

# 기상감정(강풍편) 사례집



기상청



한국기상산업기술원  
Korea Meteorological Institute



# 목 차 CONTENTS

---

## 01 기상감정 실제사례

- 1. 기상감정서 / 6
- 2. 실제사례 / 9

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

- 1. 사고 개요 / 28
- 2. 현장 조사서 / 29
- 3. 시나리오(철원) / 32
- 4. 별첨자료 / 35

### 시나리오2

- 1. 사고 개요 / 58
- 2. 현장 조사서 / 59
- 3. 시나리오(양주) / 62
- 4. 별첨자료 / 65

## 기상감정(강풍편) 사례집



# 01

## 기상감정 실제사례

1. 기상감정서
2. 실제사례



# 기상감정서

감정일 : 2015년 6월 16일  
제2015-001호

## 1. 감정을 받으려는 사실

- 일시 : 2015년 2월 8일 14시 11분
- 장소 : 대구광역시 달성군 가창면 주리 000-0
- 감정 요구 기상현상 : 강풍

## 2. 감정 의뢰인

- 주소 : 대구광역시 동구 화랑로
- 이름 : 000000 000지사

## 3. 감정의 목적

- 감정대상 시점인 2월 8일 14시 11분경 바람에 의해 감정대상 지점인 대구광역시 달성군 가창면 주리 000-0에 부착된 지붕마감용 함석이 강풍에 비산하여 감정대상 지점의 전력선과 접촉하여 일시 정전 사고가 발생하였음.
- 그 당시 감정대상지점에서 의뢰인이 느낀 기상현상은 당시 대구 기상대에서 관측된 풍속 9.5m/s(최대순간풍속 15.3m/s)보다 훨씬 강한 강풍으로 무게 1.5kg 정도의 함석 지붕마감재가 20m 이상 비산하였다면 순간 최대풍속이 최소 30m/s이상 이었을 것으로 주장하고 있음.
- 따라서 감정대상시점에 감정대상지점에서 분 바람에 관한 기상감정을 의뢰한 것임.

## 4. 감정결과

### 4.1 감정대상지역의 환경

- 붙임 1에서 보이는 것처럼 감정대상 지점은 동대구역에서 남쪽으로 약 13.6km 지점에 위치한 곳으로서, 붙임 2에서 보이는 바와 같이 북서쪽에 주암산(850m)을 중심 250~850m 정도의 높은 산들이 위치하고, 북동쪽은 척령산(400m)을 중심으로 150~500m 산들이 위치하고 있다. 감정대상 지역은 북쪽이 트여 있는 하천가의 주변에 비하여 상대적으로 낮은 지역으로 주변 지형을 평균 150m 등고선으로 구분해 보면 깔때기 모양을 하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 사고 지점은 깔때기의 병목에 해당하는 곳에 위치하고 있어 북풍계열의 바람이 불면 바람길의 통로가 됨과 동시에 지형효과에 의한 풍속의 증가가 예상되는 곳이다.



## 4.2 감정대상시점의 기상현상

- 감정대상 지점을 중심으로 감정대상 시점의 기상을 붙임 3의 지상일기도로 살펴보면, 전형적인 겨울철 일기도로 우리나라는 중국 북부지방에서 남동진하는 찬 대륙고기압의 가장자리에 위치하고 있다. 전국이 구름 많고 북서풍이 강하게 불고 있으며, 제주도를 포함한 일부 지역에 눈 또는 비가 왔다. 특히 당일 단기예보(붙임 4 참조)에 의하면 서해안을 중심으로 강풍 특보가 발효 되었고, 온도 분포는 낮 최고기온이 영하 6도에서 영상 2도로 낮은 분포를 보였다. 그리고 당일의 예상 일기도(붙임 5 참조)를 보면 대륙고기압의 중심이 산동반도 부근으로 이동하면서 바람은 국지 수치예보모델(붙임 6)에 의하면 감정대상 시점의 감정대상 지점은 북서풍이 평균 초속 8~15m로 비교적 강한 바람이 불 것으로 예상되는 상황이었다.

## 4.3 기상 요소와 발생사건과의 인과 관계

- 감정대상 지역 부근의 기상 관측장소는 붙임 7과 같으며, 감정대상시점에 감정대상지점에 인접한 대구 기상대에는 붙임 8과 같이 바람이 북서풍으로 8.1m/s(당일 최고 9.5m/s 11:44)의 강한 바람이 불었고(최대순간풍속 15.3m/s 11:37), 인근 수성 AWS 자료도 비슷한 기상현상을 보였다.
- 감정대상 시점의 기상청 천리안 위성 영상인 붙임 9를 보면 대구 지역이 매우 맑아 오후가 되면서 일사에 의해 부등가열로 붙임 10과 같이 북쪽인 대구기상대 보다 남쪽인 달성 AWS 지역이 기온이 2°C 이상 높아지면서 기압이 낮아져 붙임 11과 같이 달성지역에 국지적인 저기압이 발생하여, 감정대상 시점에는 일 반풍은 북서풍이나 국지적으로 강한 북풍이 발생했을 것으로 추정된다.
- 감정 대상지점은 서쪽과 동쪽에 산과 임야가 있고 남북으로 하천변이 뻗쳐 있어 남북방향으로 계곡 형태를 이루고 있으며, 특히 계곡의 북쪽 입구는 넓고 감정대상 지점 부근의 계곡은 좁은 깔때기 모양을 이루고 있다.(붙임 2 참조). 따라서 감정대상 지역에 북풍계열의 바람이 불면 도시풍 또는 먼로풍이라 하는 벤츄리 효과(베르누이 정리)에 의해 풍속이 급격히 강해질 수 있는 지형을 이루고 있다. 이 계곡의 북쪽 입구와 감정대상 지점 부근의 출구쪽 규모를 보면 대략 면적비가 2:1로서 이 지역에 북풍계열의 바람이 불면 감정대상 지점에서는 풍속이 2배로 증가 될 수 있다(붙임 12 참조). 감정대상 지점에서는 평균풍속 12~16m/s, 순간 최대풍속 22~30m/s의 강한 바람이 불었을 가능성이 충분하다(붙임 12 참조).
- 감정대상 지점의 주택은 하천변 발가에 5~6m의 축대 위에 3~4m 높이의 전원주택으로 얇은 함석으로 지붕 마감재를 하고 있었다(붙임 13 참조). 감정대상 지점의 주택 주변에 대한 CFD 모델에 의해 모의한 결과 감정대상 지역에 평균풍속 12~16m/s 의 바람이 불었을 때 주택의 처마 부근에서 18~24m/s로 풍속이 증가하고 하천변 쪽의 주택 모서리 부근에 심한 난류가 발생함을 알 수 있다. 이와 같이 심한 난류에 의하여 양철 마감재가 벽면에서 이탈하여 강풍에 의하여 전신주 쪽으로 비상하였을 가능성이 충분하다(붙임 14 참조).
- 풍속과 풍압 관계를 살펴보면 풍속 15m/s는 단위 면적당 풍압 22.9kg/m<sup>2</sup>, 20m/s일 경우는 40.8kg/m<sup>2</sup>에 해당하는 풍압이 나타난다. 사고를 일으킨 함석 지붕마감재는 길이 3.2m, 폭 0.25m 무게 1.5kg로서 넓이는 0.8m<sup>2</sup>이다. 따라서 풍속이 15m/s일 때 18.3kg, 20m/s일 때 32.6kg의 풍압을 받을 것으로 동 마감재가 처마에서 이탈 후에 전신주까지 비상하였을 가능성이 충분하다(붙임 15 참조).

## 01 기상감정 실제사례

### 1. 기상감정서

- 이상에서 보이는 바와 같이 감정대상 시점의 감정대상 지역에는 주변의 기상 관측 자료와 지형지세로 미루어 보았을 때 평균풍속 12~16m/s, 순간 최대풍속 22~30m/s의 강풍이 불었을 가능성이 충분하며, 이와 같은 바람에서 감정대상 지점의 주택 마감재가 난류와 강풍으로 인하여 이탈 후 비상하여 전신주에 걸렸을 가능성은 충분하다.

### 5. 감정의 기초사실의 조사 기간 및 근거 자료

- 조사기간 : 2015년 5월 27일 ~ 6월 15일
- 위의 감정결과는 감정대상 지점을 중심으로 대구기상대의 관측 자료와 서구, 수성, 경산 AWS 관측자료 그리고 기상청 국지 상세모델 격자점 자료를 감정대상시점의 자료로 최적 내삽하여 다음과 같은 첨부자료에 근거하여 산출한 것임.
- 특히, 감정대상지역의 기상분석은 기상예보기술사 이학박사 김동호가 분석한 자료에 의거하여 기상감정서를 작성하였음.
- 붙임 1. 감정대상 지역의 지도
- 붙임 2. 감정대상 지역의 지형도
- 붙임 3. 감정대상 시점의 지상일기도
- 붙임 4. 감정대상 시점의 일기예보
- 붙임 5. 감정대상 시점의 지상예상일기도
- 붙임 6. 감정대상 시점의 한반도 바람벡터 및 풍속도(수치분석 자료)
- 붙임 7. 감정대상 지점 주변의 AWS 관측소 분포
- 붙임 8. 감정대상 시점의 AWS 바람관측자료와 바람벡터
- 붙임 9. 감정대상 시점의 천리안 기상위성 영상
- 붙임 10. 대구기상대와 달성 AWS 관측자료 시계열도 비교
- 붙임 11. 감정 시점의 달성군 부근 국지 일기도(등압선 분석)
- 붙임 12. 감정 대상지역의 풍속 복원도(돌풍 이동경로 포함)
- 붙임 13. 사고현장 주택 사진
- 붙임 14. 감정대상 지점 주택의 CFD모델에 의한 풍속 모의
- 붙임 15. 풍속과 풍압과의 관계

기상감정 일시 : 2016년 6월 16일

기상감정업자의 상호 : (주) 웨더피아

기상 감정사 : 이학박사 이천우 (인)



**붙임 1. 감정대상 지역의 지도**



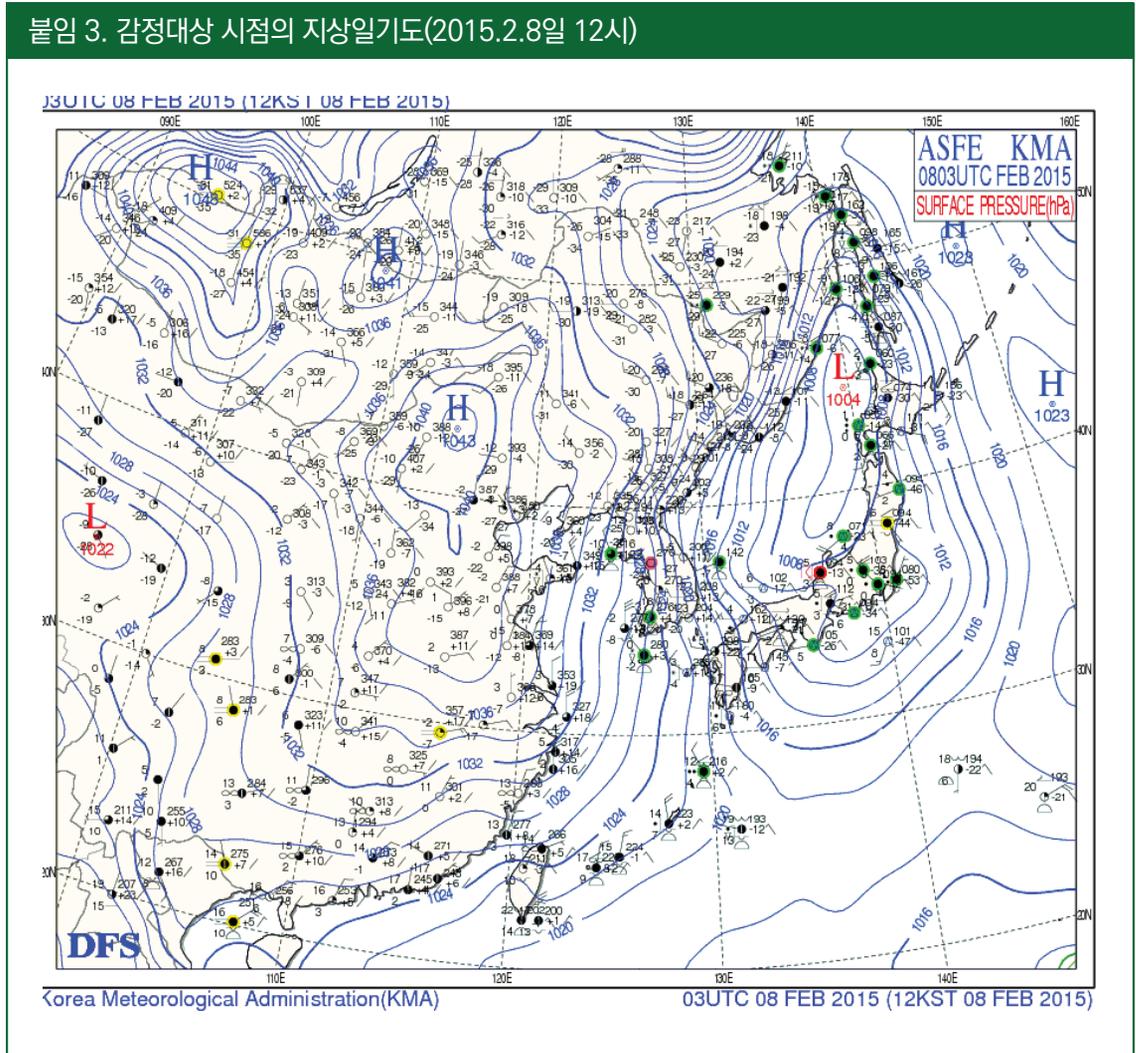
**붙임 2. 감정대상 지역의 지형도**



# 01 기상감정 실제사례

## 2. 실제사례

붙임 3. 감정대상 시점의 지상일기도(2015.2.8일 12시)





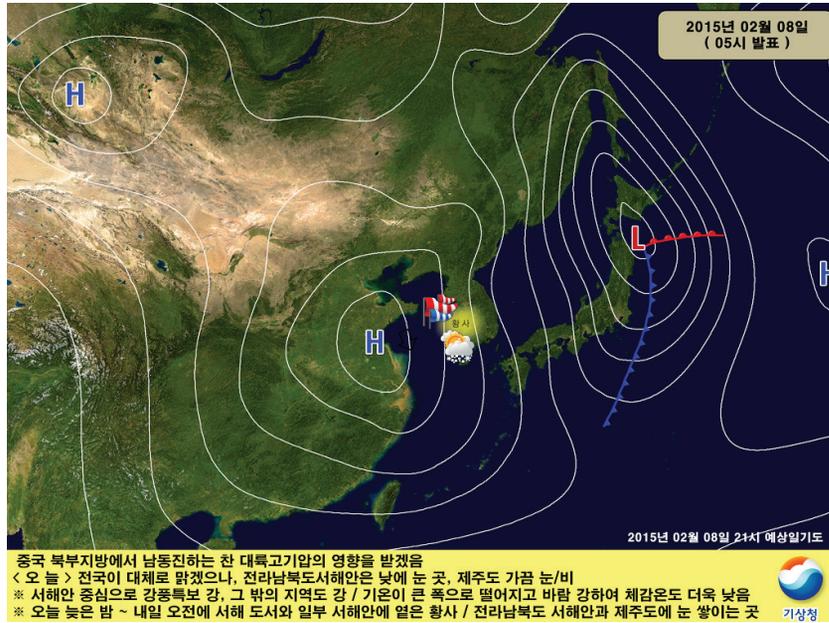
## 붙임 4. 감정대상 시점의 일기예보(2015.2.8\_0500\_단기예보)

<b>단기예보</b> (02월 08일 ~ 02월 10일)	쪽수(1/6) 기상청 총괄예보관 : 장근일 2015년 02월 08일 05시 00분 발표 다음 정보문은 02월 08일 11시 00분에 제공됩니다.
<b>오늘 [ 08일(일) ]</b>	<b>특보사항</b>
<p>중국 북부지방에서 남동진하는 찬 대륙고기압의 영향을 받겠습니다.</p> <p>전국이 대체로 맑겠으나, 전라남북도와 제주도는 구름많고 전라남북도서해안은 낮에 눈(강수확률 60~70%)이 오는 곳이 있겠으며, 제주도는 가끔 눈 또는 비(강수확률 60~80%)가 오겠습니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 전남남해안과 경상남도 일부 지역에 건조특보가 발효 중이나, 각종 화재예방에 유의하시기 바랍니다.</li> <li>• 서해안을 중심으로 강풍특보가 발효된 가운데, 그 밖의 지역에도 바람이 강하게 부는 곳이 많겠으니, 시설물 관리에 유의하시기 바랍니다.</li> <li>• 경기북부와 강원도영서, 강원산간, 충북북부, 경북북부에 한파특보가 발효된 가운데, 북서쪽의 찬 공기가 남하하면서 기온이 큰 폭으로 떨어지고 바람도 강하게 불어 체감온도는 더욱 낮아 줄겠으니, 건강관리와 수도관 동파 등 시설물 관리에 유의하시기 바랍니다.</li> <li>• 어제(7일) 중국 북동지역에서 발생한 황사는 북쪽을 타고 남하하여 오전까지 서울, 경기도와 일부 서해안에 쌓인 황사가 나타나는 곳이 있겠으나, 건강관리에 유의하시기 바랍니다. 한편, 황사의 발원 정도와 기류에 따라 황사 강도와 영향지역이 유동적이나, 앞으로 발표되는 기상정보에 유의하시기 바랍니다.</li> </ul> <p>낮 최고기온은 영하 6도에서 영상 2도로 어제보다 낮겠습니다.</p> <p>바다의 물결은 전해상(남해동부앞바다 제외)에서 1.5~6.0m로 매우 높게 일겠고, 남해동부앞바다에는 1.0~2.0m로 일겠습니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 낮부터 내일(9일) 사이에 동해안은 너울로 인해 높은 파도가 방파제나 해안도로를 넘는 곳이 있겠으니, 시설물 관리와 안전사고에 유의하시기 바랍니다.</li> <li>• 예상 적설(8일 05시부터 9일 24시까지)                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제주도산간, 울릉도, 독도 : 5~20cm</li> <li>- 제주도(산간 제외), 북한(8일) : 1~3cm</li> <li>- 전라남북도서해안(8일), 경기남부서해안(9일), 강원영서남부(9일), 서해5도 : 1cm 내외</li> </ul> </li> <li>• 예상 강수량(8일 05시부터 9일 24시까지)                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 제주도, 울릉도, 독도 : 5~20mm</li> <li>- 전라남북도서해안(8일), 경기남부서해안(9일), 강원영서남부(9일), 북한(8일), 서해5도 : 5mm 미만</li> </ul> </li> <li>• 미세먼지 예보(통합예보실 미세먼지팀) : 전 권역이 '보통', 다만, 쌓인 황사의 영향으로 충청권, 호남권, 제주권은 오전까지 '나쁨' 수준의 농도가 일시적으로 나타날 수 있음.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ <b>특보 발효현황</b></li> <li>○ 건조주의보 : 전라남도(여수), 경상남도(양산, 사천, 하동, 김해, 창원), 울산</li> <li>○ 한파주의보 : 인천(강화), 경상북도(봉화, 울진산간, 영양산간), 충청북도(제천, 증평), 강원도(양구, 평창, 강릉산간, 홍천, 양양산간, 인제, 고성산간, 속초산간, 정선, 동해산간, 삼척산간, 홍성, 춘천, 횡천, 울진, 태백), 경기도(가평, 양평, 남양주, 파주, 의정부, 양주, 고양, 포천, 연천, 동두천, 김포)</li> <li>○ 강풍경보 : 울산도, 독도</li> <li>○ 강풍주의보 : 서해5도, 인천(강화 제외), 경기도(안산, 황성, 평택, 시흥), 충청남도(당진, 서천, 홍성, 보령, 서산, 태안), 울산도, 독도, 전라남도(무안, 진도, 신안(홍산반제외), 곡포, 영광, 함평, 관동, 영남, 여수, 고흥), 전라북도(김제, 군산, 부안, 고창), 제주도(남부 제외)</li> <li>○ 풍랑경보 : 서해남부면바다(06시 발효)</li> <li>○ 풍랑주의보 : 서해전해상, 남해서부전해상, 제주도전해상, 동해중부전해상(07시 발효)</li> <li>○ 대설주의보 : 제주도(제주도산간)</li> <li>○ <b>【예비특보 현황】</b></li> <li>○ 강풍 예비특보                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 8일 아침 : 울릉도, 독도</li> </ul> </li> <li>○ 풍랑 예비특보                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 8일 오전 : 남해동부면바다, 동해남부전해상</li> </ul> </li> <li>○ 대설 예비특보                     <ul style="list-style-type: none"> <li>- 8일 낮 : 울릉도, 독도</li> </ul> </li> </ul>
<b>내일 [ 09일(월) ]</b>	
<p>중국 상해부근에 위치한 고기압의 영향을 받다가 그 가장자리에 들겠습니다.</p> <p>전국이 대체로 맑다가 낮부터 구름많아지겠으며, 경기남부서해안은 늦은 오후, 강원영서남부는 밤에 눈(강수확률 60%)이 조금 오는 곳이 있겠습니다. 제주도는 구름많고 눈(강수확률 60%)이 오다가 낮에 그치겠습니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 그 밖의 중부지방은 오후부터 밤 사이에 산발적으로 눈이 내리는 곳이 있겠습니다.</li> <li>• 낮 동안에 중부서해안에는 바람이 강하게 불고 내륙에도 약간 강하게 부는 곳이 있겠으니, 시설물 관리에 유의하</li> </ul>	

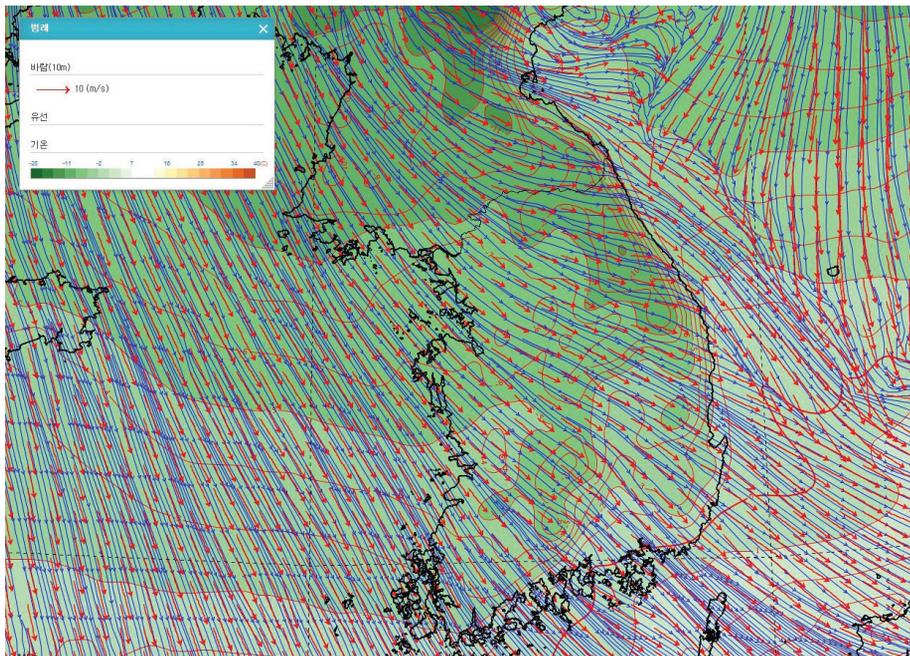
# 01 기상감정 실제사례

## 2. 실제사례

붙임 5. 감정대상 시점의 지상예상일기도(2015.2.8. 21시 예상도)

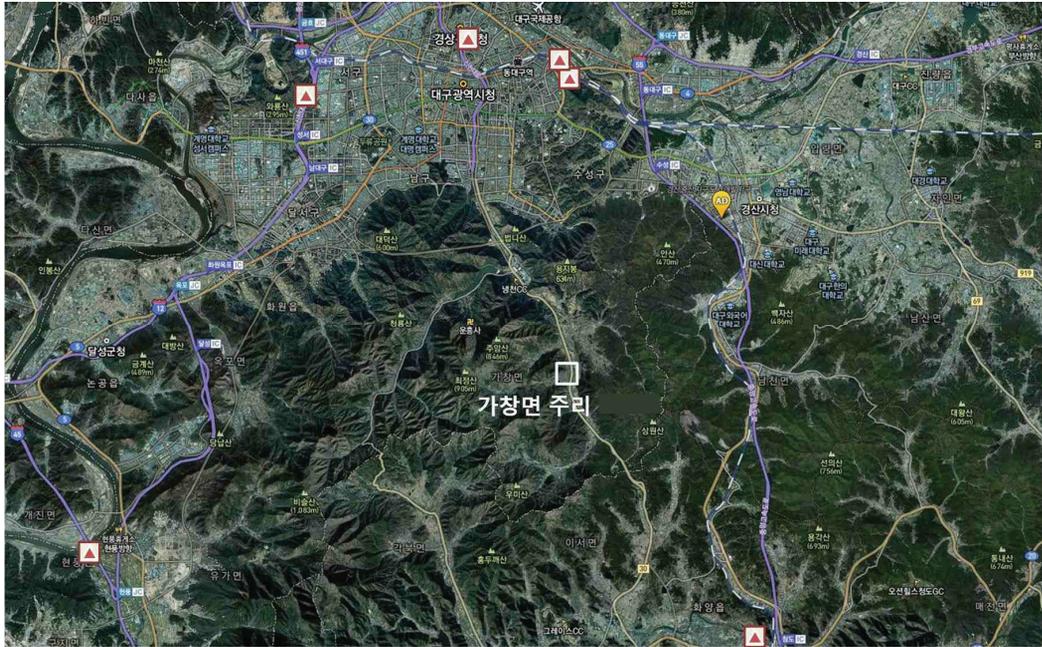


붙임 6. 감정대상 시점의 한반도 바람벡터와 풍속도





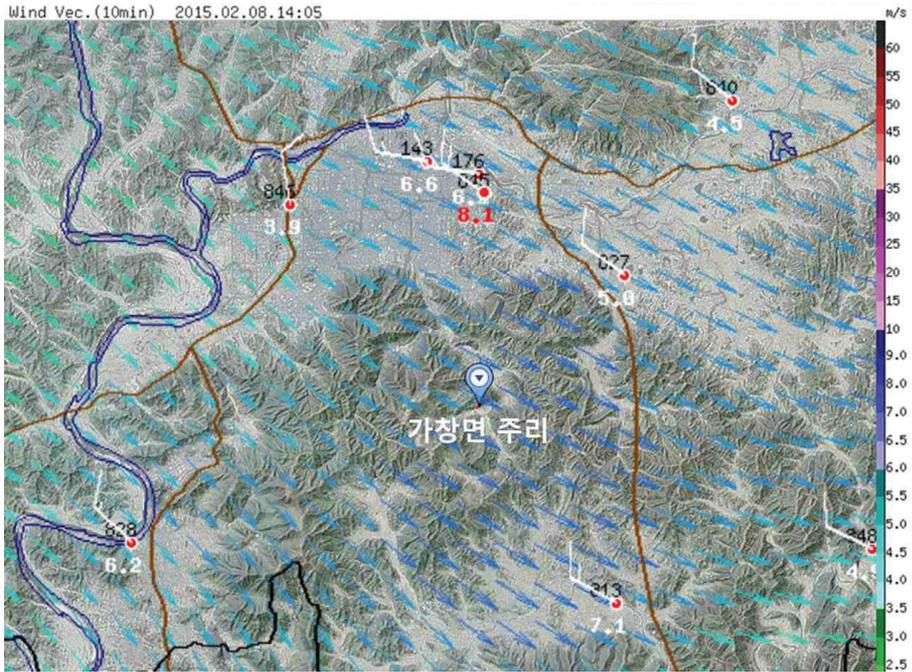
### 붙임 7. 감정대상 지점 주변의 AWS 관측소 분포



# 01 기상감정 실제사례

## 2. 실제사례

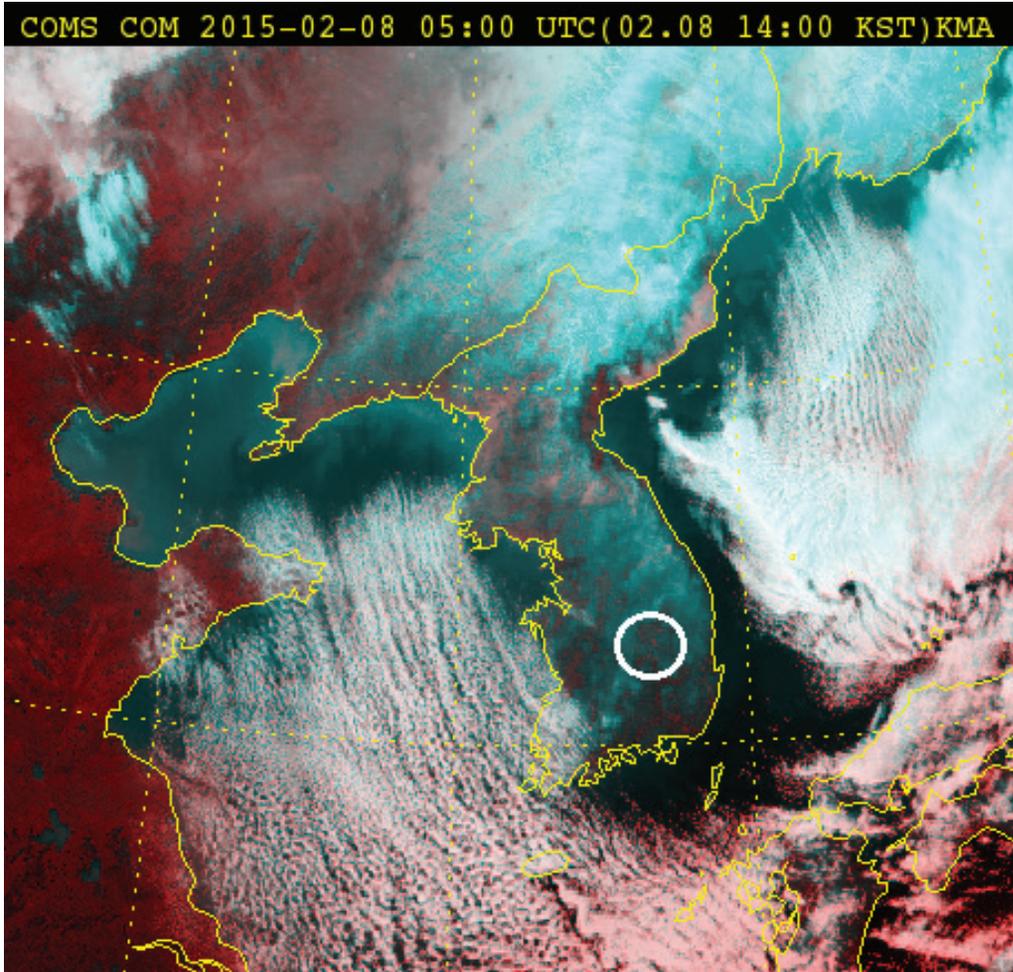
붙임 8. 감정대상 시점의 AWS 바람관측자료와 바람벡터



관측소	항목	시간	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00
달성 (828)	풍향		북서	북북서	북서	북북서	북
	풍속(m/s)		7.8	7.0	6.0	4.5	6.6
	일 최대풍속		북서, 12.5 m/s				
서구 (846)	풍향		북북서	북북서	북북서	북	북
	풍속(m/s)		2.5	4.6	3.2	5.8	4.8
	일 최대풍속		북북동, 10.7 m/s				
대구(기) (143)	풍향		서북서	서북서	서	서북서	북서
	풍속(m/s)		6.5	6.9	6.9	5.9	4.6
	일 최대풍속		서, 15.3 m/s				
수성 (845)	풍향		북북서	북서	서북서	북서	북북서
	풍속(m/s)		8.2	6.3	8.1	7.2	6.3
	일 최대풍속		북북서, 13.2 m/s				
경산 (827)	풍향		북서	북서	서북서	서북서	북북서
	풍속(m/s)		5.0	5.6	5.4	5.4	4.4
	일 최대풍속		서, 11.5 m/s				
청도 (813)	풍향		북서	북서	서북서	서북서	서북서
	풍속(m/s)		6.4	6.2	6.9	5.5	7.2
	일 최대풍속		북서, 14.3 m/s				



### 붙임 9. 감정대상 시점의 천리안 기상위성 영상



당일 기상예보에 대구 경북지방은 맑을 것으로 예보 되었고, 우리나라는 고기압 가장자리에 위치하여 구름이 낀 지역이 많았으며 일부 지역에서는 강설도 보였다. 그러나 대구 지역은 위성 영상에서 보듯이 아주 맑았다.

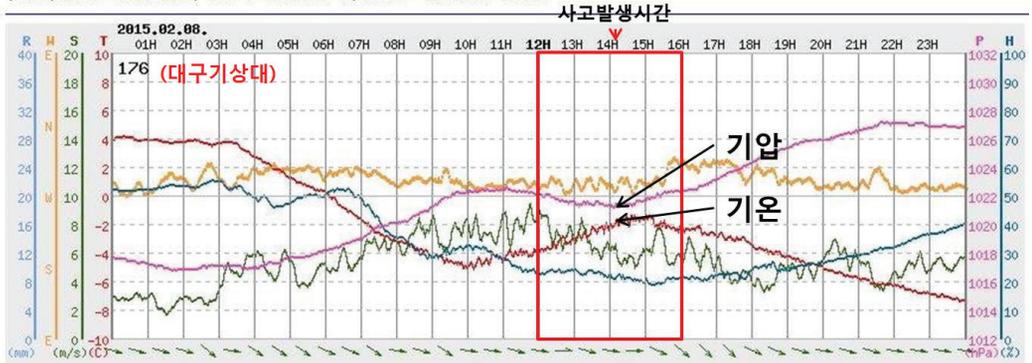
# 01 기상감정 실제사례

## 2. 실제사례

붙임 10. 대구기상대와 달성 AWS 관측자료 시계열도 비교

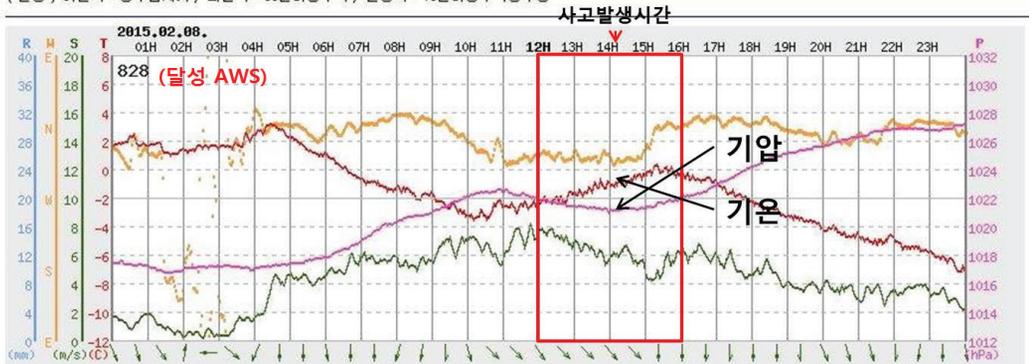
[ 매문분석자료 ] 대구(기)(176) / 2015.02.08. 15:00

{ 설명 } 하늘색 : 강우감지기 / 파란색 : 60분이동누적 / 분홍색 : 15분이동누적강수량



[ 매문분석자료 ] 달성(828) / 2015.02.08. 15:00

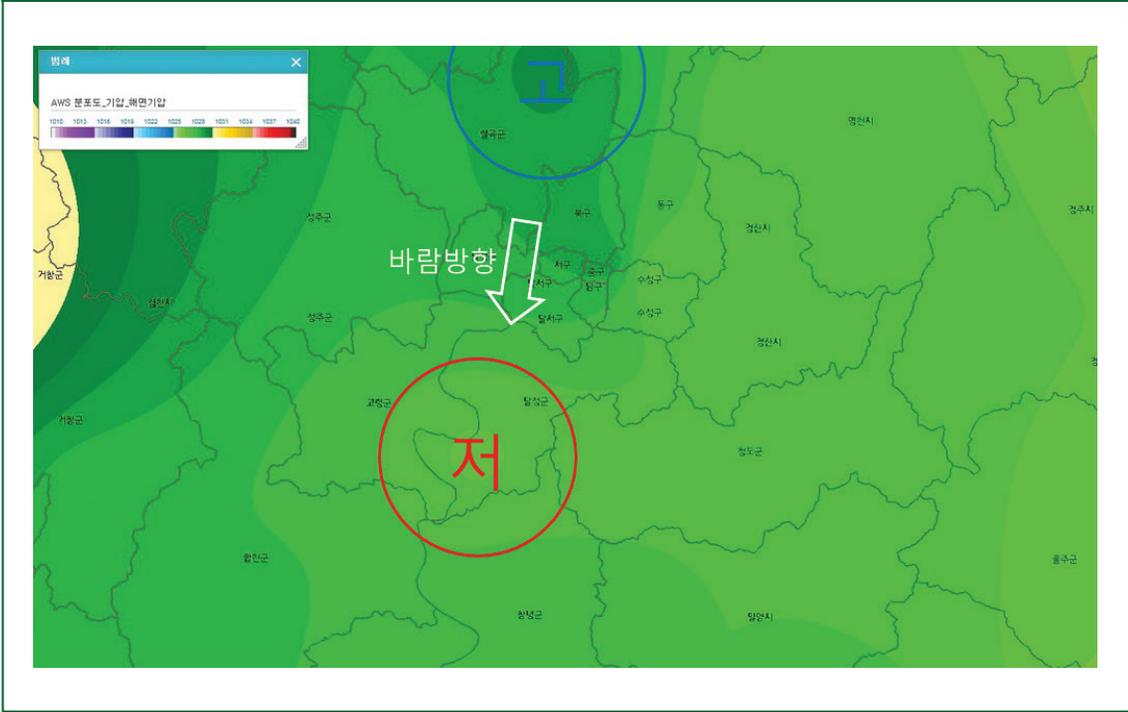
{ 설명 } 하늘색 : 강우감지기 / 파란색 : 60분이동누적 / 분홍색 : 15분이동누적강수량



북쪽인 대구 기상대보다 남쪽인 달성 AWS 지역이 지형적 원인과 구름 운량의 차폐정도의 차이로 일사에 의해 부등가열로 기온이 2°C 정도 차이가 나고 있다. 그래서 지면가열에 의해 공기가 팽창하면서 기압이 낮아져 남쪽에 국지적인 저기압이 발생했다.



붙임 11. 감정 시점의 달성군 부근 국지 일기도(등압선 분석)



운량과 일사에 의한 부등가열로 칠곡군에 국지고기압 달성군에 국지저기압이 발생하면서, 일반풍인 북서풍이 지형적인 요인과 합하여 북북동풍으로 바뀌었다.

## 01 기상감정 실제사례

### 2. 실제사례

붙임 12. 감정 대상지역의 풍속 복원도(돌풍 이동경로 포함)



사고현장은 북쪽이 트여 있고, 현장(대구광역시 달성군 가창면 주리 xxx-x) 오른 쪽에 임야가 있어 북 내지 북동 계열의 바람이 불면 소위 도시풍 또는 먼로 풍이라하는 벤츄리 효과(베르누이 정리)에 의해 풍속이 급격히 강해 질수 있는 지형적인 특징이 있는 지역이다.

벤츄리 효과는 그림 1.에서 보는 바와 같이 ①번 수도꼭지에 ②번과 같은 가는 호스를 끼고 물을 통과시키면, 물줄기가 가늘고 유속이 빨라지는 것을 쉽게 알 수 있다. 이 때 물은 연속적으로 흐르고 있기 때문에 질량보존 법칙에 의하여 나오는 물의 양은  $Q_1 (A_1 \times \Delta X_1) = Q_2 (A_2 \times \Delta X_2)$ 으로 같다. 이를 수리적으로 해석한 것이 베르누이의 정리이다.

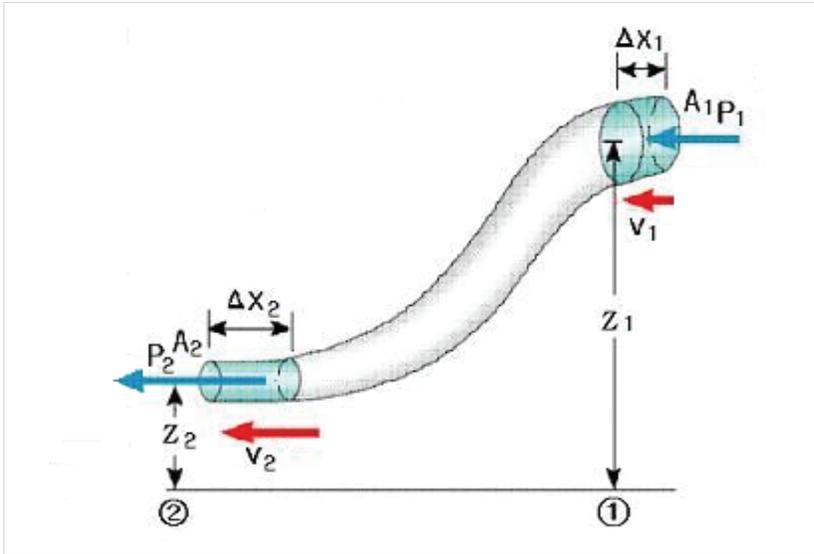


그림 1. 벤츄리 효과

정상류의 상태의 물의 흐름에 공기를 적용해도 원리는 같다. 즉 그림 2와 같이 관속을 흐르는 공기의 질량은 어느 곳이나 똑같이 일정하다는 법칙이 적용된다. 그러므로 ①의 질량(단면적×밀도)과 ②의 질량은 같다.

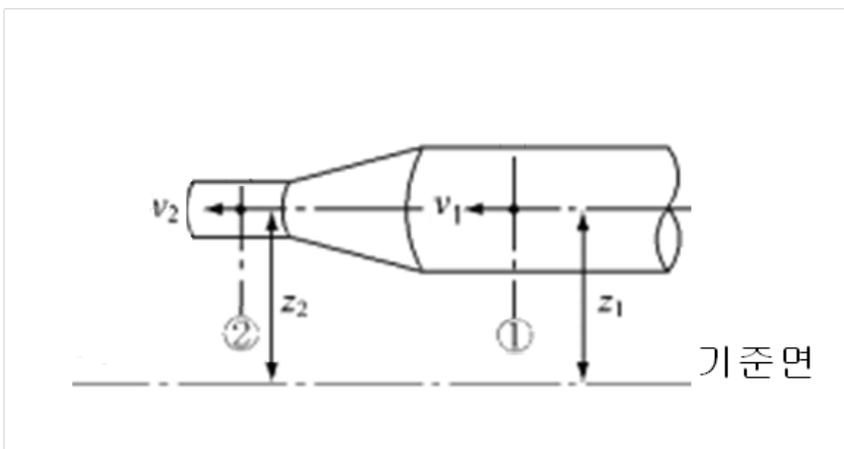


그림 2. 고도가 일정할 때 면적과 속도와의 관계

## 01 기상감정 실제사례

### 2. 실제사례

$$\text{그러므로 } \rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 = Q = \text{일정 할 때}$$
$$\therefore A_1 V_1 = A_2 V_2 \text{ 이다.}$$

기상학에서는 그림 3과 같이 양쪽 산에 의하여 공기가 깔때기 모양으로 수렴하여 풍속이 증가하는 현상을 말한다. 연속 방정식에서  $A_1 V_1 = A_2 V_2$ 로 면적과 속력은 반비례하며, 베르누이법칙에서 유체가 같은 높이를 흐르는 경우 면적이 넓은 깔때기 입구 보다 면적이 훨씬 좁은 깔때기 출구가 풍속이 훨씬 빠르게 된다.



그림 3. 깔때기 병목에 위치한 사고 지점.

사고 현장의 주변 지형지세를 그림 4의 모식도로 살펴볼 때 입구 ①의 길이를 1400m 높이를 10m ( $A_1$ ), 출구 ②의 길이 700m 높이 10m( $A_2$ )라 할 때 평균 풍속 입구에서 북북동풍이 8.5m/s( $V_1$ )로 불면 검정대상 지점인 출구에서는 17m/s 풍속이 2배 이상 빨라질 수 있는 지형적 특징이 있다.

검정대상 시점에 주변 AWS 관측 값이 평균풍속 6~8m/s 정도이고, 최대풍속이 11~15m/s 이었으므로 (붙임 8), 감정대상 지점의 평균풍속은 감정대상 지역의 지형지세에 의한 벤추리효과에 의하여 최소 12~16m/s로 추정할 수 있고(그림 4), 마찬가지로 순간최대 풍속은 22~30m/s의 순간최대 풍속이 불었을 가능성이 충분하다(그림 5).

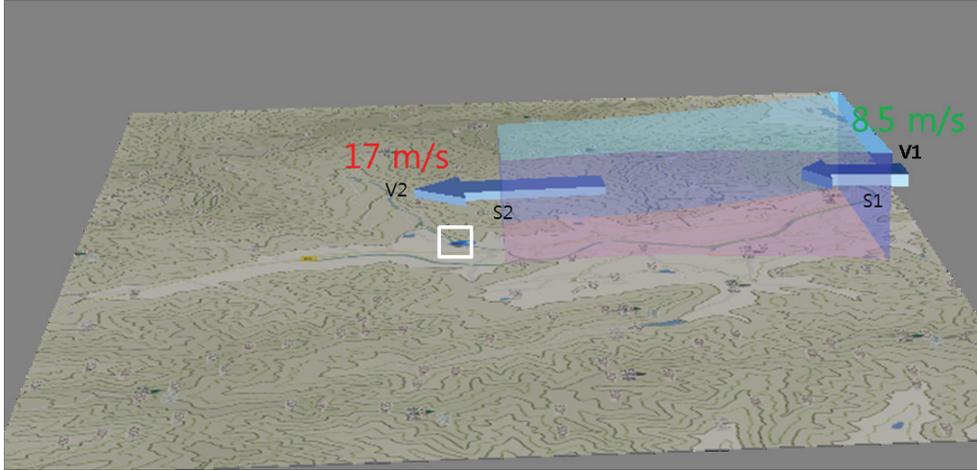


그림 4. 일반풍이 불 때 지형효과로 풍속이 증가하는 모식도.

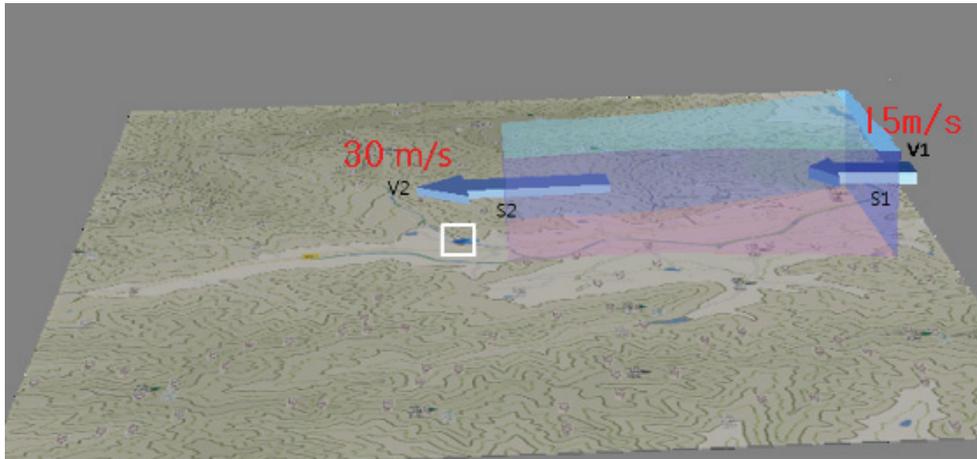


그림 5. 순간최대풍이 불 때 지형효과로 풍속이 증가하는 모식도.

## 01 기상감정 실제사례

### 2. 실제사례

붙임 13. 사고현장 주택 사진





### 붙임 14. 감정대상 지점 주택의 CFD모델에 의한 풍속 모의

감정시점의 풍속을 복원하기 위하여 일반적으로 사용하는 방법에는 2가지가 있다. 하나는 실물 모형을 만들어서 풍동실험을 하는 것이요, 다른 방법은 컴퓨터를 사용하여 계산유체역학(CFD)모델로서 모의하는 것이다. 이번 케이스는 두 번째 방법인 CFD 모델을 이용하여 감정대상 지점의 주택에 의하여 풍속이 어떻게 변화하는가를 모의하였다.

감정대상 지점에 위치한 주택 주변 지형에 대한 모식도가 그림 1에 나타나 있다. 그림에서 보는 바와 같이 3~4m 높이의 주택의 북편에는 5~6m 높이의 축대에 의하여 하천변과 구분되며 하천변은 저지대이나 땅을 놀리지 않고 밭으로 이용하고 있다. 그림 1에서 보이는 바와 같이 북풍이 불 때 하천 저지대에서 축대를 거쳐 주택 쪽으로 바람이 상승하며 치반아 올라가는 형태로 변화될 수밖에 없음을 알 수 있다.

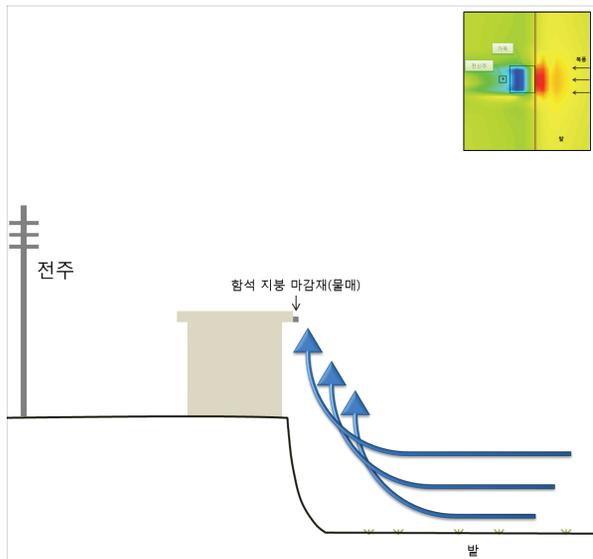


그림 1. 사고 현장 주택과 지형의 모식도

이와 같은 주택과 주변지형에 대한 CFD 모의 결과가 그림 2에 나타나 있다. 앞서 붙임 12에 의하면 감정대상 지점에서 평균풍속 12~16m/s의 바람이 불었을 가능성이 충분함을 알 수 있다. 이와 같은 바람이 불었을 때 CFD 모델에 의하여 모의한 결과 축대와 주택에 의하여 주택 처마와 지붕이 맞닿은 모서리 부분에서 풍속이 18~24m/s로 증가됨을 알 수 있다(그림 2.). 또한 그림 3에 보이는 바와 같이 축대 위의 주택의 하천변쪽 모서리 부분에서 난류지수가 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 따라서 이와 같은 심한 난류로 인하여 주택의 합석 마감재가 이탈하여, 강한 풍속으로 이탈된 마감재가 비상하여 전신주에 걸렸을 가능성이 충분하다.

## 01 기상감정 실제사례

### 2. 실제사례

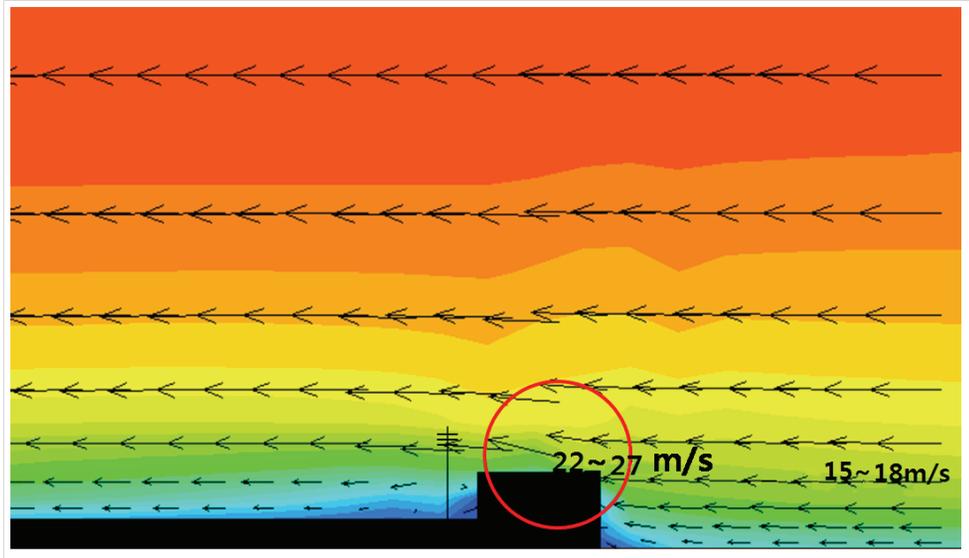


그림 2. CFD 모델에 의한 감정대상 지점의 주택에 대한 바람 모의

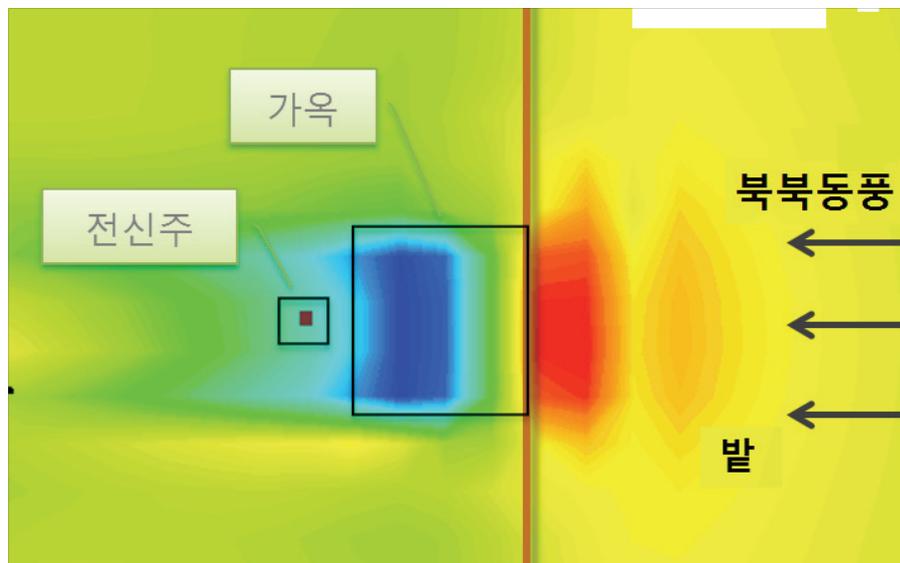


그림 3. CFD 모델에 의한 감정대상 지점의 주택에 난류지수 모의. 하천변쪽에 위치한 주택의 모서리에서 심한 난류가 발생함을 알 수 있다.



### 붙임 15. 풍속과 풍압과의 관계

표 1에 풍속에 따른 풍압과의 관계가 나타나 있다. 풍속 15m/s는 표 1에 의하면, 단위 면적당 풍압 22.9kg/m<sup>2</sup>에 해당한다. 그리고, 길이 3.2m, 폭 0.25m의 함석 마감재의 무게는 1.5kg이다. 그러므로 이 정도의 함석 지붕 마감재라면 넓이는 0.8m<sup>2</sup>로서 18.3kg의 풍압을 받을 수 있다. 풍속이 20m/s의 경우는 풍압이 40.8kg/m<sup>2</sup>로서 이 마감재의 경우 32.64kg의 풍압을 받는다. 따라서 대상지점의 주택 처마에서 이탈된 함석 마감재가 당시의 풍속에 의하여 비상하여 전신주에 닿았을 가능성이 충분히 높다.

표 1. 풍압과 풍속과의 관계

풍 속 (m/s)	1	5	10	15	20	25	30	40	
풍 압 (m/s)	0.1	2.5	10.2	22.9	40.8	63.7	91.8	163.2	

## 기상감정(강풍편) 사례집



# 02

## 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

1. 사고 개요
2. 현장 조사서
3. 시나리오(철원)
4. 별첨자료

### 시나리오2

1. 사고 개요
2. 현장 조사서
3. 시나리오(양주)
4. 별첨자료



# 2015년 4월 2일 철원 부근 특수장비 파손 사건 개요

관측장비를 설치 및 유지관리를 하는 A엔지니어링(대표 박 건설)은 B환경연구소로 부터 특수관측장비를 설치하고 유지관리를 하는 용역 업무를 수주 받아 강원도 철원군 ○○읍 ○○리 5××-×번지 소재 관광 전망대 10층 건물 옥상에 대기질을 관측하는 특수관측장비를 설치하였다.

계약에는 고가의 관측장비이므로 장비설치 시 풍압 62kg(단위 면적 당 : 41.3kg/m<sup>2</sup>)를 견딜 수 있도록 견고히 옥상에 부착시키는 조건이 포함되어 있었다.

관측이 개시 개시된 후 약 2달이 지난, 2015년 4월 2일 오후 5시 경 강한 비바람이 세차게 불면서 장비를 옥상에 고정시키는 시멘 블록이 무너지고, 관측장비가 앞으로 쓰러지면서 대부분의 관측측기들이 파손 되었다.

B환경연구소는 유지관리의 의무를 다하지 않은 관리부실에 의한 장비의 망실이라고 보험 회사로부터 전액 보험금 지급이 거부되자, A엔지니어링에게 장비 부실공사의 책임을 물어 손해배상을 요구해왔다.

이후 A엔지니어링 박대표가 철원기상청에서 받은 기상증명은 5시의 기상현상은 풍향 : 6m/s, 강수량 : 12mm/h 뿐이었다.

A엔지니어링 박대표는 공사를 성실히 했고, 사고 당시에 사고지점으로부터 약 1km 떨어진 A회사 사무실에서 비바람이 매우 강한 것으로 느껴져, 사고현장에는 더 강한 강풍이 불었으리라 생각하고 기상감정을 의뢰했다.



# 기상감정 현장 조사서

## 기상감정 용역계약 관련

일시 : 2015년 4월 17일(금)

장소 : 강원도 철원군 ○○읍 ○○리

면담자 : A엔지니어링 대표

강원도 철원 소재 A엔지니어링에서 우선 회사 소개와 기상감정에 대한 설명을 한 후, 2015년 4월 2일 강풍에 의한 특수 관측장비의 파손 현장을 답사하여 조사 실시.

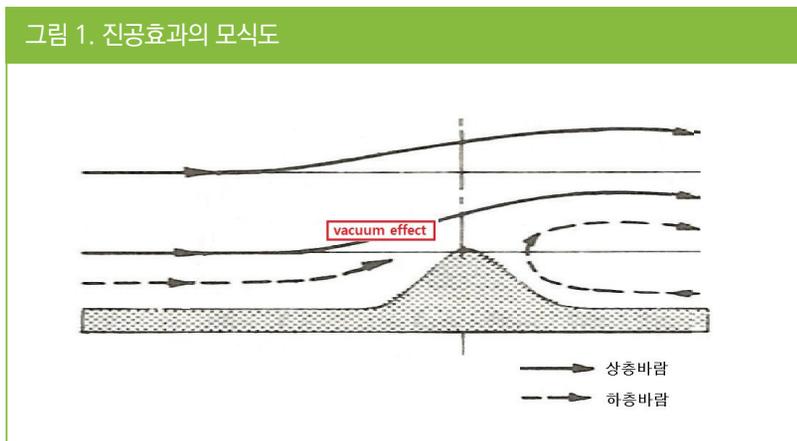
### 1. 감정 대상 기상현상 및 피해 현황에 관한 사항

사고현장은 남서 방향이 트여 있고, 북~북동쪽에는 산이 막혀있어 남풍이 불면 풍상측에서는 풍속이 가속되어 진공효과(vacuum effect)풍속이 급격히 강해 질 수 있는 지형적인 특성이 있다(첨부 1 참조). 특수관측장비는 높이 약 5m 폭 4m 정도로 10가지 관측장비가 부착되었으며, 강풍에 쓰러지면서 강한 충격으로 대부분의 관측측기는 파손되었다.

### 2. 기상감정을 위해 필요한 기상에 관한 사항

일반적으로 바람은 상층으로 갈수록 풍속이 강하다. 그리고 바람이 큰 산을 만나면 산을 뚫고 갈수는 없으므로 그림 1과 같이 바람은 강제 상승을 하게 된다. 이 때 상층의 일반류가 풍속이 매우 강하면 벤츄리효과에 의해 하층의 바람 풍속이 급격히 강해질 수 있다. 이것을 대기과학에서는 진공효과(vacuum effect)고 한다.

그림 1. 진공효과의 모식도



## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

#### 3. 기상 이외에 기상감정을 위해 필요한 사항

강풍에 의해 쓰러진 장비는 아직까지 감정대상 지점 건물 옥상에 있어 현장 이 잘 보존된 상태이다(첨부 2 참조). 그런데 특수관측 장비 중간 부근에 100×100cm 크기의 태양광 패널 2장이 남쪽 방향을 향해 부착되었던 것을 알 수 있었다.

#### 4. 그 밖의 기상감정에 필요한 사항

- 감정대상 시점의 바람을 재현하기 위해서는 수치모의 실험으로도 가능할 것으로 사료됨.
- 감정대상 시점의 종관장 분석을 위해 다음과 같은 기상청 자료가 요구 된다.

- 1) 4월 2일 09시 지상과 850일기도
- 2) 12시 15시 가시 위성영상
- 3) 2일 오전 예보문 및 당일 기상특보
- 4) 한반도 상세 일기도
- 5) 한반도 바람벡터
- 6) 인근 AWS 관측자료
- 7) 인근 AWS 시계열 자료

첨부 1. 사고현장 약도

첨부 2. 사고현장 지형도

2015. 4. 17

조사자 : 연구위원 김동호 (인)



# 기상감정서

감정일 : 2015년 4월 30일  
제 2015 - 01호

### 1. 감정을 받으려는 사실

- 일시 : 2015년 4월 2일
- 장소 : 강원도 철원군 ○○읍 ○○리 5××-×번지(관광 전망대 10층 건물 옥상)
- 감정 요구 기상현상 : 강풍

### 2. 감정 의뢰인

- 주소 : 강원도 철원군 ○○읍 ○○리
- 이름 : A엔지니어링 대표 박 건설

### 3. 감정의 목적

- 관측장비를 설치 및 유지관리를 하는 A엔지니어링은 B환경연구소로 부터 용역 업무를 수주받아 강원도 철원군 ○○읍 ○○리 5××-×번지 소재 10층 건물 옥상에 대기질을 관측하는 특수관측장비를 설치하였다.
- 계약에는 관측장비를 풍압 62kg(단위 면적 당 : 41.3kg/m<sup>2</sup>) 를 견딜 수 있도록 견고히 옥상에 부착시키는 조건이 포함되어 있었다.
- 설치 완료 후 관측이 개시되고 약 2달이 지난, 2015년 4월 2일 오후 5시 경 강한 비바람이 세차게 불면서 장비를 옥상 고정시키는 시멘 블록이 무너지면서 장비가 앞으로 전도되고 대부분의 관측측기들이 파손되었다.
- B환경연구소는 유지관리의 의무를 다하지 않은 관리부실에 의한 장비의 망실이라고 보험회사로부터 전액 보험금 지급이 거부되자, A엔지니어링에게 장비 부실공사의 책임을 물어 손해배상을 요구해왔다.
- 당시 의뢰인(박건설)은 철원 기상대에서 관측한 풍속 6.0m/s와 강수량12mm/h보다 훨씬 더 강한 비바람을 느꼈다고 주장하고 있다.
- 따라서 감정대상지점에 감정대상지점에서 분 바람에 관한 기상감정을 의뢰한 것이다.

### 4. 감정결과

#### 4.1 감정대상지역의 환경

- 감정대상 지점은 강원도 철원군 ○○읍 ○○리 5××-×번지 소재 관광 전망대 10층 건물 옥상으로 철원 군청에서 동쪽으로 약 12 km 지점에 위치한 곳이다.



- 첨부 1에서 보는 바와 같이 북쪽에 낮은산(850m)을 중심으로 450~850m 정도의 산들이 위치하고, 북동쪽은 높은산(1,200m)을 중심으로 500~1,000m 높은 산들이 위치하고 있다. 감정대상 지역은 남쪽이 트여 있으며, 남쪽은 하천가를 포함하고 있어 상대적으로 낮은 지역으로 주변 지형을 평균 150m 등고선으로 구분해 보면 깔대기 모양을 하고 있음을 볼 수 있다.
- 따라서 사고 지점은 깔대기의 병목에 해당하는 곳에 위치하고 있어 남풍계열의 바람이 불면 바람길의 통로가 됨과 동시에 지형효과에 의한 풍속의 증가가 예상되는 곳이다(첨부2 참조).
- 또한 상층의 일반류의 풍속이 강하다면 풍상측에서는 진공효과(vacuum effect)에 의해 하층의 풍속이 급격히 강해질 수도 있다.

#### 4.2 감정대상시점의 기상현상

- 2015년 4월 2일의 지상일기도에 의하면(첨부 3) 산동반도에 위치했던 전선을 동반한 저기압이 동진하면서, 전국이 흐리고 비가 예상되며, 특히 철원지방은 온난전선이 다가옴에 따라 풍계가 남동에서 점차 남서로 바뀔 것이다(첨부 4). 이러한 기압배치 하에서 우리나라는 비가오고 바람이 매우 강하게 불 것으로 예상할 수 있다.
- 2015년 4월 2일 철원 기상대에서 관측한 바람 시계열을 보면 온난전선이 통과할 때 풍향이 바뀌면서 풍속이 6.0m/s로 강해지는 것을 알 수 있다(첨부 5 참조). 남풍이 불 때 지형적으로 바람길에 위치하는 감정대상 지점에서는 남풍으로 13.6m/s를 기록했고(첨부 6 참조), 온난전선 통과 전후 풍향 바뀌는 것은, AWS 바람벡터의 변화를 보면 아주 잘 나타나고 있다(첨부 7 참조).
- 2015년 4월 2일 고층일기도를 보면 당시 온난전선이 철원지방을 통과 할 무렵 925와 850hPa 상공의 풍속은 각각 19m/s와 32.5m/s로 풍속이 매우 강했던 것을 알 수 있다.(첨부 8, 9 참조). 이렇게 상층의 강풍이 빠르게 산 위를 지나면 첨부 10의 진공효과에 의해 풍상측의 하층 바람은 풍속이 급격히 강해진다.
- 바람(풍속)의 고도에 따른 연직 분포는 일반적으로 지수함적으로 변화한다(첨부 11). 지표로부터 500 ~ 1000 이상의 고층에서의 바람은 지균풍(Geostrophic Wind)에 가깝고, 지표에서는 지표면의 마찰로 풍속이 0 에 가깝다. 또한 지표로부터 50까지는 풍속이 급격히 증가한다. WMO의 바람관측 기준인 지상 10 부근에서는 풍속이 지균풍의 20 ~ 30% 정도이나 500 이상의 고층에서는 지균풍의 90 ~ 100% 정도를 나타낸다.
- 2015년 4월 2일 기상청에서 관측한 유효한 바람관측 자료는 첨부 12와 같다. 이 자료들을 첨부 13에서 설계된 수치 모의 풍속 계산과 국토지리정보원의 지형도 자료를 이용하여 감정대상지역의 3D 지형도를 만들고, 첨부 13의 설계풍속의 계산에 따라 이를 풍동모델에 삽입하여 수치모의 계산에 의해 감정대상 지점에서의 감정대상 시점의 풍속을 16m/s로 산출했다(첨부 14 참조).

#### 4.3 기상 요소와 발생사건과의 인과 관계

- A엔지니어링과 B환경연구소위 용역 계약 조건은 장비는 풍압 62kg/m<sup>2</sup>을 견딜 수 있도록 관측장비를 설치하는 것이다. 장비의 크기는 높이 5m 폭 4m이며, 축기를 모두 설치했을 때의 전면에서의 단면적 총합은 1.0m×1.5m로 단면적은 1.5m<sup>2</sup>이다. 풍압과 풍속의 관계를 보면 단면적이 1.5m<sup>2</sup> 이고, 풍속이

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

- 16m/s라면 그때 장비가 받는 풍압은  $39.2\text{kg/m}^2$  이므로 장비가 파손되었다면 설계 풍압  $62\text{kg/m}^2$ 에 미치지 못했으므로 이 공사는 부실공사이다(첨부 15 참고).
- 그러나 B환경연구소에서는 설치 후 정전을 대비하여 태양광패널 2장( $100\text{cm} \times 100\text{cm}$  ; 피해 사진 참조)을 부착함으로써 장비의 단면적이  $2.0\text{m}^2$  증가하여 장비의 총 단면적은  $3.5\text{m}^2$ 로 거의 2배 이상 증가하였다. 그러면 풍속  $16\text{m/s}$ 의 바람이 불 때 단면적이 증가된 장비가 받는 풍압은  $91.4\text{kg/m}^2$ 가 된다(첨부 16 참고). 그러면 설계 풍압  $62\text{kg/m}^2$  초과 하였으므로 이 공사는 부실 공사가 아니다.
  - 장비 설치가 부실하여  $16\text{m/s}$ 의 바람에 장비가 전도된 것이 아니고, 태양광 패널을 부착하여 장비가 받는 풍압이 증가하여 장비가 전도된 것으로 분석된다.

## 5. 감정의 기초사실의 조사 기간 및 근거 자료

- 조사기간 : 2015년 4월 17일 ~ 30일
- 위의 감정결과는 감정대상 지점에 대한 감정대상 기간 동안의 강풍 상황에 대하여 최적의 감정 결과를 얻기 위하여 다음과 같은 첨부자료에 근거하여 산출한 것임.
- 첨부 1. 사고현장 약도
- 첨부 2. 대상지역 지형도
- 첨부 3. 감정대상 시점의 일기도(지상)
- 첨부 4. 일기예보 단기예보문
- 첨부 5. 철원지방 바람 시계열
- 첨부 6. 철원부근 AWS 바람 관측자료
- 첨부 7. 철원부근 AWS 바람벡터의 변화
- 첨부 8. 고층 일기도( $925,850\text{hPa}$ )
- 첨부 9. 고층 전문 바람 자료
- 첨부 10. 진공효과(vacuum effect)
- 첨부 11. 고도에 따른 바람의 연직 분포도
- 첨부 12. 철원 주위의 유효한 바람 자료
- 첨부 13. 설계(수치모의)풍속의 계산
- 첨부 14. 모델링 활용 바람 수치모의 결과
- 첨부 15. 풍압과 풍속과의 관계
- 첨부 16. 태양광패널과 풍압과의 관계

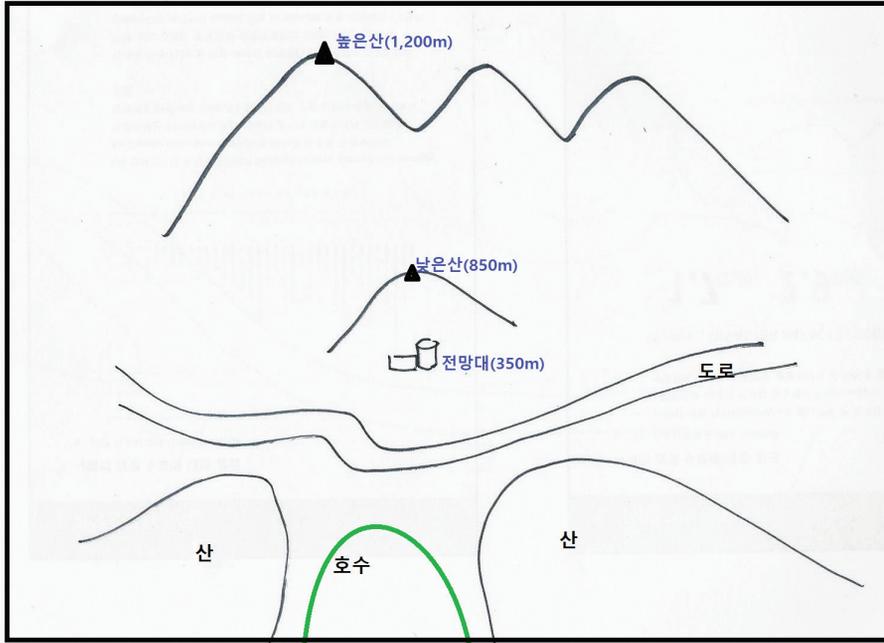
기상감정 일시 : 2015년 4월 30일

기상감정업자의 상호 : (주) 웨더피아

기상 감정사 : 이학박사 김동호 (인)



### 첨부 1. 사고현장 약도



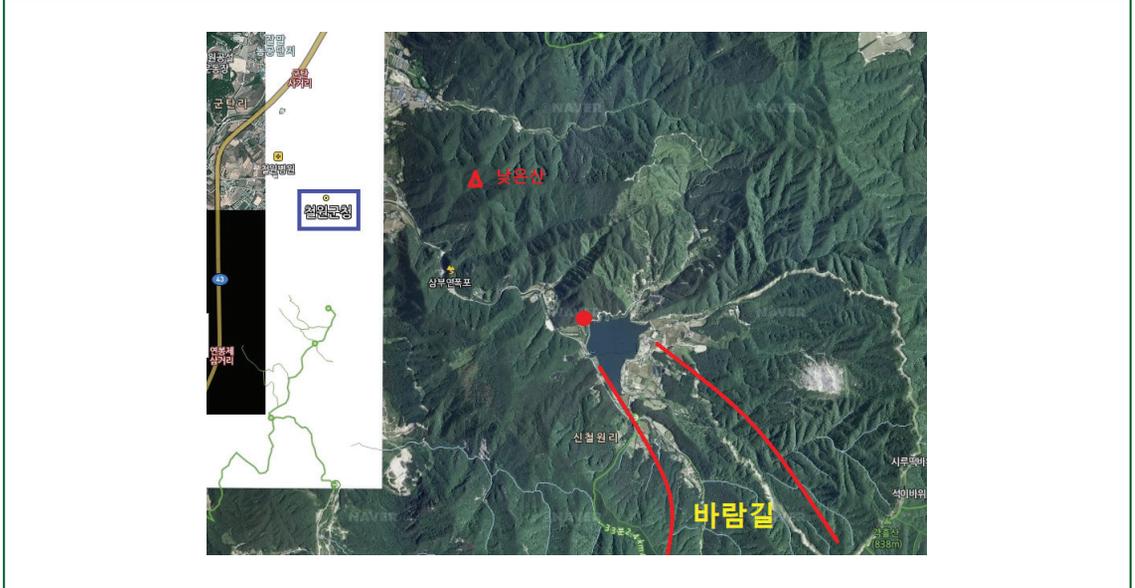
사고현장은 강원도 철원군 ○○읍 ○○리 5××-×번지 소재 관광 전망대 10층 건물 옥상으로 철원 군청에서 동쪽으로 약 12 km 지점에 위치한 곳이다.

북쪽에 낮은산(850m)을 중심 450~850m 정도의 높은 산들이 위치하고, 북동쪽은 높은산(1,200m)을 중심으로 500~1,000m 산들이 위치하고 있다. 감정대상 지역은 남쪽이 트여 있으며, 남쪽은 하천가를 포함하고 있어 상대적으로 낮은 지역으로 주변 지형을 평균 150m 등고선으로 구분해 보면 깔대기 모양을 하고 있음을 볼 수 있다.

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

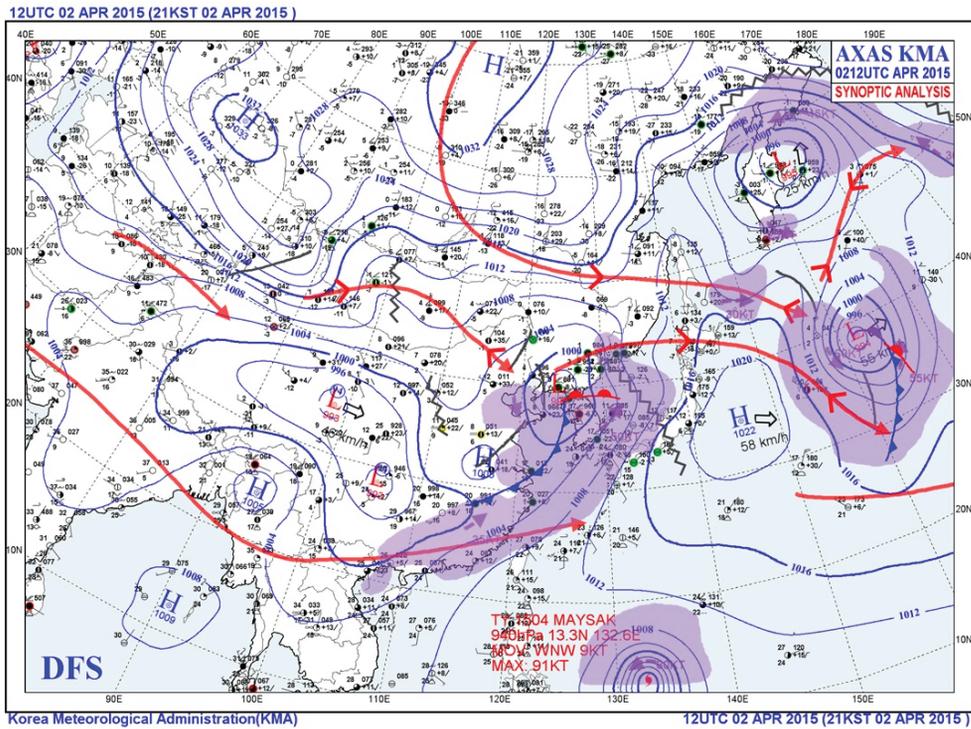
#### 첨부 2. 대상지역 지형도



감정대상 지점은 철원 군청에서 동쪽으로 약 12 km 지점에 위치한 곳으로서 그림에서 보는 바와 같이 북쪽에 낮은산(850m)을 중심 450~850m 정도의 높은 산들이 위치하고, 북동쪽은 높은산(1,200m)을 중심으로 500~1,000m 산들이 위치하고 있다. 감정대상 지역은 남쪽이 트여 있으며, 남쪽은 하천가를 포함하고 있어 상대적으로 낮은 지역으로 주변 지형을 평균 150m 등고선으로 구분해 보면 깔대기 모양을 하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 사고 지점은 깔대기의 병목에 해당하는 곳에 위치하고 있어 남풍계열의 바람이 불면 바람길의 통로가 됨과 동시에 지형효과에 의해 풍속의 증가가 예상되는 지형적 특징이 있다.



### 첨부 3. 기상일기도



중국 산둥반도에 있던 전선을 동반한 저기압이 다가오고 있어 전국이 대체로 흐리고 비가 올 것으로 예상된다. 그리고 산간지방은 바람이 강하고 일부지역은 돌풍과 함께 우박과 뇌전이 예상된다. 그리고 철원지방은 온난전선이 접근함에 따라 풍계가 남동에서 점차 남서로 바뀔 것으로 예상된다.

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

#### 첨부 4. 당시 예보문

▶ 예보 종합 단기:육상예보 강원도 NOW 2015.04.02.11:00 -24H -12H -6H +6H +12H +24H

2015.04.02.11:00 발표 / 발표관서: 강원(105) / 예보관: 송상규  
**중국 산둥반도 부근에서 다가오는 기압골의 영향을 점차 받게됩니다.**

강원도와 울릉도,독도는 차차 흐려져 늦은 오후부터 강원내륙에 비(강수확률 70~90%)가 시작되어 밤에는 강원도 전역과 울릉도,독도로 확대되었습니다.

- 오늘 밤부터 내일(3일) 아침 사이에는 강원도에 안개가 짙게 끼는 곳이 있겠으니, 교통안전에 유의하기 바랍니다.
- 특히, 오늘 밤부터 내일 아침 사이에 **강한 남서풍에 의해** 많은 수증기가 유입되는 강원도영서중북부에 지형적인 효과가 더해져 많은 비가 오는 곳이 있겠으며, 이번 비는 지역적인 강수량의 차가 크겠습니다.

또한, 강원동해안과 산간은 낮부터 바람이 점차 강해져 밤부터는 매우 강하게 불고, 일부 강원내륙에도 강하게 부는 곳이 있겠으며, 일부 지역에는 돌풍과 함께 천둥,번개가 치는 곳도 있겠으니, 시설물 관리에 유의하기 바랍니다.

낮 최고기온은 강원동해안 12도에서 14도, 강원산간(대관령, 태백) 15도에서 17도, 강원내륙 18도에서 20도, 울릉도,독도는 12도에서 13도로 어제보다 높겠습니다.

바다의 물결은 동해상에서 1.5~4.0m로 점차 매우 높게 일겠습니다.

- 동해상에는 오늘과 내일 안개가 끼는 곳이 있고, 밤부터 매우 강한 바람과 함께 물결이 점차 높아져 매우 높게 일겠습니다. 항해나 조업에 유의하기 바랍니다.

예상 강수량(2일 11시부터 3일 24시까지)  
 - 강원도영서중북부: 20~60mm  
 - 강원도영서남부: 10~40mm  
 - 강원도영동, 울릉도,독도: 5~30mm

북쪽을 지나는 저기압의 영향을 받다가 점차 발해만 부근에서 동진하는 고기압의 가장자리에 들겠습니다.

강원도와 울릉도,독도는 흐리고 비(강수확률 70~80%)가 오다가 강원도영동은 아침에, 강원도영서와 울릉도,독도는 오전에 그치겠습니다.

아침 최저기온은 강원동해안 11도에서 14도, 강원산간(대관령, 태백) 9도에서 11도, 강원내륙 8도에서 13도, 울릉도,독도는 13도에서 15도, 낮 최고기온은 강원동해안 17도에서 19도, 강원산간 15도에서 16도, 강원내륙 16도에서 18도, 울릉도,독도는 14도에서 16도가 되겠습니다.

바다의 물결은 동해상에서 1.5~5.0m로 매우 높게 일겠습니다.

동해상에 위치한 고기압의 가장자리에 들어가 남서풍에서 다가오는 기압골 영향을 점차 받게됩니다.

강원도영서는 가끔 구름만다가 늦은 오후부터 흐리고, 강원도영동과 울릉도,독도는 구름만다가 오후부터 흐리겠습니다.

아침 최저기온은 강원동해안 6도에서 8도, 강원산간(대관령, 태백) 3도, 강원내륙 4도에서 6도, 울릉도,독도는 6도에서 8도, 낮 최고기온은 강원동해안 8도에서 12도, 강원산간 6도에서 9도, 강원내륙 15도에서 19도, 울릉도,독도는 10도에서 11도가 되겠습니다.

바다의 물결은 동해상에서 1.0~3.0m로 먼바다에서 높게 일겠습니다.

2015.04.02.11:00 발표 / 난기압(복상)

구역	02일(목)						03일(금)						04일(토)						별표 관서
	오후			오전			오후			오전			오후			오전			
	날씨	최고기온	강수확률	날씨	최저기온	강수확률	날씨	최고기온	강수확률	날씨	최저기온	강수확률	날씨	최고기온	강수확률	날씨	최저기온	강수확률	
강원영서	횡천	SE-S 약간 강 흐리고 비	18	90	SW-W 약간 강 흐리고 비	8	80	W-NW 약간 강 구름만	16	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	16	30	강릉 (105)		
	화천	SE-S 약간 강 흐리고 비	19	90	SW-W 약간 강 흐리고 비	13	80	W-NW 약간 강 구름만	18	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	18	30	강릉 (105)		
	인제	SE-S 약간 강 흐리고 비	19	90	SW-W 약간 강 흐리고 비	11	80	W-NW 약간 강 구름만	18	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	17	30	강릉 (105)		
	양구	SE-S 약간 강 흐리고 비	19	90	SW-W 약간 강 흐리고 비	9	80	W-NW 약간 강 구름만	18	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	18	30	강릉 (105)		
	춘천	SE-S 약간 강 흐리고 비	19	90	SW-W 약간 강 흐리고 비	11	80	W-NW 약간 강 구름만	17	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	19	30	강릉 (105)		
	홍천	SE-S 약간 강 흐리고 비	20	90	SW-W 약간 강 흐리고 비	13	80	W-NW 약간 강 구름만	18	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	18	30	강릉 (105)		
	원주	SE-S 약간 강 흐리고 비	20	80	SW-W 약간 강 흐리고 비	13	80	W-NW 약간 강 구름만	16	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	19	40	강릉 (105)		
	철원	SE-S 약간 강 흐리고 비	19	80	SW-W 약간 강 흐리고 비	12	80	W-NW 약간 강 구름만	16	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	19	40	강릉 (105)		
	영월	SE-S 약간 강 흐리고 비	20	80	SW-W 약간 강 흐리고 비	13	80	W-NW 약간 강 구름만	17	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	19	40	강릉 (105)		
	정선	SE-S 간 흐리고 비	18	80	SW-W 간 흐리고 비	12	80	W-NW 약간 강 구름만	16	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	17	40	강릉 (105)		
	평창	SE-S 약간 강 흐리고 비	18	80	SW-W 약간 흐리고 비	13	80	W-NW 약간 강 구름만	16	23	NE-E 구름조금	4	10	NE-E 흐림	15	40	강릉 (105)		
	대관령	E-SE 강 흐리고 가끔 비	15	70	SW-W 매우 강 흐리고 비	9	70	NE-E 강 구름만	15	23	NE-E 약간 강 구름만	4	20	NE-E 약간 강 흐림	6	30	강릉 (105)		

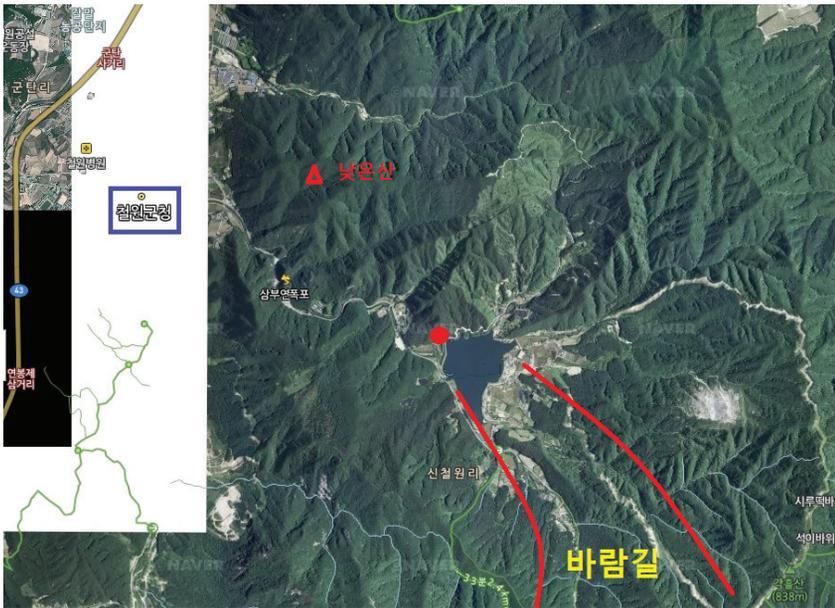
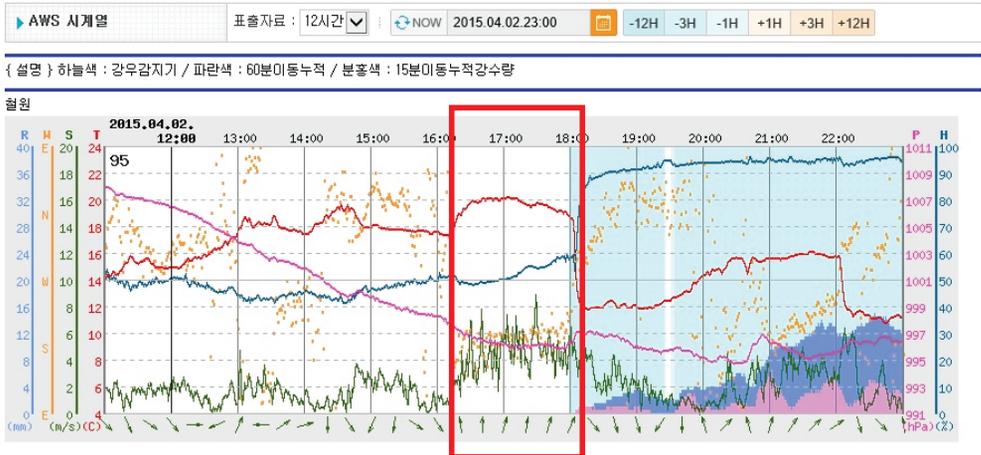
중국 산둥반도 부근에서 다가오는 기압골의 영향을 점차 받게됩니다.

강원도와 울릉도,독도는 차차 흐려져 늦은 오후부터 강원내륙에 비(강수확률 70~90%)가 시작되어 밤에는 강원도 전역과 울릉도,독도로 확대되었습니다.

또한, 강원 동해안과 산간은 낮부터 바람이 점차 강해져 밤부터는 매우 강하게 불고, 일부 강원내륙에도 강하게 부는 곳이 있겠으며, 일부 지역에는 돌풍과 함께 천둥,번개가 치는 곳도 있겠으니, 시설물 관리에 유의하기 바랍니다.



### 첨부 5. 당일 철원지방 바람 시계열



온난전선이 통과할 때 지형적인 영향으로 남풍이 우세하며, 풍속이 매우 빨라지는 것을 볼 수 있다.

- 철원지방은 산악지역으로 크고 작은 산의 영향으로 전선이 다가올 때 풍계가 주풍향이 뚜렷하지 않았으나 통과할 때는 다음 지형도에서 보듯이 바람길을 통하게 되면서 남풍 뚜렷하고 풍속이 빨라지는 것을 볼 수 있다.

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

#### 첨부 6. 철원 부근 AWS 바람 자료

AWS 문숫자 일통계(국값):바람 NOW 2015.04.02 -7D -3D -1D +1D +3D +7D 다운로드 경신: X

[ AWS 통계:일국값(바람) ] 2015년 04월 02일

시군	AWS			최대 10분바람			최대 1분바람			최대 순간바람			위치			
	ID	지점명	고도	풍향	풍속	시각	풍향	풍속	시각	풍향	풍속	시각				
강원 인제	585	신남	236m	216.2	SW	6.5	21:26	214.4	SW	9.5	21:23	237.6	WSW	12.0	21:19	강원도 인제군 남면 신남리
강원 인제	320	향로봉	1262m	192.2	SSW	12.2	19:07	193.1	SSW	15.8	19:00	200.9	SSW	18.1	19:00	(산간)강원도 인제군 북면 용대리
강원 인제	321	원통	253m	258.0	WSW	6.8	21:51	261.1	W	9.3	21:26	261.6	W	12.5	21:26	(산간)강원도 인제군 북면 원통리
강원 인제	594	서화	316m	179.6	S	6.9	20:54	185.1	S	8.4	20:51	180.5	S	11.4	20:53	(산간)강원도 인제군 서화면 서화리
강원 인제	211	인제	200m	158.9	SSE	5.6	23:43	152.1	SSE	7.2	21:33	165.9	SSE	10.8	23:38	강원도 인제군 인제를 남북리
강원 정선	563	북평	358m	250.1	WSW	6.0	15:49	265.3	W	7.4	23:04	286.9	WNW	11.9	23:13	강원도 정선군 북평면 장굴리
강원 정선	674	사북	821m	190.2	S	13.5	21:20	196.2	SSW	18.8	17:56	193.5	SSW	21.5	22:54	(산간)강원도 정선군 사북읍 사북리
강원 정선	527	신동	392m	215.1	SW	9.8	20:15	202.4	SSW	11.8	21:06	191.3	SSW	14.6	21:06	강원도 정선군 신동읍 예마리
강원 정선	537	임계	488m	277.4	W	5.5	13:34	281.4	WNW	8.5	13:25	199.7	SSW	10.4	18:11	(산간)강원도 정선군 임계면 봉산리
강원 정선	217	정선군	307m	333.2	NNW	6.7	13:08	338.5	NNW	7.6	13:07	329.1	NNW	10.3	13:16	강원도 정선군 정선읍 북삼리
강원 철원	95	철원	153m	208.9	SSW	6.3	00:00	199.4	SSW	8.9	17:28	202.5	SSW	14.6	17:28	강원도 철원군 갈말읍 군탄리
강원 철원	323	대현	291m	124.9	SE	4.0	13:46	124.4	SE	5.6	13:39	182.8	S	7.1	13:46	강원도 철원군 근남면 대현리
강원 철원	552	철원기상대	246m	42.3	NE	5.0	09:46	53.8	NE	6.0	10:30	53.4	NE	8.5	09:42	강원도 철원군
강원 철원	650	양지	230m	352.4	N	5.2	20:49	352.9	N	7.3	20:45	28.1	NNE	9.0	20:45	강원도 철원군 동송읍 양지리
강원 철원	681	원동	210m	292.0	WNW	4.6	22:31	297.7	WNW	5.5	22:23	250.7	WSW	5.9	23:08	강원도 철원군 원동면
강원 철원	682	임남	1062m	160.2	SSE	9.9	19:39	183.7	S	13.6	19:36	179.3	S	17.0	19:36	강원도 철원군 임남면
강원 철원	651	외촌	221m	238.1	WSW	9.4	23:45	237.5	WSW	13.6	23:40	247.5	WSW	14.7	23:51	강원도 철원군 철원읍 외촌리
강원 철원	874	동송	206m	40.9	NE	3.4	12:28	347.5	NNW	5.3	17:49	14.7	NNE	6.7	17:49	강원도 철원군 철원읍 화지리
강원 춘천	675	남미섬	51m	165.0	SSE	4.6	15:37	154.8	SSE	5.7	15:36	123.8	SE	7.4	18:59	강원도 춘천시 남산면 방하리
강원 춘천	588	남산	93m	161.3	SSE	5.7	17:42	164.4	SSE	7.0	17:36	174.4	S	9.3	18:28	강원도 춘천시 남산면 창촌리
강원 춘천	586	북산	240m	337.4	NNW	4.1	21:46	347.9	NNW	8.0	21:37	338.4	NNW	11.3	21:37	강원도 춘천시 북산면 오향리
강원 춘천	101	춘천	76m	199.4	SSW	5.4	19:30	196.6	SSW	6.9	18:47	196.9	SSW	10.4	18:47	강원도 춘천시 우두동
강원 태백	216	태백	712m	214.8	SW	9.6	21:04	215.7	SW	12.1	21:37	199.7	SSW	17.6	20:10	(산간)강원도 태백시 활지동
강원 평창	318	용평	770m	229.5	SW	6.9	20:51	208.8	SSW	11.6	19:21	211.2	SSW	15.5	19:21	(산간)강원도 평창군 대관령면 용산리
강원 평창	879	스키점프	852m	227.6	SW	14.0	20:29	215.4	SW	19.0	20:39	238.5	WSW	23.0	19:56	(산간)강원도 평창군 대관령면 용산리
강원 평창	100	대관령	772m	236.7	WSW	14.0	21:04	231.5	SW	17.0	22:29	241.9	WSW	24.5	22:29	(산간)강원도 평창군 대관령면 활계리
강원 평창	597	대화	562m	159.1	SSE	8.8	21:13	159.1	SSE	10.9	21:06	160.7	SSE	13.9	19:32	강원도 평창군 대화면 신리
강원 평창	660	면운	531m	53.7	NE	5.3	15:23	53.9	NE	6.8	15:15	39.4	NE	8.7	15:22	강원도 평창군 봉평면 면운리
강원 평창	525	봉평	547m	202.0	SSW	7.0	21:57	197.9	SSW	9.3	22:05	188.4	S	12.2	21:42	강원도 평창군 봉평면 향동리
강원 평창	560	진부	540m	240.4	WSW	8.8	21:48	246.4	WSW	11.2	21:46	239.1	WSW	17.1	21:45	(산간)강원도 평창군 진부면
강원 평창	526	평창	303m	153.0	SSE	4.9	15:32	144.0	SE	6.6	15:25	149.1	SSE	8.2	15:25	강원도 평창군 평창읍 여관리

당시 철원 부근의 AWS바람 자료로 온난전선이 통과하는 시각인 17:00 부근에서 풍계가 남풍일 때 평균풍속 13.6m/s, 순간최대 17.0m/s인 것을 볼 수 있다. 그러나 사고현장에서 서쪽으로 약 12km 떨어진 철원기 상대의 당일 최고풍향 풍속은 오전 10:30에 북동풍, 6.0m/s였다.



## 첨부 7. 철원 부근 AWS 바람 벡터의 변화

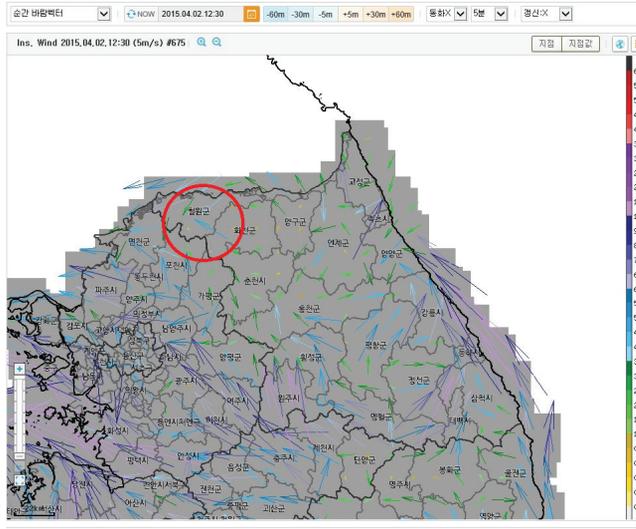


그림 1. 철원부근의 바람벡터(사고 당일 오전)

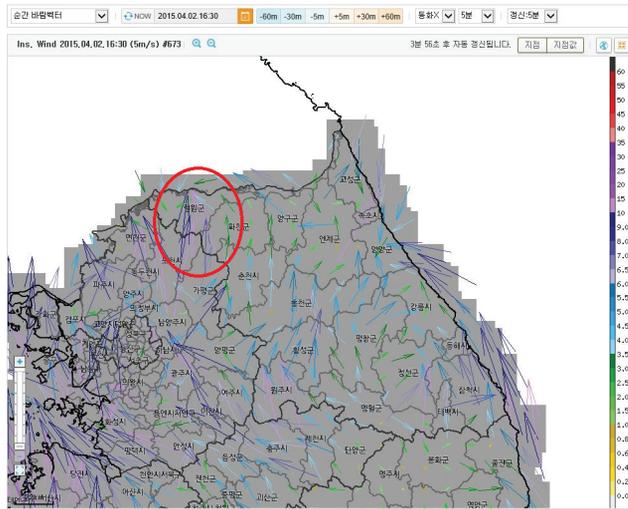


그림 2. 철원부근의 바람벡터(사고 당시)

당시 철원 부근의 AWS 바람벡터 자료로 온난전선이 통과하는 전이 오전에는 철원 지방은 남동풍이 우세했으나(그림 1에서 붉은색 원으로 표시), 통과 후에는 남풍이 뚜렷하면서 풍속이 강한 것을 볼 수 있다(그림 2).

## 02 기상감정 가상 시나리오

시나리오1

### 첨부 8. 고층 일기도(925,850hPa)

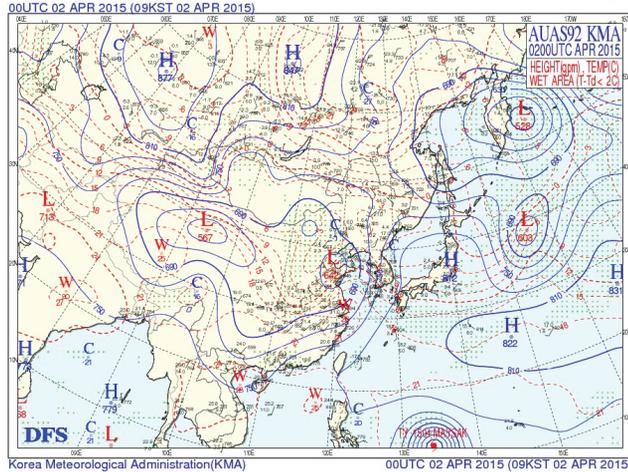


그림 1. 925hPa 고층일기도(2015. 4. 2. 09:00 KST)

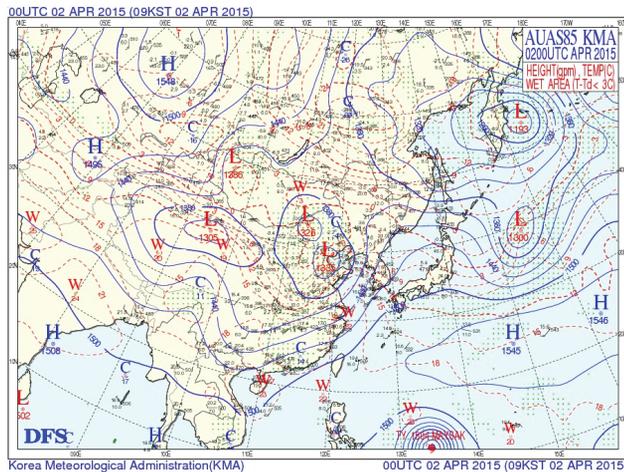


그림 2. 850hPa 고층일기도(2015. 4. 2. 09:00 KST)

925hPa 일기도는 약 800m, 850hPa은 약 1,500m 상공의 일기도이며, 이 일기도들은 00UTC, 즉 아침 09시 일기도로 온난전선이 우리나라를 통과하기 전의 일기도이다. 일기도에서 발해만 부근에 중심을 둔 저기압이 우리나라를 통과하면서 우리나라는 바람이 강하고 비가 올 것으로 예상 할 수 있다.



### 첨부 9. 고층 전문 바람자료

▶ 고층자료 조회      47122 오산      NOW      2015.04.02.09:00      -24H      -12H

【 고층 집계표 】 47122 오산      지상      표준등압면      권계면      최대풍

2015.04.01.12:00 (UTC)						2015.04.02.00:00 (UTC)					
기압 (hPa)	고도 (gpm)	기온 (°C)	이슬점 (°C)	풍향 (deg)	풍속 (KT)	기압 (hPa)	고도 (gpm)	기온 (°C)	이슬점 (°C)	풍향 (deg)	풍속 (KT)
1020.0		8.8	6.8	20	6	1017.0		10.4	5.8	70	6
1019.0				5	12	1000.0	143	9.0	2.0	95	11
1000.0	165	7.0	2.0	15	18	997.0				95	10
968.0		4.8	1.0			966.0				130	12
925.0	800	3.0	-0.4	50	21	934.0				140	14
896.0				65	22	925.0	781	3.0	-0.1	125	11
878.0		0.8	-2.9			920.0		2.8	-0.2		
868.0				85	13	909.0				125	12
862.0				75	10	893.0		2.2	-1.3		
859.0		3.6	0.1			873.0		5.0	0.0		
851.0		3.4	-0.1			869.0				160	17
850.0	1483	3.4	0.0	65	5	850.0	1469	7.8	3.3	205	12
845.0				5	2	849.0				205	12

그림 1. 백령도 고층 전문 해석자료(2015. 4. 2)

그림 1.은 백령도 기상대에서 관측한 고층자료의 기상 전문을 해석한 것이다.

먼저 우측 자료는 당일 00:00UTC 자료로 저기압 중심이 발해만 부근에 위치 했을 때 관측한 자료로 925hPa(약 800m 상공)에서의 풍속은 40kts(20m/s)이고, 850hPa(약 1,500m 상공)에서는 46kts(23m/s)로 상층으로 갈수록 바람이 강해지는 것을 볼 수 있다.

좌측 자료는 당일 12:00UTC 자료로 온난전선이 철원지방을 통과하였지만 저기압 중심은 아직 우리나라 중부 지방에 위치했을 때의 자료이다. 저기압이 백령도를 통과하면서 고층의 각각 풍속이 12kts(11.5m/s), 37kts(18.5m/s)로 작아지는 것을 볼 수 있다.

## 02 기상감정 가상 시나리오

시나리오1

### 첨부 10. 진공효과(vacuum effect)

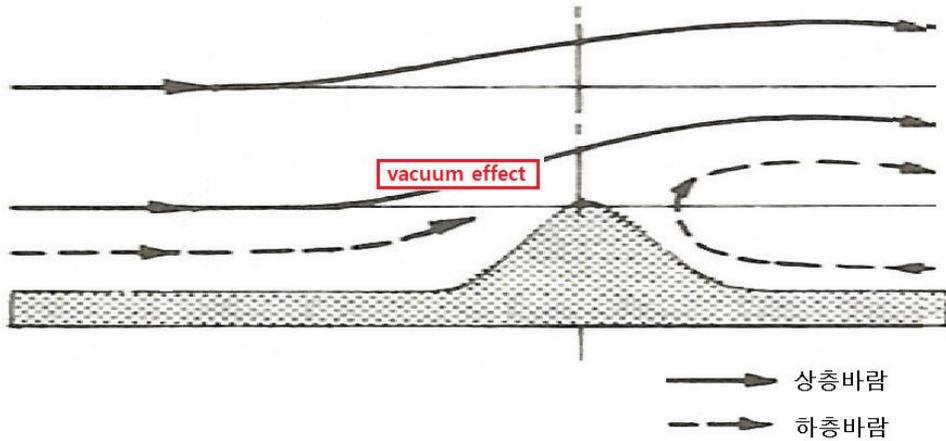


그림 1. 진공효과의 모식도

일반적으로 바람은 상층으로 갈수록 풍속이 강하다. 그리고 바람이 큰 산을 만나면 산을 뚫고 갈수는 없으므로 그림 1과 같이 바람은 강제 상승을 하게 된다. 이 때 상층의 일반류가 풍속이 매우 강하면 벤츄리효과에 의해 하층의 바람 풍속이 급격히 강해질 수 있다. 이것을 대기과학에서는 진공효과(vacuum effect)고 한다.



첨부 11. 고도에 따른 바람의 연직 분포

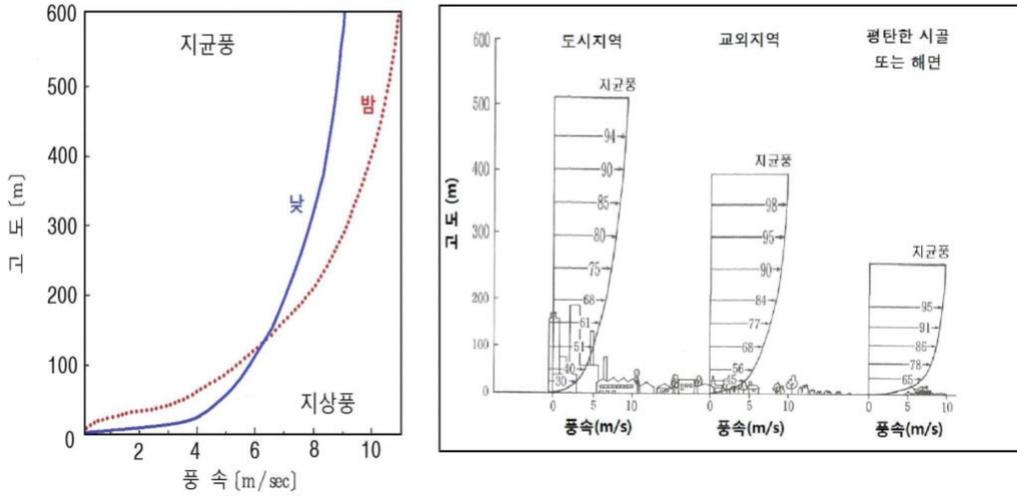


그림 1. 고도에 따른 바람의 연직분포

그림 1은 지상으로 부터의 높이에 따른 일반적인 풍속 변화를 나타낸다. 지균풍은 지표면 마찰의 영향을 받지 않는 지상 1km 정도의 자유대기에서 부는 바람이다. 기상청 관측기준인 지상 10m에서는 지표면 마찰 등으로 지균풍의 20~30% 로 바람은 약하게 분다. 그러나 지상 500m 이상의 고도에서는 지균풍의 90~100% 정도로 바람은 강하게 분다.





## 첨부 13. 설계(수치모의)풍속의 계산

### 1. 시험설계 및 가설설정

#### 1.1 사이트 선정

- 사이트 선정은 감정대상지점에 발생한 국지적 기상현상 혹은, 종관기상현상의 영향 범위를 분석 및 설정한다. 만약 기상현상이 시간에 따라 급격하게 변한 경우, 시간에 따라 관측소를 다르게 설정하는 방법도 검토해야한다.

가) 종관 기상현상이 있는 경우 : 강풍이 발생하는 종관기상현상은 보통 태풍, 전선풍 계절풍에 의해 발생하기 때문에 각 기상현상에 맞는 최적화된 구역을 설정한다.

태풍 : 감정 대상지점  $ykm \times ykm$  이내

전선풍 : 감정 대상지점  $zkm \times zkm$  이내

계절풍 : 감정 대상지점  $tkm \times tkm$  이내

나) 국지적 기상현상 : 국지적 기상현상에 의해 돌풍이 발생한 경우  
 감정 대상지점  $lkm \times lkm$  이내

#### 1.2 기간 설정

- 감정대상지점에 국지적 기상현상 혹은 종관기상 현상이 발생 했을 것이라 추정되는 시간을 추정한다. 관측소기준으로 강풍이 가장 강하게 분시점과 기상현상이 발생한 시점을 비교분석하여 감정 시점을 결정한다.

가) 종관 기상현상이 있는 경우 : 태풍, 전선풍, 계절풍과 국지적 기상현상들의 평균발생 시간을 분석하여 발생 시간을 정한다.

태풍 : 태풍 발생 전 1시간(예시)

전선풍 : 전선풍 발생 전 1시간(예시)

계절풍 : 계절풍 발생 전 1시간(예시)\

나) 국지적 기상현상 : 국지적 기상현상에 의해 돌풍이 발생한 경우  
 국지풍 발생 전 10분(예시)

#### 1.3 지표조도 구분 및 자료의 균질화

- 각 관측소별 지표조도를 DEM자료와 현장조사를 통해 상세하게 분석하여 지표조도를 평가한다.
- 각 관측소의 높이가 다르기 때문에 1,1~1,2단계에서 수집한 자료를 지표조도 C 높이 10m인 자료로 균질화 시킨다.

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

#### 1.4 내삽방법 및 가중치 설정

- 풍향 풍속 측정에 적합한 내삽방법을 설정한다. 보편적으로 공간 내삽에 많이 사용되는 스플라인 보간법, IDW 보간법, 크리깅 보간법 중 본 보고서에서는 IDW 방법을 선택 하였다. IDW 방법 사용시 풍향 풍속측정에 최적화된 가중치 P를 계산하는 것이 중요하다.

#### 1.5 지형할증 가중치 설정

- DEM(수치표고자료) 자료를 통한 정밀한 지형할증 계수를 계산한다

#### 1.6 골바람효과 가중치 설정

- DEM(수치표고자료)을 통한 지형분석을 통해 논문 '두 산지 사이의 골바람효과에 의한 풍속할증 현상의 검토' 결과를 통해 골바람 가중치를 예측한다.

### 2. 자료수집

- 가장 강한 바람이 분 5월 4일 07:30 ~ 08:00 까지 현내, 대진, 간성, 향로봉, 미시령 5개 지점에서의 풍향, 풍속데이터를 수집하여 1분 풍속의 평균, 1분 최대풍속의 평균, 30분 최대풍속의 3가지 종류의 평균 값을 계산한다.

### 3. 분석(계산)방법

#### 3.1 자료의 균질화

- 감정대상 지점으로 높이와 거리가 다른 5개지점의 풍속과 풍향을 지표조도 C 높이 10m로 균질화 시킨다.

$$V_{C,10} = \frac{V_z}{K_{zr}} = \frac{V_z}{1.67} \left( \frac{Z_g}{Z} \right)^\alpha$$

#### 3.2 균질화된 자료 내삽 및 감정대상 지점의 풍속계산

- 균질화 시킨 자료를 감정대상 지점에 내삽하여 감정대상지점 높이 10m인 곳의 풍향 풍속을 계산한다. 이 때 내삽방법은 IDW(Inverse Distance Weight)방법을 사용한다.

$$u(x) = \frac{\sum_{k=0}^N w_k(x) u_k}{\sum_{k=0}^N w_k(x)} \quad \text{where} \quad w_k(x) = \frac{1}{d(x, x_k)^p}$$



- 이렇게 내삽한 자료를 감정대상지점 높이로 변환하여 풍향과 풍속을 다시 계산한다.

$$V(Z) = V_{Ho} \left( \frac{Z}{Z_H} \right)^\alpha$$

### 3.3 지형할증 계수의 계산

- 감정 대상지점의 풍속이 동서 방향으로 지형할증이 되기 때문에 지형할증 효과를 계산해야한다.

$$K_{zt} = 1 + \frac{k_t s \Phi'}{1 + 3.7 I_z}$$

### 3.4 골바람 효과 및 지형할증 효과

- 동서방향으로 위에서 계산한 지형할증 계수를 곱해주고 남북방향으로는 풍동실험을 결정된 골바람효과와 최대값인 1.14배를 곱해준다.

### 3.5 최종풍속 계산

- 지형 할증이 된 동서방향풍속과 골바람 효과를 받는 남북방향의 벡터합을 계산한다.

$$V = \sqrt{(V_{Y,HO} K_{zt} K_M)^2 + (V_{X,HO} K_{zt} K_{zt})^2}$$

## 4. 각종 계수 값

- 각 지표상황에 따른 지표조도의 분류 및 관련 값들은 아래 표와 같음
- Google Earth를 기준으로 5개 지점에 대한 지표조도를 구분함
- 모든 AWS의 자료를 지표조도가 C이고, 높이가 10m인 자료로 아래 공식을 통해 균질화 한다.

$Z$  : 지표면에서의 높이

$Z_b$  : 대기경계층시작 높이

$Z_g$  : 기준경도풍 높이

$\alpha$  : 풍속고도분포지수

## 02 기상감정 가상 시나리오

시나리오1

표 1. 지표면 상태에 따른 지표조도 구분

지표면 조도구분	주변지역의 지표면 상태
A	대도시 중심부에서 고층건축물이 밀집해 있는 지역
B	수목 높이 3.5m 정도의 주택과같은 건축물이 밀집해있는 지역 / 중층 건물(4~9층)이 산재해있는 지역
C	높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역 수목, 저층 건물이 산재해 있는 지역
D	장애물이 거의없고, 주변 장애물의 평균 높이가 1.5m 이하인 지역 / 해안, 초원, 비행장

표 2. 지표조도에 따른  $K_{zr}$  값 구분

지표면으로부터 높이 z(m)	A	B	C	D
$z \leq z_b$	0.58	0.81	1.0	1.13
$z_b < z \leq Z_g$	$0.22z^\alpha$	$0.45z^\alpha$	$0.71z^\alpha$	$0.98z^\alpha$

표 3. 지표조도에 따른  $Z_b, Z_g, \alpha$  값

지표조도 구분	A	B	C	D
$z_b$	20m	15m	10m	5m
$Z_g$	550m	450m	350m	250m
$\alpha$	0.33	0.22	0.15	0.1

$$V_{C,10} = \frac{V_z}{K_{zr}} = \frac{V_Z}{1.67} \left( \frac{Z_g}{Z} \right)^\alpha$$



## 5. 균질화된 자료 내삽 및 감정대상 지점의 풍속계산

### IDW 내삽법

- 이미 알고 있는 값으로부터 알고자 하는 값을 보간 하는 방법
- 주어진 점  $x$ 에 대한 보간 된 값  $u$ 를 결정하는 일반화된 형태의 보간 함수는 아래와 같음.

$$u(x) = \frac{\sum_{k=0}^N w_k(x) u_k}{\sum_{k=0}^N w_k(x)} \quad \text{where} \quad w_k(x) = \frac{1}{d(x, x_k)^p}$$

- $N$ 은 기상대의 개수,  $w_k$ 는 가중치 값  $u$ 는 보간 된 값
- $w_k$ 에 대한 함수는 여러 개가 존재하며, 위의 수식에 있는  $w_k$ 는 Shepard 방식
- 이 때,  $p$ 는 0보다 큰 실수 값으로  $p$ 의 범위가 0~1이면 전체적인 양상이 좁고 날카로우며, 1보다 크면 넓고 부드럽게 보간 됨
- 이번 감정서에서는 일반적으로 통용되어 사용하는  $p=2$  값 사용

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

#### 높이 보정

- 내삽된 결과를 감정대상지점으로 위치 보정
- y축 방향으로 불어오는 바람은 골바람 효과를 받아 높이를 감정대상 지점의 높이인 600m로 보정해주고, x축 방향으로 불어오는 바람은 산의 시작위치부터 지형할증이 되기 때문에 산의 시작된 위치 500m로 보정

$$V(Z) = V_{H_0} \left( \frac{Z}{Z_H} \right)^\alpha$$

- $Z$ 는 감정대상지점의 높이  $V_{H_0}$ 는 내삽된 풍속,  $Z_H$ 는 높이 10m,  $\alpha$ 는 감정대상 B지점의 지표조도 상수인 0.22를 대입하여 계산
- 이 때,  $p$ 의 값을 2, 1,  $\frac{1}{2}$ 로 바꿔가면서 최적의 내삽 값을 추정

$x$  : 정점으로부터의 수평거리 (m) 485m

$z$  : 국지 지표면으로부터의 임의높이 (m) 565m

$H$  : 언덕, 산, 경사지의 정점높이 (m) 620m

$L_u$  : 언덕, 산, 경사지의 정점 중앙으로부터 아래로

$\frac{H}{2}$ 인 지점에서 풍상측 경사지 지점까지의 수평거리 (m) 969m

$\phi'$  :  $\phi$  또는 0.3중 작은 값 0.3

$\phi$  : 풍상측경사 ( $= \frac{H}{2L_u}$ ) 0.32

$I_z$  : 높이  $z$ 에서의 난류강도  $I_z = 0.1 \left( \frac{z}{Z_g} \right)^{-\alpha - 0.05} = 0.1 \left( \frac{565}{450} \right)^{-0.22 - 0.05} = 0.092$

$Z_g$  : 기준경도풍 높이 (m) 지표조도 B 기준 450m



## 6. 지형할증 계수의 계산

$$k_t = 1.4 + 3.6(\phi_d - 0.05) = 1.13$$

$s$  : 위치 계수

$$= \left(1 - \frac{|x|}{1.5L^*}\right) \left(1 - \frac{0.6z}{H}\right) = \left(1 - \frac{485}{1.5 \times 1054}\right) \left(1 - \frac{0.6 \times 565}{620}\right) = 0.314 \phi > 0.3$$

풍하측인 경우

$L^* = L_u$ 와  $1.7H$ 중 큰 값 : 언덕, 산  $1.7H = 1054m$

$$K_{zt} = 1 + \frac{k_t s \Phi'}{1 + 3.7I_z} = 1 + \frac{1.89 \times 0.314 \times 0.3}{1 + 3.7 \times 0.092} = 1.13$$

## 7. 골바람 효과 및 지형할증 효과

- 골바람 효과의 최대 증속률인 1.14만큼의 효과를 받았다고 가정하고, 지형할증은 위에서 계산한 1.13을 적용하여 방향별 풍속을 계산한 결과는 아래와 같다.

표 4. 내삽한 감정대상지점의 1분 풍속의 평균값

	골바람(1.14)	지형할증(1.13)	$V(m/s)$
$\sqrt{d}$	4.22	-12.81	13.49
$\frac{1}{d}$	3.04	-11.97	12.35
$\frac{1}{d^2}$	1.47	-10.83	10.93

표 5. 내삽한 감정대상지점의 1분 최대풍속의 평균 값

	골바람(1.14)	지형할증(1.13)	$V(m/s)$
$\sqrt{d}$	5.5	-17.89	18.72
$\frac{1}{d}$	3.98	-16.6	17.07
$\frac{1}{d^2}$	1.88	-14.55	14.67

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

표 5. 내삽한 감정대상지점 30분 최대풍속

	골바람(1.14)	지형할증(1.13)	$V(m/s)$
$\sqrt{d}$	5.55	-35.37	35.80
$\frac{1}{d}$	3.363	-30.96	31.14
$\frac{1}{d^2}$	0.9	-23.65	23.67

### 8. 최종풍속 계산

- 최종 설계풍속은 아래 식과같이 계산한다.

$$V = \sqrt{(V_{Y,HO}K_{zt}K_M)^2 + (V_{X,HO}K_{zt}K_{zt})^2}$$

표 6. 각 자료 수집 방법별 최종 예상 풍속

	1분풍속의 평균	1분최대풍속의 평균	30분최대풍속
$\sqrt{d}$	13.49	18.72	35.80
$\frac{1}{d}$	12.35	17.07	31.14
$\frac{1}{d^2}$	10.93	14.67	23.67

### 9. 자료 분석

- 강풍이 불 때는 평균풍속에 대한 최대돌풍의 비가 주로 지면의 거칠기에 관계된다. Shellard에 의해 아래표와 같이 풍속계고도에서 평균풍속에 대한 최대돌풍의 비가 경험식으로 주어진다.

표 7. 지형별 돌풍과 일반풍 상관관계

지형	실측 비율	평균 비율
대양	1.3	1.3
평지에 솟은 독립된 언덕	1.4~1.5	1.4
평평한 시골 들판	1.4~1.8	1.6
나무, 가옥 등이 있는 농장 지역	1.2~2.0	1.7
삼림, 마을 등 기복 있는 교외 지역	1.7~2.1	1.9
큰 도시의 중심지역	1.9~2.3	2.1



첨부 14. 모델링 활용 바람 수치모의 결과

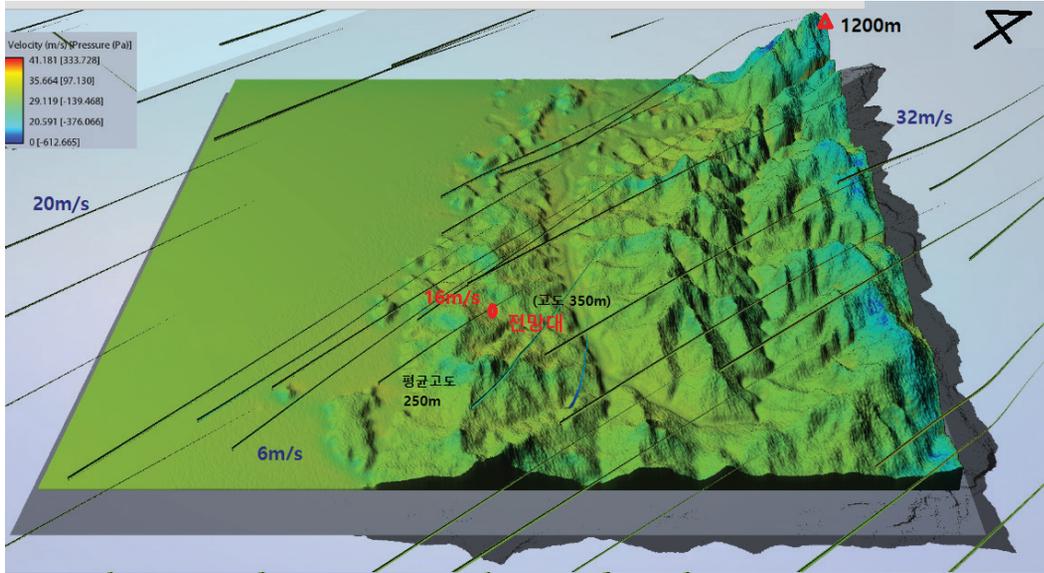


그림 1. 사고발생지점 인근의 기본 지형도 및 사건당시 풍향의 방향

이 모델링은 신청된 기상감정의뢰에 대한 강풍모의(2015년 4월 2일)의 결과이다. 모델의 베이스가 된 지도는 국토지리정보원(NGII)의 지형도(등고선) MAP을 기반으로 하여 그림 1과 같이 사고발생지점 인근의 지형도를 3D로 제작하였다. 수치모의 설계풍속의 계산은 첨부 13에 따라 수치모의하였다. 파란색 화살표로 표시된 방향은 사건당시 강한 바람이 작용하였을 것으로 판단되는 풍향을 보여주고 있다. 그리고 붉은색으로 전망대라고 표시한 곳이 감정대상 지점이다. 고도 350m 지점에서 풍동 수치 시뮬레이션 결과 6 m/s 정도의 바람이 남풍으로 작용할 때 사고 지점에 대하여 풍속이 16 m/s 로 풍속이 증가하여 부는 것으로 모의되었다. 수치모의 된 강풍은 16m/s 였다.

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오1

#### 첨부 15. 풍압과 풍속과의 관계

풍압은 바람에 의해 물체가 받는 압력을 말하며, 공기 밀도, 풍속의 제곱, 바람에 직각인 판의 면적에 비례한다.

일반적으로 풍압은

$$P_u = C \cdot F \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \text{ 이다.}$$

여기서  $C$  는 풍압계수,  $F$ 는 바람을 직각으로 받는 판(板)의 면적,  $\rho$ 는 공기의 밀도,  $v$ 는 풍속이다.  $C$ (풍압계수)를 0.17로 했을 간단 풍압과 풍속의 관계를 보면 표 1.과 같다.

표 1. 풍압과 풍속과의 관계

풍속 (m/s)	1	5	10	15	20	25	30	40	...
풍압 (kg/m <sup>2</sup> )	0.1	2.5	10.2	22.9	40.8	63.7	91.8	163.2	...

표 1에 풍속에 따른 풍압의 변화가 나타나 있다. 표에서 보는 바와 같이 풍속이 약할 때는 단위면적당 받는 압력이 별거 아니지만, 풍속이 증가하여 10m/s 일 때 1.2kg/m<sup>2</sup>, 20m/s일 때 40.8kg/m<sup>2</sup>, 30m/s일 때 91.8kg/m<sup>2</sup> 등으로 기하급수적으로 풍압이 늘어남을 알 수 있다.

계약조건은 관측장비를 풍압 62kg/m<sup>2</sup>를 견딜 수 있도록 설치하는 것이다.

장비의 단면적이 1.0m×1.5m = 1.5m<sup>2</sup> 이고 풍압계수  $C = 0.17$ 라 할 때, 풍속이 16m/s이면, 그때 장비가 받는 풍압은

$$P_u = C \cdot F \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 0.17 \times 1.5 \times 1.2 \times \frac{16^2}{2} = 39.17 \text{kg/m}^2 \text{ 이다.}$$

즉 풍속이 16m/s 일 때 장비가 받는 풍압은 39.2kg/m<sup>2</sup> 이므로 풍압 62.0kg/m<sup>2</sup>이하에서 파손 되었다면 그것은 부실공사이다.



### 첨부 16. 태양광패널과 풍압과의 관계

태양광패널 2장(100cm×100cm ; 피해 사진 참조)을 부착함으로써 장비의 단면적이 1.5m<sup>2</sup>에서 3.5m<sup>2</sup>으로 증가하였다.

장비의 단면적이 3.5.0m<sup>2</sup> 이고 풍압계수  $C = 0.17$ 라 할 때, 풍속이 16m/s이면, 그때 장비가 받는 풍압은

$$P_u = C \cdot F \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 0.17 \times 3.5 \times 1.2 \times \frac{16^2}{2} = 91.4 \text{kg/m}^2 \text{이다.}$$

즉 풍속이 16m/s 일 때 태양광 패널을 부착함으로써 풍압이 39.2kg/m<sup>2</sup>에서 91.4kg/m<sup>2</sup> 로 증가하였다. 그래서 설계 풍압 62kg/m<sup>2</sup>를 초과한 것이다.

그러므로 바람이 16m/s로 불 때 장비가 파손된 것은 설치공사가 부실 한 것이 아니고, 장비에 태양광 패널을 부가 설치하여 장비의 단면적이 증가함으로써 풍압이 증가하여 파손된 것으로 분석할 수 있다.

# 2018년 6월 1일 자동차 충돌 사건 개요

의뢰인 박수동씨는 2.5톤 카고 트럭을 소유하고 ○○이삿짐 센터에서 지입제로 이삿짐 운송업을 하는 개인 사업자이다.

2018년 6월 1일 15시경 서울양양고속도로를 이용하여 양양에서 서울로 이삿짐을 운송하던 중 월문리를 지나 덕소로 향하는 도중에 경사진 커브길에서 갑자기 강한 돌풍을 만나 조향 능력을 상실하고 중앙선을 침범하게 되었다. 깜짝 놀란 의뢰인 박수동씨는 재빨리 핸들을 돌려 바른길로 들어서는 순간 차량은 길옆 구조물 들이 받아 차량 일부가 파손되었다. 그 충격으로 차량에 묶여있던 일부 이삿짐이 뒤따르던 승용차 전면에 낙하하여 우측면 사이드미러가 파손되고, 그 충격에 운전의 중심을 잃어 맞은편에서 주행하던 다른 차량과 충돌하는 사고가 발생했다. 다행히 운전자들은 골절상 등 큰 부상은 있었으나 인명피해는 없었다.

의뢰인 박수동씨는 피해에 대한 보상은 보험으로 처리할 수 있으나 중앙선침범과 이삿짐 고박 등 관리 태만 등으로 형사처벌을 면하기 어려운 실정이다.

박수동씨는 운전 중에는 항상 규정 속도 보다 절대 과속하지 않았으며, 사고지점에서는 90km/h 속도로 운전하였다고 진술했다. 그러므로 강풍에 의한 천재지변이므로 선처를 요구하고, 기상청에 기상증명을 하였으나 당일 기상청의 관측 자료는 전국이 대체로 맑은 날씨에 동두천 서풍 4.6m/s, 남양주 남서풍 3.5m/s 등으로 그다지 강풍이 불지는 않았다고 기상증명을 하였다. 그래서 의뢰인은 사고지역은 통로가 좁은 계곡이므로 이 계곡을 통해 나오는 바람은 가끔 돌풍을 일으키기도 한다는 사실을 인근 주민들은 다 아는데, 정부에서 이런 자료를 정리하여 운전자들에게 홍보하여 경계하지 않은 책임도 있으니 선처하여 달라는 요청을 하였다.

그리고 의뢰인 박수동씨는 당시 자신은 운전을 바로 하지 못할 정도의 강풍이 있었다고 주장하면서 돌풍 발생 여부에 관한 기상감정을 의뢰하였다.



# 기상감정 현장 조사서

## 기상감정 용역계약 관련

일시 : 2018년 6월 15일(금)

장소 : 서울양양고속도로(화도 - 덕소 인터체인지)

면담자 : 월문리 주민

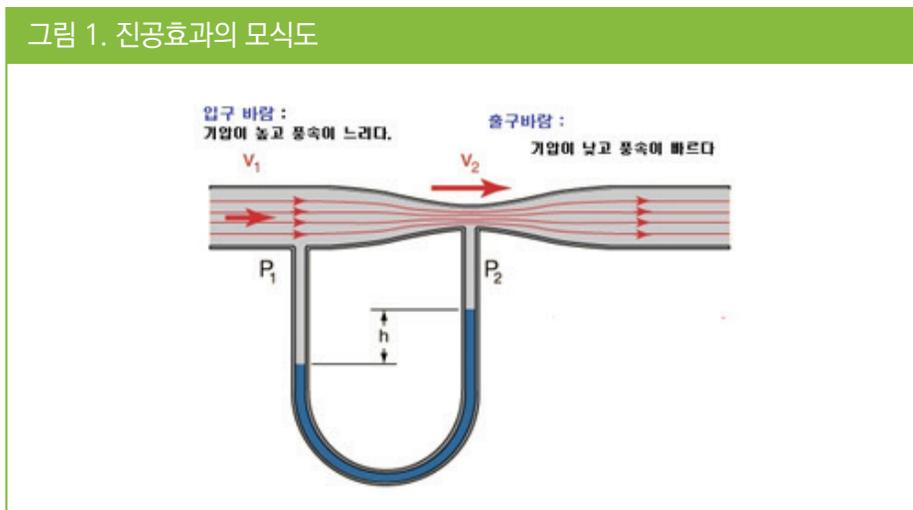
먼저 서울양양고속도로를 화도 인터체인지에서 진입하여 덕소 인터체인지까지 차량으로 운행하면서 사고현장 주변의 현황과 지형지세 분석 후 덕소인터체인지에 서쪽 지형 분석. 오후에 월문리를 방문하여 탐문 조사 실시.

### 1. 감정 대상 기상현상 및 피해 현황에 관한 사항

사고현장은 서울양양고속도로 경기도 양주시 덕정동에 소재하며, 월문리를 지나 덕소 부근에 위치하고 있다. 북쪽에 갈미봉을 중심으로 450~850m 정도의 산들이 위치하고 있으며, 남쪽은 갑산(549m)을 중심으로 400~500m 산들이 위치하고 있다. 감정대상 지역은 서쪽이 트여 있으며, 서쪽은 상대적으로 낮은 지역으로 주변 지형을 평균 150m 등고선으로 구분해 보면 깔대기 모양을 하고 있음을 볼 수 있다(그림 2 사고현장 약도 참고). 그래서 서풍 계열의 바람이 불면 소위 도시풍 또는 먼로 풍이라하는 벤츄리 효과(베르누이 정리)에 의해 풍속이 급격히 강해 질수 있는 지형적인 특징이 있는 지역이다(그림 1 참조).

### 2. 기상감정을 위해 필요한 기상에 관한 사항

그림 1. 진공효과의 모식도



## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오2

벤츄리 효과는 그림 1과 같이 굽기가 다른 관에 유체를 통과시키면 넓은 관보다 좁아진 관에서는 유체의 속도가 빨라질 수 밖에 없고 따라서 압력이 낮아지는 현상으로 이를 수리적으로 해석한 것이 베르누이의 정리이다. 그러므로 사고 현장은 주변 지형지세(그림 2)를 살펴 볼 때 서풍이 불면 지형지물에 의해 공기가 깔때기모양으로 수렴하여 풍속이 빨라질 수 있는 지형적 특징이 있다.

### 3. 기상 이외에 기상감정을 위해 필요한 사항

월문리를 방문하여 탐문한 결과 사고지역은 통로가 좁은 계곡이어서 이 계곡을 통해 나오는 바람은 가끔 돌풍을 일으키기도 하여 전에도 크고 작은 사고가 나기도 했다고 주민 김○○씨 등 주민 다수가 증언했다.

### 4. 그 밖의 기상감정에 필요한 사항

- 감정대상 시점의 바람을 재현하기 위해서는 수치모의 실험으로도 가능할 것으로 사료됨.
- 감정대상 시점의 종관장 분석을 위해 다음과 같은 기상청 자료가 요구 된다.

당일 종관장 분석을 위해 다음과 같은 기상청 자료가 요구 된다.

- 1) 6월 1일 09시 지상일기도
- 2) 6월 1일 오전 예보문 및 당일 기상특보
- 3) 한반도 상세 일기도
- 4) 한반도 바람벡터
- 5) 인근 AWS 관측자료
- 6) 인근 AWS 시계열 자료

첨부 1. 사고현장 약도

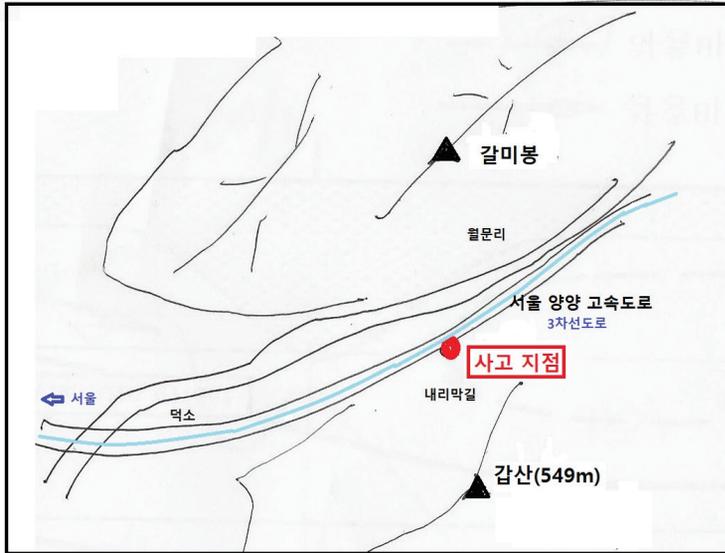
첨부 2. 사고현장 지형도

2018. 6. 17

조사자 : 대리 하지수 (인)



### 첨부 1. 사고현장 약도



### 첨부 2. 사고현장 지형도



# 기상감정서

감정일 : 2018년 6월 30일  
제 2018 - 02호

### 1. 감정을 받으려는 사실

- 일시 : 2018년 6월 1일
- 장소 : 경기도 양주시 덕정동 5××-×번지(서울양양고속도로)
- 감정 요구 기상현상 : 강풍

### 2. 감정 의뢰인

- 주소 : 강원도 춘천시 낙원동 ××-×번지
- 이름 : 박수동

### 3. 감정의 목적

- 의뢰인 박수동씨는 2.5톤 카고 트럭을 소유하고 ○○이삿짐 센터에서 지입제로 이삿짐 운송업을 하는 개인 사업자로 2018년 6월 1일 15시경 서울양양고속도로를 이용하여 양양에서 서울로 이삿짐을 운송하였다.
- 운송하던 중 월문리를 지나 덕소로 향하는 도중에 경사진 커브길에서 갑자기 강한 돌풍을 만나 조향 능력을 상실하고 중앙선을 침범하게 되었다. 재빨리 핸들을 돌려 바른길로 들어서는 순간 차량은 길옆 구조물 들이 받아 차량 일부가 파손되었다. 그 충격으로 차량에 묶여있던 일부 이삿짐이 뒤따르던 승용차 전면에 낙하하여, 그 충격에 운전의 중심을 잃어 맞은편에서 주행하던 다른 차량과 충돌하는 사고가 발생했다. 다행히 운전자들은 골절상 등 큰 부상은 있었으나 인명피해는 없었다. 차량 및 운송물품에 대한 보상은 보험에서 처리되지만, 의뢰인은 중앙선 침범 등 모든 형사책임은 면할 수 없는 실정이다.
- 박수동씨는 강풍에 의한 천재지변이므로 선처를 요구하고, 기상청에 기상증명을 하였으나 당일 기상청의 관측 자료는 전국이 대체로 맑은 날씨에 동두천 서풍 4.6m/s, 남양주 남서풍 3.5m/s 등으로 그다지 강풍이 불지는 않은 것으로 관측 되었다.
- 그러나 의뢰인 박수동씨는 당시 자신은 운전을 바로 하지 못할 정도의 강풍이 있었다고 주장하면서 돌풍 발생 여부에 관한 기상감정을 의뢰하였다.

### 4. 감정결과

#### 4.1 감정대상지역의 환경

- 감정대상 지점은 서울양양고속도로 경기도 양주시 덕정동에 소재하며, 월문리를 지나 덕소 부근에 위치하고 있다.



- 첨부 1에서 보는 바와 같이 북쪽에 갈미봉을 중심으로 450~850m 정도의 산들이 위치하고 있으며, 남쪽은 갑산(549m)을 중심으로 400~500m 산들이 위치하고 있다. 감정대상 지역은 서쪽이 트여 있으며, 서쪽은 북쪽과 남쪽에 비해 비교적 낮은 지역으로 주변 지형을 평균 150m 등고선으로 구분해 보면 깔대기 모양을 하고 있음을 볼 수 있다.
- 따라서 사고 지점은 깔대기의 병목에 해당하는 곳에 위치하고 있어 서풍계열의 바람이 불면 바람길의 통로가 됨과 동시에 지형효과에 의한 풍속의 증가가 예상되는 곳이다(첨부2 참조).

#### 4.2 감정대상시점의 기상현상

- 2018년 6월 1일의 지상일기도에 의하면(첨부 3) 고기압권의 영향으로 전국이 모레까지 대체로 맑겠고, 일부 경상내륙과 전남내륙 폭염특보 발표가 예상된다. 내일과 모레 낮 기온이 33℃ 이상 올라 매우 덥겠고, 그 밖의 내륙에서도 낮 기온이 30℃ 이상 오르는 곳 많을 것으로 예상된다(첨부 4.참조).
- 2018년 6월 1일 전국 AWS에서 관측된 상세 국지 기온 분포를 보면 오후부터 일사 가열에 의한 열저기압의 발생으로 국지적으로 서풍이 강화되고 있다(첨부 5 참조).
- 2018년 6월 1일 기상청에서 관측한 바람관측 자료를 첨부 7에서 설계된 수치 모의 풍속 계산과 국토지리정보원의 지형도 자료를 이용하여 감정대상지역의 3D 지형도를 만들고, 첨부 7의 설계풍속의 계산에 따라 이를 풍동모델에 삽입하여 수치모의 계산에 의해 감정대상 지점에서의 감정대상 시점의 풍속은 기상청의 정규 지상 관측의 풍속보다 훨씬 강한 풍속 12m/s의 불었던 것으로 산출했다(첨부 6 참조).

#### 4.3 기상 요소와 발생사건과의 인과 관계

- 사고 지점에서 서풍이 12m/로 불고 2.5톤 트럭이 WSW(서남서) 방향으로 시속 90km 의 속도로 달리면 실제 차가 받는 항력은 33m/s 가 된다(첨부 8 참고).
- 이삿짐을 충분히 실은 2.5톤 카고 트럭이 중앙선을 벗어나 다시 제길로 가려고 급히 핸들 돌렸다면, 그때 트럭이 받는 하중은 약 15톤이다(첨부 9 참조)
- 2018년 6월 1일 오후 15시에는 기상학적으로 감정대상 지점에서는 충분히 지형적인 영향으로 12m/s 의 돌풍이 발생할 수 있는 것으로 분석 된다(첨부 6 참조).
- 그러므로 충분히 안전운전(90km/h)을 했어도 갑자기 돌풍이 불어 1.5톤의 하중을 받게 되면 아무리 경험이 많은 운전자라도 당황하였을 것으로 사료된다.

### 5. 감정의 기초사실의 조사 기간 및 근거 자료

- 조사기간 : 2018년 6월 20일 ~ 30일
- 위의 감정결과는 감정대상 지점에 대한 감정대상 기간 동안의 강풍 상황에 대하여 최적의 감정 결과를 얻기 위하여 다음과 같은 첨부자료에 근거하여 산출한 것임.

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오2

- 첨부 1. 사고현장 약도
- 첨부 2. 대상지역 지형도
- 첨부 3. 감정대상 시점의 일기도(지상)
- 첨부 4. 일기예보 단기예보문
- 첨부 5. 당일 서울 경기지방의 대기 불안정과 국지풍 발생
- 첨부 6. 모델링 활용 바람 수치모의 결과
- 첨부 7. 설계(수치모의)풍속의 계산과 실측자료 비교
- 첨부 8. 실제 차가 받는 항력
- 첨부 9. 풍압과 풍속과의 관계

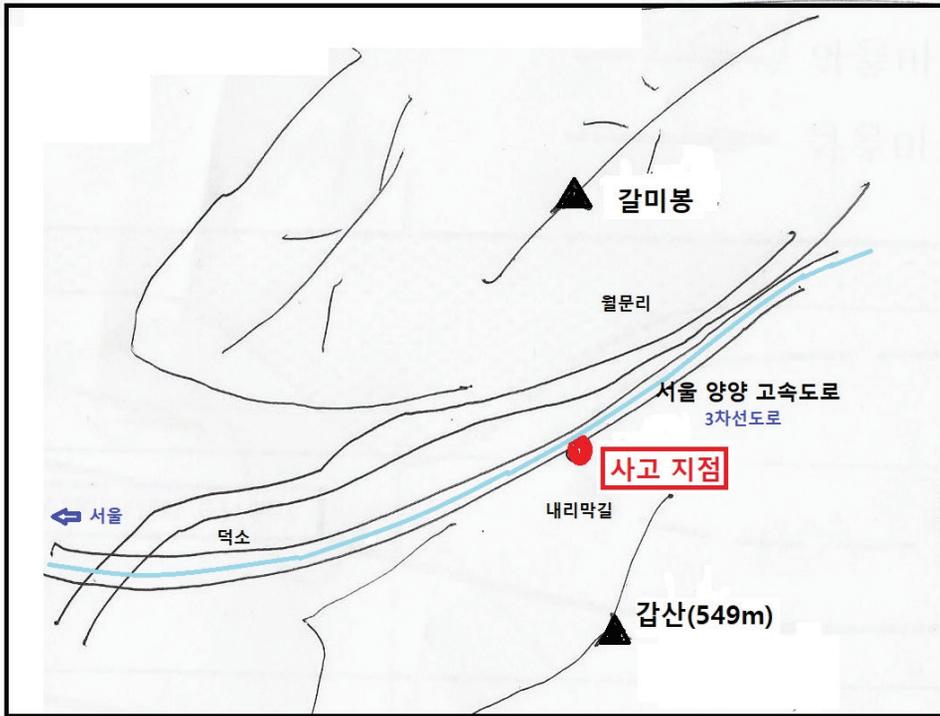
기상감정 일시 : 2018년 6월 30일

기상감정업자의 상호 : (주) 웨더피아

기상 감정사 : 이학박사 김동호 (인)



첨부 1. 사고 현장 약도



사고현장은 서울양양고속도로 경기도 양주시 덕정동에 소재하며, 월문리를 지나 덕소 부근에 위치하고 있다. 북쪽에 갈미봉을 중심으로 450~850m 정도의 산들이 위치하고 있으며, 남쪽은 갑산(549m)을 중심으로 400~500m 산들이 위치하고 있다. 감정대상 지역은 서쪽이 트여 있으며, 서쪽은 상대적으로 낮은 지역으로 주변 지형을 평균 150m 등고선으로 구분해 보면 깔대기 모양을 하고 있음을 볼 수 있다.

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오2

#### 첨부 2. 대상지역 지형도

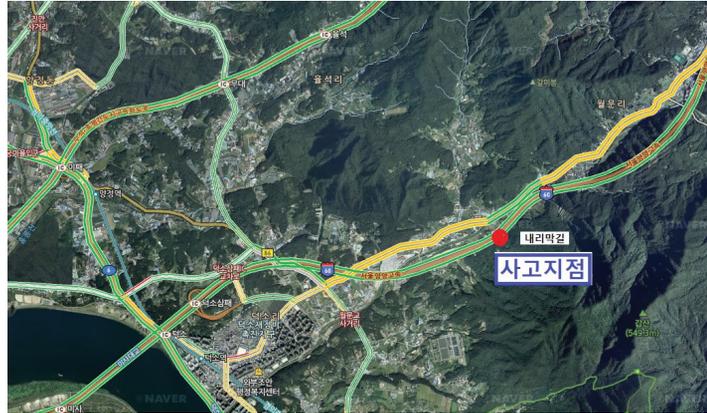


그림 1. 사고 지점 주변 지형도

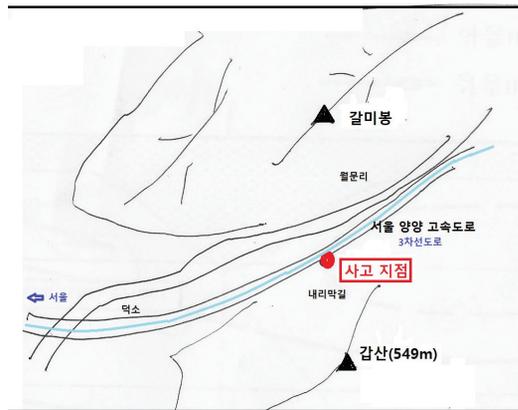


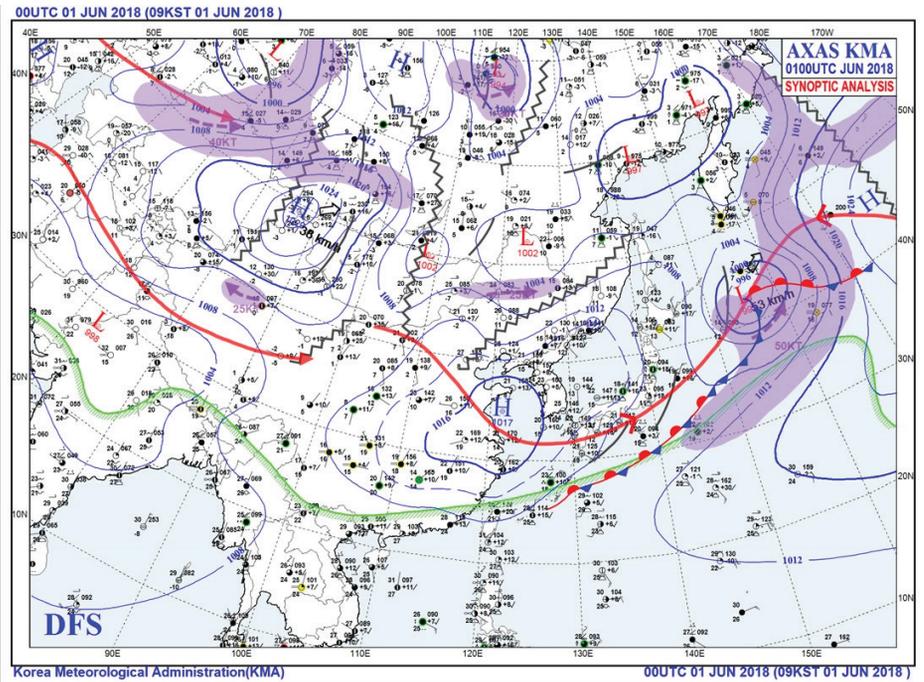
그림 2. 사고 현장

감정대상 지점은 서울양양고속 도로로 월문리를 지나 덕소 부근에 위치하는 곳으로 보는 바와 같이 북쪽에 갈미봉을 중심으로 450~850m 정도의 산들이 위치하고, 남쪽은 갑산(549m)을 중심으로 400~500m 산들이 위치하고 있다. 감정대상 지역은 서쪽이 트여 있으며, 서쪽은 북쪽과 남쪽에 비해 비교적 낮은 지역으로 주변 지형을 평균 150m 등고선으로 구분해 보면 깔대기 모양을 하고 있음을 볼 수 있다. 따라서 사고 지점은 깔대기의 병목에 해당하는 곳에 위치하고 있어 서풍계열의 바람이 불면 바람길의 통로가 됨과 동시에 지형효과에 의한 풍속의 증가가 예상되는 곳이다(그림 2 참조).

사고지역은 통로가 좁은 계곡이므로 이 계곡을 통해 나오는 바람은 가끔 돌풍을 일으키기도 한다는 인근 주민들의 증언도 있었다.



### 첨부 3. 지상일기도



고기압권의 영향으로 전국이 모레까지 대체로 맑겠음, 일부 경상내륙과 전남내륙 폭염특보 발표가 예상된다. 내일과 모레 낮 기온이 33℃ 이상 올라 매우 덥겠고, 그 밖의 내륙에서도 낮 기온이 30℃ 이상 오르는 곳 많을 것으로 예상된다.

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오2

#### 첨부 4. 당시 예보문

구역		02일(토)			03일(일)			발표 관사				
		오전			오전							
		날씨	최저 기온	강수 확률	날씨	최저 기온	강수 확률	발표 관사				
서울5도	백령도	SW-W 약간 강 맑음	- 0	S-SW 약간 강 구름조금	14 0	S-SW 약간 강 구름조금	23 10		E-SE 약간 강 구름조금	14 10	SE-S 약간 강 구름조금	22 10
서울 (광역)	서울	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	18 0	SW-W 약간 강 구름조금	29 10	SW-W 구름조금	17 10	SW-W 맑음	30 0	수도권 (109)
	과천	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	14 0	SW-W 약간 강 구름조금	30 10	SW-W 구름조금	14 10	SW-W 맑음	30 0	수도권 (109)
경원	경원	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	16 0	SW-W 약간 강 구름조금	27 10	SW-W 구름조금	16 10	SW-W 맑음	29 0	수도권 (109)
	강화	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	14 0	SW-W 약간 강 구름조금	26 10	SW-W 구름조금	13 10	SW-W 맑음	27 0	수도권 (109)
경포	경포	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	15 0	SW-W 약간 강 구름조금	26 10	SW-W 구름조금	15 10	SW-W 맑음	28 0	수도권 (109)
	연천	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	17 0	SW-W 약간 강 구름조금	25 10	SW-W 구름조금	17 10	SW-W 맑음	25 0	수도권 (109)
시흥	시흥	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	13 0	SW-W 약간 강 구름조금	27 10	SW-W 구름조금	13 10	SW-W 맑음	28 0	수도권 (109)
	연산	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	14 0	SW-W 약간 강 구름조금	26 10	SW-W 구름조금	13 10	SW-W 맑음	28 0	수도권 (109)
부천	부천	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	17 0	SW-W 약간 강 구름조금	27 10	SW-W 구름조금	17 10	SW-W 맑음	28 0	수도권 (109)
	익정부	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	15 0	SW-W 약간 강 구름조금	30 10	SW-W 구름조금	14 10	SW-W 맑음	29 0	수도권 (109)
고양	고양	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	15 0	SW-W 약간 강 구름조금	29 10	SW-W 구름조금	14 10	SW-W 맑음	30 0	수도권 (109)
	양주	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	14 0	SW-W 약간 강 구름조금	29 10	SW-W 구름조금	12 10	SW-W 맑음	29 0	수도권 (109)
파주	파주	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	14 0	SW-W 약간 강 구름조금	29 10	SW-W 구름조금	12 10	SW-W 맑음	29 0	수도권 (109)
	동두천	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	15 0	SW-W 약간 강 구름조금	30 10	SW-W 구름조금	13 10	SW-W 맑음	30 0	수도권 (109)
연천	연천	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	14 0	SW-W 약간 강 맑음	30 0	SW-W 구름조금	13 10	SW-W 맑음	29 0	수도권 (109)
	포천	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	14 0	SW-W 약간 강 맑음	30 0	SW-W 구름조금	13 10	SW-W 맑음	29 0	수도권 (109)
가평	가평	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	13 0	SW-W 약간 강 구름조금	30 10	SW-W 구름조금	12 10	SW-W 맑음	30 0	수도권 (109)
	구리	SW-W 맑음	- 0	SW-W 맑음	18 0	SW-W 약간 강 구름조금	30 10	SW-W 구름조금	18 10	SW-W 맑음	30 0	수도권 (109)

일부 경상내륙과 전남내륙 폭염특보 발표(내일 11시 발효)된 가운데, 내일과 모레 낮 기온이 33℃ 이상 올라 매우 덥겠음,

그 밖의 내륙에서도 낮 기온이 30℃ 이상 오르는 곳 많겠음

풍계 넘서 ~ 서



## 첨부 5. 당일 서울 경기지방의 대기 불안정과 국지풍 발생

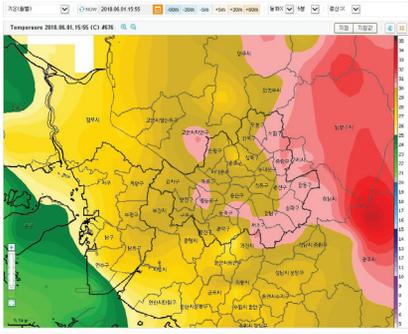


그림 1. 일사 가열에 의한 기온 상승

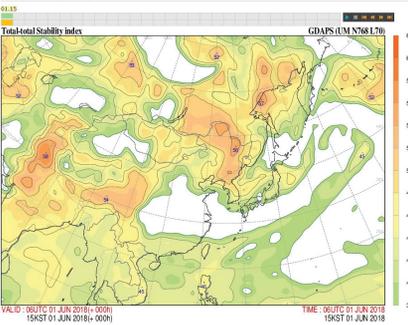


그림 2. 일사 가열에 의한 대류 불안정

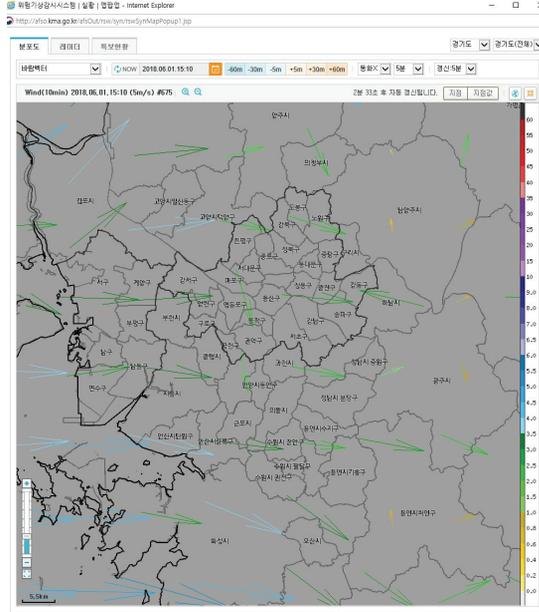


그림 3. 상세 바람벡터

그림 1 : 고기압권내에서 연일 날씨가 맑으므로 오후가 되면 일사에 의한 지표면 가열로 경기 동부 지역은 기온이 국지적으로 35℃까지 상승하고 있다.

그림 2 : 오후에 일사가열에 의한 지면온도 상승으로 대기가불안정해지고 있다.

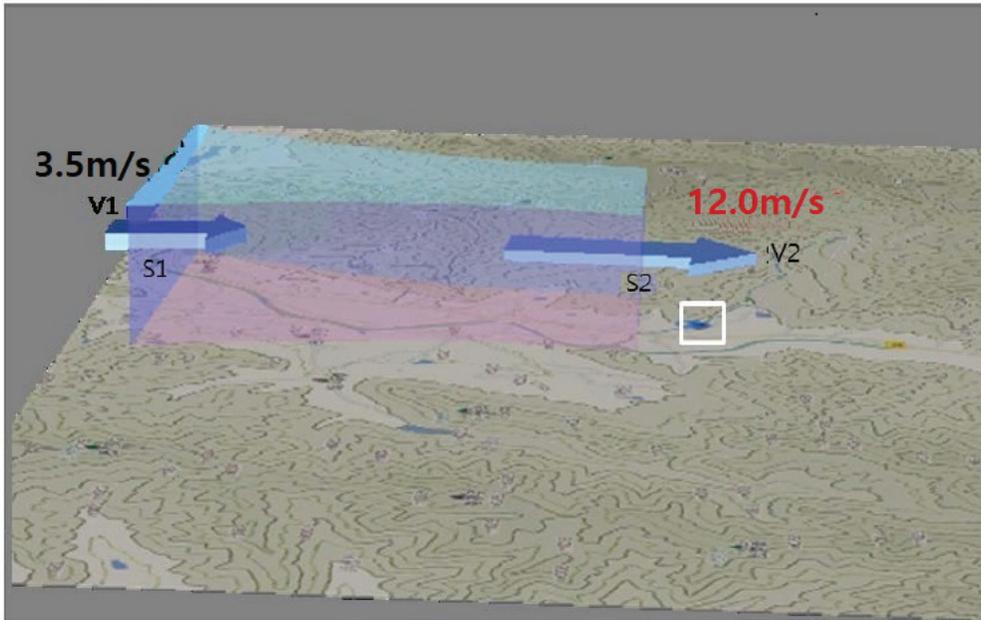
그림 3 : 지면온도가 높아지면 지면과 접한 대기의 온도가 상승하게 되고, 공기의 온도가 상승하면 부피가 팽창하여 국지적으로 열저기압이 생성된다. 그면 그림 3과 같이 서풍 계열의 국지풍이 강화된다.

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오2

#### 첨부 6. 모델링 활용 바람 수치모의 결과와 실측자료 비교

##### 풍동 수치모의 실험



이 모델링은 신청된 기상감정의뢰에 대한 강풍모의(2018년 6월 1일)의 결과이다. 모델의 베이스가 된 지도는 국토지리정보원(NGII)의 지형도(등고선) MAP을 기반으로 하여 그림과 같이 사고발생지점 인근의 지형도를 3D로 제작하였다. 수치모의 설계풍속의 계산은 첨부 6에 따라 수치모의하여 산출하였다.

감정 대상지점은 북쪽과 남쪽에 높은 산이 있고, 서쪽방향은 북쪽과 남쪽에 비해 지상 장애물이 없어 서풍 계열의 바람이 불면 소위 도시풍 또는 먼로 풍이라 하는 벤츄리 효과(베르누이 정리)에 의한 지형효과로 풍속이 급격히 강해진다. 수치모의 결과 감정대상 시점에는 기상청의 정규 지상 관측의 풍속보다 훨씬 강한 풍속 12m/s의 바람이 불었던 것으로 산출되었다.

당일(2018년 6월 1일) 기상청 AWS에서 관측한 경기도 지역의 바람자료인 표 1을 보면 대부분의 지역에서는 2~6m/s의 바람이 불었으나 지형적인 영향으로 일부지역에서는 7m/s 이상이 불고 감정대상지점과 인접한 경기도 양주군 덕정동에서는 11.5m/s의 바람이 불었다.



표 1. 당일(2018년 6월 1일) 경기 동부지역 AWS 바람관측자료

시군	AWS										관측 내분										위치		
	ID	지점명	고도	바람(m/s)		순간바람		감속 감지	감수량(mm)				기온 (C)	습도 (%)	해면 기압 (hPa)	운량 (1/8)	운고(m)						
				DEG	풍향	풍속	DEG		풍향	풍속	15분	60분					3H	6H	12H	일		1층	2층
경기 성남	572	성남	29m	301.8	WNW	2.2	295.5	WNW	4.1	○	0	0	0	0	0	0	29.9	32	1013.5				경기도 성남시중원구 대수동
경기 수원	119	수원	35m	266.8	W	4.3	258.8	W	4.8	○	0	0	0	0	0	0	27.9	37	1014.2	0			경기도 수원시 권선구 서둔동
경기 수원	430	경기	103m	278.3	W	2.6	252.3	WSW	5.5	○	0	0	0	0	0	0	27.3	.	.	.	.	.	경기도 수원시팔달구 배산로3가
경기 시흥	565	시흥	7m	283.6	WNW	3.8	300.9	WNW	4.3	○	0	0	0	0	0	0	27.7	38	.	.	.	.	경기도 시흥시 잠곡동
경기 시흥	367	신현동	26m							.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	경기도 시흥시 포동
경기 안산	966	홍도	38m	251.7	WSW	3.8	245.4	WSW	5.6	○	0	0	0	0	0	0	20.0	59	1014.0				경기도 안산시 대부남동
경기 안산	514	대부도	10m	284.8	WNW	2.4	278.4	W	2.7	○	0	0	0	0	0	0	24.5	54	.	.	.	.	경기도 안산시 대부북동
경기 안산	545	안산	6m	268.2	W	3.3	286.4	WNW	4.3	○	0	0	0	0	0	0	25.9	45	.	.	.	.	경기도 안산시 사동
경기 안산	435	고간	30m	276.8	W	1.9	290.5	WNW	4.1	○	0	0	0	0	0	0	26.9	40	.	.	.	.	경기도 안산시단원구 고간동
경기 안성	470	고삼	68m	264.6	W	2.2	273.5	W	4.5	○	0	0	0	0	0	0	30.0	34	.	.	.	.	경기도 안성시 고삼면 가우리
경기 안성	495	하계정	25m	275.5	W	5.5	270.0	W	7.4	○	0	0	0	0	0	0	29.5	40	.	.	.	.	경기도 안성시 미양면 겨정리
경기 안성	443	보계	90m	327.5	NNW	2.9	327.1	NNW	2.9	○	0	0	0	0	0	0	27.4	.	.	.	.	.	경기도 안성시 보계면 불현리
경기 안성	468	서운	63m	186.3	S	4.0	188.9	S	5.6	○	0	0	0	0	0	0	28.7	41	.	.	.	.	경기도 안성시 서운면 안리
경기 안성	467	양성	55m	336.5	NNW	2.8	335.6	NNW	4.5	○	0	0	0	0	0	0	28.8	43	.	.	.	.	경기도 안성시 양성면 통합리
경기 안성	516	안성	24m	284.0	WNW	5.1	272.8	W	5.9	○	0	0	0	0	0	0	29.5	45	.	.	.	.	경기도 안성시 옥산동
경기 안성	469	일죽 +	95m	295.7	WNW	3.8	293.3	WNW	4.6	○	0	0	0	0	0	0	30.2	37	.	.	.	.	경기도 안성시 일죽면 송천리
경기 안양	434	안양	96m	287.8	WNW	4.2	285.1	W	7.6	○	0	0	0	0	0	0	26.5	42	.	.	.	.	경기도 안양시동안구
경기 안양	365	석수동	42m	26.2	NNE	2.6	22.7	NNE	7.0	○	0	0	0	0	0	0	27.3	.	.	.	.	.	경기도 안양시동안구 석수동
경기 양주	598	양주	89m	303.7	WNW	3.5	357.2	N	5.0	○	0	0	0	0	0	0	29.5	39	.	.	.	.	경기도 양주시 왕적면 가남리
경기 양주	351	남면	135m	114.0	ESE	2.6	124.0	SE	7.2	○	0	0	0	0	0	0	29.4	.	.	.	.	.	경기도 양주시 남면 신산리
경기 양주	373	남방	163m	300.5	WNW	1.9	208.1	SSW	2.9	○	0	0	0	0	0	0	30.4	.	.	.	.	.	경기도 양주시 남방동
경기 양주	353	낙양동	89m	304.6	NW	4.0	272.0	W	11.5	○	0	0	0	0	0	0	31.1	.	.	.	.	.	경기도 양주시 덕정동
경기 양주	375	백석읍	150m	168.4	SSE	1.2	216.6	SW	1.2	○	0	0	0	0	0	0	30.1	.	.	.	.	.	경기도 양주시 백석읍 오산리
경기 양주	372	은현면	108m	282.9	WNW	3.7	298.1	WNW	4.9	○	0	0	0	0	0	0	29.8	.	.	.	.	.	경기도 양주시 은현면 선암리
경기 양주	352	장흥면	163m	274.1	W	1.6	265.0	W	6.2	○	0	0	0	0	0	0	28.3	.	.	.	.	.	경기도 양주시 장흥면 일영리
경기 양평	547	양평	109m	273.0	W	2.1	244.7	WSW	2.5	○	0	0	0	0	0	0	30.7	41	.	.	.	.	경기도 양평군 양평면 양척리
경기 양평	202	양평	47m	313.0	NW	2.8	340.3	NNW	3.9	○	0	0	0	0	0	0	31.3	29	1012.7	0			경기도 양평군 양평면 양근리
경기 양평	449	옥천	44m	258.6	W	2.8	270.7	W	3.8	○	0	0	0	0	0	0	29.9	.	.	.	.	.	경기도 양평군 옥천면 옥천리
경기 양평	326	용문산	191m	63.5	ENE	0.7	159.5	SSE	2.1	○	0	0	0	0	0	0	29.4	45	.	.	.	.	경기도 양평군 용문면 용평리
경기 양평	573	철운	120m	204.0	SSW	3.1	205.3	SSW	5.3	○	0	0	0	0	0	0	29.9	.	.	.	.	.	경기도 양평군 황윤면 용두리
경기 여주	465	가남	85m	292.2	WNW	2.1	313.0	NW	2.9	○	0	0	0	0	0	0	30.0	.	.	.	.	.	경기도 여주시 가남면 대평리
경기 여주	466	금사 +	60m	308.2	NW	0.6	248.2	WSW	0.9	.	0	0	0	0	0	0	32.9	31	.	.	.	.	경기도 여주시 금사면 미포리
경기 여주	574	대신	40m	290.9	WNW	2.1	284.1	WNW	2.6	○	0	0	0	0	0	0	31.1	.	.	.	.	.	경기도 여주시 대신면 초현리

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오2

#### 첨부 7. 설계(수치모의)풍속의 계산

### 1. 시험설계 및 가설설정

#### 1.1 사이트 선정

- 사이트 선정은 감정대상지점에 발생한 국지적 기상현상 혹은, 종관기상현상의 영향 범위를 분석 및 설정한다. 만약 기상현상이 시간에 따라 급격하게 변한 경우, 시간에 따라 관측소를 다르게 설정하는 방법도 검토해야한다.

가) 종관 기상현상이 있는 경우 : 강풍이 발생하는 종관기상현상은 보통 태풍, 전선풍, 계절풍에 의해 발생하기 때문에 각 기상현상에 맞는 최적화된 구역을 설정한다.

태풍 : 감정 대상지점  $ykm \times ykm$  이내

전선풍 : 감정 대상지점  $zkm \times zkm$  이내

계절풍 : 감정 대상지점  $tkm \times tkm$  이내

나) 국지적 기상현상 : 국지적 기상현상에 의해 돌풍이 발생한 경우

감정 대상지점  $lkm \times lkm$  이내

#### 1.2 기간 설정

- 감정대상지점에 국지적 기상현상 혹은 종관기상 현상이 발생 했을 것이라 추정되는 시간을 추정한다. 관측소기준으로 강풍이 가장 강하게 분시점과 기상현상이 발생한 시점을 비교분석하여 감정 시점을 결정한다.

가) 종관 기상현상이 있는 경우 : 태풍, 전선풍, 계절풍과 국지적 기상현상들의 평균 발생 시간을 분석하여 발생 시간을 정한다.

태풍 : 태풍 발생 전 1시간(예시)

전선풍 : 전선풍 발생 전 1시간(예시)

계절풍 : 계절풍 발생 전 1시간(예시)

나) 국지적 기상현상 : 국지적 기상현상에 의해 돌풍이 발생한 경우

국지풍 발생 전 10분(예시)



### 1.3 지표조도 구분 및 자료의 균질화

- 각 관측소별 지표조도를 DEM자료와 현장조사를 통해 상세하게 분석하여 지표조도를 평가한다.
- 각 관측소의 높이가 다르기 때문에 1,1~1,2단계에서 수집한 자료를 지표조도 C 높이 10m인 자료로 균질화 시킨다.

### 1.4 내삽방법 및 가중치 설정

- 풍향 풍속 측정에 적합한 내삽방법을 설정한다. 보편적으로 공간 내삽에 많이 사용되는 스플라인 보간법, IDW 보간법, 크리깅 보간법 중 본 보고서에서는 IDW 방법을 선택 하였다. IDW 방법 사용시 풍향 풍속측정에 최적화된 가중치 P를 계산하는 것이 중요하다.

### 1.5 지형할증 가중치 설정

- DEM(수치표고자료) 자료를 통한 정밀한 지형할증 계수를 계산한다.

### 1.6 골바람효과 가중치 설정

- DEM(수치표고자료)을 통한 지형분석을 통해 논문 ‘두 산지 사이의 골바람효과에 의한 풍속할증 현상의 검토’ 결과를 통해 골바람 가중치를 예측한다.

## 3. 분석(계산)방법

### 3.1 자료의 균질화

- 감정대상 지점으로 높이와 거리가 다른 5개지점의 풍속과 풍향을 지표조도 C 높이 10m로 균질화 시킨다.

$$V_{C10} = \frac{V_z}{K_{zr}} = \frac{V_Z}{1.67} \left( \frac{Z_g}{Z} \right)^\alpha$$

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오2

#### 3.2 균질화된 자료 내삽 및 감정대상 지점의 풍속계산

- 균질화 시킨 자료를 감정대상 지점에 내삽하여 감정대상지점 높이 10m인 곳의 풍향 풍속을 계산한다. 이 때 내삽방법은 IDW(Inverse Distance Weight)방법을 사용한다.

$$u(x) = \frac{\sum_{k=0}^N w_k(x) u_k}{\sum_{k=0}^N w_k(x)} \quad \text{where} \quad w_k(x) = \frac{1}{d(x, x_k)^p}$$

- 이렇게 내삽한 자료를 감정대상지점 높이로 변환하여 풍향과 풍속을 다시 계산한다.

$$V(Z) = V_{Ho} \left( \frac{Z}{Z_H} \right)^\alpha$$

#### 3.3 지형할증 계수의 계산

- 감정 대상지점의 풍속이 동서 방향으로 지형할증이 되기 때문에 지형할증 효과를 계산해야한다.

$$K_{zt} = 1 + \frac{k_t s \Phi'}{1 + 3.7 I_z}$$

#### 3.4 골바람 효과 및 지형할증 효과

- 동서방향으로 위에서 계산한 지형할증 계수를 곱해주고 남북방향으로는 풍동실험을 결정된 골바람효과의 최대값인 1.14배를 곱해준다.

#### 3.5 최종풍속 계산

- 지형 할증이 된 동서방향풍속과 골바람 효과를 받는 남북방향의 벡터합을 계산한다.

$$V = \sqrt{(V_{Y,HO} K_{zt} K_M)^2 + (V_{X,HO} K_{zt} K_M)^2}$$



#### 4. 각종 계수 값

- 각 지표상황에 따른 지표조도의 분류 및 관련 값들은 아래 표와 같음
- Google Earth를 기준으로 5개 지점에 대한 지표조도를 구분함
- 모든 AWS의 자료를 지표조도가 C이고, 높이가 10m인 자료로 아래 공식을 통해 균질화 한다.

$Z$  : 지표면에서의 높이

$Z_b$  : 대기경계층시작 높이

$Z_g$  : 기준경도풍 높이

$\alpha$  : 풍속고도분포지수

표 1. 지표면 상태에 따른 지표조도 구분

지표면 조도구분	주변지역의 지표면 상태
A	대도시 중심부에서 고층건축물이 밀집해 있는 지역
B	수목 높이 3.5m 정도의 주택과같은 건축물이 밀집해있는 지역 / 중층 건물(4~9층)이 산재해있는 지역
C	높이 1.5~10m 정도의 장애물이 산재해 있는 지역 / 수목, 저층 건물이 산재해 있는 지역
D	장애물이 거의없고, 주변 장애물의 평균 높이가 1.5m 이하인 지역 / 해안, 초원, 비행장

표 2. 지표조도에 따른  $K_{zr}$  값 구분

지표면으로부터 높이 z(m)	A	B	C	D
$z \leq z_b$	0.58	0.81	1.0	1.13
$z_b < z \leq Z_g$	$0.22z^\alpha$	$0.45z^\alpha$	$0.71z^\alpha$	$0.98z^\alpha$

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오2

표 3. 지표조도에 따른  $Z_b, Z_g, \alpha$  값

지표조도 구분	A	B	C	D
$z_b$	20m	15m	10m	5m
$Z_g$	550m	450m	350m	250m
$\alpha$	0.33	0.22	0.15	0.1

$$V_{C,10} = \frac{V_z}{K_{zr}} = \frac{V_Z}{1.67} \left( \frac{Z_g}{Z} \right)^\alpha$$

### 5. 균질화된 자료 내삽 및 감정대상 지점의 풍속계산

#### IDW 내삽법

- 이미 알고 있는 값으로부터 알고자 하는 값을 보간 하는 방법
- 주어진 점  $x$ 에 대한 보간 된 값  $u$ 를 결정하는 일반화된 형태의 보간 함수는 아래와 같음.

$$u(x) = \frac{\sum_{k=0}^N w_k(x) u_k}{\sum_{k=0}^N w_k(x)} \quad \text{where} \quad w_k(x) = \frac{1}{d(x, x_k)^p}$$

- $N$ 은 기상대의 개수,  $w_k$ 는 가중치 값  $u$ 는 보간 된 값
- $w_k$ 에 대한 함수는 여러 개가 존재하며, 위의 수식에 있는  $w_k$ 는 Shepard 방식
- 이 때,  $p$ 는 0보다 큰 실수 값으로  $p$ 의 범위가 0~1이면 전체적인 양상이 좁고 날카로우며, 1보다 크면 넓고 부드럽게 보간 됨
- 이번 감정서에서는 일반적으로 통용되어 사용하는  $p=2$  값 사용



**높이 보정**

- 내삽된 결과를 감정대상지점으로 위치 보정
- y축 방향으로 불어오는 바람은 골바람 효과를 받아 높이를 감정대상 지점의 높이인 600m로 보정해 주고, x축 방향으로 불어오는 바람은 산의 시작위치부터 지형할증이 되기 때문에 산의 시작된 위치 500m로 보정

$$V(Z) = V_{Ho} \left( \frac{Z}{Z_H} \right)^\alpha$$

- $Z$ 는 감정대상지점의 높이  $V_{Ho}$ 는 내삽된 풍속,  $Z_H$ 는 높이 10m,  $\alpha$ 는 감정대상 B지점의 지표 조도 상수인 0.22를 대입하여 계산
- 이 때,  $p$ 의 값을 2, 1,  $\frac{1}{2}$ 로 바꿔가면서 최적의 내삽 값을 추정

$x$  : 정점으로부터의 수평거리 (m) 485m  
 $z$  : 국지 지표면으로부터의 임의높이 (m) 565m  
 $H$  : 언덕, 산, 경사지의 정점높이 (m) 620m  
 $L_u$  : 언덕, 산, 경사지의 정점 중앙으로부터 아래로

$\frac{H}{2}$ 인 지점에서 풍상측 경사지 지점까지의 수평거리 (m) 969m

$\phi'$  :  $\phi$  또는 0.3중 작은값 0.3

$\phi$  : 풍상측경사 ( $= \frac{H}{2L_u}$ ) 0.32

$I_z$  : 높이  $z$ 에서의 난류강도  $I_z = 0.1 \left( \frac{z}{Z_g} \right)^{-\alpha - 0.05} = 0.1 \left( \frac{565}{450} \right)^{-0.22 - 0.05} = 0.092$

$Z_g$  : 기준경도풍 높이 (m) 지표조도 B 기준 450m

## 02 기상감정 가상 시나리오

### 시나리오2

#### 6. 지형할증 계수의 계산

$$k_t = 1.4 + 3.6(\phi_d - 0.05) = 1.13$$

$s$  : 위치 계수

$$= \left(1 - \frac{|x|}{1.5L^*}\right) \left(1 - \frac{0.6z}{H}\right) = \left(1 - \frac{485}{1.5 \times 1054}\right) \left(1 - \frac{0.6 \times 565}{620}\right) = 0.314 \quad \phi > 0.3$$

풍하측인 경우

$L^* = L_u$  와  $1.7H$  중 큰 값 : 언덕, 산  $1.7H = 1054m$

$$K_{zt} = 1 + \frac{k_t s \Phi'}{1 + 3.7I_z} = 1 + \frac{1.89 \times 0.314 \times 0.3}{1 + 3.7 \times 0.092} = 1.13$$

#### 7. 골바람 효과 및 지형할증 효과

- 골바람 효과의 최대 증속률인 1.14만큼의 효과를 받았다고 가정하고, 지형할증은 위에서 계산한 1.13을 적용하여 방향별 풍속을 계산한 결과는 아래와 같다.

표 4. 내삽한 감정대상지점의 1분 풍속의 평균값

	골바람(1.14)	지형할증(1.13)	$V(m/s)$
$\sqrt{d}$	4.22	-12.81	13.49
$\frac{1}{d}$	3.04	-11.97	12.35
$\frac{1}{d^2}$	1.47	-10.83	10.93

표 5. 내삽한 감정대상지점의 1분 최대풍속의 평균 값

	골바람(1.14)	지형할증(1.13)	$V(m/s)$
$\sqrt{d}$	5.5	-17.89	18.72
$\frac{1}{d}$	3.98	-16.6	17.07
$\frac{1}{d^2}$	1.88	-14.55	14.67



표 5. 내삽한 감정대상지점 30분 최대풍속

	골바람(1.14)	지형할증(1.13)	$V(m/s)$
$\sqrt{d}$	5.55	-35.37	35.80
$\frac{1}{d}$	3.363	-30.96	31.14
$\frac{1}{d^2}$	0.9	-23.65	23.67

### 8. 최종풍속 계산

- 최종 설계풍속은 아래 식과같이 계산한다.

$$V = \sqrt{(V_{Y,HO}K_{zt}K_M)^2 + (V_{X,HO}K_{zt}K_{zt})^2}$$

표 6. 각 자료 수집 방법별 최종 예상 풍속

	1분풍속의 평균	1분최대풍속의 평균	30분최대풍속
$\sqrt{d}$	13.49	18.72	35.80
$\frac{1}{d}$	12.35	17.07	31.14
$\frac{1}{d^2}$	10.93	14.67	23.67

### 9. 자료 분석

- 강풍이 불 때는 평균풍속에 대한 최대돌풍의 비가 주로 지면의 거칠기에 관계된다. Sheppard에 의해 아래표와 같이 풍속계고도에서 평균풍속에 대한 최대돌풍의 비가 경험식으로 주어진다.

표 7. 지형별 돌풍과 일반풍 상관관계

지형	실측 비율	평균 비율
대양	1.3	1.3
평지에 솟은 독립된 언덕	1.4~1.5	1.4
평평한 시골 들판	1.4~1.8	1.6
나무, 가옥 등이 있는 농장 지역	1.2~2.0	1.7
삼림, 마을 등 기복 있는 교외 지역	1.7~2.1	1.9
큰 도시의 중심지역	1.9~2.3	2.1

## 02 기상감정 가상 시나리오

시나리오2

### 첨부 8. 실제 차가 받는 항력

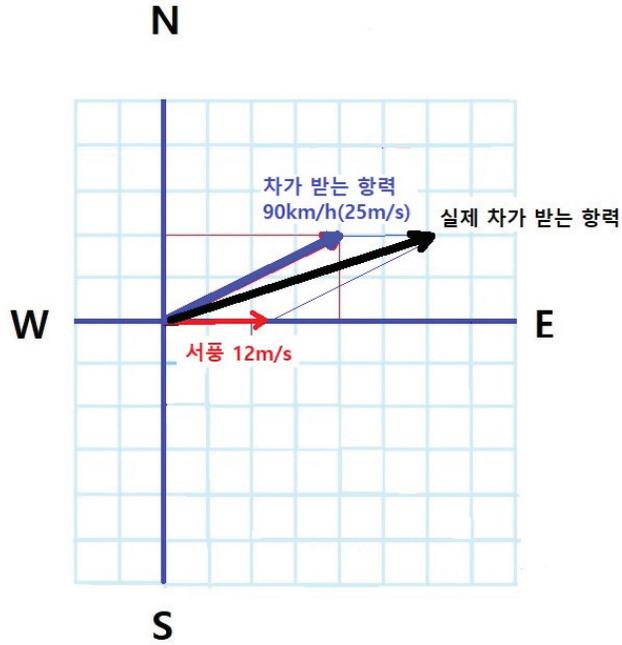


그림 1. 실제 차가 받는 항력

서풍이 12m/s 로 불고 차가 ENE 방향으로 90km/h(25m/s)로 달리면 실제 차가 받는 항력은 33m/s(119km/h)가 된다.



### 첨부 9. 풍압과 풍속과의 관계

풍압은 바람에 의해 물체가 받는 압력을 말하며, 공기 밀도, 풍속의 제곱, 바람에 직각인 판의 면적에 비례한다.

일반적으로 풍압은

$$P_u = C \cdot F \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} \text{ 이다.}$$

여기서  $C$ 는 풍압계수,  $F$ 는 바람을 직각으로 받는 판(板)의 면적,  $\rho$ 는 공기의 밀도,  $v$ 는 풍속이다.  $C$ (풍압계수)를 0.17로 했을 간단 풍압과 풍속의 관계를 보면 표 1.과 같다.

표 1. 풍압과 풍속과의 관계

풍속 (m/s)	1	5	10	15	20	25	30	40	...
풍압 (kg/m <sup>2</sup> )	0.1	2.5	10.2	22.9	40.8	63.7	91.8	163.2	...

표 1에 풍속에 따른 풍압의 변화가 나타나 있다. 표에서 보는 바와 같이 풍속이 약할 때는 단위면적당 받는 압력이 별거 아니지만, 풍속이 증가하여 10m/s 일 때 1.2kg/m<sup>2</sup>, 20m/s일 때 40.8kg/m<sup>2</sup>, 30m/s일 때 91.8kg/m<sup>2</sup> 등으로 기하급수적으로 풍압이 늘어남을 알 수 있다.

트럭이 시속 32m/s 의 항력을 받는다면

트럭 단면(13.5m<sup>2</sup>)이 빈틈없는 상자모양이므로, 정면으로 트럭이 받는 힘은

$$P_u = C \cdot F \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2} = 0.17 \times 1 \times 1.2 \times \frac{33^2}{2} = 111.08 \text{ N/m}^2$$

111.08N/m<sup>2</sup> × 13.5m<sup>2</sup> × 9.8m/s = 14,696 ton 이므로

트럭의 면적이 13.5m<sup>2</sup> (4.5m×3m) 이라면 약15톤의 하중을 받는 효과가 있다.