

기본연구 2009-8

# 제주지역 양돈분뇨의 적정관리를 위한 발생원단위 산정

2009. 10



제주발전연구원  
Jeju Development Institute

# 발 간 사

제주지역의 산업구조는 1차 산업과 3차 산업이 대부분을 차지하고 있으며, 이 중 1차 산업에서는 감귤산업, 수산업 그리고 축산업의 조수입이 약 1조 8,000억원으로 주를 이루고 있으며, 3차 산업에서는 관광산업이 주를 이루고 있는 실정입니다.

이중 1차 산업에서 축산업은 제주특별자치도 조수입의 약 8.1%(2008년 기준)를 차지하고 있으며, 양돈산업은 축산업 조수입 중 약 43%로 가장 큰 비중을 차지하고 있습니다.

그러나 양돈 산업에서 발생하는 양돈분뇨는 온실가스 배출 문제점과 더불어 지하수의 오염원으로 작용하거나 악취를 야기시킴으로써 지역주민의 민원뿐만 아니라 관광산업에까지 악영향을 끼치는 결과를 초래하고 있습니다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 양돈분뇨의 적정 처리로 지하수에 대한 오염리스크를 줄이는 한편, 악취로 인한 문제들을 우선적으로 해결하여야 할 것입니다. 그러기 위해서는 발생원에서부터의 적극적인 대책 수립 및 처리·처분에 대한 관리 방안이 제시되어야 하며, 이를 위해서는 가장 기초적인 조사연구가 선행되어야 한다고 생각합니다.

이러한 기초 조사로 현재 사용되고 있는 발생원단위는 환경부에서 획일적으로 고시함으로써 각 지역별 특성이 반영되지 않았기 때문에 제주지역 양돈분뇨 발생원단위에 대한 산정이 우선적으로 이루어져야 합니다.

여기서 제주지역 양돈분뇨 발생유량원단위 산정은 제주지역에서 발생하는 양돈분뇨량을 좀 더 현실적으로 파악할 수 있도록 함으로써 향후 양돈분뇨 처리시설 증설 등 각종 계획 수립시 유용한 자료로 활용할 수 있습니다.

또한 양돈분뇨 발생부하원단위 산정은 양돈분뇨 처리시설을 설계하거나 직접 가동 처리할 때 매우 유익하게 활용할 수 있으며, 특히 양돈분뇨를 자원화하는 경우에 상당히 중요한 자료로 사용될 수 있습니다.

그리고 가축분뇨의 처리·처분 실태에 대한 현장조사를 통하여 각종 문제점에 대한 적정 관리방안을 모색할 수 있을 것입니다.

본 연구에서는 발생원단위 산정 결과를 활용하여 향후 양돈분뇨 처리시설의 필요 용량을 제시하였고, 각종 처리시설 계획 수립시 고려사항을 제안하였습니다. 그리고 현장조사시에 나타났던 양돈분뇨 처리·처분의 문제점별 적정 관리방안 등을 제시하였습니다.

아무쪼록 본 연구가 제주지역의 양돈 산업은 물론 관광산업 발전에 도움이 되기를 바라며, 본 연구를 수행해주신 연구자분들께 감사드립니다.

2009. 10.

제주발전연구원 원장 유 덕 상

# 차 례

1. 연구의 배경과 목적 .....	1
가. 연구의 배경 .....	1
나. 연구목적 .....	3
2. 조사지역 및 방법 .....	4
가. 조사지역 .....	4
나. 조사방법 .....	5
3. 제주지역 양돈시설 일반현황 .....	7
4. 조사대상 양돈농가 현황 .....	12
가. 양돈농가 사육 현황 .....	12
나. 가축분뇨 발생량 현황 .....	13
1) 스크래퍼 돈사 .....	13
2) 슬러리 돈사 .....	14
3) 자체순환 돈사 .....	15
다. 가축분뇨 수질 현황 .....	17
1) 스크래퍼 돈사 월별 수질 변화 .....	17
2) 슬러리 돈사 .....	21
3) 자체순환 돈사 .....	29
라. 현장조사시 수질 현황 .....	35
1) 스크래퍼 돈사 .....	35

2) 슬러리 돈사 .....	37
3) 자체순환 돈사 .....	37
<b>5. 양돈분뇨 발생원단위 산정 .....</b>	<b>39</b>
가. 발생유량원단위 .....	39
1) 스크래퍼 돈사 .....	39
2) 슬러리 돈사 .....	40
3) 자체순환 돈사 .....	41
나. 발생부하원단위 .....	43
<b>6. 제주지역 양돈분뇨 발생량 산정 .....</b>	<b>44</b>
가. 발생 유량 산정 .....	44
나. 발생 부하량 산정 .....	45
<b>7. 일본 가축분뇨 관리정책 .....</b>	<b>47</b>
가. 구마모토지역 가축분뇨 관리대책 .....	47
1) 가축분뇨 처리의 적정화 .....	47
2) 가축분뇨 처리시설 정비 등 추진 .....	47
3) 가축분뇨의 유효이용 촉진 .....	48
4) 축산경영자의 의식 고양 .....	48
나. 구마모토시 가축분뇨 관리대책 .....	49
1) 현    황 .....	49
2) 향후 대처 내용 .....	52

<b>8. 제주지역 양돈분뇨 적정 관리방안</b> .....	55
가. 양돈시설에서의 적정 관리방안 .....	55
나. 처리시설에서의 적정 관리방안 .....	58
1) 정화 처리의 문제점 및 개선 대책 .....	59
2) 퇴(액)비화의 문제점 및 개선 대책 .....	62
다. 액비 시용시 적정 관리방안 .....	64
<b>9. 요약 및 제언</b> .....	73
<b>부    록</b> .....	77
【부록 1】 제주지역 축산농가 및 인구수 .....	79
【부록 2】 제주지역 년도별 가축 현황 .....	80
【부록 3】 오·폐수 발생량 및 오염 부하량 산정방법 .....	81
【부록 4】 비료공정규격 .....	83
【부록 5】 액비의 살포기준 .....	84
<b>참고문헌</b> .....	85

# 표 차 례

표 1. 축산폐수배출시설의 허가·신고 현황 .....	2
표 2. 가축수 및 가축분뇨 발생량(축종별) .....	2
표 3. 가축별 배출원단위 .....	3
표 4. 양돈조합법인 현황 .....	9
표 5. 양돈단지 현황 .....	10
표 6. 제주지역 가축분뇨 공공(동)처리시설 현황 .....	11
표 7. 발생원단위 산정을 위한 연구사례 .....	41
표 8. 사육형태별 발생부하원단위 .....	43
표 9. 제주지역 발생부하량 .....	45
표 10. 환경부 지침에 따른 제주지역 발생부하량 .....	46
표 11. 축산농가 호수 .....	49
표 12. 가축사육 두우(頭羽) 수 및 사료작물 작부상황 .....	50
표 13. 가축분뇨의 발생현황 .....	51
표 14. 간역 퇴구비사(堆きゅう肥舎) 수 .....	52
표 15. 슬러리 질소농도 및 취기저감 기술 도입 축사 수 .....	53
표 16. 자급 사료 작물의 작부면적 .....	54
표 17. 퇴구비(堆きゅう肥)의 공급 비율 .....	54
표 18. 액비 시용농가 형태별 비용분석(벼 재배농가) .....	68
표 19. 일본 가축분뇨 처리물의 농지 시용 기준 .....	71

## 그림 차례

그림 1. 양돈분뇨 발생원단위 산정을 위한 조사지역 .....	4
그림 2. 제주지역 축산농가 및 인구 .....	7
그림 3. 제주지역 연도별 돼지사육두수 변화 추이 .....	8
그림 4. 조사대상 양돈농가 사육두수 현황 .....	12
그림 5. 스크래퍼 돈사에서 월별 발생 유량 변화 .....	14
그림 6. 슬러리(고액분리) 돈사에서 월별 발생 유량 변화 .....	15
그림 7. 자체순환 돈사 처리수 흐름도 .....	16
그림 8. 자체순환 돈사에서 월별 발생 유량 변화 .....	16
그림 9. 스크래퍼 돈사에서 월별 BOD <sub>5</sub> 농도 변화 .....	17
그림 10. 스크래퍼 돈사에서 월별 COD <sub>Mn</sub> 농도 변화 .....	18
그림 11. 스크래퍼 돈사에서 월별 SS농도 변화 .....	19
그림 12. 스크래퍼 돈사에서 월별 T-N농도 변화 .....	19
그림 13. 스크래퍼 돈사에서 월별 T-P농도 변화 .....	20
그림 14. 슬러리 돈사에서 월별 BOD <sub>5</sub> 농도 변화 .....	21
그림 15. 슬러리 돈사에서 월별 평균 BOD <sub>5</sub> 농도 변화 .....	22
그림 16. 슬러리 돈사에서 월별 COD <sub>Mn</sub> 농도 변화 .....	23
그림 17. 슬러리 돈사에서 월별 평균 COD <sub>Mn</sub> 농도 변화 .....	24
그림 18. 슬러리 돈사에서 월별 SS농도 변화 .....	24
그림 19. 슬러리 돈사에서 월별 평균 SS농도 변화 .....	25
그림 20. 슬러리 돈사에서 월별 T-N농도 변화 .....	26
그림 21. 슬러리 돈사에서 월별 평균 T-N농도 변화 .....	27
그림 22. 슬러리 돈사에서 월별 T-P농도 변화 .....	27

그림 23. 슬러리 돈사에서 월별 평균 T-P농도 변화 .....	28
그림 24. 자체순환 돈사에서 월별 BOD <sub>5</sub> 농도 변화 .....	29
그림 25. 자체순환 돈사에서 월별 평균 BOD <sub>5</sub> 농도 변화 .....	30
그림 26. 자체순환 돈사에서 월별 COD <sub>Mn</sub> 농도 변화 .....	30
그림 27. 자체순환 돈사에서 월별 평균 COD <sub>Mn</sub> 농도 변화 .....	31
그림 28. 자체순환 돈사에서 월별 SS농도 변화 .....	32
그림 29. 자체순환 돈사에서 월별 평균 SS농도 변화 .....	32
그림 30. 자체순환 돈사에서 월별 T-N농도 변화 .....	33
그림 31. 자체순환 돈사에서 월별 평균 T-N농도 변화 .....	34
그림 32. 자체순환 돈사에서 월별 T-P농도 변화 .....	34
그림 33. 자체순환 돈사에서 월별 평균 T-P농도 변화 .....	35
그림 34. 현장조사에 의한 스크래퍼 돈사의 수질 농도 현황 .....	36
그림 35. 현장조사에 의한 슬러리 돈사의 수질 농도 현황 .....	37
그림 36. 현장조사에 의한 자체순환 돈사의 수질 농도 현황 .....	38
그림 37. 스크래퍼 돈사에서 각각 발생유량원단위 .....	39
그림 38. 슬러리 돈사에서 각각 발생유량원단위 .....	40
그림 39. 자체순환 돈사에서 각각 발생유량원단위 .....	42
그림 40. 행정구역별 일일 가축분뇨 발생량 .....	44
그림 41. 휘산되는 가스상 물질 회수 예 .....	60
그림 42. 악취를 액비로 변환하는 흡입통기식 퇴비화 시스템 .....	61

사진 1. 발생원단위 산정을 위한 실험 예 .....	6
-------------------------------	---

# 1. 연구의 배경과 목적

## 가. 연구의 배경

축산시설에서 발생하는 대부분의 분과 기타 고형폐기물의 성상은 대개 사료의 종류와 축사의 형태에 따라 약간의 차이를 나타낸다. 축산폐수는 가축의 종류, 사육규모, 사육방법, 축사의 형태, 가축의 분, 사료찌꺼기, 분의 분리방법, 청소방법 및 청소수(세정수) 사용량, 처리시설의 유무 등에 따라 그 성상이 변하며 오염물질 농도의 범위가 다양한 것이 특징이다. 특히, 발생량이 많고 수계에 대한 오염정도가 높은 돈사 폐기물의 경우 축사바닥의 형태 즉, 시멘트형 돈사와 망형 돈사에 따라 오염물질의 농도 및 범위가 크게 변하게 된다. 망형 돈사에서 발생되는 폐기물의 성상은 시멘트형 돈사에서 발생되는 성상과 비교할 때 시설에 따라 차이가 있지만 수배~수집배의 농도 차이를 나타내고 있다. 또한 배설 즉시 채취한 양돈분뇨 폐수의 혐기성 생분해도는 82~89%이고, 6개월 정도 저류된 기질은 70~76%의 범위로서 대부분의 유기물이 미생물에 의해 쉽게 분해됨을 알 수 있다.<sup>1)</sup>

그러므로 이러한 축산계 오염물질에 대한 발생에서부터 배출 및 자원화에 최종 처리/처분되는 경로 파악을 통해 오염도에 대한 관리를 체계적으로 시행해야 될 필요성이 대두되었으며, 이러한 오염물질에 대한 발생원에서부터의 관리는 수질 오염총량제와도 상호 연관성이 있으므로 향후 더욱 세밀한 환경오염물질부하량에 대한 산정 및 배출량 할당 시 필요한 오염원 관리를 위하여 계속적으로 추진되어야 할 것이다.

2007년도 도내 주요 축산 농가는 총 950개소 중 돼지사육 농가가 40.8%(375개소)를 차지하고 있으며, 가축 사육두수에서도 돼지 사육두수는 430,960두로 소·말(젖소 포함) 사육두수(31,583두)의 17배를 차지하고 있다.

따라서 가축분뇨 발생량 역시 전체 발생량 4,500m<sup>3</sup>/일 중 돼지 사육시설에서 발생되는 가축분뇨가 3,756m<sup>3</sup>/일로 전체 발생량의 약 83%를 차지하고 있다<sup>2)</sup>.

1) 김병욱, 2000, 축산폐기물 처리 및 자원회수 시스템 개발, 강원대학교 박사학위 논문

2) 제주특별자치도, 2008, 2008 환경백서

표 1. 축산폐수배출시설의 허가·신고 현황

(단위 : 농가, 2007.12.31)

구 분	계	젖소	소·말	돼지	닭·오리	사슴·양
계	950	67	429	375	76	3
허가대상	473	43	144	286	-	-
신고대상	477	24	285	89	76	3

표 2. 가축수 및 가축분뇨 발생량(축종별)

축 종 별		가축수 (두)	축산폐수 발생량(m <sup>3</sup> /일)	축산폐수 발생율(%)	비고
계		1,631,575	4,493	100	
소	소·말	25,697	375	8.4	
	젖소	4,907	222	5.0	
돼지		436,771	3,756	83.5	
닭·오리		1,164,200	140	3.1	

- 가축두당 분뇨 발생량(1일)

소·말 14.6L, 젖소 45.6L, 돼지 8.6L, 닭·오리 0.12L

그러나 이러한 수치는 정부의 일반지침에 따라 산정한 것으로써 가축분뇨 배출원단위 재산정 공고(환경부 수생태보전과-869<2008.12.23>)에 따라 제주지역의 양돈분뇨에 대한 발생량을 재산정하여야 할 필요가 있다. 그러나 서두에서도 언급하였듯이 가축분뇨 발생량은 각 지역의 기후 및 사육형태 그리고 공급되어지는 사료의 특성에 따라 달라질 수 있기 때문에 양돈분뇨의 적정 관리를 위해서는 각 지역에서의 특수성을 고려한 발생원단위의 산정이 필요할 것으로 판단되어진다.

표 3. 가축별 배출원단위

축종별 (단위)	환경부 고시('99)				'08 배출원단위 조사결과			
	분	뇨	세정수	계(a)	분	뇨	세정수	계(b)
소·말 (L/두·일)	10.1	4.5	0	14.6	8.0	5.7	0	13.7
젖소 (L/두·일)	24.6	11.0	10	45.6	19.2	10.9	7.6	37.7
돼지 (L/두·일)	1.6	2.6	4.4	8.6	0.87	1.74	2.49	5.1
닭	산란계 (L/1,000수·일)	미고시			124.7			124.7
	육계 (L/1,000수·일)	미고시			85.5			85.5

- 참고자료 : 환경부 수생태보전과-869('08.12.23)

## 나. 연구목적

축산시설에서 발생하는 대부분의 분과 기타 고형폐기물의 성상은 대개 사료의 종류와 축사의 형태에 따라 약간의 차이를 나타내며, 축산폐수는 가축의 종류, 사육규모, 사육방법, 축사의 형태, 가축의 분, 사료찌꺼기, 분의 분리방법, 청소방법 및 청소수(세정수) 사용량, 처리시설의 유무 등에 따라 그 성상이 변하며 오염물질 농도의 범위가 다양한 것이 특징이다. 특히, 각 지역의 기후와 사육방법, 공급 사료의 성분에 따라 발생원단위는 약간의 차이가 발생할 수 있다.

제주지역의 경우 양돈분뇨로 인한 많은 문제들이 야기되고 있으며, 이러한 문제들을 해결하기 위해 많은 정책제언들이 제시되고 있는 실정이다. 그러나 양돈분뇨의 문제들은 대부분 적정처리가 이루어지지 않아 발생하는 것으로써 근본적으로 이를 해결하기 위해서는 기본적인 자료가 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 양돈분뇨의 적정처리를 위한 기본적인 자료구축으로 제주지역 양돈분뇨 발생원단위를 산정하고, 산정된 발생원단위를 이용하여 도내에서 발생하는 양돈분뇨량을 예측함으로써 양돈분뇨 처리를 위한 필요 시설 용량을 우선적으로 산정하고자 하였다. 또한 문헌 고찰을 통하여 제주지역에서의 양돈분뇨로부터 야기되는 문제들을 감소시키기 위한 방안을 제시하고자 하였다.

## 2. 조사지역 및 방법

### 가. 조사지역

제주지역에서 발생하는 가축분뇨 중 가장 많은 비중을 차지하고 있는 양돈분뇨는 체계적인 종합관리 측면에서 가장 중요하며, 이러한 종합관리계획을 작성함에 있어서 좀 더 체계적으로 작성하기 위해서는 양돈분뇨 발생량에 대한 현실적인 현황조사가 필요하다.



그림 1. 양돈분뇨 발생원단위 산정을 위한 조사지역

이에 본 조사에서는 양돈농가에서 발생하는 가축분뇨의 수질 조사를 위한 현장 조사를 실시하였으며, 그 대상 농가를 서귀포시가축분뇨공공처리시설에 위탁처리 하는 양돈농가를 대상으로 하였다. 또한 발생하는 가축분뇨의 유량 및 수질은 계절 또는 사육조건 등 여러 변수에 의해 조금씩 달라질 수 있기 때문에 현장조사

에서 나타날 수 있는 오차를 줄이고 현실성을 기하기 위해 서귀포시가축분뇨공공처리시설에서 분석하여 매월 서귀포시청에 보고되고 있는 공식적인 data를 인용하였다.

그러나 서귀포시가축분뇨공공처리시설에서 서귀포시청에 보고된 몇몇 양돈 농가의 유량 및 수질 data에 있어서 2008년 1월부터 2009년 4월까지 월별 지속성이 없는 농가도 있었다.

따라서 본 조사에서 현장조사를 실시한 양돈농가는 서귀포시가축분뇨공공처리시설에 위탁처리하는 전 농가를 대상으로 하지 않고 2008년 1월부터 2009년 4월까지 서귀포시가축분뇨공공처리시설에 지속적인 data의 축적이 이루어진 19개의 양돈농가에 대해서 실시하였다.

## 나. 조사방법

가축분뇨 발생원단위 산정을 위한 방법으로는 아래 사진과 같이 실험실에서 돼지 대사케이지 및 분만틀을 이용하여 수행하는 방법<sup>3)</sup>과 현장에서 직접 조사하는 방법을 고려할 수 있으나, 본 조사에서는 연구원 여건에 맞춰 양돈분뇨의 발생원단위 산정을 위해 현장조사 및 자료수집을 통한 분석방법을 병행하였다.

현장조사에 있어서는 조사대상 양돈농가를 직접 찾아가서 가축분뇨의 처리상황을 점검하고 현장에서 직접 가축분뇨를 채수하여 제주특별자치도 환경자원연구원에 수질분석을 의뢰하였다. 또한 가축분뇨발생량 조사에서는 양돈농가에서 처리를 위탁하는 업체에 대해서 위탁처리되는 유량 자료를 얻어 정리하였으며, 그 대상업체로는 서귀포시가축분뇨공공처리시설, 세미영농조합법인, 아쿠아엑스환경 그리고 동광환경에 자료를 협조요청하여 발생하는 유량을 산출하였다. 한강수계 오염 총량관리 계획 수립 지침<sup>4)</sup>에 따르면 오·폐수 발생유량 산정시 적용하는 발생원단위는 실측자료를 우선으로 하되 실측자료가 없는 경우 이 지침에서 제시하는 발생원단위를 적용한다고 되어 있으며, 지역별 및 세부오염원별로 발생원단위를 실측하여 적용하고자 하는 경우 표본크기는 90% 이상의 신뢰도 조건에서 상

3) 가축분뇨 발생량 및 주요성분 제설정에 관한 연구, 농촌진흥청, 2009.

4) 한강수계 오염 총량관리 계획 수립 지침(2009.1.22), 환경부 고시 제 2009-8호

대허용오차가 0.2(20%) 이하가 되도록 선정하여야 하므로 이 조건에 맞는 표본조사 대상을 사육두수와 농가로 선정하여 산출하였다.



사진 1. 발생원단위 산정을 위한 실험 예(출처 : 농촌진흥청, 2009)

표본조사법에 따르면 유한모집단의 경우

$$n \geq \frac{N}{\left(\frac{e}{k}\right)^2 \frac{N-1}{P(1-P)} + 1}$$

로 나타낼 수 있으며, 여기에서,  $k$ 는 신뢰수준을 정하면 자동적으로 정해지는 상수로서 신뢰수준  $\alpha$ 가 0.90이면  $k$ 는 1.65로써 대입할 수 있으며 모집단의 비율  $P$ 는 예측할 수 없을 때에는 50%(0.5)로 한다.

이러한 식을 이용하여 산출된 표준 크기는 최소 사육두수가 18두수이고, 사육 농가수는 약 17호로서, 본 조사에서 발생원단위 산정을 위해 조사된 사육두수는 40,300두이고, 사육농가수는 19호이므로 신뢰도 조건 90% 이상과 0.2(20%)의 상대허용오차에 해당되었다.

### 3. 제주지역 양돈시설 일반현황

우리나라 축산업은 사육가구 수는 감소한 반면 국민의 식생활 패턴 등의 변화로 육류 소비량은 증가하여 가축의 사육두수는 해마다 증가하고 있다. 제주지역에 있어서도 1990년 축산농가수는 9,634이고, 축산인구는 38,536명이었으나 2000년까지 축산농가수는 5,012이고, 축산인구수는 지속적으로 감소하여 20,048명이었으나 2001년도부터 2008년도까지는 변화가 거의 없는 상황으로 2008년도 현재 축산농가와 인구수는 각각 5,604가구와 22,416명이었다. 그러나 가축수는 지속적으로 증가하여 1950년대 소, 돼지, 닭, 말의 마리수는 86,976이었던 수가 2008년 현재 1,877,234로 집계되었다.

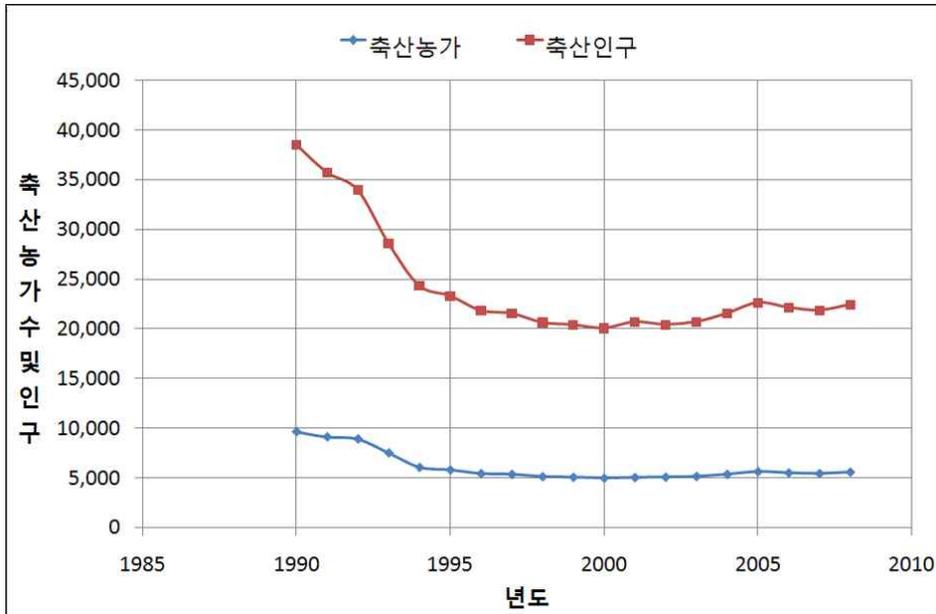


그림 2. 제주지역 축산농가 및 인구

특히, 양돈농가수는 1960년대 44,165이었던 농가수가 2008년 현재 326농가수로 대폭적으로 줄어든 반면에 돼지사육두수는 1960년대 48,794마리였던 사육두수가 1980년대를 기준으로 지속적으로 증가하여 2008년도 현재 504,576마리로 상당한 양이 증가하였음을 그림 3으로부터 알 수 있다.

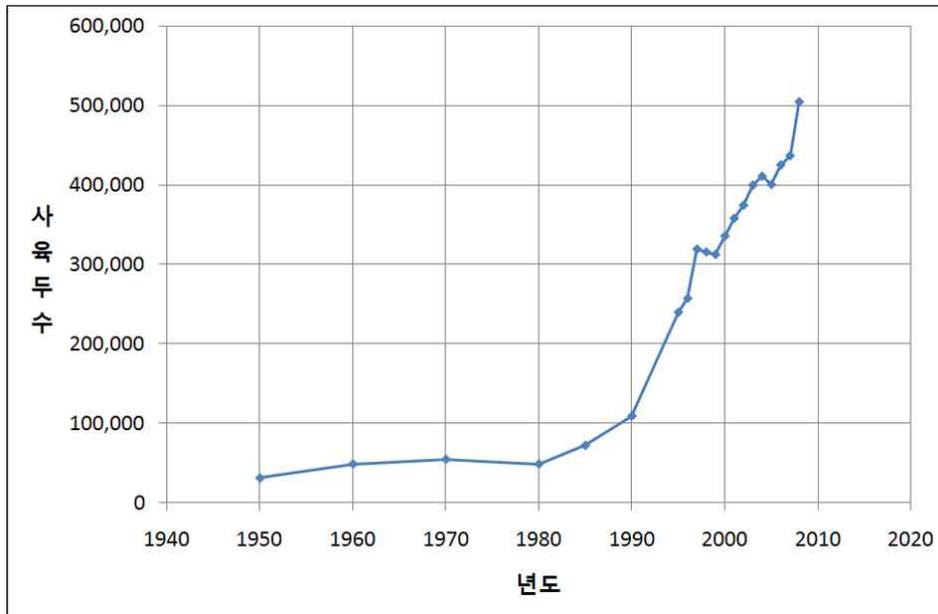


그림 3. 제주지역 연도별 돼지사육두수 변화 추이

이러한 제주지역의 양돈산업과 관련하여 양돈조합법인은 제주도내 14개소로 조사되었는데, 분포현황을 살펴보면 한림 4개소, 서귀포 4개소, 구좌 2개소, 남원 2개소, 대정 1개소, 표선 1개소로 나타났다. 또한 양돈단지 현황을 살펴보면 양돈 단지는 14곳으로 단지내에서 사육되는 사육두수는 209,000두이며, 양돈농가수는 127호였다. 결국 양돈단지내에서 사육되는 양돈두수는 제주지역 전체 사육두수와 비교하여 약 41.4%를 차지하고 있고, 양돈농가수는 약 40%를 차지하는 것으로 나타나 제주도내 일부 지역에 양돈농가가 편중되어 있으며 집중 사육이 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

표 4. 양돈조합법인 현황

분류	조 합 명	주 소
계	14개소	
양돈	한리산 영농조합	남원읍 신례리 2044
	청산재래가축영농조합	표선면 성읍리 2919
	세미 영농조합	대정읍 동일리 223
	위미 영농조합	남원읍 위미리 4148-5
	지운 영농조합	서귀포시 중문동 129-1
	윤창 영농조합	서귀포시 중문동 1607-3
	제주산남 자연영농조합	서귀포시 동흥동 450-25
	서흥축산 영농조합	서귀포시 색달동 1910-2
	진성양돈 영농조합	한림읍 금악리 1162-1
	대성양돈 영농조합	한림읍 금악리 1154
	창진 영농조합	한림읍 상대리 2105
	북제주 동부양돈	구좌읍 세화리 3-22
	탐라유통	구좌읍 세화리 산 3-3
	제주청정영농조합법인	한림읍 금악리 422-4

※ 참고자료 : 축정과, 2007

이러한 시설로부터 발생된 양돈분뇨에 대해서는 처리시설의 방류수 수질기준이 더욱 더 강화되었으며, 자연환경을 오염시키지 않는 완벽한 처리시스템을 요구하고 있다.

표 5. 양돈단지 현황

(단위 : 백만원)

단 지 명	사육규모(두)	농가수(대표)
계	209,000	127
북 제 주	15,000	4
성 진	15,000	8
제 일	15,000	8
대 정	35,500	21
서 부	15,000	10
북 제 주 동 부	15,000	10
구 역	13,500	9
금 약	13,500	9
동 방 골	15,000	9
대 성	15,000	9
창 진	10,500	5
월 림	9,000	6
서 귀 포	10,000	10
별 드 르	12,000	9

※ 참고자료 : 축정과, 2007

그러나 가축분뇨 자원화시설의 경우 축산농가별로 자원화시설을 설치하고도 운영능력 미흡 및 관심 소홀과 같은 관리 부실로 부적정 관리가 이루어지고 있으며, 일부에서는 처리용량보다 많은 두수를 사육하여 처리시설 기능이 저하되고 있다. 또한 가축분뇨 위탁처리 농가들을 제외한 대부분의 축산농가에 자원화 처

리시설을 지원했음에도 퇴·액비의 공급대비 경종농가 수요가 적어 자원화 처리 시설의 가동 중단과 같은 문제로 축분 퇴비를 야적·방치하는 사례가 발생하고 있다. 이외에도 경종농가의 액비살포기술 부족 및 저장조 운영에 따른 비용발생 등이 경종농가에서 액비를 이용하는데 걸림돌로 작용하고 있다.

또한 전기료 절약과 악취 휘산 우려로 교반기를 돌리지 않아 액비가 제대로 부숙되지 않는 사례도 발생하고 있고, 저장조 내 침전물이 쌓여 저장 용량이 감소되고 있는 상황도 발생하고 있기 때문에 제주특별자치도는 가축분뇨 공공(동)처리시설을 확충하고자 노력하고 있는 실정이다.

표 6. 제주지역 가축분뇨 공공(동)처리시설 현황

(단위 : m<sup>3</sup>/일)

시 설 명	설치년월일	소 재 지	처 리 방 식	처리용량
제주시가축분뇨공공처리시설	'05년 2월	한림읍 금악리	단독정화방류	100
서귀포시가축분뇨공공처리시설	'07년 6월	대정읍 동일리	하수연계처리	200
양돈축협공동자원화시설	'08년 5월	한림읍 상대리	퇴·액비화	100
EM(영) 공동자원화시설	'09년 3월	한림읍 상대리	퇴·액비화	100
이호친환경(영)공동자원화시설	'09년 3월	한림읍 금악리	액비화	100
세미(영)공동자원화시설	'09년 6월	대정읍 동일리	퇴·액비화	100
한라산(영)공동자원화시설	'09년 12월	남원읍 신례리	퇴·액비화	100

제주지역의 가축분뇨 공공(동)처리시설의 현황을 살펴보면 공동처리시설로는 제주지역에는 한림읍 금악리에 100m<sup>3</sup>/일 규모의 시설이 있으며, 현재 처리시설을 증설하고 있으며, 서귀포시지역에는 대정읍 동일리에 200m<sup>3</sup>/일 규모의 시설이 운영되고 있다. 또한 가축분뇨 공공자원화시설로는 100m<sup>3</sup>/일 규모의 시설 5곳이 운영 또는 시설 계획 중에 있다.

## 4. 조사대상 양돈농가 현황

### 가. 양돈농가 사육 현황

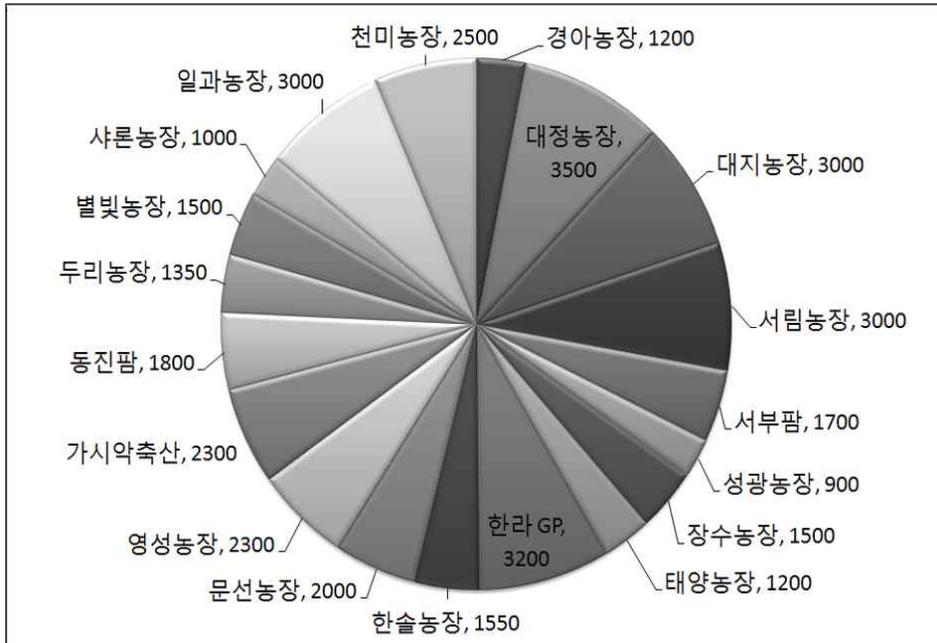


그림 4. 조사대상 양돈농가 사육두수 현황

양돈분뇨 관리 계획을 체계적으로 마련하기 위해서는 우선적으로 지역내에서 발생하는 양돈분뇨량이 산정되어야 하며, 이를 위해서는 현장조사를 통한 발생원 단위 산정이 필요한데 이를 위한 본 연구에서는 19호의 양돈농가를 대상으로 실시하였으며, 현장조사는 9월중 5일에 걸쳐 이루어졌다. 조사대상 양돈농가의 사육 형태를 살펴보면 스크래퍼 돈사 7호, 슬러리 돈사 9호 그리고 자체 정화시설을 갖춰 발생량 중 일부를 정화하고 정화한 액을 다시 돈사로 순환시키는 농가가 3호이었다. 사육규모는 위탁처리업체의 자료와 현장 조사를 통하여 파악하였다. 서귀포시가축분뇨공공처리장으로부터 받은 자료에 의하면 조사대상 양돈농가 사육 두수가 가장 적은 곳은 약 900두이고, 가장 많은 돼지를 사육하는 곳은 약 3,500두 정도였다. 2008년 1월부터 2009년 4월까지 양돈농가가 자체 정리한 자료를 보

면 가장 적게 사육되는 곳은 약 824두 정도였으며, 가장 많이 사육하는 곳은 약 4,000두 정도였다. 현장조사를 통하여 사육두수는 일변화 경향이 커 조사 시점에 따라 사육두수의 차이가 발생함을 알 수 있었다. 스크래퍼 돈사로 사육하는 양돈 농가의 평균 사육두수는 약 2,750두 정도이고, 슬러리 돈사 형태로 사육하는 곳의 평균 사육두수는 약 2,316두, 자체정화한 가축분뇨를 돈사로 순환시키는 방식으로 사육하는 곳은 약 2,000두를 사육하고 있었다.

## 나. 가축분뇨 발생량 현황

양돈분뇨 발생원단위 산정을 위해서는 양돈분뇨 발생량에 대한 조사가 이루어져야 하는데, 이를 위해서 서귀포시가축분뇨공공처리시설에 위탁 처리되는 유량, 세미영농조합에서 위탁 처리되는 유량 그리고 동광환경 및 아쿠아엑스환경에서 위탁 처리되는 유량에 대한 자료를 요청하여 정리함으로써 각각의 양돈농가에서 발생하는 가축분뇨량을 산정하였다. 단, 조사대상 양돈농가에서 별도로 자체처리 시설을 이용하여 처리한 배출수를 순환시키는 양과, 분을 퇴비화하여 농가에 공급하는 양은 산정의 어려움 때문에 배제하였다.

### 1) 스크래퍼 돈사

조사대상 양돈농가 중 스크래퍼 돈사의 월별 총 가축분뇨 발생량은 1,770m<sup>3</sup>/월 이고, 월별 평균 가축분뇨 발생량은 약 253m<sup>3</sup>/월이었다.

가축분뇨의 발생량 추이를 살펴보면 대체적으로 동절기에 발생량이 적고, 하절기에는 발생량이 증가하는 추세를 보이는데, 농촌진흥청 국립축산과학원(2009)에 의하면 계절적으로 여름철이 겨울철에 비하여 슬러리 발생량은 자돈, 비육돈, 임신돈 및 분만사에서 약간씩 높은 것으로 조사되었으며, 이의 원인으로 외부온도 상승에 따른 물 사용량 증가가 지적되고 있다<sup>5)</sup>.

---

5) 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, 농촌진흥청 국립축산과학원, 2009.

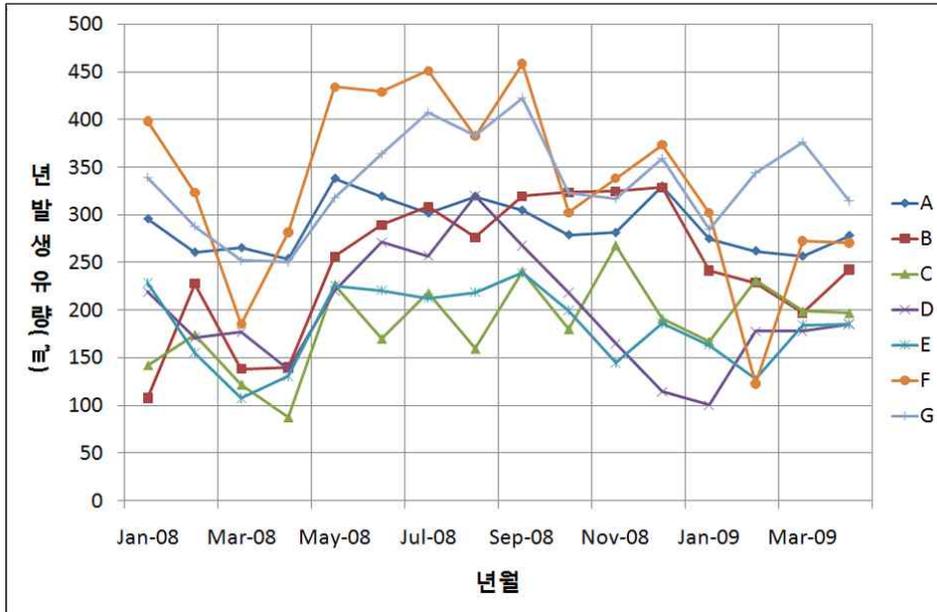


그림 5. 스크래퍼 돈사에서 월별 발생 유량 변화

## 2) 슬러리 돈사

조사대상 양돈농가 중 슬러리 돈사의 대부분은 저장시설을 두고 고액분리를 시켜, 노는 서귀포시가축분뇨공공처리시설에 위탁하고 있었으며, 분은 세미영농조합이나 아쿠아엑스 또는 동광환경에 위탁처리하고 있었다. 이들 농가에서 발생하는 월별 총 가축분뇨 발생량은 1,750m<sup>3</sup>/월이고, 월별 평균 가축분뇨 발생량은 약 194 m<sup>3</sup>/월이었다. 가축분뇨의 발생량 추세를 살펴보면 스크래퍼 돈사와 자체처리후 순환시키는 돈사와는 좀 상이한 모습을 보여주고 있다. 이는 여름철 외부온도 상승에 따라 세정수 및 음수량은 증가하더라도 온도 상승과 더불어 돈사 내 슬러리 피트의 온도 상승도 동반되고 또한 일정기간 돈사 내 슬러리 저장시설에 체류하기 때문에 이곳에서 증발되는 양이 많아 계절별 발생유량의 차이를 보이지 않는 것으로 사료된다.

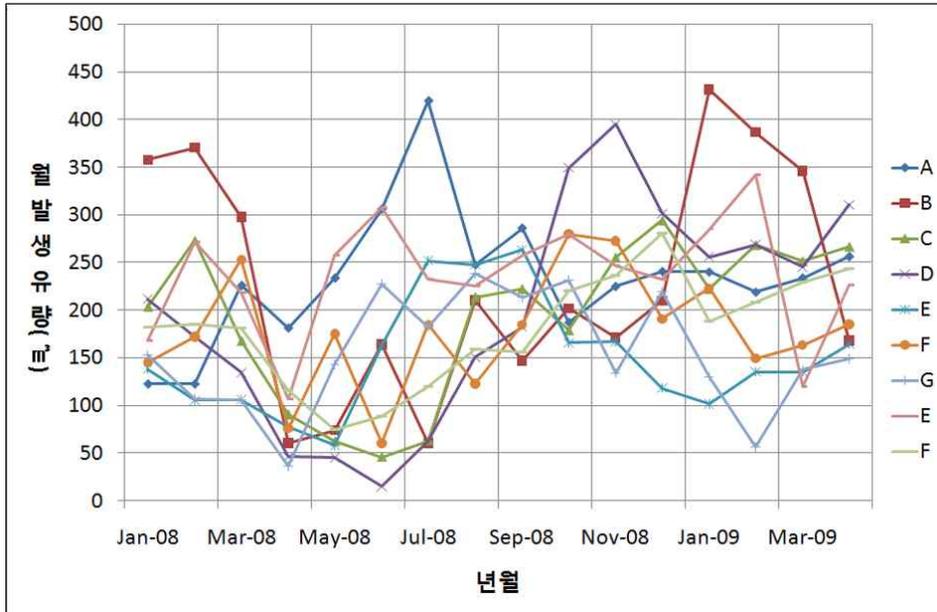


그림 6. 슬러리(고액분리) 돈사에서의 월별 발생 유량 변화

### 3) 자체순환 돈사

조사대상 양돈농가 중에는 자체 처리시설을 이용하여 가축분뇨 일부분을 처리하고 처리한 처리수를 다시 돈사로 순환시키는 양돈농가가 있었으며, 이들 농가들은 처리시설 내에 처리수를 저장할 수 있는 시설과 돈사에서 배출되는 가축분뇨를 저장할 수 있는 시설을 각각 구비하고 있었다.

이들 농가들의 특징은 슬러리 돈사 형태로 일반 슬러리 돈사에서의 슬러리피트 저장 높이보다 낮은 특징을 보이고 있었으며, 또한 처리수를 돈사 내로 순환시킴과 동시에 돈사 내 세척수로 이용하고 있었다. 이들 처리수의 흐름도는 그림 7과 같이 나타낼 수 있으며, 이러한 시스템은 현재 실증 실험이 진행중이긴 하지만 기존 조사에 의하면 돈사 내 악취를 상당히 줄일 수 있다는 특징을 가지고 있다<sup>6)</sup>. 물론 돈사 내의 악취를 저감시키기 위해서는 처리시설의 처리효율이 높아야 한다는 전제 조건이 있다.

6) 맞춤형 환경기술지원 보고서, 환경관리공단, 제주특별자치도 환경자원연구원, 제주지역환경기술개발센터, 2008.

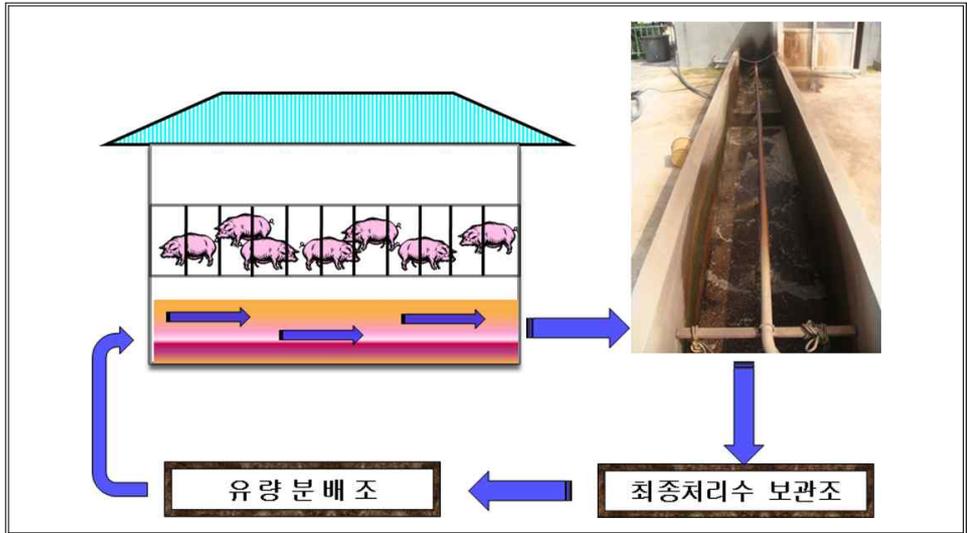


그림 7. 자체순환 돈사 처리수 흐름도

자체 처리시설을 가지고 처리하지 않는 즉, 순환시키지 않는 분뇨는 저장시설에 저장하는데 고액분리를 한 후, 액은 서귀포시가축분뇨공공처리시설에 위탁하고 있으며, 분은 세미영농조합이나 아쿠아엑스 또는 동광환경에 위탁처리하는 상황이었다. 이들 농가에서 발생하는 월별 총 가축분뇨 발생량은 약 454m<sup>3</sup>/월이고,

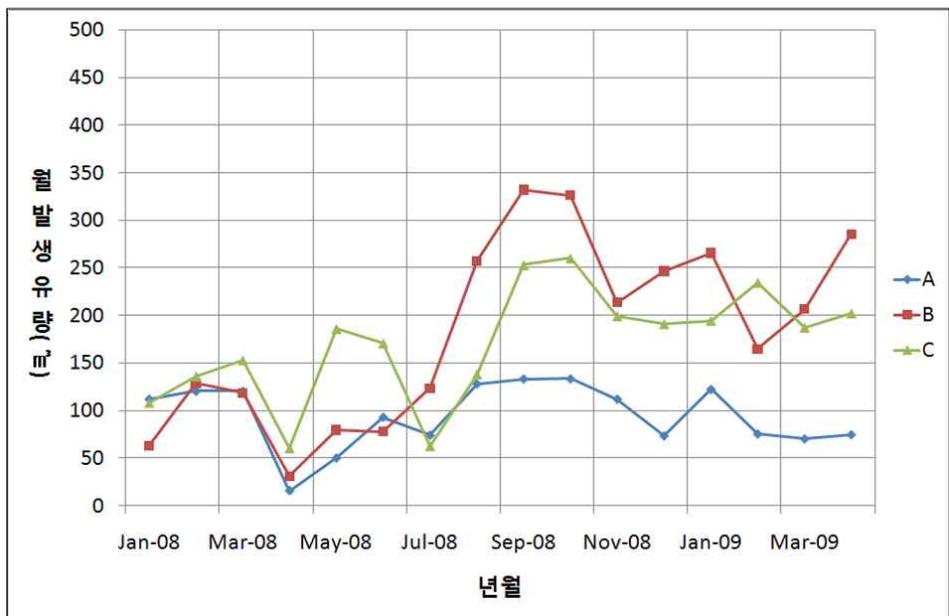


그림 8. 자체순환 돈사에서의 월별 발생 유량 변화

월별 평균 가축분뇨 발생량은 약 151m<sup>3</sup>/월이었다. 가축분뇨의 발생량 추세를 살펴보면 스크래퍼 돈사와 비슷한 경향을 보이고 있으며, 이 또한 돼지의 스트레스를 줄이기 위해 돈사 내 온도 조절을 목적으로 한 세정수와 음수량의 증가로 인한 것으로 사료된다.

## 다. 가축분뇨 수질 현황

월별·계절별 가축분뇨 수질 성상을 알아보기 위해서 서귀포시가축분뇨공공처리시설로 위탁처리되는 가축분뇨에 대해서 공공처리시설 자체적으로 가축분뇨를 분석·축적해온 자료를 이용하였다. 각각의 수질 성상은 스크래퍼 돈사, 슬러리 돈사, 자체순환 돈사 형태로 분류하여 정리하였으며, 비교항목은 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>, SS, T-N, T-P에 대해서 비교·분석하였다.

### 1) 스크래퍼 돈사 월별 수질 변화

그림 9는 스크래퍼 돈사로 사육하는 양돈농가 7호에 대한 월별 BOD<sub>5</sub>의 농도 변화를 나타내었다. 스크래퍼 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 BOD<sub>5</sub>의 범위는

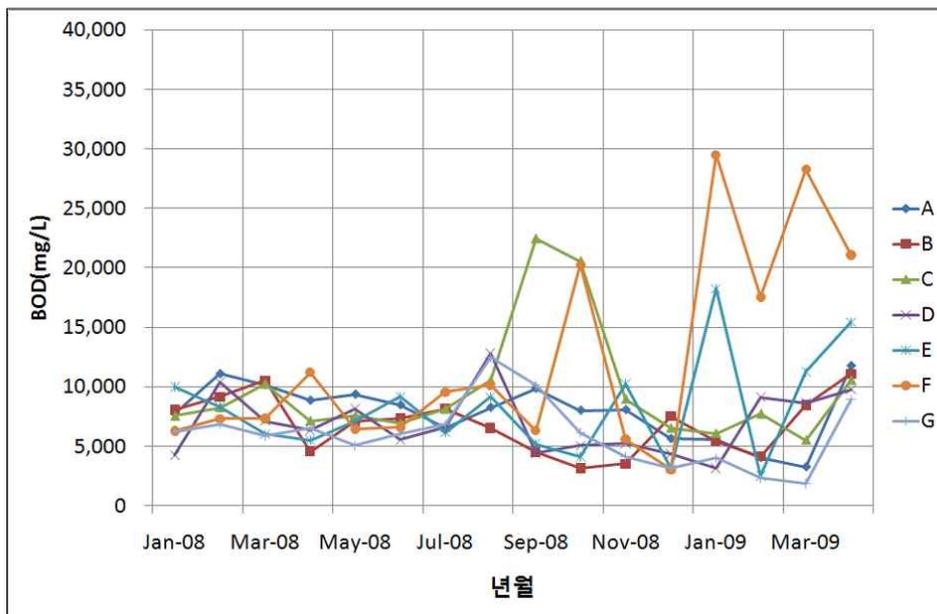


그림 9. 스크래퍼 돈사에서의 월별 BOD<sub>5</sub>농도 변화

1,850.2~28,255.9mg/L이었으며, 평균 BOD<sub>5</sub>는 8,264.4mg/L이었다.

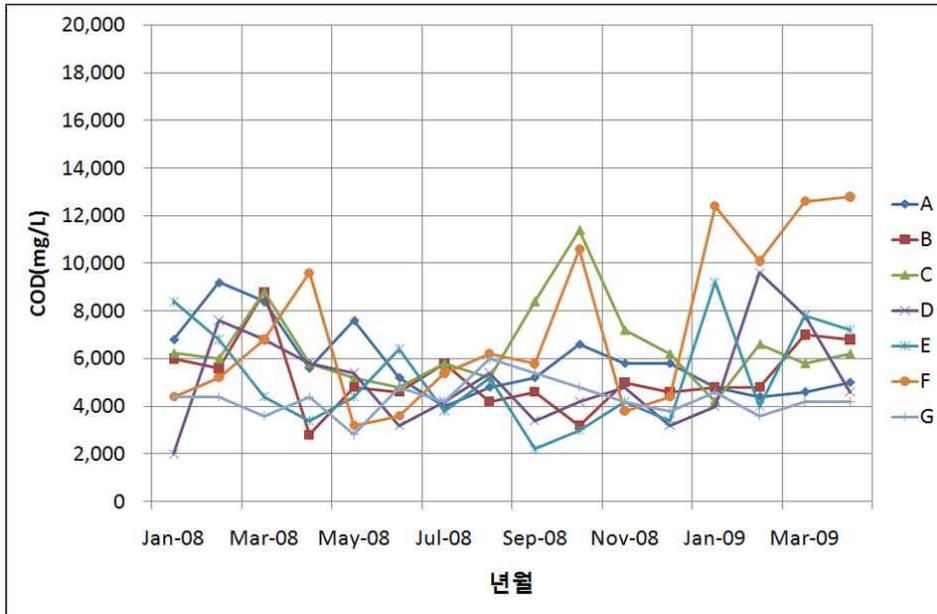


그림 10. 스크래퍼 돈사에서 월별 COD<sub>Mn</sub>농도 변화

일반적으로 계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 동절기에는 농도가 높아지고, 하절기에는 낮아질 것으로 예상을 하였으나 본 자료에서는 그러한 경향이 뚜렷하게 나타나지 않았다.

그림 10은 스크래퍼 돈사로 사육하는 양돈농가 7호에 대한 월별 COD<sub>Mn</sub>의 농도변화를 나타내었다. 스크래퍼 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 COD<sub>Mn</sub>의 범위는 2,000.0~28,255.9mg/L, 평균 COD<sub>5</sub>는 5,652.9mg/L로 조사되었다.

COD<sub>Mn</sub>의 월별 변화도 BOD<sub>5</sub>와 마찬가지로 계절에 따른 음수량과 세정수로 인한 발생량 증가 현상은 나타나지 않았다.

그림 11은 스크래퍼 돈사로 사육하는 양돈농가 7호에 대한 월별 SS의 농도변화를 나타내었다. 스크래퍼 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 SS의 범위는 2,100.0~42,710.0mg/L, 평균 SS는 8,712.1mg/L로 조사되었다.

SS의 월별 변화도 BOD<sub>5</sub> 및 COD<sub>Mn</sub>와 마찬가지로 계절에 따른 뚜렷한 변화 패턴은 나타나지 않았다.

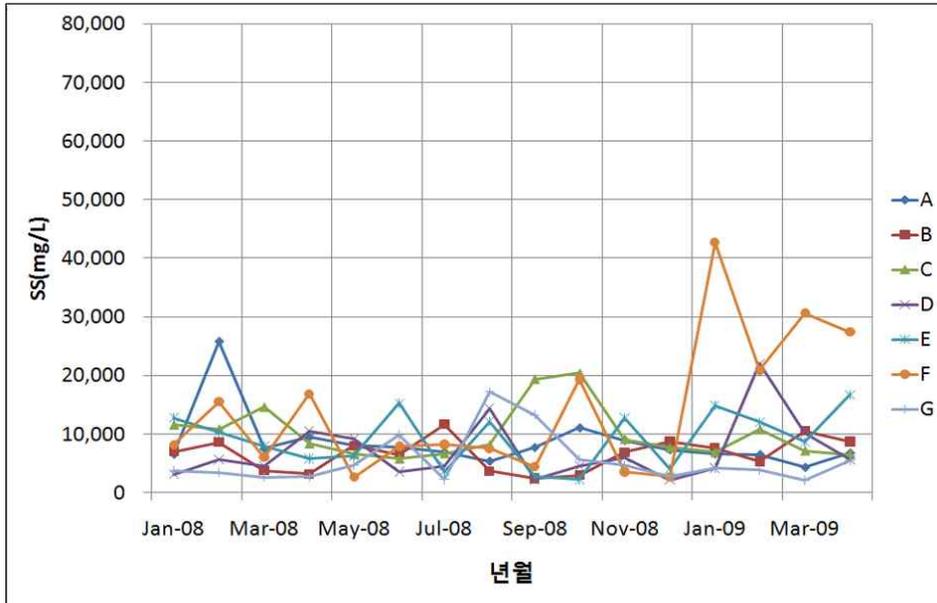


그림 11. 스크래퍼 돈사에서 월별 SS농도 변화

그림 12는 스크래퍼 돈사로 사육하는 양돈농가 7호에 대한 월별 T-N의 농도변화를 나타내었다. 스크래퍼 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 T-N의 범위는 2,100.0~42,710.0mg/L, 평균 T-N은 6,207.7mg/L로 조사되었다.

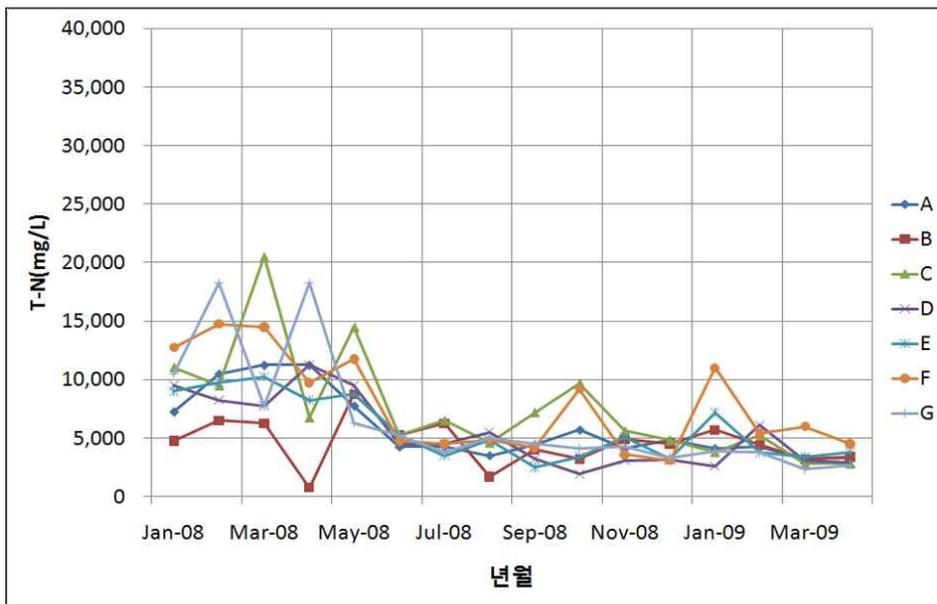


그림 12. 스크래퍼 돈사에서 월별 T-N농도 변화

T-N의 월별 변화도 다른 항목과 마찬가지로 계절에 따른 뚜렷한 농도 변화 패턴은 나타나지 않았다.

그림 13은 스크래퍼 돈사로 사육하는 양돈농가 7호에 대한 월별 T-P의 농도변화를 나타내었다. 스크래퍼 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 T-P의 범위는 47.5~850.0mg/L, 평균 T-P는 194.6mg/L로 조사되었다.

T-P의 경우도 다른 항목과 마찬가지로 계절에 따른 뚜렷한 농도 변화 패턴은 나타나지 않았다.

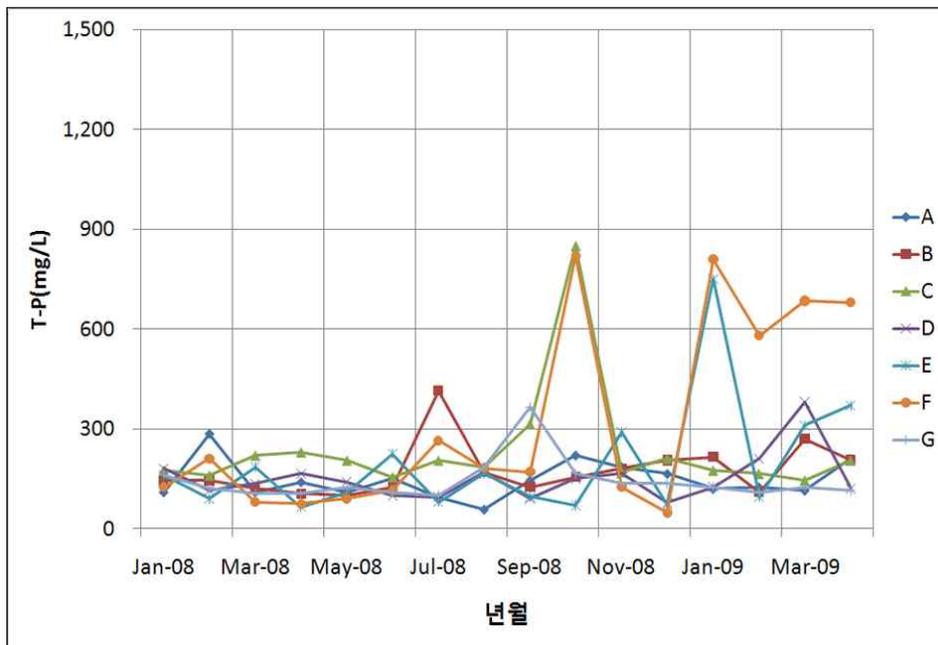


그림 13. 스크래퍼 돈사에서의 월별 T-P농도 변화

앞의 절에서 언급한 스크래퍼 돈사에서 발생하는 유량은 동절기에는 감소하고 하절기에는 증가하는 경향을 보였으나 농도의 변화 경향을 살펴보면 동절기와 하절기에 뚜렷한 변화 패턴을 보이지 않았다. 돼지의 식성은 계절의 변화에 따라 변할 수 있으며 하절기 온도 상승은 돼지에게 스트레스를 주어 사료공급량을 줄이지만 반대로 스트레스가 적을 경우 사료 공급량이 증가함과 동시에 가축분뇨 발생량이 증가하는데, 농촌진흥청 국립축산과학원 보고서에 의하면 체중과 분뇨 배설량, 사료 섭취량과 돈분 배설량 및 음수량과 뇨 배설량의 상관관계를 추정하

였고, 추정관계식은 다음과 같다.

- 육성비육돈의 분뇨 배설량  $Y=0.0249X+0.8985(R^2=0.97)$  : X 체중
- 육성비육돈의 분 배설량  $Y=0.3456X+0.0472(R^2=0.94)$  : X 사료섭취량
- 육성비육돈의 뇨 배설량  $Y=0.2643X+0.589(R^2=0.94)$  : X 음수량

추후 별도의 조사가 이루어질 경우 각 운영형태에 따른 계절별 사료 공급량과의 비교분석이 필요할 것으로 판단된다.

## 2) 슬러리 돈사

대체적으로 슬러리 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 농도는 동절기에는 농도가 높고 하절기에는 농도가 낮아지는 경향을 보이고 있으며, 이는 발생유량과는 반대의 경향을 나타내는 형태였다.

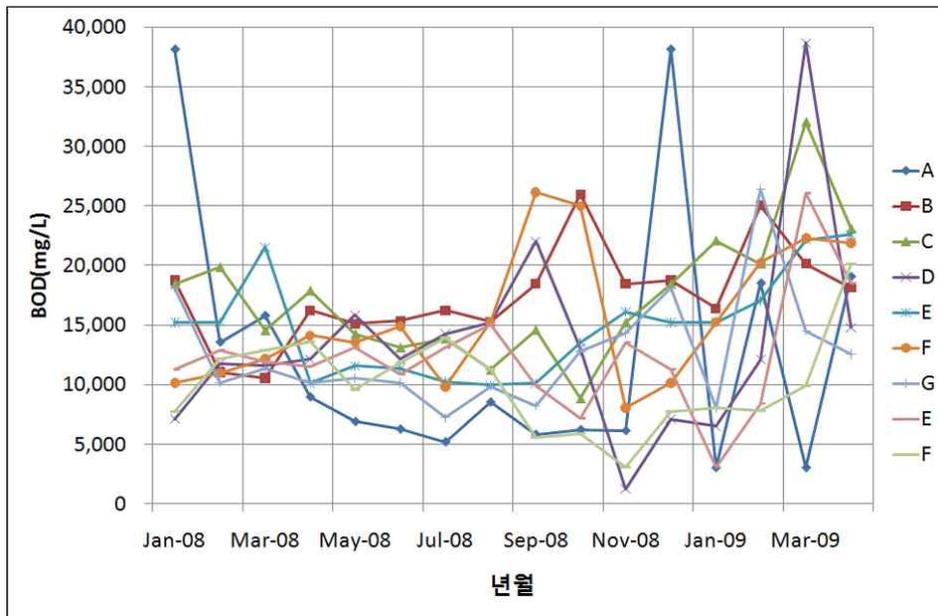


그림 14. 슬러리 돈사에서의 월별 BOD<sub>5</sub>농도 변화

그림 14는 슬러리 돈사로 사육하는 양돈농가 9호에 대한 월별 BOD<sub>5</sub>의 농도변

7) 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, 농촌진흥청 국립축산과학원, 2009

화를 나타내었다. 슬러리 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 BOD<sub>5</sub>의 범위는 1,241.6~38,665.5mg/L이었으며, 평균 BOD<sub>5</sub>는 14,060.9mg/L로 조사되었다.

농촌진흥청<sup>8)</sup>에 의한 연구에서 슬러리 돈사 형태의 양돈농가에서 배출되는 가축분뇨의 평균 BOD<sub>5</sub>는 23,547mg/L로 조사되었는데, 이는 지역에 따른 급여사료 특성 또는 지역적 온도차, 돈사 내 슬러리피트의 높이에 따른 저장기간과 슬러리피트 내 온도차에 의한 분해속도 등 많은 영향인자에 의한 차이로 사료된다.

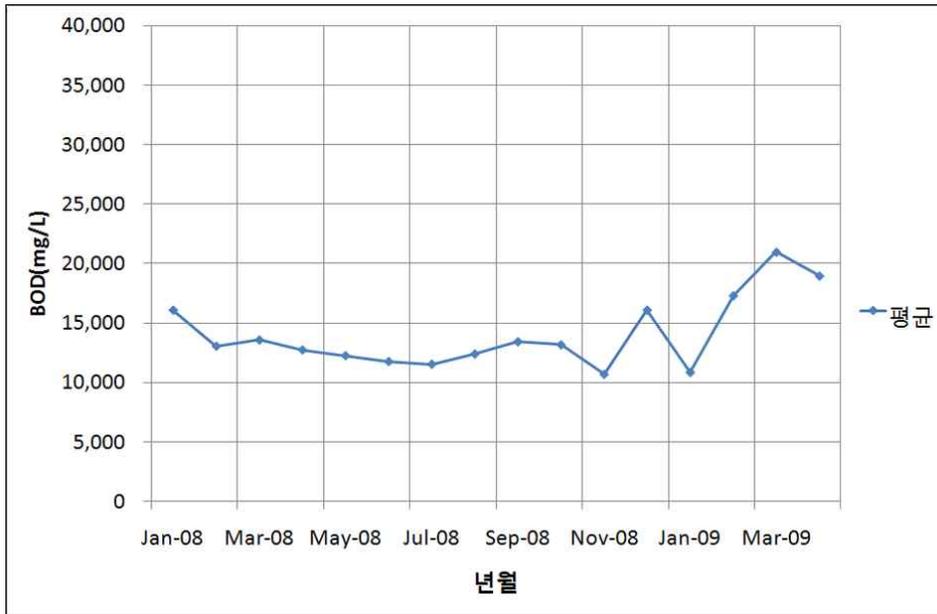


그림 15. 슬러리 돈사에서의 월별 평균 BOD<sub>5</sub>농도 변화

그림 15는 각 슬러리 돈사에서 배출되는 가축분뇨의 평균 BOD<sub>5</sub>를 나타낸 것으로서 하절기에는 농도가 감소하는 경향을 보이고 있으며 동절기에는 상승하는 경향을 보이고 있다. 일반적으로 계절에 따라 음수량과 세정수의 차이로 인하여 동절기에는 농도가 높아지고 하절기에는 낮아질 것으로 예상을 하였으나 본 자료에서의 발생유량을 고려해 보면 이러한 경향도 물론 작용하겠지만 여름철 온도상승에 따른 슬러리피트 내의 온도 상승과 더불어 분해속도의 상승에 따라서 농도가 동절기에 비해 하절기가 낮게 나타나는 것으로 사료된다. 월별 평균 BOD<sub>5</sub>농도의 범위를 살펴보면 10,683.1~20,976.1mg/L로 나타났다.

8) 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, 농촌진흥청 국립축산과학원, 2009.

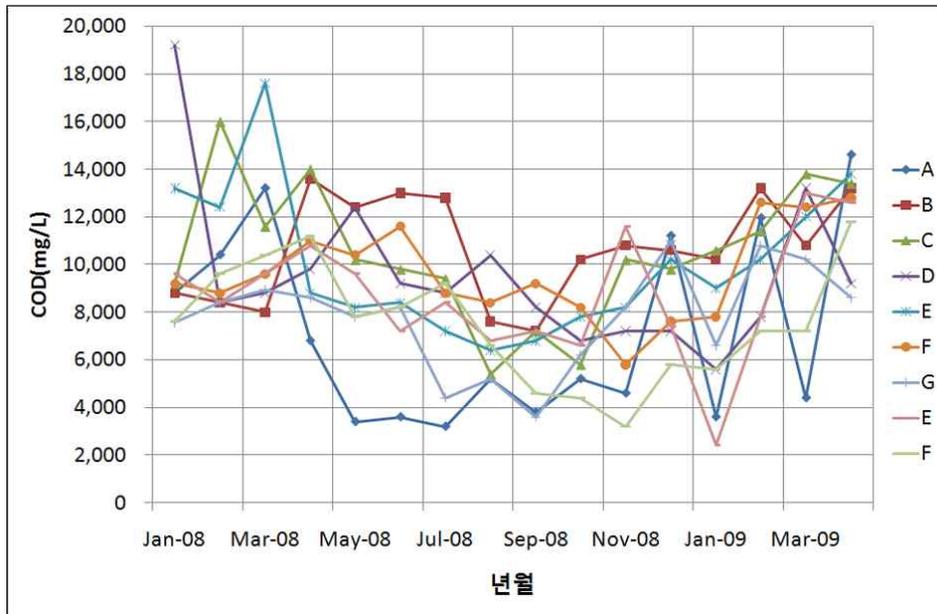


그림 16. 슬러리 돈사에서 월별 COD<sub>Mn</sub>농도 변화

그림 16은 슬러리 돈사로 사육하는 양돈농가 9호에 대한 월별 COD<sub>Mn</sub>의 농도 변화를 나타내었다. 슬러리 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 COD<sub>Mn</sub>의 농도범위는 2,400.0~19,200.0mg/L이었으며, 평균 COD<sub>Mn</sub>농도는 9,047.6mg/L이었다.

농촌진흥청<sup>9)</sup> 연구에 의하면 슬러리 돈사형태에서의 양돈농가에서 배출되어지는 평균 COD<sub>Mn</sub>농도는 35,561mg/L로 조사되었는데, 이 또한 BOD<sub>5</sub>농도와 같은 이유로 인해서 낮은 농도를 보이는 것으로 사료된다.

그림 17은 각 슬러리 돈사에서 배출되는 가축분뇨의 평균 COD<sub>Mn</sub>농도를 나타낸 것으로서 하절기에는 농도가 감소하는 경향을 보이고 있으며 동절기에는 상승하는 경향을 보이고 있다. 일반적으로 계절에 따라 음수량과 세정수의 차이로 인하여 동절기에는 농도가 높아지고 하절기에는 낮아질 것으로 예상을 하였으나 본 자료에서의 발생유량을 고려해 보면 이러한 경향도 물론 작용하겠지만 여름철 온도상승에 따른 슬러리피트 내의 온도 상승과 더불어 분해속도의 상승에 따라서 농도가 동절기에 비해 하절기가 낮게 나타나는 것으로 사료된다. 월별 평균 COD<sub>Mn</sub>농도의 범위를 살펴보면 6,422.2~12,222.2mg/L로 나타났다.

9) 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, 농촌진흥청 국립축산과학원, 2009.

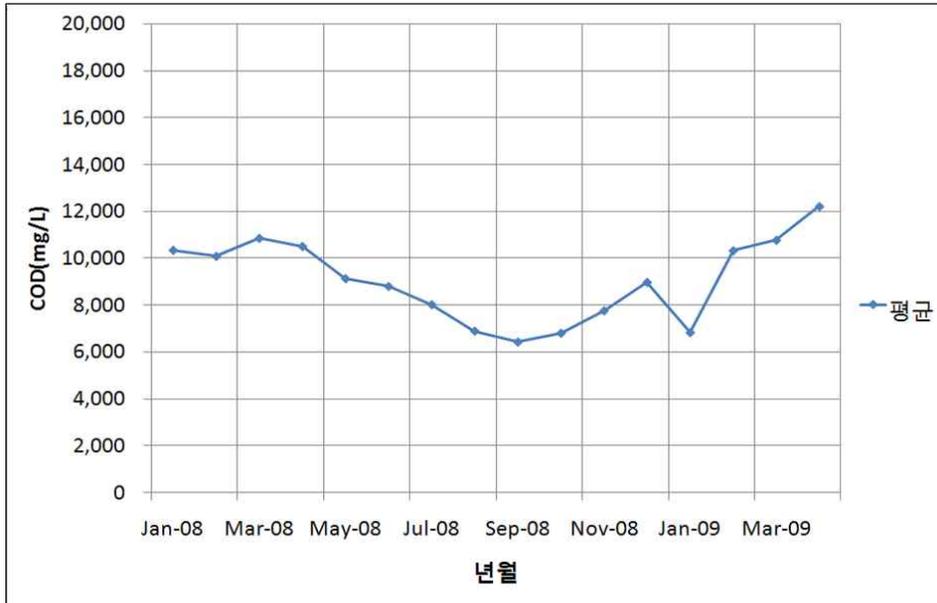


그림 17. 슬러리 돈사에서 월별 평균 COD<sub>Mn</sub>농도 변화

그림 18은 슬러리 돈사로 사육하는 양돈농가 9호에 대한 월별 SS의 농도변화를 나타내었다. 슬러리 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 SS의 농도범위는 2,987.5~56,150.0mg/L, 평균 SS농도는 21,161.5mg/L로 조사되었다.

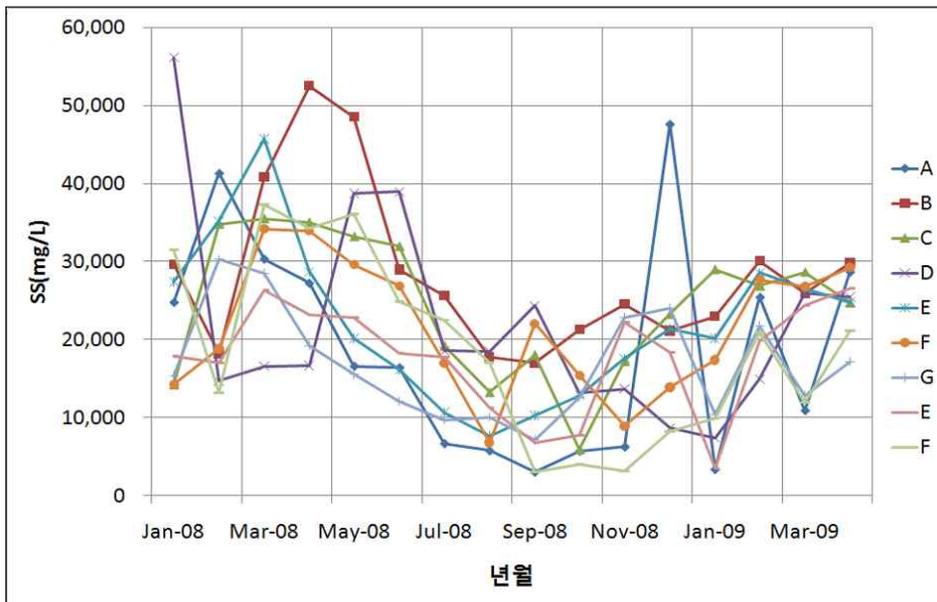


그림 18. 슬러리 돈사에서 월별 SS농도 변화

농촌진흥청<sup>10)</sup> 연구에 의하면 슬러리 돈사형태의 양돈농가에서 배출되는 평균 SS농도는 41,816mg/L로 조사되었는데, 이 또한 다른 타 수질농도와 같은 이유로 인해서 낮은 농도를 보이는 것으로 사료된다.

그림 19는 각 슬러리 돈사에서 배출되어지는 가축분뇨의 평균 SS농도를 나타낸 것으로서 하절기에는 농도가 감소하는 경향을 보이고 있으며 동절기에는 상승하는 경향을 보이고 있다. 농촌진흥청 국립축산과학원(2009) 연구에 의하면 여름철이 겨울철에 비하여 슬러리 발생량이 자돈, 비육돈, 임신돈 및 분만사에서 약간씩 높은 것으로 조사되었으며, 이의 원인을 외기온도 상승에 따른 물 사용량이 상대적으로 많은 것을 원인으로 지적하였으나 본 자료에서의 발생유량을 고려해 보면 이러한 경향도 물론 작용하겠지만 여름철 온도상승에 따른 슬러리피트 내의 온도 상승과 더불어 분해속도의 상승에 따라 농도가 동절기에 비해 하절기가 낮게 나타나는 것으로 사료된다. 월별 평균 SS농도의 범위를 살펴보면 10,961.1~32,815.2 mg/L로 나타났다.

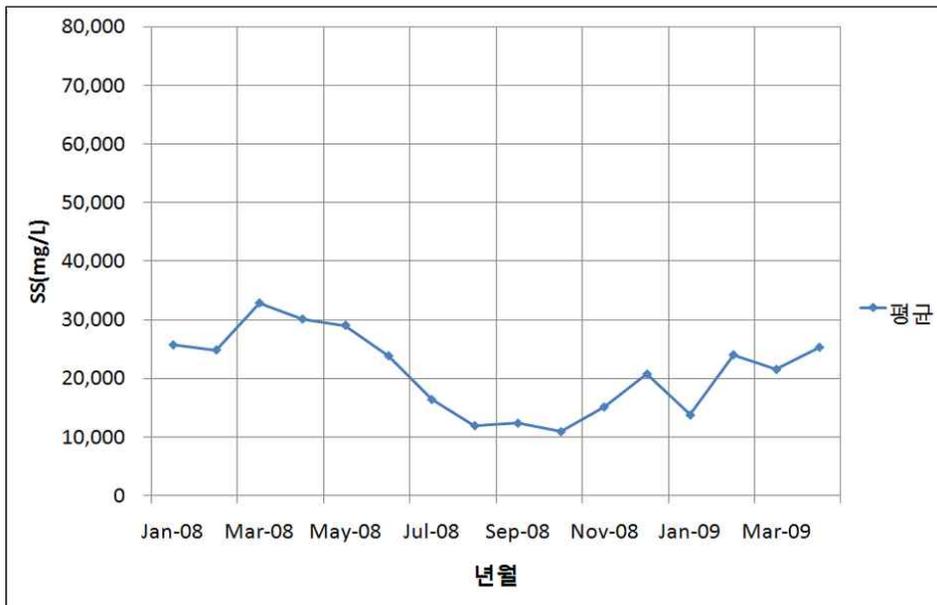


그림 19. 슬러리 돈사에서의 월별 평균 SS농도 변화

10) 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, 농촌진흥청 국립축산과학원, 2009.

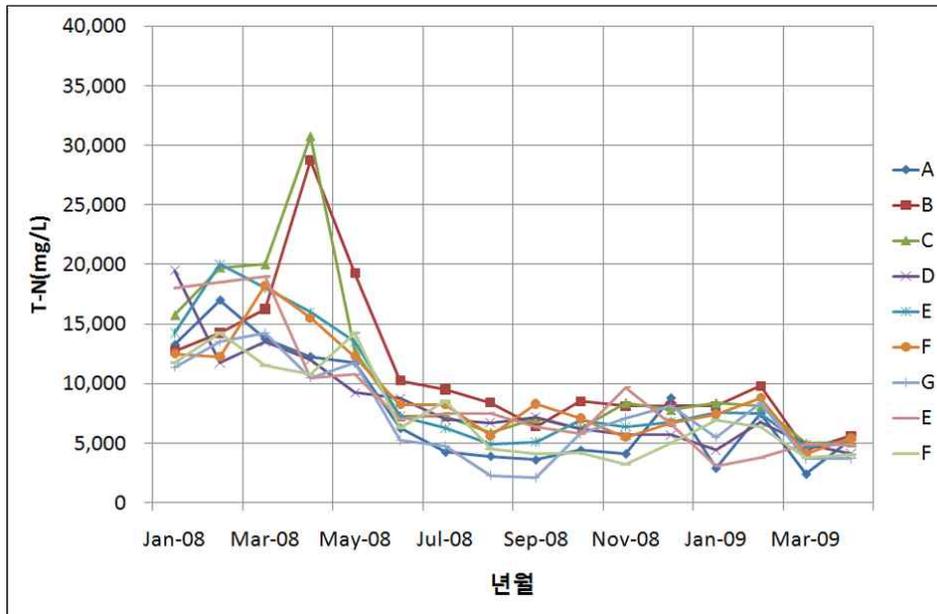


그림 20. 슬러리 돈사에서 월별 T-N농도 변화

그림 20은 슬러리 돈사로 사육하는 양돈농가 9호에 대한 월별 T-N의 농도변화를 나타내었다. 슬러리 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 T-N의 농도범위는 2,100.0~30,750.0mg/L, 평균 T-N농도는 8,933.8mg/L로 조사되었다.

농촌진흥청<sup>11)</sup> 연구에 의하면 슬러리 돈사형태의 양돈농가에서 배출되는 평균 T-N농도는 평균 2,994mg/L, 2,350~3,628mg/L의 범위로 조사되었는데, 이 또한 다른 타 수질농도와 같은 이유로 인해서 낮은 농도를 보이는 것으로 사료된다.

그림 21은 각 슬러리 돈사에서 배출되는 가축분뇨의 평균 T-N농도를 나타낸 것으로서 다른 타 수질분석과는 달리 하절기와 동절기의 계절에 따른 뚜렷한 경향을 보이지 않았으나 평균적으로 동절기에 비해 하절기에 낮은 농도를 보였다. 월별 평균 T-N농도의 범위를 살펴보면 4,211.1~16,333.3mg/L로 나타났다.

11) 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, 농촌진흥청 국립축산과학원, 2009.

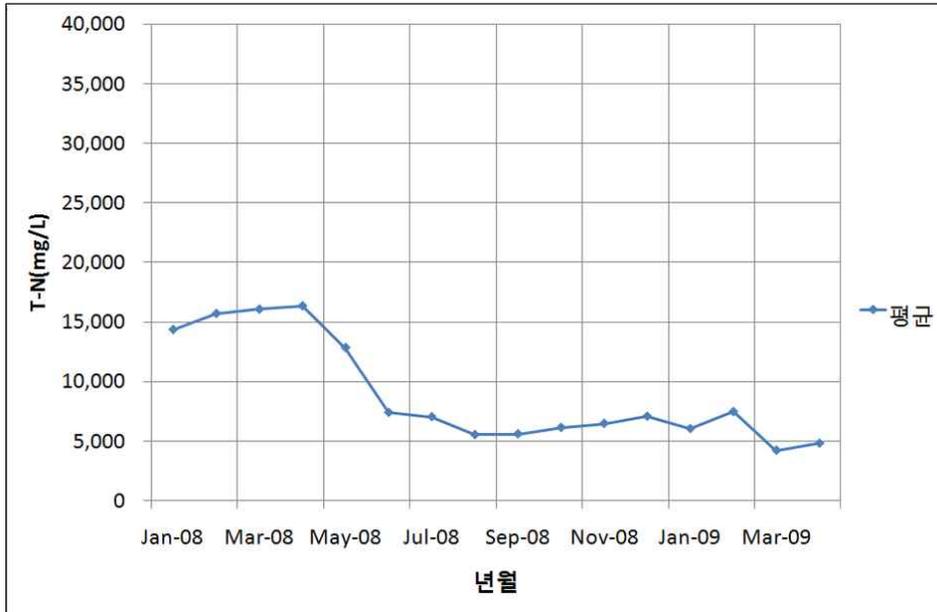


그림 21. 슬러리 돈사에서 월별 평균 T-N농도 변화

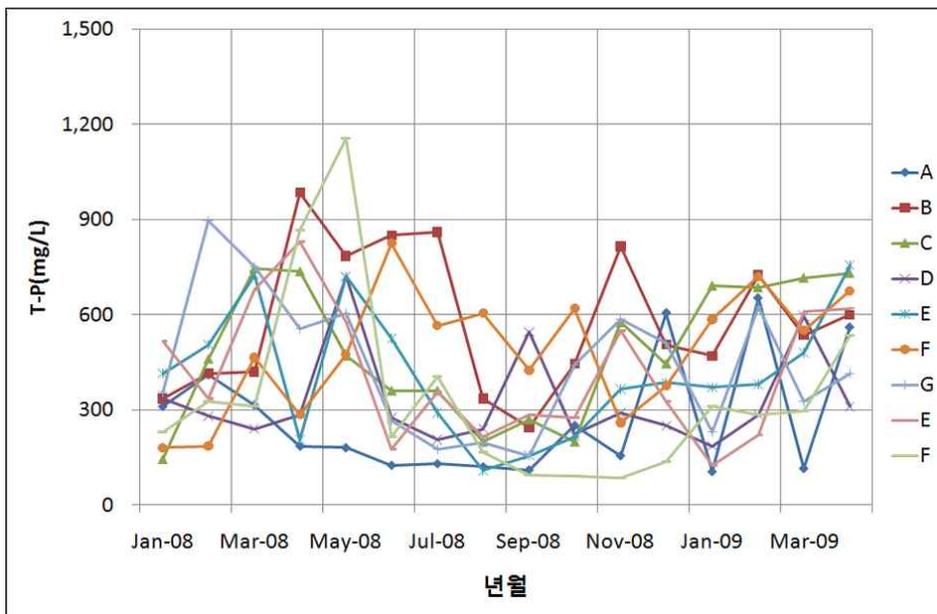


그림 22. 슬러리 돈사에서 월별 T-P농도 변화

그림 22는 슬러리 돈사로 사육하는 양돈농가 9호에 대한 월별 T-P의 농도변화를 나타내었다. 슬러리 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 T-P의 농도범위는 85.0~

1,155.0mg/L이었으며, 평균 T-P농도는 419.2mg/L로 조사되었다. 농촌진흥청<sup>12)</sup> 연구에 의하면 슬러리 돈사형태의 양돈농가에서 배출되는 평균 T-P농도는 평균 541 mg/L, 426~674mg/L의 범위로 조사되었는데, 이 또한 다른 타 수질농도와 같은 이유로 인해서 낮은 농도를 보이는 것으로 사료된다.

그림 23은 각 슬러리 돈사에서 배출되어지는 가축분뇨의 평균 T-P농도를 나타낸 것으로서 하절기에는 농도가 감소하는 경향을 보이고 있으며 동절기에는 상승하는 경향을 보이고 있다. 농촌진흥청 국립축산과학원(2009) 연구에 의하면 여름철이 겨울철에 비하여 슬러리 발생량이 자돈, 비육돈, 임신돈 및 분만사에서 약간씩 높은 것으로 조사되었으며, 이의 원인을 외기온도 상승에 따른 물 사용량이 상대적으로 많은 것을 원인으로 지적<sup>13)</sup>하였으나 본 자료에서의 발생유량을 고려해 보면 이러한 경향도 물론 작용하겠지만 여름철 온도상승에 따른 슬러리피트 내의 온도 상승과 더불어 분해속도의 상승에 따라 농도가 동절기에 비해 하절기가 낮게 나타나는 것으로 사료된다. 월별 평균 T-P농도의 범위를 살펴보면 242.6~631.7mg/L로 나타났다.

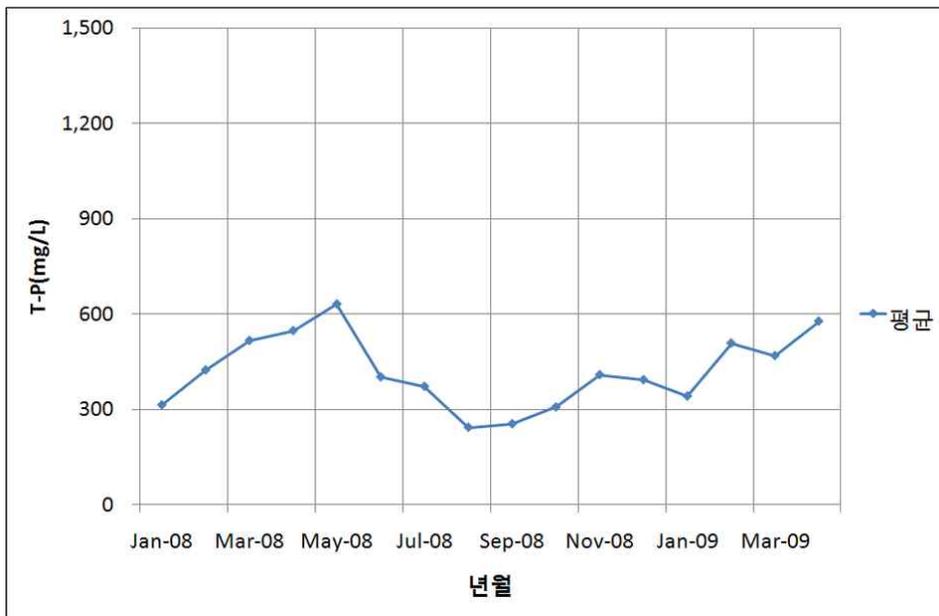


그림 23. 슬러리 돈사에서의 월별 평균 T-P농도 변화

12) 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, 농촌진흥청 국립축산과학원, 2009.

13) 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, 농촌진흥청 국립축산과학원, 2009.

### 3) 자체순환 돈사

대체적으로 자체순환 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 농도는 발생유량에서 보여 주듯이 계절의 변화에 따라 변화하는 경향을 보여주고 있는데 동절기에는 농도가 높고 하절기에는 농도가 낮아지는 경향을 나타내었다.

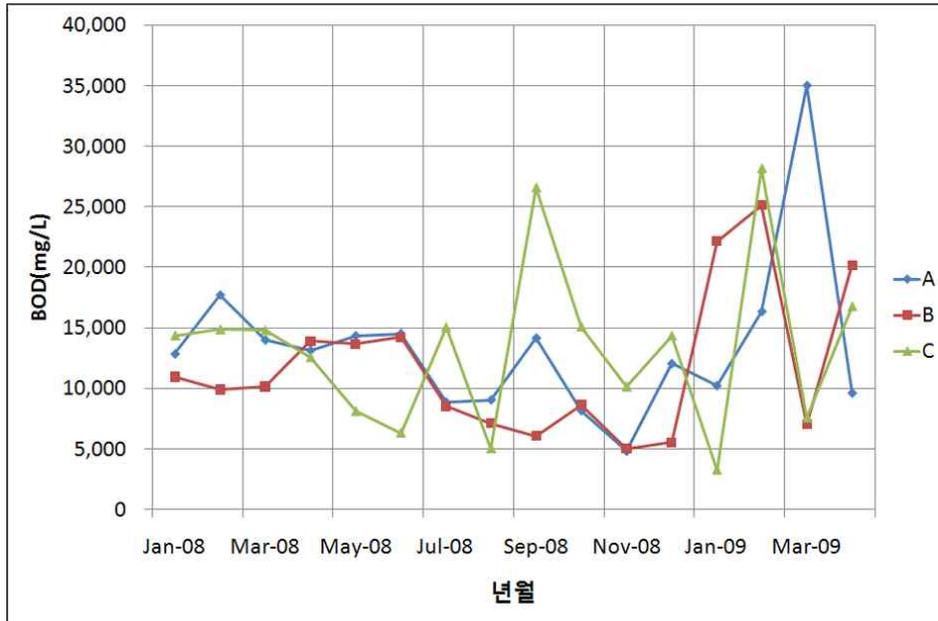


그림 24. 자체순환 돈사에서의 월별 BOD<sub>5</sub>농도 변화

그림 24는 자체순환 돈사로 사육하는 양돈농가 3호에 대한 월별 BOD<sub>5</sub>의 농도변화를 나타내었다. 자체순환 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 BOD<sub>5</sub>의 범위는 3,250.5~35,029.5mg/L, 평균 BOD<sub>5</sub>는 12,830.1mg/L로 조사되었다.

계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인한 동절기와 하절기에서의 차이는 BOD<sub>5</sub> 농도 패턴에서도 일반적인 경향을 보였다.

그림 25는 자체순환 돈사에서의 월별 평균 BOD<sub>5</sub>농도 경향을 보여주고 있는데, 계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인하여 동절기에는 농도가 높아지고 하절기에는 낮아지는 일반적인 경향을 보여주고 있었다. 월별 평균 BOD<sub>5</sub>농도의 범위를 살펴보면 6,653.4~23,210.5mg/L로 나타났다.



그림 25. 자체순환 돈사에서 월별 평균 BOD<sub>5</sub>농도 변화

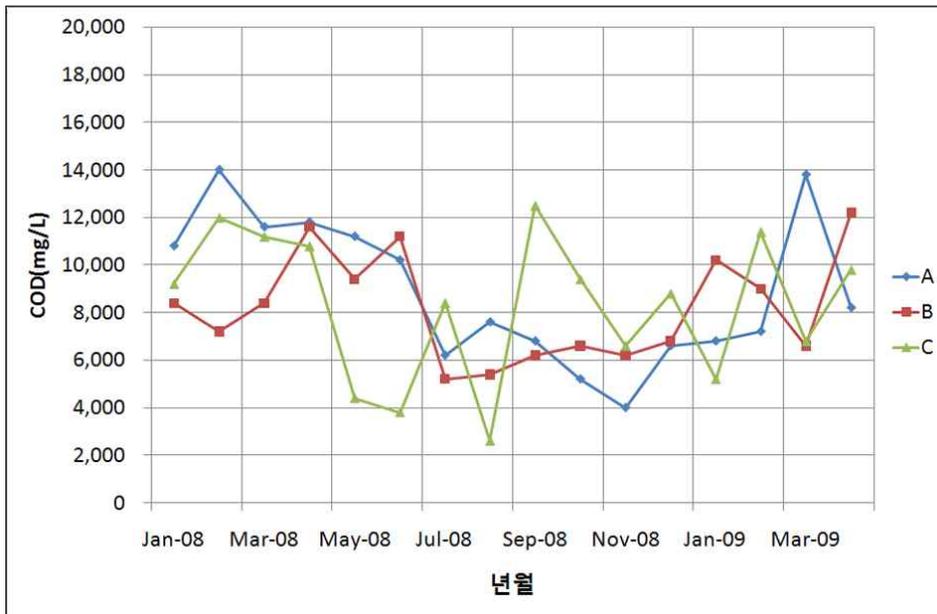


그림 26. 자체순환 돈사에서 월별 COD<sub>Mn</sub>농도 변화

그림 26은 자체순환 돈사로 사육하는 양돈농가 3호에 대한 월별 COD<sub>Mn</sub>의 농도변화를 나타내었다. 자체순환 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 COD<sub>Mn</sub>의 범위는

2,600.0~14,000.0mg/L, 평균 COD<sub>Mn</sub>은 8,447.9mg/L로 조사되었다.

계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인한 동절기와 하절기에서의 차이는 COD<sub>Mn</sub> 농도 패턴에서도 일반적인 경향을 보였다.



그림 27. 자체순환 돈사에서 월별 평균 COD<sub>Mn</sub>농도 변화

그림 27은 자체순환 돈사에서 월별 평균 COD<sub>Mn</sub>농도 경향을 보여주고 있는데, 계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인하여 동절기에는 농도가 높아지고 하절기에는 낮아지는 일반적인 경향을 보여주고 있었다. 월별 평균 COD<sub>Mn</sub>농도의 범위를 살펴보면 5,200.0~11,400.0mg/L로 나타났다.

그림 28은 자체순환 돈사로 사육하는 양돈농가 3호에 대한 월별 SS의 농도변화를 나타내었다. 자체순환 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 SS의 범위는 1,700.0~71,050.0mg/L, 평균 SS농도는 18,227.3mg/L로 조사되었다.

계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인한 동절기와 하절기에서의 차이는 SS 농도 패턴에서도 일반적인 경향을 보였다.

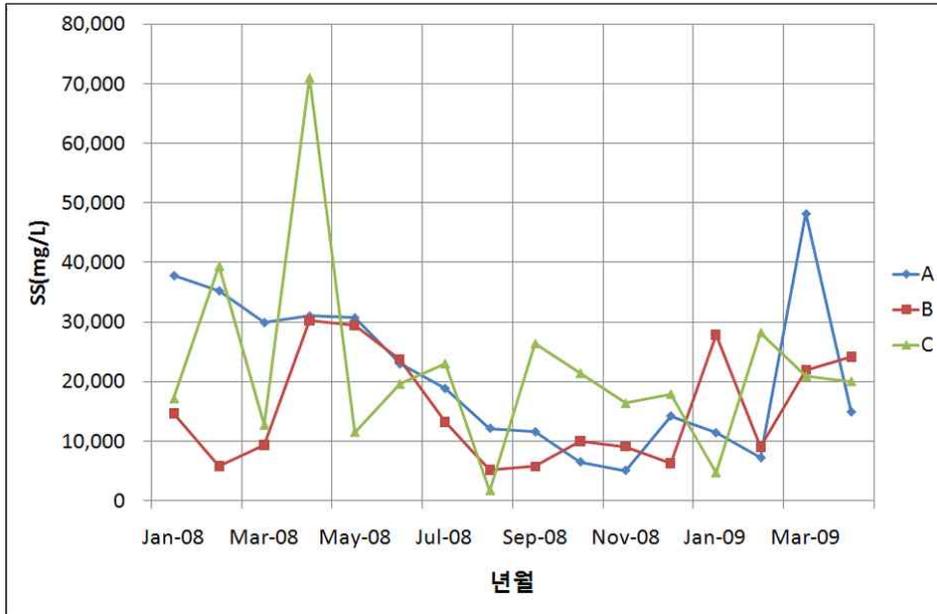


그림 28. 자체순환 돈사에서의 월별 SS농도 변화



그림 29. 자체순환 돈사에서의 월별 평균 SS농도 변화

그림 29는 자체순환 돈사에서의 월별 평균 SS 농도 경향을 보여주고 있는데, 계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인하여 동절기에는 농도가 높아지고 하절

기에는 낮아지는 일반적인 경향을 보여주고 있었다. 월별 평균 SS농도의 범위를 살펴보면 7,075.0~35,066.0mg/L로 나타났다.

그림 30은 자체순환 돈사로 사육하는 양돈농가 3호에 대한 월별 T-N의 농도변화를 나타내었다. 자체순환 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 T-N의 범위는 2,600.0~16,500.0mg/L, 평균 T-N농도는 7,578.1mg/L로 조사되었다.

계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인한 동절기와 하절기에서의 차이는 T-N농도 패턴에서도 일반적인 경향을 보였다.

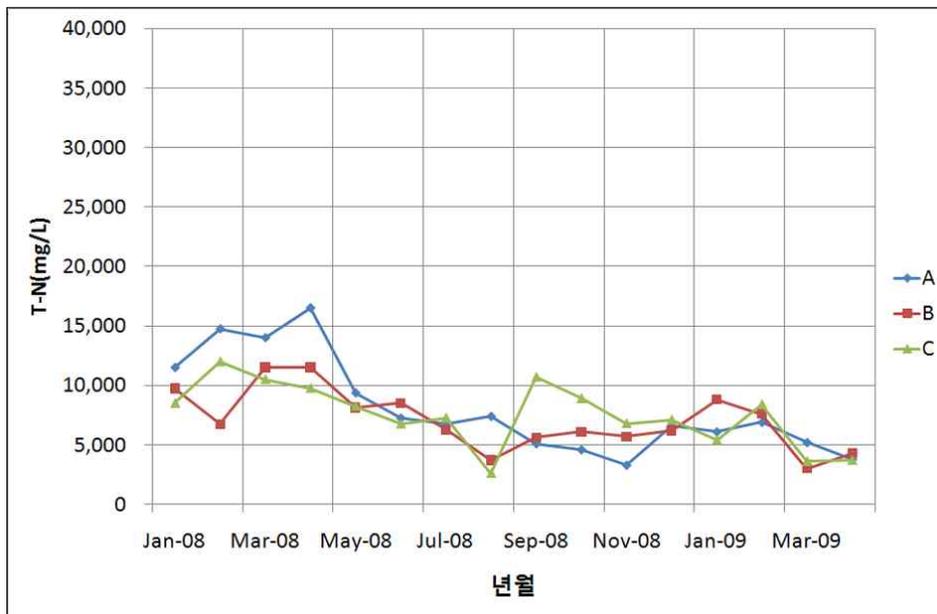


그림 30. 자체순환 돈사에서의 월별 T-N농도 변화

그림 31은 자체순환 돈사에서의 월별 평균 T-N농도 경향을 보여주고 있는데, 계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인하여 동절기에는 농도가 높아지고 하절기에는 낮아지는 일반적인 경향을 보여주고 있었다. 월별 평균 T-N농도의 범위를 살펴보면 4,050.0~14,000.0mg/L로 나타났다.

그림 32는 자체순환 돈사로 사육하는 양돈농가 3호에 대한 월별 T-P의 농도변화를 나타내었다. 자체순환 돈사에서 발생하는 가축분뇨의 T-P의 범위는 73.0~1,210.0mg/L, 평균 T-N농도는 381.3mg/L로 조사되었다.



그림 31. 자체순환 돈사에서서의 월별 평균 T-N농도 변화

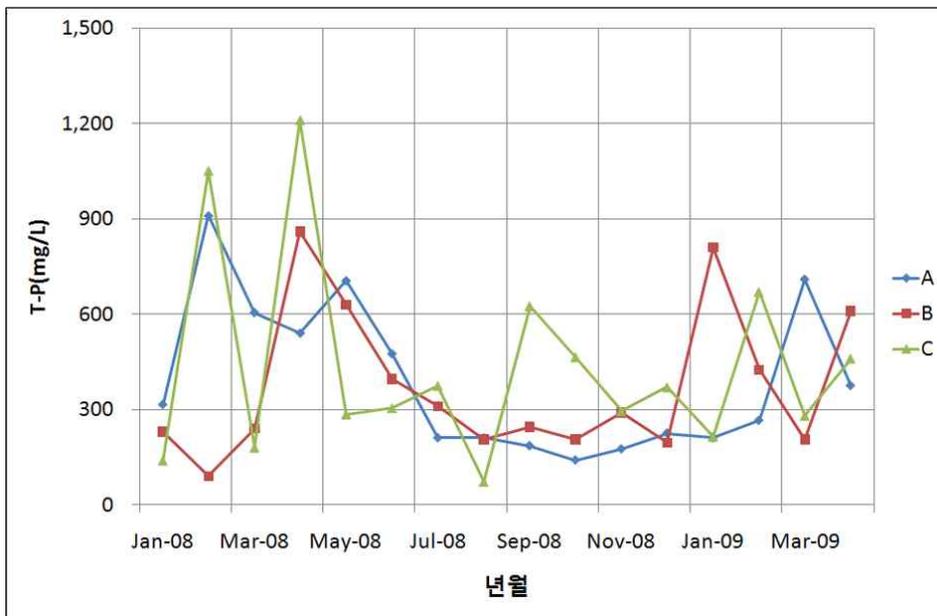


그림 32. 자체순환 돈사에서서의 월별 T-P농도 변화

계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인한 동절기와 하절기에서의 차이는 T-P농도 패턴에서도 일반적인 경향을 보였다.

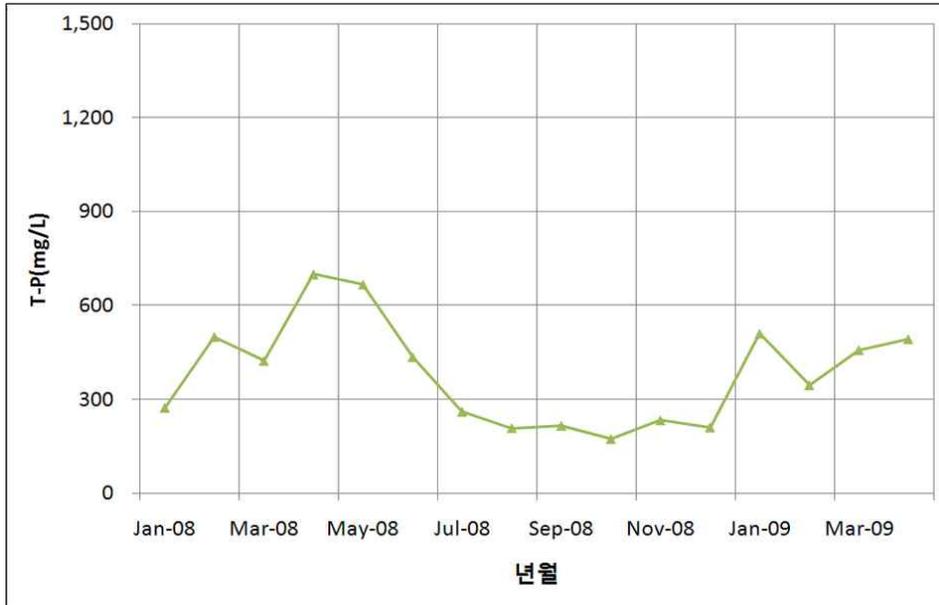


그림 33. 자체순환 돈사에서 월별 평균 T-P농도 변화

그림 33은 자체순환 돈사에서 월별 평균 T-P농도 경향을 보여주고 있는데, 계절에 따른 음수량과 세정수의 차이로 인하여 동절기에는 농도가 높아지고 하절기에는 낮아지는 일반적인 경향을 보여주고 있었다. 월별 평균 T-N농도의 범위를 살펴보면 172.5~700.0mg/L로 나타났다.

## 라. 현장조사시 수질 현황

각각의 돈사의 운영실태 및 현황을 알아보기 위해서 현장조사를 실시하였으며, 각각의 돈사형태에 따른 수질현황을 알아보기 위해서 현장조사시 돈사에서 배출되어 저장조에 저장되어 있는 가축분뇨를 현장에서 채수하였다. 현장에서 채수된 가축분뇨는 수질분석을 하기 위해서 제주특별자치도 환경자원연구원에 의뢰하였으며, 그에 대한 분석결과를 스크래퍼 돈사와 슬러리 돈사 그리고 자체순환 돈사 세 개의 형태로 나누어 나타냈다.

### 1) 스크래퍼 돈사

현장조사시 스크래퍼 돈사에서 배출되는 가축분뇨를 분석한 결과 BOD<sub>5</sub> 농도

범위는 2,450.0~8,400.0mg/L으로 나타났으며, COD<sub>Mn</sub> 농도 범위는 1,306.5~4,824.0 mg/L, SS농도 범위는 3,100.0~5,850.0mg/L, T-N농도 범위는 1,721.0~3,978.2mg/L 그리고 T-P농도 범위는 34.9~517.4mg/L으로 나타났다.

각각의 수질항목에 대한 평균 농도는 BOD<sub>5</sub> 5,511.4mg/L, COD<sub>Mn</sub> 2,376.1mg/L, SS 4,592.9mg/L, T-N 2,444.6mg/L, T-P 162.8mg/L으로 나타났다. 각각의 수질자료에 대하여 서귀포시가축분뇨공공처리시설에서 주기적으로 채수·분석하여 축적되어온 평균수질농도와 실제 현장에서 가축분뇨를 채수·분석한 평균농도를 비교해보면 서귀포시가축분뇨공공처리시설에서 주기적으로 측정·분석하여 축적되어온 수질평균농도가 높게 나타났다. 이와 같은 차이가 발생한 이유로는 서귀포시가축분뇨공공처리시설에서 채수·분석된 가축분뇨는 수거용 차량에서 채수하여 분석되었으며, 수거용 차량은 각각의 양돈농가의 저류조에 있는 가축분뇨를 전부 수거함으로써 저류조의 밑바닥에 침전되어 있는 고형물까지 흡입되어 균일화 될 수 있어 보다 원시료에 가까웠으며, 현장에서 가축분뇨를 채수한 경우 침전되어 있는 부분까지 고르게 교반한 후 시료를 채수해야 하나 저류조의 용량이 너무 커서 교반하지 못하고 저류조의 상등액을 채수함으로써 현장에서 채수된 가축분뇨가 낮은 수질값을 나타낸 것으로 사료된다.

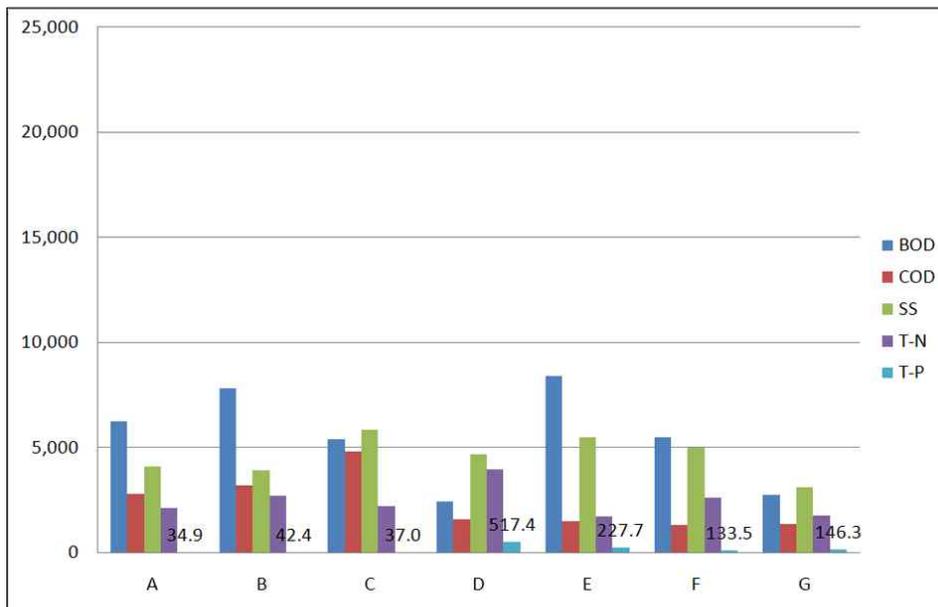


그림 34. 현장조사에 의한 스크래퍼 돈사의 수질 농도 현황

## 2) 슬러리 돈사

현장조사시 슬러리 돈사에서 배출되는 가축분뇨를 분석한 결과 BOD<sub>5</sub> 농도 범위는 750.0~19,400.0mg/L로 나타났으며, COD<sub>Mn</sub> 농도 범위는 1,608.0~4,422.0mg/L, SS 농도 범위는 3,000.0~161,000.0mg/L, T-N 농도 범위는 1,497.4~3,916.4mg/L 그리고 T-P 농도 범위는 45.5~959.0mg/L으로 나타났다. 각각의 수질항목에 대한 평균 농도는 BOD<sub>5</sub> 7,637.8mg/L, COD<sub>Mn</sub> 2,497.4mg/L, SS 5,655.6mg/L, T-N 2,648.4mg/L, T-P 271.4mg/L으로 나타났다.

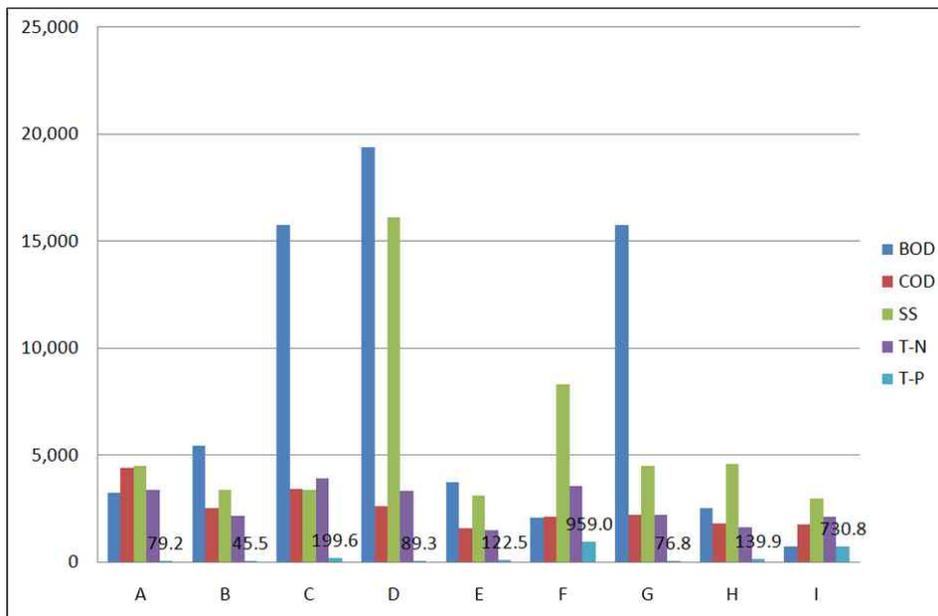


그림 35. 현장조사에 의한 슬러리 돈사의 수질 농도 현황

슬러리 돈사에서도 스크래퍼 돈사에서와 같은 경향을 나타냈는데, 서귀포시가 축분뇨공공처리시설에서 주기적으로 채수·분석하여 축적되어온 평균수질농도가 실제 현장에서 가축분뇨를 채수·분석한 평균농도에 비해 높게 나타남을 알 수 있었다.

## 3) 자체순환 돈사

현장조사시 자체순환 돈사에서 배출되는 가축분뇨를 분석한 결과 BOD<sub>5</sub> 농도

범위는 2,750.0~13,650.0mg/L으로 나타났으며, COD<sub>Mn</sub> 농도 범위는 1,758.8~5,829.0mg/L, SS 농도 범위는 2,050.0~5,700.0mg/L, T-N 농도 범위는 1,006.5~4,333.1mg/L 그리고 T-P 농도 범위는 77.5~145.3mg/L으로 나타났다.

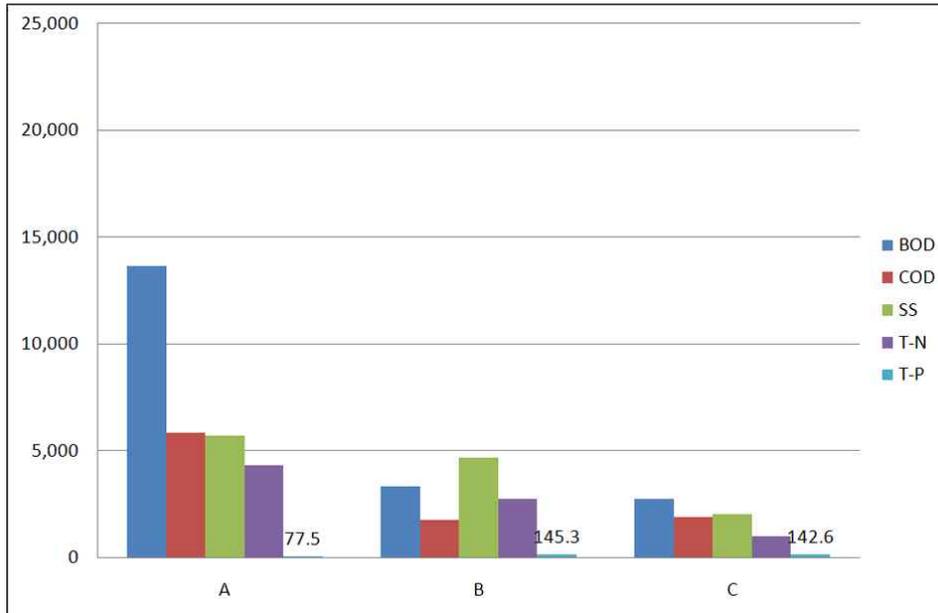


그림 36. 현장조사에 의한 자체순환 돈사의 수질 농도 현황

각각의 수질항목에 대한 평균 농도는 BOD<sub>5</sub> 6,583.3mg/L, COD<sub>Mn</sub> 3,165.6mg/L, SS 4,150.0mg/L, T-N 2,691.9mg/L, T-P 121.8mg/L으로 나타났다. 자체순환 돈사에서도 슬러리 돈사와 스크래퍼 돈사에서의 수질분석자료와 같은 경향을 나타냈으며, 서귀포시가축분뇨공공처리시설에서 주기적으로 채수·분석하여 축적되어온 평균수질농도가 실제 현장에서 가축분뇨를 채수·분석한 평균농도에 비해 높게 나타남을 알 수 있었다.

## 5. 양돈분뇨 발생원단위 산정

### 가. 발생유량원단위

19개의 양돈농가를 중심으로 2008년 1월부터 2009년 4월까지의 발생유량과 사육두수를 이용하여 스크래퍼 돈사와 슬러리 돈사 그리고 자체순환 돈사에 대해서 발생유량원단위를 산정한 결과는 다음과 같다.

#### 1) 스크래퍼 돈사

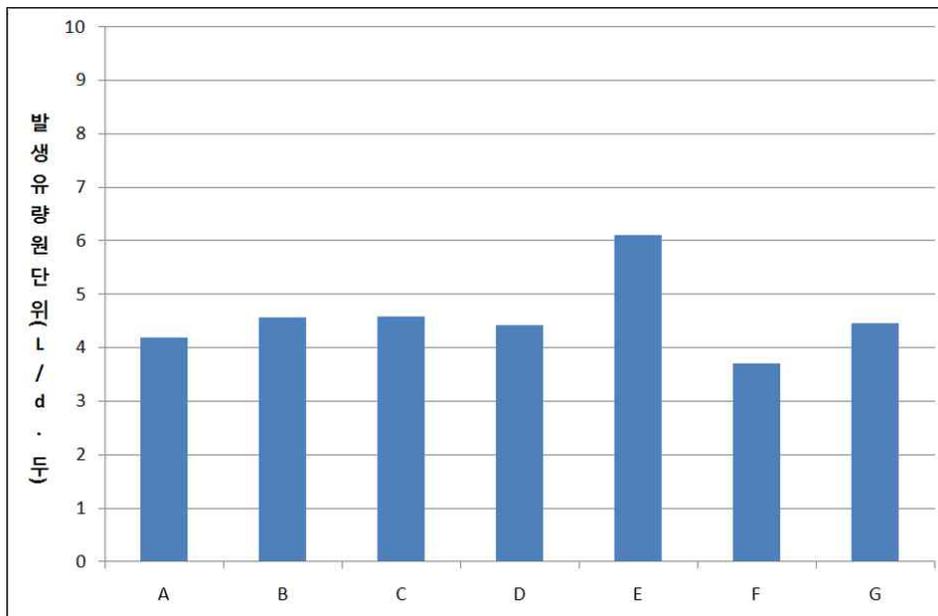


그림 37. 스크래퍼 돈사에서의 각각 발생유량원단위

조사대상 양돈농가 중 스크래퍼 돈사 7호에 대하여 2008년 1월부터 2009년 4월까지의 가축분뇨 발생유량을 살펴보면 7개 양돈농가에서 이 기간 동안 발생된 총 가축분뇨량은 약 28,320.2m<sup>3</sup> 정도이고, 한 달에 배출되는 평균 가축분뇨량은 약 1,770.0m<sup>3</sup>이며, 양돈농가 1호에 대한 월평균 발생량은 약 252.8m<sup>3</sup> 정도였다. 조사대상 양돈농가 중 스크래퍼 돈사에서의 총 사육두수는 약 13,450두수이며, 평균 사육두수는 약 1,921두 정도였다.

이러한 자료를 근거로 각각의 농가에 대한 발생유량원단위를 산출하였을 때 스크래퍼 돈사에서 최소 발생원단위는 약 3.70L/일/두이었으며, 최대 발생유량원단위는 6.10L/일/두로 나타났다. 이러한 결과로부터 각각의 스크래퍼 돈사 7호에 대한 평균 발생유량원단위를 산출하였을 때, 스크래퍼 돈사의 발생유량원단위는 4.57L/일/두로 나타났다.

## 2) 슬러리 돈사

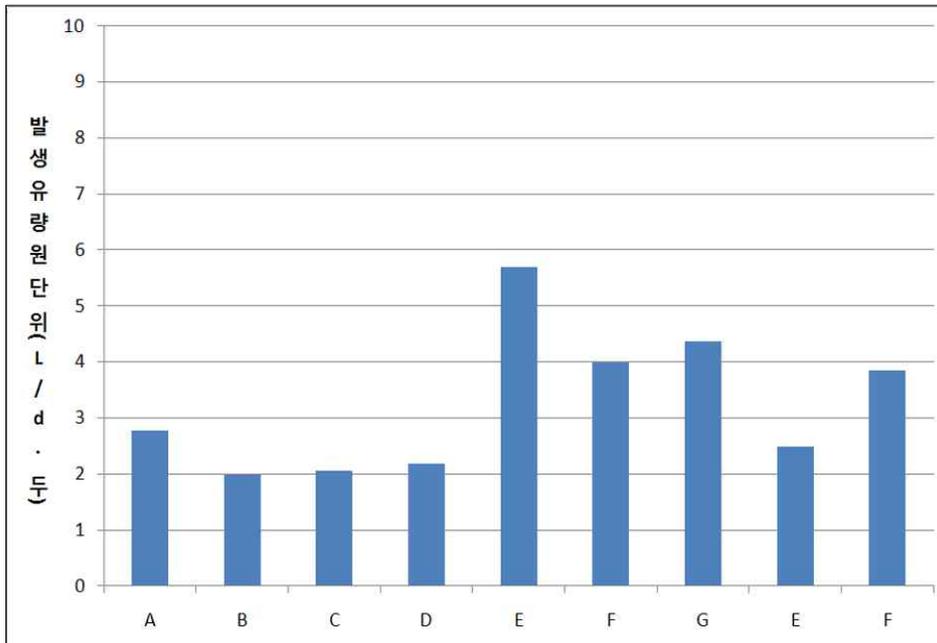


그림 38. 슬러리 돈사에서 각각 발생유량원단위

조사대상 양돈농가 중 슬러리 돈사 9호에 대하여 2008년 1월부터 2009년 4월까지의 가축분뇨 발생유량을 살펴보면 이 기간 동안 발생된 총 가축분뇨량은 약 27,970.9m<sup>3</sup> 정도이고, 한 달에 배출되는 평균 가축분뇨량은 약 1,750.7m<sup>3</sup>이며, 양돈농가 1호에 대한 월평균 발생량은 약 194.5m<sup>3</sup> 정도로 나타났다. 그리고 조사대상 양돈농가의 총 사육두수는 약 20,850두수이며, 슬러리 돈사에서 평균 사육두수는 약 2,316두 정도로 나타났다.

이러한 자료를 근거로 각각의 슬러리 돈사에 대한 발생유량원단위를 산출하였

을 때, 슬러리 돈사의 최소 발생유량원단위는 약 1.99L/일/두이었으며, 최대 발생유량원단위는 5.70L/일/두로써, 각각의 슬러리 돈사 9개에 대한 평균 발생유량원단위는 3.27L/일/두로 나타났다.

### 3) 자체순환 돈사

조사대상 양돈농가 중 자체순환 돈사 3호에 대하여 2008년 1월부터 2009년 4월까지의 가축분뇨 발생유량을 살펴보면 이 기간 동안 발생된 총 가축분뇨량은 약 7,163.6m<sup>3</sup> 정도이고, 3개 농가가 한 달에 배출되는 평균 가축분뇨량은 약 537.9m<sup>3</sup>이며, 양돈농가 1호에 대한 월평균 발생량은 약 179.3m<sup>3</sup>이었다. 그리고 조사대상 양돈농가 중 자체순환 돈사의 총 사육두수는 약 6,000두 평균이고, 자체순환 돈사로 사용하는 양돈농가의 평균 사육두수는 약 2,000두 정도로 나타났다.

표 7. 발생원단위 산정을 위한 연구사례

Factors	Faeces(L)	Urine(L)	Flushing water(L)	Total(L)
KAIST <sup>1)</sup> (1990)	3	3	-	6
JLIA <sup>2)</sup> (1989)	1.9	3.5	-	5.4
RDA <sup>3)</sup> (2000)	1.6	2.6	4.4	8.6

<sup>1)</sup>Korea advanced institute of science and technology

<sup>2)</sup>Japan livestock industry association

<sup>3)</sup>Rural development administration

이를 근거로 각각의 농가에 대한 발생유량원단위를 산출하였을 때 자체순환 돈사로 사육되는 양돈농가의 최소 발생유량원단위는 약 1.57L/일/두이었으며, 최대 발생유량원단위는 3.50L/일/두이었다. 각각의 자체순환 돈사 3개에 대한 평균 발생유량원단위는 2.57L/일/두로 나타났다.

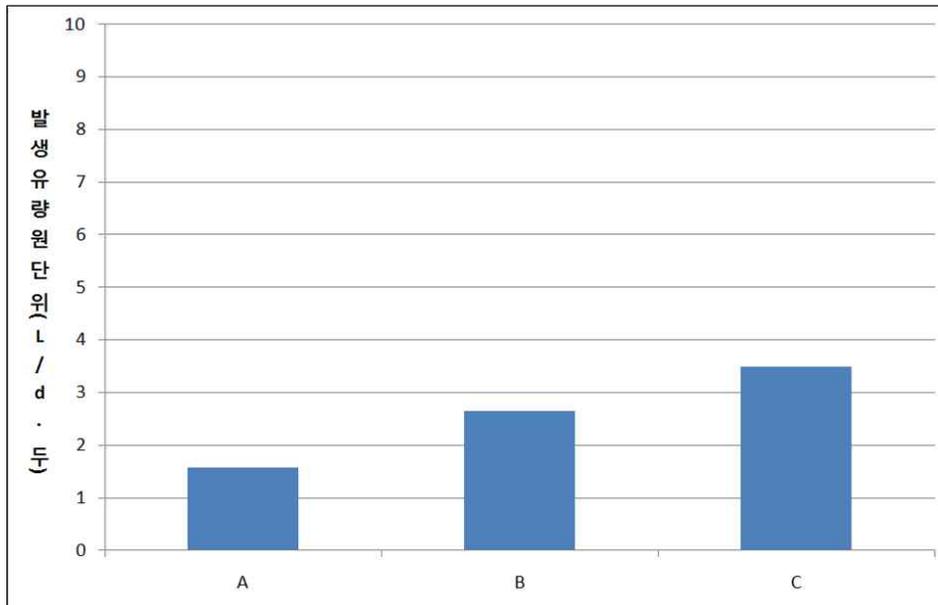


그림 39. 자체순환 돈사에서서의 각각 발생유량원단위

이와 유사한 연구사례를 살펴보면 돼지의 분뇨배설량에 관련된 기존연구 결과<sup>14),15),16)</sup>는 다음과 같으며 연구수행기관에 따라 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있었다. 연구사례를 살펴보면, 1990년에 KAIST에서 조사된 내용에서는 발생유량원단위가 6L/일/두로 나타났고, 일본가축분뇨협회에서 조사 발표된 내용에서는 5.4/일/두로 나타났으며, 지역발전기구(RDA)에서 발표된 발생유량원단위는 8.6L/일/두로 나타났다. 또한 팔당상수원 지역에서의 축산에 의한 수질오염 실태조사에서는 양돈농가 25농가의 1년간 돈분뇨 반입대장을 기초로 얻은 실태조사를 한 결과 3.75L/일/두를 적용한 사례도 있었다.<sup>17)</sup>

14) 한국과학기술원, 전국분뇨적정관리 대책연구, 1990.

15) 일본중앙축산회, 가축분뇨수의 처리이용 기술과 사례, 1989.

16) 농촌진흥청, 가축분뇨 자원화 및 이용기술 심포지움, pp. 21~50(2000)

17) 안희권, 최홍림, 정우철, 김기연, 김진길, 박일훈, 정영채, "팔당상수원 지역에서의 축산에 의한 수질오염 실태조사" 동물자원지, 43(4), pp. 569~586(2001)

## 나. 발생부하원단위

19개의 양돈농가를 중심으로 2008년 1월부터 2009년 4월까지의 수질분석이 이루어진 자료를 이용하여 사육형태에 따른 발생부하원단위를 산정하였다. 각각의 사육형태에 따라서 발생부하원단위도 상이한 결과를 보여주었으며, 스크래퍼 돈사와 슬러리 돈사 그리고 자체순환 돈사에서 각 발생부하원단위를 표 8에 나타내었다.

표 8. 사육형태별 발생부하원단위

(단위 : mg/L)

사육형태 \ 항목	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	SS	T-N	T-P
스크래퍼 돈사	37,796.3	25,853.0	39,843.8	28,390.5	890.1
슬러리 돈사	45,974.2	29,582.4	69,190.6	29,210.4	1,370.6
자체순환 돈사	32,953.9	21,698.4	46,816.5	19,464.3	979.2

표 8을 보면 사육형태에 따라서 발생부하원단위가 다르게 나타나고 있는데, 스크래퍼 돈사인 경우 BOD<sub>5</sub>가 37,796.3mg/L, COD<sub>Mn</sub>이 25,853.0mg/L, SS가 39,843.8 mg/L, T-N이 28,390.5mg/L, T-P가 890.1mg/L로 나타났으며, 자체순환 돈사인 경우 BOD<sub>5</sub>가 32,953.9mg/L, COD<sub>Mn</sub>이 21,698.4mg/L, SS가 46,816.5mg/L, T-N이 19,464.3 mg/L, T-P가 979.2mg/L로 비슷한 경향을 나타냈다. 그리고 슬러리돈사에서는 BOD<sub>5</sub>가 45,974.2mg/L, COD<sub>Mn</sub>이 29,582.4mg/L, SS가 69,190.6mg/L, T-N이 29,210.4 mg/L, T-P가 1,370.2mg/L로 다른 사육형태(스크래퍼 돈사, 자체순환 돈사)에 비해서 가장 높은 발생부하원단위로 나타났다.

## 6. 제주지역 양돈분뇨 발생량 산정

### 가. 발생 유량 산정

사육형태별 발생유량원단위를 각각 살펴보면 스크래퍼 돈사에서 돼지 한 마리가 하루에 발생시키는 양돈 분뇨량이 4.45L/일/두이었고, 슬러리 돈사에서의 발생유량원단위는 3.27L/일/두이었으며, 자체순환 돈사에서의 발생유량원단위가 2.57L/일/두이었다.



그림 40. 행정구역별 일일 가축분뇨 발생량(m³/일)

현재 사육형태별 분류가 어려운 상태이므로 위의 산출된 양돈분뇨 발생유량원단위를 전체 스크래퍼 돈사의 형태로 적용하였을 시 2007년을 기준으로 제주지역에서 하루에 발생하는 최대 양돈분뇨량은 1,943.7m³/일이었으며, 전체 양돈 사육 형태를 자체순환 돈사로 가정하였을 시 하루에 발생하는 최소 양돈분뇨량은 1,122.5m³/일로 나타났다. 제주시 지역에서 하루에 발생하는 총 양돈분뇨량은 최소 765.5m³/일에서 최대 1,325.6m³/일로 나타났으며, 서귀포시 지역에서 발생하는 총 양돈분뇨량은 최소 357.0m³/일에서 최대 618.1m³/일로 나타났다. 결국 제주지역내에 양돈분뇨를 처리할 수 있는 시설(정화 또는 퇴·액비화 시설)이 약 800m³

/일임을 감안하였을 때 322.5~1,143.7m<sup>3</sup>/일의 처리시설의 증설 또는 계획이 필요함을 알 수 있다.

## 나. 발생 부하량 산정

사육형태에 따른 양돈분뇨 발생부하원단위(2007년 기준)에 대해 산출된 값을 이용하여 각각에 대해서 제주지역 양돈분뇨 발생부하량을 산출하였다. 산출된 값을 보면 BOD<sub>5</sub>인 경우 14,393.3kg/일~20,080.2kg/일의 범위로 나타났으며, COD<sub>Mn</sub>인 경우 9,477.2m<sup>3</sup>/일~12,920.7kg/일로 나타났으며, SS와 T-N, T-P의 경우 각각 17,402.6m<sup>3</sup>/일~30,220.4m<sup>3</sup>/일, 8,501.4kg/일~12,758.3kg/일, 388.8kg/일~598.6kg/일로 나타났다.

표 9. 제주지역 발생부하량

(단위 kg/일)

사육형태 \ 항목	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	SS	T-N	T-P
스크래퍼 돈사	16,508.3	11,291.8	17,402.6	12,400.1	388.8
슬러리 돈사	20,080.2	12,920.7	30,220.4	12,758.3	598.6
자체순환 돈사	14,393.3	9,477.2	20,448.1	8,501.4	427.7

여기서 한강수계 오염 총량관리 계획 수립 지침<sup>18)</sup>의 축산분뇨 발생부하원단위와 비교하여 보면 실제 발생하는 부하량은 BOD<sub>5</sub>가 약 30.2~42.2% 정도로 낮게 나타났으며, T-N의 경우 70.3~105.5%, T-P의 경우 7.3%~11.2% 정도로 나타났다. 따라서 본 연구에 의하면 환경부 지침에 따라 처리시설을 설계할 시 처리용량을 실제 필요한 처리시설보다 과대하게 건설할 가능성이 있음을 보여주었으며, 또한 실제 측정된 수질자료에 의하면 제주지역의 양돈농가에서 발생하는 유기물함량(BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>)에 비하여 질소함량이 높게 나타남을 알 수 있었다. 질소성분이

18) 한강수계 오염총량관리계획 수립 지침(2009.1.22) 환경부 고시 2009-8호

유기물 함량에 비해 높다는 것은 다른 성분에 비해 암모니아 휘산이 상대적으로 많이 일어날 가능성이 높다는 것을 시사한다. 즉, 암모니아 휘산으로 인한 악취 문제가 발생할 수 있음을 예측할 수 있으며, 반대로 이러한 수질특성을 잘 이용하여 시설을 잘 구비한다면 현재 일본에서의 고품질 액비와 같이 고농도 질소 액비를 만들 수 있을 것으로 판단되며, 총인의 경우 환경부 지침에 따른 부하량에 비해 상당히 낮게 나타남을 알 수 있었다. 이러한 결과가 나타나는 이유로는 공 급사료 또는 사육방법 그리고 사육조건 등 여러 가지 원인이 있겠지만 어떠한 이유로 인해서 이러한 결과가 나왔는가에 대한 별도의 연구가 진행되어야 할 것이다.

표 10. 환경부 지침에 따른 제주지역 발생부하량

(단위 : kg/일)

항 목	BOD <sub>5</sub>	T-N	T-P
발생부하량	47,608.0	12,098.6	5,328.6

## 7. 일본 가축분뇨 관리정책

### 가. 구마모토지역 가축분뇨 관리대책

구마모토지역의 지하수 오염 risk로 가축분뇨 및 분뇨의 부적절 처리는 하나의 원인이라 할 수 있으며, 또한 가축에 있어서 질소발생에 원인이 되는 오염 risk양이 크기 때문에 처리에서는 국소적이나, 고농도의 지하수오염을 일으킬 가능성이 높다고 말한다.

그렇지만 적절한 처리에 의해 오염 risk양을 최소한으로 억제하는 것이 가능함과 동시에 가축분뇨는 이하의 특징을 갖는다.

- ① 가축분뇨는 적절한 처리에 의해 퇴구비(堆廐肥) 및 액비로서 이용 가능
- ② 퇴구비 및 액비로서 이용은 자원의 유효활용 관점에서 중요
- ③ 환경에 부하가 적은 환경보전형 농업 추진에 공헌

이러한 점들을 고려하여 가축분뇨에 대한 대책을 수립할 때 이하에 열거하는 기본방침을 근거로 대책을 실시한다.

#### ※ 가축분뇨 대책에 관한 기본방침

1999년 7월 공포 「가축분뇨의 관리 적정화 및 이용 촉진에 관한 법률」에 근거해, 자원으로써 유효이용을 기본으로 축산으로부터 오염 risk양의 저감에 대한 대책을 실시한다.

또 대책에 있어서는 「질소유통 대책」과 연계함으로써 가축분뇨의 적절한 처리와 경종농가와의 협동에 의한 유효이용 촉진을 도모한다.

#### 1) 가축분뇨 처리의 적정화

「가축분뇨의 관리 적정화 및 이용의 촉진에 관한 법률」을 준수하고, 적절한 관리 및 처리가 이루어지도록 지도를 실시한다.

#### 2) 가축분뇨 처리시설 정비 등 추진

비료나 토양개량 자재 등 자원으로써 유효이용을 도모하는 관점에서 퇴비처리

를 기본으로 한 처리시설 정비를 추진한다.

### 3) 가축분뇨의 유효이용 촉진

가축분뇨 및 퇴구비의 경종농업에서 유기물 자원으로서 유효이용을 도모한다. 이를 위해서는 경종농가와의 연대를 가짐과 동시에 운반하기 쉬운 형태로 처리함과 아울러 양질의 퇴구비(완숙 퇴비)의 생산 등과 같이 「질소유통 대책」과 연계할 수 있는 대책을 추진한다.

### 4) 축산경영자의 의식 고양

축산경영자 스스로의 책임에 의한 환경보전을 배려한 가축분뇨 등의 적정처리 및 보관, 운반을 도모하기 위해 가축분뇨의 적절한 관리 및 이용촉진을 갖는 의의에 대해서 축산경영자에게 보급·계몽에 노력한다.

#### ※ 참고

##### 가축분뇨의 관리 적정화 및 이용 촉진에 관한 법률

(1999년 7월 28일 법률 제112호)

제3조 농림수산대신은 농림수산성령으로 퇴비사 그 외의 가축분뇨의 처리 또는 보관용으로 제공하는 시설의 구조 설비 및 가축분뇨의 관리 방법에 관해 축산업을 영위하는 자가 준수해야 할 기준(이하 「관리기준」이라고 한다.)을 정하지 않으면 안된다.

2. 축산업을 영위하는 자는 관리기준에 따라 가축분뇨를 관리해야 한다.

##### 가축분뇨의 관리 적정화 및 이용 촉진에 관한 법률시행규칙

(1999년 10월 29일 농림수산성령 제74호)

제1조 가축분뇨의 관리 적정화 및 이용 촉진에 관한 법률 제3조 제1항의 관리기준은 다음과 같다.

- 퇴비사 그 외의 가축분뇨의 처리 또는 보관용으로 제공하는 시설(이하 「관리시설」이라고 한다.)의 구조설비에 관한 기준

가. 고형상(固形狀)의 가축분뇨 관리시설은 바닥(마루)을 불침투성 재료(콘크리트 등 오수가 침투하지 않는 것을 말한다. 이하 같다.)로 축조해, 적당히 가리고 측벽을 설치할 것.

나. 액상의 가축분뇨의 관리시설은 불침투성 재료로 축조한 저류조로 할 것.

## 나. 구마모토시 가축분뇨 관리대책

가축으로부터 질소 발생에 기인하는 오염 risk양은 크지만 적절한 처리에 의해서 오염 risk양을 최소한으로 억제하는 것이 가능하다.

가축분뇨 대책에 있어서는 자원으로써 유효이용을 기본으로 축산으로부터 오염 risk양의 저감에 대한 대책을 실시하는 것과 함께 「질소유통 대책」과 연계하여 가축분뇨의 적절한 처리와 경종(耕種) 농가와의 협동에 의한 유효이용의 추진을 도모하는 것을 기본으로 한다.

### 1) 현 황

#### 가) 가축 사육 현황 및 사료 작물 부작현황

표 11. 축산농가 호수

(단위 : 호)

地區名	중앙	동부	아키타(飽田)·텐메이(天明)	북부	계
乳用牛(젖소)	4	55	2	8	69
肉用牛	7	19	1	5	32
豚(돼지)	6	4	1	2	12
馬(말)	4	13		1	18
鷄(採卵, 닭)	4		4	1	9
합계	25	91	7	17	140

현상 수치 : 2005년도 축산통계, 肉用牛 ; 특별히 고기를 얻기 위하여 기르는 소.

구마모토시의 축산업은 약 35억엔의 산출액을 자랑하는 구마모토시의 농업의 근간으로 구마모토시 동부지구를 중심으로 경영되고 있다. 축종은 낙농, 육용우(肉用牛), 양돈, 농용마(農用馬), 양계 등 다방면에 걸쳐 있고, 그 중에서도 낙농이 가장 번성하여 축산 전체의 산출액의 약 6할을 점하고 있다. 또 자급 사료의 생산은 약 600ha 정도 재배되고 있고, 동부 경작지대 주요 작물이 되고 있다. 향후

축산농가의 고령화나 후계자 부족, 도시화의 진전 등에 의한 농가호수의 감소는 피할 수 없지만 한 가구 당 사육두수의 증가나 축사의 이전, 시설의 근대화 등에 의해 사육두수는 현재의 상황을 유지해 갈 것이라고 생각된다.

표 12. 가축사육 두우(頭羽) 수 및 사료작물 작부상황

(단위 : 두(頭), 천우(千羽), ha)

지 구 명		중앙	동부	飽田・天明	북부	계
乳 用 牛	경산우(經産牛)	17	2,273	49	199	2,538
	육성우(育成牛)	7	1,275	16	88	1,386
	계	24	3,548	65	287	3,924
肉 用 牛	번식우(繁殖牛)		263		34	299
	비육우(肥育牛)	1	371	2	108	480
	계	1	634	2	142	779
돼 지 (豚)	모돈(母豚)	69	25	56	184	334
	육돈(肉豚)	470	2,350	450	1,500	4,770
	계	539	2,375	506	1,684	5,104
마 (馬)	번식마(繁殖馬)	16	27			43
	육마(肉馬)		443		26	469
	계	16	470		26	512
鷄(採卵)		1,080		46,500	18,000	65,580
사료작물(飼料作物)		3.2	535.4	22.4	38.4	598.4

현상 수치 : 2005년도 축산통계

경산우(經産牛) : 송아지 생산용 암소, 비육우(肥肉牛) : 살이 찌도록 기르는 소

#### 나) 가축분뇨의 처리현황

가축분뇨의 처리는 육용우(肉用牛)·농용마(農用馬)·양돈·양계 부문에서는 주로 퇴비화하고 경종농가에 개별적으로 공급되고, 야채나 수도(水稻) 재배 등에 농지 환원이 진행하고 있다. 특히, 육용우 및 농용마 부문에서는 도작(稻作) 농가와 연대에 의한 퇴구비(堆きゅう肥)와 벼짚의 교환이 이루어지고 있다. 한편, 낙농부 문은 일부에서 경종농가로 공급이 이루어지고 있지만 대부분 자급사료 생산농지 로 환원이 이루어지고 있다.

표 13. 가축분뇨의 발생현황

(단위 : t)

지 구 명		중앙	동부	飽田・天明	북부	계
乳 用 牛	분(糞)	328	46,019	917	3,875	51,139
	요(尿)	51	9,308	117	642	10,118
	계	379	55,327	1,034	4,417	61,257
肉 用 牛	분(糞)	7	4,331	15	950	5,308
	요(尿)	2	1,522	5	341	1,870
	계	9	5,853	20	1,291	7,172
돼 지 (豚)	분(糞)	445	1,840	414	1,376	4,075
	요(尿)	830	3,331	769	2,556	7,486
	계	1,275	5,171	1,183	3,932	11,561
마 (馬)	분(糞)	134	3,948		218	4,300
	요(尿)	29	846		47	922
	계	163	4,794		265	5,222
鷄(採卵)		54		2,306	893	3,253

다) 환경보전형 농업 대책 현황

축산부문에 의한 환경보전형 농업 대책은 「가축분뇨의 관리 적정화 및 이용 촉진에 관한 법률」에 근거해 퇴구비사(堆きゅう肥舎) 등 정비에 의한 적정관리나 사료작물 생산농지로 적정 환원, 경종농가로 퇴구비 공급 등에 의한 이용 촉진을 진행하고 있다. 그 중에서도 축산농가와 경종농가에 구성되어 있는 북부 지구의 「니시사토토레타테시 퇴비생산조합(西里とれたて市堆肥生産組合)」은 양질 퇴구비의 생산과 원예작물의 이용에 의한 경축(耕畜) 연대의 모델 사례가 되고 있다. 또 구마모토시 농협낙농부회에서는 「양질 퇴비 생산 프로젝트」를 계획하고, 양질 퇴구비 생산 실증 전시시험이나 강습회, 경종농가와 의견 교환회 등을 개최하는 등 환경부하 저감과 축산농가의 의식 계몽에 노력하고 있다.

낙농부문의 자연 유하식 축사<sup>19</sup>에서 배출되는 슬러리(slurry)<sup>20</sup> 대책으로는 구마모토 현이나 농협, 생산자부회와 연대해서 질소함유농도나 취기(臭氣) 저감기술에 대해서 조사연구를 진행하고 있다.

## 2) 향후 대처 내용

향후 대책 마련에 있어서 중장기적으로 대책을 마련하고, 종합적이고 계획적으로 실시해 나갈 필요가 있다. 각각의 목표를 세워 그 달성을 향한 각종 대책을 계획하고 그와 함께 실행 내용을 수시 확인해 나간다.

### 가) 가축분뇨 처리 적정화 및 처리시설 정비 등의 추진

「가축분뇨 관리의 적정화 및 이용 촉진에 관한 법률」에 근거해 자원으로써 이용을 도모하는 관점에서 퇴비화를 기본으로 적정 관리, 처리 및 유통을 하도록 조언, 지도를 실시한다. 게다가 야적(野積)이나 소굴(素堀)에 대해서는 적절한 지도가 이루어지도록 조치가 이루어지고 있지만, 여전히 적정 처리가 이루어지지 않을 경우에는 구마모토현, 농업단체와 연대해서 신속한 개선지도를 실시한다. 또한, 현재 구시대 방식에 의한 관리를 하고 있는 가축농가에 대해서는 보다 양호한 현대화 시설이나 공동처리 시설 정비를 추진한다.

표 14. 간역 퇴구비사(堆きゅう肥舎) 수

(단위 : 개소)

현황(2005)	목표(2009)	감소수 A-B (内 퇴구비사 개선 수)
21	15	6(3)

현상 수치 : 구마모토시 생산유통과 조사

19) 자연 유하식 축사 : 분뇨를 혼합 숙성시켜 토양환원을 시행하는 것을 전제로 한 분뇨저류시설을 갖춘 축사로 배설된 분뇨는 스노코를 통해 직접 분뇨구(糞尿溝)에 낙하하고, 저류조에 유입한 후 부숙(腐熟 ; 썩혀서 익힘), 액화한다.

20) 슬러리(slurry) : 액체 중에 세립질 고체 입자를 안정적인 상태에서 혼합해 농후하게 현탁(懸濁)한 것, 가축분뇨 유래의 슬러리에서는 분뇨 혼합물 외 외부로부터 물, 사료잔재, 짚이나 이물질도 포함되어 있다. 액상구비(液狀厩肥)

표 15. 슬러리 질소농도 및 취기저감 기술 도입 축사 수

(단위 : 개소)

현황(2005)	목표(2009)	감소수 A-B
0	8	13

현상 수치 : 구마모토시 생산유통과 조사

또한 자연유하식 축사에서 배출되는 슬러리 처리 대책으로서는 사료생산 포장(圃場)에 적정 환원을 기본으로 하면서 프리반(freebarn)·freestall(프리스톨)<sup>21)</sup> 등 축사의 현대화를 진행해 나가는 것과 동시에 슬러리 중 질소함유농도나 취기저감 기술의 도입을 도모한다.

#### 나) 가축분뇨의 이용 촉진

가축분뇨 이용에 대해서는 축산농가 스스로가 생산하는 자급조사료(自給粗飼料; 건초나 짚처럼 지방, 단백질, 전분 따위의 함유량이 적고 섬유질이 많은 사료)의 생산자재로서 사료생산 농지로 적정이용을 원칙으로 토지이용률 향상이나 contractor<sup>22)</sup> 등의 도입에 의한 자급사료 생산을 보다 한층 추진하고 퇴구비 이용 증감을 도모한다. 게다가 잉여에 산출되는 퇴구비에 대해서 양질 퇴구비의 생산을 진행하고 경종부문에 공급 등 「질소유통 대책」과 연대할 수 있는 대책을 추진한다.

21) freebarn·freestall : 프리반은 소를 가두지 않고 자유방사식으로 사육하는 우사(牛舎)로 소를 일관 군(群) 관리적으로 먹이를 주거나 분뇨처리 등이 용이(容易)하고, 소의 건강에 좋은 영향이 있는 등 효과가 있다. 프리스톨은 우사 중에 자유롭게 출입할 수 있는 개별 마구간(牛床)을 마련한 것이다.

22) Contractor : 작업수탁 조직으로 축산분야에서는 자급 사료 생산의 작업청부가 주가 되고 있다.

표 16. 자급 사료 작물의 작부면적

(총 면적 단위 : ha)

사료작물		현황(2005)	목표(2009)
하작(夏作)	설탕(Sorgo)	47.0	60
	옥수수	291.9	320
	기타	63.0	70
	계	401.9	450
동작(冬作)	이탈리안 라이그라스	197.5	220
계		599.4	670

현상 수치 : 2005년도 축산통계

표 17. 퇴구비(堆きゅう肥)의 공급 비율

(단위 : t, %)

	현황(2005)	목표(2009)
퇴구비 생산량(t)	22,740	26,000
퇴구비 유통량(t)	10,350	14,300
퇴구비 유통비율(%)	45.5	55.0

현상 수치 : 구마모토시 생산유통과 조사

#### 다) 축산경영자의 의식 고양

축산농가 스스로 책임에 의한 환경보전을 위한 가축분뇨 적정처리 및 관리를 도모하기 위해 가축분뇨의 적절한 관리 및 이용 촉진이 갖는 의의에 대해서 생산자 조직 활동을 통해서 축산농가에 보급·계몽하는데 노력한다.

#### 라) 배수처리시설에서 수질 검사

축산농가로부터 배수에 대해서는 시설 규모에 따라 배수기준이 적용된다는 등의 내용을 계몽해 나간다. 배수기준이 적용되는 경우에는 축산농가가 스스로 수질 측정을 실시해야 한다는 것 등을 병행해 계몽해 나간다. 또 환경부국 직원의 출입에 의한 지도도 실시하고 필요에 따라서 배출수의 수질검사를 실시한다.

## 8. 제주지역 양돈분뇨 적정 관리방안

일본 구마모토지역 또는 구마모토시의 경우 가축분뇨를 지하수 오염 원인의 하나로써 규정하고, 가축분뇨의 부적절 관리 또는 처리로 인한 오염risk를 최소화하기 위해 환경에 부하가 적은 환경보전형 농업으로써 가축분뇨를 자원의 유효활용의 관점에서 퇴비화 및 액비로서 이용하는 것을 기본방침으로 하고 있다. 그러한 방법으로 크게 4가지로 나눌 수 있는데, 첫째는 가축분뇨의 적정처리, 둘째는 가축분뇨의 처리시설 정비, 셋째는 가축분뇨의 유효이용 촉진, 넷째는 축산경영자의 의식 고양으로 나눌 수 있다.

따라서 본 절에서는 제주지역에서의 양돈분뇨를 적정 관리하기 위한 방안으로 크게 세 가지로 나누어 제안하였다. 우선적으로 양돈시설에서의 적정관리방안으로, 여기서 말하는 양돈시설이란 돈사시설을 가르키는 것으로서 어떠한 시설로 전환이 필요한지를 문헌 등의 검토를 통해 제시하였다. 다음으로 가축분뇨를 적정 처리하는 방안으로 정화처리를 함에 있어서의 문제점과 퇴·액비로 제조함에 있어서 문제점 그리고 퇴·액비의 적정 제조방안을 제시하였다. 세 번째로 제조된 퇴·액비의 적정 시비에 대한 내용을 문헌고찰을 통하여 제시하였다.

### 가. 양돈시설에서의 적정 관리방안

위의 조사에 의한 발생부하원단위 산정시 질소함량이 유기물함량(BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>)에 비하여 상대적으로 높게 함유되어 있음을 확인할 수 있었으며 이로 인한 문제점으로 양돈분뇨 관리에 있어 악취에 대한 문제점을 야기시킬 수 있을 것이다.

악취물질 발생원은 주로 돈사와 시설물, 분뇨 저장시설 및 처리시설, 분뇨의 토양환원과정으로 구분, 각각의 발생원마다 서로 다른 종류의 유기성 화합물들이 혼합된 상태로 방출<sup>23)24)</sup>된다.

23) Power, W. J. 1999. Odour control for livestock system. J. Anim. Sci. 77(Suppl.2) : 169~176

24) Edeogu, I., Feddes, J., Colemann, R. and Leonard, J. 2001. Odour emission rates from manure treatment/storage systems. Wat. Sci. Technol. 44(9) : 269~275

일반적으로 악취물질발생에 있어서, 가축에게 급여되는 사료나 가축 자체에서 발생하는 냄새는 그다지 불쾌하지 않지만 분뇨의 수거, 저장 및 처리과정에서 미생물에 의한 불완전 혐기분해의 산물로 생성된 물질들이 강한 취기를 유발시키는 것으로 간주되고 있으며, 이와 관련된 악취성분의 발생기작과 생화학적 특성에 관한 연구들도 보고되고 있다<sup>25)26)</sup>.

Mackic 등(1998)은 분뇨 유래 악취와 특정 미생물 속(genus)의 작용에 관한 연구에서 혐기성 조건의 분뇨에서 발생하는 악취물질을 휘발성 지방산(VFA), 인돌(indoles)과 페놀류(phenols), 암모니아와 휘발성 아민(amines) 및 휘발성 황화합물(sulfur-containing compounds)로 분류하였으며<sup>27)</sup>, Miner(1997)는 가축분뇨의 분해 과정에서 대략 47개의 악취물질들이 대기 중으로 휘산되며 아민류, 메르캡탄(mercaptans), 유기산(organic acids) 및 이성질체 방향족 질소화합물(heterocyclic nitrogen compounds)이 악취와 높은 상관성을 보인다고 하였다<sup>28)</sup>.

가스상 오염물질들은 돼지들에 의해 배설된 분뇨가 피트(pit)내에서 저장되어 혐기성 미생물에 의해 분해되는 경우가 주요 발생 과정이며, 돼지의 호흡 및 환기시스템의 작동시에도 발생된다<sup>29)</sup>.

이러한 가스상 오염물질 중에서 암모니아(NH<sub>3</sub>)와 황화수소(H<sub>2</sub>S)는 돈사 작업장 내 악취 발생의 주요 원인 물질<sup>30)31)32)</sup>이며, 이에 반해 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)와 메탄

- 
- 25) Zhu, J. 2000. A review of microbiology in swine manure odour control. *Agric. Ecosystems and Environ.* 78 : 93~106
  - 26) Rappert, S. and Muller, R. 2005. Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Manage.* 25 : 887~907
  - 27) Mackie, R. I., Stroot, P. G. and Varel, V. h. 1998. Biochemical identification and biological origin of key odour components in livestock waste. *J. Anim. Sci.* 76 : 1331~1342
  - 28) Miner, J. R. 1977. Characterization of odors and other volatile emissions. *Agric. Environ.* 3 (2~3) : 129~137
  - 29) Chang CW, Chung H, Huang CF, Su, HJJ. "Exposure assessment to airborne endotoxin, dust, ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide in open style swine houses", *Ann Occup Hyg*, 45(6), pp. 457~465(2001)
  - 30) Nordstmm GA, McQuitty JB, "Manure Gases in the Animal Environment", Department of Agricultural and Engineering, University of Alberta. 1976.
  - 31) Hartung J, buildings and manure stores, *J Agric Eng Res*, 57, pp. 173~189(194)
  - 32) Heber AJ, Duggirala RK, Ni JQ, Spence ML, Haymore BL, Adamchuck VI, Bundy DS, Sutton AL, Kelly DT, Keener KM. Manure treatment to reduce gas emissions from large swine houses. In *Proceedings on International Symposium on Ammonia and Odour control from Animal Production Facilities*, 2, eds. Voermans JAM, Monteny G. p. 449~457. The Netherlands : Dutch Society of Agricultural Engineering (NVTL). 1997.

(CH<sub>4</sub>), 그리고 아산화질소(N<sub>2</sub>O)의 발생량은 상대적으로 경미한 것으로 보고되고 있다<sup>33)34)</sup>.

암모니아와 황화수소 평균 농도 및 범위-돈사 형태 및 환기방식별<sup>35)</sup>에 따른 김등(2006)의 조사에 의하면 돈사 형태에 관계없이 돈사 작업장 내부의 암모니아 평균 농도는 7.5 ppm, 범위는 0.8~21.4 ppm으로 조사되었으며, 슬러리 돈사, 자연 환기방식의 작업장의 암모니아 평균 농도와 범위는 6.9 ppm과 2.1~10.2 ppm, 슬러리 돈사, 강제환기 방식의 작업장의 경우 12.1 ppm과 7.3~21.4 ppm, 스크래퍼 방식, 자연환기 방식의 경우 평균 5.1 ppm과 3.1~9.5 ppm, 스크래퍼 방식, 강제환기 방식의 경우 11.4 ppm, 8.1~15.2 ppm, 톱밥, 자연환기 방식의 작업장은 평균 2.2 ppm, 0.8~5.1 ppm 범위로 나타났다.

환기 방식 측면에서는 강제환기가 적용되는 돈사 작업장의 암모니아 농도가 자연환기가 적용되는 돈사 작업장보다 높은 것으로 나타났으며, 분뇨처리형태 측면에서는 톱밥 돈사 작업장이 다른 돈사 작업장에 비해 상대적으로 낮은 것으로 나타났다.

황화수소의 경우 돈사 작업장 유형에 관계없이 평균 농도는 286.5 ppb, 45.8~1,235 ppb의 범위를 보였으며, 슬러리 돈사, 자연환기 방식의 작업장은 296.3 ppb, 74.2~672.4 ppb, 슬러리 돈사, 강제환기 방식의 작업장은 612.8 ppb와 121.6~1,235 ppb, 스크래퍼, 자연환기 방식의 경우 115.2 ppb와 46.8~313.1 ppb, 스크래퍼, 강제환기 방식의 경우 270.3 ppb와 86.9~912.5 ppb, 톱밥 돈사, 자연환기 방식의 경우 평균 137.8 ppb, 45.8~289.2 ppb로 나타났다.

조사대상 돈사 작업장 내부의 암모니아와 황화수소 농도 모두 분뇨처리시스템의 경우 슬러리>스크래퍼>톱밥돈사 순이었으며, 환기방식의 경우 자연환기보다 강제환기 적용시 높은 값을 보였다.

따라서 위의 연구에 의하면 돈사내부의 악취강도를 낮추기 위해서는 환기방식

---

33) Verstegen MWA, Vanderhel W, Jongebreur AA, Enneman G, "The influence of ammonia and humidity on activity and energy balance date in groups of pigs", Zeitschrift fur Tierphysiologie, Tierernahrung und Futtermittelkunde, 37, pp 225~263(1976)

34) Noblet J, Fortune H, Dubois S, Henry V, "Nouvelles bases d'estimation des teneur en energie digestible metabolisable et nette des aliments pourleporc". INRA, Paris, pp. 1~106(1989)

35) 김기연, 박재범, 김치년, 이경중, "돈사 작업장 유형에 따른 암모니아와 실내농도 및 발생량에 관한 현장 조사", 16(1), pp36-43(2006)

으로는 강제환기에 비해서 자연환기방식이 악취강도가 낮기 때문에 가능한 자연 환기 방식을 채택하여야 할 것으로 판단하기 쉬우나 대부분의 강제환기방식이 적용되는 돈사작업장인 경우 돈사작업장의 환기용량에 미달되는 용량으로 팬이 설치되어 있어 있기 때문에 이러한 결과가 도출될 가능성이 높다고 판단된다. 또한 돈사 내부에서 발생하는 악취물질을 처리하기 위해서는 자연환기보다는 강제환기 방식이 그리고 강제환기방식을 위한 무창돈사로의 전환이 필요하다. 그러기 위해서는 우선적으로 강제환기를 하기 위한 용량산정에 대한 연구가 이루어져야 하며 그에 따른 예산의 뒷받침이 필요할 것으로 판단된다. 또한 돈사 형태로는 톱밥돈사로 운영함이 바람직할 것이나 경제적인 측면(톱밥 구입단가 등)을 고려하여 스크래퍼 돈사로의 전환이 필요할 것으로 판단된다.

또한 앞의 절에서 언급한 내용 중 자체순환 돈사의 경우 슬러리 돈사에서 이루어지는 형태인데 스크래퍼의 전환이 어려운 경우 자체적으로 일부 가축분뇨를 처리하여 정화된 처리수를 돈사로 순환시키는 경우 악취강도가 낮아짐<sup>36)</sup>을 알 수 있었으므로 슬러리 돈사인 경우 순환 형태의 돈사 운영으로의 전환도 고려되어야 할 것이며 돈사 내의 슬러리의 체류시간을 줄이기 위한 방안을 마련하여야 할 것이다.

## 나. 처리시설에서의 적정 관리방안

축산농가에서 발생하는 대량의 가축분뇨 적정처리와 악취문제에 대한 방지대책은 지속적인 축산을 영위하기 위한 필수적인 선결과제가 된다<sup>37)</sup>.

축산에서 발생할 수 있는 악취관련 민원 중 가장 큰 비중을 차지하는 부분은 분뇨를 농경지에 환원할 때 발생할 수 있으며<sup>38)39)40)</sup> 축사나 분뇨 저류조에서 발

36) 맞춤형 환경기술지원 보고서, 환경관리공단, 제주특별자치도 환경자원연구원, 제주지역환경기술개발센터, 2008.

37) 고한중, 최홍립, 김기연, 이용기, 김치년, “액상 가축분뇨의 처리 및 토양환원에 따른 악취 및 악취물질의 평가, 한국동물자원과학회지, 48(3), pp. 453~466(2006)

38) Hardwick, D. C. 1985. Agricultural problems related to odor prevention and control. pp. 21~26. In Odor Prevention and Control of Organic Sludge and Livestock Farming. Edited by V. C. Nilsen, J. H. Voorburg, and P. L'hermite. Elsevier Applied Science Publishers, New York.

39) Pain, B. F. 1995. Odors from application of livestock wastes to land. In New Knowledge in Livestock Odor, Proceedings of International Livestock Odor Conference, Ames, Iowa. pp. 125~126

40) Jacobson, L., Schmidt, D., Nicolai, R. and Bicudo, J. 1998. Odor control for animal agriculture. BAEU-17. Minnesota State Univ. Ext. Serv., MN.

생되는 저농도의 악취와 달리 고농도의 악취가 단시간에 방출되기 때문에 이에 대한 효과적인 저감 대책을 실행하지 못한다면 악취 민원으로 인한 가축분뇨의 농업적 재활용이 어려울 수밖에 없다<sup>41)</sup>.

한편, 가축분뇨를 유기질 자원으로 이용하기 위한 친환경농업육성법 공포와 유기농, 축산 발전 등의 활발한 움직임과 현장에서의 연계체계 필요성에 의해 2002년 비료관리법에서 가축분뇨비료(액)의 규격을 신설하였는데<sup>42)</sup>, 분뇨의 성상에 따라 퇴비화 및 액비화로 나눌 수 있고, 고형물 처리 중에는 퇴비화가 매립이나 소각방법보다 유기물의 재활용과 환경보존 측면에서 매우 유용한 방법 중 하나<sup>43)</sup>이다. 퇴비의 사용에 있어서 나라별 실정에 따라 일정기준을 적용<sup>44)</sup>하고 있으며, 우리나라는 비료관리법에 축분퇴비를 부산물 비료로 규정하여 유효성분과 중금속 같은 유해성분에 대한 법적기준을 제시<sup>45)</sup>하고 있으나 아직도 가축분뇨의 처리와 부산물 비료로의 사용에 있어서 많은 문제점과 민원을 발생시키고 있다.

따라서 제주지역에서 발생하고 있는 양돈분뇨에 대한 처리방법의 문제점과 이를 개선하기 위한 관리방법을 아래와 같이 제시하였다.

## 1) 정화처리의 문제점 및 개선 대책

가축분뇨를 정화처리함에 있어서 호기발효가 시간적으로나 공간적으로 유리한 장점을 가지고 있으며, 대부분의 정화처리시설에서는 호기발효의 공정에 의해서 이루어진다. 그러나 이러한 공정을 위해서는 브로워를 통한 강제 공기 공급이라는 에너지의 소비와 더불어 공기공급에 따른 암모니아 가스의 휘산은 비료로서 유용한 질소성분이 감소해버리는 동시에 주변 지역에 악취민원의 원인도 된다. 더욱이 이번 조사를 통해서, 질소성분이 일반 환경부 지침에서 제시하는 유기물 성분과 질소성분에 대한 비(ratio)에 비해서 상대적으로 높게 나타남에 따라, 배출

---

41) 고한중, 최홍립, 김기연, 이용기, 김치년, “액상 가축분뇨의 처리 및 토양환원에 따른 악취 및 악취물질의 평가, 한국동물자원과학회지, 48(3), pp. 453~466(2006)

42) 농촌진흥청, 농진청 고시 제2005-26호, 2006.

43) He, X, Traina, S. J. and Logan, T. J. 1992. Chemical properties of municipal solid waste composts. J. Environ. Qual. 21 : 318~329

44) 고한중, 최홍립, 김기연, “이축분종 퇴비에서의 중금속 화학종분화”, 동물자원지, 46(2), pp.273~

45) 농촌진흥청, 비료관리법령, 2002.

수허용기준을 달성하기 위해서는 추가적인 유기탄소원을 필요로 하고 이를 유기탄소원을 소비함으로써 경제적 측면이나 자원적 측면에서 이중적인 손해를 발생시킨다. 또한 많은 예산을 투자하여 정화된 배출수는 현재 제주의 경우 자원으로 이용되지 않는다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 현재 이루어지고 있는 정화처리에서 농지에 유효한 성분인 질소성분을 농축하고 액비기준을 만족할 수 있는 기술을 도입하여 유효자원인 가축분뇨를 활용할 수 있는 방안을 모색해야 할 것이다. 그러기 위해서는 우선적으로 현재 정화처리하고 있는 공공처리장에 대해서는 액비생산시설이 이루어져야 한다.

둘째로는 앞에서도 언급하였듯이 유효성분인 질소를 대기 중으로 휘산시키지 않는 시설이 필요할 것이다. 이러한 예로 그림 41과 그림 42와 같은 예를 들 수 있다.

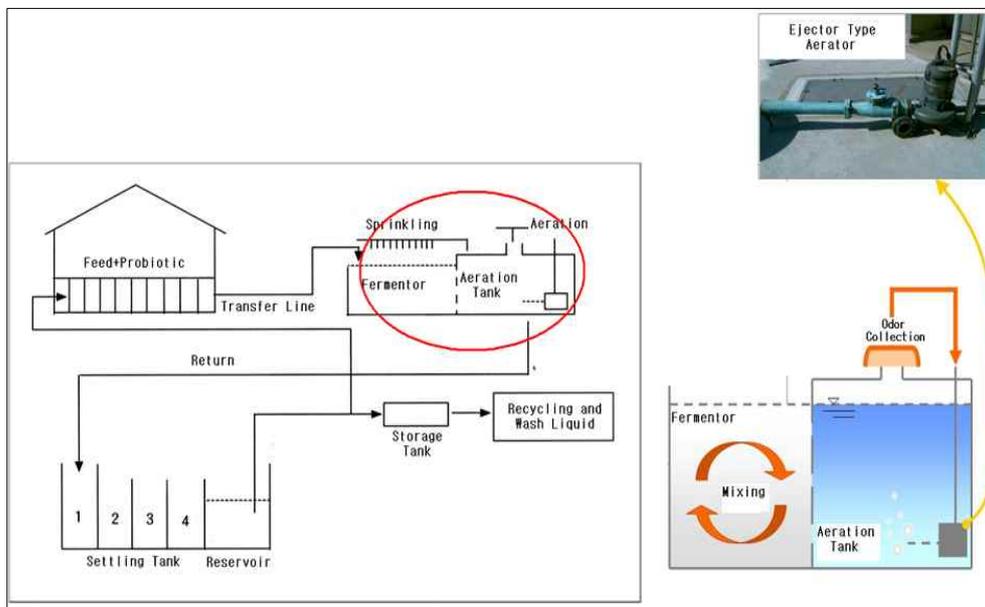


그림 41. 휘산되는 가스상 물질 회수 예(출처 : 제주지역환경기술개발센터)

그림 41에서 보면 가스상 악취물질이 발생하는 혐기 발효조의 소포시설을 차단하고 내부순환에 의한 슬러지의 교반에 의해 혐기성 반응의 효율을 증대시키고, 아울러 상부에 scum층을 생성시켜 발생하는 악취성 가스의 휘산을 최대한 차단시킴으로써 악취물질의 휘산을 방지함과 동시에 발효조의 효율을 개선할

수 있으며, 또한 가장 심한 악취부하의 발생 지점인 폭기조 상부의 배기가스를 포집하여 이를 다시 이젝터형(ejector type) 폭기장치의 공기유입구로 흡입시켜 폭기조로 순환시킴으로써 폭기조를 활성오니 탈취장치로 활용하는 탈취방식을 예로 들 수 있다<sup>46)</sup>.

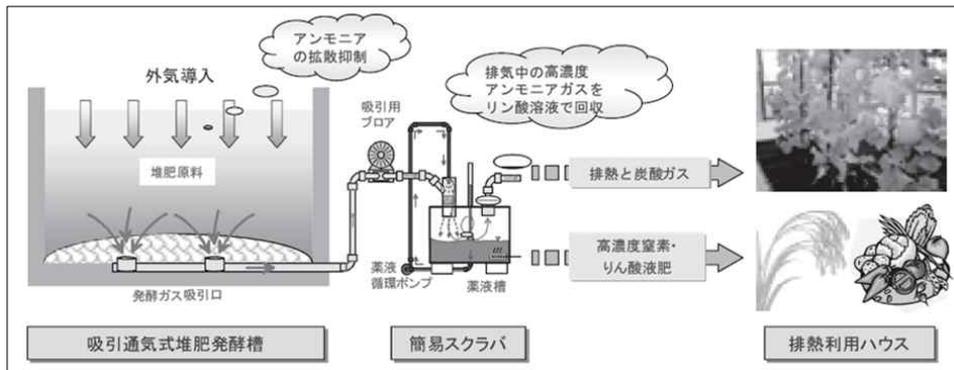


그림 42. 악취를 액비로 변환하는 흡입통기식 퇴비화 시스템

다른 사례로는 악취를 액체비료로 변환하는 흡입통기식 퇴비화 시스템을 예로 들 수 있다.

그림 42에서 보면 흡입통기식 퇴비화시스템은 흡입통기식 퇴비발효조, 간이 scrubber, 폐열이용 하우스로 구성된다. 퇴비원료 중의 발효 가스는 흡입 브로와로 저면의 흡입 입구로부터 간이 scrubber에 반송된다. 발효 가스는 몇 천~몇 만 ppm의 고농도의 암모니아 가스를 포함하고 있지만, 간이 scrubber에서 인산 혹은 황산수용액으로 중화하고, 인산암모늄 혹은 황산암모늄으로서 회수하여, 처리된 배기가스를 하우스에 직접 도입하고 있는 시스템을 예로 들 수 있다.

따라서 앞서에서도 언급하였듯이 제주지역에서 발생하는 양돈분뇨에는 유기물에 비해 질소성분이 많이 함유되어 있으며, 이러한 성분이 대기 중으로 휘산될 경우 악취물질로 취급되지만 이를 유효성분으로서 자원화하면 경제적인 측면과 환경적인 측면 두 가지 이익을 볼 수 있으므로 이를 위한 방안을 모색하고 정책화 하여야 할 것이다.

46) 3N양돈분뇨정화공법에서의 환경오염물질의 효율적 관리 방안, 제주지역환경기술개발센터(2005)

## 2) 퇴(액)비화의 문제점 및 개선 대책

우선, 퇴비 부숙공정에 이용되는 교반방식은 크게 Escalator 방식, Rotary 방식, 비교반(Non-agitated) 3가지 범주로 분류<sup>47)</sup>할 수 있으며, 축분 퇴비화시 발생하는 악취물질은 축분퇴비공장 작업자의 건강 장애 및 교반기계의 부식, 축분퇴비공장 인근 주민들의 주거환경을 훼손, 그로 인한 축분퇴비공장 운영에 큰 차질을 야기하고 있다. 축분퇴비공장에서 발생하는 악취 분포는 크게 분뇨 수거시 운반 과정, 혼합공정, 발효공정, 후숙공정, 포장, 저장공정 등으로 구분되며, 특히 퇴비 발효공정시 발생하는 악취는 축분뇨의 미생물학적 호기성 분해를 유도하기 위한 최적의 조건이 조성되지 않으면 다른 여타 공정에 비해 혐기 미생물에 의한 악취물질의 과다 발생을 유발할 수 있다<sup>48)</sup>. 즉 분뇨에 존재하는 유기물들이 메탄균(methanogens)에 의해 메탄과 이산화탄소로 분해되지 않고 악취물질로 존재하기 때문이다<sup>49)</sup>. 이러한 원인은 우리나라의 계절별 온도변이가 커서 최적의 메탄을 생성할 수 있는 중온성 미생물(35℃)의 생육 조건을 유지시키기 어렵기 때문이다.

황화합물에 대한 악취물질들은 분뇨의 저장과 처리조건에서 생성되게 되는데 황화합물 악취물질들은 혐기적 조건에서 methionine이나 cysteine 같은 황(S) 함유 아미노산의 분해 과정에서 발생되기 때문에 분뇨에 산화제(oxidant)를 살포하거나 폭기(aeration)에 의한 호기적 조건을 유지시켜 주는 것이 분뇨의 저장 과정과 처리과정에서 황화합물 악취물질을 저감시킬 수 있는 효율적인 방법이라고 제시하였다. 물론 액상분뇨를 토양에 살포하는 과정에서 황화합물 악취물질이 대기 중의 공기와 반응하여 산화될 수 있으며, 토양 피복 및 토양의 공극에 존재하는 공기에 의해 산화되어 황화합물 악취물질이 저감될 수 있다.

또한 악취발생은 악취저감을 위해서 사용되는 첨가제(additive)가 효율적으로 악취 저감 효과를 발현할 수 있도록 분뇨의 적정 환경조건을 조성하는 관리자의 이해와 실행이 부족함과 더불어 그 실용성과 작용원리가 명확하지 않거나 검증되

47) 김기연, 최홍립, “한강유역내 축분퇴비공장 악취발생에 대한 현장 평가”, 동물자원지, 43(6), pp. 1005~1018(2001)

48) 김남천 외 11명, 유기성 폐기물의 퇴비화 기술, 동화기술, pp. 166.

49) Zhu, J. 2000. A review of microbiology in swine manure odor control. Ecosyst. Environ. 78 : 93~106.

지 않은 첨가제의 사용 때문이라 사료된다<sup>50)</sup>.

다음으로 액비화하는 방법으로 폭기, 교반 정치식을 예로 들 수 있으며, 이러한 방법에 의해 만들어진 액비를 비교해보면, 폭기식은 BOD<sub>5</sub> 및 악취제거율에서 혐기성 부숙방법보다 우수하지만, 호기조에서 질소는 초기농도의 47%가 손실되어 혐기성 부숙방법보다 심한 편으로 나타났다. 그리고 혐기성 부숙방법으로는 교반식과 정치식으로 나눌 수 있으며 이 두가지 방법에서 나타나는 효율 측면에서는 큰 차이가 발생하지 않았으나 혐기성 교반식이 정치식보다 대장균 제거율, 악취 제거율은 더 높고, 질소 손실율은 더 낮게 나타났다.

각 개별요인들의 효율을 종합 평가한 결과 액비 부숙효율은 혐기성 교반조>호기성폭기조>무교반 혐기성조>저류조 순으로 나타났다<sup>51)</sup>.

또한 액비 저장형태에 따른 악취 발생과 액비 품질<sup>52)</sup>을 살펴보면, 액비 표면상으로 배출되는 악취가스농도는 무처리 저장조가 분사교반식/폭기식 저장조보다 높았으나 밖으로 풍겨 나오는 악취 감지정도는 분사교반식/폭기식 저장조가 무처리 저장조보다 높았다. 분사교반 또는 폭기처리한 액비는 액비품질의 균질도가 높은 반면 무처리 저장조의 액비는 상층, 중층 및 저층 간의 성분함량 차이가 많아 무처리 액비는 시용시 작물의 균일한 생육이 어려울 것으로 사료된다. 그리고 무처리 저장조는 배출액비의 악취발생 잠재능이 분사교반식 또는 폭기식 저장조의 액비보다 높아 실제 시용시 악취 발생이 더 많을 것으로 추정되었다.

처리방법에 따른 액상분뇨의 악취강도, 불쾌도 및 농도 평가<sup>53)</sup> 연구에서 고 등(2006)은 신선분뇨 및 혐기성 소화 액상분뇨는 고온호기성 소화 액상분뇨에 비해 악취강도, 불쾌도 및 농도의 모든 항목에서 높았으며, 통계적으로도 고도의 유의적인 차이를 보이는 것으로 측정되었다. 고온호기성 소화로 처리된 액상분뇨는

---

50) McCrory, D. F. and Hobbs, P. J. 2001. Additives to reduce and odor emissions from livestock wastes : A review. J. Environ. Qual. 30(2) : 345-355

51) 정광용, 조남준, 정이근, "가축분뇨 슬러리 액비 부숙 조건별 특성 비교", 한국환경농학회지, 17(4), pp 301~305(1998)

52) 박무언, 강안석, 김시창, "농가의 돈분액비 저장형태가 악취발생과 액비품질에 미치는 영향", 한국토양비료학회지, 39(3) pp. 136~143(2006)

53) 고한중, 최홍림, 김기연, 이용기, 김치년, "액상 가축분뇨의 처리 및 토양환원에 따른 악취 및 악취물질의 평가, 한국동물자원과학회지, 48(3), pp. 453~466(2006)

돈슬러리 특유의 악취를 감지할 수 없을 정도로 악취 저감 효율이 높은 것으로 판단되었다.

따라서 이러한 내용들을 종합적으로 검토해보면 유효성분인 질소의 암모니아형태로의 휘산을 방지하기 위해서는 혐기성 교반식으로 운영하여야 하며, 온도와 관련해서는 고온으로 유지시켜야 한다고 되어 있다. 그러나 황화합물인 경우 호기성으로 유지시켜 주어야 황화합물 악취물질을 저감시킬 수 있는 효율적인 방법으로 제시하고 있다. 이는 질소화합물과 황화합물이 처리방법이 서로 상반되는 결과를 가져오고 있기 때문으로 이러한 문제를 해결하기 위해서는 고온호기성 혐기상태를 유지하면서 유효성분인 질소화합물(암모니아)의 휘산을 억제하는 방법을 강구하여야 한다. 이러한 방법으로는 앞에서 언급한 정화처리방식으로서의 전환이 바람직함을 알 수 있다.

#### 다. 액비 시용시 적정 관리방안

가축분뇨의 액비화 목적은 작물 생육에 장애가 없도록 부숙시키는 동시에 분뇨에서 발생하는 악취를 제거하기 위한 것으로써 액상 가축분뇨의 처리방법에 따라 악취발생의 차이가 발생한다. 일반적으로 적용되고 있는 액비화 방법은 혐기성 소화를 이용한 단순저장 액비화 및 폭기처리에 의한 호기성소화로 구분할 수 있으며, 악취제거 측면에서는 호기성소화가 우수한 것으로 알려져 있다.<sup>54)55)56)</sup>

그러나 현장에 설치된 대부분의 액비 저장조의 폭기 장치가 저장용량에 적합하지 않거나, 제대로 가동되지 않아 저장된 액비의 호기적 조건을 형성하지 못하고 혐기성 상태로 유지되고 있어 이러한 액비를 농경지에 살포시 악취 휘산으로 인한 민원 발생의 소지가 많아 액비의 이용 활성화에 큰 제약으로 작용한

54) Williams, A. G, Shaw, M., Slevaih, C. M. and Cumby, R. J. 1989. The oxygen requirements for deodorising and stabilising pig slurry by aerobic treatment. J. Agr. Eng. Res. 43 : 291~311

55) Pain, B. F., Phillips, V. R., Clarkson, C. R., Misselbrook, T. H., Rees, Y. J. and Farrent, J. W. 1990. Odour and ammonia following the spreading of aerobically treated pig slurry on grassland. Biol. Waste 34(3) : 259~267

56) Svoboda, J. F. 1995. Aerobic treatment of livestock slurries. SAC Technical Note, Environmental Series No.2

다57)58)59). 또한 액비시용의 단점으로는 시용경지의 확보, 시용시기의 제한, 장거리 수송의 불가능 등 제한적인 요소가 수반된다.

액비에 대한 경종농가의 선호에 영향을 미치는 요인을 파악하기 위한 설문조사에서 6개월 이상 저장하는 것과 기계적 발포 즉 폭기를 시키는 것을 중요하게 생각하는 것으로 파악되고 있으며, 축산농가 또는 액비유통 주관단체에서는 발생분뇨를 안정적으로 경종농가에 공급하기 위해서는 충분한 저장과 폭기가 선행되어야 한다고 여기고 있으나, 폭기시설 설치에도 불구하고 전선 유입 등에 따른 과도한 투입비용으로 실질적으로 폭기를 못하고 있는 농가가 상당수에 달하고 있어 이에 대한 대책이 필요한 실정이다. 원예(밭작물)부분에서는 수도와 과수부분과는 달리 분의 종류에 대한 중요도가 가장 높고 돈분을 기피하는 것으로 분석되어 이를 안정적으로 처리할 수 있는 시스템 도입 등(고액액상발포 시스템 등)이 요구60)되고 있다. 액비 과다시비와 관련하여 김종구 등(2004)61)은 배수가 용이한 토양에서는 지하수질 보호 측면에서 액비 시용량을 조절해야 할 것으로 제시하였고, 노희명 등(2008)도 인공강우 실험을 통하여 과량시비에 의한 지하수로의 유출 가능성을 제시하기도 하였다62).

그럼에도 불구하고 우리나라의 여건상 자원이 부족하고 수입에 의존하는 상황을 고려할 때 가축분뇨의 자원화란 선택이 아니라 필수이다. 이러한 액비시용의 장점으로 토양의 pH, 탄소, 질소, 양이온교환용량이 증가63)64)하는 장점을 가지고 있으며, 액비시용효과와 작물재배결과에 대한 연구사례들을 살펴보면

---

57) 농업과학기술원, 친환경농업을 위한 가축 분뇨 퇴비·액비 제조와 이용, pp. 157~168(1999)

58) 농협중앙회, 양돈분뇨 액비이용 및 국내 유기축산 발전성향 세미나, 2002.

59) Rappert, S. and Muller, R. 2005. Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Manage.* 25 : 887~907

60) 천동원, 박민수, "가축분뇨 액비의 선호도 분석", *농업경영·정책연구*, 30(1), pp 75~87(2003)

61) 김종구, 이경보, 이덕배, 이상복, 나승용, "배수조건이 다른 논에서 돈분뇨 액비시용이 벼 생육 및 양분 이동에 미치는 영향", *한국토양비료학회지*, 37(2), pp. 97~103(2004)

62) 노희명, 최효정, 윤석인, 이민진, 김재민, 최홍립, Zhu Kun, "혐기소화 돈분 액비를 처리한 토양에서 배추의 생육과 비점오염원의 용탈 및 유거", *한국토양비료학회지*, 41(2), pp. 112~117(2008)

63) Yadav, R. L., B. S. Dwivedi, K. Prasad, and P. S. Pandey. 2000. yield trends, and changes in soil organic-C and available NPK in a long-term rice-wheat system under integrated use of manure and fertilizers. *Field Crop. Res.*68 : 219~246

64) Choudhary, M., L. D. Baily, and C. A. Grant. 1996. Review of the use of swine manure in crop production : Effects on yield and composition on soil and water quality. *Waste. Manage. Res.* 14 : 581~595

다음과 같다.

1. 액비를 사용하지 않는 농가와 액비를 사용하는 농가의 쌀 생산비를 보면 액비사용농가의 경우 액비화시설에 따른 액비탱크, 살포기 등의 영농시설 감가상각비, 액비 발효제 등의 추가 비용이 발생되나 퇴비 등 유기질비료와 화학비료의 절감(10a당 16,203원)과 노동투하시간의 절감에 의한 노력비 등의 절감으로 생산비가 일반농가보다 10a당 7,091원 절감되는 것으로 나타났다<sup>65)</sup>.
2. 결구상추의 생육은 후기로 갈수록 관행구(3요소 화학비료 권장량 사용)보다 가축분뇨 액비사용구에서 왕성하였으며, 특히 저농도 수준에서 생육량의 차이가 크게 나타났다<sup>66)</sup>.
3. 액비처리에 따른 건물중은 시용량 증대에 따라서 증가하는 경향을 나타내었으며, 부위별로는 열매가 건물중의 주요부분을 차지하였으며, 열매를 제외한 모든 처리구에서 각각의 부위별로 처리간의 큰 차이가 없음을 보였다<sup>67)</sup>.
4. 홍고추의 수량은 액비의 시용량 증가에 따라서 정량적으로 증가하였으며, 액비 100% 시용구에서 가장 많은 수량을 나타내었으나, 화학비료구 및 액비 125%구와는 차이가 없었다.
5. 밭 토양에 돈분액비를 기비로 전량 사용한 결과 고추의 적과 수량은 액비 시용량이 증가할수록 많아졌고, 배추수량은 액비 시용량이 증가할수록 감소하였지만 화학비료 대비 액비 시용량간에 유의적인 수량차이는 보이지는 않았다<sup>68)</sup>.
6. 혼파초지에 대한 액상분뇨를 4년간 사용한 결과, 초년에는 화학비료구보다 수량이 감소하였으나, 점차적으로 증가하였으며, 돈분뇨액비를 질소표준시비량 대비 200% 사용할 때 사일리지용 옥수수 수량이 화학비료구에 비해

---

65) 농촌진흥청 농업경영정보관실, “액비사용농가의 경제성 분석을 위한 조사 결과”, (2002)

66) 김원배, 권영기, 장석우, 임상철, “결구상추의 관비제배시 가축분뇨 액비 사용 효과”, KOR. J.HORT. SCI.& TECH., 17(2) pp. 203(1999)

67) 임태준, 홍순단, 김승희, 박진면, “고추에서 SCB액비 시용량 설정을 위한 수량 및 품질 평가”, 한국환경농학회지, 27(2) pp. 171~177(2008)

68) 황선웅, 성좌경, 강보구, 이춘수, 윤승길, 김태완, 엄기철, “돈분뇨 액비사용에 의한 고추 및 배추의 polyamine 생합성”, 한국토양비료학회지, 37(3), pp. 171~176(2004)

17% 증수한다고 보고되었다<sup>69),70)</sup>.

7. 수박의 수량은 화학비료 시용구인 관행구와 질소전량의 50%, 70%, 100%에 해당하는 돈분액비를 전량기비로 사용하고 부족성분을 화학비료로 살포하는 시험구를 운영한 결과 질소전량의 50%에 해당하는 돈분액비를 사용했을 때 관행구 대비 7% 수량이 증수되었고, 경제성 분석을 한 결과 질소전량의 50%에 해당하는 돈분액비를 사용한 수박 시험구에서 관행구보다 11% 많은 소득을 올렸다.<sup>71)</sup>
8. 마늘의 수량은 질소전량의 50%에 해당하는 돈분액비를 사용하고 부족분을 화학비료로 사용할 때 관행구인 화학비료에 비하여 높았다<sup>72)</sup>.

이처럼 화학비료를 사용할 때보다 액비를 사용하였을 경우가 더 효과가 높게 나타난다는 여러 보고가 있듯이 액비에 대한 시용기준이 지침으로써 주어진다면 액비의 사용량은 점차 늘어날 것으로 판단된다.

그렇다면 액비를 시용함에 있어서 어떠한 방향으로 추진되어야 할 것인가를 제안하기 위해 문헌들을 살펴보면 다음과 같다.

우선적으로 액비를 살포함에 있어서 살포주체에 대한 경제성을 살펴보았을 때, 수도작을 위주로 한 액비이용 농가의 생산비 조사 결과, 액비이용 농가가 일반농가보다 생산비가 절감되는 것으로 분석<sup>73)</sup>되었으며, 액비를 이용하고 있는 수도작 농가를 대상으로 한 조사결과<sup>74)</sup> 액비 이용농가의 평균 10a당 액비 살포량은 2.2 톤으로 기비의 용도로 사용되고 있으며, 구입·살포에 투입되는 비용은 평균 17,241원으로 나타났다.

---

69) Shin J. S., H. H. Lee, J. W. Ryoo, K. J. Choi, Y. W. Rim, W. H. Kim, K. Y. Kim, and K. J. Lee. 1999a. Effect of swine manure separated from its slurry on pasture productivity and soil chemical characteristics. Korean J. Anim. Sci. 41 : 479~486

70) Shin, B. K., J. S. Cho, J. G. Kang, J. Y. Cho, K. Y. Kim, H. W. Kim, and H. L. Kim. 1999b. Physico-chemical properties of soils at red pepper, garlic and onion cultivation areas in Korea. J. Korean Soc. Soil Sci. Fert. 32 : 123~131

71) 최원일, 송인규, 신현만, 이정관, “수박의 가축분뇨 액비 시용기준 설정”, Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23(SUPPL. I) May 2005.

72) 최원일, 송인규, 신현만, 이정관, “한지형 마늘의 가축분뇨 액비 시용기준 설정”, Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22(SUPPL. II) October 2004.

73) 천동원, 박민수, “가축분뇨 액비의 선호도 분석”, 농업경영·정책연구, 30(1), pp. 75~87(2003)

74) 농촌진흥청 농업경영정보관실, “액비사용농가의 경제성 분석을 위한 조사 결과”, 2002.

농가가 액비시설을 갖추고 직접 살포할 경우 무상으로 돈분뇨를 구입하여 포장에 살포하기까지 투입되는 제비용을 환산하면 17,529원이었으며, 살포를 위탁하는 경우에는 살포비용이 16,373원으로 나타나 위탁살포 농가가 액비시설을 갖춘 자가살포 농가보다 다소 유리하게 나타남을 알 수 있었다. 결국 액비를 사용하는 농가는 액비시설을 한 자가살포 농가와 위탁살포 농가로 구분할 수 있으며 액비시설 농가의 경우에는 액비를 무상으로 공급받고 있으나 시설투자에 따른 고정비용 등으로 액비살포비를 지불하는 위탁살포 농가보다 생산비가 10a당 3,467원 높은 것으로 분석되어 위탁살포가 액비시설 농가보다 유리하다는 것으로 나타나 경종농가의 이용 측면에서는 조합, 단위농협 등에서 주관하는 위탁살포체제의 활성화가 필요함을 제시하였다<sup>75)</sup>.

표 18. 액비 시용농가 형태별 비용분석(벼 재배농가)

(단위 : 원)

구 분	액 비	액비시설농가	위탁살포농가
비료비	7,364	3,860	17,921
영농시설	3,358	4,017	1,372
대농기구	83,041	84,189	79,583
액비발효제	5,675	7,559	-
광열·동력비	3,433	3,534	3,129
종묘, 농약, 제재료 등	45,292	45,292	45,292
토지 임차	113,587	113,637	113,439
노력비	113,314	113,842	111,726
- 퇴비, 기비	1,588	2,116	-
- 제조, 물관리 등	111,726	111,726	111,726
계	375,065	375,929	372,462

자료 : 농촌진흥청 농업경영정보관실(2002)

75) 농촌진흥청 농업경영정보관실, “액비사용농가의 경제성 분석을 위한 조사 결과”, 2002.

그러나 액비시용 가능지역에서 액비 위탁살포 체제 구축의 확대가 필요할 것으로 제시되었으나 이는 나아가 액비살포 이후 생산물 유통과정에서는 친환경농산물과 연계를 고려하여야 하며, 액비화 사업 실시는 축산농가와의 거리, 이동성 등 지역적 조건을 고려하여 확대할 필요성이 있다.

두 번째로는 액비살포 후의 악취문제의 저감 측면을 들 수 있다.

토양 특성이 다른 논·밭 토양에 살포시 암모니아 휘산정도를 비교해 보면 선분뇨와 혐기성 소화 액상분뇨에서 방출되는 암모니아 농도가 밭 토양에 비해 논 토양에서 높게 분석되었다<sup>76)</sup>. 가축분뇨를 토양에 살포시 휘산되는 악취는 액상분뇨의 조성, 토양 조건 및 기후 등의 상호작용에 영향을 받기 때문이다<sup>77)</sup>. 분뇨 유래 악취를 저감시킬 수 있는 액상분뇨 처리방법과 적정 살포방법을 병행한다면 암모니아의 휘산 뿐만 아니라 가축분뇨의 액비화 이용시 발생할 수 있는 악취로 인한 민원발생의 소지를 줄일 수 있어 궁극적으로 액비의 경축연계를 더욱 촉진시킬 수 있을 것으로 사료된다.

이러한 예로 우리나라 농가에서 관행적으로 이용하고 있는 토양 표면 살포방식을 적용하였을 때 액상분뇨의 처리방법에 따라 75~95%의 암모니아 휘산 저감 효과를 보였다. 우리나라는 농경지에 액비를 살포할 수 있는 적정 살포방식이나 살포기계가 널리 보급되지 않았지만 가축분뇨의 토양 살포를 기본 개념으로 인식해온 외국의 경우에는 살포방식에 따른 악취 저감에 대한 연구가 상당히 진행되어왔다. DEFRA(2001)는 분뇨의 토양주입(Injection) 방법이 산파살포(Broadcasting)에 의한 방법보다 90% 가량의 암모니아 저감 효과가 있었다고 하였고<sup>78)</sup>, 토양 내 주입 깊이(3~30cm)에 따라 74~94%의 암모니아 휘산 저감 효과가 있었다고 하였다<sup>79)80)</sup>. 이처럼 살포방식에 따라 암모니아 휘산이 저감된 효과를 얻을 수 있는

76) 고한중, 최홍림, 김기연, 이용기, 김치년, "액상 가축분뇨의 처리 및 토양환원에 따른 악취 및 악취물질의 평가, 한국동물자원과학회지, 48(3), pp. 453~466(2006)

77) Sommer, S. G. and Hutching, N. J. 201. Ammonia emission from field applied manured and its reduction-invited paper. European J. Agron. 15 : 1~15

78) Smith, K. A., Jackson, D. R., Misselbrock, T. H., Pain, B. F. and Johnson, R. A. 2000. Redution of ammonia emission by slurry application techniques. J. Agr. Eng. Res. 77(3) : 277~287

79) Hoff, J. D., Nelson, D. W. and Sutton, A. L. 1981. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. J. Environ. Qual. 10 : 90~95

80) Phillips, V. R., Pain, B. F., Clarkson, C. R. and Klarenbeek, J. V. 1990. Studies on reducing the odour and ammonia emissions during and after the land spreading of animal slurries. Farm Build. Eng. 7 : 17~23

이유는 가축분뇨의 토양 내 침투력을 높여주고, 표면적을 줄여서 살포된 분뇨 표면에 닿는 풍속을 감소시켜 주는 물리적인 요인과 더불어 식물의 뿌리에 의한 암모니아 흡착, 잎에 의한 휘산 작용 억제 때문이다.

이러한 살포방식에 따른 악취 저감방법과 더불어 김종구 등(2004)은 액비살포 후 로타리 경운처리가 질소 휘산 및 악취 발생과 양분 유실을 방지하는데 유리하다고 제시하기도 하였다.

그러나 앞에서도 언급하였듯이 액비를 사용함에 있어서 주의해야 할 사항들을 제시하여야 한다. 김 등<sup>81)</sup>의 연구결과에서 보면 제주지역에서 발생하는 양돈분뇨로부터 만들어진 액비에서의 NH<sub>4</sub>-N, K, P, Ca, Mg, Na의 함량은 각각 1,004.9, 400.5, 97.4, 77.8, 24.5, 282.3 mg/L로 나타나 유해위험은 없는 것으로 나타났으나 여러 문헌에서 액비 시용에 따른 문제점을 지적하고 있으며 이 중 가장 중요한 부분은 적정 시용이다.

한 연구 사례로 과량 시용시 토양산화환원전위가 낮아져 유해물질이 생성되고 벼 재배시 질소 흡수량이 증가되어 도복 발생의 원인이 되는 한편, 잉여양분은 물의 이동에 따라 수계의 오염원이 되고<sup>82)</sup>, 조공극량이 감소되고 투수성 저하와 견지성이 악화되어 토양 물리성이 나빠지기 때문에<sup>83)</sup>, 식물의 생육변화와 양분 흡수량에 따라 식물별 생육조건에 맞게 시용을 해야 하고 환경용량을 고려해야 한다고 하였다.<sup>84)85)86)87)</sup>

- 
- 81) 김문철, 송상택, 황경준, “제주지역 양돈장에서 생산된 액비의 비료성분 및 오염도 평가”, 동물자원지, 46(3), pp. 469~478(2004)
- 82) Murayama, S., N. Kibo, M. Komada, K. Baba, and A. Tsumura. 2001. Water quality, particularly of trihalomethane formation potential of water of agricultural area of humic volcanic ash soil on Shirash Plateau where livestock wastes have been applied as land management. Soil Sci. Plant Nutr. 72 : 764~774
- 83) UASHIO, S., N. Yosimura, K. Saito, and N. Nagajima. 2000. Nitrogen decomposition rate of animal wastes composts and dry wastes for 141 days in summer, and estimation. Soil Sci. Plant Nutr. 71 : 249~253
- 84) Mackie, R. I., Stroot, P. G. and Varel, V. h. 1998. Biochemical identification and biological origin of key odour components in livestock waste. J. Anim. Sci. 76 : 1331~1342
- 85) Miner, J. R. 1977. Characterization of odors and other volatile emissions. Agric. Environ. 3(2~3) : 129~137
- 86) 이종태, 이찬중, 김희태, “벼·양파 작부체계에서 화학비료 절감을 위한 돈분뇨액비의 활용”, 한국토양비료학회지, 37(3), pp. 149~155(2004)
- 87) 박백균, 이종식, 조남준, 정광용, “벼에 대한 돈분뇨 액비의 시용량 및 시용시기 구명” 韓土肥誌, 34(3), pp. 147~152(2001)

또한, 노희명 등(2008)은 시비량을 다르게 하여 재배한 배추의 건조량을 통하여 과다 시비시 엽 증가로 인한 생육 장애로 건조중량이 감소됨을 확인하였다.

반대로 김재영 등(2004)<sup>88)</sup>은 돈분 액비의 연용에 따른 시설토양에서의 토양의 이화학적 특성과 중금속 농도의 변화를 살펴보았는데, 지속적인 액비의 시비는 유효인산과 질산성질소의 함량 증가를 가져온다고 하였고, 시간의 흐름에 따라 치환성 석회(Ca), 고토(Mg), 가리(K)는 그 함량이 감소하였으며, 철, 망간, 구리, 아연 등의 중금속도 함량이 감소하였다고 하였다.

표 19. 일본 가축분뇨 처리물의 농지 사용 기준

1. 초지·사료밭에 있어서의 가축분뇨처리물의 사용기준						
초 종		예상수량 (생초중)	소		돼지	닭
			퇴비	액생분뇨	퇴비	건조분
목초	벼과초지	5~6	3~4	5~6	2~3	0.5
	혼합초지	5~6	3~4	5~6	2~3	0.5
이타리안라이구라스		4~5	3	4~5	2	0.5
옥수수(cornflakes)		5~6	3~4	5~6	2~3	0.5
사탕옥수수(sorgo) <sup>1)</sup>			4~5		2~4	0.5~1 <sup>2)</sup>

(주) 『가축분뇨처리·이용 안내』 (축산환경정비기구, 1997) p.68 인용  
<sup>1)</sup>가고시마현(鹿兒島縣) 자료 인용 <sup>2)</sup>퇴비

2. 도도부현(都道府縣)에 있어서의 가축분뇨처리물의 농지사용기준		
퇴구비 등의 종류	작물(작목)	사용기준(ton/10a)
퇴구비	보리류, 텐나물, 감자, 콩류, 감자·근채류	0.8~1.0, 1.0~2.0
	무우, 우엉	2.0
소분뇨원료 비료	보리류, 콩류	1.0~2.0, 2.0~3.0
	당근	3.0
	무우, 감자	0.5
돈분뇨원료 비료	보리류, 콩류	0.3~0.5, 0.6以下, 1.0~2.0

88) 김재영, 금송연, “시설재배토양에서 돈분뇨 액비의 사용 효과” 자연과학연구지, 제15집, 2004

퇴구비 등의 종류	작물(작목)	사용기준(ton/10a)
벗짚(오카쿠즈, 전나무(벼) 갈라)과 소분뇨 원료 비료	보리류, 일반발농작물 사탕수수, 양파, 무우, 당근 감자	1.0~2.0, 1.5~3.5, 2.0~4.0 0.5~1.0, 1.0~2.0, 2.0~4.0 4.0
벗짚(오카쿠즈, 전나무(벼) 갈라)과 돈분뇨 원료 비료	보리류, 일반발농작물 사탕수수, 양파, 무우, 당근 감자	0.5~2.0, 1.0~1.5, 1.0~2.0, 0.5~0.8, 1.0~2.0 3.0
벗짚(오카쿠즈, 전나무(벼) 갈라)과 닭분뇨 원료 비료	보리류, 일반발농작물 사탕수수, 양파, 무우, 당근 감자	0.2~0.4, 0.2~2.0, 0.5~1.0 0.2~0.4, 0.4~1.0, 2.0, 3.0 3.0
소생분	보리류, 일반발농작물 사탕수수, 양파, 무우, 당근	2.0,3.0 2.0~4.0
돈생분	보리류	1.0~1.5, 1.0~2.0, 0.1~2.0
닭생분	일반발농작물	0.1~0.2, 0.8~1.0
건조소분	콩류, 일반발농작물 사탕수수, 양파, 무우, 당근 감자	0.1~2.0, 0.5~1.0 0.4~0.8 1.5
건조돈분	사탕수수, 양파, 무우, 당근 감자 콩류, 일반발농작물	0.3~0.4, 2.0 0.8 0.1~1.0, 0.3~0.6
건조닭분	콩류, 일반발농작물 사탕수수, 양파, 무우, 당근 감자	0.1~0.5, 0.2~0.4 0.2~0.3, 0.5 0.5
발효닭분	콩류	0.3~0.6
소액상비료	콩류, 일반발농작물	2.0~3.0, 4.0, 6.0
소분뇨	콩류, 일반발농작물	1.0~2.0
돈분뇨	콩류, 일반발농작물	1.0,1.5, 0.3~0.5

(주) 『가축분뇨처리·이용 안내』 (축산환경정비기구, 1997) p.70 인용

표 19는 이러한 문제점들을 줄이기 위한 일본의 가축분뇨 처리물의 농지 사용 기준을 제시하였는데 일본에서는 화학비료 사용량의 감소라는 목적과 더불어 구체적으로 액비 사용량을 제시하였다.

결국 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 가축분뇨 액비에 대한 적정 사용기준이 제시되어야 하며 이를 위해서는 토양관리 프로그램 및 액비 품질관리 프로그램이 필요하며 향후 이러한 프로그램에 따른 연구가 필요하다.

## 9. 요약 및 제언

축산시설에서 발생하는 대부분의 분과 기타 고형폐기물의 성상은 대개 사료의 종류와 축사의 형태에 따라 약간의 차이를 나타내며, 축산폐수는 가축의 종류, 사육규모, 사육방법, 축사의 형태, 가축의 분, 사료찌꺼기, 분의 분리방법, 청소방법 및 청소수(세정수) 사용량, 처리시설의 유무 등에 따라 그 성상이 변하며 오염물질 농도의 범위가 다양한 것이 특징이다. 특히 각 지역의 기후와 사육방법, 공급 사료의 성분에 따라 발생원단위는 약간의 차이가 발생할 수 있다.

제주지역의 경우 양돈분뇨로 인한 많은 문제들이 야기되고 있으며, 이러한 문제들을 해결하기 위해 많은 정책제언들이 제시되고 있는 실정이다. 그러나 양돈분뇨의 문제들은 대부분 적정처리가 이루어지지 않아 발생하는 것으로써 근본적으로 이를 해결하기 위해서는 기본적인 자료가 필수적이다.

따라서 본 연구에서는 양돈분뇨의 적정처리를 위한 기본적인 자료구축으로 제주지역 양돈분뇨 발생원단위를 산정하고, 산정된 발생원단위를 이용하여 도내에서 발생하는 양돈분뇨의 량을 예측함으로써 양돈분뇨 처리를 위한 필요 시설 용량을 우선적으로 산정하였으며, 또한 문헌 고찰을 통하여 제주지역에서의 양돈분뇨로부터 야기되는 문제들을 감소시키기 위한 방안으로 다음과 같이 몇 가지를 제안하고자 한다.

### 1) 향후 제주지역 양돈분뇨 처리시설 증설 요구량

- 사육형태별 발생유량원단위
  - 스크래퍼 돈사 : 4.45L/일/두
  - 슬러리 돈사 : 3.27L/일/두
  - 자체순환 돈사 : 2.57L/일/두
- 제주지역 발생 양돈분뇨량(2007년도 기준)
  - 스크래퍼 돈사로 가정시 최대 발생량 : 1,943.7m<sup>3</sup>/일
  - 자체순환 돈사로 가정시 최소 발생량 : 1,122.5m<sup>3</sup>/일
  - 제주시 지역에서 발생하는 양돈분뇨량 : 765.5m<sup>3</sup>/일 ~ 1,325.6m<sup>3</sup>/일

- 서귀포시 지역에서 발생하는 양돈분뇨량 : 357.0m<sup>3</sup>/일 ~ 618.1m<sup>3</sup>/일
- 제주지역 양돈분뇨 처리시설 : 800m<sup>3</sup>/일
- 제주지역 양돈분뇨 처리시설 증설 요구량 : 322.5m<sup>3</sup>/일 ~ 1,143.7m<sup>3</sup>/일

## 2) 제주지역 양돈분뇨 발생부하량 및 특징

- 산출된 원단위에 따른 사육형태별 발생부하량(2007년도 기준 : 단위 kg/일)

	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	SS	TN	TP
- 스크래퍼 돈사	16,508.3	11,291.8	17,402.6	12,400.1	388.8
- 슬러리 돈사	20,080.2	12,920.7	30,220.4	12,758.3	598.6
- 자체순환 돈사	14,393.3	9,477.2	20,448.1	8,501.4	427.7

- 환경부 지침에 따른 제주지역 발생부하량(2007년도 기준 : 단위 kg/일)

	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	SS	T-N	T-P
- 발생부하량	47,608.0	-	-	12,098.6	5,328.6

- 발생부하원단위 비교 및 특징(제주지역/환경부지침)

- BOD<sub>5</sub> : 약 30.2~42.2%
- T-N : 약 70.3~105.5%
- T-P : 약 7.3%~11.2%
- 환경부 지침에 따른 처리시설 설계 시 처리용량의 과대 건설 가능
- 따라서 환경부 지침에 따른 부하량 산정 후 처리시설 설계시 처리용량을 과대하게 건설할 가능성이 있으므로 처리시설 설계 또는 증설시 현실에 맞도록 실제 현장조사를 실시하고 착수하여야 함
- 유기물 함량(BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Mn</sub>)에 비하여 질소함량이 높다는 것은 악취유발물질이 상대적으로 많이 발생할 가능성 시사
- 따라서 악취유발물질인 질소의 휘발을 방지하는 시설이 요구됨
- 질소 휘발 방지시설이 구비되면 고농도 질소 액비 생산이 가능함.

- 총인의 경우 환경부 지침에 따른 부하량에 비해 상대적으로 상당히 낮음
- 따라서 총인 제거에 필요한 시설 및 운영비에 있어서 절감 가능

### 3) 제주지역 양돈분뇨 적정 관리 방안

- 가축에게 급여되는 사료나 가축 자체 발생하는 냄새는 미미함.
  - 분뇨의 수거, 저장 및 처리과정에서 미생물에 의한 불완전 혐기분해의 산물로 생성된 물질들이 강한 취기를 유발시킴.
- 양돈시설(돈사) 적정 관리방안
- 돈사 형태로는 톱밥돈사로 운영함이 바람직할 것이나 경제적인 측면(톱밥 구입단가 등)을 고려하여 향후 신설 또는 증설되는 돈사는 스크래퍼 돈사로의 전환이 바람직할 것으로 판단됨.
  - 또한 자체순환 돈사의 경우 슬러리 돈사에서 이루어지는 형태인데 스크래퍼 돈사로의 전환이 어려운 경우 자체적으로 일부 가축분뇨를 처리하여 정화된 처리수를 돈사로 순환시키는 경우 악취 강도가 낮아짐을 알 수 있었으므로 슬러리 돈사인 경우 순환 형태의 돈사운영으로의 전환도 바람직할 것임.
  - 그리고 돈사 내부의 악취 강도를 줄이기 위해서는 돈사 내의 슬러리의 체류시간을 줄이기 위한 방안을 마련하여야 함.
  - 돈사의 환기방식으로는 강제환기방식이 바람직스러우나 우선적으로 강제환기를 하기 위한 팬의 용량 산정에 대한 연구가 이루어져야 함.
- 정화처리시설 적정 관리방안
- 현재 이루어지고 있는 정화처리에서 농지에 유효한 성분인 질소성분을 농축하고 액비기준을 만족할 수 있는 기술을 도입하여 유효자원인 가축분뇨를 활용할 수 있는 방안 모색이 요구됨.
  - 우선적으로 현재 정화처리하고 있는 공공처리장에 대해서는 액비생산시설에 대한 구비가 요구됨.
  - 둘째로는 유효성분인 질소를 대기 중으로 휘산시키지 않는 시설(악취물질

휘산방지 시스템(가칭), 흡입통기식 퇴비화 시스템)을 구비하여야 함.

○ 퇴비 생산을 위한 적정 관리방안

- 분뇨에 존재하는 유기물들이 메탄균(methanogens)에 의해 메탄과 이산화탄소로 분해되지 않고 악취물질로 존재하기 때문에 메탄균이 메탄과 이산화탄소로 분해될 수 있는 조건을 형성하도록 하여야 함.
- 황화합물에 대한 악취물질들은 분뇨의 저장과 처리조건에서 생성되게 되는데 황화합물 악취물질들은 혐기적 조건에서 methionine이나 cysteine 같은 황(S) 함유 아미노산의 분해 과정에서 발생되기 때문에 분뇨에 산화제(oxidant)를 살포하거나 폭기(aeration)에 의한 호기적 조건을 유지시켜 주는 것이 분뇨의 저장 과정과 처리과정에서 황화합물 악취물질을 저감시킬 수 있는 효율적인 방법임.

○ 액비 생산을 위한 적정 관리방안

- 질소화합물과 황화합물의 처리방법이 서로 상반되기 때문에 이러한 문제를 해결하기 위해서는 고온호기성혐기상태를 유지하면서 유효성분인 질소화합물(암모니아)의 휘산을 억제하는 방법을 강구하여야 함.
- 이러한 방법으로는 악취물질 휘산방지 시스템(가칭), 흡입통기식 퇴비화 시스템 등과 같은 방법을 예로 들 수 있음.

○ 액비 시용시 적정 관리방안

- 액비를 살포함에 있어서 살포주체에 대한 경제성을 평가해보았을 때, 위탁 살포가 액비시설농가보다 유리하기 때문에 경종농가의 이용 측면에서는 조합, 단위농협 등에서 주관하는 위탁살포체제의 활성화가 필요함.
- 액비살포시 분뇨 유래 악취를 저감시키기 위해서는 액비 살포방법으로 토양주입방식과 액비살포 후 로타리 경운처리하는 방식이 필요함.
- 단, 액비 시용에 따른 문제점들을 해소하기 위해서는 토양관리 프로그램 및 액비 품질관리 프로그램에 대한 연구가 이루어져야 하며, 이를 통해 제주지역에 적합한 액비 적정 시용기준이 마련되어야 함.

# 부 록

【부록 1】 제주지역 축산농가 및 인구수

【부록 2】 제주지역 년도별 가축 현황

【부록 3】 오·폐수 발생량 및 오염 부하량 산정방법

【부록 4】 비료공정규격

【부록 5】 액비의 살포기준(제13조 관련)

## 【부록 1】 제주지역 축산농가 및 인구수

(단위 : 가구, 명)

구 분	축산농가	인 구			비 고
		계	남	여	
1990	9,634	38,536	19,276	19,260	
1991	9,114	35,730	17,870	17,860	
1992	8,910	33,950	16,980	16,970	
1993	7,525	28,595	14,011	14,584	
1994	6,081	24,324	11,919	12,405	
1995	5,824	23,296	11,508	11,788	
1996	5,454	21,816	10,778	11,038	
1997	5,381	21,524	10,633	10,891	
1998	5,153	20,612	10,182	10,430	
1999	5,095	20,380	10,068	10,312	
2000	5,012	20,048	9,903	10,145	
2001	5,068	20,672	10,190	10,482	
2002	5,102	20,408	10,142	10,266	
2003	5,172	20,688	10,293	10,395	
2004	5,384	21,536	10,709	10,827	
2005	5,655	22,620	11,242	11,378	
2006	5,532	22,128	10,990	11,138	
2007	5,464	21,856	10,780	11,076	
2008	5,604	22,416	11,109	11,307	

## 【부록 2】 제주지역 년도별 가축 현황

(단위 : 마리)

연도	소	돼 지	닭	말
1950	20,767	31,098	26,574	8,517
1960	43,234(23,064)	48,794(44,165)	90,891(28,128)	12,077(4,736)
1970	42,411	54,700	167,821	7,606
1980	42,669(17,720)	48,822	302,140	2,401(1,541)
1985	55,076(14,075)	72,205(11,068)	499,833(1,232)	1,541(494)
1990	41,318(8,351)	109,192(1,572)	804,015(212)	2,439(295)
1995	36,390(3,169)	239,808(381)	1,118,887(395)	3,929(217)
1996	39,052(3,486)	257,167(317)	1,062,242(374)	4,202(230)
1997	38,256(2,779)	319,260(394)	1,258,758(183)	4,988(230)
1998	40,341(1,959)	315,616(380)	1,229,308(152)	5,636(244)
1999	35,047(1,420)	312,480(384)	1,355,568(172)	5,084(248)
2000	27,289(1,145)	335,645(394)	1,300,049(232)	7,348(298)
2001	22,660(1,001)	358,108(407)	1,316,710(176)	8,610(357)
2002	21,621(970)	374,455(372)	1,494,190(158)	9,671(407)
2003	24,309(954)	399,758(355)	1,254,575(147)	11,366(465)
2004	27,128(984)	411,012(342)	1,287,614(121)	13,240(512)
2005	27,867(1,099)	400,569(333)	1,221,349(131)	14,689(587)
2006	29,973(1,110)	425,152(348)	1,110,090(144)	16,764(693)
2007	30,604(1,087)	436,771(347)	1,164,200(121)	18,634(807)
2008	31,721(1,106)	504,576(326)	1,320,001(60,134)	20,956(954)

※ ( )내는 농가수임

### 【부록 3】 오·폐수 발생량 및 오염 부하량 산정방법

#### I. 오·폐수 발생유량 산정

오·폐수 발생유량 산정시 적용하는 발생원단위는 실측자료를 우선으로 하되 실측자료가 없는 경우 이 지침에서 제시하는 발생원단위를 적용한다. 지역별 및 세부오염원별로 발생원단위를 실측하여 적용하고자 하는 경우 다음의 과정을 통하여 통계적으로 유의성 있는 대표치를 추출하고 그 결과를 제시하여야 한다.

- ① 동일한 원단위를 적용할 발생원 모집단의 특성에 따라 표본을 임의추출(random sampling), 층화추출(stratified sampling), 집락추출(cluster sampling), 계통추출(systematic sampling)한다.
- ② 근사표본크기  $n_0$  및 표본크기  $n$ 을 결정한다.

$$n_0 = \frac{(t_{1-\alpha/2, n-1})^2 C^2}{d^2}, \quad C = \frac{s}{\bar{x}}, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad s = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2,$$

$$d = \frac{|\bar{x} - u|}{u}$$

$t_{1-\alpha/2, n-1}$  : 자유도  $n-1$ 에서 신뢰도  $(1-\alpha) \times 100\%$  조건의  $t$ 값

$C$  : 변이계수,  $s$  : 표본표준편차,  $\bar{x}$  : 표본평균,  $x_i$  :  $i$  표본치,  $u$  : 모평균,

$d$  : 상대허용오차

• 근사표본크기  $N_0$ 가 모집단 크기  $N$ 의 10%이하일 때 :  $n = n_0$

• 근사표본크기  $N_0$ 가 모집단 크기  $N$ 의 10%를 초과할 때 :  $n = \frac{n_0}{(1+n_0/N)}$

- ③ 표본크기는 90% 이상의 신뢰도 조건에서 상대허용오차가 0.2(20%) 이하가 되도록 선정한다.

## II. 축산계 발생부하량 산정

발생부하량 산정시 적용하는 발생원단위는 실측자료를 우선으로 하되 실측자료가 없는 경우 본 지침에서 제시하는 발생원단위를 적용한다. 지역별 및 세부오염원별로 발생원단위를 실측하여 적용하고자 하는 경우 VI. 오·폐수 발생유량 산정시의 표본조사 방법에 따른다.

### 축산계

축종별 사육두수에 발생부하 원단위를 곱하여 산정한다.

$$\text{축산폐수발생부하량} = \sum(\text{축종별사육두수} \times \text{축종별축산폐수발생부하원단위})$$

$$\text{축산고형물발생부하량} = \sum(\text{축종별사육두수} \times \text{축종별축산고형물발생부하원단위})$$

$$\text{축산계발생부하량} = \text{축산폐수발생부하량} + \text{축산고형물발생부하량}$$

### 축산분뇨 발생부하원단위

(단위 : g/두/일)

항 목	구 분	BOD	T-N	T-P
돼지	합 계	109	27.7	12.2
	폐 수	32	14.9	3.3
	고 형 물	77	12.8	8.9

## 【부록 4】 비료공정규격

2009. 1. 12 농촌진흥청 고시 제2009 - 13호

비료의 종류	함유하여야 할 주성분의 최소량(%)	함유할 수 있는 유해성분의 최대량	기타규격	비 고
가축분뇨 발효 비료(액) ('02.12.31 신설) ('04.10.02 개정)	질소전량 : 0.3	비 소 5mg/kg 카드뮴 0.5mg/kg 수 은 0.2mg/kg 납 15mg/kg 크 롬 30mg/kg 구 리 50mg/kg 아 연 130mg/kg 니 켈 5mg/kg	○ 염분(NaCl) : 0.3%이하 ○ 수분함량 : 95% 이상	1. 저장기간 및 시설 : 충분한 발효시까지 저장, 호기성 발효의 경우 폭기·교반장치 및 저장시설 200M/T 이상 설치 2. 살포시기 : 겨울철 및 장마기 제한 3. 살포지 : 민가에서 200m 이상 격리지역 4. 농경지 밖으로 유출 금지 5. 냄새악취강도(관능법) : 2수준 대기환경보전법 악취발생제한규정에 준함

## 【부록 5】 액비의 살포기준(제13조 관련)

1. 액비는 액비화시설에서 충분히 부숙(腐熟)시켜 악취를 제거한 후 사용하여야 하며, 액비 살포와 더불어 흙을 갈거나 로터리작업을 하여 액비가 흘러내리지 아니하고 토양 속으로 잘 스며들 수 있도록 하여야 한다.
2. 토양이 얼거나 비가 오는 경우 및 액비가 흘러내리는 경사지에서는 액비를 살포하여서는 아니 된다.
3. 사람이 거주하는 주거시설과 200m 이내로 근접된 지역에서는 액비 살포를 금지하여야 한다. 다만, 관할 시장·군수·구청장이 액비 살포가 주거시설에 영향을 미치지 아니한다고 인정하는 경우에는 그러하지 아니하다.
4. 가축분뇨를 계속하여 쓰는 땅은 액비 사용량 절감 및 액비를 계속 쓴 데에 대한 사용량 조절을 위하여 염류가 토양에 쌓이는 것을 방지하기 위한 조치를 하여야 한다.

### 액비의 살포에 필요한 초지 또는 농경지의 면적(제8조 관련)

(단위 : m<sup>2</sup>/마리)

구 분	초 지	농 경 지	
		논	밭·과수원
소·말	520 이상	990 이상	640 이상
젓소	1,610 이상	3,080 이상	1,990 이상
돼지	340 이상	640 이상	420 이상

## 참고문헌

- 가축분뇨 발생량 및 주요성분 재설정, 농촌진흥청 국립축산과학원, 2009.
- 고한중, 최홍림, 김기연, “이축분종 퇴비에서의 중금속 화학종분화”, 동물자원지, 46(2), pp. 273~282(2004).
- 고한중, 최홍림, 김기연, 이용기, 김치년, “액상 가축분뇨의 처리 및 토양환원에 따른 악취 및 악취물질의 평가, 한국동물자원과학회지, 48(3), pp. 453~466(2006).
- 김기연, 박재범, 김치년, 이경중, “돈사 작업장 유형에 따른 암모니아와 실내농도 및 발생량에 관한 현장 조사”, 16(1), pp. 36-43(2006).
- 김기연, 최홍림, “한강유역 내 축분퇴비공장 악취 발생에 대한 현장 평가”, 동물자원지, 43(6), pp. 1005~1018(2001).
- 김남천 외 11명, 유기성 폐기물의 퇴비화 기술, 동화기술, pp. 166.
- 김문철, 송상택, 황경준, “제주지역 양돈장에서 생산된 액비의 비료성분 및 오염도 평가”, 동물자원지, 46(3), pp. 469~478(2004).
- 김병욱, 축산폐기물 처리 및 자원회수 시스템 개발, 강원대학교 박사학위 논문, 2000.
- 김원배, 권영기, 장석우, 임상철, “결구상추의 관비 재배시 가축분뇨 액비 시용 효과”, KOR. J.HORT. SCI.& TECH., 17(2) pp. 203(1999).
- 김재영, 금송연, “시설재배토양에서 돈분뇨 액비의 시용 효과” 자연과학연구지, 제15집, 2004.
- 김종구, 이경보, 이덕배, 이상복, 나송용, “배수조건이 다른 논에서 돈분뇨 액비 시용이 벼 생육 및 양분 이동에 미치는 영향”, 한국토양비료학회지, 37(2), pp. 97~103(2004).
- 노희명, 최효정, 윤석인, 이민진, 김재민, 최홍림, Zhu Kun, “혐기소화 돈분 액비를 처리한 토양에서 배추의 생육과 비점오염원의 용탈 및 유거”, 한국토양비료학회지, 41(2), pp. 112~117(2008).
- 농업과학기술원, 친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비·액비 제조와 이용, pp. 157~168(1999).

- 농촌진흥청 농업경영정보관실, “액비사용농가의 경제성 분석을 위한 조사 결과”, 2002.
- 농촌진흥청, 가축분뇨 자원화 및 이용기술 심포지움, pp. 21~50(2000).
- 농촌진흥청, 농진청 고시 제2005-26호, 2006.
- 농촌진흥청, 비료관리법령, 2002.
- 농협중앙회, 양돈분뇨 액비 이용 및 국내 유기축산 발전성향 세미나, 2002.
- 맞춤형 환경기술지원 보고서, 환경관리공단, 제주특별자치도 환경자원연구원, 제주지역환경기술개발센터, 2008.
- 박무언, 강안석, 김시창, “농가의 돈분액비 저장 형태가 악취 발생과 액비 품질에 미치는 영향”, 한국토양비료학회지, 39(3) pp. 136~143(2006).
- 박백균, 이종식, 조남준, 정광용, “벼에 대한 돈분뇨 액비의 시용량 및 시용시기 구명” 韓土肥誌, 34(3), pp. 147~152(2001).
- 안희권, 최홍림, 정우철, 김기연, 김진길, 박일훈, 정영채, “팔당상수원 지역에서의 축산에 의한 수질오염 실태조사” 동물자원지, 43(4), pp. 569~586(2001).
- 이종태, 이찬중, 김희태, “벼·양과 작부체계에서 화학비료 절감을 위한 돈분뇨액비의 활용”, 한국토양비료학회지, 37(3), pp. 149~155(2004).
- 일본중앙축산회, 가축뇨오수의 처리이용 기술과 사례, 1989.
- 임태준, 홍순단, 김승희, 박진면, “고추에서 SCB액비 시용량 설정을 위한 수량 및 품질 평가”, 한국환경농학회지, 27(2) pp. 171~177(2008).
- 정광용, 조남준, 정이근, “가축분뇨 슬러리 액비 부숙 조건별 특성 비교”, 한국환경농학회지, 17(4), pp 301~305(1998).
- 제주특별자치도, 2008환경백서, 2008.
- 천동원, 박민수, “가축분뇨 액비의 선호도 분석”, 농업경영·정책연구, 30(1), pp 75~87(2003).
- 최원일, 송인규, 신현만, 이정관, “수박의 가축분뇨 액비 시용기준 설정”, Kor. J. Hort. Sci. Technol. 23(SUPPL. I) May 2005.
- 최원일, 송인규, 신현만, 이정관, “한지형 마늘의 가축분뇨 액비 시용기준 설정”, Kor. J. Hort. Sci. Technol. 22(SUPPL. II) October 2004.
- 한강수계 오염 총량관리 계획 수립 지침(2009.1.22), 환경부 고시 제 2009-8호

한국과학기술원, 전국분뇨적정관리 대책연구, 1990.

황선웅, 성좌경, 강보구, 이춘수, 윤승길, 김태완, 엄기철, "돈분뇨 액비사용에 의한 고추 및 배추의 polyamine 생합성", 한국토양비료학회지, 37(3), pp. 171~176(2004).

3N양돈분뇨정화공법에서의 환경오염물질의 효율적 관리 방안, 제주지역환경기술 개발센터, 2005.

Chang CW, Chung H, Huang CF, Su HJJ. "Exposure assessment to airborne endotoxin, dust, ammonia, hydrogen sulfide and carbon dioxide in open style swine houses", *Ann Occup Hyg*, 45(6), pp. 457~465(2001).

Choudhary, M., L. D. Baily, and C. A. Grant. Review of the use of swine manure in crop production : Effects on yield and composition on soil and water quality. *Waste. Manage. Res.* 14 : 581~595(1996).

Edeogu, I., Feddes, J., Colemann, R. and Leonard, J., Odour emission rates from manure treatment/storage systems. *Wat. Sci. Technol.* 44(9) : 269~275(2001).

Hardwick, D. C., Agricultural problems related to odor prevention and control. pp. 21~26. In *Odor Prevention and Control of Organic Sludge and Livestock Farming*. Edited by V. C. Nilsen, J. H. Voorburg, and P. L'hermite. Elsevier Applied Science Publishers, New York, 1985.

Hartung J, buildings and manure stores, *J Agric Eng Res*, 57, pp. 173~189(1994)

He, X, Traina, S. J. and Logan, T. J., Chemical properties of municipal solid waste composts. *J. Environ. Qual.* 21 : 318~32(1992).

Heber AJ, Duggirala RK, Ni JQ, Spence ML, Haymore BL, Adamchuck VI, Bundy DS, Sutton AL, Kelly DT, Keener KM. Manure treatment to reduce gas emissions from large swine houses. In *Proceedings on International Symposium on Ammonia and Odour control from Animal Production Facilities*, 2, eds. Voermans JAM, Monteny G. p. 449~457. The Netherlands : Dutch Society of Agricultural Engineering (NVTL). 1997.

- Hoff, J. D., Nelson, D. W. and Sutton, A. L.. Ammonia volatilization from liquid swine manure applied to cropland. *J. Environ. Qual.* 10 : 90~95(1981).
- Jacobson, L., Schmidt, D., Nicolai, R. and Bicudo, J., Odor control for animal agriculture. BAEU-17. Minnesota State Univ. Ext. Serv., MN., 1998.
- Mackie, R. I., Stroot, P. G. and Varel, V. h., Biochemical identification and biological origin of key odour components in livestock waste. *J. Anim. Sci.* 76 : 1331~1342(1998).
- McCrary, D. F. and Hobbs, P. J., Additives to reduce and odor emissions from livestock wastes : A review. *J. Environ. Qual.* 30(2) : 345~355(2001).
- Miner, J. R., Characterization of odors and other volatile emissions. *Agric. Environ.* 3(2~3) : 129~137(1997).
- Murayama, S., N. Kibo, M. Komada, K. Baba, and A. Tsumura., Water quality, particularly of trihalomethane formation potential of water of agricultural area of humic volcanic ash soil on Shirash Plateau where livestock wastes have been applied as land management. *Soil Sci. Plant Nutr.* 7 2 : 764~774(2001).
- NobletJ, Fortune H, Dubois S, Henry V, "Nouvelles bases d'estimation des teneur en energie digestible metabolisable et nette des aliments pourleporc". INRA, Paris, pp. 1~106(1989).
- Nordstmm GA, McQuitty JB, "Manure Gases in the Animal Environment", Department of Agricultural and Engineering, University of Alberta. 1976.
- Pain, B. F., Phillips, V. R., Clarkson, C. R., Misselbrook, T. H., Rees, Y. J. and Farrent, J. W., Odour and ammonia following the spreading of aerobically treated pig slurry on grassland. *Biol. Waste* 34(3) : 259~267(1990).
- Pain, B. F., Odours from application of livestock wastes to land. In *New Knowledge in Livestock Odor, Proceedings of International Livestock Odor Conference*, Ames, Iowa. pp. 125~126(1995).
- Phillips, V. R., Pain, B. F., Clarkson, C. R. and Klarenbeek, J. V., Studies on

- reducing the odour and ammonia emissions during and after the land spreading of animal slurries. *Farm Build. Eng.* 7 : 17~23(1990).
- Power, W. J., Odour control for livestock system. *J. Anim. Sci.* 77(Suppl.2) : 169~176(1999).
- Rappert, S. and Muller, R., Odor compounds in waste gas emissions from agricultural operations and food industries. *Waste Manage.* 25 : 887~907(2005).
- Shin J. S., H. H. Lee, J. W. Ryoo, K. J. Choi, Y. W. Rim, W. H. Kim, K. Y. Kim, and K. J. Lee., Effect of swine manure separated from its slurry on pasture productivity and soil chemical characteristics. *Korean J. Anim. Sci.* 41 : 479~486(1999).
- Shin, B. K., J. S. Cho, J. G. Kang, J. Y. Cho, K. Y. Kim, H. W. Kim, and H. L. Kim., Physico-chemical properties of soils at red pepper, garlic and onion cultivation areas in Korea. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 32 : 123~131(1999).
- Smith, K. A., Jackson, D. R., Misselbrock, T. H., Pain, B. F. and Johnson, R. A., Reduction of ammonia emission by slurry application techniques. *J. Agr. Eng. Res.* 77(3) : 277~287(2000).
- Sommer, S. G. and Hutching, N. J. 201. Ammonia emission from field applied manure and its reduction-invited paper. *European J. Agron.* 15 : 1~15
- Svoboda, J. F., Aerobic treatment of livestock slurries. SAC Technical Note, Environmental Series No.2, 1995.
- UASHIO, S., N. Yosimura, K. Saito, and N. Nagajima., Nitrogen decomposition rate of animal wastes composts and dry wastes for 141 days in summer, and estimation. *Soil Sci. Plant Nutr.* 71 : 249~253(2000).
- Verstegen MWA, Vanderhel W, Jongebreur AA, Enneman G, "The influence of ammonia and humidity on activity and energy balance data in groups of pigs", *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde*, 37, pp 225~263(1976).

- Williams, A. G, Shaw, M., Slevaih, C. M. and Cumby, R. J., The oxygen requirements for deodorising and stabilising pig slurry by aerobic treatment. *J. Agr. Eng. Res.* 43 : 291~311(1989).
- Yadav, R. L., B. S. Dwivedi, K. Prasad, and P. S. Pandey., yield trends, and changes in soil organic-C and available NPK in a long-term rice-wheat system under integrated use of manure and fertilizers. *Field Crop. Res.*68 : 219~246(2000).
- Zhu, J., A review of microbiology in swine manure odour control. *Agric. Ecosystems and Environ.* 78 : 93~106(2000).

## ● 참여 연구진 ●

연구책임	강진영	제주발전연구원 책임연구원
공동연구	류성필	제주특별자치도의회 자문위원
	고한중	제주특별자치도 전문위원
자문위원	김기연	한양대학교 연구조교수

### 제주지역 양돈분뇨의 적정관리를 위한 발생원단위 산정

인쇄일 / 2009. 10.

발행일 / 2009. 10.

발행인 / 유덕상(제주발전연구원)

발행처 / 제주발전연구원

인쇄처 / 일신옵셋인쇄사

ISBN 978-89-6010-122-7 93530

이 책에 실린 내용은 출처를 밝히는 한 자유로이 인용할 수 있으나 無斷轉載나 複製는 금합니다.