

축산 악취방지기술의 적정성

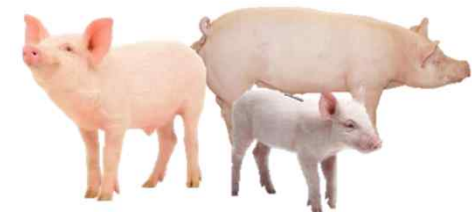


2019. 04. 03.



동물자원학과 환경학실험실

박사과정 조영덕



발표순서



I. 약취 란 무엇인가?

II. 약취저감기술

III. 현장 적용사례 및 대안

IV. 질의 질문



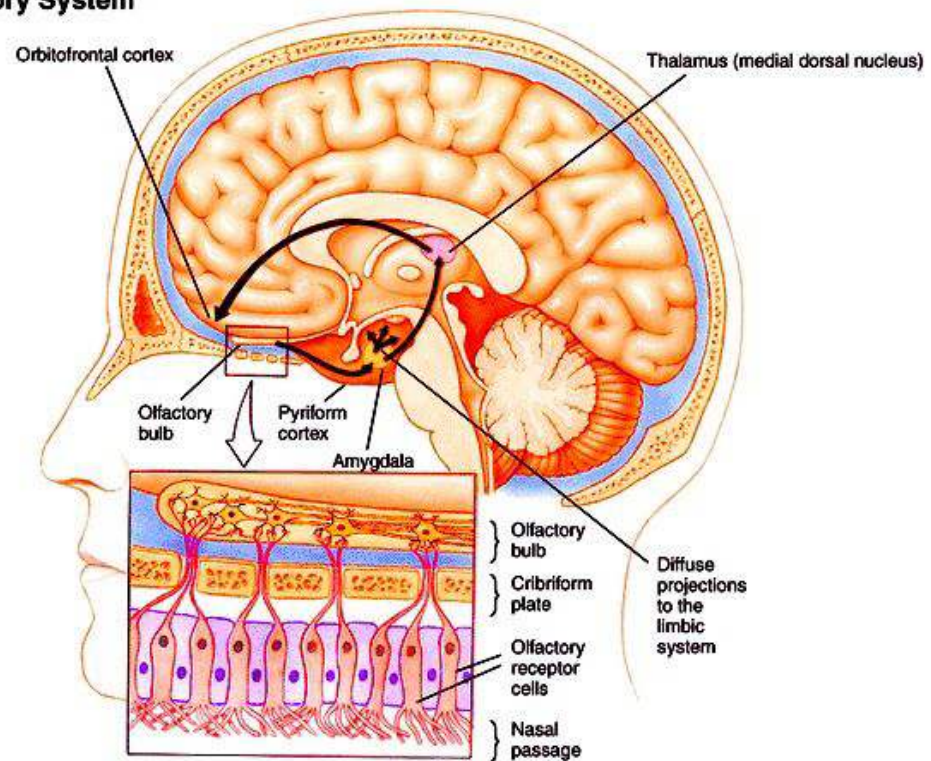
1. 악취란 무엇인가?

1. 악취란 무엇인가?

1. 악취는 **감각공해**이다!!
2. 악취 유발물질은 매우 **다양하다**!!
3. 악취는 **향기**가 될 수도 있다!!



▶ Olfactory System



1. 악취란 무엇인가?



➤ 악취의 정의

- ✓ "**악취**"란 황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 그 밖에 자극성이 있는 **기체상태**의 물질이 사람의 후각을 자극하여 **불쾌감**과 **혐오감**을 주는 냄새를 말한다.
- ✓ "**복합악취**"란 **두가지 이상**의 **악취** 물질이 함께 작용하여 사람의 후각을 자극하여 **불쾌감**과 **혐오감**을 주는 냄새를 말한다.

- 악취방지법 상의 정의 -

- ✓ "**축산시설**" ~ 사육시설 면적이 **돼지 50m²**, 소 말 100m², 닭 오리 양 150 m², 사슴 500m², 개 60m² 그 밖의 가축은 500m² 이상인 시설
- ✓ "**비고**" ~ 해당 시설에서 **밀폐** 등으로 악취가 대기 중으로 전혀 배출되지 않는 시설은 제외한다.

- 악취방지법 시행규칙 [별표2] 악취배출시설 종류-

2. 축산시설 악취 측정



➤ 현행 악취공정시험기준

- ✓ "공기회석관능법"란 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 복합악취물질을 측정하기 위한 방법을 규정, 복합악취의 측정은 공기회석관능법을 원칙으로 한다.
- ✓ 축산 시설의 경우 측정방법은 따로 기술되어 있지 않으나 현행법상 부지경계선에서 측정을 하고 악취 발생이 있는 농장을 기점으로 기상여건에 따라서 측정한다.
- ✓ 별도의 악취방지시설이 있는 경우 배출구에서 측정한다. (신고대상시설)
- ✓ 축산 시설의 경우 대부분 배출구가 없으므로 부지경계선 상에서 측정한다.

- 악취공정시험기준-

3. 축산시설 악취 측정결과 활용



➤ 악취 강도와 희석배수의 관계

악취강도	악취강도 구분	내 용	목표악취강도
0	무취 (None)	평상시에 감지하지 못함	악취강도 희석배수 2.5 → 10~30 3.0 → 16~60 3.5 → 25~120
1	감지 취기 (Threshold)	최소 감지 농도	
2	보통 취기 (Moderate)	최소 인지 농도	
3	강한 취기 (Strong)	병원의 크레졸 냄새 수준	
4	극심한 취기 (Very strong)	재래식 화장실 냄새 수준	
5	참기 힘든 취기 (Over strong)	숨을 쉴 수 없을 정도의 수준	

※ 악취관련 집단 민원은 악취강도 3 이상에서 발생

4. 축산 악취 민원발생 추세



➤ 축산시설 악취배출시설 전체 민원 40% 수준

구분	총계		규제대상 악취배출 사업장								규모미만 악취배출 사업장					
			계	신고대상시설				신고대상외시설		계	악취관리지역 내		악취관리지역 외			
				악취관리지역 내		악취관리지역 외		악취관리지역외			악취관리지역 내		악취관리지역 외			
	민원 건수	피민원업 소수	민원 건수	피민원업 소수	민원 건수	피민원 업소수	민원 건수	피민원업 소수	민원 건수	피민원업 소수	민원 건수	피민원업 소수	민원 건수	피민원업 소수	민원 건수	피민원업 소수
계	10,894	5,100	9,162	4,063	1,354	254	194	14	7,614	3,795	1,732	1,037	9	8	1,723	1,029
축산시설	4,323	2,557	3,626	2,077	0	0	0	0	3,626	2,077	697	480	0	0	697	480
폐기물 보관·처리시설	948	381	804	341	121	41	7	3	676	297	144	40	0	0	144	40
조립금속제품·기계· 기기·장비·운송장비 ·가구 및 그 밖의 제품 등의 표면처리시설	731	355	652	286	94	53	0	0	558	233	79	69	3	3	76	66
그 밖의 시설	500	364	317	209	22	21	0	0	295	188	183	155	2	1	181	154
금속의 용융·제련시설	450	129	439	123	255	34	0	0	184	89	11	6	0	0	11	6
합성고무 및 플라스틱물질 제조시설	449	198	370	164	9	7	0	0	361	157	79	34	2	2	77	32
고무 및 고무제품 제조시설	426	55	371	29	203	2	101	1	67	26	55	26	0	0	55	26
비료 및 질소화합물 제조시설	351	94	299	82	1	1	46	6	252	75	52	12	0	0	52	12
사료 제조시설	327	49	274	37	22	1	21	1	231	35	53	12	0	0	53	12
석유정제품 제조시설	269	17	263	15	232	2	0	0	31	13	6	2	0	0	6	2
그 외 시설	2,373	1,206	1,840	861	414	110	19	3	1,407	748	533	345	4	3	529	342

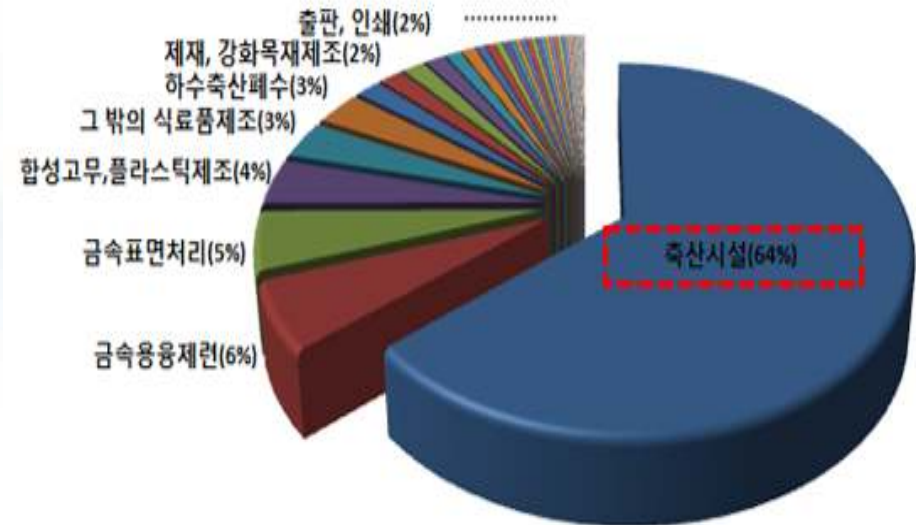
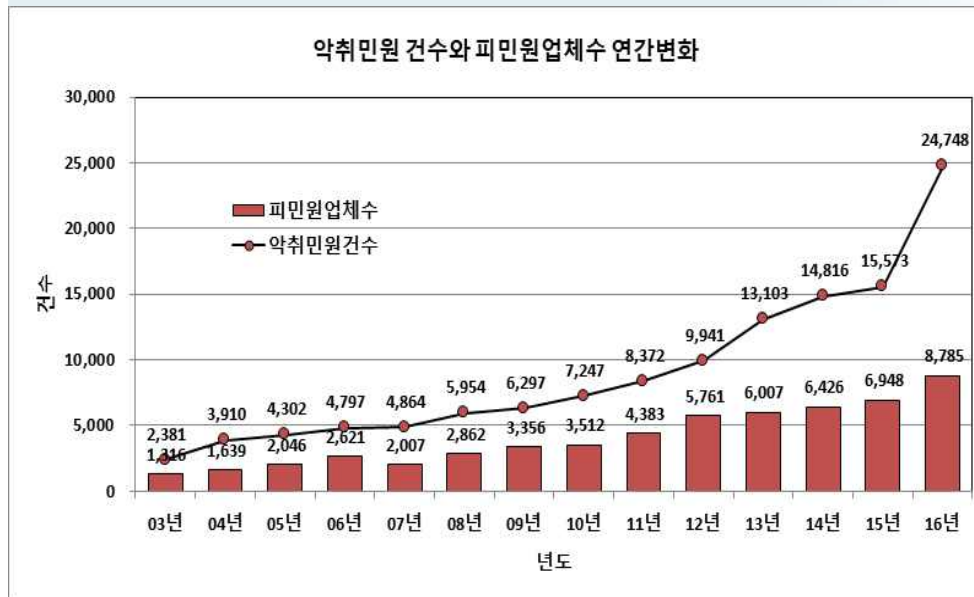
자료 : 환경부(2016) 2015년 악취민원 실태조사

4. 축산 악취 민원발생 추세



➤ 국내 악취민원 발생현황 주시

- ❖ 최근 10년간 악취민원건수 **약 64%**로 매년 증가하는 추세로 사회적 이슈
- ❖ 악취배출시설[44개 업종]에 의한 지속적인 악취 민원 증가추세



출처 : 환경통계포털[환경부 2016]

➤ 축산 농가별 민원현황 파악

- 축산농가 현실을 반영한 악취실태조사와 대처방안 필요
- 현재 악취 물질 분석 활발 및 DB구축 필요
- 국내 현실에 맞는 적정 악취 저감 방안 도입 필요



II. 악취저감기술

1. 악취저감기술 도입



➤ 악취 저감 방안 Process



1. 악취저감기술 도입



➤ Case별 악취저감방안 도입(양돈의 경우)



농장형태



창문형태



돈사내부



환기시스템



출입로



바닥형태



분뇨 저장



고액분리



저류조



퇴비장



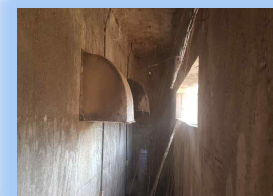
액비저장



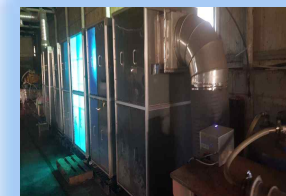
고속발효



바이오커튼



터널식 세정

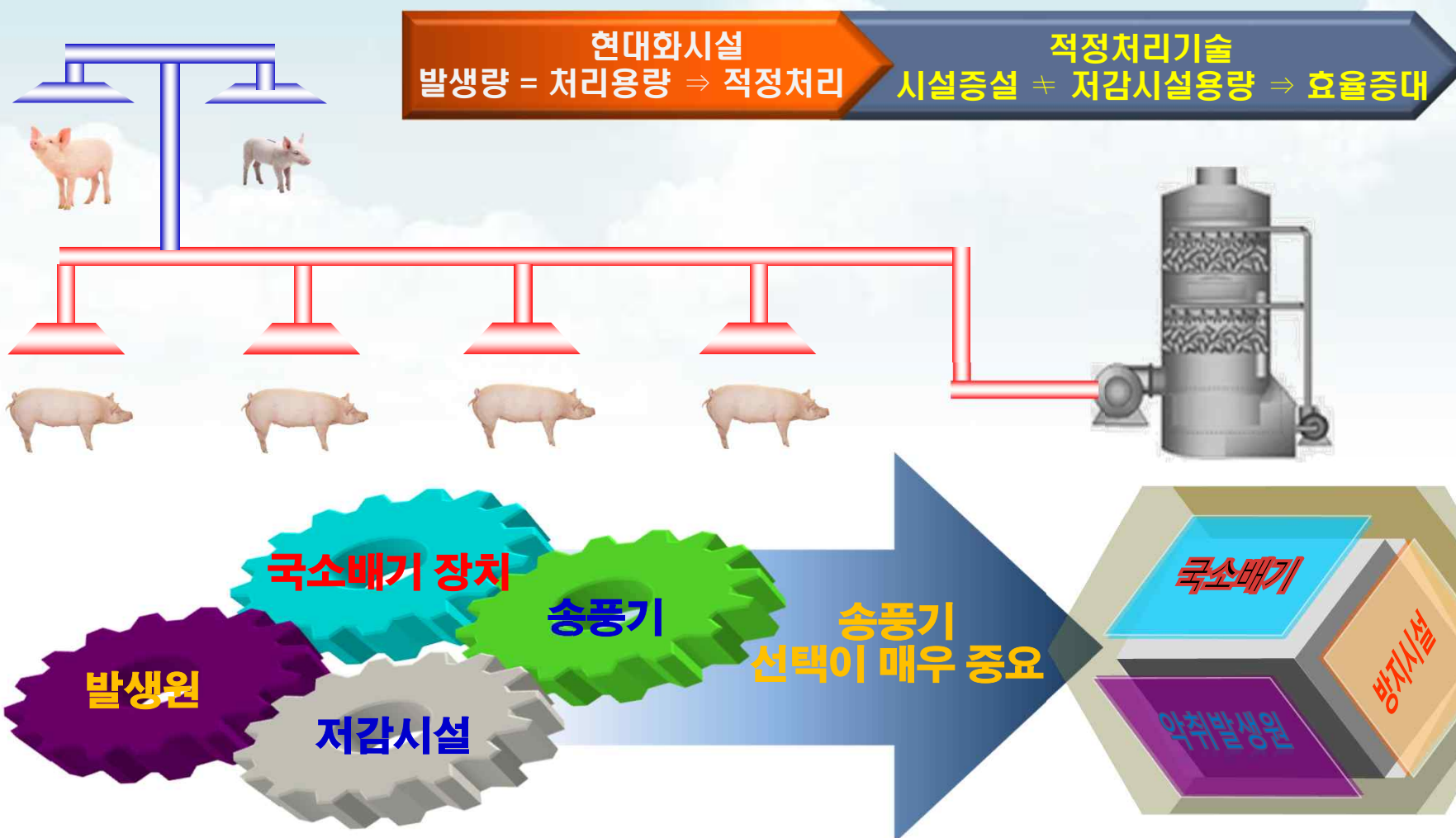


저감시설

1. 악취저감기술 도입



➤ 축사에 맞는 적정처리기술 도입



2. 축산 주요악취물질



➤ 악취물질 검출사례 1

구분	단위	소		닭		돼지			
		한·육우	젖소	산란계	육계	자돈사	분만돈사	모돈사	비육돈사
NH ₃	ppm	1.8	2.4	9.5	15.0	6.6	3.1	4.0	6.6
H ₂ S	ppb	36.5	14.9	13.0	11.7	68.2	84.7	362.3	857.7
(CH ₃)SH	ppb	4.9	0.0	-	11.9	11.6	9.8	9.9	10.2
(CH ₃) ₂ S	ppb	1.2	1.2	17.7	8.1	4.1	2.6	2.9	3.4
(CH ₃) ₂ S ₂	ppb	1.1	1.0	-	-	2.3	2.2	2.2	2.1
CH ₃ N	ppb	8.9	9.9	8.6	8.9	-	-	-	-
(CH ₃) ₂ N, (CH ₃) ₃ N	ppb	19.6	22.1	438	43.0	-	-	-	-
부틸산	ppt	17.4	-	-	-	-	-	-	-
발레르산	ppt	0.0	-	-	12.2	-	-	-	-
이소발레르산	ppt	38.7	-	-	-	-	-	-	-

구분		악취 기여 물질 순위(냄새 세기)		
		1순위	2순위	3순위
소	한·육우	NH ₃ (2.8)	H ₂ S (2.8)	CH ₃ N, (CH ₃) ₂ N (2.0)
	젖소	NH ₃ (3.0)	H ₂ S (2.4)	CH ₃ N, (CH ₃) ₂ N (2.0)
닭	산란계	NH ₃ (4.0)	(CH ₃) ₂ S (2.8)	H ₂ S (2.3)
	육계	NH ₃ (4.1)	(CH ₃)SH (3.6)	(CH ₃) ₂ S (2.5)
돼지	자돈사	NH ₃ (3.7)	(CH ₃)SH (3.6)	H ₂ S (3.1)
	분만돈사	(CH ₃)SH (3.5)	NH ₃ (3.2)	H ₂ S (3.1)
	모돈사	H ₂ S (3.7)	(CH ₃)SH (3.5)	NH ₃ (3.4)
	비육돈사	H ₂ S (4.1)	NH ₃ (3.7)	(CH ₃)SH (3.5)

2. 축산 주요악취물질



➤ 악취물질 검출사례 2

Odor groups	Compounds	지정악취 물질	Brewer and Keith (2004)	Kai and Schöfer (2004)	Trabue et al (2011)	농림축산식품부 보고서(2014) ¹⁾	A	추가물질 검토여부
			Swine Manure	Pig house odour	Animal housing and manure holding tanks	Pig facility	Pig facility	
Volatile fatty acid	Propionic acid	●	●	●	●	●	●	
	n-Butyric acid	●	●	●	●	●	●	
	Isovaleric acid	●	●		●	●	●	
	n-Valeric acid	●	●		●	●	●	
	Acetic acid	×	●		●	●	●	
	Iso butyric acid	×	●	●	●	●	●	중요
	Iso caproic acid	×					●	
	Hexanoic acid	×	●		●		●	
	Hydrocinnamic acid	×					●	
	Lauric acid	×					●	
Phenols / Indoles	Heptanoic acid	×			●			
	Octanoic acid	×		●				
	Pyridine	×					●	
	Phenol	×	●		●	●	●	
	o-Cresol (2-Methyl phenol)	×					●	
	m-Cresol (3-Methyl phenol)	×					●	
	p-Cresol (4-Methyl phenol)	×	●	●	●	●	●	중요
	2-Methoxy phenol	×					●	
	2,6-Dimethyl phenol	×					●	
	2,4-Dimethyl phenol	×					●	
	4-Ethyl phenol	×	●		●		●	
	3,4-Dimethyl phenol	×					●	
	2,5-Dichloro phenol	×					●	
	p-Methoxy phenol	×					●	
	Indole	×	●	●	●	●	●	중요
	Skatole (3-methylindole)	×	●	●	●	●	●	중요

1) 자료 : 농림축산식품부 (2014) 돈사 및 가축분뇨자원화시설의 악취물질별 악취기여도 평가

2. 축산 주요악취물질



➤ 시설별 최소감지농도 초과 수준의 악취물질 검출빈도(%)

	80 % 이상
	60 % 이상
	40 % 이상
	40 % 미만

분석항목		최소감지 농도(ppb)	부지경계 (n=12)	육성사 (n=6)	비육사 (n=11)	퇴비장 (n=10)	노처리장 (n=4)	방지사설 (n=3)
질소화합물	암모니아	150	100	100	100	100	100	100
	트리메틸아민	0.032	58	100	100	100	100	67
황화합물	황화수소	0.41	33	100	91	70	50	67
	메틸머캅탄	0.07	33	100	91	70	50	100
	황화메틸	3.0			18	40	50	67
	이황화메틸	2.2	8	17	18	50	25	67
악취성 VOCs	스타이렌 포함 7종	-						
알데히드류	아세트알데하이드	1.5	92	83	100	100	100	100
	아세톤	42,000						
	아크롤레인	3.6	58	67	91	70	100	100
	프로피온알데하이드	1	25	33	64	50	50	100
	뷰티르알데하이드	0.67	92	100	100	90	100	100
	벤즈알데하이드	50.0	8					
	i-발레르알데하이드	0.1	33	33	55	60		100
유기산	n-발레르알데하이드	0.41						33
	아세트산	6.0						
	프로피온산(지정)	5.7						
	i-뷰틸산	1.5	8		27	20		
	n-뷰틸산(지정)	0.19	92	83	100	100	100	67
	i-발레르산(지정)	0.078	83	83	100	100	75	33
	n-발레르산(지정)	0.037	58	83	91	70	75	33
	이소카프로산	0.4	8		9	20	25	
Phenols/ Indoles	n-헥사노익산	0.6	42	50	46	50	50	33
	페놀	5.6		17	18			
	o-크레졸	0.28		17				
	m-크레졸	0.1		83	91	90	50	
	p-크레졸	0.054		83	91	80	75	
	인돌	0.3		33	18			
	스카톨	0.0056		33	9	10		
	피리딘	63.0						
	그 외 7종 페놀류 불 검출됨	-						

※ 최소감지농도 : Nagata(2003)

3. 악취 물질 별 저감기술



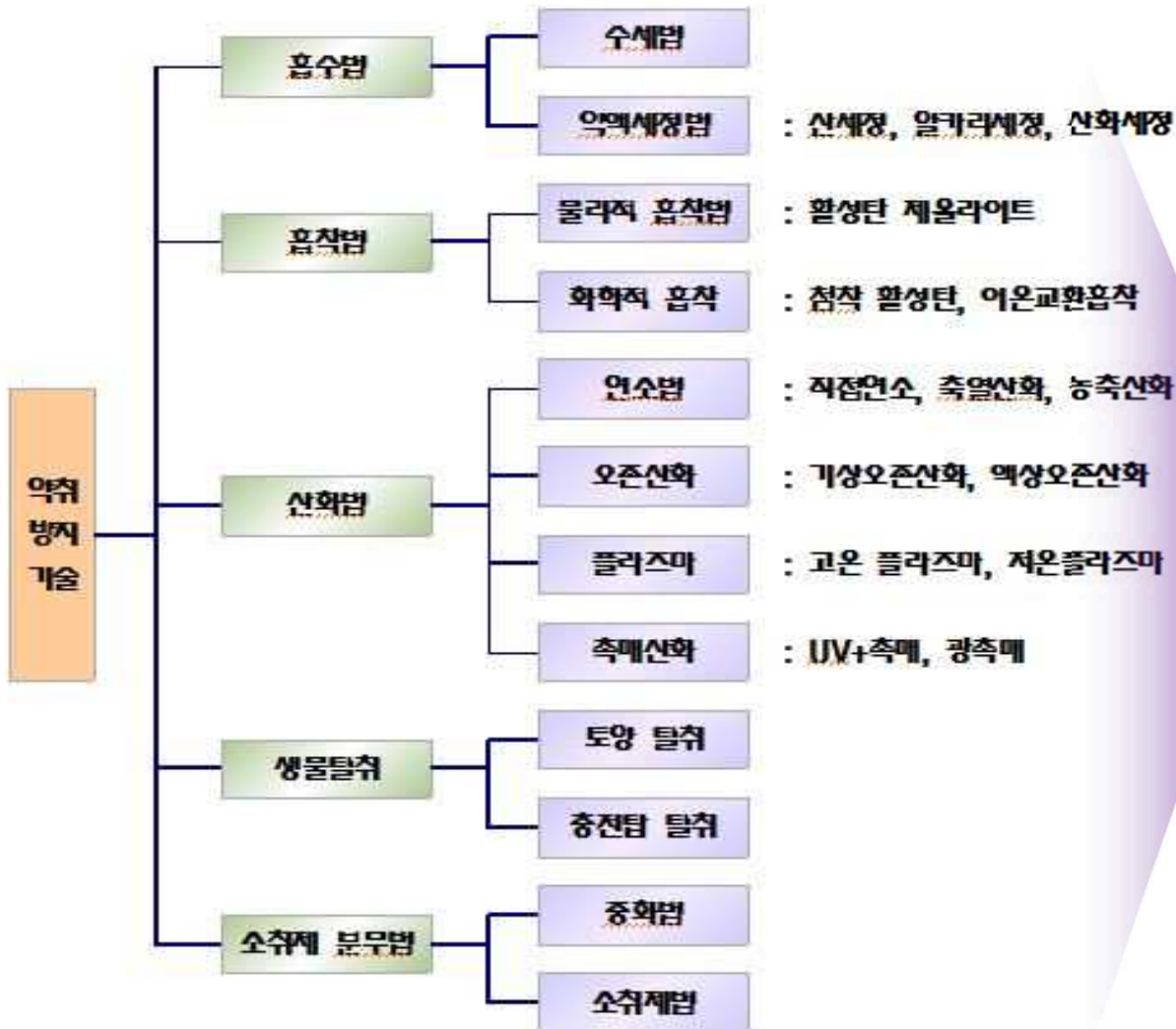
➤ 악취 물질배출특성에 따른 악취저감시설 선정

구 분	물질명	세정법	오존산화법	흡착법	연소법	생물탈취법	소취제 분무
황 계열	메틸메르캅탄	○	○	○	○	○	○
	황화수소	○	○	○	○	○	○
	황화메틸	○	○	○	○	○	○
	이황화메틸	○	○	○	○	○	○
질소계열	암모니아	○	○	○	○	○	○
	트리메틸아민	○	○	○	○	○	○
알데하이드계열	아세트알데히드	○	○	○	○	○	○
	프로피온알데히드	×	△	○	○	○	×
	노르말부틸알데히드	×	△	○	○	○	×
	이소부틸알데히드	×	△	○	○	○	×
	노르말발레르알데히드	×	△	○	○	○	×
	이소발레르알데히드	×	△	○	○	○	×
VOCs계열	이소부탄올	×	△	○	○	○	×
	아세트산에틸	×	△	○	○	○	×
	메틸이소부틸케톤	×	△	○	○	△	×
	톨루엔	×	○	○	○	△	×
	스티렌	×	○	○	○	△	×
	자일렌(크실렌)	×	○	○	○	△	×
지방산계열	프로피온산	○	○	○	○	○	○
	노르말부티르산	○	○	○	○	○	○
	노르말발레르산	○	○	○	○	○	○
	이소발레르산	○	○	○	○	○	○

3. 약취 물질 별 저감기술



➤ 약취저감기술의 분류



하이브리드 기술

- 수세식+흡착법
- 액 흡수법+흡착법
- 탈. 소취제법+흡착법
- 촉매식탈취법+흡수법
- 생물탈취법+흡착법

4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 1 (밀폐, 포집)

❖ 밀폐 · 포집 기술은 악취관리의 기본

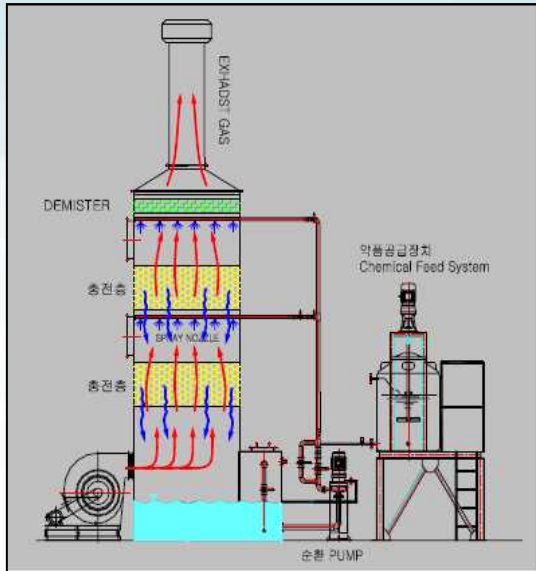
- 아무리 좋은 방지시설을 선택해도 발생원의 밀폐, 포집 상태가 불량하면 악취물질처리 곤란
- 발생원 저감(Clean Technology)관리가 중요 ⇒ 방지시설 최적화 및 비용절감효과



4. 악취저감기술 소개

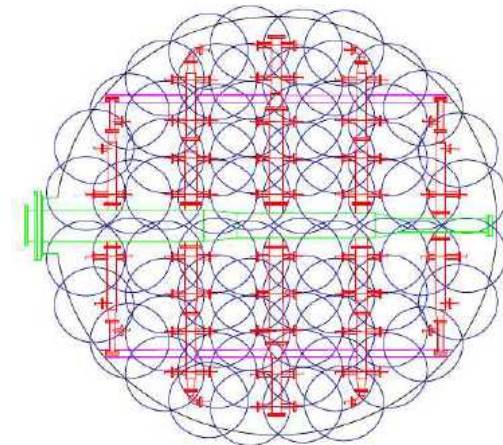


➤ 악취저감기술 2 (흡수법, Wet Scrubber)



- 물과 기액접촉에 의해 주로 수용성 악취물질 처리
 - 설치비가 저렴하며 분진처리도 가능
 - 습도가 높은 악취가스 처리 용이
 - 순환수의 교체 주기에 따라 효율 결정
 - 단점 : 폐수 처리비용 발생 및 비 수용성 악취 처리 어려움 및 고온 악취가스 처리시 효율이 낮음
- ※ 약액 세정/산화의 경우 약품비용 발생

No.	명 칭	No.	명 칭
1	굴뚝(stack)	11	순환탱크(circulation tank)
2	측정구(check hole)	12	pH meter, ORP meter
3	맨홀(manhole)	13	액면조절장치(liquid level controller)
4	몸체(body)	14	약품 탱크(chemical tank)
5	점검창(sight glass)	15	약품 펌프(chemical pump)
6	이송관(pipe)	16	분사 노즐(spray nozzle)
7	송풍기(fan)	17	충전물 지지체(grating, packing support)
8	전동기(motor)	18	충전물(packing material)
9	캔버스(canvas)	19	액적제거장치(demister, mist eliminator)
10	펌프(pump)		



4. 악취저감기술 소개



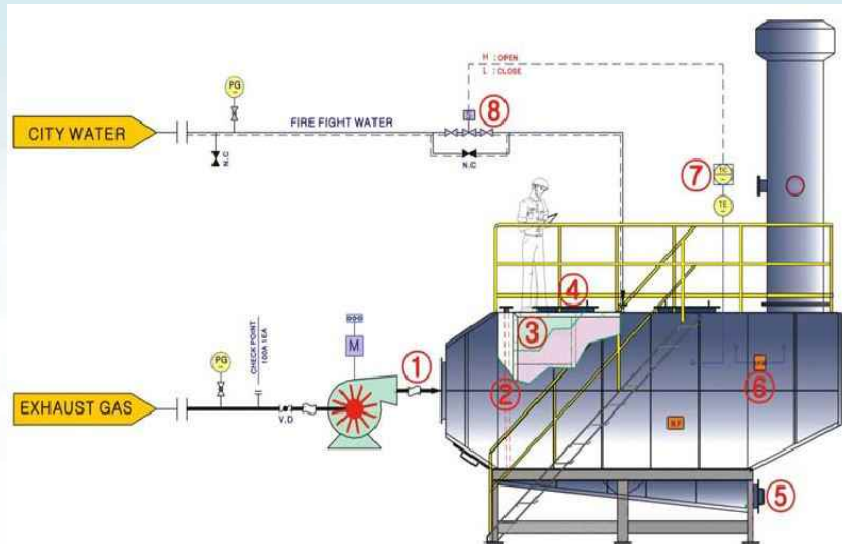
➤ 악취저감기술 2 (흡수 기작)

계	악취 물질	H ₂ SO ₄	HCl	NaOH	NaOCl
염기성계	암모니아	$2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	$\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$	반응 없음	$2\text{NH}_3 + 3\text{NaCl} \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{NaCl} + 3\text{H}_2\text{O}$
	트리메틸아민	$(\text{CH}_3)_3\text{N} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow (\text{CH}_3)_3\text{N} \cdot \text{H}_2\text{SO}_4$	$(\text{CH}_3)_3\text{N} + \text{HCl} \rightarrow (\text{CH}_3)_3\text{N} \cdot \text{HCl}$	반응 없음	$(\text{CH}_3)_3\text{N} + \text{NaOCl} \rightarrow (\text{CH}_3)_3\text{N} + \text{NaCl}$
산성계	황화수소	—	—	$\text{H}_2\text{S} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{S} + 4\text{NaOCl} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + 4\text{NaCl}$ $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaOCl} \rightarrow \text{H}_2\text{OS} + \text{NaCl} + 2\text{NaOH}$
	메틸메르캅탄	—	—	$\text{CH}_3\text{SH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{SN} + \text{H}_2\text{O}$	$\text{CH}_3\text{SH} + 3\text{NaOCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{SO}_3\text{H} + 3\text{NaCl}$
	프로피온산	—	—	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$	—
	노르말부틸산	—	—	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$	—
	노르말 발레르산	—	—	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{COONa} + \text{H}_2\text{O}$	—
	이소발레르산	—	—	$(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COOH} + \text{NaOH} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{COONa}$	—
중성계	황화메틸	—	—	—	$(\text{CH}_3)_2\text{S} + 3\text{NaOCl} \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{SO}_3 + \text{NaCl}$
	이황화메틸	—	—	—	$(\text{CH}_3)_2\text{S} + 5\text{NaOCl} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H} + 5\text{NaCl}$
	아세트 알데히드	—	—	—	$\text{CH}_3\text{CHO} + \text{NaOCl} + \text{NaCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

4. 악취저감기술 소개

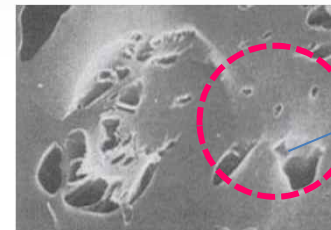


➤ 악취저감기술 3 (흡착법, Adsorption)



- ① 악취가스 유입
- ② Pre-Filter : Dust 유입방지
- ③ 활성탄층 : 활성탄과 지지대로 구성
- ④ 활성탄투입구 : 상부에 설치하여 투입이 용이한 구조
- ⑤ 활성탄 출구 : 활성탄 교체가 용이하도록 측부 설치
- ⑥ 차압계 : 활성탄 층에 걸리는 차압 모니터링
- ⑦ 온도계 : 흡착열로 인한 화재 감시
- ⑧ F.F.W(Fire Fighting Water) : 화재발생 가능성이 있을 경우 자동 물 공급

- 악취가스를 흡착제 층으로 통과시켜 제거
- 처리효율이 높고, 설치비가 저렴
- 흡착제의 교체 주기에 따라 효율 결정
- 단점 : 활성탄 교체비용(고농도 시 비용과다)
- 분진을 포함한 악취처리효율 낮음
- 고온 악취가스 재 탈착(<50 ℃ 이하)
- 저 분자 악취물질처리효율 낮음
- 흡착제 : 소수성(활성탄),
친수성(실리카, 알루미나, 제올라이트)



미세기공에
악취 흡착



<Pellet type>



<Granular type>

4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 3 (흡착법, Adsorption)



❖ 오염물질 처리기작

- 기체의 분자 및 원자가 고체 표면에 달라붙는 성질을 이용한 오염물질 제거
- 적용범위
 - 비 연소성 이거나 연소가 어려운 조건(대 풍량)
 - 오염물질 회수가치가 높은 경우(용제류 등)
 - 오염물질 농도가 낮은 경우

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> • 처리가스의 농도변화대응 유리 • 흡착제가 양호할 경우 100%처리 가능 • 조작 및 장치가 간단 	<ul style="list-style-type: none"> • 처리Cost가 높다(흡착제 교체비용) • 함진가스에 제한적(전처리 시설) • 고온가스 처리한계(냉각시설 등)

❖ 파과시간과 최대지속시간

- 파과점에 도달하는 시간과 흡착층 전체가 포화에 도달하는 시간 (흡착량은 총진량 대비 20% 범위에서 교체가 적정)

$$T(\text{hr}) = \frac{L - \sigma}{Vd \times 3600}$$

$$T \text{ max}(\text{hr}) = \frac{L}{Vd \times 3600}$$

➡

L : 흡착층 길이
Vd : 흡착영역의 이동속도(m/s)
σ : 흡착영역의 두께

4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 4 (연소법, Combustion)

❖ 산화(연소)시설의 산화방식

- 연료를 이용해 가연성 악취물질을 연소분해 하는 설비로 **직접산화**와 **촉매산화**로 구분



❖ 산화(연소)시설의 구분 : 열 회수 방식 및 산화방식에 따라 다음과 같이 구분됨.

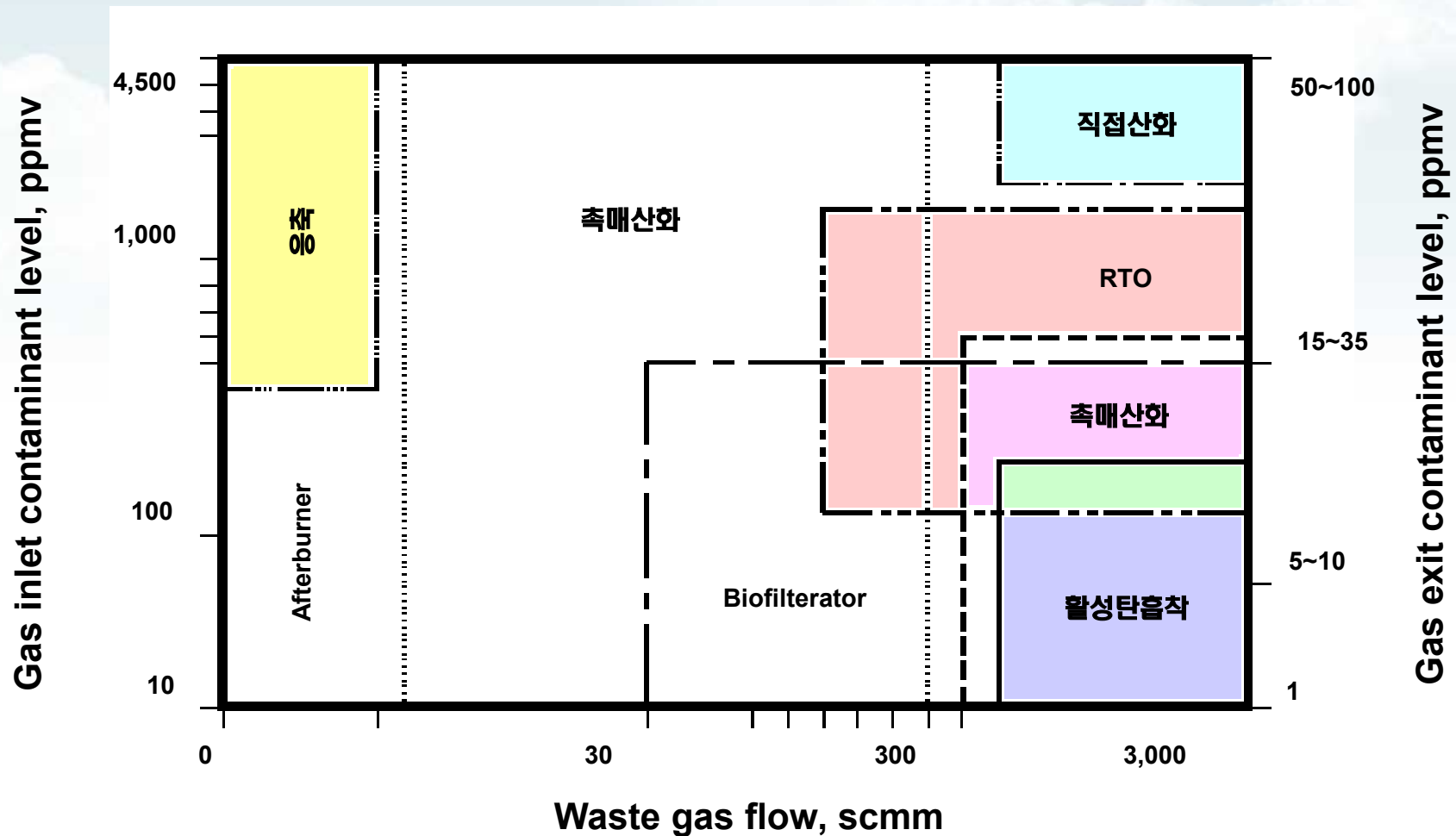
- ① 열 교환기로 열 회수 + 촉매無 → **직접연소 (TO : Thermal Oxidizer)**
- ② 열 교환기로 열 회수 + 촉매有 → **촉매산화장치 (CCS : Catalytic Combustion System)**
- ③ 축열재로 열 회수 + 촉매無 → **축열식 연소 (RTO : Regenerative Thermal Oxidizer)**
- ④ 축열재로 열 회수 + 촉매有 → **축열식촉매산화장치 (RCO : Regenerative Catalytic Oxidizer)**

4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 4 (연소법, Combustion)

❖ VOCs물질의 경제적인 악취처리기술 선정 Guide-line



4. 악취저감기술 소개



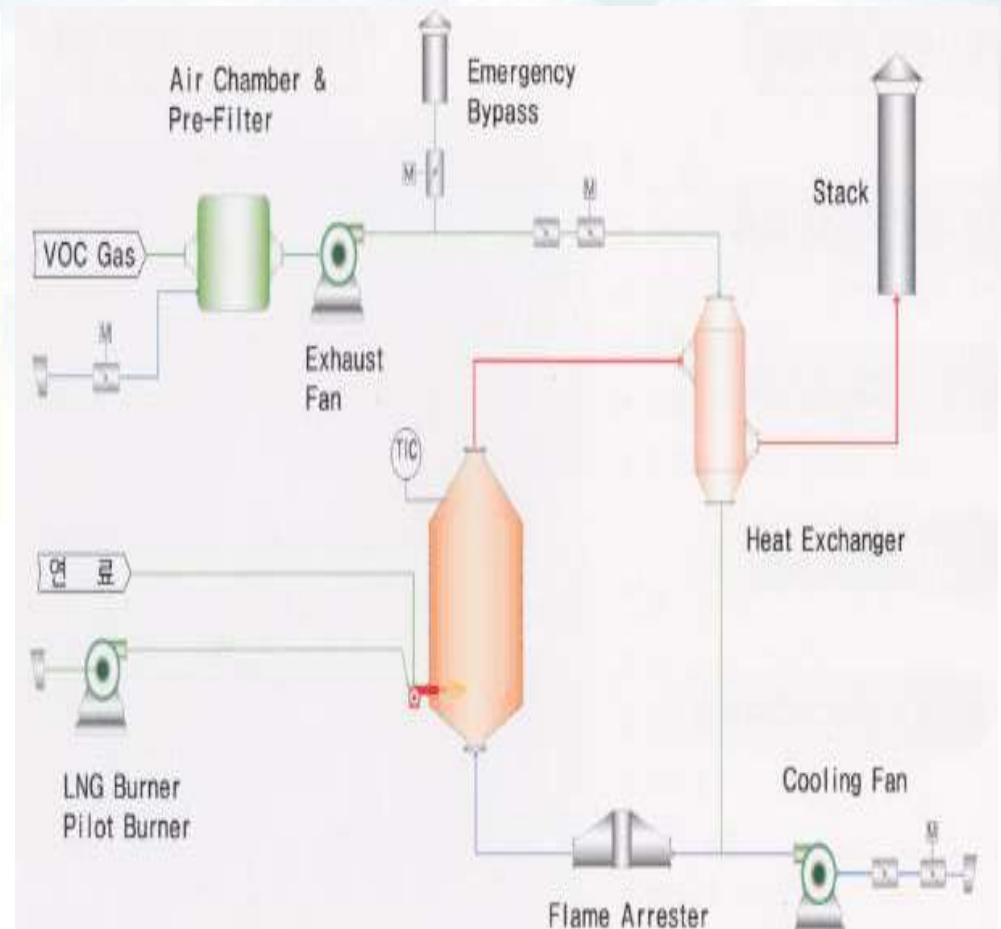
➤ 악취저감기술 4 [연소법, 직접소각]

❖ 직접 산화장치(Thermal Oxidizer)

- 가장 오래된 열 산화 기술로 VOCs 물질을 완전히 산화시킬 수 있는 온도범위에서(750℃) 악취 가스를 CO₂와 H₂O로 분해

- 처리효율 매우 우수함
- 대부분 악취처리 가능
- 단점: 연료비가 많음

시설내 폐열 사용시설이 있을 경우 적용성 높음



4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 4 [연소법, 촉매산화(CCS)]

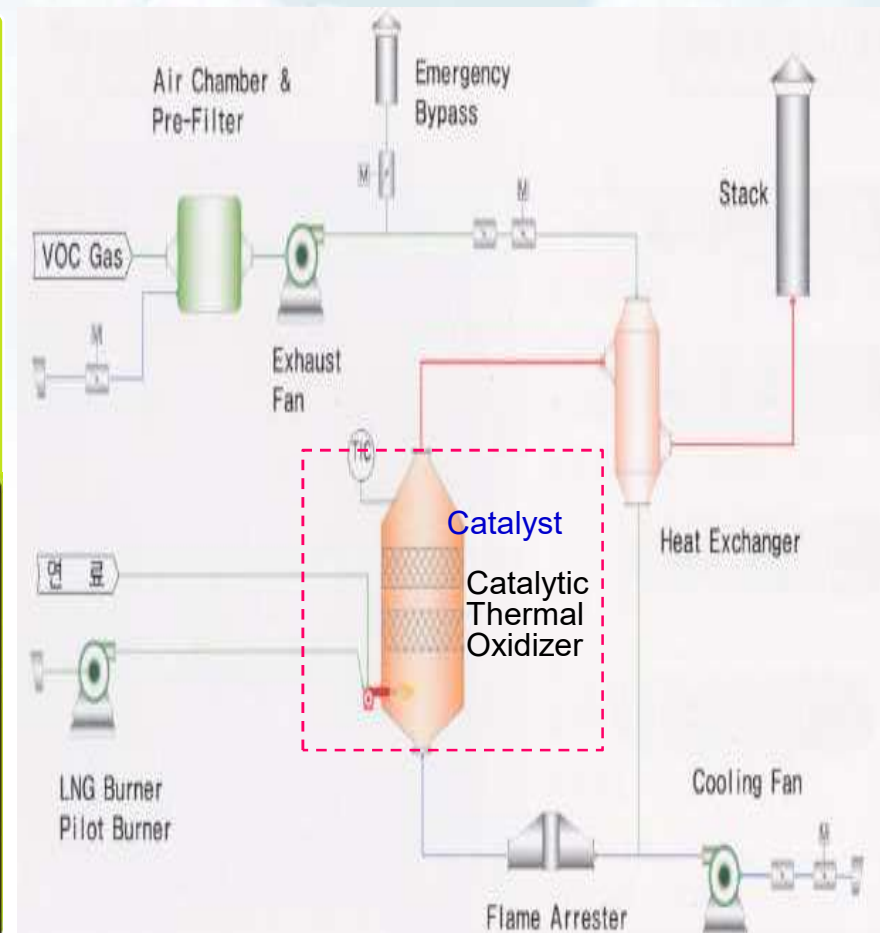
❖ 촉매 산화장치 (Catalytic Combustion System)

- 촉매의 특성을 이용하여 비교적 낮은 온도에서 (250~400℃) VOCs를 CO₂와 H₂O로 분해
- 악취처리효율이 우수
- 직접연소(Thermal Oxidizer)대비 연료비 저렴

촉매 피독 대책

<촉매 피독 현상>

배가스 중 유기실리콘 유기인화합물계열의 촉매독이 촉매층에서 산화되어, 비 휘발성인 SiO₂ 또는 P₂O₅ 물질이 활성금속 표면을 피복하여 촉매수명 단축

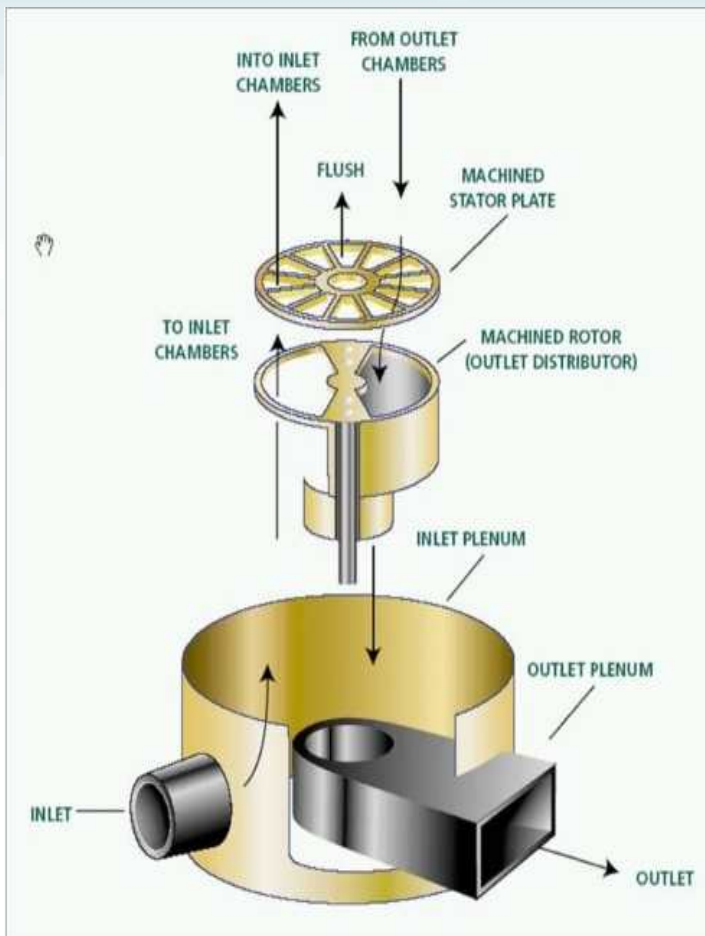


4. 악취저감기술 소개



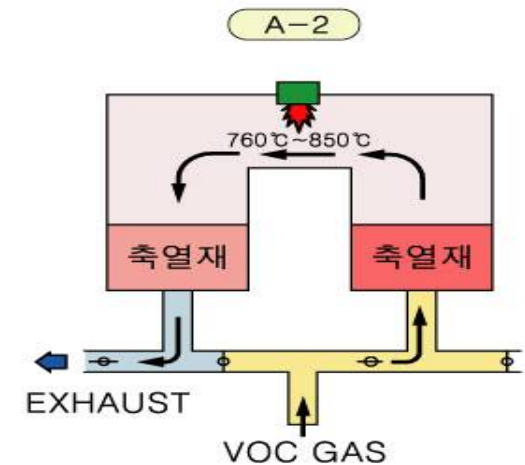
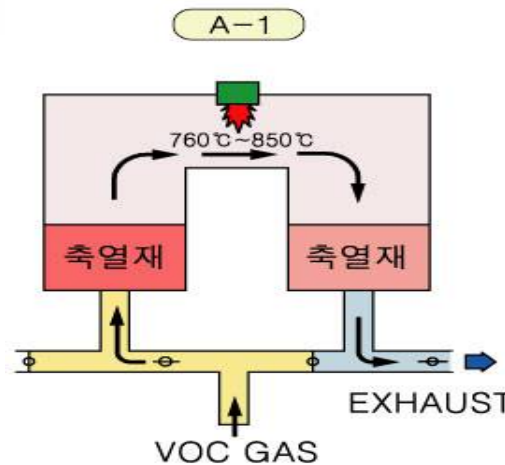
➤ 악취저감기술 4 [연소법, 축열산화(RTO)]

❖ 축열산화장치(Regenerative Thermal Oxidizer)개요



〈One can type RTO〉

- 대부분 악취가스 처리가능, 타 반응기 대비 처리효율 높음
- 연료비를 제외한 유지관리비 저렴
- VOCs농도가 1.5~2g/Nm³ 이상이면 **무 연료 운전 가능**
- VOCs 인입 농도는 폭발한계 이하 조절
- 초기 설치 비용이 과다
- 저 농도 악취처리 시 운전비용 과다



〈Bed type RTO〉

4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 4 [연소법, 축열산화(RTO)]

❖ 축열산화장치 운전기작



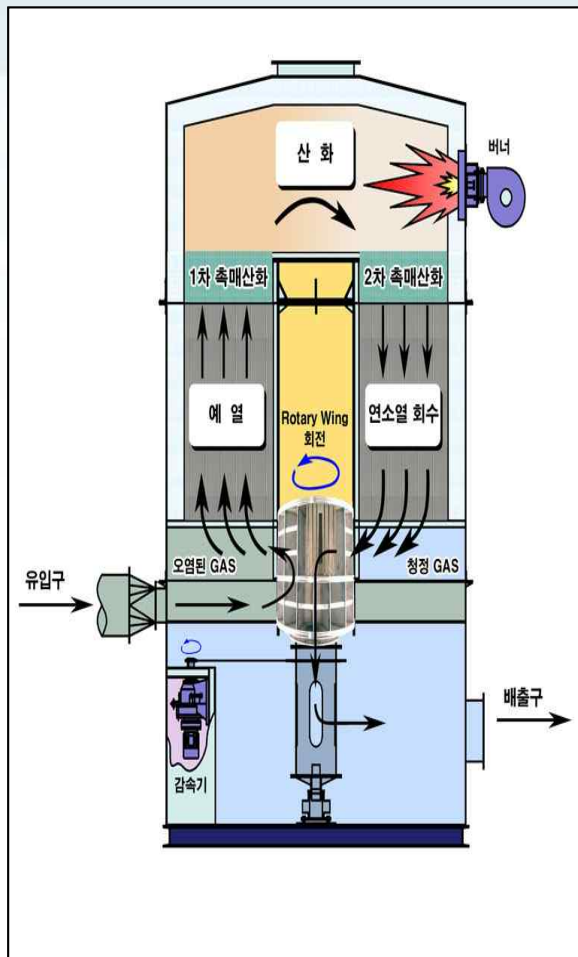
- 연소실, 축열층 및 분배실은 12개의 부채꼴 Cell로 나누어져 있으며 Rotary가 회전하면서 운전
 - 회전 하면서 반쪽 5BED(COOL ZONE-예열), 나머지 반쪽 5BED(HEAT ZONE-열회수)의 역할 수행하며 Rotary 회전에 의해 순차적으로 변화한다.
 - 이때, COOL ZONE과 HEAT ZONE 사이에 PURGE ZONE과 DEAD ZONE을 두어 처리 전 가스와 청정가스의 혼합을 방지하고 미처리된 가스는 Cooling에서 Heating으로 전환되기 전에 PURGE를 통해 산화 처리된다.

4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 4 [연소법, 축열식 촉매산화 (RCO)]

❖ 축열식 촉매산화장치(Regenerative Catalytic Oxidizer)개요

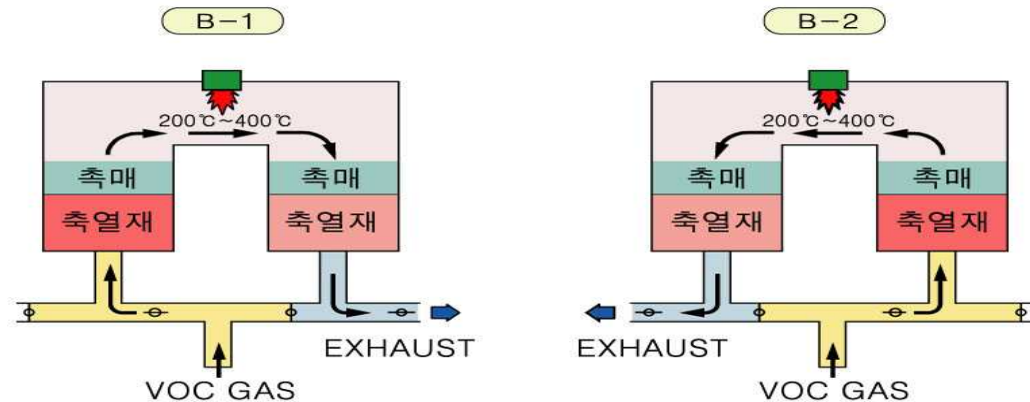


❖ 대부분의 악취 물질 처리가 가능

- RTO에 비해 연료소모량이 적음
- 연소(산화)온도는 300~450℃ 낮음
- 세라믹 축열재 이용으로 열 회수율이 높음(85 ~95%)

❖ 단 점

- 초기 설치 비용이 과다
- 촉매피독(Fe, Pb, Si, P,S등) 시 촉매교체 필요



〈RCO 원리〉

4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 4 [연소장치 별 장 · 단점 비교]

구 분	특징 및 장점	단 점	적용공정
직접연소 (TO)	<ul style="list-style-type: none"> 가스를 700~900℃에서 산화분해 완전연소시 고효율가능 타르, 분진의 허용성 높음 낮은 초기투자비용 	<ul style="list-style-type: none"> 불연성용제 적용 불가 연소 시 2차 공해발생 주의 높은 운전비 (고온연소, 보조연료多) 	<ul style="list-style-type: none"> 중간정도 풍량 고농도 (LEL20~25%)
촉매산화장치 (CCS)	<ul style="list-style-type: none"> 가스를 250~400℃에서 산화분해 낮은 운전비 (저온연소) 저온연소에따른 COMPACT한설비 전기열원 사용가능 	<ul style="list-style-type: none"> 불연성용제 적용 불가 연소시 2차 공해발생 주의 유기실리콘등 촉매독 주의필요 주기적 촉매재생 필요 	<ul style="list-style-type: none"> 중간정도 풍량 (1000CMM 이하) 중간 농도 (LEL10~20%)
촉열식연소로 (RTO)	<ul style="list-style-type: none"> 가스를 800~900℃에서 산화분해 촉열체에서 90%이상의 열회수 열회수율 높아 운전비 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> 불연성용제 적용 불가 연소시 2차 공해발생 주의 높은 초기투자비 심한 풍량/농도변화에 적응곤란 	<ul style="list-style-type: none"> 중간정도 풍량 (50CMM 이상) 중간농도 (LEL10%)
촉열촉매연소 (RCO)	<ul style="list-style-type: none"> 가스를 250~400℃에서 산화분해 촉열체에서 90%이상의 열회수 열회수율 높아 운전비 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> 불연성용제 적용 불가 연소시 2차 공해발생 유기실리콘등 촉매독 주의필요 주기적 촉매재생 필요 높은 초기투자비 심한 풍량/농도변화에 적응곤란 	<ul style="list-style-type: none"> 비교적 대풍량 (50CMM 이상) 낮은 농도 (LEL4%)
흡착(농축) (ROTOR)	<ul style="list-style-type: none"> 풍량, 농도변화에 대응용이 불연성, 가연성 모두 처리가능 운전비 저렴 타르, 분진의 허용성 높음 	<ul style="list-style-type: none"> 폭발하한의 1/3~1/4이상 농축불가 분진, MIST 포함 시 전처리 흡착제 주기적 재생/교체 필요 농축가스의 2차처리 필요 (산화/회수) 	<ul style="list-style-type: none"> 대풍량 저농도공정

4. 악취저감기술 소개

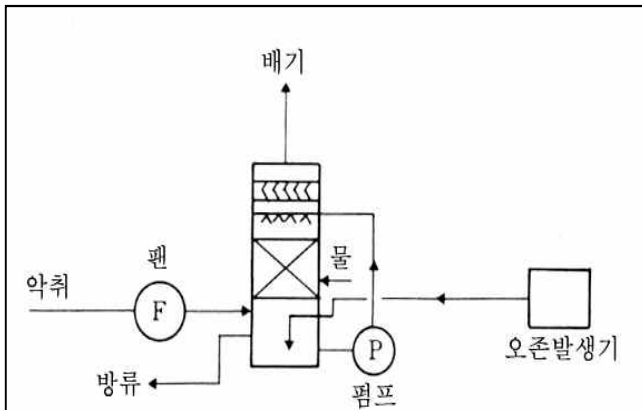


➤ 악취저감기술 5 (오존산화, Ozone oxidation)

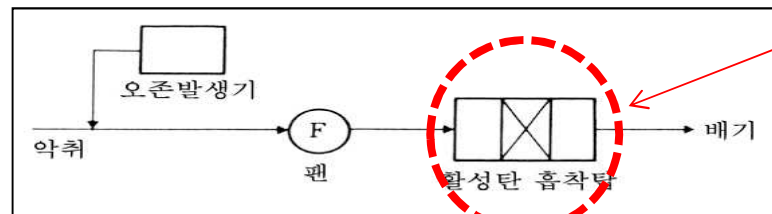


- 오존의 산화력을 이용해 악취를 분해제거, 오존과의 반응성에 따라 악취제거율이 크게 달라짐
- 좁은 부지에도 설치가 가능
- 단점 : 잔류오존 처리장치 필요하고, 효율이 비교적 낮음

악취물질	반응 예
암모니아	$2\text{NH}_3 + \text{O}_3 \rightarrow \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
트리메틸아민	$(\text{CH}_3)_3\text{N} + 3\text{O}_3 \rightarrow \text{CH}_2\text{NO}_2 + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
황화수소	$\text{H}_2\text{S} + \text{O}_3 \rightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
메틸메르캅탄	$\text{CH}_3\text{SH} + \text{O}_3 \rightarrow \text{CO}_3\text{OH} + \text{SO}_2$
황화메틸	$3(\text{CH}_3)_2\text{S} + \text{O}_3 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{SO}$
	$(\text{CH}_3)_2\text{S} + \text{O}_3 \rightarrow (\text{CH}_3)_2\text{SO}_3$
이황화메틸	$2(\text{CH}_3)_2\text{S}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_3 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{SO}_3\text{H}$
	$3(\text{CH}_3)_2\text{S}_2 + 5\text{O}_3 \rightarrow 3(\text{CH}_3)_2\text{S}_2\text{O}_5$



<오존 수 세정법>



<기상오존 분사법>

촉매 탑 대체 가능

4. 악취저감기술 소개

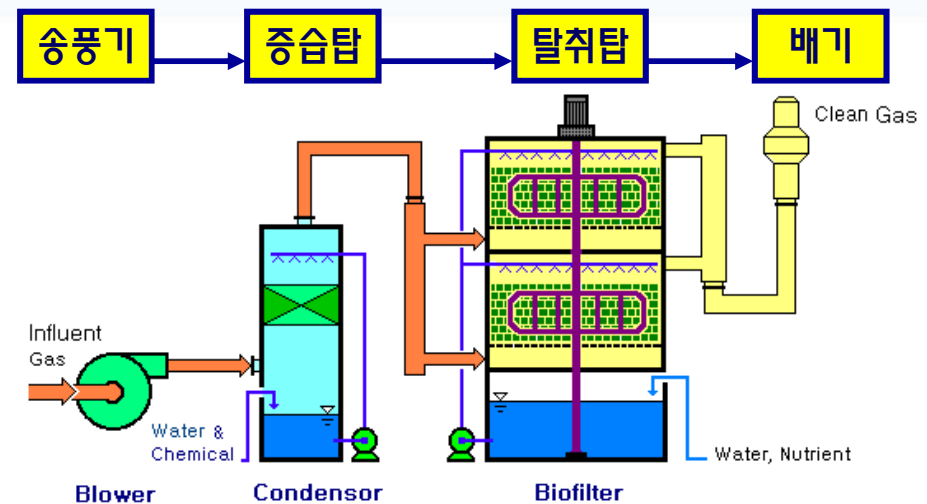


➤ 악취저감기술 6 (생물탈취, Bio-filter)



- 담체에 미생물을 식종하고, 악취물질을 통과시켜 미생물에 의해 악취물질 분해
- 처리효율 우수(저 농도, 대풍량), 유지비용 저렴
- 단점 : 상대적으로 설치면적이 크고 생물학적 처리가 어려운 물질도 있음 (TCE, VCM, etc)
- 겨울철 처리효율 급감(미생물사멸), 유지관리 어려움

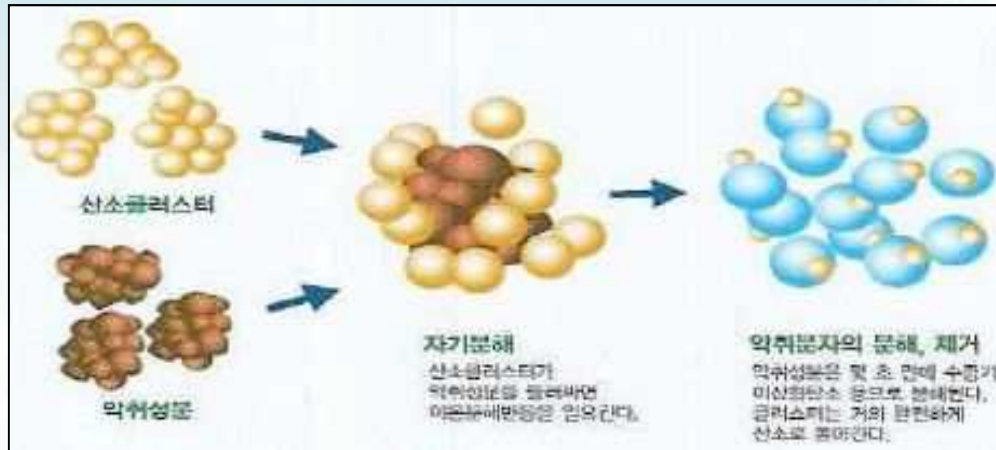
물 질	생물분해 반응 예
암모니아	$\text{NH}_3 \rightarrow \text{HNO}_3, \text{H}_2\text{O}$
트리메틸아민	$(\text{CH}_3)_3\text{N} \rightarrow \text{HNO}_3, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$
황화수소	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4, \text{H}_2\text{O}$
메틸메르캅탄	$\text{CH}_3\text{SH} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$
황화메틸	$(\text{CH}_3)_2\text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$



4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 7 (산소클러스터, Bio-Oxygen)

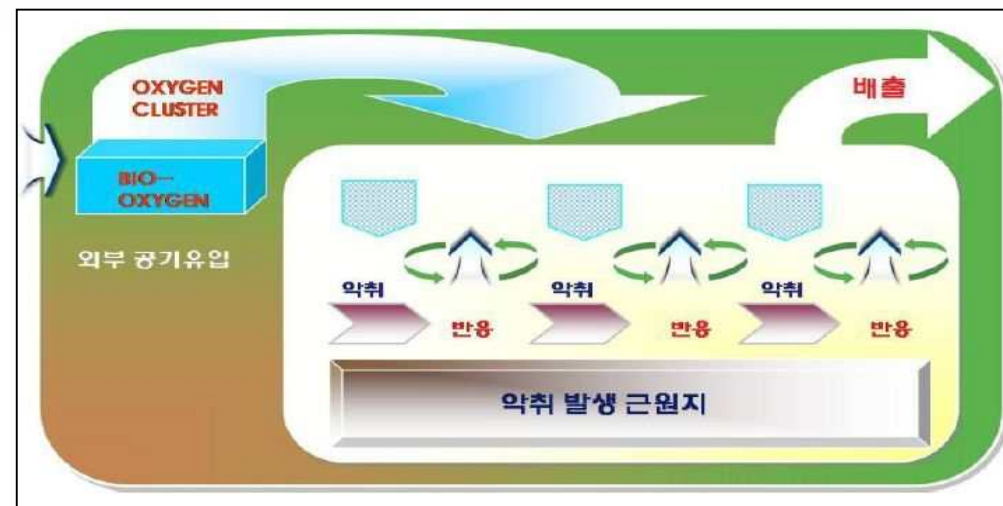
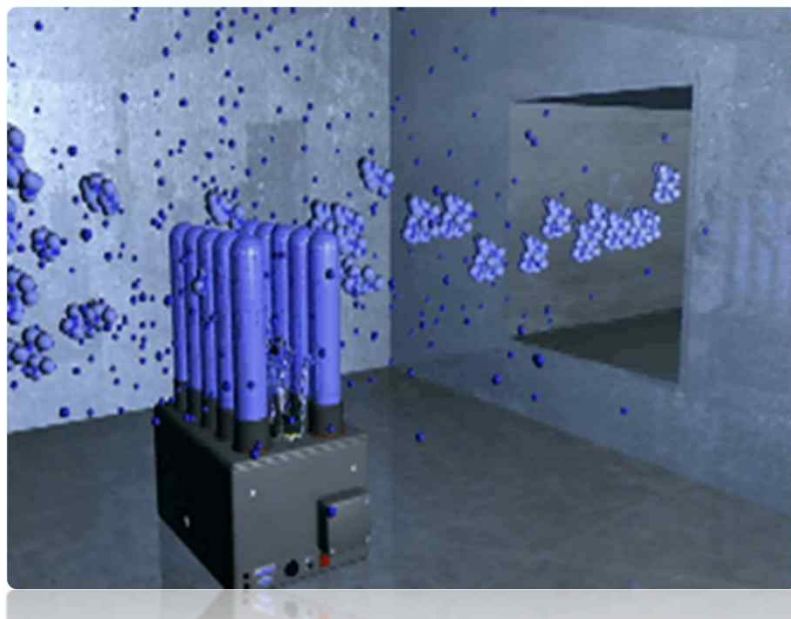


Oxygen Cluster

산화력이 있는 Oxygen Cluster를 이용하여 오염물질을 산화분해 처리

- 2차 오염물질 없음
- 강력한 산화능력
- 좁은 공간에도 설치가능

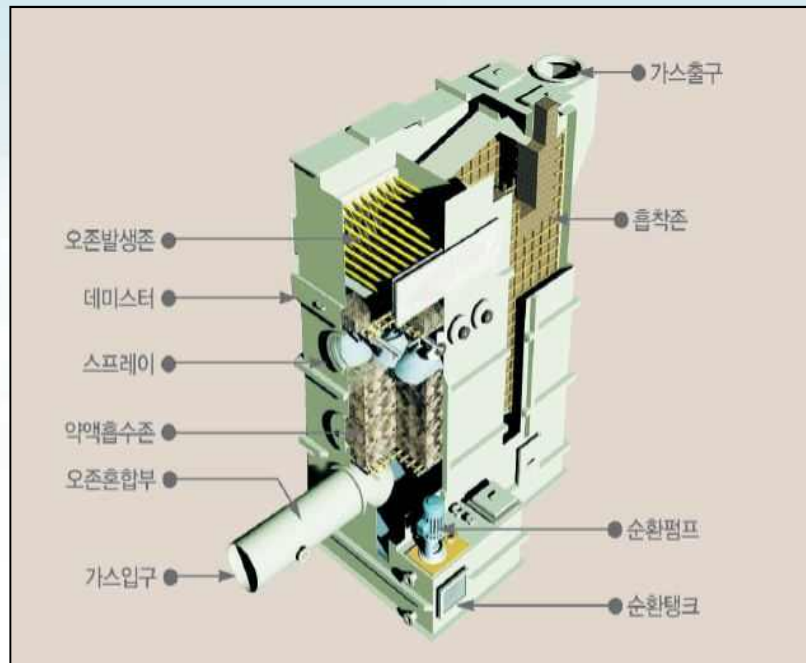
급·배기 라인 필요



4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 8 [하이브리드 악취저감시설, HDC Scrubber]

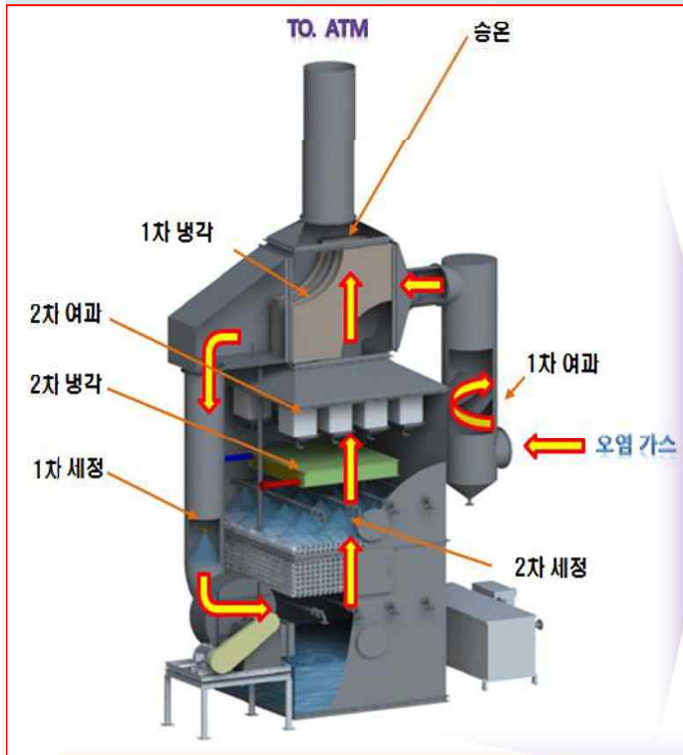


- ❖ 유 · 무기성 악취물질 동시처리 가능
- ❖ 미스트 제거(데미스터) 및 승온에 따른 상대습도 감소(후단에 적용된 활성탄의 기능유지)
- ❖ 음식물 처리시설 등에 효과적임

4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 9 (HOS System, Hybrid Oil-collector Scrubber)



냉각

세정

냉각/응축

여과

승온

STEP 1. 냉각 ZONE

- 오일미스트가 함유된 가스는 공냉식 열교환기로 70~80℃로 냉각

STEP 2 세정 ZONE

- 통과한 가스는 조립형 충전물에 세정수를 분사하여 먼지 및 악취 제거

STEP 3. 냉각/응축 ZONE

- 수냉식 열교환기로 순환수냉각 및 잔존 오일미스트 응축제거

STEP 4. 여과 ZONE

- 필터를 이용하여 가수중의 오일성분제거(3~5 μ m범위)

STEP 5. 승온 ZONE

- 처리가스를 공냉식 열교환기를 이용하여 승온 배출(백연방지)

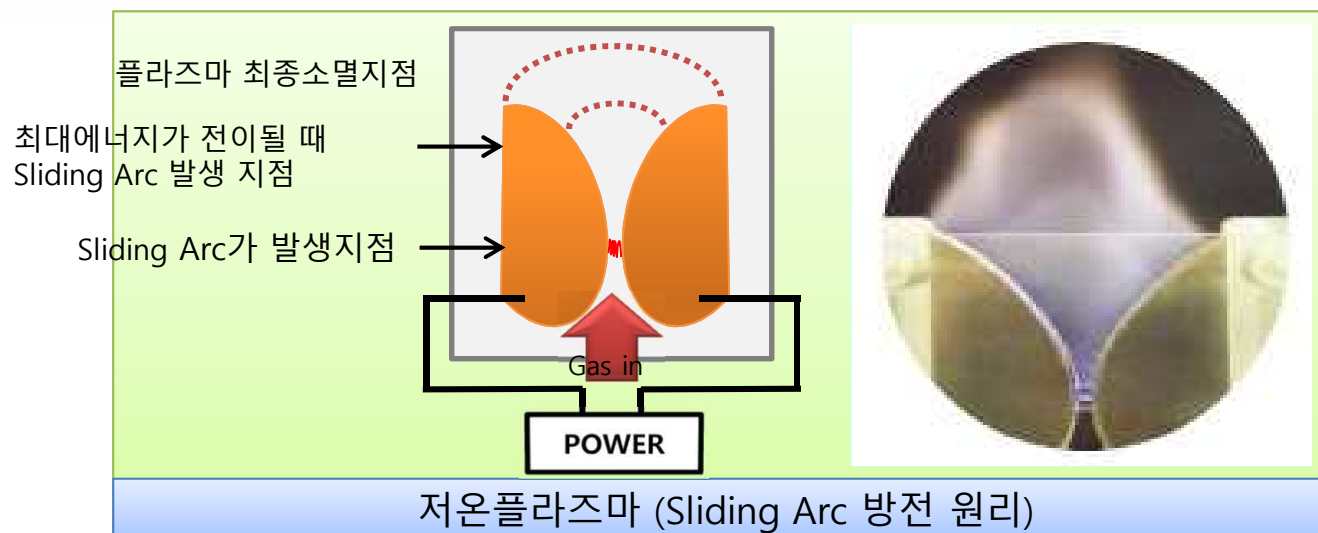
- ❖ 점착성물질이 포함된 공정에 적합 ⇒ 섬유제조(텐타), 펠릿제조(용융), 금속열처리(담금질)공정 등
- ❖ 열 교환기 적용으로 악취처리효율 향상 및 배출가스 백연제거 향상

4. 악취저감기술 소개



➤ 악취저감기술 10 (UV 및 플라즈마 처리)

- 플라즈마 충격으로 공기나 산소가 해리될때 여기(Excitation)과정에서 자유라디칼을 형성하여 (OH Radical, O-Radical등)여 광화학적으로 악취물질을 산화
- 상온에서 악취물질 처리가능하며 2차 오염물질 발생이 없다
- 고농도 대풍량 조건 및 황 계열 악취물질 처리에는 제한적임(한국환경공단 악취기술진단 사례)
- 고농도 악취물질 처리에 제한적임
- 당량비가 맞지 않을 경우 배출가스 악취발생(미 반응에 따른 배출가스 오존냄새)
- 충분한 체류시간확보 필요
- 먼지 및 수분이 포함된 가스 처리시 방전의 장애요인으로 작용

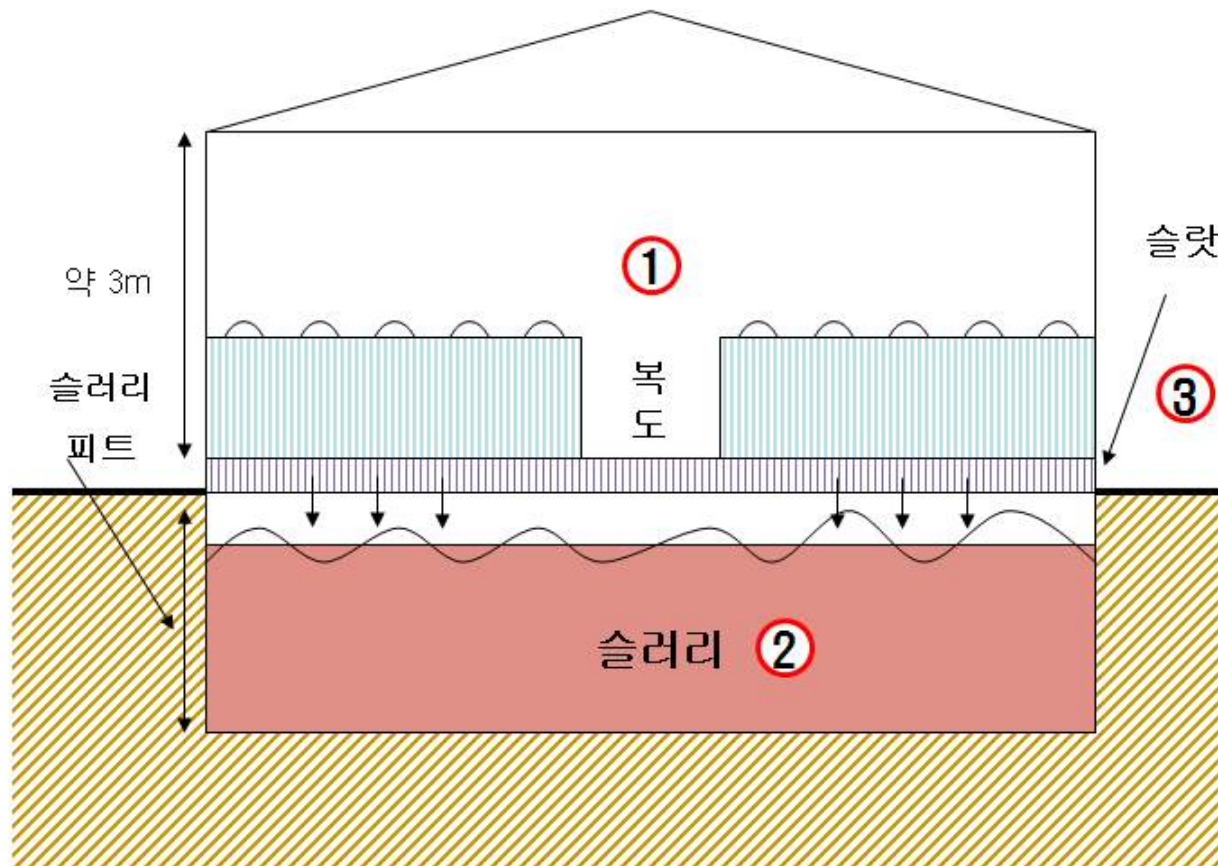




III. 현장 적용사례 및 대안

1. 현장 관리상태 및 기본 대안

➤ 양돈시설 악취관리 포인트



1. 현장 관리상태 및 기본 대안



➤ 돈사 내부 악취저감방안

가. 고압세척:

- ✓ 악취가 심한 농가는 몇 cm의 똥딱지가 붙어 있고 연중 한번도 세척을 하지 않는 농가가 다수
- ✓ 가축분뇨 처리비가 증가되더라도 악취가 심한 농가는 정기적인 돈사 내부 세척이 반드시 필요
- ✓ All-in, All-out을 실천하고 세척이 이루어지는 축사의 경우, 내부 냄새가 현저히 낮게 유지됨.



지저분한 축사 내부



고압세척 장면

1. 현장 관리상태 및 기본 대안



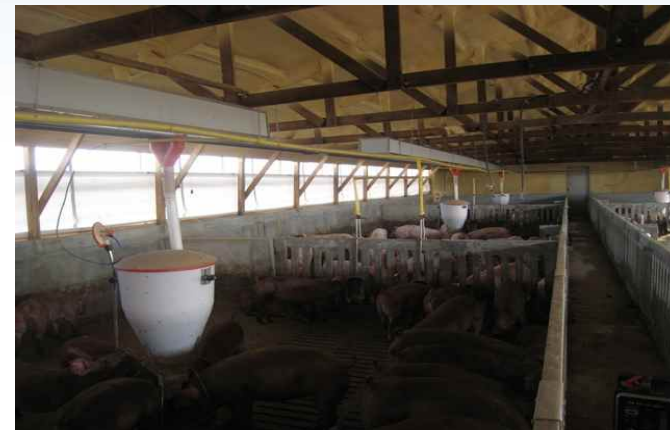
➤ 돈사 내부 악취저감방안

나. 최소한의 조명:

- ✓ 악취가 심한 축사 내부는 **암실처럼 어두운 경우**가 대부분
- ✓ **조명이 밝아야 제대로 된 청소와 관리**
- ✓ 돼지의 성장을 빠르게 하기 위해 무조건 축사가 어두워야 하는 것은 아님. 축사 환경이 우선적



암실처럼 어두운 축사



밝은 축사

1. 현장 관리상태 및 기본 대안



➤ 돈사 내부 악취저감방안

다. 적정 슬랏 면적 확보:

- ✓ 바닥 슬랏 면적이 30%가 되지 않고 자주 청소를 하지 않는 축사는 돼지가 똥자리를 잡지 못해 똥을 뒤집어 쓴 검은 돼지가 되고 바닥은 질퍽하게 됨 – **밀사금지**
- ✓ 특히, 이런 축사의 경우 **암모니아 농도**와 **황화수소 농도**가 높아 돼지 눈이 충혈되고 눈병이 생기며 심한 경우 폐사 발생



슬랏 작은 축사



충분한 슬랏 관리, 깨끗한 축사

1. 현장 관리상태 및 기본 대안



➤ 그 밖의 돈사 내부 악취저감방안

라. 슬러리 깊이 50~60cm 이하로 유지

- ✓ 악취가 심각한 돈사 내부는 대부분 슬러리조 깊이가 돼지 발목까지 찬 상태임

마. 잦은 슬러리 배출

- ✓ 가축분뇨는 약 3~4일 후부터 부패로 악취가 발생하므로 가능한 자주 슬러리 배출 필요
- ✓ 대부분 위탁관리 또는 가득 찰 때까지 방치 하는 경우가 많음

바. 슬러리 피트 청소

- ✓ 현실적으로 매우 어렵지만 주기적인 청소만이 악취의 근원적 발생을 최소화 할 수 있음

사. 고품질 사료 및 적절한 보조 사료 사용

- ✓ 경제성, 편의성, 생산성 등 다양한 검토 후 악취 문제도 함께 해결할 수 있는 대체 사료 적용 필요

2. 현장 적용사례



➤ 농장 내 외부 관리



퇴비와 시설 정상운영 및 밀폐



고액분리된 액상물 폭기



액비화 시설 정상운영 및 밀폐



퇴비교반 시 개선제 살포



지저분한 축사 내부



고압세척기를 이용한 축사 청소



바닥에 분뇨가 가득 차 있는 경우



바닥의 관리가 잘 되는 돈사



개방된 퇴비장



밀폐형 암롤박스 운영

- ✓ 농장 주의 인식 개선과 주기적인 청소 및 관리 유도
- ✓ 분뇨 관리 및 효율적 운영방안 검토
- ✓ 작업환경 및 내부 개선으로 동물 복지적 사육 유도
- ✓ 지역사회 환경개선 및 이미지 개선
- ✓ 이웃과의 갈등 해소 및 지속적인 축산업 양성

2. 현장 적용사례



➤ 외부 관리



농장 외부 청결 관리 및 조경

- ✓ 농장 외부의 주기적인 청소 및 조경
- ✓ 농장 냄새 관련 부정적인 이미지 개선

바이오커튼 A형

- ✓ 외부로 배출되는 암모니아 가스 저감
- ✓ 하우스 효과로 외부에 깨끗한 이미지 개선

바이오커튼 B형

- ✓ 물리 화학적 및 생물학적 적용 가능
- ✓ 악취 주요유발물질 일부 제거 가능

세정방식 쿨링패드

- ✓ 돈사 외부로 배출되는 입자상 먼지 제거
- ✓ 수용성 악취물질 제거(암모니아 등)



농장 특성 및 경제성을 고려한 악취저감방안 도입

3. 축산 악취저감대책



➤ 규제 제도와 대응책

1) 국내 설치 기준

- ✓ 축산시설 : 가축 사육시설 + 가축분뇨 처리시설
 - ✓ 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률
 - 배출시설 : 축사, 운동장, 착유실, 먹이방, 분만실 및 방목지
 - 처리시설 : 가축분뇨 자원화시설 또는 정화시설
 - ✓ 악취 관련 적용 기준
 - 시행규칙 제8조 및 제28조
 - 처리시설에 국한된 원론적 내용

[ex. 악취 우려가 있는 부분은 밀폐하거나 악취를 방지할 수 있는 시설 설치]
- ➡ 정부 및 지자체, 실질적인 악취저감에 필요한 지원대책 마련

3. 축산 악취저감대책



➤ 규제 제도와 대응책

2) 국외 설치 기준

○ 미국

- 가축분뇨로 인한 수계 오염 방지 규제 제도와 대응책
- 분뇨저장시설의 **설계, 건설방법, 토양환원** 기준 등에 대한 기준 설정
- 악취저감을 위한 축사시설 허가 및 설치 기준 규제는 없음
- MWPS 지침서에서도 개방형/밀폐형 축사 적정 설계 및 운영 방법을 제시함
[즉, 개방형(원치커튼) 축사 또는 밀폐형(무창) 축사는 농장주가 선택]



3. 축산 악취저감대책



➤ 규제 제도와 대응책

2) 국외 설치 기준

○ EU

- 가축분뇨 농업적 활용에 따른 수질 및 대기오염 규제 정책
- 주요 가축분뇨 관리 정책
 - 질산염 지침(Nitrates Directive) : 가장 초기 단계의 지침
 - 모범농업 실시규약(COGAP, Codes of Good Agriculture Practice)
 - : 수질, 대기 토지 오염을 막을 수 있는 실질적인 가이드라인 제공
 - 국가별 배출량 상한제 지침(National Emission Ceilings Directive)
 - : 대기오염 물질 및 분진 감축

3. 축산 악취저감대책



➤ 규제 제도와 대응책

3) 사례 분석을 통한 제언

○ 가축분뇨 관리 및 이용 측면

- 수질, 토양 및 대기오염을 예방하고 방지하기 위한 규제와 정책을 활용하고 있음

○ 축산악취 저감 측면

- 축사시설 및 악취저감 시설에 대한 **설치 운영에 대한 기준과 법규 적용은 없음**

○ 밀폐형 축사시설의 도입 배경

- 축사 내·외부의 환경요소 인위적 제어를 통한 **생산성 향상** 도모

☞ 축산악취 저감 목적으로 축사시설(사육시설) 설계 및 설치 기준에 대한 법적 기준

적용 사례는 없으나 국내의 축산사업장 지리 공간적 특성을 고려 시, 개방형 축사에 대한 단계적인 밀폐형 축사 전환 및 설치 기준 안이 필요

3. 축산 악취저감대책



➤ 악취 저감형 축산시설 설치기준 마련

1) 축종별 설치기준 적용 방안

○ 축종별 선정 기준

- 축산악취 민원 발생 현황, 가축사육 두수, 분뇨발생량 및 오염부하량

○ 축종별 적용 순위

- 양돈 > 양계(산란계) > 양계(육계 및 오리) > 젖소

○ 적용 방법 검토

- 축종별 설치 및 관리 기준(안) 마련
- 유예기간을 통한 단계적 시행

○ 향후 고려 사항 🖐 우리나라만의 주요 축산 악취물질 배출계수 DB 구축 필요

3. 축산 악취저감대책



➤ 악취 저감형 축산시설 설치기준 마련

2) 축산시설 및 악취저감시설 설치 기준(양돈장 기준)

○ 단계별 설치 기준

- 개방형 돈사 : 밀폐(무창)형 돈사로 개 · 보수
- 밀폐형 돈사 : 일부 돈사 개 · 보수 + 현장 검증된 악취저감시설 설치

○ 농가별 가축분뇨 처리방법에 따른 설치 기준

- 자가처리(정화방류) : 퇴비사 밀폐화 병행
- 자가처리(자원화) : 퇴비 · 액비처리시설 밀폐화 후 액비처리시설에는 냄새저감시설

설치

- 위탁처리 : 퇴비사 운영 면적 최소화 및 밀폐, 액비처리시설 운영 중단

○ 양돈장 환기 시설 : 자연환기 → 기계환기

3. 축산 악취저감대책



➤ 악취 저감형 축산시설 설치기준 마련

3) 축산시설 유형별 설치 기준(양돈장 기준)

○ 축사시설 설치 기준

- 기존시설 : 돈사 및 가축분뇨처리시설을 대상으로 공인 악취분석기관의 기술진단
- 증·개축시설 : ① 개방형 돈사 → 밀폐형 축사시설 전환
② 밀폐형 돈사 → 악취저감시설 설치 운영
- 신축시설 : 밀폐형 돈사 및 악취저감시설 병행 설치

○ 축사 악취저감시설 관리 기준

- 악취저감장치에 소요되는약품 사용량 확인
- 악취저감장치 가동 여부는 농장 모니터링 프로그램을 통해 확인

3. 축산의 미래지향적 대응방안



➤ 대응방안

친환경 축산 농가의 이미지 개선



경청해주셔서 감사합니다.

