대표적 축산 현안들의 멀티 솔루션 신기술 소개



이 인 복 교수
서울대학교 농업생명과학대학 지역시스템공학



SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

01 A3EL 연구실 소개

Aero-Environmental & Energy Engineering Laboratory (A3EL)

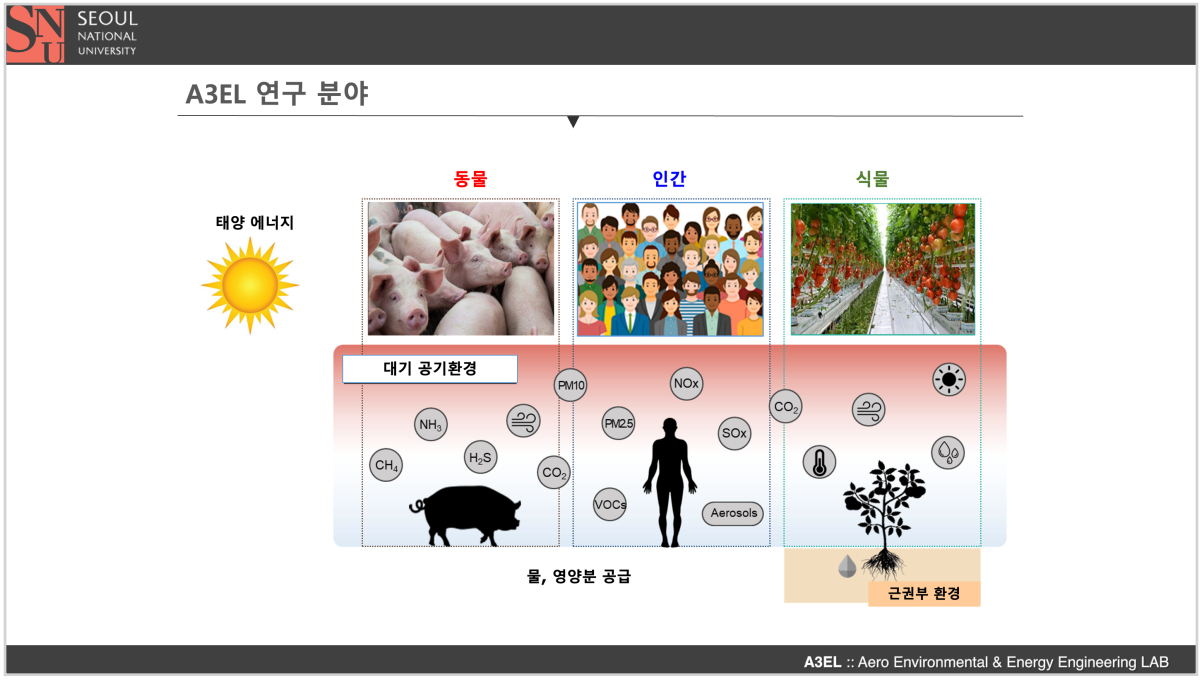
A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

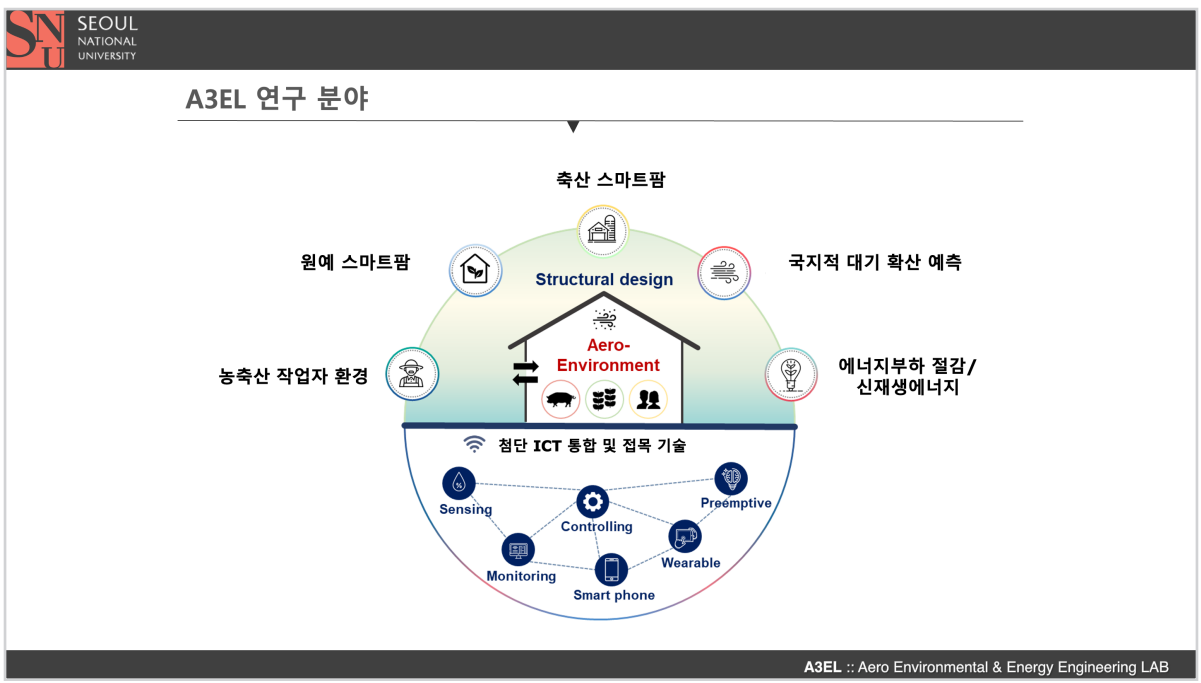
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

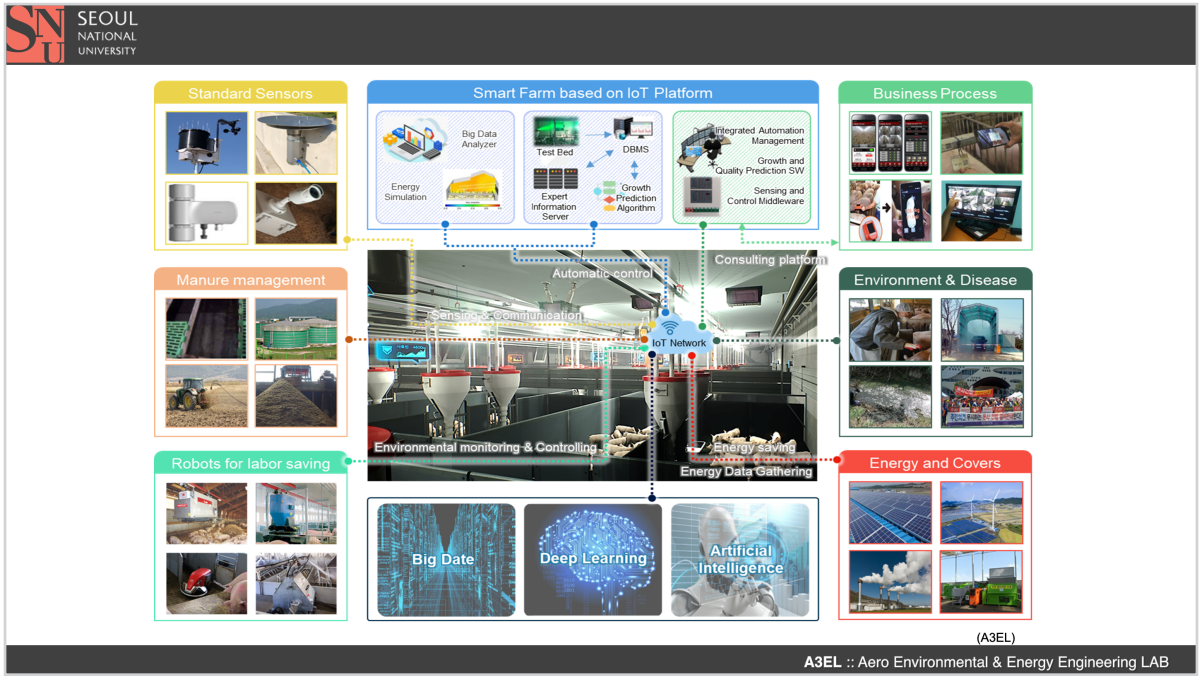
지구에서 생물이 존재할 수 있는 주요 환경



A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB


SEOUL NATIONAL UNIVERSITY
A3EL 연구 분야
동물
인간
식물
태양 에너지
대기 공기환경
PM10
NOx
PM2.5
SOx
NH3
H2S
CH4
CO2
VOCs
Aerosols
CO2
물, 영양분 공급
근권부 환경
A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

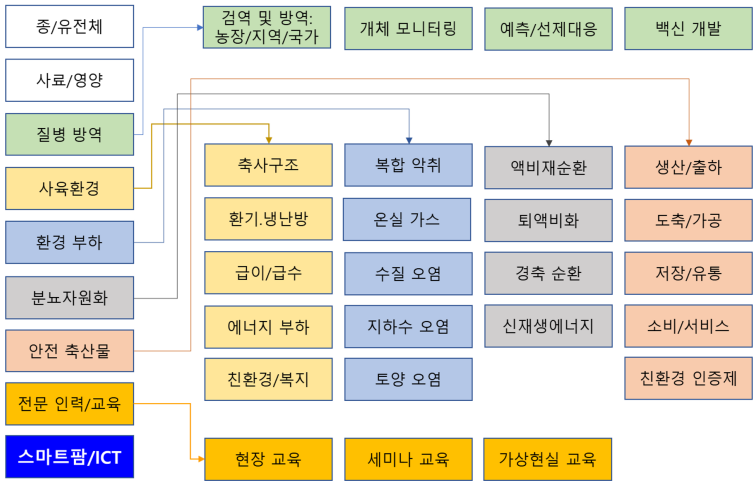

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY
A3EL 연구 분야
축산 스마트팜
원예 스마트팜
국지적 대기 확산 예측
Structural design
Aero-
Environment
농축산 작업자 환경
에너지부하 절감/
신재생에너지
첨단 ICT 통합 및 접목 기술
Sensing
Controlling
Preemptive
Monitoring
Wearable
Smart phone
A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB


SEOUL NATIONAL UNIVERSITY
Standard Sensors
Smart Farm based on IoT Platform
Big Data Analyzer
Energy Simulation
Test Bed
DBMS
Expert Information Server
Growth Prediction Algorithm
Integrated Automation Management
Growth and Quality Prediction SW
Sensing and Control Middleware
Business Process
Manure management
Automatic control
Consulting platform
Sensing & Communication
IoT Network
Environment & Disease
Environmental monitoring & Controlling
Energy saving
Energy Data Gathering
Robots for labor saving
Energy and Covers
Big Date
Deep Learning
Artificial Intelligence
(A3EL)
A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB


SEOUL NATIONAL UNIVERSITY
02
대표적 축산 현안
A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

축산산업 현안 해결을 위한 연구



A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

축산산업의 당면 과제

1. 4계절 극복을 위한 환경 조절

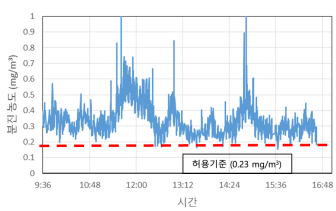
하절기 : 고온 혹은 폭염 스트레스로 인한 생산성 저하 및 폐사율 증가

동절기 : 온도를 고려한 환기 운영으로 인하여 사육환경 열악으로 질병 발생 및 폐사율 증가

환절기 : 외부 기상의 급변으로 인한 적정 사육환경 조절의 어려움







A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

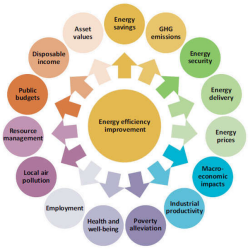
축산산업의 당면 과제

2. 증가하는 에너지 부하

○ 실제 농장 운영 환기량은 하절기 최대 환기량 대비 약 3.7 %

○ 자돈사 적정 온도 30℃ 기준 겨울철 난방비 절감 비용 비교

○ 환기 운영에 따라 난방비 약 28배 차이가 나며 에너지원별 비용 상이



[양돈농가의 환기 운영에 따른 난방비 절감 비용 (단위 : 원) **]**

	환기량 (회/분)	난방부하(MJ/h)	등유	일반용 전기	농사용 전기
실제 농장 운영	0.04	30,013	944,000	329,000	131,000
동절기 권장	0.1	71,553	2,251,000	784,000	313,000
환절기 권장	0.4	367,766	11,571,000	4,032,000	1,613,000
하절기 권장	1.0	861,456	27,105,000	9,445,000	3,778,000

(A3EL, 2021)



A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

축산산업의 당면 과제

3. 축산 질병 방역 및 검역

가축 질병에 의한 축산업의 경제적 피해 규모는 전체 생산액에 20~24%

가축 질병 피해액은 지난 10년간 2조 1천 378억원, 2010년은 구제역으로 1조 9천억 원 피해

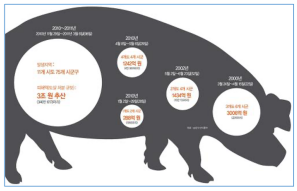
특히 2017년은 전체 사회재난 피해액(1,092억 원) 대비 76% 수준에 달함

국내 조류인플루엔자(AI)의 경우 2014년 이후 매년 AI가 발생, 평균 1,153억원 재정 지출

(단위 : 발생 건수)

발생연도	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	합계
가금티푸스	58	27	57	52	51	34	23	25	13	10	350
결핵병	578	713	900	684	718	886	412	430	279	247	5,847
고병원성조류인플루엔자	0	0	252	138	334	140	14	0	42	86	1,006
구제역	0	0	29	159	21	11	2	3	0	0	225
뉴캣슬병	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	12
돼지생식기호흡기증후군	59	80	60	56	52	31	12	26	22	44	442
돼지열병	0	1	0	0	2	6	0	0	0	0	9
브루셀라병	484	190	129	78	87	152	76	64	126	184	1,570
사슴만성소모성질병	0	0	0	0	11	0	1	0	0	0	12
총합계	1,179	1,011	1,427	1,167	1,288	1,260	540	548	482	571	9,473

※ 자료 : 공공데이타 포털 가축전염병정보, 농림축산식품부(2022)



(OIE, 2016)

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

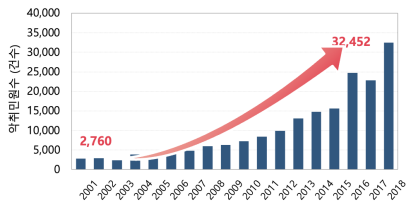
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

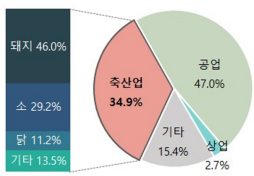
축산산업의 당면 과제

4. 축산산업의 축산악취 및 환경부하

- 축산농가들의 단지화
- 귀농/귀촌 등으로 인한 민원/법적 분쟁 급증
- 관련 규제의 강화 추세







A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

축산산업의 당면 과제

5. 탄소중립 : Green New Deal (2020)

주요 목표 : 포스트 코로나 시대 국가 시스템 전반을 '저탄소 친환경' 체제로 전환 촉진

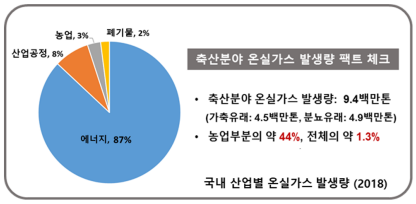
- 도시공간 인프라 녹색 전환 : 공공시설 제로 에너지화, 녹색 생태계 회복, 안전한 물관리
- 저탄소 분산형 에너지 확산 : 신재생 에너지 확산, 전기/수소차, 탄소제로 에너지 관리 효율화
- 녹색산업 혁신 생태계 구축 : 그린바이오 융합형 5대 신산업 육성(미생물, 메디푸드, 종자, 동물의약품, 생명 소재)
- 2050 탄소중립 선언 : 2015년 파리협정 이후, 2021년 우리나라 포함 134개국이 탄소중립 공식 선언

축산분야는 4개 항목에서 탄소중립 기술개발 필요

: 가축분뇨 자원순환, 저탄소 가축 관리, 가축 생산성 향상, 식생활 소비개선





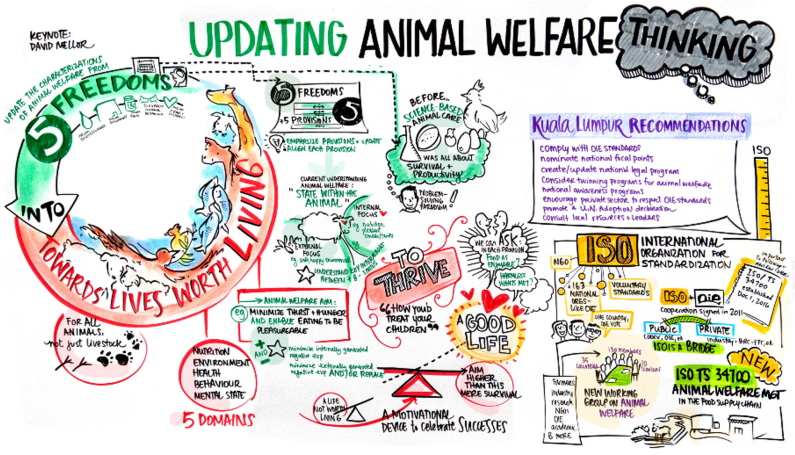


A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

축산산업의 당면 과제

6. 동물복지



SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

축산산업의 당면 과제

7. 축산분뇨 자원화

구분	계	한육우	젖소	돼지	닭, 오리	기타
사육 두수 (1,000두)	291,996	3,305	460	11,938	263,290	13,003
발생량 (100톤/일)	1,532	453	173	609	273	24
점유율 (%)	100.0	29.6	11.3	39.7	17.8	1.6

발생량 (100톤/일)	자원화			정화방류			기타
	소계	퇴비	액비	소계	개별처리	공공처리장	
1,532 (100.0)	1,320 (86.2)	1,078 (70.4)	242 (15.8)	207 (13.5)	91 (5.9)	116 (7.6)	5 (0.3)

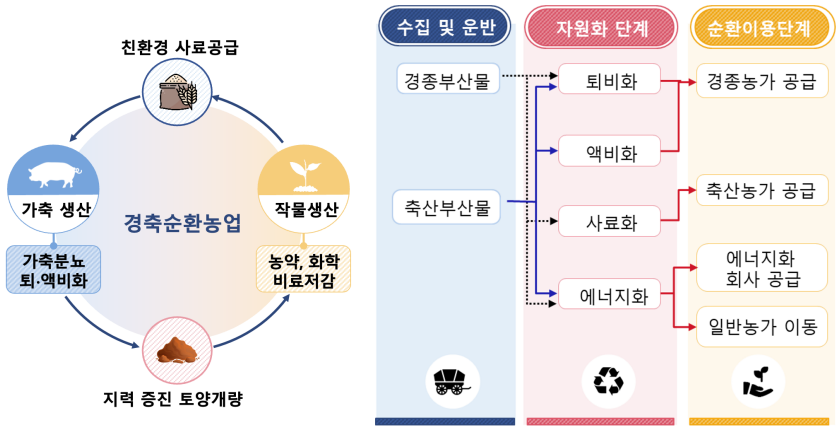
자료 : 농림축산식품부. 2020.

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

축산산업의 당면 과제

7. 축산분뇨 자원화



A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

03 축사 구조 및 환기

구조 단열성 및 기밀성 향상
환기 구조 적정 설계

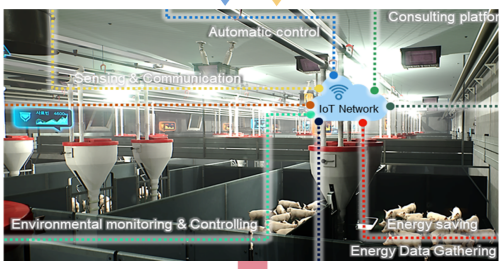
A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

축사 구조 및 환기 설계의 중요성

축사 적정 구조설계
단열성 및 기밀성 향상

적정 환기 설계 및 운영
사육환경의
적정성, 안정성, 균일성



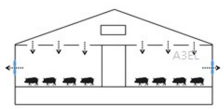
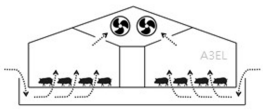
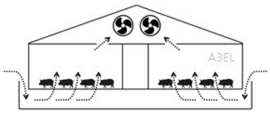
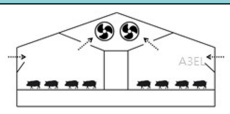
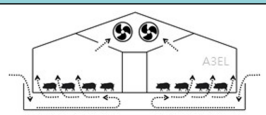
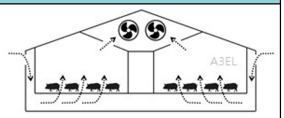
첨단 기술 접목의 긍정적 효과 극대화 가능

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

비육돈사 환기구조 설계에 따른 사육환경 및 에너지 부하

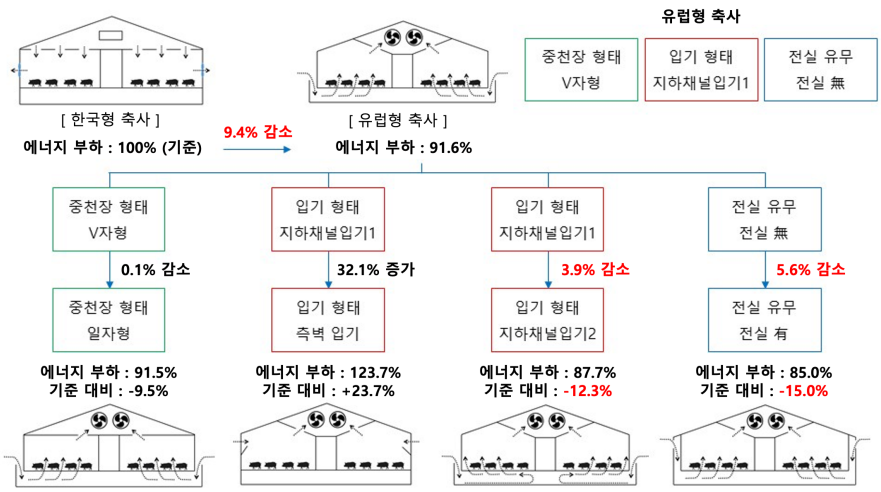
- 돈사의 환기 구조 개선을 위한 다양한 조건에 대한 수치해석 시뮬레이션 수행
- 내부 환경의 정량적 비교 분석 (적정 환경, 환기 효율, 냉방/난방 에너지 측면)
- 계절별 분석 수행

한국형 축사	유럽형 축사 1 (V자형 중천장, 지하채널입기 1)	유럽형 축사 2 (일자형 중천장, 지하채널입기 1)
		
유럽형 축사 3 (V자형 중천장, 측벽입기)	**유럽형 축사 4** (V자형 중천장, 지하채널입기 2)	**유럽형 축사 5** (V자형 중천장, 지하채널입기 1, 전실)
		

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

에너지 부하 절감의 결과 요약



A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

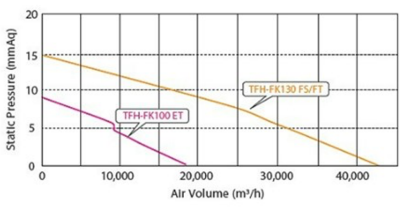
배기팬 설치 시 압력 부하를 고려 필수

○ 중천장 덕트 내부 압력 부하 고려

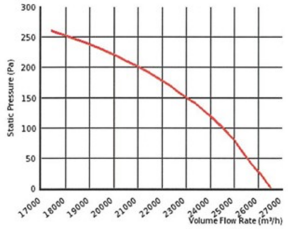
○ 중천장 덕트 내부 압력 부하로 인해 압력팬 사용 권장

- 중천장 내부 약 30~50 Pa의 압력 부하 발생 (현장 조사 ; 표준설계도, 2016 ; 표준설계도 2019)

○ 고압팬의 팬 성능 곡선



[일반팬의 팬 성능 곡선 예시]



[고압팬의 팬 성능 곡선 예시]

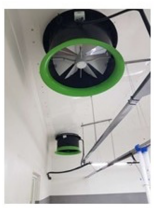
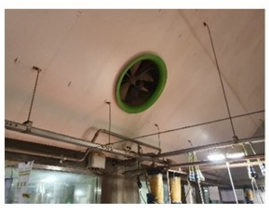
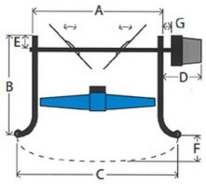
A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

메저링팬 및 댐퍼 설치

○ 메저링팬 및 댐퍼 설치

- 각 돈방마다 적절히 환기가 되는지 상시적인 점검 및 관리 필요
- 돈방별 다른 연령의 돼지를 키우는 경우, 메저링팬 및 댐퍼를 통해 돈방별로 환기 제어
- 계절별, 돈방별 환기량 모니터링을 통해 댐퍼 및 돈방별 환기량의 자동제어 필요



[유럽형 축사에 설치된 메저링팬 및 댐퍼]

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

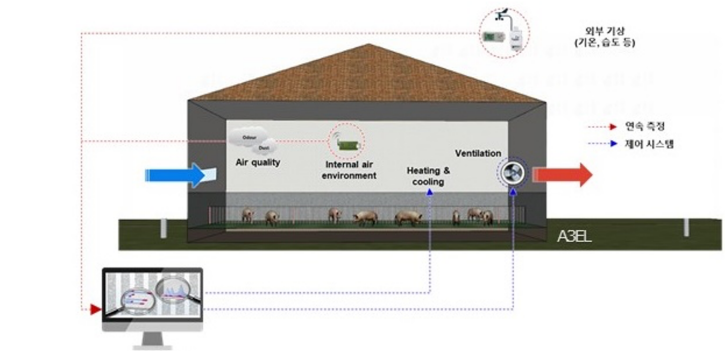
04 공기재순환

사육환경 개선,
질병 유출입 차단,
축산악취 배출 차단,
화석연료 에너지 이용 저감,
이에 따른 탄소 배출 저감,
센싱 내구성 향상,
농가수익 향상을 통한 경제성 향상

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

기존 축산시설의 보편적 환기 운영방법



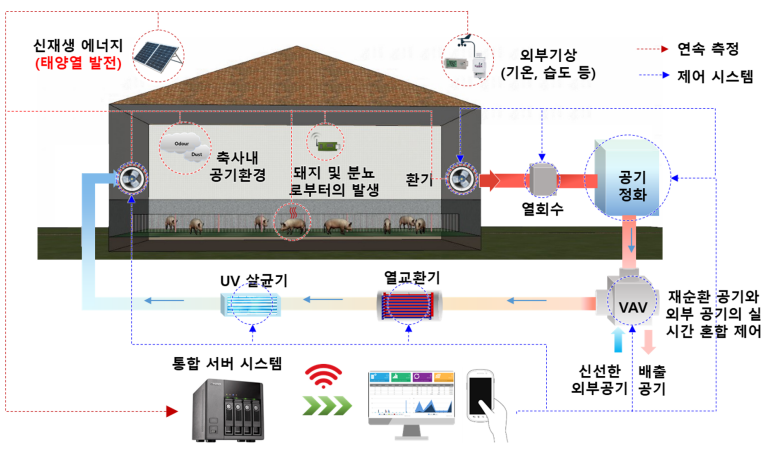
사육환경 열악 → 센싱 내구성 열악 → 에너지 부하 및 탄소 증가 → 공기중 질병 유출입 → 축산 악취 배출 → 지하수 등 환경부하

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

ICT 기반의 공기재순환 환기시스템 (와게닝겐대와 2014년부터 기초연구)

AFGT Animal Farm Guardians Technology

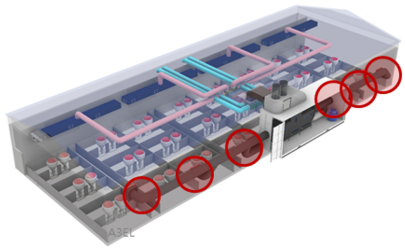


A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

공기재순환 시스템 설치 및 구성

▣ **공기재순환 환기시스템 공조시스템 공사 (측벽 배기팬 (6개) 및 측벽 배출 덕트)**



➢ 돈사 내부 배기 측벽팬 6개
➢ 메인 공기세정장치 모듈 경로 덕트





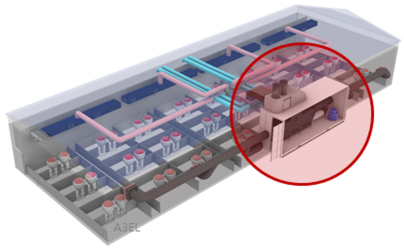


A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

공기재순환 시스템 설치 및 구성

▣ **공기재순환 환기시스템 공조시스템 공사 (외부 컨테이너 및 공기세정장치)**











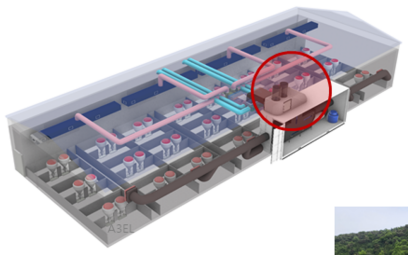
➢ 메인 공기세정장치 모듈
➢ 내부 습식 스크러버 및 순환수 처리 배관
➢ 제어용 펌프 및 밸브

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

공기재순환 시스템 설치 및 구성

▣ 공기재순환 환기시스템 공조시스템 공사 (외부 공기 혼합존 및 태양열)









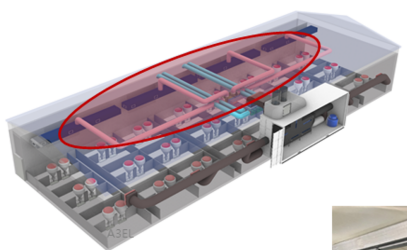
- 외부 공기 배출 팬
- 태양열 온수기 모듈
- 세정 후 공기의 돈사 진입 덕트

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

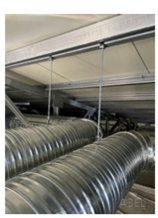
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

공기재순환 시스템 설치 및 구성

▣ 공기재순환 환기시스템 공조시스템 공사 (내부 입기 덕트)









- 외부 공기 혼합존
- 태양열 온수 열교환 코일
- 돈사 내부 입기 덕트

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

대표적 축산 현안의 멀티 솔루션



A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

05 고온 스트레스 및 악취 확산의 웹기반 예·경보 시스템

농민들이 재난이 닥치고 나서 사후 대처를 하는 것이 아니라,
48시간 전 예·경보를 통하여 선제 대응 및 예방 지원

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

웹기반 예·경보 시스템 개발의 필요성

배경

- **대표적인 축산 현안** 중 "가축의 고온 스트레스", "축산악취 배출 및 확산"이 매우 심각함
- 뚜렷한 4계절 및 기후변화로 인하여, 고온기 가축의 **고온 스트레스**로 성장률 둔화 및 폐사율 증가 추세
- **축산악취 확산**으로 인하여 민원 및 법적 분쟁이 급격히 증가하고 있으며, 축산산업에 심각한 부담으로 작용

대안

- 농민들이 이에 대한 **예측을 통한 선제 대응**을 해야만 함
- **기상청의 기상예보**는 48시간 전, 매 3시간 업데이트가 이루어지고 있음
- 기상예보와 자동 연계된 **"웹 기반의 예·경보 시스템" 필요**

가축 고온 스트레스 및 축산 악취 확산 예측을 위한
"웹 기반 예·경보 시스템" 개발

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

농업 분야 기상청 연계 예·경보 웹 서비스 (폭염 스트레스 & 악취 확산)

농가 지역의 예보 및 실시간 기상 정보
- 온습도, 풍/대기환경 기상 정보 등
- 실시간 및 예보 (1-72시간 이전) 자료

웹 서비스 활용 사용자 데이터 입력
- 농가 정보 : 주소, 구조, 환기 방식 등
- 축종 정보 : 사육 축종, 일령, 두수 등

기상 정보 연계 예·경보 정보 산출
- 입력 자료에 대한 모델 자동 구동
- 오픈소스 이용한 현장실험 검증 모델

ANSYS FLUENT AERMOD Modeling CALPUFF Modeling

사용자에게 농장별 정보 제공하여 선제적 대응 가능
(예) 가축 고온지수, 악취 확산 등

농업 분야 적용 예·경보 웹 서비스 개발

지속적인 피드백을 통한 품질 개선 및 적용 범위 확대

데이터 베이스 구축 통한 AI 적용
웹 서비스를 통해 구축되는 데이터를 이용한 기계학습 및 인공지능 적용

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

1) 고온기 폭염 : 양계산업의 심각한 폭염 피해

○ **이상기후인 폭염으로 인한 폐사 피해 꾸준히 증가**

- 폭염에 가축도 죽을 맛...전국서 가금·돼지 405만여 마리 폐사 (SBS, 2018)

- 폭염에 가축 약 350만 마리 폐사 ... 축산농가 비상 (한국농정, 2016)
  피해 분석 시 축종별로 닭 96%, 오리 3%, 메추리 1%

○ **가축 폐사에 대한 피해를 보상해 주는 손해액 비상**

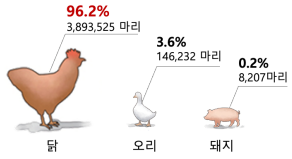
- 가축재해보험 손해액↑...'기록적 폭염' 작년에 92% 급증 (연합뉴스, 2019)
  2016-2018년 가축재해보험 손해액은 가금류의 경우 2천 440억원으로 집계

- NH손보, 폭염 기승 '가축재해보험' 비상 (한국금융, 2018)
  닭의 폭염특약 손해율은 2016년 2,168%로 나타남

○ **폭염 피해 최소화를 위한 정부의 지속적인 투자책 마련**

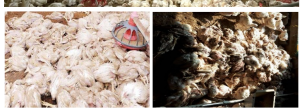
- 전남도, 폭염 피해 예방 '축산현대화 사업비' 긴급 투입 (매일일보, 2020)
  전라남도는 10억원을 긴급 투입하여 부속시설에 지원

- 전남도, 가축 폭염 피해 예방에 94억 투입 (한국농어민, 2019)
  전남도 여름철 폭염으로 인해 가축 피해 최소화 3개 사업에 투자



[폭염에 따른 축산물 폐사 현황] (농림축산식품부, 2018)





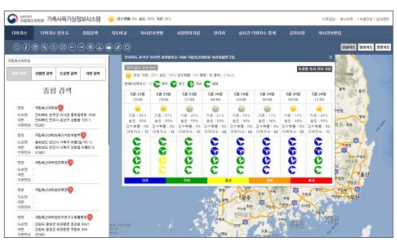
A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

1) 고온기 폭염 : 이전 서비스와 차별점

▪ **기존 고온 스트레스 예보 서비스와 차별점**
- 시설의 구조, 설비, 육계 사육 환경 등을 고려
- 현장실험 결과를 활용하여 건물 에너지 시뮬레이션 모델 검증

▪ **건물 에너지 시뮬레이션(BES)을 이용하여 육계의 고온 스트레스 평가 필요성**
- 고온 스트레스 예보 서비스는 날씨만 고려하는 경우가 다수 (NIAS, 2017; USDA., 2007; Kansas Univ. 2014)
- 시설 내에서 사육하는 닭, 돼지 등 축종에 날씨를 적용하면 열환경 평가에 오차 발생
- BES는 건물 내외부로의 에너지 흐름을 동적으로 모의하여 내부 공기 환경 연산이 가능함



[농촌진흥청 가축사육 기상정보시스템]

[외부 일사에 따른 건물의 에너지 흐름 동적 모의]

	기존 서비스 (RDA)	서울대 개발 서비스
외부 기상	O	O
축사 구조	X	O
환경 설비	X	O
가축 사육정보	X	O
모델 검증 수행	X	O

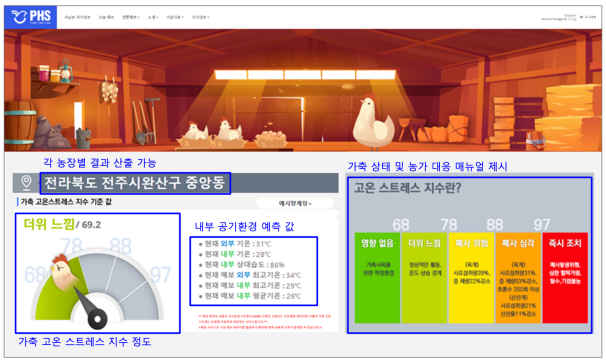
A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

1) 고온기 폭염 : 가축 고온 스트레스 예·경보 시스템 개발

▣ **웹 서비스 기반 예·경보 시스템**

- 내부 기온, 습도, 고온 스트레스를 10분 간격으로 연산하여 확인
- 내일, 모레 등 가까운 미래의 육계 고온 스트레스 예보 위험시 MMS로 정보 제공



[웹 서비스 예시 화면] (https://poultryheatstress.co.kr)

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

2) 축산 악취 : 국내 축산 악취 현안

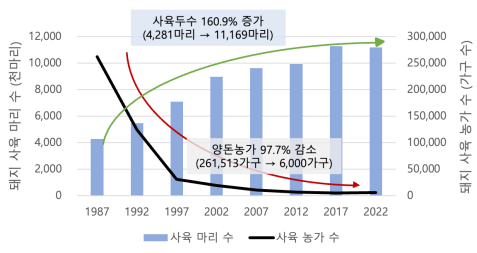
▣ **시설 대형화 및 밀집 사육**

- 2020년 양돈 생산액 : 7조 1,800억원 (축산업 생산액의 44%)
- 지난 10년간 사육두수는 26% 증가하였지만, 농가수는 7% 감소하여 사육 밀도가 높아짐

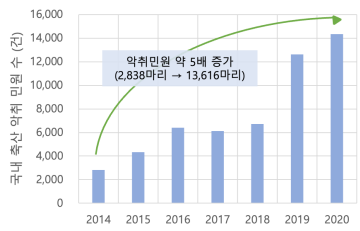
▣ **축산 악취 민원 증가**

- 국내 연간 발생하는 분뇨 3,366만m³ 중 53%가 양돈사업으로부터 생산됨
- 지속적인 민원 발생으로 국내 민원 중 35%가 축산 악취와 관련되어 있음

→ 축산 악취 농도를 정량화에 대한 연구 부족. 대기 확산 수치 해석 모델을 이용한 축산시설 악취 확산 모의 필요성 대두



[국내 양돈 사육두수 및 사육농가수]



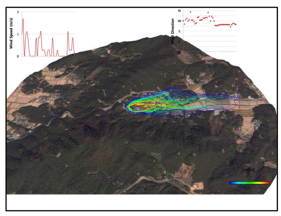
[국내 축산 악취 관련 민원수]

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

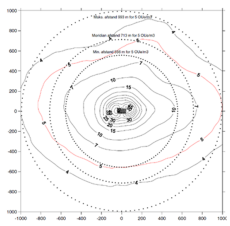
2) 축산 악취 : 국내 축산 복합 악취 관련 현안




[악취 농도 측정법 : 기기 분석법]



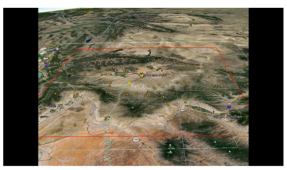
CFD 기반



V-STACK/OML




[악취 농도 측정법 : 공기 희석 관능법]



CALPUFF



AERMOD

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB

SEOUL NATIONAL UNIVERSITY

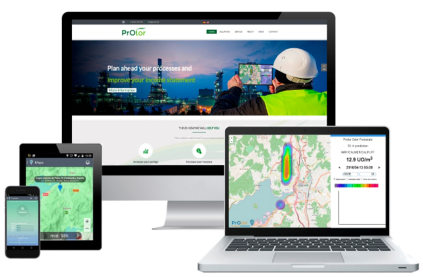
2) 축산 악취 : 대기 확산 모델을 이용한 복합 악취 확산 모니터링 시스템

▣ **수치해석 모델을 이용한 확산 모니터링 시스템 구축**

- 기상 예보 자료를 이용해 지역의 악취 확산 예측
- 웹 서비스 제공을 통해 악취 확산 시 발생할 수 있는 문제에 대한 선제적 조치 수행
- 악취 관련 민원, 법정 분쟁 발생 및 정책 설립을 위한 기초 자료로 활용



[웹 서비스 예시 : AWESOME (Italy)]



[웹 서비스 예시 : Prolor (Spain)]

A3EL :: Aero Environmental & Energy Engineering LAB