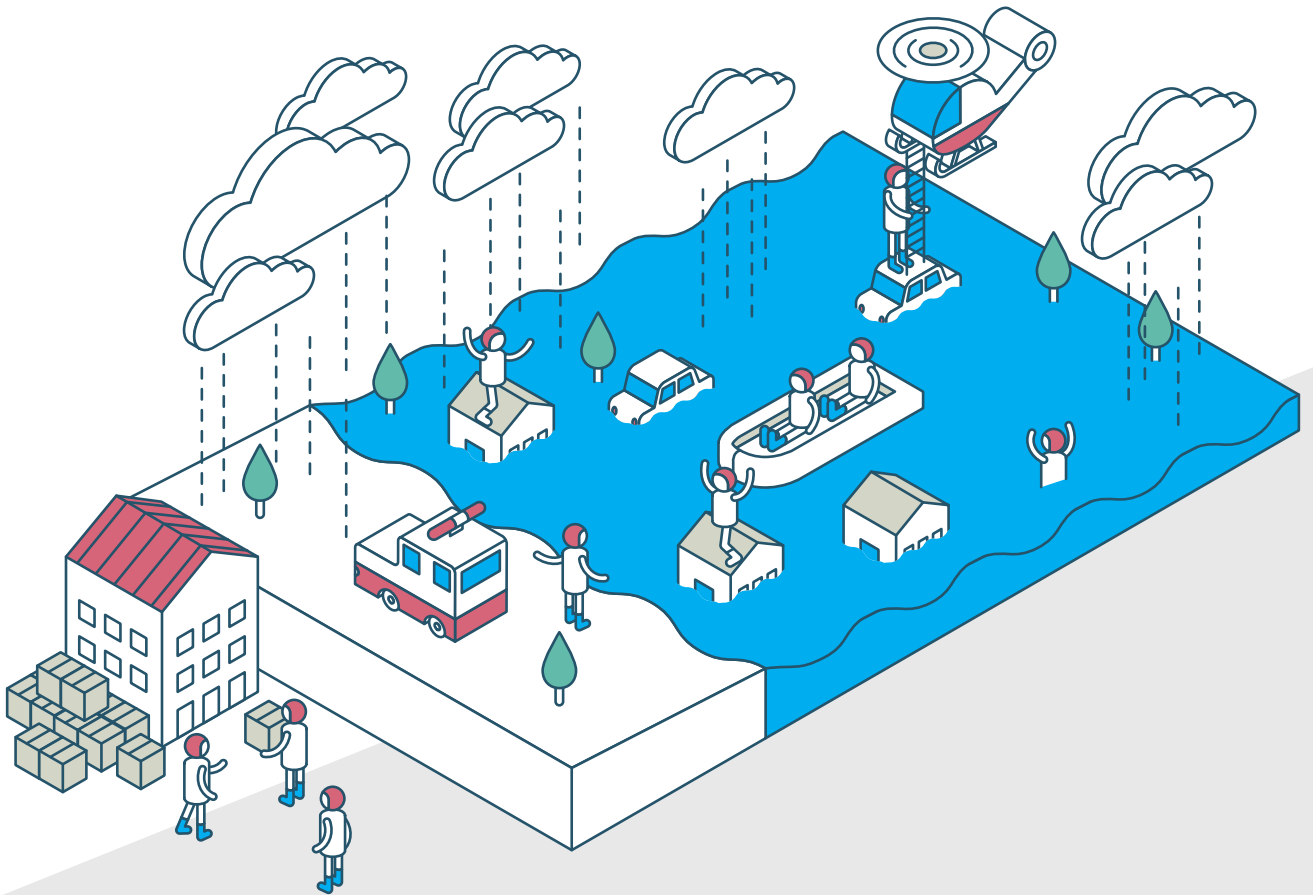


기상감정(호우편) 사례집



기상청



한국기상산업기술원
Korea Meteorological Institute

| 사례집 이용안내 |

1. 이 사례집은 위험기상* 중 호우와 관련된 기상감정의 가상 사례를 소개하였음
* 호우, 대설, 폭풍해일, 태풍, 강풍, 풍랑, 황사, 건조, 한파, 폭염(기상법 시행령 제8조의2)
2. 본 사례는 가상이며, 특정 지명 및 인물과 관련이 없음
3. 본 사례의 내용은 기상 및 보험 분야 전문가의 감수를 거쳤으나, 사례 예시 및 소개를 위해 실제와 일부 다를 수 있음
4. 본 사례는 「기상감정 표준매뉴얼」(2017년)의 양식을 기반으로 작성하였으며, 기상감정사의 감정서를 최대한 반영하였음
5. 이에 실제 각 기상기업에서 발행하는 기상감정서와 구성 및 내용이 다를 수 있으므로, 본 사례집을 기상감정의 한 사례로서 활용하길 권함
6. 본 사례집의 사례는 총 3건이며, 내용은 아래와 같음
 - ① 물류센터 침수로 인한 물적 피해에 대해 호우로 인한 영향을 감정
 - ② 산사태로 인한 농산물 가공·유통업자의 피해에 대해 호우 영향을 감정
 - ③ 산사태로 인한 인적 및 물적(차량) 피해에 대해 호우 영향을 감정
7. 향후 위험기상(호우 등) 발생 시 기상감정 사례집이 유용하게 활용되길 기대함
8. 사례집에 관한 문의 및 참고 사이트
 - 한국기상산업기술원 산업성장본부 산업정책실(070-5003-5216)
 - 한국기상산업기술원 홈페이지(www.kmiti.or.kr)



목차 CONTENTS

기상감정 가상 시나리오

시나리오 01

0. 사고 개요(부산 물류창고)	/ 08
1. 의뢰내용	/ 10
2. 조사내용	/ 10
3. 기상감정 결과 및 의견	/ 13
4. 별첨자료	/ 16

시나리오 02

0. 사고 개요(청주시 산사태)	/ 48
1. 의뢰내용	/ 50
2. 조사내용	/ 50
3. 기상감정 결과 및 의견	/ 53
4. 별첨자료	/ 55

시나리오 03

0. 사고 개요(지방도 산사태)	/ 76
1. 의뢰내용	/ 78
2. 조사내용	/ 78
3. 기상감정 결과 및 의견	/ 80
4. 별첨자료	/ 82



시나리오 01

- 0. 사고 개요(부산 물류창고)
- 1. 의뢰내용
- 2. 조사내용
- 3. 기상감정 결과 및 의견
- 4. 별첨자료



부산 물류창고 침수로 인한 피해 사건 개요

의뢰인 장●●씨는 의류 유통을 하는 자로 부산광역시 북구 ◇◇동 0000-0번지에 소재하고 있는 2층 건물에서 의류를 보관하고 유통하는 개인 사업자이다.

2014년 8월 25일 13~14시 경 부산 일대는 저기압의 영향으로 집중호우가 발생하여 인근에 산사태가 발생하는 등 큰 피해를 입었으며, 의뢰인의 물류 창고 또한 배출수의 역류로 인해 천장부위에서 물이 쏟아지는 사고로 침수피해가 발생하여 약 9,000만원 상당의 의류가 폐기 처분의 상태에 이르렀다.

다행히 의뢰인은 자연재해로 인한 피해를 보상받기 위한 대비책으로 2014년 1월 C보험사의 풍수해보험을 가입하고 있어(해당 보험약관에는 강수량이나 태풍의 강도, 적설에 대한 기준 값은 따로 없이 자연재해로 인한 피해가 발생한 경우 보험금을 지급하는 것으로 규정되어 있었음), 해당 보험금을 청구하였다.

그러나 현장실사를 거친 보험회사의 보상팀에서는 피보험자측에게 적정 규격의 배관이 설치되어 있지 않은 과실을 이유로 보험금의 지급을 50%만 인정하겠다고 통보하였다. 즉 해당 건물의 옥상면적이 240m²로 넓은데 비해 배관의 직경은 5cm에 불과해 시간당 30mm이상의 집중호우 시에는 무방비상태가 될 수밖에 없는 상황이라는 것이었다. 더불어 가장 가까운 기상청 관측장비인 '부산 북구 AWS'에서 관측된 1시간당 강수량이 75.5mm이었으며, 사건 지점에도 이 정도의 강수량이 내렸을 것이고, 만약 이를 견딜 수 있는 직경 7.5cm 이상의 배관이 설치되어있었다면 해당 보험금을 100% 지급할 수 있다고 하였다.

이에 의뢰인은 당시 사건 지점에는 인근 AWS에서 관측된 강수량보다 훨씬 많은 비가 내렸던 것으로 느꼈고, 보험회사의 주장처럼 직경이 더 넓은 배관이 설치되어 있었더라도 침수가 발생할 수밖에 없는 많은 비가 내렸다는 사실을 입증해 단지 배관의 규격만을 가지고 자연재해로 인한 수재 피해에 대한 보상을 거절(삭감)하는 보험회사의 논리를 반박하고자 기상감정을 의뢰하게 되었다.



기상감정서

1. 업체명 : 한국기상감정사협회
2. 대표자 : 홍길동
3. 기상감정사 : 조○○
4. 계약명 : 부산 ◇◇쇼핑센터 물류창고 강수량 감정

위 계약에 따라 기상감정서를 발급합니다.

2014년 10월 25일

한국기상감정사협회

직인

기상감정 가상 시나리오

시나리오 01

1. 의뢰내용

- 1) 감정대상 일시 : 2014년 8월 25일, 13:00 ~ 14:00
- 2) 감정대상 장소 : 부산시 북구 ◇◇동 1000-0(◇◇ 쇼핑센터)
- 3) 기상감정 목적
 - ◇◇쇼핑센터 물류창고 내의 물류는 C보험회사의 풍수해 보험에 가입되어 있으며, 약관에 의해 보상금을 지급받을 수 있도록 되어있다.
 - 의뢰인은 집중호우에 의해 침수된 물류에 대해 C보험회사에 보상을 요구하였으나, 강수량에 비해 현장 대비가 부족하였으므로 보상금을 50%만 지급하겠다는 통보를 받았다.
 - 그러나 의뢰인은 실제 강수량이 보험회사에서 주장하는 강수량보다 매우 많다고 체감하였으며, 때문에 C보험회사의 주장대로 현장 대비를 하였더라도 피해가 발생할 수 밖에 없었다고 생각하였다.
 - 이에 의뢰인은 기상감정사에게 2014년 8월 25일 13시~14시 경에 부산 북구 ◇◇동 0000-0번지에 내린 1시간 강수량을 감정하여 줄 것을 요청하여 왔다.
- 4) 의뢰인 주소 : 부산광역시 북구 ○○동
- 5) 의뢰인 성명 : 장●●(◇◇ 쇼핑센터 대표)

2. 조사내용

- 1) 조사기간
 - 2014년 09월 20일 ~ 10월 20일
- 2) 사전조사 : 감정 대상지역의 환경
 - 감정대상 장소는 부산광역시 북구 ◇◇동 0000-0번지에 소재하고 있는 2층 건물 옥상으로 금정산과 상학산 사이의 해발고도 80m에 위치하고 있다.(첨부 1-1, 1-2, 첨부 2. 참고)
 - 사건 장소 북북동쪽에 위치한 금정산의 해발고도는 801m이며, 남남동쪽으로는 상학산이 위치하고 있는데 해발고도는 640m이다. 서쪽으로는 낙동강이 북쪽에서 남으로 흐르고 있으며 강 건너편으로는 김해평야가 전개되어 있어서 시야가 트여 있다.
 - 사건 장소를 중심으로 현지 지형특징은 남서방향으로 낮은 평야지대로 열려 있어서 남서-남풍계가 형성될 수 있는 기압배치가 형성되면 대규모 기류유입이 용이하고, 유입된 기류는 동쪽으로 인접해 있는 금정산의 경사면에 부딪혀 산악효과에 의한 강제 상승이 일어날 수 있는 조건을 갖추고 있다. 즉, 현지 지형환경이



대기의 강제상승을 돕는 구조로 되어 있어서 개활지나 다른 지역에 비해 강수량이 많을 수 있는 조건을 갖추고 있다.

- 사건 장소의 지형환경은 산악에 의한 대기의 상승효과가 나타날 수 있는 지역인데 수증기가 함유된 공기가 바다에서 육지로 들어오면 금정산을 만나게 되고, 공기는 금정산과 충돌하게 된다. 질량보존 법칙에 의해 공기는 산을 만나면 사라지지 않고, 위로 올라가거나, 산을 넘어가게 되면서 지형효과가 발생한다. 일반적으로 비구름은 풍상 측에 높은 산(약 500~600m 이상)을 만나게 되면 상승효과가 일어나고, 해당 풍상 측을 중심으로 비구름 강도가 강해져 강수량 증가와 연계 될 수 있다. (첨부 2. 산악효과와 강수량. 참고)

3) 현장조사

- 2014년 09월 21일 ~ 09월 23일

4) 자료 분석

- 본 감정결과는 감정대상 지점에 대한 사고당일 호우발생 조건 해당여부를 분석하기 위해 기상청 분석일기도 및 수치일기도, 기상청 AWS 관측자료(기상관측표준화 기준을 충족하는 기상청 공식 관측자료) 등을 최대 이용하여 종관기상분석을 실시하였다. (첨부 3-1 ~ 3-10. 각종 일기도, 수치 일기도 등. 참고)

- 아울러, 사고당일 1시간 강수량에 대한 최적의 감정 결과를 얻기 위하여 기상청 AWS 관측자료(부산 북구, 양산시, 부산 금정구, 부산 동래) 4개 지점의 실태관측 자료를 이용하여, 4개 지점에 대해 10분 간격으로 6개의 레이더 강우강도의 평균값과 실제 관측한 60분 강수량(13~14시)과 비교하여 회귀식을 산출하였다. (첨부9. 레이더 영상을 활용한 사건지점 강수량 산출. 참고)

- 사건발생 장소에 대해서도 마찬가지로 1시간 동안 10분 간격 레이더 강우강도의 평균값을 산출하고, 회귀식에 반영하여 강수량을 산출하였다. (첨부9. 레이더 영상을 활용한 사건지점 강수량 산출. 참고)

- 최근 태풍, 호우, 폭염, 폭설, 강풍 등으로 인한 피해규모가 갈수록 대형화되고, 위험 기상에 따른 특정 지역, 특정 point에 대한 영향을 정확히 파악하기 위해서는 조밀한 관측망, 고해상 관측자료가 매우 중요하다. 그러나 현실적으로 표준화된 조밀한 관측망을 무한정 늘릴 수는 없기 때문에 객관적인 방법을 사용하여 현재의 관측망 자료를 최대한 이용하면서 고해상도의 자료를 산출하는 기법의 적용이 필요하다.

본 감정에서는 사건장소에 대한 강수량 추정을 위해 최근 10km 또는 그보다 더 조밀한 해상도의 자료를 생산하는 연구(홍기욱 외, 2007; 신성철 외, 2008; 김맹기 외, 2012)에 사용한 PRISM(Parameter elevation Regressions an Independent Slopes Model) 기술을 이용하였다.

- 사고 발생 장소와 주변 기상청 AWS지점간의 거리 가중치와 각 지점별 고도에 따른 강수량 특성을 반영하여 PRISM 분석법에 의한 강수량을 추정하였다. (첨부10. 사건지점 및 주변 기상청 AWS의 지리 정보, 첨부11. PRISM 분석법. 참고)

- 사고 현장(부산시 북구 ◇◇동 0000-0번지)에 대한 객관강수량 추정도 PRISM 기법을 이용하여 강수량을 산출하였다. (첨부12. PRISM 분석법을 활용한 사건지점 강수량 추정. 참고)

5) 참고자료 및 출처

- 첨부0. 기상감정 의뢰 상세 배경
- 첨부1-1. 사건현장 약도
- 첨부1-2. 사건현장 지형환경
- 첨부 2. 사건지역 주변 지형도 및 활용 가능한 주변 기상청 AWS 위치
- 첨부3-1. 감정대상 시점의 일기도(지상 일기도, 850hPa 상당온위, KI)
- 첨부3-2. 감정대상 시점의 일기도(925hPa, 850hPa 일기도(2014.8.25. 09시))
- 첨부3-3. 감정대상 시점의 일기도(500hPa 일기도, 2014.8.25. 09시)
- 첨부3-4. 감정대상 시점의 대기 상하층 커플링
- 첨부3-5. 등온위면 분석
- 첨부3-6. 기상레이더 에코 분석
- 첨부3-7. 지상일기도와 한반도 바람벡터
- 첨부3-8. 한반도 기압분포도, 유선·습도
- 첨부3-9. 한반도 700hPa P-vel, winds, 500hPa Vorticity, 925winds
- 첨부3-10. 지형과 바람, 최하층 연직속도
- 첨부3-11. 850hPa 상당온위
- 첨부4. 기상청 발표 당일 기상예보문
- 첨부5. 호우특보 발효 현황
- 첨부6-1. 부산, 경남 1시간 강수량 분포도(14.8.25. 14시)
- 첨부6-2. 부산광역시 각 구별 1시간 강수량 분포도(14.8.25. 14시)
- 첨부6-3. 부산 및 경남 남해안 시각별 강수량(14.8.25)
- 첨부7. 사건시점의 기상위성 영상
- 첨부8. 사건시점의 기상레이더 영상(CAPPI 1.5km)
- 첨부9. 레이더 영상을 활용한 사건장소 강수량 산출
- 첨부10. 사건장소 및 주변 기상청 AWS의 지리 정보



- 첨부11. PRISM 분석법
- 첨부12. PRISM 분석법을 이용한 사건장소에 대한 강수량 산출
- 첨부13. 사건장소 건물 옥상 단면도
- 첨부14. 옥상 면적 대비 강우량별 수용가능한 배수관 직경 기준(국토해양부)
- 첨부15. 사건시점 호우로 인한 인근지역 사고관련 보도 건

3. 기상감정 결과 및 의견

1) 기상감정 결과 및 의견

- 2014년 8월 25일 09시 종관분석, 우리나라 서쪽에서 전선을 동반한 저기압이 접근해 오는 기압배치로써 부산을 비롯한 남부지방은 호우가 발생할 수 있는 환경에 들어있었다. 이날 오전~오후 시간대로 가면서 저기압은 동쪽으로 이동하였고, 저기압 전면의 전선 수렴대는 남부지방을 중심으로 형성되었다. 남해상의 하층(850hPa) 제트로 인해 남부지방은 속도수렴이 발생하여 부산 및 경남남해안에는 호우가 집중될 수 있는 조건을 갖추게 되었다.
- 사건 당일 8.25 13시~15시 경에는 온난전선이 부산에서 주 강수지역인 부산북구, 금정구, 기장 부근에 위치한 가운데, 온난전선의 남쪽에서 다량의 수증기가 유입되어 금정산 서쪽사면에 도달하여 산악효과가 일어날 수 있었고, 상층(500hPa 일기도)의 한기(-5℃) 경계 역 주변에서는 상·하층간 강한 불안정이 일어나면서, 복수의 적란운이 연속적으로 발생하여 사건장소 부근으로 이동하는 양상을 보였다. (첨부3-1. 감정대상 시점의 일기도(지상 일기도, 850hPa 상당온위, KI, 첨부3-2. 감정대상 시점의 일기도(925hPa, 850hPa 일기도(2014.8.25. 09시). 참고)
- 또한 당일 대기 상하층을 연계하여 분석하면 대기 상층의 제트와 대기 하층의 제트가 동반됨으로써 '상하층 커플링'이 일어나는 연직 구조를 가지게 되었다. 상층제트는 남부지방에서 하층 속도수렴에 의해 발생된 습한 기류의 상승을 도와주는 역할을 하여 수증기가 강수로 응결하는데 큰 도움을 줄 수 있는 조건이 되었다. (첨부3-3. 감정대상 시점의 일기도(500hPa 일기도, 2014.8.25. 09시), 첨부3-4. 감정대상 시점의 대기 상하층 커플링. 참고)
- 수치일기도의 상당온위 축은 중국 남부지방에서부터 우리나라 남부지방까지 열을 이루며 형성되어 매우 습한 기류가 우리나라로 유입될 수 있는 조건을 갖추었다. 불안정지수인 K지수 또한 35이상으로 대기가 호우를 내릴 수 있는 매우 불안정한 조건을 갖추고 있다. (첨부3-1. 감정대상 시점의 일기도(지상 일기도, 850hPa 상당온위, KI). 참고)
- 사건 당일 아침 기상예보문에서는 부산 및 남해안을 중심으로 많은 비를 예보하였으며, 특히 시간당 30mm이상의 호우가 내릴 수 있음을 예보하였다. 그리고 당일 아침에는 호우 셀들이 서쪽에서 점차 발달하면서 이동하는 가운데 부산광역시 일원에는 9시 10분을 기해 호우주의보가 발효되었고, 13시에는 호우경보가 발효되었다. (첨부4. 기상청 발표 당일 기상예보문, 첨부5. 호우특보 발효 현황. 참고)

기상감정 가상 시나리오

시나리오 01

- 사건 당일 13시~14시 사이 60분 강수량 분포도를 보면, 남해안에 동서로 축을 두고 경남지역 전체를 아우르는 거대한 크기의 호우 분포를 보였다. 부산지역 내에서는 해안가보다는 금정산을 중심으로 그 주변에 많은 비가 내린 특징을 보였다. (첨부6-1, 6-2. 사건시점 강수량 분포도. 참고)
- 사건당일 14시 00분 기상위성영상에서는 중규모 대류복합체가 매우 넓은 지역에서 발달하는 모습을 보이며, 강한 상승류로 인해 비구름이 대류권계면 이상까지 매우 높이 발달해 있다. 강수 에코는 부산으로부터 남서 방향으로 줄지어서 나타났고, 바람이 불어오는 쪽에서 새로운 셀(적란운)이 생겨나면서, 많은 강수량을 기록하였다. 이때 운정 고도는 16km, 운정 온도는 -78℃로 대류운이 크게 발달하였다. (첨부7. 사건시점의 기상위성 영상, 첨부8. 기상레이더 영상. 참고)
- 기상레이더 CAPPI 1.5km 영상을 13:10~14:00 까지 10분 간격으로 분석한 결과, 서쪽에서 생긴 호우 에코가 동쪽으로 매우 빠르게 이동하며, 이 지나간 자리에 다시 호우가 발생하고 이동하는 형태가 짧은 시간 동안 반복해서 나타났다. 이는 대기가 매우 불안정한 상태라서 수렴이 활발히 일어나는 상황으로써 호우를 예측할 수 있다. (첨부8. 사건시점의 기상레이더 영상(CAPPI 1.5km). 참고)
- 사건지점 주변 관측소 4개 지점에 대해 10분 간격으로 6개의 레이더 강우강도의 평균값과 실제 관측한 60분 강수량(13~14시)과 비교하여 회귀식을 산출하였다.

사건지점도 마찬가지로 1시간 동안 10분 간격 레이더 강우강도의 평균값은 20.8mm/hr로 산출되었고, 회귀식에 반영하면 96.4mm/hr의 강수량을 산출할 수 있다. 같은 시각 같은 시스템 내에서 레이더 강우강도와 주변 AWS관측지점 강수량과의 관계는 사건지점의 강우량과 레이더 강우강도 간에도 아주 유사하게 작용한다는 점을 고려한다면 충분히 신뢰할 만한 결과로 분석된다. (첨부6-2. 부산광역시 각 구별 1시간 강수량 분포도(14.8.25. 14시), 첨부9. 레이더 영상을 활용한 사건지점 강수량 산출. 참고)

- 사건장소에 대한 1시간 강수량을 산출하기 위해 사건지점과 주변 AWS지점간의 거리 가중치와 각 지점별 고도에 따른 강우량의 특성을 반영하여(첨부10. 사건지점 및 주변 기상AWS의 지리 정보, 참고), PRISM 분석법(첨부11. PRISM 분석법)을 이용하여 강수량을 산출하였다. (첨부12. PRISM 분석법을 활용한 사건장소 강수량 산출. 참고)
- 부산북구와 양산시 AWS 2개 지점만 반영하면 사건지점 강수량은 111.5mm/hr, 부산북구, 양산시, 부산금정구 AWS 3개 지점을 반영하면, 96.7mm로써 기상레이더를 이용한 산출 강수량 96.4mm와 매우 유사하게 나타났다.

다음으로 AWS 4개 지점(부산북구, 양산시, 부산금정구, 부산동래) 모두를 반영하면 127.0mm로 산출되었다. (첨부11 PRISM 분석법, 첨부12. PRISM 분석법을 활용한 사건지점 강수량 산출. 참고)

- 지금까지 사건발생 일자를 전후 한 기상청의 각 총별 일기도 자료, 수치일기도, 기상위성 자료, 기상레이더, 인근 AWS 자동기상관측 자료, 특정 장소에 대한 객관 강수량 산출기법 등을 종합하면, 사건장소(부산 북구 ◇◇동 0000-0)에 1시간 강수량은 90~120mm/hr 이상으로 분석된다. 이 같은 강수량은 부산지역에 100년에 한번 나타날 만한 양의 강우강도로 분석된다. (첨부12. PRISM 분석법을 활용한 사건지점 강수량 산출. 참고)



- C보험회사는 '◇◇ 쇼핑센터' 대표에게 옥상 배관설비를 제대로 갖추지 않아 피해가 발생하였고, 직경 7.5cm의 배관만 설치했으면 100% 보상해줬을 것이라고 주장하지만 '국토해양부 건축기계설비 설계 기준'에 따르면 건물 옥상의 면적이 240㎡로써 직경 7.5cm의 배관을 설치하더라도 최대 85mm/hr 이하의 강수량을 한계치로 보아야 할 것이다. 그러나 사고당일 현장에서는 90~120mm/hr 이상의 비가 내린 것으로 분석되어 직경 7.5cm 배관규격으로 설치하였더라도 옥상에 배수는 제대로 이루어지지 않아 옥상창고는 침수되었을 것으로 분석된다. (첨부 14. 옥상 면적 대비 강우량별 수용가능한 배수관 직경 기준(국토해양부). 참고)
- 한편, 사건 시점과 비슷한 시각에 부산북구 구포동에서는 산사태가 발생하여 경로당이 붕괴(첨부 15. 현장사진)되기도 하였다. 산사태가 발생 하였을 정도의 호우가 인근에서 발생한 점을 미루어 본다면 당일 사건현장 뿐만 아니라 더 넓은 지역에서 호우가 일어났을 가능성도 배제할 수 없겠다.

2) 관련 전문가 자문(해당사항 있을 경우 작성)

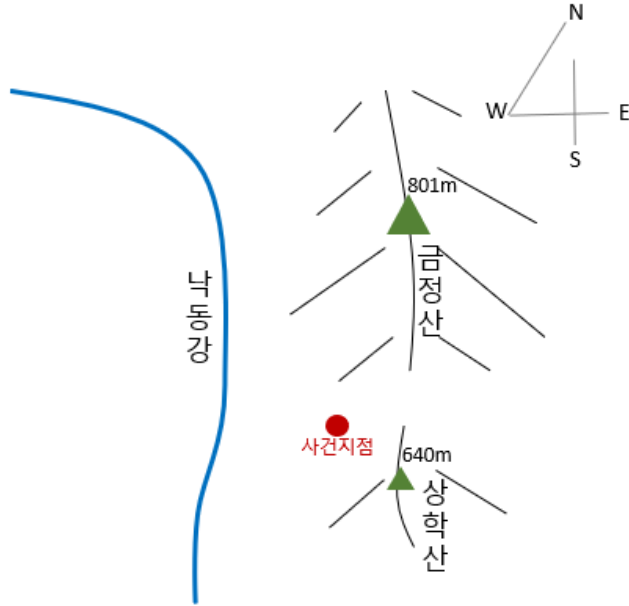
- 해당 없음

첨부0. 기상감정 의뢰 상세 배경

- 옥상 배관 시공을 전문으로 하는 A배관업체는 부산광역시 북구 ◇◇동에 소재하고 있는 ‘◇◇ 쇼핑센터’ 노후 우수관 교체공사를 시공하였다. 우수관 교체공사는 쇼핑센터 옥상에서 지상으로 이어지는 우수관이 노후화되어 관 밖으로 물이 흘러나오는 상태를 전면적으로 재시공하는 공사였으며, 2014년 5월 10일에 공사를 완료하였다.
- ‘◇◇ 쇼핑센터’는 의류 물류의 증가로 창고가 추가로 필요하게 되어 2013년 11월 건물 옥상에 물류창고를 증축하였고, 자연재해의 심각성을 느껴 2014년 1월에 C보험회사에 풍수해 보험을 가입하였다. 보험약관에는 강수량이나 태풍의 강도, 적설에 대한 기준 값은 없이 자연재해로 인한 피해 발생 시 보상금을 지급해주기로 되어 있었다.
- 의뢰인은 공사 후 문제가 없이 지내왔지만, 2014년 8월 25일 13~14시경에 발생한 집중호우로 ‘◇◇ 쇼핑센터’ 옥상에 빗물이 배수되지 않았고, 이로 인해 물류 창고가 침수되어 물류 중 일부(의류 약 9,000만원 상당)가 물에 잠겨 폐기 처분의 상태에 이르렀다. 이리하여 C보험회사에 보상을 요구하게 되었는데, 현장 실사를 나온 보험회사 보상팀에서는 옥상면적이 240m²로 넓은데 비하여 배관의 직경은 5cm에 불과하므로, 이는 애당초 시간당 약 30mm 이상의 강수량을 견디지 못하는 수준이라고 지적하였다. 그러면서 이는 집중호우 시 무방비 상태가 될 수밖에 없는 상황이었기 때문에 보상금의 50%만 인정하겠다고 통보하였다. 특히, 보험회사는 사건 장소와 가장 가까운 4.1km 떨어진 기상청의 ‘부산 북구 AWS’에서 관측된 1시간 강수량이 75.5mm 이었으며, 사건 현장에도 이와 비슷한 강수가 내렸을 것으로 가정하면서, 이 정도의 옥상면적(240m²)에서는 시간당 85mm 강수량을 견딜 수 있는 최소한 직경 7.5cm의 배관이 설치되어야 하고, 그렇게 설치되어 있었다면 보상금을 100% 지급할 수 있다고 하였다.
- 이에 의뢰인 ◇◇쇼핑센터 대표는 A배관업체가 옥상면적에 알맞은 규격의 배관 제품을 시공하지 않았고, 옥상면적 증축 전부터 설치되어있던 것과 같은 직경의 배관을 사용하여 이러한 문제가 발생하였다고 판단하여 먼저 A배관업체에 피해보상을 요구하게 되었다.
- 그러나 A배관업체는 공사 당시에 옥상의 면적을 반영한 배관을 시공하지는 못했지만(기존에 설치되어있던 크기와 같은 크기로 시공), 설령 보험회사에서 주장하는 직경 7.5cm의 배관을 설치했다 하더라도 사건 당일 내린 폭우는 감당하기 어려웠을 것이라고 주장하였다. 왜냐하면 A배관업체 대표는 지난 50년간 비와 관련된 배관 공사 일을 하여왔지만 사건당일 호우는 평생에 한 번도 경험하지 못한 엄청난 폭우였기에 배수가 원활하지는 못했을 것이라고 주장하였다. 아울러 A배관업체 대표는 사고 당일 같은 동네에서 폭우를 목격하였는데 본인이 보기에는 시간당 75mm보다도 더 많은 양의 비를 체감하였다고 하며, 의뢰인에게 ‘기상감정’을 한 번 받아서, 당일 해당시각과 장소에 실제 1시간 동안 강수량이 얼마였는지 과학적인 기상감정결과로 보험사와 재협의 해보는 것이 어떻겠냐는 조언을 하였다. 이에 의뢰인은 전문적인 지식도 없고, 경황이 없던 차에, A배관업체 대표의 말을 들어보니 일리가 있다는 생각이 들었고, 보험회사의 보상금 50% 보상은 불합리하다는 판단으로 기상감정을 의뢰하게 되었다.



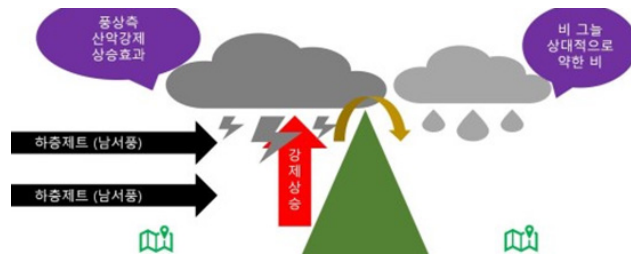
첨부1-1. 사건현장 약도



감정대상 지점은 부산광역시 북구 ◇◇동 0000-0번지에 소재한 2층 건물 옥상으로써 건물을 기준으로 동쪽으로는 금정산 산지 지형과 인접해 있다.

금정산(801m)과 상학산(640m) 사이의 해발고도 약 80m 지점에 위치하고 있다.

첨부1-2. 사건현장 지형환경



동쪽으로는 부산지역에서 가장 높은 금정산 줄기가 북에서 남으로 형성되어 있고, 금정산의 최고봉(801m)은 북북동쪽에 위치한다. 남남동쪽에 위치한 상학산은 해발고도 640m의 높은 산이다. 낙동강의 하구는 남해 바다와 맞닿아 남해 해상과 김해평야로부터 남~남서 계열의 바람이 유입될 때, 사고 장소(북구 ◇◇동)는 금정산의 풍상 측에 놓이게 됨으로써 강수량이 증가 될 수 있는 장소이다. 지형도에서와 같이 감정대상 지점의 서쪽으로는 낙동강이 흐르고 김해평야로 이루어져 있다.



첨부2. 사건지역 주변 지형도 및 활용 가능한 기상청 AWS 위치

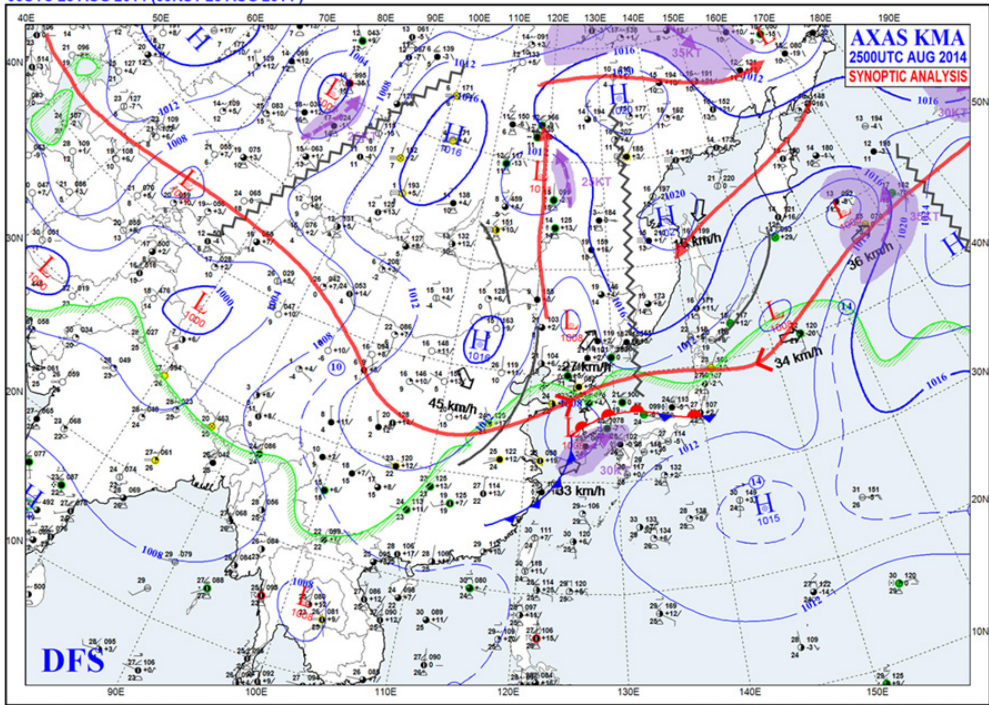


사건 발생지점은 남서류의 유입이 쉽고, 남서류 유입 시 풍상 측에 놓이게 되는 지리적 환경에 놓여 있다. 동쪽으로 가로 놓인 금정산 줄기의 지형효과로 강제 상승이 일어나게 되어 평지나 다른 지역에 비해 강수량이 증가 될 수 있는 조건을 갖추고 있다.

사건지점에서 가장 가까이에 위치한 4개의 기상청 AWS관측소(양산시, 금정구, 북구, 동래)를 사건 시점의 호우분석에 활용하였다.

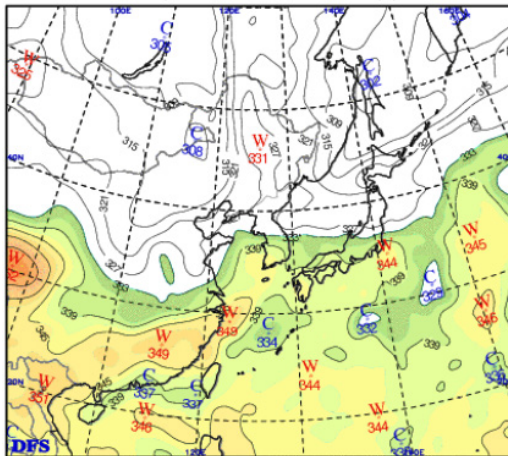
첨부3-1. 감정대상 시점의 일기도(지상 일기도, 850hPa 상당온위, KI)

00UTC 25 AUG 2014 (09KST 25 AUG 2014)

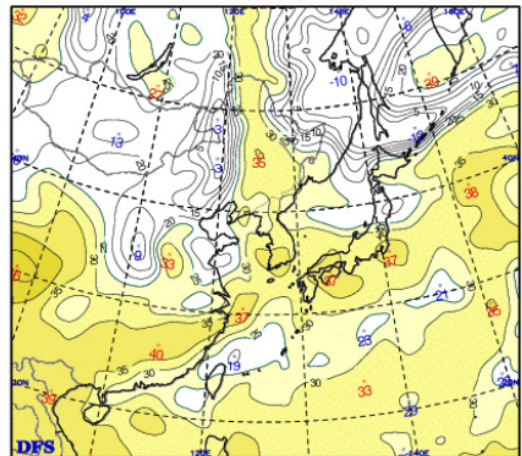


Korea Meteorological Administration(KMA)

00UTC 25 AUG 2014 (09KST 25 AUG 2014)



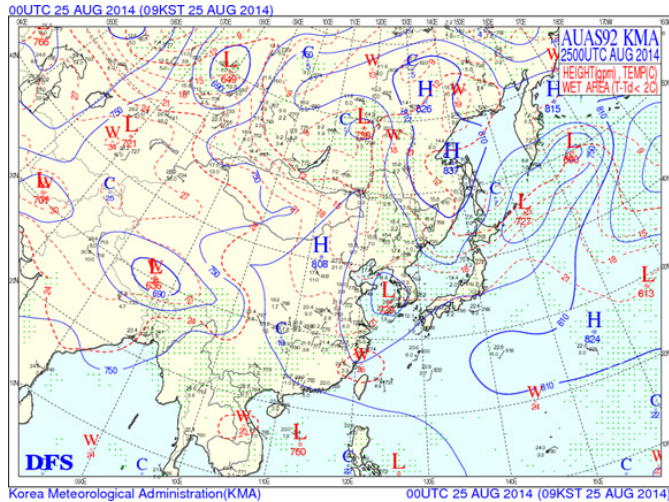
850hPa Equivalent Potential Temperature(3K)



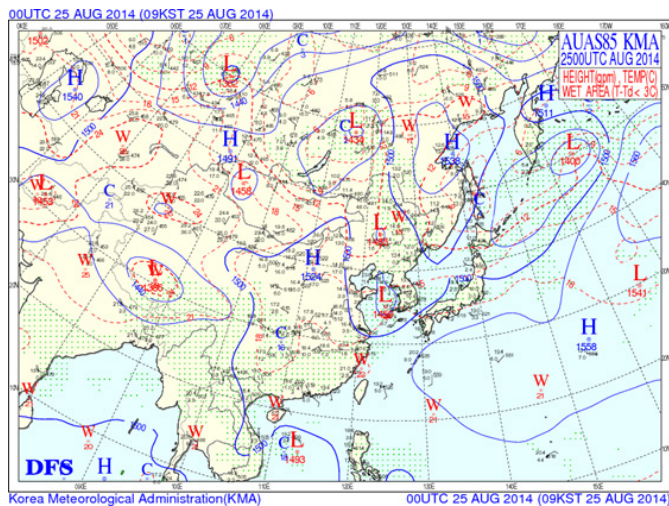
K-index(5)



첨부3-2. 감정대상 시점의 일기도(925hPa, 850hPa 일기도(2014.8.25. 09시))



925hPa 일기도(2014.8.25. 09시)



850hPa 일기도(2014.8.25. 09시)

[종관분석 요약]

2014년 8월 25일의 지상 및 상층일기도를 중심으로 종관 분석을 종합하면 여름철 mT 가장자리에서 하층제트기류에 의해 많은 수증기가 한반도 남~남서쪽에서 유입되어 전선 난역에서 급속히 발달함으로써 단시간 집중호우로 이어진 것으로 분석된다.

특히, 전선대 북쪽에서는 남쪽 경계역 mT 가장자리와 충돌하여 강한 수렴대가 형성되었다. 또한

기상감정 가상 시나리오

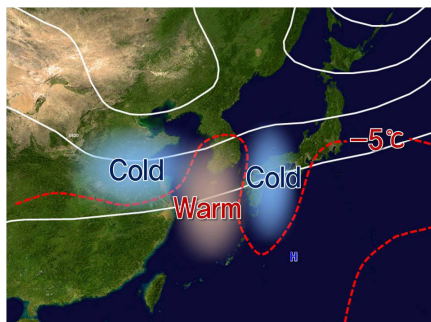
시나리오 01

온난전선은 8월 24일 아침 중국 상해에서 발달하여 동진하였는데, 25일 아침 09시에 경상남도과 경상북도 경계부근에 놓여, 부산의 북구, 금정구에서 약 50km, 남해안에서는 북쪽으로 약 80km 인 곳에 위치하였다. 이후 동진하는 과정에서 조금씩 남하하여 13~15시에는 주 강수지역인 부산북구, 금정구, 기장 부근에 위치한 가운데, 온난전선의 남쪽에서 다량의 수증기와 산악지형이 상호작용하는 조건이 되었으며, 상층(500hPa)의 한기(-5℃) 경계 역 주변으로 상·하층간 강한 불안정이 일어나면서, 복수의 적란운이 연속적으로 발생하는 양상을 보였다.

종관일기도 상에 저기압이 접근해오면서 전면 전선 수렴대가 남부지방을 중심으로 형성되고, 850hPa 일기도에서 남해상의 하층제트로 인해 남부지방은 속도수렴이 발생하여 많은 강수가 내리기 쉬운 조건을 갖추고 있다.

상층의 제트 또한 동반되어 상하층 커플링이 일어나는 연직 구조를 갖추게 되었으며, 상층제트는 남부지방에서 하층 속도수렴에 의해 발생된 습한 기류의 상승을 도와주는 역할을 하여 수증기가 비로 응결하는데 도움을 줄 수 있는 조건이 되었다.

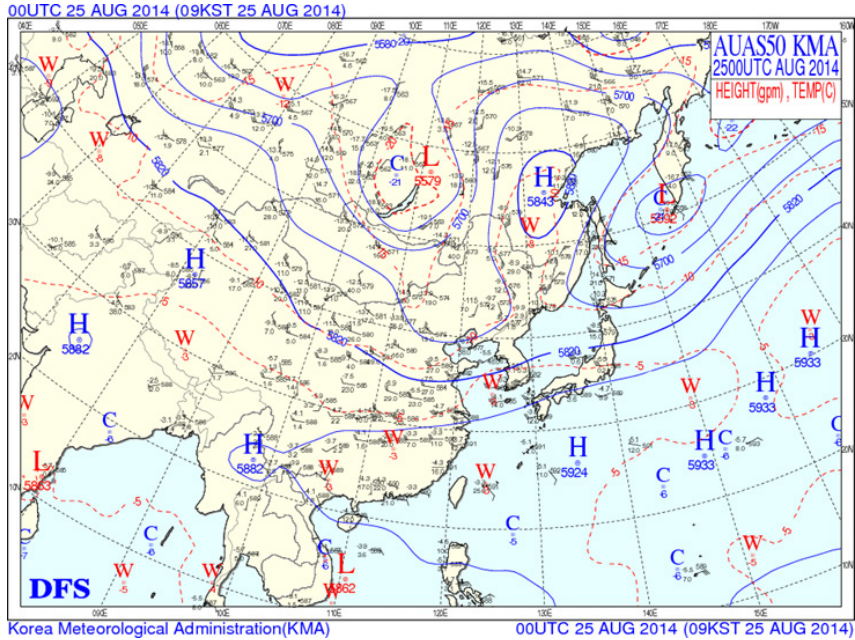
수치일기도의 상당온위 축은 중국 남부지방에서부터 우리나라 남부지방까지 열을 이루며 형성되어 있어 매우 습한 기류가 우리나라로 유입될 수 있는 조건이며, 불안정지수인 K지수 또한 35이상으로 대기가 매우 불안정한 조건을 갖추는 등 여러가지 호우발생 조건을 만족하고 있다.



상층(500hPa)의 -5℃ 기온선 경계 역
(2015.08.25.)



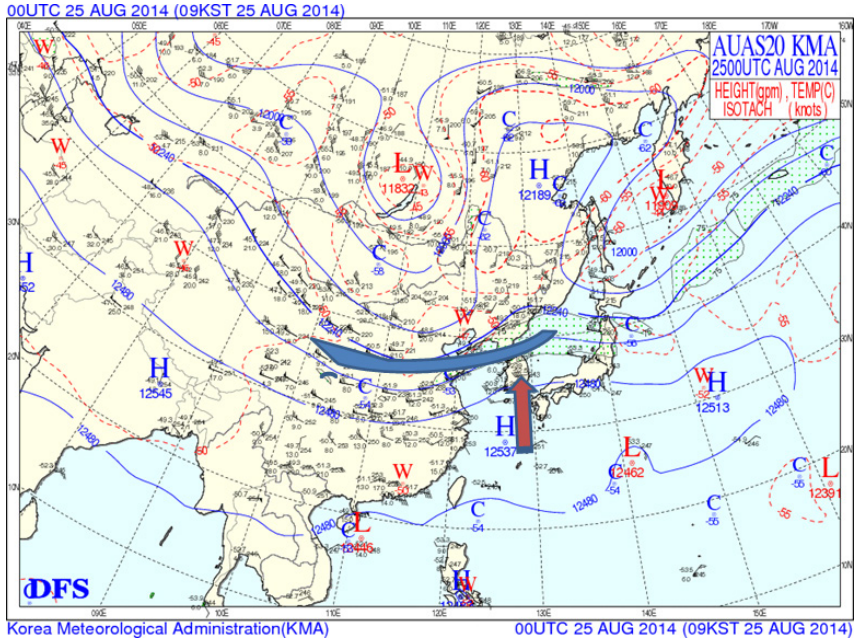
첨부3-3. 감정대상 시점의 일기도(500hPa 일기도, 2014.8.25. 09시)



500hPa 일기도에서 발해만~산둥반도 서쪽으로 형성된 상층기압골이 접근하면서 지상저기압 발달을 촉진하고 있다. 상층 남서풍의 강화는 하층기류를 상층까지 유도하고, 지상 부근에서는 남해상으로부터 다량의 수증기 유입을 지속적으로 유입시키는 남풍이 형성됨으로써 강수량이 증가된 것으로 분석된다.

500hPa 일기도에서 온도장을 보면 우리나라 남부지방에서 일본 남부지방까지 -5°C의 한기구역이 위치하여 부산, 경남 일원에는 지역에 따라 대기불안정이 강할 것으로 분석 된다.

첨부3-4. 감정대상 시점의 대기 상하층 커플링



2014년 8월 25일 09시 상·하층 일기도를 보면 그림과 같이 상층제트가 우리나라 상공을 지나고, 하층제트도 형성되어 대류운동이 급격하게 발달할 수 있는 조건이었고, 경남지방 대부분은 호우가 발생할 수 있는 환경에 들고 있다.

상·하층 제트 결합은 고도가 다른 두 층(하층·상층)의 강풍대가 위와 같이 교차하는 형태로서 강한 대류가 발생하기 쉬운 물리적 특징을 나타낸다. 8월 25일 09시 850hPa 일기도에서는 저기압 중심을 기준으로 한랭전선과 온난전선 사이 난역으로 남풍(하층제트)이 형성됨으로써 남해상으로부터 고온·다습한 공기가 유입되어 잠재적으로 불안정한 대기가 되었고, 시간 경과에 따라 고온·다습한 공기는 하층제트에 의해 빠르게 내륙으로 이동하면서 포화되고, 상승운동이 활발해 질 것으로 보여 호우를 예상할 수 있다.



첨부3-5. 등온위면 분석

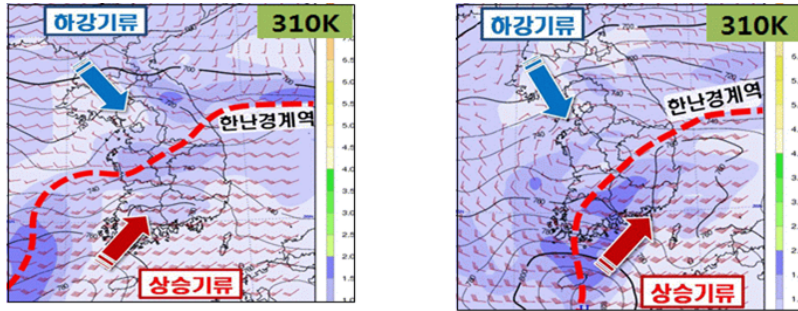


그림 1. 등 온위면 310K(2014.08.25. 좌 : 9시, 우:15시)

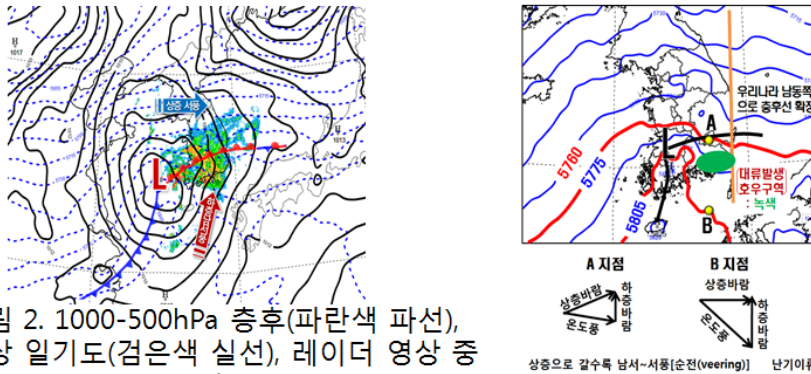
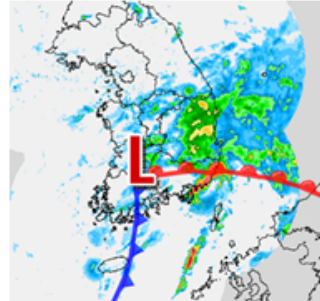
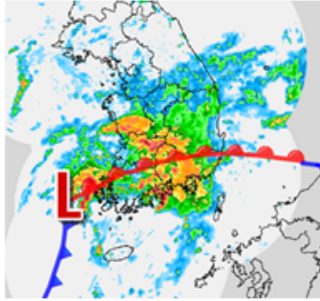


그림 2. 1000-500hPa 층후(파란색 파선), 지상 일기도(검은색 실선), 레이더 영상 중첩(2014. 08. 25. 09시)

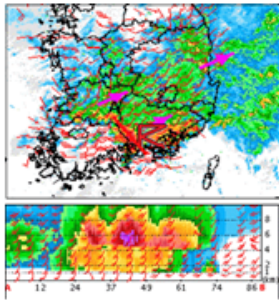
그림 1에서 기압이 높은데서 낮은 데로 이동하는 상승기류는 붉은 색 점선의 남쪽으로 한정되고, 북쪽 지역은 남서풍이지만 기압이 높은데서 낮은 데로 이동하는 하강기류 지역이다. 상승-하강 경계선이 충청도 부근(25일 09시)에서 남동진하여 경남 북부(25일 15시)지역으로 이동하여 그 남쪽에는 1.5 PVU 이상 지역에 속한다. 제주도 부근의 남서풍(30~40kt)은 등압면을 가로질러 부산, 경남지역은 상승기류가 강해지는 구역에 들고 있다.

그림 2에서 층후(1000-500hPa), 하층제트(850hPa), K-index, 레이더 영상을 중첩해 보면 부산, 경남지방은 하층제트 전면에 들고 있다. 서해상에 위치한 지상 저기압의 동쪽 지역인 경남지방은 지상에서 남~남서풍, 대기 중층(500hPa)에서는 남서에서 서풍 바람이 불어 연직 시어가 발생되고, 온난 이류로 다량의 수증기와 함께 대기 불안정을 보인다.

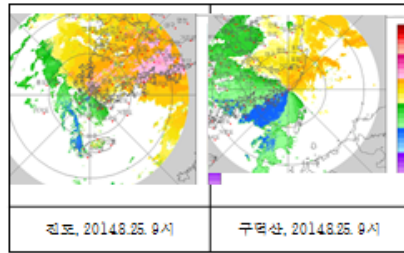
첨부3-6. 기상레이더 에코 분석



2014.8.25. 09시(좌), 15시(우)



2014.8.25. 13시



레이더 시선 속도

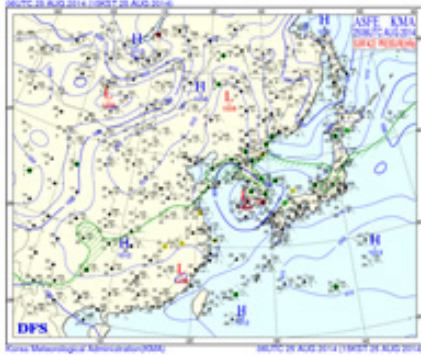
8월 25일 전남지역을 통과한 강수예코는 13시에 부산, 경남지방에 도달하여 13~14시 피크를 보이고 있다. 이번 감정대상 사건의 강수 에코 특징 중 하나는 전남과 경남 경계에 놓인 지리산 산악 지역을 통과한 후에 이례적으로 약화되지 않고 활성을 띄는 경향을 보인다는 것이다. 특히, 경남서부지역과 부산, 경남해안을 중심으로 뇌전을 동반한 30mm/hr 이상의 강도를 유지하였고, 경남 내륙으로는 10~20mm/hr의 예코가 동북동진하고 있다.

하단의 그림은 8월 25일 9시에 진도와 구덕산의 레이더 시선속도로써 강수대의 이동을 나타내는데, 진도 레이더에서 에코가 들어오는 속도는 0~18m/s 분포이고, 동진하여 멀어지는 속도는 0~24m/s로 강수 예코가 약해지는 단계이고, 구덕산 레이더에서 접근하는 시선 속도(blue)는 15~21m/s, 멀어지는 속도(yellow)는 9~12m/s로, 수증기가 부산, 경남지방으로 많이 유입되는 조건을 보인다.

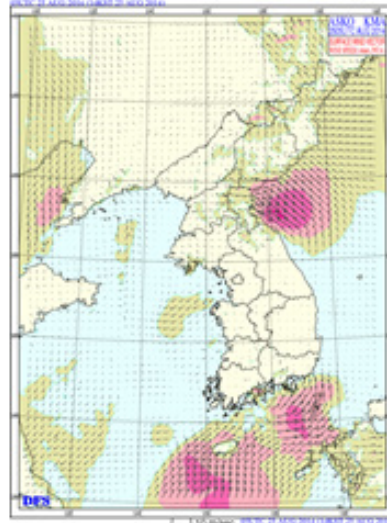
구덕산 기상 레이더 연직시계열 바람(아래 좌측 그림)에서 25일 약 3km 이상 상공까지 남서풍이 30kt 내외로 유입되었고, 대기 하층 약 1km 고도에서 20kt 이상의 남풍이 유입되고 있어서 호우발생 조건을 만족한다.



첨부3-7. 지상일기도와 한반도 바람벡터



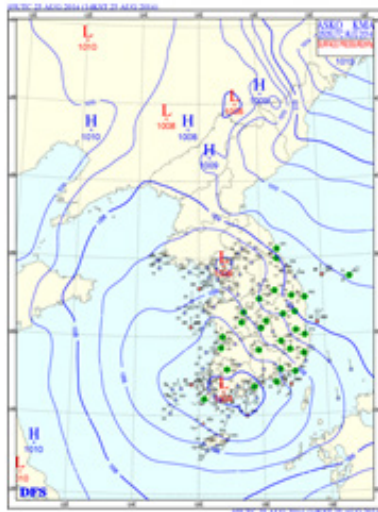
지상일기도(14.08.25. 15시)



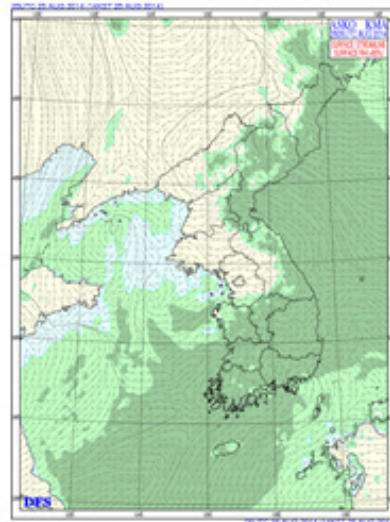
한반도 바람벡터(14.08.25, 14시)

저기압의 중심이 8월 25일 09시에 서해남부해상 목포 앞바다에서 동진하여 15시에는 전남 내륙으로 이동하였다. 부산, 경남지역에 강한 강수가 발생되었던 시간은 13~14시 경이었는데 14시 한반도 바람벡터 형성은 오른쪽 그림과 같이 해상으로부터 남풍계열 바람이 부산방면으로 강하게 유입되고 있다.

첨부3-8. 한반도 기압분포도, 유선·습도



한반도 기압분포도(14.08.25. 14시)



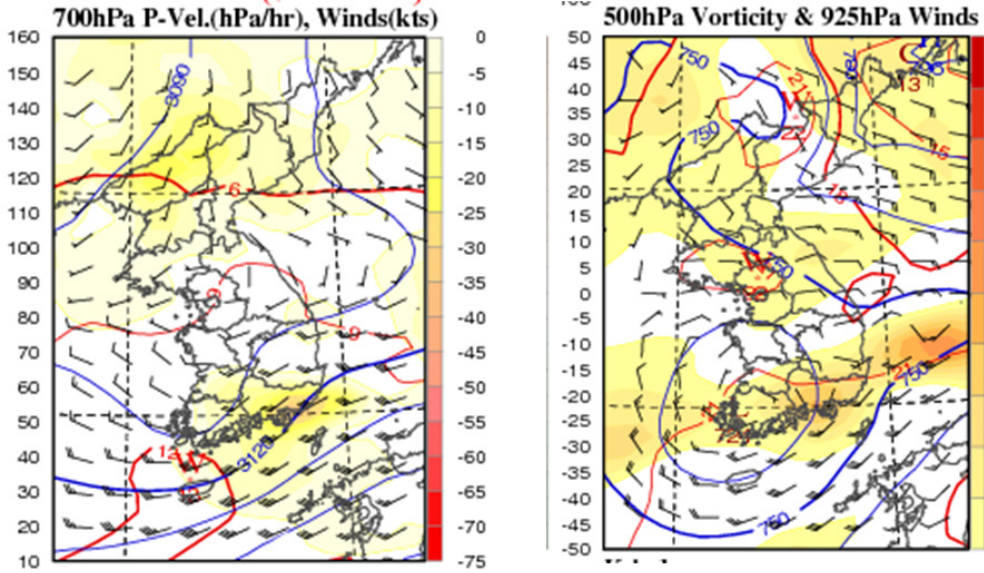
한반도 유선, 습도(14.08.25. 14시)

부산지역에 강수 집중시간대(13시~14시) 한반도 기압분포도를 보면 저기압 중심이 전남에 놓여있다. 남부는 물론 중부지방까지 강수가 분포한다.

습수 역은 남부, 충청, 영동지방까지 형성되어 있는데 한반도 유선도에서는 부산 및 경남해안으로 수렴대가 형성되어 있다.



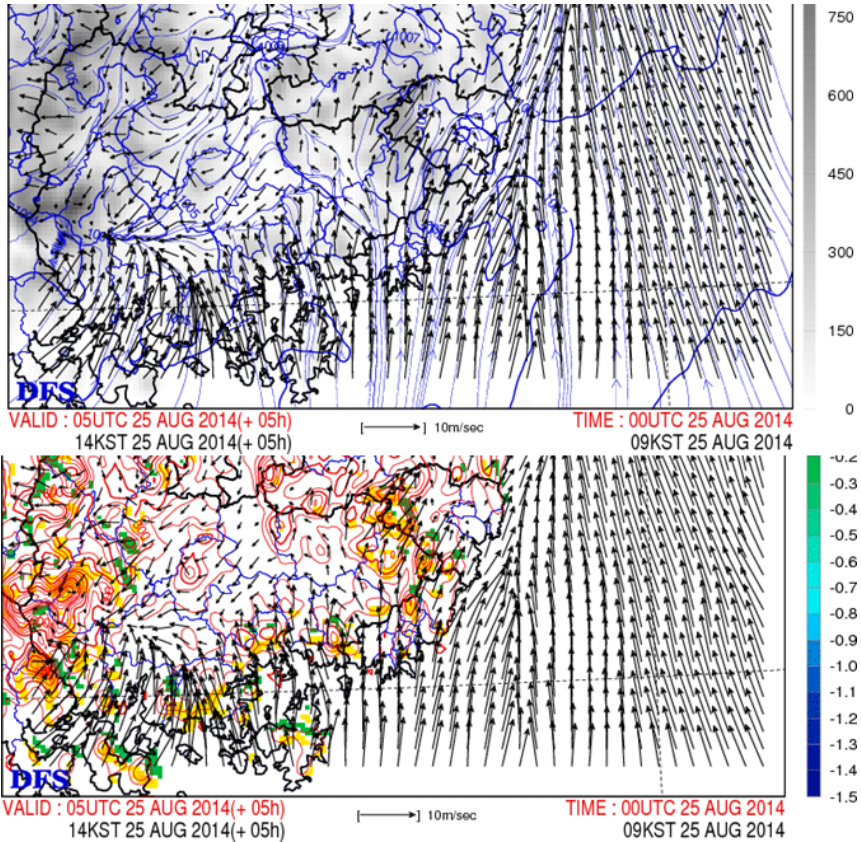
첨부3-9. 한반도 700hPa P-vel, winds, 500hPa Vorticity, 925winds



한반도 국지모델 700hPa P-vel, winds(8.25, 15시/00UTC초기자료)에서 남~남서류 강풍이 부산, 경남 동부해안으로 유입되고 있고, 강한 상승류가 부산경남해안에 집중되어 호우를 예상할 수 있다.

500hPa Vorticity, 925winds(8.25, 15시/00UTC초기자료) 자료에서도 부산 및 경남해안지역으로 강한 양의와도가 형성되고 있어서 호우를 예상할 수 있다.

첨부3-10. 지형과 바람, 최하층 연직속도

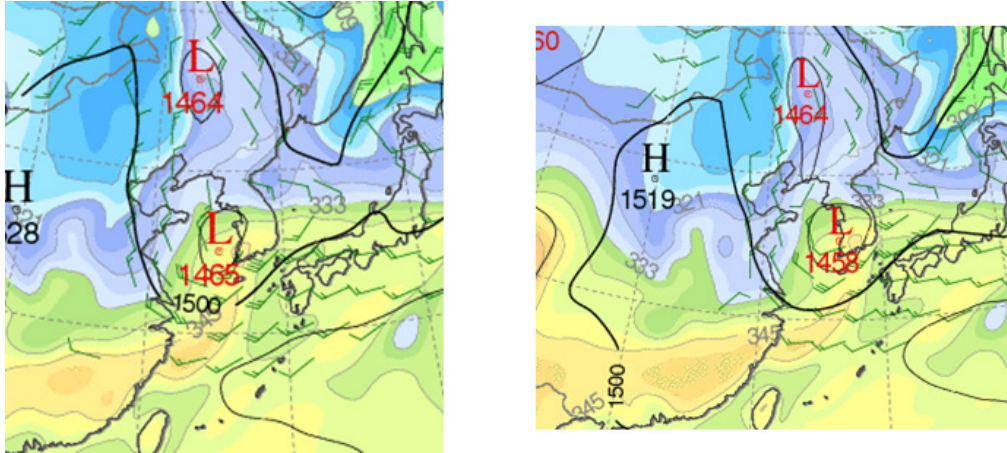


한반도 국지모델의 지형과 바람자료에서 경남해안선 부근에 바람수렴이 나타나고, 경남 내륙에는 높은 산악지형으로 인해 바람이 혼재되고 있다. 최하층 연직속도는 경남북부지역으로는 약한 구역이 분포하고, 부산, 경남해안에 강한 구역이 불규칙하게 나타나고 있다.

주) 지형고도 0~1000m 또는 1500m인 지역에 검은 채색, 깊이 클수록 검은색 계열로 표시, 해면기압 등치선은 파란색 실선으로 1hPa 간격으로 표출된다. 지상유선은 파란색 화살표와 실선으로 그려져 있다. 10m 바람벡터는 검은색 화살표로 그려진다.(m/s)



첨부3-11. 850hPa 상당온위



850hPa 상당온위(14.8.25, 좌 12시, 우 15시)

850hPa 공기가 함유한 수증기를 전부 응결시켜 잠열을 방출시킨 후, 1000hPa 고도까지 건조단열적으로 하강시켰을 때 온도를 상당온위라 한다. 상당온위는 구름의 발달과 관련된 습윤 단열과정 하에서도 보존되는 양으로 여름철 기단을 추적하는데 매우 효과적인 자료이다.

상당온위가 크면 온난 다습한 기단(W), 상당온위가 낮으면 한랭건조한 기단(C)이며 상당온위의 경도가 크면 불안정이 증가된다. +333K보다 높은 값이 나타나는 지역은 매우 불안정한 지역으로 호우 가능성이 크다. 그림에서 부산지역은 340~350K 고 상당온위 역으로 덮여 있어 호우가능성이 매우 높다.

첨부4. 기상청 발표 당일 기상예보문

오 늘 [25일(월)]
서해남부해상에서 다가오는 저기압의 영향을 받겠습니다.
부산, 울산, 경상남도는 흐리고 비(강수확률 80~90%)가 오다가 밤에 경남서부지역부터 점차 그치겠습니다.
오늘 밤까지 돌풍과 함께 천둥.번개가 치고, 경남남해안, 지리산부근을 중심으로 시간당 30mm 이상의 강한 비와 함께 많은 비가 오는 곳이 있겠습니다. 또한 최근에 내린 많은 비로 인해 지반이 약해진 상태에서 또다시 많은 비가 예상되니 축대붕괴와 산사태, 저지대 및 농경지 침수 등의 피해가 없도록 철저히 대비하시고, 산간계곡이나 강가에서 야영하는 피서객들도 안전사고에 각별히 유의하시기 바랍니다.
낮 최고기온은 부산 26도, 울산 26도, 창원 25도, 진주 25도로 어제보다 조금 낮겠습니다.
바다의 물결은 남해동부와 동해남부 전해상에서 0.5~2.0m로 일겠습니다.
오늘 전해상에 안개가 짙게 끼는 곳이 있겠고, 남해상에는 돌풍과 함께 천둥.번개가 치는 곳이 있겠습니다.
* 예상 강수량(25일 05시부터 26일 24시까지) - 부산광역시, 울산광역시, 경상남도 : 30~80mm(많은 곳 경남북서내륙, 경남남해안, 지리산 부근 120mm 이상)
* 미세먼지(PM10) 예보(통합예보실 미세먼지팀, 24일 17시 발표) : 영남권은 '보통'(일평균 31~80 μ g/㎥).

사건 당일 아침 기상예보 문에서는 남해안을 중심으로 많은 비를 예보하였으며, 특히 시간당 강수 30mm이상의 예보는 매우 강한 비가 올 것임을 시사하고 있다. 그리고 당일 아침 9시 10분 부산지역에 호우특보가 발효되어 호우 셀들이 서쪽에서 점차 발달하면서 이동하는 상황임을 알 수 있다.



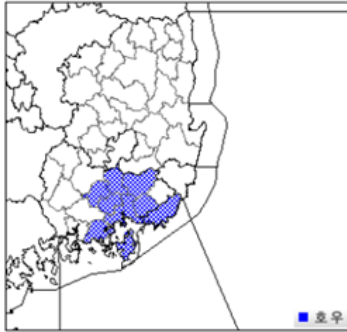
첨부5. 호우특보 발효 현황



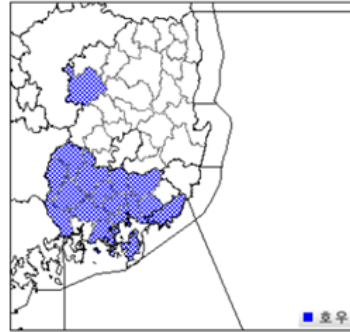
호우주의보 발표(제 8-75호)

부산지방기상청, 예보관 장용환
2014년 8월 25일 09시 10분 발표

특보 발표구역 (2014.08.25. 09:10)



특보 발효현황 (2014.08.25. 09:10 이후)



1. 해당구역

(1) 호우주의보 발표 : 경상남도(창원시, 김해시, 밀양시, 의령군, 함안군, 창녕군, 거제시, 고성군), 부산광역시

2. 발효시각

(1) 호우주의보 발표 : 2014년 08월 25일 09시 10분

3. 내용

- (1) 호우주의보 발표
 - 현재 강수량(25일 3시 ~ 현재): 10~40mm
 - 예상 강수량(현재~25일 밤까지): 30~80mm
 - 총 예상 강수량: 60~120mm

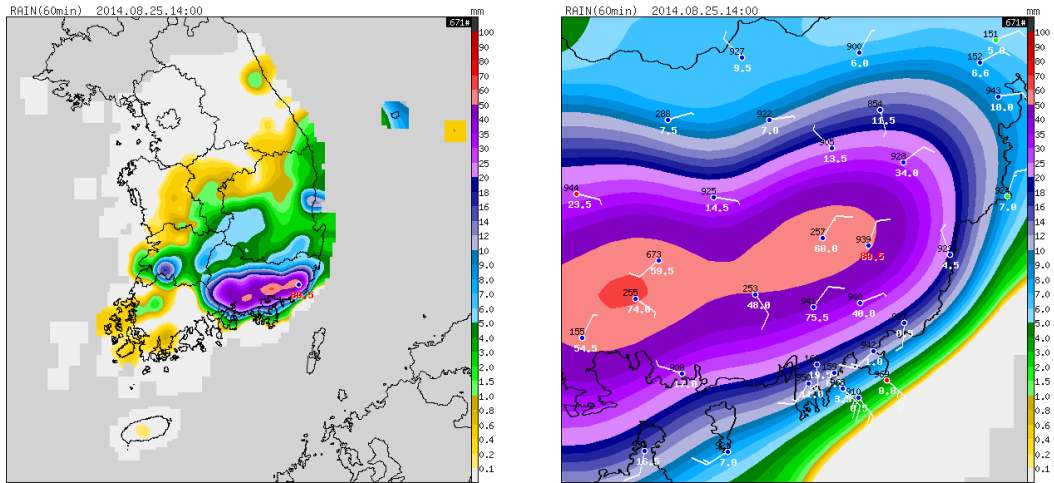
사건 당일 13~14시 사이 60분 강수량 분포도를 보면(첨부 6), 남해안에 동서로 축을 두고 경남지역 전체를 아우르는 상당히 거대한 크기의 호우 분포를 보였다. 부산에서는 해안가 보다는 금정산을 중심으로 그 주변에 많은 비가 내린 특징을 보였다.

※ 부산광역시 09:10, 호우 주의보, 13:00 호우경보 발효

※ 호우특보 기준

- 호우주의보 : 3시간 강우량이 60mm이상 예상되거나, 12시간 강우량이 110mm이상 예상될 때
- 호우경보 : 3시간 강우량이 90mm이상 예상되거나, 12시간 강우량이 180mm이상 예상될 때

첨부6-1. 부산, 경남 1시간 강수량 분포도(14.8.25. 14시)

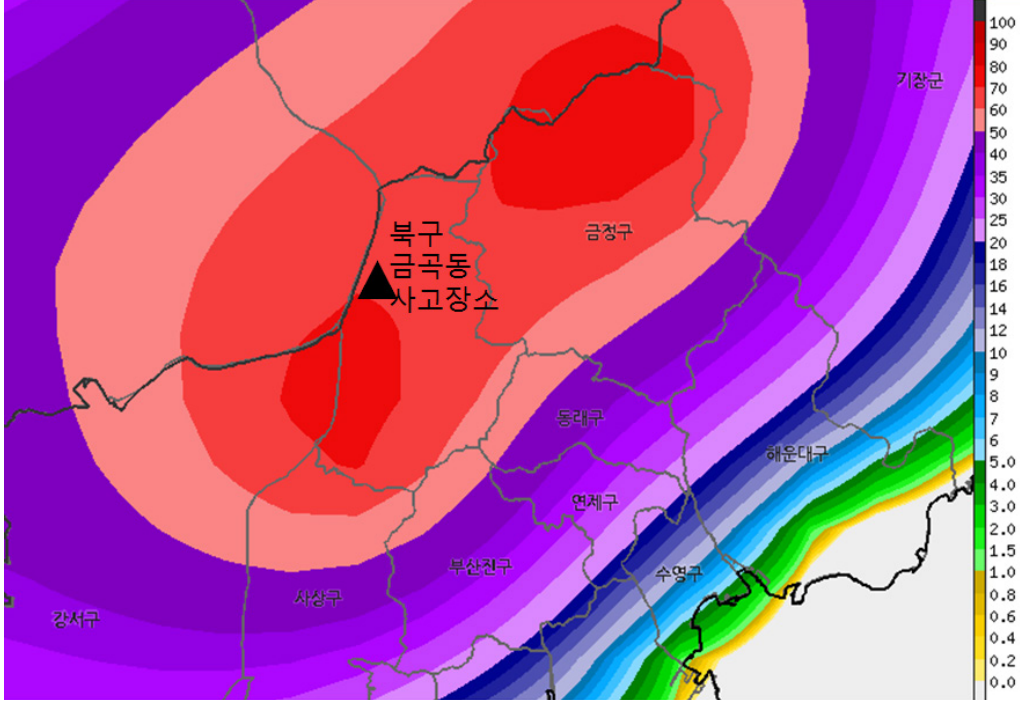


'14.8.25. 사건 당일 13~14시 사이 60분 강수량 분포도를 보면, 남해안에 동서로 축을 두고 경남지역 전체에 호우가 나타났다.

부산에서는 해안가 보다는 금정산을 중심으로 그 주변에 많은 비가 내린 특징을 보였다.

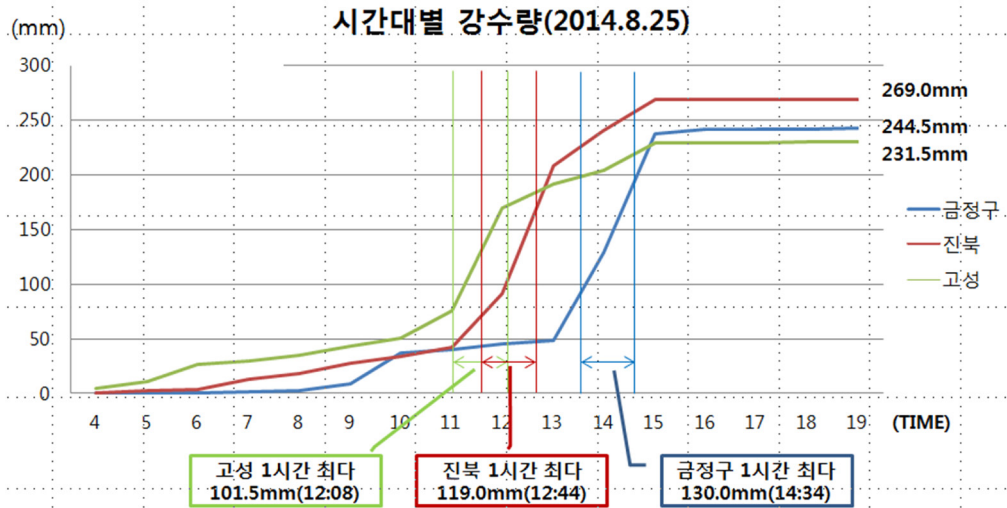


첨부6-2. 부산광역시 각 구별 1시간 강수량 분포도(14.8.25. 14시)



부산광역시 내에서 사건 당일 13~14시 사이 60분 강수량 분포도를 보면, 금정구와 북구에 걸쳐 강한구역이 분포하고 있다. 금정구에서 강도가 높은 구역은 금정산 동쪽에서 금정체육공원, 기장군 철마면 인근에 분포하고, 북구에서는 금곡동, 화명동, 덕천동, 구포 일대에 분포하는데 1시간 80~90mm 의 강한 구역이 형성되어있다.

첨부6-3. 부산 및 경남 남해안 시각별 강수량(14.8.25)



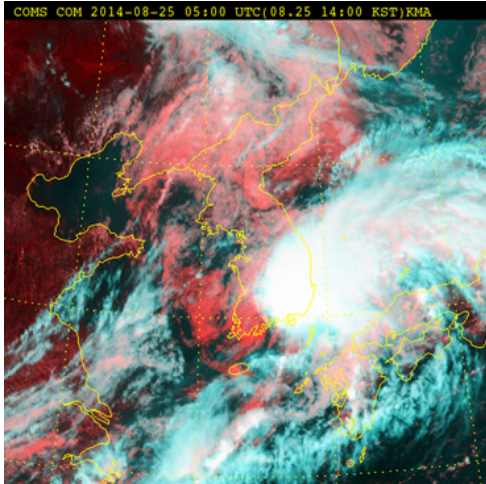
2014년 8월 25일, 부산 및 경남남해안지방에 발생한 호우는 부산 금정(두구동) AWS에서 13시 35분부터 1시간 최다강수량 130.0mm가 기록되어 부산지역에서는 1973년 이후 1시간 최다 강수량 2위를 기록하였다(1위 2002.08.09. 영도 162.0mm/hr).

창원시 진북에서는 11시 44분부터 119.0mm/hr, 고성군에서는 11시 08분부터 101.5mm/hr의 강한 호우가 남해안에 집중되면서 짧은 시간(진북 2시간 44분)에 200mm가 넘는 많은 강수량을 기록하였다. 부산, 창원, 고성 등 남해안 곳곳에 침수피해는 물론, 저수지 뚫 붕괴, 원전 가동을 수동으로 정지하는 등 많은 피해로 국가특별재난지역이 선포되기도 하였다.

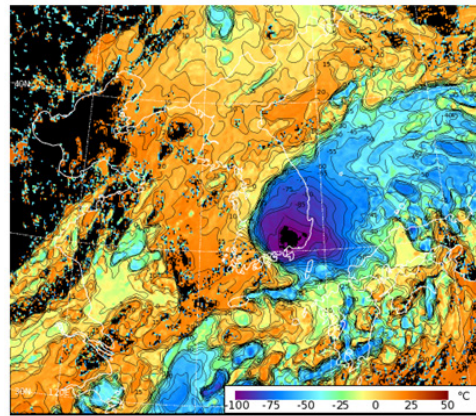
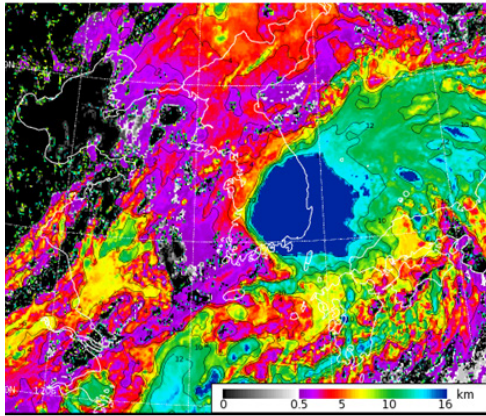
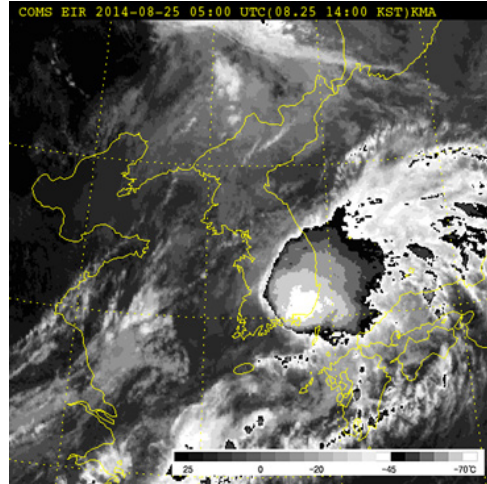


첨부7. 사건시점의 기상위성 영상

합성영상



적외강조영상

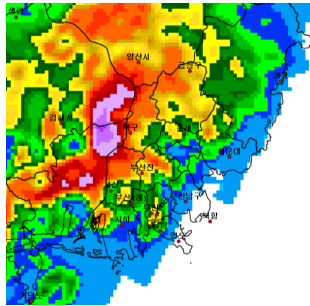


사건당일 14시 00분 기상위성영상에서 중규모 대류복합체가 매우 넓은 지역에서 발달하는 모습을 보이며, 강한 상승류로 인해 비구름이 대류권계면 이상까지 매우 높이 발달해 있다.

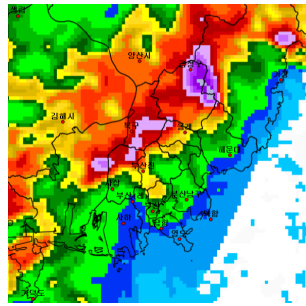
적외 강조 영상자료에서 8월 25일 09시에 전라남도 지방에서 발달하던 적란운이 동진하여 13시 45분 그 중심이 부산, 경남지방을 지나고 있다. 오후 시간대에 적란운은 극도로 발달하여 운정고도 16km 이상, 운정온도 -78도 이하로 분석 된다.

첨부8. 사건시점의 기상레이더 영상(CAPPI 1.5km)

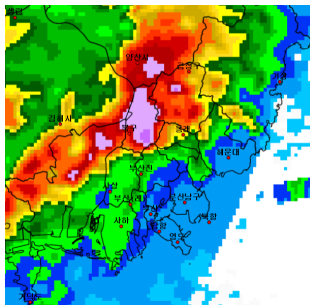
2014.08.25. 13:10



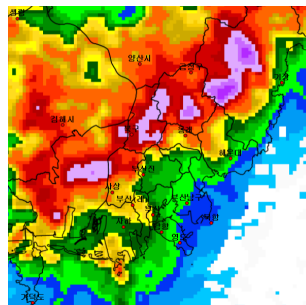
2014.08.25. 13:40



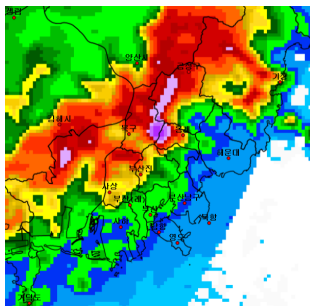
2014.08.25. 13:20



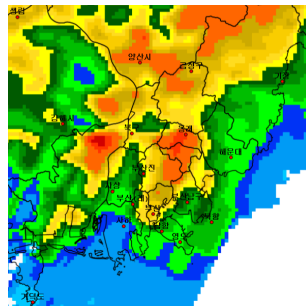
2014.08.25. 13:50



2014.08.25. 13:30



2014.08.25. 14:00

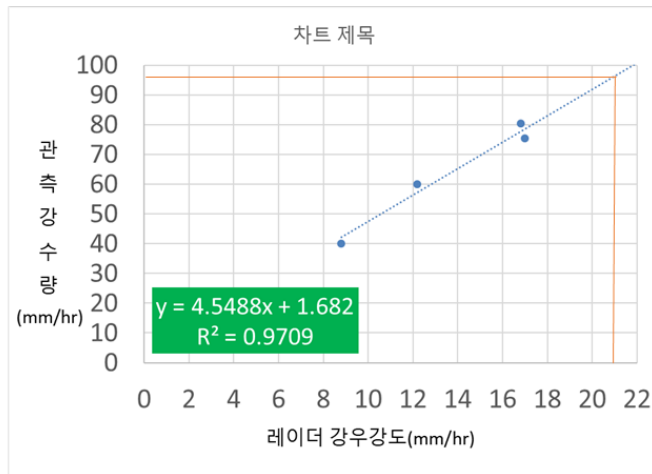


기상레이더 CAPPI 1.5km 영상을 13:10~14:00 까지 10분 간격으로 분석한 결과, 서쪽에서 생긴 호우 에코가 동쪽으로 매우 빠르게 이동하며, 지나간 자리에 다시 호우가 발생하고 있다. 짧은 시간 안에 반복해서 나타나는 것은 대기가 매우 불안정하며, 활발한 수렴으로 호우를 예상할 수 있다.



첨부9. 레이더 영상을 활용한 사건장소 강수량 산출

AWS	레이더강도(mm/hr) - 10분 간격 6개 자료 평균	관측강수량(mm/hr)
북구	17	75.5
양산시	12.2	60
금정구	16.8	80.5
동래	8.8	40

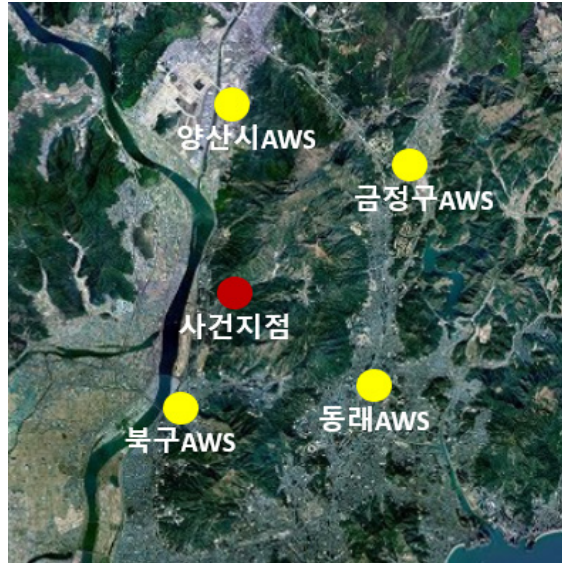


사건 장소 주변 관측소 4개 지점에 대해 10분 간격으로 6개의 레이더 강우강도의 평균값과 실제 관측한 60분 강수량(13~14시)와 비교하여 회귀식을 산출하였다.

사건 장소도 마찬가지로 1시간 동안 10분 간격 레이더 강우강도의 평균값을 산정한 결과 20.8mm/hr로 산출되었고, 회귀식에 반영하면 96.4mm/hr의 강수량이 산출된다.

같은 시각 같은 시스템 내에서 레이더 강우강도와 주변 AWS관측지점의 강수량과의 관계는 사건지점의 강수량과 레이더 강우강도 간에도 아주 유사하게 작용한다는 점을 고려한다면 충분히 신뢰할 만한 결과로 분석된다.

첨부10. 사건장소 및 주변 기상청 AWS의 지리 정보



지점	해발고도(m)	사건장소와의 거리(km)	2014.8.25. 14시. 60분 강수량(mm/hr)
사건장소	80.0		
북구AWS	34.5	4.1	75.5
양산시AWS	14.9	8.0	60.0
금정구AWS	53.1	9.8	80.5
동래AWS	18.9	6.3	40.0



첨부11. PRISM 분석법

$$W = [F_d W(d)^2 + F_z W(z)^2]^{1/2} W(f) W(p)$$

가중치

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\sum w_i (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum w_i (X_i - \bar{X})^2}, \quad \hat{\beta}_0 = \bar{Y} - \hat{\beta}_1 \bar{X}$$

회귀계수

$$\bar{X} = \frac{\sum w_i X_i}{\sum w_i}, \quad \bar{Y} = \frac{\sum w_i Y_i}{\sum w_i}$$

$$\hat{Y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X$$

추정 강수량

이 기법은 미국 오레곤 주립 대학교에서 오랫동안 개발하였으며(Daly et al., 1994, 2002, 2003, 2008), 현재 많은 나라에서 활용되고 있는 기법이다.(Kittel et al., 1997; Daly et al., 2000, 2001; Matthew et al., 2004).

우리나라에서도 2000년대 후반부터 PRISM기법에 기반하여 K-PRISM을 개발하였으며, 이를 이용하여 5km, 10km 자료의 생산이 이루어졌다(홍기옥 외, 2007; 신성철 외, 2008). 또한 최근에는 K-PRISM에 기반하여 일일 시간규모에서 1km 해상도의 자료를 생산할 수 있는 MK-PRISM이 개발되었으며(김맹기 외, 2012), 이 자료는 미래 기후변화 전망 자료를 생산하기 위하여 지역기후모델의 계통오차를 보정하는데 활용되어 왔다(김맹기 외, 2012).

사건지점과 주변 AWS지점간의 거리 가중치와 각 지점별 고도에 따른 강우량의 특성을 반영하여(첨부 10), PRISM(Parameter-elevation Regressions on Independent Slopes Model) 분석법에 의해 강수량을 추정하였다(첨부 12 참조).

F_d 와 F_z 는 각각 거리 가중치 $W(d)$ 와 고도가중치 $W(z)$ 를 어느 인자를 더 중요하게 고려할 것인가를 나타내는 값으로써 이 연구에서는 각각 0.5과 0.5를 사용하였다.

D는 사건지점과 각 관측소간의 거리, Z는 각 지점별 해발고도이다.

전체 가중치 W는 거리가중치 $W(d)$, 고도가중치 $W(z)$, 사면방향 가중치 $W(f)$, 해양도 가중치 $W(p)$ 를 고려하여 나타낸다. 사면방향 가중치는 추정하고자 하는 격자점과 같은 경사면을 갖고 있을 경우 가중치를 더 주고, 다를 경우 가중치를 작게 주는 방식으로 결정된다. 각 관측소별 유사한 주변 환경으로 가정하여 모두 1로 설정하였다. X_i 는 지점의 고도, Y_i 는 지점의 강수량으로 반영하였다.

첨부12. PRISM 분석법을 이용한 사건장소에 대한 강수량 산출

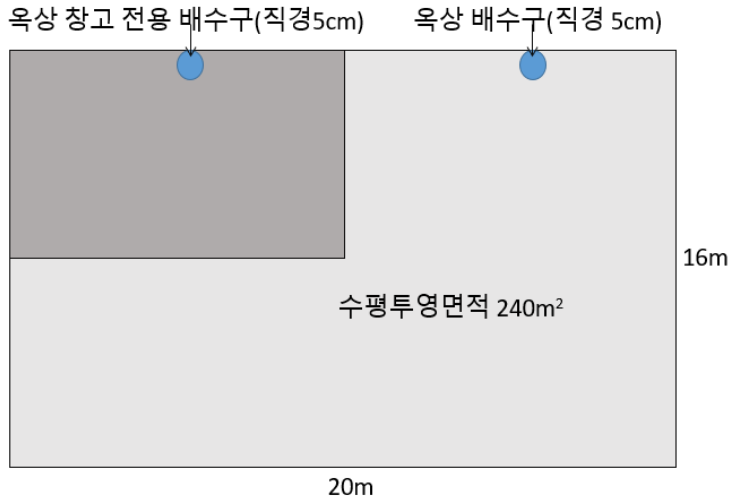
		산출에 이용된 AWS 갯수	사건장소 산출 강수량(mm/hr)
기상청 AWS	2개	▲ 부산 북구 ▲ 양산시	111.5
	3개	▲ 부산 북구 ▲ 양산시 ▲ 부산 금정구	96.7
	4개	▲ 부산 북구 ▲ 양산시 ▲ 부산 금정구 ▲ 부산동래	127.0

PRISM 방법(첨부 11 참조)을 이용하여, 사건장소에 대한 강수량을 산출하였다. 부산 북구와 양산시 AWS 2개 지점만 반영하면 사건지점 강수량은 111.5mm/hr이며, 부산 북구, 양산시, 부산 금정구 AWS 3개 지점을 반영하면 96.7mm로 기상레이더에 의해 추정된 96.4mm와 매우 유사하게 나왔다.

그리고 부산 북구, 양산시, 부산 금정구, 부산 동래 AWS 4개 지점을 모두 반영하면 127.0mm로 가장 많은 양이 산출 되었다.



첨부13. 사건장소 건물 옥상 단면도



옥상의 전체 면적은 320m²이지만, 옥상 창고의 옥상에는 전용 배수구가 있기에, 이 부분을 제외한 사건에 관련된 옥상면적은 240m²이다.

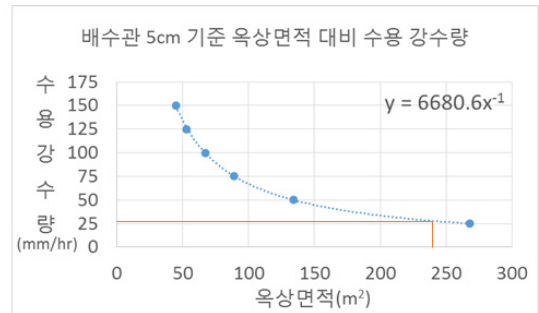
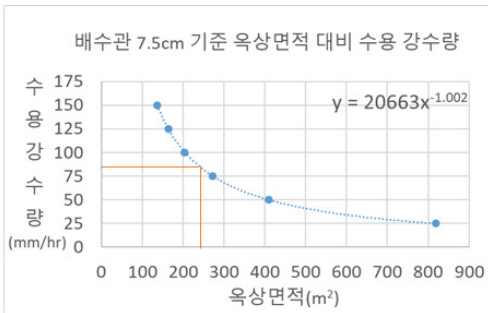
이 옥상에 설치된 배관의 직경은 5cm이다.

첨부14. 옥상 면적 대비 강우량별 수용가능한 배수관 직경 기준(국토교통부)

표 1. 옥상 면적(밀출) 대비 강우량별 수용가능한 배수관 직경 기준

강우량 (mm/hr)	우수관의 크기(cm)			
	5.0	7.5	10.0	12.5
25	268	818	1709	3214
50	134	409	855	1607
75	89	272	570	1071
100	67	204	427	804
125	53	164	342	643
150	45	137	285	536

※ 출처: 국토해양부 건축기계설비 설계 기준



사건 장소의 옥상면적은 240m²이며, 사건 당시 설치된 배수관의 직경은 5cm로써 배수관의 수용 강수량은 27.8mm/hr이다.

만약 이 옥상에 직경 7.5cm의 배수관을 설치한다면 수용 강수량은 85.2mm/hr가 된다.



첨부15. 사건시점 호우로 인한 인근지역 사고관련 보도 건

○○일보

본 기사제목 기사 사진 기사내용 기사주소 기사날짜

부산 △△동 산사태로 경로당 붕괴

부산에서 발생한 산사태로 이재민 10여명이 발생하고, △△동 경로당이 붕괴되어 주민 10여명이 사상된 것으로 알려졌다. △△동 주민자치회에서는 "산사태로 이재민 10여명이 발생하고, △△동 경로당이 붕괴되어 주민 10여명이 사상된 것으로 알려졌다"고 밝혔다. △△동 주민자치회에서는 "산사태로 이재민 10여명이 발생하고, △△동 경로당이 붕괴되어 주민 10여명이 사상된 것으로 알려졌다"고 밝혔다.



△△동 건물 붕괴

오늘 오후, 부산광역시

본 내용과 직접적인 관계가 없는 참고 사진입니다.

2014년 8월 25일 사고 발생 시각을 전후하여 사고 장소와 같은 행정구역에 있는 부산 북구 △△동에서 산사태가 발생하였다.

이 산사태로 인하여 △△동 경로당이 붕괴될 정도의 재해가 발생한 점을 미루어 본다면 금정산 서쪽 사면에 해당되는 부산북구 일대에 집중호우가 있었음을 알 수 있고, 사고 장소에도 추정강수량 보다 더 많은 강수량이 발생하였음을 배제할 수 없을 것이다.



시나리오 02

0. 사고 개요(청주시 산사태)
1. 의뢰내용
2. 조사내용
3. 기상감정 결과 및 의견
4. 별첨자료



청주시 산사태로 인한 공장 내 장비파손 사건 개요

의뢰인 박●●씨는 충북 청주시 상당구 ◇◇로 000번길 00에 대지 200평 및 건평 100평의 가내공업 공장 내에 고가의 장비를 설치하여 농산물을 가공 및 유통하는 개인 사업자이다.

2018년 9월 3일 충청북도에 청주를 중심으로 도로가 침수되고 하천의 제방이 유실되는 등의 많은 피해를 야기할 정도의 집중호우가 내렸고, 이로 인해 박●●씨의 공장이 위치한 망경산에서도 산사태가 발생하여 공장 내에 설치되어 있는 고가장비를 토사가 덮쳐 장비가 손상되어 전적 1억 5,000만원 상당의 수리를 요하는 피해가 발생하였다.

다행히 의뢰인은 자연재해로 인한 피해가 발생할 경우 보상을 받을 수 있는 재물보험을 가입하고 있어 보험회사에 장비 파손에 대한 수리비를 청구하였으나 보험회사는 현장실사 및 청주시상지청의 자료에 의거해 9월3일 청주시의 강수량은 151.6mm로 일반적인 산사태 기준(산림청)인 일강수량 200mm, 1시간최다강수량 32mm 이상에 미달되며, 그 인근 우암산 AWS 자료도 누적강수량이 198.5mm로 산사태 기준에 미달되니, 보험금의 지급을 위해서는 사고현장의 일강수량이 200mm 이상의 많은 비가 내렸다는 사실을 입증할 수 있는 자료를 제출할 것을 요청하였다.

이에 따라 의뢰인 박●●씨는 사건 지점의 산사태 발생과 집중호우 간의 관련성(인과관계)을 증명하고자 당시 200mm 이상의 집중호우가 내려 산사태가 발생했다는 점에 대한 기상감정을 의뢰하였다.



기상감정서

1. 업체명 : 한국기상감정사협회
2. 대표자 : 홍길동
3. 기상감정사 : 하○○
4. 계약명 : 청주 망경산 산사태의 집중호우 영향 감정

위 계약에 따라 기상감정서를 발급합니다.

2018년 9월 30일

한국기상감정사협회

직인

기상감정 기상 시나리오

시나리오 02

1. 의뢰내용

- 1) 감정대상 일시 : 2018년 9월 3~4일(화)
- 2) 감정대상 장소 : 충청북도 청주시 상당구 ◇◇로 000번길 00
- 3) 기상감정 목적
 - 공장내 설치되어 있는 고가의 장비는 00보험회사 손해보험에 가입되어 있으며, 특약에 자연재해에 의한 집중호우도 보상하도록 포함되어 있다.
 - 집중호우의 피해는 침수, 유실, 산사태 등이 있으며, 이 피해의 조건은 일반적인 피해조건을 적용한다고 되어있다.
 - 또한, 산사태는 일강수량 200mm이상, 1시간최다강수량 32mm 이상의 집중호우에 발생한다고 되어 있다(산림청).
 - 의뢰인은 산사태 발생으로 인한 장비 수리비를 00보험회사에 청구하였으나, 00보험회사에서는 인근 기상관서인 청주기상지청의 기상관측자료에 따르면 누적강수량 151.6mm, 1시간 최다강수량은 43.3mm로써 누적강수량 조건을 충족하지 못하며, 사고현장 인근의 자동기상관측장비(AWS)의 누적강수량 198.5mm, 1시간최다강수량 57.5mm도 누적강수량이 200mm보다 적기 때문에 특수장비 수리비를 지급할 수 없다고 하였다.
 - 이에, 의뢰인은 사고 당일 현장에 200mm 이상의 비가 내렸을 것이라는 사실을 입증하기 위해 기상감정을 의뢰하였다.
- 4) 의뢰인 주소 : 충청북도 청주시 상당구
- 5) 의뢰인 성명 : A 실업 대표 박●●

2. 조사내용

- 1) 조사기간 : 2018. 9. 18. ~ 9. 30.
- 2) 사전조사

1. 감정대상 기상현상 및 피해 현황에 관한 사항

사고현장은 충청북도 청주시 상당구 ◇◇로 000번길 00로써 남서쪽에 것대산(484m), 북쪽에 망경산(784m), 서쪽으로 우암산(353m)이 위치하고, 그 능선이 연결되어 현장을 둘러싸고 있다(첨부 1). 또한 경사가 큰 산자락의 계곡의 하부에 위치하고 있으며, 표면은 나무가 적고, 토양이 노출된 부분이



많아 산사태에 약한 토질로 되어 있다. 이렇게 산 능선으로 둘러싸여 있고 산의 경사가 급하여 계곡을 따라 강수가 모여드는 지형이며, 풍상측에 위치하고 있어 평지보다 강수량이 많은 지형조건이다. 한편 인근 기상관측장비에 1시간 최대강수량 57.5mm, 누적강수량 198.5mm의 비가 관측되었다. 공장은 콘크리트 건물이 아닌 조립식 형태의 건물이며, 내부에 고가의 장비가 설치되어 있었다.(첨부 2)

2. 기상감정을 위해 필요한 기상에 관한 사항

일반적으로 강수량은 평지와 풍하측보다 풍상측에 강제상승에 의한 지형효과로 인하여 증가한다. 또한 풍상측에서도 지형의 높이 변화에 따른 집중호우에 미치는 민감도 실험을 보면, 지형의 높이가 증가함에 따라 강수량이 증가한다는 것을 알 수 있다(첨부 15).

3) 현장조사(또는 현장조사 수행하지 않은 사유)

- 일시 : 2018년 9월 3일(월)
- 장소 : 충청북도 청주시 상당구 ◇◇로 000번길 00
- 면담자 : 박●●
- 충청북도 청주시 상당구 ◇◇로 000번길 00 내 공장 주변 지형지세 파악 및 그 날 강수 및 산사태 발생 지점의 현장을 답사하여 조사를 실시하였다. 그 결과, 산사태에 의하여 토사가 덮친 현장은 일부 복구 작업이 있었으나, 산사태로 인한 유실 흔적은 잘 보존되어 있었으며, 이를 토대로 산사태로 인하여 발생한 사고임을 짐작 할 수 있다.

4) 자료 분석

1. 감정대상지역의 환경

사고현장은 충청북도 청주시 상당구 ◇◇로 000번길 00로써 남서쪽에 컹대산(484m), 북쪽에 망경산(784m), 서쪽으로 우암산(353m)이 위치하고, 그 능선이 연결되어 현장을 둘러싸고 있다(첨부 1). 또한 경사가 큰 산자락의 계곡의 하부에 위치하고 있으며, 표면은 나무가 적고, 토양이 노출된 부분이 많아 산사태에 약한 토질로 되어 있다. 이렇게 산 능선으로 둘러싸여 있고 산의 경사가 급하여 계곡을 따라 강수가 모여드는 지형이며, 풍상측에 위치하고 있어 평지보다 강수량이 많은 지형조건이다(첨부 2).

2. 감정대상지점의 기상현상

- 9월 3일 21시 종관일기도를 보면, 북서쪽에서 한반도로 한기가 유입되고, 원산만에 중심을 둔 저기압이 남서로 한랭정선을 동반하여 전선전면으로 남서류가 지속적으로 유입되고 있다. 850hPa에 하층제트가 강하게 유입되면서 고온다습한 수증기가 유입되고 있고, 200hPa 상층제트가 골전면에 위치하여 하층수렴 및 상층발산으로 강한 상승류로 인한 강한비가 예상되며, 북태평양 고기압 확장과 태풍 북상으로 인하여 기압계가 느리게 남동진 할 것으로 예상된다(첨부 4). 이러한 기압배치에서는 많은 비가 올 것으로 예상할 수 있다.
- 3일 05시 일기예보에서 3~4일 예상강수량을 50~100mm, 많은 곳 150mm이상으로 발표하였고, 17시 45분에 청주에 호우주의보, 20시에 호우경보를 발표하여 100~200mm의 집중호우를 기상청에서

예보하였다(첨부 5).

- 수치예상도에서는 태풍 '제비'의 북서진과 상층기압골의 남동진으로 인해 한반도 중부 지역으로 수증기의 통로가 좁아져, 강수대의 폭이 남북으로 좁고 동서로 길게 형성되면서 강수량의 지역 차가 크게 나타날 것으로 예상하여, 충북도내 50~100mm, 많은 곳 150mm 이상의 예상강수량 예보는 적절하였다고 판단된다(첨부 6).
- 주 강수대가 충북지역으로 유입되는 시점에 태풍의 전향 및 북상 속도 감소로 mT세력이 강화되고, mT 북서쪽 가장자리로 지속적인 남풍이 유입되어 mT세력이 경북내륙지역까지 확장하면서 주강수대의 남하를 저지하여, 주강수대가 느리게 남하하면서 많은 강수를 내린 것으로 분석된다(첨부 7, 8, 9).
- 레이더 예코영상에서 13시에 주강수대는 경기북부에서 시간당 20~30km의 속도를 가지고 최대강도가 증가하다가, 주 강수대가 충북지역으로 내려오면서 20시에 강수대의 축이 10km 이하로 속도가 감소하고, 최대강도도 60mm 내외로 매우 강하게 발달하였다(첨부 10).
- 하층제트에 의한 호우패턴으로 기압골 전면에서 북서기류와 남풍기류의 유선이 충청 중북부 지역에서 합류되면서 수증기의 밀도가 강화되었고, 전북서해안에서 충북남부로 이어지는 하층제트와 내륙에서의 풍속강화로 수증기의 공급이 강화되어 최대 강우강도가 30mm 내외에서 60mm내외로 강화된 것으로 분석된다(첨부 11, 12).
- 9월 3일 17부터 4일 03시 사이 한반도 북서쪽에서 다가오는 기압골 영향으로 충북도내 43.9~198.5mm의 비가 내렸으며, 중·북부 지역을 중심으로 시간당 60mm내외의 매우 강한 비가 내렸다. 특히, 청주지역에 집중되어 많은 비가 내렸는데, 우암산 AWS에서 198.5mm로 가장 많은 비를 기록하였고, 3시간 동안 115.0mm의 매우 강한 비가 내렸다(첨부 13, 14).

5) 참고자료 및 출처

- 감정의 기초사실의 조사 기간 및 근거 자료는 다음과 같다.
- 조사기간 : 2018. 9. 18. ~ 9. 30.
- 위의 감정결과는 감정대상지점에 대한 감정 대상기간 동안의 집중 호우 상황에 대하여 최적의 감정결과를 얻기 위하여 다음과 같은 첨부 자료를 근거하여 산출한 것임.
- 첨부 1. 사고현장 약도
- 첨부 2. 사고현장 지형도
- 첨부 3. 사고현장 사진
- 첨부 4. 감정대상 시점의 일기도
- 첨부 5. 일기예보문 및 기상특보
- 첨부 6. 수치예상도



- 첨부 7. 태풍정보
- 첨부 8. 기상위성영상
- 첨부 9. 1000~700hPa 층후, 850hPa 상당온위
- 첨부 10. 기상레이더영상
- 첨부 11. 925hPa 유선 분석장
- 첨부 12. 지형과 남서류의 하층제트
- 첨부 13. 강수실행(공간)
- 첨부 14. 강수실행(시계열)
- 첨부 15. 한반도 남동지역의 복잡한 지형과 하층제트가 집중호우에 미치는 영향 분석(논문 발췌)
- 첨부 16. 현장의 강수량 추정

3. 기상감정 결과 및 의견

1) 기상감정 결과 및 의견

- 9월 3일 21시에 지상일기도에서 우리나라 북서쪽에서 한반도로 찬공기가 유입되고, 원산만에 중심을 둔 저기압이 남서로 한랭전선을 동반하여 전선전면에 남서류가 지속적으로 유입되었고, 850hPa에서 하층제트가 강하게 유입되면서 고온다습한 공기를 공급하고 있으며, 200hPa 상층제트가 기압골 전면에 위치하여 상층 발산역에 12km 상공에서 기류가 퍼져나가는 발산현상이 발생하여 지상의 하층에서 12km 이상의 상공으로 강한 연직으로 이동하는 상승류가 발생하였다. 이로 인하여 지상부근의 하층으로 모여든 따뜻하고 습한 많은 수증기가 12km 이상 상공의 연직으로 빠르게 상승하여 강한 비구름이 발달하여 많은 비가 내렸다. 이때, 북태평양고기압확장과 태풍복상으로 인하여 기압계가 느리게 남동진하여 비구름이 청주 부근에 정체하면서 시간당 30mm 이상의 많은 비가 내렸다.
- 주 강수대가 충북지역으로 유입되는 시점 태풍의 전향과, 북상 속도가 느려지면서 북태평양고기압 세력이 강화되고, 북태평양고기압 북서쪽 가장자리로 지속적인 남풍이 유입되어 북태평양고기압 세력이 경북내륙지역까지 확장하면서 주강수대의 남하를 저지하여, 주강수대가 느리게 남하하면서 많은 강수를 내린 것으로 분석된다.
- 9월 3일 17부터 4일 03시 사이 충청북도 내에 43.9~198.5mm의 비가 내렸으며, 충청북도 중·북부 지역을 중심으로 시간당 60mm내외의 매우 강한 비가 내렸다. 특히, 청주지역에 집중되어 많은 비가 내렸는데, 우암산 AWS에서 198.5mm로 가장 많은 비를 기록하였고, 3시간 동안 115.0mm의 매우 강한 비가 내렸다.
- 일반적으로 강수는 지형효과로 인하여 평지와 풍하측보다 풍상측에 강제상승에 의한 효과로 인하여 강수량이 증가하는 경우가 많다. 또한 풍상측에서도 지형의 높이 변화에 따른 집중호우에 미치는

기상감정 가상 시나리오

시나리오 02

민감도 실험에서 지형의 고도가 2배 높은 경우 1시간최대강수량의 최대 25% 증가하고, 누적강수량도 50mm정도가 많은 것으로 나왔다(첨부15).

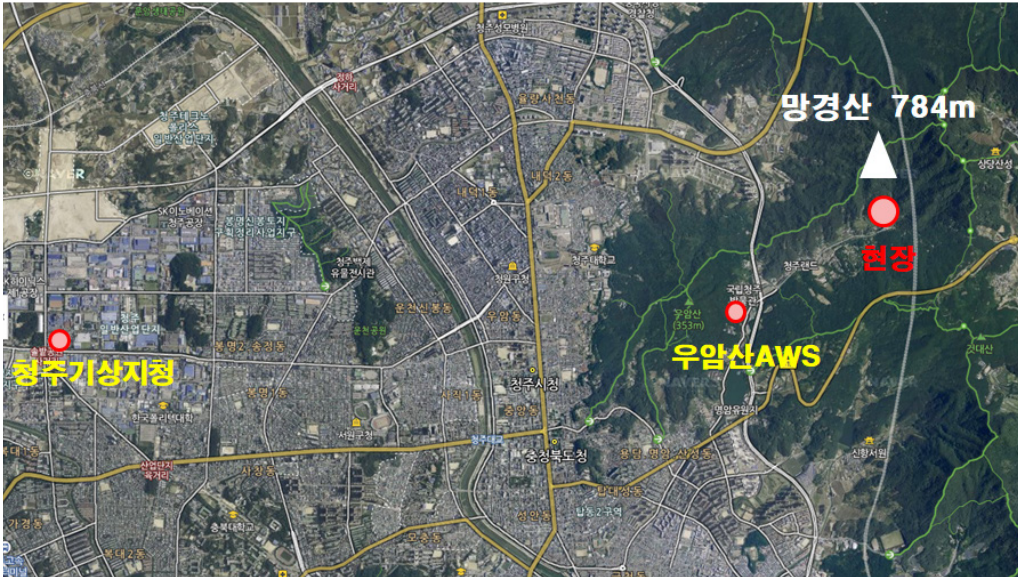
- 청주 151.6mm, 우암산 AWS 198.5mm의 강수량차는 우암산AWS 후면이 망경산(784m) 것대산(484m) 등의 산지로 형성되어 있기 때문에 발생하였다. 우암산 AWS의 관측위치는 남서기류가 유입되면 남서풍을 모으는 형태로 경사면을 따라 지형성 강제상승이 이뤄지고 계곡 상류에서의 병목현상이 구름의 발달을 용이하게 할 수 있는 지형조건을 가지고 있다. 이로 인해 청주지청보다 40mm 이상 많은 강수량이 관측되었다.
- 위의 상황을 종합판단하고, 하층제트가 유입되는 가운데 지형의 높이가 우암산(353m)보다 망경산(784m)의 지형고도가 높아 강수량이 최대 25% 증가가 예상됨을 고려하면, 검정대상지점의 강수량은 최소한의 증가폭을 5%로 계산하였을 때에 208mm, 25%로 계산하면 248mm의 강수량이 계산되므로, 최소한 208mm이상은 내린 것으로 추정된다(첨부 16).
- 따라서, 사고지점은 높은 산의 능선으로 둘러싸여 남서류의 영향을 직접 받으며, 급경사의 풍상측에 강한 강수가 집중되었고, 시간당 50~60mm의 매우 강한 비가 집중적으로 내렸으며, 때문에 능선에서 계곡으로 모여드는 유량이 많았다.
- 산에 나무가 부족하고 나지로 들어난 부분이 많이 있으며, 사고현장의 산사태에 약한 부분에서 산사태가 소규모로 시작하여 천천히 이어지다가, 토사량이 많아지면서 그 하중에 주변의 나무 등이 이기지 못하고 많은 양의 토사가 건물을 덮친 것으로 분석된다.
- 이 때, 건물의 구조가 철근콘크리트조가 아닌 조립식 구조의 공장으로 토사의 하중을 견디기 어려워 공장 내의 고가장비를 덮쳐 사고가 발생한 것으로 분석된다.

2) 관련 전문가 자문(해당사항 있을 경우 작성)

- 해당사항 없음



첨부1. 사건현장 약도



남서쪽에 것대산(해발고도 484m), 북쪽에 망경산(784m), 서쪽으로 우암산(해발고도 353m)의 산이 위치하고 있으며, 그 능선이 연결되어 현장을 둘러싸고 있다.

첨부2. 사고현장 지형도



경사가 큰 산자락의 계곡의 하부에 위치하고 있으며, 표면은 나무가 적고, 토양이 노출된 부분이 많아 산사태에 약한 토질로 되어 있다. 산 능선으로 둘러싸여 있고 산의 경사가 급하며, 풍상측에 위치하고 있어 평지보다 강수량이 많은 지형조건이다.



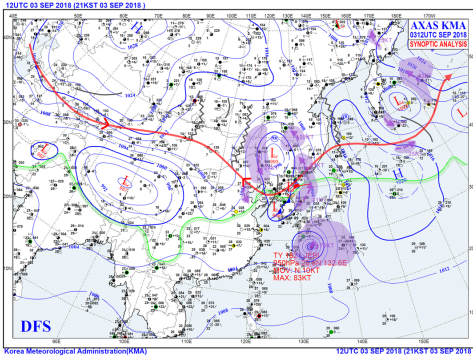
첨부3. 사고 현장 사진



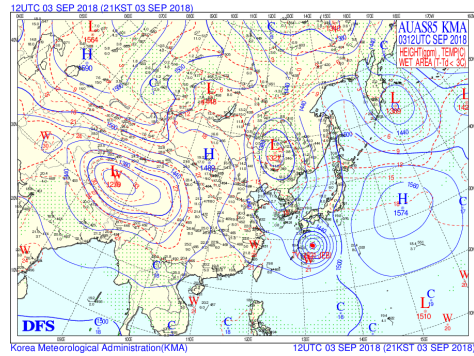
본 내용과 직접적인 관계가 없는 참고 사진입니다.

집중호우로 인한 산사태에 의하여 토사가 덮친 현장은 일부 복구 작업이 있었으나, 산사태로 인한 유실 흔적이 잘 보존되어 있었고, 이를 통해 발생된 사고가 산사태로 인한 것임을 짐작 할 수 있다.

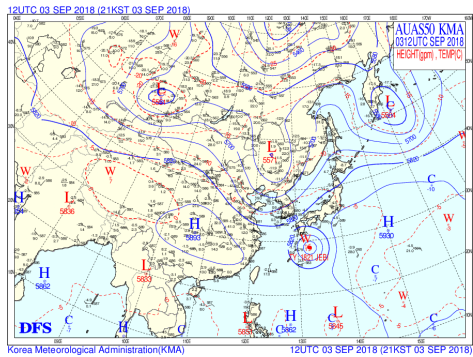
첨부 4. 감정대상 시점의 일기도



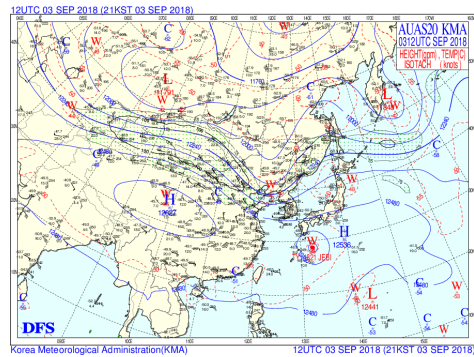
지상일기도



850hPa 일기도



500hPa 일기도



200hPa 일기도

9월 3일 21시 종관일기도를 보면, 몽골 동쪽에 상층기압골이 남남서로 길게 뻗어 있으면서 한반도로 한기가 유입되고, 사할린 부근에 남북으로 발달한 기압능이 위치하고, 일본 남동쪽에 북태평양 고기압이 한반도로 확장하고 있으며, 제21호 태풍은 북서진하다가 북진으로 전향하고 있는 상황이다. 지상에서는 원산만에 중심을 둔 저기압이 남서로 한랭전선을 동반하여 전선전면에 남서류가 지속적으로 유입되고 있다. 850hPa에 하층제트가 강하게 유입되면서 고온다습한 수증기가 유입되고 있고, 200hPa 상층제트가 곧 전면에 위치하여 하층수렴 및 상층발산으로 강한 상승류로 강한비가 예상되며, 기압계의 이동이 느릴 것으로 예상된다.



첨부 5. 일기예보 및 기상특보

<input type="checkbox"/> 예보 종합		단기:육상예보	대전,세종,충청도	NOW 2018.09.03.05:00	<input type="checkbox"/> -24H	<input type="checkbox"/> -12H	<input type="checkbox"/> -6H	<input type="checkbox"/> +6H	<input type="checkbox"/> +12H	<input type="checkbox"/> +24H	<input type="checkbox"/> 도움말
2018.09.03.05:00 발표 / 발표관서: 청주(131) / 예보관: 김진석											
<input type="checkbox"/> (종합) 오늘과 내일 많은 비 <input type="checkbox"/> (오늘) 흐리고 오전에 북서지역 비 시작, 오후에 전 지역 확대 <input type="checkbox"/> (내일) 흐리고 비 후 아침에 차차 그침 <input type="checkbox"/> (모래) 대체로 맑음											
오늘	<input type="checkbox"/> 예상 강수량(4일까지) <input type="checkbox"/> 충청북도: 50~100mm(많은 곳 150mm 이상)										
03일(월)~											
모래	<input type="checkbox"/> 유의사항 <input type="checkbox"/> (호우) 오늘 밤부터 내일 새벽 사이 매우 강하고 많은 비, 비 피해 연도폭 각별히 유의 <input type="checkbox"/> (권동,번개) 오늘과 내일 비가 오는 지역 돌풍과 함께 권동,번개 곳, 안전사고와 시설물관리 유의 <input type="checkbox"/> (안개) 비 내리는 지역 가시거리 짧고 도로 미끄러움, 교통안전 유의 <input type="checkbox"/> (강풍) 모레까지 바람 약간 강, 시설물관리 유의										
05일(수)											

○ 호우주의보 발표(2018년 9월 3일 17시 45분 발표)

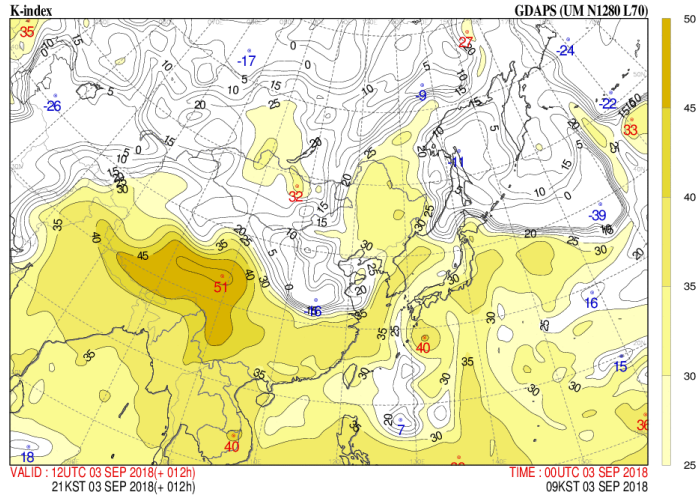
1. 해당구역 : 충청북도(영동, 옥천, 괴산, 보은, 청주)
2. 발효시각 : 2018년 9월 3일 17시 45분
3. 참고사항
 - (1) 호우주의보 발표: 충청북도(영동, 옥천, 괴산, 보은, 청주)
 - 현재 강수량(3일 오후부터~현재): 5~20mm
 - 예상 강수량(현재~4일 새벽까지): 50~100mm(많은 곳 150mm 이상)
 - 총 예상 강수량: 50~100mm(많은 곳 150mm 이상)

○ 호우경보 대처발표(2018년 9월 3일 20시 00분 발표)

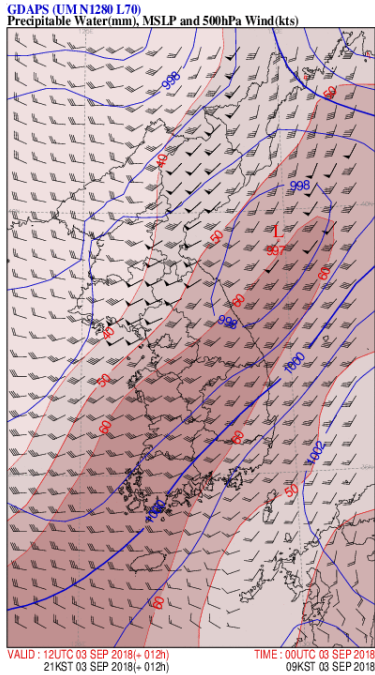
1. 해당구역 : 충청북도(청주)
2. 발효시각 : 2018년 9월 3일 20시 00분
3. 참고사항
 - 현재 강수량(3일 오후부터~현재): 20~60mm
 - 예상 강수량(현재~4일 새벽까지): 100~150mm
 - 총 예상 강수량: 100~200mm 집중호우에 피해에 대비하시기 바랍니다.

3일 05시 일기예보에서 3~4일 예상강수량을 50~100mm 많은 곳 150mm이상으로 발표하였고, 17시 45분에 청주에 호우주의보, 20시에 호우경보를 발표하여 100~200mm의 집중호우를 기상청에서 예보하였다.

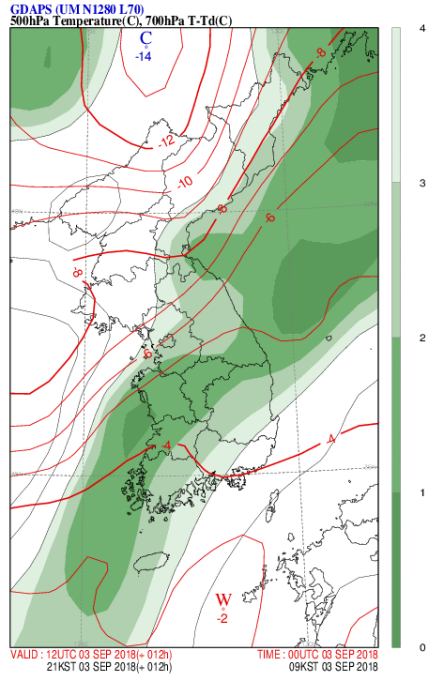
첨부 6. 수치예상도



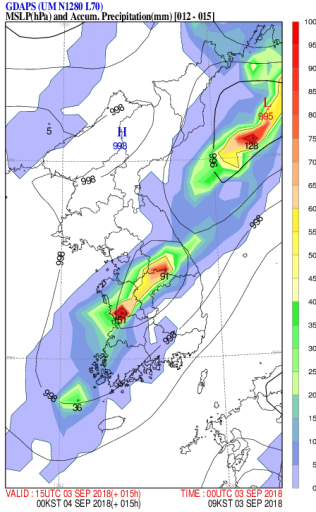
K-index(9. 3. 21시)



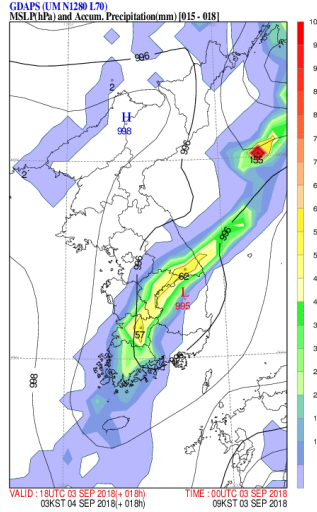
가강수량(9. 3. 21시)



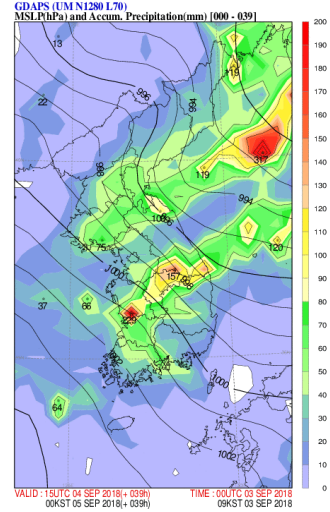
700hPa 습수(9. 3. 21시)



3시간 누적강수량(24시)



3시간 누적강수량(03시)



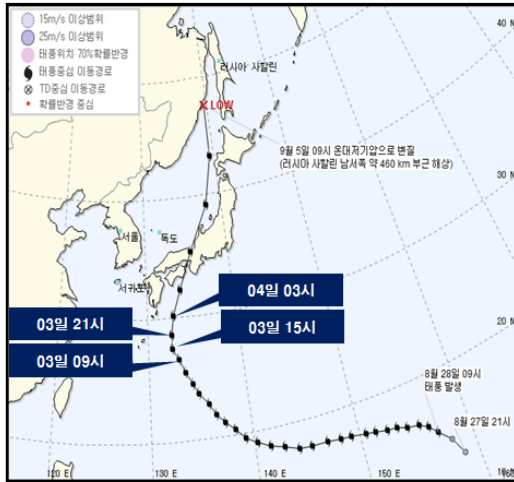
총누적강수량(3~4일)

3일 09시에 예상한 수치예상일기도에서, 북서쪽에서 한기를 동반한 기압골이 동진하고 있으며, 하층에서는 기압골 전면으로 남서풍의 난기가 유입되면서, 하층 난기유입 및 상층 한기남하로 상·하층 온도경도에 따른 불안정이 강화되면서 K-index는 35 이상으로 내륙지역을 중심으로 대기가 매우 불안정하게 모의하고 있다.

또한, 한반도 남쪽에서는 제21호 태풍 제비가 북서진하면서 한반도로 기압경도가 강화되어 남서풍이 강해지고, 남서기류의 풍상측에 있는 지역에서는 지형적 강제상승이 더해져 강수량이 증가할 것으로 모의하였다. 또한, 가강수량이 내륙지역을 중심으로 60mm이상 나타나고, 700hPa 중층까지 습수층이 높게 포화되는 것으로 모의하고 있다.

이를 종합해 보았을 때, 태풍 '제비'의 북서진과 기압골의 동진으로 충청도 북부지역이 수증기의 통로가 되고, 강수대의 폭이 남북으로 좁고, 동서로 형성되는 것으로 모의하여, 수치예보자료에 의한 예상강수량은 충청북도 내 50~100mm, 많은 곳 150mm 이상의 예보는 적절하였다고 판단된다.

첨부 7. 태풍정보

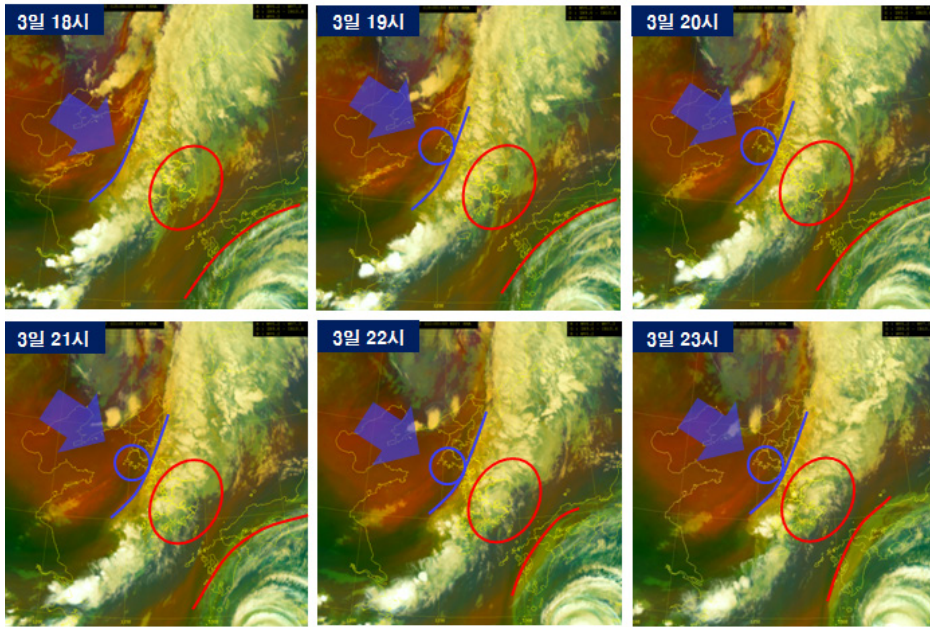


일시	태풍정보		위성분석(SDT)	
	진행 방향	이동속도 (km/h)	진행 방향	이동속도 (km/3h)
04일 09시	북북동	42	북북동	46
04일 06시			북북동	36
04일 03시	북	30	북북동	34
04일 00시			북	27
03일 21시	북	20	북	23
03일 18시			북	19
03일 15시	북북서	19	북북서	22
03일 12시			북서	18
03일 09시	북북서	23	북북서	24
03일 06시			북북서	18

태풍의 전향시점과 북상속도는 3일 18시경 북북서쪽으로 진행하다 북쪽으로 방향을 전환하였고, 충북지역에 강수 피크가 나타나기 시작하는 18~21시 사이 20km 내외로 속도가 감소하였다. 이는 mT세력이 강화되면서 태풍의 북상 속도를 늦추었기 때문이며, 이에 따라 강수예코의 남진 속도는 10km 내외로 느리게 이동하였다.

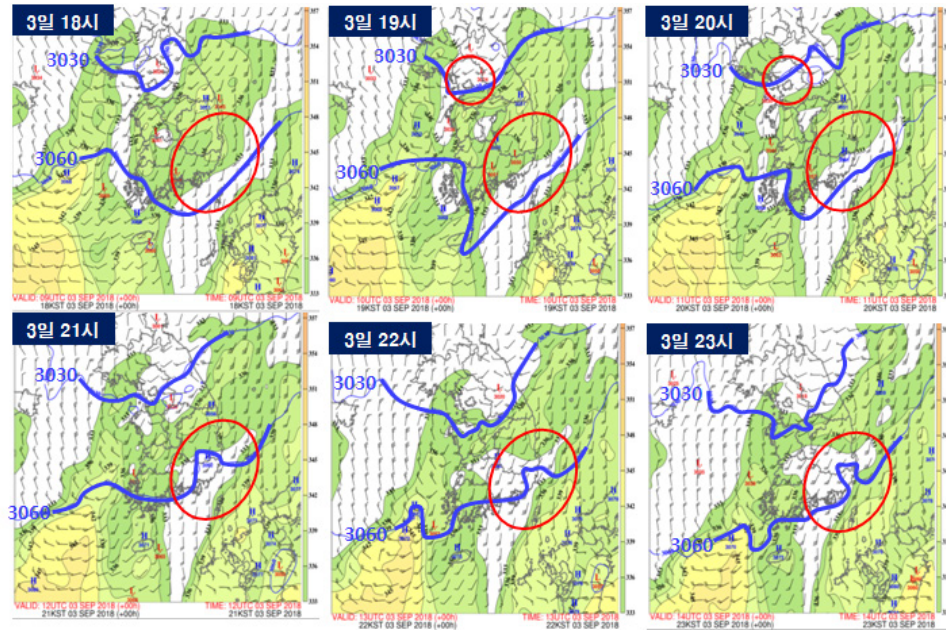


첨부 8. 기상위성영상



한반도 북서쪽으로 차고 건조한 공기가 지속적인 남하하여 19시 이후 황해도를 지나 24시에는 서울 북서쪽경계까지 남하하였다. 또한 mT의 남쪽 경계(태풍 북단 구름대)는 18~21시에 일본 남해안에 머물다가 22시에 이후 일본내륙지역을 통과하는 것으로 분석되고, mT의 북서쪽 경계(한반도 남부지역)는 18~21시에 전남과 경북내륙으로 세력을 확장하여 구름대가 약화되었다가 22시 이후에는 다층운이 형성되어 구름대가 발달하였다.

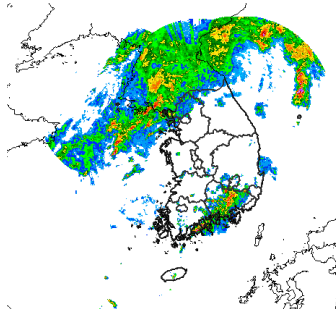
첨부 9. 1000~700hPa 층후, 850hPa 상당온위



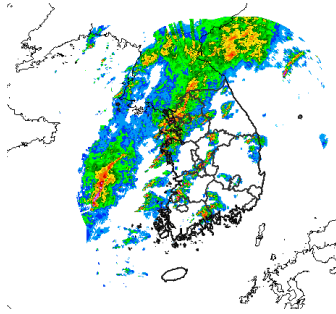
9월 3일 VDPAPS 1000~700hPa의 층후 분석장을 보면, 찬 공기와 관련한 3030gpm선이 일시적인 북상이 있었지만, 충북 북부지역까지 지속적으로 남하하는 모습을 보이고 있으며, 더운 공기와 관련한 3060gpm(mT의 북서쪽 경계)를 보면, 18~20시 사이에 대한해협에서 부산 앞바다까지 세력을 확장하고, 지속적인 남풍 유입과 함께 경북 내륙까지 확장하는 것으로 분석된다.



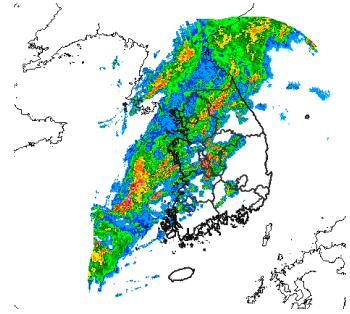
첨부 10. 기상레이더영상



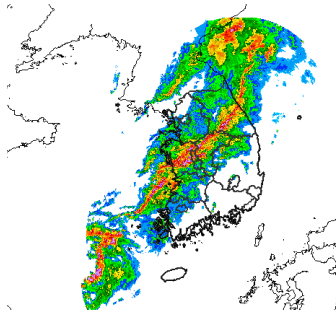
3일 13시



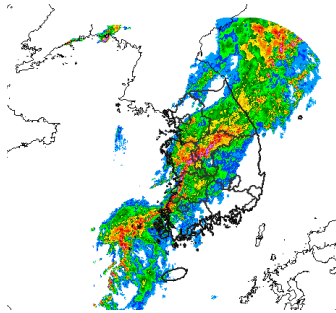
3일 16시



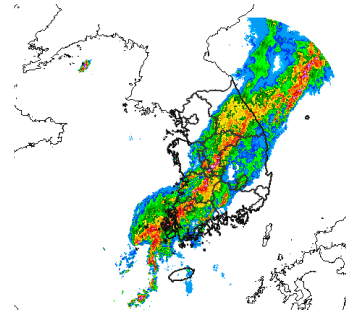
3일 18시



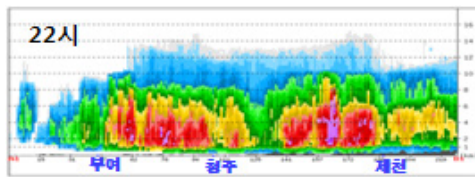
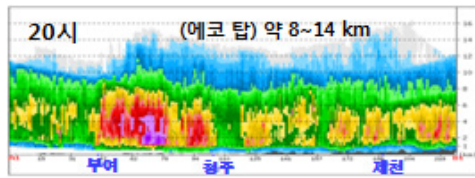
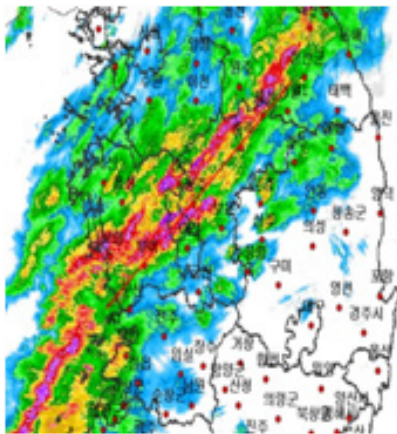
3일 20시



3일 22시



3일 24시



기상감정 기상 시나리오

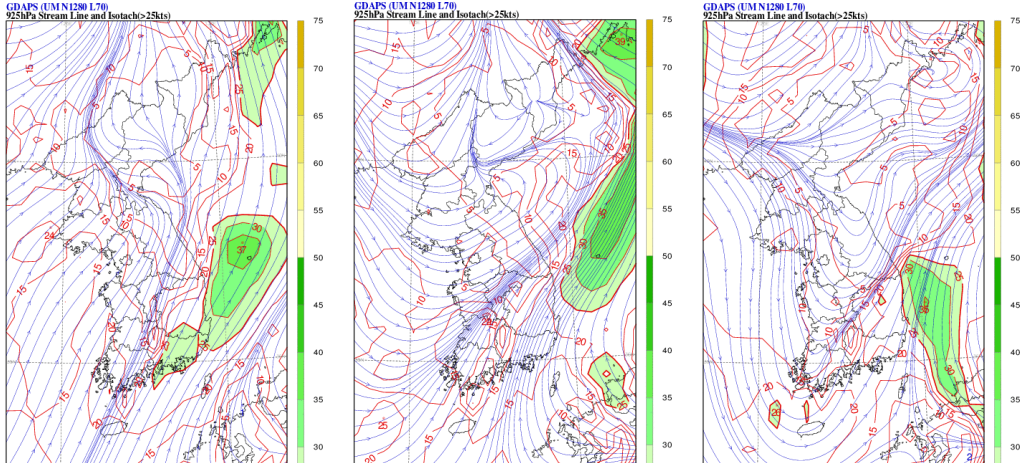
시나리오 02

- 13시 : 주 강수대 경기북부, 25~45km/h 북동진,
강수대 축 약 20km/h 남동진, 최대강도 10mm/h 내외
- 16시 : 주 강수대 서울, 경기, 30~40km/h 북동진,
강수대 축 약 20km/h 남동진, 최대강도 20mm/h 내외
※ 전북해안~충북 남부(보은, 영동)로 주 강수대 전면에서 구름대 유입
- 18시 : 주 강수대 경기남부, 35~45km/h 북동진,
강수대 축 약 20~30km/h 남동진, 최대강도 30mm/h 내외
※ 주 강수대 전면에서 형성된 구름대와 합류
- 20시 : 주 강수대 충남 중부~충북 중북부, 10~20km/h 동북동진,
강수대 축 약 10km/h 이하 동남동진, 최대강도 60mm/h 내외
- 22시 : 주 강수대 충남 중부~충북 중북부, 10~20km/h 동북동진,
강수대 축 약 20km/h 내외 동남동진, 최대강도 60mm/h 내외
- 24시 : 주 강수대 충북 남부~충북 북동, 20~30km/h 북동진,
강수대 축 약 20~30km/h 동남동진, 최대강도 60mm/h 내외

레이더 에코영상 분석을 종합하면 13시에 주강수대가 경기북부에 위치하면서 18시 경기남부로 이동할 때까지만 해도 시간당 20~30km의 꾸준한 속도를 유지하며 최대강도가 증가하고 있었다. 하지만, 주 강수대가 충북지역으로 내려오면서 20시에는 강수대의 축이 10km 이하로 속도가 감소하고, 최대강도 또한 60mm 내외로 매우 강하게 발달하였다.



첨부 11. 925hPa 유선 분석장



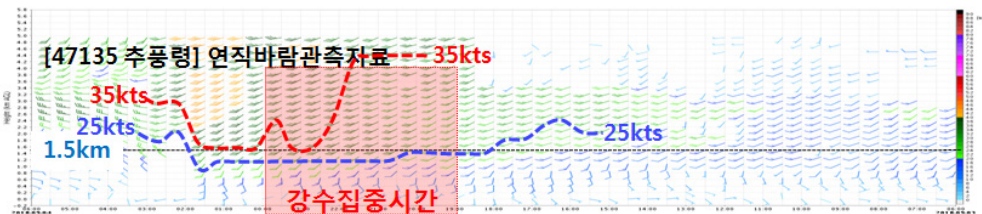
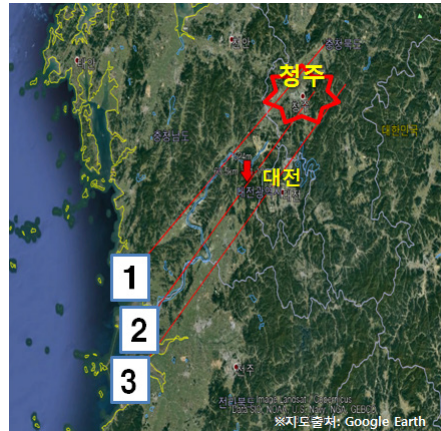
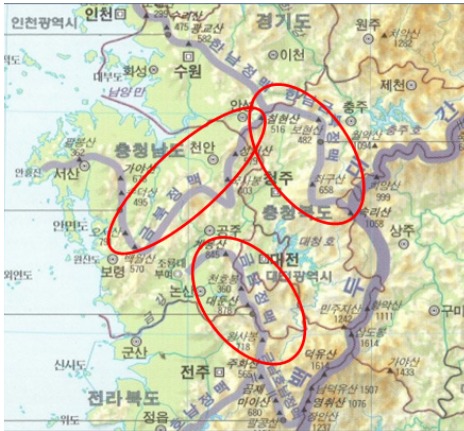
925hPa 유선분석장(15시)

925hPa 유선분석장(21시)

925hPa 유선분석장(24시)

낮부터 남서류가 유입되다가 21시경에는 남쪽으로부터의 고온다습한 남서기류와 북쪽으로부터 차고건조한 기류가 경기만에서 수렴되었으며, 북쪽의 찬기류가 강하여 충청북도에 남서에서 북동쪽으로 기류가 강하게 수렴되었다.

첨부 12. 지형과 남서류의 하층제트



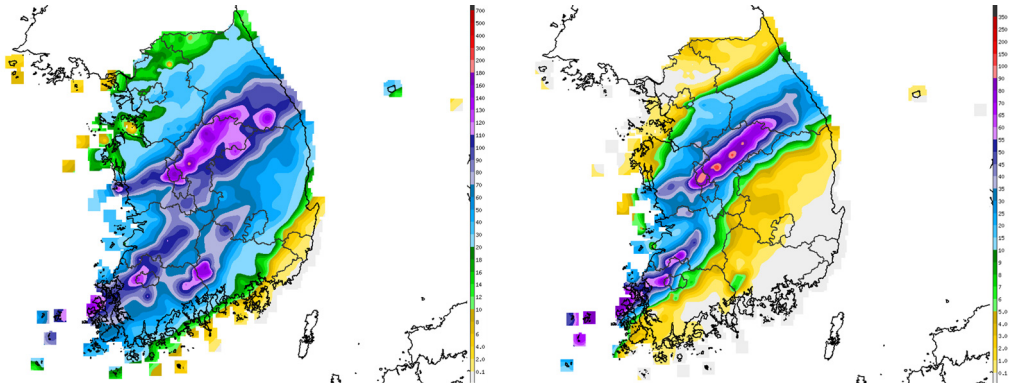


충북지역의 지형 요인을 살펴보면, 동쪽에 백두대간인 소백산맥이, 북서쪽으로는 차령산맥으로 불리는 금북정맥이 있으며, 중앙부에는 한남금북정맥, 남서쪽으로는 금남정맥이 있다.

또한, 청주지역으로 들어오는 남서풍의 유입경로를 보면, 1단면은 청주북부, 2단면은 중부, 3단면은 남부지역을 통과하는 것으로 1단면은 200m미만의 낮은 산지가 많아 굴곡 많은 형태를 보이고 있으나, 2~3단면은 계룡 지역까지 평지로, 지형의 굴곡이 거의 없는 것을 확인할 수 있었다. 이로 인해 남서기류 유입 시 공기의 변질 없이 많은 수증기가 바로 유입됨을 알 수 있다. 여기에 충청북도 지역의 지형효과가 더해져서 비의 강도가 강화된 것으로 판단된다.

하층제트는 18시에 군산(전북서해안)에서~추풍령(충북남부)으로 이어지는 하층제트가 형성되었고, 이후에는 풍속이 25kts에서 30kts로 강화되면서, 수증기의 공급이 강화되었다. 또한, 해안보다는 내륙지역에서 35kts 이상의 강풍대가 형성되면서 하층제트가 발달한 것으로 분석된다.

첨부 13. 강수실황(공간)



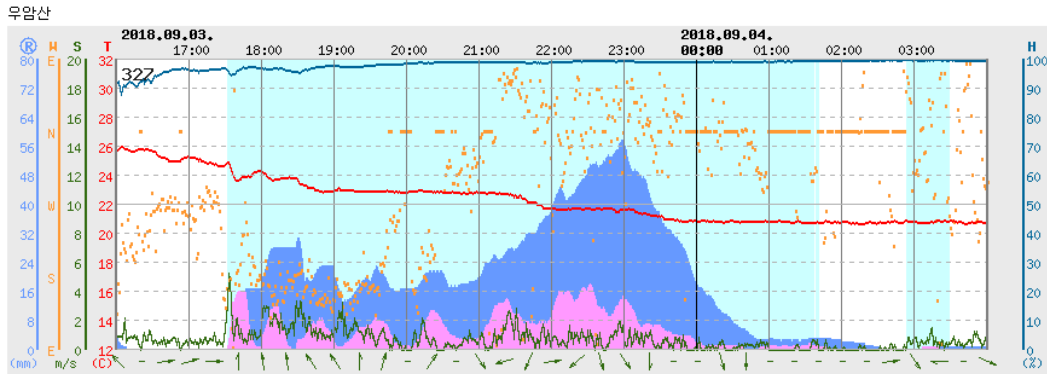
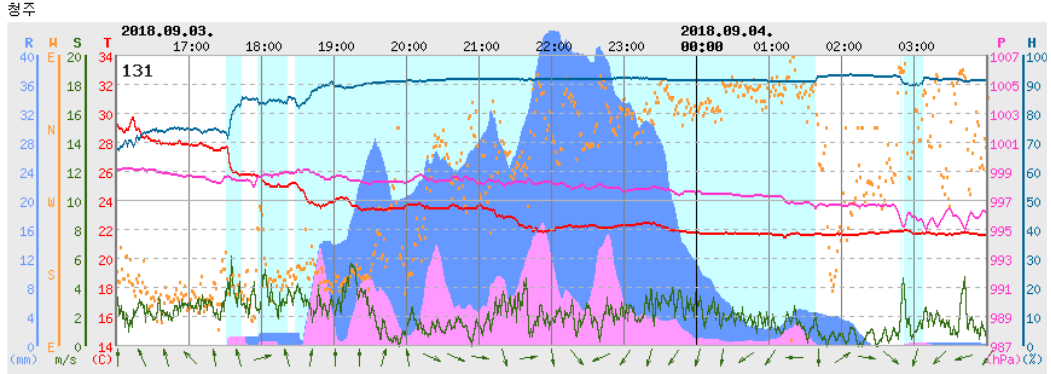
누적강수량(9. 3. 15:00~4. 09:00)

3시간누적강수량(9. 3. 20:50~23:50)

9월 3일 17부터 4일 03시 사이 한반도 북서쪽에서 다가오는 기압골 영향으로 충청북도 내 청주 151.6mm, 우암산 198.5mm, 괴산 147.0mm, 충주(노은) 170.5mm 등 43.9mm~198.5mm의 비가 내렸으며, 20시 50분에서 23시 50분까지 3시간 누적강수량으로 우암 AWS에 115.0mm의 강한 강수가 내리는 등, 강수량의 지역차가 매우 크게 나타났다.



첨부 14. 강수실황(시계열)



구분	청주	우암산(청주)	괴산	노은(충주)
누적강수량	151.6	198.5	147.0	170.5
1시간최다강수량	43.3	57.5	66.0	60.0

충북 중·북부 지역을 중심으로 시간당 60mm 내외의 매우 강한 비가 내렸으며, 충주시 노은 AWS는 19시 54분에 60.0mm, 청주는 21시 58분에 43.3mm, 괴산은 22시 22분에 66.0mm, 우암산 AWS는 22시 57분에 57.5mm의 1시간 최대강수량을 기록하였다.

첨부 15. 한반도 남동지역의 복잡한 지형과 하층제트가 집중호우에 미치는 영향 분석(채다운, 2019)

한반도 남동지역의 복잡한 지형과 하층제트가 집중호우에 미치는 연구에서는 지형의 높이 변화가 미치는 영향 민감도 실험으로 금정산(614m) 높이를 높이는 M_Up(1020m) 실험과 높이를 낮추는 M_Down(357m) 실험을 하였다.

산의 지형을 높이는 경우에는 일누적 강수량이 최대 50mm 많았으며, 특히 강수가 가장 많았던 시간대에는 강수량이 최대 25% 증가한 것으로 연구되었다. 이는 지형을 높였을 경우 풍상측의 풍속이 느려지고, 이와 더불어 산에 의한 강제력이 증가하였으므로 풍상측 강수가 증가한다는 연구결과이다.



첨부 16. 현장의 강수량 추정



이번 사례에서 청주기상지청에서는 151.6mm, 청주기상지청과 인근 지역인 우암산 AWS에서 198.5mm의 강수량을 기록하였다. 인근 지역이면서 두지역의 강수량 차가 나는 것은 우암산 AWS가 우암산(353m) 기슭에 위치하고 주변에 망경산(784m) 깃대산(484m) 등의 산지로 형성되어 있기 때문이다.

우암산 AWS의 관측위치는 남서기류가 유입되면 남서풍을 모으는 형태로 경사면을 따라 지형성 강제상승이 이뤄지고 계곡 상류에서의 병목현상이 구름의 발달을 용이하게 할 수 있는 지형조건을 가지고 있다. 이로 인해 비슷한 시각에 강수의 시종(17시 이후 시작 02시 이후 종료)이 있었으나, 청주지청보다 40mm 이상 많은 강수를 보인 것으로 판단된다.

위의 상황을 종합판단하고, 하층제트가 유입되는 가운데 지형의 높이가 우암산(353m)보다 망산(784m)의 지형고도가 높아 1시간최대강수량이 최대 25% 증가가 가능하지만, 검정대상지점의 누적강수량으로 최소한의 증가폭을 5%로 계산하였을 때 208mm, 25%로 계산하면 248mm의 강수량이 계산되므로, 사건현장에는 최소한 208mm이상은 내린 것으로 추정된다.



시나리오 03

0. 사고 개요(지방도 산사태)

1. 의뢰내용

2. 조사내용

3. 기상감정 결과 및 의견

4. 별첨자료



충북지역 집중호우로 인한 지방도 산사태 피해 사건 개요

강●●씨는 2017년 7월 15일 서울시에서 고가의 외제 승용차를 이용해 업무차 청주시를 방문하여 숙박 후 7월 16일 청주시 호정대신로를 통해 서울로 귀가하던 중 청주시의 집중호우로 인한 산사태로 인하여 차량이 파손되고, 전치 8주의 골절상을 입었다.

사고 당시 충청북도에는 청주시를 중심으로 한 집중호우로 인하여 도심침수, 도로파손, 하천유실, 산사태 등의 많은 피해를 입을 정도로 많은 비가 내렸으며, 호정대신로변 산비탈에서는 산사태가 발생하여 유출된 토사가 승용차를 덮쳐 승용차 수리비 약 5,000만원과 운전자의 치료비 및 휴업손실액 약 4,000만원 등 도합 9,000만원 상당의 손해가 발생하였다. 이에 강●●씨는 자신이 가입한 보험회사에 보험금을 청구해 수령하였다.

보험금을 지급한 보험회사는 도로관리의 책임이 있는 관할 □□기관을 상대로 폭우에 대한 대비가 부족하였기 때문에 산사태가 발생하였다고 주장하면서 영조물에 대한 설치·보존상의 하자책임을 물어 구상금을 청구하였다.

이에 관할 □□기관은 사건 당일 인근 청주기상지청에 기록된 누적강수량이 청주 290.3mm, 1시간최대강수량이 90.9mm로 사상 초유의 집중호우가 내렸기 때문에 산사태에 대한 대비를 하였더라도 해당 사고를 막을 수 없었을 것이라 항변하였으나, 보험회사는 사고지점과 청주기상지청은 직선거리로 15km 이상 떨어져 있고, 도심지에 위치한 기상관측소와 달리 사고지점은 산속에 위치하여 환경이 전혀 다르기 때문에 □□기관의 항변을 수용할 수 없다고 하였다.

이에 관할 □□기관의 사고 담당자는 과학적이고 객관적인 증거를 제시하여 해당 사고의 자연력 기여분이 절대적이라는 것을 증명하기 위해서 기상감정사에게 7월 16일 집중호우로 인한 호정대신로변 산사태는 불가항력으로 관할 지자체의 관리소홀로 인한 손해확대 여지는 없었다는 사실을 입증하기 위해 기상감정을 의뢰하였다.

| 보험 전문가 의견 |

자연재해와 관련한 사고의 경우, 규모나 위험성 등을 토대로 영조물의 관리주체가 불가항력만을 주장하더라도 관리소홀로 인한 손해확대 여지가 있었다면 관리주체의 책임을 인정하고, 다만 자연력 기여도만을 제외하는 것이 통상적인 판례의 경향이므로, 기상감정을 통해 자연력 기여도 부분을 검증하는 것은 손해액 평가와 책임의 분배에 있어 상당히 중요하다고 할 수 있다.



기상감정서

1. 업체명 : 한국기상감정사협회
2. 대표자 : 홍길동
3. 기상감정사 : 하○○
4. 계약명 : 부산 ◇◇쇼핑센터 물류창고 강수량 감정

위 계약에 따라 기상감정서를 발급합니다.

2017년 8월 15일

한국기상감정사협회

직인

기상감정 가상 시나리오

시나리오 03

1. 의뢰내용

- 1) 감정대상 일시 : 2017년 7월 16일(일)
- 2) 감정대상 장소 : 충청북도 청주시 상당구 남성면 00리 산 0-0번지
- 3) 기상감정 목적
 - 고가의 외제 승용차는 손해보험회사에 보험을 가입하고 있으며, 특약에 의하면 재해 등에 의한 피해를 보상받을 수 있어 산사태로 인한 인적·물적 피해를 금전적으로 보상받았다.
 - 손해보험회사에서는 해당 사건에 대한 보험금을 지급한 후, □□기관이 도로관리를 제대로 하지 않아 산사태가 발생하였고, 이에 대한 책임이 있다며 구상금을 청구해왔다.
 - 의뢰인은 해당 산사태가 사상 초유의 집중호우로 인한 것이며, 자연력에 의한 영향이 매우 크다는 것을 증명하고자 산사태 발생과 집중호우 간의 상관성에 대한 기상감정을 의뢰하였다.
- 4) 의뢰인 주소 : 충청북도 ●●시
- 5) 의뢰인 성명 : □□기관 담당자 ◇◇◇

2. 조사내용

- 1) 조사기간 : 2017. 8. 1. ~ 8. 15.
- 2) 사전조사
 1. 감정대상 기상현상 및 피해 현황에 관한 사항
 - 사고현장은 충청북도 청주시 상당구 남성면에 위치한 인경산(582m)의 서쪽에 남북으로 위치한 지방도로 인경삼거리에서 500m 북쪽 지점이다(첨부 1). 도로 우측 산사면은 급경사지이며, 표면은 나무가 적고 토양이 노출된 부분이 많아 산사태에 약한 토질로 되어 있다. 또한 우측 20m 부근에는 20년 전에 200평 규모의 묘지가 조성되어 있다(첨부 2).
 2. 기상감정을 위해 필요한 기상에 관한 사항
 - 일반적으로 강수는 지형효과로 인하여, 평지와 풍하측보다 풍상측에 강제상승에 의한 효과로 강수량이 증가하는 경우가 많다.



3) 현장조사(또는 현장조사 수행하지 않은 사유)

- 집중호우로 인한 산사태에 의하여 토사가 덮친 현장은 일부 복구 작업이 있었으나, 산사태로 인한 유실 흔적이 잘 보존되어 있어, 산사태로 인하여 발생한 사고임을 짐작할 수 있다.

4) 자료 분석

1. 감정대상지역의 환경

- 사고현장은 충청북도 청주시 상당구 남성면에 위치한 인경산(582m)의 서쪽에 남북으로 위치한 지방도로 인경삼거리에서 500m 북쪽 지점이며(첨부 1), 도로 우측 산사면은 급경사지이며, 표면은 나무가 적고 토양이 노출된 부분이 많아 산사태에 약한 토질로 되어 있다. 또한 우측 20m 부근에는 20년 전에 200평 규모의 묘지가 조성되어 있다(첨부 2).

2. 감정대상지점의 기상현상

- 장마전선이 중국 산둥반도에서 우리나라 중부지방에 동서로 위치하고, 북태평양고기압의 가장자리를 따라 강한 남서류와 고온다습한 기류가 유입되면서, 16일 충청북도에 예상강수량 30~80mm, 많은 곳 충북북부지방에 120mm 이상 예보를 하였다(첨부 4, 5, 6).
- 북쪽에서 한기가 남하하면서 북태평양고기압이 느리게 수축하고, 하층제트가 강하게 유입되었고, 북쪽에서 내려오는 기류와 남쪽의 기류가 경기만~충남북부역으로 수렴되어, 청주시 부근에 고온다습한 기류와 차고 건조한 기류가 만나 불안정이 증가하면서 강하게 발달하였다(첨부 7, 8).
- 지상 AWS자료의 바람벡터 분석에서 서해상에서 충남서해안으로 따뜻하고 습한 남서풍이 유입되고, 지상풍속분포에서 충청남도 북부지역과 충청북도지역에서 지상의 풍속 급격히 약화되어 충청북도에는 지상풍속의 속도 수렴이 있어, 이 수렴기류의 수렴이 연직변화로 이어지고, 온도분포에서 충청북도 중북부지방에 온도가 낮은 지역이 위치하여 수평 온도경도를 강화하였다. 이러한 상황에서 충청북도는 북서쪽 해발고도 500m 내외의 금북정맥, 동쪽으로 400~600m의 한남금북정맥, 남서쪽으로 400~800m의 금남정맥으로 둘러싸여 하층에 기류가 쌓이는 지형적인 특성이 더 많은 비를 내리게 한 것으로 분석 된다.(첨부 9).
- 위성영상에서 자정 이후 경기만 장마전선 상에서 불안정이 강화되면서 대류셀이 급격히 발달하여, 레이더에코에서도 충북에 동서로 형성되어 에코탑이 14km까지 발달하고 느리게 남하하면서, 하층제트에 의한 수평운동이 연직운동으로 전환으로 전환되어 호우가 발생한 것으로 판단된다(첨부 10, 11, 12).
- 충북은 16일 일강수량은 청주 290.2mm, 증평 225.0mm, 괴산 173.0mm 등 70mm~290.2mm의 강수량을 기록하였고, 청주는 1971년 관측 이래 일강수량 극값 2위를 경신하였고, 1시간최다강수량은 청주 91.8mm로 과거의 극값 1위인 64.0mm(05.8.19.)보다 28mm 많이 오면서 극값을 경신하였다(첨부 13).
- 청주부근에 비구름이 동서로 위치하면서 느리게 매우 이동하여 정체하면서 많은 비가 내렸고, 현장은 위도가 청주기상청과 비슷한 위도이며, 청주는 평지에서 남서쪽에서 기류가 지나면서 비가 내렸으나, 현장은 서쪽에 해발고도 582mm의 급경사가 남북으로 위치하면서 남서류를 정면으로 받아 풍상측에서 강수량이 많이 내린

것으로 분석되어 청주 290.2mm보다 많은 집중호우가 내렸을 것으로 추정된다(첨부 14).

5) 참고자료 및 출처

- 감정결과는 감정대상지점에 대한 감정대상기간 동안의 집중 호우 상황에 대하여 최적의 감정 결과를 얻기 위하여 다음과 같은 첨부 자료를 근거하여 산출한 것임.
- 첨부 1. 사고현장 약도
- 첨부 2. 사고현장 지형도
- 첨부 3. 사고현장 사진
- 첨부 4. 7월 15일 21시 일기도
- 첨부 5. 7월 16일 일기예보문 및 예비특보
- 첨부 6. 수치모델 예상도
- 첨부 7. 북태평양고기압의 수축 일기도
- 첨부 8. 기류수렴과 북쪽한기
- 첨부 9. 지상바람 및 지형 분석
- 첨부 10. 기상위성영상
- 첨부 11. 기상레이더 영상
- 첨부 12. 대기연직구조 분석
- 첨부 13. 강수량 및 기상특보발표 현황
- 첨부 14. 현장의 강수량 추정

3. 기상감정 결과 및 의견

1) 기상감정 결과 및 의견

- 7월 16일은 장마전선이 중국 산둥반도에서 우리나라 중부지방에 동서로 위치하고, 북태평양고기압의 가장자리를 따라 강한 남서류가 따뜻하고 습한 많은 수증기가 유입되고, 북쪽에서 찬공기가 남하하면서 북태평양고기압이 느리게 남쪽으로 수축하였다. 북쪽에서 내려오는 기류와 남쪽의 기류가 경기만~충남북부역에서 모여들어, 청주시 부근에 따뜻하고 습한 공기와의 차고 건조한 공기가 만나 불안정이 증가하면서 비구름이 강하게 발달하였다.
- 서해상에서 충남서해안으로 따뜻하고 습한 남서풍이 유입되고, 지상풍속분포에서 충청남도 북부지역과

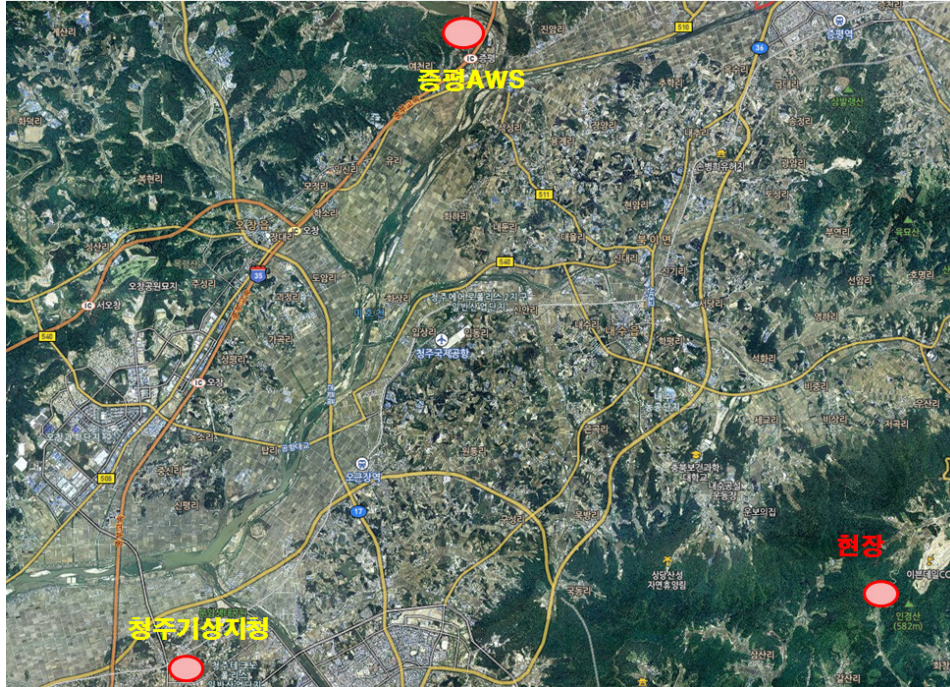


충청북도지역에서 지상의 풍속 급격히 약화되어 충청북도에는 지상풍속의 속도 수렴이 있어, 이 수평기류의 수렴이 연직변화로 이어지고, 온도분포에서 충청북도 중북부지방에 온도가 낮은 지역이 위치하여 수평 온도경도를 강화하였다. 이러한 상황에서 충청북도는 북서쪽 해발고도 500m 내외의 금북정맥, 동쪽으로 400~600m의 한남금북정맥, 남서쪽으로 400~800m의 금남정맥으로 둘러싸여 하층에 기류가 쌓이는 지형적인 특성이 더 많은 비를 내리게 한 것으로 분석 된다.

- 16일 00시 이후 경기만 장마전선 상에서 불안정이 강화되면서 대류셀이 급격히 발달하여, 레이더에코에서도 충북에 동서로 형성되어 예코탑이 14km까지 발달하고 느리게 남하하면서, 하층제트에 의한 수평운동이 연직운동으로 전환되어 집중호우가 발생한 것으로 판단된다.
- 충청북도는 16일 일강수량은 청주 290.2mm, 증평 225.0mm, 괴산 173.0mm 등 70mm~290.2mm의 강수량을 기록하였고, 청주는 1971년 관측 이래 일강수량 극값 2위를 경신하였으며, 1시간최다강수량은 청주 91.8mm로 과거의 극값 1위인 64.0mm(05.8.19.)보다 28mm 많이 오면서 극값을 경신하였다.
- 따라서, 청주부근에 비구름이 동서로 위치하면서 느리게 매우 이동하여 정체하면서 많은 비가 내렸고, 현장은 위도가 청주기상청과 비슷한 위도이며, 청주는 평지에서 남서쪽에서 기류가 지나면서 비가 내렸으나, 현장은 서쪽에 해발고도 582mm의 급경사가 남북으로 위치하면서 남서류를 정면으로 받아 풍상측에서 강수량이 많이 내린 것으로 분석되어 청주 290.2mm보다 많은 집중호우가 내렸을 것으로 추정된다
- 사고지점의 우측에 인경산(582m)에서 급경사가 위치하고 인경산을 중심으로 남북으로 능선을 이루고 있어 남서류를 직접 받으며, 급경사의 풍상측에 강한 강수가 집중되었다.
- 이날 시간당 60mm이상의 강한 강수가 4시간 집중적으로 내렸으며, 특히 1시간 최대강수량이 90.3mm로 관측 이래 가장 많았고, 그동안 유지되었던 극값 64mm(2005. 8. 19.)와 매우 큰 차를 보이고, 일강수량 또한 극값(293.0mm, 1995. 8. 25.)에 가까운 290.3mm 이상의 유례 없는 집중호우로 인하여 산사태의 직접적인 원인이 된 것으로 판단된다.

2) 관련 전문가 자문(해당사항 있을 경우 작성)

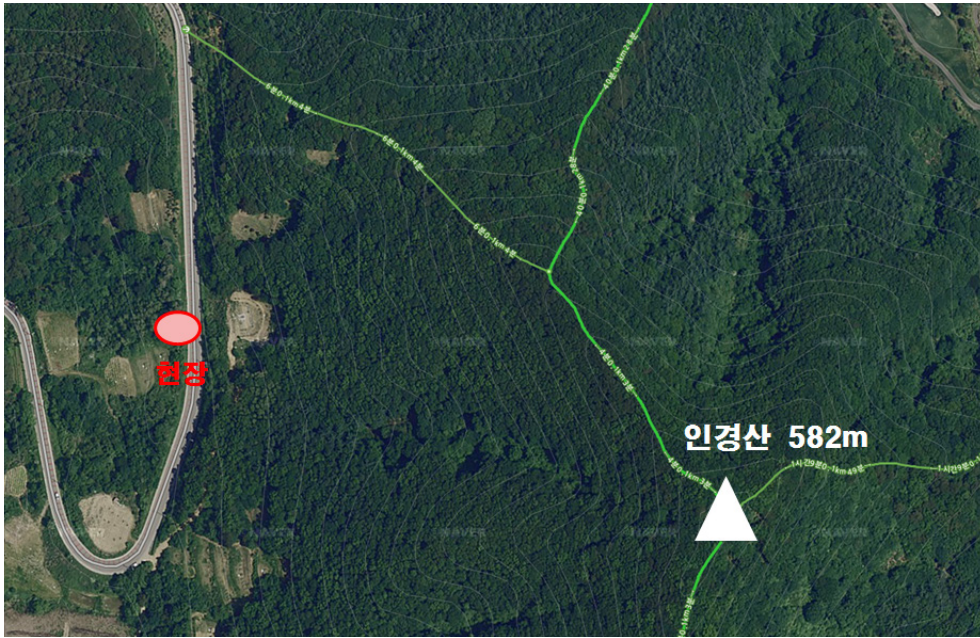
첨부 1. 사고현장 약도



사고현장은 충청북도 청주시 상당구 남성면에 위치한 인경산(582m)의 서쪽에 남북으로 위치한 지방도로 인경삼거리에서 500m 북쪽 지점이다.



첨부 2. 사고현장 지형도



사고현장의 지형은 위와 같이 도로 우측 산사면은 급경사지이며, 표면은 나무가 적고 토양이 노출된 부분이 많아 산사태에 약한 토질로 되어 있다. 또한 우측 20m 부근에는 20년 전에 조성된 200평 규모의 묘지가 있다.

첨부 3. 사고현장 사진

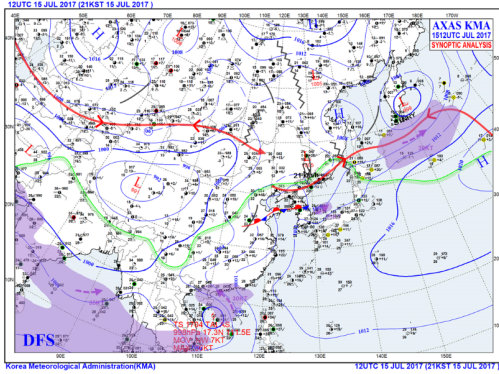


본 내용과 직접적인 관계가 없는 참고 사진입니다.

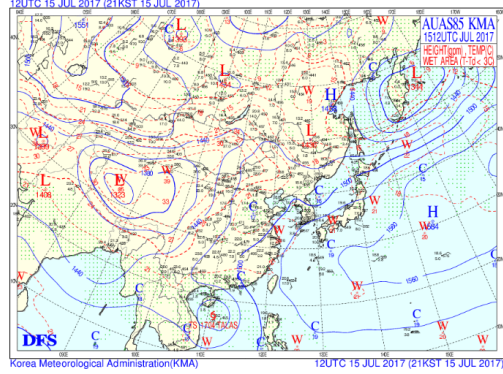
현장은 산사태로 도로교통이 통제되다가 도로 복구를 통해 교통이 재개 되었으나, 산사태 현장은 잘 보존되어 있었다.



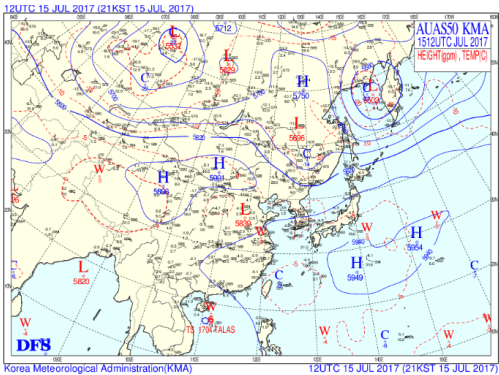
첨부 4. 7월 15일 21시 일기도



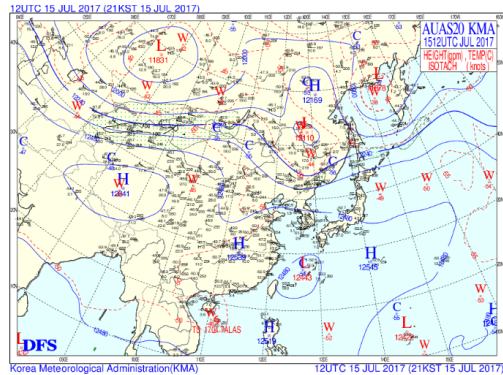
지상일기도



850hPa 일기도



500hPa 일기도



200hPa 일기도

장마전선이 중국 산둥반도에서 우리나라 중부지방에 동서로 위치하고, 북태평양고기압의 가장자리를 따라 강한 남서류와 고온다습한 기류가 유입되고 있다. 상층제트가 기압골 전면에 위치하여 발산장에 놓여 하층수렴, 상층발산역에 놓여 있다. 그리고 산둥반도 후면에 상층기압골이 위치하여 지상기압계 발달을 유도하고, 불안정을 강화되고 있어 중부지방에 많은 비가 예상되는 기압배치를 하고 있다.

첨부 5. 7월 16일 일기예보문 및 예비특보

○ 일기예보

2017.07.15.17:00 발표 / 발표관서: 청주(131) / 예보관: 김상용

오늘 15일(토) ~ 모레 17일(월)	□ (종합) 오늘과 내일 장맛비, 모레 북부지역 오후 한때 소나기
	○ (오늘~내일) 흐리고 비, 내일 오후부터 차차 그침
	○ (모레) 구름많음, 북부지역 오후 한때 소나기
	□ 예상 강수량(15일부터 16일 오후까지)
	○ 충청북도 : 30~80mm(많은 곳, 충북북부 120mm 이상)
	□ 유의사항
	○ (천둥, 번개) 비가 오는 지역, 돌풍과 함께 천둥, 번개, 시간당 30mm 이상 강한 비, 강수량 지역 차가 큼, 시설물 관리와 안전사고 유의
	○ (안개) 오늘밤부터 내일 아침까지 안개 곳, 교통안전 각별히 유의
	○ (폭염, 열대야) 비오는 지역 폭염 다소 주춤, 일부지역 열대야, 건강관리 각별히 유의

○ 예비특보 발표 사항



기상청

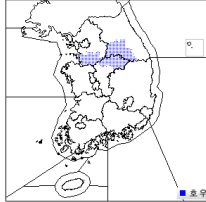
예비특보

기상청, 충청예보관 함종주
2017년 7월 15일 16시 00분 발표

□ 예비특보 현황

- (1) 호우 예비특보
- 07월 16일 새벽 : 충청북도(제천, 단양, 음성, 충주), 강원도(영선평지, 평창평지, 횡성, 원주, 영월), 경기도(화성, 안성, 이천, 용인, 평택, 오산)

예비특보 발표현황 (2017.07.15. 16:00)



□ 참고사항

- 내일(16일) 새벽으로 충북북부(충주, 제천, 음성, 단양)에 호우 예비특보를 추가하여 발표합니다.

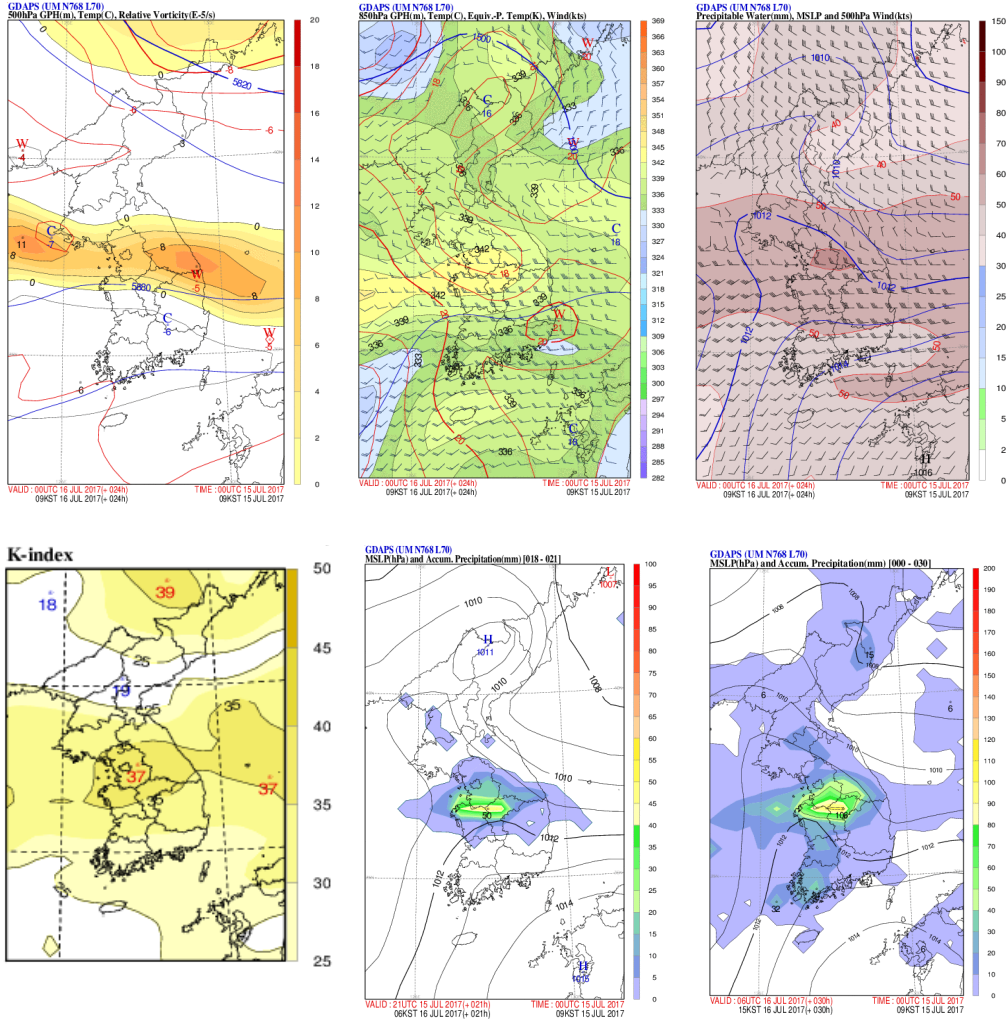
※ 위 내용은 같은 번호별로 상호 연관되는 사항입니다.
※ 기상특보발효현황과 자세한 사항은 기상청홈페이지(www.kma.go.kr) 또는 콜러우드 방재기상정보시스템(efso.kma.go.kr)에서 참조할 수 있습니다.

기상청은 16일에 장마전선의 영향으로 흐리고 비가 오다가 오후부터 차차 그치겠으며, 예상강수량은 충청북도에 30~80mm, 많은 곳은 충북북부지방에 120mm 이상의 예보를 하였다. 그리고 충북북부지방인 제천, 단양, 음성, 충주에 16일 새벽으로 호우주의보 예비특보를 15일 16시에 발표하였다.

또한, 16일 충북북부지역을 중심으로 돌풍과 함께 천둥, 번개가 치는 곳이 있겠고, 시간당 30mm 이상의 강한 비와 많은 비가 오는 곳이 있겠다고 기상정보를 발표하였다.

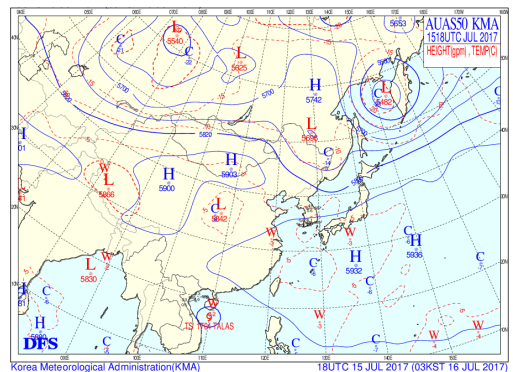
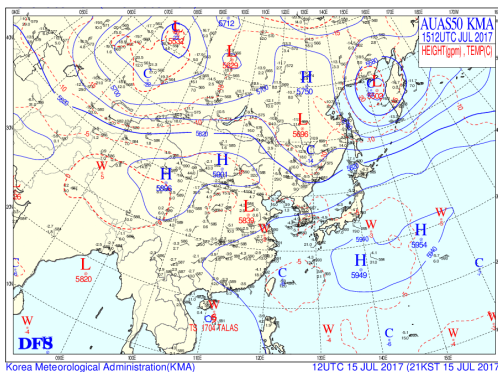
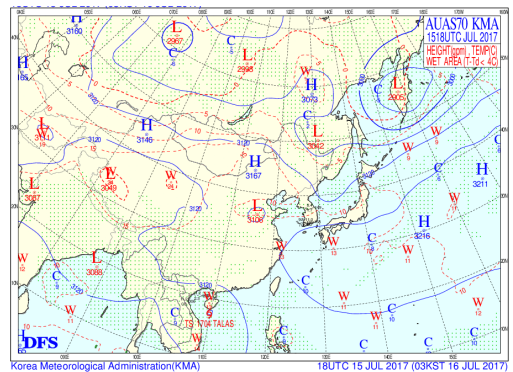
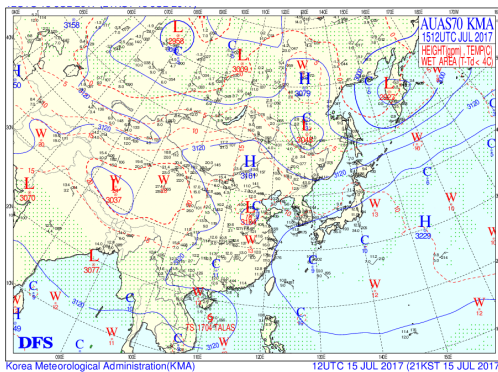
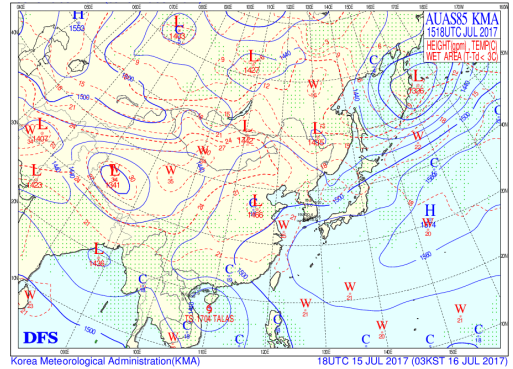
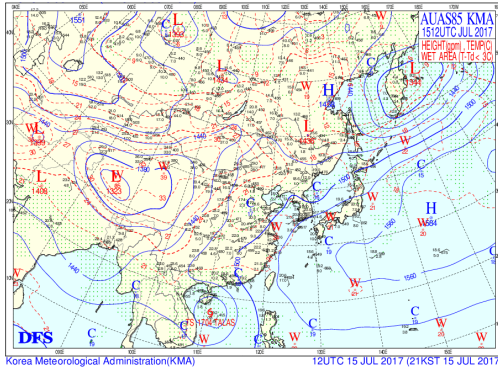


첨부 6. 수치예상도



15일 09시 수치예보 모델자료에서 500hPa 양의와도가 경기도와 강원지역에 위치하고, 850hPa 고온다습한 남서류가 유입되면서 342K의 고상당온위역과 60mm의 가강수량역이 충청북부에 걸쳐 있으며, KI 35이상의 불안정역이 충북중북부에 위치하여 총강수량 106mm를 예상하고 있다. 수치예보 자료에 의하면 충청북도 예상강수량은 30~80mm, 많은 곳 120mm이상의 예보가 적절한 것으로 분석된다.

첨부 7. 북태평양고기압의 수축 일기도

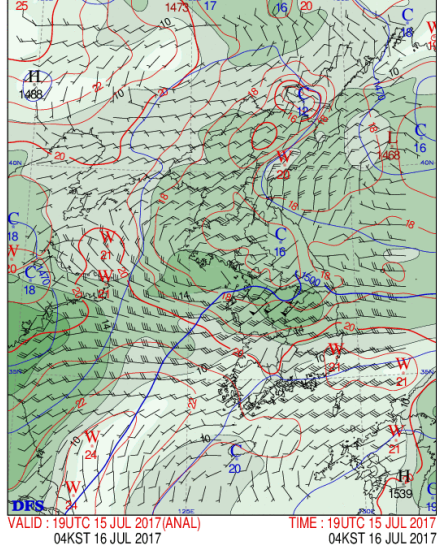


일기도 분석을 보면 15일 21시에서 16일 03시에 북쪽에서 한기가 내려오면서 북태평양 고기압이 수축하여, 북태평양 고기압 가장자리의 고온다습한 기류와 북쪽으로부터 내려오는 차고 건조한 기류가 만나 불안정이 강하게 발달하였다.

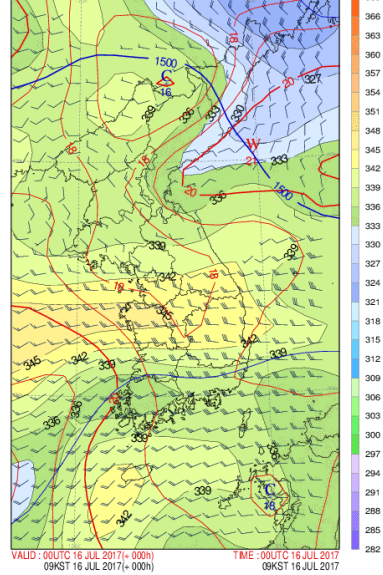


첨부 8. 기류수렴과 북쪽한기

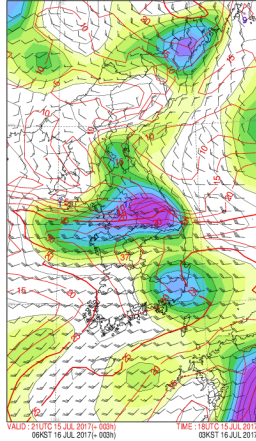
850hPa GPH(15m), Temp(C), Mixing Ratio(g/kg) KLPS 05km(KMA)



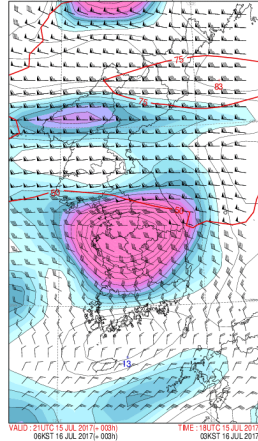
GDAPS (UM N768 L70)
850hPa GPH(m), Temp(C), Equiv.-P. Temp(K), Wind(kts)



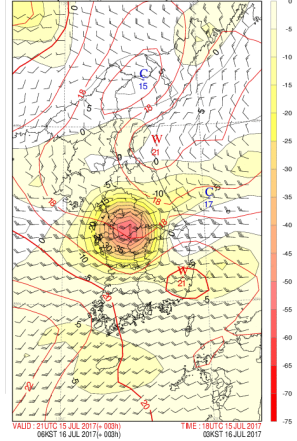
GDAPS (UM N768 L70)
850hPa Convergence(F-6/s) and Isotachs(25kts)



GDAPS (UM N768 L70)
200hPa Divergence(F-6/s) and Isotachs(50kts)

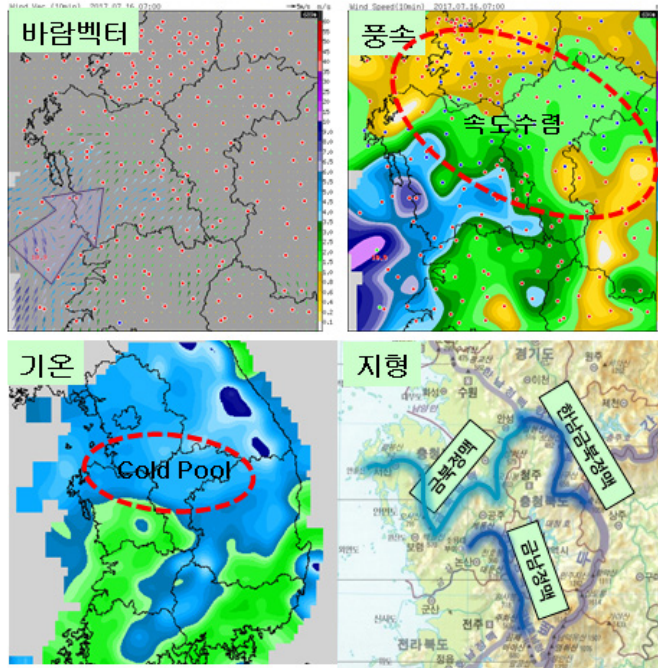


GDAPS (UM N768 L70)
850hPa Temperature(C), 200hPa P.Velocity(hPa/hr)



850hPa의 하층제트가 50kts로 강하게 유입되었고, 북쪽에서 내려오는 기류와 남쪽의 기류가 경기만~충남북부역으로 유입되었으며, 850hPa에 345K의 고상단운위가 위치하고, 북쪽에 한기축이 위치하면서 기압계를 더욱 발달시켰다.

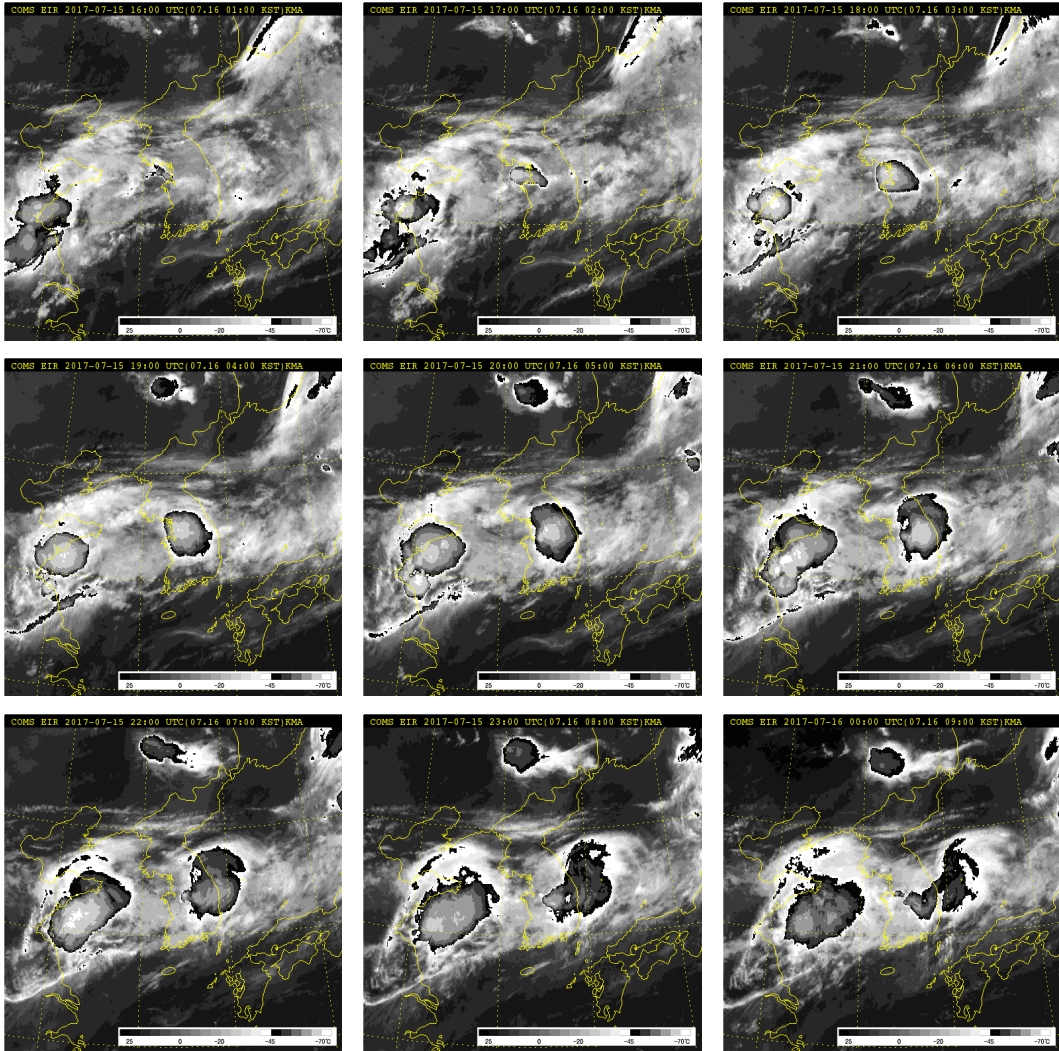
첨부 9. 지상바람 및 지형 분석



지상 AWS자료의 바람벡터 분석에서 서해상에서 충청서해안으로 따뜻하고 습한 남서풍이 유입되고, 지상풍속분포에서 충청남도 북부지역과 충청북도지역에서 지상의 풍속 급격히 약화되어 충청북도에는 지상풍속의 속도 수렴이 있어, 이 수렴기류의 수렴이 연직변화로 이어지고, 온도분포에서 충청북도 중북부지방에 온도가 낮은 지역이 위치하여 수평 온도경도를 강화하였다. 이러한 상황에서 충청북도는 북서쪽 해발고도 500m 내외의 금북정맥, 동쪽으로 400~600m의 한남금북정맥, 남서쪽으로 400~800m의 금남정맥으로 둘러싸여 하층에 기류가 쌓이는 지형적인 특성이 더 많은 비를 내리게 한 것으로 분석 된다.



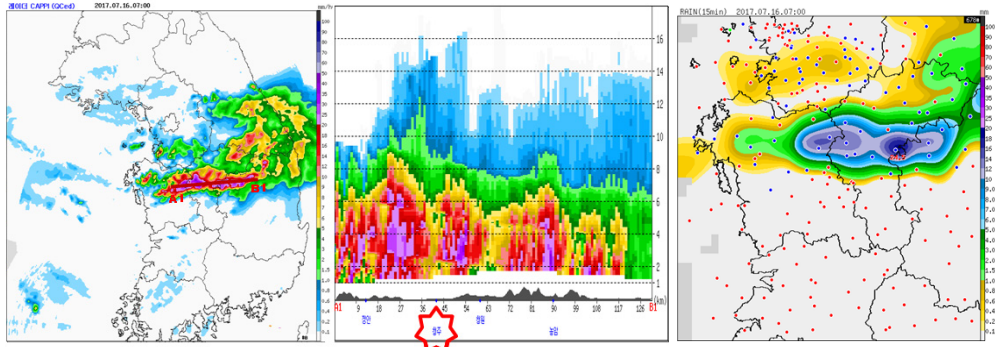
첨부 10. 기상위성영상



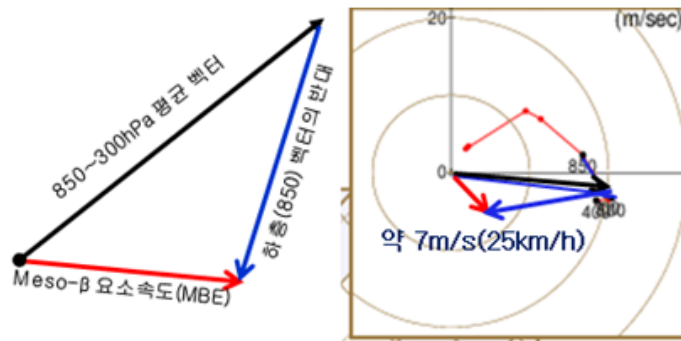
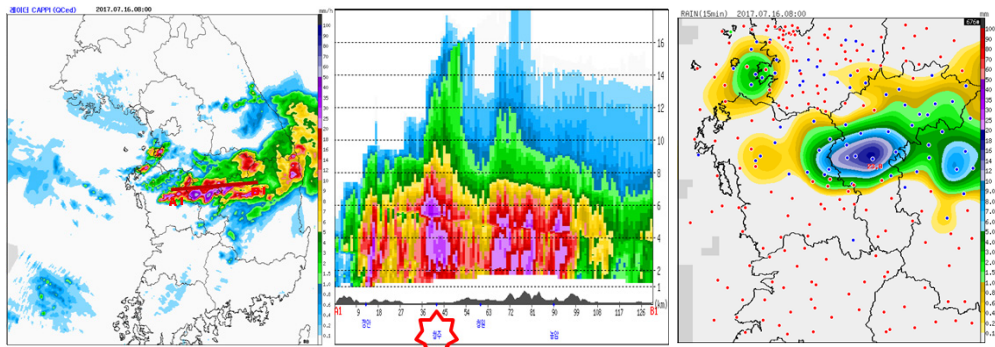
위성영상 분석에서 자정 이후 경기만 장마전선 상에서 불안정이 강화되면서 대류셀 급격히 발달하여 경기만에서 충북북부로 이동하여, 충청북도 청주시 부근에서 정체하면서 느리게 남하하였다.

첨부 11. 기상레이더 영상

07시



08시

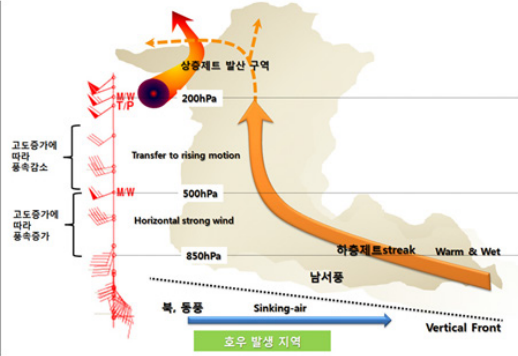
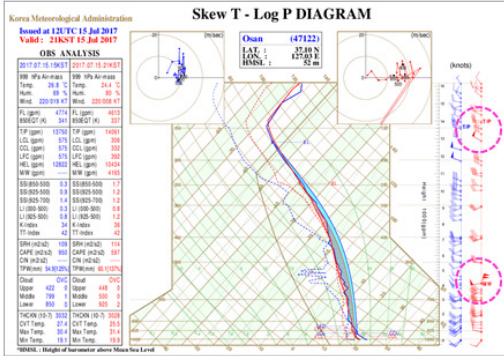


레이더에코에서도 총북에 동서로 강수예코가 형성되어 에코탑이 14km까지 발달하여 850~300hPa 평균 벡터에서 850hPa 벡터를 뺀 Meso- β 요소속도(MBE)로 느리게 남동진하였다(Marwitz, 1972).



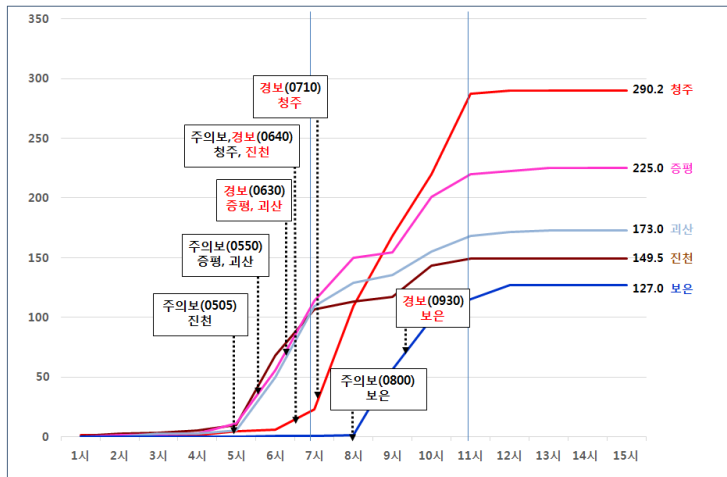
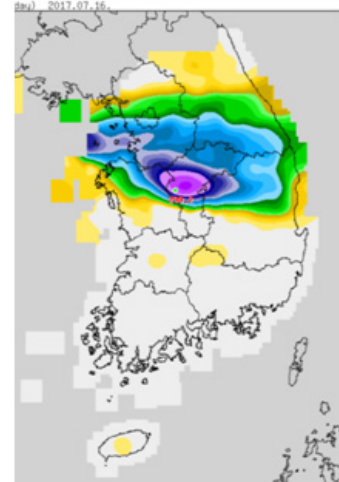
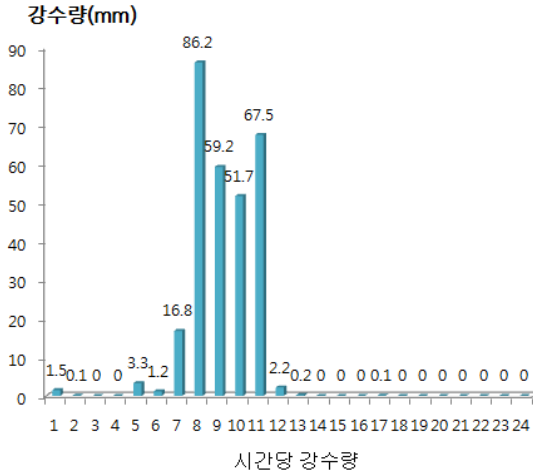
첨부 12. 대기연직구조 분석

단열선도(15일 21시 오산)



15일 21시 오산 단열선도에서 전층이 포화되었으며, 600hPa 부근 1차 최대풍이 있고, 고도에 따라 감소하다가, 150hPa 부근에서 2차 최대풍이 나타나고 있다. 이를 통해 하층제트에 의한 수평운동이 연직운동으로 전환되어 호우가 발생한 것으로 판단된다.

첨부 13. 강수량 및 기상특보발표 현황

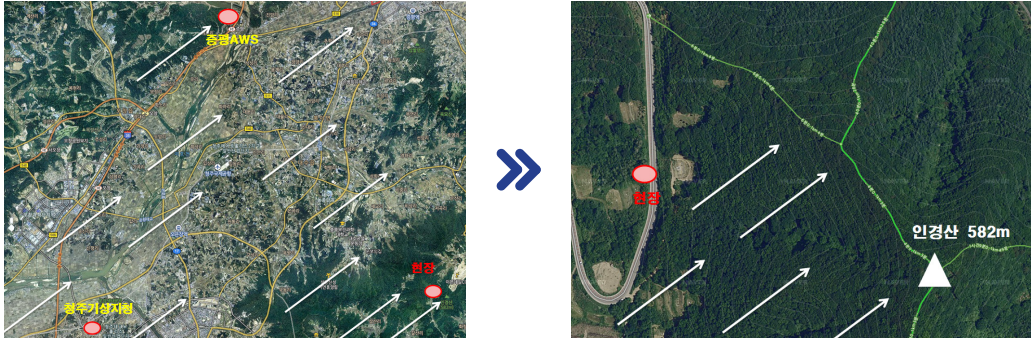


16일 청주 290.2mm, 증평 225.0mm, 괴산 173.0mm, 진천 149.5mm, 속리산 127.0mm로 충북 중북부지방에 70mm~290.2mm의 일강수량을 기록하였다. 특히 청주는 1971년 관측 이래 일강수량 극값 1위(293.0mm, 1995. 8. 25.)에 이어 2위를 경신하였다.

또한, 1시간최다강수량은 청주 91.8mm, 증평 84.0mm, 괴산 78.5mm로 청주는 91.8mm로 과거의 극값 1위인 64.0mm(05.8.19.)를 경신하였다.



첨부 14. 현장의 강수량 추정



청주기상지청은 290.2mm, 증평은 225mm의 강수량이 관측되었다. 청주기상지청은 증평보다 비구름이 동서로 위치하면서 오랜 기간 정체하면서 많은 비가 내렸고, 사건현장은 청주기상청과 비슷한 위도이며, 청주는 평지에서 남서쪽에서 기류가 지나면서 비가 내렸으나, 현장은 서쪽에 해발고도 582m의 급경사가 남북으로 위치하면서 남서류를 정면으로 받아 풍상측에서 강수량이 많이 증가한 것으로 판단되어 청주기상지청 강수량보다 많은 집중호우가 내렸을 것으로 추정된다.