양돈 분뇨와 냄새 종합 관리



허 용 준 대표
(주)세티



환경적으로 지속 가능한가?

Ⅰ 축산환경 정책 및 규제
Ⅱ 분뇨와 냄새 종합 관리
Ⅲ 환경시설 에너지 효율화

환경 정책

지속 가능성

- **UN SDGs** Sustainable Development Goals (2000~2015 UN MDGs 후속 의제)
  - 전 세계 빈곤 문제 해결 및 지속 가능한 발전 실현을 위한 2016~2030 유엔과 국제사회의 달성 목표
  - 사회적 포용, 경제 성장, 지속 가능한 환경의 3대 분야 '인간 중심'의 가치 지향



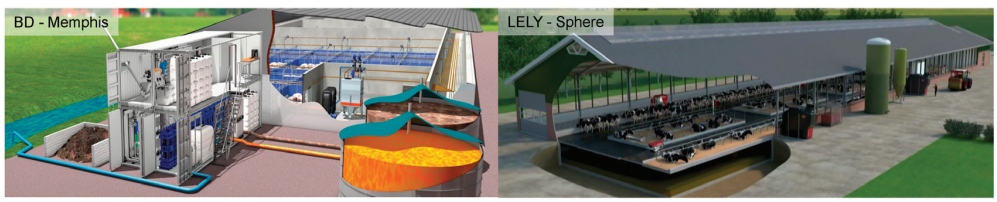
환경 정책

지속 가능성

▪ 국내 축산업의 흐름

- 친환경 생산 기술의 필요
- 사회적·환경적 책임을 위한 시설 투자 및 운영 관리

구분		1980년대	2000년대	2020년대
키워드		생존	고객 중심	지속 가능성
현상		규모화, 전업화 수익 증대	고품질(HACCP, 친환경) 동물복지	친환경 생산 기술 사회적·환경적 책임
생산의 3요소	토지	개방형·자연 환기	무창형·기계 환기	공장형·냉난방
	노동	인력·축력	기계화	자동화
	자본	최소 투자	건축 및 기초자재	시설 및 장비



환경 정책

지속 가능성

▪ 기후변화 대응 규제 강화

- 국제사회의 기후불황 대비 온실가스 저감 목표
- 환경 오염 방지 및 에너지 전환 규제 시행 가속화 – 탄소중립 사회 구현



환경 정책

규제 현황

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 탄소중립형 지속 가능한 발전 정책

생산주의에서 저탄소 농업으로의 농정 전환

정화	자원화	악취 저감
총유기탄소 방류기준 신설	**바이오가스촉진법 제정**	**악취방지시설 의무화**
• 2023. 1. 1 적용 • 방류 수질 관리 강화 • 난분해성 유기물 제거 공정 개선	• 2022. 12. 8. 제정, 2026. 1. 1 적용 • 양돈 2.5만두, 음식물 1,000톤/년 의무화 • 바이오가스 직간접 생산 및 실적 구입	• 2023. 6. 16 적용 • 악취방지법 축산업 적용 확대 • 양돈 무창축사, 악취 저감 장비·시설 확보
물 재이용 촉진	**양분 관리제 도입**	**악취방지 강화 적용**
• 지하수 등 축산용수 사용량 절감 • 중대규모 현장 정화시설 보급 의무 • 청소·세척·조경·친수유지·생산	• 오염총량제(TMDL) 관점 토양 관리 • 전자인계-시비 처방 기준 퇴·액비 환원 • 가축분퇴비 수출 지원(5만원/톤)	• 전 축종 방지 계획 의무화 • 비정형 악취 배출구 기준 용역 완료 • 대기환경보전법 부분 적용(처리시설)

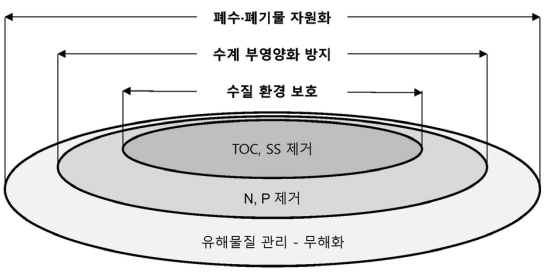
환경 정책

정책 대응

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 기술 기반의 축산환경 정책 견인

축산환경 규제 대응 패러다임 전환 "초고도 처리"



위해성 이내 관리

유해 물질 무해화

자원 회수 기술	고효율 집적화 기술
• 물 : 무방류 재이용 • 양분 : 고품질 비료화, 사료화 • 에너지 : 신재생 에너지화, 고효율 • 온실가스 : CO_2, CH_4, N_2O 저감	• 추가 처리 • 사용 가능한 최고·최적 기술 • 시설 축소 지향 • 2차 오염 방지

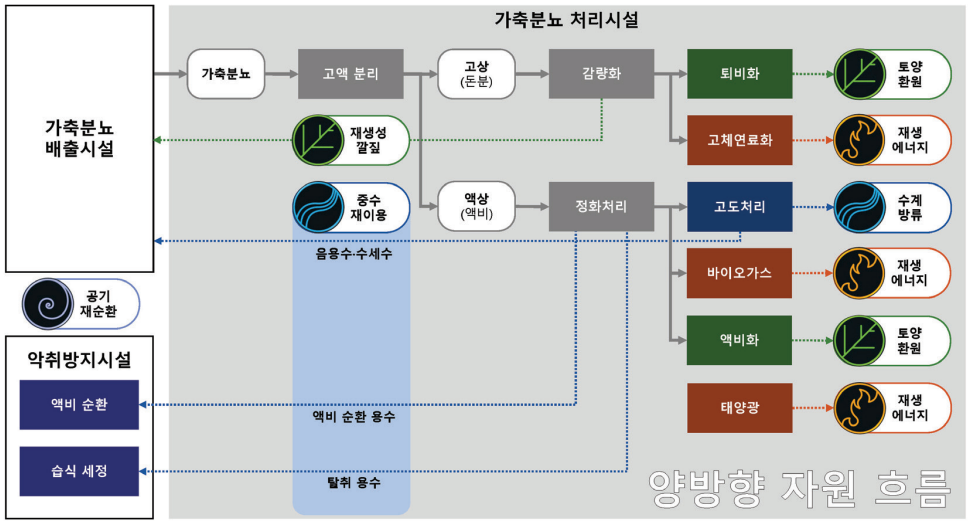
물 재이용 촉진	양분관리제 도입	악취방지 강화 적용
• 지하수 등 축산용수 사용량 절감 • 중대규모 현장 정화시설 보급 의무 • 청소·세척·조경·친수유지·생산	• 오염총량제(TMDL) 관점 토양 관리 • 전자인계-시비 처방 기준 퇴·액비 환원 • 가축분퇴비 수출 지원(5만원/톤)	• 전축종 방지 계획 의무화 • 비정형 악취 배출구 기준 용역 완료 • 대기환경보전법 부분 적용(처리시설)

환경 정책

축산 환경

▪ 축산환경 관리 모델

▪ 자원회수 기반 가축분뇨 및 축산악취 관리



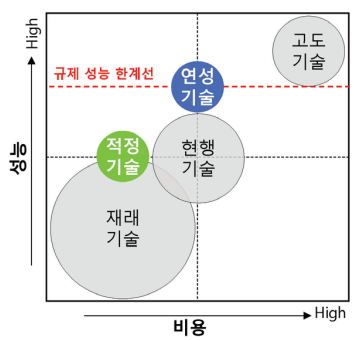
환경 정책

기술 방향

▪ 지속 가능한 축산을 위한 적정 환경기술 필요

연성기술(軟性技術)을 통한 지속적 환경 대응

사회적 평등	환경 친화	삶의 질

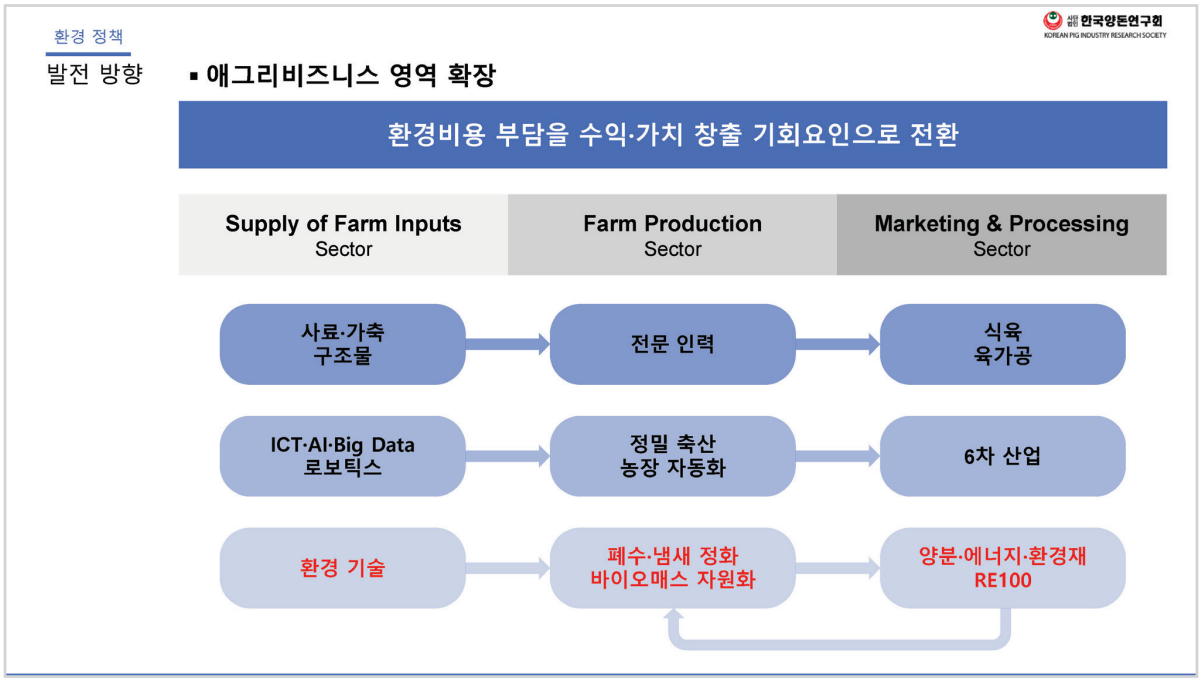


연성 기술 (현행 비용 – 성능 향상)

사회적으로 평등하고 환경에 우호적이며,
생활의 질을 향상하는 영향을 창조하는 적정 기술

적정 기술 (현행 성능 – 비용 절감)

해당 지역사회의 인프라 수준을 고려한 기술
주로 제3세계의 지역적 조건에 맞는 기술


환경 정책
발전 방향
한국양돈연구회
KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY
▪ 애그리비즈니스 영역 확장
환경비용 부담을 수익·가치 창출 기회요인으로 전환
Supply of Farm Inputs Sector
Farm Production Sector
Marketing & Processing Sector
사료·가축 구조물
전문 인력
식육 육가공
ICT·AI·Big Data 로보틱스
정밀 축산 농장 자동화
6차 산업
환경 기술
폐수·냄새 정화 바이오매스 자원화
양분·에너지·환경재 RE100


환경 스트레스가 없는가?
Ⅰ 축산환경 정책 및 규제
Ⅱ 분뇨와 냄새 종합 관리
Ⅲ 환경시설 에너지 효율화

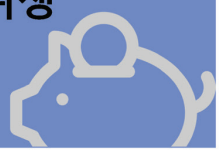
축산 환경

관리 전제

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

- 환경 스트레스와 안정성
  - 환경 규제와 민원에 의한 사회적·생태적 스트레스 심화
  - 환경 스트레스의 계속적 배제가 가능한 기반 구축

ENVIRONMENTAL	ECOLOGICAL
기후·공기질	수질·토양·대기 오염
영양·음수	냄새민원
방역·위생	기후변화





축산 환경

기본 원리

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

- 가정에서의 환경 관리
  - 주요 발생원 및 관리 방법









축산 환경

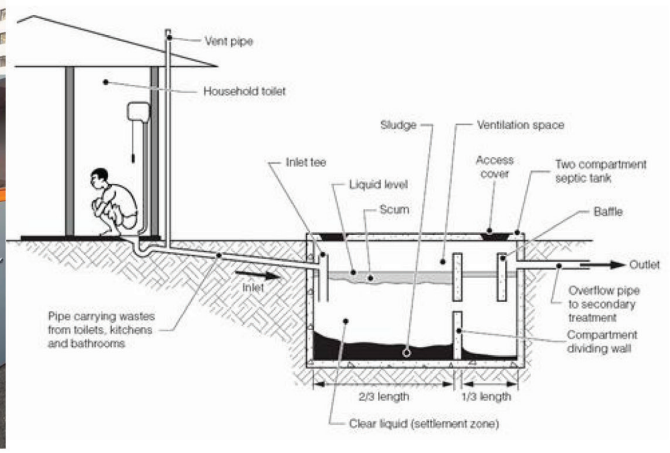
기본 원리

사단법인 한국양돈연구회
KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 가정에서의 환경 관리

▪ 관리 원리① – 발생원을 부패가 발생할 장소 또는 방지할 수 있는 장소로 배출





축산 환경

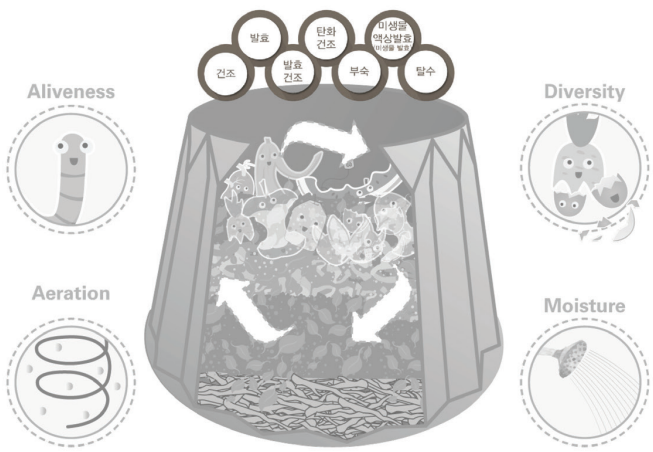
기본 원리

사단법인 한국양돈연구회
KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 가정에서의 환경 관리

▪ 관리 원리② – 발생원의 부패를 방지 또는 지연할 수 있는 조건 형성





축산 환경

환경 관리

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 냄새 발생 기작

▪ 냄새 민원의 주요 원인

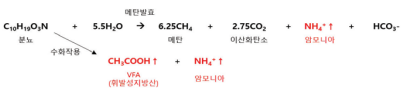
- 부패 산물의 장거리 이동 + 지표면 확산
- 휘발성지방산 (VFA) 및 황계열 화합물 생성
- 분자량↑, 악취강도↑

※ 공기의 평균 분자량: 28.84 g/mol

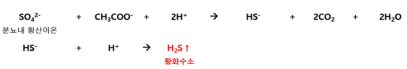
물 질 명	화 학 식	냄새의 특징	허용기준(ppm)	
			공업지역	기타지역
암모니아	NH_3	오줌과 같은 자극적 냄새	2	1
황화수소	H_2S	썩은 달걀 냄새	0.06	0.02
메틸메르캅탄	CH_3SH	마늘냄새, 썩은 양배추 냄새	0.004	0.002
다이메틸설파이드	$(CH_3)_2S$	썩은 양배추 냄새 부패된 불쾌한 냄새	0.05	0.01
다이메틸다이설파이드	CH_3SSCH_3		0.03	0.009
아세트알데하이드	CH_3CHO	자극적인 비린내 냄새	0.1	0.05
프로피온알데하이드	CH_3CH_2CHO	자극적인 쓰고 탄 냄새	0.1	0.05
뷰티르알데하이드	$CH_3CH_2CH_2CHO$		0.1	0.029
n-발레르알데하이드	$(CH_3)(CH_2)_3CHO$	익어서 나는 시고 탄 냄새 썩은 사과 냄새	0.02	0.009
i-발레르알데하이드	$(CH_3)_2CHCH_2CHO$		0.006	0.003

▪ 혐기성 냄새 원인물질 발생 기작 및 누적 냄새 지수(Cumulative Odor Index)

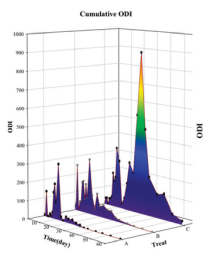
- 혐기성 박테리아



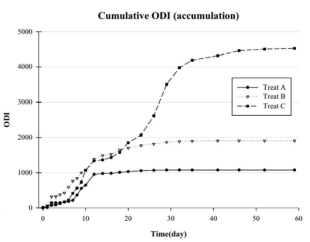
- 황환원 박테리아



- 호기 발효 대비 4배 기간, 4.5배 냄새 발생



<Figure 33> Variations of The Cumulative Odor Index



<Figure 34> Variations of The Cumulative Odor Index(Accumulation)

축산 환경

환경 관리

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 냄새 발생 원인 및 정도

▪ 냄새가 발생하는 원인과 장소

축사 내부	축사 외부	분뇨처리시설
과밀 사육으로 인한 문제		
분뇨의 혐기 상태	아무런 장치 없는 배기구	분뇨의 단순 퇴적
사료 찌꺼기와 분진	축사의 개방 면 노출	간헐적 폭기/교반(가끔)
가축의 털과 비듬	가축 이동통로 관리 소홀	악취 저감 시설의 미숙한 운용
내부 유기물의 부패	분뇨 이송라인 노출	퇴비사, 액비조 개방 면
높은 습도		

※ 축산환경관리원, 축산악취 관리 실용사례집, 2017

▪ 축종별 주요 냄새원인물질 순위

구분		냄새 기여 물질 순위(냄새 세기)		
		1순위	2순위	3순위
소	한·육우	NH_3 (2.8)	H_2S (2.8)	CH_3N, $(CH_3)_2N$ (2.0)
	젖소	NH_3 (3.0)	H_2S (2.4)	CH_3N, $(CH_3)_2N$ (2.0)
닭	산란계	NH_3 (4.0)	$(CH_3)_2S$ (2.8)	H_2S (2.3)
	육계	NH_3 (4.1)	$(CH_3)SH$ (3.6)	$(CH_3)_2S$ (2.5)
돼지	자돈사	**NH_3 (3.7)**	**$(CH_3)SH$ (3.6)**	**H_2S (3.1)**
	분만 돈사	**$(CH_3)SH$ (3.5)**	**NH_3 (3.2)**	**H_2S (3.1)**
	모돈사	**H_2S (3.7)**	**$(CH_3)SH$ (3.5)**	**NH_3 (3.4)**
	비육 돈사	**H_2S (4.1)**	**NH_3 (3.7)**	**$(CH_3)SH$ (3.5)**

※ 환경부, 우사-양계사 등에서 발생되는 악취배출 특성조사 및 저감방안 연구, 2004

축산 환경

환경 관리

사단법인 한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 농장에서의 환경 관리

- **관리 원리① – 발생원을 부패가 발생할 장소 또는 방지할 수 있는 장소로 배출**
- **관리 원리② – 발생원의 부패를 방지 또는 지연할 수 있는 조건 형성**

축산법 시행령·규칙 개정

냄새 물질 저감 장비·시설 구비

- 액비 순환, 공기정화, 음수 성분 조절 등의 장비 시설 중 한 가지를 갖출 것
- 기존 축산업 허가 등록자 외 신규 허가자에게도 적용
- 적용 시기 : '22. 6. 16.(신규), '23. 6. 16.(기존)

임시분뇨 보관시설(PIT) 관리

- 분뇨 높이는 80cm를 초과하지 않도록 함
  * 100cm 초과 시는 80%까지 적체(액비 순환 설치 시 제외)
- 연 1회 이상 피트 전체를 비우고 청소
- 적용 시기 : '23. 6. 16.(신규)

양돈 사육 시설 밀폐형 구조 설치

- 자연 환기나 벽이 개폐되지 않는 구조로 설치
- 신규로 축산업 허가를 받으려는 자에게만 적용
- 적용 시기 : '23. 6. 16.(신규)

퇴비화 시설 내 축분 수분 함량 75% 이하 관리

- 퇴비화 시설 자원화 중 악취 저감 의무
- 축분이 퇴비화시설 밖으로 흘러 넘치지 않도록 관리
- 적용 시기 : '22. 6. 16.(신규, 기존)

축산 환경

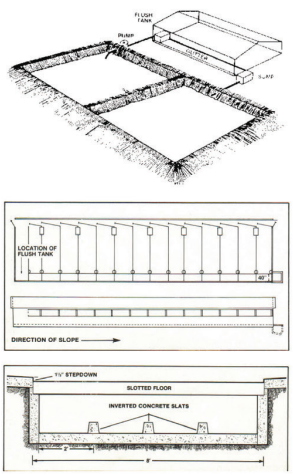
액비 순환

사단법인 한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 액비 순환의 정의

부숙(腐熟)된 액비(液肥)를 임시분뇨 보관시설에 있는 분뇨와 교체・순환시키는 방법으로 냄새 물질의 발생을 저감시키는 장비 또는 시설





※ Pork Industry Handbook, Michigan State University, 1979

축산 환경

액비 순환

사단법인 한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ **액비 순환 사례①**

Tipping Bucket



축산 환경

액비 순환

사단법인 한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ **액비 순환 사례②**

화학적 처리 기반 재순환식 액비 순환



※ JH AGRO

축산 환경

액비 순환

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 액비 순환 사례③

생물학적 처리 기반 수세식 액비 순환



※ OHIO DAIRY FARMERS

축산 환경

액비 순환

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 액비 순환 기술 연구 – 고형물 거동 비교

- 재순환식 : 연속적인 부숙 액비 주입과 슬러리 배출 순환, 유속↓· 유량↑
- 수 세 식 : 주기적인 부숙 액비 주입을 통한 슬러리 교체, 유속↑· 유량↓



축산 환경

액비 순환

재단법인 한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 액비 순환 기술 연구 – 침전물 잔류량 비교

- 재순환식 : 연속적인 부숙 액비 주입과 슬러리 배출 순환, 유속↓· 유량↑
- 수 세 식 : 주기적인 부숙 액비 주입을 통한 슬러리 교체, 유속↑· 유량↓



축산 환경

액비 순환

재단법인 한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 수세식 액비 순환 현장 적용

- 피트 폭 1,850mm, 길이 10,200mm, 유효 수심 20mm
- 설계 유속 50cm/s, 유량 500L/회



축산 환경

액비 순환

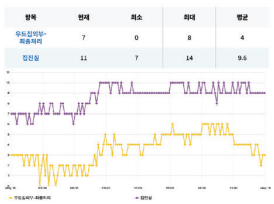
한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 수세식 액비 순환 현장 적용

- ▪ 돈사 내부 냄새 저감 · 공기정화 용량 감소
- ▪ 가축분뇨 정화방류 · 에너지화 효율 개선



[공기정화실 전·후 암모니아 농도]





[바이오필터]

[바이오가스 생산성 비교]

구분	CH_4함량 (%)	원단위 발생량 ($Nm^3CH_4/kgVS$)
슬러리 (A)	69.03	0.186
수세식 (B)	59.90	0.327
B/A	87%	176%

축산 환경

방지 시설

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

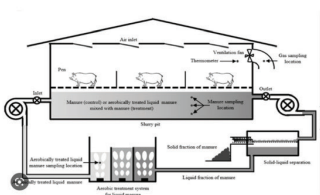
▪ 축산법 시행령·시행규칙 개정안 중 인정하는 악취 저감 장비·시설

① 부숙된 액비를 분뇨 보관시설에 있는 분뇨와 교체·순환시키는 방법
- 액비 순환 시설

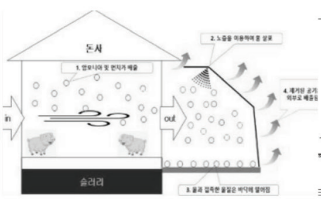
② 악취물질을 연소·흡수·흡착·응축·세정·산화·환원·분해하는 방법
- 바이오커튼(차양막+안개 분무), 공기정화실(스크러버 등)

③ 음수의 성분을 변화시키는 방법으로 분뇨에서 나오는 악취물질 발생을 저감
- 음수 투약 장치, OH 라디칼 생성 장치, 차아염소산수 제조 장치 등

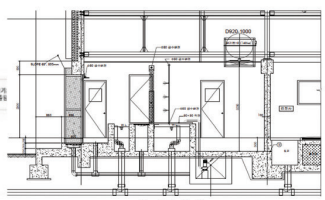
④ 그 밖에 적합성 인증을 받은 녹색기술 등 악취물질 발생을 저감시키는 시설



[액비 순환시스템]



[바이오커튼]



[공기정화실]

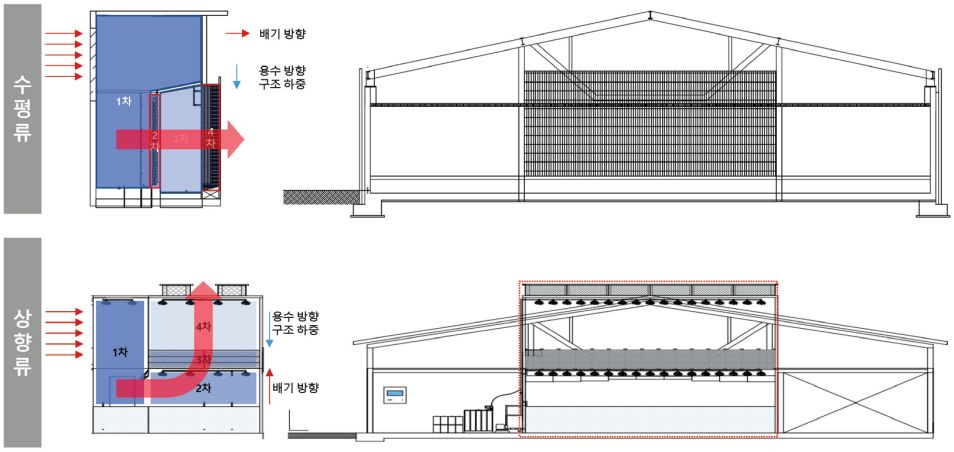
축산 환경

공기 정화

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 공기정화실 설계

- 원리 : 악취 물질의 연소·흡수·흡착·응축·세정·산화·환원·분해
- 유체 : 수평류, 상향류
- 인자 : 체류시간, 액기비, 탈취 용수량, 전력량, 약품량 등



축산 환경

공기 정화

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 공기정화실 설계 사례① – 수평류형 습식 스크러버



축산 환경

공기 정화

▪ 공기정화실 설계 사례② – 상향류형 습식 스크러버



축산 환경

공간 차단

▪ 가축분뇨 처리시설 밀폐 사례



[고액분리실]



[생물반응조]

축산 환경

공간 차단

사단법인 한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 집수조 바이오커튼 적용 사례



축산 환경

종합 관리

사단법인 한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 냄새 저감 시나리오 구성

▪ 발생원·배출원 종합 악취 관리 계획 수립

발생원 = 가축분뇨(사료+물+가축+사육환경+사양기술)

적정 단백	+	고효율	+	가공 사료
N, S 감량(농도 요인)		소화·흡수 향상(부피 요인)		분진·Carrier 감소(이동성 요인)
냄새 발생원 부하 저감				장거리 이동 방지

배출원 = 축산시설(발생원+냄새 원인물질 발생 공간)

공간 차단	+	발현 억제	+	냄새 제거
차폐·밀폐		호기 발효		공기 정화
무창 축사		수세·건조·미생물 제제		흡수(집진, 세정)
커튼(윈치, 차양 등)		피트(低저류, 頻배출, 액비 순환 공정)		산화·환원
가축분뇨 처리시설 차폐		퇴비(고액분리, 수분조절, 통풍, 교반)		미생물·촉매반응
퇴비 덮개·액비 주입		액비(호기 액비화, 정화 방류, 재이용)		흡착·응축·연소

환경비용은 적절한가?

Ⅰ 축산환경 정책 및 규제
Ⅱ 분뇨와 냄새 종합 관리
Ⅲ 환경시설 에너지 효율화

기술 동향

환경 비용

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ **환경비용의 구성**

- ▪ 초기 투자비 : 시설, 장비 등의 구축 비용
- ▪ 운영 관리비 : 시설 운영 및 유지보수 소요 비용

가축분뇨 처리시설 · 냄새방지시설					
초기투자비	시설 구축비	장비 구매비	자재·용역비	설계·감리비	
운영관리비	인건비	전력비	약품비	수선비	슬러지 처리비

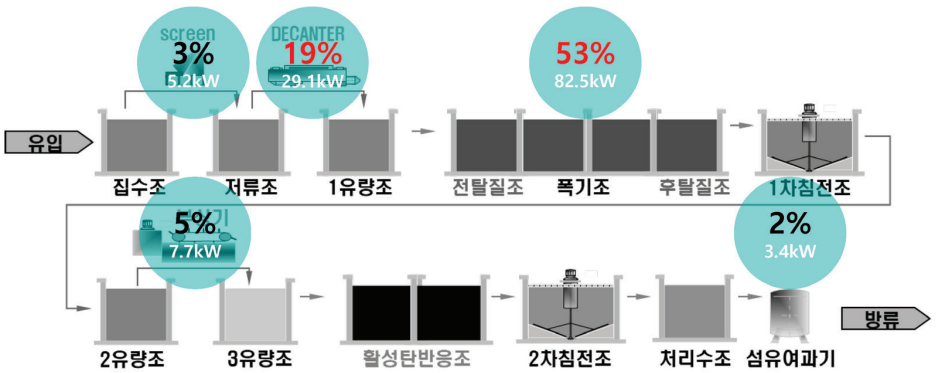
기술 동향

효율 개선

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 정화시설 구성 및 주요 고전력 설비

- ▪ 전처리(이화학적 처리) : 원심분리기
- ▪ 주처리(생물학적 처리) : 브로워
- ▪ 후처리(이화학적 처리) : 가압부상기, 여과기(PCF, NF, RO)



기술 동향

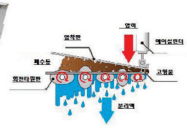
효율 개선

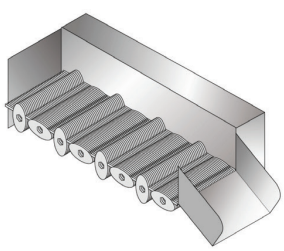
한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

▪ 이화학적 처리 부문 – 탈수기 효율 개선

- ▪ 슬리트 탈수기 교체를 통한 전력효율 개선
  - 원심분리기 대비 80% 전력 절감 효과
  - 벨트프레스 대비 60% 전력 절감 효과
  - 슬러지 처리비 및 용수비 절감 가능







구분	다중타원판식	벨트프레스식	스크류프레스식	원심분리식
동력 100kg-DS/hr (10㎥/hr) 기준	매우 낮음 1.5 kW	중간 5.5~7.5 kW	낮음 3.75~5.5 kW	높음 15~22 kW
슬러지 회수율 (응집불량 경우)	양호	매우 불량	불량	불량
탈수케익 함수율 (응집불량 경우)	양호 78~80 %	매우 불량 82~84 %	불량 82~84 %	불량 82~84 %
세척수 사용	불필요	다량 사용	사용	사용 (운전 정지 후)
농축기 유무	불필요	저농도 필요	저농도 필요	저농도 필요
스크린 폐색	없음	높음	중간 (비정상 운영 시)	-
연간 보수 비용	50만원	300만원	200만원	500만원
설치 면적 (상대 비율)	1.0	2.0	1.5	1.0

기술 동향

효율 개선

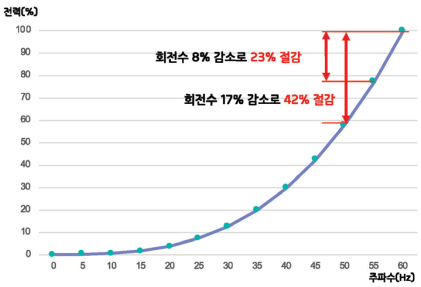
▪ 생물학적 처리 부문 – 브로워 효율 개선

▪ 루츠브로워 인버터 설치를 통한 송풍량 제어

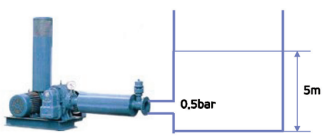
- 과설계 구간 폐기 송풍량 저감 : 바이패스 송풍량
- 수위 변동에 따른 송풍량 조절 : 전처리 수조 + 포기 교반
- 헤르츠 감소에 따른 송풍량 및 풍압 저감 고려 : 수위(0.1bar당 1m), 용존산소량(DO, NO_3-N/NH_4-N)

· 인버터 적용 근거(37kW, 22kW, 7.7kW - 총 66.7kW)
- 적정 토출압력 0.5 bar, 예상 허실 압력 0.1~0.2 bar
- 조절 가능 헤르츠 범위 50~55 Hz

· 인버터 조절 가능 출력 범위(유량) 8~17%
- 허실 압력 0.1 bar : 최대 8% 조절 (23% 에너지 절감)
- 허실 압력 0.2 bar : 최대 17% 조절 (42% 에너지 절감)







[인버터 운영 효과(2024. 4. 12. ~ 10. 31.)]

구분	2022년(A)	2023년(B)	A-B	감소율(%)
전력량 (kW)	179,280	126,720	52,560	29%
전기요금 (천원)	33,011	23,300	9,711	29%

기술 동향

효율 개선

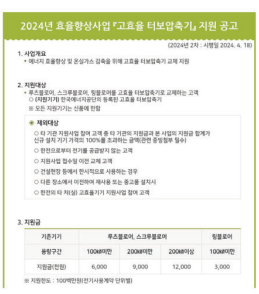
▪ 생물학적 처리 부문 – 브로워 효율 개선

▪ 터보브로워 교체를 통한 전력효율 개선

- 루츠브로워 대비 30% 전력 절감 효과
- 루츠브로워 대비 20dB 저소음
- 한국에너지공단 효율 향상 사업 보조 활용 가능



구분	터보브로워	루츠브로워	링브로워
유량 (m^3/min)	~700	~300	~20
토출 압력 (kgf/cm^2)	~1.0	~1.2	~0.5
효율	고	중	저
초기비용	고	저	저
유지비용	저	고	중
소음 (dB)	60~80	90~110	80~100



기술 동향

한국양돈연구회 KOREAN PIG INDUSTRY RESEARCH SOCIETY

효율 개선

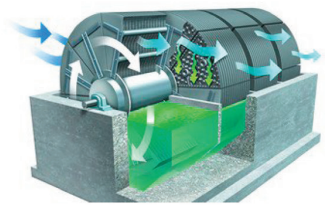
▪ 생물학적 처리 부문 – 회전형 생물 접촉 기술

▪ 고농도 미생물 접촉을 통한 오염물질 저감 효과 개선

- 최대 유기물 70%, 질소 40%, 인 30% 저감 기술
- 브로워 가동 용량 최대 40% 절감 가능
- 잉여슬러지 발생량 최대 30% 절감 가능

- 고농도 바실러스 접촉에 의한 생물학적 오염물 분해
- 저동력 구조 설비
  - 연속식 수조 내 침지율 40% 회전 원판 구동
  - 3~8rpm 저속 회전에 의한 산소 공급(폭기량 절감)
- 포자형성균 우점화
  - PVDF 재질 미생물 부착성 섬유체
  - 섬유체 표면 : 호기성 조건 구현
  - 섬유체 내부 : 무산소·혐기성 조건 구현





구분	회전형 생물 접촉	A2O공법	활성오니법
미생물	우점화 바실러스균	혐기성균 호기성균 질산화균	호기성균
제거율 (%)	BOD: 96% 이상 TN: 80~95% TP: 75~90%	BOD: 90% 이상 TN: 60~75% TP: 50~70%	BOD: 90% 이상 TN: 20~30% TP: 10~20%
질소 제거	NH_4^+-N 직접 이용 산화	독립성 질산화 종속 영양성 탈질	독립성 질산화 종속 영양성 탈질
전력 수요	1.0	1.3	1.5

