가축분뇨 개별 정화방류 시설 적정화 진단 검토

2019. 10. 31.

우송대학교 산학협력단

제 출 문

한돈협회 회장 귀하

본 보고서를 “가축분뇨 개별 정화방류 시설 적정화 진단 검토” 용역(연구수행기간: 2019.04.30 ~ 2019.10.31)의 최종보고서로 제출합니다.

2019년 10월 31일

주관연구기관명 : 우송대학교 산학협력단

주관연구책임자 : 어 성 욱 (우송대학교)

연 구 원 : 조 효 진

김 창 수

옥 전 재

연 구 조 원 : 이 은 성

성 낙 승

< 목 차 >

제1장 연구 개요 ····· 1
1절 연구 배경 및 목적 ····· 1
2절 연구 범위 및 내용 ····· 1
3절 연구 추진 방법 ····· 2

제2장 국내 가축분뇨 개별 정화 방류 관련 연구 자료 ····· 5
1절 전국 가축분뇨 정화시설 처리·운영 현황조사 ····· 5
2절 가축분뇨정화처리시설 수질조사 결과 ····· 11

제3장 가축분뇨 자체 정화시설 설치 및 운영 현황 ····· 25
1절 가축분뇨 농가별 정화방류시설의 진단 결과 ····· 25
2절 축산농가 정화방류 시설의 효율적 운영 방안 ····· 77

제4장 가축분뇨 자체 정화시설 운전 진단 방법 ····· 79
1절 전처리 시설 운전 진단 방법(저류시설 포함) ····· 79
2절 생물반응조 및 후처리(고액분리 시설)운전 진단 방법 ····· 79
3절 시설의 적정성 분석 ····· 81

제5장 정화방류 기준 부합을 위한 적정 시설 제안 ····· 83
1절 정화방류시설 표준 모델 ····· 83
2절 자체 정화시설 운영비용 적정성 분석 ····· 86

제6장 정화 방류시설 표준 모델 제안 ····· 89
1절 정화방류시설 표준 모델 ····· 89
2절 전처리 시설의 유지관리 ····· 89
3절 생물 반응조 및 후처리(고액분리)시설의 유지관리 ····· 90
4절 오염물질 항목별 이상 발생 시 대응 매뉴얼 ····· 91
5절 생물학적 질소처리의 원리 ····· 98

< 참 고 문 헌 > ····· 101

<표 차례>

[표 1] 연도별 가축분뇨 발생량 및 처리현황(환경부, 가축분뇨 처리통계, 2016) ·····6
[표 2] 축종별 개별정화처리시설 설치 현황(전국오염원 총조사, 2017) ·····7
[표 3] 양돈분뇨 정화처리 지역별 현황 ·····8
[표 4] 지역별 양돈분뇨 정화처리 현황 ·····9
[표 5] 개별처리시설(양돈) 유입수 수질 분석결과 요약 ·····11
[표 6] 개별처리시설(양돈) 방류수 수질 분석결과 요약 ·····11
[표 7] 개별처리시설(양돈) 유기물 비율검토 ·····12
[표 8] 개별처리시설(양돈) 지역별 처리공정 ·····12
[표 9] 개별처리시설(양돈) 지역별 유입수 수질 분석결과 요약 ·····13
[표 10] 개별처리시설(양돈) 지역별 방류수 수질 분석결과 요약 ·····14
[표 11] 개별처리시설(양돈) 평균 처리효율 ·····16
[표 12] 개별처리시설 공정별 처리효율 ·····17
[표 13] 개별정화처리시설 방류수 수질기준 ·····18
[표 14] 개별처리시설(양돈) 방류수 전체 기본통계량 (단위 : mg/L) ·····19
[표 15] 개별처리시설(양돈) 유입수 전체 Spearman 상관성 분석결과 ·····22
[표 16] 개별처리시설(양돈) 유입수 전체 Pearson 상관성 분석결과 ·····22
[표 17] 개별처리시설(양돈) 방류수 전체 Spearman 상관성 분석결과 ·····23
[표 18] 개별처리시설(양돈) 방류수 전체 Pearson 상관성 분석결과 ·····23
[표 19] 가축분뇨 정화방류 농가 현황 분석 ·····26
[표 20] 개별 정화방류시설의 항목별 기준 ·····27
[표 21] 개별 정화방류 기준 부합여부 설문 결과 ·····28
[표 22] 개별 정화방류 조사내용 ·····28
[표 23] 조사된 퇴비 중금속 농도 및 염분농도 ·····75
[표 24] 조사된 퇴비 부숙도, 미생물, 유기물 농도 ·····76
[표 25] 정화처리시설 표준처리공정 구성 ·····84
[표 26] 자체 정화시설의 ton당 운영비용 ·····86
[표 27] 설계 유입유량 ·····87
[표 28] 정화처리시설 표준처리공정 구성 ·····89

<그림 차례>

[그림 1] ‘07-‘16년 가축분뇨 처리형태별 농가수 ····· 5
[그림 2] ‘07-‘16년 가축분뇨 처리형태별 처리량 ····· 6
[그림 3] 개별정화시설 지역별 현황 ····· 9
[그림 4] 가축분뇨 개별정화시설 현황 ····· 10
[그림 5] 개별정화처리시설(양돈) 방류수 유기물 농도별 빈도수 ····· 15
[그림 6] 개별처리시설 공정별 처리효율 ····· 17
[그림 7] 개별처리시설(양돈) 유입수 항목별 Q-Q 도표 ····· 20
[그림 8] 개별처리시설(양돈) 방류수 항목별 Q-Q 도표 ····· 21
[그림 9] 개별처리시설(양돈) 유기물질 방류수 분포 ····· 24
[그림 10] 개별처리시설(양돈) 유기물질 방류수 분포 ····· 24
[그림 11] 가축분뇨 정화방류 농가 현황 분석 ····· 26
[그림 12] 정화방류 농가의 법적 규제 종류별 분석 ····· 26
[그림 13] 특정지역 농장의 방류수 기준 준수 현황 ····· 27
[그림 14] 일반지역 농장의 방류수 기준 준수 현황 ····· 28
[그림 15] 조사대상시설의 처리시설 설치현황 ····· 30
[그림 16] 조사 대상 정화방류시설의 시설용량 ····· 30
[그림 17] #1 처리공정도 및 시료채취 ····· 31
[그림 18] #2 처리공정도 및 시료채취 ····· 32
[그림 19] #3 처리공정도 및 시료채취 ····· 33
[그림 20] #4 처리공정도 및 시료채취 ····· 34
[그림 21] #5 처리공정도 및 시료채취 ····· 35
[그림 22] #6 처리공정도 및 시료채취 ····· 36
[그림 23] #7 처리공정도 및 시료채취 ····· 37
[그림 24] #8 처리공정도 및 시료채취 ····· 38
[그림 25] #9 처리공정도 및 시료채취 ····· 39
[그림 26] #10 처리공정도 및 시료채취 ····· 40
[그림 27] #11 처리공정도 및 시료채취 ····· 41
[그림 28] #12 처리공정도 및 시료채취 ····· 42
[그림 29] #13 처리공정도 및 시료채취 ····· 43
[그림 30] #14 처리공정도 및 시료채취 ····· 44
[그림 31] #16 처리공정도 및 시료채취 ····· 46
[그림 32] #17 처리공정도 및 시료채취 ····· 47
[그림 33] #18 처리공정도 및 시료채취 ····· 48
[그림 34] #19 처리공정도 및 시료채취 ····· 49
[그림 35] #20 처리공정도 및 시료채취 ····· 50
[그림 36] #21 시료 ····· 51
[그림 37] #22 처리공정도 및 시료채취 ····· 52

[그림 38] #23 처리공정도 및 시료채취 ····· 53
[그림 39] #24 처리공정도 및 시료채취 ····· 54
[그림 40] #28 처리공정도 및 시료채취 ····· 58
[그림 41] #29 처리공정도 및 시료채취 ····· 59
[그림 42] #30 처리공정도 및 시료채취 ····· 60
[그림 43] 조사대상 농장 원수의 유기물 농도 ····· 62
[그림 44] 조사대상 농장 원수의 질소 농도 ····· 62
[그림 45] 조사대상 농장 원수의 부유물질 농도 ····· 63
[그림 46] 조사대상 농장 원수의 부유물질의 VSS/TSS 비 ····· 63
[그림 47] 조사대상 농장 방류수의 pH 농도 ····· 64
[그림 48] 조사대상 농장 방류수의 전기전도도 농도 ····· 65
[그림 49] 전기전도도와 CODCr의 관계 ····· 65
[그림 50] 전기전도도와 T-N의 관계 ····· 66
[그림 51] 전기전도도와 NH4-N의 관계 ····· 66
[그림 52] 전기전도도와 CODCr의 상관관계 ····· 66
[그림 53] 전기전도도와 NH4-N의 상관관계 ····· 67
[그림 54] 방류수 BOD 및 SS 분석 결과 ····· 67
[그림 55] 그룹1 시설의 유입수 BOD와 방류수 총질소 농도의 상관성 비교 ····· 68
[그림 56] 방류수 T-N 분석 결과 ····· 68
[그림 57] 총질소 초과 시설의 질소 항목별 분석결과 ····· 69
[그림 58] 그룹1 시설의 질소 항목별 분석결과 ····· 70
[그림 59] 그룹1 시설의 유입수 BOD와 방류수 총질소 농도의 상관성 비교 ····· 71
[그림 60] 그룹2 시설의 질소 항목별 분석 결과 ····· 72
[그림 61] 포기조내 미생물 비율(MLVSS/MLSS) ····· 73
[그림 62] 진단 대상 시설의 전처리에 의한 제거효율 비교 ····· 73
[그림 63] 조사된 퇴비 내 구리와 아연 함량 ····· 74
[그림 64] 양돈분뇨 자체정화처리시설의 전형적인 공정 ····· 77
[그림 65] 일반적인 자체 처리시설 공정도 ····· 81
[그림 66] MLE(Modified Ludzack-Ettinger) 공정 개요도 ····· 85

제1장 연구 개요

1절 연구 배경 및 목적

1. 배경 및 필요성

- 가축분뇨 개별정화 방류수 기준에 질소 기준이 도입되고 2019년 1월부터 강화된 기준의 전면적 실시에 따라 개별 전화처리시설 설치 농가는 시설의 적정 운영관리에 많은 어려움을 겪고 있는 실정임
- 기존의 유기물(BOD)과 부유물 기준은 적정 시설 설치만으로 기준의 충족이 가능하였으나 질소 항목의 기준을 충족시키기 위해서는 시설 설치와 함께 운전관리에 대한 이해와 기술의 축적이 필요한 실정임
- 양돈 개별정화 방류시설의 방류수 기준 준수와 적정 관리를 위해 정기적인 기술진단이 필요하며 이를 통해 시설·공정·유지·관리 등 처리시설 전반에 대한 적정성 및 시설의 수명연장과 처리효율 개선을 통해 사업장의 안정적 분뇨관리가 가능하며 이는 지속 가능한 양돈산업 발전의 기반이 됨

2. 연구 목적

- 양돈 농가의 정화방류 시설에서 질소, 인 항목을 적절히 제거하기 위해서는 적정 시설의 확보도 중요하지만 이보다 수처리 전문인력을 통한 안정적인 운전관리가 필수적이며 비전문가에 의한 운영으로 정화처리시설이 오히려 일부 환경오염 유발 시설로 지목되기도 함
- 다양한 양돈 사육시설에서 발생하는 분뇨는 동일한 공정설치 농장도 다른 처리 결과를 보임. 각 농장의 분뇨 발생 특성에 맞춘 시설별 운전방법의 처방을 통해 최적의 분뇨처리 결과를 나타낼 수 있는 시설진단을 수행하는 것이 본 과업의 목적임

2절 연구 범위 및 내용

1. 기존 자체 정화시설의 공정별 운전 효율 분석

- ❍ 처리 단계별 운전 효율 분석
- ❍ 공정 단계별 수질 분석 및 운전 성능 분석
- ❍ 시설의 적정성 분석 및 전 공정 운전 효율 분석

2. 가축분뇨 자체 정화시설의 맞춤형 운영관리 방법 도출

- ❍ 전처리 시설 최적 운전방법 도출
- ❍ 질소 제거를 위한 생물 반응조 운전방법 도출
- ❍ 고액분리 시설 적정화 방안 도출
- ❍ 슬러지 처리 시설(퇴비화 공정 포함) 최적 관리 방안 도출

3. 시설별 공정 개선 필요 사항 도출 및 최적 운전방법 제안

- ❍ 분석결과를 활용한 시설별 운영 관리 개선 방안 제시
- ❍ 추가 필요 시설 및 개선방안 제시

3절 연구 추진 방법

1. 조사업무

○ 표본조사

- 한돈협회의 정화방류 농가 현황 파악을 위한 설문조사 겨과를 토대로 컨설팅 신청 농가를 대상으로 한 현장 방문 실태조사

○ 기초 연구 자료조사 및 분석

- 기초 연구 자료조사 : 기 연구된 자료를 중심으로 한돈 농가의 정화방류 특성을 분석하고 연구 진행 방향 보완

○ 시설 처리효율과 실 운영실태 조사

- 가축분뇨 발생량 및 정화방류시설 조사 : 정화방류시설별 처리효율과 운영평가에 미치는 요인 조사
- 정화방류 공정별 조사 : 가축분뇨 처리공정별 오염물질의 농도 조사

○ 설문조사

- 표본조사대상에서 제외된 정화방류농가에 대한 설문조사와 필요시 농장주 및 시설 운영자를 대상으로 정화방류시설의 문제점과 개선방향 등에 대하여 문답조사

○ 분석항목

- 원수, 전처리, 생물반응조(질산화조, 탈질조), 방류수 시료 각 2개
- 항목(수질) : pH, BOD_5, COD_{Cr}, TOC, SS, T-N, T-P, NH_4-N, NO_3-N, NO_2-N, PO_4-P
- 퇴비 성분분석(중금속, 부숙도 등)

2 진단내용

○ 현상 및 공정진단

- 운영현황, 현장 실측자료 등에 의한 처리공정의 적정운영 여부 확인 등 처리계통 전반에 대한 문제점 파악 및 개선방안 제시

○ 시설진단

- 처리시설 전반에 대한 정상 작동여부, 운전 효율 검토를 통한 문제점 분석 및 개

선방안 제시

- 원수, 고액분리후, 생물반응조, 방류수 시료채취후 분석을 통한 시설의 정상 가동 여부 및 처리 효율 검토를 통한 문제점 분석 및 개선방안 제시
- 분석항목 : BOD_5, COD_{Cr}, TOC, SS, T-N, T-P, NH_4-N, NO_3-N, NO_2-N, PO_4-P

❍ 시설 개선 및 운전방법 개선(안) 제시

- 필요시 공정 개선 및 시설개선 방안 제시
- 운전관리 개선방안 제시
- 적정 운전관리 매뉴얼 제공

3. 기대효과

❍ 강화된 가축분뇨 방류수 기준에 부합하는 정화시설 운전으로 한돈 산업의 지속발전 운영을 가능하게 함

❍ 기존시설을 최대한 활용하는 시설개선으로 투자 효과증대 및 운영 관리비 절감

❍ 운전여건 개선에 따른 처리효율 증대로 환경보전 기여

❍ 정확한 문제 원인 인식을 통하여 시설운영관리자의 문제해결 능력 향상

제2장 국내 가축분뇨 개별 정화 방류 관련 연구 자료

1절 전국 가축분뇨 정화시설 처리·운영 현황조사

1. 전국 가축분뇨 정화시설 유형별 분포 현황 및 처리 현황 조사

○ [그림 1]은 환경부의 가축분뇨처리통계(2016)자료를 요약한 것으로, 돼지뿐 아니라 소, 가금, 말 등 전체 축종 대상의 자료이다. 가축분뇨 처리는 90% 이상이 자원화이고 정화처리는 1% 이하로 나타나고 있다. 가축분뇨처리 현황 분석(환경부, 2018)에 의하면 가축분뇨처리 방법으로 자원화 농가는 감소 추세인 반면, 위탁처리는 증가 추세를 나타내고 있다. 자원화 농가는 '12년까지 꾸준히 증가한 이후 현재는 자원화물 살포 농경지 확보의 어려움으로 감소 추세를 나타내고 있음

[그림 1] '07-'16년 가축분뇨 처리형태별 농가수

○ 가축분뇨의 처리형태별 처리량도 공공처리 및 재활용업 등 위탁처리는 '07년부터 꾸준히 증가하고 있으며, 정화처리량은 증감을 반복하며 일정 수준을 유지하는 경향을 나타내고 있다. '11년 런던협약에 의하여 2012년부터 해양투기가 금지되어 돼지 농가의 위탁처리가 지속적으로 증가하고 있는 실정임

[그림 2] ‘07-‘16년 가축분뇨 처리형태별 처리량

[표 1] 연도별 가축분뇨 발생량 및 처리현황(환경부, 가축분뇨 처리통계, 2016)

년도			2010	2011	2012	2013	2014	2015
전체 농가수(호)			212,143	223,988	233,355	212,794	213,607	194,824
가축사육두수(천두)			208,274	215,499	224,208	235,144	240,175	236,845
가축분뇨발생량 (㎥/일)			135,653	128,621	177,105	173,052	175,651	173,304
가축분뇨처리 현황 (신고미만농가 제외)	가축분뇨처리 농가(호)		72,998	76,731	81,080	77,008	80,053	78,192
	자원화	(호)	65,688	69,277	73,530	68,731	71,519	69,104
		(%)	90	90.3	90.7	89.3	89.3	87.5
	정화처리	(호)	1,366	763	808	791	804	831
		(%)	1.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	기타 (위탁처리 등)	(호)	5,944	6,691	6,742	7486	7,730	9,065
		(%)	8.1	8.7	8.3	9.7	9.7	11.5

○ [표 2]는 환경부의 수질오염총량관리를 위해 매년 시행하는 전국오염원총조사(2017)의 축산계 자료를 나타낸 것으로 개별정화 방류 농가는 돼지사육시설의 경우 신고 94개소, 허가규모 287개소로 나타나고 있음

○ 전국오염원총조사는 축산계뿐 아니라 하수처리장 등의 생활계, 산업폐수 발생현황을 조사하는 산업계 그리고 비점오염에 의한 수질 영향을 파악하는 토지계 등 방대한 수질오염자료를 관리하여 전국 수계의 수질관리를 진행하는 사업임

○ 방대한 자료량과 처리인력의 제한 등으로 현행 자료와 약 2년의 시차를 보이며 지자체별 관리인력의 한계로 적지 않은 오차를 보임에도 불구하고 전국단위의 가축분뇨 관리에 대한 유일한 자료로 환경정책 입안의 기초자료로 활용됨

[표 2] 축종별 개별정화처리시설 설치 현황(전국오염원 총조사, 2017)

축종	규모	시설수 (개소)	총시설용량 (톤/일)
돼지	신고	94	8,420
	허가	287	23,826.7
한우	신고	82	8,030
	허가	10	980
젖소	신고	200	16,580
	허가	123	10,870
오리	신고	10	1,000
산양	신고	1	100
사슴	신고	1	100
말	신고	3	260
	허가	5	500
닭	신고	5	500
개	신고	10	990
총계		**831**	**72,156.7**

○ 개별 정화처리시설을 설치한 대다수의 젖소 농가는 분뇨처리용이 아닌 착유세정수 처리시설로 공공처리나 양돈분뇨 개별처리시설과는 유입, 방류수의 특성과 처리공정이 상이함

○ 개별정화처리 시설은 양돈 농가의 시설에 한정하며, 신고 규모 94개소, 8,420톤/일, 허가 규모 287개소, 23,826.7톤/일로 나타나고 있다. 이 자료에 의하면 신고 규모의 평균 시설용량은 89.6톤/일, 허가 규모는 83.0톤/일이고 전체 평균 규모는 84.6톤/일로 나타남

○ 2016년 기준 전국오염원 조사 자료상의 돼지 사육두수가 농림축산식품부의 통계자료와 크게 다르지 않음을 볼 때 이를 근거로 처리시설 규모를 산정할 수 있으며, 신고규모 237,602두, 허가 규모 1,241,862두를 기준으로 볼 때 신고 규모 1,212톤/일, 허가 규모 6,333톤/일로 7,545톤/일 정도의 시설 규모가 현재 운영되고 있는 것으로 판단할 수 있다. 이는, 전체 양돈 분뇨발생량의 23.4%에 해당함

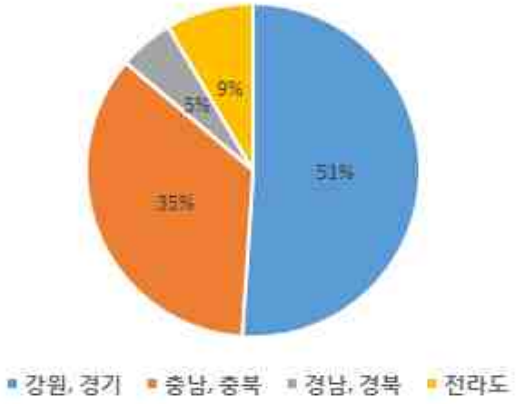
○ 전국 공공처리시설 시설용량 16,033톤/일이고 단독 처리되어 방류되는 공공처리장의 시설용량 약 5,300톤/일과 비교할 때 방류하천의 수질을 관리를 위해 무시되어질 수 없는 수치임

2. 양돈분뇨 개별정화처리 현황

○ 2015년 기준 전국오염원 조사 자료를 살펴보면 전체 정화처리시설 설치농가는 381개소이며, 이중 허가규모가 전체의 75%, 신고규모가 25%이다. [그림 3]은 가축분뇨 개별정화시설을 신고 시설과, 허가시설의 지역별로 구분하여 나타냄

[표 3] 양돈분뇨 정화처리 지역별 현황

지역	신고규모		허가규모	
	개소수	비율(%)	개소수	비율(%)
강원도	6	2	23	6
경기도	41	11	92	24
경상남도	5	1	37	10
경상북도	-	0	31	8
세종특별자치시	1	0	7	2
인천광역시	1	0	2	1
전라남도	8	2	3	1
충청남도	16	4	82	22
충청북도	16	4	10	3
합계	**94**	**25**	**287**	**75**



개별정화시설 (신고)

개별정화시설 (허가)

[그림 3] 개별정화시설 지역별 현황

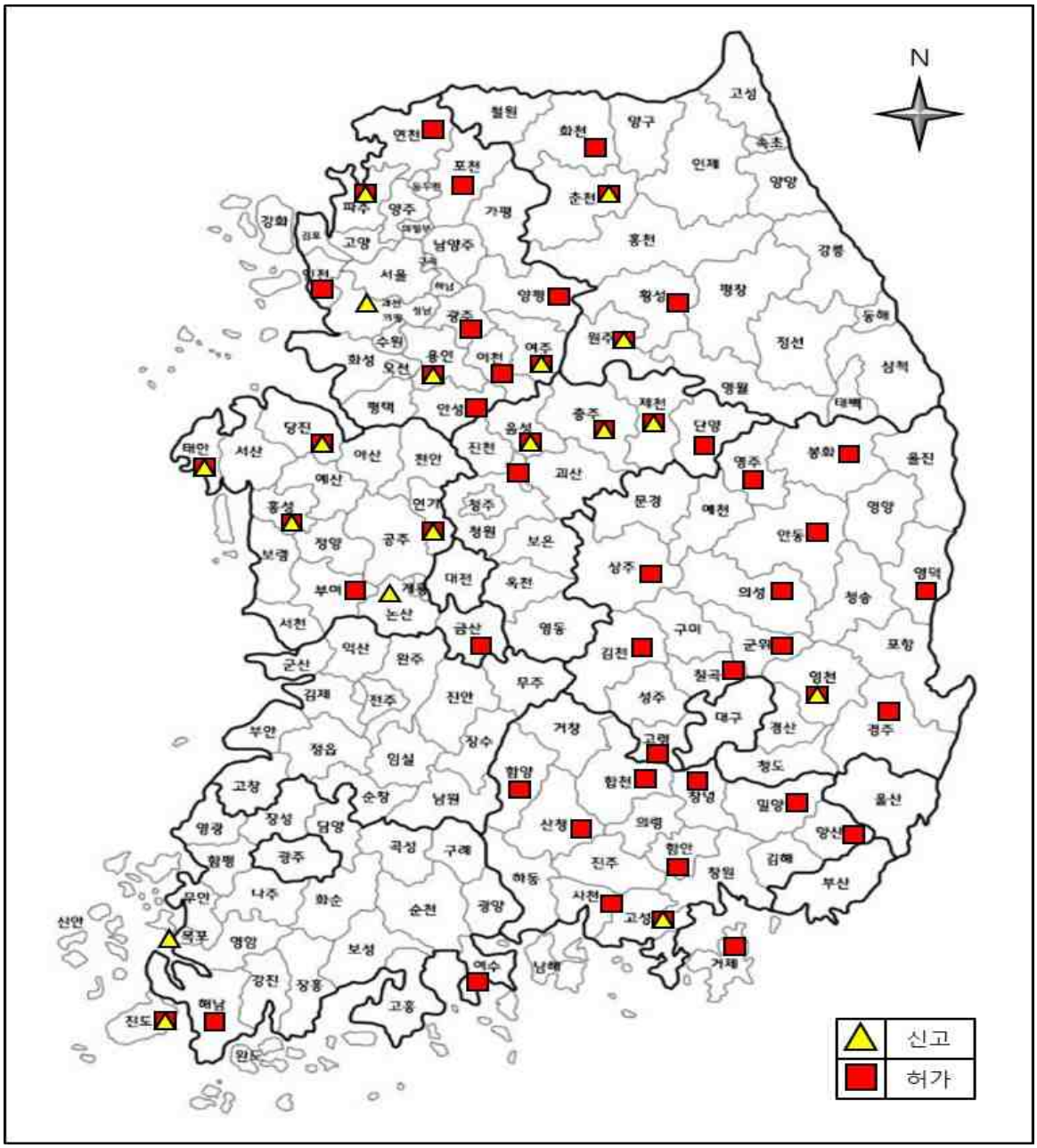
3. 양돈분뇨 개별정화처리시설 조사

○ [표 4]는 전국오염원조사(2016)에 나타난 양돈분뇨 자체 정화처리 시설을 지역별, 신고, 허가 규모별 구분하여 나타냄

○ [그림 4]는 양돈분뇨 자체 정화처리시설 설치 분포도를 나타낸 것인데, 경기, 충남, 충북과 경북, 경남에 주로 분포되어 있다. 개별 정화처리시설은 퇴・액비 자원화물의 농경지 살포가 어려운 지역에 집중되어 있으며 상대적으로 경지 확보가 용이한 강원과 전라남・북도에는 설치 시설수가 적게 나타남

[표 4] 지역별 양돈분뇨 정화처리 현황

지역	신고규모		허가규모	
	개소수	비율(%)	개소수	비율(%)
강원도	6	2	23	6
경기도	41	11	92	24
경상남도	5	1	37	10
경상북도	-	0	31	8
세종특별자치시	1	0	7	2
인천광역시	1	0	2	1
전라남도	8	2	3	1
충청남도	16	4	82	22
충청북도	16	4	10	3
합계	94	25	287	75



[그림 4] 가축분뇨 개별정화시설 현황

2절 가축분뇨정화처리시설 수질조사 결과

1. 개별처리시설(양돈) 수질조사

❍ 가장 최근에 조사된 개별정화처리시설에 대한 분석자료(국립환경과학원, 2019)는 유입수의 평균값으로 BOD 11,889(1,054~39,525)mg/L로 제시하고 있으며, COD_{Cr}은 27,533(2,438~85,320)mg/L, COD_{Mn} 10,022(1,038~39,500)mg/L, DOC 5,285(383 ~ 27,330) mg/L, TOC 8,795(734~37,240)mg/L, SS 17,148(750~69,300)mg/L, T-N 2,340(401~4,910)mg/L 및 T-P 582(51~2,010)mg/L로 각각의 결과를 나타내고 있다. 방류수의 평균값은 BOD 204.4(10.3~991.3)mg/L, COD_{Cr} 465.1(18.0~2,332.8)mg/L, COD_{Mn} 213.8 (8.4~1,180.0) mg/L, DOC 163.1(6.3~892.9)mg/L, TOC 181.1(8.2 ~ 1,004.0) mg/L, SS 49.0(0.2~924.0)mg/L, T-N 287.3(6.6~896.0)mg/L 및 T-P 28.3(0.1 ~ 152.0) mg/L로 제시하고 있음

[표 5] 개별처리시설(양돈) 유입수 수질 분석결과 요약

구분	BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	SS	T-N	T-P
최대(mg/L)	39,525	85,320	39,500	27,330	37,240	69,300	4,910	2,010
최소(mg/L)	1,054	2,438	1,038	383	734	750	401	51
평균(mg/L)	11,889	27,533	10,022	5,285	8,795	17,148	2,340	582
표준편차	9,802	22,789	8,904	6,310	8,748	15,460	1,078	411

[표 6] 개별처리시설(양돈) 방류수 수질 분석결과 요약

구분	BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	SS	T-N	T-P
최대(mg/L)	991.3	2,332.8	1,180.0	892.9	1,004.0	924.0	896.0	152.0
최소(mg/L)	10.3	18.0	8.4	6.3	8.2	0.2	6.6	0.1
평균(mg/L)	204.4	465.1	213.8	163.1	181.1	49.0	287.3	28.3
표준편차	222.7	466.9	224.8	168.8	193.9	111.0	235.4	39.4

○ 가축분뇨 개별정화방류시설(양돈)의 유기물 수질 항목간 비율검토 결과 방류수 BOD/TOC 1.1, COD_{Cr}/TOC 2.5, COD_{Mn}/TOC 1.2, DOC/TOC 0.9의 결과를 나타냄

[표 7] 개별처리시설(양돈) 유기물 비율검토

구분	유입수				방류수			
	BOD /TOC	COD_{Cr} /TOC	COD_{Mn} /TOC	DOC /TOC	BOD /TOC	COD_{Cr} /TOC	COD_{Mn} /TOC	DOC /TOC
최대	8.3	17.0	5.7	1.0	1.8	4.8	2.3	1.0
최소	0.5	1.3	0.2	0.2	0.4	1.1	0.5	0.5
평균	1.7	3.8	1.5	0.6	1.1	2.5	1.2	0.9
표준편차	1.2	2.3	0.9	0.2	0.3	0.7	0.3	0.1

2. 개별정화처리시설(양돈) 지역별 처리 특성

○ 개별정화처리시설(양돈)의 지역별 처리공정 분석결과 전처리는 벨트프레스가 50% 이상으로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 후처리는 충청도와 경상도에서 60%, 100% 비율을 차지하고 있음

[표 8] 개별처리시설(양돈) 지역별 처리공정

구분		충청도		경기도		경상도	
		개소	비율	개소	비율	개소	비율
전처리	벨트프레스	7	53.8	2	50	3	100
	원심분리	3	23.1	-	-	-	-
	스크류프레스	2	15.4	1	25	-	-
	데칸타	1	7.7	1	25	-	-
	합계	13	100	4	100	3	100
후처리	가압부상	8	61.5	2	50	3	100
	막여과	5	38.5	2	50	-	-
	합계	13	100	4	100	3	100

○ 개별정화처리시설(양돈)의 지역별 유입수 수질분석 결과 충청도 지역은 평균 BOD 13,998mg/L, COD_{Cr} 33,003mg/L, COD_{Mn} 12,086mg/L, TOC 10,313mg/L, SS 20,193mg/L, T-N 2,576mg/L, T-P 674mg/L, 경기도 지역은 평균 BOD 11,400mg/L, COD_{Cr} 24,110mg/L, COD_{Mn} 8,738mg/L, TOC 6,300mg/L, SS 13,604mg/L, T-N 2,207mg/L, T-P 472mg/L, 강원도 지역은 평균 BOD 3,505mg/L, COD_{Cr} 8,351mg/L, COD_{Mn} 3,018mg/L, TOC 2,237mg/L, SS 6,021mg/L, T-N 1,443mg/L, T-P 228mg/L로 충청도에서 가장 높은 것으로 나타났으며, 강원도에서 가장 낮은 것으로 나타남

[표 9] 개별처리시설(양돈) 지역별 유입수 수질 분석결과 요약

구분		BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	SS	T-N	T-P
충청	최대(mg/L)	39,525	85,320	39,500	27,330	37,240	69,300	4,910	2,010
	최소(mg/L)	1,281	2,808	1,250	383	869	1,700	446	68
	평균(mg/L)	13,998	33,003	12,086	6,274	10,313	20,193	2,576	674
경기	최대(mg/L)	29,800	65,880	22,000	19,830	21,390	47,700	3,913	1,102
	최소(mg/L)	1,797	3,456	1,680	342	1,029	2,200	1,114	51
	평균(mg/L)	11,400	24,110	8,738	3,695	6,300	13,604	2,207	472
강원	최대(mg/L)	10,426	34,560	6,200	3,195	7,805	21,150	2,892	945
	최소(mg/L)	1,054	2,438	1,038	624	705	750	401	62
	평균(mg/L)	3,505	8,351	3,018	1,499	2,237	6,021	1,443	228

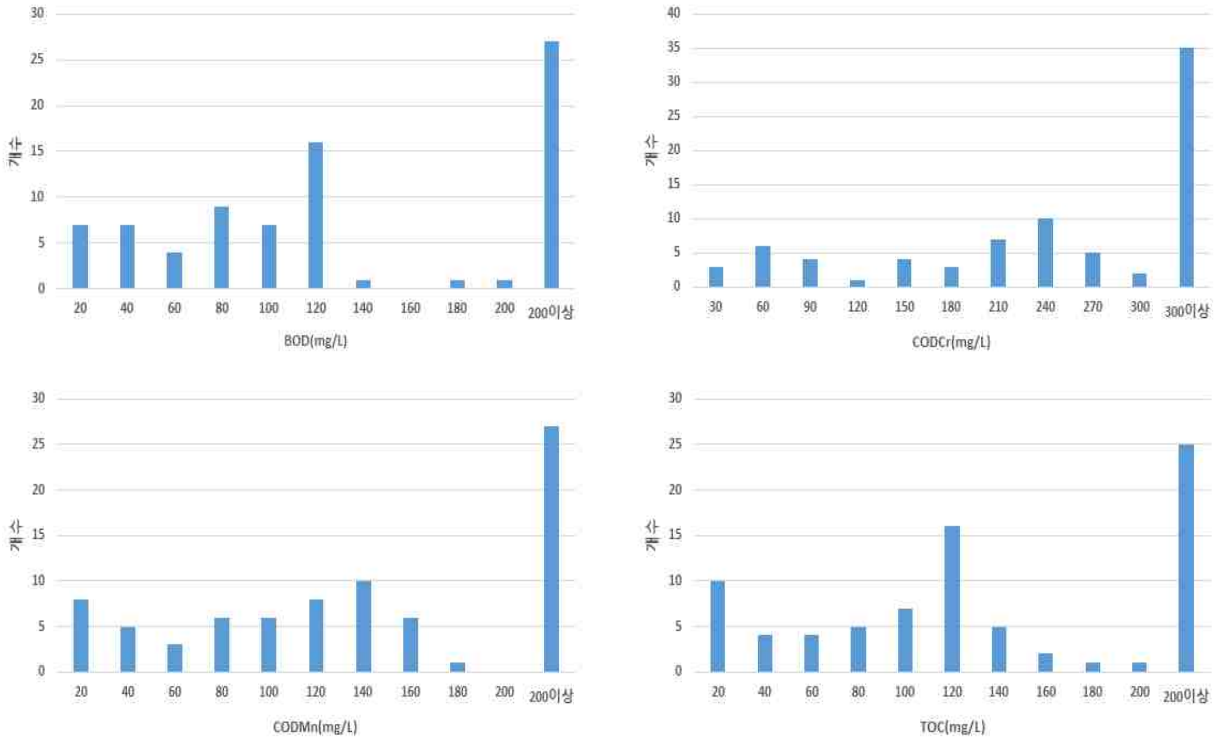
○ 개별정화처리시설(양돈)의 지역별 방류수 수질분석 결과 충청도 지역은 평균 BOD 265.4mg/L, COD_{Cr} 586.1mg/L, COD_{Mn} 277.9mg/L, TOC 249.6mg/L, SS 65.4mg/L, T-N 275.0mg/L, T-P 35.8mg/L, 경기도 지역은 평균 BOD 74.8mg/L, COD_{Cr} 198.4mg/L, COD_{Mn} 77.6mg/L, TOC 79.6mg/L, SS 27.5mg/L, T-N 321.0mg/L, T-P 2.8mg/L, 강원도 지역은 평균 BOD 95.6mg/L, COD_{Cr} 200.7mg/L, COD_{Mn} 101.2mg/L, TOC 69.1mg/L, SS 7.4mg/L, T-N 337.0mg/L, T-P 18.3mg/L로 충청도 지역에서 가장 높은 농도로 나타났으며, TOC, SS는 강원도, 나머지는 경기도 지역에서 낮은 농도로 나타나고 있다.

[표 10] 개별처리시설(양돈) 지역별 방류수 수질 분석결과 요약

구분		BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	SS	T-N	T-P
충청	최대(mg/L)	991.3	2,332.8	1,180.0	892.9	1,004.0	924.0	796.5	152.0
	최소(mg/L)	22.1	51.8	11.0	6.3	8.7	0.6	6.6	0.1
	평균(mg/L)	265.4	586.1	277.9	223.3	249.6	65.4	275.0	35.8
경기	최대(mg/L)	223.5	810.0	208.0	242.2	248.1	70.0	830.2	16.2
	최소(mg/L)	12.2	30.2	14.0	8.3	8.5	1.3	22.6	0.2
	평균(mg/L)	74.8	198.4	77.6	73.4	79.6	27.5	321.0	2.8
강원	최대(mg/L)	85.7	165.9	82.9	59.0	60.1	5.9	307.6	24.0
	최소(mg/L)	10.3	18.0	8.4	7.1	8.2	0.2	60.4	0.3
	평균(mg/L)	95.6	200.7	101.2	66.6	69.1	7.4	337.0	18.3

3. 가축분뇨 정화처리시설 방류수 유기물 농도별 빈도수

○ 가축분뇨 정화처리시설 방류수 유기물 농도별 빈도수 분석결과 개별정화처리시설(양돈)은 BOD 200mg/L 이상 33.8%, COD_{Cr} 300mg/L 이상 43.8%, COD_{Mn} 200mg/L 이상 33.8%, TOC 200mg/L 이상 31.3%로 나타남



[그림 5] 개별정화처리시설(양돈) 방류수 유기물 농도별 빈도수

4. 가축분뇨정화처리시설 유기물 처리효율 분석

○ 개별처리시설(양돈)의 처리효율은 유기물 90% 이상, T-N 83.9%, T-P 90.7%로 높은 처리효율을 나타내고 있음. 개별처리시설(양돈)의 경우 유입수의 수질이 매우 고농도이므로 처리효율이 높음에도 방류수 수질을 고려한다면 방류되는 유기물질의 농도가 높은 경향을 나타내고 있음

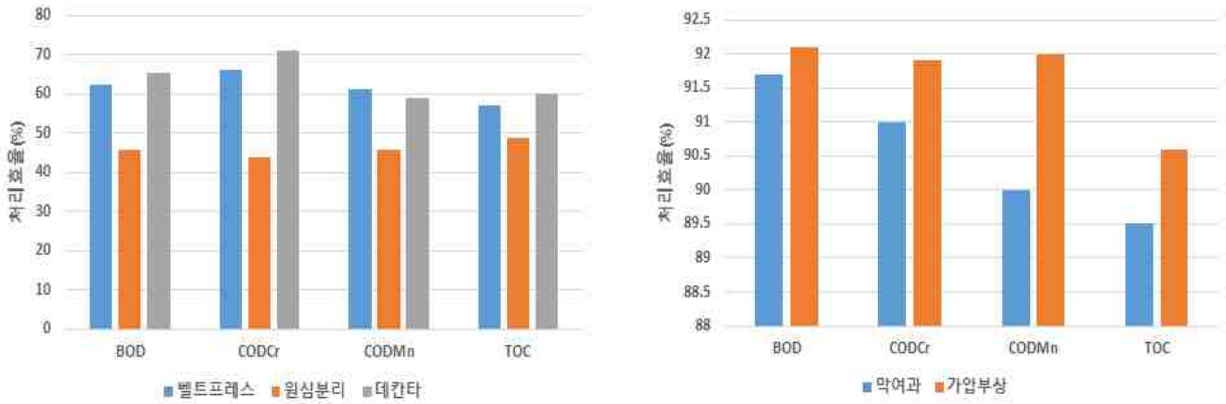
[표 11] 개별처리시설(양돈) 평균 처리효율

구분		BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	TSS	T-N	T-P
유입수	최대	39,525	85,320	39,500	27,330	37,240	69,300	4,910	2,010
	최소	1,054	2,438	1,038	383	734	750	401	51
	평균	11,889	27,533	10,022	5,285	8,795	17,148	2,340	582
	표준편차	9,802	22,789	8,904	6,310	8,748	15,460	1,078	411
방류수	최대	991.3	2,332.8	1,180.0	892.9	1,004.0	924.0	896.0	152.0
	최소	10.3	18.0	8.4	6.3	8.2	0.2	6.6	0.1
	평균	204.4	465.1	213.8	163.1	181.1	49.0	287.3	28.3
	표준편차	222.7	466.9	224.8	168.8	193.9	111.0	235.4	39.4
처리효율(%)	최대	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	100.0	99.8	100.0
	최소	85.3	87.4	86.2	36.7	68.6	67.0	8.8	3.9
	평균	97.5	97.4	96.9	93.0	96.2	99.2	83.9	90.7

- 개별처리시설(양돈)의 처리공정, 처리방법별 처리효율을 [표 12]에 나타내었다. 고액분리 처리방법은 벨트프레스, 원심분리, 데칸타가 있으며, 처리효율은 평균 57.2~65.2%, 43.7~48.9%, 58.9~71.1%로 원심분리에서는 TOC가 처리효율이 가장 높고 COD_{Cr}이 가장 낮으나, 벨트프레스와 데칸타는 TOC가 가장 높게 나타남
- 조사대상 시설 중 데칸타를 사용하는 시설이 1개소 이므로, 정확한 처리효율이라고 보기는 어렵다. 생물반응조와 방류수 처리방법에는 막여과와 가압부상 방법이 있음
- 방류수의 처리효율은 막여과와 가압부상 모두 89.5~92.1% 이상으로 높은 처리효율을 보이고 있음. TOC의 효율이 가장 낮게 나타났으며, BOD의 처리효율이 가장 높게 나타남
- 개별정화처리시설의 경우 기존 방류수 기준에 난분해성 유기물질에 대한 항목(COD_{Mn})이 설정되어 있지 않아, 난분해성물질 제거시설이 설치되어 있지 않다. 그러나 기존 방류수의 BOD와 부유물질(SS) 항목을 준수하기 위해서는 가압부상 등의 후속처리 시설 설치가 필요한 실정이며, 이 시설들에 의한 TOC 제거가 어느 정도 수행되고 있는 상태여서 용존성 난분해성 유기물질(NBDSCOD) 항목을 제외하고 고액분리 효율이 높은 막여과 등의 시설이 TOC 제거효율도 높게 나타나고 있음

[표 12] 개별처리시설 공정별 처리효율

구분	처리방법		BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	TOC
고액분리	벨트프레스	최대	97.8	97.9	97.0	97.2
		최소	2.8	7.7	12.0	9.0
		평균	62.4	66.2	61.2	57.2
	원심분리	최대	78.3	80.0	78.8	77.0
		최소	8.4	4.2	4.2	9.0
		평균	45.7	43.7	45.8	48.9
	데칸타	최대	73.5	72.7	70.9	75.3
		최소	55.2	69.7	47.8	47.7
		평균	65.2	71.1	58.9	60.0
방류수	막여과	최대	99.5	99.2	99.0	99.6
		최소	68.9	68.8	60.0	55.2
		평균	91.7	91.0	90.0	89.5
	가압부상	최대	99.7	99.7	99.4	99.6
		최소	21.4	20.0	37.9	27.2
		평균	92.1	91.9	92.0	90.6



전처리 후처리

[그림 6] 개별처리시설 공정별 처리효율

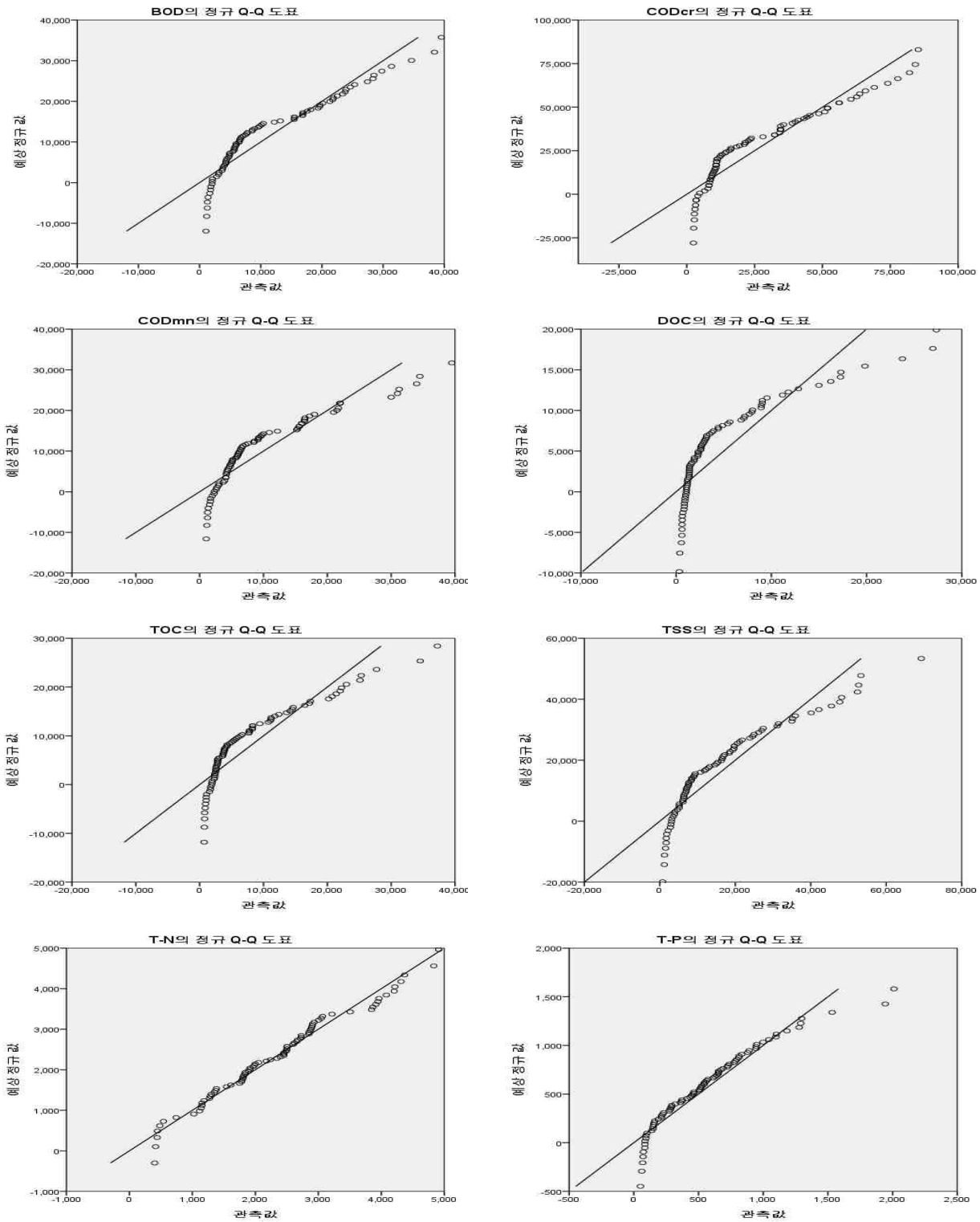
[표 13] 개별정화처리시설 방류수 수질기준

구분		허가대상	신고대상
특정지역	BOD(mg/L)	40 이하	120 이하
	SS(mg/L)	40 이하	120 이하
	T-N(mg/L)	120 이하	250 이하
	T-P(mg/L)	40 이하	100 이하
기타지역	BOD(mg/L)	120 이하	150 이하
	SS(mg/L)	120 이하	150 이하
	T-N(mg/L)	250 이하	400 이하
	T-P(mg/L)	100 이하	100 이하

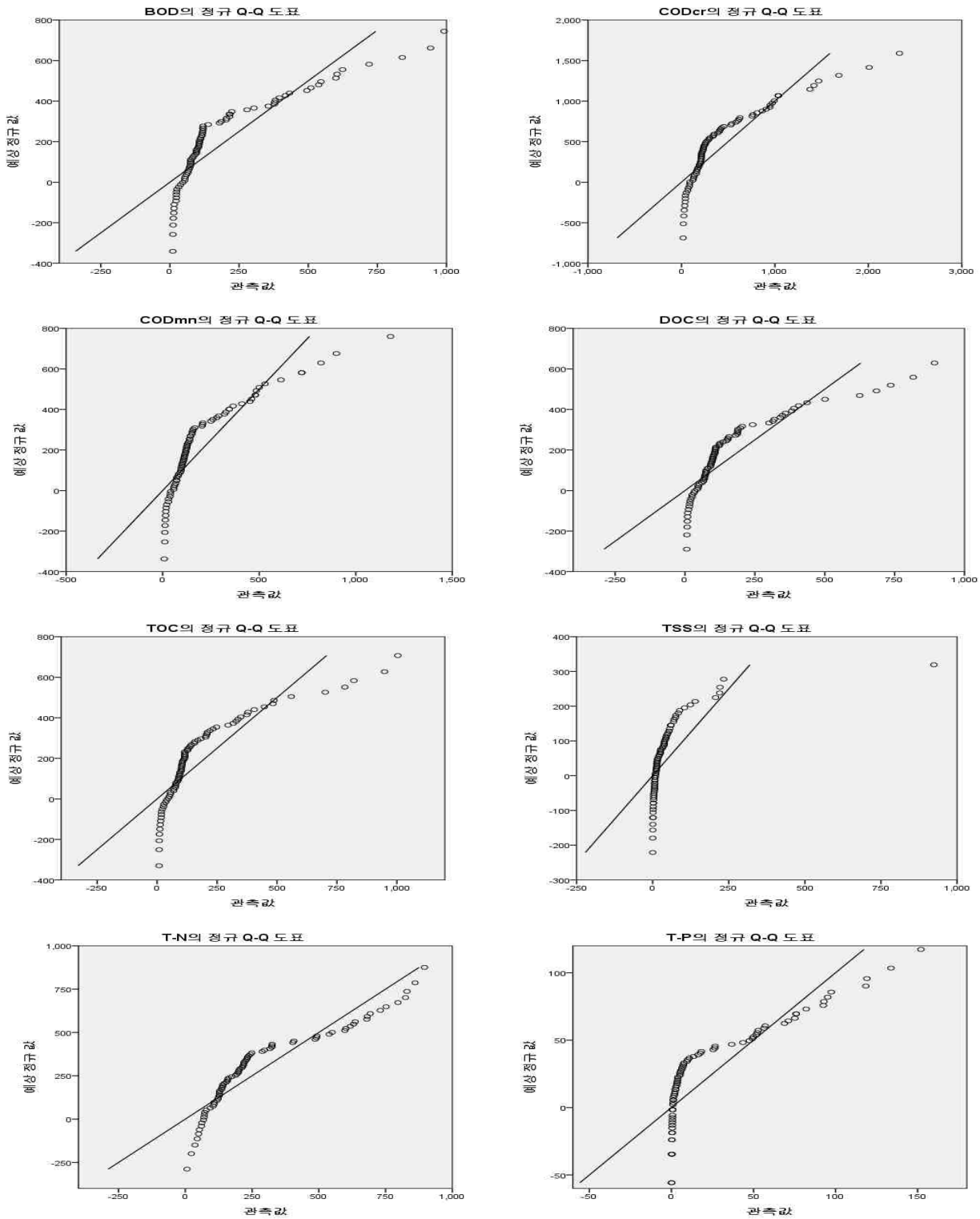
○ 개별처리시설(양돈) 방류수의 경우 60%ile에서 BOD의 수질기준을 만족하고 있으며, 후처리로 가압부상을 많이 사용하고 있고, 부유물질과 T-N 제거에 어려움이 있어 방류수 수질이 높게 나타나고 있음

[표 14] 개별처리시설(양돈) 방류수 전체 기본통계량 (단위 : mg/L)

구분		BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	TSS	T-N	T-P
평균		204.4	455.1	213.2	163.1	181.1	49.0	287.3	28.3
중앙값		109.0	252.7	125.9	101.7	111.6	16.1	202.9	6.4
표준편차		222.7	466.6	224.9	168.8	193.9	111.0	235.4	39.4
최소값		10.3	18.0	8.4	6.3	8.2	0.2	6.6	0.1
최대값		991.3	2,332.8	1,180.0	816.6	1,004.0	924.0	896.0	152.0
백분위수	5	14.1	35.3	13.9	9.3	11.3	1.2	49.4	0.2
	15	30.8	89.1	39.7	31.2	37.9	3.3	77.2	0.6
	25	65.4	162.0	72.4	70.1	77.5	6.9	126.5	1.1
	50	109.0	252.7	125.9	101.7	111.6	16.1	202.9	6.4
	55	116.4	289.4	139.1	107.8	115.3	21.4	218.3	8.5
	60	119.3	346.6	147.2	122.4	127.1	28.9	230.1	13.3
	65	181.5	414.2	160.8	136.0	138.2	37.7	245.6	20.8
	70	215.9	521.6	214.8	154.9	173.5	43.0	319.1	36.7
	75	279.5	607.5	282.5	189.0	211.9	51.0	403.7	49.5
	80	378.2	774.8	345.0	244.6	286.4	60.0	502.0	53.5
	85	420.3	946.3	453.2	315.4	338.6	70.8	604.0	75.3
	90	538.8	1,036.8	486.5	382.9	409.2	90.2	682.9	92.6
	95	628.8	1,421.0	720.0	507.2	566.6	207.3	797.9	118.5
	99	952.7	2,076.8	958.8	752.9	859.2	378.3	867.9	151.3



[그림 7] 개별처리시설(양돈) 유입수 항목별 Q-Q 도표



[그림 8] 개별처리시설(양돈) 방류수 항목별 Q-Q 도표

[표 15] 개별처리시설(양돈) 유입수 전체 Spearman 상관성 분석결과

구분			BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	TSS	T-N	T-P
Spearman correlation	BOD	상관계수	1							
		N								
	COD_{Cr}	상관계수	0.963	1						
		N	80							
	COD_{Mn}	상관계수	0.960	0.982	1					
		N	80	80						
	DOC	상관계수	0.744	0.747	0.719	1				
		N	80	80	80					
	TOC	상관계수	**0.890**	0.912	0.886	0.876	1			
		N	80	80	80	80				
	TSS	상관계수	0.701	0.748	0.731	0.579	0.726	1		
		N	80	80	80	80	80			
	T-N	상관계수	0.782	0.800	0.789	0.699	0.787	0.634	1	
		N	80	80	80	80	80	80		
	T-P	상관계수	0.768	0.780	0.757	0.545	0.715	0.680	0.655	1
		N	80	80	80	80	80	80	80	

(N: 표본수)

[표 16] 개별처리시설(양돈) 유입수 전체 Pearson 상관성 분석결과

구분		Pearson correlation							
		BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	TSS	T-N	T-P
BOD	상관계수	1	0.966	0.974	0.756	0.850	0.527	0.796	0.711
	N		80	80	80	80	80	80	80
CODCr	상관계수		1	0.978	0.735	0.884	0.554	0.778	0.720
	N			80	80	80	80	80	80
CODMn	상관계수			1	0.728	0.840	0.546	0.790	0.687
	N				80	80	80	80	80
DOC	상관계수				1	0.844	0.368	0.593	0.434
	N					80	80	80	80
TOC	상관계수					1	0.505	0.699	0.605
	N						80	80	80
TSS	상관계수						1	0.593	0.679
	N							80	80
T-N	상관계수							1	0.666
	N								80
T-P	상관계수								1
	N								

(N: 표본수)

[표 17] 개별처리시설(양돈) 방류수 전체 Spearman 상관성 분석결과

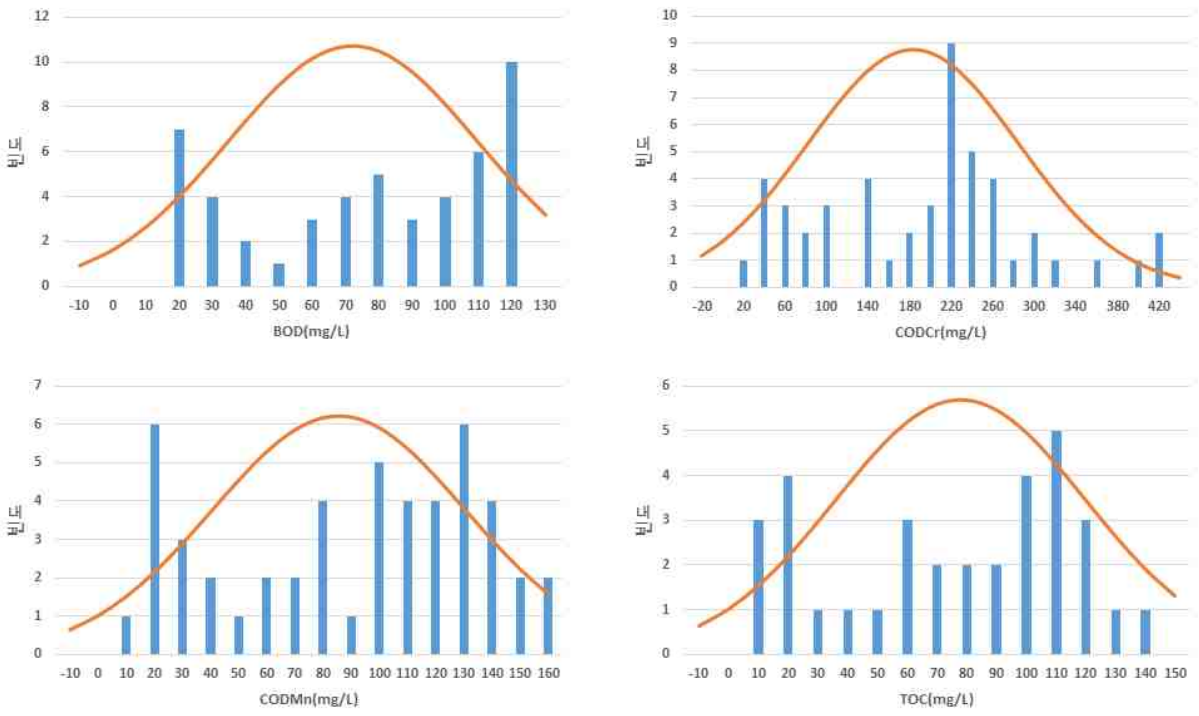
구분			BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	TSS	T-N	T-P
Spearman correlation	BOD	상관계수	1							
		N								
	COD_{Cr}	상관계수	0.982	1						
		N	80							
	COD_{Mn}	상관계수	0.984	0.975	1					
		N	80	80						
	DOC	상관계수	0.960	0.957	0.947	1				
		N	80	80	80					
	TOC	상관계수	0.960	0.955	0.944	0.991	1			
		N	80	80	80	80				
	TSS	상관계수	0.273	0.281	0.247	0.26	0.281	1		
		N	80	80	80	80	80			
	T-N	상관계수	0.278	0.286	0.288	0.294	0.253	-0.154	1	
		N	80	80	80	80	80	80		
	T-P	상관계수	0.472	0.417	0.428	0.448	0.473	0.021	0.082	1
		N	80	80	80	80	80	80	80	

(N: 표본수)

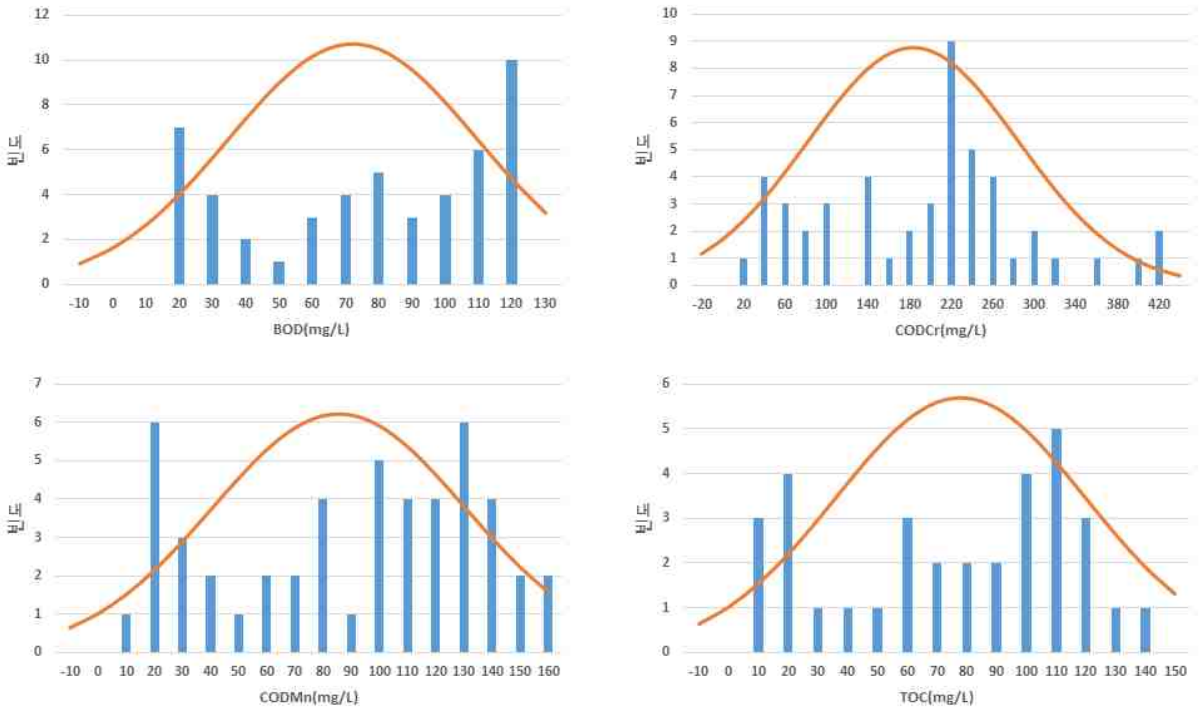
[표 18] 개별처리시설(양돈) 방류수 전체 Pearson 상관성 분석결과

구분		Pearson correlation							
		BOD	COD_{Cr}	COD_{Mn}	DOC	TOC	TSS	T-N	T-P
BOD	상관계수	1	0.984	0.977	0.958	0.963	0.051	0.321	0.204
	N		80	80	80	80	80	80	80
COD_{Cr}	상관계수		1	0.980	0.924	0.938	0.049	0.322	0.219
	N			80	80	80	80	80	80
COD_{Mn}	상관계수			1	0.922	0.937	0.028	0.338	0.201
	N				80	80	80	80	80
DOC	상관계수				1	0.991	0.106	0.356	0.181
	N					80	80	80	80
TOC	상관계수					1	0.096	0.345	0.174
	N						80	80	80
TSS	상관계수						1	0.071	0.326
	N							80	80
T-N	상관계수							1	-0.099
	N								80
T-P	상관계수								1
	N								

(N: 표본수)



[그림 9] 개별처리시설(양돈) 유기물질 방류수 분포



[그림 10] 개별처리시설(양돈) 유기물질 방류수 분포

제3장 개별 정화방류 시설 현장 진단 및 분석

1절 가축분뇨 농가별 정화방류시설의 진단 결과

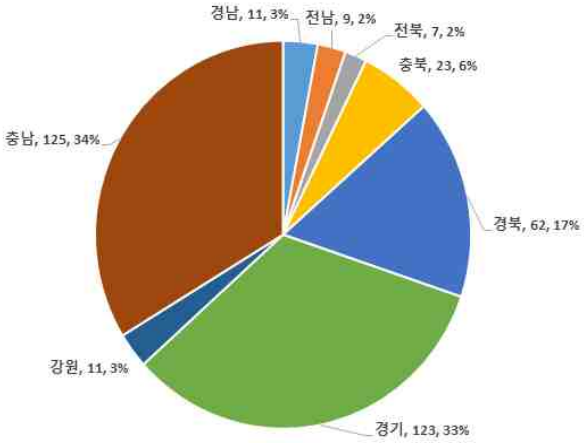
1. 국내 정화방류 농가 현황

- 2019년 한돈협회의 집계 및 조사결과 개별정화방류 농가수는 총 371개소로 나타나고 있는데 이는 환경부 전국오염원조사(2016)에 나타난 양돈 개별정화방류 농가수 371 개소와 유사한 수치를 보이고 있음
- 그러나 환경부의 자료는 2016년 기준 수치로 신고대상 94농가, 허가대상 287농가로 총 371개소로 나타났으나 추후 조사결과 신고대상은 거의 없어졌으며 허가 대상 농가만 정화방류시설을 운영하는 것으로 보고됨
- 한돈협회의 조사결가 2019년 기준 371개소를 근거로 볼 때 이후 80여 양돈 농가가 신규로 정화방류 시설을 설치한 것으로 추정할 수 있음
- 전체 양돈 개별정화방류 농가를 대상으로 협회에서 설문을 수행한 결과 대상 농가 중 35%에 해당하는 130 농가가 설문에 응답하였음
- 지역별로는 충남 125개소, 경기 123개소로 34%, 33%로 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 설문에 응답한 농가는 경기 43개소 충남 32개소, 경북 29개소로 33%, 25%, 22% 순으로 나타남
- 설문에 응답한 130 농가 중 128 농가의 자료에서 71%인 84 농가가 기타지역에 위치하였으며 29%인 34농가는 방류수 기준이 엄격한 특정지역에 위치한 것으로 나타났다. [표 20]은 법적 규제에 따른 방류수 기준을 나타낸 것이며 농가 위치에 대한 설문에서 2 농가는 응답을 하지 않았음

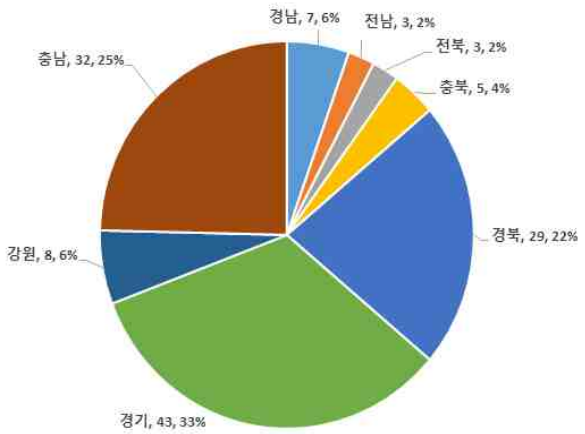
[표 19] 가축분뇨 정화방류 농가 현황 분석

구분	개별정화방류 농가 현황		설문 응답 농가 현황	
	개소수	비율(%)	개소수	비율(%)
경기	123	33	43	33
강원	11	3	8	6
충북	23	6	5	4
충남	125	34	32	25
전북	7	2	3	2
전남	9	2	3	2
경북	62	17	29	22
경남	11	3	7	6
총계	371	100	130	100

출처 : 지역별 정화방류농가 현황 분석('19년 양돈농가 실태조사, (사)대한한돈협회)

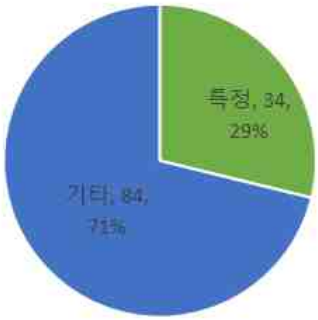


개별정화방류 농가 현황
(지역, 개소수, 비율)



설문 응답 농가 비율
(지역, 개소수, 비율)

[그림 11] 가축분뇨 정화방류 농가 현황 분석



[그림 12] 정화방류 농가의 법적 규제 종류별 분석

[표 20] 개별 정화방류시설의 항목별 기준

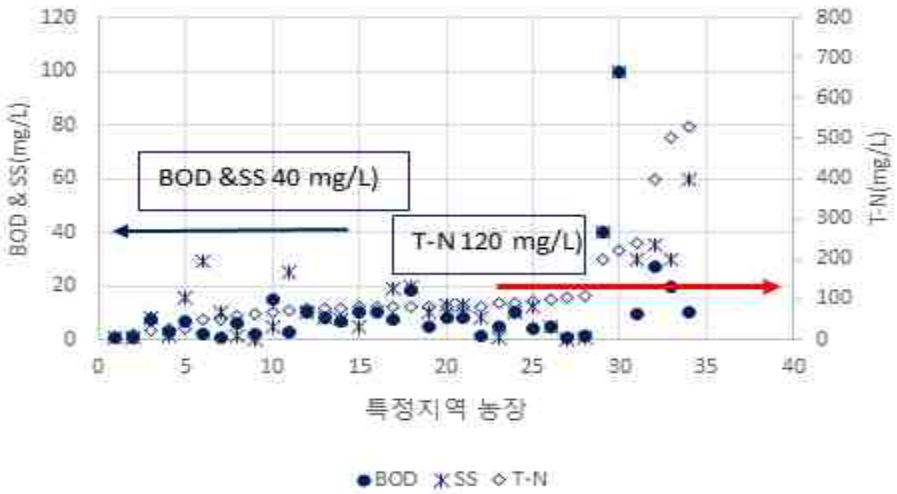
구 분	항 목	특정지역	기타지역
허가대상 배출시설	BOD	40	120
	SS	40	120
	T-N	120	250
	T-P	40	100
신고대상 배출시설	BOD	120	150
	SS	120	150
	T-N	250	400
	T-P	100	100

2. 개별 정화방류시설의 현장 진단 분석

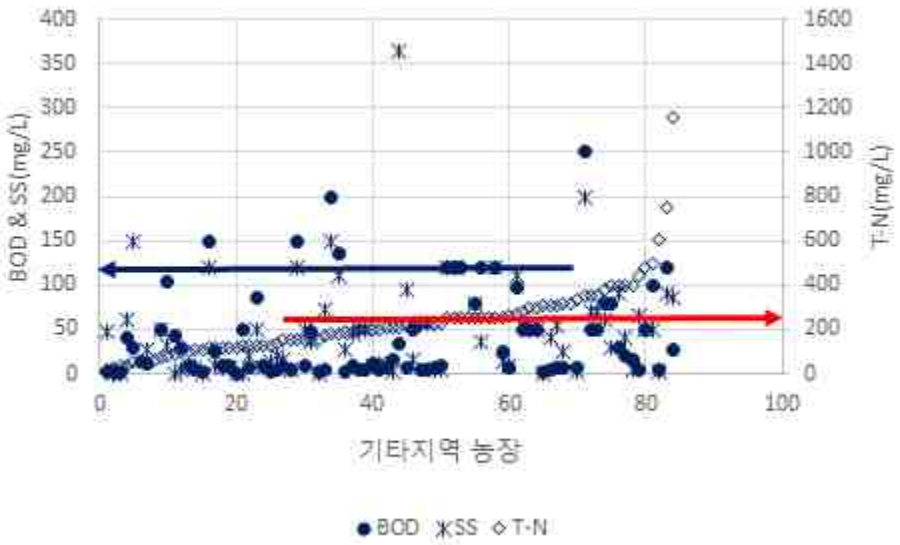
○ 2019년 한돈협회의 개별정화방류 농가를 대상으로한 조사를 통해 강화된 방류수 기준에 대한 부합이 곤란하다고 판단하는 농가에 대해 개별시설 진단 및 운전방법 컨설팅 신청을 접수하였다. 방류수에 대한 설문 결과를 [표 21]에 나타냄

○ 특정지역 농장의 경우 81.3%가 전체 기준에 부합하고 있다고 하였으며 BOD 기준 부합은 94.1%로 나타나고 있음

○ 일반지역의 경우 BOD기준은 86.9%가 준수하는 반면 T-N 준수율은 59.5%로 거의 40% 이상의 농가가 기준을 초과하고 있는 것으로 나타남



[그림 13] 특정지역 농장의 방류수 기준 준수 현황



[그림 14] 일반지역 농장의 방류수 기준 준수 현황

[표 21] 개별 정화방류 기준 부합여부 설문 결과

지역	특정(34 농장)			기타(84 농장)		
항목	BOD	SS	T-N	BOD	SS	T-N
(기준,mg/L)	40	40	120	120	120	250
적합 개소수(비율,%)	32(94.1)	31(91.2)	26(81.3)	73((86.9)	75(89.3)	50(59.5)
초과 개소수(비율,%)	2(5.9)	3(8.8)	6(18.7)	11(13.1)	9(10.7)	34(40.5)

[표 22] 개별 정화방류시설 조사내용

구 분	조사 용역 내용
정화방류 실태조사	• 정화시설의 공정별 운전 효율 분석
개선방안 제시	• 가축분뇨 자체 정화시설의 맞춤형 운영관리 방안 도출 • 시설별 공정 개선 필요 사항 도출 및 최적 운전방법 제안

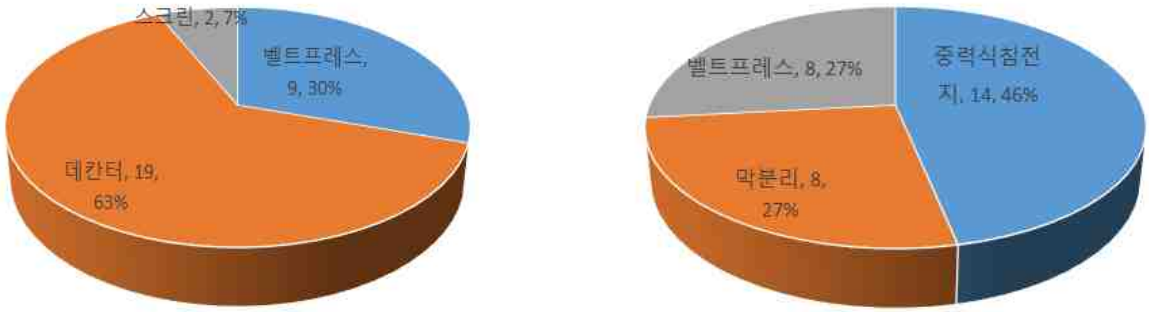
3. 자체 정화시설 농가의 처리공정 분석

- 개별 정화방류 공정을 채택하고 있는 양돈 농가 중 컨설팅을 신청한 30개 농가를 대상으로 현장 조사 및 시료 분석을 수행함
- 각 지역별 방문 대상 30개 농가의 처리공정은 주로 기계적 전처리와 생물처리공정, 그리고 고액분리를 위한 후속처리공정으로 이루어져 있음. 전처리 과정에서 약품 사용의 유무 등에 따라 약간의 차이가 있으며, 후속 고액분리 시설로 중력식 침전/부상지를 이용하는 경우와 막분리 공정을 이용하는 경우로 구별되며, 주 처리시설은 대부분 호기성 활성슬러지 공정을 적용하고 있어, 대부분 유사한 처리시설로 이루어져 있음
- 유사한 시설을 설치함과 달리 그 운전 방법은 매우 상이하게 나타나고 있는데, 우선 생물학적 처리와 질소제거에 가장 큰 영향을 미치는 포기조 체류시간의 경우 최소 5.6일부터 최대 83일까지로 다양하게 나타남
- 2차 생물학적 처리시설의 경우 질소 제거를 위한 혐기/호기 분리/순환 시설이 대부분 설치되어 생물학적 질소 제거공정을 수행하고 있으나 전체 30개소 중 7개소는 단일 반응조에서 블로워의 단속에 의한 간헐폭기 방법을 이용하여 별도의 탈질조를 설치하지 않고 있음
- 최종 고액분리와 부유물 제거를 위한 3차 처리시설의 경우 최근 설치된 공정의 경우 막분리, 벨트프레스, PCF 여과 등 기계적인 고액분리 시설을 설치하고 있었으며, 설치시기가 오래된 시설의 경우 중력식 침전 또는 부상조를 설치하여 운영하고 있었음
- 생물반응조 후속 고액분리 시설로 모든 처리시설이 약품응집과 부상분리 공정을 사용하고 있었다. 부상분리후 중력식 침전지만 사용하는 곳이 14개소이며, 벨트프레스를 사용하는 곳이 8개소로 26.7%, 멤브레인을 이용한 막분리공정을 적용하는 곳도 8개소로 26.7%로 조사됨
- 조사 대상 전체 농장에서 전처리 및 고액분리를 위해 약품을 사용하고 있었는데 고분자 유기응집제와 무기응집제(철염)를 주로 사용하고있음
- 탈질을 위해 외부탄소원으로 메탄올을 사용하고 있는 곳은 3개소에 불과하였음

○ 컨설팅 대상 농장에 대한 방문과 공정시설 별 시료 채취와 현장 분석을 통해 처리 시설을 진단하였음

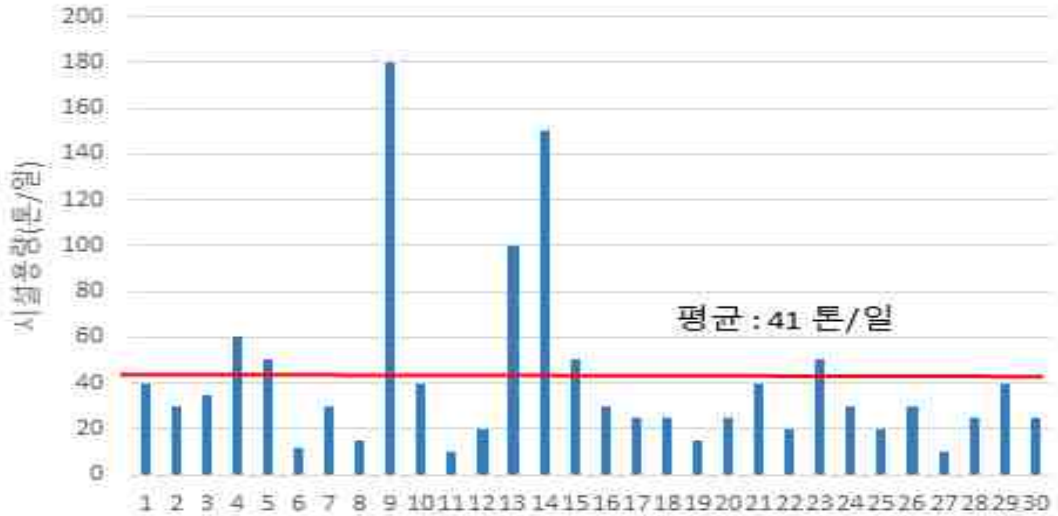
○ 조사대상 전체 30 개시설의 시설용량은 평균 41톤/일로 나타나고 있는데 최저 용량은 10톤/일이며, 제일 큰 시설은 180톤/일로 나타나고 있음

○ [그림 17] ~[그림 49]는 방문 컨설팅 대상 농장의 처리공정도와 시료채취 현장 사진을 나타낸 것임. 일부 사진이 없는 현장은 가축전염병의 우려로 본 연구팀의 처리장 접근 제한과 농장주의 직접 시료 채취, 제공에 의한 것임을 밝힘



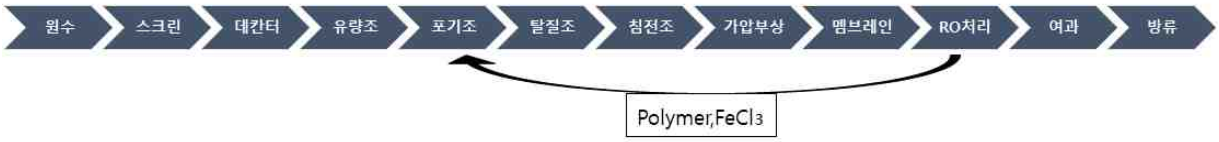
전처리 시설 고액분리 시설

[그림 15] 조사대상시설의 처리시설 설치현황



[그림 16] 조사 대상 정화방류시설의 시설용량

1.



원수

고액분리후

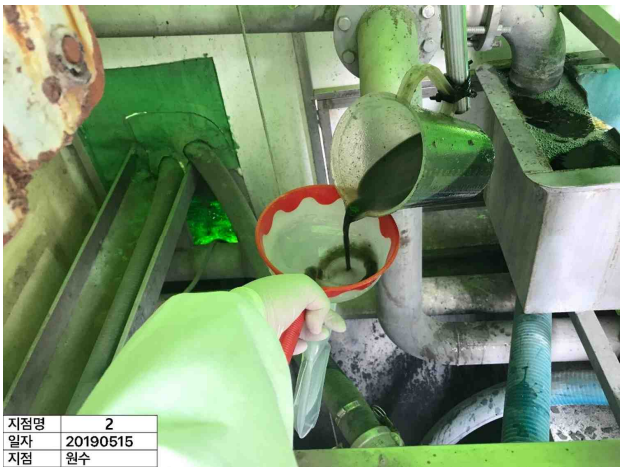
생물반응조

방류수

퇴비

[그림 17] #1 처리공정도 및 시료채취

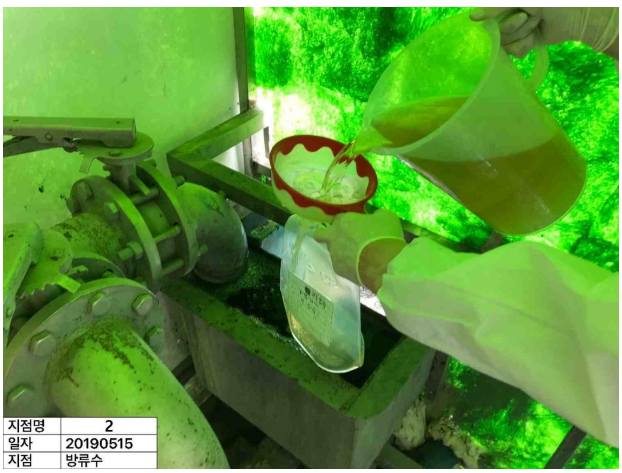
2.



원수

고액분리후

생물반응조



방류수

퇴비

[그림 18] #2 처리공정도 및 시료채취

3.

유량조 → 질산화 → 포기조 → 침전조 → 막 분리 → 방류

원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

[그림 19] #3 처리공정도 및 시료채취

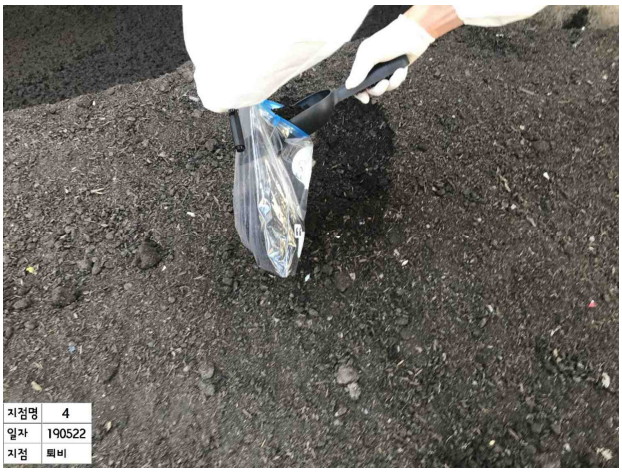
4.

원수

고액분리후

생물반응조

방류수



퇴비

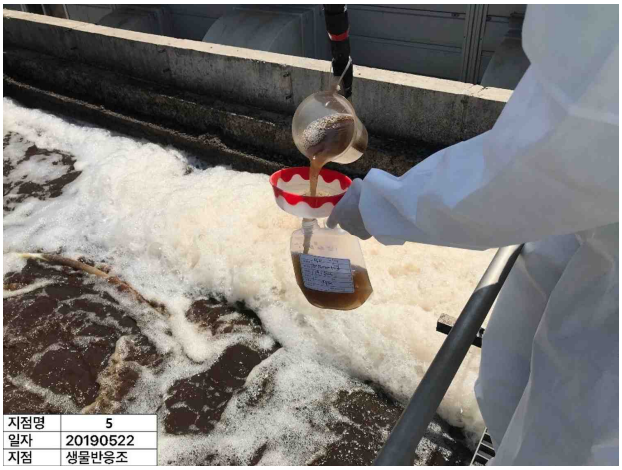
[그림 20] #4 처리공정도 및 시료채취

5.

원수 → 침전조 → 데칸터 → 유량조 → 포기조 → 탈질조 → 질산화조 → 침전조 → 방류

원수

고액분리후



생물반응조

방류수

퇴비

[그림 21] #5 처리공정도 및 시료채취

6.

원수 → 스크린 → 벨트 프레스 → 포기조 → 부상조 → 방류

원수

고액분리후

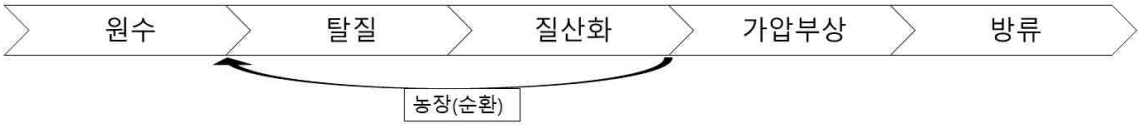
생물반응조

생물반응조(고장)

방류수

[그림 22] #6 처리공정도 및 시료채취

7.



원수

고액분리후

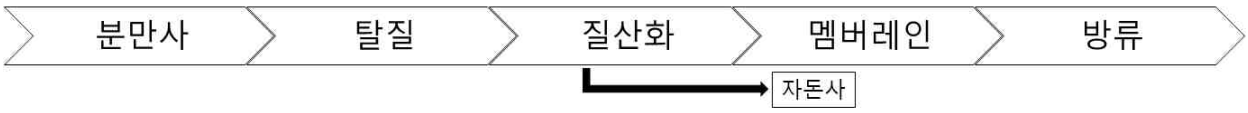
생물반응조

방류수

퇴비

[그림 23] #7 처리공정도 및 시료채취

8.



원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

[그림 24] #8 처리공정도 및 시료채취

9.

원수 → 스크린 → 벨트프레스 → 포기조 → 탈질조 → 가압부상 → 방류

원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

[그림 25] #9 처리공정도 및 시료채취

10.

원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

농장전경

[그림 26] #10 처리공정도 및 시료채취

#. 11.

원수 → 데칸터 → 포기조 → 탈질조 → 막 분리장치 → 방류

원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

[그림 27] #11 처리공정도 및 시료채취

12.

원수

고액분리후

방류수

생물반응조

퇴비

전경

[그림 28] #12 처리공정도 및 시료채취

13.

원수 → 데칸터 → 벨트프레스 → 포기조 → 가압부상 → 농축조 → 방류

↑ 약품, $FeCl_3$ (포기조)

↑ 가동 X (농축조)

	개별정화시설 컨설팅
농장명	13
샘플명	원수
축종 및 두수	돼지, 18000두
날짜	2019.07.12

원수

	개별정화시설 컨설팅
농장명	13
샘플명	분리막
축종 및 두수	돼지, 18000두
날짜	2019.07.12

분리막

	개별정화시설 컨설팅
농장명	13
샘플명	생물반응조
축종 및 두수	돼지, 18000두
날짜	2019.07.12

생물반응조

	개별정화시설 컨설팅
농장명	13
샘플명	방류수
축종 및 두수	돼지, 18000두
날짜	2019.07.12

방류수

	개별정화시설 컨설팅
농장명	13
샘플명	퇴비
축종 및 두수	돼지, 18000두
날짜	2019.07.12

퇴비

	개별정화시설 컨설팅
농장명	13
샘플명	전경
축종 및 두수	돼지, 18000두
날짜	2019.07.12

전경

[그림 29] #13 처리공정도 및 시료채취

14.

원수 → 스크린 → 벨트프레스 → 포기조 → 가압부상 → 방류

원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

[그림 30] #14 처리공정도 및 시료채취

15.

사진없음

16.

원수 → 데칸터 → 벨트프레스 → 유량조 → 포기조 → 탈질조 → 침전조 → 가압부상 → 활성탄 여과 → 방류

전경

고액분리후

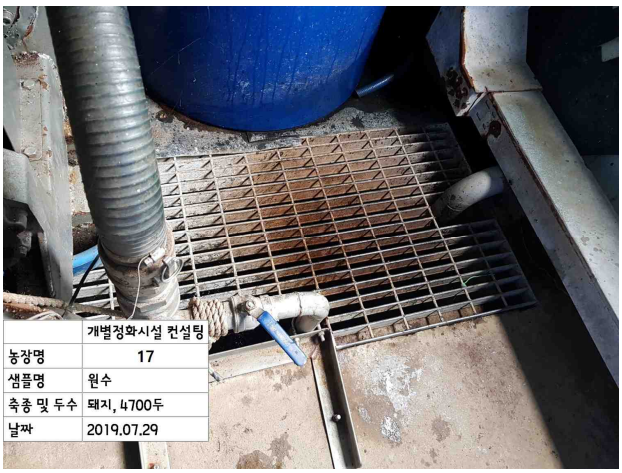
생물반응조

방류수

퇴비

[그림 31] #16 처리공정도 및 시료채취

17.



	개별정화시설 컨설팅
농장명	17
샘플명	원수
축종 및 두수	돼지, 4700두
날짜	2019.07.29

원수

	개별정화시설 컨설팅
농장명	17
샘플명	고액분리후
축종 및 두수	돼지, 4700두
날짜	2019.07.29

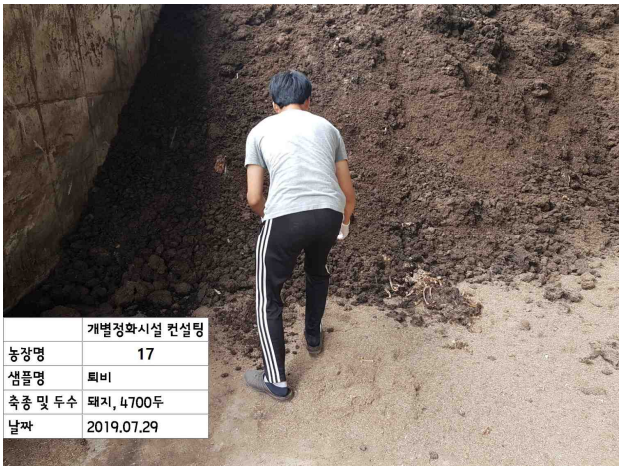
고액분리후

	개별정화시설 컨설팅
농장명	17
샘플명	생물반응조
축종 및 두수	돼지, 4700두
날짜	2019.07.29

생물반응조

	개별정화시설 컨설팅
농장명	17
샘플명	방류수
축종 및 두수	돼지, 4700두
날짜	2019.07.29

방류수



	개별정화시설 컨설팅
농장명	17
샘플명	퇴비
축종 및 두수	돼지, 4700두
날짜	2019.07.29

퇴비

	개별정화시설 컨설팅
농장명	17
샘플명	전경
축종 및 두수	돼지, 4700두
날짜	2019.07.29

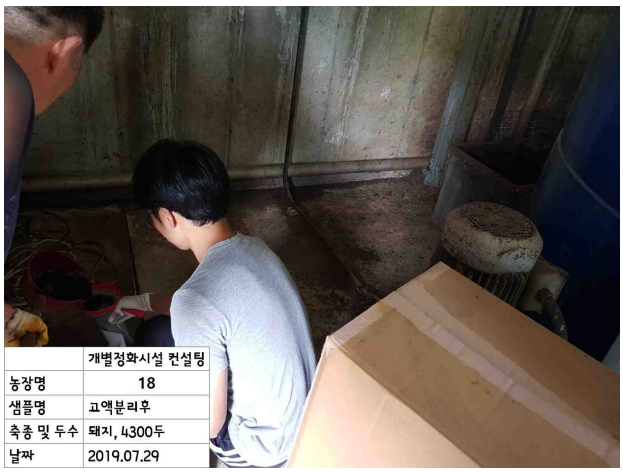
[그림 32] #17 처리공정도 및 시료채취

18.

원수 → 데칸터 → 드럼스크린 → 포기조 → 활성탄여과 → 방류

	개별정화시설 컨설팅
농장명	18
샘플명	원수
축종 및 두수	돼지, 4300두
날짜	2019.07.29

원수



	개별정화시설 컨설팅
농장명	18
샘플명	고액분리후
축종 및 두수	돼지, 4300두
날짜	2019.07.29

고액분리후

	개별정화시설 컨설팅
농장명	18
샘플명	생물반응조
축종 및 두수	돼지, 4300두
날짜	2019.07.29

생물반응조

	개별정화시설 컨설팅
농장명	18
샘플명	방류수
축종 및 두수	돼지, 4300두
날짜	2019.07.29

방류수

	개별정화시설 컨설팅
농장명	18
샘플명	퇴비
축종 및 두수	돼지, 4300두
날짜	2019.07.29

퇴비

	개별정화시설 컨설팅
농장명	18
샘플명	전경
축종 및 두수	돼지, 4300두
날짜	2019.07.29

전경

[그림 33] #18 처리공정도 및 시료채취

19.

원수 → 집수 → 포기조 → 탈질조 → 가압부상 → 방류

Polymer, $FeCl_3$

원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

[그림 34] #19 처리공정도 및 시료채취

20.

	개별정화시설 컨설팅
농장명	20
샘플명	원수
축종 및 두수	돼지
날짜	2019.07.29

원수

	개별정화시설 컨설팅
농장명	20
샘플명	고액분리후
축종 및 두수	돼지
날짜	2019.07.29

고액분리후

	개별정화시설 컨설팅
농장명	20
샘플명	생물반응조
축종 및 두수	돼지
날짜	2019.07.29

생물반응조

	개별정화시설 컨설팅
농장명	20
샘플명	방류수
축종 및 두수	돼지
날짜	2019.07.29

방류수

	개별정화시설 컨설팅
농장명	20
샘플명	퇴비
축종 및 두수	돼지
날짜	2019.07.29

퇴비

	개별정화시설 컨설팅
농장명	20
샘플명	전경
축종 및 두수	돼지
날짜	2019.07.29

전경

[그림 35] #20 처리공정도 및 시료채취

21.

원수
데칸터
드럼스크린
포기조
탈질조
침전조
막 분리
활성탄 여과
방류

농장명 21
특이사항 방류수 3개
날짜 2019.07.30

[그림 36] #21 시료

22.

원수 → 데칸터 → 포기조 → 탈질조 → 가압부상 → 방류

원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

[그림 37] #22 처리공정도 및 시료채취

23.

원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

농장전경

[그림 38] #23 처리공정도 및 시료채취

24.

원수 → 데칸터 → 벨트프레스 → 포기조 → 탈질조 → 활성탄 여과 → 방류

원수

고액분리후

방류수

생물반응조

퇴비

[그림 39] #24 처리공정도 및 시료채취

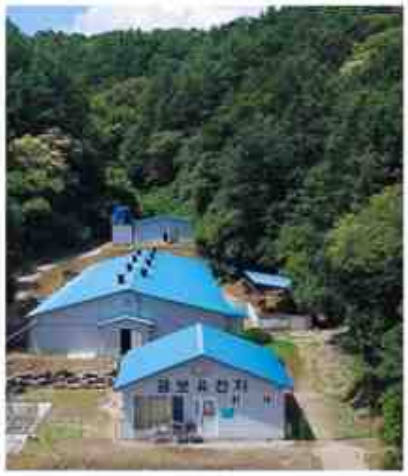
25.

사진없음

26.

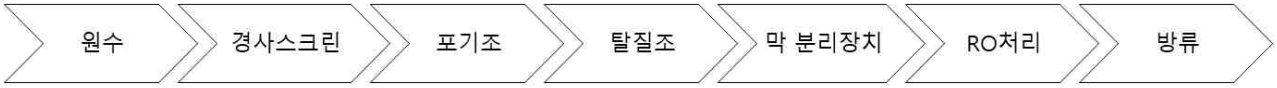
원수 → 경사스크린 → 벨트프레스 → 포기조 → 탈질조 → 가압부상 → 막 분리장치 → RO처리 → 방류

사진없음



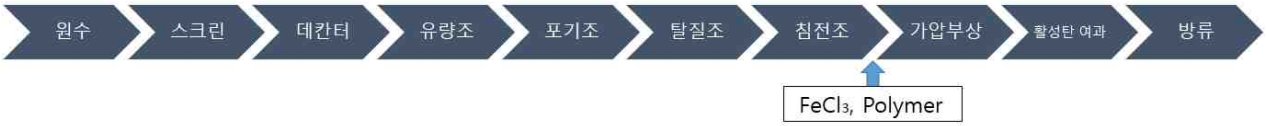
금돈 유전자 센터@돼지문화원 홈페이지 갈무리

27.



사진없음

28.



원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비 방류수

[그림 40] #28 처리공정도 및 시료채취

29.

원수

고액분리후

생물반응조

방류수

퇴비

[그림 41] #29 처리공정도 및 시료채취

30.

원수

고액분리후

생물반응조

퇴비

방류수

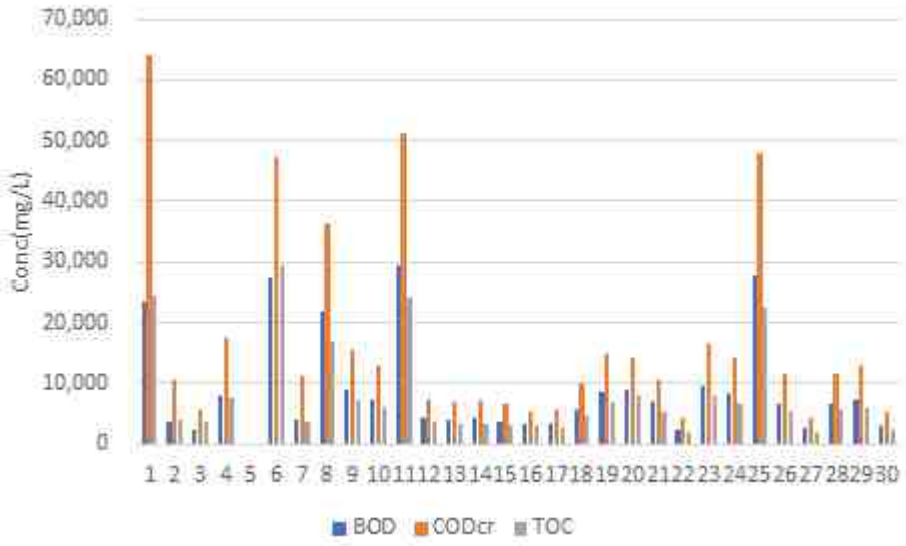
전경

[그림 42] #30 처리공정도 및 시료채취

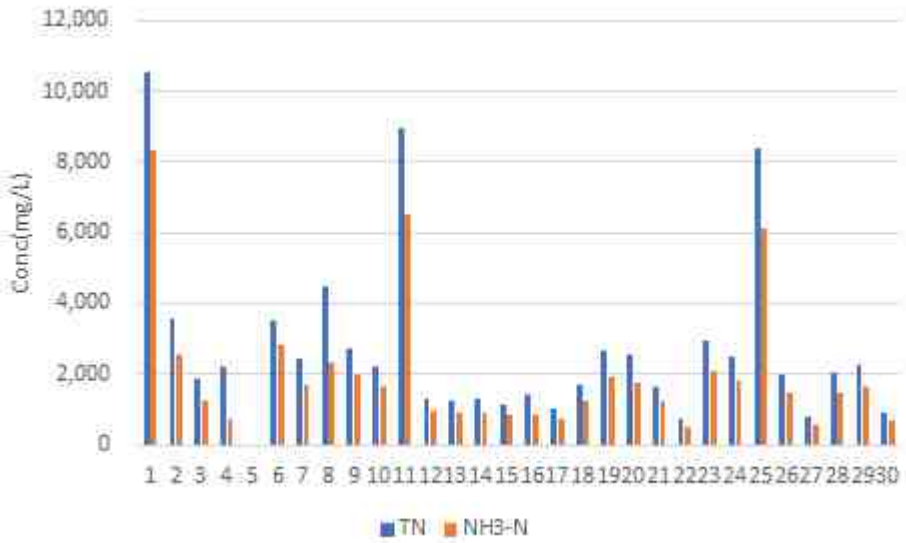
4. 정화처리시설의 공법별 효율 분석

가. 원수 농도 분석 결과

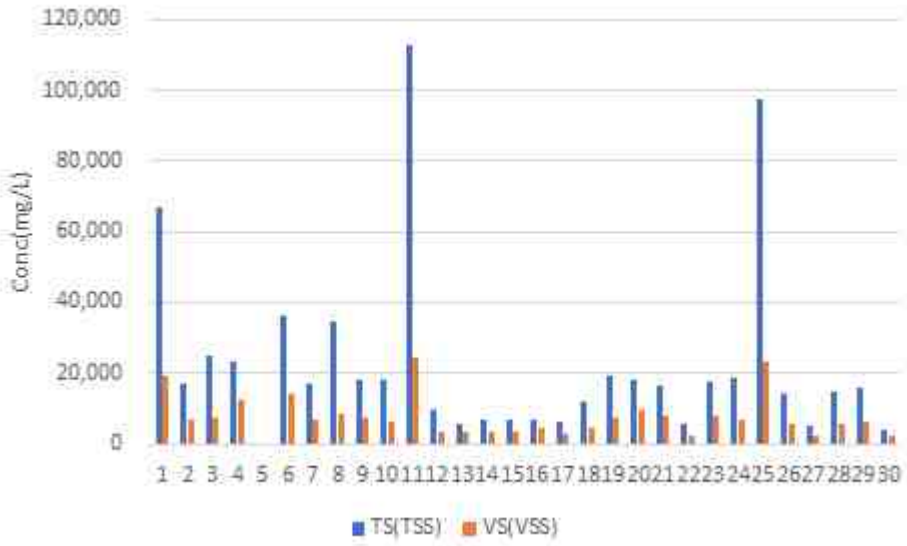
- [그림 50]은 대상 농장들의 원수 유기물 농도를 나타낸 것임. BOD의 평균 농도는 9,081mg/L를 나타내며 최고 농도는 29,452mg/L이고 최저 농도는 2,234mg/L 임
- 생물반응조 처리수를 농장 순환수로 사용하는 농장 5는 순환수 비율이 높아 유입수 농도 지나치게 낮아져 분석에서 배제하였음
- CODcr 의 농도는 평균 16,896mg/L, 최고 63,944mg/L, 최저 4,209mg/L를 나타냄
- TOC 는 평균 7,993mg/L를 나타내고 있으며 최고 29,573mg/L, 최저 농도는 1,976mg/L를 나타내고 있음
- 유기물 지표 간의 비율을 살펴보면 COD_{cr}/BOD 비가 1.86으로 나타나고 있으며 TOC/BOD 비는 0.88을 나타내고 있음
- 생물학적 질산화의 용이도를 나타내는 COD/N 비는 6.05이며 BOD/N 비는 3.25를 나타내 외부탄소원 주입없이는 질소 제거가 용이하지 않은 상태임을 알 수 있음
- 유입수 VSS/TSS 비를 살펴보면 평균 0.416을 나타내는데 최소 0.219에서 최대 0.674까지의 값을 보임. 부유물질 중 VSS의 비가 낮아질수록 유입수 중 무기물질의 비율이 높아지는 것을 나타내며 이는 생물학적 처리 효율의 저하를 초래하기도 함
- 유입수의 평균 BOD가 9,081mg/L, SS가 23,127mg/L 그리고 TN이 2,791mg/L로 일반적인 양돈분뇨의 농도보다 상대적으로 낮은 값을 나타내고 있는데 이는 정화처리 설치 농장이 기타 자원화나 위탁처리 농장에 비해 물사용량이 많은 모돈을 포함하는 일관 사육 농장이 많으며, 또한 발생 분뇨의 처리, 처분이 상대적으로 용이하여 세정수 사용량이 많아지는 등에 따른 이유인 것으로 판단됨



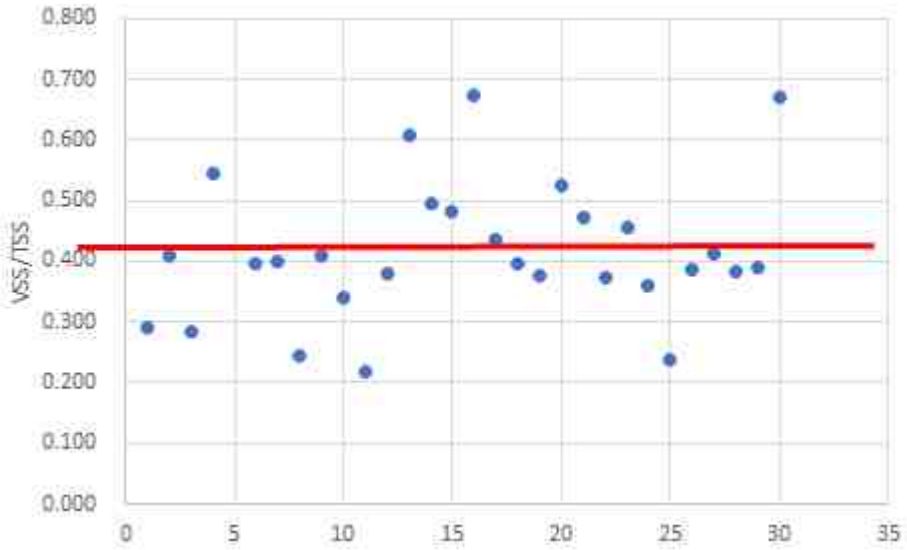
[그림 43] 조사대상 농장 원수의 유기물 농도



[그림 44] 조사대상 농장 원수의 질소 농도



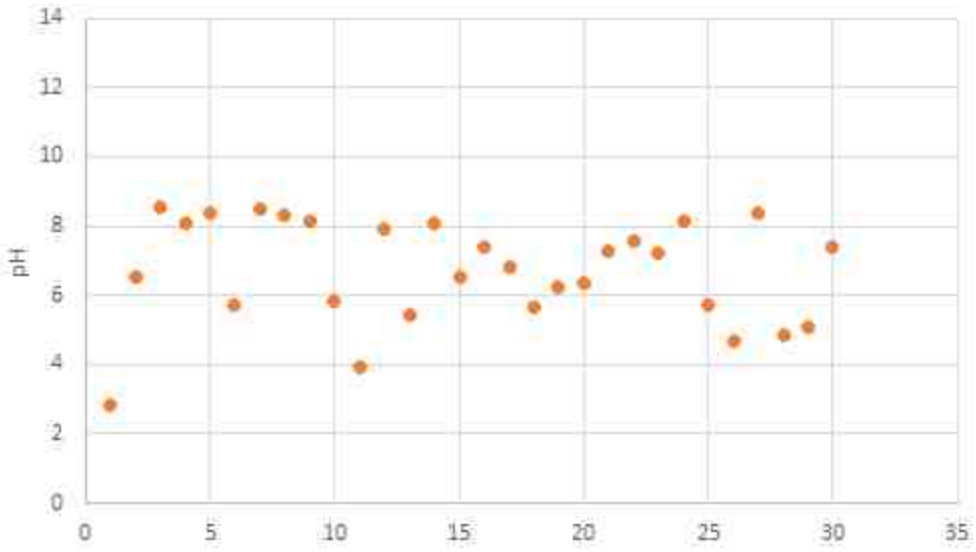
[그림 45] 조사대상 농장 원수의 부유물질 농도



[그림 46] 조사대상 농장 원수의 부유물질의 VSS/TSS 비

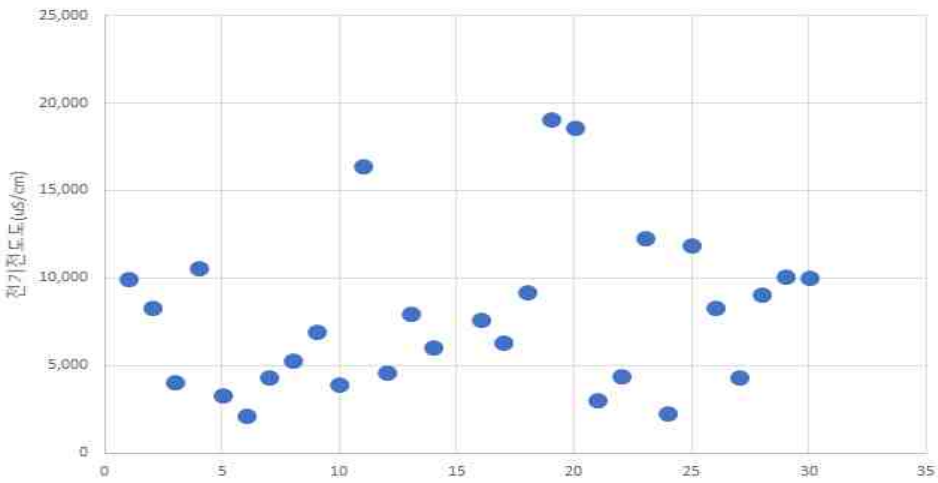
나. 방류수 분석 결과

- 우리나라의 질소 항목에 대한 방류수 기준은 총질소(T-N) 항목으로 규제하고 있지만, 운전 진단을 위해서는 총질소 항목을 암모니아성 질소(NH_4-N), 질산성 질소(NO_3-N), 아질산성 질소(NO_2-N)등으로 나누어 분석할 필요가 있음
- 방류수 내의 암모니아성 질소 성분 비율이 높을 경우 이는 포기조의 용량 부족이나, 산소 공급량 부족이 원인이고, 방류수 내에 질산성 질소 비율이 높을 경우는 반대로 포기조 용량이 과다하거나 탄소원, 즉 유기물부하가 너무 낮게 운전되는 것으로 정반대의 원인에 의해 나타나는 현상임. 그러나 총 질소 항목만을 가지고 분석하게 되면, 두 가지 반대의 원인이 나타나지 않고 질소 농도가 높다는 같은 결과로 나타나므로, 운전 진단이 곤란함
- 방류수의 pH는 최소 2.83, 최대 8.54로 나타나고 있으며 평균 6.72로 나타나고 있음



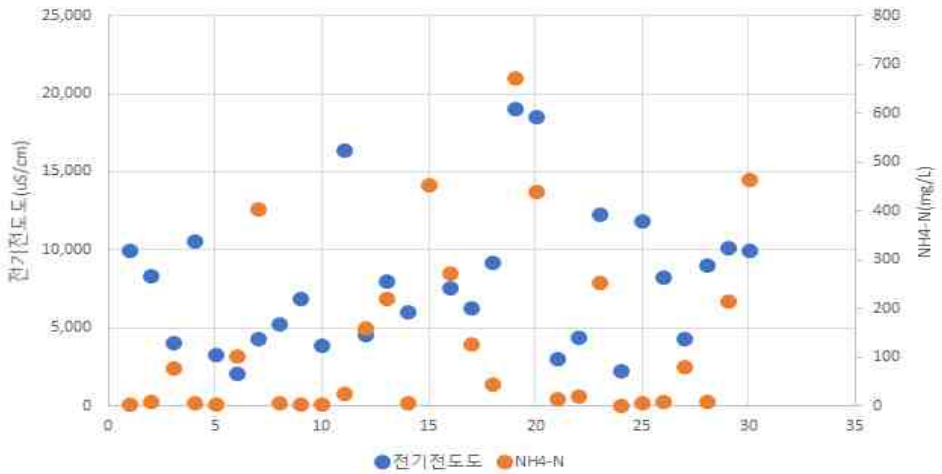
[그림 47] 조사대상 농장 방류수의 pH 농도

- 전기전도도는 평균 7,936㎍S/cm를 보이는데 최대 19,070㎍S/cm이며 최소값은 2,131㎍S/cm를 나타내고 있음. 전기전도도는 물속에 들어있는 물 외의 양이온성 용존물질 농도를 나타내는데 물 사용량이 많을수록 그 값이 낮게 나타나고 물사용량이 적을 때는 높아지는 경향을 보임

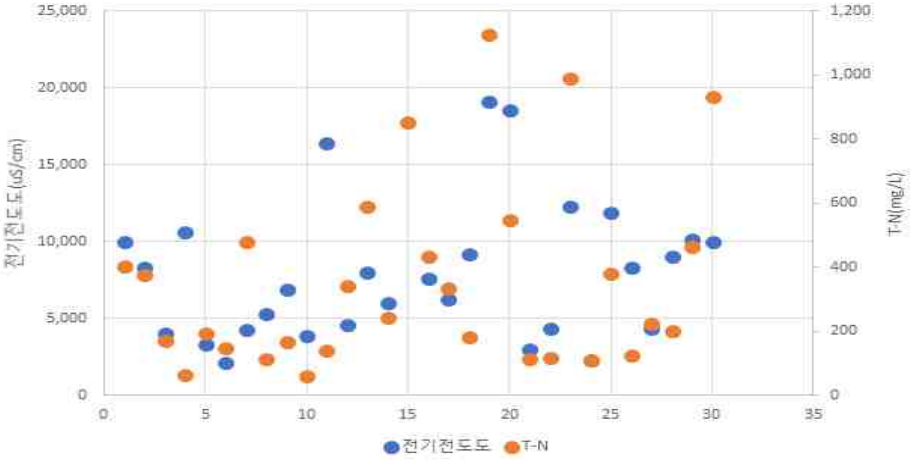


[그림 48] 조사대상 농장 방류수의 전기전도도 농도

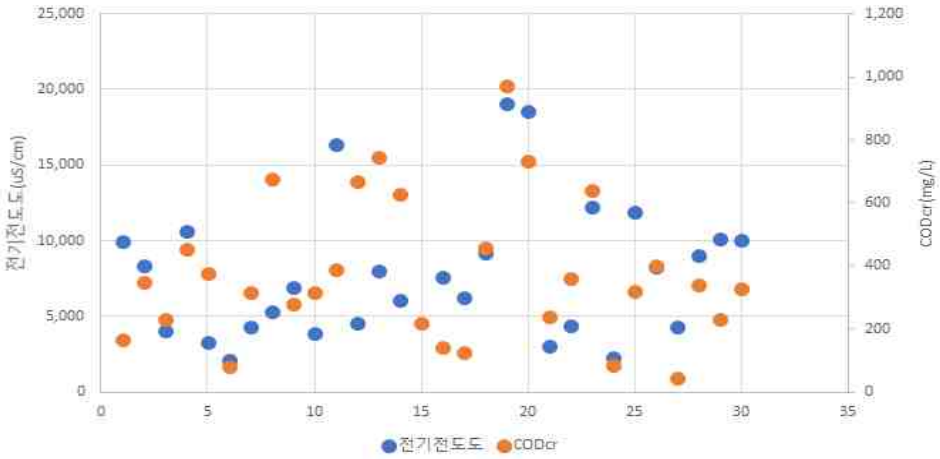
- ❍ 조사 대상 처리장 방류수의 전기전도도와 COD_{Cr}, T-N, NH_4-N의 관계를 [그림 56]~ [그림 58]에 나타냄
- ❍ COD_{cr}과 NH_4-N이 비교적 상관도가 높은 것으로 나타나고 있으며 그 중에서도 NH_4-N은 상관계수 r^2값이 0.6865로 비교적 높은 상관도를 나타냄
- ❍ 개별 정화방류 농가에서 적정 운전관리를 위해 자체 측정이 필요한데, 비교적 저가에 쉽게 측정할 수 있는 전기전도도 측정기를 통해 질소처리 정도를 관리하는 수단이 될 수 있음



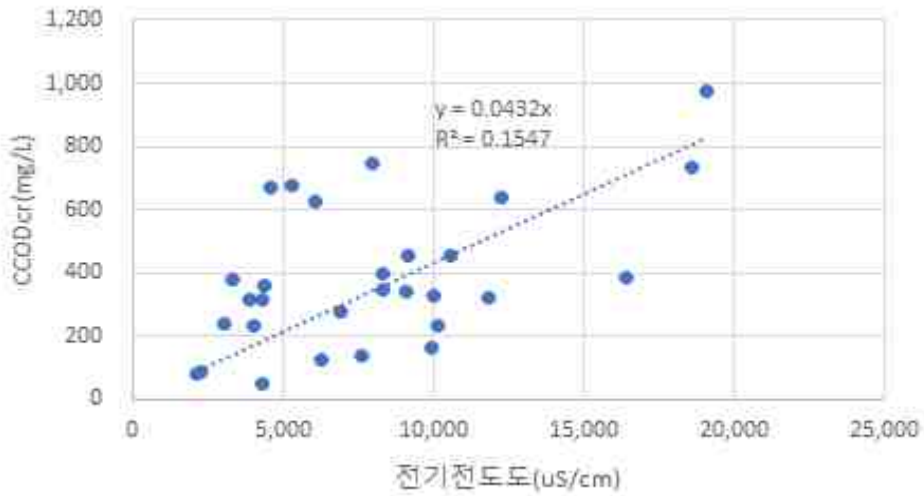
[그림 49] 전기전도도와 COD_{Cr}의 관계



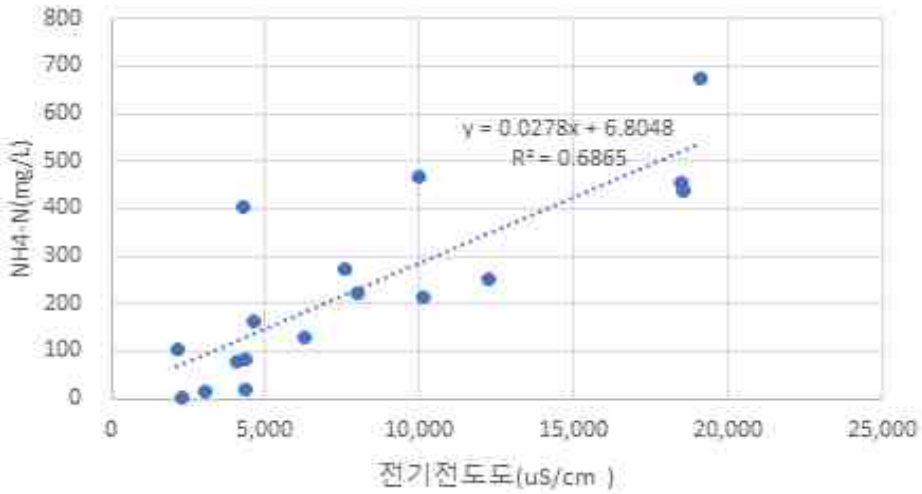
[그림 50] 전기전도도와 T-N의 관계



[그림 51] 전기전도도와 NH_4-N의 관계



[그림 52] 전기전도도와 COD_{Cr}의 상관관계

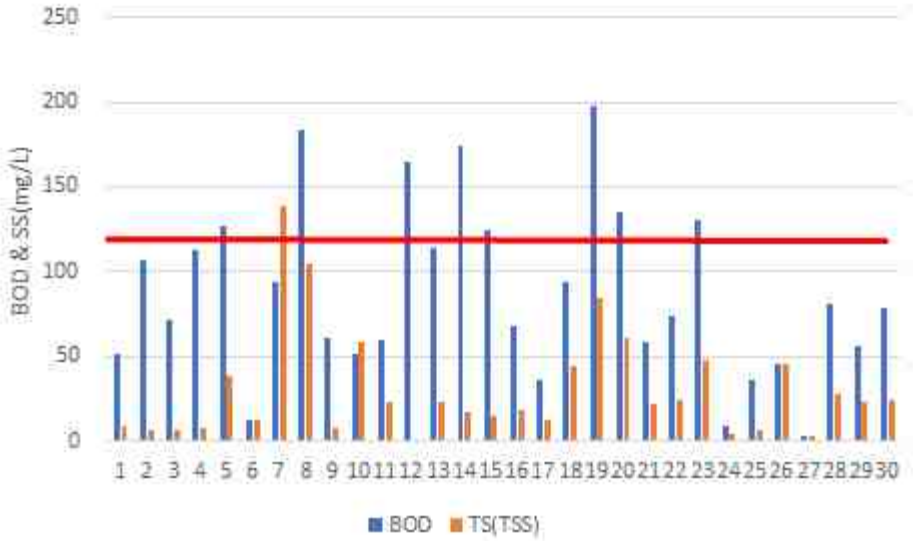


[그림 53] 전기전도도와 NH_4-N의 상관관계

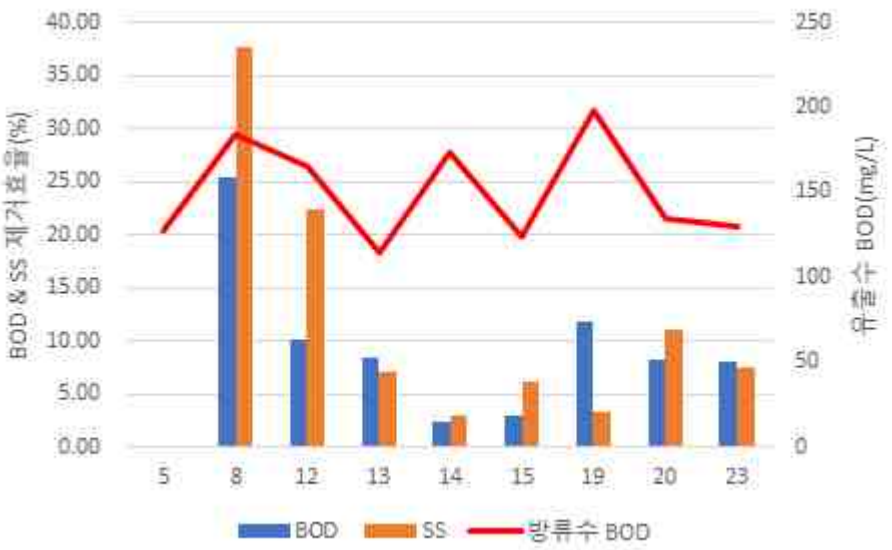
○ 방류수의 BOD 기준 초과 처리시설은 30개소 중 8개소로 조사 대상 시설의 26.7%가 기준치를 초과하고 있음. SS 기준초과는 단 1개소만으로 나타나고 있다.

○ T-N은 조사대상 30개소 중 14개소가 기준(250mg/L)을 초과하여 기준초과율이 46.7%로 나타나고 있음

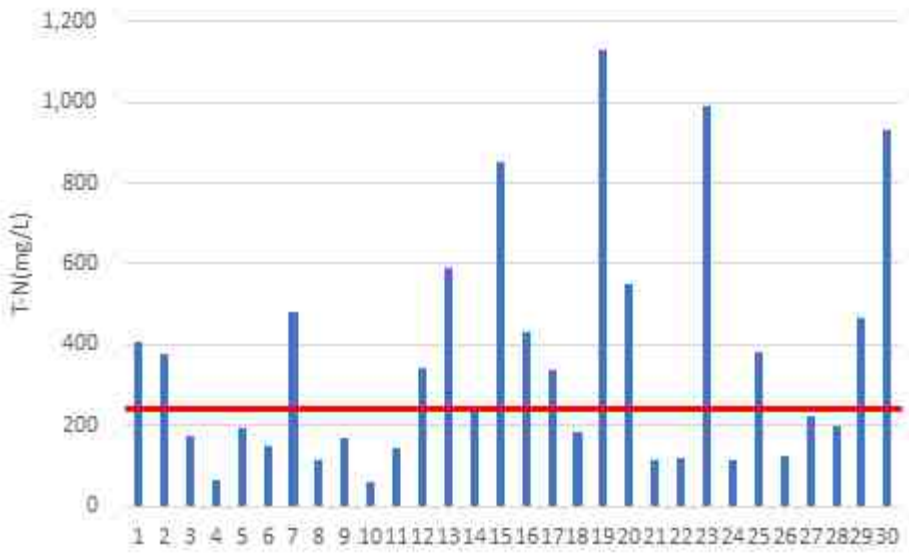
○ BOD와 SS 기준초과 처리시설은 대부분 T-N 기준을 초과하고 있는 것으로 나타남



[그림 54] 방류수 BOD 및 SS 분석 결과



[그림 55] 그룹1 시설의 유입수 BOD와 방류수 총질소 농도의 상관성 비교



[그림 56] 방류수 T-N 분석 결과

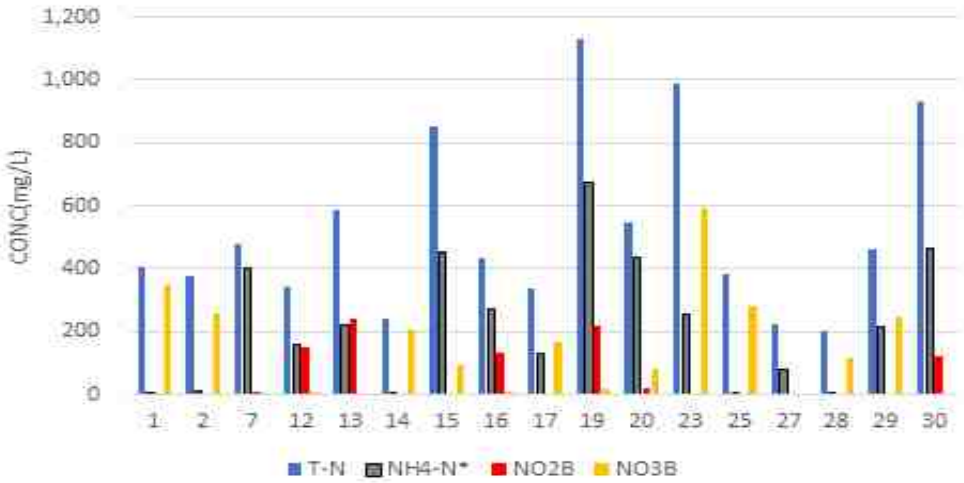
○ [그림 64]는 대상 시설 중 방류수 질소 기준의 80%(200mg/L)를 초과한 시설에 대해 분석한 결과임

○ 우리나라 방류수 기준은 최대 농도 기준(peak concentration)이므로 일반적으로 기준의 80% 이내로 나타나야 적정 운전으로 판단할 수 있음

○ 분석 대상 시설의 방류수 질소 농도는 최저 200mg/L에서 최고 1,128mg/L로 기준을 450% 이상 초과하고 있는 것으로 나타남

○ 질소 기준 초과시 원인별 분석을 위해 크게 2그룹으로 나눌 수 있는데 방류수 총질소 중 암모니아성 질소(NH_4-N)와 아질산성 질소(NO_2-N)의 비율이 높은 그룹(그룹1)과 질산성 질소(NO_3-N)의 비율이 높은 그룹(그룹2)으로 구별할 수 있음

○ 그룹1의 질소 항목 초과 원인은 원수의 질소농도가 높거나 포기조의 산소공급량 부족, 포기조 체류시간 부족에 의하여 나타나는 결과이며, 그룹2는 정반대로 원수의 유기물 농도가 너무 낮거나 산소공급량 과다 또는 포기조의 체류시간이 너무 길 때 나타나는 현상임



[그림 57] 총질소 초과 시설의 질소 항목별 분석결과

○ [그림 65]에 나타낸 그룹1 시설중 질산성 질소(NO_3-N)가 전혀 분석되지 않고 암모니아성 질소(NH_4-N)가 총질소의 대부분으로 나타난 처리시설은 생물반응조(포기조 등)시설의 부족, 산소공급량 부족, 질산성 질소의 독성 상태 등을 검토하여야 함

○ 분석시기가 하절기로 고온에 의한 영향을 검토할 필요가 있으나 전체 시설의 운전 오도가 33℃ 이하로 나타나 온도에 의한 직접 영향은 거의 없는 것으로 판단됨

○ 일반적으로 방류수의 암모니아성 질소에 의해 총질소 농도가 높을 경우 원수의 BOD 농도가 증가하였거나 공기공급 시설의 부족, 포기조 용적의 부족 등을 검토할 수 있음

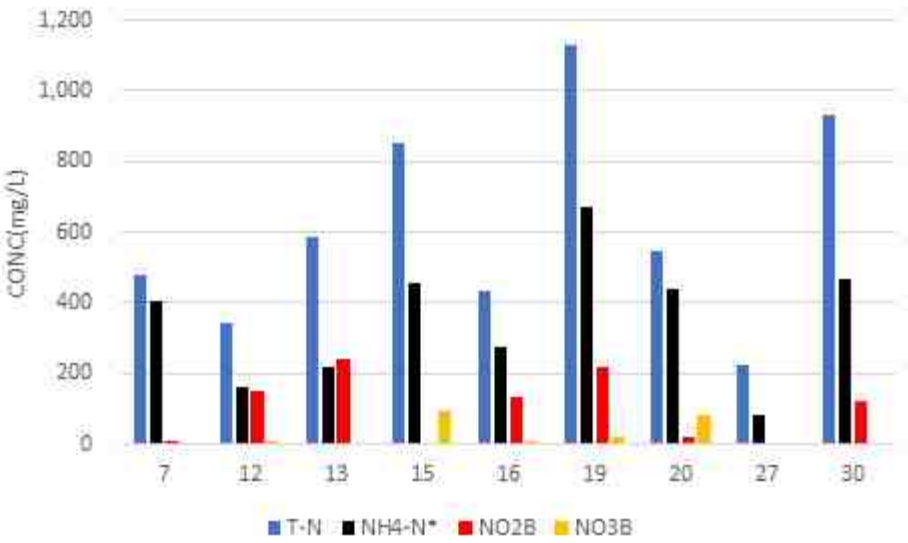
○ 그룹1 시설의 유입수 BOD 항목을 함께 분석한 결과 본 진단 대상 시설은 시설 용량 부족에 의한 곳은 없는 것으로 나타남

○ 포기조 유입수의 BOD가 최대 9,000mg/L 이하로 나타나고 있으며 대부분 3,000 ~ 4,000mg/L로 나타나 유입물 부하는 설계치 이하로 유입되는 것으로 나타나고 있으며 BOD 제거효율이 30% 이하로 나타나고 있음

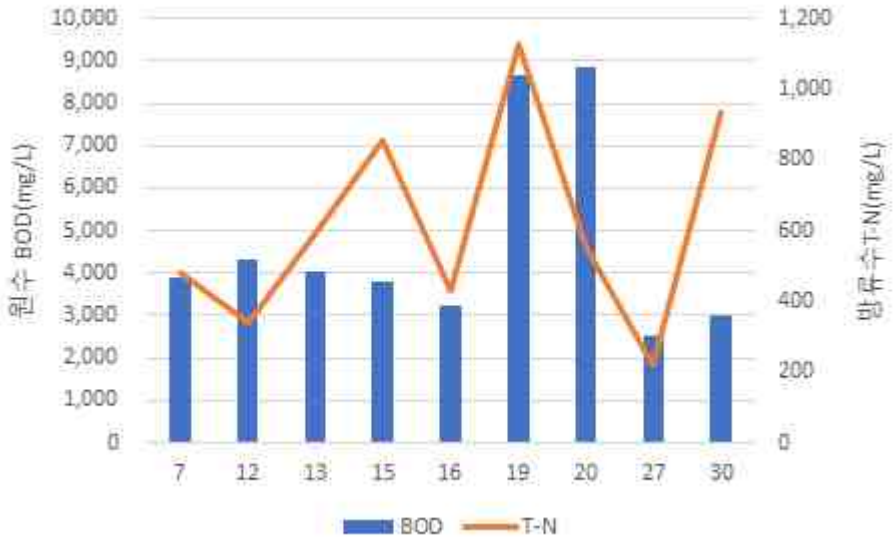
○ 이는 생물반응조의 정상운영이 이루어지지 않고 있음을 나타내는 것으로 원수의 주기적 투입, 송풍기의 적정 가동 등이 이루어지지 않았을 가능성을 나타냄

○ 양돈 분뇨의 생물학적 처리를 위해 적용되는 포기조 설계에서 체류시간 20일(일처리용량 10톤 기준, 포기조 용량 200m^3)에서 포기조 유입 BOD 농도가 10,000 mg/L 정도면 BOD 용적부하 0.5kg BOD/m3/d 이하로 90%이상의 BOD 처리효율이 나타나야 정상적인 운전으로 판단할 수 있음

○ 그룹 1의 시설들은 시설이나 운전 방법 개선 이전에 정상적인 운영(원수투입, 포기조 가동 등)을 선행하는 것이 필요한 시설임

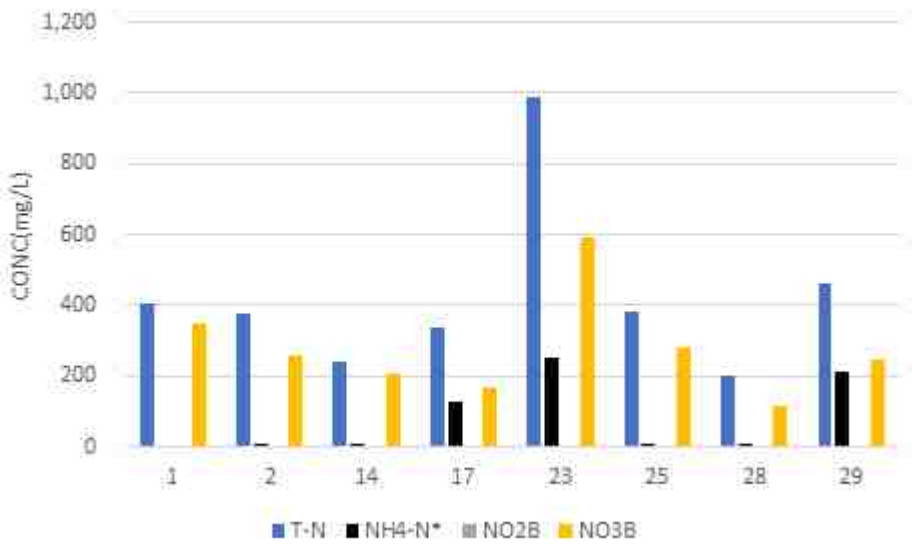


[그림 58] 그룹1 시설의 질소 항목별 분석결과



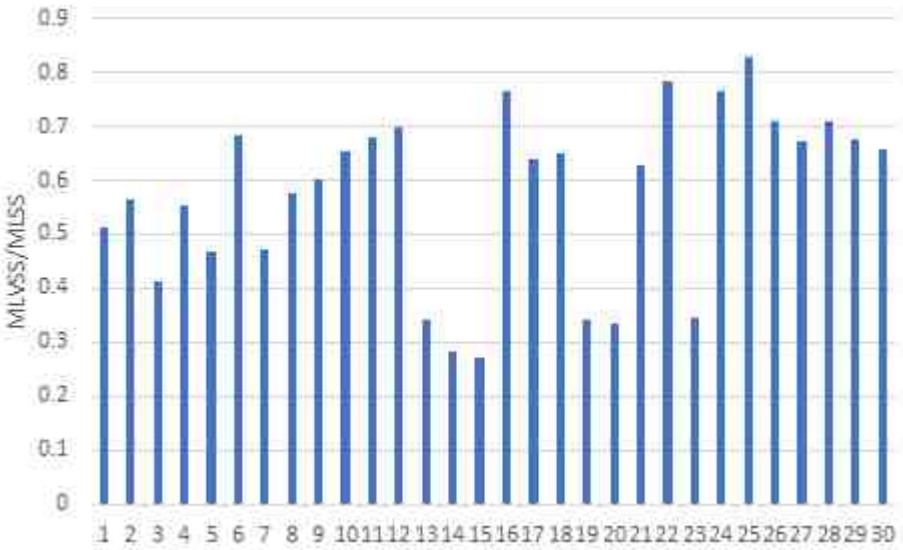
[그림 59] 그룹1 시설의 유입수 BOD와 방류수 총질소 농도의 상관성 비교

- 총질소 기준은 초과하였으나 총질소 항목 중 질산성 질소(NO_3-N)의 비율이 높은 그룹2 시설의 경우에는 외부탄소원(메탄올) 주입 등으로 비교적 쉽게 총질소 농도를 낮추고 방류수 기준에 부합할 수 있는 시설들임
- 암모니아성 질소와 질산성 질소가 모두 높은 질소 축적상태인 23번 시설을 제외하고는 방류조 전단에 메탄올을 주입하는 탈질소 반응을 통해 단기간에 방류수 기준 부합이 가능한 시설임
- 이들 시설의 경우 원수투입 지점의 변경, 블로워 가동시간 단축 또는 포기조를 on/off 방식으로 운전하는 단속운전으로 메탄올 주입 없이도 충분히 방류수 질소 농도의 저감이 가능한 상태임
- 총질소 농도가 1,000mg/L에 달하고 질산성 질소가 600mg/L에 달하지만 암모니아성 질소도 250mg/L를 초과하는 23번 시설의 경우 일시적인 고부하 운전 등에 의한 영향일 수 있음
- 이 경우 약품 투입량 증대에 의한 원수 고액분리 시설의 운전 강화와 반송비 확대 등을 통해 정상운전을 모색할 필요가 있음



[그림 60] 그룹2 시설의 질소 항목별 분석 결과

- ❍ 생물반응조 미생물 활성도 분석
- ❍ 생물반응조의 적정 운전 상태 분석을 위해 미생물량의 적정성, 미생물 활성도 등의 분석이 필요함
- ❍ 미생물 활성도 분석에 여러 방법이 있지만 가장 손쉽게 이해할 수 있는 방법의 하나는 포기조 미생물 중 유기물 비율 분석 (VSS/TSS)임
- ❍ 포기조의 전체 부유물(MLSS, Mixed Liquor Suspended Solid) 중 휘발성 물질(MLVSS, Mixed Liquor Volitile Suspended Solid) 의 비를 분석하는 것임
- ❍ 이는 활성화된 미생물 비율을 점검하는 가장 쉽고 정확한 기준이 될 수 있는데 일반적으로 0.6 이상일 경우 정상 운전상태로 볼 수 있음
- ❍ MLVSS/MLSS비가 0.4 이하일 경우 포기조 내 고형물은 많지만 대부분은 무기성 물질로 미생물 활동을 방해하는 상태가 될 수 있음
- ❍ 이 경우는 포기조내 슬러지(찌꺼기)를 적정하게 제거하지 않고 너무 오랫동안 방치한 경우에 발생할 수 있으며 정기적인 슬러지 배출을 통해 정상화 할 수 있음

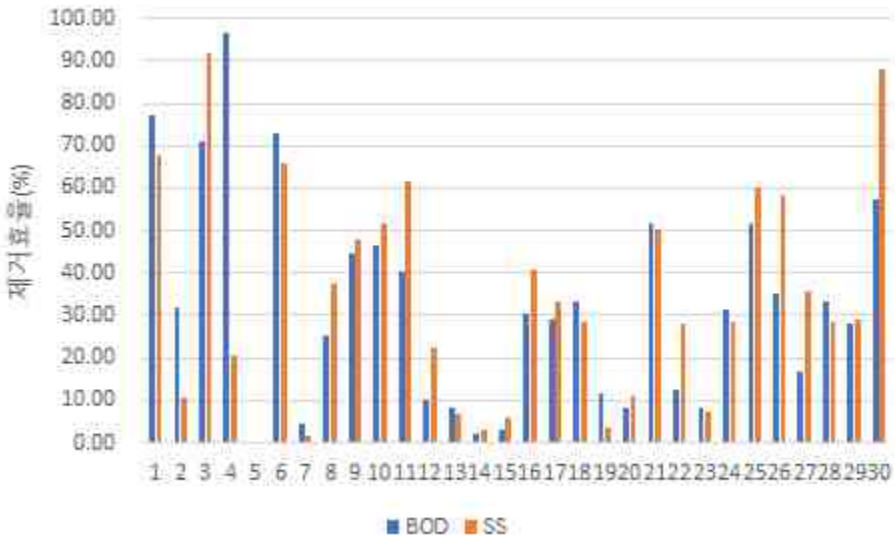


[그림 61] 포기조내 미생물 비율(MLVSS/MLSS)

❍ 전처리 효율 분석

❍ BOD 기준초과 7개 농장과 기준의 90%를 초과하는 1개 농장의 전처리 효율을 분석한 결과 평균 제거효율은 BOD 8.6%, SS 10.9%로 나타남

❍ BOD 기준에 부합하는 나머지 농장의 평균 제거효율은 BOD 42.6%, SS 44.2% 나타나 전처리 효율이 유기물 제거에 크게 영향을 미치는 것으로 나타남



[그림 62] 진단 대상 시설의 전처리에 의한 제거효율 비교

○ 퇴비 성분 분석(퇴비화 효율 분석)

○ 거의 모든 개별 정화방류 양돈분뇨 처리시설은 전처리 과정에서 고액분리를 통해 찌꺼기를 제거하고 이 제거된 찌꺼기를 퇴비화 처리하고 있음

○ 고액분리 과정에 제거된 찌꺼기는 톱밥 등의 팽화제와 혼합되어 퇴비장에서 장기간 발효 후 퇴비의 원료로 제공되고 있음

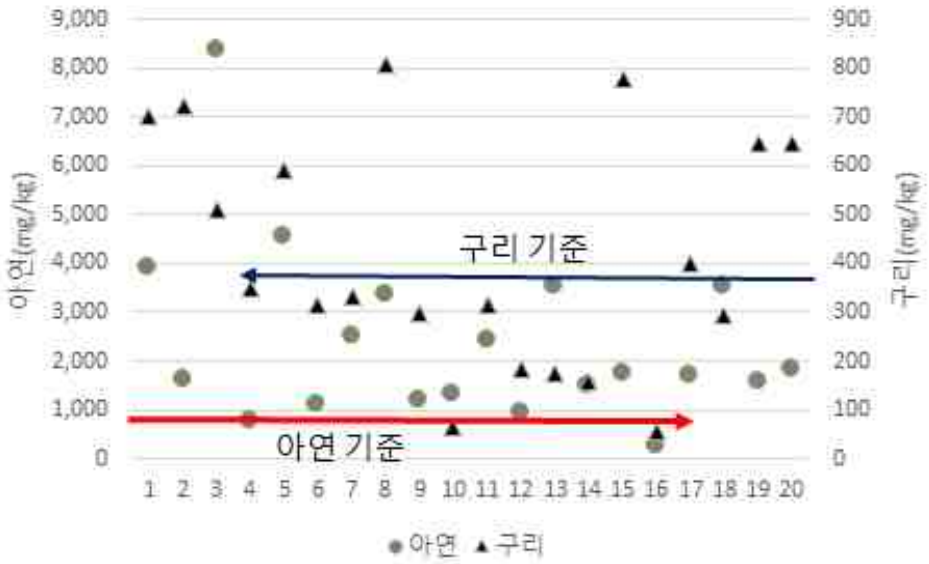
○ 진단 시설 중 20개소에 대해 퇴비의 성분 분석을 수행함

○ 국내 비료 기준을 근거로 판단했을 때 구리는 50%(10개소)가 기준을 초과했으며 아연은 90%(18개소)가 기준을 초과함

○ 대부분의 양돈 개별 처리시설에서 발생되는 퇴비는 추가적인 처리를 거치지 않고는 직접 농경지에 사용하기에는 부적합한 상태임

○ 부숙도 분석결과 25%인 5개소가 부숙 초기와 중기로 나타남

○ 부숙도를 판별하는 또다른 지표인 유기물/질소비의 기준인 45를 기준으로 비교하면 55%인 11개소가 기준치 이내이며 나머지는 기준치에 들지 못하는 상태임



[그림 63] 조사된 퇴비 내 구리와 아연 함량

[표 23] 조사된 퇴비 중금속 농도 및 염분농도

항목 / 비료 기준 / NO.	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Zn (mg/kg)	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	염분 (%)
	5	200	360	45	130	900	45	2	1.80
1	0.40	24.0	700	18.7	3.7	3,893	불검출	0.017	0.91
2	0.06	15.7	723	12.5	2.8	1,612	불검출	0.023	0.94
3	0.03	20.4	512	15.4	6.6	8,385	불검출	0.018	0.68
4	0.80	38.9	350	24.4	19.6	777	불검출	0.032	0.54
5	0.03	12.9	591	7.2	3.0	4,529	불검출	불검출	1.13
6	0.09	16.9	316	11.0	3.7	1,088	불검출	불검출	0.62
7	0.14	37.8	334	17.9	7.1	2,522	불검출	불검출	0.73
8	0.86	59.3	807	18.7	5.2	3,358	불검출	0.035	0.69
9	0.63	21.0	299	9.7	3.0	1,191	불검출	불검출	0.19
10	3.01	67.7	64	13.9	6.1	1,320	불검출	불검출	0.24
11	0.40	15.7	316	10.5	7.5	2,404	불검출	불검출	0.36
12	3.48	59.9	181	23.8	23.5	946	불검출	불검출	0.24
13	0.61	57.9	176	16.1	5.8	3,518	불검출	0.030	0.14
14	1.12	75.3	159	18.9	21.1	1,495	불검출	0.026	0.18
15	0.89	98.9	779	12.8	5.0	1,747	불검출	불검출	0.32
16	0.11	3.9	55	3.8	1.5	266	불검출	불검출	0.42
17	0.52	34.6	401	13.2	16.0	1,697	불검출	불검출	0.28
18	1.07	49.9	295	21.7	5.8	3,523	불검출	불검출	0.40
19	0.55	58.4	646	16.1	6.1	1,585	불검출	0.079	0.23
20	1.36	28.8	644	26.3	4.1	1,845	불검출	불검출	0.32

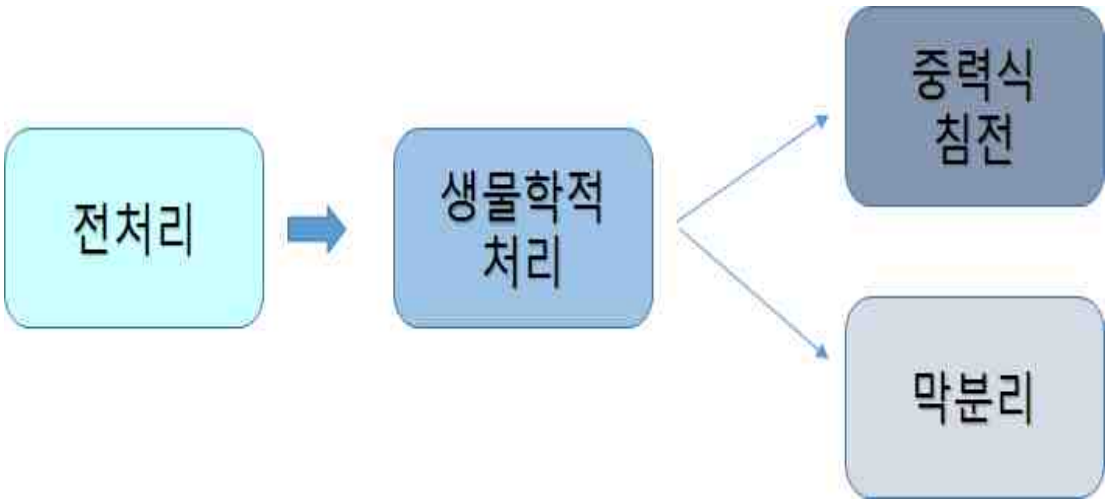
[표 24] 조사된 퇴비 부숙도, 미생물, 유기물 농도

항목 / 비료 기준 / NO.	부숙도	E. coli 0157:H7	Salmonella spp.(정성)	수분(%)	유기물(%)	유기물/질소 비	염산불용물질(%)
	기계 2종 발아지수	-	-	55	30	45	25
1	부숙완료	불검출	불검출	24.6	66.3	17.5	5.8
2	부숙완료	불검출	불검출	25.3	71.2	21.4	3.1
3	부숙완료	불검출	불검출	21.8	71.1	33.2	9.2
4	완전부숙	불검출	불검출	36.2	54.1	49.6	20.9
5	완전부숙	불검출	불검출	63.7	74	51.4	1.8
6	부숙완료	불검출	불검출	20.8	72	23.6	3.2
7	부숙초기	불검출	불검출	53.1	72.7	55.9	16.9
8	부숙완료	불검출	불검출	31.4	62.3	29.3	17.2
9	부숙중기	불검출	불검출	51.7	81.2	55.2	15.4
10	부숙완료	불검출	불검출	82.1	63.8	35.4	6.3
11	부숙완료	불검출	불검출	38.7	64.5	40.6	18.2
12	부숙완료	불검출	불검출	28.6	70.6	58.6	12.5
13	부숙초기	불검출	불검출	61.6	81.4	66.7	5.8
14	부숙완료	불검출	불검출	56.2	64.2	52.4	15.9
15	부숙초기	불검출	불검출	75.0	81.6	66.9	4.9
16	부숙중기	불검출	불검출	26.2	72.5	58.1	10.5
17	부숙완료	불검출	불검출	30.4	60.2	42.1	22.9
18	부숙완료	불검출	불검출	43.7	51.4	44.5	20.6
19	부숙완료	불검출	불검출	68.0	55.2	38.9	15.4
20	부숙완료	불검출	불검출	18.7	48.5	37.4	24.1

2절 축산농가 정화방1절 가축분뇨 농가별 정화방류시설의 진단 결과 25
2절 축산농가 정화방류 시설의 효율적 운영 방안 ····· 77류 시설의 효율적 운영 방안

1. 정화방류시설의 현행 공정 단계

○ 자체정화처리 시설을 갖춘 양돈 농가에 대한 기존 시설 분석 결과 대부분의 농장은 [그림 71]에 나타낸 것과 같이 전처리, 생물학적 처리 그리고 고액분리의 후속처리 구조로 되어있으며, 거의 유사한 처리공정으로 구성된 것으로 나타남.



[그림 64] 양돈분뇨 자체정화처리시설의 전형적인 공정

2. 정화방류시설의 공정 단계별 효율적인 운전 방안

가. 효율적인 전처리

○ 생물학적 처리시설의 용량에 따라 전처리 정도를 결정하여야 하며, 약품 주입 여부에 따라 효율이 크게 달라질 수 있음

○ 포기조 용량이 부족할 경우, 농도가 높게 유입될 경우 약품 전처리를 시행하면 포기조 효율을 높일 수 있지만, 과도한 전처리는 퇴비 발생량을 증대 시키며, 후속 질소 제거효율을 악화시킴

나. 효율적인 생물학적 처리

○ 질소 제거를 위해 포기조를 단속식 또는 간헐식으로 운전할 필요가 있으며, 총질소가 높을 경우 반드시 암모니아성 질소(NH_4-N)와 질산성 질소(NO_3-N)에 대한 성분분석이 필수적임

○ 방류수 중에 암모니아성 질소(NH_4-N) 비율이 높을 경우 포기조를 증설하거나, 송풍용량, 또는 산기관의 효율을 높여주어야 하고, 질산성 질소(NO_3-N) 비율이 높을 경우 유입 농도를 높이거나(전처리를 하지 않음), 포기조 용량을 줄이거나(일부만 가동), 메탄올 등의 외부 탄소원을 주입해 주어야 함

다. 효율적인 방류 시설

○ 강화된 방류수 기준(부유물질 및 총질소)을 맞추기 위해서는 기존의 중력식 침전지 대신 막분리 시설이나 여과막 등의 시설을 설치하는 것이 효율적임

○ 방류수의 부유물질만 모두 제거할 경우 총질소 제거효율도 함께 높아짐. 따라서 방류수 내의 부유물질을 안정적으로 제거하는 것이 우선적으로 해결해야 할 과제임

○ 한돈협회 설문자료 분석결과 SS 항목 기준 초과시, 총질소도 함께 초과하는 것으로 나타남

라. 효율적인 운영관리 방안

○ 양돈 분뇨 자체정화 처리시설의 경우 시설의 설치 뿐 아니라 운전에 있어서도 과거 유기물질만 관리하던 시절과 다르게 질소, 인 등의 영양물질을 관리하게 되면서 전문적인 지식과 기술이 필요한 실정임

○ 제한된 인원으로 운영할 수밖에 없는 양돈 농가의 사정을 고려하면 자체적으로 운영을 하는 것은 매우 어려운 현실임

○ 농가의 부담을 덜고, 환경관리의 효율화를 기하기 위해서는 자체처리시설에 대한 전문가 집단에 의한 위탁운영이나 정기적 진단이 필요한 실정임

○ 농, 축협이나 한돈협회, 또는 전문 용역사 등에 의해 정기적인 시설의 진단, 수질분석을 포함한 효율분석, 운영 효율화 기법 개발 등이 필요함

제4장 가축분뇨 자체 정화시설 운전 진단 방법

1절 전처리 시설 운전 진단 방법(저류시설 포함)

1. 협잡물 제거 시설

❍ 반입된 양돈분뇨 중에 포함된 협잡물과 토사류, 기타 조대 고형물질을 제거하는 시설로, 생물학적 처리의 안정성 확보와 후속 펌프 등의 기계류 보호를 위해 설치됨. 일반적으로 스크린, 원심분리기, 협잡물 종합처리기 등이 사용되며 여기서 부유물질 제거는 거의 나타나지 않으며 기계의 정상 가동 여부 진단을 위해서는 1일 협잡물 발생량, 운전 중 발생 기계음, 분뇨처리 속도 등으로 판별할 수 있음

2. 저류시설

❍ 양돈분뇨 처리시설은 일반적으로 비연속적, batch 방식으로 운전되므로 반드시 저류시설이 필요함. 저류시설은 후속 처리시설의 처리용량에 따라 다르게 나타낼 수 있는데 일반적으로 약 3일 이상의 저류 용량을 요구하며 저류 용량이 부족할 경우 후속 생물처리공정에 과부하를 유발할 수 있으며, 용량이 너무 클 때 저류조에서의 유기물 분해로 후속 생물처리 공정의 빈부하 운전을 초래할 수 있음

2절 생물반응조 및 후처리(고액분리 시설)운전 진단 방법

1. 활성슬러지의 미활성

가. 활성슬러지의 미활성된 상태

❍ 부유물질 분석시 휘발성 부유물질 분석을 통해 생물반응조의 VSS/TSS 비를 정기적으로 체크함

❍ 생물반응조의 VSS/TSS 비가 0.5 이하로 떨어질 경우 무기성 고형물 축적에 의한 효율 저하가 발생할 수 있으므로 이 경우 주기적인 슬러지 인발이 효율적임

나. 미숙성의 원인

○ 유입 분뇨의 조성, 농도의 변동 폭이 크고 활성슬러지가 안정되지 않음

○ 분뇨 중 영양성분(특히 인 성분(P))의 결여

○ 폭기조의 용량이 부족하고, pH 조절이 되지 않음

다. 미숙성의 대책

○ 물사용량 조절로 분뇨의 조성 및 농도의 변동을 적게하고, 영양분의 농도가 균일하도록 유입수 인 농도의 점검 필요

2. 변색, 변질

가. 흑색의 경우

○ 원인 : 통기량 부족, 활성슬러지의 혐기성 발효로 부패진행

○ 대책 : 통기량을 증대하고 유입 분뇨량을 줄임

4. 부상슬러지

가. 부상슬러지 발생원인

○ 질산화가 이루어져서 질산염 중 O_2를 질산화 세균이 소모하고 N_2 Gas가 발생하여 슬러지의 떠 오르게 함

○ 침전조 벽이나 바닥에 축적된 슬러지가 혐기성 분해에 의하여 가스가 발생되고 슬러지에 부착하여 부상

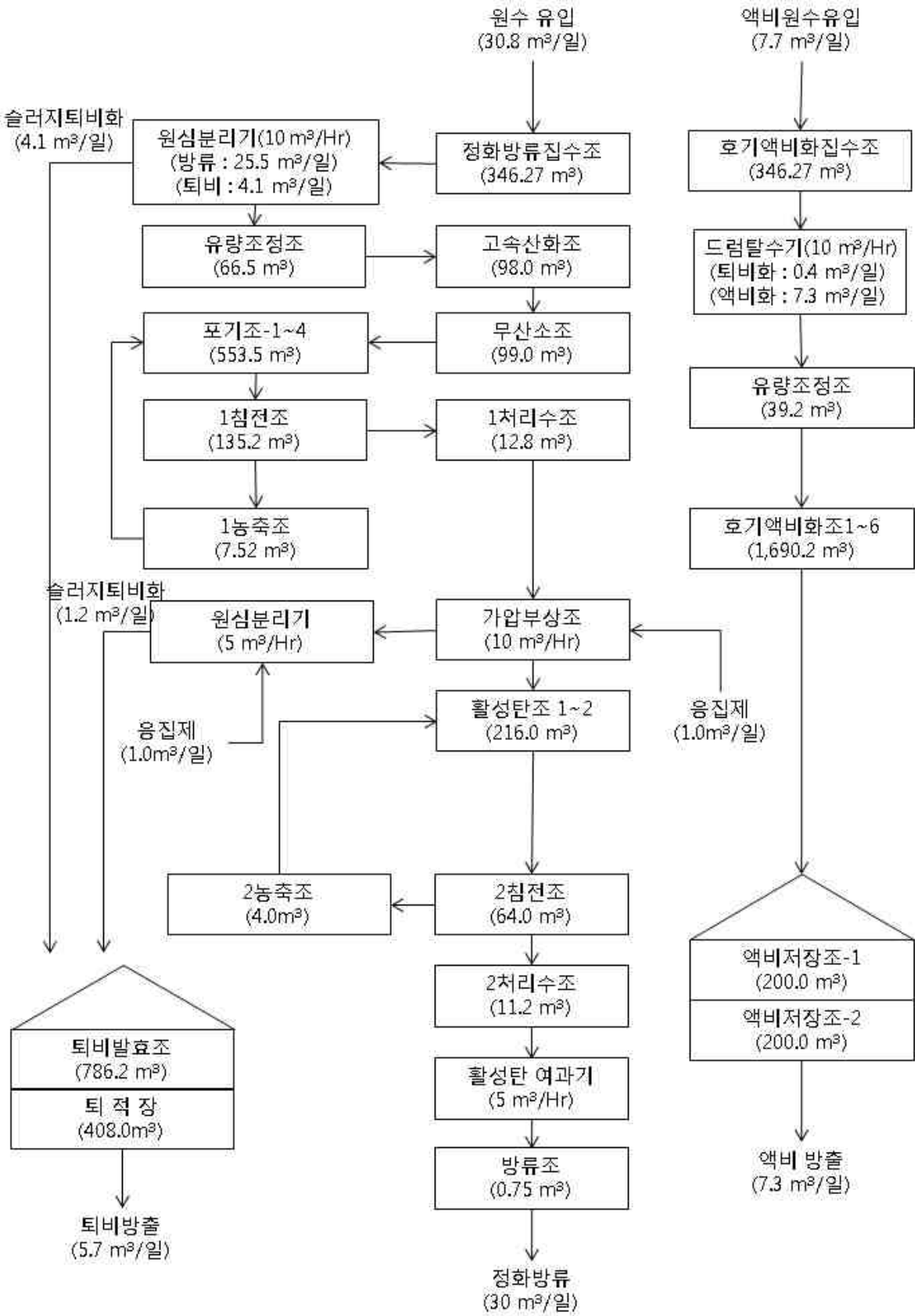
○ 침전조의 수면부하가 높고, 반송비가 적으며, 침전조에서 슬러지의 축적이 많을시 부상

나. 부상슬러지의 방지대책

○ 침전조의 유효수심을 적게 하고, 1년에 1~2회 침전조 청소를 할 것

○ 반송슬러지량을 증대시키고 슬러지가 붙어있는 기계의 속도를 높일 것

○ 세정수 등을 이용한 부상 슬러지 파괴



[그림 65] 일반적인 자체 처리시설 공정도

제5장 정화방류 기준 부합을 위한 적정 시설 제안

1절 정화방류시설 표준 모델

1. 표준모델 선정 기본방향

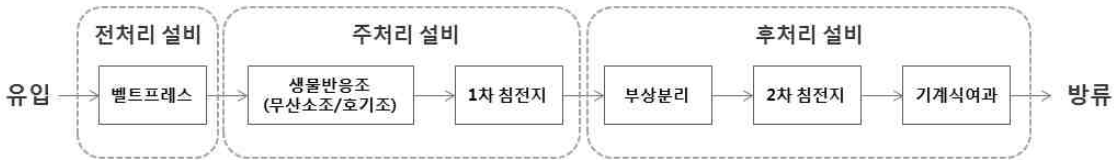
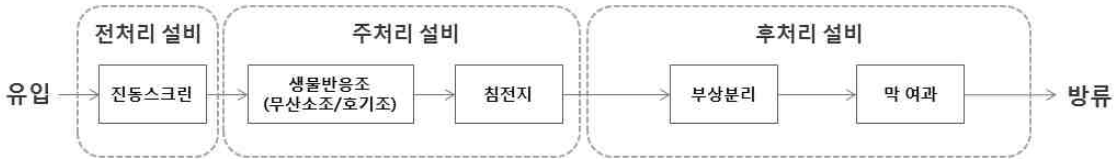
가. 정화방류농가 현황

- ❍ 현장 진단 결과 정화방류농장의 처리공정은 대다수 농가들이 전처리 고액분리 및 생물학적 처리, 후처리 가압부상 및 여과 등의 시설로 설치됨
- ❍ 조사결과 우성적으로 적정 운영이 가장 우선적으로 해결되어야할 사항이며 기타 시설 관리의 문제는 생물반응조의 체류시간과 송풍량 부족, 전처리시설의 낮은 고액분리 효율 등임
- ❍ 질산성 질소 비율이 높은시설의 경우 외부 탄소원(메탄올)을 추가하는 후처리설비의 일부 보완이 필요함

2. 정화방류시설 표준 모델

- ❍ 정화방류 농가 현장조사 및 설문조사를 토대로 가축분뇨의 발생 특성에 따라 고농도 폐수적용공정과 저농도 폐수적용공정으로 구분하였으며, 농도별 특성을 고려하여 전처리, 주처리 및 후처리 공정으로 표준처리공정을 구성하였고, 정화처리시설 표준처리공정 구성은 [표 25]에 나타냄

[표 25] 정화처리시설 표준처리공정 구성

구 분	공 정 구 성
고농도	
저농도	

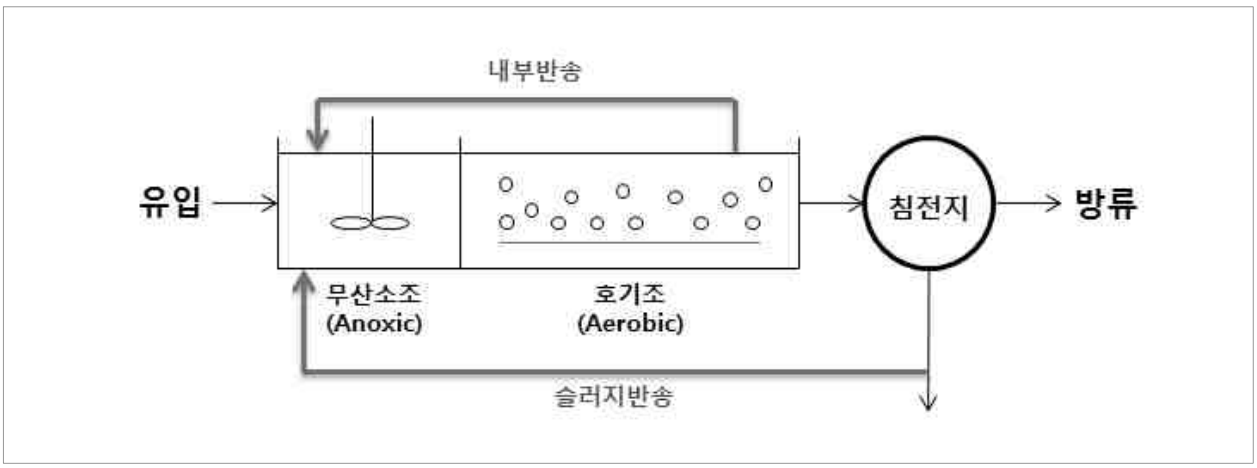
나. 전처리 시설

○ 반입된 가축분뇨 중에 포함된 협잡물과 토사류, 고형물질을 제거하는 시설로, 생물학적 처리의 안정성 확보를 위하여 고액분리 효율이 탁월한 공정의 적용이 필요함. 따라서 고농도 농가의 경우 유입 고형물 농도를 고려하여 약품 응집 후 벨트프레스로 탈수하는 것으로 계획하였으며, 저농도 농가의 경우 유입 고형물질이 적으므로, 운영상의 용이성을 고려하여 진동스크린을 통해 고형물을 제거하는 것으로 계획하였음. 전처리 공정에서 제거된 협잡물 및 케익은 퇴비화설비로 이송하여 처리하는 것으로 계획함

다. 생물학적 처리 시설

○ 고형물이 제거된 가축분뇨를 생물학적으로 처리하기 위한 설비로, 구조물 변경이 용이하고 운영이 단순한 MLE(Modified Ludzack-Ettinger)공정을 생물학적 처리공정으로 적용함. MLE(Modified Ludzack-Ettinger) 공정은 ‘무산소조-호기조-침전조‘로 구성되어 있으며, 호기조에서는 유기물 제거와 질산화를 통한 암모니아성 질소를 질산성 질소로 전환시키는 기능을 수행하고, 호기조에서 질산화된 혼합액을 무산소조로 내부순환시켜 탈질반응에 의하여 질소제거가 가능하도록 하는 공정임. MLE(Modified Ludzack-Ettinger) 공정

개요도는 [그림 73]과 같고 MLE 반응조는 체류시간 20일가량으로 계획하여, 유입량 대비 10~15 Q의 내부반송을 통해 강화된 질소 방류수질 기준을 충족시킬 수 있도록 함



[그림 66] MLE(Modified Ludzack-Ettinger) 공정 개요도

라. 후처리 시설

❍ 생물학적 처리 후 잔류하는 부유물질, 인, 색도 등을 추가 제거하여 법적 방류수질을 만족시키기 위한 설비로 약품응집 부상분리 및 기계식여과 or 막여과 공정을 적용하는 것으로 계획함

2절 자체 정화시설 운영비용 적정성 분석

[표 26] 자체 정화시설의 ton당 운영비용

<table>
<tr><td rowspan="2"></td><td>보유 처리공정(전기료, 인건비 포함)</td><td>사용약품</td><td>기타비용</td><td rowspan="2">2019년 방류기준 적용 시 증가비용</td><td rowspan="2">시설 개선시 예상 비용</td></tr>
<tr><td>침전조, 유량조정조, 포기조(질산화조), 탈질조, 농축조, 부상시설(DAF,CAF), 활성탄여과, 접촉산화조, 데칸터</td><td>고분자응집제, 가성소다, 활성탄, 무기응집제(염화철, 황산철, 황산알루미늄)</td><td>추가 보수비 부품 교체비</td></tr>
<tr><td>운전비용(원)</td><td>3,700</td><td>4,500</td><td>500</td><td>3,000</td><td>200,000,000 ~ 300,000,000</td></tr>
</table>

1. 자체정화처리시설 설치농가 분류[1)]

가.농가분류기준

- ❍ 고농도, 저농도 농가 분류(스크레퍼有 : 저농도, 스크레퍼無 : 고농도)
- ❍ 포기조 체류시간에 따른 case 분류
- ❍ Best case : 체류시간>20일
- ❍ General case : 10<체류시간<20일
- ❍ Worst case : 10일>체류시간

나. 자체 정화시설 표준 설계 유입유량 선정

- ❍ 설계 유입량은 2,000두에서 20,000두까지 산정함

1) 농협중앙회, 양돈분뇨처리 농협중앙회 조사사업, 2011, 가축분뇨 정화방류현황 및 시설개선 비용조사 2013

[표 27] 설계 유입유량

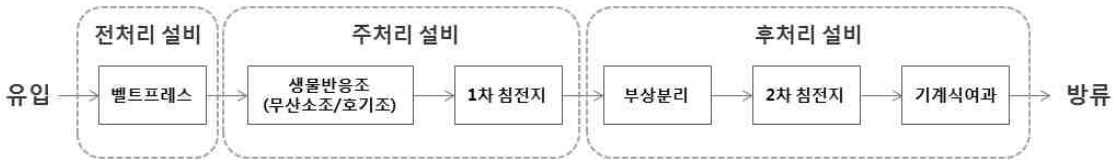
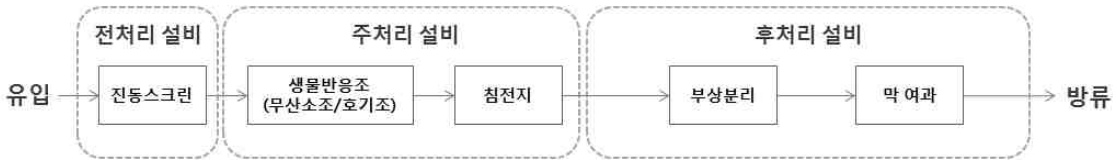
구 분	사육두수 및 설계유입유량					
기준 사육두수(두)	2,000	3,000	6,000	10,000	15,000	20,000
설계유입유량(㎥/d)	10	15	30	50	75	100

제6장 정화 방류시설 표준 모델 제안

1절 정화방류시설 표준 모델

○ 정화방류 농가 현장조사 및 설문조사를 토대로 가축분뇨의 발생 특성에 따라 고농도 폐수적용공정과 저농도 폐수적용공정으로 구분하였으며, 농도별 특성을 고려하여 전처리, 주처리 및 후처리공정으로 표준처리공정을 구성하였고, 정화처리시설 표준처리공정 구성은 [표 29]에 제시함

[표 28] 정화처리시설 표준처리공정 구성

구 분	공 정 구 성
고농도	
저농도	

2절 전처리 시설의 유지관리

○ 생물학적 처리 시설의 용량에 따라 전처리 정도를 결정하여야 함

○ 약품 주입 여부에 따라 효율이 크게 달라질 수 있음

○ 포기조 용량이 부족할 경우, 농도가 높게 유입될 경우 약품 전처리를 시행하면 포기조 효율을 높일 수 있음

○ 과도한 전처리는 퇴비 발생량을 증대시키며, 후속 질소 제거효율을 악화시킴

3절 생물 반응조 및 후처리(고액분리)시설의 유지관리

1. 폭기조

○ 폭기조의 색상은 유입된 폐수의 함유 색소에 의해서 변화될 수 있으나 대체로 맑은 갈색으로 폭기되는 부분에서 흰색의 거품이 생기면서 반대 방향으로 밀리며 혼합되는 순간 거품이 소멸되어야 함

○ 흰색 거품이 깨지지 않고 반대쪽에 쌓일 경우 SRT가 너무 짧다. SRT를 길게하기 위하여 반송슬러지 유입량을 증대시키는 반면 BOD 부하를 줄임. (원수 유입량을 줄여준다) 체류시간을 길게 함. Spray Nozzle을 통하여 냉각수를 Spray하여 소포함

○ 폭기조 및 침전조의 체류시간 및 F/M비, BOD 용적부하에 맞도록 운전하여야 하고, 폭기조에 유입하는 폐수의 농도 (BOD, COD)가 급격히 상승할 때의 원인과 대책은 다음과 같음

가. 농도상승 원인

○ 반송슬러지량을 늘려서 운전하여야 하나 이 때는 폭지조 체류시간이 단축됨

○ 폭기조 체류시간이 단축되면 활성슬러지 생물상의 변화가 일어나서 처리효율에 악영향이 나타나고 생물상의 변화는 곧바로 SVI의 상승을 나타나게 한다.

나. 농도상승시의 처리

○ 반송슬러지량이 증가하면 폭기조의 MLSS가 상승되므로 폭기조 내의 DO 공급을 증가하여야 함

다. 과폭기

○ 폭기조에서 과폭기 되었을 때의 현상과 대책은 다음과 같음

○ DO는 대체적으로 2~4ppm 유지

○ 침전조에서 부상(과폭기에 의한 질산화반응) - 통기량 감소

○ 활성슬러지가 과도하게 산화되어 처리수중 현탁현상 발생

○ 침전조 바닥이나 벽에 잉여오니가 축적되어 혐기성 분해

4절 오염물질 항목별 이상 발생 시 대응 매뉴얼

1. 유입수의 특성 분석

○ 분뇨 처리시설 중 질소제거 공정 설계/ 운전의 3대 문제점

- 유입수의 수질/수량 파악을 잘못한 경우
- 부적절한 고형물 및 슬러지 처리공정
- 슬러지의 재순환시 수량 및 수질의 완충능력을 잘못 고려할 경우

○ 적절한 설계는 유입수, 유출수 슬러지 처리의 적절한 방법의 선정과, 방류 후 주변환경과의 조화를 고려하고, 시공후 운영시 설계범위에서 운전될 수 있는 조건을 만족하여야 함. 이런 적절한 설계는 비용을 최소화시키고 기준에 부합하는 시설을 유지하게 함

○ 상식과 공정에 대한 세밀한 이해가 조화를 이룰 때 공정의 응용이 가능하며, 유입수 특성의 잘못된 파악은 운영시 매우 치명적인 문제가 될 수 있다.

○ 방류수의 기준에 대한 설정은 유입수의 특성을 반드시 필요로 함. 만약 최대 유입 유량을 월 및 주의 기준에 충족시키기 위한 설계는 80% 이하의 방류기준을 충족시켜야 함

○ 가장 최적화된 설계는 수량, 수질 뿐 아니라 고형물과 슬러지의 처리도 전체적인 균형을 맞추어야 함

○ 고형물의 관리 방향설정은 최종적인 처리방법과, 실질적인 처리가능성을 정하는 데에서 시작하며, 이는 수처리 기술적용에 직접적인 영향을 미치므로 신중히 양쪽을 고려해야 함

3. 이온 교환 : Ion Exchange, NH_4-N

가. 원리

○ 이온교환에 의한 질소의 제거는 천연/합성수지로 만들어진 이온교환 수지를 컬럼에 충진하고 제거하고자 하는 특정이온이 포함된 원수를 Column/Bed에 통과시켜 수지에 부착된 기존이온을 특정이온으로 교환하는 것으로, 이온교환 수지내의 특정이온이 파과점(Breakthrough)에 도달할 때까지 이러한 반응을 지속함

○ 파과점에 도달한 이온교환 수지는 이온제거 능력을 상실하게 된다. 이를 재사용하기 위해서는 고농도의 재생액을 이용하여 수지에 부착되어 있는 교환된 이온을 다시 용출해 냄. 사용된 재생액은 농축된 이온을 포함하게 되는데 이는 폐기, 재사용, 되거나 다른 물질을 사용하기 위한 원료로 사용됨.

나. Clinoptilolite

○ 천연 이온교환 수지로서 암모늄 이온의 제거에 사용됨

○ 이온의 선택성 : $K^{+}>NH_4^{+}>Na>Ca_2^{+}>Mg_2^{+}$

○ 이온교환 능력 : 2meq/L

다. 설계

○ 부유물질에 의한 폐색을 방지하기 위하여 전단에 20-50 mesh에 의한 전처리

○ 수리학적 처리부하 : 5 ~ 10 Bed volume/Hr

○ 재생 후 최초 5 ~ 10 Bed volume은 재생과정에서 남은 암모늄 이온이 용출됨

- 처리성능 : 처리수의 암모늄 이온의 농도는 서서히 증가

> 0.5 ~ 1.0mg/L 130 Bed volume
> 약 5mg/L 170 Bed volume
> 처리수의 농도가 기준치가 되면 재생함

라. 재생

○ Bed 내에 축적된 부유물질 제거 : 2 ~ 3 Bed volume의 재생액 이용

○ 재생액 투입 : 10 ~ 20 Bed volume, 10 bed volume/hr rate

○ 재생액 : 고농도의 High pH 용액사용

○ 재생액 세정 : 일반 용수로 세정하여 잔류성분 배출

- 설치 예

* 여기서 예시된 사항은 대량의 시설을 기준으로 한 것으로 소량의 하/폐수처리에서는 다른 의견을 나타낼 수도 있음
* 암모늄 이온의 교환으로 발생한 재생액을 암모니아 탈기를 이용하여, 발생하는 암모니아를 이용 황산 등을 제조 : 두 공정을 연계하여 사용함
* North Tahoe-Truckee WWT : 기준 2.0 T-N
  > 처리용량 : 220L/s

> 처리수질 : 2.5mg/L 암모늄 이온 --> 추가적인 파과점 염소주입 수행함
> 이러한 처리공정은 140mg/L의 염소투입과, 처리수 용존물질의 250mg/L의 증가로 나타남
> 위의 공정을 만족시키기 위한 공정의 유지, 수리, 교환등을 고려하면 일반적인 공정에 비하여 대단히 많은 비용을 요구함
> 공정의 수행중에 발생하는 ammonium sulfate 결정형성에 주의하여야 함

* Upper Occoquan WWT : 660L/s --> 시험 가동만 수행

4. 파과점 염소주입 : Breakpoint chlorination, NH4+-N

가. 원리

○ 질소제거를 위한 파과점 염소주입은 정수처리에서 유래되었으며 이는 잔류염소에 의한 소독력의 유지를 위한 목적에서 비롯됨. 염소가 수중에 유입되면 쉽게 산화되는 유/무기물과 결합하여 염소를 소모함. 이후 염소는 암모니아와 계속 반응하여 클로라민을 형성함 그 후에도 계속해서 염소를 주입할 경우 클로라민이 산화되며 잔류염소가 수중에서 증가하게 됨. 이러한 수중의 잔류염소가 증가하는 염소주입 시점을 파과점이라고 함. 이러한 반응은 수중의 알칼리도를 소모하며 처리수의 용존물질의 함량을 증가시키게 됨. 또한 pH의 변화는 수중의 염소와 유기물간의 반응속도를 변화시키므로 이에 유의하여야 함

- 염소주입에 관한 화학양론 식
  * 7.6 mg Cl_2 / mg NH_4-N
  * 위의 비율은 화학적인 반응을 이론적으로 나타낸 것이며 실제 반응에서는 암모늄 이외의 이온이나 유기물로 인하여 염소/질소가 10~20 : 1의 비율로 염소를 투입하여야 한다.
- 적용 예
  * 1970년대 중반까지 생물학적 처리를 처친 하/폐수를 대상. 충분한 실험자료가 없슴 : Vermont.
  * 주입 : 20mg/L NH_4-N 수준의 생물학적 처리수.
  * 주입비율 : 10 : 1 수준
  * 처리효율 : 파과점에서 대략 90% 제거

나. 결론

○ 파과점 염소주입만으로 질소제거를 수행하는 것은 경제적, 기술적 타당성 적음

○ 파과점 염소주입은 기존의 처리로 기준을 충족시킬수 없을 때 추가적인 수단으로 사용하는 것이 바람직

- 잔류염소의 제거

  * 활성탄에 의한 제거 --> 복잡하고 비용이 고가임

  * SO2의 주입에 의한 제거 : 가장 많이 이용됨

    > 주입비율 SO_2 : Cl_2 = 0.9 : 1의 비율이나 실제 30% 정도의 여분이 필요

5. 비특정 이온 제거기술 : Non-ion-specific technologies

○ 이 분야에 속하는 기술은 수중의 모든 부유성, 용존성 물질을 각각의 물질 배제율 특성에 따라 제거됨. 역삼투막 기술이 이 분류에 속함

가. 염삼투 : Reverse osmosis

○ 용존물질 제거의 대표적 기술

○ Orange County's Water Factory 21 에서 적용됨

○ 제거율 : 암모늄 - 95%, 질산성 질소 - 55%로 질산성 질소의 경우 활성탄 흡착, 파과점 염소주입 등 다른 기술에 비하여 제거율이 떨어짐. 따라서 총질소의 제거에 있어서 다소 불리한 경우가 많음

○ 공정의 성능에서 온도에 의한 영향은 종종 가장 중요한 인자가 됨

○ 한 처리시설에서 얻은 결과를 또 다른 시설에 적용할 때에는 온도에 대한 주의가 필요함

○ 온도에 대한 질산화율의 변화가 비교적 잘 알려졌지만 이를 이용하여 공정의 동역학 상수를 보정하는 경우에도 주의해야 함

○ C/N 비율의 논의에서 지적한 항목은 탄소원을 소모하는 미생물의 양을 평가시 다시 검토돼야 함

○ 공정내의 MLVSS 중 많은 양은 활성도가 없으며 온도변화에 의한 영향의 대상이 아니며 이것은 상당히 넓은 범위의 온도 변화에서 순 고형물 증가가 거의 일정하게 유지되는 이유임

6. 설계 시 자주 발생하는 문제점 : Frequently encountered linked design issues

가. 응집제의 첨가 : Metal salt addition.

- ❍ 인과 부유물질 제거를 위해 응집제의 첨가는 질소 제거와는 관계없이 광범위하게 사용되고 있음
- ❍ 질소제거 공정에 있어서 부유물질과 인제거를 위한 응집제의 첨가는 Alkalinity의 소모 및 처리수 TDS의 증가를 유발함
- ❍ 알루미늄 응집제는 철 응집제에 비하여 슬러지의 발생이 적으나 슬러지의 탈수성이 떨어지고, Alkalinity의 소모는 몰 비율로 같음
- ❍ 철 응집제의 첨가는 알루미늄 계통보다 침전물의 발생이 많음
- ❍ 처리수의 방류 이전에 인의 추가적인 제거나 일반적인 여과지를 통과하는 콜로이드성 물질의 제거를 위해서 최종 여과지 전단에서 응집제를 투입하기도 함. 응집제와 폴리머의 동시주입은 SS의 제거에 있어서 더욱 효과적임

나. 미생물 성장의 방해물 및 오염물 : Microbial inhibition and pollutant breakthrough

(1) 독성 : Toxicity.

- ❍ 방해물질에 의한 미생물학적 독성은 가장 많이 논의되나 실제 하수처리장의 운영에 있어서는 거의 나타나지 않음
- ❍ BOD:COD의 점검은 독성에 의해서 영향을 받은 질산화 미생물의 경우에는 적용될 수 없는데 이는 분뇨처리과정에서 질산화 미생물은 대단히 민감한 것으로 인식되기 때문에 다른 요인에 의한 영향일 가능성이 있기 때문임
- ❍ 그러나 독성에 의한 미생물의 방해는 여전히 반응기 DO의 증가와, 처리수에서 급격한 암모니아성 질소 농도의 증가, 산화된 질소의 농도 감소로 설명될 수 있음
- ❍ 독성물질과 그 양에 의한 질산화 미생물의 민감도는 생물학적 지표의 개념으로 사용될 수 있으며 중금속의 축적과 같은 만성적인 독성은 발현 속도가 미생물의 SRT보다 2-3배 가량인 경우가 많아 독성의 발현이 충분히 나타나지 않을 때가 많음

(2) 암모늄 이온의 처리효율의 저하 : Ammonium breakthrough.

❍ SRT의 문제가 없게 설계된 처리시설에서 암모늄 이온에 의한 처리의 저해는 다음 중 한가지 또는 여러 요인에 의한 것이다.

- 부적절한 산소 공급
- Alkalinity의 부족
- 적응된 미생물의 양에 비하여 암모니아 농도가 너무 높을 경우

❍ 부적절한 산소공급 문제를 해결하기 위해서는 질산화는 용존산소가 없으면 이루어지지 않으며 2mg/L 이하에서는 농도에 따라 질산화율이 급격히 저해된다는 것을 기억해야 하며, 반응기에서 측정하는 용존산소의 농도는 실제 미생물의 플럭이나 생물막 내부의 용존산소의 농도를 간접적으로 측정하는 것에 불과함

❍ 유기물 부하가 급격히 증가할 때 종속영양미생물에 의한 산소의 소모는 질산화율을 감소시키게 됨. 만일 증식에 필요한 충분한 조건이 주어지지 않는다면 질산화 미생물은 감소함

❍ 질산화 과정에서 Alkalinity의 부족은 pH의 감소를 나타내는데 6.0-6.5까지는 질산화 미생물이 적응할 수 있음. 그러나 그 이하에서는 질산화율의 감소를 나타냄. 만일 이러한 사항이 자주 발생하게 되면 용존산소의 유지와 관계없이 질산화 미생물의 유출이 발생함

❍ 만일 pH 문제라고 판단되면 최종 침전지의 weir 이전에서 측정해야 함. Alkalinity의 부족분을 계산한 후에 원인을 판단함(일반적으로 불규칙한 반송 또는 산의 유출등) 처리수의 정기적인 Alkalinity의 점검은 불규칙적으로 발생하는 문제를 미리 예상할 수 있음

❍ 순산소 폭기조와 같은 밀폐형 폭기조의 경우 이산화탄소의 탈기가 이루어지지 않는 이유로 pH의 감소가 나타나기도 하며 또한 미세산기에 의한 폭기시 다른 경우보다 pH의 감소가 있을 수 있음

❍ 질산화를 위한 적절한 Alkalinity는 pH가 공정과 폭기과정에서 생성되는 이산화탄소의 양과 물리적으로 탈기되는 이산화탄소 양을 반영하는 수준에서 나타나게 됨

(3) 질소산화물 처리효율의 저하 : Oxidized Nitrogen breakthrough

○ 무산소 상태의 탈질 반응은 외부의 탄소원이나 미생물의 내생호흡을 통하여 진행됨. 질소산화물에 대한 탈질 방해작용은 다음의 원인으로 인하여 발생함

- 탄소원의 부족
- 외부주입 탄소원에 대한 미생물 적응의 실패
- 주입된 탄소원에 대한 이종 미생물간의 경쟁
- 예상이하의 반응속도, 공정의 물리적인 한계

○ 위의 각각의 원인에 대한 처리로 탄소원의 주입, 적응시간의 연장, 적절한 탄소원의 주입지점 선정, 반응기 체류시간의 연장 등으로 정상적인 상태의 유지가 가능함

○ 용해성 COD, 미생물의 산소소모율, 반응기 유출부에서 측정한 질소산화물의 형태 등을 추적하면 문제해결의 방법을 찾을 수 있음

(4) 미세산기관의 막힘 : Fine-Pore diffuser clogging

○ 미세산기관의 보급 증가는 산기관의 막힘 현상문제를 발생시키고 있음. 빈번한 산기관의 세정작업은 비용의 증가를 발생시킴

○ 산기관의 막힘은 용존산소 농도가 낮으면서 과부하가 걸릴 때 심각한 문제가 됨. 이러한 문제는 유기물과 질산화가 동시에 진행되는 공정에서는, 종속영양 미생물과 질산화 미생물이 혼재된 상태에서 동시에 필요한 산소요구량이 많기 때문에 다소 과장된 면도 있음. 산기관의 막힘은 반응기 전단부에서 용존산소 농도에 문제를 일으키는 경향이 많으며 이러한 산소부족 현상이 반응기의 후반부까지 영향을 미치게 됨

○ 산기관 세척을 수행하기 이전에 MLSS 농도 감소, 공기공급량의 증가, 선택조의 사용, coarse 산기관의 사용 또는 산소요구량의 많은 지점에 산기관의 추가설치, 또는 반응기내 폐수의 분산투입 등의 방법을 이용하여 산소부족의 정도를 완화시킬 수 있음

5절 생물학적 질소처리의 원리

○ 생물학적 분뇨처리 공법에서의 총질소의 처리 공법은 처리방법이 안정적이고, 운전이 용이한 질산화-탈질소 공법(Nitrification - Denitrification)이 가장 널리 보급되어 활용되어지고 있음

1. 질산화(Nitrification)과정

○ 질산화(Nitrification)과정은 2단계로 나누어지는데 질소가 NH_4^+ 상태로 존재 할 경우 호기성 상태에서 NO_2^-로 산화되는 과정을 1단계 질산화라 하고, 2단계는 NO_2^-를 NO_3^-로 산화시키는 과정을 칭함

1단계 반응 : $NH_4^+ + \frac{3}{2} O_2 \xrightarrow{Nitrosomonas} NO_2^- + 2H^+ + H_2O$

2단계 반응 : $NO_2^- + \frac{1}{2} O_2 \xrightarrow{Nitrobacter} NO_3^-$

전 체 반 응 : $NH_4^+ + 2O_2 \longrightarrow NO_3^- + 2H^+ + H_2O$

2. 탈질(Denitrification) 과정

○ 질산화 과정의 진행이 완료된 질산성 질소(NO_3^-)가 혐기성 또는 무산소 상태에서 수소수용체(Hydrogen Acceptor)로 이용되어 질소가스(N_2) 상태가 되어 대기 중으로 방출됨

○ 이때 질산화 과정은 호기성 상태이므로 에너지원으로 산소(O_2)를 이용하지만 탈질소화는 무산소 상태에서 이루어지므로 에너지원으로 탄소(C)를 필요로 하게 됨

○ 그래서 2차 처리를 거친 처리수 또는 빈부하의 폐수를 탈질 처리하고자 할 때는 유기물질이 부족하므로 메탄올 등의 에너지원을 공급하여야 함

$$2NO_3^- + 10H^+ \longrightarrow N_2\uparrow + 4H_2O + 2OH^-$$

○ Nitrification 과정에서의 Cell의 합성과 Energy가 얻어지는 과정을 살펴보면, Cell 합성의 반응식은 다음과 같음

$$4CO_2 + HCO_3^- + NH_4^+ + H_2O \longrightarrow C_5H_7NO_2 + 5O_2$$

○ 따라서, Energy원이 충분할 때 질산화 과정에서 Cell의 합성과 Energy가 얻어지는 전체 과정의 반응은 다음과 같음

$$22NH_4^+ + 37O_2 + 4CO_2 + HCO_3^- \longrightarrow C_5H_7NO_2 + 21NO_3 + 20H_2O + 42H^+$$

○ 탈질(Denitrification) 과정에서 질산성 질소(NO_3^-)가 수소수용체(Hydrogen Acceptor)로 이용되므로 혐기성(무산소 포함) 반응이 됨

○ 여기서, 메탄올을 탄소원으로 공급할 경우 에너지반응 및 미생물 세포 합성의 반응을 살펴보면,

에너지반응 1단계 : $6NO_3^- + 2CH_3OH \longrightarrow 6NO_2^- + 2CO_2 + 4H_2O$

에너지반응 2단계 : $6NO_2^- + 3CH_3OH \longrightarrow 3N_2 + 3CO_2 + 3H_2O + 6OH^-$

총 에너지 반응 : $6NO_3^- + 5CH_3OH \longrightarrow 5CO_2 + 3N_2 + 7H_2O + 6OH^-$

미생물 세포 합성반응 :

$$3NO_3^- + 14CH_3OH + CO_2 + 3H^+ \longrightarrow 3C_5H_7O_2N + H_2O$$

○ 현장에서 적용할 때 세포의 합성에 요구되는 메탄올의 양은 에너지를 위해 요구되는 양의 25~30% 정도임

○ 질산성 질소(NO_3-N)를 제거하기 위한 요구되는 메탄올의 양은 다음과 같이 구함

$$NO_3^- + 1.08CH_3OH + H^+ \rightarrow 0.065C_5H_7O_2N + 0.47N_2 + 0.76CO_2 + 22.4H_2O$$

< 참 고 문 헌 >

○ 국립환경연구원. 1989. 수질환경기준 달성 최적화 방안에 관한 연구(I).

○ 농촌진흥청 축산기술연구소. 2001. 축산분뇨처리기술.

○ 한국농촌경제연구원. 2001. 가축분뇨 처리시설의 시설비 및 운영비 조사 연구.

○ 환경부. 2004. 수질오염공정시험법.

○ 농림수산식품부. 2008. 농림사업시행지침서-제4권 축산구조개선.

○ (사)대한양돈협회. 2008. 4. 가축분뇨 공공처리시설의 운영개선과 배출자 중심의 효율적 처리방안

○ 경기개발연구원. 2009. 소규모 가축분뇨 처리시설의 효율적 관리체계 구축에 관한 연구.

○ 대전발전연구원. 2009. 가축분뇨관리 기본계획 수립(가축분뇨 중장기 관리방안 연구).

○ 한국은행. 2012. 5. 2010년 산업연관표(연장표).

○ 환경부. 2011. 하수도시설기준.

○ 농협중앙회. 2011. 양돈 및 낙농농가 분뇨처리실태 조사사업.

○ 환경부 물환경정책과. 2011.12. 가축분뇨 정화시설 방류수기준 강화를 위한 연구.

○ 통계청. 2012. 가축동향조사.

○ 국립축산과학원 축산환경과. 2013. 3.「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률」이해 세미나 자료.

○ 국립환경과학원, 1997, 수질환경관리기준 강화에 관한 연구

○ 국립환경과학원, 1999, 폐수배출시설 표준 원단위 조사 연구

○ 국립환경과학원, 2000, 정책 결정자를 위한 수질관련 기준 비교・분석

○ 국립환경과학원. 2001. 유기오염물질 지표전환에 관한 연구, COD_{Mn}, COD_{Cr}, TOC의 장·단점 비교, 분석(I)

○ 국립환경과학원. 2002. 유기오염물질 지표전환에 관한 연구, COD_{Mn}기준의 지표전환 시 적정기준 설정방법(II)

○ 국립환경과학원, 2003. 유기오염물질 지표전환에 관한 연구, COD_{Mn}, COD_{Cr}, TOC법에 의한 적정규제기준 설정방안(III)

○ 국립환경과학원, 2004, 하수종말처리시설 방류수 기준 개선에 관한 연구

○ 국립환경과학원, 2006, 폐수배출시설 세분류 및 오염부하 원단위

○ 국립환경과학원, 2009, 배출원 수계관리에 적합한 유기물질 관리방향 연구

○ 국립환경과학원, 2011. 공공수역의 유기물질 환경기준 지표전환 및 관리 정책방향 연구
○ 국립환경과학원. 2012. TOC 규제기준 도입을 위한 기본계획 연구
○ 국립환경과학원. 2013. 하수처리시설 수질기준 선진화 계획수립 연구, NIER-SP2013-109
○ 국립환경과학원. 2013. 총량관리 대상물질 확대를 위한 축산계 오염원 원단위 기반 연구(I)
○ 국립환경과학원. 2014. 총량관리 대상물질 확대를 위한 축산계 오염원 원단위 기반 연구(II)
○ 국립환경과학원. 2014. 하수처리시설 방류수 TOC 기준 설정을 위한 조사연구(I), NIER- SP2014-014
○ 국립환경과학원. 2015. 하수처리시설 방류수 TOC 기준 설정을 위한 조사연구(II)
○ 국립환경과학원. 2015. 통합환경관리제도 적용을 위한 TOC 기준(안) 설정 연구, NIER-SP2015-030
○ 국립환경과학원. 2016. 하수처리시설 TOC 수질관리 최적화 시범연구(I)
○ 국립환경과학원. 2016. 난분해성물질(TOC)관리를 위한 수질오염 총량관리 기반연구
○ 국립환경과학원. 2017. 하수처리시설 TOC 수질관리 최적화 시범연구(II)
○ 낙동강수계관리위원회, 2010, 낙동강 수계 난분해성 물질 증감요인 규명 및 관리방안
○ 한국환경과학연구협의회, 1989, 각종 용수와 수질기준 연구
○ 한강수계관리위원회, 2008, 한강수계 난분해성 물질 증감요인 규명 및 관리방안 연구
○ 환경부. 2015. 산업폐수 TOC 배출허용기준 설정방안 연구
○ 환경부. 2017, 허가배출기준 설정방법 마련(2017)
○ 환경부. 2017. 축사의 방류수 수질기준 개선방안 마련 연구
○ 환경처, 1992, 수질환경기준 및 배출허용기준 적정화 연구
○ 채영근. 2016. 환경정책기본법상의환경기준에 관한 소고, 환경법연구 제 38권 제3호
○ 최지용, 한 대호. 2011. 유기물질 수질지표로서 TOC 환경기준 설정에 관한 연구, 서울도시연구, 제 12권 제 3호
○ European Commission. 2001. Reference document on best available techniques in the pulp and paper Industry.
○ European Commission. 2003. Reference document on best available techniques for the Textile Industry.
○ European Commission. 2006. Reference document on best available techniques for the surface treatment of metals and plastics.
○ European Commission. 2007. Reference document on best available techniques in

the large volume inorganic chemicals - Solids and others industry.
- Remus, R., Monsonet, A., Roudier, S., Sancho, L., 2013. Best available techniques(BAT) Reference document for iron and steel production.
- Dague, R,E, Inhibition of nitrogenous BOD and treatment plant performance evaluation, Journal WPCF, 53(12), 1738~1741 (1981)
- Hall,J.C and R.J.Foxen, Nitrification in BOD_5 test increase POTW noncompliance, Journal WPCF, 55(12) 1461~1469 (1983)
- SEPA, 2000, Environmental Quality criteria, lakes and watercourses, Report 5050
- U.S. Environmental Protection Agency. 2010. NPDES Permit Writers' Manual. EPA-833-K-10-001. US EPA Office of Wastewater Management, Water Permit Division State and Regional Branch
- U.S. Environmental Protection Agency. 1995. Great Lakes Water Quality Initiative Technical Support Document for the Procedure to Determine Bioaccumulation Factors. EPA-820/B-95-005. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Science and Technology, Washington, DC. Publication available on NEPIS Website <www.epa.gov/nscep/> as document 820B95005.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1993. Guidance Manual for Developing Best Management Practices. EPA 833-B-93- 004. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. <www.epa.gov/npdes/pubs/owm0274.pdf>.
- King, Ephraim S. 1992. Order Denying Modification Request With Respect to the Administrator's 1990 Decision in Star-Kist Caribe, Inc. (NPDES Appeal No. 88-5). U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water. Memorandum, May 27, 1992. <www.epa.gov/npdes/pubs/owm0121.pdf>.
- Hanlon, James. A. 2007. Compliance Schedules for Water Quality-Based Effluent Limitations in NPDES Permits. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management. Memorandum, May 10, 2007 .<www.epa.gov/npdes/pubs/memo _ complianceschedules_may07.pdf>.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1999. Introduction to the National Pretreatment Program. EPA-833-B-98-002.
- U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, Washington, D.C. <www.epa.gov/npdes/pubs/final99.pdf>.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1994. A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. EPA/832/R-93/003.
- U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wastewater Management, Washington, DC. <www.epa.gov/owm/mtb/biosolids/503pe/>.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1993. Domestic Septage Regulatory Guidance

—A Guide to the EPA 503 Rule. EPA-832/B-92-005. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. <www.epa.gov/npdes/pubs/owm0026.pdf>.

❍ Wilander, A., 1988. Organic suvstances in natural water. A comparison of results from different analytical methods(in Swedish, English abstract). Vatten 44: 217-244.

부록 1 가축분뇨 정화처리시설 수질조사

1. 개별정화처리시설 수질 분석 결과

(원수)

NO.	BOD (mg/L)	CODcr (mg/L)	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	TN (mg/L)	NH_4-N (mg/L)	TP (mg/L)	PO_4-P (mg/L)
1	23,334	63,944	24,620	8,896	67,050	19,400	10,519	8,328	1,743	262
2	3,717	10,729	4,096	3,173	17,050	7,000	3,549	2,578	386	89
3	2,234	5,693	3,696	524	24,967	7,133	1,892	1,271	489	123
4	8,090	17,658	7,600	697	23,400	12,750	2,190	742	925	321
5										
6	27,367	47,122	29,573	3,194	36,133	14,300	3,492	2,834	604	168
7	3,883	11,408	3,809	1,695	16,867	6,767	2,442	1,713	721	264
8	21,917	36,503	16,819	4,036	34,700	8,480	4,477	2,313	388	95
9	8,994	15,596	7,321	1,824	18,433	7,533	2,734	1,983	487	123
10	7,363	12,768	5,993	1,493	18,200	6,167	2,239	1,623	480	121
11	29,452	51,070	23,973	5,973	112,867	24,667	8,954	6,493	2,980	751
12	4,298	7,453	3,499	872	9,467	3,600	2,307	1,248	250	63
13	4,020	6,971	3,272	815	5,542	3,367	3,222	1,886	146	37
14	4,205	7,292	3,423	853	7,100	3,522	1,878	927	187	47
15	3,781	6,557	3,078	767	6,567	3,167	1,150	834	173	44
16	3,235	5,284	3,114	638	6,659	4,489	1,415	866	165	58
17	3,304	5,729	2,689	670	6,367	2,767	1,004	728	168	42
18	5,651	9,799	4,600	1,146	11,933	4,733	1,718	1,246	315	79
19	8,677	15,046	7,062	1,760	19,300	7,267	3,638	1,913	510	128
20	8,844	14,325	7,857	3,133	18,384	9,665	2,534	1,754	411	124
21	6,875	10,532	5,384	2,518	16,414	7,745	1,664	1,231	374	112
22	2,427	4,209	1,976	492	5,467	2,033	1,238	835	144	36
23	9,632	16,702	7,840	1,953	17,667	8,067	3,928	2,123	466	118
24	8,119	14,079	6,609	1,647	18,900	6,800	2,468	1,790	499	126
25	27,661	47,965	22,515	5,610	97,367	23,167	6,409	3,098	2,571	648
26	6,606	11,456	5,377	1,340	14,333	5,533	2,008	1,456	378	95
27	2,547	4,416	2,073	516	5,156	2,133	774	561	136	34
28	6,726	11,663	5,474	1,364	14,733	5,633	2,045	1,483	389	98
29	7,403	12,836	6,025	1,501	15,933	6,200	1,851	1,632	421	106
30	2,985	5,176	2,430	605	3,725	2,500	907	658	98	25
평균	9,081	16,896	7,993	2,059	23,127	7,813	2,919	1,984	586	150
최대	29,452	63,944	29,573	8,896	112,867	24,667	10,519	8,328	2,980	751
최소	2,234	4,209	1,976	492	3,725	2,033	774	535	98	25

(고액분리)

NO.	BOD (mg/L)	COD_{cr} (m/L)	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	TN (mg/L)	NH_4-N (mg/L)	TP (mg/L)	PO_4-P (mg/L)
1	5,317	23,408	8,291	6,756	21,500	7,700	2,320	1,974	279	89
2	2,534	7,158	3,738	2,127	15,267	6,367	4,389	2,731	501	123
3	1,643	3,872	2,758	503	16,100	4,533	1,467	1,259	316	89
4	5,273	10,693	5,300	657	18,540	8,300	1,852	694	233	89
5										
6	7,385	16,312	10,394	2,561	12,342	7,698	2,385	1,894	195	82
7	3,715	11,943	4,073	1,782	16,554	6,433	2,721	1,970	806	95
8	16,333	24,003	19,854	3,688	34,700	19,540	4,792	2,656	736	89
9	4,985	6,853	3,854	948	9,568	5,406	1,764	1,619	251	93
10	3,952	5,610	3,155	776	8,761	4,426	1,444	1,325	248	92
11	17,491	22,439	12,619	3,104	43,284	17,703	5,775	5,301	1,539	572
12	3,865	3,275	1,842	453	7,344	2,584	843	774	129	48
13	3,681	3,063	1,722	424	5,154	2,416	788	724	76	28
14	4,108	3,204	1,802	443	6,895	2,528	825	757	97	36
15	3,668	4,982	2,357	654	6,166	1,586	869	638	114	41
16	2,246	2,881	1,620	398	3,934	2,273	741	681	90	33
17	2,345	2,517	1,415	348	4,258	1,986	648	595	87	32
18	3,782	4,306	2,421	596	8,537	3,397	1,108	1,017	163	61
19	7,651	9,731	4,568	1,138	18,656	4,700	1,706	1,237	360	91
20	8,121	6,611	3,717	914	16,344	5,215	1,701	1,562	263	98
21	3,333	4,276	2,404	591	8,167	3,373	1,100	1,010	186	69
22	2,125	1,849	1,040	256	3,934	1,459	476	437	75	28
23	8,854	7,338	4,127	1,015	16,342	5,790	1,889	1,734	241	90
24	5,582	6,186	3,479	856	13,542	4,880	1,592	1,461	258	96
25	13,421	21,075	11,851	2,915	38,659	16,626	5,424	4,979	1,328	494
26	4,289	5,033	2,830	696	5,963	3,971	1,295	1,189	195	73
27	2,125	1,940	1,091	268	3,328	1,531	499	458	70	26
28	4,485	5,124	2,882	709	10,524	4,043	1,319	1,211	201	75
29	5,325	5,640	3,172	780	11,326	4,450	1,452	1,332	217	81
30	1,279	315	2,231	1,794	437	585	735	611	56	23
평균	5,480	7,987	4,504	1,316	13,315	5,569	1,859	1,511	321	101
최대	17,491	24,003	19,854	6,756	43,284	19,540	5,775	5,301	1,539	572
최소	1,279	315	1,040	256	437	585	476	437	56	23

(생물반응조)

번호	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	FSS (mg/L)	VSS/TSS
1	15,300	7,845	7,455	0.51
2	8,420	4,740	3,680	0.56
3	5,340	2,200	3,140	0.41
4	16,933	9,367	7,566	0.55
5	3,680	1,720	1,960	0.47
6	70,933	48,512	22,421	0.68
7	11,333	5,367	5,966	0.47
8	14,500	8,361	6,139	0.58
9	12,534	7,542	4,992	0.60
10	13,554	8,846	4,708	0.65
11	14,524	9,854	4,670	0.68
12	16,264	11,329	4,935	0.70
13	13,425	4,576	8,849	0.34
14	14,578	4,124	10,454	0.28
15	8,674	2,346	6,328	0.27
16	9,351	7,152	2,199	0.76
17	7,784	4,968	2,816	0.64
18	8,367	5,432	2,935	0.65
19	8,594	2,948	5,646	0.34
20	9,365	3,128	6,237	0.33
21	16,484	10,332	6,152	0.63
22	8,861	6,951	1,910	0.78
23	6,875	2,385	4,490	0.35
24	9,548	7,315	2,233	0.77
25	9,365	7,751	1,614	0.83
26	9,857	6,985	2,872	0.71
27	18,745	12,584	6,161	0.67
28	14,365	10,216	4,149	0.71
29	10,352	7,013	3,339	0.68
30	11,345	7,465	3,880	0.66
평균	13,308	7,978	5,330	0.58
최대	70,933	48,512	22,421	0.83
최소	3,680	1,720	1,614	0.27

(방류수)

NO.	수온 (℃)	pH	전기 전도도 (μS/cm)	DO (mg/L)	BOD (mg/L)	COD_{cr} (mg/L)	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)
1	21.7	2.83	9,961	8.27	51	165	57	52	8	3
2	21.2	6.54	8,323	8.07	107	349	129	127	6	3
3	23.5	8.54	4,044	5.2	71	232	95	94	7	1
4	25.8	8.08	10,601	8.68	113	452	131	122	8	1
5	24	8.38	3,310	6.77	127	377	137	121	39	5
6	20.4	5.75	2,131	7.72	13	81	20	18	13	4
7	18.1	8.51	4,311	8.95	94	318	113	97	139	50
8	24.6	8.32	5,297	2.5	184	677	283	225	105	16
9	35.5	8.15	6,925	1.83	61	280	83	81	7	1
10	29.4	5.84	3,887	5.88	51	318	66	4	58	10
11	28.3	3.95	16,397	5.02	60	388	95	91	23	9
12	26.2	7.89	4,596	3.43	165	669	193	180	1	0
13	26.7	5.42	7,997	3.63	114	745	133	108	23	4
14	27.2	8.1	6,054	4.85	174	626	200	192	17	2
15	24.9	6.55	4,384	7.91	124	219	134	133	15	6
16	26.4	7.4	7,607	6.85	68	141	89	81	19	5
17	28.5	6.83	6,285	7.03	36	125	41	38	12	5
18	33.2	5.65	9,177	6.94	94	457	115	100	44	9
19	28.9	6.22	19,070	6.99	198	973	221	202	85	29
20	31.7	6.38	18,566	7.47	135	735	169	152	61	24
21	29.1	7.3	3,029	2.44	58	239	73	58	22	8
22	32.2	7.57	4,381	6.97	74	361	102	93	24	4
23	30.2	7.23	12,264	8.77	130	639	162	144	48	15
24	21.7	8.16	2,271	7.14	9	86	15	8	4	2
25	33.3	5.74	11,867	4.87	36	319	53	53	7	3
26	33.5	4.66	8,289	4.53	45	401	69	51	45	18
27	34.4	8.38	4,326	2.31	3	47	3	3	3	1
28	32.7	4.83	9,064	3.62	81	342	104	95	28	3
29	30.9	5.11	10,113	6.26	57	232	83	72	23	6
30	33	7.41	10,008	5.38	78	330	102	77	24	7
평균	28	7	7,818	6	87	377	109	96	31	8
최대	36	9	19,070	9	198	973	283	225	139	50
최소	18	3	2,131	2	3	47	3	3	1	0

(방류수)

NO.	T-N (mg/L)	NH_4-N (mg/L)	NO_2-N (mg/L)	NO_3-N (mg/L)	TP (mg/L)	PO_4-P (mg/L)
1	404	4	0	346	1	1
2	375	11	0	256	18	9
3	172	77	24	29	20	18
4	66	7	0	10	13	9
5	193	5	0	113	32	30
6	150	102	0	37	1	1
7	480	405	11	5	8	8
8	113	8	0	29	55	51
9	167	4	0	142	0	0
10	62	4	37	18	0	0
11	143	26	0	97	0	0
12	341	162	150	10	17	13
13	589	221	242	6	0	0
14	243	6	0	207	53	41
15	853	455	0	92	1	0
16	433	273	132	7	0	0
17	336	129	0	170	0	0
18	182	45	0	134	0	0
19	1,128	674	218	20	1	0
20	549	439	22	82	1	0
21	115	16	20	12	8	6
22	117	21	19	63	1	1
23	988	253	0	593	5	2
24	112	2	45	9	0	0
25	382	6	0	278	0	0
26	124	9	51	54	0	0
27	224	82	5	0	12	9
28	201	9	0	117	0	0
29	464	216	0	244	0	0
30	933	465	124	3	1	0
평균	355	138	37	106	8	7
최대	1,128	674	242	593	55	51
최소	62	2	0	0	0	0