

발 간 등 록 번 호
11-1360689-000003-09

연구 보고서

충주호 주변 도로에서 발생하는 안개 특성 연구

2017



청주기상지청 관측예보과

1. 제목: 충주호 주변 도로에서 발생하는 안개 특성 연구
2. 연구부서: 청주기상지청 관측예보과
3. 연구기간: 2017. 1. ~ 2017. 12.
4. 연구책임자: 관측예보과장 유용규
5. 참여연구원: 하창환¹⁾, 이민우, 김 순, 한상현, 김상용, 김진석, 윤종필,
변 형, 김도수, 김종찬, 이양동, 김응식, 오형근, 나은미, 김원학,
신기종, 김정수, 정병우, 서우석, 박현진, 장태준, 이영미,
김예림, 홍주영, 최윤미, 권순범, 박승빈, 김동진²⁾, 노재훈²⁾,
조성양²⁾, 김나윤²⁾, 이미연²⁾, 최유미²⁾, 김윤철²⁾, 홍연주²⁾, 김지영²⁾,
권태순³⁾, 김주현⁴⁾
 - 1) 청주기상지청장
 - 2) 청주기상지청 기후서비스과
 - 3) 예보자문관
 - 4) 기간제 연구원

목 차

목 차	i
그림목차	v
표 목 차	ix
요 약 문	xii
제1장 서론	1
제2장 안개의 분류와 발생 특성	6
제3장 관측 및 분석 자료	8
1. 충청북도 도로망(국도, 고속도로) 현황	8
2. 충청북도의 기상 관측망	10
3. 충주호 주변 안개 관측망	11
4. 충청북도 안개 상습지역 현장 답사	13
4.1. 안개 상습지역 지형특성 분석을 위한 현장조사 결과	13
4.1.1. 대청호·대청댐 및 옥천군, 보은군(속리산)	14
4.1.2. 보은군, 괴산군 및 충주시	16
4.1.3. 보은군(속리산) 및 괴산군	18
4.1.4. 진천군(백곡천 일대)	20
제4장 충청북도 모델별 예측특성 비교	21
1. 적용모델 및 검증 방법	21
1.1. 적용모델	21

1.1.1. 국지모델	21
1.1.2. 국지양상불 모델	23
1.2. 검증 지점 및 방법	25
1.2.1. 검증 지점	25
1.2.2. 검증 방법	26
2. 모델별 예측 특성	34
2.1. RMSE	34
2.1.1. 시간값	34
2.1.2. 일 최소값	35
2.1.3. 안개 발생	37
2.1.4. 안개 비발생	38
2.1.5. 계절별	39
2.2. 상관계수	42
2.2.1. 시간값	42
2.2.2. 일 최소값	44
2.2.3. 안개 발생	46
2.2.4. 안개 비발생	47
2.2.5. 계절별	48
2.3. 예측성능	51
2.3.1. 시간값	51
2.3.2. 일 최소값	54
2.3.3. 안개 발생	57
2.3.4. 계절별	59
제5장 충청북도 복사안개 예측지수(FSI) 개발	66
1. 복사안개 FSI 개발	66
1.1. 미 공군 FSI 적용 및 검증	66

1.2. FSI 최적임계값 조사.....	67
1.3. 수정 FSI 최적계수 실험(1)	74
1.4. 수정 FSI 최적계수 실험(2)	77
1.5. 수정 FSI 검증.....	83
1.5.1. 안개 발생일 검증(도로구간)	83
1.5.2. 안개 비발생일 검증(도로구간)	84
1.5.3. 안개 발생일 검증(기상관서)	85
1.5.4. 특정기간 검증(2017년 9월~11월).....	91
1.5.4.1 청주.....	91
1.5.4.2 충주.....	101
1.5.4.3 보은.....	110
2. 기압계별 복사안개 FSI 개발	120
2.1. 기압계 분류	120
2.2. 기압계별 FSI 변수 설정 절차	121
2.3. 기압계별 FSI 결과	121
제6장 충주호 주변 증기안개 예측지수 개발	123
1. 충주호 주변 증기안개의 통계적 특성	123
1.1. 계절별 특성	123
1.2. 기압계별 특성	124
2. 기압계별 증기안개 예측지수 개발과정	125
1.1. 과정 설계	125
1.2. H1 (고기압 중심 : 만주 및 연해주)	127
1.3. H2 (고기압 중심 : 몽골 주변)	130
1.4. H3 (고기압 중심 : 중국 내륙)	132
1.5. H4 (오호츠크해 기단 또는 동해상 고기압)	134
3. 기압계별 증기안개 예측지수 개발 결과 및 검증	137

2.1. 기압계별 증기안개 예측지수 개발 결과.....	137
2.2. 기압계별 증기안개 예측지수 검증	138

제7장 결론	140
1. 복사무 FSI 개발과 검증	140
2. 기압계별 증기무 예측식 개발	142
3. 3차 년도 예보기술 개발을 위한 제언	144
참고문헌	146

그 림 목 차

그림 0.1. 모델(국지 및 국지양상불) 및 FSI의 지점별 CSI	xvii
그림 2.2. 충주호 방류하천의 특별관측 및 위성영상	xx
그림 3.1. 전국 고속도로 안개취약구간 지정 현황	9
그림 3.2. 충청북도 시정계 14개소 위치	10
그림 3.3. 충주호 주변 기상 관측망 지도	11
그림 3.4. 충주호 주변 기상관측장비 사진	12
그림 3.5. 조사지역 지형도 및 항공사진	15
그림 3.6. 현장 답사 관련사진	15
그림 3.7. 조사지역 지형도 및 항공사진	17
그림 3.8. 현장 답사 관련사진	17
그림 3.9. 조사지역 위성사진	19
그림 3.10. 현장 답사 관련사진	19
그림 3.11. 현장 답사 관련사진	20
그림 4.1. 통합모델 기반 전지구, 지역, 국지 및 전지구 양상불예보모델 구성	22
그림 4.2. 국지규모 확률예측시스템(LENS) 흐름도	23
그림 4.3. 충청북도 14개 지역의 기상 관측망 지도	25
그림 4.4. 실제위치-국지모델 격자위치 차이(충주, 청주)	27
그림 4.5. 실제위치-국지모델 격자위치 차이(추풍령, 제천)	27
그림 4.6. 실제위치-국지모델 격자위치 차이(보은, 단양)	27
그림 4.7. 실제위치-국지모델 격자위치 차이(진천, 괴산)	28
그림 4.8. 실제위치-국지모델 격자위치 차이(옥천, 영동)	28
그림 4.9. 실제위치-국지모델 격자위치 차이(음성, 증평)	28
그림 4.10. 실제위치-국지모델 격자위치 차이(상당, 노은)	29
그림 4.11. 실제위치-국지양상불모델 격자위치 차이(충주, 청주)	30
그림 4.12. 실제위치-국지양상불모델 격자위치 차이(추풍령, 제천)	30
그림 4.13. 실제위치-국지양상불모델 격자위치 차이(보은, 단양)	30

그림 4.14. 실제위치-국지양상불모델 격자위치 차이(진천, 괴산)	31
그림 4.15. 실제위치-국지양상불모델 격자위치 차이(옥천, 영동)	31
그림 4.16. 실제위치-국지양상불모델 격자위치 차이(음성, 증평)	31
그림 4.17. 실제위치-국지양상불모델 격자위치 차이(상당, 노은)	32
그림 4.18. 2015년 시간별 RMSE	34
그림 4.19. 2016년 시간별 RMSE	34
그림 4.20. 2017년 시간별 RMSE	35
그림 4.21. 2015년 일 최소값 RMSE	35
그림 4.22. 2016년 일 최소값 RMSE	36
그림 4.23. 2017년 일 최소값 RMSE	36
그림 4.24. 2015년 안개 발생일 RMSE	37
그림 4.25. 2016년 안개 발생일 RMSE	37
그림 4.26. 2015년 안개 비발생일 RMSE	38
그림 4.27. 2016년 안개 비발생일 RMSE	38
그림 4.28. 봄 RMSE (LDPS)	39
그림 4.29. 여름 RMSE (LDPS)	39
그림 4.30. 가을 RMSE (LDPS)	40
그림 4.31. 겨울 RMSE (LDPS)	40
그림 4.32. 가을 RMSE (LENS)	41
그림 4.33. 겨울 RMSE (LENS)	41
그림 4.34. 2015년 시간별 상관계수	42
그림 4.35. 2016년 시간별 상관계수	42
그림 4.36. 2017년 시간별 상관계수	43
그림 4.37. 2015년 일 최소값 상관계수	44
그림 4.38. 2016년 일 최소값 상관계수	44
그림 4.39. 2017년 일 최소값 상관계수	45
그림 4.40. 2015년 안개 발생일 상관계수	46
그림 4.41. 2016년 안개 발생일 상관계수	46
그림 4.42. 2015년 안개 비발생일 상관계수	47
그림 4.43. 2016년 안개 비발생일 상관계수	47

그림 4.44. 봄 상관계수 (LDPS)	48
그림 4.45. 여름 상관계수 (LDPS)	48
그림 4.46. 가을 상관계수 (LDPS)	49
그림 4.47. 겨울 상관계수 (LDPS)	49
그림 4.48. 가을 상관계수 (LENS)	50
그림 4.49. 겨울 상관계수 (LENS)	50
그림 4.50. 2015년 시간별 예측성능 (LDPS).....	51
그림 4.51. 2016년 시간별 예측성능 (LDPS)	51
그림 4.52. 2017년 시간별 예측성능 (LDPS)	52
그림 4.53. 2015년 시간별 예측성능 (LENS).....	52
그림 4.54. 2016년 시간별 예측성능 (LENS)	53
그림 4.55. 2017년 시간별 예측성능 (LENS)	53
그림 4.56. 2015년 일 최소값 예측성능 (LDPS).....	54
그림 4.57. 2016년 일 최소값 예측성능 (LDPS)	54
그림 4.58. 2017년 일 최소값 예측성능 (LDPS)	55
그림 4.59. 2015년 일 최소값 예측성능 (LENS).....	55
그림 4.60. 2016년 일 최소값 예측성능 (LENS)	56
그림 4.61. 2017년 일 최소값 예측성능 (LENS)	56
그림 4.62. 2015년 안개 발생일 예측성능 (LDPS).....	57
그림 4.63. 2016년 안개 발생일 예측성능 (LDPS)	57
그림 4.64. 2015년 안개 발생일 예측성능 (LENS).....	58
그림 4.65. 2016년 안개 발생일 예측성능 (LENS)	58
그림 4.66. 2015년 봄 예측성능 (LDPS).....	59
그림 4.67. 2015년 여름 예측성능 (LDPS)	59
그림 4.68. 2015년 가을 예측성능 (LDPS).....	60
그림 4.69. 2015년 겨울 예측성능 (LDPS)	60
그림 4.70. 2016년 봄 예측성능 (LDPS).....	61
그림 4.71. 2016년 여름 예측성능 (LDPS)	61
그림 4.72. 2016년 가을 예측성능 (LDPS).....	62
그림 4.73. 2016년 겨울 예측성능 (LDPS)	62

그림 4.74. 2015년 가을 예측성능 (LENS).....	63
그림 4.75. 2015년 겨울 예측성능 (LENS)	63
그림 4.76. 2016년 봄 예측성능 (LENS).....	64
그림 4.77. 2016년 여름 예측성능 (LENS)	64
그림 4.78. 2016년 가을 예측성능 (LENS).....	65
그림 4.79. 2016년 겨울 예측성능 (LENS)	65
그림 5.1. 미 공군 FSI의 임계값 변화에 따른 숙련도	68
그림 5.2. 충청북도 5개 관서 미 공군 FSI(850hPa)의 시나리오별 임계값(최대 CSI, 청색 실선)과 최대 CSI(황색), 최소 FAR(적색)	73
그림 5.3. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화 (충주)	80
그림 5.4. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화 (청주)	81
그림 5.5. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화 (추풍령)	81
그림 5.6. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화 (제천)	81
그림 5.7. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화 (보은)	82
그림 5.8. 실시간 FSI 검증 웹페이지	83
그림 5.9. 국지모델과 FSI의 예측 성능	85
그림 5.10. 모델별 CSI-청주	100
그림 5.11. 모델별 CSI-충주	110
그림 5.12. 모델별 CSI-보은	119
그림 5.13. 복사안개 FSI의 기압계 분류	120
그림 6.1. H1 유형의 각 변수간 상관계수	127
그림 6.2. H2 유형의 각 변수간 상관계수	130
그림 6.3. H3 유형의 각 변수간 상관계수	132
그림 6.4. H4 유형의 각 변수간 상관계수	134
그림 6.5. 실시간 FSI 검증 웹페이지	138
그림 6.6. 10월 17일 예상일기도 및 특별관측 기록지	138
그림 6.7. 증기안개 발생 초기(01:50)	139
그림 6.8. 증기안개 발달기(04:00)	139
그림 6.9. 증기안개 최성기(06:20)	139
그림 6.10. 증기안개 최성기(07:30)	139

표 목 차

표 0.1. 지역별 수정 FSI 각 항의 계수와 안개예보 임계값	xiv
표 0.2. 안개특보 발표일 국지모델, LENS, 수정 FSI의 예측성능(2017.1.1.~9.12.)	xiv
표 0.3. 국지모델 시정, fraction, 수정 FSI의 안개예측비율(2016.9.~2017.3.)	xv
표 0.4. 모델 및 FSI의 지점별 CSI	xvi
표 0.5. 충주댐 방류하천 증기안개의 계절별 발생 특성(2014.1.~2017.3.)	xviii
표 0.6. 충주댐 방류하천 증기안개 기압계 패턴별 발생 특성	xvii
표 0.7. 가을, 겨울, 전체기간 증기안개 예측식과 숙련도	xix
표 0.8. 기압계별 증기안개 예측식과 숙련도	xix
표 0.9. 기압패턴 별 증기안개 예측식	xx
표 3.1. 충청북도를 통과하는 일반국도와 고속국도의 현황	8
표 3.2. 현장 답사 추진 일정	13
표 4.1. 기상청의 수치예보모델 운영 현황	21
표 4.2. 국지예보시스템의 주요 특성	22
표 4.3. 국지앙상블 예보시스템의 주요 특성	24
표 4.4. 충청북도 14개 지점의 실제위치와 국지모델에서 사용된 위치 정보	26
표 4.5. 충청북도 14개 지점의 실제위치와 국지앙상블모델에서 사용된 위치 정보	29
표 4.6. 모델별 예측성능을 나타내는 지수	33
표 5.1. 판정표	67
표 5.2. 미 공군 FSI 충청북도 5개 관서 검증 결과	67
표 5.3. 임계값을 수정한 FSI 충청북도 5개 관서 검증 결과	68
표 5.4. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기존 FSI의 최적 임계값과 숙련도(충주)	70
표 5.5. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기존 FSI의 최적 임계값과 숙련도(청주)	70
표 5.6. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기존 FSI의 최적 임계값과 숙련도(추풍령)	71
표 5.7. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기존 FSI의 최적 임계값과 숙련도(제천)	71
표 5.8. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기존 FSI의 최적 임계값과 숙련도(보은)	72

표 5.9. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(충주)	74
표 5.10. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(청주)	75
표 5.11. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(추풍령)	75
표 5.12. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(제천)	76
표 5.13. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(보은)	76
표 5.14. 각 지점과 시나리오의 계수 범위(0부터) 상한값	77
표 5.15. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(충주)	78
표 5.16. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(청주)	78
표 5.17. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(추풍령)	79
표 5.18. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(제천)	79
표 5.19. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(보은)	80
표 5.20. 안개특보 발표 시 LDPS, LENS, 수정FSI의 예측 성능	83
표 5.21. 안개 비발생 사례의 LDPS, LENS, 수정FSI의 예측 성능	84
표 5.22. 충청북도 기상관서의 안개발생일 국지모델과 FSI의 안개예측 성능	85
표 5.23. 안개발생 시 국지모델과 FSI 성능 검증-충주	86
표 5.24. 안개발생 시 국지모델과 FSI 성능 검증-청주	87
표 5.25. 안개발생 시 국지모델과 FSI 성능 검증-보은	88
표 5.26. CSI 검증방법	91
표 5.27. 청주지점 안개발생 시 모델별 안개모의 여부	91
표 5.28. 청주지점 안개비발생 시 모델별 안개모의 여부	91
표 5.29. 청주지점 모델별 CSI 결과	99
표 5.30. 충주지점 안개발생 시 모델별 안개모의 여부	101
표 5.31. 충주지점 안개비발생 시 모델별 안개모의 여부	101
표 5.32. 충주지점 모델별 CSI 결과	109
표 5.33. 보은지점 안개발생 시 모델별 안개모의 여부	110
표 5.34. 보은지점 안개비발생 시 모델별 안개모의 여부	112
표 5.35. 보은지점 모델별 CSI 결과	119
표 5.36. 기압계별 FSI 최적화 실험 결과	122
표 6.1. 충주댐 방류하천 증기안개의 계절별 발생 특성(2014.1.~2017.3.)	123
표 6.2. 충주댐 방류하천 증기안개 기압계 패턴별 발생 특성	124

표 6.3. H1 유형 피어슨검정 및 ANOVA검정 결과와 VIF	128
표 6.4. H1 후보 모델의 보정 결정계수와 모델 간 ANOVA검정 결과	129
표 6.5. H1 후보 모델의 ANOVA 검정 결과	129
표 6.6. H2 후보 모델의 보정 결정계수와 모델 간 ANOVA검정 결과	131
표 6.7. H2 후보 모델의 보정 결정계수와 모델 간 ANOVA 검정 결과	131
표 6.8. H3 유형 피어슨검정 및 ANOVA검정 결과와 VIF	132
표 6.9. H3 후보 모델의 보정 결정계수와 모델 간 ANOVA검정 결과	133
표 6.10. H4 유형 피어슨검정 및 ANOVA검정 결과와 VIF	134
표 6.11. H4 후보 모델의 보정 결정계수와 모델 간 ANOVA검정 결과	135
표 6.12. H4 후보 증기안개 예측식의 최적계수 선정 결과	136
표 6.13. 기압계별 증기안개 예측지수 개발 결과	137
표 7.1. 충주댐 방류하천 증기안개 계절별 발생 특성(2014.1.~2017.3.)	142
표 7.2. 충주댐 방류하천 증기안개 기압계 패턴별 발생 특성	142
표 7.3. 기압계별 증기안개 예측식과 숙련도	143

요 약 문

안개로 인한 교통사고는 대형 사고로 이어질 때가 많다. 관광버스가 안개 속에서 앞차를 피하지 못하고 발생한 영종대교 106중 추돌사고(2015. 2.)와 서해대교 29중 추돌사고(2006. 10.)도 안개 때문에 발생하였다. 안개에 의한 시정장에는 운송 분야에서 교통사고, 항공기 결항, 항공사고 등을 일으키고 생활 및 산업 분야에도 막대한 경제적 손실을 초래한다. 특히, 운송 부문에서 질은 안개로 인한 교통사고 및 인명 피해가 대형화되고 있어 안개를 사전 탐지하고 예측할 수 있는 시스템이 절실하다. 충청북도도 대형 안개 사고에 대한 안전지역은 아니어서 음성군 대소면 삼호리 중부고속도로(2013. 1.)에서 12명의 사상자가 발생한 사고는 물론, 충청북도 청원 96번 지방도 35중 추돌사고(2011. 11.), 청원군 오창읍 중부고속도로(2010. 11.), 충청북도 진천 7번국도 40중 충돌사고(2009. 12.) 등 크고 작은 인명 피해가 매년 되풀이 되고 있다. 또한 고속도로 주변에 대형 인공호(충주호, 대청호)가 있어 충청북도의 주요 도로망이 안개로 인한 위험에 노출되어 있으나 이에 대한 연구가 부족한 실정이다.

충주호 주변에서 도로교통에 영향을 주는 안개의 특성을 파악하고 안개 예측 기법 및 서비스 체계를 개발하기 위해, 청주기상지청에서는 1차 년도에 안개의 사회·경제적 영향과 내륙 지역 안개의 통계적 특성을 조사하여 안개 유형별(복사안개, 증기안개) 발생 메커니즘을 규명하고, 2차 년도에는 1차 년도에서 규명한 메커니즘으로 유형별 안개 예측 기법을 개발하고 이를 검증해보고자 한다. 또한 안개 상습 발생 구간의 도로 안개 예측 정보 시스템에 예측 기법을 접목함으로써 서비스 체계의 골격을 만들어 보고자 한다. 3차 년도에는 영향예보에 적용할 수 있도록 위험단계별로 예측 기법을 구체화하여 안개예측정보 시스템을 강화하고자 한다.

먼저 충청북도 내 15개 지점의 시정계 관측값과 UM 국지모델(LDPS)과 국지양상불모델(LENS)의 시정 예측값을 각각 비교 분석하였다. 국지모델(LDPS)의 공간해상도는 1.5km이며, 연직으로 약 40km 고도까지 70층으로 구성된다. 이 모델은 3시간 간격으로 전지구 모델로부터 경계장을 받아 1일 8회(00, 06, 12, 18UTC :36시간 예측, 03, 09, 15, 21 UTC :3시간 예측) 수행된다. 한편 국지양상불모델(LENS)의 공간 해상도는 3km이며, 연직으로 약 40km 고도까지 70층으로 구성되며, 전지구 확률(양상

블) 예측시스템으로부터 초기섭동장과 경계장을 얻어 12시간 간격으로 운영된다.

수치모델의 충청북도 안개 예측특성을 조사하기 위해 2014~2017년 2월까지 충청북도 14개 AWS와 충주비행장 AMOS 시정 관측자료를 수집하였다. 충주, 청주, 추풍령, 제천, 보은, 단양, 진천, 옥천, 영동, 음성, 충주비행장은 해당 기간 내 시정 자료가 모두 존재하였고 상당과 노은은 2015.02.01.부터 괴산과 증평은 2015.03.01.부터 자료가 존재하였다. 그 다음 국지예보모델과 국지양상블모델이 생산한 충청북도 15개 지점의 시정 예측값과 시정계 관측값을 비교하여 모델별 RMSE, 상관계수, 안개유무 예측성능(FAR, HR, CSI)을 조사하였다. 모델 격자점좌표가 시정계의 지리좌표와 일치하지 않으므로, 시정계에서 가장 가까운 모델 격자점의 시정 예측값을 추출하여 실제 관측값과 비교하였다. 국지모델은 2014년 1월 ~ 2017년 2월, 국지양상블모델은 2015년 11월 ~ 2017년 2월까지의 예측값을 사용하였다. 그리고 모델의 예측성능을 다방면으로 분석하기 위해 매시간 값, 일 최소값, 안개발생/비발생일별, 계절별로 나눠서 실제 관측값과 비교하였다.

충청북도 15개 지점의 시정값과 모델의 예측값을 비교한 결과 RMSE는 대부분 모델과 지역에서 10,000m가 넘었고, 상관계수도 0.2~0.4 범위에 들어 예측값과 실황간의 상관성이 낮았다. CSI, FAR, HR을 분석한 결과 CSI와 HR은 낮고 FAR는 높아서 수치모델의 지역별 시정값 예측은 실황과 많은 차이가 있었다.

모델 예측값을 안개 예보에 그대로 사용하는 데는 한계가 있어 복사안개 예측지수(FSI) 개발에 착수하였다. 우선 미국 공군에서 사용한 FSI를 충청북도 기상관서에 그대로 적용하여 검증해 보았다. 그 결과 충청북도 모든 기상관서에서 CSI가 0.1 미만, FAR와 HR은 0.95 이상으로 숙련도가 매우 저조하였다. CSI와 FAR에 비해 HR이 매우 높은 것은 상대적으로 Miss가 적고 Fault가 많음을 의미한다. 달리 말하면 미 공군 FSI가 안개가 발생할 것으로 예보하였으나 실제로는 발생하지 않은 날이 많았다.

충청북도 지역의 안개 예보에 미 공군 FSI만으로는 부족하므로 보다 정확도가 높은 안개 예보기법이 필요했다. 이에 각 지역의 기상학적·지리적 특성을 고려하여 FSI의 계수와 안개예보 임계값을 바꾸어 수정 FSI(식 ①)를 개발하였다. 지역별 수정 FSI의 각 계수와 안개예보 임계값은 표 0.1에 제시하였다.

$$FSI = a(T - T_d) + b(T - T_{850}) + cWS_{850} \dots\dots\dots \text{식 ①}$$

(T : 지상기온, T_d : 지상 이슬점온도, T_{850} : 850hPa 기온, WS_{850} : 850hPa 풍속)

표 0.1. 지역별 수정 FSI 각 항의 계수와 안개예보 임계값

지역	a	b	c	임계값
충주	34.4	1.5	0.5	31
청주	21.3	1	0.3	31
추풍령	5.3	0.1	0	31
제천	5.8	0	0.2	31
보은	30.1	0.8	0.4	31

표 0.1에 제시한 지역별 수정 FSI를 이용하여 2017년 1월 1일~9월 12일 사이 안개특보가 발표된 날에 국지모델에서 예측한 시정과 fraction(안개발생확률), 국지양상블모델의 안개 탐지확률(POD)과 영향예보를 제공하는 도로 5개 지점의 FSI의 탐지확률을 비교해 보았다. 총 33차례의 사례를 선정하였고 강수에 의한 안개 사례는 제외하였다. 표 0.2에서 국지모델과 LENS에 비해 FSI가 안개 특보 발표일에 안개 발생을 더 잘 예측하였음을 알 수 있다.

표 0.2. 안개특보 발표일 국지모델, LENS, 수정 FSI의 예측성능(2017.1.1.~9.12.)

			지점	수정FSI POD(%)
국지 모델	요소	평균값	평택-제천 고속도로 남한강 대교	18
			경부고속도로 금강휴게소	24
			충부고속도로 증평-진천	48
			미호천	56
			서청주 IC	48
LENS	요소	평균값	안개확률(%)	2.2

도로구간의 시정 관측자료가 없어 표 0.2의 FSI 예측성능 검증은 정교한 검정으로 는 보기가 힘들다. 따라서 충청북도지방의 기상관서인 청주, 충주, 보은 지점의 FSI의 안개 모의확률을 검증하였다. 2016년 9월부터 2017년 3월까지 시정이 250m 이하로 30분 이상 지속적으로 관측된 사례를 선정하여 관측 시정값과 국지모델이 예측한 시정, fraction, 그리고 FSI를 비교 분석하였다.

표 0.3. 국지모델 시정과 fraction, 수정 FSI의 안개예측비율(2016.9.~2017.3.)

지점	LDPS 시정예측	LDPS fraction	수정FSI
충주	0 %	0 %	38%
청주	7 %	15 %	26%
보은	2 %	2 %	69%

안개가 발생한 사례일 전날 00UTC에 국지모델(LDPS)이 시정 1km 미만을 예측한 비율은 충주 0%, 청주 7%, 보은 2%였다. 또한 fraction도 충주는 0%, 청주는 15%, 보은은 2%였다. 안개가 발생 했을 때 국지모델의 성능은 좋지 못했다.

하지만 세 지점의 수정 FSI의 안개 예측비율은 충주 38%, 청주 26%, 보은 69%로 국지모델보다 성능이 좋은 것을 확인할 수 있다.

하지만 위 사례 검증은 복사무 예측지수 개발에 사용된 기간과 겹치는 부분이 있어 정확한 검증으로 보기에는 무리가 따른다. 이에 2017년 9월부터 11월 상순까지 청주, 충주, 보은지점의 매일 4시~7시까지의 매시간 시정과 모델(국지 및 국지양상블) 예측 값과 수정된 지점별 FSI 값을 비교 하였다. 검증에서는 CSI를 사용하였고 그 결과는 아래의 표와 같다.

표 0.4. 모델 및 FSI의 지점별 CSI

	LDPS			LENS			FSI		
	청주	충주	보은	청주	충주	보은	청주	충주	보은
A	0	0	0	0	0	0	5	0	26
B	5	3	42	5	3	42	0	3	16
C	0	0	0	0	0	0	108	6	58
CSI	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.04	0.00	0.26

A: hits, B: missed, C: false alarm

검증기간 동안 청주나 충주지점은 안개 발생한 시각이 5회 이하로 상대적으로 적어 검증에 무리가 따르나, 보은지점은 안개발생 시각이 42회로 검증에 의미가 있는 것으로 판단이 된다.

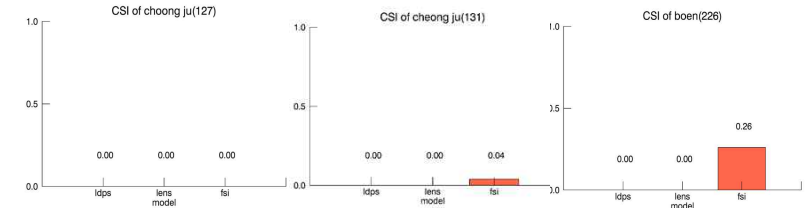


그림 0.1 모델(국지 및 국지양상블) 및 FSI의 지점별 CSI

3차 년도에는 2017년 3월~2018년 11월까지 시정관측값과 FSI의 검증을 실시 할 예정이며 검증지점도 늘릴 계획이다.

충청북도 내 다른 관서에 비해 비교적 안개 사례가 많았던 충주 및 보은의 복사무 발생 사례를 5개 기압계 유형(H1: 시베리아 기단이 화북지방으로 확장, H2: 시베리아 기단이 중국 동북지방·연해주로 확장, H3: 중국 내륙에서 고기압 발달, H4: 동해상 고기압, H5: 북태평양 고기압)으로 구분하였고, 사례가 극히 적은 H4와 H5는 제외하였다. 그 결과 도출된 기압계별 FSI와 그 CSI는 다음과 같으며, 기압계 구분이 없는 FSI에 비해 CSI가 대체로 0.1~0.2가량 향상되었다.

- 충주 H1 : $4.3 WS_{850} + 9.5(T - T_d) + 4.4(T - T_{850})$, 임계값=31, CSI=0.349
- 충주 H2 : $3.4 WS_{850} + 10(T - T_d) + 0.1(T - T_{850})$, 임계값=24, CSI=0.230
- 충주 H3 : $9.3 WS_{850} + 9.9(T - T_d) + 8.8(T - T_{850})$, 임계값=13, CSI=0.302
- 보은 H1 : $3.5 WS_{925} + 10(T - T_d) + 0.1(T - T_{850})$, 임계값=26, CSI=0.337
- 보은 H2 : $3.9 WS_{850} + 9.9(T - T_d) + 4.8(T - T_{850})$, 임계값=31, CSI=0.420
- 보은 H3 : $3.3 WS_{925} + 10(T - T_d) + 6.1(T - T_{850})$, 임계값=31, CSI=0.246

다음은 충주호 방류하천 주변에서 발생하는 증기안개의 예측특성을 알아보고 그 예측식을 기압계 패턴별로 개발하였다. 충주댐 방류하천의 증기안개 발생특성을 조사하기 위해서 2014년부터 2017년 3월까지의 공군 19전투비행단의 AMOS 자료와 목측 관측자료, 한국수자원공사 및 국립환경과학원의 수온자료를 요청해 증기안개의 특성을 분석하였고, 그 결과 밝혀진 계절별(가을, 겨울) 증기안개의 특성은 아래와 같다.

표 0.5. 충주댐 방류하천 증기안개의 계절별 발생 특성(2014.1.~2017.3.)

계 절	시종 시간				ΔT (백 만 t)	방류량 (W/m^2)	현열 (W/m^2)	잠열 (W/m^2)	보웬비	하늘상태 (8 Octa)	습도 (%)	지상풍속 (m/s)
	시	종	지속									
가 을	4.3	8.8	4.5	10.8	225	14.8	19.9	0.72	1.5	93.6	0.5	
겨 울	4.2	8.8	4.6	15.2	205	18.2	13.3	1.41	1.4	86.6	0.4	

다음은 충주댐 방류하천의 기압계 패턴별 발생특성을 분석해보았다. 기압계는 우리나라에 영향을 미치는 주요 고기압의 중심 위치 혹은 대륙 고기압의 확장 방향을 기준으로 하였다. H1은 바이칼 호나 몽골을 중심으로 대륙고기압이 위치할 때, H2는 대륙고기압이 연해주 방향으로 확장할 때, H3는 대륙고기압이 중국 내륙으로 확장하고 온난 건조한 고기압이 우리나라로 점차 동진할 때, H4는 동해상에 고기압이 위치하거나 오호츠크해 기단의 영향을 받을 때이다. 분석 결과는 표 0.5에 제시하였다.

표 0.6. 충주댐 방류하천 증기안개 기압계 패턴별 발생 특성

기압계 패턴	시종 시간				ΔT (백 만 t)	방류량 (W/m^2)	현열 (W/m^2)	잠열 (W/m^2)	보웬비	하늘상태 (8 Octa)	습도 (%)	지상풍속 (m/s)
	시	종	지속									
H1	4.4	9.2	4.8	125	266	16.1	19.4	0.86	1.7	94.1	0.5	
H2	3.7	8.4	4.7	9.8	234	12.6	17.8	0.75	1.5	89	0.7	
H3	4.3	8.9	4.6	13.6	179	19.2	19	1.07	1.1	90.6	0.4	
H4	4.5	7.8	3.3	11.8	194	12.7	14.0	0.92	1.8	91.1	0.2	

대체로 증기안개의 지속시간은 4~5시간 정도이며, 기온과 수온의 차이는 10~15도 차이를 보였다. 또한 보웬비는 계절에 따른 차이는 있으나 대체로 1 내외의 값을 나타냈다.

계절별 증기안개 예측식을 개발하기 위하여 다중회귀분석을 통해 시정을 피예측인자로 두고 후보 예측인자간 상관계수 분석을 통해 다중공선성을 가진 변수가 있는지 점검하였다. 그 다음 시정과 각 예측인자간 상관성을 점검(anova-test, 유의수준 0.2)을 하였고, 후진제거법을 통해 불필요한 변수를 제거하여 예측인자를 선정하였다. 2014년 9월~2017년 2월까지의 충주비행장에서 관측한 증기안개 발생일의 매시간 관측자료를 이용하여 풍속, 수온, 방류량, 현열, 잠열, 보웬비 등의 예측인자로 시정에 대한 다중회귀분석을 실시하였다. 그 결과 만들어진 증기안개 예측식과 그 식의 숙련도는 표 0.6.에 제시하였다. 봄과 여름철에는 증기무가 잘 발생하지 않으므로 제외하였고, 전체는 가을과 겨울 발생 사례를 합한 것을 의미한다.

표 0.7. 가을, 겨울, 전체기간 증기안개 예측식과 숙련도

가을	현열	잠열	보웬비	기온-수온	CSI	HR	FAR
	-10	8	-4	-2	0.1856	0.7101	0.7992
겨울	보웬비	풍속	기온-수온	수온	CSI	HR	FAR
	2	2	-9	-10	0.0906	0.8108	0.9074
전체	현열	잠열	수온	기온-수온	CSI	HR	FAR
	-8	9	-8	-8	0.1527	0.8743	0.8439

위의 증기안개 예측식에서 방류량은 제외하였다. 방류량은 예측이 불가능한 요소이기도 하고, 방류량이 보웬비나 기온-수온 보다도 시정에 대한 기여도가 낮기 때문이다. 하지만 3차년도 연구에서는 한국수자원공사와 국립환경과학원의 실시간 수온 관측자료를 보다 정밀하게 분석하여 방류량과 수온과의 관계를 구하고 증기안개 예측식에 포함할 계획이다.

표 0.6에 제시한 증기안개 예측식은 기압계의 패턴을 고려하지 않아, 이를 고려한 새로운 증기안개 예측식을 개발하였다. 이를 위해선 계수 탐색에 필요한 계산과정이 필요해서 국가기상슈퍼컴퓨터센터의 협조로 계산시간을 단축(수십일->48시간)시켜 기압계 패턴별 증기안개 예측식을 개발하였다.

표 0.8. 기압계별 증기안개 예측식과 숙련도

H1	보웬비	850풍속	T-T925	CSI	HR	FAR
	1.7	0.7	2.5	0.445	0.890	0.529
H2	보웬비	850풍속	T-T925			
	-1.4	2.3	12.9	0.400	0.987	0.598
H3	Tw-T	850풍속	T-T925			
	-6.3	18.5	19.9	0.496	0.882	0.469
H4	보웬비	지상풍속	T-T925			
	17.1	20.0	7.8	0.315	1.000	0.685

기압계 패턴 구분이 없는 식(표 0.6.)보다 CSI가 증가하고 FAR도 감소하여 증기무 예측식의 성능이 향상되었다. 따라서 2017년 가을철 특정날의 표 0.7.의 식을 사용하

여 증기안개 발생을 예측하고 검증해 보았다.

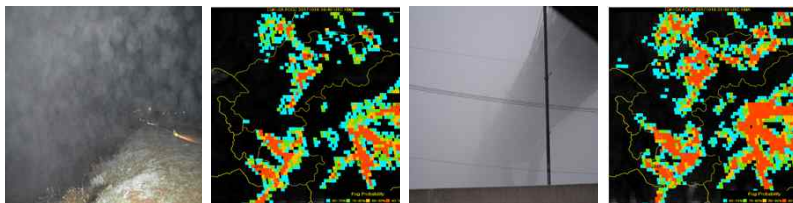
2017년 10월 16일 야간부터 익일 아침까지 충주호 방류하천에서 발생하는 증기안개의 발생초기부터 소멸 까지 특별관측을 실시하였다.

관측을 실시하고 난 후 국립환경과학원의 수온 관측자료를 입수하여 증기안개 예측식에 수온을 입력한 결과값은 아래와 같다

표 0.9. 기압패턴 별 증기안개 예측식

기압계 별 증기무 예측식	오늘(16일)							내일(17일)											
	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
p1	49.4	50	61.2	62.2	60.5	66.2	63.1	61.5	64.9	68.9	70.3	71.9	74.1	74.7	62.1	52.3	45.2	38.8	30.2
p2	37.2	39.3	12.8	8.1	35.9	7	15.9	10.8	33.5	41.7	56.3	35	46.1	38.3	2	27.4	51.1	77.1	96.7
p3	131.6	139.7	109.6	73.5	44.8	42.3	34.2	22.6	3.8	12.2	13.6	25	25.4	39.2	49.2	120.3	139.8	170.3	198.9
p4	434.5	443.6	525.1	589.3	580.5	622.1	605.6	615.9	653.7	692.1	706.8	721.9	742.2	737.1	557.6	438.4	343.3	245.6	175.2

10월 17일 새벽의 지상일기도 패턴은 연해주지방에 중심을 둔 고기압의 영향을 받는 P2 패턴 이였으며, 16일 밤부터 익일 오전까지 증기안개가 발생한다고 예측을 했다. 이에 실제 증기안개 발생현황을 실제관측과 해상도가 향상된 천리안 2A 위성영상을 검증에 활용하였으며, 그 결과는 아래와 같다



2017.10.17.04(KST) 실제(좌), 위성영상(우) 2017.10.17.06(KST) 실제(좌), 위성영상(우)

그림 0.2 충주호 방류하천의 특별관측 및 위성영상

실제 관측에서 17일 3시경부터 방류하천부근에서 증기안개가 발생하기 시작하였으며, 4시 이후 부터 곳곳에서 성장하기 시작하였다. 실제 위성영상에서도 충주호 부근에서 안개가 탐지되었으며, 6시 부터는 곳곳에서 안개가 탐지되었다.

추후 증기안개 발생현황을 특별관측이나 CCTV 자료를 활용하여 많은 검증을 할 것이며, 공군 충주비행장의 협조를 얻어 증기안개식을 검증하고 보완해 나갈 것이다.

2차 년도에서는 증기안개 검증 시스템을 웹페이지에 구축한 후 증기안개 예측식에서 예상하는 증기무 발생 유무와 실태값을 비교하고 있으며, 추후 증기안개 예측식을 보완할 계획이다. 증기안개에 대한 시정 및 기상 요소의 관측값은 전적으로 충주비행단의 목적값과 AMOS 값을 사용하기에 3차 년도에는 여러차례 특별관측을 수행하여 자체 관측자료를 확보하여야 한다.

3차 년도에는 국지모델에서 예측한 시정값과 실제 관측값과의 상관성을 고려하여 기상상태별 국지모델 시정 예측식 개발을 추진하고자 한다. 국지모델의 충청북도 지점별 시정 예측성능은 떨어지지만 예측경향은 대체로 일치하므로 지역별 기상특성을 고려한 충청북도 안개 예측식을 개발하여 충청북도 도로 및 지역별 상해안개예보에 활용할 예정이다. 또한 충주, 청주, 보은지점의 복사안개 예측식을 활용하여 충청북도 시정계 설치 전지점의 복사안개 예측식을 개발하여 충북지방의 안개예보 및 도로영향예보에 적극 활용 할 계획이다. 관측부분에서는 천리안위성 2A 기상산출물을 이용하여 안개의 확산 범위와 충주호 및 대청호 주변 도로의 안개 구간을 파악하고, 지역별 안개예측지수 검증 및 최적화를 실시한 후 도로 관리기관을 대상으로 도로 안개 정보 서비스를 추진하겠다.

제1장 서론

안개는 비, 눈, 우박, 이슬, 서리 등으로 생긴 작은 물방울이 대기 중에 떠있으면서 수평 시정이 1 km 미만인 현상이다(한국기상학회·기상청, 2014). 이 안개는 시정 장애를 유발하여 육상, 해상 및 항공교통의 안전을 위협하며, 일사를 차단하여 농작물 성장에 영향을 준다. 또한 응결핵 작용이나 화학반응을 통해 대기오염을 가중시키는 역할도 한다. 이와 같이 안개는 건강, 생명, 경제활동 등과 같은 인간 생활에 영향을 준다.

최근 우리나라의 경제발전으로 도로와 차량 성능이 크게 개선되면서 주행속도가 크게 빨라지고 차량 수도 급증하였다. 이 때문에 교통사고는 대형사고로 이어지곤 한다. 2015년 2월에는 영종대교에서 관광버스가 짙은 안개 속에서 앞차를 피하지 못하여 106중 추돌사고가 발생하였고, 2006년 10월에는 서해대교에서 짙은 해무로 29중 추돌사고가 발생하였다. 항공 교통도 대형화되고 운항편수도 급증하면서 안개로 인한 항공기 결항, 지연, 회항 등의 경제손실액도 많이 발생한다(항공기상대, 2001). 이처럼 짙은 안개로 발생한 교통사고 및 인명 피해는 날로 대형화되고 경제적 손실도 크게 증가하고 있어서 안개를 예측하기 위한 기술의 개발이 절실한 실정이다.

우리나라에서 발생한 안개에 관한 연구 분야는 고속도로, 인공호, 공항, 해상 등과 같은 특정 구간이나 지역에서 발생하는 안개에 대한 발생 특성 분석, 안개 기후구 구분, 그리고 안개 예측 기술로 나눌 수 있다.

민경덕(1976)은 경부고속도로를 따라 발생하는 안개의 발생 시각, 지속 시간, 그리고 강도에 대한 통계적 특성을 분석하였다. 이를 통해 도로교통에 큰 장애를 주는 짙은 안개는 일출 시각에 집중하여 발생하고 지속 시간은 1~2시간임을 밝혔다. 또한, 안개 구간은 하천, 강변 또는 구릉지에 위치하며, 안개 발생 원인과 강도가 지역마다 크게 차이를 보였다. 따라서 안개 특성을 반영하여 고속도로에 안개 구역을 설정하고 전광판으로 주의를 환기하는 방안을 제안하였다. 박용대 등(1979)은 영동고속도로에서 발생하는 안개의 특성을 조사하고 지역에 따라 안개 빈도 분포가 크게 차이를 보였다.

이종범(1981)은 춘천지방에 위치한 인공호가 안개 발생에서 있어서 수증기 공급원,

열원, 그리고 냉원으로 작용하여 수분과 열수지를 변화시키고 안개 발생 특성도 변화시킨다고 주장하였다. 또한 인공호가 생기면서 안개 일수가 약 50일 정도 증가하였고 인공호 주변에서는 대기와 수면 간의 상호작용으로 계절에 따라 다양한 원인으로 안개가 발생함을 보였다. 이에 따라 호수 주변의 안개를 예측하기 위해서는 계절마다 달라지는 안개 발생 메커니즘에 따라 예측기법도 달라져야 한다고 제안하였다. 홍성길(1982)은 안동댐 준공 전과 후 안동댐 주변 지역에서 발생하는 안개 발생 특성을 비교하였다. 이 연구에서는 안동댐 준공 이후 안개 발생일이 연평균 10일 이상 증가하였고 이 특성이 계속 유지됨을 보였다. 또한, 낙동강 상류 지역에서 발생하는 안개는 대부분 복사안개로 일출 1~3시간 전에 형성되어 일출 약 2~3시간 후에 소산되며 200 m 이하의 짙은 안개와 0.5~1 km 얇은 안개도 모두 증가하였음을 보였다. 마지막으로 8월에 호수면 수온이 연중 최고에 달하여 수온이 호수 부근에 있는 육상의 야간 복사 냉각 효과를 상쇄시켜서 호수면 안개가 줄 수 있다는 가설을 제시하였다.

김성삼·이내영(1970)은 특정 지역의 안개 예상도를 평가하기 위하여 안개 일수 및 지속 시간을 월별 연중으로 분석하여 남한을 8개의 안개 기후구로 분류하였다. 허인혜·이승호(1998)는 우리나라에서 발생하는 안개에 대한 지역별 연평균, 계절별 안개 일수, 연평균 안개 지속 시간, 계절별 안개 지속 시간을 분석하여 남한을 4개의 안개 구로 구분하였다. 내륙에서는 주로 복사안개가 발생하고 동남해안에서는 이류안개, 서해안에서는 복사안개와 이류안개가 혼합되어 발생함을 보였다.

안개 예측 기술은 통계 기법과 수치모델을 이용한 방법으로 시도되었다. 안개 예측에서는 예측 지역의 안개 발생 메커니즘과 그에 따른 발생 조건을 분석하고, 이것을 칼만 필터, 신경망, 의사결정나무 등을 적용하여 예측하는 통계적 방법이 널리 연구되고 있다. Reymann 등(1998)은 예측 지역의 특수 조건을 고려하여 안개 발생의 주요 인자를 추출하여 안개예보 경험식 FSI (Fog Stability Index)를 개발하였다. 이 경험식은 지상의 온도와 이슬점 온도, 850hPa의 기온과 풍속, 대기안정도, 그리고 대기난류 조건을 고려하여 복사안개의 발생 확률을 산출하였다. Kim·Yum(2010)은 안개 유형에 따라 서로 다른 FSI를 적용하면 정확성을 높일 수 있다고 제안하였다. 송윤영·염성수(2013)는 Holtslag 등(2010), Reymann 등(1998)의 FSI에서 고려한 예측인자에 서해상에서 발생하는 해무에 대한 예측인자를 추가하여 인천공항에 대한 FSI를 개발하였다. 그러나 이들 연구는 안개 유형이 전혀 고려되지 않은 안개 예측 경험식을 사용하기 때문에 안개 유형의 변화에 따른 예측 정확성의 한계가 뚜렷하다. 이현동·안

중배(2013)는 안개 발생 원인에 따라 안개 유형을 분류하고 유형별에 따른 예측 조건을 조사하여 높은 정확도의 안개 예측을 시도하였다. 그러나 이 연구에서는 안개가 발생하기 전날 24시의 관측 자료를 사용하였고 지상의 기상 상태만을 고려하였기 때문에 안개 예측을 위한 선행시간이 짧고 대기 경계층의 변화에 따른 예측 오류의 가능성도 포함하고 있다.

안개는 종관규모의 대기운동뿐만 아니라 지표면과 해수면(혹은 호수면)의 상태에 강하게 영향을 받는 미세물리와 대기경계층의 역학과정이 복합적으로 작용하는 현상이다. 이 때문에 안개 발생을 진단하고 예측하기가 매우 어렵다(Croft 등, 1997; Chun 등, 1999; 임현호 등, 2005). 최근에 수치모델이 복잡한 물리 및 화학적 메커니즘을 다룰 수 있게 되면서 수치모델을 활용한 안개 예측 연구도 활발히 진행되고 있다(예로서, 안중배 등, 2002). 그러나 아직까지도 수치모델 내에서 안개의 발생, 발달, 그리고 소산을 묘사하기 어렵고 난류에 대한 명확한 답을 제공하지 못하고 있다(Gultepe 등, 2007). 또한 지역 특성을 고려해야 하는 안개 예측에서 수치모델의 분해능 한계가 가장 큰 장애 요소로 작용하고 있다.

충청북도는 북동쪽에 태백산맥, 동쪽에 소백산맥, 그리고 북서쪽에 차령산맥이 둘러싸고 서쪽으로는 구릉지와 평야가 있는 분지이다. 또한 북쪽에는 남한강의 충주호(저수량 28억 톤), 남쪽에는 금강의 대청호(저수량 15억 톤)가 있어서 강원도 소양호(저수량 29억 톤)에 이어 다음으로 인공호 저수량이 많은 지역이다. 이러한 지역 특성으로 말미암아 수증기를 충분히 공급하고 야간에 복사냉각이 강하게 일어나 복사안개와 증기안개가 빈번하게 발생한다. 또한 충청북도는 남한의 중앙부에 위치하여 경부선, 중부내륙선, 평택~제천선, 중앙선, 당진~영덕선, 중부선(통영~대전선)의 6개 고속도로가 바둑판 모양으로 통과하여 이들 안개는 많은 고속도로 구간에 심각한 시정 장애를 초래하고 많은 교통사고를 유발한다. 중부고속국도의 청주 청원-진천 구간과 평택제천 고속국도의 충청북도 충주시 노은-산척 구간에서는 시정거리 250 m 이하의 짙은 안개가 연 30일 이상 발생하며 안개로 인한 대형사고 발생 구간으로 지정되어 있다. 또한, 2013년 1월에는 충청북도 음성군 대소면 삼호리 중부고속도로 12명 인명사고, 2011년 11월에는 충청북도 청원군 96번 지방도 35중 추돌사고, 2010년 11월에는 충청북도 청원군 오창읍 중부고속도로 5중 추돌사고, 2009년 12월에는 충청북도 진천군 7번 국도 40중 추돌사고 등 안개로 인한 대형사고가 발생하였다.

민경덕(1976)과 박용대 등(1979)의 연구에 따르면 고속도로에서 발생한 안개의 강

도와 빈도는 시간과 구간에 따라 수시로 크게 변한다. 이러한 급격한 시정 변화는 고속 운행 차량의 운전자에게 순간적으로 운전 방향을 잃거나 전방 주행 차량을 보지 못하게 하여 교통사고를 유발한다. 따라서 안개로 인한 교통사고를 예방하기 위해서는 고속도로에 안개구간을 설정하고 전광판 등을 통해 주위를 환기시키는 시스템이 필요하다. 이를 위해서는 먼저, 도로상의 관측 자료를 이용한 도로구간별 안개 특성을 파악하고 안개 발생의 지역 특성을 고려한 예측 기술이 개발되어야 한다. 도로구간에 따라 발생 특성이 크게 다르며, 안동호와 춘천지방 인공호와 관련된 안개 연구는 있으나 충주호와 대청호의 안개를 다룬 연구가 없다. 충청북도와 같이 고속도로 주변에 대형 인공호가 있어 안개를 자주 발생시킨 경우에 대한 연구는 매우 미흡하다. 이 지역의 안개를 예측하기 위해서는 인공호와 대기 간의 상호작용을 연구하여야 하고, 안개 발생의 지역적 특성을 고려하지 않으면 안개 예측에서도 오차가 발생한다. 다음으로, 개발된 안개 예측 기술을 적용하여 산출된 정보를 도로관리기관에 효과적으로 서비스하기 위한 체계가 구축되어야 한다. 그러나 현재도 여전히 도로구간별 안개 특성에 대한 조사가 이루어지지 않고 있다.

안개 발생의 메커니즘은 복잡하고 지형 및 기상학적 요소에 크게 의존하기 때문에 통계학적 방법만으로 안개의 발생 및 소멸을 예측하기에는 한계가 있다. 국지 규모의 지역 특성에 좌우되는 안개 예측이지만 기존 수치모델이 지표면 조건 등과 같이 안개 발생에 중요한 인자를 반영하지 못하고 있다. 또한 미세물리과정이 미흡하여 안개 발생 메커니즘 구별 없이 적용함에 따라 예측성이 떨어진다. 안개의 발생에는 지역에 따라 현저하게 차이가 있고 지형 등의 영향으로 매우 복잡한 양상을 띠고 있다(George, 1951). 따라서 안개 발생 원인별 분류가 정확해야 예측 정확성도 좋아진다.

지역적 안개 예측 모델을 만든다면 복잡한 계산과정을 거치지 않고도 예측력 높은 경험적 예측 경험식을 개발하는 것이 필요하다. 이현동·안중배(2013)의 연구와 같이 충주호와 대청호 주변에서 발생하는 안개에 대하여 발생 원인에 따른 안개 유형을 분류하고 종관 기상 패턴을 추가한 안개 유형별 안개 예측도를 작성해야 한다. 그리고 Kim·Yum(2010)의 제안과 같이 안개 유형(복사안개, 증발안개, 이류안개)에 따른 개별 FSI를 개발해야 한다. 이 FSI에는 통상적으로 수치모델의 예측성을 인정하는 예측 인자(바람, 최저기온, 대기 역전층 조건)는 수치모델로 접근하고, 여전히 인정되지 않는 예측인자는 통계기법으로 접근(수온, 습도, 지표 조건)하여 선행시간을 24시간으로 확대한 안개예측지수를 개발해야 한다.

본 연구는 충청북도의 인공호(충주호와 대청호) 중 충주호를 중심으로 주변에서 발생하는 안개에 대하여 발생 특성을 분석하며, 고속도로의 안개상습구간별 안개예측지수를 개발하는 것을 목표로 한다. 또한 개발된 안개예측지수를 고속도로 관리기관에 효과적으로 서비스하여 교통안전에 도움이 되는 체계를 연구하고자 한다. 이를 위해서 3년을 연구 기간으로 설정하여, 1차 년도에는 충청북도 지역 인공호 주변의 안개 발생 특성 및 주변 고속도로 교통 영향 정도를 분석하고자 한다. 2차 년도에는 충청북도 지역 인공호 주변에 위치한 고속도로의 안개상습구간별 안개예측지수를 개발하고자 한다. 3차 년도에는 충청북도 지역 인공호 주변의 안개예측지수를 검증하고 고속도로 관리기관에 안개 정보를 서비스하기 위한 체계를 개발하고자 한다.

제2장 안개의 분류와 발생 특성

전통적으로 안개는 크게 복사안개, 전선안개, 이류안개(혹은 혼합안개), 기타안개로 분류하여 왔다(Willit, 1928; Byers, 1959, Jiusto, 1980). 복사안개에는 지면안개, 이류-복사안개, 활승안개, 산안개가 있고, 전선안개에는 온난전선안개, 한랭전선안개, 전선통과안개가 있다. 이류(혼합)안개에는 해무, 해륙풍안개, 증기안개가 있다. 기타 안개로는 얼음안개와 눈안개가 있다. 그런데 이러한 분류 명칭은 안개가 발생하는 메커니즘, 지역, 그리고 기상시스템이 혼합되어 만들어졌기 때문에 분류 명칭과 생성 메커니즘이 곧바로 부합되지 않는 점이 있다. 이런 점에서 안개 분류를 다음과 같이 다시 분류하고 정리, 설명하고자 한다.

안개가 발생하는 주요 메커니즘을 분류하면 공기온도의 이슬점온도로의 냉각(열 변화), 공기로의 수증기 추가(수증기량 변화), 그리고 서로 다른 온도의 습윤 공기덩이의 연직혼합이 있다(Cotton·Anthes, 1989). 실제 안개 발생에서 이들 세 가지의 메커니즘이 복합적으로 작용한다. 이들 메커니즘에 따라 안개는 냉각안개, 증발안개, 그리고 혼합안개로 분류한다(이현동·안중배, 2013). 냉각안개는 지면에 접해있는 공기층이 냉각되고 공기층의 기온이 이슬점온도보다 낮아지면서 발생한다. 증발안개는 빗방울이나 수면에서 공기층으로 수증기가 유입되어 포화 상태에 이르러 발생한다. 혼합 안개는 모두 불포화 상태이고 온도가 다른 두 공기덩이가 서로 연직 혼합하여 포화 상태에 이르러 발생한다. 냉각안개로는 복사안개와 활승안개가, 증발안개로는 증기안개와 전선안개가, 혼합 안개로는 이류안개가 있다.

복사안개는 지표면에 접해있는 공기층이 지표면의 복사냉각으로 냉각되어 포화 상태에 이르러 발생한다. 따라서 하늘상태가 맑고 바람이 약하며 공기층이 습할 때 잘 발생한다. 활승안개는 습윤한 공기가 산 경사면을 따라 강제상승하고 단열팽창으로 기온이 하강하면서 포화 상태에 이르러 발생한다. 이슬점온도가 -0.5°C 보다 낮으면 이슬 대신에 서리가 생긴다. 이슬점온도가 0°C 와 -0.5°C 사이에 있을 때는 서리가 발생하지 않는다. 이것은 응결할 때 잠열이 발생하고 이것이 서리를 만드는 작은 빙정을 녹이기 때문이다(Walker, 2003).

증기안개는 온난한 수면 위에 접해 있는 한랭한 공기층으로 수증기가 증발하여 포

화 상태에 이르러 발생한다. 이 안개는 수온이 기온보다 높고 기온과 수온의 차가 크며 수면에서 그리 높지 않는 곳이 역전층이 존재해야 한다. 소양강, 안동호, 대청호, 충주호 부근에서 현열 및 잠열이 방출 때에 생기는 안개가 여기에 해당한다. 증기안개는 수온이 기온보다 9~10℃ 이상 높을 때 발생한다(Walker, 2003). 홍성길(1982)의 연구 결과에 따르면 1년 중 8월 제외한 모든 월에서 호수면상의 안개가 호수의 영향이 적은 육지보다 안개가 많이 발생하였다. 이것은 호수 면에서 수증기가 공급되어 복사안개를 증가시키며, 8월에는 호수면 수온이 연중 최고이어서 이것으로 호수면 상에서 복사냉각효과를 감소시켜 복사안개가 적게 발생할 것이라는 가설을 제안하였다. 이종범(1981)은 호수 주변의 안개는 계절마다 다른 메커니즘으로 발생하며, 여름철에는 호수 면과 대기 간의 상호작용으로 생긴다고 하였다. 가을철과 겨울철에 수면의 수증기 증발로 증기안개가 발생함을 보였다.

전선안개는 전선 상에서 빗방울이 증발하면서 포화 상태에 이르면서 발생한다. 전선안개에서는 온난전선안개, 한랭전선안개, 전선통과안개가 있다. 이류안개는 공기덩이가 해수면이나 지표면을 수평이동하면서 해수면이나 지표면에서 수증기와 열이 공급되고 연직혼합하면서 발생한다. 우리나라 해상에서 빈번히 발생하는 해무가 여기에 속한다.

제3장 관측 및 분석 자료

제1절 충청북도 도로망(국도, 고속국도) 현황

이 연구에서 주요 도로는 크게 일반국도와 고속국도로 구분한다.(지방도 비포함) 전국에는 일반국도가 51개 노선이 있고 총 길이는 13,949 km이며, 고속국도는 33개 노선이 있고 총 길이는 4,138 km이다. 이 중에서 충청북도를 통과하는 일반국도는 13개 노선으로 길이가 948 km이며, 고속국도는 6개 노선으로 길이가 360 km이다. 이들 19개 노선의 주요 경유지는 표 3.1과 같다. 충청북도를 통과하는 고속국도는 6개 노선으로 경부선, 중부내륙선, 평택~제천선, 중앙선, 당진~영덕선, 중부선(통영~대전선)이 해당되며, 동서남북 바둑판 모양으로 구성되어 있다.

표 3.1. 충청북도를 통과하는 일반국도와 고속국도의 현황(국토교통부, 2015).

구분	국도번호	주요 경유지	노선길이(km)
고속국도	1	청주, 추풍령, 영동, 옥천	88.67
	30	보은	43.63
	35	청주, 오창, 증평, 진천, 음성	52.72
	40	진천, 음성, 충주	60.00
	45	괴산, 충주	64.29
	55	단양, 제천	51.23
일반국도	1	청주	1.00
	3	괴산, 충주, 음성	68.12
	4	옥천, 영동	62.21
	5	단양, 제천	70.52
	17	청주, 진천	60.60
	19	영동, 옥천, 보은, 청주, 괴산, 충주	176.33
	21	진천, 음성	42.30
	25	보은, 청주	61.80
	34	진천, 증평, 괴산	84.66
	36	청주, 증평, 음성, 충주, 제천, 단양	153.81
	37	옥천, 보은, 괴산, 음성	141.43
	38	음성, 충주, 제천	73.52
	59	단양	58.24

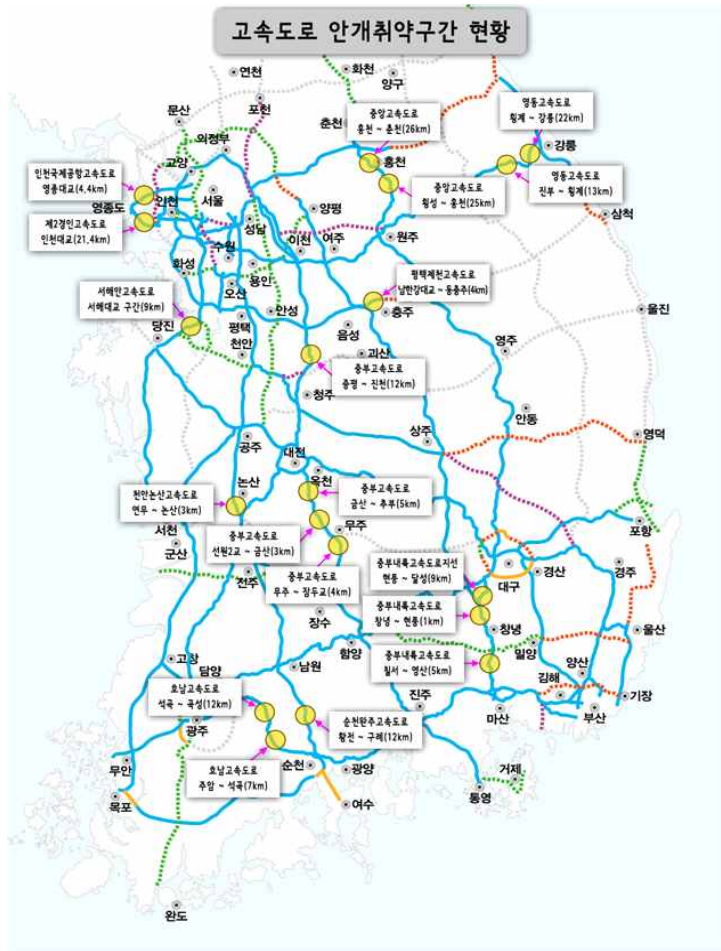


그림 3.1. 전국 고속도로 안개취약구간 지정 현황(국토교통부, 2015).

이들 노선 중 중부 고속국도에서는 청주 청원-진천구간, 평택제천 고속국도의 경우 충청북도 충주시 노은-산척 구간까지 시정거리 250 m 이하 짙은 안개가 연 30일 이상 발생되거나 과거 안개로 인해 대형사고(사망자 3명, 사상자 20명 이상)가 발생한 구간으로 지정되어 있을 정도로 국지적인 안개발생이 많은 고속국도 노선들이다.

제2절 충청북도의 기상 관측망

충청북도는 청주부터 보은, 진천, 괴산, 증평, 상당, 충주, 제천, 음성, 노은, 단양, 추풍령, 옥천, 영동까지 총 14개의 기상청 기상 관측망이 존재한다. 청주와 보은, 추풍령은 ASOS (Automated Synoptic Observing System)가 설치되어 있으며 진천, 괴산, 증평, 상당, 충주, 제천, 음성, 노은, 단양, 옥천, 영동은 AWS (Automatic Weather System)가 설치되어 있다. 청주와 보은, 증평, 충주, 제천, 추풍령은 2007년 식이며 괴산과 상당은 2008년 식, 음성, 옥천, 영동은 2010년 식, 진천과 단양은 2011년 식의 시정계가 설치되어 있다. 14개의 기상 관측망의 위치는 그림 3.2에 나타내었으며 더 자세한 설명은 부록 1에 기재하였다.

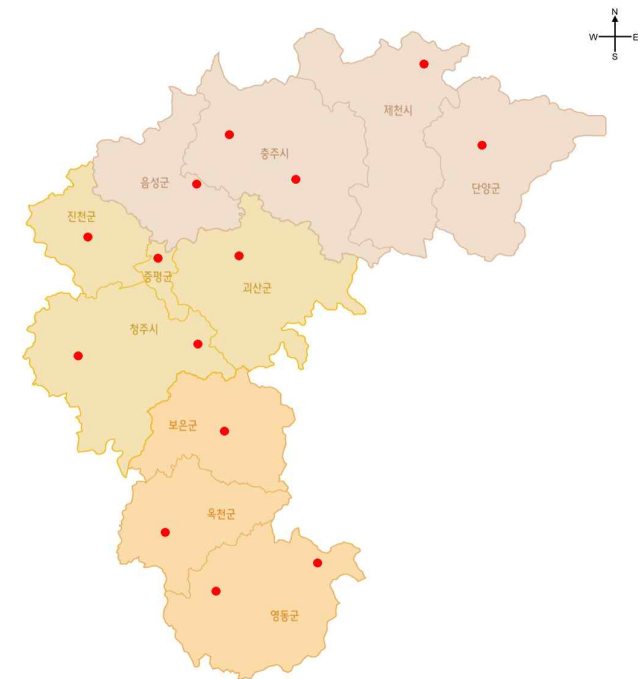


그림 3.2. 충청북도 시정계 14개소 위치

제3절 충주호 주변 안개 관측망

충주호 주변의 안개를 조사하기 위해 한국수자원공사의 수온 측정소와 국립환경과학원의 수온 측정소, 공군 충주 비행장과 기상청 충주 기상 관측소에서 수온 자료와 기온 자료, 시정 값 등을 얻었다. 한국수자원공사의 수온 측정소는 수심, 수온, DO, pH, 전기전도도, 탁도, Chl-a를 측정하며 YSI라는 수질자동측정기기를 단 부이에서 하루 4번, 6시간 간격으로 수심마다 측정한다. 국립환경과학원의 수온 측정소에서는 수온, DO, pH, 전기전도도, Chl-a 등을 측정하며 측정소 판로를 통해서 들어온 물을 측정소에 있는 수질자동측정기기로 10분마다 측정한다. 공군 충주 비행장에서는 바람과 기온, 이슬점 온도, 습도, 시정, 기압을 측정하며 AMOS (Aerodrome Meteorological Observation System)를 이용해 1분마다 측정한다. 마지막으로 기상청 충주 기상 관측소는 기온, 강수량, 바람, 기압, 습도, 일사/일조, 운고, 운량, 시정을 측정하며 AWS를 이용해 1분 간격으로 측정한다.

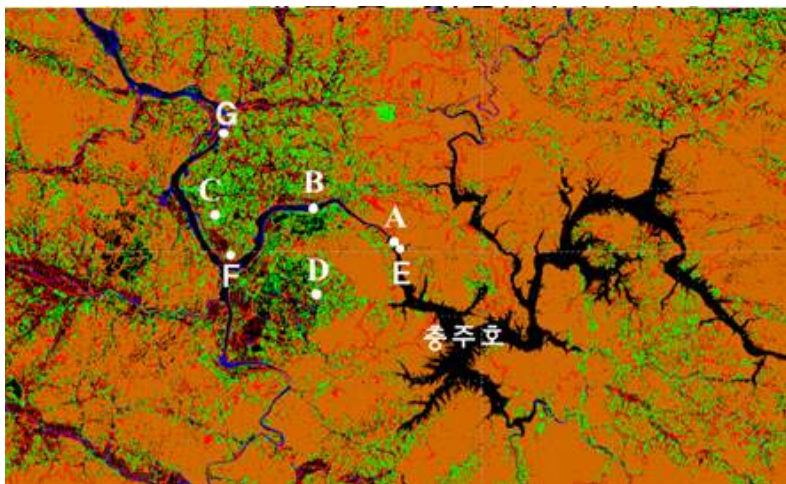


그림 3.3. 충주호 주변 기상 관측망 지도

- A: 한국수자원공사 수온 측정소, B: 국립환경과학원 수온 측정소,
C: 공군 충주 비행장, D: 기상청 충주 기상 관측소,
E: 충주댐 위턱 관측장비, F·G: 충주댐 방류하천 수온센서 설치 지점

그리고 지방청 연구개발 과제를 시작하면서 추가로 설치한 장비는 충주 다목적댐 경비초소 인근에 설치했으며, 설치 완료일은 2016년 4월 28일이다. 설치 장비는 기온, 습도, 기압, 시정, 강수량, 강수유무, 풍향·풍속 등 8종의 관측 자료를 수집하고 있고, 관측 주기는 1분 간격으로 수집하고 있다.

현재 증기안개 발생 주요 요소인 수온 자료는 한국수자원공사 충주댐 관측 자료와 충주댐에서 방류하천 방향으로 5 km 떨어진 국립환경과학원 자료가 있다. 하지만 국립환경과학원 하류 방향으로 수온 자료가 없어 두 지점에 수온센서를 2016년 10월 4일에 설치하였다. 설치지점은 중앙탑면 장천리, 금가면 유송리이며, 수온 센서는 HOBO 제품으로 센서와 로거 일체형이다. 관측주기는 5분 간격이고, 센서 정확도는 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이다.



그림 3.4. 충주호 주변 기상관측장비 사진. 왼쪽 위부터 시계방향으로 충주댐 기상관측장비 설치장소, 통신방법, 수온센서, 수온센서 설치장소.

제4절 충청북도 안개 상습지역 현장 답사

1. 안개 상습지역 지형 특성 분석을 위한 현장조사 결과

충청북도의 안개 및 위험기상으로 인한 사고발생 취약 지역에 대한 현장점검과 연구개발 수행을 위한 지형을 분석하고 예보구역에 대한 지형 파악과 위험기상 다발지역에 대한 현장답사를 통한 예보역량을 향상하고자 선행연구로 충청북도의 지형특성을 조사하였다. 일정은 표 3.2와 같다.

표 3.2. 현장 답사 추진 일정

구분	일정	조사자	조사지역
조사1팀	4.12. ~ 13.	한상현, 이양동, 최윤미, 김주현	옥천군, 보은군, 대청호
조사2팀	3.27. ~ 28.	김진석, 김응식, 김원학	보은군, 괴산군, 충주시
조사3팀	4.16. ~ 17.	김상용, 김종찬, 김예림, 이봉수	음성군, 충주시, 제천시
조사4팀	4.26. ~ 27.	윤종필, 김도수, 홍주영	진천군

1.1. 대청호·대청댐 및 옥천군, 보은군(속리산)

대청호는 대전 대덕구·동구, 충청북도 청주시 청원군·옥천군·보은군에 걸쳐있는 금강수계 최초의 다목적 인공 저수지로 저수면적 72.8km², 저수량 15억 t에 달하며 저수량 기준으로 소양호와 충주호에 이어 국내에서 세 번째로 큰 호수이다. 청주시 문의면 ~ 대전광역시 비룡JC 일대가 호수의 폭이 가장 넓으며, 남동쪽으로 갈수록 폭이 점차 좁아지는 구조를 갖추고 있다.

대청댐 하류에는 청주시 상당구 문의면이 위치하고 있으며, 미천리에 대청 AWS, 신대리에 청남대 AWS가 있다. 문의에서 이어지는 대청호 하곡이 Y자 형태로 갈라져 각각 청주 분지와 청주시 상당구 가덕면(무심천 발원지)까지 이어진다. 맑은 날 복사냉각과 대청호의 수증기 공급으로 인한 안개가 자주 발생하고, 안개가 발생할 경우 안개가 확산되기 쉬운 지형이다. 이 지역을 대전~구미 간 통행량을 분담하는 청주~상주 간 고속도로가 통과하고 있어서 안개 감시에 있어 중요한 지점으로 사료된다. 옥천군은 소백산맥과 노령산맥의 영향으로 500m 내외의 산지로 둘러싸여 전체적으로 옥천분지를 이루며, 곳곳에 구릉성 산지가 분포한다. 대청호 유역에 위치하고 있으며, 서화천과 보청천, 이원천 등 소규모 하천이 금강 본류로 유입되고 있다.

옥천읍에는 경부고속도로 옥천휴게소에 인접한 옥천군농업기술센터에 기상청 AWS와 시정계가 설치되어 있다. 옥천읍은 구릉성 산지 사이에 위치하여 옥천읍 일대에 산간분지가 발달해 있다. 소규모 분지와 산지의 경계를 따라 금강 중상류 본류와 서화천이 감입곡류하고 있어, 분지 내의 복사냉각과 하천의 수증기 공급으로 인한 안개 발생이 빈번한 지역이다. AWS 지점 4km 이내에 경부고속도로와 경부선 철도, 경부고속철도 등 주요 교통로가 통과하고 있으며, 대전광역시의 동쪽 관문 역할을 수행하고 있어 집중적인 안개 감시가 필요한 지역이다.

조사지역 지형도 및 항공사진과 현장 답사 관련사진은 그림 3.4와 3.5에 나타내었다.



그림 3.5. 옥천군 조사지역 지형도 및 항공사진(NAVER 제공).



그림 3.6. 현장 답사 관련사진. 왼쪽 위부터 시계방향으로 대청댐 일대와 옥천 AWS, 보은 자동기상관측소, 속리산 AWS 이다.

1.2. 보은군, 괴산군

보은군은 충청북도 중부 내륙에 위치하고, 동쪽으로는 경상북도와의 경계에 소백산맥이 뻗어있으며, 서쪽으로는 청주시 청원구와 경계에 노령산맥에 딸린 산지가 중첩하는 커다란 분지형태이다. 내륙에 위치하여 한서 차이가 심한 대륙성 기후의 특성이 있고 보은자동기상관측소는 보은군의 중앙에 위치하고 있다. 관측소 주변에는 농경지가 조성되어 있고, 400~700m의 거리에 삼년산성, 보은군청, 공설운동장 등이 있고 북쪽 1km 이내에 지방하천인 보청천이 흐르고 있어, 복사안개 발생에 많은 영향을 주고 있다. 또한 내륙 분지의 특성상 활승무의 발생 가능성이 높고, 주변에 국도 25호선과 37호선이 교차하는 지점으로 이동시 안개에 대한 주의가 필요하다.

속리산 AWS는 속리산 법주사로 가는 길목에 위치하고 있으며, 기상관측 표준화 사업으로 속리산국립공원 사무실 내로 이전하였으나 관측환경은 동쪽 방향으로 국립공원관리사무실이 위치하고 인근에 속리산이 위치하여 동풍계열 바람이 나타나기는 어려운 환경이다. AWS 지점에서 북쪽으로 2,000m의 거리에 있는 달천과 왼쪽으로 소규모 하천이 위치하고 있어서 합류되는 곳이다.

괴산군은 남동지역이 소백산맥과 접하여 북동에서 남서로 달려서 남동지역은 높고 험준하며 북서부는 낮다. 남부는 소백산맥과 연결된 대야산(931m), 조항산(951m), 동쪽으로 박달산(825m), 조령산(1,025m) 등이 연봉을 이루며 산간지대를 형성한다. 동쪽으로는 칠보산(778m), 보광산(539m)이 있다. 북서부는 대부분 500m이하 구릉성 산지가 산재하고 하천을 따라 좁은 형태이고 내륙에 위치하면서 대륙성 기후의 특성을 나타내고 있다. 청천AWS는 청천면 송면리에 위치하면서, 100m이내 화양천과 광평천의 합류되는 지점에 있으며 인근(2~3km)에 사랑산(647m), 가령산(642m), 대야산(931m)이 위치하고 주변으로 크고 작은 산들로 둘러싸인 분지지형으로 복사냉각에 의한 안개 발생가능성이 높은 지역이다. 인근으로 49번, 32번, 922번 지방도로가 지나고 있으므로 주의 깊은 안개감시가 필요하다.

괴산AWS는 괴산군 농업기술센터 내에 위치하고, 주변으로 크고 작은 산들로 둘러싸인 분지지형으로 복사냉각에 의한 안개 발생가능성이 높은 지역이다. 인근로 19번, 37번, 34번 지방도로가 지나고 있으므로 주의 깊은 안개감시가 필요하다.

조사지역 지형도 및 항공사진과 현장 답사 관련사진은 그림 3.6과 3.7에 나타내었다.

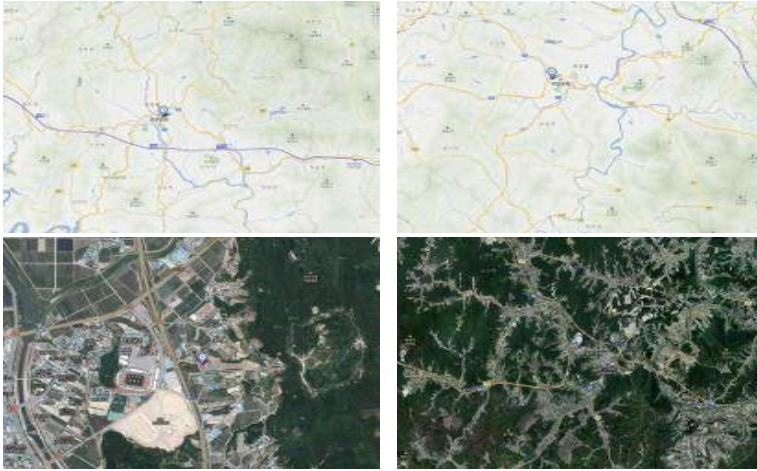


그림 3.7. 조사지역 지형도 및 항공사진(DAUM 제공). 왼쪽부터 보은군 괴산군의 관측지점이다.



그림 3.8. 현장 답사 관련사진. 왼쪽 위부터 시계방향으로 보은자동기상관측소, 속리산 AWS, 청천AWS, 미원AWS, 괴산AWS 이다.

1.3. 음성군 및 충주시, 제천시

음성군은 한강과 금강의 수계로 분류되는 국토의 중심에 위치한 내륙으로 북쪽으로는 경기도 이천시와, 서북쪽으로는 경기도 안성시와, 동쪽으로는 충주시와, 남쪽으로는 괴산군과, 서쪽으로는 진천군과 경계를 이루고 있으며, 서북쪽은 야산과 구릉지가 많은 것이 특징이다. 북서쪽에는 차령산맥이 남서로 뻗고, 북쪽 끝 오갑산(609m)에서 갈라진 노령산맥의 원통산(520m), 수리산(505m), 수례의산(679m), 부용산(644m) 등 준봉이 남쪽으로 이어진다. 내륙에 위치하여 기온의 연교차가 심한 대륙성 기후를 나타내고, 여름에는 집중호우가 빈번하고, 겨울에는 인근지역보다 눈이 많이 내린다. 음성AWS 관측장소 주위에는 드물게 주택이 있고, 논밭으로 구성되어 있어 관측환경은 양호하며 북쪽으로 수정산(406m), 남쪽으로는 가막산(484m)이 있고, 500m 이내에 음성천이 흐르고 있다.

충주시는 충청북도 동북부에 위치하고 있고, 동북동쪽으로 소백산맥의 지류인 계명산(775m)과, 남남동쪽으로 남산(636m), 남서쪽으로 대림산(489m)이 병풍처럼 둘러싸여 분지를 이루고 있다. 북동쪽에는 충주호를 비롯하여 북서쪽에 남한강과 서쪽에서 흐르는 달천강이 있는 호반의 도시로 분지형의 기후특성으로 일교차와 연교차가 크다. 주위에 충주호와 강, 하천이 흐르고 있어 안개발생일수가 매우 잦은 편이며 특히, 국내 최대의 콘크리트 다목적댐인 충주댐의 건설로 주요 수증기 공급원이 되면서 안개 발생일수가 댐건설 전보다 크게 증가하였다. 충주 ASOS는 충주지역기상서비스센터에 위치하고 있으며, 북동쪽에는 계명산, 남쪽으로는 남산이 위치하고 있다. 서쪽으로 달천강이 흐르고 있어 하천의 수증기 공급으로 안개 발생이 빈번한 편이어서 안개 감시에 중요한 지점이다.

제천시는 동쪽으로 단양군과 강원도 영월군, 서쪽으로는 충주시와 접함. 높은 산으로 둘러싸인 분지지형으로 시의 북쪽으로는 차령산맥이 지나고 남쪽으로는 소백산맥이 경상북도와 경계를 이루어 북쪽과 남쪽이 높고 서쪽과 동쪽은 비교적 낮다. 충주와 마찬가지로 일교차가 심하며 충주, 제천, 단양에 걸쳐있는 충주호(청풍호)의 빈번한 안개발생으로 감시가 필요하다. 수산AWS는 제천 남동부인 수산면에 있고, 굽이굽이 이어지는 충주호반의 끝자락에 위치하고 있으며 주변에는 능강 계곡 등의 계곡이 많다. AWS 관측장소 옆에는 쉼터(편의점)와 가정집이 있고, 도로변에 위치하고 있지만 관측환경은 양호한 편이다.

조사지역 지형도 및 항공사진과 현장 답사 관련사진은 그림 3.8과 3.9에 나타내었다.



그림 3.9. 조사지역 위성사진(NAVER 제공). 왼쪽부터 음성군, 충주시, 제천시

1.4. 진천군(백곡천)

용진교는 백곡저수지 입구에서 상류 방향으로 2km 거리에 위치하고 있으며, 성대천과 백곡천의 합류지점에 있다. 백곡저수지 지류가 중부고속도로 증평 IC~진천 IC사 구간을 따라 흐르면서 수증기를 상시 공급하여 봄과 가을철에 많은 안개가 발생한다. 따라서 이 일대가 안개 다발지역으로 지정이 되었다.

진천AWS는 진천농업기술센터 내에 위치하고 있으며, 진천군 시내와 적절한 거리를 유지하고 있어 관측환경이 비교적 양호하다.



그림 3.10. 현장 답사 관련사진. 왼쪽부터 시계방향으로 수산 AWS, 음성 AWS, 충주 ASOS 이다.



그림 3.11. 현장 답사 관련사진. 진천 AWS, 진천군 백곡천

제 4장 충청북도 모델별 예측특성 비교

제1절 적용모델 및 검증 방법

1. 적용 모델

1.1. 국지모델

기상청은 전지구예보모델(GDAPS¹⁾), 국지앙상블예보모델(LENS²⁾), 지역예보모델(RDAPS³⁾), 국지예보모델(LDPS⁴⁾) 등의 모델을 운영하고 있다.

위 모델의 구성은 아래 그림 1.1에 나타내었다.

표 4.1 기상청의 수치예보모델 운영 현황

구 분		수평분해능 (연직층수)	운영횟수 /일	예측 기간	목 적
모 델					
전지구 (GDAPS)	전지구예보모델 (UM N768L70)	17km (70층)	4회	12일, 288시간	전지구 날씨 예측 동네예보, 주간예보
지역 (RDAPS)	지역예보모델 (UM 12km L70)	12km (70층)	4회	87시간	아시아 날씨 예측 / 동네예보
국지 (LDPS)	국지예보모델 (UM 1.5kmL70)	1.5km(70층)	4회	36시간	한반도 날씨 예측
국지 앙상블 (LENS)	국지 앙상블예측시스템 (LENS 3km L70 M12)	40km (70층)	2회	72시간	한반도 날씨 예측

국지예보모델의 공간 해상도는 1.5km이며, 연직으로 약 40km까지 70층으로 구성되며, 3시간 간격으로 전지구모델로부터 경계장을 제공 받아 1일 8회(00, 06, 12, 18UTC :36시간 예측, 03, 09, 15, 21 UTC :3시간 예측) 수행한다.

국지예보모델의 격자개수는 고정격자(내부) 622(동서) x 810(남북)으로 이뤄져 있다 산출되는 자료는 등압면, 단일면, 모델면을 제공하고 있으며, 검증에서는 단일면의 시정자료를 사용하였다.

국지모델의 주요 특성은 표 4.2에 나타내었다.

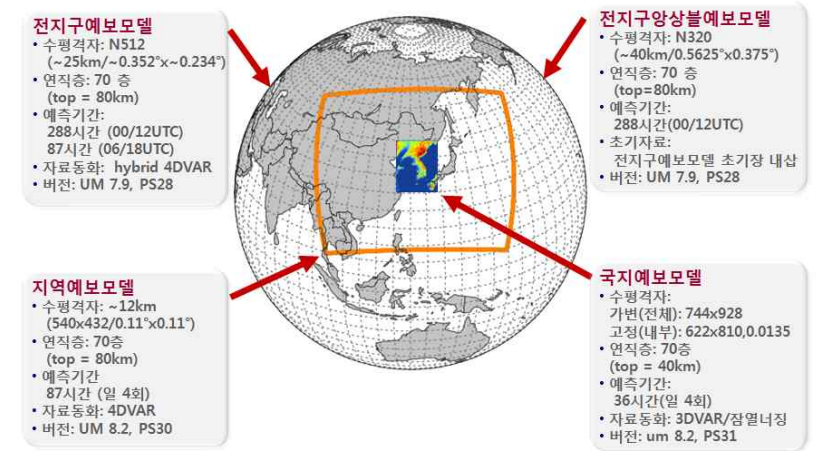


그림 4.1 통합모델 기반 전지구, 지역, 국지 및 전지구앙상블예보모델 구성

표 4.2 국지예보시스템의 주요 특성

모델명	LDPS(UM1.5kmL70)
기본모델	UM(Unified Model) vn 8.2 / PS31
수평 해상도와 격자 개수	가변격자(전제): 744×928(동서×남북) 고정격자(내부): 622×810, 0.0135°(해상도)
연직층수	70층(~40km)
시간 적분간격	50초 (계산 불안정 발생시 30초)
자료동화 방법 및 분석 주기	매 3시간 3차원 변분자료동화 (3DVAR)
초기화 방법	분석 증분 갱신법 (IAU)/잠열너징
수행 소요시간	약 60분
시간적분	Semi-Implicit semi-Lagrangian scheme
습윤 과정	Mixed phase precipitation
복사	Edward-Slingo general 2-stream scheme
중력파저항	GWDO (G.W. drag due to orography)
PBL 과정	Non-Local PBL
지표면	JULES(Joint UK Land Environment Simulator) land-surface module
지표상태	Surface analysis + climatology

1) Global Data Assimilation and Prediction System

2) Local Ensemble Numerical System

3) Regional Data Assimilation and Prediction System

4) Local Data Assimilation and Prediction System

1.2. 국지앙상블 모델

국지앙상블모델(LENS)의 공간 해상도는 3km이며, 연직으로 약 40km까지 70층으로 구성되며, 전지구 확률(앙상블) 예측시스템으로부터 초기섭동장⁵⁾과 경계장을 제공받아 12시간 간격으로 운영된다. 자세한 운영 흐름도는 그림 4.2를 참고하기 바란다.

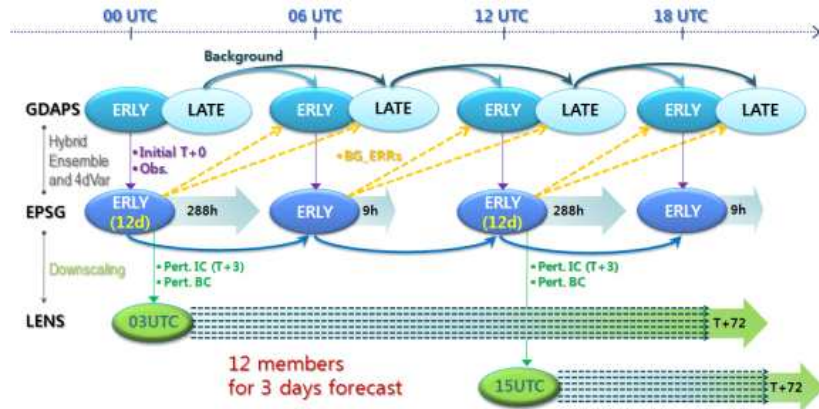


그림 4.2 국지규모 확률예측시스템(LENS) 흐름도

LENS의 격자점 수는 고정격자(내부) 460(동서) x 482(남북)이다. 이 모델은 등압면, 단일면, 모델면상에서 각각 예측자료를 생산하고 있으며, LENS의 안개예측성능 검증에는 단일면의 시정자료를 사용하였다.

국지앙상블모델의 주요 특성은 표 1.3에 나타내었다.

표 4.3 국지앙상블 예보시스템의 주요 특성

모델명	LENS 3km L70 M12
수평 분해능	3.0km(0.027° x 0.027°) / 격자개수 : 460(동서) x 482(남북)
연직층	L70 (모형 상단 ~ 40km)
예측 기간	72시간 (일 2회, 00/12UTC)
시간적분 간격	75초
앙상블멤버수	13개 (기준멤버 + 12개 섭동멤버)
초기섭동장	전지구 앙상블 예측시스템 섭동장 규모축소 재구성
복사물리과정	Edwards-Slingo general 2-stream scheme
지면물리과정	Joint UK Land Environment Simulator (JULES) 4 layer soil model using van Genuchten (1980) soil hydrology
경계층물리과정	First order non-local boundary layer scheme of based on Lock et al. (2000)
적운대류모수화	Mass flux convection with CAPE closure
미세물리과정	Large-scale precipitation (Wilson and Ballard, 1999)
중력파항력과정	적용안함
지표면	JULES(Joint UK Land Environment Simulator) land-surface module
지표상태	Surface analysis + climatology

5) 초기섭동장(Reconfiguration) 생성

- 전지구 확률(앙상블)예측시스템의 기준 및 각 섭동멤버에서 생산한 N320L70 해상도의 T+03 시각의 예측값을 국지규모 영역과 3.0km 격자 규모로 규모 축소하여 재구성(reconfiguration) 한다.
- 재구성된 초기값은 기준멤버와 12개 섭동 멤버의 초기장으로 사용된다.

2. 검증 지점 및 방법

2.1. 검증 지점

충청북도의 수치모델의 안개 예측특성을 조사하기 위해 2014~2017년 2월까지 충청북도 14개 지역에 대한 AWS 시정 자료를 사용하였다. 충주, 청주, 추풍령, 제천, 보은, 단양, 진천, 옥천, 영동, 음성은 모든 날짜에 대해서 시정 자료가 존재하였고 상당과 노은은 2015.02.01.~2015.12.31., 괴산과 증평은 2015.03.01.~2015.12.31.까지의 자료가 존재하였다.

충청북도 14개 지역의 시정계 위치는 그림 4.3에 나타내었다.



그림 4.3. 충청북도 시정계 14개소 위치

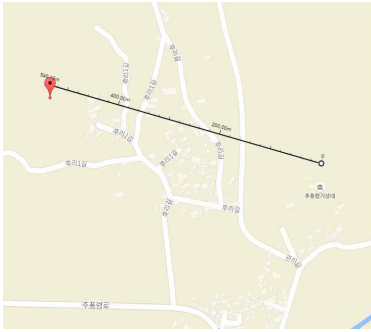
2.2. 검증 방법

국지예보모델과 국지양상블모델이 예측한 충청북도 14개 지점의 시정 예측값과 시정 관측값을 비교하여 모델별 RMSE, 상관계수, 예측성능(FAR, HR, CSI)을 조사하였다. 각 모델에서 예측하는 충청북도 14개 지점의 위치는 시정계가 설치된 곳의 위경도 값을 입력해 가장 가까운 격자점의 예측값을 추출하여 실제 관측값과 비교하였다. 표 4.4와 표 4.5에 충청북도 14개 지점의 실제 위치와 개별 모델에서 사용한 격자 위치를 기록했다.

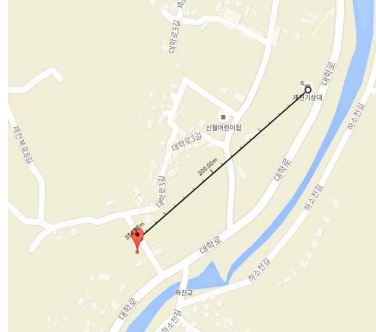
또한 국지예보모델과 국지양상블모델에서 예측한 충청북도 14개 지점의 실제위치와 모델에서 예측한 위치 차이를 아래 그림 4.4~4.17에서 나타내었다.

표 4.4 충청북도 14개 지점의 실제위치와 국지모델에서 사용된 위치 정보

지점(지점번호)	실제 위치		국지모델에서의 위치	
	위도	경도	위도	경도
충주(127)	36.970380	127.952660	36.967691	127.960106
청주(131)	36.639240	127.440660	36.645114	127.434018
추풍령(135)	36.220230	127.994570	36.221589	127.988774
제천(221)	37.159270	128.194310	37.156428	128.191432
보은(226)	36.487590	127.734120	36.488409	127.739514
단양(601)	36.985530	128.366900	36.986744	128.358650
진천(602)	36.853900	127.429700	36.852441	127.421397
괴산(603)	36.800000	127.800000	36.804907	127.799860
옥천(604)	36.299950	127.596500	36.297623	127.597447
영동(605)	36.163140	127.759810	36.156872	127.764753
음성(619)	36.944410	127.684540	36.945097	127.682781
증평(623)	36.795600	127.561990	36.795154	127.558108
상당(624)	36.629400	127.658800	36.627849	127.657271
노은(630)	37.041980	127.786960	37.039989	127.789169



충주지점-격자위치 차이: 540m



청주지점-격자위치 차이: 354m

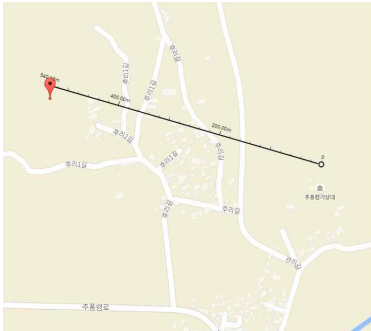


진천지점-격자위치 차이: 755m

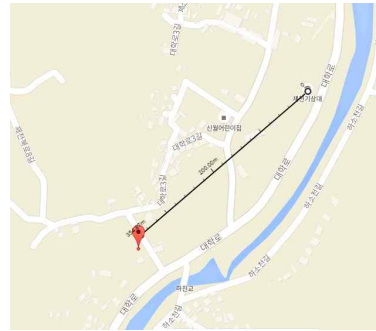


괴산지점-격자위치 차이: 516m

그림 4.7 실제위치-국지모델 격자위치 차이(진천, 괴산)



추풍령지점-격자위치 차이: 540m



제천시점-격자위치 차이: 354m

그림 4.5 실제위치-국지모델 격자위치 차이(추풍령, 제천)



옥천지점-격자위치 차이: 272m

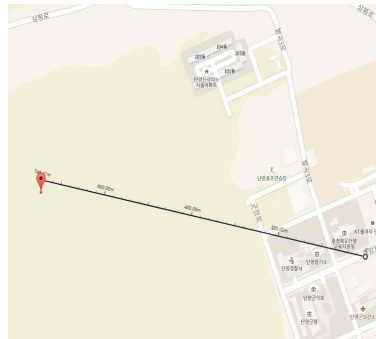


영동지점-격자위치 차이: 862m

그림 4.8 실제위치-국지모델 격자위치 차이(옥천, 영동)



보은지점-격자위치 차이: 540m



단양지점-격자위치 차이: 354m

그림 4.6 실제위치-국지모델 격자위치 차이(보은, 단양)

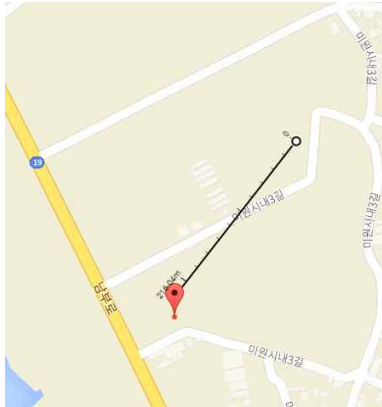


음성지점-격자위치 차이: 272m



증평지점-격자위치 차이: 862m

그림 4.9 실제위치-국지모델 격자위치 차이(음성, 증평)



상당지점-격자위치 차이: 216m



노은지점-격자위치 차이: 300m

그림 4.10 실제위치-국지모델 격자위치 차이(상당, 노은)

표 4.5 충청북도 14개 지점의 실제위치와 국지양상블모델에서 사용된 위치 정보

지점	실제 위치		국지양상블모델에서의 위치	
	위도	경도	위도	경도
충주(127)	36.970380	127.952660	36.981659	127.951266
청주(131)	36.639240	127.440660	36.631420	127.424496
추풍령(135)	36.220230	127.994570	36.207621	127.996280
제천(221)	37.159270	128.194310	37.170045	128.199956
보은(226)	36.487590	127.734120	36.488545	127.730321
단양(601)	36.985530	128.366900	36.972721	128.366165
진천(602)	36.853900	127.429700	36.852303	127.429409
괴산(603)	36.800000	127.800000	36.790932	127.807476
옥천(604)	36.299950	127.596500	36.297746	127.588281
영동(605)	36.163140	127.759810	36.157010	127.755607
음성(619)	36.944410	127.684540	36.931416	127.673161
증평(623)	36.795600	127.561990	36.795005	127.566113
상당(624)	36.629400	127.658800	36.627692	127.665254
노은(630)	37.041980	127.786960	37.040130	127.779896



충주지점-격자위치 차이: 1260m

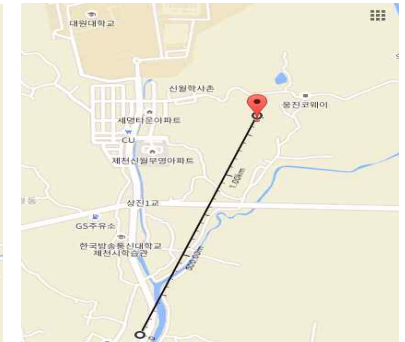


청주지점-격자위치 차이: 1670m

그림 4.11 실제위치-국지양상블모델 격자위치 차이(충주, 청주)

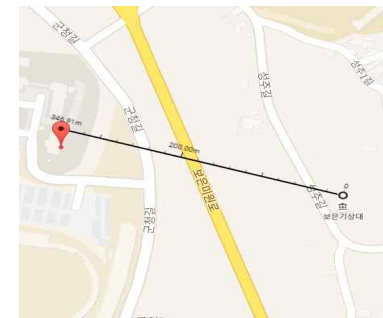


추풍령지점-격자위치 차이: 1270m

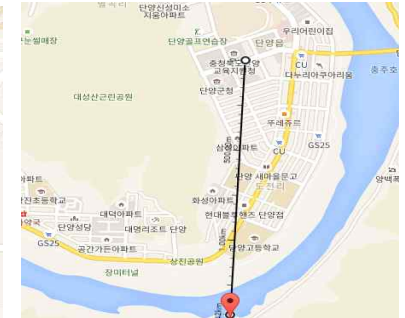


제천지점-격자위치 차이: 1370m

그림 4.12 실제위치-국지양상블모델 격자위치 차이(추풍령, 제천)



보은지점-격자위치 차이: 1270m



단양지점-격자위치 차이: 1370m

그림 4.13 실제위치-국지양상블모델 격자위치 차이(보은, 단양)



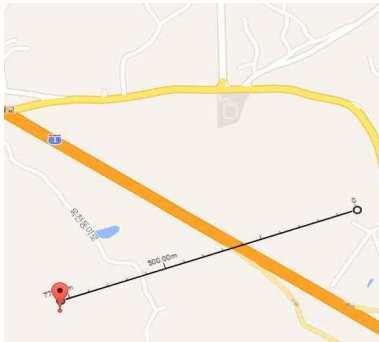
진천지점-격자위치 차이: 179m

그림 4.14 실제위치-국지양상블모델



괴산지점-격자위치 차이: 1210m

격자위치 차이(진천, 괴산)



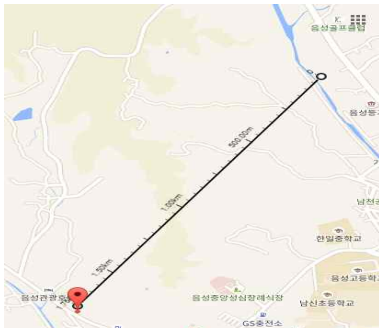
옥천지점-격자위치 차이: 774m

그림 4.15 실제위치-국지양상블모델



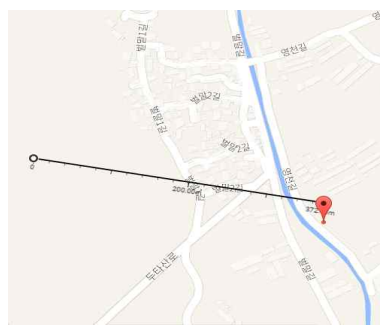
영동지점-격자위치 차이: 777m

격자위치 차이(옥천, 영동)



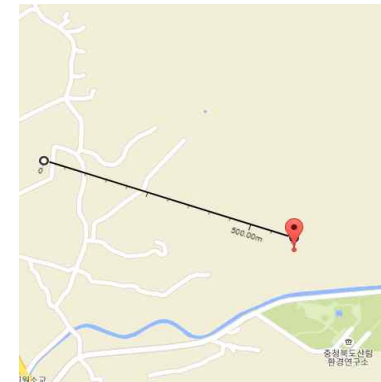
음성지점-격자위치 차이: 1760m

그림 4.16 실제위치-국지양상블모델



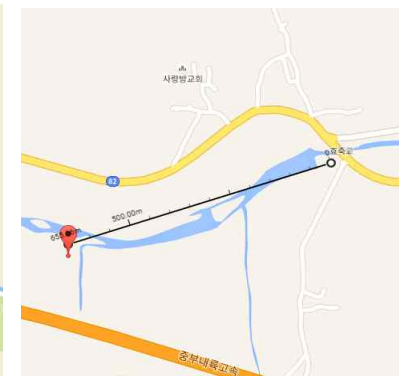
증평지점-격자위치 차이: 372m

격자위치 차이(음성, 증평)



상당지점-격자위치 차이: 604m

그림 4.17 실제위치-국지양상블모델



노은지점-격자위치 차이: 655m

격자위치 차이(상당, 노은)

검증기간은 국지모델이 2014년 1월부터 2017년 2월까지의 예측값을 사용하였고, 국지양상블모델은 2015년 11월부터 2017년 2월까지의 예측값을 사용하였다. 모델의 예측성능을 다방면으로 분석하기 위해 매 시간값, 일 최소값, 안개발생/비 발생, 계절별로 나눠서 실제 관측값과 비교하였다.

- 매 시간값: 모델이 예측한 매 시각의 예측값과 실제 관측값과의 비교
- 일 최소값: 모델이 예측한 매 시각의 예측값 중 최소값과 실제 관측한 매분 자료의 시정 중 일중 최소값을 비교
- 안개 발생/비발생: 실제 관측한 시정계에서 시정값이 1000m 이하가 30분 이상 지속되었을 경우를 안개 발생, 그렇지 않은 경우를 안개 비발생으로 정의하여 2가지 경우에 따라 시정관측값과 모델값을 비교
- 계절별: 봄, 여름, 가을, 겨울 계절별로 나누어 각 모델이 예측한 시정값과 관측값 비교

또한, 모델별 성능을 검증하기 위해 RMSE, 상관계수, FAR, HR, CSI 지수를 사용하였다. 자세한 지수의 정의는 표 4.6을 참고하면 된다.

표 4.6 모델별 예측성능을 나타내는 지수

지수	설명
RMSE	- 평방근오차(RMSE, Root Mean Square Error) $RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2}$ · 전체적인 예보의 정확도를 측정하는 요소 · 오차의 평균적인 크기를 제공
상관계수	- 상관계수 · 두 변수간의 관계가 얼마나 강한지를 나타내는 통계량 · -1과 1사이에 존재하며 절대값 1에 가까울수록 상관관계가 높음
FAR	- 오보율(FAR, False Alarm Ratio) $FAR = \frac{F}{H+F}$ · 발생하지 않은 사건에 대해 발생한다고 예보한 것의 비 · 0에서 1의 값을 가지며 0의 값이 완벽한 예보를 의미
HR	- 적중률(HR, Hit Rate) · 탐지확률(POD, Probability of Detection)과 동의어 $HR(or\ POD) = \frac{H}{H+M}$ · 발생한 사건에 대해 발생하였다고 예보한 것의 비 · 0에서 1의 값을 가지며 1이 완벽한 예보를 의미
CSI	- 임계성공지수(CSI, Critical Success Index) $CSI(or\ TS) = \frac{H}{H+M+F}$ · 정확히 예측한 사건 수를 사건발생 총 수(예보+관측)로 나눈 것 · 0에서 1의 값을 가지며 1에 가까울수록 완벽한 예보를 의미

제2절 모델별 예측 특성

1. RMSE

1.1. 시간값

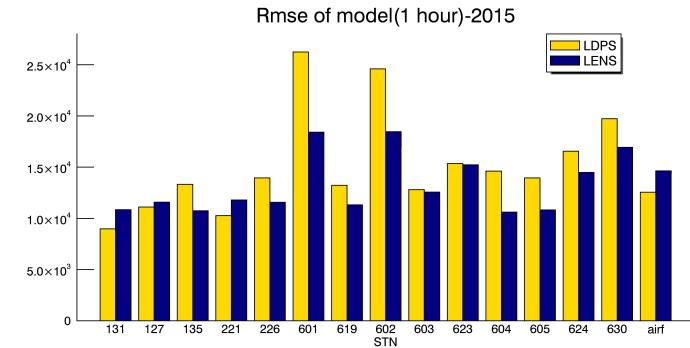


그림 4.18. 2015년 시간별 RMSE

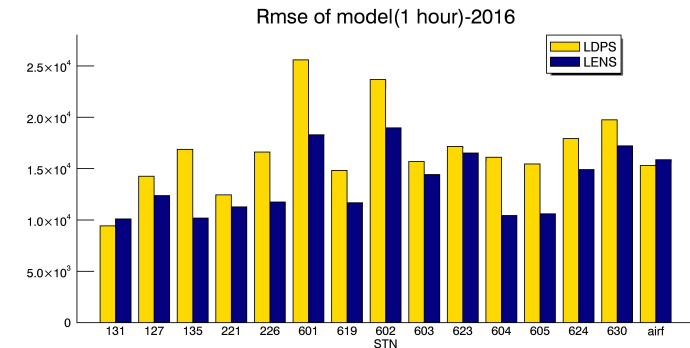


그림 4.19. 2016년 시간별 RMSE

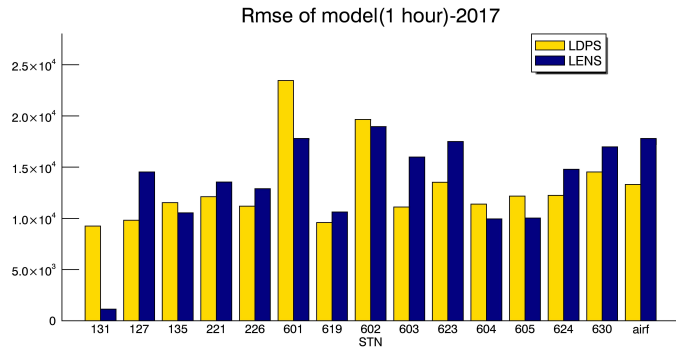


그림 4.20. 2017년 시간별 RMSE

각 연도별 매일 매시각의 시정 관측값과 모델 예측값의 RMSE를 분석해 보았다. 국지모델(LDPS) 와 국지양상블모델(LENS)를 비교 했을 때 LENS 모델의 RMSE 값이 대체로 더 작아 LENS 모델의 예측값이 실제 시정값에 더 가까움을 알 수 있다. 또한 연도별로 비교했을 때 2017년도가 가장 적은 값으로 나왔는데 이는 2017년도 데이터를 1,2월 두 달만 사용했기 때문에 좋은 RMSE 값이 나왔다. 지역별로 비교했을 때 청주(131)가 가장 좋게 나왔으나 대부분의 지역이 10,000m내외로 모델의 예측 정확성은 좋다고는 볼 수 없다.

1.2. 일 최소값

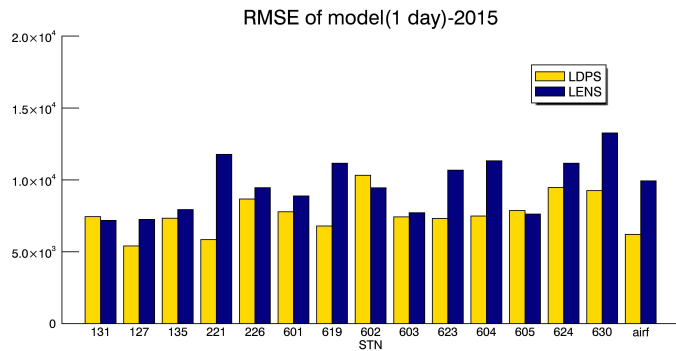


그림 4.21. 2015년 일 최소값 RMSE

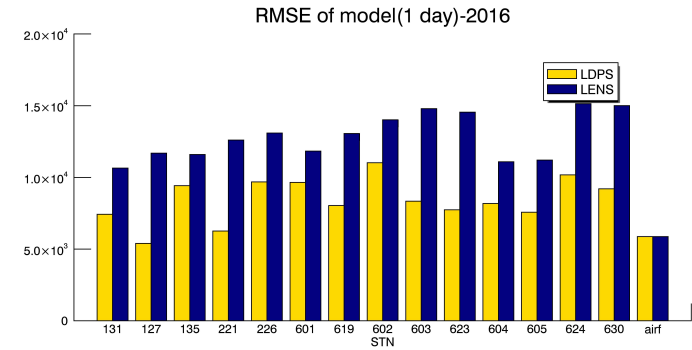


그림 4.22. 2016년 일 최소값 RMSE

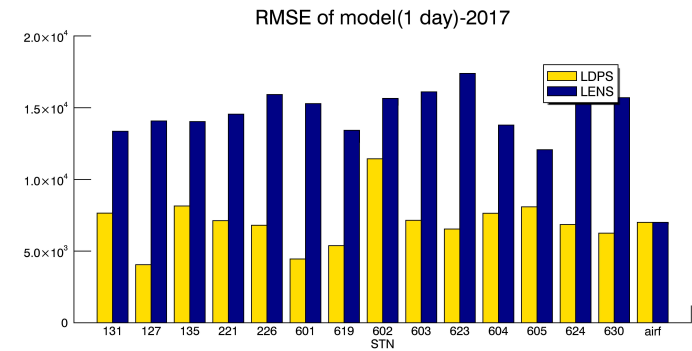


그림 4.23. 2017년 일 최소값 RMSE

각 연도별 일별 최소 시정값과 모델 예측값의 RMSE를 분석해 보았다. LDPS와 LENS를 비교 했을 때 매 시간값으로 했을 때와 달리 LDPS의 RMSE 값이 더 작아 LDPS 모델의 일별 최소 시정 예측값이 실제 일별 최소 시정값에 더 가까움을 알 수 있다. 또한 연도별로 비교했을 때 2015년도가 가장 RMSE가 적었고, 지역별로 비교했을 때 공군 비행장(airf)에 대한 RMSE가 가장 적게 나왔다. 하지만 일 최소값 기준의 RMSE도 10,000m 내외로 모델의 예측 정확성은 좋다고는 볼 수 없다.

1.3. 안개 발생

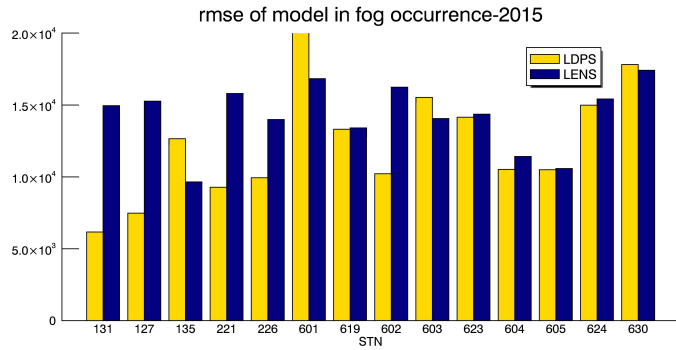


그림 4.24. 2015년 안개 발생일 RMSE

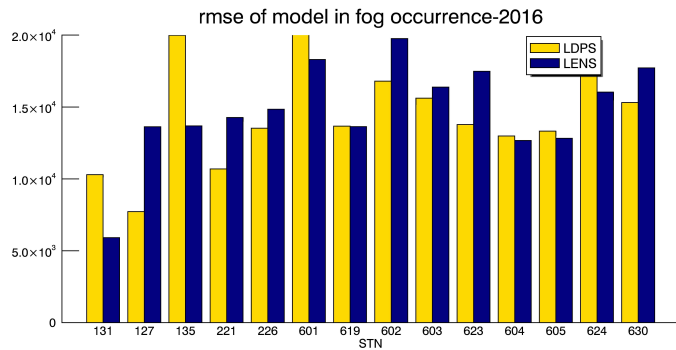


그림 4.25. 2016년 안개 발생일 RMSE

각 연도별 안개 발생일의 실제 시정값과 모델 예측값의 RMSE를 분석해 보았다. LDPS와 LENS를 비교 했을 때 LENS 모델의 RMSE 값이 대체로 더 작지만 두 모델의 값 모두 15,000m 내외로 모델의 예측성능이 낮았다. 연도를 비교 했을 때 2015년이 더 적게 나왔지만 대체적으로 두 해 모두 RMSE가 커서 비교에 큰 의미가 없다. 지역별로 비교 했을 때 청주(131)의 RMSE가 가장 적었다.

1.4. 안개 비발생

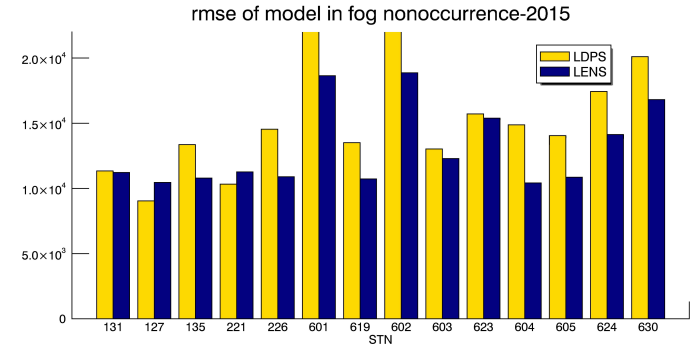


그림 4.26. 2015년 안개 비발생일 RMSE

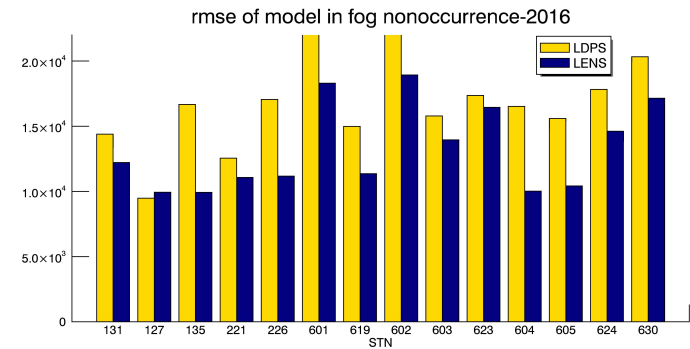


그림 4.27. 2016년 안개 비발생일 RMSE

각 연도별 안개 비발생일만을 따로 분류한 시정값과 모델 예측값의 RMSE를 분석해 보았다. LDPS 와 LENS를 비교 했을 때 두 모델 모두 값이 15,000m 내외로 나와 모델의 예측성능이 좋지 못했다. 연도를 비교 했을 때 두 해 모두 값이 커 비교에 큰 의미가 없다. 지역별로 비교 했을 때 충주(127)가 가장 적었다.

1.5. 계절별

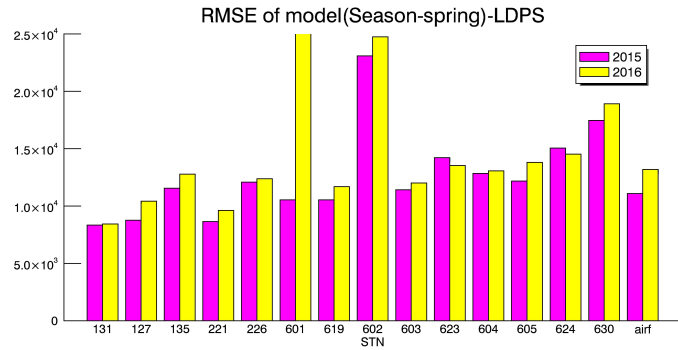


그림 4.28. 봄 RMSE (LDPS)

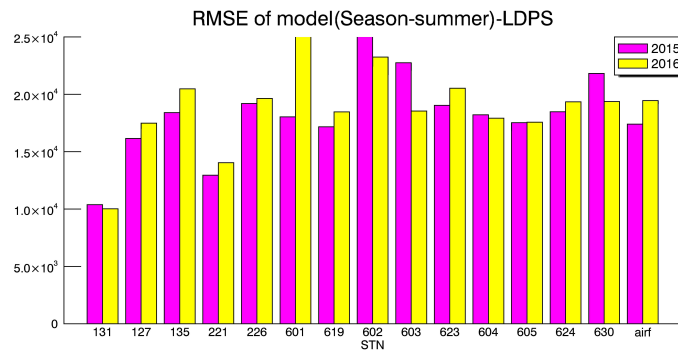


그림 4.29. 여름 RMSE (LDPS)

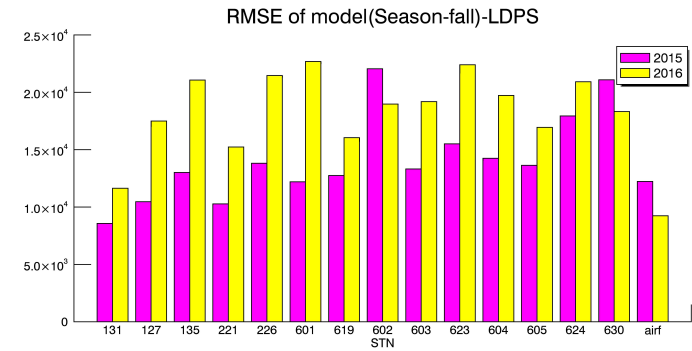


그림 4.30. 가을 RMSE (LDPS)

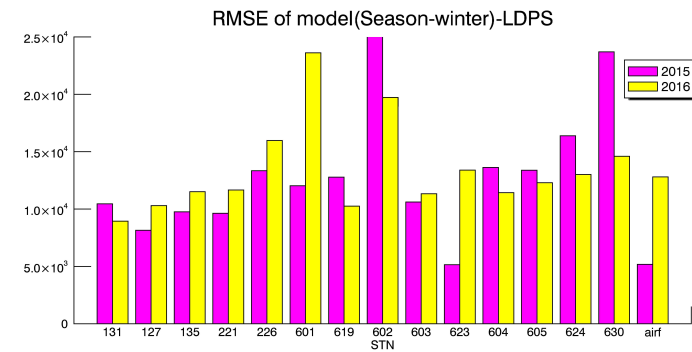


그림 4.31. 겨울 RMSE (LDPS)

봄 (3,4,5월) 여름(6,7,8월) 가을(9,10,11월) 겨울(12,1,2월)로 분류하여 시정값과 LDPS 모델의 시정 예측값의 RMSE를 분석하였다. 2015년과 2016년 모두 다른 계절에 비해 안개가 거의 발생하지 않는 여름의 RMSE 값이 가장 높았다. 청주의 RMSE는 네 계절 모두 가장 낮아서 15개 지점 중 모델 예측 시정이 실제 시정값과 가장 가깝다고 해석할 수 있다. 하지만 계절별 RMSE가 모두 10,000m가 넘어, 모델의 예측성능은 좋다고 보기엔 무리가 있다.

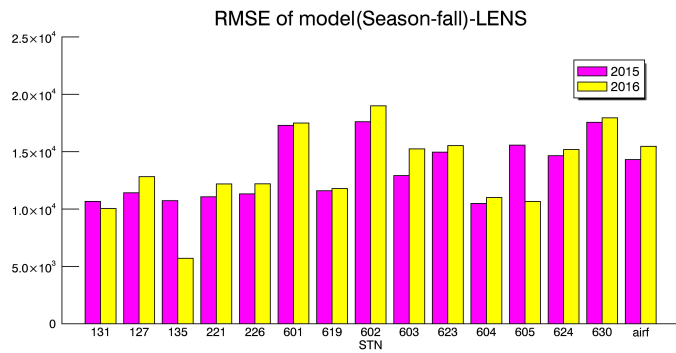


그림 4.32. 가을 RMSE (LENS)

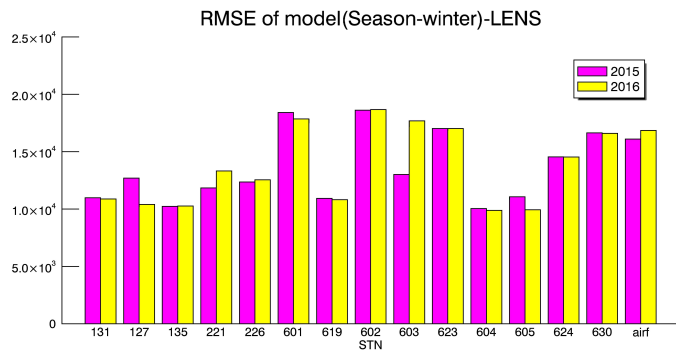


그림 4.33. 겨울 RMSE (LENS)

가을(9,10,11월)과 겨울(12,1,2월)로 분류하여 시정값과 LENS 모델 예측값의 RMSE를 분석해 보았다. LENS의 가동 시작시기가 15년 11월이기 때문에 LDPS와 달리 15-16년 가을/겨울 두 계절 비교만 가능하다. 두 해의 편차가 심했던 LDPS와 달리 LENS 모델은 두 해 모두 값이 비슷하고 청주(127), 추풍령(135), 옥천(604), 영동(605), 음성(619)이 대체로 낮은 값을 보였다.

하지만 LENS도 RMSE값이 10,000m 이상의 지역이 대부분이어서, 이 또한 모델의 예측성능은 떨어진다.

2. 상관계수

2.1. 시간값

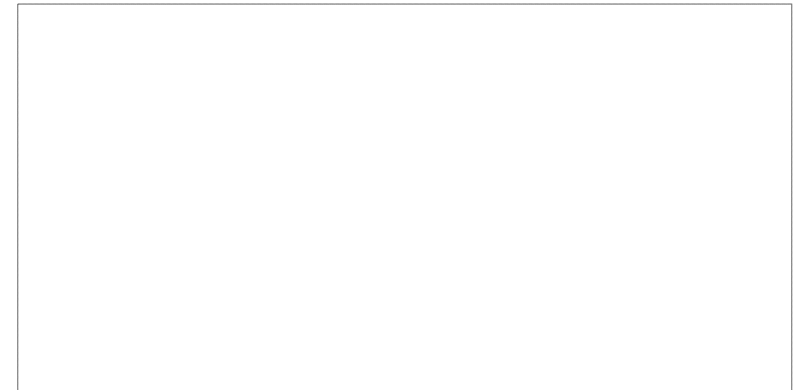


그림 4.34. 2015년 시간별 상관계수

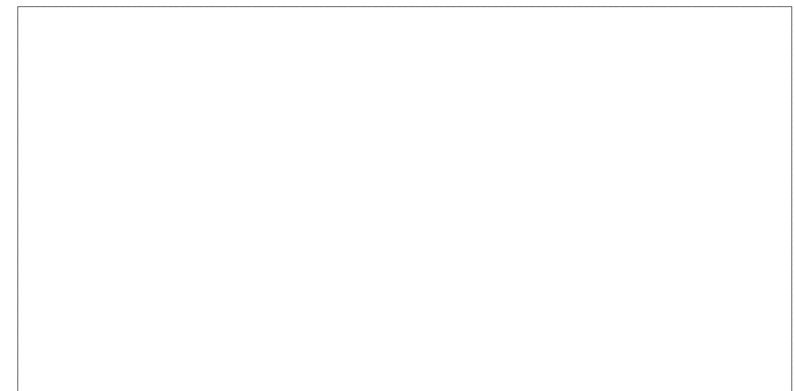


그림 4.35. 2016년 시간별 상관계수

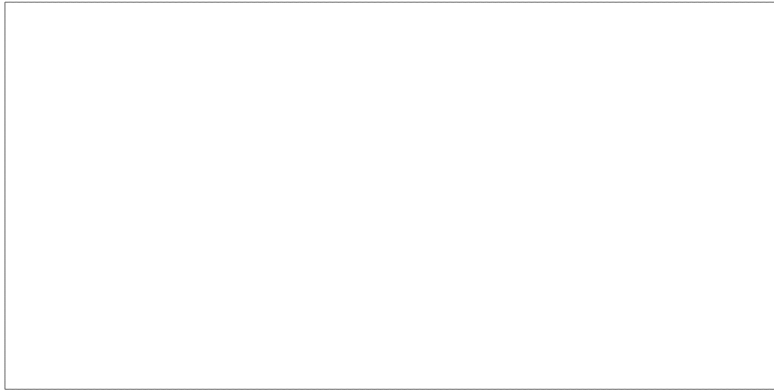


그림 4.36. 2017년 시간별 상관계수

각 연도별 매일 매시각 시정값과 모델 예측값의 상관계수를 분석해 보았다. LDPS와 LENS를 비교 했을 때 2015,2016년은 LENS, 2017년은 LDPS가 더 높게 나왔다. 또한 연도별로 비교했을 때 2017년도가 가장 큰 값으로 나왔는데 이는 2017년도 데이터가 1,2월 두 달치 밖에 사용되지 않았기 때문이다. 지역별로 비교했을 때 값의 편차가 크다. 공군 비행장(airf), 충주(127)가 상관계수가 가장 커서 시간에 따른 시정 변화 추이를 LENS가 비교적 잘 보여주는 편이라 할 수 있다. 옥천(604), 영동(605)이 가장 낮게 나왔다.

2.2. 일 최소값

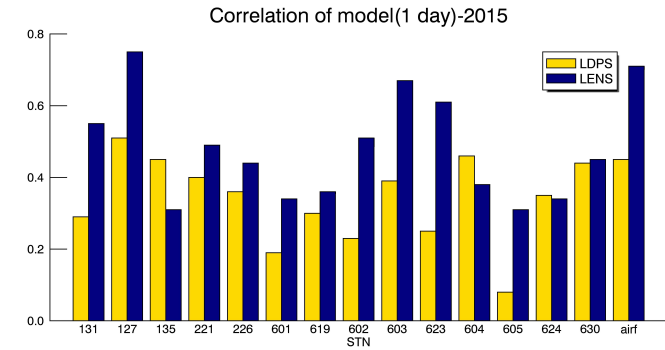


그림 4.37. 2015년 일 최소값 상관계수

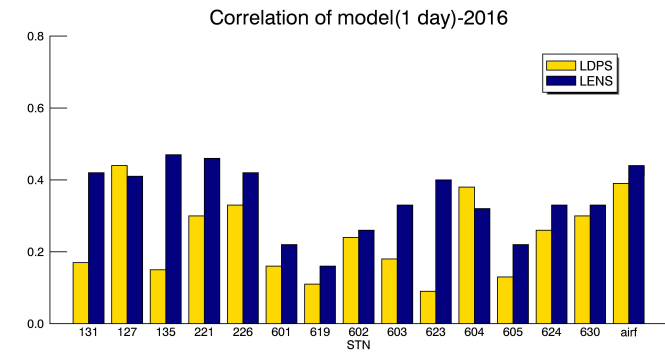


그림 4.38. 2016년 일 최소값 상관계수

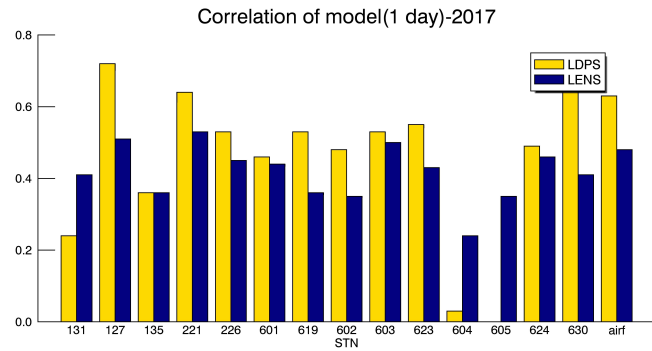


그림 4.39. 2017년 일 최소값 상관계수

각 연도별 일별 최소 시정값과 모델 예측값의 상관계수를 분석해 보았다. LDPS와 LENS를 비교했을 때 2015, 2016년은 LENS, 2017년은 LDPS가 더 높게 나왔다. 또한 연도별로 비교했을 때 2017년도 가장 큰 값으로 나왔는데 이는 2017년도 데이터가 1,2월 두 달 치 밖에 사용되지 않았기 때문에 가장 값이 좋게 나왔다. 2015년에 LENS의 일 최소값 상관계수가 LDPS와 상당히 큰 차이를 보이는 것도 비슷한 이유인데, 2015년 11월에 현업 운영되기 시작하여 데이터가 적기 때문이다. 지역별로 비교했을 때 값의 편차가 크고, 공군 비행장(airf), 충주(127)가 상관계수가 가장 크고 영동(605)이 가장 낮게 나왔다.

2.3. 안개 발생

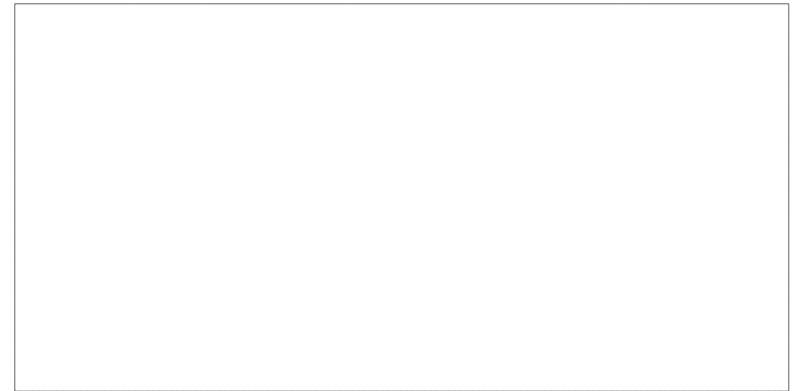


그림 4.40. 2015년 안개 발생일 상관계수

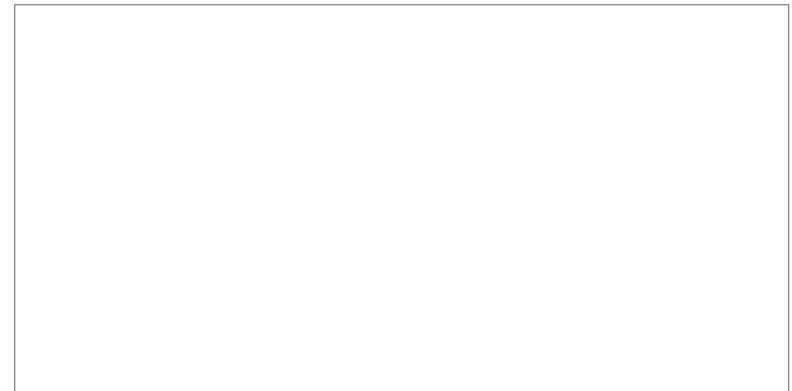


그림 4.41. 2016년 안개 발생일 상관계수

각 연도별 안개 발생일을 따로 분류한 시정값과 모델 예측값의 상관계수를 분석해 보았다. LDPS와 LENS를 비교했을 때 2015년은 LENS, 2016년은 LDPS가 더 높게 나왔다. 또한 연도별로 비교했을 때 2015년 보다 2016년도 더 큰 값으로 나왔다. 지역별로 비교했을 때 충주(127)가 가장 좋게 나왔으나 대체적으로 값의 크기가 0.5 내외로 모델의 예측 경향이 실제 시정 변화를 잘 모의한다고 볼 수 없다.

2.4. 안개 비발생

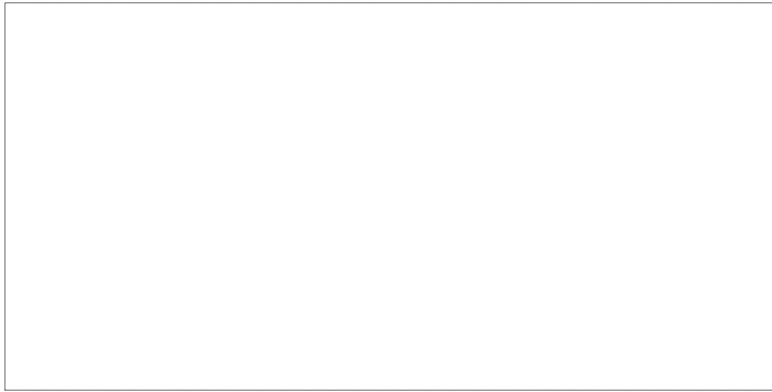


그림 4.42. 2015년 안개 비발생일 상관계수

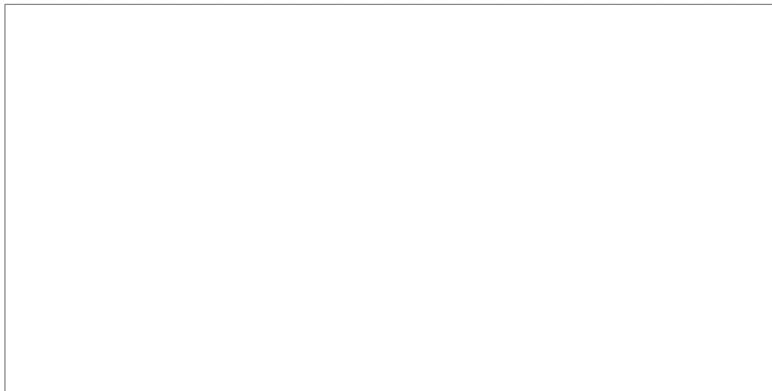


그림 4.43. 2016년 안개 비발생일 상관계수

2.5. 계절별



그림 4.44. 봄 상관계수 (LDPS)

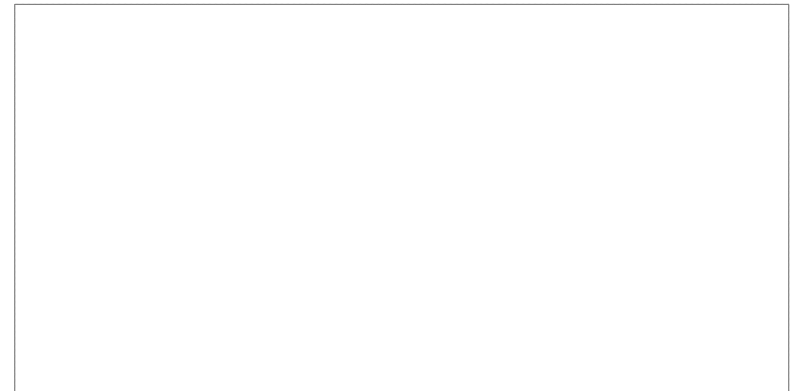


그림 4.45. 여름 상관계수 (LDPS)

각 연도별 안개 비발생일만을 따로 분류한 시정값과 모델 예측값의 상관계수를 분석해 보았다. LDPS와 LENS를 비교 했을 때 두 모델 모두 값이 0.4 내외로 나와 시정변화경향에 대한 모델의 예측성능이 좋지 못했다. 연도를 비교 했을 때도 두 해 모두 값이 작아 비교에 큰 의미가 없고 지역별로 비교 했을 때 충주(127)가 가장 크게 나왔다.

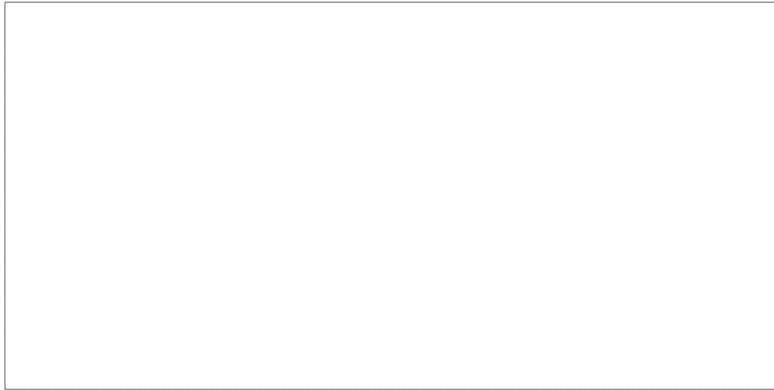


그림 4.46. 가을 상관계수 (LDPS)

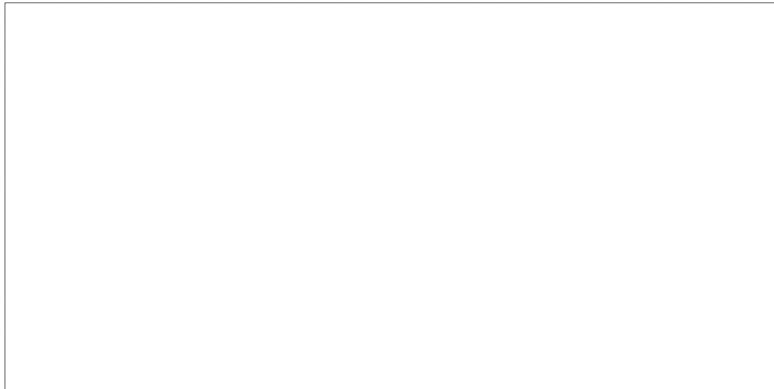


그림 4.47. 겨울 상관계수 (LDPS)

봄(3,4,5월), 여름(6,7,8월), 가을(9,10,11월), 겨울(12,1,2월)로 분류하여 시정값과 LDPS 모델 예측값의 상관계수를 분석해 보았다. 2015년도에는 네 계절 모두 상관계수 값이 낮게 나왔고 2016년도에는 봄, 여름 보다는 가을, 겨울의 상관계수 값이 더 높게 나와 두 해의 편차가 심함을 볼 수 있다. 지역별로 비교했을 때 증평(603)이 가장 높게 나왔고 옥천(604), 영동(605)이 가장 낮은 값을 보였다.

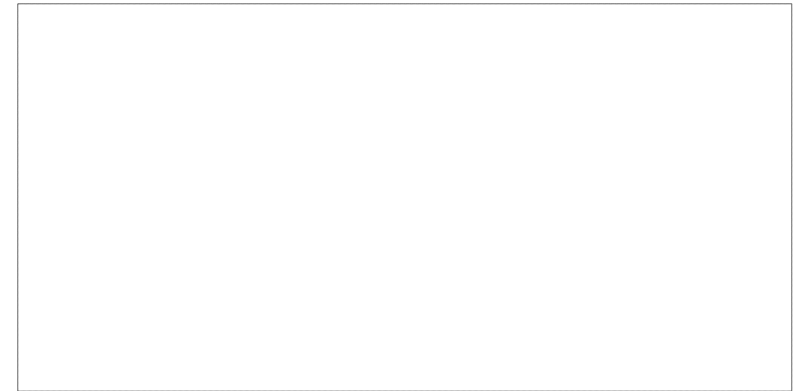


그림 4.48. 가을 상관계수 (LENS)

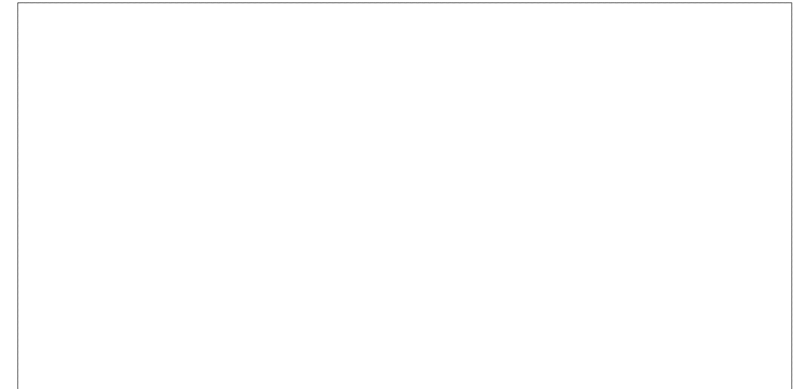


그림 4.49. 겨울 상관계수 (LENS)

가을(9,10,11월)과 겨울(12,1,2월)로 분류하여 시정 관측값과 LENS 모델 예측값의 상관계수를 분석해 보았다. LENS 모델의 가동 시작 시기가 15년 11월이기 때문에 LDPS와 달리 2015~16년 가을과 겨울 두 계절 비교만 가능하다. 가을보다는 겨울의 상관계수가 더 큰 값으로 나왔고 두 해의 편차가 심했던 LDPS와 달리 LENS 모델은 두 해 모두 값이 비슷하며 옥천(604), 영동(605), 음성(619)이 대체로 낮은 값을 보였다.

3. 예측성능

3.1. 시간값

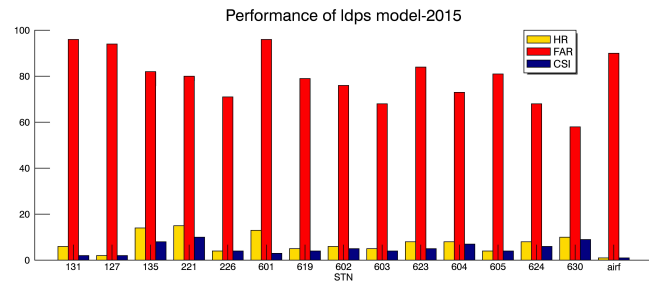


그림 4.50. 2015년 시간별 예측성능 (LDPS)

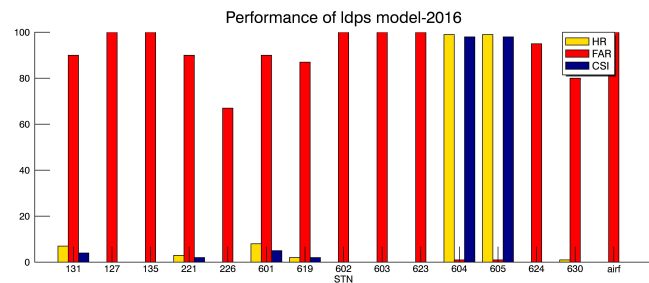


그림 4.51. 2016년 시간별 예측성능 (LDPS)

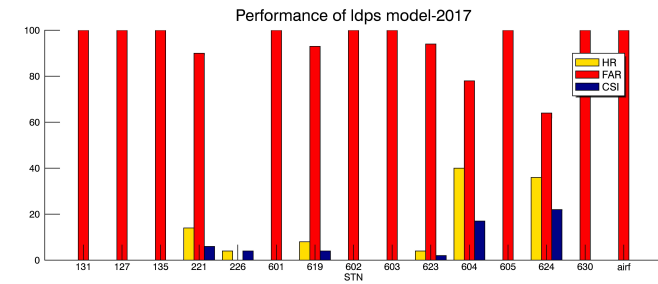


그림 4.52. 2017년 시간별 예측성능 (LDPS)

각 연도별 매일 매시 시정값과 LDPS 모델 예측값을 비교한 예측성능을 매 시각별로 분석해 보았다. 지역별로 비교했을 때 2016년 옥천(604), 영동(605)의 결과가 가장 좋게 나왔다. 또한 연도별로 비교했을 때 2015년의 FAR값이 비교적 낮은 경향으로 나왔으나 3년 모두 FAR 값이 80 이상인 지역이 대부분이며, LDPS 모델의 예측성능은 낮다고 해석할 수 있다.

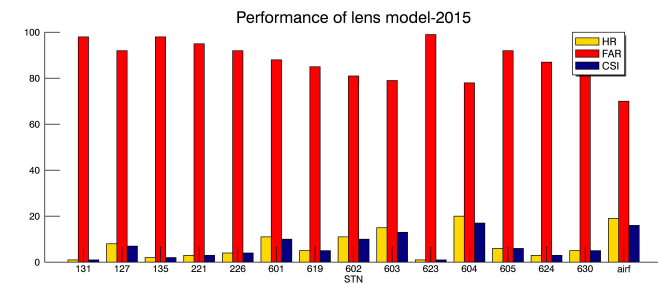


그림 4.53. 2015년 시간별 예측성능 (LENS)

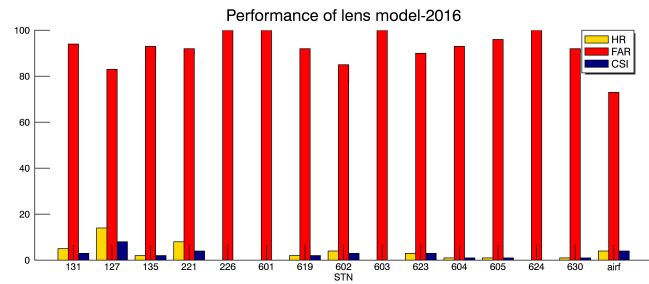


그림 4.54. 2016년 시간별 예측성능 (LENS)

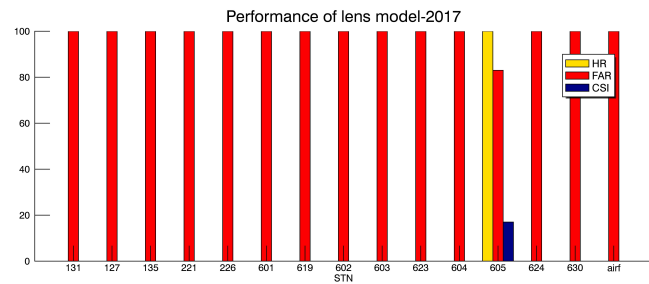


그림 4.55. 2017년 시간별 예측성능 (LENS)

각 연도별 매시 시정값과 LENS 모델 예측값의 예측성능을 분석해 보았다. 지역별로 비교했을 때 2015년에는 옥천(604)와 충주비행장(airf), 2017년 영동(605)의 결과가 가장 좋게 나왔고 2016년은 대부분 지역에 대한 예측성능이 저조했다. 또한 연도별로 비교했을 때 2015년의 FAR값이 가장 낮은 값으로 나왔긴 하지만 3년 모두 HR값은 20이하로 나왔고 FAR 값이 80 이상인 지역이 대부분으로, LENS의 예측성능은 낮다고 해석할 수 있다.

3.2. 일 최소값

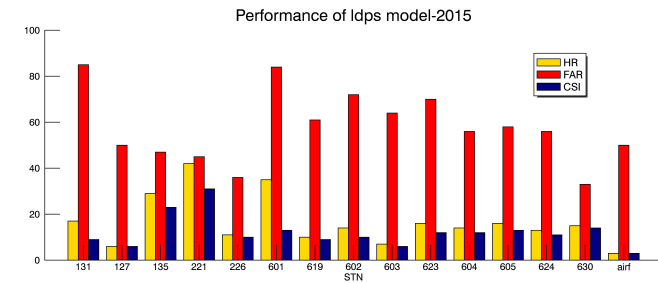


그림 4.56. 2015년 일 최소값 예측성능 (LDPS)

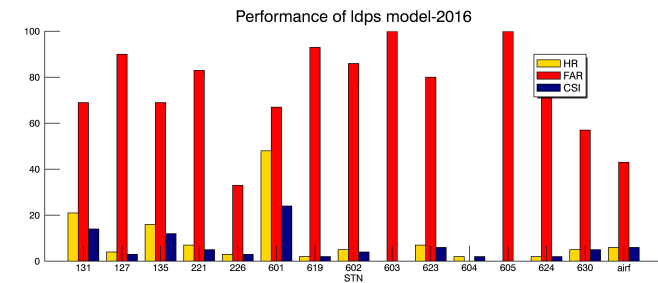


그림 4.57. 2016년 일 최소값 예측성능 (LDPS)

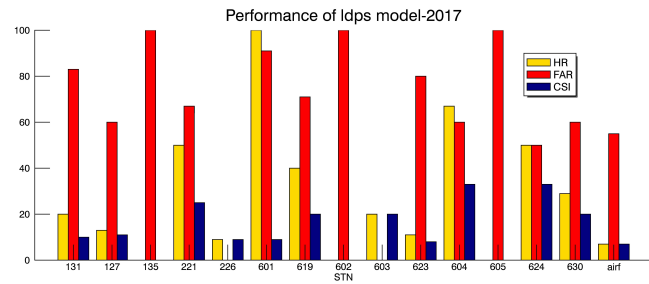


그림 4.58. 2017년 일 최소값 예측성능 (LDPS)

각 연도별 일별 최소 시정값과 LDPS 모델 예측값의 예측성능을 분석해 보았다. 지역별로 비교했을 때 2015년은 제천(221), 2016년은 단양(601), 2017년은 옥천(604)와 상당(624)의 결과가 가장 좋게 나왔다. 또한 연도별로 비교했을 때 대체로 2015년의 FAR값이 가장 낮고 CSI가 지점별로 고르게 높은 값으로 나왔긴 하지만 3년 모두 HR 값은 낮게 나왔고 FAR 값이 80 이상인 지역이 대부분이다. 따라서 LDPS 모델의 예측성능은 낮다고 해석할 수 있다.

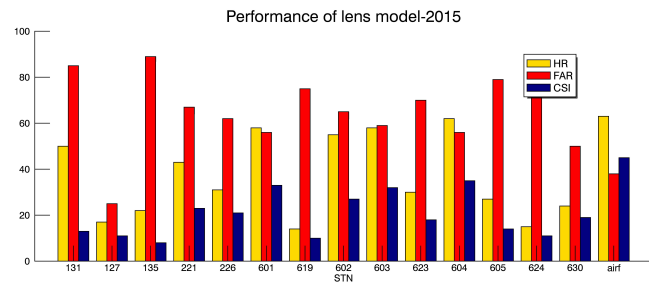


그림 4.59. 2015년 일 최소값 예측성능 (LENS)

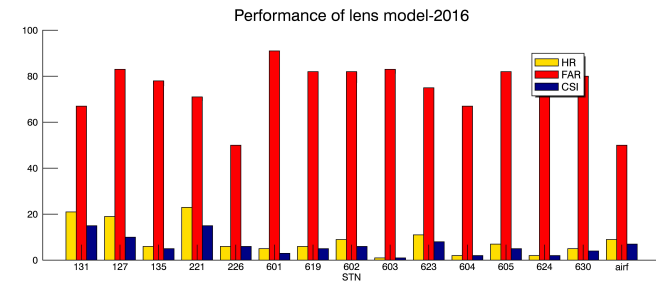


그림 4.60. 2016년 일 최소값 예측성능 (LENS)

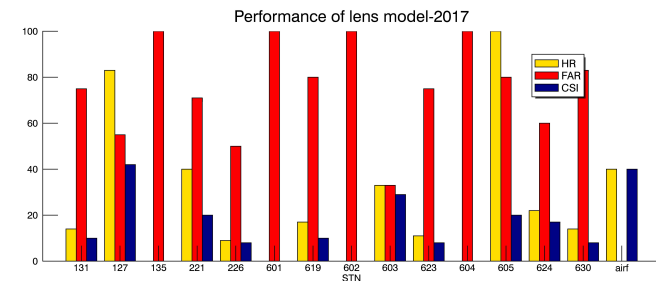


그림 4.61. 2017년 일 최소값 예측성능 (LENS)

각 연도별 일별 최소 시정값과 LENS 모델 예측값의 예측성능을 분석해 보았다. 지역별로 비교했을 때 충주(127), 영동(605)의 결과가 가장 좋게 나왔다. 또한 연도별로 비교했을 때 2015년에 모든 지역에서 HR은 높고 FAR값이 가장 낮은 값으로 고르게 나왔긴 하지만 3년 모두 FAR 값이 높아 LDPS와 마찬가지로 LENS 모델의 예측성능은 낮다고 해석할 수 있다.

3.3. 안개 발생

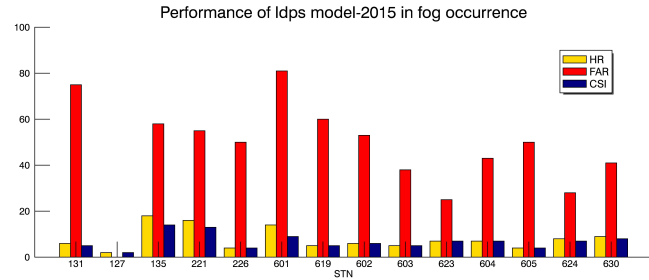


그림 4.62. 2015년 안개 발생일 예측성능 (LDPS)

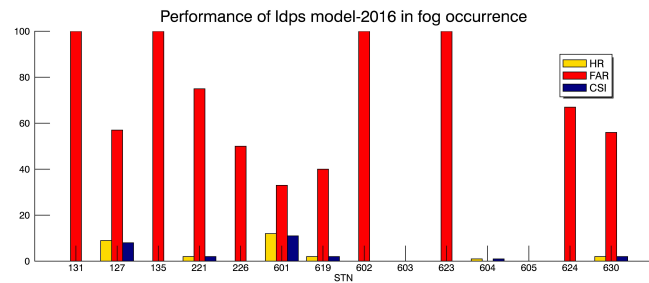


그림 4.63. 2016년 안개 발생일 예측성능 (LDPS)

각 연도별 안개 발생일을 따로 분류한 시정값과 LDPS 모델 예측값의 예측성능을 분석해 보았다. 지역별로 비교했을 때 충주(127), 단양(601)의 결과가 가장 좋게 나왔다. 또한 연도별로 비교했을 때 2015년이 2016년 보다 HR 값은 높고 FAR값이 낮은 값으로 나왔긴 하지만 두 해 모두 HR 값은 낮게 나왔고 FAR 값이 높은 지역이 대부분이며, LDPS와 마찬가지로 모델의 예측성능은 낮다고 해석할 수 있다.

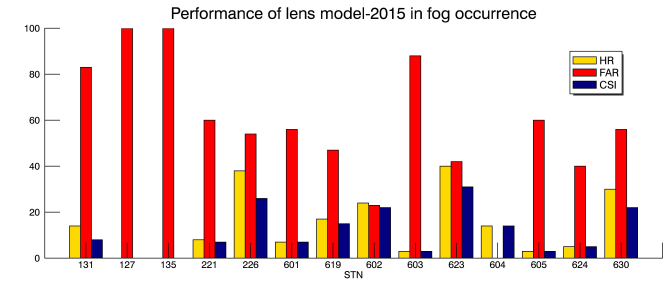


그림 4.64. 2015년 안개 발생일 예측성능 (LENS)

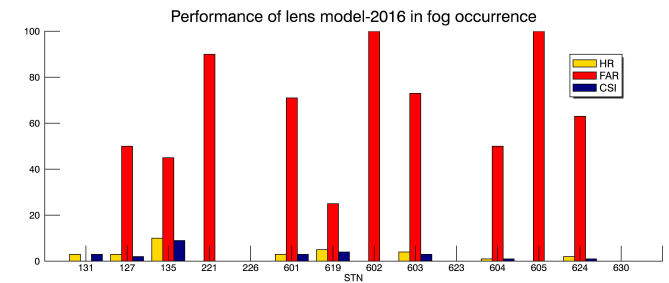


그림 4.65. 2016년 안개 발생일 예측성능 (LENS)

각 연도별 안개 발생일을 따로 분류한 시정값과 LENS 모델 예측값의 예측성능을 분석해 보았다. 지역별로 비교했을 때 충주(127), 단양(601)의 결과가 가장 좋게 나왔다. 또한 연도별로 비교했을 때 2015년이 2016년 보다 HR 값은 높고 FAR값이 낮은 값으로 나왔긴 하지만 두 해 모두 HR 값은 낮게 나왔고 FAR 값이 높은 지역이 대부분이며, LENS의 예측성능은 떨어진다고 해석할 수 있다.

3.4. 계절별

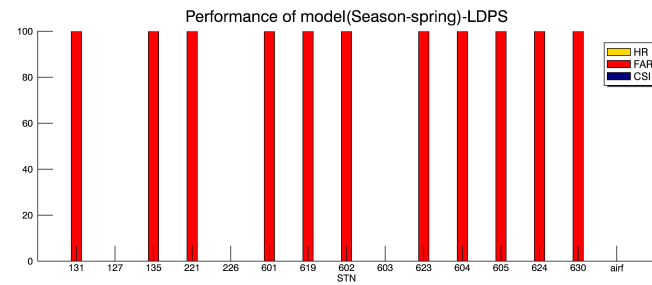


그림 4.66. 2015년 봄 예측성능 (LDPS)

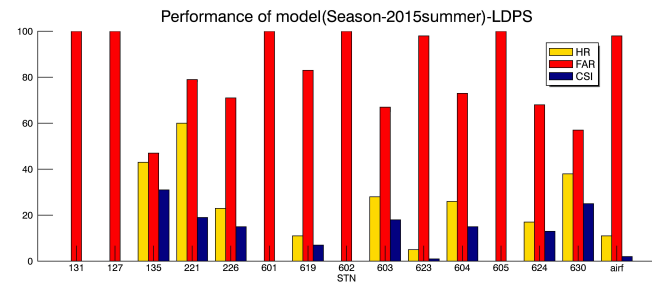


그림 4.67. 2015년 여름 예측성능 (LDPS)

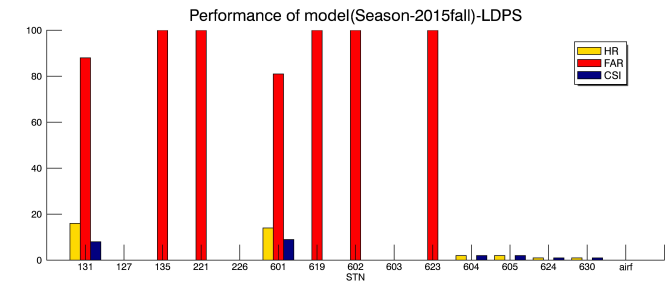


그림 4.68. 2015년 가을 예측성능 (LDPS)

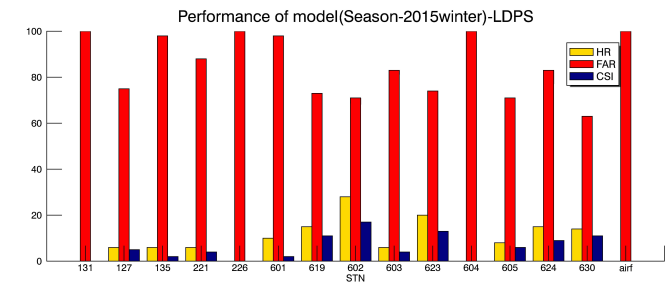


그림 4.69. 2015년 겨울 예측성능 (LDPS)

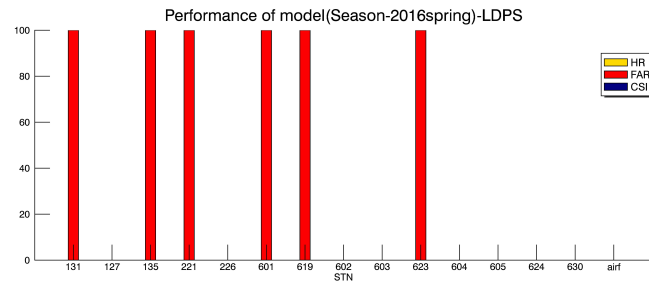


그림 4.70. 2016년 봄 예측성능 (LDPS)

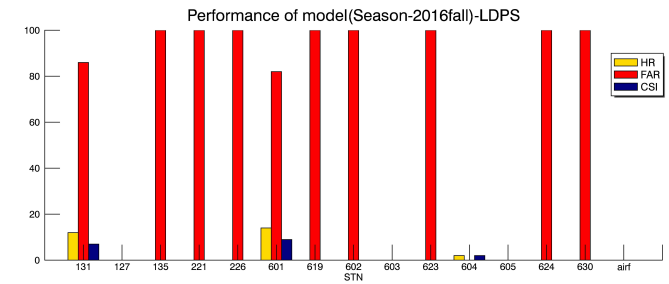


그림 4.72. 2016년 가을 예측성능 (LDPS)

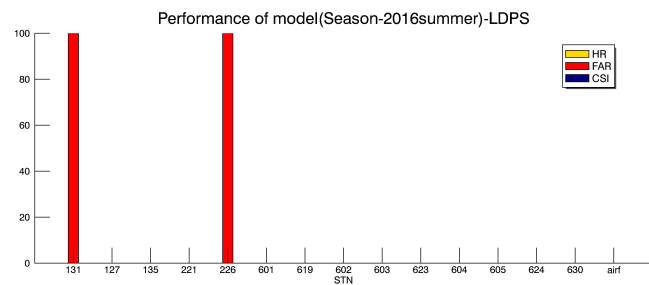


그림 4.71. 2016년 여름 예측성능 (LDPS)

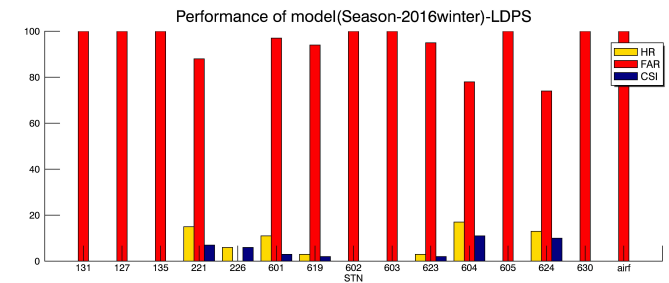


그림 4.73. 2016년 겨울 예측성능 (LDPS)

봄 (3,4,5월) 여름(6,7,8월) 가을(9,10,11월) 겨울(12,1,2월)로 분류하여 시정값과 LDPS 모델 예측값의 예측성능을 분석해 보았다. 겨울의 예측성능이 가장 좋게 나왔고 지역별로 비교했을 때 대부분 모든 지역의 FAR 값이 100에 가깝다. 또한 연도별로 비교했을 때 2015년이 2016년 보다 HR 값은 높고 FAR값이 낮은 값으로 나왔지만 대체적으로 두 해 모두 FAR 값이 커 비교에 의미가 없고 LDPS 모델의 예측성능은 떨어진다고 해석할 수 있다.

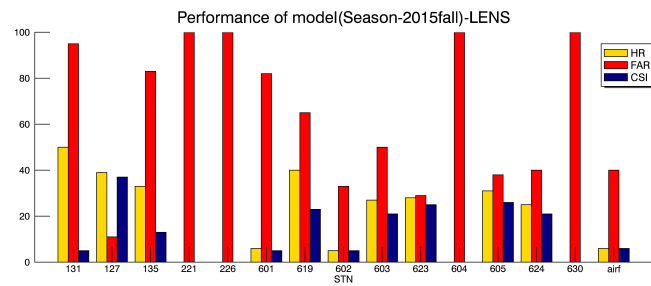


그림 4.74. 2015년 가을 예측성능 (LENS)

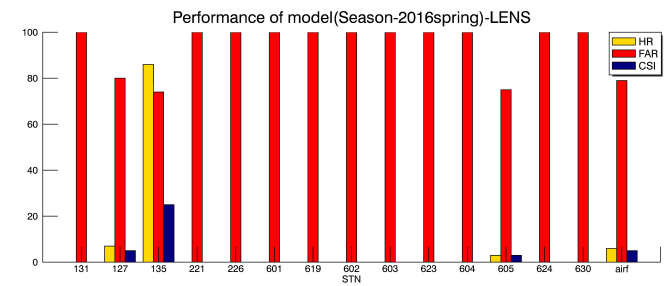


그림 4.76. 2016년 봄 예측성능 (LENS)

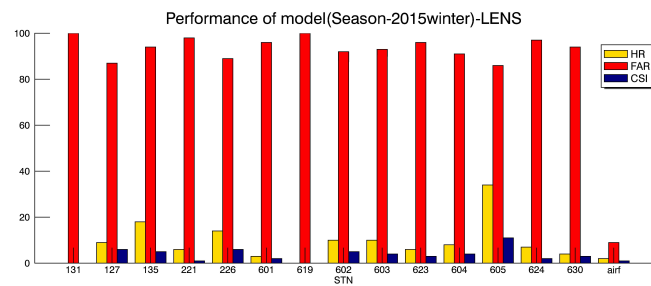


그림 4.75. 2015년 겨울 예측성능 (LENS)

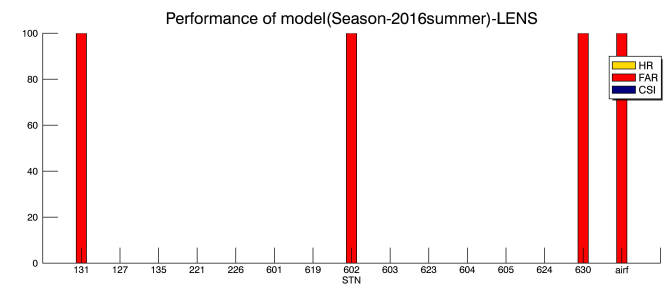


그림 4.77. 2016년 여름 예측성능 (LENS)

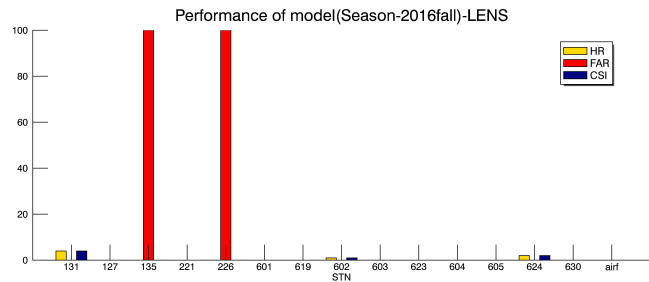


그림 4.78. 2016년 가을 예측성능 (LENS)

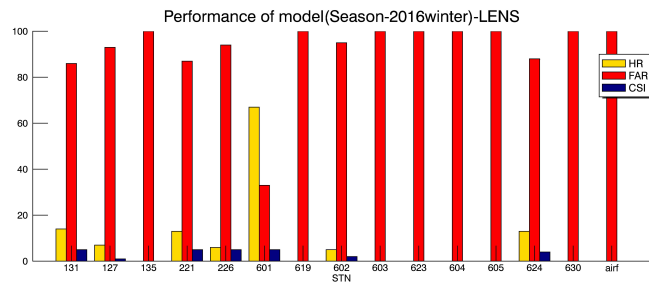


그림 4.79. 2016년 겨울 예측성능 (LENS)

봄 (3,4,5월) 여름(6,7,8월) 가을(9,10,11월) 겨울(12,1,2월)로 분류하여 시정값과 LENS 모델 예측값의 예측성능을 분석해 보았다. 겨울의 예측성능이 가장 좋게 나왔고 지역별로 비교했을 때 충주(127), 추풍령(135)이 가장 좋게 나왔다. 대체적으로 두 해 모두 FAR 값이 크고 LDPS와 LENS의 예측성능은 낮다.

지금까지 모델별 예측성능 및 RMSE, 상관계수의 비교에서 보았듯이 충청북도에 대한 수치모델의 안개예측성능은 대체로 높지 않았다. 이에 본 연구에서는 충청북도 복사안개 및 충주호 주변에서 발생하는 증기안개의 예측식을 개발하고 2017년 가을부터 검증 과정을 거쳐 영항예보 도로구간에 적용할 예정이다.

제5장 충청북도 복사안개 예측지수(FSI) 개발

제1절 복사안개 FSI 개발

1. 미 공군 FSI 적용 및 검증

FSI(Fog Stability Index)는 1970년대 후반 미 공군에서 개발한 경험식(Reymann et al, 1998)로, 복사안개 생성 가능성을 가늠하기 위한 예측식(식 ②)이다.

$$FSI = 2(T - T_d) + 2(T - T_{850}) + WS_{850} \dots\dots\dots \text{식 ②}$$

T : 지상기온, T_d : 지상노점온도, T_{850} : 850hPa 기온, WS_{850} : 850hPa 풍속

식 (1)에서 첫번째 항은 지상 습수, 둘째 항은 지상~850hPa 대기 안정도, 마지막 항은 대기경계층 난류의 강도이다. 습도가 높고, 안정하고, 풍속이 약할수록 안개 형성에 유리하므로, 각 항의 크기가 작을수록 안개 발생 가능성이 높도록 설계하였다. FSI가 31 미만이면 안개 가능성 높음, 31 이상 55 이하이면 보통, 55 초과이면 낮음으로 판정한다.

미 공군 FSI를 충청북도에 그대로 적용해도 적절한지 알아보기 위해, 충청북도 5개 기상관서(청주, 충주, 제천, 보은, 추풍령)를 대상으로 FSI의 성능을 검증해 보았다. 대상 기간은 2014.1.1.부터 2017.3.31.까지 매시자료를 사용하였고, 각 지점 ASOS 관측자료 중 시정, 기온, 노점온도와 UM국지모델 00, 06, 12, 18UTC 초기장 및 +01~+05h 예측장에서 추출한 850hPa 기온, 850hPa 풍속을 사용하였다. 충청북도 지역에는 고층 관측 지점이 없어 UM국지모델 초기장과 가까운 예측 시간대로 대신하였다. 미 공군 FSI를 그대로 차용하고, FSI가 31 미만일 때 안개 예보로 판정, 시정 1000m 이하일 때 안개로 정의하였다. 미 공군 FSI의 숙련도를 검증하기 위해 표 6.1.의 판정표와 측정 지표 CSI(Critical Success Index, 정확도), HR(Hit Ratio, 적중률), FAR(False Alarm Ratio, 오보율)를 사용하였고, 이들 지표는 다음과 같다.

$$CSI = \text{Hit} / (\text{Hit} + \text{Fault} + \text{Miss})$$

$$HR = \text{Hit} / (\text{Hit} + \text{Miss})$$

$$FAR = \text{Fault} / (\text{Hit} + \text{Fault})$$

표 5.1. 판정표

		관측(시정)	
		1km 미만	1km 이상
예보 (FSI)	31 미만	Hit	Fault
	31 이상	Miss	Negative correct

표 5.2. 미 공군 FSI 충청북도 5개 관서 검증 결과

	CSI	HR	FAR
충주	0.0132	1	0.9868
청주	0.0113	0.9569	0.9987
추풍령	0.0126	0.9301	0.9874
제천	0.0091	0.9787	0.9909
보은	0.0362	0.9687	0.9637

검증 결과 충청북도 모든 기상관서에서 CSI가 0.1 미만, FAR는 0.95 이상으로 속련도가 매우 저조하다. CSI와 FAR에 비해 HR이 매우 높은 것은 상대적으로 Miss가 적고 Fault가 많음을 의미한다. 즉 안개가 끼지 않을 가능성이 큰데도 안개 발생 가능성이 있다고 예보할 때가 많다는 것을 말한다.

충청북도 지역의 안개 예보에 미 공군 FSI를 그대로 사용하는 것은 적절하지 않으므로, 더 속련도가 높은 예측 지수식을 구하기 위해 지역의 기상이나 지리적 특성을 고려하여 수정해야 한다. 그래서 일단 안개 판정 임계값을 수정해 보았다.

2. FSI 최적임계값 조사

앞서 기존 FSI가 충청북도 지역의 안개를 과대 모의한다는 사실을 알았다. 만약 임계값을 낮춰 과대 모의를 줄인다면 보다 좋은 예측성능을 얻을 수 있을 것이다. 이 가설이 맞는지 확인하기 위해 미 공군 FSI의 임계값을 1부터 50까지 1씩 바꾸어가며 CSI, HR, FAR을 구하였다. 대상 기간과 사용한 자료는 6.1절과 동일하다.

표 5.3. 임계값을 수정한 FSI 충청북도 5개 관서 검증 결과

	임계값 (최대 CSI)	임계값 (최대 HR)	임계값 (최소 FAR)	최대 CSI	최소 FAR
충주	7	29	2	0.07	0.93
청주	7	38	5	0.13	0.83
추풍령	4	50	3	0.07	0.92
제천	5	50	5	0.02	0.98
보은	5	47	3	0.10	0.88

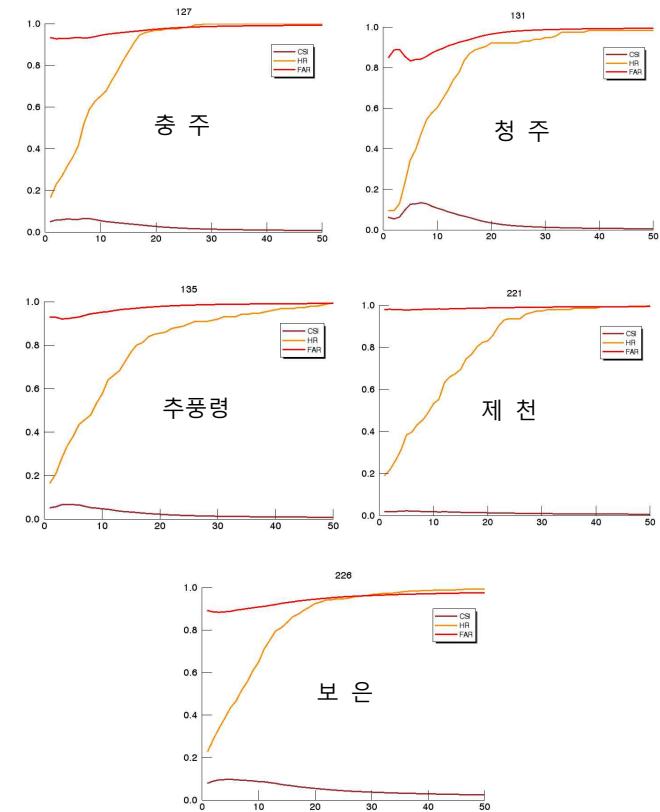


그림 5.1. 미 공군 FSI의 임계값 변화에 따른 속련도

x축 : 안개 판정 임계값, y축 : 속련도

5개 관서 최대 HR은 모두 0.99~1로 계산되어 최적 임계값을 선택하는데 변별력이 떨어지므로, 표 5.3에는 넣지 않았다. CSI를 최대로 하고 FAR을 낮도록 하는 임계값은 거의 한 자리 숫자로, 원래 FSI의 임계값인 31보다 매우 낮다. 최대 CSI인 임계값을 택하여도 보은과 청주의 CSI가 겨우 0.1을 넘고, 나머지 지점은 정확도가 크게 향상되지 않았다. 보다 만족스러운 숙련도를 얻으려면 임계값과 더불어 각 항의 계수를 바꾸거나 다른 변수를 투입해야 한다는 결론이 나온다.

그래서 이번에는 925hPa 등압면의 변수로 수정해서 앞서 수행한 과정을 반복하였다. 즉 $FSI = 2(T - T_d) + 2(T - T_{850}) + WS_{850}$ 과 $FSI = 2(T - T_d) + 2(T - T_{925}) + WS_{925}$ 의 숙련도를 기준 시정 등을 변경한 각 시나리오별로 비교하였다.

- 시나리오1 : 시정 1km 미만, 매시간, 2014.1~2017.3.
- 시나리오2 : 시정 1km 미만, 2~9KST, 2014.1~2017.3.
- 시나리오3 : 시정 10km 미만, 00, 06, 12, 18UTC, 2014~2015년
- 시나리오4 : 시정 10km 미만, 매시, 2014~2015년
- 시나리오5 : 시정 2km 미만, 매시, 2014~2015년
- 시나리오6 : 시정 4km 미만, 매시, 2014~2015년

※ 단, 강수에 의한 시정장애와 전선무 제외

시나리오 2와 3에서 매시간 자료를 넣지 않은 것은 다음과 같은 이유이다. 시나리오 2 2016년 연구보고서에서 충청북도 지역의 안개가 자주 발생한다고 알려진 시간대를 선택한 것이고, 시나리오 3에서는 이번 연구에서 벤치마킹한 논문(송윤영 & 염성수, 2013)에서 행한 절차대로 수행한 것이다. 또한 시나리오 3과 4를 비교하여, 850hPa 변수에 대하여 국지모델 예측장을 자료에 포함시킬 때와 초기장 자료만 사용했을 때 어떤 차이가 있는지를 알아보려는 목적도 있다. 시나리오 5와 6에서 정한 시정 기준값은 각각 지상관측지침에서 각각 강도 2와 1 박무로 구분하는 시정 상한값이다.

표 5.4. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기준 FSI의 최적 임계값과 숙련도(충주)

시나리오	등압면	CSI_CV	최대CSI	HR_CV	최대HR	FAR_CV	최저FAR
1	850	7	0.07	29	1.00	2	0.93
	925	1	0.05	18	1.00	1	0.95
2	850	7	0.07	27	1.00	2	0.92
	925	1	0.05	18	1.00	1	0.95
3	850	36	0.49	50	0.93	2	0.14
	925	29	0.49	50	0.97	1	0.22
4	850	36	0.48	50	0.93	1	0.18
	925	31	0.48	50	0.97	1	0.29
5	850	7	0.11	49	0.99	4	0.83
	925	1	0.09	42	1.00	1	0.88
6	850	24	0.21	50	0.98	4	0.65
	925	18	0.21	50	1.00	3	0.70

표 5.5. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기준 FSI의 최적 임계값과 숙련도(청주)

시나리오	등압면	CSI_CV	최대CSI	HR_CV	최대HR	FAR_CV	최저FAR
1	850	7	0.13	38	0.98	5	0.83
	925	1	0.12	43	1.00	1	0.86
2	850	7	0.14	38	0.99	5	0.84
	925	1	0.11	39	1.00	1	0.87
3	850	36	0.41	50	0.92	5	0.11
	925	28	0.41	50	0.96	1	0.21
4	850	39	0.42	50	0.92	1	0.19
	925	30	0.42	50	0.97	1	0.23
5	850	8	0.12	48	0.99	1	0.76
	925	2	0.13	42	1.00	1	0.80
6	850	20	0.20	50	0.98	1	0.40
	925	16	0.19	50	1.00	1	0.60

CSI_CV: 임계값 (최대CSI), HR_CV: 임계값 (최대HR), FAR_CV: 임계값 (최저FAR)

표 5.6. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기준 FSI의 최적 임계값과 숙련도(추풍령)

시나리오	등압면	CSI_CV	최대CSI	HR_CV	최대HR	FAR_CV	최저FAR
1	850	4	0.07	50	0.99	3	0.92
	925	1	0.04	46	1	1	0.95
2	850	3	0.08	40	1	3	0.91
	925	1	0.05	37	1	1	0.95
3	850	26	0.35	50	0.96	16	0.50
	925	19	0.34	48	0.98	1	0.46
4	850	27	0.36	50	0.96	1	0.45
	925	20	0.35	50	0.99	1	0.45
5	850	9	0.08	50	0.97	1	0.85
	925	1	0.08	46	0.99	1	0.90
6	850	16	0.18	50	0.98	1	0.68
	925	10	0.17	50	1.00	1	0.75

표 5.7. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기준 FSI의 최적 임계값과 숙련도(제천)

시나리오	등압면	CSI_CV	최대CSI	HR_CV	최대HR	FAR_CV	최저FAR
1	850	5	0.02	50	1.00	5	0.98
	925	2	0.02	35	1.00	1	0.98
2	850	5	0.02	31	1.00	5	0.97
	925	2	0.02	24	1.00	2	0.98
3	850	25	0.38	50	0.97	3	0.41
	925	18	0.39	50	0.99	1	0.46
4	850	29	0.41	50	0.98	1	0.40
	925	20	0.41	50	0.99	1	0.45
5	850	15	0.05	50	1.00	15	0.95
	925	7	0.05	40	1.00	7	0.95
6	850	20	0.15	50	0.99	11	0.82
	925	10	0.15	44	1.00	1	0.82

CSI_CV: 임계값 (최대CSI). HR_CV: 임계값 (최대HR), FAR_CV: 임계값 (최저FAR)

표 5.8. 시나리오별 850hPa, 925hPa 기준 FSI의 최적 임계값과 숙련도(보은)

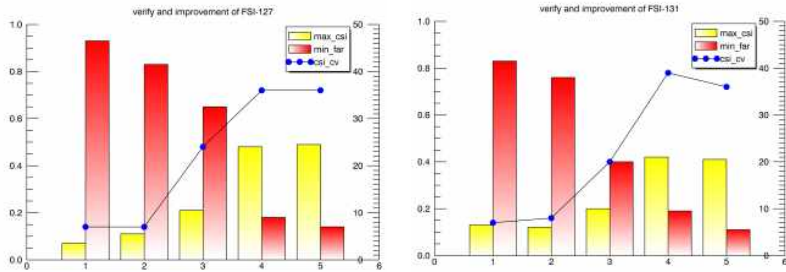
시나리오	등압면	CSI_CV	최대CSI	HR_CV	최대HR	FAR_CV	최저FAR
1	850	5	0.10	47	0.99	3	0.88
	925	1	0.09	39	0.99	1	0.90
2	850	5	0.11	36	1.00	3	0.87
	925	1	0.10	29	1.00	1	0.90
3	850	28	0.51	50	0.97	5	0.18
	925	19	0.51	49	0.98	3	0.25
4	850	30	0.51	50	0.96	1	0.16
	925	22	0.51	50	0.98	1	0.24
5	850	13	0.17	50	0.99	3	0.76
	925	2	0.17	43	0.99	1	0.79
6	850	18	0.30	50	0.99	1	0.54
	925	11	0.30	50	0.99	1	0.58

CSI_CV: 임계값 (최대CSI). HR_CV: 임계값 (최대HR), FAR_CV: 임계값 (최저FAR)

대체로 850hPa보다 925hPa의 최적 임계값이 더 낮다. 또한 850hPa에 대한 FSI가 CSI, FAR는 925hPa와 비슷하거나 다소 양호한 결과가 나왔다. 따라서 향후 연구에서는 850hPa의 자료만을 다루기로 한다. 925hPa보다 850hPa 자료가 통상 일변화가 적고 대체로 모델도 안정적으로 모의하기 때문에 이런 결과가 나온 것으로 추측한다.

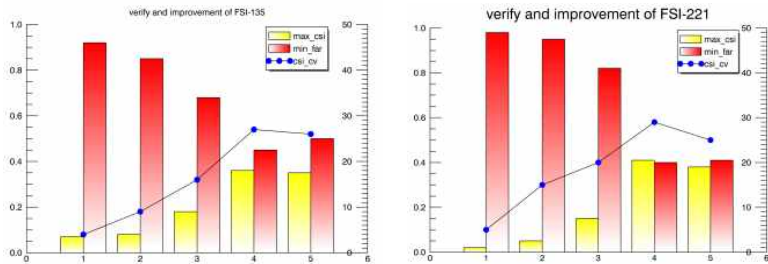
850hPa 기온과 풍속을 초기장만 사용한 시나리오 3과, +5h까지의 예측장까지 사용한 시나리오 4를 비교하면 최적 숙련도에는 모두 큰 차이가 없고, 최적 임계값도 동일하거나 시나리오 4가 시나리오 3에 비해 1~4 가량 높다.

기준 시정이 길어질수록 임계값과 숙련도가 증가하는 경향이 있다. 시정이 악화될 가능성이 높은 환경이 주어지면 FSI값이 낮아지도록 설계되었으므로, 기준 시정의 증가에 따라 임계값이 증가하는 것은 타당한 결론이라 할 수 있다. 또한 CSI가 증가하고 HR이 감소하는 것은, 표본에 비해 시나리오 해당 사례의 비율이 높기 때문인 것으로 추정된다.



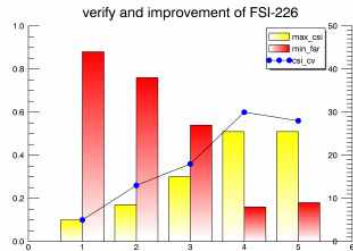
< 충 주 >

< 청 주 >



< 추 풍 령 >

< 제 천 >



< 보 은 >

그림 5.2. 충청북도 5개 관서 미 공군 FSI(850hPa)의 시나리오별

임계값(최대 CSI, 청색 실선)과 최대 CSI(황색), 최소 FAR(적색)

X축 1번: 시정 1km 미만, 2번: 시정 2km 미만, 3번: 시정 4km 미만,
4번: 시정 10km 미만, 매시 5번 : 시정 10km 미만, 00, 06, 12, 18UTC

3. 수정 FSI 최적계수 실험(1)

기존 FSI의 임계값을 바꾸는 것만으로는 한계가 있기 때문에, 예측식 각 항의 계수를 바꿔보았다. 이 때 임계값은 2절에서 수행한 실험에서 CSI가 가장 높았던 값으로 지정하였다. $FSI = a(T - T_d) + b(T - T_{850}) + cWS_{850}$ 의 각 항의 계수 a, b, c에 0~100 범위에서 1씩 늘려서 대입하고, 가장 높은 CSI를 나타내는 계수로 수정한다. 그 후 수정 FSI의 숙련도를 기존 FSI와 비교하여 보았다. 시나리오는 다음과 같다.

- 시나리오1 : 시정 1km 미만, 매시
- 시나리오3 : 시정 10km 미만, 00, 06, 12, 18UTC
- 시나리오4 : 시정 10km 미만, 매시
- 시나리오5 : 시정 2km 미만, 매시
- 시나리오6 : 시정 4km 미만, 매시

대상 지점 및 자료는 5.2의 실험과 동일하며, 자료 기간은 2014년~2015년이다. 2016년부터 2017년 3월까지의 자료는 수정 FSI의 성능을 검증하기 위한 자료로 활용하였다. 5.2절 실험에서 시나리오 2는 시나리오 1과 유의미한 차이가 없어 제외하였다. (표 5.9~13에서 시나리오 번호 아래에 있는 숫자는 안개예보 임계값이다.)

표 5.9. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(충주)

시나리오	최적	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (7)	기존	2	1	1	0.06	0.59	0.93
	CSI	29	1	0	0.24	0.39	0.61
	FAR	97	5	2	0.05	0.06	0.14
3 (36)	기존	2	1	1	0.48	0.80	0.46
	CSI	6	0	0	0.53	0.8	0.39
	FAR	3	0	97	0	0	0
4 (36)	기존	2	1	1	0.48	0.79	0.45
	CSI	6	0	0	0.51	0.78	0.4
	FAR	99	3	4	0	0	0.2
5 (7)	기존	2	1	1	0.11	0.30	0.85
	CSI	6	1	0	0.21	0.42	0.7
	FAR	100	1	0	0.03	0.03	0.07
6 (24)	기존	2	1	1	0.21	0.66	0.76
	CSI	10	0	0	0.35	0.68	0.59
	FAR	75	4	4	0.10	0.10	0.6

표 5.10. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(청주)

시나리오	최적	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (7)	기존	2	1	1	0.13	0.54	0.86
	CSI	25	1	0	0.38	0.42	0.21
	FAR	0	1	18	0.01	0.01	0.50
3 (36)	기존	2	1	1	0.41	0.78	0.53
	CSI	6	0	1	0.47	0.67	0.39
	FAR	0	2	86	0	0	0
4 (39)	기존	2	1	1	0.42	0.81	0.53
	CSI	5	1	0	0.46	0.77	0.46
	FAR	0	6	96	0	0	0
5 (8)	기존	2	1	1	0.11	0.26	0.83
	CSI	7	1	0	0.25	0.44	0.63
	FAR	0	2	19	0	0	0
6 (20)	기존	2	1	1	0.20	0.48	0.74
	CSI	6	1	0	0.26	0.62	0.69
	FAR	0	3	49	0	0	0

표 5.11. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(추풍령)

시나리오	최적	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (4)	기존	2	1	1	0.07	0.38	0.93
	CSI	8	1	0	0.18	0.33	0.70
	FAR	5	0	1	0.10	0.10	0
3 (26)	기존	2	1	1	0.35	0.71	0.60
	CSI	9	0	0	0.41	0.63	0.45
	FAR	3	0	62	0	0	0
4 (27)	기존	2	1	1	0.36	0.73	0.59
	CSI	10	0	0	0.43	0.64	0.43
	FAR	8	0	84	0	0	0
5 (9)	기존	2	1	1	0.08	0.35	0.90
	CSI	9	0	0	0.29	0.61	0.65
	FAR	8	0	6	0	0	0
6 (16)	기존	2	1	1	0.18	0.58	0.79
	CSI	13	0	0	0.36	0.61	0.53
	FAR	13	0	15	0	0	0

표 5.12. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(제천)

시나리오	최적	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (5)	기존	2	1	1	0.02	0.40	0.98
	CSI	8	0	0	0.13	0.23	0.78
	FAR	25	0	0	0.07	0.07	0.40
3 (25)	기존	2	1	1	0.38	0.73	0.56
	CSI	10	0	0	0.48	0.68	0.37
	FAR	4	0	36	0	0	0
4 (29)	기존	2	1	1	0.41	0.82	0.55
	CSI	10	0	0	0.5	0.76	0.41
	FAR	26	0	15	0	0	0
5 (15)	기존	2	1	1	0.05	0.54	0.95
	CSI	16	0	0	0.19	0.43	0.74
	FAR	56	2	0	0.01	0.01	0.25
6 (20)	기존	2	1	1	0.15	0.70	0.84
	CSI	14	0	0	0.30	0.69	0.65
	FAR	71	3	0	0.10	0.10	0.09

표 5.13. 기존 FSI와 1차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(보은)

시나리오	최적	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (5)	기존	2	1	1	0.09	0.47	0.89
	CSI	32	1	0	0.19	0.54	0.77
	FAR	85	1	3	0.01	0.01	0
3 (28)	기존	2	1	1	0.50	0.79	0.42
	CSI	7	0	0	0.54	0.8	0.37
	FAR	18	0	100	0	0	0
4 (30)	기존	2	1	1	0.50	0.80	0.42
	CSI	7	1	0	0.55	0.78	0.35
	FAR	25	2	94	0	0	0
5 (13)	기존	2	1	1	0.17	0.62	0.81
	CSI	66	0	0	0.29	0.64	0.66
	FAR	39	9	86	0	0	0
6 (18)	기존	2	1	1	0.30	0.69	0.66
	CSI	19	1	0	0.42	0.72	0.50
	FAR	10	0	100	0	0	0

대체로 기존 FSI에 비해 적게는 0.4에서 많게는 2.5의 상승폭으로 CSI가 향상되었고, FAR도 전반적으로 감소하는 양상을 보였다. 다만 최저 FAR을 기준으로 계수를 선정하게 되면 CSI나 HR이 낮게 나오기 때문에, FAR의 개선 효과가 많이 줄어들더라도 CSI를 기준으로 계수를 정하였다.

4. 수정 FSI 최적계수 실험(2)

복사안개 FSI를 세밀하게 다듬기 위해, $FSI = a(T - T_d) + b(T - T_{850}) + cWS_{850}$ 의 각 항의 계수 a, b, c에 0부터 0.1씩 늘려가며 대입하고, CSI를 최대화 하는 임계값을 5.2절과 동일한 방법으로 다시 검색하였다. 다만 연산 시간 단축을 위해, 각 시나리오마다 계수의 범위를 임의로 지정하였다. 각 지점마다 할당한 계수의 범위는 아래와 같다. 시나리오, 대상 지점, 기간, 자료는 5.3절과 동일하다. 표 5.15~19에서 첫째 열의 숫자는 시나리오 번호, 소괄호 안에 있는 숫자는 안개 예보 임계값이다.

표 5.14. 각 지점과 시나리오의 계수 범위(0부터) 상한값

시나리오	a	b	c	시나리오	a	b	c
1	40	5	5	1	30	5	5
3	10	5	5	3	10	5	5
4	10	5	5	4	10	5	5
5	10	5	5	5	10	5	5
6	20	5	5	6	10	5	5

- 충 주 -

- 청 주 -

시나리오	a	b	c	시나리오	a	b	c
1	20	5	5	1	40	5	5
3	20	5	5	3	10	5	5
4	20	5	5	4	10	5	5
5	20	5	5	5	70	5	5
6	20	5	5	6	30	5	5

- 추풍령, 제천 -

- 보 은 -

표 5.15. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(충주)

	FSI	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (31)	기존				0.0700	1.0000	0.9300
	1차	29	1	0	0.2400	0.3853	0.6111
	2차	34.4	1.5	0.2	0.2426	0.3028	0.4500
3 (36)	기존				0.4838	0.9304	0.1429
	1차	6	0	0	0.4609	0.7655	0.4634
	2차	5.6	0.4	0.5	0.5281	0.7543	0.3621
4 (36)	기존				0.4750	0.9266	0.1818
	1차	6	0	0	0.5092	0.7760	0.4031
	2차	5.5	0	0.7	0.5105	0.7491	0.3842
5 (17)	기존				0.1196	0.9922	0.8309
	1차	6	1	0	0.1911	0.4104	0.7367
	2차	4.7	0.6	0.2	0.2038	0.4753	0.7371
6 (24)	기존				0.2087	0.9820	0.6533
	1차	10	0	0	0.3340	0.6719	0.6009
	2차	9.9	0.1	0	0.3345	0.6756	0.6016

표 5.16. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(청주)

	FSI	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (31)	기존				0.1300	0.9800	0.8300
	1차	25	1	0	0.3827	0.4247	0.2051
	2차	21.3	1	0.3	0.4051	0.4384	0.1579
3 (36)	기존				0.4111	0.9235	0.1053
	1차	6	0	1	0.4619	0.6646	0.3875
	2차	5.6	0.2	0.7	0.4759	0.7205	0.4163
4 (36)	기존				0.4229	0.9232	0.1897
	1차	5	0	1	0.4665	0.7626	0.4542
	2차	4.9	0.6	0.7	0.4680	0.7469	0.4438
5 (17)	기존				0.1276	0.9852	0.7586
	1차	7	1	0	0.2418	0.4335	0.6466
	2차	6.6	0.8	0.2	0.2623	0.4187	0.5874
6 (24)	기존				0.2020	0.9794	0.3966
	1차	6	1	0	0.2528	0.6110	0.6986
	2차	6	0.6	0.3	0.2576	0.5979	0.6884

표 5.17. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(추풍령)

	FSI	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (31)	기존				0.0700	0.9900	0.9200
	1차	8	1	0	0.1845	0.3282	0.7034
	2차	5.3	0.1	0	0.2398	0.4046	0.6294
3 (26)	기존				0.3434	0.9525	0.5073
	1차	9	0	0	0.4102	0.6273	0.4577
	2차	6.4	0.2	0.6	0.4198	0.6820	0.4780
4 (27)	기존				0.3571	0.9570	0.4498
	1차	10	0	0	0.4296	0.6421	0.4352
	2차	9.2	0.2	0	0.4319	0.6616	0.4456
5 (19)	기존				0.0826	0.9703	0.8511
	1차	9	0	0	0.2615	0.5838	0.6786
	2차	9.7	0.1	0	0.2740	0.5243	0.6353
6 (15)	기존				0.1811	0.9823	0.6839
	1차	12	0	0	0.3543	0.6039	0.5385
	2차	11.6	0	0	0.3543	0.6039	0.5385

표 5.18. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(제천)

	FSI	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (31)	기존				0.0200	1.0000	0.9800
	1차	8	0	0	0.1258	0.2317	0.7841
	2차	5.8	0	0.2	0.1558	0.2927	0.7500
3 (25)	기존				0.5027	0.9650	0.1762
	1차	10	0	0	0.4795	0.6744	0.3760
	2차	8.4	0.1	0.1	0.4925	0.7481	0.4096
4 (29)	기존				0.5023	0.9602	0.1553
	1차	10	0	0	0.4923	0.7559	0.4147
	2차	10.1	0	0	0.4937	0.7528	0.4107
5 (15)	기존				0.0470	0.9945	0.9473
	1차	16	0	0	0.1705	0.4082	0.7736
	2차	16.1	0.1	0	0.1709	0.4027	0.7710
6 (20)	기존				0.1466	0.9931	0.8252
	1차	14	0	0	0.2913	0.6823	0.6630
	2차	13.6	0	0.1	0.3011	0.6699	0.6465

표 5.19. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 계수 및 숙련도 비교(보은)

	FSI	a	b	c	CSI	HR	FAR
1 (31)	기존				0.1000	0.9900	0.8800
	1차	32	1	0	0.1914	0.5353	0.7704
	2차	30.1	0.8	0.4	0.1976	0.3967	0.7176
3 (28)	기존				0.5027	0.9650	0.1762
	1차	7	0	0	0.5369	0.7972	0.3781
	2차	6.7	0	0.1	0.5438	0.8069	0.3748
4 (30)	기존				0.5023	0.9602	0.1553
	1차	7	1	0	0.5419	0.7713	0.3544
	2차	6.5	0	0.4	0.5521	0.8053	0.3629
5 (13)	기존				0.1681	0.9912	0.7595
	1차	33	2	0	0.2741	0.6338	0.6744
	2차	63.9	0.4	0	0.2922	0.6793	0.6611
6 (18)	기존				0.2940	0.9848	0.5366
	1차	19	1	0	0.4053	0.7049	0.5119
	2차	18.7	0.9	0	0.4210	0.7238	0.4984

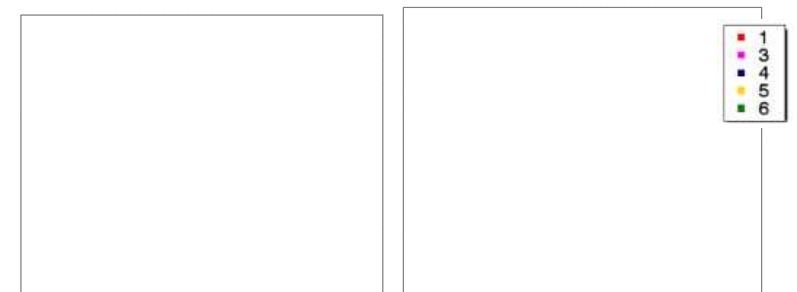


그림 5.3. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화 (충주)

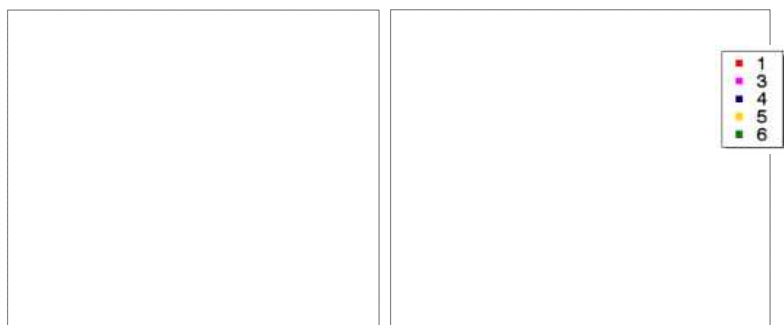


그림 5.4. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화(청주)

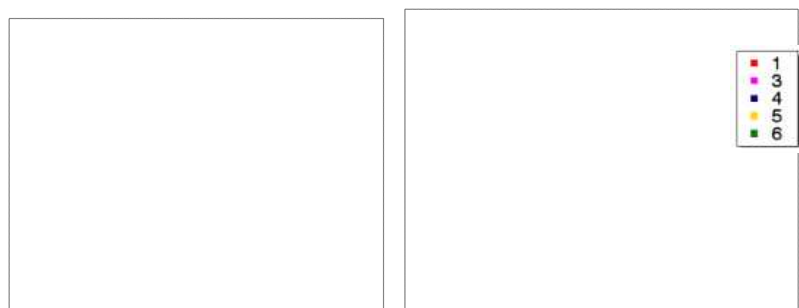


그림 5.5. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화(추풍령)

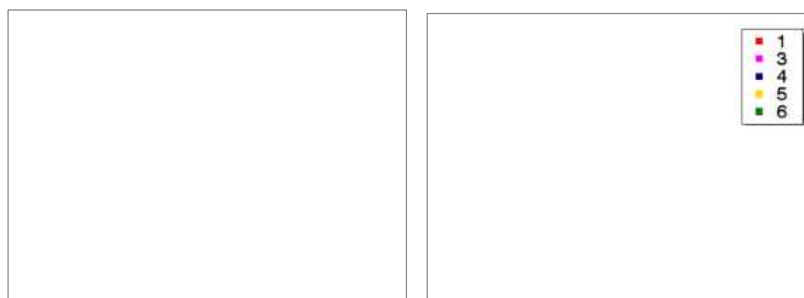


그림 5.6. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화(제천)

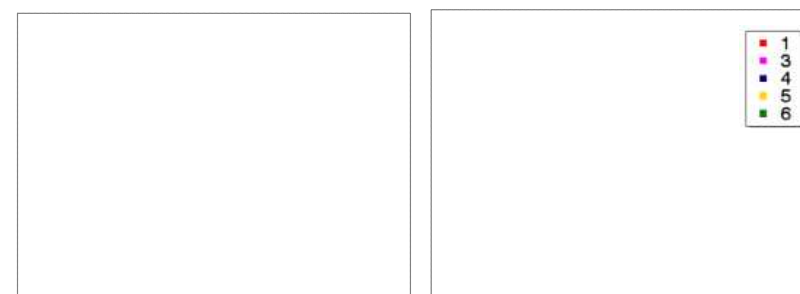


그림 5.7. 기존 FSI와 1차·2차 수정 FSI의 CSI(좌)와 FAR(우) 변화 (보은)

1차 수정 FSI는 대기 안정도 ($T - T_{850}$)항 또는 대기하층 풍속 WS_{850} 의 계수가 0으로 나와서 무시되는 경우가 많았으나, 2차 수정에서는 그러한 현상이 많이 줄어들었다. 그러나 완전히 해결된 것은 아니다. 만약 계수가 0인 항을 살리기 위해서 0.1 정도의 크기가 적은 계수를 대입해도 속련도에 크게 차이가 나지 않는다면, 넣는 것이 이론적으로나 실제 예보에 적용할 때 더 바람직할 것으로 보인다.

모든 유형에서 지상 습수 ($T - T_{850}$)항의 계수가 가장 크게 나타나며, 기존 시나리오에서 기여도의 비가 2:1:1이었던 것과 비교하면 다른 항에 대한 기여율이 상당히 높다. 대부분 2차 수정을 거치면서 어느 정도 기여도가 과도하게 높은 현상이 완화되었다. 하지만 충주 시나리오 1과 보은 시나리오 5는 2차 수정 이후 기여도가 증가하였고, 특히 보은 시나리오 5는 증가가 심하다. 대기 안정도 ($T - T_{850}$)항의 계수는 1차 수정에서 0이었던 시나리오는 2차 수정에서 0.1~0.6으로 대부분 증가하였으나, 1~2이었던 시나리오는 충주 시나리오 1을 제외하면 모두 1 이하로 감소하였다. 하층풍속 WS_{850} 의 계수도 대기 안정도 항과 비슷한 양상이 나타난다.

그림 6.3이 보여주는 것처럼, 2차례의 수정을 거치면서 CSI가 대부분의 시나리오에서 0.2 이상으로 향상되는 성과가 있었다. 특히 안개 예보에 가장 중요한 시나리오 1의 CSI가 높아진 점은 주목할 만하다. 그러나 FAR은 일부 시나리오에서 오히려 증가하였다.

5. 수정 FSI 검증

수정 FSI를 최근 안개발생 및 비발생 사례에 적용하여 그 성능을 검증해보았다. 2017년 1월 1일~9월 12일 사이 안개특보 발표일에 영향예보 대상 5개 도로구간의 국지모델에서 예측한 시정과 fraction(안개발생확률), 국지양상불모델이 예측한 안개 발생확률과 FSI를 비교하였다. (5절에서는 별도의 언급이 없는 한 수정 FSI를 FSI로 줄여 사용하겠다.) 이를 위해 슈퍼컴퓨터 4호기 로그인서버에 FSI 검증 웹페이지를 구축하여 실시간 또는 원하는 시점의 FSI를 검증할 수 있게 하였다. 그림 5.8에서 노란 색은 안개 발생 가능성 있음, 빨간색은 안개 발생 가능성이 높음을 의미한다. 전일 00UTC UM 국지모델에서 생산된 각 구간 중간 지점의 예상장으로 FSI를 계산하였다.

FSI	오늘(19일)												내일(10월 20일)											
	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12					
1 남한강대교-동충주IC (평택대전선)	171.16	113.61	89.49	126.19	100.06	70.78	95.92	91.9	74.67	66.82	74.54	73.12	59.24	63.17	121.04	155.79	202.82	246.31	316.14					
2 증평IC-진천IC (중부선)	106.95	63.94	60.45	44.11	50.66	41.89	34.36	36.73	34.16	31.86	29.89	24.36	23.69	21.47	30.66	60.83	99.26	135.44	178.15					
3 미호천 권역 (청주시)	113.56	91.26	70.93	74.05	74.83	64.41	55.23	55.53	51.15	44.27	44.02	42.55	37.01	33.8	53.81	95.22	125.26	163.63	195.11					
4 서청주IC (청주시)	96.62	87.3	63.62	64.49	55.16	52.92	42.23	38.64	35.03	32.51	29.79	27.35	27.22	26.59	44.2	88.5	121.26	156.76	187.9					
5 금강휴게소-옥천IC (경부선)	150.03	110.06	86.56	56.33	57.79	57.46	50.57	52.02	53.73	48.13	46.8	40.74	33.59	37.68	75.91	117.11	177.57	241.04	287.15					

그림 5.8. 실시간 FSI 검증 웹페이지

5.1. 안개발생일 검증(도로구간)

2017년 1월 1일부터 9월 12일 사이에 안개특보가 발표된 사례를 선정하여 모델과 FSI의 안개 발생 예측 여부를 조사해 보았다. 대상 사례는 총 33건이며 강수에 의한 안개일은 제외하였다. 단, 강수 종료 후 야간 복사냉각에 의한 안개 사례는 포함하였다. 국지모델 예측 시정, fraction 및 국지양상불모델의 안개발생확률, FSI의 안개 탐지확률(POD)을 비교 분석하였고, 그 결과는 표 5.20과 같다.

표 5.20 안개특보 발표시 LDPS, LENS, FSI의 예측 성능

	요소		지점	FSI의 POD(%)
	요소	값	지점	FSI의 POD(%)
국지 모델	시정(km)	5.3	평택-제천 고속도로 남한강 대교	18
	fraction(%)	9.3	경부고속도로 금강휴게소	24
LENS	안개확률(%)	2.2	중부고속도로 증평-진천	48
			미호천	56
			서청주 IC	48

안개특보 발표시 국지모델이 예측한 평균 시정은 5.3km 이고, 안개발생확률은 9.3%이며 LENS가 예측한 안개확률은 2.2%로 모델의 예측성능은 좋지 않았다.

안개가 발생한 날의 전일 00UTC의 FSI 지수가 31이하(안개발생 가능성 높음)로 예측한 것은 미호천주변 지점은 56%로 가장 높았고 평택-제천 고속도로의 남한강대교 지점이 18%로 가장 낮았다.

5.1의 FSI 검증방법은 도로구간의 관측값이 없어, 통계적으로 안개가 가장 빈번하게 발생하는 4시~7시 사이의 모델 예측값과 FSI를 비교한 것으로 정밀하지는 않다. 그래서 5.3에서 충청북도 기상관서인 청주, 충주, 보은지점의 FSI를 검증하였다

5.2. 안개 비발생일 검증(도로구간)

2017년 1월 1일부터 9월 12일 사이에 안개가 관측되지 않은 사례를 선정하여 모델 및 FSI를 검증해 보았다. 실험과 국지모델이 예측한 시정, fraction 및 국지양상불모델의 안개발생확률, 그리고 FSI를 비교 분석하였다.

총 27차례의 사례를 선정하였고 안개가 가장 많이 발생하는 4시~7시의 모델예측값과 FSI를 검증하였다. 그 결과는 아래의 표 5.21과 같다.

표 5.21 안개 비발생 사례의 LDPS, LENS, FSI의 예측 성능

			지점	FSI 모의 확률(%)
국지 모델	요소	값	평택-제천 고속도로 남한강 대교	6
	시정(km)	17.7	경부고속도로 금강휴게소	4
LENS	fraction(%)	1.4	중부고속도로 증평-진천	19
	안개확률(%)	1.5	미호천	14
			서청주 IC	18

안개가 발생하지 않았을 경우에는 국지모델이 예측한 평균시정은 17.7km이고, 안개발생확률은 1.4%이며 LENS가 예측한 안개확률은 1.5%로 모델의 예측성능은 안개가 발생했을 경우보다는 좋은 것으로 나타났다.

안개가 발생한 날의 전일 00UTC의 FSI 지수가 31이하(안개발생 가능성 높음)로 예측한 것은 금강휴게소 일대 구간이 4%로 가장 낮았고, 중부고속도로 증평-미호천 구간이 19%로 가장 높았다.

5.3. 안개발생일 검증(기상관서)

도로구간의 시정관측값의 부재를 보완하기 위해서 2016년 9월부터 2017년 3월까지 시정이 250m가 30분이상 지속된 사례를 선정하여 모델 및 FSI를 검증해 보았다. 실험과 국지모델이 예측 시정의 POD, 국지모델 fraction의 평균, FSI의 POD를 비교 분석하였다. 그 결과는 아래의 표 5.22와 같다

표 5.22 충청북도 기상관서의 안개발생일 국지모델과 FSI의 안개예측 성능

지점	LDPS 시정예측	LDPS fraction	FSI
충주	0 %	0 %	38%
청주	7 %	15 %	26%
보은	2 %	2 %	69%

안개가 발생한 사례일 전날 00UTC에 국지모델(LDPS)이 시정 1km 미만을 예측한 사례가 충주는 0 %, 청주는 7%, 보은 2%였다. 또한 안개발생확률도 충주는 0%, 청주는 15%, 보은은 2% 였다. 안개가 발생일에 대한 국지모델의 성능은 좋지 못했다. 하지만 세 지점에 대한 FSI가 31 이하인 비율은 충주 38%, 청주 26%, 보은 69%로 국지모델보다 성능이 월등히 높은 것을 확인할 수 있다.

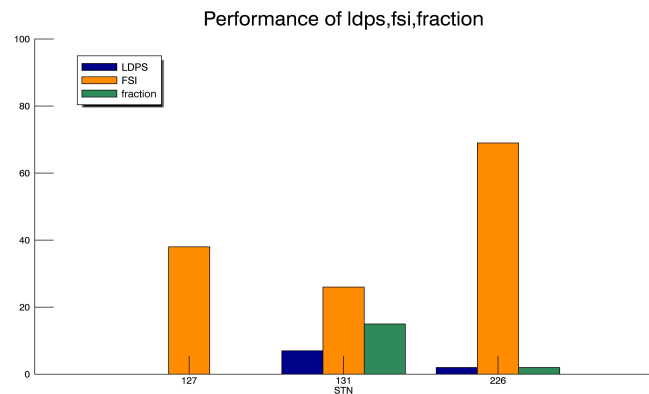


그림 5.9 국지모델과 FSI의 예측 성능

안개발생 시 시정관측값과 모델의 예측여부는 아래 표와 같다

표 5.23. 안개발생 시 국지모델과 FSI 성능 검증-충주

시각	시정	LDPS	예측	FSI	예측	fraction	예측
2016100401	160	11675	x	24.6	o	0	x
2016100402	134	8811	x	20.6	o	0	x
2016100403	150	8808	x	25.7	o	0	x
2016101506	91	2932	x	57.9	x	0	x
2016101507	94	3180	x	55.5	x	0	x
2016101903	116	21310	x	92.4	x	0	x
2016101904	173	11372	x	70.9	x	0	x
2016102004	134	4841	x	70.9	x	4.8	x
2016102005	81	3920	x	71.4	x	15.8	x
2016102006	124	7150	x	81.3	x	0	x
2016102007	134	8085	x	70.8	x	0	x
2016102600	196	13488	x	26.9	o	0	x
2016120804	111	3720	x	29.7	o	0	x
2016120805	97	3681	x	22.0	o	4.6	x
2016120806	113	5367	x	30.3	o	1.5	x
2016120807	141	6157	x	28.7	o	0	x
2016120808	156	5491	x	25.7	o	0	x
2016120809	166	8311	x	59.0	x	0	x
2017010107	229	10946	x	21.5	o	4.6	x
2017010108	130	11865	x	19.3	o	0	x
2017010109	215	12278	x	33.4	x	0	x
2017010708	142	8498	x	38.6	x	0	x
2017010709	94	10027	x	76.8	x	0	x
2017021406	96	5655	x	41.0	x	0	x
2017021407	86	7018	x	58.0	x	0	x
2017021408	108	8817	x	71.0	x	0	x
2017032801	71	9733	x	21.0	o	0	x
2017032802	72	9684	x	32.0	x	0	x
2017032803	71	8465	x	39.0	x	0	x
2017032804	86	7595	x	46.0	x	0	x
2017032805	75	6672	x	44.0	x	0	x
2017032806	144	6528	x	74	x	0	x

표 5.24. 안개발생 시 국지모델과 FSI 성능 검증-청주

시각	시정	LDPS	예측	FSI	예측	fraction	예측
2016100404	87	1393	x	3.0	o	54.1	o
2016100405	81	2084	x	2.9	o	34.5	x
2016100406	129	1943	x	3.0	o	36.3	x
2016101805	246	1317	x	47.4	x	37.5	x
2016101806	181	865	o	30.1	o	80.2	o
2016101807	249	1005	x	28.1	o	70.1	o
2016101905	228	5870	x	46.1	x	0	x
2016101907	231	4790	x	43.8	x	0	x
2016101908	213	6821	x	44.2	x	0	x
2016102004	114	1517	x	41.1	x	36.2	x
2016102007	163	413	o	44.2	x	95.8	o
2016102602	240	4035	x	64.8	x	0	x
2016102603	99	2887	x	71.1	x	5.9	x
2016102604	105	3502	x	44.1	x	0	x
2016102605	76	3545	x	43.8	x	0	x
2016102606	87	2468	x	49.0	x	0	x
2016102701	222	3938	x	85.4	x	0	x
2016102702	96	4287	x	67.3	x	0	x
2016102703	125	4855	x	57.0	x	0	x
2016102704	130	4566	x	41.6	x	0	x
2016102705	198	4904	x	32.2	x	0	x
2016120807	238	3419	x	38.0	x	0	x
2016120810	221	4711	x	30.5	o	0	x
2017012007	198	6528	x	21.4	o	0	x
2017021805	4	22222	x	143.4	x	0	x
2017032806	124	6298	x	76.2	x	1.2	x
2017032807	196	8055	x	60.7	x	0	x

표 5.25. 안개발생 시 국지모델과 FSI 성능 검증-보은

시각	시정	LDPS	예측	FSI	예측	fraction	예측
2016090902	188	31692	x	61.2	x	0	x
2016091506	128	8539	x	18.6	o	0	x
2016091507	181	10270	x	30.8	o	0	x
2016092307	220	20842	x	29.5	o	0	x
2016092602	208	7974	x	30.5	o	0	x
2016100323	138	7403	x	17	o	0	x
2016100400	62	6120	x	11.6	o	1.9	x
2016100401	59	5991	x	12.9	o	2	x
2016100402	74	7121	x	21	o	0	x
2016100403	127	7121	x	15.9	o	0	x
2016100404	114	4391	x	7.4	o	24.8	x
2016100405	216	2164	x	1.2	o	60.5	o
2016101503	51	12743	x	32	x	0	x
2016101504	44	10282	x	17	o	0	x
2016101505	54	13676	x	40	x	0	x
2016101506	68	11720	x	24	o	0	x
2016101507	65	13872	x	37	x	0	x
2016101508	87	16383	x	63	x	0	x
2016101509	241	18662	x	92	x	0	x
2016101801	58	6685	x	21	o	0.2	x
2016101802	47	6374	x	19.6	o	0	x
2016101803	124	6374	x	23.2	o	0	x
2016101804	65	5468	x	17	o	0	x
2016101805	76	4299	x	12.8	o	12.5	x
2016101806	89	4517	x	13.8	o	10.6	x
2016101807	83	5719	x	20.1	o	0	x
2016101808	127	8134	x	33.7	x	0	x
2016101809	182	13381	x	73	x	0	x
2016101901	156	13107	x	24.5	o	0	x
2016101902	88	13434	x	25.9	o	0	x
2016101903	63	16522	x	28.8	o	0	x
2016101904	128	17295	x	27.4	o	0	x
2016101905	87	18507	x	30.6	o	0	x
2016101906	48	18295	x	29.6	o	0	x
2016101907	49	16447	x	27.5	o	0	x
2016101908	162	20231	x	53.5	x	0	x

2016101909	196	22068	x	83.7	x	0	x
2016102002	50	5550	x	25.9	o	0	x
2016102003	55	5085	x	28.8	o	0	x
2016102004	57	4229	x	27.4	o	12.5	x
2016102005	60	4008	x	30.6	o	12.5	x
2016102006	77	2800	x	29.6	o	26.7	x
2016102007	77	2925	x	27.4	o	5	x
2016102008	79	4577	x	53.5	x	0	x
2016102009	117	5367	x	83.7	x	0	x
2016102523	107	20766	x	45	x	0	x
2016102600	82	16814	x	37.4	x	0	x
2016102601	85	13329	x	27.4	o	0	x
2016102602	122	6801	x	18.8	o	0	x
2016102603	145	4707	x	16	o	0	x
2016102604	209	5156	x	12.5	o	1.9	x
2016102605	88	5225	x	14.4	o	10.5	x
2016102606	80	7316	x	18	o	0	x
2016102607	102	5733	x	11.1	o	12.3	x
2016102608	167	9175	x	40.2	x	0	x
2016102701	63	13274	x	56.5	x	0	x
2016102702	63	14757	x	63.1	x	0	x
2016102703	81	12751	x	49	x	0	x
2016111101	189	6934	x	8.5	o	47.5	x
2016111102	144	9000	x	11.9	o	49.5	x
2016111103	121	15491	x	12.8	o	25.5	x
2016111104	205	15501	x	15.6	o	25.2	x
2016111106	162	16594	x	17.1	o	12.3	x
2016111107	143	23400	x	20.1	o	0	x
2016111207	171	15579	x	45.2	x	0	x
2016111208	128	15455	x	42.5	x	0	x
2016111209	211	22796	x	142.5	x	0	x
2016112200	126	10182	x	35.2	x	0	x
2016112201	71	10128	x	34.7	x	0	x
2016112202	94	7254	x	27.1	o	0	x
2016112702	138	13478	x	31.3	x	0	x
2016112703	118	12684	x	27.4	o	0	x
2016112704	181	14599	x	27.5	o	0	x
2016112705	182	14133	x	28.7	o	0	x
2016112706	190	13733	x	27.4	o	0	x

2016112707	151	16415	x	27.7	o	0	x
2016112708	153	19108	x	35.6	x	0	x
2016112709	159	21663	x	49.8	x	10.5	x
2016112719	52	17150	x	44.3	x	0	x
2016112720	49	14462	x	27.4	o	0	x
2016112721	53	10790	x	21.8	o	0	x
2016112722	56	8551	x	18.8	o	12.5	x
2016112723	57	8550	x	18.9	o	12.5	x
2016112800	80	6923	x	17.4	o	14.2	x
2016112801	115	8161	x	38.7	x	0	x
2016112802	127	9066	x	53.3	x	0	x
2016112803	72	7865	x	58.7	x	0	x
2016120807	72	299	o	12.6	o	69.2	o
2016120808	62	805	o	4.2	o	0.1	x
2016120809	108	4731	x	20.9	o	0	x
2016120810	82	6487	x	45.5	x	0	x
2016120811	135	8216	x	73.9	x	0	x
2016122103	49	15156	x	19.2	o	0.1	x
2016122104	62	16022	x	16	o	0	x
2016122105	69	15109	x	13.8	o	0	x
2016122106	122	14335	x	12.3	o	0	x
2016122107	229	14733	x	12.3	o	0	x
2016122108	79	17458	x	24.1	o	0	x
2016122109	124	18960	x	31.7	x	0	x
2017010105	91	6240	x	12.7	o	39.7	x
2017010106	66	7402	x	11.5	o	27.2	x
2017010107	81	8826	x	9.4	o	15	x
2017010108	69	8542	x	8.3	o	16.9	x
2017010109	107	11215	x	17	o	2.4	x
2017012006	182	5011	x	13	o	45.8	x
2017012007	152	12260	x	29.9	o	0	x
2017022003	151	28786	x	30.1	o	0	x

5.4. 특정기간 검증(2017년 9월~11월)

2017년 9월~11월 사이의 매일 4시~7시까지의 청주, 충주, 보은 지점의 시정계 자료와 수치모델(국지, 국지앙상블), FSI의 예측성능을 CSI로 비교해 보았다.

검증방법은 아래의 표 5.26과 같다.

표 5.26. CSI 검증방법

		FORECAST	
		FOGGY	CLEAR
OBSE	VED	A	B
	CLEAR	C	D

A: hits
B: missed
C: false alarm
D: correct negatives

$$CSI = \frac{A}{A + B + C}$$

5.4.1. 청주

청주지점의 모델별 CSI를 구하기 위하여 아래의 표와 같이 안개 발생일 및 비발생일로 나눠 매 시각 모의여부를 조사한 후 CSI를 구하였다.

표 5.27. 청주지점 안개 발생 시 모델별 안개모의 여부

안개 발생										
날짜			청주							
년월	일	시간	실황	LDPS	여부	LENS	여부	F SI	여부	비고
201709	25	4	987	9339	x	21760	x	13.4	o	
		5	855	10513	x	20811	x	15.2	o	
		6	985	12730	x	20174	x	15.9	o	
201710	12	6	200	5976	x	20849	x	15.0	o	
201711	3	5	601	7863	x	25927	x	22.6	o	

표 5.28. 청주지점 안개 비발생 시 모델별 안개모의 여부

안개 비발생										
날짜			청주							
년월	일	시간	실황	LDPS	여부	LENS	여부	F SI	여부	비고
201709	1	4	10017	2932	o	22302	o	47.7	o	
		5	10760	2775	o	21830	o	34.3	o	
		6	12780	4808	o	21052	o	36.1	o	
		7	9180	5935	o	23673	o	48.7	o	

2	4	14940	2179	o	21121	o	57.3	o	
	5	15006	2467	o	20513	o	47.2	o	
	6	19875	2617	o	20130	o	60.6	o	
	7	14305	2459	o	22965	o	79.5	o	
3	4	20000	4458	o	22935	o	45.4	o	
	5	19875	6415	o	22517	o	52.9	o	
	6	15043	8127	o	21945	o	33.2	o	
	7	20000	12104	o	23668	o	87.0	o	
4	4	20000	9461	o	21272	o	36.7	o	
	5	20000	13619	o	21298	o	45.0	o	
	6	20000	14962	o	20923	o	52.6	o	
	7	20000	18731	o	22351	o	83.6	o	
5	4	19404	1355	o	16385	o	49.0	o	
	5	20000	1259	o	16101	o	49.3	o	
	6	18858	4050	o	16371	o	52.9	o	
	7	16839	9469	o	17397	o	62.6	o	
6	4	6912	4786	o	13854	o	27.1	x	
	5	7504	4780	o	13705	o	23.3	x	
	6	5716	4776	o	12907	o	20.4	x	
	7	6900	5577	o	14590	o	19.3	x	
7	4	2493	1677	o	14650	o	25.0	x	
	5	2490	1745	o	14134	o	22.6	x	
	6	2286	2560	o	13635	o	22.0	x	
	7	2515	3851	o	16121	o	27.3	x	
8	4	3353	3026	o	15703	o	18.8	x	
	5	4122	2573	o	14847	o	22.5	x	
	6	2917	1572	o	14452	o	21.2	x	
	7	2880	1672	o	17793	o	28.3	x	
9	4	3348	2097	o	11851	o	11.5	x	
	5	4202	1893	o	11191	o	14.0	x	
	6	3215	1906	o	10108	o	12.7	x	
	7	3272	2232	o	11488	o	13.4	x	
10	4	2307	3586	o	17759	o	16.5	x	
	5	2331	7741	o	17106	o	12.1	x	
	6	2668	27657	o	16193	o	12.3	x	
	7	2176	48301	o	16367	o	21.6	x	
11	4	6147	1275	o	14515	o	41.2	o	강수

		5	6603	1330	o	13741	o	35.1	o	강수
		6	4528	1188	o	13618	o	20.7	x	강수
		7	6100	1516	o	16502	o	22.3	x	강수
12	4	4175	5376	o	17796	o	15.4	x		
	5	4581	5549	o	16657	o	11.9	x		
	6	4718	5661	o	15146	o	13.1	x		
	7	5448	5003	o	15796	o	17.4	x		
13	4	18102	1590	o	17488	o	66.2	o		
	5	20000	1578	o	17084	o	72.5	o		
	6	20000	2912	o	17236	o	63.0	o		
	7	20000	4386	o	19455	o	73.7	o		
14	4	14279	10535	o	22937	o	30.3	x		
	5	14990	8733	o	22904	o	27.6	x		
	6	10927	11065	o	23231	o	32.1	o		
	7	11940	12399	o	24175	o	48.8	o		
15	4	17265	14449	o	24106	o	50.7	o		
	5	13011	16649	o	23948	o	50.9	o		
	6	14685	13390	o	23654	o	67.4	o		
	7	8884	15090	o	24372	o	76.7	o		
16	4	19245	14345	o	22439	o	82.7	o		
	5	19056	17407	o	22481	o	85.8	o		
	6	20000	23530	o	22464	o	74.5	o		
	7	20000	26776	o	23461	o	77.0	o		
17	4	20000	4645	o	17143	o	66.6	o		
	5	20000	3448	o	16966	o	64.7	o		
	6	20000	1834	o	16438	o	66.2	o		
	7	19000	3373	o	18749	o	68.8	o		
18	4	20000	2120	o	17707	o	26.2	x		
	5	20000	3241	o	17489	o	22.8	x		
	6	20000	3614	o	17155	o	31.5	o		
	7	17672	4497	o	19377	o	39.9	o		
19	4	12567	5750	o	22657	o	24.5	x		
	5	12968	5105	o	23210	o	23.2	x		
	6	13621	6481	o	24012	o	21.1	x		
	7	12645	13134	o	24338	o	26.4	x		
20	4	5252	1206	o	20028	o	53.3	o		
	5	18904	1517	o	19669	o	38.6	o		

		6	20000	1784	o	19221	o	62.3	o	
		7	19034	2547	o	21746	o	126.3	o	
		4	17212	5875	o	20227	o	33.7	o	
21	5	16005	6576	o	19944	o	24.1	x		
	6	16529	7400	o	19298	o	26.7	x		
	7	13174	8062	o	20772	o	32.5	o		
	4	15052	1298	o	16129	o	37.8	o		
22	5	9353	1720	o	15589	o	31.8	o		
	6	11386	1912	o	15540	o	31.5	o		
	7	11506	2198	o	17384	o	37.6	o		
	4	8503	584	x	13802	o	23.7	x		
23	5	5824	2537	o	13414	o	20.7	x		
	6	8500	5027	o	13298	o	20.4	x		
	7	7181	4185	o	14075	o	23.3	x		
	4	4139	1465	o	12820	o	14.9	x		
24	5	4883	1764	o	12185	o	29.7	x		
	6	5303	1722	o	12147	o	31.8	o		
	7	3953	4231	o	13967	o	36.1	o		
	7	1366	14491	o	20811	o	24.9	x		
25	4	5119	20781	o	19641	o	36.7	o		
	5	4985	12265	o	19424	o	34.7	o		
	6	4220	17674	o	20095	o	39.0	o		
	7	6081	43766	o	19865	o	46.9	o		
26	4	2738	9130	o	19944	o	44.3	o	강수	
	5	5356	10016	o	19578	o	44.1	o	강수	
	6	5827	10309	o	19393	o	37.8	o	강수	
	7	9512	12411	o	19556	o	24.7	x	강수	
27	4	19514	3151	o	24239	o	32.3	o		
	5	20000	4579	o	24043	o	34.9	o		
	6	20000	6865	o	23892	o	38.4	o		
	7	18627	7806	o	24755	o	43.5	o		
28	4	20000	2972	o	23215	o	69.3	o		
	5	20000	2965	o	22618	o	75.1	o		
	6	18283	3708	o	21742	o	98.5	o		
	7	17943	3774	o	22768	o	121.3	o		
29	4	17265	6215	o	15785	o	41.2	o		
	5	20000	8100	o	15567	o	49.6	o		

201710		6	19071	9127	o	15478	o	40.7	o	
		7	20000	7072	o	15248	o	36.8	o	
	1	4	5618	24788	o	15786	o	40.3	o	
		5	7970	27655	o	15565	o	46.6	o	
		6	6238	28541	o	15651	o	46.0	o	
		7	11324	26823	o	15786	o	48.8	o	
	2	4	1546	4121	o	18575	o	16.4	x	
		5	2417	3816	o	18992	o	15.5	x	
		6	2446	2300	o	19153	o	15.2	x	
		7	3256	2870	o	20079	o	13.9	x	
	3	4	20000	5479	o	22351	o	19.8	x	강수
		5	20000	5545	o	22101	o	18.1	x	강수
		6	20000	5647	o	21500	o	12.8	x	강수
		7	20000	6349	o	22408	o	13.0	x	강수
	4	4	20000	11290	o	21277	o	99.4	o	
		5	20000	12233	o	21217	o	97.3	o	
		6	20000	12623	o	21039	o	92.1	o	
		7	20000	15457	o	21718	o	90.6	o	
	5	4	20000	12367	o	21696	o	65.0	o	
		5	20000	8009	o	21607	o	68.3	o	
		6	20000	7581	o	21186	o	66.4	o	
		7	20000	8967	o	21315	o	69.5	o	
	6	4	20000	4984	o	15711	o	66.1	o	
		5	20000	5335	o	14965	o	57.6	o	
		6	20000	5078	o	15386	o	56.3	o	
		7	12031	6764	o	16413	o	59.7	o	
	7	4	4885	4680	o	14003	o	19.8	x	
		5	5427	7702	o	13932	o	18.0	x	
		6	7816	6901	o	13384	o	18.7	x	
		7	10216	7472	o	13714	o	25.4	x	
	8	4	20000	667	x	14142	o	34.8	o	
		5	10010	639	x	13582	o	42.0	o	
		6	15482	1063	o	13225	o	32.2	o	
		7	11160	1764	o	13596	o	32.6	o	
	9	4	4374	5635	o	12471	o	11.4	x	
		5	6867	5879	o	11698	o	9.2	x	
		6	7597	5355	o	11950	o	9.6	x	

		7	6884	5517	o	12512	o	16.8	x	
		4	4107	9450	o	19455	o	22.5	x	
	10	5	3177	5752	o	19808	o	28.4	x	
		6	4265	15675	o	19825	o	22.5	x	
		7	4193	33723	o	17982	o	24.2	x	
	11	4	6757	9601	o	23729	o	33.3	o	
		5	7445	9346	o	23616	o	18.2	x	
		6	7954	10672	o	23471	o	35.8	o	
		7	5169	9923	o	23364	o	42.2	o	
	12	4	20000	3408	o	15795	o	82.8	o	강수
		5	20000	2842	o	15265	o	75.9	o	강수
		6	16810	2723	o	14438	o	79.0	o	강수
		7	19514	4332	o	14899	o	80.3	o	강수
	13	4	9711	6085	o	20708	o	18.1	x	
		5	2000	6358	o	20907	o	16.1	x	
		7	2340	5830	o	21408	o	31.1	o	
	14	4	4745	9893	o	24264	o	41.1	o	
		5	6115	10355	o	24160	o	41.2	o	
		6	5706	9281	o	24527	o	33.5	o	
		7	4972	11469	o	24871	o	32.7	o	
	15	4	17608	10079	o	21051	o	79.0	o	
		5	6100	12507	o	21076	o	79.7	o	
		6	6803	12754	o	21240	o	76.7	o	
		7	16599	14208	o	21650	o	81.7	o	
	16	4	16415	6158	o	21126	o	65.3	o	
		5	10238	6840	o	20783	o	67.2	o	
		6	9557	6586	o	20671	o	65.4	o	
		7	14060	7091	o	20564	o	69.1	o	
	17	4	5731	15259	o	22946	o	47.2	o	
		5	4465	18203	o	23307	o	38.1	o	
		6	2793	19813	o	22776	o	30.4	x	
		7	4173	21540	o	22447	o	30.4	x	
	18	4	20000	7965	o	19697	o	70.4	o	
		5	20000	6400	o	20171	o	76.6	o	
		6	20000	7976	o	19870	o	78.2	o	
		7	19875	8415	o	20029	o	85.4	o	
	19	4	15315	4954	o	18774	o	56.7	o	

		5	10482	4701	o	18878	o	47.7	o	
		6	14957	5107	o	18342	o	48.2	o	
		7	12430	5339	o	18134	o	47.7	o	
	20	4	10212	6640	o	16400	o	30.4	x	
		5	9469	9905	o	16027	o	29.3	x	
		6	4128	8286	o	15259	o	28.0	x	
		7	8799	6871	o	14604	o	27.9	x	
	21	4	7636	10206	o	22375	o	41.1	o	
		5	4484	9795	o	22334	o	32.3	o	
		6	6218	11274	o	22158	o	35.3	o	
		7	6786	11951	o	22529	o	32.7	o	
	22	4	10287	19435	o	25321	o	36.0	o	
		5	10320	22976	o	24691	o	35.8	o	
		6	11367	23142	o	24163	o	29.3	x	
		7	12843	19940	o	23417	o	26.7	x	
	23	4	19639	9117	o	22357	o	96.4	o	
		5	20000	9978	o	21928	o	101.0	o	
		6	19529	10838	o	21530	o	95.2	o	
		7	20000	10909	o	21835	o	68.7	o	
	24	4	13048	711	x	18859	o	65.4	o	
		5	8788	902	x	19009	o	66.9	o	
		6	6015	1146	o	18667	o	70.7	o	
		7	9788	2265	o	17940	o	66.7	o	
	25	4	5236	1954	o	15377	o	17.7	x	
		5	7618	1760	o	15131	o	29.4	x	
		6	3717	2231	o	14611	o	25.9	x	
		7	6626	1429	o	14299	o	28.7	x	
	26	4	3304	1993	o	17506	o	10.1	x	
		5	3492	2037	o	17442	o	7.5	x	
		6	3416	2096	o	17308	o	15.7	x	
		7	2298	3514	o	16233	o	6.8	x	
	27	4	5607	7567	o	21109	o	36.4	o	
		5	5208	6284	o	21195	o	44.3	o	
		6	4926	5694	o	21128	o	35.9	o	
		7	4847	6590	o	20871	o	44.8	o	
	28	4	5750	5475	o	14048	o	36.0	o	
		5	6820	4863	o	13701	o	31.3	o	

201711	29	6	6382	4248	o	12308	o	29.4	x	
		7	5703	4845	o	10657	o	30.2	x	
		4	7392	13744	o	25595	o	25.9	x	
		5	6389	12223	o	24861	o	22.0	x	
		6	6400	10210	o	24114	o	17.1	x	
		7	5371	9281	o	23546	o	16.6	x	
	30	4	20000	2226	o	20988	o	108.1	o	
		5	20000	3240	o	21103	o	85.5	o	
		6	20000	4436	o	20673	o	87.0	o	
		7	20000	4258	o	20470	o	94.0	o	
	31	4	12748	1632	o	18214	o	70.4	o	
		5	16343	2021	o	18565	o	73.2	o	
		6	3831	3127	o	17856	o	60.6	o	
		7	9940	2938	o	19124	o	47.3	o	
	1	4	10714	2403	o	16234	o	21.7	x	
		5	10605	2785	o	15962	o	31.1	o	
		6	10139	2494	o	15640	o	31.3	o	
		7	9909	3187	o	14988	o	34.9	o	
	2	4	8199	2772	o	11393	o	26.0	x	
		5	7500	4599	o	10855	o	24.4	x	
		6	7177	5235	o	10224	o	21.0	x	
		7	6254	6720	o	10207	o	20.7	x	
	3	4	1973	8725	o	26245	o	15.8	x	
		6	1329	10451	o	25227	o	25.6	x	
		7	1472	11278	o	24768	o	30.0	x	
	4	4	13398	10151	o	21123	o	74.6	o	
		5	12115	6904	o	21050	o	64.0	o	
		6	10492	4331	o	20808	o	77.6	o	
	5	7	10381	2867	o	21615	o	72.6	o	
		4	4543	1499	o	19282	o	80.7	o	
		5	3925	2036	o	18816	o	49.9	o	
		6	3529	1835	o	18332	o	34.3	o	
	6	7	3933	1782	o	17862	o	52.7	o	
		4	3659	1762	o	18632	o	17.6	x	
		5	3000	1408	o	17665	o	24.5	x	
		6	3261	1660	o	17715	o	18.2	x	
	7	7	2830	995	x	18281	o	16.1	x	

	7	4	5525	3921	o	16871	o	6.1	x	
		5	4600	4243	o	16570	o	3.2	x	
		6	3332	4646	o	15955	o	4.4	x	
		7	3607	7108	o	16477	o	0.0	x	
	8	4	5388	7725	o	23622	o	47.8	o	
		5	3836	5514	o	22769	o	35.4	o	
		6	2785	4114	o	22098	o	26.0	x	
		7	2044	2521	o	20623	o	28.6	x	
	9	4	17879	5921	o	20319	o	59.4	o	
		5	19389	5295	o	20406	o	36.3	o	
		6	18791	4997	o	20641	o	36.8	o	
		7	15700	5344	o	19811	o	36.1	o	
	10	4	6977	17659	o	26522	o	38.0	o	
		5	7162	19450	o	26179	o	41.9	o	
		6	9153	26824	o	25898	o	38.7	o	
		7	5924	30567	o	26612	o	22.7	x	
	11	4	20000	1627	o	17739	o	111.7	o	강수
		5	20000	4037	o	17827	o	116.2	o	
		6	20000	3502	o	17804	o	124.4	o	
		7	18198	3041	o	17935	o	123.0	o	

위 표에서 구한 모델별 안개 모의 여부를 바탕으로 청주지점의 모델별 CSI를 아래와 같이 구하였다.

표 5.29. 청주지점 모델별 CSI 결과

	LDPS	LENS	FSI
A	0	0	5
B	5	5	0
C	0	0	108
CSI	0.00	0.00	0.04

A: hits, B: missed, C: false alarm

청주지점의 국지모델과 국지양상블 모델의 hit 경우가 0회인 반면, FSI의 경우는 5회로 조금 더 많았다. 하지만 안개를 예보했으나 안개가 발생하지 않은 경우는 수치 모델은 0회 밖에 없었으나, FSI의 경우 108회가 발생하여 과대 모의하는 경향을 보였다. CSI는 FSI가 가장 우수 했으며, 국지 및 양상블모델이 가장 낮은 값을 나타냈다. 검증기간 내에서 안개 발생 사례가 적어서 추후 2018년 사례를 적용하여 다시 검증할 계획이다.

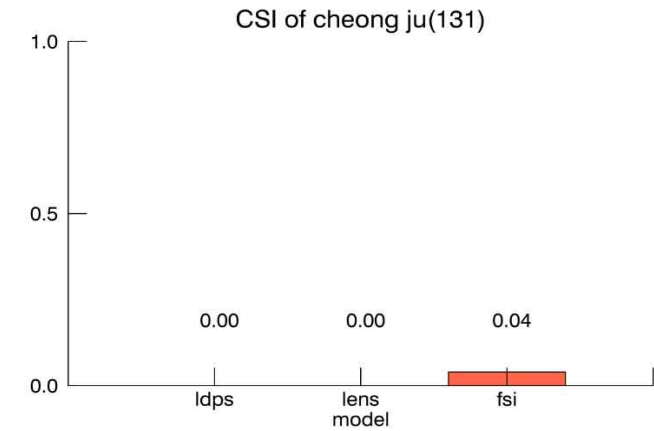


그림 5.10. 모델별 CSI-청주

5.4.2. 충주

충주지점의 모델별 CSI를 구하기 위하여 아래의 표와 같이 안개 발생일 및 비발생일로 나눠 매 시각 모의여부를 조사한 후 CSI를 구하였다.

표 5.30. 충주지점 안개발생 시 모델별 안개모의 여부

안개 발생										
날짜			충주							
년월	일	시간	실황	LDPS	여부	LENS	여부	F SI	여부	비고
201709	25	6	948	6988	x	17295	x	168.2	x	
201710	20	7	178	29209	x	23211	x	148.8	x	
	28	7	408	15053	x	19334	x	80.6	x	

표 5.31. 충주지점 안개 비발생 시 모델별 안개모의 여부

안개 비발생										
날짜			충주							
년월	일	시간	실황	LDPS	여부	LENS	여부	F SI	여부	비고
201709	1	4	20000	13698	o	19678	o	68.9	o	
		5	20000	5885	o	19299	o	104.1	o	
		6	13254	6438	o	18113	o	102.2	o	
		7	15952	8935	o	22141	o	149.7	o	
	2	4	20000	22193	o	19675	o	154.8	o	
		5	20000	9657	o	19436	o	161.2	o	
		6	20000	7979	o	18347	o	176.2	o	
		7	20000	7283	o	22199	o	169.3	o	
	3	4	20000	40700	o	18536	o	147.5	o	
		5	20000	33299	o	18132	o	127.7	o	
		6	20000	21775	o	18047	o	116.8	o	
		7	19557	12138	o	21052	o	123.3	o	
	4	4	20000	9619	o	14994	o	164.8	o	
		5	20000	7671	o	15025	o	130.1	o	
		6	20000	8480	o	14041	o	125.7	o	
		7	20000	9205	o	14949	o	145.6	o	
	5	4	20000	4057	o	12471	o	135.9	o	
		5	20000	2669	o	11934	o	160.9	o	

		6	20000	3622	o	11606	o	156.9	o	
		7	20000	5579	o	13506	o	151.2	o	
	6	4	13017	10472	o	16262	o	55.2	o	
		5	10789	9626	o	16443	o	67.7	o	
		6	10355	10802	o	15738	o	61.4	o	
		7	11224	10209	o	19123	o	87.0	o	
	7	4	1892	8085	o	15904	o	103.9	o	
		5	1676	7743	o	15779	o	102.2	o	
		6	1269	7032	o	15309	o	96.0	o	
		7	1638	7097	o	19048	o	104.3	o	
	8	4	2301	5548	o	15507	o	69.5	o	
		5	2726	4795	o	15204	o	70.6	o	
		6	2927	6234	o	14100	o	74.1	o	
		7	3193	7496	o	16986	o	55.6	o	
	9	4	2354	11487	o	14923	o	76.7	o	
		5	1140	7021	o	14615	o	78.0	o	
		6	1609	4558	o	13349	o	78.0	o	
		7	2456	3696	o	13808	o	80.0	o	
	10	4	2044	21382	o	13644	o	79.3	o	
		5	1863	24761	o	13883	o	89.0	o	
		6	2166	18295	o	13953	o	114.7	o	
		7	1929	69295	o	15999	o	155.0	o	
	11	4	3245	18111	o	17744	o	115.4	o	강수
		5	5251	21430	o	16636	o	102.0	o	강수
		6	9236	21628	o	16631	o	60.5	o	강수
		7	12720	20872	o	19209	o	69.2	o	강수
	12	4	7191	7272	o	17236	o	57.0	o	
		5	5241	9801	o	17092	o	52.6	o	
		6	4842	14657	o	15954	o	58.9	o	
		7	5164	15839	o	18835	o	73.9	o	
	13	4	20000	11100	o	20224	o	214.9	o	
		5	20000	5230	o	19503	o	223.0	o	
		6	20000	6008	o	19406	o	174.2	o	
		7	20000	6352	o	22125	o	203.5	o	
	14	4	13387	13907	o	20555	o	154.9	o	
		5	14610	13907	o	20098	o	163.3	o	
		6	13800	17405	o	19467	o	184.2	o	

	7	13513	24785	o	21855	o	187.1	o	
15	4	20000	26409	o	17541	o	171.1	o	
	5	20000	25475	o	17809	o	195.8	o	
	6	15809	21498	o	18051	o	205.6	o	
	7	19146	25030	o	20607	o	196.4	o	
16	4	20000	12237	o	18407	o	191.8	o	
	5	20000	14763	o	17925	o	193.1	o	
	6	20000	18146	o	16633	o	181.3	o	
	7	20000	23378	o	19344	o	173.6	o	
17	4	20000	13371	o	20382	o	122.8	o	
	5	20000	12552	o	19672	o	128.7	o	
	6	20000	11272	o	19074	o	135.6	o	
	7	20000	18835	o	20675	o	146.1	o	
18	4	20000	7374	o	23290	o	87.0	o	
	5	20000	7551	o	22993	o	81.4	o	
	6	20000	7722	o	22602	o	86.1	o	
	7	20000	8765	o	23523	o	97.2	o	
19	4	10535	7232	o	19530	o	61.1	o	
	5	12774	8401	o	19274	o	78.3	o	
	6	13594	10351	o	18920	o	82.2	o	
	7	13786	13392	o	22092	o	90.8	o	
20	4	20000	12038	o	18846	o	411.4	o	
	5	20000	12999	o	19002	o	391.7	o	
	6	17117	15266	o	18197	o	355.6	o	
	7	20000	17479	o	20835	o	346.5	o	
21	4	20000	9141	o	19154	o	136.7	o	
	5	19435	10714	o	18657	o	208.4	o	
	6	13469	9490	o	17925	o	215.9	o	
	7	10743	8408	o	18861	o	188.8	o	
22	4	12330	7986	o	14920	o	118.0	o	
	5	14069	8102	o	14096	o	109.8	o	
	6	14031	7906	o	13021	o	111.5	o	
	7	10068	9114	o	14927	o	100.5	o	
23	4	2224	12546	o	14011	o	139.9	o	
	5	2601	11557	o	13581	o	157.4	o	
	6	1795	10325	o	13219	o	128.9	o	
	7	2410	9317	o	14772	o	122.9	o	

201710	24	4	1861	7373	o	16065	o	52.4	o	
		5	2257	3502	o	15279	o	57.6	o	
		6	2891	2734	o	16210	o	59.6	o	
		7	2552	4529	o	18007	o	62.9	o	
	25	4	1695	6209	o	17926	o	188.5	o	
		5	1628	5381	o	17538	o	158.4	o	
		7	1442	7277	o	17943	o	193.6	o	
	26	4	4509	48861	o	16572	o	152.9	o	
		5	5509	73417	o	16683	o	156.5	o	
		6	5409	90374	o	16949	o	157.0	o	
	27	4	3300	4420	o	24368	o	99.8	o	강수
		5	5603	4592	o	24146	o	83.3	o	강수
		6	4593	8893	o	23751	o	82.3	o	강수
		7	10765	15229	o	24289	o	86.1	o	강수
	28	4	15942	9358	o	24475	o	169.8	o	
		5	20000	10038	o	23636	o	177.4	o	
		6	19108	9238	o	22731	o	174.0	o	
		7	20000	10634	o	23202	o	160.7	o	
	29	4	20000	13490	o	15172	o	361.0	o	
		5	20000	14535	o	15323	o	270.2	o	
		6	20000	15320	o	14754	o	269.7	o	
		7	20000	13306	o	14917	o	303.8	o	
	30	4	20000	7925	o	13542	o	106.5	o	
		5	20000	9866	o	13509	o	100.1	o	
		6	20000	10261	o	12814	o	108.0	o	
		7	13635	13022	o	12817	o	113.3	o	
	1	4	3481	72412	o	14033	o	134.3	o	
		5	2952	54159	o	14263	o	178.7	o	
		6	3614	34537	o	14645	o	214.0	o	
		7	2726	20965	o	15167	o	209.0	o	
	2	4	3600	8479	o	19903	o	31.7	o	
		5	2041	8126	o	19243	o	30.7	x	
		6	5643	7854	o	18334	o	27.2	x	
		7	3876	9824	o	19715	o	55.5	o	
	3	4	9151	6697	o	18302	o	99.5	o	강수
		5	2698	5443	o	18279	o	115.5	o	강수

		6	3949	5883	o	18278	o	156.9	o	
		7	6362	11228	o	19204	o	183.7	o	강수
	4	4	15438	19290	o	20192	o	135.4	o	
		5	13423	18307	o	19253	o	132.2	o	
		6	20000	12233	o	19275	o	137.2	o	
		7	20000	13041	o	19174	o	136.3	o	
	5	4	20000	19627	o	12856	o	148.5	o	
		5	20000	15507	o	12980	o	159.1	o	
		6	20000	14279	o	12290	o	164.8	o	
		7	20000	13695	o	13622	o	171.4	o	
	6	4	20000	5252	o	13685	o	142.8	o	
		5	20000	4153	o	13779	o	162.9	o	
		6	20000	3320	o	13819	o	178.1	o	
		7	20000	4736	o	13563	o	201.8	o	
	7	4	8046	7822	o	15987	o	92.4	o	
		5	9164	7626	o	15557	o	94.6	o	
		6	8415	6269	o	16256	o	100.9	o	
		7	10505	8020	o	15986	o	104.4	o	
	8	4	20000	6905	o	15371	o	90.4	o	
		5	20000	5871	o	15690	o	103.1	o	
		6	20000	14637	o	15523	o	100.1	o	
		7	20000	17786	o	15907	o	90.7	o	
	9	4	5415	2815	o	17236	o	89.1	o	
		5	5789	3827	o	17556	o	106.2	o	
		6	7520	4103	o	17817	o	98.5	o	
		7	7064	4963	o	16152	o	81.5	o	
	10	4	5029	15164	o	22040	o	63.7	o	
		5	4902	16188	o	21862	o	65.4	o	
		6	4040	17657	o	22738	o	59.2	o	
		7	4100	22523	o	22871	o	54.6	o	
	11	4	4900	12371	o	17833	o	24.9	x	
		5	13400	13516	o	17391	o	30.4	x	
		6	13149	13352	o	16307	o	52.5	o	
		7	13996	13188	o	17000	o	40.2	o	
	12	4	20000	12560	o	19324	o	146.1	o	
		5	20000	13834	o	18391	o	164.6	o	강수
		6	15313	17527	o	18319	o	168.1	o	

		7	15146	17390	o	18549	o	172.8	o	강수
	13	4	1845	8155	o	21075	o	89.3	o	
		5	3261	12264	o	20557	o	136.6	o	
		6	5081	10532	o	20253	o	144.8	o	
		7	3670	9350	o	20739	o	127.4	o	
	14	4	5806	10015	o	18043	o	152.4	o	
		5	6726	12779	o	17539	o	148.0	o	
		6	6326	13619	o	17119	o	151.4	o	
		7	1503	18357	o	17475	o	136.6	o	
	15	4	20000	7943	o	18369	o	238.3	o	
		5	20000	7437	o	17884	o	196.9	o	
		6	20000	8054	o	16808	o	176.7	o	
		7	16567	10642	o	16029	o	171.0	o	
	16	4	20000	9770	o	19771	o	159.7	o	
		5	20000	8062	o	19552	o	159.3	o	
		6	20000	9236	o	19707	o	152.9	o	
		7	20000	9307	o	19246	o	174.8	o	
	17	4	8837	20795	o	17903	o	136.6	o	
		5	8607	19987	o	17477	o	137.3	o	
		6	8490	20535	o	16824	o	135.8	o	
		7	20000	21036	o	16910	o	142.4	o	
	18	4	20000	11195	o	17471	o	92.4	o	
		5	8590	10582	o	17099	o	87.0	o	
		6	20000	10320	o	16893	o	81.7	o	
		7	20000	11641	o	16355	o	97.7	o	
	19	4	20000	6788	o	17196	o	129.1	o	
		5	20000	6905	o	16810	o	127.7	o	
		6	12128	6513	o	16368	o	135.5	o	
		7	16017	6329	o	15983	o	140.3	o	
	20	4	17918	10422	o	18481	o	112.3	o	
		5	16537	9383	o	18282	o	107.0	o	
		6	12173	10478	o	18829	o	95.2	o	
		7	11757	10399	o	18620	o	91.5	o	
	21	4	13164	25270	o	24545	o	139.5	o	
		5	11887	23777	o	24345	o	137.2	o	
		6	10813	25090	o	24132	o	149.1	o	
	22	4	19134	33497	o	21455	o	129.7	o	

		5	14980	37022	o	20904	o	156.6	o	
		6	10131	37438	o	20233	o	152.7	o	
		7	6816	38826	o	19585	o	168.0	o	
23	4	20000	12299	o	19112	o	224.6	o		
	5	20000	12330	o	19399	o	208.8	o		
	6	20000	11034	o	18855	o	212.4	o		
	7	14890	10259	o	18316	o	194.3	o		
24	4	13686	17232	o	18393	o	189.9	o		
	5	12720	13996	o	18128	o	183.8	o		
	6	15016	15698	o	17885	o	174.1	o		
	7	13403	18847	o	17959	o	155.7	o		
25	4	9383	15637	o	16804	o	91.4	o		
	5	8918	14730	o	16524	o	91.8	o		
	6	6495	11182	o	16551	o	95.4	o		
	7	6607	6920	o	15236	o	83.4	o		
26	4	2617	14857	o	16566	o	138.8	o		
	5	1849	12855	o	16044	o	119.1	o		
	6	3060	12398	o	15781	o	112.2	o		
	7	3034	7664	o	15449	o	121.1	o		
27	4	7496	8885	o	11421	o	106.0	o		
	5	6407	5396	o	10770	o	103.6	o		
	6	7073	4280	o	10259	o	106.9	o		
	7	5741	5208	o	9311	o	96.5	o		
28	4	6821	10629	o	23313	o	106.4	o		
	5	6683	8693	o	22890	o	97.9	o		
	6	5767	11568	o	23646	o	82.9	o		
	7	4652	13809	o	23014	o	71.3	o		
29	4	7666	16312	o	20816	o	115.2	o		
	5	6190	16851	o	19743	o	93.1	o		
	6	5800	16396	o	20287	o	87.3	o		
30	4	20000	14154	o	19279	o	202.5	o		
	5	20000	13487	o	19143	o	182.4	o		
	6	20000	12979	o	19459	o	165.6	o		
	7	19782	13019	o	19260	o	169.2	o		
31	4	19237	15754	o	16743	o	172.3	o		
	5	15931	13540	o	16838	o	185.5	o		
	6	15384	11482	o	15664	o	187.6	o		

		7	12018	11957	o	15552	o	193.6	o	
201711	1	4	7699	15209	o	13365	o	67.7	o	
		5	7606	14232	o	13451	o	55.6	o	
		6	5590	10823	o	14782	o	64.5	o	
		7	7340	11267	o	14404	o	76.6	o	
		4	4314	7166	o	21927	o	37.0	o	
	2	5	4481	11265	o	21320	o	40.7	o	
		6	3768	11581	o	21968	o	36.7	o	
		7	3763	14796	o	21493	o	44.4	o	
		4	2568	7507	o	20091	o	54.8	o	
	3	5	2235	8429	o	19563	o	51.4	o	
		6	1997	10345	o	18446	o	78.2	o	
		7	1711	11876	o	18081	o	78.8	o	
		4	9654	11442	o	18628	o	134.4	o	
	4	5	11978	11512	o	17987	o	133.9	o	
		6	9563	13521	o	18326	o	162.6	o	
		7	9991	12199	o	17863	o	162.0	o	
		4	3898	7391	o	18964	o	198.4	o	
	5	5	3590	5739	o	17729	o	161.5	o	
		6	3466	6340	o	18306	o	155.2	o	
		7	2763	11616	o	17724	o	157.2	o	
		4	2757	5663	o	17747	o	57.6	o	
	6	5	2546	6849	o	16865	o	58.5	o	
		6	2710	8840	o	16800	o	60.0	o	
		7	1994	8294	o	17272	o	67.3	o	
		4	3291	13821	o	18378	o	42.4	o	
	7	5	2787	11019	o	17835	o	39.9	o	
		6	2246	8024	o	17620	o	30.4	x	
		7	2208	5496	o	17068	o	29.9	x	
		4	4393	13037	o	18764	o	73.8	o	
	8	5	3741	13324	o	18776	o	66.0	o	
		6	3051	12572	o	18765	o	53.0	o	
		7	1751	12239	o	17726	o	35.9	o	
		4	11848	9891	o	26386	o	146.0	o	
	9	5	10121	11377	o	26215	o	136.5	o	
		6	9746	8641	o	26650	o	140.0	o	
		7	5665	7528	o	26933	o	154.7	o	

	10	4	8629	27979	o	19631	o	102.7	o	
		5	9871	28758	o	19580	o	119.4	o	
		6	8546	26726	o	18973	o	117.2	o	
		7	6869	25369	o	18735	o	129.3	o	
	11	4	20000	13699	o	18022	o	193.6	o	강수
		5	20000	11845	o	17532	o	182.6	o	강수
		6	20000	11230	o	17272	o	165.0	o	
		7	20000	10573	o	17535	o	152.6	o	

위 표에서 구한 모델별 안개 모의 여부를 바탕으로 충주지점의 모델별 CSI를 아래와 같이 구하였다.

표 5.32. 충주지점 모델별 CSI 결과

	LDPS	LENS	FSI
A	0	0	0
B	3	3	3
C	0	0	6
CSI	0.00	0.00	0.00

A: hits, B: missed, C: false alarm

충주지점의 국지모델과 국지양상불 모델, FSI 모두 hit 경우가 0회 였다. 하지만 안개를 예보했으나 안개가 발생하지 않은 경우는 수치모델은 0회 밖에 없었으나, FSI의 경우 6회가 발생하여 과대 모의하는 경향을 보였다.

수치모델과 FSI의 경우 성능이 나쁘게 나왔지만, 안개발생 사례 자체가 작아 성능을 평가하기에는 무리가 따른다.

검증기간 내에서 안개 발생 사례가 적어서 추후 2018년 안개사례를 적용하여 다시 검증 할 계획이다.

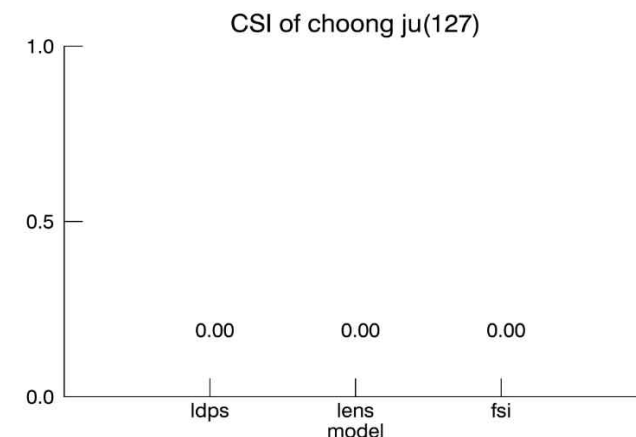


그림 5.11. 모델별 CSI-충주

5.4.3. 보은

충주지점의 모델별 CSI를 구하기 위하여 아래의 표와 같이 안개 발생일 및 비발생일로 나뉘 매 시각 모의여부를 조사한 후 CSI를 구하였다.

표 5.33. 보은지점 안개발생 시 모델별 안개모의 여부

안개 발생										
날짜			보은							
년월	일	시간	실황	LDPS	여부	LENS	여부	F SI	여부	비고
201709	9	4	83	9209	x	16709	x	37.1	x	
		5	89	9727	x	16411	x	23.6	o	
		6	81	8190	x	15923	x	11.8	o	
		7	193	10338	x	19069	x	17.8	o	
	10	4	59	15406	x	15827	x	259.9	x	
		5	75	18283	x	15616	x	259.1	x	
		6	75	39455	x	15191	x	251.7	x	
		7	95	82803	x	15588	x	271.5	x	
	12	4	68	7682	x	18724	x	14.2	o	
		5	74	8971	x	18055	x	15.1	o	
		6	93	6749	x	17305	x	19.3	o	
		7	878	9789	x	19132	x	27.6	o	

	18	7	121	10499	x	20588	x	45.5	x	
	25	4	956	26033	x	20410	x	13.0	o	
		5	920	21961	x	20140	x	10.9	o	
		6	766	23236	x	19615	x	16.7	o	
		7	594	24173	x	20776	x	26.4	o	
	28	4	462	12496	x	26093	x	25.2	o	
		5	308	15706	x	25824	x	23.7	o	
		6	170	14380	x	25612	x	21.3	o	
		7	347	17506	x	25944	x	31.0	x	
	201710	2	6	922	13432	x	16283	x	7.7	o
		3	4	128	13047	x	21049	x	43.8	x 강수
			5	343	12845	x	20314	x	33.0	x 강수
		4	5	70	29605	x	21067	x	320.3	x
			6	70	30011	x	20407	x	296.4	x
			7	81	30487	x	21467	x	312.7	x
		8	5	113	15249	x	16500	x	30.7	o
			6	162	14907	x	16352	x	30.5	o
			7	90	12242	x	16553	x	32.6	x
		10	5	754	24368	x	18449	x	17.5	o
			7	346	17879	x	16985	x	13.3	o
		13	4	88	20577	x	24192	x	54.9	x
			5	180	21408	x	24248	x	39.4	x
		25	6	76	13153	x	19042	x	63.1	x
			7	65	10722	x	19618	x	55.0	x
		26	5	975	10553	x	17640	x	46.4	x
			7	881	10868	x	17861	x	26.0	o
	201711	3	4	810	14477	x	26047	x	13.2	o
			5	931	13045	x	25770	x	23.4	o
		6	6	593	5940	x	18847	x	26.1	o
		7	7	924	7674	x	17965	x	5.5	o

표 5.34. 보은지점 안개 비발생 시 모델별 안개모의 여부

안개 비발생										
날짜		보은								
년월	일	시간	실황	LDPS	여부	LENS	여부	F SI	여부	비고
201709	1	4	3713	35006	x	22287	x	259.7	o	
		5	4563	30435	x	22125	x	201.6	o	
		6	3959	25608	x	21558	x	210.6	o	
		7	8977	30133	x	23733	x	231.1	o	
	2	4	13494	29873	x	21007	x	80.6	o	
		5	16228	29095	x	21391	x	56.0	o	
		6	16951	25419	x	21223	x	43.2	o	
		7	20000	28663	x	23988	x	106.4	o	
	3	4	13317	22936	x	21834	x	60.8	o	
		5	8250	24855	x	20986	x	61.7	o	
		6	13831	23505	x	20878	x	50.7	o	
		7	14216	25664	x	23079	x	78.2	o	
	4	4	17449	24205	x	19948	x	57.4	o	
		5	17800	19985	x	19621	x	53.1	o	
		6	19264	25290	x	19668	x	44.3	o	
		7	20000	31465	x	21471	x	74.1	o	
	5	4	10737	21775	x	14519	x	42.2	o	
		5	13063	18003	x	14351	x	23.0	x	
		6	12373	19004	x	15202	x	37.5	o	
		7	14844	21383	x	16597	x	65.7	o	
	6	4	1027	17732	x	14363	x	18.5	x	
		5	6818	20742	x	13635	x	16.3	x	강수
		6	4650	24096	x	13924	x	18.1	x	
		7	5326	21283	x	15156	x	17.4	x	
	7	4	3867	3601	x	15178	x	22.0	x	
		5	1720	3375	x	14584	x	28.0	x	강수
		6	1470	3088	x	14462	x	31.4	o	
		7	1337	4041	x	17771	x	37.9	o	
	8	4	1694	10224	x	17646	x	14.8	x	
		5	1544	9461	x	17067	x	10.6	x	
		6	1667	6954	x	16358	x	11.2	x	
		7	1720	8380	x	19665	x	18.7	x	
	11	4	2262	7269	x	14840	x	81.5	o	강수

		5	3511	3938	x	14389	x	113.2	o	강수
		6	2713	4562	x	13712	x	38.1	o	강수
		7	4302	5462	x	17013	x	37.6	o	강수
	13	4	13104	12234	x	19783	x	45.9	o	
		5	11882	11758	x	19460	x	73.3	o	
		6	11886	11354	x	19270	x	34.9	o	
	14	7	10049	15992	x	21311	x	107.8	o	
		4	4509	37941	x	24982	x	58.5	o	
		5	7103	42781	x	25198	x	49.9	o	
	15	6	5728	46273	x	25317	x	49.0	o	
		7	5369	52703	x	26045	x	83.2	o	
		4	13029	65037	x	25431	x	66.2	o	
	16	5	14646	65253	x	25464	x	91.9	o	
		6	17876	66272	x	25448	x	136.7	o	
		7	19764	65182	x	25800	x	209.7	o	
	17	4	20000	16087	x	22095	x	159.9	o	
		5	20000	13739	x	21892	x	125.3	o	
		6	20000	13420	x	21857	x	149.5	o	
	18	7	20000	14440	x	22885	x	157.2	o	
		4	18088	19567	x	16078	x	117.8	o	
		5	19625	18432	x	16148	x	100.0	o	
	19	6	17540	14746	x	15525	x	84.9	o	
		7	20000	16593	x	18702	x	91.9	o	
		4	15597	9044	x	20327	x	46.2	o	
	20	5	14103	10142	x	19816	x	41.7	o	
		6	3788	9866	x	18935	x	28.6	x	
		4	6349	9000	x	22016	x	264.9	o	
	21	5	6128	8515	x	22750	x	270.9	o	
		6	6543	7185	x	22414	x	264.2	o	
		7	5768	14960	x	24468	x	270.2	o	
	22	4	3260	18614	x	21202	x	67.1	o	
		5	4643	16715	x	20714	x	67.4	o	강수
		6	5251	15210	x	20336	x	66.4	o	
	23	7	5479	15287	x	22785	x	173.2	o	
		4	12275	16507	x	21712	x	41.2	o	
		5	12713	15370	x	20927	x	47.1	o	
	24	6	7745	16476	x	20876	x	38.1	o	

		7	12575	21546	x	21971	x	46.4	o	
		4	9207	7094	x	17820	x	264.7	o	
		5	10820	6658	x	17425	x	255.8	o	
	22	6	6855	5534	x	16783	x	260.4	o	
		7	6218	6784	x	18454	x	284.0	o	
	23	4	2799	4804	x	15154	x	18.6	x	
		5	1951	3199	x	14786	x	18.2	x	
		6	2269	2885	x	14347	x	11.6	x	
	24	7	2524	4289	x	15450	x	21.3	x	
		4	1636	3977	x	13662	x	14.7	x	
		5	1709	2766	x	14041	x	10.6	x	
	25	6	1882	4958	x	14220	x	8.7	x	
		7	2424	6733	x	15480	x	9.2	x	
	26	4	3209	43931	x	18333	x	44.9	o	
		5	3122	51283	x	17482	x	35.6	o	
		6	2521	37836	x	17271	x	36.1	o	
	27	7	2865	44888	x	16985	x	49.4	o	
		4	6736	11564	x	19528	x	75.4	o	강수
		5	4550	11432	x	19269	x	84.4	o	강수
	28	6	2380	10547	x	18851	x	64.4	o	강수
		7	3811	12393	x	18722	x	66.8	o	강수
	29	4	17977	11070	x	24784	x	119.0	o	
		5	13026	13537	x	24316	x	122.9	o	
		6	14006	16530	x	23469	x	69.2	o	
	30	7	12364	17218	x	23476	x	118.2	o	
		4	9965	15839	x	19009	x	60.2	o	
		5	6490	10950	x	19328	x	61.0	o	
	31	6	5980	17101	x	18833	x	51.1	o	
		7	7487	15108	x	20117	x	69.4	o	
	32	4	2260	41894	x	14735	x	101.8	o	
		5	2675	36571	x	13847	x	100.3	o	
		6	2838	29449	x	13008	x	162.6	o	
	33	7	2965	31691	x	13441	x	138.5	o	
		4	4712	17155	x	15951	x	15.5	x	
		5	2132	14918	x	16384	x	11.1	x	
	34	7	3627	10604	x	16467	x	11.3	x	
		6	1410	11971	x	19863	x	27.7	x	강수

		7	1433	13056	x	21052	x	25.5	x	강수
	4	4	6029	27986	x	21243	x	327.5	o	
	5	4	20000	26947	x	20884	x	91.2	o	
		5	19750	31337	x	20049	x	92.6	o	
		6	16728	29549	x	19805	x	89.5	o	
		7	13652	26033	x	20043	x	96.5	o	
	6	4	17473	8308	x	14179	x	79.8	o	
		5	14370	8639	x	13969	x	79.5	o	
		6	16872	8032	x	14052	x	43.8	o	
		7	19404	10864	x	14940	x	40.0	o	
	7	4	3550	18816	x	16469	x	14.6	x	
		5	3121	28040	x	15869	x	10.3	x	
		6	3452	36225	x	15534	x	5.4	x	
		7	3001	36194	x	16079	x	8.9	x	
	8	4	2472	14853	x	16783	x	19.5	x	
	9	4	1646	9471	x	15540	x	251.9	o	
		5	3130	8071	x	15512	x	256.4	o	
		6	4287	6627	x	15168	x	250.2	o	
		7	4299	6325	x	15833	x	243.0	o	
	10	4	1212	20228	x	20353	x	17.4	x	
		6	1358	22071	x	18214	x	14.0	x	
	11	4	1830	16109	x	22232	x	43.6	o	
		5	5417	18070	x	22392	x	41.8	o	
		6	6267	16432	x	22335	x	37.2	o	
		7	10276	14678	x	22583	x	43.2	o	
	12	4	7212	10416	x	16800	x	118.2	o	
		5	7788	8376	x	16261	x	138.4	o	
		6	7820	10367	x	16117	x	155.8	o	강수
		7	4940	15164	x	15746	x	112.0	o	강수
	13	6	1027	21734	x	23629	x	32.9	o	
		7	1501	21848	x	23941	x	39.5	o	
	14	4	2066	27867	x	24300	x	71.5	o	
		5	1303	28781	x	23674	x	67.2	o	
		6	1502	28659	x	24583	x	60.8	o	
		7	1534	29263	x	24505	x	76.3	o	
	15	4	15362	38979	x	21906	x	133.2	o	
		5	13450	33817	x	21824	x	145.5	o	

		6	10559	30618	x	21629	x	155.1	o	
		7	6717	26966	x	21940	x	170.6	o	
	16	4	12569	27530	x	20942	x	117.7	o	
		5	15776	28074	x	20491	x	115.7	o	
		6	16093	28970	x	20069	x	125.6	o	
		7	17993	26239	x	19693	x	119.7	o	
	17	4	3326	42401	x	25736	x	63.4	o	
		5	3380	42113	x	25499	x	64.8	o	
		6	2530	43489	x	25684	x	71.7	o	
		7	2762	43460	x	25825	x	76.6	o	
	18	4	20000	26977	x	20521	x	183.4	o	
		5	20000	26642	x	20059	x	164.8	o	
		6	20000	33536	x	19921	x	184.9	o	
		7	20000	34387	x	20181	x	170.8	o	
	19	4	9636	36252	x	19393	x	62.3	o	
		5	6740	38673	x	19646	x	52.8	o	
		6	5578	37341	x	19395	x	67.7	o	
		7	6482	40783	x	19052	x	75.2	o	
	20	4	8048	41920	x	19145	x	65.6	o	
		5	6400	42341	x	18759	x	66.3	o	
		6	9826	40942	x	18342	x	70.0	o	
		7	7958	33413	x	18651	x	80.2	o	
	21	4	7824	16344	x	21229	x	70.0	o	
		5	8193	14623	x	20940	x	69.7	o	
		6	1542	13034	x	20546	x	63.2	o	
		7	1883	11767	x	20503	x	83.6	o	
	22	4	7528	30693	x	24677	x	77.0	o	
		5	7300	31870	x	23818	x	71.3	o	
		6	4664	32638	x	24073	x	63.7	o	
		7	6716	33476	x	23591	x	61.5	o	
	23	4	17375	29309	x	23473	x	99.0	o	
		5	9968	28588	x	22929	x	99.7	o	
		6	11813	27152	x	22976	x	90.0	o	
		7	13003	23145	x	23066	x	71.5	o	
	24	4	8887	22802	x	21429	x	104.0	o	
		5	7406	18162	x	21354	x	84.2	o	
		6	6623	19830	x	20638	x	76.5	o	

201711		25	7	7355	18893	x	20841	x	48.5	o	
			4	2194	14465	x	19867	x	60.5	o	
			5	1161	13897	x	19291	x	34.1	o	
		26	4	1289	10693	x	18329	x	53.8	o	
			6	1224	10804	x	17966	x	56.3	o	
		27	4	2105	23957	x	20476	x	34.2	o	
			5	1791	21404	x	20726	x	35.8	o	
			6	2058	29048	x	20472	x	37.6	o	
		28	7	2176	31870	x	20398	x	42.5	o	
			4	1987	9795	x	17539	x	65.2	x	
			5	2104	8473	x	17030	x	58.6	x	
			6	2110	7596	x	15628	x	49.3	x	
			7	2486	6575	x	14435	x	48.2	x	
		29	4	2498	17078	x	24093	x	55.2	x	
			5	2159	15881	x	23167	x	51.8	x	
			6	1800	15434	x	23009	x	52.9	o	
			7	2002	16895	x	21935	x	59.6	o	
		30	4	11822	9407	x	22727	x	47.3	o	
			5	10872	10662	x	22693	x	49.6	o	
			6	5070	11500	x	22807	x	44.5	o	
			7	9089	11555	x	22867	x	48.6	o	
		31	4	10656	10947	x	19915	x	35.2	o	
			5	9151	10887	x	19792	x	49.3	o	
			6	8300	10237	x	19572	x	59.1	o	
			7	8326	12741	x	19724	x	87.1	o	
	201711	1	4	3876	8659	x	16741	x	40.4	o	
			5	3436	10171	x	16373	x	33.8	o	
			6	3311	11618	x	16434	x	23.1	x	
			7	4279	12007	x	15927	x	31.8	o	
		2	4	1992	8256	x	12798	x	16.8	x	
			5	2899	15811	x	12863	x	20.5	x	
			6	2920	21345	x	12380	x	20.1	x	
			7	1900	21950	x	11544	x	17.8	x	
		3	6	1201	11567	x	25326	x	30.9	x	
			7	1511	11620	x	24926	x	37.8	o	
		4	4	9291	12191	x	20397	x	99.1	o	
			5	8551	12212	x	20944	x	98.5	o	

		6	7886	15936	x	21826	x	53.3	o	
		7	5957	23004	x	22481	x	48.1	o	
	5	4	1680	12564	x	20374	x	65.3	o	
		5	2062	11848	x	20508	x	65.7	o	
		6	1902	10981	x	19855	x	79.0	o	
		7	2004	9424	x	20014	x	79.3	o	
	6	4	1873	6586	x	19535	x	38.0	o	
		5	1823	4952	x	18939	x	32.2	o	
		7	1595	6360	x	17844	x	22.6	x	
	7	4	1314	11075	x	18415	x	17.9	x	
		6	1419	4622	x	17491	x	12.6	x	
		7	1286	6342	x	17391	x	13.9	x	
	8	4	2445	12109	x	19900	x	35.5	o	
		5	1845	15254	x	19333	x	30.0	x	
		6	2735	11212	x	19411	x	18.6	x	강수
		7	2221	12239	x	19909	x	19.4	x	
	9	4	8780	14545	x	22491	x	60.6	o	
		5	12327	13461	x	22736	x	78.2	o	
		6	9621	13491	x	22361	x	31.8	o	
		7	9820	12814	x	22237	x	51.5	o	
	10	4	4599	31099	x	27144	x	51.3	x	
		5	6950	36696	x	26961	x	48.6	x	
		6	7221	45020	x	26775	x	47.6	x	
		7	6247	43917	x	27100	x	45.6	x	
	11	4	20000	12115	x	19433	x	45.3	o	
		5	18889	11527	x	19534	x	50.3	x	
		6	19625	10840	x	19312	x	48.3	x	
		7	17450	11737	x	19340	x	44.8	x	

위 표에서 구한 모델별 안개 모의 여부를 바탕으로 보은지점의 모델별 CSI를 아래와 같이 구하였다.

표 5.35. 보은지점 모델별 CSI 결과

	LDPS	LENS	FSI
A	0	0	26
B	42	42	16
C	0	0	58
CSI	0	0	0.26

A: hits, B: missed, C: false alarm

보은지점의 국지모델과 국지양상불 모델의 hit 경우가 0회 인 반면, FSI의 경우는 26회로 많은 차이를 보였다. 하지만 안개를 예보했으나 안개가 발생하지 않은 경우는 수치모델은 0회 밖에 없었으나, FSI의 경우 58회가 발생하여 과대 모의하는 경향을 보였다. 하지만 CSI는 FSI가 가장 우수 했으며, 수치모델은 해당기간 동안 안개발생 자체를 예보하지 않아 가장 낮은 값을 나타냈다.

검증기간 내에서 안개 발생 사례가 적어서 추후 2018년 안개사례를 적용하여 다시 검증 할 계획이다.

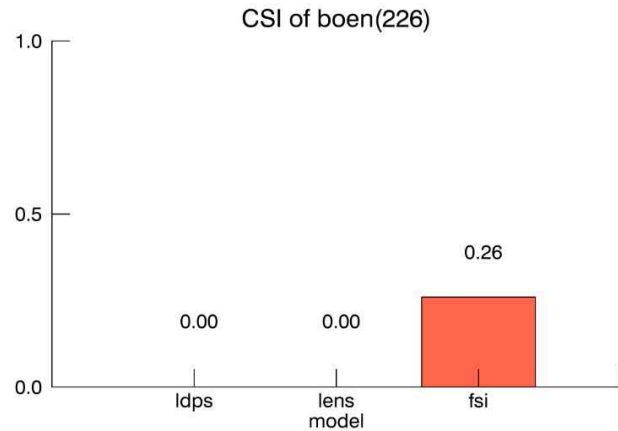


그림 5.12. 모델 별 CSI-보은

제2절 기압계별 복사안개 FSI 개발

1. 기압계 분류

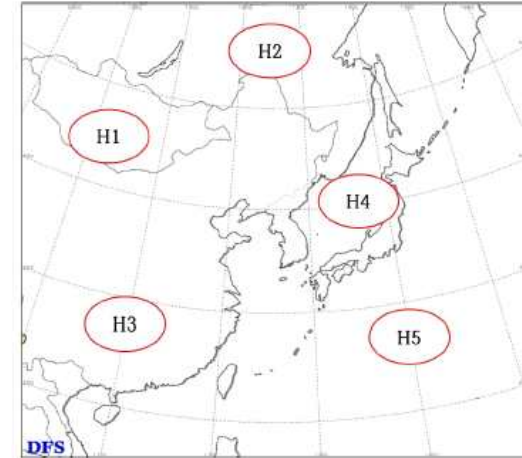


그림 5.13 복사안개 FSI의 기압계 분류

기압계 분류는 주요 고기압의 중심 위치와 대륙고기압의 확장 방향을 따라 실시하였다. H1은 몽골 지역을 중심으로 하는 고기압이 네이멍구 자치구→발해만처럼 남동쪽으로 확장할 때이며, H2는 시베리아 기단의 확장 방향이 동쪽 또는 북동쪽(만주→중국 동북지방 접경지대)일 때이다. H3는 시베리아 기단의 일부가 중국 중부 또는 중국 남부지방으로 확장한 뒤 온난 건조한 기단으로 변질되어 동진하는 경우 또는 중국 중남부 내륙에서 발달한 이동성 고기압이 한반도에 영향을 미치는 경우이다. H4는 오후츠크 해 고기압 등 동해상에 위치한 고기압의 세력권에 놓일 때, H5는 북태평양 기단이 한반도까지 확장하거나 그 가장자리에 있을 때이다. 간혹 서로 다른 유형이 혼재되어 있을 때는 고기압의 중심 시도나 영향 범위, 500hPa 및 850hPa 종관장을 참고하여 결정하였다.

안개는 대기 경계층 내에서 발생하는 현상으로 국지적인 요인의 영향을 받지만, 종관 규모의 순환에 따라 안개 발생에 영향을 미치는 기상학적 환경이 달라지므로 기압계를 고려하는 것은 중요하다. 특히 한반도를 지배하는 기단이나 종관 분포에 따라

바람, 기온 및 수증기 분포와, 대기 안정도 등 전반적인 특성이 달라지므로 기압계 유형을 고려한 복사안개 예보식을 만들어 보았다.

2. 기압계별 FSI 변수 설정 절차

2012.1.1.부터 2017.3.31.까지 63개월의 총주 및 보은관측소 ASOS로 관측한 시정, 기온, 노점온도, 풍속 자료와 UM 국지모델 00, 06, 12, 18UTC 초기장 및 +01~+05h 예측장(850/925hPa 기온, 풍속)을 사용하였다. 시정을 종속 변수, 후보 변수로는 지상 풍속, 지상 습수(T-Td), 하층 안정도(T-T850, T-T925), 하층 풍속(WS850, WS925)로 두고 다중회귀분석 방식과 ANOVA 검정을 병행하여 시정 예측에 유의미한 변수를 선정하였다. 임계값을 31로 설정하고 각 항의 계수에 -10부터 10까지 0.1 간격으로 대입하여 각 case의 FSI와 시정을 비교한 후 숙련도를 산출하였다. 그 다음 CSI가 가장 높을 때의 계수 조합을 결정하고, 1부터 51까지 임계값을 바꾸어 CSI가 가장 높을 때의 임계값을 찾는 방식으로 기압계별 FSI를 최적화하였다. H4와 H5는 분류 결과 사례수가 적어 제외하였는데, FSI가 통계적으로 타당하고 향후 그러한 기압계에서의 복사안개 발생을 잘 설명할 것으로 기대하기 어렵기 때문이다.

3. 기압계별 FSI 결과

총주와 보은 p1, p2, p3 유형 FSI의 각 항과 그 계수, 임계값 및 숙련도는 다음과 같다. 임계값이 31인 것은 2차 최적화 결과 임계값이 31일 때 가장 숙련도가 좋다고 판정된 조합이다.

총주 2의 2~3번째 줄은 T-T850의 계수가 이론적으로는 양수이어야 하나 최적 계수가 음수로 나와서, 850hPa 풍속과 지상습수의 계수는 고정하고 T-TD의 계수가 양수인 것(0~10까지 0.1간격)중에 CSI가 가장 높은 차선의 것을 선택한 뒤 2절 2)의 서두에 설명한 과정을 반복한 것이다. 총주 2의 첫 번째 조합과 세 번째 조합을 비교하면 세 번째 조합의 CSI가 근소하게 높아, 역전층이 강할수록 안개가 발생하기 더 유리한 조건이 갖춰지는 이론과 잘 부합한다.

보은 1을 두 가지 유형으로 구분하여 시도하였다. ANOVA 검정 결과에서는 보은 1-1의 조정결정계수가 보다 더 높게 나왔으나 지상의 포화도를 반영하는 지상 습수가 빠져서는 안 된다고 판단하였다. 이에 925hPa 풍속과 지상 풍속 중 ANOVA 검정

에서 p-value가 비교적 높았던 지상 풍속을 지상 습수로 대체한 것이다. 그 결과 보은 1-2의 CSI가 0.04가량 근소하게 높았고, 보은 1-2의 최적화를 보다 더 진행해 보았다. 보은 1-2의 결과값을 4가지로 제시한 까닭은 총주 2와 동일하며, 이 경우 하층 안정도의 계수가 음수일 때 다소 CSI가 높은 결과를 보여 주었다.

기압계별 FSI에 대한 검정은 3차년도(2018년도)에 2017년 10월부터 발생한 복사안개 사례를 대상으로 실시하도록 하겠다.

표 5.36. 기압계별 FSI 최적화 실험 결과(설명변수, 계수, 최적임계값 및 숙련도)

총주1	WS850	T-TD	T-T850	임계값	CSI	HR	FAR
	4.3	9.5	4.4	31	0.349	0.8125	0.6204
총주2	WS850	T-TD	T-T850	임계값	CSI	HR	FAR
	3.4	10	-0.4	31	0.2214	0.7839	0.7642
	3.4	10	0.1	31	0.2077	0.7297	0.7769
	3.4	10	0.1	24	0.2299	0.5405	0.7143
총주3	WSS	T-TD	T-T850	임계값	CSI	HR	FAR
	9.3	9.9	8.8	31	0.2812	1	0.7188
	9.3	9.9	8.8	13	0.3023	0.7222	0.6579

보은1-1	WS925	SSW	T-T850	임계값	CSI	HR	FAR
	8.3	4.2	8.8	31	0.2963	0.6429	0.6453
보은1-2	WS925	T-TD	T-T850	임계값	CSI	HR	FAR
	3.5	10	-0.3	31	0.3366	0.9286	0.6545
	3.5	10	-0.3	26	0.3382	0.8304	0.6307
	3.5	10	0.1	31	0.3301	0.9018	0.6576
	3.5	10	0.1	26	0.3370	0.8214	0.6364
보은2	WS850	T-TD	T-T850	임계값	CSI	HR	FAR
	3.9	9.9	4.8	31	0.4204	0.8261	0.5411
보은3	WS925	T-TD	T-T850	임계값	CSI	HR	FAR
	3.3	10	6.1	31	0.2464	0.981	0.2476

제6장 충주호 주변 증기안개 예측지수 개발

제1절 충주호 주변 증기안개의 통계적 특성

1. 계절별 특성

충주호 주변 증기안개의 예측식을 만들기 위해 앞서 충주호 방류하천에서 발생하는 증기안개의 기상학적·통계적 특성을 알아보려고 하였다. 이를 위해 2014년부터 2017년 3월까지의 공군 19전투비행단의 AMOS 자료와 목측관측자료, 한국수자원공사 및 국립환경과학원의 수온자료를 요청해 증기안개의 특성을 분석하였고, 그 결과 밝혀진 계절별(가을, 겨울) 증기안개의 평균적인 특성은 표 6.1과 같다.

표 6.1 충주댐 방류하천 증기안개의 계절별 발생 특성(2014.1.~2017.3.)

계절	시종 시간				ΔT	방류량 (백 만 t)	현열 (W/m^2)	잠열 (W/m^2)	보웬비	하늘상태 (8 Octa)	습도 (%)	지상풍속 (m/s)
	시	종	지속									
가을	4.3	8.8	4.5	10.8		225	14.8	19.9	0.72	1.5	93.6	0.5
겨울	4.2	8.8	4.6	15.2		205	18.2	13.3	1.41	1.4	86.6	0.4

* 방류량 : 증기안개 발생 전날 18~24시 누적방류량

가을철과 겨울철의 증기안개 발생 시각은 4~5시 사이, 소산 시각은 8~9시 사이로 대체로 비슷하였다. 또한 하늘 상태는 대체로 맑음 상태여야 하고, 지상 풍속이 매우 약해야 한다는 점도 대체로 유사하다. 또한 발생한 시기의 평균적인 방류량도 약 2억 톤 이상으로 유사하다. 그러나 증기 안개가 발생하기 위해 통계적으로 요구하는 수온과 기온간의 차이는 가을보다 겨울이 5°C 가량 크며, 이에 따라 현열 방출량도 가을보다 겨울이 3.4W/m²가량 더 많다. 반면 잠열 방출량은 가을이 겨울보다 5.1W/m² 더 많다. 또한 평균적으로 가을에는 현열속보다 잠열속이 더 크나, 겨울에는 그 반대인 결과를 나타내고 있다. 한편 평균적인 상대습도는 가을에 비해 겨울이 낮는데, 이는 가을에 비해 겨울철에 상대적으로 더 건조하고 찬 공기가 내습하기 때문인 것으로 보인다.

2. 기압계별 특성

다음으로 충주댐 방류하천의 기압계 패턴별 발생특성을 분석해보았다. 기압계는 우리나라에 영향을 미치는 주요 고기압의 중심 위치 혹은 대륙 고기압의 확장 방향을 기준으로 하였다. H1은 바이칼 호나 몽골을 중심으로 대륙고기압이 위치할 때, H2는 대륙고기압이 연해주 방향으로 확장할 때, H3는 대륙고기압이 중국 내륙으로 확장하고 온난 건조한 고기압이 우리나라로 점차 동진할 때, H4는 동해상에 고기압이 위치하거나 오호츠크해 기단의 영향을 받을 때이다. 분석 결과는 표 6.2에 제시하였다.

표 6.2 충주댐 방류하천 증기안개 기압계 패턴별 발생 특성

기압계 패턴	시종 시간				ΔT	방류량 (백 만 t)	현열 (W/m^2)	잠열 (W/m^2)	보웬비	하늘상태 (8 Octa)	습도 (%)	지상풍속 (m/s)
	시	종	지속									
H1	4.4	9.2	4.8	12.5		266	16.1	19.4	0.86	1.7	94.1	0.5
H2	3.7	8.4	4.7	9.8		234	12.6	17.8	0.75	1.5	89.0	0.7
H3	4.3	8.9	4.6	13.6		179	19.2	19.0	1.07	1.1	90.6	0.4
H4	4.5	7.8	3.3	11.8		194	12.7	14.0	0.92	1.8	91.1	0.2

* 방류량 : 증기안개 발생 전날 18~24시 누적방류량

대체로 모든 기압계 패턴에서 발생 시작 시각은 약 4~5시, 소산 시각은 8~9시 전후인 것은 표 6.1과 비슷한 결과를 나타내었다. 다만 H4는 나머지 기압계 패턴에 비해 평균 안개 지속 시간이 1시간 이상 짧다. 하늘상태와 지상풍속 역시 맑고 매우 약하게 불어야 하는 것은 표 6.1과 비슷한 결과가 나왔고, 습도도 약 90% 이상이 되어야 하는 것으로 나타난다.

평균적인 수온과 기온 차는 H2가 다른 기압계에 비해 다소 작고, H3가 가장 크다. 이에 따라 평균적인 현열도 가장 높고, 보웬비도 다른 기압계와는 달리 유일하게 1을 초과한다. 이렇게 H3에서 요구되는 수온과 기온차가 큰 것은 어느 정도 중국 내륙에서 온난하게 변질되거나 형성된 고기압이 한반도에 영향을 미치는 상황이기 때문인 것으로 보인다. 한편 H1은 요구하는 잠열의 양이 가장 많고, H4는 잠열의 양이 비교적 적다. 이는 H1의 주 고기압인 시베리아 기단의 건조한 특성과 H4의 주 고기압인 해양성 고기압의 다소 습윤한 특성이 반영된 결과로 보여진다.

제2절 기압계별 증기안개 예측지수 개발과정

1. 과정 설계

내륙 지역의 증기안개는 호수나 하천 주변에서 발생하므로 수계와 대기의 상호작용을 추가로 고려해야 한다. 따라서 복사안개와는 다른 설명 변수가 추가되어야 한다. 적절한 설명 변수를 찾아내기 위해 R이라는 통계분석 도구를 사용하였고, 그 과정은 다음과 같다.

우선 첫째로, 피 예측인자를 시정으로 두고, 후보 예측인자와 시정 간, 그리고 후보 예측인자 간 산포도 작성 후 이상값(outliner)을 제거한다. 둘째로, 후보 예측인자 간 상관관계 분석을 통해 다중공선성이 존재하는지 여부를 점검한다. 예측인자 간 상관계수의 절대값이 0.8 이상이면 다중 공선성을 의심해야 한다.

다중 공선성(multicollinearity)이란 설명변수 사이에 서로 밀접한 상관관계가 있어서, 다중선형회귀모형에서 각 설명변수의 개별 효과를 파악하기 힘들게 되는 현상을 의미한다. 다중 공선성이 나타나면, 설명변수 각각의 단변수 분석에서는 통계적으로 유의하게 나타나더라도, 설명변수들을 모두 고려한 다변수 분석에서는 변수들 모두 종속변수와 관련 없는 것으로 나타날 수 있다. 또한 다중 공선성이 있는 설명변수들을 모두 회귀모형에 포함시키면 이로부터 추정된 편회계수와 회귀모형을 신뢰할 수 없게 된다.

셋째로, 시정과 각 예측인자 간 상관성이 유의미한지를 점검한다. 여기에는 ANOVA-test를 사용하였고, 유의수준은 0.2를 정하였다. 이렇게 유의수준을 비교적 높게 잡는 이유는, 중요한 변수를 놓치는 오류를 줄이기 위함이다. 마지막으로, 후진 제거법으로 불필요한 예측변수를 제거한다. 후진 제거법(backward elimination method)이란, 모든 후보 예측자 중 기여도가 낮은 변수부터 제거하는 방식을 의미한다. 이 연구에서는 후보 다중회귀모델의 조정결정계수(Adjusted R-Square)와, 개별 회귀모델 및 각 회귀모델간 ANOVA-test(유의수준 = 0.05)의 p-value를 이용하여 후진 제거법을 실시하였다. 피 예측인자에 대한 기여도가 가장 높은 변수부터 차례대로 더해 나가는 전진 제거법 등 다양한 다중회귀모델 변수 선정 기법이 알려져 있으나, 조정 결정계수가 높은 회귀모델을 찾기까지 절차가 가장 간단하고 효율적인 후진 제거법을 채택하였다.

또한 car 라이브러리에서 제공하는 VIF 측정함수로 다중 공선성 유발 요소를 보다 면밀하게 제거하였다. 분산 팽창 인수로 알려진 VIF(Variance Inflation factor)는 예측 변수간 상관성이 있을 때 추정 회귀계수의 산포도 크기를 측정한 것으로, VIF가 높을수록 회귀모형을 신뢰할 수 없게 된다. VIF가 1 근방에 있으면 모형을 신뢰할 수 있으며, VIF가 10 이상이 되면 매우 높은 다중공선성이 있으므로 변수 선택을 신중히 고려하여야 한다. 이렇게 적절한 후보 변수를 선정한 다음에는, 예측식 각 항의 계수에 -20부터 20까지 0.1 간격으로 대입하여 (안개 예보 임계값은 31로 설정) 각 경우에 대한 CSI, HR(적중률), FAR(오보율) 산출하고, CSI를 우선순위로 하여 CSI, HR을 높이고 FAR를 낮추는 계수 조합을 찾았다.

자료기간은 2014년 9월~2017년 2월로 가을 및 겨울철 충주비행장 증기안개 관측 일의 메시지를 사용하였다. 사용한 자료는 충주비행장 AMOS로 측정한 시정, 기온, 풍속, 국립환경과학원에서 댐에서 하류 방향으로 약 1.5km 지점에서 측정한 수온, 충주댐 시간당 방류량, UM 국지모델 00, 06, 12, 18UTC 초기장 및 +01~+05h 예측장으로 생산한 충주비행장 850/925hPa 기온, 풍속을 이용하였다. 후보 변수는 현열, 잠열 및 보웬비, 수온-지상기온, 하층안정도(지상-925hPa 기온, 지상-850hPa 기온), 지상 및 925hPa, 850hPa 풍속, 수온, 기온이며, 풍향은 고려되지 않았다. 기압계는 앞서 5장 2절 기압계별 복사안개 FSI 개발과 동일한 기준에 따라 구분하였고, H5는 사례일수가 매우 적어 제외하였다. 여기서 현열과 잠열은 각각 아래 식으로 계산하였다. (김경보, 2005)

$$\text{현열속 } Q_h = \rho_a C_a C_h W(T_w - T_a)$$

$$\text{잠열속 } Q_e = L \rho_a D_e W(q_{us} - q_a)$$

ρ_a : 공기의 밀도 (1.225kg/m ³)	q_{us} : 수면의 포화혼합비 [kg/kg]
C_a : 공기의 정압비열 (1005J/kg×K)	q_a : 공기의 혼합비 [kg/kg]
C_h : 열전도 무차원상수(Stanton수)	D_a : 증발 무차원상수, Dalton수 (1.5×10 ⁻³)
	(1.10×10 ⁻³)
W : 지상 풍속 [m/s]	T_w : 수온, T_a : 기온[°C]
L : 물의 증발잠열 (589K/kg)	

2. H1 (고기압 중심 : 만주 및 연해주)



그림 6.1 H1 유형의 각 변수간 상관관계수

VS: 시정 H: 현열 L: 잠열 B: 보웬비, V: 지상풍속, TW.T: 수온-기온,

V850: 850hPa 풍속, V925: 925hPa 풍속, T.T850: 지상기온-850hPa 기온

T-T925: 지상기온-925hPa 기온

시정과 개별 설명변수 간 상관관계수가 대체로 낮게 나타났다. 설명변수 간 상관관계수 (r로 줄임) 수온-기온과 보웬비 간 $r=0.96$, 현열과 잠열 간 $r=0.92$, 925hPa와 850hPa 풍속 간 $r=0.7$, 지상-850hPa 기온차와 지상-925hPa 기온차 간 $r=0.95$ 로 상관관계가 매우 커 다중공선성이 높을 가능성이 있다. 즉 이들 변수들의 짝을 예측식에 모두 넣는 것은 지양해야 한다는 의미이다.

표 6.1은 시정과 개별 설명변수 간 상관관계수의 유의성을 검정한 결과이다. 모든 기압계는 유의수준 0.2로 pearson 양측검정을 실시하였다. 굵은 글자로 표시한 변수는 유의한 상관관계가 있다는 대립가설이 채택된 변수들이다.

표 6.3 H1 유형 피어슨검정 및 ANOVA검정 결과와 VIF (유의수준 0.2)

설명 변수	시정과 상관관계수	시정과 상관관계수 피어슨검정 p-value	ANOVA 검정 p-value(>F)	VIF
H	0.01	0.855	0.8492	8.04
L	0.15	0.024	0.0002	6.47
B	-0.17	0.010	0.8703	6.00
V	-0.08	0.224	0.0854	2.71
TW-T	-0.16	0.017	0.5827	4.81
V850	0.15	0.024	0.0270	2.37
V925	0.04	0.586	0.3057	2.39
T-T850	0.08	0.221	0.3027	9.12
T-T925	0.06	0.403	0.1148	7.97

표 6.3의 둘째 열은 시정과 개별 설명변수 간 상관관계수의 유의성을 검정한 결과로, 모든 기압계는 pearson 양측검정을 실시하였다. 굵은 글자로 표시한 변수는 유의수준 0.2로 설정했을 때 해당 설명변수가 시정과 유의한 상관관계가 있는 것들이다. H1에서는 잠열과 보웬비, 수온-기온, 850hPa 풍속의 시정과 상관관계수는 통상적인 기준에서 상관관계수가 높지 않으나, 피어슨검정에서 유의하다는 결과를 얻었다.

표 6.3의 셋째 열은 모든 설명변수를 다중회귀식의 각 항으로 사용했을 때 유의수준 0.2로 ANOVA 검정을 실시한 결과이다. p-value가 유의수준 이하인 설명변수는 시정과 밀접한 관련이 있으므로, 되도록 다중 회귀식에 포함해야 한다는 의미로 해석할 수 있다.

VIF를 그림 6.1의 각 변수간 상관관계수와 연관지어 해석하면, 잠열과 상관관계수가 0.82로 높은 현열은 VIF가 10 이상이 아니더라도 다중 공선성을 가지고 있을 가능성이 높다. 게다가 현열은 피어슨검정과 ANOVA 검정의 p-value가 모두 높으므로 제외하였다. T-T850과 T-T925도 상관관계수가 0.86이고, 특히 T-T850의 VIF가 9.12로 매우 높으나, T-T925가 ANOVA검정에서 유의수준 0.2를 만족하므로 T-T925를 선택하였다. 한편 보웬비와 수온-기온은 VIF가 높지 않으나 이들 간의 상관관계수가 0.86으로 높아 둘 중 하나를 택일해야 하는데, 표 6.3의 값만으로는 둘 중 무엇을 선택해야 할지 알 수 없어 다른 실험을 추가해야 한다. 보웬비와 수온-기온을 다 제외하는

선택지는 증기안개 발생 매커니즘을 고려할 때 타당하지 않다. 하천의 수온과 기온의 차가 크지 않으면 증기안개가 발생하지 어려울뿐더러, 보웬비 계산식에도 수온-기온항이 포함되기 때문에 택일하는 것은 바람직하나 둘 다 제외하는 것은 곤란하다.

표 6.4 H1 후보 모델의 보정 결정계수와 모델 간 ANOVA검정 결과(유의수준 0.05)

후보 모델명	후보 변수	보정 결정계수	비교 모델	모델간 ANOVA검정 p-value
total	전체	0.075		
m1	B +V850 +(T-T925) +(TW-T) +L +V	0.065	total	0.1538
m2	B +V850 +(T-T925) +L +V	0.068	m1	0.5829
m3	B +V850 +(T-T925)	0.042	m2	0.0172

표 6.5 H1 후보 모델의 ANOVA 검정 결과 (유의수준 0.2)

설명변수 (m1)	p-value	설명변수 (m2)	p-value	설명변수 (m3)	p-value
B	0.0273	B	0.0271	B	0.0098
V850	0.0178	V850	0.0176	V850	0.0207
T-T925	0.8035	T-T925	0.8032	T-T925	0.4239
L	0.0204	L	0.0202		
V	0.0225	V	0.0223		
TW-T	0.5829				

표 6.4의 m1은 표 6.3에 나열한 전체 설명변수 중 유의하다고 판단되는 변수만을 추출한 것이다. m1의 설명력 즉 보정된 결정계수를 조사한 결과 total에 비해 감소폭이 적었고, 모델 간 ANOVA 검정에서도 total과 m1이 차이가 없다는 결과가 나왔다.

m1 단일모델에 대한 ANOVA 검정에서 p-value가 높은 TW-T를 제외하고 m2를 만들어 표 6.4의 과정을 다시 수행하였다. 증기안개도 복사안개와 마찬가지로 이론적으로 역전층의 존재여부 또는 강도가 중요하므로 높은 p-value에도 불구하고 T-T925는 그대로 유지하고 갔다. 그 결과 m2의 보정 결정계수는 오히려 m1보다 미소하게 높은 값을 나타내었다.

표 6.4로 볼 때 m2가 가장 최적의 변수 조합이다. 그러나 추후 계수를 최적화할 때 연산 시간이 매우 오래 걸리는 문제가 있어, V와 V850 중 m2의 ANOVA검정에 대한 p-value가 낮은 V850을 택하였다. 보웬비 보다는 잠열의 p-value가 다소 작지만, 보웬비는 잠열과 현열을 모두 포함한다는 장점이 있어 보웬비를 선택하였다. 이렇게 만들어진 m3는 m2에 비해 다소 설명력에서 손실을 입었지만 연산 능력의 한계로 인해 m3를 채택하였다.

3. H2 (고기압 중심 : 몽골 주변)

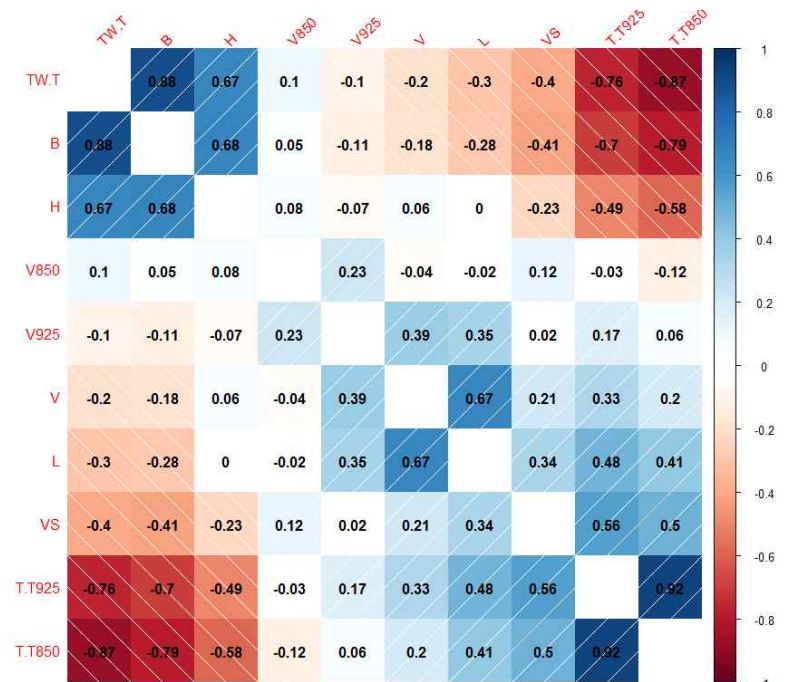


그림 6.2 H2 유형의 각 변수 간 상관관계

VS: 시정 H: 현열 L: 잠열, B: 보웬비, V: 지상풍속, TW.T: 수온-기온,
V850: 850hPa 풍속, V925: 925hPa 풍속, T.T850: 지상기온-850hPa 기온
T-T925: 지상기온-925hPa 기온

표 6.6 H2 후보 모델의 보정 결정계수와 모델 간 ANOVA 검정 결과(유의수준 0.2)

설명 변수	시정과의 상관계수	시정과의 상관계수 피어슨검정 p-value	ANOVA 검정 p-value(>F)	VIF
H	-0.23	3.82×10^{-6}	2.63×10^{-8}	2.21
L	0.34	5.96×10^{-12}	1.23×10^{-15}	2.38
B	-0.41	$<2.2 \times 10^{-16}$	1.17×10^{-8}	4.93
TW-T	-0.40	$<2.2 \times 10^{-16}$	0.1372	7.97
V	0.21	1.68×10^{-5}	0.7579	2.20
V850	0.12	0.013	0.0002	1.15
V925	0.02	0.655	0.0003	1.36
T-T850	0.50	$<2.2 \times 10^{-16}$	6.77×10^{-9}	14.83
T-T925	0.56	$<2.2 \times 10^{-16}$	8.08×10^{-7}	8.68

850hPa 및 925hPa 풍속을 제외하면 시정과의 상관계수의 절대값이 0.2 이상이며, 특히 보웬비와 수온-기온, T-T850과 T-T925는 절대값이 0.4 이상으로 다른 유형에 비해 변수들의 상관계수가 비교적 높다. 이에 따라 피어슨검정에서도 925hPa 풍속을 제외하면 시정과의 상관관계가 모두 유의하다. 한편 ANOVA검정에서도 지상풍속을 제외하면 모두 시정 예측에 필수적인 변수라는 결과가 나온다. 이에 따라 VIF가 높은 수온-기온과 T-T850, 그리고 피어슨검정과 ANOVA검정에서 유의성이 기각된 지상풍속과 925hPa 풍속을 제외한 변수들로 후보모델 m1을 구성하였다.

total과 m1 사이 ANOVA 검정에서는 두 모델의 차이가 큰 것으로 나타나나, 보정 결정계수를 비교할 때 보정 결정계수의 손실이 적다. 또한 보웬비에 포함되어 있는 현열과 잠열을 제외한 m2의 보정 결정계수를 조사한 결과 m1과 거의 차이가 없고, 모델간 ANOVA 검정에서도 유의수준 0.05 이상에서 m1과 차이가 없는 것으로 나타났다. 이에 따라 m2를 최적 모델로 결정하였다.

표 6.7 H2 후보 모델의 보정 결정계수와 모델 간 ANOVA 검정 결과(유의수준 0.05)

후보 모델명	후보 변수	보정 결정계수	비교 모델	모델간 ANOVA검정 p-value
total	전체	0.353		
m1	H+ L +B +V850 +(T-T925)	0.336	total	0.006
m2	B +V850 +(T-T925)	0.331	m1	0.076

4. H3 (고기압 중심 : 중국 내륙)

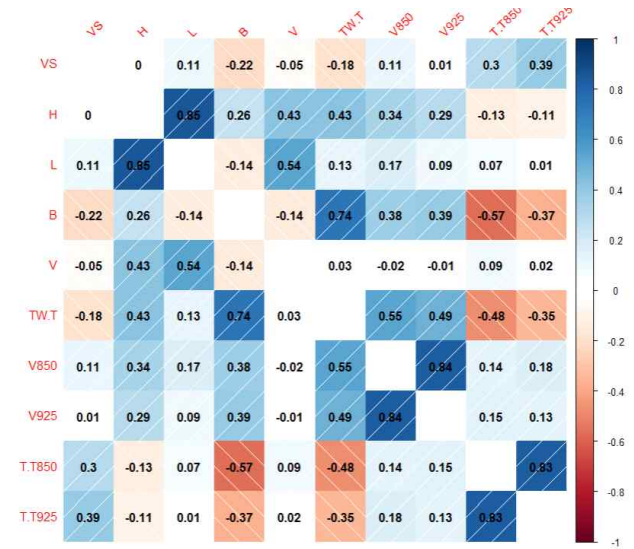


그림 6.3 H3 유형의 각 변수 간 상관계수

VS: 시정 H: 현열 L: 잠열, B: 보웬비, V: 지상풍속, TW.T: 수온-기온,
V850: 850hPa 풍속, V925: 925hPa 풍속, T.T850: 지상기온-850hPa 기온
T-T925: 지상기온-925hPa 기온

표 6.8 H3 유형 피어슨검정 및 ANOVA 검정 결과와 VIF (유의수준 0.2)

설명 변수	시정과의 상관계수	시정과의 상관계수 피어슨검정 p-value	ANOVA 검정 p-value(>F)	VIF
H	0.00	0.960	0.955	8.03
L	0.11	0.049	2.39×10^{-5}	8.07
B	-0.22	5.73×10^{-5}	0.027	4.06
V	-0.05	0.395	0.004	1.48
TW-T	-0.18	0.001	0.262	3.39
V850	0.11	0.045	7.45×10^{-6}	4.20
V925	0.01	0.817	0.072	3.80
T-T850	0.30	2.98×10^{-8}	0.011	5.61
T-T925	0.39	1.36×10^{-13}	2.64×10^{-7}	3.66

하층대기 안정도를 나타내는 T-T850과 T-T925의 시정과의 상관관계수가 가장 높게 나타났고, 피어슨 검정에서도 p-value가 가장 낮게 나타났다. 그 외에도 잠열, 보웬비, 수온-기온, 850hPa 풍속이 시정과 유의미한 상관관계가 있다는 결과가 나왔다. 한편 설명 변수 간 상관관계는 현열과 잠열, 보웬비와 수온-기온, T-T925와 T-T850 간에 상관관계수 0.8 이상으로 매우 강한 양의 상관관계가 있고, 850hPa 풍속과 925hPa 풍속 사이에도 상관관계수가 0.8에 근접한 양의 상관관계가 나타났다. 이들 변수를 같이 회귀식에 넣는 것은 그 식의 설명력을 떨어뜨릴 우려가 있어 되도록 피하였다.

모든 변수를 회귀식에 넣었을 때의 VIF는 현열과 잠열이 각각 8을 초과하여, 상관관계 검정과 ANOVA 검정에서 모두 유의한 잠열만 택하였다. 또한 보웬비와 수온-기온 중에서는 두 검정에서 모두 유의한 결과가 나타난 보웬비를 우선으로 m2에서 실험해 보았으나, 보웬비 대신 수온-기온을 넣은 m3조합도 테스트해 보았다. 마찬가지로 풍속 중에는 850hPa 풍속을 선택하고, 피어슨 검정과 ANOVA 검정을 모두 만족한 안정도 변수는 p-value가 더 낮은 T-T925를 선택하였다.

표 6.9 H3 후보 모델의 보정 결정계수와 모델간 ANOVA 검정 결과(유의수준 0.05)

후보 모델명	후보 변수	보정 결정계수	비교 모델	모델간 ANOVA검정 p-value
total	전체	0.201		
m1	L +B +(TW-T) +V850 +(T-T925)	0.167	total	0.001
m2	B +V850 +(T-T925)	0.162	m1	0.172
m3	(TW-T) +V850 +(T-T925)	0.159	m1	0.108

모델 간 ANOVA 검정 결과 total과 m1에는 유의미한 차이가 있다는 결과가 나타났으나, 보정 결정계수는 0.4 감소하여 하락폭이 크지는 않았다. 보웬비를 넣은 m2와 수온-기온을 넣은 m3는 m1과 비교할 때 ANOVA 검정에서 유의미한 차이가 없으며, 보정 결정계수도 m1, m2, m3 모두 비슷하다. 이러한 상황에서는 보웬비 보다 더 단순하고 계산하기 쉬운 수온-기온을 택하는 것이 바람직하다고 생각하여 m3를 채택하였다.

5. H4 (오호츠크해 기단 또는 동해상 고기압)

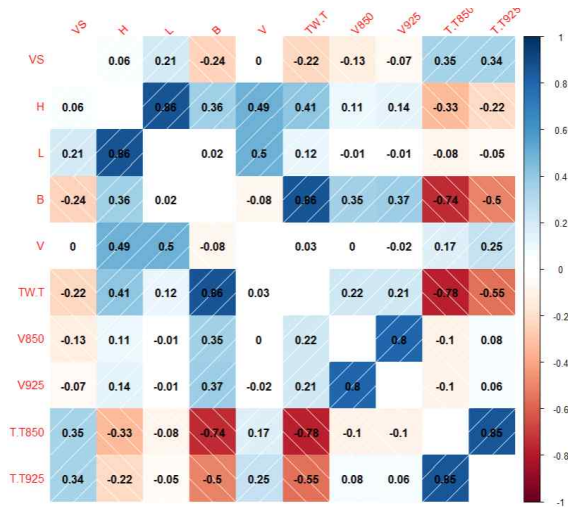


그림 6.4 H4 유형의 각 변수 간 상관관계수

VS: 시정 H: 현열 L: 잠열, B: 보웬비, V: 지상풍속, TW.T: 수온-기온,
V850: 850hPa 풍속, V925: 925hPa 풍속, T.T850: 지상기온-850hPa 기온
T-T925: 지상기온-925hPa 기온

표 6.10 H4 유형 피어슨검정 및 ANOVA 검정 결과와 VIF (유의수준 0.2)

설명 변수	시정과의 상관계수	시정과의 상관계수 피어슨검정 p-value	ANOVA 검정 p-value(>F)	VIF
H	0.06	0.484	0.429	8.32
L	0.21	0.014	6.89x10⁻⁵	6.47
B	-0.24	0.003	0.101	5.95
V	0.00	0.969	0.113	1.73
TW-T	-0.22	0.007	0.490	5.19
V850	-0.13	0.129	0.530	2.93
V925	-0.07	0.419	0.240	3.03
T-T850	0.35	1.94x10⁻⁵	1.98x10⁻⁵	7.93
T-T925	0.34	2.82x10⁻⁵	0.070	4.63

하층대기 안정도를 나타내는 T-T850과 T-T925의 시정과의 상관관계수가 가장 높게 나타났고, 피어슨 검정에서도 p-value가 가장 낮아 시정과의 상관관계가 상당히 유의한 것으로 나타났다. 그 외에도 잠열, 보웬비, 수온-기온, 850hPa 풍속이 시정과 유의미한 상관관계가 있다는 결과가 나왔다.

한편 설명 변수 간 상관관계는 현열과 잠열, 보웬비와 수온-기온, T-T925와 T-T850 간에 상관계수 0.8 이상으로 매우 강한 양의 상관관계가 있고, T-T850과 보웬비, 수온-기온과 T-T850간 -0.8에 근접하는 강한 음의 상관관계가 있어 이들 변수 쌍을 모두 증기안개 예측식에 넣는 것은 피해야 한다.

VIF에서도 그와 비슷한 결과가 나타난다. VIF가 10을 초과하는 변수는 없으나, 현열과 T-T850의 VIF가 8에 근접하고 있다. 특히 현열은 ANOVA검정에서 p-value가 높아 증기안개 지수식에서 제외하였다. T-T850과 T-925는 모두 피어슨 검정과 ANOVA검정의 유의수준을 만족하지만, 특히 T-T850의 VIF가 높고 보웬비와 수온-기온과 상관관계가 높은 점을 고려하여 T-T850을 제외하였다. 보웬비와 수온-기온 중에는 피어슨검정과 ANOVA 검정의 유의수준을 모두 만족하는 보웬비를 택하였다. 풍속(지상, 925 및 850hPa) 중에는 피어슨검정과 ANOVA검정의 유의수준을 모두 만족하는 변수가 없어, 지상풍속과 850hPa 풍속을 각각 넣은 다중회귀식(m1, m2)을 후보로 삼았다.

표 6.11 H4 후보 모델의 보정 결정계수와 모델 간 ANOVA 검정 결과(유의수준 0.05)

후보 모델명	후보 변수	보정 결정계수	비교모델	모델간 ANOVA 검정 p-value
total	전체	0.215		
m1	L +B +V +(T-T925)	0.202	total	0.2713
m2	L +B +V850 +(T-T925)	0.168	total	0.0254
m3	B +V +(T-T925)	0.112	m1	4.76x10⁻⁵
m4	B +V850 +(T-T925)	0.123	m2	0.0040

m1~total과 m2~total 모델간 ANOVA 검정에서 m2와 total간 매우 차이가 크다는 결론이 나왔고, 이는 지상 풍속을 제외하지 않는 것이 좋다는 의미이다. 따라서 m1이 가장 최적 상태에 있는 변수 조합이나, 변수 4개 이상으로 최적화 작업을 시행할 경우 결과가 나올 때까지 수십 일 이상이 소요되는 문제가 있어 부득이하게 변수 하

나를 제외해야 했다. 보웬비는 현열의 잠열에 대한 비로, 잠열과 중복되므로 잠열을 제외한 m3과 m4의 보정 결정계수를 구하였다. 그 결과 m1과 m2와는 반대로, 850hPa풍속을 포함한 식의 보정 결정계수가 다소 높게 나왔다.

표 6.12 H4 후보 증기안개 예측식의 최적계수 선정 결과 (임계값 : 31)

m3	보웬비	지상풍속	T-T925	CSI	HR	FAR
	17.1	20.0	7.8	0.315	1.000	0.685
m4	보웬비	850풍속	T-T925	CSI	HR	FAR
	6.2	20.0	16.8	0.354	0.744	0.597

m3이 m4에 비해 조정결정계수가 높았던 경향이 반영되어, CSI도 m2가 약 0.4 더 높게 나왔다. 지상풍속과 850hPa 풍속의 계수는 똑같이 20.0으로 조정되었다. 그러나 m3에서는 보웬비의 계수가 T-T925의 계수보다 높으나, m4에서는 보웬비의 계수가 T-T925의 계수보다 작아지는 상반된 결과가 나왔다.

제3절 기압계별 증기안개 예측지수 개발 결과 및 검증

1. 기압계별 증기안개 예측지수 개발 결과

H4를 제외하면 CSI는 0.4 이상으로 비교적 높은 숙련도가 나타났다. 보웬비와 수온-기온을 제외한 나머지 두 항은 복사안개 개발 시기에서도 중요한 변수로 선정된 값들이다.

다만 수온은 증기안개 생성에 있어 매우 중요한 변수임에도 아직 예측 모델이 갖추어지지 않아 예보에 바로 적용할 수 없는 상황으로, 충주댐 방류하천 수온에 대한 예측 기술을 추가로 확보해야 한다. 외부에서 실시간으로 제공하는 하천 수온과 과거 자료를 통해 얻은 수온 감소 경향을 사용하는 통계적인 접근 방식을 고려하고 있다.

또한 방류 시점과 방류량 역시 증기안개 발생에 있어 중요한 요소이나, 매우 인위적인 요인으로 지속 시간과 방류량에 대한 예측이 불가능하고, 시정이나 다른 설명 변수와의 인과관계가 아직 명확하게 드러나지 못한 실정으로 기압계별 증기안개 예측지수 개발 시작 단계에서 제외하였다.

표 6.13 기압계별 증기안개 예측지수 개발 결과

H1	보웬비	850풍속	T-T925	CSI	HR	FAR
	1.7	0.7	2.5	0.445	0.890	0.529
H2	보웬비	850풍속	T-T925			
	-1.4	2.3	12.9	0.400	0.987	0.598
H3	Tw-T	850풍속	T-T925			
	-6.3	18.5	19.9	0.496	0.882	0.469
H4	보웬비	지상풍속	T-T925			
	17.1	20.0	7.8	0.315	1.000	0.685

2. 기압계별 증기안개 예측지수 검증

기압계 패턴별 증기안개 예측식의 검증은 2017년 9월부터 시작할 것이다. 증기안개 예측지수 계산 알고리즘을 python으로 코딩한 후 그 결과를 슈퍼컴퓨터 4호기로 그인서버에 검증 웹페이지에 표출하여 예측지수 조회 및 검증에 활용한다.

증기안개 예측식의 각 기상요소는 국지모델 예측값에서 공군비행장 지점의 기상요소를 00UTC 기준으로 매일 추출하여 예측식의 입력자료로 사용하였다. 다음 내용은 증기안개 특별관측을 실시한 날(2017.10.17.)의 증기안개 예측식 검증이다.

기압계 별 증기안개 예측식	오전(16일)								내일(10월 17일)											
	10	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
p1	49.4	50	61.2	62.2	60.5	60.2	63.1	61.5	64.9	60.9	70.3	71.9	74.1	74.7	62.1	62.3	45.2	36.0	30.2	
p2	37.2	39.3	47.3	48.1	47.19	47	45.9	40.8	43.3	43.1	40.3	38	40.1	40.9	40	40.4	51.1	77.1	96.7	
p3	131.6	139.7	109.6	73.5	44.8	42.3	34.2	22.15	3.19	-12.0	11.5	20	20.6	39.2	69.2	120.3	139.0	170.3	198.9	
p4	434.5	443.6	535.1	589.3	580.5	622.1	605.6	615.9	653.7	682.1	706.8	721.9	742.2	737.1	557.6	438.4	343.3	245.6	175.2	

그림 6.5. 실시간 FSI 검증 웹페이지

10월 17일 자정부터 충주호 방류하천 주변에서 증기안개의 발생 초기부터 최성기까지 기온, 시정, 풍속을 관측하고 증기무의 발달 과정을 촬영하였다.

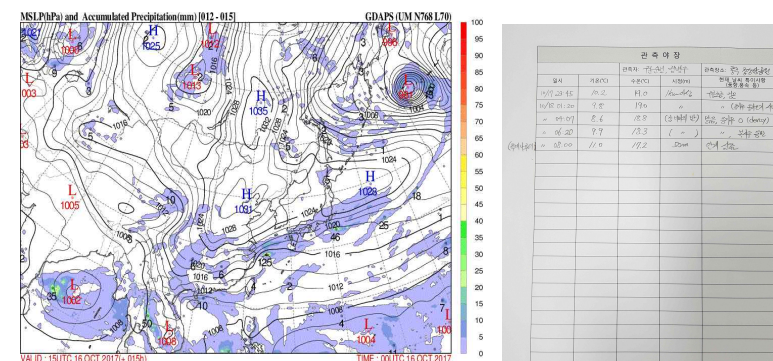


그림 6.6 10월 17일 예상일기도 및 특별관측 기록지

16일 00UTC 지상예상일기도에서는 16일 밤~17일 아침의 기압계 패턴을 P3로 예상하였고, P3 예측식에서는 17일 1시~7시까지 증기안개가 낄 것으로 예상을 하였다.

실제 관측현황은 아래 사진과 같다.



그림 6.7 증기안개 발생 초기(01:50)



그림 6.8 증기안개 발달기(04:00)



그림 6.9 증기안개 최성기(06:20)



그림 6.10 증기안개 최성기(07:30)

특별관측 결과 10월 17일 02시경부터 증기안개가 발생하기 시작하여 06시경에 최성기를 이뤄 8시 이후까지 증기안개가 지속된 것을 확인하였다. 이렇게 이번 특별관측 시기에는 증기안개 예측식이 대체로 정확한 결과를 나타내었으며, 추후 특별관측을 더 실시하여 검증하도록 하겠다.

다만 증기안개 예측식에는 수온이 필수 요소이나, 수온 데이터는 실시간으로 입수하는데 어려움이 많다. 한국수자원공사와 국립환경과학원에서 제공하는 자료는 QC를 거친 자료이고 제공방식도 일평균 수온과 6시간 단위의 수온 데이터라 증기안개 예측식에서 사용 하는 데 많은 어려움이 있다. 그래서 3차년도에는 과거 3년치의 5분단위 수온자료를 가지고 자체 수온 예측모델을 만든 후 증기안개 예측식에 적용할 계획이며, 증기안개 예측식과 수온 검증에도 추후에 사용할 계획이다.

제7장 결론

제1절 복사무 FSI 개발과 검증

먼저 충청북도 내 15개 지점의 시정계 관측값과 UM 국지모델(LDPS)과 국지양상불모델(LENS)의 시정 예측값을 각각 비교 분석하였다. 수치모델의 충청북도 안개 예측 특성을 조사하기 위해 2014~2017년 2월까지 충청북도 14개 AWS와 충주비행장 AMOS 시정 관측자료를 수집한 다음, 국지예보모델과 국지양상불모델이 생산한 충청북도 15개 지점의 시정 예측값과 실황값을 비교하여 모델별 RMSE, 상관계수, 안개유무 예측성능(FAR, HR, CSI)을 조사하였다. 국지모델은 2014년 1월 ~ 2017년 2월, 국지양상불모델은 2015년 11월 ~ 2017년 2월까지의 예측값을 사용하였고, 모델의 예측성능을 다방면으로 분석하기 위해 매시간 값, 일 최소값, 안개발생/비발생일별, 계절별로 나눠서 실제 관측값과 비교하였다. 그 결과 RMSE는 대부분 모델과 지역에서 10,000m가 넘었고, 상관계수도 0.2~0.4 범위에 들어 예측값과 시정값 간의 상관성이 낮았다. 또한 CSI와 HR은 낮고 FAR는 높아서 수치모델의 지역별 시정값 예측은 실황과 차이가 컸다.

모델 예측값을 안개 예보에 그대로 사용하는 데는 한계가 있어 복사안개 예측지수(FSI) 개발에 착수하였다. 우선 미국 공군에서 사용한 FSI를 충청북도 기상관서에 그대로 적용하여 검증해 보았다. 그 결과 충청북도 모든 기상관서에서 CSI가 0.1 미만, FAR와 HR은 0.95 이상으로 숙련도가 매우 저조하였다. 따라서 충청북도 5개 기상관서에 대해 미 공군 FSI를 우선 그대로 적용해 보고, 각 항의 계수와 임계값을 바꾸어 수정 FSI를 만든 결과이다.

- 충 주 : $34.4(T - T_d) + 1.5(T - T_{850}) + 0.5 WS_{850}$, 임계값=7, CSI=0.243
- 청 주 : $21.3(T - T_d) + (T - T_{850}) + 0.3 WS_{850}$, 임계값=7, CSI=0.405
- 추풍령 : $5.3(T - T_d) + 0.1(T - T_{850})$, 임계값=4, CSI=0.240
- 제 천 : $5.8(T - T_d) + 0.2 WS_{850}$, 임계값=5, CSI=0.156
- 보 은 : $30.1(T - T_d) + 0.8(T - T_{850}) + 0.4 WS_{850}$, 임계값=5, CSI=0.120

충청북도 내 다른 관서에 비해 비교적 안개 사례가 많았던 충주 및 보은의 복사무 발생 사례를 5개 기압계 유형(H1: 시베리아 기단이 중국 북부지방으로 확장, H2: 시베리아 기단이 중국 동북지방·연해주로 확장, H3: 중국 내륙에서 고기압 발달, H4: 동해상 고기압, H5: 북태평양 고기압)으로 구분하였고, 사례가 극히 적은 H4와 H5는 제외하였다. 그 결과 도출된 기압계별 FSI와 그 CSI는 다음과 같으며, 기압계 구분이 없는 FSI에 비해 CSI가 대체로 0.1~0.2가량 향상되었다.

- 충주 H1 : $4.3 WS_{850} + 9.5(T - T_d) + 4.4(T - T_{850})$, 임계값=31, CSI=0.349
- 충주 H2 : $3.4 WS_{850} + 10(T - T_d) + 0.1(T - T_{850})$, 임계값=24, CSI=0.230
- 충주 H3 : $9.3 WS + 9.9(T - T_d) + 8.8(T - T_{850})$, 임계값=13, CSI=0.302
- 보은 H1 : $3.5 WS_{925} + 10(T - T_d) + 0.1(T - T_{850})$, 임계값=26, CSI=0.337
- 보은 H2 : $3.9 WS_{850} + 9.9(T - T_d) + 4.8(T - T_{850})$, 임계값=31, CSI=0.420
- 보은 H3 : $3.3 WS_{925} + 10(T - T_d) + 6.1(T - T_{850})$, 임계값=31, CSI=0.246

충청북도지방의 기상관서인 청주, 충주, 보은 지점의 FSI의 안개 모의확률을 국지 모델과 비교하였다. 2017년 9월부터 2017년 11월까지 시정값과 국지 및 국지 앙상블 모델이 예측한 시정 예측값과 FSI를 비교 분석하였다. 그 결과 충주, 청주, 보은지점의 국지 및 국지앙상블모델의 CSI는 0이고, FSI의 CSI는 충주는 0, 청주 0.04, 보은 0.26을 나타내었다. 이번 검증에서는 안개 발생사례가 충주, 청주는 5회 이하여서 CSI 검증에서는 무의미하였고, 보은지점은 안개발생이 42회로 검증이 유의미 하였다. 하지만 기간을 좀 더 늘려서 많은 사례를 가지고 검증을 할 것이며, 검증된 결과를 가지고 FSI 식을 좀 더 보정을 할 예정이다.

제2절 기압계별 증기무 예측식 개발

충주댐 방류하천의 증기안개 발생특성을 조사하기 위해서 2014년부터 2017년 3월까지의 공군 19전투비행단의 AMOS 자료와 목측관측자료, 한국수자원공사 및 국립환경과학원의 수온자료를 요청해 증기안개의 특성을 분석하였고, 그 결과 밝혀진 계절별(가을, 겨울) 증기안개와 기압계 패턴별 평균적인 특성은 표 7.1 및 표 7.2와 같았다. 기압계 패턴 구분은 수정FSI 개발과정에서 실시한 구분 기준과 동일하다.

표 7.1. 충주댐 방류하천 증기안개 계절별 발생 특성(2014.1.~2017.3.)

계 절	시 종 시간				ΔT (백 만)	현열 (W/m^2)	잠열 (W/m^2)	보웬비	하늘상태 (8 Octa)	습도 (%)	지상풍속 (m/s)
	시	종	지속								
가 울	4.3	8.8	4.5	10.8	225	14.8	19.9	0.72	1.5	93.6	0.5
겨 울	4.2	8.8	4.6	15.2	205	18.2	13.3	1.41	1.4	86.6	0.4

표 7.2 충주댐 방류하천 증기안개 기압계 패턴별 발생 특성

기압계 패턴	시 종 시간				ΔT (백 만)	현열 (W/m^2)	잠열 (W/m^2)	보웬비	하늘상태 (8 Octa)	습도 (%)	지상풍속 (m/s)
	시	종	지속								
H1	4.4	9.2	4.8	12.5	266	16.1	19.4	0.86	1.7	94.1	0.5
H2	3.7	8.4	4.7	9.8	234	12.6	17.8	0.75	1.5	89	0.7
H3	4.3	8.9	4.6	13.6	179	19.2	19	1.07	1.1	90.6	0.4
H4	4.5	7.8	3.3	11.8	194	12.7	14.0	0.92	1.8	91.1	0.2

대체로 증기안개의 지속시간은 4~5시간 정도이며, 기온과 수온의 차이는 10~15도 차이를 보였다. 가을에는 평균적으로 잠열이 현열에 비해 작으나, 겨울에는 잠열에 비해 현열이 더 크게 나타났다. 이는 가을철보다 겨울철에 평균적으로 기온이 낮으나 수온 변화는 작기 때문에 나타나는 현상으로 보인다. 하늘 상태는 맑음 수준일 때, 풍속은 매우 약할 때 나타났다.

계절별 증기안개 예측식을 개발하기 위하여 다중회귀분석을 통해 시정을 피예측인자로 두고 후보 예측인자간 상관계수 분석을 통해 다중공선성을 가진 변수가 있는지 점검하였다. 그 다음 시정과 각 예측인자간 상관성을 점검(anova-test, 유의수준 0.2)을 하였고, 후진제거법을 통해 불필요한 변수를 제거하여 예측인자를 선정하였다. 2014년 9월~2017년 2월까지의 충주비행장에서 관측한 증기안개 발생일의 매시간 관

측자료를 이용하여 풍속, 수온, 방류량, 현열, 잠열, 보웬비 등의 예측인자로 시정에 대한 다중회귀분석을 실시하였다. 그 결과 만들어진 증기안개 예측식과 그 식의 숙련도는 표 0.6.에 제시하였다. 봄과 여름철에는 증기무가 잘 발생하지 않으므로 제외하였다.

표 7.3 기압계별 증기안개 예측식과 숙련도

H1	보웬비	850풍속	T-T925	CSI	HR	FAR
	1.7	0.7	2.5	0.445	0.890	0.529
H2	보웬비	850풍속	T-T925			
	-1.4	2.3	12.9	0.400	0.987	0.598
H3	Tw-T	850풍속	T-T925			
	-6.3	18.5	19.9	0.496	0.882	0.469
H4	보웬비	지상풍속	T-T925			
	17.1	20.0	7.8	0.315	1.000	0.685

기압 패턴별 증기안개 예측식을 사용하여 특정일의 증기안개 사례를 검증해 보았다. 2017년 10월 16일 야간부터 익일 아침까지 충주호 방류하천에서 발생하는 증기안개의 발생초기부터 소멸 까지 특별관측을 실시하였다.

관측을 실시하고 난 후 국립환경과학원의 수온 관측자료를 입수하여 증기안개 예측식에 수온을 입력하여 증기안개 예측식을 살펴보았다.

10월 17일 새벽의 지상일기도 패턴은 연해주지방에 중심을 둔 고기압의 영향을 받는 P2 패턴이었으며, 16일 밤부터 익일 오전까지 증기안개가 발생한다고 예측을 했다.

이에 실제 증기안개 발생현황을 실제관측과 해상도가 향상된 천리안 2A 위성영상을 검증에 활용하였다. 실제 관측에서 17일 3시경부터 방류하천부근에서 증기안개가 발생하기 시작하였으며, 4시 이후 부터 곳곳에서 성장하기 시작하였다. 실제 위성영상에서도 충주호 부근에서 안개가 탐지되었으며, 6시 부터는 곳곳에서 안개가 탐지되었다.

추후 증기안개 발생현황을 특별관측이나 CCTV 자료를 활용하여 많은 검증을 할 것이며, 공군 충주비행장의 협조를 얻어 증기안개식을 검증하고 보완해 나갈 것이다.

2차 년도에서는 증기안개 검증 시스템에 웹페이지에 구축한 후 증기안개 예측식에서 예상하는 증기무 발생 유무와 실행값을 비교하고 있으며, 추후 증기안개 예측식을 보완할 계획이다. 증기안개에 대한 시정 및 기상 요소의 관측값은 전적으로 충주비행단의 목적값과 AMOS 값을 사용하기에 3차 년도에는 여러차례 특별관측을 수행하여 자체 관측자료를 확보하여야 한다.

제3절 3차 년도 연구를 위한 제언

1차 년도에는 충청북도에서 발생한 안개의 사회·경제적 영향에 대해 조사하고 안개의 통계적 특성에 대해 알아보았다. 그리고 충주호 주변에서 발생한 증기안개와 복사안개의 발생 메커니즘에 대해 알아보았다. 이를 토대로 2차 년도에는 안개 유형별 예측 기법을 개발하고 검증하였으며, 안개 상습 도로구간의 안개 예측 기법과 서비스 체계를 개발하였다. 또한 충주호 주변의 안개 및 관련 기상변수에 대한 관측도 1차 년도부터 계속 실시하고 있으며, 그 일환으로 충주호 주변 증기안개 발생 시 현장 관측을 실시하였다.

2차 년도에 실시한 LDPS와 LENS의 안개 예측성능에 대한 연구 결과 예측 시정과 실제 시정간의 유의미한 상관관계가 있음이 드러났다. 따라서 3차 년도에는 기압계나 강수 유무 등 기상 상황에 따른 예측값과 실제 시정 사이의 통계적인 경향을 분석하여 충청북도 상황별 수치모델 해석 가이던스를 만들 예정이다. 또한 댐 방류수로 인한 방류하천의 수온 상승이 증기안개 발생 가능성을 높이는 역할을 하나, 방류량과 수온 변화의 관계를 파악하는 데 있어 시간 간격이 조밀한 자료 수집이 어려웠고, 두 변수 간에 뚜렷한 통계적 경향이 드러나지 않는 문제가 있었다. 3차 년도에는 방류수온과 시기, 방류량을 고려한 방류하천 수온 예측모델을 개발한 뒤, 증기안개 예측지수에 반영하여 충주호 안개 예측기법을 더욱 강화할 것이다.

연간 안개 발생 빈도 자체가 높지 않고, 관측망의 한계로 인한 안개 관측 자료 부족으로 기압계 등 여러 가지 상황을 고려한 안개 예보 기법을 만들기 위한 통계적인 유의성을 확보하기 어렵다. 따라서 2차 년도 9월부터 발생한 안개 사례를 이용하여 올해 개발한 수정 FSI와 증기안개 예측지수를 검증하고 개선하는 작업을 3차 년도에 착수할 것이다. 또한 모델보다 수정 FSI의 예측 성능이 더 높으므로, 충북지역 14개 시정계 지점으로 수정 FSI의 적용 범위를 확대할 것이다. 마지막으로, 국가기상위성센터에서 차세대 위성 개발 과정 중에 시범운영하고 있는 천리안 2A 안개 산출물을 이용하여 안개의 영향 범위를 보다 상세히 분석하고자 한다.

참 고 문 헌

- 국토교통부, 2015: 도로현황조사. 발간물등록번호 11-1613000-000029010.
- 국토교통부 국토지리정보원, <http://www.ngii.go.kr/child/contents/contentsView.do?rbsIdx=33>.
- 기상청, 2015: 주요 안개 사례 분석을 통한 안개 분석기술과 예측방법.
- 김경보, 2005: 겨울철 cP 확장시 대기와 해양간의 열교환에 따른 제주연안 강설특성. *제주대학교 석사학위논문*, p.3.
- 김성삼, 이내영, 1970: 한국 안개 기후구 설정에 관하여. *한국기상학회지*, **6**, 1-15.
- 김해동, 2016: 낙동강 구미보의 증기 안개에 관한 연구. *환경과학회*, **25**, 163-171.
- 민경덕, 1976: 경부 고속도로상의 안개 구역에서의 안개 발생에 관한 연구. *한국기상학회지*, **12**, 13-24.
- 박용대, 성학중, 박종탁, 1979: 영동고속도로 기상 특성. *기상연구소*, *MR-79-7*, 166 pp.
- 박준태, 이수범, 이수일, 2011: 고속도로 안개발생 빈도추정 모형 개발. *한국안전학회지*, **26(4)**, 127-134.
- 사천 악시정 국지예보법, *공군 기상단 악시정 국지예보법*.
- 송윤영, 염성수, 2013: 인천국제공항의 안개 특성에 따른 안개 안정 지수 FSI(Fog Stability Index) 개발 및 검증. *대기*, **23**, 443-452.
- 안중배, 남재철, 서장원, 이해진, 2002: 해무 예측 모듈 개발과 울릉도 해무 사례 적용 연구. *한국기상학회지*, **38**, 155-164.
- 이강민, 2010: 충청지역 안개발생 특성 및 예측기법 개발. *공주대학교 대학교 대기과 학과 석사학위논문*.
- 이종범, 1981: 춘천지방의 인공호에 의한 안개 및 운량의 변화. *한국기상학회지*, **17**, 1018-1026.
- 이현동, 안중배, 2013: 경험적 방법을 통한 발생학적 한반도 안개 구분과 안개 발생 예측 가능성 연구. *대기*, **23**, 103-112.
- 임현호, 이화운, 이순환, 2005: 인천국제공항에서 발생한 안개의 특성분석. *한국기상학회지*, **41**, 1111-1123.
- 조혜진, 2003: 도로상 위험안개의 특징분석 및 발생지표의 개발. *대한지리학회지*, **38(4)**, 478-489.
- 한국기상학회·기상청, 2014: *대기과학용어사전*. 시그마프레스, 800 pp.
- 항공기상대, 2001: 공항 바람과 안개 특성 분석 및 객관적 예보기법 연구. *기상연구소* *MR012E21*, 78 pp.
- 허인혜, 이승호, 1998: 한국의 안개 분포와 특성. *한국지리환경교육학회지*, **6**, 71-85.
- 홍성길, 1982: 안동댐 건설 이후 안동지방의 안개 증가. *한국기상학회지*, **18**, 26-32.
- Byers, H. R., 1959: *General Meteorology*. McGraw-Hill, New York.
- Chun Y., K. Boo, J. Kim, S. Kim, H. Cho, and S. Hong, 1999: Analysis of the radiation fog at the Kimpo International Airport in Autumn. *J. of Atmos. Res.*, **16**, 30-43.
- Cotton, W. R. and R. A. Anthes, 1989: *Storm and Cloud Dynamics*. Academic Press, Inc, 883 pp.
- Croft, P. J., R. L. Pfost, J. M. Mdlin, and G. A. Johnson, 1997: Fog forecasting for the southern region: A conceptual model approach. *Wea. Forecast.* **12**, 545-556.
- George, J. J., 1951: Fog. *Compendium of Meteorology*. Amer. Meteoro. Soc., 1179-1189.
- Gultepe, I., R. Tardif, S. C. Michaelides, J. Cermak, A. Bott, J. Bendix, M. D. Müller, M. Pagowski, B. K. Hansen, G. P. Ellrod, W. Jacobs, G. Toth, and S. Cober, 2007: Fog research: A review of past achievements and future perspectives. *Pure Appl. Geophys.*, **164**, 1121-1159.
- Holtzlag, M. C., G. J. Steeneveld, and A. A. M. Holtzlag, 2010: Fog forecasting: “old fashioned” semi-empirical methods from radio sounding observations versus “modern” numerical models. *5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew*, online available at <http://www.met.wau.nl / medewerkers /steeneveld /pubs.html>.
- Jiusto, J. E., 1980: Fog structure. *Invited Rev. Rap., Symp. Workshop Clouds: Their Form., Opt. Prop. Eff.*, IFAORS, Williamsburg, Va.

- Kim, C. K., and S. S. Yum, 2010: Local meteorological and synoptic characteristics of fogs formed over Incheon International Airport in the West Coast of Korea. *Adv. in Atmos. Sci.*, **27**, 761-776.
- Perry, A.H. and Symons, L.L., 1991: Highway Meteorology, *E & FN Spon.* London.
- Reymann, C. M., C. J. Piasecki, M. F. Hosein, M. S. Larabee, T. G. Williams, M. Jimenez, and D. Chapdelaine, 1998: *Meteorological Techniques*. Air Force Weather Agency, 242 pp.
- Willit, H. C., 1928: Fog and haze. *Mon. Wea. Rev.*, **56**, 435.
- Walker, M., 2003: The science of weather: Radiation fog and Steam fog, *Weather* **Vol.58**, Royal Meteorological Society, 196-197.