

---

# 제주도 양돈가 냄새 영향예측 기상융합서비스

## - 사용자 매뉴얼 -

---

Version(0.1)

2024. 10. 04.



# 목차

1. 서비스 개요 .....	1
1.1 필요성 .....	1
1.2 필요성 .....	1
2. 용어 정리 .....	2
3. 웹페이지 메뉴별 사용 방법 .....	3
3.1 대시보드 .....	3
3.2 냄새발생가능지수 .....	4
3.3 냄새영향예측지수 .....	6
3.4 관측 기상정보 .....	8
3.5 예측 기상정보 .....	10
3.6 이동경로 분석 .....	12
3.7 주민악취 제보현황 .....	14
4. 부록 .....	15

## 1 서비스 개요

### 1.1 필요성

- 제주특별자치도의 농축산분야 조수입 1위는 축산(양돈)분야로 지역경제의 큰 부분을 담당하고 있으며, 사육두수 증가는 냄새민원 증가로 나타나며 사회문제로 대두되고 있다. 특히, 축산 농가가 많은 농촌 지역이 도시화를 거치면서 농가 인근에 거주민이 증가함에 따라 농장에서 발생하는 악취로 인한 민원 역시 증가하고 있는 추세이며, 지자체와 농림축산 식품부는 농가 지원 사업을 통해 악취 배출 농도를 줄이고자 노력하고 있다.
- 농림축산식품부(2019)에 따르면 축산악취의 경우 실시간 관리가 이루어져야 하나, 악취 발생은 다양한 요인과 기상 상황에 따라 수시로 변화하므로 실제 관리에 어려움이 많아 ICT를 활용한 실시간 모니터링을 통해 악취 확산을 사전에 예방하고, 악취 민원을 신속하게 대응하는 체계의 필요성을 제시한 바 있다.
- 기상·환경변화에 민감한 악취문제를 해결하기 위해 제주 주요 양돈단지의 악취 영향 기상정보를 개발하여 악취민원 및 악취 확산 가능지역에 대한 선제적 정보 제공이 필요하며, 이를 통해 축산사업장의 악취현황을 체계적으로 관리하고, 앞으로의 악취발생을 과학적으로 예측하여 발생원과 영향에 축지역의 능동적인 대응체계 구축이 필요하다.

### 1.2 목적

- 기상청(2023)은 위험기상에 대한 선제적 대응 역량 강화를 목표로 지역별 맞춤형 및 방재 소통을 중심으로 제주지역 현안 해결을 위해 제주 양돈가 냄새영향 기상서비스를 개발하였다.
- 기상예보 자료 기반 양돈가 주변 상세바람장을 생성하고, 기상조건에 따라 돈사 위치의 악취 발생 가능성과 돈사에서 발생한 악취의 인근 주변 영향예측 가능성을 지수형태로 개발하였다.
- 본 매뉴얼은 제주지방기상청이 2023년부터 2년간 개발한 '제주도 양돈가 냄새 영향예측 기상융합서비스'의 효과적인 활용을 위한 사용 방법을 상세하게 작성하였다.
- 이러한 정보는 양돈가의 선제적 방제 수행을 통해 지역주민 생활 불편을 최소화하고, 악취 발생 사전 예측을 통한 객관적인 악취 발생원에 대한 사전 관리 및 저감 활동 체계 구축을 목적으로 한다.

## 2 용어 정리

- 제주지방기상청이 개발한 양돈가 냄새 영향예측 기상융합서비스는 기상정보와 환경정보를 융합하고, 예측 기상데이터 기반의 기상융합서비스를 제공하고 있다.
- 기상융합서비스에 사용되는 용어를 각각 표 1에 정의하였다.

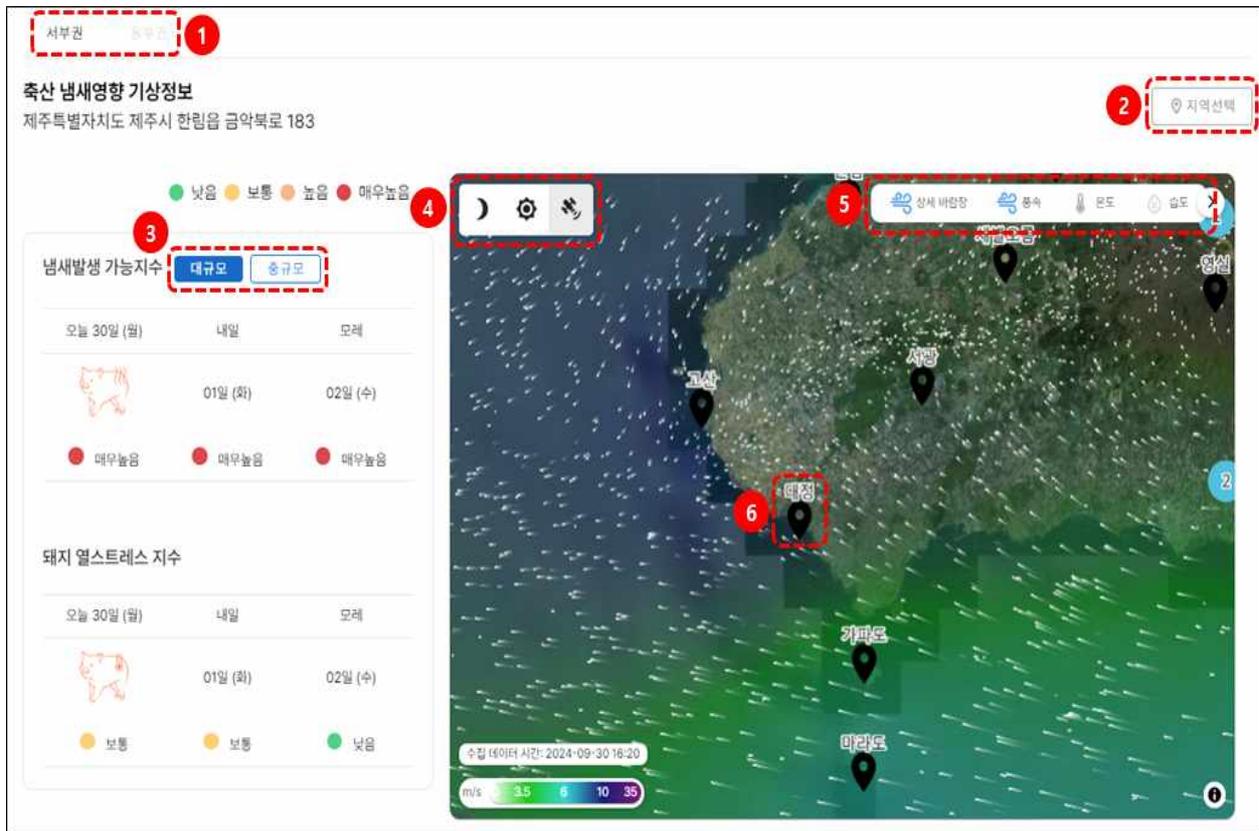
〈표 1〉 용어 정리

no	용어	설명	비고
1	기상융합서비스	▪ 날씨 민감 산업군에 대한 맞춤형 기상정보 서비스를 통칭함	
2	냄새융합정보	▪ 예측 기상정보 기반의 양돈가 기상융합서비스를 제주 서부권과 동부권으로 권역을 구분하여 제공함	
3	냄새발생가능지수	▪ 인공지능을 이용한 돈사 위치의 냄새 발생 가능성을 등급화하여 주소 기반 서비스함	
4	냄새영향예측지수	▪ 돈사에서 배출된 악취 확산 영향 정도를 관심지역 기준으로 등급화하여 주소 기반 서비스함	
5	돼지 열스트레스 지수	▪ 예측 기상데이터(기온, 상대습도)를 이용하여 돼지가 스트레스 받을 조건을 등급화하여 주소 기반 서비스함	
6	상세기상정보	▪ 제주 권역별 실시간 기상관측 데이터와 예측 기상데이터를 지도 기반 서비스함	
7	관측 기상정보	▪ 고해상도 격자데이터 기반 실황 기상을 지도에 표출함 ▪ 기상관측소 위치의 실시간 관측 현황을 표출함	
8	예측 기상정보	▪ 공간 상세화를 거친 예측 기상정보를 지도기반 표출함 ▪ 사용자 검색 지점의 동네예보 정보 조회가 가능함	
9	상세 바람장(관측)	▪ 고해상도 격자데이터 기반 풍향, 풍속을 입자로 지도상 표출함	
10	상세 바람장(예측)	▪ 진단모델 기반 지표와 50m 고도의 풍향, 풍속을 입자로 지도상 표출함	
11	이동경로 분석	▪ 진단모델 기반 바람 이동경로의 배출원(돈사)를 분석함	
12	주민악취 제보현황	▪ ‘환경날씨알리미’ 앱을 이용한 악취 제보현황(세기 등)이 모니터링 요원 위치기반으로 지도에 표출됨	

### 3 웹페이지 메뉴별 사용 방법

#### 3.1 대시보드

- 웹페이지에 접속하면 처음 표출되는 대시보드에서는 사용자가 원하는 권역에 대한 기상정보, 냄새발생 가능지수, 돼지 열스트레스 지수를 확인할 수 있다.
- 사용자가 권역 및 지역을 선택하면 해당 지역의 정보가 표출되며, 지도의 경우 마우스를 이용해 자유롭게 영역 확대, 축소, 이동이 가능하다.

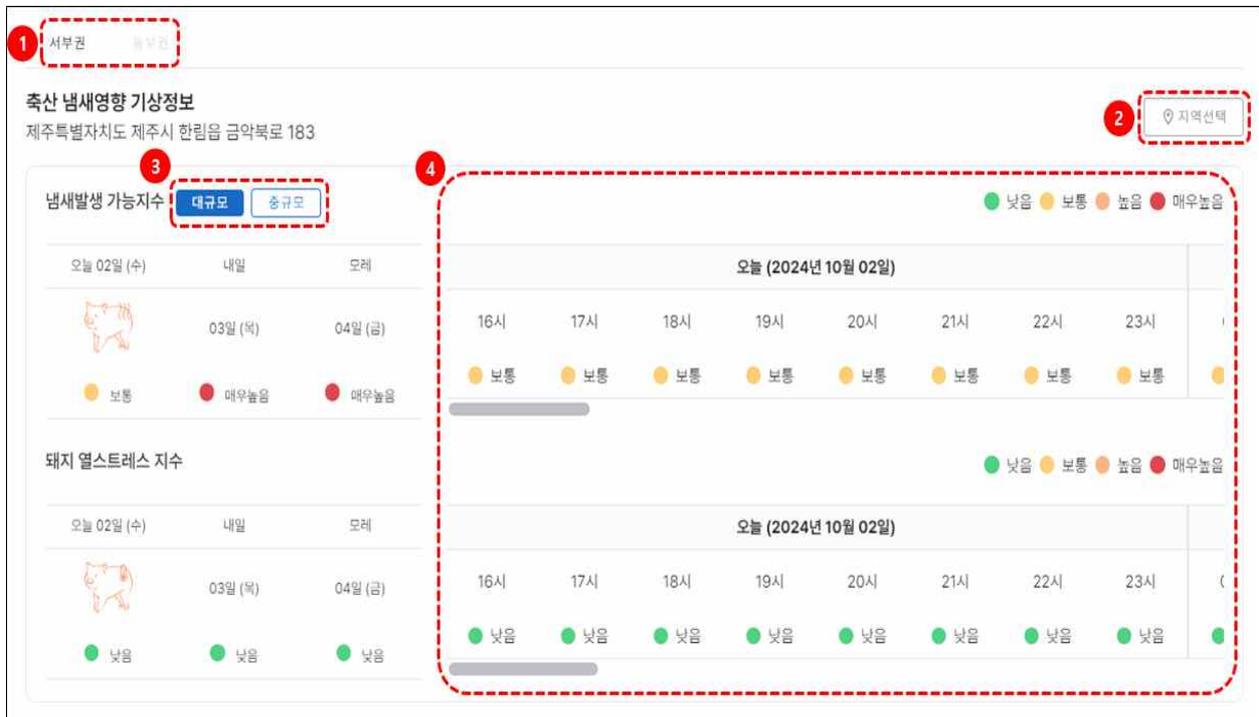


〈그림 1〉 대시보드 화면

- ①: 관심있는 권역(서부권 또는 동부권)을 선택할 수 있다.
- ②: 주소 검색을 통해 관심있는 지역을 선택할 수 있다.
- ③: 돈사 규모를 선택할 수 있다. (단, 추후 냄새발생 가능지수 개선이 이루어지면 삭제될 수 있음)
- ④: 지도의 종류(다크모드, 라이트모드, 위성)를 선택할 수 있다.
- ⑤: '상세 바람장' 버튼의 경우 지도 위에 애니메이션으로 표시되는 바람의 흐름을 켜고 끌 수 있다. 나머지 '풍속', '온도', '습도'는 동시 표출이 불가능하며 클릭 시 해당 기상요소가 표출된다.
- ⑥: 지도 위의 아이콘 클릭 시 해당 기상관측 지점(ASOS, AWS)의 온도, 습도, 풍속 값이 팝업 형태로 표출된다.

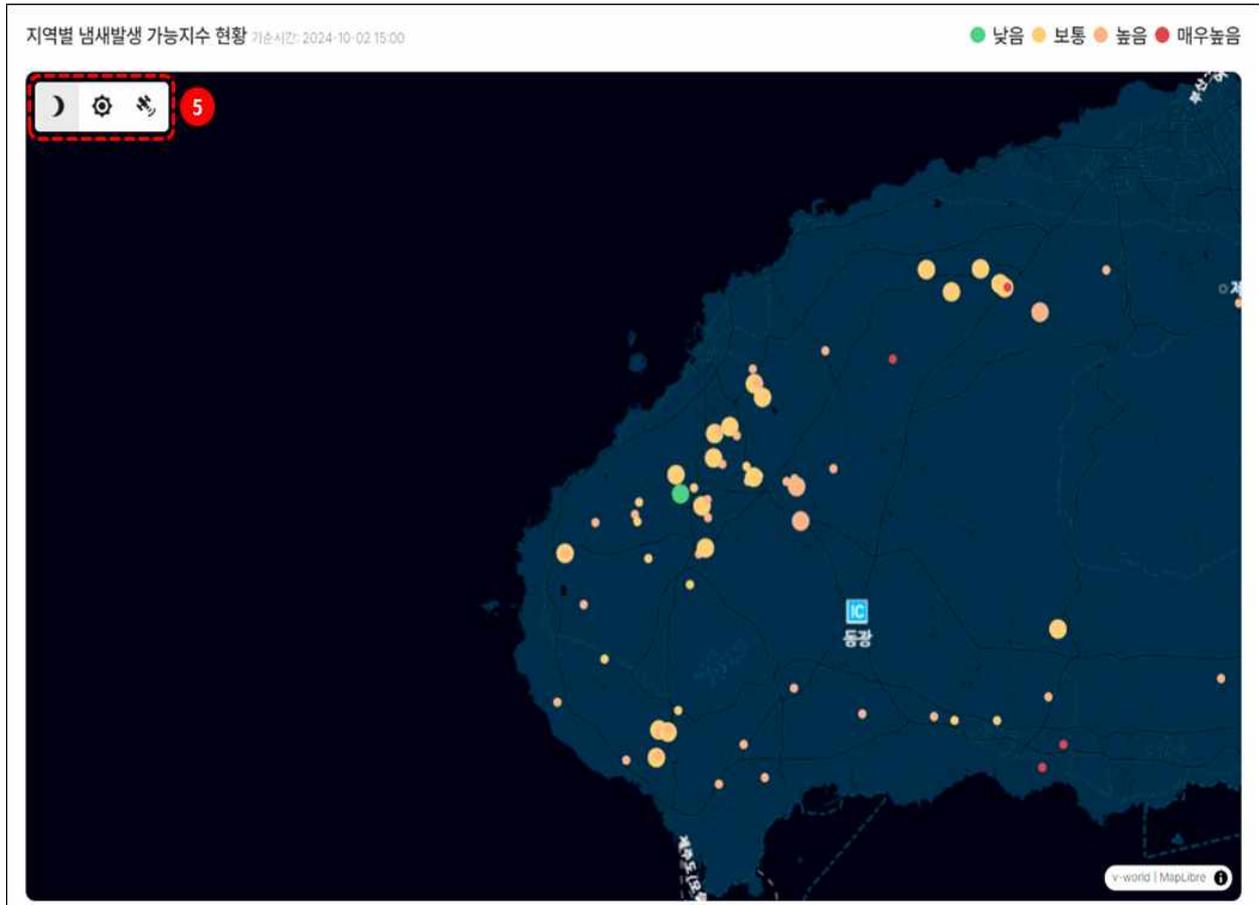
### 3.2 냄새발생가능지수

- 냄새발생가능지수는 2024년 기준 제주도에 등록된 돈사별 사육두수 기준 정보를 활용하며, 해당지점 위치의 냄새발생가능지수를 표출한다. 냄새발생가능지수는 돈사의 위치에서 발생하는 암모니아 농도를 예측하고 이를 지수화하여 나타낸 것이다. (보다 자세한 내용은 매뉴얼 부록의 3.1 참고)
- 즉, 해석 시 돈사 인근 주민이 직접 체감하는 냄새가 아닌 오염원에서 발생하는 냄새의 농도를 나타낸 지수임에 유의해야 한다.
- 돼지 열스트레스 지수는 기온과 습도 정보를 이용해 돼지가 열로 인해 받는 스트레스의 체감 정도를 지수화하여 나타낸 것이다.
- 지도 위에 표시된 동그라미의 크기가 작은 것은 중규모 돈사, 큰 것은 대규모 돈사를 의미한다.



〈그림 2〉 냄새발생가능지수 화면 (1)

- ❶: 관심있는 권역(서부권 또는 동부권)을 선택할 수 있다.
- ❷: 주소 검색을 통해 관심있는 지역을 선택할 수 있다.
- ❸: 돈사 규모를 선택할 수 있다. (단, 추후 냄새발생 가능지수 개선이 이루어지면 삭제될 수 있음)
- ❹: 1시간 단위로 냄새발생 가능지수가 표출되고, 스크롤을 좌우로 움직여 예보 시간대의 냄새발생 정보를 확인할 수 있다.



〈그림 3〉 냄새발생가능지수 화면 (2)

⑤: 지도의 종류(다크모드, 라이트모드, 위성)를 선택할 수 있다.

### 3.3 냄새영향예측지수

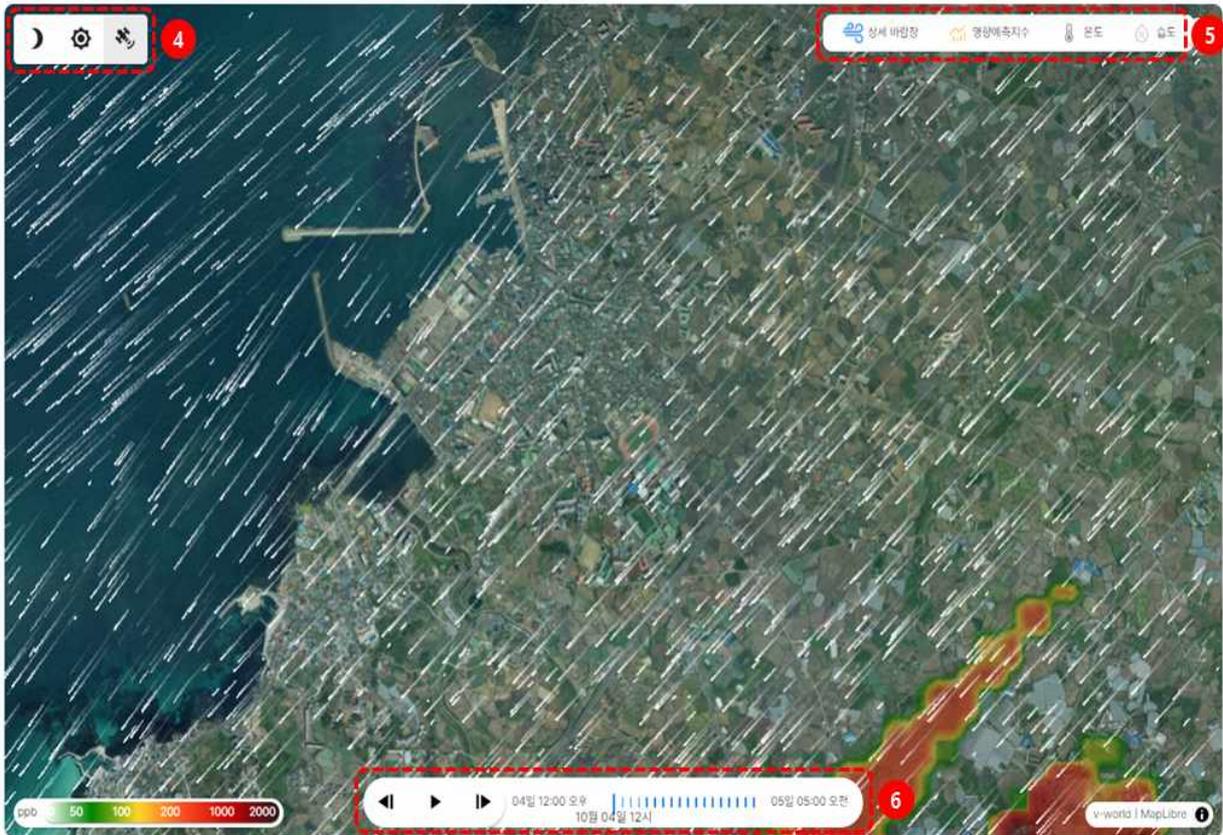
- 냄새영향예측지수는 돈사에서 발생한 암모니아가 대기로 확산되는 과정을 예측하고, 사용자가 알고 싶은 특정 관심 지점에서 느낄 수 있는 냄새의 정도를 지수화하여 나타낸 것이다. (보다 자세한 내용은 매뉴얼 부록의 3.2 참고)
- 즉, 해석 시 돈사에서 냄새가 발생했어도 기상 조건이나 사용자의 관심 지점에 따라 냄새가 느껴지지 않을 수 있음에 유의해야 한다.
- 본 연구에서는 제주 서부권에 위치한 돈사 위치의 배출량을 산정하고 서부권을 한림읍과 대정읍으로 구분하여 각각 영역의 냄새영향예측지수를 산출하였다.



〈그림 4〉 냄새영향예측지수 화면 (1)

- ❶: 관심있는 권역(한림읍, 대정읍 중 선택)을 선택할 수 있다.
- ❷: 주소 검색을 통해 관심있는 지역을 선택할 수 있다.
- ❸: 1시간 단위로 냄새영향 예측지수가 표출되고, 스크롤을 좌우로 움직여 다른 시간대의 정보를 확인할 수 있다.

세부 권역 냄새 영향 예측지수 ②

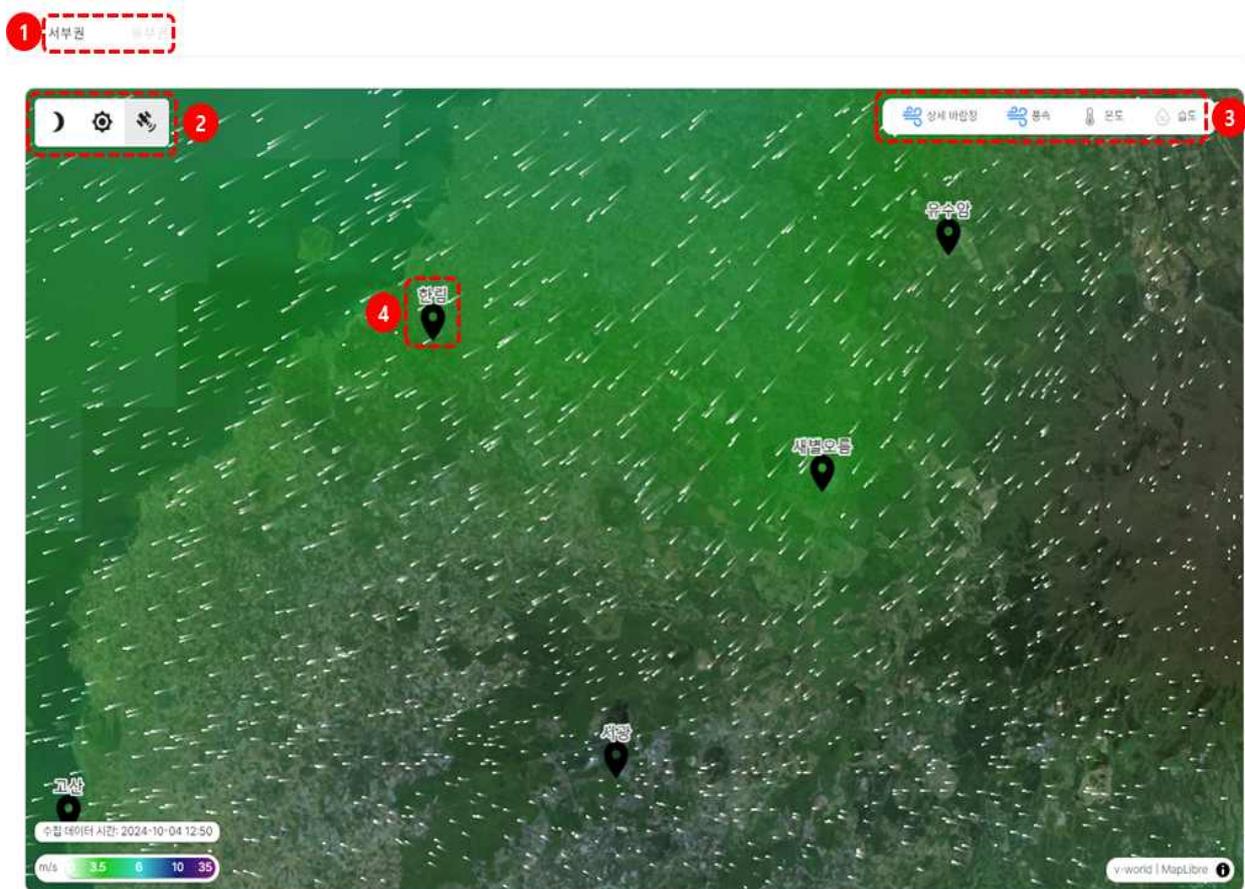


〈그림 5〉 냄새영향예측지수 화면 (2)

- ④: 지도의 종류(다크모드, 라이트모드, 위성)를 선택할 수 있다.
- ⑤: '상세 바람장' 버튼의 경우 지도 위에 애니메이션으로 표시되는 바람의 흐름을 켜고 끌 수 있다. 나머지 '영향예측지수', '온도', '습도'는 동시 표출이 불가능하며 클릭 시 해당 기상요소가 표출된다.
- ⑥: 재생 또는 앞/뒤 이동 버튼 클릭 시 영향지수의 분포가 시간에 따라 어떻게 변화하는지 확인할 수 있으며, 마우스로 눈금을 클릭하면 해당 시간으로 이동할 수 있다.

### 3.4 관측 기상정보

- 관측 기상정보에서는 기상청 고해상도 격자데이터(해상도 500 m)를 이용해 10분 단위로 권역별 기상 관측 현황을 제공한다.
- 지도 위에 표시된 지점은 ASOS 또는 AWS 관측지점을 의미한다.
- 지도 아래의 기상정보 관측지점에서는 기간을 설정하여 과거의 관측데이터를 조회 및 다운로드 할 수 있다.



〈그림 6〉 관측 기상정보 화면 (1)

- ❶: 관심있는 권역을 선택할 수 있다.
- ❷: 지도의 종류(다크모드, 라이트모드, 위성)를 선택할 수 있다.
- ❸: '상세 바람장' 버튼의 경우 지도 위에 애니메이션으로 표시되는 바람의 흐름을 켜고 끌 수 있다. 나머지 '풍속', '온도', '습도'는 동시 표출이 불가능하며 클릭 시 해당 기상요소가 표출된다.
- ❹: 지도 위의 아이콘 클릭 시 해당 기상관측 지점의 온도, 습도, 풍속 값이 팝업 형태로 표출된다.

기상정보 관측지점

관측지점

관측시점

서부권

서광

관측기간

2024년 08월 30일

2024년 09월 02일

저장하기

조회

일  시간

시간	최고 기온	최저 기온	최고 풍속 (m/s)	일 최고 순간 풍속 (m/s)	일강수
2024-08-30T00:00:00	25.8	25.5	2.2	4.6	0
2024-08-31T00:00:00	23.8	23.7	1.3	2.4	0
2024-09-01T00:00:00	22	21.9	1.1	1.9	0
2024-09-02T00:00:00	21.6	21.4	2.2	2.8	0

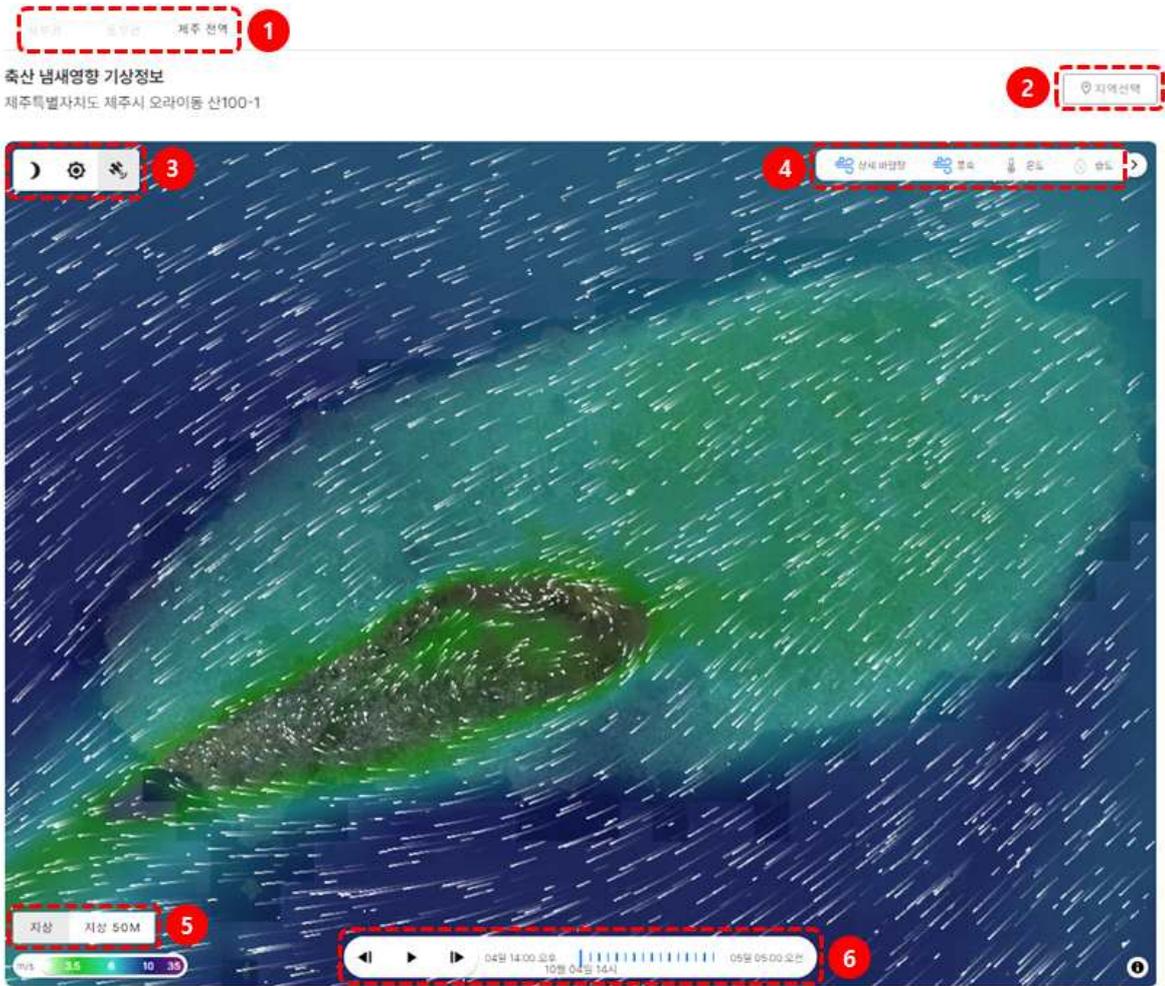
<< < 1 > >>

<그림 7> 관측 기상정보 화면 (2)

- ⑤: 관심있는 권역을 선택할 수 있다.
- ⑥: 선택한 권역에서 관심있는 지점을 선택할 수 있다.
- ⑦: 관측데이터 조회 기간을 설정할 수 있다.
- ⑧: 저장하기 버튼 클릭 시 CSV 파일로 저장되며, 조회 시 표 형태로 즉시 값을 확인할 수 있다.
- ⑨: 조회 버튼 클릭 시 이 곳에 과거의 관측정보가 표출된다.

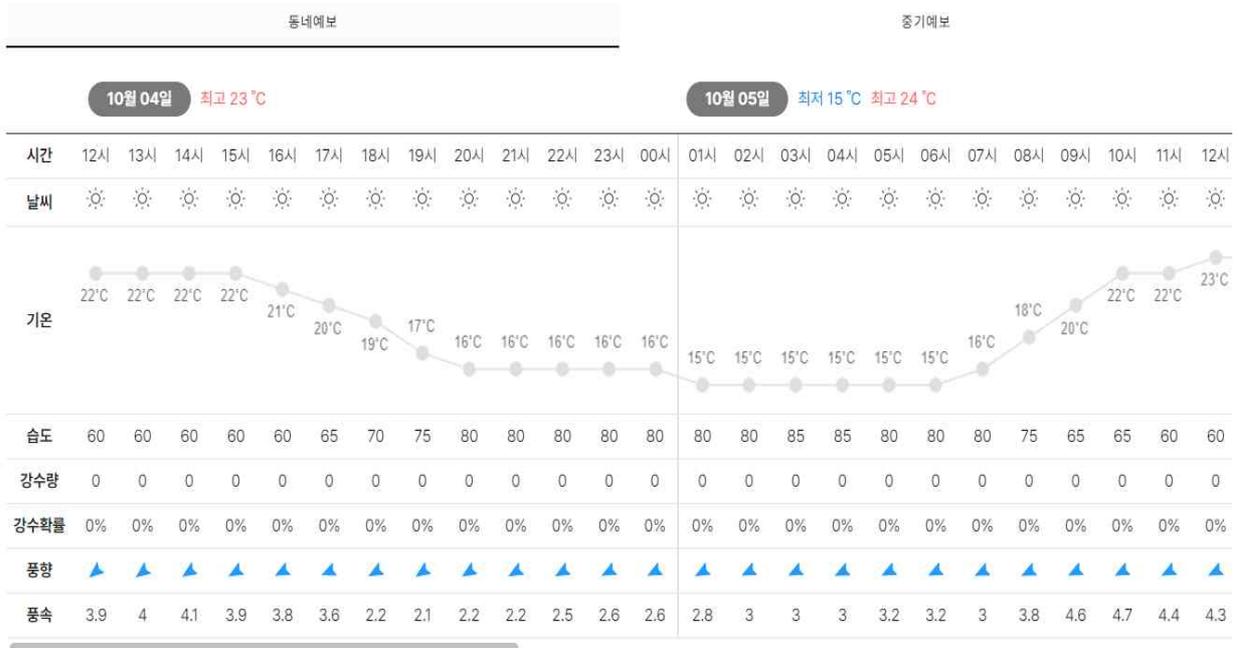
### 3.5 예측 기상정보

- 예측 기상정보에서는 진단모델 기반의 기상예보 정보를 제공하며, 지표 및 50 m 고도에서의 바람 정보를 지도에 표출하고, 시간단위로 동네예보와 중기예보 정보를 제공한다.



〈그림 8〉 예측 기상정보 화면 (1)

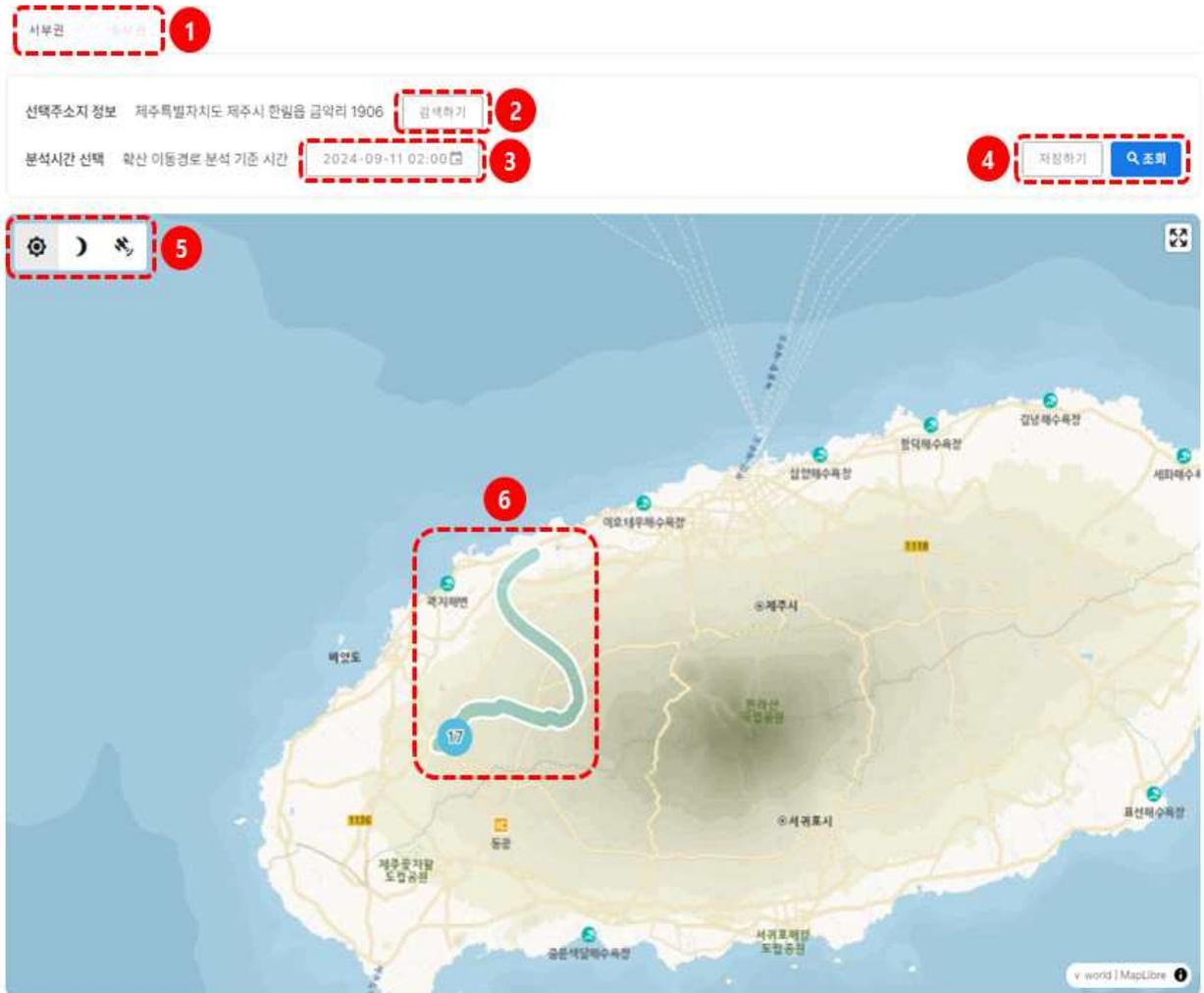
- ①: 관심있는 권역을 선택할 수 있다.
- ②: 주소 검색을 통해 관심있는 지역의 기상정보를 확인할 수 있다.
- ③: 지도의 종류(다크모드, 라이트모드, 위성)를 선택할 수 있다.
- ④: '상세 바람장' 버튼의 경우 지도 위에 애니메이션으로 표시되는 바람의 흐름을 켜고 끌 수 있다. 나머지 '풍속', '온도', '습도'는 동시 표출이 불가능하며 클릭 시 해당 기상요소가 표출된다.
- ⑤: 어떤 고도의 바람장을 표출할지 선택할 수 있다.
- ⑥: 재생 또는 앞/뒤 이동 버튼 클릭 시 기상요소의 분포가 시간에 따라 어떻게 변화하는지 확인할 수 있으며, 마우스로 눈금을 클릭하면 해당 시간으로 이동할 수 있다.



〈그림 9〉 예측 기상정보 화면 (2)

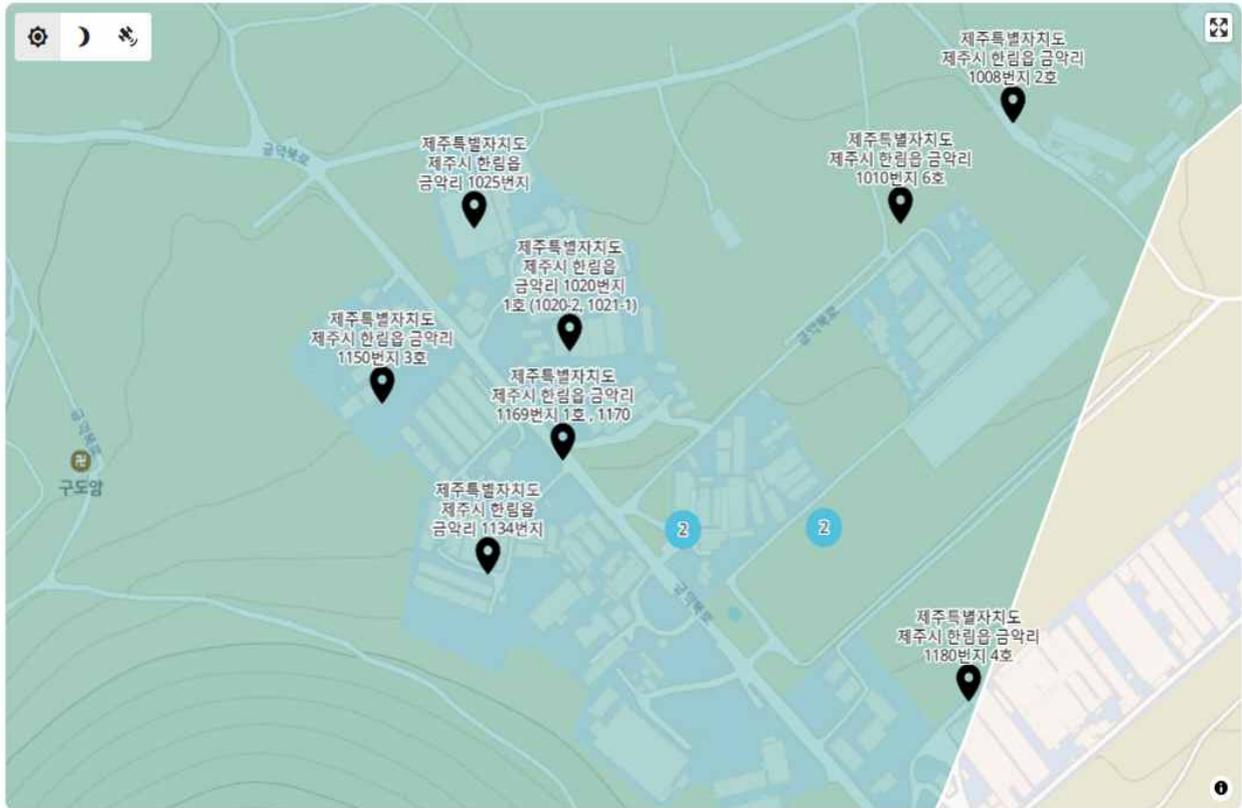
### 3.6 이동경로 분석

- 이동경로 분석에서는 암모니아의 확산 경로에 대한 정보를 확인할 수 있으며, 사용자가 선택한 주소 지로부터 반경 200 m 이내에 있는 돈사의 정보도 함께 파악할 수 있다.



〈그림 10〉 이동경로 분석 화면 (1)

- ❶: 관심있는 권역을 선택할 수 있다.
- ❷: 주소 검색을 통해 관심있는 지역의 기상정보를 확인할 수 있다.
- ❸: 암모니아의 확산 이동경로를 분석하고자 하는 시간을 선택할 수 있다.
- ❹: 저장하기 버튼 클릭 시 CSV 파일로 저장되며, 조회 시 표 형태로 즉시 값을 확인할 수 있다.
- ❺: 지도의 종류(다크모드, 라이트모드, 위성)를 선택할 수 있다.
- ❻: 돈사에서 배출된 암모니아가 시간에 따라 이동해온 경로가 표출된다.

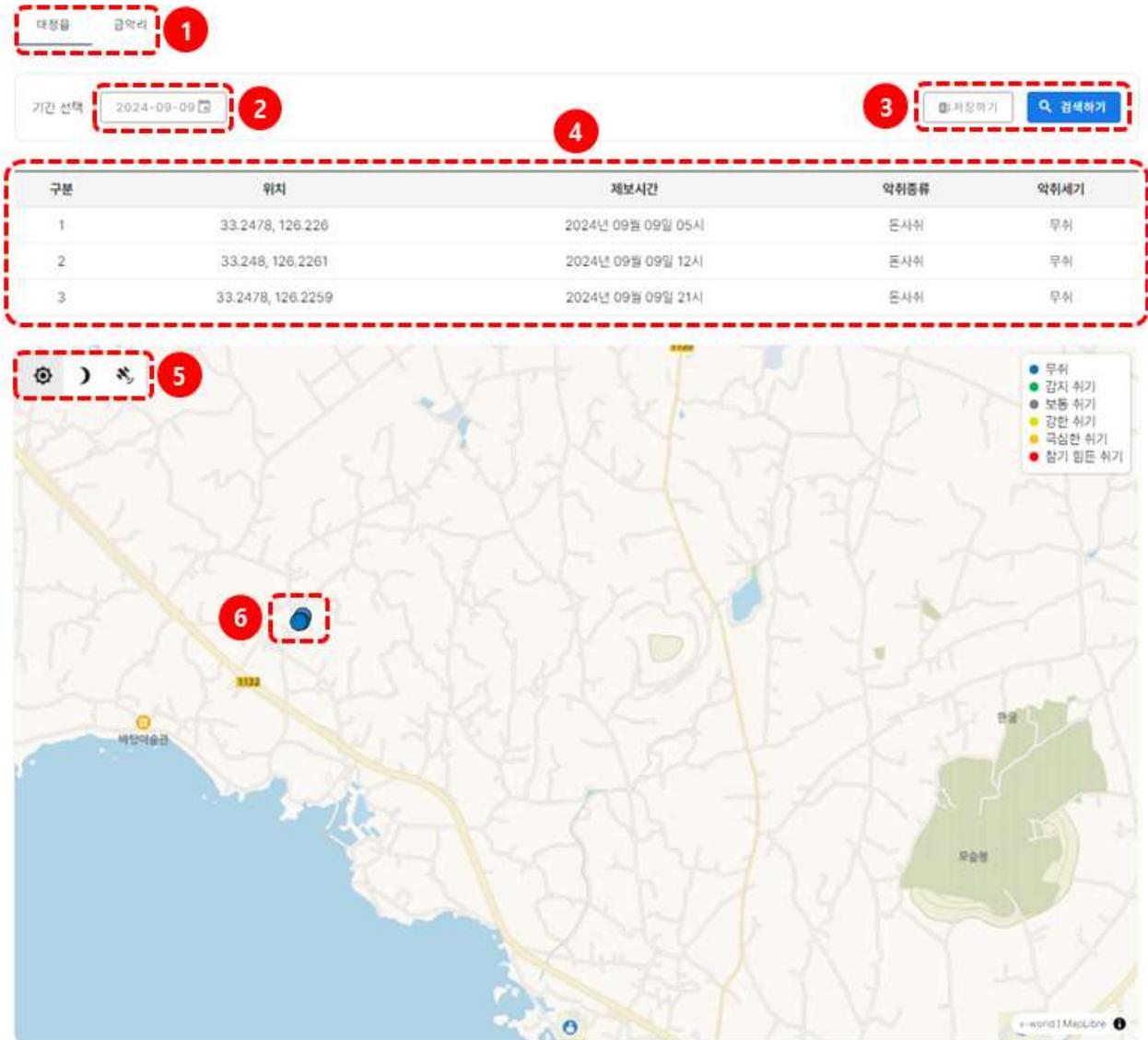


구분	주소	고도
1	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1134번지	286
2	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1150번지 3호	272
3	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1169번지 1호, 1170	280
4	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1020번지 1호 (1020-2, 1021-1)	275
5	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1157번지 7호	285
6	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1157번지 2호	287
7	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1180번지 4호	290
8	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1159번지 3호	290
9	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1174번지 7호 (1010-8)	285
10	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1173번지 1호, 1174-9	285
11	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1166번지 1호	285
12	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1010번지 6호	275
13	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1021번지	272
14	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1025번지	268
15	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 624번지 1호	280
16	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 624번지 23호	283
17	제주특별자치도 제주시 한림읍 금악리 1008번지 2호	273

<그림 11> 이동경로 분석 화면 (2)

### 3.7 주민악취 제보현황

- 주민 참여형 악취모니터링 제보 앱 현황을 시스템에 연계하여 표출한 것으로 제보 위치 및 시간, 악취 종류 및 강도에 대한 정보를 파악할 수 있다.



〈그림 12〉 주민악취 제보현황 화면

- ①: 관심있는 권역을 선택할 수 있다.
- ②: 제보가 접수된 날짜를 선택할 수 있다.
- ③: 저장하기 버튼 클릭 시 CSV 파일로 저장되며, 검색하기 클릭 시 값을 즉시 확인할 수 있다.
- ④: 검색하기 버튼 클릭 시 이 곳에 주민 모니터링단의 악취 제보 정보가 표출된다.
- ⑤: 지도의 종류(다크모드, 라이트모드, 위성)를 선택할 수 있다.
- ⑥: 제보가 접수된 위치에서의 악취 강도가 표출된다.

4 부록

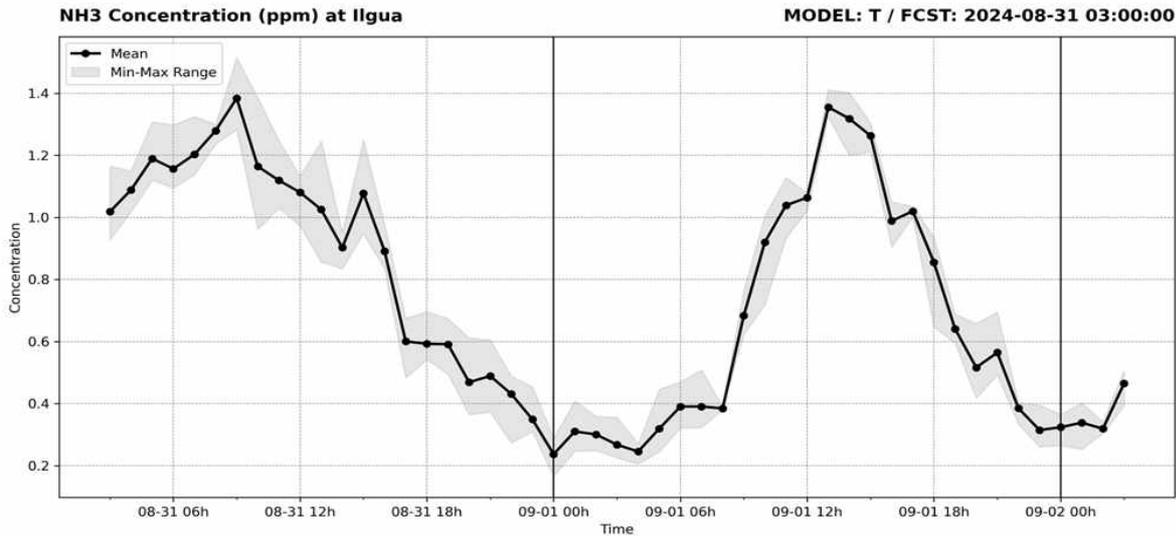
4.1 냄새발생가능지수

- 수행사는 돈사 규모에 따라 돈사에서 배출되는 암모니아 농도를 기계학습 모델을 이용해 예측하여 알려주는 서비스를 개발한 바 있으며, 기계학습 모델을 개선하여 예측 정확도를 높이고 있다.
- 기계학습 모델의 경우, 기존에는 돈사 부지경계에서 관측한 암모니아 농도와 인근 기상대의 관측데이터를 이용해 학습을 수행하였고, 알고리즘은 트리 기반의 앙상블 모델인 LGBM(Light Gradient Boosting Machine)을 사용하였다.
- 기계학습 모델은 <표 2>와 같이 현재 개선을 진행하고 있으며, 개선 전('23년)에는 돈사의 사육두수에 따라 모델을 따로 구성하였다.
- 이후 추가적인 분석을 통해 암모니아 농도의 배출 규모나 연중 추이가 돈사의 규모와는 관계가 적다는 것을 파악한 바 있으며, 개선 후('24년)에는 암모니아 농도의 연중 추이의 패턴별로 모델을 학습시킨 뒤 가장 정확도가 높은 단일 모델을 채택할 예정이다.

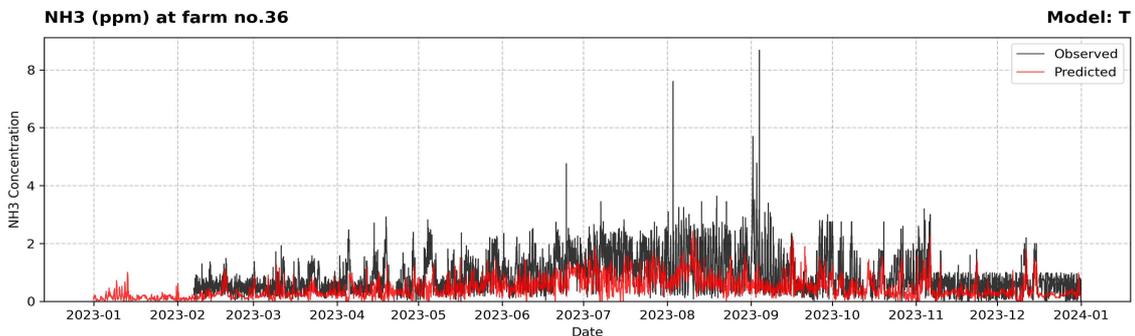
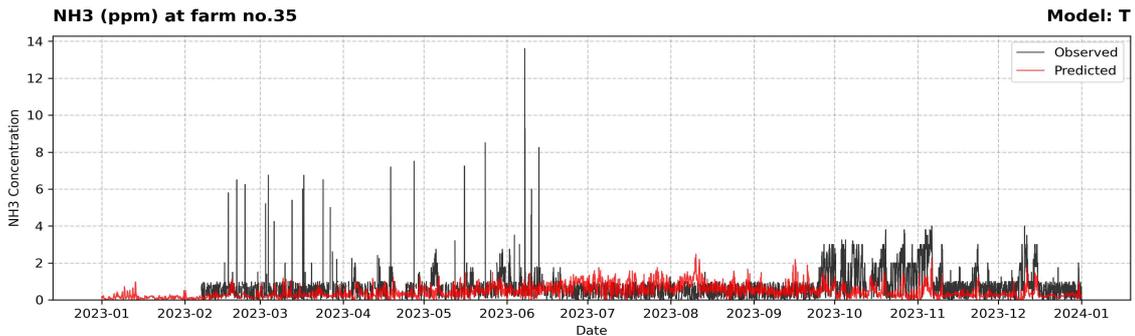
<표 2> 냄새발생지수 개선 전·후의 기계학습 모델 구성 비교

비교항목	개선 전 ('23년)	개선 후 ('24년)
알고리즘	LightGBM	
예측 변수	암모니아(NH <sub>3</sub> ) 농도	
학습 자료	돈사 근처의 AWS/ASOS 관측값 (한림, 고산)	돈사 지점에 해당하는 고해상도 격자값
학습 변수	day of year, hour 기온, 지면온도, 상대습도 현지기압, 해면기압 동서바람, 남북바람	day of year, hour 기온, 노점온도, 상대습도 현지기압, 해면기압 동서바람, 남북바람 1시간 누적강수량
학습 지점 (사육두수)	40번 (3,000 마리) 41번 (1,000 마리)	18번 (1,986마리) 26번 (4,305마리) 39번 (1,300마리) 41번 (1,000마리)
학습 기간	2022년 1월 ~ 12월 (ICT 데이터가 누락된 시간은 학습에서 제외)	
학습 주기	60분	30분
샘플 수	약 5,300개	약 17,500개
모델 종류	2개 (중규모, 대규모)	3개 (자연적 추이, 인위적 추이, 전체 추이)

- 냄새발생가능지수는 UM LDAPS 수치모델 데이터를 실시간 입력자료로 사용하면 돈사에서 배출되는 암모니아 농도를 최대 48시간 이후까지 1시간 간격으로 예측할 수 있으며, 그 예시는 <그림 13>과 같다.
- <그림 14>는 기계학습 모델이 예측한 농도와 실제 돈사 부지경계에서의 농도를 함께 비교한 것으로 RMSE는 약 0.8 ppm, MAE는 약 0.6 ppm이며, 약 0.3 ppm 수준의 음의 편차를 보였다.



<그림 13> 대정읍 일과리 인근의 돈사들로부터 발생하는 암모니아 농도(ppm)의 예측 예시



<그림 14> 35번 및 36번 돈사의 암모니아 농도(ppm)에 대한 실제 관측 및 예측 결과 비교

### 4.2 냄새영향예측지수

- 수행사는 돈사 규모에 따른 오염물질의 배출량과 기상조건 등을 고려하여 돈사로부터 오염물질이 확산될 경우 영향을 받을 수 있는 지역을 미리 예측하여 냄새 강도를 알려주는 서비스를 제공한다.
- 본 과업에서는 굴뚝에서 연속적으로 배출되는 연기가 작게 나누어진 각각의 연기 덩어리(puff)로 배출되는 것으로 가정하는 CALPUFF 모델을 이용해 확산 모델링을 수행하였다.
- 확산 모델링 시 필요한 돈사에서 암모니아 배출량은 <그림 15>와 같이 국립축산과학원에서 확보한 돈종별(모돈, 자돈, 육성돈, 비육돈) 암모니아 배출계수를 활용하고, 제주 지역별 돈종 비율을 농가별 배출량으로 환산해 사용하였다.
- 또한 돈사에서 배출 제원은 <그림 16>과 같이 돈사의 사육 규모에 따라 강제식 환기로 가정하고, 사육 두수에 따른 배출원 직경을 차등화하여 배출원 제원을 고도화 한 바 있다.

구분	농가	모돈	자돈	육성돈	비육돈	계
제주특별자치도	264	53,931	202,452	169,474	119,654	545,511
서귀포	72	12,291	43,048	45,006	32,411	132,756
제주시	192	41,640	159,404	124,468	87,243	412,755

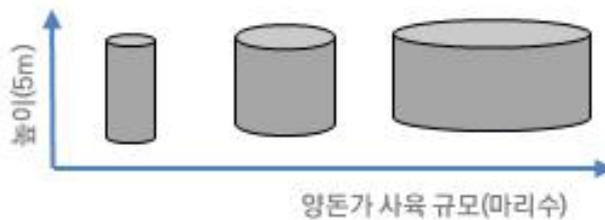
  

돈종 비율(%)	모돈	자돈	육성돈	비육돈	계
서귀포시	9%	32%	34%	24%	100
제주시	10%	39%	30%	21%	100

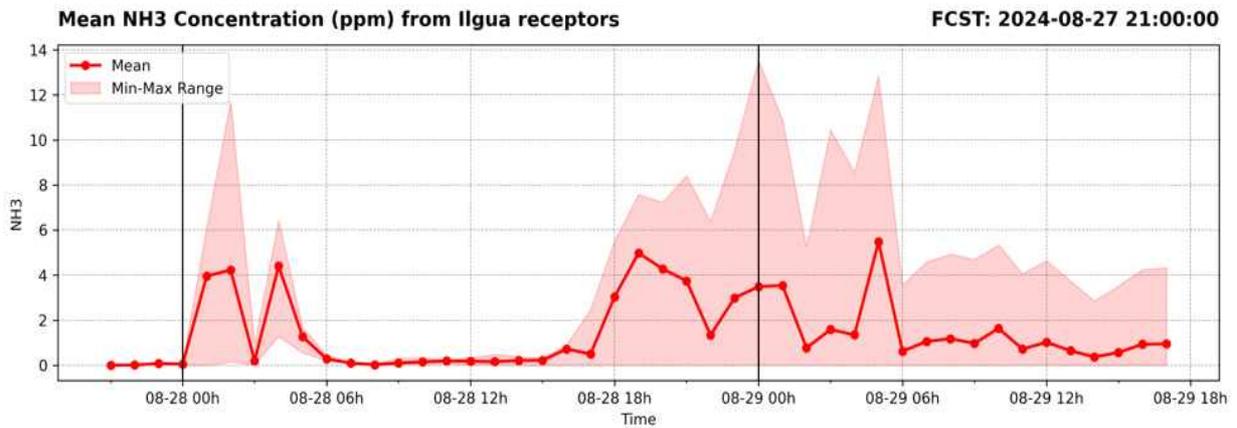
비율 x 계수(kg/yr)	모돈(14.32)	자돈(2.56)	육성돈(5.21)	비육돈(7.22)	계(kg/yr/hd)
서귀포시	1.326	0.830	1.766	1.763	<b>5.685</b>
제주시	1.445	0.989	1.571	1.526	<b>5.530</b>

<그림 15> 돈종별 암모니아 발생계수 산출 (자료: 국립축산과학원)



<그림 16> 사육 규모에 따른 배출원 가정 방식

- 냄새영향예측지수는 UM LDAPS 수치모델 데이터를 실시간 입력자료로 사용하면 사용자의 관심 지역에서 검출되는 암모니아 농도를 최대 48시간 이후까지 1시간 간격으로 예측할 수 있으며, 그 예시는 <그림 17>과 같다.
- 수행사는 2024년 집중관측 기간(8월 26일 ~ 9월 2일)동안 제주도의 금악리와 일과리 지역에 대해 정밀센서 관측 및 시료 포집을 수행한 바 있으며, 여기에 주민 모니터링단의 악취 제보 데이터까지 종합하여 냄새영향예측지수에 대한 정량적 검증을 수행하였고, 그 결과는 <그림 18>과 같다.



<그림 17> 대정읍 일과리 모니터링 요원의 위치에서 검출된 암모니아 농도(ppm)의 예측 예시

구분	관측		임계값 (ppm)	ACC (정확도)	POD (탐지율)	CSI (임계성공지수)	FAR (오보율)	POFD (오탐지율)
	악취 발생	악취 없음						
예측	악취 발생	49	0.05 (보통)	0.57	0.80	0.52	0.40	0.75
	악취 없음	12	0.10 (높음)	0.52	0.64	0.44	0.42	0.64
		11	0.20 (매우높음)	0.53	0.57	0.42	0.40	0.52

<그림 18> 대정읍 일과리에 대한 집중관측 기간 동안의 냄새영향예측지수 검증 예시