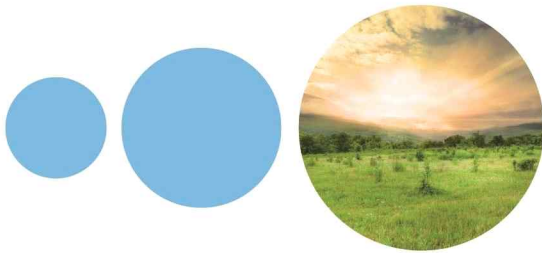


고농도 미세먼지 발생 시 기상학적 특성 파악에 대한 연구

기후변화대응연구센터



충청남도 서해안기후환경연구소



2017. 3

고농도 미세먼지 발생 시 기상학적 특성 파악에 대한 연구

2017. 3

Contents

목차	i
표목차	iii
그림목차	iii
연구요약	v
 1장 연구개요	 3
1. 연구배경 및 목적	3
2. 연구방법	4
2.1 대상지역	4
2.2 측정자료	5
2.3 분석방법	6
 2장 충청남도 미세먼지 농도 현황	 9
1. 평균농도현황	9
2. 고농도 발생현황	12
2.1. 대기환경기준 초과발생빈도	12
2.2. 고농도 연속사례일	13
 3장 고농도 미세먼지 발생 특성 기상학적 분석	 17
1. 고농도 미세먼지 발생 시 기상 특성	17
1.1. 미세먼지와 기상요소 간 상관성	17
1.2 고농도 미세먼지 발생 시 기상 여건	23
1.3 풍향·풍속에 따른 고농도 발생 특성	27
2. 연안기상이 고농도 미세먼지 발생에 미치는 영향	28
3. 충청남도 미세먼지 기원 분석	31
 4장 결론 및 정책제언	 35
1. 결론	35

2. 정책제언	37
---------------	----

참고문헌	41
-------------------	-----------

A. 최근 10년 월별 바람장미	45
-------------------------	----

B. 고농도 사례일 일기도	47
----------------------	----

표목차

[표 2-1] 충남 연도별·지점별 미세먼지 평균농도(2006~2015년)	10
[표 3-1] 서산시 동문동 PM10과 서산기상대 기상요소 사이의 상관관계표	21
[표 3-2] 천안시 성황동 PM10과 서산기상대 기상요소 사이의 상관관계표	22
[표 3-3] 서산시 동문동에서의 고농도 미세먼지 발생 시 기상요소 변화	25
[표 3-4] 천안시 성황동에서의 고농도 미세먼지 발생 시 기상요소 변화	26
[표 3-5] 고농도 미세먼지 발생 시 역궤적 군집 결과	32

그림목차

[그림 1-1] 충청남도 내 석탄화력발전소 위치와 기상 및 대기질 조사 지점	4
[그림 2-1] 연도별 미세먼지 평균농도(2006~2015)	9
[그림 2-2] 월별 미세먼지 평균농도(2006~2015)	10
[그림 2-3] 시간별 미세먼지 평균농도(2006~2015)	11
[그림 2-4] 요일별 미세먼지 평균농도(2006~2015)	11
[그림 2-5] 월별 고농도 미세먼지 발생빈도 및 평균치(2006~2015)	12
[그림 2-6] 2008년 및 2009년 6일 연속 고농도 미세먼지 발생 사례	13
[그림 3-1] 지난 10년 간(2006~2015) 기상요소의 변동	19
[그림 3-2] 지난 10년 간(2006~2015) 고농도 발생 시 기상요소의 변동	20
[그림 3-3] 기상요소 구간별 고농도 발생빈도 및 평균농도	24
[그림 3-4] 풍향·풍속에 따른 고농도 미세먼지 발생 빈도	27
[그림 3-5] 6일 연속 고농도 미세먼지 발생 사례	29
[그림 3-8] 6일 연속 고농도 미세먼지 발생 시 기상요소의 변동	30
[그림 3-7] 고농도 미세먼지 발생 시 역궤적 군집 결과	32

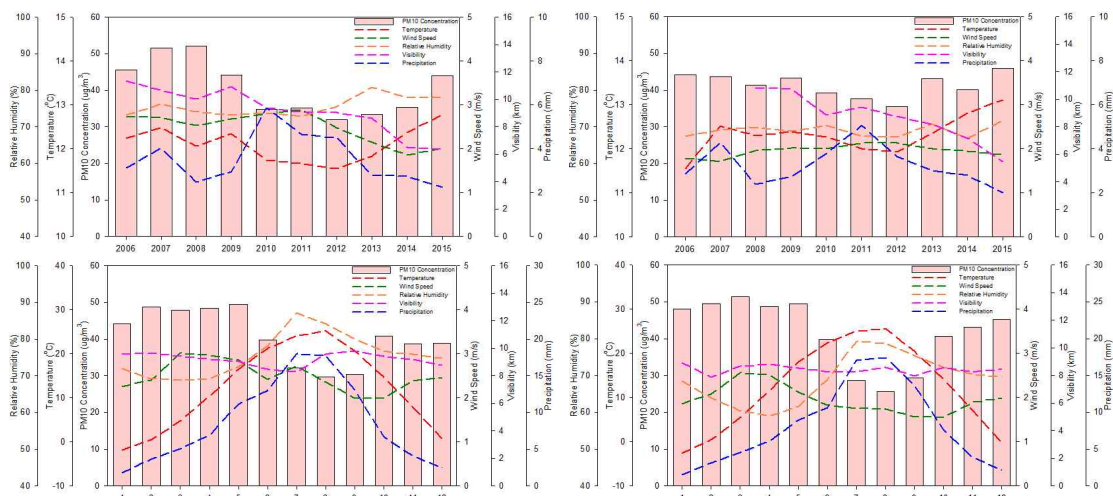
정책지원과제(기후변화) 2017-01

고농도 미세먼지 발생 시 기상학적 특성 파악에 대한 연구



연구요약

- 지속적인 대기오염물질 배출 감소 정책에도 불구하고 실질적인 대기질 개선은 미비하고, 실제 배출원에서의 배출량은 일정함에도 최근 들어 고농도 미세먼지가 빈번히 발생하고 있어 그 발생 기작에 대한 규명이 필요함
- 기상조건에 따라 미세먼지의 장거리 이동, 화학 변환에 의한 2차 생성, 대기 침적량 등이 영향을 받아 고농도 미세먼지를 초래하므로, 충청남도 고농도 미세먼지 발생 현상에 대한 기상학적 분석을 수행하고 관련 정책 구현에 과학적인 배경 자료를 제공하는데 목적이 있음
- [그림 1]의 최근 10년 간(2006~2015년) 연도별 미세먼지 평균농도는 2012년을 기점으로 재차 증가하는 추세를 보였으며, 월별 변화에서 2월부터 5월까지 농도가 높고 7월, 8월과 9월에 저농도를 보이다가 이후 다시 증가하는 추세를 보임
- 기상요소의 변화를 살펴보면, 2012년 이후 미세먼지 농도의 증가와 함께 풍속과 강수량, 시정의 감소가 뚜렷하며, 월변화에서는 여름철 풍속을 제외한 모든 기상요소의 증가와 함께 미세먼지 농도는 낮아지는 특징을 나타내고 있고, 3월에 한시적인 강풍과 함께 미세먼지 농도가 증가하여 외부유입 요인으로 판단됨



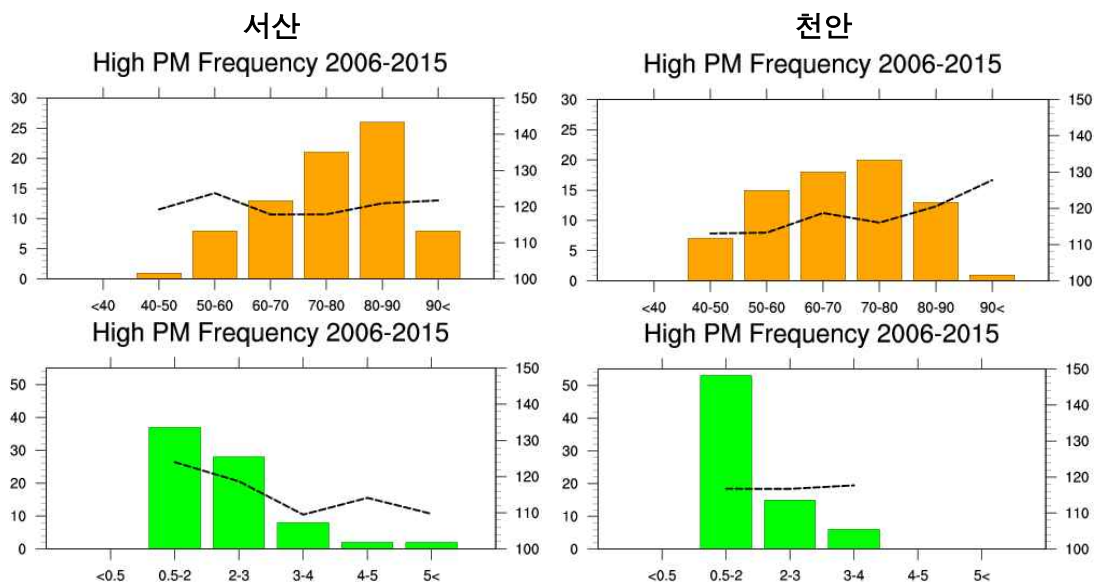
[그림 1] 고농도 미세먼지 발생현황 및 기상요소의 변화

○ 미세먼지(PM10)에 대한 환경부 24시간 대기환경기준을 토대로 일평균 $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과한 날을 고농도 발생일로 산정해 보았을 때, 최근 10년간 총 누적 초과횟수는 서산시 동문동이 77회(연간평균 7.7회), 천안시 성황동이 74회(연간평균 7.4회)이며, 평균농도는 동문동에서 $119.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 성황동에서 $116.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타남

○ 고농도 미세먼지 발생 시 기상학적 특성을 요약하면 다음과 같음

- 충청남도 서북부에서는 2월과 3월에 고농도 미세먼지 발생 빈도가 높고, 여름철에는 빈도는 적었지만 절대적인 농도의 크기는 높게 나타나는 것이 특징이었음
- 여름철 고농도 발생의 낮은 빈도는 잦은 강수에 의한 대기세정효과로 판단되며, 이때 계절적으로 남서풍이(부록 A 참조) 주로 형성되어 중국의 영향이 낮은 가운데 고농도 발생빈도도 적은 것으로 사료됨
- 반면에 봄, 가을과 겨울에는 기상학적으로 큰 일교차로부터 야간에 대기하층이 안정화되면서 대기확산이 저하된 점과 중국으로부터 외부유입이 함께 반영되어 고농도가 발생빈도가 증가한 것으로 판단됨

- 조사기간 중 고농도 미세먼지가 가장 장기간 지속되었던 일수는 6일이었으며, 서산시 동문동에서는 6일 연속 발생횟수가 2008년 10월과 2009년 4월에 두차례, 천안시 성황동에서는 2009년 동일사례에 국한하여 한차례 발생하였고, 특징적인 것은 두 지점에서 공통적으로 미세먼지 농도가 주간에 감소하고 야간에 급격히 증가하는 뚜렷한 일변화를 나타내었음
- 고농도 미세먼지 발생 시 기온, 상대습도, 풍속에 대해 구간별 발생빈도와 평균농도를 살펴보았을 때, 서산시 동문동에서는 대기가 상대적으로 습하고 다소 강한 풍속 조건에서도 고농도가 초래되는 것이 천안시 성황동과 뚜렷이 구별되는 특징이었음



[그림 2] 기상요소 구간별 고농도 발생빈도 및 평균농도

- CPF 분석을 통해 풍향풍속에 따른 미세먼지 발생 특성을 살펴보았을 때, 황사를 제외한 미세먼지 고농도 사례일에 대해 서산시 동문동 지점에서는 서풍 및 남(남)서풍계에서 높은 확률분포를 나타내었고, 천안시 성황동 지점에서는 (서)남서풍계에 구간에서 높은 고농도 발생분포를 보임

- 충청남도 미세먼지의 기원을 분석하기 위해 2015년 고농도 사례일에 대해 공기과를 역추적하여 군집분석을 수행한 결과 각각 3개의 군집으로 분류되었으며, 서산시는 외부유입이 44%이고 내부요인이 56%로 나타났고, 천안시는 외부유입이 39%이고 내부요인이 61%로 나타남
- 고농도 사례일에 대해, 서산시가 천안시에 비해 내부요인의 기여도가 낮고, 절대농도에 있어서는 다소 높게 나타났는데, 크게 다음의 세가지 요인으로 분석해 볼 수 있음
 - 첫째, 지형적 요인에 의해 내륙에 위치한 천안시가 연안에 인접한 서산시보다 상대적으로 낮은 풍속을 나타내어 내부요인의 영향이 크게 나타함
 - 둘째, 서산시에서는 기상학적으로 해풍의 영향에 의한 이류 및 확산효과 증가하여 내부 기여도가 상대적으로 낮게 나타남
 - 셋째, 서산시 주변의 화력발전소(태안, 당진)와 석유화학단지 등의 대단위 배출원에 의한 직접영향이 절대적인 농도 상승에 기여함

[표 1] 고농도 미세먼지 발생 시 역궤적 군집 결과

지역 구분	서산시 동문동				천안시 성황동			
	군집	기원	기여율 (%)	농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	군집	기원	기여율 (%)	농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2015년	군집1	내몽골	16	45.5	군집1	내몽골	4	44.5
	군집2	내부	42	37.2	군집2	만주	21	52.1
	군집3	화남	26	41.4	군집3	내부	64	49.9
	군집4	러시아	16	9.6	군집4	러시아	10	24.7
고농도	군집1	내몽골	17	190.7	군집1	내몽골	21	197.0
	군집2	내부	56	109.8	군집2	화남	18	113.3
	군집3	화북	28	147.2	군집3	내부	61	108.5

- 본 연구에서는 PM10에 대한 조사에 그쳤지만, 2017년 이후 충청남도 시군별 대기질 측정소가 확충되고 PM2.5 측정자료가 생산된다면 충청남도 전역에 대해 기상 및 지형효과까지 반영한 다각적 분석을 수행할 수 있을 것으로 판단됨

제 1 장

연구개요

1. 연구배경 및 목적
2. 연구방법

연구개요



1. 연구배경 및 목적

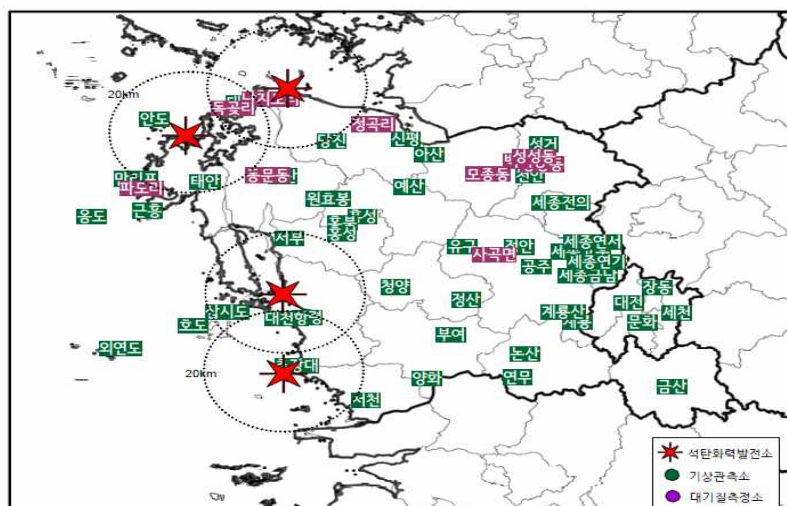
- 대기오염물질의 지속적인 배출 감소 정책에도 불구하고 실질적인 대기질 개선은 미비하며(KEI 포커스, 2016), 배출원에서의 배출량은 일정함에도 대기농도는 장단기적으로 변동하고 있어 고농도 발생 기작에 대한 규명이 필요함
- 대기질은 배출원에 의존하지만 영향지역은 기상과 지형조건, 화학적 변환과정 등이 중요하게 작용하며(전병일, 2012), 특히 기상조건에 따라 대기확산과정과 장거리 이동, 화학 변환에 의한 2차 생성과정이 영향을 받아 해당지역의 미세먼지 농도가 결정됨
- 충청남도 서해연안에는 석탄화력발전소, 석유화학단지, 제철소 등의 대기오염물질 다량배출업소가 입지하고 있어 내륙 풍하방향에 고농도 미세먼지의 발생 가능성이 큼
- 본 연구에서는 충청남도 고농도 미세먼지 발생 현상을 규명하고자 기상인자와 관계를 살펴보고, 연안기상이 고농도 발생에 미치는 영향과 잠재적인 오염원을 기상조건에 따라 분류해보고자 함
- 나아가서 본 연구결과를 토대로 고농도 미세먼지 발생과 해결방안에 대한 정책 실현에 과학적인 배경 자료를 제공하는데 목적이 있음



2. 연구방법

2.1 대상지역

- 충청남도의 서부 및 북부 해안은 복잡한 리아스식 해안선으로 이루어져 있고 예당평야를 지나 동쪽 내륙지역은 북동-남서 방향의 산맥이 형성되어 있음
- 황해와 맞닿은 서북부 임해지역에는 화력발전소와 제철소, 석유화학단지 등 대단위 대기오염배출시설이 입지하고 있음
- 연구대상지역은 지형조건과 배출원의 특성에 따라 서부의 임해공단지역과 동부의 내륙도시지역으로 크게 구분할 수 있음
- 특히, 미세먼지의 주요 발생원 중 하나인 석탄화력발전소는 전국 53기 중 26기가 임해지역에서 가동중이라 주변지역에 영향을 줄 가능성이 큼



[그림 1-1] 충청남도 내 석탄화력발전소 위치와 기상 및 대기질 조사 지점

2.2 측정자료

- 충청남도에는 37개 기상관측소(유인: 5개소, 무인: 32개소, 도서지역 제외)와 10개 대기질 측정소(한국환경공단: 2개소, 충남보건환경연구원: 8개소)가 운영중임
- 최근 10년 간(2006~2015년), 충남의 고농도 미세먼지 발생 시 기상학적 특성을 연구하기 위해 PM10 자료와 기상 자료를 취득함
- 기상자료는 유인기상관측소 중 대기질 측정지점과 근접한 서산기상대(129)와 천안기상대(232)자료를 이용하였고, 분석에 사용된 기상요소는 기온, 일강수량, 풍속, 풍향, 상대습도, 일조, 일사, 전운량임
- 황사에 대한 기원 및 한반도 영향에 대한 기상학적 분석이 매우 잘 밝혀져 있어 황사사례일은 고농도 미세먼지 판별 시 제외함(NIER, 2008; 김선영, 2013)
- 대기질 측정지점은 환경공단에서 운영 중인 파도리, 사곡면 지점을 제외하면 충남의 서북부 지역에 편중되어 있는 것이 특징임([그림 1-1] 참조)
- 대기질 측정자료는 기상자료와 달리 결측치가 존재하여 하루 중 유효측정자료가 75% 이상인 날에 대해 일평균을 계산함(NIER, 2011)

2.3 분석방법

- 본 연구에서는 미세먼지의 기원을 추정하기 위하여 미세먼지 측정자료와 풍향, 풍속 자료를 결합하여 CPF(Conditional Probability Function) 분석을 수행함
- CPF분석은 관측지점에서 측정된 농도를 각 관측시간의 풍향을 고려할 경우 오염원의 잠재적인 위치를 추정하는데 유용함(정영진과 황인조, 2015; Kim et al., 2003)
- $CPF_{\Delta\theta} = m_{\Delta\theta}/n_{\Delta\theta}$, 여기서 $m_{\Delta\theta}$ 는 $\Delta\theta$ 방향에서 불어오는 바람의 빈도수 중 대기오염물질의 농도가 임의의 조건을 만족할 때 빈도수를 나타내며, $n_{\Delta\theta}$ 는 $\Delta\theta$ 방향에서 불어오는 바람의 총 빈도수를 나타냄
- 고농도 사례일에 대한 근원지를 분석하기 위해 미국해양대기청(NOAA)에서 개발한 HYSPLIT(Ver.4) 역궤적 모델을 이용함
- HYSPLIT 모델은 기류를 따라 공기의 흐름을 역추적하기 때문에 3차원 바람장의 입력이 필요함(Draxler, R.R., 1999)
- 3차원 바람장은 미국해양대기청(NOAA)에서 전세계 기상관측자료를 토대로 생산된 GDAS 6시간 간격의 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 해상도 자료를 이용함
- 역궤적 모사시간은 36시간으로 설정하였으며, 출발고도는 대기질 측정고도인 지상 10m로 하였음
- 고농도 사례일에 대한 기류 군집분석은 역궤적 모델을 수행하고 궤적간 거리가 최소가 되는 최적의 군집개수를 결정하여 분석함

제2장

충청남도 미세먼지 농도 현황

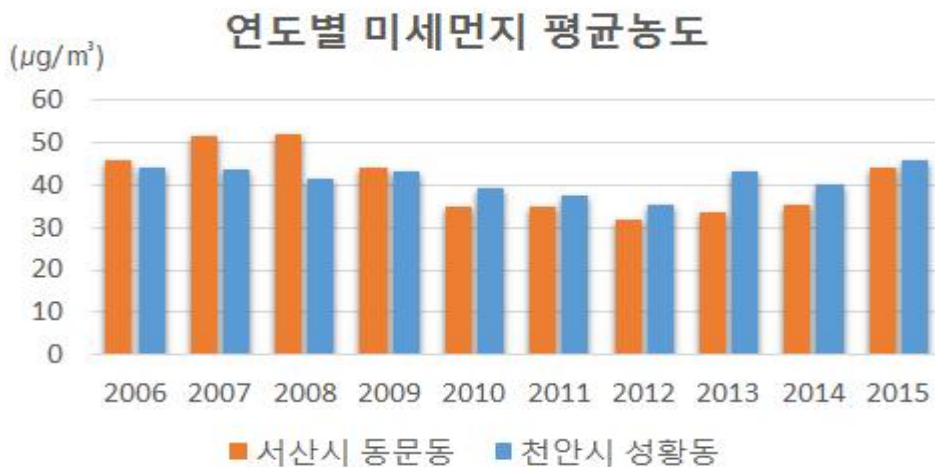
1. 평균농도현황
2. 고농도 발생현황

충청남도 미세먼지 농도 현황



1. 평균농도현황

- 최근 10년 간(2006~2015년) 연도별 미세먼지 평균농도를 살펴보면, 2012년을 기점으로 재차 증가하는 추세에 있음
- 2010년 이후 성황동(충남 동부)이 동문동(충남 서부) 보다 농도가 높은 역전현상을 보이고 있어 지역별 배출량의 변화를 면밀히 살펴볼 필요가 있음
- 참고로 충청남도 10개 지역의 미세먼지 연평균 농도의 변화는 [표 2-1]에 나타내었음

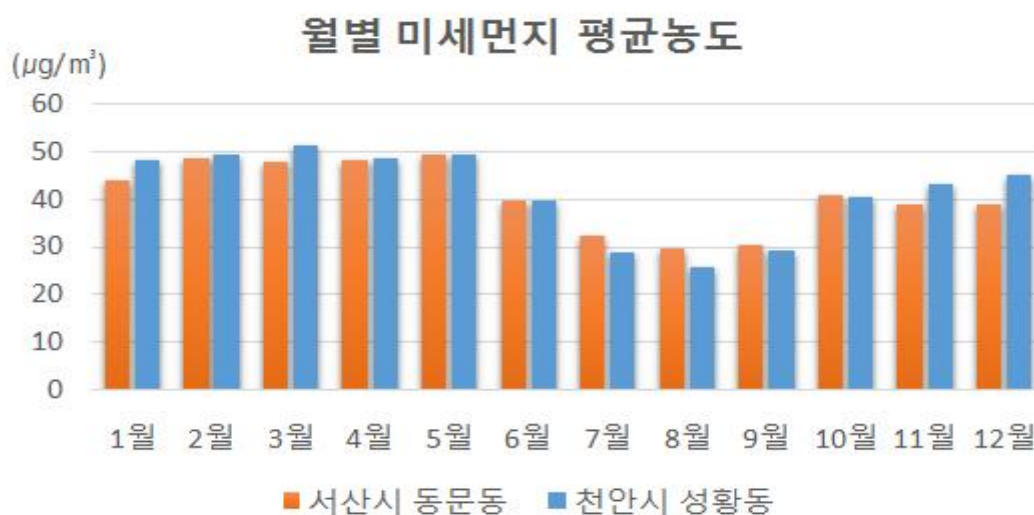


[그림 2-1] 연도별 미세먼지 평균농도(2006~2015)

[표 2-1] 충남 연도별·지점별 미세먼지 평균농도(2006~2015년)

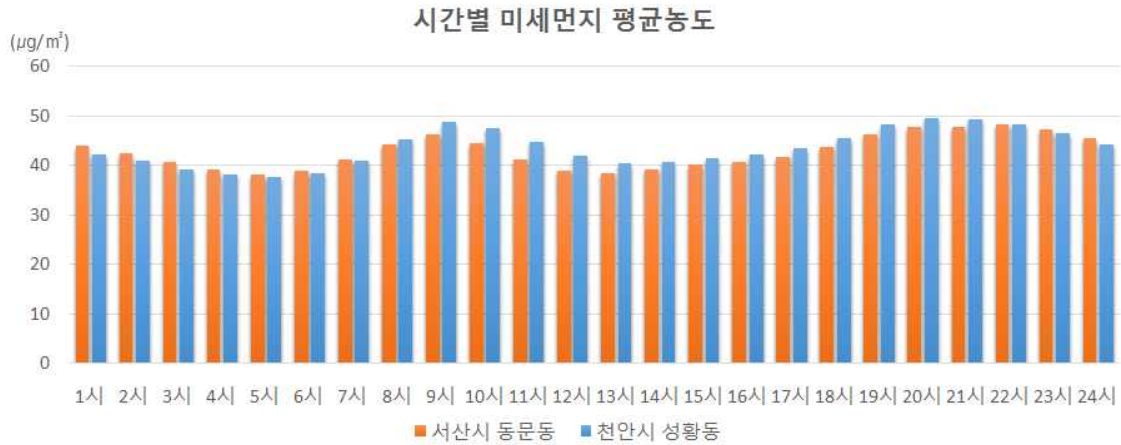
	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	지점 평균
534111	44.2	43.5	41.3	43.3	39.2	37.6	35.5	43.1	40.1	45.9	41.4
534112	63.2	61.9	53.1	47.5	51.6	49.2	53.3	50.8	50.3	50.5	53.1
534114	-	-	48.2	54.4	56.3	53.1	48.1	49.4	56.0	55.2	52.6
534341	48.3	49.4	47.1	46.1	48.1	47.5	40.5	44.5	41.1	43.0	45.6
534441	-	54.8	51.9	48.2	52.2	40.5	46.3	42.9	43.2	36.4	46.3
534421	44.6	51.7	46.2	45.6	42.1	37.8	37.8	38.5	39.7	45.8	43.0
534422	45.6	51.6	52.1	44.1	34.9	35.1	31.9	33.4	35.3	44.0	40.8
534431	35.7	42.2	45.6	41.2	40.7	44.5	40.8	41.6	31.1	37.2	40.1
534432	-	45.2	42.9	43.1	43.0	43.2	40.1	42.7	44.3	46.4	43.4
534461	50.7	52.8	51.8	53.7	54.4	54.1	40.9	49.6	47.1	47.8	50.3
연평균	47.5	50.3	48.0	46.7	46.3	44.3	41.5	43.7	42.8	45.2	45.6

- 월별변화에서는 2월부터 5월까지 농도가 높고 7월, 8월과 9월에 낮은 농도를 보이다가 이후 다시 증가함
- 겨울부터 봄에 이르기까지 성황동이 동문동보다 높은 농도를 보이며 저농도 시즌인 여름철(7월, 8월, 9월)에 국한하여 동문동의 농도가 높은 특징을 보임



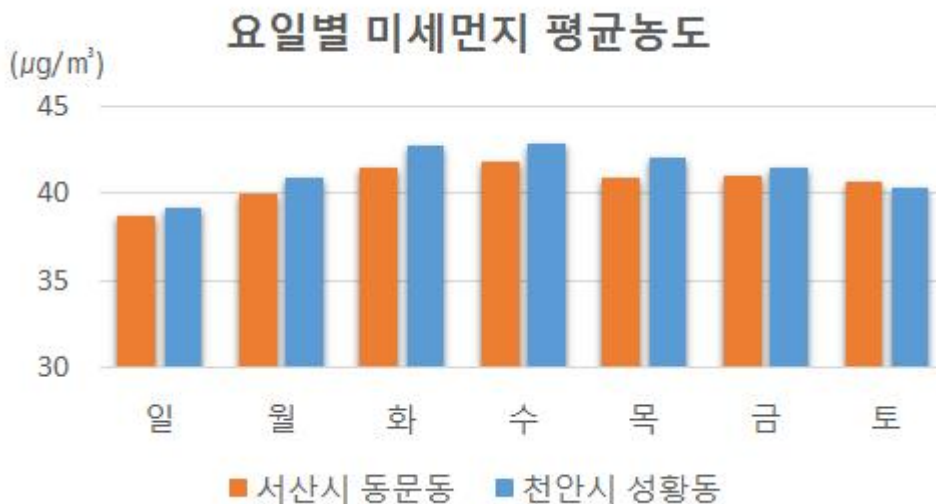
[그림 2-2] 월별 미세먼지 평균농도(2006~2015)

- 일변화에서는 기상영향과 배출원의 영향이 복합적으로 나타나며 출퇴근 시간에 농도 상승효과는 배출원의 영향이 큰 것으로 판단됨



[그림 2-3] 시간별 미세먼지 평균농도(2006~2015)

- 요일별 변화는 두 지점에서 화요일과 수요일에 미세먼지 농도가 가장 높고 수요일을 기점으로 점진적으로 감소하여 일요일에 최저치를 나타냄
- 이역시도 기상의 영향보다는 주중 교통량의 증가로 인한 현상으로 판단되며, 서산시 동문동보다는 천안시 성황동에서 주중 증가폭이 크게 나타남



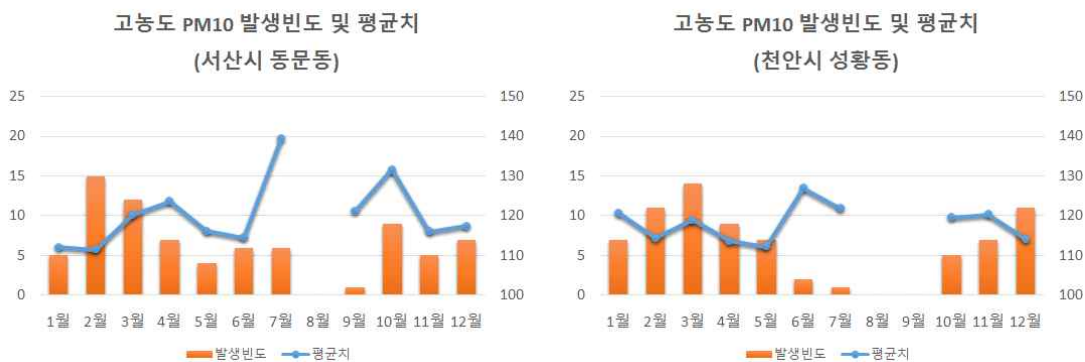
[그림 4] 요일별 미세먼지 평균농도(2006~2015)



2. 고농도 발생현황

2.1. 대기환경기준 초과발생빈도

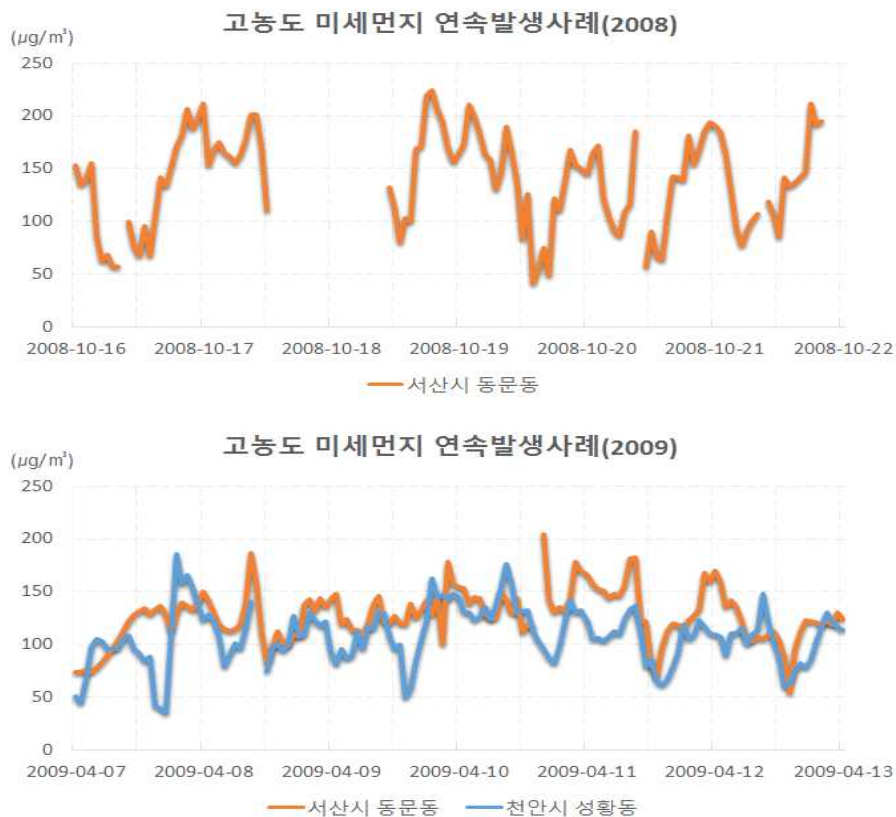
- 환경부 미세먼지(PM10) 24시간 대기환경기준을 토대로 일평균 $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 초과한 날을 고농도 발생일로 산정해 보았을 때,
- 최근 10년간 총 누적 초과횟수는 동문동이 77회, 성황동이 74회이며 평균 농도는 동문동에서 $119.9\mu\text{g}/\text{m}^3$, 성황동에서 $116.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 나타남
- 월별 초과횟수는 2월과 3월에 10회 이상이고 최다빈도는 동문동과 성황동에서 각각 2월과 3월에 나타남 지역 간 다소 차이가 있음
- 두 지점에서 6월과 7월에 빈도수는 낮지만 절대농도는 높게 나타나는 것으로 보아 기상의 영향이 있는 것으로 판단됨



[그림 2-5] 월별 고농도 미세먼지 발생빈도 및 평균치(2006~2015)

2.2. 고농도 연속사례일

- 지난 10년 간(2006년~2015년), 서산시 동문동과 천안시 성황동에서 고농도 미세먼지가 가장 장기간 지속되었던 일수는 6일로 조사됨
- 서산시 동문동에서는 6일 연속 발생횟수가 2008년 10월 16일부터 21일과 2009년 4월 7일부터 12일까지 2회 있었고, 천안시 성황동에서는 2009년 동일사례에 국한하여 발생함
- 두 지점 모두 6일 연속 발생사례에서 미세먼지 농도가 주간에 감소하고 야간에 급격히 증가하는 일변화 패턴을 나타냄



[그림 2-6] 2008년 및 2009년 6일 연속 고농도 미세먼지 발생 사례

제 3 장

고농도 미세먼지 발생 특성 기상학적 분석

1. 고농도 미세먼지 발생 시 기상 특성
2. 연안기상이 고농도 미세먼지 발생에 미치는 영향
3. 충청남도 미세먼지 기원 분석

고농도 미세먼지 발생 특성 기상학적 분석



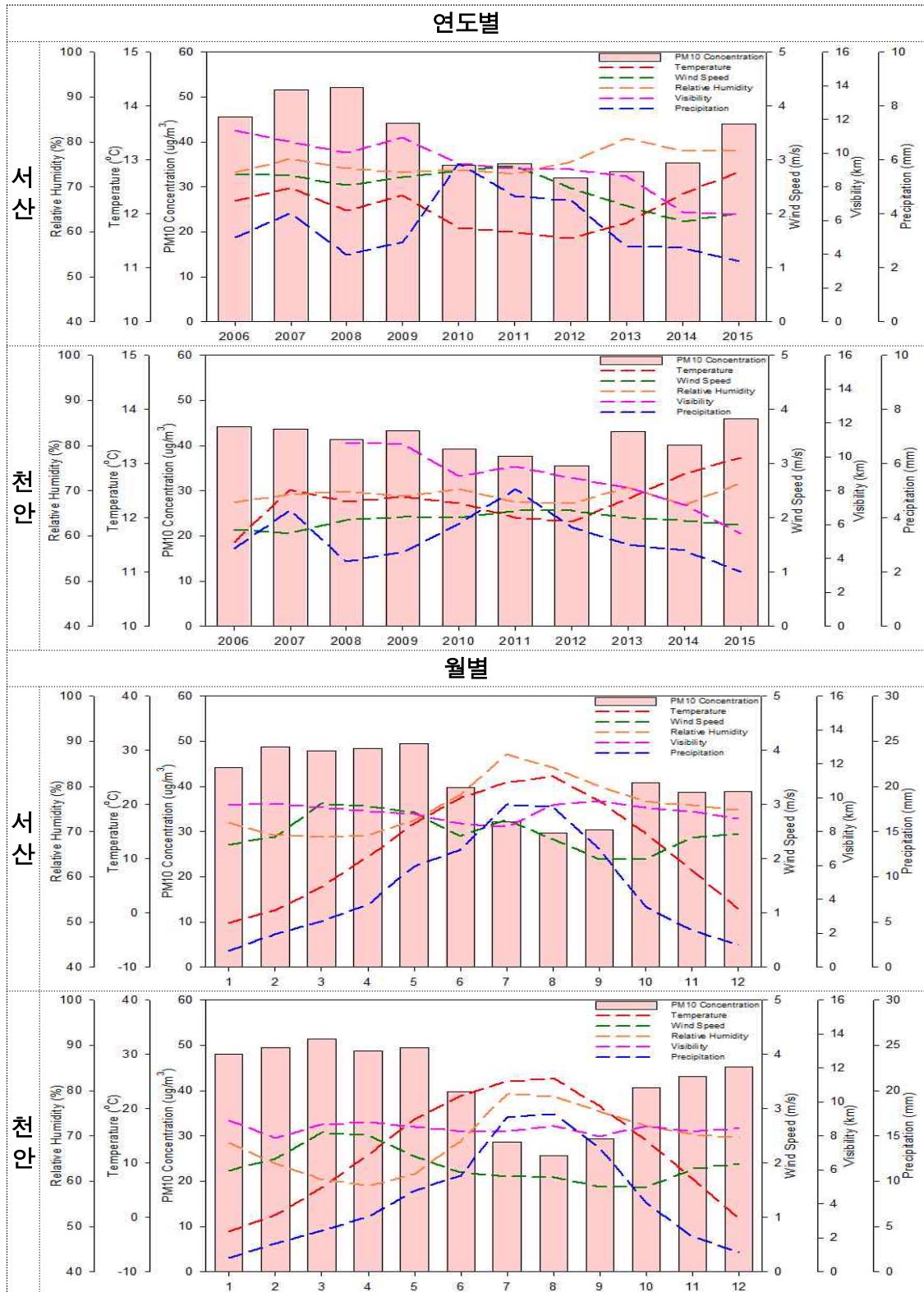
1. 고농도 미세먼지 발생 시 기상 특성

1.1. 미세먼지와 기상요소 간 상관성

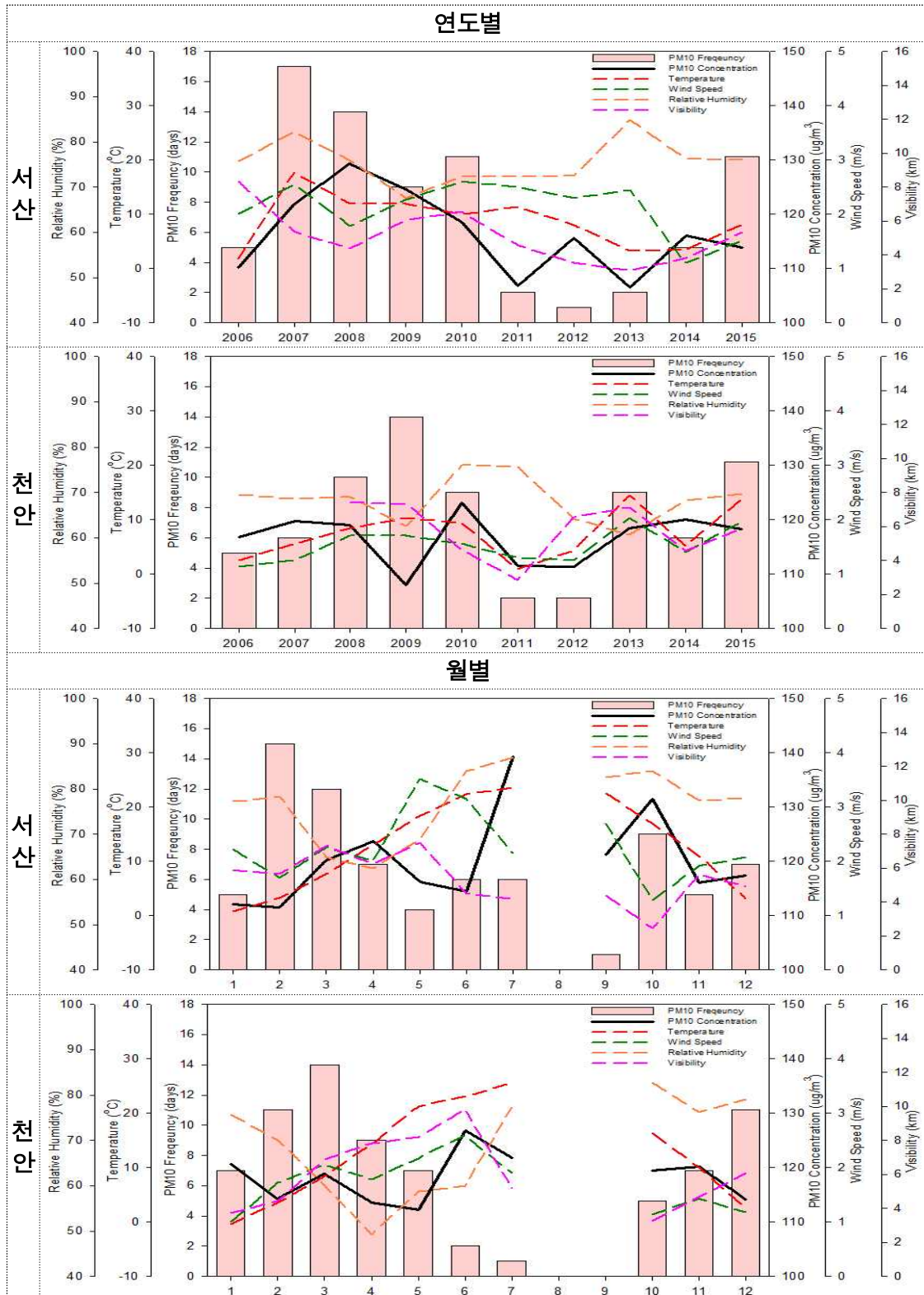
- 고농도 미세먼지 발생 시 기상특성을 알아보기 위해 최근 10년 간(2006~2015년) 서산기상대와 천안기상대의 기상자료를 비교함
- [그림 3-1]의 연도별 변화에서는, 2012년 이후 미세먼지 농도의 증가와 함께 서산과 천안에서 풍속과 강수량, 시정의 감소가 뚜렷함
- 월변화에서는 여름철 미세먼지 농도의 감소와 함께 풍속과 시정의 감소하고 뚜렷하고, 3월에는 풍속이 증가함에도 미세먼지 농도가 높아지는 것은 봄철 한시적 강풍에 의한 외부유입 요인으로 판단됨
- [그림 3-2]의 고농도 발생 시 기상요소의 변동을 살펴보면, 고농도 발생 시 두 지점에서 풍속은 3.0m/s 이하로 대기가 정체되어 있었고 상대습도는 연안에 인접한 서산에서 높게 나타났음
- 월별 고농도 발생 사례에서는 봄철에 풍속이 증가하면서 발생 빈도도 함께 증가하여 외부유입의 영향으로 판단되며, 여름철에 고농도 발생빈도의 감소

는 강수에 의한 세정효과와 지표가열에 의한 혼합고 성장(도우곤과 정우식, 2015)에 의한 것으로 약한 풍속과 높은 상대습도에 의해 평균농도는 크게 증가한 것으로 판단됨

- [표 3-1]은 지점별로 최근 10년(2006년~2015년) 일평균 자료(N=3652)를 이용하여 PM10 농도와 기상요소별 상관관계를 나타냄
- 서산시 동문동에서는 일교차가 가장 강한 양의 상관을 보였고, 강수량이 가장 강한 음의 상관을 보임
- 천안시 성황동에서도 일교차가 가장 강한 양의 상관을 보였으며, 반면에 최저기온이 가장 강한 음의 상관을 보임
- 기상요소별 미세먼지 변동과의 상관관계를 요약하면 아래와 같음
 - 강수에 의한 대기 세정효과로 인해 미세먼지 농도는 낮아지기 때문에 음의 상관을 나타냄
 - 풍속이 약해질수록 대기정체로 인한 미세먼지의 농도가 높아지기 때문에 음의 상관을 나타냄
 - 기온과 상대습도도 음의 상관을 나타내었는데, 고농도의 주된 발생 시기가 건조한 봄철, 겨울철과 관계된 것으로 판단됨
 - 일반적으로 구름이 없고 일사가 강한 날에 큰 일교차를 보이며 야간 안정층 내에서 대기확산이 약화되어 지상의 미세먼지 농도가 높게 나타날 수 있고 최저기온이 낮은 것도 큰 일교차를 유발함



[그림 3-1] 지난 10년 간(2006~2015) 기상요소의 변동



[그림 3-2] 지난 10년 간(2006~2015) 고농도 발생 시 기상요소의 변동

[표 3-1] 서산시 동문동 PM10과 서산기상대 기상요소 사이의 상관관계표

		PM10	평균기온	최저기온	최고기온	일교차	강수량	풍속	상대습도	일조	일사	전운량
PM10	상관계수 유의확률 N	1 3467										
평균기온	상관계수 유의확률 N	-0.13** 0.00 3467	1 3652									
최저기온	상관계수 유의확률 N	-0.18** 0.00 3467	0.98** 0.00 3652	1 3652								
최고기온	상관계수 유의확률 N	-0.06** 0.00 3467	0.98** 0.00 3652	0.94** 0.00 3652	1 3652							
일교차	상관계수 유의확률 N	0.36** 0.00 3467	-0.15** 0.00 3652	-.32** 0.00 3652	0.04* 0.03 3652	1 3652						
강수량	상관계수 유의확률 N	-0.19** 0.00 3467	0.18** 0.00 3652	.23** 0.00 3652	0.12** 0.00 3652	-0.32** 0.00 3652	1 3652					
풍속	상관계수 유의확률 N	-0.15** 0.00 3467	-0.04** 0.01 3652	0.02 0.19 3652	-0.13** 0.00 3652	-0.40** 0.00 3652	0.17** 0.00 3652	1 3652				
상대습도	상관계수 유의확률 N	-0.13** 0.00 3466	0.39** 0.00 3651	0.46** 0.00 3651	0.33** 0.00 3651	-0.42** 0.00 3651	0.32** 0.00 3651	-0.18** .00 3651	1 3651			
일조	상관계수 유의확률 N	0.11** 0.00 3467	0.01 0.45 3652	-0.09** 0.00 3652	0.13** 0.00 3652	0.61** 0.00 3652	-0.33** 0.00 3652	-0.14** 0.00 3652	-0.48** 0.00 3651	1 3652		
일사	상관계수 유의확률 N	0.11** 0.00 3467	0.35** 0.00 3652	0.26** 0.00 3652	0.44** 0.00 3652	0.45** 0.00 3652	-0.30** 0.00 3652	-0.03 0.05 3652	-0.38** 0.00 3651	0.81** 0.00 3652	1 3652	
전운량	상관계수 유의확률 N	-0.18** 0.00 3467	0.23** 0.00 3652	0.33** 0.00 3652	0.11** 0.00 3652	-0.64** 0.00 3652	0.34** 0.00 3652	0.17** 0.00 3652	0.51** 0.00 3651	-0.85** 0.00 3652	-0.57** 0.00 3652	1 3652

[표 3-2] 천안시 성황동 PM10과 서산기상대 기상요소 사이의 상관관계표

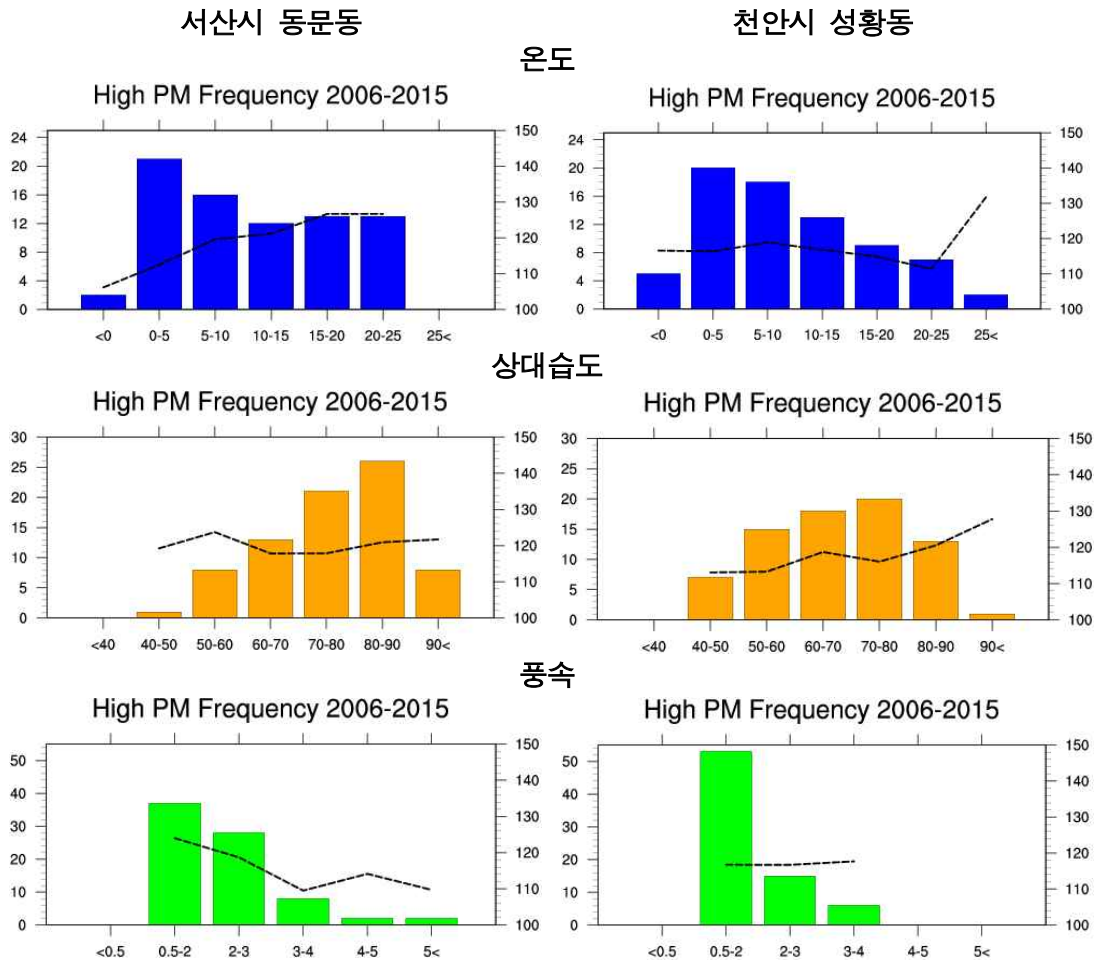
		PM10	평균기온	최저기온	최고기온	일교차	강수량	풍속	상대습도	일조	전운량
PM10	상관계수 유의확률 N	1 3512									
평균기온	상관계수 유의확률 N	-0.23** 0.00 3512	1 3652								
최저기온	상관계수 유의확률 N	-0.29** 0.00 3512	0.98** 0.00 3652	1 3652							
최고기온	상관계수 유의확률 N	-0.15** 0.00 3512	0.98** 0.00 3652	0.93** 0.00 3652	1 3652						
일교차	상관계수 유의확률 N	0.40** 0.00 3512	-0.08** 0.00 3652	-0.26** 0.00 3652	0.12** 0.00 3652	1 3652					
강수량	상관계수 유의확률 N	-0.25** 0.00 3512	0.20** 0.00 3652	0.26** 0.00 3652	0.13** 0.00 3652	-0.34** 0.00 3652	1 3652				
풍속	상관계수 유의확률 N	-0.15** 0.00 3511	-0.17** 0.00 3651	-0.13** 0.00 3651	-0.22** 0.00 3651	-0.23** 0.00 3651	0.06** 0.00 3651	1 3651			
상대습도	상관계수 유의확률 N	-0.20** 0.00 3512	0.31** 0.00 3652	0.40** 0.00 3652	0.22** 0.00 3652	-0.49** 0.00 3652	0.35** 0.00 3652	-0.35** 0.00 3651	1 3652		
일조	상관계수 유의확률 N	0.14** 0.00 3500	-0.01 0.51 3640	-0.13** 0.00 3640	0.12** 0.00 3640	0.64** 0.00 3640	-0.34** 0.00 3640	0.02 0.27 3639	-0.58** 0.00 3640	1 3640	
전운량	상관계수 유의확률 N	-0.23** 0.00 2284	0.27** 0.00 2397	0.37** 0.00 2397	0.14** 0.00 2397	-0.63** 0.00 2397	0.37** 0.00 2397	0.00** 0.89 2396	0.57** 0.00 2397	-0.85** 0.00 2385	1 2397

※ **는 상관계수가 99% 이상 유의, *는 95% 이상 유의함을 나타냄.

※ 천안기상대는 일사자료를 제공하지 않아 상관계수 표에서 제외함.

1.2 고농도 미세먼지 발생 시 기상 여건

- 고농도 미세먼지 발생 시 기온, 상대습도, 풍속에 대해 구간별 발생빈도(막대)와 평균농도(파선)를 나타냄
- 천안시 성황동에서는 기온이 증가함에 따라 고농도 발생횟수가 감소하고, 서산시 동문동에서는 전 온도구간에서 고르게 발생하며 평균농도는 오히려 증가하는 특징을 보임
- 상대습도에 대한 고농도 발생 최다빈도는 서산시 동문동에서 80~90% 구간에서 나타났고, 성황동에서는 70~80% 구간에서 나타나 고농도 발생 시 동문동이 상대습도 높음
- 풍속별 고농도 발생 빈도는 두 지점 모두에서 저풍속(2.0m/s 이하)일 때 발생빈도가 높고, 특히 성황동에서는 풍속이 증가할수록 농도가 약하게 증가하는 것이 특징적임
- 종합적으로 서산시 동문동에서는 대표적 연안기상 현상인 해풍의 영향에 의해 대기가 상대적으로 습하고 다소 강한 풍속에서도 고농도가 초래되는 것이 천안시 성황동과 뚜렷이 구별되는 특징으로 사료됨
- 고농도 발생 시 기상요소 별 차이를 서산시 동문동과 천안시 성황동지점에 대해 각각 [표 3-2]와 [표 3-3]에 정리하여 나타내었음
- 고농도 미세먼지 발생 시 두 지점에서 공통적으로 기온, 일교차, 상대습도는 증가하였으며, 강수량 및 풍속은 감소함
- 기온 및 상대습도의 증가는 연안지역에 위치한 서산시 동문동에서 두드러지며, 내륙에 위치한 천안시에서는 일교차의 증가가 두드러짐



[그림 3-3] 기상요소 구간별 고농도 발생빈도 및 평균농도

[표 3-3] 서산시 동문동에서의 고농도 미세먼지 발생 시 기상요소 변화

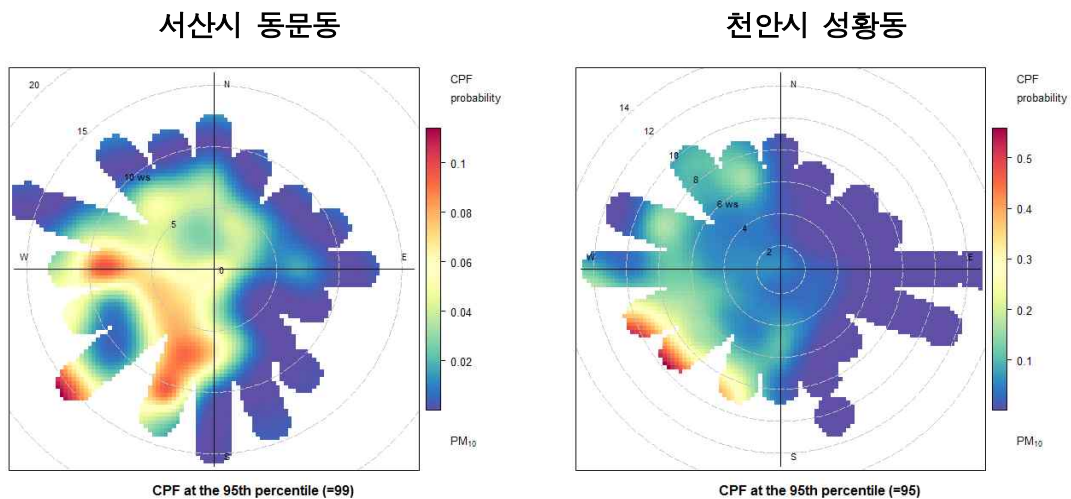
	평균기온(℃)			일교차(℃)			일강수량(mm)			평균풍속(m/s)			평균습도(%)		
	평균	고농도	차이	평균	고농도	차이	평균	고농도	차이	평균	고농도	차이	평균	고농도	차이
1월	-1.9	0.7	2.6	9.6	8.2	-1.4	1.8	0.1	-1.7	2.3	2.2	-0.1	72.0	77.0	5.0
2월	0.5	3.2	2.7	10.2	11.6	1.4	3.7	0.1	-3.6	2.4	1.7	-0.7	69.0	78.0	9.0
3월	4.7	7.6	2.9	11.1	14.1	3.0	5.0	0.1	-4.9	3.0	2.3	-0.7	69.0	65.0	-4.0
4월	10.3	13.1	2.8	11.7	17.0	5.3	6.9	0.0	-6.9	3.0	2.0	-1.0	69.0	62.0	-7.0
5월	16.5	18.4	1.9	10.8	10.6	-0.2	11.1	0.0	-11.1	2.9	3.5	0.6	73.0	69.0	-4.0
6월	21.2	22.4	1.2	9.2	7.9	-1.3	13.0	3.6	-9.4	2.4	3.2	0.8	78.0	84.0	6.0
7월	24.1	23.6	-0.5	6.5	6.8	0.3	18.0	18.6	0.6	2.7	2.2	-0.5	87.0	87.0	0.0
8월	25.2	-	-	7.5	-	-	17.7	-	-	2.4	-	-	84.0	-	-
9월	20.7	22.5	1.8	9.6	8.5	-1.1	13.0	0.0	-13.0	2.0	2.7	0.7	80.0	83.0	3.0
10월	14.7	17.0	2.3	11.6	13.1	1.5	6.7	0.0	-6.7	2.0	1.3	-0.7	77.0	84.0	7.0
11월	7.9	11.0	3.1	9.8	11.7	1.9	4.1	0.0	-4.1	2.4	1.9	-0.5	76.0	77.0	1.0
12월	0.7	3.2	2.5	8.9	10.7	1.8	2.5	0.0	-2.5	2.5	2.1	-0.4	75.0	78.0	3.0
평균	12.1	13.0	2.1	9.7	10.9	1.0	8.6	2.0	-5.8	2.5	2.3	-0.2	75.8	76.7	1.7
증감(율)	0.9(7.7%)			1.2(12.6%)			-6.6(-76.3%)			-0.2(-8.7%)			1.0(1.3%)		

[표 3-4] 천안시 성황동에서의 고농도 미세먼지 발생 시 기상요소 변화

	평균기온(℃)			일교차(℃)			일강수량(mm)			평균풍속(m/s)			평균습도(%)		
	평균	고농도	차이	평균	고농도	차이	평균	고농도	차이	평균	고농도	차이	평균	고농도	차이
1월	-2.7	-0.5	2.2	10.4	9.7	-0.7	1.5	0	-1.5	1.9	1	-0.9	69	76	7.0
2월	0.4	3.5	3.1	10.8	13.1	2.3	3.1	0	-3.1	2.1	1.7	-0.4	64	70	6.0
3월	5.5	8.4	2.9	12.1	14.4	2.3	4.5	0.1	-4.4	2.6	2.1	-0.5	60	60	0.0
4월	11.5	14.4	2.9	13.2	19.2	6	6.1	0	-6.1	2.5	1.8	-0.7	59	49	-10.0
5월	18.1	21.3	3.2	12.6	13.7	1.1	9	0	-9.0	2.1	2.2	0.1	62	59	-3.0
6월	22.4	23.1	0.7	10.5	14.5	4	10.6	0	-10.6	1.8	2.6	0.8	69	60	-9.0
7월	25	25.6	0.6	7.8	11.2	3.4	17.1	0	-17.1	1.8	1.9	0.1	79	77	-2.0
8월	25.6	-	-	8.6	-	-	17.4	-	-	1.7	-	-	79	-	-
9월	20.5	-	-	10.6	-	-	13.6	-	-	1.6	-	-	75	-	-
10월	14.1	16.4	2.3	13.2	13.2	0	7.6	0	-7.6	1.6	1.1	-0.5	72	83	11.0
11월	7.1	10	2.9	10.8	12.2	1.4	3.9	0	-3.9	1.9	1.4	-0.5	70	76	6.0
12월	-0.3	2.5	2.8	9.6	11.8	2.2	2.1	0	-2.1	2	1.2	-0.8	70	79	9.0
평균	12.3	12.5	2.4	10.9	13.3	2.2	8.0	0.0	-6.5	2.0	1.7	-0.3	69.0	68.9	1.5
증감(율)	0.2(1.7%)			2.5(22.6%)			-8.0(-100%)			-0.3(-13.6%)			-0.1(0.1%)		

1.3 풍향풍속에 따른 고농도 발생 특성

- 바람은 미세먼지의 수송 및 대기환기에 중요한 기상인자로서 CPF 분석을 통해 풍향·풍속에 따른 미세먼지 발생 특성을 살펴봄으로써 잠재적인 배출원을 추정할 수 있는 장점도 있어, 최근 10년 간(2006~2015년) 바람 자료와 그에 상응하는 미세먼지 자료를 이용하여 풍향·풍속 별 미세먼지 농도 분포를 살펴봄
- 황사를 제외한 미세먼지 고농도 사례일에 대해 서산시 동문동 지점에서는 서풍 및 남(남)서풍계에서 높은 확률을 나타내었고, 천안시 성황동 지점에서는 (서)남서풍계에 구간에서 고농도 발생 확률이 높음
- 동문동에서는 중국에서의 외부유입과 임해공단지역에서 기원한 미세먼지의 영향으로 고농도가 발생하는 것을 암시하며, 성황동의 고농도 발생 요인으로 장거리 수송에 의한 중국에서의 외부유입과 자동차 통행에 의한 내부오염원으로 구분해 볼 수 있음



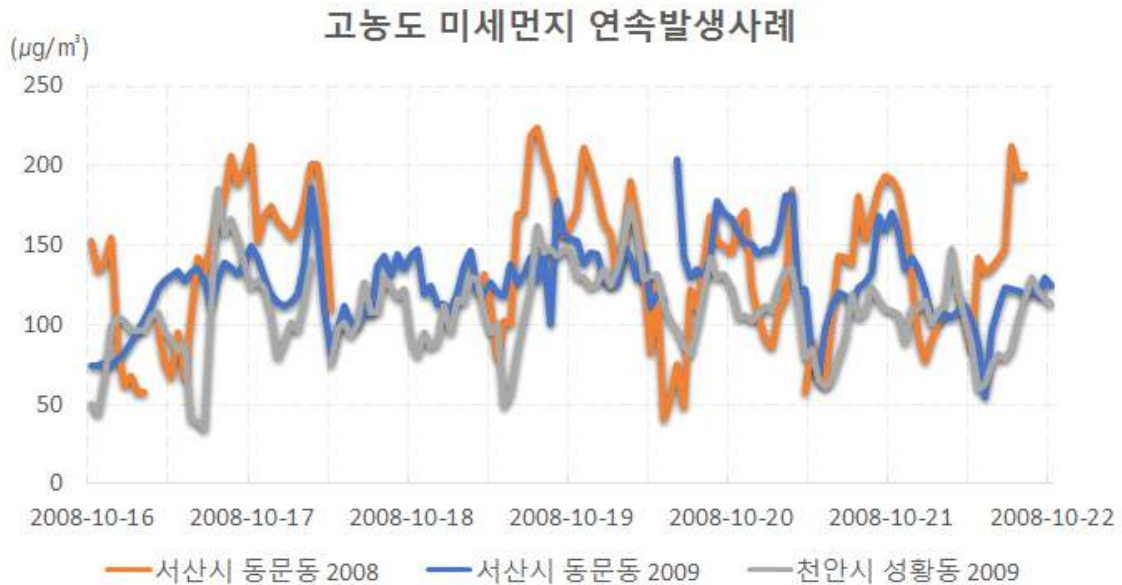
[그림 3-4] 풍향·풍속에 따른 고농도 미세먼지 발생 빈도



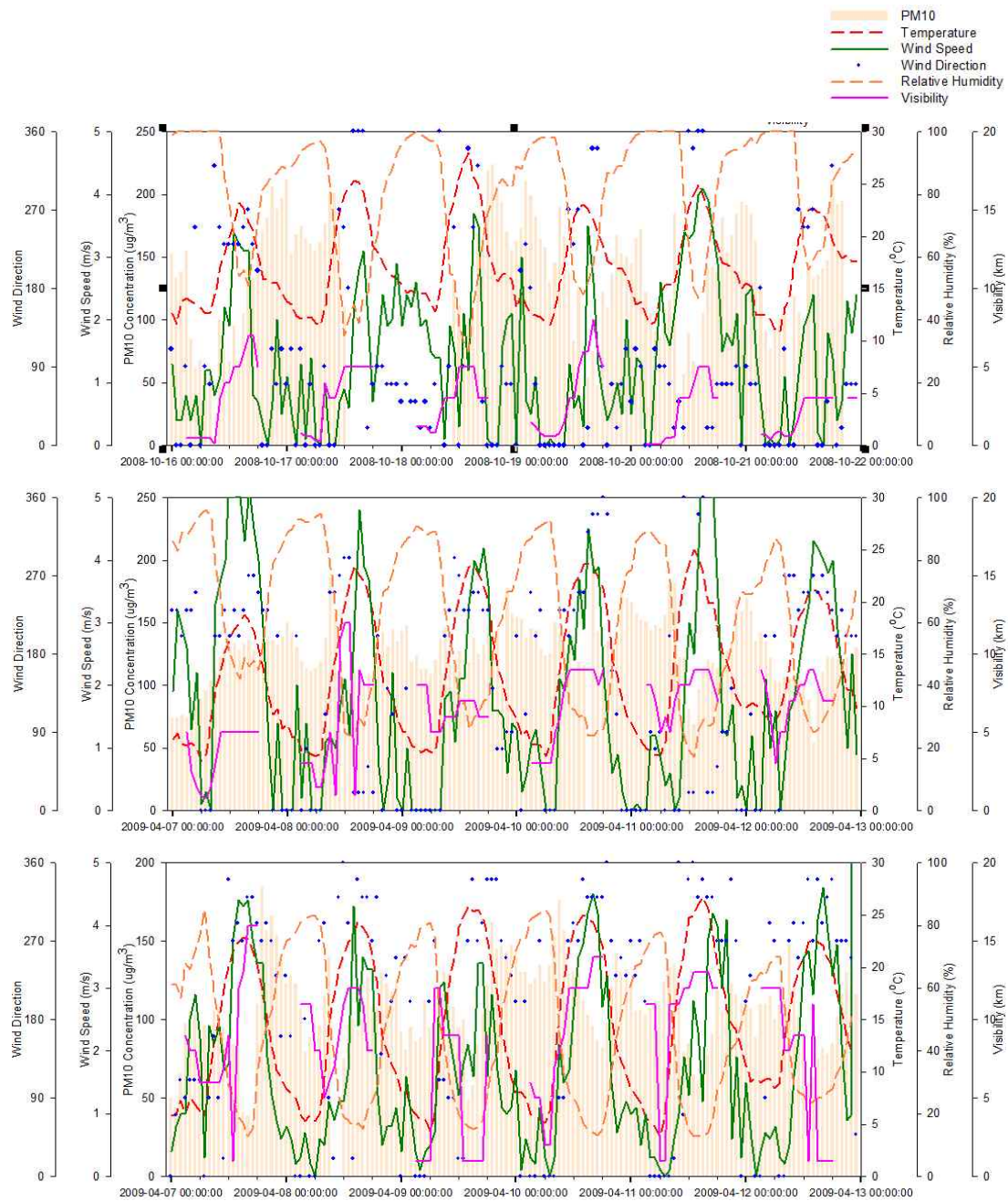
2. 연안기상이 고농도 미세먼지 발생에 미치는 영향

- 연안지역은 고기압 지배적일 때 일중 해륙풍 순환과 같은 연안기상 효과에 의해 바람, 기온, 상대습도 등이 변화가 분명하며, 지상기상 뿐 만 아니라 혼합고의 발달과정에도 영향을 주어 결과적으로 대기질의 변화가 초래됨
- 2장 2.2절에서 조사된 미세먼지 고농도 6일 연속 발생 사례일에 대해 충청남도 서해 연안 기상이 미세먼지 변동과 고농도 미세먼지 발생에 미치는 영향을 분석하고자 함
- 두 사례일의 일기도를 살펴보면(부록 B 참조), 한반도에 고기압이 장시간 지배하면서 기압경도가 약하였고 낮동안 지표가열에 의해 해륙풍과 같은 중규모 순환 및 국지풍이 잘 발달할 것으로 판단됨
- 실제로 이 날의 기상장을 살펴보면 기온과 상대습도는 일중 반대 위상으로 변화하고 있으며, 풍향과 풍속도 주야에 걸쳐 일주기의 파동형태로 변동하고 있음
- 주간에는 해풍이 발달하면서 환기효과로 인해 미세먼지의 농도가 낮아지며, 야간에는 풍향이 반전되고 풍속이 약해지면서 대기가 안정화되면 미세먼지의 농도가 높아짐
- 선행연구(도우곤과 정우식, 2015)에 따르면 주간과 야간의 대기안정도 변화에 따른 혼합고의 성장과 소멸(나타내지 않음)은 미세먼지의 농도변화에 큰 영향을 줄 수 있음

- 특히 미세먼지 고농도 연속사례일의 발생시기가 각각 2008년 10월과 2009년 4월로 계절적으로 다름에도 농도의 일변화는(주간 감소, 야간 증가) 매우 유사하게 나타남으로써, 배출조건이나 계절의 변화 요인보다는 지역에 국한된 기상 효과로 인해 고농도 패턴이 나타난 것으로 사료됨



[그림 3-5] 6일 연속 고농도 미세먼지 발생 사례

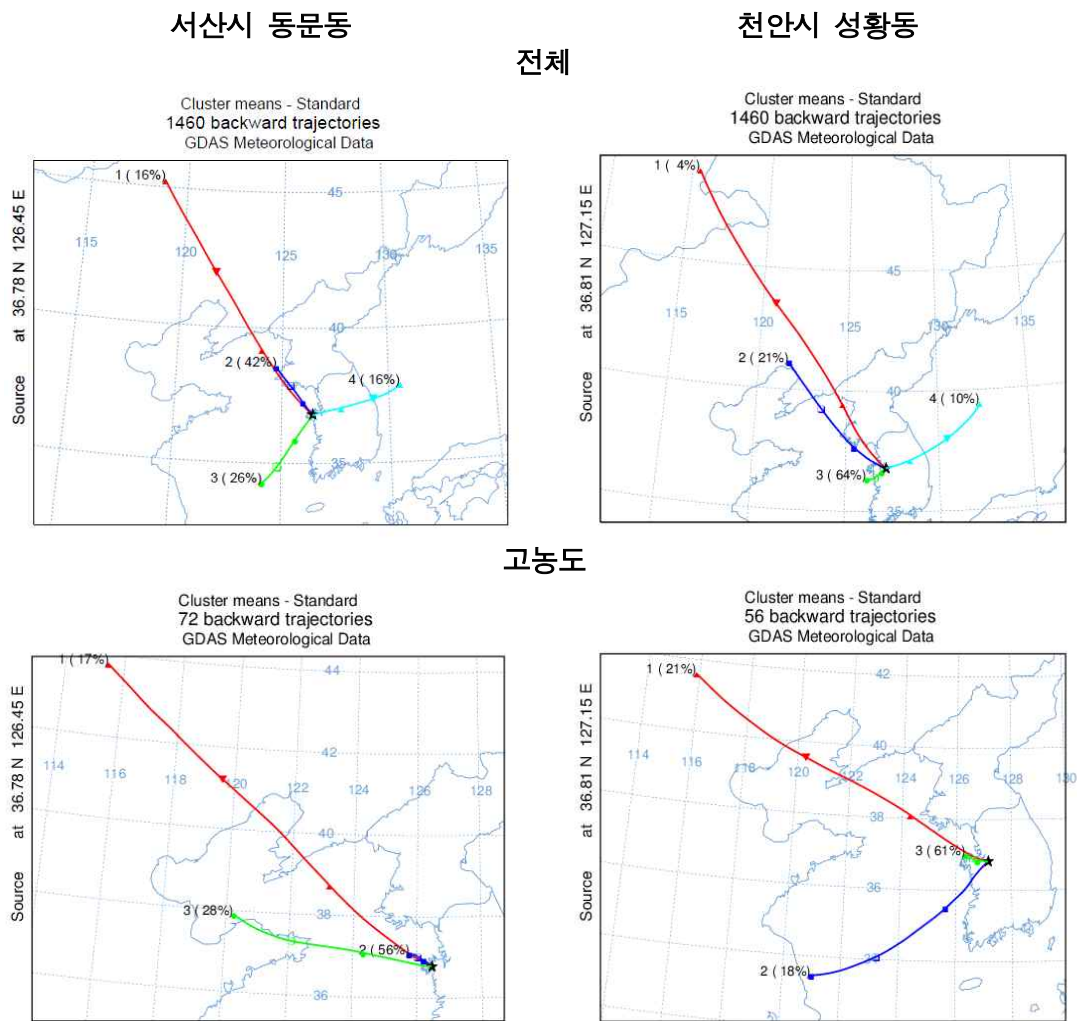


[그림 3-6] 6일 연속 고농도 미세먼지 발생 시 기상요소의 변동



3. 충청남도 미세먼지 기원 분석

- 서산시 동문동과 천안시 성황동 대기질 측정지점(지상 10m)을 출발점으로 하여 2015년 1년 간 6시간 간격으로 36시간 공기괴를 역추적하였고, 지점 별 연간 총 1450개의 궤적 결과로부터 종결점 간의 거리를 근거로 하여 군집을 분류함
- 같은 조건으로 2015년 1년간 발생한 고농도 미세먼지 사례에 대해 역궤적 분석을 수행한 결과, 서산시 동문동과 천안시 성황동에서 군집 수는 2015년 전체에 대해서 각각 총 4개, 고농도 사례에 국한하면 3개의 군집으로 분류됨
- 충청남도 미세먼지의 기원을 분석하기 위해 2015년 고농도 사례일에 대해 공기괴를 역추적하여 군집분석을 수행한 결과 각각 3개의 군집으로 분류되었으며, 서산시는 외부유입이 44%이고 내부요인이 56%로 나타났고, 천안시는 외부유입이 39%이고 내부요인이 61%로 나타남
- 고농도 사례일에 대해, 서산시가 천안시에 비해 내부요인의 기여도가 낮고, 절대농도에 있어서는 다소 높게 나타났는데, 크게 다음의 세 가지 요인으로 분석해 볼 수 있음
 - 첫째, 지형적 요인에 의해 내륙에 위치한 천안시가 연안에 인접한 서산시보다 상대적으로 낮은 풍속을 나타내어 내부요인의 영향이 크게 나타함
 - 둘째, 서산시에서는 기상학적으로 해풍의 영향에 의한 이류 및 확산효과 증가로 내부 기여도가 상대적으로 낮게 나타남
 - 셋째, 서산시 주변의 화력발전소(태안, 당진)와 석유화학단지 등의 대단위 배출원에 의한 직접영향이 절대적인 농도 상승에 기여함



[그림 3-7] 고농도 미세먼지 발생 시 역궤적 군집 결과

[표 3-5] 고농도 미세먼지 발생 시 역궤적 군집 결과

지역 구분	서산시 동문동				천안시 성황동			
	군집	기원	기여율 (%)	농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	군집	기원	기여율 (%)	농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
2015년	군집1	몽골	16	45.5	군집1	몽골	4	44.5
	군집2	내부	42	37.2	군집2	만주	21	52.1
	군집3	화남	26	41.4	군집3	내부	64	49.9
	군집4	러시아	16	9.6	군집4	러시아	10	24.7
고농도	군집1	몽골	17	190.7	군집1	몽골	21	197.0
	군집2	내부	56	109.8	군집2	화남	18	113.3
	군집3	화북	28	147.2	군집3	내부	61	108.5

제4장

결론 및 정책제언

결론 및 정책제언



1. 결론

- 본 연구에서는 미세먼지와 관계되는 기상 특성에 대해 살펴보고, 꾸준한 배출저감 정책 및 실현에도 불구하고 고농도 미세먼지가 지속되는 현상에 대해 자료분석 및 모델링 연구를 통해 규명해보고자 하였음
- 충청남도에는 대기질 측정지점이 턱없이 부족하고 서북부에 집중되어 있어 분석에 한계가 있었지만, 도내 대형 오염원이 해당지역에 입지하고 있고, 중국의 영향을 일차적으로 받는 지역의 특성을 감안하여 연구 대상지역을 서부의 임해공단지역과 동부의 내륙도시지역으로 구분하여 분석을 실시함
- 최근 10년(2006~2015)에 대해 자료를 살펴보았을 때, 연간 기준 2012년 기점으로 미세먼지 농도는 상승 국면에 있고, 시기적으로 미세먼지 농도는 6월부터 9월까지 낮고 10월부터 증가하여 5월까지 고농도가 지속됨
- 요일별 및 시간별 단기 변화는 기상의 영향과 함께 자동차 및 산업활동의 영향이 크게 작용하는 것으로 사료되며, 이에 대한 추가적인 분석이 필요함
- 고농도 미세먼지 발생은 연간 농도변화 패턴과 비슷한 양상을 나타내어 2월과 3월에 많은 발생 빈도를 보였고, 다만 여름철 미세먼지 발생빈도는 적었지만, 절대적인 농도의 크기는 높게 나타나는 것이 특징이었음

- 여름철 고농도 발생빈도가 낮은 이유는 잦은 강수에 의한 대기세정효과로 판단되고, 계절적으로 남서풍이 주로 형성되어 중국의 영향이 덜하기 때문인 것으로 사료됨
- 반면에 봄, 가을과 겨울에는 기상학적으로 큰 일교차로부터 야간에 대기하층이 안정화되면서 대기확산이 저하된 점과 중국 배출원의 영향이 함께 반영되어 고농도가 빈번하게 발생한 것으로 판단됨
- 충청남도 서부 임해공단지역에서는 동부내륙지역보다 높은 상대습도와 다소 강한 풍속 하에서도 고농도가 발생하는 것이 특징이었음
- 서부 임해공단지역 대표지점인 서산시 동문동과 동부 내륙도시지역의 대표지점인 천안시 성황동에서는 고농도 미세먼지가 6일 이상 지속된 사례도 각각 2회와 1회 조사됨
- 서산시 동문동에서의 2회에 걸친 6일 연속 고농도 지속사례는 계절적으로 다른 시기에 발생하였음에도 불구하고 농도 변화 패턴과 지속기간 동안 기상조건이 매우 유사한 것으로 비추어 볼 때, 해륙풍순환과 야간 내부안정층의 발달과 같은 연안기상이 미세먼지 고농도 발생에 주요한 요인으로 작용하는 것으로 사료됨
- 충청남도 미세먼지의 기원 분석을 통해 내부요인과 외부유입으로 구분해 볼 때, 서부 임해공단지역에서는 내부요인에 의한 기여농도가 서부 내륙도시지역보다는 다소 큰 것으로 조사됨. 단, 기원분석은 기류의 흐름을 파악해 미세먼지의 기원을 추정한 것으로 성분분석을 통해 보완할 필요가 있음
- 본 연구에서는 PM10에 대한 조사에 그쳤지만, 2017년 이후 충청남도 시군별 대기질 측정소가 확충되고 PM2.5 측정자료가 생산된다면 그에 대응하는 다양한 정책 수립을 위한 분석 연구가 수행될 수 있을 것으로 판단됨



2. 정책제언

○ PM2.5 정밀 대책 수립 및 연구 시행

- PM2.5 및 그 이하의 (초)미세먼지는 배출원으로부터 직접적인 배출과 대기중 광화학 반응에 의한 이차적으로 생성되어 인체에 치명적인 영향을 줄 뿐만 아니라 대기혼탁도 및 시정에도 영향을 주고 있어 PM2.5 모니터링 및 원인분석을 통한 관련 정책연구가 시급함

○ 권역구분을 통한 실효성 있는 예경보제 실행

- 본 연구에서는 지리, 산업, 기상 등을 종합적으로 판단하여 충청남도 서북부 지역을 서부권 임해공단지역과 동부권 내륙도시지역으로 구분하여 분석을 수행하였는데, 두 권역 간에는 고농도 미세먼지 발생 시기 및 발생원이 달리 조사되었으며 그에 영향을 미치는 기상조건도 다르게 나타나, 현행 오존 및 미세먼지 예보제를 시행함에 일률적인 시행보다는 지역을 구분하여 실효성 있는 예경보제를 시행할 필요가 있음

○ 정체성 고농도 사례에 대한 선제적 대응 정책 수립

- 충청남도는 지형적 특성과 연안기상 효과로 6일 이상 고농도 사례가 발생할 경우 일기예보 자료를 활용하여 지역별로 적극적이고 선제적인(예. 살수시행, 야간 외부활동 자제 알림 서비스 등) 대응 정책이 필요함

○ 입체적 미세먼지 측정 방안 수립

- 충청남도에는 2017년 17개소의 대기질 측정소가 추가된다고 하여도 관리 사각지대가 여전히 존재하고, 대기를 입체적으로 분석할 수 있도록 대기 상층의 농도를 포함한 미세먼지 지도를 만들고 예보에 활용할 수 있도록 이동식 및 고정식 상층 측정 시스템의 도입이 필요함
- 이는 석탄화력발전소 및 제철소 등의 연돌에서 배출되는 대기오염물질의 낙하지점을 정확히 파악하는데도 매우 유용할 것으로 판단됨



참고문헌



참고문헌

- 도우곤과 정우식. 2015. PSCF 모델을 활용한 부산지역 PM10의 발생원 추정. 한국환경과학회지. 24(6). 793-806
- 전병일. 2012. 부산지역 겨울철 고농도 미세먼지 발생일의 기상학적 특성. 한국환경과학회지. 21(7). 815-824
- 정영진과 황인조. 2015. PMF 모델을 이용한 경산지역 PM2.5의 오염원 기여도 추정. 한국대기환경학회지. 31(6). 508-519
- 최민석과 백성옥. 2016. 철강 산업도시 포항의 미세먼지 농도 및 관련 기상 자료에 대한 통계적 분석. 한국대기환경학회지. 32(3). 329-341
- Draxler, R.R. 1999. HYSPLIT4 user's guide. NOAA Tech. Memo. ERL ARL-230, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.
- NIER. 2008. 발원지의 황사 발생기구 및 이동 경로별 황사 발생 특성 연구
- NIER. 2011. 대기환경연보 2015
- KEI. 2016. 최근 미세먼지 농도 현황에 대한 다각적 분석
- Kim, E., Hopke, P.K. and Edgerton, E. 2003. Source Identification of atlanta Aerosol by Positive Matrix Factorization. J. Air Waste Manage. Assoc.53: 731-739.

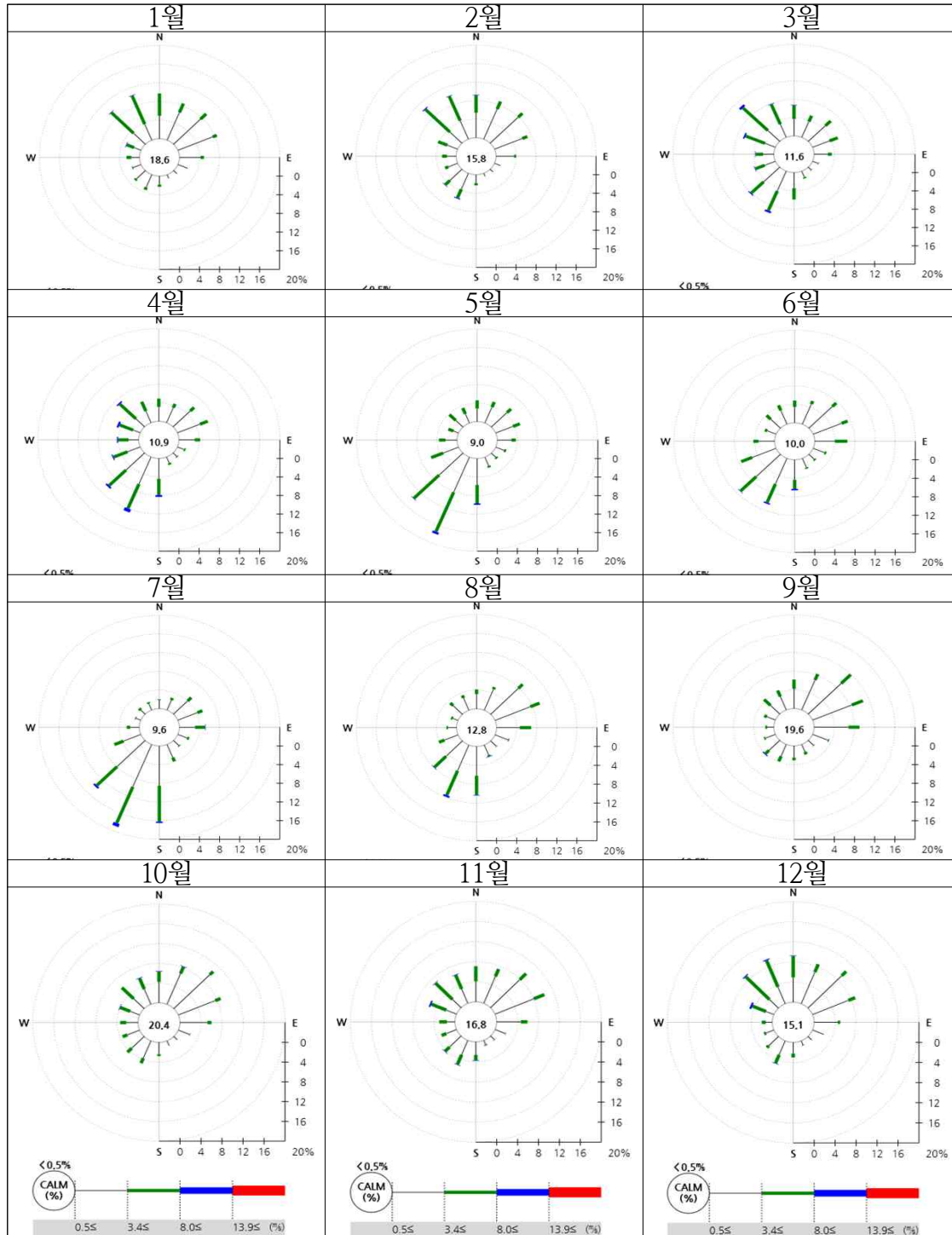


부록

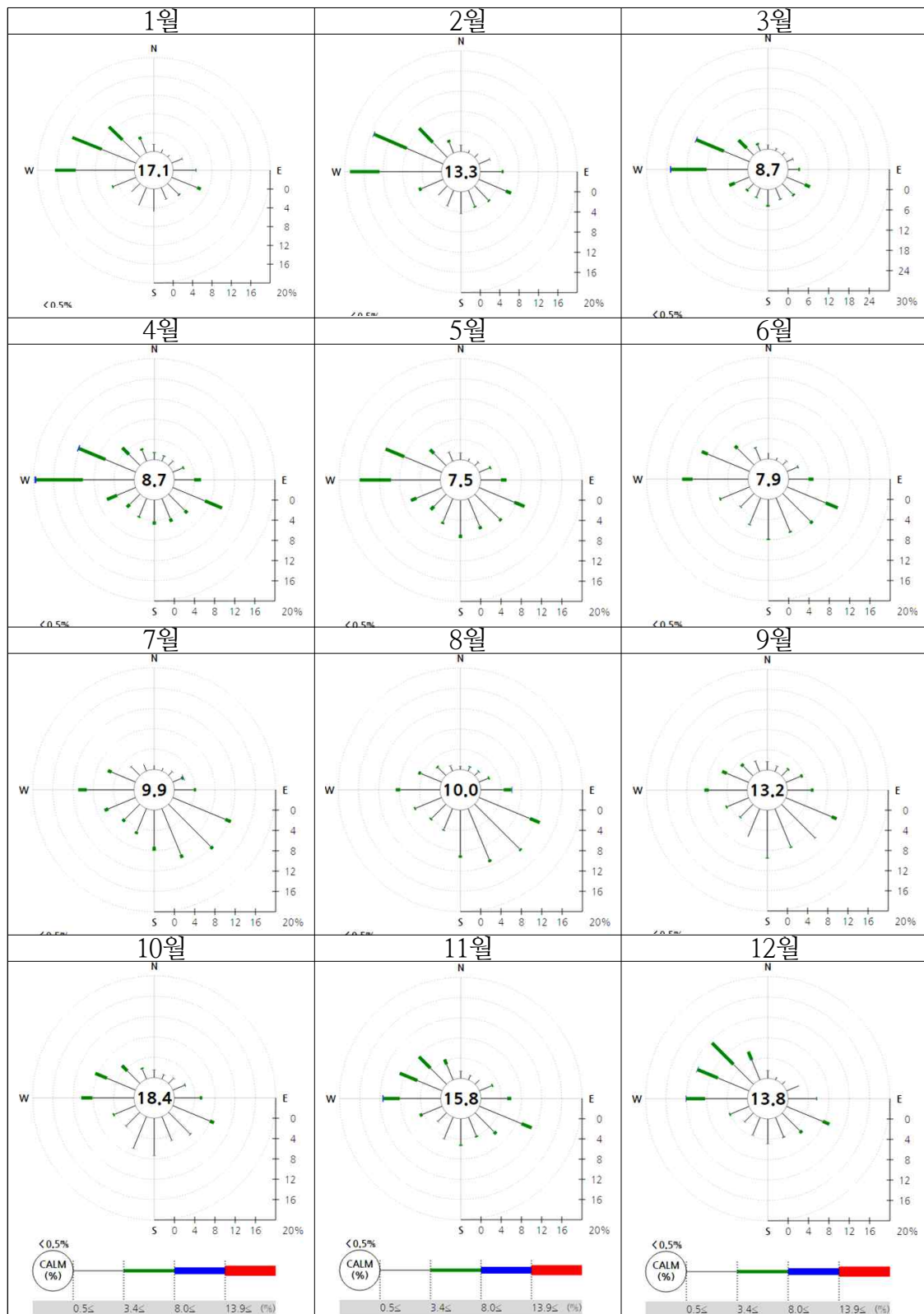
- A. 최근 10년 월별 바람장미
- B. 고농도 사례일 일기도



A. 최근 10년 월별 바람장미



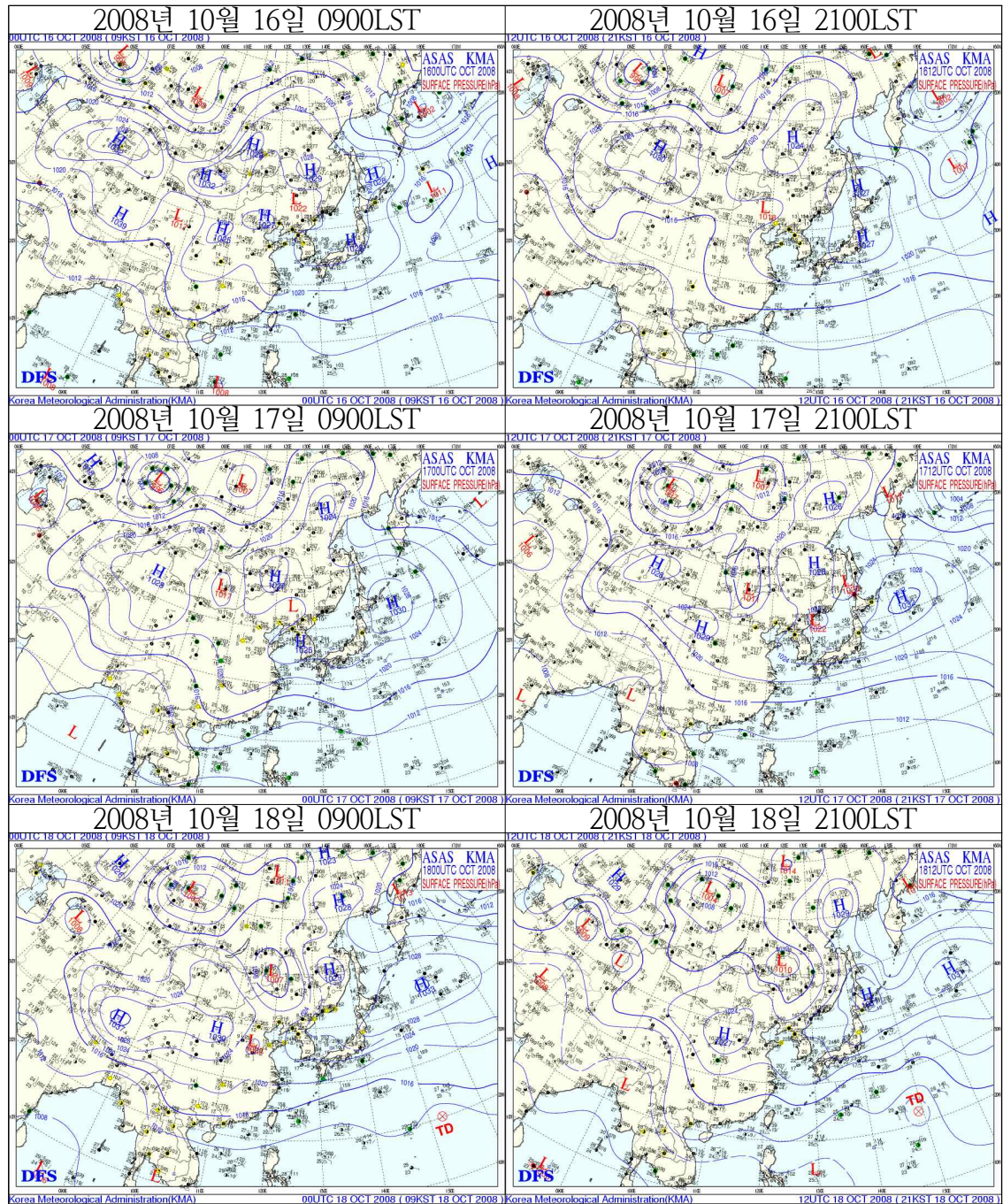
[그림 1] 월별 바람장미(서산기상대, 2006~2015)



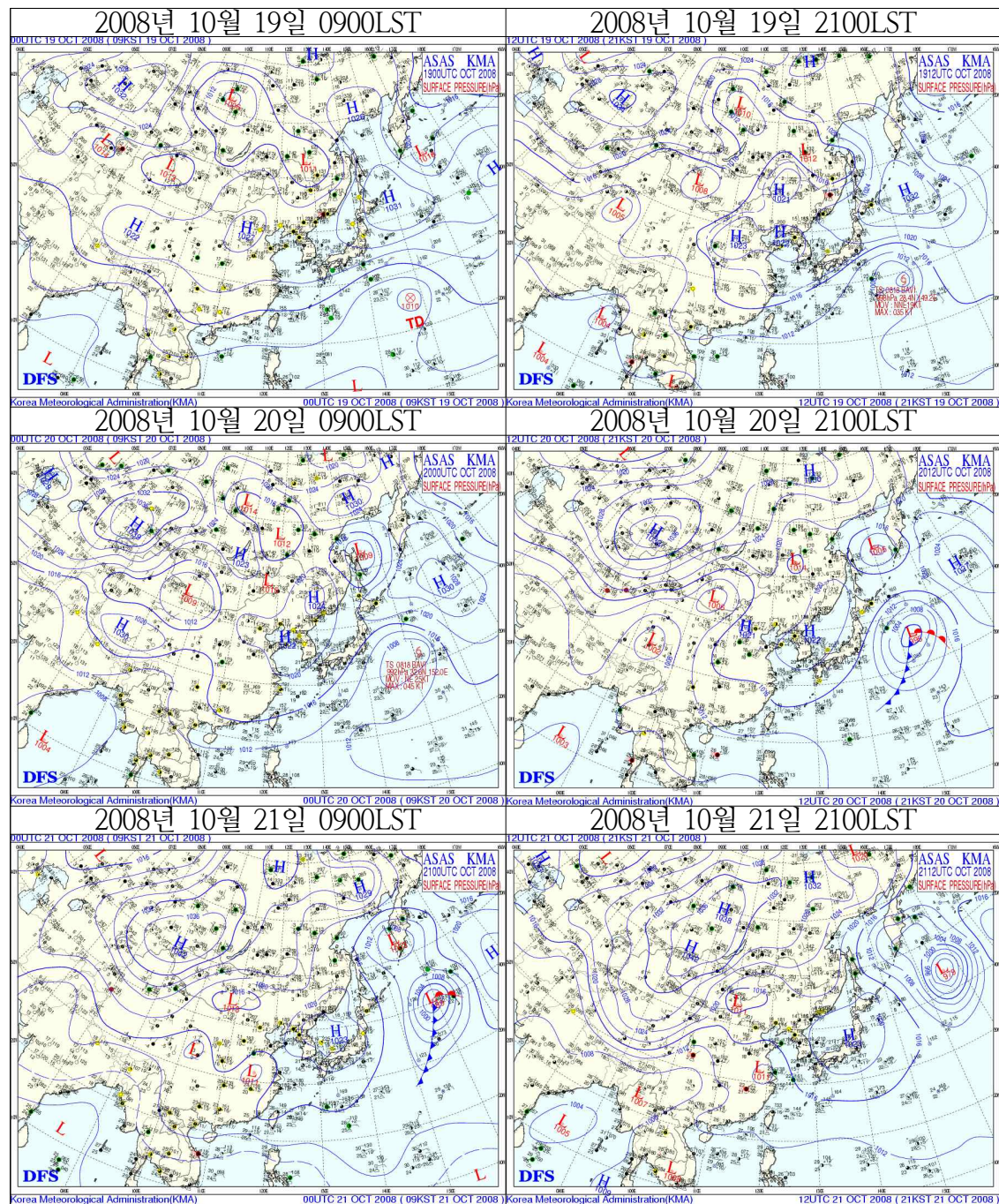
[그림 2] 월별 바람장미(천안기상대, 2006~2015)



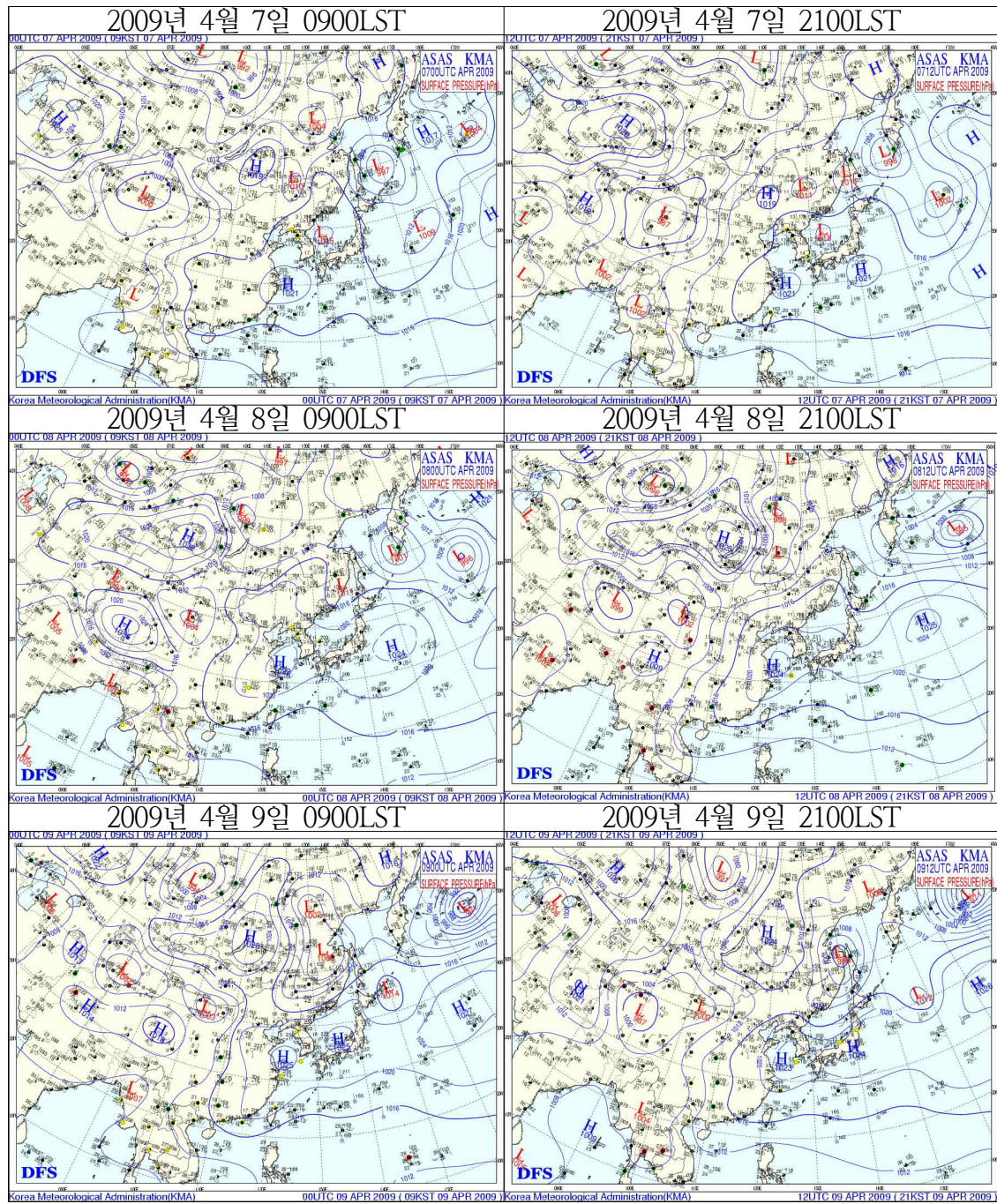
B. 고농도 사례일 일기도



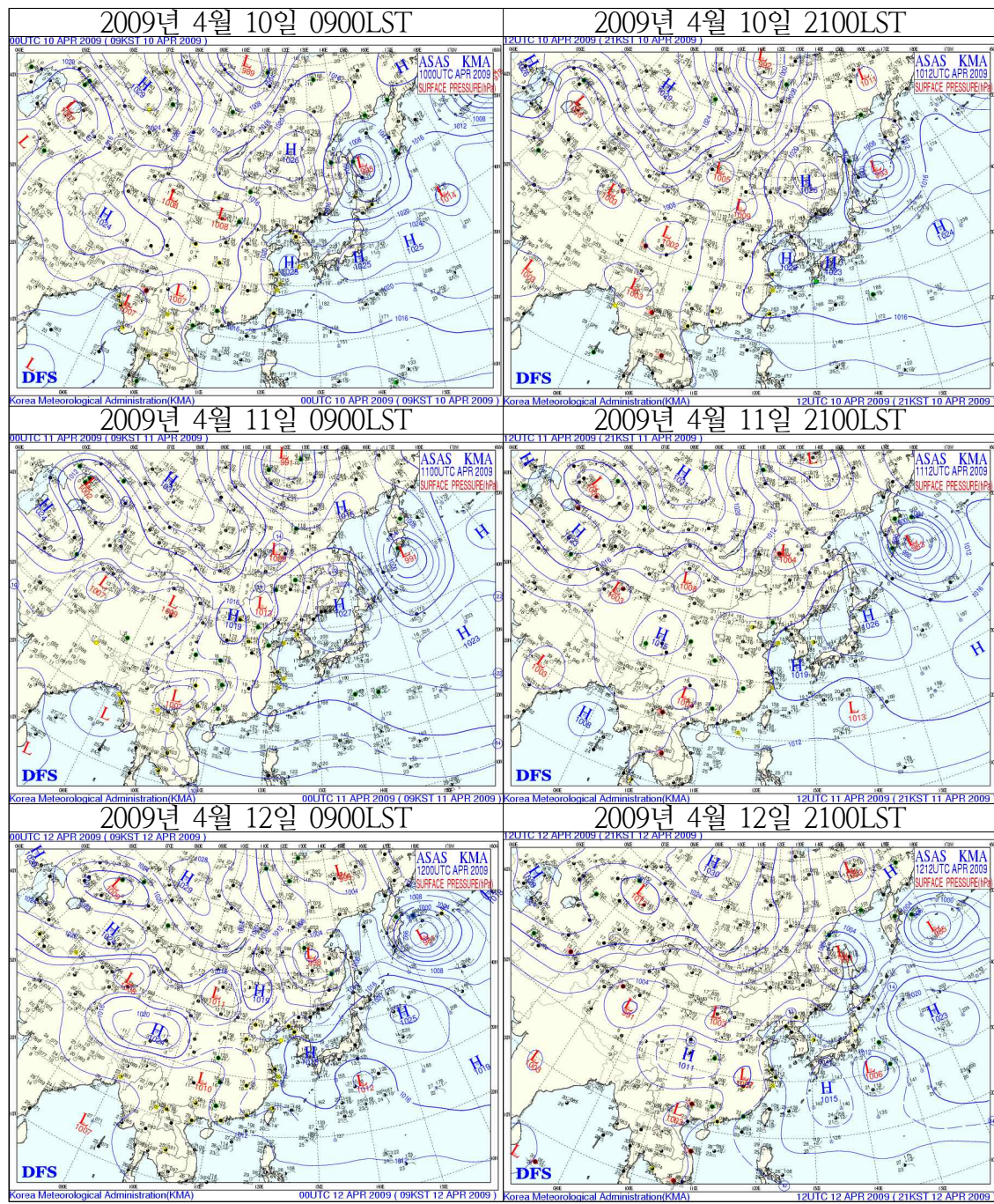
[그림 3] 고농도 사례일 일기도(2008년 10월 16일~18일)



[그림 4] 고농도 사례일 일기도(2008년 10월 19일~21일)



[그림 5] 고농도 사례일 일기도(2009년 4월 7일~9일)



[그림 6] 고농도 사례일 일기도(2009년 4월 10일~12일)

연구책임	김동혁 기후변화대응연구센터 책임연구원 이상신 기후변화대응연구센터 책임연구원
연구참여	권지수 기후변화대응연구센터 연구원

정책지원과제(기후변화) 2017-02
고농도 미세먼지 발생 시 기상학적 특성 파악에 대한 연구

발행일 : 2017년 3월

발행인 : 충남연구원장

발행처 : 충남연구원 서해안기후환경연구소

(32258) 충청남도 홍성군 홍북면 홍예로 360

홈페이지 www.cni.re.kr / www.shari.re.kr

발간등록번호 : 2017-02
