

# CFD를 이용한 기계식환기 돈사 최적화 설계와 드론을 활용한 농장 악취 분포조사

박 계 영 대표  
팜큐브



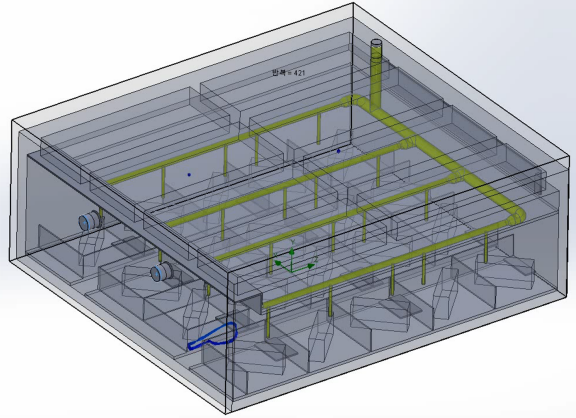
## 1. CFD를 이용한 기계식환기 돈사 최적화 설계

### 1-1 목적 : Project Purpose

## Collaboration Architecture + Ventilation

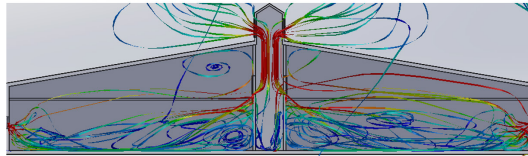
## 1-2 전산유체역학 : CFD (Computational fluid dynamics)

전산 유체 역학(CFD, Computational fluid dynamics)은 유체 현상을 기술한 [비선형계 편미분방정식](#)인 [나비에-스토크스 방정식](#)(Navier-Stokes Equations)을 [유한차분법](#) (Finite Difference Method), [유한요소법](#) (Finite Element Method), [유한체적법](#)(Finite Volume Method) 등의 방법들을 사용하여 [이산화](#)하여 대수 방정식으로 변환하고, 이를 [수치 기법](#)(numerical methods)의 [알고리즘](#)을 사용하여 유체 유동 문제를 풀고 해석하는 것이다. [컴퓨터를 사용하여 공학 문제에서 유체와 기계의 상호작용을 시뮬레이션한다.](#)

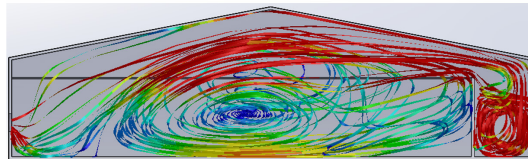


### 입기 배기 방식에 따른 유동 해석

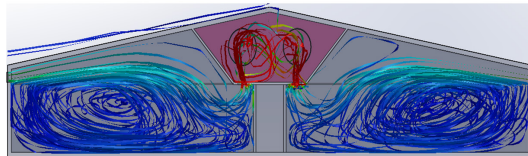
쪽지붕 입기  
측면 배기



측면 입기  
측면 배기



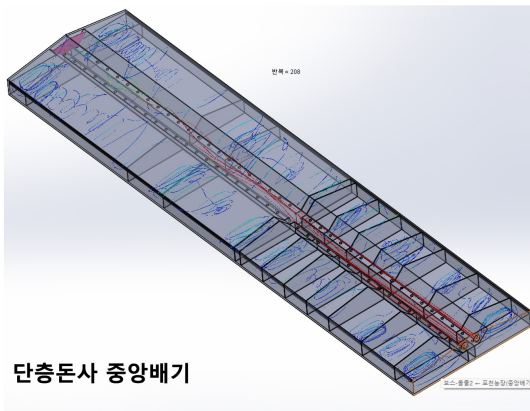
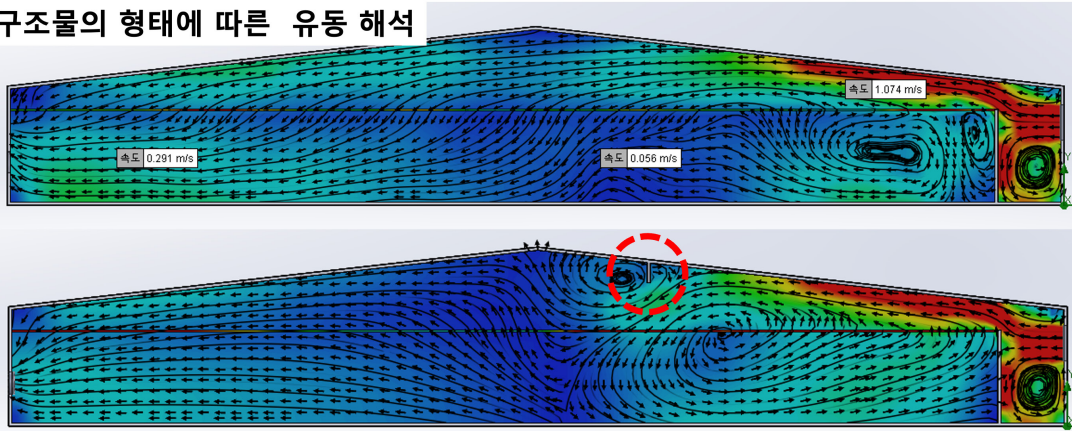
측면 입기  
중앙 배기



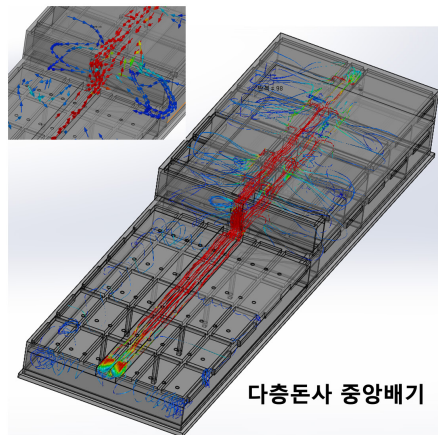


## 1-2 전산유체역학 : CFD (Computational fluid dynamics)

구조물의 형태에 따른 유동 해석



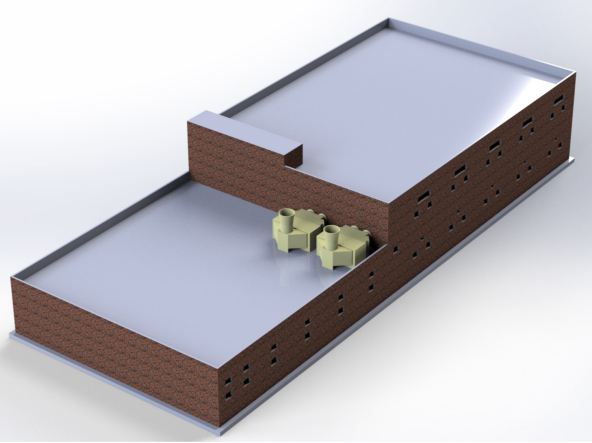
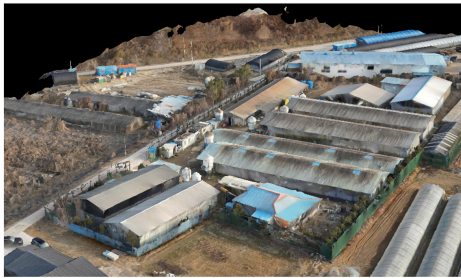
단층돈사 중앙배기



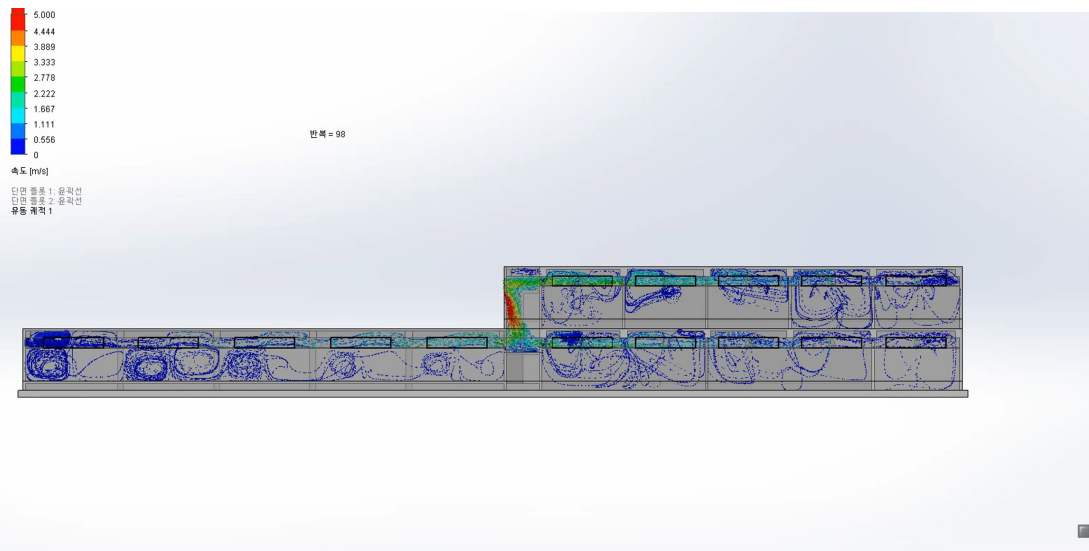
다층돈사 중앙배기

## 1-3 농장 적용사례 : Application case

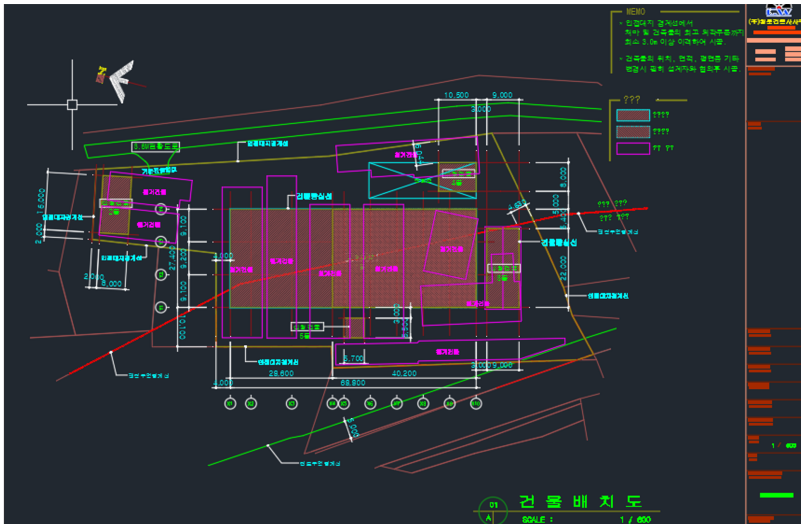
구 분	기존 농장	신축 농장
모돈 규모	모돈 350두 번식	모돈 450두 번식
사육 시설	분만사 3동	통합 돈사 1동
	임신사 2동	- 임신스틀 370조
	자돈사 1동	- 분만스틀 20조x5
	육성사 1동	- 자돈사 250두x10



### 슬로프 공간을 덕트로 활용하여 중앙 배기 유동 검토



### 1-3 농장 적용사례 : Application case



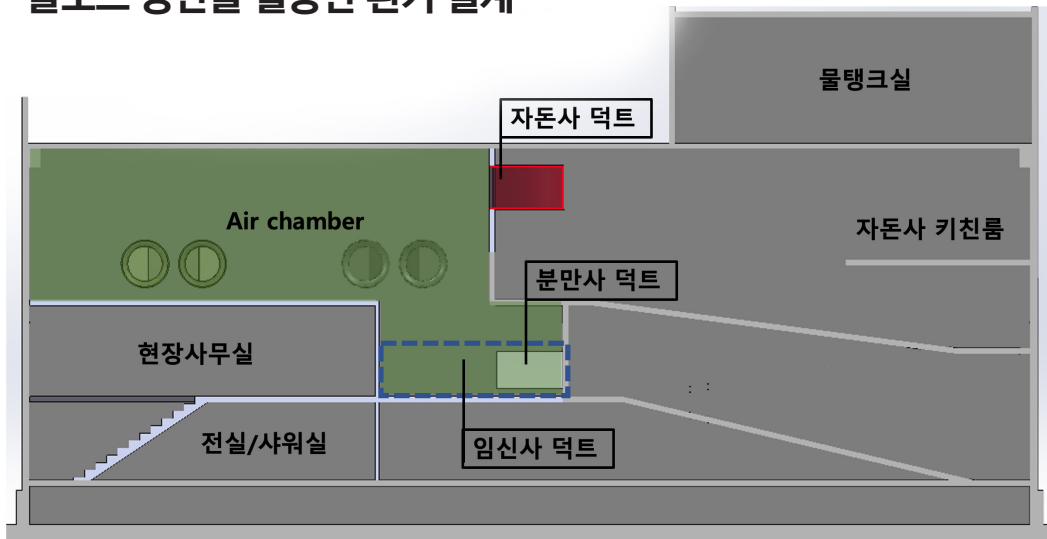
#### 장점 :

방역관리에 유리  
관리 동선 최소화  
ICT 장비 집적화 유리  
농장의 개방감 확보  
날씨의 영향이 적음

#### 단점 :

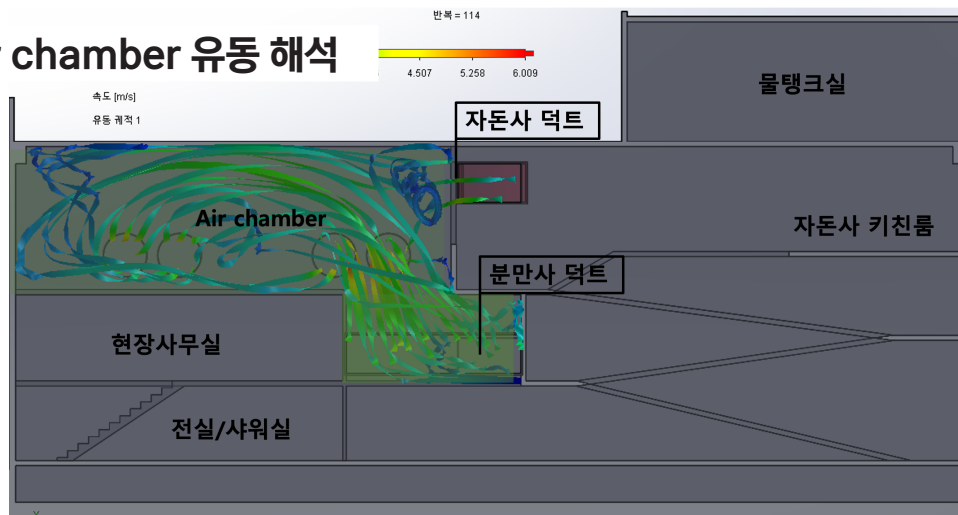
설계 과정이 중요성  
환기 설계의 중요성  
공정 관리의 중요성

### 슬로프 공간을 활용한 환기 설계

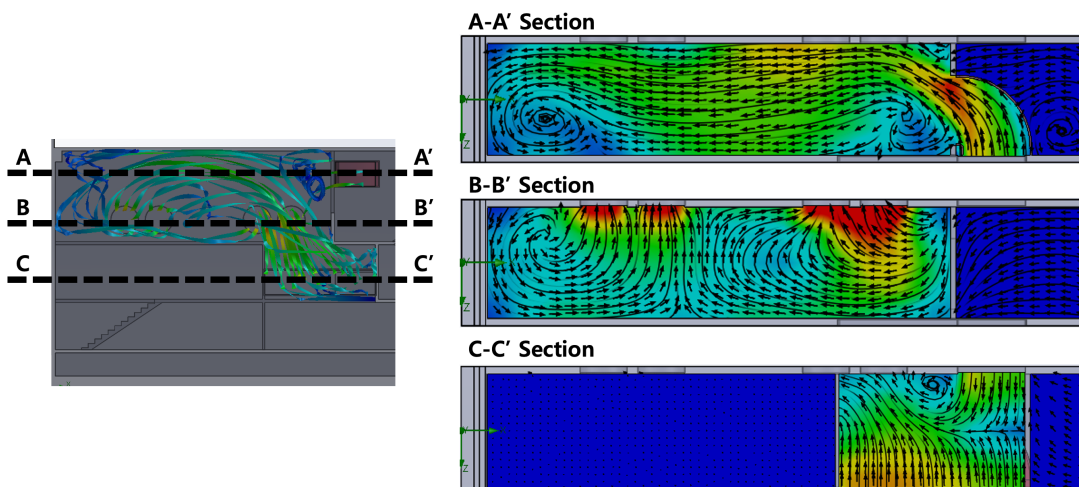


### 1-3 농장 적용사례 : Application case

#### Air chamber 유동 해석



#### Section별 유동 해석



## 1-3 농장 적용사례 : Application case

구분	임신사	분만사	자돈사
환기 방식	중앙 배기(탈취 시설 포함)		
축한기	측면 인렛	천공 입기	천공 입기
간절기	측면, 송풍	천공 입기 스나웃쿨 (송풍)	천공 입기
축서기	에어컨 냉방	천공 입기 스나웃쿨 (냉방)	천공 입기

표 6-27) 사육 단계별 돼지의 권장환기량 (단위: cbm/h)

사육 단계	체중(kg)	자돈 시	임신 시	유돈 시
모돈+유돈자돈	182	0.57	2.26	14.2
초기(4주)	5.4~13.6	0.06	0.28	0.71
자돈	5.4~13.6	0.08	0.43	0.99
육성돈	34.0~68.0	0.20	0.68	2.12
배양돈	68.0~100	0.28	0.99	3.60
임신돈(임계치)	147	0.34	1.13	4.25
종모돈(수확치)	182	0.40	1.42	6.49

표 6-28) 가계별 환기 시스템에 대한 환기량 (단위: cbm/h)

사육 단계	체중(kg)	최소 환기 (Minimum rate)	최대 환기량 (Maximum rate)
분만모돈과 유돈자돈	180	34	850
이유자돈	5.5~13.5	3.5	43
자돈	13.5~34	5	60
육성돈	34~68	12	130
배양돈	68~100	17	205
임신돈	145	20	255
종돈/종모돈	180	24	510

Animal Type	Typical Weight (kg)	Air Temperature (°C)	Heat Production (H) (kW / kg)
Pigs	20	25	0.0016
	40	25	0.0012
	60	20	0.0013
	80	20	0.0012
Growing and Finishing	110	20	0.0013
Sows and Boars	140	20	0.001
	180	20	0.001

호돈농장 냉방기 설계서 2022.1.23

구분	설계치	실제치
사육돈수	400	400
냉방기 용기량 m³/h	24	9,000
냉방기 용기량 m³/h	80	32,000
냉방기 용기량 m³/h	14	458,000
냉방기 용기량 m³/h	18	36,000

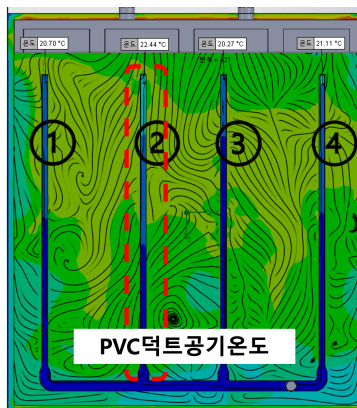
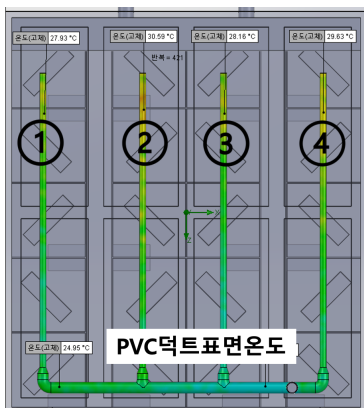
냉방부하: 내지 일일량	냉방부하: 내지 일일량
사육돈수	400
냉방기	180
냉방기	14,000
냉방기	7,900kg/h
냉방기	14,000
냉방기	10,000
냉방기	16,000

냉방부하: 내지 일일량	27
냉방기	11,000
냉방기	18,000
냉방기	21,000



## 분만사 입기 덕트 유동 해석

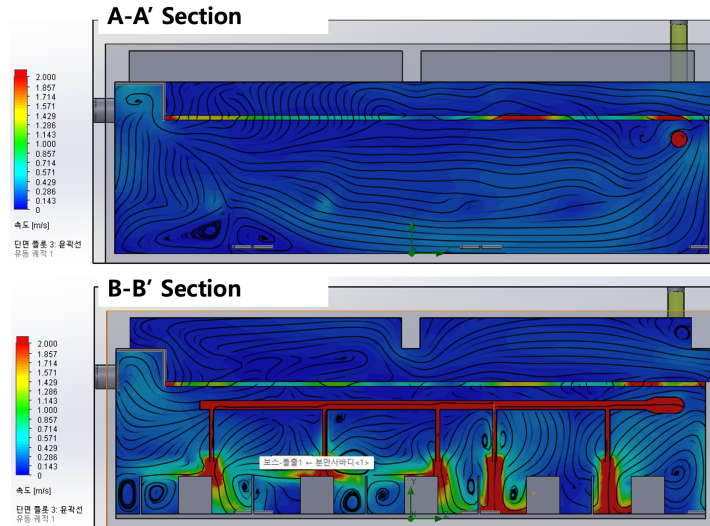
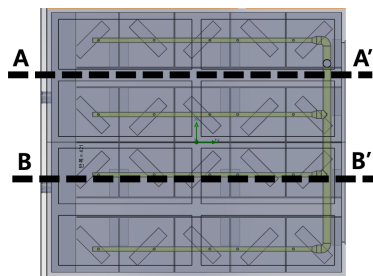


구 분		①	②	③	④
PVC 덕트 표면	온도 (℃)	27.9	30.6	28.2	29.6
	편차 (℃)	-2.7	-	- 2.4	-1.0
PVC 덕트 공기	온도 (℃)	20.7	22.4	20.3	21.1
	편차 (℃)	- 1.7	-	-2.2	- 1.3

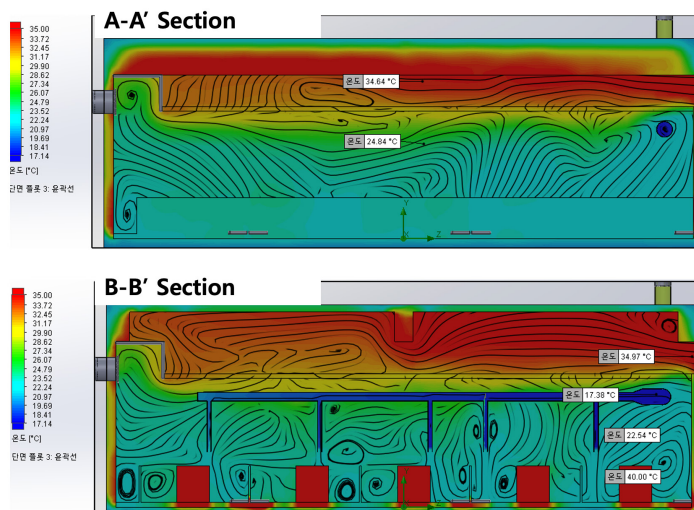
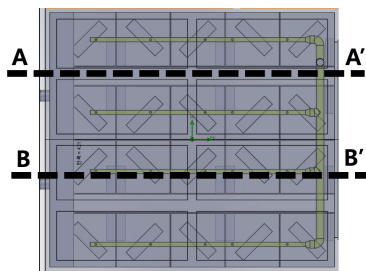


### 1-3 농장 적용사례 : Application case

#### 분만사 유속 해석



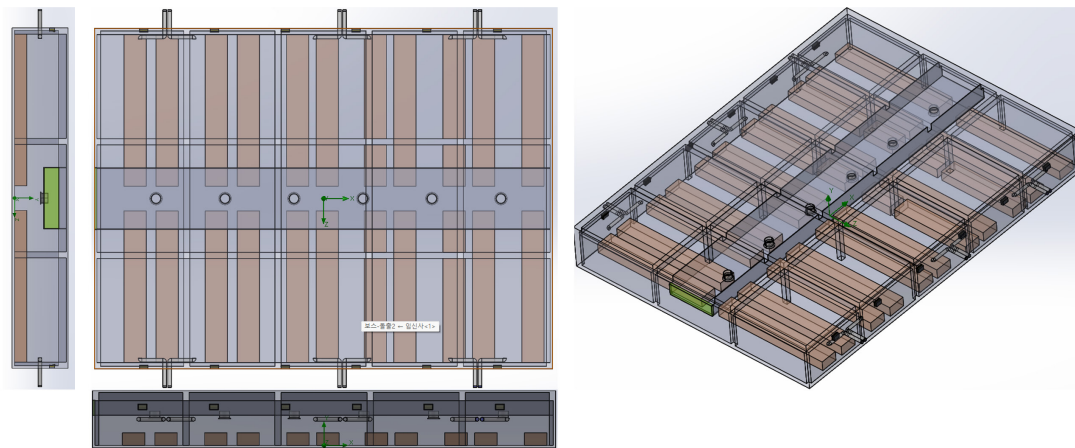
#### 분만사 온도 해석





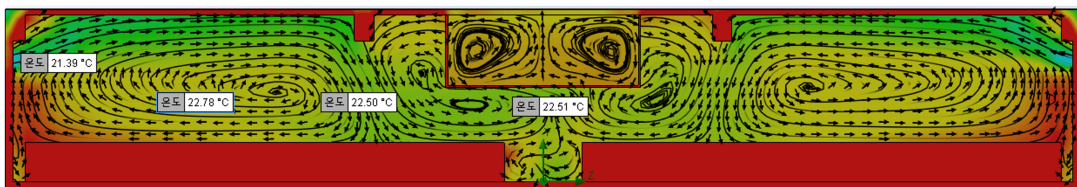
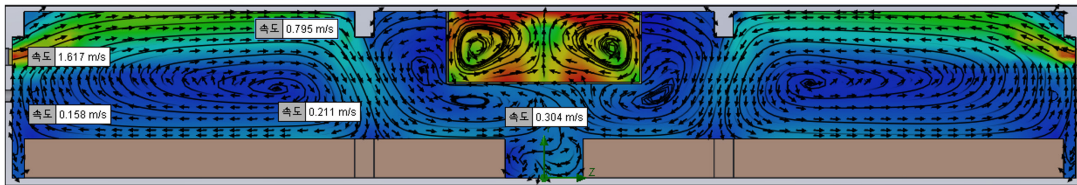
### 1-3 농장 적용사례 : Application case

#### 임신사 유동 해석 모델링

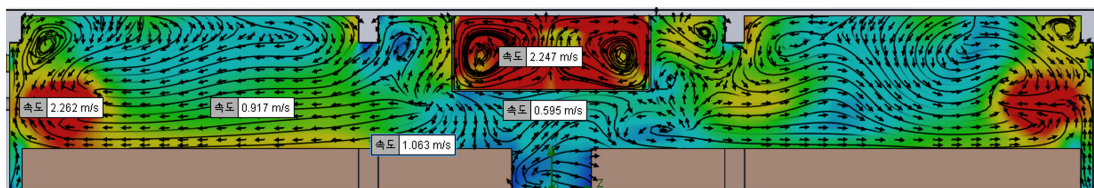
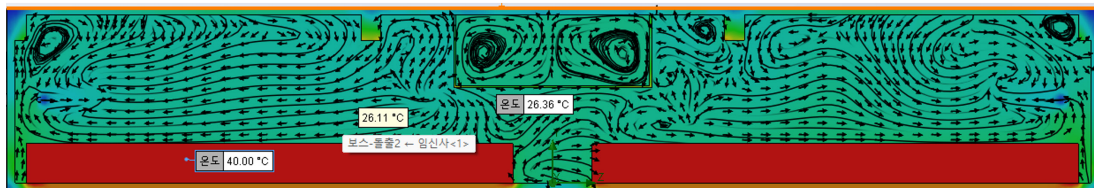


### 1-3 농장 적용사례 : Application case

#### 임신사 간절기 유동 해석



#### 임신사 흡서기 유동 해석

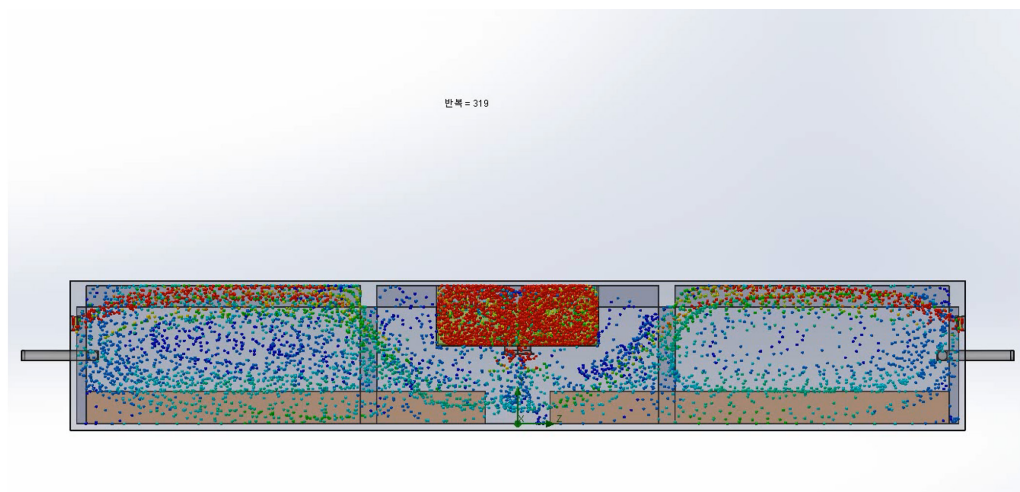


### 1-3 농장 적용사례 : Application case

#### 포그머신 유동 검토



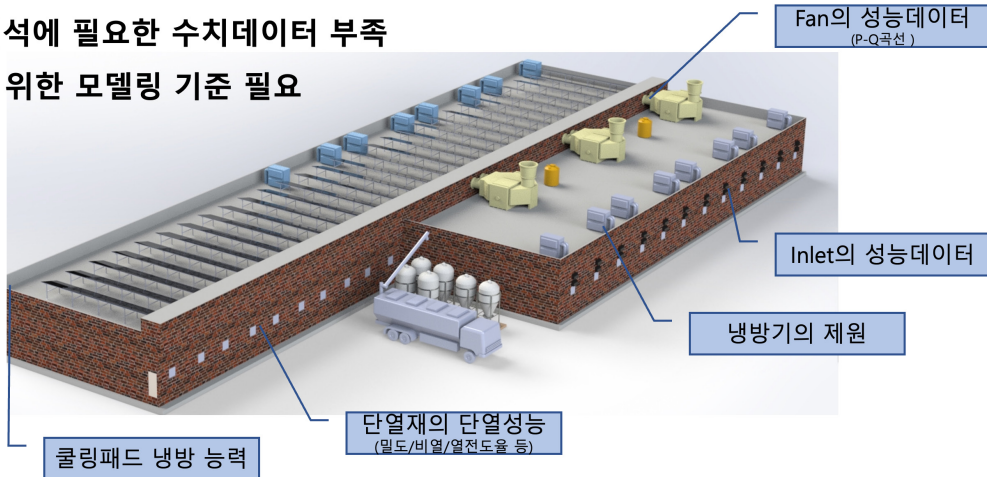
#### CFD 유동 검토



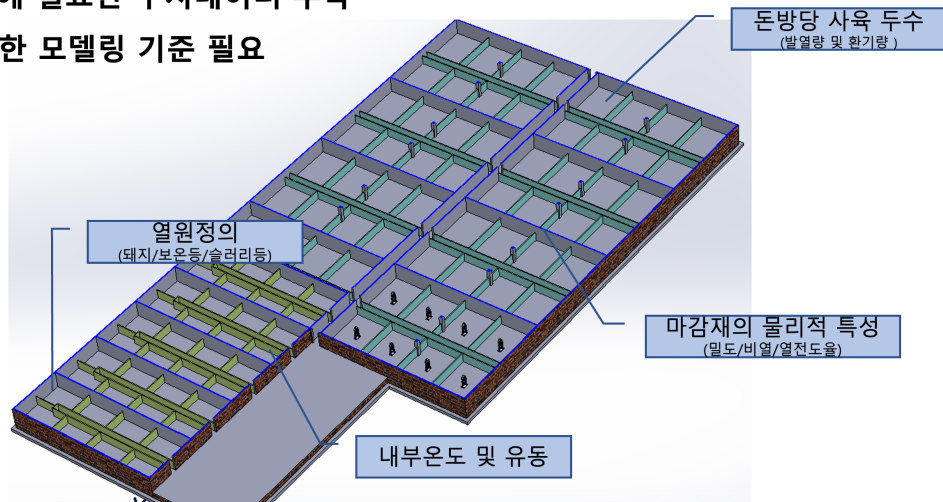


## 1-4 전산유체역학의 한계 : Limitations of CFD

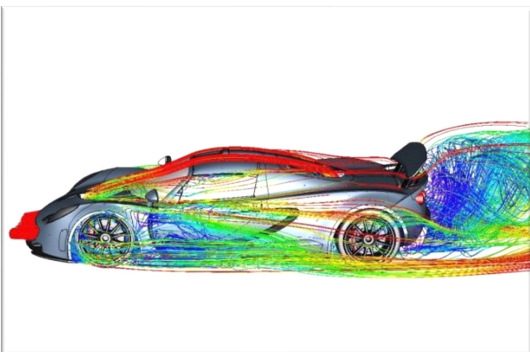
CFD 해석에 필요한 수치데이터 부족  
해석을 위한 모델링 기준 필요



CFD 해석에 필요한 수치데이터 부족  
해석을 위한 모델링 기준 필요



#### 1-4 전산유체역학의 한계 : Limitations of CFD



- 자유로운 모델링(설계)
- 다양한 설계조건 시뮬레이션
- 설계오류 사전 검토로 경제적인 설계



- 정확한 입력  $\Rightarrow$  정확한 해
- 수치해석의 한계
- 실험 데이터와의 검증 필요

#### 1-5 마치며 : Project Purpose

CFD를 이용한 해석이 현장에 바로 적용하기에는 아직 부족한 부분이 많다고 생각한다.

그러기에 아직까지는 현장의 경험이

더 큰 비중을 차지하는 것이 당연할 것이다.

현장의 경험과 수치적 해석을 잘 조합하면

좀 더 발전된 통찰을 설계할 수 있다고 믿는다.

## 2. 드론을 활용한 농장 악취 분포조사

### 2-1 정의 냄새&악취 : Smell & Odor

#### 냄새의 정의 :

일반적으로 매우 낮은 농도의 하나 이상의 휘발성 화합물에 의해 발생되어 사람이 후각에 의해 지각하는 것을 말함.

#### 악취의 정의 :

황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 기타 자극성 있는 기체상 물질이 사람의 후각을 자극하여 혐오감을 주는 냄새

### 2-2 악취

#### (1) 악취 : Odor

악취 유발 물질의 악취 유형				
구 분		악 취 유 형	최소 감지 농도 (ppb)	최소 감지 농도 (ppm)
양돈장 악취 원인 물질	황화수소	무색의 기체이면 계란 썩는 냄새	0.41	0.00041
	메르캅탄	배추 썩은 냄새	0.07	0.00007
측정에서 검출된 물질	암모니아	암모니아 특유의 냄새가 나며 톡 쏘는 냄새	150.00	0.15000
	황화메틸	불쾌한 마늘 냄새	3.00	0.00300
기 타	아민류	생선 비린냄새, 암모니아 냄새	35.00	0.03500
	아세트알데히드	낮은 농도 : 과일향 / 높은 농도 : 불쾌한 냄새	1.50	0.00150
	포름알데히드류		500.00	0.500000

※ 출처 : 부산광역시 보건환경연구원보 제14권(II), 21 ~ 40, 2004 Rep. Busan Inst. Health & Environ, Vol.14, 21 ~ 40, 2004



## 2-2 약취

### (2) 암모니아 & 황화수소 : $\text{NH}_3$ & $\text{H}_2\text{S}$

암모니아가스 특성		황화수소가스 특성	
농 도	증 상	농 도	증 상
5ppm	특유의 냄새가 난다.		
6~20ppm	눈 자극과 호흡기계에 문제를 일으킨다. 사업장 허용기준(20ppm)	1ppm	썩은 달걀 냄새가 난다. 사업장 허용기준(10ppm)
40~200ppm	두통, 메스꺼움, 식욕감퇴, 기도와 코, 목구멍 자극	20~100ppm	3~15분 동안 노출될 경우 사망에 이를 수 있다.
400ppm	목에 자극을 준다.	500ppm	사고력을 잃고 호흡기 장애를 유발한다.
700ppm	눈이 상할 수 있다.	700ppm	의식을 상실하고 호흡이 정지된다.
1,700ppm	기침을 하고, 숨을 쉬기가 힘들어진다. 순간적인 호흡 곤란을 겪기도 한다.	1,000ppm	일시에 의식불명 및 사망한다.
2,500~4,500ppm	조금만 노출되어도 치명적일 수 있다.		
5,000ppm 이상	호흡 정지로 사망한다.		

## 2-3 측정방법

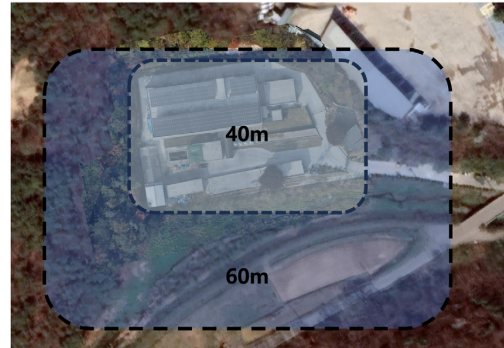
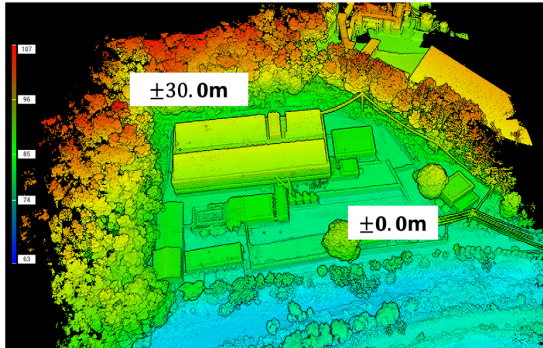
### (1) 장비개요 : Parameters



측정 파라미터	
구 분	내 용
위 치	경도, 위도, 높이
기 후	온도, 습도, 대기압
미세먼지	PM 1.0, PM 2.5, PM 10
단일가스	황화수소(ppb), 암모니아(ppm)
복합가스	암모니아, 황화수소, 황화메틸, 메르캅탄, 디메틸이황화탄소, 디메틸이황화물, 트리메틸아민, 스티렌 냄새의 정도를 나타내는 무차원의 수(ppm)

## 2-2 악취

### (2) 위치 : Location & Altitude

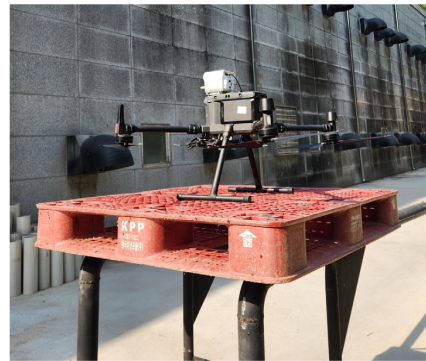


농장 주변 장애물의 높이가 30m 정도로 형성되어 있어 1차 측정 높이는 40m로 설정  
2차 측정 높이는 주변 지형을 고려하여 측정 높이를 60m로 설정

### (3) 가스 측정 : Gas detection



주간 : 40m, 60m 지점 측정



야간 : 배기구 18:00~06:00 측정

## 2-4 농장 개요



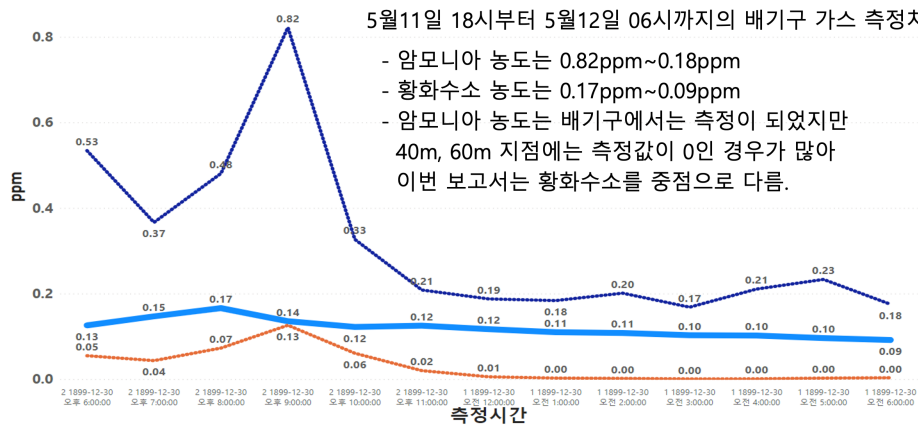
### ● 농장 개요

- 위 치 : 충청남도 예산군
- 규 모 : 모돈 400두 번식농장
- 환기 방식 : 측면 배기
- 악취 저감 : 액비순환돈사
- 분뇨 처리 : 방류 및 퇴비화

## 2-5 활용사례

### (1) 가스 측정 : Gas detection

● H<sub>2</sub>S ppm ● NH<sub>3</sub> ppm ● Odor ppm

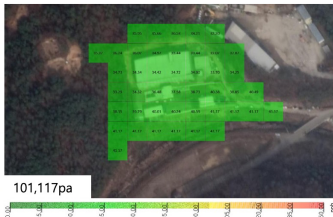




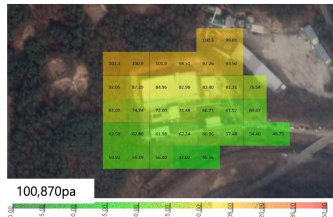
## 2-5 활용사례

### (2) 매핑 : Mapping

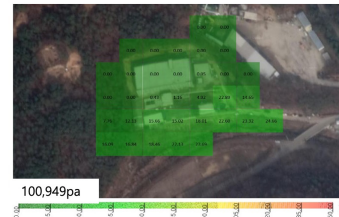
2023년 5월 8일 08시 40m



2023년 5월 10일 08시 40m



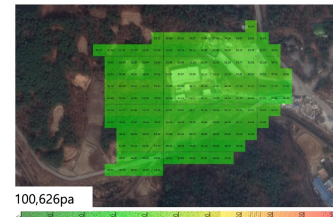
2023년 5월 11일 08시 40m



2023년 5월 8일 08시 60m



2023년 5월 10일 08시 60m



2023년 5월 11일 08시 60m



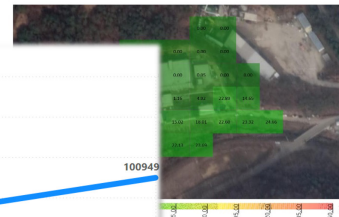
2023년 5월 8일 08시 40m



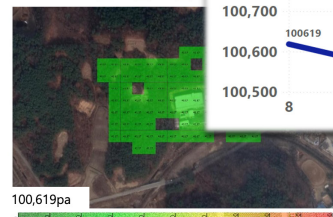
2023년 5월 10일 08시 40m



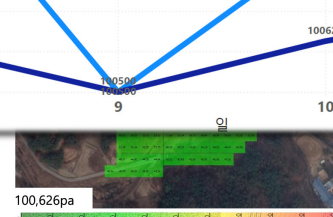
2023년 5월 11일 08시 40m



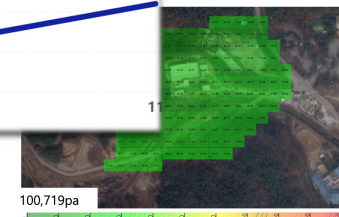
2023년 5월 8일



2023년 5월 10일



2023년 5월 11일 08시 60m



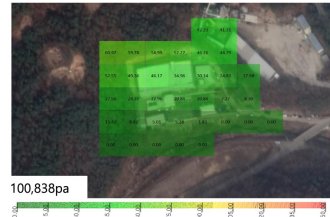
## 2-5 활용사례

## (2) 매핑 : Mapping

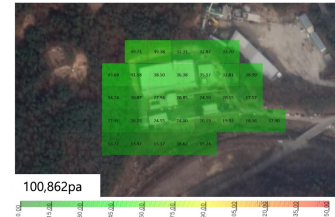
2023년 5월 8일 12시 40m



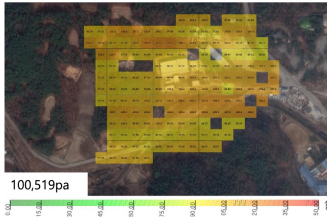
2023년 5월 10일 12시 40m



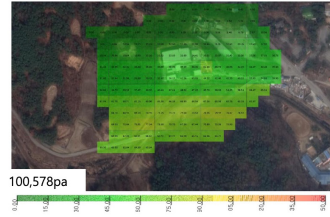
2023년 5월 11일 12시 40m



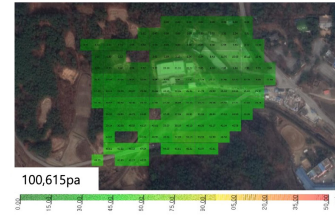
2023년 5월 8일 12시 60m



2023년 5월 10일 12시 60m



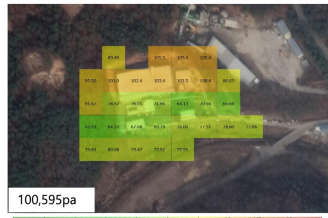
2023년 5월 11일 12시 60m



2023년 5월 8일 16시 40m



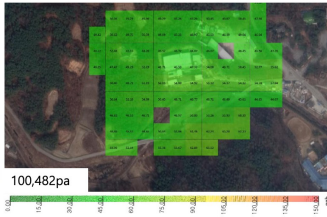
2023년 5월 10일 16시 40m



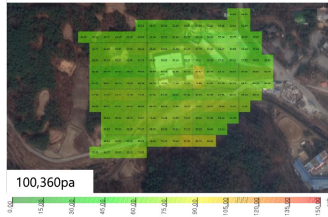
2023년 5월 11일 16시 40m



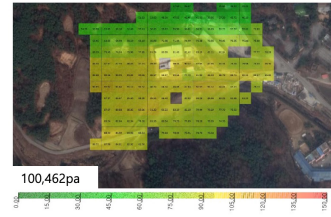
2023년 5월 8일 16시 60m



2023년 5월 10일 16시 60m

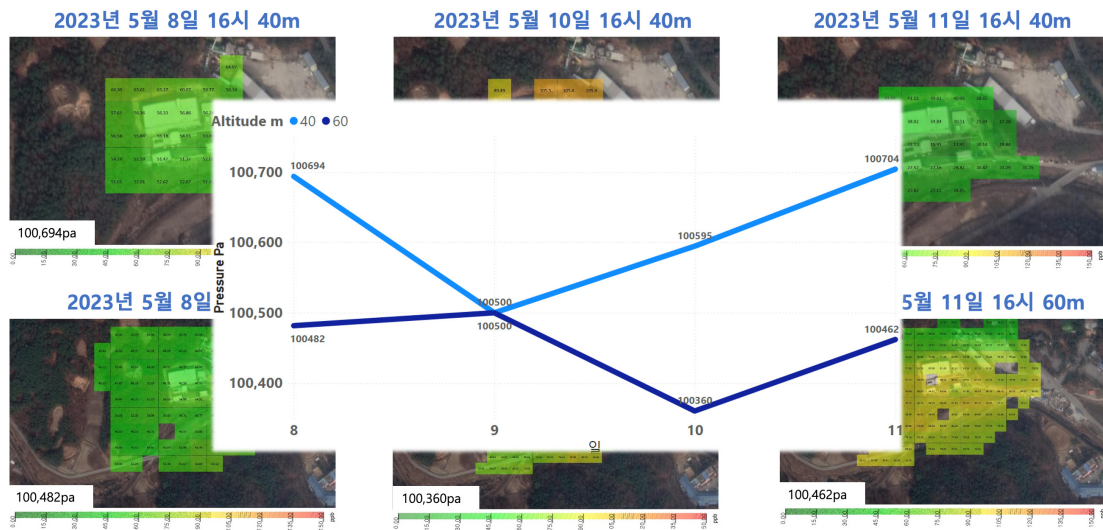


2023년 5월 11일 16시 60m



## 2-5 활용사례

### (2) 매핑 : Mapping

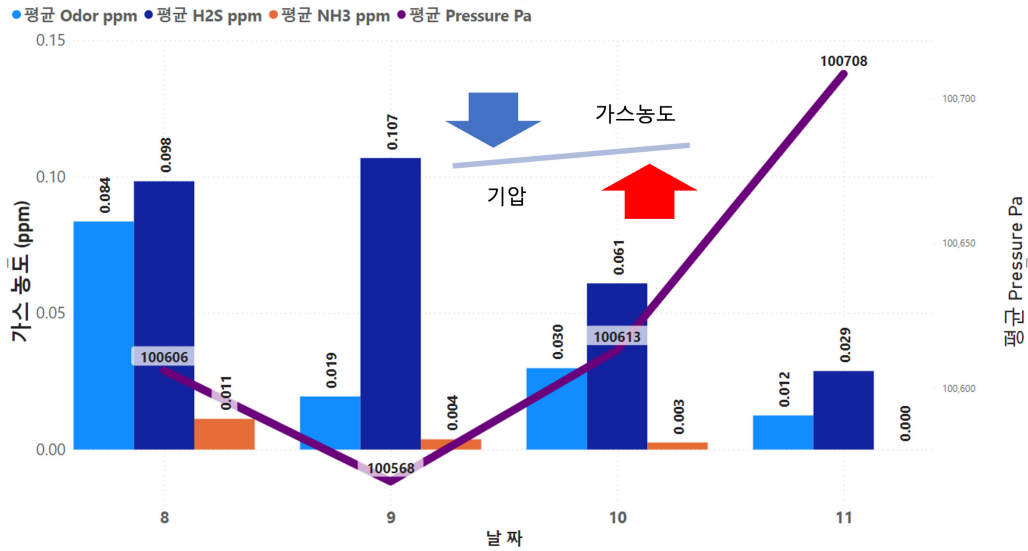


구 분	측정 시간	5월 8일		5월 10일		5월 11일	
		40m	60m	40m	60m	40m	60m
H <sub>2</sub> S 평균 농도(ppb)	8시	42.37	42.37	73.48	51.59	8.99	26.11
H <sub>2</sub> S 최대 매쉬농도(ppb)		41.17	41.17	101.93	60.88	24.66	41.17
H <sub>2</sub> S 최소 매쉬농도(ppb)		32.07	41.17	45.56	43.24	-	4.35
H <sub>2</sub> S 단일지점 최대농도(ppb)		78.28	78.28	105.53	64.36	46.38	42.33
H <sub>2</sub> S 단일지점 최소농도(ppb)		28.99	28.99	44.65	42.91	-	4.06
H <sub>2</sub> S 평균 농도(ppb)	12시	100.91	100.90	23.78	37.89	27.42	22.50
H <sub>2</sub> S 최대 매쉬농도(ppb)		125.56	112.20	60.97	79.44	49.71	53.35
H <sub>2</sub> S 최소 매쉬농도(ppb)		82.12	86.83	-	-	13.47	-
H <sub>2</sub> S 단일지점 최대농도(ppb)		131.63	131.63	69.00	80.02	51.03	86.40
H <sub>2</sub> S 단일지점 최소농도(ppb)	16시	81.76	81.76	-	-	8.12	-
H <sub>2</sub> S 평균 농도(ppb)		52.89	52.89	81.94	66.93	29.62	76.59
H <sub>2</sub> S 최대 매쉬농도(ppb)		66.30	65.52	105.48	87.20	44.12	94.52
H <sub>2</sub> S 최소 매쉬농도(ppb)		51.03	42.33	62.93	56.61	13.93	25.60
H <sub>2</sub> S 단일지점 최대농도(ppb)		83.50	83.50	111.33	98.58	50.45	120.61
H <sub>2</sub> S 단일지점 최소농도(ppb)		41.17	41.17	50.45	55.67	5.22	22.61

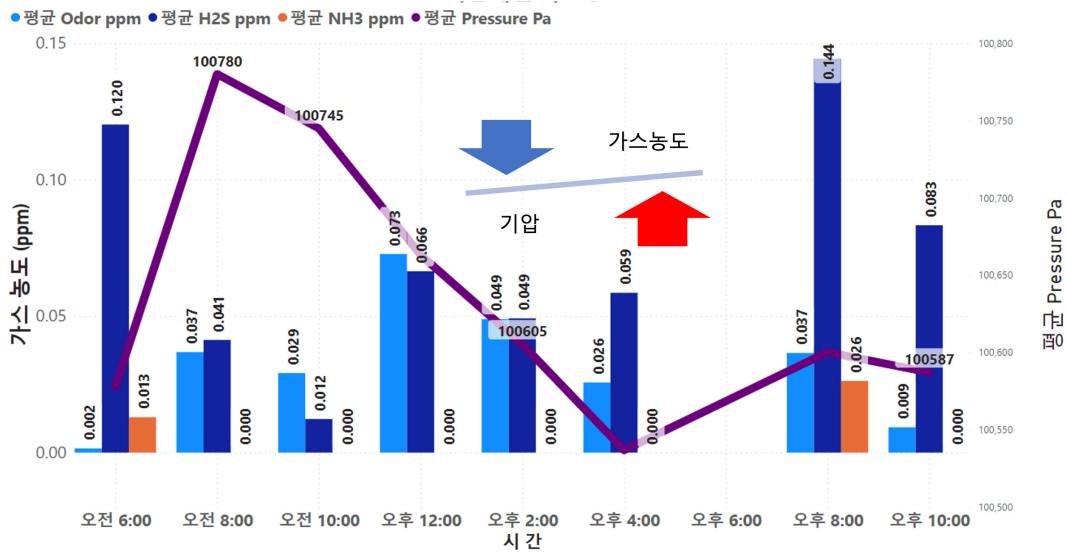


## 2-5 활용사례

### (3) 날짜별 악취농도

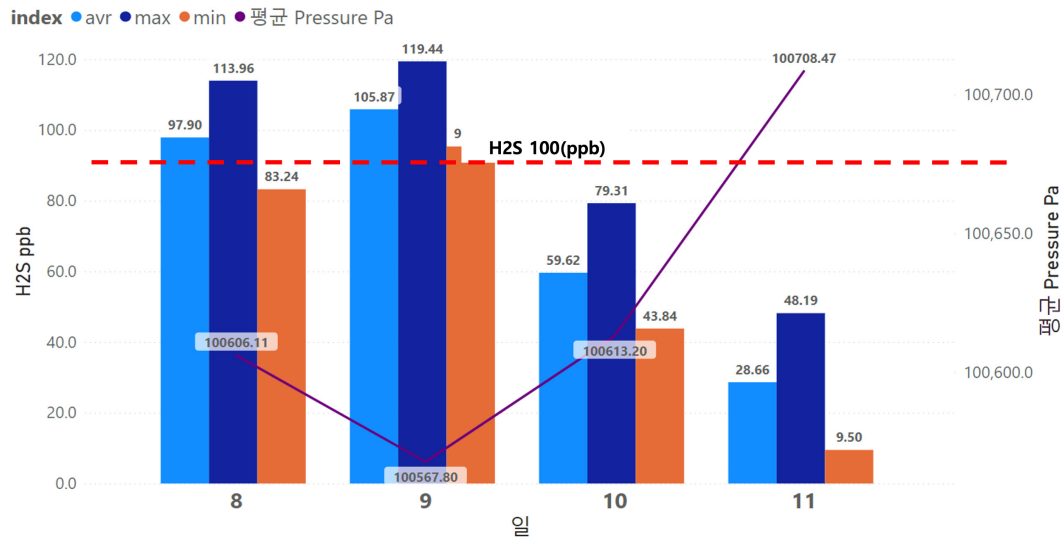


### (4) 시간대별 악취농도

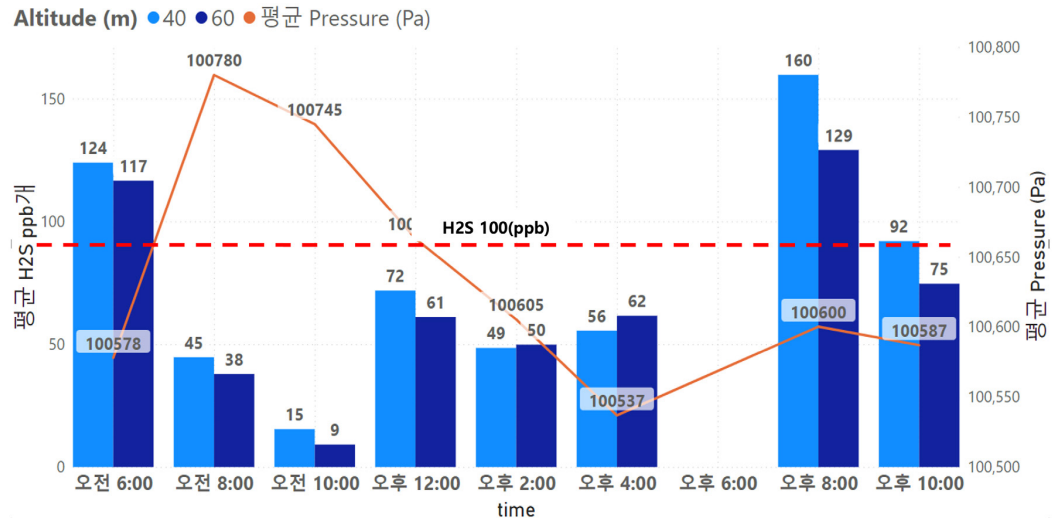


## 2-5 활용사례

### (5) 날짜별 황화수소 농도

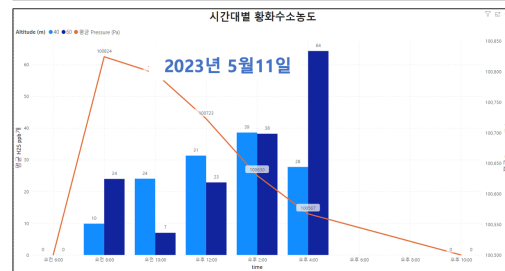
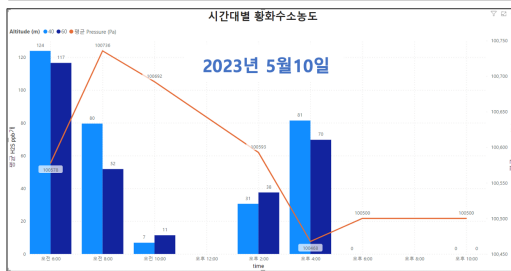
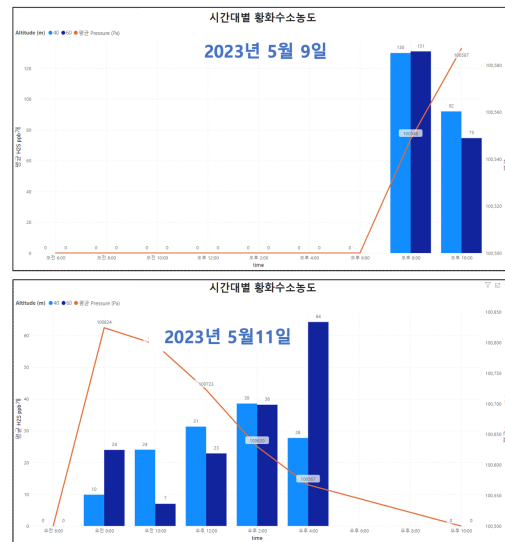
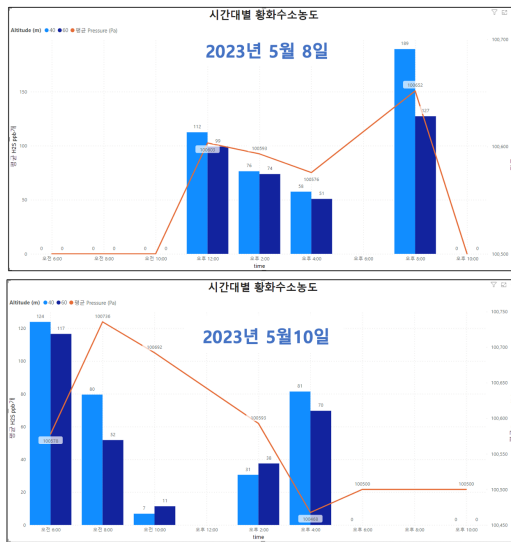


### (6) 시간대별 황화수소 농도

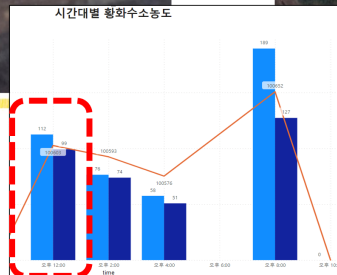
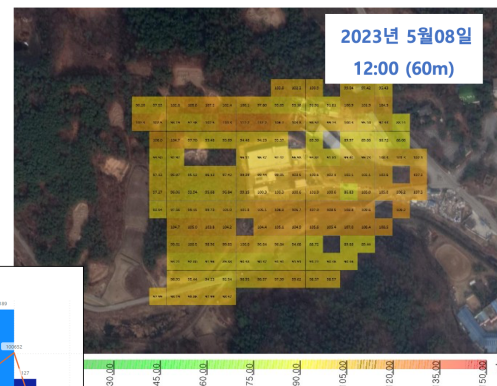


## 2-5 활용사례

## (7) 날짜/시간별 황화수소 농도



## (8) 악취농도와 분포와의 관계



## ▶ 황화수소 농도 분포

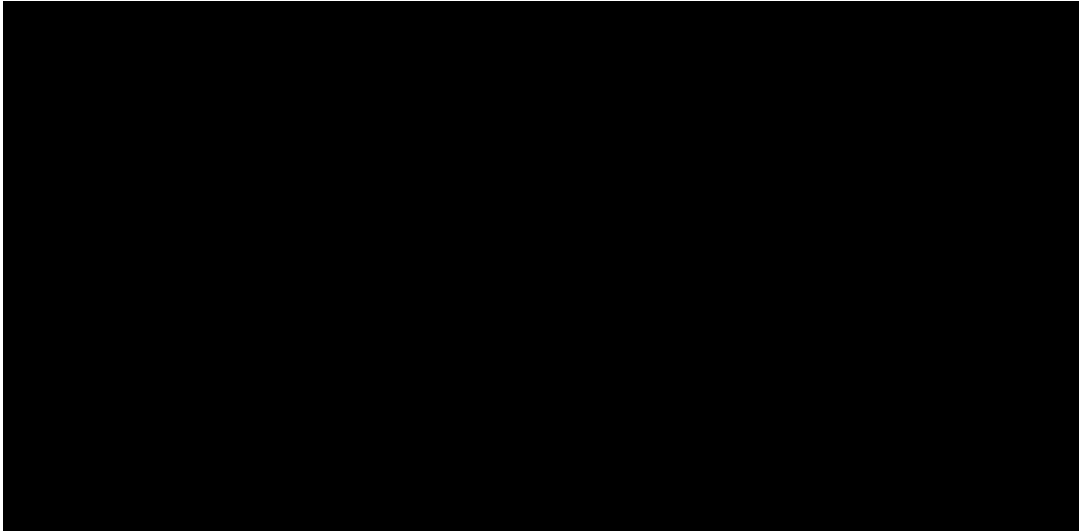
농장 배기구에서 황화수소 농도가 높음.  
고도가 높아질수록 농도가 떨어짐.

악취의 원인이 농장 내부에서 유래함.



## 2-5 활용사례

### (8) 악취농도와 분포와의 관계



## MEMO