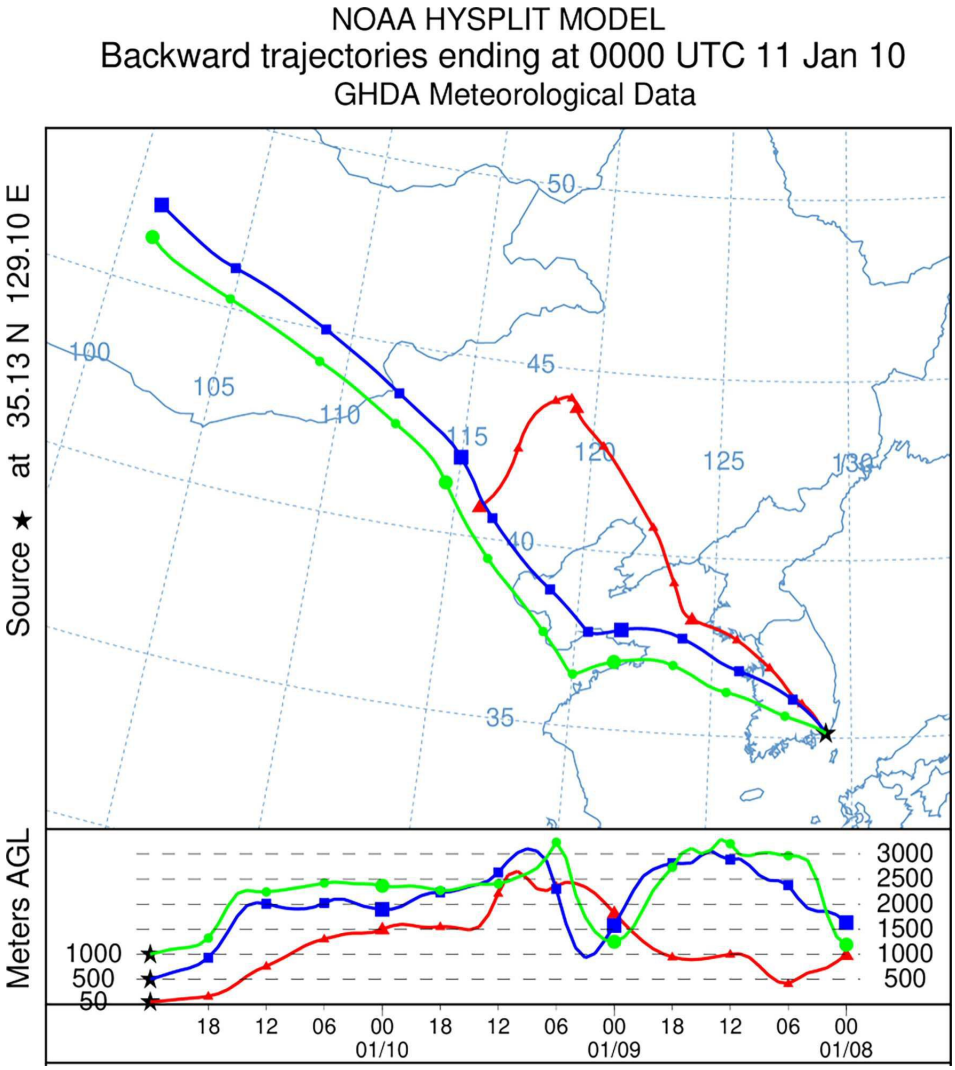
도면23


BU
AM
CL$_{mode2}$ median
Humidity
dM/dlogDp (μg m^{-3})
Humidity (%)
Date
12-25
12-26
12-27

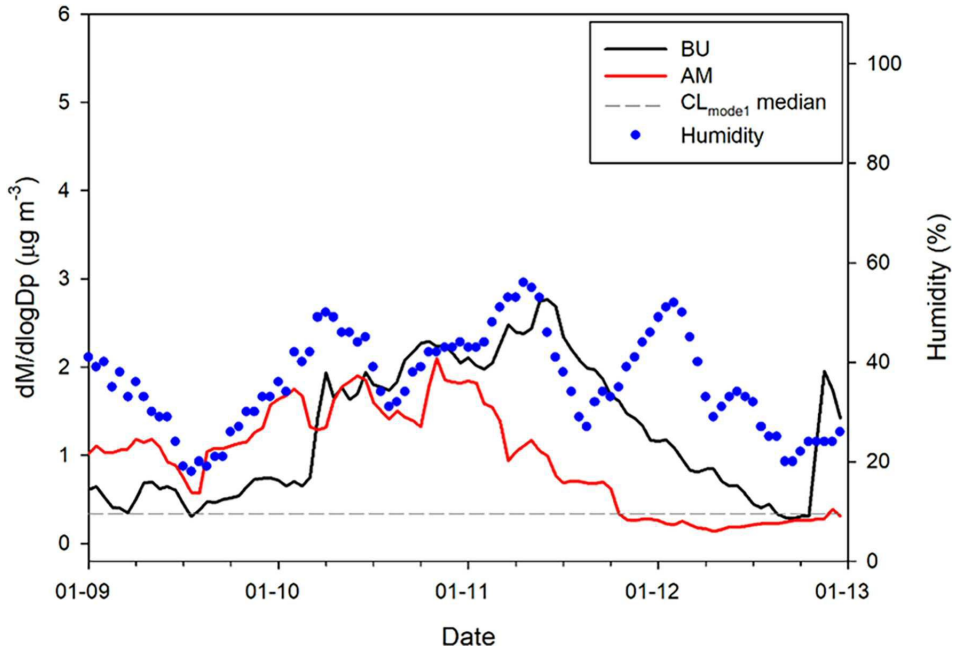
도면24


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1000 UTC 10 Jan 10
GHDA Meteorological Data
Source ★ at 35.13 N 129.10 E
Meters AGL
4500
3000
1500
1000
50
06 00 18 12 06 00 18 12 06 00 18 12
01/10
01/09
01/08

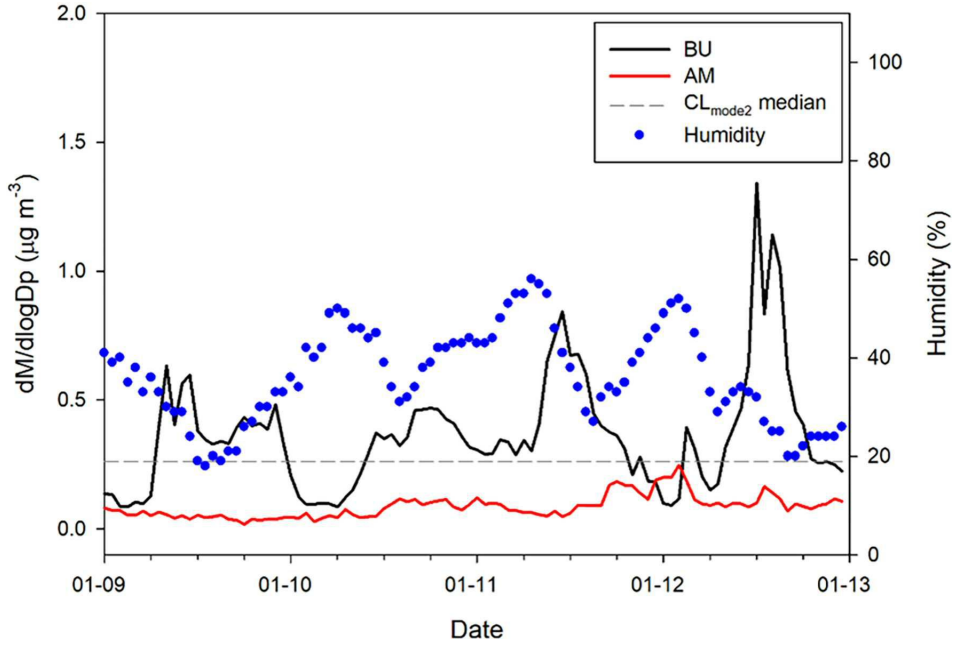
도면25


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0000 UTC 11 Jan 10
GHDA Meteorological Data
Source ★ at 35.13 N 129.10 E
Meters AGL
1000
500
50
3000
2500
2000
1500
1000
500
18 12 06 00 18 12 06 00 18 12 06 00
01/10
01/09
01/08

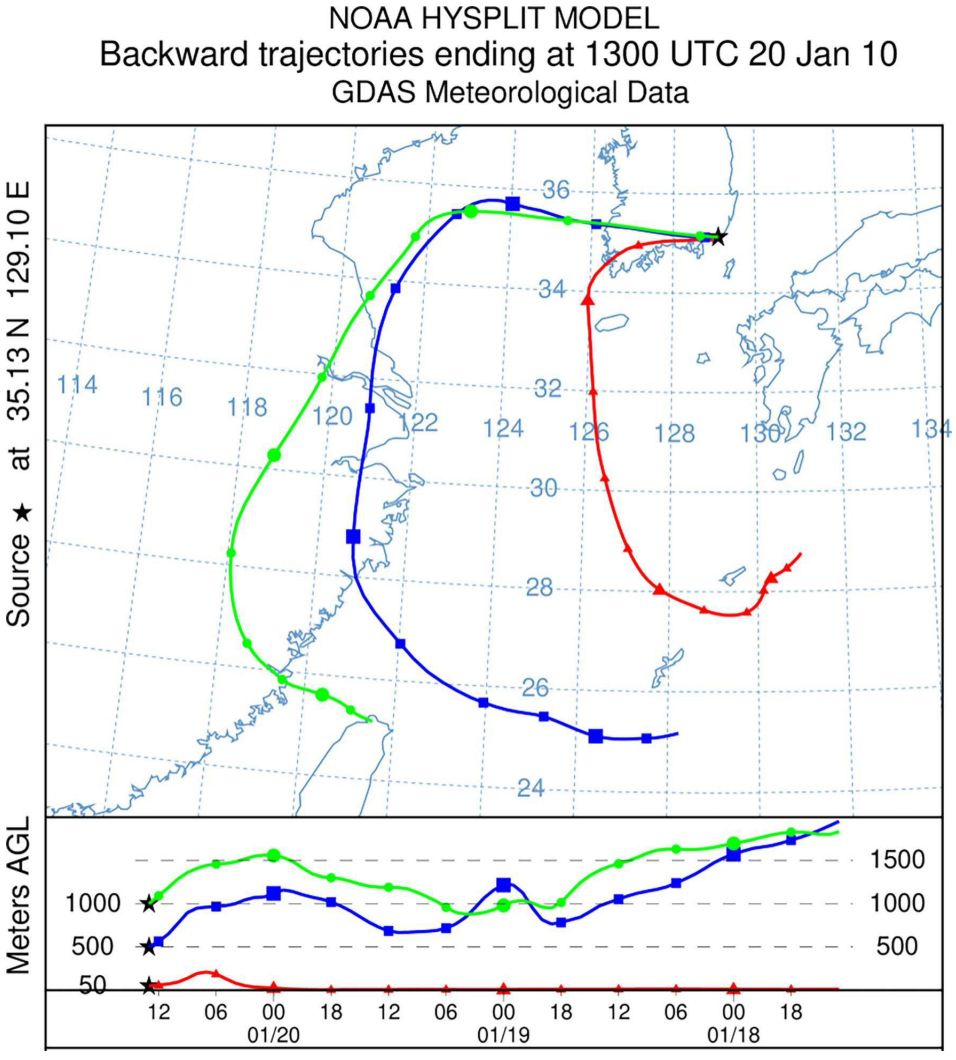
도면26


BU
AM
CL mode1 median
Humidity
dM/dlogDp (µg m-3)
Humidity (%)
01-09
01-10
01-11
01-12
01-13
Date

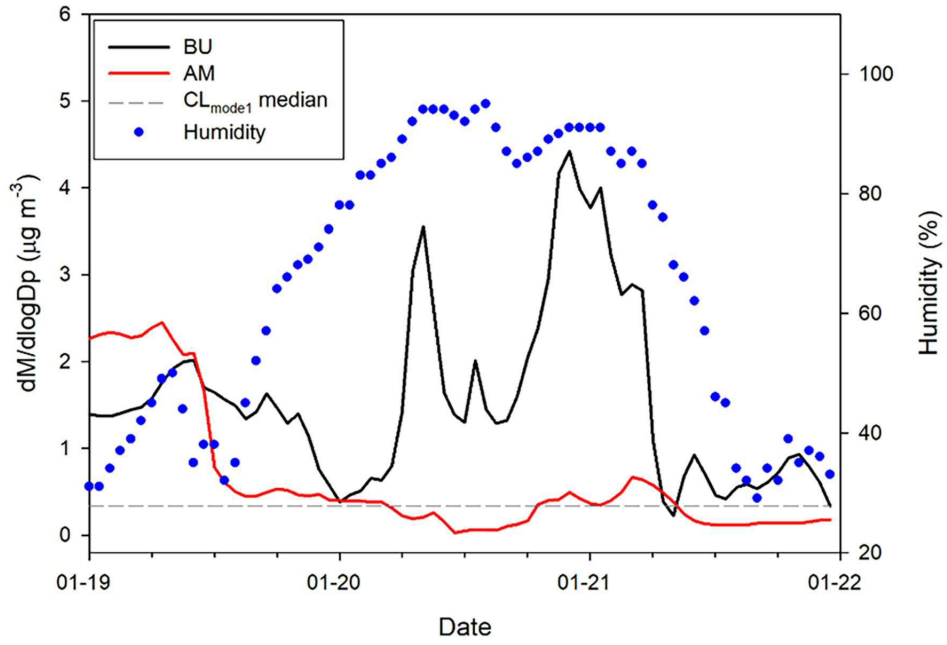
도면27


BU
AM
CL$_{mode2}$ median
Humidity
dM/dlogDp (μg m^{-3})
Humidity (%)
Date
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
100
80
60
40
20
0
01-09
01-10
01-11
01-12
01-13

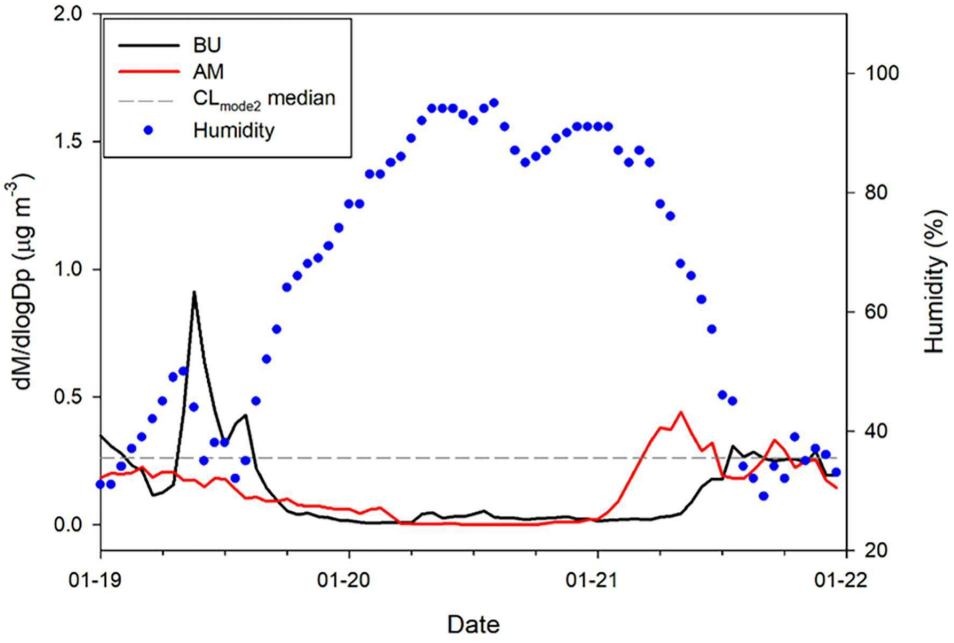
도면28


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 1300 UTC 20 Jan 10
GDAS Meteorological Data
Source ★ at 35.13 N 129.10 E
Meters AGL
1500
1000
500
1000
500
50
12 06 00 18 12 06 00 18 12 06 00 18
01/20
01/19
01/18

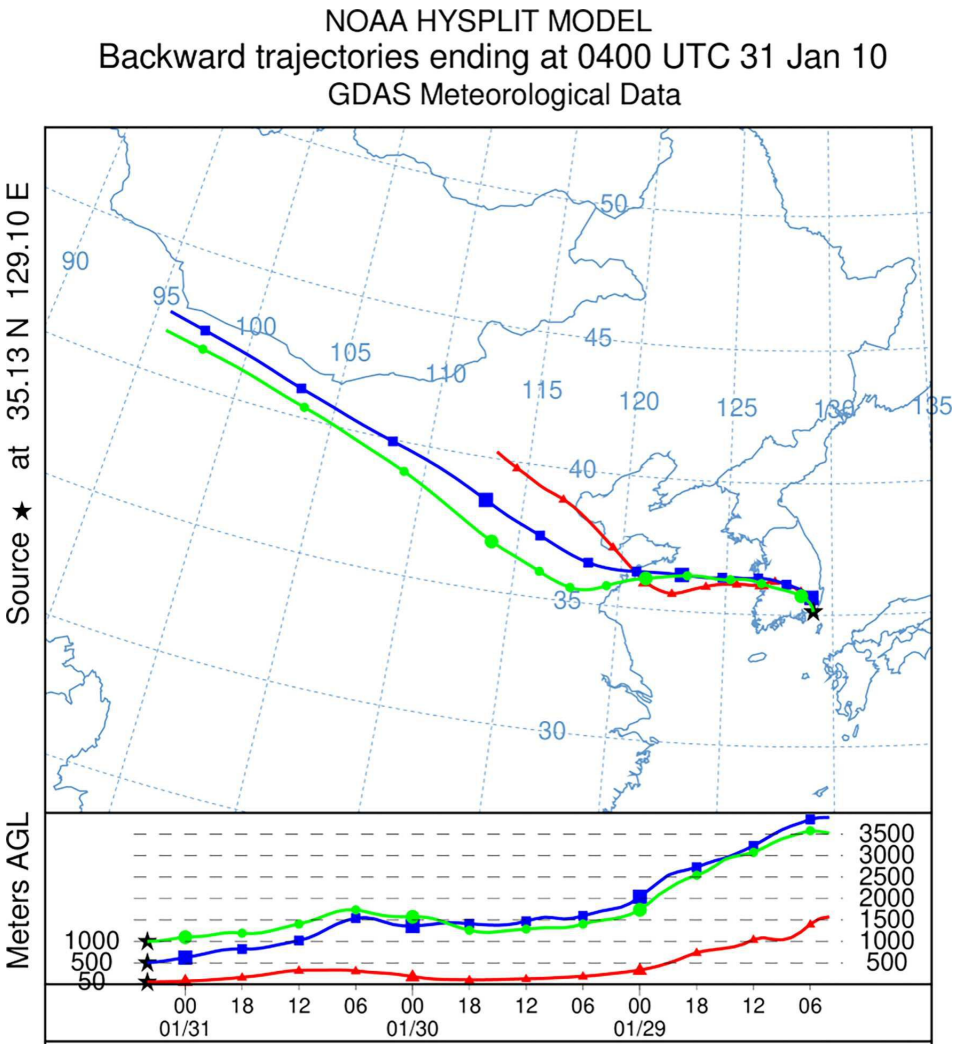
도면29


BU
AM
CL$_{mode1}$ median
Humidity
dM/dlogDp (μg m^{-3})
Humidity (%)
Date
01-19
01-20
01-21
01-22
0
1
2
3
4
5
6
20
40
60
80
100

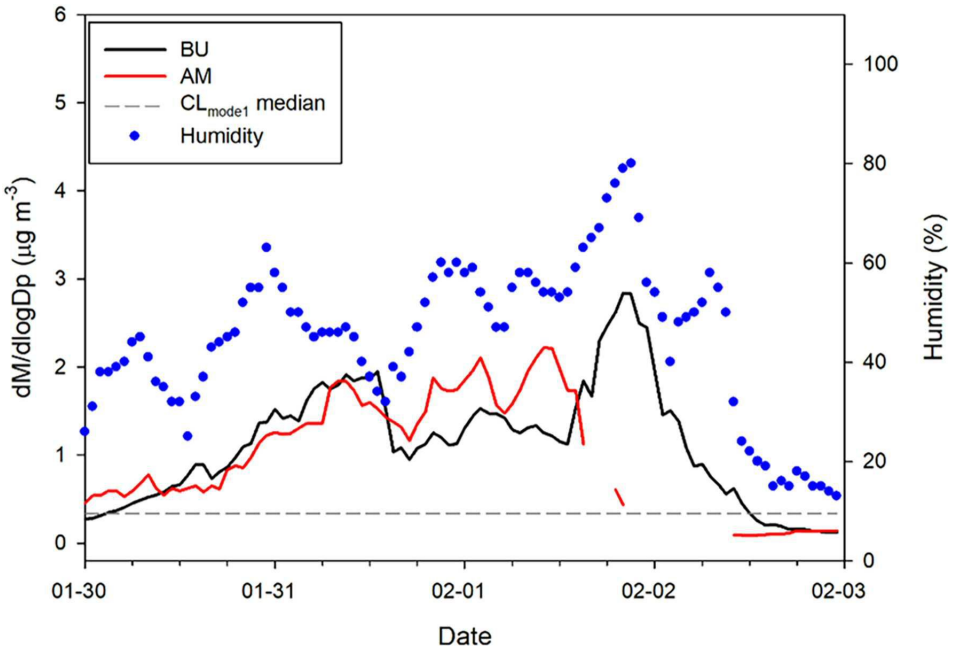
도면30


BU
AM
CL$_{mode2}$ median
Humidity
dM/dlogDp (μg m^{-3})
Humidity (%)
Date
01-19
01-20
01-21
01-22
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
20
40
60
80
100

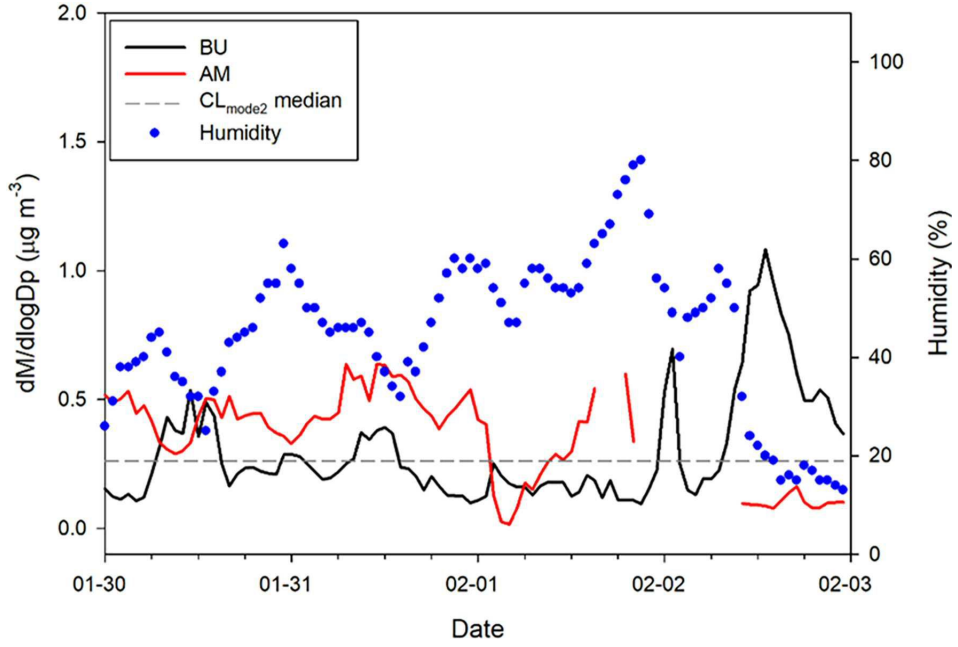
도면31


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0400 UTC 31 Jan 10
GDAS Meteorological Data
Source ★ at 35.13 N 129.10 E
Meters AGL
01/31
01/30
01/29

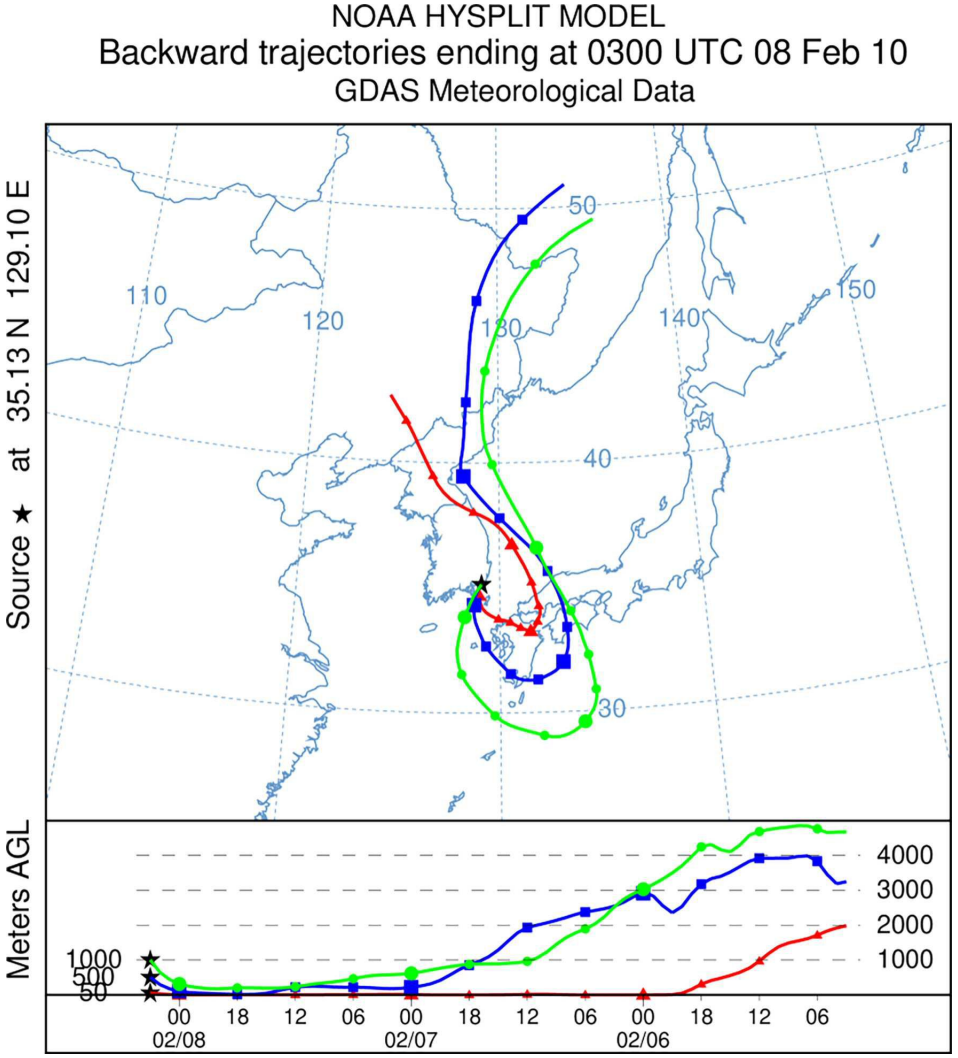
도면32


BU
AM
CL mode1 median
Humidity
dM/dlogDp (µg m-3)
Humidity (%)
Date
01-30
01-31
02-01
02-02
02-03

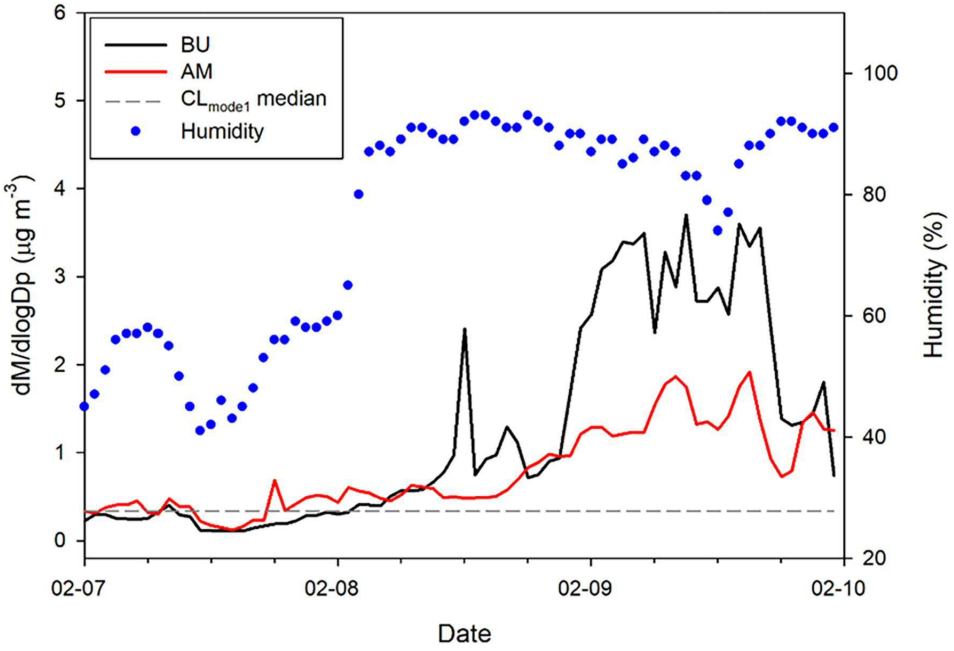
도면33


BU
AM
CL$_{mode2}$ median
Humidity
dM/dlogDp (μg m^{-3})
Humidity (%)
Date
2.0
1.5
1.0
0.5
0.0
100
80
60
40
20
0
01-30
01-31
02-01
02-02
02-03

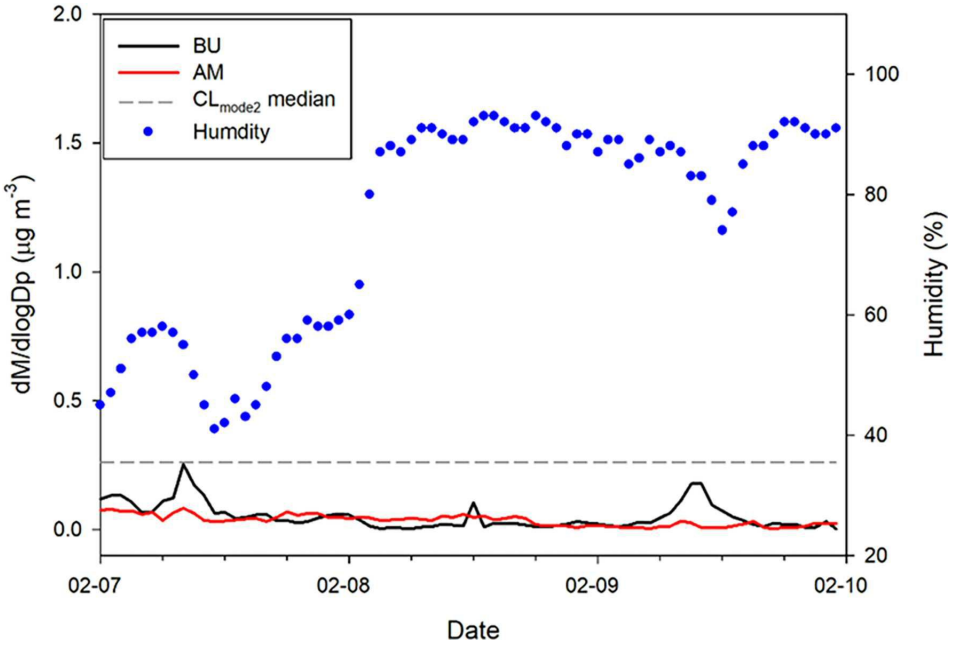
도면34


NOAA HYSPLIT MODEL
Backward trajectories ending at 0300 UTC 08 Feb 10
GDAS Meteorological Data
Source ★ at 35.13 N 129.10 E
Meters AGL
110
120
130
140
150
50
40
30
4000
3000
2000
1000
1000
500
50
00 18 12 06 00 18 12 06 00 18 12 06
02/08
02/07
02/06

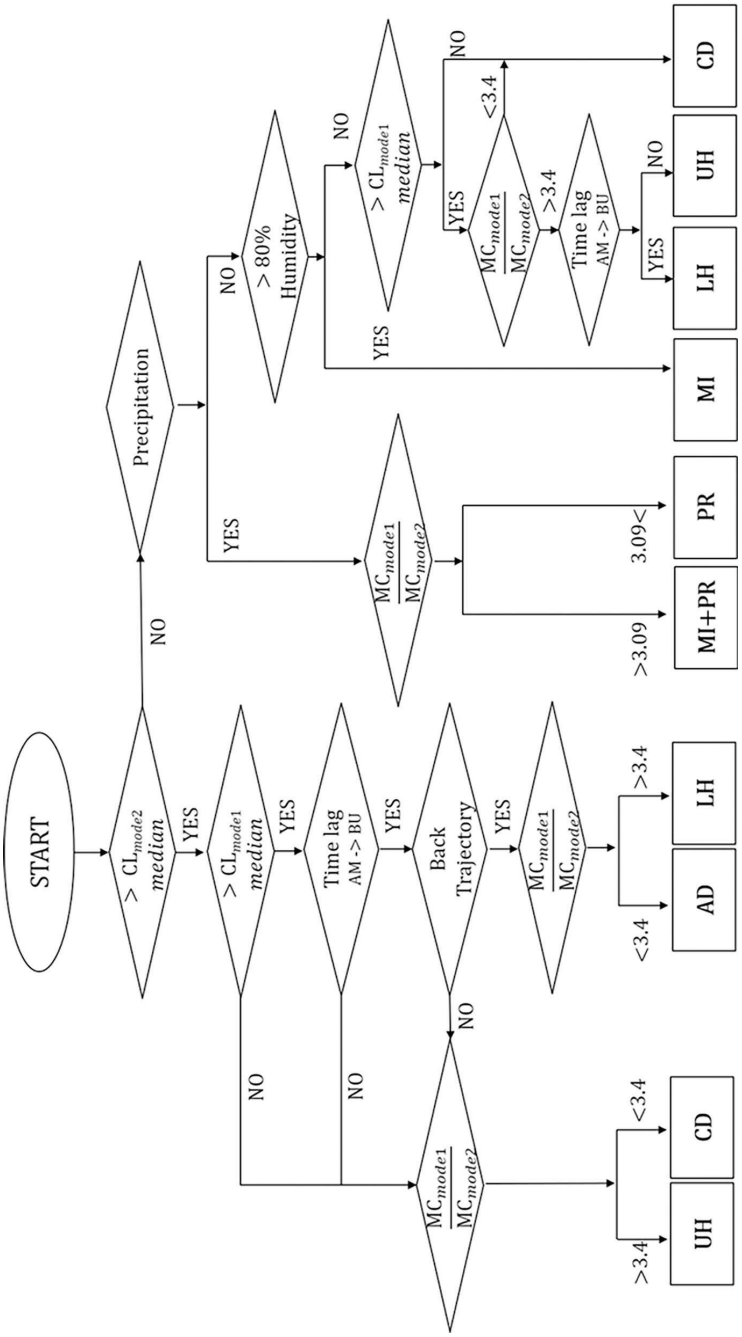
도면35


BU
AM
CL$_{mode1}$ median
Humidity
dM/dlogDp (μg m^{-3})
Humidity (%)
Date
02-07
02-08
02-09
02-10

도면36


BU
AM
CL$_{mode2}$ median
Humdity
dM/dlogDp (μg m^{-3})
Humidity (%)
Date
02-07
02-08
02-09
02-10

도면37


START
> CL mode2 median
YES
NO
> CL mode1 median
YES
NO
Time lag AM -> BU
YES
NO
Back Trajectory
YES
NO
MC mode1 / MC mode2
>3.4
<3.4
LH
AD
MC mode1 / MC mode2
<3.4
>3.4
CD
UH
Precipitation
NO
YES
> 80% Humidity
NO
YES
MC mode1 / MC mode2
3.09<
>3.09
PR
MI+PR
> CL mode1 median
NO
YES
MC mode1 / MC mode2
<3.4
>3.4
CD
Time lag AM -> BU
NO
YES
UH
LH
MI