

발 간 등 록 번 호

11-1360689-000010-01

충청북도 호우·안개 영향예보 구축

2018



청 주 기 상 지 청 관측예보과

연구보고서

1. 제목: 충청북도 호우·안개 영향예보 구축
2. 연구부서: 청주기상지청 관측예보과
3. 연구기간: 2018. 1. ~ 2018. 12.
4. 연구책임자: 관측예보과장 유용규
5. 참여연구원: 정광모¹⁾, 이민우, 김진석, 김상용, 한상현, 김순, 이상래, 김종찬, 이양동, 김응식, 변형, 장태준, 김기봉, 이라미, 서유미, 김지영, 박승빈, 이혜정, 안양근, 박현진, 김태열, 이지은, 신기종, 정병우, 김소희, 김예림, 서우석, 정기덕²⁾, 김나윤²⁾, 조성양²⁾, 나은미²⁾, 김충식²⁾, 고병승²⁾, 권순범²⁾, 서가영²⁾, 김우철³⁾, 김주현⁴⁾, 장소리⁴⁾
 - 1) 청주기상지청장
 - 2) 청주기상지청 기후서비스과
 - 3) 방재기상지원관
 - 4) 기간제 연구원

목 차

목차	i
그림목차	ii
표목차	iii

PART I 안개영향예보

제1장 서론	1
제2장 안개의 분류와 발생 특성	5
제3장 충청북도 안개안정지수(FSI) 개발	7
1. 복사안개	7
1.1. 자료	7
1.2. 연구방법	9
1.3. 복사안개 FSI 개발	12
1.4. 검증 결과	15
2. 증기안개	19
2.1. 자료	19
2.2. 연구방법 및 식 개발	20
제4장 충북지역 복사안개 예측 분포도 구축	22
1. 복사안개 예측 분포도 개요	22
1.1. 적용 모델	22
1.1.1. 국지모델	22
2. 복사안개 예측 분포도 표출	24
2.1. 표출 방법	24
2.2. 각 지점특성에 맞게 FSI 임계값 계산	25
2.3. 임계값 이용한 지점별 안개유무 그래픽 생산	25

2.4. 생산된 이미지를 웹에 표출	26
제6장 요약 및 결론	28
참고문헌	38

PART II 호우 영향예보

제1장 서론	39
제2장 충북 침수위험지역 현장 답사	41
1. 예보 1팀 답사	41
2. 예보 2팀 답사	50
3. 예보 3팀 답사	65
4. 예보 4팀 답사	73
제3장 충청북도 호우영향예보 구축	80
1. 모델기반 재해발생 유무 검증	80
1.1. 사례선택	80
1.2. 모델별 영향예보 생산 및 위험단계 추정	81
1.3. 모델별 검증	88
1.3.1. 청주	90
1.3.2. 충주	91
2. 재해피해액 기반 검증	94
2.1. 재해 피해액 기반 위험단계 추정	94
2.1.1. 청주	95
2.1.2. 충주	98
2.2. 강수 재해 피해액 위험단계 비교·분석	99
2.2.1. 청주	100
2.2.2. 충주	103
2.3. 임계값 보정	106
제4장 충청북도 수위 분석	111

1. 충북지역 강수	111
1.1. 배경	111
1.2. 분석	111
1.3. 결과 및 제언	117
2. 강수-수위 분석	118
2.1. 배경	118
2.2. 분석	119
2.2.1. 영동	119
2.2.2. 옥천(황간)	120
2.2.3. 옥천(산계)	122
2.2.4. 증평	123
2.2.5. 진천	125
2.2.6. 상당	126
2.2.7. 청주	128
2.2.8. 음성	129
2.2.9. 제천	131
2.2.10. 단양	132
제5장 충북 기상관측망 구축	134
1. 기상관측망 구축 개요	134
1.1. 추진배경	134
1.2. 현황 및 문제점	134
2. 기상요소 별 관측망 구성	135
2.1. Q-GIS를 활용한 지형분석	135
2.2. 기상요소 별 관측망 구성	136
제6장 요약 및 결론	145

그 림 목 차(PART I)

그림 3.1. 충청북도 14개 지점	7
그림 3.2. 충주의 임계값에 따른 숙련도의 변화	14
그림 3.3. 검증기간 동안 각 지점별로 발생한 안개 시간	16
그림 3.4. 개발한 FSI와 기존 모델(LDAPS와 LENS)의 지점별 CSI 비교	17
그림 3.5. 충주호 주변의 관측지점	20
그림 4.1. 개인계정의 crontab	24
그림 4.2. 충북 14개지점의 FSI 계산에 필요한 기상변수 추출 프로그램	24
그림 4.3. 충북 14개 지점의 FSI 매시각 생성 프로그램	25
그림 4.4. 충북 14개 지점의 안개유무 그래픽 표출 프로그램	25
그림 4.5. 충북 14개 지점의 안개유무 그래픽 생산	26
그림 4.6. 충북 14개 지점의 안개유무 그래픽 이동	26
그림 4.7. 충북 14개 지점의 안개유무 그래픽 표출	27
그림 6.1. 개발한 FSI와 기존 모델의 지점별 CSI 비교	36

그 림 목 차(PART II)

그림 2.1. 예보1팀 현장답사 지역	43
그림 2.2. 예보1팀 현장답사 지형	44
그림 2.3. 보은군 위성사진과 행정구역	51
그림 2.4. 보은군, 괴산군 지형	52
그림 2.5. 예보2팀 현장 답사 사진	53
그림 2.6. 일강수량 분포도 및 AWS 시계열	56
그림 2.7. 지역별 누적강수량과 호우특보 발표 현황	58
그림 2.8. 보은군 위성사진과 행정구역	63
그림 2.9. 보은군, 괴산군의 지형	64
그림 2.10. 영동군, 옥천군의 지형	68
그림 2.11. 영동군, 옥천군 침수지구	68
그림 2.12. 호우상황 모식도	72
그림 2.13. 조사지역 지형도 및 현장사진	74
그림 3.1. 모델별 검증지수 그래프	92
그림 3.2. 재해 피해액 기준 위험수준 분류	94
그림 3.3. 청주 그래프	105
그림 3.4. 충주 그래프	105
그림 3.5. 임계값 보정 계산 예시	106
그림 3.6. 보정 후 청주 그래프	110
그림 4.1. 7.16 집중호우 피해사진	118
그림 4.2. 충북 영동군의 계산 수위 지점	119
그림 4.3. 충북 옥천군의 황간 수위 지점	120
그림 4.4. 충북 옥천군의 산계 수위 지점	122
그림 4.5. 충북 증평군의 증평 수위 지점	123
그림 4.6. 충북 진천군의 진천 수위 지점	125
그림 4.7. 충북 청주시 상당의 옥화1교 수위 지점	126
그림 4.8. 충북 청주시의 용평교 수위 지점	128

그림 4.9. 충북 음성군의 추산교 수위 지점	129
그림 4.10. 충북 제천시의 구곡교 수위 지점	131
그림 4.11. 충북 단양군의 덕천교교 수위 지점	132
그림 5.1. 충북 지역 상세 지형도 구축	135
그림 5.2. 슈퍼컴 로그인서버에서 수행되는 crontab	136
그림 5.3. URL_API를 이용하여 강수량 호출하는 프로그램	137
그림 5.4. URL_API를 이용하여 각 지점별 강수량 저장	138
그림 5.5. 지도에 표출하기 위한 각종 정보	138
그림 5.6. 충북지역 지도에 강수량 표출 그래픽 저장	139
그림 5.7. 충북지역 지도에 강수량 자료 웹 표출 프로그램	139
그림 5.8. 실시간 웹에 표출된 충북 강수량자료	140
그림 5.9. URL_API를 이용하여 시정 호출하는 프로그램	141
그림 5.10. URL_API를 이용하여 각 지점별 시정 저장	141
그림 5.11. 지도에 표출하기 위한 각종 정보	142
그림 5.12. 충북지역 지도에 시정 표출 그래픽 저장	142
그림 5.13. 충북지역 지도에 시정 자료 웹 표출 프로그램	142
그림 5.14. 실시간 웹에 표출된 충북 시정자료	143
그림 5.15. 실시간 웹에 표출된 충북 수위 관측망	144
그림 5.16. 실시간 웹에 표출된 충북 적설 관측망	144
그림 6.1. 충청북도 상세지형도	146

표 목 차(PART I)

표 3.1. 충청북도 14개 지점 정보	8
표 3.2. 숙련도 평가방법	11
표 3.3. 안개와 비안개 사례에 대한 각 지역별 FSI와 임계값	13
표 3.4. 안개 사례에 대한 각 지역별 FSI와 임계값	15
표 3.5. 각 지점별 검증 결과	17
표 3.6. 각 지점별 개발된 FSI	18
표 4.1. 기상청의 수치예보모델 운영 현황	22
표 4.2. 국지예보시스템의 주요 특성	23
표 6.1. 충청북도 14개 지점 정보	29
표 6.2. 숙련도 평가방법	32
표 6.3. 안개와 비안개 사례에 대한 각 지역별 FSI와 임계값	33
표 6.4. 안개 사례에 대한 각 지역별 FSI와 임계값	34
표 6.5. 각 지점별 검증 결과	35
표 6.6. 각 지점별 개발된 FSI	37

표 목 차(PART II)

표 1.1. 충북의 여름철 강수량 변화 현황	39
표 2.1. 침수위험지역 현장점검 일정	41
표 2.2. 괴산군 행정구역 및 특성	51
표 2.3. 보은 일강수량 최고순위	54
표 2.4. 최근 10년(2008~2018년) 보은지역 강수량 극값 순위	54
표 2.5. 호우특보 발표시간과 해당지역	57
표 3.1. 일 강수 20mm 이상 사례	80
표 3.2. 위험수준 임계값	82
표 3.3. ECMWF	82
표 3.4. UM 전구 앙상블	83
표 3.5. UM 국지 앙상블.....	84
표 3.6. 위험수준 임계값	85
표 3.7. ECMWF	85
표 3.8. UM 전구 앙상블	86
표 3.9. UM 국지 앙상블.....	87
표 3.10. 예보분류표	88
표 3.11. 검증지수	89
표 3.12. 모델 예보 분류표(청주)	90
표 3.13. 모델별 검증 지수	91
표 3.14. 모델 예보 분류표(충주)	91
표 3.15. 모델별 검증 지수	91
표 3.16. 위험단계 분석표(청주)	95
표 3.17. 위험단계 분석표(충주)	98
표 3.18. 위험단계 비교표(청주)	100
표 3.19. 위험단계 비교표(충주)	103
표 3.20. 강수량 위험단계 예측 결과(청주)	104

표 3.21. 강수량 위험단계 예측 결과(충주)	105
표 3.22. 임계값 보정 전후 비교	106
표 3.23. 임계값 보정 결과	107
표 3.24. 임계값 보정 전후 비교(청주)	110
표 4.1. 상관계수-청주	111
표 4.2. 회귀분석-청주	112
표 4.3. 상관계수-충주	112
표 4.4. 회귀분석-충주	112
표 4.5. 상관계수-보은	113
표 4.6. 회귀분석-보은	113
표 4.7. 상관계수-진천	114
표 4.8. 회귀분석-진천	114
표 4.9. 상관계수-괴산	114
표 4.10. 회귀분석-괴산	115
표 4.11. 상관계수-옥천	115
표 4.12. 회귀분석-옥천	115
표 4.13. 상관계수-영동	115
표 4.14. 회귀분석-영동	116
표 4.15. 상관계수-음성	116
표 4.16. 회귀분석-음성	116
표 4.17. 상관계수-증평	116
표 4.18. 회귀분석-증평	116
표 4.19. 강수-수위 그래프(계산)	119
표 4.20. 강수-수위 그래프(황간)	121
표 4.21. 강수-수위 그래프(산계)	122
표 4.22. 강수-수위 그래프(증평)	124
표 4.23. 강수-수위 그래프(진천)	125
표 4.24. 강수-수위 그래프(상당)	127
표 4.25. 강수-수위 그래프(청주)	128
표 4.26. 강수-수위 그래프(음성)	130

표 4.27. 강수-수위 그래프(제천)	131
표 4.28. 강수-수위 그래프(단양)	132

PART I 안개

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 안개구로 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. Reyman 등(1998)은 예측 지역의 특수 조건을 고려하여 안개 발생의 주요인자를 추출하여 안개예보 경험식 FSI (Fog Stability Index)을 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. 송운영·염성수(2013)는 Holtslag 등(2010), Reyman 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 포화 상태에 이르러 발생한다. 이 안개는 수온이 기온보다 높고 기온과 수온의 차가 크

며 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°C 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.

제 3장 충청북도 안개안정지수(FSI) 개발

제1절. 복사안개

1.1. 자료

본 연구에서는 충청북도 지역에 대한 안개안정지수(FSI)를 개발하기 위해 14개 지점을 선택하였다(그림 3.1). 충청북도 14개 지점은 ASOS가 설치되어 있는 충주, 청주, 추풍령, 제천, 보은의 5개 지점과 AWS가 운영되는 9개 지점(단양, 진천, 괴산, 옥천, 영동, 음성, 증평, 상당, 노은)에 대해 FSI 식을 개발하였다. 충주에는 충주(127), 노은(630), 청주에는 청주(131), 상당(624), 그리고 영동에는 추풍령(135), 영동(605) 지점으로 한 지역에 2개의 관측지점이 존재하며 나머지 지역은 1개의 관측지점만 존재한다. 표 1은 14개 지점에 대한 정보이다. 그림 1에서 보여지듯이 청주(131), 진천(602), 증평(623) 지점은 다른 지점에 비해 상대적으로 해발고도가 낮은(100m 미만) 곳에 위치하며 제천(221), 추풍령(135) 지점의 해발고도는 244 ~ 260m 로 해발고도가 가장 높다.

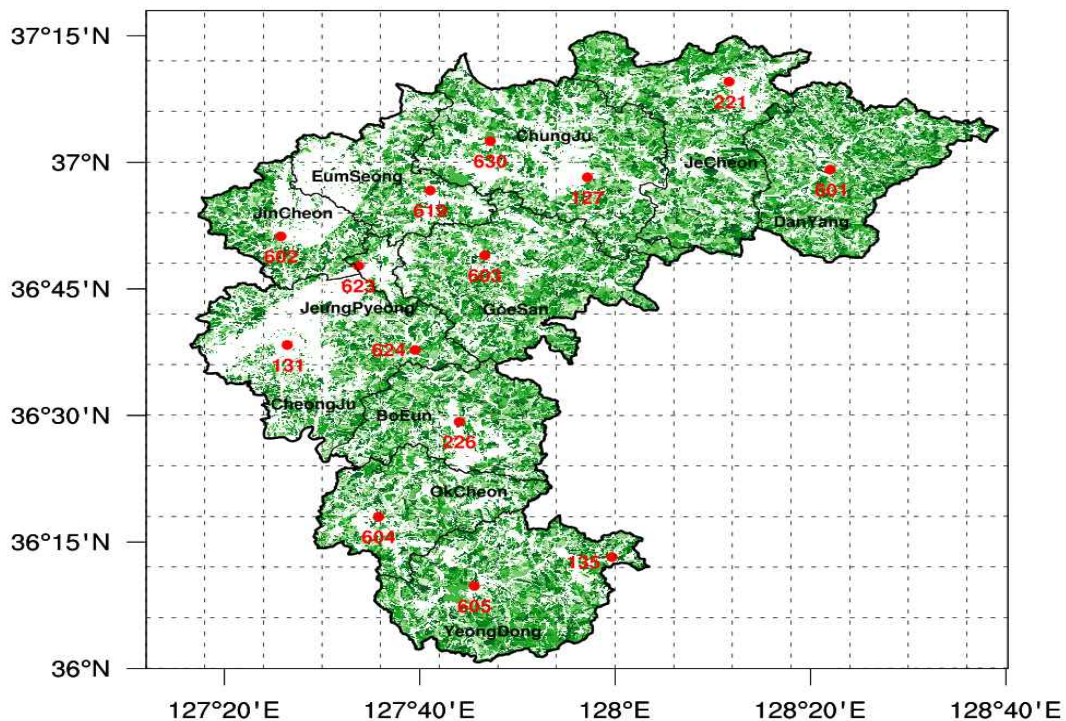


그림 3.1. 충청북도 14개 지점

표 3.1. 충청북도 14개 지점 정보

번호	지점번호	지점	위도(°)	경도(°)	해발고도(m)	관할지역
1	127	충주	36.97	127.95	116.30	충주
2	131	청주	36.64	127.44	57.16	청주
3	135	추풍령	36.22	127.99	243.70	영동
4	221	제천	37.16	128.19	259.80	제천
5	226	보은	36.49	127.73	174.99	보은
6	601	단양	36.99	128.37	184.20	단양
7	602	진천	36.85	127.43	90.45	진천
8	603	괴산	36.82	127.78	120.50	괴산
9	604	옥천	36.30	127.60	117.84	옥천
10	605	영동	36.16	127.76	137.14	영동
11	619	음성	36.94	127.68	161.02	음성
12	623	증평	36.80	127.86	74.72	증평
13	624	상당	36.63	127.66	244.00	청주
14	630	노은	37.04	127.79	116.55	충주

연구에 사용한 자료의 기간은 2014년부터 2017년까지이며 안개가 발생하지 않는 시간을 모두 포함하여 매 1시간 간격의 자료를 사용하였고 최대한의 자료 활용을 위해 청주 지점은 2013년에 안개가 발생한 시간의 자료(31시간)를 더 포함하였다. 안개가 발생한 시간은 관측 시정이 1,000 m 미만으로 나타날 경우를 안개인 시간으로 정의하였다. 자세한 자료 활용 기간은 2014년 2월 1일 00 KST부터 2017년 12월 31일 23 KST이며 2015, 16, 17년 1월은 1일 09 KST부터 사용하였다. 따라서 청주를 제외한 13개 지점은 34,293 시간, 청주는 34,324 시간의 자료를 사용하였다.

ASOS와 AWS를 통해 생산되는 다양한 지상관측자료들 중 안개예측지수 개발에 필요한 시정, 기온, 이슬점, 지상 풍속 자료를 활용하였다. 하지만 AWS는 이슬점을 관측하지 않고 기온과 상대습도를 관측하기 때문에 이슬점으로 계산해야 된다. 이를 위해 Alduchov and Eskridge(1996)의 방법인 식 (1)을 이용하였으며 상대습도와 (포화)수증기압(식 (2))를 이용하여 이슬점을 계산하였다.

$$s(e) = 6.109 \times \exp\left(\frac{17.625 \times T(Td)}{(Td) + 243.04}\right) \quad (1)$$

$$RH = \frac{e}{es} \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서 es 는 포화수증기압(hPa), e 는 수증기압(hPa), T 는 기온(°C), Td 는 이슬점(°C) 그리고 RH는 상대습도(%)를 나타낸다. 식 (1)과 (2)를 이용하여 구한 이슬점을 다시 상대습도로 계산하여 관측된 상대습도와 비교하면 소수 둘째자리이상에서 차이가 나기 때문에 계산식을 이용한 이슬점은 사용하기에 적합하다고 판단하였다.

FSI 식에는 지상관측자료 뿐만 아니라 고층자료가 필요하기 때문에 현업에서 운영중인 LDAPS 자료를 사용하였다. LDAPS는 하루 4번(00, 06, 12, 18 UTC) 36시간 간격으로 예측 자료가 생산되는데 이 중 00(00 ~ 05), 06(06 ~ 11), 12(12 ~ 17), 18(18 ~ 23) UTC 예측장에서 각각 예측 정확도가 높은 6시간의 자료만을 사용하였다. 사용한 고층자료는 850과 925 hPa 등압면 고도에서의 기온과 U성분 및 V성분 풍속 자료이다. 고층자료의 풍속은 U성분과 V성분 풍속으로 각각 제공되기 때문에 식 (3)과 같이 풍속으로 계산하여 연구에 사용하였다.

$$\text{Wind Speed (m/s)} = \sqrt{U^2 + V^2} \quad (3)$$

안개예측지수가 개발된 후 이를 검증하기 위해 2018년 1월 1일 00 KST부터 2018년 11월 30일 23 KST까지 LDAPS 예측값과 실제 관측된 시정 자료를 이용하였다. LDAPS 예측값은 00 UTC에 생산되는 예측값 자료를 사용하였다. 예측자료는 각 지역별 기온, 이슬점, 지상 풍속, 850과 925 hPa 고도에서의 기온 및 풍속 자료를 사용하였다. 이 예측값을 개발한 식에 대입하여 나타난 안개 예측의 정확성을 평가하기 위해 실제 시정값을 비교하여 검증하였다.

1.2. 연구방법

이강민(2010)에 의하면 충청지역에서 발생하는 복사안개의 일반적인 특징은 상대습도가 91 ~ 94%, 지상 풍속은 바람이 거의 없는 정온(0.5 m s^{-1} 미만)이면서 맑은 날 일 경우 복사안개 발생 가능성이 높다고 한다. 충주와 청주는 상대습도가 81 ~ 90% 일 때도 안개 발생률은 40%로 높게 나타난다고 한다. 하지만 실제 지상관측자료 중 관측 시정이 1,000 m 미만으로 나타나지만 상대적으로 상대습도가 낮게 나타나거나

강수가 존재하는 경우가 있다. 이러한 이유로 관측 시정이 1,000 m 미만임에도 기온과 이슬점의 차이가 2.5°C 이상인 경우는 안개 사례에서 제외하였다. 상대습도가 약 90%일 경우 기온과 이슬점의 차이는 약 1.5°C 차이가 나는데 이 연구에서는 약 2.5°C로 높여 상대습도가 약 84% 이상인 사례를 안개로 포함하였다. 그리고 강수가 존재하는 시간은 복사안개로 보지 않고 강수로 인한 시정 장애로 판단하여 시간 강수량이 0.1 mm hr^{-1} 이상 존재하는 사례는 제외하였다.

안개예측지수는 1970년대 후반 미 공군에서 개발한 FSI(Fog Stability Index) 경험식을 이용하였다. FSI 식은 안개 생성에 중요한 4개의 요소를 포함하고 있으며 지상과 고층 자료를 이용하여 3개의 변수로 식을 구성하였다. FSI 식은 식 (4)와 같다.

$$SI = 2(T - T_d) + 2(T - T_{850}) + WS_{850} \quad (4)$$

여기서 T 는 기온(°C), T_d 는 이슬점(°C)이며 T_{850} 과 WS_{850} 은 850 hPa 고도의 기온(°C)과 풍속(kts)을 나타낸다. FSI 식의 각 항은 지상 습수, 대기안정도 그리고 지표의 대기 난류를 나타내는 항으로 각 항이 모두 작을수록 안개 형성에 유리한 조건을 가지고 있다. 그리고 FSI의 임계값은 $FSI < 31$ 이면 복사안개 생성 가능성 높음, $31 \leq FSI \leq 55$ 이면 보통 그리고 $FSI > 55$ 이면 낮음으로 판정한다.

미 공군에서 개발한 FSI 식을 기반으로 충청북도 14개 지점에 대한 최적화된 식을 개발하기 위해 FSI 식과 유사하게 식을 구성할 방법을 고안하였으며 송윤영과 염성수(2013)의 방법을 참고하였다. FSI 식의 구성과 동일하게 3개의 항으로 구성하였으며 925 hPa 고도의 기온과 풍속을 추가하였다. 지상부터 850 hPa 고도는 대기 중하층을 대표하며 두 층 사이의 기온 변화에 의해 그 특징이 부각된다. 또한 850 hPa 고도의 풍속은 대기 하층의 난류정도를 나타낸다. 이 연구에서는 지상부터 850 hPa 사이에 위치한 925 hPa 고도에서의 기온과 풍속을 추가하여 850 hPa 고도보다 925 hPa 고도의 기상정보가 더 최적화될 수 있을 가능성을 두었다.

FSI 식 구성에 필요한 3개의 항은 기존의 식(4)과 동일하게 지상 습수항, 대기안정도 그리고 지표 대기 난류정도를 나타내는 항이며 $T - T_d$ 하나, $T - T_{850}$ 과 $T - T_{925}$ 중 하나, WS , WS_{850} , WS_{925} 중 하나를 선택하였다. 지상 습수항은 $T - T_d$ 로 다른 요소가 없기 때문에 이 항은 모든 지점의 FSI 식에 포함되었다. 이 때 사용한 프로그램은 통계 프로그램인 R을 이용하였다.

다음으로 FSI 식 구성에 필요한 각 항의 계수와 임계값을 찾기 위해 다양한 방법을

시도하였다. 계수와 임계값 선정 시 사용하는 자료를 안개와 비안개 모든 자료에 대해 찾는 방법과 안개가 발생한 시간에 대해서만 자료를 이용해서 계수와 임계값을 선정하는 2가지 방법이 있다. 계수는 기존 임계값인 31을 기준으로 모든 항의 계수를 -10부터 30까지 0.1 간격으로 각각 변화시키면서 최대 CSI가 나올 때의 계수를 선택하였다. 계수가 최저 -10 이거나 최대 30이 나올 경우 계수 범위를 다시 넓혀서 재선택하였다. 계수가 선택된 후 임계값 선정하는 방법은 최대 CSI가 나타난 경우 HR을 기준으로 최대 HR이 나타난 최대 임계값과 최저 HR이 나타난 경우 최저 임계값 2가지 임계값을 선택하여 분석하였다. 임계값은 0부터 100까지 1간격으로 변화시키면서 CSI, HR, FAR의 변화를 살펴보았다. 이 연구에서는 CSI, HR, FAR와 같이 숙련도를 이용해서 연구를 진행을 하였으며 숙련도에 대한 자세한 설명은 다음 문단에서 설명하였다.

숙련도를 평가하는 방법은 다음과 같다(표 2). FSI가 임계값 미만이며 실제 안개가 관측되면 'A', FSI가 임계값 이상이고 실제 안개가 관측되면 'B', FSI가 임계값 미만이고 실제 안개가 관측되면 'C', FSI가 임계값 이상이고 실제 안개가 관측되지 않으면 'D'로 정의하였다. 정확도 판별은 CSI(Critical Success Index), HR(Hit Rate, POD), FAR(False Alarm Ratio), PAG(Post Agreement), ACC(Accuracy), Bias을 계산하였으며 수학적 표현은 식 (5) ~ (10)과 같음.

표 3.2. 숙련도 평가방법

		Forecasts	
		YES	NO
Observations	YES	A	B
	NO	C	D

$$SI = \frac{A}{A+B+C} \quad (5)$$

$$HR = \frac{A}{A+B} \quad (6)$$

$$FAR = \frac{C}{A+C} \quad (7)$$

$$PAG = \frac{A}{A+C} \quad (8)$$

$$ACC = \frac{A+D}{A+B+C+D} \quad (9)$$

$$Bias = \frac{A+C}{A+B} \quad (10)$$

1.3. 복사안개 FSI 식 개발

안개와 비안개 모든 시간에 대해 충청북도 14개 지점에 대한 변수와 계수 그리고 임계값을 선정하였다. 표 3은 지점별 FSI 식의 변수와 각 항의 계수 그리고 그때의 최대 임계값과 최소 임계값을 나타내었다. 각 지역별로 시정과 가장 상관성이 높은 인자들은 지상 습수는 공통항이고 대기안정도는 기존 식처럼 $T - T_{50}$ 이 8개 지점 그리고 6개 지점은 $T - T_{925}$ 와 상관성이 높게 나타났다. 지표 대기 난류항 또한 기존 식과 같이 850 hPa 고도의 풍속이 8개 지점, 지상 풍속이 4개 지점 그리고 925 hPa 고도의 풍속이 2개 지점으로 각 지역별로 다르게 나타남을 알 수 있다.

각 항의 계수를 결정하기 위해 -10부터 30까지 0.1 간격으로 대입한 결과 모든 지점에서 지상 습수항의 계수(절대값)가 가장 크게 나타나며 남은 두 항의 계수는 지상 습수항의 계수보다 상대적으로 훨씬 작게 나타났다. 이 중 AWS 관측 지점 대부분(회색 음영 표시)에서 지상 습수항의 계수가 최대 30으로 나타났다. 그 지점에 대해 다시 최대 계수 범위를 넓혀가며 새로운 계수를 찾은 결과 최대 99.9까지 나타나며 작계는 34.0으로 나타났다(빨간색 숫자). ASOS 지점보다 AWS 지점에서의 지상 습수항의 계수가 약 3배 이상 크게 나타났는데 이는 AWS 지점에서 관측하는 상대습도의 문제점으로 인한 오류로 볼 수 있다. AWS에서 관측한 상대습도 중 장시간(12시간 이상)동안 동일한 값이 관측되는 경우가 다수 존재한다. 상대습도가 매 시간 제대로 관측되지 않고 처음 관측한 값이 장시간동안 동일한 값으로 나타나기 때문이다. 이로

인해 시정과의 상관성을 판단할 때 오류를 범하며 계수 또한 매우 크게 나타나는 것으로 생각되며 FSI 식을 개발함에 어려움을 줄 수 있다고 판단된다. 이 때문에 계수의 범위를 넓혀 새로운 계수를 찾더라도 오류가 크게 나타날 수 있을 가능성이 높기 때문에 계수가 최대 30이 나타났을 때의 식과 계수 범위를 넓히며 찾은 새로운 식 2가지 모두를 검증해보기로 하였다(회색 음영 표시).

표 3.3 안개와 비안개 사례에 대한 각 지역별 FSI와 임계값

지점번호	지점	FSI						임계값	
								최대	최저
127	충주	6.8	T	-0.6	T_{50}	0.3	WS_{850}	38	26
131	청주	4.5	$T - T_d$	1.9	$T - T_{925}$	4.1	WS	34	27
135	추풍령	14.1	$T - T_d$	0.1	$T - T_{925}$	0.7	WS_{925}	33	29
221	제천	16.8	$T - T_d$	-0.7	$T - T_{925}$	-0.3	WS_{850}	38	29
226	보은	11.6	$T - T_d$	1.5	$T - T_{850}$	0.3	WS_{850}	39	26
601	단양	25.7	$T - T_d$	10.0	$T - T_{850}$	-0.3	WS	16	15
602	진천	29.4	$T - T_d$	5.8	$T - T_{850}$	10.0	WS	31	22
603	괴산	30.0 99.9	$T - T_d$	7.5 7.5	$T - T_{850}$	10.0 9.3	WS	30 31	27 30
604	옥천	27.4	$T - T_d$	4.3	$T - T_{850}$	0.9	WS_{850}	33	31
605	영동	30.0 34.0	$T - T_d$	0.3 0.4	$T - T_{925}$	0.1 -0.2	WS_{850}	31 31	31 31
619	음성	10.0	$T - T_d$	9.9	$T - T_{925}$	4.8	WS_{850}	31	9
623	증평	30.0 41.3	$T - T_d$	0.8 -0.4	$T - T_{850}$	0.3 -0.6	WS_{850}	32 32	31 31
624	상당	30.0 82.1	$T - T_d$	1.5 6.0	$T - T_{850}$	2.8 0.3	WS_{925}	31 31	31 31
630	노은	30.0 49.5	$T - T_d$	0.1 1.0	$T - T_{925}$	2.1 1.5	WS_{850}	32 27	27 25

변수와 계수를 모두 찾은 뒤 임계값을 설정하였다. 기존의 31이었던 임계값에서 새로 찾은 변수와 계수에 맞은 임계값을 설정하기 위해 0부터 100까지 1간격으로 숙련도의 변화를 살펴보았다. 그림 2는 임계값을 선택하는 예시로 충주(127)의 임계값 변화를 0부터 50까지만 보여준다. 임계값이 점차 커질수록 CSI, HR, FAR는 모두 증가하는 경향이 있으며 CSI는 임계값 26에서 38까지 0.3으로 가장 높게 나타나며 그 이후로 점차 다시 감소한다. CSI가 최대이며 HR과 FAR가 높은 최대 임계값은 38, CSI가 최대이며 HR과 FAR가 낮은 최저 임계값은 26으로 결정할 수 있다. 이 때 HR과

FAR는 최대 임계값 38일 때 0.76과 0.67이며 최저 임계값 26일 때는 0.58과 0.62이었다. 이와 같이 모든 지점에서 임계값의 최대와 최저를 결정하면 대부분 최대 임계값은 16 ~ 39, 최저 임계값은 9 ~ 31으로 분포한다.

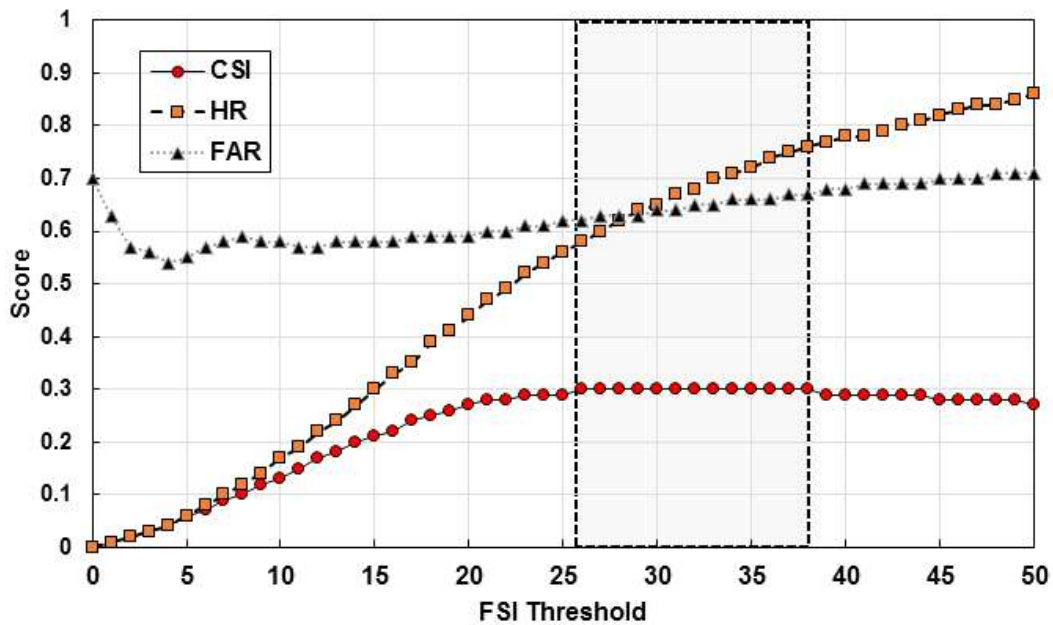


그림 3.2 충주(127)의 임계값에 따른 숙련도의 변화

다음은 안개가 발생한 시간의 자료만을 가지고 FSI 식을 개발하였다(표 4). 변수 선택은 안개가 발생하였을 때의 시정과 상관성이 높은 변수를 선택하기 때문에 표 3에 보여진 것과 같이 각 지역별로 변수는 동일하다. 이전의 FSI 식과 다른점은 각 항의 계수와 임계값이 모두 다르게 나타나는 점이다. 각 항의 계수는 범위를 넓혀가면서 다시 계수를 찾으면 계속 최대나 최소 범위가 나타나기 때문에 이번에는 -10에서 10까지 범위 내에서만 계수를 선택하기로 하였다. 그리고 안개가 발생한 사례에 대해서만 FSI 식을 구성하기 때문에 숙련도를 평가하는 범주 중 'C'와 'D'가 존재하지 않는다. 이런 이유로 CSI는 1.0이 나타날 수 있기 때문에 최소 1개 이상의 'B' 범주를 포함시키기 위해 CSI가 1.0이 아닌 최대 CSI를 선택하여 구성하였다.

단양(601)을 제외한 지상 습수항의 계수는 모두 10.0이며 대기안정도 항의 계수는 대부분 4 ~ 7에 분포하고 난류항의 절대값은 대부분 9 ~ 10 사이로 나타났다. 지상 습수항을 제외한 두 항의 계수의 절대값은 표 3에 보인 FSI 식보다 대부분 크게 나타났다. 또한 표 3의 FSI 식의 계수는 지상 습수항은 모두 양수이며 남은 두 항은 규칙 없이 양수와 음수가 골고루 나타나지만 표 4의 FSI 식은 단양(601)을 제외하고 지상

습수향과 대기안정도 향은 모두 양수이며 난류향은 모두 음수가 나타나는 특징이 있다. 임계값은 그림 2에서 보인 것과 같은 방법으로 최대와 최소 임계값을 설정하였으며 대부분 최대 임계값은 14 ~ 31, 최소 임계값은 1 ~ 28로 분포하며 표 3에 보인 임계값보다 약 5 ~ 10 정도 작게 나타난다. 표 3과 표 4에서 보인 이 둘의 차이는 표 4에 보인 방법은 안개가 발생한 시간에 대해서만 식을 구성하였기 때문에 안개 발생 시에 대한 그 특징은 한정적으로 잘 나타났을지 모르겠지만 안개가 발생하지 않는 경우에 대해서는 한계가 있을 것으로 보인다.

표 3.4 안개 사례에 대한 각 지역별 FSI와 임계값

지점번호	지점	FSI							임계값	
									최대	최저
127	충주	10.0	T	2.8	T_{50}	-9.2	WS_{850}		26	19
131	청주	10.0	$T - T_d$	2.0	$T - T_{925}$	-7.5	WS		31	28
135	추풍령	10.0	$T - T_d$	5.0	$T - T_{925}$	-9.8	WS_{925}		21	17
221	제천	10.0	$T - T_d$	6.4	$T - T_{925}$	-10.0	WS_{850}		24	16
226	보은	10.0	$T - T_d$	4.6	$T - T_{850}$	-9.3	WS_{850}		27	22
601	단양	7.2	$T - T_d$	-0.4	$T - T_{850}$	-4.5	WS		14	14
602	진천	10.0	$T - T_d$	1.9	$T - T_{850}$	-10.0	WS		24	23
603	괴산	10.0	$T - T_d$	1.5	$T - T_{850}$	-9.4	WS		26	16
604	옥천	10.0	$T - T_d$	5.7	$T - T_{850}$	-9.8	WS_{850}		24	19
605	영동	10.0	$T - T_d$	6.6	$T - T_{925}$	-9.8	WS_{850}		26	12
619	음성	10.0	$T - T_d$	6.5	$T - T_{925}$	-10.0	WS_{850}		14	1
623	증평	10.0	$T - T_d$	4.0	$T - T_{850}$	-9.9	WS_{850}		27	20
624	상당	10.0	$T - T_d$	4.9	$T - T_{850}$	-9.9	WS_{925}		24	19
630	노은	10.0	$T - T_d$	10.0	$T - T_{925}$	-4.9	WS_{850}		24	19

1.4. 검증결과

충청북도 14개 지점에 대해 개발한 FSI 식의 정확도를 확인하기 위해서는 검증이 필요하다. 검증 기간은 2018년 1월 1일 00 KST부터 11월 30일 23 KST 기간 동안 수행하였다. 그림 3은 검증 기간 동안 각 지점별로 안개가 발생한 시간과 0.1 mm hr^{-1} 이상의 강수를 제외한 후 안개 발생 시간을 나타내었다. 총 안개가 발생한 시간은 최대 300시간 정도 밖에 되지 않지만 보은(226)과 괴산(603), 음성(619), 상당

(624)에서 300시간 내외로 안개가 가장 많이 발생하였다. 반면 추풍령(135), 단양(601), 진천(602)에서는 강수 발생 시간을 제외하고 각각 42시간, 42시간, 72시간으로 충북지역 14 지점 중 안개 발생 시간이 가장 적게 나타났다. 그 외 지점은 대부분 80 ~ 240 시간으로 다양하게 나타났다.

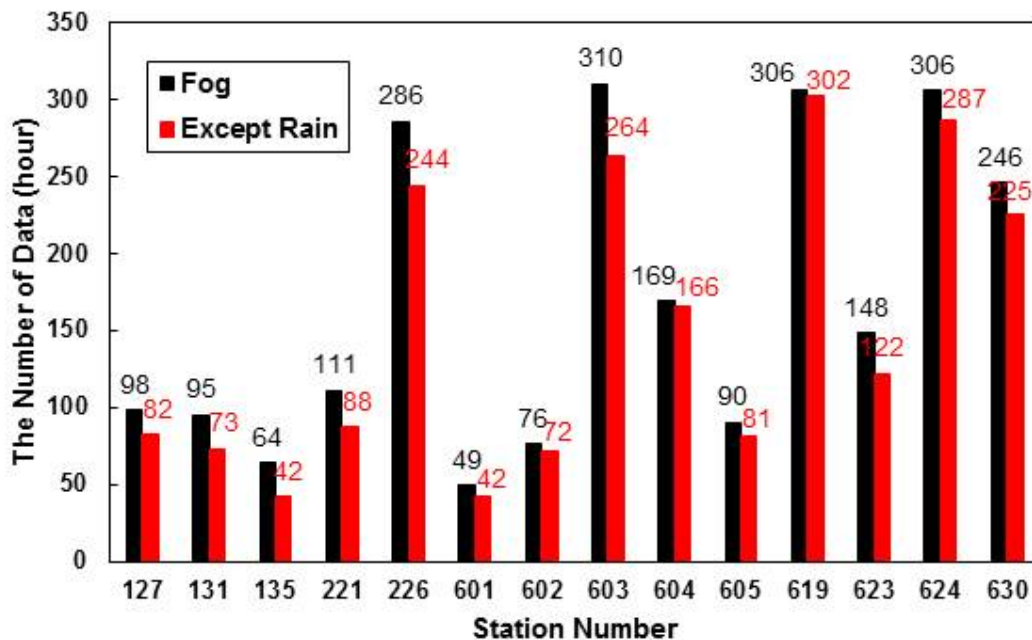


그림 3.3 검증기간 동안 각 지점별로 발생한 안개 시간

2018년도에 대한 검증은 앞서 2가지 방법으로 모두 개발한 FSI 식(표 3과 4)에 대해 수행하였다. 그리고 앞에서 언급한 것처럼 표 3에서 최대 계수가 나타난 지점은 기존 식과 계수를 넓혀 다시 만든 2가지 식을 포함하여 검증을 수행하였다. 표 5는 각 지점별 검증 결과를 나타내며 개발한 모든 FSI 식 중 지점별로 가장 CSI가 높은 결과만을 나타내었고 그림 4는 검증 결과 중 CSI와 현업에서 사용중인 LDAPS와 LENS 모델의 CSI를 비교하였다. 그리고 표 6은 최종 선별된 FSI 식을 정리하였다. 검증 결과 CSI는 평균 0.085이며 평균보다 높은 CSI는 6개 지점(충주, 청주, 추풍령, 제천, 단양, 노은, 증평)을 제외한 8개 지점이며 이 중 상당에서 0.177로 CSI가 가장 높게 나타났다. HR은 0.48, FAR는 0.865로 평균 HR(0.503)과 FAR(0.875)보다 낮게 나타났다. CSI가 평균보다 높게 나타난 지점은 대부분 안개시간이 약 200시간 이상으로 상대적으로 안개가 많이 발생한 지점이다.

표 3.5 각 지점별 검증 결과

지점번호	지점	CSI	FAR	HR	PAG	ACC	Bias
127	충주	0.025	0.902	0.975	0.025	0.612	35.744
131	청주	0.014	0.575	0.986	0.014	0.611	39.849
135	추풍령	0.024	0.976	0.976	0.024	0.774	40.071
221	제천	0.055	0.830	0.945	0.055	0.830	15.023
226	보은	0.126	0.783	0.869	0.131	0.823	5.984
601	단양	0.015	0.048	0.979	0.021	0.982	2.262
602	진천	0.144	0.236	0.730	0.270	0.987	0.875
603	괴산	0.134	0.197	0.703	0.297	0.955	0.663
604	옥천	0.154	0.560	0.824	0.176	0.932	3.187
605	영동	0.087	0.691	0.910	0.090	0.922	7.654
619	음성	0.087	0.106	0.670	0.330	0.955	0.321
623	증평	0.075	0.352	0.914	0.086	0.919	4.082
624	상당	0.177	0.352	0.738	0.262	0.937	1.341
630	노은	0.065	0.151	0.897	0.103	0.935	1.467

표 3.5에 보인 검증 결과는 CSI가 모두 0.2 이하로 상당히 낮은 정확도를 보이지만 현재 운영중인 모델 정확도와 비교해보면 훨씬 좋은 결과임을 알 수 있다(그림 3.4). LDAPS 모델의 CSI는 제천과 증평에서 0.012, LENS 모델의 CSI는 제천에서 0.05로 가장 높으며 모두 0.02 이하로 모델 정확도 역시 낮음을 알 수 있다. 하지만 개발한 FSI의 CSI는 모델 정확도에 비해 상대적으로 높으며 14지점에 대한 안개 예측을 할 수 있기 때문에 모델 예측성보다 유용하다고 생각할 수 있다.

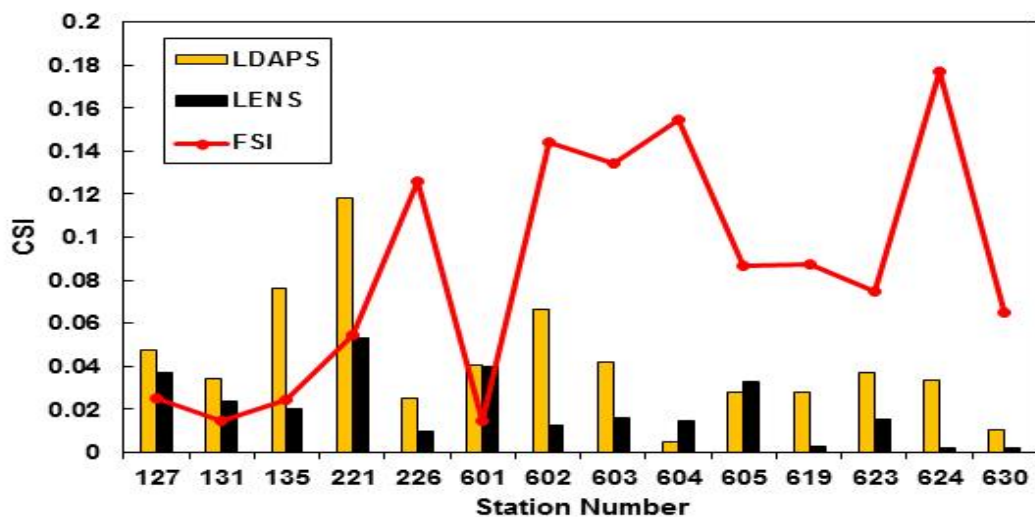


그림 3.4 개발한 FSI와 기존 모델(LDAPS와 LENS)의 지점별 CSI 비교

표 6은 여러 가지 방법으로 개발한 FSI 식에서 각 지점별로 표 5에서 보인 검증 결과의 FSI 식을 나타내었다. FSI 식은 모두 안개와 비안개 사례를 포함하여 개발한 식이 CSI가 좋게 나타났다. 앞서 언급하였던 계수가 최대 30이 나왔던 5개 지점(괴산, 영동, 증평, 상당, 노은) 지점 중 영동(605)과 증평(623)만 계수 범위를 넓혀 만든 FSI 식의 CSI가 더 높게 나타났으며 남은 3개 지점은 계수가 30일 때 CSI가 더 높게 나타나 최종 식으로 결정하였다.

표 3.6 각 지점별 개발된 FSI

지점번호	지점	FSI						임계값
127	충주	6.8	T	-0.6	T_{50}	0.3	WS_{850}	26
131	청주	4.5	$T - T_d$	1.9	$T - T_{925}$	4.1	WS	27
135	추풍령	14.1	$T - T_d$	0.1	$T - T_{925}$	0.7	WS_{925}	29
221	제천	16.8	$T - T_d$	-0.7	$T - T_{925}$	-0.3	WS_{850}	29
226	보은	11.6	$T - T_d$	1.5	$T - T_{850}$	0.3	WS_{850}	26
601	단양	25.7	$T - T_d$	10.0	$T - T_{850}$	-0.3	WS	16
602	진천	29.4	$T - T_d$	5.8	$T - T_{850}$	10.0	WS	22
603	괴산	30.0	$T - T_d$	7.5	$T - T_{850}$	10.0	WS	27
604	옥천	27.4	$T - T_d$	4.3	$T - T_{850}$	0.9	WS_{850}	33
605	영동	34.0	$T - T_d$	0.4	$T - T_{925}$	-0.2	WS_{850}	31
619	음성	10.0	$T - T_d$	9.9	$T - T_{925}$	4.8	WS_{850}	9
623	증평	41.3	$T - T_d$	-0.4	$T - T_{850}$	-0.6	WS_{850}	32
624	상당	30.0	$T - T_d$	1.5	$T - T_{850}$	2.8	WS_{925}	31
630	노은	30.0	$T - T_d$	0.1	$T - T_{925}$	2.1	WS_{850}	27

제2절 증기안개

2.1. 자료

충주의 증기안개에 관한 FSI 식을 개발하기 위해 이전 연구에서 2014년 9월부터 2017년 2월까지 자료를 사용하였지만 이 연구에서는 2017년 3월부터 12월까지 기간의 자료를 더 포함하여 사용하였다. 복사안개에서는 안개와 비안개의 모든 사례를 가지고 FSI식을 개발하였지만 증기안개의 자료는 안개가 발생한 사례의 자료만을 가지고 개발하였다. 그림 5는 사용된 자료의 위치 정보이다. 충주는 동쪽으로 계명산과 남산이 위치하며 그 산 너머에 충주호가 위치하고 있다. 충주 지점의 북서방향으로 남한강 건너편에 공군 지점이 있으며 거기에서 서북서 방향으로 노은이 위치한다. 사용된 자료는 이전 연구에서 사용한 것과 동일하게 충주 현지기압과 습도, 노은 지점의 기온과 풍속, LDAPS 모델의 850, 925 hPa 고도의 기온과 풍속 그리고 충주 공군 비행장에서 관측한 시정과 수온 자료를 사용하였다(그림 5).

충주 지점에서는 시정이 관측되지 않기 때문에 공군에서 관측한 시정을 사용하였으며 노은 지점의 기온과 풍속 자료를 사용한 이유는 공군 비행장의 관측값이 정수단위로 관측이되고 관측누락이 많아 비행장과 가까운 노은 AWS의 관측자료를 사용하였다. 그리고 물이 존재하는 수변지역에서 발생하는 안개는 내륙에서 발생하는 다른 안개보다 지속시간이 더 길게 나타나며 이는 물의 증발로 인해 잠열 공급으로 인함을 밝힌 바가 있다(박준상 등 2017). 이에 이 연구에서도 대기와 물의 열 교환 정도를 알기 위해 현열과 잠열 그리고 현열/잠열인 보웬비()를 구하여 사용하기 위해 충주의 현지기압과 습도를 사용하였다. 현열(F)과 잠열(F_L)을 구하는 공식은 김지연 등 (2005)의 방법을 사용하였다.

$$\rho C C_H V_a (T_o - T_a) \quad (11)$$

$$F_L = \rho L C_E V_a (q_o - q_a) \quad (12)$$

첨자 o와 a는 각각 물과 대기를 나타내며 q 는 포화비습, V 는 풍속, C_H 는 열 교환계수, C_E 는 수증기 교환계수, ρ 는 공기밀도, C_p 는 건조공기의 정압비열, L 은 증발비열을 나타낸다. C_H 와 C_E 는 1.5×10^{-3} 이며, 공기 밀도(ρ)는 1.27 kg m^{-3} 이며, C_p 는

$004 \text{ kg}^{-1} K^{-1}$, L 은 $2.50 \times 10^6 \text{ Jkg}^{-1}$ 이다. 복사안개에서 이슬점으로 계산하던 식과 현 지기압(P)을 이용하여 포화비습(q)을 구하는 식은 다음과 같다.

$$= 0.622 \times \left(\frac{e}{P} \right) \quad (13)$$

그리고 복사안개 FSI 식 구성할 때 쓰인것과 같이 고층자료는 LDAPS의 850과 925 hPa 등압면 고도에서의 기온과 U성분 및 V성분 자료를 사용하였다. U성분과 V성분의 합성 풍속은 식 (3)을 이용하였다.

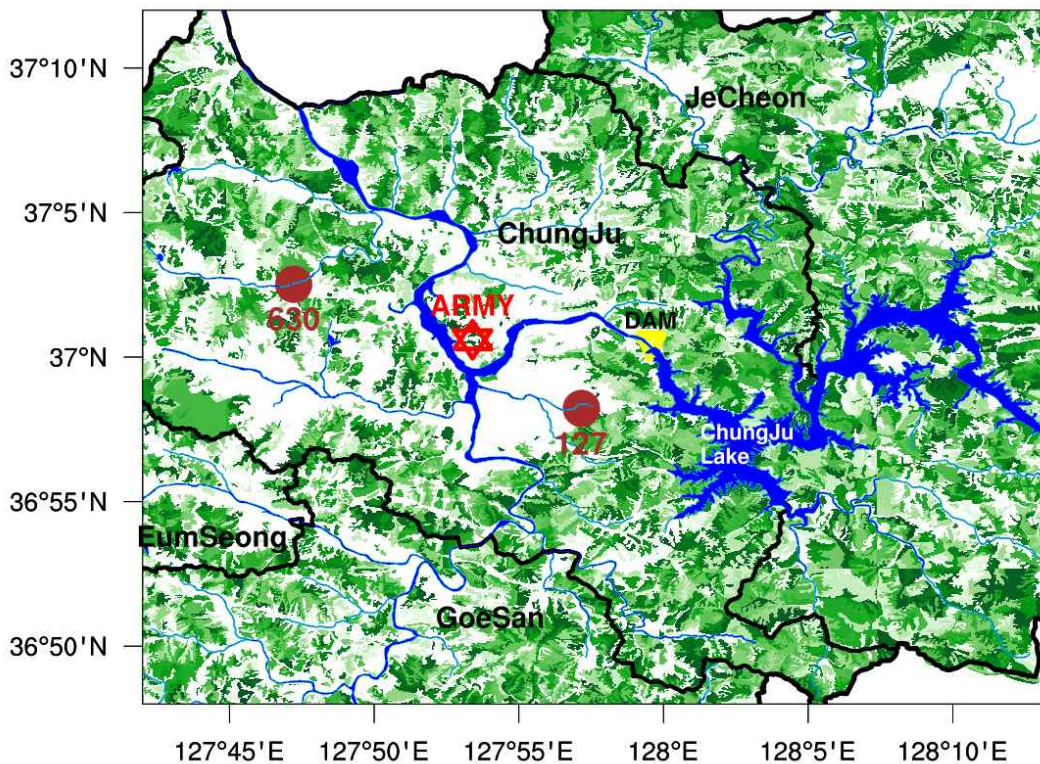


그림 3.5 충주호 주변의 관측 지점 (● 충주(127)와 노은(630) 관측지점, ★ 충주 공군 비행장, ▼ 충주댐)

2.2. 연구방법 및 식 개발

중위도 지방에서 늦은 가을에 호수나 강 부근에서 자주 발생하는 증기안개(Steam Fog)는 찬 공기가 따뜻한 수면 위로 이류 할 때 발생하는 안개를 말한다. 증기안개가 형성되려면 기온과 수온의 차가 상당히 커야하며 수면에서 증발이 일어나려면 수온이 기온보다 항상 높아야 한다고 한다(한국기상학회, 2012). 이 연구에서는 증기안개의

정의를 따라 공군 비행장에서 관측한 수온(SST)보다 높은 지점의 기온(T)이 더 큰 사례는 제외하였다. 그리고 풍속 자료 중 풍속이 0인 경우가 존재하는데 이 경우 현열()이 0이 되어 보웬비(B) 또한 0이 된다. 풍속이 0인 경우는 이전 시간의 풍속을 동일하게 사용하여 현열과 보웬비가 0인 경우를 해결하였다.

증기안개에 관한 FSI 식은 복사안개와 동일하게 3개의 항으로 구성한다. 다른점은 기온과 이슬점 차인($T - T_s$) 습수항 대신 열 교환 정도를 알 수 있는 현열(F_s)과 잠열(F_L) 그리고 보웬비(Bw)를 포함하며 수온과 기온의 차인 $SST - T$ 항을 포함하였다. 남은 두 항은 복사안개와 동일하게 대기 안정도항, 풍속 항이다. 따라서 $SST - T$, F_s , F_L 그리고 중 하나, $T - T_{25}$ 와 $T - T_{850}$ 중 하나, WS , WS_{925} , WS_{850} 중 하나를 선택하여 변수 3개를 선택하였다.

선택된 변수 3개를 가지고 각 항의 최적의 계수를 찾고 임계값을 찾았다. 계수는 임계값 31을 기준으로 -10부터 10까지 0.1 간격으로 변화시키면서 최대 CSI가 나타난 경우를 찾았다. 이 때 최저 -10이거나 최대 10인 경우가 나타나도 범위를 다시 더 넓혀 계수를 찾지 않았다. 복사안개에 사용한 자료처럼 안개와 비안개 시간의 자료가 모두 존재하지 않고 안개가 발생한 사례의 자료만 존재하기 때문에 'C'와 'D' 범주가 존재하지 않게 되며 계수 범위를 넓혀가며 계수를 다시 찾아도 최저나 최대가 반복적으로 나타나게 된다. 따라서 임계값은 -10부터 10까지 범위에서 찾았으며 CSI가 1.0으로 나타날 수 있어서 최소한의 'B'범주의 개수를 넣기 위해 CSI가 1.0이 아닌 최대 CSI가 나타난 경우를 선택하였다.

변수와 계수를 찾았으면 임계값은 0부터 100까지 1간격으로 변화시키면서 1.0이 아닌 CSI 중 최대 CSI를 찾아 최대와 최저 임계값을 각각 선택하였다. 변수와 임계값을 모두 선택한 후 증기안개 FSI 식은 다음과 같다.

$$FSI = 10Bw + 3.5(T - T_{925}) - 10WS \quad (14)$$

증기안개 FSI 식은 2018년도 자료를 구축하지 못해 검증을 하지 못하였다. 추후 자료를 구축하여 FSI 식의 성능을 검증하여 그에 따른 FSI 식을 개선해야 될 필요성이 있다.

제4장 충북지역 복사안개 예측 분포도 구축

제1절 복사안개 예측 분포도 개요

1. 적용 모델

1.1 국지모델

기상청은 전지구예보모델(GDAPS¹⁾), 국지앙상블예보모델(LENS²⁾), 국지예보모델(LDPS³⁾) 등의 모델을 운영하고 있다.

표 4.1 기상청의 수치예보모델 운영 현황

모 델	구 분	수평분해능 (연직층수)	운영횟수 /일	예측 기간	목 적
전지구 (GDAPS)	전지구예보모델 (UM N1280L70)	10km (70층)	4회	12일, 288시간	전지구 날씨 예측 동네예보, 주간예보
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.

1) Global Data Assimilation and Prediction System

2) Local Ensemble Numerical System

3) Local Data Assimilation and Prediction System

표 4.2 국지예보시스템의 주요 특성

모델명	LDPS(UM1.5kmL70)
기본모델	UM(Unified Model) vn 10.8 / PS05
수평 해상도와 격자 개수	가변격자(전체): 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

모델의 수행시각은 매일 00UTC 기준으로 1회 수행을 하며, 분포도 제공시각은 당일 21시~익일 09시 까지 제공한다.

제공지역은 충북지역 시정계 설치 지점 14곳이며, 안개 유무만 표출하고 있다.

제2절 복사안개 예측 분포도 표출

1. 표출 방법

1.1 국지모델 GRIB 자료를 이용한 안개관련 기상변수 추출

국지모델의 결과물 중 GRIB 파일을 crontab을 이용하여 정해진 시각에 복사

※GRIB: 수치모델이 계산한 결과값을 압축파일과 유사하게 패키징한 파일

※crontab: 정해진 일정시각에 작업을 수행하는 스케줄러

```
15 05,17 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/STEAMF06/qsub_submit.ksh
59 04,16 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/LDPS/ldps_grib_cp.ksh

05 05,17 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/LDPS/qsub_submit.ksh
40 05 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/CBFSI/qsub_submit.ksh
00 06 * * * /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/CBFSI/.awk.php
20 06 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/CBFSI/fsi_draw.ksh

30 05 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/LDPS/move_ldps_grib.ksh
59 06 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/CBFSI/remove_ldps_grib.ksh
39 06 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/CBFSI/fog_move.ksh
#####
15 05,11,17,23 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/MODL/LDPS/OP04/SHEL/qsub_submit.ksh
25 05,11,17,23 * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/MODL/LDPS/OP04/SHEL/skew_ldps_cp.ksh

35 05,11,17,23 * * * csh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/MODL/LDPS/OP04/SHEL/chungbuk_ldps_l1p5_bnry_city.csh
45 05,11,17,23 * * * csh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/MODL/LDPS/OP04/SHEL/chungbuk_ldps_l1p5_draw_city.csh
```

그림 4.1 개인계정의 crontab

1.2 복사한 GRIB 파일에서 FSI 계산에 필요한 기상변수 추출

-기상변수: 지상(기온, 바람, 노점온도)과 850, 925hPa의 기온, 바람성분

-기상변수 추출도 정해진 시각에 각 지점별로 수행

-수행방법: 슈퍼컴퓨터에 작업수행, 10분 내외로 작업 종료

```
mkdir -p ${HOMEDIR}/LOGO/${YYYY}/${MM}/${DD}
mkdir -p ${HOMEDIR}/FSI/${YYYY}/${MM}/${DD}

cd ${HOMEDIR}/LOGO/${YYYY}/${MM}/${DD}

sleep 60      qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_chupung.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_danyang.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_geosan.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_jecheon.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_jincheon.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_noen.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_okcheon.ksh

sleep 300
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_sangdang.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_umseong.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_yeongdong.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_cheongju.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_chungju.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_boen.ksh
              qsub -q normal@miri -J eo ${HOMEDIR}/qsub_jeongpyeong.ksh
```

그림 4.2 충북 14개 지점의 FSI 계산에 필요한 기상변수 추출 프로그램

2. 각 지점특성에 맞게 FSI 임계값 계산

2.1 지점별 기상변수를 FSI 대입하여 임계값 파일을 매 시각 생성

-생성시각: 00UTC 기준으로 당일 21시~ 익일 09시(복사무 생성 주요시각)

```
#!/usr/bin/php -q
<>php
$YM=date("Ym");
$DAY=date("d");
$HH="00";
$cur112 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$3}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s012.txt");
$cur113 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$4}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s013.txt");
$cur114 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$5}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s014.txt");
$cur115 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$6}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s015.txt");
$cur116 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$7}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s016.txt");
$cur117 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$8}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s017.txt");
$cur118 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$9}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s018.txt");
$cur119 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$10}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s019.txt");
$cur120 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$11}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s020.txt");
$cur121 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$12}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s021.txt");
$cur122 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$13}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s022.txt");
$cur123 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$14}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s023.txt");
$cur124 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/' | awk '{print $1,$15}' | tee /s4/home/nupr/jbu0024/CHEONG/CHT/CBFSI/FSI/$YM/$DAY/$FSI_$(YMD)$(DAY)$(HH).s024.txt");
$cur1 = shell_exec("curl -s http://172.29.110.64/~jbu0024/CHT/F06.php | sed 's/<[^>]*>/'");
echo $cur1;
```

그림 4.3 충북 14개 지점의 FSI 매시각 생성 프로그램

3. 임계값을 이용한 지점별 안개유무 그래픽 생산

3.1 각 지점별 매 시각 생성된 임계값을 읽어서 그래픽 생산 과정

-수행 프로그램: NCL(NCAR Command Language) 사용(GIS의 shp 파일 사용)

-원리: 각 지점의 위·경도 값을 기반으로 해당지점의 FSI 임계값을 판단하여 안개 유무를 단순 그래픽 화

```
res                                     =True
res@gsnFrame                           =False
res@gsnMaximize                         =True

res@mpFillOn = True
res@mpMaxLatF =37.4
res@mpMinLatF =35.8
res@mpMaxLonF =128.7
res@mpMinLonF =127.1

res@mpGridLineDashPattern =2          :lat,lon line
res@mpGridAndLimboN =True
res@mpGridLatSpacingF =1
res@mpGridLonSpacingF =1

res@pmTickMarkDisplayMode =True
res@tiMainString = ""+date+" "+day+"00UTC "+hh+" "

plot_background=gsn_csm_map(wks,res)

pres =True
pres@gsFillColor="ivory"
sh = gsn_add_shapefile_polygons(wks,plot_background,"./Data/Chungbuk.shp",pres)

;-----Marker-----
vidum=new(outrow,graphic)
dum=new(outrow,graphic)
FSItext=new(outrow,graphic)
text=new(outrow,graphic)
```

그림 4.4 충북 14개 지점의 안개유무 그래픽 표출 프로그램

4. 생산된 이미지를 웹에 표출

4.1 각 지점별 매 시각 안개유무 그래픽 전송

각 지점별로 생성된 안개예측 그래픽을 아래와 같이 생산한다.

```
jbw0024 nwpr 165026 Nov 1 07:21 fog_s013_2018110100.png
jbw0024 nwpr 162133 Nov 1 07:21 fog_s012_2018110100.png
jbw0024 nwpr 165946 Nov 1 07:21 fog_s015_2018110100.png
jbw0024 nwpr 165525 Nov 1 07:21 fog_s014_2018110100.png
jbw0024 nwpr 166106 Nov 1 07:21 fog_s018_2018110100.png
jbw0024 nwpr 165468 Nov 1 07:21 fog_s017_2018110100.png
jbw0024 nwpr 167308 Nov 1 07:21 fog_s016_2018110100.png
jbw0024 nwpr 167507 Nov 1 07:21 fog_s020_2018110100.png
jbw0024 nwpr 167245 Nov 1 07:21 fog_s019_2018110100.png
jbw0024 nwpr 173141 Nov 1 07:21 fog_s022_2018110100.png
jbw0024 nwpr 172990 Nov 1 07:21 fog_s021_2018110100.png
jbw0024 nwpr 161059 Nov 1 07:21 fog_s024_2018110100.png
jbw0024 nwpr 165430 Nov 1 07:21 fog_s023_2018110100.png
```

그림 4.5 충북 14개 지점의 안개유무 그래픽 생산

각 지점별로 생성된 안개예측 그래픽을 슈퍼컴퓨터 로그인서버의 웹표출 경로로 이동

```
. /s1/home/nwp/jobs/OP04/UTIL/ENVI/oper_erly.def
. /s1/home/nwp/jobs/OP04/UTIL/ENVI/oper_host.def
. /s1/home/nwp/jobs/OP04/UTIL/ENVI/work_src

DIR=/s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/CBFSI/
MODLDIR=/s4/home/nwpr/jbw0024/public_html/CHT/jun/COUNT

cp /s1/home/nwp/jobs/N128/WORK/JOBS/LOGO/${WORK_TIM}.tim ${DIR}/anal.tim

ANLTIM=`cat $DIR/anal.tim | cut -c1-10`

YYYY=`cat $DIR/anal.tim | cut -c1-4`
MM=`cat $DIR/anal.tim | cut -c5-6`
DD=`cat $DIR/anal.tim | cut -c7-8`
HH=`cat $DIR/anal.tim | cut -c9-10`

cd ${DIR}/FSI/${YYYY}/${MM}/${DD}

chmod 755 ${DIR}/FSI/${YYYY}/${MM}/${DD}/fog_s*${YYYY}/${MM}/${DD}*.png

mkdir -p ${MODLDIR}/${YYYY}/${MM}/${DD}

mv ${DIR}/FSI/${YYYY}/${MM}/${DD}/fog_s*${YYYY}/${MM}/${DD}*.png ${MODLDIR}/${YYYY}/${MM}/${DD}
```

그림 4.6 충북 14개 지점의 안개유무 그래픽 이동

4.2 안개예측 분포 실시간 표출

각 지점별로 생성된 안개예측 그래픽을 아래 사이트에서 일 2회(00, 12UTC) 표출

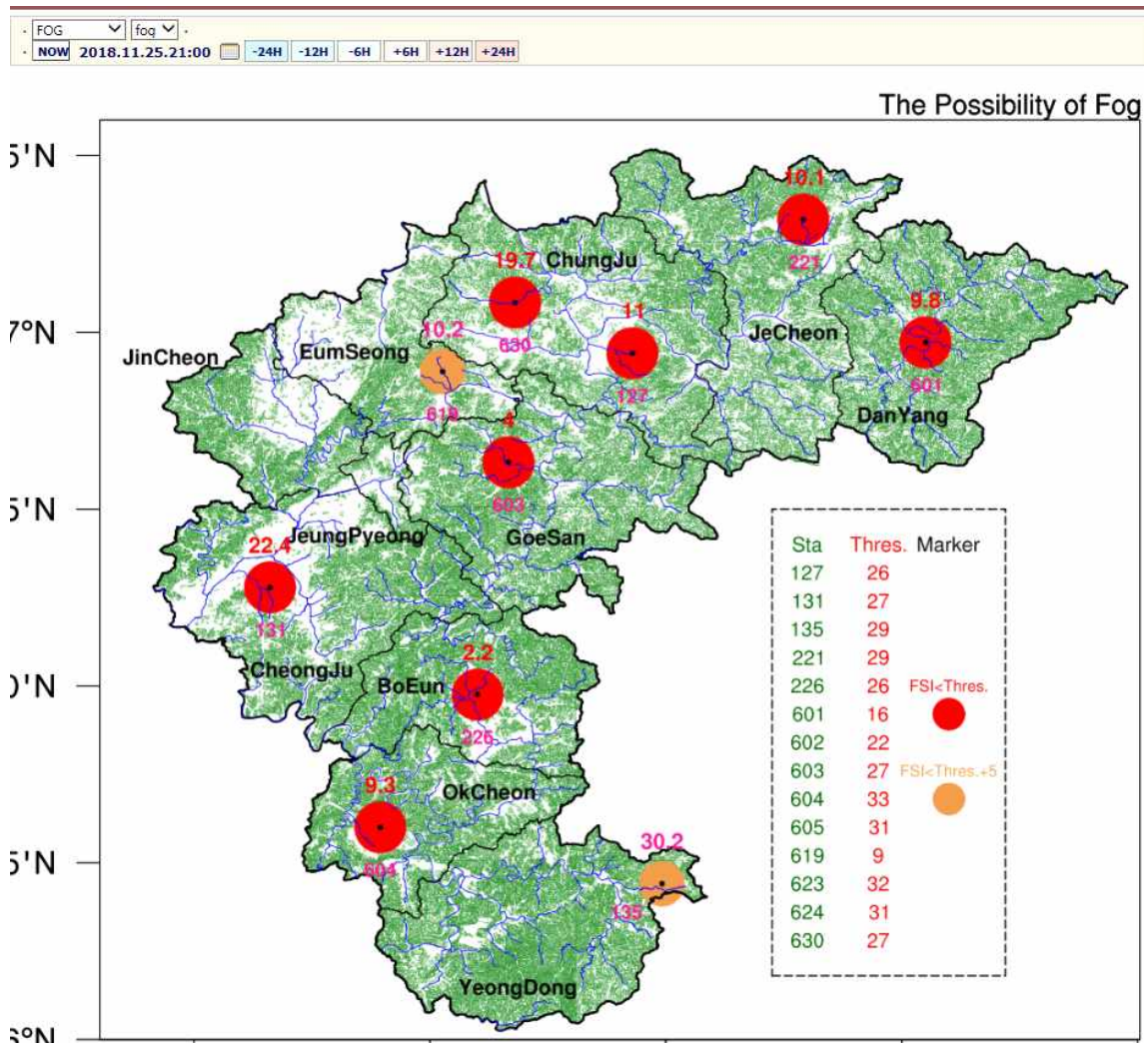


그림 4.7 충북 14개 지점의 안개유무 그래픽 표출

제6장 요약 및 결론

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 시정장애는 운송 분야에서 교통사고, 항공기 결항, 항공사고 등을 일으키고 생활 및 산업 분야에도 막대한 경제적 손실을 초래한다. 특히, 운송 부문에서 짙은 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 추돌사고(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.

이에 충북지역 시정계 설치지점(14곳)의 안개예측지수를 개발하고, 지점 별 안개예측 분포를 웹에 제공하여 예보 및 영향예보에 적용하고자 하였다.

본 연구에서는 충청북도 지역에 대한 안개안정지수(FSI)를 개발하기 위해 14개 지점을 선택하였다. 충청북도 14개 지점은 ASOS가 설치되어 있는 충주, 청주, 추풍령, 제천, 보은의 5개 지점과 AWS가 운영되는 9개 지점(단양, 진천, 괴산, 옥천, 영동, 음성, 증평, 상당, 노은)에 대해 FSI 식을 개발하였다. 충주에는 충주(127), 노은(630), 청주에는 청주(131), 상당(624), 그리고 영동에는 추풍령(135), 영동(605) 지점으로 한 지역에 2개의 관측지점이 존재하며 나머지 지역은 1개의 관측지점만 존재한다. -- 표 1은 14개 지점에 대한 정보이다.

표 6.1 충청북도 14개 지점 정보

번호	지점번호	지점	위도(°)	경도(°)	해발고도(m)	관할지역
1	127	충주	36.97	127.95	116.30	충주
2	131	청주	36.64	127.44	57.16	청주
3	135	추풍령	36.22	127.99	243.70	영동
4	221	제천	37.16	128.19	259.80	제천
5	226	보은	36.49	127.73	174.99	보은
6	601	단양	36.99	128.37	184.20	단양
7	602	진천	36.85	127.43	90.45	진천
8	603	괴산	36.82	127.78	120.50	괴산
9	604	옥천	36.30	127.60	117.84	옥천
10	605	영동	36.16	127.76	137.14	영동
11	619	음성	36.94	127.68	161.02	음성
12	623	증평	36.80	127.86	74.72	증평
13	624	상당	36.63	127.66	244.00	청주
14	630	노은	37.04	127.79	116.55	충주

연구에 사용한 자료의 기간은 2014년부터 2017년까지이며 안개가 발생하지 않는 시간을 모두 포함하여 매 1시간 간격의 자료를 사용하였고 최대한의 자료 활용을 위해 청주 지점은 2013년에 안개가 발생한 시간의 자료(31시간)를 더 포함하였다. 안개가 발생한 시간은 관측 시정이 1,000 m 미만으로 나타날 경우를 안개인 시간으로 정의하였다. 자세한 자료 활용 기간은 2014년 2월 1일 00 KST부터 2017년 12월 31일 23 KST이며 2015, 16, 17년 1월은 1일 09 KST부터 사용하였다. 따라서 청주 지점을 제외한 13개 지점은 34,293 시간, 청주 지점은 34,324 시간의 자료를 사용하였다. ASOS와 AWS를 통해 생산되는 다양한 지상관측자료들 중 안개예측지수 개발에 필요한 시정, 기온, 이슬점, 지상풍속 자료를 활용하였다. 하지만 AWS는 이슬점을 관측하지 않고 기온과 상대습도를 관측하기 때문에 이슬점으로 계산해야 된다. 이를 위해 Alduchov and Eskridge(1996)의 방법인 식 (1)을 이용하였으며 (포화)수증기압을 구하는 방법은 식 (2)를 이용하여 이슬점을 계산하였다.

$$s(e) = 6.109 \times \exp\left(\frac{17.625 \times T(Td)}{(Td) + 243.04}\right) \quad (1)$$

$$RH = \frac{e}{e_s} \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서 s 는 포화수증기압(hPa), e_s 는 수증기압(hPa), T 는 기온(°C), T_d 는 이슬점(°C) 그리고 RH는 상대습도(%)를 나타낸다. 식 (1)과 (2)를 이용하여 구한 이슬점을 다시 상대습도로 계산하여 관측된 상대습도와 비교하면 소수 둘째자리이하에서 차이가 나기 때문에 이 연구에서는 사용하기에 적합하다고 판단하였다.

FSI 식에는 지상관측자료 뿐만 아니라 고층자료가 필요하기 때문에 현업에서 운영중인 LDAPS 자료를 사용하였다. LDAPS는 하루 4번(00, 06, 12, 18 UTC) 36시간 간격으로 예측 자료가 생산되는데 이 중 00(00 ~ 05), 06(06 ~ 11), 12(12 ~ 17), 18(18 ~ 23) UTC 예측장에서 각각 예측이 높은 6시간만 자료를 사용하였다. 사용한 고층자료는 850과 925 hPa 등압면 고도에서의 기온과 U성분 및 V성분 풍속 자료이다. 고층자료의 풍속은 U성분과 V성분 풍속으로 각각 제공되기 때문에 식 (3)과 같이 풍속으로 계산하여 연구에 사용하였다.

$$\text{Wind Speed(m/s)} = \sqrt{U^2 + V^2} \quad (3)$$

안개예측지수가 개발된 후 이를 검증하기 위해 2018년 1월 1일 00 KST부터 2018년 11월 30일 23 KST까지 LDAPS 예측값과 실제 관측된 시정 자료를 이용하였다. LDAPS 예측값은 00 UTC에 생산되는 예측값 자료를 사용하였다. 자료는 각 지역별 기온, 이슬점, 지상풍속, 850과 925 hPa 고도에서의 기온 및 풍속 자료를 사용하였다. 이 예측값을 개발한 식에 대입하여 나타난 안개 예측의 정확성을 평가하기 위해 실제 시정값을 이용하여 비교하였다.

안개예측지수에는 1970년대 후반 미 공군에서 개발한 FSI(Fog Stability Index) 경험식을 사용하였다. FSI 식은 안개 생성에 중요한 4개의 요소를 포함하고 있으며 지상과 고층 자료를 이용하여 식을 구성하였다. FSI 식은 식 (4)와 같다.

$$FSI = 2(T - T_d) + 2(T - T_{850}) + WS_{850} \quad (4)$$

여기서 T 는 기온(°C), T_d 는 이슬점(°C)이며 T_{850} 과 WS_{850} 은 850hPa 고도의 기온(°C)과 풍속(kts)을 나타낸다. FSI 식의 각 항은 지상 습수, 대기안정도 그리고 지표의 대기 난류를 나타내는 항으로 각 항이 모두 작을수록 안개 형성에 유리한 조건을 가지고 있다. 그리고 FSI의 임계값은 $FSI < 31$ 이면 복사안개 생성 가능성 높음, $31 \leq FSI \leq 55$ 이면 보통 그리고 $FSI > 55$ 이면 낮음으로 판정한다. 이 연구에서 시정이 1,000m 미만이며 강수가 없을 시에 안개라고 판정하였다. 시간강수량이 0.1 mm hr^{-1} 이상 존재하는 경우는 제외하였다.

미 공군에서 개발한 FSI 식을 기반으로 충청북도 14개 지점에 대한 최적화된 식을 개발하기 위해 FSI 식과 유사하게 식을 구성할 방법을 고안하였으며 송윤영과 염성수 (2013)의 방법을 참고하였다. FSI 식의 구성과 동일하게 3개의 항으로 구성하였으며 925 hPa 고도의 기온과 풍속을 추가하였다. 지상부터 850 hPa 고도는 대기 중하층을 대표하며 두 층 사이의 기온 변화에 의해 그 특징이 부각된다. 또한 850 hPa 고도의 풍속은 대기 하층의 난류정도를 나타낸다. 이 연구에서는 지상부터 850 hPa 사이에 위치한 925 hPa 고도에서의 기온과 풍속을 추가하여 850 hPa 고도보다 925 hPa 고도의 기상정보가 더 최적화될 수 있을 가능성을 두었다.

FSI 식 구성에 필요한 3개의 항은 기존의 식(4)과 동일하게 지상 습수항, 대기안정도 그리고 지표 대기 난류정도를 나타내는 항을 포함하며 T , $T - T_{850}$ 과 $T - T_{925}$ 중 하나, WS_{850} 과 WS_{925} 중 하나를 선택하였다. 지상 습수항은 $T - T_d$ 로 다른 요소가 없기 때문에 이 항은 모든 지점의 FSI 식에 포함되었다.

다음으로 FSI 식 구성에 필요한 각 항의 계수와 임계값을 찾기 위해 다양한 방법을 시도하였다. 계수와 임계값 선정 시 사용하는 자료를 안개와 비안개 모든 자료에 대해 찾는 방법과 안개가 발생한 시간에 대해서만 자료를 이용해서 계수와 임계값을 선정하는 2가지 방법이 있다. 계수는 기존 임계값인 31을 기준으로 모든 항의 계수를 -10부터 30까지 0.1 간격으로 각각 변화시키면서 최대 CSI가 나올 때의 계수를 선택하였다. 계수가 최저 -10 이거나 최대 30이 나올 경우 계수 범위를 다시 넓혀서 재 선택하였다. 계수가 선택된 후 임계값 선정하는 방법은 최대 CSI가 나타난 경우 HR을 기준으로 최대 HR이 나타난 경우 최대 임계값과 최저 HR이 나타난 경우 최저 임계값 2가지 임계값을 선택하여 분석하였다. 임계값은 0부터 100까지 1간격으로 변화시키면서 CSI, HR, FAR의 변화를 살펴보았다. 이 연구에서는 CSI, HR, FAR와 같이 숙련도를 이용해서 연구를 진행을 하였으며 숙련도에 대한 자세한 설명은 다음 문단에서 설명하였다.

숙련도를 평가하는 방법은 다음과 같다(표 2). FSI가 임계값 미만이며 실제 안개가 관측되면 'A', FSI가 임계값 이상이고 실제 안개가 관측되면 'B', FSI가 임계값 미만이고 실제 안개가 관측되면 'C', FSI가 임계값 이상이고 실제 안개가 관측되지 않으면 'D'로 정의하였다. 정확도 판별은 CSI(Critical Success Index), HR(Hit Rate, POD), FAR(False Alarm Ratio), PAG(Post Agreement), ACC(Accuracy), Bias을 계산하였으며 수학적 표현은 식 (5) ~ (10)과 같음.

표 6.2. 숙련도 평가방법

		Forecasts	
		YES	NO
Observations	YES	A	B
	NO	C	D

$$SI = \frac{A}{A+B+C} \quad (5)$$

$$HR = \frac{A}{A+B} \quad (6)$$

$$FAR = \frac{C}{A+C} \quad (7)$$

$$PAG = \frac{A}{A+C} \quad (8)$$

$$ACC = \frac{A+D}{A+B+C+D} \quad (9)$$

$$Bias = \frac{A+C}{A+B} \quad (10)$$

복사안개예측지수(FSI)를 개발하기 위해서 안개와 비안개 모든 시간에 대해 충청북도 14개 지점에 대한 변수선택과 계수 그리고 임계값을 선정하였다. 표 3은 지점별 FSI 식의 변수와 각 항의 계수 그리고 그때의 최대 임계값과 최소 임계값을 나타내었다. 각 지역별로 시정과 가장 상관성이 높은 인자들은 지상 습수는 공통항이고 대기안정도는 기존 식처럼 $T - T_{50}$ 이 8지점 그리고 6지점은 $T - T_{925}$ 와 상관성이 높게 나타났다. 지표 대기 난류항 또한 기존 식과 같이 850 hPa 고도의 풍속이 8지점, 지상 풍속이 4지점 그리고 925 hPa 고도의 풍속이 2지점으로 각 지역별로 다르게 나타남을 알 수 있다.

각 항의 계수를 결정하기 위해 -10부터 30까지 0.1 간격으로 대입한 결과 모든 지점에서 지상 습수항의 계수가 가장 크게 나타나며 남은 두 항의 계수는 대부분 0 ~ 5 범위로 지상 습수항의 계수보다 상대적으로 훨씬 작게 나타났다. 이 중 AWS 관측 지점 대부분에서 지상 습수항의 계수가 최대 30으로 나타났다. 그 지점에 대해 다시 최대 계수 범위를 넓혀가며 새로운 계수를 찾은 결과 최대 99.9까지 나타나며 작게는 34.0으로 나타났다. 그 결과 ASOS 지점보다 AWS 지점에서의 지상 습수항의 계수가 약 3배 이상 크게 나타났는데 이는 AWS 지점에서 관측하는 상대습도의 문제점으로

인한 오류로 볼 수 있다. AWS에서 관측한 상대습도 중 장시간(12시간 이상)동안 동일한 값이 관측되는 경우가 다수 존재한다. 상대습도가 매 시간 제대로 관측되지 않고 처음 관측한 값이 장시간동안 동일한 값으로 나타난 것으로 판단된다. 이로 인해 시정과의 상관성을 판단할 때 오류를 범하며 계수 또한 매우 크게 나타나는 것으로 생각되며 FSI 식을 개발함에 어려움을 줄 수 있다고 판단된다.

변수와 계수를 모두 찾은 뒤 임계값을 설정하였다. 기존의 31이었던 임계값에서 새로 찾은 변수와 계수에 맞은 임계값을 설정하기 위해 0부터 100까지 1간격으로 속련도의 변화를 살펴보았다. 그림 2는 임계값을 선택하는 예시로 충주(127) 지점의 임계값 변화를 보여준다. 대부분 최대 임계값은 30 ~ 35, 최저 임계값은 25 ~ 30으로 분포한다.

표 6.3 안개와 비안개 사례에 대한 각 지역별 FSI와 임계값

지점번호	지점	FSI						임계값	
								최대	최저
127	충주	6.8	T-Td	-0.6	T-T850	0.3	WS850	38	26
131	청주	4.5	T-Td	1.9	T-T925	4.1	WS	34	27
135	추풍령	14.1	T-Td	0.1	T-T925	0.7	WS925	33	29
221	제천	16.8	T-Td	-0.7	T-T925	-0.3	WS850	38	29
226	보은	11.6	T-Td	1.5	T-T850	0.3	WS850	39	26
601	단양	25.7	T-Td	10.0	T-T850	-0.3	WS	16	15
602	진천	29.4	T-Td	5.8	T-T850	10.0	WS	31	22
603	괴산	99.9	T-Td	7.5	T-T850	9.3	WS	31	30
604	옥천	27.4	T-Td	4.3	T-T850	0.9	WS850	33	31
605	영동	34.0	T-Td	0.4	T-T925	-0.2	WS850	31	31
619	음성	10.0	T-Td	9.9	T-T925	4.8	WS850	31	9
623	증평	41.3	T-Td	-0.4	T-T850	-0.6	WS850	32	31
624	상당	82.1	T-Td	6.0	T-T850	0.3	WS925	31	31
630	노은	49.5	T-Td	1.0	T-T925	1.5	WS850	27	25

다음은 안개가 발생한 시간의 자료만을 가지고 FSI 식을 개발하였다(표 4). 변수 선택은 안개가 발생하였을 때의 시정과 상관성이 높은 변수를 선택하기 때문에 표 3에 보여진것과 같이 각 지역별로 변수는 동일하다. 이전의 FSI 식과 다른점은 각 항의 계수와 임계값이 모두 다르게 나타나는 점이다. 각 항의 계수는 범위를 넓혀가면서 다시 계수를 찾으면 계속 최대나 최소 범위가 나타나기 때문에 이번에는 -10에서 10까지 범위 내에서만 계수를 선택하기로 하였다. 그리고 안개가 발생한 사례에 대해 FSI

식을 구성하기 때문에 숙련도를 평가하는 범주 중 'C'와 'D'가 존재하지 않는다. 이런 이유로 CSI는 1.0이 나타날 수 있기 때문에 최소 1개 이상의 'B' 범주를 포함시키기 위해 CSI가 1.0이 아닌 최대 CSI를 선택하여 구성하였다.

단양(601) 지점을 제외한 지상 습수항의 계수는 모두 10.0이며 대기안정도 항의 계수는 대부분 4.0 ~ 7.0에 분포하고 난류항의 절대값은 9.0 ~ 10.0 사이로 나타났다. 지상 습수항을 제외한 두 항의 계수의 절대값은 표 3에 보인 FSI 식보다 대부분 크게 나타났다. 또한 표 3의 FSI 식의 계수는 지상 습수항은 모두 양수이며 남은 두 항은 규칙없이 양수와 음수가 골고루 나타나지만 표 4의 FSI 식은 단양 지점을 제외하고 지상 습수항과 대기안정도 항은 모두 양수이며 난류항은 모두 음수가 나타나는 특징이 있다. 임계값은 그림 2에서 보인것과 같은 방법으로 최대와 최소 임계값을 설정하였으며 대부분 최대 임계값은 21 ~ 27, 최소 임계값은 14 ~ 20으로 분포하며 표 3에 보인 임계값보다 약 5 ~ 10정도 작게 나타난다.

표 6.4 안개 사례에 대한 각 지역별 FSI와 임계값

지점번호	지점	FSI							임계값	
									최대	최저
127	충주	10.0	T-Td	2.8	T-T850	-9.2	WS850		26	19
131	청주	10.0	T-Td	2.0	T-T925	-7.5	WS		31	28
135	추풍령	10.0	T-Td	5.0	T-T925	-9.8	WS925		21	17
221	제천	10.0	T-Td	6.4	T-T925	-10.0	WS850		24	16
226	보은	10.0	T-Td	4.6	T-T850	-9.3	WS850		27	22
601	단양	7.2	T-Td	-0.4	T-T850	-4.5	WS		14	14
602	진천	10.0	T-Td	1.9	T-T850	-10.0	WS		24	23
603	괴산	10.0	T-Td	1.5	T-T850	-9.4	WS		26	16
604	옥천	10.0	T-Td	5.7	T-T850	-9.8	WS850		24	19
605	영동	10.0	T-Td	6.6	T-T925	-9.8	WS850		26	12
619	음성	10.0	T-Td	6.5	T-T925	-10.0	WS850		14	1
623	증평	10.0	T-Td	4.0	T-T850	-9.9	WS850		27	20
624	상당	10.0	T-Td	4.9	T-T850	-9.9	WS925		24	19
630	노은	10.0	T-Td	10.0	T-T925	-4.9	WS850		24	19

충청북도 14개 지점에 대해 개발한 FSI 식의 정확도를 확인하기 위해서는 검증이 필요하다. 검증 기간은 2018년 1월 1일 00 KST부터 11월 30일 23 KST 기간 동안 수행하였다. 그림 3은 검증 기간 동안 각 지점별로 안개가 발생한 시간과 0.1 mm hr^{-1} 이상의 강수를 제외한 후 안개 발생 시간을 나타내었다. 총 안개가 발생한 시간은 최

대 300시간 정도 밖에 되지 않지만 보은(226)과 괴산(603), 음성(619), 상당(624)에서 300시간 내외로 안개가 가장 많이 발생하였다. 반면 추풍령(135), 단양(601), 진천(602)에서는 강수 발생 시간을 제외하고 각각 42시간, 42시간, 72시간으로 충북지역 14 지점 중 안개 발생 시간이 가장 적게 나타났다. 그 외 지점은 대부분 80 ~ 240 시간으로 다양하게 나타났다.

2018년도에 대한 검증은 앞서 2가지 방법으로 모두 개발한 FSI 식(표 3과 4)에 대해 수행하였다. 그리고 앞에서 언급한 것처럼 표 3에서 최대 계수가 나타난 지점은 기존 식과 계수를 넓혀 다시 만든 2가지 식을 포함하여 검증을 수행하였다. 표 5는 각 지점별 검증 결과를 나타내며 개발한 모든 FSI 식 중 지점별로 가장 CSI가 높은 결과만을 나타내었고 그림 4는 검증 결과 중 CSI와 현업에서 사용중인 LDAPS와 LENS 모델의 CSI를 비교하였다. 그리고 표 6은 최종 선별된 FSI 식을 정리하였다.

검증 결과 CSI는 평균 0.085이며 평균보다 높은 CSI는 6개 지점(충주, 청주, 추풍령, 제천, 단양, 노은, 증평)을 제외한 8개 지점이며 이 중 상당에서 0.177로 CSI가 가장 높게 나타났다. HR은 0.48, FAR는 0.865로 평균 HR(0.503)과 FAR(0.875)보다 낮게 나타났다. CSI가 평균보다 높게 나타난 지점은 대부분 안개시간이 약 200시간 이상으로 상대적으로 안개가 많이 발생한 지점이다.

표 6.5 각 지점별 검증 결과

지점번호	지점	CSI	FAR	HR	PAG	ACC	Bias
127	충주	0.025	0.902	0.975	0.025	0.612	35.744
131	청주	0.014	0.575	0.986	0.014	0.611	39.849
135	추풍령	0.024	0.976	0.976	0.024	0.774	40.071
221	제천	0.055	0.830	0.945	0.055	0.830	15.023
226	보은	0.126	0.783	0.869	0.131	0.823	5.984
601	단양	0.015	0.048	0.979	0.021	0.982	2.262
602	진천	0.144	0.236	0.730	0.270	0.987	0.875
603	괴산	0.134	0.197	0.703	0.297	0.955	0.663
604	옥천	0.154	0.560	0.824	0.176	0.932	3.187
605	영동	0.087	0.691	0.910	0.090	0.922	7.654
619	음성	0.087	0.106	0.670	0.330	0.955	0.321
623	증평	0.075	0.352	0.914	0.086	0.919	4.082
624	상당	0.177	0.352	0.738	0.262	0.937	1.341
630	노은	0.065	0.151	0.897	0.103	0.935	1.467

표 5에 보인 검증 결과는 CSI가 모두 0.2 이하로 상당히 낮은 정확도를 보이지만 현재 운영중인 모델 정확도와 비교해보면 훨씬 좋은 결과임을 알 수 있다(그림 4). LDAPS 모델의 CSI는 제천과 증평에서 0.012, LENS 모델의 CSI는 제천에서 0.05로 가장 높으며 모두 0.02 이하로 모델 정확도 역시 낮음을 알 수 있다. 하지만 개발한 FSI의 CSI는 모델 정확도에 비해 상대적으로 높으며 14지점에 대한 안개 예측을 할 수 있기 때문에 모델 예측성보다 유용하다고 생각할 수 있다.

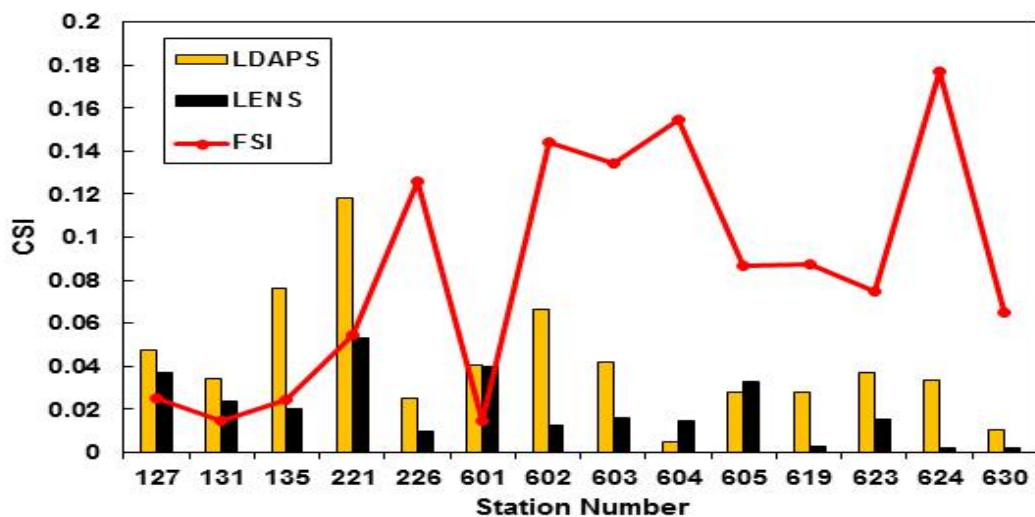


그림 6.1 개발한 FSI와 기존 모델(LDAPS와 LENS)의 지점별 CSI 비교

표 6은 여러 가지 방법으로 개발한 FSI 식에서 각 지점별로 표 5에서 보인 검증 결과의 FSI 식을 나타내었다. FSI 식은 모두 안개와 비안개 사례를 포함하여 개발한 식이 CSI가 좋게 나타났다. 앞서 언급하였던 계수가 최대 30이 나왔던 5개 지점(괴산, 영동, 증평, 상당, 노은) 지점 중 영동(605)과 증평(623)만 계수 범위를 넓혀 만든 FSI 식의 CSI가 더 높게 나타났으며 남은 3개 지점은 계수가 30일 때 CSI가 더 높게 나타나 최종 식으로 결정하였다.

표 6.6 각 지점별 개발된 FSI

지점번호	지점	FSI						임계값
127	충주	6.8	T	-0.6	T_{50}	0.3	WS_{850}	26
131	청주	4.5	$T - T_d$	1.9	$T - T_{925}$	4.1	WS	27
135	추풍령	14.1	$T - T_d$	0.1	$T - T_{925}$	0.7	WS_{925}	29
221	제천	16.8	$T - T_d$	-0.7	$T - T_{925}$	-0.3	WS_{850}	29
226	보은	11.6	$T - T_d$	1.5	$T - T_{850}$	0.3	WS_{850}	26
601	단양	25.7	$T - T_d$	10.0	$T - T_{850}$	-0.3	WS	16
602	진천	29.4	$T - T_d$	5.8	$T - T_{850}$	10.0	WS	22
603	괴산	30.0	$T - T_d$	7.5	$T - T_{850}$	10.0	WS	27
604	옥천	27.4	$T - T_d$	4.3	$T - T_{850}$	0.9	WS_{850}	33
605	영동	34.0	$T - T_d$	0.4	$T - T_{925}$	-0.2	WS_{850}	31
619	음성	10.0	$T - T_d$	9.9	$T - T_{925}$	4.8	WS_{850}	9
623	증평	41.3	$T - T_d$	-0.4	$T - T_{850}$	-0.6	WS_{850}	32
624	상당	30.0	$T - T_d$	1.5	$T - T_{850}$	2.8	WS_{925}	31
630	노은	30.0	$T - T_d$	0.1	$T - T_{925}$	2.1	WS_{850}	27

참 고 문 헌

- 김지언, 권태영, 이방용, 2005: 영동대설 사례와 관련된 동해상의 현열속과 잠열속 분포 특성. *Ocean and Polar Research*, **27(3)**, 237-250.
- 박준상, 김규랑, 강미선, 김백조, 2017: 낙동강 중류에서 하천 증발이 안개에 미치는 영향. *지구과학학회지*, **38(6)**, 395-404.
- 송윤영, 염성수, 2013: 인천국제공항의 안개 특성에 따른 안개 안정 지수 FSI(Fog Stability Index) 개발 및 검증. *대기*, **23(4)**, 443-452.
- 이강민, 2010: 충청지역 안개발생 특성 및 예측기법 개발. 공주대학교 석사 논문, 50pp.
- 한국기상학회, 2012: 대기과학개론. *시그마프레스*, 405pp.
- Alduchov, Oleg A., and Robert E. Eskridge, 1996: Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure. *Journal of Applied Meteorology*, **35(4)**, 601-609.

PART II 호우

제1장 서론

충북지역의 여름철 강수 집중률은 연강수량의 55~59% 범위로 여름철 위험기상의 대부분은 장마전선, 저기압 또는 태풍, 국지적 집중호우 등에 의해 많은 비가 내리면서 많은 재산과 인명 피해를 가져온다.

표 1.1 충북의 여름철 강수량 변화 현황(단위, mm)

기 간	장마 전	장마기간	장마 후	여름 총 강수량
1973-1993	88.6	312.9	273.5	675.0
1994-2015	94.2	330.0	331.2	755.4
변화율(%)	+6.3	+5.2	+21.1	+11.9

최근 충북지역에서 발생한 집중호우의 특징을 보면, 20~50km 내외의 좁은 강수 구름대에서 매우 짧은 시간(30분~6시간)에 시간당 30mm 이상의 매우 강한 비가 내린다는 점이다. 자연재해 안전지대의 기후였던 충북지역이 지구 온난화의 영향으로 온대에서 준 아열대 지역으로 변하는 과정에서 산악이나 지형효과에 의해 조금만 자극을 받아도 집중호우를 내릴 수 있는 기후로 변하고 있다.

2017년 여름철은 7월 1일에 장마가 평년(6.24~25)보다 7일 가량 늦게 시작하여 7월 29일에 종료되었다. 평년 장마기간(32일)과 비교하면 29일로 3일이 짧았음에도 불구하고, 청주지역을 중심으로 평년대비 약 220%의 많은 강수량을 보였다. 특히, 7월 16일에는 청주 290.2mm, 증평 225.0mm, 괴산 213.0mm 등 200mm가 넘는 매우 많은 비가 내렸으며, 청주지역의 1시간 최대강수량이 91.8mm로 200년 빈도 확률 강우량(91mm)를 초과하였고, 3시간 연속강우량 197.1mm는 500년 빈도 확률 강우량(182.6mm)을 초과하였다.

이처럼 도시의 계획빈도(청주시 방재성능목표 : 50년 빈도(1시간 75mm)

/2012년, 국민안전처)를 초과하는 유례없는 집중호우로 5명의 사망자와 2,539명의 이재민이 발생하였고, 하천이 범람하면서 높은 홍수위에 의한 내수침수, 지반포화로 인한 사면 약화 및 활동력 증가에 의한 사면 붕괴, 하천 호안 유실로 인한 제방도로 붕괴 등 공공시설과 사유시설의 피해가 약 547억원이 발생하였다.

청주지역의 경우 1995년 태풍 제니스와 2008년 태풍 갈매기가 북상할 때 전면 수렴대에서 각각 293mm와 198mm의 비가 내린 적이 있으나 시간당 강수량이 60mm, 52.5mm로 작아서 이번 7월 16일 사례처럼 큰 피해를 입지는 않았으며, 사실상 이번 사례가 도시형 재해의 첫 경험이라 할 수 있다.

본 연구과제를 통해 위험 및 취약성의 DB가 기반이 된 지역별 맞춤형 임계값 산출을 위한 기술연구와 호우예측모델의 검증을 통해 고품질 호우영향 정보를 제공함으로써 호우로 인한 피해를 최소화하고, 더 나아가 영향예보의 효용성을 전파하여 수요자의 긍정적 반응을 유도하고자한다

제2장 충북 침수위험지역 현장 답사

제1절 호우영향예보 추진을 위한 현장 조사 결과

충청북도의 호우 영향예보 수행을 위한 충북지역의 지형파악과 침수위험지역 현장점검을 통해 예보역량 향상과 향후 영향예보 추진을 위해 아래와 같이 조사를 하였다.

표 2.1 침수위험지역 현장점검 일정

구분	일정	조사자	조사지역
조사1팀	4.17.(화)~18.(수)	한상현, 이양동, 김태열, 박승빈, 정병우	충주시, 제천시, 괴산군
조사2팀	4.23.(월)~24.(화)	김진석, 이상래, 변형, 권순범, 김우철	청주시, 괴산군, 보은군
조사3팀	3.26.(월)~27.(화)	김상용, 김종찬, 장태준, 김충식, 장소리, 김주현	영동군, 옥천군
조사4팀	3.27.(화)~28.(수)	김순, 김응식, 김원학, 홍주영, 김예림	제천시, 단양군

1. 예보 1팀(충주, 제천, 괴산)

1.1 답사구역 지형 분석

1.1.1 충주시

충주시는 충청북도 동북부에 위치하고 있고, 동북동쪽으로 소백산맥의 지류인 계명산(775m)과, 남남동쪽으로 남산(636m), 남서쪽으로 대림산(489m)이 병풍처럼 둘러싸여 분지를 이루고 있음. 북동쪽에는 충주호를 비롯하여 북서쪽에 남한강과 서쪽에서 흐르는 달천강이 있어 호반의 도시임. 분지형의 기후특성으로 일교차와 연교차가 큼. 주위에 충주호와 강, 하천이 흐르고 있어 안개발생일수가 매우 잦은 편임. 특히, 국내 최대의 콘크리트 다목적댐인 충주댐의 건설로 주요 수증기 공급원이 되면서 안개 발

생일수가 댐건설 전보다 크게 증가하였음.

충주 ASOS는 충주지역기상서비스센터에 위치하고 있으며, 북동쪽에는 계명산, 남쪽으로는 남산이 위치하고 있음. 서쪽으로 달천강이 흐르고 있어 하천의 수증기 공급으로 안개 발생이 빈번한 편이어서 안개 감시에 중요한 지점임.

1.1.2 괴산군

괴산군은 남동지역이 소백산맥과 접하여 북동에서 남서로 달려서 남동지역은 높고 험준하며 북서부는 낮음. 남부는 소백산맥과 연결된 대야산(931m), 조항산(951m), 동쪽으로는 박달산(825m), 조령산(1,025m) 등이 연봉을 이루며 산간지대를 형성하고 있고, 동쪽으로는 칠보산(778m), 보광산(539m)이 위치해 있음. 북서부는 대부분 500m 이하 구릉성 산지가 산재하고 하천을 따라 좁은 형태임. 내륙에 위치하면서 대륙성 기후의 특성을 나타내고 있음.

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 지역임. 인근으로 49번, 32번, 922번 지방도로가 지나고 있으므로 주의 깊은 안개감시가 필요한 지역임.

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

1.1.3 괴산댐

괴산댐은 1952년 11월에 공사를 시작하여 1957년에 건설된 댐으로 순수한 국내기술진에 의해 조사, 설계된 최초의 댐으로 댐마루는 137.7m, 상시 만수위는 135.7m로서 2m의 여유를 두고 있음.

지난 7.16 집중호우 시 괴산댐 상류 및 하류지역에 많은 피해가 발생하였으며, 특히 괴산댐 상류지역은 화양계곡 및 주변 산에서 내려오는 계곡물이 합류하는 지역으로 집중호우 시 주변 산악지역 및 유관기관 강수량 파악이 중요함.

1.1.4 충주호

청풍호는 1985년 준공된 충주댐으로 인해 조성된 면적 67.5km², 평균 수심 97.5m, 길이 464m, 저수량 27억 5000톤의 인공호수로 국내에서는 소양호 다음으로 담수량이 큼. 또한, 서울 및 수도권과 충청권의 최대 식수원이기도 함. 지난 3월 이후 충북 지역에는 많은 양의 비가 내리면서 현재(4월 21일 21시 기준) 수위 127m에 저수율은 45.3%으로 평년 저수율 약 42.2%를 웃돌고 있음. 하지만, 지난해를 비롯해 2015년, 2014년, 2012년 등 봄 가뭄이 연례화 하는 추세를 보이면서 여름철 홍수 뿐 만 아니라 가뭄에 있어서도 지원 대책 마련이 필요하고 그에 따른 좀 더 상세한 강수량파악과 더불어 유관기관과의 협업이 필요함.

조사지역 지형도 및 항공사진과 현장 답사 관련사진은 그림 에 나타내었다.



괴산댐 AWS



괴산댐 일대

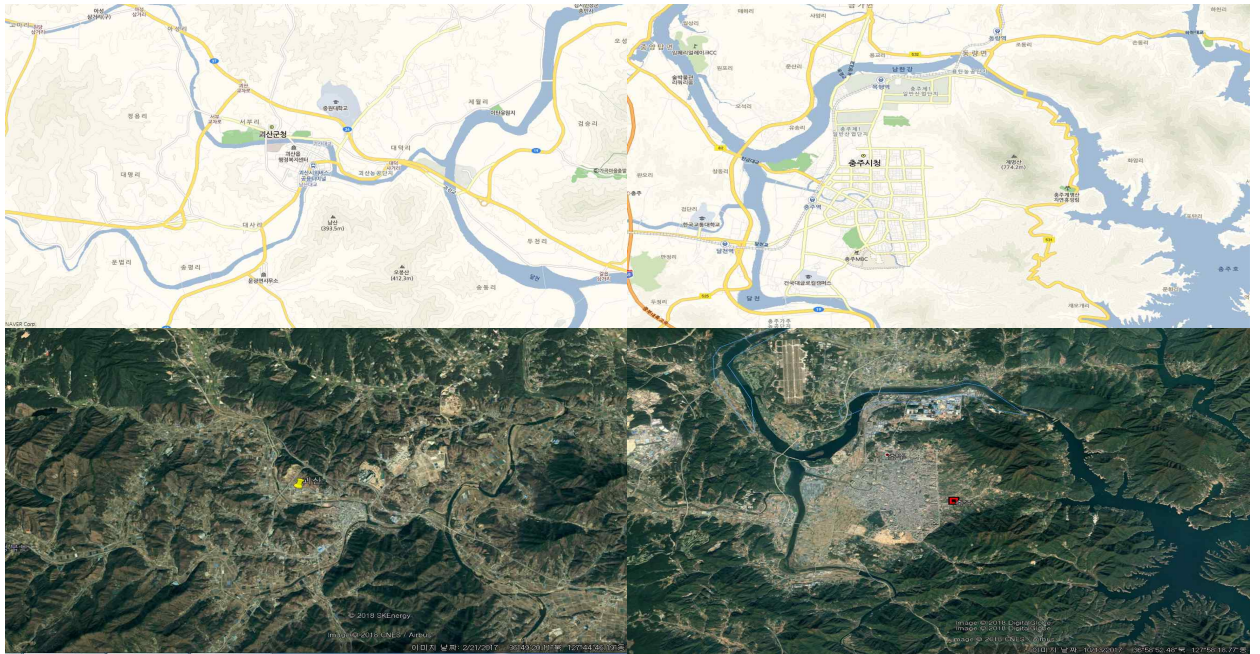


청풍호 일원



수산 AWS

그림 2.1 예보1팀 현장답사 지역



괴산군 지형

충주시 지형

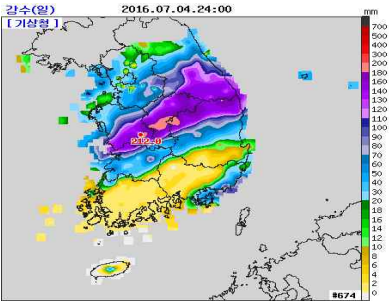
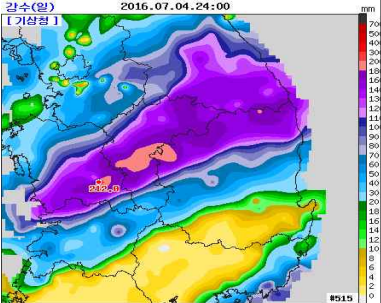
그림 2.2. 예보1팀 현장답사 지형

1.2 답사구역 호우 사례분석(괴산, 2016.7.4.)

1.2.1 괴산지역 침수 피해 상황

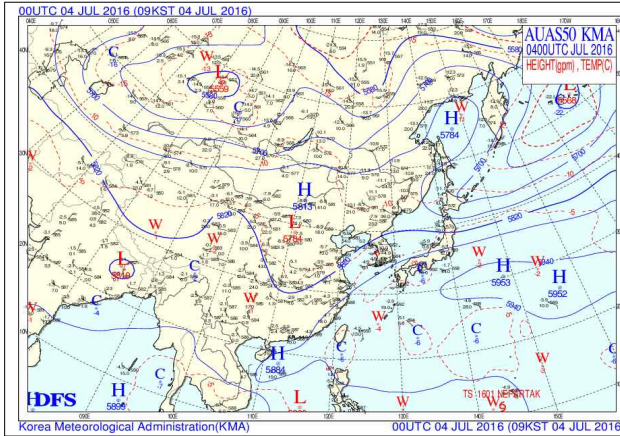
		
(연합뉴스)충북 괴산에 100mm가 넘는 폭우가 쏟아지면서 괴산댐 수문이 모두 열렸다.	(충청신문)4일 오전 9시30분에 내린 많은 비로 충북 괴산군 청천면 고성리 내고 앞 마을 13가구 22명이 고립됐다.	(뉴스1)지난 4~6일 사이 쏟아진 집중 폭우로 충북 중부3군(증평·진천·괴산군)에서 크고 작은 피해가 속출했다.

1.2.2 강수량 현황

		2016년 7월 4일 강수량은 충북남부 60mm, 중부 190mm, 북부 120mm로 남북으로 지역차가 큰 강수분포를 보였고, 특히 괴산 지역의 일 강수량은 160.5mm, 1시간 최다 강수량은 26mm(05:59)로 매우 강한 비가 내렸음
일 강수량 분포(전국 7/4)	일 강수량 분포(충북 7/4)	

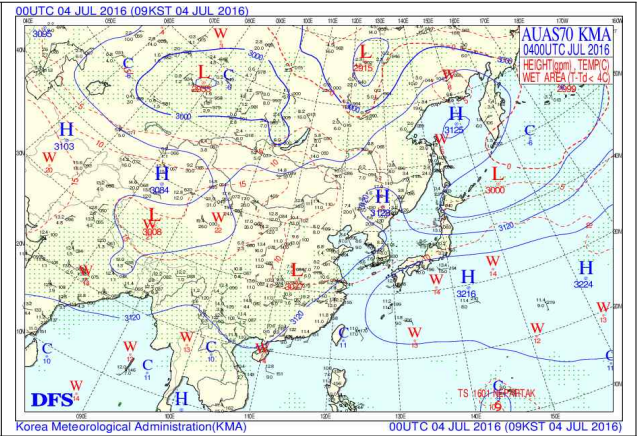
1.2.3 실황분석

- 종관분석



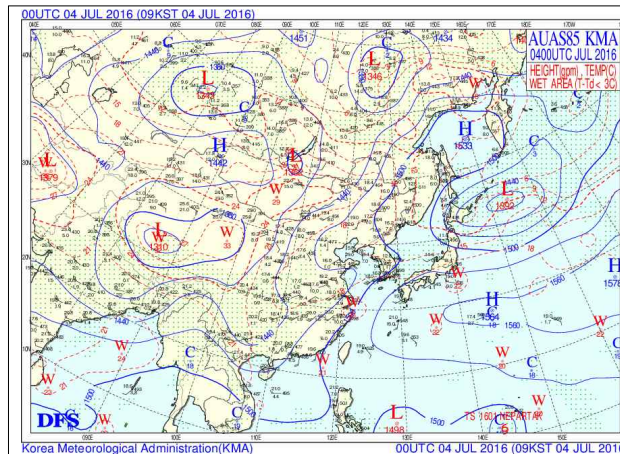
4일 09시 500hPa 일기도

mT가 확장함에 따라 남부에서 남북진동하던 5820gpm선이 북위 40도까지 북상하고, 중국 중부의 단파골이 한기를 유입시킴



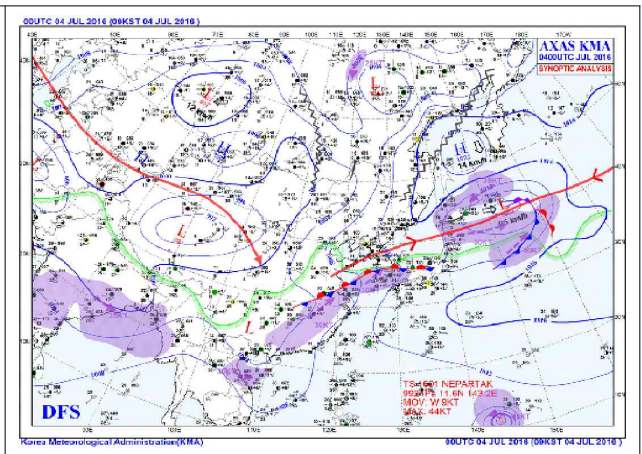
4일 09시 700hPa 일기도

일본남쪽해상의 mT가장자리를 따라 우리나라 남부로 고온다습한 남서류가 강하게 유입되고 있으며, 중국 남부지방 기압골이 발달함



4일 09시 850hPa 일기도

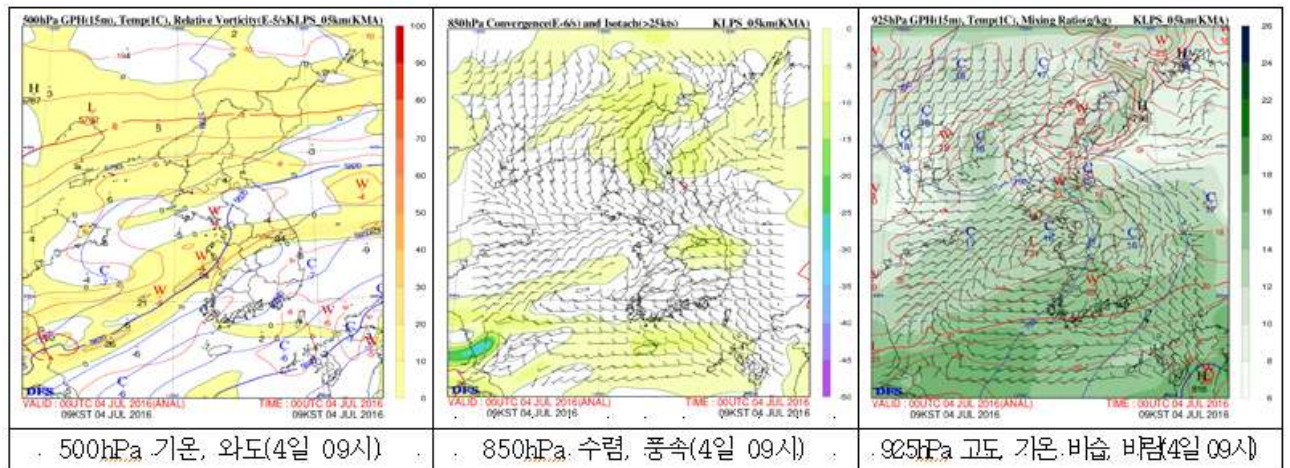
서해남부해상으로 부터 하층제트가 강하게 발달하고, 고상당온위역이 위치하면서 고온다습한 기류유입으로 불안정을 강화시킴



4일 09시 지상일기도

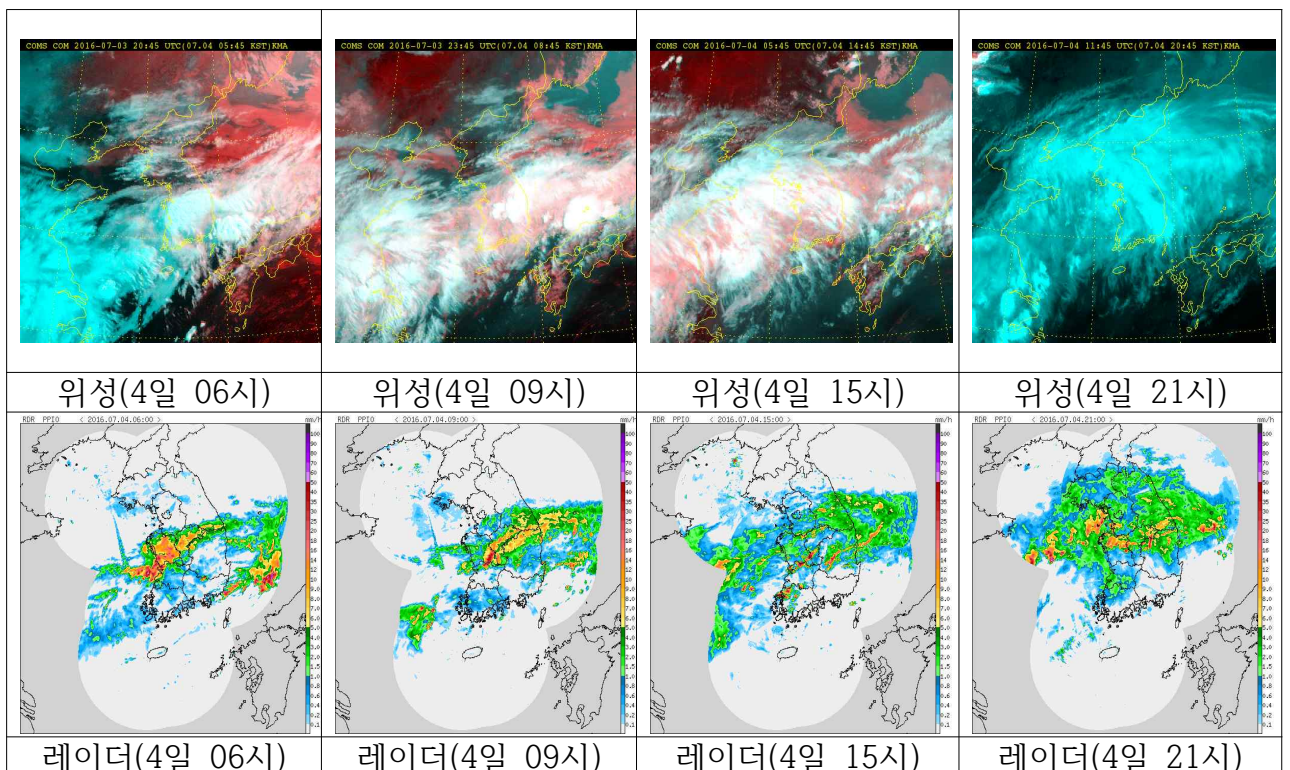
남부지방에 장마전선이 느리게 북상하면서 우리나라 중부지방까지 장마전선의 영향을 받아 전국적으로 많은 강수를 가져옴

- KLAPS 분석



500hPa 고도장에서는 양의 와도가 중부지방을 지나면서 하층불안정을 유도하고, 하층에서는 서해남부해상에 저기압이 위치하면서 남해상으로부터 강원남부내륙으로 남서류에 의한 강한 수렴에 의하여 지속적인 강수를 기록하고 있음

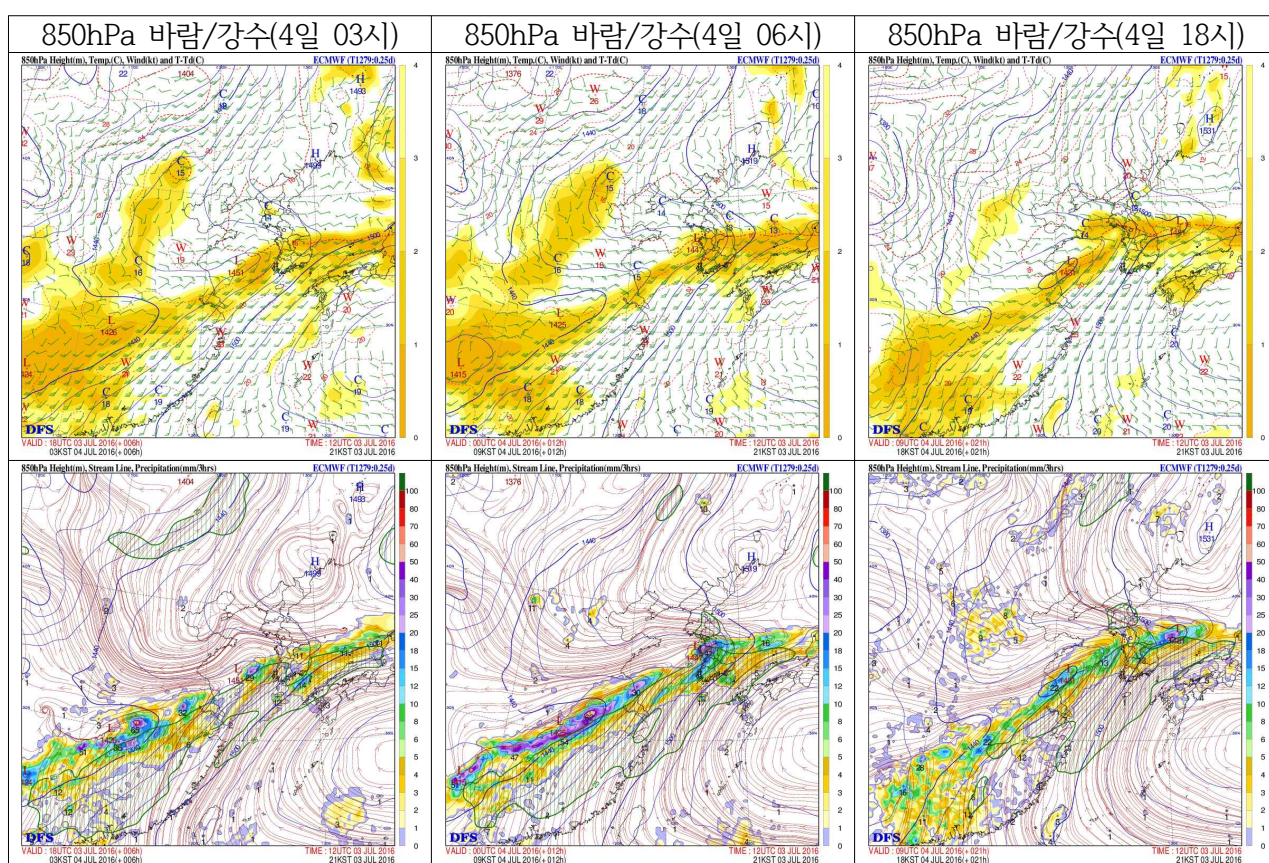
- 위성 및 레이더 분석



위성에서 발해만 부근과 북한지방에 한기가 남쪽으로 유입되고, 남쪽으로는 중국내륙에서 우리나라 남서쪽으로 광범위한 구름대가 서해상을 지나면서 만들어지고 있으며, 이 구름대는 동북동진하는 경향을 보임

레이더 영상에서 서해안으로부터 수렴대에 의한 강한 에코가 지속적으로 만들어지고 있으며 강한 강수역은 충청 및 전북북부를 중심으로 나타나고 있고, 장마전선의 북상에 의하여 대류불안정에 의한 강수에코는 동북동진하는 경향으로 나타남.

- 수치모델 예상장



850hPa 03시 상세바람장에서 서해상의 저기압을 중심으로 30knot 이상의 남서풍이 예상되고, 저기압 남측으로 불안정에 의한 강한 강수를 예측하고 있음.

또한 서해남부해상에 저기압이 동북동진하는 경향이고 오후에 하층에서 남서측으로부터 지속적으로 습윤공기가 유입되면서 집중호우 가능성이 반복해서 나타남.

- 결론

침수피해 원인은 남부지방의 장마전선이 느리게 북상하면서 이 장마전선의 난역에서 하층(850hPa)제트가 30knot 이상으로 강하게 발달하여 고온다습한 기류가 남서측에서 지속 유입되었고 이 난습기단 상층(500hPa)으로 중국 중부지역에 위치한 단파골에 의해 한랭건조한 공기가 유입되어 불안정이 유발되었으며 대류권 상층에 상대적으로 강한 바람과 연직시어 그리고 상층발산으로 인해 당근형 형태의 구름대가 유발되어 충청지방에 시간당 25~50mm 내외의 강한 집중호우로 피해가 발생되었던 사례였음. 이러한 기상 조건에서는 실시간 실황 감시와 방재 유관 기관과의 긴밀한 소통을 통해 집중 호우로 인한 피해를 최소화하여 방재 기상에 기여해야함.

2. 예보 2팀(청주, 괴산, 보은괴산)

2.1 답사구역 지형 분석

2.1.1 보은군 마로면 일대(보청천-삼가천 합류지점)

동쪽에는 소백산맥 상에 위치한 속리산의 천황봉(1,057m)·비로봉(1,020m)·관음봉(986m) 등의 험준한 봉우리와 그 남쪽으로 형제봉(803m), 구병산(877m), 시루봉(505m) 등이 분포하며, 군의 북쪽으로는 묘봉(874m), 활목고개, 금단산(768m) 등이, 서쪽으로는 회인면의 피반령을 위시하여 국사봉(551m) 등과 남쪽으로 거명산(494m), 금적산(652m), 삼승산(575m) 등의 비교적 높은 산지가 둘러싸여 있음.

군의 중앙으로는 구치, 학림산(400m)·수철령(536m)·구룡치(506m)·새목이재(589m), 말치고개 등이 그 동쪽의 남한강 수계와 서쪽의 금강 수계를 가르며 보은분지의 동북쪽 경계를 형성함. 특히 속리산은 동류하는 낙동강, 남류하는 금강, 북류하는 남한강의 분수계임. 금강수계의 보청천은 총연장 65.5km의 하천으로, 보은군 내북면 하궁리에서 발원하여 북서류하다가 남류하여 보은읍을 관통한 뒤, 옥천군 청성면 고당리에서 금강에 유입됨. 보청천의 주요 지류로는 삼가천과 향건천이 있음. 삼가천의 지류로는 적암천·한중천·종곡천·오덕천이 있고, 향건천의 지류로는 불로천·거현천 등이 있어 여름철 집중호우 때는 홍수의 피해가 크다고 조사되고 있음.

보은군 마로면의 재해위험지구는 보은분지의 동남쪽 말단부에 위치하며, 보청천이 삼승산(576m)~천택산(683m) 지맥을 관통하여 옥천군 청산면을 지나 금강 본류로 합류하기 전 구간임. 백두대간 서사면에 위치하므로 지형으로 인한 강제상승에 의해 호우 발생 가능성이 높고, 보청천과 삼가천에서 합류된 물이 지맥을 통과하는 협곡으로 모두 빠지지 못하면 탄부면 및 마로면 일대 배후 평지로 후방 침수의 가능성이 높음

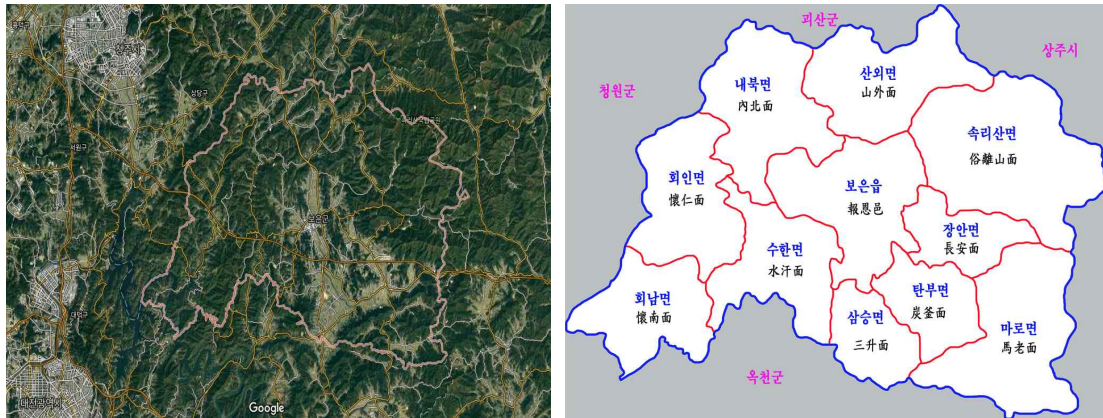


그림 2.3 보은군 위성사진과 행정구역 ※ 출처 : Google 및 위키백과

2.1.2 괴산군 괴산읍 능촌리 일대(달천-안민천 합류지점)

괴산군 서부는 증평분지 동단 한남금북정맥(오대산(409m)-보광산(539m)-칠보산(551m))의 서쪽 산록완사면이며, 나머지는 한남금북정맥과 소백산지 사이 구릉지를 달천이 남북 방향으로 관통하는 형태임. 괴산군의 지형과 경지율 등을 고려하여 농업 지대를 구분하면 동부 중산간지대, 중간지대, 남부 중산간지대로 분류할 수 있음.

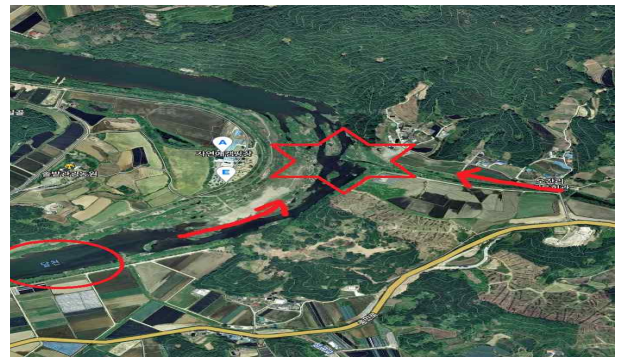
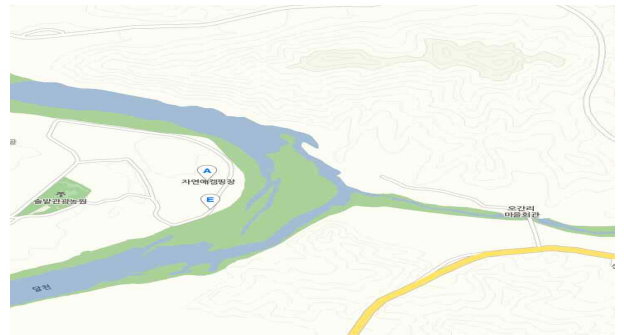
표 2.2 괴산군 행정구역 및 특성

구분	읍, 면	특성	
동부 중산간	연풍, 장연, 감물, 불정	산간구릉 곡간분지	
중간	문광, 칠성, 소수, 괴산	산지/평야의 중간지대	
남부 중산간	사리, 청안, 청천	산지/평야의 중간지대	

괴산의 중심 하천인 달천은 길이 약 123km, 유역면적 1614.37km²로, 청주시 상당산성 및 구녀산 일대와 보은군 속리산 서사면에서 발원하여 음성천 등과 합류, 충주시 탄금대에서 남한강으로 유입됨. 달천 하류를 제외하면 유역에 넓은 평지가 발달하지 못하고 산지와 구릉지로 이루어져 있어, 강한 강수가 달천 유역에 내리면 하천의

로 빠르게 유입될 뿐만 아니라 이를 분산시키지 못하여 수위가 급격하게 증가할 것으로 판단됨. 특히 달천과 안민천이 합류하는 지점은 갑자기 하도가 좁아지는 형태로 증가하는 수량을 빠르게 배수하기 어려운 지형적 특성을 가지고 있음. 자연애캠핑장 일대는 활주사면 위 하안단구에 위치하여 지대가 높아 비교적 안전하나, 하류로 빠져 나가지 못한 물은 공격사면에 위치한 안민천으로 역류할 가능성이 높음.

현장지역의 지형도 및 항공사진, 관련사진은 아래 그림에 나타내었다.



[보은군 마로면 보청천-삼가천 합류지점]

[괴산군 괴산읍 달천-안민천 합류지점]

그림 2.4 보은군, 괴산군의 지형



보은 보청천-삼가천 합류지점



보은 보청천 일대



괴산 AWS 관측장소



괴산 달천-안민천 합류지점

그림 2.5 예보2팀 현장 답사 사진

2.2 답사구역 호우 사례분석(보은, 2016.7.4.)

2.2.1 서론

2016년 7월은 전반에 장마전선과 저기압의 영향으로 충북지역에 많은 비가 내렸으나, 후반에는 장마전선이 소강상태를 보일 때가 많아 충북 지역에 강수량이 많지 않았다. 6월 동안 주로 우리나라 남쪽에 위치하였던 장마전선이 24일 일시적으로 북상하면서 장마가 시작되어 7월 30일에 종료되었고, 장마기간은 37일로 평년(32일)보다 5일이 길었다.

장마 기간 동안 충북지역은 평균 15.8일의 강수가 있었으며, 총강수량은 411.2mm로 평년(376.7mm)보다 많았다. 특히, 장마 전반인 7월 1~6일 동안에는 장마전선상에서 발달한 저기압의 영향을 자주 받아 충북지역에 315.3mm의 강수량을 기록하여 이 기간 동안 내린 비가 7월 평년 강수량(313.5mm)의 약 100%에 해당하는 많은 비가 내렸다.

※ 7월 1~6일 주요지점 누적 강수량 : 보은 390.5mm, 제천 306.5mm, 추풍령 292.6mm, 청주 271.7mm, 충주 257mm 등

이 기간 중, 7월 4일에는 보은 196.5mm, 대청(청주) 189.0mm, 청천(괴산) 185.5mm 등 충북중부 지역을 중심으로 많은 비가 내렸으며, 보은 지역에 내린 비는 보은지역 기상관측 이래 일강수량 극값 5위를 경신하였으며, 최근 10년(2008~2018년) 사이 가장 많이 내린 사례이다.

표 2.3 보은 일강수량 최고순위(mm)

1위		2위		3위		4위		5위	
날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값	날짜	값
1998.08.12	407.5	1980.07.22	302.6	1987.07.22	245.1	2003.07.09	202.0	2016.07.04	196.5

표 2.4 최근 10년(2008~2018년) 보은지역 강수량 극값 순위(mm)

순위 \ 월	6월		7월		8월	
	날짜	값	날짜	값	날짜	값
1	2011.06.24	181.0	2016.07.04	196.5	2012.08.30	114.5
2	2013.06.18	123.0	2011.07.10	165.0	2012.08.15	112.5
3	2011.06.23	104.0	2017.07.03	91.0	2008.08.16	82.0
4	2009.06.29	71.0	2012.07.06	90.0	2011.08.09	71.0
5	2008.06.18	66.5	2011.07.08	85.5	2008.08.13	59.0

이번 사례분석은 2016년 7월 4일 장마전선상에서 발달한 저기압의 의해 충북 중부지역에 많은 호우를 유발한 사례로 특히 보은지역에 집중된 호우를 조사, 분석하여 장마철 국지적인 호우예보에 도움이 되고자 한다.

2.2.2 예보 발표 현황

-예보 현황

■ D-1일(7월 3일)

- 05시 예보 : 북상하는 장마전선의 영향으로 흐리고 오후부터 충북남부 지역부터 비가 시작되어, 늦은 오후에는 전 지역으로 확대. 모레까지 장마전선의 영향을 받을 것으로 예상.

- * 모레(5일)까지 돌풍과 함께 천둥·번개, 시간당 30mm 내외의 강한 비와 함께 많은 비가 오는 곳이 있겠으니, 비 피해가 없도록 철저한 대비 당부.
- * 예상 강수량(3일 05시부터 4일 24시까지)
 - 충청북도 : 30~80mm(많은 곳 120mm 이상)
- 17시 예보 : 장마전선의 영향으로 흐리고 비 예상.
- * 모레(5일)까지 돌풍과 함께 천둥·번개가 치는 곳이 있겠고, 특히, 내일(4일) 새벽부터 낮 사이, 다시 내일 밤부터 모레 사이에 시간당 30mm 내외의 강한 비와 함께 많은 비가 오는 곳이 있겠으니, 시설물 관리와 안전사고에 각별한 주의 당부.
- * 그제(1일)부터 많은 비가 내려 지반이 약화된 가운데, 앞으로도 많은 비가 오는 곳이 있겠으니, 산사태와 축대붕괴 등 비 피해가 없도록 철저히 대비 당부.
- * 예상 강수량(3일 17시부터 5일 24시까지)
 - 충청북도 : 50~100mm
- ☞ (잘된 점) 17시 예보에서 강수량 상향하면서 충북전역으로 많은 비 예상, 강한 비가 내리는 시점에 대한 발표
- (아쉬운점) 강수 집중구역에 대한 언급, 많은 곳(120mm이상) 삭제

■ D-0일(7월 4일)

- 05시 예보 : 장마전선의 영향으로 흐리고 비 예상
- * 모레(6일)까지 돌풍과 함께 천둥·번개가 치는 곳이 있겠으니, 시설물 관리와 안전사고에 대한 유의 당부
- * 충북지방은 오늘부터 모레 사이에 시간당 30mm 내외의 강한 비와 함께 많은 비가 오는 곳이 있겠으며, 그동안 많은 비가 내려 지반이 약화된 가운데, 앞으로도 많은 비가 오는 곳이 있겠으니, 산사태와 축대붕괴 등 비 피해가 없도록 철저한 대비 당부.
- * 예상 강수량(4일 05시부터 5일 24시까지)
 - 충청북도 : 50~100mm
- 17시 예보 : 장마전선의 영향으로 흐리고 비 예상
- * 모레(6일)까지 돌풍과 함께 천둥·번개가 치는 곳이 있겠으니, 시설물 관리와

안전사고에 대한 유의 당부

- * 모레까지 시간당 30mm 내외의 강한 비와 함께 매우 많은 비가 오는 곳이 있겠고, 이미 많은 비가 내려 지반이 약화된 가운데 앞으로 내리는 비로 인해 산사태나 축대붕괴, 하천범람, 농경지나 도로 침수 등 비 피해가 우려되니 피해가 없도록 철저한 대비 당부
- * 한편, 장마전선의 위치는 북태평양고기압의 확장 강도와 북상하는 태풍의 이동경로에 따라 유동적이고, 강수구역과 강수강도의 변동성이 매우 크겠으니, 앞으로 발표되는 기상정보를 참고하기 바람
- * 예상 강수량(4일 17시부터 6일 24시까지)
·충청북도 : 100~200mm(충북북부 300mm 이상)

- ☞ (잘된 점) 장마전선의 영향과 북상하는 태풍으로 예상강수량 상향. 강수구역과 강수강도의 변동성에 대한 언급, 주 강수지역에 대한 정보
- (아쉬운점) 강하게 내리는 강수 시점에 대한 정보

-호우 실황

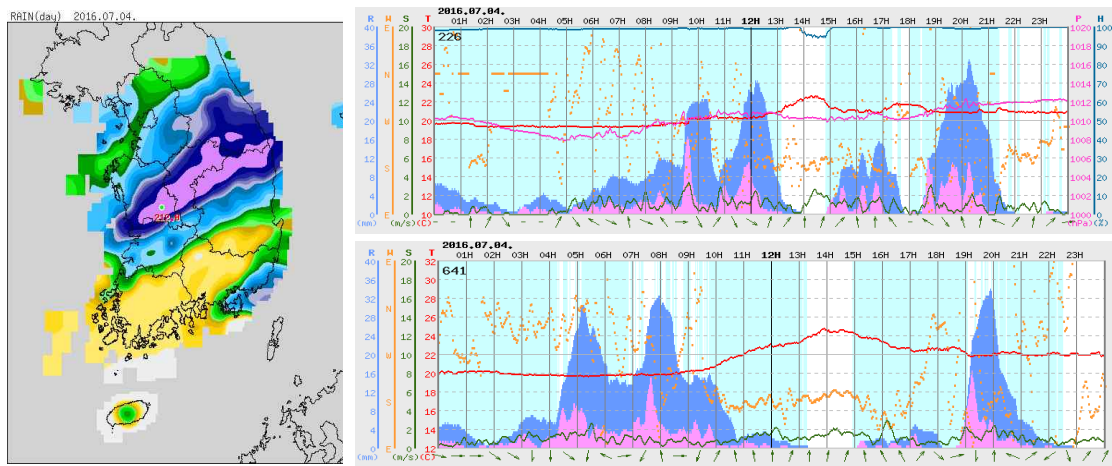


그림 2.6 [일강수량 분포도(좌) 및 AWS 시계열(우상:보은, 우하:대청(청주))]

시간대별 강수량 증가 경향을 보면, 전일 예보한 것과 같이 새벽부터 낮 사이, 이후 밤에 다시 한 차례의 많은 비가 내리면서 세 번의 강한 강수 현상이 나타났다. 보은지역은 대청에서 동남동쪽으로 약 20km 떨어진 지점으로 북서쪽에서부터 강한 강수가 시작하여 남하하였고, 새벽부터 낮 사이의 강한 강수는 북풍계열의 바람이

유입되었고, 밤에 나타난 강수에는 남풍계열의 바람이 불면서 강한 강수가 나타났다.

-지역 방재기상 상황

충북 중부지역부터 강수량이 급격히 증가하면서 06시에 증평군, 진천군, 괴산군, 청주시를 시작으로 호우주의보가 발표되었고, 07시에는 북부지역인 제천시, 단양군, 음성군, 충주시에, 08시 20분에는 남부지역인 영동군, 옥천군, 보은군에까지 호우주의보가 발표되어 충북 전역에 호우특보가 발표되었다.

특히, 아침에는 청주시, 제천시, 단양군, 충주시, 괴산군 지역에 비가 집중되면서 호우주의보가 호우 경보로 대치되었고, 낮에는 보은군, 저녁에는 옥천군이 호우 경보로 대치되었다.

충북지역의 호우특보는 23시에 중남부지역을 시작으로 다음날(5일) 01시에 북부지역을 해제하면서 모든 호우특보가 해소되었다.

표 2.5 호우특보 발표시간과 해당지역

호우특보	발표/발효시간	해당지역
호우주의보 발표	2016년 07월 04일 06시 00분	충청북도(증평군, 진천군, 괴산군, 청주시)
호우주의보 발표	2016년 07월 04일 07시 00분	충청북도(제천시, 단양군, 음성군, 충주시)
호우경보 대치	2016년 07월 04일 07시 40분	충청북도(청주시)
호우주의보 발표	2016년 07월 04일 08시 20분	충청북도(영동군, 옥천군, 보은군)
호우경보 대치	2016년 07월 04일 08시 40분	충청북도(제천시, 단양군, 충주시, 괴산군)
호우경보 대치	2016년 07월 04일 12시 00분	충청북도(보은군)
호우경보 대치	2016년 07월 04일 18시 35분	충청북도(옥천군)
호우경보 해제	2016년 07월 04일 23시 00분	충청북도(옥천군, 괴산군, 보은군, 청주시)
호우주의보 해제	2016년 07월 04일 23시 00분	충청북도(증평군, 영동군)
호우경보 해제	2016년 07월 05일 01시 00분	충청북도(제천시, 단양군, 충주시)
호우주의보 해제	2016년 07월 05일 01시 00분	충청북도(음성군, 진천군)

- 종관일기도 분석

500hPa 일기도 : 5880gpm선은 제주도부근에서 남북진동하고 있음. 5820gpm선은 북한지방에 위치한 가운데 동해상에 기압능이 형성됨에 따라 그 후면으로 남서류가 유입되면서 난역에 놓이겠고, 서해상에 위치한 기압골에 동반된 강한 양의 와도역에 의해 하층 불안정은 중부지방으로 강화되겠음.

700hPa 일기도 : 장마전선을 따라 중국 중남부지방에서부터 우리나라 중부이남

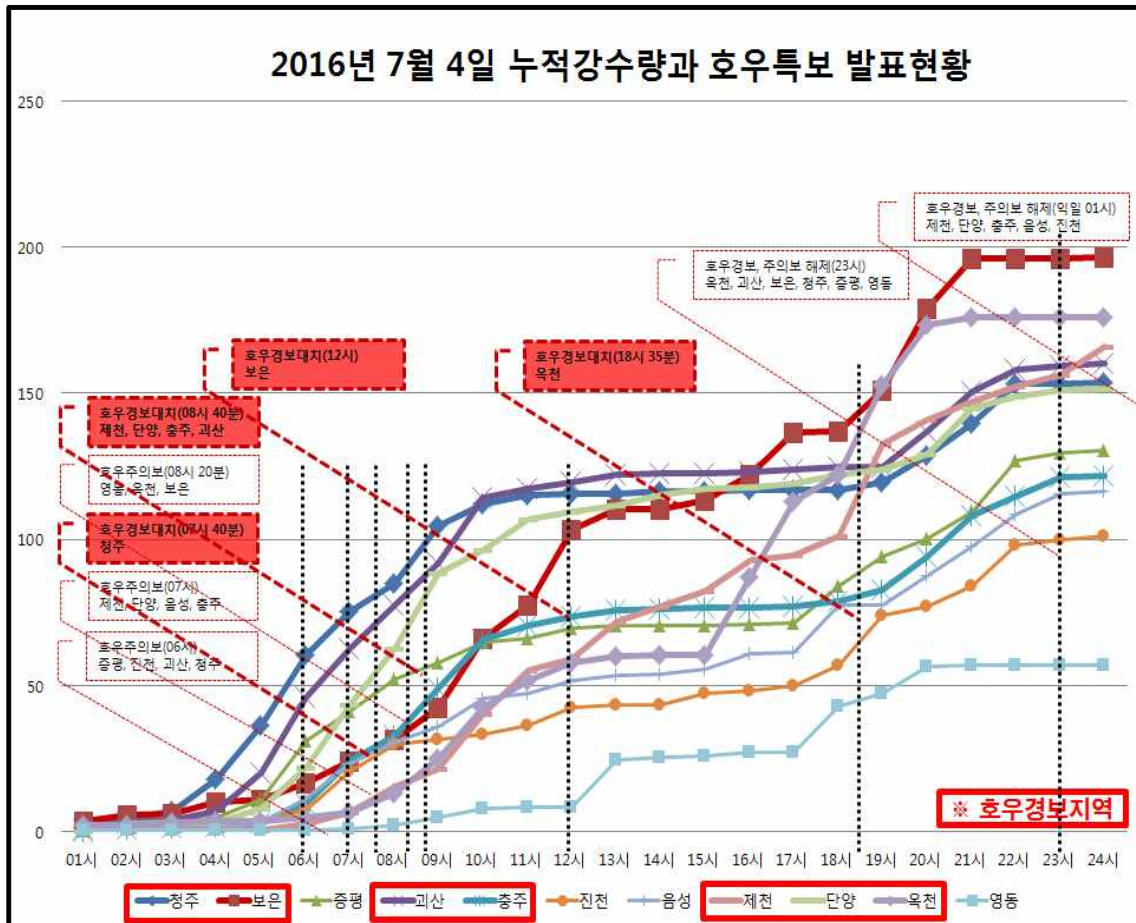
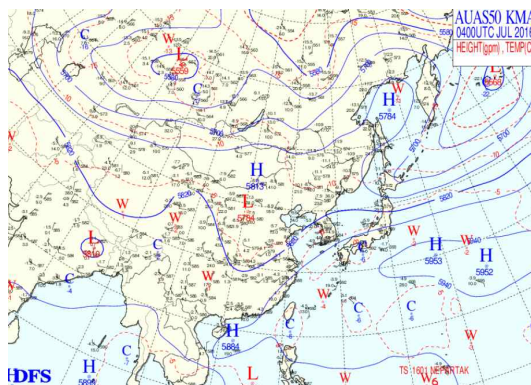
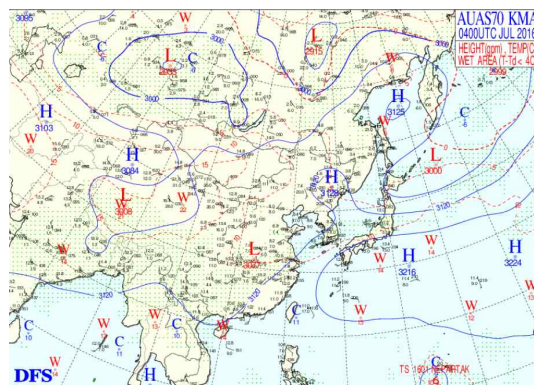


그림 2.6 지역별 누적강수량과 호우특보 발표현황

대부분지역에 폭넓은 습윤역이 위치하고 중부지역을 경계로 북쪽은 북서풍, 남쪽은 남서풍이 불고 있다. 우리나라는 온도골(10°C)이 캄차카~연해주~중국 중부까지 형성되어 있음.



[4일 09시 500hPa 일기도]

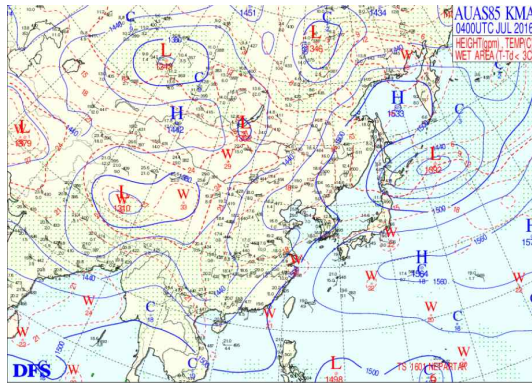


[4일 09시 700hPa 일기도]

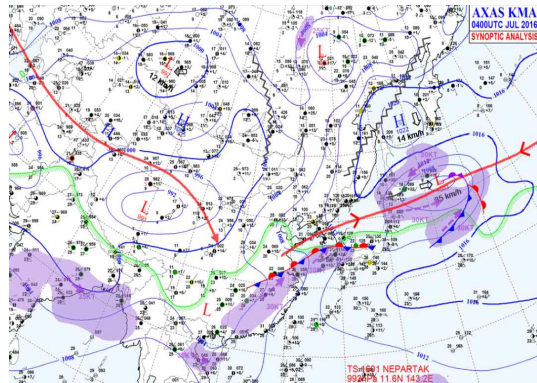
850hPa 일기도 : 하층 습윤역은 중부지방에서 중국 중부내륙까지 동서로 광범위하게 길게 형성되어 있음. 30kt 이상의 하층제트가 남서해상에서 충북지역으로

습윤공기를 지속적으로 유입시키고 있음.

지상 일기도 : 현재, 수렴역은 중부지방에 형성된 mT 가장자리를 따라 남서류가 강하게 유입되면서 포화되고 있음. 한편, 제1호 태풍 “NEPARTAK”이 괌 서쪽부근에서 북서진하면서 mT를 북상시킬 것으로 예상됨.



[4일 09시 850hPa 일기도]

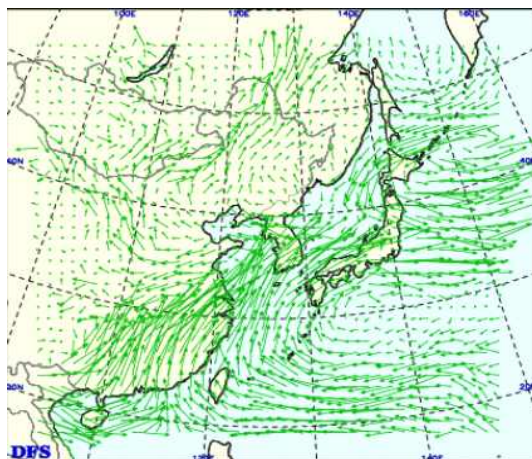


[4일 09시 지상 일기도]

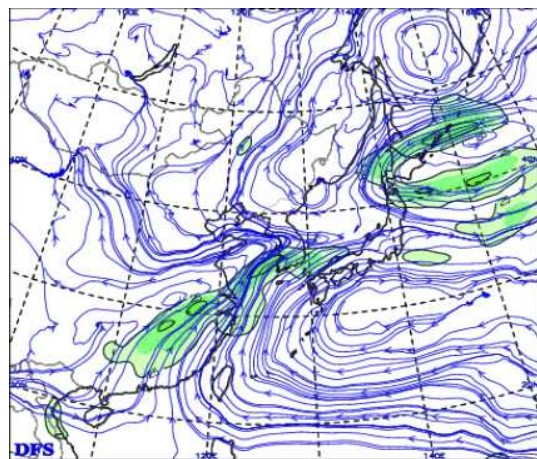
-보조일기도 분석

850hPa 수분속은 중국남부~산둥반도하단~우리나라 중부이남으로 따뜻하고 습윤한 서~남서풍이 유입되고 있음. 시어역이 중부지역에서 형성되고 있음.

04일 09시에 충북지역으로 속도 시어역이 형성된 가운데, 남서류가 지속적으로 유입되어 강한 습윤역이 형성되면서 당분간 강한 대류운이 발생될 가능성이 높음.



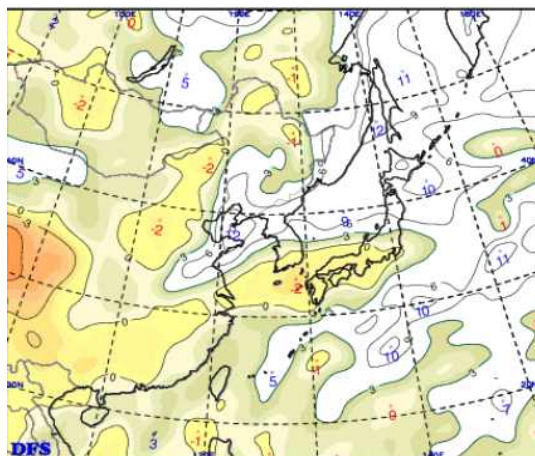
[4일 09시 850hPa 수분속]



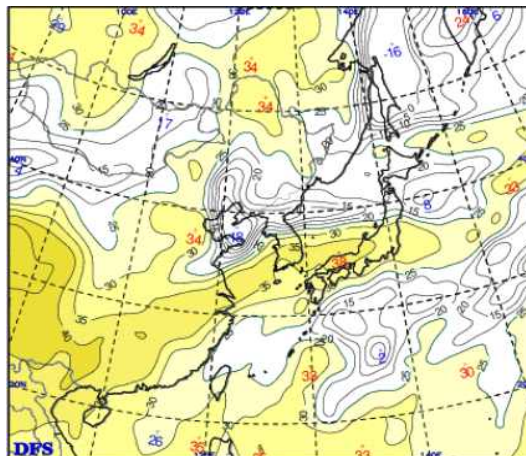
[4일 09시 850hPa 유선 및 등풍속]

대기의 불안정 지수를 나타내는 K-Index는 우리나라 전역이 30 이상(KI >30은 열적기준 충족), SSI는 충청남부이남지역으로 0이하로 불안정한 상태에 놓여 있음.

또한 강하고 습윤한 남서류가 유입되면서 불안정도를 더욱 가중시키고 있음. 특히, 충북남부지역에서는 뇌우 발달 가능성이 급증하고 있음.



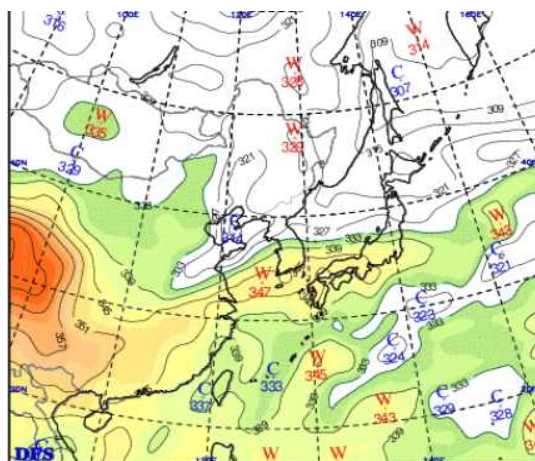
[4일 09시 SSI 지수]



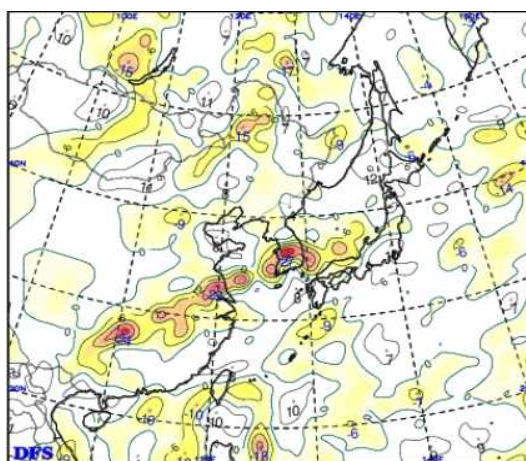
[4일 09시 K-Index]

850 상당온위($\theta_e > 333K$ 는 열적기준 충족)를 보면 4일 09시에 340K 이상의 고상당온위가 충청지역에 위치하고 온난이류가 있음을 확인할 수 있음. 이러한 고상당온위는 24시까지 계속 될 것으로 예상되고 있으며 불안정한 대기에 더하여 연직시어가 강할 때 스콜선이 오래 지속될 수 있는데, 충북지역을 중심으로 700 상승류를 통해 연직시어가 강함을 알 수 있음.

충북지역은 남서기류가 유입되면서 강한 국지성 호우를 발생시킬 가능성이 매우 높음.



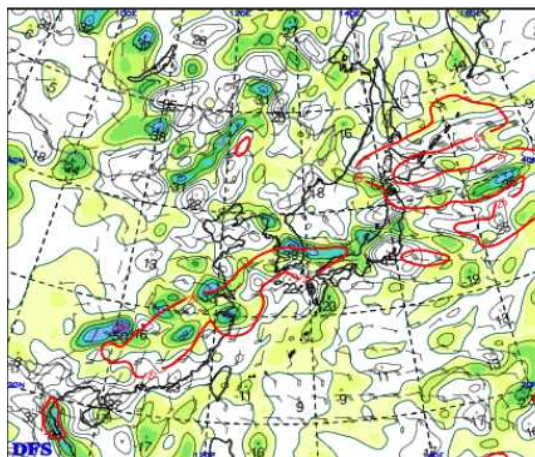
[4일 09시 850hPa 상당온위]



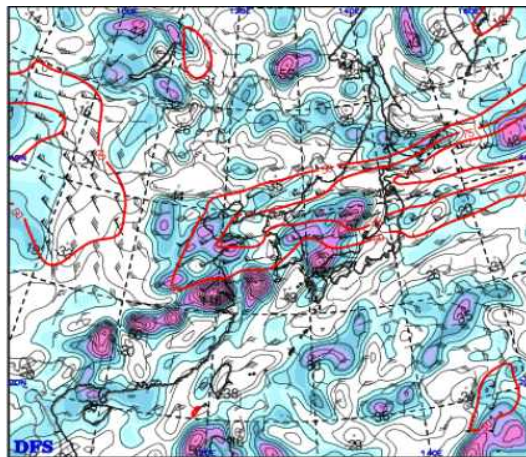
[4일 09시 700hPa 상승속도]

충청도지방에 약하게 발산장이 형성되어 있고 상층에 제트기류가 흐르고 있음. 강원도지역에 강한 발산역이 존재하며, 850hPa 수렴도에서는 충북중북부 지역으로

강한 수렴을 보이고 있어 호우발생 가능성 높음.



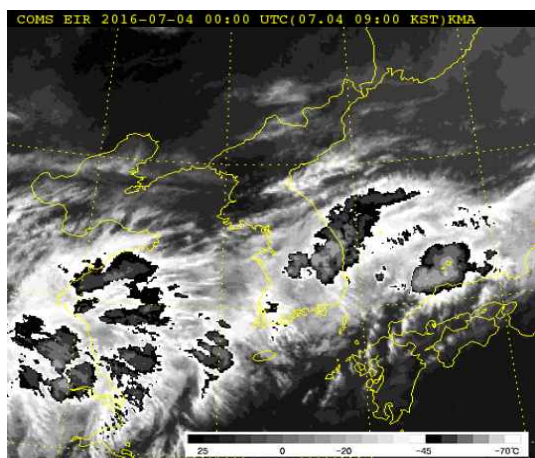
[4일 09시 850hPa 수렴]



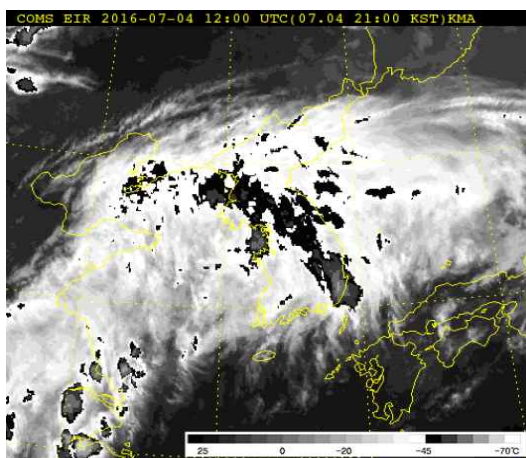
[4일 09시 200hPa 발산]

-원격관측자료 분석

중국 내륙의 상층 저기압성 소용돌이는 동북동진하면서 한랭 건조한 공기인 암역을 중국 남부내륙까지 남하하면서 파고들고 있고, 일본 남쪽의 mT기단이 서쪽으로 확장하고 있음. 우리나라 중부지방까지 장마 전선대가 영향을 주고 있으며 장마 전선상의 구름대인 상층운은 발산하고, 하층운은 수렴하면서 대류운을 발달시키고 있음. 서해상의 대류운도 계속해서 빠른 속도로 유입되고 있음. 운정고도 영상에는 우리나라 중부내륙과 서해중부해상 및 상해 북동쪽인 중국 동안지역으로 운정고도 15km인 발달한 대류운이 나타나고 있음.



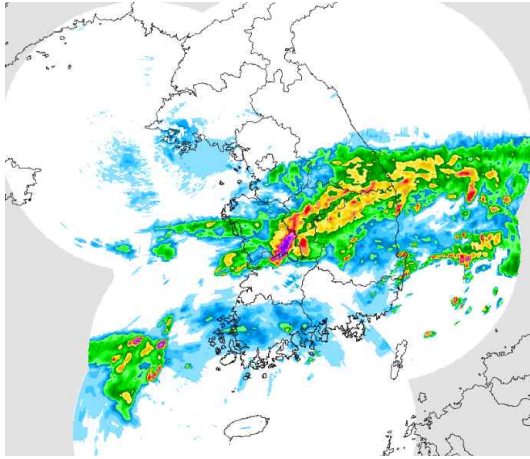
[4일 09시 영상]



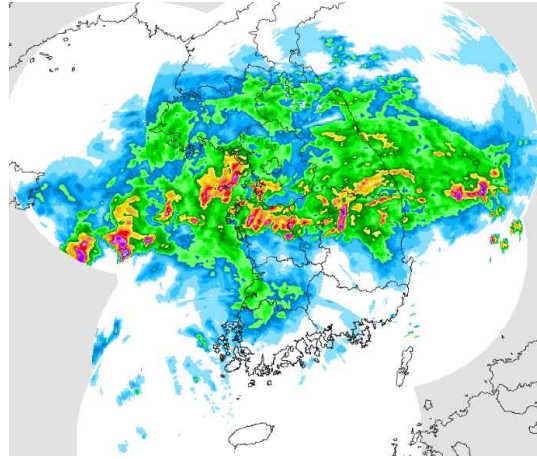
[4일 21시 영상]

충청지역을 중심으로 폭이 다소 좁게 동서로 형성된 강수대는 시간당 40~50km 속도로 동북동진하고 있음. 4일 새벽부터 강우가 점차 강화되고 이른 아침에는

시간당 20~30mm 이상의 발달한 강수예코가 통과하였음. 지형효과에 의해 시간당 30mm 이상의 강우를 기록한 곳도 많았음.



[4일 09시 영상]



[4일 21시 영상]

-지형적 특성

보은군은 충청북도 남부에 위치한 군으로 동쪽은 경북 상주시, 서쪽은 대전광역시와 충북 청주시, 남쪽은 옥천군, 북쪽은 청주시 및 괴산군에 접하고 있다. 동쪽에는 소백산맥[백두대간] 상에 위치한 속리산(俗離山)의 천황봉(1,057m)·비로봉(1,020m)·관음봉(986m) 등의 험준한 봉우리와 그 남쪽으로 형제봉(803m), 구병산(877m), 시루봉(505m) 등이 분포하며, 군의 북쪽으로는 묘봉(874m), 활목고개, 금단산(768m) 등이, 서쪽으로는 회인면의 피반령을 위시하여 국사봉(551m) 등과 남쪽으로 거명산(494m), 금적산(652m), 삼승산(575m) 등의 비교적 높은 산지가 둘러싸여 있다. 군의 중앙으로는 구치, 학림산(400m)·수철령(536m)·구룡치(506m)·새목이재(589m), 말치고개 등이 그 동쪽의 남한강 수계와 서쪽의 금강 수계를 가르며 보은분지의 동북쪽 경계를 이룬다.

특히 속리산은 동류하는 낙동강, 남류하는 금강, 북류하는 남한강의 분수계가 되고 있다. 금강수계의 보청천은 내북면 하궁리에서 발원하여 북서류하다가 동류하여 보은읍을 관통하면서 군내 최대 곡창지역인 보은분지 내의 고승들을 형성하고 남류하여 옥천군 청성면 고당리에서 금강에 유입된다. 보청천의 주요 지류로는 삼가천과 향건천이 있으며 삼가천의 지류로는 적암천·한중천·종곡천·오덕천이 있고, 향건천의 지류로는 불로천·거현천 등이 있어 여름철 집중호우 때는 홍수의 피해가 크다고 한다.(※ 참고문헌 : 충청북도 지리지)

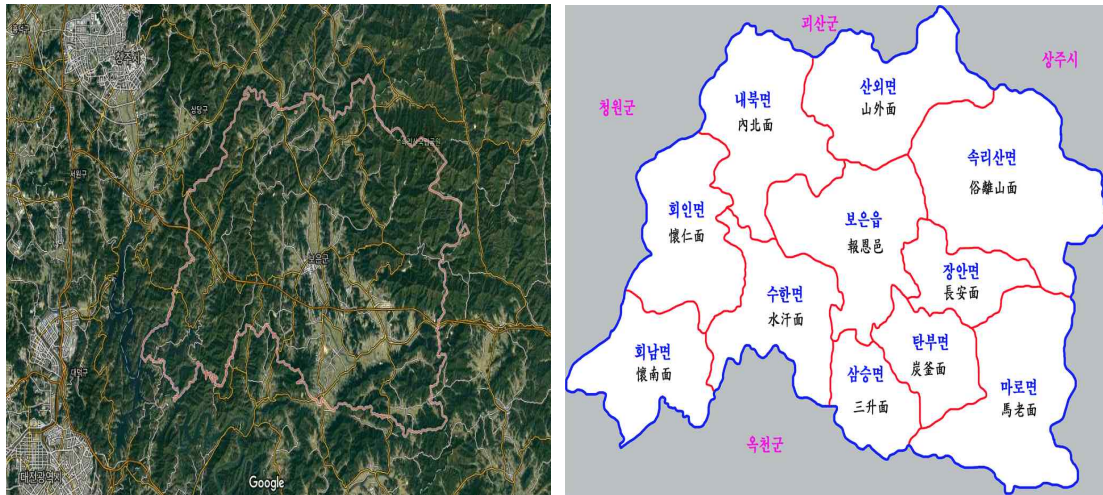


그림 2.7 보은군 위성사진과 행정구역 ※ 사진출처 : Google 및 위키백과

충북지역은 북서쪽의 차령산맥과 동쪽의 소백산맥으로 나눌 수 있고, 경기도 안성에 위치한 칠장산과 속리산 천황봉을 기준으로 금북정맥*과 한남금북정맥*으로 나누어진다. 이번 사례는 소백산맥 서쪽으로 하층수렴역이 발생하여 풍하측(산맥전면)에 상승류가 발달하면서 지상으로는 수렴이 나타나 많은 강수를 유발시키는 조건이 되었다.

* 금북정맥 : 경기도 안성군의 칠장산(492m)에서 대전의 백월산(569m)에 이르고 다시 북상하여 서산의 성국산(252m)을 거쳐 태안반도의 안흥진에 이르는 산줄기의 옛 이름으로 이 산줄기를 분수령으로 하여 북사면으로는 안성천·삽교천이 흐르고, 남쪽 사면을 따라 흐르는 물은 금강으로 유입됨.

※ 주요산 : 칠현산(516m) · 청룡산(400m) · 성거산(579m) · 광덕산(699m) · 국사봉(489m) · 백월산(560m) · 오서산(791m) · 보개산(274m) · 월산(395m) · 수덕산(495m) · 가야산(678m) · 팔봉산(326m) · 백화산(284m) · 지령산(218m) 등으로 그 길이가 약 295km에 달함

* 한남금북정맥 : 백두대간의 속리산 천황봉에서 갈라져 나와 충청북도 북부를 동서로 가르며 안성의 칠장산(492m)까지 이어져 한강과 금강의 분수산맥을 이루며, 서북쪽으로 김포 문수산까지의 한남정맥과 서남쪽으로 태안반도 안흥까지의 금북정맥으로 이어지는 산줄기의 옛 이름.

※ 주요 산과 고개 : 해발 400~600m의 산들로 연결되었으나 때로는 100m의 낮은 구릉으로 이어지기도 한 이 산줄기는 속리산 · 말티재 · 구치 · 시루산 · 구봉산 · 국사봉 · 선두산 · 선도산 · 상봉재 · 상당산성 · 좌구산 · 칠보산 · 보광산 · 행태고개 · 보현산 · 소속리산 · 마이산 · 차현 · 황색골산 · 걸미고개 · 칠장산 등으로 동쪽의 괴산 · 음성 · 충주 등 중원의 남한강지역과 서쪽의 보은 · 청주 · 증평 · 진천 등 금강 북부지역의 생활 문화권을 가름하였음.



그림 2.8 보은군, 괴산군의 지형 금북정맥과 한남금북정맥

※ 사진출처 : 한국민족문화대백과

-결론

본 사례의 집중호우는 장마전선의 영향과 제1호 태풍“네파탁”이 서북서진하는 가운데 mT 기단이 확장하면서 전면에서 형성된 강한 남서풍이 북태평양고기압의 가장자리를 따라 유입됨으로써 충청지방을 비롯한 전국적으로 많은 비가 내린 사례이다. 장마전선 상에서 발달한 비 구름의 영향으로 7월 4일에 충북지방은 보은군에 196.5mm를 비롯하여 50에서 200mm의 많은 비가 내렸으며, 강수량의 지역적 편차가 큰 강수분포를 보였다.

충북 전 지역으로 강수범위가 넓고 대류운 발달이 강약을 반복하면서 호우 특보지역에 수렴시간이 짧았고 이로 인해 지역적으로 강수량의 차이가 컸던 사례이다. 앞으로 계절에 따른 대기의 상·하층간의 호우조건은 물론 대기과 지표면과의 가열 및 냉각 시기를 보다 세밀히 분석하여 예보 역량을 강화해야 할 필요가 있다. 또한, 현업에서 운용하는 UM과 ECMWF의 수치모델에 대한 기압계 변동성을 고려한 예상 누적강수량 분포 등 모델 특성을 파악하고 통계분석을 더하면 더욱 더 예보 적중률을 높일 것으로 생각된다.

보은 지역의 집중호우 원인

- 강풍의 중심이 충청지역 남서쪽에서 북동쪽으로 사선형태로 형성되어 있고, 강풍의 중심구역이 보은을 중심으로 하층의 수렴이 있는 주 호우구역과 일치함
- 바람의 시어역이 위치하고 지형적 영향이 더해져 강수 증가
- 지상일기도의 25℃ 노점온도 선이 보은을 경계로 하부에 위치함

예상보다 많은 강수의 원인

- 장마전선 상에서 대기하층 제트가 30kt 이상으로 강하게 유입됨
- 지상에서 북동풍이 유입되면서 수렴대에 의한 습윤한 남서류가 지속적으로 유입되어 집중호우 유발가능성을 높였음

3. 예보 3팀(영동, 옥천)

3.1 답사구역 지형 분석

3.1.1 영동군

충북 최남단에 위치한 영동군은 북쪽으로 옥천군, 서쪽으로 충남 금산군, 동쪽으로 경북 김천시, 남쪽으로는 전북 무주군과 접해 있음. 북쪽으로 경부선 및 경부고속도로가 통과하고 있으며, 소백산맥 자락에서 뻗어 나온 일부 하천들이 북쪽에서 서쪽으로 흐르는 금강 본류와 합류되어 흐르고 있음. 지형으로는 동고서저, 산악지형의 특징이 잘 나타나며, 소백산맥과 인접한 동남쪽 지역에서는 1000m가 넘는 험준한 산악지대가 나타나고 있음. 한편, 동쪽 끝 경계에서는 추풍령(221m)이 자리 잡고 있어 충청도와 경상도 간의 관문 역할을 하고 있음.

- 재해 위험지구 및 기상관측시설 현장조사

· 영동군 황간면 마산리 초강천 일대(마산지구)

하천 폭이 좁아보이진 않았지만 제방이 낮았으며, 하천 주변에 잡초가 무성하였음
면 소재지 지역으로 주변에 상가와 주택이 밀집된 구역으로 하천 범람 시 많은 피해가 우려됨

· 추풍령ASOS(영동군 추풍령면 일대)

해발고도 244.4m의 고지에 위치하며 충북과 경북의 경계지점에 위치하고 있음. 전
면으로 약 4km 지점에 해발 714m의 누리산이 있으며, 후면에는 해발 678m의 학
무산이 있어 풍향, 풍속 관측에 다소 영향을 줌

· 추풍령은 산등성이에 위치하여 지형적인 영향으로 바람이 강하게 불며, 기온이 낮
은 겨울철에 바람이 더 강해짐. 안개발생빈도가 적고, 발생하더라도 소멸시간까지
는 상당히 짧은 특성이 있음

- 영동AWS(영동군 영동읍 일대)

·영동농업기술센터 청사 내 소재하며, 남쪽으로는 도로와 접해 있음. 북쪽으로 낮은
산이 가깝에 위치하지만 특별한 장애물이 없어 기류에 큰 영향을 주지 않음. 복사
냉각에 의한 기온 하강과 일사에 의한 기온 상승 폭이 큼

3.1.2 옥천군

금강 상류가 남북을 관통하며, 동쪽이 높고 서쪽이 낮은 지형적 특징을 지니고 있
음. 동쪽의 소백산맥에 있는 팔음산(762m), 남쪽으로는 천금산(464m)·도덕봉(440m),
북쪽으로는 삼승산(574m)·금적산(652m) 등이 '八'자 모양을 이루며 군을 둘러싸고 있
는 산이 많고 평지가 적은 산악지대임. 대부분 심한 곡류를 이루며 군의 중앙을 통과
해 북서쪽으로 흐르는 금강을 중심으로 크고 작은 하천이 합류함. 내륙분지 형태로
연교차가 크고, 복사냉각에 의한 기온하강과 일사에 의한 기온상승 폭이 큰 대륙성
기후의 특성을 보임

- 재해 위험지구 및 기상관측시설 현장조사

·옥천군 청산면 의지리 효림천 일대(의지지구)

하천 폭이 매우 협소하고 제방도 부분적으로는 높았지만 대부분 낮았음. 현재 유량

이 적었지만, 집중호우 시 통수단면적이 부족하여 주변지역으로 침수 위험이 커보였음
하천을 중심으로 지대가 높은 상부에 마을이 소재하였고, 지대가 낮은 하부로는 전답
이 위치함

-옥천AWS(옥천군 옥천읍 일대)

옥천농업기술센터 청사 내 소재하며, 사면이 낮은 산으로 둘러싸인 내륙분지 형태
로 복사냉각에 의한 기온 하강과 일사에 의한 기온 상승 폭이 큼

-옥천청산AWS(옥천군 옥천읍 일대)

청산초등학교 대월분교(폐교) 내 소재하며, 북서쪽 가까이 낮은 산이 위치하고, 남
쪽으로는 비교적 폭이 넓은 하천이 위치해 있음

-대청호 주변

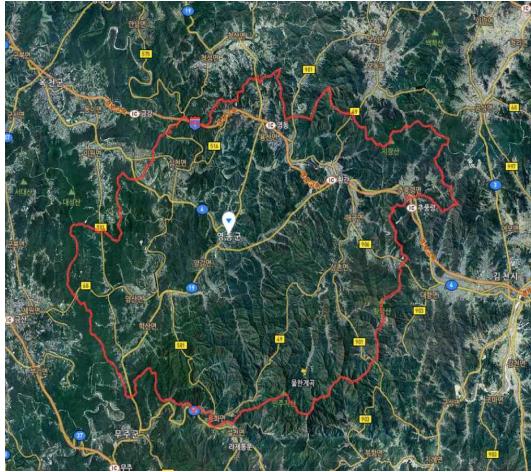
대청호는 청주시·옥천군·보은군에 걸쳐있는 인공호수로 저수면적 72.8km², 호수길이
80km, 저수량 15억t으로 우리나라에서 3번째로 큰 규모의 호수임. 대청댐이 완공되
면서 조성되었고, 호수 위쪽으로는 해발 200~300m의 야산과 수목이 있음. 대청댐과
대청호의 건설로 주요 수증기 공급원이 되면서 댐 건설 이전보다 연간 안개일수가 증가하였음

대청호 북쪽으로 당진영덕고속도로, 남~서쪽으로 경부고속도로, 대청호를 가로질러
지방도 제571호선과 이와 교차하는 509호선이 지나가는 등 교통량이 많은 지역으로
대청호에서 안개가 발생할 때 각별한 주의가 필요한 지역임. 특히, 문의IC~회인IC 구
간은 안개다발구간으로 안개 발생 시 주의 깊은 감시가 필요함

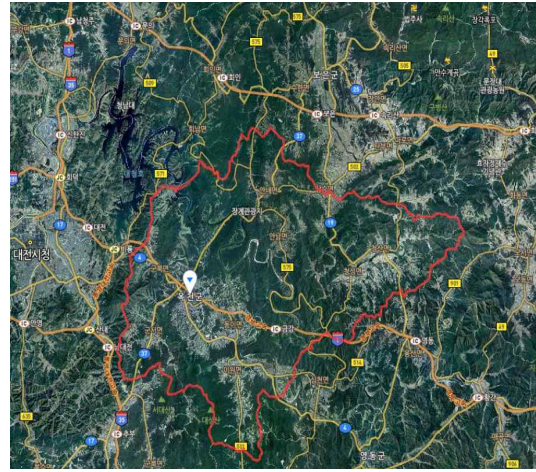
- 대청AWS(청주시 상당구 문의면 미천리 일대)

사면이 낮은 산으로 둘러싸여 있으며, 주변으로 비닐하우스가 다수 위치하고 있음
대청댐 하류에 위치하여, 맑은 날 복사냉각과 대청호의 수증기 공급으로 안개가
자주 발생할 것으로 생각되며 주변 교통량이 많은 지역으로 안개 위험기상에 각별
한 주의가 요구됨

조사지역 지형도 및 항공사진과 현장 답사 관련사진은 그림에 나타내었다.



영동군(빨간선)



옥천군(빨간선) 및 대청댐

그림 2.9 영동군, 옥천군의 지형



영동군 황간면 초강천 침수지구



옥천군 청산면 효림천 침수지구

그림 2. 10 영동군, 옥천군 침수지구

3.2 답사구역 호우 사례분석(2016.7.6.)

3.2.1 개요

가. 발생유형 : 장마전선에 의해(전선상 저기압 발달 포함) 발달된 호우

나. 주요 지점별 강수량(단위:mm)

- 일강수량 : 영동 170.5 가곡(영동) 151.0 옥천 117.5 추풍령 107.8

- 1시간 강수량 : 영동 56.5 가곡(영동) 51.5 옥천 35.0 추풍령 27.0

다. 호우특보(영동군) : (08:40)주의보 발표, (10:00)경보 대치, (13:00)경보 해제

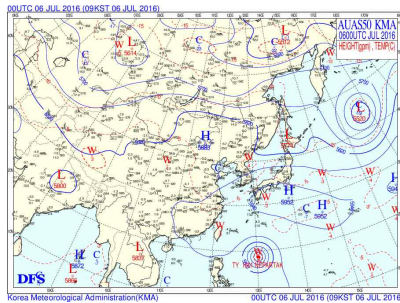
라. 피해 현황

- 영동군 하천 21개소, 도로 7개소 유실 등 총 45개소 9억여원 공공시설 피해 발생

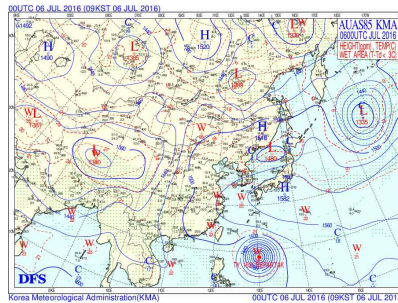
- 영동군 주택침수 3동, 농경지 유실·침수 4.3ha, 인삼재배시설 유실 4.4ha, 비닐하우스 침수 0.54ha의 사유재산 피해 발생

3.2.2 사례분석

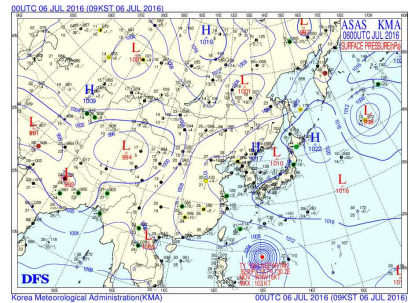
-기압계 분석



500hPa 일기도



850hPa 일기도



지상 일기도

(500hPa) mT 일시 북상, 온도골에 동반된 양의 와도역 하층 불안정 유도

- 태풍 네파탁이 서진함에 따라 일시적으로 mT 북상하며 5880gpm 중부지방 위치
- 내몽골 지역 고기압과 mT 사이의 기압골이 한반도 지역의 불안정 유도
- 일본 홋카이도에 위치한 절리저기압 후면 온도골이 한반도-양쯔강 위치

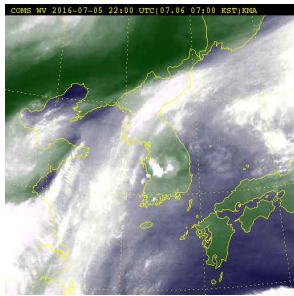
(850hPa) 하층 습윤역 동서로 길게 위치, 25kts 이상 습윤 공기 유입

- 중부지방에 1530gpm이 동서로 형성된 가운데 그 경계로 북쪽은 한기, 남쪽은 난기 형성
- 습윤역은 한반도-중국 중부내륙까지 동서로 길게 형성
- mT 가장자리를 따라 25kts 이상 습윤공기가 서해상에서 내륙으로 지속적으로 유입

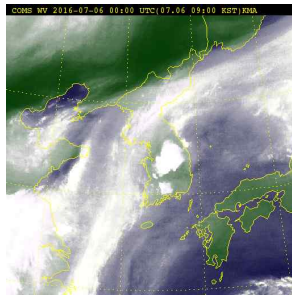
(지상) 남하했던 장마전선이 일시 북상하며 충청남부지역 위치

- 장마전선은 중국중남부내륙에서 충청남부지역으로 길게 뻗어 있음
- 장마전선 경계로 남쪽은 남서풍, 북쪽은 약하게 저기압성 순환으로 북서풍

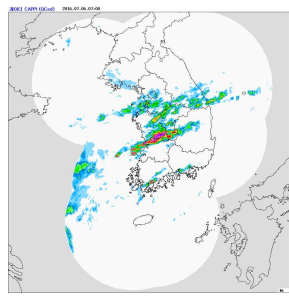
-위성 및 레이더 영상



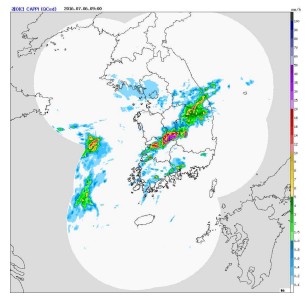
위성(6일 7시)



위성(6일 9시)



위성(6일 7시)

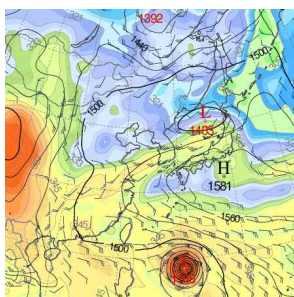


위성(6일 9시)

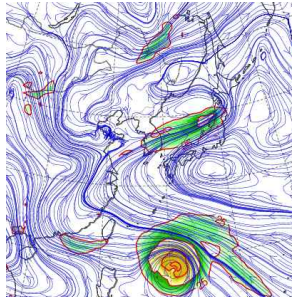
(위성) 상층 저기압성 소용돌이에 동반된 건조역 남쪽경계가 남부지역에 도달하 여 있으며, 서해상에서 중부내륙으로 남서기류가 관측되면서 남부지역 중심으로 하층 수렴대를 형성하며 대류셀들이 발달

(레이더) 충북남부지역 중심으로 동서로 형성된 폭이 좁은 강수대는 시간당 70km 속도로 동진

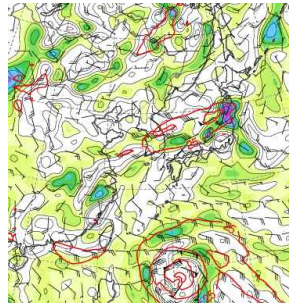
- 보조자료 분석



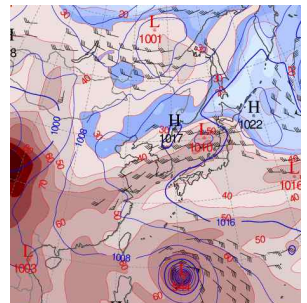
850hPa 상당온위



850hPa 유선



850hPa 수렴도, 등풍속



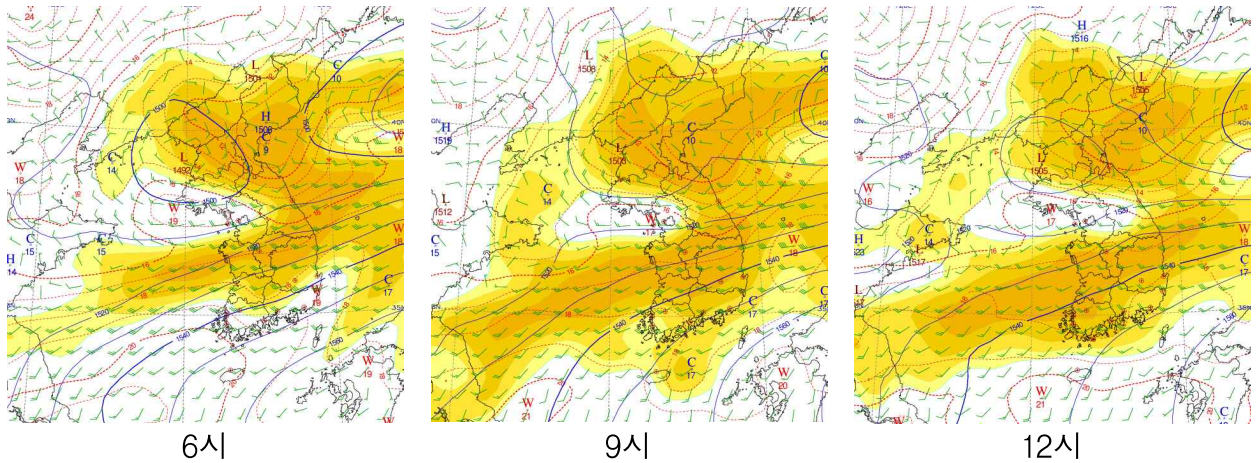
가강수량

(850hPa 상당온위) 333K 이상의 고상당온위 구역이 충청도 및 남부지방에 위치한 가운데, 남북의 상당온위 경도가 큰 지역인 충청남부지역과 장마전선의 위치가 잘 일치하고 있음

(850hPa 유선 및 수렴도) mT와 북한지역 기압골 사이 강한 기압경도로 하층제트가 형성되었으며, 녹색으로 채색된 25kts 이상 구역이 충청도 및 남부지방에 위치한 가운데 남서계열의 바람이 지속적으로 불어들며 호우 발생 가능성을 증가시킴

(가강수량) 붉은색 계열로 표시된 50mm 이상 값이 충청도 및 남부지방에 위치해 있으며, 850Pa 고상당온위 구역과 잘 일치하는 모습을 보임

- 850hPa 상세바람기온

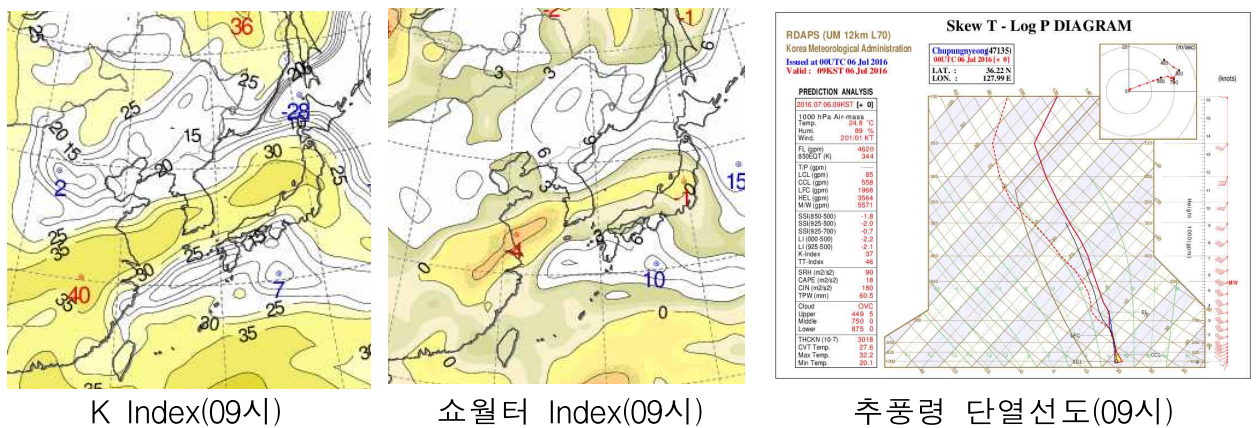


mT가 일시 북상하며 850hPa 등고선도 다소 북상하는 모습을 보임

06시 서한만 부근에 저기압이 형성된 가운데 저기압 남쪽을 따라 북서계열의 바람이 불며, 찬 공기를 남쪽으로 끌어내리고 있음, 반면 우리나라 남쪽 고기압 가장자리를 따라 25kts 이상의 강한 바람이 불며, 습하고 따뜻한 공기를 지속적으로 충청 남부지역에 공급하고 있음

09시 1530gpm을 중심으로 충청도 지역에 저습수역이 형성된 가운데, 이를 경계로 북쪽은 북서계열, 남쪽은 남서계열의 바람이 불며 수렴역이 형성됨

- 안정도



9시 대기역학 불안정도(K-Index, SSI)를 살펴보면 충청남부지역에 강한 불안정이 예상됨

9시 추풍령 단열선도에서 TPW값은 60.5로 호우를 발생시킬 수 있는 임계값 수준인 50 이상을 넘어서고 있으며, 850hPa 상당온위 344K로 아열대 기단의 경계값인 333K 이상을 훨씬 넘어서는 수치를 보이고 있음. SSI는 -1.8로 뇌우 가능성 급증 단계, K-Index는 37로 뇌우 발생 가능성 80~90% 단계로 중층 이하 강한 불안정한 상태를 보임

3.2.3 종합

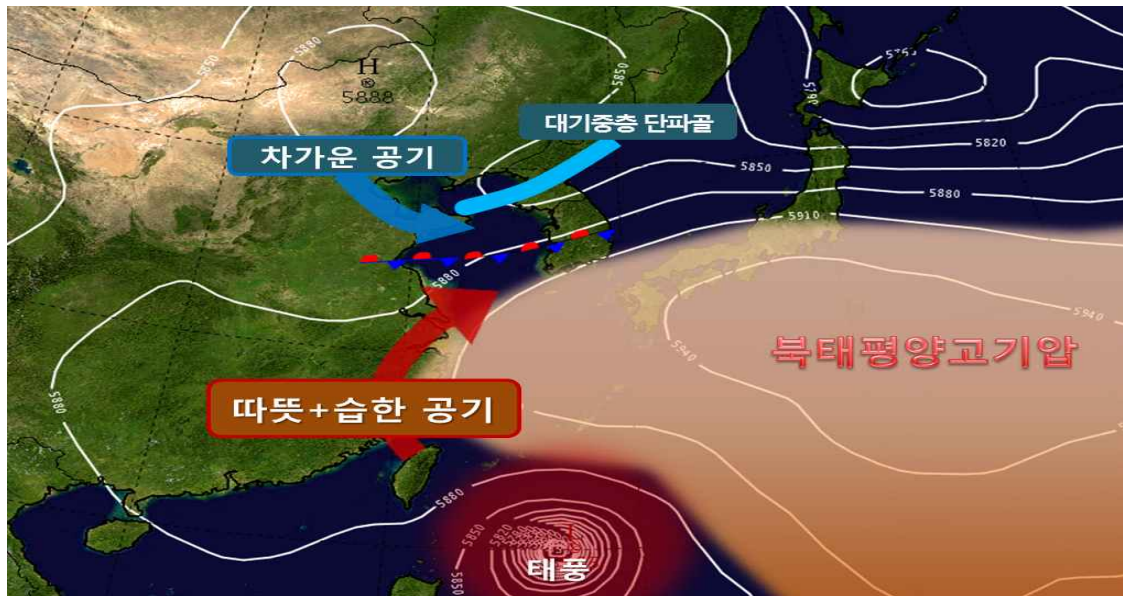


그림 2.11 호우상황 모식도

북태평양고기압 가장자리를 따라 따뜻하고 습한 공기가 지속적으로 유입
대기중층 약한 한기를 동반한 단파골 통과로 역학적 불안정 발생하고 하층 장마전선 활성화
한반도 중부를 기준으로 기압경도력 발달하며 하층제트 형성
약한 중층 단파골이 통과하는 가운데 강한 하층제트가 형성되었을 때, 한기와 난
기의 충돌로 내륙 비구름 발달 및 집중호우 발생

4. 예보 1팀(제천, 단양)

4.1 답사구역 지형 분석

4.1.1 제천시

제천시는 동쪽으로 단양군과 강원도 영월군, 서쪽으로는 충주시와 접함. 높은 산으로 둘러싸인 분지지형으로 시의 북쪽으로는 차령산맥의 봉우리 중 용두산(870m), 감악산(945m)있고, 남쪽으로는 소백산맥(1000m이상)이 경상북도와 경계를 이루고, 서쪽은 청둥산(806m), 동쪽 왕박산(597m)가 있어 북쪽과 남쪽이 높고 서쪽과 동쪽은 비교적 낮음. 제천은 분지형 도시로서 일교차가 크고 충주호(청풍호)와 산지의 영향으로 위험기상이 발달하기 좋은 지형적인 조건을 갖추고 있음 (수몰면적: 제천 64% 충주 27.5% 단양 8.5%)

제천 자동기상관측소는 해발고도 260m에 위치하며 제천시청에서 북쪽에 위치하고 전면으로 약 6km 지점에 해발 424.6m의 성산이 위치하고, 후면에는 약 3m 지점에 870m의 용두산이 있고, 서쪽과 동쪽도 산으로 둘러쳐진 전형적인 분지형태로 풍향, 풍속의 영향이 약하여 겨울철 맑은 날 복사냉각 효과가 큼

제천자동기상관측소의 15km 남서쪽에 충주호(청풍호)가 있으며, 전면은 낮은 산들이 위치하고, 후면은 1000m전후 산들이 있어서 지형적인 효과로 인하여 주변보다 강수량이 많음

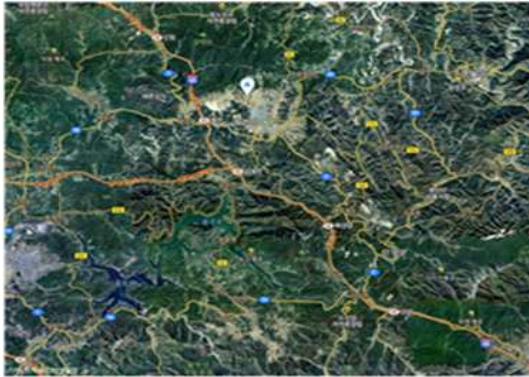
4.1.2 단양군

단양군은 충청북도 북동부에 있는 군으로 소백산맥·노령산맥·차령산맥으로 둘러싸여 있음. 대부분이 산악으로 이루어져 험준한 산세를 형성하고 있음. 주수계는 남한강 상류로서 단양을 관통하여 충주호를 형성하며, 지류로서 오대산에서 발원한 평창강등이 소백산에서 발원한 죽령천, 단양천, 금곡천 등과 합류하여 남한강(충주호)으로 유입됨. 산간내륙지방으로 일교차가 심한대륙성 기후를 나타냄

단양AWS는 단양군 중심부의 단양농업기술센터 내에 위치하고 있으며, 주변에 관공서가 밀집되어 있으나 관측환경은 비교적 양호한 편이고 남한강 상류가 도시를 〇형으로 휘감으며 흐르고 있음

단양 매폐천 일대(고립위험)는 제천과 인접한 단양군 내포읍 상시리는 서쪽에 갑산(732m), 남쪽 매지산(576m) 등에 집중호우 시 하천의 폭이 협소하여 급류가 발생하여 상류 물도리 구간에 위치한 지역은 침수위험이 큼. 내포읍 상시리는 마을이 하천 재방으로 둘러쳐져 있어서 범람 시 우선 순위로 농경지와 도로가 침수 됨

조사지역 지형도 및 항공사진과 현장 답사 관련사진은 그림 에 나타내었다.



제천 및 단양 위성사진



제천 및 단양일대 지형



제천 자동기상관측소



단양 AWS



단양 상시리 매폐천



매폐천

그림 2. 12 조사지역 지형도 및 현장사진

4.2 답사구역 호우 사례분석(제천, 단양, 2017.7.3.)

4.2.1 개요

가 발생유형 : 장마전선의 선상에코에서 발생한 집중호우

나 주요 지점별 강수량(단위 : mm)

- 시간 강수량 : 송계(제천) 33.5, 단양 32.5, 덕산(제천) 25.0,
수산(제천) 23.5, 영춘(단양) 23.0
- 일 강수량 : 영춘(단양) 109.0, 송계(제천) 96.5, 덕산(제천) 93.0,
수산(제천) 86.5, 단양 78.5, 제천 56.5, 백운(제천) 29.0

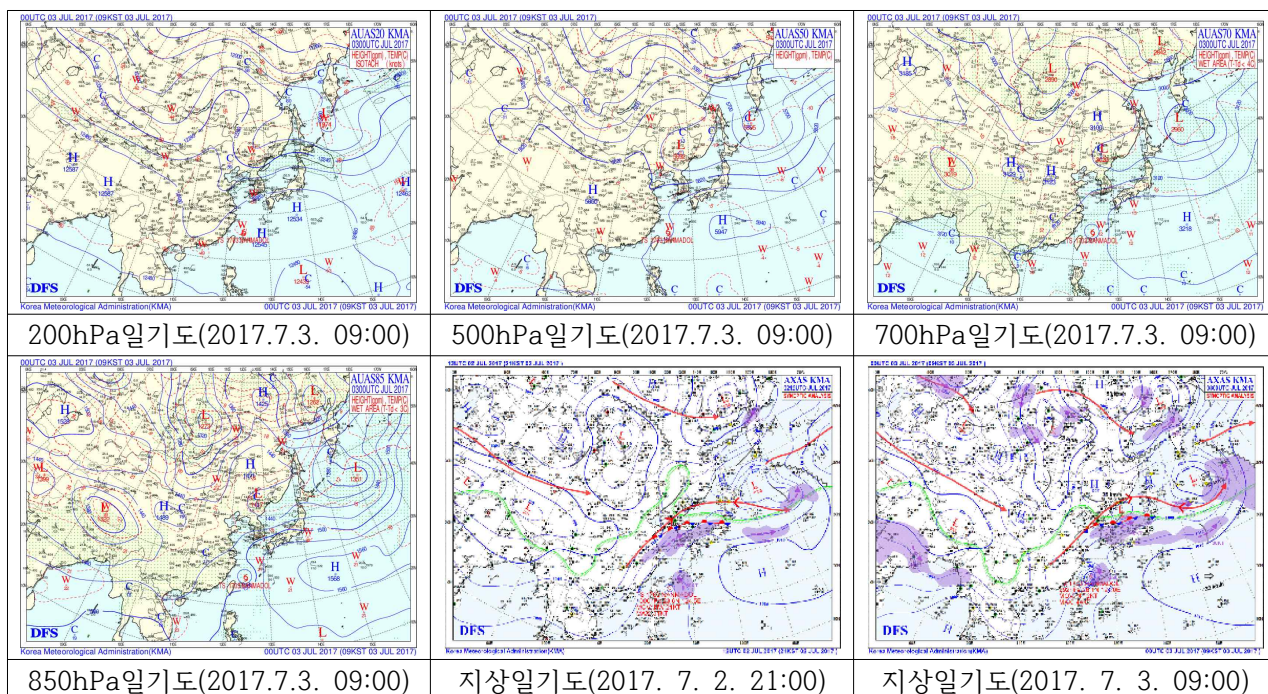
다 호우특보(제천, 단양)

- 호우주의보 발표 발효시각 : 7. 3. 03:40
- 호우주의보 해제 발효시각 : 7. 3. 12:00

라 피해 현황 : 없음

4.2.2 사례분석

-종관 분석



○ 200hPa 일기도

산둥반도에서 북한지방을 지나 동해북부해상으로 흐르는 제트기류가 약간씩 남진하고 있는 가운데 제트기류 남쪽에 놓인 충청도와 경상북도 지방은 상층 발산역이 강화되어 하층 불안정을 유도하고 있다.

○ 500hPa 일기도

기압골이 동진하여 산둥반도에 놓여있는 가운데 5820gpm 등고선이 위도와 평행하게 산둥반도 남쪽에서 동해중부해상으로 놓여있고, 타이완 북동쪽에 제3호 태풍 '난마돌'이 위치하여 북쪽으로 이동하고 있다. 만주지방으로는 -10°C 이하의 한기를 동반한 저기압이 위치하고, -5°C 선은 중국 중부지방에서 한반도 남해안으로 온도골과 온도능이 파형을 이루며 놓여있다.

○ 700hPa 일기도

중국 남부지방과 한반도 남해상까지 고압대에 놓여있는 가운데, 북태평양 고기압의 중심이 일본 열도 남동쪽에 위치하고 있다. 타이완 북동쪽으로 놓여있는 제3호 태풍 '난마돌'에 동반된 습윤역이 동중국해와 제주도 남쪽 해상까지 폭넓게 위치해 있고, 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 중국 남부지방에서 서해상을 지나 한반도 중부지방으로도 폭넓게 습윤역이 위치해 있다.

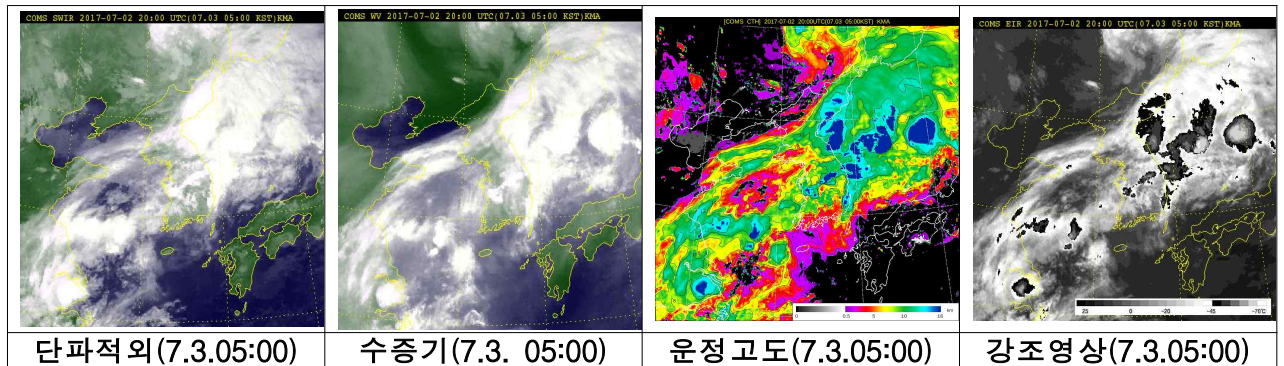
○ 850hPa 일기도

저기압에 동반된 cold가 만주지방에 위치해 있고, 한반도는 온도골에 놓여있는 가운데 18°C 선이 남해안을 지나고 있다. 한반도는 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 중국 중남부지방에서 한반도 중부지방으로 하층 제트가 형성되어 남서기류가 강하게 한반도로 유입되고 있다. 이로 인해 중부지방은 상층으로부터 한기가 남하하고 있는 가운데 하층에서는 난기가 유입되어 상하층간에 불안정이 강하게 나타나고 있다.

○ 지상 일기도

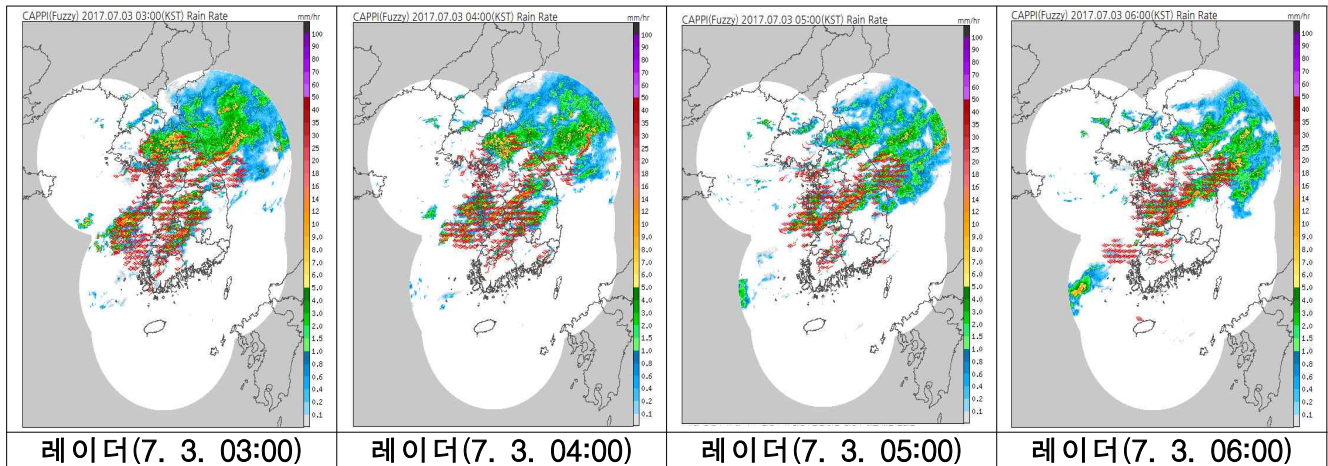
장마전선은 중부지방에서 상하운동을 하다가 약간씩 남쪽으로 남하하는 경향을 보이고 있는 가운데, 타이완 북동쪽의 제3호 태풍 '난마돌'에서 만들어진 고온다습한 수증기와 중국 남부지방의 고온다습한 수증기가 북태평양 고기압의 가장자리를 따라 한반도 중부지방으로 유입되고 있다. 이로 인해 중부지방에서 장마전선이 발달하여 활성화를 보이고 있다.

-원격자료 분석



○ 위성영상

저기압 후면인 만주지방 서쪽에서 북한의 자강도, 양강도 쪽으로 건조영역이 깊어지고 있는 가운데 타이완 북동쪽의 제3호 태풍 ‘난마돌’은 북진하는 경향을 보이고 있다. 장마전선상의 다층운대에서 발달한 대류운은 충남 중부지역에서 충북 북동지역으로 형성되어 있다. 이 대류운의 운정고도 10km 이상, 운정온도 -45°C 이하를 나타내고 있다. 다층운대의 대류운은 동북동쪽으로 이동하고 있으나, 구름대축은 남동쪽으로 처지고 있다.

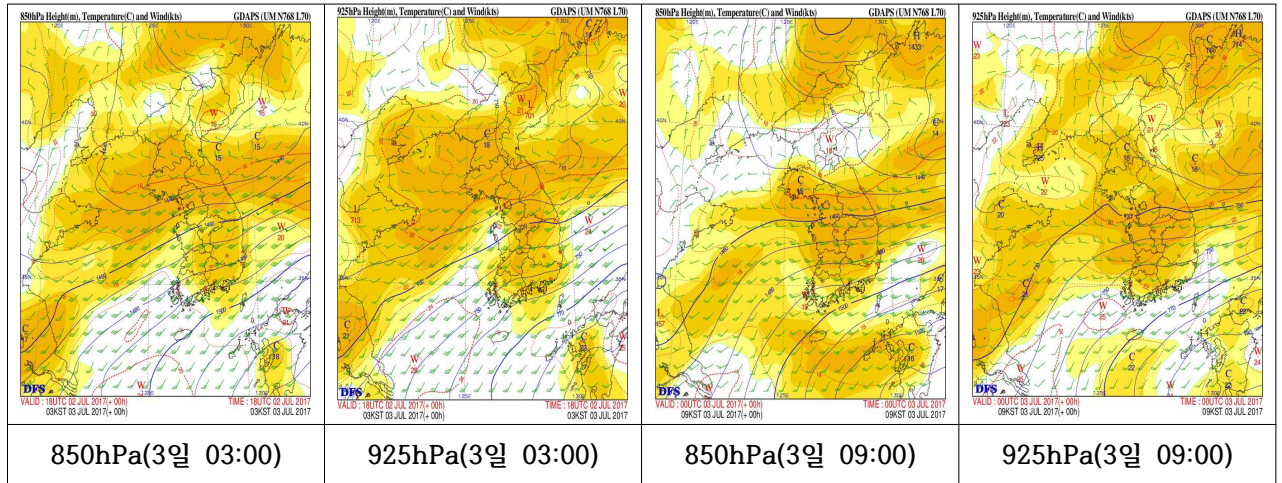


○ 레이더영상

서해중부해상으로 강수예코가 형성되어 있고, 충남 중부지역에서 충북 북동지역으로는 선상예코가 발달해 있다. 선상예코의 남서쪽으로부터는 20kt 이상의 남서기류가 유입되고 선상예코의 서쪽으로부터는 서풍기류가 유입되고 있는 가운데 두 기류가 합류하는 지점에서 선상예코가 발달하여 충남 중부지역에서 충북 북동지역으로 놓여있다. 이 선상예코는 동북동쪽으로 이동하고 있으나, 예코축은 남동쪽으로 처지고 있다.

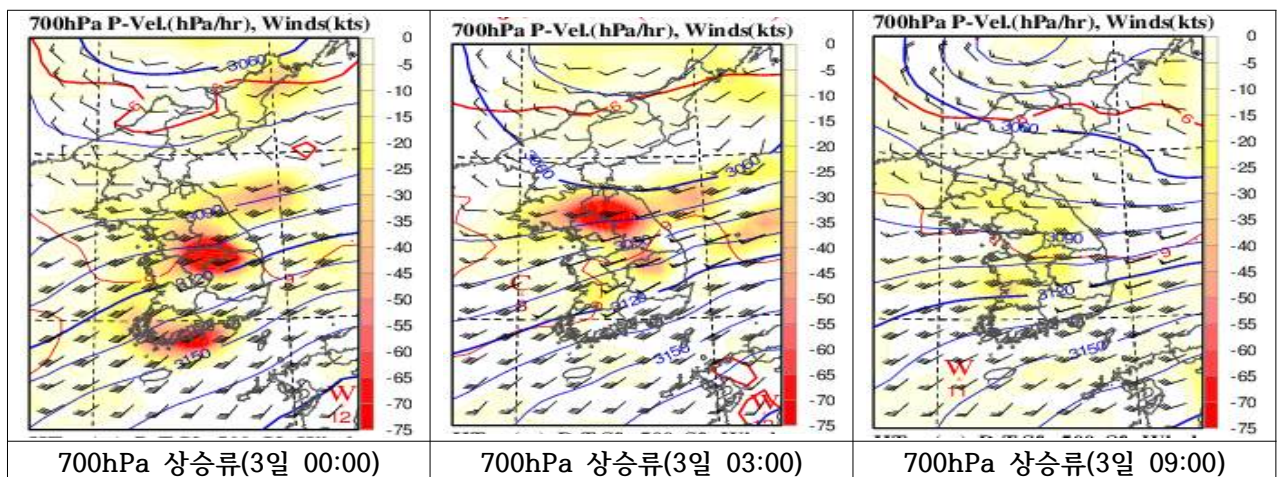
-예보장 분석(초기장)

○ 상세 바람 기온(UM 전구)



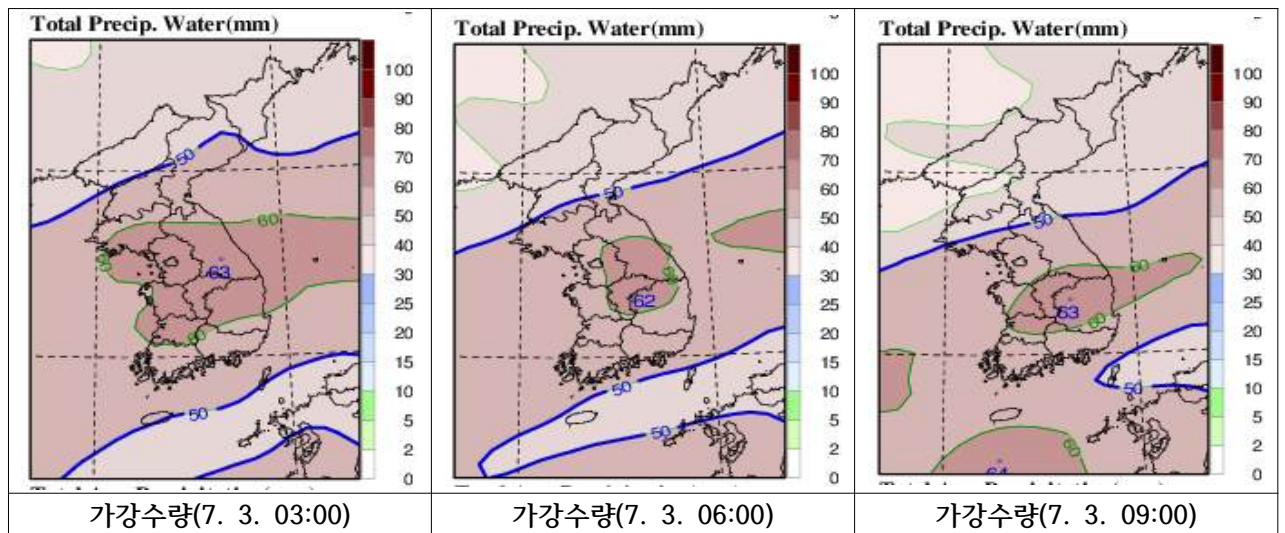
3일 3시에 중국 북부지방에서 한반도 중부지방으로 한기를 남하시키고 있는 가운데, 고기압의 가장자리를 따라 서해남부해상에서 한반도 중부지방으로 남서기류가 강하게 유입되고 있다. 이로 인해 한기와 난기가 만나는 중부지방을 중심으로 불안정이 강화되어 대류운의 발달을 유도하고 있다.

○ 700hPa 상승속도(UM 전구)



3일 0시에 충북 북부지역을 중심으로 상승류가 강하게 형성되어 있었으나, 3시에는 많이 약화되었고 9시에는 약하게 존재하고 있다. 충북 북동지역의 강수는 강한 상승류가 나타난 이후에 강수의 최성기가 발생하였다.

○ 가강수량(UM 전구)



3일 3시에 장마전선이 놓인 중부지방을 중심으로 가강수량이 60mm 이상을 나타냈으나, 6시에는 서울 경기 및 강원도 지방은 가강수량 60mm 이상의 북쪽 영역이 줄어들었고 충남 남부지역과 충북, 경북지방은 계속 존재하고 있다.

-결과 및 토의

○ 장마전선이 중부지방에 위치한 가운데 상층에서는 만주지방에 위치한 저기압의 후면으로부터 한기가 남하하고, 하층에서는 고기압의 가장자리를 따라 하층제트에 의한 난기의 남서류가 중부지방으로 강하게 유입되어 강수를 유발할 수 있는 조건이 형성되었다. 이로 인해 충북 북동지역을 비롯한 강원, 경기, 충북, 충남지방에 많은 비가 내렸다.

○ 충남 중남부지역에서 충북 북동지역으로 선상에코가 놓여있는 가운데 선상에코 남쪽의 남서기류와 서쪽의 서풍기류가 합류하였고, 지형적인 영향이 가미되어 소백산 전면을 중심으로 선상에코가 발달할 수 있는 조건이 충족되었다. 이로 인해 제천, 단양을 비롯한 소백산 전면에 많은 비가 내렸다.

○ 선상에코가 놓여있던 충북 북동지역의 7월 3일 시간 강수량은 송계(제천) 33.5mm, 단양 32.5mm 등 충북 북동 대부분지역에서 시간당 20mm 이상의 비가 내렸고, 일 강수량은 영춘(단양) 109.0mm, 송계(제천) 96.5mm의 많은 강수량을 기록하였다.

제3장 충청북도 호우영향예보 구축

제1절 모델기반 재해발생 유무 검증

1. 사례 선택

충청북도에서 호우 특보의 발표 횟수가 빈번하거나 재해 취약지역인 청주, 충주 2곳을 선택하였다. 기간은 최근 3년(2016.7.1.~2018.10.31.)으로 태풍·대설사례를 제외한 일 강수 20mm 이상이었던 날을 선택하였다.

표3.1 일 강수 20mm 이상 사례

청주		충주	
날짜	20mm 이상	날짜	20mm 이상
20160701	54.4	20160701	54
20160704	153.6	20160704	121.9
20160705	36	20160705	49.2
20160706	22.6	20160706	25.3
20160716	26	20160716	59.5
20160809	22.4	20160729	31.2
20160917	49	20160917	32.1
20170703	134.4	20161025	26.5
20170704	30	20170628	27.4
20170706	26.4	20170703	41
20170708	31.5	20170704	28
20170709	31.7	20170708	33.3
20170710	47.4	20170710	44.1
20170716	290.2	20170711	25.6
20170724	33	20170716	70.8
20170725	21.3	20170724	26.6
20170728	50.9	20170729	24.1
20170731	39.1	20170731	89
20170809	38.5	20170809	25.4
20170814	35	20170810	22.9
20170821	39.8	20170815	34.5
20170824	33.9	20170823	57.6
20170828	25.7	20170824	41.3
20170911	32.9	20170919	27
20170927	34.9	20180228	33.7

20180228	28.7	20180319	24
20180304	21.7	20180423	33.1
20180414	29.7	20180506	20.2
20180423	44.6	20180512	23.7
20180512	24.3	20180516	24.5
20180626	62.2	20180518	42.7
20180701	117.8	20180626	59.6
20180702	54.1	20180701	80.4
20180705	59.1	20180702	37.7
20180709	23.2	20180709	27.9
20180728	57.5	20180824	22.4
20180826	29.6	20180827	47.1
20180827	74.8	20180828	134.2
20180830	31.3	20180830	52.9
20180831	76	20180831	50.7
20180903	151.6	20180903	125.7
20180921	34.6	20180921	33.4

2. 모델별 영향예보 생산 및 위험단계 추정

선택한 대상 지역에 대하여 해당 일자의 호우사례에 대한 1~7일 영향예보를 생산한다. 모델은 ECMWF, UM 전구 앙상블, UM 국지 앙상블 총 세 개의 모델을 검증한다. 「영향예보지원시스템」을 통해 해당일자의 1~7일까지의 단기·중기 영향예보를 생성한다. 예보는 0H, 6H, 12H, 18H 하루 네 번 생산되는데 이 중 가장 위험수준이 높은 단계를 해당일의 위험수준으로 지정하여 검증한다.

그리고 해당일의 위험수준은 당일 10분 간격 6시간 누적강수 최댓값을 이용하여 위험수준 판단표에 의하여 위험수준을 정한다.

생성되지 않고 오류가 난 경우 오류라고 표기하였고 관심에 해당하는 임계값 이하인 경우 (-) 기호로 표기하였다.

2.1. 청주

표 3.2 위험수준 임계값

관심	주의	경계	심각
28	61	97	176

표 3.3 ECMWF

날짜	20mm 이상	누적 강수	ECMWF							
			D-day	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7
20160701	54.4	34.7	관심	관심	관심	주의	주의	관심	주의	주의
20160704	153.6	101.1	경계	주의	주의	주의	관심	관심	주의	관심
20160705	36	22.2	없음	관심	주의	주의	주의	관심	주의	주의
20160706	22.6	20.3	없음	관심	관심	관심	주의	주의	관심	관심
20160716	26	17.6	없음	주의	주의	주의	주의	주의	관심	주의
20160809	22.4	22.4	없음	관심	관심	-	-	관심	관심	관심
20160917	49	24.9	없음	주의	주의	주의	주의	관심	주의	주의
20170703	134.4	97.5	경계	주의	관심	주의	주의	주의	주의	주의
20170704	30	26.8	없음	주의	관심	관심	주의	주의	관심	주의
20170706	26.4	26.4	없음	주의	관심	주의	주의	관심	관심	주의
20170708	31.5	31.4	관심	주의	관심	주의	주의	주의	관심	관심
20170709	31.7	31.7	관심	주의	주의	관심	주의	주의	주의	주의
20170710	47.4	31.8	관심	관심	주의	주의	주의	주의	주의	관심
20170716	290.2	288.6	심각	관심	관심	관심	관심	주의	주의	관심
20170724	33	20.1	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20170725	21.3	21.2	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20170728	50.9	47.1	관심	관심	관심	-	-	관심	관심	관심
20170731	39.1	36.2	관심	주의	관심	관심	관심	관심	주의	주의
20170809	38.5	22.4	없음	주의	주의	주의	주의	주의	주의	관심
20170814	35	32	관심	주의	주의	주의	주의	주의	주의	관심
20170821	39.8	21.4	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	주의
20170824	33.9	32.2	관심	관심	관심	관심	주의	관심	관심	관심
20170828	25.7	25.7	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20170911	32.9	30.4	관심	관심	주의	주의	관심	주의	주의	관심
20170927	34.9	33.9	관심	주의	관심	주의	관심	관심	관심	관심
20180228	28.7	22.4	없음	관심	관심	관심	관심	관심	-	-
20180304	21.7	21.7	없음	-	-	관심	관심	관심	관심	관심
20180414	29.7	25.9	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180423	44.6	16.7	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180512	24.3	12.7	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180626	62.2	31.2	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180701	117.8	60.4	관심	관심	관심	관심	주의	주의	관심	관심
20180702	54.1	43.9	관심	관심	관심	관심	관심	관심	주의	관심
20180705	59.1	57.8	관심	-	-	관심	주의	관심	관심	주의

20180709	23.2	17.9	없음	관심	-	주의	관심	관심	-	주의
20180728	57.5	57.5	관심	-	-	-	관심	관심	-	-
20180826	29.6	21.5	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180827	74.8	39.4	관심	주의	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180830	31.3	26.8	없음	관심	-	관심	관심	관심	관심	주의
20180831	76	79	주의	관심	관심	-	관심	관심	주의	주의
20180903	151.6	150	경계	관심	주의	관심	관심	주의	관심	관심
20180921	34.6	24.9	없음	관심	관심	-	관심	관심	관심	관심

표 3.4. UM 전구 양상블

날짜	20mm 이상	누적 강수	UM 전구 양상블							
			D-day	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7
20160701	54.4	34.7	관심	관심	관심	관심	관심	주의	주의	주의
20160704	153.6	101.1	경계	오류	오류	오류	오류	오류	오류	오류
20160705	36	22.2	없음	오류	오류	오류	오류	오류	오류	오류
20160706	22.6	20.3	없음	오류	오류	오류	오류	오류	오류	오류
20160716	26	17.6	없음	오류	관심	관심	관심	관심	관심	주의
20160809	22.4	22.4	없음	-	-	-	-	오류	-	-
20160917	49	24.9	없음	관심	-	-	-	관심	-	-
20170703	134.4	97.5	경계	주의	관심	관심	주의	주의	주의	주의
20170704	30	26.8	없음	주의	주의	주의	주의	주의	주의	관심
20170706	26.4	26.4	없음	관심	관심	관심	주의	주의	주의	주의
20170708	31.5	31.4	관심	주의	관심	관심	관심	관심	주의	주의
20170709	31.7	31.7	관심	주의	주의	주의	주의	주의	주의	주의
20170710	47.4	31.8	관심	주의	주의	주의	주의	주의	주의	주의
20170716	290.2	288.6	심각	주의	주의	관심	관심	관심	관심	관심
20170724	33	20.1	없음	-	관심	관심	관심	-	-	관심
20170725	21.3	21.2	없음	관심	관심	관심	관심	-	관심	-
20170728	50.9	47.1	관심	관심	-	-	-	-	관심	관심
20170731	39.1	36.2	관심	관심	관심	관심	관심	관심	-	-
20170809	38.5	22.4	없음	주의	주의	관심	주의	관심	관심	관심
20170814	35	32	관심	관심	관심	주의	관심	주의	관심	관심
20170821	39.8	21.4	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20170824	33.9	32.2	관심	관심	관심	주의	주의	주의	관심	관심
20170828	25.7	25.7	없음	-	관심	관심	-	-	관심	관심
20170911	32.9	30.4	관심	경계	주의	주의	주의	주의	주의	주의
20170927	34.9	33.9	관심	주의	주의	관심	주의	관심	관심	관심
20180228	28.7	22.4	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180304	21.7	21.7	없음	관심	-	-	관심	관심	관심	관심
20180414	29.7	25.9	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180423	44.6	16.7	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180512	24.3	12.7	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180626	62.2	31.2	관심	-	-	-	-	관심	-	-
20180701	117.8	60.4	관심	-	-	-	-	-	-	-
20180702	54.1	43.9	관심	-	-	-	-	-	-	-

20180705	59.1	57.8	관심	-	-	관심	-	-	-	-
20180709	23.2	17.9	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180728	57.5	57.5	관심	-	-	-	-	-	-	-
20180826	29.6	21.5	없음	관심	관심	-	-	-	-	-
20180827	74.8	39.4	관심	-	-	-	-	-	-	-
20180830	31.3	26.8	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180831	76	79	주의	-	-	-	-	-	-	-
20180903	151.6	150	경계	-	-	-	-	-	-	-
20180921	34.6	24.9	없음	-	관심	-	-	관심	관심	-

표 3.5 UM 국지 양상블

날짜	20mm 이상	누적 강수	UM 국지 양상블			
			D-day	D-1	D-2	D-3
20160701	54.4	34.7	관심	주의	주의	-
20160704	153.6	101.1	주의	경계	주의	주의
20160705	36	22.2	관심	경계	경계	주의
20160706	22.6	20.3	없음	경계	주의	주의
20160716	26	17.6	관심	주의	주의	-
20160809	22.4	22.4	없음	오류	오류	-
20160917	49	24.9	없음	주의	주의	관심
20170703	134.4	97.5	없음	주의	주의	-
20170704	30	26.8	없음	주의	주의	-
20170706	26.4	26.4	없음	주의	주의	주의
20170708	31.5	31.4	없음	주의	관심	주의
20170709	31.7	31.7	관심	주의	주의	관심
20170710	47.4	31.8	관심	주의	주의	관심
20170716	290.2	288.6	없음	주의	주의	주의
20170724	33	20.1	관심	주의	주의	주의
20170725	21.3	21.2	없음	관심	관심	-
20170728	50.9	47.1	없음	주의	주의	주의
20170731	39.1	36.2	주의	경계	주의	-
20170809	38.5	22.4	없음	주의	관심	-
20170814	35	32	없음	-	주의	관심
20170821	39.8	21.4	관심	주의	주의	관심
20170824	33.9	32.2	관심	주의	주의	주의
20170828	25.7	25.7	관심	오류	주의	주의
20170911	32.9	30.4	없음	주의	-	-
20170927	34.9	33.9	없음	오류	오류	오류
20180228	28.7	22.4	없음	-	-	-
20180304	21.7	21.7	없음	-	-	-
20180414	29.7	25.9	없음	관심	관심	관심
20180423	44.6	16.7	없음	관심	관심	관심
20180512	24.3	12.7	없음	-	-	-
20180626	62.2	31.2	관심	주의	주의	관심
20180701	117.8	60.4	관심	주의	주의	주의

20180702	54.1	43.9	관심	주의	주의	주의
20180705	59.1	57.8	관심	관심	관심	관심
20180709	23.2	17.9	없음	관심	관심	관심
20180728	57.5	57.5	관심	주의	주의	주의
20180826	29.6	21.5	없음	주의	주의	관심
20180827	74.8	39.4	관심	주의	주의	주의
20180830	31.3	26.8	없음	주의	관심	관심
20180831	76	79	주의	주의	주의	주의
20180903	151.6	150	경계	주의	주의	관심
20180921	34.6	24.9	없음	관심	관심	-

2.2. 총주

표 3.6 위험수준 임계값

관심	주의	경계	심각
30	64	97	165

표 3.7 ECMWF

날짜	20mm 이상	누적 강수	ECMWF							
			D-day	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7
20160701	54	42.1	관심	관심	관심	주의	관심	관심	주의	관심
20160704	121.9	68.5	주의	주의	주의	주의	관심	관심	주의	관심
20160705	49.2	46.7	관심	주의	주의	주의	주의	관심	관심	주의
20160706	25.3	19.9	없음	주의	주의	주의	주의	주의	관심	관심
20160716	59.5	41.1	관심	주의	주의	주의	관심	관심	주의	주의
20160729	31.2	26.1	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	-
20160917	32.1	15.1	없음	주의	주의	주의	주의	관심	주의	주의
20161025	26.5	22.4	없음	주의	관심	관심	관심	관심	-	-
20170628	27.4	24.3	없음	관심	관심	-	-	관심	관심	관심
20170703	41	20.6	없음	주의	관심	주의	주의	주의	주의	주의
20170704	28	26.9	없음	주의	주의	관심	주의	주의	주의	주의
20170708	33.3	33.2	관심	주의	주의	주의	주의	주의	주의	관심
20170710	44.1	32.4	관심	관심	주의	주의	주의	주의	주의	관심
20170711	25.6	25.6	없음	주의	-	주의	주의	관심	주의	주의
20170716	70.8	63.6	관심	관심	주의	관심	관심	주의	주의	관심
20170724	26.6	26.1	없음	관심	관심	관심	관심	관심	주의	주의
20170729	24.1	23.8	없음	관심	주의	관심	관심	관심	주의	주의
20170731	89	87.3	주의	관심	관심	관심	관심	관심	주의	주의
20170809	25.4	18.1	없음	주의	주의	주의	주의	관심	주의	주의
20170810	22.9	22.2	없음	관심	관심	주의	주의	관심	주의	관심
20170815	34.5	32.6	관심	관심	주의	주의	주의	주의	주의	주의
20170823	57.6	41.9	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20170824	41.3	39.4	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심	주의
20170919	27	27.0	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심

20180228	33.7	26.2	없음	관심	-	관심	관심	관심	-	-
20180319	24	13.6	없음	-	-	관심	-	-	-	-
20180423	33.1	21.7	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180506	20.2	15	없음	-	관심	관심	-	-	관심	-
20180512	23.7	11.2	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180516	24.5	23.6	없음	관심	관심	관심	-	관심	관심	관심
20180518	42.7	38.2	관심	-	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180626	59.6	42.7	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180701	80.4	51.8	관심	관심	관심	관심	주의	주의	관심	관심
20180702	37.7	24.7	없음	관심	관심	관심	관심	관심	주의	관심
20180709	27.9	24.2	없음	관심	-	주의	관심	관심	-	주의
20180824	22.4	15.2	없음	주의	관심	관심	관심	주의	관심	관심
20180827	47.1	24.3	없음	주의	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180828	134.2	64.4	주의	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180830	52.9	51.3	관심	관심	-	관심	관심	주의	관심	주의
20180831	50.7	45.9	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심	주의
20180903	125.7	122	경계	관심	주의	관심	관심	주의	관심	관심
20180921	33.4	22.3	관심	관심	관심	-	관심	관심	관심	관심

표 3.8 UM 전구 양상블

날짜	20mm 이상	누적 강수	UM 전구 양상블							
			D-day	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7
20160701	54	42.1	관심	관심	관심	관심	주의	주의	주의	주의
20160704	121.9	68.5	주의	오류	오류	오류	관심	주의	주의	관심
20160705	49.2	46.7	관심	오류	오류	오류	오류	주의	주의	주의
20160706	25.3	19.9	없음	오류	오류	오류	오류	오류	관심	주의
20160716	59.5	41.1	관심	오류	관심	관심	관심	-	관심	주의
20160729	31.2	26.1	없음	오류	관심	-	-	-	-	오류
20160917	32.1	15.1	없음	-	-	-	-	관심	-	-
20161025	26.5	22.4	없음	관심	관심	-	-	-	-	관심
20170628	27.4	24.3	없음	관심	-	-	-	-	관심	관심
20170703	41	20.6	없음	경계	주의	주의	주의	주의	주의	주의
20170704	28	26.9	없음	주의	주의	주의	주의	주의	주의	주의
20170708	33.3	33.2	관심	주의	주의	주의	주의	주의	주의	주의
20170710	44.1	32.4	관심	주의	주의	주의	주의	주의	주의	주의
20170711	25.6	25.6	없음	주의	관심	주의	주의	주의	주의	주의
20170716	70.8	63.6	관심	주의	주의	관심	주의	주의	관심	주의
20170724	26.6	26.1	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20170729	24.1	23.8	없음	관심	관심	관심	-	관심	-	-
20170731	89	87.3	주의	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20170809	25.4	18.1	없음	관심	주의	관심	주의	관심	관심	관심
20170810	22.9	22.2	없음	관심	관심	관심	주의	주의	주의	주의
20170815	34.5	32.6	관심	관심	주의	관심	관심	주의	관심	주의
20170823	57.6	41.9	관심	관심	주의	주의	주의	관심	주의	관심
20170824	41.3	39.4	관심	주의	관심	주의	주의	주의	주의	관심

20170919	27	27.0	없음	관심	관심	관심	관심	-	관심	-
20180228	33.7	26.2	없음	관심	관심	관심	관심	관심	관심	관심
20180319	24	13.6	없음	-	-	-	관심	-	관심	관심
20180423	33.1	21.7	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180506	20.2	15	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180512	23.7	11.2	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180516	24.5	23.6	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180518	42.7	38.2	관심	-	-	-	-	-	-	-
20180626	59.6	42.7	관심	-	-	-	-	관심	-	관심
20180701	80.4	51.8	관심	-	-	-	-	-	-	-
20180702	37.7	24.7	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180709	27.9	24.2	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180824	22.4	15.2	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180827	47.1	24.3	없음	-	-	-	-	-	-	-
20180828	134.2	64.4	주의	-	-	-	-	-	-	-
20180830	52.9	51.3	관심	-	-	-	-	-	-	-
20180831	50.7	45.9	관심	-	-	-	-	-	-	-
20180903	125.7	122	경계	-	-	-	-	-	-	-
20180921	33.4	22.3	관심	-	관심	-	-	관심	관심	-

표 3.9 UM 국지 양상블

날짜	20mm 이상	누적 강수	UM 국지 양상블			
			D-day	D-1	D-2	D-3
20160701	54	42.1	관심	주의	주의	-
20160704	121.9	68.5	주의	경계	주의	주의
20160705	49.2	46.7	관심	경계	경계	주의
20160706	25.3	19.9	없음	경계	주의	주의
20160716	59.5	41.1	관심	주의	주의	-
20160729	31.2	26.1	없음	오류	오류	-
20160917	32.1	15.1	없음	주의	주의	관심
20161025	26.5	22.4	없음	주의	주의	-
20170628	27.4	24.3	없음	주의	주의	-
20170703	41	20.6	없음	주의	주의	주의
20170704	28	26.9	없음	주의	관심	주의
20170708	33.3	33.2	관심	주의	주의	관심
20170710	44.1	32.4	관심	주의	주의	관심
20170711	25.6	25.6	없음	주의	주의	주의
20170716	70.8	63.6	관심	주의	주의	주의
20170724	26.6	26.1	없음	관심	관심	-
20170729	24.1	23.8	없음	주의	주의	주의
20170731	89	87.3	주의	경계	주의	-
20170809	25.4	18.1	없음	주의	관심	-
20170810	22.9	22.2	없음	-	주의	관심
20170815	34.5	32.6	관심	주의	주의	관심
20170823	57.6	41.9	관심	주의	주의	주의

20170824	41.3	39.4	관심	오류	주의	주의
20170919	27	27.0	없음	주의	-	-
20180228	33.7	26.2	없음	-	-	-
20180319	24	13.6	없음	-	-	-
20180423	33.1	21.7	없음	관심	관심	관심
20180506	20.2	15	없음	관심	관심	관심
20180512	23.7	11.2	없음	-	-	-
20180516	24.5	23.6	없음	-	-	-
20180518	42.7	38.2	관심	관심	주의	관심
20180626	59.6	42.7	관심	주의	주의	관심
20180701	80.4	51.8	관심	주의	주의	주의
20180702	37.7	24.7	없음	주의	주의	주의
20180709	27.9	24.2	없음	관심	관심	관심
20180824	22.4	15.2	없음	주의	주의	주의
20180827	47.1	24.3	없음	주의	주의	
20180828	134.2	64.4	주의	주의	주의	주의
20180830	52.9	51.3	관심	주의	관심	관심
20180831	50.7	45.9	관심	주의	주의	관심
20180903	125.7	122	경계	주의	관심	관심
20180921	33.4	22.3	관심	관심	관심	관심

3. 모델별 검증

2016.7.1.~2018.10.31. 기간 동안 일 강수 20mm 이상이었던 날의 6시간 누적강수량 최댓값 위험수준과 ECMWF, UM 전국 앙상블, UM 국지 앙상블의 단기·중기 1~7일 예보 위험수준에 대해 예보분류표를 작성하여 검증지수 임계성공지수(CSI), 탐지율(POD), 오보율(FAR), 일치율(PAG), 편이(BIAS), 정확도(ACC), 숙련도(HSS, KSS)를 산출하였다.

표 3.10 예보분류표

		예보	
		Y	N
관측	Y	H (맞힘)	M (미예측)
	N	F (미발생)	C (부의 정확)

표 3.11 검증지수

검증지수	해석
임계성공지수(CSI)= $\frac{H}{M+F}$	정확히 예측한 사건 수를 예보이든 관측이든 간에 사건발생과 관련된 총수로 나눈 것이다. 0에서 1의 값을 가지며, 1에 가까울수록 완벽한 예보를 의미한다. 탐지율과 오보율에 비해 오보와 미예측 모두에 민감하기 때문에, 사건의 수가 작고 범주의 기후학적 빈도수가 거의 같은 경우에도 보다 실질적인 정확도를 제공할 수 있다. 하지만 예보오차의 원인을 구별할 수 없는 단점이 있다. 어떤 경우는 맞힌 것(H) 자체가 우연한 기회에 의한 것일 수 있기 때문에 사건의 기후학적 발생빈도에 의존하는 경향을 보이기도 한다.
탐지율(POD)= $\frac{H}{H+M}$	정확히 사건을 맞힌 예보 수(H)를 실제 발생하였던 사건의 수로 나누어 구한다. 0에서 1의 값을 가지며, 1에 가까울수록 완벽한 예보를 의미한다. 관측 관점에서 분류표를 작성하기 때문에 오보(F)가 아닌 미예측(M)에 매우 민감하다. 따라서 발생예보를 대량으로 생산하는 경우 점수를 높일 수 있기 때문에 완전한 형태의 평가척도를 제공해주지 않는다.
오보율(FAR)= $\frac{F}{H+F}$	발생하지 않은 사건에 대해 발생한다고 예보한 것의 비로서 오보수를 사건 발생 예보 총 수로 나눈다. 값은 0에서 1의 값을 가지며 0에 가까울수록 완벽한 예보를 의미한다. 예보 관점에서 분류표를 작성하기 때문에 미예측(M) 보다는 오보(F)에 민감하다. 따라서 없음 예보를 대량으로 생산하는 경우 점수를 낮출 수 있기 때문에 POD와 마찬가지로 완전한 형태의 평가척도를 제공해주지 않는다.
일치율(PAG)= $\frac{H}{H+F}$	발생한 사건에 대해 발생한다고 예보한 것의 비로서 적중한 예보의 수를 사건 발생예보 총수로 나눈다. 값은 0에서 1의 값을 가지며 1의 값이 완벽한 예보를 의미한다. 발표한 예보의 정확도는 알 수 있으나, 예보 관점에서 분류표를 작성하기 때문에 미예측(M)에 대해서는 평가 할 수 없다는 단점이 있다.

$\text{편이(Bias)} = \frac{H + F}{M}$	평균적인 예보와 평균적인 관측간의 일치 정도를 나타내는 것으로 예보의 치우침 정도를 평가한다. 값의 범위는 0에서 무한대까지이며 완벽한 예보는 1의 값을 갖는다. 1 보다 작은 값은 과소 예보, 1보다 큰 경우에는 과대 예보 경향을 갖는다고 말한다. 예보가 얼마나 정확히 관측에 대응하는지를 측정하는 것이 아니라 단지 상대적 치우침을 측정할 뿐이다.
$\text{정확도(ACC)} = \frac{H + C}{H + M + F + C}$	개개의 예보와 관측간의 평균적인 일치정도를 나타내는 것으로 정확히 예보한 것에 대한 백분율로 표시한다. 값의 범위는 0에서 1까지이며 1에 가까울수록 완벽한 예보로 접근한다. 문제는 가장 일상적인 범주, 즉 거의 발생하지 않는 현상에 대한 예보의 평가 척도로서는 부적합하다.
$\text{숙련도(HSS)} = \frac{2(H \times C - M \times F)}{(H + M)(M + C) + (H + F)(F + C)}$	우연한 기회에 의해 맞힐 수 있는 예보의 수를 제거한 후의 예보 성공률을 의미한다. 음의 무한대에서부터 1의 값을 가지며, 음의 값은 우연한 기회로 맞힐 수 있는 경우보다 못한 예보 숙련을, 0은 숙련이 없음을, 1은 완벽한 예보를 의미한다.
$\text{숙련도(KSS)} = \frac{HC - MF}{(H + M)(F + C)}$	KSS는 HSS에 비해 두 가지 측면에서 유리하다. 우연한 예보와 일정한 예보는 0의 숙련도를 보여주며, 사건의 발생빈도수가 감소함에 따라 그 사건에 대한 정확한 예보에 의해 얻어진 숙련도의 기여도가 증가한다는 것이다.

3.1 청주

표 3.12 모델 예보 분류표 (청주)

	관측	예보	
		Y	N
ECMWF	Y	137	10
	N	130	17
UM 전구 앙상블	Y	81	27
	N	99	65
UM 국지 앙상블	Y	52	4
	N	43	15

표 3.13 모델별 검증 지수

지수	ECMWF	UM 전구	UM 국지
CSI	0.495	0.391	0.525
POD	0.932	0.750	0.929
FAR	0.487	0.550	0.453
PAG	0.513	0.450	0.547
Bias	1.816	1.667	1.696
ACC	0.524	0.537	0.588
HSS	0.048	0.131	0.185
KSS	0.048	0.146	0.187

예보분류표에 따라 검증지수를 산출해보았다. 탐지율(POD), 오보율(FAR), 일치율(PAG)은 완전한 형태의 평가 척도가 될 수 없고 편의(Bias) 역시 상대적 치우침만을 측정하는 지수이기 때문에 모델 평가엔 적절하지 않다. 앞의 지수들보다 더 실질적인 평가를 제공할 수 있는 임계성공지수(CSI)를 살펴보면 UM 국지 앙상블의 CSI가 0.525로 가장 높았고 그 다음으로 ECMWF, UM 전구 앙상블 순으로 높게 나왔다. 맞힌 것(H) 자체가 우연한 기회에 의한 것일 수 있기 때문에 이를 제거한 숙련도(HSS)를 살펴보면 UM 국지 앙상블은 0.185, UM 전구 앙상블은 0.131 ECMWF는 0.048로 CSI와 마찬가지로 UM 국지 앙상블의 가장 높게 나왔지만 그 값은 CSI보다 현저히 낮아졌음을 알 수 있다. KSS 값은 HSS와 같거나 큰 값을 가짐을 알 수 있다.

3.2. 총주

표 3.14 모델 예보 분류표 (총주)

	관측	예보	
		Y	N
ECMWF	Y	130	3
	N	132	29
UM 전구 앙상블	Y	74	51
	N	71	83
UM 국지 앙상블	Y	53	2
	N	46	22

표 3.15 모델별 검증 지수

지수	ECMWF	UM 전구	UM 국지
CSI	0.491	0.378	0.525
POD	0.977	0.592	0.964
FAR	0.504	0.490	0.465

PAG	0.496	0.510	0.535
Bias	1.970	1.160	1.800
ACC	0.541	0.563	0.610
HSS	0.145	0.129	0.267
KSS	0.158	0.131	0.287

예보분류표에 따라 검증지수를 산출해보았다. 임계성공지수(CSI)를 살펴보면 청주와 마찬가지로 UM 전구 앙상블의 CSI가 0.531로 가장 높은 값을 가지고 그 다음으로 UM 국지 앙상블, ECMWF 순으로 높게 나왔다. 맞힌 것(H) 자체가 우연한 기회에 의한 것일 수 있기 때문에 이를 제거한 숙련도(HSS)를 살펴보면 UM 전구 앙상블은 0.254 UM 국지 앙상블은 0.160 ECMWF 0.061로 CSI와 마찬가지로 UM 전구 앙상블의 가장 높게 나왔지만 그 값은 CSI보다 현저히 낮아졌음을 알 수 있다. KSS역시 HSS와 비슷한 값을 가짐을 알 수 있다. KSS 값은 세 모델 모두 HSS보다 큰 값을 가진다. 산출한 검증 지수를 그래프로 그려 보았다.

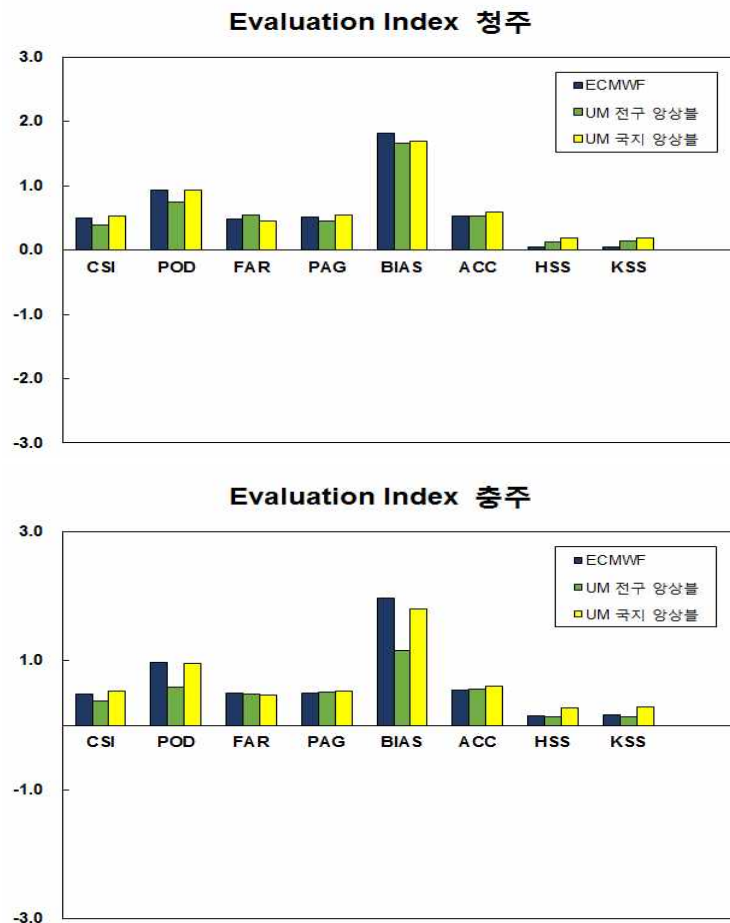


그림 3.1 모델별 검증지수 그래프

청주와 충주 두 지점 모두 UM 국지 앙상블의 CSI가 가장 높고 FAR이 가장 낮게 나왔음을 확인할 수 있다. Bias 값을 살펴보면 두 지점 다 1보다 큰 값으로 과대 예보 경향을 보인다. CSI에서 우연한 기회에 의해 맞힐 수 있는 예보의 수(H)를 제거한 성공률을 볼 수 있는 HSS, KSS 값을 보면 CSI와 같이 UM 국지 앙상블의 값이 가장 높게 나왔지만 CSI와 비교하면 그 수치가 절반 가까이 낮아졌음을 알 수 있다. 이번 검증은 6시간 누적강수 최댓값 위험수준과 모델 위험수준을 비교하였다. 다음은 6시간 누적강수 최댓값과 해당 일의 재해피해액 위험수준을 비교하여 검증한다.

제 2절 재해피해액 기반 검증

1. 재해 피해액 기반 위험단계 추정

청주, 충주의 최근 2년(2016~2017년)동안 일강수 20mm 이상이었던 해당 일자의 재해 피해액(공공시설피해액, 사유시설피해액)의 위험수준을 구분한다. 「통합재난안전정보체계(NDMS)」 접속하여 재해내역조회 선택 후 공공시설 피해액과 사유시설 피해액을 확인하여 위험수준 기준표를 이용하여 단계를 산출한다. 강수량 기반과는 다르게 위험수준이 주의, 경계, 심각 세 가지 등급으로 나누어져있다. 그리고 청주 ASOS, 충주 ASOS와 더불어 청주, 충주에 있는 다른 AWS들도 같은 방법으로 검증하였다.

재해는 발생했지만 피해액 산정 시 금액이 없는 경우는 0, 재해 발생 자체가 없는 경우는 -로 피해액 위험단계를 표기하였다. NDMS 상의 호우 피해 집계일이 7일을 넘길 경우에는 강수량이 '관심'단계 이상인 날에서 강수량에 비례하여 피해액을 설정하고 위험수준을 결정한다.

행정구역(시군구)별(2)	공공시설피해액	사유시설피해액	총피해액(천원)	재정규모	피해액기준 위험수준
청주시	52456	23	52479	D	주의
충주시	420000	800	420800	C	경계

그림 3.2 재해 피해액 기준 위험수준 분류

1.1 청주

표 3.16 위험단계 분석표 (청주)

청주ASOS				우암산AWS			
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계	날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계
20160413	24.8		-	20160413	26	-	-
20160416	21.1		-	20160416	20.5	-	-
20160421	21.2		-	20160421	18	-	-
20160624	24.9		-	20160524	19.5	-	-
20160701	34.7	관심		20160624	24	-	-
20160704	101.1	경계	주의	20160701	31	관심	0
20160705	22.2			20160704	103	경계	주의
20160706	20.3			20160705	23	-	0
20160716	17.6		-	20160716	23.5	-	-
20160809	22.4		-	20160831	16.5	-	-
20160917	24.9		-	20160917	24	-	-
20170703	97.5	경계	주의	20161003	19.5	-	-
20170704	26.8		주의	20170417	24	-	-
20170706	26.4		주의	20170703	56	관심	주의
20170708	31.4	관심	주의	20170704	29.5	관심	주의
20170709	31.7	관심	주의	20170708	37.5	관심	주의
20170710	31.8	관심	주의	20170709	43	관심	주의
20170716	288.6	심각	심각	20170710	16.5	관심	주의
20170724	20.1			20170716	271	심각	심각
20170725	21.2		주의	20170724	40	관심	0
20170728	47.1	관심	주의	20170725	21.5	-	주의
20170731	36.2	관심	경계	20170728	62	주의	주의
20170809	22.4		-	20170731	42.5	관심	경계
20170814	32	관심	-	20170806	64.5	주의	-
20170821	21.4		-	20170809	23	-	-
20170824	32.2	관심	-	20170814	22.5	-	-
20170828	25.7		-	20170821	15	-	-
20170911	30.4	관심	-	20170824	49	관심	-
20170927	33.9	관심	-	20170828	23.5	-	-
				20170911	33.5	관심	-
				20170927	38.5	관심	-
상당AWS				대청AWS			
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계	날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계
20160413	31	관심	-	20160413	28	관심	-
20160416	19.5		-	20160416	41.5	관심	-
20160417	21.5		-	20160421	26.5		-
20160421	24.5		-	20160503	16.5		-

20160503	21.5		-
20160510	14		-
20160524	19		-
20160624	23		-
20160701	36.5	관심	0
20160704	115	경계	주의
20160705	29.5	관심	0
20160706	23		0
20160716	36.5	관심	-
20160730	29.5	관심	-
20160831	22		-
20160901	13.5		-
20160917	30	관심	-
20161007	19.5		-
20161008	21.5		-
20170406	19.5		-
20170417	19.5		-
20170628	33.5	관심	-
20170701	30.5	관심	-
20170702	61	주의	주의
20170703	47	관심	주의
20170704	37	관심	주의
20170708	21.5		주의
20170710	19.5		주의
20170714	33	관심	-
20170716	258	심각	심각
20170717	21.5		주의
20170724	64.5	주의	0
20170725	27.5		주의
20170728	78.5	주의	주의
20170731	70	주의	경계
20170809	25		-
20170814	16.5		-
20170815	39	관심	-
20170817	24.5		-
20170821	17		-
20170824	63	주의	-
20170828	28	관심	-
20170911	40.5	관심	-
20170927	38.5	관심	-

20160510	14		-
20160524	20		-
20160624	23		-
20160701	36.5	관심	0
20160704	116	경계	주의
20160705	22.5		0
20160706	17		0
20160716	28.5	관심	-
20160917	40	관심	-
20161007	25.5		-
20161008	20		-
20170417	23.5		-
20170701	18.5		-
20170702	58.5	관심	주의
20170703	40	관심	주의
20170704	34.5	관심	주의
20170708	46	관심	주의
20170709	28	관심	주의
20170710	13		주의
20170715	20		-
20170716	57.5	관심	심각
20170809	37	관심	-
20170814	41	관심	-
20170821	23.5		-
20170828	60.5	관심	-
20170911	67	주의	-
20170927	24.5		-

청남대AWS				오창AWS			
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계	날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계
20160413	26		-	20160413	19.5		-
20160416	21.5		-	20160416	33	관심	-

20160417	33	관심	-
20160421	27.5		-
20160503	16.5		-
20160524	19.5		-
20160624	25.5		-
20160701	32.5	관심	0
20160704	99	경계	주의
20160705	24.5		0
20160706	38.5	관심	0
20160716	33	관심	-
20160917	54.5	관심	-
20160927	20.5		-
20161007	27		-
20161008	21.5		-
20170417	24.5		-
20170628	20.5		-
20170701	13.5		-
20170702	45	관심	주의
20170703	36.5	관심	주의
20170704	36	관심	주의
20170708	57.5	관심	주의
20170709	28	관심	주의
20170715	22.5		-
20170724	21.5		0
20170728	23		주의
20170731	55	관심	경계
20170809	55.5	관심	-
20170814	39	관심	-
20170815	26		-
20170828	33.5	관심	-
20170911	84	주의	-
20170927	25.5		-

20160421	14.5		-
20160503	16		-
20160624	30	관심	-
20160701	39.5	관심	0
20160704	63	주의	주의
20160705	45	관심	0
20160716	20		-
20160730	19		-
20160802	55	관심	-
20160831	19		-
20160917	19		-
20170628	27.5		주의
20170703	27.5		주의
20170704	50.5	관심	주의
20170708	45	관심	주의
20170709	25.5		주의
20170710	33.5	관심	심각
20170716	221	심각	0
20170724	48.5	관심	주의
20170728	80	주의	주의
20170731	50.5	관심	경계
20170809	24		-
20170814	25		-
20170821	25.5		-
20170824	25		-
20170828	30.5	관심	-
20170911	23		-

1.2 충주

표 3.17 위험단계 분석표(충주)

충주ASOS				수안보AWS			
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계	날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계
20160624	14		-	20160305	16.5		
20160701	42.1	관심		20160407	16.5		
20160704	68.5	주의	주의	20160413	24.5		
20160705	46.7	관심		20160421	13		
20160706	46.7	관심		20160624	28		0
20160716	41.1	관심	-	20160701	37.5	관심	관심
20160729	26.1		-	20160704	117	경계	주의
20160917	15.1		-	20160705	58	관심	관심
20161003	16.9		-	20160706	15		관심
20161025	22.4		-	20160716	36.5	관심	관심
20170628	24.3		-	20160831	13.5		
20170703	20.6		-	20160917	21.5		0
20170704	26.9		-	20161008	22.5		
20170708	33.2	관심	-	20161025	21		0
20170710	32.4	관심	-	20170417	23		
20170711	25.6		-	20170625	59	관심	
20170716	63.6	관심	주의	20170702	35.5	관심	관심
20170724	26.1		주의	20170703	62.5	관심	0
20170729	24.2		-	20170704	26		0
20170731	87.3	주의	경계	20170708	30	관심	관심
20170809	18.1		-	20170716	100	경계	관심
20170810	22.2		-	20170724	33.5	관심	0
20170815	32.6	관심	-	20170728	28		
20170823	41.9	관심	-	20170731	59	관심	주의
20170824	39.4	관심	-	20170809	16.5		0
20170919	27		-	20170815	45	관심	관심
				20170817	23		
				20170828	27		
				20170911	19.5		
노은AWS				엄정AWS			
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계	날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계
20160305	18			20160416	25.5		주의
20160416	26		주의	20160701	63	관심	관심
20160524	18.5			20160704	62.5	관심	주의
20160624	14		0	20160705	57.5	관심	관심
20160701	63.5	관심	관심	20160716	38.5	관심	관심

20160704	74	주의	주의
20160705	49	관심	관심
20160716	33	관심	관심
20160729	20.5		0
20160730	29.5		
20160831	16.5		
20160917	13.5		0
20161025	27		0
20161221	20		
20170702	20.5		관심
20170703	18		0
20170704	31	관심	0
20170708	26		관심
20170710	43	관심	관심
20170714	28		주의
20170716	58.5	관심	관심
20170724	21		0
20170731	87.5	주의	주의
20170809	31	관심	0
20170815	27		관심
20170821	17		
20170824	21.5		관심
20170919	28		0

20161025	28.5		0
20170702	24		관심
20170704	47.5	관심	0
20170708	32.5	관심	관심
20170710	42	관심	관심
20170716	61	관심	관심
20170717	30.5	관심	
20170724	18.5		0
20170731	32	관심	주의
20170815	25		관심
20170823	21		관심
20170824	19.5		관심

2. 강수 재해 피해액 위험단계 비교·분석

강수로 인한 위험단계와 재해 피해액을 기반으로 한 위험단계를 비교하여 일치, 과대 예측, 과소 예측으로 분석한 후 임계 값 보정을 통해 임계 값을 낮출 것인지 높일 것인지에 대한 판단을 한다. 위험단계가 다른 경우 각 단계가 일치하거나 차이가 작도록 되풀이하며 비교·분석을 실시한다.

앞서 청주, 충주의 ASOS 및 AWS의 강수량 기반 위험수준과 재해 피해액 기반 위험수준을 정리한 표를 이용하여 비교해석을 실시하였다. 편의를 위해 날짜, 6시간 최대 강수는 제외하고 표로 정리하였다.

2.1 청주

표 3.18 위험단계 비교표(청주)

청주ASOS			우암산AWS		
강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석	강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석
	-		-	-	
	-		-	-	
	-		-	-	
	-		-	-	
	-		-	-	
관심		과대	관심	0	과대
경계	주의	과대	경계	주의	과대
			-	0	
			-	-	
	-		-	-	
	-		-	-	
	-		-	-	
경계	주의	과대	-	-	
	주의	과소	관심	주의	과소
	주의	과소	관심	주의	과소
관심	주의	과소	관심	주의	과소
관심	주의	과소	관심	주의	과소
관심	주의	과소	관심	주의	과소
심각	심각	0	심각	심각	0
			관심	0	과대
	주의	과소	-	주의	과소
관심	주의	과소	주의	주의	0
관심	경계	과소	관심	경계	과소
	-		주의	-	과대
관심	-	과대	-	-	
	-		-	-	
관심	-	과대	-	-	
	-		관심	-	과대
관심	-	과대	-	-	
관심	-	과대	관심	-	과대
			관심	-	과대

상당AWS			대청AWS		
강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석	강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석
관심	-	과대	관심	-	과대
	-		관심	-	과대
	-			-	
	-			-	

		-	
		-	
		-	
		-	
	관심	0	과대
	경계	주의	과대
	관심	0	과대
		0	
	관심	-	과대
	관심	-	과대
		-	
		-	
	관심	-	과대
		-	
		-	
		-	
		-	
	관심	-	과대
	관심	-	과대
	주의	주의	
	관심	주의	과소
	관심	주의	과대
		주의	과소
		주의	과소
	관심	-	과대
	심각	심각	0
		주의	과소
	주의	0	과대
		주의	과소
	주의	주의	0
	주의	경계	과소
		-	
		-	
	관심	-	과대
		-	
		-	
	주의	-	과대
	관심	-	과대
	관심	-	과대
	관심	-	과대
청남대AWS			
	강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석
		-	
		-	
		-	
		-	
		-	
	관심	0	과대
	경계	주의	과대
		0	
		0	
	관심	-	과대
	관심	-	과대
		-	
		-	
		-	
	관심	주의	과소
	관심	주의	과소
	관심	주의	과소
	관심	주의	과소
	관심	주의	과소
		주의	과대
		-	
	관심	심각	과소
	관심	-	과대
	관심	-	과대
		-	
	관심	-	과대
	주의	-	과대
		-	
오창AWS			
	강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석
		-	
	관심	-	과대

관심	-	과대
	-	
	-	
	-	
	-	과대
관심	0	
경계	주의	과대
	0	
관심	0	과대
관심	-	과대
관심	-	과대
	-	
	-	
	-	
	-	
	-	
	-	
관심	주의	과소
관심	주의	과소
관심	주의	과소
관심	주의	과소
관심	주의	과소
	-	
	0	
	주의	과소
관심	경계	과소
관심	-	과대
관심	-	과대
	-	
관심	-	과대
주의	-	과대
	-	

	-	
	-	
관심	-	과대
관심	0	과대
주의	주의	0
관심	0	과대
	-	
	-	
관심	-	과대
	-	
	-	
	주의	과소
	주의	과소
관심	주의	과소
관심	주의	과소
	주의	과소
관심	심각	과소
심각	0	과대
관심	주의	과소
주의	주의	0
관심	경계	과소
	-	
	-	
	-	
	-	
관심	-	과대
	-	

이를 종합해보면 과대, 과소, 일치의 수가 각각 청주ASOS(5,8,1), 우암산AWS(7,7,2), 상당AWS(17,6,2), 대청AWS(11,6,0), 청남대AWS(10,7,0), 오창AWS(7,8,2) 이다. 6개 모든 지점에서 일치 횟수는 2 이내로 매우 적게 나왔으며 과대예측과 과소예측의 차이가 크게 나진 않지만 상당AWS, 대청AWS 청남대AWS는 과대예측이 더 많았고 청주ASOS, 오창AWS는 과소예측이 더 많았으며 우암 산AWS는 과대예측, 과소예측 횟수가 같게 나왔다. 강수 위험단계는 관심, 피해액 위험단계는 주의가 가장 빈번했고 선정된 날 중 피해가 발생하지 않은 경우(-)가 대부분이었다.

2.2. 충주

표 3.19 위험단계 비교표 (충주)

충주ASOS			수안보AWS		
강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석	강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석
	-			-	
	-			-	
	-			-	
	-			-	
	0			0	
관심	0	과대	관심	관심	○
주의	주의	○	경계	주의	과대
관심	0	과대	관심	관심	○
관심	0	과대		관심	과소
관심	-	과대	관심	관심	○
	-			-	
	-			0	
	-			-	
	-			0	
	-			-	
	-			0	
	-			-	
관심	-	과대	관심	-	과대
관심	-	과대	관심	관심	○
	-		관심	0	과대
관심	주의	과소		0	
	주의	과소	관심	관심	○
	-		경계	관심	과대
주의	경계	과소	관심	0	과대
	-			-	
	-		관심	주의	과소
관심	-	과대		0	
관심	-	과대	관심	관심	○
관심	-	과대		-	
	-			-	
	-			-	
노은AWS			엄정AWS		
강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석	강수량 위험단계	피해액 위험단계	해석
	-			주의	과소
	주의	과소	관심	관심	○
	-		관심	주의	과소
	0		관심	관심	○
관심	관심	○	관심	관심	○

주의	주의	0
관심	관심	0
관심	관심	0
	0	
	-	
	-	
	0	
	0	
	-	
	관심	과소
	0	
관심	0	과대
	관심	과소
관심	관심	0
	주의	과소
관심	관심	0
	0	
주의	주의	0
관심	0	과대
	관심	과소
	-	
	관심	과소
	0	

	0	
	관심	과소
관심	0	과대
관심	관심	0
관심	관심	0
관심	관심	0
관심	-	과대
	0	
관심	주의	과소
	관심	과소
	관심	과소
	관심	과소

이를 종합해보면 과대, 과소, 일치의 수는 각각 충주ASOS(9,3,1), 수안보AWS(5,2,6), 노은AWS(2,6,7), 엄정AWS(2,7,6) 이다.

충주ASOS와 수안보AWS는 과대예측이 더 많았고 노은AWS와 엄정AWS는 과소예측이 더 많았으며 충주 모든 지점에서 일치 횟수는 충주ASOS를 제외하고 5회 이상으로 나와 청주보다는 더 많이 일치하는 것을 알 수 있다.

청주와 마찬가지로 강수량 위험단계는 관심이 가장 많았고 선정된 날 중 피해가 발생하지 않은 경우(-)가 대부분이었다. 청주, 충주의 결과를 다음과 같이 표와 그래프로 정리해보았다. 이를 바탕으로 청주, 충주의 강수 임계 값 보정을 실시한다.

표 3.20 강수량 위험단계 예측 결과(청주)

	청주					
	청주	우암산	상당	대청	청남대	오창
과대	5	7	17	11	10	7
과소	8	7	6	6	7	8
일치	1	2	2	0	0	2

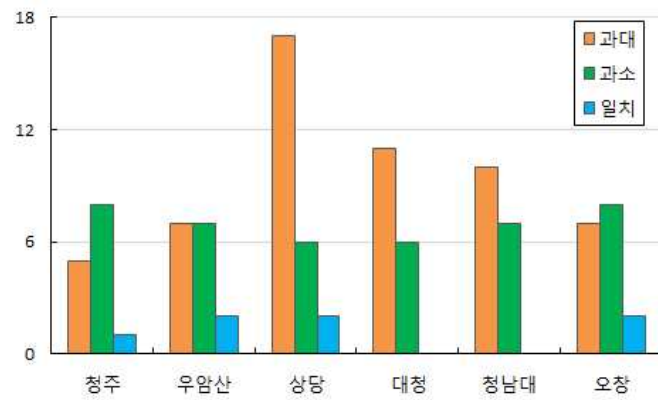


그림 3.3 청주

표 3.21 강수량 위험단계 예측 결과(충주)

	충주			
	충주	수안보	노은	엄정
과대	5	7	17	11
과소	8	7	6	6
일치	1	2	2	0

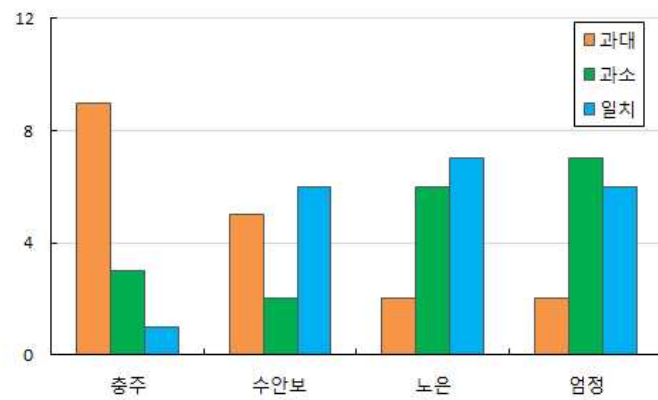


그림 3.4 충주

3. 임계 값 보정

강수로 인한 위험단계와 재해피해액 기반 위험단계를 비교 임계 값 보정을 실시한다. 임계 값 보정 식은 다음과 같다.

$$t_i = t_a + (t_b - t_a) \times \left(1 + \frac{x_i}{n_a}\right)$$

t_b =보정할 임계값(해당 단계) x =임계값 기준 위험수준-피해액기준 위험수준
 t_b =임계값(해당 단계) n_a =임계기준 위험수준의 총 사례(이전단계)
 t_a =임계값(이전 단계) n_a =임계기준 위험수준의 총 사례(이전단계)

보정 식에 따라 청주, 충주 모든 지점의 임계 값을 조정해보았다. 임계 값 조정 시 산정된 날 중 피해액 위험단계가 (-)인, 즉 피해가 발생하지 않은 날은 제외하고 계산하였다. 다음은 주의 임계 값을 보정하는 단계이다.

기상값	임계값	피해액	차이	보정
31	관심	0	1	
56	관심	주의	-1	40.375
29.5	관심	주의	-1	
37.5	관심	주의	-1	
43	관심	주의	-1	
16.5	관심	주의	-1	
40	관심	0	1	
42.5	관심	경계	-2	

그림 3.5 임계값 보정 계산 예시

이와 같은 방법으로 청주, 충주 모든 지점의 임계 값을 보정한 결과를 표로 나타내었다.

표 3.22 임계값 보정 전후 비교

지점	보정 전				보정 후			
	관심	주의	경계	심각	관심	주의	경계	심각
청주	28	61	97	176	28	43	133	176
우암산	28	61	97	176	28	40	97	176
상당	28	61	97	176	28	61	104	176
대청	28	61	97	176	28	32	97	176
청남대	28	61	97	176	28	40	97	176
오창	28	61	97	176	28	32	97	176

충주	30	64	97	165	30	47	72	165
수안보	30	64	97	165	30	70	97	165
노은	30	64	97	165	30	73	97	165
엄정	30	64	97	165	30	64	97	165

대부분 청주 지점에서는 피해액 위험단계는 주의 이지만 강수 위험단계는 관심으로 과소예측이기 때문에 주의 임계 값을 낮췄다.

충주 지점은 대부분 강수 위험단계와 피해액 위험단계가 일치하여 임계 값이 수정 되어도 결과에는 영향을 미치지 않아 보정 후 임계 값 결과표에는 생략하였다.

청주 지점의 보정된 임계 값의 결과는 다음의 표와 그래프로 나타내었다.

표 3.23 임계 값 보정 결과

청주ASOS				우암산AWS			
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계	날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계
20160413	24.8		-	20160413	26	-	-
20160416	21.1		-	20160416	20.5	-	-
20160421	21.2		-	20160421	18	-	-
20160624	24.9		-	20160524	19.5	-	-
20160701	34.7	관심		20160624	24	-	-
20160704	101.1	경계	주의	20160701	31	관심	0
20160705	22.2			20160704	103	경계	주의
20160706	20.3			20160705	23	-	0
20160716	17.6		-	20160716	23.5	-	-
20160809	22.4		-	20160831	16.5	-	-
20160917	24.9		-	20160917	24	-	-
20170703	97.5	경계	주의	20161003	19.5	-	-
20170704	26.8		주의	20170417	24	-	-
20170706	26.4		주의	20170703	56	주의	주의
20170708	31.4	관심	주의	20170704	29.5	관심	주의
20170709	31.7	관심	주의	20170708	37.5	관심	주의
20170710	31.8	관심	주의	20170709	43	주의	주의
20170716	288.6	심각	심각	20170710	16.5	관심	주의
20170724	20.1			20170716	271	심각	심각
20170725	21.2		주의	20170724	40	주의	0
20170728	47.1	주의	주의	20170725	21.5	-	주의
20170731	36.2	관심	경계	20170728	62	주의	주의
20170809	22.4		-	20170731	42.5	주의	경계
20170814	32	관심	-	20170806	64.5	주의	-
20170821	21.4		-	20170809	23	-	-

				<table><tr><td>20170814</td><td>22.5</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>20170821</td><td>15</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>20170824</td><td>49</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20170828</td><td>23.5</td><td>-</td><td>-</td></tr><tr><td>20170911</td><td>33.5</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20170927</td><td>38.5</td><td>관심</td><td>-</td></tr></table>				20170814	22.5	-	-	20170821	15	-	-	20170824	49	관심	-	20170828	23.5	-	-	20170911	33.5	관심	-	20170927	38.5	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																
20170814	22.5	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170821	15	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170824	49	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170828	23.5	-	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170911	33.5	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170927	38.5	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
상당AWS				대청AWS																																																																																																																																																																																																																																																																																											
<table><tr><th>날짜</th><th>6시간 최대강수</th><th>강수량 위험단계</th><th>피해액 위험단계</th></tr><tr><td>20160413</td><td>31</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20160416</td><td>19.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160417</td><td>21.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160421</td><td>24.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160503</td><td>21.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160510</td><td>14</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160524</td><td>19</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160624</td><td>23</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160701</td><td>36.5</td><td>관심</td><td>0</td></tr><tr><td>20160704</td><td>115</td><td>경계</td><td>주의</td></tr><tr><td>20160705</td><td>29.5</td><td>관심</td><td>0</td></tr><tr><td>20160706</td><td>23</td><td></td><td>0</td></tr><tr><td>20160716</td><td>36.5</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20160730</td><td>29.5</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20160831</td><td>22</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160901</td><td>13.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160917</td><td>30</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20161007</td><td>19.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20161008</td><td>21.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20170406</td><td>19.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20170417</td><td>19.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20170628</td><td>33.5</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20170701</td><td>30.5</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20170702</td><td>61</td><td>주의</td><td>주의</td></tr><tr><td>20170703</td><td>47</td><td>관심</td><td>주의</td></tr><tr><td>20170704</td><td>37</td><td>관심</td><td>주의</td></tr><tr><td>20170708</td><td>21.5</td><td></td><td>주의</td></tr><tr><td>20170710</td><td>19.5</td><td></td><td>주의</td></tr><tr><td>20170714</td><td>33</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20170716</td><td>258</td><td>심각</td><td>심각</td></tr><tr><td>20170717</td><td>21.5</td><td></td><td>주의</td></tr><tr><td>20170724</td><td>64.5</td><td>주의</td><td>0</td></tr><tr><td>20170725</td><td>27.5</td><td></td><td>주의</td></tr><tr><td>20170728</td><td>78.5</td><td>주의</td><td>주의</td></tr><tr><td>20170731</td><td>70</td><td>주의</td><td>경계</td></tr><tr><td>20170809</td><td>25</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20170814</td><td>16.5</td><td></td><td>-</td></tr></table>				날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계	20160413	31	관심	-	20160416	19.5		-	20160417	21.5		-	20160421	24.5		-	20160503	21.5		-	20160510	14		-	20160524	19		-	20160624	23		-	20160701	36.5	관심	0	20160704	115	경계	주의	20160705	29.5	관심	0	20160706	23		0	20160716	36.5	관심	-	20160730	29.5	관심	-	20160831	22		-	20160901	13.5		-	20160917	30	관심	-	20161007	19.5		-	20161008	21.5		-	20170406	19.5		-	20170417	19.5		-	20170628	33.5	관심	-	20170701	30.5	관심	-	20170702	61	주의	주의	20170703	47	관심	주의	20170704	37	관심	주의	20170708	21.5		주의	20170710	19.5		주의	20170714	33	관심	-	20170716	258	심각	심각	20170717	21.5		주의	20170724	64.5	주의	0	20170725	27.5		주의	20170728	78.5	주의	주의	20170731	70	주의	경계	20170809	25		-	20170814	16.5		-	<table><tr><th>날짜</th><th>6시간 최대강수</th><th>강수량 위험단계</th><th>피해액 위험단계</th></tr><tr><td>20160413</td><td>28</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20160416</td><td>41.5</td><td>주의</td><td>-</td></tr><tr><td>20160421</td><td>26.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160503</td><td>16.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160510</td><td>14</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160524</td><td>20</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160624</td><td>23</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20160701</td><td>36.5</td><td>주의</td><td>0</td></tr><tr><td>20160704</td><td>116</td><td>경계</td><td>주의</td></tr><tr><td>20160705</td><td>22.5</td><td></td><td>0</td></tr><tr><td>20160706</td><td>17</td><td></td><td>0</td></tr><tr><td>20160716</td><td>28.5</td><td>관심</td><td>-</td></tr><tr><td>20160917</td><td>40</td><td>주의</td><td>-</td></tr><tr><td>20161007</td><td>25.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20161008</td><td>20</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20170417</td><td>23.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20170701</td><td>18.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20170702</td><td>58.5</td><td>주의</td><td>주의</td></tr><tr><td>20170703</td><td>40</td><td>주의</td><td>주의</td></tr><tr><td>20170704</td><td>34.5</td><td>주의</td><td>주의</td></tr><tr><td>20170708</td><td>46</td><td>주의</td><td>주의</td></tr><tr><td>20170709</td><td>28</td><td>관심</td><td>주의</td></tr><tr><td>20170710</td><td>13</td><td></td><td>주의</td></tr><tr><td>20170715</td><td>20</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20170716</td><td>57.5</td><td>주의</td><td>심각</td></tr><tr><td>20170809</td><td>37</td><td>주의</td><td>-</td></tr><tr><td>20170814</td><td>41</td><td>주의</td><td>-</td></tr><tr><td>20170821</td><td>23.5</td><td></td><td>-</td></tr><tr><td>20170828</td><td>60.5</td><td>주의</td><td>-</td></tr><tr><td>20170911</td><td>67</td><td>주의</td><td>-</td></tr><tr><td>20170927</td><td>24.5</td><td></td><td>-</td></tr></table>				날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계	20160413	28	관심	-	20160416	41.5	주의	-	20160421	26.5		-	20160503	16.5		-	20160510	14		-	20160524	20		-	20160624	23		-	20160701	36.5	주의	0	20160704	116	경계	주의	20160705	22.5		0	20160706	17		0	20160716	28.5	관심	-	20160917	40	주의	-	20161007	25.5		-	20161008	20		-	20170417	23.5		-	20170701	18.5		-	20170702	58.5	주의	주의	20170703	40	주의	주의	20170704	34.5	주의	주의	20170708	46	주의	주의	20170709	28	관심	주의	20170710	13		주의	20170715	20		-	20170716	57.5	주의	심각	20170809	37	주의	-	20170814	41	주의	-	20170821	23.5		-	20170828	60.5	주의	-	20170911	67	주의	-	20170927	24.5		-
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160413	31	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160416	19.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160417	21.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160421	24.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160503	21.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160510	14		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160524	19		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160624	23		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160701	36.5	관심	0																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160704	115	경계	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160705	29.5	관심	0																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160706	23		0																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160716	36.5	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160730	29.5	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160831	22		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160901	13.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160917	30	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20161007	19.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20161008	21.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170406	19.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170417	19.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170628	33.5	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170701	30.5	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170702	61	주의	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170703	47	관심	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170704	37	관심	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170708	21.5		주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170710	19.5		주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170714	33	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170716	258	심각	심각																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170717	21.5		주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170724	64.5	주의	0																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170725	27.5		주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170728	78.5	주의	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170731	70	주의	경계																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170809	25		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170814	16.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160413	28	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160416	41.5	주의	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160421	26.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160503	16.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160510	14		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160524	20		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160624	23		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160701	36.5	주의	0																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160704	116	경계	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160705	22.5		0																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160706	17		0																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160716	28.5	관심	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20160917	40	주의	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20161007	25.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20161008	20		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170417	23.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170701	18.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170702	58.5	주의	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170703	40	주의	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170704	34.5	주의	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170708	46	주의	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170709	28	관심	주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170710	13		주의																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170715	20		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170716	57.5	주의	심각																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170809	37	주의	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170814	41	주의	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170821	23.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170828	60.5	주의	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170911	67	주의	-																																																																																																																																																																																																																																																																																												
20170927	24.5		-																																																																																																																																																																																																																																																																																												

20170815	39	관심	-
20170817	24.5		-
20170821	17		-
20170824	63	주의	-
20170828	28	관심	-
20170911	40.5	관심	-
20170927	38.5	관심	-

청남대AWS			
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계
20160413	26		-
20160416	21.5		-
20160417	33	관심	-
20160421	27.5		-
20160503	16.5		-
20160524	19.5		-
20160624	25.5		-
20160701	32.5	관심	0
20160704	99	경계	주의
20160705	24.5		0
20160706	38.5	관심	0
20160716	33	관심	-
20160917	54.5	주의	-
20160927	20.5		-
20161007	27		-
20161008	21.5		-
20170417	24.5		-
20170628	20.5		-
20170701	13.5		-
20170702	45	주의	주의
20170703	36.5	관심	주의
20170704	36	관심	주의
20170708	57.5	주의	주의
20170709	28	관심	주의
20170715	22.5		-
20170724	21.5		0
20170728	23		주의
20170731	55	주의	경계
20170809	55.5	주의	-
20170814	39	관심	-
20170815	26		-
20170828	33.5	관심	-
20170911	84	주의	-
20170927	25.5		-

오창AWS			
날짜	6시간 최대강수	강수량 위험단계	피해액 위험단계
20160413	19.5		-
20160416	33	주의	-
20160421	14.5		-
20160503	16		-
20160624	30	관심	-
20160701	39.5	주의	0
20160704	63	주의	주의
20160705	45	주의	0
20160716	20		-
20160730	19		-
20160802	55	주의	-
20160831	19		-
20160917	19		-
20170628	27.5		주의
20170703	27.5		주의
20170704	50.5	주의	주의
20170708	45	주의	주의
20170709	25.5		주의
20170710	33.5	주의	심각
20170716	221	심각	0
20170724	48.5	주의	주의
20170728	80	주의	주의
20170731	50.5	주의	경계
20170809	24		-
20170814	25		-
20170821	25.5		-
20170824	25		-
20170828	30.5	관심	-
20170911	23		-

표 3.24 임계값 보정 전후 비교 (청주)

보정 전						
	청주	우암산	상당	대청	청남대	오창
과대	5	7	17	11	10	7
과소	8	7	6	6	7	8
일치	1	2	2	0	0	2

보정 후						
	청주	우암산	상당	대청	청남대	오창
과대	5	7	17	11	10	7
과소	7	4	6	2	5	6
일치	2	5	2	4	2	4

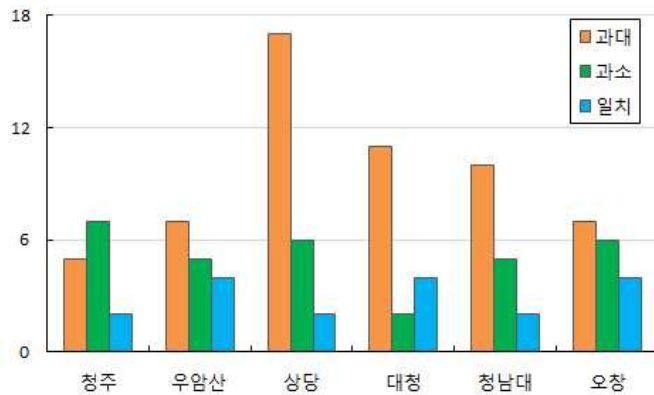


그림 3.6 보정 후 청주 그래프

상당을 제외 하고는 모든 지점에서 과소가 줄어들고 일치 개수가 늘어났고 대청AWS는 일치 개수가 0에서 4로 가장 많이 증가했음을 알 수 있다.

여기엔 몇 가지 한계점이 있다. 공공시설과 사유시설피해액을 포함한 피해액이 하루 단위가 아닌 이틀이상의 기간으로 통합되어 산출되는 경우가 있어 하루 단위인 강수 위험단계와 비교하는 것이 타당한지 의문이 있다. 그리고 강수 피해 집계일이 7일을 넘길 경우 강수량에 비례하여 피해액을 산정하는데 피해 집계일이 이틀 이상인 경우에도 추가적인 조치가 필요하고 전날부터 이어진 강수가 원인이 되어 피해가 발생한 경우도 있을 수 있기 때문에 6시간 누적강수 최댓값에 전날 시작한 강수를 제외하는지 포함시키는지에 대한 논의도 필요하다고 생각한다. 같은 누적강수 값을 가져도 피해 발생 수준이 다르기 때문에 재해 피해액 기반 위험단계를 조정할 필요가 있다.

제4장 충청북도 수위 분석

제 1절 충북지역 강수

1. 배경

호우 영향예보에 이어 추가적으로 분석을 실시해보았다. 비가 많이 오면 하천의 수위가 늘어난다는 당연한 논리에 입각하여 충북지역 강수량에 따른 수위 예측을 분석하기로 하였다. 그에 앞서 충북지역 관할지역(청주, 충주, 제천, 보은, 단양, 진천, 괴산, 옥천, 영동, 음성, 증평)의 수위계와 강수량 자료를 사용하여 강수와 수위의 회귀 분석을 통해 상관계수와 회귀 식을 구하여 단순 분석하기로 했다.

수위 자료는 금강홍수통제소와 한강홍수통제소에서 제공 받았고 강수 자료는 AWS, ASOS 자료를 이용하였다.

자료는 2008년에서 2017년까지의 자료를 사용하였고 날짜 선정은 일 강수 50mm 이상인 날로 선정하였다.

2. 분석

1.1. 청주

금강 홍수통제소 관할 청주의 수위계(미호교, 북일, 석화, 오창, 용평교, 흥덕교) 지점과 청주의 강수량계(청주ASOS, 상당AWS, 대청AWS, 오창AWS, 청남대AWS)의 단순 상관계수를 구해보았다.

표 4.1 상관계수-청주

강수량계	수위계					
	미호교	북일	석화	오창	용평교	흥덕교
청주	-0.05	0.04	-0.01	0.10	0.22	0.32
상당	-0.01	0.06	0.01	0.11	0.31	0.37
대청	-0.06	0.01	-0.02	0.04	0.16	0.22
오창	-0.03	0.02	-0.01	0.06	0.10	0.23
청남대	0.07	0.03	0.05	0.05	0.17	0.24

먼저 모든 AWS에서 흥덕교 수위계와 상관관계가 가장 높게 나왔고 미호교, 석화는 음의 값으로 분석이 무의미하다고 할 수 있다. 수위계를 기준으로 복일, 오창, 용평교, 흥덕교 수위계는 상당AWS와 가장 상관성이 높게 나왔다. 이 결과를 바탕으로 흥덕교 수위는 청주 모든 강수량계와 용평교 수위는 청주, 상당 강수량계와 각각 회귀 분석을 실시하였다. 독립변수는 강수량, 종속변수는 수위가 되겠다. 다중 상관계수와 회귀식 결과는 아래와 같이 표로 정리하였다.

표 4.2 회귀분석-청주

수위계	다중 상관계수	회귀 식
흥덕교	0.324	$1.368549 + 0.02385 \cdot \text{청주ASOS}$
	0.369	$1.397945 + 0.025497 \cdot \text{상당AWS}$
	0.218	$1.403411 + 0.019657 \cdot \text{대청AWS}$
	0.225	$1.319084 + 0.018218 \cdot \text{오창AWS}$
	0.243	$1.350055 + 0.0204 \cdot \text{청남대AWS}$
용평교	0.223	$1.311026 + 0.015579 \cdot \text{청주ASOS}$
	0.313	$1.189839 + 0.019707 \cdot \text{상당AWS}$

1.2 충주

한강 홍수통제소 관할 충주의 수위계(국원대교, 목계교, 문강교, 탄금교) 지점과 충주 ASOS 간의 단순 상관계수를 구해보았다.

표 4.3 상관계수-충주

강수량계	수위계			
	국원대교	목계교	문강교	탄금교
충주	-0.12	-0.03	0.29	0.01

상관계수 결과 충주ASOS와 문강교의 상관계수가 0.29로 가장 높게 나왔고 탄금교는 0.01 국원대교와 목계교는 음의 값으로 충주ASOS와 각 다리의 수위는 관련이 거의 없다고 할 수 있다. 충주ASOS 강수에 따른 문강교 수위의 회귀분석 결과는 다음과 같다.

표 4.4 회귀분석-충주

수위계	다중 상관계수	회귀 식
문강교	0.293	$1.629525 + 0.029277 \cdot \text{충주ASOS}$

1.3 제천, 단양

한강 홍수통제소 관할 제천의 수위계(구곡교, 부수동교, 팔송교) 자료와 단양의 수위계(가대교, 단양1교, 덕천교) 중 덕천교를 제외한 모든 자료가 온전히 존재하지 않아 분석을 할 수 없었다. 그리고 단양 AWS와 덕천교 수위의 단순 상관관계를 구했을 때 그 값이 -0.06으로 분석이 무의미하고 다른 수위계나 강수량계 자료가 필요하다고 생각된다.

1.4 보은

금강 홍수통제소 관할 보은의 수위계(기대교, 대양, 산성, 이평, 탄부) 자료와 보은 ASOS 강수량간의 각각 상관관계를 구해보았다.

표 4.5 상관계수-보은

강수량계	수위계				
	기대교	대양	산성	이평	탄부
보은	-0.04	-0.02	0.05	0.06	-0.01

보은ASOS 강수와 기대교, 대양, 탄부의 수위는 음의 상관계수를 가지며 산성, 이평 수위는 각각 0.05, 0.06으로 매우 낮은 상관성을 보인다. 이 두지점과 보은ASOS 강수량의 회귀식을 아래의 표에 나타내었다.

표 4.6 회귀분석-보은

수위계	다중 상관계수	회귀 식
산성	0.077	$1.456277 + 0.005003 * \text{보은ASOS}$
이평	0.106	$0.824364 + 0.005807 * \text{보은ASOS}$

1.5 진천

금강 홍수통제소 관할 진천의 수위계(가산교, 덕산, 오갑, 진천, 초평) 자료와 진천 AWS 강수량간의 각각 상관관계를 구해보았다.

표 4.7 상관계수-진천

강수량계	수위계				
	가산교	덕산	오갑	진천	초평
진천	0.062	0.111	-0.005	0.122	-0.159

진천AWS 강수와 오갑, 초평 수위는 음의 상관계수를 가지며 가산교, 덕산, 진천 수위는 각각 0.06, 0.11, 0.12 로 진천이 가장 높은 값을 가지지만 세 지점 모두 매우 낮은 상관성을 보인다. 이 세 지점과 진천AWS 강수량의 회귀식을 아래의 표에 나타내었다.

표 4.8 회귀분석-진천

수위계	다중 상관계수	회귀 식
가산교	0.062	$1.543526 + 0.000722 \cdot \text{진천AWS}$
덕산	0.111	$1.334888 + 0.004754 \cdot \text{진천AWS}$
진천	0.122	$0.95462 + 0.003763 \cdot \text{진천AWS}$

1.6 괴산

한강 홍수통제소 관할 괴산의 수위계(목도교, 비도교, 수전교, 추산교) 자료와 괴산 AWS 강수량간의 각각 상관관계를 구해보았다.

표 4.9 상관계수-괴산

강수량계	수위계			
	목도교	비도교	수전교	추산교
괴산	-0.07	0.05	-0.07	-0.004

괴산AWS 강수와 목도교, 수전교, 추산교 수위는 음의 상관계수를 가지며 비도교 수위와는 0.05로 가장 높은 값을 가지지만 매우 낮은 상관성을 보인다. 비도교 수위와 괴산AWS 강수량의 회귀식을 아래의 표에 나타내었다.

표 4.10 회귀분석-괴산

수위계	다중 상관계수	회귀 식
문강교	0.021	$0.95462 + 0.003763 \cdot \text{괴산AWS}$

1.7 옥천

금강 홍수통제소 관할 옥천의 수위계(산계, 옥각) 자료와 옥천AWS 강수량간의 각각 상관관계를 구해보았다.

표 4.11 상관계수-옥천

강수량계	수위계	
	산계	옥각
옥천	0.09	0.24

옥천AWS 강수와 산계, 옥각의 수위는 각각 0.09, 0.24로 산계보다는 옥각 수위가 옥천 AWS와 더 상관성이 높게 나왔다.

옥각 수위와 옥천AWS의 회귀식은 다음과 같다.

표 4.12 회귀분석-옥천

수위계	다중 상관계수	회귀 식
옥각	0.247	$1.125418 + 0.031607 \cdot \text{옥천AWS}$

1.8 영동

금강 홍수통제소 관할 영의 수위계(계산, 백화, 심천, 양강, 영동, 황간) 자료와 영동 AWS 강수량간의 각각 상관관계를 구해보았다.

표 4.13 상관계수-영동

강수량계	수위계					
	계산	백화	심천	양강	영동	황간
영동	0.154	0.03	-0.04	-0.04	0.03	0.04

영동AWS와 계산 수위계의 상관계수가 0.15로 가장 높은 값이 나왔다. 심천, 양강의 상관계수는 음의 값을 가지고 백화, 영동, 황간은 0.1 미만으로 매우 낮은 상관성을 보인다. 계산 수위와 영동AWS의 회귀식은 다음과 같다.

표 4.14 회귀분석-영동

수위계	다중 상관계수	회귀 식
계산	0.171	$1.313404 + 0.012687 * \text{영동AWS}$

1.9 음성

금강 홍수통제소 관할 음성의 수위계(총천교) 자료와 음성AWS 강수량간의 상관계수와 회귀분석 결과인 다중 상관계수와 회귀식은 다음과 같다.

표 4.15 상관계수-음성

강수량계	수위계
	총천
음성	0.12

표 4.16 회귀분석-음성

수위계	다중 상관계수	회귀 식
총천	0.118	$1.455513 + 0.005108 * \text{음성AWS}$

1.10 증평

금강 홍수통제소 관할 증평의 수위계(증평) 자료와 증평AWS 강수량간의 상관계수와 회귀분석 결과인 다중 상관계수와 회귀식은 다음과 같다.

표 4.17 상관계수-증평

강수량계	수위계
	증평
증평	0.01

표 4.18 회귀분석-증평

수위계	다중 상관계수	회귀 식
증평	0.036	$1.278146 + 0.002712 * \text{증평AWS}$

3. 결과 및 제언

금강홍수통제소, 한강홍수통제소의 충북지역 관할 수위계와 기상청 ASOS, AWS를 비교 분석 하였다. 그러나 단양의 경우 가대교, 단양1교의 자료는 아예 없었고 이외에도 중간에 빠진 자료가 많아 신뢰하기 어려운 자료였다.

기상청 AWS와 ASOS 자료만으로는 거리, 위치상 수위계와 비교 분석하기에는 한계점이 있기 때문에 먼저 기상청 이외 충북 내 여러 관할구역들의 강수계를 조사하기로 한다. 각각의 위치를 분석한 후 수위계에 가장 큰 영향을 끼치는 강수계들 선정하여 재 비교·분석하기로 한다.

제 2절 강수-수위 분석

1. 배경

앞서 충북지역 주요 하천의 수위와 강수량 분석을 실시하였다. 이는 약 10년 동안 전체 자료의 단순 회귀분석으로 좀 더 자세한 강수-수위 분석을 위해서 집중호우가 있었던 특정 사례를 선정하여 해당 일자에 대한 분석을 실시하기로 했다.

2017년 7월 16일 청주시에 290mm 이상의 집중호우가 있었다. 괴산댐 상류의 집중호우로 인한 방류, 가경천(무심천) 범람으로 인한 도심 침수 등 주요 하천 수위의 급상승으로 피해를 입었다.



괴산댐 상류의 집중호우로 인한 방류



가경천 범람으로 인한 도심 침수

그림 4.1 7.16 집중호우 피해사진

이를 바탕으로 앞으로의 이와 같은 기상 악화 상황 시 침수피해 최소화에 기여하기 위하여 주요 하천의 수위와 강수량의 상관관계 분석을 실시하였다.

Q-GIS 2.18을 사용하여 수치고도 모델자료, 하천자료, URL_API를 이용하여 충북지방의 국가하천, 여러 기관들의 관할 수위계, 강수계 등을 표시한 지도를 표출하여 각 주요 하천에 직접적인 영향을 주는 수위계를 선정하였다.

분석 지점은 충청북도 주요 하천의 수위계(9개 구역)으로 금강, 한강 홍수통제소의 수위자료와 기상청, 유관기관의 강수량 자료를 이용하였다.

자료 기간은 2015년~2018년 5월~9월 강수량과 수위자료를 10분 단위로 확보하여 집중 호우가 있었던 날 중 수위와 강수 관계를 가장 잘 나타낼 수 있는 날을 선정하였다. 선정된 날의 자료를 이용해 시간 그래프를 그려 강수와 수위 관계를 파악하기로 한다.

2. 분석

1.1 영동

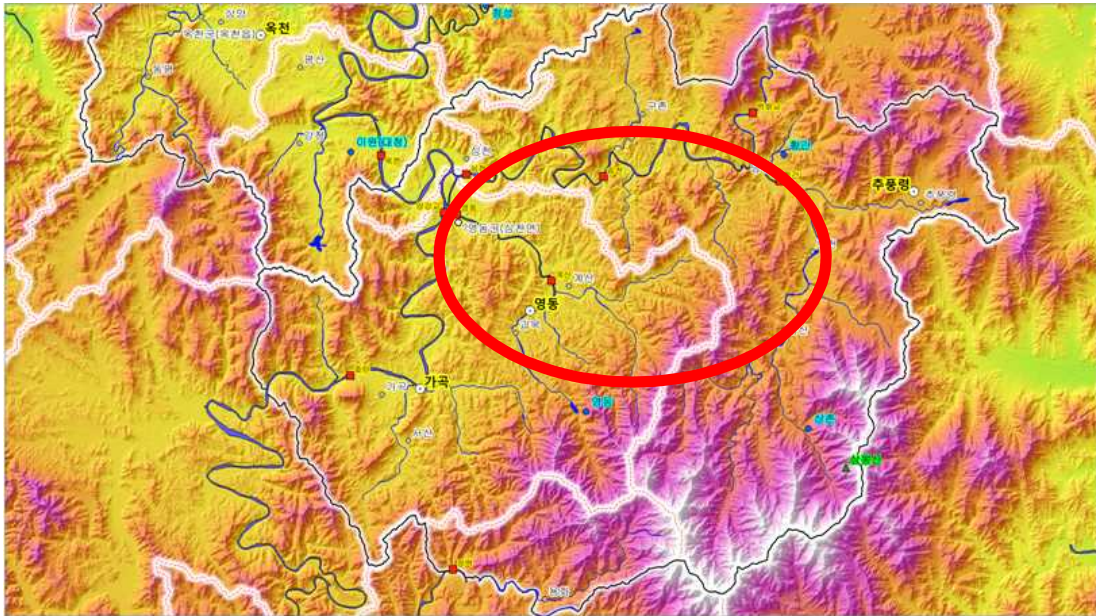


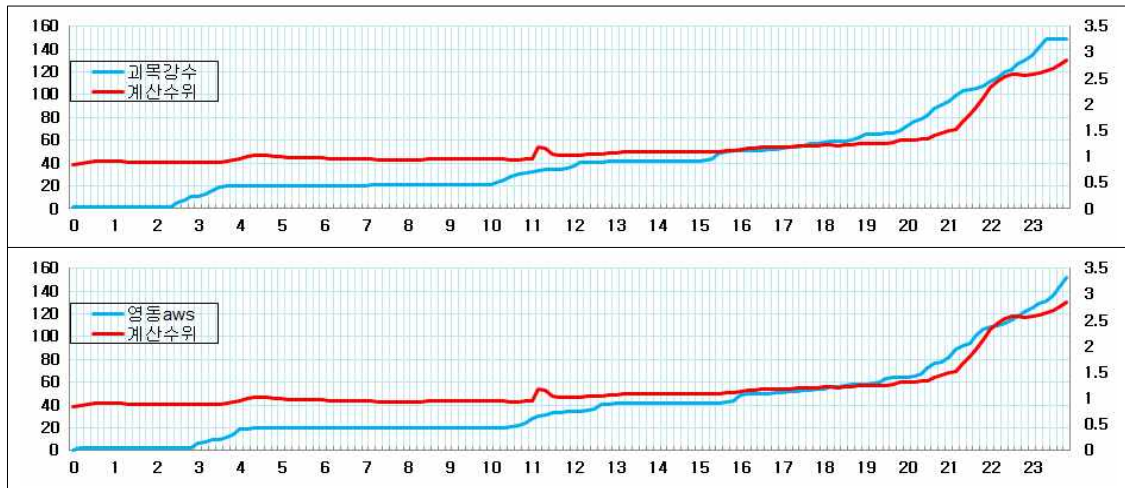
그림 4.2 충북 영동군의 계산 수위 지점

영동지역의 충청북도 관할 계산 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 수자원공사 관할인 영동 강수계와 충청북도 관할 괴목 강수계, 기상청 영동 AWS를 선정하였다.

선정된 일자는 2018년 8월 26일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.19 강수-수위 그래프(계산)





21시를 보면 수위가 급상승함을 알 수 있다. 지도상 위치에서 상대적으로 계산 수위 계와 가까운 영동AWS 강수를 보면 강수량이 급격히 증가하는 20시와 수위의 급상승 시간의 간격이 1시간이 안되게 나타나므로 가장 짧음을 알 수 있다. 그 다음으로 가까운 괴목 강수와 수위 급상승 시간의 간격이 약 1시간 10분으로 두 번째로 짧고 멀리 떨어져 있는 영동 강수는 계산 수위에 크게 영향을 미치지 않는다고 할 수 있다.

1.2 옥천 (항간)

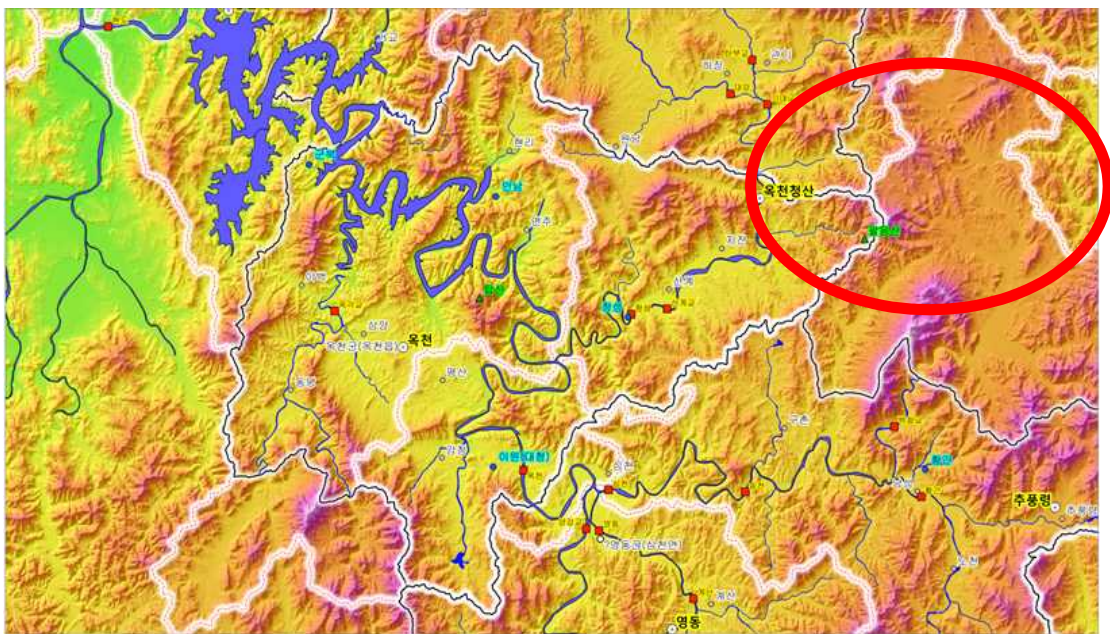
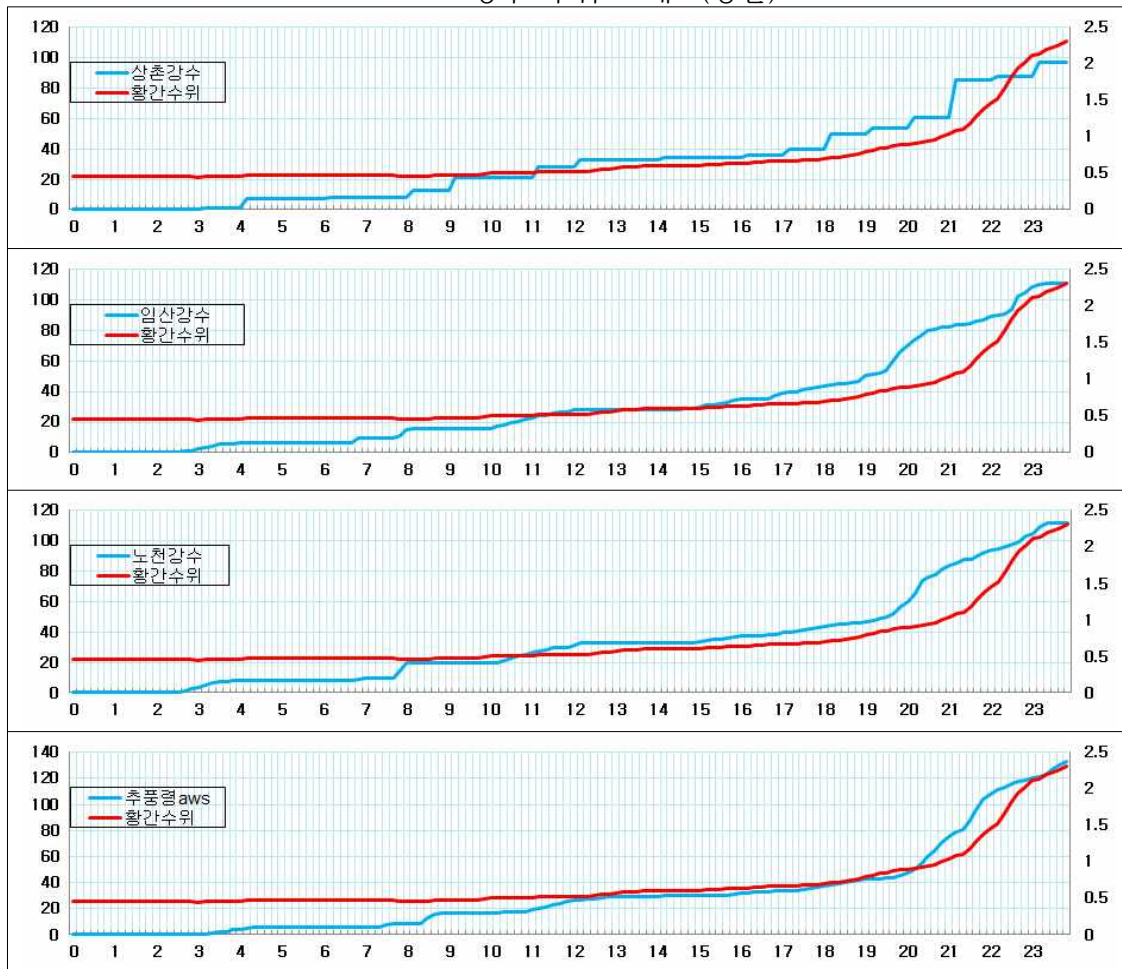


그림 4.3 충북 옥천군의 항간 수위지점

옥천의 수자원공사 관할 황간 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 상촌 강수계, 임산 강수계, 충청북도의 노천 강수계, 기상청 추풍령 AWS를 선정하였다.

선정된 일자는 2018년 8월 26일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.20 강수-수위 그래프(황간)



21시 30분경 수위가 급상승함을 알 수 있다. 지도상 위치에서 황간 수위계와 추풍령 aws, 노천 강수계간의 거리가 비슷해 보이지만 그래프에서 강수량 증가에 따른 수위 상승 시간을 보면 노천 강수와 수위는 약 두 시간, 추풍령aws 강수와 수위는 약 한 시간으로 추풍령aws의 영향을 더 받음을 알 수 있다. 이는 거리는 비슷하더라도 지대 높낮이 차이로 인한 유속 때문임을 알 수 있다. 임산 강수는 황간 수위와 약 세 시간 간격이고 상촌 강수는 황간 수위에 영향을 끼치지 않는다고 보인다.

1.3 옥천 (산계)

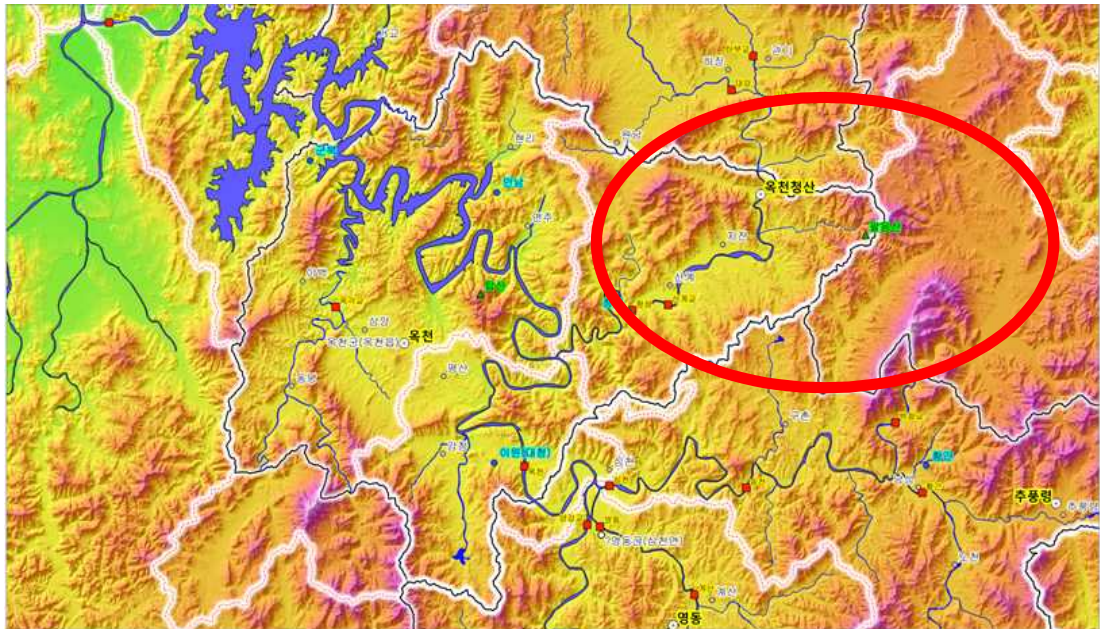
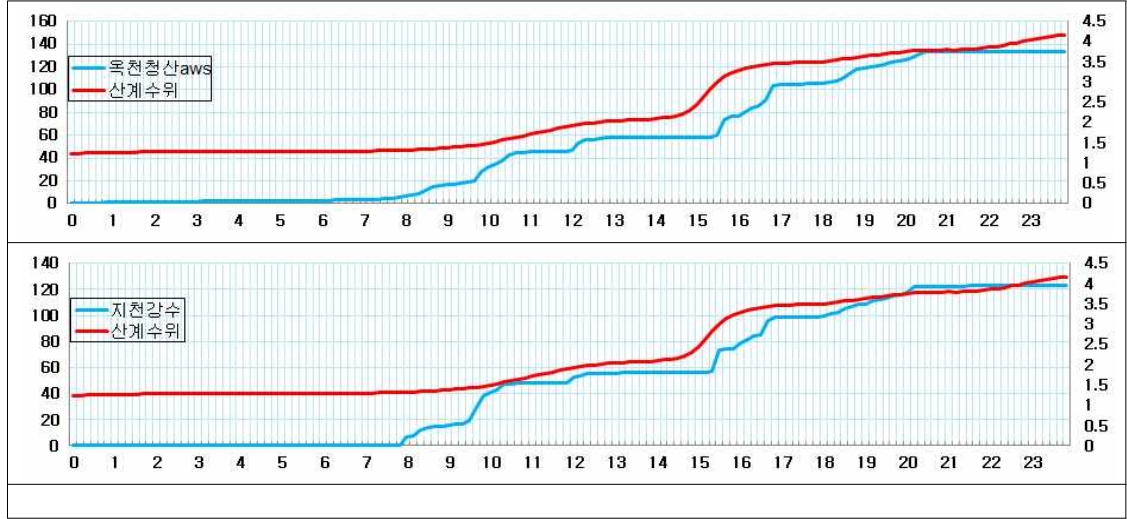


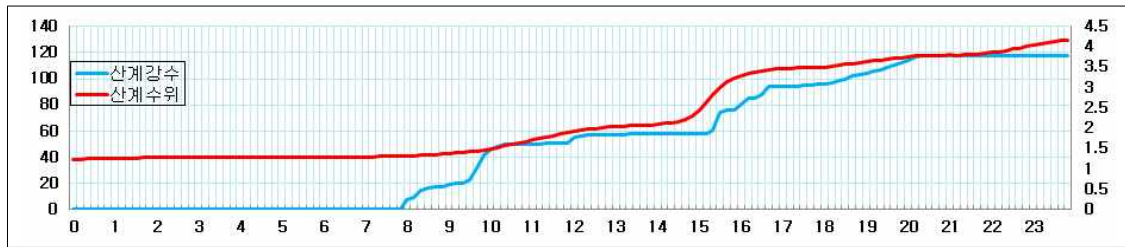
그림 4.4 충북 옥천군의 산계 수위 지점

옥천의 충청북도 관할 하간 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 충청북도 관할인 지천 강수계와 산계 강수계, 기상청 옥천청산 AWS를 선정하였다.

선정된 일자는 2016년 7월 4일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.21 강수-수위 그래프(산계)





산계수위가 서서히 증가 하다가 15시경 급상승하는 그래프를 보인다. 산계 수위계와 거리가 가까운 순으로는 산계, 지천, 옥천청산aws이며 세 강수계 모두 8시경 강수가 시작하여 오후까지 꾸준히 왔음을 알 수 있다. 이 경우의 산계 수위는 세 지점의 강수의 시간차가 크지 않고 꾸준히 내린 비가 옥천청산, 지천, 산계 순으로 위에서부터 흘러와 모여 수위가 상승했다고 해석할 수 있다.

1.4 증평

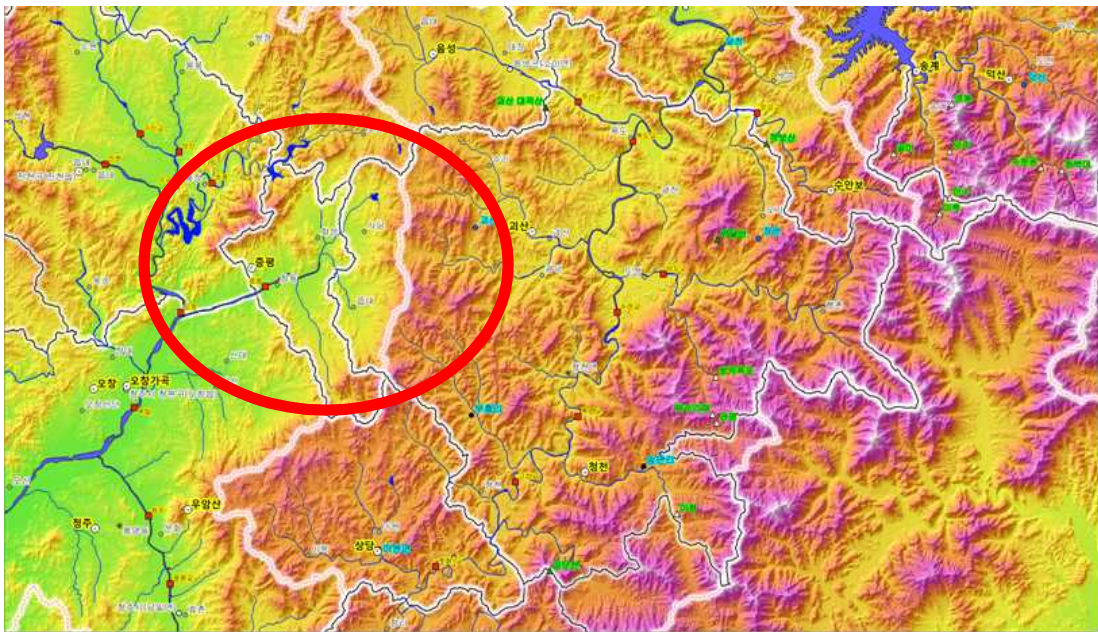
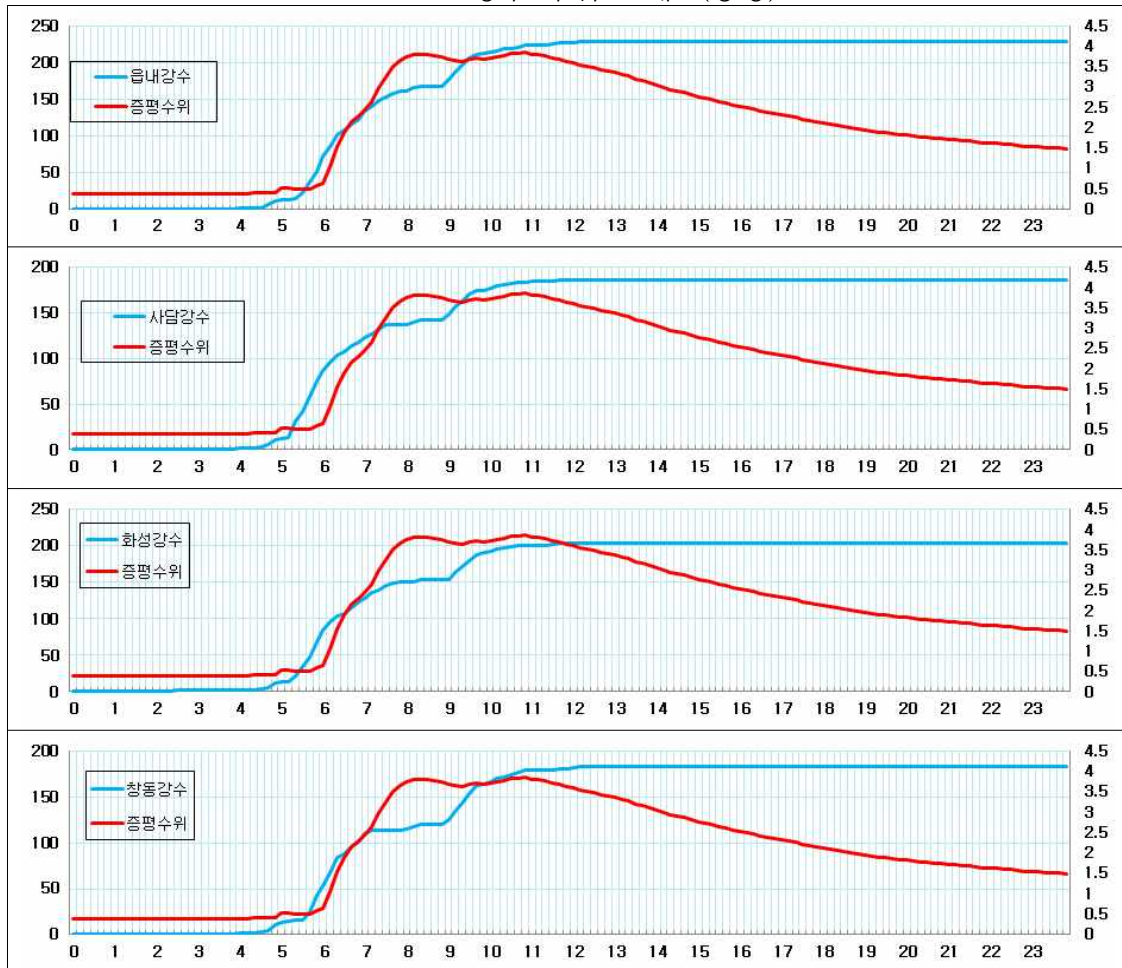


그림 4.5 충북 증평군의 증평 수위 지점

증평의 충청북도 관할 증평 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 충청북도 관할인 읍내 강수계, 사담 강수계, 화성 강수계, 창동 강수계를 선정하였다.

선정된 일자는 2017년 7월 16일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.22 강수-수위 그래프(증평)



증평 수위가 6시에서 7시 사이 한시간만에 약 3m가 급격히 상승한다.

증평 수위계와 가장 가까이 위치한 창동 강수 그래프를 살펴보면 5시 30분 쯤 시작된 집중호우로 인해 30분 만에 수위의 급상승이 나타난다. 수위계와 가장 멀리 위치한 사담 강수계 역시 비가 내리고 수위 급상승까지의 시간이 한 시간 남짓으로 이러한 경우에는 도심 침수 피해로 이어질 수 있다.

1.5 진천

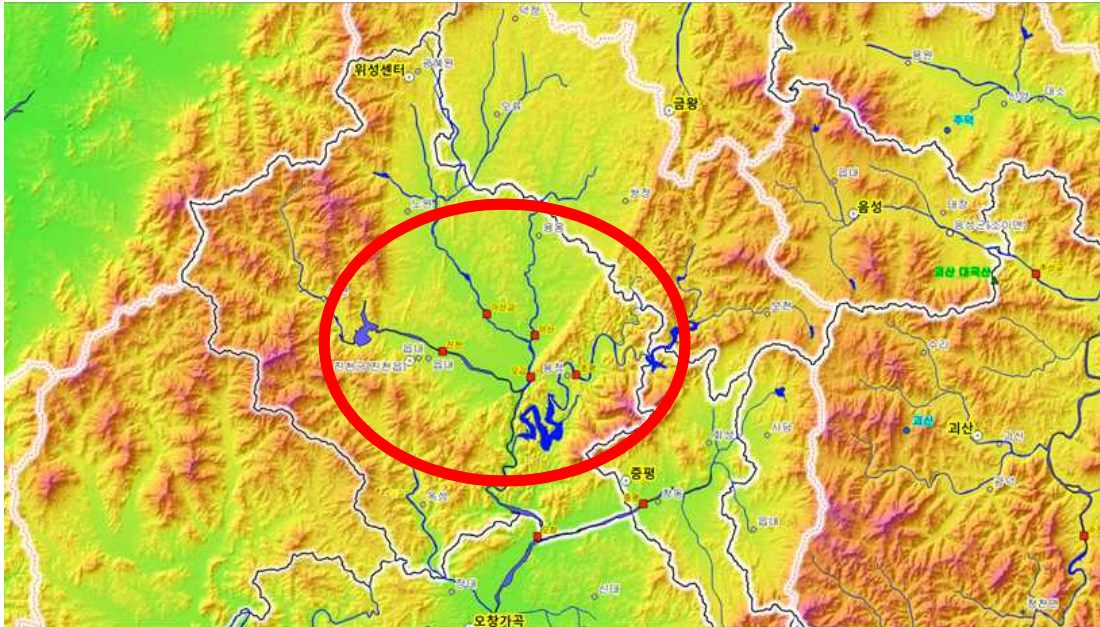
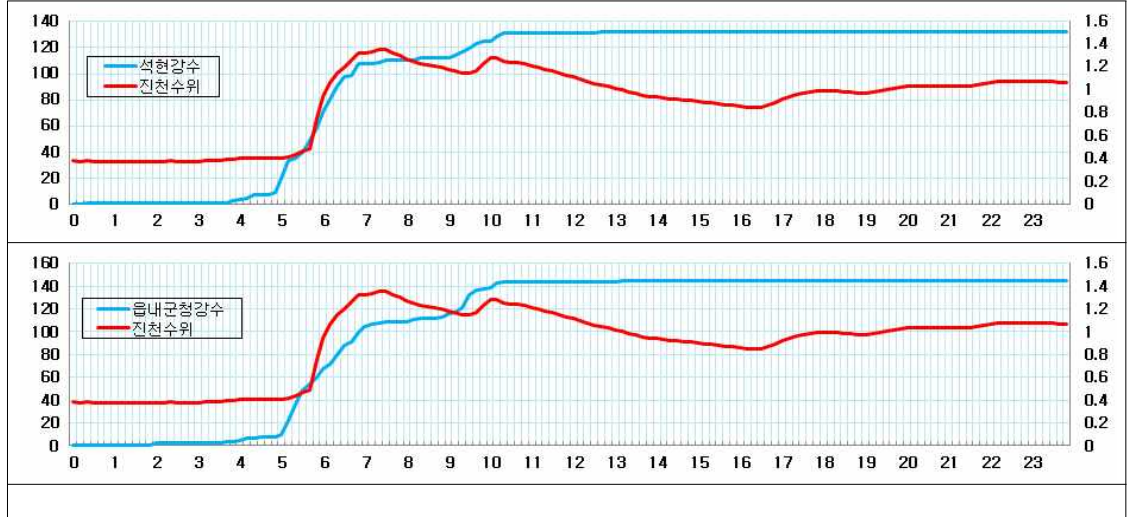


그림 4.6 충북 진천군의 진천 수위 지점

진천의 충청북도 관할 증평 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 충청북도 관할인 석현 강수계, 읍내군청 강수계, 읍사무소 강수계를 선정 하였다.

선정된 일자는 2017년 7월 16일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.23 강수-수위 그래프(진천)





세 그래프 모두를 살펴보면 5시 쯤 시작된 강수로 인해 약 한시간만에 수위의가 약 1m의 급상승이 나타난다. 세 강수계 모두 수위계와 가까이 위치해 있어 그래프의 변화가 거의 동일하게 움직임을 알 수 있다.

1.6 상당

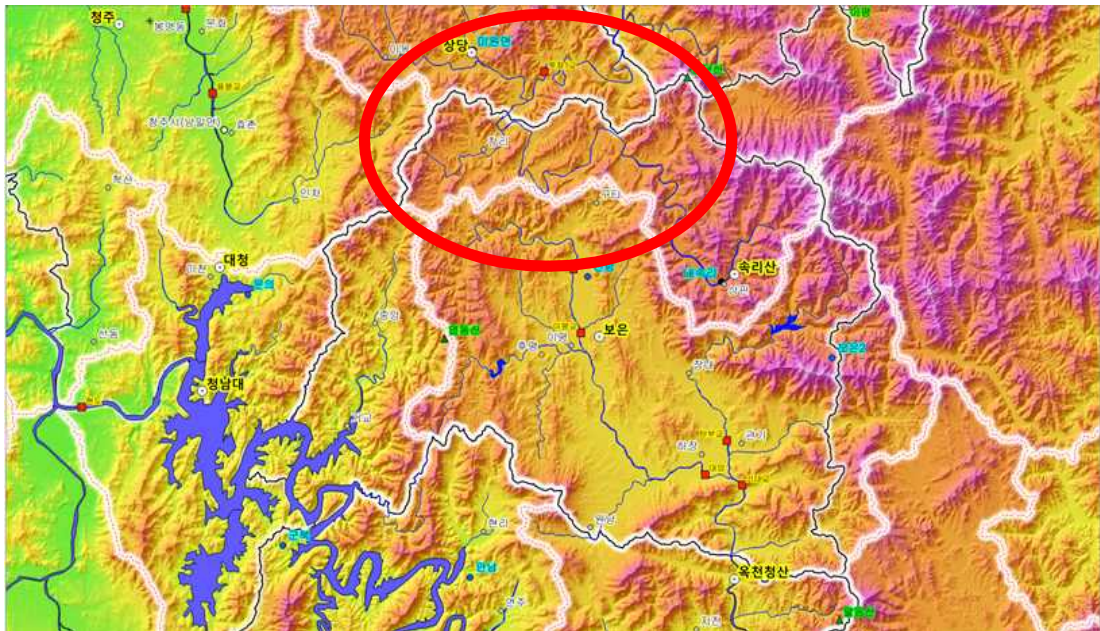
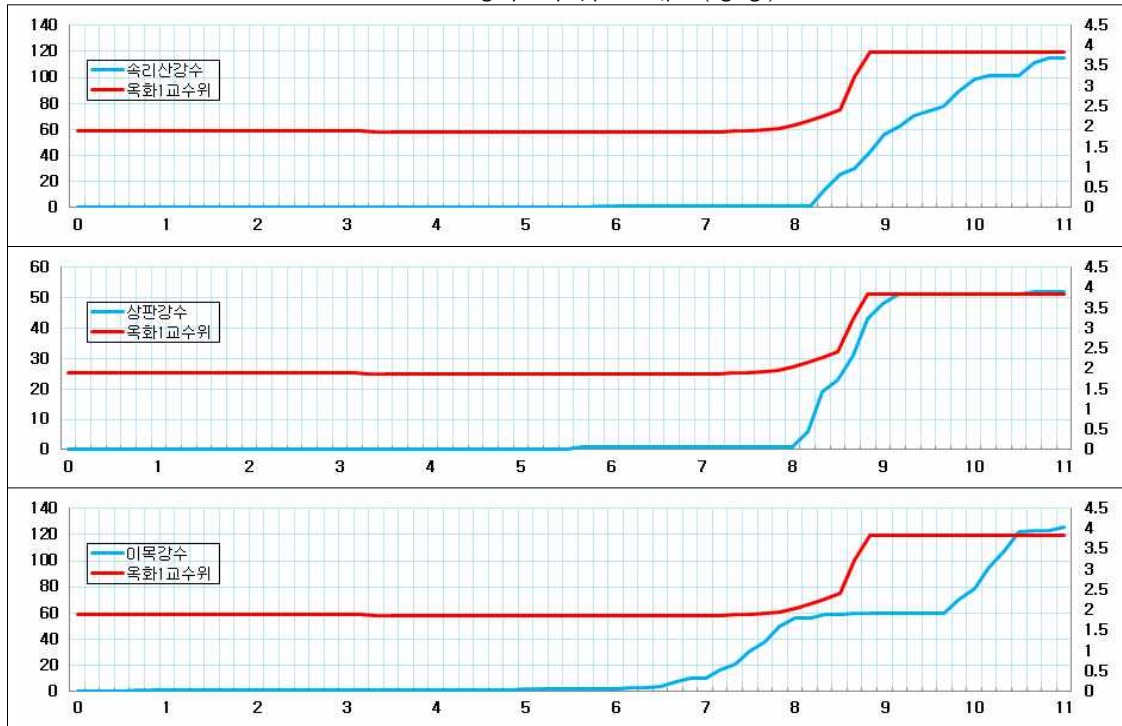


그림 4.7 충북 청주시 상당의 옥화1교 수위 지점

상당 지역의 충청북도 관할 옥화1교 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 충청북도 관할인 창리 강수계와 이목 강수계 기상청 속리산AWS를 선정하였다.

선정된 일자는 2016년 7월 4일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.24 강수-수위 그래프(상당)



옥화1교의 수위자료가 11시 이후로는 존재하지 않아 이후 시간 자료는 생략하였다. 수위 그래프를 살펴보면 8시에서 9시 사이에 한 시간도 채 걸리지 않게 수위가 약 1.5m 정도 단시간에 급상승함을 볼 수 있다. 이목 강수 옥화1교 수위계의 급상승 시간차는 약 두 시간 반이고 옥화1교 수위계와 조금 떨어져 있지만 높은 지대에 위치해있는 상판 강수계와 속리산 강수계는 그 차이가 한 시간 남짓으로 나타난다.

1.7 청주

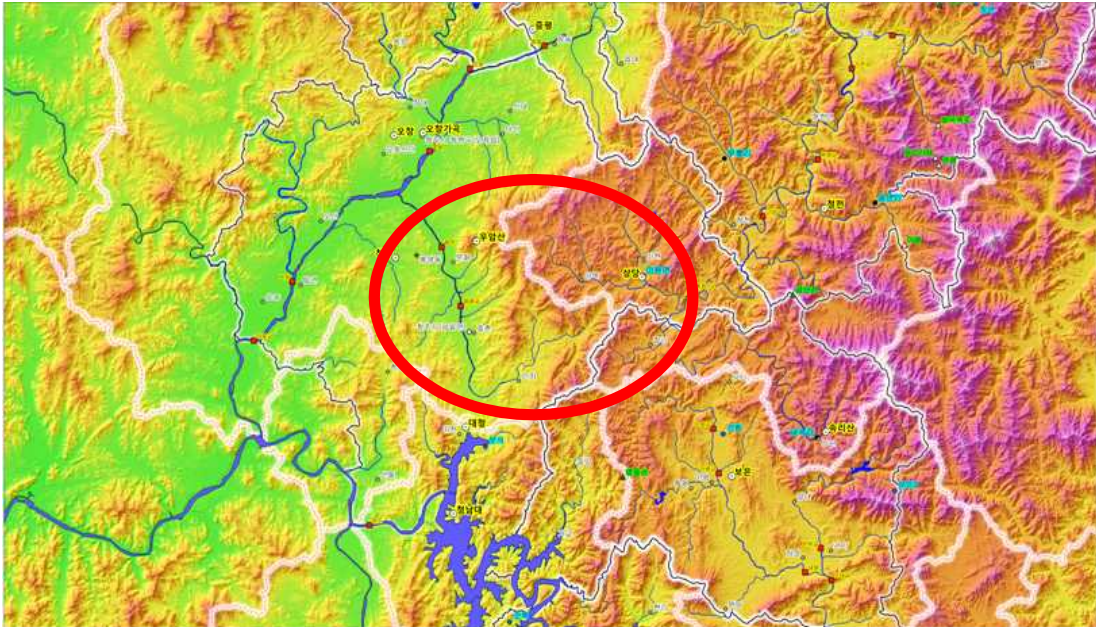
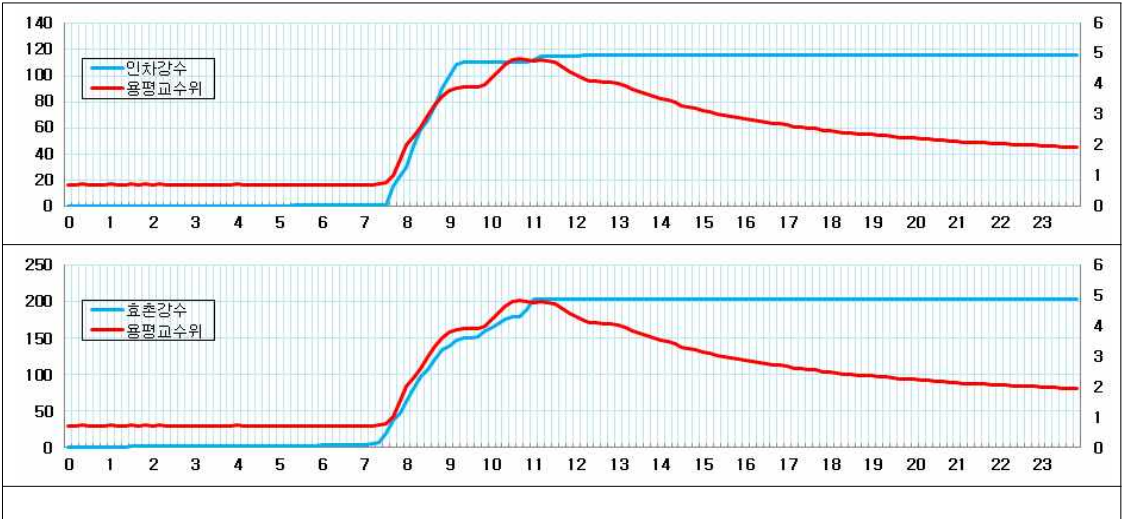


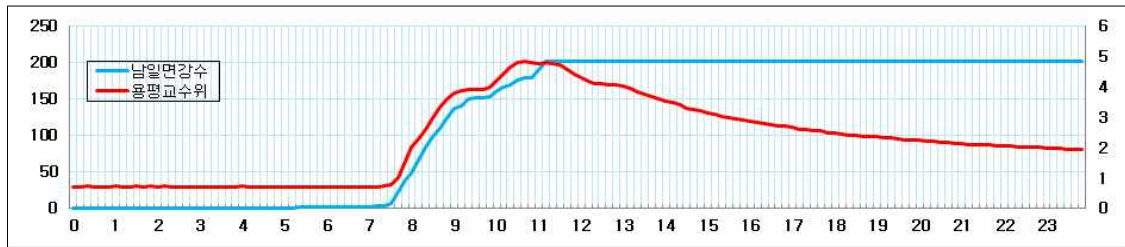
그림 4.8 충청북도 청주시의 용평교 수위 지점

청주시의 충청북도 관할 용평교 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 충청북도 관할인 인차 강수계와 효촌 강수계, 농촌진흥청 관할인 남일면 강수계를 선정하였다.

선정된 일자는 2017년 7월 16일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.25 강수-수위 그래프(청주)





2017년 7월 16일은 청주에 290mm를 웃도는 기록적인 폭우가 쏟아져 많은 피해를 입은 날이다. 그래프를 보면 한눈에 그날의 피해를 짐작할 수 있는데 비가 시작되고 나서 용평교 수위가 올라가기 시작하는 시간까지 30분도 걸리지 않음을 볼 수 있다. 수위와 강수 두 개의 그래프가 거의 동시에 같은 움직임을 보이고 네 시간 만에 수위가 약 4m정도 상승하여 많은 피해가 일어났음을 예측할 수 있다.

1.8 음성

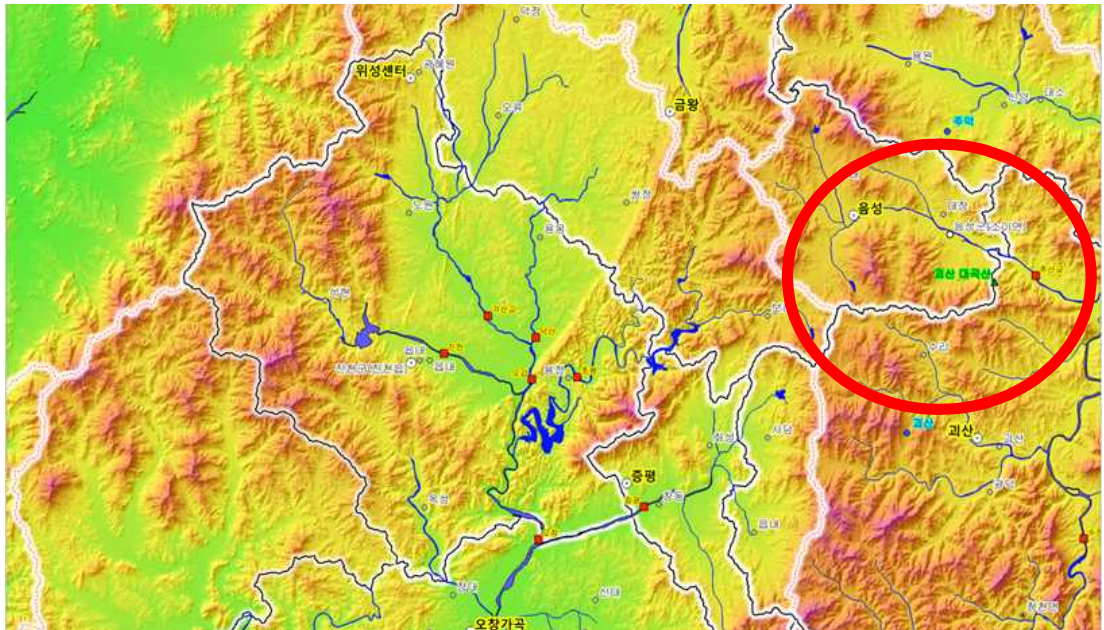
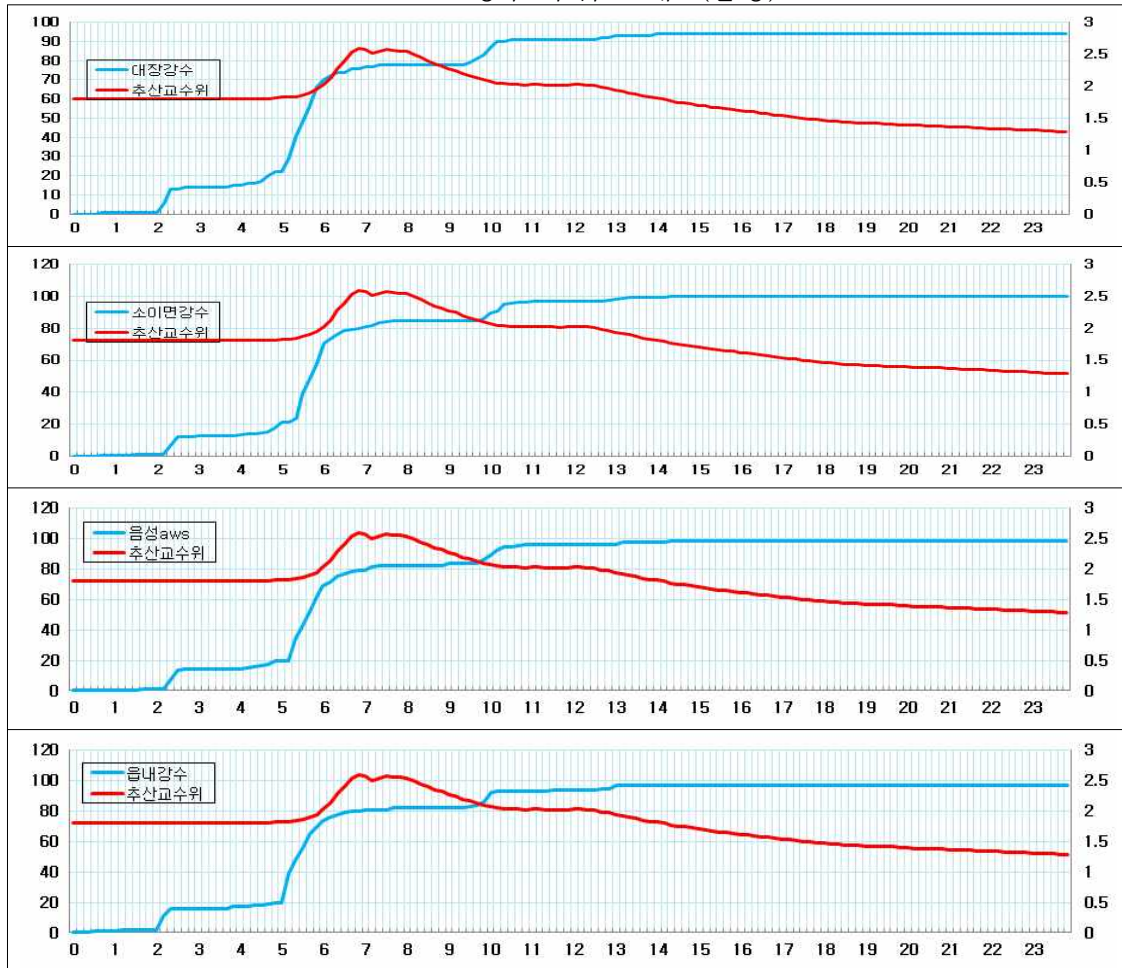


그림 4.9 충북 음성군의 추산교 수위 지점

음성군의 충청북도 관할 추산교 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 충청북도 관할인 읍내 강수계와 대장 강수계, 농촌진흥청 관할인 소면 강수계, 기상청 음성AWS를 선정하였다.

선정된 일자는 2017년 7월 16일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.26 강수-수위 그래프(음성)



지도상에서 보면 추산교 수위계와 대장, 소이면 강수계보다 음성AWS와 읍내 강수계가 조금 더 떨어져있음을 알 수 있다. 그래프를 보면 네 개의 강수계에서 단시간에 비가 왔음을 알 수 있다. 강수 시작 시간과 수위가 상승하는 시간의 차를 보면 상대적으로 가까이 있는 소이면, 대장 강수계의 시간차가 음성AWS와 읍내 강수계보다는 짧지만 단시간에 많은 비가 오면 수위의 급상승 시간이 강수 시작 시간과 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

1.9 제천

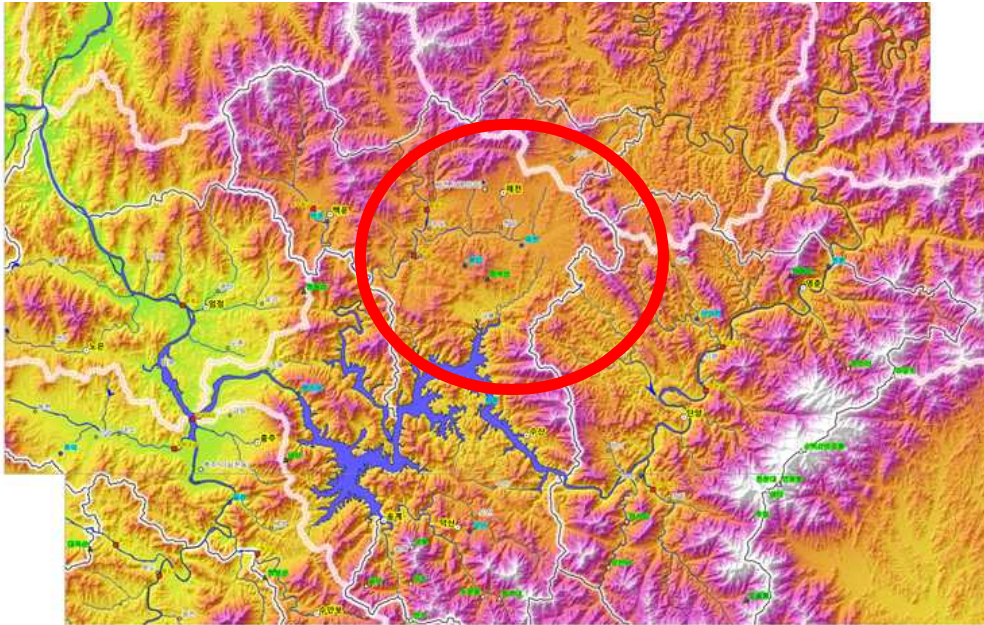
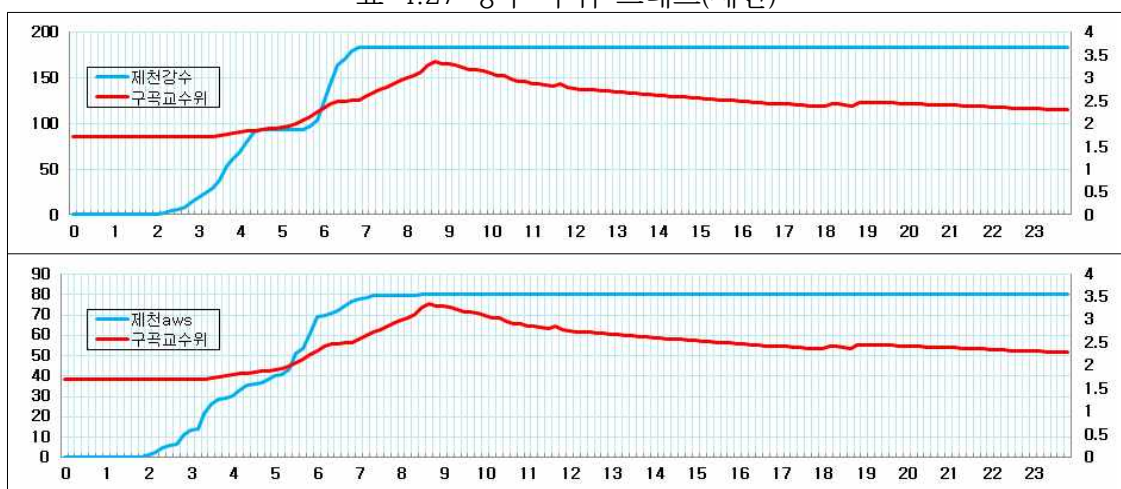


그림 4.10 충북 제천시의 구곡교 수위 지점

제천시의 충청북도 관할 구곡교 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 수자원공사 관할인 제천 강수계와 기상청 제천AWS를 선정하였다. 선정된 일자는 2016년 7월 4일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.27 강수-수위 그래프(제천)



지도를 살펴보면 구곡교 수위계와 제천 강수계, 제천AWS의 위치가 크게 가깝지는 않은 것으로 보인다. 그래프에서 제천AWS의 누적 강수량은 약 80mm 제천 강수계는

약 180mm로 많은 비가 왔지만 수위 기울기가 급하지 않은 이유로는 수위계와 강수계 거리와 더불어 단시간이 아닌 꾸준히 비가 왔기 때문이라고 유추할 수 있다.

1.10 단양

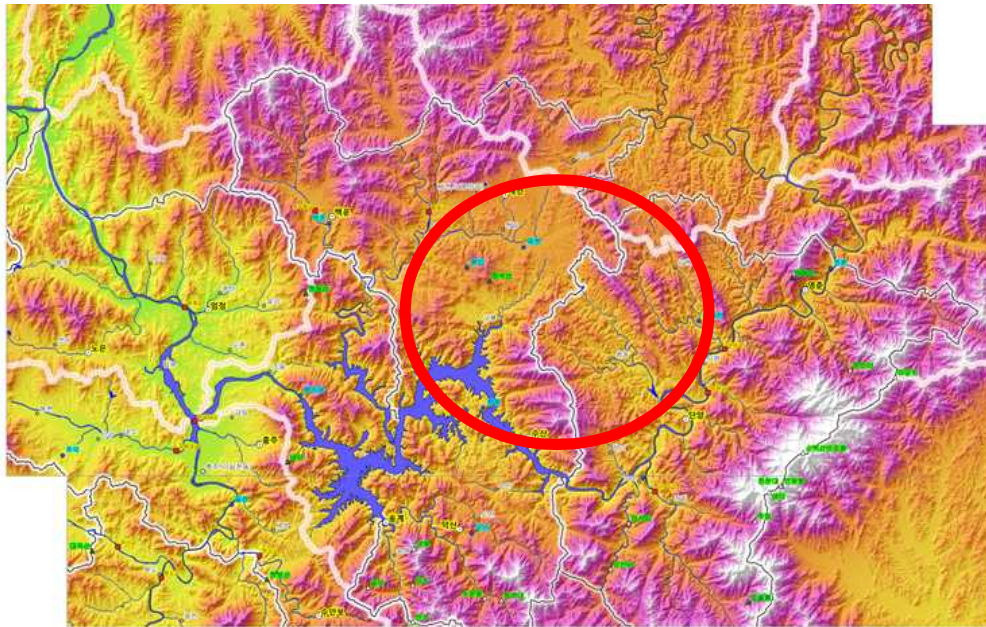


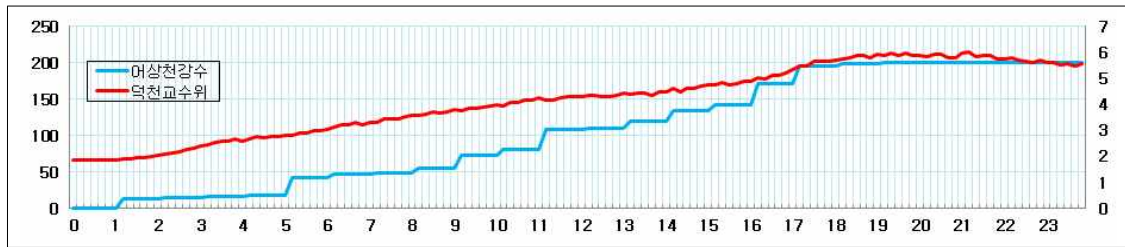
그림 4.11 충북 단양군의 덕천교 수위 지점

단양군의 충청북도 관할 덕천교 수위계에 영향을 주는 강수계를 파악하기 위해 지형을 분석한 결과 수자원공사 관할인 어상천 강수계와 충북 관할인 임현 강수계를 선정하였다.

선정된 일자는 2018년 6월 26일로 그래프는 다음과 같다.

표 4.28 강수-수위 그래프(단양)





지도를 살펴보면 가대교 수위계 위쪽으로 어상천 강수계가 위치하고 그 위로 임현 강수계가 위치하고 있다. 약 200mm 가까운 비가 내렸지만 수위 그래프의 기울기가 매우 완만하다. 이는 많은 비가 내렸지만 단시간이 아닌 하루 반나절 동안 꾸준히 왔기 때문에 수위가 급상승하지 않았던 것으로 보인다.

제5장 충북 기상관측망 구축

제1절 기상관측망 구축 개요

1. 추진 배경

1.1 위험기상 발생 빈도 증가

충북지역은 한반도의 중심에 위치하며 지형과 지역에 따른 많은 위험기상이 발생한다. 충주호, 대청호 등 대규모의 다목적댐과 소백산, 월악산 등의 산악효과로 국지적 집중호우, 하천범람, 안개 등의 기상현상이 발생하며 종합적이고 입체적인 기상 모니터링이 필요하다.

2 현황 및 문제점

2.1 충청북도의 입체적 관측망 부재

기상현상은 지형(산맥, 강·하천)에 많은 영향을 받으면서 발생하는데, 현재 시스템에서는 상세지형은 반영하지 않고 있으며 또한 지점명(텍스트) 위주로 관측 모니터링을 실시하고 있다. 강수현상은 지형적 원인으로 인해 발달 및 소멸에 많은 영향을 주는데 이 부분을 제대로 반영을 못 한 채 관측업무를 수행하고 있다. 또한 강수로 인한 많은 피해는 하천의 범람으로 인해 발생하는데 하천수위의 모니터링은 외부사이트에서 확인하여 많은 시간이 소요되고 있어, 실질적인 모니터링은 어려운 상황이다.

여름철 국지적인 강수로 인해 AWS가 설치되지 않은 지점의 강수량 파악은 유관기관 강수량을 활용하는데, 이 또한 지점 명으로 집계가 되어 파악이 어렵고 강수량 표출 또한 40분정도 지연이 되어 활용성이 떨어지고 있는 현실이다.

제2절 기상요소 별 관측망 구성

1. Q-GIS를 활용한 지형분석

1.1 충청북도 상세지형 분석

현재 관측모니터링 시스템에서는 지형, 특히 강·하천을 포함한 수계분석을 포함하지 않고 모니터링을 실시하고 있다. 이에 충청북도의 상세한 지형을 표현 한 후 그 위에 기상관측값을 중첩하여 표현하고자 한다.

이를 위해서는 Q-GIS를 이용하고, DEM(수치고도모델)과 하천자료(국가하천, 지방1·2급 하천), 법정행정구역 자료를 이용하여 충북지역과 그 주변지역을 표현하였다.

이를 바탕으로 아래와 같은 충북지역의 지형도를 완성 하였다.

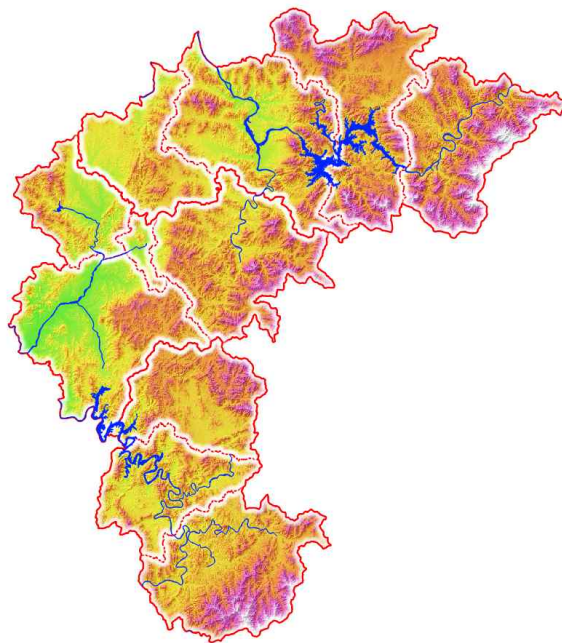


그림 5.1 충북 지역 상세 지형도 구축

그림 1의 지형도를 바탕으로 각종 기상관측요소와 관측지점을 중첩하여 관측망을 구축하게 되었다.

2. 기상요소 별 관측망 구성

2.1 강수

강수량 관측은 기상청 대표지점과 AWS 관측값을 주로 모니터링을 하고 있는 상황이며, 국지적 집중호우 시 유관기관(지자체, 국토부, 수자원공사 등)의 강수량을 자료를 활용하고 있는 실정이다. 하지만 유관기관 강수량 자료는 관측지점-기상청 간 관측자료를 수집하고, 이를 표출하는데 약 30~40분 정도 소요되어 실제 현업에서는 사용하기가 힘든 상황이다. 현재는 충북지역 AWS 지점을 포함한 33개 지점을 API_URL을 이용하여 실시간으로 관측값을 수집한 후 웹에 표출하는 방법을 택했다.

2.1.1 강수량 표출 방법

충북지역 강수량 관측은 매분 이뤄지고 있으며, 관측망 구축에서는 5분마다 강수량 자료를 호출해 표출하기려 하였다. 매분마다 호출을 하면 슈퍼컴퓨터 로그인서버에 부하가 걸리는 점을 고려하였다. 기본적인 환경은 리눅스의 크론탭(crontab)을 이용하여 수행하였으며, 매 5분마다 자료를 가져와 지도위에 표출을 하였다.

-실제 수행되고 있는 crontab 설정

```
* /5 * * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/gettime.ksh

* /5 * * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/GAUGE/20m_ago_gettime.ksh
* /5 * * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/RAIN/run_rain_all_job.ksh
* /5 * * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/VIS/run_vis_all_job.ksh
* /5 * * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/GAUGE/run_gauge_all_job.ksh

0 * /1 * * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/SNOW/hour_gettime.ksh
0 * /1 * * * * ksh /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/SNOW/run_snow_all_job.ksh
```

그림 5.2 슈퍼컴 로그인서버에서 수행되는 crontab

각 기상변수별로 매 5분마다 수행이 되고 있으며, 강수량은 아래와 같이 수행된다.

```
#!/bin/ksh -xv

###DEFINE DIRECTORY

DIR=/s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/RAIN

sleep 180

cp /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/gettime.txt ${DIR}/gettime.txt

ANLTIM=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt`

YYYY=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt | cut -c1-4`

MM=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt | cut -c5-6`
DD=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt | cut -c7-8`
HH=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt | cut -c9-12`

cd /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/RAIN

ksh get_aws_rain.ksh

ksh awk_rain_data.ksh
```

그림 5.3 URL_API를 이용하여 강수량 호출하는 프로그램

```
cp /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/gettime.txt ${DIR}/gettime.txt
```

- 매시각 가져오기: 현재 시각보다 3분 뒤 시각을 가져와 작업 수행이 시작한다.

```
ksh get_aws_rain.ksh, ksh awk_rain_data.ksh
```

- URL_API를 이용하여 충북지역 33개 지점의 강수량(시간강수량, 총 강수량)을 불러와 해당경로에 저장하기

아래 그림과 같이 해당날짜 폴더에 각 지점별 5분단위로 강수량 text 파일이 저장되고 있다.

```

-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_977_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_888_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_693_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_676_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_647_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_641_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_640_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_639_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_638_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_630_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_626_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_625_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_624_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_623_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_622_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_621_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_620_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_619_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_605_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_604_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_603_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_602_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_601_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_600_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_327_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_325_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_324_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_226_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_221_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_135_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_131_201811121650.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 25 Nov 12 07:53 awk_rain_127_201811121650.txt

```

그림 5.4 URL_API를 이용하여 각 지점별 강수량 저장

- 저장된 강수량을 충북 상세지형의 관측지점에 표출하기

rain_map.ncl

ncl 프로그램을 이용하여 아래 그림 4의 위치정보와 지형정보를 읽어들이 지도에

표출하는 프로그램

```

-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 1824 Oct 16 01:55 rain_sta.txt
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 356 Nov 5 07:37 chungbuk_kma.shx
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 996 Nov 5 07:37 chungbuk_kma.shp
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 257 Nov 5 07:37 chungbuk_kma.qpj
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 143 Nov 5 07:37 chungbuk_kma.prj
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 115010 Nov 5 07:37 chungbuk_kma.dbf
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 397 Nov 5 07:41 chungbuk_river.prj
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 30166 Nov 5 07:41 chungbuk_river.dbf
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 1652 Nov 5 07:41 chungbuk_river.shx
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 2847992 Nov 5 07:41 chungbuk_river.shp
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma 605 Nov 5 07:41 chungbuk_river.qpj

```

그림 5.5 지도에 표출하기 위한 각종 정보

- ncl 수행결과 각 지점별 강수량 표출 그림 저장

rain_201811051810.pdf

ncl 프로그램을 이용하여 아래 그림 5에 해당경로에 그래픽이 저장 되었다.

```
jbw0024@ngate7:/s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/RAIN/201811/05> ls
total 1608
-rw-r--r-- 1 jbw0024 nwpr 1645232 Nov  5 10:43 rain_201811051810.pdf
jbw0024@ngate7:/s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/RAIN/201811/05> ls
total 1608
```

그림 5.6 충북지역 지도에 강수량 표출 그래픽 저장

- 저장된 그래픽을 웹에서 표출하기

rain.php

php 프로그램을 이용하여 슈퍼컴퓨터 개인계정에서 웹 표출하기

```
<?php
#$ym = date("Ym");
#$d = date("d");
$ym = "201811";
$d = "06";
$dir = "/s4/home/nwpr/jbw0024/public_html/CHT/jun/COUNT/$ym/$d/";
$gause_g_file = glob("$dir/*gause_g*");
$gause_h_file = glob("$dir/*gause.h*");
$count = count($gause_g_file);
$count1 = count($gause_h_file);
for($i=0; $i<$count; $i++){
    $fi_g = substr($gause_g_file[$i],-23,23);
}

for($j=0; $j<$count1; $j++){
    $fi_h = substr($gause_h_file[$j],-24,24);
}

echo "<div style='position:absolute; left:653px; top:-20px; z-index:0;'>
<H1>gaue</H1>
</div>";
```

그림 5.7 충북지역 지도에 강수량 자료 웹 표출 프로그램

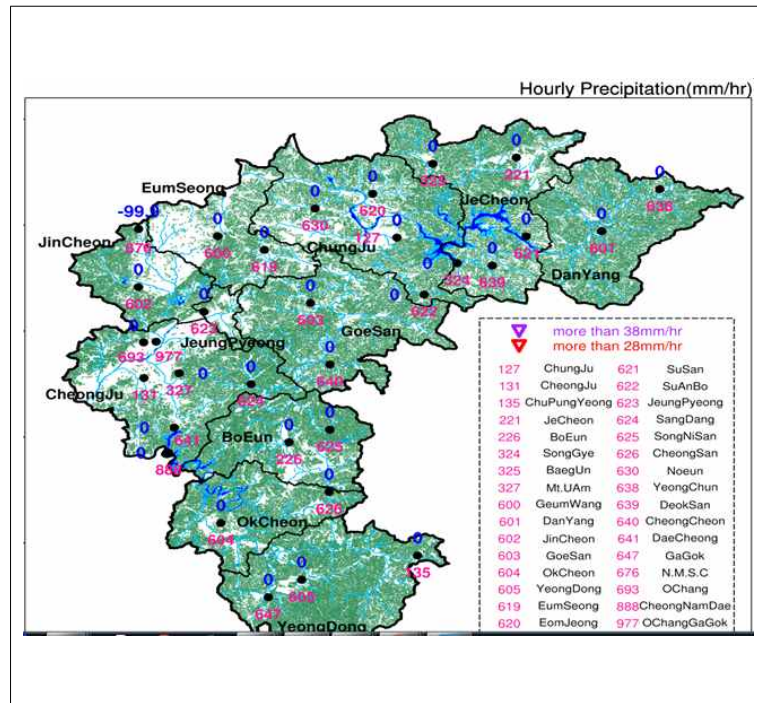


그림 5.8 실시간 웹에 표출된 충북 강수량자료

2.2 시정

시정 관측은 충북 14개 지점의 관측값을 모니터링을 하고 있는 상황이며, API_URL을 이용하여 실시간으로 관측값을 수집한 후 웹에 표출하는 방법을 택했다.

2.2.1 시정 표출 방법

충북지역 시정 관측은 매분 이뤄지고 있으며, 관측망 구축에서는 5분마다 시정 자료를 호출해 표출 하기려 하였다. 매분마다 호출을 하면 슈퍼컴퓨터 로그인서버에 부하가 걸리는 점을 고려하였다. 기본적인 환경은 리눅스의 크론탭(crontab)을 이용하여 수행하였으며, 매 5분마다 자료를 가져와 지도위에 표출을 하였다.

각 기상변수별로 매 5분마다 수행이 되고 있으며, 시정은 아래와 같이 수행된다.

```
#!/bin/ksh -xv

###DEFINE DIRECTORY

DIR=/s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/VIS

sleep 180

cp /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/gettime.txt ${DIR}/gettime.txt

ANLTIM=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt`

YYYY=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt | cut -c1-4`

MM=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt | cut -c5-6`
DD=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt | cut -c7-8`
HH=`sed -n '$p' $DIR/gettime.txt | cut -c9-12`

cd /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/VIS

ksh get_aws_vis.ksh

ksh awk_vis_data.ksh
```

그림 5.9 URL_API를 이용하여 시정 호출하는 프로그램

```
cp /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/gettime.txt ${DIR}/gettime.txt
```

- 매시각 가져오기: 현재 시각보다 3분 뒤 시각을 가져와 작업 수행이 시작한다.

```
ksh get_aws_vis.ksh, ksh awk_vis_data.ksh
```

- URL_API를 이용하여 충북지역 14개 지점의 시정을 불러와 해당경로에 저장하기

아래 그림과 같이 해당날짜 폴더에 각 지점별 5분단위로 시정 text 파일이 저장되고 있다.

```
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_605_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_604_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_603_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_602_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_601_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_226_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_221_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_135_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_131_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_127_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_641_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_630_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_624_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 0 Nov 12 08:33 awk_vis_623_201811121730.txt
-rwxr-xr-x 1 jbw0024 nwpr 23 Nov 12 08:33 awk_vis_619_201811121730.txt
jbw0024@gate7: /s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/VIS/AWK/201811/12>
```

그림 5.10 URL_API를 이용하여 각 지점별 시정 저장

- 저장된 시정을 충북 상세지형의 관측지점에 표출하기

vis_map.ncl

ncl 프로그램을 이용하여 아래 그림 4의 위치정보와 지형정보를 읽어들이 지도에 표출하는 프로그램

```
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma      615 Oct 15 04:38 vis_sta.txt
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma      212 Nov  5 08:46 vis.shx
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma      492 Nov  5 08:46 vis.shp
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma      257 Nov  5 08:46 vis.qpj
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma      143 Nov  5 08:46 vis.prj
-rw-r--r-- 1 wkdtthf1519 kma    50624 Nov  5 08:46 vis.dbf
```

그림 5.11 지도에 표출하기 위한 각종 정보

- ncl 수행결과 각 지점별 시정 표출 그림 저장

vis_201811051810.pdf

ncl 프로그램을 이용하여 아래 그림 5에 해당경로에 그래픽이 저장 되었다.

```
jbw0024@ngate7:/s4/home/nwpr/jbw0024/CHEONG/CHT/OBS/VIS/201811/05> ls
total 648
-rw-r--r-- 1 jbw0024 nwpr 661077 Nov  5 10:41 vis_201811051810.pdf
```

그림 5.12 충북지역 지도에 시정 표출 그래픽 저장

- 저장된 그래픽을 웹에서 표출하기

vis.php

php 프로그램을 이용하여 슈퍼컴퓨터 개인계정에서 웹 표출하기

```
$ym = "201811";
$d = "05";
$dir = "/s4/home/nwpr/jbw0024/public_html/CHT/jun/COUNT/$ym/$d/";
$gause_g_file = glob("$dir/*vis*");
#$gause_h_file = glob("$dir/*rain.h*");
$count = count($gause_g_file);
$count1 = count($gause_h_file);
for($i=0; $i<$count; $i++){
    $fi_g = substr($gause_g_file[$i],-20,21);
}

for($j=0; $j<$count1; $j++){
    $fi_h = substr($gause_h_file[$j],-24,24);
}

echo "<div style='position:absolute; left:350px; top:-10px; z-index:0;'>
<H1>VIS</H1>
</div>";

echo "<div style='position:absolute; left:45px; top:70px; z-index:0;'>
```

그림 5.13 충북지역 지도에 시정 자료 웹 표출 프로그램

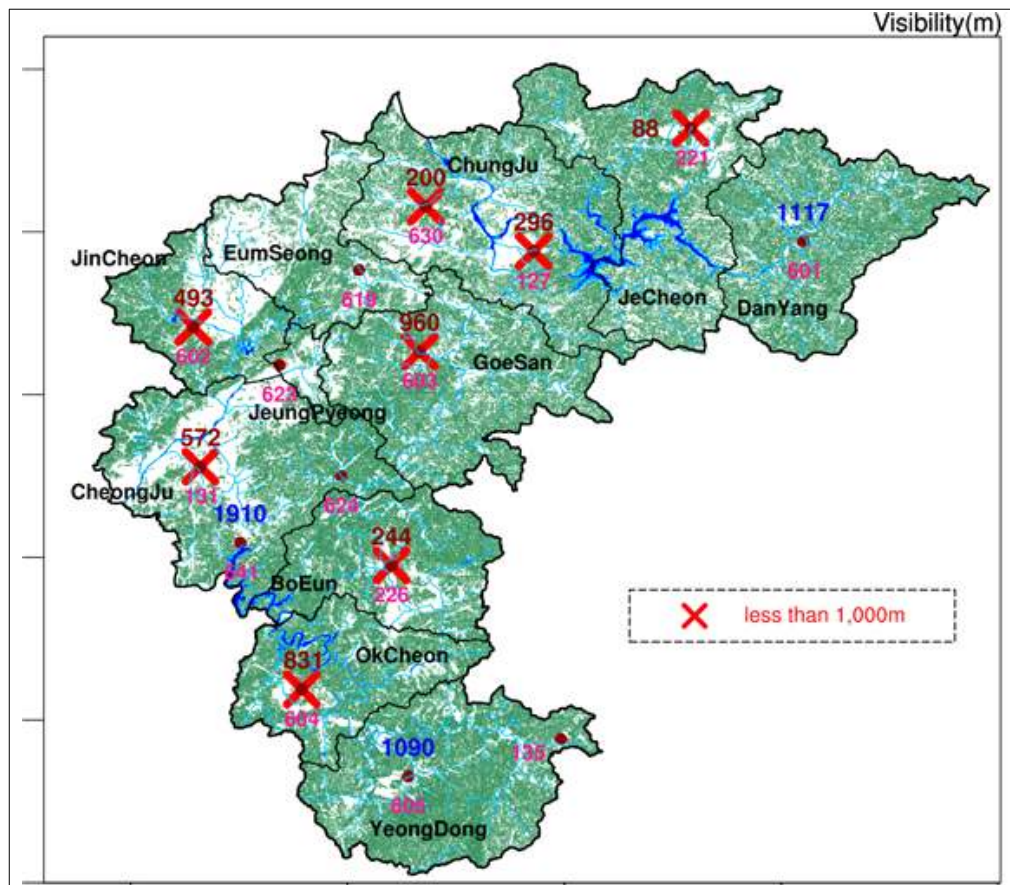


그림 5.14 실시간 웹에 표출된 충북 시정자료

적설과 수위관측 값도 위와 동일하게 구성하여 아래와 같이 실시간 표출 되고 있다.

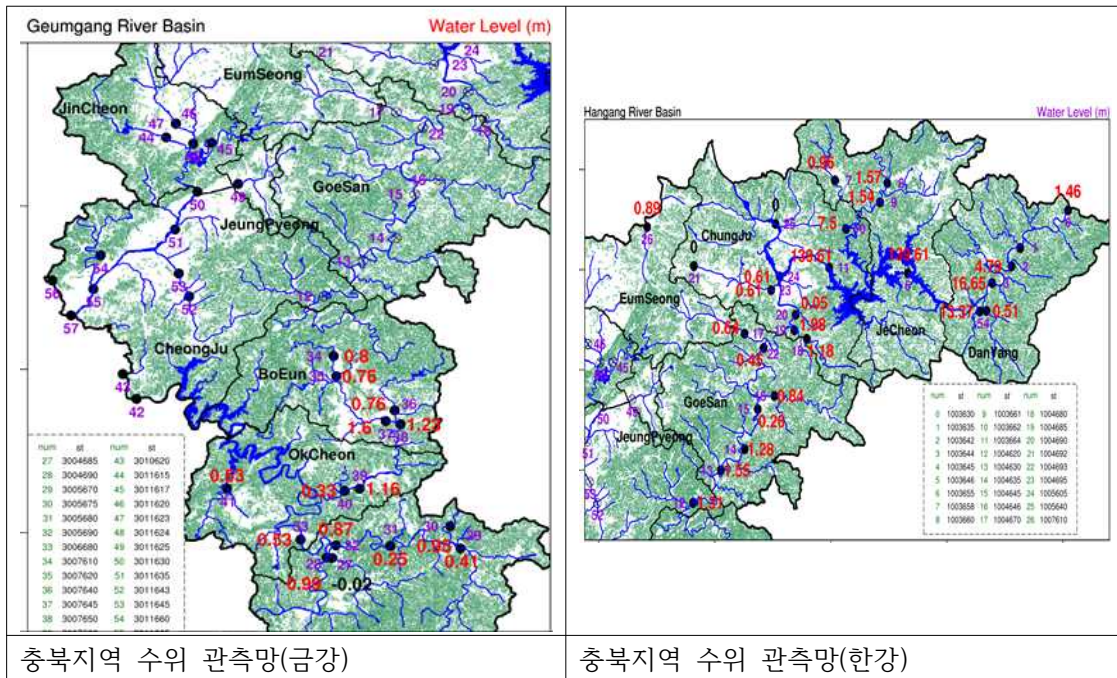


그림 5.15 실시간 웹에 표출된 충북 수위 관측망

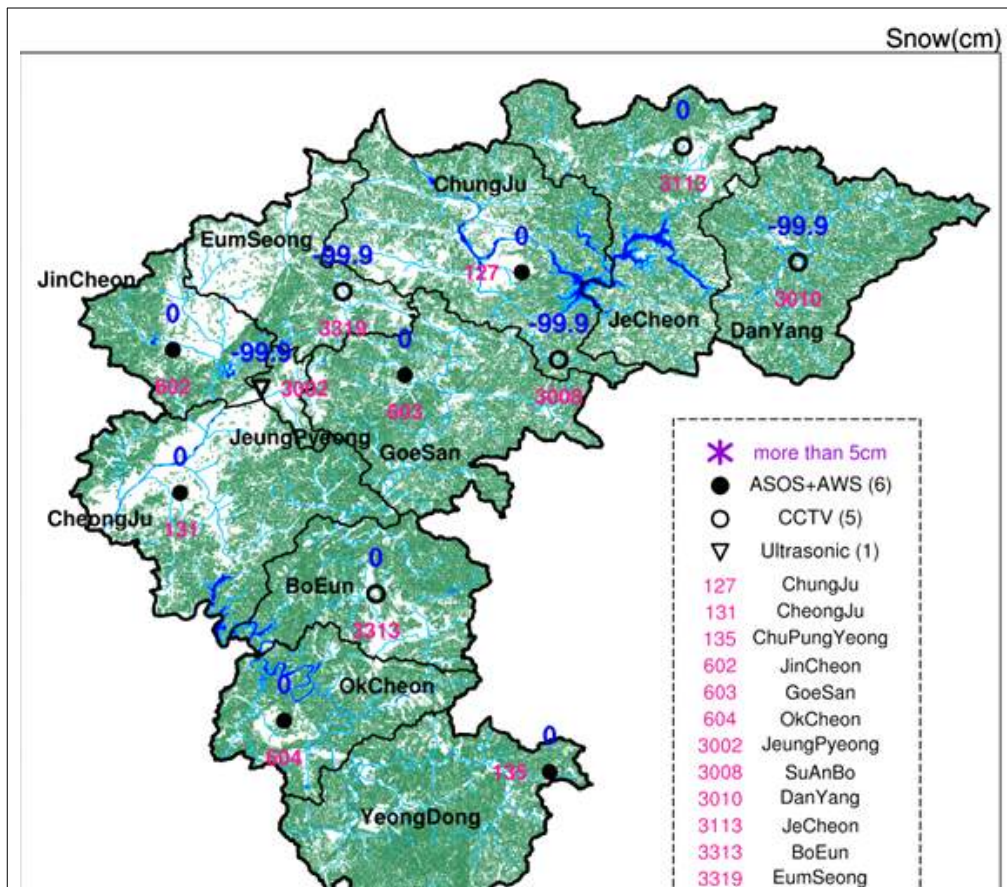


그림 5.16 실시간 웹에 표출된 충북 적설 관측망

제6장 요약 및 결론

최근 충북지역에서 발생한 집중호우의 특징을 보면, 20~50km 내외의 좁은 강수 구름대에서 매우 짧은 시간(30분~6시간)에 시간당 30mm 이상의 매우 강한 비가 내린다는 점이다. 이는 지구온난화의 영향이라고 볼 수 있다. 자연재해 안전지대의 기후였던 충북지역이 지구 온난화의 영향으로 온대에서 준아열대 지역으로 변하는 과정에서 산악이나 지형효과에 의해 조금만 자극을 받아도 집중호우를 내릴 수 있는 기후로 변하고 있다.

2017년 여름철은 7월 1일에 장마가 평년(6.24~25)보다 7일 가량 늦게 시작하여 7월 29일에 종료되었다. 평년 장마기간(32일)과 비교하면 29일로 3일이 짧았음에도 불구하고, 청주지역을 중심으로 평년대비 약 220%의 많은 강수량을 보였다. 특히, 7월 16일에는 청주 290.2mm, 증평 225.0mm, 괴산 213.0mm 등 200mm가 넘는 매우 많은 비가 내렸으며, 청주지역의 1시간 최대강수량이 91.8mm로 200년 빈도 확률 강수량(91mm)를 초과하였고, 3시간 연속강수량 197.1mm는 500년 빈도 확률 강수량(182.6mm)을 초과하였다.

이처럼 도시의 계획빈도(청주시 방재성능목표 : 50년 빈도(1시간 75mm) /2012년, 국민안전처)를 초과하는 유례없는 집중호우로 5명의 사망자와 2,539명의 이재민이 발생하였고, 하천이 범람하면서 높은 홍수위에 의한 내수침수, 지반포화로 인한 사면 약화 및 활동력 증가에 의한 사면 붕괴, 하천 호안 유실로 인한 제방도로 붕괴 등 공공시설과 사유시설의 피해가 약 547억원이 발생하였다.

이에 충북지방의 주요 지방하천의 매 5분 수위자료와 기상청 AWS, 충북 지자체 및 유관기관 강수량 자료를 분석하여 강수량과 수위의 상관관계를 조사해 보았다.

하지만 단순히 수위와 강수량의 상관관계는 거의 없으며 하천 상류 유역면적과 입출량, 지면피복 등 많은 부분이 고려되어야 수위 예측이 가능해 주요 기관과 긴밀한 협업을 통하여 많은 연구가 필요한 부분이다.

충북지역은 한반도의 중심에 위치하며 지형과 지역에 따른 많은 위험기상이 발생한다. 충주호, 대청호 등 대규모의 다목적댐과 소백산, 월악산 등의 산악효과로 국지적 집중호우, 하천범람, 안개 등의 기상현상이 발생하며 종합적이고 입체적인 기상 모니터링이 필요하다.

기상현상은 지형(산맥, 강·하천)에 많은 영향을 받으면서 발생하는데, 현재 시스템에서는 상세지형은 반영하지 않고 있으며 또한 지점명(텍스트) 위주로 관측 모니터링을 실시하고 있다. 강수현상은 지형적 원인으로 인해 발달 및 소멸에 많은 영향을 주는데 이 부분을 제대로 반영을 못 한 채 관측업무를 수행하고 있다. 또한 강수로 인한 많은 피해는 하천의 범람으로 인해 발생하는데 하천수위의 모니터링은 외부사이트에서 확인하여 많은 시간이 소요되고 있어, 실질적인 모니터링은 어려운 상황이다.

여름철 국지적인 강수로 인해 AWS가 설치되지 않은 지점의 강수량 파악은 유관기관 강수량을 활용하는데, 이 또한 지점 명으로 집계가 되어 파악이 어렵고 강수량 표출 또한 40분정도 지연이 되어 활용성이 떨어지고 있는 현실이다.

현재 관측모니터링 시스템에서는 지형, 특히 강·하천을 포함한 수계분석을 포함하지 않고 모니터링을 실시하고 있다. 이에 충청북도의 상세한 지형을 표현 한 후 그 위에 기상관측값을 중첩하여 표현하고자 한다.

이를 위해서는 Q-GIS를 이용하고, DEM(수치고도모델)과 하천자료(국가하천, 지방1·2급 하천), 법정행정구역 자료를 이용하여 충북지역과 그 주변지역을 표현하였다.

이를 바탕으로 아래와 같은 충북지역의 지형도를 완성 하였다.

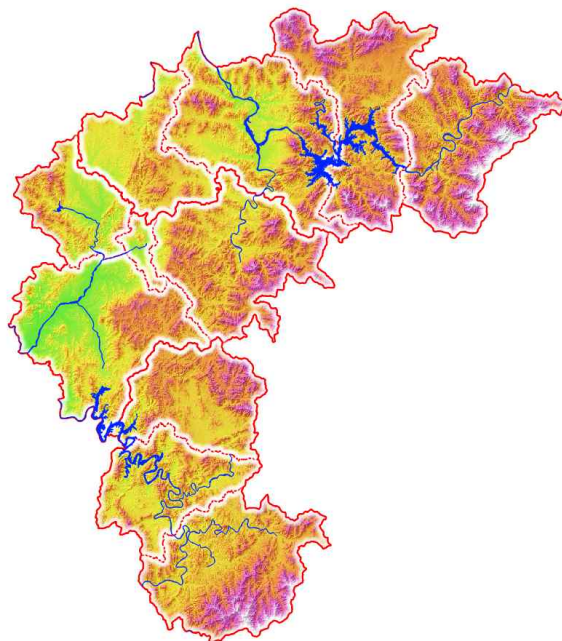


그림 6.1 충청북도 상세지형도

그림 1의 지형도를 바탕으로 각종 기상관측요소와 관측지점을 중첩하여 관측망을 구축하게 되었다.

강수량 관측은 기상청 대표지점과 AWS 관측값을 주로 모니터링을 하고 있는 상황이며, 국지적 집중호우 시 유관기관(지자체, 국토부, 수자원공사 등)의 강수량을 자료를 활용하고 있는 실정이다. 하지만 유관기관 강수량 자료는 관측지점-기상청 간 관측자료를 수집하고, 이를 표출하는데 약 30~40분 정도 소요되어 실제 현업에서는 사용하기가 힘든 상황이다. 현재는 충북지역 AWS 지점을 포함한 33개 지점을 API_URL을 이용하여 실시간으로 관측값을 수집한 후 웹에 표출하는 방법을 택했다.

시정 관측은 충북 14개 지점의 관측값을 모니터링을 하고 있는 상황이며, API_URL을 이용하여 실시간으로 관측값을 수집한 후 웹에 표출하는 방법을 택했다. 수위자료는 홍수통제소와 각 유관기관에서 제공하는 수위값을 API_URL을 이용하여 매 10분마다 웹에 표출하여 지형과 수계망위에 표출함으로써 집중호우 시 강수량과 수위 분석에 유용하게 사용할 수 있다.