발 간 등 록 번 호
74-6440071-000004-10

힘센충남 대한민국의 힘

2022년 충청남도
대기질평가보고서

(2021. 1. ~ 2021. 12.)

충청남도보건환경연구원

목 차

Ⅰ. 일반현황 ····· 1

1.1. 위치 ····· 3

1.2. 지형 ····· 3

1.3. 기상현황 ····· 3

1.4. 최근 황사 발생 현황 ····· 8

Ⅱ. 대기오염물질 개요 ····· 11

2.1. 대기오염물질의 인체 및 환경영향 ····· 13

2.2. 연속자동측정 방법과 원리 ····· 16

2.3. 대기환경기준 ····· 17

2.4. 대기오염물질 배출 변화 ····· 19

Ⅲ. 대기오염도 분석 ····· 31

3.1. 대기환경측정망 설치 현황 ····· 33

3.2. 도시대기측정망 ····· 38

3.3. 도로변대기측정망 ····· 65

3.4. 대기중금속측정망 ····· 75

3.5. 초미세먼지(PM-2.5) 성분분석 ····· 82

3.6. 고농도 사례분석 ····· 97

Ⅳ. 대기오염 경보제 운영 ····· 107

4.1. 대기오염 경보제 개요 ····· 109

4.2. 미세먼지 경보제 ····· 112

4.3. 오존 경보제 ····· 117

Ⅴ. 측정지점별 환경기준 달성 현황 ····· 119

5.1. 대기오염물질별 환경기준 달성 현황 ····· 121

5.2. 월별 환경기준 초과 현황 ····· 123

부 록 ····· 127

1. 2021년 연평균 대기오염도 ····· 129

2. 2021년 월별 대기오염도 ····· 131

3. 대기오염 경보제 운영결과 ····· 144

4. 대기중금속측정망 월별 평균농도 ····· 149

표목차

표 1. 지역별 기상현황 ····· 4
표 2. 지역별 기온현황 ····· 5
표 3. 지역별 강수현황 ····· 6
표 4. 지역별 풍속 ····· 8
표 5. 연도별 황사 관측일수 ····· 9
표 6. 대기환경기준 ····· 17
표 7. 대기환경기준 체계 변경 및 강화내역 ····· 18
표 8. 인구 현황 ····· 20
표 9. 지역별 대기배출업소 현황 ····· 21
표 10. 사업장 종별 대기오염물질 배출사업장 현황 ····· 22
표 11. 석탄화력발전소 현황 ····· 23
표 12. 자동차 등록 현황 ····· 24
표 13. 차종별 등록 현황 ····· 26
표 14. 연도별 에너지 소비량 변화 ····· 27
표 15. 2020년 부문별 석유 사용량 ····· 28
표 16. 연도별 석유 사용량 변화 ····· 29
표 17. 대기환경측정망 설치 현황 ····· 35
표 18. 인근 5개 시·도 SO_2 연평균 농도 변화 ····· 39
표 19. 인근 5개 시·도 NO_2 연평균 농도 변화 ····· 43
표 20. 인근 5개 시·도 O_3 연평균 농도 변화 ····· 47
표 21. 인근 5개 시·도 CO 연평균 농도 변화 ····· 53
표 22. 인근 5개 시·도 PM-10 연평균 농도 변화 ····· 57
표 23. 인근 5개 시·도 PM-2.5 연평균 농도 변화 ····· 59
표 24. 도로변대기측정망 SO_2 연평균 농도 변화 ····· 65
표 25. 도로변대기측정망 NO_2 연평균 농도 변화 ····· 67
표 26. 도로변대기측정망 O_3 연평균 농도 변화 ····· 68
표 27. 도로변대기측정망 CO 연평균 농도 변화 ····· 70

표 28. 도로변대기측정망 PM-10 연평균 농도 변화 ····· 71
표 29. 도로변대기측정망 PM-2.5 연평균 농도 변화 ····· 73
표 30. 2021년 월별 중금속측정망 평균농도 ····· 75
표 31. 2021년 월별 중금속측정망 평균농도 ····· 76
표 32. 초미세먼지 수동 시료채취 및 분석방법 ····· 85
표 33. 2021년 ㄴ자형 유입으로 인한 고농도 미세먼지 사례 목록 ····· 105
표 34. 대기오염경보 단계별 대기오염물질의 농도기준 ····· 109
표 35. 대기오염 예보내용 및 기준 ····· 112
표 36. 대기오염 경보에 따른 조치사항 ····· 113
표 37. 충남 미세먼지 주의보 및 경보 발령 횟수(일수) ····· 114
표 38. 충남 미세먼지 대기환경등급 일수 ····· 116
표 39. 오존 경보 발령기준 및 조치사항 ····· 117
표 40. 2021년 측정소별 환경기준 달성 현황 ····· 122

그림목차

그림 1. 지역별 풍배도 ····· 7
그림 2. 충남 인구 변화 현황 ····· 20
그림 3. 권역별 대기오염물질 배출사업장수 변화 ····· 22
그림 4. 종별 대기오염물질 배출사업장수 변화 ····· 23
그림 5. 연도별 자동차 등록대수 ····· 25
그림 6. 연도별 차종별 자동차 등록대수 변화 ····· 26
그림 7. 연도별 에너지 소비량 ····· 27
그림 8. 연도별 석유 사용량 변화 ····· 29
그림 9. 전국 도시대기측정망 현황 ····· 33
그림 10. 전국 대기중금속측정망 현황 ····· 33
그림 11. 전국 도로변대기측정망 현황 ····· 34
그림 12. 권역별 측정소 위치 ····· 35
그림 13. 도시대기측정망 연평균 농도분포 ····· 38
그림 14. 전국 황산화물 연도별 배출량 및 SO_2 연평균 농도 변화 ····· 40
그림 15. 측정소별 SO_2 농도 ····· 40
그림 16. 시·군별 SO_2 농도 변화(2017~2021) ····· 41
그림 17. SO_2 월별 농도 변화(2012년~2021년) ····· 42
그림 18. 권역에 따른 SO_2 월별 농도 분포 ····· 43
그림 19. 전국 질소산화물 연도별 배출량 및 NO_2 연평균 농도 변화 ····· 44
그림 20. 2021년 측정소별 NO_2 농도 ····· 45
그림 21. 시·군별 NO_2 농도 변화(2017~2021) ····· 45
그림 22. NO_2 월평균 농도 변화 ····· 46
그림 23. 권역에 따른 NO_2 월별 농도 분포 ····· 47
그림 24. O_3 연평균 농도 변화 ····· 48
그림 25. 2021년 측정소별 O_3 농도 ····· 48
그림 26. 시·군별 O_3 농도 변화(2017~2021) ····· 49
그림 27. O_3 월평균 농도 변화 ····· 50

그림 28. 권역에 따른 O_3 월별 농도 분포 ····· 51
그림 29. 북부권역 O_3 시간대별 농도 변화 ····· 52
그림 30. 서부권역 O_3 시간대별 농도 변화 ····· 52
그림 31. 동남부권역 O_3 시간대별 농도 변화 ····· 52
그림 32. 전국 CO 연도별 배출량 및 연평균 농도 변화 ····· 54
그림 33. 측정소별 CO 농도 ····· 54
그림 34. 시·군별 CO 농도 변화(2017~2020) ····· 55
그림 35. CO 월평균 농도 변화 ····· 56
그림 36. 권역에 따른 CO 월별 농도 분포 ····· 56
그림 37. PM-10 연평균 농도 변화 ····· 58
그림 38. 측정소별 PM-10 농도 ····· 58
그림 39. 시·군별 PM-10 농도 변화(2017~2021) ····· 59
그림 40. 충남 PM-2.5 연평균 농도 변화 ····· 60
그림 41. 측정소 PM-2.5 연평균 농도 변화 ····· 61
그림 42. 시·군별 PM-2.5 농도 변화(2017~2021) ····· 61
그림 43. PM-10 월평균 농도 변화 ····· 62
그림 44. 권역에 따른 PM-10 월별 농도 분포 ····· 63
그림 45. PM-2.5 월평균 농도 변화 ····· 63
그림 46. 권역에 따른 PM-2.5 월별 농도 분포 ····· 64
그림 47. SO_2 월평균 농도 변화 ····· 66
그림 48. SO_2 시간대 농도 변화 ····· 66
그림 49. NO_2 월평균 농도 변화 ····· 67
그림 50. NO_2 시간대 농도 변화 ····· 68
그림 51. O_3 월평균 농도 변화 ····· 69
그림 52. O_3 시간대 농도 변화 ····· 69
그림 53. CO 월평균 농도 변화 ····· 70
그림 54. CO 시간대 농도 변화 ····· 71
그림 55. PM-10 월평균 농도 변화 ····· 72
그림 56. PM-10 시간대 농도 변화 ····· 72
그림 57. PM-2.5 월평균 농도 변화 ····· 73

그림 58. PM-2.5 시간대 농도 변화 ····· 74
그림 59. 중금속측정망 연평균 농도변화 ····· 76
그림 60. 중금속측정망 연도별 Pb 농도 비교 ····· 77
그림 61. 성황동 중금속측정망 월평균농도 ····· 77
그림 62. 성황동 중금속측정망 연평균농도 분포 ····· 78
그림 63. 독곶리 중금속측정망 월평균농도 ····· 78
그림 64. 독곶리 중금속측정망 연평균농도 분포 ····· 79
그림 65. 송산면 중금속측정망 월평균농도 ····· 79
그림 66. 송산면 중금속측정망 연평균농도 분포 ····· 80
그림 67. 보령시 중금속측정망 월평균농도 ····· 80
그림 68. 보령시 중금속측정망 연평균농도 분포 ····· 81
그림 69. 배방읍(유해) 중금속측정망 월평균농도 ····· 81
그림 70. 배방읍(유해) 중금속측정망 연평균농도 분포 ····· 81
그림 71. 2021년 전 지점 연평균 초미세먼지 구성성분 비율 ····· 85
그림 72. 2021년 천안지역 초미세먼지 구성성분 비율: (왼) 연평균, (오) 고농도 ·· 86
그림 73. 2021년 아산지역 초미세먼지 구성성분 비율: (왼) 연평균, (오) 고농도 ·· 87
그림 74. 2021년 당진지역 초미세먼지 구성성분 비율: (왼) 연평균, (오) 고농도 ·· 87
그림 75. 2021년 서산지역 초미세먼지 구성성분 비율: (왼) 연평균, (오) 고농도 ·· 88
그림 76. 계절별 이온성분 구성비율 ····· 89
그림 77. 계절별 탄소성분 변화 ····· 89
그림 78. 계절별 중금속 구성성분 농도 ····· 90
그림 79. 2021년 천안지역 월별 이온성분 구성비율 ····· 91
그림 80. 2021년 천안지역 월별 탄소성분 농도변화 ····· 91
그림 81. 2021년 천안지역 월별 중금속성분 농도변화 ····· 92
그림 82. 2021년 아산지역 월별 이온성분 구성비율 ····· 92
그림 83. 2021년 아산지역 월별 탄소성분 농도변화 ····· 93
그림 84. 2021년 아산지역 월별 중금속 성분 농도변화 ····· 93
그림 85. 2021년 당진지역 월별 이온성분 구성비율 ····· 94
그림 86. 2021년 당진지역 월별 탄소성분 농도변화 ····· 94
그림 87. 2021년 당진지역 월별 중금속 성분 농도변화 ····· 95

그림 88. 2021년 서산지역 월별 이온성분 구성비율 ····· 95
그림 89. 2021년 서산지역 월별 탄소성분 농도변화 ····· 96
그림 90. 2021 서산지역 월별 중금속 성분 농도변화 ····· 96
그림 91. 고기압 및 국외 미세먼지 유입경로 ····· 97
그림 92. 중국발 미세먼지 도내 유입경로 ····· 98
그림 93. 황사 발원지 및 이동경로 ····· 99
그림 94. 우리나라 황사 유입 모식도(기상청) ····· 100
그림 95. 황사유입사례 역궤적모델 분석 결과 ····· 101
그림 96. 자체발생사례 초미세먼지 최고농도 시간 지표 일기도(기상청) ··· 102
그림 97. 자체발생사례 초미세먼지 최고농도 시간 대기질모델 예측 결과 102
그림 98. 자체 발생 및 정체 사례 미세먼지 농도 ····· 103
그림 99. ㅅ자형 유입 사례별 최고농도 시간 역궤적 모델 분석 결과 ····· 103
그림 100. 3월11일 2시 대기질모델 미세먼지 예측 결과 (27㎢, 9㎢, 3㎢, 1㎢) ·· 104
그림 101. 고기압의 이동과 국외 미세먼지 유입 과정(미세먼지 범부처 사업단) ·· 104
그림 102. ㄴ자형 유입 사례별 최고농도 시간 역궤적 모델 분석 결과 ····· 105
그림 103. 2월 7일 4시 대기질모델 미세먼지 예측 결과 (27㎢, 9㎢, 3㎢, 1㎢) ·· 106
그림 104. 충청남도 고농도 미세먼지 대응 체계도 ····· 111
그림 105. 미세먼지 주의보 발령 일수 ····· 114
그림 106. 미세먼지 경보 발령 일수 ····· 115
그림 107. 초미세먼지 주의보 발령 일수 ····· 115
그림 108. 초미세먼지 경보 발령 일수 ····· 116
그림 109. 오존 주의보 발령 일수 ····· 118
그림 110. 오존 주의보 발령 횟수 ····· 118
그림 111. 오존 측정소별 환경기준(1시간기준) 초과 횟수 ····· 123
그림 112. 오존 측정소별 환경기준(8시간기준) 초과 횟수 ····· 124
그림 113. PM-10 측정소별 환경기준(24시간기준) 초과 횟수 ····· 124
그림 114. PM-2.5 측정소별 환경기준(24시간기준) 초과 횟수 ····· 125

2022년 대기질 평가 보고서 요약

1 도시 및 도로변 대기측정망

○ 도시대기측정망 확대 운영

구분	2017년	2018년	2019년	2020년	**2021년**
개소수	18	27	31	35	**37**

○ 도시대기오염도

- 충남 2021년 연평균 PM-10 41 ㎍/㎥, PM-2.5 21 ㎍/㎥으로 전년 대비 PM-10 4 ㎍/㎥(11 %) 증가
- 황사 발생일은 15일로 전년(4일) 대비 증가
- 가스상 항목들은 전년도와 비슷한 수준

구분	SO_2 (ppm)	NO_2 (ppm)	O_3 (ppm)	CO (ppm)	PM-10 (㎍/㎥)	PM-2.5 (㎍/㎥)
2021년	**0.004**	**0.012**	**0.036**	**0.4**	**41**	**21**
2020년	0.003	0.013	0.032	0.4	37	21

○ 도로변대기오염도

- 충남 2021년 연평균 PM-10 48 ㎍/㎥, PM-2.5 25 ㎍/㎥으로 전년 대비 PM-10 2 ㎍/㎥(4 %) 증가, PM-2.5 3㎍/㎥(11 %) 감소
- 가스상 항목들은 전년도와 비슷한 수준

구분	SO_2 (ppm)	NO_2 (ppm)	O_3 (ppm)	CO (ppm)	PM-10 (㎍/㎥)	PM-2.5 (㎍/㎥)
2021년	**0.004**	**0.022**	**0.029**	**0.4**	**48**	**25**
2020년	0.003	0.025	0.028	0.4	46	28

2 대기오염 경보제

○ 미세먼지 및 초미세먼지 발령횟수 증가

구분		2021년	2020년	비 고
PM-10	주의보	**24회(12일)**	6회(4일)	18회(8일) 증가
	경 보	**6회(5일)**	0회	6회(5일) 증가
PM-2.5	주의보	**27회(26일)**	23회(29일)	4회 증가, 3일 감소
	경 보	**2회(2일)**	0회	2회(2일) 증가

○ 오존 주의보 발령은 전년 대비 38회 증가(※ 경보 발령 없음)

- 주의보: 2017년 16회(7일) ⇒ 2018년 57회(17일) ⇒ 2019년 44회(14일) ⇒ 2020년 29회(13일) ⇒ 2021년 67회(24일)

3 대기중금속측정망

○ 2021년 납 연평균은 0.0203 ㎍/㎥으로 대기환경기준(0.5 ㎍/㎥) 이내 전년도 대비 0.0059 ㎍/㎥ 감소, Cd 0.0003 ㎍/㎥, Mn 0.0305 ㎍/㎥으로 WHO 권고기준(Cd 0.005 ㎍/㎥, Mn 0.15 ㎍/㎥)을 만족.

○ 납 연평균 농도(단위 : ㎍/㎥)

측정소	2021년	2020년	비 고
성황동	**0.0159**	0.0164	**0.0005 감소**
독곶리	**0.0172**	0.0198	**0.0026 감소**
송산면	**0.0336**	0.0369	**0.0033 감소**
보령시	**0.0166**	2020년 12월 가동	
배방읍(유해)	**0.0147**	2021년 9월 가동	

○ 2021년 연평균 중금속(12종) 농도는 2.3217 ㎍/㎥이며, 송산면(3.7626 ㎍/㎥) > 성황동 (2.4795 ㎍/㎥) > 독곶리 (1.9145 ㎍/㎥) > 보령시 (1.4615 ㎍/㎥) > 배방읍(유해) (1.3997 ㎍/㎥)으로 전년도 3.5893 ㎍/㎥ 대비 35 % 감소.

4 초미세먼지 성분분석

○ 2021년 천안 성황동 측정소 초미세먼지 주요 구성성분 비율

- 연평균: OC(34 %) > NO_3^- (27 %) > SO_4^{2-} (12 %) = NH_4^+ (12 %) > ...
- 고농도: NO_3^- (38 %) > OC (25 %) > SO_4^{2-} (10 %) > NH_4^+ (14 %) > ...

⇨ 고농도 발생시 PM-2.5 중 NO_3^-(▲11 %)와 NH_4^+(▲2 %)가 증가함

○ 2021년 아산 인주면 측정소 초미세먼지 주요 구성성분 비율

- 연평균: OC(33 %) > NO_3^- (26 %) > SO_4^{2-} (11 %) = NH_4^+ (11 %) > ...
- 고농도: NO_3^- (35 %) > OC (27 %) > SO_4^{2-} (10 %) > NH_4^+ (13 %) > ...

⇨ 고농도 발생시 PM-2.5 중 NO_3^-(▲9 %)와 NH_4^+(▲2 %)가 증가함

○ 2021년 당진 송산면 측정소 초미세먼지 주요 구성성분 비율

- 연평균: OC(28 %) > NO_3^- (25 %) > SO_4^{2-} (14 %) > NH_4^+ (12 %) > ...
- 고농도: NO_3^- (33 %) > OC (26 %) > NH_4^+ (14 %) > SO_4^{2-} (12 %) > ...

⇨ 고농도 발생시 PM-2.5 중 NO_3^-(▲8 %)와 NH_4^+(▲2 %)가 증가함

○ 2021년 서산 유해대기 측정소 초미세먼지 주요 구성성분 비율

- 연평균: OC(28 %) > NO_3^- (24 %) > SO_4^{2-} (16 %) > NH_4^+ (13 %) > ...
- 고농도: NO_3^- (34 %) > OC (22 %) > NH_4^+ (15 %) > SO_4^{2-} (14 %) > ...

⇨ 고농도 발생시 PM-2.5 중 NO_3^-(▲10 %)와 NH_4^+(▲2 %)가 증가함

5 미세먼지 고농도 사례 분석 결과

○ 고농도 사례는 15건 발생하였으며, 자체발생 1건, 국외유입 14건

- 국외유입은 ㅅ자형 5건, ㄴ자형 4건, 황사 4건, 장기복합 1건
- 자체발생은 대기정체 시, 국외유입은 서풍 또는 북서풍에서 주로 발생
- 황사는 미세먼지(PM-10) 농도 및 PM-10/PM-2.5 비율이 높으며, 풍속이 강할 때 발생하기 때문에 지속시간이 짧고 6시간 내로 빠르게 해소됨

Ⅰ. 일반현황

1.1. 위치

1.2. 지형

1.3. 기상현황

1.4. 최근 황사 발생 현황

1.1. 위치

충청남도는 한반도의 중앙부 서쪽에 위치하는 지역으로서 북쪽으로는 경기도, 동으로는 대전광역시와 세종특별자치시 및 충청북도, 남으로는 전라북도와 경계를 이루고 있으며, 서쪽은 황해와 면한다. 지리적 위치는 남단에 위치한 금산군의 북위 35° 58′ 에서 북단 당진시의 37° 03′ 간을 차지하는 약 2° 에 걸치고 서단 태안군의 동경 125° 32′ 에서 동단 금산군의 127° 38′ 간을 차지하여 약 2° 를 차지한다.

1.2. 지형

국토의 중심부에 위치하여 전국 어느 지역으로든 갈 수 있는 교통망을 갖추고 있으며, 차령산맥을 중심으로 한 동고서저의 지형지세로서 해발 100 m 이하의 평야와 구릉지가 전체 면적의 60 % 이상을 차지하고 있다. 높은 산으로는 서대산(904 m), 계룡산(845 m), 대둔산(878 m) 등이 있고, 큰 하천으로는 삽교천, 곡교천, 무한천 등이 있으며, 금강주변과 하천중심으로 평야가 잘 발달되어 있고 해안은 전형적인 리아스식 해안으로 발달되어 있고, 길이는 953 ㎞이고, 조수간만의 차가 심하여 가로림만・천수만 등 만이 잘 발달되어 있다.

1.3. 기상현황

1.3.1. 일반 기후

우리나라는 지리적으로 중위도 온대성 기후대에 위치하여 사계절이 뚜렷하게 나타난다. 겨울에는 한랭 건조한 대륙성 고기압의 영향을 받아 춥고 건조하며, 여름에는 고온 다습한 북태평양 고기압의 영향으로 무더운 날씨를 보이고, 봄과 가을에는 이동성 고기압의 영향으로 맑고 건조한 날이 많다.

2021년 기상연보에 따르면 2021년 전국 평균기온(13.3 ℃)은 평년보다 0.8 ℃ 높았고 평균강수량(1244.5 ㎜)은 평년 대비 93.4 %였으며 강수일수(112.9일)는 평년보다 7.3일 적어 역대 3번째로 장마철이 짧았으며 비는 자주 내려 연 강수일수는 13번째로 많았다.

충청남도의 기후 평년자료, 표 1을 보면 평균기온은 11.8 ~ 12.7 ℃이며 강수량은 1191.4 ~ 1326.6 ㎜으로 나타났다. 최고기온과 가장 많은 강수량은 부여, 가장 강한 풍속은 서산에서 나타났다.

표 1. 지역별 기상현황(평년값*)

지점명	평균기온 (℃)	최고기온 (℃)	최저기온 (℃)	강수량 (mm)	풍속 (m/sec)	습도 (%)	일조시간 (hr)
서산	12.1	17.5	7.3	1253.9	2.4	73.8	2224.8
천안	12.0	17.9	6.7	1218.7	1.7	68.5	2271.3
보령	12.7	17.6	8.4	1191.4	1.9	72.6	2311.0
부여	12.4	18.8	7.1	1326.6	1.2	71.4	2243.0
금산	11.8	18.5	6.1	1288.6	1.2	69.1	2214.8
평균	12.2	18.1	7.1	1255.8	1.7	71.1	2253.0

자료출처 : 기상자료개방포털

* 평년값 : 10년 주기로 산출하며, 1991~2020의 평균값(30년 평균값)으로 2021년 4월부터 사용.

1.3.2. 기온

2021년 기상연감에 따르면, 2021년 연평균기온이 13.3℃로 1973년 이후 두 번째로 높은 기온을 기록했다. 봄철(3~5월)과 가을철(9~11월) 기온이 높았고 기후변화로 인한 기온상승 추세 속에 나타난 결과로 해석했다.

2021년 기상연보에 따르면, 1월은 1개월 내 기온 변동 폭이 역대 가장 커 1973년 이후 1위를 기록하였다. 2월은 1973년 이후 월 최고기온이 2위를 기록할 만큼 고온현상을 보인 날이 많았다. 3월 또한 평균기온, 최고·최저기온이 1973년 이후 역대 1위로 평년보다 매우 높은 기온을 기록하였다. 4월은 기온 변동이 매우 컸고, 5월은 평년보다 낮은 기온을 보였다. 7월은 전국 폭염일수가 8.1일로 1973년 이후 상위 5위를 기록하였다. 10월은 1973년 이후 10월 중 가장 큰 기온 변동을 보인 것으로 기록되었다. 11월은 평년보다 높은 기온을, 12월은 전국적으로 매우 낮은 기온을 보였다.

충남지역에 운영되는 기상청 유·무인 기상관측소는 6개소(서산·천안·보령·부여·금산·홍성)로 2021년 충남 각 지점별 월평균기온(℃)은 표 2와 같다. 2021년 충남지역의 월평균 기온 분포는 -2.8~26.7℃ 이며, 연평균 기온은 13.2℃로 전년보다 0.5℃, 평년값보다 1.0℃ 높았다.

표 2. 지역별 기온현황

(단위 : ℃)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	연평균
서산	-1.8	2.5	7.5	12.8	16.2	21.9	26.7	25.2	21.9	15.2	8.2	1.6	13.2
천안	-2.8	2.1	8.0	13.0	15.9	21.8	26.2	24.3	20.9	14.0	6.9	0.2	12.5
보령	-0.2	3.5	7.8	12.9	16.2	21.7	26.5	25.5	22.5	16.1	9.8	3.1	13.8
부여	-1.9	2.9	8.5	13.5	16.6	22.3	26.6	25.2	21.8	14.7	7.7	1.2	13.3
금산	-2.0	2.9	8.4	13.3	16.5	22.1	26.1	24.4	21.1	13.8	7.1	0.9	12.9
홍성	-1.9	3.1	7.9	13.1	16.6	22.2	26.5	25.0	21.7	15.2	8.2	1.4	13.3
월평균	-1.8	2.8	8.0	13.1	16.3	22.0	26.4	24.9	21.7	14.8	8.0	1.4	13.2

자료출처 : 기상연보(2021)

1.3.3. 강수일수 및 강수량

2021년 기상연감에 따르면 연강수량은 1,244.5 mm로 평년과 비슷하였다. 짧은 장마철(17일)로 인해 장마철 강수량(227.5 mm)이 적었으나, 봄철(3~5월) 강수량(329.4 mm)이 많아 연강수량은 평년과 비슷하였다. 5월은 이틀에 한 번꼴로 비가 내려 강수일수가 역대 가장 많았고, 장마는 7월 3일에 시작한 후 7월 19일에 종료되면서 장마기간이 역대 세 번째로 짧았다.

강수일수는 일강수량이 0.1 mm이상인 날의 수를 의미하는 것으로, 충남의 평균 강수일수는 124.3일(2021년), 113.7일(2020년), 107.9일(최근 5년 평균), 111.7일(최근 10년 평균)로 강수일수는 2020년보다 10일이 늘었으며 최근 5년, 10년, 평년값(108.6일)과 비교해도 각각 16.4일, 12.6일, 15.7일 많았다. 2021년 충남 연간평균 강수량은 1171.7 mm이며 평년 강수량(1255.8 mm)과 비교하면 84.1 mm 적은 수준이다. 표 3과 같이 2021년 충남의 지역별 강수량을 보면 금산이 1,290.1 mm으로 가장 높게 나타났고 천안지역이 1058.9 mm로 가장 적은 강수량을 보였다.

표 3. 지역별 강수현황

(단위 : mm)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	합계
서산	25.3	9.6	112.8	110.6	132.3	70.9	121.6	217.8	206.0	55.9	126.2	18.3	1207.3
천안	17.8	9.2	75.3	54.7	135.9	44.8	117.6	230.0	250.8	49.5	67.9	5.4	1058.9
보령	49.4	75.3	22.8	16.5	92.4	139.7	345.9	321.5	177.1	16.2	35.4	9.7	1107.9
부여	32.1	18.1	95.7	42.3	136.9	76.9	187.7	227.6	187.1	36.9	73.4	8.7	1123.4
금산	23.5	19.3	88.0	39.3	162.7	105.6	300.8	297.2	151.9	44	50.7	7.1	1290.1
홍성	28.6	12.5	100.5	72.9	141.7	67.5	114.5	280.8	260.2	41.6	105.6	16.4	1242.8
평균	29.5	24.0	82.5	56.1	133.7	84.2	198.0	262.5	205.5	40.7	76.5	10.9	1171.7

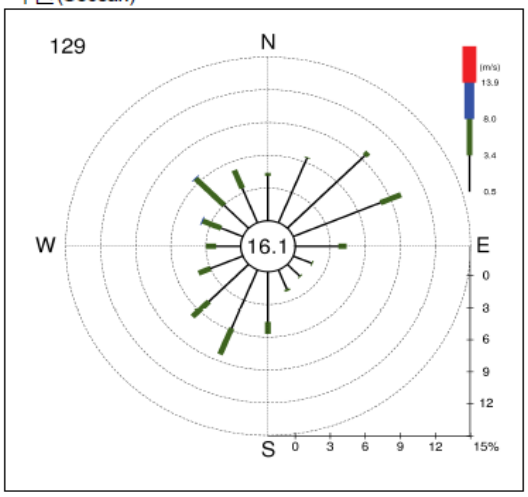
자료출처 : 기상연보(2021)

1.3.4. 바람

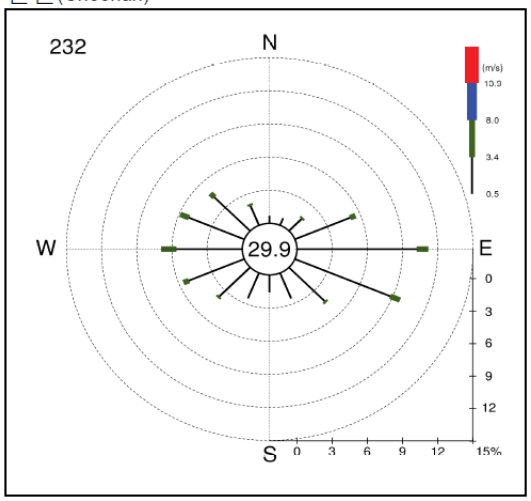
그림 1은 기상청에서 발표한 2021년 충남지역 관측소의 풍배도이며 표 4는 2021년 충남지역의 평균풍속을 나타낸 것으로 충남의 평균풍속은 1.5 m/s이었다. 서산, 보령의 연평균 풍속은 충남 전체 평균보다 강하게 나타났다. 충남지역은 2021년 2월, 4 ~ 5월에 평균 1.7 ~ 1.9 m/s로 연중 가장 강한 풍속을 기록했고 충남지역 중 풍속이 가장 강한 지역은 서산이었다.

자료출처 : 기상연보(2021)

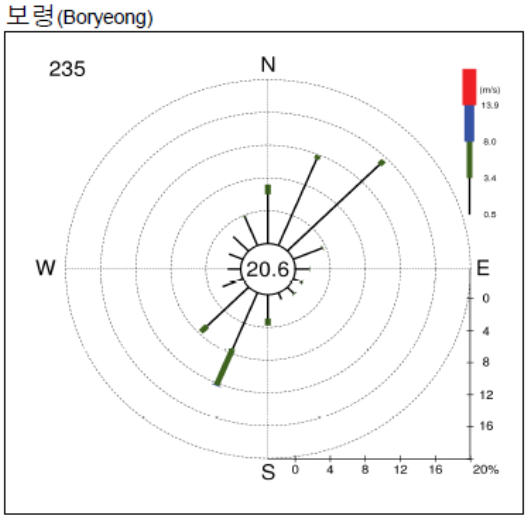
서산(Seosan)



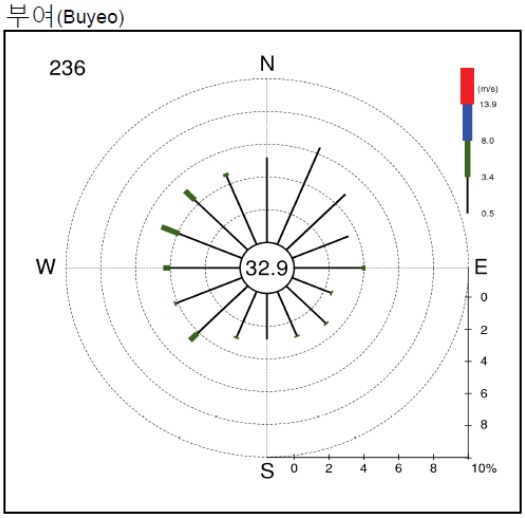
천안(Cheonan)



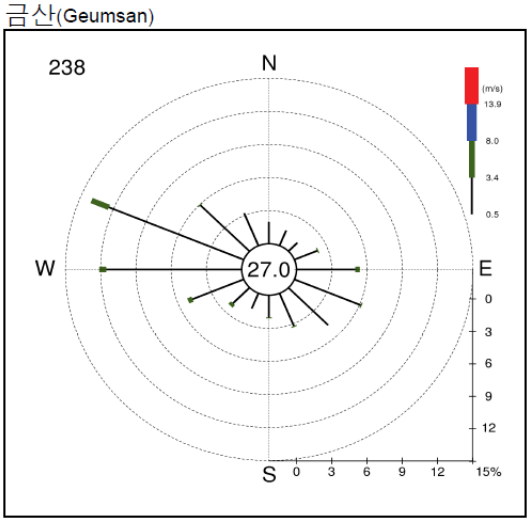
보령(Boryeong)



부여(Buyeo)



금산(Geumsan)



홍성(Hongseong)

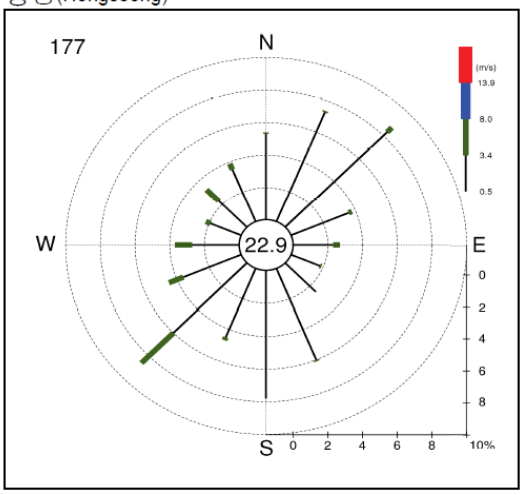


그림 1. 지역별 풍배도

표 4. 지역별 풍속

(단위 : m/s)

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
서산	1.9	2.6	2.0	2.3	2.3	1.9	1.8	1.7	2.0	1.5	1.7	2.0	2.0
천안	1.3	1.6	1.5	1.8	1.5	1.2	1.3	1.1	1.6	0.9	0.9	1.1	1.3
보령	1.7	2.0	1.5	1.5	1.7	1.6	1.4	1.4	1.6	1.4	1.3	1.7	1.6
부여	1.1	1.3	1.1	1.4	1.3	1.1	1.1	1.2	1.3	0.8	0.9	1.1	1.1
금산	1.1	1.6	1.2	1.5	1.3	1.1	1.1	0.9	1.1	0.8	1.0	1.2	1.2
홍성	1.3	2.0	1.5	1.8	1.9	1.5	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2	1.2	1.5
평균	1.4	1.9	1.5	1.7	1.7	1.4	1.3	1.3	1.5	1.1	1.2	1.4	1.5

자료출처 : 기상연보(2021)

1.4. 최근 황사 발생 현황

황사는 중국과 몽골 내륙에서 발생한 미세한 모래 먼지가 편서풍을 타고 날아와 가라앉는 현상이다. 주로 봄철에 우리나라와 일본 등에 영향을 미친다. 황사의 주요 발원지는 고비사막·내몽골고원, 중국 북동 사막지역, 황토고원 등이고 고비사막·내몽골고원에서 발원하는 경우가 전체의 81%정도를 차지하고 있다. 황사는 탄소와 이온성분이 주를 이루는 미세먼지와 달리 칼륨, 철분, 알루미늄, 마그네슘 등 토양성분이 주를 이루고 있다. 황사는 입자크기에 대한 기준은 없으나 우리나라에 영향을 미치는 황사의 경우 통상 1~10㎛의 직경을 가지며 긍정적 영향이 거의 없는 미세먼지와 달리 토양의 산성화를 예방하는 긍정적 측면도 가지고 있다.

충청남도의 경우, 2017년 11월 1일부터 서산기상관측소(129)의 목측 관측을 중단하였고, 홍성기상관측소(177)로 연계하여 측정하였다. 기상청에서 발령하는 '황사경보'는 황사로 인해 1시간 평균 미세먼지(PM-10) 농도가 800 ㎍/㎥ 이상이 2시간 이상 지속될 것으로 예상될 때 발표한다. 2007~2020년 연도별 황사 관측일수는 표 5에 나타낸 바와 같이 건조한 10월~이듬해 5월 기간에 주로 발생하며, 2021년에는 홍성관측소 기준 황사발생일이 15일로 관측되었다.

표 5. 연도별 황사 관측일수

구분	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	계
2021년	3	.	4	3	5	.	.	.	.	.	.	.	15
2020년	.	1	.	1	.	.	.	.	.	.	2	.	4
2019년	.	.	.	1	2	.	.	.	.	1	2	.	6
2018년	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	3	.	5
2017년	1	.	.	1	4	.	.	.	.	.	.※	.	6
2016년	.	.	1	2	2	.	.	.	.	.	.	.	5
2015년	.	2	6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	8
2014년	2	.	2	.	4	.	.	.	.	.	.	.	8
2013년	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2
2012년	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	1
2011년	.	.	3	.	6	.	.	.	.	.	.	.	9
2010년	1	.	4	1	.	.	.	.	.	.	3	4	13
2009년	.	1	2	.	.	.	.	.	2	2	.	3	10
2008년	.	2	3	.	1	.	.	.	.	.	.	2	8
2007년	.	.	4	2	3	.	.	.	.	.	.	2	11

※ 2017년 11월 1일부터 서산 지점의 목측 관측을 중단하고 홍성지점으로 연계. (자료출처 : 기상청)

Ⅱ. 대기오염물질 개요

2.1. 대기오염물질의 인체 및 환경영향

2.2. 연속자동측정 방법과 원리

2.3. 대기환경기준

2.4. 대기오염물질 배출 변화

2.1. 대기오염물질의 인체 및 환경영향

2.1.1. 아황산가스(SO_2)

SO_2는 물에 잘 녹는 불연성 가스로서 화산 활동 등 자연현상에 의한 것 외에 석유·석탄의 연소, 유황의 제조, 금속의 제련, 자동차의 주행 등 인간의 사회활동에 의해 대기 중으로 배출된다. SO_2의 배출량은 화석연료에 포함되어 있는 황 성분의 연소산화에 의한 것이 대부분으로 중유 중에는 3.5 %이하 경유 중에는 0.2 %이하의 황 성분을 함유하고 있다.

고농도의 SO_2는 옥외 활동이 많고 천식에 걸린 어른과 어린이에게 일시적으로 호흡장애를 일으킬 수 있으며, 고농도의 SO_2와 함께 고농도의 미세먼지에 노출될 경우 호흡기계 질환을 일으키고 심장혈관질환을 악화시키는 것으로 알려져 있다. SO_2는 질소산화물(NO_X)과 함께 산성비의 주요 원인 물질이며 토양, 호수, 하천의 산성화에 영향을 미치고, 식물의 잎맥 손상, 성장저해 등을 일으킨다. 또한 SO_2는 미세먼지의 주요 원인 물질로서 시정장애를 일으키며, 각종 구조물의 부식을 촉진시킨다.

황산화물의 제어방법으로는 습식법과 건식법이 있는데 습식법은 제거율은 좋지만 용수를 사용하므로 폐수를 처리해야 하는 단점이 있다. 최근에는 소석회 슬러지를 반응기 내에 분무하여 SO_2도 제거하고 다이옥신도 함께 제거하는 반건식법을 많이 사용하고 있다.

2.1.2. 이산화질소(NO_2)

NO_2는 적갈색의 반응성이 큰 기체이며, 대기 중에서 일산화질소(NO)의 산화에 의해서 생성되며, 휘발성유기화합물과 반응하여 오존(O_3)을 생성하는 전구물질의 역할을 한다.

도시에서 NO_X는 자연 대기 중에도 0.006 ppm 정도 존재하지만 대부분이 물질 연소 과정에서 발생한다. 보일러 배기가스는 200 ~ 1,500 ppm, 자동차 배기가스에는 1,000 ~ 4,000 ppm의 NO_X가 포함되며, 주요 발생원은 공장 연료연소시설, 소각로, 자동차, 질산 제조, 비료 제조, 금속의 산 세정 시설 등이 있다.

NO_X의 인체 영향을 살펴보면, 일산화질소(NO)보다는 NO_2가 인체에 더욱 큰 피해를 준다. 고농도의 NO_2에 노출되면 눈, 코 등의 점막 자극에서 만성 기관지염, 폐렴, 폐출혈, 폐수종의 발병으로까지 발전할 수 있는 것으로 보고되고 있으며, 식물피해는 식물 세포를 파괴하여 꽃식물의 잎에 갈색이나 흑갈색의 반점이 생기게 한다.

고정 발생원에서 배출되는 NO_X는 연소방법의 개선 등으로 발생 전에 배출을 억제하는 방법이 있고 배출된 NO_X에 대해서는 촉매환원법, 활성탄 흡착법, 흡수

법 등이 있으나 최근에는 촉매 존재 상태에서 NO_X를 NH_3로 환원시켜 무해한 N_2 가스로 배출시키는 방법을 많이 사용하고 있다.

또한 자동차 배출가스는 삼원촉매장치를 사용하여 라듐 촉매로 NO_X를 N_2로 환원시켜 배출하는 방법을 주로 사용하고 있다.

2.1.3. 오존(O_3)

O_3은 직접 배출원이 없고 대기 중에 배출된 NO_X와 휘발성유기화합물 등이 자외선과 광화학 반응을 일으켜 생성된 PAN(Peroxy Acetyl Nitrate), Aldehyde, Acrolein 등의 광화학 옥시던트의 일종으로 2차 오염물질에 속한다. 전구물질인 휘발성유기화합물은 자동차, 화학공장, 정유공장과 같은 산업시설과 자연적 생성 등 다양한 배출원에서 발생한다.

O_3에 반복 노출 시에는 폐에 피해를 입힐 수 있는데 가슴의 통증, 메스꺼움, 기침, 목 자극, 소화 등에 영향을 미치며 기관지염, 심장질환, 폐기종 및 천식을 악화시키고 폐활량을 감소시킬 수 있다. 특히 기관지 천식환자나 호흡기 질환자, 어린이, 노약자 등에게는 많은 영향을 미치므로 주의해야 할 필요가 있다. 또한 농작물과 식물에 직접적으로 영향을 미쳐 수확량이 감소하기도 하며 잎이 말라 죽기도 한다.

O_3 오염을 줄이기 위해서는 대기 중 O_3 전구물질 특히 Olefin계 탄화수소의 배출을 제어해야 하나 배출원이 불특정하기 때문에 제어방법이 매우 어려운 실정이다. 고정 배출원에서의 제어방법으로는 촉매소각법, 흡착법, 흡수법 등이 있고, 일반적으로 촉매소각법을 많이 사용하고 있다. 연료의 저장이나 운반 과정에서는 증기회수장치에 의한 배출억제방법이 있고 자동차에 대해서는 연료탱크의 증발가스나 블로바이 가스는 Canister 흡수장치를 이용하여 흡수제어하며 배출가스는 질소산화물과 같이 삼원촉매 장치를 이용하여 제어하는 방법이 일반적이다.

2.1.4. 일산화탄소(CO)

CO는 무색, 무취의 유독성 가스로서 연료속의 탄소성분이 불완전 연소되었을 때 발생한다. 배출원은 주로 수송부문이 차지하며, 산업공정과 비수송부문의 연료연소, 그리고 산불과 같은 자연발생원 및 주방, 담배 연기, 지역난방과 같은 실내 발생원이 있다. CO는 대기 체류시간이 계절이나 지역에 따라 10일에서 일 년 이상으로 대기 이동의 좋은 지시자이며 탄소 연료 연소의 주요 추적자이다.

CO의 인체 영향을 살펴보면, 혈액 순환 중에서 산소 운반 역할을 하는 헤모글로빈을 카르복실헤모글로빈으로 변성시켜 산소의 운반 기능을 저하시키며, 고농

도의 CO는 유독성이 있어 건강한 사람에게도 치명적인 해를 입힌다.

CO는 산소가 충분하지 않은 상태에서 물질이 연소될 때 발생되므로 충분한 공기를 공급하면 발생을 억제할 수 있다. 그러나 공기가 과잉 공급되면 NO_X의 발생이 많아지므로 공기량을 조절하여 최적의 연소 조건을 찾는 것이 일산화탄소의 배출을 줄일 수 있는 최상의 방법이다.

2.1.5. 미세먼지(PM-10, PM-2.5)

미세먼지는 대기 중에 부유하거나 흩날려 내려오는 10㎛ 이하의 입자상 물질을 말하는데 직경에 따른 분류로써 미세먼지(PM-10)과 초미세먼지(PM-2.5)가 있다. PM-10은 직경이 10㎛보다 작은 먼지 입자이고 PM-2.5는 2.5㎛보다 작은 먼지입자를 말한다. 1㎛는 1/1000㎜이다. 사람 머리카락의 직경이 50~70㎛이므로 PM-10은 머리카락의 1/5~1/7이고 PM-2.5는 머리카락의 1/20~1/30의 크기 정도가 된다. PM-10은 공기 중 고체상태와 액체상태 입자의 혼합물로 배출되거나 화학반응 또는 자연적으로 생성된다. 사업장 연소, 자동차 연료 연소, 생물성 연소 과정 등 특정 배출원으로부터 직접 발생한다. PM-2.5의 경우 상당량이 황산화물(SO_X), 질소산화물(NO_X), 암모니아(NH_3), 휘발성 유기화합물(VOC_S) 등의 전구물질이 대기 중의 특정 조건에서 반응하여 2차 생성된다. 자연적으로 존재하는 입자로서 광물입자, 소금 입자, 생물성 입자 등이 있다. 미세먼지 조성은 매우 다양하나, 주로 탄소성분, 이온성분(황산염, 질산염, 암모늄), 광물성분 등으로 구성되어 있다.

PM-10은 천식과 같은 호흡기계 질병을 악화시키고, 폐 기능의 저하를 초래한다. PM-2.5는 입자가 미세하여 코 점막을 통해 걸러지지 않고 흡입시 폐포까지 직접 침투하여 천식이나 폐질환의 유병률과 조기사망률을 증가시킨다. 또한 미세먼지는 시정을 악화시키고, 식물의 잎 표면에 침적되어 신진대사를 방해하며, 건축물에 퇴적되어 조각된 유적물이나 동상 등에 부식을 일으킨다.

2.2. 연속자동측정 방법과 원리

2.2.1. 아황산가스(SO_2)

가. 측정방법 : 자외선형광법(Pulse U.V Fluorescence Method)

나. 측정원리 : 단파장영역의 자외선에 의해 여기된(Excited) SO_2 분자로부터 발생되는 형광광도를 측정하여 SO_2 농도를 연속적으로 측정하는 방법이다.

2.2.2. 일산화탄소(CO)

가. 측정방법 : 비분산적외선법(Non-Dispersive Infrared Method)

나. 측정원리 : 광원에서 방사된 적외선이 시료 Cell을 통과할 때 최초의 적외선양과 시료 통과 후의 적외선 양이 시료중의 측정 성분에 의해 흡수되어 차이가 나게 되는 원리를 이용하여 측정한다.

2.2.3. 이산화질소(NO_2)

가. 측정방법 : 화학발광법(Chemiluminescence Method)

나. 측정원리 : 시료 중에 포함되어 있는 NO 또는 NO_x를 연속적으로 측정하는 방법으로 먼저 시료 중의 NO와 O_3과의 반응에 의하여 NO_2가 생성될 때 생기는 화학발광강도가 NO농도와 비례관계가 있는 것을 이용하여 NO농도를 측정한다. 또한 NO_x의 경우 시료 중의 NO_2를 Converter를 통하여 NO로 변환시킨 후 NO농도를 구하는 방법과 동일하게 측정하여 얻으며 NO_x에서 NO농도를 뺀 값이 NO_2가 된다.

2.2.4. 오존(O_3)

가. 측정방법 : 자외선광도법(U.V Photometric Method)

나. 측정원리 : 파장 254 ㎚ 부근에서 자외선 흡수량의 변화를 측정하여 환경대기중의 O_3 농도를 연속적으로 측정하는 방법이다.

2.2.5. 미세먼지(PM-10, PM-2.5)

가. 측정방법 : 베타선흡수법(β-Ray Absorption Method)

나. 측정원리 : 대기 중에 부유하고 있는 입자상물질을 일정 시간 여과지 위에 포집하여 베타선을 투과시켜 입자상물질의 중량농도를 측정하는 방법이다. 즉, 베타선을 방출하는 광원으로부터 조사된 베타선이 여과지 위에 포집된 먼지를 통과할 때 흡수, 소멸되는 베타선의 차이로서 측정한다.

2.3. 대기환경기준

환경정책기본법은 사람의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 유지하기 위해 표 6과 같이 대기환경기준을 설정하여 환경개선을 위한 오염 정도 판단과 예측 및 대책 강구의 척도로 활용하고 있다. 대기환경기준은 1978년 아황산가스에 대한 기준을 최초로 설정한 이래 현재까지 6회에 걸쳐 항목추가 및 기준이 표 7과 같이 점차 강화되었다.

표 6. 대기환경기준

항 목	구 분	국내환경기준	WHO 권고기준 (2021)	측정방법
아황산가스 (SO_2)	연간평균	0.02 ppm이하	-	자외선형광법
	24시간평균	0.05 ppm이하	40 ㎍/㎥이하	
	1시간평균	0.15 ppm이하	-	
일산화탄소 (CO)	8시간평균	9 ppm이하	24시간평균 4 ㎍/㎥이하	비분산적외선법
	1시간평균	25 ppm이하	-	
이산화질소 (NO_2)	연간평균	0.03 ppm이하	10 ㎍/㎥이하	화학발광법
	24시간평균	0.06 ppm이하	25 ㎍/㎥이하	
	1시간평균	0.10 ppm이하	-	
미세먼지 (PM-10)	연간평균	50 ㎍/㎥이하	15 ㎍/㎥이하	베타선흡수법
	24시간평균	100 ㎍/㎥이하	45 ㎍/㎥이하	
초미세먼지 (PM-2.5)	연간평균	15 ㎍/㎥이하	5 ㎍/㎥이하	중량농도법 또는 이에 준하는 자동측정법
	24시간평균	35 ㎍/㎥이하	15 ㎍/㎥이하	

항 목	구 분	국내환경기준	WHO 권고기준	측정방법
오존 (O_3)	8시간평균	0.06ppm이하	100 ㎍/㎥이하	자외선광도법
	1시간평균	0.10ppm이하	Peak season 60 ㎍/㎥이하	
납 (Pb)	연간평균	0.5㎍/㎥이하	-	원자흡광광도법
벤젠	연간평균	5㎍/㎥이하	-	가스크로마토 그래피

주 : 1. 1시간 평균치는 999천분위수의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니 되고, 8시간 및 24시간 평균치는 99백분위수의 값이 그 기준을 초과하여서는 아니 된다.

2. 미세먼지(PM-10)는 입자의 크기가 10 ㎛ 이하인 먼지를 말한다.

3. 초미세먼지(PM-2.5)는 입자의 크기가 2.5 ㎛ 이하인 먼지를 말한다.

표 7. 대기환경기준 체계 변경 및 강화내역

항 목	기준시간	'78	'83	'91	'93[주3]	'01	'07	'12	'18
아황산가스 (ppm)	년	0.05	0.05	0.05	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
	일	0.15	0.15	0.15	0.14	0.05	0.05	0.05	0.05
	시간	-	-	-	0.25	0.15	0.15	0.15	0.15
일산화탄소 (ppm)	월	-	8	8	-	-	-	-	-
	8시간	-	20	20	9	9	9	9	9
	시간	-	-	-	25	25	25	25	25
이산화질소 (ppm)	년	-	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.03
	일	-	0.15	0.15	0.08	0.08	0.06	0.06	0.06
	시간	-	-	-	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1
총먼지 (㎍/㎥)	년	-	150	150	150	-	-	-	-
	일	-	300	300	300	-	-	-	-
미세먼지[주1] (PM-10 ㎍/㎥)	년	-	-	-	80	70	50	50	50
	일	-	-	-	150	150	100	100	100
초미세먼지[주2] (PM-2.5 ㎍/㎥)	년	-	-	-	-	-	-	25[주5]	15[주6]
	일	-	-	-	-	-	-	50[주5]	35[주6]
오존 (ppm)	년	-	0.02	0.02	-	-	-	-	-
	8시간	-	-	-	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
	시간	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

항 목	기준시간	'78	'83	'91	'93[주3]	'01	'07	'12	'18
납 (㎍/㎥)	년	-	-	-	-	0.5	0.5	0.5	0.5
	3개월	-	-	1.5	1.5	-	-	-	-
탄화수소 (ppm)	년	-	-	-	-	-	-	-	-
	시간	-	10	10	-	-	-	-	-
벤젠 (㎍/㎥)	년	-	-	-	-	-	5[주4]	5	5

※ 1시간 평균치는 999천분위수의 값이 그 기준을 초과해서는 안 되고, 8시간 및 24시간 평균치는 99백분위수의 값이 그 기준을 초과해서는 안 된다.

※ 주 : 1. 미세먼지(PM-10)은 입자의 크기가 10 ㎛이하인 먼지를 말한다.

2. 초미세먼지(PM-2.5)는 입자의 크기가 2.5 ㎛이하인 먼지를 말한다.

3. 1993년 아황산가스 기준 강화 및 1시간기준 신설, 미세먼지(PM-10) 기준 신설 (1995년 적용)

4. 2007년 벤젠기준 신설 (2010년 적용)

5. 2011년 PM-2.5기준 신설 (2015년 적용)

6. 2018년 PM-2.5기준 강화 (2018년 3월 27일 적용)

2.4. 대기오염물질 배출 변화

대기오염물질 배출원은 배출 오염물질의 특징에 따라 다양하게 분류할 수 있으나, 일반적으로 인위적 배출원(anthropogenic source)과 자연적 배출원(natural source)으로 나뉜다.

자연적 배출원은 생물배출원(biogenic source)과 비생물 배출원(non-biogenic source)으로 구분되나, 비생물 배출원은 발생기작이 명확히 규명되지 않았고, 인위적 개입이 불가능하기 때문에 일반적인 규제 대상으로 고려하지 않는다.

인위적 배출원은 물리적 배출 형태에 따라 크게 고정배출원(stationary source)과 이동배출원(mobile source)으로 나눌 수 있으며 이들은 다시 점오염원(point source), 선오염원(line source), 면오염원(area source)으로 구분한다.

2.4.1. 인구현황

지역의 인구수는 고정배출원이나 이동배출원의 증감과 상호 밀접한 관련성을 갖는다. 표 8에서 볼 수 있듯이 천안, 아산, 서산의 인구는 2020년까지 증가하고 그 외 시·군은 감소세를 보인다. 충남 인구변화 현황을 살펴보면 2012년 충남인구의 급격한 감소가 눈에 띄는데 이는 연기군이 세종특별자치시로 편입되었기 때

문이며 이후 2018년까지 다시 꾸준한 증가세를 보이다 이 후 소폭감소하고 있다.

표 8. 인구 현황

(단위 : 천명)

연 도	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21
천안시	551	586	596	607	615	623	636	650	666	673	679	677
공주시	127	127	119	118	115	113	112	110	110	109	107	107
보령시	108	108	107	107	107	107	107	106	105	104	103	103
아산시	264	285	285	299	307	311	318	328	330	333	335	333
서산시	161	164	164	169	171	174	175	176	179	179	180	180
논산시	130	131	131	129	128	128	127	126	124	123	121	121
계룡시	43	43	42	41	41	42	43	44	44	43	43	43
당진시	142	154	159	164	168	170	172	173	174	173	172	172
금산군	57	57	57	57	57	56	56	56	55	55	54	54
부여군	76	75	75	74	73	72	71	70	69	68	67	66
서천군	61	60	60	59	59	58	57	56	55	54	53	53
청양군	33	33	33	33	33	33	33	33	33	32	32	32
홍성군	89	90	90	91	94	96	102	104	103	103	103	102
예산군	88	88	87	87	87	85	83	82	82	81	80	80
태안군	64	64	63	63	64	65	65	65	65	64	64	64
연기군	81	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
충남	2,075	2,149	2,068	2,098	2,117	2,134	2,157	2,181	2,195	2,194	2,192	2,186

※ 2012년 7월 1일부터 행정구역 변경: 연기군이 세종특별자치시로 편입, (자료출처 : 도정주요통계)

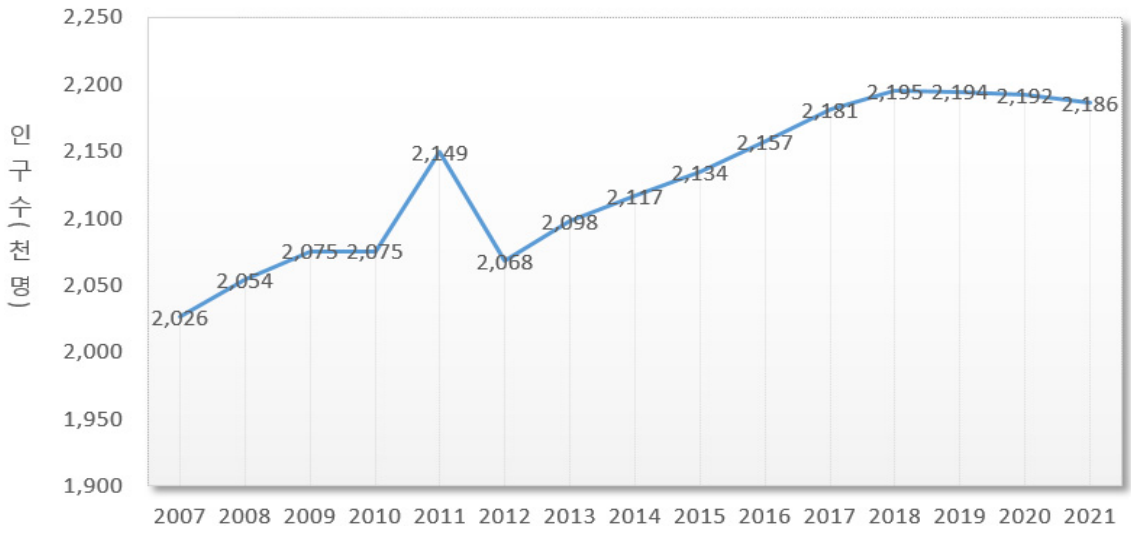


그림 2. 충남 인구 변화 현황

2.4.2. 고정오염원

고정오염원은 발전소, 대형사업장, 소각시설 등과 같이 배출 규모가 큰 점오염원과 주거, 상업, 산업 등과 같이 소규모 배출 시설이 밀집하여 일정 면적당 배출량을 관리하는 면오염원으로 구분된다. 그림 3과 표 9는 미세먼지 경보제에 따른 권역별 대기배출업소 현황이다. 2020년을 기준으로 보면 북부권역 54.1 %, 서부권역 18.8 %, 동남부권역 21.0 %로 대기오염물질배출사업장의 절반이상이 북부권역에 밀집되어 있다.

표 9. 지역별 대기배출업소 현황

(단위 : 개소)

연도	북부권			서부권						동남부권						충남
	천안	아산	당진	서산	보령	서천	예산	홍성	태안	공주	논산	계룡	금산	부여	청양	
2020	**1,037**	**669**	**365**	**185**	**106**	**57**	**217**	**110**	**44**	**180**	**245**	**17**	**240**	**75**	**45**	**3,828**
2019	1,032	649	341	182	119	57	219	102	43	170	248	21	152	78	45	3,711
2018	1,012	645	322	179	103	56	205	99	42	171	248	18	237	71	43	3,709
2017	782	641	300	173	100	56	184	94	42	169	237	16	230	71	38	3,388
2016	763	605	292	164	100	51	167	93	43	159	246	16	231	70	41	3,293
2015	731	565	266	144	102	48	158	96	45	138	203	15	217	68	39	3,081
2014	593	506	238	133	92	59	119	95	40	128	204	10	199	61	37	2,747
2013	577	496	265	156	102	61	131	97	45	118	214	12	199	66	49	2,588
2012	829	512	249	152	116	60	124	106	50	169	174	12	196	87	41	2,877
2011	746	471	262	190	106	55	136	97	56	148	258	12	180	93	45	3,081
2010	681	390	174	135	107	64	119	92	57	168	213	10	168	96	25	2,707
2009	677	359	167	134	105	65	110	85	56	160	229	10	152	92	38	2,596
2008	665	365	162	127	126	63	108	83	52	152	213	11	167	92	39	2,915
2007	648	416	168	119	126	65	105	83	90	147	207	10	163	109	42	3,018

자료출처 : 충청남도 통계연보(2021)

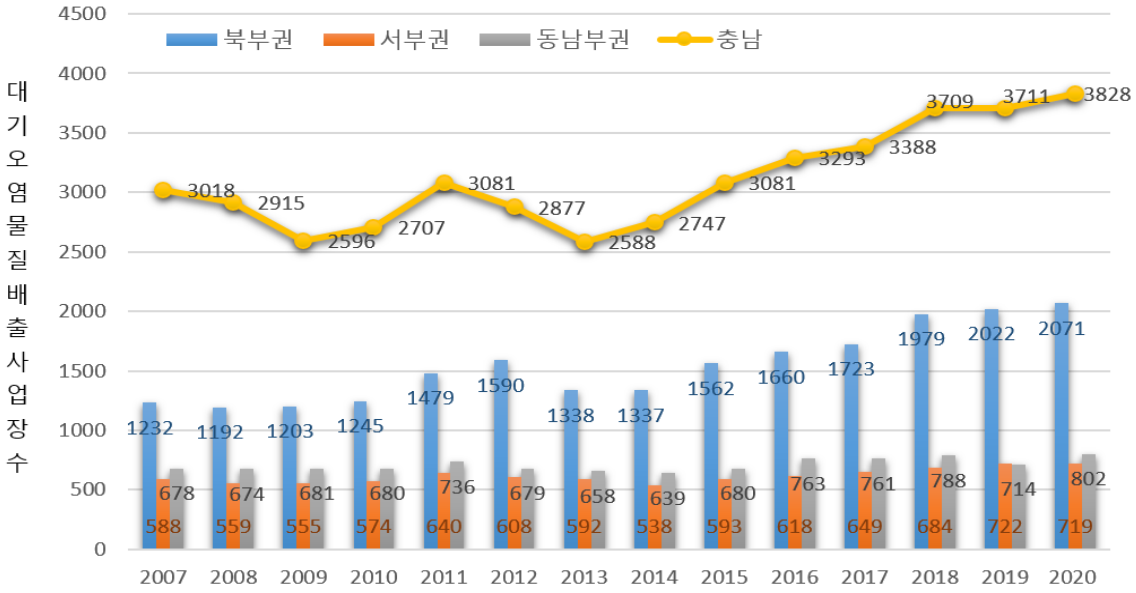


그림 3. 권역별 대기오염물질 배출사업장수 변화

연료의 사용량에 따라 구분하는 종별 대기오염물질 배출사업장 현황인 그림 4와 표 10을 살펴보면 2020년 기준으로 1종 3.1 %, 2종 2.7 %, 3종 3.8 %, 4종 34.7 %, 5종 55.7 %로 나타났으며, 업체수로 보면 4 ~ 5종사업장이 90.4 %로 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다.

표 10. 사업장 종별 대기오염물질 배출사업장 현황

(단위 : 개소)

연도	사업장 종별				
	1종	2종	3종	4종	5종
2020	**117**	**104**	**145**	**1,329**	**2,133**
2019	133	107	158	1,278	2,035
2018	134	111	148	1,237	2,079
2017	133	110	123	1,097	1,925
2016	125	117	122	1,057	1,872
2015	123	113	122	916	1,807
2014	110	108	106	801	1,622
2013	105	104	114	752	1,513
2012	106	90	134	807	1,740
2011	120	88	142	860	1,871
2010	65	48	130	770	1,694
2009	51	53	135	742	1,615
2008	158	141	163	797	1,656
2007	159	155	172	802	1,730

자료출처 : 충청남도 통계연보(2021)

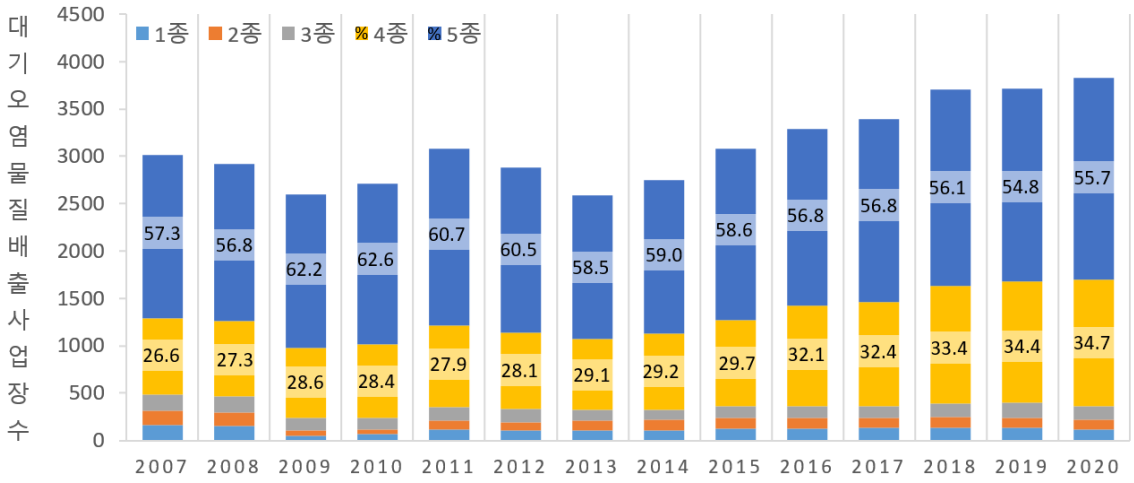


그림 4. 종별 대기오염물질 배출사업장수 변화

2021년 12월 31일 기준으로 충남도내의 석탄화력발전소는 29기이며, 표 11과 같이 보령, 당진, 태안, 서천에 위치하였고 총 시설 용량은 18,246 MW이다.

표 11. 석탄화력발전소 현황

발전소명	위치	발전기수	시설용량(MW)
보령화력발전소(한국중부발전)	보령시(오천,주교)	8	5,088
신서천화력발전소(한국중부발전)	서천군(서면)	1	1,018
당진화력발전소(한국동서발전)	당진시(석문)	10	6,040
태안화력발전소(한국서부발전)	태안군(원북)	10	6,100
합계		29	18,246

자료출처: 전력통계정보시스템(EPSIS), 한국전력통계(2021)

2.4.3. 이동오염원

이동오염원은 자동차, 철도, 항공기, 선박, 농기계 등 움직이는 배출원에 의하여 오염물질을 배출하는 형태를 말한다. 대기오염물질 배출량 가운데 이동오염원이 차지하는 비율은 전체 오염물질의 반 이상을 차지하고 있어 대기오염 관리는 이동배출원의 관리 여부에 따라 달라질 수 있다.

자동차는 이동배출원 중 가장 높은 비중을 차지하며 배출 위치는 당해 지역 도로망에 따라 좌우된다. 자동차에서 배출되는 오염물질은 차종에 따라 크게 영향을 받는데 트럭, 버스 등 경유 사용 차량에서는 매연 및 질소산화물이, 휘발유 또는

가스를 사용하는 자동차에서는 탄화수소 및 질소산화물이 주로 발생한다. 또 주행 모드에 따라서도 배출오염물질이 달라지는데 공회전 시 일산화탄소가, 가속 및 정속 시 질소산화물이, 감속 시에는 탄화수소가 많이 발생하는 것으로 알려져 있다.

표 12와 그림 5는 충청남도의 자동차 등록 현황을 나타낸 것이다. 2021년 12월말 기준 도내 자동차등록대수는 1,176,350대이고 전년도 대비 2.3 % 증가하였으며 2021년도 권역별 자동차 등록대수 비율을 보면 북부권역 53.3 %, 서부권 27.2 %, 동남부권 19.5 %로 북부권역이 충남 전체 자동차 등록수의 절반 이상을 차치하며 특히, 천안시는 충남 전체 차량의 29 %로 가장 많은 자동차 등록수를 차지하고 있다. 전년대비 증가량은 북부권역 18,595대, 서부권 5,457대, 동남부권 2,453대 증가하여 충남은 26,505대가 증가하였다.

표 12. 자동차 등록 현황

(단위 : 천대)

연도	북부권			서부권						동남부권						충남
	천안	아산	당진	서산	보령	서천	예산	홍성	태안	공주	논산	계룡	금산	부여	청양	
2021	**344**	**182**	**101**	**101**	**55**	**28**	**45**	**55**	**35**	**57**	**64**	**23**	**31**	**36**	**18**	**1,176**
2020	337	173	99	98	54	28	45	54	35	57	64	23	31	36	18	1,150
2019	325	167	96	95	53	28	44	53	34	56	63	22	30	35	18	1,118
2018	316	162	94	92	52	28	43	52	33	55	62	22	30	35	18	1,094
2017	301	157	91	88	51	27	42	51	33	53	61	21	29	34	17	1,058
2016	287	148	88	85	49	27	41	49	31	53	59	20	29	34	17	1,015
2015	272	140	84	81	45	26	40	44	30	51	57	19	28	33	16	967
2014	259	133	79	77	45	25	39	41	28	50	55	18	27	32	15	925
2013	248	126	75	73	44	25	38	39	27	50	53	17	26	31	14	887
2012	240	119	71	70	43	24	37	37	27	49	52	17	52	30	14	882
2011	232	114	67	68	42	23	37	36	26	51	51	17	26	29	13	869
2010	222	108	63	66	41	23	36	35	25	50	50	17	24	29	13	834
2009	211	102	59	63	40	22	34	34	25	48	49	17	23	28	12	797
2008	205	94	55	60	38	21	33	33	23	46	47	16	22	27	12	762
2007	201	84	52	57	37	21	32	32	22	45	46	14	21	26	11	733

자료출처 : 충청남도 통계연보(2021), 통계정보관

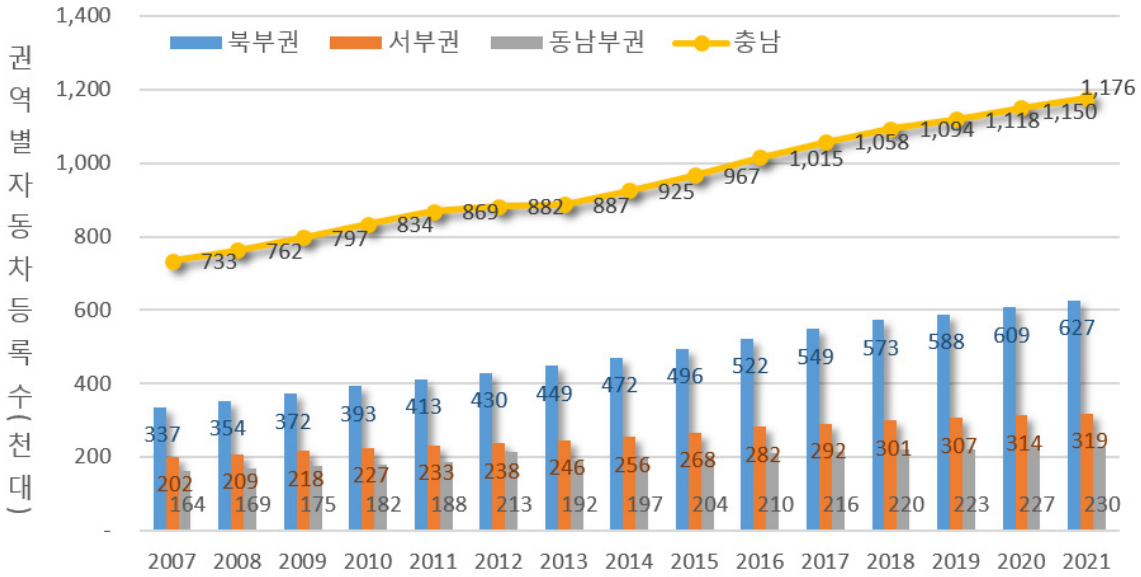


그림 5. 연도별 자동차 등록대수

표 13과 그림 6과 같이 차종별 등록현황을 살펴보면, 2021년 전체 등록차량 중 승용차가 76.9 %, 화물차가 19.1 %로 전체 자동차의 96 %가 승용차와 화물차임을 고려할 때 승용차와 화물차에 대한 적절한 관리가 중요하다. 또한 승용차도 사용하는 연료별로 경유, 휘발유, 가스차 등으로 구분되며 화물차의 경우 미세먼지 등 대기환경 악화에 영향을 미치는 기여도가 높은 경유차량으로 체계적인 관리도 필요해 보인다. 차종별 전년대비 증가율은 특수차가 17.9 %로 가장 높았고, 승용차 8.92 %, 화물차 0.5 % 증가하였고, 승합차는 3.13 % 감소하였다. 전년대비 차량대수는 승용차가 25,707대, 화물차 1,118대, 특수차 975대가 증가하였고 반면 승합차는 1,295대 감소함을 알 수 있다.

표 13. 차종별 등록 현황

(단위 : 대)

연도	승용차	승합차	화물차	특수차
2021	**904,827**	**40,036**	**225,057**	**6,430**
2020	879,120	41,331	223,939	5,455
2019	848,515	42,498	222,248	4,856
2018	825,081	43,528	220,317	4,656
2017	792,859	44,363	215,860	4,433
2016	755,208	44,783	211,110	4,043
2015	714,064	45,562	205,881	3,655
2014	675,335	46,110	199,842	3,364
2013	642,732	46,823	194,484	3,029
2012	615,863	46,764	190,399	2,905
2011	595,145	47,710	188,838	2,773
2010	587,662	50,401	193,685	2,643
2009	554,070	50,654	189,671	2,523
2008	522,574	50,504	186,751	2,458
2007	495,364	49,888	185,265	2,377

자료출처 : 충청남도 통계연보(2021), 통계정보관

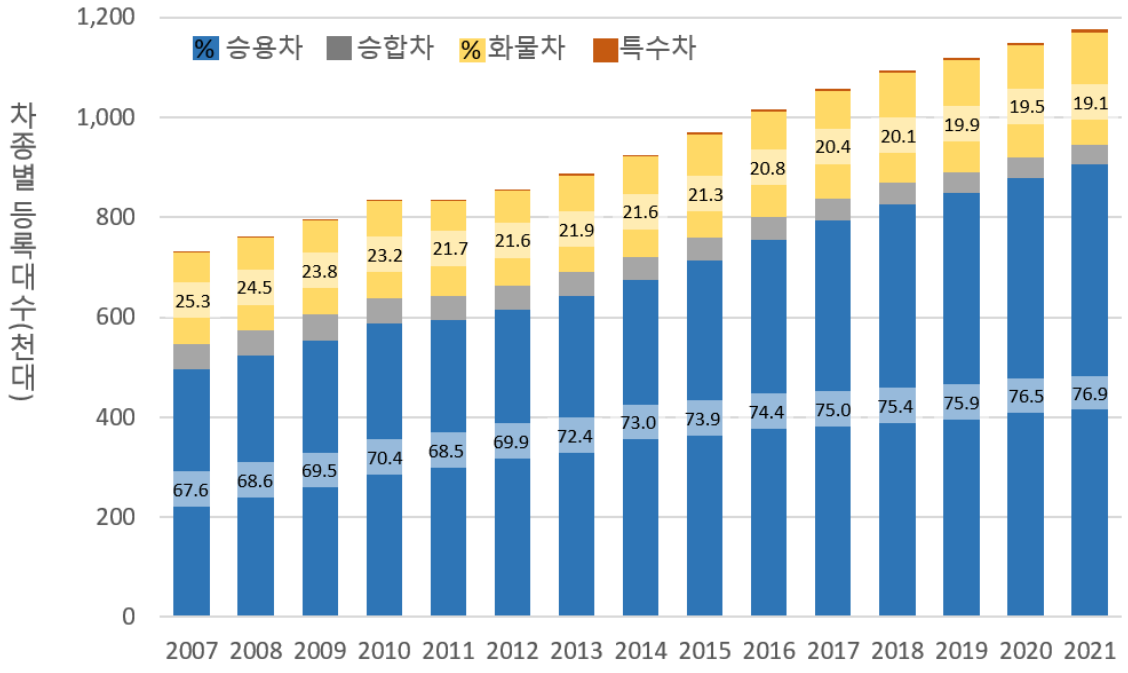


그림 6. 연도별 차종별 자동차 등록대수 변화

2.4.4. 연료 사용량

대기 중 오염물질의 배출량은 연료의 종류와 소비량에 영향을 받는다. 에너지경제연구원의 2021 중기 에너지수요전망(2020 ~ 2025)에 따르면 우리나라의 석탄 소비는 2010년대 초반까지 발전용과 제철용 중심으로 빠르게 증가했으나 2015 ~ 2020년 철강업 경기 부진과 미세먼지 대책으로 석탄 발전이 제한됨에 따라 소비량이 감소하였고, 석유 소비는 2015 ~ 2020년 유가 상승과 함께 증가세가 점차 둔화되었으며 천연가스 소비는 에너지전환 정책 등으로 빠르게 증가하고 있다.

충남의 경우, 통계연보 자료에 따르면 표 14와 그림 7과 같이 2015 ~ 2020년 에너지 소비는 석탄을 제외하고 2015년 대비 6.6 %(전력) ~ 151 %(신재생 및 기타)까지 상승하였다. 2020년 충남의 에너지 소비는 석유가 64 %로 가장 많았고 석탄, 전력, 천연 및 도시가스, 신재생 및 기타, 열에너지 순이었다.

표 14. 연도별 에너지 소비량 변화

(단위 : 1,000toe[1])

연도	계	석탄	석유	천연 및 도시가스	전력	열에너지	신재생 및 기타[2]
2020	**37,167**	**7,052**	**23,879**	**1,423**	**4,336**	**35**	**442**
2019	37,223	7,348	23,441	1,503	4,528	34	368
2018	37,364	7,584	23,440	1,438	4,473	34	395
2017	35,968	7,324	22,526	1,391	4,316	28	385
2016	34,086	5,660	22,673	1,317	4,167	22	248
2015	32,492	7,650	19,296	1,288	4,067	16	176

주 1) : 단위 TOE(Tonnage of Oil Equivalent)는 각종 에너지의 열량을 석유 1톤당 열량값임 10^7Kcal로 환산한 것임

주 2) : 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」 개정(2019)에 따라 신재생에너지를 "신재생 및 기타"로 표기

자료출처 : 충청남도 통계연보(2021)

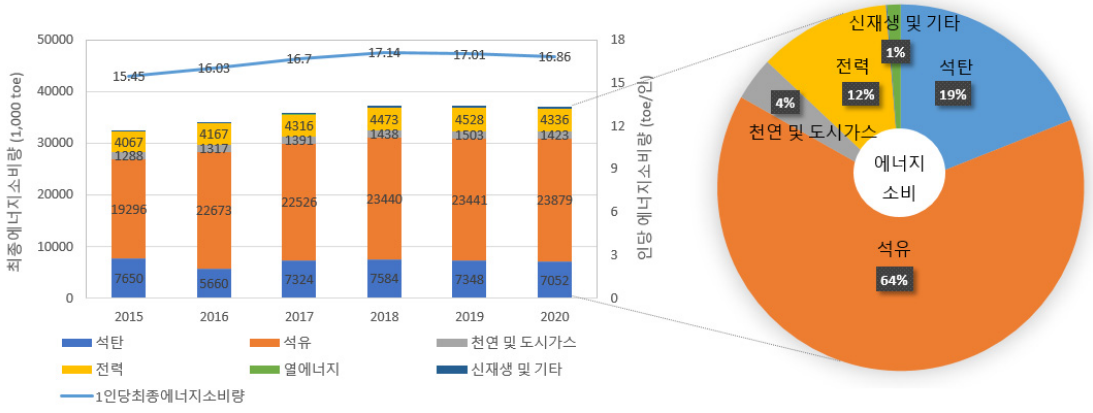


그림 7. 연도별 에너지 소비량

충남의 에너지 소비가 가장 많은 석유의 부문별 사용량을 표 15에서 살펴보면, 휘발유와 경유의 소비는 육상 수송부문에서 각각 97 %, 86 %를 차지하였고, 등유는 농수산부문에서, 벙커C유는 해상 수송부문에서, LPG는 제조산업 부문에서 대부분 사용하였다. 납사는 제조업에서만 사용하는 것으로 나타났다.

표 15. 2020년 부문별 석유 사용량

(단위 : kℓ)

부문		휘발유	등유	경유	벙커C유	LPG	납사
산업		23,978	35,737	182,528	9,709	3,652,825	23,816,917
	농수산	15,731	27,474	88,412	556	842	0
	광업	16	32	2,828	0	0	0
	제조	7,198	6,721	35,228	8,835	3,629,562	23,816,917
	건설	1,033	1,510	56,060	318	22,421	0
에너지		0	5,418	11,616	0	18,893	0
수송		703,848	64	1,524,916	245,882	226,194	0
	철도	0	0	0	0	0	0
	육상	703,848	64	1,505,736	0	226,194	0
	해상	0	0	19,179	245,882	0	0
	항공	0	0	0	0	0	0
가정		79	237,746	7,611	763	93,513	0
상업		318	5,736	9,216	381	82,088	0
공공		763	1,827	10,297	207	1,796	0

자료출처 : 2021 지역에너지통계연보(에너지경제연구원)

충남의 연도별 석유 사용량을 표 16에서 살펴보면, 벙커C유와 LPG를 제외한 석유류 연료의 소비량은 변화가 적은 반면 벙커C유는 2012년 이후 큰 폭 감소 후 등락을 반복하고 있다. LPG의 경우 2018년 이후 사용량이 급등하고 있다.

에너지경제연구원의 「중기 LPG 수급 전망 연구」(2020)에 따르면 우리나라 전체의 LPG 소비는 2015년까지 지속적인 감소 추세를 이어오다 산업 부문의 석유화학 원료용 소비 증가로 2016년 반등하기 시작했다. 최근 LPG 사용의 상승세는 산업 부문 소비 증가와 정부의 미세먼지 대책으로 인한 LPG 자동차 지원 정책 등의 영향으로 산업 부문에서 납사 대신 LPG를 원료로 사용하는 설비 증설이 진행되어 향후 LPG 사용량은 더욱 증가할 것으로 예상했다.

충남에 위치한 석유화학회사 또한 LPG 원료를 사용하는 설비 증설이 활발히 진행되고 있고 LPG 사용의 대부분이 산업부분 제조업인 점을 감안하면 석유화학 원료용 외의 LPG수요가 다소 위축되더라도 LPG 사용량은 계속해서 증가할

것으로 예상된다.

표 16. 연도별 석유 사용량 변화

(단위 : kℓ)

연도	계[1)]	휘발유	등유	경유	벙커C유	LPG	기타[2)]
2020	**3,455,916**	**729,033**	**286,497**	**1,786,195**	**256,941**	**4,075,308**	**397,250**
2019	3,401,991	739,446	278,131	1,840,304	161,801	2,781,524	382,309
2018	3,458,511	718,344	311,460	1,810,540	244,682	1,923,691	373,485
2017	3,245,976	701,698	317,467	1,784,920	301,586	1,229,403	140,305
2016	3,131,414	689,845	315,589	1,728,350	367,896	1,730,258	29,730
2015	2,788,964	642,613	250,718	1,611,780	250,877	1,046,433	32,976
2014	2,589,001	610,976	228,619	1,590,953	127,028	1,647,074	31,425
2013	2,961,387	636,871	291,106	1,684,023	304,294	1,814,798	45,093
2012	3,077,497	629,259	352,468	1,700,493	355,806	1,307,684	39,471
2011	3,451,378	618,441	423,151	1,635,557	679,139	1,295,511	95,090
2010	3,518,227	623,217	462,166	1,564,880	704,458	1,032,387	163,506
2009	3,276,824	596,826	420,195	1,531,970	565,347	1,208,400	162,486
2008	3,242,032	557,739	429,507	1,505,578	626,225	1,315,533	122,983
2007	3,388,223	540,737	399,792	1,626,818	757,159	943,389	63,717

주 1) : 휘발유, 등유, 경유, 벙커C유, 기타의 합계(LPG 제외)

주 2) : 경질중유, 중유, 제트유 등을 포함

자료출처 : 충청남도 통계연보(2021)

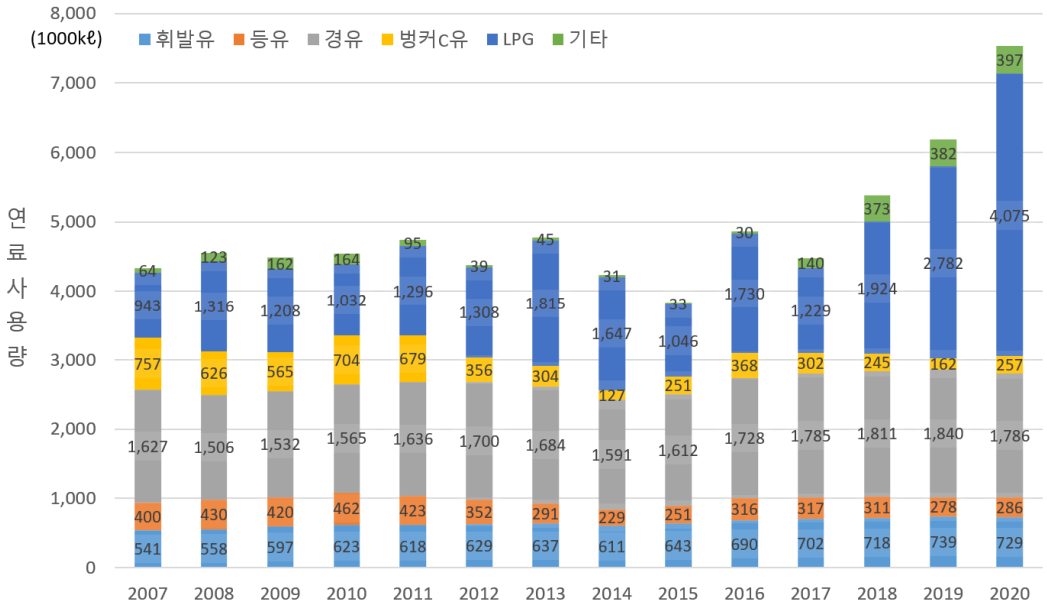


그림 8. 연도별 석유 사용량 변화

Ⅲ. 대기오염도 분석

3.1. 대기환경측정망 설치 현황

3.2. 도시대기측정망

3.3. 도로변대기측정망

3.4. 대기중금속측정망

3.5. 초미세먼지(PM-2.5) 성분분석

3.6. 고농도 사례분석

3.1. 대기환경측정망 설치 현황

2021년 12월 국립환경과학원 대기환경월보에 따르면 2021년 12월 기준으로 전국 도시대기측정망 504개, 도로변대기측정망 56개, 대기중금속측정망 72개가 설치·운영되고 있다. 그림 9에서 보듯이 도시대기측정망의 경우 충남은 전북과 함께 전국에서 5번째로 많고, 그림 10의 대기중금속측정망의 경우 경기도가 가장 많은 7개소를 설치하였으며, 충남은 5개소를 운영하고 있다. 그림 11의 도로변대기측정망의 경우 충남은 경남, 광주, 대구, 대전, 울산, 전북과 같이 2개소를 운영하고 있다.

자료출처 : 대기환경월보(국립환경과학원, 2021년12월)

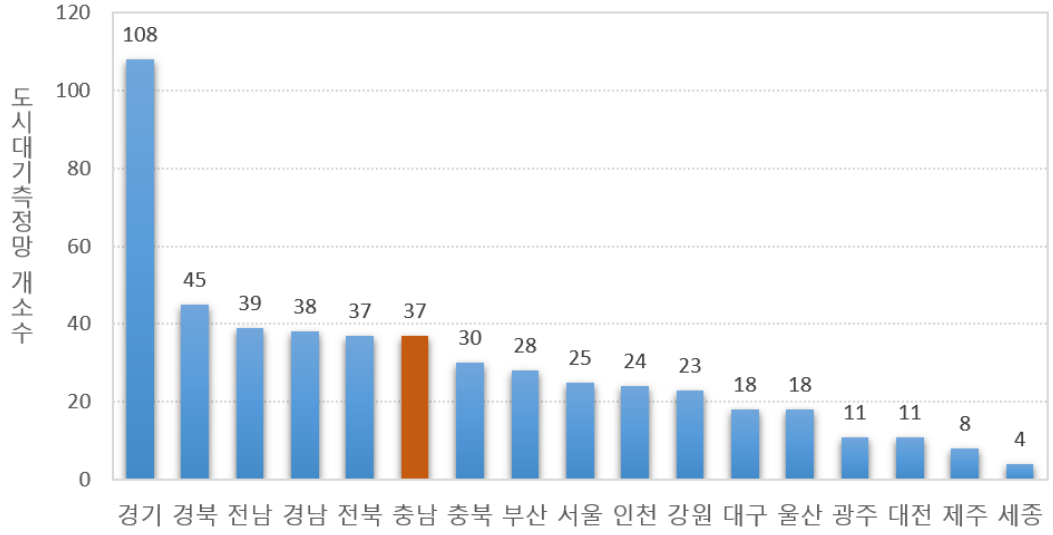


그림 9. 전국 도시대기측정망 현황

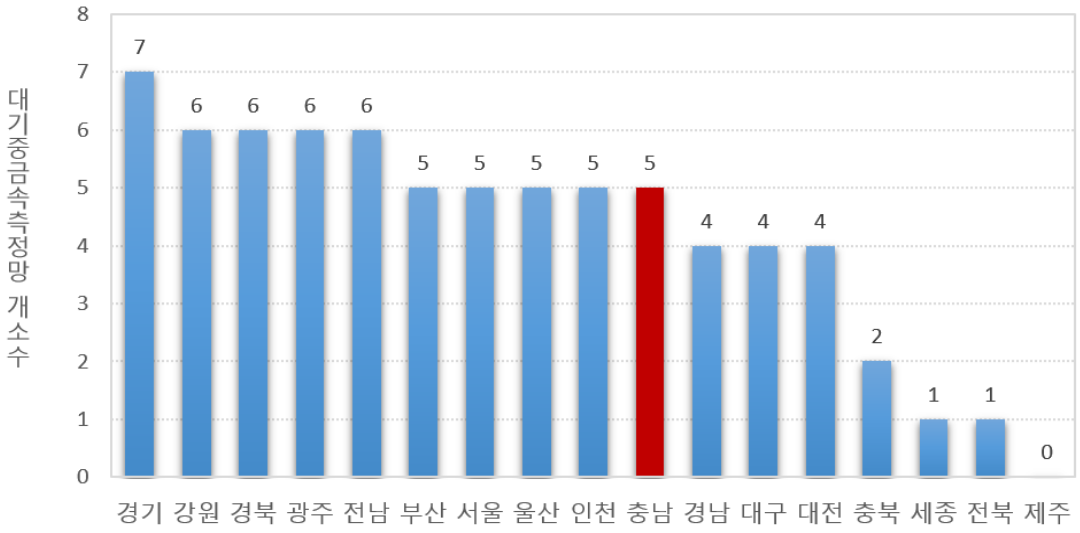


그림 10. 전국 대기중금속측정망 현황

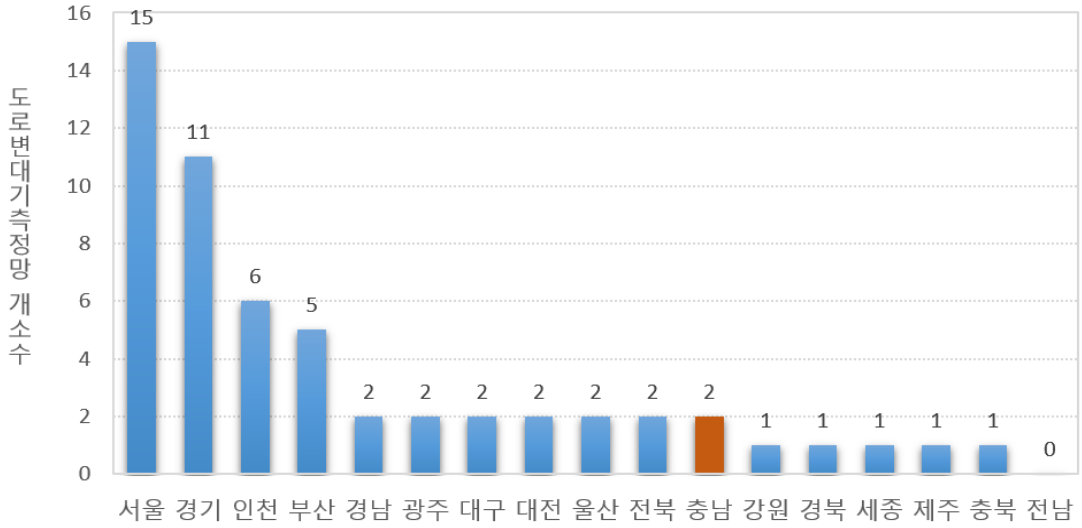


그림 11. 전국 도로변대기측정망 현황

충남은 대기오염 실태를 파악하고 대기질 개선대책 수립에 필요한 기초 자료를 확보하기 위하여 도시대기측정망 37개소, 도로변대기측정망 2개소를 운영하고 있다. 그리고 도시지역 또는 산단 인근지역에서 중금속에 의한 오염실태를 파악하고 오염물질의 발생원 추정 및 방지대책 마련에 필요한 기초 자료확보를 위해 대기중금속측정망 5개소를 운영함으로써 총 44개의 대기환경측정망을 운영하고 있으며, 그림 12와 표 17에서 측정소 위치와 현황을 나타내었다.

도시대기 및 도로변 측정망은 (초)미세먼지(PM-10, PM-2.5), 아황산가스(SO_2), 이산화질소(NO_2), 일산화탄소(CO), 오존(O_3) 등 대기오염물질과 풍향, 풍속, 온도, 습도 등과 같은 기상항목 등을 24시간연속으로 측정하고 있다. 측정된 실시간 자료는 전용회선을 통해 보건환경연구원으로 즉시 전송되며 자료의 검토와 확정 과정을 거쳐 에어코리아(www.airkorea.or.kr, 대기오염도 실시간공개시스템)를 통해 실시간 대기오염 측정자료를 인터넷에 공개함으로써 주민의 건강 피해 예방 및 기업의 물적 손실 방지에 기여하고 있다.

중금속측정망에서는 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 알루미늄(Al), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 비소(As), 베릴륨(Be) 등 12개 항목을 매월 둘째 주 5일간 24시간 연속으로 시료를 채취하고 황사 발생 시에는 추가로 채취하여 분석 및 확정하고 있다.

오존경보제는 1995년 서울에서 시범실시한 후 본격적으로 시행되었고 5월에서 9월까지 운영했으나 2019년부터 4월 15일부터 10월 15일까지 운영기간을 확대하였다. 오존경보는 각 시군별로 시행하고, 미세먼지경보제는 3개권역(북부권역, 서부권역, 동남부권역)으로 나누어 연중 운영하고 있으며 자세한 내용은 4장에서 볼 수 있다.

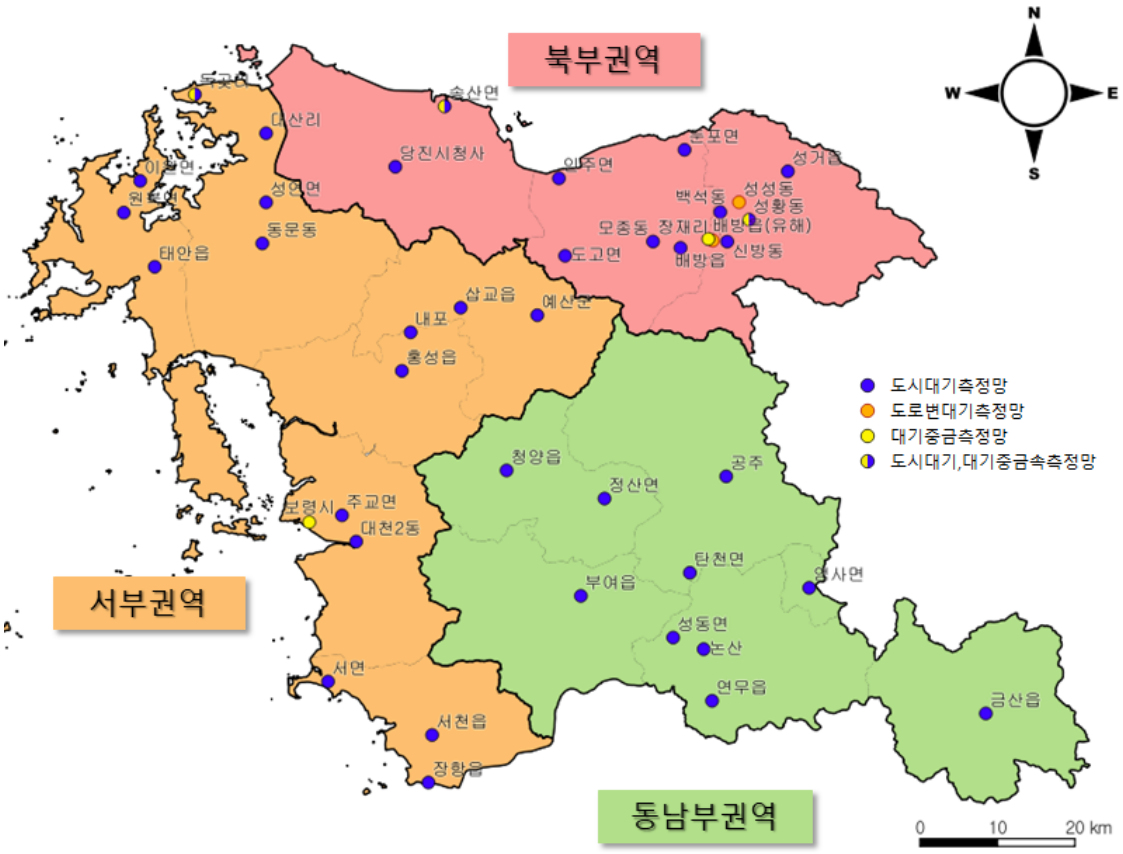


그림 12. 권역별 측정소 위치

표 17. 대기환경측정망 설치 현황

1. 도시 및 도로변 대기측정망

지 역		위 치	용도지역	최초설치년도	비 고	측정망 구 분
천안 (5개소)	성황동	동남구 복자1길 24 문성국공립보육시설	상업	1993	2017 장비교체	도시, 중금속
	백석동	백석동 555-57 백석농공단지관리사무소	공업	2001	2013 장비교체	도시
	성거읍	성거읍 천흥8길 7 천흥산단 족구장	공업	2017	2018.1.18. 가동개시	도시
	신방동	동남구 천안천변길 127 맑은물사업소 하수처리장	자연녹지	2019	2019.12.10. 가동개시	도시
	성성동	성성동 1-70 삼성대로 도로변	도로	2008	2017.10.13 장비교체	도로
공주 (2개소)	공주	봉황로 1 공주시의회	주거	2017	2017.7.5. 가동개시	도시
	탄천면	안터새말길 34 안영1리경로당	계획관리	2019	2020.6.1. 가동개시	도시

1. 도시 및 도로변 대기측정망

지 역		위 치	용도지역	최초설치년도	비 고	측정망 구 분
보령 (2개소)	대천2동	중앙로 142-16 대천2동주민센터	주거	2017	2017.7.5. 가동개시	도시
	주교면	주교면 울계큰길 396 주교면주민자치센터	계획관리	2018	2018.6.19. 가동개시	도시
아산 (6개소)	모종동	모종동 573-2 아산시보건소	주거	2006	2017 장비교체	도시
	배방읍	배방로 38 배방읍행정복지센터	주거	2017	2017.12.14. 가동개시	도시
	도고면	도고면 기곡리 296-4	상업	2018	2018.3.29. 가동개시	도시
	둔포면	중앙공원로 43 중앙공원	공업	2018	2018.3.29. 가동개시	도시
	인주면	인주면 걸매리 1048 인주산단 공원	공업	2018	2018.3.29. 가동개시	도시
	장재리	배방읍 장재리 2116	도로	2021	2021.3.1. 가동개시	도로
서산 (4개소)	독곶리	대산읍 독곶리 1-2 kwater 산업용수 센터	공업	1994	2017.2.27. 이전	도시, 중금속
	동문동	중앙로 38-1 서산초등학교	주거	1996	2020.10.16. 장비교체	도시
	대산리	지곡면 충의로 1942 대산종합시장	상가	2018	2018.5.17. 가동개시	도시
	성연면	성연면 마루들길 15 성연보건지소	계획관리	2019	2019.12.17. 가동개시	도시
논산 (3개소)	논산	시민로 389 부창동취암동행정복지센터	주거	2017	2017.7.1. 가동개시	도시
	연무읍	연무읍 안심로 50 연무읍사무소	주거	2020	2020.8.1. 가동개시	도시
	성동면	산업단지로 5길 73-28 성동산업단지 기숙사	공업	2021	2021.4.1. 가동개시	도시
계룡	엄사면	엄사면 번영7길 17 엄사도서관	주거	2017	2018.3.28. 가동개시	도시
당진 (2개소)	당진시청사	시청1로(수청동 1002) 당진시청	준주거	2017	2018.1.12. 가동개시	도시
	송산면	유곡로 342-27 공공하폐수처리장	공업	2017	2017.12.18. 가동개시	도시, 중금속
금산	금산읍	금산읍 비호로 69 금산읍사무소	주거	2017	2017.12.14. 가동개시	도시
부여	부여읍	부여읍 사비로 36 부여읍행정복지센터	주거	2017	2017.7.1. 가동개시	도시

1. 도시 및 도로변 대기측정망

지 역		위 치	용도지역	최초설치년도	비 고	측정망 구 분
서천 (3개소)	서천읍	서천로 14번길 20 서천문예의전당(주차장)	주거	2017	2018.3.28. 가동개시	도시
	서면	서면 서인로 761 서면보건지소	계획관리	2017	2018.3.28. 가동개시	도시
	장항읍	장항읍 장산로 297	자연녹지	2019	2019.2.1. 가동개시	도시
청양 (2개소)	청양읍	칠갑산로7길 54 청양군보건의료원	주거	2017	2017.12.14. 가동개시	도시
	정산면	칠갑산로 1861 정산커뮤니티센터	주거	2020	2020.9.1. 가동개시	도시
홍성 (2개소)	홍성읍	내포로136번길 29 느티나무어린이집	주거	2017	2017.7.5. 가동개시	도시
	내포	홍북읍 홍예공원로 8	자연녹지	2019	2019.2.1. 가동개시	도시
예산 (2개소)	예산군	예산읍 신흥길 63 예산읍다목적노인회관	주거	2017	2019.10.25 이전	도시
	삽교읍	삽교읍 두리3길 33	주거	2021	20210601 가동개시	도시
태안 (3개소)	이원면	이원면 분지길 14 이원면사무소	주거	2017	2017.7.1. 가동개시	도시
	태안읍	태안읍 군청6길 30 태안군장애인복지관	주거	2017	2017.9.18. 가동개시	도시
	원북면	원북면 상리길 17-4	주거	2021	2021.6.4. 가동개시	도시

2. 중금속대기측정망

지 역		위 치	용도지역	최초설치년도	비고	측정항목
천안	성황동	성황동 35-13 문성국공립보육시설	도시	2009	2009.3.1. 가동개시	중금속
서산	독곶리	대산읍 독곶리 1-2 kwater 산업용수 센터	도시	2009	2009.3.1. 가동개시	중금속
당진	송산면	송산면 유곡로 342-27 공공하폐수처리장	공업	2018	2018.10.1. 가동개시	중금속
보령	보령시	보령시 주교면 척골길 3 옥상	계획관리	2019	2020.12.7. 가동개시	중금속
아산	배방읍(유해)	배방읍 장재로 1351 지산공원	도시	2021	2021.11.8. 가동개시	중금속

※ 백석동의 자료 통계 처리는 2004년부터 실시

※ 성황동: 2008년 12월에 원성동에서 이전 운영하고 있음

※ 송산면: 2017년 11월 14일(가동중단) 정곡리에서 이전하여 2017년 12월 18일부터 운영.

※ 당진시청사: 2017년 12월 18일(가동중단) 난지도리에서 이전하여 2018년 1월 12일부터 운영.

3.2. 도시대기측정망

충남은 2016년까지 7개소였던 대기환경측정망이 2017년 11개소, 2018년 9개소, 2019년 4개소, 2020년 3개소, 2021년 3개소를 추가 설치함으로써 2021년 12월 기준 37개소의 도시대기측정망을 운영하고 있다. 도시대기측정망은 대기 중 아황산가스(SO_2), 이산화질소(NO_2), 오존(O_3), 일산화탄소(CO), 미세먼지(PM-10)과 초미세먼지(PM-2.5)를 측정한다.

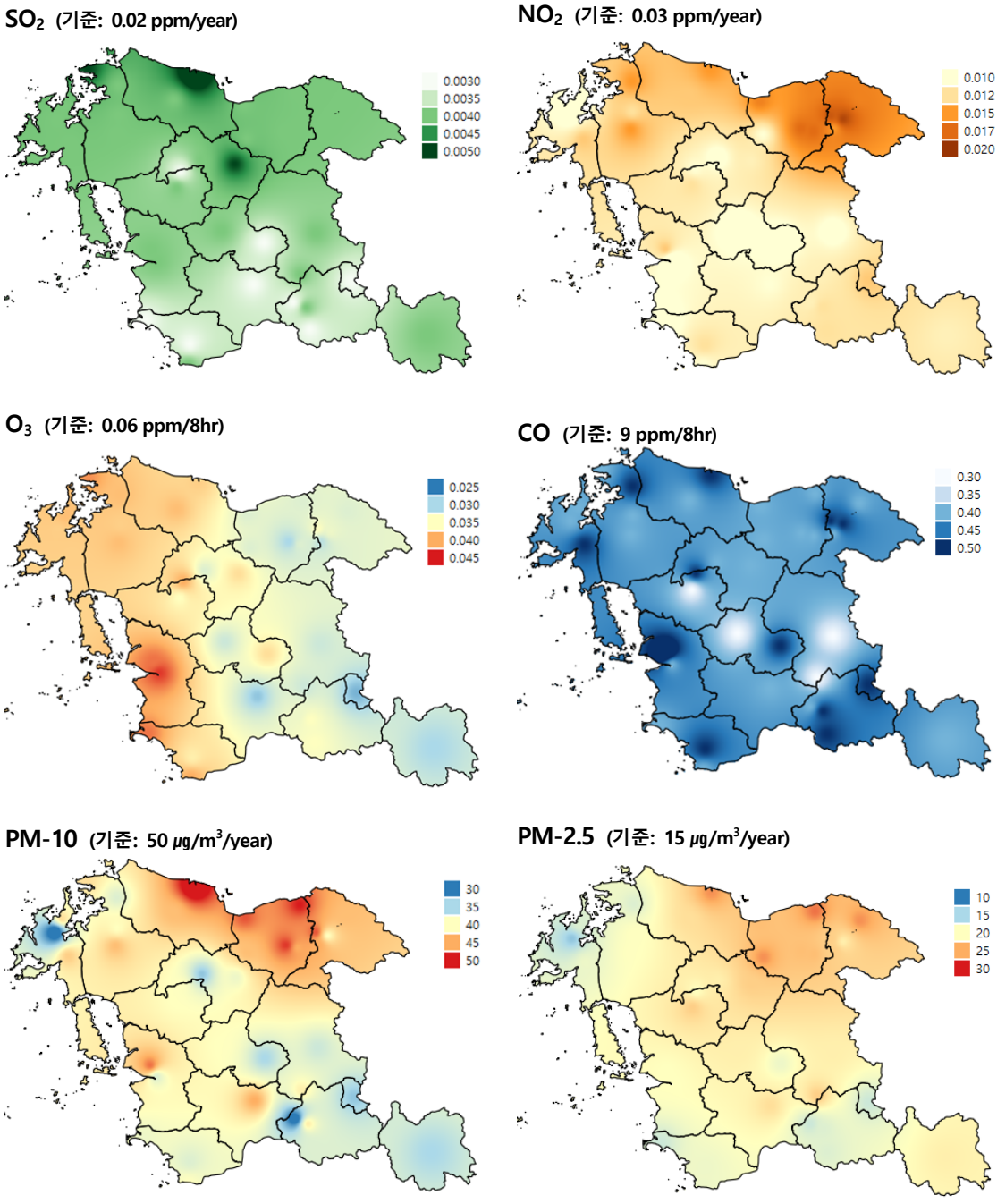


그림 13. 도시대기측정망 연평균 농도분포

그림 13는 2021년 37개소 도시대기측정망을 통해 측정된 각 항목별 연평균농도를 표현한 것으로 연평균 기준이 있는 SO_2, NO_2, PM-10, PM-2.5 중 SO_2, NO_2는 기준을 초과한 측정소가 없으며, PM-10과 PM-2.5의 경우 일부 측정소에서 기준을 초과하였다. 이에 대한 자세한 내용은 3.2.1에서 3.2.5에 기술하였다.

3.2.1. 아황산가스(SO_2)

가. 연평균 변화

표 18은 최근 5년간 전국 및 인근 5개 시·도와 충남의 연평균 SO_2의 농도를 나타낸 것으로 전국 평균에 비해 2017년은 0.001 ppm이 낮고 2018년부터 2020년까지 전국 평균과 동일한 값을 보이다 2021년 전국 평균에 비해 0.001 ppm 높았다. 경기도와 비교하면 2017년 낮은 농도를 보이나 그 이후 같은 농도변화를 보이다 2021년 0.001 ppm 높았다. 인근 시·도 중 가장 낮은 농도는 2020년까지 대전, 2021년 충북으로 나타났다. 또한 2021년 SO_2의 연평균 농도는 0.004 ppm으로 대기환경기준 0.02 ppm의 20 % 수준으로 인근 시·도 중 가장 높은 농도를 보였다.

표 18. 인근 5개 시·도 SO_2 연평균 농도 변화

(단위 : ppm)

구분	전국	충남	경기	세종	대전	충북	전북
2017	0.004	0.003	0.005	0.003	0.003	0.003	0.004
2018	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002	0.004	0.004
2019	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002	0.003	0.003
2020	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.003
2021	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003

자료출처 : 국가대기오염정보관리시스템

전국 황산화물 연도별 배출량 및 SO_2 연평균 농도 변화를 그림 14에 나타내었다. SO_2의 연평균 농도 변화를 살펴보면 전국과 충남 모두 서서히 감소하는 경향을 보이고 있다. 전국 SO_2 연평균 농도는 2001년 0.007 ppm에서 2020년 0.003 ppm까지 감소하였다.

이는 황 함유 기준제도(1981), 고체연료 사용 금지제도(1985), LNG 등 청정연료 사용 의무화 제도(1988) 등 황 저감 정책의 결과이며, 2018년 대기오염물질 배출량 통계(2021)에서도 SOx 배출량이 매년 감소하여 2019년에는 2000년 대비 44.4 % 까지 감소한 것으로 나타났다.

자료출처 : 2019년 대기오염물질 배출량 통계

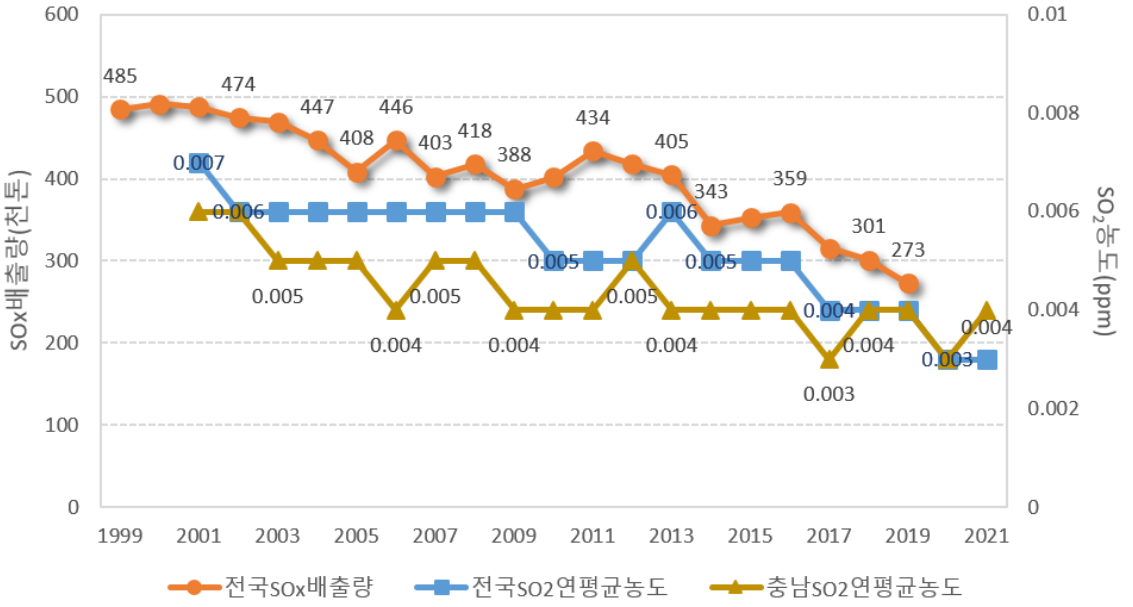


그림 14. 전국 황산화물 연도별 배출량 및 SO_2 연평균 농도 변화

2021년 SO_2의 연평균 농도는 0.003 ~ 0.006 ppm으로 송산면에서 가장 높은 0.006 ppm을 기록하였다. 충남 전지역 연평균 농도인 0.004 ppm을 초과한 측정소는 송산면을 포함하여 독곶리와 예산군으로 3곳이다. 특히 대형 철강산업단지가 위치한 송산면의 경우 측정소 설치 이후부터 충남에 위치한 측정소 중 가장 높은 농도를 나타냈다. SO_2의 연간 대기환경기준(0.02 ppm 이하)을 초과하는 측정소는 없었다.

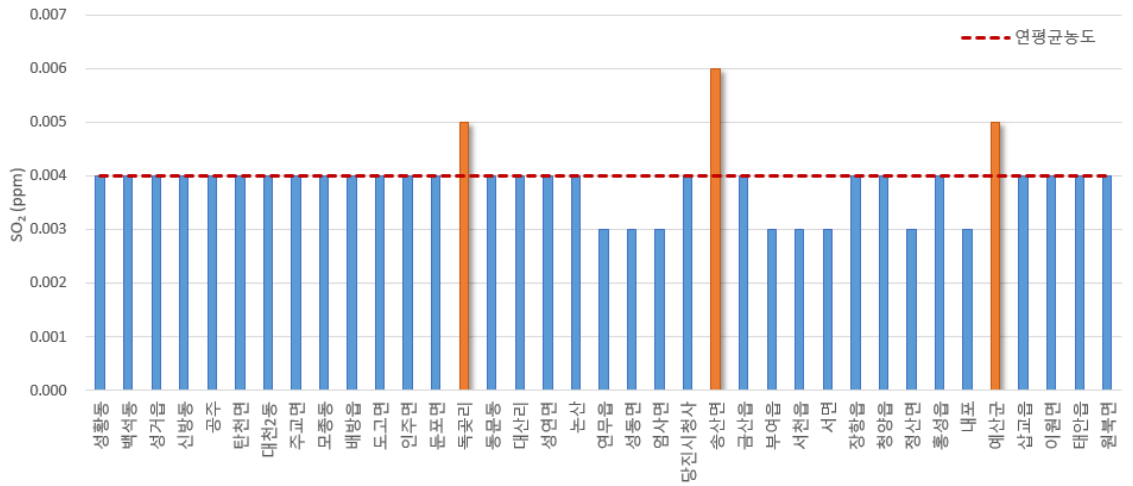


그림 15. 측정소별 SO_2 농도

최근 5년간 도내 시군별 SO_2 연평균 농도를 비교하여 그림 16에 나타내었다. 서산시와 당진시를 제외하고는 2017년 이후 연도별 농도변화가 0.001 ppm으로 큰 변화를 보이지 않았다. 대규모 산업단지가 위치한 서산시와 당진시의 경우 2019년 타측정소에 비해 높은 농도를 보였다. 산업단지의 조업량이나 조업일수에 영향을 많이 받는 곳으로 국가미세먼지정보센터의 2019년 대기오염물질 배출량 정보에 따르면, 당진시과 서산시는 충남 SOx 배출량의 79.6 %를 차지하고 있다. 당진시는 2018년과 2019년 0.006 ppm으로 나타났는데 이는 기존 정곡리와 난지도리 측정소를 2017년 12월과 2018년 1월에 송산면과 당진시청사로 이전함으로써 2017년 대비 0.002 ppm 증가한 0.006 ppm으로 나타났다.

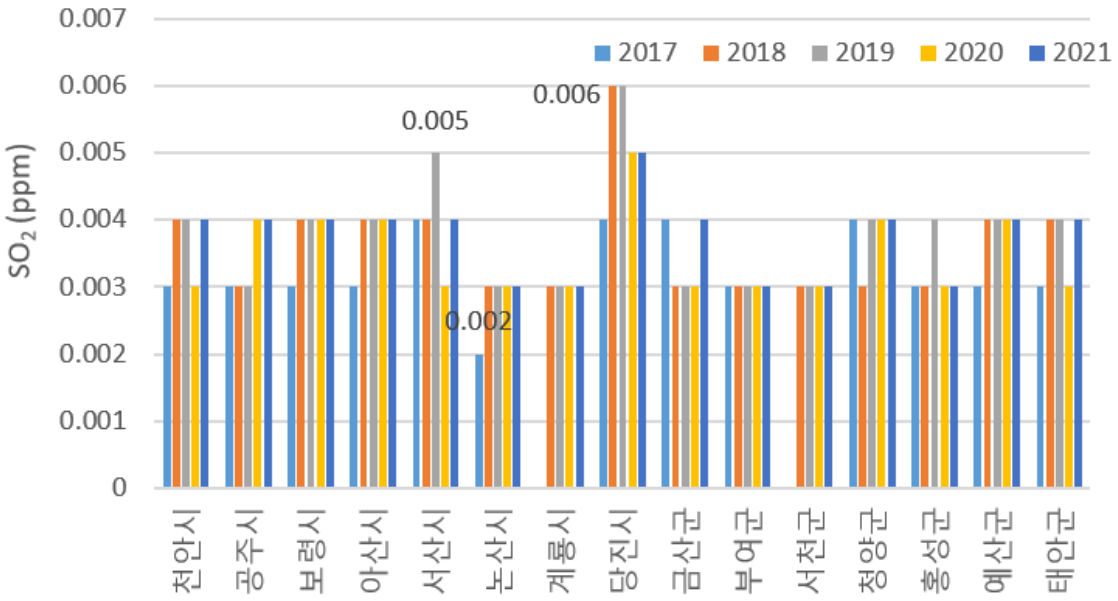


그림 16. 시·군별 SO_2 농도 변화(2017 ~ 2021)

나. 월평균 변화

충남의 최근 10년간의 SO_2 월평균 농도 변화를 비교한 결과는 그림 17과 같다. 과거 SO_2의 월별 농도변화는 U자형 패턴을 보이는데 겨울철과 봄철이 높고 봄철 이후 여름까지 낮아진 후 가을철을 지나면서 겨울철에 다시 상승하였다. 이러한 경향은 겨울철에 난방을 위한 연료 사용량이 증가함에 따라 SO_2 배출량이 증가되고, 여름철에는 난방연료 사용량 감소와 기온 상승에 다른 대기 혼합고의 상승, 활발한 대류현상과 잦은 강우로 인해 오염도가 상대적으로 낮게 나타나는 계절적 요인이 원인으로 보인다. 그러나 그러한 현상은 2012년 뚜렷하게 구분되었다가 점점 연중 큰 변화를 보이지 않는 패턴으로 변하고 있다. 2018년부터 2019년에는 연중 0.003 ~ 0.005 ppm를 기록하며 과거와는 달리 U자형태을 보이지는 않았

으며, 2020년부터 2021년에도 0.003 ~ 0.004 ppm으로 계절적 변화는 나타나지 않았다. 이는 지속적인 SO_2 저감을 위한 정부 정책의 추진과 충남도의 대기오염물질 감축을 위한 자발적 감축 협약 등의 대기오염물질 배출량의 감소를 위한 노력이 그 원인으로 보인다.

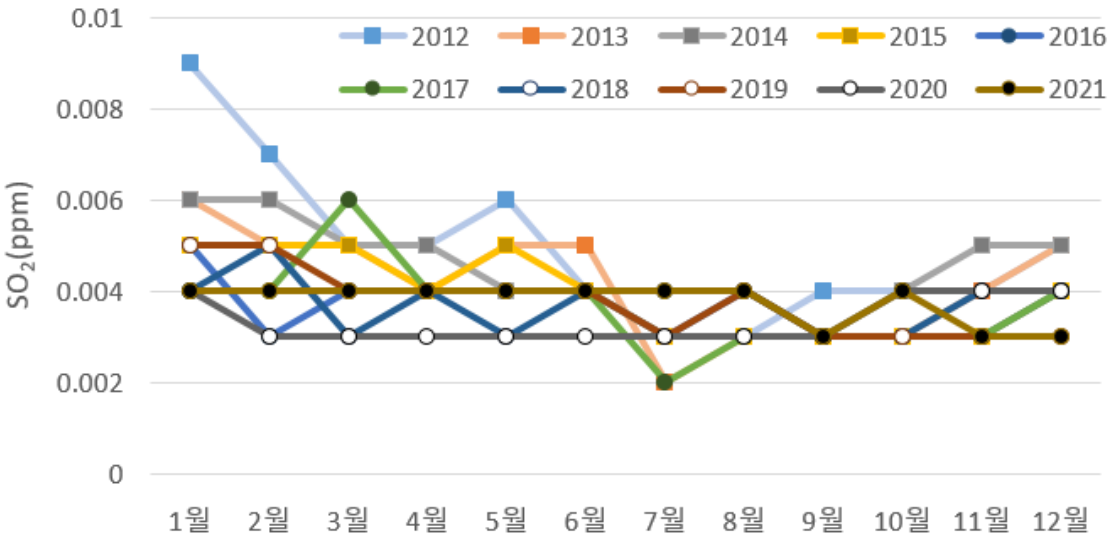


그림 17. SO_2 월별 농도 변화(2012년 ~ 2021년)

일평균자료를 바탕으로 권역에 따른 SO_2의 월별 농도 분포를 그림 18에 상자그림으로 나타내어 농도의 산포도를 알아보았다. 2021년 월별 변화가 크지 않아 뚜렷한 차이를 보이지 않지만 다른 권역에 비해 북부권역의 SO_2 농도 산포도가 크게 나타났으며, 월평균 농도도 높게 나타났다. 특히 3월 북부권역의 일평균농도는 0.003 ~ 0.006 ppm으로 변화폭이 가장 컸다. 농도분포는 모든 권역이 비슷하나 중위수를 기준으로 50 % 분포를 나타내는 박스형태, 최솟값, 최댓값, 평균을 보면 다른 측정소에 비해 북부권역의 농도변화폭이 큰 것으로 나타났다. 권역별 평균 농도는 북부권역이 가장 크고 서부권역, 동남부권역 순으로 나타났다.

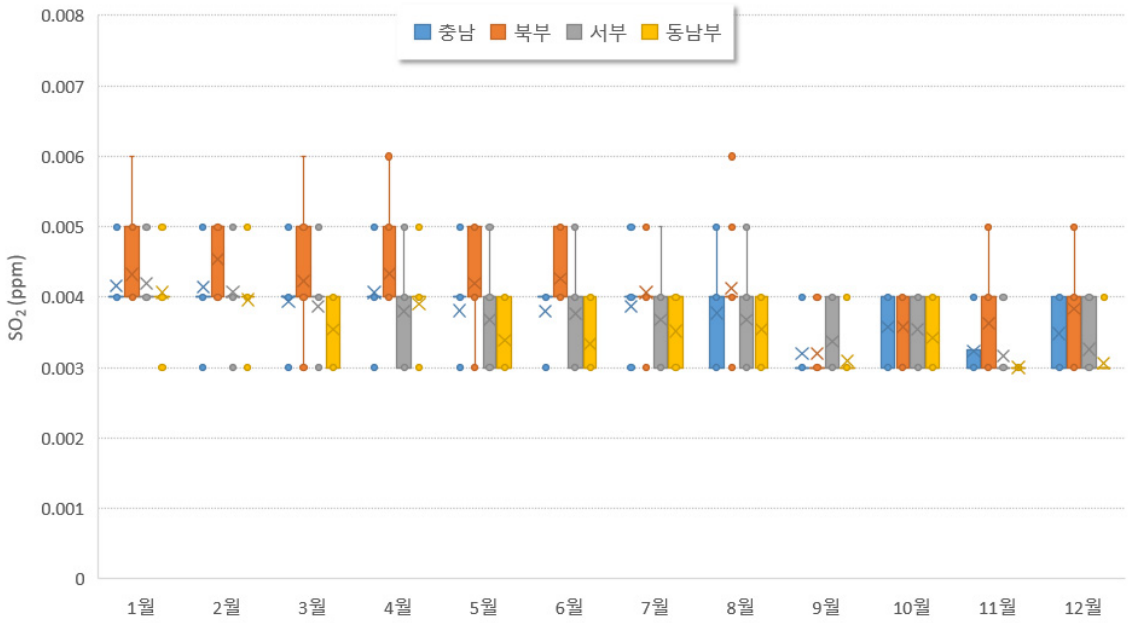


그림 18. 권역에 따른 SO_2 월별 농도 분포

※ 상자의 세로 실선 양끝은 최솟값, 최댓값, 상자 양끝은 25 %, 75 % 값, 상자 가운데 실선은 중위값, x는 월평균 값임.

3.2.2. 이산화질소(NO_2)

가. 연평균 변화

최근 5년간 전국 및 인근 5개 시·도와 충청남도의 연평균 NO_2의 농도를 표 19에 나타내었다. 충남의 연평균 NO_2 농도는 전국 평균에 비해 0.003 ~ 0.006 ppm이 낮았다. 인근 5개 시·도와 비교하면 충남은 전북을 제외한 다른 4개 시·도에 비해 낮은 농도를 보이며 인근 시·도 중에서 가장 낮은 농도를 보이는 곳은 전북이었다.

표 19. 인근 5개 시·도 NO_2 연평균 농도 변화

(단위 : ppm)

구분	전국	충남	경기	세종	대전	충북	전북
2017	0.022	0.016	0.027	0.020	0.018	0.019	0.015
2018	0.020	0.015	0.025	0.018	0.019	0.020	0.013
2019	0.018	0.014	0.024	0.019	0.019	0.018	0.012
2020	0.016	0.013	0.020	0.017	0.018	0.014	0.011
2021	0.015	0.012	0.019	0.016	0.017	0.014	0.011

자료출처 : 국가대기오염정보관리시스템

전국 연도별 NO_x 배출량 및 NO_2 연평균 농도 변화를 그림 19에 나타내었다. 전

국과 충남 모두 2002년 이후 감소하는 경향을 보이며 2016년 이후에는 더 급격한 감소율을 보이고 있다. 국가미세먼지정보센터의 배출량 정보에 따르면 전국 질소산화물 배출량은 2000년 이후 오르내림을 반복하다 2015년 생물성 연소 부문 배출량이 포함되면서 소폭 상승한 이후 2016년부터 다시 감소하는 경향을 보인다. 충남의 질소산화물 배출량은 2019년 기준 전국의 9 % 차지하는 것으로 나타났으며 질소산화물 배출량은 2014년 이후 감소하는 경향을 보이고 2019년은 전년대비 5.8 % 감소율을 보였다.

NO_2의 주요 오염원인이 도로 및 비도로 이동오염원인 것을 감안할 때, 차량등록대수의 계속적인 증가를 보이고 있어 향후 오염증가 가능성에 대한 추가적인 대책이 필요하다.

자료출처 : 2019년 대기오염물질 배출량 통계

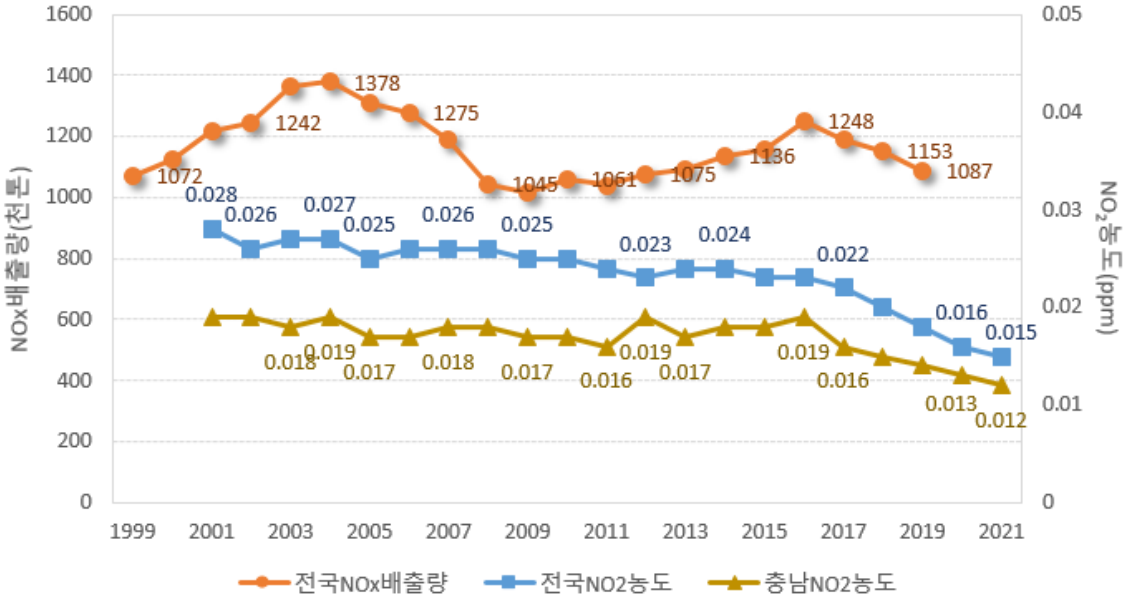


그림 19. 전국 질소산화물 연도별 배출량 및 NO_2 연평균 농도 변화

2021년 측정소별 연평균 농도는 성황동, 백석동이 가장 높았으며, 다음으로는 모종동, 배방읍, 성거읍, 인주면, 둔포면 순이었다. 대체로 도심에 위치한 측정소가 높았으며 충남의 연평균 농도인 0.012 ppm를 초과한 측정소는 그림 20와 같이 성황동, 백석동, 성거읍, 신방동, 주교면, 모종동, 배방읍, 인주면, 둔포면, 독곶리, 동문동, 대산리, 엄사면, 당진시청사, 송산면, 태안읍 등 16개소이며 각 측정소의 연평균 농도는 충남 전체 평균의 1.08배에서 1.58배 즉 8 % ~ 58 %의 초과율을 보였다. 가장 낮은 농도를 보인 측정소는 대천2동, 서면, 청양읍, 정산면, 이원면으로 충남 전체 평균의 0.67배 즉 33 % 정도 낮게 측정되었다. NO_2의 연간 대기환경기준(0.03 ppm 이하)을 초과하는 측정소는 없었다.

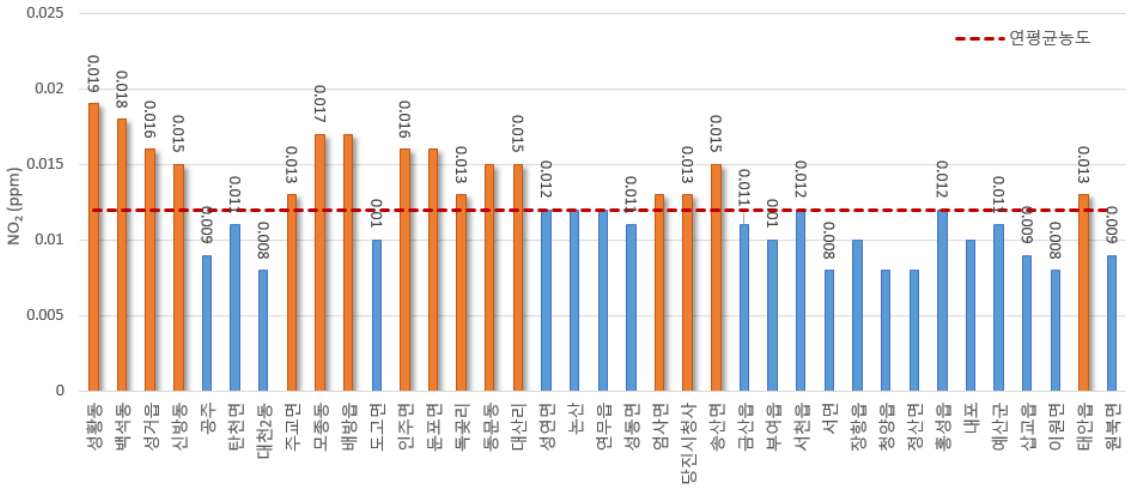


그림 20. 2021년 측정소별 NO_2 농도

그림 21은 최근 5년간 도내 시군별 NO_2 연평균 농도를 비교한 그래프이다. 2021년 충남 연평균 0.012 ppm을 초과한 시·군은 천안시, 아산시, 서산시, 계룡시, 당진시로 나타났다. 천안시의 경우 2019년까지 충남의 타 시·군 대비 고농도로 큰 차이를 보이나 2020년 이후에는 0.017 ppm으로 0.008 ~ 0.017 ppm의 측정값을 갖는 다른 지역과 큰 차이를 보이지 않았다. 2021년 가장 낮은 연평균 농도를 갖는 지역은 청양군 0.008 ppm으로 나타났다.

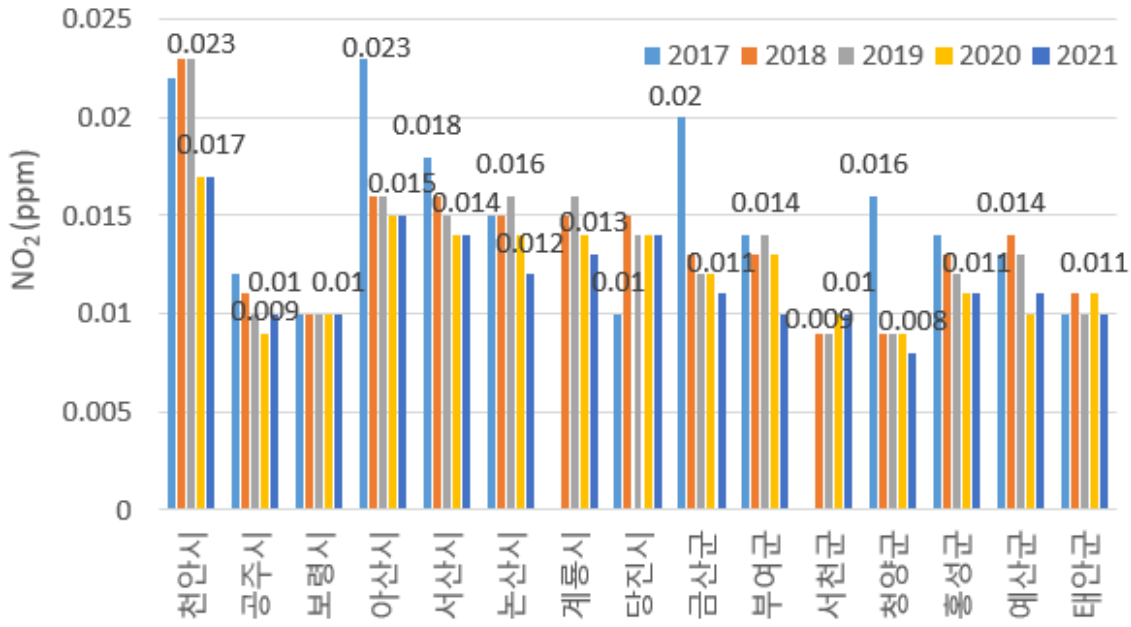


그림 21. 시·군별 NO_2 농도 변화(2017 ~ 2021)

나. 월평균 변화

충남의 최근 10년간의 NO_2 월평균 농도 변화를 비교한 결과는 그림 22와 같다. 2012년 이후 해를 거듭할수록 NO_2의 월평균 농도가 대체로 감소하는 추세이다. 또한 겨울에는 높고 여름에는 낮은 계절별 뚜렷한 경향을 보인다. 6~8월에는 0.007~0.017 ppm으로 낮았고, 동절기인 1~2월, 11~12월에는 0.017~0.025 ppm으로 높은 농도를 보였다. 2021년 1~2월, 9~12월 월평균 농도는 최근 10년간 가장 낮았다.

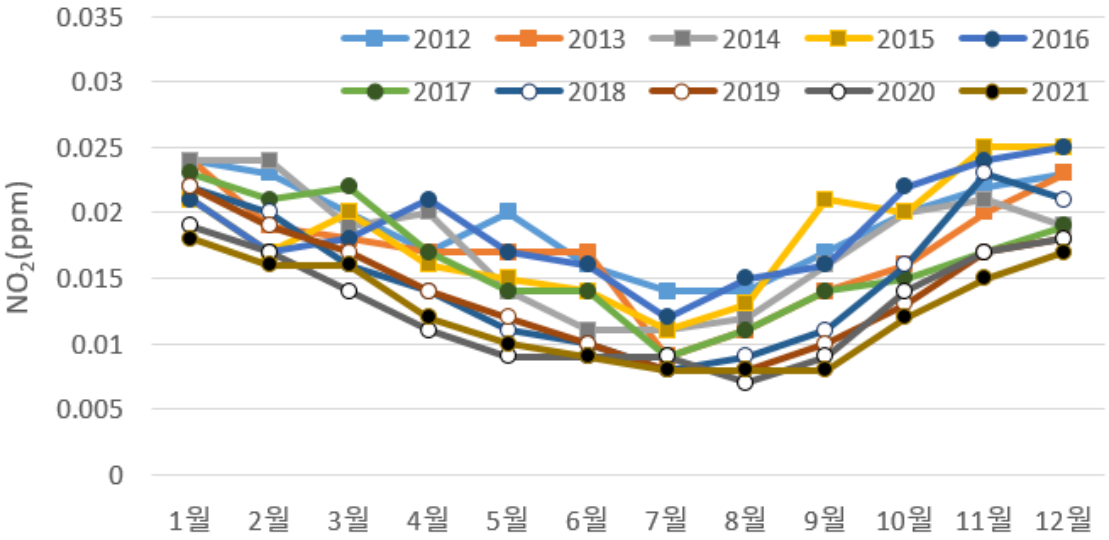


그림 22. NO_2 월평균 농도 변화

그림 23의 권역에 따른 NO_2 월별 농도 분포를 보면 계절적으로 뚜렷한 변화를 볼 수 있다. 장마기간을 포함한 여름철 7~9월은 SO_2의 농도 분포와 마찬가지로 산포도가 작고 농도 또한 연중 가장 낮은 값을 보였다. 북부권역에서 계절적 변화가 다른 권역에 비해 더욱 뚜렷하게 나타났고, 서부권역과 동남부권역은 비슷한 경향을 갖으나 북부권역에 비해 그 변화폭이 적었다. 권역별 월평균을 보면, 2021년 전 기간 동안 북부권역의 평균이 가장 높았고 서부권역과 동남부권역은 충남 평균보다 낮았다. 농도분포가 가장 넓은 시기는 전 권역에서 12월이었고 농도분포가 가장 좁은 시기는 9월이었다. 전 기간동안 가장 넓은 농도분포를 갖는 권역은 북부권역이었다.

북부권역이 다른 권역에 비해 산포도가 크고 농도 또한 높으며 동남부권역과 서부권역은 시기에 따라 다르지만 대체로 비슷한 경향을 보였다.

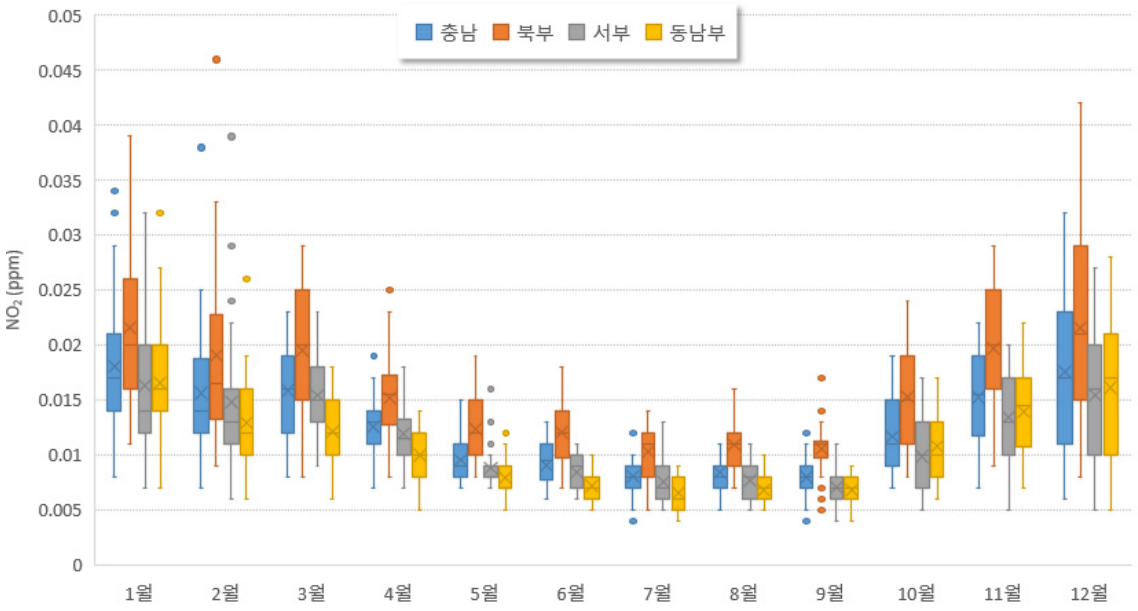


그림 23. 권역에 따른 NO_2 월별 농도 분포

※ 상자의 세로 실선 양끝은 최솟값, 최댓값, 상자 양끝은 25 %, 75 % 값, 상자 가운데 실선은 중위값, x는 월평균 값임.

3.2.3. 오존(O_3)

가. 연평균 변화

표 20은 최근 5년간 전국 및 인근 5개 시·도와 충남의 연평균 O_3의 농도를 나타낸다. 충남의 O_3 연평균 농도는 전국 평균에 비해 다소 높았으며 2021년에는 다른 시·도에 비해서는 0.003 ~ 0.007 ppm이 높았다.

표 20. 인근 5개 시·도 O_3 연평균 농도 변화

(단위 : ppm)

구분	전국	충남	경기	세종	대전	충북	전북
2017	0.029	0.030	0.025	0.030	0.029	0.028	0.034
2018	0.027	0.030	0.024	0.026	0.027	0.026	0.030
2019	0.030	0.032	0.027	0.028	0.025	0.028	0.033
2020	0.030	0.032	0.028	0.029	0.027	0.028	0.032
2021	0.032	0.036	0.029	0.031	0.029	0.029	0.033

자료출처 : 국가대기오염정보관리시스템

그림 24는 연도별 O_3의 연평균 농도를 나타낸 것으로 전국 O_3 농도는 2002년 0.019 ppm에서 서서히 상승하여 2021년 0.032 ppm을 기록하였고, 충남 O_3 농도는

2007년을 제외하고 전국 O_3 농도보다 높거나 같은 농도를 보였다. 충남 연평균 O_3 농도는 전국에 비해 연도별 변동폭이 크며 0.021 ~ 0.036 ppm 까지 농도변화를 보였다.

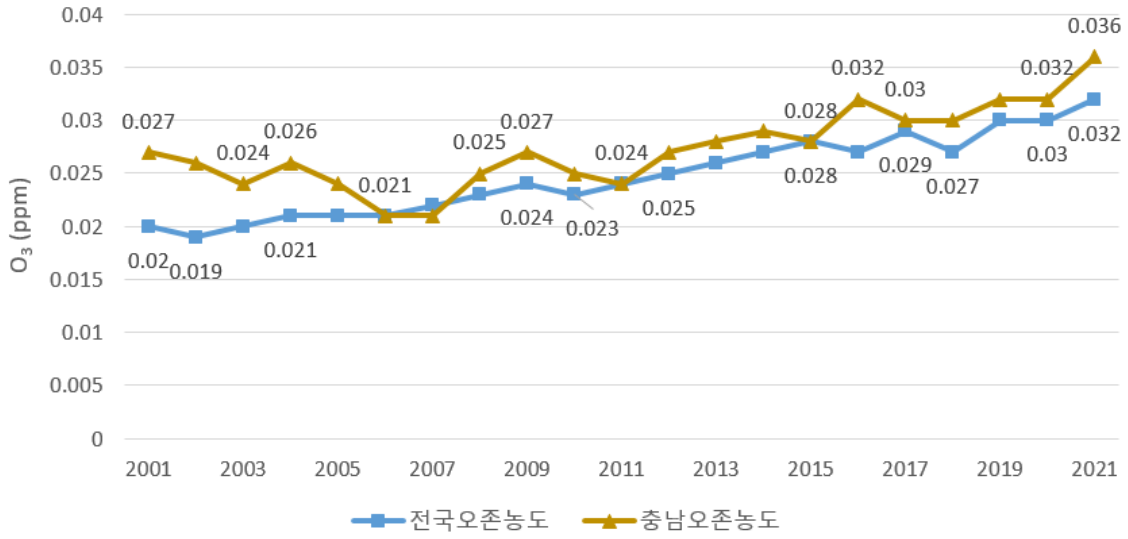


그림 24. O_3 연평균 농도 변화

그림 25를 보면 2021년 측정소별 연평균 농도 중 대천2동이 0.044 ppm으로 가장 높았으며 엄사면은 0.028 ppm으로 가장 낮았다. 대천2동은 연평균보다 0.008 ppm(22 %) 높고 엄사면은 0.008 ppm 낮게 나타났다.

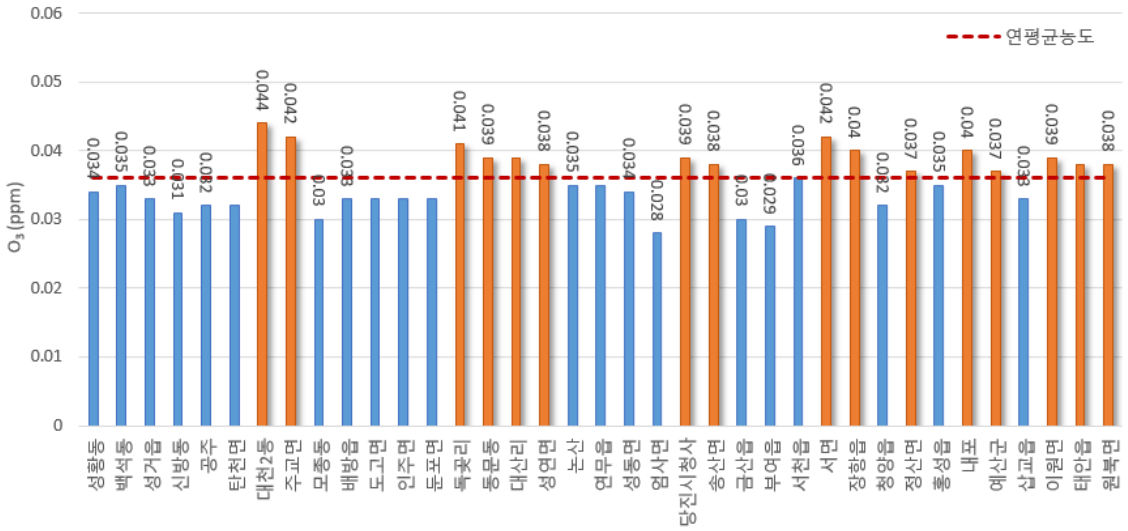


그림 25. 2021년 측정소별 O_3 농도

그림 26에 최근 5년간 도내 시군별 O_3 연평균 농도를 비교하였다. 2021년 충남

연평균 0.036 ppm보다 높은 시·군은 보령시, 서산시, 당진시, 서천군, 홍성군, 태안군으로 특히 보령시의 경우 2021년 충남 평균보다 0.007 ppm이 높은 0.043 ppm이었다. 가장 낮은 농도의 시·군은 부여군 0.029 ppm으로 보령시 연평균과 0.014 ppm으로 많은 격차를 보였다. 지난 5년간 가장 높은 농도를 보인 곳은 2021년 보령시로 0.043 ppm을 기록하였다.

O_3의 지역별 연평균 농도는 해안지역에 속해 있는 보령시, 서산시, 당진시, 서천군 등이 천안시, 아산시, 논산시 등 내륙지역에 속하는 시군보다 대체로 높은 결과를 나타냈다.

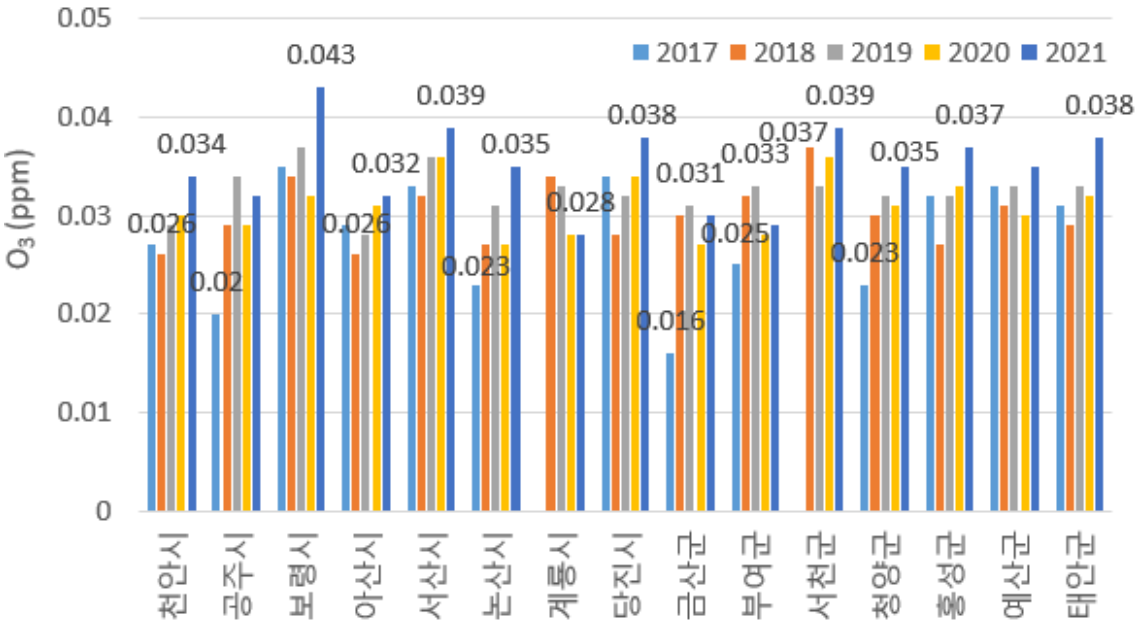


그림 26. 시·군별 O_3 농도 변화(2017 ~ 2021)

나. 월평균 변화

최근 10년간 충남지역의 월평균 O_3 농도 변화를 그림 27을 보면 알 수 있듯이 기온이 올라가고 일사량이 증가하는 5 ~ 6월 농도가 0.036 ~ 0.054 ppm으로 연중 가장 높았고, 1월, 11 ~ 12월 농도가 0.014 ~ 0.027 ppm으로 연중 가장 낮았다. 이와 같은 양상은 광화학 반응으로 생성되는 이차 오염물질인 오존은 기온과 일사량, 풍속, 습도, 구름의 양 등 복합적인 기상 조건에 영향을 받으며, 봄철부터 초여름까지 O_3 농도가 지속적으로 상승하고, 장마와 집중호우 등으로 기온과 일사량이 감소하는 장마철에 다소 감소하였다가 초가을에 반등, 9월부터 다시 감소하는 계절적 특징을 보인다. 2021년 월평균 오존 농도는 5월, 8월, 9월을 제외한 기간동안 10년 중 가장 높았다. 5월 월평균 농도가 4월에 비해 감소하는 경향은 1.3.3. 강수일수 및 강수량에서 언급했듯 이틀에 한 번꼴의 잦은 강수량에 기인한 것으로 보인다.

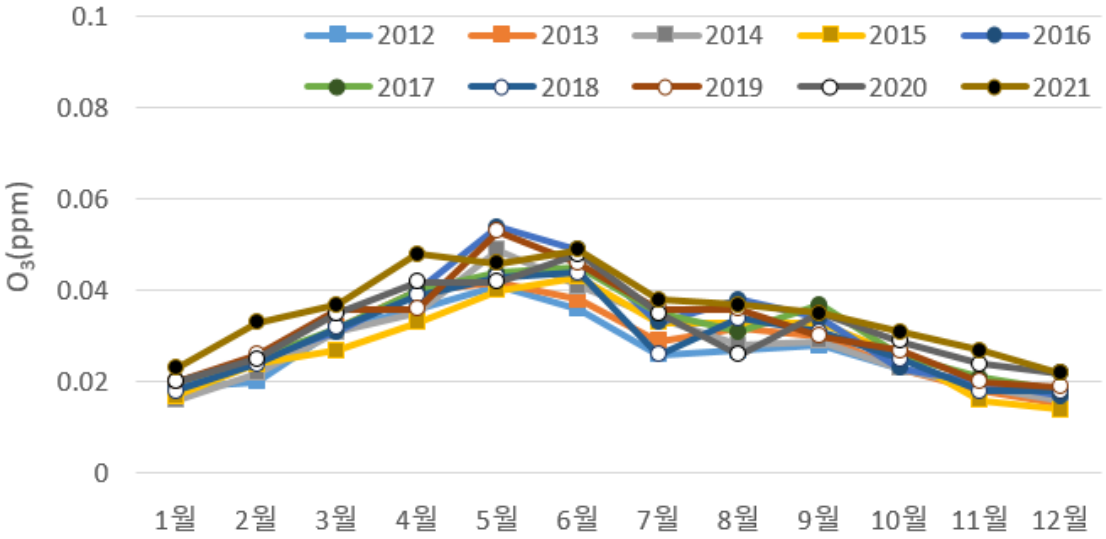


그림 27. O_3 월평균 농도 변화

그림 28의 권역에 따른 O_3 월별 일평균 농도분포를 보면 6월에 전 권역에서 가장 폭넓은 농도 분포를 보였다. 6월 북부권역은 0.034 ~ 0.077 ppm의 농도분포를 보였고, 서부권역은 0.038 ~ 0.082 ppm의 농도분포를 보였으며 동남부권역은 0.032 ~ 0.073 ppm으로 나타났다. 2021년 전 기간 동안 서부권역 일평균 농도의 중위값과 평균값이 가장 높았다. 서부권역과 동남부권역은 전기간 동안 충남 중위값과 평균값과 비슷하거나 낮았다. 11월과 12월을 제외하면 동남부권역의 중위값과 평균값이 전 권역에서 가장 낮았고 11월과 12월은 북부권이 가장 낮았다. 일평균 농도의 중위값과 평균값이 가장 낮았으며, 1월과 2월에는 북부권역이 가장 낮았다. 다른 대기오염물질들은 하절기에 다른 달보다 농도분포가 확연히 적게 보인 것과 달리 O_3은 다른 가스상 대기오염물질에 비해 그 변화폭이 크지 않다. O_3은 하루를 주기로 큰 폭의 변화를 보이는 항목이기 때문이다. 일사량이 큰 여름철에 그 변화폭이 크고 일년 중 가장 고농도를 보여 여름철에 가장 넓은 변화폭을 갖고 높은 농도를 갖는다.

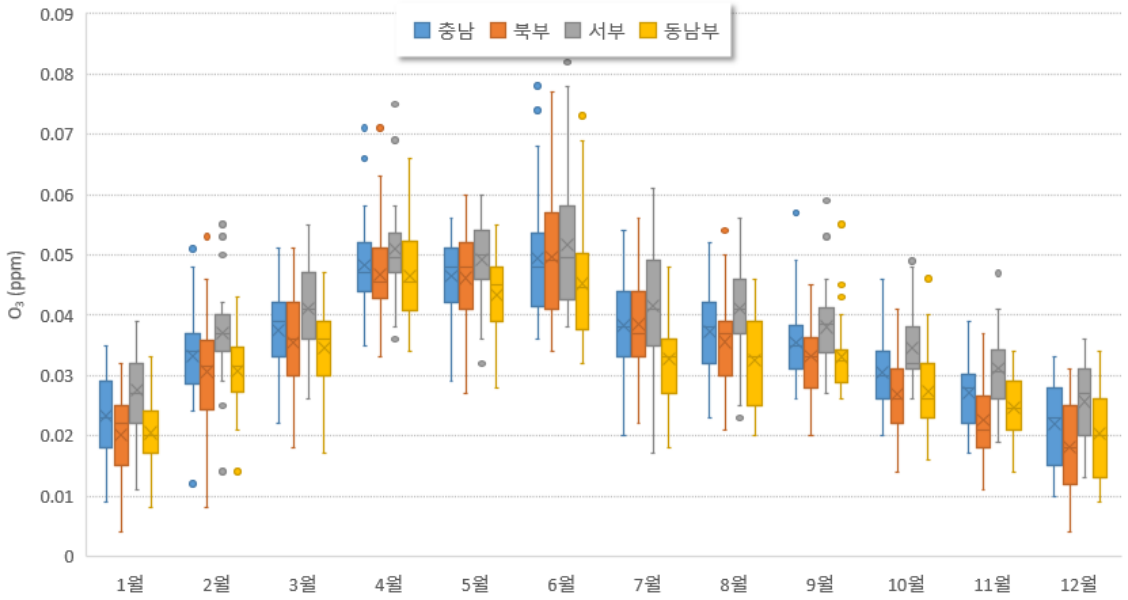


그림 28. 권역에 따른 O_3 월별 농도 분포

※ 상자의 세로 실선 양끝은 최솟값, 최댓값, 상자 양끝은 25 %, 75 % 값, 상자 가운데 실선은 중위값, x는 월평균 값임.

O_3의 시간대별 평균 농도변화를 살펴보면 대체로 7 ~ 8시에 0.014 ~ 0.032 ppm으로 일중 최저농도를 기록한 후 급격하게 상승하여 14 ~ 17시에 0.041 ~ 0.061 ppm의 최고농도를 나타낸 후 급격히 감소하다 자정을 넘기면서 완만하게 하락하는 경향을 보인다. O_3은 일사량이 증가하는 낮 시간대에 광화학반응에 의해 증가하였다가 일몰 후부터 다음날 아침까지 급격히 농도가 떨어지는 전형적인 일주기성 오염물질의 특성을 보인다. 부여읍이 7 ~ 8시 0.014 ppm으로 가장 낮은 농도를 나타냈고, 독곶리, 이원면이 0.032 ppm,을 기록해 동시간대에서 최고농도를 보였다. 독곶리가 1시 ~ 7시, 22시 ~ 24시 동시간대 최고 농도를 나타냈으며 엄사면은 11 ~ 24시 동시간대 최저농도를 나타냈다. 일일 변동폭을 보기위해 그림 29 ~ 31에 권역에 따른 O_3의 시간대별 농도변화를 나타내었다. 일농도 변화폭은 북부권역 0.016 ~ 0.057 ppm, 서북권역 0.017 ~ 0.061 ppm, 동남부권역 0.014 ~ 0.057 ppm로 전권역에서 비슷하게 나타났다. 일농도 변화가 가장 큰 측정소는 성연면으로 시간평균 하루 농도변화가 0.039 ppm으로 나타났으며 가장 변화가 작은 측정소는 2020년과 동일하게 이원면으로 0.019 ppm의 차이를 보였고, 그다음으로는 0.021 ppm 차이를 보인 독곶리로 나타났다.

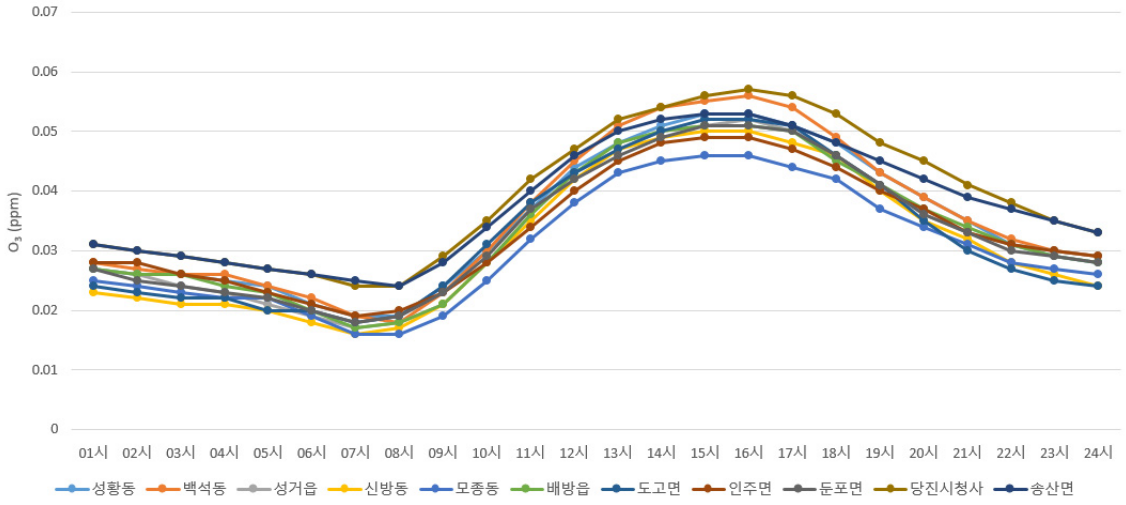


그림 29. 북부권역 O_3 시간대별 농도 변화

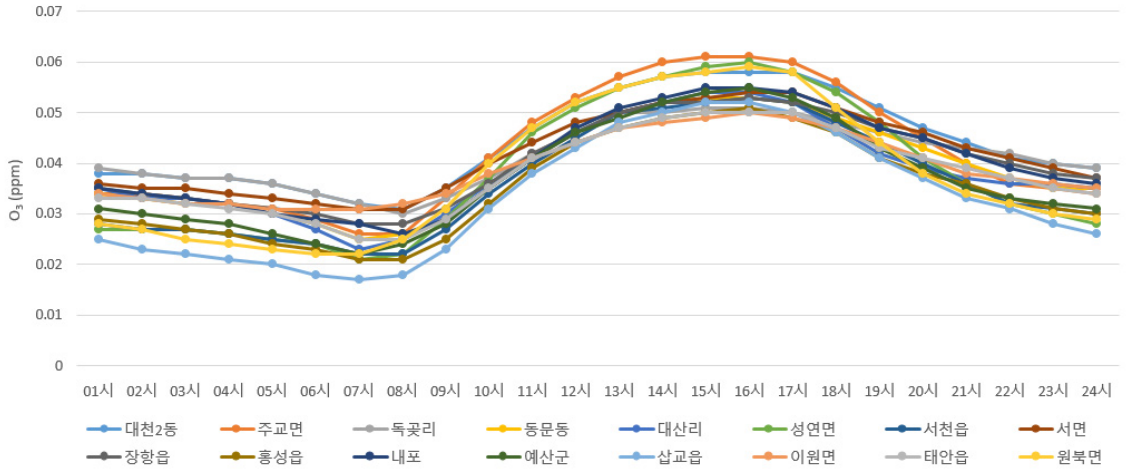


그림 30. 서부권역 O_3 시간대별 농도 변화

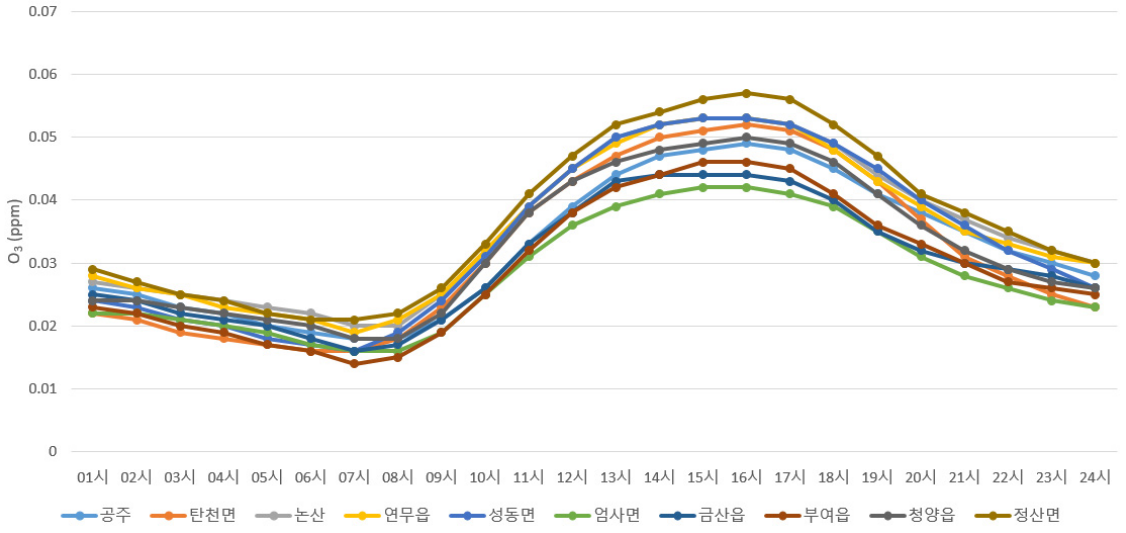


그림 31. 동남부권역 O_3 시간대별 농도 변화

3.2.4. 일산화탄소(CO)

가. 연평균 변화

표 21는 최근 5년간 전국 및 인근 5개 시·도와 충청남도의 연평균 CO의 농도를 나타낸 것으로 충남은 전국 평균과 같았으며 인근 5개 시·도와도 큰 차이를 보이지 않았다.

표 21. 인근 5개 시·도 CO 연평균 농도 변화

(단위 : ppm)

구분	전국	충남	경기	세종	대전	충북	전북
2017	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
2018	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
2019	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
2020	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
2021	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4

자료출처 : 국가대기오염정보관리시스템

CO는 그림 32에서와 같이 2006년 0.5 ppm까지 급격히 감소하다가 2007년부터 2019년까지 0.6 ± 0.1 ppm의 농도를 보이며 안정화된 경향을 보인다. CO는 1990년대 이후 LNG 등 청정연료 공급 확대와 연소효율의 개선 등으로 인해 꾸준히 감소하였으며, 대기환경기준 8시간평균치(9 ppm이하), 1시간 평균치(25 ppm이하)보다 크게 밑도는 수준에 이르렀다. 전국 CO배출량은 2015년 생물성 연소 부문 배출량이 포함되면서 2014년 대비 33.4 % 상승하였다. 충남의 경우 25.8 % 상승하였고, 특별시와 광역시는 13.9 % 감소에서부터 4.6 % 상승으로 생물성 연소의 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났다. 그 외 지역에서의 CO배출량은 제주도 25.7 %에서 충청북도 111.1 % 상승률로 생물학적 연소가 CO배출량의 상승에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 2020년에 이어 2021년 충남과 전국 일산화탄소 농도는 0.4 ppm으로 역대 최솟값을 기록하였다.

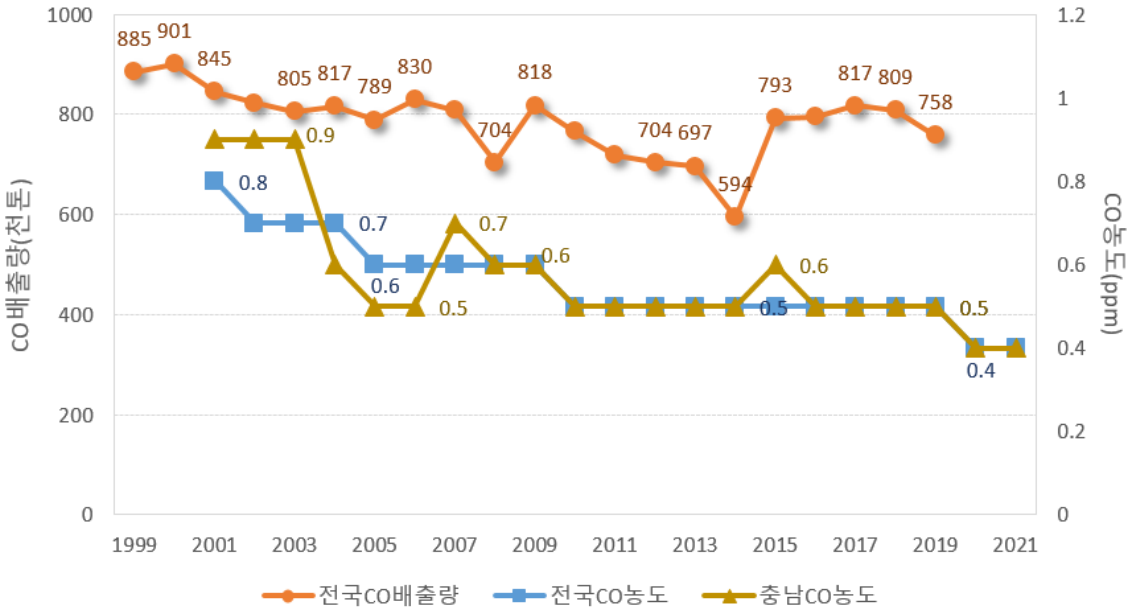


그림 32. 전국 CO 연도별 배출량 및 연평균 농도 변화

충남의 CO의 연평균 농도는 0.4 ppm이며 그림 33를 보면 측정소별 연평균 농도는 주교면이 0.6 ppm으로 가장 높은 농도를 나타냈다. 공주, 탄천면, 청양읍, 홍성읍은 0.3 ppm으로 연평균보다 0.1 ppm 낮은 농도로 충남 전체 중 가장 낮은 농도를 보였다.

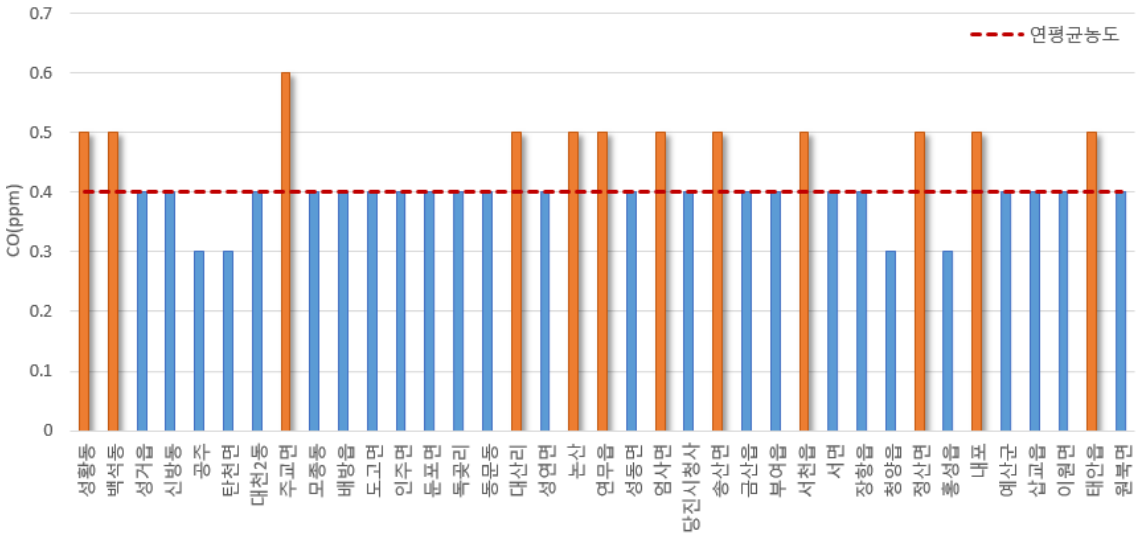


그림 33. 측정소별 CO 농도

최근 5년간 도내 시군별 CO 연평균 농도를 그림 34에 나타내었다. 2021년 충남 연평균 농도는 0.4 ppm으로 공주시가 0.3 ppm으로 가장 낮았고 그 외 지역은 0.4 ~ 0.5 ppm으로 나타났다. 최근 5년간 충남 시군에서 가장 낮은 CO 연평균을

기록한 지역 또한 공주시였다. 천안시, 서산시의 경우 2018년, 2019년 0.6 ppm에서 2021년 0.4 ppm으로 감소하였고, 당진시의 경우 0.5 ~ 0.6 ppm으로 5년 평균 가장 높은 농도를 나타냈다.

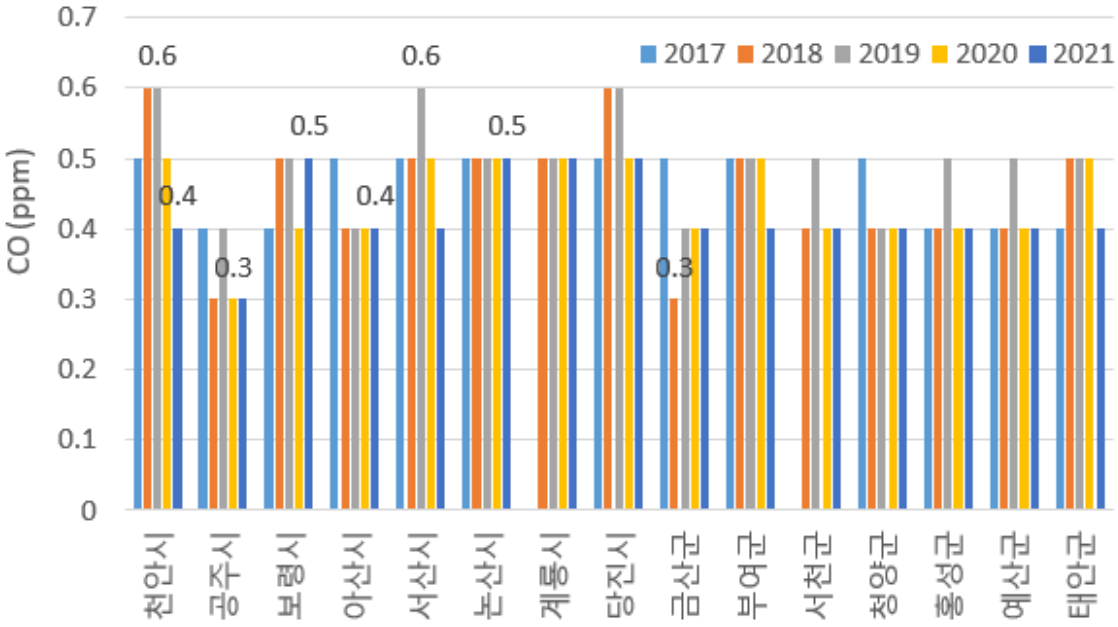


그림 34. 시·군별 CO 농도 변화(2017 ~ 2020)

나. 월평균 변화

최근 10년간 변화를 그림 35를 보면 CO의 월평균 농도추이는 여름철에 0.3 ~ 0.5 ppm으로 가장 낮고 늦가을부터 상승하여 겨울철에 0.5 ~ 0.9 ppm으로 가장 높은 농도를 나타내다 봄철에 다시 감소하는 경향성을 보인다. 2015년 그 경향성이 가장 뚜렷하게 나타나 7월 최저인 0.3 ppm에서 12월 최고 0.9 ppm까지 변화를 보였다. 2020년과 2021년은 0.3 ppm에서 0.5 ppm으로 변화폭이 가장 적었고 그 외 대부분 0.4 ~ 0.7 ppm의 농도분포를 보였다. 고농도를 보이는 1월, 2월, 12월의 연도별 농도추이를 살펴보면 2012년 0.6 ~ 0.7 ppm에서 2015년 0.6 ~ 0.9 ppm까지 증가하다가 2018년 0.5 ~ 0.6 ppm까지 다소 감소하는 추세를 보였고 2019년에는 0.5 ~ 0.7 ppm으로 전년도에 비해 약간 상승하였으며 2020년과 2021년 0.05 ppm으로 월평균의 변화는 없었다. 2012년 이후 해를 거듭할수록 월평균 농도 변화가 감소하였다.

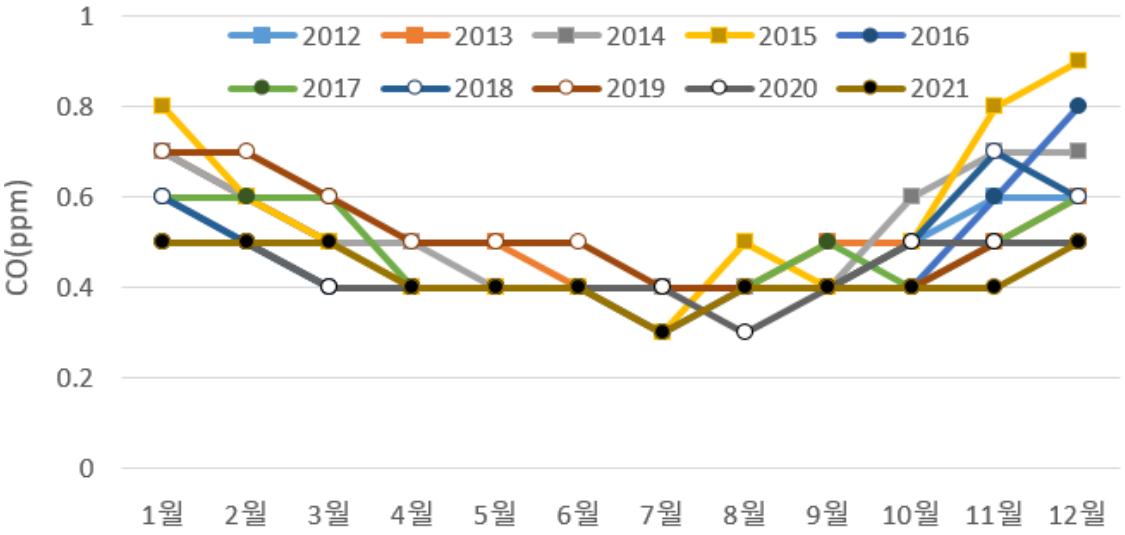


그림 35. CO 월평균 농도 변화

2021년 권역에 따른 CO 월별 일평균 농도분포를 그림 36에 나타내었다. 4월부터 7월 충남평균 일평균 농도분포가 동일하게 나타났으며 5월, 7월 동남부권역 농도분포가 0.3 ~ 0.4 ppm으로 가장 작게 나타났다. 1월부터 9월까지 CO 월평균 농도가 가장 높은 권역은 서부권역이며, 10월은 동남부권역, 11월, 12월은 북부권역이었다. 1월부터 3월, 11월부터 12월 월간 일평균 농도폭이 넓은 반면 그에 비해 4월에서 10월에는 일평균 농도폭이 크지 않았다. 북부권역은 0.3 ~ 0.9 ppm으로 11월에, 서부권역은 2월에, 동남부권역은 12월에 가장 폭넓은 일평균 농도폭을 보였다.

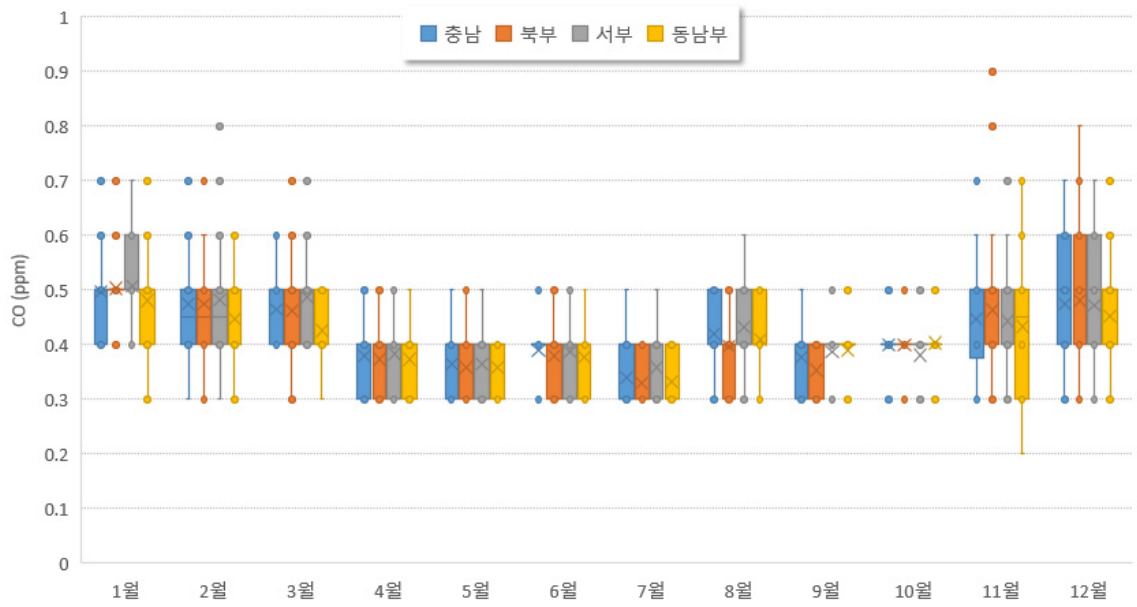


그림 36. 권역에 따른 CO 월별 농도 분포

※ 상자의 세로 실선 양끝은 최솟값, 최댓값, 상자 양끝은 25 %, 75 % 값, 상자 가운데 실선은 중위값, x는 월평균 값임.

3.2.5. (초)미세먼지(PM-10, PM-2.5)

가. PM-10 연평균 변화

표 22는 최근 5년간 전국 및 인근 5개 시·도와 충청남도의 PM-10의 연평균 농도를 비교한 것이다. 충남의 연평균 농도는 2017년과 2018년에는 전국 평균 농도보다 낮았으나 그 외에는 전국 평균보다 높았다. 경기도보다는 매해 낮은 농도를 보였고 2018년에는 인근 시·도에서 가장 낮은 농도를 보였다.

표 22. 인근 5개 시·도 PM-10 연평균 농도 변화

(단위 : ㎍/㎥)

구분	전국	충남	경기	세종	대전	충북	전북
2017	45	44	51	47	45	44	48
2018	41	39	44	40	44	44	43
2019	41	44	46	44	42	44	43
2020	33	37	39	36	33	34	33
2021	36	41	42	39	36	37	38

자료출처 : 국가대기오염정보관리시스템

충남의 PM-10은 1997년 독곶리 측정소를 시작으로 2001년에는 성황동, 동문동 측정소가 추가되었고 2021년 12월을 기준으로 37개소에서 측정되었다. PM-10 연평균 농도 변화는 그림 37과 같이 2001~2007년까지 51 ± 4 ㎍/㎥ 수준에서 등락하다가 2008년 49 ㎍/㎥에서 2012년 강우와 태풍의 영향으로 측정 이래 연평균 최저치인 41 ㎍/㎥까지 감소하였다. 이후 점차 증가하여 2016년 48 ㎍/㎥을 기록한 후 2018년 39 ㎍/㎥까지 지속적으로 감소추세를 보이다가 이 후 연평균 농도는 등락을 반복하고 있어 2021년 41 ㎍/㎥을 기록하였다. 2008년 이후 연평균 농도는 대기환경기준인 50 ㎍/㎥이내에서 유지되고 있다.

전국의 PM-10 연평균은 2001년 61 ㎍/㎥에서 2020년 33 ㎍/㎥으로 감소하는 추세를 보이다 2021년 41 ㎍/㎥로 소폭 상승하였다. 충남 연평균은 2018년까지 전국평균과 같거나 낮은 수준이었으나 2019년부터 전국 평균을 웃돌고 있다.

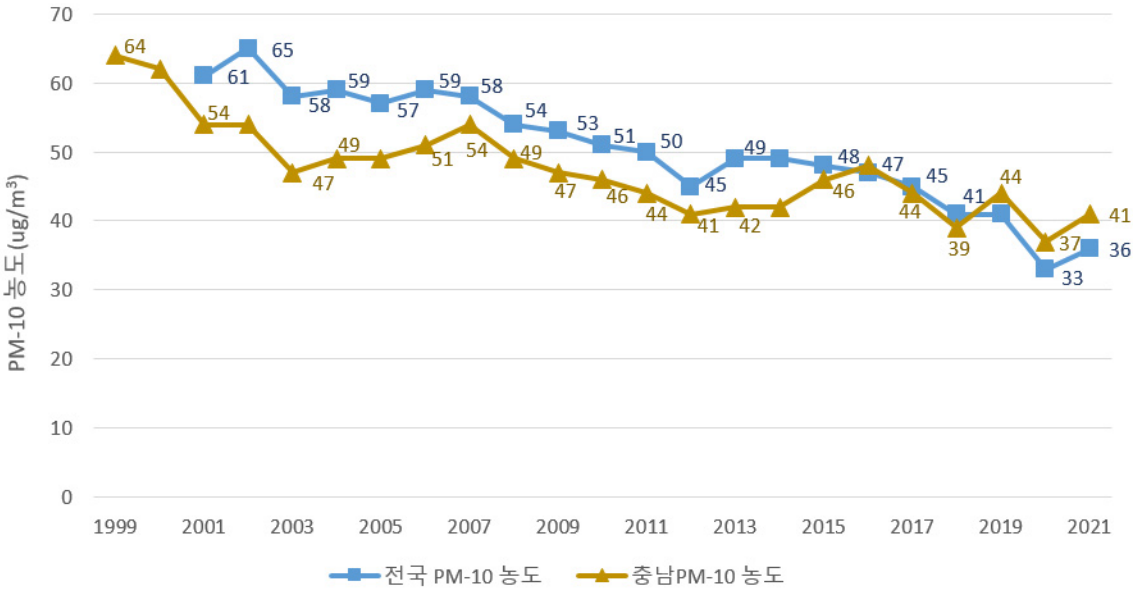


그림 37. PM-10 연평균 농도 변화

그림 38와 같이 2020년 충남의 연평균 농도와 측정소별 연평균 농도를 비교해 보면 연평균 농도인 41 ㎍/㎥를 초과하는 측정소는 백석동 등 16개소 전체 43 %로 북부권역에서 10개소, 서부권역 5개소, 동남부권역 1개소(부여읍)로 북부권역이 초과 측정소 중 63 %를 차지하고 있다. 송산면만이 PM-10의 연간 대기환경기준(50 ㎍/㎥ 이하)을 초과하였다.

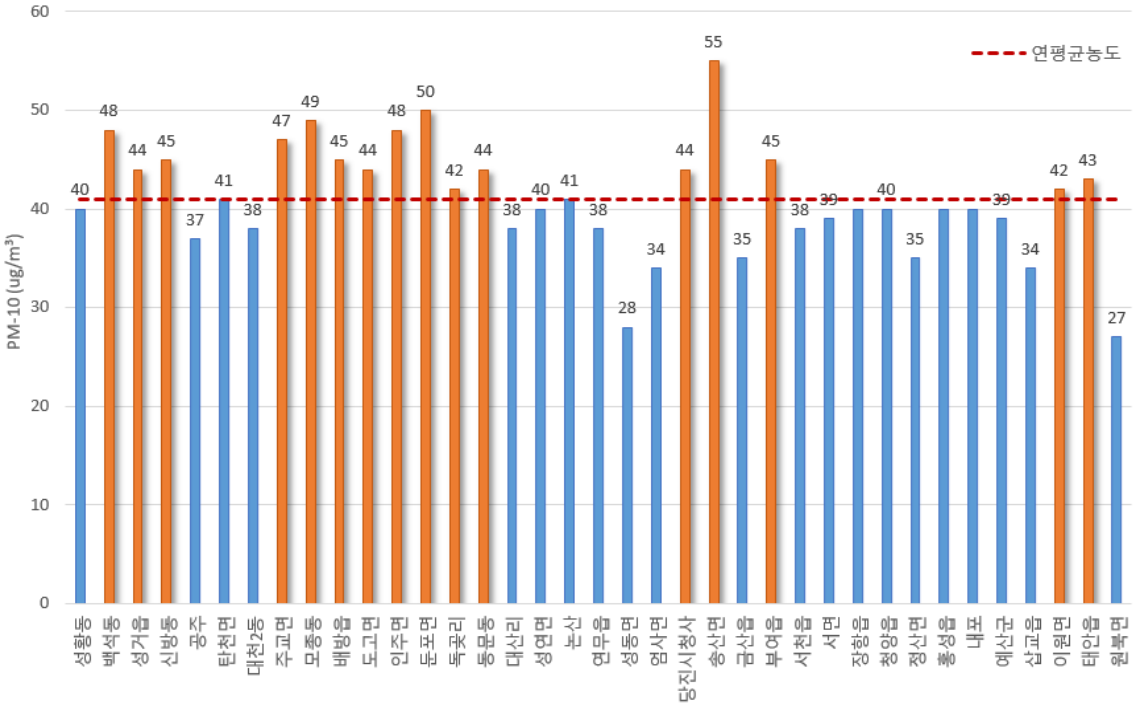


그림 38. 측정소별 PM-10 농도

최근 5년간 도내 시군별 PM-10 연평균 농도를 그림 39에 비교하였다. 2021년 충남 연평균 41 ㎍/㎥을 초과한 시·군은 천안시, 아산시, 보령시, 당진시, 부여군으로 당진시가 50 ㎍/㎥으로 가장 높았다. 2017년 가장 높은 농도를 보인 시군은 아산시로 56 ㎍/㎥이었다. 2018년부터는 당진시가 충남에서 가장 높은 농도를 보였다.

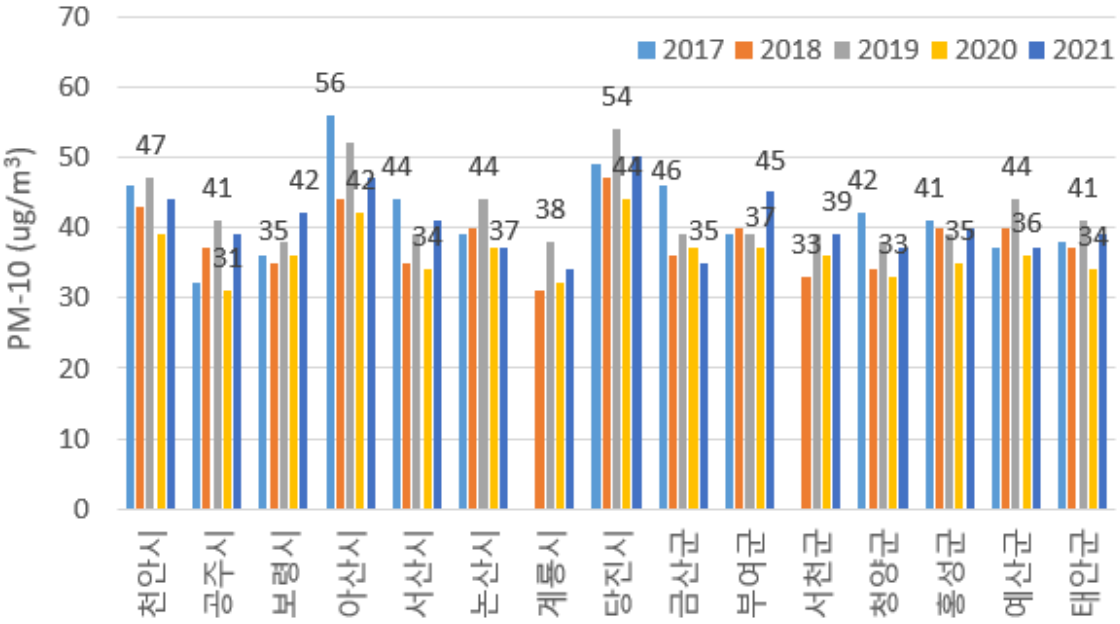


그림 39. 시·군별 PM-10 농도 변화(2017 ~ 2021)

나. PM-2.5 연평균 변화

표 23은 최근 5년간 전국 및 인근 5개 시·도와 충남의 연평균 PM-2.5 농도를 비교한 표이다. 충남 PM-2.5 연평균 농도는 전국 및 인근 시·도와 비교해도 큰 차이를 보이지 않았으나 2018년 가장 낮은 연평균 농도를 보였다.

표 23. 인근 5개 시·도 PM-2.5 연평균 농도 변화

(단위 : ㎍/㎥)

구분	전국	충남	경기	세종	대전	충북	전북
2017	25	23	27	23	21	27	29
2018	23	21	25	21	22	27	25
2019	23	26	26	26	22	28	26
2020	19	21	21	20	18	21	20
2021	18	21	21	18	16	20	19

자료출처 : 국가대기오염정보관리시스템

그림 40와 같이 충남 PM-2.5의 연평균 농도변화는 2015년 29 ㎍/㎥로 이후 2018년 21 ㎍/㎥까지 감소추세를 보이다 2019년에는 26 ㎍/㎥으로 상승하였고, 2020년과 2021년에는 21 ㎍/㎥으로 감소하였다. 전국 PM-2.5의 연평균 농도변화는 2014년 30 ㎍/㎥에서 2021년 18 ㎍/㎥으로 전반적으로 감소추세를 보인다.

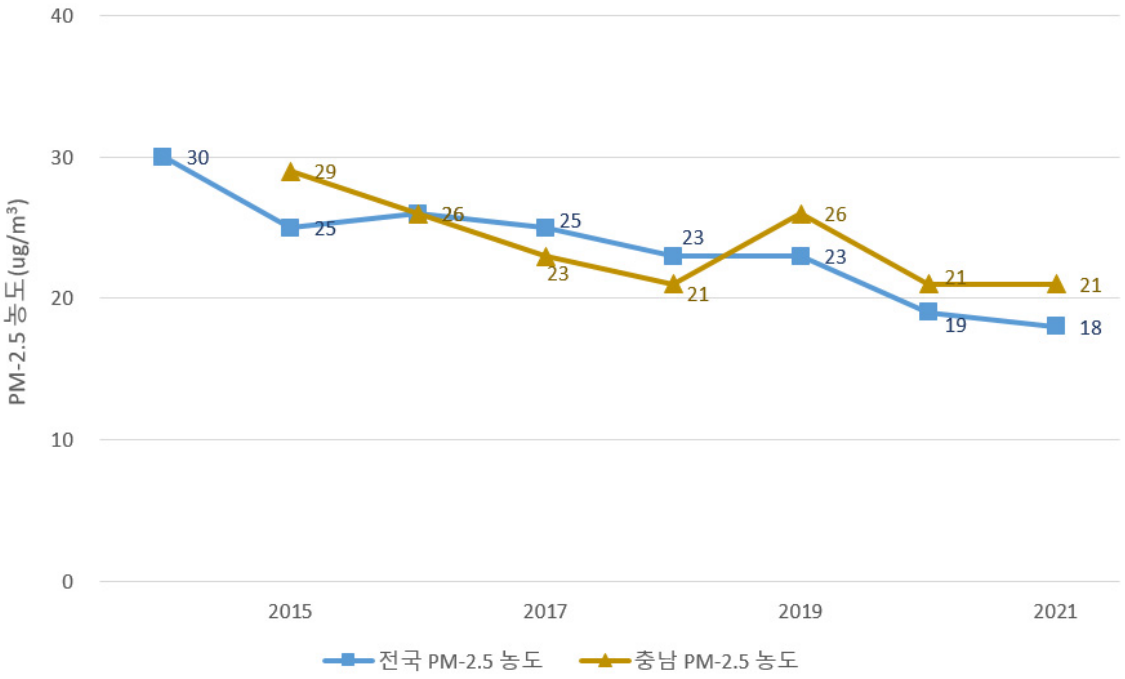


그림 40. 충남 PM-2.5 연평균 농도 변화

그림 41과 같이 2021년 충남의 PM-2.5 연평균 농도와 측정소별 연평균 농도를 비교하면 연평균 농도인 21 ㎍/㎥를 초과하는 측정소는 백석동 등 14개소로 약 38 %를 차지한다. 충남 연평균 농도를 초과한 측정소 중 북부권역에 위치한 측정소는 10개소, 서부권역은 2개소(홍성읍, 예산군), 동부권역은 2개소(탄천면, 부여읍)로 초과 측정소 중 북부권역은 71 %를 차지하고 있다. 원북면을 제외한 모든 측정소에서 PM-2.5의 연간 대기환경기준(15 ㎍/㎥ 이하)을 초과하였다.

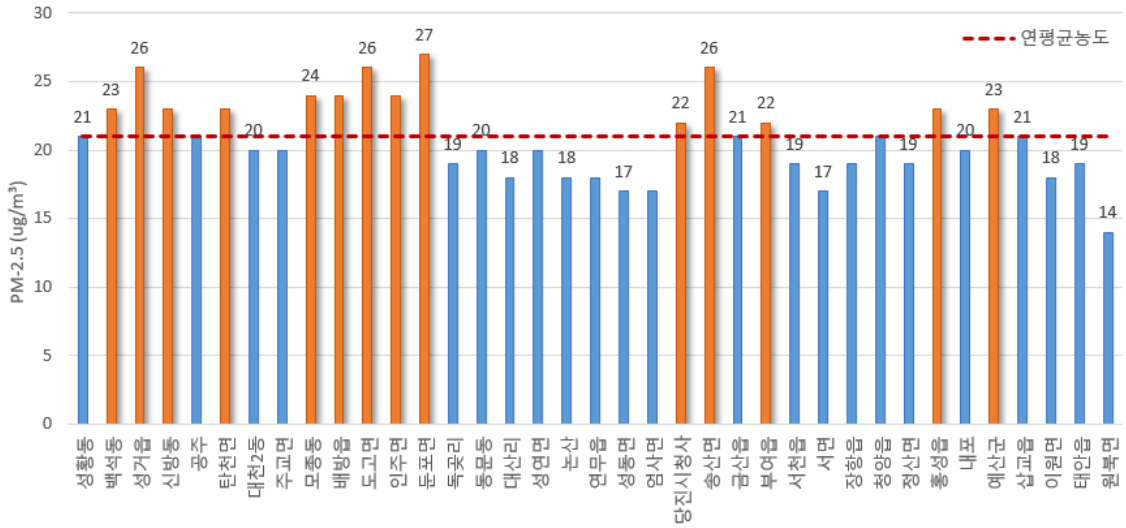


그림 41. 측정소 PM-2.5 연평균 농도 변화

그림 42은 최근 5년간 도내 시군별 PM-2.5 연평균 농도를 비교하였다. 2021년 충남 연평균 21 ㎍/㎥을 초과한 시·군은 천안시, 공주시, 아산시, 당진시, 부여군, 홍성군, 예산군이었고 가장 높은 농도를 보인 시군은 아산시로 25 ㎍/㎥이었다. 최근 5년간 가장 높은 농도를 보인 곳은 당진시로 32 ㎍/㎥이었다. 2017년 가장 높은 농도는 금산군, 청양군의 29 ㎍/㎥이었고, 2018년에는 천안시, 당진시가 25 ㎍/㎥로 가장 높았다. 2019년에는 당진시가 32 ㎍/㎥, 2020년부터는 아산시가 25 ㎍/㎥로 가장 높았다.

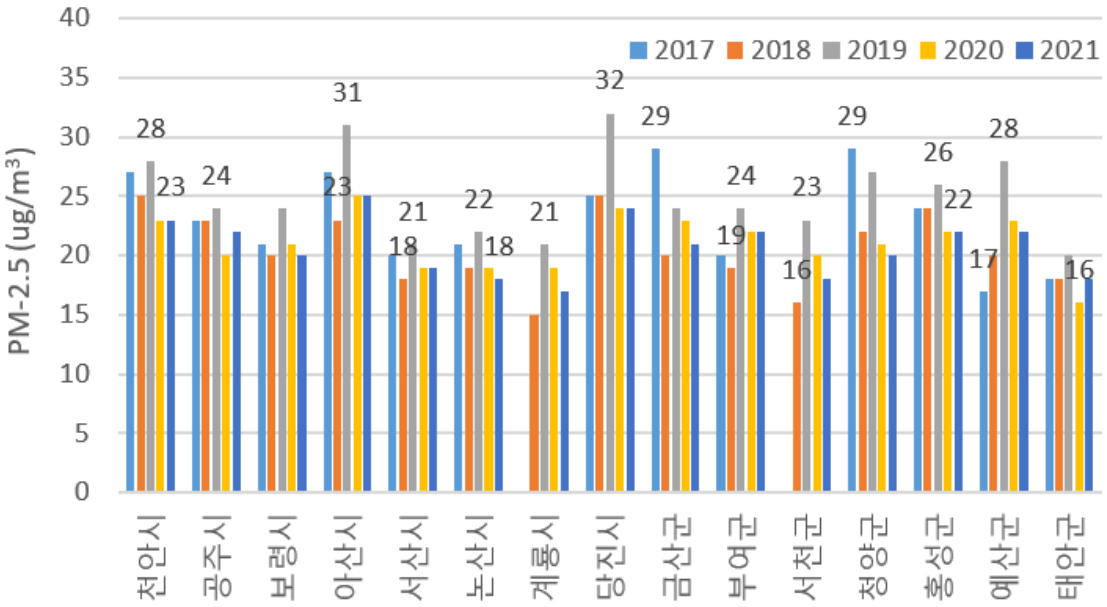


그림 42. 시·군별 PM-2.5 농도 변화(2017 ~ 2021)

다. PM-10 월평균 변화

그림 43은 최근 10년간의 PM-10의 월평균 농도변화를 나타낸 것이다. 1월에서 5월까지 높은 농도를 보이다가 7월까지 급격히 감소한 후 12월까지 서서히 증가하는 형태의 농도변화를 보인다. 겨울철 미세먼지의 증가는 난방 등 연료사용 증가와 중국에서 계절풍을 타고 유입되는 오염물질의 영향이 크다. 봄에는 중국과 몽골내륙에서 발생한 미세한 모래 먼지가 편서풍을 타고 내려오는 황사와 더불어 이동성 저기압과 기압배치로 인해 바람이 없고 대기가 정체되어 국내에서 배출된 오염물질이 흩어지지 않아 지표면에 미세먼지의 농도가 증가하는 경향성을 나타낸다. 반면 6월부터의 급격한 농도 감소는 6월 말에서 7월 말 사이가 장마철을 포함하는 여름철이므로 잦은 강우로 인한 세정효과(Wash Out)로 미세먼지의 농도가 감소하기 때문으로 사료된다.

2021년 7월은 10년 중 두 번째로 낮은 농도를 보였고, 7월을 제외한 6월에서 10월 PM-10 월평균 농도는 10년 중 가장 낮은 농도를 보였다. 3월과 5월 경보에 이르는 황사의 영향으로 3월은 10년 중 가장 높은, 5월은 두 번째로 높은 월평균 농도를 보였다.

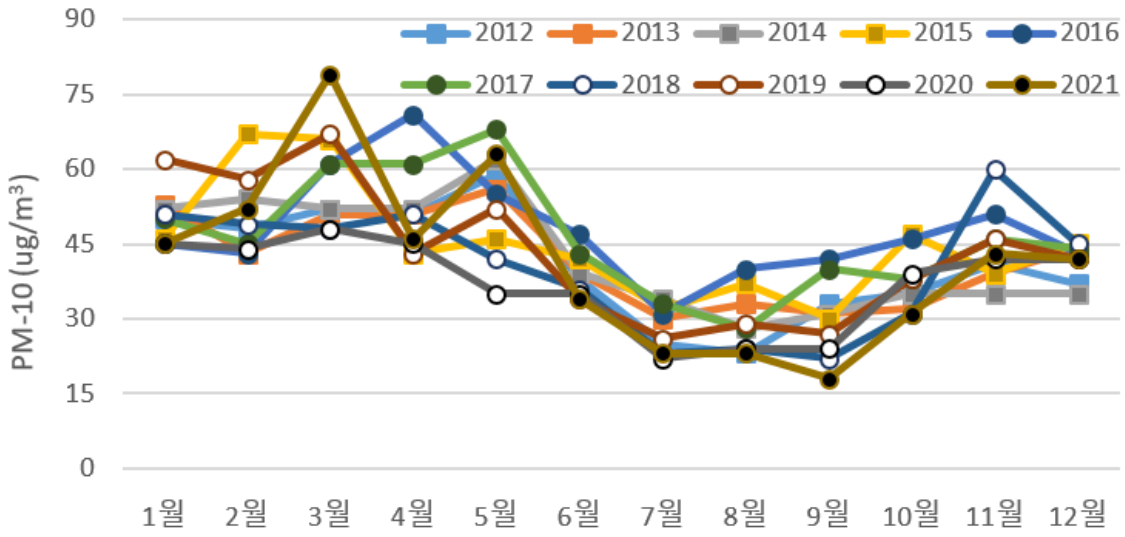


그림 43. PM-10 월평균 농도 변화

2021년 권역에 따른 PM-10 월별 일평균 농도분포를 그림 44에 나타내었다. 9월 가장 낮은 일평균 농도분포를 보였고, 3월과 5월 황사로 인해 가장 폭 넓은 농도분포를 보였다. 2021년 전기간 북부권역의 월평균 농도가 가장 높았고, 1월부터 4월, 7월부터 11월 동남부권역의 월평균 농도가 가장 낮았으며, 5월, 6월, 12월에는 서부권역의 월평균 농도가 가장 낮게 나타났다. 황사로 인한 고농도 기간을 제외하면 11월 북부권역의 일평균 농도분포가 가장 크게 나타났다.

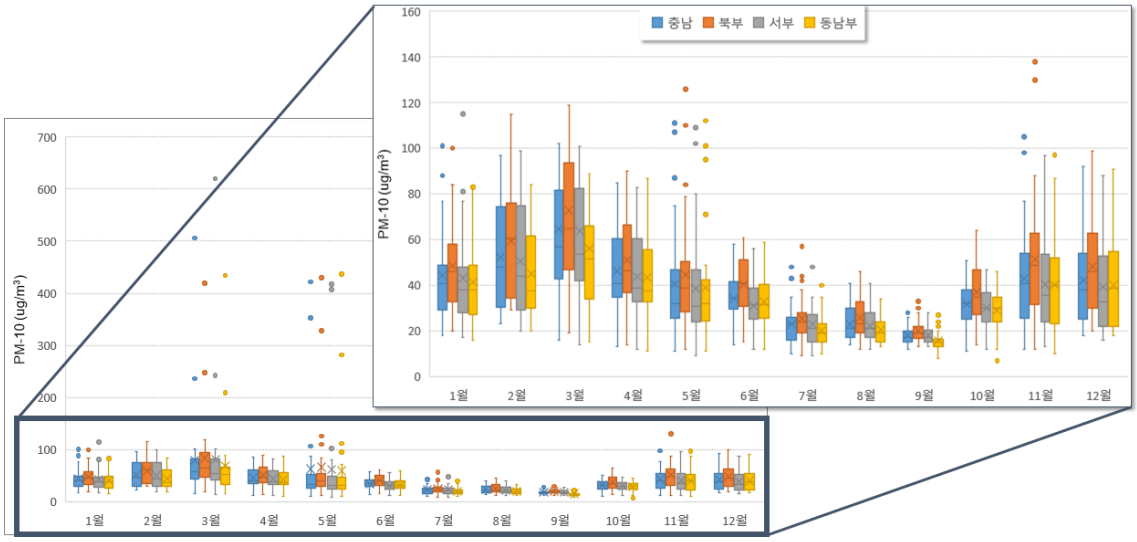


그림 44. 권역에 따른 PM-10 월별 농도 분포

※ 상자의 세로 실선 양끝은 최솟값, 최댓값, 상자 양끝은 25 %, 75 % 값, 상자 가운데 실선은 중위값, x는 월평균 값임.

라. PM-2.5 월평균 변화

그림 45는 최근 7년간의 PM-2.5의 월평균 농도변화를 나타낸 것으로 PM-10의 월평균 농도변화와 유사한 패턴을 나타내고 있다. 1월 월평균은 2021년에, 2월은 2017년, 3월부터 6월, 8월에는 2020년, 7월, 8월과 10월, 12월에는 2018년, 11월에는 2019년, 2021년에 가장 낮은 월평균 농도를 보인다.

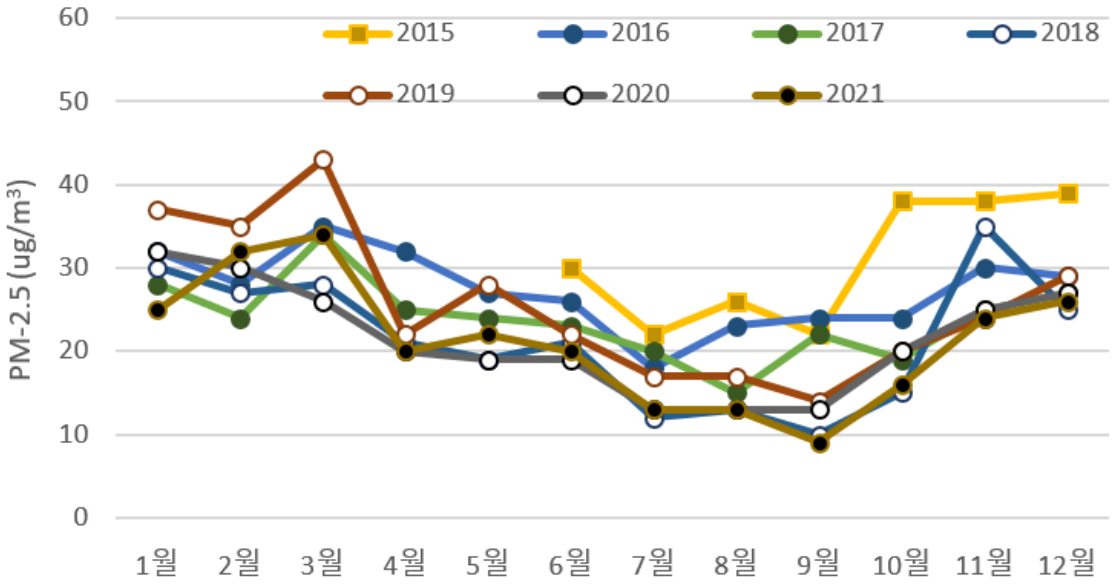


그림 45. PM-2.5 월평균 농도 변화

2021년 권역에 따른 PM-2.5 월별 일평균 농도분포를 그림 46에 나타내었다. PM-10과 같이 6월부터 9월까지 낮은 농도를 보이고 봄, 가을 농도가 높아지는 경향을 보였다. 9월 전권역 일평균 농도분포가 가장 작고, 5월에 북부권역에서 일평균 최댓값을 보였으며 2월 북부권역의 일평균 농도분포가 가장 크게 나타났다. 전기간 북부권역의 월평균농도가 가장 높았고, 1월에서 3월, 9월은 동남부권역, 4월부터 8월, 10월부터 12월에는 서부권역의 일평균 농도가 가장 낮았다.

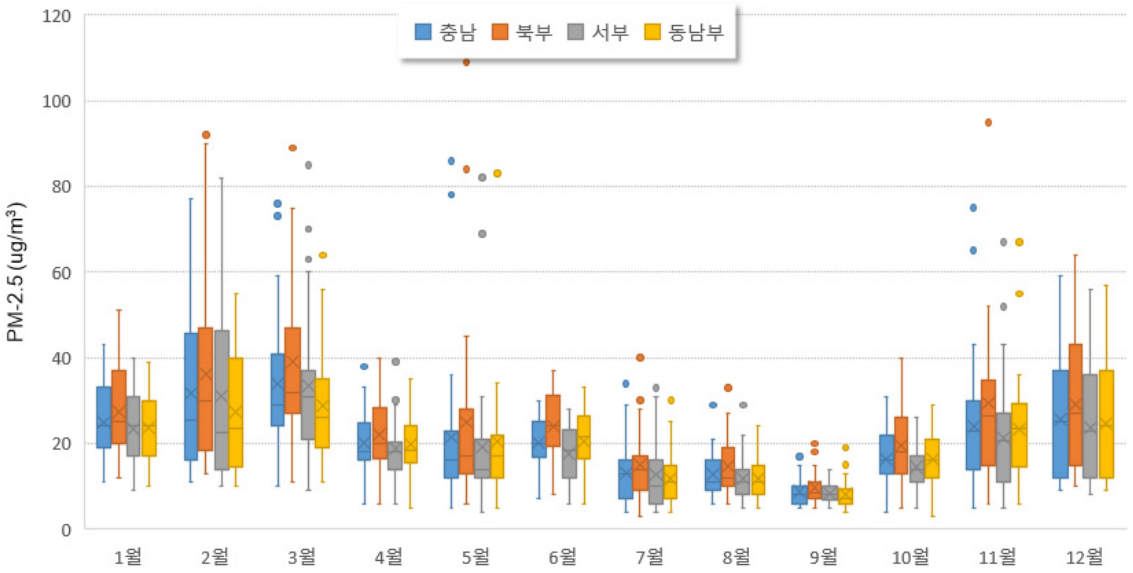


그림 46. 권역에 따른 PM-2.5 월별 농도 분포

※ 상자의 세로 실선 양끝은 최솟값, 최댓값, 상자 양끝은 25 %, 75 % 값, 상자 가운데 실선은 중위값, x는 월평균 값임.

3.3. 도로변대기측정망

자동차의 통행량과 유동인구가 많은 곳에 설치하는 도로변대기측정망은 자동차에서 배출되는 대기오염물질이 일반 대기질에 미치는 영향을 파악하기 위한 목적으로 설치 운영되고 있다.

우리 도는 2008년 5월부터 자동차 배출가스에 의한 영향 및 도로변의 대기질을 알아보기 위하여 천안시 성성동 삼성대로변에 도로변 측정소를 설치하였으며, PM-2.5는 2017년 12월부터 측정하기 시작하였다. 2021년 3월 아산시 배방읍에 장재리 측정소를 추가 설치하여 가동을 시작하였다.

3.3.1. 아황산가스(SO_2)

가. 연평균 변화

표 24와 같이 도로변대기측정망의 SO_2의 연평균 농도 변화를 살펴보면 도시대기와 큰 차이를 보이지 않으며 2010년부터 0.003 ~ 0.005 ppm으로 나타났다.

표 24. 도로변대기측정망 SO_2 연평균 농도 변화

(단위 : ppm)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
도로변	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004
도시대기	0.004	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.003	0.004

나. 도시대기와 도로변측정망 오염도 비교

그림 47 ~ 48에서 도시대기와 도로변측정망의 SO_2 월별 농도변화와 시간대별 농도변화를 살펴보았다. SO_2 월평균농도의 범위는 도시대기와 도로변 모두 0.003 ~ 0.004 ppm을 유지하였다. SO_2는 연평균, 월평균, 시간대평균의 변화가 거의 없는 항목으로 측정소 중 2021년 시간대평균 변화폭이 가장 큰 측정소는 송산면이었다. 송산면의 시간대평균값은 0.005 ppm을 유지하다 13시부터 상승하여 17시 0.009 ppm까지 오르고 23시 0.005 ppm으로 감소 후 그 값을 유지하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 값의 차이만 있을 뿐 과거에도 동일하게 나타났다.

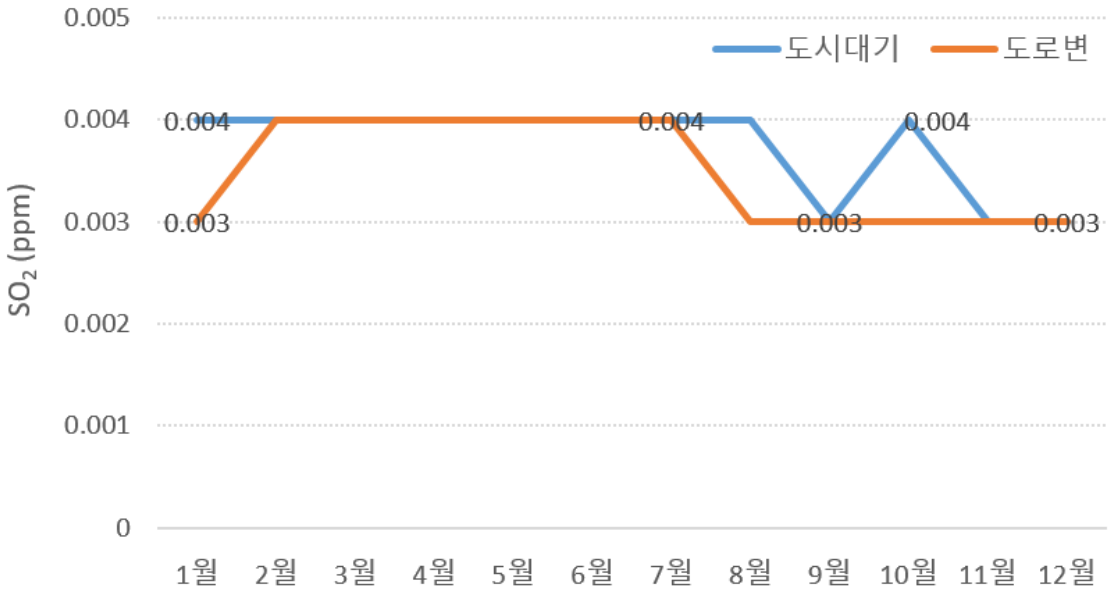


그림 47. SO_2 월평균 농도 변화

시간대별 변화를 보면 도시대기는 2시에서 7시, 도로변은 7시까지 0.003 ppm을 유지 후 도시대기와 도로변 모두 8시부터 0.004 ppm으로 상승 후 24시까지 유지되었다.

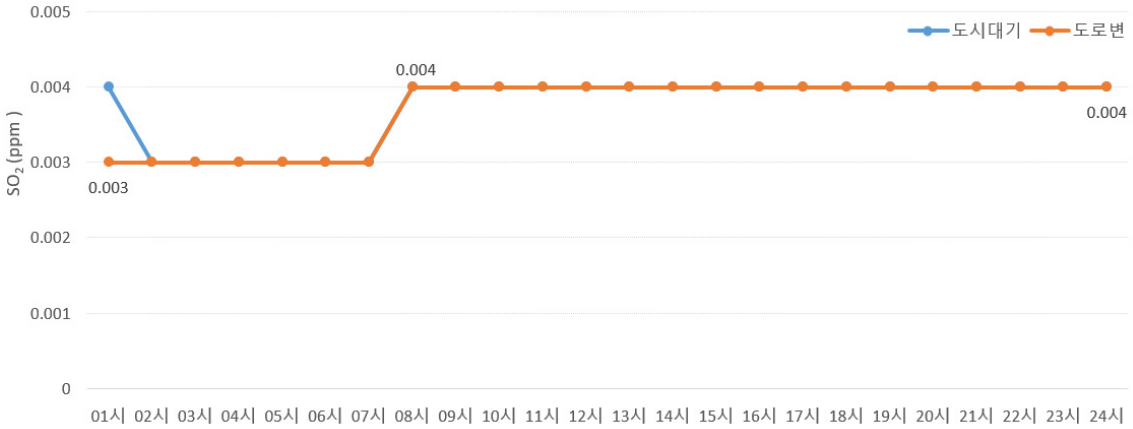


그림 48. SO_2 시간대 농도 변화

3.3.2. 이산화질소(NO_2)

가. 연평균 변화

표 25과 같이 도로변대기측정망의 NO_2 연평균 농도 변화를 살펴보면 도시대기가 0.012 ~ 0.021 ppm의 범위를 보이는 반면 도로변의 경우 0.02 ppm이상으로 2018년 최고 0.029 ppm까지 나타났다. 도로변대기측정망의 연평균 변화를 살펴보면, 2010년

부터 2013년까지 0.025 ± 0.001 ppm으로 나타났다. 2014년 이후 감소하여 2017년 0.018 ppm까지 낮아지고 2018년 0.029 ppm으로 상승한 후 2021년 0.022 ppm까지 감소하고 있다.

표 25. 도로변대기측정망 NO_2 연평균 농도 변화

(단위 : ppm)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
도로변	0.026	0.024	0.025	0.026	0.021	0.026	0.020	0.018	0.029	0.028	0.025	0.022
도시대기	0.019	0.018	0.022	0.019	0.020	0.021	0.021	0.017	0.015	0.014	0.013	0.012

나. 도시대기와 도로변측정망 오염도 비교

그림 49 ~ 50에서 도시대기와 도로변측정망의 NO_2 월별 농도변화와 시간대별 농도변화를 살펴보았다. 월평균농도의 범위를 살펴보면, 도시대기는 0.008 ~ 0.018 ppm, 도로변은 0.015 ~ 0.031 ppm으로 도시대기에 비해 높은 농도로 유지되었다.

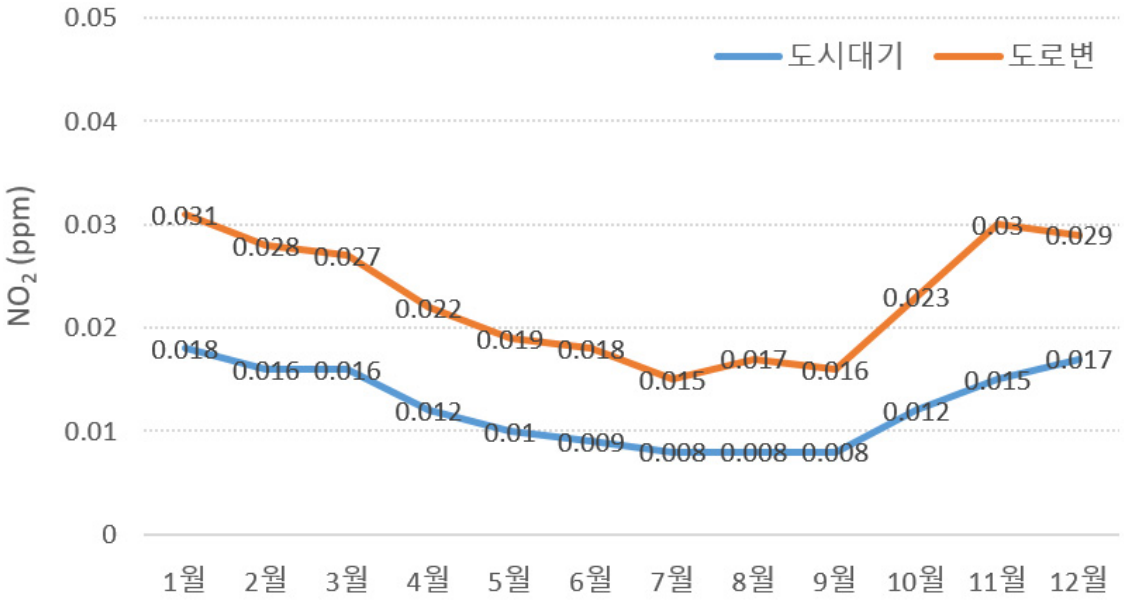


그림 49. NO_2 월평균 농도 변화

시간대별 변화를 보면 도시대기와 도로변의 패턴은 비슷하며 출근시간인 6시부터 상승하여 8시를 정점으로 낮아졌다가 퇴근시간인 17시부터 상승하고 19시 ~ 21시에 정점을 찍고 다시 낮아지는 경향을 보였다. 도시대기와 도로변은 동시간대 차이가 최소 0.005 ppm에서 최대 0.014 ppm으로 도로변 측정소가 높게 나타났다.

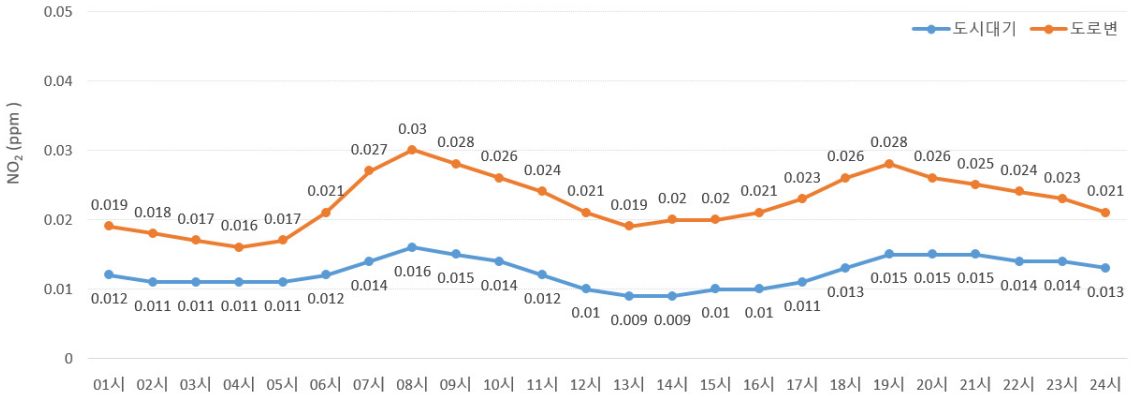


그림 50. NO_2 시간대 농도 변화

3.3.3. 오존(O_3)

가. 연평균 변화

표 26과 같이 도로변대기측정망의 O_3 연평균 농도 변화를 살펴보면, 도로변은 항상 도시대기보다 낮은 농도를 보였으며, 2010년 0.022 ppm, 2011년에 0.013 ppm으로 감소 후 조금씩 증가하다가 2014년에 0.022 ppm 이 후 2015년 0.015 ppm으로 감소한 후 다시 증가하여 2021년에 0.029 ppm로 나타났다.

표 26. 도로변대기측정망 O_3 연평균 농도 변화

(단위 : ppm)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
도로변	0.022	0.013	0.016	0.02	0.022	0.015	0.019	0.019	0.021	0.024	0.028	0.029
도시대기	0.024	0.023	0.025	0.027	0.027	0.027	0.031	0.029	0.03	0.032	0.032	0.036

나. 도시대기와 도로변측정망 오염도 비교

그림 51 ~ 52에서 도시대기와 도로변측정망의 O_3 월별 농도변화와 시간대별 농도변화를 살펴보면 O_3은 도로변에 비해 도시대기의 농도가 대체적으로 높았다. 월평균농도의 범위를 살펴보면, 도시대기는 0.022 ~ 0.049 ppm, 도로변은 0.015 ~ 0.042 ppm으로 나타났고, 도로변과 도시대기 모두 6월에 오존 월평균농도가 가장 높았다. 2021년에는 오존주의보가 4월부터 발령되는 등 과거에 비해 4월 오존 농도가 높게 나타나 역대 최고 농도를 보였다.

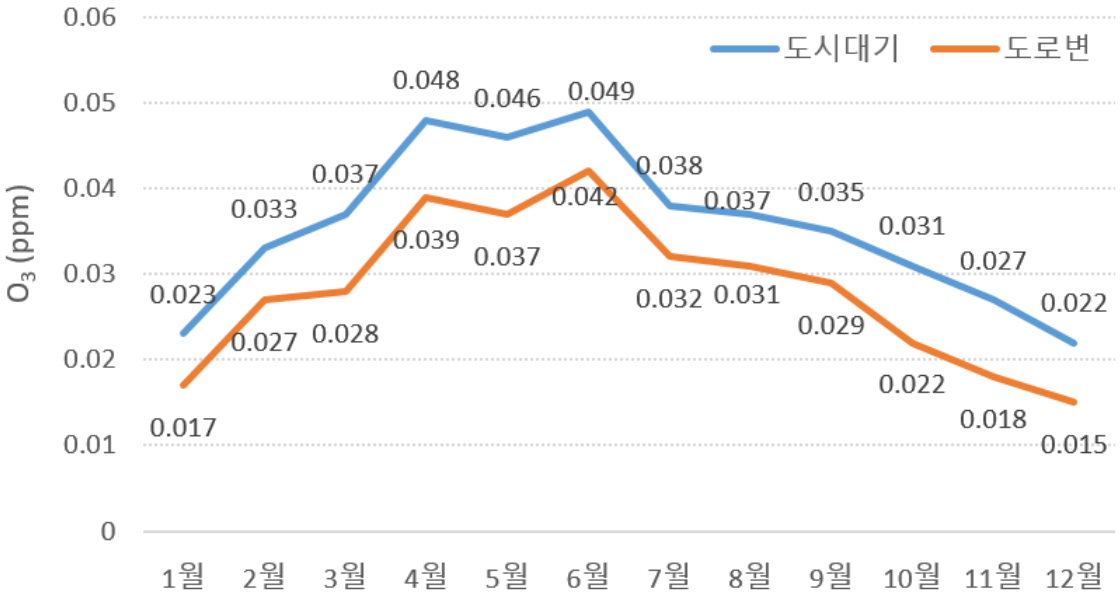


그림 51. O_3 월평균 농도 변화

시간대별 변화를 보면 도시대기와 도로변의 패턴은 비슷하여 7~8시에 최젓값을 나타낸 후 서서히 상승하여 15~16시에 정점을 찍고 낮아지는 패턴을 보였다. 시간평균농도의 범위는 도시대기는 0.021~0.052 ppm을 유지하였고 도로변은 0.014~0.044 ppm으로 도시대기에 비해 낮은 농도를 나타냈다.

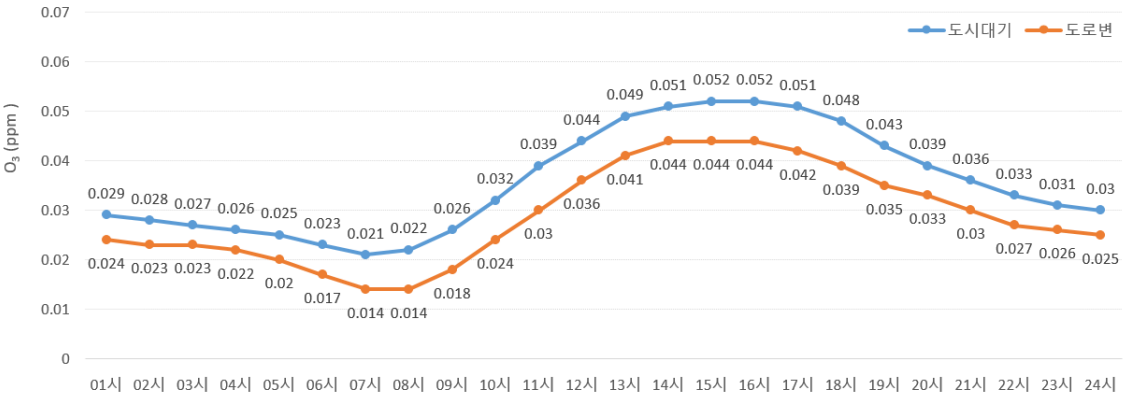


그림 52. O_3 시간대 농도 변화

3.3.4. 일산화탄소(CO) 연평균 변화

가. 연평균 변화

표 27과 같이 도로변대기측정망의 CO 연평균 농도 변화를 살펴보면, 도시대기와 큰 차이를 보이지 않지만 도로변은 2010년부터 0.4~0.7 ppm, 도시대기는 0.4~

0.6 ppm으로 도시대기의 연평균 변화폭이 더 적게 나타났다.

도로변대기측정망의 CO 연평균 농도 변화를 살펴보면 2010 ~ 2012년까지 0.6 ppm을 유지하다가 2013년부터 2019년까지 0.5 ~ 0.7 ppm 범위 내에서 변동하다가 2020년에는 0.4 ppm으로 떨어진 후 유지되었다.

표 27. 도로변대기측정망 CO 연평균 농도 변화

(단위 : ppm)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
도로변	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.6	0.5	0.5	0.6	0.4	0.4
도시대기	0.6	0.6	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4

나. 도시대기와 도로변측정망 오염도 비교

그림 53 ~ 54에서 도시대기와 도로변측정망의 CO 월별 농도변화와 시간대별 농도변화를 살펴보았다. 월평균농도 범위는 도시대기와 도로변 모두 0.3 ~ 0.5 ppm을 유지하였다. 11월 도시대기는 0.4 ppm으로 0.5 ppm인 도로변에 비해 0.1 ppm 낮게 나타났으며 그 외엔 도시대기와 도로변의 월평균 농도는 같았다.

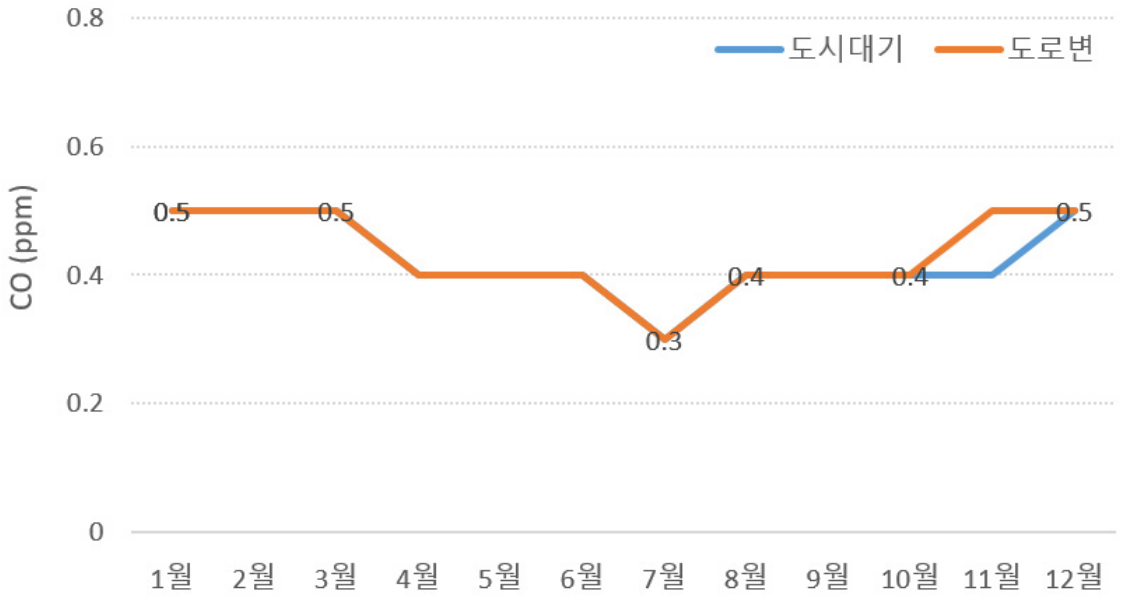


그림 53. CO 월평균 농도 변화

시간대별 변화를 보면 도시대기와 도로변의 농도변화에 큰 차이를 보이지 않았다.

도시대기는 9시를 제외하고 0.4 ppm을 유지하며 도로변은 1시에서 2시, 7시에서 10시, 19시에서 24시에 0.4 ppm으로 측정되었다.

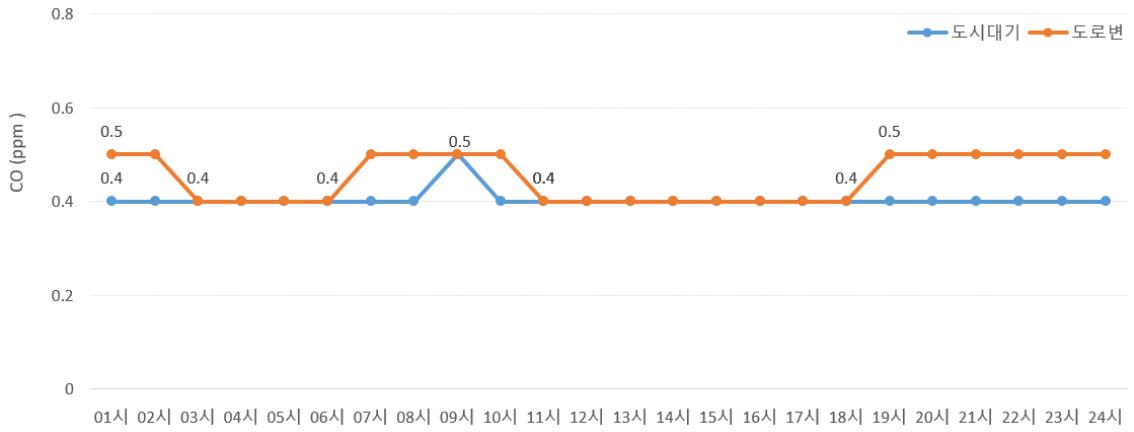


그림 54. CO 시간대 농도 변화

3.3.5. 미세먼지(PM-10)

가. 연평균 변화

표 28과 같이 도로변대기측정망의 PM-10 연평균 농도 변화를 살펴보면, 4~5년 주기로 증감이 되풀이되는 패턴을 보였으며 도로변이 도시대기보다 높은 농도를 보였다. 도시대기의 경우 37~47 ㎍/㎥ 범위를 갖는 반면, 도로변의 경우 46~59 ㎍/㎥ 범위 내에서 증감을 반복하는 경향을 보였다.

표 28. 도로변대기측정망 PM-10 연평균 농도 변화

(단위 : ㎍/㎥)

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
도로변	59	55	48	50	58	57	50	47	53	56	46	48
도시대기	47	43	41	42	44	47	46	43	39	44	37	41

나. 도시대기와 도로변측정망 오염도 비교

그림 55~56에서 도시대기와 도로변측정망의 PM-10 월별 농도변화와 시간대별 농도변화를 살펴보았다. 도시대기의 월평균농도의 범위는 18~79 ㎍/㎥ 범위로 나타났고 도로변은 20~89 ㎍/㎥ 범위로 항상 도시대기보다 높았다. 3월과 5월 고농도 황사의 영향으로 월평균의 변동폭이 과거에 비해 크게 나타났다.

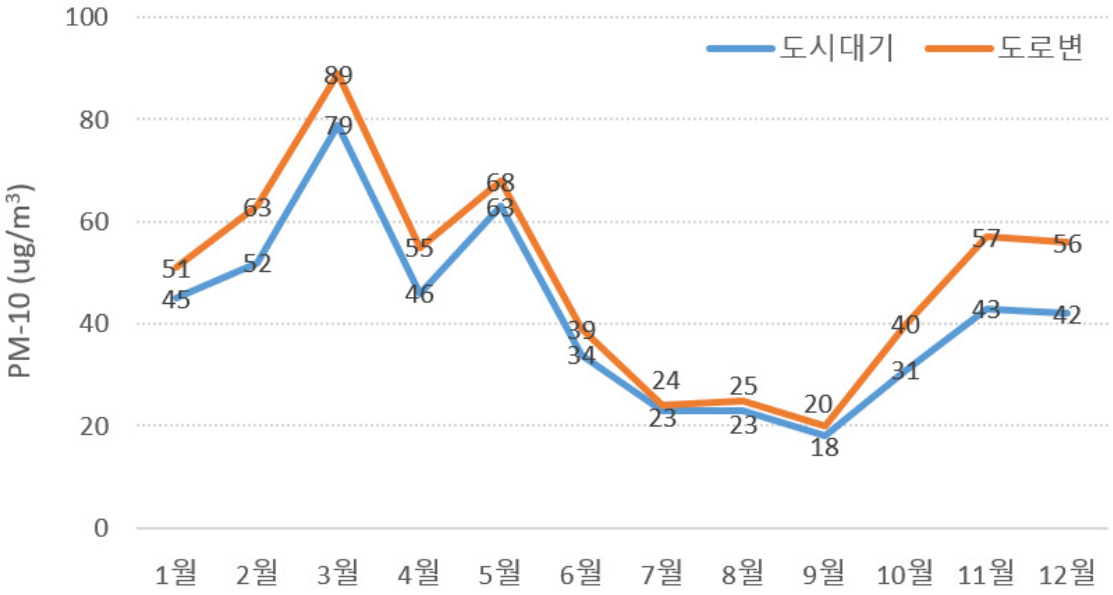


그림 55. PM-10 월평균 농도 변화

시간대별 변화를 보면 도시대기는 시간대별로 38~44 ㎍/㎥, 도로변은 43~55 ㎍/㎥로 도로변의 변동폭이 도시대기에 비해 컸으며 특히 통행량이 많은 7~10시에 급격한 상승을 나타냈다.

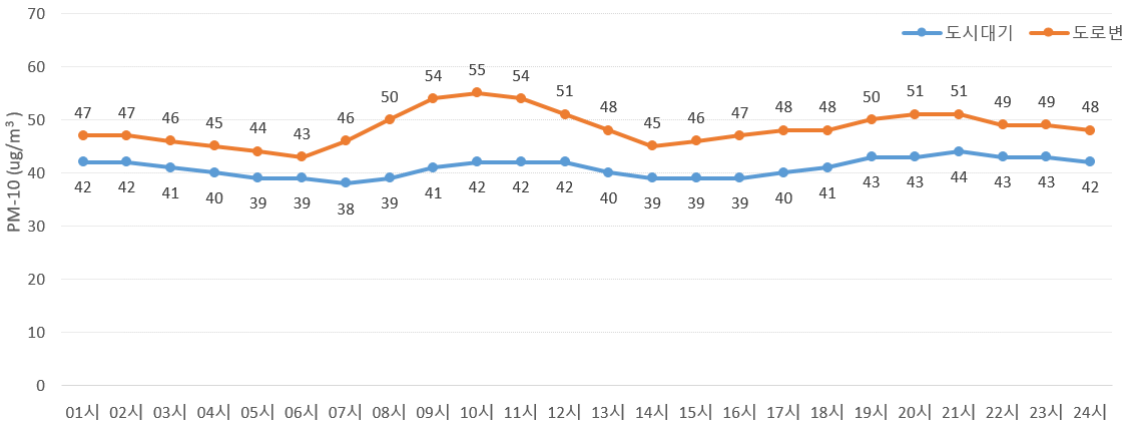


그림 56. PM-10 시간대 농도 변화

3.3.6 초미세먼지(PM-2.5)

가. 연평균 변화

표 29과 같이 도로변대기측정망의 PM-2.5 연평균 농도 변화를 살펴보면, 초미세먼지는 2018년부터 본격적으로 측정되었으며 2018년에 27 ㎍/㎥에서 등락을 반

복하며 2021년 25 ㎍/㎥을 기록하였다. 도로변 연평균 농도는 25 ~ 33 ㎍/㎥으로 21 ~ 26 ㎍/㎥범위를 보인 도시대기보다 항상 높게 나타났다.

표 29. 도로변대기측정망 PM-2.5 연평균 농도 변화

(단위 : ㎍/㎥)

구분	2018	2019	2020	2021
도로변	27	33	28	25
도시대기	21	26	21	21

나. 도시대기와 도로변측정망 오염도 비교

그림 57 ~ 58에서 도시대기와 도로변측정망의 PM-2.5 월별 농도변화와 시간대별 농도변화를 살펴보았다. 도시대기의 월평균농도의 범위는 9 ~ 34 ㎍/㎥, 도로변은 11 ~ 42 ㎍/㎥ 값이 보였으며 도로변이 도시대기에 비해 높게 나타났다.

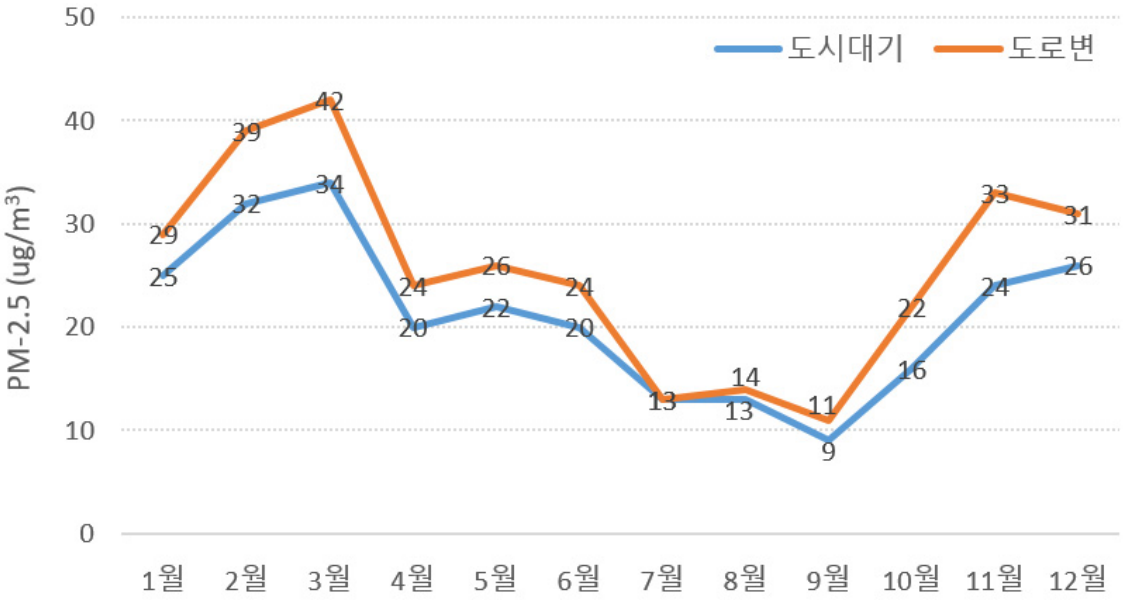


그림 57. PM-2.5 월평균 농도 변화

시간대별 변화를 보면 도시대기는 시간대별로 19 ~ 23 ㎍/㎥, 도로변은 20 ~ 28 ㎍/㎥로 도로변의 변동폭이 도시대기에 비해 크다. PM-10과 마찬가지로 7 ~ 10시에 농도가 상승하는 경향을 보이는데 PM-10은 도로변이 도시대기에 비해 급격한 상승을 갖는 반면, PM-2.5는 도로변과 도시대기가 비슷한 상승폭을 보이고 있다.

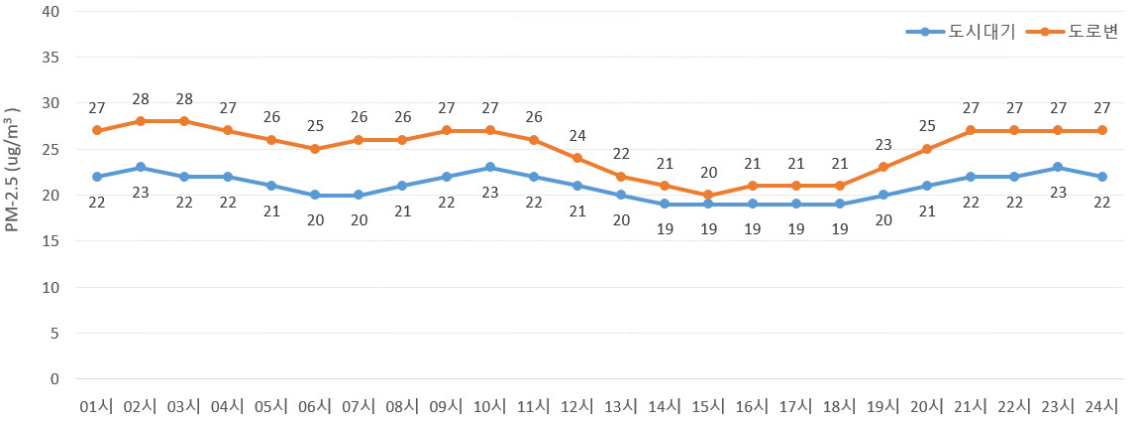


그림 58. PM-2.5 시간대 농도 변화

3.4. 대기중금속측정망

도시지역 및 산단 인근지역 중금속 오염도를 파악하고, 환경에 미치는 영향을 평가하여 미세먼지 중 중금속 물질 저감대책 수립 시 기초자료로 활용하기 위하여, 성황동, 독곶리, 송산면, 보령시 (2020년 12월 운영), 배방읍(유해) (2021년 9월 운영) 총 5개 지점에서 대기중금속측정망을 운영하고 있다.

매월 둘째 주에 5일간 5회(24시간/회) 납(Pb), 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 구리(Cu), 망간(Mn), 철(Fe), 니켈(Ni), 비소(As), 베릴륨(Be), 알루미늄(Al), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg) 등 총 12개 항목에 대하여 대기오염공정시험기준 (ES 01700.2) 유도결합플라즈마 발광광도법(ICP)을 활용하여 분석한다.

3.4.1 중금속농도 현황

2021년 연평균 중금속항목 구성비율은 Fe(39.7 %) > Ca(27.6 %) > Al(20.0 %) > Mg(9.6 %) > Mn(1.3 %) > Pb(0.9 %) > Cu(0.5 %) > As(0.2 %) > Ni, Cr(각 0.1 %) > Cd(0 % 미만, Be 불검출) 순으로 나타났다. 표 30에서 중금속의 최댓값은 1~4월, 11~12월에 분포되었으며 최솟값은 7~9월에 집중되었다. Fe, Ca, Al, Mg 이 중금속의 96.9 %를 나타냈으며, 대기환경기준물질인 납(Pb)은 전체 중금속의 0.9 %를 차지하였다. Cd과 Mn은 각각 0.0003 ㎍/㎥, 0.0305 ㎍/㎥으로 WHO 권고기준(Cd 0.005 ㎍/㎥, Mn 0.15 ㎍/㎥)을 만족하였다.

표 30. 2021년 월별 중금속측정망 평균농도

(단위 :㎍/㎥)

구분	평균	최대	최소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
Pb	0.0203	0.0496	0.0075	0.0266	0.0216	**0.0496**	0.0195	0.0204	0.0106	0.0134	0.0091	**0.0075**	0.0142	0.0173	0.0354
Cd	0.0003	0.0011	0.0000	0.0006	0.0006	**0.0011**	0.0005	0.0004	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0008	0.0000
Cr	0.0031	0.0062	0.0016	0.0032	0.0018	0.0038	0.0036	0.0032	0.0031	0.0022	0.0022	**0.0016**	0.0027	0.0028	**0.0062**
Cu	0.0124	0.0259	0.0047	0.0127	0.0114	0.0190	0.0193	0.0137	0.0151	0.0070	0.0076	0.0074	0.0062	**0.0047**	**0.0259**
Mn	0.0305	0.0484	0.0162	0.0469	0.0236	0.0418	**0.0484**	0.0293	0.0269	0.0190	0.0208	**0.0162**	0.0187	0.0298	0.0466
Fe	0.9218	1.8485	0.3326	1.2880	0.9643	1.2340	**1.8485**	1.0442	0.9324	0.5925	0.4170	**0.3326**	0.6984	0.9507	0.9500
Ni	0.0017	0.0040	0.0000	0.0020	0.0018	**0.0040**	0.0032	0.0024	0.0027	**0.0000**	0.0012	0.0003	0.0005	0.0010	0.0026
As	0.0043	0.0111	0.0000	0.0034	0.0032	**0.0111**	0.0059	0.0068	0.0006	**0.0000**	0.0042	0.0012	0.0040	0.0024	0.0088
Be	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Al	0.4648	0.9756	0.1341	0.9451	0.3358	0.4918	**0.9756**	0.7113	0.5338	0.1806	0.2894	**0.1341**	0.2773	0.3529	0.4950
Ca	0.6396	1.2456	0.3276	**1.2456**	0.7021	0.6754	1.1931	0.5728	0.6312	0.3705	0.5523	**0.3276**	0.3690	0.6474	0.5541
Mg	0.2228	0.5214	0.0938	0.5214	0.2247	0.2450	0.3837	0.2445	0.2138	0.1054	0.1290	**0.0938**	0.1455	0.2094	0.2134

표 31에서 2019년 대비 측정소가 증가한 2021년도를 보면 Fe(50.1 %), Ca(45.2 %), Al(42.4 %), Mg(25.3 %) 농도 감소의 폭이 컸다. 2021년 10월 국립환경과학원 보도자료에 따르면, 2021년 동북아지역 기압 및 풍향변화로 동풍계열 바람 빈도가 2020년 9월 서산 31.8 %에서 2021년 9월 서산 53.1 %로 작년대비 21.3 % 빈도 증가되어 원활한 대기 확산이 이루어졌으며, 굴뚝자동측정기기(TMS) 사업장의 배출량이 2020년 대비 6.98 % 감소로 대기질 개선에 영향을 주어 중금속측정망 농도는 연도별로 점차 감소하는 추세로 확인된다.

표 31. 2021년 월별 중금속측정망 평균농도

(단위 :㎍/㎥)

구분	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	As	Be	Al	Ca	Mg
2021년	0.0203	0.0003	0.0031	0.0124	0.0305	**0.9218**	0.0017	0.0043	0.0000	**0.4648**	**0.6396**	**0.2228**
2020년	0.0262	0.0006	0.0042	0.0152	0.0434	1.5674	0.0024	0.0081	0.0000	0.6903	0.8989	0.2579
2019년	0.0276	0.0003	0.0024	0.0133	0.0460	**1.8485**	0.0027	0.0036	0.0000	**0.8075**	**1.1669**	**0.2981**

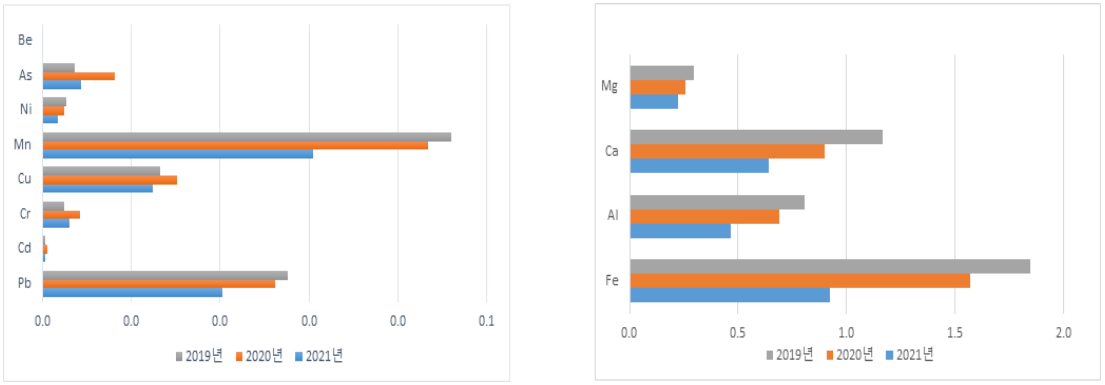


그림 59. 중금속측정망 연평균 농도변화

3.4.2 납(Pb) 농도 변화추이

충남지역 2021년 Pb은 0.0203 ㎍/㎥으로 전년도에 비해 0.0059 ㎍/㎥ 감소하였으며, 대기환경기준(0.5 ㎍/㎥)이내이다. 최근 3년간 전체 Pb농도 변화를 그림 60에서 살펴보면 2019년 송산면에서 0.0474 ㎍/㎥로 가장 높게 나타났다. 2021년 Pb농도는 성황동 0.0159 ㎍/㎥, 독곶리 0.0172 ㎍/㎥, 송산면 0.0336 ㎍/㎥, 보령시 0.0166 ㎍/㎥, 배방읍(유해) 0.0147 ㎍/㎥으로 나타났으며 Pb의 농도가 전년도에 비해 보령시 36.6 %, 성황동 27.1 %, 독곶리 13.1 %, 송산면 8.8 % 줄어들었다. 공업지역인 송산면은 2021년 차지 비율이 34.3 %로 성황동 주거지역 16.2 % 보다 높았다.

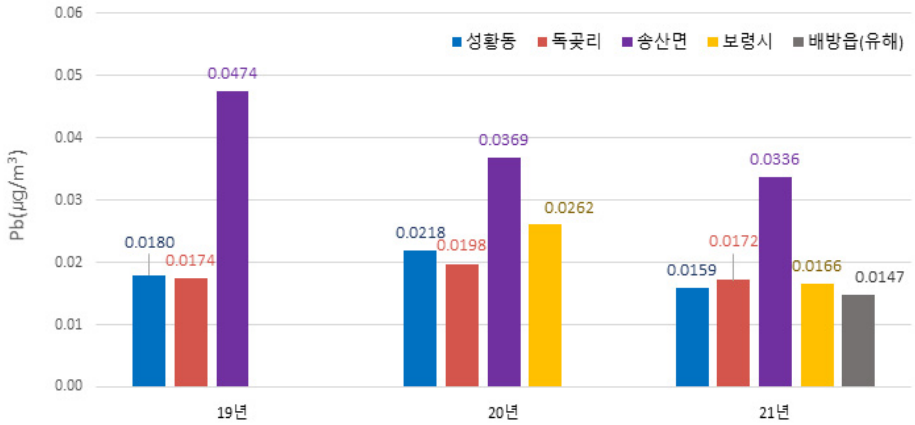


그림 60. 중금속측정망 연도별 Pb 농도 비교

3.4.3 지점별 농도 현황

그림 61에서 성황동 중금속농도 연평균 총 합계는 2.4795 μg/㎥로 전년도 보다 11.0 % 증가하였으며, 전체 중금속 연평균 2.0989 μg/㎥ 대비 15.3 % 높았다. 가장 높은 농도를 기록한 4월 4.2859 μg/㎥은 가장 낮은 농도를 기록한 7월 0.8184 μg/㎥에 비해 5.2배 높게 나타났다.

봄(3 ~ 5월), 여름(6 ~ 8월), 가을(9 ~ 11월), 겨울(12 ~ 2월) 계절별 연평균농도 합계를 살펴보면, 봄 9.8 μg/㎥(33.0 %), 여름 5.7 μg/㎥(19.3 %), 가을 5.1 μg/㎥(17.3 %), 겨울 9.1 μg/㎥(30.5 %)로 미세먼지가 높은 봄, 겨울 농도가 여름, 가을 농도 대비 1.7배 높았다. 봄의 Fe 농도는 중금속 전체의 33.3 %을 차지하였고, 여름, 가을, 겨울의 Ca 농도는 42.2 %, 37.1 %, 31.7 %로 높았다.

그림 62 연평균농도 분포 중 Fe은 0.7396 μg/㎥(29.8 %)로 가장 높았다. Ca, Al, Mg은 각각 0.8190 μg/㎥(33.0 %), 0.6012 μg/㎥(24.2 %), 0.2542 μg/㎥(10.3 %) 순으로 나타났으며, Fe, Al, Ca, Mg이 연평균 중금속의 97.4 %를 차지한다.

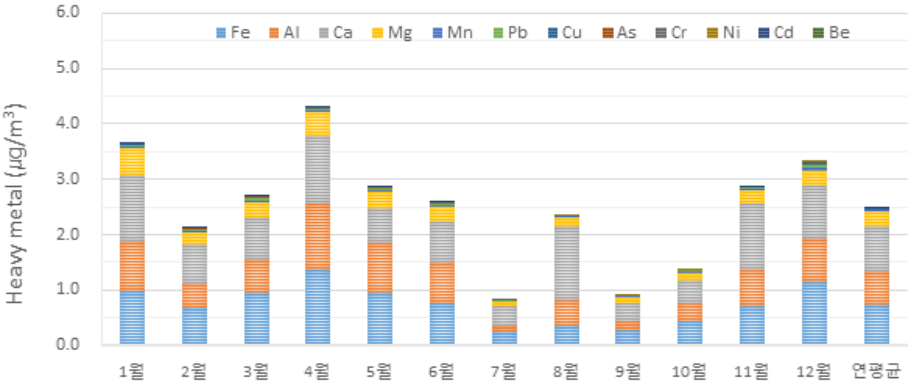


그림 61. 성황동 중금속측정망 월평균농도

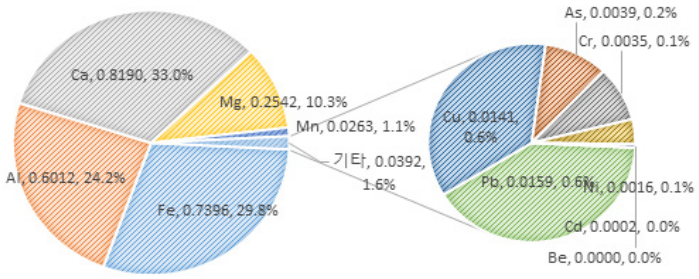


그림 62. 성황동 중금속측정망 연평균농도 분포

그림 63에서 독곶리 중금속농도 연평균 총 합계는 1.9145 ㎍/㎥로 전년도 보다 7.9 % 감소하였으며, 전체 중금속 연평균 2.0989 ㎍/㎥ 대비 8.8 % 낮다. 가장 높은 농도를 기록한 1월 4.4509 ㎍/㎥은 가장 낮은 농도를 기록한 7월 0.7186 ㎍/㎥에 비해 6.2배 높게 나타났다.

봄(3 ~ 5월), 여름(6 ~ 8월), 가을(9 ~ 11월), 겨울(12 ~ 2월) 계절별 연평균농도 합계를 살펴보면, 봄 7.5 ㎍/㎥(25.0 %), 여름 3.6 ㎍/㎥(12.2 %), 가을 3.4 ㎍/㎥(11.8 %), 겨울 8.4 ㎍/㎥(28.2 %)로 미세먼지가 높은 봄, 겨울 농도가 여름, 가을 농도 대비 2.2배 높음을 알 수 있다. 봄은 Al 농도가 29.5 %로 높았으며 여름, 가을, 겨울의 Ca 농도가 31.6 %, 32.9 %, 28.9 %로 높았다.

그림 64의 연평균농도 분포 중 Fe은 0.5335 ㎍/㎥(27.9 %)로 가장 높았다. Ca, Al, Mg은 각각 0.5552 ㎍/㎥(29.0 %), 0.5089 ㎍/㎥(26.6 %), 0.2541 ㎍/㎥(13.3 %) 순으로 나타났으며, Fe, Al, Ca, Mg이 연평균 중금속의 96.7 %를 차지한다.

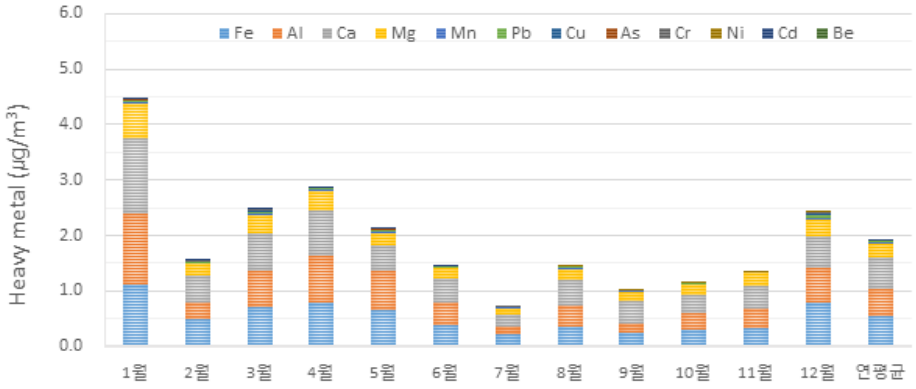


그림 63. 독곶리 중금속측정망 월평균농도

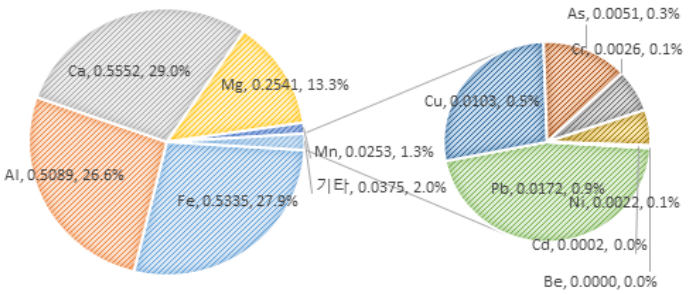


그림 64. 독곶리 중금속측정망 연평균농도 분포

그림 65에서 송산면 중금속농도 연평균 총 합계는 3.7626 ㎍/㎥로 전년도 보다 69.3 % 감소하였으며, 전체 중금속 연평균 2.0989 ㎍/㎥ 대비 44.2 %높다. 가장 높은 농도를 기록한 4월 8.1476 ㎍/㎥은 가장 낮은 농도를 기록한 8월 1.3579 ㎍/㎥에 비해 6배 높게 나타났다.

봄(3 ~ 5월), 여름(6 ~ 8월), 가을(9 ~ 11월), 겨울(12 ~ 2월) 계절별 연평균농도 합계를 살펴보면, 봄 16.4 ㎍/㎥(36.0 %), 여름 8.8 ㎍/㎥(19.5 %), 가을 9.6 ㎍/㎥(21.1 %), 겨울 10.6 ㎍/㎥(23.4 %)로 미세먼지가 높은 봄, 겨울 농도가 여름, 가을 농도 대비 1.5배 높음을 알 수 있다. 봄, 여름, 가을, 겨울 Fe의 농도가 55.5 %, 53.8 %, 65.5 %, 52.4 %로 높았다.

그림 66의 연평균농도 분포 중 Fe은 2.1181 ㎍/㎥(56.3 %)로 가장 높았다. Ca, Al, Mg은 각각 0.8629 ㎍/㎥(22.9 %), 0.4521 ㎍/㎥(12.0 %), 0.2087 ㎍/㎥(5.5 %) 순으로 나타났으며, Fe, Al, Ca, Mg이 연평균 중금속의 96.8 %를 차지한다.

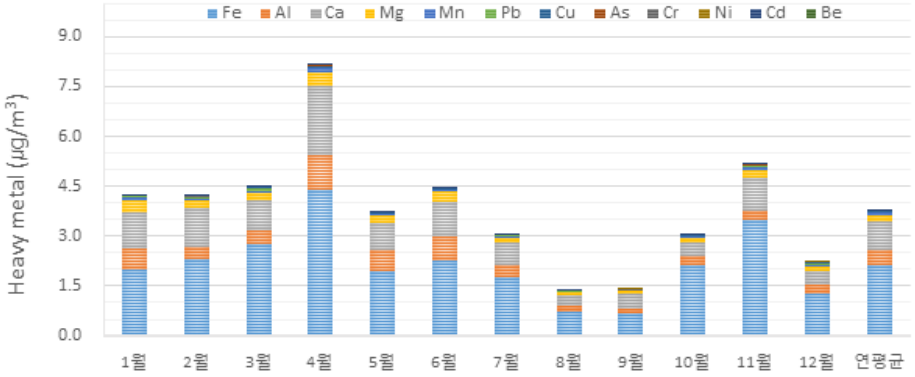


그림 65. 송산면 중금속측정망 월평균농도

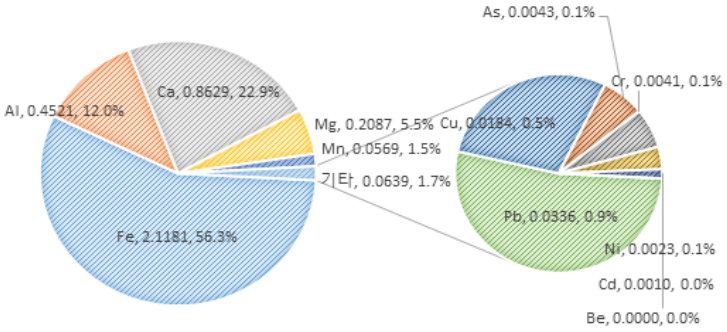


그림 66. 송산면 중금속측정망 연평균농도 분포

그림 67에서 보령시 중금속농도 연평균 총 합계는 1.4615 ㎍/㎥이다. 가장 높은 농도를 기록한 1월 4.0617 ㎍/㎥은 가장 낮은 농도를 기록한 9월 0.4855 ㎍/㎥에 비해 8.4배 높게 나타났다.

봄(3 ~ 5월), 여름(6 ~ 8월), 가을(9 ~ 11월), 겨울(12 ~ 2월) 계절별 연평균농도 합계를 살펴보면, 봄 6.1 ㎍/㎥(34.7 %), 여름 2.2 ㎍/㎥(12.5 %), 가을 2.6 ㎍/㎥(14.8 %), 겨울 6.7 ㎍/㎥(38.1 %)로 미세먼지가 높은 봄, 겨울 농도가 여름, 가을 농도 대비 2.7배 높음을 알 수 있다. 봄, 여름 Fe의 농도가 32.7 %, 33.2 %, 가을, 겨울 Ca의 농도가 32.6 %, 31.3 %로 높았다.

그림 68의 연평균농도 분포 중 Fe은 0.4512 ㎍/㎥(30.9 %)로 가장 높았다. Ca, Al, Mg은 각각 0.4100 ㎍/㎥(28.1 %), 0.3557 ㎍/㎥(24.3 %), 0.1986 ㎍/㎥(13.6 %) 순으로 나타났으며, Fe, Al, Ca, Mg이 연평균 중금속의 96.9 %를 차지한다.

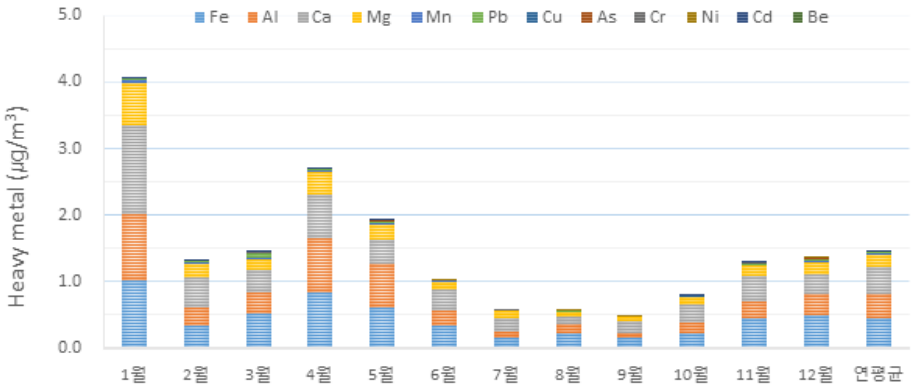


그림 67. 보령시 중금속측정망 월평균농도

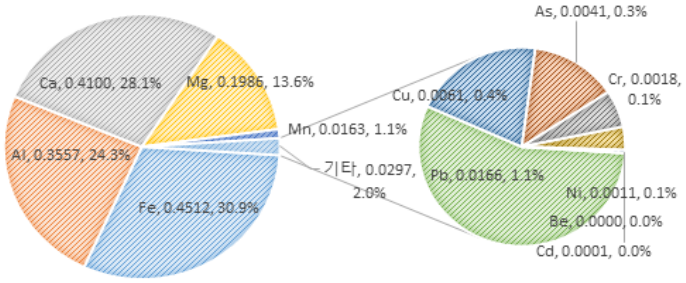


그림 68. 보령시 중금속측정망 연평균농도 분포

그림 69에서 배방읍(유해) 중금속농도 연평균 총 합계는 1.3997 ㎍/㎥이다. 가장 높은 농도를 기록한 12월 2.3956 ㎍/㎥은 가장 낮은 농도를 기록한 9월 0.8130 ㎍/㎥에 비해 2.9배 높게 나타났다.

그림 70의 연평균농도 분포 중 Fe은 0.5166 ㎍/㎥(36.9 %)로 가장 높았다. Ca, Al, Mg은 각각 0.3851 ㎍/㎥(27.5 %), 0.2888 ㎍/㎥(20.6 %), 0.1483 ㎍/㎥(10.6 %) 순으로 나타났으며, Fe, Al, Ca, Mg이 연평균 중금속의 91.6 %를 차지한다.

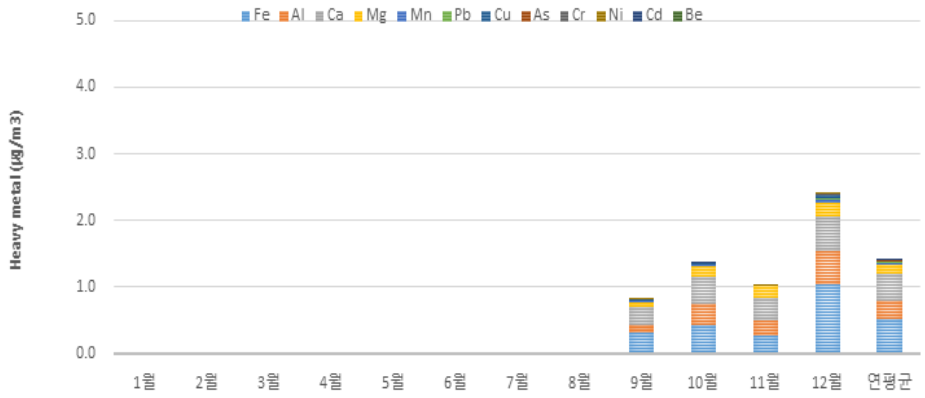


그림 69. 배방읍(유해) 중금속측정망 월평균농도

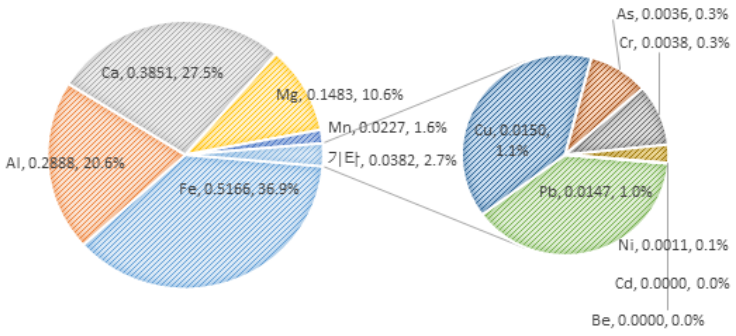


그림 70. 배방읍(유해) 중금속측정망 연평균농도 분포

3.5. 초미세먼지(PM-2.5) 성분분석

3.5.1. 개요

세계보건기구(WHO)가 미세먼지를 1군 발암물질로 지정할 만큼 미세먼지의 인체 위해성에 대한 중요성이 대두되고 있다. 미세먼지는 우리 몸에 들어와 인·후두 및 기관지에 큰 영향을 줄 뿐만 아니라 심혈관 및 뇌까지 영향을 주고 있다. 입자가 큰 먼지는 대부분 코털이나 기관지 점막에서 배출되지만 입자가 작은 미세먼지의 경우 코털이나 기관지 점막에서 걸러지지 않고 우리 몸 속까지 스며들어 큰 영향을 끼친다. 미세먼지는 작을수록 위험한데 미세먼지에 대해 흔히 말하는 미세먼지(PM-10)보다 초미세먼지(PM-2.5)가 표면적이 넓어 폐 속에 흡착될 가능성이 높아 더 위험하다고 볼 수 있다.

미세먼지는 생성기작에 따라 1차 미세먼지와 2차 미세먼지로 구분된다. 공장 굴뚝, 산불, 자동차 등 발생원으로부터 고체 상태로 나오는 1차 미세먼지와 가스 상태로 나와 대기 중 화학반응을 거쳐 미세먼지로 전환되는 2차 미세먼지이다. 석탄·석유 등 화석연료가 연소되는 과정에서 배출되는 황산화물(SOx)은 대기 중 수증기(H_2O)와 암모니아(NH_3)와 결합되어 황산암모늄($(NH_4)_2SO_4$)이 생성되고, 자동차 및 각종 연소시설에서 발생하는 질소산화물(NOx)는 대기 중 오존(O_3)과 암모니아(NH_3)와 반응하여 질산암모늄(NH_4NO_3)이 된다. 마지막으로 자동차 배기가스나, 주유소 유증기, 유기용제 사용시에 발생하는 휘발성 유기화합물(VOCs)은 대기 중 반응성이 강한 물질(OH, O_3 등)과 반응하여 또 다른 유기 입자를 생성하는데 이를 통틀어 2차 미세먼지라고 부른다. 이러한 2차 미세먼지는 전체 미세먼지의 50 % 이상을 차지할 만큼 저감 대책을 마련하기 위해서는 직접적인 2차 미세먼지의 구성성분 및 원인을 파악하여 그에 따른 효과적이고 직접적인 대책을 마련하여야 한다.

충청남도는 연평균 초미세먼지(PM-2.5) 농도는 21 ㎍/㎥으로 타 시군과 비교해도 높은 수치를 보인다. 화력발전소가 당진, 태안, 보령, 서천 등 서해안을 따라 분포되어 있고, 국가산업단지는 물론, 철강산업과 석유화학산업 등 대형 사업장들이 입지해 있어 그로 인한 1차 및 2차 생성 등 초미세먼지 농도가 높아질 가능성이 있다. 따라서 충남지역 내 초미세먼지의 정확한 농도와 구성 성분을 파악하고 그에 따른 효과적인 저감 정책을 마련하는 것이 중요한 실정이다.

3.5.2. 시료채취

가. 시료 채취 위치선정

초미세먼지 성분분석은 충남지역 중 천안, 아산, 당진, 서산 총 4지점 최적의 장소를 선정하여 진행하였다. 천안은 성황동 도시대기 측정소에서 수행하였다. 천안시는 서쪽으로는 아산, 북쪽으로는 경기도 평택, 안성과 인접해 있어 여러 영향 요인이 복합적으로 연관되어 있을 뿐만 아니라 충남에서 가장 인구가 많은 도시이자 도심지역이기에 선정하였다. 아산은 인주면 도시대기 측정소에서 수행하였다. 아산시는 서쪽으로는 당진, 북쪽으로는 평택과 인접해 있고, 인주 산업단지와 같은 산업시설이 집중되어 있기에 선정하였다. 당진은 송산면 도시대기 측정소에서 수행하였다. 송산면의 경우 철강 산업단지가 위치하고 있고, 철강 산업단지의 특성상 미세먼지의 생성에 많은 영향을 줄 것으로 판단하여 선정하였다. 마지막으로 서산은 대죽리 유해대기 측정소에서 수행하였다. 서산은 동쪽으로 당진, 서쪽으로 태안 등 발전시설과 인접해 있는 것은 물론 국가 산단 및 대형 석유화학단지가 위치해 있는 곳으로서 집중 분석이 필요하다고 판단하여 선정하였다.

나. 시료채취 방법

초미세먼지 시료채취를 위해서는 독일 Sven Leckel사의 SEQ47/50 장비를 사용하였으며, 충돌한 형식의 분립장치가 장착된 저용량 공기시료채취기(Low-Volume Air Sampler)를 이용하여 16.7 L/min의 유속으로 24시간 포집하였고 매월 7일간 연속으로 시료를 채취하였다. 천안지역의 11월 시료채취는 해당 측정소 공사로 인해 생략하였다. 이온성분, 탄소성분, 중금속성분을 분석하기 위해 각 측정 위치마다 3대의 장비를 사용, 총 12대의 저용량 공기시료채취기를 사용하여 시료를 채취하였다. 각 분석의 효율을 높이기 위해 각각 다른 여지를 사용하였으며 이온성분은 Pallflex사의 테프론 여지, 탄소성분은 Whatman사의 유리섬유 여지, 중금속 성분은 Pallflex사의 유리섬유여지를 사용하여 채취하였다. 탄소성분분석을 위한 유리섬유여지의 경우 추가적으로 전기로에서 4시간 이상 850℃로 가열하여 잔류탄소를 휘발시킨 후 시료를 채취하였다.

3.5.3. 분석방법

가. 중량농도

초미세먼지의 정확한 질량농도를 산출하기 위해 초미세먼지 칭량로봇시스템을 사용하였다. 해당 기기는 온도 20 ± 2 ℃, 습도 35 ± 5 %로 유지하며 1 ㎍ 단위까지 칭량한다. 같은 여지를 총 4번 칭량하여 그 값의 평균을 사용하였다. 테프론 여지는 24시간 동안 항량 후 사용하였으며, 포집 전후의 무게 차이를 시료채취기에 흡인된 실제 유량(㎥)으로 나누어 산출되었다.

나. 이온성분 분석

수용성 이온성분은 초미세먼지 포집 여지를 에탄올로 침적시킨 후 초순수로 처리하고 교반기에 장착시켜 120 rpm으로 120분 동안 교반하여 추출하였다. 추출액은 공극크기가 0.45 ㎛인 멤브레인 실린지 필터로 여과하였으며 여과된 시료는 가능한 즉시 분석하였다. 분석장비로는 이온성분을 분석할 수 있는 이온크로마토그래피(ion chromatography)를 사용하였으며, 3종의 음이온(염소 Cl^-, 황산염 SO_4^{2-}, 질산염 NO_3^-)과 5종의 양이온(나트륨 Na^+, 마그네슘 Mg^{2+}, 암모늄 NH_4^+, 칼륨 K^+, 칼슘 Ca^{2+})을 분석하였다.

다. 탄소성분 분석

탄소성분 분석은 대기오염측정망 설치·운영지침을 따라 수행하였으며, 성분은 유기탄소(organic carbon, OC)와 원소탄소(element carbon, EC)로 구분하였다. 표준용액으로 Sucrose를 사용하였으며, 분석 장비로는 열광학적 OC/EC 분석기(thermal optical OC/EC analyzer)를 사용하였다. 해당 기기는 NIOSH(national institute of occupational safety and health) 프로토콜에 준하여 분석을 수행한다.

라. 중금속성분 분석

중금속성분은 대기오염공정시험기준의 ES01102 시료 전처리 중 마이크로파 산분해법(microwave acid digestion)을 적용하여 전처리하였다. 전처리 용액은 0.45 ㎛인 멤브레인 필터를 장착한 실린더를 사용하여 불순물을 제거하였다. 분석대상 원소는 13종(알루미늄 Al, 바나듐 V, 크롬 Cr, 망간 Mn, 철 Fe, 니켈 Ni, 구리 Cu, 아연 Zn, 비소 As, 스트론튬 Sr, 카드뮴 Cd, 납 Pb, 베릴륨 Be)이며, 유도결합플라즈마 질량분석기(Inductively coupled plasma mass spectrometer, ICP-MS)로 분석을 수행하였다.

표 32. 초미세먼지 수동 시료채취 및 분석방법

분석항목	채취 여지	측정장비
PM-2.5	PTFE (MTL, USA)	초미세먼지 칭량로봇시스템 (ChamBAL-500, C2K Creative, Korea)
이온성분	PTFE (MTL, USA)	Ion Chromatography (ICS-5000+, Thermo Scientific, USA)
탄소성분	Quartz (Whatman, UK)	Thermal optical OCEC analyzer (Model 5L, Sunset Lab., USA)
중금속성분	Quartz (Pallflex, USA)	ICP-MS (Agilent 7900, Agilent, USA)

3.5.4. 분석결과

가. 초미세먼지 구성성분 비율

천안, 아산, 당진, 서산 4지점의 연평균으로 보면 이온성분은 56 %로 전체 성분의 절반 이상을 차지하였다. 이중 2차 오염물질인 NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+은 각각 24 %, 16 %, 13 %로 전체 이온성분의 대다수인 53 %를 차지했다. 다음으로 탄소성분은 31 %를 차지하였고, 그 중 OC는 28 %를 차지하였다. 전체적으로 2차 생성물질인 NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+, OC는 초미세먼지의 81 %를 차지할 만큼 2차 미세먼지의 비율이 높았다는 것을 의미한다. 반면 중금속성분은 2 %로 미량에 해당하였다. 중금속성분의 경우 분석 결과상 기여도가 낮으나 미량으로도 인체의 위해성이 크고 인근 오염원의 추적자로 활용할 수 있어 지속적인 모니터링이 필요한 오염물질이다.

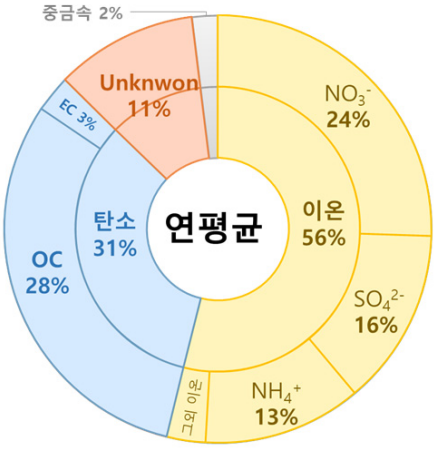


그림 71. 2021년 전 지점 연평균 초미세먼지 구성성분 비율

나. 지역별 연평균과 고농도 시 구성성분 비교

시료 채취한 4지점의 연평균 구성성분과 고농도 시 구성성분의 차이를 비교하였다. 고농도의 기준은 초미세먼지의 일평균 농도 35 ㎍/㎥ 초과를 기준으로 구분하였다.

(1) 천안

천안지역의 경우 연평균 구성성분은 이온성분 53 %, 탄소성분 37 %, 중금속성분 1%로 구성되었다. 전 지점의 연평균 구성성분과 크게 차이는 없지만 다른 지점에 비해 탄소의 구성성분 비율이 약 1 ~ 6 % 정도의 높게 나타났다. 이는 천안지역이 평균적으로 2차 미세먼지 생성 시 유기탄소로 전환되는 비율이 높다는 것을 의미한다. 반면에 고농도 시 이온성분 64 %, 탄소성분 28 %, 중금속성분 1 %로 구성되었다. 연평균과 비교했을 때 이온은 +11 %, 탄소는 -9 % 증감한 수치이다. 특히 이 중 NO_3^-는 고농도 발생 시 연평균 27 %에서 11 %가 증가한 38 % 수치를 보이며, NH_4^+ 이온은 고농도 발생 시 2 % 증가한 14 %를 차지하였다. 천안지역은 고농도 발생 시 다른 구성성분 보다 가스상 오염물질이 대기 중 화학반응으로 형성되는 질산암모늄(NH_4NO_3)의 비율이 급격히 상승한 결과라고 사료된다.

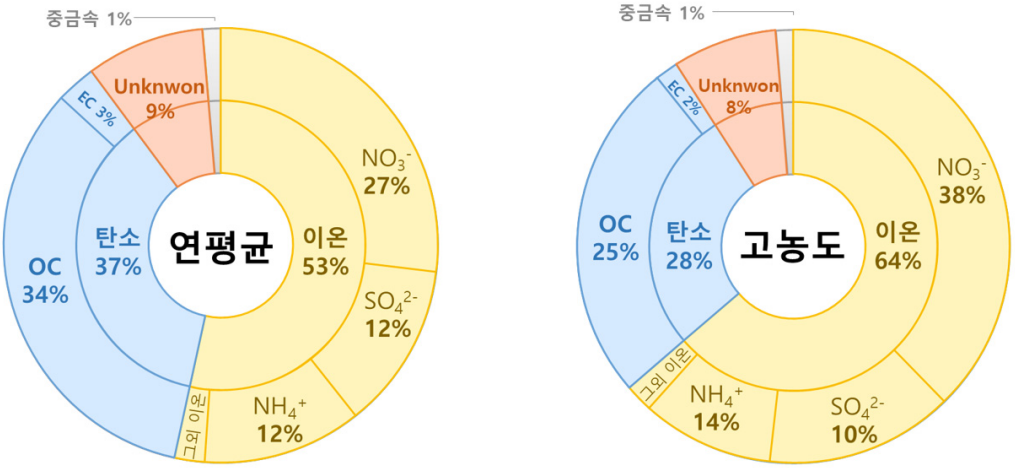


그림 72. 2021년 천안지역 초미세먼지 구성성분 비율: (왼) 연평균, (오) 고농도

(2) 아산

아산지역의 경우 연평균 구성성분은 이온성분 51 %, 탄소성분 36 %, 중금속성분 2 %로 구성되었다. 다른 지점과 비교해 보았을 때 아산의 특이점은 4지점 중 이온성분의 비율이 가장 낮은 51 %를 차지하고 있다. 고농도 시에는 이온성분 61 %, 탄소성분 28 %, 중금속성분 1 %로 연평균과 비교하여 이온은 +10 %, 탄소 -8

%, 중금속 -1 % 증감하였다. 아산지역 역시 고농도 시 특히 이온성분 중 NO_3^-는 연평균보다 9 % 증가하였고 NH_4^+ 이온 역시 2 % 증가한 13 %를 차지했다. 고농도 발생 시 질산암모늄(NH_4NO_3)의 비율이 급격히 상승한 결과라고 파악된다.

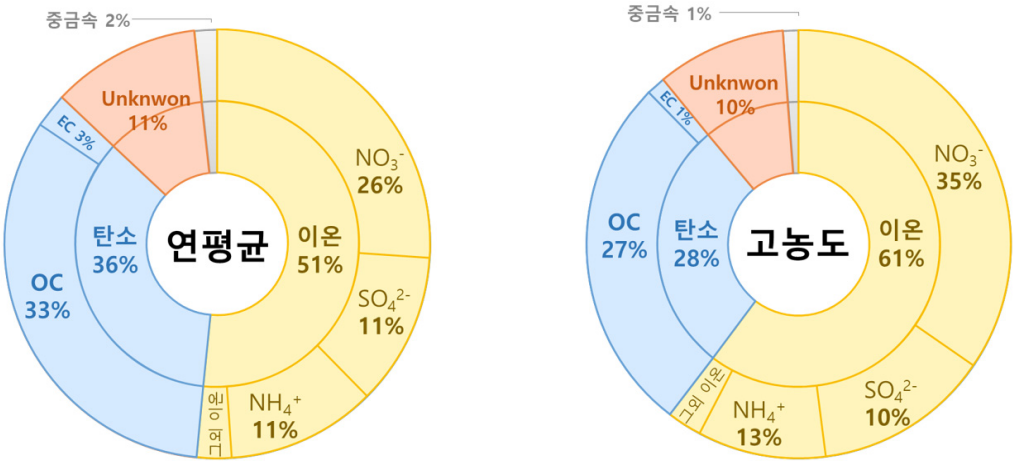


그림 73. 2021년 아산지역 초미세먼지 구성성분 비율: (왼) 연평균, (오) 고농도

(3) 당진

당진지역의 경우 연평균 구성성분은 이온성분 55 %, 탄소성분 31 %, 중금속성분 3 %로 구성되었다. 다른 지점과 비교해 보았을 때 당진의 특이점은 4지점 중 초미세먼지의 중량농도가 가장 높은 지역이며, 중금속성분의 비율이 가장 높은 3 %를 차지하고 있다. 고농도 시에는 이온성분 62 %, 탄소성분 27 %, 중금속성분 1 %로 연평균과 비교하여 이온은 +7 %, 탄소 -4 %, 중금속 -2 % 증감하였다. 당진 역시 NO_3^-는 고농도 시 8 %가 증가하고, NH_4^+ 역시 2 %가 증가하여 질산암모늄(NH_4NO_3)의 생성이 고농도 발생의 주 원인으로 파악된다. 당진은 대형 철강산업단지가 위치해 있는 만큼 배출량이 많아 2차 미세먼지가 발생할 가능성이 높은 지역이다. 또한 중금속은 인체 위해성이 크기 때문에 앞으로 지속적인 관심을 가져야 한다.

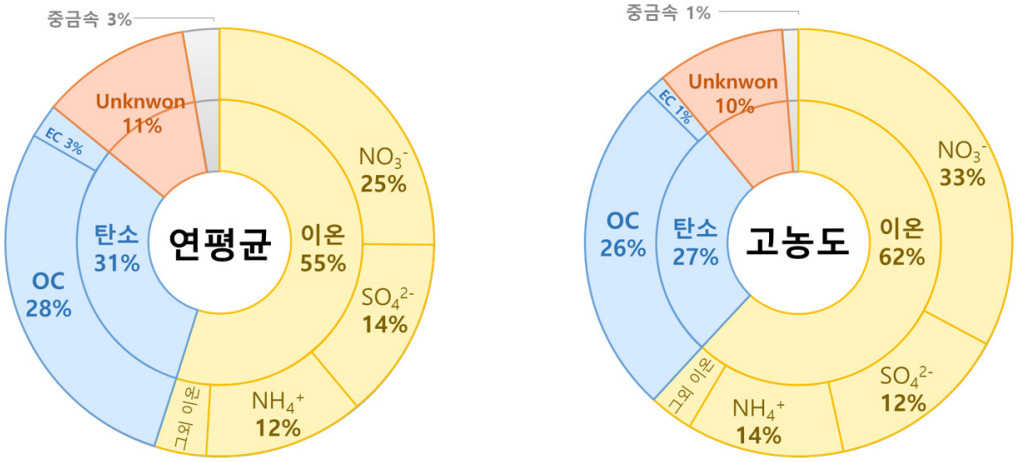


그림 74. 2021년 당진지역 초미세먼지 구성성분 비율: (왼) 연평균, (오) 고농도

(4) 서산

서산지역의 경우 연평균 구성성분은 이온성분 56 %, 탄소성분 31 %, 중금속성분 2 %로 구성되었다. 다른 지점과 비교해 보았을 때 서산의 특이점은 4지점 중 이온의 구성성분 비율이 NO_3^- 24 %, SO_4^{2-} 16 %, NH_4^+ 13 %로 구성되어 있는데 다른 지점에 비해 SO_4^{2-} 비율이 16 %로 다른 지점에 비해 황산이온의 비율이 가장 높게 나타났다. 이는 서산 지역에 위치한 대형 석유화학산단의 영향으로 파악된다. 고농도 시에는 이온성분 65 %, 탄소성분 24 %, 중금속성분 1 %로 연평균과 비교하여 이온은 +9 %, 탄소 -7 %, 중금속 -1 % 증감하였다. 서산도 마찬가지로 NO_3^-는 고농도 시 10 %가 증가하고, NH_4^+ 역시 2 %가 증가하여 질산암모늄(NH_4NO_3)의 생성이 고농도 발생의 주 원인으로 파악된다. 전체적으로 4지점 모두 고농도 발생 시 질산이온(NO_3^-)의 비율이 증가한 것으로 보아 고농도 시에는 대기 중 화학반응으로 생성되는 2차 미세먼지의 비율 중 질산암모늄(NH_4NO_3)이 가장 지배적인 고농도의 원인 성분으로 기여한다고 사료된다.

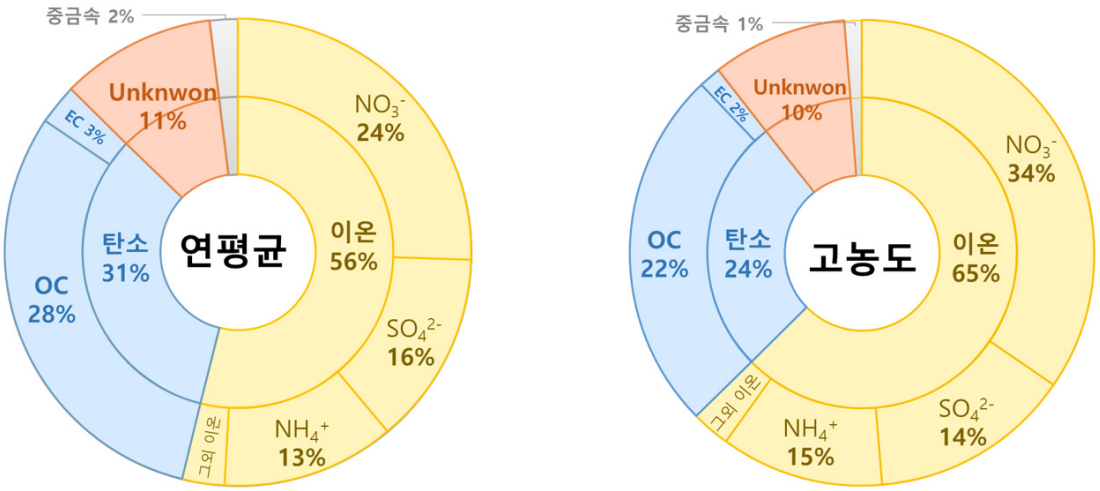


그림 75. 2021년 서산지역 초미세먼지 구성성분 비율: (왼) 연평균, (오) 고농도

다. 계절별 구성성분 변동특성

4개 지역에서 중량농도법으로 측정한 초미세먼지는 평균 27 ㎍/㎥이며 계절별 14 ~ 38 ㎍/㎥의 범위를 보였다. 겨울철(1 ~ 2월, 12월) 초미세먼지는 38.3 ㎍/㎥으로 계절 중 가장 높은 농도를 보였다.

(1) 이온성분

주요 이온성분인 NO_3^-, SO_4^{2-}, NH_4^+은 각각 6.87 ㎍/㎥, 3.60 ㎍/㎥, 3.25 ㎍/㎥ 순의 농도를 보였으며, 이들 또한 겨울철에 높았다. 이는 겨울철 북서풍의 영향으

로 인한 국외 미세먼지의 유입과 대기정체로 인한 국내 발생 미세먼지 및 대기 중 활발한 화학반응으로 초미세먼지와 이온성분의 농도가 증가했기 때문이다. 이온성분의 구성비율을 살펴보면, NO_3^-는 겨울에 52.8 %로 높은 성분비를, 여름(6 ~ 8월)에는 17.1 %로 낮은 성분비를 가졌다. 반면 SO_4^{2-}는 겨울에 19.5 %로 낮은 구성비를, 여름에 53.8 %로 높은 구성비를 보였다. 이는 기온이 높은 여름에 입자상 형태인 NH_4NO_3가 분해되어 NO_3^-의 측정 손실량이 발생하고 이산화황(SO_2)의 광화학 반응과 액상반응이 활성화되어 SO_4^{2-}의 생성이 활발해지기 때문이다. 한편 NH_4^+는 계절별 구성비율이 20 ~ 23 %로 4계절 동안 일정 비율을 나타냈다.

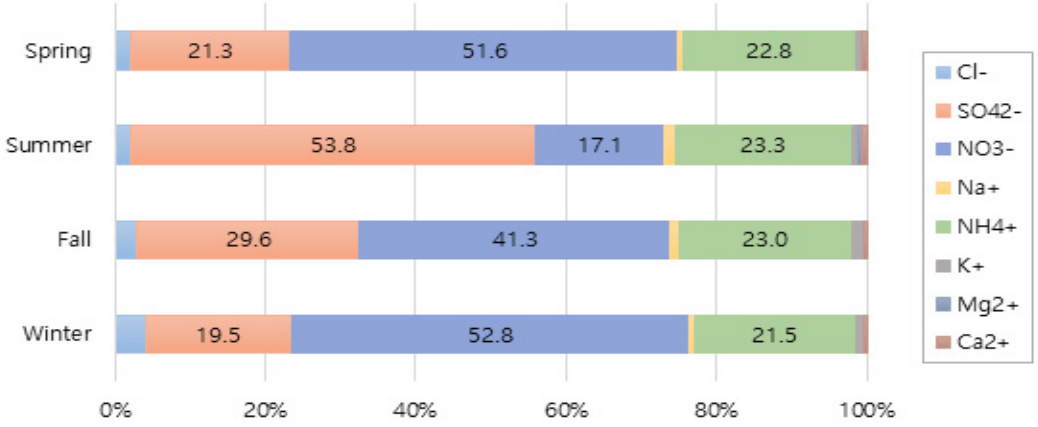


그림 76. 계절별 이온성분 구성비율

(2) 탄소성분

탄소성분인 OC, EC는 각각 8.26 ㎍/㎥, 0.74 ㎍/㎥ 농도를 보였으며, 탄소성분 역시 겨울철에 11.3 ㎍/㎥, 0.86 ㎍/㎥로 높은 농도를 보였다. 탄소성분의 농도는 주로 초미세먼지가 높아지는 겨울에 높아지고, 농도가 다소 낮아지는 여름에 낮아지는 경향을 보인다.

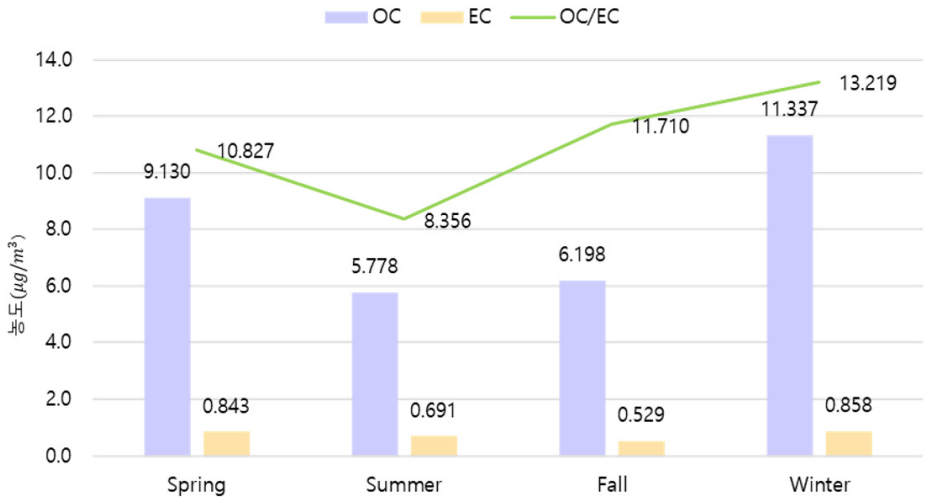


그림 77. 계절별 탄소성분 변화

(3) 중금속성분

주요 중금속성분인 철(Fe), 칼륨(K), 아연(Zn), 알루미늄(Al)은 각각 0.27 ㎍/㎥, 0.25 ㎍/㎥, 0.13 ㎍/㎥, 0.07 ㎍/㎥ 농도를 보이며, 겨울철에는 0.37 ㎍/㎥, 0.32 ㎍/㎥, 0.16 ㎍/㎥, 0.07 ㎍/㎥로 다소 상승하는 경향을 보인다. 특히 고농도 시 철(Fe)의 경우 다른 성분보다 겨울철 농도의 증가 폭이 다소 크다.

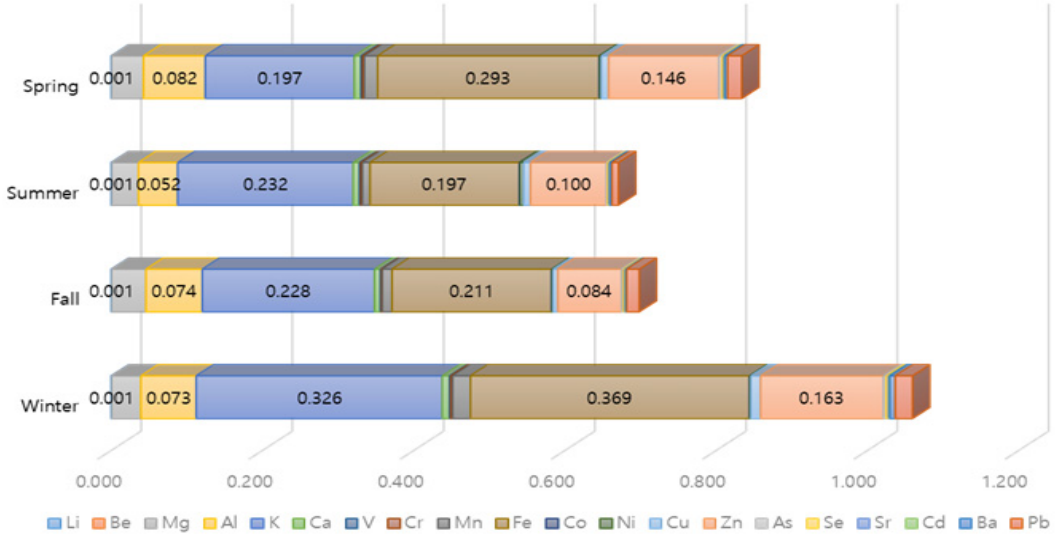


그림 78. 계절별 중금속 구성성분 농도

라. 지역별 월별 구성성분 비교

(1) 천안

천안지역의 월별 구성성분으로 이온성분의 경우 초미세먼지 농도가 높은 봄, 겨울철인 12~5월까지 질산이온(NO_3^-)의 비율이 전체 이온성분의 43.0~59.0 % 까지 큰 비중을 차지하고 있는 반면 여름, 가을철인 6 ~ 11월은 황산이온(SO_4^{2-})의 비율이 이온성분의 32.9~65.4 %로 봄, 겨울과 반대의 비율을 차지한 것으로 나타났다.

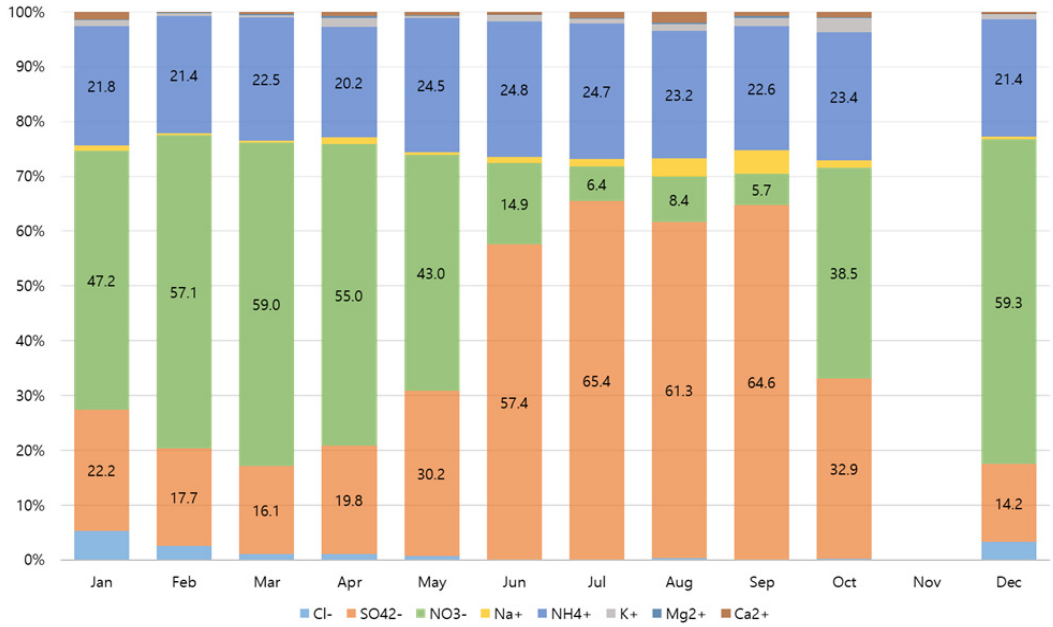


그림 79. 2021년 천안지역 월별 이온성분 구성비율

탄소성분의 경우 초미세먼지 농도에 따라 구성성분 역시 변동을 보이는데 봄, 겨울철 OC의 농도는 7~14 ㎍/㎥ 정도의 범위를 보이는 반면 여름 가을철은 3~9 ㎍/㎥ 정도의 범위를 보여 초미세먼지 농도의 계절적 영향과 비슷한 양상을 보인다.

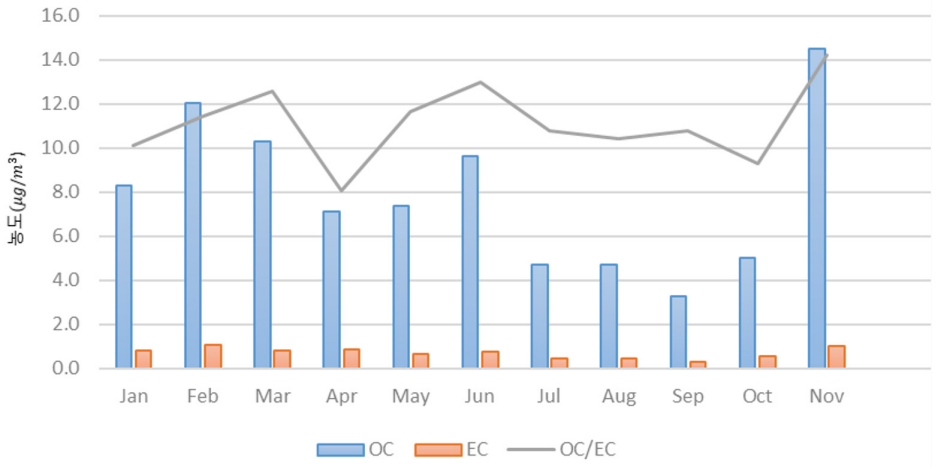


그림 80. 2021년 천안지역 월별 탄소성분 농도변화

중금속성분의 경우 뚜렷한 특징을 보이지는 않지만 봄, 겨울에 높고 가을에 낮은 경향을 보였다. 또한 전체적으로 월별 성분의 비율이 비슷하게 구성되고 있다는 것을 알 수 있다.

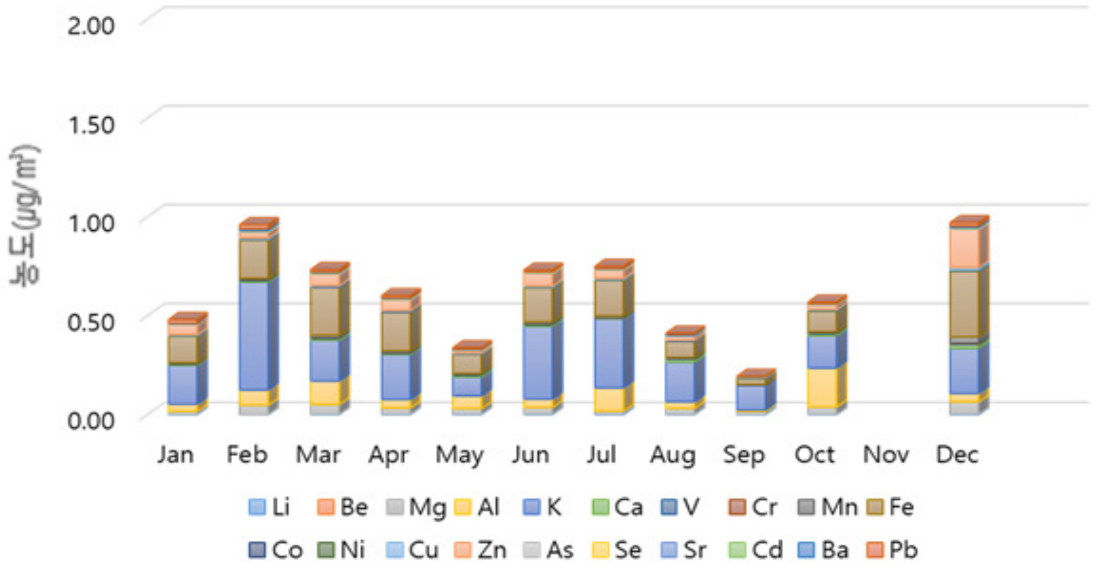


그림 81. 2021년 천안지역 월별 중금속성분 농도변화

(2) 아산

아산지역의 월별 구성성분으로 이온성분의 경우 초미세먼지 농도가 높은 봄, 겨울철인 12~5월까지 질산이온(NO_3^-)의 비율이 전체 이온성분의 39.0~57.7 % 까지 큰 비중을 차지하고 있는 반면 여름, 가을철인 6~11월은 황산이온(SO_4^{2-})의 비율이 이온성분의 20.9~64.2 %로 나타났다.

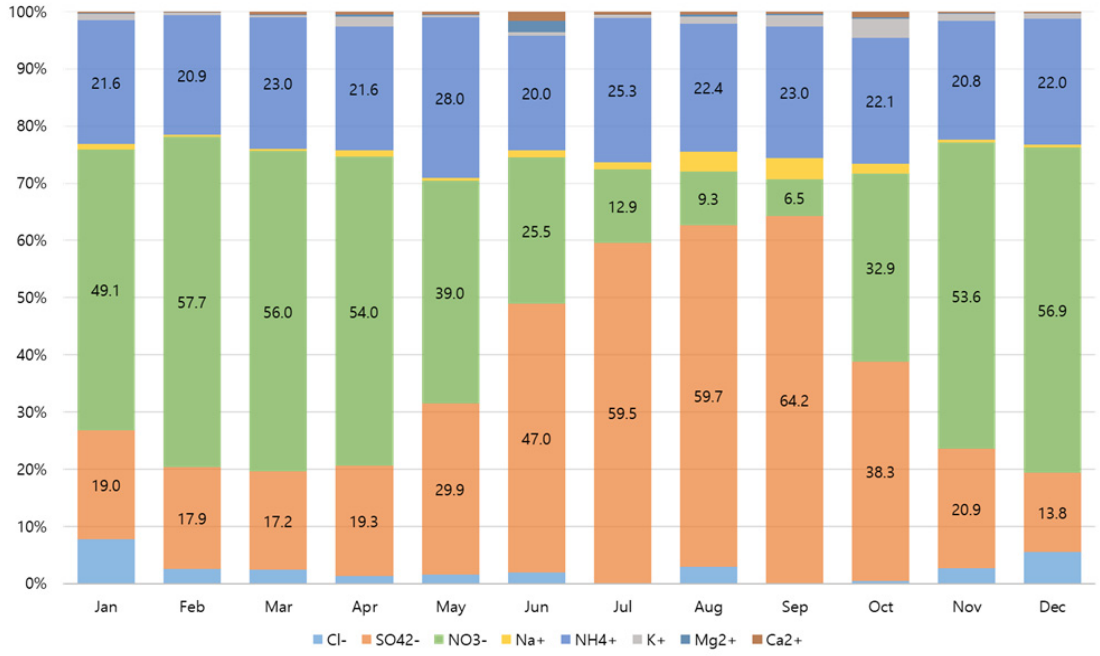


그림 82. 2021년 아산지역 월별 이온성분 구성비율

탄소성분의 경우 다른 지역에 비해 농도가 높게 분석되었고 겨울철 OC의 농도는 8~14 ㎍/㎥ 정도의 범위를 보이는 반면 여름 가을철은 4~14 ㎍/㎥ 정도의 범위를 보여 초미세먼지 농도의 계절적 영향과 비슷한 양상을 보인다.

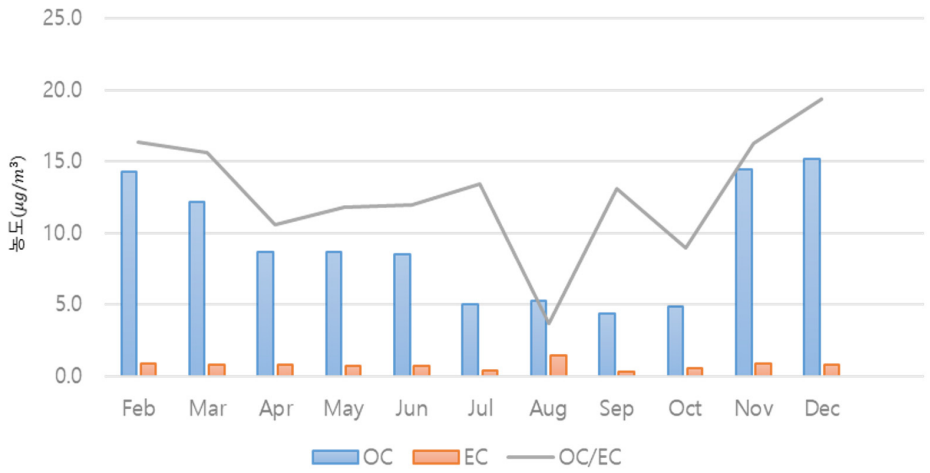


그림 83. 2021년 아산지역 월별 탄소성분 농도변화

중금속성분의 경우 봄, 겨울에 높고 여름, 가을에 낮은 농도를 보이고, 성분 중 철(Fe), 칼륨(K), 아연(Zn), 알루미늄(Al) 4가지 성분이 주 성분을 보이는 것으로 나타났다.

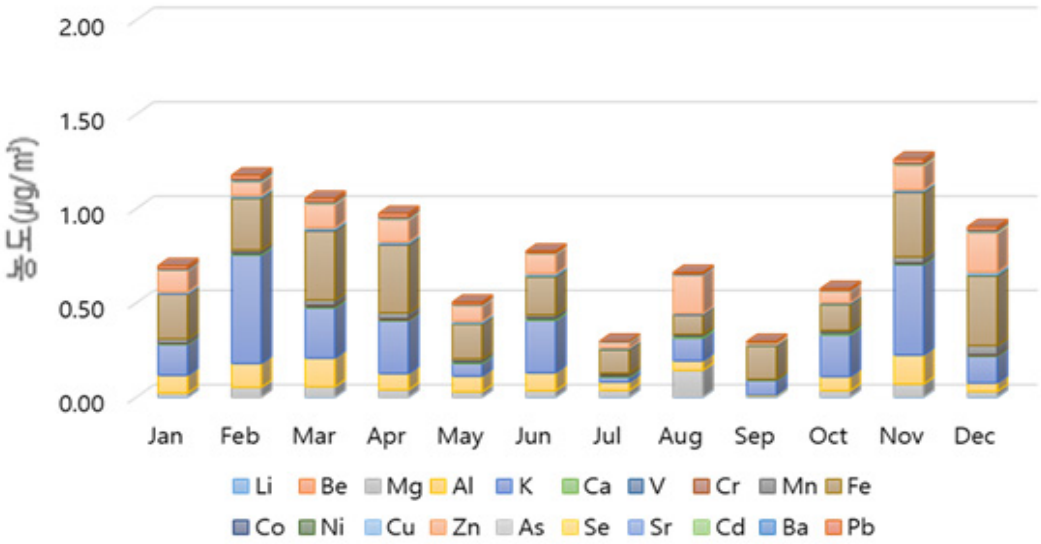


그림 84. 2021년 아산지역 월별 중금속 성분 농도변화

(3) 당진

당진지역의 월별 구성성분으로 이온성분의 경우 초미세먼지 농도가 높은 봄, 겨울철인 12~ 5월까지 질산이온(NO_3^-)의 비율이 전체 이온성분의 42.8~53.5 %까지 큰 비중을 차지하고 있는 반면 여름, 가을철인 6~11월은 황산이온(SO_4^{2-})의

비율이 이온성분의 21.1 ~ 60.1 %로 나타났다.

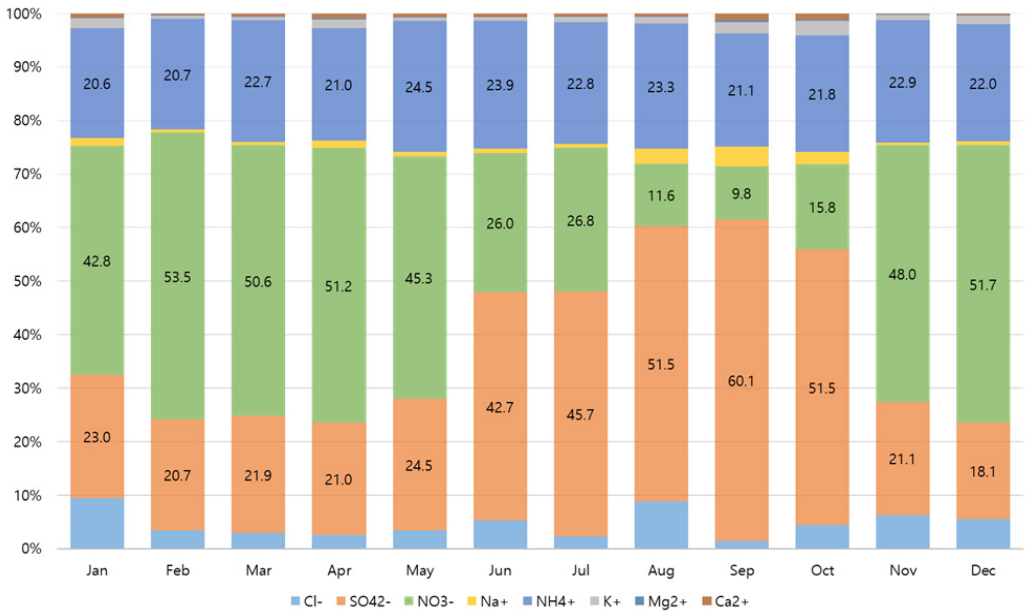


그림 85. 2021년 당진지역 월별 이온성분 구성비율

탄소성분의 경우 초미세먼지 농도에 따라 구성성분 역시 변동을 보이는데 봄, 겨울철 OC의 농도는 9 ~ 14 ㎍/㎥ 정도의 범위를 보이는 반면 여름 가을철은 3 ~ 12 ㎍/㎥ 정도의 범위를 보여 초미세먼지 농도의 계절적 영향과 비슷한 양상을 보인다.

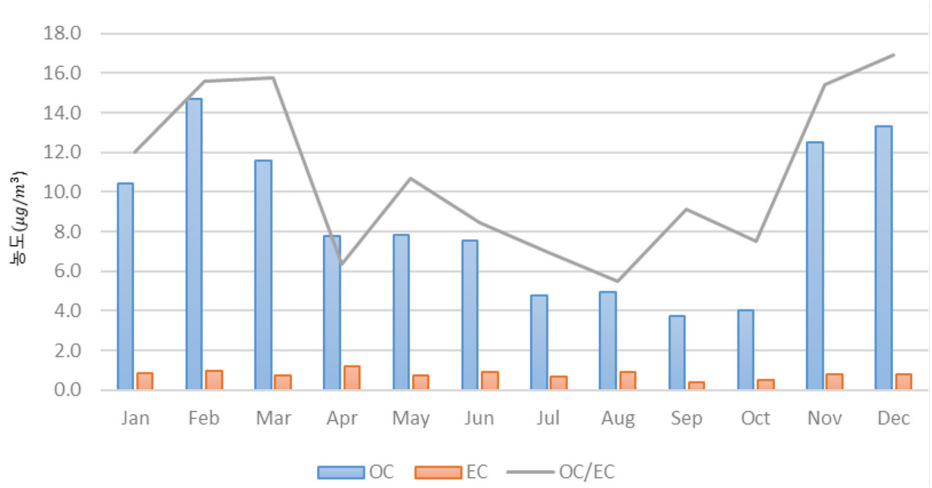


그림 86. 2021년 당진지역 월별 탄소성분 농도변화

중금속성분의 경우 다른 지역에 비해 가장 높은 농도를 보이며 그 중 철(Fe)의 구성성분이 중금속성분 중 50 % 이상의 영향을 보이는 것으로 분석되었다.

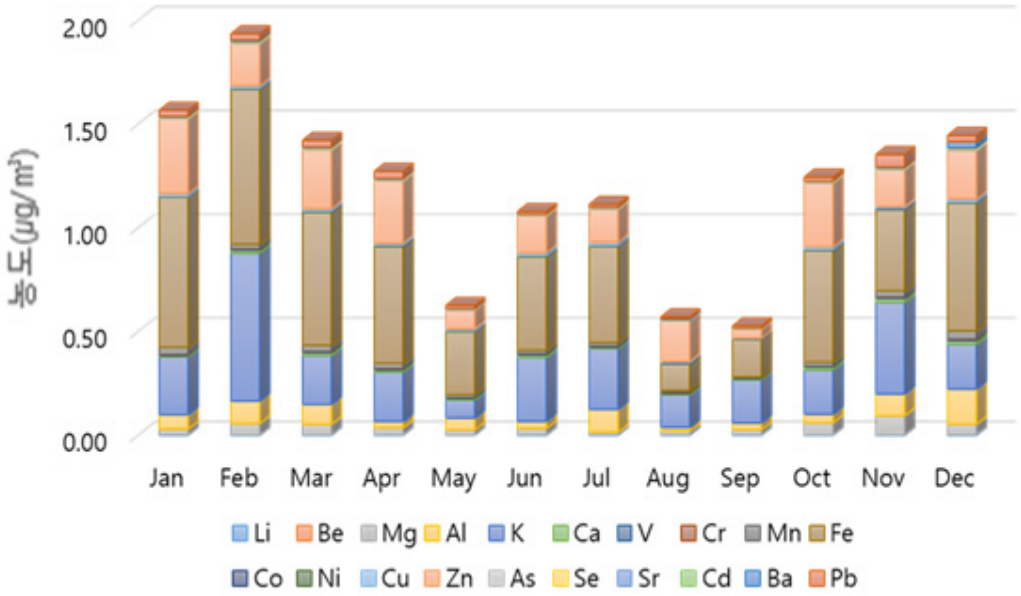


그림 87. 2021년 당진지역 월별 중금속 성분 농도변화

(4) 서산

서산지역의 월별 구성성분으로 이온성분의 경우 초미세먼지 농도가 높은 봄, 겨울철인 12월~5월까지 질산이온(NO_3^-)의 비율이 전체 이온성분의 31.6~52.6 %까지 큰 비중을 차지하고 있는 반면 여름, 가을철인 6~11월은 황산이온(SO_4^{2-})의 비율이 이온성분의 24.3~64.0 %로 나타났다. 다른 지역에 비해 서산 지역은 전체적으로 SO_4^{2-}/NO_3^- 비율이 높게 나타났다.

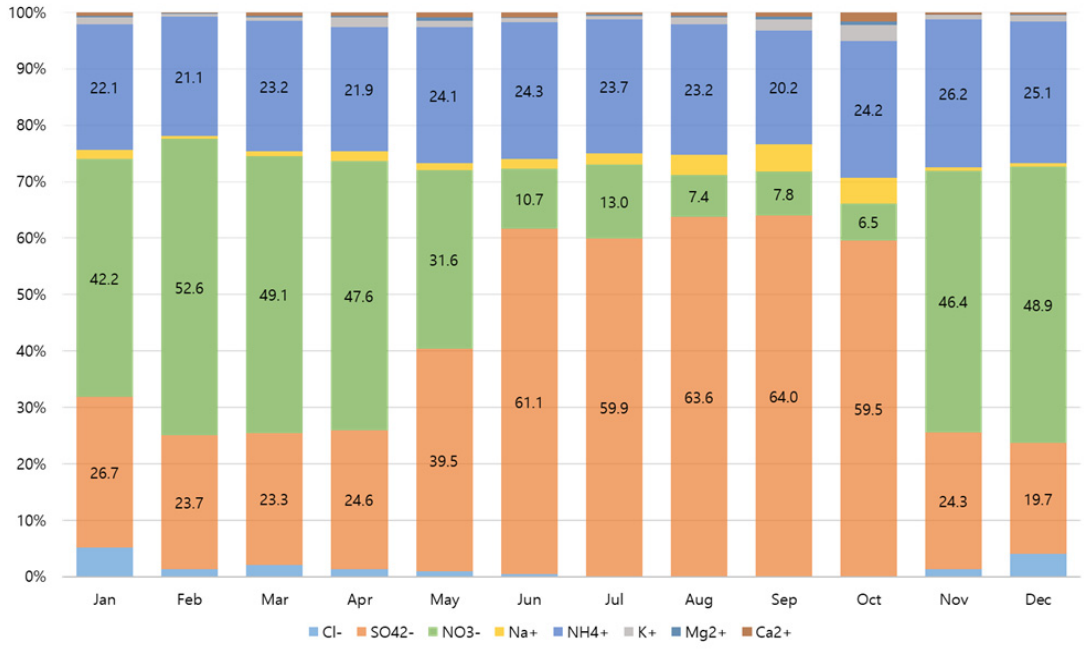


그림 88. 2021년 서산지역 월별 이온성분 구성비율

탄소성분의 경우 마찬가지로 초미세먼지 농도에 따라 구성성분 역시 변동을 보이는데 봄, 겨울철 OC의 농도는 6~11 ㎍/㎥ 정도의 범위를 보이는 반면 여름 가을철은 3~8 ㎍/㎥ 정도의 범위를 보여 다른 지역과 마찬가지로 초미세먼지 농도의 계절적 영향과 비슷한 양상을 보인다.

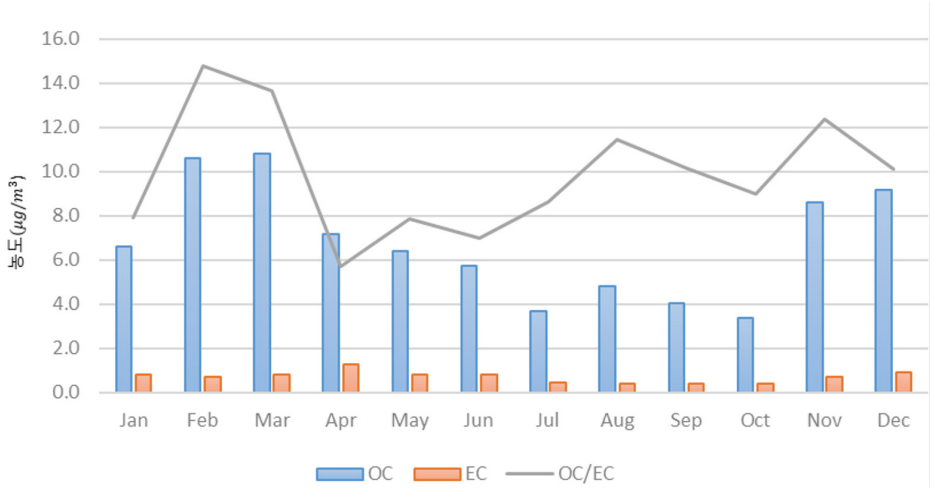


그림 89. 2021년 서산지역 월별 탄소성분 농도변화

중금속성분의 경우 봄, 겨울에 높고 여름, 가을에 낮은 농도를 보이고, 성분 중 철(Fe), 칼륨(K), 아연(Zn), 알루미늄(Al) 4가지 성분이 주 성분을 보이는 것으로 나타났다.

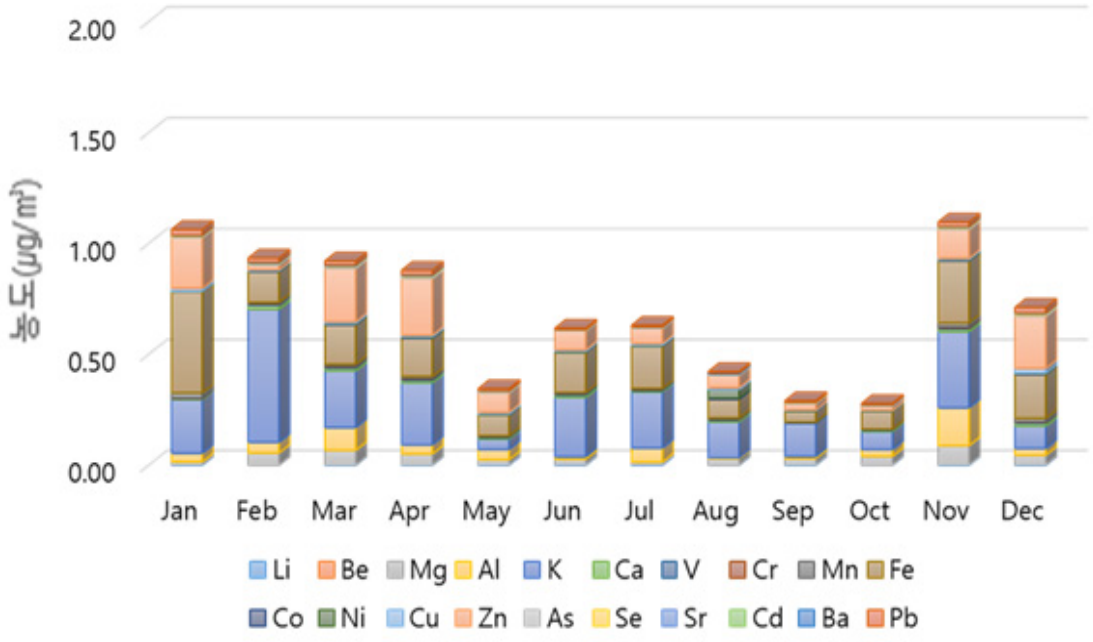


그림 90. 2021 서산지역 월별 중금속 성분 농도변화

3.6. 고농도 사례분석

3.6.1. 미세먼지 고농도 사례 발생원인

미세먼지 고농도 사례는 주로 국외 오염물질 유입과 국내 배출원에서의 자체 발생된 대기오염물질이 대기정체로 인해 축적되며 발생한다. 국외 오염물질은 주로 편서풍으로 인해 국내로 유입되며, 특히 계절적 특성상 북서풍이 주를 이루는 봄철(3~5월)과 겨울철(11~2월)에 주로 유입된다. 유입사례는 주로 이동성고기압의 발달 및 이동과 함께 발생하며(그림 91), 고기압이 국내로 이동한 경우 대기정체로 인해 국외 유입과 국내 자체발생 오염물질이 축적되어 고농도 미세먼지가 발생한다.

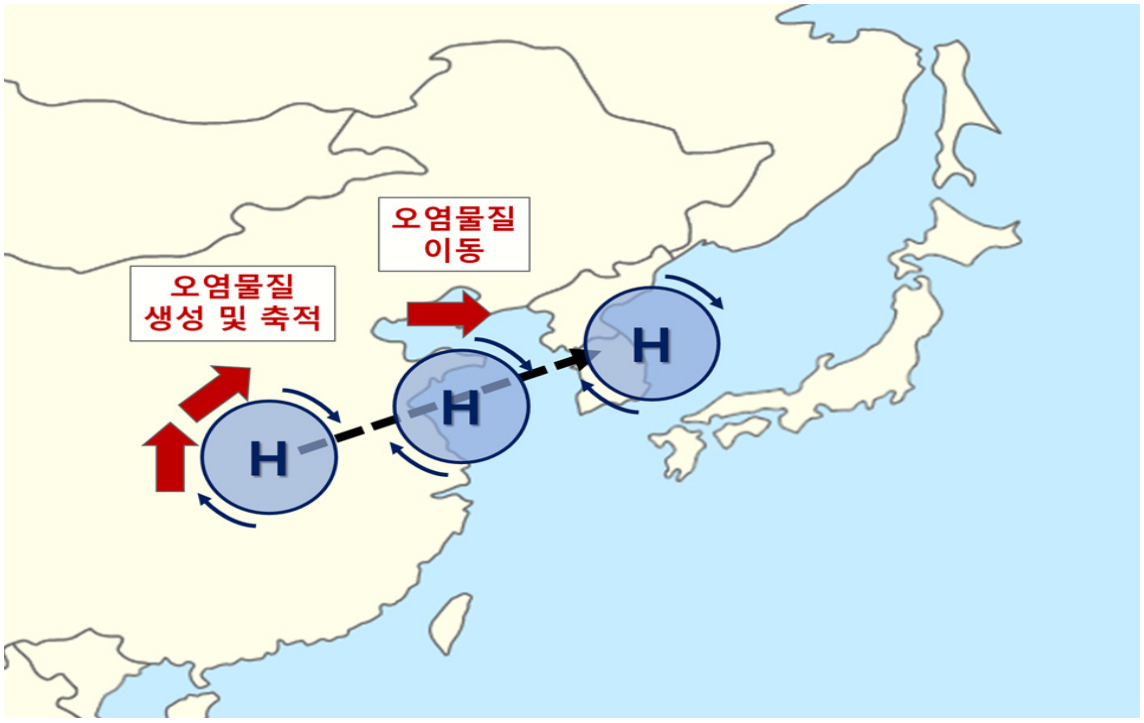


그림 91. 고기압 및 국외 미세먼지 유입경로

중국발 미세먼지의 유입은 그림 92와 같이 주로 서풍을 타고 산둥반도를 거쳐 서해안을 통해 유입되는 ㄴ자형과 남서풍을 타고 베이징, 톈진, 만주를 거쳐 북서풍으로 유입되는 ㅅ자형이 있다. 충남의 경우 중국의 주요 오염물질 발생원인 징진지(베이징, 톈진, 허베이), 산둥지방과 지리적 인접성으로 유입 시 가장 먼저 많은 피해를 받으며, 특히 ㄴ자형의 경우 서해상을 통해 유입되므로, 경로 및 거동을 예측·분석하는데 어려움이 존재한다. 따라서 고농도 미세먼지 사례를 예측하기 위해서는 실시간 측정자료 뿐만 아니라 국외 현황자료, 기상, 화학반응, 유입경로 예측 등이 필요하며, 이를 위해서는 고도화된 대기질 예측·분석 시스템이 필요하다. 본 장에서는 '충남형 대기질 분석·진단시스템'을 바탕으로 고농도 사례에 대해 과학적으로 분석한 결과를 제시하고자 한다.



그림 92. 중국발 미세먼지 도내 유입경로

3.6.2. 2021년 미세먼지 고농도 사례 발생 현황

2021년 충남도의 미세먼지 고농도 사례는 미세먼지(PM-10) 및 초미세먼지(PM-2.5) 주의보·경보가 발령되었던 날로 선정하였으며, 미세먼지(PM-10) 주의보 24회, 초미세먼지(PM-2.5) 주의보 27회 발령되었다. 미세먼지 고농도 사례는 ①황사의 유입으로 인한 미세먼지(PM-10) 고농도 발생 ②국외 유입으로 인한 미세먼지(PM-10) 및 초미세먼지(PM-2.5) 농도 상승 ③2차 생성으로 인한 초미세먼지(PM-2.5) 고농도 발생 크게 세 가지로 분류할 수 있으며, 2차 생성으로 인한 초미세먼지(PM-2.5) 고농도 사례는 전구물질의 국외 유입 및 암모니아와의 반응으로 인한 농도 상승과 국내 자체 발생 물질만의 대기정체로 인한 축적 두 가지로 분류할 수 있다.

3.6.3. 2021년 미세먼지 고농도 사례 분석 결과

고농도 사례 유형은 앞서 언급한 황사 유입, 도내 자체 발생 물질의 축적, 국외 오염물질 ㄴ자형 유입, ㅅ자형 유입 네 가지로 구분하였으며, 두 개 이상의 유형이 복합적으로 발생한 장기간 고농도 사례는 세부 분석을 실시하였다.

가. 국외 황사 유입사례

(1) 황사의 유입

황사의 유입은 크게 발원, 이동, 영향 순으로 진행된다. 발원은 몽골이나 중국 북부의 해발고도 1~1.5 km 지역에서 주로 시작되며, 850 hPa 이하 고도의 기온이

0℃보다 높아야 하며, 발달하는 저기압 전면(동쪽사면)으로 등온선이 북상하는 형태(warm ridge)를 보여 지면조건이 온난건조하게 유지되어야 한다. 이를 충족하며 국내에 영향을 미치는 주요 발원지는 고비사막, 내몽골고원 등 몽골내륙과 중국 북동지역, 황토공원이다(그림 93).

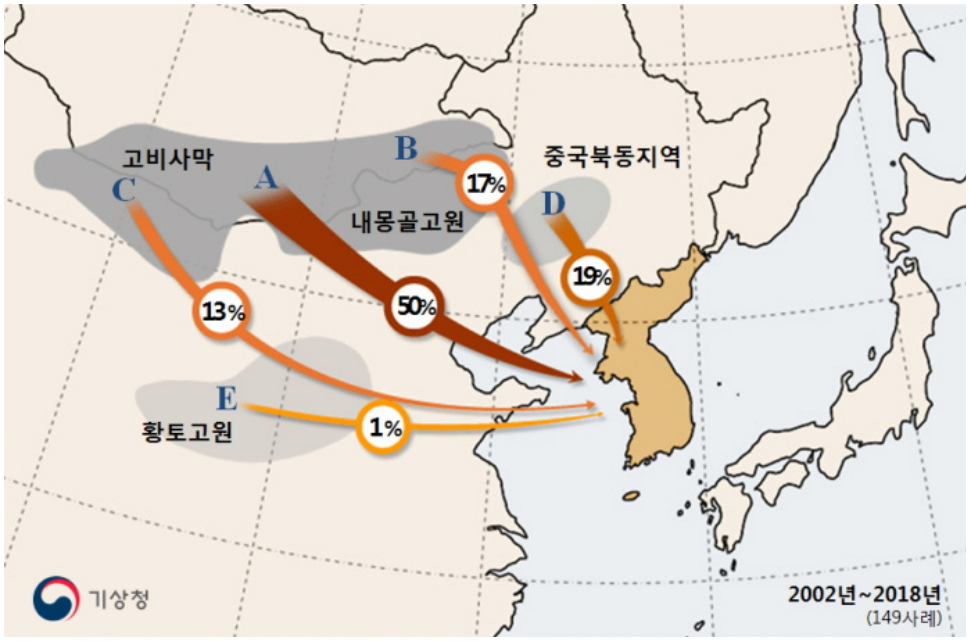


그림 93. 황사 발원지 및 이동경로

(2) 황사의 이동

황사의 이동은 기류를 따라 국내에 유입될 수 있는 기상 요건을 갖추어야 한다. 황사입자를 부양·이동시키기 위해서는 강한 상승기류가 필요하며, 500 hPa에서 V형의 발달한 기압골(양의 와도)이나 절리저기압이 지상 저기압과 상승기류 발달에 중요한 역할을 한다. 황사입자는 발달한 저기압을 따라 이동하는 특징이 있으며, 500 hPa 최대 양의 와도 지역과 고도하강 구역, 700 hPa 최대 상승구역, 850 hPa 24시간 최대 기온하강구역을 통해 황사의 이동경향을 판단할 수 있다.

(3) 황사의 영향

그림 94와 같이 강한 황사는 발달한 지상저기압에 동반된 한랭전선이 통과하고 몇 시간이 지난 후 하강기류가 강해질 때 나타나며, 우리나라에서 주의보 수준 이상의 황사농도를 보였던 대부분의 사례들의 경우 지상 저기압의 중심이 북한을 통과하고 우리나라가 한랭전선의 영향을 받을 때 나타났다. 또한 일반적으로 우리나라에서는 중국에서 측정된 미세먼지(PM-10) 농도의 최댓값을 넘기 어려우므로, 중국 측정농도를 통해서도 영향을 예측할 수 있으나, 황사입자는 강수와 달리 지상으로 낙하하지 않고 상층 대기로 통과하는 경우가 있으며, 연무와

혼재되어 나타나는 경우도 있다.

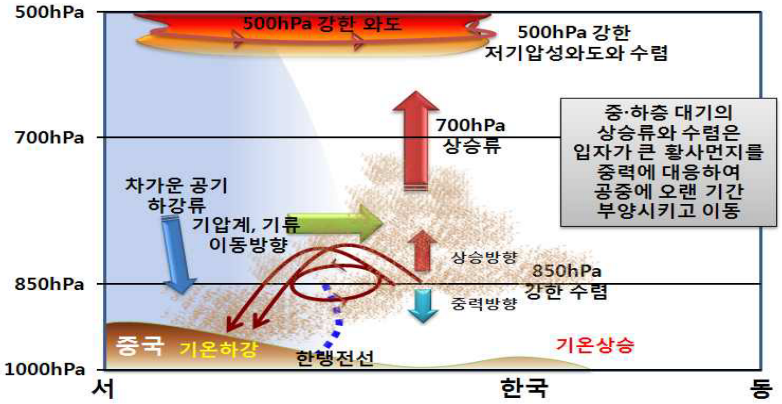
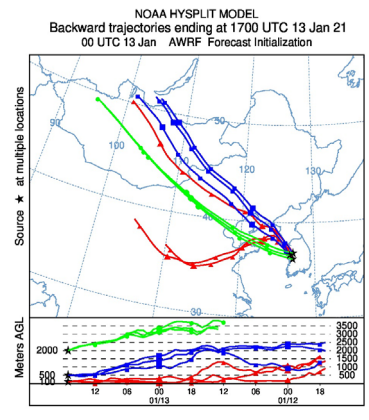
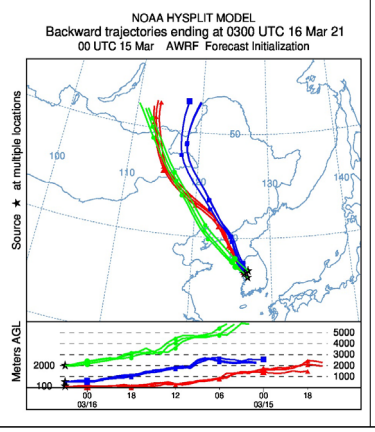
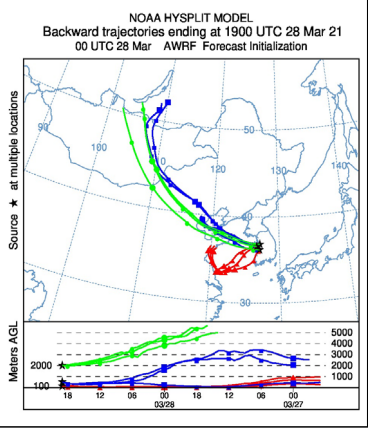


그림 94. 우리나라 황사 유입 모식도(기상청)

(4) 황사의 예측 및 사례 분석

황사의 예측은 지상관측을 기초로 황사 발원지의 미세먼지(PM-10) 관측 농도와 지속시간, 지면 상태(눈 덮임, 강수 유무, 기온 등)의 관측자료를 활용하며 RGB 합성영상 등 위성 자료를 통해 에어로졸탐지, 적외광학두께 지수, 에어로졸 광학두께 등을 분석하고 황사 예측 모델과의 비교·분석을 통해 이루어진다.

2021년 충남의 고농도 사례 중 황사 유입은 1월 14일, 3월 16일, 3월 29일, 4월 17일, 5월 7일, 5월 24일 6회 발생하였다. 그림 95는 충남을 기준으로 기류가 어디에서 유입되었는지 역궤적모델(HYSPLIT)을 통해 분석한 자료로, 설정값은 48시간 전까지 추적하며, 고도 100 m, 500 m, 2000 m의 기류를 기준으로 하였다. 네 사례 모두 기류가 내몽골고원에서 시작되어 북서풍을 따라 이동한 뒤 국내에 형성된 저기압으로 인해 강한 하강기류를 통해 지표로 유입되었다.

21년 1월 14일 2시	21년 3월 16일 12시	21년 3월 29일 4시
		

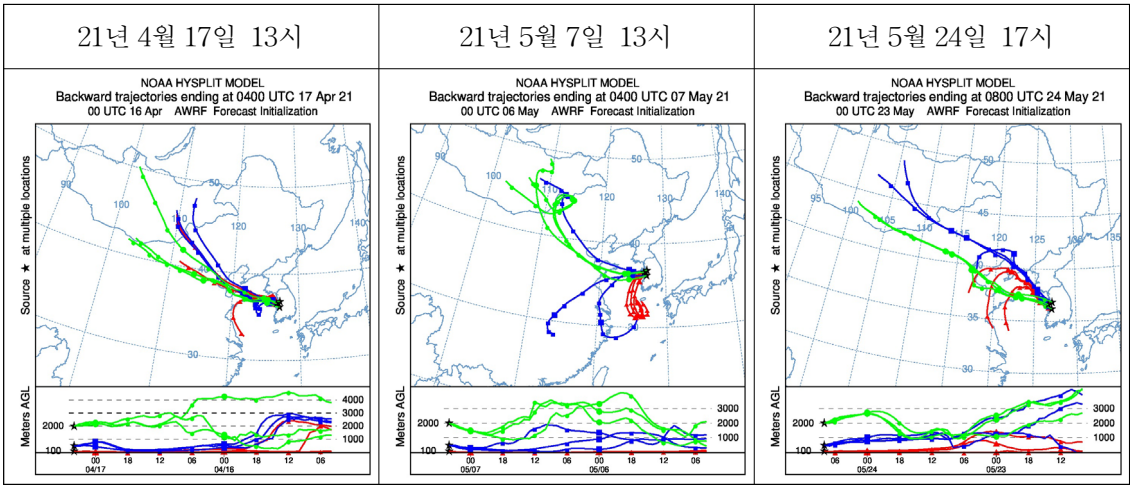


그림 95. 황사유입사례 역궤적모델 분석 결과

2021년 사례의 경우 미세먼지(PM-10) 농도가 150 ㎍/㎥ 이상으로 주의보가 발령되었으나, 과거 사례와는 다르게 지속시간이 긴 특성이 있다. 2021년 여섯 사례 중 주간 유입 사례는 4회이며, 1월 14일과 3월 29일에는 야간에 유입되어 높은 농도로 상승하는 유형을 보인다. 여섯 사례의 경우 황사입자를 부유·이동시키기 위한 강한 풍속과 상승기류가 필요함에 따라, 유입 시에는 대기정체 상에서 발생하는 고농도 사례와는 다르게 평균풍속 1.5~2.5 m/s, 최대풍속 3.0~5.5 m/s의 기상조건이 형성되었으나, 서해를 지나며 기압골이 약해지고 대기정체가 발생하여 장기간 지속된 사례가 4회 발생하였다. 황사의 유입은 위성영상에서 구름 및 수증기 입자와 함께 관측되어 에어로졸 탐지 영상에서 포착이 어려우며, 향후 이와 같은 사례에 대한 정확한 예측·분석을 위해서는 국내외 황사관측망의 자료확보가 필요하다.

나. 자체 발생 오염물질의 정체·축적으로 인한 고농도 사례

(1) 자체발생 사례분석

2021년 자체 발생 사례는 3월 26일~27일 1건이며, 그림 96와 같이 맑은 날씨에 평년보다 높은 기온을 보이고 평균풍속 0.2~1.0 m/s으로 안정된 대기상태를 보이며 수평·수직확산의 제한 및 대기정체가 발생하였다. 이 사례는 주풍향은 북풍으로 북서쪽에 위치한 풍상지역에서 기류가 유입되지 않아 국외유입이 적거나 거의 없는 사례로 도내 대기오염물질의 자체발생이 높고 대기정체가 심한 북부권역에서 고농도와 주의보가 발생하였다.

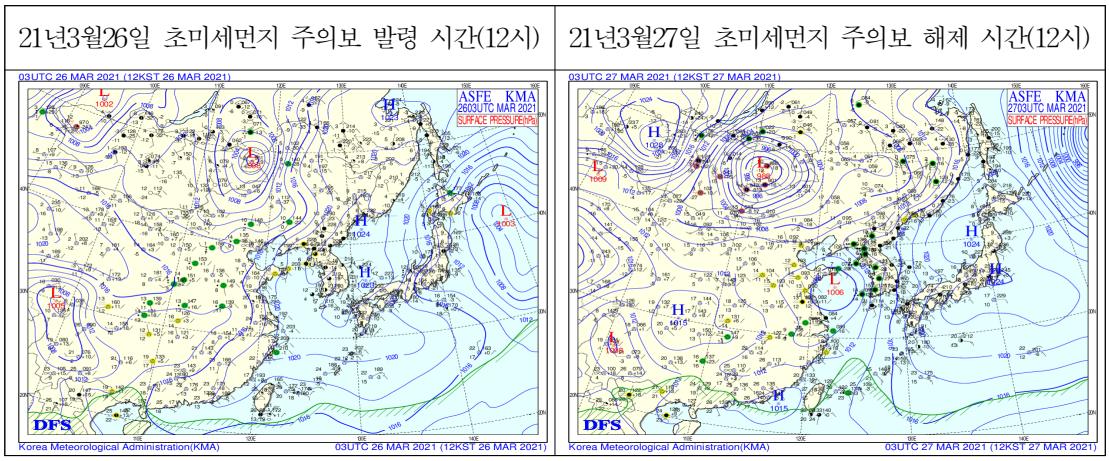


그림 96. 자체발생사례 초미세먼지 최고농도 시간 지표 일기도(기상청)

앞서 언급한 기상상황으로 인해 충남 전역에 극심한 대기정체가 발생하여 도내 자체 발생 대기오염물질이 지표 부근에 체류 및 축적되어 미세먼지 농도 상승 및 고농도가 발생하였으며, 특히 대형 오염원 및 배출량이 많은 북부권역에서 미세먼지·초미세먼지 주의보가 발령되었다.(그림 97)

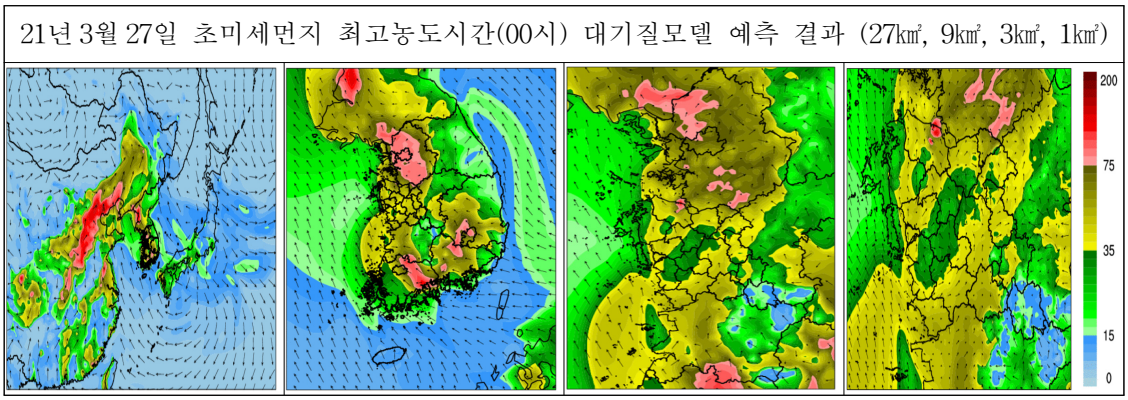


그림 97. 자체발생사례 초미세먼지 최고농도 시간 대기질모델 예측 결과

상기 사례의 경우 국외 유입이 전혀 없으며, 도내 자체 발생 물질만으로 고농도 발생 및 주의보가 발령한 사례이다. 북부권역 초미세먼지(PM-2.5) 주의보가 발령되었으며, 최고농도는 각각 83 ㎍/㎥을 보이고 최대 24시간 지속 후 해소되었다(그림 98). 두 사례 모두 고기압 및 맑은 날씨, 높은 기온, 대기정체로 인해 고농도가 발생하였으며, 이후 저기압의 영향이 강해지며, 빠른 풍속과 원활한 대기확산, 산발적인 강수와 함께 농도 감소 및 고농도 해소가 이루어지는 기상적 특성이 있다.

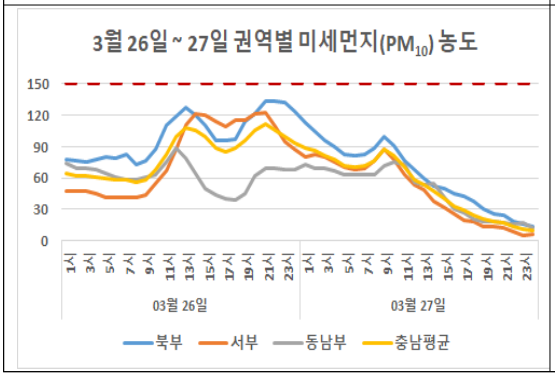
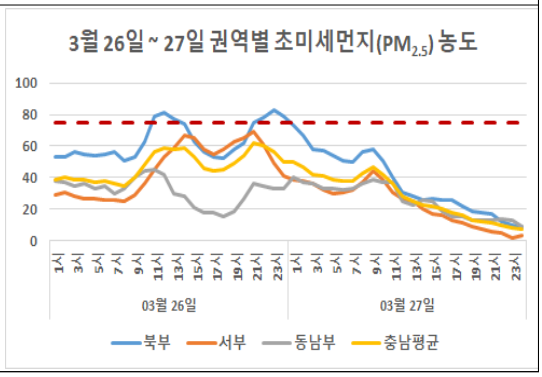
21년 3월 26일 사례 미세먼지(PM-10) 농도	21년 3월 26일 사례 초미세먼지(PM-2.5) 농도
	

그림 98. 자체 발생 및 정체 사례 미세먼지 농도

다. ㅅ자형 유입으로 인한 고농도 사례

(1) 유입 유형 및 경로

ㅅ자형은 기류가 주로 중국 내륙에서 시작되며, 남서풍을 타고 베이징, 톈진, 허베이 등 중국 주요 오염물질 배출 지역을 거쳐 만주로 이동하며 오염물질 및 전구물질이 축적된다. 이후 북서풍을 타고 국내로 유입되어 북한영토 혹은 서해상을 가로로 띠를 형성하며 통과하므로, 국내 북부부터 남부지역까지 순서대로 영향을 미친다.

(2) ㅅ자형 고농도 사례 분석

2021년 고농도 사례 중 ㅅ자형 유입 사례는 총 2회(2월 11일, 3월 10일) 발생하였으며, 그림 99와 같이 기류 및 국외 오염물질이 북서풍을 통해 유입되며 국내에 도달하여 대기정체로 인해 축적된다. 수직적으로는 황사 사례와는 다르게 상층기류의 유입이 적으며, 대기오염물질이 지표 부근을 머물며 기류와 함께 이동·유입된다.

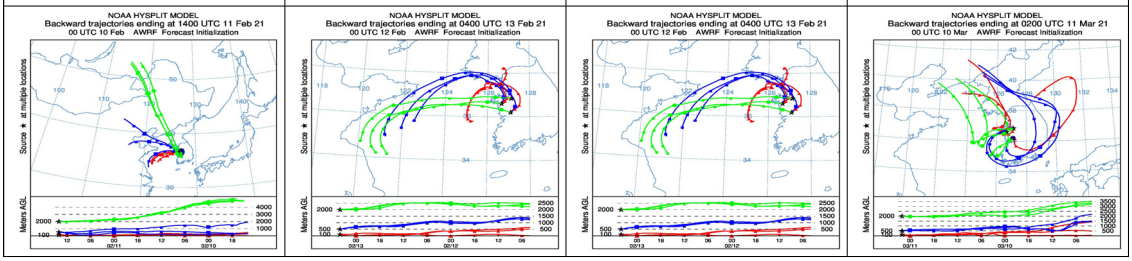
21년 2월 11일 23시	21년 2월 13일 13시	21년 3월 10일 20시	21년 3월 11일 11시
			

그림 99. ㅅ자형 유입 사례별 최고농도 시간 역궤적 모델 분석 결과

ㅅ자형 유입 유형은 계절적인 특성상 북서풍이 강해지는 겨울~초봄 사이에 주로 발생하며, 그림 100과 같이 수도권 및 충남 북부권역을 시작으로 농도 상승 및 고농도 발생, 주의보가 발령된다.

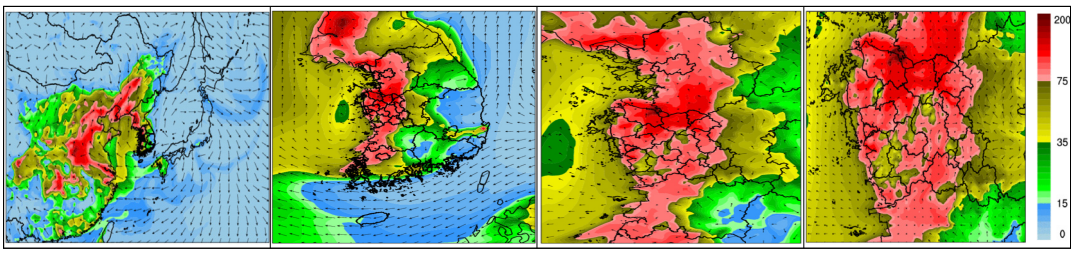


그림 100. 3월 11일 2시 대기질모델 미세먼지 예측 결과 (27㎢, 9㎢, 3㎢, 1㎢)

ㅅ자 유형의 경우 만주 및 북한 등 내륙을 지나 유입되어 지표에서의 확산·침착으로 인해 농도가 감소하며 도내에 유입되는 특성이 있으며, 이로 인해 2021년 사례들의 경우 북부권역에서 주로 초미세먼지(PM-2.5) 주의보가 발령되었다. 또한 수도권 등 국내 북부지역을 지나오기 때문에 국내 실시간 관측자료를 통해 도내 유입 시기 및 유입량을 예측할 수 있다. ㅅ자 유형은 풍향이 북서풍에서 북풍으로 변하고 풍속이 빨라지며 농도 감소 및 고농도 해소가 이루어지며, 사례기간 평균풍속 0.7 ~ 1.5 m/s, 최대풍속 2.7 ~ 4.0 m/s를 보였다.

라. ㄴ자형 유입으로 인한 고농도 사례

(1) 유입 유형 및 경로

ㄴ자형은 주로 고기압의 이동과 함께 국외 대기오염물질이 이동 및 유입되며, 계절적으로는 늦겨울 ~ 봄에 많이 발생한다. 그림 101과 같이 고기압이 국외 대기오염물질 다량배출지역을 지나며 대기정체를 발생시켜 1차 오염물질과 2차 생성을 발생시키는 전구물질(질소산화물, 황산화물 등)을 축적시킨다. 이후 수직혼합으로 인해 축적된 미세먼지가 최대혼합고까지 상승하며, 편서풍을 타고 서해안을 넘어 국내 상공으로 이동한다. 이때 고기압도 같이 이동하며 국내에 대기정체가 발생하여 국내 오염물질이 축적되고 수직혼합 및 하강기류로 상공의 오염물질이 지표로 유입되며 고농도 미세먼지가 발생한다. 이후 고기압이 동해로 빠져나가며 저기압의 영향을 받게 되면 대기확산이 원활해져 미세먼지 농도 감소 및 고농도 해소가 발생한다.

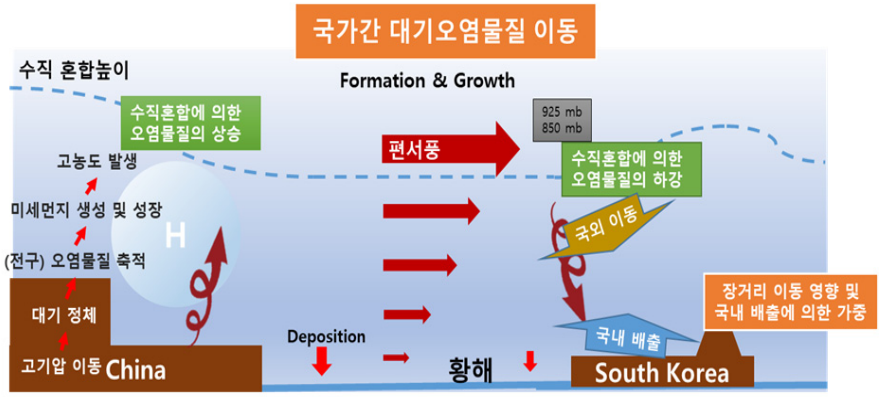


그림 101. 고기압의 이동과 국외 미세먼지 유입 과정(미세먼지 범부처 사업단)

(2) ㄴ자형 고농도 사례 분석

2021년 고농도 사례 중 ㄴ자형 유입 사례는 표 33과 같이 총 5회 발생하였으며, 겨울~초봄 사이에 발생하며, 주로 주간에 농도 상승이 발생하였고(주간 3회, 야간 2회) 24시간 이상 지속된 사례는 3회이다.

표 33. 2021년 ㄴ자형 유입으로 인한 고농도 미세먼지 사례 목록

사례 번호	발령 경보	발령시간	해제시간	지속 시간
1	초미세먼지 주의보(북부, 서부, 동남부)	2월 1일 15시	2월 2일 2시	11
2	초미세먼지 주의보(북부, 서부)	2월 7일 3시	2월 7일 19시	16
3	초미세먼지 주의보(북부)	3월 14일 14시	3월 15일 18시	28
4	초미세먼지 주의보(북부, 서부, 동남부) 미세먼지 주의보(북부)	11월 19일 21시	11월 22일 3시	54
5	초미세먼지 주의보(북부, 서부, 동남부)	12월 15일 17시	12월 17일 4시	35

2021년 ㄴ자형 고농도 사례는 그림 102과 같이 몽골 북부에서 대륙고기압의 남쪽 확장 또는 고기압 중심의 남쪽 이동에 따라 중국 내륙으로 남하하며, 몽골 내륙, 중국 산둥반도 등 대기오염물질 배출이 많은 지역을 거치며 오염물질 축적 및 미세먼지 농도가 상승한다. 이후 서풍을 타고 서해안을 거쳐 국내에 유입되며, 이때 국내의 기상 및 대기상황은 앞서 언급한 바와 같이 지표 부근에서 극심한 대기정체가 발생하여 국내 자체 발생 물질이 축적된 상태이다.

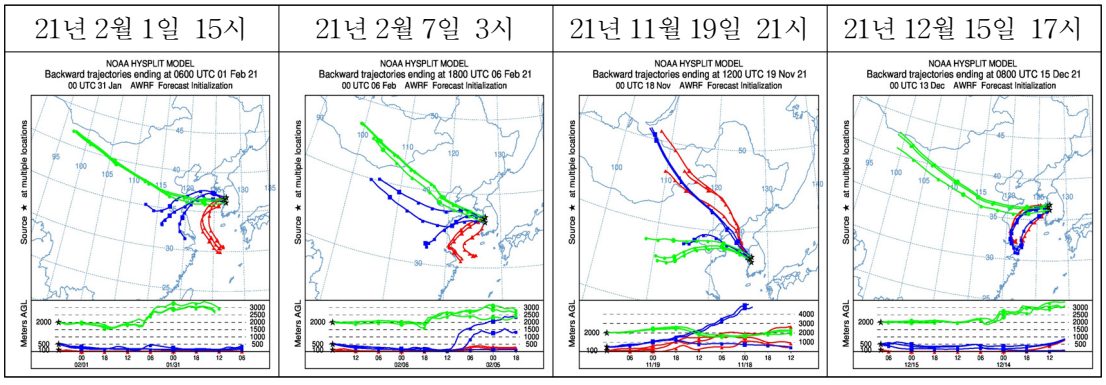


그림 102. ㄴ자형 유입 사례별 최고농도 시간 역궤적 모델 분석 결과

이후 국내외 대기오염물질이 함께 축적되며 농도 상승 및 고농도 발생, 주의보 발령이 진행되었으며, ㄴ자형의 경우 실시간 측정에 제한이 있는 서해상으로 바로 유입되므로 ㅅ자형과는 다르게 이동 경로와 농도 예측에 제한이 많은 유형이다. ㄴ자 형의 경우 해상을 지나기 때문에 ㅅ자형처럼 확산으로 인한 농도감소는

적은 편이며, 극심한 대기정체로 인해 자체 발생 대기오염물질의 영향 또한 높은 편이고 서해안과 인접한 서부권역부터 충남 전 권역에 고농도 발생 및 주의보 발령을 유발한다(그림 103).

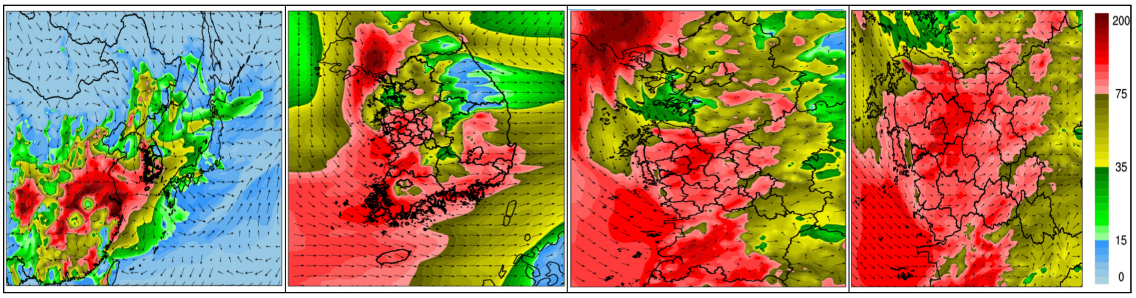


그림 103. 2월 7일 4시 대기질모델 미세먼지 예측 결과 (27㎢, 9㎢, 3㎢, 1㎢)

2021년 5개 사례는 초미세먼지 최고농도 81~136 ㎍/㎥를 보였으며, 3개 사례(2월 1일, 3월 14일, 12월 15일)의 경우 낮시간에 농도상승이 시작되었다. ㄴ자 유형은 대기정체로 인해 반나절(12시간) 이상 지속되는 사례가 많으며, 고기압이 한반도를 지나 동진하며 영향이 약해지고, 북풍 혹은 북서풍이 점차 강해지면서 농도 감소 및 고농도 해소가 이루어진다.

Ⅳ. 대기오염 경보제 운영

4.1. 대기오염 경보제 개요

4.2. 미세먼지 경보제

4.3. 오존 경보제

4.1. 대기오염 경보제 개요

대기질 예·경보제는 2014년을 기점으로 많은 변화가 있었다. 2014년 이전, 미세먼지 예보제/경보제 및 오존 예보제는 지자체 조례에 따라 지자체를 중심으로 운영하였다. 대기환경보전법 개정으로 2014년 2월 미세먼지(PM-10) 예보제를 시작으로 2015년 1월 초미세먼지(PM-2.5) 예보제를, 2015년 4월 오존 예보제를 국립환경과학원 대기질통합관리센터에서 전국 규모의 대기질 예보제로 시행하도록 하였다.

또한 미세먼지 경보제는 2015년 1월 이전까지는 지자체 별로 경보 기준을 달리하여 적용하여 왔으나, 2015년 1월부터는 대기환경보전법을 개정하여 경보제의 운영을 지자체가 수행하지만, 경보 기준은 동일한 기준을 선정하여 운영하도록 하고 있다. 경보제 운영에 따른 경보단계별 대기오염물질의 농도기준은 표 34와 같다.

그림 104는 충청남도 고농도 미세먼지 대응체계도로 대기오염경보제(미세먼지, 오존) 발령 시 그림과 같은 대응체계를 갖는다.

표 34. 대기오염경보 단계별 대기오염물질의 농도기준

대상 물질	경보 단계	발령	해제 또는 전환
미세 먼지 (PM-10)	주의보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM-10 시간당 평균농도가 150 ㎍/㎥ 이상 2시간 이상 지속인 때	주의보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM-10 시간당 평균농도가 100 ㎍/㎥미만인 때
	경보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM-10 시간당 평균농도가 300 ㎍/㎥이상 2시간 이상 지속인 때	경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM-10 시간당 평균농도가 150 ㎍/㎥ 미만인 때는 주의보로 전환
초미세 먼지 (PM-2.5)	주의보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM-2.5 시간당 평균농도가 75 ㎍/㎥ 이상 2시간 이상 지속인 때	주의보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM-2.5 시간당 평균농도가 35 ㎍/㎥ 미만인 때
	경보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 PM-2.5 시간당 평균농도가 150 ㎍/㎥ 이상 2시간 이상 지속인 때	경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 PM-2.5 시간당 평균농도가 75 ㎍/㎥ 미만인 때는 주의보로 전환
오존	주의보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 오존농도가 0.12 ppm 이상인 때	주의보가 발령된 지역의 기상조건 등을 검토하여 대기자동측정소의 오존농도가 0.12 ppm 미만인 때

대상 물질	경보 단계	발령	해제 또는 전환
오존	경보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 오존농도가 0.3 ppm 이상인 때	경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 고려하여 대기자동측정소의 오존농도가 0.12 ppm 이상 0.3 ppm 미만인 때는 주의보로 전환
	중대 경보	기상조건 등을 고려하여 해당지역의 대기자동측정소 오존농도가 0.5 ppm 이상인 때	중대경보가 발령된 지역의 기상조건 등을 고려하여 대기자동측정소의 오존농도가 0.3 ppm 이상 0.5 ppm 미만인 때는 경보로 전환
비고	1. (초)미세먼지: 권역별 평균 농도가 경보 단계별 발령기준을 초과하면 해당 경보를 발령 2. 오 존: 해당 지역의 대기자동측정소 오존 농도가 1개소라도 경보단계별 발령기준을 초과하면 해당 경보발령		

※ 관련법령: 대기환경보전법 시행규칙 14조 및 [별표7]

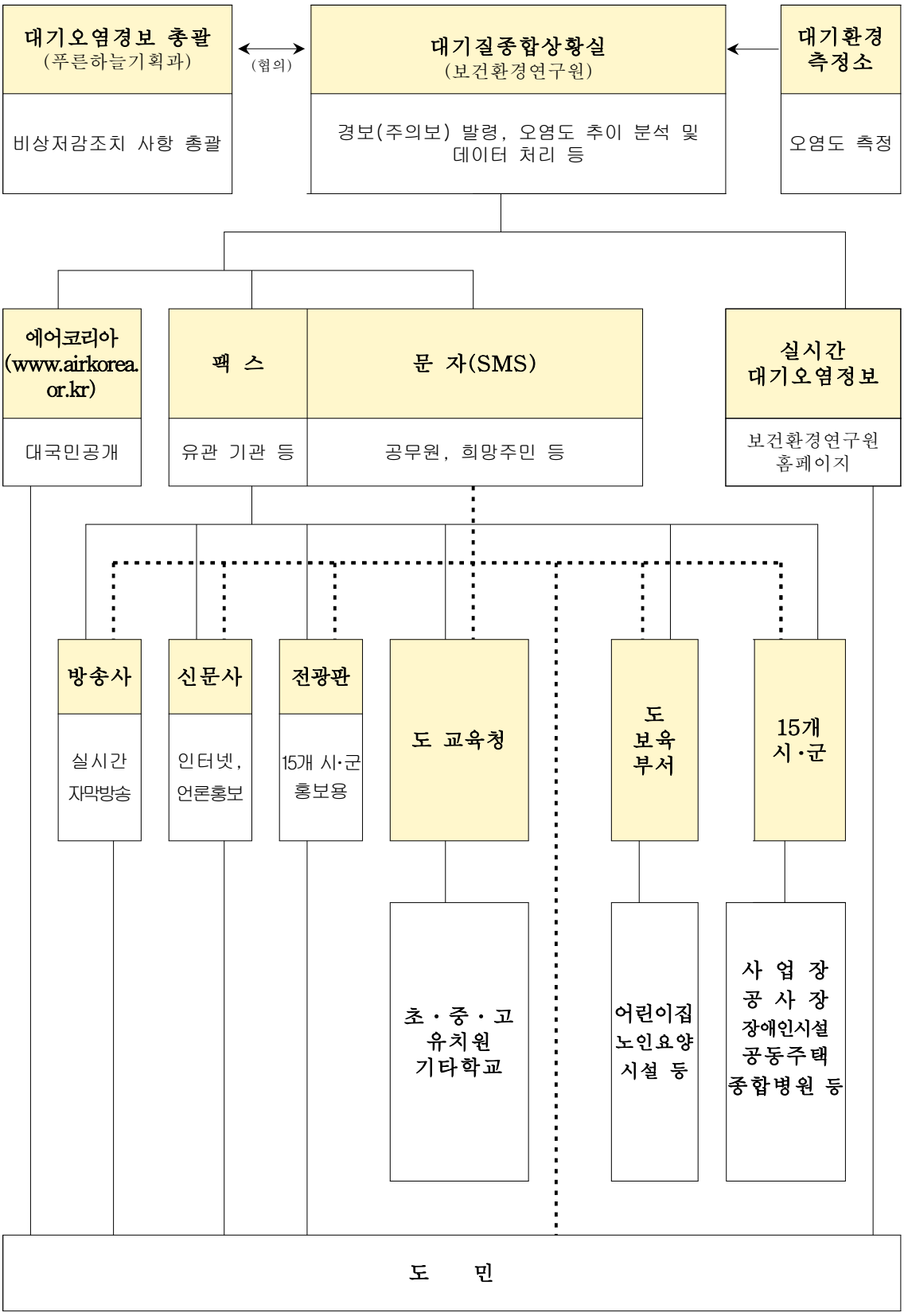


그림 104. 충청남도 고농도 미세먼지 대응 체계도

4.2. 미세먼지 경보제

미세먼지 경보제는 고농도 미세먼지 발생시 국민들이 오염수준별 국민행동요령 및 조치사항을 이행하도록 함으로써 피해를 줄이게 하는 제도로 미세먼지 경보제(PM-10)는 2013년 11월부터 시범운영을 통해 2014년 2월 정식으로 시행되었고, 초미세먼지 경보제(PM-2.5)는 2014년 8월부터 시범운영을 통해 2015년 1월에 정식 시행되었다.

미세먼지 경보권역을 단일권역(충남권역)으로 운영되었던 것을 2018년 3월 1일부터 북부권역(천안, 아산, 당진), 서부권역(서산, 태안, 예산, 홍성, 보령, 서천), 동남부권역(공주, 청양, 부여, 논산, 계룡, 금산) 3개 권역으로 보다 세분화하여 시행하고 있다. 권역별 (초)미세먼지 시간 평균값을 기준으로 표 36과 같이 주의보, 경보 등 2단계로 운영되며, 경보발령시 인터넷(www.airkorea.or.kr, 대기오염 실시간공개시스템), 팩스(유관기관 및 언론매체), SMS문자알림 서비스 등을 통해 경보상황이 전파된다. 대기오염 경보기준은 표 34, 예보내용 및 기준은 표 35, 대기오염 경보에 따른 조치사항은 표 36과 같다.

표 35. 대기오염 예보내용 및 기준

예보내용		등 급(㎍/㎥)			
		좋음	보통	나쁨	매우나쁨
예보물질	미세먼지(PM-10)	0 ~ 30	31 ~ 80	81 ~ 150	151 이상
	초미세먼지(PM-2.5)	0 ~ 15	16 ~ 35	36 ~ 75	76 이상
행동요령	민감군	-	실외 활동시 특별히 행동에 제약을 받을 필요는 없지만 몸상태에 따라 유의하여 활동	장시간 또는 무리한 실외활동 제한, 특히 천식을 앓고 있는 사람이 실외에 있는 경우 흡입기를 더 자주 사용할 필요가 있음	가급적 실내 활동, 실외 활동시 의사와 상의
	일반인	-	-	장시간 또는 무리한 실외활동 제한, 특히 눈이 아픈 증상이 있거나, 기침이나 목의 통증으로 불편한 사람은 실외활동을 피해야 함	장시간 또는 무리한 실외활동 제한, 목의 통증과 기침 등의 증상이 있는 사람은 실외 활동을 피해야 함

※ 관련조례:「충청남도 대기오염 예보 및 경보에 관한 조례」별표1

※ 민감군 : 어린이, 노인, 천식같은 폐질환 및 심장질환을 앓고 있는 어른

표 36. 대기오염 경보에 따른 조치사항

경보 단계	도민 건강보호	대기오염 개선노력
주의보	가. 민감군(어린이·노인·폐질환 및 심장질환자)은 실외활동 제한 및 실내생활 권고 나. 일반인은 장시간 또는 무리한 실외활동을 줄임(특히, 눈이 아프거나, 기침 또는 목의 통증이 있는 경우 실외활동 자제) 다. 부득이 외출할 때에는 황사(보호)마스크* 착용(폐기능 질환자는 의사와 충분한 상의 후 사용권고) 라. 교통량이 많은 지역 이동 자제 마. 유치원·초등학교 실외수업 자제 바. 공공기관 운영 야외 체육시설 운영제한 사. 공원.체육시설.고궁.터미널.철도 및 지하철 등을 이용하는 도민에게 과격한 실외활동 자제 홍보 아. 그 밖에 도민건강 보호를 위하여 필요한 사항	가. 행정기관 관용차량 운행 감축(비상용차량 제외) 나. 자동차 운행 자제 및 대중교통 이용 권장 다. 공공기관 운영 소각시설 등 대형사업장 조업시간 단축 라. 주.정차에 따른 공회전 금지 마. 도로 물청소** 또는 진공청소 등 시행 바. 대기배출시설 사업장의 연료사용량 감축 권고 사. 공사장의 조업시간 단축 또는 일부 작업 중지 권고 아. 대기배출시설, 대형공사장, 비산먼지사업장 등 지도·점검 실시 자. 그 밖에 대기오염 저감을 위하여 필요한 사항
경 보 중대경보	가. 민감군(어린이·노인·폐질환 및 심장질환자)은 실외활동 금지(실외활동은 의사와 상의) 나. 일반인은 장시간 또는 무리한 실외활동 자제(기침 또는 목의 통증이 있는 경우 실내생활 유지) 다. 부득이 외출할 때에는 황사(보호)마스크* 착용 라. 교통량이 많은 지역 가급적 이동 금지 마. 유치원·초등학교 실외수업 금지, 수업단축 또는 휴교 바. 중·고등학교 실외수업 자제 사. 공공기관 운영 야외 체육시설 운영 중단 아. 공원.체육시설.고궁.터미널.철도 및 지하철 등을 이용하는 도민에게 과격한 실외활동 금지 홍보 자. 그 밖에 도민건강 보호를 위하여 필요한 사항	가. 행정기관 관용차량 운행 제한(비상용차량 제외) 나. 교통량이 많은 지역 자동차 운행 제한(자동차 부제 운행 강화 등) 다. 공공기관 운영 소각시설 등 대형사업장 조업시간 단축 라. 주.정차에 따른 공회전 금지 마. 도로 물청소** 또는 진공청소 등 강화 바. 대기배출시설 사업장의 연료사용량 감축 명령 사. 공사장의 조업시간 단축 또는 일부 작업 중지 명령 아. 대기배출시설, 대형공사장, 비산먼지사업장 등 지도·점검 강화 자. 그 밖에 대기오염 저감을 위하여 필요한 사항

※ 관련조례:「충청남도 대기오염 예보 및 경보에 관한 조례」별표2

비 고: * 미세먼지만 적용됨, ** 오존경보시에는 시행하지 않음.

국가대기오염경보관리시스템에 의한 미세먼지 및 초미세먼지 주의보 및 경보 발령 횟수를 표 37에, 발령 일수를 전국과 비교하여 그림 105~108에 나타내었다. 충남의 미세먼지 주의보 및 경보 발령 횟수는 2018년에 급상승하였는데 이는 2018년 충남권역을 북부, 서부, 동남부권역으로 세분화하여 발령하였기 때문이다. 미세먼지 주의보 발령 횟수는 2018년에서 2019년 증가했다가 2020년 미세먼지(PM-10) 주의보는 6회, 초미세먼지(PM-2.5) 주의보는 23회로 2019년에 비해 감소하였다. 2021년 미세먼지 주의보 발령횟수는 24회로 가장 많았고, 초미세먼지 주의보는 27회였다. 고농도 황사가 발생했던 3월과 5월 미세먼지 경보가 발령되었고, 5월에는 초미세먼지 경보도 함께 발령되었다.

표 37. 충남 미세먼지 주의보 및 경보 발령 횟수(일수)

구분		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
PM-10	주의보	2 (5)	4 (6)	6 (8)	11 (11)	18 (18)	6 (4)	24 (12)
	경보	0	1 (1)	1 (1)	0	0	0	6 (5)
PM-2.5	주의보	1 (1)	6 (6)	1 (2)	10 (22)	32 (34)	23 (29)	27 (26)
	경보	0	0	0	0	4 (10)	0	2 (2)

2015년에서 2021년 중 인천, 울산, 경기, 강원, 충북, 경북의 경우 2015년 미세먼지 주의보 발령일수가 가장 많았고, 서울, 광주, 대전, 세종, 충남, 전남, 경남은 2019년 미세먼지 주의보 발령일수가 가장 많았다. 전국적으로 2020년은 최근 6년간 가장 적은 발령 일수를 보이며 1일에서 5일 주의보가 발령된 것으로 나타났다. 충남의 경우 2015년 이후 2019년까지 미세먼지 주의보 발령일이 꾸준히 상승하다 2020년 4일로 급격하게 낮아졌으며 2021년 12일로 증가하였다. 이는 인천, 경기에 이어 3번째로 많은 수치이다.

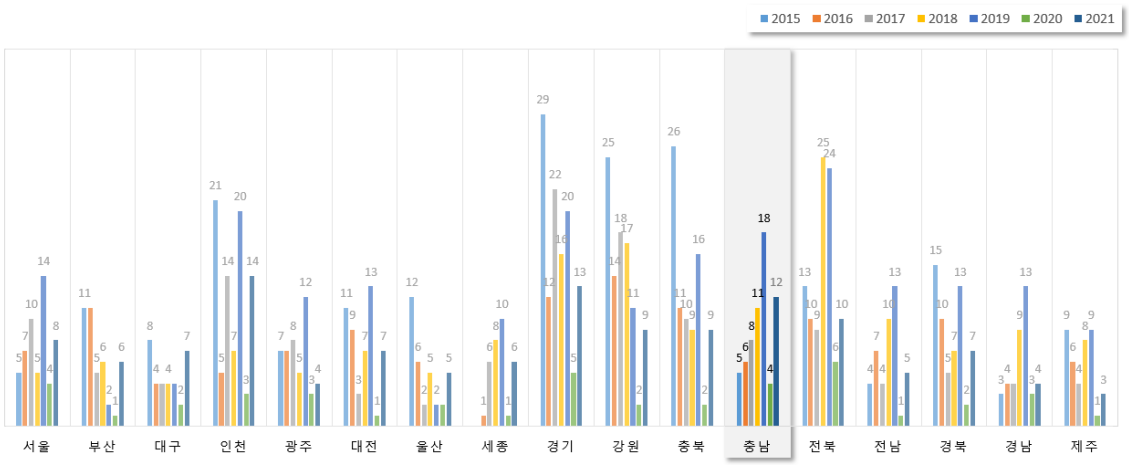


그림 105. 미세먼지 주의보 발령 일수

미세먼지 경보는 2019년 전국적으로 발령되지 않았고 2021년 전국적으로 2일 이상 경보가 발령되었으며 경기도는 7일로 발령일수가 가장 많았다. 충남의 경우 2016년과 2017년 각각 1일의 경보가 발령되었고 2021년 발령일수는 5일이었다.

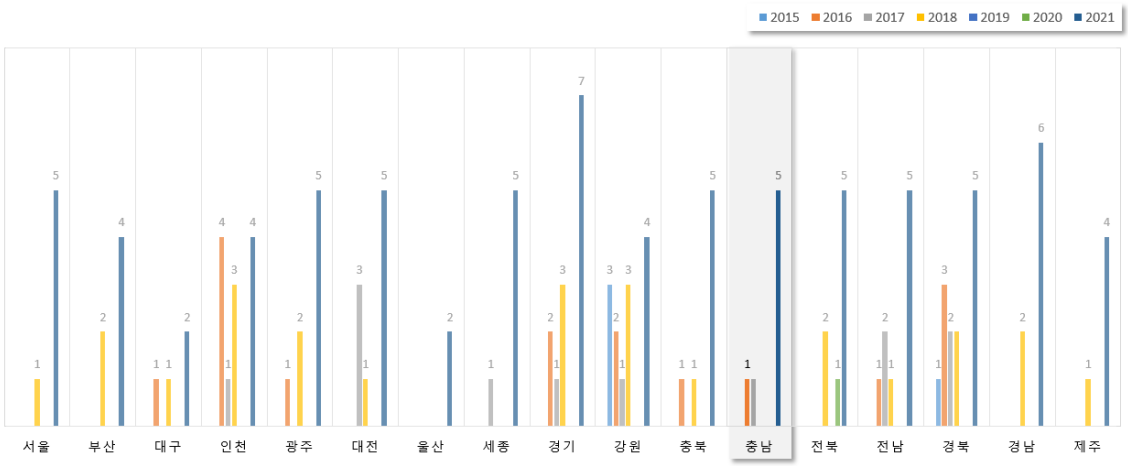


그림 106. 미세먼지 경보 발령 일수

2015년부터 2021년 중 부산, 광주, 울산, 강원의 경우 2015년 초미세먼지 주의보 발령일수가 가장 많았고, 서울, 인천, 대전, 세종, 충북, 충남은 2019년 초미세먼지 주의보 발령일수가 가장 많았다. 전북은 2018년에서 2020년에 가장 많은 발령일을 보였다. 2018년 초미세먼지 주의보 발령일이 전년보다 대체로 증가하는 경향을 보이는데 이는 2018년 7월 1일 대기환경보전법의 개정으로 초미세먼지 주의보 발령기준이 90 ㎍/㎥에서 75 ㎍/㎥로 강화된 영향으로 보인다. 충남의 경우 지난 6년 중 2019년 34일로 발령일이 가장 많았다.

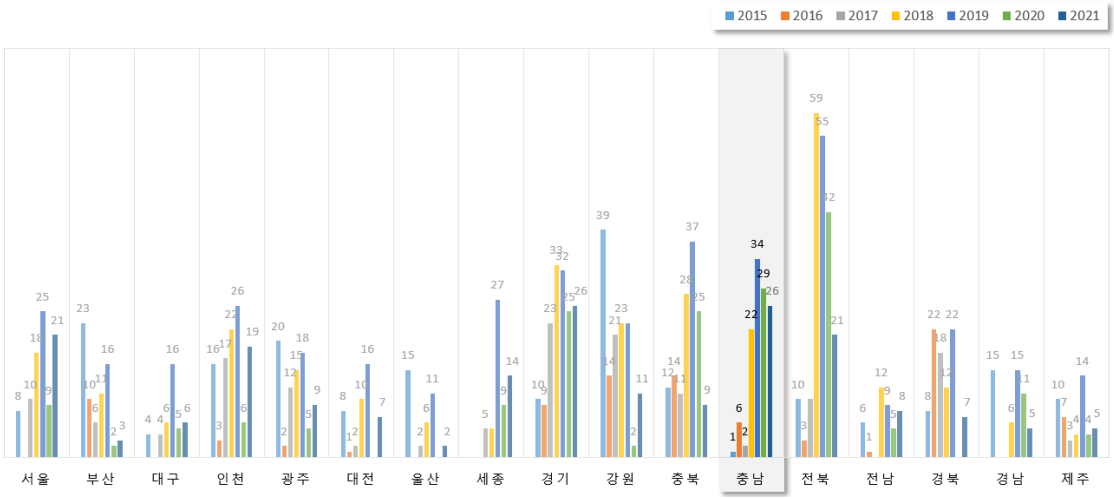


그림 107. 초미세먼지 주의보 발령 일수

초미세먼지 경보의 경우 2017년 강원에서 경보 발령일 1일, 2018년 충북에서 1일

을 기록하고 2019년에 부산, 대구, 울산, 경북, 경남, 제주를 제외하고 1일 이상의 발령일수를 보였으며 충남과 전북이 전국적으로 가장 많은 발령일(10일)을 보인다. 2021년은 울산, 세종, 강원, 전남을 제외하고 경보가 발령되었으며 충남의 경보 발령일수는 2일이었다.

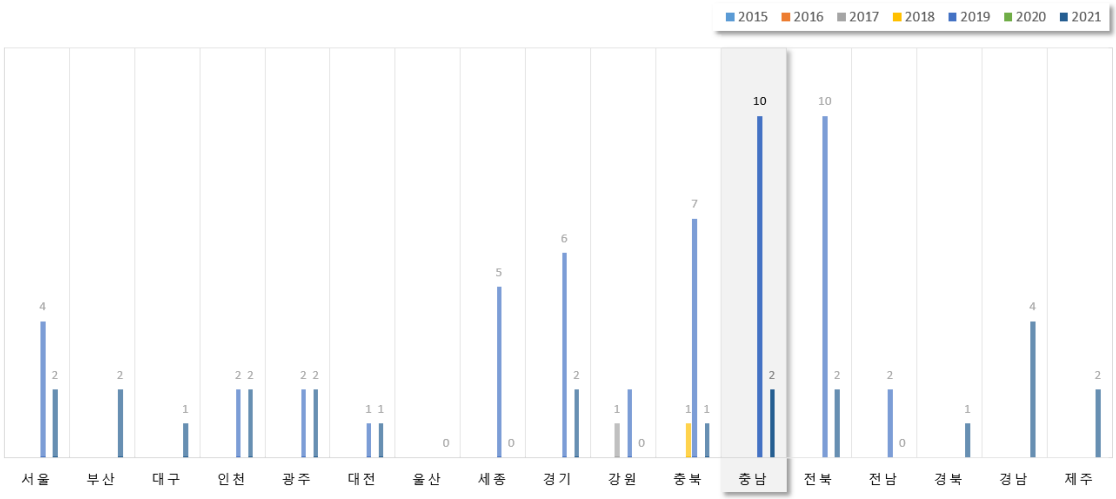


그림 108. 초미세먼지 경보 발령 일수

2021년 미세먼지 대기환경등급 일수를 표 38에 나타내었다. 일평균자료를 기준으로 작성되었으며 각 등급에 따른 미세먼지 농도는 표 35과 같다.

표 38. 충남 미세먼지 대기환경등급 일수

2021년	미세먼지(PM-10)				초미세먼지(PM-2.5)			
	좋음	보통	나쁨	매우나쁨	좋은	보통	나쁨	매우나쁨
충남평균	161	178	22	4	150	173	37	5
천안시	148	188	24	5	138	166	55	6
아산시	128	205	28	4	123	173	59	10
당진시	109	205	38	4	123	169	58	10
북부평균	132	202	27	4	129	171	57	8
보령시	170	160	26	4	171	153	31	5
서산시	175	163	23	4	182	153	24	6
서천군	187	151	18	4	188	143	27	2
홍성군	181	154	21	4	162	150	43	5
예산군	169	170	20	4	146	159	51	6
태안군	180	160	21	4	202	133	22	5
서부평균	173	166	22	4	175	157	29	4
공주시	179	162	12	4	151	159	46	2
논산시	168	179	14	4	178	164	22	0
계룡시	200	113	10	4	174	125	20	0
금산군	192	135	11	3	136	157	40	1
부여군	128	206	15	4	117	190	34	2
청양군	185	156	14	4	160	160	37	2
동남부평균	175	172	14	4	154	179	31	1

2021년 미세먼지(PM-10) 대기환경등급 나쁨 일수가 가장 많은 지역은 당진시, 초미세먼지(PM-2.5)는 아산시, 당진시였다. 미세먼지(PM-10) 대기환경등급 좋음 일수가 가장 많은 지역은 계룡시, 금산군, 서천군 순이며, 초미세먼지(PM-2.5)는 태안군, 서천군, 서산시였다.

4.3. 오존 경보제

오존 경보제는 대기 중의 오존 농도가 일정 기준을 초과하는 경우 신속히 경보를 발령하여 해당지역 주민에게 알림으로써 건강과 생활환경상의 피해를 최소화하고 오존 농도를 저감시키는데 주민들의 자발적인 협조를 구하기 위해 실시하는 제도이다.

우리나라 오존 경보제는 1995년 7월 서울에서 처음 시작하였다. 충청남도는 2004년부터 대기환경측정망이 설치된 천안시, 서산시, 당진시, 아산시 등 4개 시를 시작으로 2018년 충청남도 15개 시·군 전역으로 확대하여 오존 경보제를 시행하고 있다.

오존 경보제는 2018년까지 5월~9월까지 운영하였고 2019년부터 4월 15일~10월 15일로 기간을 확대 운영하였다. 오존 경보제는 도시대기측정소 37개소에서 측정된 실시간 오존 농도를 모니터링하여 표 39의 오존 경보 발령기준 및 조치사항에 따라 시행하였다.

표 39. 오존 경보 발령기준 및 조치사항

구 분	주 민	차량운전자	관계기관	사업장
주의보 (0.12ppm 이상)	·노천소각금지 요청 ·대중교통 이용 권고 ·주민 실외활동 및 과격운동 자제 요청 ·노약자, 어린이, 호흡기환자, 심장질환 환자 실외활동 자제 권고	·경보지역내 차량 운행 자제 권고 (Carpool제 시행) ·대중교통 이용 권고 ·자동차 사용 자제권고	·주의보 상황 통보 ·대중홍보매체에 의한 대국민 홍보 요청 ·대기오염도 변화 분석 및 기상관측자료 검토 요청	
경보 (0.3ppm 이상)	·소각시설 사용 제한 요청 ·주민 실외활동 및 과격운동 제한 요청 ·유치원, 학교 등 실외학습 제한 권고 ·노약자, 어린이, 호흡기환자, 심장질환 환자 실외활동 제한 권고	·경보지역내 자동차 사용 제한 명령	·경보상황 통보 ·대기오염 측정 및 기상관측 활동 강화 요청 ·경보상황에 대한 대국민 홍보 강화 요청	. 연료 사용량 감축 권고
중대경보 (0.5ppm 이상)	·소각시설 사용 중지 요청 ·주민 실외활동 및 과격운동 금지 요청 ·유치원, 학교등 실외학습 중지 및 휴교 권고 ·노약자, 어린이, 호흡기환자, 심장질환 환자 실외활동 중지 권고	·경보지역내 자동차 통행 금지	·중대경보상황 통보 ·대기오염측정 및 기상관측활동 강화 요청 ·위험사항에 대한 국민 홍보 강화 요청 ·경찰에 교통통제 협조 요청	. 조업 단축 명령

최근 6년간의 오존 주의보 발령일수 및 횟수를 지역별로 비교하여 그림 109~110에 나타내었다. 최근 6년간 오존 주의보 발령일이 가장 많은 지역은 경기도이며 2019년 37일로 가장 많았다. 충남의 경우 2017년 7일로 최근 6년 중 가장 적었고 2018년 17일로 상승 후 2020년 13일까지 점차 감소하다 2021년 24일로 증가하여 최근 6년 중 가장 많은 발령일을 보였다.

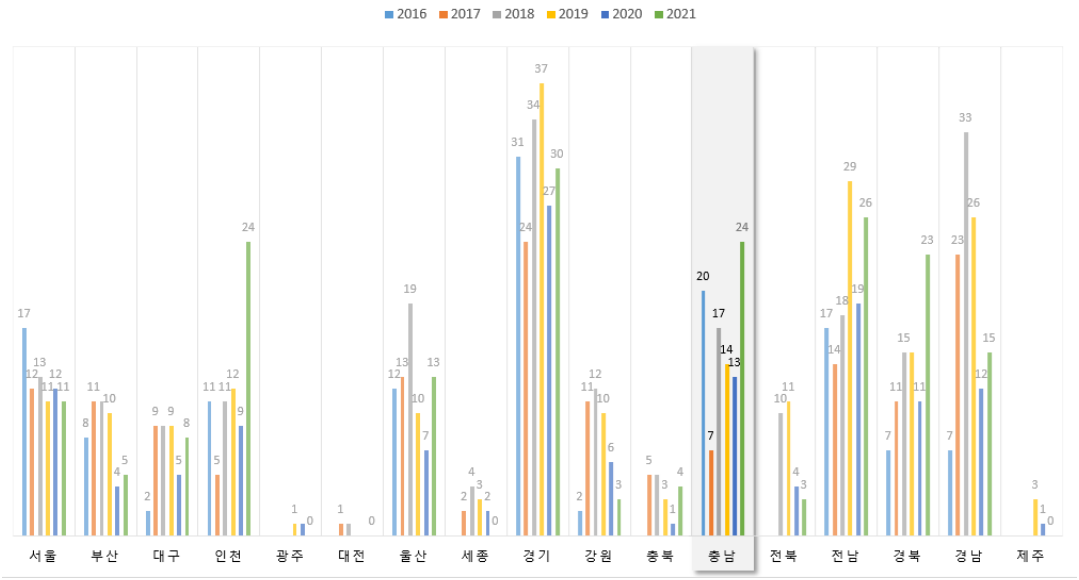


그림 109. 오존 주의보 발령 일수

오존 주의보 발령 횟수는 2018년과 2019년 경남에서 가장 많았고, 충남의 경우 발령일수와 마찬가지로 2018년 57번에서 2020년 29번으로 감소하였다. 충남은 오존 경보를 시·군 단위로 발령하는 반면, 서울, 경기, 인천 등은 권역 단위로 발령하기 때문에 오존 발령일과 발령횟수의 경향이 다를 수 있다.

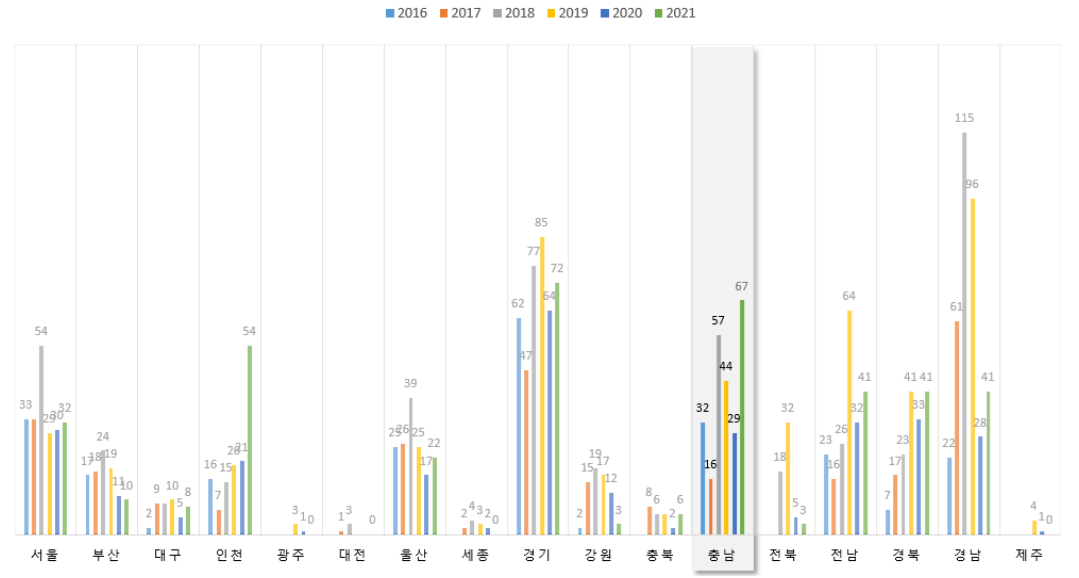


그림 110. 오존 주의보 발령 횟수

Ⅴ. 측정지점별 환경기준 달성 현황

5.1. 대기오염물질별 환경기준 달성 현황

5.2. 월별 환경기준 초과 현황

5.1. 대기오염물질별 환경기준 달성 현황

2001년부터 환경기준의 달성 여부를 평가할 때 측정기의 오류로 인한 이상 자료를 배제하고 자료의 분포를 명확하게 하도록 분위수(Percentile) 개념이 도입되었다. 1시간 평균치는 999천분위수의 값이 그 기준을 초과하여서는 안 되고, 8시간 및 24시간 평균치는 99백분위수의 값이 그 기준을 초과하여서는 안 된다.

2021년 연간 대기오염 측정결과 오염물질별 환경기준 달성현황은 표 40과 같다. SO_2, CO의 경우 모든 측정지점에서 환경기준을 달성하였다. NO_2의 경우 24시간 평균이 동문동과 성성동에서 기준을 초과하였다. 동문동은 1월과 2월, 성성동은 12월에 24시간평균 기준인 0.06 ppm을 초과하였다. PM-10의 경우 송산면의 연평균이 55 ㎍/㎥로 기준(50 ㎍/㎥)을 초과하였고, PM-2.5의 경우 원북면의 연평균이 14 ㎍/㎥로 기준(15 ㎍/㎥) 이하로 나타났다. PM-2.5의 24시간평균은 전 측정소에서 기준을 초과하였고, PM-10의 24시간평균은 성동면, 삽교읍, 원북면에서 기준(100 ㎍/㎥)을 달성하였다. 유일하게 PM-2.5 연평균 기준을 달성한 원북면과 PM-10 24시간평균 기준을 달성한 성동면, 삽교읍, 원북면은 미세먼지 고농도를 보였던 3월, 5월 이후 정상가동되어 고농도 자료를 포함하지 않기 때문으로 판단된다. 오존의 경우 8시간평균 기준은 전 측정소에서 달성하지 못한 반면 1시간평균은 엄사면, 금산읍에서 기준을 달성하였다.

표 40. 2021년 측정소별 환경기준 달성 현황

항목	SO_2 (ppm)			CO (ppm)		NO_2 (ppm)			PM-10 (㎍/㎥)		PM-2.5 (㎍/㎥)		O_3 (ppm)		Pb (ppm)
환경기준	연평균	24시간 평균	1시간 평균	8시간 평균	1시간 평균	연평균	24시간 평균	1시간 평균	연평균	24시간 평균	연평균	24시간 평균	8시간 평균	1시간 평균	연평균
	0.02	0.05	0.15	9	25	0.03	0.06	0.10	50	100	15	50	0.06	0.10	0.5
성황동	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○
백석동	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
성거읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
신방동	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
공주	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
탄천면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
대천2동	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
주교면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
모종동	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
배방읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
도고면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
인주면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
둔포면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
독곶리	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○
동문동	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	×	×	×	×	–
대산리	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
성연면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
논산	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
연무읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
성동면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	–
엄사면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	–
당진시청사	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
송산면	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	○
금산읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	○	–
부여읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
서천읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
서면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
장항읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
청양읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
정산면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
홍성읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
내포	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
예산군	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
삽교읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	–
이원면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
태안읍	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
원북면	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	–
성성동	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	×	×	×	×	–
장재리	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	–
보령시	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	○
배방읍(유해)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	○

※ ○: 달성, ×: 미달성

5.2. 월별 환경기준 초과 현황

2021년 말 기준으로 37개 도시대기측정소를 평가대상으로 월별 환경기준 초과 현황을 나타냈다.

표 38에서 보았듯이 모든 측정소에서 SO_2의 환경기준과 CO의 환경기준, NO_2의 환경기준을 모두 달성하였다.

오존의 경우 1시간 평균 환경기준(0.10 ppm)의 평균 초과 횟수는 34회로 이는 2019년 35회 대비 감소, 2020년 14회 대비 증가한 수치이다. 그림 93은 월별 측정소의 오존 환경기준초과 횟수를 나타낸 것으로 주교면(135회)과 당진시청사(90회), 성연면(86회) 순으로 1시간평균 환경기준초과 횟수가 많았다. 2020년과 같이 2021년에도 6월에 집중적으로 발생하였다.

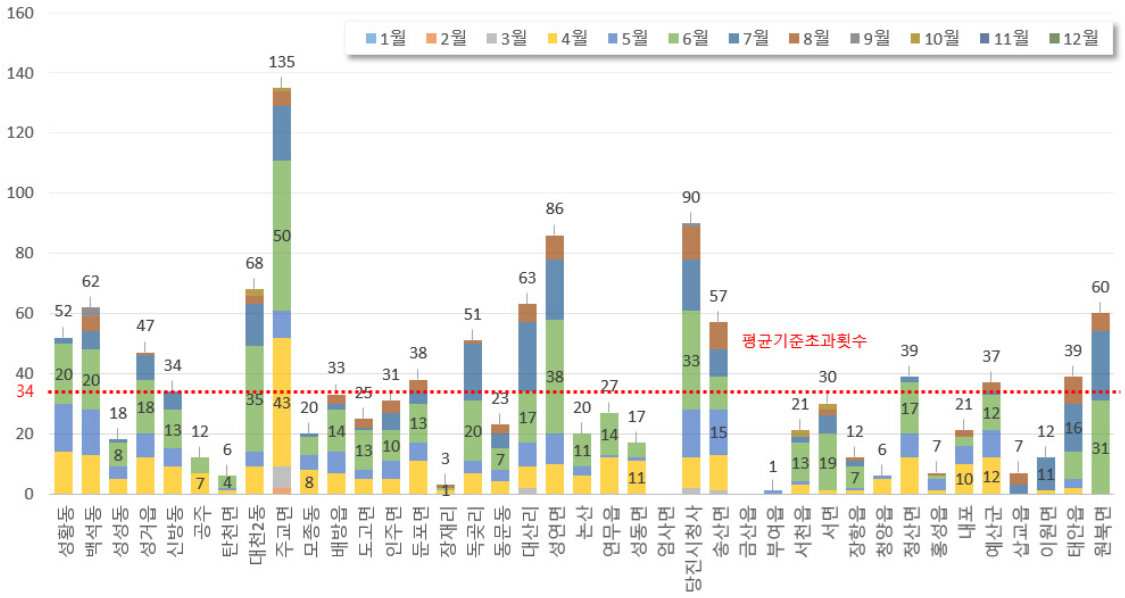


그림 111. 오존 측정소별 환경기준(1시간기준) 초과 횟수

오존의 8시간 평균 환경기준(0.06 ppm)의 초과 횟수는 평균 93회로 이는 2019년 77회와 2020년 57회보다 많은 수치이다. 그림 112에서 보는 바와 같이 성연면(158회), 주교면(152회)과 대천2동(149회) 순으로 초과 횟수가 높았다. 그리고 4월과 6월에 전체 초과의 55 %를 차지하였다.

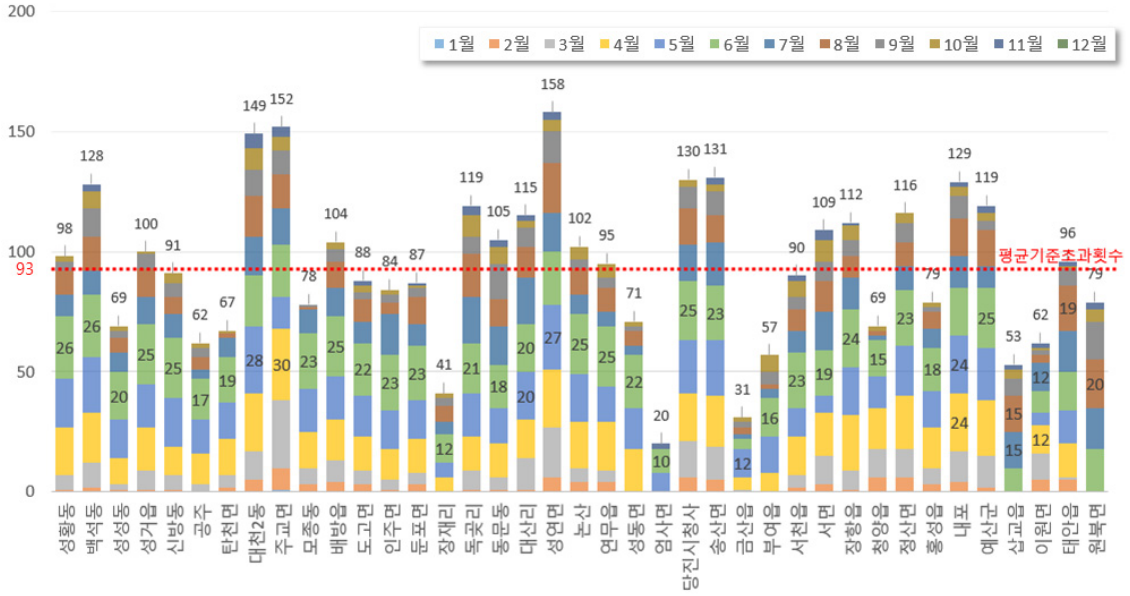


그림 112. 오존 측정소별 환경기준(8시간기준) 초과 횟수

PM-10 24시간 평균 환경기준(100 ㎍/㎥)의 평균 초과 횟수는 11회로 2020년 1회보다 많고, 13회를 기록했던 2019년과는 큰 차이를 보이지 않는다. 그림 113에서 보는 바와 같이 송산면(24회), 주교면(19회) 그리고 인주면(18회) 순으로 초과횟수가 높았다. 기준초과는 3월과 5월(69 %)에 주로 발생하였다.

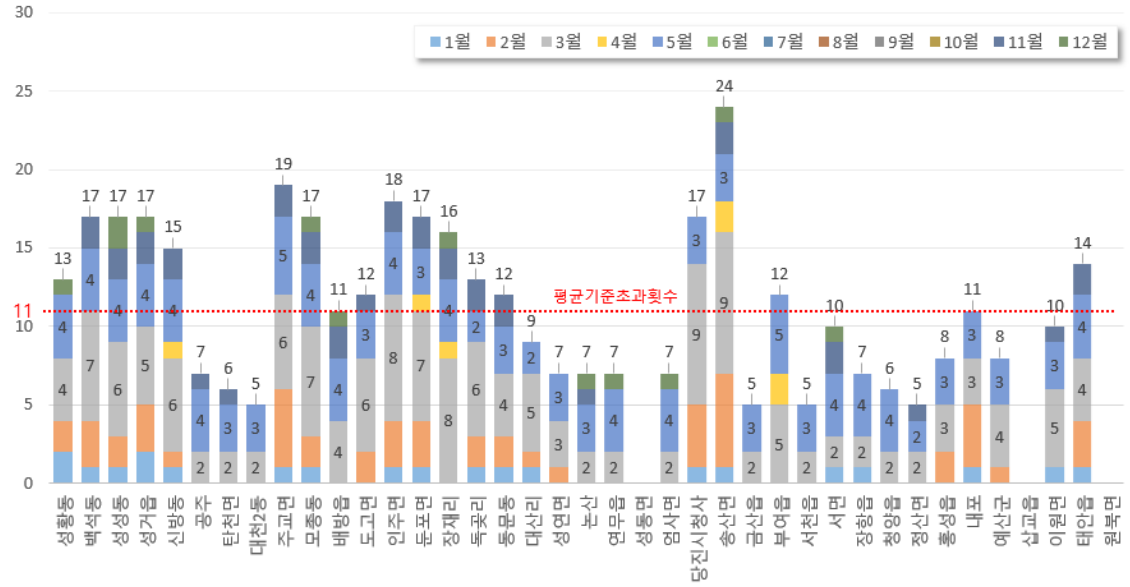


그림 113. PM-10 측정소별 환경기준(24시간기준) 초과 횟수

PM-2.5 24시간평균 환경기준(35 ㎍/㎥)의 평균 초과 횟수는 43회로 2020년 44회, 2019년 64회보다 적다. 그림 114에서 보는 바와 같이 도로변측정소인 성성동

(87회), 둔포면(83회) 그리고 인주면(73회) 순으로 초과 횟수가 높았다. 2020년과 같이 2021년 또한 399회(24 %)로 3월에 주로 발생하였으며 2 ~ 3월, 12월의 초과 횟수가 전체의 63 %로 나타났다.

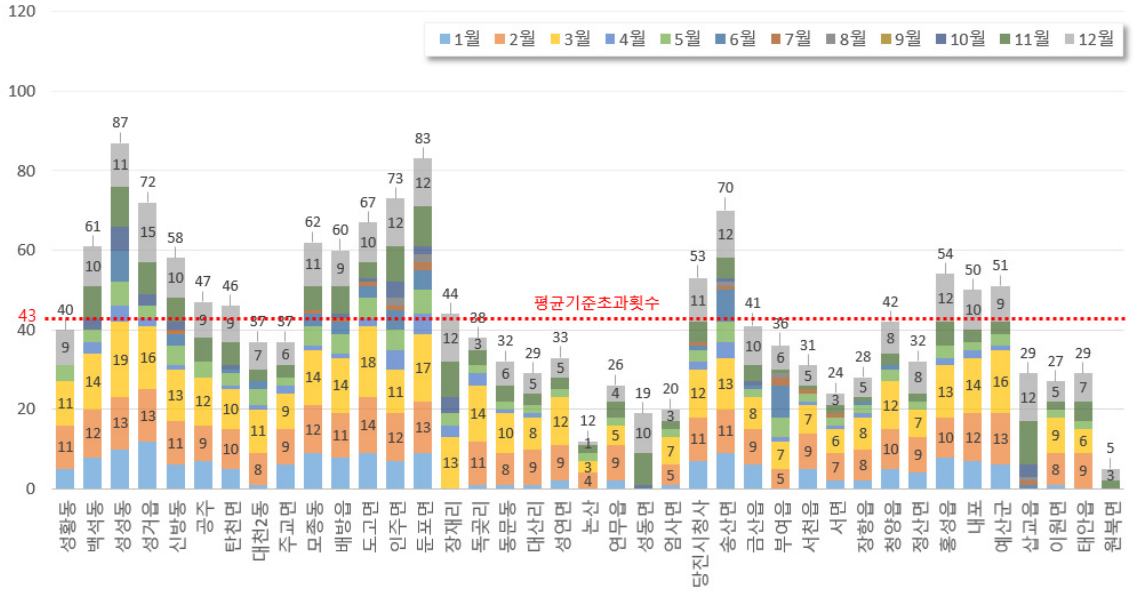


그림 114. PM-2.5 측정소별 환경기준(24시간기준) 초과 횟수

부 록

1. 2021년 연평균 대기오염도

2. 2021년 월별 대기오염도

3. 대기오염 경보제 운영결과

4. 대기중금속측정망 월별 평균농도

1. 2021년 연평균 대기오염도

1) 도시대기측정소

지역	측정소	SO_2(ppm)	NO_2(ppm)	O_3(ppm)	CO(ppm)	PM-10(㎍/㎥)	PM-2.5(㎍/㎥)
천안시	성황동	0.004	0.019	0.034	0.5	40	21
	백석동	0.004	0.018	0.035	0.5	48	23
	성거읍	0.004	0.016	0.033	0.4	44	26
	신방동	0.004	0.015	0.031	0.4	45	23
	평균	0.004	0.017	0.034	0.4	44	23
공주시	공주	0.004	0.009	0.032	0.3	37	21
	탄천면	0.004	0.011	0.032	0.3	41	23
	평균	0.004	0.01	0.032	0.3	39	22
보령시	대천2동	0.004	0.008	0.044	0.4	38	20
	주교면	0.004	0.013	0.042	0.6	47	20
	평균	0.004	0.01	0.043	0.5	42	20
아산시	모종동	0.004	0.017	0.03	0.4	49	24
	배방읍	0.004	0.017	0.033	0.4	45	24
	도고면	0.004	0.01	0.033	0.4	44	26
	인주면	0.004	0.016	0.033	0.4	48	24
	둔포면	0.004	0.016	0.033	0.4	50	27
	평균	0.004	0.015	0.032	0.4	47	25
서산시	독곶리	0.005	0.013	0.041	0.4	42	19
	동문동	0.004	0.015	0.039	0.4	44	20
	대산리	0.004	0.015	0.039	0.5	38	18
	성연면	0.004	0.012	0.038	0.4	40	20
	평균	0.004	0.014	0.039	0.4	41	19
논산시	논산	0.004	0.012	0.035	0.5	41	18
	연무읍	0.003	0.012	0.035	0.5	38	18
	성동면	0.003*	0.011*	0.034*	0.4*	28*	17*
	평균	0.003	0.012	0.035	0.5	37	18
계룡시	엄사면	0.003	0.013	0.028	0.5	34	17
당진시	당진시청사	0.004	0.013	0.039	0.4	44	22
	송산면	0.006	0.015	0.038	0.5	55	26
	평균	0.005	0.014	0.038	0.5	50	24

지역	측정소	SO_2(ppm)	NO_2(ppm)	O_3(ppm)	CO(ppm)	PM-10(㎍/㎥)	PM-2.5(㎍/㎥)
금산군	금산읍	0.004	0.011	0.03	0.4	35	21
부여군	부여읍	0.003	0.01	0.029	0.4	45	22
서천군	서천읍	0.003	0.012	0.036	0.5	38	19
	서면	0.003	0.008	0.042	0.4	39	17
	장항읍	0.004	0.01	0.04	0.4	40	19
	평균	0.003	0.01	0.039	0.4	39	18
청양군	청양읍	0.004	0.008	0.032	0.3	40	21
	정산면	0.003	0.008	0.037	0.5	35	19
	평균	0.004	0.008	0.035	0.4	37	20
홍성군	홍성읍	0.004	0.012	0.035	0.3	40	23
	내포	0.003	0.01	0.04	0.5	40	20
	평균	0.003	0.011	0.037	0.4	40	22
예산군	예산군	0.005	0.011	0.037	0.4	39	23
	삽교읍	0.004*	0.009*	0.033*	0.4*	34*	21*
	평균	0.004	0.011	0.035	0.4	37	22
태안군	이원면	0.004	0.008	0.039	0.4	42	18
	태안읍	0.004	0.013	0.038	0.5	43	19
	원북면	0.004*	0.009*	0.038*	0.4*	27*	14*
	평균	0.004	0.01	0.038	0.4	39	18
충남	평균	0.004	0.013	0.036	0.4	42	21

<비고>

1. "농도값*"의 값은 자료획득률이 50 %이상이나 75 %미만인 측정소의 월평균값.
2. "농도값**"의 값은 자료획득률이 50 %미만인 측정소의 월평균값.

2) 도로변측정소

지역	측정소	SO_2(ppm)	NO_2(ppm)	O_3(ppm)	CO(ppm)	PM-10(㎍/㎥)	PM-2.5(㎍/㎥)
천안시	성성동	0.004	0.024	0.03	0.4	50	28
아산시	장재리	0.004	0.021	0.027	0.5	46	22
도로변	평균	0.004	0.022	0.029	0.4	48	25

2. 2021년 월별 대기오염도

1) 아황산가스(SO_2)

(단위 : ppm)

측정소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
성황동	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004*	**	0.004
백석동	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
성거읍	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
신방동	0.004	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.004
공주	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.002	0.003	0.003
탄천면	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005**	**	0.004	0.003	0.004
대천2동	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004
주교면	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.002	0.003
모종동	0.004	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004
배방읍	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004
도고면	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
인주면	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
둔포면	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004**	0.004	0.003
독곶리	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
동문동	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004
대산리	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004
성연면	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003
논산	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003
연무읍	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
성동면	가동전			0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
엄사면	0.004	0.004	0.003	**	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
당진시청사	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003*	**	0.004
송산면	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.007	0.008
금산읍	0.005	0.004	0.004	0.003*	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
부여읍	0.003	0.003	0.002	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003
서천읍	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
서면	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.003**	0.003
장항읍	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
청양읍	0.004	0.004	0.004	0.004	0.005	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
정산면	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
홍성읍	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003
내포	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003	0.002	0.003	0.003	0.003	0.003
예산군	0.005	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004
삽교읍	가동전					0.003	0.005	0.004	0.004	0.005	0.003*	0.003
이원면	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004
태안읍	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004
원북면	가동전					0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004
평균	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003

지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
천안시	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003*	0.003
공주시	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004*	0.004**	0.003	0.003	0.003
보령시	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
아산시	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003
서산시	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004
논산시	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
계룡시	0.004	0.004	0.003	**	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003
당진시	0.006	0.006	0.005	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.003	0.004	0.007**	0.006
금산군	0.005	0.004	0.004	0.003*	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
부여군	0.003	0.003	0.002	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.002	0.003
서천군	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
청양군	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003
홍성군	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
예산군	0.005	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.003*	0.003
태안군	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.004	0.004

<비고>

1. "농도값*"의 값은 자료획득률이 50%이상이나 75%미만인 측정소의 월평균값.
2. "농도값**"의 값은 자료획득률이 50%미만인 측정소의 월평균값.

**자료 공백 사유 : 천안시 성황동측정소 11월 - 측정소 건물 수리
아산시 둔포면 10월 - 주변 공사로 전기 인입 차단
공주시 탄천면 9월 - 측정소 건물 수리
계룡시 엄사면, 금산군 금산읍 4월 - 옥상방수공사
당진시 당진시청사 11월 - 노후장비교체

2) 이산화질소(NO_2)

(단위 : ppm)

측정소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
성황동	0.026	0.024	0.025	0.021	0.017	0.015	0.013	0.014	0.012	0.016*	**	0.028
백석동	0.027	0.022	0.023	0.017	0.013	0.013	0.01	0.011	0.013	0.02	0.024	0.026
성거읍	0.021	0.02	0.02	0.016	0.013	0.013	0.01	0.011	0.009	0.014	0.021	0.023
신방동	0.022	0.019	0.019	0.014	0.013	0.011	0.009	0.01	0.010*	0.016	0.02	0.022
공주	0.016	0.01	0.01	0.008	0.007	0.006	0.006	0.007	0.006	0.009	0.012	0.015
탄천면	0.016	0.014	0.013	0.01	0.008	0.007	0.007	0.007**	**	0.011	0.012	0.014
대천2동	0.013	0.012	0.01	0.008	0.005	0.005	0.004	0.004	0.003	0.007	0.011	0.013
주교면	0.019	0.016	0.019	0.015	0.011	0.011	0.01	0.009	0.007	0.011	0.014	0.015
모종동	0.025	0.022	0.02	0.015	0.013	0.013	0.011	0.011	0.011	0.017	0.022	0.022
배방읍	0.023	0.02	0.019	0.015	0.012	0.012	0.01	0.012	0.012	0.017	0.022	0.024
도고면	0.014	0.013	0.013	0.01	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.01	0.012	0.014
인주면	0.021	0.018	0.02	0.016	0.012	0.013	0.01	0.011	0.011	0.016	0.02	0.021
둔포면	0.022	0.019	0.02	0.015	0.012	0.012	0.01	0.01	0.009	0.021**	0.019	0.022
독곶리	0.016	0.017	0.02	0.016	0.011	0.011	0.012	0.01	0.009	0.008	0.012	0.014
동문동	0.027	0.023	0.017	0.015	0.012	0.011	0.009	0.011	0.009	0.012	0.016	0.019
대산리	0.02	0.019	0.021	0.016	0.012	0.013	0.011	0.011	0.011	0.014	0.018	0.019
성연면	0.017	0.015	0.016	0.012	0.008	0.008	0.007	0.009	0.008	0.011	0.015	0.017
논산	0.02	0.017	0.015	0.012	0.01	0.008	0.007	0.007	0.007	0.011	0.015	0.018
연무읍	0.018	0.015	0.015	0.012	0.009	0.009	0.007	0.007	0.007	0.013	0.016	0.017
성동면	가동전			0.013	0.009	0.008	0.007	0.008	0.009	0.014	0.015	0.017
엄사면	0.022	0.016	0.017	**	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.012	0.016	0.02
당진시청사	0.019	0.015	0.018	0.015	0.01	0.01	0.009	0.009	0.01	0.010*	**	0.018
송산면	0.021	0.018	0.018	0.015	0.012	0.012	0.014	0.014	0.013	0.013	0.016	0.019
금산읍	0.019	0.016	0.013	0.009*	0.007	0.006	0.006	0.007	0.007	0.011	0.016	0.017
부여읍	0.012	0.009	0.007	0.008	0.009	0.008	0.007	0.007	0.008	0.011	0.015	0.017
서천읍	0.016	0.015	0.016	0.012	0.009	0.008	0.007	0.007	0.007	0.011	0.014	0.016
서면	0.01	0.01	0.012	0.009	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.008	0.01	0.011
장항읍	0.013	0.013	0.014	0.012	0.008	0.007	0.006	0.006	0.005	0.009	0.013	0.015
청양읍	0.013	0.01	0.009	0.008	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.007	0.011	0.014
정산면	0.012	0.008	0.01	0.007	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.008	0.01	0.012
홍성읍	0.019	0.015	0.015	0.011	0.008	0.008	0.007	0.008	0.008	0.012	0.017	0.02
내포	0.013	0.012	0.013	0.01	0.007	0.006	0.006	0.006	0.006	0.009	0.013	0.015
예산군	0.017	0.015	0.015	0.011	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.01	0.015	0.018
삽교읍	가동전					0.006	0.006	0.007	0.007	0.01	0.013	0.016
이원면	0.011	0.011	0.012	0.009	0.007	0.007	0.007	0.006	0.006	0.005	0.007	0.009
태안읍	0.017	0.016	0.016	0.013	0.009	0.009	0.008	0.009	0.009	0.012	0.017	0.018
원북면	가동전					0.008	0.006	0.007	0.006	0.008	0.011	0.013
평균	0.018	0.016	0.016	0.012	0.01	0.009	0.008	0.008	0.008	0.012	0.015	0.017

지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
천안시	0.024	0.021	0.022	0.017	0.014	0.013	0.011	0.012	0.011	0.017	0.022*	0.025
공주시	0.016	0.012	0.012	0.009	0.007	0.007	0.007	0.007*	0.006**	0.01	0.012	0.015
보령시	0.016	0.014	0.014	0.011	0.008	0.008	0.007	0.006	0.005	0.009	0.012	0.014
아산시	0.021	0.018	0.018	0.014	0.012	0.012	0.01	0.01	0.01	0.015	0.019	0.021
서산시	0.02	0.018	0.018	0.015	0.011	0.011	0.01	0.01	0.009	0.011	0.015	0.017
논산시	0.019	0.016	0.015	0.013	0.009	0.008	0.007	0.008	0.008	0.013	0.016	0.017
계룡시	0.022	0.016	0.017	**	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.012	0.016	0.02
당진시	0.02	0.017	0.018	0.015	0.011	0.011	0.012	0.011	0.011	0.012	0.016**	0.018
금산군	0.019	0.016	0.013	0.009*	0.007	0.006	0.006	0.007	0.007	0.011	0.016	0.017
부여군	0.012	0.009	0.007	0.008	0.009	0.008	0.007	0.007	0.008	0.011	0.015	0.017
서천군	0.013	0.013	0.014	0.011	0.008	0.007	0.006	0.006	0.006	0.009	0.013	0.014
청양군	0.013	0.009	0.01	0.008	0.006	0.005	0.005	0.005	0.005	0.008	0.01	0.013
홍성군	0.016	0.013	0.014	0.011	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.011	0.015	0.017
예산군	0.017	0.015	0.015	0.011	0.008	0.007	0.007	0.007	0.007	0.01	0.014	0.017
태안군	0.014	0.014	0.014	0.011	0.008	0.008	0.007	0.007	0.007	0.009	0.012	0.013

<비고>

1. "농도값*"의 값은 자료획득률이 50%이상이나 75%미만인 측정소의 월평균값.
2. "농도값**"의 값은 자료획득률이 50%미만인 측정소의 월평균값.

**자료 공백 사유 : 천안시 성황동측정소 11월 - 측정소 건물 수리
아산시 둔포면 10월 - 주변 공사로 전기 인입 차단
공주시 탄천면 9월 - 측정소 건물 수리
계룡시 엄사면, 금산군 금산읍 4월 - 옥상방수공사
당진시 당진시청사 11월 - 노후장비교체

3) 오존(O_3)

(단위 : ppm)

측정소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
성황동	0.019	0.029	0.033	0.047	0.045	0.051	0.037	0.036	0.035	0.028*	**	0.017
백석동	0.02	0.031	0.037	0.049	0.047	0.052	0.037	0.035	0.039	0.029	0.026	0.02
성거읍	0.02	0.028	0.034	0.047	0.045	0.05	0.038	0.037	0.037	0.026	0.022	0.017
신방동	0.019	0.029	0.033	0.045	0.043	0.049	0.036	0.033	0.03	0.024	0.02	0.018
공주	0.017	0.029	0.035	0.047	0.042	0.044	0.033	0.033	0.034	0.029	0.024	0.019
탄천면	0.022	0.03	0.035	0.043	0.04	0.044	0.036	0.032**	**	0.024	0.024	0.02
대천2동	0.03	0.039	0.043	0.055	0.057	0.058	0.051	0.046	0.045	0.041	0.037	0.029
주교면	0.03	0.045	0.051	0.062	0.052*	0.059	0.044	0.042	0.04	0.032	0.03	0.025
모종동	0.018	0.029	0.034	0.046	0.045	0.047	0.037	0.03	0.027	0.021	0.018	0.014
배방읍	0.019	0.029	0.038	0.046	0.044	0.05	0.041	0.036	0.032	0.026	0.022	0.017
도고면	0.02	0.031	0.033	0.043	0.045	0.048	0.036	0.034	0.032	0.026	0.023	0.019
인주면	0.02	0.03	0.033	0.043	0.046	0.049	0.045	0.036	0.031	0.027	0.021	0.017
둔포면	0.02	0.03	0.034	0.045	0.043	0.048	0.037	0.035	0.033	0.025**	0.023	0.018
독곶리	0.029	0.037	0.041	0.05	0.051	0.053	0.045	0.043	0.039	0.042	0.038	0.029
동문동	0.025	0.033	0.039	0.047	0.049	0.052	0.043	0.042	0.043	0.037	0.031	0.026
대산리	0.027	0.035	0.04	0.049	0.05	0.051	0.043	0.041	0.037	0.033	0.029	0.025
성연면	0.025	0.037	0.041	0.051	0.053	0.054	0.042	0.039	0.035	0.032	0.027	0.023
논산	0.022	0.032	0.038	0.048	0.048	0.053	0.037	0.038	0.038	0.03	0.025	0.017
연무읍	0.024	0.033	0.037	0.048	0.047	0.053	0.035	0.036	0.035	0.03	0.026	0.022
성동면	가동전			0.047	0.044	0.048	0.032	0.032	0.032	0.025	0.025	0.02
엄사면	0.018	0.029	0.031	**	0.038	0.04	0.027	0.029	0.03	0.023	0.026	0.022
당진시청사	0.024	0.036	0.039	0.05	0.052	0.053	0.042	0.04	0.035	0.034*	**	0.022
송산면	0.023	0.035	0.041	0.051	0.052	0.051	0.042	0.039	0.036	0.032	0.028	0.021
금산읍	0.016	0.029	0.031	0.040*	0.04	0.038	0.036	0.033	0.033	0.026	0.023	0.02
부여읍	0.015	0.02	0.025	0.04	0.042	0.042	0.03	0.027	0.031	0.031	0.025	0.02
서천읍	0.025	0.033	0.038	0.047	0.041	0.054	0.038	0.038	0.037	0.03	0.028	0.024
서면	0.032	0.038	0.043	0.051	0.042	0.056	0.043	0.043	0.042	0.042	0.038	0.032
장항읍	0.027	0.033	0.041	0.053	0.052	0.055	0.042	0.042	0.039	0.036	0.033	0.029
청양읍	0.022	0.037	0.038	0.048	0.044	0.041	0.03	0.03	0.029	0.025	0.024	0.02
정산면	0.03	0.038	0.041	0.053	0.047	0.049	0.034	0.034	0.036	0.031	0.026	0.022
홍성읍	0.022	0.034	0.038	0.047	0.047	0.047	0.035	0.04	0.035	0.03	0.024	0.019
내포	0.027	0.039	0.045	0.054	0.052	0.05	0.039	0.042	0.039	0.036	0.033	0.026
예산군	0.021	0.033	0.04	0.051	0.05	0.053	0.04	0.041	0.036	0.031	0.028	0.019
삽교읍	가동전					0.042	0.039	0.039	0.034	0.029	0.026	0.021
이원면	0.035	0.043	0.045	0.047	0.044	0.04	0.037	0.035	0.034	0.037	0.037	0.032
태안읍	0.028	0.037	0.031	0.049	0.05	0.053	0.045	0.044	0.036	0.031	0.028	0.024
원북면	가동전					0.054	0.041	0.04	0.037	0.035	0.03	0.028
평균	0.023	0.033	0.037	0.048	0.046	0.049	0.038	0.037	0.035	0.031	0.027	0.022

지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
천안시	0.019	0.029	0.034	0.047	0.045	0.05	0.037	0.035	0.035	0.027	0.023*	0.018
공주시	0.02	0.029	0.035	0.045	0.041	0.044	0.034	0.033*	0.034**	0.026	0.024	0.019
보령시	0.03	0.042	0.047	0.059	0.055	0.059	0.047	0.044	0.043	0.037	0.033	0.027
아산시	0.019	0.03	0.034	0.045	0.045	0.048	0.039	0.034	0.031	0.025	0.021	0.017
서산시	0.026	0.036	0.04	0.049	0.051	0.052	0.043	0.041	0.038	0.036	0.032	0.026
논산시	0.023	0.032	0.037	0.047	0.047	0.051	0.035	0.035	0.035	0.028	0.025	0.02
계룡시	0.018	0.029	0.031	**	0.038	0.04	0.027	0.029	0.03	0.023	0.026	0.022
당진시	0.024	0.036	0.04	0.051	0.052	0.052	0.042	0.039	0.035	0.033	0.028**	0.021
금산군	0.016	0.029	0.031	0.040*	0.04	0.038	0.036	0.033	0.033	0.026	0.023	0.02
부여군	0.015	0.02	0.025	0.04	0.042	0.042	0.03	0.027	0.031	0.031	0.025	0.02
서천군	0.028	0.034	0.041	0.05	0.045	0.055	0.041	0.041	0.039	0.036	0.033	0.028
청양군	0.026	0.038	0.04	0.05	0.045	0.045	0.032	0.032	0.033	0.028	0.025	0.021
홍성군	0.025	0.037	0.041	0.05	0.049	0.048	0.037	0.041	0.037	0.033	0.029	0.023
예산군	0.021	0.033	0.04	0.051	0.05	0.047	0.04	0.04	0.035	0.03	0.027	0.02
태안군	0.032	0.04	0.038	0.048	0.047	0.049	0.041	0.04	0.036	0.034	0.032	0.028

<비고>

1. "농도값*"의 값은 자료획득률이 50%이상이나 75%미만인 측정소의 월평균값.
2. "농도값**"의 값은 자료획득률이 50%미만인 측정소의 월평균값.

**자료 공백 사유 : 천안시 성황동측정소 11월 - 측정소 건물 수리
아산시 둔포면 10월 - 주변 공사로 전기 인입 차단
공주시 탄천면 9월 - 측정소 건물 수리
계룡시 엄사면, 금산군 금산읍 4월 - 옥상방수공사
당진시 당진시청사 11월 - 노후장비교체

4) 일산화탄소(CO)

(단위 : ppm)

측정소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
성황동	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4*	**	0.5
백석동	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6
성거읍	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
신방동	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
공주	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5
탄천면	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2**	**	0.3	0.4	0.4
대천2동	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4*	0.5	0.3*	0.5	0.4	0.3
주교면	0.7	0.7	0.7	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5
모종동	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5
배방읍	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
도고면	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
인주면	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
둔포면	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4**	0.4	0.4
독곶리	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5
동문동	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5
대산리	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
성연면	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
논산	0.5	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
연무읍	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5*	0.5*
성동면	가동전			0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4
엄사면	0.6	0.5	0.5	**	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5
당진시청사	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3*	0.4	0.3	0.3*	**	0.5
송산면	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5*	0.6	0.7
금산읍	0.5	0.5	0.4	0.3*	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4**	0.4	0.4	0.3
부여읍	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
서천읍	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5
서면	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
장항읍	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.4
청양읍	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4
정산면	0.7	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5
홍성읍	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.4	0.4	0.5
내포	0.5	0.6	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4**	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4
예산군	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
삽교읍	가동전					0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5
이원면	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5
태안읍	0.5	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6
원북면	가동전					0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
평균	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5

지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
천안시	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5*	0.5
공주시	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3*	0.3**	0.3	0.4	0.4
보령시	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.4
아산시	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4
서산시	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
논산시	0.6	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
계룡시	0.6	0.5	0.5	**	0.4	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5
당진시	0.6	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4*	0.6**	0.6
금산군	0.5	0.5	0.4	0.3*	0.3	0.3	0.3	0.5	0.4**	0.4	0.4	0.3
부여군	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
서천군	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
청양군	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5
홍성군	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.4	0.3*	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
예산군	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5
태안군	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5

<비고>

1. "농도값*"의 값은 자료획득률이 50%이상이나 75%미만인 측정소의 월평균값.
2. "농도값**"의 값은 자료획득률이 50%미만인 측정소의 월평균값.

**자료 공백 사유 : 천안시 성황동측정소 11월 - 측정소 건물 수리
아산시 둔포면 10월 - 주변 공사로 전기 인입 차단
공주시 탄천면 9월 - 측정소 건물 수리
계룡시 엄사면, 금산군 금산읍 4월 - 옥상방수공사
당진시 당진시청사 11월 - 노후장비교체

5) 미세먼지(PM-10)

(단위 : ㎍/㎥)

측정소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
성황동	47	54	74	40	52	35	22	24	18	26*	**	42
백석동	47	58	85	53	69	43	27	27	21	38	53	48
성거읍	52	61	81	47	61	33	18	21	17	31	51	49
신방동	47	53	80	50	66	39	26	26	21	38	49	45
공주	40	43	64	42	56	33	20	22	17	27	39	37
탄천면	41	45	65	44	57	33	20	20**	**	25*	41	37
대천2동	38	48	79	42	62	31	21	20	17	28	34	39
주교면	52	62	98	54	74	32	24	24	19	37	41	41
모종동	49	61	87	51	69	42	28	27	22	42	57	51
배방읍	45	55	76	49	65	40	24	26	17	34	49	51
도고면	46	59	81	50	65	37	22	23	18	37	45	46
인주면	47	59	87	53	70	41	27	28	21	39	52	49
둔포면	50	62	85	55	72	44	29	29	22	49**	54	50
독곶리	45	54	87	45	59	29	24	25	22	29	41	37
동문동	41	50	80	47	69	44	25	25	19	35	48	43
대산리	40	49	74	42	59	29	22	23	18	26	37	37
성연면	42	52	77	44	66	31	22	22	17	28	39	38
논산	43	45	69	41	61	40	27	23	18	35	47	44
연무읍	43	46	73	42	58	32	17	18	15	31	42	41
성동면	가동전			28	17	17	15	35	44	42	0.5	0.4
엄사면	34	43	62	**	55	29	18	18	15	24	38	42
당진 시청사	48	61	89	50	62	35	25	23	19	25*	**	40
송산면	57	75	99	63	77	50	34	30	23	42	56	57
금산읍	43	44	61	36*	52	31	16	17	15	26	40	44
부여읍	43	45	85	56	84	47	35	32	17	28	35	34
서천읍	44	46	79	40	57	27	20	19	16	29	38	37
서면	40	43	77	41	62	31	24	17	19	33	42	36
장항읍	45	46	87	43	61	29	20	19	16	28	39	37
청양읍	43	48	73	44	61	34	21	20	17	31	40	40
정산면	42	46	68	36	51	24	16	17	13	24	37	38
홍성읍	43	51	80	44	59	30	23	20	14	27	44	45
내포	45	56	84	42	59	28	21	21	16	29	38	39
예산군	44	54	81	42	55	31	20	20	16	28	39	38
삽교읍	가동전					35	23	24	19	42	49	47
이원면	42	49	82	46	68	34	28	28	23	29	39	37
태안읍	43	53	78	45	71	40	28	26	20	31	42	41
원북면	가동전					23	23	23	20	27	38	35
평균	45	52	79	46	63	34	23	23	18	31	43	42

지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
천안시	48	57	80	47	62	38	23	24	19	34	51*	46
공주시	41	44	64	43	57	33	20	22*	17**	26	40	37
보령시	45	55	89	48	68	32	22	22	18	32	38	40
아산시	47	59	83	52	68	41	26	27	20	38	51	50
서산시	42	51	80	44	63	33	23	24	19	29	41	39
논산시	43	46	71	41*	59*	33	20	19	16	34	44	42
계룡시	34	43	62	**	55	29	18	18	15	24	38	42
당진시	53	68	94	56	69	43	29	26	21	36	56**	49
금산군	43	44	61	36*	52	31	16	17	15	26	40	44
부여군	43	45	85	56	84	47	35	32	17	28	35	34
서천군	43	45	81	41	60	29	21	18	17	30	40	37
청양군	42	47	71	40	56	29	19	18	15	28	39	39
홍성군	44	54	82	43	59	29	22	20	15	28	41	42
예산군	44	54	81	42	55	33	22	22	17	35	44	43
태안군	43	51	80	45	69	31	26	25	21	29	40	38

<비고>

1. "농도값*"의 값은 자료획득률이 50%이상이나 75%미만인 측정소의 월평균값.
2. "농도값**"의 값은 자료획득률이 50%미만인 측정소의 월평균값.

**자료 공백 사유 : 천안시 성황동측정소 11월 - 측정소 건물 수리
아산시 둔포면 10월 - 주변 공사로 전기 인입 차단
공주시 탄천면 9월 - 측정소 건물 수리
계룡시 엄사면, 금산군 금산읍 4월 - 옥상방수공사
당진시 당진시청사 11월 - 노후장비교체

6) 초미세먼지(PM-2.5)

(단위 : ㎍/㎥)

측정소	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
성황동	26	34	35	19	22	21	13	13	9	14*	**	27
백석동	27	35	38	22	21	22	14	13	9	20	30	29
성거읍	32	40	39	23	22	22	13	14	10	21	33	34
신방동	27	32	36	21	24	24	15	14	9	19	27	26
공주	26	29	32	20	23	21	12	12	8	17	26	27
탄천면	26	30	32	22	23	22	12	11**	**	17	28	26
대천2동	22	32	33	20	24	19	13	12	8	15	23	24
주교면	25	33	31	19	17	16	12	11	7	16	20	26
모종동	28	36	39	22	26	24	15	14	9	18	29	29
배방읍	28	34	38	23	27	25	14	15	10	19	28	28
도고면	29	43	45	24	28	25	16	16	12	21	28	30
인주면	26	36	40	23	26	25	16	15	9	20	30	30
둔포면	26	39	42	24	28	27	17	17	10	28**	33	30
독곶리	21	31	36	19	20	17	13	11	7	11	20	18
동문동	22	30	34	19	21	20	14	13	9	15	23	24
대산리	20	30	32	17	18	17	13	12	8	12	20	22
성연면	23	33	37	21	21	18	13	12	8	14	20	22
논산	17	23	23	17	18	24	14	13	10	18	22	20
연무읍	23	28	28	18	17	19	10	10	7	16	22	24
성동면	가동전			19	11	11	8	18	25	27	0.5	0.4
엄사면	20	24	26	**	18	17	11	10	7	13	19	21
당진시청사	24	34	38	20	23	21	14	15	9	13*	29*	26
송산면	28	39	42	25	27	27	17	16	10	19	30	30
금산읍	27	28	29	18*	22	21	11	12	8	16	25	28
부여읍	22	25	29	23	26	28	17*	20	10	18	21	23
서천읍	26	31	31	19	18	17	13	11	8	14	19	23
서면	22	28	28	17	16	14	12	9	7	12	18	20
장항읍	25	28	31	19	17	17	12	10	8	14	19	22
청양읍	27	31	33	20	22	21	12	11	7	16	24	25
정산면	25	30	28	17	17	16	10	10	7	14	22	26
홍성읍	27	33	37	22	23	20	14	14	10	18	27	29
내포	26	36	36	19	18	17	12	12	7	14	21	24
예산군	28	36	40	20	24	21	14	13	9	17	24	25
삽교읍	가동전					22	14	15	10	21	30	32
이원면	20	27	32	18	19	17	14	13	8	12	20	22
태안읍	21	28	31	17	18	17	13	12	9	16	22	25
원북면	가동전					15	12	11	8	12	18	21
평균	25	32	34	20	22	20	13	13	9	16	24	26

지역	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
천안시	28	35	37	21	22	22	14	14	9	19	30*	29
공주시	26	30	32	21	23	22	12	12*	8**	17	27	27
보령시	23	32	32	20	21	18	12	11	8	15	21	25
아산시	28	37	41	23	27	25	16	15	10	20	30	29
서산시	21	31	35	19	20	18	13	12	8	13	21	22
논산시	20	25	25	18*	17*	20	12	11	8	17	23	24
계룡시	20	24	26	**	18	17	11	10	7	13	19	21
당진시	26	36	40	22	25	24	16	15	10	17	29	28
금산군	27	28	29	18*	22	21	11	12	8	16	25	28
부여군	22	25	29	23	26	28	17*	20	10	18	21	23
서천군	24	29	30	18	17	16	12	10	8	13	19	22
청양군	26	30	31	19	20	18	11	10	7	15	23	26
홍성군	27	35	37	20	20	18	13	13	9	16	24	26
예산군	28	36	40	20	24	22	14	14	10	19	27	28
태안군	20	28	32	17	19	17	13	12	9	13	20	22

<비고>

1. "농도값*"의 값은 자료획득률이 50%이상이나 75%미만인 측정소의 월평균값.
2. "농도값**"의 값은 자료획득률이 50%미만인 측정소의 월평균값.

**자료 공백 사유 : 천안시 성황동측정소 11월 - 측정소 건물 수리
아산시 둔포면 10월 - 주변 공사로 전기 인입 차단
공주시 탄천면 9월 - 측정소 건물 수리
계룡시 엄사면, 금산군 금산읍 4월 - 옥상방수공사
당진시 당진시청사 11월 - 노후장비교체

7) 도로변측정소

측정소		1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
SO_2 (ppm)	성성동	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003
	장재리	가동전		0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003	0.003
	평균	0.003	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
NO_2 (ppm)	성성동	0.031	0.028	0.029	0.022	0.019	0.018	0.014	0.018	0.016	0.025	0.032	0.032
	장재리	가동전		0.024	0.022	0.019	0.018	0.016	0.017	0.016	0.021	0.027	0.027
	평균	0.031	0.028	0.027	0.022	0.019	0.018	0.015	0.017	0.016	0.023	0.03	0.029
O_3 (ppm)	성성동	0.017	0.027	0.03	0.044	0.042	0.047	0.036	0.033	0.032	0.024	0.019	0.014
	장재리	가동전		0.026	0.035	0.033	0.037	0.028	0.03	0.027	0.021	0.017	0.016
	평균	0.017	0.027	0.028	0.039	0.037	0.042	0.032	0.031	0.029	0.022	0.018	0.015
CO (ppm)	성성동	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.4	0.5	0.5
	장재리	가동전		0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.5
	평균	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5
PM-10 ($\mu g/m^3$)	성성동	51	63	86	55	69	43	24	27	21	40	58	56
	장재리	가동전		91	55	67	36	23	23	19	40	56	55
	평균	51	63	89	55	68	39	24	25	20	40	57	56
PM-2.5 ($\mu g/m^3$)	성성동	29	39	45	26	32	29	14	17	13	24	34	31
	장재리	가동전		39	22	21	20	13	12	9	20	32	32
	평균	29	39	42	24	26	24	13	14	11	22	33	31

<비고>

1. "농도값*"의 값은 자료획득률이 50%이상이나 75%미만인 측정소의 월평균값.
2. "농도값**"의 값은 자료획득률이 50%미만인 측정소의 월평균값.

3. 대기오염 경보제 운영결과

1) 미세먼지 경보제

구분	횟수	일수	경보단계	권역	발령			해제			최고농도 (㎍/㎥)	경과시간 (h)
					날짜	시각 (h)	농도 (㎍/㎥)	날짜	시각 (h)	농도 (㎍/㎥)		
PM-10	주의보 24회 / 경보 6회	주의보 12일 / 경보 5일	주의보	북부	1.14	2	173	1.14	9	97	173	7
				동남부	2.1	18	155	2.2	1	87	155	7
				북부	3.11	10	162	3.11	13	98	172	3
				북부	3.16	12	181	3.17	7	96	189	19
				서부	3.16	12	162	3.16	20	99	163	8
				북부	3.29	4	405	3.29	5	542	542	1
				서부	3.29	4	477	3.29	5	588	588	1
			경보	서부	3.29	5	588	3.30	11	137	829	30
				북부	3.29	5	542	3.30	13	123	692	32
			주의보	동남부	3.29	5	460	3.29	6	560	560	1
			경보	동남부	3.29	6	560	3.30	12	96	780	30
			주의보	서부	3.30	11	137	3.30	12	86	137	1
				북부	3.30	13	123	3.30	18	86	123	5
				동남부	4.17	13	213	4.17	16	88	225	3
				북부	4.17	13	191	4.17	17	88	203	4
				서부	4.17	13	181	4.17	16	74	181	3
				서부	5.7	13	371	5.7	14	528	528	1
				북부	5.7	14	252	5.7	16	539	539	2
			경보	서부	5.7	14	528	5.9	3	145	926	37
			주의보	동남부	5.7	15	238	5.7	17	491	491	2
			경보	북부	5.7	16	539	5.9	3	149	818	35
				동남부	5.7	17	491	5.9	6	138	755	37
			주의보	북부	5.9	3	149	5.9	6	94	149	3
				서부	5.9	3	145	5.9	6	98	145	3
				동남부	5.9	6	138	5.9	12	88	145	6
				서부	5.24	17	209	5.25	13	97	270	20
				북부	5.24	18	255	5.25	13	78	287	19
				동남부	5.24	20	215	5.25	14	76	252	18
				북부	11.20	15	162	11.21	24	96	181	33
				북부	11.19	24	156	11.20	6	89	159	6

구분	횟수	일수	경보단계	권역	발령			해제			최고농도 (㎍/㎥)	경과시간 (h)
					날짜	시각 (h)	농도 (㎍/㎥)	날짜	시각 (h)	농도 (㎍/㎥)		
PM-2.5	주의보 27회 / 경보 2회	주의보 26일 / 경보 2일	주의보	서부	2.1	15	90	2.2	1	27	103	10
				동남부	2.1	17	92	2.2	2	30	97	9
				북부	2.1	18	94	2.2	2	33	106	8
				북부	2.7	3	76	2.7	19	27	110	16
				서부	2.7	3	78	2.7	18	30	89	15
				북부	2.11	23	80	2.15	10	29	122	83
				서부	2.12	9	76	2.15	8	31	97	71
				서부	3.10	20	84	3.13	6	34	109	58
				북부	3.10	21	96	3.13	1	34	134	52
				동남부	3.11	11	86	3.12	11	24	86	24
				북부	3.14	14	76	3.15	18	30	84	28
				북부	3.26	12	81	3.27	12	31	83	24
				북부	3.29	5	109	3.29	16	30	126	11
				서부	3.29	5	94	3.30	11	29	113	30
				동남부	3.29	6	94	3.29	17	32	116	11
				북부	3.30	1	87	3.30	13	30	89	12
				서부	5.7	14	112	5.7	17	155	155	3
				북부	5.7	16	129	5.7	19	169	169	3
				동남부	5.7	17	103	5.9	5	33	149	36
			경보	서부	5.7	17	155	5.8	13	70	168	20
				북부	5.7	19	169	5.8	16	73	202	21
			주의보	서부	5.8	13	70	5.9	1	34	70	12
				북부	5.8	16	73	5.9	4	32	73	12
				북부	11.19	21	92	11.22	1	34	136	52
				동남부	11.20	20	80	11.22	3	12	88	31
				서부	11.21	13	75	11.21	24	34	87	11
				서부	12.15	17	85	12.17	3	31	92	34
				동남부	12.16	13	82	12.17	4	34	82	15
				북부	12.16	14	78	12.17	4	33	81	14

2) 오존 경보제

경보 단계	회	권역	발령			해제			최고 농도 (ppm)	경과 시간 (h)
			날짜	시각 (h)	농도 (ppm)	날짜	시각 (h)	농도 (ppm)		
주의보	1	주교면	4.20	13	0.124	4.20	14	0.119	0.124	1
	2	송산면	4.20	13	0.121	4.20	14	0.116	0.121	1
	3	백석동	4.20	14	0.12	4.20	15	0.119	0.12	1
	4	백석동	4.20	16	0.123	4.20	18	0.096	0.133	2
	5	둔포면	4.20	16	0.126	4.20	17	0.11	0.126	1
	6	성거읍	4.21	14	0.121	4.21	15	0.116	0.121	1
	7	주교면	4.21	14	0.123	4.21	20	0.104	0.134	6
	8	대산리	4.21	15	0.126	4.21	20	0.118	0.171	5
	9	예산군	4.21	15	0.123	4.21	17	0.118	0.124	2
	10	당진시청사	4.21	16	0.132	4.21	19	0.119	0.145	3
	11	주교면	4.22	16	0.131	4.22	18	0.108	0.131	2
	12	대산리	5.13	13	0.188	5.13	16	0.111	0.188	3
	13	대천2동	5.13	16	0.127	5.13	17	0.104	0.127	1
	14	내포	5.13	18	0.133	5.13	19	0.118	0.133	1
	15	예산군	5.13	18	0.127	5.13	19	0.118	0.127	1
	16	송산면	5.14	14	0.125	5.14	19	0.085	0.131	5
	17	인주면	5.14	15	0.12	5.14	17	0.116	0.121	2
	18	성연면	5.14	16	0.136	5.14	18	0.095	0.136	2
	19	송산면	5.19	13	0.124	5.19	16	0.114	0.146	3
	20	성거읍	5.19	14	0.12	5.19	17	0.117	0.124	3
	21	인주면	5.19	15	0.127	5.19	16	0.11	0.127	1
	22	주교면	6.5	19	0.122	6.5	21	0.118	0.123	2
	23	주교면	6.5	22	0.121	6.5	1	0.118	0.127	3
	24	성황동	6.8	17	0.122	6.8	18	0.111	0.122	1
	25	독곶리	6.9	12	0.123	6.9	19	0.104	0.145	7
	26	둔포면	6.9	14	0.12	6.9	20	0.105	0.134	6
	27	대천2동	6.9	16	0.125	6.9	17	0.106	0.125	1
	28	당진시청사	6.9	16	0.125	6.9	19	0.109	0.125	3
	29	백석동	6.9	17	0.122	6.9	20	0.097	0.135	3

경보 단계	회	권역	발령			해제			최고 농도 (ppm)	경과 시간 (h)
			날짜	시각 (h)	농도 (ppm)	날짜	시각 (h)	농도 (ppm)		
주의보	30	예산군	6.9	17	0.126	6.9	19	0.116	0.133	2
	31	내포	6.9	19	0.12	6.9	20	0.102	0.12	1
	32	성연면	6.12	15	0.124	6.12	16	0.111	0.124	1
	33	주교면	6.12	19	0.121	6.12	20	0.101	0.121	1
	34	백석동	6.14	17	0.122	6.14	18	0.106	0.122	1
	35	태안읍	6.28	17	0.12	6.28	20	0.11	0.135	3
	36	대천2동	6.28	18	0.134	6.28	22	0.109	0.139	4
	37	서면	6.28	19	0.123	6.28	21	0.113	0.13	2
	38	성거읍	6.29	19	0.12	6.29	20	0.086	0.12	1
	39	독곶리	6.30	13	0.133	6.30	17	0.082	0.136	4
	40	당진시청사	6.30	18	0.139	6.30	19	0.088	0.139	1
	41	대산리	7.1	13	0.122	7.1	17	0.113	0.138	4
	42	이원면	7.1	14	0.121	7.1	15	0.09	0.121	1
	43	태안읍	7.1	16	0.129	7.1	17	0.096	0.129	1
	44	주교면	7.1	18	0.134	7.1	20	0.109	0.14	2
	45	원북면	7.2	18	0.121	7.2	19	0.118	0.121	1
	46	대산리	7.16	15	0.126	7.16	16	0.112	0.126	1
	47	송산면	7.16	17	0.122	7.16	18	0.108	0.122	1
	48	원북면	7.16	17	0.122	7.16	18	0.116	0.122	1
	49	성연면	7.16	19	0.121	7.16	20	0.101	0.121	1
	50	주교면	7.16	19	0.144	7.16	21	0.109	0.144	2
	51	태안읍	7.16	19	0.121	7.16	21	0.097	0.128	2
	52	성연면	7.20	17	0.132	7.20	20	0.11	0.136	3
	53	독곶리	7.21	17	0.12	7.21	20	0.102	0.131	3
	54	원북면	7.21	17	0.123	7.21	20	0.108	0.147	3
	55	대산리	7.22	18	0.12	7.22	20	0.101	0.129	2
	56	태안읍	7.22	20	0.129	7.22	21	0.102	0.129	1
	57	당진시청사	7.28	15	0.136	7.28	18	0.115	0.136	3
	58	인주면	7.28	16	0.127	7.28	17	0.104	0.127	1
	59	인주면	7.29	16	0.128	7.29	17	0.107	0.128	1

경보 단계	회	권역	발령			해제			최고 농도 (ppm)	경과 시간 (h)
			날짜	시각 (h)	농도 (ppm)	날짜	시각 (h)	농도 (ppm)		
주의보	60	송산면	7.29	16	0.124	7.29	17	0.081	0.124	1
	61	백석동	7.29	18	0.146	7.29	19	0.109	0.146	1
	62	배방읍	7.29	18	0.125	7.29	19	0.077	0.125	1
	63	원북면	8.12	13	0.126	8.12	14	0.11	0.126	1
	64	태안읍	8.12	15	0.123	8.12	16	0.105	0.123	1
	65	송산면	8.12	16	0.12	8.12	18	0.115	0.128	2
	66	성연면	8.12	16	0.124	8.12	18	0.107	0.124	2
	67	서면	8.12	18	0.122	8.12	19	0.091	0.122	1

4. 대기중금속측정망 월별 평균농도

1) 천안시 성황동

(단위 : μg/㎥)

월	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	As	Be	Al	Ca	Mg
1	0.0239	0.0003	0.0031	0.0149	0.0356	0.9901	0.0034	0.0039	0.0000	0.8884	1.2047	0.4728
2	0.0198	0.0006	0.0022	0.0169	0.0184	0.6905	0.0013	0.0032	0.0000	0.4152	0.7070	0.2381
3	0.0292	0.0005	0.0038	0.0205	0.0351	0.9622	0.0024	0.0068	0.0000	0.5766	0.7670	0.2828
4	0.0150	0.0002	0.0038	0.0186	0.0376	1.3545	0.0019	0.0059	0.0000	1.1904	1.2371	0.4209
5	0.0122	0.0003	0.0032	0.0149	0.0285	0.9496	0.0018	0.0040	0.0000	0.8998	0.6213	0.3064
6	0.0103	0.0002	0.0041	0.0150	0.0281	0.7524	0.0023	0.0010	0.0000	0.7469	0.7389	0.2743
7	0.0055	0.0000	0.0017	0.0076	0.0093	0.2430	0.0000	0.0000	0.0000	0.1250	0.3436	0.0827
8	0.0043	0.0000	0.0025	0.0069	0.0132	0.3540	0.0006	0.0033	0.0000	0.4536	1.3407	0.1678
9	0.0049	0.0000	0.0018	0.0091	0.0161	0.2792	0.0004	0.0019	0.0000	0.1655	0.3221	0.1099
10	0.0146	0.0000	0.0035	0.0043	0.0170	0.4260	0.0003	0.0046	0.0000	0.3323	0.4100	0.1472
11	0.0177	0.0005	0.0038	0.0073	0.0228	0.7171	0.0013	0.0040	0.0000	0.6563	1.1737	0.2641
12	0.0330	0.0000	0.0088	0.0330	0.0546	1.1565	0.0035	0.0086	0.0000	0.7639	0.9617	0.2830
연평균	0.0159	0.0002	0.0035	0.0141	0.0263	0.7396	0.0016	0.0039	0.0000	0.6012	0.8190	0.2542

2) 서산시 독곶리

(단위 : μg/㎥)

월	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	As	Be	Al	Ca	Mg
1	0.0232	0.0003	0.0034	0.0127	0.0361	1.1296	0.0015	0.0020	0.0000	1.2707	1.3436	0.6279
2	0.0163	0.0003	0.0014	0.0067	0.0154	0.5041	0.0025	0.0034	0.0000	0.2884	0.4922	0.2094
3	0.0412	0.0008	0.0040	0.0142	0.0284	0.6999	0.0057	0.0152	0.0000	0.6707	0.6657	0.3221
4	0.0150	0.0001	0.0021	0.0083	0.0248	0.7954	0.0039	0.0062	0.0000	0.8484	0.8140	0.3501
5	0.0195	0.0003	0.0029	0.0139	0.0245	0.6674	0.0031	0.0101	0.0000	0.6805	0.4716	0.2211
6	0.0073	0.0001	0.0020	0.0143	0.0174	0.3834	0.0030	0.0001	0.0000	0.4056	0.4401	0.1753
7	0.0052	0.0000	0.0021	0.0065	0.0273	0.2076	0.0000	0.0000	0.0000	0.1345	0.2440	0.0913
8	0.0100	0.0000	0.0029	0.0090	0.0406	0.3532	0.0022	0.0048	0.0000	0.3817	0.4602	0.1893
9	0.0093	0.0000	0.0016	0.0079	0.0209	0.2385	0.0003	0.0007	0.0000	0.1744	0.4052	0.1574
10	0.0111	0.0000	0.0022	0.0006	0.0133	0.2950	0.0003	0.0034	0.0000	0.2941	0.3406	0.1758
11	0.0083	0.0000	0.0010	0.0000	0.0130	0.3342	0.0005	0.0023	0.0000	0.3391	0.4057	0.2423
12	0.0403	0.0000	0.0054	0.0295	0.0417	0.7935	0.0028	0.0124	0.0000	0.6191	0.5796	0.2874
연평균	0.0172	0.0002	0.0026	0.0103	0.0253	0.5335	0.0022	0.0051	0.0000	0.5089	0.5552	0.2541

3) 당진시 송산면

(단위 : μg/㎥)

월	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	As	Be	Al	Ca	Mg
1	0.0393	0.0015	0.0041	0.0165	0.0848	2.0058	0.0017	0.0043	0.0000	0.6278	1.0929	0.3499
2	0.0299	0.0012	0.0028	0.0170	0.0482	2.3147	0.0021	0.0037	0.0000	0.3826	1.1544	0.2390
3	0.0822	0.0023	0.0054	0.0315	0.0799	2.7462	0.0055	0.0103	0.0000	0.4049	0.9412	0.1971
4	0.0333	0.0014	0.0072	0.0434	0.1052	4.4004	0.0043	0.0074	0.0000	1.0556	2.0692	0.4203
5	0.0276	0.0006	0.0047	0.0190	0.0451	1.9436	0.0031	0.0060	0.0000	0.6200	0.8295	0.2151
6	0.0191	0.0004	0.0048	0.0259	0.0497	2.2570	0.0044	0.0005	0.0000	0.7563	1.0324	0.2820
7	0.0348	0.0001	0.0038	0.0099	0.0329	1.7574	0.0000	0.0000	0.0000	0.3684	0.6872	0.1534
8	0.0126	0.0001	0.0023	0.0071	0.0206	0.7370	0.0013	0.0047	0.0000	0.1902	0.2960	0.0863
9	0.0113	0.0000	0.0014	0.0040	0.0278	0.6833	0.0003	0.0004	0.0000	0.1262	0.4459	0.0852
10	0.0222	0.0003	0.0032	0.0174	0.0339	2.1127	0.0010	0.0040	0.0000	0.2743	0.4293	0.1390
11	0.0497	0.0043	0.0046	0.0085	0.1008	3.4765	0.0022	0.0026	0.0000	0.2984	1.0049	0.2035
12	0.0450	0.0000	0.0054	0.0191	0.0627	1.2543	0.0022	0.0080	0.0000	0.2894	0.4004	0.1332
연평균	0.0336	0.0010	0.0041	0.0184	0.0569	2.1181	0.0023	0.0043	0.0000	0.4521	0.8629	0.2087

4) 보령시

(단위 : μg/㎥)

월	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	As	Be	Al	Ca	Mg
1	0.0202	0.0002	0.0023	0.0065	0.0311	1.0266	0.0014	0.0034	0.0000	0.9935	1.3414	0.6351
2	0.0203	0.0005	0.0010	0.0051	0.0124	0.3481	0.0013	0.0026	0.0000	0.2571	0.4548	0.2122
3	0.0456	0.0006	0.0018	0.0098	0.0236	0.5276	0.0024	0.0121	0.0000	0.3149	0.3276	0.1778
4	0.0147	0.0001	0.0015	0.0068	0.0258	0.8439	0.0027	0.0040	0.0000	0.8081	0.6520	0.3437
5	0.0223	0.0003	0.0020	0.0070	0.0190	0.6160	0.0014	0.0070	0.0000	0.6446	0.3690	0.2352
6	0.0055	0.0000	0.0013	0.0053	0.0123	0.3366	0.0009	0.0007	0.0000	0.2263	0.3133	0.1235
7	0.0082	0.0000	0.0013	0.0041	0.0066	0.1619	0.0000	0.0000	0.0000	0.0944	0.2071	0.0941
8	0.0094	0.0000	0.0013	0.0075	0.0087	0.2238	0.0007	0.0041	0.0000	0.1321	0.1122	0.0728
9	0.0051	0.0000	0.0008	0.0025	0.0061	0.1540	0.0002	0.0012	0.0000	0.0751	0.1878	0.0526
10	0.0082	0.0001	0.0018	0.0005	0.0099	0.2207	0.0005	0.0034	0.0000	0.1715	0.2600	0.1125
11	0.0105	0.0001	0.0034	0.0087	0.0157	0.4482	0.0006	0.0021	0.0000	0.2507	0.3853	0.1571
12	0.0286	0.0000	0.0030	0.0091	0.0242	0.5071	0.0013	0.0080	0.0000	0.3002	0.3091	0.1667
연평균	0.0166	0.0001	0.0018	0.0061	0.0163	0.4512	0.0011	0.0041	0.0000	0.3557	0.4100	0.1986

5) 아산시 배방읍(유해)

(단위 : μg/㎥)

월	Pb	Cd	Cr	Cu	Mn	Fe	Ni	As	Be	Al	Ca	Mg
1	-가동전-											
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9	0.0068	0.0000	0.0022	0.0134	0.0103	0.3079	0.0002	0.0018	0.0000	0.1292	0.2770	0.0642
10	0.0148	0.0001	0.0031	0.0079	0.0196	0.4375	0.0005	0.0043	0.0000	0.3143	0.4049	0.1530
11	0.0069	0.0000	0.0013	0.0000	0.0110	0.2825	0.0005	0.0011	0.0000	0.2090	0.3388	0.1790
12	0.0303	0.0000	0.0085	0.0385	0.0501	1.0385	0.0032	0.0071	0.0000	0.5026	0.5197	0.1969
연평균	0.0147	0.0000	0.0038	0.0150	0.0227	0.5166	0.0011	0.0036	0.0000	0.2888	0.3851	0.1483

2022년 충청남도 대기질 평가보고서

인 쇄	2022년 11월
발 행	2022년 11월
발 행 인	충청남도보건환경연구원장 김 옥
발 행 처	충청남도보건환경연구원 충청남도 홍성군 홍북읍 홍예공원로 8 http://chungnam.net/healthenvMain.do TEL (041)635-6932 FAX (041)635-7944

총괄책임자	정 금 희 (대기연구부장)
연구책임자	이 병 창 (대기평가팀장)
연구담당자	김종숙, 유하나, 김나영, 박천웅, 신지혜, 진가언, 방종혁, 전대호