



# 기상감정 사례집

(태풍·해상안개·호우)







# CONTENTS

사례집 이용안내	01
----------	----

## 가상시나리오 1 (태풍)

0 시나리오 개요	04
1 의뢰내용	06
2 조사내용	06
3 기상감정 결과 및 의견	13
4 관련 전문가 자문	16

## 가상시나리오 2 (해상안개)

0 시나리오 개요	36
1 의뢰내용	38
2 조사내용	39
3 기상감정 결과 및 의견	42

## 가상시나리오 3 (호우)

0 시나리오 개요	70
1 의뢰내용	72
2 조사내용	73
3 기상감정 결과 및 의견	75
4 별첨자료	105



# 사례집 이용안내



- 01 이 사례집은 위험기상과 관련된 기상감정의 기상 사례를 소개하였음
- 02 본 사례는 기상이며, 특정 지명 및 인물과 관련이 없음
- 03 본 사례의 내용은 사례 예시 및 소개를 위해 실제와 일부 다를 수 있음
- 04 본 사례는 「기상감정 표준매뉴얼」(2017년)의 양식을 기반으로 작성하였으며, 기상감정사의 감정서를 최대한 반영하였음
- 05 이에 실제 각 기상기업에서 발행하는 기상감정서와 구성 및 내용이 다를 수 있으므로, 본 사례집을 기상감정의 한 사례로서 활용하길 권함
- 06 향후 위험기상(태풍 등) 발생 시 기상감정 사례집이 유용하게 활용되길 기대함
- 07 사례집에 관한 문의 및 참고 사이트
  - 한국기상산업기술원 산업성장본부 기상산업정책연구실(070-5003-5214)
  - 한국기상산업기술원 홈페이지([www.kmiti.or.kr](http://www.kmiti.or.kr))







01

# 가상시나리오(태풍)

한국기상감정사협회 기상감정사 | 권태순

- 0 시나리오 개요
- 1 의뢰내용
- 2 조사내용
- 3 기상감정 결과 및 의견
- 4 관련 전문가 자문





## 경남 사천만 양식장 태풍으로 인한 피해사건 개요

기상감정을 의뢰한 사고는 경상남도 사천시 OO면 OO리 해상 가두리양식장 △△△수산 주인 ○○○이 「2018년 8월 22일 2018년 제19호 태풍 솔릭(SOULIK)이 통과한 후 양식장을 점검 도중 농어를 양식중인 수조 내 그물을 고정하는 줄이 풀려있는 것을 확인하고, 풀려진 줄을 즉시 결박하고, 양식장 직원들과 함께 잔존수량을 확인하였으나 양식중인 어류가 대량 유실되는 사고」가 발생했고 진술했다.

이 사고에 대하여 □□조합 정책보험부에서 손해사정 조사자를 파견하여 조사한 결과 「이 사건은 사고지역내 태풍 솔릭으로 인하여 피해가 발생한 다른 양식장은 동일하게 양식시설물 프레임이 파손 및 해상에 투기되어 있던 부유물이 그물과 충돌해 파단 되어 양식중인 수산물이 유실되는 경우가 전형적인 태풍피해로 확인되었으나, 이 사건 양식장은 가두리양식장의 프레임 파손 및 그물파손 등 시설물에 대한 파손은 없었다. 그물 줄의 매듭은 일반적인 파고에는 견딜 수 있어야 당연한 것이고, 불가항력적인 파고 등의 이유로 인장력이 가해진다면 그물 줄이 파단 되어야 하나, 그물 줄이 풀리는 현상은 그물 줄을 느슨한 상태로 결속되어 있거나 가두리양식장 시설물에 대한 관리부주의로 판단되고, 사고가 발생한 수조는 수협이 정한 어류의 적정사육기준 130%를 초과하여 밀식 사육 상황에서 태풍의 영향으로 높은 파고, 강풍 등의 충격으로 인해 그물에 하중이 가해져 사고발생 위험성이 현저히 높아지며, 이 사건 양식장의 타 수조를 비교 시 그물 재질, 매듭형식이 동일함에도 이 사건의 밀식상태의 수조에서만 사고가 발생하였다. 따라서 이 사건의 사고는 면책인 것으로 판단 됨」으로 보고를 했다.

이와 같은 손해사정 조사자의 의견에 따라 □□조합 정책보험부에서는 가두리양식장 주인에게 자연재해가 아닌 가두리양식장 시설물의 관리부주의로 판단하여 보험금 지급을 거절하였으나, 가두리양식장 △△△수산 ○○○은 제19호 태풍에 의한 불가항력적인 자연재해로 보험금을 지급해 줄 것을 주장함에 따라 □□조합 정책보험부에서는 이 사건의 원인을 규명하기 위하여 기상감정을 의뢰하게 되었다.

# 기 상 감 정 서

1. 업체명 : (사)한국기상감정사협회
2. 대표자 : ○ ○ ○
3. 기상감정사 : ○ ○ ○
4. 계약명 : 경남 사천시 ○○면 ○○리 해상 △△△수산 어류유실 사고 감정

위 계약에 따라 기상감정서를 발급합니다.

2020 년 9 월 25 일

(사)한국기상감정사협회장 취인



## 1 의뢰내용

1) 감정대상 일시 : 2018년 8월 22일(수)~8월 24일(금)

2) 감정대상 장소 : 경상남도 사천시 00면 00리 해상 가두리양식장

### 3) 기상감정 목적

- 경상남도 사천시 00면 00리 해상 △△△수산 가두리양식장은 2018년 제19호 태풍 ‘솔릭’ 통과 후 양식중인 어류의 대량 유실이 발생했다.
- 사고가 발생한 「경남 사천시 00면 00리」 해상은 해상예보구역상 ‘경남서부남해앞바다’로 (2018년 8월 22일 14시부터 풍랑주의보가 발효되어 월 22일 17시에 태풍주의보로 강화되었고, 8월 23일 17시는 태풍경보로 더욱 강화 되었으며, 8월 24일 10시에 풍랑주의보로 약해졌고, 8월 24일 17시에 풍랑주의보가 해제되어 해상특보가 51시간이 지속되었다.
- 상기 사건과 관련하여 □□조합 정책보험부는 사고해상의 뉴월드수산 가두리양식장이 2018년 제19호 태풍 ‘솔릭’으로 양식장 그물 줄이 풀려 양식중인 어류의 대량 유실이 발생한 양식장 주인 ○○○의 주장에 따라 사고원인을 규명하기 위해 기상감정을 의뢰했다.
- 의뢰인 주소 : 서울시 ○○구 ○○동 ○○번지 □□조합 정책보험부
- 의뢰인 성명 : ○ ○ ○(수산업협동조합 정책보험부 ○○)

## 2 조사내용

1) 조사기간 : 2020년 8월 13일 ~ 2020년 9월 15일

### 2) 사전조사

#### 가. 감정의뢰 사고 개요

- 일시 : 2018년 8월 22일(수) ~ 8월 24일(금)
- 장소 : 경상남도 사천시 00면 00리 해상 가두리양식장
- 개요 : 사고해상의 가두리양식장 △△△수산이 2018년 제19호 태풍 ‘솔릭’ 으로 양식장 그물 줄이 풀려 양식중인 어류의 대량 유실이 발생 함

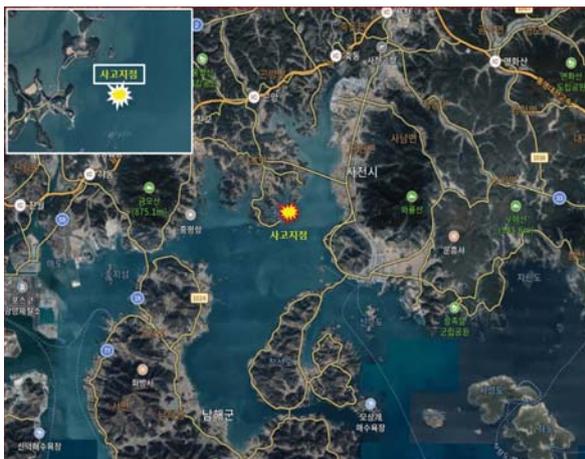
## 나. 감정대상 지점 환경

### ○ 지형환경

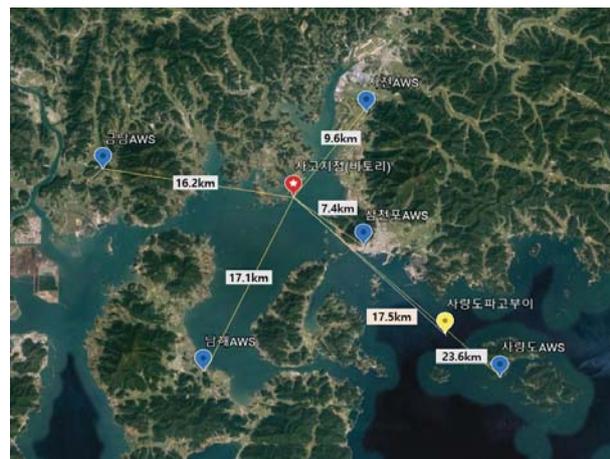
- 감정대상 사고지점은 '경상남도 사천시 OO면 OO리' 해상으로 북서쪽 OO 섬 동쪽 끝단 어항(漁港)으로부터 1,200m(수심 12m)에 위치한 사천만 내해(內海)에 위치하고 있는 가두리양식장 임
- 동쪽으로는 삼천포시 북서쪽 각산(해발 408.4m)과 사천시 동쪽의 천왕봉(해발 603m), 새섬봉(해발801.4m), 와룡산 등이 위치하고, 북쪽으로는 사천만의 사천대교가 있고, 인근에는 월등도, OO 섬 동쪽 끝이 위치해 있다.
- 서쪽인근에는 OO 섬, 멀리는 금오산(해발 875.1m)이 위치하고, 남쪽으로는 남해도-창선도-녹도 등이 남해서부해상의 외해(外海)를 가로막고 있어 외해의 파고 및 바람 등의 직접적인 영향이 없는 해상이다.

### ○ 관측환경

- 기상감정대상 사고지점은 주변에 육상관측 지점은 없고 사고지점에서 가장 가까운 삼천포AWS는 남동쪽 7.4km지점, 사천AWS는 북동쪽 9.6km지점, 하동 금남AWS는 서북서쪽 16.2km지점, 남해AWS는 남남서쪽 17.1km지점에 있음
- 해상관측 지점은 사랑도 파고부이는 남동쪽 17.5km해상에 삼천포항 조위관측지점은 삼천포AWS지점 인근에 있음



| 사고지점 위치도 |



| 사고지점 주변 관측망도 |



### 3) 자료분석

#### 가. 분석 개요

- 본 감정은 감정대상 지점인 '경상남도 사천시 OO면 OO리' 해상 가두리양식장에서 2018년 8월 22일(수)부터 8월 24일(금)까지 2018년도 제19호 태풍 솔릭(SOULIK)의 영향으로 발생한 가두리양식장 피해인지를 분석하기 위해 기상청의 종관 및 수치국지 지상분석일기도를 분석하여 태풍의 이동동향을 분석했다.
- 감정대상인 사고는 2018년도 제19호 태풍 '솔릭' 및 제20호 태풍 '시마론(CIMARON)'이 한반도에 영향을 주는 기간 동안 발생한 사고로 두 개의 태풍의 이동 동향 및 미치는 영향 정도를 파악하기 위해 기상청의 태풍정보를 분석했다.
- 감정대상 사고지점이 해상으로 사고 당시의 해상 날씨 상태를 파악하기 위해 부산지방기상청의 단기예보 및 해상특보를 분석했다.
- 사고지점은 경상남도 사천만에 위치한 해상으로 근접하여 육상 및 해상기상 관측지점이 없어 사고해상에서 가장 가까운 기상청의 4개 육상AWS(삼천포, 사천, 금남, 남해)와 사랑도파고부이 해상관측자료 및 국립해양조사원의 삼천포 조위관측자료를 조사하여 사고해상의 바람과 파고를 추정하고 파고와 조위와의 상관관계를 분석했다.

#### 나. 일기도 분석

- 종관지상일기도
  - 2018년 제19호 태풍 솔릭(SOULIK)은 2018년 8월 22일 21시에 제주도 북서해상에서 중심기압 955hPa, 중심최대풍속 77kts, 북서방향(9kts)으로 느리게 약화되면서, 중심이 전남 무안 앞바다를 거쳐 강원도 삼척부근 내륙을 8월 24일 09시에 통과하면서 이 시간동안 사고해상에 태풍의 영향을 미쳤다(첨부 1-1, 첨부 1-2).
  - 2018년 제20호 태풍 '시마론(CIMARON)'은 일본 열도 동남쪽에서 빠르게 약화되면서 북상하여 도쿄 서쪽을 거쳐 대화해상으로 통과했으나 사고해상에는 영향을 미치지 못했다.
- 수치 국지지상 분석일기도
  - 태풍 솔릭(SOULIK)이 사고해상에 가장 크게 영향을 미치기 시작되는 2018년 8월 23일 15시에 제주도 북서해상에서 중심기압 958hPa로 북상하여 18시 목포SW쪽 먼 바다(963hPa), 21시 진도앞바다(961hPa), 24시 목포에 상륙(981hPa), 8월 24일 03시 광주광역시 부근(981hPa)으로 중심이 통과하면서 24일 00시부터 03까지 사고해상 최 근접 통과하면서 기압경도력 강화로 사고해상에는 바람이 가장 강했을 것으로 예상된다(첨부 1-3, 첨부 1-4).

## 다. 태풍정보 분석

### ○ 제19호 태풍 솔릭(SOULIK)

- 8월 22일 09시 제주도 서귀포 남남동쪽 약 340km 해상에서 북상중으로 이 시각부터 사고해상이 바람 15m/이상의 강풍 역에 들고, 23일 21시 전남 목포 남서쪽 약 70km해상으로 북상하여 사고해상은 태풍중심 가까워 지면서 바람 25m/s의 폭풍 역 범위 경계지점에 들었다. 24일 00시 목포 동쪽 약 30km 육상으로 이동하면서 강도가 약해져 사고해상은 폭풍역 범위에서 벗어났으며, 23일 21시부터 24일 00시까지 바람이 가장 강했을 것으로 추정된다(첨부 2-1).

### ○ 제20호 태풍 시마론(CIMARON)

- 8월 23일 21시 일본 오사카 남서쪽 약 140km 육상으로 우리나라에 최 근접 위치이나 사고해상에는 영향을 미치지 못하고, 오히려 남해동부해상은 19호 태풍의 강풍 역 남동풍 계열바람과 제20호 태풍 북동풍 계열의 반대방향의 바람이 만나 풍속이 악화될 것으로 판단된다(첨부 2-2).

## 라. 예보 및 특보 분석

### ○ 예보분석

- 사고해상은 '경남서부남해앞바다'로 8월 23일 05시 부산지방기상청이 발표한 해상단기 예보는 23일은 동~남동풍이 10~15m/s로 불고 흐리고 비 오는 날씨에 파고는 2.0~5.0m 오후에 바람이 강해지고, 24일 오전은 남~남서풍이 12~20m/s로 불고 흐리고 가끔 비 오는 날씨에 파고는 2.0~6.0m, 오후에는 남~남서풍이 12~20m/s로 불고 구름이 조금 끼고 파고는 3~6m로 태풍의 중심은 바람이 더 강해져 파고는 오후에 더 높을 것으로 예보 했다(첨부 3-1).

### ○ 특보분석

- 사고해상은 8월 22일 14시 풍랑주의보가 발효되고, 22일 17시 태풍주의보로 강화되었고, 24시간 후인 23일 17시에는 태풍경보로 더욱 강화되었고, 8월 24일 10시에 풍랑주의보로 약화 되어서 24일 17시에 해상특보 끝나 51시간지속 되었다(첨부 3-2).
- 8월 24일 00시 기준으로 태풍경보는 충청도남부, 경남북서부, 전라남북도, 서해남부, 남해서부, 남해동부(통영앞바다 주의보), 제주도 부근 해상이며 나머지 남한 전역(서울 제외)에는 태풍주의보가 발효 중이었다(첨부 3-3).



## 마. 관측자료 분석

### ○ 육상 관측(AWS)자료 분석

- 사고해상으로부터 남동쪽으로 7.4km지점에 위치한 삼천포AWS(해발 29m)는 남해동부해상에서 사고지점으로 이동하는 바람 등 기상현상과 제19호 태풍 통과 시 남동풍 계열 바람이 선행 관측되고, 사고지점이 삼천포AWS 관측지점보다 더 내해(內海)에 위치하여 기상현상 및 해상상태의 강도는 동일하거나 적을 것으로 추정된다.
- 삼천포지방은 8월 22일 09시부터 24일 03시까지 기압이 하강하여 태풍이 최 근접 통과시간이 이때 인 것으로 판단되며, 이 시간동안 풍향은 지속적으로 북동풍으로 태풍중심이 사고지점 남서쪽에 위치했음을 나타내고, 태풍중심이 최 근접 통과 후는 남동풍이 지속적으로 불고 있다. 이 시간동안 풍속은 6~10m/s 강하게 24일 0시까지 지속되고 기압상승과 함께 풍속이 감소하고 있다(첨부 4-1).
- 사천AWS(해발 24m)는 사고해상으로부터 북동쪽으로 9.6km지점 내륙에 위치하여 서쪽에서 오는 태풍의 영향이 사고지점을 통과여부를 추정하는데 필요한 자료이다. 사천지방은 삼천포 지방과 같은 시간대에 태풍이 북쪽으로 통과하였으며, 이 시간동안 풍향은 동풍 내지 북동풍 이고 태풍 통과 후는 남풍계열의 바람이 불었으나, 풍속은 태풍 통과전은 2~6m/s로 약하게 불었고, 통과 후에는 4~6m/s로 삼천포지방에 비해 절반 정도로 약하게 불었다(첨부 4-2).
- 남해AWS(해발 45m)는 사고해상으로부터 남남서쪽으로 17.1km지점으로 사고지점과 같이 사천만 남쪽 내해(內海) 방향으로 위치하여 사천만 바깥쪽 외해(外海)와는 다른 기상환경 관측자료이다. 남해지방은 삼천포 및 사천지방과 보다 1시간 정도 빨리 태풍이 통과했고 이 시간동안 계속 동풍이 2~6m/s로 불었으나, 통과 직전에는 4~6m/s로 불었으며, 태풍 통과 후는 남서~서풍이 불었으나, 풍속은 태풍 통과 직전을 제외하고 삼천포나 사천 지방보다는 약했다(첨부 4-3).
- 경남 하동군 금남AWS(해발 43m)는 사고해상으로부터 서북서쪽 16.2km지점 내륙에 위치하여 서쪽으로부터 태풍통과 시 사고지점 보다 먼저 기상환경이 변할 것이다. 기압관측은 없으나 8월 22일 09시부터 23일 18시까지는 북동~동풍이 불었고 그 이후는 남동풍이 불었다. 풍속은 2~4m/s로 약했고, 23일 자정 전후에는 6m/s내외로 다소 강하게 불었으며 사고해상 주변 4개 관측지점중 제일 바람이 약하게 불었다(첨부 4-4).

### ○ 바람관측(AWS)자료 분석

- 8월 22일부터 3일간 삼천포 등 육상 4개 지점 AWS바람 관측 중 가장 강한바람은 삼천포에서 23일 19시 48분 전후로 순간최대 북동풍이 16.2m/s, 1분최대 13.2m/s, 10분 최대 동북동풍 10.1m/s로 불었다(첨부 표 4-1).

- 육상 4개 지점 바람이 가장 강한 8월 23일 사고해상 주변 풍속분포도에서 사고해상 지점의 풍속은 일순간최대 풍속이 10~15m/s, 일 최대풍속은 8~10m/s로 추정된다(첨부 4-5).
- 삼천포 지방은 8월 22일 09시부터 바람이 강해져 23일 오전까지 순간최대풍속은 10~12m/s 불었고, 23일 20시경에 평균풍속 9.1m/s로 가장 강하게 점차 약해 졌다(첨부 4-6).
- 8월 22일부터 3일간 육상 4개 AWS의 바람은 삼천포가 가장 강하게 불었고, 사천, 금남, 남해 순서로 불었으며. 사천은 23일 01시까지 삼천포와 비슷한 강도로 불었으나, 그 이후 24일 01시까지는 훨씬 약하게 불었고 그 이후 시간은 비슷한 강도로 불었다.
- 사고해상은 8월 22일 14시부터 파랑주의보-태풍주의보-태풍경보-파랑주의보-24일 17시까지 51시간 동안 지속되었으나, 각 특보 발효시간 동안은 해당 특보의 기준(바람, 파고)에는 훨씬 못 미쳤다(첨부 4-7).

○ 사고해상 풍속 추정

- 태풍통과 전후에 사고해상의 바람을 추정하기 위해 사고해상 주변 4개 AWS풍속 관측 자료를 평균한 결과 8월 24일 01시에 순간최대 평균풍속은 12.4m/s, 1분 최대평균풍속은 8.6m/s, 10분 최대평균풍속은 6.8m/s로 나타났고, 최 근접 태풍중심이 지나가는 24일 02시 직전이고 태풍경보가 발효 중인 시간이다.
- 풍랑주의보가 발효되는 시간에 순간최대 평균풍속은 7.1~10.0m/s. 태풍주의보 시간에는 6.6~10.0m/s, 태풍경보시간에는 8.0~12.4m/s가 불었으며, 해상에 풍랑 및 태풍 특보의 최저기준인 14.0m/s이상의 바람은 불지 않은 것으로 추정된다(첨부 4-8).
- 8월 23일 20시 삼천포AWS 바람이 가장 강할 때 925hPa(기준고도 810m)유선/등풍속선 VDAPS 분석일기도에서 사고해상 상층은 NE계열의 바람이 25kts(약 12.86m/s)이하의 바람이 불고 있으나, 실제 사고지점은 해상으로 925hPa 기준고도 810m보다 낮고, 동쪽에 위치한 산 등 지형의 영향으로 실제 바람은 더 약할 것으로 판단된다(첨부 4-9).
- 일반적으로 지균풍은 지표면 마찰의 영향을 받지 않은 지상 1km 정도의 자유대기에서 부는 바람이다. 기상청 관측기준인 지상 10m에서는 지표면의 마찰 등으로 지균풍의 약 20~30%의 바람이 부는 데 지상 500m이상의 고도에서는 지균풍의 90~100%정도의 바람이 분다. 따라서 사고 해상인 지점의 지상바람은 그림 4-10(우) 925hPa의 표준고도인 810m의 고도에서 25kts(12.4m/s)일 때 사고해면인 경우는 약 60%인 15kts(7.5m/s)로 추정된다(첨부 4-10).

○ 해상관측 자료 분석

- 사고해상에서 남동쪽 17.5km지점 사랑도 파고부이의 8월 22일부터 3일간 최대파고는 2.0m, 최대유의파고는 1.5m, 최대평균파고는 0.9m로 24일 01시에 나타났으며, 이 시간은 파고부이 북쪽의 삼천포AWS의 최대풍 관측 시간보다 5시간 늦게 나타났고, 해상사고지점에



추정된 최고풍이 나타나는 시간과는 동일하다. 또한 육상의 AWS관측지점의 최근접 태풍중심이 지나가는 24일 02시보다는 1시간이 늦다.

- 해상의 특보 파랑주의보의 기준인 ‘유의파고 3.0m’의 절반에도 못 미칠 뿐만 아니라 발효된 각 해상특보의 파고조건을 절반도 충족하지 못했다(첨부 4-11).
- 삼천포항의 조위(潮位)관측 기록으로 3일중 최고조위는 8월 23일 20시에 조고 304cm로 최고 높았고, 평균 조고는 183.4cm이며 주기는 약 13시간이다. 최고조위 시각은 삼천포AWS의 바람 최대풍이 나타난 시간이나 사량도 파고부이의 최대파고가 나타난 8월 24일 01시보다는 5시간 빠르다(첨부 4-12).
- 사고해상은 사천만 내해(內海)에 위치하여 주변이 섬과 산으로 둘러싸여 사량도 파고부이가 위치한 남해 외해(外海)의 파고 영향을 직접적으로 받지 않은 지형적 여건으로 최대파고는 2.0m보다 많이 낮은 파고가 24일 01시를 전후에 나타났을 것으로 판단된다(첨부 4-13).
- 해상의 유의최대파고는 1.5m로 태풍경보 시 풍랑경보 기준인 유의파고 5.0m에는 1/3도 미치고 못하고, 바람은 풍랑경보 기준은 21.0m/s이상이나 10분 최대풍속이 10.1m/s로 기준에 절반 정도이다.
- 삼천포항의 최대 조위는 304cm로 23일 20시에 나타났으나, 최대파고는 2.0m는 24일 01시에 나타나 평균조위(183.4cm) 보다 낮은 시간대로 파고와 조위의 상승작용은 없었고, 사고해상은 사량도 부이관측 파고보다 더욱 잔잔했을 것으로 판단된다(첨부 4-14).

#### 4) 참고자료 및 출처

- 첨부 1-1: 지상일기도
- 첨부 1-2: 지상일기도
- 첨부 1-3: 수치(KALPS)국지지상일기도
- 첨부 1-4: 수치(KALPS)국지지상일기도
- 첨부 2-1: 2018년 제19호 ‘솔릭’ 태풍정보
- 첨부 2-2: 2018년 제20호 ‘시마론’ 태풍정보
- 첨부 3-1: 육상단기예보(부산지방기상청)
- 첨부 3-2: 해상단기예보(부산지방기상청)
- 첨부 3-3: 기상특보 현황
- 첨부 4-1: 삼천포AWS 시계열 관측자료
- 첨부 4-2: 사천AWS 시계열 관측자료

- 첨부 4-3: 남해AWS 시계열 관측자료
- 첨부 4-4: 금남AWS 시계열 관측자료
- 첨부 4-5: 사고해상 주변 일순간최대풍속 및 일최대풍속 분포도
- 첨부 4-6: 삼천포AWS 시간별 풍속(m/s)
- 첨부 4-7: 삼천포 등 육상 4개 AWS 시간별 순간최대 풍속(m/s) 및 해상기상특보 현황
- 첨부 4-8: 삼천포, 사천, 남해, 금남 AWS 시간별 평균풍속(m/s)
- 첨부 4-9: 925hPa유선/등풍속선도(VDAPS분석일기도)
- 첨부 4-10: 고도에 따른 바람의 연직분포
- 첨부 4-11: 사랑도파고부이 파고 및 해상특보
- 첨부 4-12: 삼천포항 조위관측 자료
- 첨부 4-13: 삼천포AWS, 사랑도파고부이 파고, 해상 특보 비교
- 첨부 4-14: 삼천포항 조위 및 사랑도파고부이 파고 비교

### 3 기상감정 결과 및 의견

- 사고해상은 ‘경남서부남해앞바다’로 8월 23일 05시 부산지방기상청이 발표한 해상단기 예보는 23일은 동~남동풍이 10~15m/s로 불고, 흐리고 비 오는 날씨에, 파고는 2.0~5.0m, 오후에 바람이 강해지고, 24일 오전은 남~남서풍이 12~20m/s로 불고, 흐리고 가끔 비 오는 날씨에, 파고는 2.0~6.0m, 오후에는 남~남서풍이 12~20m/s로 불고, 구름이 조금 끼고, 파고는 3~6m로 태풍의 중심은 바람이 더 강해져 파고는 오후에 더 높을 것으로 예보했다(첨부 3-1).
- 사고해상은 8월 22일 14시 풍랑주의보가 발효되고, 22일 17시 태풍주의보로 강화되었으며, 24시간 후인 23일 17시에는 태풍경보로 더욱 강화되었다. 8월 24일 10시에 풍랑주의보로 약화 되어서, 24일 17시에 해상특보 끝나 51시간지속 되었다(첨부 3-2).
  - 8월 24일 00시 기준으로 태풍경보는 경남북서부 내륙지방과 남해서부 및 남해동부(통영앞바다 주의보)해상에 발효 중 이었다(첨부 3-3).
- 기상청의 태풍정보에서 사고해상은 제19호 태풍 솔릭(SOULIK)의 영향으로 8월 22일 09시부터 바람 15m/이상의 강풍 역에 들고, 23일 21시부터 바람 25m/s의 폭풍 역 범위 경계지점에 들고, 24일 00시 태풍강도가 약해져 사고해상은 폭풍역 범위에서 벗어나겠다고 발표했다(첨부 2-1).



- 제20호 태풍 시마론(CIMARON)은 8월 23일 21시 우리나라에 최 근접 위치이나 사고해상에는 거의 영향을 미치지 않은 것으로 태풍정보에서 발표했다(첨부 2-2).
- 사고해상으로부터 남동쪽으로 7.4km지점에 위치한 삼천포AWS(해발 29m)는 8월 22일 09시부터 24일 03시까지 풍향은 지속적으로 북동풍이 불었고, 풍속은 6~10m/s 강하게 24일 0시까지 지속되고 이후 풍속이 감소하고 했다(첨부 4-1).
- 사천AWS(해발 24m)는 사고해상으로부터 북동쪽으로 9.6km지점 내륙에 위치하여 삼천포지방과 같은 시간대에 풍향은 동풍 내지 북동풍, 풍속은 2~6m/s로 삼천포지방에 비해 절반 정도로 약하게 불었다(첨부 4-2).
- 바람관측(AWS) 8월 22일부터 3일간 삼천포 등 육상 4개 지점 AWS바람 관측 중 가장 강한바람은 삼천포에서 23일 19시 48분 전후로 순간최대 북동풍이 16.2m/s, 1분최대 13.2m/s, 10분 최대 동북동풍 10.1m/s로 불었다(첨부 표 4-1).
- 사고해상에서 남동쪽 17.5km지점 사랑도 파고부이의 8월 22일부터 3일간 최대파고는 2.0m, 최대유의파고는 1.5m, 최대평균파고는 0.9m로 24일 01시에 나타났으며, 이 시간은 파고부이 북쪽의 삼천포AWS의 최대풍 관측 시간보다 5시간 늦게 나타났고, 해상사고지점에 추정된 최고풍이 나타나는 시간과는 동일하다. 또한 육상의 AWS관측지점의 최근접 태풍중심이 지나가는 24일 02시보다는 1시간이 늦다.
- 해상의 특보 파랑주의보의 기준인 '유의파고 3.0m'의 절반에도 못 미칠 뿐만 아니라 발효된 각 해상특보의 파고조건을 절반도 충족하지 못했다(첨부 4-11).
- 삼천포항의 조위(潮位)관측 기록으로 3일중 최고조위는 8월 23일 20시에 조고 304cm로 최고 높았고, 평균 조고는 183.4cm이며 주기는 약 13시간이다. 최고조위 시각은 삼천포AWS의 바람 최대풍이 나타난 시간이나 사랑도 파고부이의 최대파고가 나타난 8월 24일 01시보다는 5시간 빠르다(첨부 4-12).
- 사랑도 해상의 유의최대파고는 1.5m로 태풍경보 시 풍랑경보 기준인 유의파고 5.0m에는 1/3도 미치고 못하고, 바람은 풍랑경보 기준은 21.0m/s이상이나 10분 최대풍속이 10.1m/s로 기준에 절반 정도이다.
- 일반적으로 지균풍은 지표면 마찰의 영향을 받지 않은 지상 1km 정도의 자유대기에서 부는 바람이다. 기상청 관측기준인 지상 10m에서는 지표면의 마찰 등으로 지균풍의 약 20~30%의 바람이 부는 데 지상 500m이상의 고도에서는 지균풍의 90~100%정도의 바람이 분다. 따라서 사고 해상인 지점의 지상바람은 그림 4-10(우) 925hPa의 표준고도인 810m의 고도에서 25kts(12.4m/s)일 때 사고해면인 경우는 약 60%인 15kts(7.5m/s)로 추정된다(첨부 4-10).

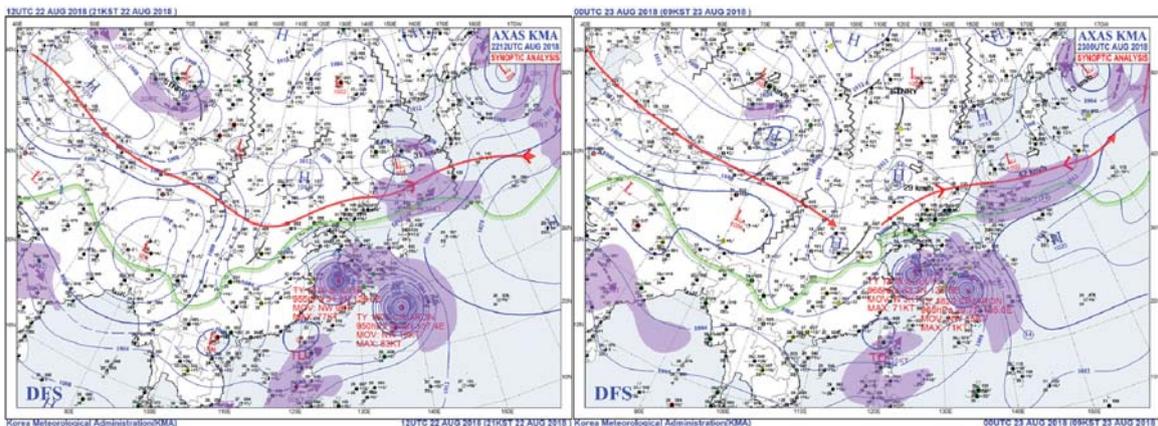
- 아울러 삼천포AWS 등 육상 4개 지점 바람이 가장 강한 8월 23일 사고해상 주변 풍속분포도에서 사고해상 지점의 풍속은 일순간최대 풍속이 10~15m/s, 일 최대풍속은 8~10m/s로 추정된다(첨부 4-5).
  - 사고해상은 사천만 내해(內海)에 위치하여 주변이 섬과 산으로 둘러싸여 사량도 파고부이가 위치한 남해 외해(外海)의 파고 영향을 직접적으로 받지 않은 지형적 여건으로 최대파고는 2.0m보다 더 많이 낮은 파고가 24일 01시를 전후에 나타났을 것으로 판단된다(첨부 4-13).
  - 삼천포항의 최대 조위는 304cm로 23일 20시에 나타났으나, 최대파고는 2.0m는 최대조위 시각보다 5시간 늦은 24일 01시에 나타났고, rchleovk고 시간의 조위는 평균조위 (183.4cm) 보다 낮아서, 파고와 조위의 상승작용은 없었고. 사고해상은 사량도 부이관측 파고보다 더욱 잔잔했을 것으로 판단된다(첨부 4-14).
- 따라서 OO리 사고해상은 2018년 8월 22일부터 8월 24일까지 3일 동안 풍속은 일순간최대 풍속이 10~15m/s, 일 최대풍속은 8~10m/s로 추정되고, 최대파고는 2.0m보다 더 많이 낮은 파고가 24일 01시를 전후에 나타났을 것으로 판단되며 이 시간은 남해안의 최고조 시간과도 겹치지 않아 파고와 해수면 고조의 상승 작용도 없었으며, 더욱이 OO리 사고해상은 북서쪽으로 육지와 인접한 사천만 내해(內海)에 위치하여 추정하는 풍속과 파고보다는 더욱 약하게 나타났을 것으로 판단됩니다.

## 4 관련 전문가 자문

- 해당사항 없음

### 첨부 1 일기도 분석

#### 가. 종관지상일기도

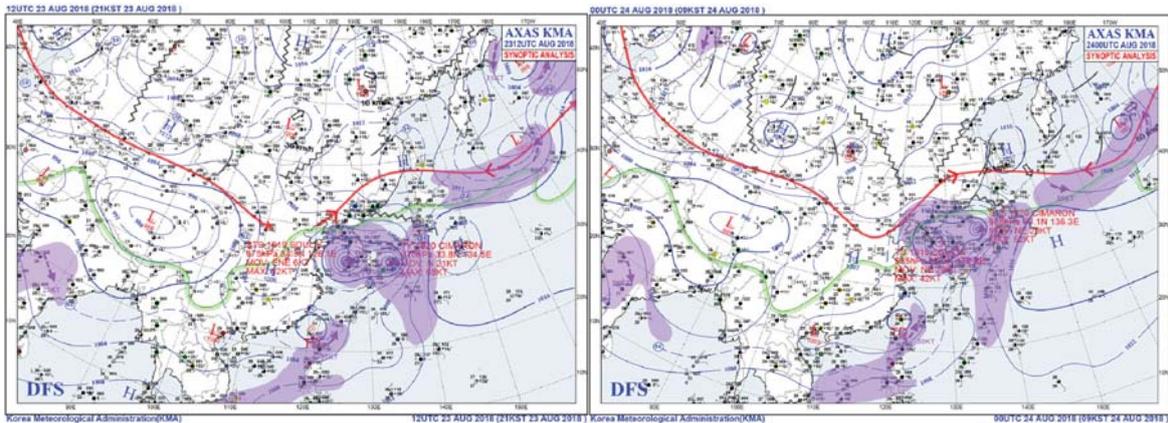


| 1-1 | 지상일기도 (좌)2018.8.22.21:00KST, (우)2018.8.23.09:00KST

2018.8.22.21:00KST 지상일기도(1-1)(좌)는 우리나라가 태풍의 영향권에 들어 있다. 2018년 제19호 태풍 솔릭(SOULIK)이 제주도 북서해상에서 중심기압 955hPa, 중심최대풍속 77kts, 북서방향으로 9kts 속도로 느리게 이동하고 있어 우리나라는 중부이남지방이 이 태풍의 영향권에 들고 있다. 한편 제20호 태풍 시마론(CIMARON)은 일본열도 동남쪽 해상에서 중심기압 950hPa, 중심최대풍속 83kts, 북서방향으로 83kts 속도로 빠르게 이동하고 있으며, 대만 남서해안에는 열대성저기압(TD)이 발달하여 북동진하고 있다. 한편 일본 동쪽 먼 해상에 중심을 둔 북태평양의 고기압은 우리나라 동해 먼 바다까지 영향을 미치고, 중국 화중지방에는 다소 발달한 기압골이 다가오고 있으며, JET기류는 화중지방 기압골 북쪽에서 몽골-홋카이도까지 큰 굴곡없이 거의 평행하게 흐르고 있다.

2018.8.23.09:00KST 지상일기도(1-1)(우)는 우리나라가 계속 태풍의 영향권에 들어 있다. 제19호 태풍 솔릭이 제주도 북서해상에서 중심기압 965hPa, 중심최대풍속 71kts, 북서방향으로 3kts 속도로 약화되면서 거의 제자리에서 정체하고 있어 우리나라는 중부이남지방이 이 태풍의 영향권에 들고 있다. 한편 제20호 태풍 시마론은 일본열도 동남쪽 해상에서 중심기압 965hPa, 중심최대풍속 71kts, 북서방향으로 71kts 속도로 빠르게 이동하고 있으나 전시간(12시간)보다는 강도와 속도는 약해지고 있으며, 대만 남서해안의 열대성저기압(TD)은 거의 정체하고 있다. 한편

일본 동쪽 먼 해상에 중심을 둔 북태평양의 고기압은 우리나라 동해 먼 바다까지 영향이 확대되고 있고, 중국 화중지방에는 다소 발달한 기압골은 약화되고 대륙 고기압이 분리되어 발달하고 있으며, JET기류는 화중지방에서 대륙고기압의 발달로 끊어지고, 발해만 북쪽에서 전시간과 같이 몽골-홋카이도까지 큰 굴곡없이 거의 평행하게 흐르고 있다.



| 1-2 | 지상일기도 (좌)2018.8.23.21:00KST, (우)2018.8.24.09:00KST

2018.8.23.21:00KST 지상일기도(1-2)(좌)는 우리나라가 계속 태풍의 영향권에 들어 있고 북한의 신의주-원산만 이남까지 영향권이 확대되고 있다. 제19호 태풍 솔릭이 전남 무안 앞바다에서 중심 기압 975hPa, 중심최대풍속 62kts, 동북동방향으로 6kts 속도로 약화되면서 이동방향을 내륙으로 전향하여 느리게 이동하고 있다. 한편 제20호 태풍 시마론은 일본열도 동남쪽 해상에서 중심기압 970hPa, 중심최대풍속 68kts, 북쪽으로 21kts 속도로 전향하여 이동하고 있으나 전시간(12시간) 보다는 강도와 속도는 약해지고 있으며, 대만 남서해안의 열대성저기압(TD)은 거의 정체하면서 발달하고 있다. 한편 일본 동쪽해상에 중심을 둔 북태평양의 고기압은 다소 강해지고 대화퇴 해상에 는 기압능이 발달하고 있고, 중국 화중지방의 기압골은 약화되어 산둥반도 남쪽에 위치하고 있으며, JET기류는 전시간(12시간)과 같이 대륙고기압권역에서는 끊어지고, 발해만 북쪽에서 시작하여 몽골-홋카이도 북쪽으로 올라가서 큰 굴곡없이 거의 평행하게 흐르고 있다.

한편 지상의 날씨를 좌우하는 850hPa 고도의 하층JET는 태풍 솔릭중심이 제주도 북서 해상(22일 21시) 북서 76kts였으나, 목포 앞바다 부근(23일 09시)에서 북북서 60kts에서 무안 앞바다(23일 21시)에서는 45kts로 강도는 약되고 있으나, 범위는 남부에서 북한지방으로까지 확대되고 있다.

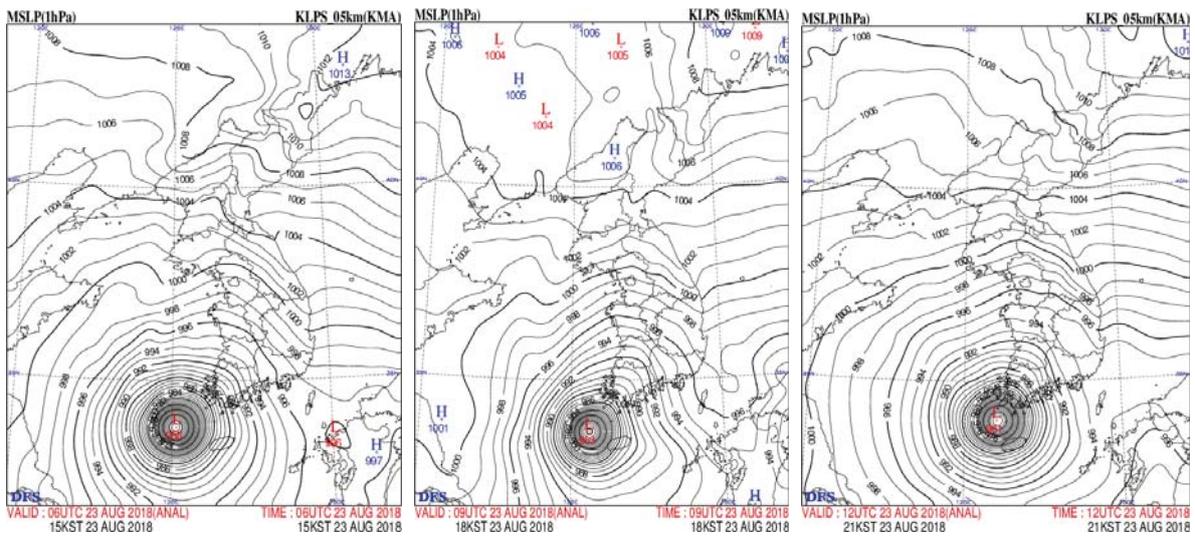
2018.8.24.09:00KST 지상일기도(1-2)(우)는 우리나라가 계속 전국토가 태풍의 영향권에 들어 있다. 제19호 태풍 솔릭은 강원도 삼척부근으로 내륙을 통과하면서 중심기압 985hPa, 중심최대풍속 42kts 속도로 강도는 약화되고, 북동방향으로 전향하여 28kts 속도로 다소 빠르게 이동하고 있다. 한편 제20호 태풍 시마론은 동해 대화퇴 해에서 중심기압 985hPa, 중심최대풍속 52kts,



북동쪽으로 29kts 속도로 전향하여 이동하고 있으나 전시간(12시간)보다는 강도는 약해지고 속도는 빨라졌다., 대만 남서해안의 열대성저기압(TD)은 거의 정체하면서 발달하고 있다. 한편 일본 동쪽해상에 중심을 둔 북태평양의 고기압은 정체하면서 기압능이 홋카이도 서쪽해상까지 확장, 발달하고 있으며, 산둥반도 남쪽에 위치한 약한 기압골은 백두산 부근으로 이동하여 약화되었으며, JET기류는 중국 화중지방에서 분리된 대륙성 고기압이 약화되면서 화중지방에서 이어져 사행하여 12시간 전과 같이 발해만 북쪽에서 시작하여 몽골-홋카이도 북쪽으로 올라가서 큰 굴곡없이 거의 평행하게 흐르고 있어 이후 2개의 태풍은 이동속도는 빨라질 것이다.

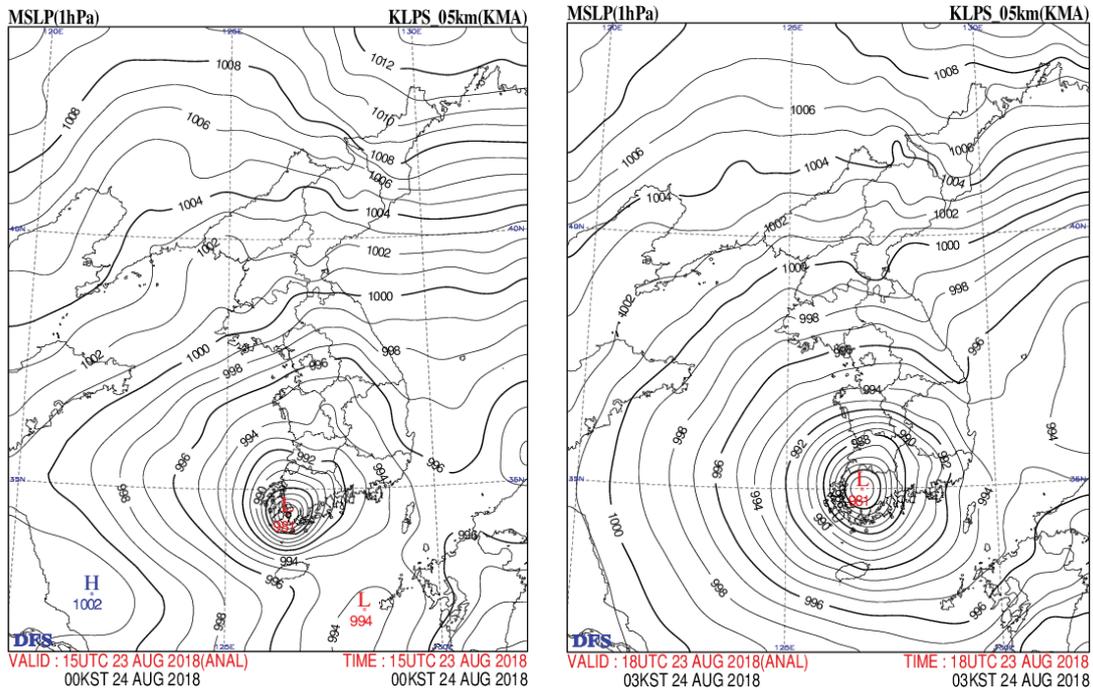
한편 지상의 날씨를 좌우하는 850hPa 고도의 하층JET는 태풍 솔릭중심이 제주도 북서해상(22일 21시)에서는 북서 76kts였으나, 목포 앞바다 부근(23일 09시)에서는 북북서 60kts, 무안 앞바다(23일 21시)에서는 45kts, 삼척부근 내륙에서는 북동 50kts로 강도는 약되고 있으나, 범위는 남부에서 북한지방으로까지 확대되고 있다.

#### 나. 수치 국지지상 분석일기도



1-3 | 2018.8.23. 수치(KALPS)국지지상일기도 (좌)15:00KST, (중)18:00KST, (우)21:00KST

(1-3)은 초단기분석시스템(KLAPS) 지상일기도이다. 그림(좌)는 15:00KST 일기도로 제주도 북서해상(서해남부)에 중심기압 958hPa의 제19호 태풍이 위치하고 있으나 사고지점인 「경남 사천시 OO면 OO리」해상에는 아직은 기압경도가 크지 않다. 그림(중)은 18:00KST일기도로 제19호 태풍은 3시간 전보다 전남 목포 앞바다 쪽으로 북동진 하였으나 중심기압은 963hPa로 조금 약화되었으며 사고지점은 기압경도력이 전시간보다 강화되고 있다. 그림(우)은 21:00KST 일기도로 제19호 태풍은 3시간 전보다 북동진하여 전남 진도 앞바다에서 중심기압은 961hPa로 강도는 변화가 없으나 사고지점은 기압경도력이 전시간보다 강화되고 있다.



1-4 | 수치(KALPS)국지지상일기도 (좌)2018.8.23.24:00KST, (우)2018.8.24.03:00KST

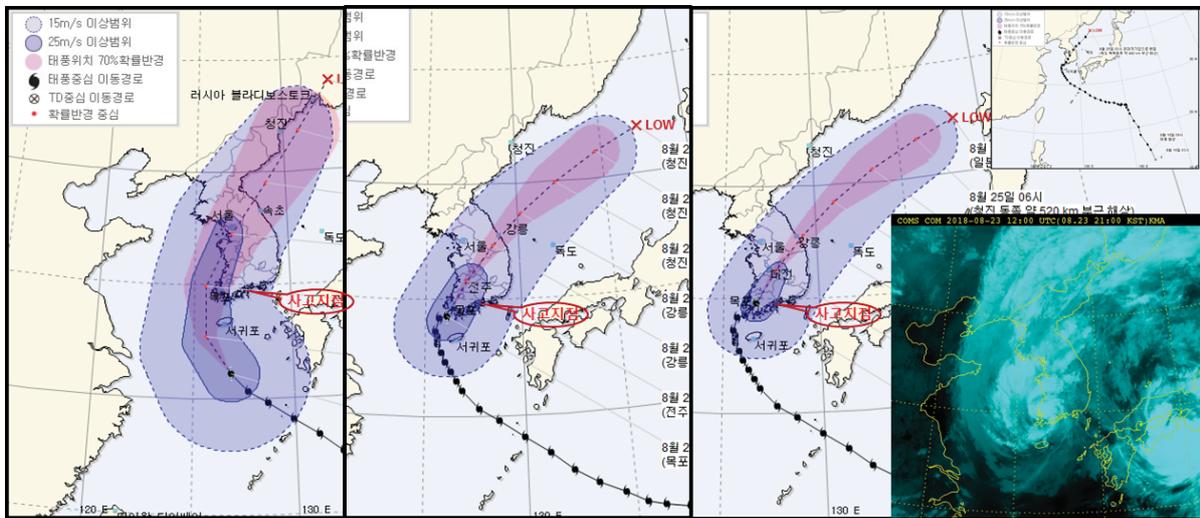
(1-4 (좌))는 8.23.24:00KST일기도로 제19호 태풍은 3시간 전보다 북동진하여 전남 목포지방에 상륙하고, 중심기압은 981hPa로 약화되었으며 사고지점은 기압경도력이 전시간보다 약화되고 있다. 그림(우) 8.24.03:00KST일기도로 제19호 태풍은 3시간 전보다 북동진하여 광주지방 부근으로, 중심기압은 981hPa로 세력을 유지하고 있으며 사고지점은 태풍중심이 닥아오면서 기압경도력이 전시간보다 강화되고 있다.

## 첨부 2

## 태풍정보 분석

### 가. 제19호 태풍 솔릭(SOULIK)

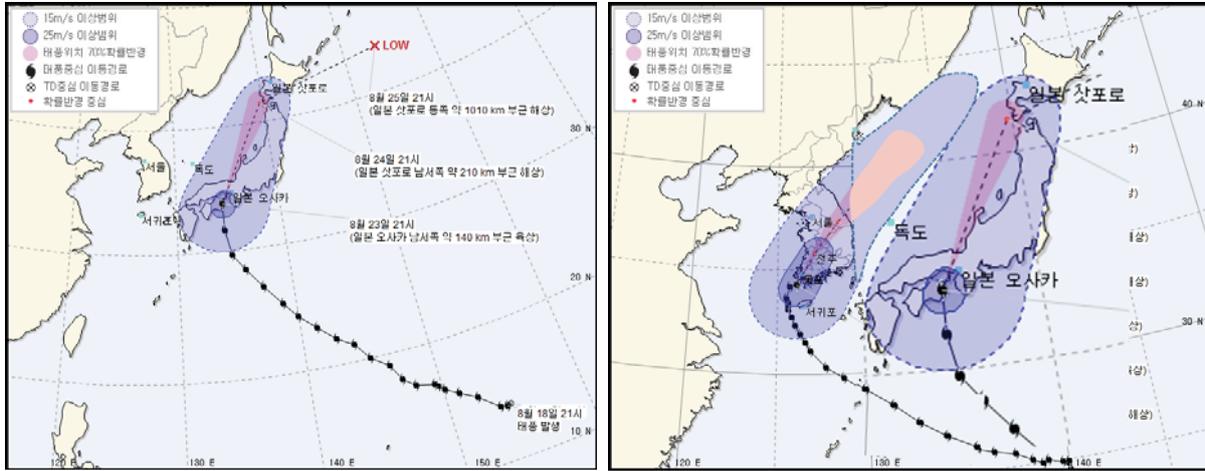
(2-1)은 2018년 제19호 태풍 ‘솔릭’의 태풍정보이다. 그림(좌)는 8월 22일 10시에 발표한 태풍정보 25호로 22일 09시에 제주도 서귀포 남남동쪽 약 340km 부근해상에서 중심기압은 950hPa로 중심최대풍속 43m/s, 강풍반경 380km, 강도 ‘강’, 크기 ‘중형’, 이동방향은 서북서 19km/h로 태풍으로 00리 사고해상은 초속 15m/s이상의 강풍역에 들고 있다.



【2-1】 2018년 제19호 ‘솔릭’ 태풍정보 (좌)제19-25호(8.22.10시), (중)제19-36호(8.23.22시), (우)제19-37호(8.24.01시))

그림(중)은 8월 23일 22시에 발표한 태풍정보 36호로 23일 21시에 전남 목포 남남서쪽 약 70km 부근해상에서 중심기압은 975hPa로 중심최대풍속 32m/s, 강풍반경 290km, 강도 ‘중’, 크기 ‘소형’, 이동방향은 동북동 12km/h로 태풍으로 전일보다 약화되었지만 00리 사고해상과 중심이 가까워지면서 초속 25m/s이상의 폭풍역 범위 경계에 들고 있다. 그림(우)는 8월 24일 01시에 발표한 태풍정보 37호로 24일 00시에 전남 목포 동쪽 약 30km 부근 육상에서 중심기압은 975hPa로 중심최대풍속 32m/s, 강풍반경 270km, 강도 ‘중’, 크기 ‘소형’, 이동방향은 북동 27km/h로 태풍으로 3시간 전보다 강도와 크기는 같지만 내륙에서 강풍반경은 축소되고 이동속도도 빨라져 00리 사고해상은 초속 25m/s이상의 폭풍역 범위 경계에서 제외되고 있다.

## 나. 제20호 태풍 시마론(CIMARON)



2-2 | 2018년 제20호 ‘시마론’ 태풍정보 (좌)제20-21호(8.23.22:30), (우)제19호/제20호 태풍 경로도 합성

(2-2)는 2018년 제20호 태풍 ‘시마론’의 태풍정보이다. 그림(좌)는 8월 23일 22:30에 발표한 태풍정보 21호로 23일 21시에 일본 오사카 남서쪽 약 140km 부근 육상에서 중심기압은 970hPa로 중심최대풍속 35m/s, 강풍반경 430km, 강도 ‘강’, 크기 ‘중형’, 이동방향은 북 39km/h로 태풍으로 우리나라에 최근접시의 경로로 00리 사고해상에 영향을 없을 것으로 판단된다. 그림(우)는 그림 (좌)측의 태풍정보 발표 시각(8월 23일 21시)에 제19호 태풍 ‘솔릭’의 제36호 정보와 합성한 그림으로 두 개의 태풍주변은 대마도 부근해상에서 만나는데 제19호 태풍 영향으로 남풍계열의 바람이, 제20호 태풍의 영향으로는 북풍계열의 반대방향의 바람이 만나 남해동부 먼바다 해상에서는 풍속이 줄어드는 효과가 있을 것으로 판단된다.

### 첨부 3 예보 및 특보 분석

#### 가. 예보분석

사고지점 「경남 사천시 OO면 OO리」 해상은 주변 내륙지방은 경상남도 사천, 남해, 하동지방으로 2018.8.23.05:00KST 부산지방기상청 단기육상예보 종합은 ‘제19호 태풍 북상중, 내일까지 매우 강한 바람, 많은 비, 강수량의 지역적 차이 크겠음’으로 예보하고, 유의사항으로는 강풍으로 내일까지 해안과 도서지역 중심 바람 매우 강, 시설물 관리 유의하고, 해상은 내일까지 남해동부와 동해남부해상 바람 매우 강, 매우 높은 물결, 선박 안전 대피를 당부하고, 해상의 너울로 당분간 경남해안지역 너울에 의한 높은 물결 유입, 해안가 안전사고 및 시설물관리 유의, 만조시 저지대 침수피해 유의하라는 당부가 있었다.

예보 종합		단기:육상예보		부산, 울산, 경상남도		NOW		2018.08.23.05:00		-24H		-12H					
2018.08.23.05:00 발표 / 발표관서: 부산(159) / 예보관: 장용환																	
<input type="checkbox"/> (종합) 제19호 태풍 북상중, 내일까지 매우 강한 바람, 많은 비, 강수량의 지역적 차이 크겠음 <input type="checkbox"/> (오늘) 흐리고 비 <input type="checkbox"/> (내일) 흐리고 오전까지 비, 오후 차차 맑아짐 <input type="checkbox"/> (모레) 대체로 맑다가 오후부터 구름많아짐																	
오늘	<input type="checkbox"/> 예상 강수량(24일까지)																
23일(목)	<input type="checkbox"/> 경남서부 : 100~250mm(많은 곳 지리산부근 400mm 이상)																
~	<input type="checkbox"/> 부산, 울산, 경상남도(경남서부 제외) : 30~80mm																
모레	<input type="checkbox"/> 유의사항																
25일(토)	<input type="checkbox"/> (호우) 제19호 태풍 '솔릭(SOULIK)'의 영향, 내일까지 지리산 부근 매우 강한 비와 함께 매우 많은 비 <input type="checkbox"/> 산사태와 토사유출, 하천제방, 축대붕괴 등 피해 대비, 안전 사고 유의 <input type="checkbox"/> (강풍) 내일까지 해안과 도서지역 중심 바람 매우 강, 시설물 관리 유의 <input type="checkbox"/> (해상) 내일까지 남해동부와 동해남부해상 바람 매우 강, 매우 높은 물결, 선박 안전 대피 <input type="checkbox"/> (너울) 당분간 경남해안지역 너울에 의한 높은 물결 유입, 해안가 안전사고 및 시설물관리 유의, 만조시 저지대 침수피해 유의																
구역	23일(목)								24일(금)								
	오전				오후				오전				오후				
	날씨	최저 기온	체감 온도	강수 확률	날씨	최고 기온	체감 온도	강수 확률	날씨	최저 기온	체감 온도	강수 확률	날씨	최고 기온	체감 온도	강수 확률	
경상남도	사천	NE-E 매우 강 흐리고 비	-	-	80	E-SE 매우 강 흐리고 비	30	-	80	SW-W 매우 강 흐리고 비	26	-	60	SW-W 강 구름많음	30	-	20
	남해	NE-E 매우 강 흐리고 비	-	-	80	E-SE 매우 강 흐리고 비	30	-	80	SW-W 매우 강 흐리고 비	26	-	60	SW-W 강 구름많음	31	-	20
	하동	NE-E 매우 강 흐리고 비	-	-	80	E-SE 매우 강 흐리고 비	29	-	80	SW-W 매우 강 흐리고 비	25	-	60	SW-W 강 구름많음	31	-	20

3-1 | 2018.8.23.05:00KST 육상단기예보(부산지방기상청)

사고지점 「경남 사천시 OO면 OO리」해상은 해상예보구역상 ‘경남서부남해앞바다’로 2018.8.23.05:00KST 부산지방기상청이 발표한 해상단기 예보는 (3-1)과 같이 8월 23일은 동~남동풍이 10~15m/s로 불고 흐리고 비 오는 날씨에 파고는 2.0~5.0m로 태풍중심이 서쪽에서 다가 와 오후에 바람이 강해질 것으로 예보 했고, 8월 24일 오전은 남~남서풍이 12~20m/s로 불고 흐리고 가끔 비 오는 날씨에 파고는 2.0~6.0m, 오후에는 남~남서풍이 12~20m/s로 불고 구름이 조금 끼고 파고는 3~6m로 태풍의 중심은 바람이 더 강해져 파고는 오후에 더 높을 것으로 예보 했다.

2018.08.23.05:00 발표 / 단기예보(해상)

구역	23일(목)				24일(금)				
	오전		오후		오전		오후		
	날씨	파고	날씨	파고	날씨	파고	날씨	파고	
남해동부	남해동부앞바다	E-SE / 10-16 흐리고 비	2.0-5.0	E-SE / 12-18 흐리고 비	2.0-5.0	S-SW / 12-20 흐리고 가끔 비	2.0-6.0	S-SW / 12-20 구름조금	2.0-6.0
	경남서부남해앞바다	E-SE / 10-16 흐리고 비	2.0-5.0	E-SE / 12-18 흐리고 비	2.0-5.0	S-SW / 12-20 흐리고 가끔 비	2.0-6.0	S-SW / 12-20 구름조금	3.0-6.0
	경남중부남해앞바다	E-SE / 10-16 흐리고 비	2.0-4.0	E-SE / 12-18 흐리고 비	2.0-4.0	S-SW / 12-20 흐리고 가끔 비	2.0-5.0	S-SW / 12-20 구름조금	2.0-5.0
	부산앞바다	E-SE / 10-16 흐리고 비	2.0-4.0	E-SE / 12-18 흐리고 비	2.0-5.0	S-SW / 12-20 흐리고 가끔 비	3.0-6.0	S-SW / 12-20 구름조금	3.0-6.0
	거제시동부앞바다	E-SE / 10-16 흐리고 비	2.0-4.0	E-SE / 12-18 흐리고 비	2.0-5.0	S-SW / 12-20 흐리고 가끔 비	3.0-6.0	S-SW / 12-20 구름조금	3.0-6.0
	남해동부면바다	E-SE / 10-16 흐리고 비	3.0-7.0	E-SE / 14-20 흐리고 가끔 비	4.0-7.0	S-SW / 14-22 구름많음	4.0-7.0	S-SW / 14-22 구름조금	4.0-7.0

3-2 | 2018.8.23.05:00KST 해상단기예보(부산지방기상청)

### 나. 특보분석

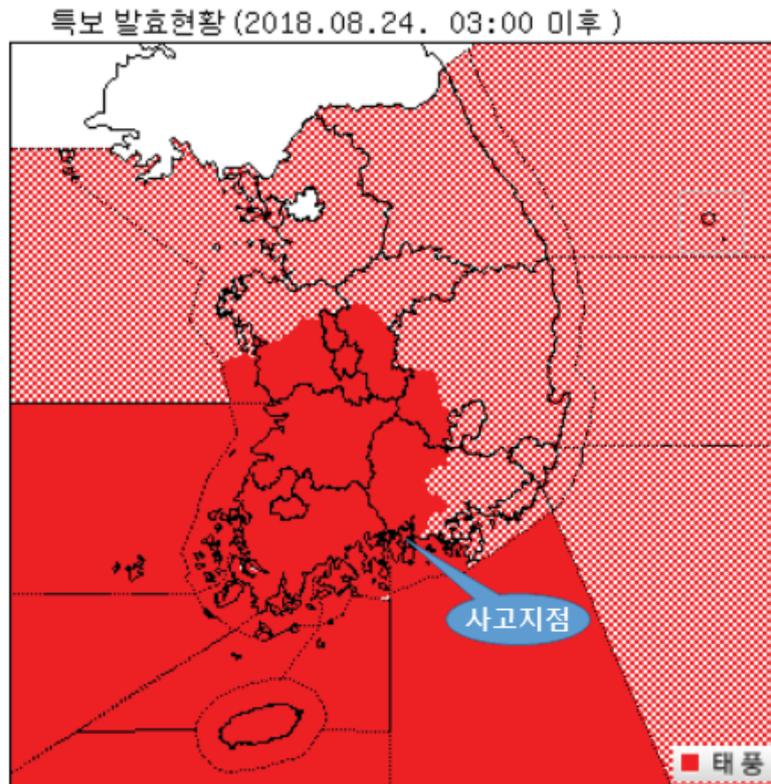
사고지점 「경남 사천시 OO면 OO리」 해상은 해상예보구역상 ‘경남서부남해앞바다’로 해상특보는 풍랑주의보(2018.8.22.14:00) ⇒ 태풍주의보(2018.8.22.17:00) ⇒ 태풍경보(2018.8.23.17:00) ⇒ 풍랑주의보(2018.8.24.10:00) ⇒ 해제(2018.8.24.17:00로 해상특보가 51시간이 지속되었다.

표 3-1 | 사고(경남서부남해앞바다)해상 기상특보 현황

특보명	발효시간	특보 기준	비고
풍랑주의보	2018. 8. 22. 14:00	해상에서 풍속 50.4km/h(14m/s) 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 3m 이상이 예상될 때	
태풍주의보	2018. 8. 22. 17:00	태풍으로 인하여 강풍, 풍랑, 호우, 폭풍해일 현상 등이 주의보 기준에 도달할 것으로 예상될 때	
태풍경보	2018. 8. 23. 17:00	태풍으로 인하여 다음 중 어느 하나에 해당하는 경우 ① 강풍(또는 풍랑) 경보 기준에 도달할 것으로 예상될 때 ② 총 강우량이 200mm이상 예상될 때 ③ 폭풍해일 경보 기준에 도달할 것으로 예상될 때	
풍랑주의보	2018. 8. 24. 10:00	해상에서 풍속 50.4km/h(14m/s) 이상이 3시간 이상 지속되거나 유의파고가 3m 이상이 예상될 때	
해 제	2018. 8. 24. 17:00	-	



한편 사고해상 인근의 경남 남해, 사천, 하동 내륙지방도 태풍주의보 및 경보가 발효되었다. 이들 지방의 기상특보는 강풍주의보(8.22.14:00/남해) ⇒ 태풍주의보(8.23.02:00/하동, 사천, 남해) ⇒ 태풍경보(8.23.17:00) ⇒ 태풍주의보(8.24.03:00) ⇒ 해제(8.24.10:00) 해상특보 지속시간 보다는 7시간 짧다.



| 3-3 | 2018.8.24.00:00KST 현재 기상특보 현황

첨부 4 관측자료 분석

가. 육상 관측(AWS)자료 분석

□ 삼천포AWS 관측자료

삼천포AWS(해발 29m)는 사고해상으로부터 남동쪽으로 7.4km지점에 위치하여 남해동부해상에서 사고지점으로 이동하는 바람 등 기상현상을 먼저 관측되고 2018년도 제19호 태풍 '솔릭' 등 태풍 중심이 사고지점 북서지역에 위치하거나 통과할 때 사고지점의 남동풍 계열의 바람이 불면 사고지점 보다 선행하여 관측되고, 사고지점이 삼천포AWS 관측지점보다 더 내해에 위치하여 기상현상 및 해상상태의 강도는 동일하거나 적을 것으로 추정된다.

삼천포지방은 그림 4-2와 같이 8월 22일 09시부터 8월 24일 03시까지 기압이 하강하여 태풍이 최근접 통과시간이 이때 인 것으로 판단되며. 이 시간동안 풍향은 지속적으로 북동풍으로 태풍중심이 사고지점 남서쪽에 위치했음을 나타내고, 태풍중심이 최근접 통과후는 남동풍이 지속적으로 불고 있다. 이 시간동안 풍속은 6~10m/s 강하게 24일 0시까지 지속되고 기압상승과 함께 풍속이 감소하고 있다.

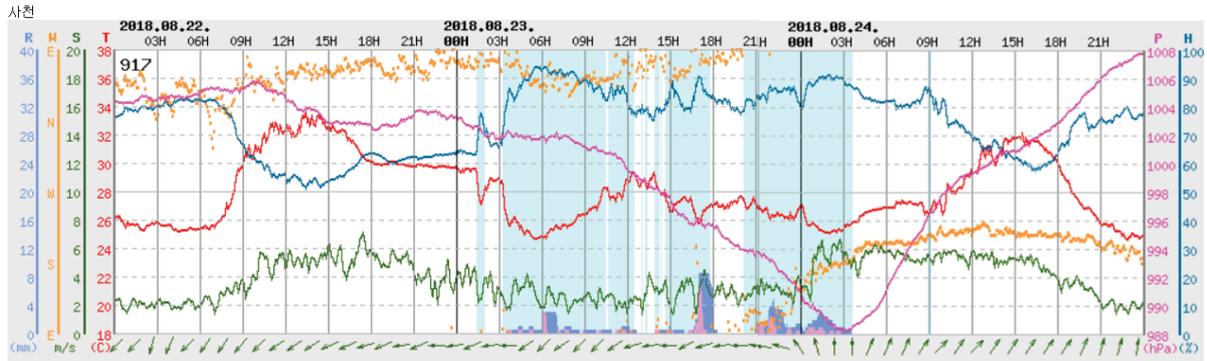


4-1 | 2018.8.22.~8.24 삼천포AWS 시계열 관측자료

□ 사천AWS 관측자료

사천AWS(해발 24m)는 사고해상으로부터 북동쪽으로 9.6km지점 내륙에 위치하여 서쪽에서 오는 태풍의 영향이 사고지점을 통과여부를 추정하는데 필요한 자료이다.

(4-2)의 사천지방은 (4-1)의 삼천포지방과 같이 8월 22일 09시부터 8월 24일 03시까지 기압이 하강하여 태풍이 최근접 통과시간이 이때 인 것으로 판단되며. 이 시간동안 풍향은 동풍 내지 북동풍이고 태풍 통과 후는 남풍계열의 바람이 불어 태풍중심이 남서에서 북동으로 사천지방 북쪽을 지나간 것을 알 수 있다. 이 시간동안 풍속은 2~6m/s로 약하게 불었으나 태풍통과 후에는 4~6m/s로 태풍 통과 전보다는 강해졌으나 앞서 삼천포지방 보다는 바람이 약하게 불었다.

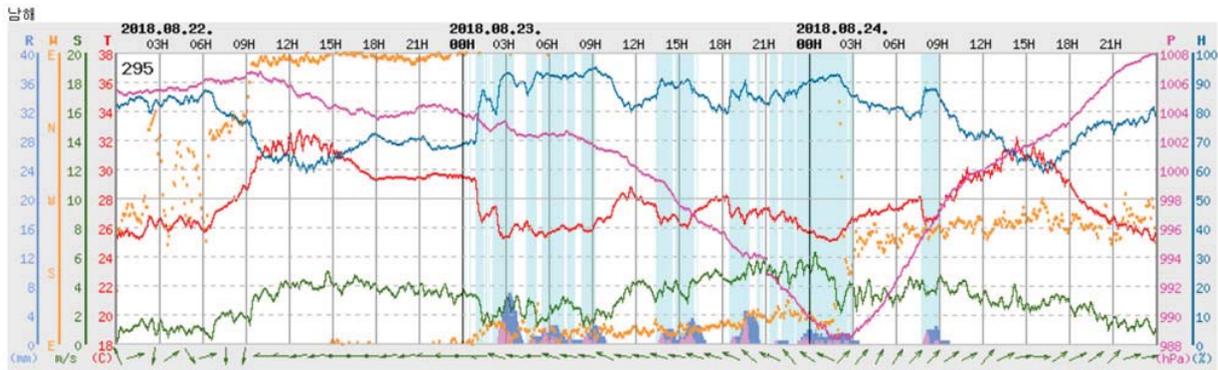


| 4-2 | 2018.8.22.~8.24 사천AWS 시계열 관측자료

□ 남해AWS 관측자료

남해AWS(해발 45m)는 사고해상으로부터 남남서쪽으로 17.1km지점으로 사고지점과 같이 사천만 안쪽 내해에 위치하여 사천만 바깥쪽 외해와는 다른 기상환경 관측자료이다.

(4-3)의 남해지방은 삼천포 및 사천지방과 같이 8월 22일 09시부터 8월 24일 03시까지 기압이 하강하고, 이 시간동안 계속 동풍이 불었고, 태풍 통과 후는 남서~서풍이 불었다. 이 시간동안 풍속은 2~6m/s로 삼천포나 사천 지방보다는 약하게 불었으나 태풍통과 직전에 4~6m/s의 바람이 불었다.

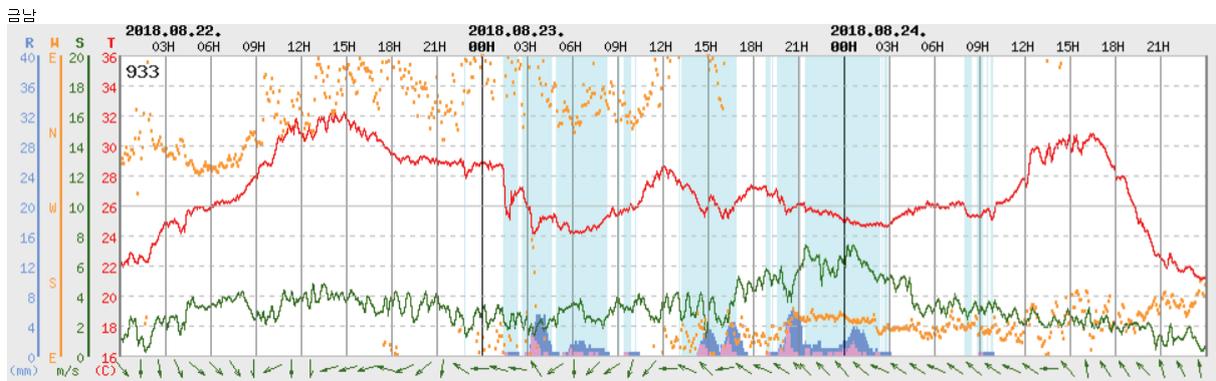


| 4-3 | 2018.8.22.~8.24 남해AWS 시계열 관측자료

□ 금남AWS 관측자료

경남 하동군 금남AWS(해발 43m)는 사고해상으로부터 서북서쪽 16.2km지점 내륙에 위치하여 서쪽으로부터 태풍통과 시 사고지점 보다 먼저 기상환경이 변할 것이다.

(4-4)의 금남지방은 기압센서가 없어 태풍통과 여부를 알 수 없으나 8월 22일 09시부터 23일 18시까지의 북동~동풍이 불었고 그 이후는 남동풍이 불었다. 풍속은 2~4m/s로 약했고 23일 자정 전후에는 6m/s내외로 다소 강하게 불고 계속 약해져서 사고지점 주변 4개 관측지점중 제일 바람이 약하게 불었다.



4-4 | 2018.8.22.~8.24 금남AWS 시계열 관측자료

나. 바람관측(AWS) 자료분석

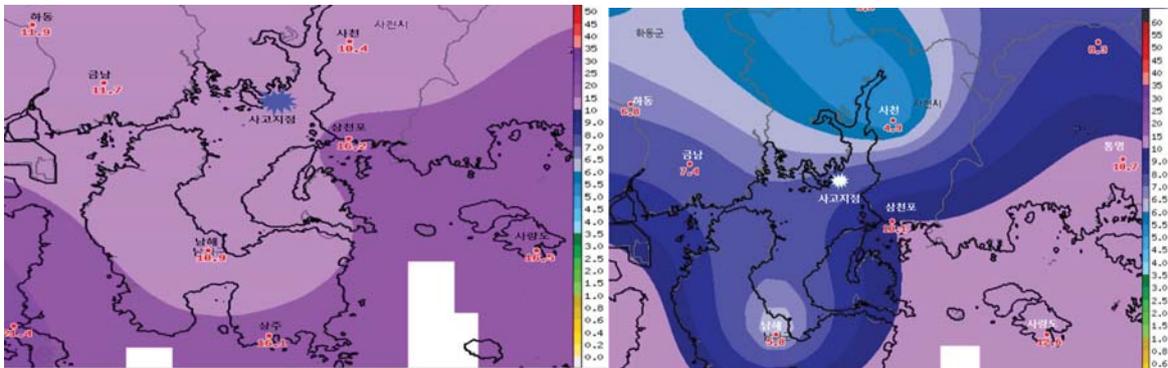
사고 해상주변 삼천포AWS 등 육상 4개 관측지점의 바람자료를 분석해 보면 가장 센 바람은 삼천포에서 8월 23일 19시 48분 전후로 순간최대 북동풍이 16.2m/s, 1분최대 13.2m/s, 10분최대 동북동풍 10.1m/s로 불었으며, 사천을 제외한 3개 지점은 8월 23일 19시 50분부터 자정까지 풍속이 가장 강했으며 풍향은 북동 내지 남동풍이 불었으며, 사천은 24일 01시부터 03시까지 바람이 가장 강하게 불어 앞의 3개 지점 최대풍 시간보다 조금 늦게 나타났다.



| 표 4-1 | 2018.8.22.~8.24 사고해상 주변AWS 바람 관측자료

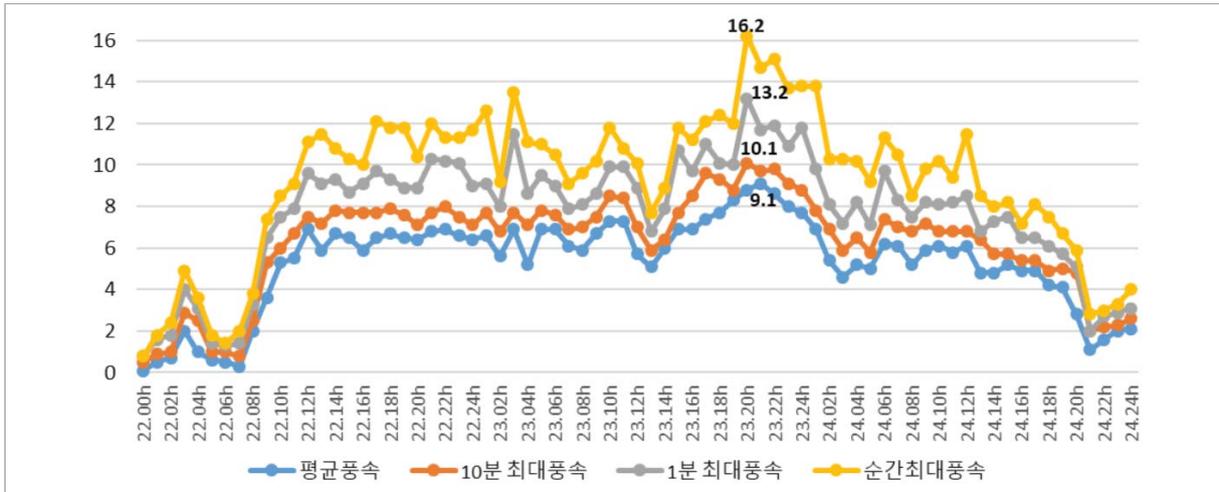
관측일	관측지점	순간최대풍(m/s)			1분최대풍(m/s)			10분최대풍(m/s)		
		풍향	풍속	시각	풍향	풍속	시각	풍향	풍속	시각
8월22일	삼천포	NE	12.1	16:59	ENE	10.3	20:33	ENE	8.0	21:16
	사 천	ENE	13.3	17:06	ENE	8.8	17:12	ENE	7.1	17:17
	남 해	E	8.1	16:21	E	6.2	14:27	E	5.0	14:28
	금 남	SSW	9.3	23:30	N	7.1	12:36	N	4.8	12:38
8월23일	삼천포	NE	16.2	19:48	NE	13.2	19:48	ENE	10.1	19:50
	사 천	ENE	10.4	21:36	ENE	6.9	00:59	ENE	4.9	00:37
	남 해	ESE	10.9	22:03	SE	8.1	22:03	ESE	5.8	23:15
	금 남	SE	11.7	21:36	ESE	9.7	21:18	SE	7.4	21:19
8월24일	삼천포	E	13.8	00:38	ESE	9.8	00:24	E	7.8	00:28
	사 천	ESE	14.1	00:58	S	9.4	02:27	S	6.7	02:36
	남 해	SE	10.6	00:11	ESE	7.2	00:08	ESE	6.3	00:14
	금 남	SE	11.1	00:05	SE	9.4	00:18	SE	7.4	00:06

(4-5)는 2018년 8월22일부터 3일간 바람이 가장 강하게 불었던 8월 23일 일순간최대풍속(좌)과 일최대풍속(우) 분포도이다. 8월 23일 사고지점은 일순간최대 풍속이 10~15m/s, 일최대풍속은 8~10m/s로 추정된다.



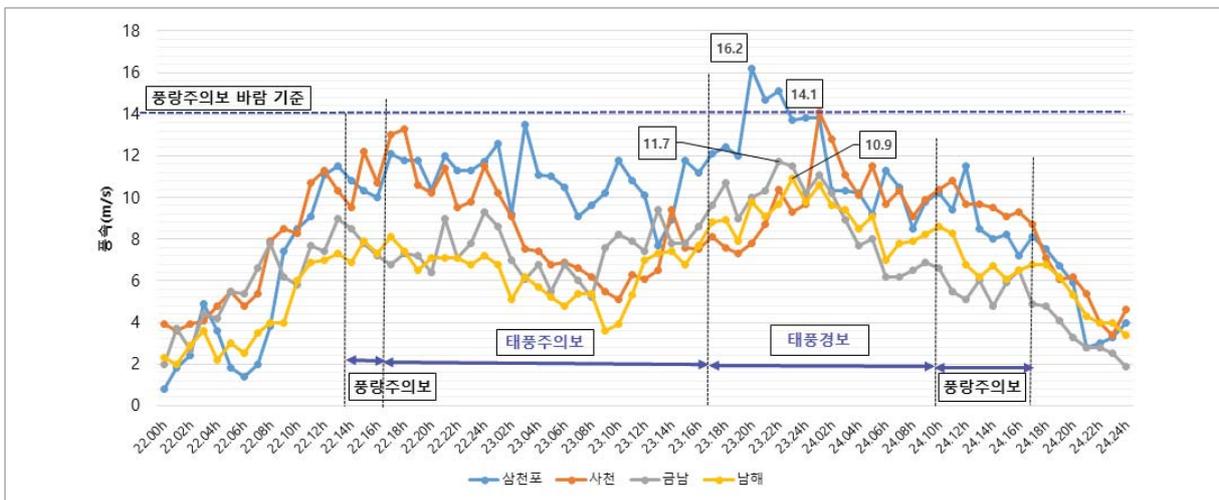
| 4-5 | 2018.8.23. 사고해상 주변 일순간최대풍속 및 일최대풍속 분포도

(4-6)은 사고해상에서 남동쪽으로 7.4km 떨어진 육상 4개 관측 지점중 바람이 가장 강하게 불었던 삼천포AWS(해발 29m)의 8월 2일부터 3일간 시간별 풍속관측 자료이다. 삼천포에서는 8월 22일 09시부터 바람이 강해져 23일 오전까지는 순간최대풍속이 10~12m/s 불었고, 23일 20시경에 순간최대 16.2m/s, 1분최대 13.2m/s, 10분최대 10.1m/s, 1시간평균풍속은 9.1m/s로 가장 강하게 불었으며 이후는 점차 약해졌다.



| 4-6 | 2018.8.23.~8.24. 삼천포AWS 시간별 풍속(m/s)

(4-7)은 2018년 8월 22일부터 3일간 사고해상 주변 육상 4개 AWS관측지점의 시간별 순간최대풍속 시계열그래프이다. 순간최대풍속은 3일 동안 삼천포가 가장 강하게 불었고, 사천, 금남, 남해 순서로 바람이 강했다. 사천지방은 23일 01시까지의 삼천포와 비슷하게 불었으나, 그 이후 24일 01시까지의 훨씬 약하게 불었고, 그 이후시간에는 삼천포와 비슷한 강도로 불었다.

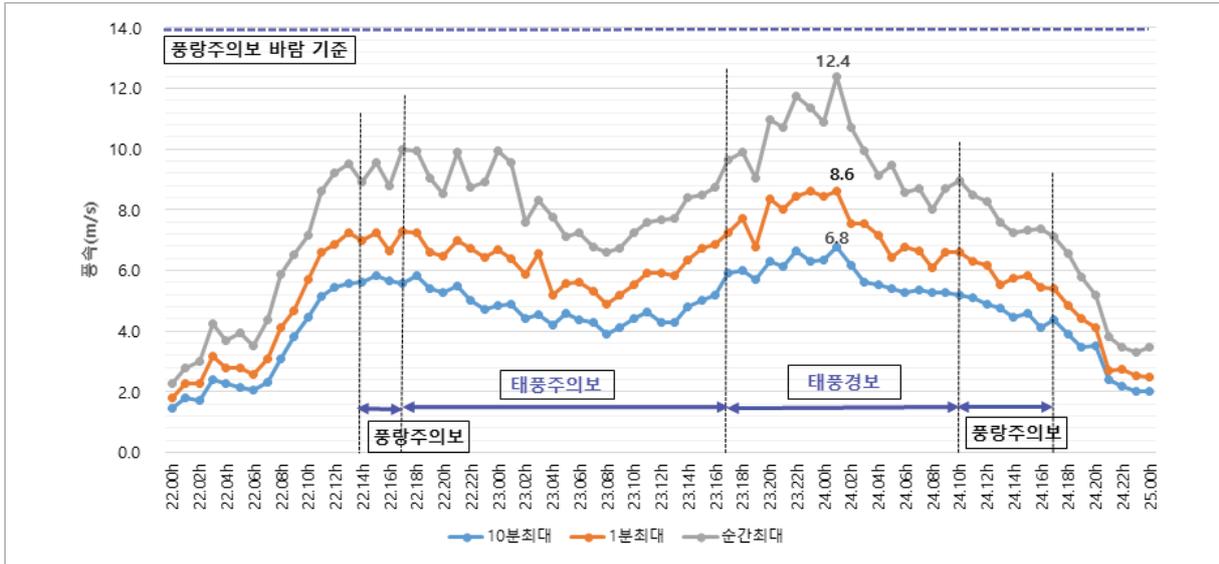


| 4-7 | 2018.8.23.~8.24. 삼천포 등 육상 4개 AWS 시간별 순간최대 풍속(m/s) 및 해상기상특보 현황

남해와 금남지방은 22일 09시 전까지는 삼천포보다 강했으나 그 이후에는 삼천포 바람의 절반 강도로 불었다. 풍속 강도의 패턴은 4개 지점이 비슷하다.

한편 사고해상은 8월 22일 14시부터 파랑주의보-태풍주의보-태풍경보-파랑주의보 순으로 24일 17시까지 51시간 동안 지속되었으나, 각 특보 발효시간 동안은 해당 특보의 기준(바람, 파고)에는 훨씬 못 미쳤다.

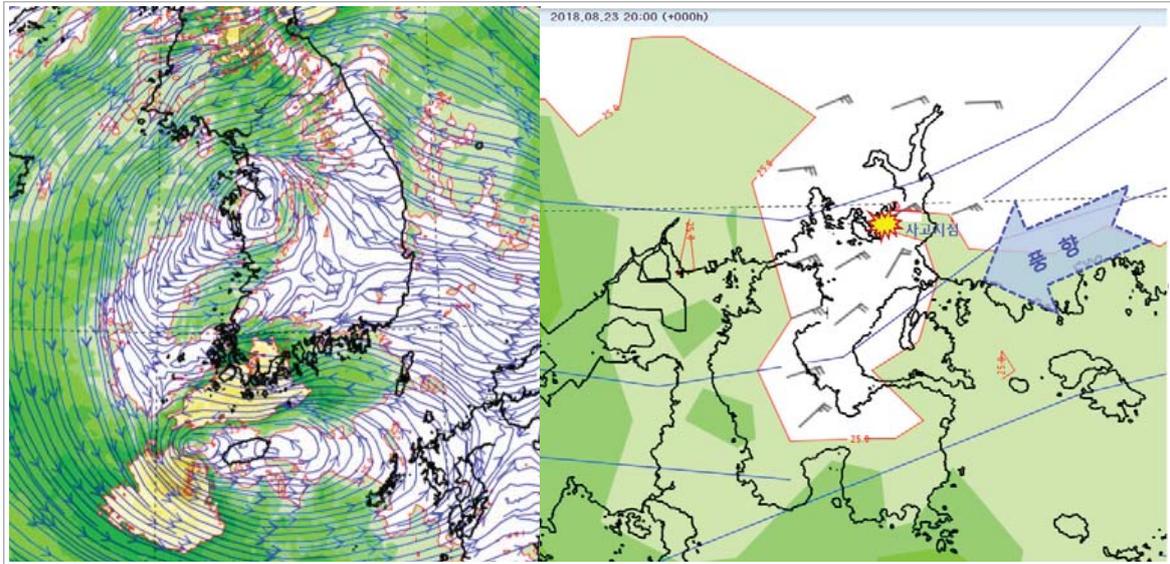
#### 다. 사고해상 풍속 추정



【4-8】 2018.8.23~8.24. 삼천포, 사천, 남해, 금남 AWS 시간별 평균풍속(m/s)

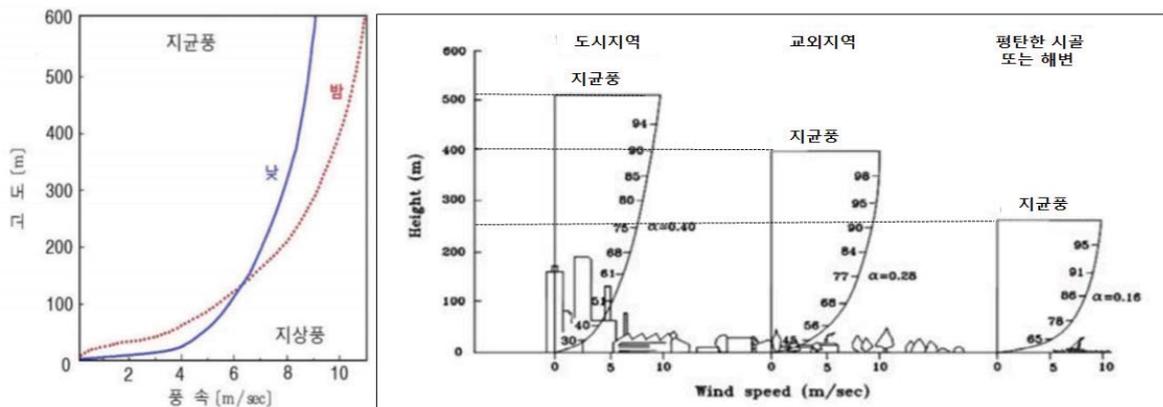
(4-8)은 사고해상의 바람을 추정하기 위해 사고해상을 중심으로 주변의 삼천포, 사천, 남해, 금남 4개 육상 AWS관측 바람자료를 평균한 것이다. 8월 22일부터 3일간 순간최대 평균풍속은 12.4m/s, 1분 최대평균풍속은 8.6m/s, 10분 최대평균풍속은 6.8m/s로 8월 24일 01시에 나타났으며, 이시간은 최근접 태풍중심이 지나가는 8월 24일 02시 직전이고 태풍경보가 발효중인 시간이다. 풍랑주의보가 발효되는 시간에 순간최대 평균풍속은 7.1~10.0m/s. 태풍주의보 시간에는 6.6~10.0m/s, 태풍경보시간에는 8.0~12.4m/s가 불었으며, 해상에 풍랑 및 태풍 특보의 최저기준인 14.0m/s이상의 바람은 불지 않은 것으로 추정된다.

한편 (4-9)는 2018.8.23.20:00 삼천포AWS 바람이 가장 강할 때 925hPa(기준고도 810m)유선/등풍속선 VDAPS 분석일기도이다. (4-9)(좌)의 일기도는 20시 현재 고도 810m 상층(925hPa면)에서는 제주도 북서해상에 저기압이 중심을 두고 사고해상을 포함한 남해동부 해상에는 NE풍계열의 바람이 25kts(약 12.86m/s)이상의 바람이 불고 있다. (4-9)(우)는 사고해역을 확대한 925hPa의 유선 및 등풍속선도 이다. 사고해상은 사천만 중심 내해(內海)에 위치하여 북쪽과 서쪽은 육지에 인접하고, 사천만 남쪽으로는 남해도-창산도 등 섬으로 막혀 있고, 동쪽은 각산(해발 408.4m)-천황봉(해발 630m)-새섬봉(해발 801.4m)-봉대산(해발 281.3m)의 산들로 둘러싸인 사천만 중심에 위치하고 있다. 남해동부해상 대부분은 25kts/s이상의 바람이 불고 있으나, 사고해상에는 동쪽의 높은 산들이 위치하여 NE풍 계열의 바람이 막혀 사고해상을 포함한 사천만은 20~25kts의 바람이 불어 다른 지역보다 상대적으로 바람이 약하다. 이와 같은 풍속은 그림 4-9의 사고해상 주변 4개 AWS 순간최대 평균풍속 12.4m/s와 비슷하나, 실제 사고지점은 해상으로 925hPa 기준고도 810m보다 낮고 동쪽에 위치한 산 등 지형의 영향으로 실제 바람은 더 약할 것으로 판단된다.



| 4-9 | 2018.8.23.20:00. 925hPa유선/등풍속선도(VDAPS분석일기도), (좌) 전국, (우)사고해상 확대

(4-10)은 지상으로부터 높이에 따른 일반적인 풍속의 분포이다. 지균풍은 지표면 마찰의 영향을 받지 않은 지상 1km 정도의 자유대기에서 부는 바람이다. 기상청 관측기준인 지상 10m에서는 지표면의 마찰 등으로 지균풍의 약 20~30%의 바람이 부는데 지상 500m이상의 고도에서는 지균풍의 90~100%정도의 바람이 분다. 따라서 사고 해상인 지점의 지상바람은 그림 4-10(우) 925hPa의 표준고도인 810m의 고도에서 25kts(12.4m/s)일 때 사고해상인 경우는 약 60%인 15kts(7.5m/s)로 추정된다.

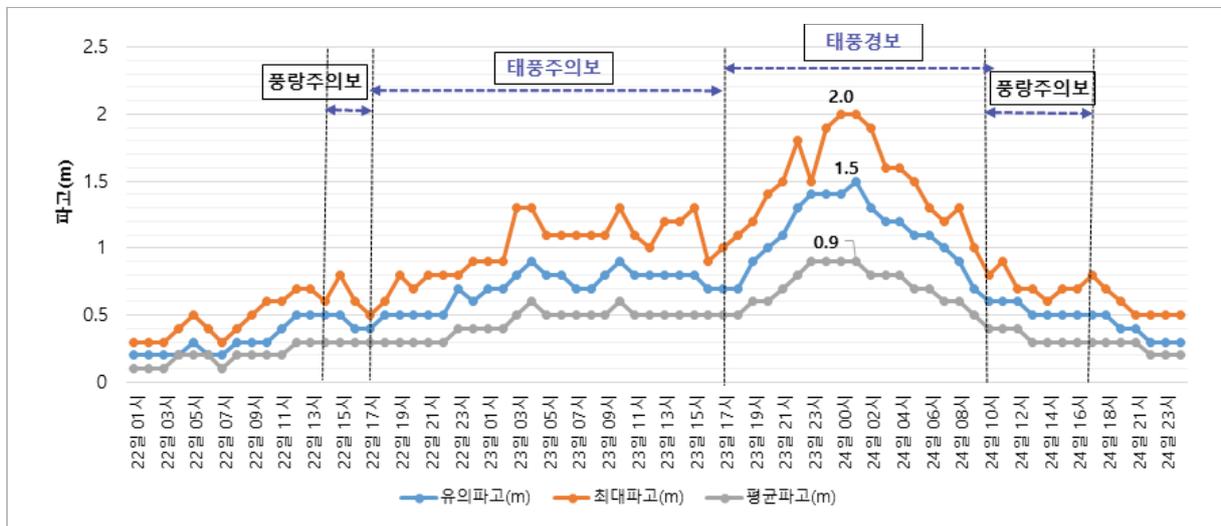


| 4-10 | 고도에 따른 바람의 연직분포

### 라. 해상관측 자료분석

(4-11)은 사고해상에서 남동쪽 17.5km 지점인 삼천포 앞바다에 위치한 사랑도파고부이의 8월 22일부터 3일간 파고 시계열 관측자료 및 해상특보 현황이다.

3일중 최대파고는 2.0m, 최대유의파고는 1.5m, 최대평균파고는 0.9m로 8월 24일 01시에 나타났으며, 이 시간은 사랑도 파고부이에서 북북서쪽 약 10km지점에 있는 삼천포AWS에서 최대풍 관측 시간인 23일 20시보다 5시간 늦게 나타났고, 해상사고지점에 추정된 최고풍이 나타나는 시간과는 동일하다. 또한 육상의 AWS관측지점의 최근접 태풍중심이 지나가는 24일 02시보다는 1시간이 늦다.



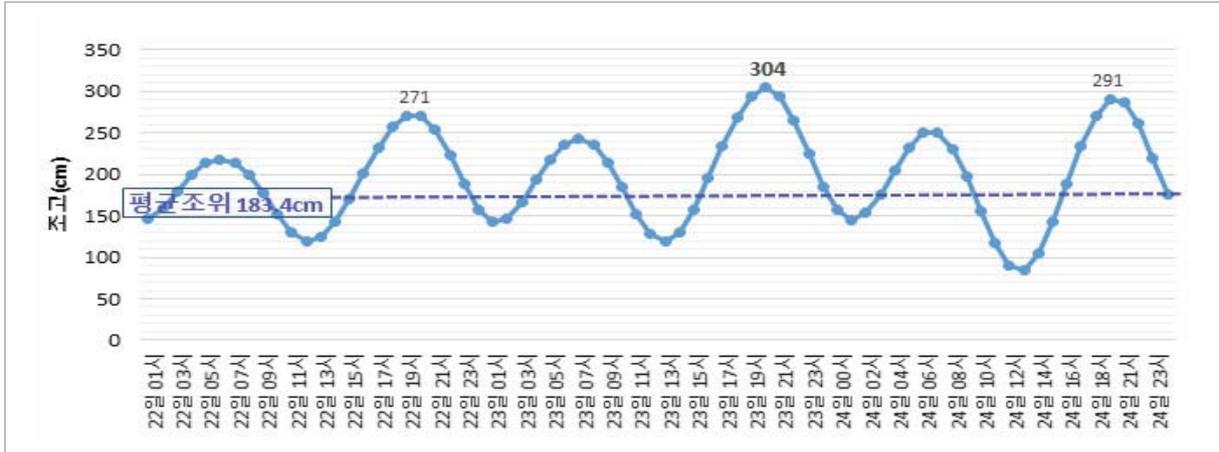
4-11 | 2018.8.23.~8.24. 사랑도파고부이 파고 및 해상특보

표 4-2 | 파고의 분류<sup>1)</sup>

구 분	산출 방법
최대파고	· 가장 높은 파고
평균파고	· 모든 파고를 평균한 파고로서, 잇따라 진행해가는 N개의 파(파고 30cm 이하의 파는 제외) 모두에 대해 평균한 파고를 말한다.
유의파고	· N개의 파 중에서 파고가 높은 N/3개를 선정하고 이들 파고를 평균한 파고를 말하며, 1/3 최고 파고라고도 한다. 유의파고는 해상의 파고 상태를 나타내는 표준으로 사용하고 있다. → 일반적으로 최대파고=1.61×유의파고, 평균파고=0.63×유의파고의 관계가 있다.
1/10최고파고	· 이외에, 파고가 높은 N/10개를 선정하고 이들 파고를 평균한 파고인 1/10 최고파고 등이 있다.

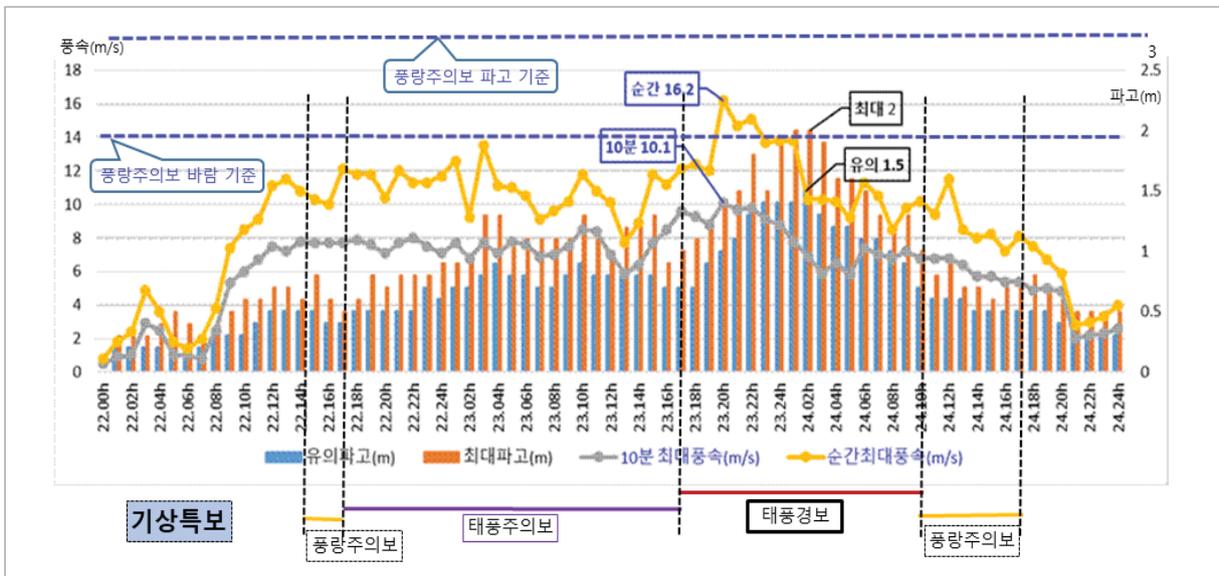
1) 소방방재청, 제5호 재난상황관리 정보(해파),

또한 해상의 특보인 파랑주의보의 기준인 '유의파고 3.0m'의 절반에도 못 미칠 뿐만 아니라 발효된 해상특보의 파고조건을 절반도 충족하지 못했다.



| 4-12 | 2018.8.23.~8.24. 삼천포항 조위관측 자료

(4-12)는 삼천포항의 조위(潮位)관측<sup>2)</sup> 기록으로 3일중 최고조위는 8월 23일 20시에 조고 304cm로 최고 높았고, 평균 조고는 183.4cm이며 주기는 약 13시간이다. 최고조위 시각은 삼천포AWS의 바람 최대풍이 나타난 시간이나 사량도 파고부이의 최대파고가 나타난 8월 24일 01시보다는 5시간 빠르다.

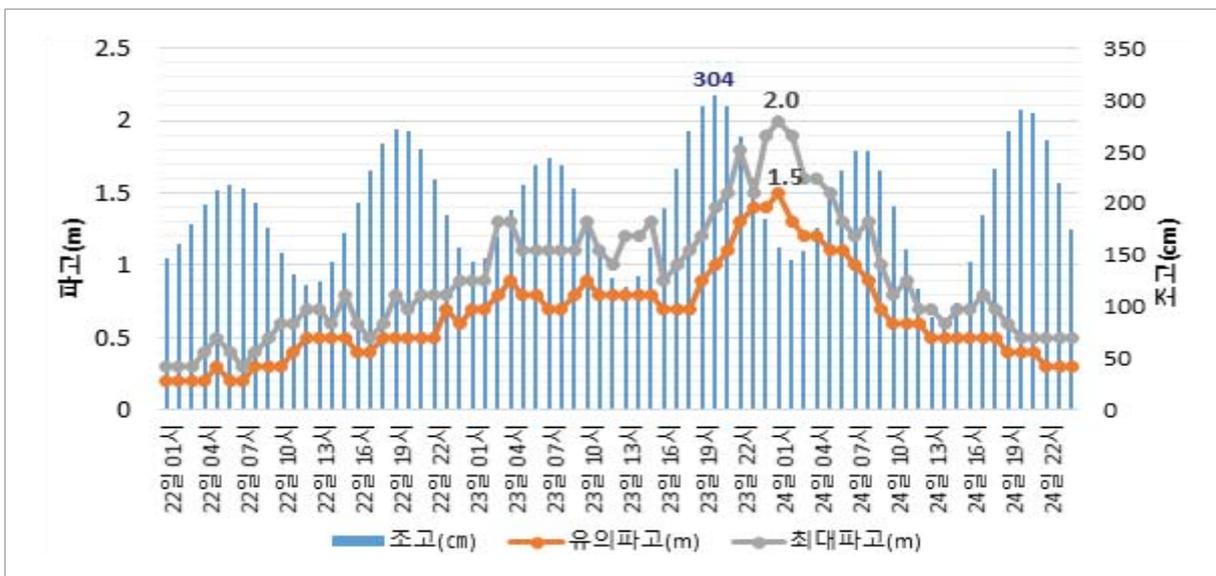


| 4-13 | 2018.8.23.~8.24. 삼천포AWS, 사량도파고부이 파고, 해상 특보 비교

2) 국립해양조사원 누리집 <http://www.khoa.go.kr>



(4-13)은 삼천포AWS 바람과 사랑도 파고부이 파고 및 해상특보를 비교한 그림이다. 삼천포AWS 바람은 23일 20시에 최대풍이 불었으나, 사랑도의 최대파고는 24일 01시 나타나 최대풍이 불고 5시간 후에 최대파고가 나타났다. 한편 사고해상은 사천만 내해(內海)에 위치하여 주변이 섬과 산으로 둘러싸여 사랑도 파고부이가 위치한 남해 외해(外海)의 파고 영향을 직접적으로 받지 않은 지형적 여건으로 최대파고는 2.0m보다 많이 낮은 파고가 24일 01시를 전후에 나타났을 것으로 판단된다. 한편 해상의 최대파고는 2.0m, 유의최대파고는 1.5m로 태풍경보 시 풍랑경보 기준인 유의파고 5.0m에는 1/3도 미치고 못하고, 바람은 풍랑경보기준인 21.0m/s이상이나 10분 최대풍속이 10.1m/s로 기준에 절반도 못 미친다.



| 4-14 | 2018.8.23.~8.24. 삼천포항 조위 및 사랑도파고부이 파고 비교

(4-14)는 시간별 삼천포항 조위 및 사랑도 파고부이 파고를 비교한 것이다. 삼천포항의 최대 조위는 304cm로 23일 20시에 나타났으나, 최대파고는 2.0m는 24일 01시에 나타나 평균조위 보다 낮은 시간에 파고와 조위의 상승작용은 없었으며, 사고해상도 역시 같은 상황일 것으로 판단된다.

아울러 사랑도 해상의 유의파고는 최대 1.5m였으며, 3일중 최대유의 파고가 나타난 24일 01시 전후 12시간을 제외하면 1m미만으로 잔잔했으며, 사고해상은 사랑도 부이관측 파고보다 더욱 잔잔했을 것으로 판단된다.



02

# 가상시나리오(해상안개)

한국기상감정사협회 기상감정사 | 권태순

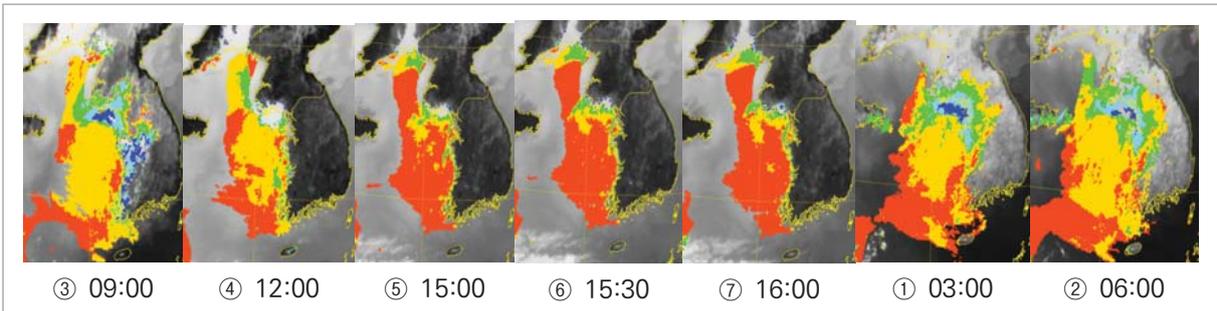
- 0 시나리오 개요
- 1 의뢰내용
- 2 조사내용
- 3 기상감정 결과 및 의견



# 해상안개로 화물선 흑산도항 인근 해안바위와 충돌사고 사건 개요

○○해운(대표이사 오○○, 62세)은 전라남도 신안군 흑산도항에서 목포항으로 비정기 화물선을 운항하는 해운회사이다. ○○해운 소속 화물선(50Ton) △△호(선장 이○○, 56세)는 흑산도항에서 화물을 선적(船積)하고, 2018년 3월 25일 오후 3시경에 흑산도항을 출발하여 중간 경유지인 전라남도 신안군 영산도항을 가기 위해 운항 중 같은 날 오후 3시 30분경 흑산도 북동쪽 해안의 바위와 충돌하는 사고가 발생하여 좌초되어 해경에 구조요청을 하였다. 이 사고로 화물선 △△호는 선박의 우측 앞부분이 파손되고, 충돌로 인한 충격으로 선적하고 있던 건어물 상자 등 화물의 파손 등의 피해를 입었다.

2018년 3월 25일 흑산도 및 주변 해상과 서해 전해상은 새벽부터 안개가 짙어져 하루 종일 안개가 짙어지고 알아지기를 반복했고, 사고가 발생한 당일 15시 30분경에는 흑산도 및 주변 해상에는 짙은 해상안개 즉 해무가 기상위성에서 관측되었다(아래 그림 ⑥).



| 2018. 3. 25. 천리안기상위성 안개관측 영상 |

화물선 △△호는 ○○화재해상보험에 가입되어 있어, 동 사고는 짙은 해상안개로 인한 불가항력적인 사고로 보험금을 청구하였다.

그러나 현장 조사 및 분석 등을 거친 ○○화재해상보험사는 피보험 선박인 화물선 △△호(선장 이○○, 56세)가 주장하는 짙은 해상안개로 인한 불가항력적인 사고 주장에 대해 동 사고의 직접적인 인과(因果)관계를 명백하게 증명하기 어렵고, 화물선 △△호의 운항 미숙 및 부주의 등으로 사고가 발생했을 것으로 추정되므로 보험금 전액보상을 거부하고 동 사고에 대한 기상감정을 의뢰하여 왔다.

## 기 상 감 정 서

1. 업체명 : (사)한국기상감정사협회
2. 대표자 : ○ ○ ○
3. 기상감정사 : 권 태 순
4. 계약명 : △△화물선 전남 흑산도항 인근 해안바위와 충돌사고 기상감정

위 계약에 따라 기상감정서를 발급합니다.

2018 년 4 월 25 일

(사)한국기상감정사협회



## 1 의뢰내용

1) 감정대상 일시 : 2018년 3월 25일(일). 15:30

2) 감정대상 장소 : 전남 신안군 흑산면 ○○리  
〈○○○ 북동쪽 해안바위〉

### 3) 기상감정 목적

- 해상을 운행하는 화물운반용 선박은 종합해상화재보험에 의무적 가입토록 규정되어 있고, 피보험 선박이 해상을 운행 중 사고 시는 보험약관에 의거 보험금을 지급토록 규정되어 있음
- 피보험 선박 화물선 △△호(선장 이○○, 56세)는 2018년 3월 25일 오후 3시경에 전남 신안군 ○○○항을 출항(出港) 당시 해상의 안개로 평소 화물선이 시속 약 22knots(40.74km)로 운항하였으나 사고 당일은 10knots(18.52km) 속도로 운항중 당일 오후 3시 30분경에 ○○○ 북동쪽 해안의 바위와 충돌하는 사고가 발생했다. 화물선 △△호의 선사(船社)인 ○○해운(대표이사 오○○, 62세)은 동 선박이 운항 중 해상의 짙은 안개로 인해 선박의 운항 시야(視野) 확보가 어려운 불가항력적인 해상사고로 ○○해상화재보험에 보험금 지급을 신청하였다.
- 그러나 ○○해상화재보험사는 사고현장을 조사·분석한 결과 해상의 짙은 안개로 인한 불가항력적인 충돌사고가 아니라 사고 선박의 운항 미숙 및 부주의로 인한 사고로 보험금 전액 지급이 불가하므로 이를 증명하기 위해 기상감정을 신청했다.
- 이에 기상감정 의뢰인 ○○해상화재보험 목포지부(지부장 김○○, 52세)는 2018년 3월 25일 오후 3시 30분경 ‘전남 신안군 흑산면 ○○리’○○○ 북동쪽 해상의 안개현상 발생과 그에 따른 선박 운항의 영향을 감정하여 줄 것을 의뢰함
- 의뢰인 주소 : 전라남도 목포시 ○○동 ○○번지
- 의뢰인 성명 : 김○○(52세, ○○해상화재보험 목포지부장)

## 2 조사내용

1) 조사기간 : 2018년 4월 10일 ~ 2018년 4월 25일

### 2) 사전조사

#### ○ 감정의뢰 사고 개요

- 일시 : 2018년 3월 25일(일). 15시 30분
- 장소 : 전남 신안군 흑산면 ○○리 <○○ 북동쪽 해상 및 해안바위>
- 개요 : 사고지점은 ○○○항에서 4.6km 거리에 위치한 ○○○ 북동쪽 해안바위와 충돌하고 좌초되어 화물선 △△호는 선박의 우측 앞부분이 파손되고, 충돌로 인한 충격으로 선적하고 있던 건어물 상자 등 화물의 파손 등의 피해를 입는 사고가 발생했음

#### ○ 감정대상 지점 환경

- 감정대상 사고지점은 ○○○~목포 간 여객선 및 화물선이 운항하는 경로로 ○○○항에서 4.6km 떨어져 있고, 사고는 선박은 ○○○항을 떠난 지 30분 지난 시점에 사고가 발생했다. 사고지점은 모든 선박들이 ○○○항을 출발하여 ○○○항 방파제를 빠져나와 목포방면으로 방향을 우회하는 지점으로 지형이 높이 2~10m 내외의 바위로 이어진 지점으로 평소에도 크고 작은 선박들이 배의 전방 우측에 충돌하는 사고가 자주 발생하는 지점이다.



|그림 1-1| 사고지점 위치 및 지형 확대도

- 사고지점으로부터 가장 가까운 기상청의 관측은 전남 신안군 흑산면 예리에 해발 75m 산 정상부근에 위치한 ○○○기상대로 사고지점으로부터 남서방향으로 직선거리 1km 떨어진 지점이나 산에 정상부근에 위치한 ○○○기상대에서는 지형지물의 방해로 눈으로 확인은 불가능한 지점에 있다.



### 3) 자료분석

- 본 감정은 감정대상 해상에서 사고 시각에 해상의 안개현상 의한 시정장애가 사고 발생과 인과관계가 있는지를 분석하기 위해 사고시간 전후의 사고 해상에서의 안개 발생을 규명하기 위해 기상청의 지상 및 925hPa 상층 분석일기도 활용하여 안개 발생에 대한 종관기상 분석을 실시하였다.
- 사고 해상에서 안개 발생이 가능한 상황 및 원인을 규명하기 위해 국지기상예측모델(KLPS)의 지상일기도, 925hPa 일기도, 지상 안개 가시거리 국지모델(LDPS) 예상도를 분석하여 서해상에서 안개가 발생할 수 있는 수분역이 존재하는지, 925hPa 상층에서 해수면의 기온보다 높은 공기가 사고해역을 포함한 서해상으로 이동하는지를 분석하였다.
- 사고 해상에서 안개 발생을 위한 상·하층간의 조건을 분석하기 위해 사고 해상에서 남서쪽으로 약 1km 떨어진 000기상대의 3월 25일 09시와 21시 대기선도를 분석하였다.
- 사고 해상에서 실제 안개가 끼었는지의 여부를 조사하기 위해 기상청의 천리안기상위성 관측영상과 해수면온도(SST) 및 해무 관측영상, 운형 및 운정 관측영상을 분석하였다.
- 사고해상에서 사고전후의 기상상황을 파악하기 위해 사고해상에서 남서쪽으로 1km 떨어진 000기상대의 사고 당일인 3월 25일 ASOS 관측자료, 사고시간 전후의 매시간 관측자료 및 지상과 해상의 시정관측자료를 분석하였다.
- 사고 당일인 3월 25일의 000와 주변 해상에 날씨를 분석하기 위해 광주지방기상청의 단기예보와 시범운영 중이던 안개특보를 분석하였다.
  - ⇒ [붙임 1] 감정의뢰 상세 배경(사고개요, 사고지점 환경, 안개 등)
  - [붙임 2] 자료분석(지상 및 상층 일기도, 대기선도, 기상위성 및 지상 관측 자료 등)
- 사고해상인 000 부근 해상을 포함한 서해상의 안개특성과 특히 봄~가을 서해와 남해에서 주로 발생하는 이류(해무)안개의 특성과 과거의 사례를 조사하여 2018년 3월 25일 사고 당시 해무와 비교분석 및 인과관계를 분석하였다.
  - ⇒ [붙임 3] 해안바위 충돌사고와 인과관계 분석(안개발생의 특징, 서해상 해무사례 등)

#### 4) 참고자료

- 그림 1-1, 사고지점 현장 및 사고 화물선 운항 경로, OOO기상대 위치도
- 그림 2-1, 지상일기도 (좌)2018.3.25.09시, (중)2018.3.25.12시, (우)2018.3.25.12시
- 그림 2-2, 925hPa일기도 (좌)2018.3.25.09시, (우)2018.3.25.15시
- 그림 2-3, KLPS지상국지일기도 (좌)2018.3.25.09시, (우)2018.3.25.15시
- 그림 2-4, KLPS 925hPa일기도 (좌)2018.3.25.09시, (우)2018.3.25.15시
- 그림 2-5, LDPS 지상안개 가시거리 예상도 (좌)2018.3.25.09시, (우)2018.3.25.15시
- 그림 2-6, 2018.3.25. OOO 단열선도 (좌)09시(청), 21시(적), (우)15시 UM국지 예상단열선도
- 그림 2-7, 2018.3.25. 천리안기상위성 관측 영상, (좌)해수면온도(SST), (우)15:30 해무
- 그림 2-8, 2018.3.25.15:30 천리안기상위성 관측 영상, (좌)운형, (우)운정고도
- 그림 2-9, 2018.3.25 OOO기상대 ASOS관측자료
- 그림 2-10, 2018.3.25.05:00 광주지방기상청 단기예보문(육상, 해상)
- 그림 2-11, 2018.3.25.06:00 광주지방기상청 안개특보(시범운영) 및 발표 및 특보 구역도
- 그림 3-1, 1989~2008년(20년)간 8개 지역별 안개발생 일 수(손희정 등, 2010)
- 그림 3-2, 서해상의 해무발생 및 내륙 유입 모식도
- 그림 3-3, 2018.3.25. OOO 단열선도 (좌)09시(청), 21시(적), (우)LCL 개념도
- 그림 3-4, 2018.3.25.15:30(사고당시) 천리안기상위성 관측 영상, ① 가시영상, ② 합성영상, ③ 안개영상, ④ 해수면온도(SST)영상
- 그림 3-5, 2018.3.25. 15:00~16:00 OOO 지상 및 해상 시정 분포도
  
- 표 1-1, 안개의 종류별 특징
- 표 1-2, 시정에 따른 안개의 국제 분류 기준
- 표 1-3, 기상청의 안개강도 분류 기준
- 표 2-1, 2018.3.25. OOO기상대 매시간별 기상
- 표 2-2, 2018.3.25.12:00~18:00 OOO기상대 시간별 기상
- 표 2-3, 2018.3.24.~3.26 OOO 안개특보(시범운영) 현황
- 표 3-1, 2018.3.25. 09시. 15시. 21시 OOO 기상현황
- 표 3-2, 2018.3.25. 사고시간 전후 OOO기상대 및 사고지점 시정(km)



### 3 기상감정 결과 및 의견

#### 1) 기상감정 결과

##### ○ 지상일기도 분석 (그림 2-1)

- 2018년 3월 25일 09시 서해남부 해상에 중심기압 1,027hPa의 이동성고기압 정체하면서 우리나라, 일본, 중국의 고기압의 영향을 받는 지역에서는 안개가 넓은 지역에 분포하고 있다. 이 고기압은 일본 동쪽해상에 중심을 고기압의 영향으로 이동이 지체되고 중국 내륙에서 동서로 영향을 미치는 고기압대로 매우 안정적인 구조화를 이루고 있다. 한편 시베리아로부터 동해북부로 한기가 남하하고 있다.
- 3월 25일 12시 서해남부 해상에 이동성고기압의 중심세력을 유지하면서 정체하고 있으나, 대기는 매우 안정되어 있고 000 지방을 포함한 우리나라 서해안, 중국 동해안, 제주까지 안개가 계속되고 있으나 범위는 많이 줄어들고 있다.
- 3월 25일 15시 서해남부 해상의 이동성고기압은 약화는 되었으나 정체되고 있으며 영향 범위는 서해와 남해 해상으로 축소되었고 안개지역도 000, 백령도 등으로 범위가 축소되었다.

##### ○ 925hPa 상층일기도 분석 (그림 2-2)

- 3월 25일 09시 제주도 남쪽의 877hPa 고기압은 지상의 일기도와 같은 위치에 안정된 고기압 구조를 이루고 있으며, 서해 전해상은 10℃ 내외의 한기(Cold)역에 들고 있으며 000 부근해상은 난기(Warm)역과 한기역의 경계에 위치하여 기온 차에 의한 안개발생의 환경이 갖추어져 있다.
- 3월 25일 15시 분석일기도에서 전시간과 같은 위치에 고기압이 머물고 있으나 다소 약화되고 영향 범위도 축소되고 있다. 000와 서해 및 남해는 동해 먼 바다에서 확장하는 한기역에 들어 있어 전 시간에 비해 안개가 약해지거나 발생 확률이 낮아지는 환경이 되었다.

##### ○ 국지기상예측모델(KLPS) 분석

- 모델이 예측한 3월 25일 09시 지상 습윤 및 바람 국지분석 일기도에서 서해안을 비롯한 서해 및 남해 전역이 기온과 노점온도 차가 1℃ 이하인 습윤구역이 위치하고 사고지점인 000 부근 해상은 기온이 6℃이나 주변보다는 약한 한기가 서해중부에서 확장하고 있으나 다소 따뜻하고 약한 남풍 계열의 바람이 불고 있다. 3월 25일 15시 분석일기도는 습윤역이 서해와 남해 해상으로 축소되고, 사고지점인 000 부근 해상은 전 시간보다 기온이 6℃에서 8℃로 2℃ 상승하고, 전 시간과 동일하게 약한 남풍 계열의 바람이 불고 있다(그림 2-3).

- 25일 09시 925hPa 습윤 및 바람 국지분석일기도로 서해중부해상에 중앙에 중심부근의 기온이 11℃의 한기역이 서해전역에 걸쳐 자리 잡고 있으며 약한 북풍 계열의 바람이 불고 있어 북쪽해상의 다소 기온이 낮은 공기가 사고해상으로 약하게 이동하여 기온이 낮은 편이다. 15시 예상일기도는 서해해상 전역은 전 시간에 서~북풍계열의 바람으로 찬 공기가 이류하고 있었으나 15시는 서해 전해상이 남풍계열의 바람이 불어 전 시간에 서해중부해상 중심에 중심부근 기온이 11℃이던 한기역이 우리나라 태안반도 앞바다도 이동하면서 중심부근의 기온이 9℃로 약화는 되었지만 서해해상전역은 한기역의 영향을 받고 있어 해무는 지속이 된 것으로 예상된다. 특히 사고 지점을 비롯한 진도 앞바다까지 3~4℃의 찬 공기가 북서쪽에서 남동방향으로 지배하고 있으나 범위가 적어 해무발생의 약화가 예상된다. 000 부근해상은 주변보다 기온이 낮은 약한 동풍계열의 바람이 불고 건조하다(그림 2-4).
- 모델이 예측한 3월 25일 09시 지상안개 가시거리 예상일기도에서 사고지점인 000주변 해상을 포함한 서해상은 가시거리 100m 이하의 넓은 안개역이 위치하고 있으나, 목포쪽 서해안으로 시정은 급격히 좋아지는 분포를 보이고 있다. 3월 25일 15시의 지상안개 가시거리 예상일기도는 서해상은 전 시간에 비해 안개지역이 확대되었으나 사고지점인 000 부근해상은 전 시간에 비해 안개가 열어지고, 서해 안쪽부터 시정이 더 좋아지고 있다(그림 2-5).

#### ○ 000 단열선도 분석(그림 2-6)

- 3월 25일 09시 000 지상은 기압이 1,026hPa, 기온은 5℃이나 1,000hPa 상층은 11℃로 층의 높이는 낮으나 아주 강한 역전층이 있고, 지면은 아주 약한 남서풍이 불고 있으나 지면 부근에서 습윤(안개)하나 습윤층의 두께는 지면 근처로 낮다. 25일 21시에는 지상기온은 4℃이나 950hPa 상층 11℃로 당일 09시보다 키가 높아진 아주 강한 역전층이 지속되고 있으며, 지면은 약한 서풍이 불고 있으나 지면부근에서 습윤하나 높이는 전시간 보다 높아졌다. 3월 25일 15시 UM국지모델 000 예상단열선도는 1,000hPa의 기온이 10℃이나 970hPa은 11℃로 약한 역전층이 있고 습도는 일사로 아주 약하고 약한 남서풍 계열의 바람이 불고 있어, 전 시간(09시)보다 역전층이 약해지고 지면의 습도도 약해져서 지면 부근의 안개는 약해지는 것으로 예측하고 있다.

#### ○ 기상위성 영상 분석

- 3월 25일 우리나라 서해안과 연접한 서해상은 해수면 온도(SST)가 4~6℃로 7℃ 내외의 중국의 동안과 9~12℃의 남해상 보다 상대적으로 해수면 온도가 낮고, 서해안 쪽으로는 그 차가 더욱 크다. 특히 사고지점인 000를 포함한 목포 앞바다는 해수면 온도 6~10℃의 분포로 온도 경도가 4℃ 이상으로 다른 지역보다는 온도변화가 큰 지역으로 남풍계열의 바람이 불 경우는 보다 따뜻한 공기유입으로 안개 소산이 빠르게 진행될 것으로 예상된다(그림 2-7,좌).



- 사고 당시 15시 30분 해무관측 영상에서 사고지점을 포함한 서해의 대부분 해상이 지상기온과 구름 꼭대기(운정)의 온도 차가 2℃ 미만(진한황색) 지역으로 고도가 낮은 해무일 가능성이 높은 지역이며, 가시거리가 짧은 지역들로 SST가 낮은 지역과 일치하고 있다(그림 2-7,우).
- 사고 당시 15시 30분 우리나라 서해에 넓게 관측된 운형은 최하층운(Very low cloud)인 층운 즉, 안개(해무)로 판단되고, 서해상 대부분의 구름(해무)이 낀 해상의 운정고도는 500m이상이나, 사고가 발생한 000 주변 해상과 경기만은 운정고도가 0~500m 키가 낮은 해무가 끼여 있어 이 해상에서는 가시거리가 짧을 것으로 판단된다(그림 2-8).

### ○ 기상관측 자료 분석

- 3월 25일 000기상대 ASOS 관측자료에서 습도는 하루 종일(최저, 최고) 99%를 유지하고 있었고, 낮 중에 바람은 남풍이 2~4m/s로 평년값 5.3m/s 보다 약했으며, 기온은 최저 3.4℃, 최고 10.8℃로 평년(1991~2020년)값 4.6~10.6℃와 비슷했다. 사고가 발생한 15시 30분 전후에는 기온이 8℃도까지 내려가서 일시적으로 구름이 끼었다가 \*회복으며 바람은 남풍이 1.6m/s로 약하게 불었다(그림 2-9).
- 3월 25일 매시간 000기상대 종관자동기상관측자료에서 박무가 하루 종일 지속되었고, 안개가 오전 11시부터 17시까지 열어지고 짙어졌다를 반복했다. 사고 발생 전후인 15:00~16:00의 기상은 안개 및 박무 현상이 반복되어서 시정은 480~1,450m 좋아지고 나빠지기를 반복했고, 낮고 얇은 구름으로 일조와 일사가 관측되었다. 기온은 9.5~9.8℃, 바람은 남풍이 1.3~2.0m/s로 약하게 불었다. 15:00에는 전운량 10으로 안개는 많이 끼었으나 시정은 480m로 안개 강도는 1(중)이고, 최저운고는 500m로 다소 높게 끼었으며, 16:00는 전운량이 9, 시정이 1,450m로 다소 약화는 되어 박무현상으로 변했으나 지면부근의 안개고도가 100m로 높아지면서 구름이 층적운(Sc)로 관측되었다(표 2-1).
- 25일 15시 30분 사고 전후 000 기상현상은 13:00에 안개가 짙어지고, 14:00에는 안개는 끝났다. 15:00는 안개가 다시 시작되어 짙어지고 있고 있었으나, 16:00은 안개가 끝이 났다. 17:00는 안개가 짙어져서 안개현상이 반복되었다(표 2-2).

### ○ 기상예보 및 특보 분석

- 광주지방기상청이 2018년 3월 25일 05:00에 발표한 단기예보에서 25일 000는 대체로 맑은 날씨, 오전은 SW~W풍이, 오후는 S~SW풍이 약간 강하게 불고, 낮 최고 기온은 13℃를 예보했다. 000를 비롯한 전남 남부 서해 앞바다는 SW~W풍이 4~7m/s로 불고 구름이 조금 끼는 날씨에 파고는 0.5m로 잔잔함을 예보하여 해상은 당분간 곳에 따라 짙은 안개로 향해나 조업 선박은 유의하기 바란다고 예보했다(그림 2-10).

- 광주지방기상청은 3월 24일과 25일에 시범운영중인 안개특보를 000 및 홍도에 다음과 같이 발표했다(그림 2-11).

| 표 2-3 | 2018.3.24.~3.26 000 안개특보(시범운영) 현황

구역	발효시각	해제시각
흑산, 홍도	2018. 3. 24. 19:00	2018. 3. 25. 11:00
	2018. 3. 25. 17:00	2018. 3. 26. 11:00

## 2) 사고와 인과관계

### ○ 안개 발생 빈도와 분포 (그림 3-1)

- 1989년부터 2008년까지 20년간 기상청과 공군에서 관측한 안개를 대상으로 한 연구에서 안개 일수가 가장 많은 지역은 산악지역이고, 4계절 중 내륙은 가을철에 안개 발생빈도 높고, 서해안은 봄과 여름에 안개 발생빈도가 높는데, 바다에서 발생하는 바다(이류)안개의 영향이 크기 때문에 분석되었다.

### ○ 바다안개(해무)의 발생 메카니즘 (그림 3-2)

- 이류안개의 대표적인 현상이 바다안개(이하 해무)로 차가운 해수면 위로 따뜻한 공기가 이류하여 포화될 때 발생한다.
- 서해상의 해무는 지상에서 925hPa 고도 내의 풍계에 따라 내륙으로 들어오기도 하며, 안정한 대기상태에서 내륙의 복사안개와 동시에 만들어질 경우 해무는 더욱 오래 지속되고, 연안 및 내륙지역의 시정도 악화되는 경우가 있다.
- 해무는 저시정을 초래하고, 내륙으로 이동하면서 상승하여 낮은 층의 구름대인 층운(St)형 구름을 만든다.
- 우리나라 주변에서 발생하는 해무는 해수면 온도보다 기온이 높은 4~10월 사이에 나타난다. 특히, 서해상의 해무는 남서기류가 강화되는 5, 6, 7월에 집중되며, 이 중 7월에 발생빈도가 가장 높다.
- 해무는 복사무와 달리 아침시간 외에 낮에도 발생하며, 완전히 맑은 날보다는 남풍이 부는 구름(주로 층운(St)형)이 낀 날에 발생빈도가 더 높다(원덕진 등 2000).

### ○ 2018년 3월 25일 서해상 안개(해무) 발생(그림 3-3, 3-4, 3-5)

- 봄철에서 가을철까지 우리나라 서해와 남해에서 발생하는 바다 안개, 해무는 냉각 안개의 일종인 이류안개이다. 이류안개는 따뜻한 공기가 상대적으로 차가운 해수면이나 지면으로 이동(이류)시 하층의 공기층의 밑 부분이 냉각되어 발생하는 안개이며, 주로 육상에서



발생하는 복사 안개보다 두께가 두껍고, 발생 범위가 아주 넓으며, 지속성이 커서 한 번 발생하면 수 일 또는 그 이상 지속되는 특징을 가지고 있다.

- 2018년 3월 25일 09시 000의 단열선도는 지면으로부터 1,000hPa 고도까지 강한 역전층이 있으나, 상승응결고도(LCL: Lifted Condensation Level/ 최하층 운저고도)<sup>3)</sup>가 지면으로 구름 또는 안개의 밑면이 지면에 닿아있고, 습윤고도는 1,000hPa 고도 이하에만 분포하여 구름 또는 안개층이 얇다. 21시에 LCL은 일몰로 지면의 기온이 낮아져서 습윤고도는 전 시간보다 상승했지만 970hPa 고도 이하에만 약하게 나타나고 있어 09시 보다는 해무는 약해졌다.
- 3월 25일 사고 당시(15:30) 천리안기상위성이 관측한 서해상은 000를 비롯한 우리나라 서해안을 포함한 서해상에 넓게 밝은 흰색 영역(가시영상)은 두꺼운 구름으로 서해안을 따라 육지와 바다의 경계가 뚜렷한 것으로 보아 해무로 판단된다. 합성영상으로 관측된 진분홍색 구름은 기온이 높은 하층운으로 해상의 안개 즉 해무로 판단되며, 안개관측영상에서 황토색 지역은 안개 지역으로 서해상에 국한되어 위치하고 있어 해무이다. 해수면온도(SST)관측 영상에서 동일한 지역에 검게 보이는 지역은 위성이 해면을 관측하지 못하는 지역으로 두꺼운 구름층으로 덮여있는 것으로 해안선을 뚜렷한 경계를 나타내는 것은 육지와 해수면의 기온 차에 의한 구름 발생지역이 \*해상으로 해무로 판단된다.
- 25일 15시 30분 사고 당시 000 주변 해역을 포함한 서해상에서 925hPa 상층은 약 11℃의 공기가 상대적으로 온도가 낮은 서해상 해수면(SST 5~8℃) 위로 이동하여 하층이 응결하면서 안개 즉 해무가 지속적으로 발생했다.
- 25일 15:00~16:00. 5~10분 간격 000 지상 및 해상의 시정은 0.3~1.4km로 다음과 같다.

**| 표 3-2 |** 2018.3.25. 사고시간 전후 000기상대 및 사고지점 시정(km)

구 분	15:00	15:10	15:20	15:25	15:30	15:40	15:45	15:50	16:00
000기상대	0.5	0.3	0.3	0.3	<b>0.4</b>	0.4 이상	0.4 이상	1.4	1.4
사고지점	0.5 이하	0.3	0.3	0.3	<b>0.4</b>	0.4	0.4	1.4	1.4

### ○ 해무와 화물선의 해안바위 충돌과 인과관계

- 지상 및 상층 종관일기도, 000 대기선도, 기상위성의 구름관측 영상 등의 분석으로 서해남부해상에 중심을 둔 정체하고 상층과 연계된 안정된 이동성 고기압의 영향으로 925hPa 상층의 기온이 약 11℃의 공기가 상대적으로 온도가 낮은 서해상 해수면(SST 5~8℃) 위로 이동하여 하층이 응결하면서 안개 즉 해무가 지속적으로 발생했다.

3) LCL(Lifted Condensation Level 상승응결고도) 지표면 기온과 노점온도인 공기덩어리가 기온상승으로 연직상승 시 공기가 건조단열감률로 냉각되어 포화되는 고도 즉 구름이나 안개가 발생되는 고도

- 25일 09시 사고해상 인근의 000의 단열선도는 지면으로부터 1,000hPa 고도까지 강한 역전층이 있으나, 최하층 운저고도인 상승응결고도(LCL)가 지면으로 구름 또는 안개의 밑면이 지면에 닿아있고, 습윤고도는 1,000hPa 고도 이하에만 분포하여 구름 또는 안개층이 얇다.
- 25일 15:30 사고 당시 000 및 주변해상은 가시거리 즉 시정이 300~400m로 운항관제실이 뒤쪽에 위치한 화물선박의 운항에 지장을 초래하여 △△화물선의 전방 우측이 해안가 바위에 좌초되는 원인이 되었을 것으로 판단된다.

### 3) 관련 전문가 자문

- 해당사항 없음

## 붙임 1 기상감정의뢰 상세 배경

### 1. 감정의뢰 사고 개요

- 일시 : 2018년 3월 25일(일). 15시 30분
- 장소 : 전남 신안군 흑산면 00리  
〈000 북동쪽 해상 및 해안바위〉
- 개요 : 사고지점은 000항에서 4.6km 거리에 위치한 000 북동쪽 해안바위와 충돌하고 좌초되어 화물선 △△호는 선박의 우측 앞부분이 파손되고, 충돌로 인한 충격으로 선적하고 있던 건어물 상자 등 화물의 파손 등의 피해를 입는 사고가 발생했음

### 2. 감정대상 지점 환경

- 감정대상 지점 환경
  - 감정대상 사고지점은 000~목포 간 여객선 및 화물선이 운항하는 경로로 000항에서 4.6km 떨어져 있고, 사고는 선박은 000항을 떠난 지 30분 지난 시점에 사고가 발생했다.
  - 사고지점은 모든 선박들이 000항을 출발하여 000항 방파제를 빠져나와 목포 방면으로 방향을 우회하는 지점으로 지형이 높이가 2~10m 내외의 바위로 이어진 지점으로 평소에도 크고 작은 선박들이 배의 전방 우측에 충돌하는 사고가 자주 발생하는 지점이다.



그림 1-1 | 사고지점 현장 및 사고 화물선 운항 경로, 000기상대 위치도

- 사고지점으로부터 가장 가까운 기상청의 관측은 전남 신안군 흑산면 예리에 해발 75m 산 정상 부근에 위치한 000기상대로 사고지점으로부터 남서방향으로 직선거리 1km 떨어진 지점이나 산에 정상부근에 위치한 000기상대에서는 지형지물의 방해로 눈으로 확인은 불가능한 위치에 있다.

### 3. 안개(Fog)의 특성

#### ○ 정의와 발생원인

- 안개는 수증기가 응결핵을 중심으로 응결하여 생성되는 것으로 구름과 안개의 차이는 그것이 지표면에 접하여 생성되는 것은 안개, 지표면에서 떨어져 생성되는 것은 구름으로 결정되며, 본질적인 차이는 없다.
- 수적(水滴)으로 된 것을 안개(Fog)라고 하고 빙적(氷滴)으로 된 것을 빙무(Ice Fog)라 하며, 시정이 1km 이하일 때는 안개(Fog)라 한다. 또한 시정이 1km이상이지만 미소한 빙적으로 되어 있을 때 이를 옅은 안개(박무, Haze, Dry haze)라 한다.
- 안개는 대기 중의 수증기가 응결로 생성된 것이므로 응결이 일어나려면 기본적으로 다음과 같은 4가지 조건을 필요로 한다.
  - 공기가 수증기를 다량 함유하고 있을 것
  - 대기 중에 흡습성의 미립자(응결핵)를 많이 함유하고 있을 것
  - 공기 덩어리가 노점온도 이하로 냉각될 것
  - 공기 덩어리에 외부에서 다량으로 수증기를 공급할 것

#### ○ 정량적 지표

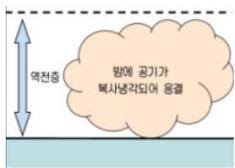
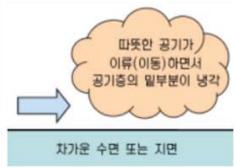
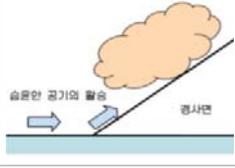
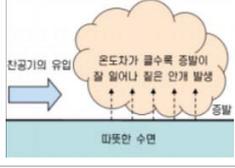
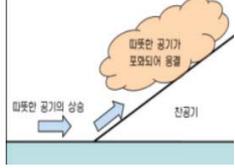
- 안개의 중요 정량적 지표는 시정거리와 지속시간이며, 이 중 시정거리는 가시거리를 객관적으로 정량화하는 지표이다.

- 시정거리(Visibility)는 대기 혼탁의 정도를 표시하는 척도로 통상 수평시정을 말하며, 일정 부피의 공기에 포함된 물방울이나 미세먼지의 양을 토대로 계산되어지는 값이다.
- 가시거리(Visual range)는 정상시력의 사람이 어떤 목표물(주간 검은색, 야간 1,000칸델라 등불)을 인식할 수 있는 최대거리를 의미하며, 일반적으로 시정거리와 동일한 개념으로 통용되었다.

○ 안개의 종류

- 안개는 발생 방식에 따라 냉각안개와 증발안개로 분류한다.
  - 냉각안개는 지면과 접해있는 공기층의 온도가 이슬점 이하가 되면서 발생하는 안개를 말하며 복사안개, 이류안개, 활승안개로 구분한다.
  - 증발안개는 찬 공기가 따뜻한 수면 위로 이동하여 따뜻한 수면의 증발로 안개가 발생하는 증기안개와 온난전선 상에서 따뜻한 공기가 찬 공기의 경사면을 따라 올라갈 때 생기는 전선안개가 있다.

| 표 1-1 | 안개의 종류별 특징

안개의 종류		특 징	주요 발생장소
냉각 안개	복사 안개 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 대부분 육상에서 복사냉각이 심하게 나타나는 가을, 겨울철에 많이 발생함</li> <li>■ 발생 조건은 날씨가 맑고, 바람이 약하게 불며, 습도가 높아야 함</li> </ul>	육상의 가을, 겨울에 산간, 분지 지역
	이류 안개 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 복사안개보다 두께가 두꺼우며, 발생하는 범위가 아주 넓음</li> <li>■ 지속성이 커서 한번 발생되면 수 일 또는 한 달 동안 지속되기도 함</li> </ul>	봄~가을 서해, 남해
	활승 안개 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 바다와 산이 맞닿아 있어 바다의 습윤한 공기가 높은 산으로 활승하면서 발생함</li> </ul>	영동지방 등 해안인접 산지
증발 안개	증기 안개 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 수면으로부터 증발에 의한 수증기의 공급과 함께 발생함</li> <li>■ 하층이 급속히 가열되므로 대기가 불안정 해짐</li> </ul>	늦은 가을, 겨울 호수나 강 부근
	전선 안개 	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ 온도가 다른 공기가 만나 전선을 형성함</li> <li>■ 온난전선에서 따뜻한 공기가 찬공기의 경사면을 타고 올라갈 때 구름이 만들어져 비가 내릴 때 발생</li> </ul>	내륙, 특히 고원



## ○ 안개의 강도 구분 및 기준

- 국내외 동일하게 시정거리 1km이하를 안개라 지칭하고 200m이하를 강도가 높은 안개로 분류한다.

**| 표 1-2 |** 시정에 따른 안개의 국제 분류 기준

시정 거리	분류 기준
≤ 40m	농밀한 안개(Dense fog)
40~200m	짙은 안개(Thick fog)
200~1000m	안개 (Fog)

※ 자료 : Highway Meteorology, E&FN spon. London, England, 1991

**| 표 1-3 |** 기상청의 안개강도 분류 기준

강도 0 (약)	강도 1 (중)	강도 2 (강)
1,000 ~ 500m	500 ~ 200m	200m 미만

## 붙임 2 자료분석

### 1. 지상일기도

○ [그림 2-1(좌)] 2018. 3. 25. 09시 지상일기도 서해남부해상에 중심기압 1027hPa의 이동성 고기압 정체하면서 우리나라 북부지방 일부를 제외한 전국과 중국동해안, 일본 오키나와까지 광범위하게 영향을 미치고 있으며, 상해부근에는 약한 기압골이 위치하고 있어 우리나라, 일본, 중국의 고기압의 영향을 받는 지역에서는 안개가 넓은 지역에 분포하고 있다. 이 고기압은 일본 동쪽해상 중심의 고기압의 영향으로 이동이 지체되었으며, \*\*중국 내륙에서 동서로 영향을 미치는 고기압대가 매우 안정적인 구조화를 이루고 있다. 한편 시베리아로부터 동해북부로 한기가 남하하고 있다.

[그림 2-1(중)] 2018. 3. 25. 12시 지상일기도는 전 시간에 서해남부해상에 중심기압 1027hPa의 이동성고기압의 중심세력을 유지하면서 그 자리에 위치하고 있으나, 북쪽 기압골의 발달과 이동으로 우리나라에서 영향권은 크게 축소되어 사고지점을 포함한 서해, 남해, 충청도, 전라도 지방이 영향권에 들고 있어 대기는 매우 안정되어 있고 000지방을 포함한 우리나라 서해안, 중국 동해안, 제주까지 안개가 계속되고 있으나 범위는 많이 줄어들고 있다.

[그림 2-1(우)] 2018. 3. 25. 15시 지상일기도는 전 시간에 서해남부해상에 이동성고기압이

1025hPa로 약화는 되었으나 그 위치에 머물러 있으며 이 고기압의 영향 범위는 서해와 남해 해상으로 축소되었고 안개지역도 OOO, 백령도 등으로 범위가 축소되었다.



그림 2-1 | 지상일기도 (좌) 2018.3.25.09시, (중) 2018.3.25.12시, (우) 2018.3.25.15시

## 2. 925hPa 상층일기도(기준고도 810gpm)

○ [그림 2-2(좌)]는 2018.3.25.09시 925hPa 분석일기도로 제주도 남쪽 먼 바다에 877hPa 고기압이 우리나라 중부지방과 서해, 남해에 폭넓게 영향을 미치고, 이 고기압은 지상의 일기도와 같은 위치에 안정된 고기압 구조를 이루고 있으며, 서해 전해상은 10℃내외의 Cold역에 들고 있으며 OOO 부근해상은 난기(Warm)역과 한기(Cold)역의 경계에 위치하여 기온 차에 의한 안개발생의 환경이 갖추어져 있다.

[그림 2-2(우)]는 2018.3.25.15시 925hPa 분석일기도로 전시간과 같은 위치에 고기압이 머물고 있으나 중심기압이 863hPa로 다소 약화되어 고기압의 영향 범위도 축소되고 있다. OOO와 서해 및 남해는 동해 먼 바다에서 확장하는 한기역에 들어 있어 전 시간에 비해 안개가 약해지거나 발생 확률이 낮아지는 환경이 되었다.

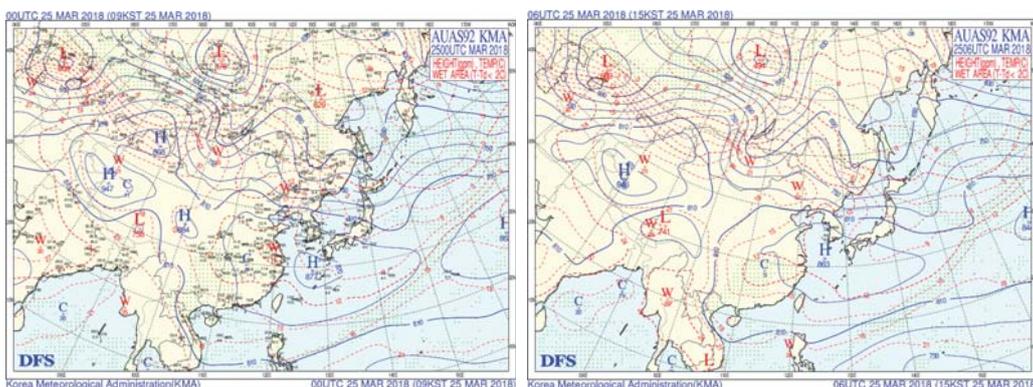


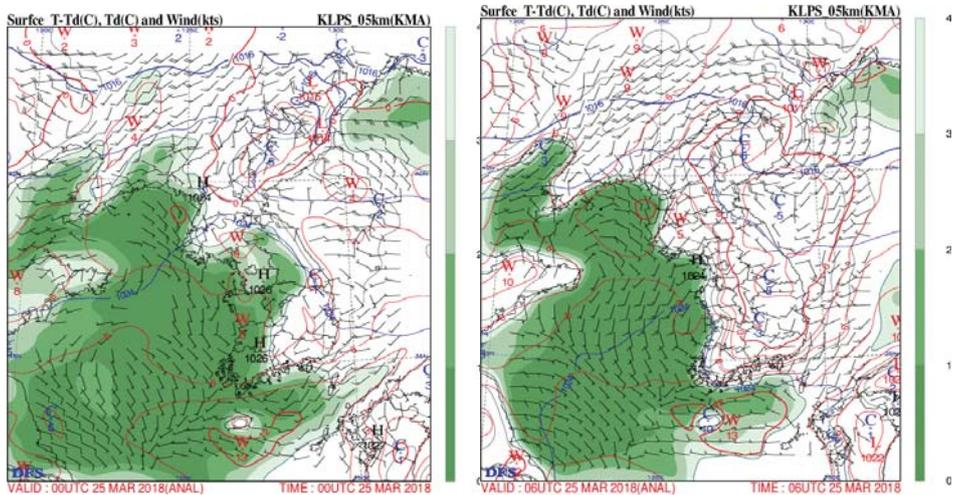
그림 2-2 | 925hPa일기도 (좌) 2018.3.25.09시, (우) 2018.3.25.15시

### 3. 국지기상예측모델(KLPS)

#### ○ 지상일기도

- [그림 2-3(좌)]는 2018.3.25.09시 지상 습윤 및 바람 국지분석일기도로 서해안을 비롯한 서해 및 남해 전역이 기온과 노점온도 차가 1℃이하인 습윤구역이 위치하고 사고지점인 000 부근 해상은 기온이 6℃이나 주변보다는 약한 한기가 서해중부에서 내려오고 있으나 다소 따뜻하고 약한 남풍 계열의 바람이 불고 있다.

[그림 2-3(우)]는 2018.3.25.15시 분석일기도로 습윤구역은 서해와 남해 해상으로 축소되고, 사고지점인 000 부근 해상은 전 시간보다 기온이 6℃에서 8℃로 2℃ 상승하고 전 시간과 동일하게 약한 남풍 계열의 바람이 불고 있다.



**그림 2-3** | KLPS지상국지일기도(습윤, 바람) (좌) 2018.3.25.09시. (우) 2018.3.25.15시

#### ○ 925hPa일기도

- [그림 2-4(좌)]는 2018.3.25.09시 925hPa 습윤 및 바람 국지분석일기도로 서해중부해상에 중앙에 중심부근의 기온이 11℃의 한기역이 서해전역에 걸쳐 자리잡고 있다. 사고지점을 비롯한 목포 앞바다는 약한 북풍 계열의 바람이 불고 있어 북쪽해상의 다소 기온이 낮은 공기가 사고해상으로 약하게 이동하여 기온이 낮은 편이다.

[그림 2-4(우)]는 2018.3.25.15시 일기도로 서해해상 전역은 전시간에 서~북풍계열의 바람이므로 찬공기가 이루어고 있었으나 15시는 서해 전해상이 남풍계열의 바람이 불어 전시간에 서해중부해상 중심에 중심부근 기온이 11℃이던 한기역이 우리나라 태안반도 앞바다도 이동하면서 중심부근의 기온이 9℃로 약화는 되었지만 서해해상전역은 한기역의 영향을 받고 있어 해무는 지속이 된 것으로 예상된다.

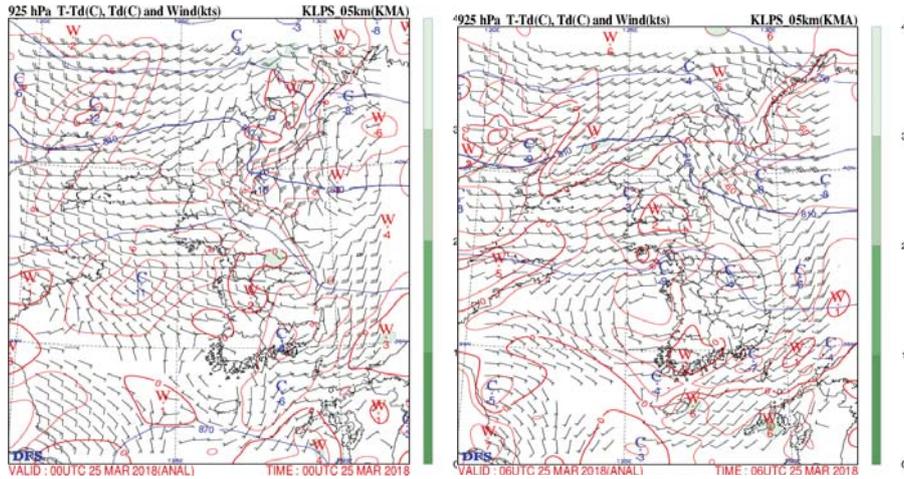


그림 2-4 | KLPS 925hPa 일기도 (좌) 2018.3.25.09시. (우) 2018.3.25.15시

특히 사고 지점을 비롯한 진도 앞바다까지 3~4℃의 찬 공기가 북서쪽에서 남동방향으로 지배하고 있으나 범위가 적어 해무발생의 약화가 예상된다. OOO 부근해상은 주변보다 기온이 낮은 약한 동풍계열의 바람이 불고 건조하다.

#### ○ 지상안개 가시거리 국지모델(LDPS) 예상도

- [그림 2-5(좌)]는 2018.3.25.09시 지상안개 가시거리 예상일기도로 서해상은 가시거리 100m이하의 넓은 안개역이 위치하고 있으며, 사고지점인 OOO 부근해상은 가시거리 100m 이하의 안개가 끼여있으나 목포쪽 서해안으로 시정은 급격히 좋아지는 분포를 보이고 있다. [그림 2-5(우)]는 2018.3.25.09시 예측한 15시의 지상안개 가시거리 예상일기도로 서해상은 전시간에 비해 안개지역이 확대되었으나 사고지점인 OOO 부근해상은 전시간에 비해 안개가 열어지고, 전시간 보다 서해안으로부터 시정이 더 좋아지고 있다.

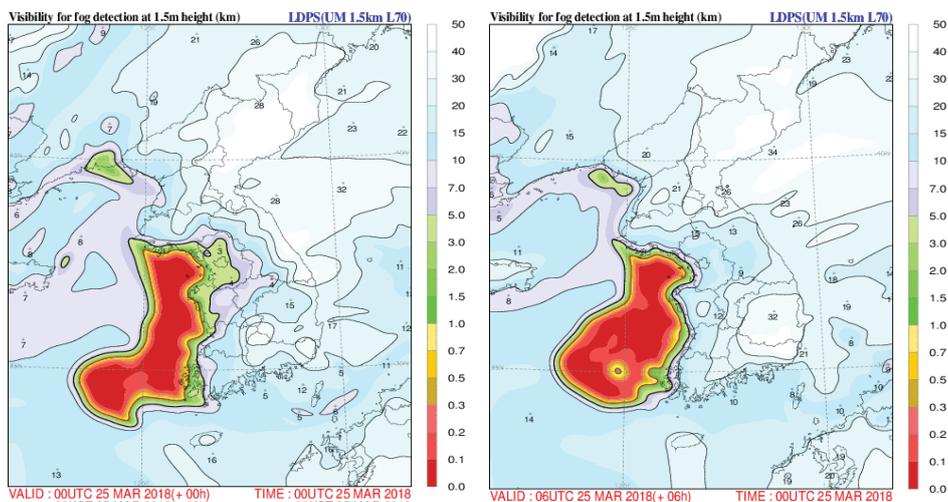
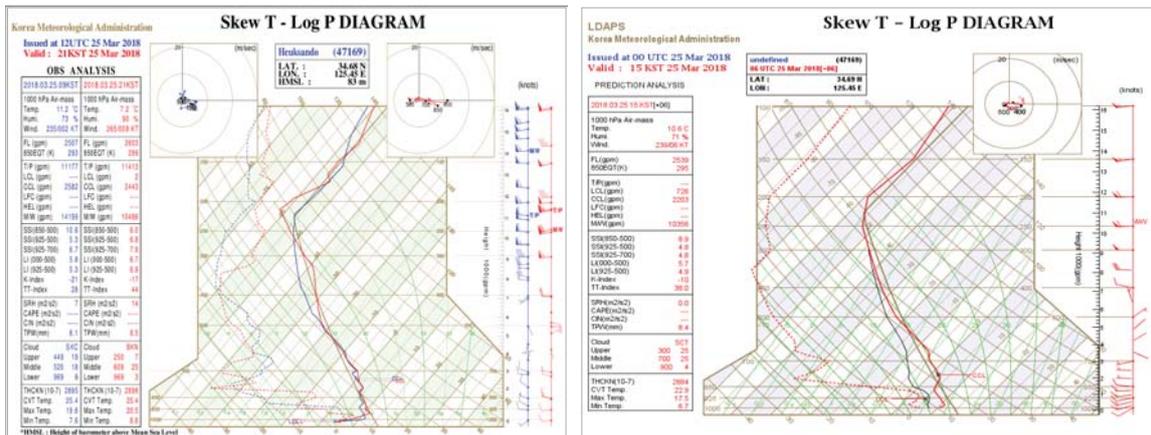


그림 2-5 | LDPS 지상안개 가시거리 예상도 (좌) 2018.3.25.09시. (우) 2018.3.25.15시

#### 4. 단열선도

- [그림 2-6(좌)]은 2018.3.25.(09시, 21시) OOO기상대 고층관측 단열선도(Skew T-Log P Diagram)이다. 25일 09시(파란선)에는 지상기온은 5℃이나 1,000hPa 상층 11℃로 아주 강한 역전층이 있고 지면은 아주 약한 남서풍이 불고 있으나 지면부근에서 습윤(안개)하나 높이는 지면근처로 낮다. 25일 21시(적색선)에는 지상기온은 4℃이나 950hPa 상층 11℃로 아주 강한 역전층이 지속되고 있으며, 지면은 약한 서풍이 불고 있으나 지면부근에서 습윤하나 높이는 전시간 보다 높아졌다.
- [그림 2-6(우)]은 2018.3.25.15시 UM국지모델 OOO 예상단열선도로 1,000hPa의 기온이 10℃이나 970hPa은 11℃로 약한 역전층이 있고 습도는 일사로 아주 약하고 약한 남서풍 계열의 바람이 불고 있어, 전 시간(09시)보다 역전층이 약하고 지면의 습도도 약해져서 지면부근의 안개는 약해지는 것으로 예측되고 있다.

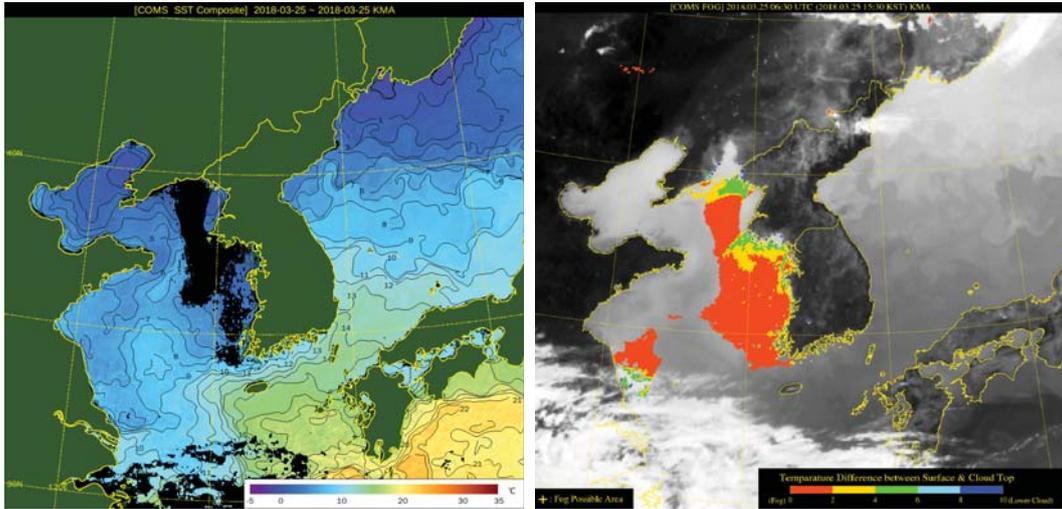


|그림 2-6| 2018.3.25. OOO 단열선도 (좌)09시(청), 21시(적), (우)15시 UM국지예상단열선도

#### 5. 기상위성 영상(천리안기상위성)

##### ○ 해수면온도(SST)

- [그림 2-7(좌)]는 2018.3.25. 천리안기상위성이 촬영한 우리나라 주변의 해수면온도(SST) 영상이다. 우리나라 서해안과 연결한 서해상은 해수면 온도가 4~6℃로 7℃ 내외의 중국의 동안과 9~12℃의 남해상 보다 상대적으로 해수면 온도가 낮고 서해안 쪽으로는 그 차가 더욱 크다. 특히 사고지점인 OOO를 포함한 목포 앞바다는 해수면 온도 6~10℃의 분포로 온도 경도가 4℃ 이상으로 다른 지역보다는 온도변화가 큰 지역으로 남풍계열의 바람이 불 경우는 보다 따뜻한 공기유입으로 안개 소산이 빠르게 진행될 것으로 예상된다.



[그림 2-7] 2018.3.25. 천리안기상위성 관측 영상, (좌) 해수면온도(SST), (우) 15:30 해무

### ○ 해무 관측 영상

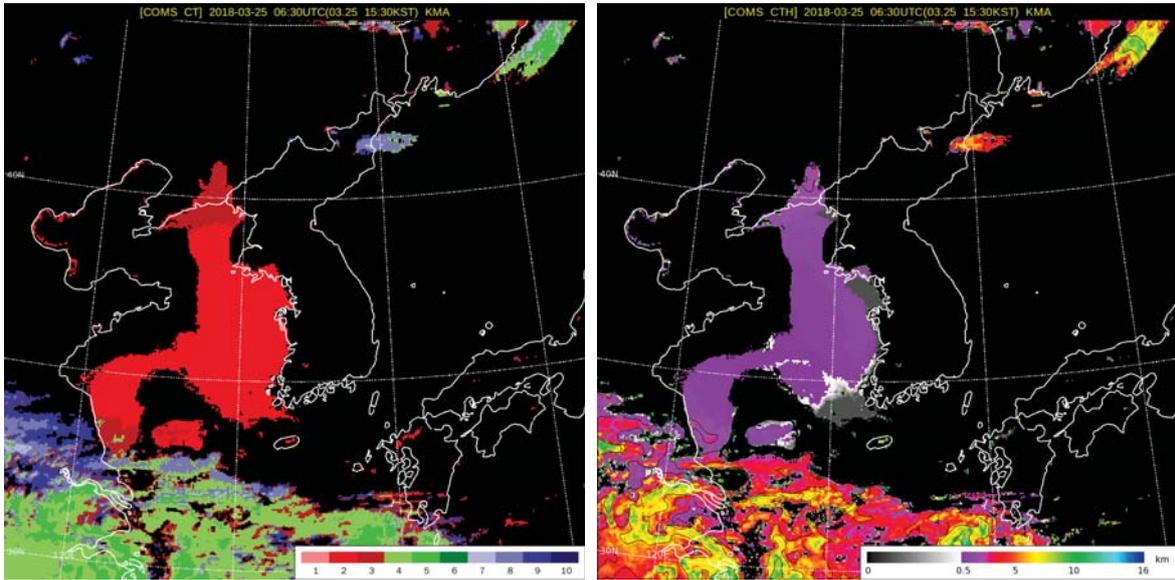
- [그림 2-7(우)]은 2018.3.25.15:30 천리안기상위성이 촬영한 우리나라 주변의 해무관측 영상이다. 사고지점을 포함한 서해의 대부분 해상은 지상기온과 구름 꼭대기(운정)의 온도 차가 2°C 미만(진한황색) 지역으로 해무가 발생하여 해수면에 가까운 해무<sup>4)</sup> 즉, 고도가 낮은 해무일 가능성이 높은 지역으로 가시거리가 짧은 지역이다. 이 지역들은 좌측의 SST가 낮은 지역과 일치하고 있다.

### ○ 구름(운형, 운정) 관측 영상

- [그림 2-8(좌)]는 2018.3.25.15:30 천리안기상위성이 촬영한 우리나라 주변의 운형관측 영상이다. 우리나라 서해에 넓게 관측된 운형 2는 최하층운(Very low cloud)<sup>5)</sup>인 층운 즉, 안개(해무)로 판단된다.
- [그림 2-8(우)]는 2018.3.25.15:30 천리안기상위성이 촬영한 우리나라 주변의 운정고도관측 영상이다.

4) 기상청 방재기상정보시스템(<http://afso.kma.go.kr/>) 위성영상 : 지표면온도와 운정온도(구름 최상부의 온도)의 차이(0~10°C)를 5단계의 색상으로 표현, 지표면온도와 운정 온도의 차이가 적을수록 지표면에 가까운 안개일 가능성이 높으며, 온도 차이가 클수록 하층운일 가능성이 큼

5) 기상청 방재기상정보시스템(<http://afso.kma.go.kr/>) 위성영상 : 1-하층 조각구름, 2-최하층운(very low cloud), 3-하층운, 4-중층운, 5-상층운, 6-최상층운, 7-상층 반투명 두꺼운 구름, 8-상층 반투명 덜 두꺼운 반투명 구름, 9-상층 반투명 얇은 구름, 10-하층 또는 중층 구름 위 상층 반투명 구름



| 그림 2-8 | 2018.3.25.15:30 천리안기상위성 관측 영상, (좌) 운형, (우) 운정고도

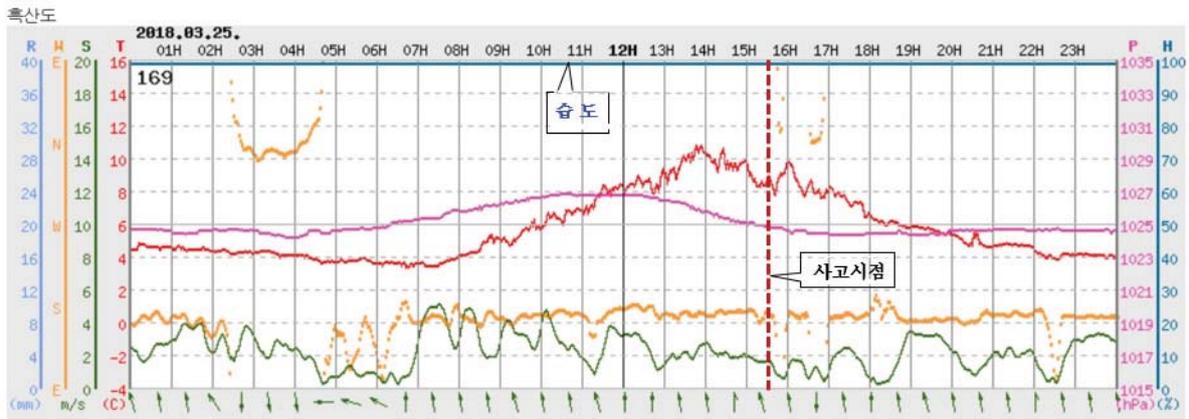
우리나라의 서해상 대부분의 구름(해무)이 낀 해상의 운정고도는 500m 이상이나, 사고가 발생한 000 주변 해상과 경기만은 운정고도가 0~500m 키가 낮은 해무가 끼여 있어 이 해상에서는 가시거리가 짧을 것으로 판단된다.

## 6. 기상관측 자료 분석

### ○ 000기상대 ASOS관측

- [그림 2-9]은 2018.3.25. 000기상대 ASOS관측자료이다. 습도는 하루 종일(최저, 최고) 99%를 유지하고 있었고, 낮 중에 바람은 남풍이 2~4m/s로 평년값 5.3m/s 보다 약했으며, 기온은 최저 3.4℃, 최고 10.8℃로 평년(1991~2020년)값 4.6~10.6℃와 비슷했다. 15:00 및 16:00기온은 약 10℃이나 사고가 발생한 15시 30분 전후에는 기온이 8℃도까지 내려가서 일시적으로 구름이 끼었다가 회복되었다. 바람은 남풍이 1.6m/s로 약하게 불었다. 000기상대는 전남 신안군 흑산면 예리 해발 75m의 야산 정상 부근에 위치하여 사고가 난 해상보다는 기온이 낮고 바람도 평소에 더 강하다.

○ 000기상대 매시간 관측



| 그림 2-9 | 2018.3.25 000기상대 ASOS관측자료

- <표 2-1>은 000 2018.3.25 000기상대 종관자동기상관측자료이다. 기상현상은 옅은 안개 박무가 하루 종일 지속되었고, 안개가 오전 11시부터 17시까지 벌어지고 짙어졌다를 반복했다. 안개 및 박무현상으로 일사 및 일조는 약했고, 습도는 하루종일 99%이상을 지속되었으며, 구름은 안개 및 박무로 운고가 낮은 100~900m의 중하층운이 하늘 전체를 가리고 있었으나, 구름층이 얇아 일중에는 적은 양의 일조량과 일사량이 관측되었고, 시정은 90~4,520로 좋아지고 나빠지기를 반복했으며 구름의 형태(층적운/Sc)를 관측이 가능한 정도까지 시정이 좋아질 때도 있었다.
- 사고가 발생한 25일 15:30 전후인 15:00~16:00의 기상은 안개 및 박무현상이 반복되어서 시정은 480~1,450m 좋아지고 나빠지기를 반복했고, 낮고 얇은 구름으로 일조와 일사가 관측되었다. 기온은 9.5~9.8℃, 바람은 남풍이 1.3~2.0m/s약하게 불었다. 15:00에는 전운량 10으로 안개는 많이 끼었으나 시정은 480m로 안개 강도는 1(중)이고, 최저운고는 500m로 다소 높게 끼였으며, 16:00는 전운량이 9, 시정이 1,450m로 다소 약화는 되어 박무현상으로 변했으나 지면부근의 안개고도가 100m로 높아지면서 구름이 층적운(Sc)로 관측되었다.



【표 2-1】 2018.3.25. 000기상대 매시간별 기상

시간	기온 (°C)	풍속 (m/s) (10분위)	풍향 (10분위)	습도 (%)	증기압 (hPa)	이슬점 온도(°C)	일조 (hr)	일사 (MJ/m2)	전운량 (10분위)	중하층운량 (10분위)	운량	최저온고 (m)	시정 (m)	기상현상
1:00	4.5	3	160	99	8.3	4.3			10	10		100	90	맑음
2:00	4.4	2.2	160	99	8.2	4.2			10	10		100	80	맑음
3:00	4.3	3	340	99	8.2	4.1			10	10		100	80	맑음
4:00	4.1	2.5	360	99	8.1	3.9			10	10		100	80	맑음
5:00	3.7	0.7	160	99	7.8	3.5			10	10		100	90	맑음
6:00	3.6	0.7	110	99	7.8	3.4			10	10		100	80	맑음
7:00	3.6	3.3	160	99	7.8	3.4	0	0.02	10	10		100	90	맑음
8:00	4.1	3.4	180	99	8.1	3.9	0	0.23	10	10		100	120	맑음
9:00	5	3.3	160	99	8.6	4.8	0	0.72	10	10		100	110	맑음
10:00	5.8	4.3	180	99	9.1	5.6	0	1.17	10	10		700	740	맑음
11:00	6.6	1.8	180	99	9.6	6.4	0.1	1.7	9	9	Sc	100	1030	안개, 맑음
12:00	8	3.3	180	99	10.6	7.8	0.3	2.05	9	9	Sc	100	4520	안개
13:00	9.1	1.6	180	99	11.4	8.9	0.1	1.98	10	10		900	860	안개, 맑음
14:00	10.2	2.8	180	99	12.3	10	0.1	2.33	9	9	Sc	100	1,460	안개, 맑음
15:00	9.5	2	180	99	11.7	9.3	0.3	2.15	10	10		500	480	안개, 맑음
16:00	9.8	1.3	180	99	11.9	9.6	0.3	1.74	9	9	Sc	100	1,450	안개, 맑음
17:00	8.3	1.3	160	99	10.8	8.1	0	1.03	10	10		400	400	안개, 맑음
18:00	6.5	0.5	180	99	9.5	6.3	0	0.48	10	10		100	120	맑음
19:00	5.9	3.5	160	99	9.2	5.7	0	0.1	10	10		200	160	맑음
20:00	5.4	2.2	160	99	8.8	5.2			10	10		100	110	맑음
21:00	4.7	2.2	180	99	8.4	4.5			10	10		100	110	맑음
22:00	4.4	1.8	180	99	8.2	4.2			10	10		100	120	맑음
23:00	4.1	3	160	99	8.1	3.9			10	10		100	90	맑음
24:00	3.9	2.7	160	99	8	3.7			10	10		100	80	맑음

- <표 2-2>은 000 2018.3.25.12:00~18:00 000기상대 시간별 종관자동기상관측자료이다. 현재일기는 13:00에 안개가 짙어지고, 14:00에는 안개는 끝났다. 15:00는 안개가 다시 시작되어 짙어지고 있고 있었으나, 16:00은 안개가 끝이 났다. 17:00는 안개가 짙어져서 안개현상이 반복되었다.

【표 2-2】 2018.3.25.12:00~18:00 000기상대 시간별 기상

기상실황표 2018.03.25.18:00													
시간	날씨			기온(°C)			강수			비량		기압 (hPa)	
일시	현재일기	시정 km	운량 1/10	중하운량	현재기온	이슬점 온도	체감 온도	일강수 mm	적설 cm	습도 %	풍향	풍속 m/s	해면기압
25.18H	안개 짙어짐	0.1	10	10	6.5	6.3	6.5			99	남	0.5	1024.5
25.17H	안개 짙어짐	0.4	10	10	8.3	8.1	8.3			99	남남동	1.3	1024.4
25.16H	안개 끝	1.5	9	9	9.8	9.6	9.8			99	남	1.3	1024.6
25.15H	안개 짙어짐	0.5	10	10	9.5	9.3	8.6			99	남	2	1025.0
25.14H	안개 끝	1.5	9	9	10.2	10.0	8.9			99	남	2.8	1025.8
25.13H	안개 짙어짐	0.9	10	10	9.1	8.9	8.5			99	남	1.6	1026.5
25.12H	박무	4.5	9	9	8.0	7.8	5.9			99	남	3.3	1026.8

## 7. 기상예상 및 특보 분석

### ○ 기상예보(단기)

- [그림 2-10]은 2018.3.25.05:00 광주지방기상청 단기예보문이다.

3월 25일 당일 육상예보는 대체로 맑은 날씨를, 서해남부와 남해서부 해상은 당분간 곳에 따라 짙은 안개로 항해나 조업 선박은 유의하기 바란다고 예보했으며, 000는 25일 오전은 SW~W풍이, 오후는 S~SW풍이 약간 강하게 맑은 날씨에 낮최고 기온은 13℃를 예보했다. 000를 비롯한 전남남부 서해안바다는 SW~W풍이 4~7m/s로 불고 구름이 조금 끼는 날씨에 파고는 0.5m로 잔잔함을 예보했다.

▶ 예보 종합 단기:육상예보(개항) 광주,전라도 NOW 2018.03.25.05:00 -24H -12H -6H +6H +12H +24H 도움말

2018.03.25.05:00 발표 / 발표관서: 광주(156) / 예보관: 신국진

(중항) 대체로 맑음, 당분간 낮과 밤 기온차 큼, 해안 중심 짙은 안개 곳  
 (오늘~모레) 대체로 맑음  
 유의사항  
 모레  (기온) 당분간 낮과 밤 기온차 큼, 건강관리에 유의  
 27일(화)  (안개) 오늘 아침까지, 오늘 밤부터 내일 아침 11시 해안과 일부 내륙 짙은 안개 곳, 낮 동안 연무나 박무, 교통안전과 건강관리 유의  
 (해상) 당분간 서해남부와 남해서부 전해상 짙은 안개 곳, 항해나 조업 선박 유의

2018.03.25.05:00 발표 / 단기예보(육상)

구역	25일(일)				26일(월)				27일(화)															
	오전		오후		오전		오후		오전		오후													
	날씨	최저 기온	최고 기온	최저 기온	날씨	최저 기온	최고 기온	날씨	최저 기온	날씨	최저 기온	최고 기온												
전라남도 육산도	SW-W 맑음	-	-	0	S-SW 약간 강 맑음	13	-	0	S-SW 구름조금	6	-	10	SE-S 약간 강 구름조금	14	-	10	SE-S 약간 강 구름조금	7	-	10	SE-S 약간 강 맑음	14	-	0

2018.03.25.05:00 발표 / 단기예보(해상)

구역	25일(일)				26일(월)				27일(화)					
	오전		오후		오전		오후		오전		오후			
	날씨	파고												
서해남부 전남남부서해안바다	SW-W / 4-7 구름조금	0.5	SW-W / 4-7 구름조금	0.5	S-SW / 4-7 구름조금	0.5								
서해남부면바다	SW-W / 6-9 구름조금	0.5-1.0	SW-W / 6-9 맑음	0.5-1.0	S-SW / 6-9 구름조금	0.5-1.0								

[그림 2-10] 2018.3.25.05:00 광주지방기상청 단기예보문(육상, 해상)

- [그림 2-11]는 2018.3.25.05:00 광주지방기상청이 시범운영 중인 안개특보(주의보) 발표문과 특보 발효구역도이다. 000를 비롯한 전남지방 3.24.19:00부터 3차례에 걸쳐 안개 주의보를 발표했다. 특히 000(육지)지방은 24일 19시부터 25일 11시까지, 25일 17시부터 26일 11시까지 안개특보가 발효되었다. 그러나 <표 2-3>과 같이 000는 25일 11:00부터 17:00까지 안개현상이 발생하여 시범운영 중인 안개특보와는 다르게 안개현상이 발생했다.



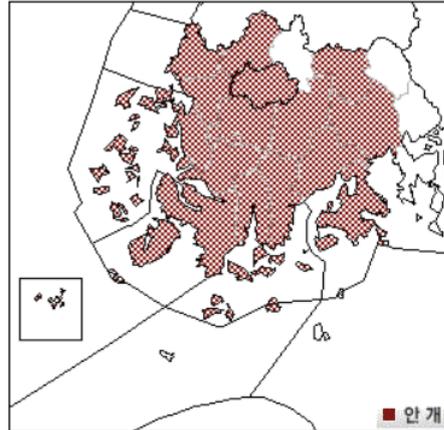
## [시범운영] 안개주의보 발표(제 3-57호)

광주지방기상청, 예보관 신극진  
2018년 3월 25일 06시 00분 발표

특보 발표구역 (2018.03.25. 06:00)



특보 발효현황 (2018.03.25. 06:00 이후)



### 1. 해당구역

(1) 안개주의보 발표 : 전라남도(장성)

### 2. 발효시각

(1) 안개주의보 발표 : 2018년 03월 25일 06시 00분

**| 그림 2-11 |** 2018.3.25.06:00 광주지방기상청 안개특보(시범운영) 및 발표 및 특보 구역도

**| 표 2-3 |** 2018.3.24.~3.26 OOO 안개특보(시범운영) 현황

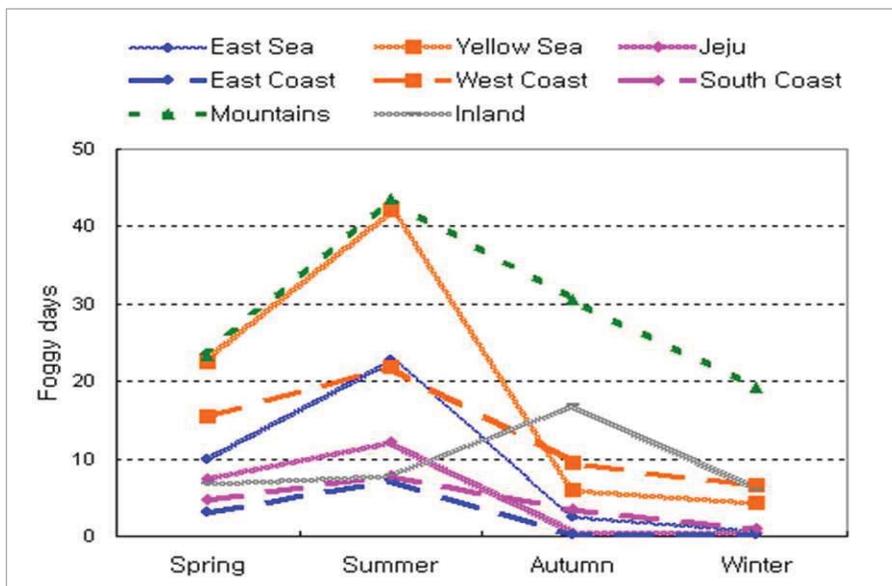
구역	발효시각	해제시각
흑산, 홍도	2018. 3. 24. 19:00	2018. 3. 25. 11:00
	2018. 3. 25. 17:00	2018. 3. 26. 11:00

붙임 3 사고와 인과관계 분석

1. 우리나라 안개 발생 특징

○ 안개 발생 빈도와 분포

- 손희정 등(2010)은 1989년부터 2008년까지 20년간 기상청과 공군에서 관측한 1km 미만의 안개를 대상으로 우리나라의 지역별 안개 발생빈도를 연구하였다. 안개 일수가 가장 많은 지역은 산악지역으로서, 주로 강수과정과 관련된 구름의 영향과 활승안개에 원인이 있다. 우리나라 내륙은 가을철에 동서 고압대 형태의 일기배치를 보이는 안정한 대기구조에서 기온 하강으로 인하여 안개 발생빈도가 다른 계절에 비해 높다. 서해안은 봄과 여름에 안개 발생빈도가 높는데, 바다에서 발생하는 바다(이류)안개의 영향이 크기 때문이다.



[그림 3-1] 1989~2008년(20년)간 8개 지역별 안개발생 일 수(손희정 등, 2010)

○ 바다안개(해무) 발생 기작(起作)<sup>6)</sup>

- 이류안개의 대표적인 현상이 바다안개(이하 해무)이다. 해무는 [그림 3-2]와 같이 차가운 해수면 위로 따뜻한 공기가 이류하여 포화될 때 발생한다.
- 지상에서 925hPa 고도 내의 풍계에 따라 내륙으로 들어오기도 하며, 안정한 대기상태에서 내륙의 복사안개와 동시에 만들어질 경우 해무는 더욱 오래 지속되고, 연안 및 내륙지역의 시정도 악화되는 경우가 있다.

6) 기상청, 손에 잡히는 예보기술 제27권(안개 분석기술과 예측방법), 2015.3



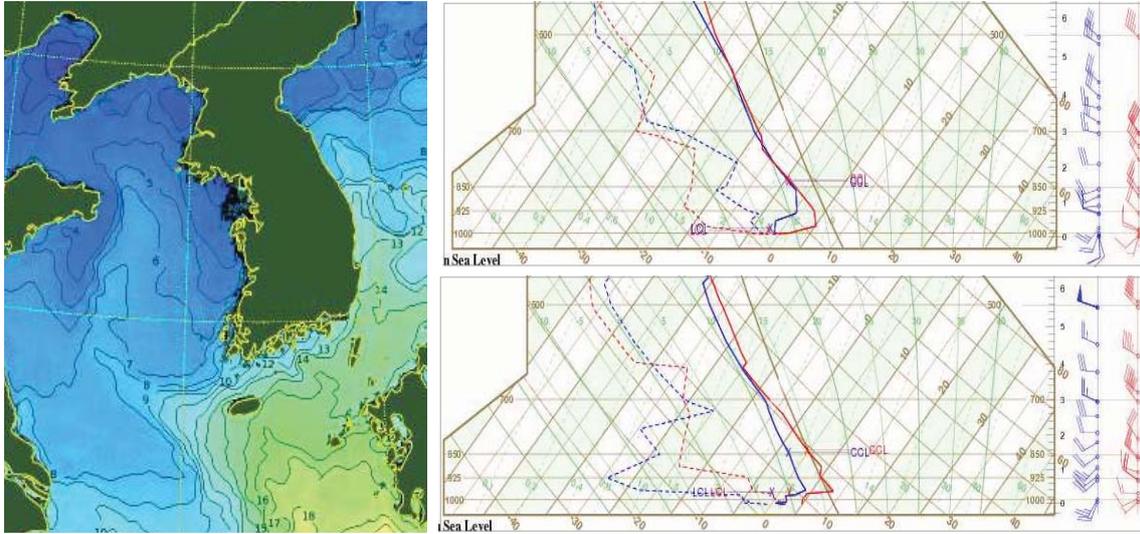
- 해무는 연안지역에 직접적으로 영향을 주어 안개에 의한 저시정을 초래하고, 내륙으로 이동하면서 상승하여 낮은 층의 구름대인 층운(St)형 구름을 만든다. 우리나라 주변에서 발생하는 해무는 해수면 온도보다 기온이 높은 4~10월 사이에 나타난다.
- 특히, 서해상의 해무는 남서기류가 강화되는 5, 6, 7월에 집중되며, 이 중 7월에 발생빈도가 가장 높다.
- 연안지역으로 해무 유입은 공항, 해상교통 등에 위험을 초래한다. 또한, 서해안은 조석간만의 차이가 커서 연안지역의 해수면 온도가 낮기 때문에(특히, 새벽과 아침시간) 기온과 노점온도의 차이가 더욱 커져 안개발생과 해무의 유입이 많을 수 있다(김문옥 1998).
- 해무는 복사무와 달리 아침시간 외에 낮에도 발생하며, 완전히 맑은 날보다는 남풍이 부는 구름(주로 층운(St)형)이 낀 날에 발생빈도가 더 높다(원덕진 등 2000).



그림 3-2 | 서해상의 해무발생 및 내륙 유입 모식도

○ 서해상 바다안개(해무) 발생 사례 : 2012년 3월 27일 ~ 3월 28일

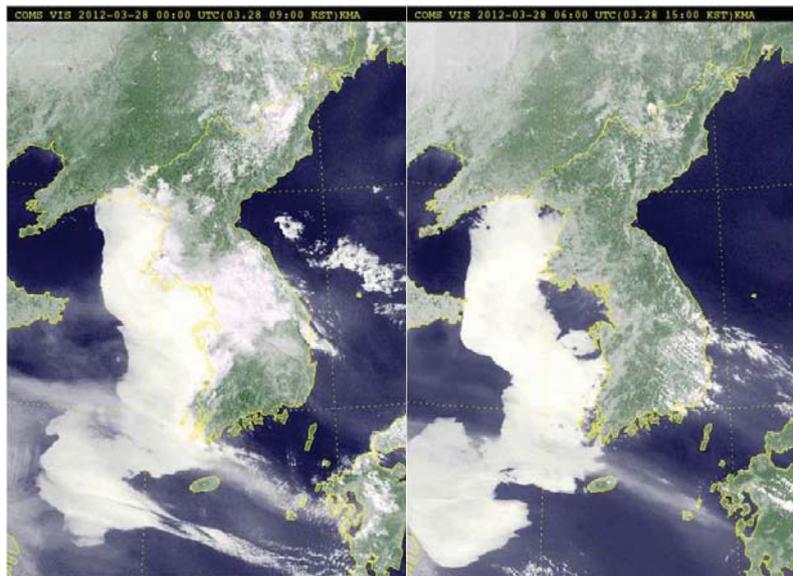
- 2012년 3월 27~28일 서해상에 광범위하게 해무가 발생한 사례이다. 이 해무는 27일부터 발생 및 강화되어 28일 아침시간에 서해안 대부분 지역에 영향을 주었고, 28일 오후부터는 해안에 위치하던 해무가 서해상으로 이동하였다.
- 발생초기인 27일 천리안 영상에서 관측된 해수온도 분포도(a)를 살펴보면, 백령도 부근은 약 4℃, 000 부근은 약 7℃의 수온 분포를 보인다. 27일 21시 백령도 단열선도(b 붉은색 곡선)에서 지표기온이 해수면 온도와 거의 비슷한 4℃를 보이는 반면, 925hPa은 약 8℃로 지상과 4℃ 차이를 보이는 역전층이 형성되어 있다. 지표부근에 남풍의 바람이 불고 925hPa 기온보다 해수면 온도가 낮으므로 차가운 해수면 위에서 응결이 되어 해무가 발생할 수 있는 좋은 조건이었다.
- 같은 시각 관측된 000 단열선도에서는 비록 역전층의 기온 구조와 925hPa과 지표기온이 10℃ 내외로 해수면 온도보다 약 3℃가량 높지만, 000 남쪽에 10℃ 이상의 고수온지역이 분포하고 있어 지표 부근에서 완전히 포화가 되지 않은 모습을 확인할 수 있다(c).



(a) 2012.3.27.해수면온도(SST)

2012.3.27.대기선도 (b/상) 백령도, (C/하) 000

- 28일 아침에 우리나라 내륙에서 복사냉각이 일어나면서 박무가 나타났고, 연안지역으로는 해무와 결합되어 안개가 발생하였다(d). 오후에 기온이 상승하면서 경기만 부근의 해무는 서쪽으로 물러간 모습을 확인할 수 있다(e).



(d) 2012.3.28.09:00 해무

(e) 2012.3.28.15:00 해무

## 2. 2018년 3월 25일 서해 안개(해무) 발생

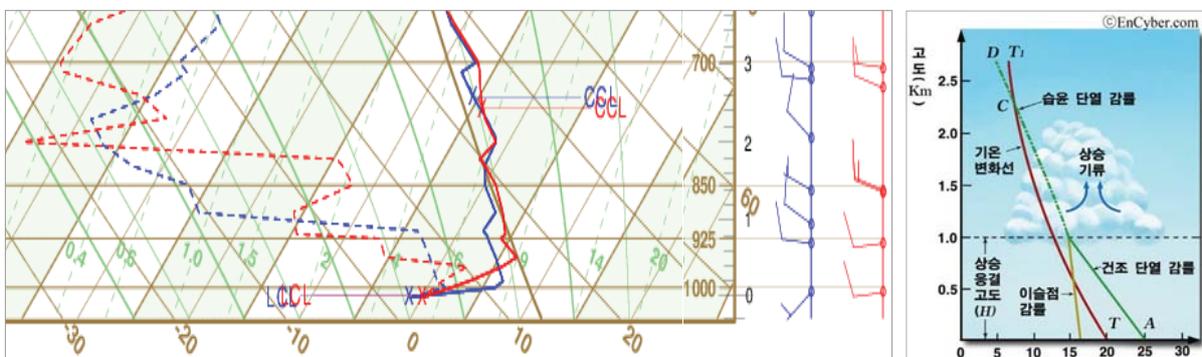
○ <표 3-1>은 2018.3.25. 09시, 15시, 21시 000 기상현황이다.

사고 당일인 3월 25일 000 지방은 이동성 고기압 내에서 기압의 변화가 거의 없고, 낮 중에 바람은 남풍이 0.5~4.3m/s로 불고, 000주변 해수면온도(SST)는 6~7℃로 5~10.6℃의 기온보다 상대적으로 낮아 해수면 위에서 하층의 냉각에 의한 습기를 이동시켜 습도는 하루 종일 99%이며, 상승응결고도(LCL)가 낮아 구름 또는 안개의 층 두께가 얇고 안개 또는 박무현상이 짙어지고 약해지기를 반복한 것으로 판단되며 사고시간이 가까운 15:00에는 안개가 짙어졌다가 16:00에는 안개가 끝나고 박무가 지속되었다.

| 표 3-1 | 2018.3.25. 09시, 15시, 21시 000 기상현황

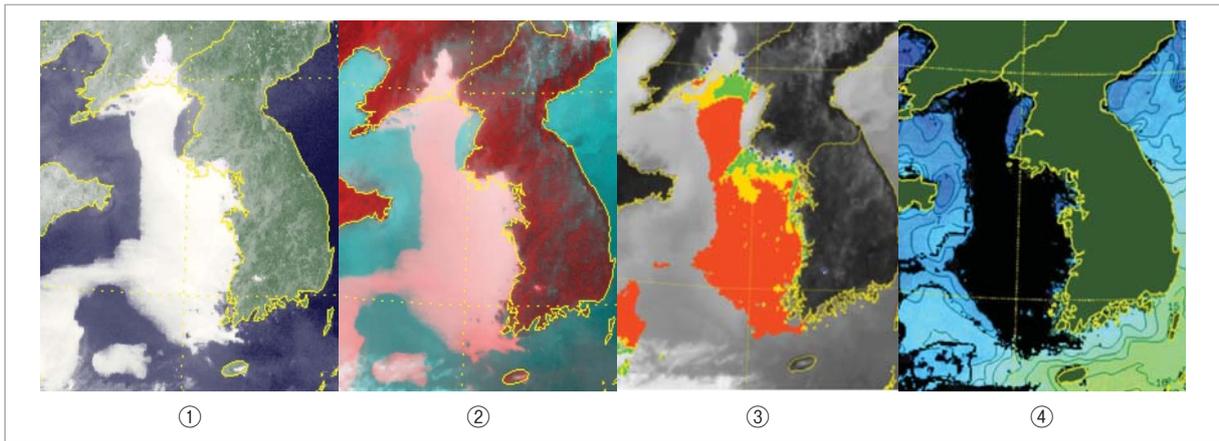
시간	기압(hPa)	기온(℃)	노점온도(℃)	습도(%)	풍향풍속	LCL고도	기상현상
09:00	1026.0	5.0	4.8	99	SSW 3.3	지면부근	박무 지속
<b>15:00</b>	<b>1025.0</b>	<b>9.5</b>	<b>9.3</b>	<b>99</b>	<b>S 2.0</b>	<b>925hPa</b>	<b>안개 짙어짐</b>
21:00	1024.8	4.7	4.5	99	S 2.2	지면부근	박무 지속

○ [그림 3-3(좌)]은 2018.3.25. 000기상대 단열선도의 하층을 확대한 것으로 25일 09:00(청색)에 지면으로부터 1,000hPa 고도까지 강한 역전층이 있으나, 상승응결고도(LCL: Lifted Condensation Level/ 최하층 운저고도)가 지면으로 구름 또는 안개의 밑면이 지면에 닿아있고, 습윤고도는 1,000hPa고도 이하에만 분포하여 구름 또는 안개층이 얇다. 21:00에 LCL은 일몰로 지면의 기온이 낮아져서 습윤고도는 전시간 보다 상승했지만 970hPa고도 이하에만 약하게 분포하고 있다. 3월 25일 경우는 2012년 3월 28일 서해해무 발생사례시 000의 대기선도(그림 C, 하)보다 더 강한 역전층과 최저운고(LCL)도 낮아서 해무는 더 강하고 고도는 해면과 거의 닿아 있어 가시거리가 짧은 것으로 판단된다.



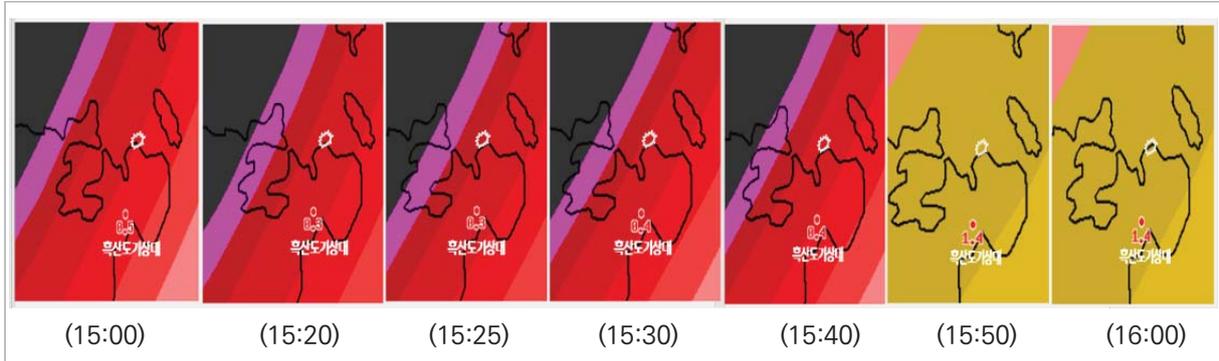
| 그림 3-3 | 2018.3.25. 000 단열선도 (좌)09시(청), 21시(적), (우) LCL 개념도

○ [그림 3-4]는 2018.3.25.15:30 000 부근 해상에서 사고 당시 천리안 기상위성이 촬영한 서해상 기상위성영상이다. ①은 가시영상으로 000를 비롯한 우리나라 서해안을 포함한 서해상에 넓게 밝은 흰색 영역은 두꺼운 구름이다. 서해안을 따라 육지와 바다의 경계가 뚜렷한 것으로 보아 해무로 판단된다. ②는 합성영상으로 ①의 가시영상과 같은 위치에 진분홍색 구름은 기온이 높은 하층운으로 해상의 안개 즉 해무로 판단되며, ③은 안개관측 영상으로 ①과 ②의 위치와 동일한 지역의 황토색 지역은 안개 지역으로 서해상에 국한되어 위치하고 해무이다. ④는 해수면온도(SST)관측 영상으로 ①~③의 동일한 지역에 검게 보이는 지역은 위성이 해면을 관측하지 못하는 지역으로 두꺼운 구름층으로 덮여있는 것으로 해안선을 뚜렷한 경계를 나타내는 것은 육지와 해수면의 기온 차에 의한 구름 발생지역이 해상으로 해무로 판단된다. 따라서 당일 15시 30분 사고 당시 000 주변 해역을 포함한 서해상에는 925hPa 상층의 약 11℃의 공기가 상대적으로 온도가 낮은 서해상 해수면(SST 5~8℃) 위로 이동하여 하층이 응결하면서 안개 즉 해무가 지속적으로 발생했다.



**| 그림 3-4 |** 2018.3.25.15:30(사고당시) 천리안기상위성 관측 영상, ① 가시영상, ② 합성영상, ③ 안개영상, ④ 해수면온도(SST)영상

○ [그림 3-5]는 2018.3.25.15:00~16:00. 5~10분 간격 000 지상 및 해상의 시정관측자료이다. 해상의 시정의 분포는 000 남서쪽으로부터 북서쪽으로 갈수록 시정이 악화(안개)되고 있으나, 000 부근해상에서 주변보다는 상하층간 온차가 적고, 일사에 의한 기온상승과 남풍의 영향으로 시정거리의 변화가 빠르게 일어나고 있다. 사고지점은 000 기상대에서 북동쪽으로 1km거리에 위치하지만 두 지점의 시정거리와 거리 변화 시각도 비슷하나 해발고도 차에 의한 시정거리의 차이는 있을 수 있다.



【그림 3-5】 2018.3.25. 15:00~16:00 OOO 지상 및 해상 시정 분포도

○ <표 3-2>는 2018.3.25.15:00~16:00. 5~10분 간격 OOO 지상 및 해상의 시정관측자료이다. 15:00 시정은 OOO기상대는 0.5km이나 사고지점은 0.5km이하로 시정이 조금 더 나쁘고, 15:10에 시정이 0.3km 악화되어 15:25까지 지속이 되었으며, 사고 시각인 15:30은 0.4km 약간 좋아졌으며, 15:40~15:45에는 OOO기상대는 0.4km이상 좋아졌으나, 사고지점은 0.4km를 유지했고, 15:50부터는 시정이 1.4km로 안개는 걷히고 시정이 좋아졌다.

【표 3-2】 2018.3.25. 사고시간 전후 OOO기상대 및 사고지점 시정(km)

구 분	15:00	15:10	15:20	15:25	15:30	15:40	15:45	15:50	16:00
OOO기상대	0.5	0.3	0.3	0.3	<b>0.4</b>	0.4 이상	0.4 이상	1.4	1.4
사고지점	0.5 이하	0.3	0.3	0.3	<b>0.4</b>	0.4	0.4	1.4	1.4

붙임 4    참고자료

1. 바다에 짙은 안개가 끼는 3~7월, 운항 주의하세요! (해양경찰청 보도자료)

 <b>해양경찰청</b>		<h1>보 도 자 료</h1>		 대한민국 대전환 <b>한국판뉴딜</b>	
배포일시	2021. 3. 2.(화) 10:00	담당부서	수색구조과		

**바다에 짙은 안개가 끼는 3-7월, 운항 주의하세요**  
 - 3월~7월 농무기에 발생하는 선박사고, 연간 해양 사고 40.2% 차지 -

해양경찰청은 바다에 짙은 안개가 자주 발생하는 3월부터 7월까지 사고 예방을 위해 특별 안전 대책을 마련해 시행한다고 2일 밝혔다.

농무기인 3월에서 7월까지의 시야 확보의 어려움으로 인한 안전사고 발생 가능성이 높다. 게다가 봄을 맞아 바다를 찾는 레저선박이나 행락객도 증가한다.

최근 5년간 해양 선박사고 통계를 분석한 결과, 전체 17,031척 중 농무기에 6,843척(40.2%)이 발생했다.

그 중에서도 시야 확보가 안 될 정도로 안개가 자욱한 저시정(1km 이하) 상태에서 419척(2.5%)의 선박 사고가 발생했다.

이를 선박 종류별 분포로 보면, 어선 217척(51.8%), 레저선박 93척(22.2%), 낚시어선 41척(9.8%) 등이다. 특히, 레저선박과 낚시어선 사고는 서해중부해역에서 53%(71척)를 차지했다.

〈 이하 생략 〉



| 보령해경, 2018년 농무기 방파제 충돌 선박 구조 |



| 농무기 선박 운항 감시 |



□ 최근 5년간 농무기(3~7월) 월별 선박사고·인명피해 현황

구분	계		'16년		'17년		'18년		'19년		'20년	
	선박	인명	선박	인명	선박	인명	선박	인명	선박	인명	선박	인명
계	419	3	64	1	93	1	103	0	84	1	75	0
3월	53	0	2	0	0	0	32	0	17	0	2	0
4월	62	1	19	0	20	1	16	0	7	0	0	0
5월	60	1	10	0	8	0	25	0	6	1	11	0
6월	107	0	19	0	35	0	16	0	7	0	30	0
7월	137	1	14	1	30	0	14	0	47	0	32	0

□ 선박 종류에 따른 5년간 농무기 월별 사고 현황

(척수)

구분	계	3월	4월	5월	6월	7월
계	419	53	62	60	107	137
어선	217	27	31	36	47	76
레저선박	93	12	16	5	36	24
낚시어선	41	2	6	11	10	12
여객선	11	2	5	0	3	1
유도선	2	1	0	0	0	1
예부선	20	8	3	2	3	4
화물선	18	1	1	2	3	11
유조선	6	0	0	0	2	4
관광선	2	0	0	0	2	0
기타	9	0	0	4	1	4



03

# 가상시나리오(호우)

한국기상감정사협회 기상감정사 | 조진대

- 0 시나리오 개요
- 1 의뢰내용
- 2 조사내용
- 3 기상감정 결과 및 의견
- 4 별첨자료





## 밀양 OO 태양광 발전소 유실 사건 개요

의뢰인(김OO)은 경남 밀양시 OO면 OO리에 “OO태양광 발전소”(2013년 10월 준공)를 가동하고 있는 태양광발전 개인 사업자이다.



2014년 8월 25일 15:30분경, 밀양시 OO면 OO리 746-1 일대에 내린 호우로 의뢰인 소유의 “OO 태양광 발전소”(2,000㎡) 부지 경사지에 설치된 태양광 패널 300장, ESS 설비 1기가 호우로 유실·파손되어 약 1억3천만원 상당의 피해가 발생한 사건이다.

의뢰자는 자연재해에 대비하여 2014년 1월에 “태양광발전소 종합공제 보험”에 가입하였는데 종합공제 보험의 피해 보상대상은 “태풍, 호우, 강풍, 우박 등 자연재해”로 태양광발전소 발전시설에 피해를 입은 경우에 보상을 받을 수 있도록 약정되어 의뢰자는 보상을 청구하게 되었다.

의뢰자로부터 피해 보상청구를 접수한 공제보험 조합 측에서는 사건장소로부터 약 4km 떨어진 기상청 밀양 단장 AWS(단장면사무소에 설치되어 있음)의 일 강수량이 59.0mm(8월25일 15시 현재)에 불과하였기 때문에 이 정도 강수량은 자연재해를 유발할 상황이 아닌 것으로 판단하여 보상대상이 아닌 것으로 회신하였다. 아울러 사고의 원인을 부실자재 사용과 부실시공임을 지적하였다. 규격미달 지주대(태양광패널)를 얇게 시공(묻음)하여 많지 않은 강수량에도 시설물들이 경사지에서 전복되었고, 넘어진 시설물들이 서로 부딪히면서 ESS 설비도 전복·파손 된 것으로 보인다고, 보험금 지급을 거부하였다.(붙임 19, 붙임 20 참고)

그러나 의뢰인은 사건당시 호우주의보가 내려진 상황이었기에 시설물 점검 등을 위해 현장에 머무르다가 비가 오는 상황을 직접 목격하였는데, 4km 떨어진 곳의 강수량은 59.0mm였지만 사고 장소에서는 100mm 이상의 공포스러운 폭우를 체감하였기에 사고당시 현장(밀양시 OO면 OO리 746-1 OO 태양광 발전소)의 8월25일 15시 강수량에 대한 기상감정을 의뢰하였다.

## 기 상 감 정 서

1. 업체명 : 부산기상감정
2. 대표자 : 조현
3. 기상감정사 : 조현
4. 계약명 : 밀양 00면 00리 강수량 감정

위 계약에 따라 기상감정서를 발급합니다.

2021년 09월 15 일

부 산 기 상 감 정

직인



## 1 의뢰내용

1) 감정대상 일시 : 2014년 8월 25일, 15:00시

2) 감정대상 장소 : 밀양시 00면 00리 746-1, 00 태양광 발전소

### 3) 기상감정 목적

- 2014년 8월 25일 15:30분경, 밀양시 00면 00리 746-1에 내린 호우로 “00 태양광 발전소”(2,000㎡) 부지 내 설치된 태양광 패널 300장, ESS 설비 1기가 넘어지면서 파손되어 피해가 발생한 사건임.(붙임 20. 사고현장 사진 참고)
- 의뢰자는 동 사건장소에 2013년 10월, “00 태양광 발전소”를 준공하였고, 2014년 1월에는 “태양광발전소 종합공제 보험”에 가입하였다. 종합공제 보험의 피해 보상대상은 “태풍, 호우, 강풍, 우박 등 자연재해”로 인해 태양광발전소 시설에 피해를 입은 경우에 보상을 받을 수 있도록 약정되어 의뢰자가 피해 사실에 대한 보상을 청구하게 됨.
- 의뢰자로부터 피해 보상청구를 접수한 공제보험 조합 측에서는 사고와 관련하여 사건장소와 가장 가까운 4.0km 거리에 있는 기상청 밀양 단장 AWS(단장면사무소에 설치되어 있음)에서 관측된 현지 강수량이 8월25일 15시 현재 59.0mm에 불과하였기 때문에 재해가 발생할 정도의 강수량이 아닌 것으로 판단되므로 보상대상으로 규정된 “자연재해”로 적용하기 어렵다고 회신함.  
아울러 사고의 원인이 계약자가 규격미달 지주대(태양광패널)의 사용과 부적절한 깊이로 지주대를 고정함으로써 많지 않은 양의 비에도 태양광 시설이 경사지에서 미끄러져 전복되었으며 태양광패널 등 시설물들이 서로 부딪히면서 ESS 설비도 전복 된 것으로 보인다며 보험금 지급을 거부하였다.(붙임 19, 붙임 20 참고)
- 그러나 의뢰인은 사건당시 현장에는 호우주의보가 발령된 상황이었기에 시설물 점검 등을 위해 현장에 머물다가 비가 오는 상황을 목격하게 되었고, 경사지 위쪽에서 쏟아져 내려오는 물길에 태양광발전소 패널이 설치된 부지 내로 흘러들지 못하도록 배수로 물길을 돌리는 등 작업을 하였으나 많은 빗물로 인해 순식간에 산사태가 나면서 시설물들이 전복, 파손되는 피해를 입게 되었다고 설명함. 사고당시 현장으로부터 4km 떨어진 단장면사무소에서의 강수량이 59.0mm였다고 할지라도 의뢰자가 00리 발전소 사고 장소에서는 경험한 체감 강수량은 60평생 처음 본 호우로써 100mm 이상의 공포스러운 폭우 상황이었다고 주장 함
- 이에 의뢰인은 2014년 8월 25일 밀양시 00면 00리 746-1 , 00 태양광 발전소 현장의 15시 현재 일강수량을 기상감정 의뢰하게 됨

4) 의뢰인 주소 : 부산광역시 기장군 장안읍 좌방길 6

5) 의뢰인 성명 : 김OO(OO 태양광 발전소 운영자)

## 2 조사내용

### 1) 조사기간

○ 2021년 09월 01일 ~ 09월 14일

### 2) 사전조사 : 감정 대상지역의 환경

- 기상감정 대상 지점은 경상남도 밀양시 OO면 OO리 746-1번지에 소재한 “OO 태양광 발전소” 로써 밀양시 단장면사무소 강우량계로부터 약 4km 떨어진 지점에 위치한 곳이다.(붙임 1. 사고현장 약도. 참고)
- 붙임 1에서 보는 바와 같이 감정대상 지점의 지리적 환경은 북쪽에 용암산(450m)이 있으며, 북~동쪽 방면은 산지 지형, 북서~남 방면으로는 경사면으로 트여 있음. 감정대상지점의 평균 고도는 해발 약 250m 임. (붙임 1. 사고현장 약도, 붙임 2. 대상지역 지형도. 참고)
- 감정대상 지점은 현지 지형의 남사면에 위치하고 있어서 남풍 계열의 바람이 불면 지형효과로 풍속이 증가될 수 지형 조건을 갖추고 있음. 강수 시에는 평지와 고도 차이, 현지 지형 특성상 강수량이 증가 될 수 있는 지형 조건을 갖추고 있음(붙임 2. 대상지역 지형도. 붙임 18. 산악 효과와 강수량참고)

### 3) 현장조사

○ 2021년 09월 02일 ~ 08월 03일



| 현장 사진과 도면 |



#### 4) 자료 분석

- 2014년 8월 25일 지상일기도 등 기압배치 상황을 종합하여 보면 저기압은 당초 8월 24일 아침에 중국 상해부근에서 발달하며 동쪽으로 이동하여 우리나라 서해남부해상으로 진출하였는데, 25일 낮에는 전라남도과 경상남도지방에는 많은 비가 예상되는 날씨로 보인다.(붙임 3. 지상일기도)
- 기상예보의 관점에서 2014년 8월 25일에 나타난 기압계 유형은 '저기압 통과형'에 해당하는데 저기압 통과형의 특징은 온대저기압 중심이 전라남도 서해상에 위치할 때 전면에 고압대가 강화되는 경우에는 저기압 전면으로 하층제트가 강화되어 저기압의 난역에서 강수대가 발달하는 특징을 보인다. 특히, 밀양부근은 산악지형으로 이루어져 이와 같은 케이스에서는 하층 수렴역이 강화될 수 있고, 상층 제트 입구의 남쪽 발산역이 연동되면서 강수 시스템이 발달하는 구조가 됨.
- 기상청 2014년 8월25일 새벽 05시에 경남도청, 밀양시청, 각 면사무소 및 이장단에 통보한 단기예보 내용은 오늘 경상남도 지방은 흐리고 비(강수확률 80~90%)가 오다가 밤에 경남서부지역부터 점차 그치는 것으로 예보하였는데 밤까지 돌풍, 뇌전, 지역에 따라 시간당 30mm 이상의 강한 비가 예상되니 재해예방에 만전을 기해 줄 것을 당부함. 아울러 최근에 내린 많은 비로 인해 지반이 약해진 상태에서 또다시 많은 비가 예상되니 축대붕괴와 산사태, 저지대 및 농경지 침수 등의 피해가 없도록 철저한 대비를 당부하고 있음.(기상청 기상예보문 및 예상강수량 참고)
  - \* 예상 강수량(8월 25일 05시 기상청발표, 25일 05시부터 26일 24시까지)
    - 부산, 울산, 경상남도 : 30~80mm(많은 곳 경남북서내륙, 경남남해안, 지리산 부근 120mm 이상)
- 사고당일 밀양지역에 호우주의보는 2014년 8월 25일 오전 09시 10분에 발령되었는데 주의보 발표 시각에 내린 강수량은 10~40mm였고, 기상청이 당일 예상한 강수량은 30~80mm로서 총 예상강수량은 60~120mm 였음. 특히, 사고지역은 밀양의 산지지역에 해당하여 강수량의 지형효과를 고려한다면 강수량이 많은 지역에 해당하여 총 강수량 80~120mm 까지도 가능할 수 있음. 당일 호우주의보는 8월 25일 15:00에 해제 됨.(붙임 4. 당시 기상청의 기상예보 발표문. 참고)

본 기상감정 결과는 감정대상 지점을 중심으로 기상청 밀양기상관측소(밀양시 내이동)의 기상관측 자료와 인근지역인 밀양 단장, 밀양 송백, 밀양 OO, 양산 상북, 울산 두서, 울산 삼동 기상청 AWS 관측자료 그리고 기상청 국지 상세수치모델 격자점 자료를 감정대상 시점의 자료로 최적 내삽하여 다음과 같은 첨부 자료에 근거하여 산출한 것임.

## 5) 참고자료 및 출처

- 붙임 1. 사고현장 약도
- 붙임 2. 대상지역 지형도
- 붙임 3. 지상일기도/ 기상청
- 붙임 4. 당시 기상예보 발표문/ 기상청
- 붙임 5. 당시 강수량 시계열(밀양 단장면, 양산 상북면)/ 기상청
- 붙임 6. 8월 25일 1시간 최대 강수량, 15시 현재 강수량/ 기상청
- 붙임 7. 상층일기도(925hPa, 850hPa)/ 기상청
- 붙임 8. 상·하층 제트 커플링(200hPa, 850hPa)/ 기상청
- 붙임 9. 등온위면 분석/ 기상청
- 붙임 10. 기상레이더 에코분석(8월 25일)/ 기상청
- 붙임 11. 가까운 거리에도 강수량 차이가 큰 사례/ 기상청
- 붙임 12. 지상일기도, 한반도 바람벡터/ 기상청
- 붙임 13. 한반도 기압분포도, 유선·습도/ 기상청
- 붙임 14. 한반도 해면기압, 지형, 시간강수량/ 기상청
- 붙임 15. 지형과 바람, 최하층 연직속도/ 기상청
- 붙임 16. 500hPa 일기도(2014년 8월 25일 09시)/ 기상청
- 붙임 17. 기상위성 적외 강조영상(2014년 8월 25일 13시 45분)/ 기상청
- 붙임 18. 산악효과와 강수량
- 붙임 19. 태양광 발전소 종합공제 보험
- 붙임 20. 사고현장 사진(OO 태양광 발전소)

## 3 기상감정 결과 및 의견

### 1) 기상감정 결과 및 의견

- 사고 당일의 지상일기도 및 상층 일기도, 각종 수치모델 일기도 자료 등을 종합하면 경남지방은 호우가 예상되는 기압배치로 8월25일 새벽 05시 기상청의 단기예보에서 예상 강수량은 30~80mm, 많은 곳은 120mm 까지 예상한 상황이었고, 호우 가능성이 매우 높아서 오전 09시에는 사고 장소에 호우주의보가 발표 됨. (붙임 3.~ 17. 지상일기도 및 상층일기도, 수치일기도 등)



- 의뢰인이 요청한 장소(밀양 00면 00리 746-1)의 00 태양광 발전소 시설물 유실사고는 2014년 8월 25일 15시 30분경 발생함.

사고 당일 밀양시 내이동 등 인근지역에서 비는 새벽 05시경부터 시작되어 오전 10시까지 강수량은 20~30mm에 머물렀으나, 의뢰인이 요청한 사건장소 인근에서는 당일 15시 까지 강수량이 밀양(내이동), 밀양 단장, 밀양 송백, 양산 상북 등지에서 59~96mm 강수량 분포를 보였으며, 인근 AWS 강수 시계열 관측값(붙임 5)을 보면 밀양 단장지역은 강수량이 14~15시에 집중되었음을 확인할 수 있고, 양산 상북은 13~15시에 집중됨. 당일 13시~15시경에 밀양 인근지역에서는 천둥, 번개, 돌풍이 동반되는 등 극심한 대기 불안정으로 지역에 따라 단시간에 호우가 집중되는 특징을 보임. 이는 밀양시 내이동(AWS)의 3시간(12~15시)동안 집중된 강수량 39.5mm 에 잘 나타남.

- 8월 25일 사고당일 밀양 인근지역의 기상청 AWS 실측 강수량(5개 관측소)을 이용한 등강우선도<sup>7)</sup> 분석, 각종 일기도 및 수치자료의 강수 관련 기상요소, 당일 대기 하층에 고온 다습한 기류의 유입, 대기 상층의 한기작용 등 호우유발 기여요소들을 종합 분석하면, 남풍계열의 20kts이상의 강풍이 풍상 측 경사면을 상승하였고, 사고현장의 산지에 의한 지형효과, 국지적으로 심한 대기불안정 유발 등으로 볼 때 **사고현장의 강수량**은 1시간 강수강도 15~20mm, 총강수량은 80~120mm 이상으로 분석됨. (붙임 1, 2, 5, 6-1, 6-2, 6-3. 참고)

## 2) 기상요소와 발생사고와의 인과관계

- 기상청 관측 자료와 AWS 강수량 관측자료를 종합해 보면 밀양지역의 강수는 8월25일 12시~15시 사이 집중되었으며(붙임 5. 밀양 단장, 양산 상북, 강수량 시계열자료 참고), 사고 발생시각 30분 전인 15시까지 강수량은 밀양 내이동 95.5mm, 단장 59.0mm, 송백 71.5mm, 양산 상북 88.5mm를 기록함.(붙임 5, 밀양지역 강수량 시계열자료, 붙임 6-1~3. 밀양지역 15시 강수량 분포도. 참고)
- 사고발생 당일인 8월 25일 부산 경남지방의 강수량은 24일부터 이어진 비가 25일 낮 12시까지 30~60mm가 기록되었고, 창원에서는 78mm가 기록 됨. 이후 경남지방의 강수량은 12시~16시 사이에 집중되었는데 밀양 단장면 59mm, 밀양 송백면 72mm, 밀양시 내이동 96mm, 창원 239mm, 부산 48mm로써 멀지 않은 거리임에도 지역별로 국지강수량은 편차는 큰 편차를 보임. 산지로 이루어진 지형에서는 좁은 지역에서도 강수량 차이가 크게 나타날 수 있는 특성이 있음.(붙임 6-1, 6-2, 6-3 참고)

7) 어떤 지역 혹은 구역의 평균 강수량을 추정하는 방법의 하나. 등강우선도(isohyetal map)를 이용

- 8월25일 사고당일 밀양지역의 기압배치 상황은 호우발생이 예상되는 기압배치였으며 호우주의보가 발령된 상황이었음.(붙임 3.~ 17. 지상일기도 및 상층일기도, 수치일기도 등. 참고)  
 밀양지역에는 2014년 8월 25일 오전 09시 10분에 호우주의보가 발표되었는데 주의보. 발표 시점에 강수량은 10~40mm, 기상청이 당일 예상한 강수량은 30~80mm, 총 예상강수량은 60~120mm이었다. 당일 새벽 05시 단기예보를 통해 많은 비가 예상되므로 시민들에게 산사태, 저지대 침수 등 재해예방에 주의해 줄 것을 당부한 상황이었으며 당일 발표된 호우주의보는 8월 25일 15:00에 해제 됨.(붙임 4. 당시 기상청의 기상예보 발표문. 참고)  
 ※ 기상청의 당시 호우주의보 발표기준은 “3시간 강우량이 60mm이상 예상되거나, 12시간 강우량이 110mm이상 예상될 때”로써 기상재해로 인해 상당한 피해가 예상될 때 발표하는 정보.
- 사고 당일 밀양 등 경남지방에 호우를 가져온 기상학적 매커니즘은 북태평양 고기압(mT) 가장자리에서 대기하층의 많은 수증기들이 하층 제트(Jet) 기류에 실려 대거 유입되는 구조를 보였으며 당일 밀양 및 경남지방에 형성된 지상풍은 주로 남~남서풍으로, 남풍계열의 바람에 대량의 수증기가 수송되어, 저기압 난역에서 급속히 발달함으로써 호우가 발생한 것으로 분석됨.(붙임 3. 지상일기도, 붙임 5. 850hPa 일기도. 참고)
- 밀양을 비롯한 경남지방에 호우를 가져온 저기압은 당초 8월 24일 아침에 중국 상해부근에서 발달하여 우리나라 서해남부해상으로 동진하였는데, 25일 아침 09시에 우리나라 서해남부해상, 목포 앞바다로 접근하였고, 오후에는 전남내륙까지 접근하였다. 이 과정에서 저기압에 동반된 온난전선은 경상북도와 경상남도 경계 지점인 경남 밀양시 부근에 걸쳐지는 형태를 보였으며 시간의 경과에 따라 전선은 조금씩 남하하는 경향을 보임.(붙임 3. 지상일기도. 참고)
- 특히, 전선을 경계로 북쪽과 남쪽 경계역 사이, 북태평양 고기압(mT) 가장자리에서 강한 수렴대가 형성되었고, 저기압이 동진하는 동안에 남쪽해상으로부터 유입된 대기 하층의 많은 수증기(일기도 및 상당온위 등 수치분석도)는 밀양 OO면, 단장면 지역의 산악지형에 상승작용을 받아 더욱 불안정해졌고 국지적으로 호우, 돌풍, 뇌전까지도 동반하면서 많은 국지강수량 증가가 경사면 유실로 이어진 것으로 보인다. (붙임 2. 대상지역 지형도. 참고)
- 2014년 8월 25일 기압배치 상황은 호우유발 유형 중 ‘저기압 통과형’에 해당한다. 저기압 통과형의 특징은 온대저기압 중심이 전남서해상에 위치할 때 전면에 고압대가 강화되면서 저기압 전면으로 하층제트가 강화되어 저기압의 난역에서 강수대가 발달하는 유형이다. 이 때 밀양부근의 산악지형 요인까지 더해져 강화된 하층 수렴역과 상층 제트 입구의 남쪽 발달선이 연동되면서 강수 시스템이 발달하게 되었을 가능성이 높다.



- 특히, 8월 25일 09시 500hPa 일기도를 보면 대기중층에서는 남서풍이 강화되면서 하층기류를 상층까지 유도하고, 지상 부근에서는 남해상으로부터 다량의 수증기 유입을 지속시키는 남풍이 형성됨으로써 강수량이 증가에 기여하게 됨. (붙임 16. 500hPa 일기도. 참고)
- 500hPa 일기도(붙임 16. 500hPa 일기도. 참고)의 온도장 분포를 보면 우리나라 남부지방으로부터 일본 남부지방까지  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 한기구역이 위치함으로써 경남지방 내에서도 지역에 따라 대기불안정이 다르게 나타날 수 있는 조건이었고, 이는 지역별 강수량이 실제로 적은 곳은 59mm, 많은 곳은 95mm의 실황으로 나타남. 시간당 강수량 또한 같은 밀양 내에서도 밀양 중부 15~20mm/h, 밀양 남부 20~40mm/h로 분석(붙임 6-2)되어 사고 장소에서도 단시간 동안 강한 강수가 사고의 원인이 되었을 가능성이 높음 (붙임 6-1, 6-2, 6-3. 15시 현재 강수량, 1시간 강수량. 인근지역 강수량 문자자료. 참고)
- 2014년 8월 25일 09시 상·하층 일기도를 보면 상층제트가 우리나라 상공을 지나고, 하층제트도 형성되어 대류운동이 급격하게 발달 할 수 있는 조건이었고, 경남지방 대부분은 호우가 발생할 수 있는 환경에 들고 있음.  
 상·하층 제트 결합은 고도가 다른 두 층(하층·상층)의 강풍대가 서로 같이 교차하는 형태로써 강한 대류가 발생하기 쉬운 물리적 특징을 나타냄.(붙임 8그림 참고) 8월 25일 09시 850hPa 일기도에서는 저기압 중심을 기준으로 한랭전선과 온난전선 사이 난역으로 남풍(하층제트)이 형성됨으로써 남해상으로부터 고온·다습한 공기가 유입되어 잠재적으로 불안정한 대기가 형성되고, 시간의 경과에 따라 고온·다습한 공기는 하층 제트에 의해 빠르게 내륙으로 수송되면서 포화되고, 상승운동을 보일 것으로 보여서 호우를 예상할 수 있음.
- 아울러 층후(1000-500hPa), 하층제트(850hPa), K-index, 레이더 영상을 중첩해 보면 경남지방은 하층 Jet 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 보임.(붙임 9의 그림 2)
- 기상위성 영상자료에서는 8월 25일 09시에 전라남도 지방에서 발달한 비 구름대가 동쪽인 경남지방으로 이동하고, 이 시점에 500hPa 일기도에서  $(-5^{\circ}\text{C})$  구역은 경상남도 중부에서 일본 큐슈 남쪽 지방까지 형성 됨. 오후 시간대에 적란운은 매우 강하게 발달하여 운정 고도는 16km 이상으로 발달하였고, 운정 온도는  $(-90^{\circ})$  이하로 극도로 발달함으로써 밀양 및 인근지역에는 강한 뇌전, 돌풍 등을 동반한 국지 호우유발 조건이 되는 것으로 분석됨. (붙임 17. 기상위성 적외 강조영상자료. 참고)

- 8월 25일 오후 시간대(13시~15시)에 500hPa 고도의 한기(-5℃) 경계 역 주변으로 대기 상·하층간 강한 불안정, 복수의 적란운이 연속적으로 발생하여 통과하는 양상이 기상위성 영상적외 강조영상으로 확인 됨.(붙임 17. 참고) 밀양 등 경남 내륙지방에는 지역에 따라 강수량 차이가 심한 특징을 보임.
- 기상요소와 사고발생 인과관계를 기상예보의 관점에서 보면 사고당일 밀양지역은 호우가 발생할 수 있는 종관기상학적인 대부분의 조건을 다 갖춘 중규모 대류계 호우로 판단 할 수 있음. 이는 당일 수증기 영상, 레이더 영상 분석을 통한 상층기류의 파악, 건조역 및 고저기압 위치와 강도변화, 단열선도 분석, 대기하층의 수증기량 분석, 상하층 제트 분석, 700hPa 상승류, 500hPa 와도분석, 850hPa 고도, 비습, 기온, 유선 분석 등을 통해 사고현장의 강수량은 1시간 강수강도 15~20mm, 총강수량은 80~120mm 로 분석 됨.
- 국지 집중호우로 산지지역에서 생기는 경사면 유실사고에는 사고발생 전 강우량의 특성과 누적 강우일수에 의한 누적강우량이 영향을 미치는데 최근 경사면 유실사고(산사태 등) 발생에 미치는 누적강우량의 영향을 제시한 연구(한국산림과학회 학회지 105권2호, 2016년, 강우량의 누적일수가 산사태 발생에 미치는 영향, 강원석 등)에 의하면 산사태가 발생한 1,520개소의 자료를 중심으로 산사태 발생 20일전까지 일강우량의 평균값은 1일전이 52.9 mm로 가장 많은 양을 보였고, 2일전이 22.8 mm, 6일전이 21.9 mm 순으로 나타났다. 누적 일수에 따른 누적강우량과 산사태 발생과의 관계에서 100 mm이하에서는 누적일수 3일을 기점으로 전체 1,520개소 중 64.9%인 986개소가 발생하였다. 누적일수 5일은 전체 1,520개소 중 60%인 846개소에서 발생하고 있어 3일이나 5일정도 누적된 강우량이 산사태 발생에 미치는 영향이 큰 시점으로 나타났다.  
사고당시 밀양지역의 누적강수량은 8월20일 32.5mm, 21일 46.0mm, 8월25일 15시 현재까지 95.5mm로써 6일간 총 174.0mm를 기록하여 당일 집중 호우와 그 동안 누적된 총강수량이 태양광시설의 경사면 유실에 큰 영향을 주었을 것으로 판단 됨  
※ 경사지 유실에 대한 위험도를 파악하는 지수로 토양 강우량 지수는 내린 비에 의한 유실재해 위험도의 증가를 파악하기 위한 지표인데 호우에 따라 발생하는 토사 재해(산사태·토석류)는 현재 내리고 있는 비뿐만 아니라 지금까지 내린 비에 의한 토양의 수분 함량이 많은 연관성을 가지고 있다.(2020, 일본기상청 방재자료집)

### 3) 의견

- 사건 당일 사고장소 집중호우 발생에 기여한 여러 기상요소 중 호우에는 대기 하층의 바람장과 상당온위 값의 연관이 깊음. 기상청 종관기상 일기도 및 수치모델 등 자료에서 경남 해안으로부터 30kts 이상의 강한 남서풍이 육지로 불었고, 850hPa 상당온위는 340K 이상으로 형성되어 이는 곧, 고온다습한 수증기가 지속적으로 대량 유입되었고, 밀양지역의



산지지형과 상층 한기의 작용이 대기불안정, 적란운의 발달으로 이어져 뇌전, 돌풍, 단시간 호우로 이어졌을 가능성이 높음(붙임 9. 등온위면 자료, 붙임 17. 기상위성 적외 영상자료, 2014.8.25. 13시45분)

당일 사고 시점에 밀양시 지역의 지표면 바람은 지표면 마찰 작용 등으로 풍향과 풍속이 다소 혼재되기는 하지만 밀양 단장면 등의 AWS 바람 관측자료에서 남풍계열의 바람이 우세한 것으로 나타나며 약 20kts의 남풍이 현지의 고도 500m 산지 경사면을 따라 상승한 것으로 분석됨. 이러한 바람은 현장에서 사고 장소가 바람의 풍상 측에 놓이게 하여 지형효과에 의한 국지강수량 증가를 가져옴.(붙임 12. 한반도 바람벡터, 붙임 13. 한반도 유선, 습도)

- 2014년 8월25일 밀양의 사고 장소(○○리) 에 강수량에 대해 공제보험 조합 측이 사건장소로부터 약 4km 떨어진 밀양시 단장면(AWS)의 강수량이 59.0mm(8월25일 15시 현재)를 기록하였다고 해서 사고지역의 강수량도 동일시 간주하는 점에는 무리가 있음.

당일 밀양을 비롯한 경남지역의 기상상황은 기본적으로 호우유발형 기압배치 중‘저기압 통과형’에 해당되어 지역에 따라 강수량 편차가 컸으나 호우 조건에 해당되었고, 밀양부근의 산악 지형 요인까지 더해져 강수 시스템이 발달하게 되었을 가능성이 높음.

당일 단기예보에서 예상한 강수량이 30~80mm, 총 예상강수량은 60~120mm 로써 호우주의보가 발령된 위험기상 상황이었으며 당일 강수 시계열 자료에서는 호우가 주로 12시~15시 사이에 집중되었던 것으로 나타남. 지역별 강수량은 작게 내린 곳이 59mm, 많은 곳은 95mm로 지역 간 강수량 편차가 매우 심하였음. 시간당 강수량 또한 동일한 밀양 내에서도 밀양 중부지역은 15~20mm/h, 밀양 남부지역은 20~40mm/h로 분석되어 매우 강한 비가 지역 간 심한 차이를 보인 점, 사고현장의 경사면 유실 정도 등을 종합할 때 당일 사고현장의 강수량은 1시간 강수강도 15~20mm, 총강수량은 80~120mm 로 분석됨.

(붙임 1, 2, 5, 6-1, 6-2, 6-3. 붙임 7~18 참고)

- ○○ 태양광 발전소 경사면 유실 사고는 호우가 단시간에 집중된 것이 사고원인으로 작용하였을 가능성이 매우 큰 것으로 보임. 아울러 산지 경사면에 나무를 베어내고 발전소가 설치된 환경이었기 때문에 단시간에 많은 비를 감당하기 어려운 환경이었을 가능성이 높음(붙임 20, 태양광발전소 사고현장 사진. 참고)

※ 기상학적으로 습한 공기가 바다에서 내륙으로 들어오면 내륙의 산지 지형을 만나게 되고, 공기는 산과 충돌하게 됨. 질양보존 법칙에 의해 공기는 산을 만나 산지 경사면을 따라 상승하거나, 산을 넘어가게 되는데 이때 지형효과가 발생함.

※ 풍상 측에서 비구름이 산을 만나면 강제 상승하는 과정을 산악에 의한 강제 상승효과라 한다. 비구름이 높은 산(약 500~600m 이상)을 만나게 되면 상승효과로 해당 풍상 측을 중심으로 비구름이 더욱 발달하고, 강수강도가 더 강해져 집중호우 가능성이 높음. (붙임 18, 산악효과와 강수량 참고)

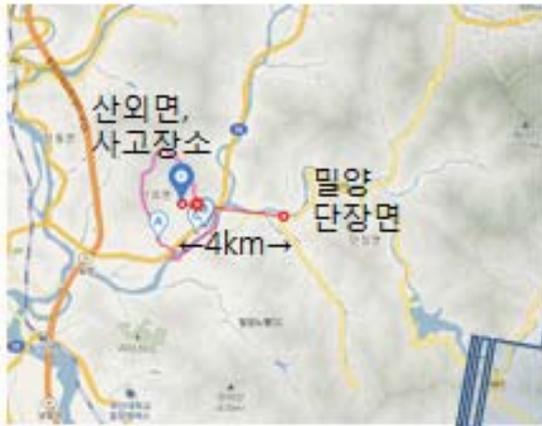
※ 자연재해 관련 방재분야에서 일반적으로 재해와 강수량의 관계는 자연재해로 이어지는 집중호우란 강한 비가 국지적으로 단시간에 집중하여 내리는 현상을 말하며, 일 강수량이 연 강수량의 10%이상이거나 또는 1시간 강수량(時雨量) 30mm이상, 일우량(日雨量) 80mm 이상의 비를 기준으로 하는 경우가 많음.(행정안전부/국민재난안전포털/집중호우대비)

#### 4) 관련 전문가 자문(해당사항 있을 경우 작성)

○ 해당 없음



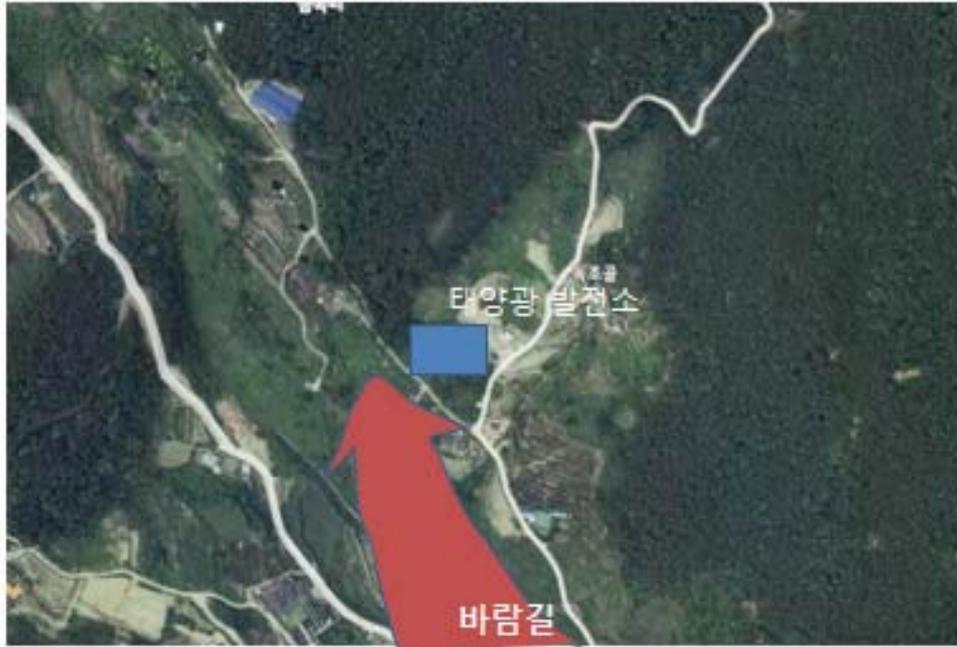
**붙임 1** 사고현장 약도



사고 현장은 경남 밀양시 00면 00리 746-1 번지에 소재한 태양광 발전소로서 단장면사무소에서 서쪽으로 5.5km에 위치한 곳임

북쪽에 450m 정도의 낮은 산이 위치하고, 북~동쪽으로 산으로 이어지고, 북서~남 방면으로는 경사면으로 트여 있으며, 감정대상지점 평균고도는 해발 약 250m 임

붙임 2 대상지역 지형도



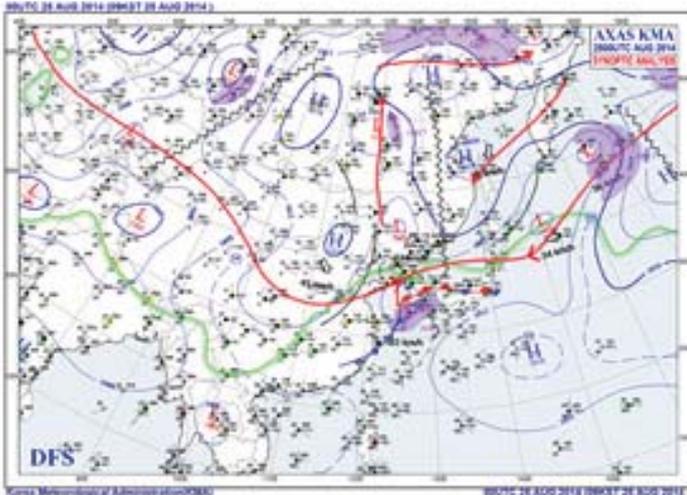
기상감정 대상지점은 밀양시 단장면사무소에서 서쪽으로 5.5km에 위치한 곳으로서 그림에서 보는 바와 같이 북쪽에 낮은 산(450m)을 중심으로 300~350m 정도의 비교적 낮은 산지로 이루어진 곳임

감정대상 지역은 250m 등고선에 해당하는 지역으로서 약한 경사지에 태양광 발전소가 놓여 있는 환경이다. 남쪽으로는 지형이 트여 있으며, 상대적으로 고도가 낮고, 개울과 마을로 이루어져 있음

이러한 현지 지형환경으로 사고 장소에는 남풍 계열의 바람이 불면 바람 길이 용이하게 형성될 수 있는 지형조건을 갖추고 있어 지형 효과에 의해 풍속의 증가와 강수량의 가중에 영향을 줄 수 있는 지형조건을 갖춘



**붙임 3 지상일기도**



지상일기도('14.8.25, 09시)를 보면 일본 남동쪽 해상에 북태평양 고기압 (mT) 이 자리하고, 우리나라 서해남부 해상에는 저기압이 한반도 남부지방으로 접근하고 있다. 저기압에는 전선이 동반되어 있고, 전선의 난역에서는 남~남서풍에 의해 많은 양의 수증기가 유입됨으로써 경남 내륙지방에는 지역에 따라 호우가 예상되는 일기도이다.

사건 발생 당시 지상일기도 기압배치는 우리나라 남부지방 전체에 호우가능이 있는 기압배치임. 경남 전역과 밀양지역 내에서도 현지 지형, 국지 풍향 변화에 따라 국지적으로 강수량 차이가 심하게 나타날 수 있는 상황임. 당일 사고 장소가 포함되는 경남지역에 "호우주의보"가 오전 09시 10분에 내려진 상황이었으며 대기가 매우 불안정한 가운데 밀양 OO면 OO리 사고 장소 산악지형 주변에서는 호우 발생에 직접 기여할 수 있는 적란운이 크게 발달하는 특징을 보임.

**붙임 4**      **당시 기상 예보문**

2014.08.25 11:00 발표 / 발표관제: 부산제15호 / 해보관: 조영환

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.

**오늘 전망 (8)**

낮 최고기온은 부산 26도, 울산 25도, 창원 25도, 진주 25도로 어제보다 조금 낮겠습니다.

바다의 물결은 남해동부와 동해남부권해상에서 0.5~2.0m로 일겠습니다.

오늘 전해상에 천개가 칠게 되는 곳이 있겠고, 남해상에는 돌풍과 함께 천둥·번개가 치는 곳이 있겠습니다.

- 예상 강수량(25일 11시부터 26일 24시까지)
- 부산광역시, 울산광역시, 경상남도 : 30~80mm(많은 곳 120mm 이상)
- 미세먼지(PM10) 예보(통합예보실 미세먼지팀, 25일 11시 발표) : 경남권은 보통(일평균 35~85㎍/㎥)

잠자 울국 산등반도 부근에 위치한 고기압의 가장자리에 들겠습니다.

부산, 울산, 경상남도는 대체로 흐리고, 동풍의 영향으로 부산과 울산 등 동해안지역은 오후늦게부터 밤 사이에 비(강수확률 70%)가 오겠고, 경남북서내륙지역에는 대기불안정으로 소나기(강수확률 60%)가 오는 곳이 있겠습니다.

**내일 전망 (9)**

아침 최저기온은 부산 22도, 울산 22도, 창원 22도, 진주 22도로 오늘과 비슷하겠고, 낮 최고기온은 부산 25도, 울산 25도, 창원 25도, 진주 30도로 오늘보다 조금 높겠습니다.

바다의 물결은 남해동부권해상에서 0.5~2.0m로 일겠고, 동해남부권해상에서 1.0~4.0m로 낮부터 점차 높게 일겠습니다.

동해남부해상에는 오후부터 바람이 강하게 불고 물결도 매우 높게 일겠으나, 향해나 조업하는 선박은 안전운행에 주의하시기 바랍니다. 동해안에는 너울에 의한 파도가 방파제를 넘을 가능성이 있겠으니, 안전사고에 주의하시기 바랍니다.

- 미세먼지(PM10) 예보는 25일 11시에 발표됩니다.

방향	동-SE 전국 교차	25	30	NW-N 호우	22	30	N-NE 구름 강풍	30	20	N-NE 구름 강풍	21	20	N-NE 구름 강풍	28	20	울산 (152)
방향	E-SE 호우 교차	24	30	NW-N 구름 강풍	21	20	E-SE 구름 강풍	30	20	N-NE 구름 강풍	19	20	NE-E 구름 강풍	28	20	창원 (155)
방향	E-SE 전국 교차	25	30	NW-N 구름 강풍	22	20	E-SE 구름 강풍	31	20	N-NE 구름 강풍	19	20	NE-E 구름 강풍	28	20	창원 (155)

**[8월 25일 기상예보문 내용]**

서해남부해상에서 다가오는 저기압의 영향을 받겠습니다.

부산, 울산, 경상남도는 흐리고 비(강수확률 80~90%)가 오다가 밤에 경남서부지역부터 점차 그치겠습니다.

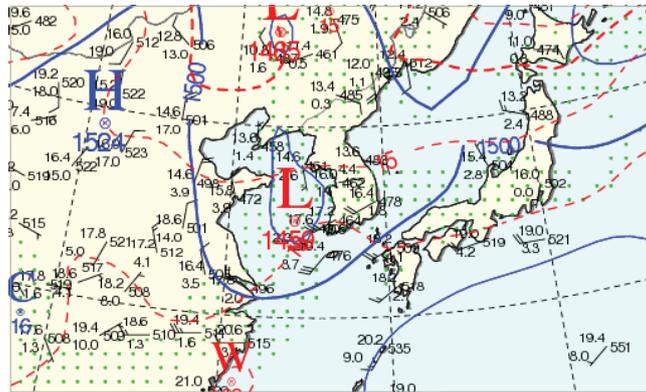
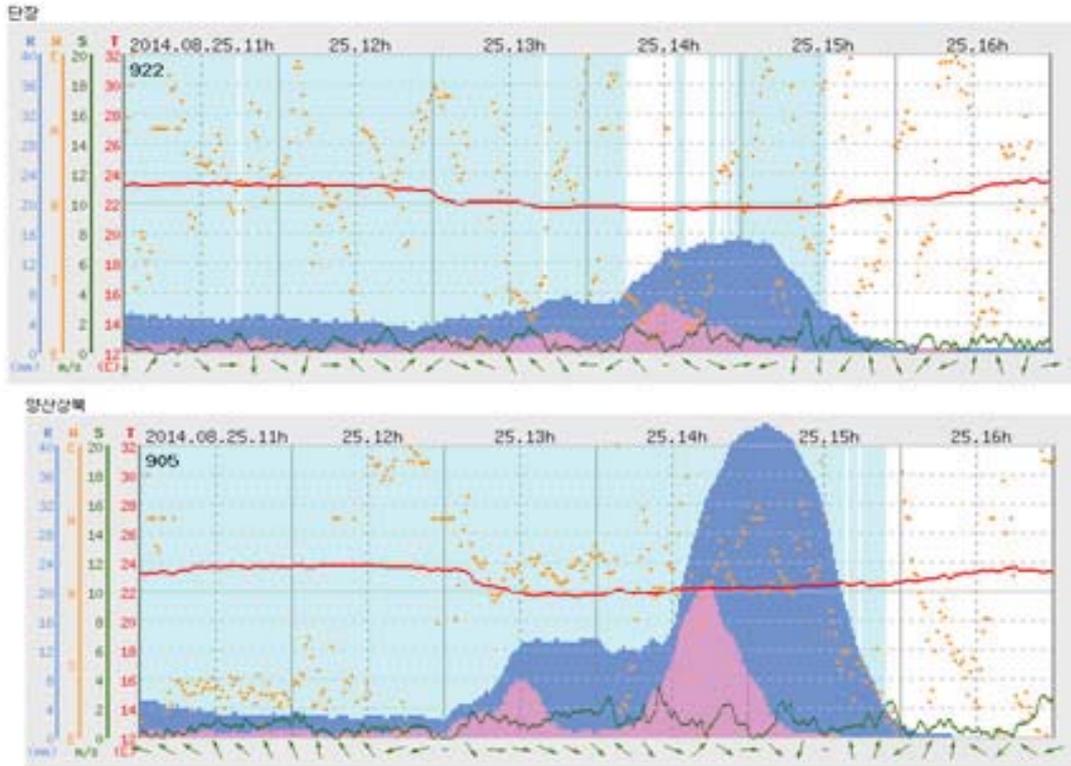
오늘 밤까지 돌풍과 함께 천둥·번개가 치고, 경남남해안, 지리산부근을 중심으로 시간당 30mm 이상의 강한 비와 함께 많은 비가 오는 곳이 있겠습니다. 또한 최근에 내린 많은 비로 인해 지반이 약해진 상태에서 또다시 많은 비가 예상되니 축대붕괴와 산사태, 저지대 및 농경지 침수 등의 피해가 없도록 철저히 대비하시고, 산간계곡이나 강가에서 야영하는 피서객들도 안전사고에 각별히 유의하시기 바랍니다.

\* 예상 강수량(25일 11시부터 26일 24시까지)

- 부산광역시, 울산광역시, 경상남도 : 30~80mm(많은 곳 120mm 이상)

붙임 5

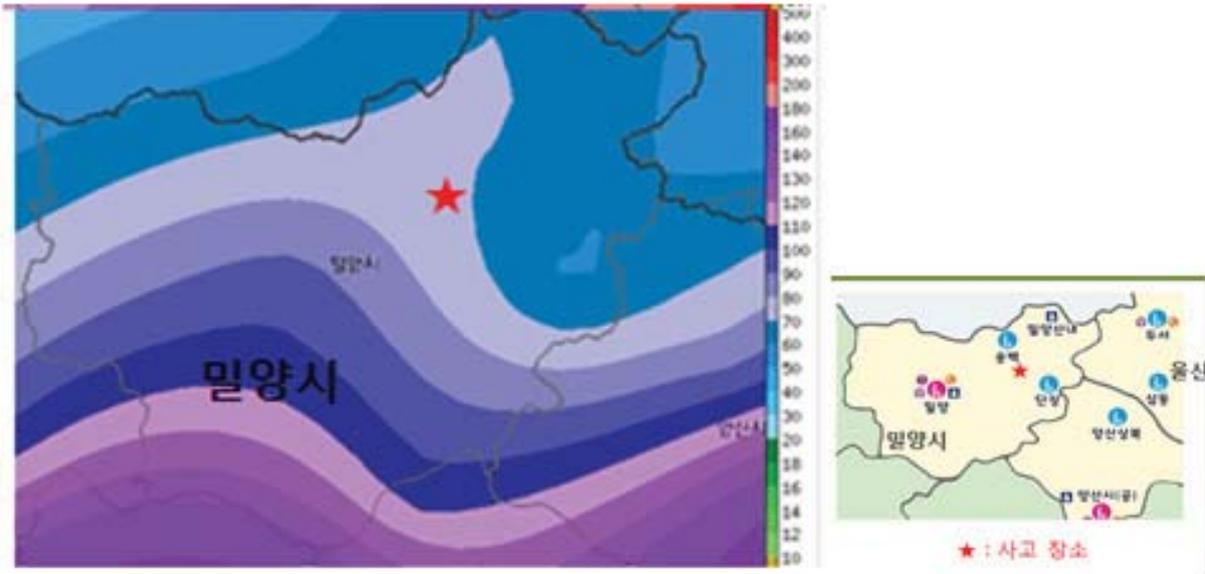
당시 밀양시 단장면 강수량 시계열



2014년 8월25일 09시, 850hPa 일기도

8월 25일 09시 850hPa 일기도를 보면 해상으로부터 경남내륙으로 30노트 남서풍이 강하게 유입되고, 밀양, 양산, 울산 서부내륙에서 대기하층의 다량의 수증기가 전선 부근으로 수렴되어 지역적으로 단시간동안 집중호우가 발생 된 것으로 보이고, 발생시간대는 시계열 자료에서 14시~15시 경으로 나타남.

붙임 6-1 2014년 8월 25일 15시 현재 누적강수량



○ 2014년 8월 25일 15시 총 강수량

- 밀양(내이동) 95.5mm , 밀양 단장 59.0, 밀양 송백 71.5, 양산 상북 88.5, 울산 상북 51.5, 울산 삼동 80.0mm

※ 사고 장소로 부터 각 AWS(관측지점)까지 거리

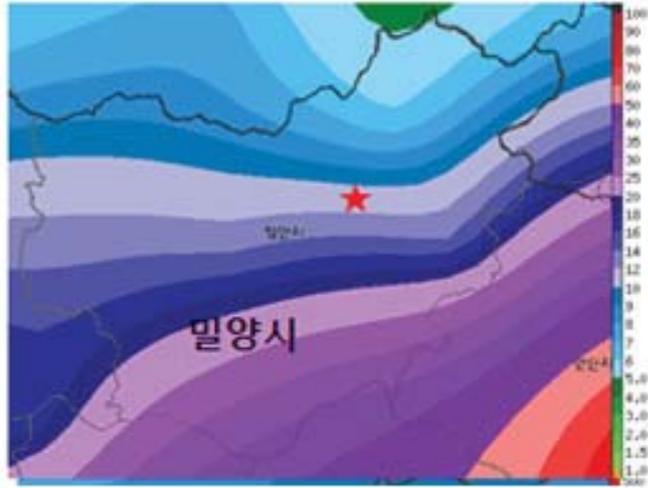
- 밀양시 내이동 약 11km, 밀양시 단장면 4.0km, 밀양시 송백면 11km
- 양산시 상북면 17km, 울산시 삼동면 20km, 울산시 상북면 24km

위 강수량분포도는 기상청 AWS에서 관측된 실제 강수량을 기반으로 작성된 분포도이다. 사고 장소와 가장 가까운 밀양시 단장면(4km) 강수량이 59.0mm이고, 밀양 내이동은 95.5mm 등이다. 사고 장소의 1시간 최대 강수량은 15~20mm 정도로 분석되며, 15시까지 강수량 분포도에 의하면 사고 장소(★표)의 강수량은 국지적으로 약 80mm 이상이었을 것으로 분석됨.



붙임 6-2

2014년 8월 25일 15시 현재 1시간 강수량



1시간 강수량은

밀양 중부지역에서 15~20mm  
 밀양 남부지역에서 25~40mm  
 분포를 보임.

★ : 사고 장소

○ 2014년 8월 25일 1시간 강수량

- 밀양 중부지역 15~20mm/h, 밀양 남부지역 25~40mm/h
- 밀양시 남쪽 지역 강수량이 많고, 북쪽으로 올라 갈수록 강수량이 작음.

붙임 6-3 사고장소 인근 강수량(14.8.24, 15시 현재)

지점	구분	8월 25일									
		18:00	17	16	15	14	13	12	11	10	9
밀양 288	누적	98.5	98.5	98.5	95.5	82	74.5	56	45	36	26.5
	시간			3	13.5	7.5	18.5	11	9	9.5	11.5
	일	98.5	98.5	98.5	95.5	82	74.5	56	45	36	26.5
단장 922	누적	60	60	59.5	59	44	37	33.5	28.5	23.5	14
	시간		0.5	0.5	15	7	3.5	5	5	9.5	8
	일	60	60	59.5	59	44	37	33.5	28.5	23.5	14
송백 927	누적	78	78	78	71.5	65.5	56	48	37.5	28.5	19.5
	시간			6.5	6	9.5	8	10.5	9	9	10.5
	일	78	78	78	71.5	65.5	56	48	37.5	28.5	19.5
양산상북 905	누적	90	90	90	88.5	46.5	33	30.5	27	22	11
	시간			1.5	42	13.5	2.5	3.5	5	11	2.5
	일	90	90	90	88.5	46.5	33	30.5	27	22	11
삼동 854	누적	84.5	84.5	84.5	80	45.5	34	30.5	27.5	19.5	6
	시간			4.5	34.5	11.5	3.5	3	8	13.5	2.5
	일	84.5	84.5	84.5	80	45.5	34	30.5	27.5	19.5	6
상북 900	누적	56	56	56	51.5	39	33	29	24.5	18	9
	시간			4.5	12.5	6	4	4.5	6.5	9	4
	일	56	56	56	51.5	39	33	29	24.5	18	9



**붙임 7 상층 일기도(925, 850hPa)**

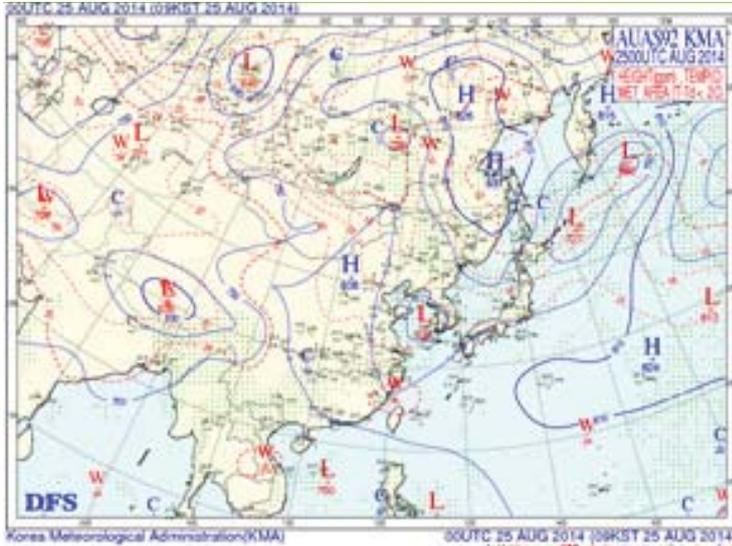


그림 1. 925hPa 일기도  
(14.8.25. 09시)

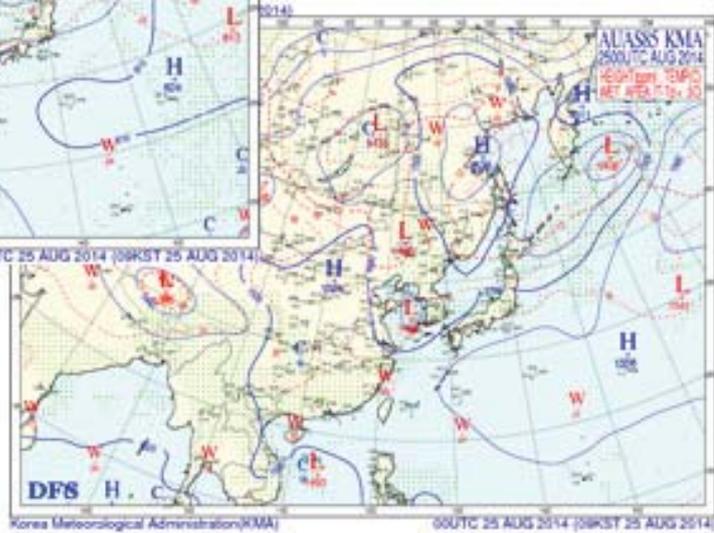
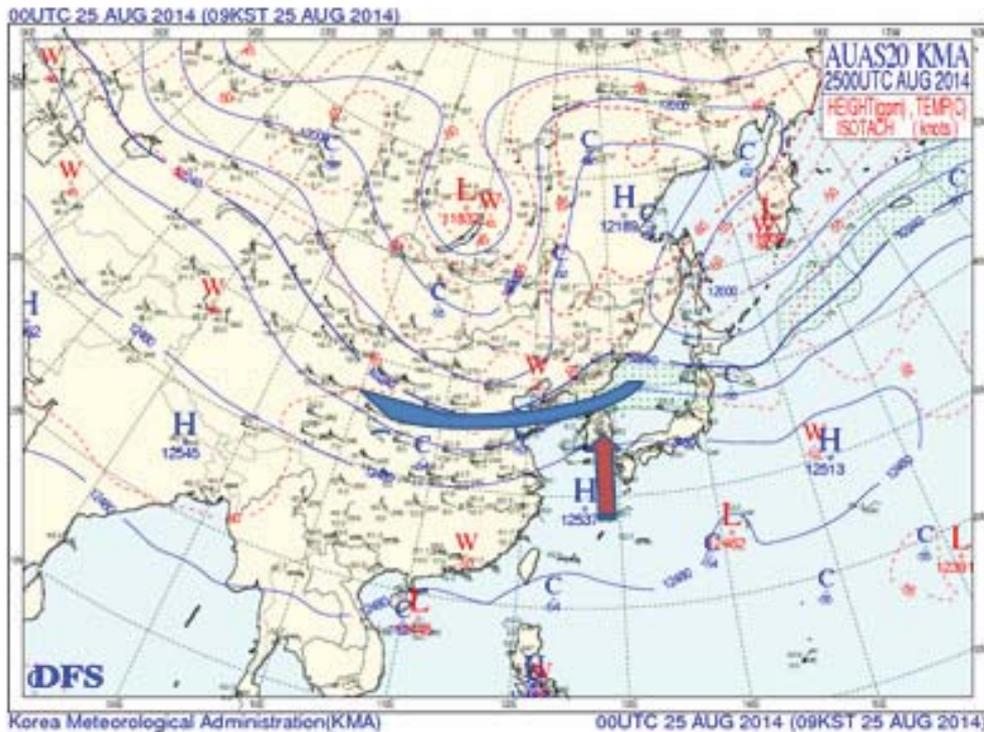


그림 2. 850hPa 일기도  
(14.8.25. 09시)

925hPa 일기도는 약 800m 상공, 850hPa 일기도는 약 1,500m 상공의 일기도이다. 이 일기도들은 00UTC(한국시간 09시) 일기로 저기압이 서해남부 목포앞바다에 위치한 일기도이다. 일기도에서 전선을 동반한 저기압이 25일 오후 시간대에 경남 지방을 지날 것으로 예상되어 경남지방에는 강한 바람과 함께 많은 비가 올 것으로 예상된다.

붙임 8 상하층 제트 커플링(200, 850hPa)



|그림 1| 상하층 제트 커플링

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

상·하층 제트 결합은 고도가 다른 두 층(하층·상층)의 강풍대가 그림 1과 같이 교차하는 형태로서 강한 대류가 발생하기 쉬운 물리적 특징을 나타냄. 8월 25일 09시 850hPa 일기도에서는 저기압 중심을 기준으로 한랭전선과 온난전선 사이 난역으로 남풍(하층제트)이 형성됨으로써 남해상으로부터 고온·다습한 공기가 유입되어 잠재적으로 불안정한 대기가 형성되고, 시간의 경과에 따라 고온·다습한 공기는 하층 제트에 의해 빠르게 내륙으로 수송되면서 포화되고, 상승운동을 보일 것으로 보여서 호우를 예상할 수 있음.

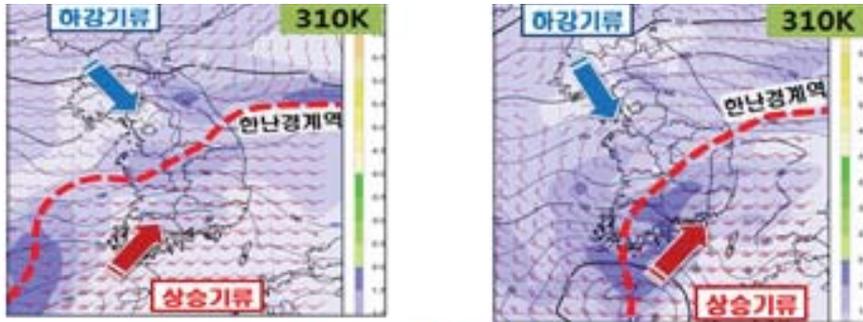


그림 1. 등 온위면 310K(2014.08.25. 좌: 9시, 우:15시)

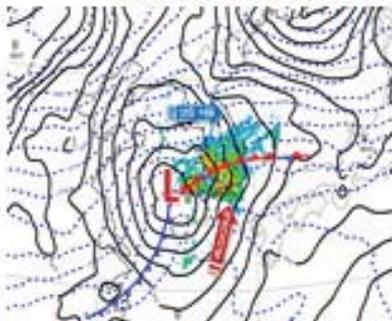


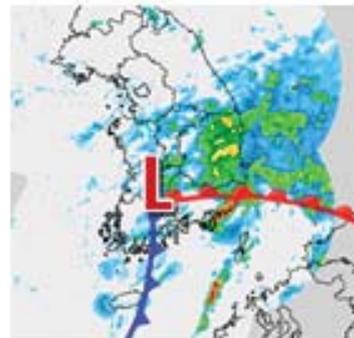
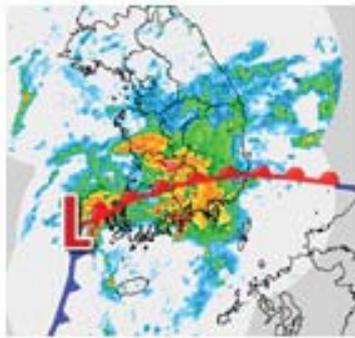
그림 2. 1000-500hPa 층후(파란색 파선), 지상 일기도(검은색 실선), 레이더 영상 중첩(2014. 08. 25. 09시)

A 지점 남풍바람, B 지점 상층바람, 상층으로 갈수록 남서-서풍(순환(Overing)) 남기류

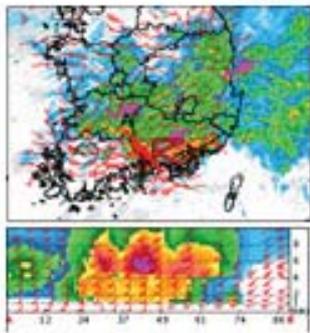
붙임9의 그림 1에서 기압이 높은데서 낮은 데로 이동하는 상승기류는 붉은 색 점선의 남쪽으로 한정 되고, 북쪽 지역은 남서풍이지만 기압이 높은데서 낮은 데로 이동하는 하강기류 지역임. 상승하강 경계선이 충청도 부근(25일 09시)에서 남동진하여 경남 북부(25일 15시)지역으로 이동하여 그 남쪽에는 1.5 PVU 이상 지역에 속함. 제주도 부근의 남서풍(30~40kt)은 등압면을 가로질러 경남지역은 상승기류가 강해지는 구역에 들고 있음.

붙임9의 그림 2에서 층후(1000-500hPa), 하층제트(850hPa), K-index, 레이더 영상을 중첩해 보면 경남지방은 하층 Jet 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 보임.

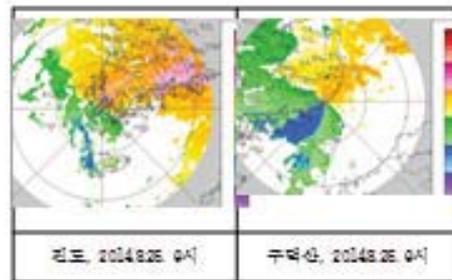
붙임 10 기상레이더 에코 분석(8월 25일)



2014.8.25. 09시(좌), 15시(우)



2014.8.25. 13시



레이더 시선 속도

8월 25일 전남지역을 통과한 강수에코는 13시에 경남지방에 도달하며(그림), 강수 에코는 전남과 경남 경계에 놓인 지리산 산악 지역을 통과한 후에 이례적으로 약화되지 않고 활성을 띠는 경향을 보임. 특히, 경남서부지역과 남해안을 중심으로 뇌전을 동반한 30mm/hr 이상의 강도를 유지하고, 밀양 등 경남 내륙으로는 10~20mm/hr의 에코가 동북동진하고 있음. 아래 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 에코가 약해지는 단계이고, 구덕산 레이더에서 접근하는 시선 속도(blue)는 15~21m/s, 멀어지는 속도(yellow)는 9~12m/s로, 수증기가 경남지방으로 많이 유입되는 조건을 보인다.

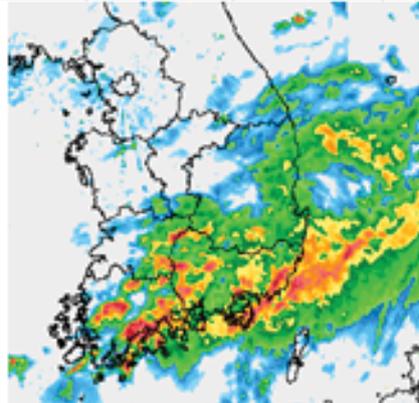
구덕산 기상 레이더 연직시계열 바람(붙임 10, 아래그림)에서 25일 약 3km 이상 상공까지 남서풍이 30kt 내외로 유입되었고, 대기 하층 약 1km 고도에서 20kt 이상의 남풍이 유입 됨.



**붙임 11** 가까운 거리임에도 강수량 지역차이가 큰 사례

구분	창원 선산구	창원 마산합포구	통영	거제	남해	부산
강수량	268.0	164.0	163.5	243.0	232.0	310.0

동일 도시 내에서 4km 떨어진  
두 장소간  
100mm 강수량 차이



기상레이더 강수예코 (09.07.07.12:50)

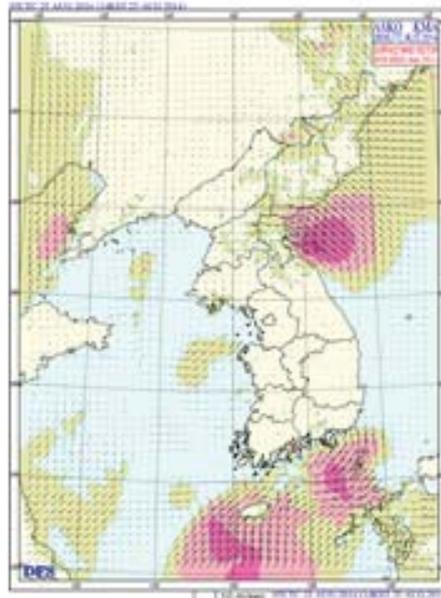
이 사례는 남해상에 위치한 장마전선의 영향을 받고 있는 남부 지방에 많은 비가 내리고 있는 사례임. 장마전선에 동반 된 비 구름대 영향으로 지역에 따라 천둥, 번개를 동반한 40~100mm 비가 예상되는 가운데 적란운에 의한 강수 셀이 어느 지점을 지나는지에 따라 지역적으로 강수량 편차가 매우 큼.

사례는 2009년 경남 창원의 사례인데 마산과 창원사이 약 8km 거리에 지역 간 100mm 강수량 차이가 발생한 사례임. 여름철 강수는 좁은 지역 간에 강수량 차이가 큰 경우가 많음.

붙임 12 지상일기도, 한반도 바람벡터



지상일기도(14.08.25. 15시)



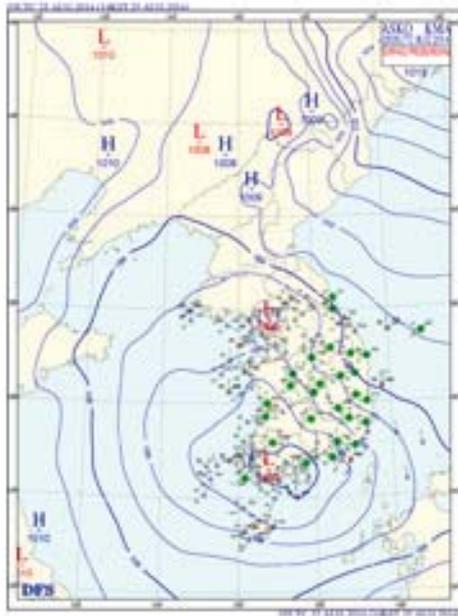
한반도 바람벡터(14.08.25, 14시)

사고 당일 저기압의 중심이 8월 25일 09시에 서해남부해상 목포 앞바다에서 동진하여 15시에는 전남 내륙으로 이동함. 경남 밀양인근 지역에 강한 강수가 발생되었던 시간은 14~15시 경 이었는데 14시 한반도 바람벡터 형성은 오른쪽 그림과 같이 해상으로부터 S-ly 바람이 경남지역으로 유입되는 형태를 보임.

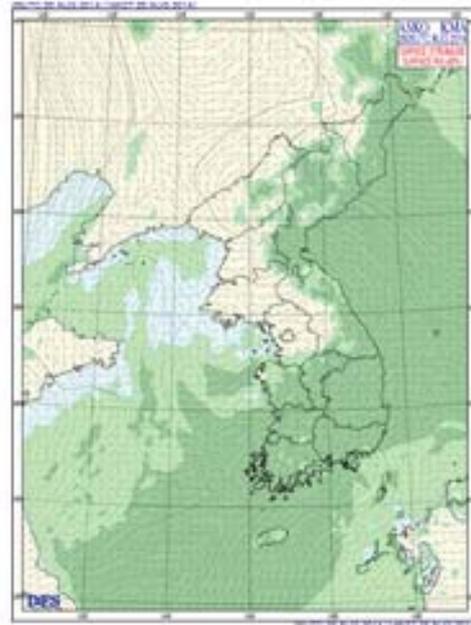


붙임 13

한반도 기압분포도, 유선·습도



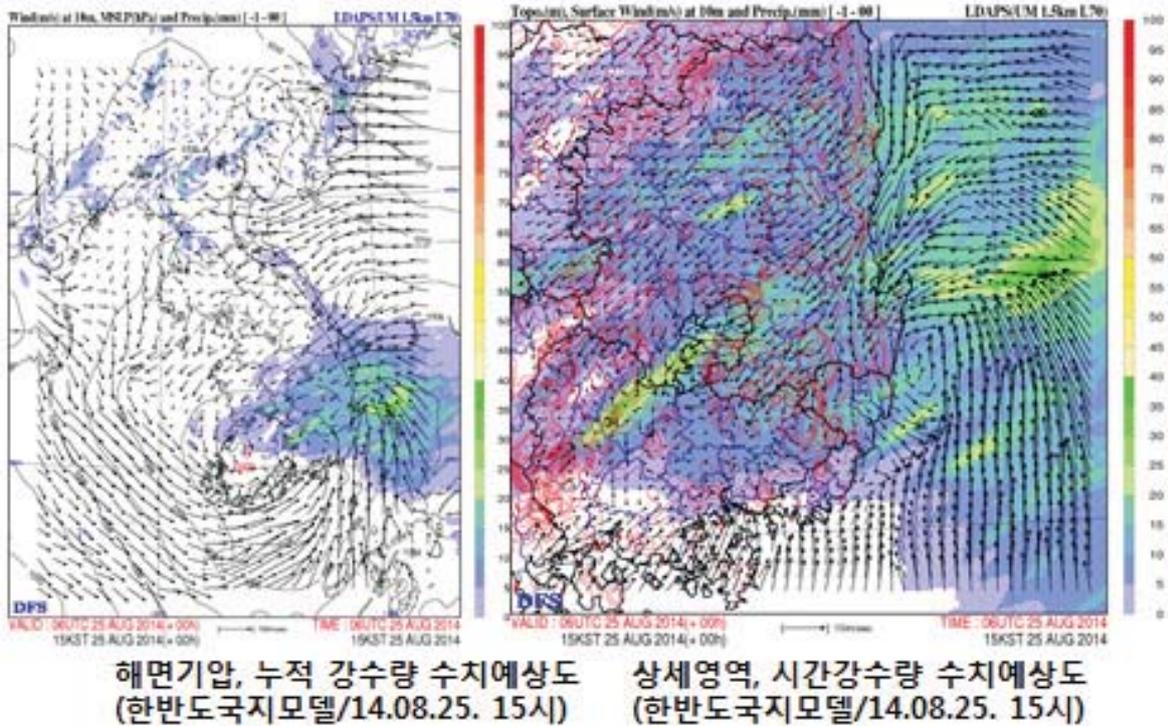
한반도 기압분포도(14.08.25. 14시)



한반도 유선, 습도(14.08.25. 14시)

밀양부근 강수 집중시간대(14시~15시) 한반도 기압분포도를 보면 저기압 중심이 전남지역에 놓여있음. 남부는 물론 중부지방까지 강수가 분포함. 한반도 유선도는 남해안에 수렴대가 형성되고, 습수 역은 남부, 충청, 영동지방까지 덮고 있음.

붙임 14 한반도 해면기압, 지형, 시간강수량

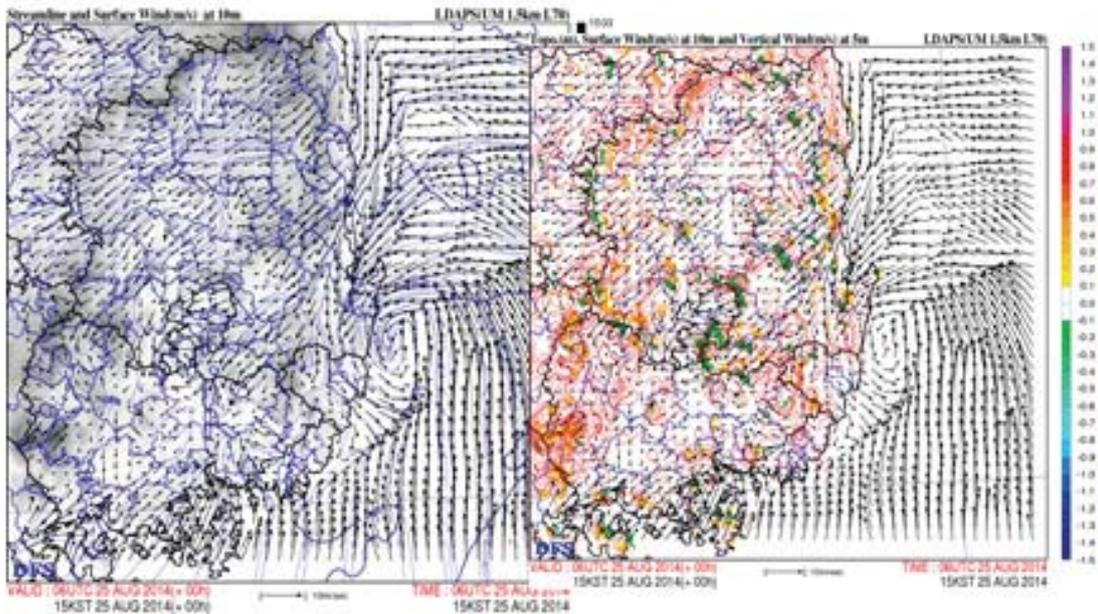


사고당일 한반도 국지모델에서 바람은 남~남서류가 유입되고 있어서 경남 내륙 호우에 기여하고 있으며, 해면기압, 강수량 분포에 경남지방에 강수역이 형성되어 오후 시간대에 호우유발 조건이 됨.



붙임 15

지형과 바람, 최하층 연직속도

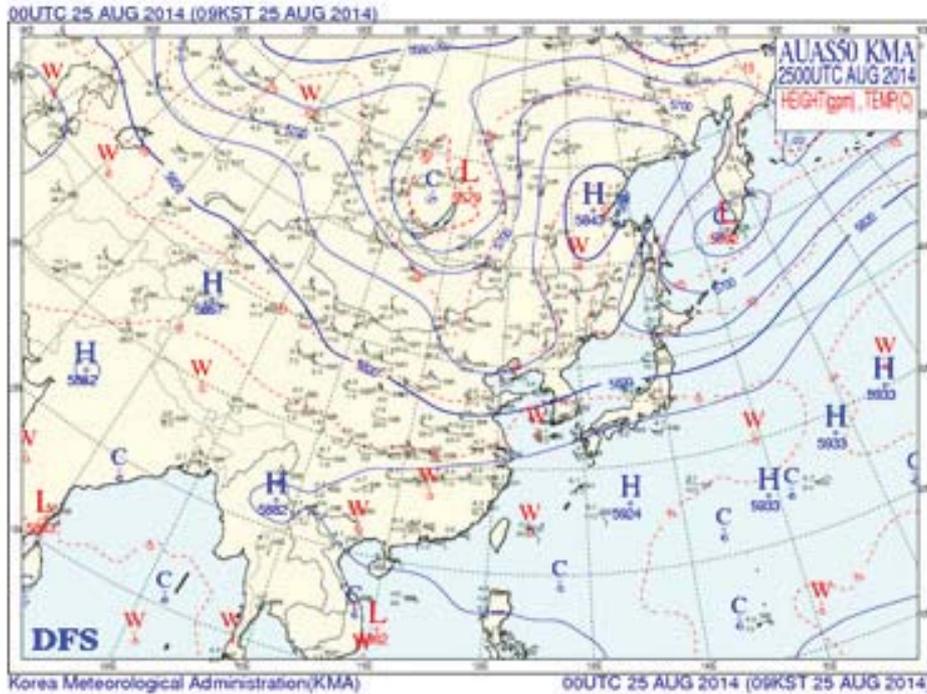


지형과 바람 수치예상도  
(한반도국지모델/14.08.25. 15시)

최하층 연직속도  
(한반도국지모델/14.08.25. 15시)

국지모델에 지형과 바람자료를 보면 경남해안선 부근에 바람수렴이 이루어지고, 경남 내륙에는 지표면의 높은 산악지형으로 인해 지상풍 바람이 혼재되고 있다. 최하층 연직속도는 경남남해안에 강한 구역이 불규칙하게 나타나고, 경남북부지역으로는 약한 구역이 분포 함.

붙임 16 500hPa 일기도(2014년 8월 25일, 09시)

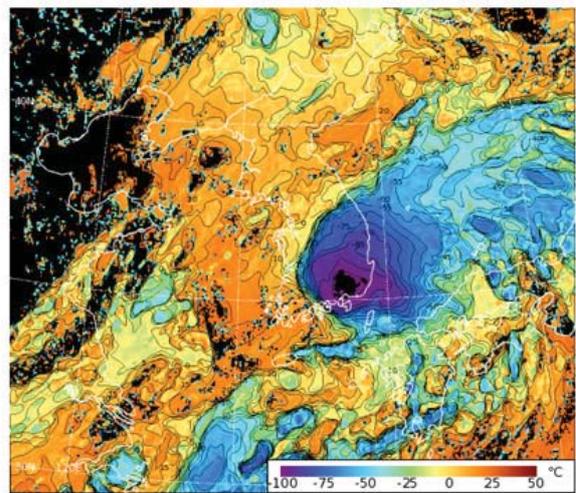
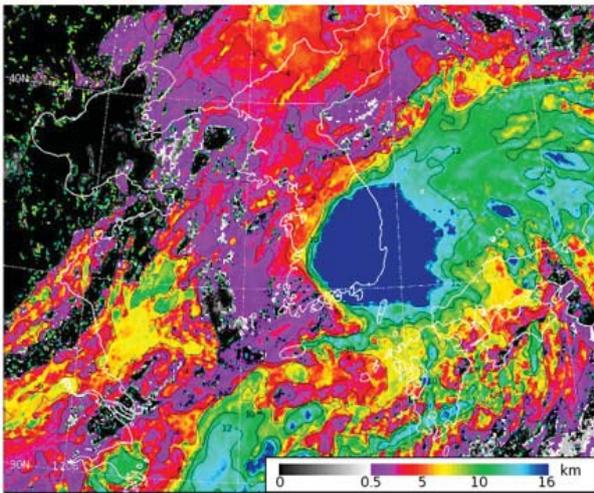
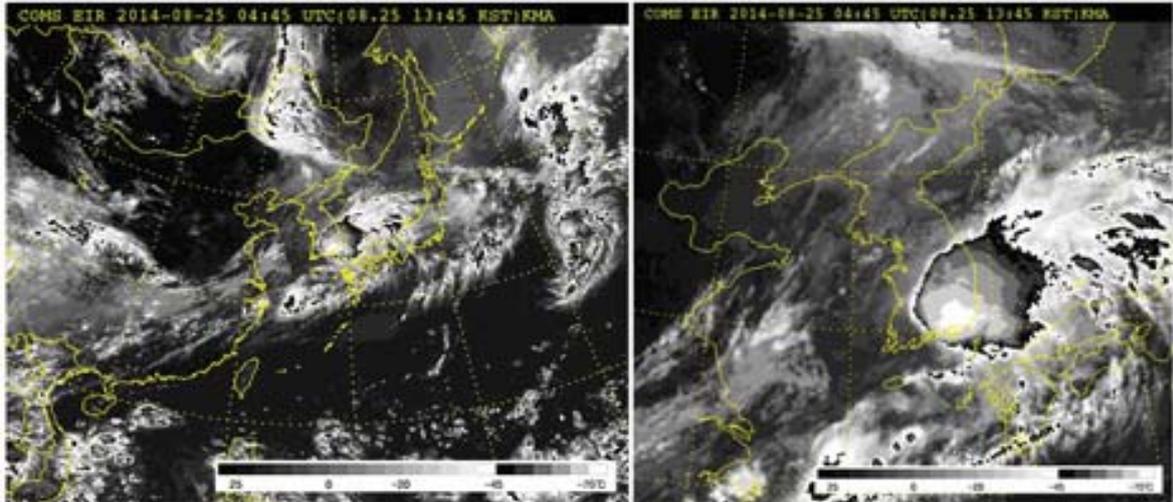


500hPa 일기도에서 발해만~산동반도 서쪽으로 형성된 상층기압골이 접근하면서 지상저기압 발달을 촉진하고 있음. 상층 남서풍의 강화는 하층기류를 상층까지 유도하고, 지상 부근에서는 남해상으로부터 다량의 수증기 유입을 지속적으로 유입시키는 남풍이 형성됨으로써 강수량이 증가될 수 있는 패턴임.

500hPa 일기도에서 온도장을 보면 우리나라 남부지방에서 일본 남부지방까지  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 한기구역이 위치하여 경남 일원에는 지역에 따라 대기불안정이 다르게 나타날 것으로 분석 됨.



붙임 17 적외영상(2014년 8월 25일, 13시 45분)



기상위성 적외 강조 영상자료에서는 8월 25일 09시에 전라남도 지방에서 발달하던 적란운이 동진하여 13시 45분 그 중심이 경남지방을 지나고 있음.

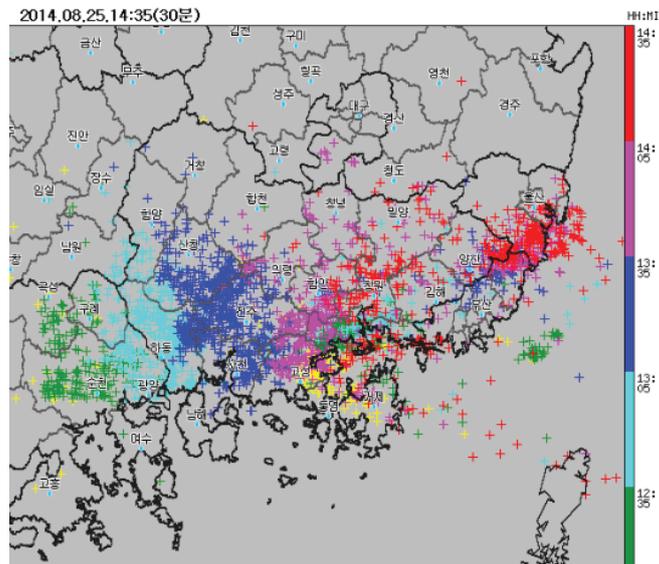
오후 시간대에 적란운은 극도로 발달하여 운정 고도 16km 이상, 운정온도 (-)90도 이하로 분석되어 매우 심한 대기 불안정을 보임.

붙임 18 산악 효과와 강수량



습한 공기가 바다에서 내륙으로 들어오면 산을 만나게 되어 공기는 산과 충돌하게 됨. 질량보존 법칙에 의해 공기는 산을 만나 위로 올라가거나 산을 넘어가게 되는데 이때 지형효과가 발생함.

풍상 측에서 비구름이 산을 만나면 강제 상승하는데 이를 산악 강제 상승효과라 함. 비구름은 높은 산(약 500~600m 이상)을 만나게 되면 상승효과가 일어나면서 해당 풍상 측을 중심으로 비구름 강도가 강해져 이때 집중호우로 발달 할 수 있음



| 2014년 8월25일 14:25 경남지역 대기불안정으로 유발된 낙뢰 분포도 |

**태양광발전소 종합공제**

태양광발전소 종합공제 보험이란 태양광발전소, 전지발전 시설 부속시설에 적용되는 화재·자연재해·도난·상해·불법채탈·의사·사망·공제조합 구성신청을 위한 종합공제 보험입니다.

**보험대상**

태양광발전소 종합공제 보험 대상 시설은 태양광발전소, 전지발전 시설, 부속시설 등입니다.

**보험내역**

보험종류	보험대상/보험내용	보험금액
화재·자연재해	태양광발전소 종합공제 보험 대상 시설에 화재·자연재해로 인한 손실	보험금액
도난	태양광발전소 종합공제 보험 대상 시설에 도난으로 인한 손실	보험금액
불법채탈	태양광발전소 종합공제 보험 대상 시설에 불법채탈로 인한 손실	보험금액
의사·사망	태양광발전소 종합공제 보험 대상 시설에 의사·사망으로 인한 손실	보험금액

태양광 발전소 종합공제 보험은 산업통상 자원부와 에너지관리공단이 주관하고, 시중 5대 손해 보험사들이 참여해 공동으로 만든 보험임. "태양광발전소 공제조합 보험"이라고도 함.

붙임 20 태양광 발전소 사고 현장(2014년 8월 25일)



사고 장소 : 밀양시 산외면 금곡리 746-1, 금곡 태양광 발전소

우리나라 지형상 산지에 무리하게 태양광발전소를 지으면 집중호우 등으로 산사태 위험에 노출되기 쉬움. 산지에 수목을 제거하고 인공 시설물을 만들면 경사면이 위험에 노출되고, 기존에 계곡을 따라 흘러가던 물도 능선부로 스며들어 산사태 위험이 커짐.

산림청은 산지 개발 시 산사태 위험 지도를 바탕으로 인허가를 내어주는데 주로 지형 경사를 고려해 1~3등급으로 분류된다. 최근 태양광·풍력발전 시설 현장은 대부분 1등급 지역을 살짝 벗어난 2~3등급 지역에 자리하고 있음. 하지만 산사태 2~3등급 지역도 인위적으로 개발하면 1등급 위험 지역으로 변할 수 있는데, 이런 요인들이 충분히 고려되지 않고 있어서 강수량이 호우주의보 기준에 도달하지 않더라도 산사태는 발생함.



## 기상감정관련 손해사정 요청서

문서번호 : 기상감정 제00호

000 손해사정사무소 귀하

참조 : 손해사정사 000

**제목 : 호우로 인한 태양광 발전소 시설물 파손사고 피해액에 대한 사정 요청**

본인은 기상감정사로서 2021년 09월 01일에 다음과 같은 기상현상과 관련하여 기상감정 업무를 수임 받았습니다.

- 1) 대상시점 : 2014년 8월 25일 15시 30분경
- 2) 대상지점 : 경상남도 밀양시 00면 00리 746-1 00태양광발전소
- 3) 의뢰인 : 김00(60세, 밀양 00 태양광발전 개인사업자)
- 4) 대상 기상현상 : 사고 장소에 당일 15시 현재 강수량

이와 관련하여 대상시점 및 대상지점에서 발생한 사고 피해액에 대한 사정을 하여 주실 것을 요청하오니 신속·공정한 업무수행이 되도록 협조하여 주시기 바랍니다.

※ 별첨 : 자문 요청사항

2021년 09월 01일

(사) 부산기상감정

기상감정사(제 감-1700-010호) 조 현(인)

별첨 1

## 자문요청사항

### 1) 사고 개요

기상감정 의뢰인 OO 태양광발전소 김 OO 씨(60세)는 2014년 8월 25일 15:30분경, 밀양시 OO면 OO리 746-1 일대에 내린 호우로 의뢰인 소유의 “OO 태양광 발전소”(2,000㎡) 부지 경사지에 설치된 태양광 패널 300장, ESS 설비 1기가 호우로 유실·파손되는 큰 사고가 발생했음

### 2) 자문요청 사항

- 태양광 발전시설물 시설 피해액 및 보상액 산정



## 별첨 2

### 태양광 시설물 파손사고 손해사정서

#### 1) 사고 개요

- 일시 : 2014년 8월25일 15:30
- 장소 : 밀양시 OO면 OO리 746-1, OO 태양광발전소
- 피해자 : 김OO(60세, 밀양 OO 태양광발전 개인사업자)
- 사고 피해내용
  - 2014년 8월25일 15:30 발전소에 내린 호우로 의뢰인 소유의 “OO 태양광 발전소”(2,000㎡) 부지 경사지에 설치된 태양광 패널 300장(2013년산), ESS 설비 1기(2013년산)가 호우로 유실·파손되는 큰 사고가 발생 함

#### 2) 손해사정 결과

- 물적 피해 : 130,000,000원
  - 태양광 패널 파손 300개, ESS 1대 보험사 산출 사정액 준용

2021년 09월 05일

OO 손해사정사무소

손해사정사(제 -----000호) ○ ○ ○

## 기상감정사례집

태풍·해상안개·호우

---

인	쇄	2021년 12월
발	행	2021년 12월
발	행 인	기상청 한국기상산업기술원
발	행 처	서울특별시 서대문구 충현동 통일로 135 T. 02-736-7365
디	자 인	(사)아름다운사람들복지회 T. 02-6948-9650
인	쇄	두루행복한세상 T. 1644-0728

---

