

GOVP 12018512

최 종
연구보고서

가축 분뇨 자원화 및 이용기술 개발

Recycling and Utilization of Livestock Manure

(제 2 권)

농 촌 진 흥 청
축산기술연구소

농 립 부

CONTENTS

<제 1 권>

- I. Research on the Amount of Livestock Manure Production and its Characteristics 31
- II. Determining the Optimum Number of Livestock Considering Regional Pollution Load 187
- III. Investigation of Microorganisms and Development of Products that Accelerate Composting of Animal Wastes and Decrease Various Odors from them. 301

<제 2 권>

- IV. Development of Solids/Liquid Separation Technology and Purification Process for Swine Wastewater Treatment. 415
- V. Development of CABR^{II} for Treatment of Swine Slurry 597
- VI. Development of Spreading Technique and Slurry Utilization System 709
- VII. Establishment of Standards on Compost and Liquid Manure Application for Crop Cultivation 769
- VIII. Environmental Nutrition Evaluation and Increase of Soil Fertility by Composts and Slurry Application. 855

목 차

<제 1 권>

I. 가축분뇨 발생량 및 주요성분 파악	31
II. 지역별 오염부하량 고려 적정두수 설정	187
III. 퇴비 부숙 촉진 및 악취저감 미생물제 개발	301

<제 2 권>

IV. 가축분뇨의 분리 및 정화기술 개발	415
V. 액비의 급속액상부숙기술(CABRII) 개발	597
VI. 액비의 이용체계 및 살포기술 개발	709
VII. 퇴비 및 액비의 작물별 시용기준 설정	769
VIII. 퇴비 및 액비 연용시 지력증진 및 환경영향 평가	855

IV. 가축분뇨의 분리 및 정화기술 개발

Development of Solids/Liquid Separation Technology and Purification
Process for Swine Wastewater Treatment

연구기관명 : 아주대학교	협동연구기관명 : 축협중앙회
연구책임자 : 정윤진	협동연구책임자 : 김강희
연구원 : 박성균	연구원 : 김동수
연구원 : 양태두	참여기업 : (주)아쿠아테크
연구원 : 박현수	참여기업대표자 : 김성철
연구원 : 이기공	연구원 : 조종복
연구원 : 최한나	참여기업 : (주)대협이엔지
연구원 : 최재길	참여기업대표자 : 김정근
연구원 : 이미경	연구원 : 이성학
연구원 : 장이재	
연구원 : 야정하	
연구원 : 송진석	
연구원 : 김필웅	
연구원 : 유윤주	

여 백

요 약 문

I. 제목

가축 분뇨의 분리 및 정화 기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구에서는 효율적인 처리 방안이 없어 심각한 사회적 문제가 되고있는 슬러리 양돈분뇨의 효율적인 처리방안에 관한 실증적인 측면에서 최적의 고액분리 공정을 도출하는 한편 도출된 공정에서 최적의 운전인자를 결정하여 여기서 발생하는 여액을 대상으로 돈사 및 공공처리장 규모별 최적정화 공정을 도출하여 실용화하는 한편 경제성을 고려한 최소한의 비용으로 법적 방류수 수질 기준을 만족하기 위한 공정을 제시하고자 하였다.

III. 연구개발의 내용 및 범위

슬러리 돈사에서 배출되는 양돈분뇨의 경우 고형물당 유기물 함량이 높아 반드시 고액분리가 요구되므로 고액분리공정을 도출하는 연구를 수행하였으며 여기서 배출되는 여액에 대하여 정화처리를 중심으로 연구하였다. 유기물 및 질소제거를 위하여 1차적으로 MLE(Modified Lüd Zack Ettinger) 공정을 이용하였으며, 잔류물질제거를 위한 후처리 공정으로 물리화학적 공정을 연구하였다. 또한 방류수 규제 기준이 가장 엄격한 공공처리시설 규모의 방류수 수질 기준을 만족하기 위하여 최종적으로 2단계 막결합형 생물반응조에 관한 연구를 수행하였으며, 공공처리시설에서 가장 문제되고 있는 COD_{Mn} 제거를 효율적으로 얻기 위하여 분말활성탄 첨가에 따른 영향을 동시에 연구하였다. 최종적으로

각 공정별 물질 수지를 도출하였으며, 연구결과를 바탕으로 시설규모별 공정을 제안하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 제의

슬러리 비육돈사에서 발생하는 양돈분뇨를 대상으로 고액분리 공정을 도출하기 위하여 적정 응집제 선정 및 첨가량 실험결과 고분자 응집제인 E-851이 적합한 것으로 판명되었으며, 최적 주입량은 단위 고형물당 0.24~0.6%이었다. 최적 고액분리 공정으로는 중·소규모 돈사의 경우 1차 고액분리 공정으로 Screw Press(응집제 첨가)와 대규모에서는 Low Speed Screw Decanter(응집제 첨가)가 적정 공정으로 도출되었으며, 2차 고액분리 공정으로 부상조가 가장 안정적인 것으로 나타났다.

고액분리 여액을 위한 1단계 생물학적 처리로 MLE공정을 이용하였으며, 반응조 운전결과 총유효부피에 대하여 무산소조 부피비가 20%일 때 가정 우수한 질소제거 효율을 나타내었다. 또한 C/N비가 증가할수록 F_N/M 의 최대 부하 또한 증가하였다. 한편 실험실 결과를 기초로하여 Pilot 규모의 1단계 MLE 공정을 운전한 결과 여름철보다는 오히려 겨울철에 폭기조 온도를 20~25℃로 유지함으로써 더욱 안정된 처리 효율을 유지할 수 있었다. 1단계 MLE 공정의 유출수에 대한 후처리 공정으로 응집/부상 공정이 최적으로 선정되었다.

축산폐수 공공처리장의 방류수 수질기준을 만족하기 위하여 한외여과막이 결합된 막결합형 생물반응조를 운전하였으며, 탈질을 위한 외부탄소원으로 메탄올을 C/N비가 6.0이 되도록 첨가하였다. 최적 막면유속은 1.8m/sec로 나타났다으며, 이때의 Transmembrane Pressure(TMP)는 2.1atm으로 나타났다. 반응조에 분말활성탄을 Mixed Liquor Carbon Concentration(MLCC) 200mg/l로 첨가했을 때 생물학적 재생 및 활성도 증가가 관찰되었다.

SUMMARY

I. TITLE

Development of Solids/Liquid Separation Technology and Purification Process for Swine Wastewater Treatment.

II. OBJECTIVE AND IMPORTANCE

In this study, we focused this research into two stages. The first stage is to separate more efficiently the liquid and solids from the collected wastes and the second stage is to find parameters for the better treatment of the liquids separated from the first stage and eventually to develop the most economic and efficient process to meet the effluent limitations applied for different circumstances.

III. CONTENTS AND SCOPE

In this study, the characteristics of swine wastewater generated from slurry-type feedlot were examined and the optimum treatment methods were investigated to satisfy the current effluent limitations for different size of farm. In case of swine wastewater generated from slurry feedlot, it is necessary to separate excrements and urine from slurry swine wastewater because of excrements too much of organics.

At the first step, MLE(Modified Lüd Zack Ettinger) was used in order to remove the organics and nitrogen and followed by physical and chemical treatment process as a post treatment process. The biological

reactor coupled with a membrane was adopted for further treatment to meet the effluent limitations for publicly owned swine wastewater treatment plant. PAC is added to reduce COD_{Mn} value of effluent.

IV. RESULTS AND APPLICATION OF STUDY

It turned out that an appropriate polyelectrolyte for the conditioning of dewatering characteristics was E-851, and the optimum dosage of E-851 was 0.24~0.6% per unit solid weight. The most efficient solid/liquid separation device for the small and middle scale was found to be the Screw Press with addition of polyelectrolyte followed by AF(Air Flotation) whereas for the large scale and public treatment place, the Low Speed Screw Decanter with polyelectrolyte followed by AF was the best.

The optimal operation parameters for the MLE(Modified Lüd Zack-Ettinger) process to treat the liquid supernatant separated from the slurry excreta of swine feedlot was also studied as a promising biological treatment process. The nitrogen removal characteristics with different volume ratios between nitrification and denitrification reactor were investigated along with the operational effect of various nitrogen loading rates and C/N(COD_{Cr}/TKN) ratios. Based on the results on the laboratory scale, a MLE plant was operated on the pilot scale to examine the effect of ambient temperatures from August to January.

The most optimal volume fraction for nitrification and denitrification was found to be 20% of the total volume of the reactor. The optimum

F/M ratio changed more rapidly than F_N/M ratio with increase of the C/N ratio. The pilot scale MLE plant demonstrated the higher removal efficiencies of COD and TKN in winter than summer and it was operated in the most stable condition within 20~25°C for the mixed liquor. The most effective C/N ratio was 6.0 when methanol was added as the external carbon source for denitrification of the effluent from coagulation/flotation process.

The optimal operation factors for MBR process were derived to treat the effluent from one-step MLE process following coagulation/flotation process after solid/liquid separation as a way of the treatment processes of slurry swine manure. The effects of the PAC on the MLE process were also studied.

The optimum PAC dosage into the aeration tank was MLCC 200mg/ℓ and with the increase in the biological recovery and microbial activity caused by the addition of PAC, COD_{Mn} and COD_{Cr} removal efficiencies were increased 61.9% and 19.1%, respectively compared to the Activated Carbon tower. A reduction in the toxic interferences and increase in the microbial activity were observed during the biological treatment for nitrogen removal.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	429
Section 1. Research Background	429
Section 2. Objectives	432
Section 3. Research Contents	434
Chapter 2. Generation Characteristics of Livestock Wastewater ..	439
Section 1. Introduction	439
Section 2. Generation and Treatment of Livestock Wastewater	439
1. General Characteristics of Livestock Wastewater	439
2. Characteristics of Swine Wastewater	442
3. Treatment and Disposal of Swine Wastewater	445
4. Effluent Discharge Regulations for Livestock Wastewater	448
Section 3. Experimental Methods	455
Section 4. Results and Discussion	456
Chapter 3. Solid/Liquid Separation of Slurry-Type Swine Manure	463
Section 1. Introduction	463
Section 2. Experimental Apparatus and Methods	464
Section 3. Results and Discussion	473
1. Particle Size Distribution and Dewaterability for different Slurry-Type Swine Manure	473

2. Characteristics of the Primary Solid&Liquid Separation Device	478
3. The Optimum Operating Conditions of SP and LSSD	486
4. Characteristics of the Secondary Solid&Liquid Separation Device	489
Section 4. Conclusions	499
Chapter 4. The Primary Biological Process and Post Treatment Process	
for the Treatment of Filtrate from Solid/Liquid Separation	
Process	500
Section 1. Introduction	500
Section 2. The Primary Biological Process and Post Treatment Process	
for the Treatment of Filtrate from Solid/Liquid Separation	
Process	500
1. Treatment of high Concentration Swine Wastewater with	
Intermittent Aeration Process	500
2. The Optimum Operating Conditions of MLE Process and Post	
Treatment Process for treating Filtrate from Solid/Liquid	
Separation	501
a. Experimental Apparatus and Methods	501
b. Results and Discussion	508
1) The Optimum Operating Parameters for MLE Process	508
2) Pilot Plant Design and Removal of Organics and Nitrogen	
	526

3) Development of Post Treatment Process for Effluent from the Primary MLE Process	531
Section 3. Conclusions	538
Chapter 5. Biological Process coupled with Crossflow Membrane(MBR) ...	540
Section 1. Introduction	540
Section 2. The secondary Biological Process coupled with Crossflow Membrane	541
1. Experimental Apparatus and Methods	541
2. Results and Discussion	548
a. Fundamental Experiment for MBR Process	549
1) Determination of the Optimum Linear Velocity	549
2) Change of Denitrification Rate with different C/N Ratio ...	551
3) Isotherm Adsorption Experiment	554
b. Operating Parameters of MBR with Addition of PAC	556
1) Determination of the Optimum PAC Dosage	556
2) Effects of PAC Addition into MBR	560
3) Particle Size Characteristics of MBR Process	564
4) Fe Concentration existed in different Stage of Processes	565
c. Removal of Organics and Nitrogen in Pilot-scaled MBR Process	566
Section 3. Conclusions	569

Chapter 6. Optimum Treatment Process System for different Treatment Capacity and Effluent limitations	571
Section 1. Suggestion of Treatment Process System for different effluent limitations	571
Section 2. Mass Balance of Treatment Process	572
Section 3. Feasibility Study	575

목 차

제 1 장 서론	429
제 1 절 연구개발의 필요성 및 목적	429
제 2 절 연구개발의 목표	432
1. 1차년도	432
2. 2차년도	432
3. 3차년도	433
제 3 절 연구개발의 구성	434
1. 1차년도	434
2. 2차년도	435
3. 3차년도	437
제 2 장 가축분뇨의 발생 특성	439
제 1 절 서론	439
제 2 절 가축분뇨의 발생 및 처리특성	439
1. 축산분뇨의 일반적 특성	439
2. 양돈분뇨의 특성	442
3. 양돈분뇨의 처리 및 처분	445
4. 국내·외 축산 관련 법규	448
제 3 절 실험방법	455
제 4 절 결과 및 고찰	456
제 3 장 슬러리 양돈분뇨의 고액분리	463
제 1 절 서론	463

제 2 절 실험 장치 및 방법	464
제 3 절 결과 및 고찰	473
1. 슬러리 양돈분뇨의 입자별 농도 특성 및 탈수성 개량	473
2. 1단계 장치별 고액분리 특성	478
3. SP 및 LSSD의 최적 운전 조건	486
4. 2차 고액분리 특성	489
제 4 절 결 론	499
제 4 장 고액분리 여액에 대한 1단계 생물학적 공정 및 후처리 공정	500
제 1 절 서 론	500
제 2 절 고액분리 여액에 대한 1단계 생물학적 공정 및 후처리 공정	500
1. 간헐 폭기법을 이용한 고농도 양돈폐수의 처리	500
2. 고액분리 여액에 대한 MLE 공정의 최적 운전인자 도출 및 후처리 공정	501
가. 실험 장치 및 방법	501
나. 결과 및 고찰	508
1) MLE 공정의 최적 운전 조건 도출	508
2) 1단 pilot plant MLE 설계 및 유입수 성상에 따른 유기물 및 질소 제거 특성	526
3) 1단 MLE 유출수에 대한 후처리 공정 개발	531
제 3 절 결 론	538
제 5 장 막결합형 생물반응 공정	540
제 1 절 서 론	540
제 2 절 2단계 막결합형 생물반응조 공정	541

1. 실험 장치 및 방법	541
2. 결과 및 고찰	548
가. 막결합형 생물반응조를 위한 기초 실험	549
1) 최적 막면유속 결정	549
2) C/N비 변화에 따른 탈질을 변화	551
3) 등은 흡착 실험	554
나. 분말활성탄 첨가에 따른 영향 인자	556
1) 최적 분말활성탄 첨가량 결정 실험	556
2) 분말활성탄 첨가가 막결합형 생물반응조에 미치는 영향	560
3) 반응조내에 있는 입자 크기 특성	564
4) 각각의 운전 단계별 Fe 농도 조사	565
다. Pilot 규모의 막결합형 생물반응조를 이용한 유기물 및 질소 제거 특성	566
제 4 절 결 론	569
제 6 장 시설 규모별 처리 공정	571
제 1 절 규모별 처리 공정 제안	571
제 2 절 공정별 물질 수지	572
제 3 절 경제성 검토	575
<참고문헌>	587
APPENDIX I. PROGRAM	591

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 필요성 및 목적

경제 발전 및 국민 생활 수준의 향상으로 축산물의 소비량이 급속히 증가하여 이에 따른 축산농가의 기업화 및 사육두수의 증가는 필연적이라 할 수 있다. 그러므로 축산 분뇨의 양 또한 급증하여 이의 적정 관리 및 처리가 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 그러나 가축배설물은 유효하게 이용하면 토양 구조 개선, 병충해 억제, 비료 성분지지, 완충능 증대, 유해물 저지등 환경에 긍정적 측면을 가지고 있으나 적정 용량을 초과한 경우에는 비점오염원으로 호소 및 하천의 부영양화 원인으로 작용한다. 특히 우리나라의 경우 전체 가축분뇨 발생량의 90% 이상이 농지에 환원되고 있는 실정이며 농지 환원을 위한 여러 가지 조건들이 미비한 상태에서 환경 용량을 고려한 적절한 관리대책이 없을 경우 농지에 영양물질이 축적되어 비점오염원의 유출가능성은 심화될 것으로 사료된다.

우리나라 축산 분뇨 발생량은 '94년 현재 전체 폐수 발생량 중 0.7%에 불과하나 유기물 부하량은 8.0%로 높을 뿐 아니라, 고농도의 질소 및 인 성분들이 완벽한 처리가 이루어지지 않은 상태로 자연계에 노출될 경우 호소의 부영양화를 초래할 뿐만 아니라 병원성 미생물에 의한 시하수 오염 및 악취의 원인이 되며, 비위생적으로 농촌 환경 문제로 대두되고 있다. 이와 같은 축산 분뇨 처리가 심각한 사회 문제로 대두됨에 따라 정부의 각별한 관심을 불러 일으켰다. 그러나 축산 농가의 영세성으로 환경 오염 방지 시설의 설치가 미흡하고 전문지식의 부족으로 적정처리가 안된 상태로 자연계에 노출되고 있으며, 축산 폐수 공공처리장의 경우에도 부적합한 처리공법의 도입과 운전 미숙으로 완벽

한 처리가 이루어지지 않은 상태로 수계에 방출시키고 있는 실정이다.

또한 규제미만 및 간이 대상 축산 농가에서 발생하는 분뇨 처리를 위한 축산 폐수 공공처리장의 경우에는 농도가 너무 낮게 책정되었고 체계적인 수거체계가 이루어지지 않아 비정상적으로 가동되고 있으며 신고 및 허가 대상 농가 역시 효율적인 처리 방안이 제시되지 않고 있어 심각한 오염원으로 작용하고 있다. 이러한 축산분뇨의 처리에 있어서 넓은 토지를 소유하고 있는 유럽의 경우에는 지금까지는 안정화 공법만을 거친 후 초지에 살포하고 있어 이에 따른 병원균의 번식, 악취, 질소 및 인의 과다 유출에 대한 규제만을 실시하고 있으나, 최근에는 사육규모의 증가에 따른 초지 확보의 어려움 등으로 점차적으로 액비화에서 정화시설을 거친 후 방류시키는 방향으로 나아가고 있는 추세이다.

우리나라의 경우 최근 액비허용 대상 초지를 크게 완하하기는 하였지만, 아직도 축산분뇨의 액비를 초지에 살포하기에는 초지가 절대적으로 부족한 실정이며, 충분한 액비 과정을 거치지 않은 상태에서 초지에 살포할 경우 심각한 비점오염원이 되고 있어 일률적인 액비화 공정 도입하기에는 많은 문제점이 따른다. 가축분뇨는 본래 농지에 환원하여 유용하게 이용하는 것이 기본이지만 액비를 살포할 초지가 절대적으로 부족하고 사육두수가 많은 우리나라의 실정에 있어서는 자경 농지로의 환원은 극히 일부이고, 대부분은 축사 내에서 발생하는 분뇨를 이용하여 퇴비화하는 방법을 선호하고 있는 실정이다. 현재는 축사로부터 발생하는 분뇨를 대부분 수분조절제를 이용하여 부숙후 퇴비로 이용하는 것이 가장 일반적이지만 퇴비의 품질 및 수분 조절제로서의 톱밥 수급 문제 등으로 인하여 이 또한 현실적으로 많은 어려움이 따르고 있으므로 축산분뇨의 합리적인 처리방안은 주변환경여건에 따라 정화처리 공

정이 반드시 요구된다고 할 수 있다.

축산분뇨에 있어서 돼지나 닭같은 단위 가축은 탄수화물, 지방, 단백질등의 영양원을 사료로 의존하며 스스로 셀룰로즈 요소를 소화 흡수하는 능력은 없다. 그러므로 사료중 섬유질은 분중에 불순물로서 배설된다. 그러나 계분의 경우 닭의 생리 특성상 분과 뇨를 분리 배설하지 않으므로 고형물 함량이 높고, 배설량이 생체 무게의 약 7%로 작은 양이 발생되며, 질소 함량이 높아 유기질 비료로의 요구도가 매우 높다. 그리고 우분뇨의 경우에는 많은 섬유질 함유로 분해도가 좋아 토양개량제로서 이용이 가능하며 사육 특성상 넓은 소 운동장이 필요하며, '97년 9월 18일부터 관련법의 개정으로 소운동장에 비가림시설의 설치가 가능하여 수분의 증발후 퇴비화가 용이하여졌으며 비점오염원으로서의 문제도 어느 정도 해결되었다. 그러나 계분이나 우분과는 달리 양돈 분뇨의 경우에는 분뇨 발생량 중 뇨의 발생 비율이 높고, 분과 뇨의 고액 분리 없이 퇴비화나 액비화시 많은 어려움이 따라 현재 양축 농가에서 축산 폐수 처리시 가장 큰 문제점으로 대두되고 있다. 특히 국내 양돈가의 경우 대규모 사양시설이 급증하고 있는 추세에서 양돈경영상 상당수가 슬러리 돈사 형태로 이루어져 있어 분뇨 혼합형 양돈분뇨가 대부분을 이루고 있는 실정이다.

지금까지 국내·외의 많은 연구자들이 축산분뇨의 효율적인 처리 및 자원화 기술개발을 위한 수많은 연구가 수행되어 왔지만 축산 분뇨의 배출 특성 및 농장 경영 여건을 무시한 상태로 한정된 공법으로 획일적 처리에 관한 연구가 주를 이루고 있어 효율적인 처리 및 처분 기술의 개발이 미흡한 실정이므로 축산분뇨의 정확한 실태 파악 및 적절한 처리 및 처분 공정의 개발이 시급히 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 슬러리 양돈분뇨의 효율적인 처리방안에 관한

실증 연구를 위한 시스템적 접근을 수행하였다. 본 연구에서 언급하는 시스템 공학이란 시스템을 실질적으로 사용할수 있도록 개발하거나 또한 시스템을 계획, 설계 또는 관리하는 활동으로서 경제성을 고려한 최소한의 비용으로 입증된 방법에 의해 공정을 구현하는데 목적을 두었다.

제 2 절 연구개발의 목표

1. 1차년도

본 연구는 “가축분뇨의 분리 및 정화 기술 개발”로서 1차년도에는 축산분뇨의 기초현장 조사 및 대상 원수의 성상 특성을 조사하여 대표성을 지닌 연구 대상을 선정한 다음 생물학적 처리 단계의 부하율 줄이기 위하여 축산 분뇨의 분리 기술을 개발과 분리된 뇨처리에 대하여 최적의 처리공법의 선정과 운전 조건을 도출하는데 그 목적이 있다.

1차 연도의 연구 개발 목표는 다음과 같이 크게 구분할수 있다.

- ① 기초 현장 조사 및 대상 원수의 성상 특성 조사
- ② 축산분뇨 분리 공정의 제작 및 설치
- ③ 축산분뇨 분리 공정의 최적 설계 인자 및 운전 조건 도출
- ④ 분리된 뇨 성상에 따른 뇨처리 공정 설계 인자 도출
- ⑤ 실험실 규모의 뇨처리 공정 제작 및 설치
- ⑥ 실험실 규모의 뇨처리 공정 운전
- ⑦ 실험실 규모의 뇨처리 시설에서 축산분뇨의 유기 물질 제거 효율 검토

2. 2차년도

1차년도 실험에서 개발된 양돈분뇨의 고액분리 장치의 실용화를 위해 현장규모의 pilot장치 제작하여 운전하였다. 2차년도에의 중점사항은

분리된 뇨의 최적의 처리 공정을 도출하여 그 도출된 공정의 설계인자 및 운전조건을 도출하는데 목적을 두었다. 실험실 규모의 실험을 통해 도출된 결과를 기초로 현장 규모의 pilot 장치를 설계하였다.

2차년의 연구목표는 다음과 같이 구분할 수 있다.

- ① 고액 분리 장치의 실용화 및 최적 고액 분리 Pilot 시스템 구축
- ② 기존 활성슬러지 공정을 이용한 실험실 규모의 뇨처리 공정 운전
 - 폭기/비폭기 공정
 - MLE 공정
- ③ 실험실 규모의 뇨처리 시설에서 축산분뇨의 유기 물질 및 질소 제거효율 검토
- ④ 실험실 규모의 뇨처리 시설을 이용한 Pilot 규모의 뇨처리 공정 설계인자 도출
- ⑤ Pilot 규모의 뇨처리 공정 제작 및 설치

3. 3차년도

당해 연도 연구개발 목표는 가축 분뇨의 분리 기술 및 정화 기술 개발을 위해 수행된 1차년도와 2차년도의 연구결과를 종합, 분석하여 Pilot plant에 적용하여 실험실 규모의 실험결과를 확인하는 동시에 문제 발생시 지속적으로 실험실 규모의 실험을 병행하여 향후 실 규모 처리시설의 설계 및 운전에 요구되는 인자를 도출하는데 있다.

3차년도 연구수행 내용은 다음과 같다.

- ① Pilot 규모의 뇨처리 공정 운전
- ② 축산분뇨 분리 및 뇨처리 공정의 최적 운전 인자 및 설계 조건 도출
- ③ 현장운전시 도출된 문제점의 실험실에서 지속적 연구 수행

④ 개발된 시스템의 처리효율 검증 및 경제성 검토

⑤ 실용화 방안 검토

제 3 절 연구개발의 구성

1. 1차년도

본 연구는 “가축분뇨의 분리 및 정화기술 개발”에 관한 1차년도 연구개발의 구성은 다음과 같다.

가. 양돈 분뇨는 사육 농가에 따라 돈사의 형태, 사육돈의 종류, 제공되는 사료의 종류 및 양, 급수량 및 급수시설의 형태, 분뇨의 분리유무 및 수거방법, 돈사의 세척법 및 세척수량, 소독 및 농장 경영 방법등의 특성에 따라 분뇨의 발생량 및 이화학적 특성이 매우 상이하므로 정확한 발생량과 특성을 나타내기에는 많은 문제점이 따른다. 따라서 본 연구에서는 전국 80여개 장소를 대상으로 설문조사 및 현장을 직접 방문하여 시료를 분석하였다. 또한 이를 기초로하여 양돈분뇨의 배출 특성을 파악함과 동시에 현재 양돈분뇨의 부적절한 처리 원인을 조사 분석하였으며 처리시 가장 문제시되고 있는 슬러리 돈사에서 배출되는 양돈분뇨를 대상으로 대표성을 확보할 수 있는 양돈분뇨의 특성에 관한 연구를 수행하였다.

나. 슬러리 양돈 분뇨의 퇴비화시에는 함수율이 높으므로 양질의 퇴비를 제조하기 위해서는 과량의 수분조절제가 요구되므로 수분조절제의 사용량을 줄이는 한편, 직접 정화처리하기에는 공정에 과부하가 발생하므로 정화 처리시 후속 공정에 부하를 최소화시키기 위해서는 적정 고액분리가 반드시 요구된다. 따라서 본 연구에서는 양돈분뇨의 고액분리시 최적의 응집제 및 운전 조건을 도출하였으며, 이를 기초로 하여 공공처리시설 및 개별농가에서 현재 사용 중인 고액 분리 장치를

중심으로 현장 중심의 보완, 검증 실험을 통하여 최적의 고액 분리 장치를 개발하였으며 효율 향상을 위한 연구를 수행하였다. 이 때 사용된 고액 분리 공정은 Hydrasieve Screen(HS), Drum Screen(DS), Vibrating Screen(VS), 고속 Screw Decanter(HSSD), 저속 Screw Decanter(LSSD), Screw Press(SP), Cyclone Drum Screen(CDF), 부상조(AF), Mesh Screen(MS)등의 조합을 통하여 최적 고액 분리 공정을 도출하였으며, 도출된 공정을 중심으로 최대의 효율을 유지할 수 있는 운전 조건을 도출하였다.

다. 상기의 실험을 통해 도출된 최적의 고액분리 장치를 사용하여 얻은 분·뇨의 특성을 파악하여 분부분은 퇴비화로 뇨부분은 생물학적 처리하고자하였다. 특히, 뇨부분의 특성을 파악하여 기존의 활성슬러지 공정을 이용한 폭기/비폭기 공정 및 MLE공정의 설계인자로 사용하였다.

라. 고액분리 공정에서 확보된 여액을 대상으로 기존 활성 슬러지를 이용한 폭기/비폭기 공정을 이용하여 수동제어에서의 최적의 Blower On/Off Cycle 도출실험, 간헐폭기 공정에서의 자동제어 parameter도출, 수동제어 및 자동제어의 최대 유기물 도출, 수동제어 및 자동제어의 충격부하 실험을 통해서 유입수의 질소 및 유기물 농도를 제거하는 실험을 실시하였다.

2. 2차년도

2차년도 연구수행과제는 다음과 같이 크게 5가지로 구성되어 있다.

가. 1차년도 연구수행의 결과로 도출된 저속 Screw Decanter와 가압부상 공정인 결합된 최적의 고액분리 기술의 실용화를 위해 전라남도 영광 소재 백제 축산, 충청남도 당진과 경기도 평택 소재의 농장에서 실용화 실험을 실시 하였다.

나. 본 연구에서 대상으로 하는 고액분리 공정후 배출되는 여액은 고농도의 질소와 유기물을 함유하게 된다. 따라서 본 연구에서는 생물학적 처리 공정으로 질소와 유기물을 동시에 제거하기 위한 무산소조/호기조 공정(Modified Ludzack Ettinger Process)에 대한 최적의 설계 조건 및 운전조건을 도출하였다. 이 때 세부 실험 내용으로는 무산소조 부피비에 따른 최적의 설계 조건을 도출하였으며, 이를 기초로하여 고농도 질소가 포함된 고액 분리 여액에 대한 주요 운전 조건을 도출하기 위하여 F_N/M 비 변화에 따른 질소 제거 특성을 관찰하였다.

다. 현재 정화처리시 국내 법적 규제 기준을 고려하여 본 연구에서는 1단계 생물학적 처리 공정에 연계되는 최적의 처리 공정을 도출하기 위하여 2단계 생물학적 처리공정 및 물리화학적 처리 공정에 관한 실험을 수행하였다. 이 때 세부 실험 내용으로는 2단계 막결합형 생물반응조 공정을 운전하였으며, 효율 향상을 위해 PAC 첨가 유무에 따른 특성을 검토하였다. 또한 물리·화학적 처리 공정으로 1단계 생물학적 처리 공정 유출수에 대한 Breakpoint Chlorination, 응집/부상, 오존 산화 등의 공정을 검토하여 최적의 공정을 도출하였다.

라. 본 연구에서는 축산폐수 공공처리시설의 규제시 가장 문제시되고 있는 COD_{Mn} 을 중심으로 MBR(Membrane Bioreactor)의 일종인 관형 한외여과막이 결합된 생물반응조에 관한 연구를 수행하였다. 이 때 최적 조건 도출을 위하여 PAC 첨가 유무에 따른 특성을 검토하였다. 세부 실험 내용으로는 PAC 흡착에 의한 COD_{Mn} 물질의 흡착 및 미생물에 의한 PAC 재생(Bioregeneration)에 관한 실험을 수행하였으며, COD_{Mn} 규제 기준을 만족하기 위한 PAC을 첨가한 막결합형 생물반응조 운전조건을 제시하였으며, 반응조내에서의 PAC의 흡착 및 재생에 관한 모델식을 제시하였다.

마. 상기 실험 결과를 이용하여 현장 규모의 1단 생물학적 반응조, 후처리 공정인 응집/부상 장치와 막결합형 생물반응조를 설계하였다. 지금까지의 고액분리 공정의 실험을 수행한 충청남도 논산 소재의 유기질 비료 공장의 경우 주관연구기관과 너무 멀리 떨어져 생물학적 처리 공정의 Pilot 실험 특성상 원활한 연구 수행이 어려울 것이 예상되므로 경기도 인근의 슬러리 돈사를 소유하고 있는 농장을 대상으로 실험을 실시했으나 결과과 좋지않아 다시 사이트선정을 검토하여 이천시 환경사업소 내의 공간을 협조 받아 실험을 실시하였다.

3. 3차년도

가. 2차년도 현장 Pilot plant 실험은 1999년 8월부터 정상적으로 가동되어졌으며 운전조건은 실험실 규모의 실험장치에서 도출된 결과로 운전되어졌다. 그 결과 질소 및 유기물 제거에 양호한 결과를 나타내었다. 그리고 유기물 및 질소 제거의 계절에 따른 온도 변화에 대한 결과로 여름철보다 겨울철에 더 양호한 결과를 보인 것으로 나타났는데 이는 온도 상승에 따른 pH상승이 Free Ammonia의 농도를 더욱 증가시켜 질산화에 억제 영향을 끼친 것으로 사료되어진다. 후속공정의 실험을 위하여 1단 생물학적 Pilot Plant도 3차년도까지 지속적으로 운전되어졌다.

나. 1단 생물학적 처리수를 $FeCl_3$ 과 유기 응집제를 이용하여 응집/부상 여액을 대상으로 2단계 생물학적 처리로 현장규모의 막결합형 생물반응조를 2000년 5월부터 운전하였는데 운전초기에는 질산화 및 탈질이 불량했으나 시간이 지남에 따라 질산화는 양호하게 변한 반면 탈질은 여전히 불량하게 남아 있음을 발견할수 있었다. 이는 탈질시에 전자 공여체로 작용하는 탄소원의 부족으로 기인한 것으로 나타났다. 그

래서 외부탄소원으로 매탄올을 첨가한 결과 탈질율도 양호해 짐을 발견할수 있었다. 그러나 이 자체로는 축산 폐수 공공처리장 방류수 수질 기준을 만족할시킬수 없어서 분말활성탄 첨가에 따른 막결합형 생물반응조의 영향을 연구수행하였다.

다. 본 연구에서는 지금까지의 처리 공정의 운전 비용에 대한 경제성 평가를 수행하였다. 따라서 우리나라 양돈농가 및 축산 폐수 공공처리장의 현재 상황을 고려하여 지금까지의 공정을 중심으로 현실적으로 적용 가능한 공정을 제시하였으며, 향후 국내 양돈농가에서 수행할 수 밖에 없는 슬러리 양돈분뇨의 바람직한 정화 처리 방안을 양돈농가 규모별로 제시하였다.

제 2 장 가축분뇨의 발생 특성

제 1 절 서 론

양돈분뇨의 오염물질 농도는 전술한 바와 같이 여러 주변 환경 여건 및 가축 사육 운영 방법에 따라 매우 상이한 농도 특성을 나타낸다. 특히 돈사 구조, 분과 뇨의 분리 유무, 돈사의 청소 방법, 세척 수량 등에 따라 현저한 차이를 나타내므로 발생 분뇨의 특성에 따른 공법 선정에 큰 어려움을 겪고 있다. 이중에서도 분뇨 분리 여부에 따른 돈사 구조는 농도 특성을 좌우하는 중요한 인자이다. 그러나 기존의 처리 및 처분에 대한 공법 및 연구 방향은 분뇨의 배출 특성을 크게 고려하지 않고 일률적인 연구 및 공법을 적용함으로써 공법의 성공 및 연구 결과의 재현성에 많은 한계를 나타내어 결국 양돈분뇨의 처리 및 처분을 심각한 사회 문제로 까지 대두되었다.

그러므로 본 연구에서는 여러 돈사 형태에 따른 배출 특성을 파악함과 동시에 현장 조사를 통하여 양돈분뇨 처리시 문제점을 파악하고, 국내 양돈가의 대다수를 차지하고 있는 슬러리 돈사에서 배출되는 양돈분뇨의 특성을 파악하여 대표성을 확보할 수 있는 농도 특성을 도출하였다.

제 2 절 가축분뇨의 발생 및 처리특성

1. 축산분뇨의 일반적 특성

가축 분뇨 배설물중 고형물과 수분과의 관계는 생분중 고형물에 관여하는 요인과 배설시와 배설후로 구분하여 분석할 수 있다. 생분중 고형물량에 관여하는 요인으로는 가축의 축종, 체중, 임신 유무, 비유량, 산란양, 증세량 및 급여사료의 종류, 품질, 채식량등과 밀접한 관계가 있다. 배설시 생분 수분함량에 관계하는 요인으로는 가축의 음수량, 사료

중의 수분 함량, 계절을 고려할 수 있으며, 특히 여름철의 경우 체온조절을 위하여 음수량이 겨울의 2~3배로 증가하기 때문에 수분함유율이 높고 연변이 되기 쉽다. 또한 배설후 함수율에 관련된 인자로는 축사의 형태, 가축의 수용 방식, 난방을 포함한 환경, 환기 유무 등을 고려할 수 있다. 사양관리에 따른 함수율 관계는 분을 제거하는 방식과 회수, 깔짚 등의 종류와 양, 음수기에서의 물의 양 및 잠용수 등의 양을 고려할 수 있으며, 축사의 입지 상태나 지형적 기상조건에 따라 다양하게 변화할 수 있다. 다음의 표 2-1은 일반적인 가축배설량을 나타낸 것이며(畜産公海對策全書, 1996), 최근의 경향으로는 급여사료의 질적인 향상에 따라서 소화율이 좋아져 분의 배설량이 감소하고 있는 추세이다.

돼지나 닭 같은 단위(單胃)가축은 탄수화물, 지방, 단백질 등의 영양원을 사료로 의존하며 스스로가 셀룰로즈 요소를 소화 흡수하는 능력은 없다. 그러므로 사료중 섬유질은 분중에 불순물로서 배설된다. 계분 경우 비료의 3요소 함유량이 높고 노가 액상을 나타내지 않으므로 건조가 용이하여 비료로 사용이 유리하며 특히 과수에 대한 시비효과가 우수한 것으로 평가되고 있어 분뇨의 처리에는 큰 문제가 없는 것으로 나타나고 있다. 이에 반하여 소와 같은 반추동물은 제 1위중에 많은 박테리아와 프로토조아가 생식하여 섬유물질도 쉽게 소화 이용할 수 있으며 또 요소나 초산태질소 등도 단백질원으로서 이용된다(축산업협동조합, 1991). 그러므로 사료중에 있는 셀룰로스, 자일로스, 펩토산 등의 불용성 유기물도 분중에 매우 적으며 이와 같은 반추동물의 경우 축분중의 유기물의 25~30%가 균체세포에서 유래한다고 한다. 따라서 소의 분중에는 난분해성 유기물이 많고 질소의 비료효과는 느리므로 소의 분을 이용한 퇴비화는 퇴비라기보다는 토양개량제로서의 성격이 강하여 콩과 작물 재배와 채초지에 최적이다. 더욱이 최근에는 소사육 시설중의 일부인 소운동장에 비가림막 시설을 의무화하고 있으므로 환

경오염에 대한 문제는 비교적 용이하게 해결할 수 있는 형편이다. 소의 경우는 표 2-1에서 나타낸 것처럼 착육우를 제외한 경우 분뇨 배설량 중 뇨의 비율이 32.9~41.2%인 반면, 돼지의 경우 60.3~69.6%를 차지하고 있어 분뇨가 혼합되어 있을 경우 퇴비로서의 이용시 적절한 수분 조절제가 요구된다. 더욱이 돼지의 경우 사육특성상 음용수 및 세척수의 사용이 빈번하게 됨으로써 직접적인 퇴비화시에는 다량의 수분조절제가 요구된다.

Table 2-1. The generation rates of livestock manure

구분	체중(kg)	1일 1두당			1년간 1두(수)당			
		분량(kg)	뇨량(kg)	분뇨합계(kg)	분량(ton)	뇨량(ton)	분뇨합계(ton)	
소	착육우	500~600 (550)	30~50 (40.0)	15~25 (20.0)	45~75 (60.0)	14.6	7.3	21.9
	성우	400~600 (500)	20~35 (27.5)	10~17 (13.5)	30~52 (41.0)	10.6	4.9	15.5
	육성우	200~300 (250)	10~20 (15.0)	5~10 (7.5)	15~30 (22.5)	5.5	2.7	8.2
	자우	100~200 (150)	3~7 (5.0)	2~5 (3.5)	5~12 (8.5)	1.8	1.3	3.1
돼지	비육돈(대)	90	2.3~3.2 (2.7)	3.0~7.0 (5.0)	5.3~10.2 (7.7)	1.0	1.8	2.8
	비육돈(중)	60	1.9~2.7 (2.3)	2.0~7.7 (3.5)	3.9~7.7 (5.8)	0.8	1.3	2.1
	비육돈(소)	30	1.1~1.6 (1.3)	1.0~3.0 (2.0)	2.1~4.6 (3.3)	0.5	0.7	1.2
	번식돈 암돼지	160~300 (230)	2.1~2.8 (2.4)	4.0~7.0 (5.5)	6.1~9.8 (7.9)	0.9	2.0	2.9
	번식돈 수유기	-	2.5~4.2 (3.3)	4.0~7.0 (5.5)	6.1~11.2 (8.8)	1.2	2.0	3.2
	번식돈 암돼지	200~300 (250)	2.0~3.0 (2.5)	4.0~7.0 (5.5)	6.0~10.0 (8.0)	0.9	2.0	2.9
닭	산란계	1.4~1.8 (1.6)	0.14~0.16 (0.15)	-	0.14~0.16 (0.15)	0.055	-	0.055
	육계	0.04~2.8 (1.4)	(0.13)	-	(0.13)	10주령까지 0.009		

비고 : ()는 평균 수치임

2. 양돈분뇨의 특성

순수한 양돈 분뇨의 이화학적 성상은 표 2-2와 같으나 양돈분뇨는 사육 농가에 따라 돈사의 형태, 사육돈의 종류, 제공되는 사료의 종류 및 양, 급수량 및 급수시설의 형태, 분뇨의 분리 유무 및 수거방법, 돈사의 세척법 및 세척수량, 소독 등에 의하여 양돈 폐수의 발생량 및 성상이 매우 상이하므로 정확한 발생량과 이화학적 특성을 나타내기에는 어려움이 따르며 처리 공법의 선정에도 지역적, 사회적, 문화적 여건에 따라 상이하다.

양돈분뇨의 배출특성중 영향을 크게 미치는 것은 돈사의 형태로 분뇨의 분리 유무에 따라 분리형과 미분리형으로 나누어지며 분리형에는 인력수거식, Belt식, Scraper식 돈사들이 있으며 미분리형에는 미분리형 Scraper식 돈사, 슬러리돈사, 톱밥발효돈사 등이 있다.

Table 2-2. Characteristics of swine wastewater

Items	Solid	Urine
BOD ₅ (mg/ℓ)	60,000	4,000
COD _{Cr} (mg/ℓ)	262,000	9,100
TSS(mg/ℓ)	183,000	430
TKN(mg/ℓ)	9,800	4,500
T-P(mg/ℓ)	4,200	315
Cl ⁻ (mg/ℓ)	1,300	1,530
Moisture Content of Cake(%)	73.5	-

인력수거식은 소규모, 재래식 돈사에서 주로 사용되고 있으며 분리효율은 다른 수거방법에 비하여 우수하나 축산업의 기피 현상 및 인건비 상승으로 인한 인력 확보의 어려움이 있어 돈사의 신축 및 개·보

수, 증축시 점차 사라져가고 있는 실정이다.

Scraper식 돈사의 경우 분뇨가 발생되면 Scraper에 의해 분뇨가 분리되어 배출되는 것으로 분은 Scraper에 의해 정기적으로 모아 퇴비 공정을 거치며 뇨의 경우는 분과 반대 방향으로 구배가 지어진 뇨함을 통하여 집수한 후 정화 처리 공정을 거치게 된다. 그러나 국내의 경우 Scraper식 돈사에 대한 이해 부족 및 설계 잘못으로 인하여 Scraper식 돈사일지라도 구배를 같은 방향으로 설치함으로써 분과 뇨가 분리되지 못하고 Scraper에 의하여 혼합되어 배출됨으로써 퇴비화 공정에 있어서 상당량의 수분조절제가 요구된다. 이러한 Scraper식 돈사의 단점은 기계류의 부식 및 wire의 파손 등 수리 보수에 어려움이 있으며 설치비가 높다는 단점이 있다.

Belt식 수거 방법은 Scraper식 돈사보다 고액 분리가 양호하며 적은 인력에 의해 운전이 가능하여 인건비 등의 문제가 없으나 Scraper식에 비해 초기 설치비가 고가이며 동절기시 결빙에 의한 Belt의 파손 등의 문제가 발생한다.

현재 국내에 설치된 대표적인 돈사 구조는 전체 돈사 중 상당량을 차지하고 있는 슬러리 돈사로서 이 돈사 형태는 유럽에서 발달한 형태로 유럽에서와 같이 발생하는 분뇨를 액비화하여 살포하기 위한 초지가 일정 규모 이상 확보된 지역에서 적합한 돈사이다. 그러나 미국 및 유럽 역시 최근에는 액비가 비점오염원으로 문제시되고 있는 실정이다 (P. Y. Yang, 1994). 일본에서는 초기에 슬러리 돈사를 도입해 사용하여 왔으나, 우리 나라 경우와 마찬가지로 초지가 절대적으로 부족하여 대부분 분리형 돈사로 전환된 실정이다. 그러나 우리 나라는 운영상의 편리함과 초기 시설투자비를 고려하여 대부분 슬러리 돈사를 선호하고 있는 실정이며, 초지가 절대적으로 부족한 경우에 슬러리 돈사에서 발

생되는 분뇨의 경우 분뇨 분리 과정을 거친 후 분은 퇴비화를, 뇨는 정화 처리를 하는 것이 바람직하나 농가의 영세성 및 전문 지식 부족으로 정화 처리 과정을 생략한 분뇨 혼합 형태로 전량 퇴비화를 수행하고 있다. 이러한 분뇨의 고액 분리 과정이 없는 퇴비화의 문제점은 수분조절제가 과량 요구됨에 따라 분뇨 처리비용의 과다 지출 및 수분조절제의 가격 상승에 따른 양돈 농가의 경쟁력 약화, 수분조절제의 수급 문제 등이 문제점으로 대두되고 있다.

슬러리 돈사는 대표적인 미분리형 돈사로 분뇨가 돈사 바닥에 설치된 저장 Pit에 저류 되며 저장 Pit의 크기에 따라 짧게는 일주일에서 길게는 6개월씩 체류함으로써 양돈 분뇨 분리 처리시 저장 기간이 길수록 양돈 분뇨가 준혐기화되어 입자상 물질의 분해로 고액 분리시 많은 어려움이 따르고 있다.

톱밥 발효 돈사의 경우 대부분 중·소규모 축산 농가에서 주로 이용하는 돈사 형태로 별도의 분뇨 처리 시설을 설치하지 않아도 되는 무방류 돈사 형태이다. 이러한 형태는 돈사 바닥에 톱밥, 왕겨 등을 깔아 두어 분뇨가 톱밥, 왕겨 등과 섞이면 일정기간 후 퇴비화 되는 방법으로 중·소규모의 농가에서 정화 처리에 대한 부담이 없고 시설의 설치가 간편하여 널리 보급이 되었다. 그러나 인력에 의한 톱밥, 왕겨 등의 교체 작업과 톱밥, 왕겨 등의 부족, 단가 상승에 따른 수급 문제, 사육시 발생하는 가스 및 열에 의한 위생문제 등으로 최근에는 모돈과 같은 쾌적한 환경을 요하는 극히 일부에서만 사용되고 있다.

양돈 분뇨의 성상에 영향을 미치는 또 다른 사항으로는 급수시설과 돈사내의 청소 상황이 있다. 급수시설은 급이기와 급수기를 각각 사용하는 방식과 급이기 내에 급수기가 부착되어 있는 습식급이기로 나누어진다. 별도 급수기의 경우 보통 Nipple이나 물컵 등을 사용하는데 이

러한 급수기의 경우 하절기 기온 상승으로 돼지들에 의한 물의 낭비가 심하여 하절기 때의 폐수 성상은 동절기 때보다 일반적으로 농도가 낮으며 발생량이 많은 것이 특징이다. 이러한 문제로 인하여 최근에 농가에서는 물 절약 및 폐수 발생량을 줄이기 위하여 급수시설을 습식급이기로 대체하는 경향을 나타내고 있다.

또한 돈사내의 청소 상황에 따라 폐수의 성상이 달라지는데 돈사의 청소 횟수는 사육 규모, 분뇨 분리 유무, 청소 방법, 사육돈의 종류 및 농장 관리체계에 따라 달라지게 된다. 사육돈의 종류에 따른 폐수의 성상을 보면 임신돈이나 모돈의 경우 비육돈(육성돈)에 비하여 깨끗한 사육 환경을 유지하기 위하여 청소 횟수가 빈번하며, 사료에 있었어도 소화흡수율이 유리한 사료를 급이함으로써 발생 분뇨 또한 농도가 낮은 경향을 나타내고 있어 육성돈을 비롯한 비육돈 등의 경우에는 폐수 발생량을 줄이기 위하여 대다수의 농가에서는 청소수의 사용 및 횟수를 최대한 억제하고 있는 실정이다.

또한 돈사의 청소유무에 따라 양돈폐수의 발생량은 차이가 나며 현재 세척수를 포함한 양돈폐수의 배출 원단위는 최근 환경부고시(1999-109호)에 의하면 12ℓ에서 8.6ℓ(분 1.6, 뇨 2.6, 세척수 4.4)로 하향 조정하여 현실화하였으나, 축산 농가에서는 양돈 폐수의 발생량을 줄이기 위하여 세척수의 사용을 최대한 억제하고 있는 실정이어서 이보다 훨씬 적을 것으로 사료되며 실제로 발생하는 양돈폐수의 발생농도는 환경부에서 제시하는 양돈폐수 오염원단위 보다 훨씬 높을 것으로 사료된다.

3. 양돈분뇨의 처리 및 처분

우리 나라의 양돈분뇨 관리현황은 크게 개별농가 및 공공처리시설로

구분할 수 있다. 개별농가의 경우 그림 2-1에서 보여주는 바와 같이 분뇨 분리 유무에 따라 처리방법이 구분된다.

양돈분뇨는 고농도의 유기물 및 질소가 포함되어 있어 농지에 환원하여 자원으로 이용하는 것이 가장 바람직하다. 그러나 돼지의 사양관리시 질병예방을 위한 청결을 유지하기 위해서는 출하후의 돈사의 세척 및 소독은 중요한 작업이고, 돼지의 돈사내에서의 행동 특성은 음수기의 물을 코로 누르는 습성과 일치하며, 특히 여름의 고온기에는 더욱 심하게 나타나고 있다. 따라서 돼지의 음수특성은 양돈분뇨의 함수율을 높이는 가장 큰 요인으로 대두되고 있으며, 한편으로는 돼지의 사양관리면에서 분뇨중의 수분을 효율적으로 제거하느냐가 양돈분뇨의 처리를 성공적으로 유지할 수 있는 관건이다. 이와 같은 양돈분뇨중의 수분 제거방법으로는 건조처리법, 고액분리법이 주로 이용되고 있으며, 건조고형분이나, 고액분리후의 액상분을 발효 처리하는 것이 바람직하다. 그러나 수분의 경우 수분이 증발할 때 열은 증발잠열이고 1kg의 물을 증발하기 위해서는 약 1,000kcal가 필요하다. 따라서 비교적 함수율이 높은 양돈분뇨의 경우 태양복사열에 의한 건조, 화력에 의한 열원으로 고온의 공기를 직접 또는 간접으로 적용하는 열전도에 의한 방법과 분뇨에 생석회를 혼합하여 이때 발생하는 발열반응에서의 열원을 이용하는 방법 등이 있으나 이와 같은 방법에는 에너지 공급에 한계가 있다. 그러므로 이와 같은 건조법은 수분함량이 비교적 적은 계분에 적합한 것으로 농가에서 사용하고 있는 실정이지만 일부 양돈농가에서는 건조법을 적용하여 실패한 사례를 흔히 볼 수 있다. 양돈분뇨를 안정화하는 방법은 외부환경조건만 일정하게 유지할 경우 기술적으로는 비교적 간단하나 시설면적이 넓고, 추운 지역에서는 이용이 어려우며 비료로서의 이용가치에 한정되는 등 문제점이 있다. 따라서 퇴비화하기 위한 우선

적으로 고려하여야 할 사항은 양돈경영의 입지조건, 분뇨의 성상, 수분 조절제의 공급상황, 부산물비료의 유통 등을 종합적으로 검토하여 결정하여야 할 것으로 사료된다.

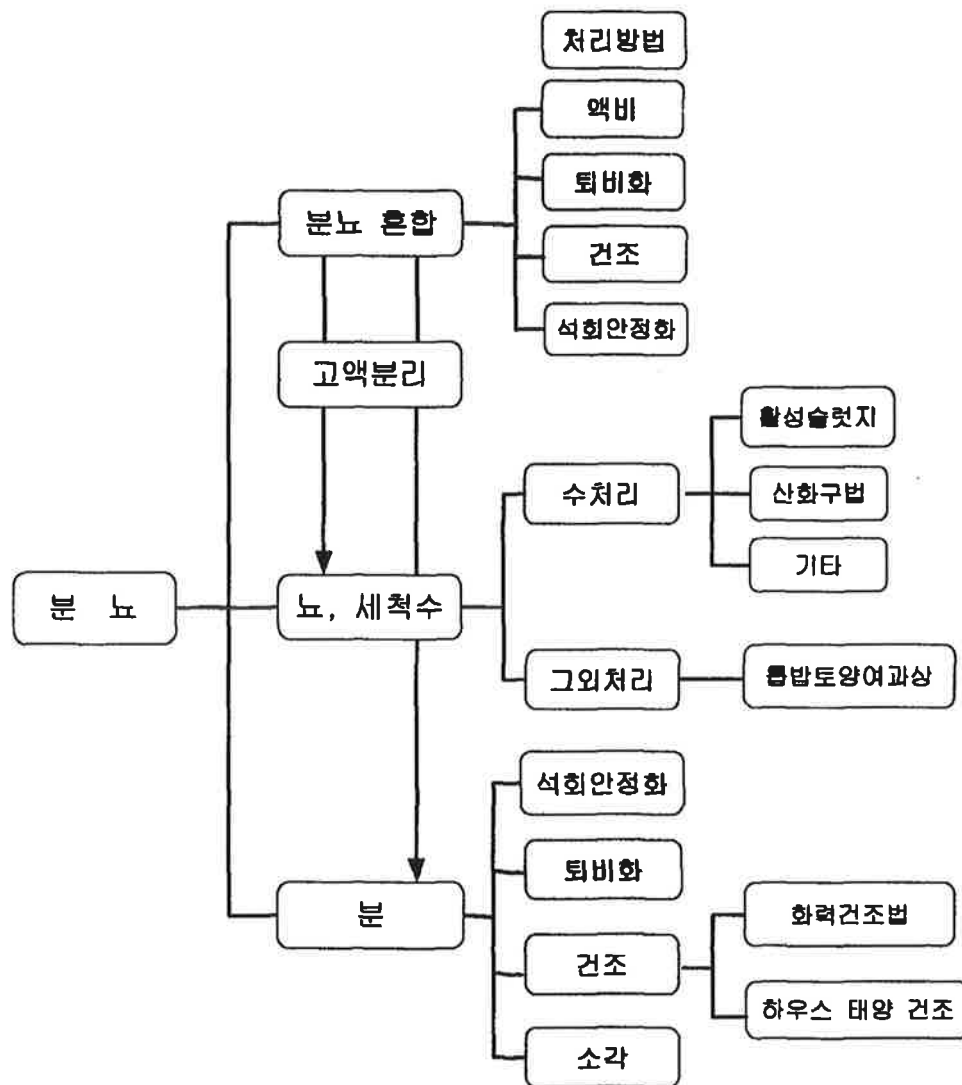


Fig. 2-1. The treatment schemes of different collection methods for livestock manure .

4. 국내·외 축산 관련 법규

가. 국내 축산 관련 법규

우리 나라는 경제개발계획의 추진과 관련하여 환경오염을 방지하고자 한 최초의 규정은 1963년에 제정된 공해방지법이며 이 법률은 환경오염방지에 대한 선언적 의미를 지니고 있다. 경제규모가 확대되며, 소득증가로 인한 생활환경의 질적 향상이 요구되어 환경보존에 관한 종합적 내용을 담은 환경보전법이 1977년에 법률로 제정되었다. 이 법이 두 차례 개정되면서 1981년에 대규모 기업축산시설에 대한 축산폐수처리시설의 설치를 의무화하였으며, 1986년에 오물청소법이 폐기되고 폐기물관리법이 제정되면서 일정규모 이상의 중규모 양축농가도 축산분뇨정화시설의 설치를 의무화하게 되었다. 1990년에 들어서는 종래의 환경보전법을 폐지하는 대신 환경관련법들을 오염원별로 분류하여 축산폐수를 폐기물관리법에 포함시켜 시행하였다. 그후 1991년 미정비된 폐기물관리법을 개정하면서 오수 분뇨 및 축산폐수를 별도의 법규로 제정하여 다루고 있다.

앞서 언급한 바와 같이 국내의 개별농가 및 축산폐수 공공처리장에 적용되고 있는 축산폐수 관련법에 관한 규제는 3~4년을 주기로 점차 강화되어가고 있는 추세이다. 표 2-3는 규제대상별 축산분뇨 배출시설 규모를 나타낸 것으로 2000년 1월부터는 기존의 간이대상 규모의 축산폐수 배출시설을 폐지하는 대신 신고대상으로 규제하며, 이 시설의 경우 방류수 수질기준은 간이대상과 동일하다.

표 2-4와 표 2-5는 축산폐수 공공처리시설과 개별농가의 축산폐수 방류수 수질기준을 나타낸 것으로서 공공처리시설의 경우 1999년 1월부터 방류수 수질기준에 COD와 대장균수가 추가되었으며, 총질소와 총인 농도가 각각 60 T-N mg/l, 8 T-P mg/l 이하로 강화되었다. 또한

개별농가의 경우 2000년 1월을 기준으로 강화되었으며, 총질소와 총인
 의 경우 표 2-4에서 나타낸 바와 같이 추가되었다. 축산분뇨를 자원화
 할 경우 자원화 시설의 설치기준은 퇴비화 시설의 경우 축분은 1개월
 이상, 수분조절제를 사용할 경우 2개월 이상 건조발효 할 수 있는 퇴비
 사를 설치하여야하며, 저장액비화 시설은 6개월 이상 저장할 수 있는
 저장조와 1개월 이상 체류할 수 있는 저류조를 설치하도록 되어 있다.
 그러나 실제 축산농가에서 저장액비화 시설을 적용할 경우 상기의 기
 준을 만족하기 위해서는 대용량의 액비저장조 및 저류조를 설치하여야
 한다. 즉, 돼지 1000두 사육을 가정할 경우 돼지 배출원단위를 8.6ℓ를
 기준으로할 경우 1,548톤의 저장조와 258톤의 저류조가 산정됨에 따라
 기존의 양돈가에서 상기와 같은 구조물을 설치할 비용 및 여유부지가
 확보 가능한지 의문시된다.

또한 양돈가의 경우 사육두수의 증가에 따른 설치허가 신고시 축소
 신고 및 신고 기피하는 사례가 빈번히 발생하며, 기존의 처리 시설과
 다른 시설을 설치하는 경우가 많아 정화처리 및 퇴비화 공정이 실패할
 경우 액비 시설을 선호하므로 실제 운영되는 액비 시설 규모는 이보다
 작은 저장 및 저류 용량으로 운전되고 있는 것으로 파악되었다. 그러므
 로 불완전 액비의 시비는 비점오염원 및 악취로 인한 민원의 대상이
 되고 있는 실정이다. 최근 논의 액비 살포가 허가되어 살포 면적이 완
 화되기는 하였지만, 소와 돼지의 경우 1마리 사육시 필요한 밭의 면적
 은 각각 1,530m²과 580m²가 확보되어야 저장액비화 시설의 적용이 가능
 하다. 따라서 돼지 1000두 사육을 가정할 경우 580,000m² 또는 179,000
 평의 밭이 요구되므로 현실적으로 허가대상 규모의 경우 저장 액비화
 시설에 대한 실효성이 의문시된다.

Table 2-3. The legal classification of livestock farms

구 분		허가대상	신고대상	신고대상(신설)
소·말	축산면적 (m ²)	900 이상	200이상~900 미만	100~200 미만
	사육두수	75두 이상	17두~74두	8두~16두
젖 소	축산면적 (m ²)	900이상 운동장:2,700 이상	200이상~900미만 운동장:600~2,700 이상	100~200 미만 운동장:300~600
	사육두수	75두 이상	17두~74두	8두~16두
돼 지	축산면적 (m ²)	1,000이상	140~1,000 미만	50이상~140미만
	사육두수	715두 이상	100두~714두	35두~100두

특정지역의 경우 1/2규모, 두수 산정기준; 소 12m², 돼지 1.4m²

비고 : 1. 동일 사업장안에 같은 종류의 시설이 2이상 있는 경우에는 각 시설의 면적을 합산한 것을 당해 시설의 규모로 한다.

2. 동일 사업장안에 다른 종류의 시설이 2이상 있는 경우에는 다음 식에 의하여 산출한 수치의 합이 1이상이면 간이축산폐수정화조 설치대상 축산시설로 본다.

$$\frac{\text{제1축산시설의 면적}}{\text{해당 축산시설의 기준면적}} + \frac{\text{제2축산시설의 면적}}{\text{해당 축산시설의 기준면적}}$$

3. “운동장”이라 함은 축사를 제외한 소의 휴식이나 운동을 목적으로 소가 일시적으로 머무르는 장소로서 이동을 제한하는 고정된 시설(울타리와 비가 올 때 축산폐수의 유출을 방지하기 위한 턱)에 의하여 구획되어지는 장소를 말한다.

Table 2-4. The effluent discharge limitations of the privately owned swine wastewater treatment plant

구 분 항 목		허가대상 규모		신고대상 규모		비 고
		'99.12.31 까지	2000.1.1 부터	'99.12.31까지	2000.1.1부터	
특정 지역 (mg/l)	BOD	50 이하	50 이하	350 이하	150 이하	간이축산 폐수 정화조의 경우 1,500mg/l 이하
	SS	50 이하	50 이하	350 이하	150 이하	
	T-N	-	260 이하	-	-	
	T-P	-	50 이하	-	-	
기타 지역 (mg/l)	BOD	150 이하	150 이하	500 이하	350 이하	
	SS	150 이하	150 이하	500 이하	350 이하	

주) 특정지역이라하면 다음과 같이 규정된다.

- ① 수도법 제 5조의 규정에 의한 상수원 보호구역과 동법 제 3조 제 15호 규정에 의한 취수시설부터 유하거리 4킬로미터 이내의 상류 지역
- ② 환경정책 기본법 제 22조의 규정에 의한 특별대책지역
- ③ 수질환경보전법 제 33조 규정에 의한 특정호소수질관리구역
- ④ 자연공원법 제 4조 내지 제 6조의 규정에 의한 공원의 구역 및 동법 제 25조의 규정에 의한 공원보호구역
- ⑤ 지하수법 제 12조의 규정에 의한 지하수보존구역
- ⑥ 환경정책기본법 시행령 별표 1의 규정에 의한 환경기준이 I 등급정도의 수질을 보존하여야 한다고 인정되는 수역의 수질에 영향을 미치는 지역으로서 환경부장관이 고시하는 지역

Table 2-5. The effluent discharge limitation of public owned swine-wastewater treatment plant

구 분	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	대장균수 (개/ml)	총질소 (mg/l)	총인 (mg/l)
1998.12.31까지	30 이하	-	30 이하	-	120 이하	16 이하
1999. 1. 1부터	30 이하	50 이하	30 이하	3,000 이하	60 이하	8 이하

나. 미국

1973년 CWA(Clean Water Act)가 미국 국회를 통과한 후 비농업생산 과정에서 발생하는 환경오염과 더불어 농업과정에서 형성되는 대기 및 수질오염을 방지하기 위하여 미국농림부(USDA)의 자연보전국(Natural Resources Conservation Service) 및 관련기관에서 다음과 같은 다양한 프로그램 및 관련제도가 만들어 졌다.

IOWA주에서는 축산사료에 대한 환경규정 및 지침에서 축종별 두당 가축단위를 소 1.0, 젖소 1.4, 돼지(120kg 이상) 0.4, 양 0.1, 말 2.0, 칠면조 0.018, 닭 0.01로 정하여 농가의 환산 총 가축단위수가 1,000이상인 경우에 주정부의 허가를 받도록 하고 있다. 그러나 가축단위수가 1,000을 초과할 경우라도 축사의 위치, 지형, 기타의 요인에 의하여 축산폐수가 하천이나 기타 수원으로 들어가지 않는 경우에는 허가과정이 필요 없다. CWA 관련 세부 프로그램에서는 CAFOs(Concentrated Animal Feeding Operations) 프로그램, 비점오염원 관련 프로그램, 습지 조성 관련 프로그램 등이 있다. CAFOs에서는 동물단위(Animal Unit) 1000두 이상 되는 밀집사육농가 또는 300 AU 이상으로 발생오염물이 수계에 직접적으로 배출될 우려가 있는 경우 NPDES(National Pollution Discharge Elimination System)의 허가를 요청하여야하며 소규모 사육농가는 해당 주 자체의 허가를 필요로 하나 NPDES의 허가를 요청하지 않을 경우에는 비점오염원(Non-Point Source, NPS)으로 분류한다. 각각의 연방정부는 정규 또는 비정규 프로그램등 각 주의 실정에 적합한 다양한 보조 및 장려정책으로 생산자로 하여금 비점오염물이 수계의로의 이동에 따른 오염을 저감 또는 방지키 위해 BMP(Best Management Practices) 제도를 실시하고 있다. 늪지조성 프로그램에 의해 농부가 농업과 관련된 파종, 관개배수 및 추곡 등의 작업시에는

습지 또는 늪지에서의 정상적인 생물활동 및 식물생육을 규명하기 위해 지방작물공업시험소(Local Crop of Eng. Office)의 검사를 받아야 한다.

다. 일본

일본의 경우는 우리 나라보다 약 10년 먼저인 1970년대부터 양돈의 경영규모가 확대되기 시작하여 1989년까지 매년 증가되었으나 1990년 이후 수익성의 저하 및 환경보존 문제등의 제약이 엄격해져 사육두수의 감소경향이 나타나고 있으며 1996년 기준으로 990만두의 돼지를 사육하고 있으나 이는 1979년 당시의 사육두수와 비슷한 수준이다. 사육호수 또한 매년 감소하여 1996년 2월 기준으로 1만 6천호로서 10년전과 비교할 때 약 10%에 불과하다. 그러나 사육농가 1가구당 사육두수는 618.8두로서 전년대비 13.5%로 증가한 상태이다. 분뇨처리 양상은 혼합처리가 24%, 분리처리가 76%로서 분리처리를 선호하는 경향이 있다.

관련법령은 공해대책기본법과 환경오염방지기본법을 상위법으로 하고 축산관련사항을 다루는 법에는 수질오탁방지법, 악취방지법, 폐기물처리 및 청소에 관한 법률, 하천법, 호소수질보존 특별조치법, 대기오염방지법 등이 있다.

수질오탁방지법에서는 축산폐수를 산업폐수로 간주하여 농도규제를 실시하고 있는 일본은 회석수의 사용을 규제하기 위한 수단으로 총량규제를 강조하고 있으며, 축산폐수의 인근 해역 투기나 부숙되지 않는 축분뇨를 경지에 살포하지 못하도록 하고 있다. 환경관련법 규제대상 축사규모는 우리 나라의 1/2~1/4정도로 엄격하며 1993년부터 가축분뇨의 양질의 퇴비 시용으로 화학비료의 사용량을 줄이기 위하여 퇴비 종합 이용 센터의 운영과 실증포장의 정비 및 지도사업을 실시하는 등

환경보존형 축산확립을 위한 대책을 적극 추진 중에 있다. 또한 이 기준은 일당 평균적인 배출수의 양이 50m³ 이상인 공장 또는 사업장에 관련된 배출수에 적용하도록 단서규정을 두고 있다. 이 기준에서 BOD에 대한 배수기준은 해역 및 호소 이외의 공공 수역에 배출되는 배출수에 한하여 적용하고 화학적 산소요구량에 대한 배수기준은 해역 및 호소에 배출되는 배출수에 한하여 적용하도록 규정하고 있다.

라. 대만

우리 나라와 유사하게 양돈농가는 감소하는 반면 사육두수는 급격히 증가하는 추세로 1996년도 기준으로 10,698천두를 2만2천호에서 사육하고 있으며, 수질오염원은 일반적으로 공업폐수와 양돈폐수를 인식하고 이를 규제하기 위하여 수질오염방지법, 대기오염방지법, 폐기물처리법 등을 운용하고 있다.

양돈분뇨에 의한 환경분쟁으로 1983년에는 수질오염방지법을 개정하여 농업공해방지조항을 신설하여 수질오염방지법으로 규정하고 있으며, 1993년에는 비초식동물과 초식동물로 구분하여 방류수의 BOD, COD, SS농도를 허용기준치 이내로 배출하도록 정하고 있다.

마. 유럽공동체와 지역내 국가들

유럽공동체내 국가들은 공동체형성 이전부터 각 나라의 여건에 따라 규정을 정하여 가축분뇨에 의한 환경오염을 방지하여 왔으나 유럽공동체가 형성된 이 후부터는 공동체의 공동규정을 제정하여 지역내 환경을 공동으로 보존하는 방향으로 전환하여 가고 있다. 1991년 가축분뇨 관련 이사회 지령에서는 음용수의 질산염 농도가 50mg/l 이상이 될 위험이 있는 지역에서 지령 제정 후 4년 이내에 가축 사육 밀도를 1ha당

젖소 2두, 육우 4두, 번식돈 5두, 비육돈 16두, 산란계 133수로 제한하는 조치를 취할 것을 지시하고 있다. 현재 유럽공동체내 국가들은 유럽공동체와 자국의 규정이 공통으로 적용되고 있으며 유럽위원회의 지침중 상수원 보호구역, 경사진 지역, 사질토 등의 경우 질소취약지역(Nitrate Vulnerable Zone)으로 분류하여 제한규정을 두는 것이 일반적이며 농경지에 살포할 경우 국가별 저장용량 기준이 상이하다.

제 3 절 실험방법

1. 양돈분뇨의 발생 특성 조사

양돈분뇨는 돼지의 배분 습성 및 특성에 따라 분뇨 발생량 및 이화학적 특성이 매우 상이하므로 연구 결과의 객관성 및 범용성 확보를 고려하여 표 2-6에 나타낸 것처럼 약 64개의 장소에서 설문지를 통한 자료조사 및 시료 채취를 하였으며 이 때 방역상의 문제로 최대한으로 자료 조사가 가능한 지역을 돈사의 구분 없이 무작위로 전국을 대상으로 선정하였다. 따라서 본 연구에 나타난 처리 현황은 미분리형 돈사의 경우 퇴비화 및 액비화 공정이 많았으며, 분리형 돈사의 경우 정화공정이 주를 이루고 있었다.

또한 부득이하게 시료채취가 어려운 지역에서는 축산폐수 공공처리 시설로 수거해온 차량에서 시료를 채취하였다. 여기서 도출된 자료를 기초로 하여 돈사시설별 분뇨 분리 유무에 따라 분리형 돈사와 미분리형 돈사로 구분하였으며, 이를 기초로 하여 양돈분뇨 처리시 가장 문제시되는 돈사시설을 주요 연구 대상으로 정하여 향후 고액분리 및 정화처리를 위한 실험 대상 원수로 사용하였다. 시료 채취시 방법으로는 임의 채취(Grab Sampling) 방법으로 수행하였다.

Table 2-6. Treatment methods applied to treat swine wastewater examined in this study

구 분	지 역	경 기 도	강 원 도	충 청 북 도	충 청 남 도	전 라 북 도	전 라 남 도	경 상 북 도	경 상 남 도	제 주 도	계
	처리 방식	정 화	19	4	3	4		1	6		1
퇴비화		5	1	3	2	5	1	2	5	2	26
계		24	5	6	6	5	2	8	5	3	64

제 4 절 결과 및 고찰

1. 돈사 구조에 따른 양돈분뇨 배출 특성

양돈분뇨의 발생 특성은 앞에서 언급하였던 바와 같이 크게 돈사의 형태에 따라 분리형과 미분리형으로 나누어지며 분리형에는 재래식 형태의 일종인 인력수거식, Belt식, 분리형 Scraper 돈사들이 있으며 미분리형에는 슬러리 돈사와 미분리형 Scraper 돈사, 톱밥 발효 돈사가 있으며 각각의 돈사 형태를 그림 2-2 에 나타내었다.

그림 2-2, (a)은 인력수거식 돈사로 소규모 재래식 농가에서 주로 사용하고 있으며 분리 효율은 다른 수거방법에 비하여 우수하나 열악한 환경조건 및 과도한 노동 집약형 형태의 돈사구조로서 축산업의 기피 현상 및 인건비 상승으로 인한 인력 확보의 어려움이 있어 돈사의 신축 및 증축과정에서 점차 사라져가고 있는 실정이다.

Scraper식 돈사의 경우 분뇨가 발생되면 Scraper에 의해 분뇨가 분리되어 배출되는 것으로 분은 Scraper에 의해 정기적으로 모아 퇴비화 공정을 거치며 뇨의 경우는 분과 반대 방향으로 구배가 지어진 뇨홈을 통하여 저류조에 이송된 후 정화 처리 공정을 거치게 된다(그림 2-2, (c)). 그러나 국내의 경우 Scraper식 돈사에 대한 이해 부족 및 설계 잘

못으로 인하여 Scraper식 돈사일지라도 구배의 방향이 잘못 설계함으로써 분과 뇨가 분리되지 못하고 Scraper에 의하여 혼합되어 배출됨으로써 퇴비화 공정에 있어서 상당량의 수분조절제가 요구된다(그림 2-2, (d)). 이러한 Scraper식 돈사의 단점으로는 기계류의 부식 및 Wire의 파손 등 수리 보수에 어려움이 있으며 설치비가 높다는 단점이 있다.

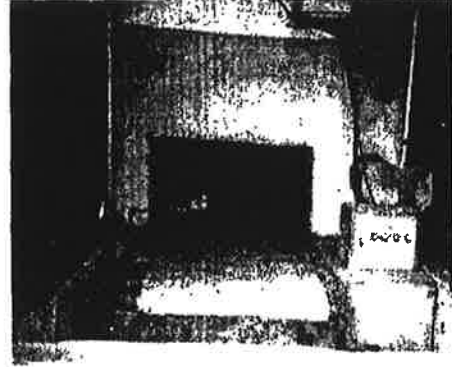
그림 2-2, (b)는 Belt식 돈사를 나타낸 것으로 Scraper식 돈사보다 고액 분리가 양호하며 적은 인력에 의해 운전이 가능하여 인건비 등의 문제는 없으나 Scraper식에 비해 초기 설치비가 비싸고 동절기시 결빙에 의한 Belt의 파손 등의 문제가 발생하여 내구성으로 인하여 점점 사용 능가가 감소하고 있는 추세이다.

현재 국내에 설치된 대표적인 돈사 구조는 전체 돈사 중 상당량을 차지하고 있는 슬러리 돈사는 유지관리가 용이한 반면 양돈 분뇨 처리가 가장 큰 문제로 대두되고 있으나 양돈가의 경우 사육경영상의 이유로 선호하고 있는 실정이다. 슬러리 돈사의 경우 돈사 바닥에 설치된 저장 Pit에 저류되어지며 저장 Pit의 크기에 따라 짧게는 일주일에서 길게는 6개월씩 체류함으로써 양돈분뇨 고액분리 처리시 저장 기간이 길수록 준협기화 되어 입자상 물질의 분해로 고액분리시 많은 어려움이 따르고 있다.

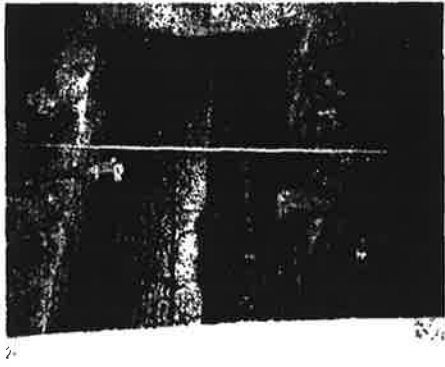
슬러리 돈사에서 발생하는 분뇨의 경우 분뇨 분리 과정을 거친 후 분은 퇴비화를 노는 정화 처리를 하는 것이 바람직하나 농가의 영세성 및 전문 지식 부족으로 정화 처리 과정을 기피하여 분뇨 혼합 형태로 전량 퇴비화 과정을 거치고 있다. 이러한 분뇨의 고액분리 공정이 없는 퇴비화의 문제점은 수분조절제의 과다 투입 등에 따른 분뇨 처리비용의 과다 지출 및 수분조절제의 가격 상승에 따른 양돈 농가의 분뇨 처리비용 증가, 수분조절제의 수급 문제 등이 있다.



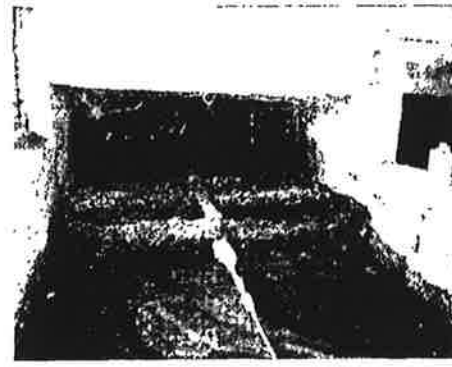
(a) Manual scraping system



(b) Belt system



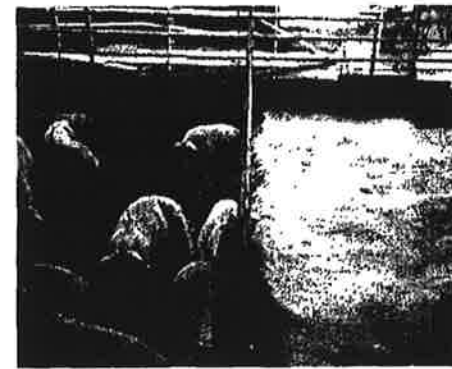
(c) Mechanical scraping system



(d) Malfunctioned scraping system



(f) Slurry pit



(g) Feedlot with composted saw dust

Fig. 2 2 Various types of swine feedlot

그림 2-2, (g)의 톱밥 발효 돈사는 별도의 분뇨 처리 시설을 설치하지 않는 무방류 돈사 형태로 한때 정부에서 장려하는 돈사 시설이다. 이 돈사 형태는 돈사 바닥에 톱밥, 왕겨 등을 깔아두어 분뇨가 톱밥, 왕겨 등과 섞이면 일정기간 후 퇴비화 되는 방법으로 중·소규모의 농가에서 정화 처리에 대한 부담이 없고 시설의 설치가 간편하여 널리 보급이 되었으나 그러나 인력에 의한 톱밥, 왕겨 등의 교체 작업과 톱밥, 왕겨 등의 부족, 단가 상승에 따른 수급 문제, 사육시 발생하는 가스 및 열에 의한 위생문제 등으로 최근에는 임신돈과 같은 쾌적한 환경을 요하는 극히 일부에서만 한시적으로 사용하고 있다.

양돈분뇨는 앞서 언급한 것처럼 다양한 환경조건 및 농장 경영주의 운영방식에 따라 발생량 및 이화학적 특성이 매우 상이하므로 정확한 발생량과 이화학적 특성을 나타내기에는 어려움이 있다.

그림 2-3는 본 연구를 위하여 9월~11월까지 약 3개월에 걸쳐 직접 현장에서 Grab Sampling 방법으로 시료를 채취하여 분석한 자료로서 슬러리 돈사의 경우 분뇨가 혼합된 상태이고 Mechanical Scraping 및 Manual Scraping 돈사의 경우 뇨만 포함된 것으로 COD_{Cr} 및 TKN 농도 특성을 나타낸 것이다. 돈사 형태에 따른 분리 효율은 재래식(Manual Scraping) > Scraper식(Mechanical Scraping) > 슬러리(Slurry) 돈사 순으로 나타났다. 이러한 양돈분뇨의 분리효율은 돈사에서 발생하는 양돈분뇨의 이화학적 특성에 영향을 미치는데 그림 2-3에서와 같이 돈사의 분리 효율이 양호할수록 유기물질의 농도는 낮아지는 것을 알 수 있다.

그러나 TKN의 농도는 분뇨의 분리 유무에 관계없이 거의 비슷한 값을 나타내는데 이것은 분뇨가 돈사에서 분리가 되더라도 대부분의 암모니아성 질소 성분은 뇨에 존재하기 때문으로 사료된다.

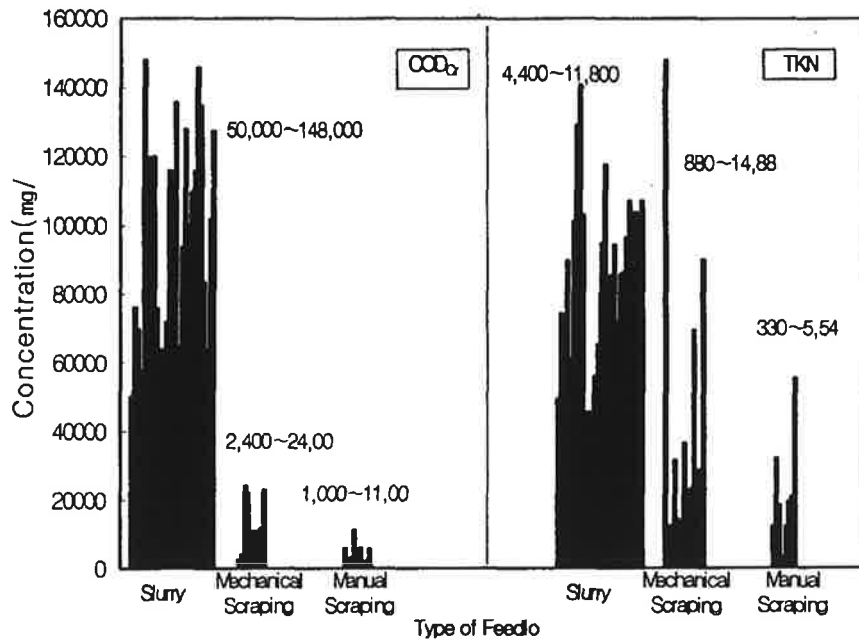


Fig. 2-3. Characteristics of swine wastewater generated from different feedlots

표 2-7은 본 연구에서 대상으로한 비육돈 슬러리 돈사에서 발생하는 양돈 폐수의 이화학적 특성을 나타낸 것으로 유기물 농도의 경우 COD_{Cr}이 94,000~136,000mg/l로 평균농도는 114,700mg/l로 나타났으며 BOD₅와 COD_{Mn}의 경우에는 각각 COD_{Cr}의 36~43%, 15~25%로서 양돈 폐수에서는 총 유기물질 중 생물학적으로 산화 가능한 물질인 BOD₅ 유발 물질이 COD_{Mn} 유발 물질보다 높음을 알 수 있다.

질소 농도의 경우 TKN은 6,500~11,800mg/l이며 평균 농도는 8,940 mg/l로 나타났으며 이때의 유기성 질소의 농도 분포는 TKN 중 16.5~41.2%가 함유되어 있다. 그러나 질소의 경우 돼지의 성장 단계별, 종류별로 단백질 이용효율에 따라 농도 편차가 심하며, 슬러리 돈사 내에서의 체류시간이 길 경우 슬러리 돈사 내의 준혐기화로 인하여 유기성 질소 중에서 상당량을 차지하고 있는 Urea가 암모니아성 질소로 전

환되어 슬러리 양돈분뇨의 경우 암모니아성 질소가 유기성 질소보다 높은 것으로 나타났다. 비육돈 슬러리 돈사에서 발생하는 양돈 폐수의 C/N 비는 10.3~17.7정도이며 평균 13.1로 질소에 비해 유기물질의 양이 상당히 높음을 알 수 있다.

Table 2-7. Characteristics of slurry-type swine wastewater

Items	Range	Average Conc.
COD _{Cr} (mg/ℓ)	94,000~136,000	114,700
COD _{Mn} (mg/ℓ)	15,200~27,200	21,700
BOD ₅ (mg/ℓ)	46,320~46,740	46,500
TKN(mg/ℓ)	6,500~11,800	8,940
NH ₃ -N(mg/ℓ)	1,800~7,900	5,800
Org-N(mg/ℓ)	1,600~3,500	2,640
T-P(mg/ℓ)	1,200~1,700	
TS(%)	6.6~15.8	10.0
TSS(mg/ℓ)	12,000~95,800	63,200
C/N ratio	10.3~17.7	13.1

표 2-8는 슬러리 돈사의 자돈사와 모돈사에서 발생하는 분뇨의 특성을 나타낸 것으로 비육돈에서 발생하는 양돈분뇨보다 낮은 농도를 나타내고 있다. 이는 자돈과 모돈의 경우 비육돈 돈사보다 청결을 유지하기 위한 세척 횟수가 많으며, 비육돈보다 고급 사료를 급여함으로써 돼지 체내에서 분해가 용이하여 분뇨로 발생하는 사료의 양이 비육돈보다 적기 때문으로 사료된다. 그러므로 동일한 슬러리 돈사에서 발생하는 분뇨일지라도 돼지의 관리방법에 따라 분뇨의 성상이 매우 상이하므로 양돈분뇨의 고액분리시에는 비육돈사 및 모돈사에서 발생하는 분뇨의 구분을 반드시 하여야 할 것으로 사료된다.

그러므로 본 연구에서는 합리적인 슬러리 양돈분뇨의 처리방안을 제시하기 위하여 양돈분뇨 처리에 상당한 관심을 가지면서 농장을 운영하는 대규모 단지를 중심으로 고액분리에 관한 연구를 수행하였다.

Table 2-8. Characteristics of slurry-type pig and sow wastewater

Items	Conc.
COD _{Cr} (mg/ℓ)	50,500
TKN(mg/ℓ)	5,400
NH ₃ -N(mg/ℓ)	3,300
Org-N(mg/ℓ)	2,060
TS(%)	3.8
TSS(mg/ℓ)	29,500
C/N ratio	9.4

제 3 장 슬러리 양돈분뇨의 고액분리

제 1 절 서 론

미분리형 돈사에서 발생한 분뇨는 돼지의 배분 특성 및 사육 특성상 다량의 수분이 함유되어 있다. 따라서 양질의 퇴비를 생산하는 것뿐만 아니라 원활한 퇴비를 제조하기 위해서는 상당량의 수분조절제가 요구되며 정화처리시에는 고농도의 유기물 및 질소가 함유되어 있어 기존의 혐기성 소화 공정이나 호기성 생물학적 공정으로는 처리에 한계가 있다. 한편 양돈분뇨의 처리 실태는 우리 나라 양돈산업의 특수상황과 축산농가의 재정 및 기술적 취약성을 고려하지 않은 상태에서 무분별하게 일률적으로 보급되어 실패하는 사례가 빈번히 발생하여 국가적 낭비를 초래하고 있을 뿐만 아니라 이미 보급된 양돈분뇨의 불완전한 퇴비화 및 환경용량을 고려하지 않은 자원 재이용 기술은 수계 및 자연계에 악영향을 미치고 있어 사회적으로 심각한 문제로 대두되고 있는 실정이다. 그러므로 바람직한 양돈분뇨의 처리를 위해서는 고액분리가 기술 개발이 가장 시급하므로 본 장에서는 슬러리 양돈분뇨의 효율적인 처리 방안으로 가장 시급히 해결하여야 할 과제인 고액분리를 수행하고자 다음과 같은 실험을 수행하였다.

세부 방법으로는 분뇨의 입자 크기에 따른 농도 특성을 파악하여 고액분리 장치 선정을 위한 기초자료로 활용하였다. 또한 탈수성 개량을 위한 최적 응집제 및 첨가량을 도출하였으며 다양한 고액분리의 실험을 통하여 현장 적용이 가능한 최적 공정을 도출하여 각각의 고액분리 장치의 운전 조건을 도출하였다.

제 2 절 실험 장치 및 방법

본 실험에서는 앞서 도출된 돼지의 배분특성을 파악하여 슬러리 돈사에서 배출되는 양돈분뇨를 대상으로 선정하여 입지크기에 따른 농도 특성을 파악한 후 최적 응집제 선정 및 주입량 결정을 위하여 실험실에서 탈수성을 측정하였다. 고액분리 장치의 특성상 현장에서의 실증적 연구가 중요하므로 고액분리 장치 선정을 위한 실험은 충청북도 충주 소재의 일관관리사육체계로 운영하고 있는 약 10,000두 규모의 슬러리 돈사에서 배출되는 양돈분뇨와 충청남도 논산 소재의 유기질 비료 공장으로 수거해온 비육돈사의 슬러리 양돈분뇨를 이용하여 수행하였다.

1. 입자의 크기

본 실험에서는 슬러리 양돈분뇨의 입자의 크기에 따른 농도를 규명함으로써 응집제 첨가 유무에 따른 농도 특성을 파악하고자 sieve를 이용하여 중력 하에 공극이 큰 순서부터 작은 순서로 여과하여 폐수특성을 분석하였다. 각각의 Sieve 공극은 1,000 μ m, 500 μ m, 150 μ m, 63 μ m를 이용하였으며, 1.2 μ m보다 작은 입자에 대해서는 GF/C 여과지와 감압 Pump를 이용하였다. 이때 각각의 여액에 대한 농도 특성은 SS와 COD_{Cr}을 분석하였다.

2. 탈수성 측정

실험실에서의 탈수성 측정은 Büchner Funnel Test, Capillary Suction Time(CST) Test, Filter Leaf Test 등이 사용되어진다.

탈수성이라 함은 입자와 입자 사이 그리고 입자 표면에 결합하여 있는 물분자의 분리에 대한 기준으로서 보통 Büchner Funnel Test는 Cake에 의해 형성되는 저항을 나타내는 비저항(r_s)값을, CST는 탈수

속도를 알기 위해 사용되며 비저항값은 절대비교가 가능하지만 CST값은 Cake에서의 탈수 거동은 알 수 없으므로 동일한 조건에서의 상대적 탈수 특성만을 알 수 있는 지표이다. 그러나 탈수성을 측정하는데 있어서 비저항값의 측정은 시간이 많이 걸린다는 단점으로 인하여 Baskerville(1968)등에 의하여 CST 측정이 제안되었다. 그러므로 본 연구 역시 양돈분뇨의 고액분리 효율 향상을 위한 최적 응집제 및 적정량 도출을 위한 실험에서 Büchner Funnel Test와 CST값을 응집제 첨가에 따른 탈수 특성을 비교 평가하여 CST 방법을 이용하였다.

가. Specific resistance

비저항값 측정을 위한 Specific resistance(r_s)는 Büchner Funnel 실험 장치를 이용하였으며, 실험 방법은 Standard Method(18th)에 준하여 수행하였다. 실험 시작 전에 증류수를 이용하여 여과지가 Büchner Funnel에 밀착하여 실험과 동시에 감압이 되도록 하였으며, 이때 Vacuum Gauge가 15in. Hg가 일정하게 되도록 밸브를 이용하여 조절하였다. 모든 시료는 무회석 상태에서 50ml로 하였으며, 실험 종료 시점은 여액의 투과유속이 1ml/min이 될 때까지 하였으며, 실험 진행 중에는 경과 시간에 따른 여액의 부피를 측정하였다(Carl 등, 1981).

비저항값의 계산은 다음의 식(3-1)을 이용하였다.

$$r_s = \frac{2PA^2b}{\mu w} \text{-----(3-1)}$$

여기서, r_s = Specific resistance, cm/g

P = Applied Vacuum Pressure, dyne/cm²

A = Filter area, cm²

μ = Filtrate viscosity, g/cm-sec

w = The weight of dry suspended solids in the cake per unit volume of filtrate, g/cm³

b = Slope of plot t/V against V, sec/cm⁶

t = Time, sec

V = Volume of filtrate obtained, cm³

여액의 viscosity는 동일한 온도에서 순수한 물의 viscosity로 가정하였다.

또한 w의 경우 여액의 단위 부피당 여과지 위에 있는 Solid의 질량으로 다음의 식(3-2)으로 계산한다.

$$w = (\text{Total solids of sludge sample})(V_s)/(V_f) \text{ -----(3-2)}$$

V_s는 시료의 초기 부피이며, V_f는 여액의 부피이다. 이때 슬러지의 용존성 부유물질의 농도가 5% 미만일 경우에 한해서만 총 용존성 고형물을 적용할 수 있으므로 본 실험에서는 부유성 고형물의 농도로 고려하여 계산하였다.

나. Capillary Suction Time(CST)

본 연구에 사용된 CST 실험 장치는 Standard Method(18th)에 준하여 제작되었다. 사용된 여지는 Chromatography Paper Whatman No. 17을 사용하였으며, 정확성을 위하여 5회 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 3회에 대한 절단평균값을 CST값으로 사용하였다. 이와 같은 CST 실험을 통하여 최적 응집제 종류와 주입량을 결정하였다.

실험에 사용된 응집제는 양돈 농가 현장에서 사용하고 있는 응집제를 기초로 무기 및 고분자 유기응집제를 사용하였으며 종류는 표 3-1와 같다. 응집제의 주입량은 표준 용액을 제조하여 슬러지 농도의 영향을 최소화하기 위해 시료 총 부피의 5% 이내로 주입하였으며 무기응집제는 공업용을 사용하였고, 고분자 유기응집제의 경우 시간이 경과함에 따라 응집효과가 감소하는 특성을 고려하여 실험 직전에 제조하여 사용하였다. 이 실험은 Jar Tester를 이용하여 응집제를 주입, 교반 후 6.4ml를 채취하여 슬러지 Reservoir에 투입 후 슬러지내의 수분이 여지의 일정 간격까지 퍼지는 속도를 Sensor에 의해 Digital Timer로 자동 측정하였다. 이때 각각의 응집제에 대해서 주입량을 변화시켜 CST값을 측정하였으며 CST값이 최소인 값을 최적으로 결정하였다.

Table 3-1. Types of polyelectrolyte used for dewatering experiment

Item		Assay(%)	Stock Solution
Inorganic coagulants	FeCl ₃	38(Liquid)	4,000mg/ l
	Alum	17(Solid) as Al ³⁺	5,000mg/ l
polyelectrolytes	E851	20(Liquid)	1~2%
	E855	20(Liquid)	1~2%
	C-100P	40(Solid)	1%
	EM840CT	35(Liquid)	0.75%

3. 현장 규모의 고액분리 실험

슬러지 양돈 분뇨의 고액분리는 양돈분뇨가 환경에 미치는 파급효과 및 적정 관리 방안을 위해서도 반드시 요구된다.

양돈분뇨의 고액분리 실험은 연구 결과의 특성상 현장 적용이 가장 우선적으로 고려되어야 한다. 따라서 본 실험에서는 실제 운영 중에 있거나 고액분리 장치 제조업체의 협조를 얻어 실제 규모 용량의 장치를 이용하여 현장에서 실험을 수행하였다.

연구가 수행된 장소는 충청북도 충주 소재의 12,000두 규모의 C농장은 슬러리 돈사로부터 분뇨 처리장까지 자연유하식으로 수거되고 있으며, 여기서는 응집제 선정을 위한 실험이 수행되었으며, 충청남도 논산 소재의 10,000두 규모의 N농장에서는 비육돈 사육단지로부터 수거차를 이용하여 응집제가 첨가하지 않은 상태에서 처리장까지 운반하여 1차로 Drum Screen, 2차로 Vibrating Screen을 적용하여 고액분리 하고 있으며 분리된 고형분은 수분조절제를 이용하여 퇴비화하고, 액상분은 정화처리를 하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 시료의 대표성 확보를 위하여 주로 비육돈 돈사에서 시료를 채취하였으며, 실험 직전에 수거차를 이용하여 2m³ 규모의 Polyethylene 저류조에서 1.5 HP 용량의 수중 펌프를 이용하여 혼합하면서 실험하였다. 채취된 시료는 실험실에서 도출된 응집제로 교반장치가 설치된 슬러지 개량 장치에 의해서 개량한 후 그림 3-1과 같은 방법으로 각각의 고액분리 장치에 대해 실험하였다. 이 실험에 사용된 고액분리 장치로는 현장에서 사용하고 있는 Screen(미세 Screen, Drum Screen, Vibrating Screen)을 이용하여 전처리 개념으로 실험하였으며, 1단계 고액분리 장치로는 Screw Press(SP) 및 저속 Screw Decanter(LSSD), 고속 Screw Decanter(HSSD)를 사용하였으며, 전처리의 효율성 및 처리 목표에 미치지 못하므로 1단계 고액분리 장치에 대한 후처리 공정으로 2단계 고액분리 장치를 적용하였다. 2단계 고액분

리 실험에 적용한 장치로는 Cyclone Drum Filter (CDF), Mesh Screen(MS) 그리고 부상 분리 장치(Air Flotation)를 이용하였다.

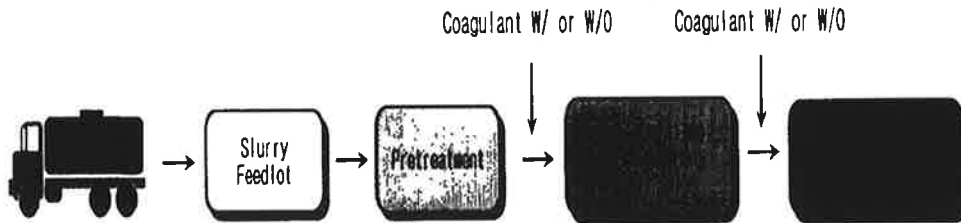


Fig. 3-1. The experimental design for solid/liquid separation.

그림 3-2는 각각의 현장에서 수행한 각각의 고액분리 장치에 대한 사진을 나타낸 것이며, 표 3-3, 3-4는 각 단계별 고액분리 공정에 사용된 장치 특성을 나타낸 것이다.

표 3-2은 본 실험에 사용된 개량조의 설계 사양으로 고액분리 장치에 따라 처리 유량이 변하는 것을 고려하여 교반 속도의 조절이 가능하도록 D. C. Controller를 설치하였으며 문헌을 참고(Daniel 등, 1991)로 하여 GT 값이 35,000내외가 되도록 교반을 하였다. 이 때 완전한 교반을 위하여 4개의 Baffle을 설치하여 양돈 분뇨를 개량한 후에 각각의 고액분리 장치로 이송하였다.

Table 3-2. Operational conditions of sludge conditioning

Tank Volume(ℓ)	20.8	
Impeller Type	4 Blades Paddle	
Mixing Velocity(rpm)	50	100
Velocity Gradient(G)	135.9	388.2



(a) Hydrasieve Screen



(b) Drum Screen



(c) Vibrating Screen



(d) Screw Press



(e) Low Speed Screw Decanter with Wedge Wire type



(f) High Speed Screw Decanter with Solid Basket type



(g) Cyclone Drum Filter

Fig. 3-2. Various types of solid /liquid separators used In this study.

Table 3-3. Characteristics of solid/liquid separators used as the primary stage separation

Solid/liquid separators	Characteristic
Hydra-sieve Screen	<ul style="list-style-type: none"> · 0.9mm 간격의 Hydra-Sieve Type · Screen 하부 : 3mm 타공판의 Strainer로 구성된 Screw Press 설치 · Sieve Dimension : W1.2m×L1.2m · 경사각 : 70° · 세척 : 작업자에 의한 수동 세척
Drum Screen	<ul style="list-style-type: none"> · 0.75mm의 Wedge-Wire Type · Drum Dimension : ϕ 760mm×L1828mm · Timer에 의한 세척시간 조절(청수사용) · Drum 회전속도 : 6~12rpm(inverter 이용) · 유입구를 통해 Header로 들어온 유입수는 Header Box 좌우의 덕을 넘어 Drum 내측면의 Wedge Wire와 직각으로 흘러 물은 하부로 빠지며 고형물은 Drum 내면에 부착된 나선형 배출판의 회전에 밀려 유입구 반대편으로 이송
Vibrating Screen	<ul style="list-style-type: none"> · Laser로 가공한 0.3mm 타공판 · 타공판 Dimension : W1m×L1.5m · 세척 : Timer에 의한 자동세척(청수사용) · 유입구를 통해 Header로 들어온 유입수는 Header에서 월류 되어 5° 의 구배로 이루어진 진동 Screen에 의해 여액은 Screen 하부로 분리되고 Screen에 걸린 고형물은 Chain에 연결된 Scraper에 의해 외부로 이송
Screw Press	<ul style="list-style-type: none"> · Wedge Wire Strainer · Strainer Dimension : ϕ 150×L800mm · Strainer 구성 0.1mm : L400mm (압축 탈수 부분) 0.5mm : L400mm (중력 배수 부분) · 토출부 : 지렛대 원리를 이용한 추(7.5kg × 4개)에 의한 압력 조절 · Strainer 세척 : Timer에 의한 자동 세척 · 세척 노즐의 수 : 13개 · 세척수 압력 : 10~20kg/cm² · 구동 Moter : 0.2kw, 0.75kw · Screw 회전속도 : Inverter에 의한 회전속도 조절 1~8rpm(0.2kw) , 15~60rpm(0.75kw)

(Continued)

Solid/liquid separators	Characteristic
High Speed Screw Decanter	<ul style="list-style-type: none"> • Bowl Conveyer Type • Bowl 회전속도 : 2400rpm • Bowl Dimension : ϕ 350mm \times L700mm • Bowl 세척 : 운전 종료 후 세척 • 구동 Moter : 15.2kw • Bowl과 Screw의 회전차에 의한 고형물 이송 • 원심력(G) : 1,120G
Low Speed Screw Decanter	<ul style="list-style-type: none"> • 0.1 mm Wedge Wire Strainer Type • Strainer Dimension : ϕ 300mm \times L700mm • 구동 Motor : 3.75kw • 내부 Screw Type Brush : 고형물 이송 및 세척 기능 • Strainer 회전속도 : Inverter에 의한 회전속도 조절 (100~300rpm) • 원심력(G) : 2~20G

Table 3-4. Characteristics of solid/liquid separators used as the secondary stage separation

Solid/liquid separators	Characteristic
Cyclone Drum Filter	<ul style="list-style-type: none"> • 구동원리 및 구조는 Drum Screen과 동일하다. • Wedge Wire 대신에 100μm의 mesh망을 설치 • Drum Dimension : ϕ 300mm \times L500mm • Drum 회전속도 : 6~12rpm(Inverter를 이용한 속도 조절 가능) • 세척 : 여액을 이용한 연속식 자동세척
Mesh Screen	<ul style="list-style-type: none"> • 구동원리 및 구조는 미세Screen과 동일하다. • Hydra Sieve 위에 100μm의 mesh망을 설치
Air Flotation	<ul style="list-style-type: none"> • 실험실에서 회분식 실험장치를 이용한 예비 실험후 본 연구에 적합한 Pilot Plant 제작 • Skimmer Velocity ; 1~5 m/min(Inverter 이용) • AF Tank Vol. ; 1.5m³

제 3 절 결과 및 고찰

1. 슬러리 양돈분뇨의 입자별 농도 특성 및 탈수성 개량

이 실험에서는 슬러리 원수를 대상으로 Sieve 공극 크기에 따른 여액의 농도 특성을 파악하였다. 실험에 사용된 원수의 COD_{Cr}은 135,000 mg/l, TSS는 70,500mg/l 으로 각각의 Sieve를 통과한 여액의 부피 및 농도를 표 3-5에 나타내었다. 공극의 크기가 작을수록 여과저항이 증가하여 여액의 부피가 감소하였으며 여액의 농도는 공극의 크기가 1,000 μm를 기준으로 약 20%의 제거효율이 나타났으나, 고형물 회수율은 약 60%를 나타냈다. 한편 여액에 대한 COD_{Cr} 제거율은 6.4%인데 반하여 Cake으로의 배출되는 COD_{Cr} Mass비율은 유입수의 53.2%가 배출되는 것으로 나타났다. 즉 탈수성 개량을 하지 않은 상태에서 고액분리를 수행할 경우 전체 유기물 질량은 제거되나, 정화처리 공정을 목적으로 할 경우 농도 측면에서는 급격한 감소가 안 이루어지는 것을 의미하고 있다. 공정의 목적이 퇴비화나 액비화일 경우에는 개량제를 첨가하지 않을 경우에도 소기의 목적을 달성할 수 있으나, 정화처리를 위한 여액이 목적일 경우에는 개량제의 첨가가 요구된다고 할 수 있다. 따라서 고액분리 공정의 목적이 퇴비화나 액비화 공정을 적용할 경우 개량제는 첨가하지 않는 것이 바람직하나, 정화공정을 적용할 경우 반드시 개량제의 첨가가 요구된다고 할 수 있다. 따라서 향후 고액분리 실험에서는 본 연구가 슬러리 양돈분뇨의 정화처리에 목적이 있으므로 개량제 첨가에 관하여 중점적으로 연구하였다.

한편 Sieve의 공극 크기가 63μm인 체를 통과한 여액을 대상으로 GF/C 여과지를 통과한 여액의 COD_{Cr}농도는 55,000mg/l 으로 나타나 평균 입자 크기가 1.2μm 보다 작은 입자에 의해 COD_{Cr} 농도가 전체의 40.7%로 차지함을 알 수 있었으며 슬러리를 개량하지 않고 여과저항을

무시할 경우 단순 여과공정만을 적용하여 얻을 수 있는 양돈폐수의 고액분리 여액의 농도이다. 그러므로 본 연구에서는 슬러리의 탈수성을 개량하기 위해 응집제를 첨가하는 실험을 수행하였으며, 탈수성 평가를 위한 방법으로는 Büchner funnel Test와 CST 측정을 동시에 측정하여 그림 3-3에서 나타낸 바와 같이 두 인자간의 상관관계를 도출하여 밀접한 관계가 있음을 확인한 다음 CST 측정값을 이용하여 응집제 종류 및 응집제 주입량을 결정하였다. 이때 여러 종류의 응집제중 최소 CST 값을 나타내는 응집제를 최적 응집제로 선정하였으며 최적 응집제 주입량을 선정하였다.

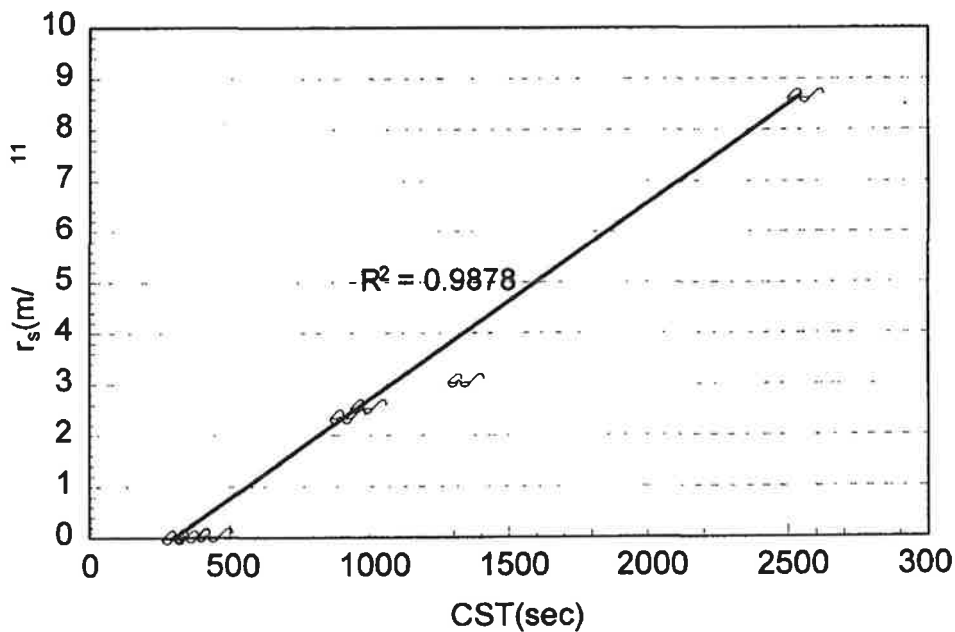


Fig. 3-3. Relationship between r_s and CST value with various poly-electrolyte dosage.

최적 응집제 선정 및 주입량 결정을 위한 실험에서는 비육돈 슬러리 돈사에서 발생하는 분뇨를 대상으로 수행하였으며 이때 대상시료의 COD_{Cr} 및 TS는 각각 $98,000\text{mg}/\ell$ 과 6.6% 이었다.

Table 3-5. The removal characteristics of slurry-type swine wastewater by using different size of sieve

Items	Sieve opening	Raw Slurry	1,000 μ m Below	500 μ m Below	150 μ m Below	63 μ m Below
	size					
Filtrate Vol. (ml/ℓ)		-	500	400	380	350
SS conc. of Filtrate(g/ℓ)		70.5	56.4	48.1	44.5	40.7
SS mass. of Filtrate(g)		70.5	28.2	19.2	16.9	14.2
SS removal rate(%), (conc. basis)		-	20.0	31.8	36.9	42.3
SS removal rate(%), (weight basis)		-	60.0	72.7	76.0	79.8
COD _{Cr} conc. of Filtrate(g/ℓ)		135,000	126,300	109,400	106,300	101,600
COD _{Cr} mass. of Filtrate(g)		13.5	6.315	4.376	4.252	3.556
COD _{Cr} removal rate(%), (conc. basis)		-	6.4	19.0	21.3	24.7
COD _{Cr} removal rate(%), (weight basis)		-	53.2	67.6	68.5	73.7

그림 3-4는 응집제 종류에 따른 CST값의 변화를 나타낸 것으로 양돈분뇨의 개량에 사용되는 최적의 응집제로는 Nalco사의 양이온성 Polyacrylamide계열의 E-851로 나타났으며 이때 최적 응집제 주입량은 220mg/ℓ으로 나타났다. 이 실험 결과에 의하면 무기응집제보다는 유기 응집제가 더 효율적인 것으로 나타났는데, 이는 무기응집제의 전하 중하에 의한 응집 효과보다는 고분자 응집제의 가교 결합에 의한 응집 효과가 양돈 분뇨의 개량에 있어서는 훨씬 효과적임을 알 수 있다.

동일한 유기응집제 E-851을 이용하여 다양한 발생 농도 특성을 나타내는 단지규모의 C 농장과 N 농장에서 배출되는 슬러리 양돈분뇨에

대해 최적 CST값에 대한 응집제 소모량을 도출하였다. 그림 3-5에서 보여주는 바와 같이 응집제 첨가량이 적정 농도 이상에서는 CST값이 일정한 값을 나타낸다.

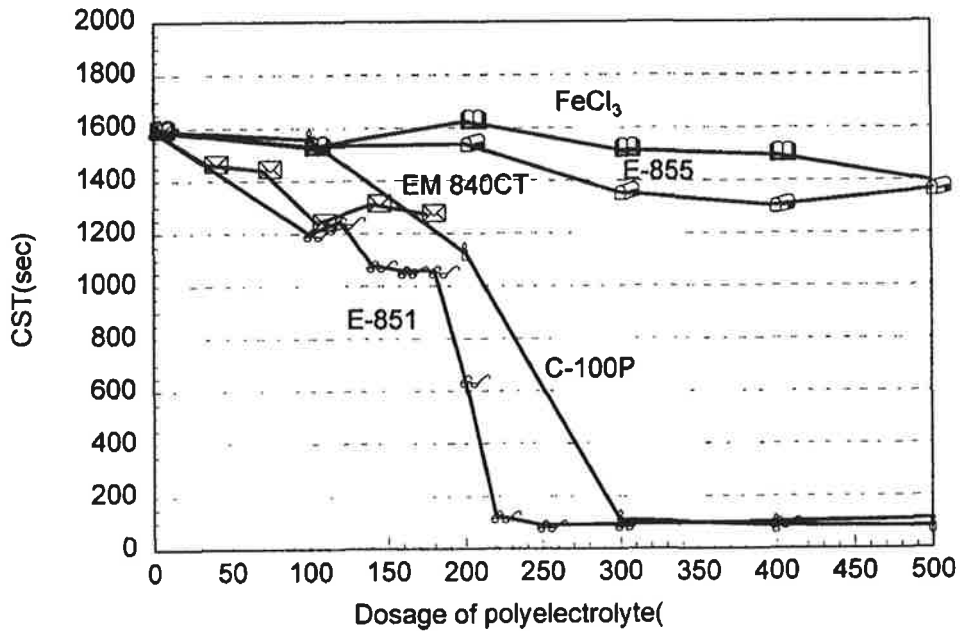


Fig. 3-4. Evaluation of CST with different types of polyelectrolytes.

양돈분뇨에 대한 최적 응집제 소요량은 양돈 농가, 시료 채취 시기 및 전처리 공정에 따라 소요량이 달라지는데 표 3-6에 나타낸 것처럼 C농장의 경우 단위 고형물질 당 0.24~0.33%의 응집제가 첨가되었으며 N농장의 경우에는 단위 고형물질 당 0.42%와 0.43%로 C농장보다 많은 양의 응집제가 첨가되었다.

C농장과 N농장의 Screen 처리수에 대한 응집제 소요량을 비교하여 보면 고형물질의 양에는 별 차이가 없으나 N농장이 C농장보다 높은 응집제 투입량을 나타내고 있다. 이는 N농장 Screen의 경우 DS 및 VS 산극이 0.75mm 및 0.3mm로 C농장의 0.9mm보다 작아 Screen 처리수의 입

자들의 크기가 작으므로 동일 농도에서 단위 부피에 존재하는 입자들의 수가 많아 응집제 소요량이 높은 것으로 사료되며, 이는 William등 (1986)의 연구 결과에서처럼 입자크기가 작을수록 응집제가 더 많이 소요되는 실험 결과와 유사하다. 따라서 응집제 주입량에 있어서는 고형물질 농도보다는 고형물질 입자 크기 및 분포도가 중요 영향인자이므로 액비화를 위한 고액분리시에는 단순히 협잡물 제거 차원에서의 Screen의 적용이 바람직하며, 정과 처리를 전제로 응집제를 첨가하는 고액분리시에는 분뇨 자체의 입자 크기를 감소시키는 장치는 바람직하지 않을 것으로 판단된다. 응집제 소요량은 결국 처리비용과 관련이 있으므로 효율적인 분뇨 처리를 위해서는 돈사 설계시 가급적이면 슬러리 Pit에서 저류하지 않고 고액분리 장치 쪽으로 배출하는 것이 슬러리 저류 Pit에서 준협기화를 방지하여 입자가 감소하는 것을 억제하므로 탈수성 향상 및 응집제 첨가량을 최소화시킬 수 있을 것으로 사료된다.

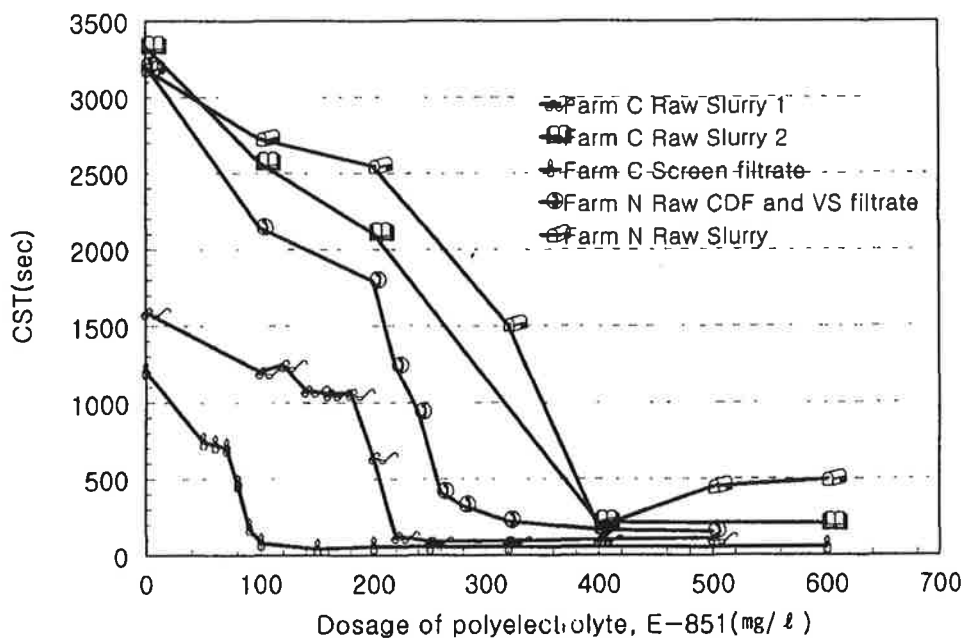


Fig. 3-5. Dewaterability change of different swine wastewater with the change of polyelectrolyte dosage.

Table 3-6. Optimum polyelectrolyte dosage for different type of swine wastewater

구 분	TS (%)	Optimum dosage(E851)	
		dosage(mg/ℓ)	%(polyelectrolyte/TS)
Farm C, Raw Slurry #1	6.6	220	0.33
Farm C, Raw Slurry #2	15.9	400	0.25
Farm C, Screen Filtrate	4.1	100	0.24
Farm N, Raw Slurry	9.5	400	0.42
Farm N, Screen Filtrate	6.0	260	0.43

2. 1단계 장치별 고액분리 특성

이 실험에서는 양돈농가에서 가장 선호하고 있는 슬러리 돈사에서 배출되는 양돈분뇨를 대상으로 고액분리를 실시함에 있어서 단일 고액분리 장치에 따른 분리 효율과 두 개 이상의 고액분리 장치를 연계한 공정의 분리 효율을 평가하였으며, 또한 양돈분뇨의 개량 여부에 따른 분리 효율을 평가하여 가장 현실적인 양돈분뇨의 분리 공정 및 방법을 도출하고자 하였다. 양돈분뇨의 개량에 사용된 응집제로는 제 2절에서 도출된 결과를 토대로 유기응집제 E-851을 사용하였으며 주입량은 슬러리 원수에 대해서는 400mg/ℓ, 전처리를 거친 양돈분뇨에 대해서는 C농장의 경우 100mg/ℓ, N농장의 경우에는 260mg/ℓ을 주입하였다.

단일 고액분리 장치를 이용한 양돈분뇨의 고액분리 특성을 파악하고자 Hydrasieve Screen(HS), Drum Screen(DS), Screw Press(SP), High Speed Screw Decanter (HSSD) 및 Low Speed Screw Decanter(LSSD)를 사용하여 고액분리 효율을 비교하였다.

SP 장치의 경우 Strainer의 주기적인 세척을 위하여 유입유량의 약 10~20%의 청수를 일정 시간 간격에 따라 세척수로 사용하였으나 본 연구에서는 여액의 시료 채취시 세척수가 배제된 상태에서 시료를 채

취하였으며 실규모의 전처리 공정에서 발생하는 여액의 성상은 세척수에 의한 회석효과에 의해 본 연구 결과보다 낮아질 것으로 추측된다.

표 3-7는 슬러리 돈사에서 발생하는 양돈분뇨를 Screen으로 고액분리 실험한 결과로서 응집제를 첨가하지 않은 경우 Drum Screen보다는 미세 Screen이 전체적인 제거율이 양호하게 나타났지만 응집제를 첨가하지 않은 경우의 미세 Screen과 E851 400mg/ℓ을 첨가한 경우의 Drum Screen의 분리 효율을 비교하여 보면 비슷한 제거율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 응집제 첨가 유무에 따른 Drum Screen의 고액분리 효율을 보면 COD_{Cr}의 경우에는 비슷한 값을 나타내고 있으나 고형물질의 농도와 질소 농도의 경우에는 응집제를 첨가한 경우가 약 10% 정도 증가하는 결과를 나타내었다. 이는 유기응집제에 의해 입자들의 크기가 커짐으로서 고액분리 효율이 향상되어 입자 물질의 제거 효율이 높아지고 따라서 유기성 질소의 제거 효율도 높아졌기 때문으로 사료된다.

Table 3-7. Solid/liquid separation performance

		Hydrasieve Screen		Drum Screen		
		Swine Waste-water	Filtrate w/o poly-electrolyte	Swine Waste-water	Filtrate	
					w/o poly-electrolyte	w/ polyelectrolyte E-851 400mg/ℓ
Filtrate	TS(%)	8.8	4.5(48.9)	9.8	6.8(30.6)	5.3(45.9)
	TSS (mg/ℓ)	55,200	42,400(23.2)	60,700	50,700(16.5)	44,500(26.7)
	COD _{Cr} (mg/ℓ)	90,700	62,500(31.1)	114,000	62,000(45.6)	63,500(44.3)
	TKN (mg/ℓ)	6,820	4,350(36.2)	9,060	7,215(20.4)	6,180(31.8)
moisture Content of Cake (%)		-	-	-	33.6	84.5

() ; removal rate, %

표 3-7에서 보여주는 바와 같이 양돈분뇨의 고액분리에 있어서 Screen은 단순히 중력 배수에 의하여만 고액분리가 일어나기 때문에 전체적인 제거율이 낮으며 응집제 첨가 유무에 관계없이 Cake의 함수율이 비교적 높게 나타났다. 그러므로 양돈분뇨를 Screen에 의하여 고액분리를 할 경우에는 여액에 대한 2차처리가 반드시 필요하다.

일반적으로 탈수기의 효율을 평가할 때에는 고형물 회수율을 지표로 한다. 고형물 회수율은 고액분리 장치로 유입되는 총 고형물의 양에 대한 Cake에서의 고형물의 양을 Percent로 나타낸 것이다. 그림 3-6은 고형물 회수율에 관한 질량수지식을 세운 것이다.

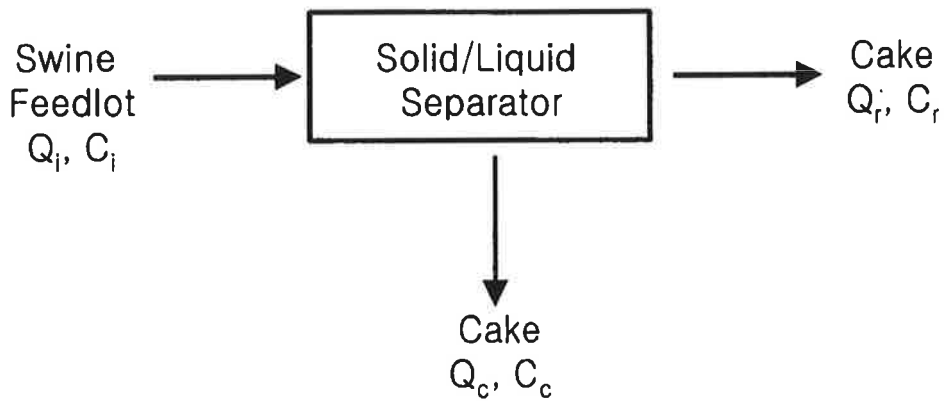


Fig. 3-6. Mass balance of solid/liquid separation.

$$Q_i C_i = Q_c C_c + Q_r C_r \text{-----(3-2)}$$

$$Q_i = Q_c + Q_r$$

$$Q_r = Q_i - Q_c \text{-----(3-3)}$$

고형물 회수율의 정의는 식(3-4)과 같다.

$$\frac{\text{Cake의 고형물질량}}{\text{원수의 고형물질량}} = \frac{Q_c C_c}{Q_i C_i} \text{-----(3-4)}$$

식(3-4)를 식(3-3)에 대입하면

$$\begin{aligned}
 Q_i C_i &= (Q_i - Q_c)C_r + Q_c C_c \\
 &= Q_i C_r - Q_c C_r + Q_c C_c \\
 Q_i (C_i - C_r) &= Q_c (C_c - C_r) \\
 \frac{Q_c}{Q_i} &= \frac{C_i - C_r}{C_c - C_r} \text{-----(3-5)}
 \end{aligned}$$

식(3-5)를 식(3-4)에 대입하여 정리하면 다음의 식(3-6)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \frac{Q_c C_c}{Q_i C_i} &= \frac{C_c (C_i - C_r)}{C_i (C_c - C_r)} \\
 &= 1 - \frac{C_r (C_c - C_i)}{C_i (C_c - C_r)} \text{-----(3-6)}
 \end{aligned}$$

그러므로 식(3-6)를 이용하여 고액분리 장치의 성능을 평가하였다.

본 연구에 사용된 SP는 Screw의 회전 속도, 토출측의 압력, 유입 유량, 양돈분뇨의 개량 등이 운전 변수로 작용하지만 이 실험에서는 제작사에서 다음과 같이 제시한 운전 조건을 중심으로 실험하였다. Screw의 회전속도는 0.2kw의 구동 Motor를 사용하여 8rpm으로 고정하여 수행하였으며 토출 부위의 압력은 7.5kg의 추 2개를 사용하여 일정하게 유지하였다.

표 3-8은 SP를 이용하여 3회에 걸쳐 수행한 결과의 평균값을 나타낸 것으로 여액의 경우 응집제를 첨가한 경우가 첨가하지 않은 경우보다 양호하게 배출되었으나, Cake의 함수율은 응집제를 첨가하지 않은 경우가 58.9%로 더 낮게 나타났다. 이와 같은 현상은 응집제를 첨가하지 않은 경우 중력배수 부분에서 Strainer의 간극보다 작은 입자들이 배수됨으로써 처리 용량은 커지는 반면, 회수율은 감소되기 때문인 것으로 사

료된다. COD_{Cr} 및 NH₃-N을 비롯한 TKN 제거율은 응집제를 첨가하지 않은 경우 제거율 측면에서는 거의 효율이 없는 것으로 나타나 정화 공정을 위한 고액분리시에는 반드시 응집제의 첨가가 요구되는 한편 제 2절에서 전술하였던 바와 같이 유입량 대비 총량차원에서는 Cake으로 배출되는 부분에 한하여 제거되었지만, 농도차원에서는 COD_{Cr}의 경우 제거율이 3.6%로 거의 제거되지 않는 것으로 나타났다. 반면에 응집제를 첨가한 경우에는 COD_{Cr} 제거율이 67.1%로 상당량 감소시킴으로써 후처리 공정의 유기물 부하를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

Table 3-8. The effects of polyelectrolyte on the performance of Screw Press

	w/o polyelectrolyte		w/ polyelectrolyte E-851 400mg/ℓ	
	Swine Wastewater	Filtrate	Swine Wastewater	Filtrate
TS(%)	9.5	6.4(32.3)	10.3	2.3(77.1)
TSS(mg/ℓ)	58,000	49,167(15.2)	63,020	8,040(86.6)
COD _{Cr} (mg/ℓ)	103,750	100,000(3.6)	11,290	36,700(67.1)
TKN(mg/ℓ)	9,128	8,467(7.2)	8,769	6,143(29.8)
NH ₃ -N(mg/ℓ)	5,148	4,824(6.3)	3,255	4,047(23.7)
Org-N(mg/ℓ)	3,980	3,677(7.6)	5,347	2,096(36.5)
Moisture Content of Cake(%)	-	58.9	-	74.1
Solid Capture Ratio(%)	-	17.3	-	90.0
Maximum Treatment Capacity(m ³ /hr)	-	0.80	-	0.35

() ; removal rate, %

HSSD 및 LSSD에 대한 실험에서는 Screw Decanter의 회전속도를 각각 2400rpm과 300rpm으로 고정하여 실험하였다. 표 3-9에서 나타낸 바와 같이 HSSD의 고액분리 효율은 SP의 효율과 비교할 때는 약간 저조한 효율을 보이지만 고형물 회수율이 77.9%로 비교적 양호한 효율을 나타내었다. HSSD와 같이 원심력을 이용한 밀도차에 의한 침전 특성을 고려한 고액분리 장치는 중력장과 비교하여 성능을 나타낸다. 중력장과 원심력 장과의 비교를 원심효과 G라 하며 Screw Decanter의 운전 효율을 결정하는 중요한 인자인 원심효과 G는 다음의 식에 의해서 계산 할 수 있다.

반경 r이 되는 원주 위를 각속도 ω (1/sec)로 회전하는 질량 m의 물체에 작용하는 원심력 F는 식(3-7)과 같다.

$$F = \frac{r\omega^2 m}{g_c} \text{-----}(3-7)$$

그러므로 원심효과 G는 식(3-8)과 같다

$$G = \frac{r\omega^2 m/g_c}{mg/g_c} = \frac{r\omega^2}{g} = \frac{4\pi^2 r N^2}{3600g} \approx \frac{N^2 r}{900} \text{-----}(3-8)$$

여기서

N = Rotational speed of centrifuge, rpm

r = Radius of rotating body of liquid, m

이는 식(3-6)에 의하면 본 연구에서 적용한 HSSD의 회전속도 2,400rpm에서 1,280G($\times g$ (Gravity Force))의 원심력이 작용하므로 이때 Bowl에서의 중력장은 높은 압력을 형성하여 Henry's law에 의한 Head space에 존재하는 공기의 용해도가 증가하여 여액이 외부로 배출

될 때 여액 내에 존재하는 용존공기가 배출되어 대량의 Scum이 발생하는 것으로 사료된다. 그러므로 실험 중에 발생한 유출수에는 Scum 부분이 약 90%이상 차지하는 것이 관찰되었으며 또한 높은 원심력을 유지하기 위한 동력대비 처리용량의 효율이 낮으므로 HSSD를 슬러리 양돈분뇨의 고액분리에 적용하기에는 비효율적인 것으로 나타났다.

한편 LSSD의 경우 Wedge-wire type의 bowl이 300rpm으로 회전하여 이때의 중력가속도가 12G에 해당하며, 응집제를 첨가한 경우 표 3-9에 나타낸 바와 같이 유기물 및 고형물질 회수율은 앞서 수행된 SP 및 HSSD의 고형물 회수율과 비교시 비록 약간 낮은 효율을 나타냈지만 처리 용량을 고려한 장치의 가격 측면이나, 현장 적용 면에서 안정적인 유지관리를 나타내었다.

LSSD가 SP나 HSSD와 비교하여 처리수의 성상이 불량한 것은 SP의 회전속도보다는 높은 회전속도로 운전됨으로서 입자 물질들이 0.1mm 간극의 Wedge Wire를 통하여 여액과 함께 배출됨으로서 처리수의 성상이 불량해진 것으로 사료된다. 그러나 LSSD는 300rpm으로 운전시 응집제를 첨가하지 않은 경우는 SP보다 함수율이 높은 것으로 나타났으며, 응집제를 첨가한 경우에는 LSSD의 함수율이 71.4%로 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 응집제를 이용하여 양돈분뇨를 개량할 경우 자유수 및 간격수가 가장 원활하게 배출되는 것을 의미하며, 처리용량, 경제성, 운전비용 및 유지관리등 종합적인 측면을 고려할 때 LSSD가 가장 효율적인 것으로 판단되므로 향후 정화처리 공정을 위한 기계식 고액분리의 주요 장치로 결정하였다.

한편 슬러리 원수를 직접 퇴비화 할 경우와 응집제를 첨가하지 않은 상태에서 LSSD에서 배출되는 고형분을 퇴비화할 경우 양질의 완숙퇴비를 위한 수분조절제의 톱밥 첨가비율을 다음의 식(3-9)에 의해 계산

하면 다음과 같다. 이때 수분조절제인 톱밥의 함수율은 25%, 완숙퇴비를 위한 조정 목표 수분량을 65%로 문헌(축산업협동조합중앙회, 1991)을 참고로 가정하였다.

Table 3-9. The effects of polyelectrolyte on the performance of Screw Decanters(HSSD and LSSD)

	HSSD		Swine Waste -water	LSSD	
	Swine Waste -water	Filtrate w/ poly-electrolyte		Filtrate	
				w/o poly -electrolyte	w/ poly-electrolyte, E-851 400mg/ℓ
TS(%)	6.2	2.5(59.7)	12.3	8.0(35.0)	4.5(63.4)
TSS (mg/ℓ)	36,200	9,030(75.1)	70,500	53,000(24.8)	30,500(56.7)
COD _{Cr} (mg/ℓ)	77,500	39,000(49.7)	135,000	130,000(3.7)	45,000(66.7)
TKN (mg/ℓ)	6,630	5,710(13.9)	11,990	11,400(4.9)	9,490(20.9)
NH ₃ -N (mg/ℓ)	5,030	4,490(10.6)	8,900	8,570(3.7)	7,380(17.1)
Org-N (mg/ℓ)	1,610	1,220(24.1)	3,090	2,830(8.6)	2,110(31.7)
Moisture Content of Cake (%)	-	75.1	-	69.4	71.4
Solid Capture Ratio(%)	-	77.9	-	30.0	63.5
Maximum Treatment Capacity(m ³ /hr)	-	2.9	-	3.6	3.0

() ; removal rate, %

$$\text{톱밥 첨가 비율} = \text{생분량} \times \frac{\text{고형분수분량} - \text{조정목표수분량}(65\%)}{\text{조정목표수분량}(65\%) - \text{톱밥수분량}(25\%)}$$

---(3-9)

식(3-9)을 이용하여 표 3-9의 LSSD의 원수의 톱밥첨가 비율은 중량비로 56.8%의 톱밥이 요구되며, 응집제 첨가유무에 따라 각각 16.0%, 11.0%의 톱밥이 요구되므로 고액분리후의 고형분의 퇴비화에 요구되는 톱밥량은 미분리 분뇨에 소요되는 톱밥량의 약 20%밖에 안되는 것으로 산정되었다. 따라서 슬러리 양돈분뇨의 퇴비화 공정을 적용할지라도 효율적인 처리방안으로는 고액분리가 반드시 선행되어야 함을 알 수 있다.

3. SP 및 LSSD의 최적 운전 조건

SP의 고액분리 효율에 영향을 주는 인자에는 앞에서 언급한 바와 같이 입자의 크기, 토출 부분의 압력 외에 Screw의 회전속도가 있다. Screw의 회전속도는 Cake의 이송속도와 1차 선형관계를 갖고 있다. 만약 Cake의 이송속도가 너무 빠르면 압축 탈수 부분에서 충분한 압축이 일어날 시간이 짧아 탈수 효율이 불량하여진다. 그러므로 SP에서는 토출 부분의 압력과 이송 속도에는 어떤 일정한 관계가 있다고 할 수 있다.

본 실험은 SP의 처리 용량 증대를 위한 실험으로 토출 압력은 7.5kg의 추 2개를 사용하여 일정하게 유지시킨 후에 양돈분뇨를 E851 응집제 400mg/l를 첨가하여 개량한 후 Screw의 회전속도에 따른 고액분리 특성을 조사하였다. 이 실험에서는 구동 Motor 0.2kw, 회전속도 8rpm으로 제작되어 있는 SP의 회전속도를 증가시키기 위하여 구동 Motor를 0.75kw로 증가시켰으며 회전속도는 2~60rpm까지 Inverter를 사용하여 조절하였다. 그림 3-7은 Screw의 회전속도에 따른 농도 특성을 나타낸 것이고 그림 3-8은 고액분리 특성 및 처리 용량을 나타낸 것이다. Cake의 함수율은 67.0~72.5%로 회전속도에 관계없이 유사한 값을 나타내어

Cake의 함수율은 Screw의 회전속도와는 무관하다고 할 수 있다. 그림 3-7에서 보여주는 바와 같이 여액의 농도를 살펴보면 회전속도가 증가할수록 COD_{Cr}의 경우에는 41,420mg/l에서 56,630mg/l 완만하게 증가하였으나 그림 3-8의 처리 용량은 2rpm의 경우 0.18m³/hr에서 60rpm의 경우 0.75m³/hr로 회전속도가 증가할수록 처리 용량이 약 4.2배 증가함을 알 수 있다. 또한 질소 농도의 경우에는 회전속도가 증가하여도 농도에 거의 변화가 없는 것으로 나타났으며 이때의 C/N비는 평균 7.8로서 질소제거를 위한 유기물질의 농도는 충분하다고 할 수 있다. 고형물질의 경우에는 유기물질이나 질소와는 달리 회전속도가 증가할수록 여액의 고형물질 농도가 증가함을 알 수 있는데 이는 회전속도가 증가하면서 양돈분뇨의 이송량이 증가하여 SP 내에서 고형물질의 압축이 충분히 일어나지 못하고 많은 양의 고형물이 계속 이송되어 Wedge Wire를 통하여 미세 고형물들이 빠져 나오기 때문으로 사료된다.

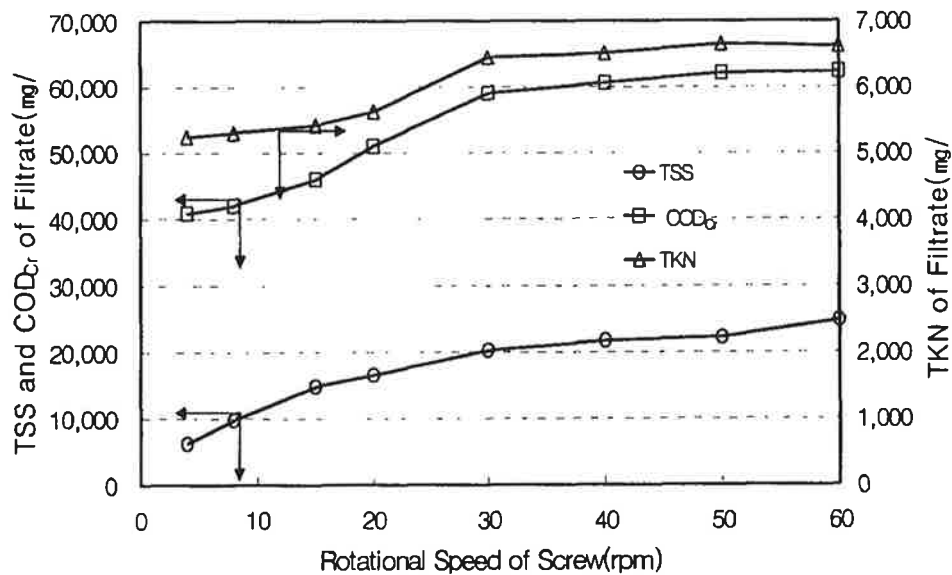


Fig. 3-7. Filtrate characteristics from Screw Press with different rotation speed

따라서 SP의 회전속도가 높아짐으로서 Screw에 의한 이송속도가 증가하여 처리 용량이 증가하는 것에 비하여 여액의 성상은 회전속도 60rpm까지는 큰 영향을 미치지 않고 있어 어느 정도까지는 회전속도를 증가시켜 SP의 처리 용량을 증가시키는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 그러나 이 때 발생하는 여액의 경우 후처리 공정으로 생물학적 처리를 할 경우 직접 생물학적 처리 공정에 유입하는 방안과 2차 고액분리를 추가하는 방안에 대해서는 전체 공정의 효율성 및 경제성을 검토하여 결정되어야 한다.

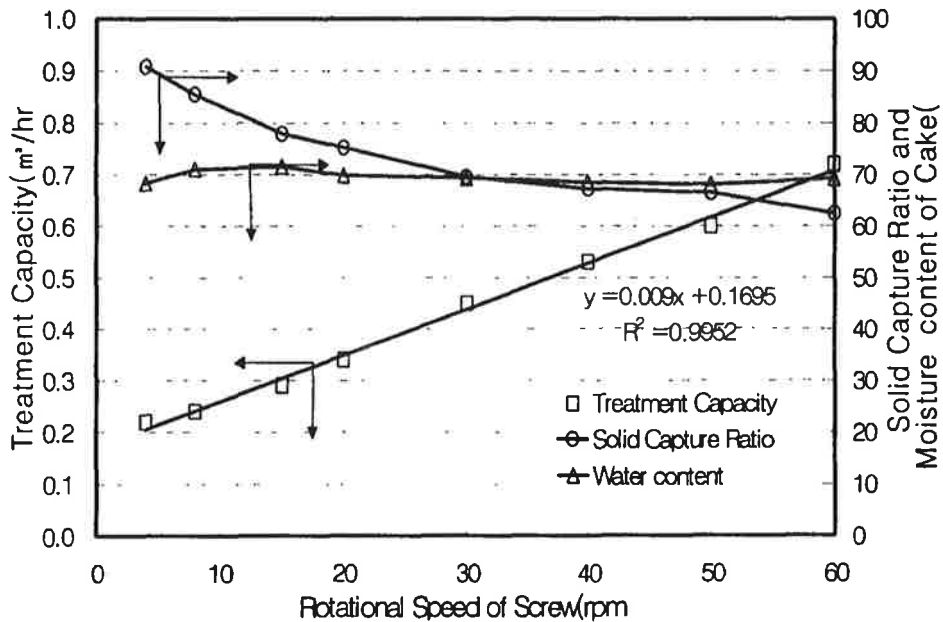


Fig. 3-8. Performance of Screw Press with different rotation speed

LSSD실험에서는 Wedge Wire Strainer의 opening size를 50 μ m과 100 μ m를 각각 이용하여 최대 300rpm을 운전할 수 있는 장치에서 실험하였으며, 100 μ m Strainer를 구동하는 3.75kW의 Motor에 Inverter를 이용하여 회전속도를 변화시키면서 응집제 첨가 유무에 따른 고액분리 특성을 평가하였다. 그림 3-9에서 보여주는 바와 같이 응집제를 첨가하지 않은

경우 여액의 농도 특성이 불량하게 나타난 반면 응집제를 첨가한 경우 strainer의 rpm에 관계없이 COD_{Cr} 및 TKN의 농도 특성은 거의 유사한 농도 특성을 나타내었다. 그러나 여액의 SS 경우 rpm이 증가할 수록 여액의 SS 또한 증가하여 rpm 100에 비하여 rpm 300에서 약 2배 정도인 30,000mg/l의 농도를 나타내었다.

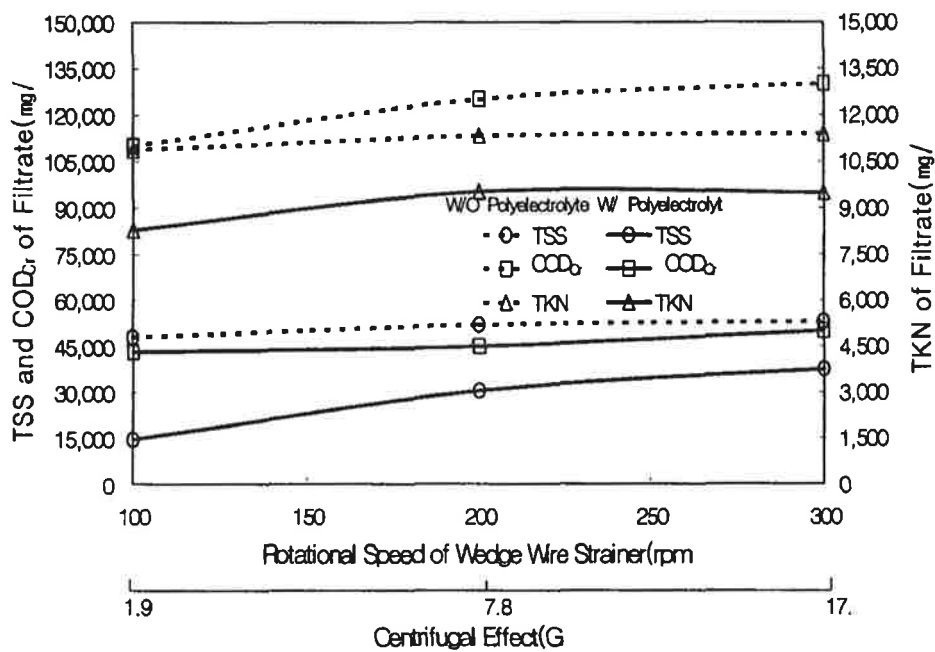


Fig. 3-9. Filtrate characteristics of LSSD with different rotation speed.

4. 2차 고액분리 특성

SP 및 SD에 의한 고액분리는 Cake의 함수율은 양호하나 여액의 농도가 후처리 공정으로 생물학적 처리를 하기에는 비교적 높으므로 본 실험에서는 2개 이상의 고액분리 장치를 조합하여 고액분리 효율을 평가하였다. SP에 의한 양돈분뇨의 고액분리에 있어서 양돈분뇨를 SP로

단독 처리할 경우에는 처리 용량의 한계로 인하여 SP의 처리 용량을 극대화하고자 그림 3-10과 같이 여러 종류의 Screen에 의해 양돈분뇨를 1차 고액분리를 실시한 후 여액에 대하여 응집제를 첨가하여 개량한 후 SP로 2차 고액분리를 실시하여 고액분리 특성을 조사하였다.

표 3-10은 여러 종류의 전처리 시설을 거친 여액을 SP에 대한 고액분리 여액 특성을 나타낸 것으로 전처리 시설에 따라 전체 고형물질 제거는 SS 기준으로 75%~97.9%, 전체 유기물의 제거는 77%~82%였으며 전체 질소의 제거는 54.2%~69.1%였다. 또한 질소의 생물학적 처리를 위한 C/N비는 6.0~7.7로 나타났다.

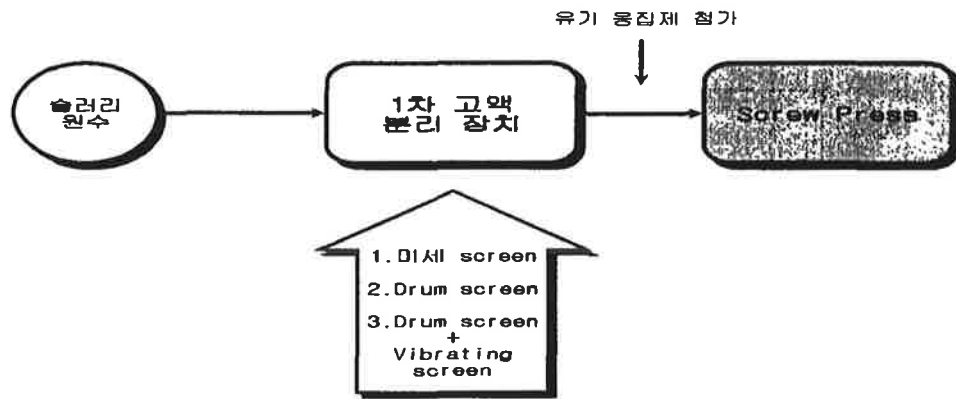


Fig. 3-10. Various screens as a pretreatment for Screw Press.

표 3-10에서 나타난 바와 같은 SP에 의한 단독 고액분리(응집제 첨가)와 비교하면 유기물질 제거는 67.8%로 약간 증가한 경향을 나타냈으며 질소 제거율 역시 30.9%로 효율이 양호하였다. 이것은 암모니아성 질소의 제거에는 큰 영향이 없으나 고형물질의 제거율이 증가됨에 따라 유기성 질소의 제거가 증가되었기 때문이라 할 수 있다. 그러나 양돈분뇨의 고액분리에 있어서 전처리를 하였을 경우에 SP의 고액분리 효율은 SP에 의한 단독 고액분리보다 고형물질 회수율이 약 95%로 양

호하며 여액의 성상 또한 양호하게 나타났으나, 처리 용량에 있어서는 SP 단독 처리시의 0.42m³/hr보다 오히려 Screen을 이용한 전처리 공정을 적용할 경우 0.11~0.21m³/hr로 비효율적인 결과를 나타냈다.

SP의 처리 용량이 감소하는 원인으로서는 돈사 자체에서 발생하는 양돈분뇨를 전처리 과정이 없이 직접 SP로 고액분리시에는 사료 껍질과 같은 조대 물질들이 존재하여 Cake의 강도를 증가시킴으로써 토출부에서 Cake의 배출이 양호하였으나 Screen에 의한 전처리시에는 전체적인 고형물질의 회수율은 증가하나 1차 고액분리후의 여액에서는 처리대상 입자들의 크기가 작아져 SP의 고액분리시 Cake의 강도가 낮아 토출부에서 Cake가 제대로 배출되지 못함으로서 처리 용량이 감소한 것으로 볼 수 있다. 그러므로 SP를 이용한 양돈분뇨의 고액분리 경우 전처리 과정을 거치는 것보다는 SP의 처리 용량의 증대를 위하여 SP에 의한 단독 고액분리후에 여액에 대한 2차 고액분리 과정을 거치는 것이 바람직하므로 향후 2단계 고액분리 실험에서는 SP 및 LSSD를 1단 고액분리한후 2차 고액분리 공정에 관한 실험을 수행하였다.

SP에 의한 슬러리 돈사에서 발생하는 양돈분뇨의 고액분리 효율은 높은 회전속도에 비하여 낮은 회전속도에서는 여액의 특성은 양호하나 처리 용량이 작다는 문제점을 갖고 있으며 낮은 회전속도에서의 여액이라도 생물학적 처리를 하기 위해서는 비교적 농도가 높다고 할 수 있다. 따라서 본 실험에서는 SP의 낮은 회전속도(8rpm)에서의 여액에 대해서는 농도의 저감을 위하여 CDF, MS를 이용한 2차 고액분리를 하였으며, SP의 처리 용량을 극대화시키기 위하여 50 rpm의 Screw 회전속도에서 운전한 여액에 대해서는 DAF에 의한 2차 고액분리를 함으로서 여액의 농도 저감 방안에 대해서 실험하였다. 또한 LSSD의 경우에도 여액의 농도가 높아 이에 대한 저감 방안으로 여액에 대해서 DAF를 이용한 2차 고액분리를 하였다.

Table 3-10. Performance of Screw Press with different types of screen as a pretreatment

	Slurry Wastewater (Farm C)	Hydrasieve Screen Filtrate	SP Filtrate (E851 100ppm)	Total removal rate(%)
TS(%)	8.8	4.6(47.7)	1.2(73.9)	86.4
TSS(mg/ℓ)	55,230	42,400(23.2)	1,183(97.2)	97.9
COD _{Cr} (mg/ℓ)	90,700	62,500(31.1)	18,950(69.7)	79.1
TKN(mg/ℓ)	6,820	4,340(36.4)	3,124(36.4)	54.2
Solid Capture Ratio(%)	-	-	-	93.4
Treatment Capacity(m ³ /hr)	-	-	0.21	-
	Slurry Wastewater (Farm N)	Drum screen Filtrate	SP Filtrate (E851 260ppm)	Total removal rate(%)
TS(%)	10.2	8.1(20.6)	1.3(84.0)	87.3
TSS(mg/ℓ)	51,600	49,000(5.0)	12,900(73.7)	75.0
COD _{Cr} (mg/ℓ)	136,000	66,000(51.5)	24,500(62.9)	82.0
TKN(mg/ℓ)	11,782	6,380(45.8)	3,970(37.8)	66.3
Solid Capture Ratio(%)	-	-	-	95.5
Treatment Capacity(m ³ /hr)	-	3.08	0.15	-
	Slurry Wastewater (Farm N)	Drum & Vibrating screen Filtrate	SP Filtrate (E851 260ppm)	Total removal rate(%)
TS(%)	8.7	6.0(31.0)	1.1(81.7)	87.4
TSS(mg/ℓ)	66,000	40,800(38.2)	2,630(93.6)	96.0
COD _{Cr} (mg/ℓ)	98,000	75,000(23.5)	22,500(70.0)	77.0
TKN(mg/ℓ)	9,510	7,870(17.2)	2,940(62.6)	69.1
Solid Capture Ratio(%)	-	-	-	94.2
Treatment Capacity (m ³ /hr)	-	-	0.11	-

그림 3-11은 이 실험의 개략도로서 회전속도 8rpm의 SP 여액에 대해서는 응집제를 첨가하지 않고 CDF 및 MS를 이용하여 2차 고액분리를 하였으며 50rpm으로 운전한 SP 여액에 대해서는 응집제 첨가 유무에 따라 실험실용 DAF 장치를 사용하여 고액분리 특성을 조사하였으며 300rpm으로 운전한 LSSD 여액에 대해서는 실험실 규모의 DAF 실험을 통하여 Pilot 규모의 장치를 제작하여 고액분리 공정에 대한 검증 실험을 수행하였다.

이 실험에서는 슬러리 양돈분뇨를 polyelectrolyte E851 400mg/l 을 첨가하여 개량후에 SP 및 LSSD로 고액분리를 하였으며 2단 처리 공정에 사용된 무기응집제의 종류는 40% 공업용 FeCl₃ 및 17% Al³⁺(as Alum)을 사용하였으며 Jar Tester를 이용하여 응집 교반 후의 침전 상등수의 COD_{Cr} 농도를 측정하여 가장 효율이 우수하였을 경우를 기준으로 응집제 및 주입량을 결정하였다.

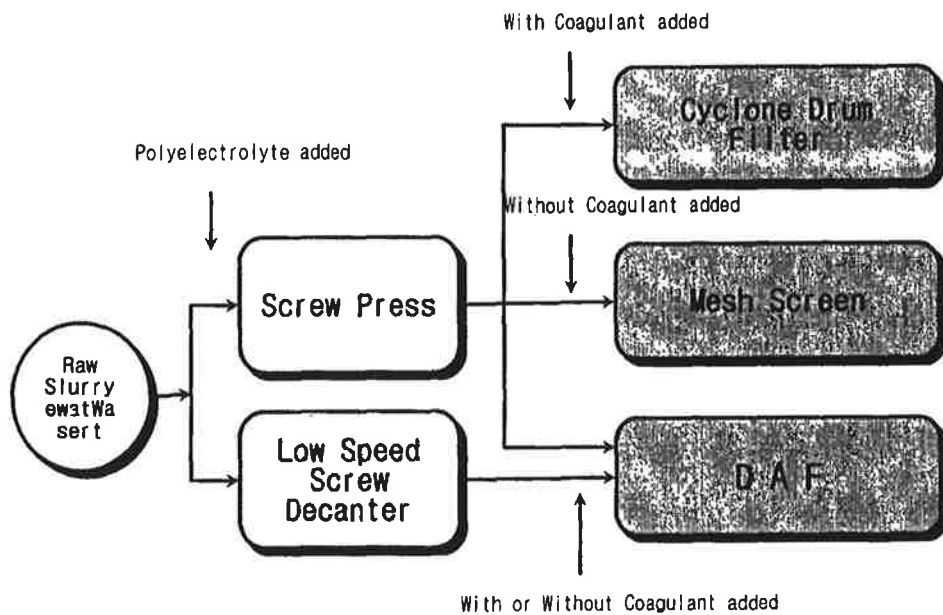


Fig. 3-11. Schematic diagram of the secondary solid/liquid separation methods.

표 3-11는 8rpm으로 운전한 SP의 여액에 대한 2차 고액분리후의 처리수의 성상을 나타낸 것으로 CDF에 의한 2차 고액분리후 전체 고형물질의 제거율은 94.4%이며 MS에 의한 고형물질 제거율은 94.7%로 높은 제거율을 나타냈으며 유기물질이나 질소의 경우 각각의 제거율은 CDF가 83.2%, 55.1%이며 MS는 86.8%, 51.3%로 나타나 질소를 제외한 유기물질이나 고형물질의 전체적인 제거율은 우수함을 알 수 있다. 그러나 질소의 경우에는 대부분의 암모니아성 질소가 뇨에 포함되어 있어 고액분리를 하여도 암모니아성 질소의 제거가 이루어지지 않아 총 질소의 제거율은 유기물질이나 고형물질에 비해 낮음을 알 수 있다. 그러나 2차 고액분리 장치의 경우 빈번한 Wedge Wire 및 Mesh의 폐쇄 현상으로 운전상의 어려움이 따르며 이러한 폐쇄 현상을 방지하기 위한 세척수 살포시 최종적인 생물학적 처리를 필요로 하는 유량이 증대되는 문제 및 거품으로 인한 또 다른 운전상의 문제점이 대두되어 현장에 적용하기에는 적합하지 않은 것으로 사료된다.

50rpm으로 운전한 SP 여액의 2차 고액분리를 위한 응집/침전 공정과 DAF 공정에서의 최적 응집제 종류와 주입량 결정을 위하여 pH의 변화에 따른 응집 침전 상등수의 COD_{Cr}의 변화를 조사한 결과 초기 응집제 주입 농도는 Fe³⁺ 및 Al³⁺을 기준으로 50mg/l로 일정하게 주입하고 pH를 4~9까지 변화시켰을 경우 pH 변화에 상관없이 거의 일정한 상등수 농도를 나타내어 최적 pH 선정 실험에서는 pH 조정이 필요 없으며 응집제로는 FeCl₃이 더 효과적임을 알 수 있었다.

pH 조정을 하지 않고 Fe³⁺ 농도 0~120mg/l 까지 20mg/l 씩 단계적으로 증가시키면서 실험한 결과 Fe³⁺ 첨가량 100mg/l까지는 양호한 침전 효율을 나타내면서 첨가량 증가에 따라 유기물 감소효율이 미미하게나마 나타난 반면 Al³⁺을 첨가한 경우에는 자유수의 형성은 뚜렷하게 관

측되나 고액 경계층이 불확실하게 나타났다. 한편 polyelectrolyte를 0~100mg/ℓ 까지 변화시키면서 실험한 결과 20mg/ℓ 이상부터는 첨가량에 관계없이 일정한 효율을 보여 주었다.

Table 3-11. Characteristics of filtrate from the primary and secondary solid/liquid separation

	Raw Slurry Wastewater	Filtrate		
		primary	Secondary	
		SP	Cyclone Drum Filter	Mesh Screen
COD _{Cr} (mg/ℓ)	116,000	32,000	19,500	15,341
TKN(mg/ℓ)	9,660	5,814	4,340	4,707
SS(mg/ℓ)	50,100	6,982	2,830	2,614

상기의 Jar Test를 통하여 얻은 결과를 적용한 DAF 실험 결과에 의하면 Fe³⁺ 주입량을 100mg/ℓ 로 하였을 경우 Floc은 비교적 양호하게 형성되나 부상 분리할 경우 생성된 Floc들이 부상하지 못하고 오히려 침전하는 현상이 발생하여 주입량을 50mg/ℓ 로 감소시켜 DAF 실험을 수행하였다. 이때의 pH는 6.8 이었으며 운전압력은 4기압으로 Air/Solid의 비율은 0.04 이었다.

그림 3-12는 Strainer를 50rpm 운전하여 SP를 통과한 여액을 대상으로 응집제 첨가 유무와 최적 요구량에서 응집/침전과 가압부상 공정의 결과를 나타낸 것이다. 이 실험 결과에 의하면 응집제를 첨가하지 않은 상태에서 30분간 중력 침전 시켰을 경우 COD_{Cr} 및 SS 제거율이 23.4% 및 35.1%를 나타낸 반면 동일한 조건에서 가압부상을 한 경우 30.4%와 82.3%를 나타내었다. 약품 첨가 유무에 따른 제거 효율은 각각의 운전

조건에서의 유기물 제거효율은 20~35%의 저조한 효율을 보이고 있으나 SS 제거효율은 SP 여액의 16,175mg/l와 비교할 때 가압부상 공정에서는 Fe 첨가 유무에 따라 82.3%와 83.3%의 높은 효율을 보여 주고 있으므로 2차 고액분리 공정에 별도의 응집제를 첨가하지 않는 실험을 수행하였다. 이는 SP여액에서의 부유물질은 유기물의 농도에 크게 기여하지 않음을 알 수 있다. 한편 SP여액에 대한 SCOD_{Cr} 농도가 34,800mg/l로 대상 시료의 85.7%를 나타내고 있으므로 앞서 언급한 부유물질이 유기물 농도에 크게 관여되지 않는 것과 같은 결과이다.

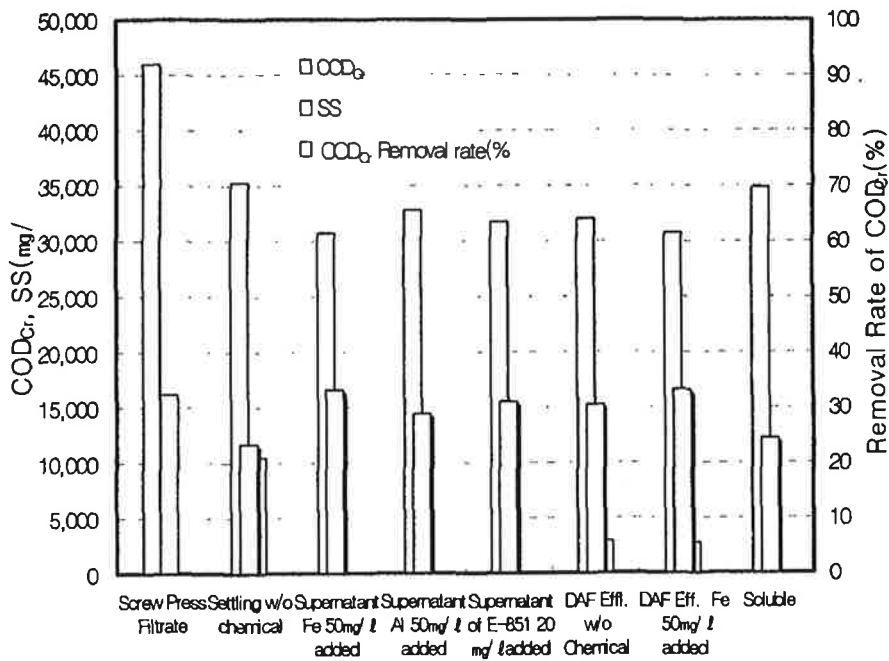


Fig. 3-12. Treatability of filtrate generated from Screw Press.

LSSD의 여액에 대한 DAF 실험 방법은 다음과 같다. 유기응집제에 의해 개량된 원수를 LSSD로 고액 분리한 여액에 대해서는 응집제를

첨가하지 않고 DAF 실험을 하였으며(Run 1), 응집제를 첨가하지 않은 LSSD로 고액 분리한 여액에 대해서는 유기응집제를 120ppm 첨가하여 여액을 개량한 후 DAF 실험을 하였으며(Run 2) 이 때의 운전 압력은 4atm으로 실험한 결과를 표 3-12에 나타내었다. 실험 결과에 의하면 Run 1과 Run 2의 제거율은 유기물질의 경우 약 81%, 질소의 경우 약 38%로 거의 비슷한 제거율을 나타내고 있으며 대부분의 고형물의 제거가 이루어짐을 알 수 있다. Run 1의 경우 고농도의 양돈분뇨 원수를 응집제를 사용하여 개량함으로써 많은 양의 응집제가 사용되나 Run 2의 경우에는 DAF 처리 이전에 응집제를 사용함으로써 Run 1보다 적은 양의 응집제가 사용되었다. 따라서 LSSD의 여액에 대한 DAF 공정을 통한 후처리 시에는 약품비만을 고려할 때 Run 2에서와 같이 응집제를 DAF 공정 이전에 사용함으로써 응집제 소요비용을 줄일 수 있을 것이다. 또한 현재 LSSD의 Wedge Wire의 간격이 100 μ m로 되어 있으나 간격을 줄임으로서 1차 고액분리 여액의 성상을 향상시킬 뿐 아니라 DAF 처리시 응집제의 양을 줄일 수 있을 것이라 판단된다. 그러나 Run 2에서 실험한 1차 고액분리 장치에 응집제를 첨가 하지 않고 2단 고액분리 장치인 DAF 공정에 응집제를 첨가한 경우 DAF 실험시 Scum 층의 부피가 전체 부피의 약 85% 정도 차지하고 있으므로 DAF 공정에서 배출되는 Scum에 대해 별도의 고액분리 공정이 요구되므로 바람직하지 않은 것으로 사료된다. 따라서 본 연구의 최종결론은 슬러리 양돈분뇨를 대상으로 응집제를 첨가 후 1단 고액분리 공정으로 LSSD를 300rpm에서 적용하여 여기서 배출되는 여액을 대상으로 가압 부상 공정을 적용하는 것이 가장 바람직한 고액분리 공정으로 나타났다. 한편 1단 LSSD 여액을 대상으로 압력변화에 따라는 부상 실험을 수행한 결과 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며 실제 규모의 장치 설

계시에는 Ejector 형태의 미세 기포 장치를 설치하였으나 실제 운전시 Ejector를 가동하지 않았으며, Ejector 작동 유무에 따른 실험 결과 이송 펌프에 의한 층류 형성만으로도 Ejector를 적용하였을 때와 동일한 결과를 나타내었다.

Table 3-12. DAF supernatant characteristics of LSSD filtrate

Run 1	Raw Slurry Wastewater	LSSD Filtrate (polyelectrolyte 400mg/ℓ)	DAF Supernatant (w/o polyelectrolyte)	Total removal rate(%)
TSS (mg/ℓ)	-	21,500	3,180(85.2)	-
COD _{Cr} (mg/ℓ)	135,000	31,500(76.7)	24,600(21.9)	81.8
TKN (mg/ℓ)	10,720	8,106(24.4)	6,670(17.7)	37.8
NH ₃ -N (mg/ℓ)	7,630	6,580(13.8)	5,824(11.5)	23.7
Org-N (mg/ℓ)	3,090	1,326(57.1)	834(37.1)	73.0
Run 2	Raw Slurry Wastewater	LSSD Filtrate (w/o polyelectrolyte)	DAF Supernatant (polyelectrolyte 120mg/ℓ)	Total removal rate(%)
TSS (mg/ℓ)	-	53,000	6,760(87.2)	-
COD _{Cr} (mg/ℓ)	135,000	130,000(3.7)	26,250(79.8)	80.6
TKN (mg/ℓ)	10,720	9,390(12.4)	6,597(29.7)	38.5
NH ₃ -N (mg/ℓ)	7,630	6,560(14.0)	5,516(15.9)	27.7
Org-N (mg/ℓ)	3,090	2,830(8.4)	1,081(61.8)	65.0

() ; removal Rate(%)

제 4 절 결 론

1. 슬러리 양돈분뇨의 특성 및 최적 고액분리 방안

국내 축산폐수 및 양돈분뇨 발생 특성을 파악하고 국내 실정에 적합한 처리 및 처분 방법을 도출하기 위하여 최적의 탈수 개량제를 선정하였으며, 고액분리 장치를 선정하여 최적화한 결과는 다음과 같다.

가. 국내 축산분뇨 발생 특성 및 처리 현황 조사 결과 미분리형 슬러리 양돈분뇨의 농도가 가장 높았으며, 대부분 자원화 공법으로 처리하고 있으나 가장 큰 문제를 야기하는 것으로 나타났다.

나. 슬러리 양돈분뇨를 대상으로 최적응집제 주입실험 결과 무기응집제 $FeCl_3$, 유기응집제 E-851, E-855, EM 840CT, C-100등을 적용한 결과 Polyacrylamide 계열의 양이온 유기응집제(E-851)가 최적으로 나타났다으며, 슬러리 농도에 따라 260~500mg/l 으로 나타났으나, 단위고형물당 첨가량은 0.42~0.43(w/w)%가 소요되는 것으로 나타났다.

다. 슬러리 비육돈사에 발생하는 양돈분뇨의 적정 처리를 위해서는 중·소규모(비육돈, 500두이하)의 경우 유기응집제를 첨가한 SP 처리후 DAF 공정이 바람직하며, SP(MPN-150)의 적정 처리용량은 0.42m³/hr로 나타났다.

라. 슬러리 양돈분뇨에 대한 Screw Decanter를 사용할 경우 원심효과가 중요한 고액분리 인자로 작용하는 것으로 나타났다.

마. 대규모 및 공공처리장 규모의 경우 유기응집제를 첨가한 LSSD 처리후 AF 공정이 바람직한 것으로 나타났으며, 이 때 LSSD의 처리용량은 적정 3.5m³/hr로 나타났다.

바. 고액분리 유무에 따라 톱밥첨가량 94.8% 및 생물학적 정화처리시 유기물 부하량을 84.7%로 감소시킬 수 있었다.

제 4 장 고액분리 여액에 대한 1단계 생물학적 공정 및 후처리 공정

제 1 절 서 론

본 연구에서는 미분리형 슬러리 돈사에서 배출되는 양돈분뇨를 대상으로 제 3장에서 도출된 최적 고액분리 공정인 LSSD 및 AF 공정을 통과한 여액을 대상으로 질소제거를 위한 MLE 공정의 최적 운전 조건을 도출하였다.

이를 위하여 동력학적 계수를 이용한 설계와 이를 근거로 운전한 공정에서의 차이점에 관한 연구 수행을 위하여 실험실 규모의 반응조를 이용하여 질산화/탈질조의 부피비에 따른 운전 특성, 질소 부하율에 따른 운전특성에 관한 연구가 수행되었다. 또한 실험실에서 도출된 운전 조건을 기초로 하여 Pilot 규모의 공정을 제작하여 실험실 규모의 연구 결과에 대한 확증 실험 및 겨울철 현장 조건을 고려한 외부 온도 변화에 따른 운전 특성이 검토되었다. 또한 허가대상 규모의 규제기준을 만족하기 위하여 1단계 MLE 공정 유출수를 대상으로 염소 소독, 오존, 응집/부상 등의 후처리 공정을 도출하였다.

제 2 절 고액분리 여액에 대한 1단계 생물학적 공정 및 후처리 공정

1. 간헐 폭기법을 이용한 고농도 양돈폐수의 처리

최근 기존의 활성슬러지 공법을 수정한 방법인 간헐폭기법을 이용한 영양염류 처리 연구가 활발해지고 있다. 간헐폭기법은 단일반응조 내에서 폭기와 비폭기를 통해 호기/혐기성 상태를 유지하여 질산화와 탈질

을 시키는 공법으로, 기존의 24시간 폭기법에 비해 폭기시 소요되는 경비를 줄일 수 있다. 또한 한반응조에서 질산화와 탈질을 시킴으로 인해 기존의 연속폭기시 최종침전조에서 탈질시 발생하는 슬러지 부상 문제를 효과적으로 막을 수 있으나, 개별농가의 현장에서 운전하기에는 어려움이 있다.(자동제어 간헐폭기법을 이용한 고농도 양돈폐수 처리, 양태두, 1999)

2. 고액분리 여액에 대한 MLE 공정의 최적 운전인자 도출 및 후처리 공정

본 연구에서는 고액분리 여액을 대상으로 실험실 규모의 반응조 운전을 통하여 MLE(Modified Lüd Zack-Ettinger)공정의 적용 가능성 여부를 검토하였으며, 최적 설계 인자 및 운전 조건을 도출하여 Pilot 규모의 반응조를 운전함으로써 슬러리 양돈분뇨의 고액분리 여액에 대한 최적 정화처리 공정을 도출하는데 목적이 있다.

최적의 운전조건에서 도출된 결과를 바탕으로 유출수를 대상으로 물리화학적 후처리 공정에 관한 실험을 수행하였다. 한편 1단계 MLE 공정을 변형하여 침전조 대신 십자 흐름형 한외여과막이 결합된 MLE 공정을 실험하여 처리 가능성 여부를 검토하였다.

본 연구를 위하여 사용된 기질은 고액분리 장치를 거친 여액으로 하였으며, 시료 채수후 1m³ 용량의 냉장고에서 4℃상태에서 보관한 후 실험에 사용하였다. 각각의 실험 장치 및 구성에 관한 내용은 다음과 같다.

가. 실험 장치 및 방법

1) 실험실 규모의 MLE 공정의 장치 및 구성

실험에 사용된 장치는 MLE형으로 탈질조와 질산화조 그리고 침전조로 그림 4-1과 같이 구성하였다. 각 반응조의 유효부피는 탈질조가 7.5

ℓ, 질산화조가 15ℓ로 침전조가 2.5ℓ이며 투명아크릴로 제작하였다. 탈질조는 사영역에 의한 혐기성상태가 발생하지 않도록 D. C. Controller가 장치된 교반기(10~60rpm)를 설치하여 완전 혼합이 이루어지도록 하였으며 이때 Turbulence에 의한 산소전달이 최소화되기 위하여 약 20rpm으로 고려하여 교반 하였다. 질산화/탈질에 적정한 부피비 실험에서는 바닥에 Styrofoam 보형물을 삽입하여 그 부피를 1.8, 3.6, 7.2, 7.5ℓ로 변화시켰다. 폭기조의 부피 역시 유출수 Weir의 높이를 조절할 수 있게 설치하여 부피의 변화가 용이하게 하였다. 기질의 정량주입과 침전조에서의 탈질조로의 반송(Q_R) 그리고 질산화조에서 탈질조로의 내부반송(Q_{IR})을 원활하게 하기 위하여 각각 정량펌프를 이용하였으며 침전조에서의 반송슬릿지는 유입 유량과 동일한 용량으로 운전하고, 내부반송 유량은 유출수의 NO_x-N 농도를 고려하여 $10Q$ 로 운전하였다. 침전조의 하부는 원뿔형으로 내부에 3rpm의 고무 재질의 Scraper가 연결된 D. C. Motor를 이용하였다. 이 실험에서는 반응기 3조를 설치하여 동시에 운전하였으며, 반응조의 온도는 여름철을 제외한 기간동안은 주로 $25 \pm 2^\circ C$ 에서 운전하였다. 여름철에는 폭기조의 온도상승에 따라 냉각수를 순환시키면서 운전하였으며 공기 공급시 건조에 따른 수분 증발을 최소화하기 위한 Wet-Air 공급을 위한 Water Trap을 설치하였다.

한편 고액분리 여액에 대한 막결합형 생물반응조에 관한 실험은 기존의 MLE 공정에 침전조 대신 관형한외여과막이 결합된 반응조를 운전하여 고액분리 여액에 대한 1단 막결합형 생물반응 공정의 적용성 가능성을 검토하였으며, 세부 실험 장치에 관한 설명은 제 4 절에서 논하였다. 고액분리 여액에 대한 막결합형 생물반응조의 실험 결과는 막투과유속의 급격한 감소로 인하여 실험자체가 의미가 없었으므로 본 연구 결과에는 제외시켰다.

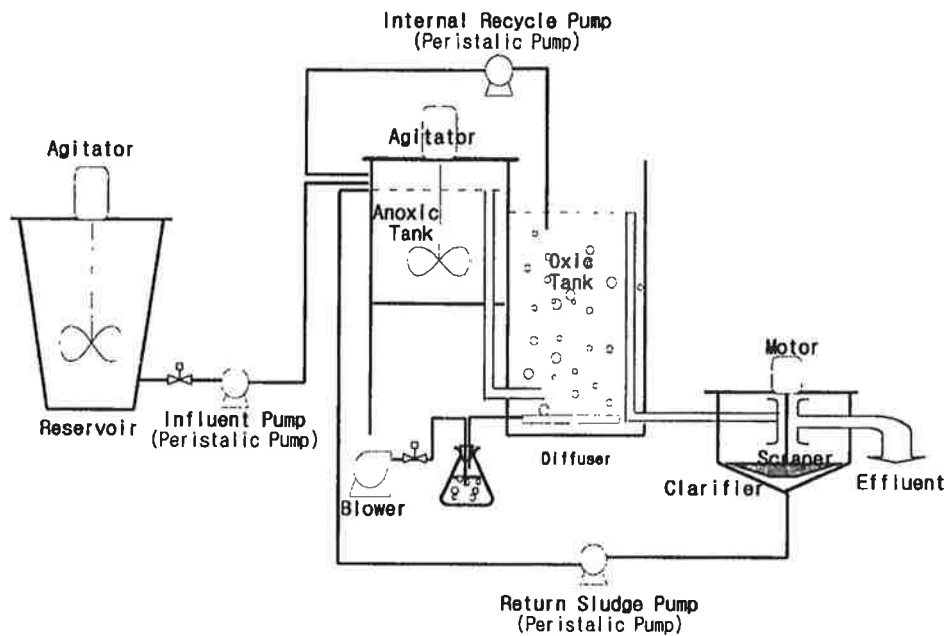


Fig. 4-1. Experimental setup of MLE process.

2) 1단계 MLE 공정 유출수에 대한 후처리 공정

본 연구에서는 개별농가에 적용되는 법적 규제기준을 만족하고 동시에 축산폐수 공공처리장의 규제기준을 만족시키기 위한 후속공정을 선택하기 위해서 1단계 MLE 공정을 거친 유출수를 대상으로 염소소독, 오존 산화, 막분리, 응집후 가압 부상등의 공정을 적용하여 이 중 가장 경제적이면서 현장 적용이 가능한 공정을 도출하였다.

가) 파과점 염소 투입

이 실험은 Jar-Tester에서 1 l 비이커를 이용하여 150rpm에서 30분 간 반응시켰다. 이때 1단계 MLE 유출수의 pH 범위가 8.5~9.0이므로 별도의 pH 조절은 하지 않았으며, 사용된 NaOCl은 실험 직전에 정확한 투입 농도를 파악하기 위하여 농도 측정 후 사용하였다. 실험 종료 직후 암모니아 및 유기물의 제거정도를 파악하기 위해 $\text{NH}_3\text{-N}$, Organic-N, COD_{Cr} , 색도, 잔류 염소량을 측정하였다.

나) 오존 산화

이 실험은 오존에 의해 잔류 유기물 제거 및 난분해성 유기물의 생분해도 증가여부를 파악하기 위하여 수행하였다. 본 실험 장치는 그림 4-2과 같이 오존 발생량이 1g/hr인 발생기와 오존접촉조, 잔여 오존을 포집하기 위한 Trap으로 구성하였다. 오존 발생기는 (주)한국오존에서 제작한 220/7,500V의 50 W/hr의 용량으로 실제 발생량은 0.234 g O₃/hr 였으며, 반응기는 4ℓ 부피의 밀폐형 Acryl 반응기를 사용하였고, 반응 후 잔류 오존은 KI용액을 통해 2단계로 포집하였다.

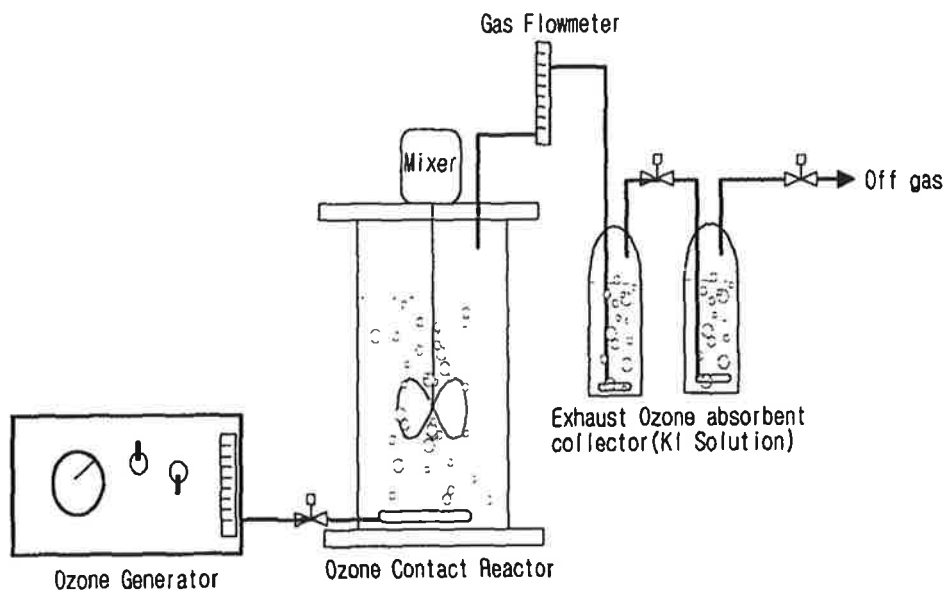


Fig. 4-2. Experimental setup of ozone oxidation.

다) 막분리 실험

분리막을 이용한 실험으로는 역삼투막을 적용하기 위해서 먼저 그림 4-3의 회분식 한외여과막장치를 이용하여 1차 생물학적 처리수를 여과한 후 그림 4-4의 역삼투막장치를 사용하였으며, 이때의 운전압력은

200psig로 실험하였다. 실험에 사용된 분리막은 Membratex사에서 제조한 MWCO 40,000 Å의 Polyethersulfone 계열의 Crossflow형 한외여과막이었으며, 역삼투막은 국내에서 상업용으로 제조한 Thinfilm Composite, 와권형으로 Polyamide 재질의 역삼투막으로 유효면적이 2.51m²였으며, 가압펌프는 피스톤 펌프를 사용하였고 높은 압력을 견딜 수 있도록 배관은 SUS로 제작하였다. 압력조절은 후단의 밸브를 조작하여 조정하였다. 또한 펌프의 마찰열에 의한 Feed Tank의 온도 상승을 방지하기 위해 냉각수를 순환시켰으며, 회분식 실험에 의한 농축률과 처리효율과의 관계를 조사하였다.

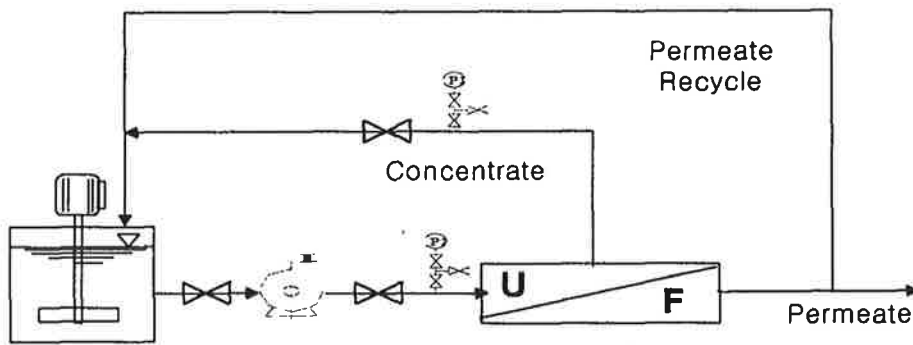


Fig. 4-3. Experimental setup of crossflow ultrafiltration.

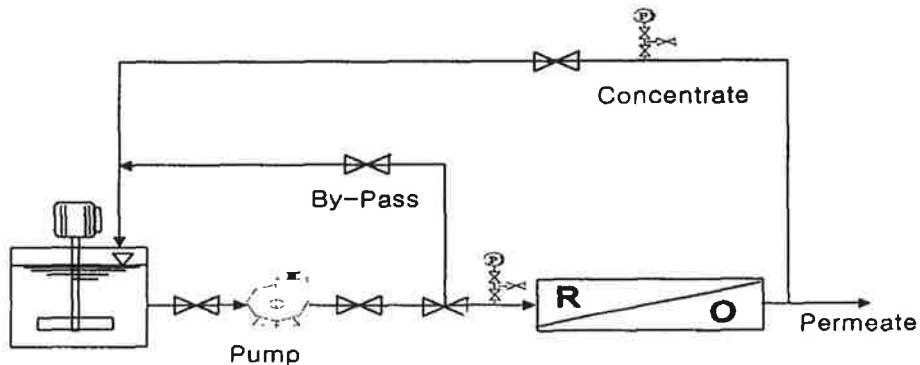


Fig. 4-4. Experimental setup of reverse osmosis.

라) 가압 부상 실험

본 연구에서는 가압 부상을 위한 전단계로 최적의 부상 조건 도출을 위한 응집실험을 수행하였으며, 응집 조건 도출을 위한 실험에서는 실험실 규모의 Jar-Test 장치에서 1ℓ 용량의 비이커를 이용하여 최적 pH 및 응집제를 선정을 위한 예비실험을 수행하였다. 실험에 사용된 응집제는 Alum과 FeCl₃였으며, 보조 응집제로는 고액분리시 사용한 고분자 응집제인 E-851을 이용하였다. 이때 급속교반과 완속교반 반응시간은 각각 2min과 15min으로 하였다. 한편 응집시 최적 pH 조건을 도출하기 위하여 응집제 첨가후 pH 조절을 하였으며, 적정 응집 조건 도출을 위한 인자로는 반응후 30분간 정치 후 측정된 상등액의 유기물 농도 및 색도를 이용하였다. 후속 가압부상 실험시에는 2ℓ 용량의 Polyethylene 반응기에서 응집시킨 후 문헌(Carl 등, 1981)에서 제시한 실험 순서에 따라 압력변화에 따른 영향을 검토하였다.

3) Pilot 규모의 1단계 MLE

본 연구에서는 실험실 규모의 1단계 MLE 공정 및 부상 공정의 운전으로부터 도출된 설계 및 운전조건을 이용하여 현장 규모의 Pilot Plant 시설을 제작하여 현장에서 겨울철을 포함하여 약 150여일간을 운전하였다. 생물학적 처리에 관한 연구는 주기적인 점검과 많은 노동력을 필요로 하므로 고액분리 실험이 수행된 장소와는 다른 경기도 이천 소재 축산폐수 공공처리장에서 수행하였다. 일반적으로 축산폐수 공공처리장에서는 처리시설 기술적 한계 때문에 슬러리형 양돈분뇨의 반입을 엄격히 금지하고 있으며, 본 연구가 수행된 축산폐수 공공처리장 역시 슬러리 양돈분뇨의 반입을 금지하고 있는 실정이었다. 그러므로 본 연구에서는 처리장 인근에서 일관관리 사육체계로 경영하고 있는 양돈농가의 비육돈 슬러리돈사에서 8m³ 규모의 진공식 수거차를 이용하여 주

1~2회 정도 시료를 채취하여 5m³ 용량의 Polyethylene 저류조에 체류시키면서 앞서 수행된 연구 결과에 의해 본 연구를 위하여 별도 제작된 2단계 고액분리 장치인 LSSD 및 AF 장치를 이용하여 고액분리한 후 1Hp 용량의 수중 펌프가 투입된 별도의 5m³ 용량의 Polyethylene 저류조에 저류시키며 Pilot 규모의 반응조에 유입시켰다.

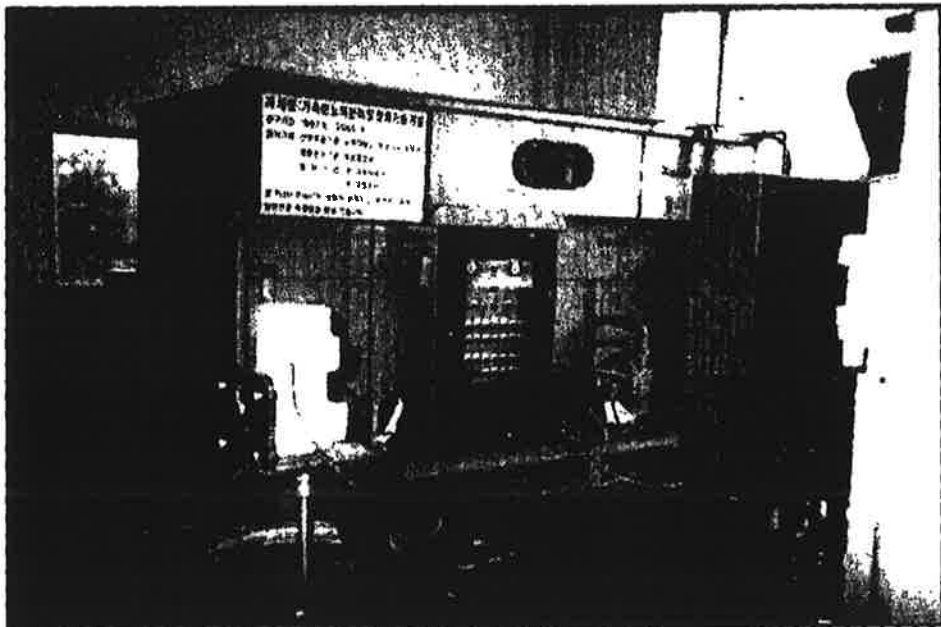


Fig. 4-5. The picture of pilot scale MLE process.

그림 4-5는 현장에 설치한 Pilot 규모의 1단계 MLE 실험 장치의 사진을 나타낸 것으로 실험에 사용된 Pilot 규모의 MLE 반응조의 유효 용량은 총 7.5m³이며 실험실에서 도출된 결과를 근거로 무산소조와 폭기조의 부피비를 전체 부피의 2:8이 되도록 제작하였으며, Scraper가 설치된 침전조의 유효 용량은 1m³로 제작하여 실험하였다. 또한 반응조 역시 완전혼합을 위하여 무산소조에 1대, 폭기조에 2대의 수중 Pump를 이용한 내부 순환을 시켜 완전 혼합이 이루어지도록 하였다. 내부반송

비 및 침전조 반송슬러지는 1 HP 용량의 D. C. motor controller가 설치된 Piston Pump를 설치하였으며, 내부 반송슬러지는 0.5 HP 용량의 수중 pump에 우회관을 연결하여 유입 용량의 10배로 운전하였다.

나. 결과 및 고찰

1) MLE 공정의 최적 운전 조건 도출

가) 최적 질산화/탈질 반응조 부피 결정

MLE 공정의 설계요소 중 가장 중요한 것 중의 하나는 탈질조와 질산화조의 부피를 결정하는 것으로 적절한 부피비가 선행되어야 최대의 유기물 및 질소 부하율에서 성공적인 운전을 기대할 수 있다. 지금까지 대다수의 설계들은 비교적 농도가 낮은 폐수만을 대상으로 질산화/탈질 공정을 운전함으로써 질산화 반응조에서 암모니아 탈기와 탈질의 진행을 무시함으로써 궁극적으로 불합리한 운전 조건으로 효율의 검토 및 최적의 운전 조건이 도출되어 실제 적용시 많은 문제점을 일으키고 있는 실정이다. 특히, 양돈폐수는 고농도의 질소가 함유되어 있으면서 일반적인 하수의 COD_{Cr}/N 의 비율보다 낮아 기존의 설계 방법으로는 공정의 실패를 초래하는 경우가 빈번히 발생한다. Sutton 등(1981)은 섬유제조 공정폐수의 경우 탈질조의 부피비를 23%에서 수행한 실험 결과가 최적 부피비율이라고 하였으며, Batchelor는 Model을 통하여 폭기조의 부피를 50%로 하는 것이 바람직하다고 했다. 또한 Carley 등(1991)은 침출수를 처리하기 위해 탈질조의 부피비를 33%로 결정하였으며 Curtis 등(1981)은 물리/화학적 전처리과정을 거친 피혁폐수를 대상으로 MLE 실험을 수행하기 위해 탈질조의 부피비를 31%로 결정하였다.

본 실험에서는 동일한 조건하에서 탈질조의 부피비에 따른 유출수의 유기물 및 질소의 농도 특성을 관찰하여 최적의 부피비를 도출하는 한

편 문헌을 참고로 한 동력학적 계수를 기초로 설계시의 부피비와 비교하였다.

일반적으로 MLE 공정에서 하수를 대상으로한 질산화조에서 탈질조로의 내부반송비의 결정은 유출수의 NO_3^- -N 농도를 결정하게되는 중요한 인자이다. 반대로 유출수의 NO_x -N을 결정하면 내부반송비를 도출할 수 있으며, 다음의 식(4-1)의 내부반송율 및 슬러지 반송율에 의해서 결정된다(T. Popowchak 등, 1998).

$$N = \frac{NO(Q)}{(MLR + RAS + Q)} \quad \text{-----}(4-1)$$

여기서,

N = 유출수 및 내부반송슬러지내에서의 NO_x -N의 농도, mg/ℓ

MLR = 내부반송량, m^3/d

RAS = 슬러지 반송량, m^3/d

Q = 유입량, m^3/d

여기서 질산화조에서의 질소의 산화는 유입되는 TKN농도와 유출수의 암모니아 및 세포합성에 요구되는 질소만을 고려하여 식(4-2)에 의해 도출한다.

$$NO = \text{TKN}_0 - (\text{NH}_4^+-\text{N})_e - N_{\text{SYN}} \quad \text{-----}(4-2)$$

여기서,

NO = 유입수중의 질소산화율, mg/ℓ

TKN_0 = 유입수 TKN, mg/ℓ

$(\text{NH}_4^+-\text{N})_e$ = 유출수 NH_3 -N, mg/ℓ

N_{SYN} = 유입수중의 질소가 세포로 전화되는 질소, mg/ℓ

식(4-2)를 식(4-1)에 대입하여 유출수의 NO_x-N 농도를 결정하기 위한 내부반송율을 설계함으로써 결국 내부반송율을 비롯한 탈질조로 유입되는 NO_x-N 농도는 탈질조의 부피를 결정하는 중요한 인자가 된다. 식(4-2)의 N_{SYN} 는 식(4-3)과 같다.

$$N_{SYN} = \frac{Y(S_0 - S_e)F_N}{[1 + b(SRT)]} + (X_e)F_N \quad \text{----- (4-3)}$$

여기서,

X_e = effluent VSS concentration, mg/ℓ

F_N = fraction of nitrogen in volatile suspended solids, fraction (5~12%)

다음의 표 4-1은 본 연구에서 Respirometer 장치를 이용하여 도출한 동력학적 상수값과 문헌에서 제시한 값을 비교하여 나타낸 것으로 본 연구에서 적용한 기질의 경우 낮은 C/N비로 인하여 독립영양세균에 의한 세포성장율이 약간 높게 나타난 것으로 사료된다.

표 4-1과 상기의 식들을 이용하여 질산화/탈질조의 부피를 도출한 결과를 R₂에 적용하였으며, 내부반송율의 경우 현실적으로 적용하기 불가능한 값이 도출되어 내부반송율을 유입수의 10배로 운전하였다. 이때 반응조의 MLSS 농도는 동일한 형태의 폐수를 대상으로 수행한 Yang(1999)의 결과를 기초로 12,000mg/ℓ를 기준으로 운전하였으며, 실험이 진행되는 동안 일정 SRT로 운전하기보다는 질산화조의 MLSS 농도를 기준으로 평균 2일에 1회씩 측정하여 인발하였다.

Table 4-1. Kinetic coefficients of heterotrophs and nitrifiers

Kinetic coefficient Type of Organism	Kinetic coefficient		Substrate	Reference
	Y	$\frac{\text{mgbiomass}}{\text{mgsubstrate} \cdot \text{d}}$		
Nitrifiers	0.15	0.05	This study	-
Heterotrophs	0.45	0.1		
Nitrifiers	0.149	0.065	Urea and pharmaceutical plant of industrial Wastewater	S. K. Guota et al.(1996)
Heterotrophs	0.498	0.068		
Nitrifiers	0.05~0.21	0.03~0.09	Urea and pharmaceutical plant of industrial Wastewater	Sharma and Alhert et al(1977)
Heterotrophs	0.37~0.79	-		
Nitrifiers	0.24	0.1	Swine Wastewater	Seo, In-Seok(1995)
Heterotrophs	0.667	0.60		
Nitrifiers	0.06*	0.05*	Municipal Wastewater	WEF(1998)
Heterotrophs	0.6	0.15		

* BOD₅ basis and the remained COD_{Cr} basis

다음의 식을 이용하여 질산화조의 부피를 계산하였다.

$$\begin{aligned}
 V_{oxic} &= \frac{Q(SRT)_{Design}}{X} \left[\frac{Y_H(S_0 - S_e)}{1 + b(SRT)_{Design}} + X_L \right] \\
 &= \frac{2.1(170)}{12000} \left[0.45 \frac{(26600 - 3120)}{1 + 0.1 \times 170} + 400 \right] \\
 &= 30.1 \ell
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
N_{SYN} &= \frac{Y(S_0 - S_e)F_N}{[1 + b(SRT)]} + (X_e)F_N \\
&= \frac{0.45(26600 - 3120)(0.12)}{[1 + 0.1(170)]} + (0.75)(750)(0.12) \\
&= 655 \text{ mg/} \ell
\end{aligned}$$

여기서 N_{Syn} 은 식(4-3)을 이용하여 도출하였으며, 질산화조에서 질소산화율을 식(4-2)에 의해 도출하였다.

$$\begin{aligned}
NO &= TKN_0 - TKN_e - N_{Syn} \\
&= 6,150 - 513 - 694 = 4943 \text{ mg/} \ell
\end{aligned}$$

유출수의 NO_3^- -N 농도를 $10 \text{ mg/} \ell$ 으로 가정하면, 이때의 내부반송비는 식(4-1)에서와 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned}
NO_3^- - N_{Eff} &= \frac{NO(Q)}{(MLR + RAS + Q)} \\
10 &= \frac{4,943(Q)}{(MLR + Q + Q)}
\end{aligned}$$

그러므로 동력학적 계수에 의한 내부반송율은 이론적으로 원수 유입량의 약 490배가 되나 이는 현실적으로 운전하기도 어렵고 유입량의 10배로 운전한 본 실험에서는 유출수의 NO_x -N 농도가 평균 $10 \text{ mg/} \ell$ 를 나타냈다. 결국 식(4-2)에서 도출된 질산화조에서의 질소산화량은 세포합성 및 유출수의 질산화량 이외에 질산화조에서의 탈질 및 암모니아 휘발이 무시되었기 때문에 실질적으로는 이보다 훨씬 작은 내부반송율에서도 안정된 처리를 이룰 수 있었던 것으로 사료된다. 이와 유사한 실험이 Ivan Mahne(1996)등의 연구 결과에 의하면 양돈폐수를 대상으로 회분식 실험을 통한 질산화 공정을 수행한 경우 유입수의 T-N농도

2215mg/ℓ 중 34.5%가 질산화 공정에서 탈질과 Stripping에 의한 질소가 제거된다고 주장하였다. 이를 뒷받침하는 실험을 위하여 본 연구에서는 별도의 반응기에 고액분리 여액을 대상으로 폭기에 의한 암모니아 휘발을 실험한 결과 1일 경과후 30%의 제거율을 보였다. 한편 P. H. Liao(1996)등에 의해 연구된 바에 의하면 축산폐수를 대상으로 탈기탑과 공폭기 저류조를 이용한 암모니아 탈기에 관한 연구에서 암모니아 휘발율은 pH와 공기 유입량에 의한 인자라는 주장과 함께 별도의 pH 조절을 하지 않은 상태에서 제거효율은 탈기탑이 약간 우수하였으나 약 40~50%로 유사한 효율을 나타낸다고 주장하였다. 그러므로 고농도의 질소가 포함된 폐수의 경우 질산화조에서 NO의 계산식 (4-2)에 질산화조에서 미생물의 대사과정 이외에 고려되는 탈질 및 암모니아 Stripping에 관한 인자를 반드시 고려하여야 할 것으로 사료된다.

다음의 표 4-2는 대상 기질의 농도 특성을 본 실험 기간중의 평균값을 나타낸 것으로 유입원수의 COD_{Cr}대 질소의 비율이 4.34로서 비교적 낮은 편에 속하였다. 한편 동일한 유기물을 나타내는 지표인 COD_{Cr}, BOD₅ 및 COD_{Mn}의 농도가 매우 상이한데 COD_{Cr}을 기준으로 BOD₅는 61.7%이며, COD_{Mn}은 16.8%를 나타내고 있다. 이는 각각의 분석 실험에 관여하는 산화제의 특성에 기인한 것으로 유기물의 농도를 나타내는 기준에 따라 매우 상이한 값을 나타낼 수 있음을 의미하며 유입수의 유기물대 질소 농도특성을 결정하는 인자로 표시할 때 정확한 표현이 요구된다.

Table 4-2. Characteristics of influent for MLE process

Items	TSS/ VSS	Organic material			Nitrogen			(C/N) COD _{Cr} / TKN	Alk. (mg/ℓ as CaCO ₃)
		COD _{Cr}	BOD ₅	COD _{Mn}	NH ₃ - N	Org. -N	TKN		
Conc. (mg/ℓ)	2,782/ 2,386	26,600	16,400	4,480	5,040	1,110	6,150	4.34	12,900

표 4-3은 실험기간중의 운전 특성을 나타낸 것으로 동시에 4조의 반응조가 운전되었다. 반응조내 MLSS 농도는 동일한 형태의 폐수를 대상으로 수행한 Yang(1999)의 결과를 기초로 설정하였으며, 실험이 진행되는 동안 일정 SRT로 운전하지 않고 질산화조의 MLSS 농도 12,000mg/ℓ를 기준으로 매일 계산에 의해서 일정량을 인발하였다. 또한 유출수의 NO_x-N 농도를 평균 10mg/ℓ 이하로 제어하기 위하여 유입원수량의 10Q를 질산화조에서 탈질조로 내부반송 하였으며, 침전조에서 탈질조로의 슬러지 반송율은 1Q로 하여 유입수의 HRT를 10day로 운전한 결과 NO_x-N 농도를 10mg/ℓ 이하로 유지하기에는 충분한 것으로 나타났다.

Table 4-3. Experimental set-up of MLE process

Reactor No. Experimental Condition	R ₁		R ₂		R ₃		R ₄	
	Anoxic	Oxic	Anoxic	Oxic	Anoxic	Oxic	Anoxic	Oxic
Vol. Fraction(%)	10	90	20	80	30	70	40	60
Reactor Vol.(ℓ)	1.8	16.2	2.4	15.6	3.6	14.4	7.2	10.8
F/M (mgCOD _{Cr} /mg · day)	0.22±0.03		0.21±0.03		0.19±0.44		0.19±0.03	
F _N /M (mgTKN/mg · day)	0.05±0.008		0.05±0.007		0.04±0.01		0.04±0.008	
OLR (kgCOD _{Cr} /m ³ · day)	2.64±0.46		2.78±0.32		2.27±0.57		2.54±0.42	

그림 4-6은 각각의 반응조 부피비에 따른 유출수의 질소 농도 특성을 나타낸 것으로 탈질조의 부피비가 20%인 반응조(R₂)에서 질소 제거 효율이 가장 우수하였다. 한편 탈질조의 부피비가 10%인 반응조(R₁)의 경우 침전성은 비교적 양호하여 R₂ 반응조와 유사한 유기질소 특성을

나타냈으나 암모니아 농도가 높게 나타났다. 이는 질산화조에서 질산화 반응은 원활하게 진행된 반면 탈질조에서 원활한 탈질이 진행되지 않으므로써 질산화 공정에서 소모된 Alkalinity를 회복하지 못한 영향으로 사료되며, 탈질조의 부피비가 30%의 이상인 경우 질산화조에서 질산화가 원활히 진행되지 않으며, 폭기에 의한 공기중의 CO₂의 용해는 pH 증가를 가속화시켜 질산화조에서의 Free Ammonia 농도를 증가시켜 암모니아 저해가 일어나는 것으로 사료된다. 그러므로 질산화/탈질 반응의 운전인자는 일반적으로 질소농도가 높을 경우 동일한 전체 부피중 질산화조의 크기가 탈질조보다 우선적으로 고려되어야 함을 알 수 있으며, 질산화조의 부피는 결국 공정의 성공을 결정하는 중요 인자로 고려할 수 있다. 한편 R₃ 반응조의 경우 유기성 질소의 농도가 비교적 높게 나타났는데 이는 유출수의 부유물질 농도가 높음으로써 기인된 것으로 질산화/탈질이 불안정할 경우 침전성 역시 불량하여 결국 슬러지 유실로 인하여 반응조의 MLSS 농도가 저하되었다.

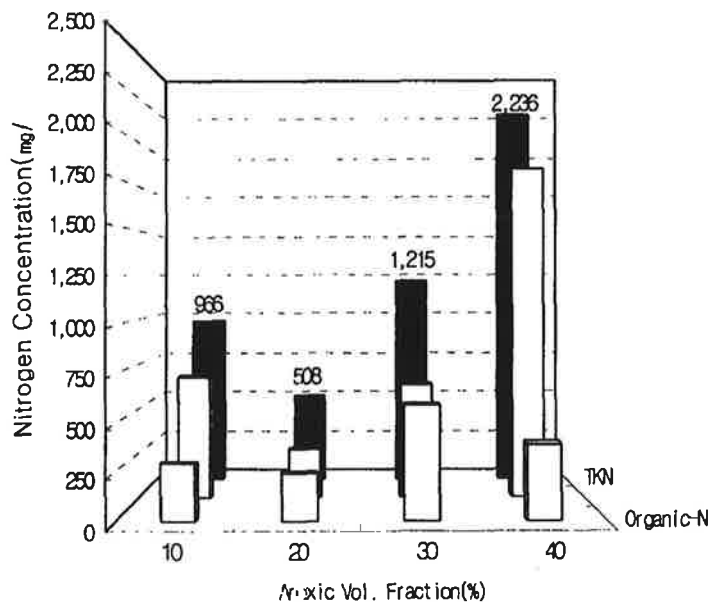


Fig. 4-6. Nitrogen concentration of effluent generated from MLE process operated with various anoxic volume fraction.

그림 4-7는 탈질 반응조의 부피비에 따른 유출수의 유기물 특성을 나타낸 것으로 R₃의 경우 유기물 제거율 역시 감소하는 것으로 나타났으며 이는 침전성의 불량으로 유출수에 함유된 SS에 의한 것으로 사료된다. 이와 같은 이유에 대해서 Gupta 등(1996)의 보고에 의하면 C/N 비가 낮은 폐수의 경우 질산화 미생물이 우점종을 형성하여 침전성이 불량해진다고 보고하였다. 또한 질산화가 일어나지 않을 경우 폭기조에서 종속영양생물만이 활동하여 최종 부산물로 발생하는 CO₂는 폭기시 휘발되므로 폭기조의 pH는 증가하게 된다(Speece 등, 1996). 결국 증가되는 pH는 폭기조의 Free Ammonia(NH_{3(g)})농도를 증가시킴으로써 질산화 미생물에 저해를 일으켜 공정전체가 실패하는 것으로 사료된다. 그러므로 질소 규제가 없는 일정규모 이하의 농가에서도 안정적 정화처리를 위한 생물학적 처리 공정은 반드시 질소 제거 공정을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

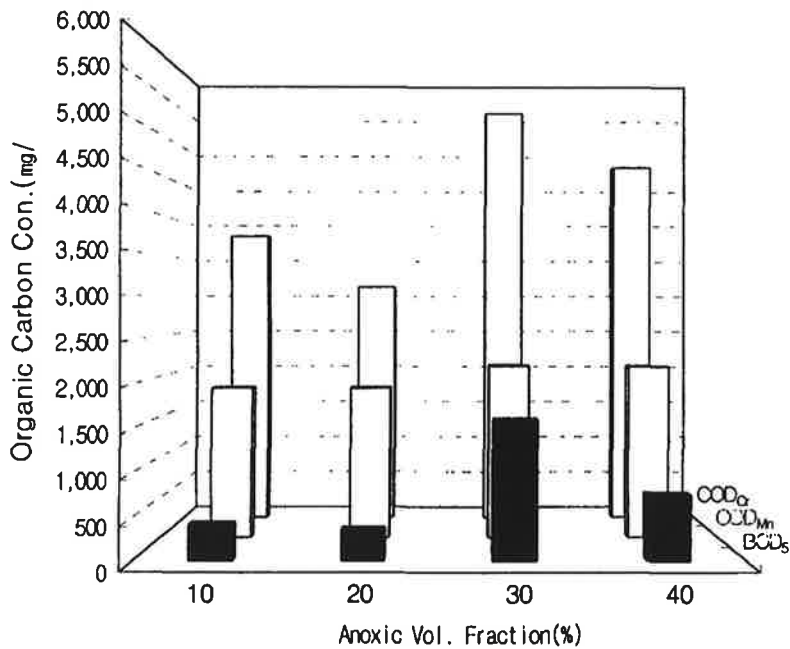


Fig. 4-7. Organic carbon concentration of effluent from MLE process with various anoxic volume fraction.

한편 그림 4-7에서 보여주는 바와 같이 측정된 유기물 오염지표에 따라 제거 효율이 매우 상이하였으며 BOD₅의 경우 R₃을 제외한 모든 반응조에서 95%이상의 제거효율을 보였으며 COD_{Cr}의 경우 R₂의 반응조에서 가장 양호한 효율을 보여주었다. 이는 질소 제거율과 상관이 있는 것으로 질소제거가 안정적으로 처리될 경우 COD_{Cr}의 제거율도 가장 우수한 것으로 나타났다. 그러나 COD_{Mn}의 경우 COD_{Cr} 및 BOD₅에 비교하여 저조한 효율을 나타냈으며 이는 분석방법상 유출수의 유기물 분자량 분포 및 구성 성분에 따른 KMnO₄의 산화력과 실험방법상의 문제에 기인한 것으로 사료되며 특히 국내에서 법적 규제 수단으로 적용하고 있는 COD_{Mn}의 분석방법이 과연 적절한지에 대한 재검토가 요구된다.

생물학적 처리 공정의 유출수에는 생분해성 잔류 유기물, 난분해성 유기물, 기질의 중간 생성물, 미생물 대사과정에 의해 농축되는 복합유기물(Complex Organic Compounds), 그리고 SMP(Soluble Microbial Products)가 포함된다. Fatos G.(1993)등과 D. J. Barker(1999)등에 의하면 축산폐수를 비롯한 고농도의 유기물을 기질로 할 경우 생물학적 처리후의 미생물 생성과 사멸에 대한 대사과정의 부산물로 SMP가 다량 생성되는 것으로 보고되는 바 본 연구 역시 유출수의 유기물 구성 성분중 상당량이 SMP로 구성되어 있을 것으로 추측된다.

한편 Eckenfelder(1994)에 의하면 고농도 폐수의 생물학적 처리수의 경우 SMP에 의한 유출수의 수질이 매우 높으므로 유입수의 농도 특성은 처리수의 수질을 결정하는 중요한 인자라고 주장하였다. SMP에 관한 정의 및 생성 경로에 관한 문제는 많은 연구자에 의해 논란의 대상이 되고 있지만 SMP의 생성은 다양한 운전조건 즉, 기질의 특성, HRT, OLR, SRT 등에 정도의 차이가 생긴다고 보고하였다.

한편 본 실험기간 동안 R₂ 반응조 내부반송율은 유입수의 10배로 운전하였으며, 유출수의 경우 NO_x(NO₂⁻ + NO₃⁻)-N의 평균 농도는 10mg/l 이상을 넘지 않았다. 그러나 식(4-1)에서 제시한 내부반송율의 설계인자에 의한 계산과 비교시 R₂ 반응조의 내부반송율은 월등히 작은 것으로 나타났다. 질산화조에서의 질소산화율은 내부반송율을 결정하는 중요한 인자이므로 본 실험 결과를 근거로 역추정할 경우 유입수 질소 농도는 질산화조에서 유출수의 암모니아 농도와 세포합성시 요구되는 질소 이외에 상당량의 질소가 질산화조에서 제거되는 것으로 보인다.

따라서 질산화조에서 일정량의 질소가 질산화뿐만 아니라 암모니아 탈기 및 탈질이 진행되는 것으로 사료되므로 고농도 축산폐수를 대상으로 MLE 공정을 설계할 경우 질산화조에서의 탈질 및 탈기양을 반드시 고려하여야 할 것으로 판단되며 식 (4-1)에서 제시한 내부반송율을 결정하는 새로운 경험식의 도출이 반드시 필요할 것으로 사료된다.

나) 유입수의 C/N비 변화에 따른 최적 운전 조건

생물학적 폐수처리의 성공적인 수행은 침전조에서 안정적 침전 특성을 지니면서 최대의 부하율을 유지할 수 있는 것이다. 특히 고농도 질소가 함유된 폐수의 생물학적 처리시에는 C/N(COD_{Cr}/TKN)비에 따라 적정 유기물부하율 및 질소부하율이 상이하게 나타난다.

Liao등(1996)은 질소제거 효율을 증가시키면서 보다 안정적인 운전을 위해서는 유입수의 유기물 대 총질소의 비율이 높은 것이 바람직하다고 하였으며, T-N 제거율은 T-N/BOD비와의 함수관계를 나타내며, 유입수의 T-N/BOD 비율이 공정을 설계하고 운전하는 중요한 설계인자가 된다고 하였다. 이때 T-N/BOD의 비율이 0.2 보다 클 경우에는 유기물과 질소의 동시 제거가 저해를 받는다고 하였으며 Yang(1999)은 안정적인 탈질을 이루기 위해서는 유입수의 C/N비가 최소 5.4 이상을

유지해야 하며, 이때 F/M비를 0.2 kg COD_{Cr}/kg MLSS · day 이상을 유지하고 최대 0.6 kg COD_{Cr}/kg MLSS · day 까지 운전해야 안정적인 수질을 얻을 수 있다고 하였다.

양돈폐수의 배출 특성은 제 3장에서 언급한 바와 같이 다양한 농도 특성을 지니고 있어 생물학적 처리시 주요 관심사항이 된다. 본 연구에서 적용된 고액분리 공정을 거친 슬러리 양돈 분뇨 여액의 C/N비는 4.0~5.0의 범위를 나타내었으나 여액의 C/N비는 슬러리 양돈 분뇨의 성상, 고액분리 공정의 운전 조건 및 응집제 첨가에 따라 변화할 것으로 예상되며 C/N비를 인위적으로 변화시켜 C/N비 변화에 따른 적정 F/M비 및 F_N/M비를 도출하였다. C/N비를 5.85로 상승시키기 위해서는 여액을 저류조에서 약 12시간 정도 포기하여 암모니아를 제거하였으며 C/N비를 8.13으로 상승시키기 위해서는 여액의 pH를 약 9.0으로 증가시켜 포기하여 암모니아를 제거한 후 농황산을 이용하여 pH를 약 7.5로 조제하였다. 이때 탈질조와 질산화조의 부피비는 앞장에서 도출된 결과를 근거로 하여 20/80으로 설계하였으며, 내부반송율 및 침전조 반송슬릿지는 앞서 수행된 실험 조건과 동일하게 수행하였다. 표 4-4는 실험 기간중 유입수에 대한 평균 및 표준편차를 나타낸 것이다.

실험에 사용된 슬릿지는 앞서 수행된 실험에서 사용한 슬릿지를 이용하여 100 ℓ 용량의 폭기조에 혼합 후 4일간 폭기후 각각의 반응조에 균등 분배하였다. 각각의 반응조에서 원활한 질산화/탈질이 진행되지 않을 때는 침전조 유출수의 SS가 높아 질산화조의 MLSS 농도를 운전시 예상 MLSS농도인 12,000mg/ℓ를 가급적이며 유지하려고 하였으나, 경우에 따라 일정하게 유지할 수가 없었다.

다음의 표 4-5는 실험기간중 MLSS 농도를 고려하여 F/M비 및 F_N/M비의 운전 조건을 나타낸 것으로 유입부하의 증가는 유입수의 체류시간을 감소시켜 이루어졌으며 유입부하 증가에 관계없이 질산화조의

잉여슬러지 폐기량을 적절히 조절하여 질산화조의 MLSS 농도를 약 12,000mg/ℓ 정도 유지되도록 하였다. 그러나 본 실험에서 R₁을 제외한 R₂, R₃의 경우 폭기조의 MLSS가 13,500mg/ℓ 정도로 유지되므로 유지되었으나 본 연구에서 수행된 실험의 경우는 원활한 처리 효율을 유지하는 정상상태의 경우에도 유출수의 SS농도가 약 1,000mg/ℓ 로 유지되었다.

Table 4-4. Characteristics of influent used for the primary stage MLE process

Run No.	Conc. (mg/ℓ)	TSS/VSS	COD _{Cr}	Nitrogen			(C/N) COD _{Cr} /TKN
				NH ₃ -N	Org.-N	TKN	
Run 1	Average	1,987/1,548	25,830	4,770	961	5,731	4.52
	Standard Deviation	269/146	2,515	494	51	521	0.44
Run 2	Average	1,865/1,258	29,837	4,089	1,012	5,102	5.85
	Standard Deviation	382/301	2,342	375	85	412	0.27
Run 3	Average	2,075/1,471	31,231	2,759	1,091	3,851	8.13
	Standard Deviation	119/35	439	191	116	209	0.40

1단계 MLE 공정을 이용한 처리 실험시 전반적으로 유출수의 유기물 농도가 높게 나타났는데 이와 같은 이유는 미생물의 신진대사 과정에서 발생하는 부산물인 휴믹산의 경우 생물학적으로 난분해성으로 구성되었기 때문으로 사료된다. 이와 같은 현상을 증명하기 위하여 Fatos(1993) 등은 고농도 양돈폐수의 생물학적 처리시 반응조로부터 유출되는 COD는 미처 분해되지 못한 COD, 유입수에 포함되어 있는 난분해성 COD 및 미생물의 신진대사 과정에서 발생하는 부산물인 COD를 휴믹산으로 구분하여 연구한 결과 유기물 농도가 높을수록 종속영양세균에 의해 생

성되는 휴믹산이 많음을 실험적으로 증명하였으며, 미생물 분해시 발생하는 부산물인 SMP(Soluble Microbial Products)는 휴믹산으로 침전성에 영향을 미친다고 주장하였다. 따라서 C/N비가 증가할수록 SMP생성량이 증가하여 원활한 침전이 이루어지지 않을 뿐만 아니라 유출수의 생물학적 처리에 한계를 나타내므로 본 연구에서는 1단계 생물학적 처리 공정을 최종 생물학적 처리의 전처리 과정으로 하고 실험을 수행하였다. 그러므로 본 실험에서는 별도의 슬러지 체류시간을 고려하지 않고 폭기조의 MLSS 농도를 고려하여 일정량의 슬러지 농도를 유지하는 방법으로 슬러지를 인발하며 폭기조의 슬러지 농도를 조절하였다.

Table 4-6. Operating conditions of the primary stage MLE reactors

C/N Ratio (Reactor No.)	4.5 (R ₁)		6.0 (R ₂)		8.0 (R ₃)	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
F/M (kg COD _{Cr} /kg MLSS · day)	0.11	0.34	0.11	0.68	0.38	0.58
F _N /M (kg TKN/kg MLSS · day)	0.024	0.076	0.018	0.113	0.048	0.073
HRT (day)	12.5	8.33	7.56	5.0	5.0	3.9
OLR (kg COD _{Cr} /m ³ · day)	2.0	3.0	4.8	7.0	6.6	8.4
NLR (kg TKN/m ³ · day)	0.4	0.6	0.8	1.2	0.8	1.0
MLSS(mg/ℓ)	12,300	12,400	13,400	14,000	13,400	13,800

그림 4-8, 그림 4-9 그리고 그림 4-10는 각기 다른 C/N비를 갖는 유입수에 따른 유출수의 질소 및 유기물 제거 효율을 나타낸 것이다. C/N비 4.5일 경우에는 유출수의 COD_{Cr} 농도는 유기물 부하율의 증가와 관계없이 3,000~4,000 mg/ℓ 을 유지하여 85%의 제거효율을 보였다.

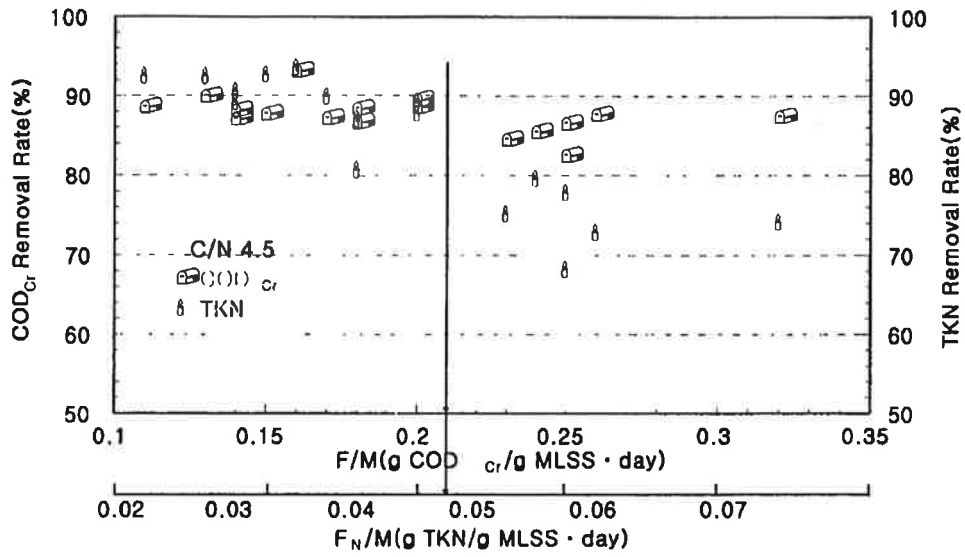


Fig. 4-8. Characteristics of COD_{Cr} and nitrogen removal rate at C/N ratio of 4.5(R_1).

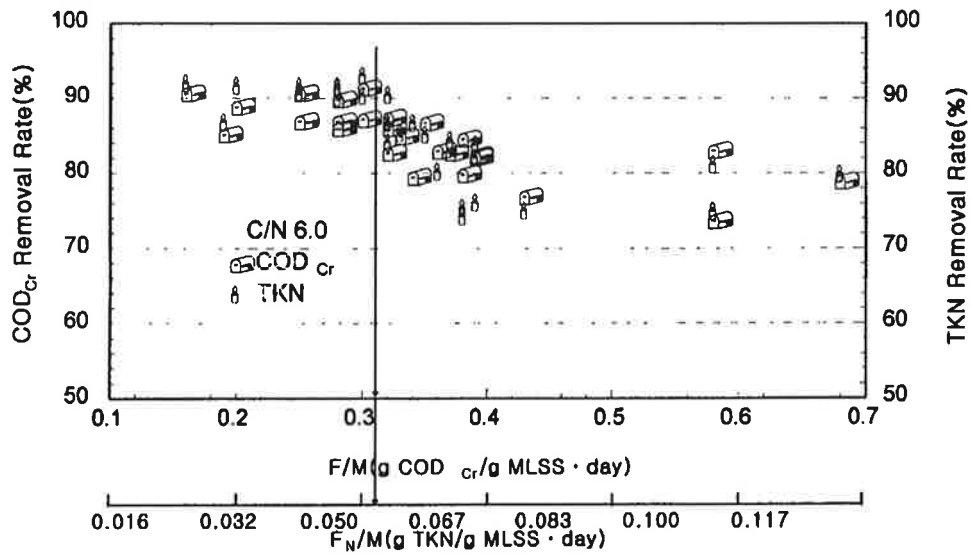


Fig. 4-9. Characteristics of COD_{Cr} and nitrogen removal rate at C/N ratio of 6.0(R_2).

그러나 TKN 경우에는 F/M비 0.21 kg COD_{Cr}/kg MLSS · day, F_N/M비 0.047 kg TKN/kg MLSS · day까지는 90%의 제거효율을 보이다가 부하율이 증가함에 따라 제거효율의 급격한 감소 경향을 나타내었다. C/N비가 6.0일 경우에도 C/N비 4.5에서와 동일한 경향을 나타내었으며, COD_{Cr}은 86%의 제거효율을 보였고 TKN은 제거효율이 92%로 유지되었다. 이때는 최적 F/M비는 0.32 kg COD_{Cr}/kg MLSS · day, F_N/M비는 0.053 kg TKN/kg MLSS · day 이었다 C/N비가 8.0일 경우에는 F/M비가 0.51 kg COD_{Cr}/kg MLSS · day, F_N/M비 0.065 kg TKN/kg MLSS · day 까지가 최적 부하율로 나타났으며, 이때 유기물은 87%, 질소는 90%의 제거효율을 보였다.

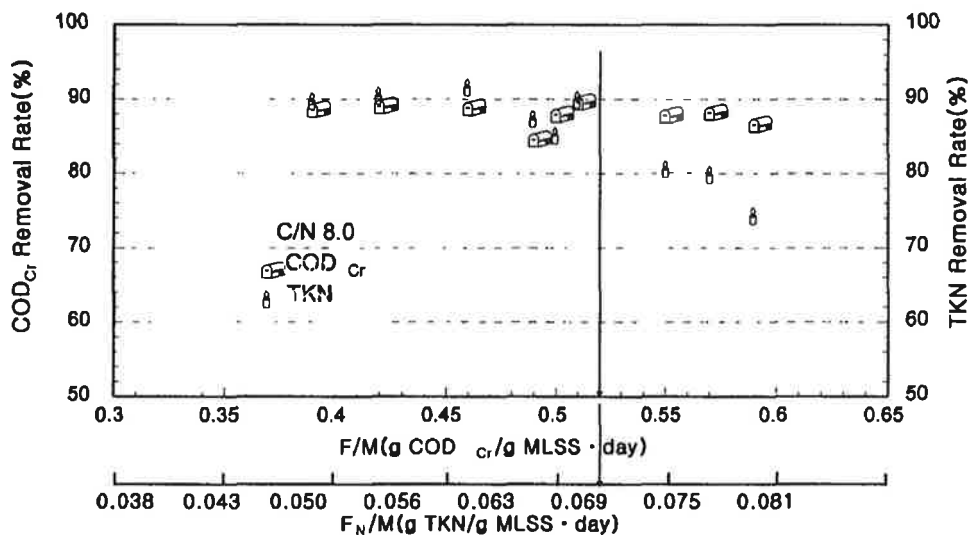


Fig. 4-10. Characteristics of COD_{Cr} and nitrogen removal rate at C/N ratio of 8.0(R₃).

각각의 C/N비에서 COD_{Cr} 제거율 85%, TKN 제거율 90%이상을 얻기 위한 적정 F/M, F_N/M비를 그림 4-11에 나타내었다. 그림 4-11에서 유입수 C/N비가 증가할수록 최적 F/M비 및 F_N/M비는 1차 선형적인 관계를 보이고 있는데 C/N비가 증가할수록 F/M비의 기울기보다 F_N/M

비의 기울기가 더 높은 것을 알 수 있다. 즉, C/N비가 증가할수록 F/M비가 증가하여도 COD_{Cr} 제거 효율은 큰 영향을 미치지 않으나 F_N/M비는 F/M비 증가율보다 낮음을 알 수 있다.

따라서 C/N비가 증가될수록 F_N/M비가 처리 효율에 미치는 영향이 높음을 알 수 있다. 일반적으로 슬러리 돈사폐수의 고액분리 여액이 갖는 C/N비가 4.5~5.0 이므로 안정된 처리를 위한 운전인자로 F_N/M비를 사용하는 것이 바람직하며 이때 적정 F_N/M비는 0.03~0.04 kg TKN/kg MLSS · day로 유지하는 것이 안정적인 처리를 할 수 있을 것으로 사료된다.

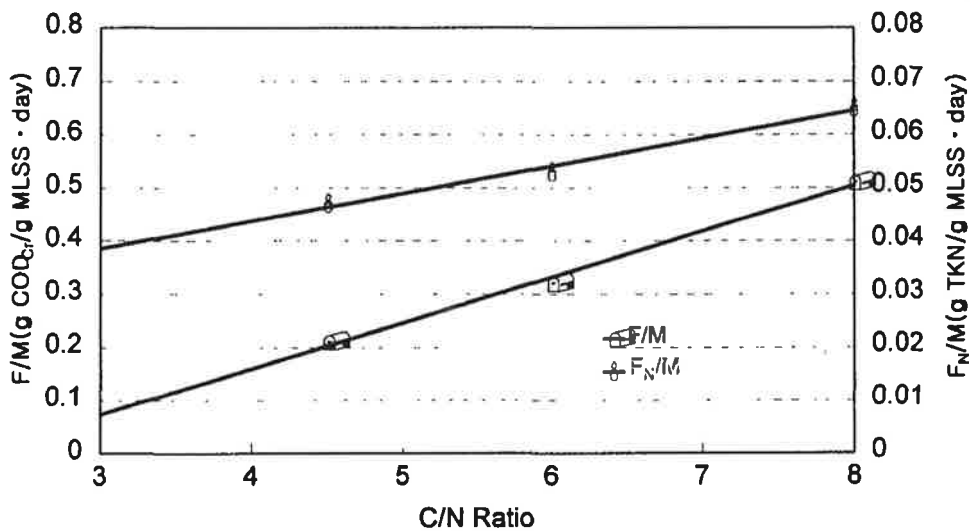


Fig. 4-11. Optimum organic and nitrogen loading rates with different C/N ratio.

그림 4-12은 C/N비 4.5로 운전시 처리 효율이 불량할 때와 양호할 때의 각각의 폭기조 미생물 사진을 200배 확대한 것이다. 처리가 양호할 때는 미생물들이 Floc이 크게 형성된 것을 볼 수 있으나, 처리가 불량할 경우에는 Floc들이 잘게 부스러져 있고 Floc의 수도 적음을 알 수 있다. Floc들이 크게 형성된 경우에는 침전조에서의 침전성도 양호한

반면, Floc들의 숫자나 크기가 작은 경우에는 현탁액 상태로 존재하며 침전효율이 저감됨을 알 수 있다.

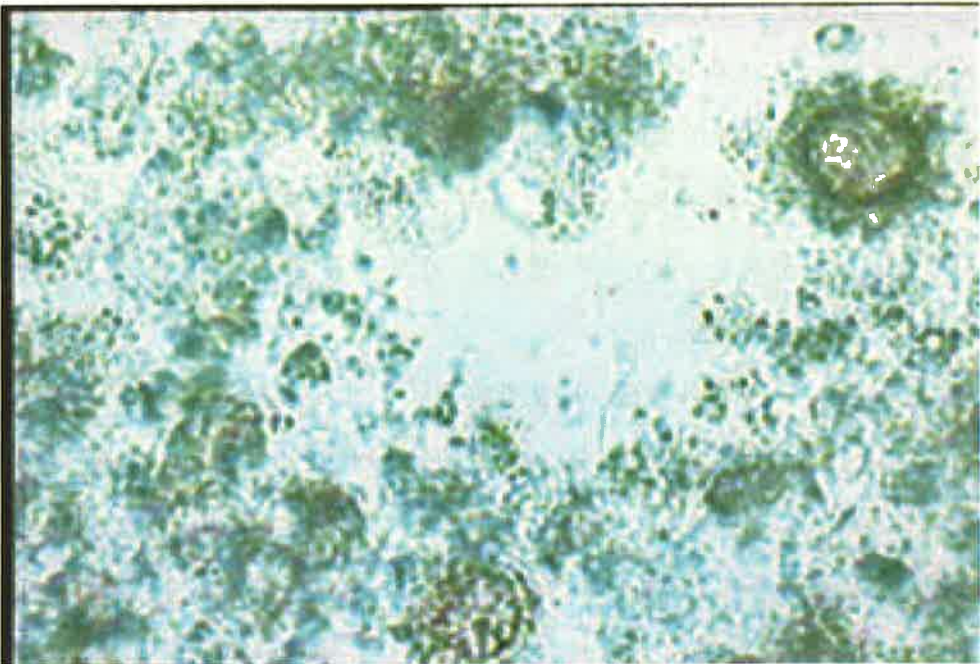
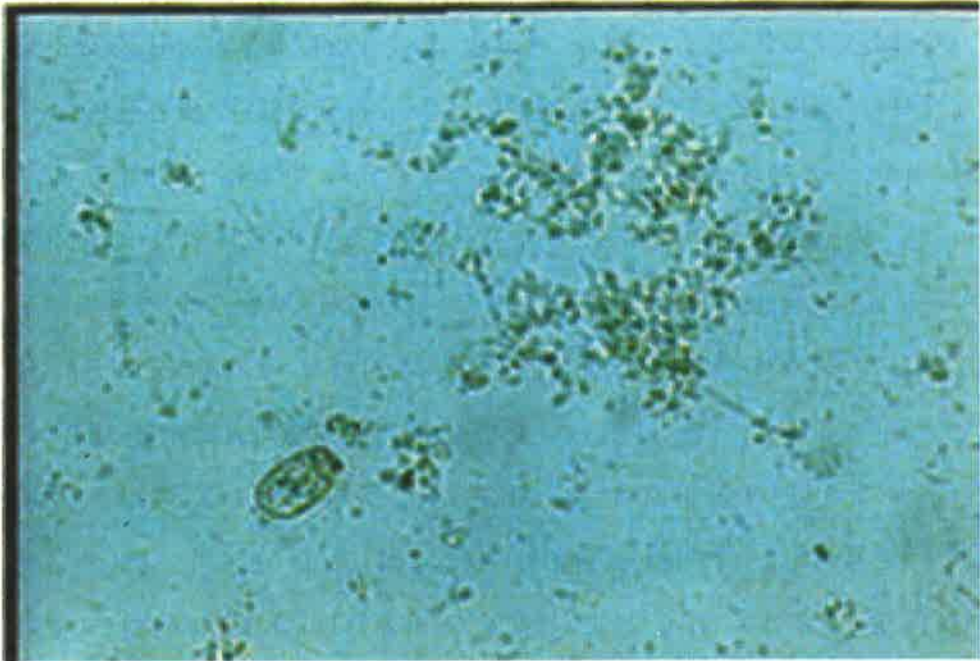


Fig. 4-12. Picture of predominant microorganisms at C/N ratio of 4.5.
(a) Bad condition (b) Good condition

2) 1단 pilot plant MLE 설계 및 유입수 성상에 따른 유기물 및 질소 제거 특성

실험실 규모의 연구 결과를 기초로 하여 Pilot 규모의 MLE 공정을 제작하여 겨울철을 포함한 약 150여 일간을 운전하였다. 일반적으로 축산 폐수 공공처리장에서는 슬러리형 양돈분뇨의 반입을 금지하고 있으며 본 연구가 진행된 장소인 I시 축산폐수 공공처리장 역시 슬러리형 양돈분뇨의 반입이 금지되고 있으므로 인근에서 일관관리 사육체계로 경영하고 있는 양돈농가의 비육돈 슬러리돈사에서 주 1회 정도 5m³ 규모의 진공식 수거차를 이용하여 운반하여 실험하였다. 그림 4-13은 본 연구에 적용된 현장 규모의 1단 MLE 실험 유입수의 농도 특성을 보여 준 것으로 최초 슬러리 고액분리 유입수의 농도 편차가 심하여 1단 MLE 공정 유입수 역시 농도 편차가 심하게 나타나므로 본 연구 결과에서는 HRT 10~15일을 고려하여 15일 이동 평균값을 나타내었다. 본 기간중 유입수C/N비는 5.4~7.1로 나타났으며, COD_{Cr}:TKN:TP의 비율은 100:140:1.2~100:18.3:1.4로 나타나 양돈폐수 처리시 일반적으로 문제되고 있다고 주장하는(Seo, 1999) 인의 처리수 농도는 미생물의 신진대사에 필요한 농도를 고려하여 별도의 인제거를 위한 공정은 필요하지 않는 것으로 나타났다.

그림 4-14는 여름과 겨울이 포함된 총 운전기간중 운전초기 미생물 순응단계를 제외한 약 150일간(1999년 8월부터 2000년 1월까지)의 운전 결과를 나타낸 것으로 유입수와 마찬가지로 15일 이동평균값을 나타낸 것이다. 운전개시후 25일 경과 시점에서 유입수의 과량유입으로 F_N/M 0.07kg TKN/kg MLSS · day의 높은 부하로 운전됨에 따라 실험실에서 수행한 결과와 유사한 형태로 유출수의 NH₃-N이 급격히 증가하는 양

상을 나타냈으며 실험의 진행을 원활히 하기 위해 42일 경과후 반응조의 슬러지를 교체하여 재운전 하였다. 질산화조에서 질산화가 원활하게 진행되지 않을 때에는 pH가 9.0까지 증가하여 폭기조의 Free Ammonia가 다량 존재하여 심한 악취가 발생하는 것을 느낄 수 있었으며 유출수의 COD_{Cr} 역시 증가하는 경향을 나타내었다.

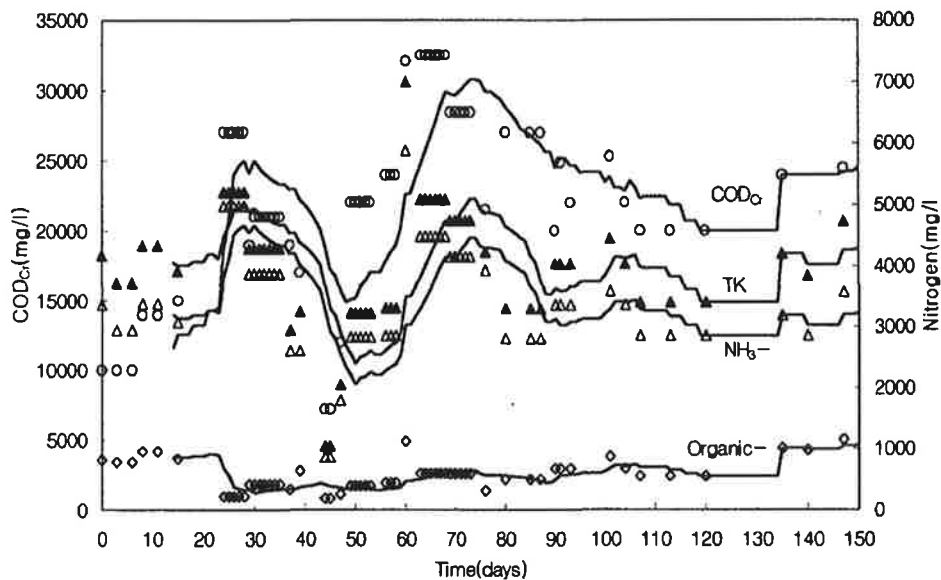


Fig. 4-13. COD_{Cr} and nitrogen concentration of influent for pilot scale MLE

그러므로 양돈폐수의 유기물을 안정적으로 처리하기 위해서는 개별 농가에 대한 허가대상 규모의 기타지역을 제외한 곳에서 총질소에 대한 규제를 받지 않더라도 반드시 질소제거 공정 도입이 필요한 것으로 확인되었다.

연구기간 동안에는 슬러지를 인발하지 않은 상태에서 운전하였으며 이는 유출수의 농도를 고려할 때 공공처리시설 규모의 방류수 수질 기

준을 만족하기 위해서는 추가 공정이 필요한 것으로 판단되어 슬러지 유실로 SRT를 고려하였다. 그러므로 반응조의 MLSS는 별도의 SRT 조절 없이 초기에는 점차 증가하는 추세를 보이다가 실험 기간중 평균 9,000~10,000 mg/l 정도로 유지되는 경향을 보였다.

운전개시후 70일 경과후 질산화조에서의 질산화율을 나타내는 SNR (Specific Nitrification Rate)은 다음의 식(4-4)에 의해 계산 할 수 있으며 식 (4-2)의 NO값을 이용하면 0.04g TKN/g MLSS · d로 나타난 반면, 문헌에서 제시한 하수를 대상으로한 SNR 값은 1차처리 유무에 따라 1차처리 전에는 112.5g TKN/g MLSS · d이며 처리후에는 50.0g TKN/g MLSS · d로 나타났다. 그러나 이 값은 일반적으로 하수를 대상으로 계산한 값과 비교시 월등히 적음을 알 수 있으며, 이와 같은 현상을 Randall(1992)에 의하면 SRT값이 클수록 SNR 값이 적으며, SRT값이 작을 경우 SNR 값이 크다고 하였다. 그러므로 이 값은 단위 미생물당 나타내는 값으로 질소산화량은 결국 미생물 농도에 상관되므로 가급적이면 SRT를 높게 유지하여 많은 양의 질소 산화 및 암모니아 저해농도를 고려하여 유지하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

$$SNR = \frac{N_{ox}}{HRT(X)} \text{-----(4-4)}$$

질산화 반응조에서의 온도에 대한 에너지 수지식은 식(4-5)과 같이 표현 할 수 있다.

$$\rho C_P V \frac{\delta T}{\delta t} = q+B-UA(T-T_o)-E_a-E_v \quad u/h \text{-----(4-5)}$$

$$\rho C_p V \frac{\delta T}{\delta t} ; \text{Acclimation rate(Btu/hr)}$$

여기서,

ρ ; 물의 밀도(lb/ft³)

C_p ; 물의 비열(Btu/lb · °F)

V ; 물의 부피(ft³)

q ; 송풍기로부터 발생하는 에너지(Btu/hr)

B ; 생물학적 활성으로 인하여 발생한 에너지(Btu/hr)

$UA(T - T_0)$; 반응조 벽을 통하여 외부로 전달되는 에너지(Btu/hr)

E_a ; 공기의 유출입에 의하여 전달되는 에너지(Btu/hr)

E_v ; 수분의 증발에 의한 에너지 손실(Btu/hr)

일반적으로 " $q + B > 0$ " 이므로 반응조의 온도는 실제 외부온도보다 증가하게 된다. Chung(1995)등에 의하면 양돈분뇨의 고온 호기성 소화 공정의 적용 타당성 평가를 위한 실험에서 270 rpm의 교반기를 이용한 고온 호기성 소화 공정 운전시 72.4℃까지 상승하였는데 이 온도 상승의 약 33%가 미생물 활성에 의해 증가하였다고 주장하였다. 따라서 고농도 유기물 및 질소를 포함한 호기성 소화 공정 개념의 1단 MLE 공정은 상당량 온도가 증가할 것으로 사료된다.

질산화조의 온도는 Free Ammonia의 농도 특성에 밀접한 영향을 미치는데 그림 4-15의 운전개시 42일 무렵 질산화조의 온도는 일반적으로 생물학적 공정 운전시 적정온도로 나타나는 25~30℃임에도 불구하고 질소제거율이 저조한 특성을 나타내었다.

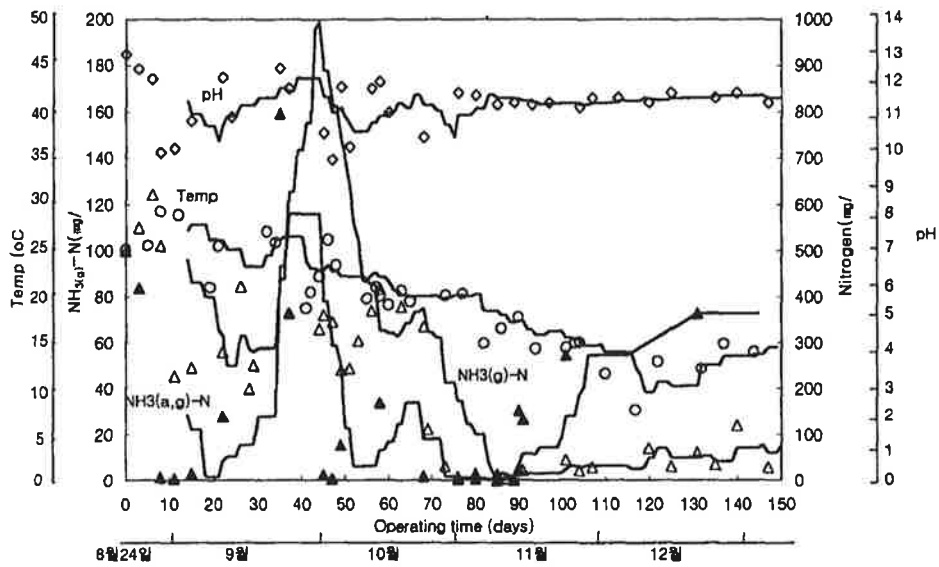


Fig. 4-14. $\text{NH}_3\text{-N}$ and $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentration of effluent and temperature of the oxalic tank of pilot scale MLE

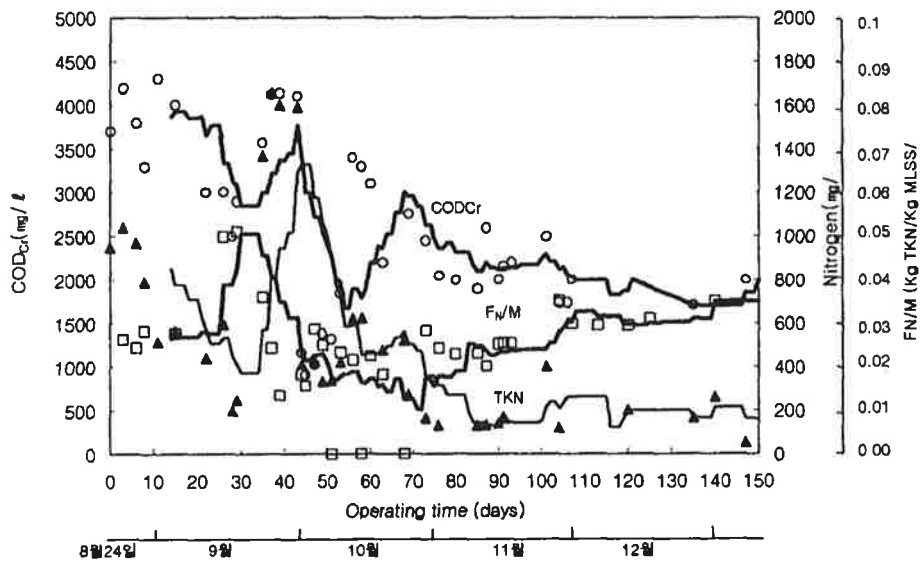


Fig. 4-15. Variation of COD_{Cr} , TKN concentration of effluent and $\text{F}_\text{N}/\text{M}$ rate of pilot scale MLE

질산화조의 온도는 송풍량과 외부 온도에 따라 큰 영향을 미칠 수 있으며, Cooney(1969)의 연구 보고에 의하면 호기성 미생물의 산소소모시 $0.124 \pm 0.003 \text{ kcal/mMole O}_2$ 의 열량을 발생한다고 보고한 바 폭기조의 온도가 약간 더 증가할 것으로 사료된다. 본 연구기간 동안 8, 9월의 하절기보다는 11, 12월의 동절기의 질소 제거효율이 더 양호한 것으로 나타났으며, 이는 고농도 유기물 및 질산화를 위해 과량의 산소가 요구되므로 송풍기 과열에 의한 폭기조의 온도 상승인지 미생물 산소소모에 의한 온도상승인지에 대한 추가적인 연구가 요구되지만 본 공정과 유사한 호기성 소화 개념의 실제 공정에서도 여름철보다는 오히려 겨울철이 더 양호하게 운전되고 있었다.

3) 1단 MLE 유출수에 대한 후처리 공정 개발

1단 MLE 반응조 유출수를 대상으로 가장 경제적이면서도 효율적인 공정 도출을 위한 고도처리 방안으로 NaOCl을 이용한 Breakpoint Chlorination, 오존에 의한 산화, 한외여과막과 역삼투막을 이용한 분리막 적용, FeCl₃과 유기응집제를 사용한 응집 부상 등의 방법을 비교하였다. 이 실험에 사용한 대상폐수는 1단 MLE 공정에서 C/N비 4.5로 운전하여 유출수가 안정적으로 유지될 때를 대상으로 이용하였으며 이때의 농도 특성은 표 4-6에 나타내었다.

Table 4-6. Characteristics of influent wastewater for post treatment(the primary MLE effluent)

Items	SS (mg/ℓ)	COD _{Cr} (mg/ℓ)	COD _{Mn} (mg/ℓ)	Nitrogen(mg/ℓ)			Color (PtCo)
				NH ₃ -N	Org.-N	NO _x -N	
Conc.	1,000	3,000~ 4,000	1,500~ 2,000	200~ 300	200~ 250	10~15	14,200

Breakpoint Chlorination 공정에서는 10% 공업용 NaOCl을 사용하여 투입 농도를 2,500, 3,800, 5,000 mg Cl₂/l 로 변화시키면서 COD_{Cr}, 색도, 암모니아 농도 등의 변화를 관찰하였다. 일반적으로 정수장에서 적용하는 Breakpoint Chlorination은 투입된 염소가 암모니아와 신속히 반응하며 그 반응시간은 수 분이면 충분하다고 하였으나 그림 4-16에서 나타난 바와 같이 투입된 염소가 암모니아와 반응하지 않고 유기물과 먼저 반응하여 주제거 목적으로 고려된 암모니아의 제거효율이 극히 미미한 것으로 나타났다. NaOCl이 2,500 mg Cl₂/l 첨가되었을 경우, 색도는 14,200 PtCo에서 2,000 PtCo로 86%의 제거 효율을 나타내 어느 정도 효과가 있으나 색도를 제외한 COD_{Cr}, 암모니아 등의 제거효율은 극히 저조하였다. NaOCl은 2,500 mg Cl₂/l 가 첨가되었을 때 가장 양호한 색도 제거 효과를 보였으며, 추가적인 Cl₂의 투입은 색도 및 유기물과 암모니아의 제거에 미치는 영향이 적은 것으로 나타났다.

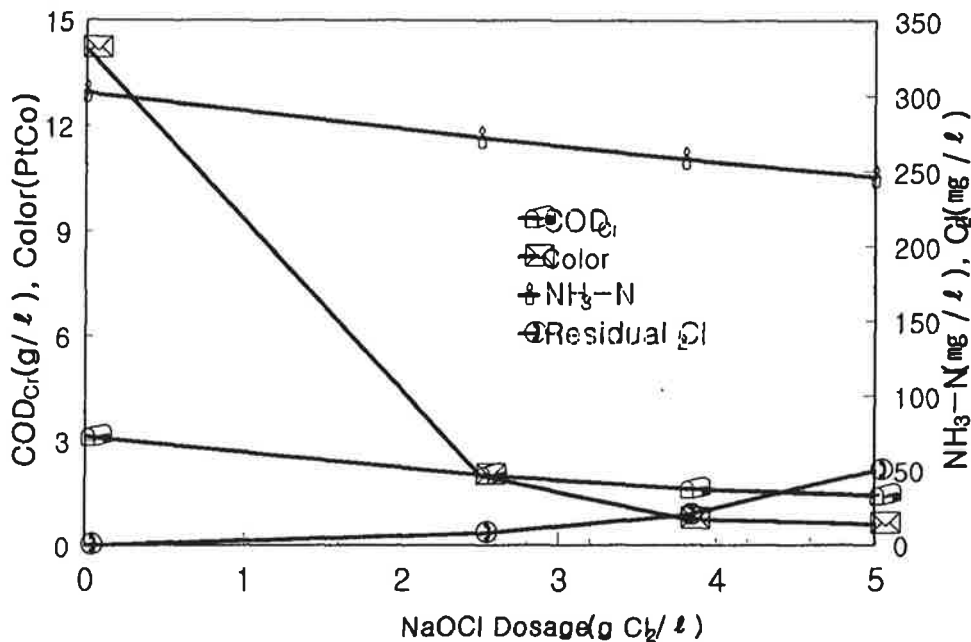


Fig. 4-16. Characteristics of breakpoint chlorination treatment.

1단 생물학적 반응조 유출수는 그 특성상 유기물의 BOD₅/COD_{Cr} 비율이 낮아 BOD₅의 농도와 COD_{Cr}, COD_{Mn}의 농도 차이가 크고 2단 생물반응조를 이용한 질소 제거시 외부탄소원이 필요하게 된다. 따라서 1단 생물학적 반응조 유출수의 BOD₅/COD_{Cr} 비율을 증가시키기 위해서 본 연구에서는 오존을 이용하여 유기물 제거나 생분해성 증가를 위해 오존 산화 실험을 실시하였다. 그림 4-17는 운전시간이 경과함에 따른 유출수 BOD₅/COD_{Cr} 비율의 변화를 나타낸 것으로 오존에 의한 산화가 유출수의 BOD₅/COD_{Cr} 비율을 증가시키지 못하는 것으로 나타났다. 오존에 의한 산화는 초기보다 약 40분이 경과후에 유기물의 BOD₅/COD_{Cr} 비율이 약간 증가하는 경향을 보였으나 전체적인 BOD₅/COD_{Cr} 비율은 0.16~0.20으로 초기 비율인 0.19에 비해 큰 변화를 나타내지 않았다.

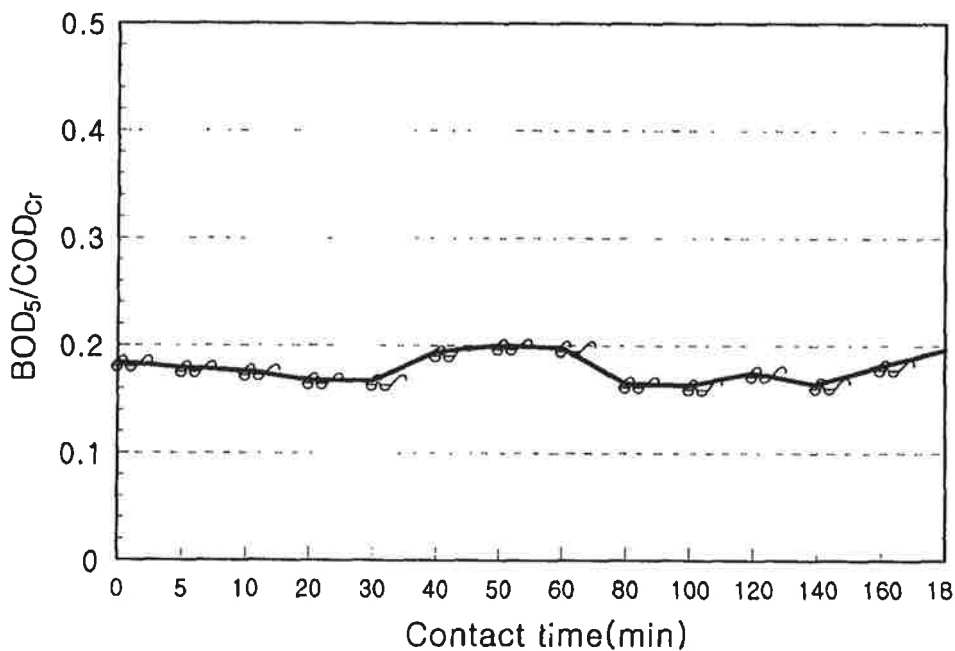


Fig. 4-17. Variation of BOD₅/COD_{Cr} ratio with different contact time.

그림 4-18은 오존 접촉 시간의 경과에 따른 유기물 처리 특성을 보여주고 있는데 오존 접촉 후 약 80분 경과시 유기물의 제거율이 급격히 감소하기 시작하는데 이때 COD_{Cr} 은 $2,600 \text{ mg/l}$ 로 35%의 제거효율을 보이고 색도는 $3,220 \text{ PtCo}$ 로 75%가 제거되었다. 이때 BOD_5 의 경우에는 430 mg/l 로 BOD_5/COD_{Cr} 비율이 16.5%를 차지하여 초기의 19%에 비해 오히려 감소하는 결과를 보였다. 최적의 오존접촉시간을 80분으로 선정할 경우, 일반적인 오존 산화의 접촉 시간인 30~60분보다 길어서 접촉조의 부피가 증가하고 건설비용이 증가하므로 경제적이지 않은 것으로 나타났다. 또한 오존 단독적으로는 기대할만한 산화력을 발휘하지 못하기 때문에 1단 생물학적 반응조 유출수의 BOD_5/COD_{Cr} 비율을 증가시키기 위한 방안 역시 적당하지 않은 것으로 사료된다.

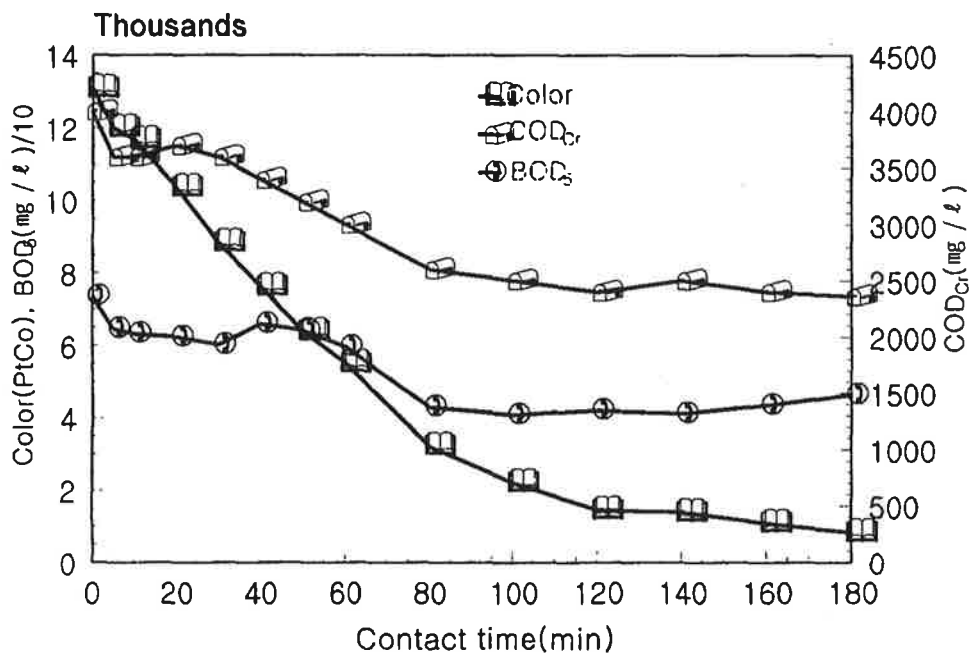


Fig. 4-18. Organic matter and color removal efficiencies with different ozone contact time.

1단 생물학적 반응조 유출수를 한외여과막과 역삼투막을 이용하여 물리적인 방법으로 여과시켜 그 처리 특성을 조사하였다. 1단 생물학적 반응조 유출수를 대상으로한 한외여과막과 역삼투막의 분리 실험결과는 표 4-7과 같다. 역삼투막을 사용하여 분리할 경우 유기물과 색도, TDS의 경우는 거의 100%에 가까운 완벽한 제거가 가능하였으나, 암모니아의 제거는 93%로 그 효율이 비교적 낮게 나타났다. 또한 역삼투막의 투과유속은 그림 4-19과 같이 운전 후 약 20분 경과후부터는 투과유속이 크게 감소하는 경향을 보였다.

Table 4-7. Pollutants removal efficiencies of ultrafiltration and reverse osmosis

Process \ Items	Color (PtCo)	TDS (mg/l)	COD _{Cr} (mg/l)	NH ₃ -N (mg/l)	Org-N (mg/l)
1st MLE Effluent	14,200	11,600	3,600	230	235
Ultrafiltration Permeate	6,300	11,400	1,700	151	162
Reverse Osmosis Permeate	9	407	0	16	5

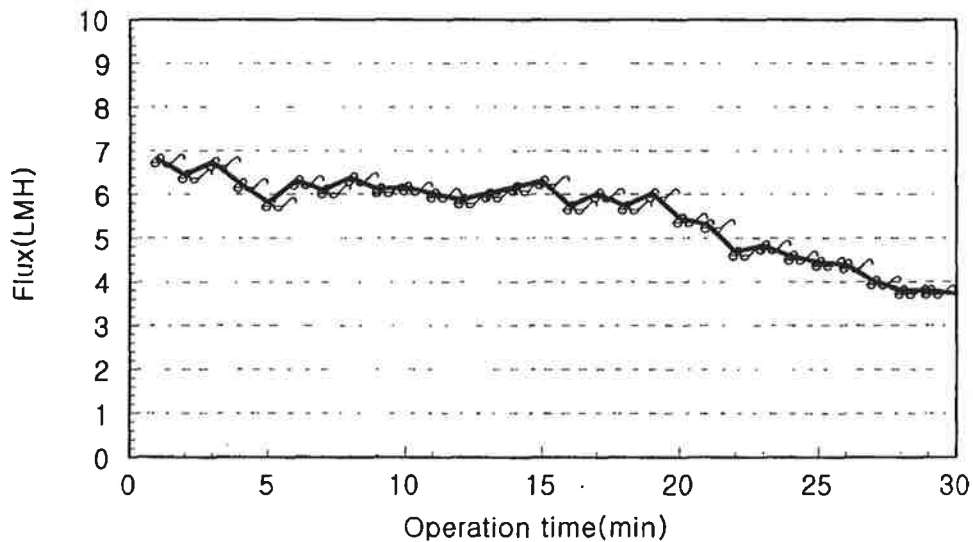


Fig. 4-19. Flux change of reverse osmosis.

역삼투막의 경우에는 완벽한 처리 수질은 기대할 수 있으나, 그 시설비나 유지관리비가 크고 한외여과막으로 전처리를 하여도 유입되는 폐수의 TDS농도나 기타 유기물 및 질소의 농도가 높아 농가 운영시 수자원에 의해 제한 받는 지역에 한해 재이용 측면을 제외하고는 적용이 곤란할 것으로 판단된다.

1단 생물학적 반응조 유출수의 부유물질 및 색도 농도가 높은 점을 고려하여 무기응집제인 염화 제2철과 유기응집제인 제 3장의 연구에서 고액분리시 주로 사용한 유기응집제와 유사종류인 E-855를 이용하여 응집, 부상시키는 공정을 실험하였다. 응집, 부상 공정은 그 처리효율이 매우 양호하여 그림 4-20와 4-21에서 보여주는 것처럼 $FeCl_3$ 의 적정 주입량은 4,300 mg/l 이었으며 이때의 유기응집제는 E-851로 주입량은 10 mg/l 이었다. 유기물의 경우 유출수의 COD_{Cr} 농도가 420 mg/l 로 유입수 농도인 2,370 mg/l 의 82%의 제거효율을 보였으며, 색도는 255 PtCo로 5,570 PtCo에서 96%제거되었다. 그러나 암모니아의 경우에는 응집에 의한 효과가 적어서 유입수의 암모니아 농도인 230 mg/l 에서 207mg/l 로 거의 제거되지 않았다.

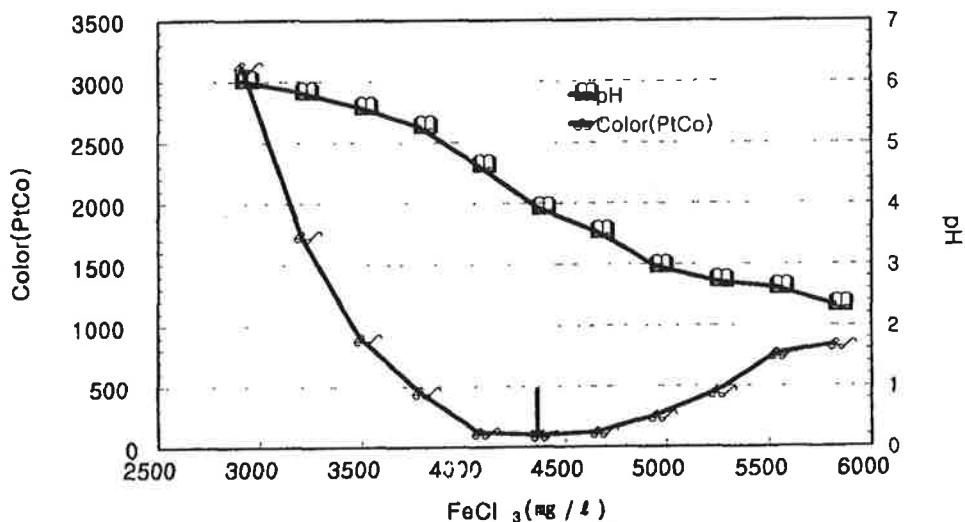


Fig. 4-20. Color removal efficiencies with different $FeCl_3$ dosage.

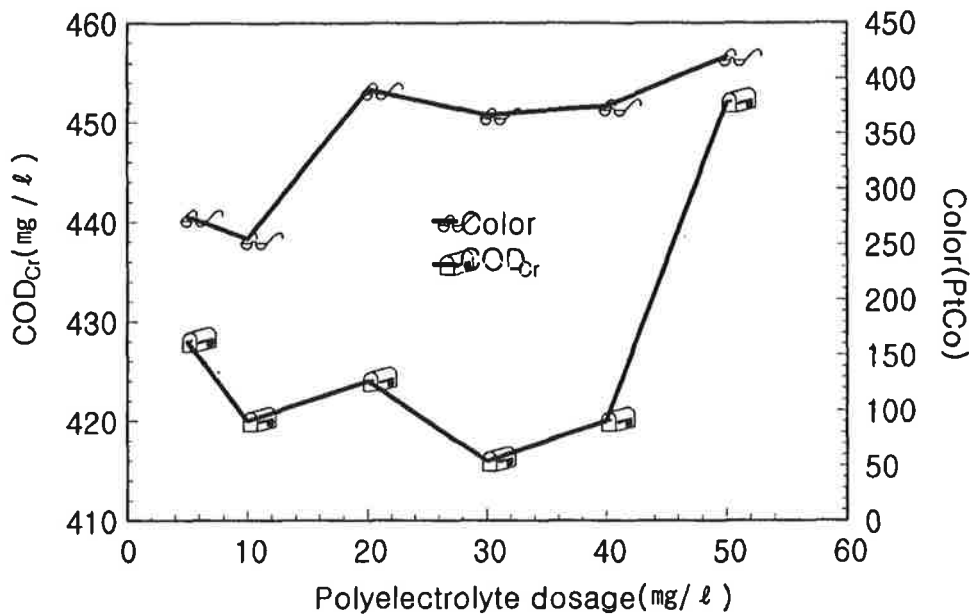


Fig. 4-21. Color and COD_{Cr} removal efficiencies with different polyelectrolyte dosage.

1차 생물학적 반응조 유출수의 경우 후처리로서 FeCl₃과 소량의 유기 응집제 투입만으로도 충분히 유기물 및 색도 제거가 가능하였으며, 응집된 floc의 특성상 FeCl₃에 의해 응집될 경우 pH 4.5~5.0 사이에서 최적의 Floc을 형성하였다. 이때 생성된 Floc은 미세한 바늘모양을 하고 있었으며, 10 mg/l의 유기응집제를 투입한 것이 유기물 및 색도, Floc의 크기, 강도, 생성된 슬러지의 부피 등의 측면에서 가장 유리했다.

표 4-8은 지금까지의 적용된 후처리공정들을 정리한 것이다. 각 공정별로 비교한 결과 FeCl₃과 유기응집제에 의한 응집/부상공정이 가장 효율적인 것으로 나타났으므로 허가대상 규모의 농가에 적용하기 적절하며, 축산폐수 공공처리 시설 규모의 방류수 수질기준을 만족하기 위하여 향후 실험에서는 막결합형 생물반응조를 선정하여 이 실험을 수행하기 위한 대상 시료로 적용하였다.

Table 4-8. Post treatment processes for treatment of the primary stage MLE effluent

Process	Operation Condition	Effluent Water Quality					Remarks
		COD _{Cr} (mg/ℓ)	NH ₃ -N (mg/ℓ)	Org-N (mg/ℓ)	NO _x -N (mg/ℓ)	Color (PtCo)	
Breakpoint Chlorination	NaOCl 2,500ppm	2,020	270	-	44	2,000	
Ozone Oxidation	80min	2,600	-	-	-	3,220	BOD ₅ 430 mg/ℓ
UF/RO	200psig	0	16	5	-	9	Flux 5 LMH
Coagulation/ Flotation	FeCl ₃ 4,300mg/ℓ E-855 10mg/ℓ	420	207	-	-	255	

제 3 절 결 론

1. MLE 공정의 최적 운전 조건 및 후처리 공정

슬러리 돈사에서 발생하는 양돈분뇨를 대상으로 유기응집제를 첨가 후 LSSD 및 AF 공정을 이용하여 고액분리를 수행한 후 이에 대한 정화공정의 일환으로 간헐폭기 공정과 MLE 공정을 운전하였으나 간헐폭기의 현장운전의 어려움 때문에 향후 실험에서는 MLE공정을 선택하여 지속적으로 운전하였으며 MLE 공정의 최적 운전 조건을 도출한 결과는 다음과 같다.

가. 고액분리 여액의 COD_{Cr}은 25,000mg/ℓ 이고 TKN은 5,400mg/ℓ 으로 평균 C/N비는 4.5정도로써 탈질조의 부피비를 총유효용량대비 10, 20, 30, 40%로 실험한 결과 20%일 때 가장 양호한 제거 효율을 나타내었다.

나. 양돈폐수의 유입수 C/N비 변화에 따라 최적 F/M 및 F_N/M 비가 각각 상이하게 나타났으며 C/N비의 범위가 4.5, 6.0, 8.0의 경우 C/N비가 증가할수록 COD_{Cr} 제거효율은 85%로써 일정하였다. TKN 제거효율은 C/N비가 증가할수록 F_N/M 비 $0.02\text{kgTKN/kgMLSS} \cdot \text{d}$ 까지는 약 90%이상의 제거 효율을 나타낸 반면, C/N비가 증가할수록 더 높은 F_N/M 비에서 안정적 처리효율을 유지할 수 있었다.

다. MLE공정에서 내부반송율을 유입수의 10배, 반송슬러지를 1배로 운전시 NO_x-N 은 $10\text{mg}/\ell$ 정도로 나타나 하수에 기초한 경험적인 설계인자에 의한 내부반송율의 설계기준과는 큰 차이가 있는 것으로 나타났다.

라. 유효용량 7.5m^3 규모의 Pilot MLE공정을 통한 실증 실험 결과 실험실에서의 결과와 동일한 결과를 나타냈으며 여름과 겨울이 포함된 약 5개월간 운전한 결과 11월과 12월에서 폭기조 온도가 $20\sim 25^\circ\text{C}$ 에서 가장 양호한 결과를 나타내었다.

마. 1단 MLE 공정의 유출수에 대하여 염소소독, 한외여과막 및 역삼투막, 오존 산화, 응집/부상등 다양한 후처리 공정 적용 결과 $FeCl_3$ $4,300\text{mg}/\ell$ 및 유기응집제 E-851 $10\text{mg}/\ell$ 에서 가장 안정된 공정을 도출하였다.

제 5 장 막결합형 생물반응 공정

제 1 절 서 론

생물학적 폐수처리 공정은 반응조에 고농도의 미생물을 어떻게 유지하느냐가 그 공정의 성패를 좌우하게 된다. 일반적으로 침전조의 침전 특성을 고려한 폭기조에서의 미생물 유지는 슬러지 체류 시간(SRT, Sludge Retention Time)을 제어함으로써 미생물 농도를 유지한다. 그러나 너무 높은 슬러지 체류시간으로 운전할 경우 침전성이 불량해져 폭기조의 미생물농도를 유지하는데 실패하게 되며 결국 공정 전체가 실패하게 된다. 그러므로 막결합형 생물반응조의 경우 침전성과 관계없이 운전하므로 인위적인 SRT를 조절할 수 있어 조작성이 간단하여 최근 각광 받는 기술로 부상하고 있다(AWWA Research Foundation, 1996). 특히 반응조에 고농도의 미생물 유지가 가능하므로 처리 용량을 극대화할 수 있으며, 분리막에 의한 슬러지와 처리수의 분리는 물리적으로 이루어지므로 유출수의 처리 수질을 완벽하게 유지할 수 있다. 그러나 분리막을 적용한 공정의 경우 막오염에 의한 투과유량의 감소는 공정의 성패여부 및 시설 투자비와 밀접한 관계가 있으므로 막결합형 생물반응조 역시 투과유속의 감소는 극복해야 할 문제 중의 하나이다.

본 장에서는 앞장에서 도출된 1단 MLE 공정 후 응집/부상 여액을 이용하여 막결합형 생물반응조를 운전하였으며 투과유속 향상 및 축산 폐수 공공처리장 규모의 법적 규제 기준 만족을 위하여 분말활성탄(Powdered Activated Carbon)을 첨가한 막결합형 생물반응조를 동시에 운전하였다. 그러므로 이 실험에서는 기초 실험 차원에서 청수를 이용하여 막면유속 변화에 따른 투과속도, 전단계 응집/부상 공정시 첨가되는 Fe가 잔류함에 따른 투과유속에 미치는 영향 및 유입수의 C/N 비

변화에 따른 탈질을 평가 등을 수행하였다.

또한 분말활성탄첨가에 의한 Flux 향상 및 분말활성탄 Bioregeneration에 대한 영향을 정량화하기 위하여 등은 흡착 실험을 수행한 결과를 기초로 분말활성탄을 첨가한 경우와 첨가하지 않은 막결합형 생물 반응조를 동시에 운전하여 분말활성탄 첨가에 따른 투과유속 향상 및 분말활성탄이 폭기조 내에서 미치는 영향을 실험적으로 규명하여 정량화 하였으며, 공공처리장의 법적 규제기준 만족을 위한 분말활성탄 첨가량을 제시하였다.

제 2 절 2단계 막결합형 생물반응조 공정

1. 실험 장치 및 방법

가. 2단계 막결합형 생물학적 처리 실험

1) 기초 실험

이 실험에서는 막결합형 생물반응조에 사용할 분리막에 대한 기초 실험을 수행하였으며 이때 사용한 분리막의 특성은 표 5-1과 같으며 동일한 재질의 분리막을 이용하여 연속식 실험에 사용하였다. 기초 실험으로는 적정 투과유속 도출을 위하여 청수를 대상으로 분리막에 유입되는 막면유속 변화에 따른 투과유속과의 상관관계를 도출하였으며, 압력 Pump는 1HP 용량의 D. C. Motor에 Controller가 장치된 피스톤 펌프를 이용하여 분리막의 유입량을 조절함으로써 막면유속을 변화시켰다. 이때 유입수의 온도는 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 으로 하였으며, 여과수의 경우 외부로 배출하지 않고 유입수의 저류조로 계속 순환시킴으로써 유입수의 특성을 일정하게 유지시키면서 실험하였다. 또한 폭기조 MLSS 농도에 따른 투과유속과의 관계를 관찰하기 위하여 농축된 슬러지를 대상으로 고농도에서 저농도로 변화시키면서 일정한 막면유속에서 MLSS 농도에 따른 투과유속을 관찰하였다. 이때 MLSS 농도 변화를 위하여 요구되

는 회석수는 2단 막결합형 생물반응조의 유출수를 이용하였다. 또한 이보다 앞서 수행된 응집/부상 공정시 첨가되는 $FeCl_3$ 에 대한 막오염 특성을 관찰하기 위하여 응집/부상 공정수를 이용하여 $FeCl_3$ 첨가에 따른 투과유속을 관찰하였다.

Table 5-1. The specification of membrane used in this experiment

Membrane Type	Polyethersulfone UF
Membrane Configuration	Tubular
Tube Diameter	8.9 mm
Membrane length	0.5 m
Membrane area	138 cm ²
Molecular mass cut-off	40,000
Relate Operating Pressure	100~500 KPa

2) 2단계 막결합형 생물학적 처리 실험

본 실험에서는 앞서 수행된 실험실 규모의 후처리 공정중에서 가장 효율적인 공정으로 판단된 응집/부상 처리수를 기질로 하였으며 실험에 사용된 생물반응조는 1단계 MLE 공정에서 사용한 장치를 이용하여 침전조 대신 한외여과막을 적용하였다. 그림 5-1은 이 실험에 사용한 막결합형 생물반응조의 개략도를 나타낸 것으로서 탈질조는 7.5 l, 질산화조는 15 l로 고정하였으며, 내부반송율은 유입수량의 5배로 운전하였으며 분리막의 농축수는 질산화조로 100% 반송시켰다.

막결합형 생물반응조 실험시에는 시간경과에 따라 투과유속이 감소하므로 질산화조의 수위가 상승할 수 있으므로 본 실험에서는 실험에 사용한 분리막의 면적을 크게 설계하여 항상 유입수량에 비해 막투과량을 크게 운전하여 분리막이 설치된 Housing에서 유입량과 동일한 양을 정량 펌프를 통해 유출수로 배제하고 잉여 유출수는 질산화조로 재유입 시켰다.

한편 이 실험에서는 분말활성탄 첨가 실험 과정 중에 피스톤 펌프의 실린더 헤드 부분에서 피스톤 마모에 의한 누수 현상이 빈번하게 발생하여 압력펌프를 펌프의 회전수를 조절할 수 있는 1HP 용량의 원심 펌프로 교체하였다.

또한 이 실험에서는 막결합형 생물반응조를 대조 반응기로 하여 표 5-2과 같은 특성의 분말활성탄을 폭기조에 첨가하는 실험을 동시에 수행하였다. 실험에 사용한 분말활성탄(HDC, HydroDarco C)은 Norit의 제품으로 폭기조에 분말형태로 첨가하여 첨가량에 따른 투과유속 변화와 처리 효율 특성을 관찰하였다.

한편, 폭기조에 분말활성탄을 직접 투입함으로써 처리율의 상승과 함께 생물학적 재생에 의한 활성탄의 흡착능 증가에 관한 연구를 위하여 등은 흡착 실험을 병행하였다. 또한 본 실험에서 사용된 유입 기질의 탄소원이 질소원에 비해 너무 낮기 때문에 원활한 탈질을 위하여 메탄올을 전자공여체로 사용하였으며, 원활한 탈질을 위해 연속 실험이 수행되기에 앞서 회분식 실험을 통하여 적정 C/N비를 도출하였다. 따라서 연속식 실험에서는 회분식 실험에서 도출된 적정 C/N비를 유지하기 위하여 메탄올을 연속적으로 투입하였으며 첨가량은 유입기질의 질소 농도를 수시로 분석하여 메탄올의 희석배수를 조절하였으며 이때의 투입량은 250ml/day로 운전하였다.

Table 5-2. Characteristics of powdered activated carbon

Model name	HydroDarco C
Particle Size(Min.%-325 mesh)	70
Density(g/ℓ)	0.50
Surface Area(m ² /g)	575
pH	Alkaline
Molasses Number(dry basis)	40

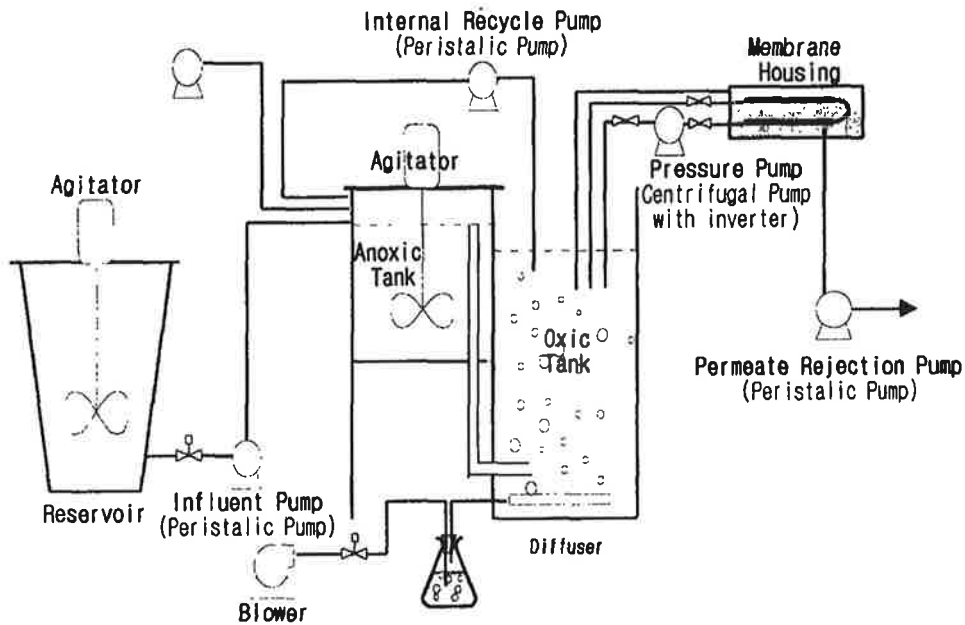


Fig. 5-1. Experimental setup of MLE process coupled with embrane.

나. 분석 방법

1) MLCC(Mixed Liquor Carbon Concentration)의 측정

분말활성탄을 첨가한 막결합형 생물반응조에서 슬러지와 분말활성탄이 혼합된 슬러지에서 각각의 농도를 분석하기 위하여 Jhon 등(1973)등이 제시한 Ignition Method와 Nitric Acid Solubilization Method를 검토하였으며 Nitric Acid Solubilization Method를 이용하였다.

Nitric Acid Solubilization Method는 질산에 의해 분말활성탄과 Biomass의 서로 다른 분해율을 기초로 수행하는 방법으로 분말활성탄(MLCSS, Mixed Liquor Carbon Suspended Solid)과 슬러지(MLBSS, Mixed Liquor Biomass Suspended Solid)가 혼합된 시료(MLSS, Mixed Liquor Suspended Solid)를 각각 10ml씩 혼합하여 90℃의 중탕 조건에서 약 2시간동안 분해하였다.

2) 광학현미경 관찰

미생물의 특성 파악을 위하여 CCD Camera가 장착되어 Monitor와 연

결된 Olympus사의 BX-50 광학현미경을 이용하여 미생물을 관찰하였다.

3) 기타 분석실험

COD_{Mn}의 경우 산성조건에 의한 KMnO₄법에 의해 분석하였으며(공해 공정시험법), 기타 분석항목은 Standard Method(18th)에 준하여 실험하였다. 이때 NO_x-N의 분석은 NO₂를 NO₃으로 전환하여 NO_x로 측정하였다. 용존성 중금속의 경우 0.45 μ m으로 여과후 측정하였으며, 중금속 총량은 대상시료를 Microwave에 의한 Nitric Acid Digestion을 이용하였으며, 표 5-3는 분석에 사용된 장치와 방법을 나타내었다.

Table 5-3. Analytical methods and instruments used in this experiment

Items	Unit	Method	Instrument Model
pH	-	pH meter	Orion
SS/VSS	mg/ l	Total suspended solids dried at 103~105 $^{\circ}$ C	
Moisture Content	%		
DO	mg/ l	DO meter	YSI
COD _{Cr}	mg/ l	Open reflux titrimetric method	
BOD ₅	mg/ l	5-day BOD test	
T-P	mg/ l	Vanadomolibdo phosphoric acid colorimetric method	
Organic Nitrogen	mg/ l	Macro kjeldahl method	
NH ₃ -N	mg/ l	Titrimetric method	
NO _x -N	mg/ l	Colorimetric method	DR 2000
Heavy metals	mg/ l	Inductively coupled plasma	
Alkalinity	mg/ l as CaCO ₃	Titration method	

다. Pilot 규모의 가압부상 장치 및 막결합형 생물반응조

본 연구에서는 처리규모별 범규 만족을 위하여 1단계 MLE 유출수를 이용하여 후처리 공정실험 결과 최적의 공정으로 FeCl_3 와 유기 응집제를 이용한 가압 부상공정이 도출되어 졌으며 이 실험결과를 통하여 Pilot 규모의 가압부상 장치를 제작하였다. 현장의 원활한 실험을 위하여 1단 MLE 유출수를 3m' polyethylene 저류조에 저류시켜 실험을 실시하였으며 급속교반 장치로는 In-line mixer를 설치하였고, 완속교반 장치로는 15~20 rpm회전의 교반모터가 설치되어진 교반조를 설치하였다. 1단 MLE 유출수와 가압부상여액은 각각의 1HP 수중펌프를 이용하여 이송하였다. FeCl_3 과 유기 응집제는 정량 펌프를 이용하여 정량으로 주입했다. 그림 5-2은 현장에 설치되어진 Pilot 규모의 응집/부상 장치의 사진이다.

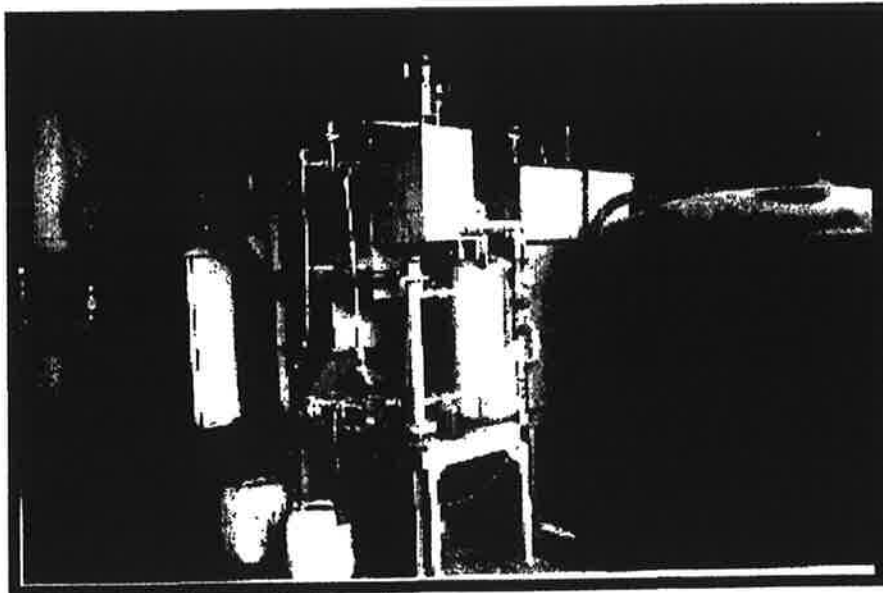


Fig. 5-2. The picture of pilot scale coagulation/flocculation device

실험실 규모의 막결합형 생물반응조 운전으로부터 도출된 설계 및 운전 조건을 이용하여 Pilot 규모의 막결합형 생물반응조를 설계하여 약 80일간 운전하였다.

앞에서 언급한 것과 같이 1단 MLE 유출수를 3m' polyethylene 저류조에 저류시킨 다음 3일에 한번씩 가압부상을 운전하였으며 응집/부상 여액은 1HP 수중펌프를 이용하여 3m' polyethylene 저류로 이송하였다. 막결합형 생물반응조의 유효 용량은 총 2.0m'이며 폭기조와 무산소조의 부피는 2:1로 제작하였다. 유입수의 정량 주입을 위하여 Piston pump를 설치하였으며, 내부 반응은 1/3 HP 용량의 수중펌프를 이용하여 유입 유량의 5배로 운전하였다. 분리막으로의 가압펌프로는 3 HP 용량의 원심펌프를 사용하였으며, 가압펌프의 보존 차원에서 폭기조에서 분리막으로 흡입되는 부분에 mesh screen를 설치하였다. Pilot 규모의 막결합형 생물반응조에 이용된 분리막의 특성은 실험실 규모의 실험때와 동일한 분리막을 사용하였으며, 막면적은 6m'이었다. 외부탄소원으로는 실험실 규모의 실험 운전 결과에 따라 정량펌프를 이용하여 주입하였다. 그림 5-3은 실험에 이용된 분리막의 사진이고, 그림 5-4은 Pilot 규모의 막결합형 생물반응조의 사진이다.

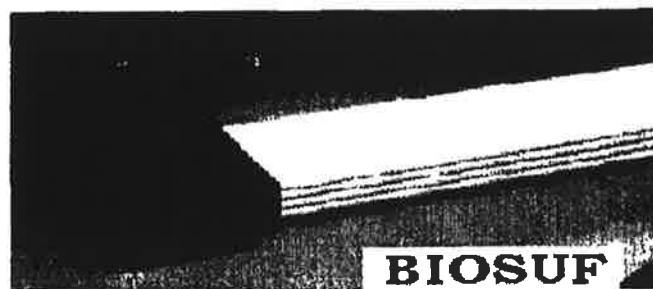


Fig. 5-3. Crossflow membrane of Polyether-sulfone type

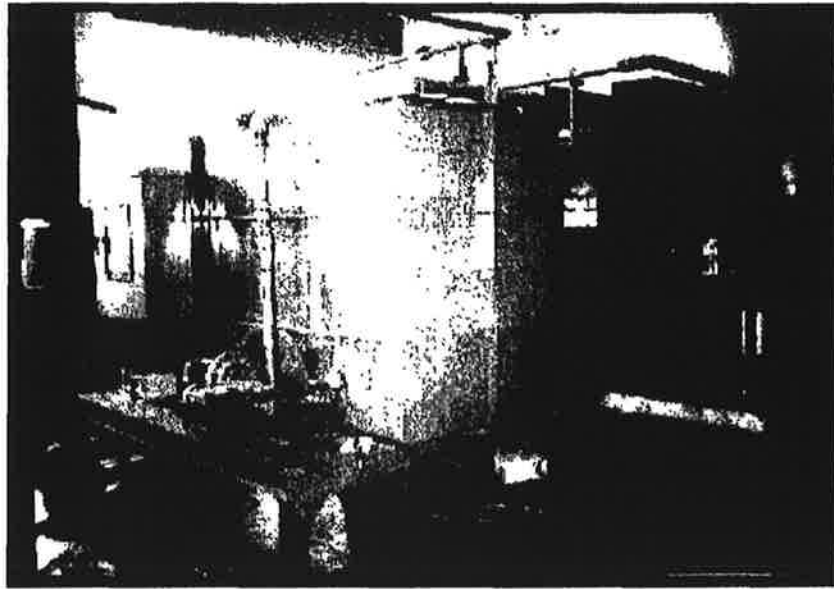


Fig. 5-4. The picture of Pilot scale biological process coupled with crossflow membrane

2. 결과 및 고찰

생물학적 폐수처리 공정은 반응조에 고농도의 미생물을 어떻게 유지하느냐가 그 공정의 성패를 좌우하게 된다. 일반적으로 침전조의 침전 특성을 고려한 폭기조에서의 미생물 유지는 슬러지 체류 시간(SRT, Sludge Retention Time)을 제어함으로써 미생물 농도를 유지한다. 그러나 너무 높은 슬러지 체류시간으로 운전할 경우 침전성이 불량해져 폭기조의 미생물농도를 유지하는데 실패하게 되며 결국 공정 전체가 실패하게 된다. 그러므로 막결합형 생물반응조의 경우 침전성과 관계없이 운전하므로 인위적인 SRT를 조절할 수 있어 조작이 간단하여 최근 각광 받는 기술로 부상하고 있다(AWWA Research Foundation, 1996). 특히 반응조에 고농도의 미생물 유지가 가능하므로 처리 용량을 극대화할 수 있으며, 분리막에 의한 슬러지와 처리수의 분리는 물리적으로

이루어지므로 유출수의 처리 수질을 완벽하게 유지할 수 있다. 그러나 분리막을 적용한 공정의 경우 막오염에 의한 투과유량의 감소는 공정의 성패여부 및 시설 투자비와 밀접한 관계가 있으므로 막결합형 생물반응조 역시 투과유속의 감소는 극복해야 할 문제 중의 하나이다.

본 장에서는 앞장에서 도출된 1단 MLE 공정 후 응집/부상 여액을 이용하여 막결합형 생물반응조를 운전하였으며 투과유속 향상 및 축산폐수 공공처리장 규모의 법적 규제 기준 만족을 위하여 분말활성탄(Powdered Activated Carbon)을 첨가한 막결합형 생물반응조를 동시에 운전하였다. 그러므로 이 실험에서는 기초 실험 차원에서 청수를 이용하여 막면유속 변화에 따른 투과속도, 전단계 응집/부상 공정시 첨가되는 Fe가 잔류함에 따른 투과유속에 미치는 영향 및 유입수의 C/N 비 변화에 따른 탈질을 평가 등을 수행하였다.

또한 분말활성탄첨가에 의한 Flux 향상 및 분말활성탄 Bioregeneration에 대한 영향을 정량화하기 위하여 등은 흡착 실험을 수행한 결과를 기초로 분말활성탄을 첨가한 경우와 첨가하지 않은 막결합형 생물반응조를 동시에 운전하여 분말활성탄 첨가에 따른 투과유속 향상 및 분말활성탄이 폭기조 내에서 미치는 영향을 실험적으로 규명하여 정량화 하였으며, 공공처리장의 법적 규제기준 만족을 위한 분말활성탄 첨가량을 제시하였다.

가. 막결합형 생물반응조를 위한 기초 실험

1) 최적 막면유속 결정

본 연구에 사용된 분리막은 Membratex사에서 제조한 Polyestersulfone 계열의 한외여과막인 Memturf[®] Membrane 중 일부분을 잘라

서 사용하였다.

막결합형 분리막으로 유입되는 압력 펌프는 피스톤 펌프를 사용하였으며 이때의 TMP 변화에 따른 투과속도와의 관계를 도출하였다. 그림 5-5은 TMP와 투과유속과의 관계를 보여주는 것으로 막면유속이 증가함에 따라 투과유속이 증가하는 경향을 보여주었으나 각각의 막면유속에서 TMP가 2.1 atm 이상인 경우에는 투과속도에 미치는 영향은 거의 나타나지 않았으며 일정 TMP에서는 임계값을 나타내었다. 이는 일정 압력이하에서는 수리학적 저항과 비가역적 막오염에 의해 지배를 받으나, 높은 압력에서는 무시할 수 있음을 의미한다. 그림 5-6는 막면유속과 투과유속과의 관계를 나타낸 것으로 막면유속이 1.8 m/sec 이상에서는 막면유속이 증가하여도 투과속도에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타나 연속식 실험에서는 막면유속을 1.8m/sec로 고정하여 실험하였다.

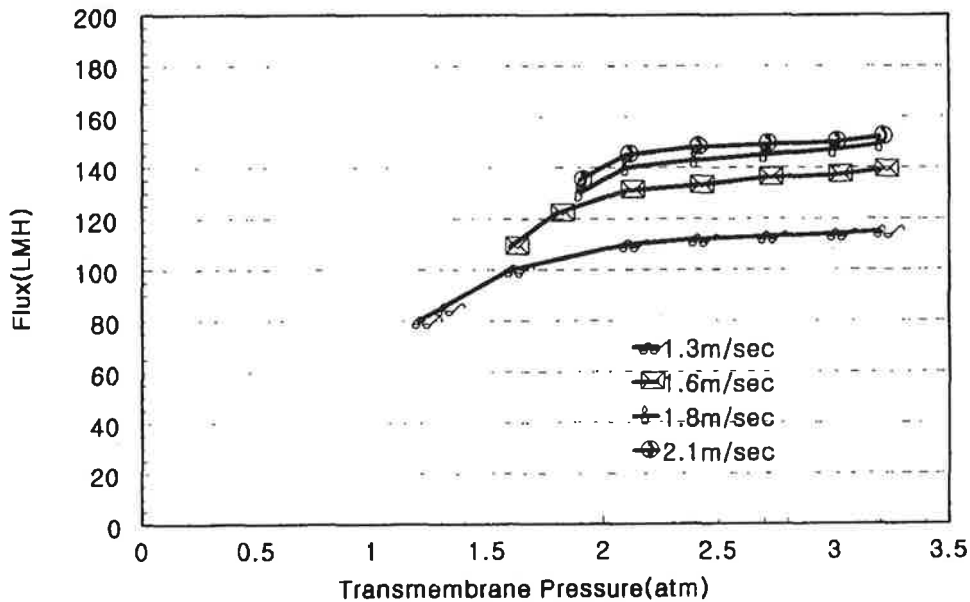


Fig. 5-5. The effect of transmembrane pressure on the flux.

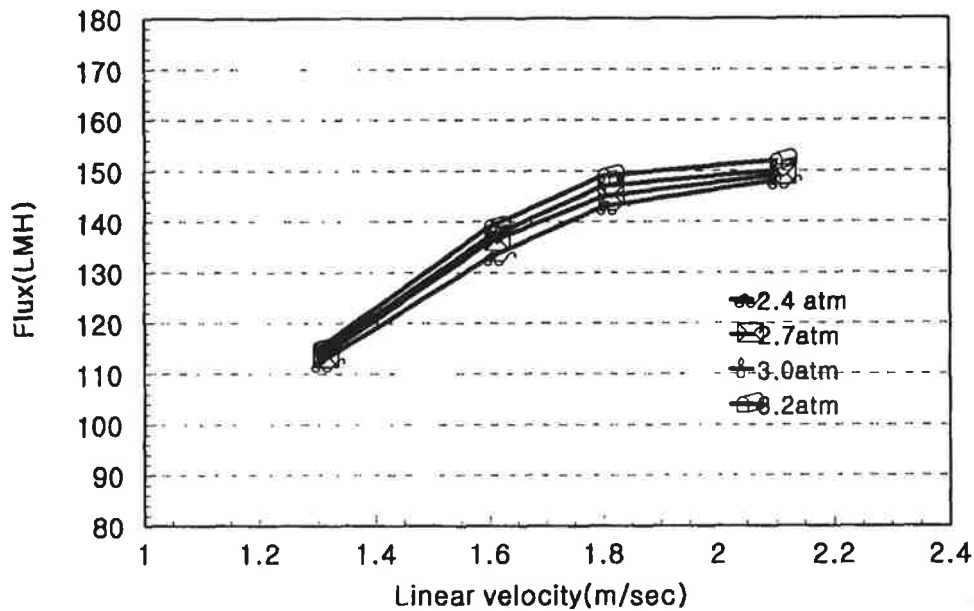


Fig. 5-6. The effect of linear velocity on the flux.

2) C/N비 변화에 따른 탈질율 변화

이 실험은 1단 MLE 공정 후 응집/부상 여액을 대상으로 2단 막결합형 생물반응조 운영을 위한 기초 자료를 확보하기 위하여 탈질시 요구되는 전자공여체의 첨가량을 결정하기 위하여 수행되었다. 응집/부상 여액의 경우 탈질시 요구되는 생물학적 분해 가능한 유기물질이인 BOD₅의 농도가 5~20mg/l 미만이므로 유입수의 NH₃-N에 비하여 절대적으로 부족하므로 질산화 공정만을 운전한 후 전자공여체로서 메탄올을 유입수의 COD_{Cr}/NO_x-N비로 Control, 2, 4, 6, 8, 10으로 첨가하여 실험하였다. 이때 빠른 적응단계를 통한 질산화를 진행시키기 위하여 사용한 1단 MLE 반응조의 슬러지를 이용할 경우 원활한 질산화가 진행되지 않았을 뿐만 아니라 투과유속 감소가 급격히 발생하여 운전개시후 10일 만에 운전을 중단하는 결과를 초래하였다. 이는 고농도에 적용된 슬러지의 경우 1단 생물학적 처리후 잔류하는 SMP 물질이 슬러지내에 존재하므로 저농도의 NH₃-N에 있어서 저해인자로 작용하는 것

으로 사료되며, 슬러지내에 포함된 부식질에 의한 막오염 현상이 급격히 진행되어 공정의 실패를 초래하였다. 따라서 향후 실험에서는 기존의 슬러지를 교체하여 오수처리장 슬러지를 이용하여 실험을 수행하였다. 그 결과 약 36시간 경과후 용존성 $\text{NH}_3\text{-N}$ 농도가 2mg/l 로서 완벽한 질산화가 진행되어 5개의 회분식 반응조에 배분하여 Anoxic 상태에서 메탄을 첨가에 따른 탈질 속도를 측정하였다.

그림 5-7은 회분식 반응조를 Anoxic 상태로 운전하면서 시간경과에 따른 반응조의 용존성 $\text{NO}_x\text{-N}$ 농도를 분석한 것으로서 C/N비 4까지 유입 C/N비에 따라 탈질량에 월등한 차이를 보여주었으며, C/N비 6, 8, 10의 경우 운전 54시간 경과 할 때까지 거의 차이를 나타내지 않았다. 그림 5-8는 5시간 경과후 C/N비에 따른 탈질율과 $\text{NO}_x\text{-N}$ 농도를 측정된 것으로 C/N비 6이상에서는 그래프의 기울기가 0차 반응이므로 향후 연속식 실험에서는 외부탄소원으로 메탄을 첨가량을 C/N비 6으로 결정하여 실험하였다.

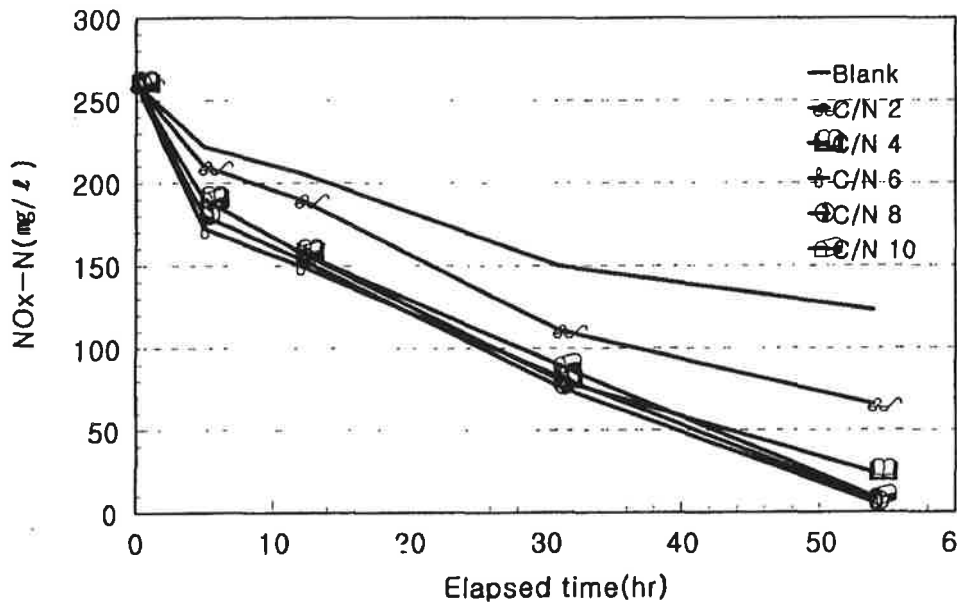


Fig. 5-7. Change of $\text{NO}_x\text{-N}$ in anoxic batch reactor with different C/N ratio.

이론적으로 탈질시 요구되는 메탄올의 양은 $2.47\text{gMeOH/gNO}_3^- \text{-N}$ 으로 이는 COD_{Cr} 으로는 $3.7\text{g COD/gNO}_3^- \text{-N}$ 으로 Menteith 등(1980)의 실험 결과에 의하면 기질을 인공폐수로 이용할 경우 $3.2\sim 6.0\text{ gCOD/gNO}_3^- \text{-N}$ 요구된다고 주장하였으며, 산업폐수를 대상으로할 경우 $2.2\sim 10.2\text{ g COD/gNO}_3^- \text{-N}$ 가 요구되었다. 본 실험에서는 전자공여체를 제한 요소로 두지 않을 경우 C/N비 6이상에서 안정적인 탈질을 보여주었으며, 외부탄소원을 전혀 주입하지 않은 Control의 경우 운전 직전 반응조의 경우 SCOD_{Cr} 및 $\text{NO}_x\text{-N}$ 의 경우 각각 150mg/l 및 260mg/l 으로 유입 기질의 BOD_5 가 3.5mg/l 으로 이론적인 전자공여체의 절대적 부족에도 불구하고 $2.08\text{ mg/l} \cdot \text{hr}$ 의 속도로 탈질이 진행되는 것으로 나타났다. 이는 미생물 자산화에 의한 탈질로 사료되며 탈질조의 미생물 농도가 더 높은 경우 메탄올 첨가량을 더욱 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

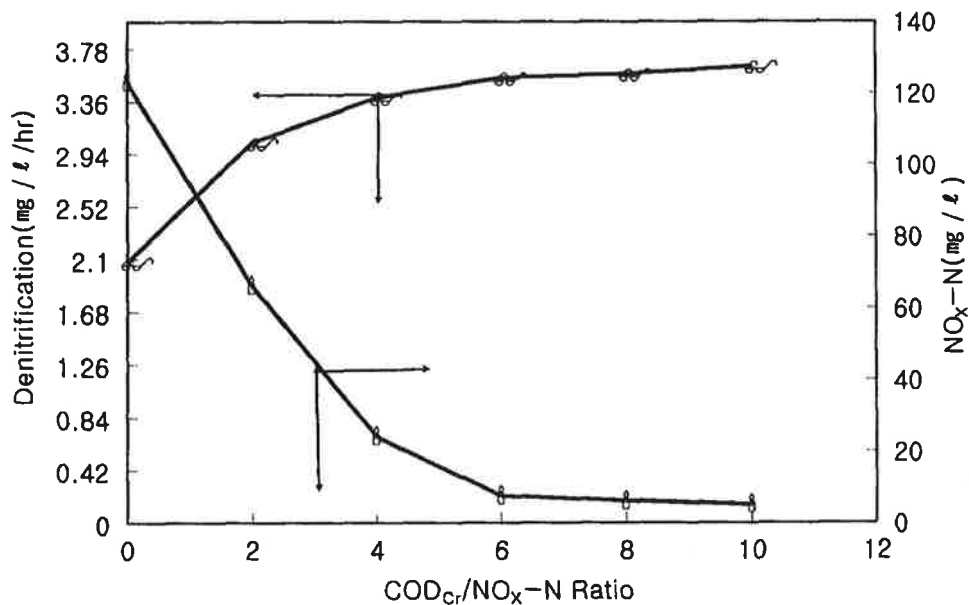


Fig. 5-8. The effect C/N ratio on denitrification rate and $\text{NO}_x\text{-N}$ concentration.

3) 등은 흡착 실험

일반적으로 고농도 유기물이 포함된 생물학적 처리는 처리수에 다량의 SMP 및 난분해성물질이 발생하거나 함유되어 있어 현재 국내 법규에서 규제하고 있는 COD_{Mn}의 방류수 기준을 만족하기에는 많은 어려움이 있다. 특히 침출수나 무회석된 슬러리 돈사의 축산폐수 경우 이러한 문제가 더욱 심화되어 기존의 공정으로 경제적이면서 실용화가 가능한 기술의 개발은 미비한 상태이다. 그러므로 본 연구에서는 국내법을 만족하는 방류수 수질기준 및 향후 진행할 막결합형 생물반응조의 효율적 운영을 위하여 분말활성탄을 폭기조에 첨가하는 실험을 위하여 등은 흡착 실험을 수행하였다.

그러므로 본 연구에서는 2단 막결합형 생물반응조에서 분말활성탄 첨가에 따른 투과유속 향상과 생물학적 반응조에서 분말활성탄첨가에 따른 흡착능 및 생물학적 재생양을 정량화 하기 위하여 기초 실험으로 1단 MLE공정 유출수의 응집/부상 여액을 대상으로 등은 흡착 실험을 수행하였다. 이 보다 앞서 수행된 예비 실험을 통하여 도출된 평형 도달 시간은 24시간이었으며 분말활성탄 흡착능을 평가하기 위하여 첨가 농도를 0~5g/l의 범위에서 첨가하여 첨가 전후의 COD_{Cr}과 COD_{Mn}을 분석하였다. 폐수처리 이외의 액상흡착에 관해서는 흡착되기 쉬운 용질이 용해도가 크지 않은 용매에서 흡착될 때에는 BET법이 적용된다.

식(5-1)은 Freundlich식을 나타낸 것으로 이때 k값이 커지면 활성탄의 흡착능이 커지고, 1/n의 값이 0.1~0.5일 때 흡착이 용이하며, 1/n > 2에서는 흡착이 어렵다. 바꾸어 말하면 1/n > 2일 때 사용활성탄 양을 증가시켜도 피흡착질의 농도가 저하됨에 따라서 효과적이지 않다.

$$\frac{X}{M} = kC^{\frac{1}{n}} \text{-----}(5-1)$$

여기서 ;

X = 흡착된 기질의 양

M = 활성탄 양

C = 기질의 평형 도달 농도

k, n = 상수

일반적으로 폐수처리에는 Freundlich식이 근사적으로 성립하고 본 실험 역시 Freundlich식이 잘 적용되는 것으로 나타났다. 그림 5-9은 COD_{Mn} 및 COD_{Cr}에 대한 등온 흡착 실험 결과를 나타낸 것으로 COD_{Mn}의 경우 k값은 4.67이며, 1/n값은 1.22로 나타났으며, COD_{Cr}의 경우 k값은 1.88이며, 1/n값은 1.06으로 나타났다. 그러므로 이 실험을 통하여 COD_{Cr} 보다는 COD_{Mn}을 유발하는 유기물질이 흡착이 더 용이함을 알 수 있다.

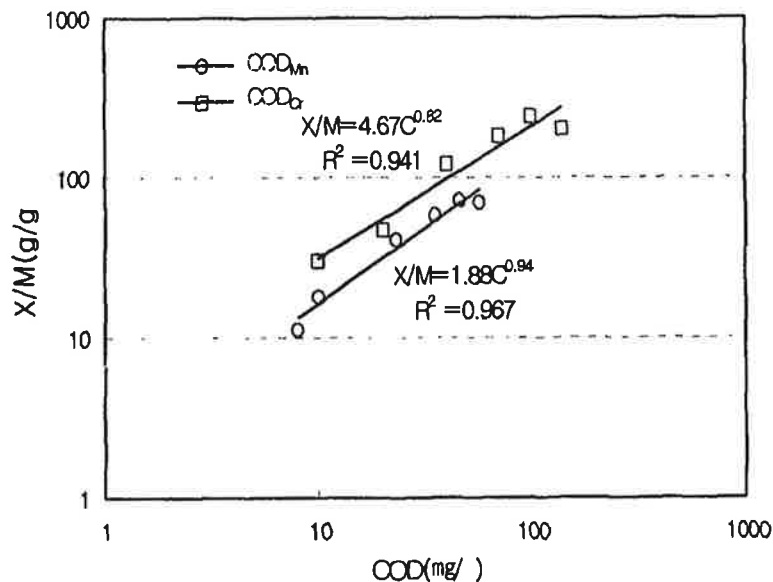


Fig. 5-9. Activated carbon isotherm adsorption to COD_{Cr} and COD_{Mn}

나. 분말활성탄 첨가에 따른 영향 인자

1) 최적 분말활성탄 첨가량 결정 실험

본 실험에서는 막결합형 생물반응조에 분말활성탄 첨가에 따른 미생물 활성도 증가 및 분말활성탄의 Bioregeneration량을 정량화하기 위하여 2조의 반응조를 분말활성탄 첨가 유무를 기준으로 동시에 운전하는 연속식 실험을 수행하였다. 이때 앞서 수행된 회분식 실험을 통하여 탈질을 위한 외부탄소원 첨가를 위해 공업용 메탄올을 C/N비 6.0을 기준으로 첨가하였다. 질소 제거를 위한 PACT 공정에 첨가되는 외부탄소원인 메탄올의 경우 흡착능이 매우 약한 것으로 이미 문헌을 통하여 밝혀져 본 연구에서는 외부탄소원으로 메탄올을 선정하였다. R₁에는 분말활성탄을 첨가하지 않았으며, R₂에는 폭기조에 첨가하는 분말활성탄의 양을 기준으로 MLCC 3,000mg/l를 4일간에 걸쳐 첨가하여 동일하게 유입량을 HRT 2.5days을 기준으로 운전하였으나 그림 5-10에서 보여준 것처럼 실제 유입량은 유입 Pump의 잦은 막힘으로 인하여 실제로 유입되는 양이 5~6 l가 유입되었다. 따라서 본 실험에서는 Microsoft사의 Excel Program을 이용하여 유입량 변화에 따른 3차식을 도출하여 향후 연속식 PACT 공정에서 흡착능 평가 실험에 적용하였다. 한편, 분말활성탄의 흡착능이 소진하는 경과일수 즉, 각각의 반응조의 Permeate의 COD가 동일해지는 경과일 수까지 한정하여 실험을 진행하였다. 따라서 분말활성탄을 첨가하지 않은 반응조(R₁)에서 분말활성탄을 첨가한 반응조(R₂)의 COD 농도를 감해주어 약 27일간에 걸쳐 유입된 폐수의 양을 곱할 경우 이 값은 분말활성탄에 의해서 흡착된 양과 미생물 활성도 증가에 따른 유기물 제거의 상승작용 및 미생물에 의한 분말활성탄의 생물학적 재생으로 고려 할 수 있다.

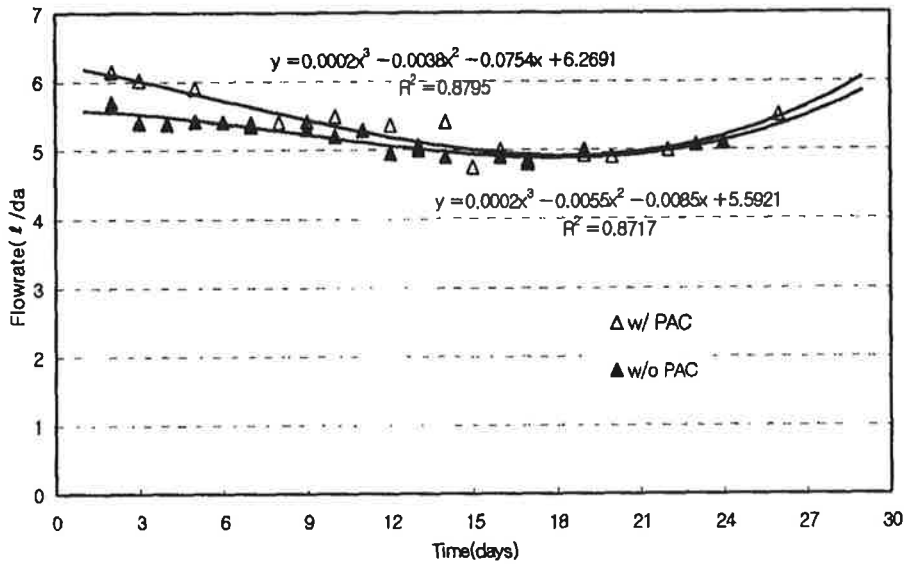


Fig. 5-10. Influent volume for MBR with PAC

이와 같은 관계식을 나타내면 식(5-2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 & [\text{Permeate COD}_{Mn} \text{ of } R_1 - \text{Permeate COD}_{Mn} \text{ of } R_2] \times \text{Operation} \\
 & \text{days}(27\text{day}) \times \text{flowrate}(\ell/\text{day}) = \frac{\text{mg COD}_{Mn}}{\text{g PAC}}
 \end{aligned}
 \tag{5-2}$$

그림 5-11은 분말활성탄 첨가 유무에 따른 Permeate의 COD_{Mn}으로서 회색부분이 분말활성탄에 의한 영향으로 제거율이 향상된 부분을 나타낸 것이다. 따라서 회색 부분을 정량화하기 위해서는 그림 5-10의 유량과 그림 5-12과 그림 5-13에 나타낸 각각의 식(5-2)를 이용하여 Numerical Method를 적용하여 부록 1의 Fortran Program을 이용하여 연산 결과 COD_{Mn} 과 COD_{Cr}이 각각 5193mg, 11659mg으로 도출되었다.

그러므로 R₂에 첨가한 분말활성탄의 농도가 MLCC 3000mg/ℓ 이고 반

용조의 부피가 22.5 l 이므로 총 투입량은 67.5g의 분말활성탄을 첨가하였다. 따라서 76.9 mgCOD_{Mn}/gPAC 이므로 앞절의 등온 흡착 실험에서 흡착할 기질의 양이 충분하다고 가정할 경우 즉, 분말활성탄 첨가량을 0~1 g/l 로 할 경우 평균값은 47.5 mgCOD_{Mn}/gPAC의 도출된 값을 감하여 순수한 미생물 활성도 증가 및 분말활성탄의 Bioregeneration에 의한 분말활성탄 흡착능 증가량을 계산할 수 있다.

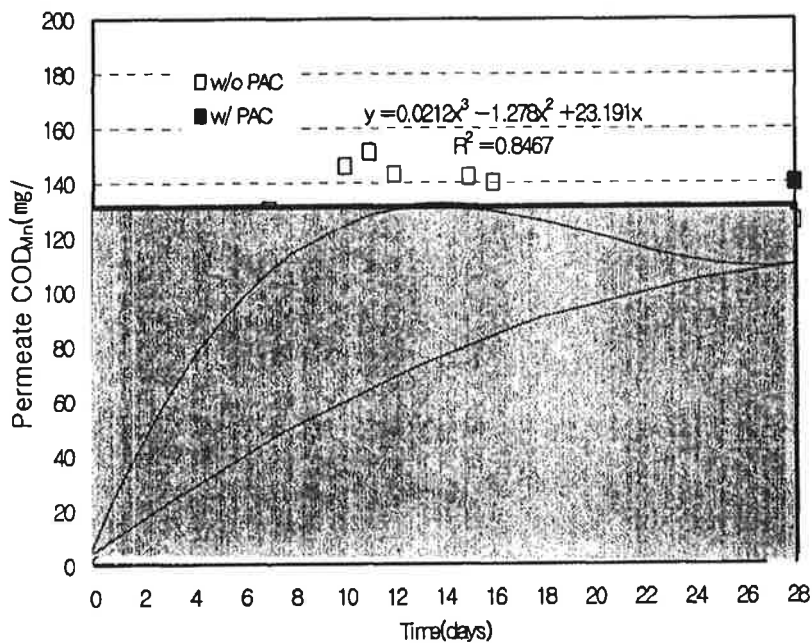


Fig. 5-11. The effects of PAC addition on COD_{Mn} of permeate.

즉 COD_{Mn}에 대한 흡착능 증가량은 “76.9 - 47.5 = 29.4 mgCOD_{Mn}/gPAC” 이다. 한편 처녀 분말활성탄에서 흡착능의 증가분이 61.9%로 막 결합형 생물반응조 공정에 분말활성탄을 첨가할 경우 COD_{Mn} 제거량이 증가하여 후단에 활성탄 흡착탑을 설치하는 것보다 분말활성탄 흡착량에서 훨씬 효율적임이 밝혀졌다.

한편 위와 동일한 방법으로 그림 5-11에 나타낸 COD_{Cr}에 대한 분말활성탄 첨가에 따른 COD_{Cr} 제거량에 대한 증가율을 계산하면 다음과 같다. 그림 5-11의 빗금친 부분과 각각의 유입 유량에 대한 식을 Numerical Method를 통하여 적분하면 11659mg으로 172.7 mgCOD_{Cr}/gPAC으로 나타났으며 0~1g 분말활성탄 첨가시에 평균 등은 흡착량 145 mgCOD_{Cr}/gPAC를 감하여 분말활성탄 첨가에 따른 생물반응조에서의 흡착량 증가는 27.7 mgCOD_{Cr}/gPAC으로 나타났다. 그러므로 COD_{Cr}의 경우 처녀 분말활성탄 대비 19.1%의 증가량을 보여주었으며, 이는 COD_{Mn}에 비해 훨씬 작은 증가량을 나타내었다. 또한 등은 흡착 실험과 동일한 결과를 나타낸 것으로 막결합형 생물반응조에 분말활성탄 첨가시 COD_{Cr} 보다는 COD_{Mn}의 제거에 보다 효율적인 것으로 나타났다.

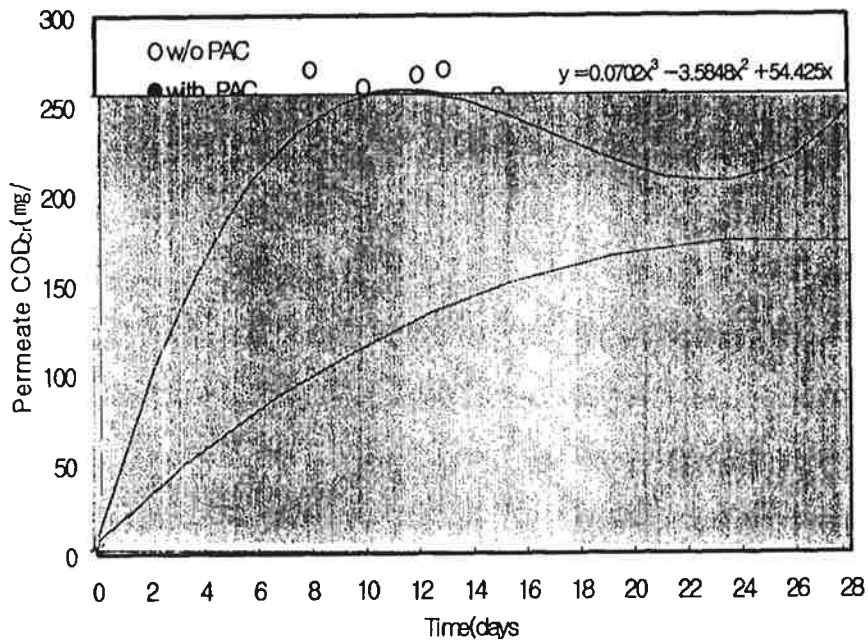


Fig. 5-12. The effects of PAC addition on COD_{Cr} of permeate.

한편 w/o PAC 공정의 막결합형 생물반응조의 Permeate의 COD_{Mn}이 그림 5-9에 의해 약 80mg/l로 가정하고 공공처리장의 축산폐수 배출 허용 기준을 고려하여 목표 수질을 40mg/l로 계획하고, HRT를 2.5days(반응조 부피 22.5 l, 9 l/d)로 운전할 경우 다음과 같은 방법에 의해 법적 규제 기준을 만족하기 위한 분말활성탄 첨가량을 도출하였다.

$(80 - 40)\text{COD}_{\text{Mn}} \text{ mg/l} \times 9 \text{ l/day} \div 76.9 \text{ mgCOD}_{\text{Mn}}/\text{gPAC} = 4.68 \text{ g PAC req'd/day}$ 이므로 $4,680\text{mg PAC req'd/day} \div 22.5 \text{ l} = 208\text{mg/l}$ 즉, 반응조 단위 부피당 MLCC 200mg의 처녀 PAC이 요구된다. 그러나 SRT에 따라 생물반응조의 MLCC 농도가 상이하므로 SRT를 고려하여 최소한 MLCC 200mg/l 이하로 첨가할 경우 충분히 안정적 처리 효율을 기대할 수 있을 것으로 사료되며 향후 연속식 실험에서는 SRT를 40day로 운전하면서 MLCC를 200mg/l로 첨가하였다.

2) 분말활성탄 첨가가 막결합형 생물반응조에 미치는 영향

본 실험에서는 앞절의 연장선상에 있는 실험으로서 SRT를 고려하지 않을 경우 반응조내에 전단계의 응집/부상 공정중 잔류되는 Fe로 인해 Fe 침전물이 반응조내에 축적되는 것이 관찰되어 본 실험에서는 분말활성탄 첨가 유무에 관계없이 SRT를 40일하여 운전하였으며, 운전개시 68일 후에는 분말활성탄을 첨가하지 않은 R₁ 반응조의 경우 역시 분말활성탄을 MLCC 200mg/l로 첨가하였으며, 이 시점부터는 SRT를 50일로 운전하였다. 이때 운전개시 전 기존의 막결합형 생물반응조에서 Bioregeneration 및 미생물활성도 증가에 관한 실험 수행시 사용하였던 분리막을 청수 및 NaOCl 200mg/l as Cl₂로 30분간 Rinse후 재사용하였으며, 기존의 SRT를 제어하지 않으므로써 폭기조에 SCOD 축적으로 Flux 감소를 초래하여 실험실에서 Fed Batch방식으로 적용된 슬러지를 이용하여 재 Seeding 하였다. 또한 앞절과 동일하게 유입되는 T-N 농

도를 고려하여 외부탄소원으로 메탄올을 C/N 6.0을 기준으로 첨가하였으며 수리학적 체류시간은 2.5일로 동일하게 운전하였다. 막결합형 생물 반응조의 유입수는 실험 기간중 Pilot 규모의 1단 반응조의 유출수를 이용하여 실험실에서 응집/부상 공정을 적용한 후 상등액을 채취하여 유입수로 사용하였으며 표 5-4은 100일간에 걸친 실험 기간중 유입한 시료의 평균 및 표준편차를 나타낸 것이다. 유기물 농도 분포는 평균대비 표준편차의 비가 BOD₅와 COD_{Cr}의 경우 26.3%와 26.7%로 나타난 반면, COD_{Mn}의 경우 17.3%로 COD_{Mn}의 경우 응집/부상후 비교적 일정한 농도 특성을 보여주고 있다. 한편, 질소의 농도 분포 특성은 NH₃-N, 유기 질소, NO₃⁻-N 각각의 평균대비 표준편차의 비가 100~200%로 현장 운전 조건에 따라 농도 변화가 큰 것으로 보이나 실질적으로 1단 MLE 반응조의 유입수대비 유출수의 농도 변화는 적을지라도 2단 막결합형 생물반응조의 유입수 농도 변화는 큰 것으로 나타났다. T-P 농도의 경우 평균 7.4±3.5mg/ℓ 으로서 처리 단계별로 별도의 처리 공정을 적용하지 않아도 지금까지의 공정만으로도 공공처리장의 법적 규제 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

Table 5-4. Characteristic of influent for MBR process

Items	Organic Concentration(mg/ℓ)			Nitrogen(mg/ℓ)				T-P (mg/ℓ)
	BOD ₅	COD _{Cr}	COD _{Mn}	NH ₃ -N	Org.-N	NO ₃ ⁻ -N	T-N	
Average	16.0	434.5	211.7	125.3	21.3	67.7	164.7	7.4
Standard Deviation	4.2	116.2	37.0	115.1	10.9	146.4	144.4	3.5

그림 5-13는 실험 기간중 분말활성탄 첨가 유무에 따른 유출수의 COD_{Mn}과 투과유속을 나타낸 것으로 그림에서 보여주는 바와 같이 지

속적으로 분말활성탄을 첨가한 R₂의 경우 유출수의 COD_{Mn}이 지속적으로 50mg/l 이하를 나타내었으며, 운전개시 70일 전까지 분말활성탄을 첨가하지 않은 R₁의 경우 SRT를 50일로 제어할 경우 SRT를 제어하지 않은 경우에 비하여 투과유속 감소는 현격하게 줄었지만 분말활성탄을 첨가한 R₂보다는 약 30~40% 정도 낮게 유지되었다.

한편 분말활성탄을 운전 개시부터 첨가하기 시작한 R₂의 반응조에서는 운전 개시 10일 전까지 투과유속이 급격히 증가하는 현상이 나타났는데 이는 기존의 분리막을 이용한 생물반응조에서 일반적으로 대두되는 현상과 반대되는 양상을 나타내었다. 이는 기존에 분말활성탄이 첨가되지 않은 상태에서 운전개시 첨가하기 시작한 분말활성탄이 Inner Skin Membrane 형태의 분리막에서 층류를 형성하여 일정기간 투과유속이 상승하는 것으로 사료된다.

분말활성탄을 첨가 유무에 따라 투과유속이 30LMH이하로 감소되는 시기는 R₁의 경우 운전개시 40일 경과후로 나타난 반면, R₂의 경우에는 운전개시 85일 경과후에 예야 관찰되었다. 따라서 분말활성탄의 첨가는 유출수의 유기물 농도뿐만 아니라 막결합형 생물반응조의 투과유속 측면에서도 매우 유리한 것으로 나타났다. 또한 R₁의 경우 운전개시 70일 경과후 분말활성탄을 첨가한 결과 투과유속 및 유출수의 COD_{Mn}이 R₂와 유사한 결과를 나타내었다.

그림 5-14은 유출수의 질소 변화를 나타낸 것으로 분말활성탄 첨가 유무에 관계없이 운전 개시 25일까지는 유출수의 T-N 농도가 유사하게 나타났으나 25일 경과후 분말활성탄을 첨가한 R₂에서 훨씬 양호한 효율을 나타내었다. 그러나 30일부터 60일 사이에는 유출수의 질소 농도가 비교적 높게 나타났는데 이는 시기적으로 혹한기여서 반응조의 온도가 10℃이하로 떨어짐에 따라 질소 제거 효율이 불량한 것으로 나타났다.

그러나 현장에서의 질소 제거율이 안정적으로 이루어질 경우 막결합

형 생물반응조에서 질산화미생물의 적응기간은 분말활성탄을 첨가한 반응조가 훨씬 빠르게 적응하는 것으로 나타났으며, R₁ 반응조에 분말 활성탄을 첨가하기 시작한 68일 경과후 질소제거율은 극적으로 회복하는 것이 관찰되었다.

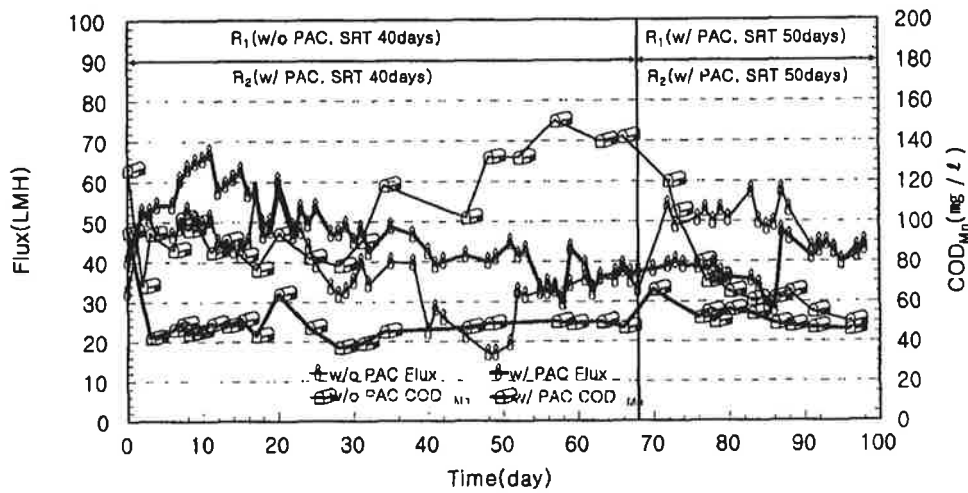


Fig. 5-13. Behavior of flux and permeate COD_{Mn} in the reactor with PAC

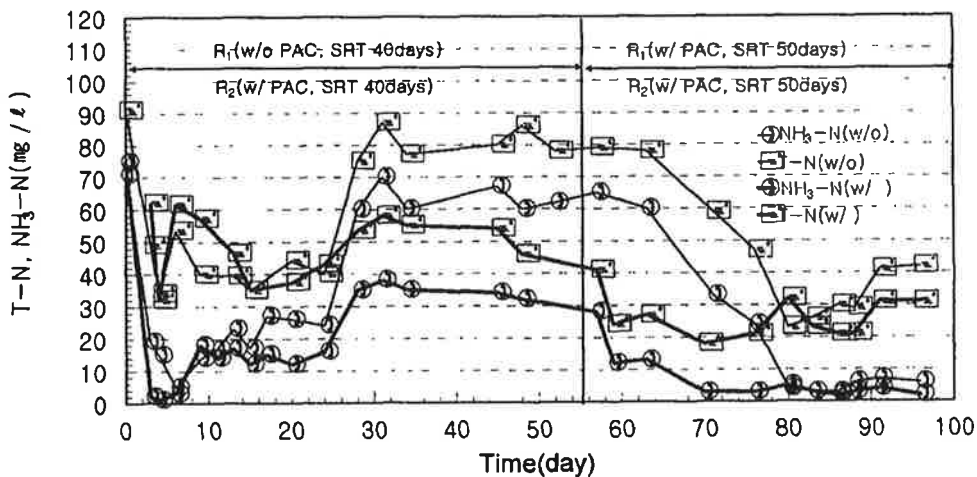


Fig. 5-14. Behavior of permeate T-N and NH₃-N in the reactor with PAC

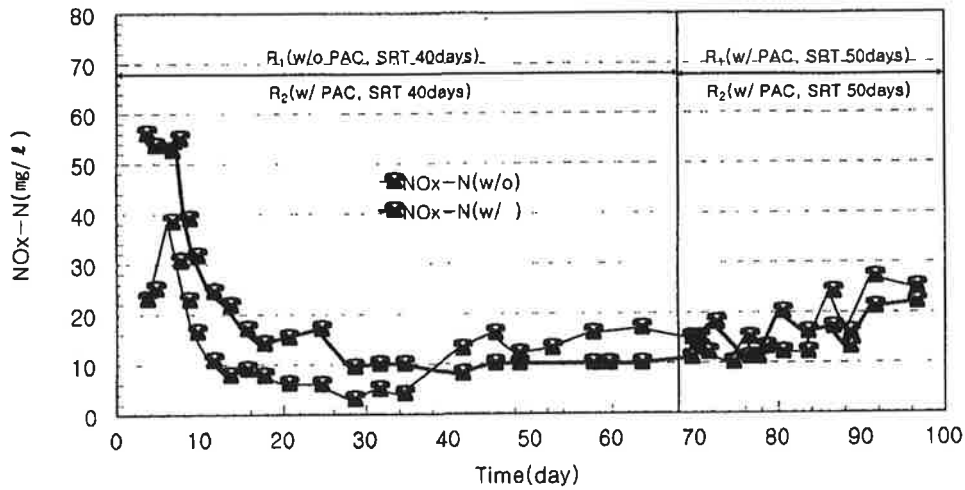


Fig. 5-15 Behavior of permeate NO_x-N in MBR with PAC

이는 분말활성탄이 반응조내에서 질산화 저해물질을 제어하는 것을 의미하는 것으로 분말활성탄 첨가가 질산화율 및 질소 제거율에도 유리하게 작용하는 것으로 나타났다. 한편 그림 5-13에 의하면 분말활성탄을 첨가한 R₂의 경우 축산폐수 공공처리장의 방류수 기준인 COD_{Mn} 50mg/l를 항상 만족하였으며, 그림 5-14에 나타낸 바와 같아 T-N 규제 기준 역시 분말활성탄을 첨가한 R₂는 항상 만족할 수 있었다.

그림 5-15은 유출수의 NO_x-N 농도 변화를 나타낸 것으로 운전개시 40일 전까지는 유출수의 약간 높게 나타났다. 이는 분말활성탄이 전자공여체로서 작용하는 외부탄소원의 작용을 방해작용이기 보다는 R₂의 경우 훨씬 높은 질산화율에 의한 것으로 사료된다.

3) 반응조내에 있는 입자 크기 특성

그림 5-16은 막결합형 생물반응조 질산화조 및 Pilot MLE 반응조의 질산화조의 입자 크기 분포를 나타낸 것으로 각각 MLSS를 채취하여 GF/C로 여과한 후 Filter 공극 크기(1.2 μ m, 0.7 μ m, 0.45 μ m, 0.2 μ m, 0.1 μ m, 0.02 μ m)에 따른 농도 특성을 파악하므로써 입자 크기와 막오염과의 관계를 고찰하였다. R₁, R₂의 경우 COD_{Cr}을 유발하는 입자 크기는 약

70% 정도가 $0.02\mu\text{m}$ 보다 적은 것으로 나타났으며, Pilot 질산화조의 경우 입자 분포가 $0.1\sim 0.02\mu\text{m}$ 사이의 입자 농도가 전체의 30%를 차지하고 있으며 이를 중심으로 정규 분포 곡선을 따르고 있음을 알 수 있다.

한편 질산화조의 슬러지를 이용하여 여과저항(r_s)에 관한 실험을 수행한 결과 분말활성탄을 첨가하지 않은 R_1 반응조의 경우 $5.86 \times 10^7(\text{m}/\text{kg})$ 이고 분말활성탄을 첨가한 R_2 의 경우 $3.58 \times 10^7(\text{m}/\text{kg})$ 로 탈수성이 R_2 가 보다 양호한 것으로 투과유속 역시 높은 것으로 나타났다. 한편 1단 Pilot MLE 반응조의 $2.6 \times 10^8(\text{m}/\text{kg})$ 로 막결합형 생물반응조의 여과저항 값보다 크므로 탈수성 및 투과유속이 낮은 것으로 사료된다.

4) 각각의 운전 단계별 Fe 농도 조사

다음의 표 5-5는 각각의 공정별 중금속 농도를 측정한 것으로 1단 MLE 유출수의 경우 FeCl_3 $3,500\text{mg}/\ell$ ($1,200\text{mg}/\ell$ as Fe)과 유기응집제 E-851 $10\text{mg}/\ell$ 를 첨가하여 처리하므로 막결합형 생물반응조에 잔류 Fe가 유입됨으로써 막오염에 미치는 영향을 관찰하였다.

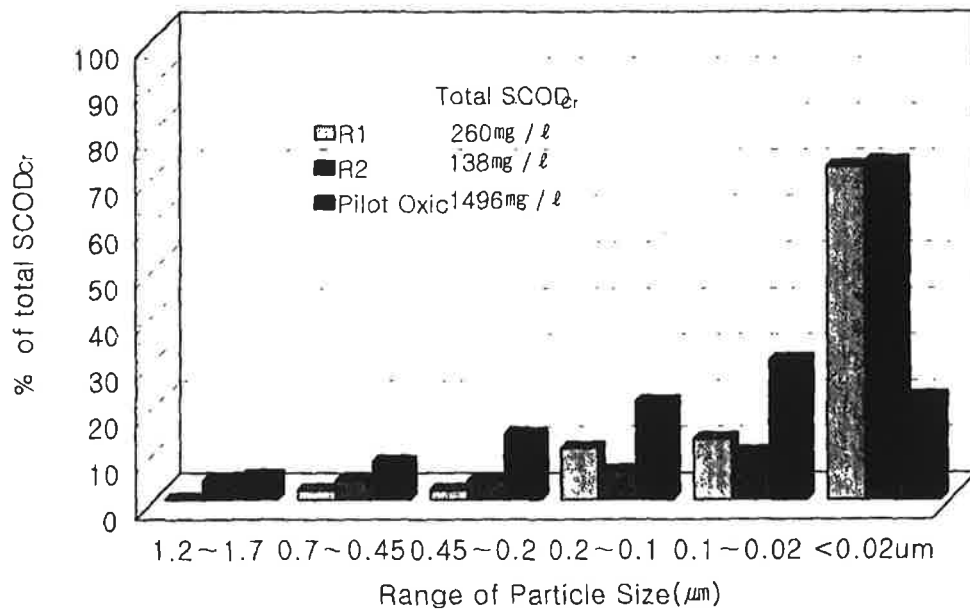


Fig. 5-16. Distribution of particle size affecting SCOD_{cr}

막결합형 생물반응조 폭기조의 Total Fe 농도는 1380mg/ℓ로서 비교적 높게 나타나나 Soluble Fe 농도는 3mg/ℓ로 나타났다. 결국 응집/부상 여액에서 잔존 Fe의 경우 막결합형 생물학적 반응조에서 응집제로서 작용하여 투과유속 향상에 유리한 작용을 할 것으로 판단된다.

Table 5-5. The concentration of metals existed in different stage of processes

		Effluent from 1st stage MLE process	Coagulation/Flotation supernatant	R ₁ Oxid reactor	R ₂ Oxid reactor	Remarks
Total (mg/ℓ)	Ca	84	156	161	-	As, Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Mn is the below 1mg/ℓ
	Mg	32	38	41	-	
	K	474	438	478	-	
	Na	728	794	1,350	-	
	Fe	6	411	1,380	-	
Soluble (mg/ℓ)	Ca	33	118	96	111	
	Mg	20	29	27	27	
	K	403	408	418	400	
	Na	548	648	1,085	1,043	
	Fe	2	395	3	0.5	

다. Pilot 규모의 막결합형 생물반응조를 이용한 유기물 및 질소 제거 특성

실험실 규모의 연구결과를 기초로 하여 Pilot 규모의 2단계 막결합형 생물반응조를 제작하여 약 70일간을 운전하였다. 2단계 막결합형 생물반응조의 유입수로는 앞장에서의 연구 결과와 같이 1단계 MLE 유출수를 3m³ 저류조에 저류하였다가 3일에 한번씩 Pilot 규모의 응집/부상 장치를 가동하여 얻어진 응집/부상여액을 사용하였다. 응집/부상 실험에

사용되어진 약품이 $FeCl_3$ 와 유기 응집제인데, $FeCl_3$ 의 영향으로 응집/부상 여액의 pH는 3.5~4.5를 나타내었다. 2단계 생물학적 처리를 하기 위하여 유입수의 pH를 NaOH를 이용하여 pH를 올려 주었다. 그림 5-17은 막결합형 생물반응조의 유입수로 이용되어진 응집/부상여액의 특성을 나타낸 그림이다.

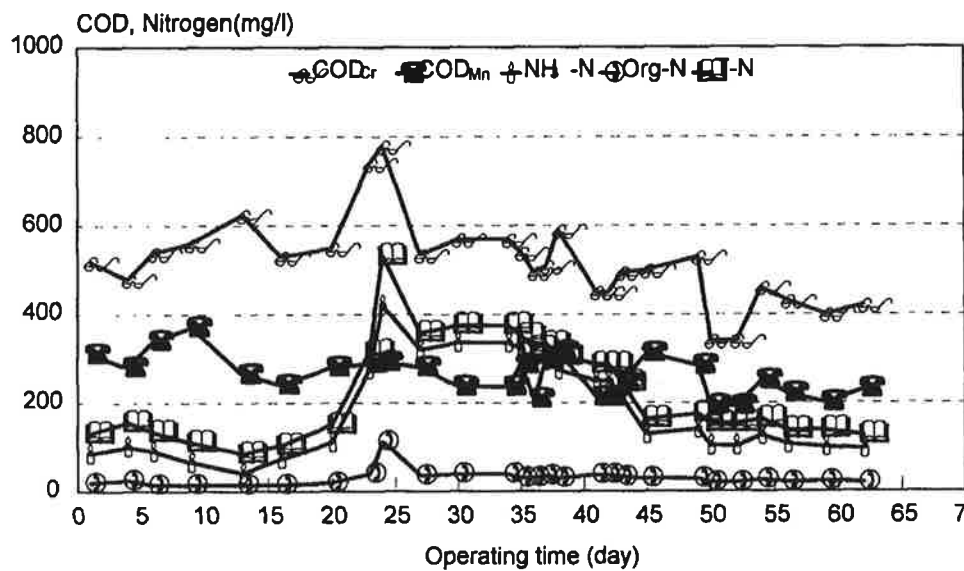


Fig. 5-17. Characteristics of influent for Pilot-Scale MBR

그림 5-18는 약 70일간의 막결합형 생물반응조 실험 결과로 막 투과유량과 COD_{Cr} , COD_{Mn} 의 특성을 나타내었다. 그림5-18에 나타난 것처럼 운전개시 후 45일 동안은 분말활성탄을 첨가하지 않고 실험을 하였고, 운전개시 후 45일 이후부터 분말활성탄을 첨가하여 실험을 수행하였다. 본 실험에 사용되어진 분리막은 Membratek사에서 제조한 Polyether-sulfone 계열의 한외여과막인 Memtuf[®] Membrane를 사용하였으며, 분리막의 면적은 6m²이었다.

운전초기의 분리막의 막 투과유량은 50LMH 정도였으며 운전개시 45

일 이후에는 막 투과유량이 30LMH정도를 유지하였다. 하지만 분말활성탄 첨가이후에 막 세척 없이도 막 투과유량이 42LMH까지 증가하는 결과를 알수 있었다. 막 세척없이도 분말활성탄 첨가이후에 막 투과유량이 증가한 것은 막 오염의 영향물질인 filterable 물질에 대한 물리적 흡착에 기인한 것으로 많은 연구자들이 실험을 통하여 발표하였다. COD_{Cr}과 COD_{Mn}에서도 분말활성탄 첨가이후에 급격히 저하되는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 분말활성탄의 slowly biodegradable 물질과 Non-biodegradable 물질에 대한 물리적 흡착에 기인한 것으로 추정한다.

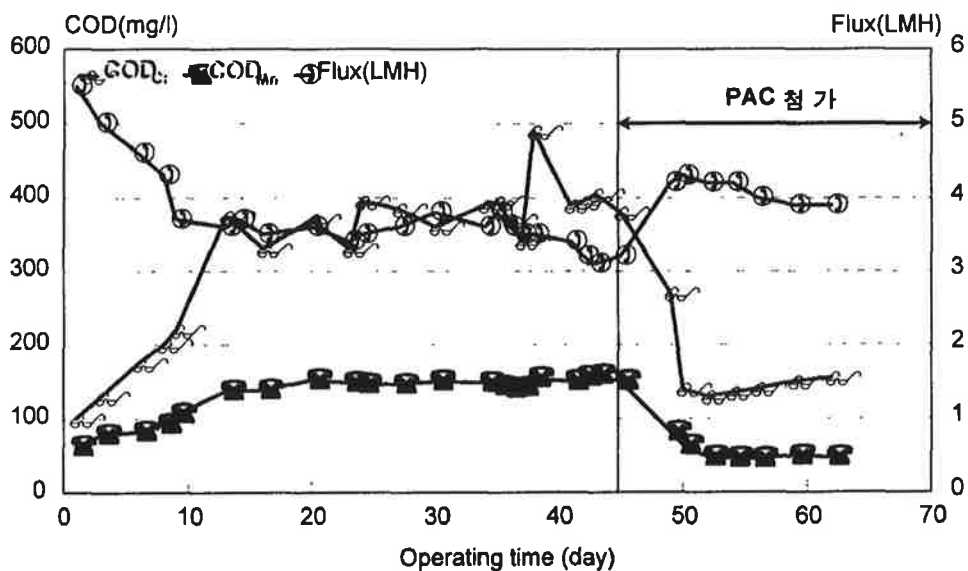


Fig. 5-18. Characteristics of flux and permeate in pilot-scale MBR process

그림5-19은 막결합형 생물반응조 처리수의 질소 제거 특성을 나타낸 그림이다. 운전개시후 37일 전까지는 외부탄소원을 주입하지 않고 실험을 하였고, 37일 이후부터 외부탄소원으로 메탄올을 주입하여 주었다. 외부탄소원을 첨가하지 않고 실험한 결과 NO_x-N가 60 mg/l 정도를 유

지하고 더 이상 감소하지 않았다. 실험실 규모의 실험 결과로써 외부탄소 주입량은 C/N 비가 6일 때 가장 탈질이 양호한 결과를 나타내었다. 실험실 규모의 실험결과를 이용하여 Pilot 규모의 막결합형 생물반응조의 외부탄소원 주입량은 C/N 비가 6이 되도록 첨가하여 주었다. 그 결과 그림 5-19에서와 같이 $\text{NO}_x\text{-N}$ 가 20 mg/l 이하로 감소하였다.

분말활성탄 첨가이후 질산화율도 첨가전보다 양호한 결과를 관찰할 수 있었는데 이는 질산화에 악영향을 미치는 유기물질들이 분말활성탄에 흡착됨으로써 기인한 것이다.

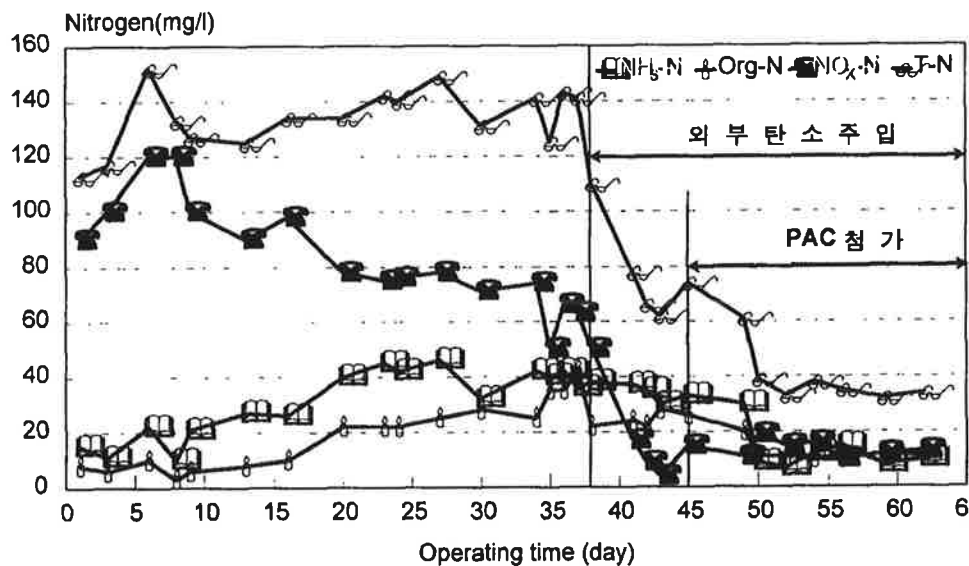


Fig. 5-19. Behavior of permeate nitrogen in MBR

제 4 절 결 론

1. 최종처리 공정을 위한 막결합형 생물반응조 공정 운전

본 연구에서는 슬러리 양돈분뇨의 정화 처리 공정의 일환으로 고액 분리후 1단 MLE 공정과 응집/부상 공정 처리수를 대상으로 최적의 막

결합형 생물반응조 운전 인자를 도출하였으며, 동시에 폭기조에 분말활성탄을 첨가하여 분말활성탄이 막결합형 생물반응조 운전 특성에 미치는 영향인자에 관하여 연구하였다.

- 가. 응집/부상 여액을 대상으로 탈질을 위한 외부탄소원으로 메탄을 첨가시 C/N비 6.0에서 가장 효율적인 것으로 나타났다.
- 나. 청수를 대상으로 실험한 최적 막면유속은 1.8m/sec로 나타났으며, 이때의 TMP는 2.1atm에서는 투과속도에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다.
- 다. 응집/부상 여액을 대상으로한 막결합형 생물학적 운전시 적정 분말활성탄 첨가량은 MLCC 200mg/l로 나타났다.
- 라. 막결합형 생물반응조에 MLCC 200mg/l의 분말활성탄 첨가에 따라 생물학적 재생 및 미생물 활성도 증가에 따라 COD_{Mn} 기준으로 단독 활성탄 흡착탑에 비하여 61.9%가 증가하였으며, COD_{Cr} 기준으로 19.1%의 흡착능 향상을 도출하였다.
- 마. 분말활성탄 첨가 유무에 따라 생물학적 공정시 독성 저감 및 미생물 활성 증가를 관찰할 수 있었다.
- 바. MLCC 200mg/l의 분말활성탄 첨가에 따라 가장 문제되고 있는 COD_{Mn} 및 T-N의 법적 방류수 수질 기준을 만족할 수 있었다.
- 사. 지금까지의 처리 공정에서 별도의 인제거 공정을 고려하지 않아도 고액분리 공정 및 생물학적 동화작용만으로도 인을 제거할 수 있는 것으로 나타났다.

제 6 장 시설 규모별 처리 공정

제 1 절 규모별 처리 공정 제안

국내 축산폐수의 법적 규제 기준은 표 2-4에 나타낸 것처럼 신고대상, 허가대상 및 공공처리시설 규모로 구분되었으므로 본 절에서는 이 연구에서 도출된 결과를 바탕으로 시설규모에 따른 규제기준을 감안하여 슬러리 양돈분뇨의 합리적인 처리 방안에 대해 제시하였다. 그림 6-1은 본 연구에서 진행된 각종 공정들을 도식화 한 것이고 표 6-1은 본 연구에서 도출된 결과를 시설 규모별로 제안한 공정들을 도식화 한 것이다.

Table 6-1. Recommended treatment process system for different effluent limitations

Slurry	→	LSSD/AF	→	Primary MLE		신고대상 허가대상
	↑					
E-851						

Slurry	→	LSSD/AF	→	Primary MLE	→	DAF	→	MBR	허가대상 (특정지역)
	↑				↑				
E-851				FeCl ₃ /E-851					

Slurry	→	LSSD/AF	→	Primary MLE	→	DAF	→	MBR (w/ PAC)	축산폐수 공공처리 시설 대상
	↑				↑				
E-851				FeCl ₃ /E-851					

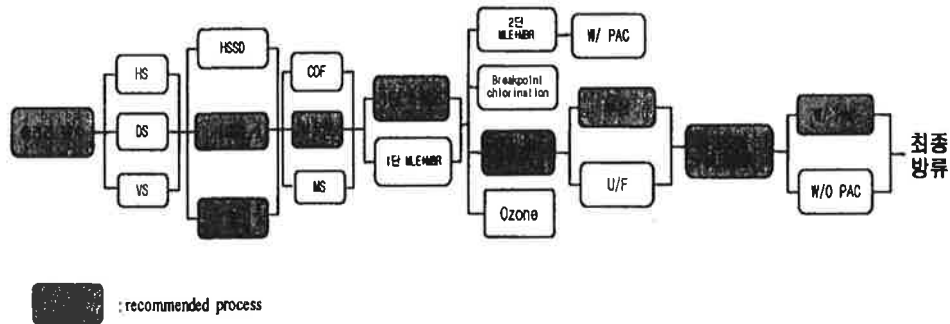


Fig. 6-1. Schematic diagram of processes used in this study

제 2 절 공정별 물질 수지

본 절에서는 이 연구에서 도출된 최적 공정에서 100m³/day를 기준으로 단계별 유기물, 부유물질 및 영양염류에 대한 물질수지를 나타내었다.

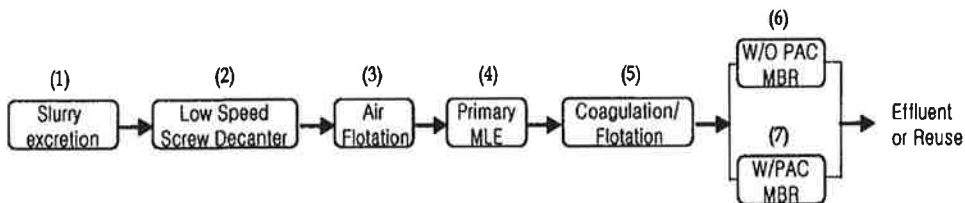


Table 6-2. Mass Balance of treatment process

(1) Slurry excretion

	Conc. (mg/ℓ)	Removal Rate (%)	Amount of mass loading following process(kg/d)
COD _{Cr}	135,000	-	13,500
BOD ₅	81,000	-	8,100
COD _{Mn}	-	-	-
SS	80,000	-	8,000
TKN	10,720	-	1,072
T-P	1,500	-	150

(2) Low Speed Screw Decanter

	Conc. (mg/ℓ)	Removal Rate (%)	Amount of mass loading following process(kg/d)
COD _{Cr}	35,000	74.1	3,500
BOD ₅	22,750	71.9	2,275
COD _{Mn}	-	-	-
SS	21,500	33.3	2,150
TKN	8,100	73.1	810
T-P	1,000	24.4	100

(3) Air Flotation

	Conc. (mg/ℓ)	Removal Rate (%)	Amount of mass loading following process(kg/d)
COD _{Cr}	24,600	29.7	2,460
BOD ₅	14,760	35.1	1,476
COD _{Mn}	-	-	-
SS	3,180	85.2	318
TKN	6,670	17.7	667
T-P	300	70.0	30

(4) Primary MLE

	Conc. (mg/ℓ)	Removal Rate (%)	Amount of mass loading following process(kg/d)
COD _{Cr}	3,500	85.8	350
BOD ₅	410	97.2	41
COD _{Mn}	1,120	68.6	112
SS	1,000	68.8	100
TKN	470	93.0	47
T-P	60	80.0	6

(5) Coagulation/Flotation

	Conc. (mg/ℓ)	Removal Rate (%)	Amount of mass loading following process(kg/d)
COD _{Cr}	420	88.0	42
BOD ₅	100	75.6	10
COD _{Mn}	211	55.3	21.1
SS	50	95.0	5
TKN	210	55.3	21
T-P	7.5	87.5	0.8

(6) Without PAC MBR

	Conc. (mg/ℓ)	Removal Rate (%)	Amount of mass loading following process(kg/d)
COD _{Cr}	270	35.7	27
BOD ₅	10	90.0	1
COD _{Mn}	70	66.8	7
SS	0	100.0	0
TKN	55	73.8	5.5
T-P	3.5	53.3	0.35

(7) With PAC MBR

	Conc. (mg/ℓ)	Removal Rate (%)	Amount of mass loading following process(kg/d)
COD _{Cr}	160	61.9	16
BOD ₅	5	95.0	0.5
COD _{Mn}	50	78.7	4.5
SS	0	100.0	0
TKN	39	81.4	3.9
T-P	3	60.0	0.3

제 3 절 경제성 검토

2장에서 언급했던 것과 같이 현재 국내 슬러리 양돈농가들의 처리방식은 거의 대부분이 자원화 공법을 채택하고있다. 그러나 자원화된 양돈분뇨들이 비점오염원으로 작용하여 심각한 환경오염을 초래하고 있다. 그래서 본 연구 결과를 기초로 하여 20m³, 30m³, 60m³ 처리 규모의 농가를 대상으로 하여 본 연구에서 제안한 처리공정 대한 건설 및 유지 운영비를 참여기업인 (주)아쿠아테크의 협조를 얻어 산출하였다.

그리고 현재 정화처리 시설을 설치하고 있으나 운전이 원활하게 진행되고 있지 않은 농가를 대상으로 기존의 시설을 이용하여 본 연구에서 제안한 처리공정으로 변환하는데 드는 비용을 산출하였다. 대상 선정은 이천시 시청의 협조를 얻어 정화처리를 하고 있는 농가를 직접 방문·조사하여 D종축, K 영농조합법인을 선정하였다.

D종축은 돼지 3000두를 사육하는 농장으로써 하루 정화 처리량은 6.5m³정도 였으나, 처리 시설에서는 빈약한 처리 시설이 설치되어 있었으며 회석수가 계속해서 주입이 되고 있었다. 또한 사육두수에 비해 처리 용량이 적었으며, 처리공정은 아래와 같았다. 본 보고서에서는 하루의 처리용량을 20m³으로 가정하여 비용을 산출하였다.

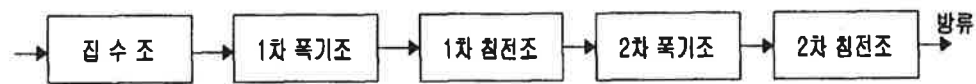


Fig. 6-2. 이천시 D종축 공정 흐름도

K 영농 조합법인은 돼지 4000두를 사육하고 있었으며, 하루처리 용량은 45m³이었다. 처리공정은 아래와 같았다.

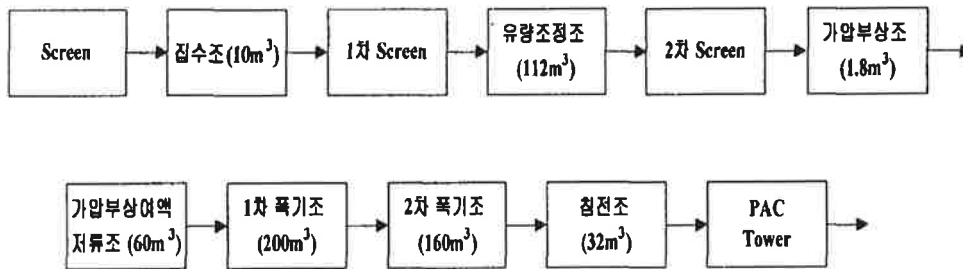


Fig. 6-3. 이천시 K 영농 조합법인 공정 흐름도

신설 공사 및 개·보수 공사일 때의 공사비와 운전비를 산출하면 다음과 같고, 자세한 내용은 뒷부분에 제시하였다.

<신설>

구 분	20m³처리 시설	30m³처리 시설	60m³처리 시설
총 공사비(원)	351,670,000	395,350,000	473,820,000
약 품 비(원/m³)	2,552	2,552	2,552
전 기 료(원/m³)	668,301	590,490	500,696

개·보수의 경우 하루 처리량이 6.5 m³인 일반 농가를 처리량은 20 m³의 축산폐수 처리시설로 건설하는데 드는 비용을 산출하였다. 45m³규모의 농가의 기존시설을 이용하여 개·보수하는데 비용을 산출하였다.

<개·보수>

구 분	6.5m³처리시설을 20m³규모의 처리시설로 개·보수	45m³규모 처리시설의 개·보수
총 공사비(원)	253,260,000	315,120,000
약 품 비(원/m³)	2,552	2,552
전 기 료(원/m³)	428,482	227,721

1. 20m²규모 처리 시설 농가(돼지 3,000두 사육규모, 슬러리 돈사)

가. 축산폐수 처리시설 신설 공사비

명 칭	세 부 내 용	금액(원)
토목건축공사		110,697,638
	가설공사	3,034,259
	토공사	2,669,974
	지정 및 기초공사	642,941
	철근 콘크리트공사	85,935,351
	방수공사	11,863,123
	조적미장 및 도장공사	6,551,990
	소 계	110,697,638
기계 공사		206,934,332
	기계 장비 설치공사	167,640,579
	배관공사	32,140,709
	잡철물 제작설치공사	7,153,044
	소계	206,934,332
전기 공사		17,600,000
	MCC PANEL	5,400,000
	MCC PANEL 제작설치 공사	3,300,000
	동력배관 배선비	3,750,000
	동력설치공사	5,150,000
	소계	17,600,000
시운전비		2,917,888
공과제잡비		13,520,142
합 계		351,670,000

나. 축산폐수 처리시설 (20m³/일) 연간 운영비

구 분	비 용(원)	산 출 근 거
전 력 비	13,366,026	전기부하 계산서
약 품 비	18,629,600	고액분리, 응집부상, BIOSUF
분리막 교체비	1,200,000	U/F 교체비
합 계	38,642,251	인건비 제외

1) 전력비

- 계약전력 기본료 : 3,960원/kw , 사용전력 기본료 : 44.5원/kw · h
- 전력료 : 90.4kw × 3,960원/kw × 12개월 + 797.75kwh/일 × 44.5원/kw × 365일/년 × 0.7 = 13,366,026 원/년

2) 약품비 산정

공 정	약품종류	TON당 처리단가(원)	산 출 근 거
고액분리	고분자 응집제	1,650	1,100원/kg , 20%
응집/부상	고분자 응집제 FeCl ₃	196	1,100원/kg , 20%
		496	134원/kg , 40%
막결합형 생물 반응기(BIOSUF)	NaOH	161	200원/kg , 35%
	메탄올	49	400원/kg , 98.9%
합 계		2,552원/ton	

- 연간 약품비 산정

$$2,552\text{원/ton} \times 20\text{ ton/일} \times 365\text{일/년} = 18,629,600\text{ 원/년}$$

3) 분리막 교체비

- 설치 B/L = 4BL
- 교체주기 = 5년
- 교체율 = 50%
- U/F 교체단가 = 3,000,000원/BL
- 연간 분리막 교체비 = 4BL × 50% × 3,000,000원/BL ÷ 5년
= 1,200,000원/년

2. 30㎡규모 처리 시설 농가(돼지 4500두, 슬러리 돈사)

가. 축산폐수 처리시설 신설 공사비

명 칭	세 부 내 용	금액(원)
토목건축공사		131,012,118
	가설공사	3,747,925
	토공사	3,059,482
	지정 및 기초공사	752,294
	철근 콘크리트공사	101,855,605
	방수공사	14,067,244
	조적미장 및 도장공사	7,529,568
	소 계	131,012,118
기계공사		228,017,003
	기계 장비 설치공사	188,132,611
	배관공사	32,731,348.
	잡철물 제작설치공사	7,153,044
	소계	228,017,003
전기공사		18,200,000
	MCC PANEL	5,600,000
	MCC PANEL 제작설치 공사	3,500,000
	동력배관 배선비	3,800,000
	동력설치공사	5,300,000
	소계	18,200,000
시운전비		2,917,888
공과제잡비		15,202,991
합 계		395,350,000

나. 축산폐수 처리시설 (30m³/일) 연간 운영비

구 분	비 용(원)	산 출 근 거
전 력 비	17,714,697	전기부하 계산서
약 품 비	27,944,400	고액분리, 응집부상, BIOSUF
분리막 교체비	1,800,000	U/F 교체비
합 계	48,557,051	인건비 제외

1) 전력비

- 계약전력 기본료 : 3,960원/kw , 사용전력 기본료 : 44.5원/kw · h
- 전력료 : 104.2kw × 3,960원/kw × 12개월 + 1,122.55wh/일 × 44.5원/kw × 365일/년 × 0.7 = 17,714,697 원/년

2) 약품비 산정

공 정	약품종류	TON당 처리단가(원)	산 출 근 거
고액분리	고분자 응집제	1,650	1,100원/kg , 20%
응집/부상	고분자 응집제 FeCl ₃	196 496	1,100원/kg , 20% 134원/kg , 40%
막결합형 생물 반응기(BIOSUF)	NaOH 메탄올	161 49	200원/kg , 35% 400원/kg , 98.9%
합 계		2,552원/ton	

- 연간 약품비 산정
2,552원/ton × 30 ton/일 × 365일/년 = 27,944,400 원/년

3) 분리막 교체비

- 설치 B/L = 6BL
- 교체주기 = 5년
- 교체율 = 50%
- U/F 교체단가 = 3,000,000원/BL
- 연간 분리막 교체비 = 6BL × 50% × 3,000,000원/BL ÷ 5년
= 1,800,000원/년

3. 60㎡규모 처리 시설 농가(돼지 9000두, 슬러리 돈사)

가. 축산폐수 처리시설 신설 공사비

명 칭	세 부 내 용	금액(원)
토목건축공사		152,151,476
	가설공사	10,050,156
	토공사	3,848,276
	지정 및 기초공사	1,105,644
	철근 콘크리트공사	112,399,353
	방수공사	16,213,596
	조적미장 및 도장공사	8,534,451
	소 계	152,151,451
기계 공사		308,952,731
	기계 장비 설치공사	279,808,868
	배관공사	21,743,366
	잡철물 제작설치공사	7,400,497
	소계	308,952,731
전기 공사		21,300,000
	MCC PANEL	6,500,000
	MCC PANEL 제작설치 공사	4,800,000
	동력배관 배선비	4,500,000
	동력설치공사	5,500,000
	소계	21,300,000
시운전비		2,917,888
공과제감비		14,557,905
합 계		499,880,000

나. 축산폐수 처리시설 (60m³/일) 연간 운영비

구 분	비 용(원)	산 출 근 거
전 력 비	30,041,739	전기부하 계산서
약 품 비	55,888,800	고액분리,응집부상,BIOSUF
분리막 교체비	3,600,000	U/F 교체비
합 계	87,641,027	인건비 제외

1) 전력비

- 계약전력 기본료 : 3,960원/kw , 사용전력 기본료 : 44.5원/kw · h
- 전력료 : 166.85kw × 3,960원/kw × 12개월 + 1,944.9kwh/일 × 44.5원/kw × 365일/년 × 0.7= 30,041,739 원/년

2) 약품비 산정

공 정	약품종류	TON당 처리단가(원)	산 출 근 거
고액분리	고분자 응집제	1,650	1,100원/kg , 20%
응집/부상	고분자 응집제 FeCl ₃	196	1,100원/kg , 20%
		496	134원/kg , 40%
막결합형 생물 반응기(BIOSUF)	NaOH 메탄올	161	200원/kg , 35%
		49	400원/kg , 98.9%
합 계		2,552원/ton	

- 연간 약품비 산정

$$2,552\text{원/ton} \times 60\text{ ton/일} \times 365\text{일/년} = 55,888,800\text{ 원/년}$$

3) 분리막 교체비

- 설치 B/L = 12BL
- 교체주기 = 5년
- 교체율 = 50%
- U/F 교체단가 = 3,000,000원/BL
- 연간 분리막 교체비 = 12BL × 50% × 3,000,000원/BL ÷ 5년
= 3,600,000원/년

4. 이천시 D 종축(6.5m²/일)

가. 축산폐수 처리시설 개·보수 공사비

(돼지 3000두 사육규모, 슬러리 돈사)

명 칭	세 부 내 용	금액(원)
토목건축공사		23,803,358
	가설공사	2,709,024
	지정 및 기초공사	400,725
	철근 콘크리트공사	18,731,497
	조적미장 및 도장공사	1,962,112
	소 계	23,803,358
기계 공사		198,601,108
	기계 장비 설치공사	163,767,611
	배관공사	27,575,193
	잡철물 제작설치공사	7,258,304
	소계	198,601,108
전기 공사		18,200,000
	MCC PANEL	5,600,000
	MCC PANEL 제작설치 공사	3,500,000
	동력배관 배선비	3,800,000
	동력설치공사	5,300,000
	소계	18,200,000
시 운 전 비		2,917,888
공과제잡비		9,737,646
합 계		253,260,000

나. 축산폐수 처리시설 (6.5m³/일) 연간 운영비

구 분	비 용(원)	산 출 근 거
전 력 비	8,569,635	전기부하 계산서
약 품 비	6,054,620	고액분리, 응집부상, BIOSUF
분리막 교체비	1,500,000	U/F 교체비
합 계	16,124,255	인건비 제외

1) 전력비

- 계약전력 기본료 : 3,960원/kw , 사용전력 기본료 : 44.5원/kw · h
- 전력료 : 77kw × 3,960원/kw × 12개월 + 431.9kwh/일 × 44.5원/kw × 365일/년 = 8,569,635 원/년

2) 약품비 산정

공 정	약품종류	TON당 처리단가(원)	산 출 근 거
고액분리	고분자 응집제	1,650	1,100원/kg , 20%
응집/부상	고분자 응집제 FeCl ₃	196	1,100원/kg , 20%
		496	134원/kg , 40%
막결합형 생물 반응기(BIOSUF)	NaOH	161	200원/kg , 35%
	메탄올	49	400원/kg , 98.9%
합 계		2,552원/ton	

- 연간 약품비 산정

$$2,552\text{원/ton} \times 6.5 \text{ ton/일} \times 365\text{일/년} = 6,054,620 \text{ 원/년}$$

3) 분리막 교체비

- 설치 B/L = 5BL
- 교체주기 = 5년
- 교체율 = 50%
- U/F 교체단가 = 3,000,000원/BL
- 연간 분리막 교체비 = 5BL × 50% × 3,000,000원/BL ÷ 5년
= 1,500,000원/년

5. 이천시 K 영농 조합법인(45㎡/일)

가. 축산폐수 처리시설 개·보수 공사비

(돼지 4500두 사육규모, 슬러리 돈사)

명 칭	세 부 내 용	금액(원)
토목건축공사		56,721,114
	가설공사	3,832,077
	토공사	1,240,000
	지정 및 기초공사	614,445
	철근 콘크리트공사	17,481,190
	미장공사	20,053,402
	건축공사	13,500,000
	소 계	56,721,114
기계 공사		225,166,230
	기계 장비 설치공사	190,332,733
	배관공사	27,575,193
	잡철물 제작설치공사	7,258,304
	소계	225,166,230
전기 공사		18,200,000
	MCC PANEL	5,600,000
	MCC PANEL 제작설치 공사	3,500,000
	동력배관 배선비	3,800,000
	동력설치공사	5,300,000
	소계	18,200,000
시 운 전 비		2,917,888
공과제잡비		12,114,768
합 계		315,120,000

나. 축산폐수 처리시설 (45m³/일) 연간 운영비

구 분	비 용(원)	산 출 근 거
전 력 비	10,224,594	전기부하 계산서
약 품 비	41,916,600	고액분리, 응집부상, BIOSUF
분리막 교체비	2,700,000	U/F 교체비
합 계	54,861,194	인건비 제외

1) 전력비

- 계약전력 기본료 : 3,960원/kw , 사용전력 기본료 : 44.5원/kw · h
- 전력료 : 91.25kw × 3,960원/kw × 12개월 + 517.9kwh/일 × 44.5원/kw × 365일/년 = 10,224,594 원/년

2) 약품비 산정

공 정	약품종류	TON당 처리단가(원)	산 출 근 거
고액분리	고분자 응집제	1,650	1,100원/kg , 20%
응집/부상	고분자 응집제 FeCl ₃	196	1,100원/kg , 20%
		496	134원/kg , 40%
막결합형 생물 반응기(BIOSUF)	NaOH	161	200원/kg , 35%
	메탄올	49	400원/kg , 98.9%
합 계		2,552원/ton	

- 연간 약품비 산정

$$2,552\text{원/ton} \times 45\text{ ton/일} \times 365\text{일/년} = 41,916,600\text{ 원/년}$$

3) 분리막 교체비

- 설치 B/L = 9BL
- 교체주기 = 5년
- 교체율 = 50%
- U/F 교체단가 = 3,000,000원/BL
- 연간 분리막 교체비 = 9BL × 50% × 3,000,000원/BL ÷ 5년
= 2,700,000원/년

참 고 문 헌

1. Anthonisen, R. C. Loehr, T. B. S. Prakasam, and E. C. Srinath (1976) "Inhibition of nitrification by ammonia and nitrous acid" JWPCF, Vol. 48, No. 5, pp 835~852
2. AWWA, "Water treatment membrane process," McGraw-Hill, ISBN 0-07-1559-7, 1996
3. AWWA, "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" American Public Health Association, New York, 18th edition, 1992
4. Bailey, Hansford and Dold, "The use of crossflow microfiltration to enhance the performance of an activated sludge reactor" Wat. Res. Vol. 28, No. 2, pp 297~301, 1994
5. Bakti and R. I. Dick, "A Model for a nitrifying Suspended-Growth reactor incorporating interparticle diffusional limitation," Wat. Res. Vol. 26 No. pp 1681~1690, 1992
6. Barker and David C. Stuckey "A Review soluble Microbial Products(SMP) in wastewater treatment systems" Wat. Res. Vol. 33, No. 14, pp 3063~3682, 1999
7. Bernhardt H., Hoyer, O. and Lusse, B., "Reaction mechanisms involved in the influence of algogenic organic matter on flocculation" Z. Wasser-Abwasser-Forsch, 18, 1985
8. Bersillon, J. L., "Fouling analysis and control, Future Industrial Prospects of Membrane Processes" Elsevier Sci., Amsterdam, 1989
9. Brockmann and C. F. Seyfried "Sludge activity and crossflow

- microfiltration" *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 34, No. 9, pp 205~213, 1996
10. Burdick, C. R., D. R. Refling and H. D. Stensel, "Advanced Biological treatment to achieve nutrient removal", *JWPCF* Vol. 54, PP 1078~1086, 1982
 - Chiemchaisri, Y. K. Wong, T. Urase and K. Yamamoto, "Organic stabilization bioreactor for domestic wastewater treatment" *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 25, No. 10, pp 231~240, 1992
 11. Chiemchaisri C., K. Yamamoto and S. Vigneswaran, "Household membrane bioreactor domestic wastewater treatment" *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 27, pp 171~178, 1993
 12. Chudoba J., "Inhibitory effect of refractory organic compounds produced by activated sludge microorganism on microbial activity and flocculation" *Wat. Res.* Vol. 19, No. 2, pp 197~200, 1985
 13. Chung Y. J. "Interrelationships among anaerobic digestion, sludge dewaterability and particle characteristics" Ph. D., Thesis, University of Texas at austin, 1985
 14. Chung Y. J., Cho J. B., Lee J. Y. and Lee J. H., "Evaluation of autoheated thermophilic aerobic Digestion process for the treatment of pig manure wastewater" *J. KOWREC*, Vol. 3, No. 2, pp 101~112, 1995
 15. Clifford V. Smith, David di Gregorio and Robert M. Talcott, "The use of ultrafiltration membranes for activated sludge separation", *Proceeding of the industrial waste conference purdue university*, pp 1300~1310, 1969
 16. Coackley P., and Jones B. R. S., "Vacuum sludge filtration I. Interpretation of results by the concept of specific resistance",

- Sewage and industrial Wastes, vol.28, No.8, pp963~976, 1985
17. Colin and S. Gazbar, "Distribution of water in sludge in relation to their mechanical dewatering", Wat. Res., Vol.29, No. 12, pp2000~2010, 1995
 18. Daniel P. Lynch and John T Novak, "Mixing Intensity and Polymer dosing in Filter press Dewatering" Journal WPCF, Vol.63, No.2, pp160~163, 1991
 19. Derin Orhon and Nazik Artan, "Modeling of Activated Sludge System", Technomic Publishing Company, pp343~344, 1994
 20. Diane J. W. Blum and R. E. Speece, "A Database of chemical toxicity environmental bacteria and its use in interspecies comparison and correlations", Research JWPCF, Vol. 63, No. 3, pp 198~207, 1991
 21. EPA, "Design Manual ; Dewatering Municipal Wastewater Sludges", pp41~43, 1987
 22. EPA, "Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal", pp9-17~9-63, 1979
 23. EPA, "Manual-Nitrogen Control", EPA/625/R-93/010, 1993
 24. Fane, "membranes for water production and wastewater reuse" Desalination, Vol. 106 pp 1~9, 1996
 25. Fatos G., Giuseppe Bortone, Derin Orhon and Andrea Trliche "Fate of Residuals in nitrification-Denitrification treatment of piggery wastewater" Bioresource Technology Vol. 45, pp 205~211, 1993
 26. 良安, 平山道明, 萩原薫, 大野茂, "高負荷脱窒膜分離方式によるし尿處理の實證的研究" 用水と廢水, Vol. 36, No. 9, pp780~787, 1994

27. 建設省建築研究所, 膜分離技術等を用いた高度処理浄化槽研究委員会, “膜分離奇術を組み込んだ高度処理浄化槽の開発における設計・管理手法の共通指針の考方” 用水と廢水, Vol. 40, No.3, 241~252, 1998
28. 桃井清至, 小松後哉 “限外ろ過膜流速に及ぼす生物代謝産物の景響” 用水の廢水, Vol. 41, No. 4, pp292~298, 1999
29. 野北舞介 外, “生物學的脱窒素プロセスのための管理指標の實驗的検討”, 下水道協會誌, Vol. 18, No. 207, 1981.
30. 畜産公海對策全書, 家畜ふん尿の處理利用技術における問題點, p30, 1996
31. 축산업협동조합중앙회, “가축배설물 처리 이용 기술”, 1991

APPENDIX I. PROGRAM

PROGRAM PAC1

C A PROGRAM TO TEST PAC ability
C VISUAL FORTRAN 6.0
C CUBIC INTERPOLATION DONE ON EXCEL PREVIOUSLY

DOUBLEPRECISION MN, MNSUM

OPEN(5,FILE='PAC1.OUT')

WRITE(*,10)

10 FORMAT(5X,30('-'),/5X,'-',5X,'PROGRAM PACability',5X,'-',
+ /5X,30('-'),//,10X,'INPUT TIME STEP. (ex, 0.01/DAY)')

READ(*,*) DT

XFINAL=27.

XINIT=DT/2.

WRITE(5,20) DT,XFINAL

20 FORMAT(5X,30('-'),/5X,'-',5X,'PROGRAM PACability',5X,'-',
+ /5X,30('-'),//,10X,'TIME INTERVAL IN INTEGRATION: ',F6.3,

DAYS',

+ /,10X,'CALCULATION WAS DONE BY',F4.0,'DAYS',///,

+ ' TIME(/DAY) QW(1/d) QWO(1/d) FOC FWC

AREA(CR) + FOM FWM AREA(MN)'/,80('-')

DO X=XINIT,XFINAL,DT

F1=FOC(X); F2=FWC(X); F3=FOM(X); F4=FWM(X)

CR=(F1*QWO(X)-F2*QW(X))*DT

MN=(F3*QWO(X)-F4*QW(X))*DT

CRSUM=CRSUM+CR

MNSUM=MNSUM+MN

WRITE(5,30) X,QW(X),QWO(X),F1,F2,CR,F3,F4,MN

ENDDO

30 FORMAT(F8.4,2(5X,F5.2),2F9.3,F9.4,5X,2F9.3,F9.4)

WRITE(5,40) CRSUM,MNSUM

40 FORMAT(///,10X,'TOTAL MASS IN CR:',F8.2,' mg'/',

+ 10X,'TOTAL MASS IN MN:',F8.2,' mg')

STOP

END

FUNCTION FOC(X)

FOC=0.0702*X**3-3.5848*X**2+54.425*X

RETURN

END

FUNCTION FWC(X)

FWC=0.0024*X**3-0.3839*X**2+15.123*X

RETURN

END

FUNCTION FOM(X)

$FOM=0.0212*X^{**3}-1.278*X^{**2}+23.191*X$

RETURN

END

FUNCTION FWM(X)

$FWM=-0.0003*X^{**3}-0.0966*X^{**2}+6.8897*X$

RETURN

END

FUNCTION QW(X)

$QW=0.0002*X^{**3}-0.0038*X^{**2}-0.0754*X+6.2691$

RETURN

END

FUNCTION QWO(X)

$QWO=0.0002*X^{**3}-0.0055*X^{**2}-0.0085*X+5.5921$

RETURN

END

Result

- PROGRAM PAC ability -

TIME INTERVAL IN INTEGRATION: 0.042 DAYS

CALCULATION WAS DONE BY 27.DAYS

TIME (DAY)	QW (l/d)	QWO (l/d)	FOC	FWC	AREA (CR)	FOM	FWM	AREA (MN)
0.0208	6.27	5.59	1.132	0.315	0.1816	0.483	0.143	0.0750
0.0625	6.26	5.59	3.388	0.944	0.5429	1.444	0.430	0.2242
0.1042	6.26	5.59	5.630	1.571	0.9018	2.402	0.717	0.3726
0.1458	6.26	5.59	7.861	2.197	1.2583	3.355	1.003	0.5201
0.1875	6.25	5.59	10.079	2.822	1.6123	4.304	1.288	0.6666
0.2292	6.25	5.59	12.285	3.446	1.9638	5.248	1.574	0.8123
0.2708	6.25	5.59	14.479	4.068	2.3129	6.188	1.859	0.9571
0.3125	6.25	5.59	16.660	4.689	2.6596	7.123	2.144	1.1010
0.3542	6.24	5.59	18.829	5.308	3.0039	8.054	2.428	1.2440
0.3958	6.24	5.59	20.986	5.926	3.3457	8.981	2.712	1.3860
25.3962	5.18	5.10	219.967	175.775	8.8545	111.945	107.755	0.5572
25.4379	5.18	5.11	220.310	175.786	8.9270	111.917	107.813	0.5356
25.4796	5.19	5.11	220.660	175.796	9.0011	111.889	107.871	0.5142
25.5212	5.19	5.12	221.016	175.806	9.0768	111.863	107.928	0.4932
25.5629	5.20	5.12	221.378	175.814	9.1542	111.838	107.985	0.4725
25.6046	5.20	5.13	221.747	175.822	9.2331	111.814	108.042	0.4520

25.6462	5.21	5.13	222.122	175.830	9.3137	111.791	108.098	0.4319
25.6879	5.21	5.13	222.503	175.836	9.3960	111.770	108.153	0.4120
25.7296	5.22	5.14	222.890	175.842	9.4799	111.750	108.209	0.3925
25.7713	5.23	5.14	223.284	175.847	9.5655	111.731	108.264	0.3732
25.8129	5.23	5.15	223.684	175.852	9.6528	111.713	108.318	0.3543
25.8546	5.24	5.15	224.091	175.856	9.7418	111.697	108.372	0.3357
25.8963	5.24	5.16	224.504	175.859	9.8326	111.681	108.426	0.3173
25.9379	5.25	5.16	224.923	175.862	9.9250	111.667	108.479	0.2993
25.9796	5.25	5.17	225.349	175.863	10.0192	111.655	108.532	0.2816
26.0213	5.26	5.17	225.782	175.865	10.1151	111.644	108.584	0.2643
26.0629	5.26	5.18	226.221	175.865	10.2128	111.634	108.636	0.2472
26.1046	5.27	5.18	226.667	175.865	10.3123	111.625	108.688	0.2305
26.1463	5.27	5.18	227.119	175.864	10.4136	111.618	108.739	0.2141
26.1879	5.28	5.19	227.579	175.862	10.5167	111.612	108.790	0.1981
26.2296	5.29	5.19	228.044	175.860	10.6216	111.607	108.840	0.1823
26.2713	5.29	5.20	228.517	175.857	10.7283	111.604	108.890	0.1670
26.3129	5.30	5.20	228.996	175.853	10.8369	111.602	108.940	0.1519
26.3546	5.30	5.21	229.482	175.849	10.9473	111.601	108.989	0.1372
26.3963	5.31	5.21	229.975	175.844	11.0596	111.602	109.037	0.1228
26.4379	5.32	5.22	230.475	175.838	11.1738	111.604	109.086	0.1088
26.4796	5.32	5.22	230.982	175.832	11.2899	111.608	109.134	0.0952
26.5213	5.33	5.23	231.496	175.825	11.4078	111.613	109.181	0.0819
26.5629	5.33	5.23	232.016	175.818	11.5278	111.619	109.228	0.0689
26.6046	5.34	5.24	232.544	175.809	11.6496	111.627	109.275	0.0563
26.6463	5.35	5.24	233.078	175.800	11.7734	111.636	109.321	0.0441
26.6879	5.35	5.25	233.620	175.791	11.8992	111.647	109.366	0.0323
26.7296	5.36	5.25	234.168	175.780	12.0270	111.659	109.412	0.0208
26.7713	5.36	5.26	234.724	175.769	12.1567	111.673	109.457	0.0097
26.8130	5.37	5.27	235.287	175.758	12.2885	111.688	109.501	-0.0011
26.8546	5.38	5.27	235.857	175.745	12.4223	111.705	109.545	-0.0114

26.8963	5.38	5.28	236.434	175.732	12.5581	111.723	109.589	-0.0214
26.9380	5.39	5.28	237.019	175.719	12.6960	111.743	109.632	-0.0310
26.9796	5.40	5.29	237.610	175.704	12.8359	111.764	109.675	-0.0402

TOTAL MASS IN CR:11659.28 mg

TOTAL MASS IN MN: 5193.23 mg

V. 액비의 급속액상부숙기술(CABRⅡ) 개발

Development of CABRⅡ for Treatment of Swine Slurry

연구기관 : 상지대학교
연구책임자 : 이명규
연구원 : 백창현
연구원 : 양진모
연구원 : 이원일
연구원 : 이재영
연구원 : 태민호

여 백

요 약 문

I. 제 목

액비의 급속액상 부숙기술개발

II. 연구개발 목적 및 중요성

현재 국내 가축분뇨처리시설은 높은 설치율에 불구하고 환경적 오염요소로 늘 상존하고있으며, 국민의 생활복지에도 지대한 영향을 미치고 있다. 본 연구는 다음과 같은 연구목적과 중요성을 인식하면서 수행되었다.

1. 기술적 측면에서의 목적과 중요성

- 1) 대부분의 양돈농가가 높은 정화처리시설 설치율을 보이고 있으나 시설의 운영관리면에서의 미흡함으로 인해 여전히 환경오염원으로 지목되고 있는 상태임.
- 2) 분뇨정화처리시설의 미흡한 운영, 지역특성과 부조화된 기술의 적용 등으로 지적되고 있음.
- 3) 현재의 정화방류기술, 저장액비자원화기술, 부자재를 이용한 고비용퇴비화기술은 각각 환경적문제, 토지확보문제, 부자재수급문제로 운영이 어려우므로 경제적이며, 간단하고, 적은토지에 설치가능한 새로운 무방류처리기술의 개발이 시급히 요구되어지고 있음.

2. 경제, 산업적 측면에서의 목적과 중요성

- 1) 현재의 분뇨처리기술은 설치비용 및 운영비에 있어서 양돈농가에 커다란 경제적 부담이 되고 있으며, 타산업과 연계가 가능한 분뇨처리기술

개발이 요구되어지고 있음.

- 2) 양돈분뇨의 환경오염현상은 축산업뿐만 아니라 농업전체의 친환경적 발전에 가장 커다란 장애물로 인식되고 있음.

3. 사회, 문화적 측면에서의 목적과 중요성

- 1) 현재까지의 양돈분뇨에 의한 환경오염문제는 수질오염에 치중되어왔으나 앞으로는 악취를 통한 민원발생이 커다란 사회적 문제로 등장할 것으로 예상되어 이에 대한 대책이 필요함.
- 2) 양돈분뇨처리 는 지금까지의 농, 축산 복합적 농촌문화를 크게 악화시킬 것으로 예상되어 이에 대한 대책이 시급한 형편이며, 이러한 사회, 문화적 요소를 결합한 신기술의 개발이 농축산업에 있어서 최대현안과제임.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

본 연구의 연구개발내용 및 구체적인 연구범위는 년차별로 다음과 같이 구별하고 있다.

연속투입식 급속액상부숙기술(CABRⅡ)개발에서는 급속액상부숙기술(CABRⅡ)의 수위측정장치개발(1차년도), 급속액상부숙기술(CABRⅡ)의 회분식 운전방법 매뉴얼 개발(2차년도), 급속액상부숙기술(CABRⅡ)의 연속투입식 운영조건 도출(3차년도)에 대하여 연구를 진행하였으며, 양돈분뇨처리시 악취발생 제어기술 개발에서는 양돈슬러리내 악취무취화 관리기술과 급속액상부숙기술(CABRⅡ)의 발생가스의 이화학 성상분석(1차년도), 발효처리물의 저류조내 무취화관리기술개발(Lab-scale)과 급속액상부숙기술(CABRⅡ)의 가스포집특성(2차년도), 발효처리물의 최적의 무취화 기술개발 (현장Pilot-scale)과 급속액상부숙기술(CABRⅡ)의 가스포집 장치가동(Pilot-scale)을 3차년도에 연구하였다.

IV. 연구개발 결과 및 활용에대한 건의

1. 연속투입식 급속액상부숙기술(CABRⅡ)개발

● 연속투입식 급속액상부숙기술(CABRⅡ)의 수위측정장치개발

급속액상부숙기술(CABRⅡ)은 고농도액상분뇨를 무취화, 감량화, 발효액 비화하는 기술로서 일련의 System으로 구성되어 있다. 본 기술을 운영하는데 있어서 주요인자는 Tank 내의 투입분뇨량, 투입분뇨비율, 운전가동 온도, 투입공기의 분뇨처리량의 비율, 등이며, 특히 가동시 농가의 편리성을 위해서는 Tank의 가동초기, 가동중, 가동후 수위를 확인할 필요가 있다. 또한 측정은 투입된 분뇨의 수분증발량을 높이기 위한 중요한 요소이며, 농가의 관리난이도를 낮추는 면에 있어서 매우 중요한 요소이다. 수위 측정장치는 수동식 부표방법, 자동 도르레식 부표방법, 수위측정 Chamber식 부표방법 등 여러방법을 변경하여 실시하였으며, 최종적으로는 Tank표면에 아크릴 투명판을 설치, 눈금으로 알 수 있게 하여 가동 수위변동을 시각적으로 판단할 수 있게 하였다. 이로써 반응기의 가동상황을 즉시 알 수 있었으며, 거품으로 인한 수위측정의 어려움은 발생하지 않았다. 수위의 변화가 육안으로 확인이 됨으로써, 투입량, 배출량, 증발량에 대한 결과값이 명확하게 되었다.

● 급속액상부숙기술(CABRⅡ)의 회분식 운전방법 매뉴얼 개발

급속액상부숙기술(CABRⅡ)을 회분식으로 운전한 상태에서, 수중폭기장치와 수분증발장치의 가동수가 각각 2대일 경우는 온도는 60℃이상 상승하였으나 증발량이 55.5 $\ell/m^2 \cdot day$ 이었고, 각각 3대일 경우는 온도는 35 - 50℃의 범위를 보이고 있었으나 증발량은 70 $\ell/m^2 \cdot day$ 로써 반응기의 운전에 있어서 수위, 온도, pH등이 일정범위 내에서 운전이 이루어지지 못하였다. 그러나 수중폭기장치 3대, 수분증발장치 4대를 가동하였을 경우, 수위는 40 -

70cm, 온도는 45 - 55℃, pH는 8.2 - 8.8로 일정하게 유지하는 것으로 나타났으며, 증발량은 120 ℓ/m²·day 이었다.

또한 반응기의 온도에 중요한 고형물 함량의 경우, 가동제한인자로서 사료되며, 분뇨의 적정 고형물 함량은 5 - 7%로 판단되어졌다. 반응기의 운전 중 외기 온도의 영향은 크게 받지 않았으며, 봄과 여름의 평균온도는 각각 52.6℃, 52.3℃이었으며, 겨울에도 평균 40℃이상을 유지하였다. 이를 기초로 하여 계절별 현장에서의 운전매뉴얼이 작성되어졌다.

● 급속액상부숙기술(CABRⅡ)의 연속식 운전방법 매뉴얼 개발

연속투입식 급속액상부숙기술 반응기의 수위변화범위는 45 - 55cm, 온도는 초기 31.6℃에서 최고 70.2℃까지 상승하였고, 연속투입이 이루어진 시점에서는 56.0 - 62.0℃의 온도를 유지하였다. 반응기의 내부에 설치되어진 수증폭기장치의 자체발열로 인한 온도는 45℃이상을 보여주었다. 내부액의 pH는 8.6 - 9.2의 범위를 나타내었다. 반응기의 내부로 유입되는 공기유속의 변화에서 평균 유입속도는 1.2m/sec였으며, 수도수만을 가지고 가동하였을 때의 공기의 유속은 1.8 - 2.0m/sec로써 분뇨를 투입한 후 가동하였을 때 0.6 - 0.8m/sec정도의 유속이 낮아짐을 알 수가 있었다.

연속투입이 시작된 시점을 기준으로 투입량과 배출량 그리고 정지 후 수위증가량과 증발량은 각각 0.840m³, 0.515m³, 0.061m³, 0.264m³이었으며, 총 투입량에 대한 증발율은 31.4%로 평방미터당 일일증발량은 108 ℓ/m²·day 이었다. 이는 연속투입식으로 급속액상부숙기술(CABRⅡ)이 운전될 경우, 내부온도의 저하 현상이 나타나지 않아 정상적으로 운전가동이 가능함을 시사하고 있으며, 회분식 처리에 비해 동일 시간내 많은 처리가 가능함을 의미하고 있다.

2. 양돈분뇨처리시 악취발생제어기술개발

● 양돈슬러리아취무취화관리기술

실험실에서 양돈슬러리의 무취화 연구결과, 각 반응기에서 고형물과 액상물의 계면이 안정화되는 시기는 10일 전후였으며, Headspace취기강도는 특히 상부액상(S.P.(A))의 농도와 밀접한 경향을 보였다. 광합성 세균 접종 후 7일째 Headspace의 취기강도는 「T-1>T-2>T-3」였으며, 처리후 21일 경과 후에 T-2와 T-3의 취기강도는 2이하로 적합하였다. 상부액상(S.P.(A))에서의 휘발성지방산, 황화수소 등은 광합성세균의 균체량이 많을수록 더 많이 감소하였고, 취기강도의 변화와 유사하였다. 광합성 세균의 생육은 혐기, 자연광상태인 T-3에서 양호하였으며, 전반적으로 상부액상(S.P.(A))에 비해 하부고형상(S.P.(C))에 많이 존재하였다. 이러한 광합성세균의 거동은 혐기성세균인 황산염환원균에 영향을 주었다. 본 연구를 통해 광합성세균의 접종으로 악취가 제어가능함을 알 수 있었다

● 발효처리물의 저류조내 무취화관리기술

급속액상부숙기술의 운전중에 발생하는 발효처리 배출액의 장기 저류시 발생하는 악취를 제거하기 위한 방안을 도출하고자, 배출액에 공기주입방법 및 광합성 세균 접종법을 적용하고 각 처리에 따른 반응기 내부의 변화상을 관찰하였다. 배출액은 정치상태에서 보관될 때, 유기물의 재분해에 의해 휘발성저급지방산의 증가(526ml/l), 황화수소의 발생량 증가 경향을 나타내었다. 휘발성저급지방산과 황화수소가 처리구와 동일한 농도로 변화하기까지 50일 이상이 필요하였으며, 공기중으로 휘산되는 암모니아의 절대발생량은 처리구중 가장 적었다. 공기주입 처리구의 경우는 공기주입에 의해 BOD 및 VFAs가 빠르게 제거되었는데, 14일째까지 초기 BOD의 85%, VFAs는 82%가 감소되었다. 휘발성저급지방산의 감소와 더불어 황

화수소는 실험기간동안 전혀 발생하지 않았으나, 공기주입으로 인한 질소의 무기화와 암모니아성 질소의 탈기에 의해 대조구에 비해 최고 8.6배 이상 높았다. 광합성세균의 접종은 공기주입처리구에 비하여 그 감소속도는 늦지만 BOD제거, VFAs제거, 황화수소 발생량의 감소 등의 효과를 기대할 수 있었으며, 특히 공기중으로 휘산되는 암모니아의 절대발생량도 낮아 악취발생제어를 통한 액비의 자원화시에 유리할 것으로 기대된다. 본 실험을 통해 광합성세균의 악취제어능력은 발효처리물에도 적용가능하며, 교반, 공기주입방식과 연계할 경우 효과적인 악취제어 방법이 가능함을 시사하였다

● 발효처리물의 최적의 무취화기술개발(Pilot-scale)

본 연구는 급속액상부숙기술(CABRⅡ)을 이용하여 처리한 후, 배출된 Efflux를 진동스크린하였고, 스크린처리된 발효처리액의 장기간 보관시 무취화를 위한 관리방안에 관하여 Pilot scale로 연구한 것으로 결과는 다음과 같다. 악취물질인 VFAs와 H₂S는 교반시가 무교반시에 비하여 감소되었으며, H₂S의 경우 20일 이후 발생되지 않았다. 또한 교반만을 통한 무취화 저류시에도 균일성을 확보할 수 있었다. 반면, NH₃는 전반적으로 증가하는 경향을 볼 수 있었으나 악취를 느낄 수 있는 정도는 아니므로 매우 효과적인 것으로 판단되었다. 또한 단순히 스크린처리된 발효처리액의 무취화 관리기술은 돈사내부에서의 사육환경개선 및 작업여건 개선 등의 효과를 가져오며, 더불어 파리와 같은 병해충의 감소효과를 가져와, 액비의 자원화 정책을 추진하고 있는 국내의 현시점에 비추어 본다면, 액비의 장기보관시와 농지환원시 민원의 감소효과와 액비이용시의 혐오감 감소효과 및 혼합을 함으로써 균일성이 확보되어 자원화 정책의 현장기술로서 이용되어질 수 있을 것으로 사료된다.

- 급속액상부숙기술 (CABRⅡ)의 발생가스 이화학성상 분석

양돈분뇨혼합물을 급속액상부숙처리함에 따라 투입분뇨의 악취가 상당 감소되며, 또한 수분도 기화되어 전체적으로 투입분뇨의 감량화 효과를 얻을 수 있다. 이러한 감량화처리시 기화되는 가스상 물질은 향후 대기오염 물질로 대두 될 가능성이 있어 이에 대한 처리방안이 필요하며, 이를 위해서는 가스상 물질의 성분분석이 선결과제이다. 발생하는 가스상 물질을 냉각방법을 이용하여 응축시킨 후 응축수의 분석을 행한 결과 대부분이 암모늄형태의 질소로 분석되었다.

- 급속액상부숙기술 (CABRⅡ)의 가스포집 특성

발생되어지는 암모니아의 산포집실험을 실시한 결과 산의 포집시, 포집된 암모니아의 농도는 용액상과 가스상태 모두, HCl, HNO₃보다 H₂SO₄, KH₂PO₄의 경우 높은 농축량을 보여주었다. 본 연구결과는 암모니아 가스의 단순한 처리가 아닌 자원화 포집실용화기술을 개발하는데 있어 매우 중요한 자료이며, NH₃-N의 N, KH₂PO₄의 K, P의 농도를 통해 화학비료형태로의 액상비료제조가능성을 시사하고 있는 것이다. Pilot scale의 가스농축장치를 설치하여 동일한 실험을 시행하면서 실험실수준에서의 결과를 재현할 수 있었다. 본 연구에서는 농축된 NH₃의 포집량과 포집시설에 대한 경제성 분석이 수행되지 않았으나 향후 유관연구를 통해 경제성이 확보되어 질수 있다면, NH₃의 대기 방출억제와 NH₃의 질소원 획득이라는 두 가지 목표를 달성 할 수 있을 것으로 사료된다.

- 활용건의

본 연구를 통해 얻어진 결과는

- ① 급속액상부숙기술(CABRⅡ)개발

② 처리전후 분뇨액상물의 무취화관리기술개발

③ 급속액상부숙기술로부터 질소의 회수로 요약되어지며,

이러한 연구결과의 활용은 다음과 같은 기대효과를 가져다 준다.

① 축산농가의 축산환경오염 예방효과 ② 축산농가의 생산비 절감효과
③ 축산농가의 유기질비료 생산농가로의 탈바꿈 ④ 경종농가의 화학비료
사용절감효과 ⑤ 경종농가의 지력 증대효과 ⑥ 경종농가의 작물 수량증대,
품질향상효과 ⑦ 이상적인 농축산업의 환경친화적 농업회복 ⑧ 지역별
자원리사이클링 및 작물생산기지화 확립 등으로 요약할 수 있다.

본 급속액상부숙기술(CABRⅡ)은 주로 현재 개별축산농가에 보급되면서
축산농가 단독으로 운영되고 있으나 연구결과를 활용할 경우, 지역축산농
가와 경종농가 등 단지별로 분뇨의 집단적 이용이 가능하므로, 각 지역특
성에 맞는 액상발효처리물의 공동이용을 통해(예:액상비료유통센터) 이상적
인 농축산 Recycling 모델구축이 가능하다. 이에 대한 행정부처간의 협의
가 요구되어진다.

SUMMARY

The main purpose of this research were described largely 2 parts, first, the development of the continuous aerobic bio-reactor II (CABR II) and second, the malodorous material control technology for pig slurry and the treated slurry from CABR II.

- Development of CABR II for treatment of Swine Slurry

This research investigated for the purpose of optimum operation condition for water reduction, characteristic of physicochemistry, and evaporation volume of swine slurry using CABR II.

The major result obtained were as follows.

The operation temperature of the reactor CABR II between spring and summer, winter were 52.6°C, 52.3°C, 40.0°C respectively. The optimum input solid concentration of swine slurry was 5~7% and CABR II internal solid concentration was 6~7%.

Water level in CABR II was not increased when 40% of total input slurry outdrawn in working time. As a results from the batch and flow input types of CABR II, there were no significant difference in operation temperature, and so, we could make the operation manual of CABR II in field study.

- Deodorization Technique of Swine slurry and Efflux

These studies were carried out to find deodorization effect of swine-slurry by addition of photo-trophic bacteria(PTB) and agitation

method. First, The lab-scale reactors operation conditions was designed by the inoculum amounts of PTB and light-conditions. Treatment conditions was divided into 3 types; 10^6 MPN/ml · Dark(T-1), 10^8 MPN/ml · Dark(T-2), 10^8 MPN/ml · Natural light(T-3). The changes of the concentration of volatile fatty acids(VFAs), hydrogen sulfide(H_2S), ammonia(NH_3) and odor intensity were analyzed during the treatment period(35 days).

From results of this study, the maximum intensity of odor in the headspace of the reactor T-1 was 4.82 and T-2, T-3 was 2.63, respectively.

In swine-slurry of reactors studied, it almost took 10 days until to be stabilized with solid and liquid phase. Odor Intensity in headspace was mainly derived from the liquid phase.

The PTB inoculum method to swine-slurry was very effective in reduction of VFAs, H_2S and Sulfate reducing bacteria(SRB) concentration.

The second study was carried out to find deodorization management method of the efflux from swine slurry treated by the continuous aerobic bio-reactorⅡ(CABRⅡ). Three kinds of deodorization methods in Lab-scale reactors were also used in this experiment; No treatment(control), air injection treatment($50\text{ml air/min} \cdot \ell$) and inoculum of photo-trophic bacteria treatment(10^8 cell(Most probable number, MPN)/ml).

The concentrations of volatile fatty acids(VFAs), hydrogen sulfide(H_2S), and ammonia(NH_3) were analyzed during the treatment

period(50 days). The major results obtained as follows.

Air injection method to the efflux showed very high removal effect on malodorants such as VFAs, hydrogen sulfide(H_2S). But ammonia(NH_3) was emitted to much compare to the control.

PTB inoculum method was also effective in removal of malodorants, VFAs, Hydrogen sulfide(H_2S), when it was applied to the efflux.

We found that the concentrations of malodorants, VFAs, H_2S , NH_3 had some relationships with the pH, ORP, BOD in the efflux.

Using these results described above, we applied these methods, PTB inoculum and agitation methods in pilot scale for odor management of swine slurry treated from CABR II. And we also found that the treated swine slurry also can be managed successfully in long time for 50 days in deodorized condition.

Gaseous material, especially NH_3 from CABR II was studied for making concentration in acid solution . The concentrated NH_3 in solution was gradually increased in fixed pH condition. The pH control NH_3 concentration method will be applicable in field scale for recycling and resource as nitrogen source from swine slurry.

CONTENT

Chapter 1. Development of CABR II for treatment of Swine Slurry	614
.....	614
Section 1. Introduction	614
Section 2. Materials and Methods	615
1. Development of Water Level gauge	615
2. Development of CABR II (Batch Type)	615
3. Development of CABR II (Flow Type)	617
Section 3. results	622
1. Development of Water Level Controller	622
2. Batch type CABR II	622
3. Flow type CABR II	640
Section 4. Conclusion	649
1. Development of Water Level gauge	649
2. Batch CABR II	649
3. Flow type CABR II	650
Chapter 2. Deodorization Technique of Swine slurry and Efflux	651
Section 1. Introduction	651
Section 2. Materials and Methods	652
1. Deodorization Technique of Swine slurry	652
2. Deodorization Technique using photo-trophic bacteria	655
3. Deodorization Technique using agitation method	657

Section 3. Results	660
1. Deodorization Technique of Swine slurry	660
2. Deodorization Technique using photo-trophic bacteria	669
3. Deodorization Technique using agitation method	677
Section 4. Conclusion	686
1. Deodorization Technique of Swine slurry	686
2. Deodorization Technique using phototrophic bacteria	686
3. Deodorization Technique using agitation method	687
Chapter 3. Development of Gas Control and Recycling System ...	689
Section 1. Introduction	689
Section 2. Materials and Methods	690
1. Composition of gaseous material from CABR II	690
2. Development of Gas Control and Recycling System Lab Scale ...	692
3. Development of Gas Control and Recyclin 694g System	
- Pilot Scale	694
Section 3. Result	696
1. Composition of gaseous material from CABR II	696
2. Development of Gas Control and Recycling System - Lab Scale ...	696
3. Development of Gas Control and Recycling System Pilot Scale ...	699
Section 4. Conclusion	705
1. Composition of gaseous material from CABR II	705
2. Development of Gas Control and Recycling System - Lab Scale ...	705
3. Development of Gas Control and Recycling System - Pilot Scale ...	706
Reference	707

목 차

제 1 장 액비의 급속액상부숙기술	614
제 1 절 서 론	614
제 2 절 재료 및 방법	615
1. 급속액상부숙기술의 수위장치개발	615
2. 회분식 급속액상부숙기술	615
3. 연속식 급속액상부숙기술	617
제 3 절 결과 및 고찰	622
1. 급속액상부숙기술의 수위장치개발	622
2. 회분식 급속액상부숙기술	622
3. 연속식 급속액상부숙기술	640
제 4 절 결 론	649
1. 급속액상부숙기술의 수위장치개발	649
2. 회분식 급속액상부숙기술	649
3. 연속식 급속액상부숙기술	650
 제 2 장 양돈 슬러리 및 발효처리물의 무취화 관리기술	 651
제 1 절 서 론	651
제 2 절 재료 및 방법	652
1. 양돈 슬러리의 무취화 관리기술	652
2. 광합성세균을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술	655
3. 교반을 이용한 무취화 관리기술	657
제 3 절 결과 및 고찰	660
1. 양돈슬러리의 무취화 관리기술 개발	660

2. 광합성세균을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술	669
3. 교반을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술	677
제 4 절 결 론	686
1. 양돈슬러리의 무취화 관리기술 개발	686
2. 광합성세균을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술	686
3. 교반을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술	687
제 3 장 급속액상부숙기술의 가스 자원화기술	689
제 1 절 서 론	689
제 2 절 재료 및 방법	690
1. 가스발생물의 정상분석	690
2. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Lab Scale	692
3. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Pilot Scale	694
제 3 절 결과 및 고찰	696
1. 배출가스의 정상분석	696
2. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Lab Scale	696
3. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Pilot Scale	699
제 4 절 결 론	705
1. 배출가스의 정상분석	705
2. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Lab Scale	705
3. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Pilot Scale	706
참고문헌	707

제 1 장 액비의 급속액상부숙기술

제 1 절 서 론

농림부 및 환경부에서는 새로 개발된 가축분뇨 처리기술을 농가적용 및 경제성에 대한 검증에 대한 축산기술연구소의 검증, 농진청의 시범사업을 통해 보급하고, 농가에 설치·운영되고 있는 시설중 성능이 우수한 시설을 신규설치에 따른 농가의 위험부담을 최소화하면서 조기 적용이 가능하도록 우수사례로 발굴하여 활용하도록 표준설계도를 제작·보급하고 있다. 이러한 표준설계도로 제시된 것들을 연도별로 살펴볼 때, 88년에는 저장액비화, 퇴비화, 살수여상법, 산화구법, 토양침투법과 같은 정화처리를 위주로 하였으며, 92~95년에는 톱밥발효우사, 톱밥발효돈사, 건조식, 통풍식, 교반식 톱밥발효시설로서, 수분조절재로 톱밥을 사용하는 퇴비화 방법과 정화처리법이 선정되었다. 그러나 이러한 가축분뇨를 자원화하는 방법에서 사용되는 수분조절재의 수급이 어려워지고, 가격이 상승함으로써 영세한 축산농가에서 큰 경제적 부담을 느끼게 되었으며, 실질적인 처리가 어렵게 되었다¹⁷⁾. 정화처리방법도 축산폐수에 대한 배출규제가 점차 강화되고 있으며 축산업계에 대한 환경규제의 법률강화는 세계적인 추세이다. 그러나 경제적·기술적으로 열악한 축산농가에서는 규제농도에 맞도록 처리하기에는 현실적으로 어려움이 있다. 1998년 농림부와 환경부는 가축분뇨자원화를 도모하고자 하였으며, 자원화방법으로 가축분뇨를 액비화하여 토양에 살포하는 방법을 구상하였고, 각 농가에 저장액비화시설을 설치토록 하고, 완숙 퇴비를 수분 조절재로 재사용하는 즉, 수분조절재를 쓰지 않는 시설 보급을 확대하며, 축산분뇨 발생량을 감축시키는 수분 조절재 절약형 사양관리 기술을 개발·보급하고자 하였다. 가축분뇨를 액비로써 농지에 살포할 경우, 덴마크, 독일, 네덜란드등의 유럽국가에서는 각 나라별로 차이가 있으

나 분뇨의 축적과 이용에 관하여 규제함으로써 가축분뇨살포에 의한 수질 오염과 질소와 악취오염을 감소하고자 하고있다.

본 연구는 분뇨의 자원화를 추진하기 위해 요구되는 톱밥과 같은 수분조절제를 사용하지 않으면서 발생원 단계에서부터의 수분을 감량화하고, 토양에 살포하였을 때에 작물 및 토양에 영향을 미치지 않는 부숙처리액의 생산, 악취제거로 인한 사육환경 및 악취오염을 개선하기 위하여 양돈분뇨 악취제거 및 부숙처리액의 자원화 이용에 있어서 급속액상부숙기술을 양돈농가에 직접 적용하였을 때, 반응기 운전의 최적조건을 도출하고자 시행하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 급속액상부숙기술의 수위장치개발

가. 실험장치 및 방법

급속액상부숙기술은 분과 뇨를 혼합하여 처리하는 반응기로서, 반응기에 투입되는 분뇨의 고형물 함량을 살펴보았을 때, 약5~10%로써, 90~95%가 뇨성분으로 되어있다. 이것을 기초로 물의 수위를 측정할 수 있는 여러 가지 방법들 중에서 부표, 유압 그리고 반응기의 전면에 내부를 볼 수 있도록 처리하는 방법을 실험하였다.

2. 회분식 급속액상부숙기술

가. 시료의 성상

실험에 사용되어진 분뇨는 경기도 여주에 위치한 'J 농장'에서 채취하였으며 농장의 규모는 양돈 1,000두를 사육하는 양돈농가로써, 일일 배출되는 양돈분뇨가 약 4.5m³~5.0m³이었다. 반응기에 투입되는 분뇨는 저장용량 약 8m³의 저장조에 저장한 후, 본 실험에 사용하였다. pH 6.72, 고형물함량 약

5.09%, 휘발성유기물 함량은 72.43%였다. 그리고 총질소(T-N)는 4,892 mg/l, 총인(T-P)는 1,837 mg/l로 나타났다. 그 외의 투입되는 분뇨의 이화학적 성상은 표 1-1과 같다.

표 1-1. 실험에 사용된 양돈 슬러리의 성분조성 (n=7).

항 목	농 도 (mg/l)	항 목	농 도 (mg/l)
pH	6.72	PO ₄ ⁻	778
TS(%)	5.09	F ⁻	283
VS(%)	72.43	cl ⁻	1,256
TN(ppm)	4,892	B ⁻	41.6
NH ₄ ⁺	1,922	SO ₄ ⁻	246
NO ₂ ⁻	47	Na ⁺	638
NO ₃ ⁻	19	K ⁺	2,845
TP(ppm)	1,837	Mg ²⁺	298

나. 실험장치 및 방법

본 실험에 사용된 급속액상부숙기술의 특징은 기포에 탈모나 분해가 불가능한 입상물질을 부착시켜 폭기조의 외부로 배출시키는 것이다. 예를 들어 양돈 돈사내로부터 분과 뇨를 무회석 상태로 반응기에 투입하면 반응기 내의 수증폭기장치에 의해 강력한 폭기가 행하여지고, 이에 동반하여 고온이 발생하며, 다량의 기포가 발생된다. 발생된 기포층은 외부온도와 차단되어 열의 단열효과를 가져다 주는데 이렇게 발생하는 다량의 기포는 수분증발장치에 의해 소포되어 액상화 된 후 반응기의 외부로 배출된다. 이 과정에서 다량의 기포속에 들어있는 고온의 수증기가 소포되면서 반응기의 외부로 강제 증산되어 수분의 감량화가 촉진된다. 이러한 급속액상부숙반응기는 그림 1-1과 같이 설계 제작되었으며, 크기는 9m(L)×2.4m(W)×

2.5(H), 면적 21.6m², 내용적은 54m³이다. 반응기의 내부에 수중폭기장치 3대, 수분증발장치 4대를 설치하였고, 반응기의 측면 Side Room에 분뇨투입 펌프 1대를 설치하였으며, 온도를 기록할 수 있도록 온도센서를 반응기의 내부 측면에 높이 50cm와 120cm에 각각 설치하였다. 반응기의 전면에는 수위를 확인할 수 있는 아크릴판 수위계와 시료를 채취할 수 있는 밸브를 부착하였다. 수분증발장치의 후면에는 가동 중 발효처리물(이하 Efflux)을 배출할 수 있는 배출밸브와 대기중으로 증산되는 암모니아 가스 회수시설을 부착하였다.

실험은 양돈농가의 규모에 적합한 반응기의 조건을 도출하기 위하여 반응기에 설치된 수중폭기장치와 수분증발장치의 가동수를 달리하여 실험을 실시하였으며, 각각의 운전조건에 따른 수위, 온도, pH, 증발량을 살펴봄으로써 양돈규모 1,000두 농가에 설치되어진 반응기의 최적의 운전조건의 도출하고자 하였다.

실험수행시의 운전조건은 3가지의 형태로 하였으며, 수중폭기장치 2대와 수분증발장치 2대를 가동한 것을 No-1, 수중폭기장치 3대와 수분증발장치 3대를 가동한 것을 No-2, 그리고 수분증발장치 3대와 수분증발장치 4대를 가동한 것을 No-3로 하였다. 표 2는 각각의 운전조건을 나타내었다. 각각의 운전조건에 따른 실험에서 반응기의 초기수위는 85~100cm에서 가동하였으며, 새로운 분뇨의 투입은 가동중 수위가 40cm이하, 또는 pH가 8.6이상 일 때에 분뇨를 투입하도록 하였다.

3. 연속식 급속액상부숙기술

가. 시료의 성상

시료는 경기도 여주에 위치한 “J농장”에서 채취하였으며, 반응기에 투입되어지는 분뇨의 성상은 표 1-1의 회분식 실험시의 분뇨 성상과 유사하였

다. 채취한 분뇨는 돈모 및 이물질을 제거하기 위하여 28mesh, 200mesh의 스크린망을 부착한 진동스크린을 이용하여 여과한 액을 2m³용량의 저류통에 저류한 후 실험에 이용하였다.

나. 실험장치 및 방법

연속식 급속액상부숙기술 Pilot반응기의 크기는 1.5m(L)×1.0m(W)×1.0(H), 면적 1.5m², 내용적은 1.1m³이다. 반응기의 내부에 수중폭기장치 1대, 수분증발장치 1대를 설치하였고, 반응기의 측면에 분뇨투입펌프 1대를 설치하였으며, 온도를 기록할 수 있도록 온도센서를 반응기의 내부높이 20cm에서 측정하였으며, 시료를 채취할 수 있는 밸브를 부착하였다. 반응기의 전면에는 수위를 확인할 수 있는 아크릴판 수위계를 부착하였고, 수분증발 장치의 후면에는 가동 중 Efflux를 배출할 수 있는 배출밸브와 대기중으로 증산되는 암모니아 가스 자원화시설을 부착하였다. 또한, 반응기의 내부로 유입되는 공기의 유량을 확인하기 위하여 공기유속측정장치를 공기 흡입부에 부착하여 측정하였다.(그림 1-3, 그림 1-4)

연속식 급속액상부숙기술의 최적운전조건을 도출하기 위하여 회분식 급속액상부숙기술의 결과를 기초로 투입량, 운전 중 수위, 배출량을 달리하여 실험하였으며, 이때의 수위, 온도, pH, 공기유입속도 그리고 내부의 이화학적 성상의 변화를 측정하였다.

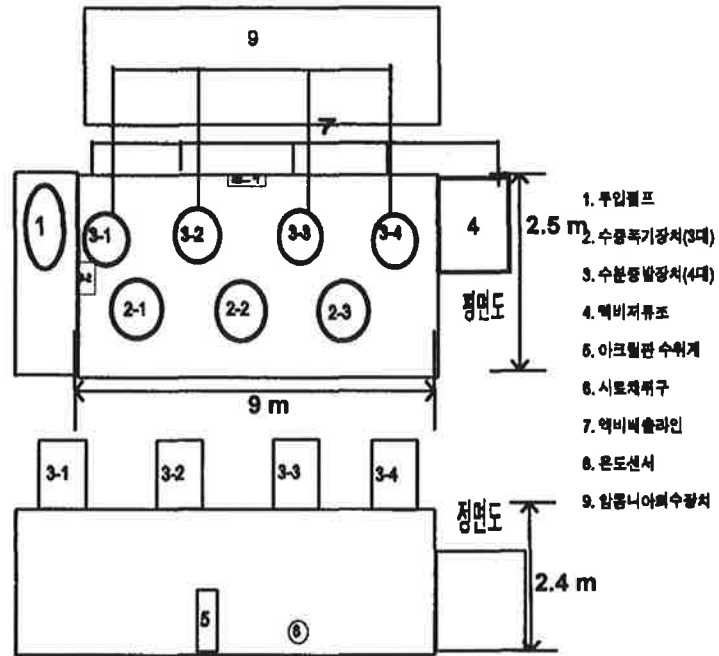


그림 1-1. 회분식 급속액상부숙기술의 개략도

표 1-2. 회분식 급속액상부숙기술의 운전조건

운 전 조 건	NO - 1	NO - 2	NO - 3
수중폭기장치* (EA)	2	3	3
수분증발장치** (EA)	2	3	4

* 수중폭기장치 : 5HP(3,700W), 온양정-19m, 최대양수량-114m³/h

** 수분증발장치 : 2HP, 1,200 rpm(6 pole), 380V, 3 ϕ , 4.0A

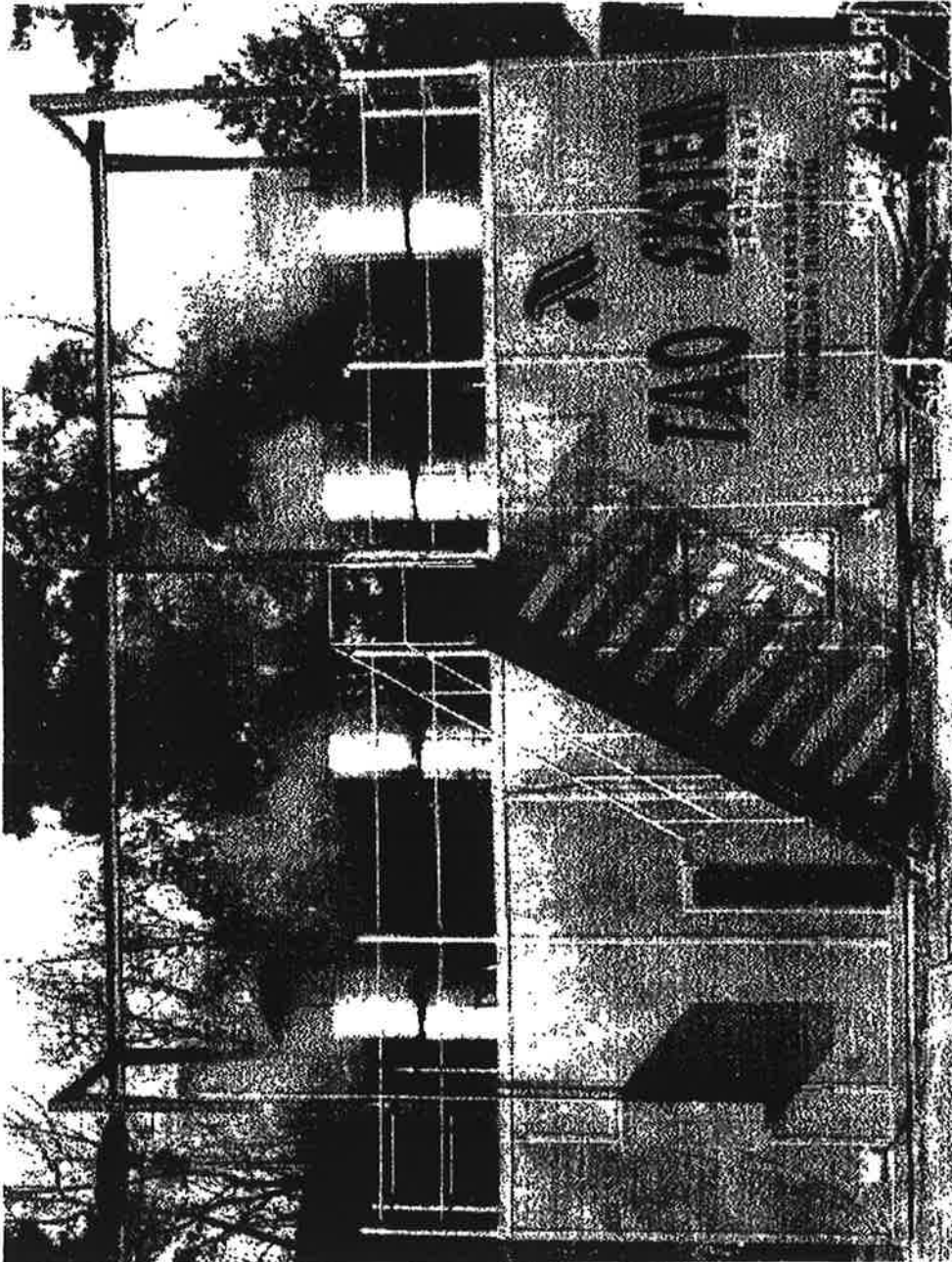


그림 1-2. 급속액상부속기술 현장사진

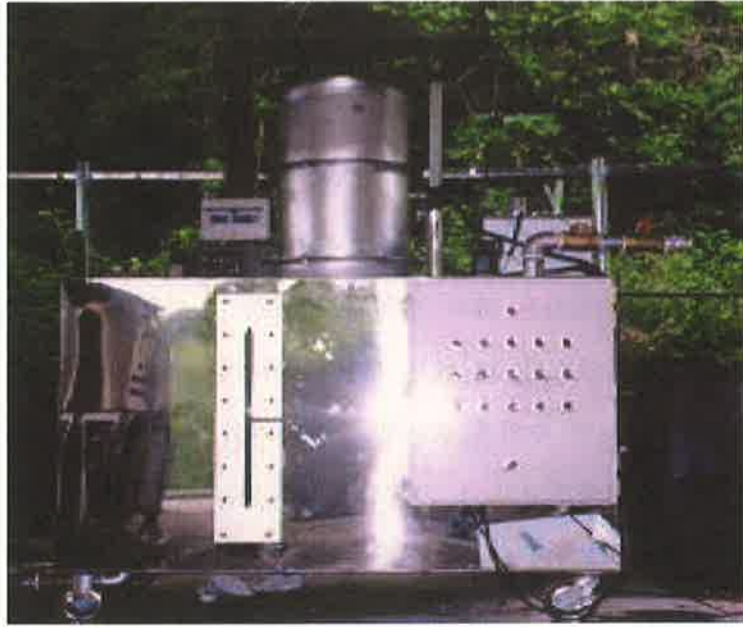


그림 1-3. 연속식 급속액상부숙기술의 Pilot System 정면사진



그림 1-4. 연속식 급속액상부숙기술의 Pilot System 측면사진

제 3 절 결과 및 고찰

1. 급속액상부숙기술의 수위장치개발

그림 1-5는 수위장치의 변화를 나타낸 그림으로써, 수위장치는 투입된 분뇨의 수분증발량을 높이기 위한 중요한 요소이며, 관리의 난이도 및 최적의 운전조건을 확립하는 데에 있어서 중요한 요소이다. 수위계개발은 3단계에 걸쳐 진행되었으며, 1단계는 부표를 이용한 수위계, 2단계는 반응기의 내부유압을 이용한 수위계, 3단계는 반응기의 전면에 투명 아크릴판을 이용한 수위계를 설치하였다. 1, 2단계의 수위계는 각각 반응기의 내부거품층의 밀도변화 그리고 이물질로 인하여 수위측정이 원활하지 못하였다. 3단계인 아크릴판 수위계는 반응기의 내부 가동상황을 즉시 알 수가 있었으며, 거품으로 인한 수위측정의 어려움은 발생하지 않았다. 또한 수위가 육안으로 확인이 가능하여 1, 2단계 수위계에서 측정이 어려웠던 투입량, 배출량, 증발량에 대한 결과확인이 쉽게 이루어짐으로써, 최적의 운전조건 확립이 가능해졌다.

2. 회분식 급속액상부숙기술

가. 수위변화

급속액상부숙기술의 가동에 있어서 수위변화는 각각의 운전조건에 따라 많은 차이를 보이고 있었다. 급속액상부숙기술의 운전에 있어서 수위의 변화 폭이 비교적 낮게 유지되는 것이 system 운영에 매우 효과적으로 판단이 되어서인데, 각각의 운전조건에 따른 운전기간 중 수위 변화의 범위를 살펴보면, 수중폭기장치와 수분증발장치를 각각 2대씩 가동한 No-1은 50~100cm, 수중폭기장치와 수분증발장치를 각각 3대씩 가동한 No-2는 40~90cm 그리고 수중폭기장치 3대와 수분증발장치 4대를 가동한 No-3는 40~70cm로써 가동 중 수위의 변화 폭이 No-3의 경우에서 보다 적게 나타

났다.

또한 반응기의 초기가동수위 100cm에서 가동하였을 경우, 수위의 하강 시간을 살펴보았을 때, No-1, No-2, No-3 각각 11시간, 4시간, 2시간으로써 수중폭기장치를 3대 가동한 No-2와 No-3에서 수중폭기장치와 수분증발장치를 각각 2대 가동한 No-1보다 빠르게 하강하는 것을 알 수 있었다. 그리고 No-2와 No-3를 비교하였을 경우, 운전중의 수위변화 범위가 No-2보다는 No-3가 일정하게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 이것은 수위가 낮은 상태에서 일정하게 유지됨으로써, 새로운 분뇨의 투입과 배출을 행할 수 있었으며 농장에서 일일 배출되어지는 분뇨를 원활하게 처리할 수 있었다.

그림 1-6, 그림 1-7, 그림 1-8은 각각의 운전조건에 따른 운전기간 중 수위의 변화를 나타낸 것이다. 운전 정지 후 반응기의 내부수위가 No-1, No-2, No-3 모두 약 40~50cm가 상승하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 급속액상부숙기술의 수위변화 특성을 나타내는 것으로써, 초기가동 수위인 100cm에서 수중폭기장치의 가동에 의한 공기의 유입으로 반응기의 내부액의 40~50cm가 거품으로 전환되어 반응기의 총 수위 2.4m에서 2.0m를 거품으로 채우는 역할을 하기 때문이다. 그러나 수중폭기장치를 정지하였을 경우는 더 이상 거품을 생성시키지 못함으로 인해, 거품에 포함되어진 수분이 물로 전환되어 반응기의 내부수위를 상승시키는 것으로 사료된다. 그리고 급속액상부숙기술로 분뇨를 처리할 경우, 위와 같은 특성을 기초로 하여 반응기를 20시간이상 정지시킴으로써 운전기간 중의 증발량을 알 수 있게 되었다.

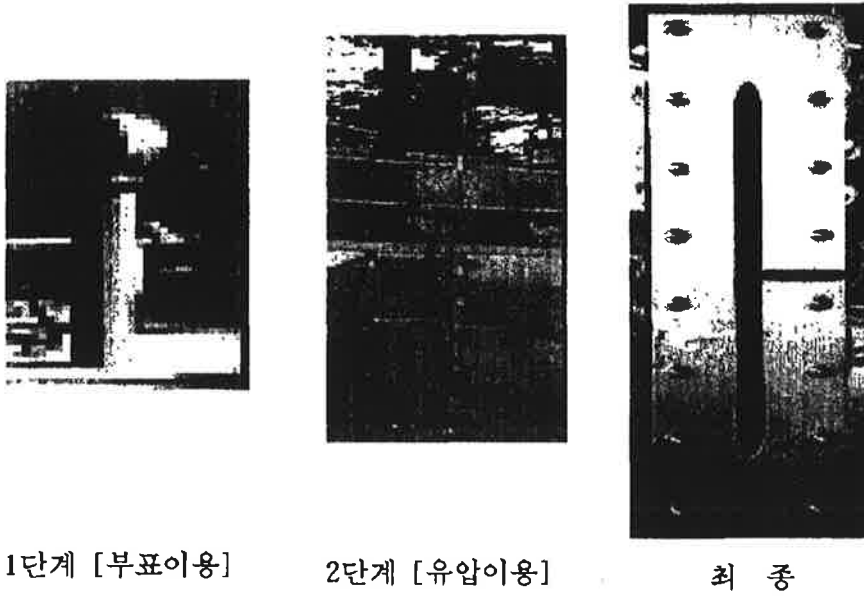


그림 1-5. 급속액상부숙기술 수위장치의 개발단계

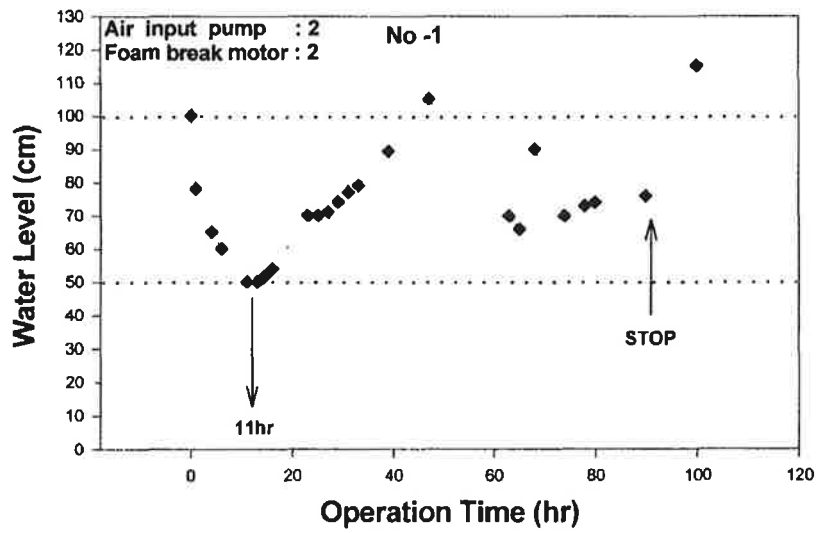


그림 1-6. 회분식 급속액상부숙기술의 운전 중 수위변화 (No-1)

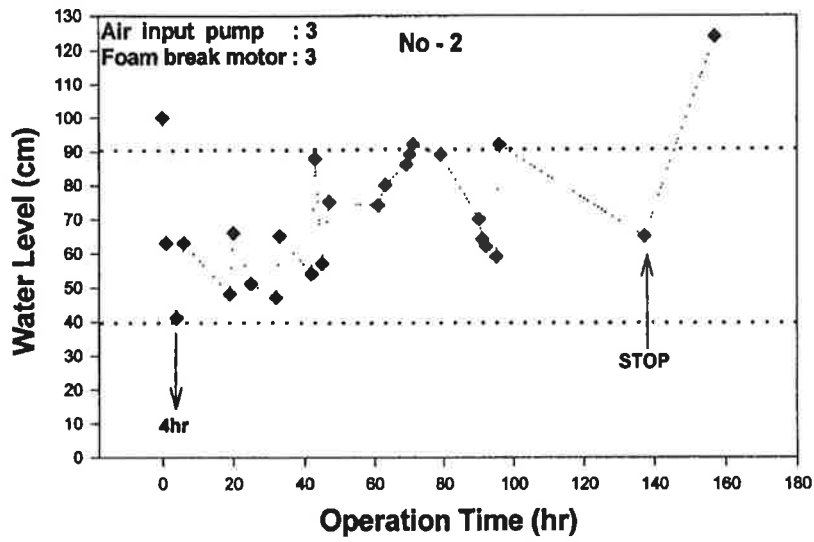


그림 1-7. 회분식 급속액상부숙기술의 운전 중 수위변화 (No-2)

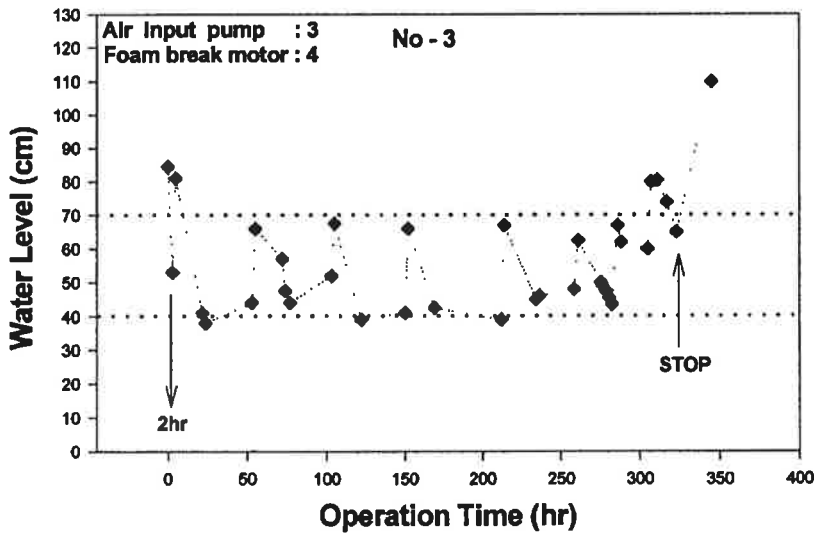


그림 1-8. 회분식 급속액상부숙기술의 운전 중 수위변화 (No-3)

나. 온도변화

각각의 운전조건에 따른 운전기간 중 반응기의 내부온도 변화를 그림 1-9에 나타내었다. 급속액상부숙기술의 운전 중의 적정온도범위는 45~55℃로 유지되는 것이 가장 효율적으로 판단되어지는데, 수중폭기장치와 수분증발장치의 가동수를 달리한 운전조건에 따른 온도 변화 또한 많은 차이를 보이고 있었다. 수중폭기장치와 수분증발장치를 2대 가동한 No-1은 30~63℃, 수중폭기장치와 수분증발장치를 3대 가동한 No-2는 27~53℃, 수중폭기장치 3대, 수분증발장치 4대 가동한 No-3는 44~54℃의 범위를 나타내었다. 이러한 온도변화의 차이가 나는 것은 수위변화(그림 1-6,1-7,1-8)와 투입되는 분뇨의 고형물함량과 관계가 있는 것으로 판단된다. 그러나 온도범위가 30~63℃인 No-1의 경우, 공기를 주입하는 수중폭기장치가 No-2와 No-3보다 적은 2대가 가동됨으로써, 외기의 온도에 의한 냉각효과가 작았으며, 또한 미생물에 의한 분해가 No-2와 No-3보다는 서서히 진행되어 높은 온도를 보였으나, 반응기의 운전에 따른 기본조건에서 새로운 분뇨를 투입할 수 있는 수위인 40~50cm를 보이지 못하여, 운전기간 중에 분뇨를 2회에 걸쳐 7.56m³이 투입되어 농가에서 배출되는 분뇨를 처리할 수 없는 문제점이 발생하였다. 온도범위가 27~53℃인 No-2의 경우는 운전 중 수위범위가 40~90cm로써 No-1보다는 낮은 상태에서 운전되어 운전기간 중에 총 4회에 걸쳐 15.26m³을 투입할 수 있었으나 운전 중의 수위가 일정하게 유지되지 않음으로 반응기의 운전에 어려움을 나타내었다. 그러나 온도범위가 44~54℃인 No-3의 경우는 운전 중 수위범위가 40~70cm로써, 새로운 분뇨를 투입할 수 있는 적정수위가 유지됨으로써 반응기의 내부온도가 처리효율이 좋은 것으로 판단되어지는 45~55℃를 유지할 수 있었다.

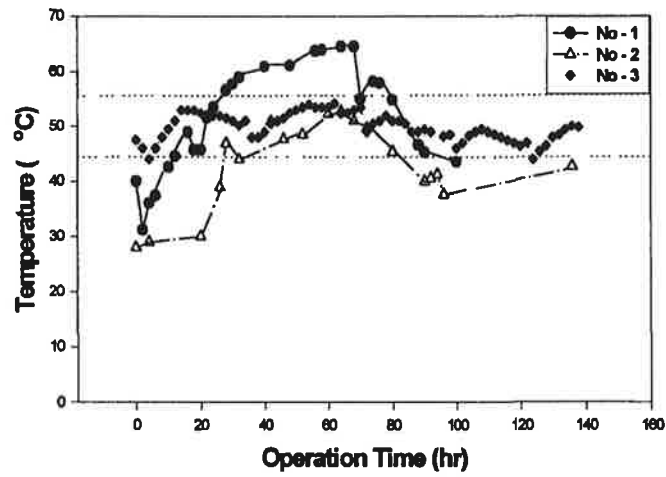


그림 1-9. 회분식 급속액상부숙기술의 운전 중 운전조건에 따른 반응기의 내부온도변화

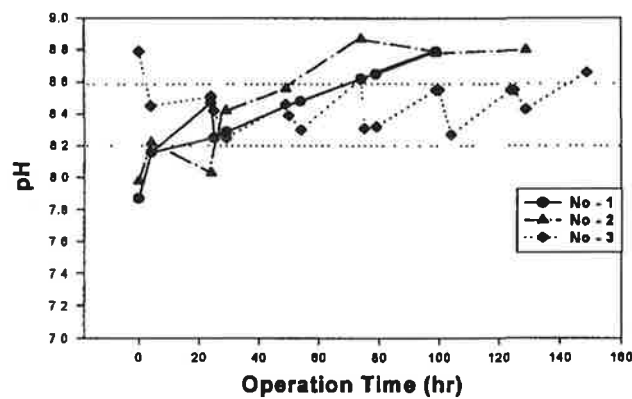


그림 1-10. 회분식 급속액상부숙기술의 운전 중 운전조건에 따른 내부액의 pH변화

No - 1 ; 수중폭기장치(2), 수분증발장치(2)

No - 2 ; 수중폭기장치(3), 수분증발장치(3)

No - 3 ; 수중폭기장치(3), 수분증발장치(4)

다. pH의 변화

운전조건에 따른 운전기간 중의 pH의 변화는 그림 1-10에 나타내었다. 전체의 운전에 있어서 반응기 내부의 pH변화 범위는 7.8~8.8의 범위를 보였다. 그림 10의 No-1, No-2, No-3에서 pH가 0.3정도의 하강을 보이는 이유는 pH 6.7~7.0의 분뇨가 투입되었기 때문으로 판단된다.

수중폭기장치와 수분증발장치가 2대인 No-1의 경우, 초기 pH 7.8에서 최종 pH 8.8을 나타내었다. 수중폭기장치와 수분증발장치가 3대인 No-2의 경우, 초기 pH 7.9에서 최종 pH 8.8을 나타내었으며, 수중폭기장치 3대와 수분증발장치 4대를 가동한 No-3의 경우, 초기 pH 8.8에서 최종 pH 8.62를 나타내었다.

각각의 운전조건에 따른 운전기간 중의 pH의 변화에 있어서 No-3가 pH 8.2~8.6로 일정한 범위를 나타내었다. 그러나 No-1과 No-2의 경우는 운전기간 중에 새로운 분뇨가 투입되지 않은 상태에서 운전되어 운전기간동안 pH가 계속 상승하는 결과를 보였다. 현장에서의 연구결과를 토대로 보았을 때, 운전기간 중 pH 8.6이상을 유지하였을 경우 처리효율이 낮은 경향을 보이고 있었으므로 반응기 내부의 pH를 8.6이하로 유지하여 주는 것이 적절한 system의 운영에 필요하다고 판단되었다,

라. 운전조건에 따른 증발량 비교

급속액상부숙기술의 운전조건에 따른 증발량 비교를 표 1-3에 나타내었다. 각각의 운전조건에 따른 투입량은 No-1, No-2, No-3이 각각 7.56m³, 15.26m³, 43.2m³이었으며, 이를 일일평균분뇨투입량으로 환산하였을 경우 각각 2.1m³/day, 3.1m³/day, 5.1m³/day 이었다.

각각의 운전조건에서 수중폭기장치와 수분증발장치가 2대 가동된 No-1의 경우, 총 4.32m³이 증발하였으며 일일증발량으로 환산하였을 때에는 1.2m³

/day 이었다. 수중폭기장치와 수분증발장치가 3대 가동된 No-2의 경우, 총 8.1m³이 증발하였으며 일일증발량으로 환산하였을 때에는 1.62m³/day로 No-1과 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 수중폭기장치 3대와 수분증발장치 4대를 가동한 No-3의 경우, 총 23.6m³이 증발하였으며 일일증발량으로 환산하였을 때에는 2.6m³/day로 No-1과 No-2에 비해서 5.5배, 2.9배 높은 증발량을 얻을 수 있었다. 설치된 면적 당 증발량으로 환산하였을 경우, 각각 55.5 l/m²·day, 75.0 l/m²·day, 120.3 l/m²·day로써 수중폭기장치 3대와 수분증발장치 4대를 가동한 No-3에서 보다 많은 효율을 얻을 수 있었다.

급속액상부숙기술의 운전 중 Efflux를 배출할 때, 분뇨투입량의 40%를 배출하여야만 그림 1-7의 No-3의 후반부에서 나타나는 수위상승현상이 발생하는 것을 예방할 수 있을 것으로 판단된다.

이러한 결과를 토대로 하여 살펴보았을 때에 양돈 규모 1,000두를 사육하는 농가에 설치되어진 급속액상부숙기술의 경우, 수중폭기장치 3대와 수분증발장치 4대를 가동하였을 때에 보다 효율적으로 운전할 수 있었으며, 양돈농가에서 발생하는 분뇨를 매일매일 처리 할 수 있을 것으로 판단되어진다.

급속액상부숙기술에 부착된 수중폭기장치와 수분증발장치를 각각 3대, 4대를 가동하여 1998년 4월 20부터 5월 22일까지 약 1개월간 운전한 결과, 약 1개월간 59.06m³의 분뇨를 투입하였으며, 일일평균분뇨투입량은 3.64m³/day 이었다. 1개월간의 순수가동시간은 389시간으로 약 16.2day 이었으며, 배출되어진 Efflux의 양은 15.33m³으로 총 투입된 분뇨의 30% 이었다. 증발량을 산출하는 방법은 총 증발량(m³) = 총 분뇨 투입량(m³) - {총 Efflux 배출량(m³) + 자체수위변화량(m³)}으로써, 초기 반응기 수위는 100cm이었으며, 1개월간 운전 후 반응기 수위는 110cm로써 10cm의 자체수위변화가 있었다. 따라서 1개월간의 급속액상부숙기술을 운전하여 운전기간 동안 증발된 양은

41.56m³이었으며, 이때의 증발율은 분뇨투입량의 70%이었다. 또한 일일가동 평균증발량은 2.56m³/day 이었고, 이를 환산하였을 경우, 약 118.0 l/m³·day 이었다(표 1-4).

표 1-3. 운전조건에 따른 증발량 비교

항	목	NO - 1	NO - 2	NO - 3
총 분뇨 투입량	(m ³)	7.56	15.26	43.2
일일 분뇨 투입량	(m ³ /day)	2.1	3.1	5.1
총 배출량	(m ³)	-	2.03	14.29
배출량/투입량	(%)	-	13.3	33.1
총 증발량	(m ³)	4.32	8.10	23.6
운전시간	(hr)	99	134	204
일일 증발량	(m ³ /day)	1.2	1.62	2.6
평방미터당 일일 증발량(l/m ² ·day)		55.5	75.0	120.3

표 1-5. 신선분뇨와 투입 전·후 내부액의 TS 와 VS의 농도
(수중폭기장치 : 3, 수분증발장치 : 4)

구 분	신선분뇨		급속액상부숙기술			
			투 입 전		투 입 후	
	TS(%)	VS(%)	TS(%)	VS(%)	TS(%)	VS(%)
No-1	7.06	5.40	7.64	5.72	7.63	5.78
No-2	7.64	5.94	6.28	4.47	6.49	4.72
No-3	3.43	2.40	7.09	5.16	6.29	4.54
No-4	4.95	3.61	6.16	4.43	6.25	4.57
No-5	4.75	3.42	6.99	5.17	6.13	4.46

* TS : Total Solid, VS : Volatile Solid

표 1-4. 회분식 급속액상부숙기술의 최적조건에서의 1개월간 증발량

날 짜	4/20	4/23	4/26	4/28	5/3	5/6	5/16	5/18	5/20	비 고
	4/21	4/25	4/28	5/1	5/5	5/8	5/18	5/20	5/22	
초기 수위	100	-	-	-	-	-	-	-	-	최종 수위 110
투입분뇨량(m ³)	6.0	6.5	8.4	4.3	12.1	6.5	4.5	4.3	6.5	총 분뇨 투입량 58.1m ³
운전 시간(hr)	30	55	42	48	66	44	34	28	40	총 운전 시간 388h = 16.2day
배출량(m ³)	-	7.34	-	-	0.22	4.1	0.86	2.16	0.65	총 배출량 15.3m ³

○ 반응기 크기 = $(2.5(W) \times 8.63(L) \times 2.4(H)) \therefore 1cm = 215.87 \ell$

○ 총 증발량 = 총 투입량(m³) - (총 배출량(m³) + 수위변화량(m³))

○ 총 증발율(%) = (총 증발량(m³) / 총 투입량(m³)) × 100

○ 총 증발량 = 41.6m³

○ 총 증발율 = 70%

○ 일일 평균 투입량 = 3.6m³/day

○ 일일 증발량 = 2.56m³/day

○ 평방미터당 일일 증발량 = 118.0 ℓ / m² · day

결

과

마. 투입분뇨의 고형물함량과 온도의 상관 관계

반응기의 운전에 있어서 투입되는 신선분뇨와 투입후의 반응기 내부의 고형물함량은 반응기의 온도를 조절하는 매우 중요한 요소이다. 분뇨의 고형물함량에 따른 유기물함량은 표 1-5에 제시하였다. 실험기간동안 총 8회 투입되었으며, 투입되는 분뇨의 평균 고형물함량(TS)과 유기물함량[VS = (고형물함량 × 유기물함량)]은 5.22%, 3.87% 이었다. 반응기 투입 전의 평균 고형물함량과 유기물함량은 6.74%, 4.95% 였으며, 투입 후 반응기 내부의 고형물함량과 유기물함량은 6.39 %, 4.69% 였다. 투입되는 분뇨의 TS 함량은 반응기의 온도와 밀접한 관계를 보이고 있는 것으로 판단되어지며, 그림 1-12는 No-3의 운전기간 중의 온도를 운전시간으로 나누어 나타낸 것으로써, 각각의 온도변화와 투입 후 반응기 내부의 유기물함량에 따라 변화되고 있음을 보이고 있다. 또한 그림 1-11은 투입되는 분뇨의 고형물 함량에 따른 유기물 함량을 나타낸 것으로써, 고형물함량이 높을수록 유기물의 함량 또한 높은 것을 알 수 있었다.

분뇨 투입 후 반응기 내부의 VS함량이 5.78%인 No-1과 4.72%인 No-2의 경우는 운전기간 중의 최고온도가 54.5℃, 53.5℃로 운전정지 후에도 50℃ 이상을 유지하였으나, VS함량이 4.46%로 작은 No-5의 경우, 운전 중 최고온도가 50℃이나 운전 정지 후의 온도는 47℃로서 유기물 함량이 높은 No-1과 No-2보다는 비교적 낮은 온도를 보이고 있었다. 또한 No-3와 No-4의 경우, 유기물함량이 각각 4.54%, 4.57%로 유사한 경우는 온도의 변화곡선이 유사하게 변하는 것을 알 수가 있었으며, 운전 정지 후의 온도도 49℃와 48℃로 유사하게 나타났다. 그리고 유기물함량이 5.78%인 No-1과 유기물함량이 4.46%인 No-5와의 최종 온도를 비교하였을 경우, 유기물 함량 1.32% 높은 No-1이 No-5에 비하여 7℃ 높게 나타났다. 그러나 No-5의 경우는 운전시간이 No-1보다 작으므로 동일한 시간으로 가정 할 경우

는 더 많은 온도차이가 날 것으로 판단된다. 이러한 결과를 볼 때 반응기의 온도를 유지시키는 방법으로 투입되는 신선분뇨의 고형물함량이 5~7%는 되어야 하며, 투입 후 반응기의 내부고형물 함량은 약 6~7%가 적정하다고 사료된다. 일반적으로 양돈농가로부터 배출되는 혼합분뇨의 TS함량이 7.5%(수분 92.5%이상)이상이므로 급속액상부숙기술이 일반 양돈농가에 적용이 가능할 것으로 판단되어진다.

바. 운전기간 중 반응기의 내부 무기물함량의 경시적 변화

그림 1-13은 급속액상부숙기술의 가동 중 내부의 무기물함량의 변화를 나타내고 있다. 반응기의 내부질소의 함량변화를 살펴보았을 때, 반응기에 새로운 분뇨를 투입함에도 불구하고 T-N의 농도는 평균 5,621mg/ℓ로 나타났으며, NH₄-N은 평균 1,363mg/ℓ로 나타났다. 매일 신선분뇨를 투입하여도 T-N의 농도가 상승되지 않고, NH₄-N의 농도가 일정한 것은 반응기 내에서 질소의 무기화가 진행됨으로써 유기태질소가 NH₄-N로 전환되어 NH₄-N의 농도가 증가하여야 하지만 질소의 상당부분이 수분과 함께 반응기의 외부로 탈기되었기 때문으로 사료된다. 그림 1-14는 운전기간 중 반응기의 내부염류농도의 변화를 나타낸 것으로써, K⁺, Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺의 경우에서 K⁺, Na⁺, Mg²⁺은 운전기간 중에 농축현상은 나타나지 않았으나, Ca²⁺의 경우에는 1,480mg/ℓ에서 2,468mg/ℓ로 점차 증가하는 경향을 나타내고 있었으나 그 이유는 아직 명확히 밝혀지지 않았다.

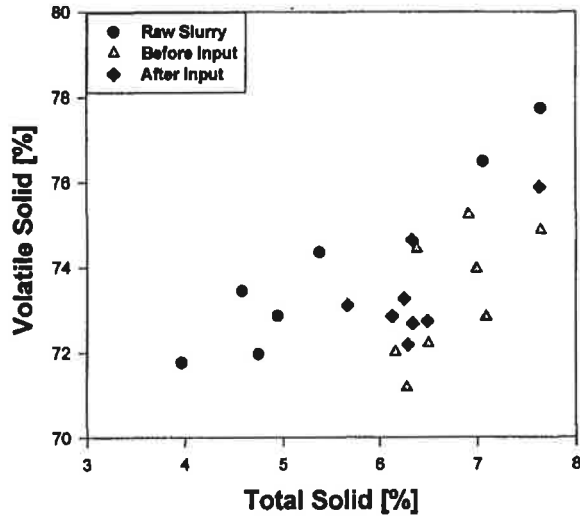


그림 1-11. 투입되는 분뇨의 고형물함량에 따른 유기물함량

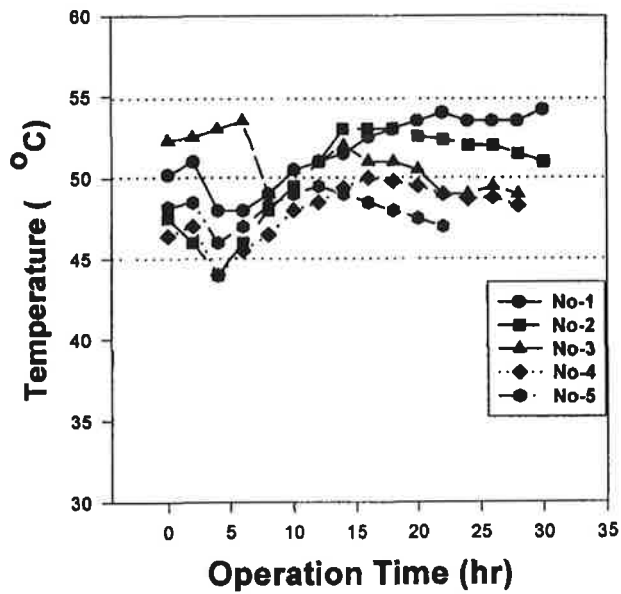


그림 1-12. 고형물함량에 따른 급속액상부숙기술의 온도변화
 희분식 급속액상부숙기술의 투입후 내부액의 VS농도
 No-1 : 5.78%, No-2 : 4.72%, No-3 : 4.54%, No-4 : 4.57%, No-5 : 4.46%

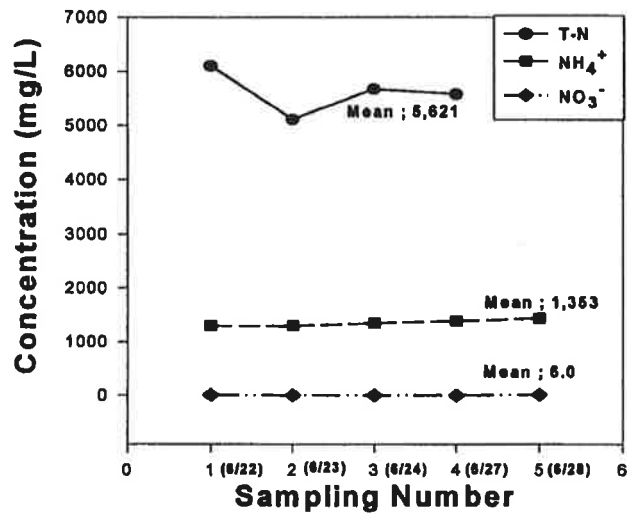


그림 1-13. 퇴분식 급속액상부숙기술의 운전기간 중 반응기 내부의 T-N, NH₄-N, NO₃-N의 변화

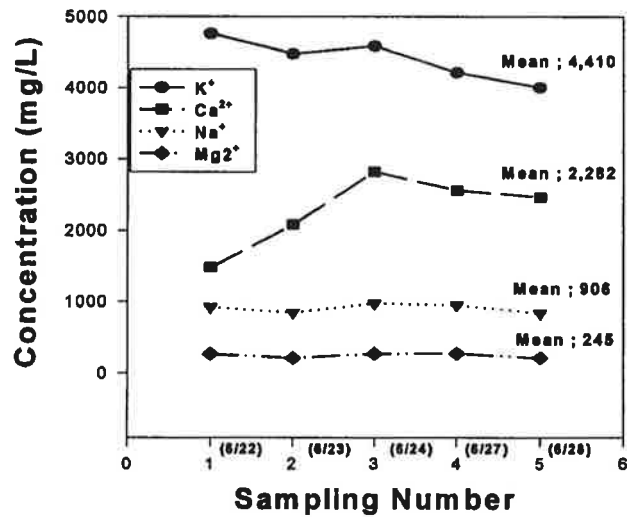


그림 1-14. 퇴분식 급속액상부숙기술의 운전기간 중 반응기 내부의 염류의 농도변화

사. 외기온도 변화에 따른 내부온도의 변화

그림 1-15, 그림 1-16, 그림 1-17은 반응기가 설치된 농가에서 8개월 동안 운전한 결과를 나타낸 것으로써, 운전기간 중의 외기 온도에 따른 반응기의 내부온도변화를 계절별로 나누어 나타낸 것이다. 1, 2월을 겨울, 3~5월을 봄, 그리고 6~8월을 여름으로 하였다.

봄의 경우, 평균최고/최저 외기온도와 내부온도는 각각 약 25.1℃, 11.1℃와 약 52.6℃, 40.9℃이었다. 여름의 경우에 평균최고/최저 외기온도와 내부온도는 약 30.9℃, 20.7℃와 52.3℃, 45.3℃로 운전이 되었다. 봄과 여름의 기간동안 평균 최고 외기 온도가 약 5.8℃의 차이를 나타내고 있으나 반응기 내부의 평균 최고온도는 52.6℃와 52.3℃로 거의 변화가 없음을 보였다.

겨울철의 평균최저 외기온도가 영하 5℃로 봄과 여름의 평균최저 외기온도가 각각 11.1℃, 20.7℃에 비하여 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러나 반응기의 내부온도는 겨울, 봄, 여름이 각각 40.0℃, 52.6℃, 52.3℃로서 봄과 여름의 반응기의 내부온도는 큰 차이를 보이고 있지 않았으며, 겨울의 경우에는 봄과 여름에 비하여 약 12.0℃ 낮게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 그러나 겨울의 경우 2월 17일부터 2월 25일 까지 약 10일동안 농가사정 및 현장조건의 악화로 인하여 원활한 반응기 운전이 실행되지 못하였기 때문에 반응기의 내부온도가 25~35℃의 범위로 나타난 것으로 판단되어진다. 하지만 원활하게 운전을 수행한 1월의 반응기 내부의 온도는 45~55℃ 범위를 나타내고 있어 적절히 관리하였을 경우 외기온도가 낮은 1~2월에도 적절한 온도로 판단되어지는 45~55℃를 유지할 수 있을 것으로 사료된다.

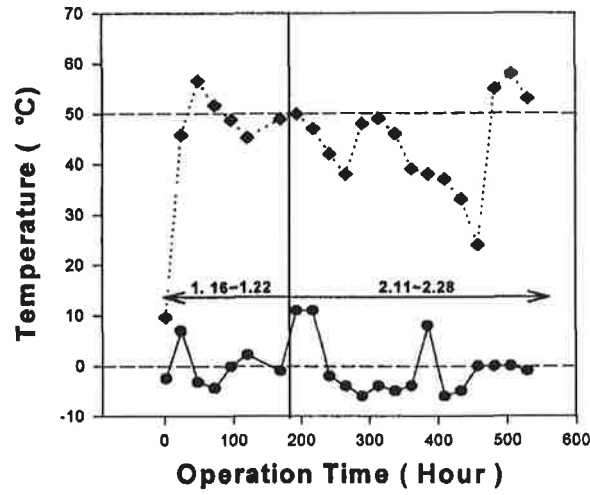


그림 1-15. 회분식 급속액상부숙기술의 외기온도에 따른 내부온도의 변화 (1월-2월)

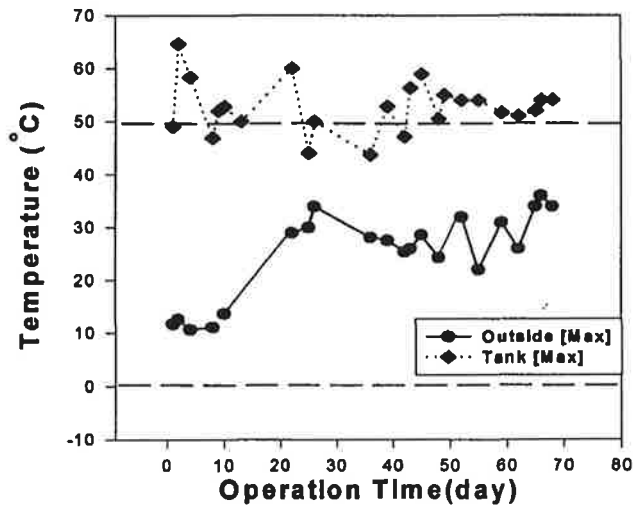


그림 1-16. 회분식 급속액상부숙기술의 외기온도에 따른 내부온도의 변화 (3월-5월)

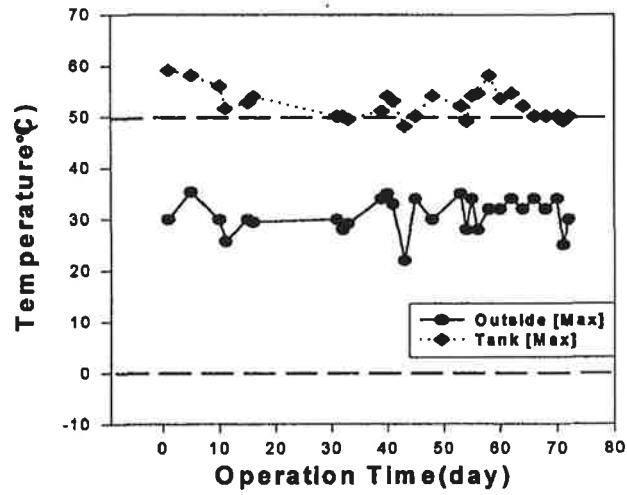


그림 1-17. 회분식 급속액상부숙기술의 외기온도에 따른 내부온도의 변화 (6월-8월)

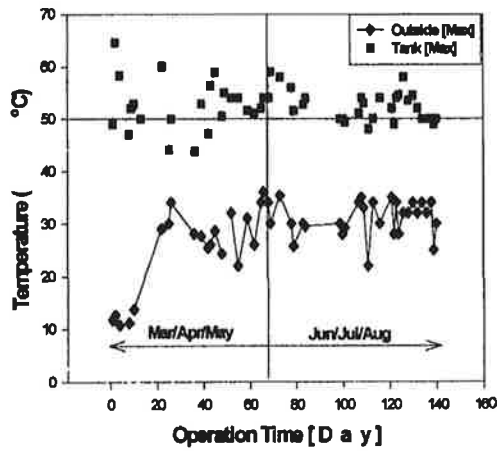


그림 1-18. 회분식 급속액상부숙기술의 운전기간 중외기온도 및 내부온도 변화 (1월~8월)

아. 회분식 급속액상부숙기술의 운전 매뉴얼

그림 1-18은 회분식 급속액상부숙기술을 8개월간 운전하였을 때의 결과로써, 외기온도에 따른 내부온도의 변화를 나타낸 것이다. 위의 결과를 기초로 하여 회분식 급속액상부숙기술의 계절별 운전매뉴얼을 작성하였다.

1) 초기가동시 운전 방법 (5ton/日 처리時)

가) 반응기로 투입될 분뇨를 분뇨 저장조에 모은다.

나) 분뇨저장조에 광합성 미생물을 첨가한다. 첨가후 일주일 정도 방치.

다) 저장된 분뇨를 반응기로 펌프를 이용하여 수위 70cm까지 투입한다.

라) 수중폭기장치와 소포장치를 가동하여 반응기를 3일간 가동한다.

마) 가동후 1日째 : 5ton × 1/3 추가

2日째 : 5ton × 2/3 추가

3日째 : 5ton × 3/3 추가하여 가동하고, 수위 70cm 확인 후 분뇨저장조의 분뇨를 반응기에 25cm를 투입한다.

바) 반응기 가동 18시간 경과 후에 배출구를 이용하여 Efflux를 배출한다.

-- 배출량은 투입한 양의 40%를 배출하는 것을 기본으로 한다.

예) C type의 경우:25cm는 5.4m³이므로 $[5.4\text{m}^3 \times 0.4 = 2.16\text{m}^3]$

2.16m³은 약 10cm

2) 정상 운전 상태에서의 운전 방법-A(여름철 6~8月)

※ 가동 중의 12시간 정지수위가 70cm이하를 기본.

가) 12시간 동안 정지한 반응기의 수위 70cm에서 반응기를 가동시킨다.

나) 2시간 동안 가동한 후의 일시정지(1min) 수위 30~40cm에서 분뇨 25cm를 투입한다.

다) 분뇨투입 후 14시간 동안 반응기를 가동한다.

- 라) 분뇨투입 후 14시간 경과 후 반응기의 Efflux 배출구를 통하여 약 2시간동안 Efflux를 투입량의 40%를 배출한다.
- 마) Efflux를 배출한 후 계속해서 반응기를 가동시킨다.
- 바) 분뇨투입 후 가동 24시간 경과 후에 반응기를 정지시킨다.
 - 일시 정지 수위는 약 30~40cm 정도가 된다.
 - 12시간 정지 수위는 70cm 정도가 된다.
- 사) 위의 가) ~ 바)까지의 작업을 다시 실시한다.

3) 정상 운전 상태에서의 운전 방법-B (겨울철 11~2月)

- 가) 12시간 동안 정지한 반응기의 수위 90cm에서 반응기를 가동시킨다.
- 나) 2시간 동안 가동한 후의 일시정지(1min) 수위 40~50cm에서 분뇨 25cm를 투입한다.
- 다) 분뇨투입 후 14시간 동안 반응기를 가동한다.
- 라) 분뇨투입 후 14시간 경과 후 반응기의 Efflux 배출구를 통하여 약 2시간동안 Efflux를 투입량의 40%를 배출한다.
- 마) Efflux를 배출한 후 계속해서 반응기를 가동시킨다.
- 바) 분뇨투입 후 가동 24시간 경과 후에 반응기를 정지시킨다.
 - 일시 정지 수위는 약 40~50cm 정도가 된다.
 - 12시간 정지 수위는 90cm 정도가 된다.
- 사) 위의 가) ~ 바)까지의 작업을 다시 실시한다.

3. 연속식 급속액상부숙기술

가. 수위변화

그림 1-19는 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 수위변화를 나타낸 것이다. 예비실험을 기초로 운전중의 적정수위변화 폭은 45~55cm로써, 40~

70cm인 회분식 반응기의 수위변화 폭보다 낮게 나타났다. 그러나 그림에서 보여지는 것처럼 운전기간 중 점차적으로 수위가 상승하고 있다. 이는 회분식 급속액상부숙기술의 NO-2의 수위변화 그림인 그림 1-7과 유사한 형태를 보여주고 있음으로써, 운전기간 중 Efflux배출량이 적음으로 인하여 반응기의 내부에 잔존되고 있음을 알 수 있었다. 따라서 외부로의 배출량을 증가함으로써, 그림에서 보여지는 수위상승이 발생하지 않도록 운전할 수 있을 것이라고 판단된다. 또한 연속식과 회분식 급속액상부숙기술의 정지 후 수위상승폭을 비교하여 보았을 때, 회분식은 20시간이 경과한 후 약 60cm의 수위상승 현상이 나타났으나, 연속식의 경우는 약 5cm의 수위상승 현상을 보였다.

나. 온도변화

그림 1-20은 연속식 급속액상부숙기술의 운전기간중의 내부와 외기온도를 나타내고 있다. 반응기의 온도는 초기 31.6℃에서 최고 70.2℃까지 상승하였으며, 연속투입이 이루어진 시점에서는 56.0~62.0℃의 온도를 유지하였다. 회분식 급속액상부숙기술의 온도변화를 보여주는 그림 1-9에서 적정 조건인 NO-3의 온도범위는 45.0~55.0℃를 보여주고 있었으나 연속식 급속액상부숙기술에서는 9.0~11.0℃정도 높은 온도로 운전되고 있음을 알 수 있었다.

액상퇴비화의 경우 처리온도는 매우 중요한 지표로 인식되어 있으며, 퇴비화 기간 중 최소 40℃이상을 유지하여야 한다고 하였는데, 본 실험의 경우는 17℃정도 높은 60℃이상에서 유지됨으로써 유해미생물의 사멸로 인한 액비의 안정성에 매우 유익할 것으로 판단되어진다. 또한 반응기의 내부에 설치되어진 수중폭기장치의 자체발열이 온도상승에 미치는 영향을 알아보기 위하여 수도수만을 넣고 운전한 결과, 약 45℃이상의 온도를 유지하는

것으로 나타남으로써, 반응기의 운전 중 온도상승에 있어서, 부착된 수중폭기장치가 발열에 기여하는 것으로 판단되었다. 그림 1-21은 연속식 급속액상부숙기술의 운전조건설정에 관한 예비실험으로써 투입량, 수위, 투입시간, 배출량을 각각 달리하였을 때의 반응기의 내부온도변화를 나타낸 것이다. 예비실험의 운전조건에서 분뇨투입시기와 투입량 그리고 운전수위는 Run-1의 경우, 2시간 간격으로 50 l/회 투입, 35~40cm였으며, Run-2는 3시간 간격으로 50 l/회 투입, 40~45cm, 그리고 Run-3는 6시간 간격으로 120 l/회 투입, 50~55cm, Run-4는 4시간 간격으로 60 l/회 투입, 50~55cm이었다.

다. pH 변화

그림 1-22는 반응기의 운전 중 내부pH의 변화를 나타낸 것으로써, 초기 시료의 pH는 7.6이었으나 시간이 경과함에 따라 반응기의 내부pH는 8.6~9.2의 범위를 나타내었다. 회분식의 경우는 적정pH의 범위가 8.2~8.6으로 나타났으나 그림 1-7의 수위변화와 유사하게 높은 pH범위를 나타내었다.

라. 공기유입속도의 변화

그림 1-23은 운전 중 반응기의 내부로 유입되는 공기유속의 변화를 나타낸 것으로써, 평균 유입속도는 1.2m/sec였으며, 수도수만을 가지고 가동하였을 때의 공기의 유속은 1.8~2.0m/sec로써 분뇨를 투입한 후 가동하였을 때 0.6~0.8m/sec정도의 유속이 낮아짐을 알 수가 있었다. 유입공기의 유속이 점차적으로 낮아지는 이유는 반응기에 부착된 수중폭기장치의 토출형식이 외부에서 직접적으로 공기를 강제로 유입하는 것이 아니라, 내부액의 토출로 인하여 자연적으로 유입되기 때문에 운전이 지속됨에 따라서 반응기의 내부에 거품층이 형성됨으로써 수도수만을 토출할 때보다 토출압이

낮아지기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 수중폭기장치의 공기유입속도는 반응기의 운전에 있어서 수위변화 및 반응시간과도 밀접한 연관이 있을 것으로 판단되므로 이에 대한 연구는 더 진행해야 할 것으로 판단된다.

마. 투입량, 배출량, 내부 잔존량의 비교

그림 1-24는 연속식 급속액상부숙기술의 운전기간 중 투입 누적량 및 배출 누적량 그리고 내부 잔존량을 나타낸 것이다. 운전기간 동안 총 14회의 분뇨가 투입되었으며, 초기분뇨투입량은 0.556m^3 , 분뇨의 투입량과 배출량은 4시간 간격으로 각각 60 l/회 , 40 l/회 로 설정하여 가동하였을 때, 총 투입량과 총 배출량 그리고 내부 잔존량은 각각 1.516m^3 , 0.515m^3 , 0.742m^3 이었다. 연속투입이 시작된 시점을 기준으로 투입량과 배출량 그리고 정지 후 수위증가량과 증발량은 각각 0.840m^3 , 0.515m^3 , 0.061m^3 , 0.264m^3 이었다. 총 투입량에 대한 증발율은 31.4%로 낮게 나타났으나 평방미터당 일일증발량으로 환산하였을 경우, $108\text{ l/m}^2 \cdot \text{day}$ 로 표 3에서 보여지는 회분식 반응기 NO-3의 $120\text{ l/m}^2 \cdot \text{day}$ 보다는 낮았으나, NO-1과 NO-2보다는 높은 것으로 나타났다.

바. 운전기간 중 COD_{Cr}, T-P, T-N, T-VFA의 농도변화

연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 COD_{Cr}, T-P, T-N, T-VFA의 농도 변화는 그림 1-25, 1-26, 1-27, 1-28에서 나타내고 있다. 투입시료의 COD_{Cr}농도는 $52,216\text{mg/l}$ 였으며, 운전 중 반응기의 내부액과 Efflux의 평균농도는 각각 $40,452\text{mg/l}$, $37,134\text{mg/l}$ 로써 처리 후 배출물인 Efflux의 COD_{Cr}농도가 약 $3,000\text{mg/l}$ 정도 낮게 측정되었다. 평균 T-N의 농도는 $6,243\text{mg/l}$, $6,194\text{mg/l}$ 였으며, 평균 T-P의 농도는 $1,204\text{mg/l}$, $1,114\text{mg/l}$ 로써 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 T-N과 T-P의 농도는 반응기의 내부액이 Efflux보다 약간 높은 농도로 나타났다.

그림 1-29는 Total-VFAs의 농도변화를 나타낸 것으로써, 투입시료의 VFAs농도는 1,538mg/ℓ 이었으며, 운전 중 연속식 급속액상부숙기술의 내부 평균 VFAs는 각각 103.0mg/ℓ 였다. 회분식 급속액상부숙기술의 경우 배출액의 배출조건이 VFAs가 검출되지 않는 것을 기준으로 삼아 신선분뇨의 투입 후 16시간 뒤에 배출하는 것을 기준으로 삼았으나, 연속식 급속액상부숙기술의 경우에는 시료투입 후, 2시간이 경과한 후에 배출하였다. 배출액의 평균 VFAs는 72.9mg/ℓ 으로 내부의 VFAs농도보다는 약간 낮은 농도로 나타났다. 이는 회분식 급속액상부숙기술의 투입량을 6회에 걸쳐 조금씩 투입하고, 계속하여 배출액을 배출하였기 때문에 Efflux에서 VFAs가 검출된 것으로 판단된다. 향후, 지속적으로 가동하여 VFAs가 검출되지 않는 보다 나은 Efflux의 배출에 대한 연구는 보완되어야 할 것으로 판단된다.

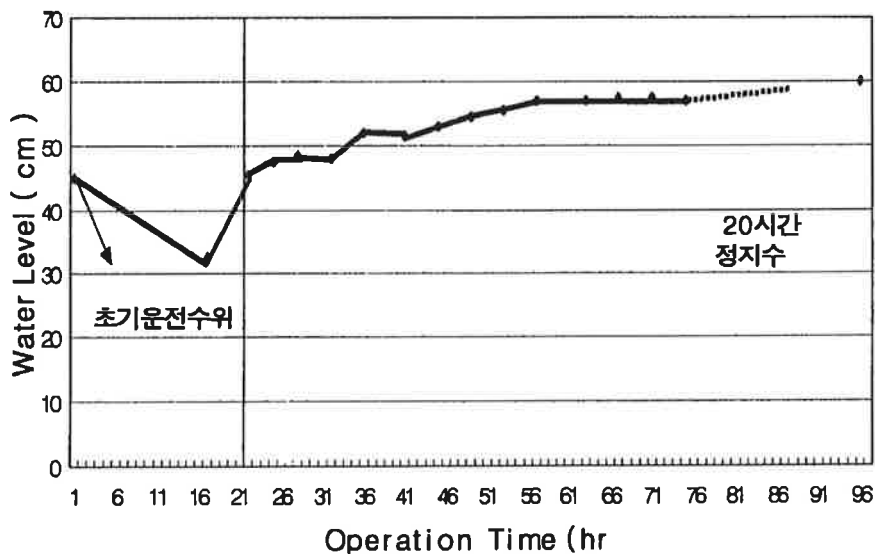


그림 1-19. 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 수위변화

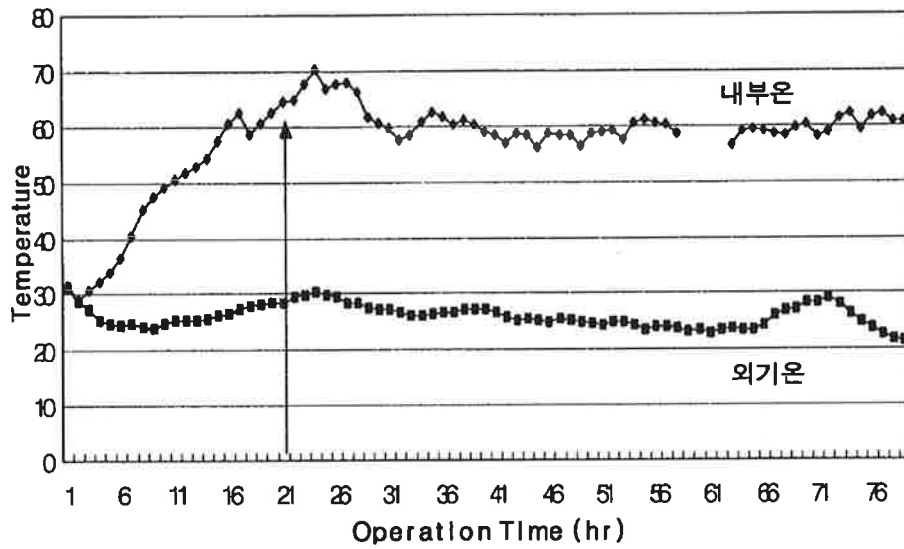


그림 1-20. 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 내부온도 및 외기온도의 변화

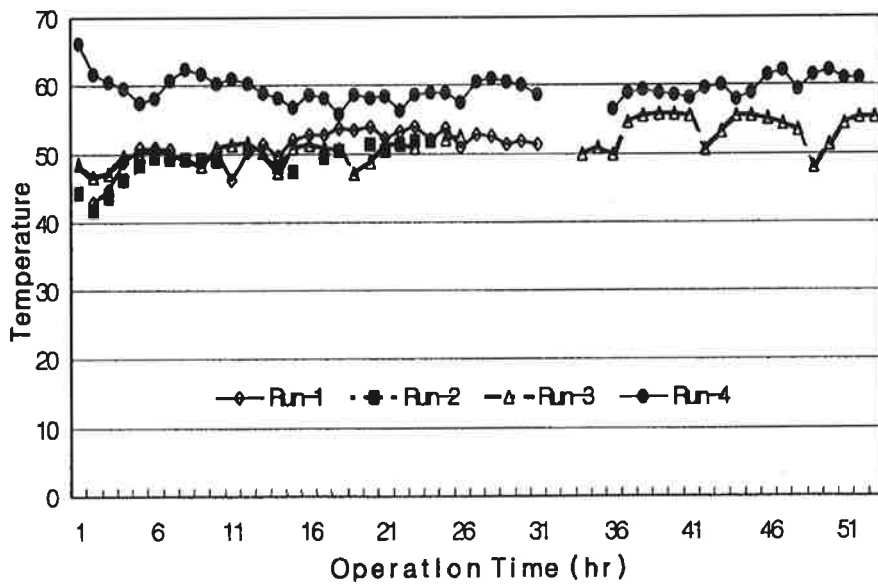


그림 1-21. 연속식 급속액상부숙기술의 운전조건에 따른 내부 온도의 변화

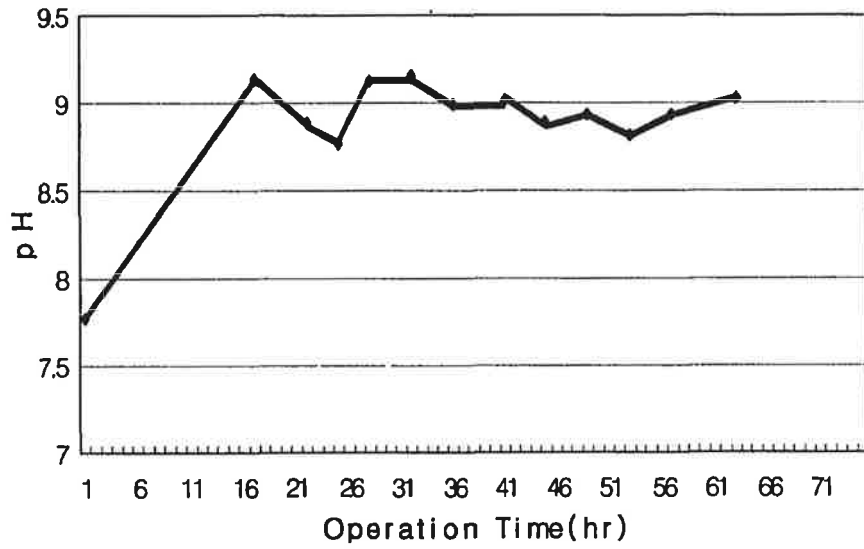


그림 1-22. 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 내부 pH 변화

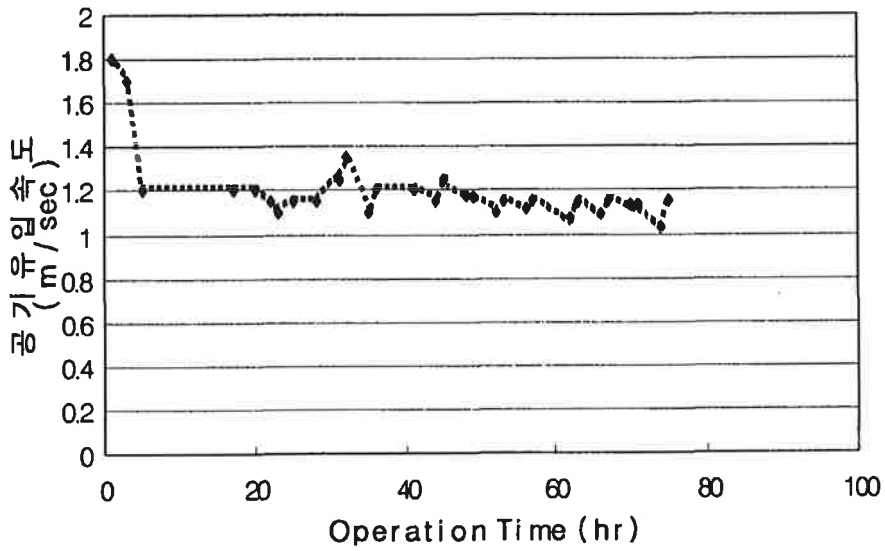


그림 1-23. 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 공기유입속도의 변화

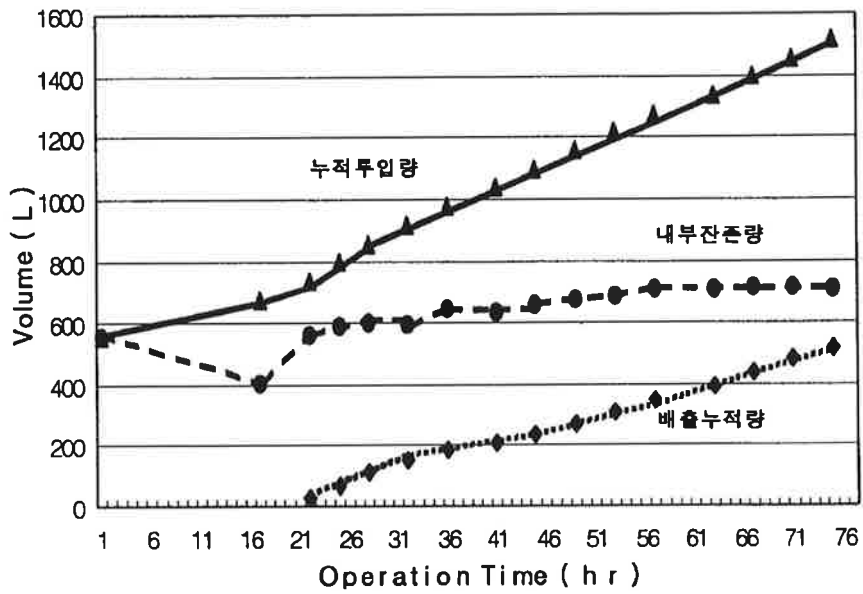


그림 1-24. 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 투입량 및 배출량 그리고 내부잔존량의 비교

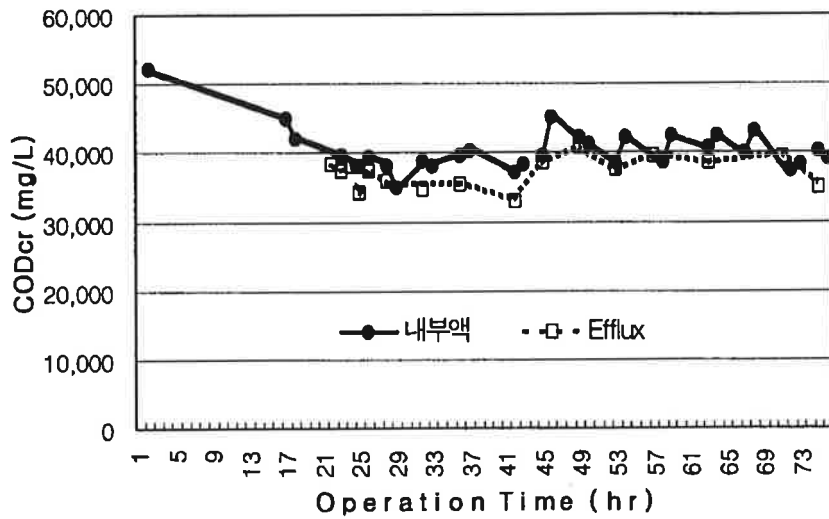


그림 1-25. 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 내부액 및 배출액의 CODcr 농도

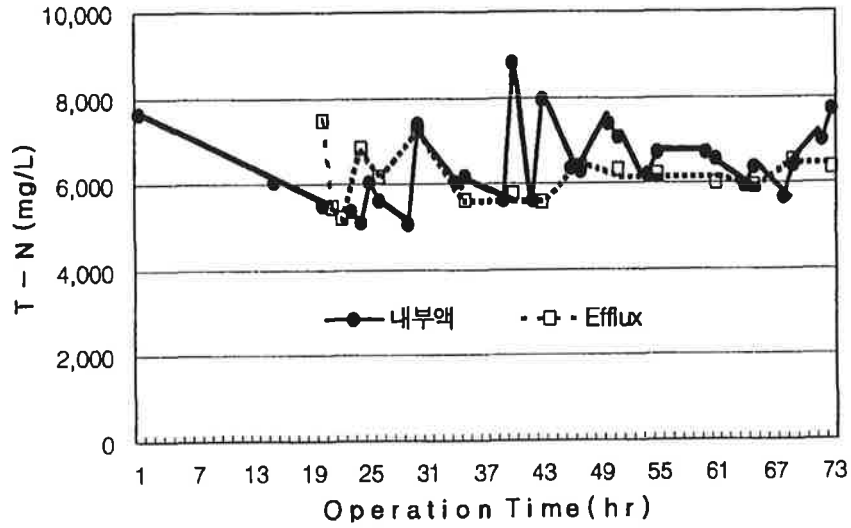


그림 1-26. 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 내부액 및 배출액의 T-N 농도변화

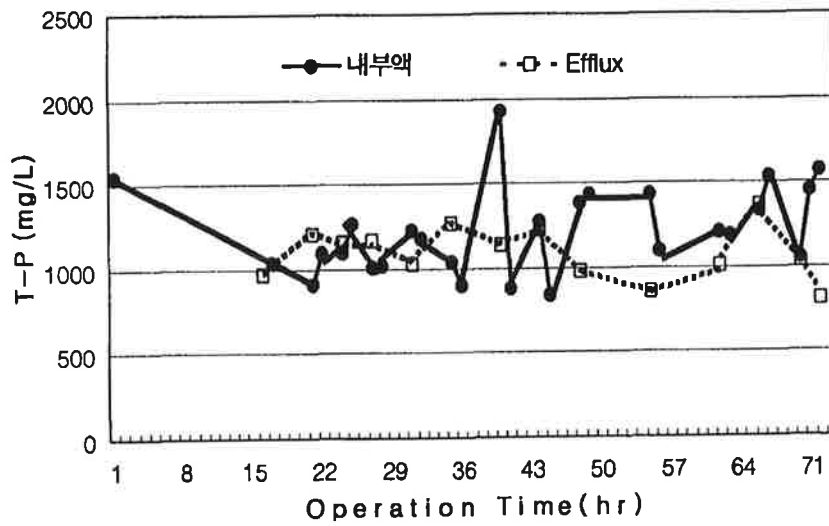


그림 1-27. 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 내부액 및 배출액의 T-P 농도변화

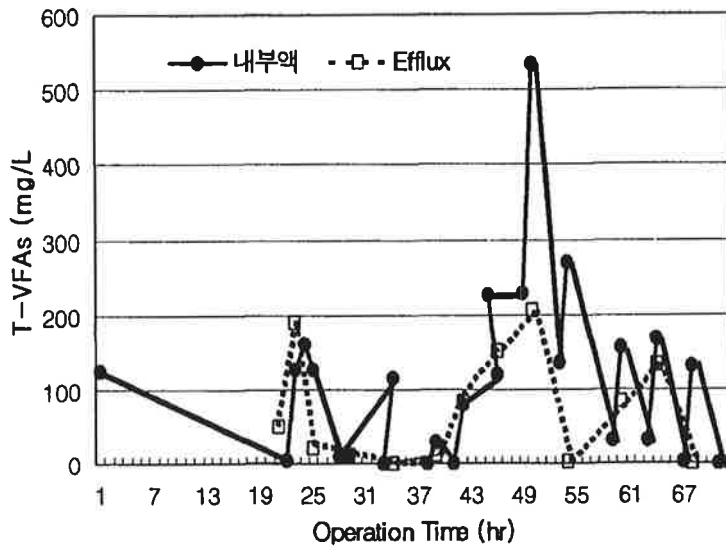


그림 1-28. 연속식 급속액상부숙기술의 운전 중 투입 전·후 내부액 및 배출액의 Total VFA 농도변화

제 4 절 결 론

1. 급속액상부숙기술의 수위장치개발

반응기의 운전에 있어서 세 번에 걸친 수위장치의 변화가 있었으며, 최종적으로 반응기의 전면에 투명 아크릴판을 이용한 수위계를 설치하였고, 이로써, 반응기의 가동상황을 즉시 알 수가 있었으며, 거품으로 인한 수위 측정의 어려움은 발생하지 않았다. 수위의 변화가 육안으로 확인이 됨으로써, 투입량, 배출량, 증발량에 대한 결과확인이 명확하게 되었다.

2. 회분식 급속액상부숙기술

수중폭기장치와 수분증발장치의 가동수가 각각 2대일 경우는 온도는 60℃이상 상승하였으나 증발량이 55.5 l/m³·day이었고, 각각 3대일 경우는 온도는 35~50℃의 범위를 보이고 있었으나 증발량은 70 l/m³·day 로써

반응기의 운전에 있어서 수위, 온도, pH등이 일정범위 내에서 운전이 이루어지지 못하였다. 그러나 수중폭기장치 3대, 수분증발장치 4대를 가동하였을 경우, 수위는 40~70cm, 온도는 45~55℃, pH는 8.2~8.8로 일정하게 유지하는 것으로 나타났으며, 증발량은 $120 \text{ l/m}^3 \cdot \text{day}$ 이었다(표 1-3, 그림 1-8, 1-9, 1-10).

반응기의 온도에 중요한 고형물 함량의 경우, 가동제한인자로서 사료되며, 분뇨의 적정 고형물 함량은 5~7%로 판단되어진다(표 1-5, 그림 1-11).

반응기의 운전 중 외기 온도의 영향은 크게 받지 않았으며, 봄과 여름의 평균 온도는 각각 52.6℃, 52.3℃이었으며, 겨울에도 평균 40℃ 이상을 유지하였다(그림 1-15, 1-16, 1-17).

3. 연속식 급속액상부숙기술

연속식 급속액상부숙기술 반응기의 수위변화범위는 45~55cm였으며, 온도는 초기 31.6℃에서 최고 70.2℃까지 상승하였고, 연속투입이 이루어진 시점에서는 56.0~62.0℃의 온도를 유지하였다. 반응기의 내부에 설치되어진 수중폭기장치의 자체발열로 인한 온도는 45℃ 이상을 보여주었다. 내부액의 pH는 pH 8.6~9.2의 범위를 나타내었다.

반응기 내부로 유입되는 공기유속의 변화에서 평균 유입속도는 1.2m/sec였으며, 수도수만을 가지고 가동하였을 때의 공기의 유속은 1.8~2.0m/sec로써 분뇨를 투입한 후 가동하였을 때 0.6~0.8m/sec정도의 유속이 낮아짐을 알 수가 있었다.

연속투입이 시작된 시점을 기준으로 투입량과 배출량 그리고 정지 후, 수위 증가량과 증발량은 각각 0.840m³, 0.515m³, 0.061m³, 0.264m³이었으며, 총 투입량에 대한 증발율은 31.4%로 평방 미터 당 일일증발량은 $108 \text{ l/m}^3 \cdot \text{day}$ 였다.

제 2 장 양돈 슬러리 및 발효처리물의 무취화 관리기술

제 1 절 서 론

Efflux는 장기간 정치 보관될 경우 물질분해를 통해 악취에 의한 돈사의 사육환경 저하 및 자원화시에 농지 주변에 민원발생의 가능성을 내포하게 된다. 악취는 전형적인 감각공해의 하나로서, 자극성 있는 기체성 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감이나 혐오감을 주는 상태를 말하는 것으로 여러가지 성분이 복합적으로 작용하여 사람에게 정신적인 스트레스를 주게 되나^{10,12)}, 최근 이 등은 양돈슬러리에 공기¹⁵⁾ 및 광합성세균(Phototrophic bacteria, PTB)¹⁷⁾을 이용하여 악취를 제어하는 방안을 보고한 바 있다.

따라서 본 연구에서는 양돈 슬러리 및 급속액상부숙기술로 처리한 Efflux에 공기 주입 및 광합성세균의 접종방안을 적용하여, 각 처리시의 변화 및 Efflux에서의 악취물질의 변화상을 살펴보고자 하였고, 수분함량에 따라서 건물함량과 비료성분량이 크게 변하기 때문에¹⁴⁾ Efflux의 장기보관 중 살포하기 전에 Efflux의 균질화가 필요하므로 급속액상부숙기술을 통하여 배출되는 Efflux의 장기보관시 현장에서 적용가능토록 교반여부에 따른 무취화관리와 균일성에 대하여 Pilot scale로 연구하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 양돈 슬러리의 무취화 관리기술

가. 시료의 성상

본 실험에서 이용된 시료는 실제 농장에서 발생된 돈분과 인공폐수 (BOD 5,000 mg/l)를 혼합하여 제조하였으며, 이때 사용된 돈분은 강원도 원주시 근교에 위치한 H농장의 분을 사용하였다. 고분자 유기물을 저분자 화하고 시료의 동일성을 확보하기 위하여, 75 l의 용기 2개에 일정량의 분 과 인공폐수를 혼합한 후, 공기펌프를 이용하여 375ml/min · l의 공기를 주입하였다. 폭기 처리된 시료는 눈금이 1,000 μ m, 500 μ m, 250 μ m의 망사체를 사용하여 여과시킨 후, 최종 여과액을 공시 시료로 이용하였다(그림 2-1). 사용된 시료의 성상은 표 2-1과 같다.

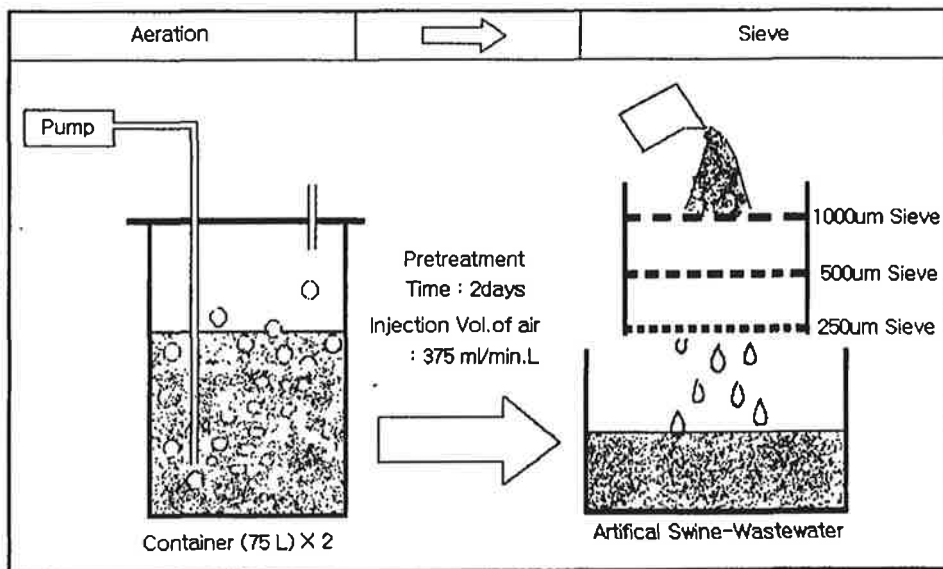


그림 2-1. 실험에 사용된 시료의 제조공정 개략도

표 2-1. 실험에 사용된 시료의 이화학적 성상

Item	Value
pH	8.29
ORP(Oxidation Reduction Potential)	-210 (mV)
TS(Total Solid)	3.04 (%)
T-N(Total Nitrogen)	3,219 (mg/ l)
NH ₄ -N(Ammoniac Nitrogen)	2,124.4 (mg/ l)
NO ₃ -N(Nitrate Nitrogen)	40.9 (mg/ l)
NO ₂ -N(Nitrite Nitrogen)	0.37 (mg/ l)
T-P(Total Phosphates)	1,731 (mg/ l)
PO ₄ -P(Orthophosphates)	37.06 (mg/ l)
CODcr(Chemical Oxygen Demand)	54,918 (mg/ l)
BOD(Biochemical Oxygen Demand)	19,530 (mg/ l)
General Bacteria	2.2×10 ⁸ (CFU/ml)
SRB(Sulfate reducing Bacteria)	4.3×10 ⁶ (MPN/ml)
VFAs(Volatile Fatty Acid)	2,364 (mg/ l)

나. 실험장치 및 방법

반응기는 실제 슬러지 저류조의 높이와 유사하게 설계·제작하였다. 반응기의 크기는 18cm(d)×157cm(h)로서, 투명한 원통형 아크릴판을 이용하였고, 각 높이별 변화를 관찰하기 위해서 반응기 밑바닥으로부터 10cm, 40cm, 70cm지점의 한가운데에서 시료를 채취할 수 있도록 장치를 설치하였다. 반응기 상부에는 직경 0.9cm의 구멍을 두 개 만들어 반응기 내·외부로 공기가 이동하도록 하였다. 실험기간 동안 반응기 내부의 온도변화를 측정하기 위하여 온도기록계를 설치하였으며, 시료 채취구의 높이에 따라 상부의 채취구를 Sampling point(A)(이하 S.P.(A)), 중부의 채취구를 Sampling point(B)(이하S.P.(B)), 하부의 채취구를 Sampling point(C)(이하 S.P.(C))로 구분하였다(그림 2-2).

반응기는 직사광선이 비치지 않고 기상에 영향을 받지 않는 장소에 설치하였다. 분뇨가 혼합된 시료는 일반 슬러리 돈사에서 평균적인 높이인 80cm까지 채웠으며, 이때 채워진 용량은 18ℓ였다. 총 35일동안 반응기내의 변화상이 관찰되었으며, 1주일 간격으로 분석하였다. 1회 분석시에 시료 채취구당 100ml씩 채취하였으며, 전처리시 분주하고 남은 시료를 냉동보관하면서 해동하여 보충하였다.

각 처리구는 광합성세균의 접종농도와 빛의 유무에 따라, 10^6 MPN/ml · 암상태로 처리한 경우를 처리구-1(이하 T-1), 10^8 MPN/ml · 암상태로 처리한 경우를 처리구-2(이하 T-2)로 구분하였고, 10^8 MPN/ml · 자연광 상태로 처리한 경우를 처리구-3(이하 T-3)이라고 명명하였다. 빛에 의한 변화상을 관찰하기 위하여 T-1, T-2 반응기는 알루미늄 호일을 이용하여 자연광을 차단하였으며, T-3의 경우는 자연광을 차단하지 않았다. 실험기간동안 반응기 설치모습은 그림 2-3과 같다.

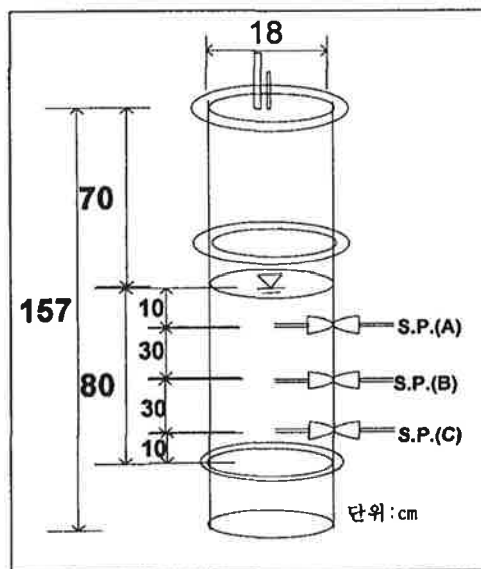


그림 2-2. 실험에 사용된 인공양돈분뇨 반응기의 개략도

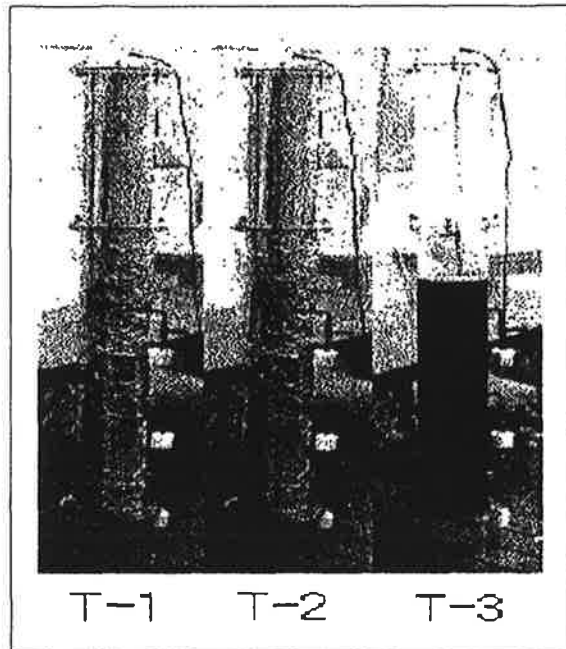


그림 2-3. 인공양돈분뇨 반응장치 사진

2. 광합성세균을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술

가. 시료의 성상

실험에 사용된 시료는 경기도 여주군에 위치한 J농장에 설치된 급속액상 부숙기술에서 생산되는 배출액비를 사용하였다. 채취한 시료는 반응기에 분주하기 전 50 mesh sieve를 이용하여 균질화하였으며, 실험에 이용된 시료의 성상은 표 2-2와 같다.

나. 실험장치 및 방법

유리로 제작된 10ℓ 용 반응기에 시료를 각각 5ℓ씩 분주하였으며, 상부에 직경 0.5cm의 구멍을 만들어 공기가 통할 수 있도록 하였다. 실험기간동안 반응기는 일정한 온도를 유지할 수 있는 water bath에서 30℃로 유지시켰으며, 직사광선이 비치지 않는 장소에서 50일간 내부 변화상을 분석하였

다. 시료 분석은 1주일 간격으로 실시하였으며, 분석시료는 하부로부터 7cm 되는 지점으로부터 100ml씩 채취하여 이용하였고, 공기를 주입하는 처리구에서는 공기가 골고루 분산될 수 있도록 공기주입관 앞에 수조용 마개를 달아두었다(그림 2-4).

반응기는 재료를 정치상태에서 어떤 처리도 행하지 않은 대조구(이하 Cont.)와, 250ml/min의 공기를 주입한 처리구-1(이하 T-1), 광합성세균을 10^8 (Most probable number, MPN)/ml로 접종한 처리구-2(이하 T-2)로 구분하였다. 한편, 본 연구에서 사용되어진 광합성세균은 원주시 종말 처리장에서 선택배지를 이용하여 분리동정한 후 계대배양하여 접종균주로 이용하였으며, 균속은 Rhodospirillaceae이다.

표 2-2. 실험에 사용된 Efflux의 이화학적 조성

Item	Value
pH	8.96
ORP(Oxidation Reduction Potential)	-310 mv
COD(Chemical Oxygen Demand)	26,212 mg/ℓ
BOD(Biochemical Oxygen Demand)	2,869 mg/ℓ
TS(Total Solid)	4.53 %
VS(Volatile Solid)/TS	62.3 %
T-N(Total Nitrogen)	2,835 mg/ℓ
NH ₄ -N(Ammonia Nitrogen)	2,709 mg/ℓ
NO ₃ -N(Nitrate Nitrogen)	71 mg/ℓ
NO ₂ -N(Nitrite Nitrogen)	0.7 mg/ℓ
T-P(Total Phosphates)	927 mg/ℓ
PO ₄ -P(Orthophosphates)	59 mg/ℓ

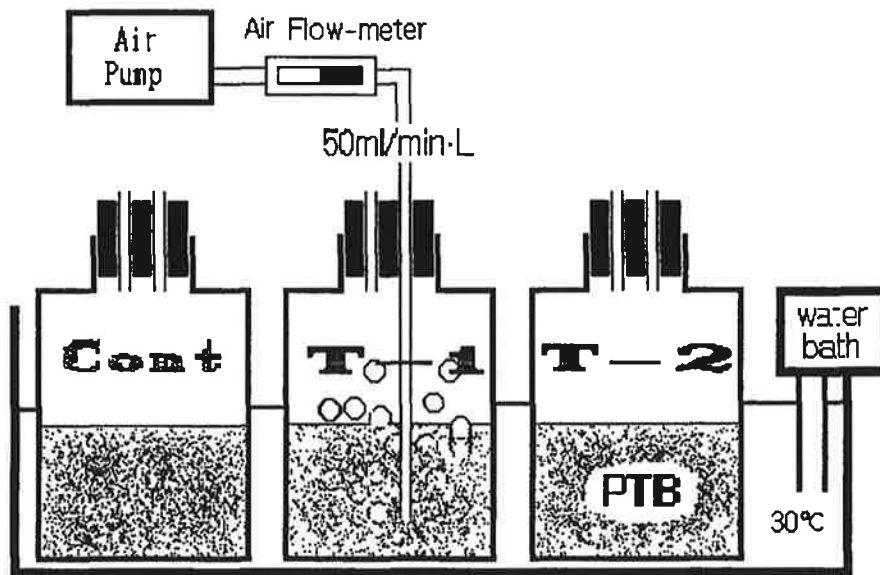


그림 2-4. 광합성세균을 이용한 발효처리물의 무취화 관리 실험장치의 개략도

3. 교반을 이용한 무취화 관리기술

가. 시료의 성상

실험재료는 양돈분뇨를 급속액상부숙기술에 투입 후 24hr 이상 처리를 한 후 배출되는 Efflux를 진동스크린처리하여 제조한 액(이하 Screen Efflux)을 이용하였다. 이는 노즐막힘 현상이 없기 때문에 다양한 형태로 농업에 이용이 가능한 점과 축산농가에서 세척수로도 이용이 가능한 점이 있다. 또한 Screen Efflux를 세척수로 이용할 경우 수도수 또는 지하수의 사용량 감소, 돈사바닥에서 0.5L/m²의 증발효과, 세척회수를 높일 경우 사육환경(돈사내 악취를 감소하여 돈사의 생산력을 제고) 및 관리환경의 향상도모, 세척수사용의 부가적 효과로 항생제 사용량 감소 효과도 볼 수 있음 등에 기인한다. Screen Efflux 성상은 표 2-3에 제시된 바와 같았다.

나. 실험장치 및 방법

실험장치는 여주 J농장에서 3.2m³규모의 원형저류조 2개를 Pilot-scale로 설치하여 실험하였다. 그림 2-5는 교반을 이용한 발효처리물의 무취화 관리 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 무교반(Standing)를 대조구로 하였으며, 교반(Mixing)를 처리구로 하였다. 이때 대조구는 Screen Efflux를 저류하여 정치하였으며, 처리구에는 Screen Efflux를 교반을 할 수 있도록 0.5HP 수중펌프(submersible pump)를 무취화 저류조의 바닥 중앙에 설치해놓았다. 처리구의 수중펌프는 일일 2회(0시, 12시)에 30분간 가동하였다. 이는 펌프의 용량을 기준으로 2ton을 1회 순환시키는데 약15분이 소요되므로 1회 가동시 2회 순환할 수 있도록 한 것이며, 이를 통하여 무취화 및 Efflux의 균일성을 확보하고자 하였다. 무취화저류 Tank는 폭 1.8m, 높이 1.2m로 총부피는 3.2m³였으나, 높이의 2/3인 0.8m를 저류액의 수면높이로 하였다. 이는 2.1m³를 저류액량으로 한 것과 같았다. 또한 차수지붕(Lean-to roof)을 설치하였으며 아크릴재질로 투광성이 있는 것을 사용하여 자연상태를 확보토록하였다.

표 2-3. 실험에 사용된 Screen Efflux 의 물리화학적 조성(n=5)

(unit : mg/ℓ)

Division	Average	Division	Average	Division	Average
pH	8.46	F ⁻	42	Ca	2,138
EC(mS)	15.7	NO ₂ ⁻	14	Fe	208
TS(%)	5.4	NO ₃ ⁻	17	Na	757
VS(%)	65.4	PO ₄ ⁻	527	Mg	517
TN	4,863	NH ₄ ⁺	1,365	Mn	36
Org-N	3,516	SO ₄ ²⁻	460	Mo	0.3
TP	1,397	Cl ⁻	1,497	Zn	73
K	2,738	Heterotrophic Bacteria (CFU/ml)	2.9×10 ⁷	Cu	31

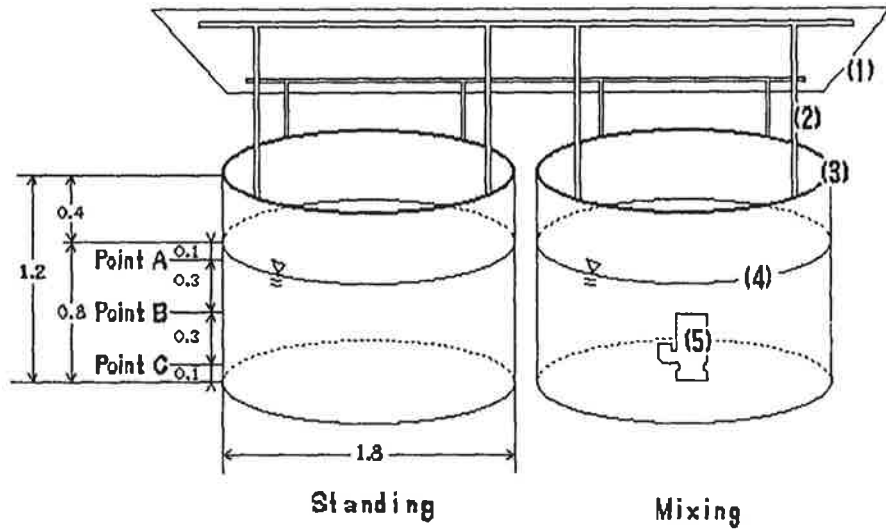


그림 2-5. 교반을 이용한 발효처리물의 무취화 관리장치 개략도

(unit : m)

- (1) Lean-to roof. (2) Roof pole.(3) Tank. (4) Screen Efflux (5) submersible pump.

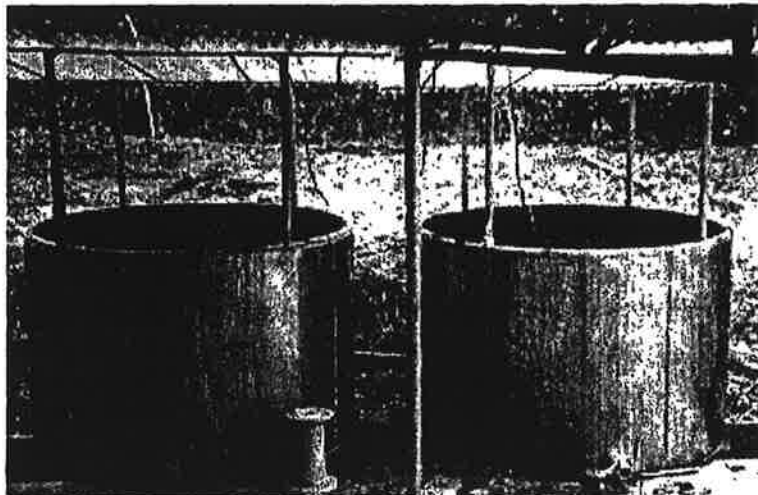


그림 2-6. 실험장치 전면모습[좌-무교반, 우-교반]

제 3 절 결과 및 고찰

1. 양돈슬러리의 무취화 관리기술 개발

가. 온도의 변화

그림 2-7은 실험기간 동안 반응기의 내부온도변화로서, 혐기적 조건하에서 온도의 변화는 유기물 분해속도와 미생물상에 많은 영향을 준다²⁰⁾. 실험기간 동안 온도는 최저 22℃에서 최고 31℃까지 변화하였고, 일교차는 반응초기에 4℃였으나, 이후 온도변화의 폭이 줄어들었다.

나. 고형물의 변화

그림 2-8은 반응기내에서 계면의 변화상을 보여준다. 모든 반응기에서의 시료(TS 3.04%)는 정치 상태에서 부유물이 격자구조를 형성하여 집단적으로 침강하는 계면침강의 특성을 보였다⁷⁾. 계면의 침강속도는 10일을 전후하여 침강속도가 완만해졌으며, 이 때 계면의 높이는 처리구간에 차이없이 실험기간 동안 일정하였다.

다. 화학적 산소요구량(CODcr)의 변화

화학적 산소요구량(CODcr)은 그림 2-9와 같다. S.P.(A)의 경우, CODcr의 농도는 계속해서 감소하였으며, 특히 VFAs가 급속히 감소되는 14일경에 가장 많이 감소하였다. 반면에 S.P.(C)는 계속되는 유기물의 축적·분해로 CODcr가 급격히 증가하였는데, 35일 경과시 T-1은 148,084 mg/l, T-2는 147,832 mg/l, T-3은 139,450 mg/l으로써 처리구간에 차이를 보였다. 반응기내 고형물의 이동은 계면이동 및 CODcr의 변화를 초래했으며, 이때 계면을 중심으로 액상부분(S.P.(A)), S.P.(B))는 유사한 결과를 나타내었고, 이와는 반대로 고형부분인 (S.P.(C))에서는 상이한 경향을 보였다.

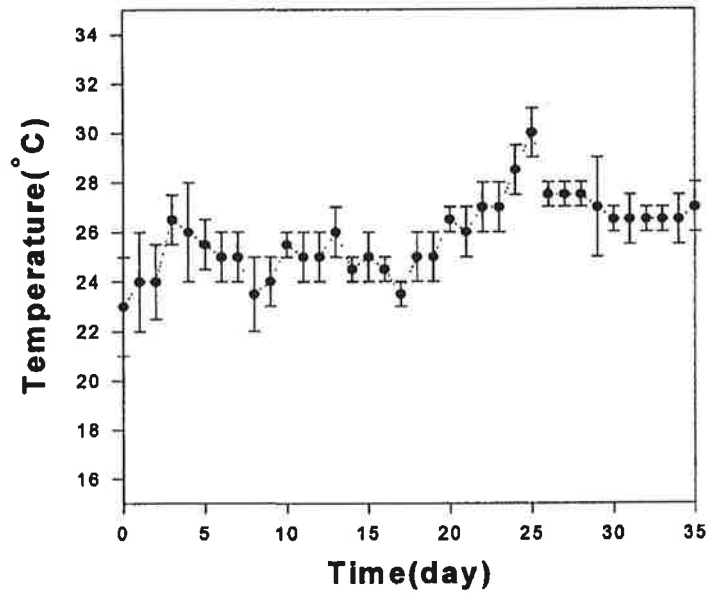


그림 2-7. 인공양돈분뇨 반응기의 온도변화

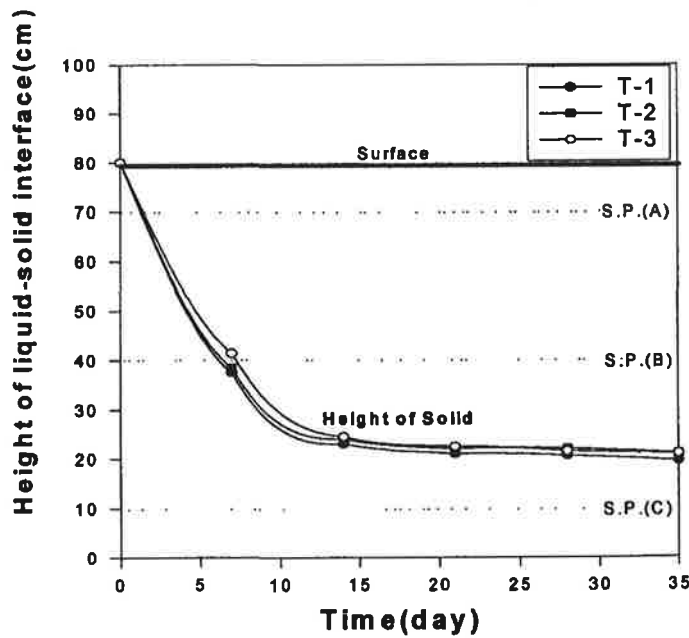


그림 2-8. 인공양돈분뇨 반응기의 시간에 따른 계면상의 변화

라. 산도(pH)와 산화환원전위(ORP)의 변화

산도(pH)는 전반적으로 중성부근에서 일정하였다.(그림 2-10). S.P.(A)는 T-1의 pH가 높았으며, 모든 반응기에서 조금씩 상승하였다. 특히, T-3의 경우 14일째까지는 가장 낮았으나 21일째에는 7.28까지 증가했는데, 이는 VFAs의 감소와 밀접하였다. 즉, 광합성세균의 접종량에 따른 VFAs의 변화가 pH의 변화로 나타난 것으로 사료된다.¹³⁾

S.P.(C)는 반응기별로 차이가 크지 않았다. 실험초기부터 S.P.(A)에 비해 많은 유기물이 분해되면서 생성된 유기산등이 pH의 차이를 야기시켰고, 이 경향은 실험기간동안 일정하였다.(그림 2-10).

산화환원전위(ORP)의 경우 S.P.(A)와 S.P.(C)는 유사한 경향으로 변화하였다(그림 2-11). 두 지점 모두 혐기상태였으며, 공기가 접촉하고 있는 S.P.(A)는 표면부하가 커서 기층의 산소가 시료 채취 지점까지 녹아들지 못하므로 ORP가 낮게 유지되는 것으로 사료된다.⁷⁾ 특히, 반응기 하부인 고형상부분(S.P.(C))이 더 높게 유지되는 것은 pH의 변화와 비교해 볼 때 매우 주목할 만한 현상이었다.

마. 기상부 취기강도의 변화

각 반응기 상부에서 취기강도를 검사한 결과는 그림 2-12와 같다. 실험 초기에 처리구별 취기강도의 차이가 컸으며, T-1 처리구는 최고 취기강도가 4.82로써 T-2, T-3의 2.63보다 높았다. 21일 경과시 T-2와 T-3는 2도 이하로 관능도상 '적합'으로 나타났다. 특히 T-3는 T-2와 달리, 실험후반부에서도 감소경향이 지속되었으며, 이는 광합성세균의 접종량과 활성의 차이에 의한 것으로 사료된다.

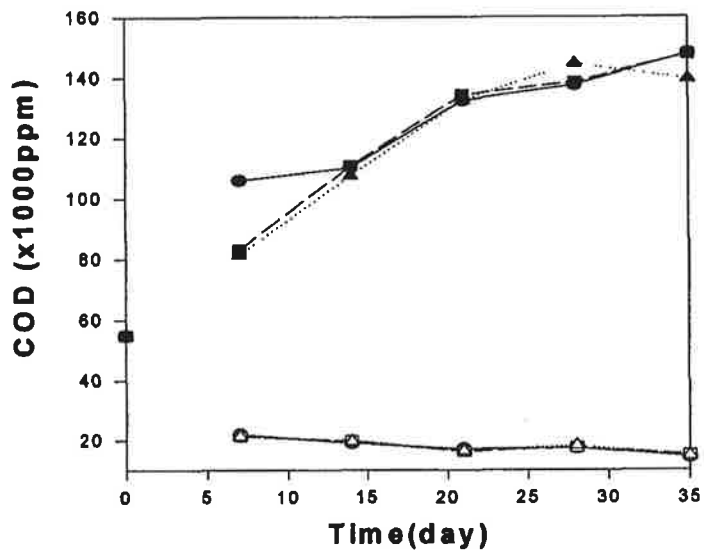


그림 2-9. 인공양돈분뇨 반응기의 높이에 따른 CODcr 농도의 변화

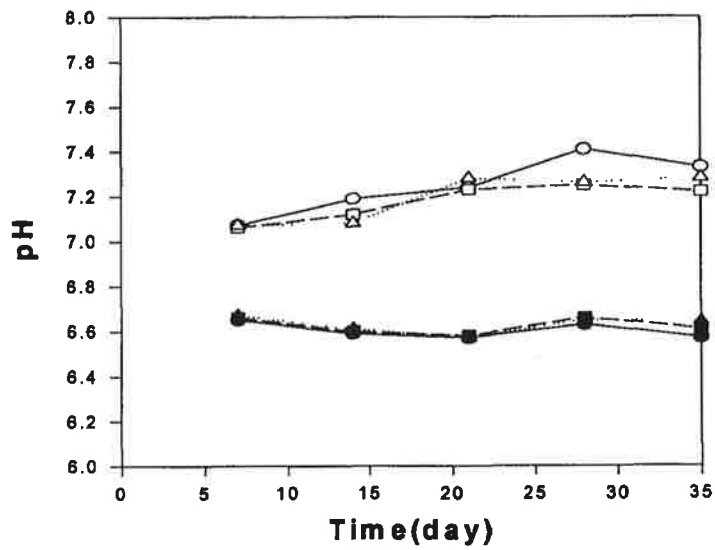


그림 2-10. 인공양돈분뇨 반응기의 높이에 따른 pH변화

S.P.(A)(○-:T-1 -□-:T-2 -△-:T-3), S.P.(C)(-●-:T-1 -■-:T-2 -▲-:T-3)

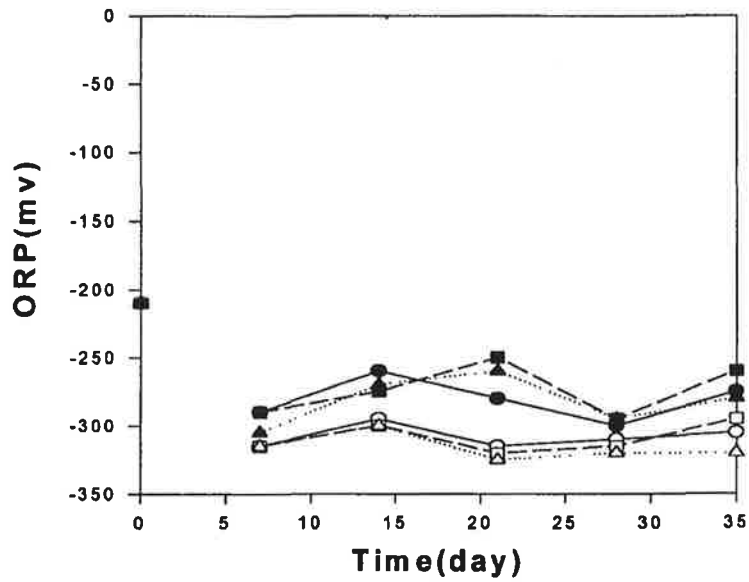


그림 2-11. 인공양돈분뇨 반응기의 높이에 따른 ORP 변화
 S.P.(A)(-○-:T-1 -□-:T-2 -△-:T-3), S.P.(C)(-●-:T-1 -■-:T-2 -▲-:T-3)

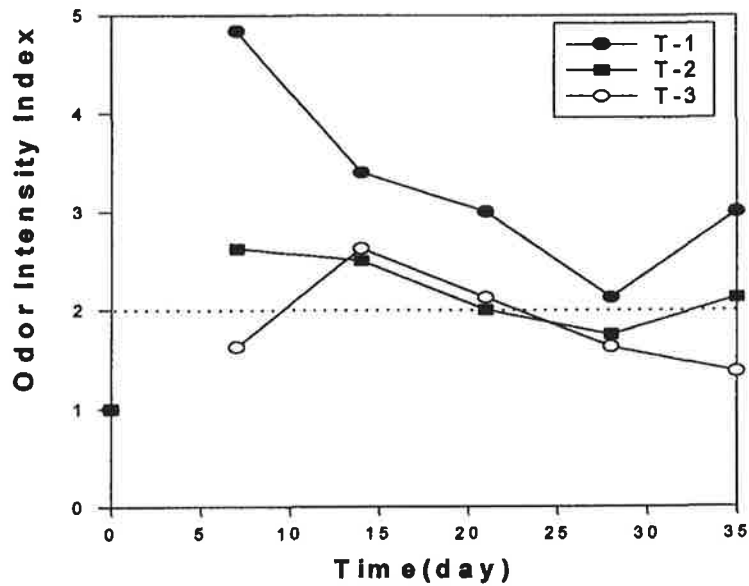


그림 2-12. 인공양돈분뇨 반응기의 처리구별 상부 취기강도의 변화

바. 휘발성저급지방산(VFAs), 황화수소(H_2S), 암모니아(NH_3)의 변화
악취물질로써 대표적인 물질중의 하나가 휘발성저급지방산이다(그림 2-13). S.P.(A)에서 VFAs의 농도는 7일경과시까지 모든 처리구는 3,100 mg/ℓ 이상이었으나, 급격히 감소하여 21일경과시 농도는 T-1>T-2>T-3순이었으며, 이때 T-3의 농도는 1,584 mg/ℓ로 감소율이 가장 높았다. 21일 이후 VFAs 농도가 증가되었으며, 이후 T-1은 증가하는 반면, T-2, T-3는 감소되는 경향을 보였다.

S.P.(C)의 경우 기간이 경과되면서 전반적으로 증가하는 경향을 보였다. 하지만 S.P.(A)와 유사하게 21일을 전후에 감소경향이 보여지며 21일 이후에 증가하는데, 이러한 VFAs의 증가는 침전에 의한 유기물 증가와 온도상승에 기인한 유기물 분해율의 증가 때문이라고 사료된다.

그림 2-14는 황화수소(H_2S)의 절대발생량을 제시하였다. S.P.(A)의 경우 초기 7일째에 시료(1ml)당 절대발생량은 T-1이 T-3의 5배이상 발생하였다. S.P.(C)의 경우는 황화수소를 발생시키는 세균인 황산염환원세균의 균체수가 가장 높은 14일째에 T-2에서만 발생되었으며, T-1과 T-3은 실험기간 동안 발생하지 않았다.

암모니아(NH_3)의 변화는 그림 2-15이며, 실험기간동안 절대발생량은 S.P.(A)의 경우 초기에 소량 발생되다가 시간이 경과함에 따라 증가하였는데, 이러한 암모니아의 절대발생량은 pH 변화와 밀접하였다. 반면, S.P.(C)는 초기의 농도가 계속 유지되었으며, 발생된 전체 양도 적었는데, 이는 pH가 낮아 암모니아로의 무기화가 덜 진행되었기 때문인 것으로 사료된다.

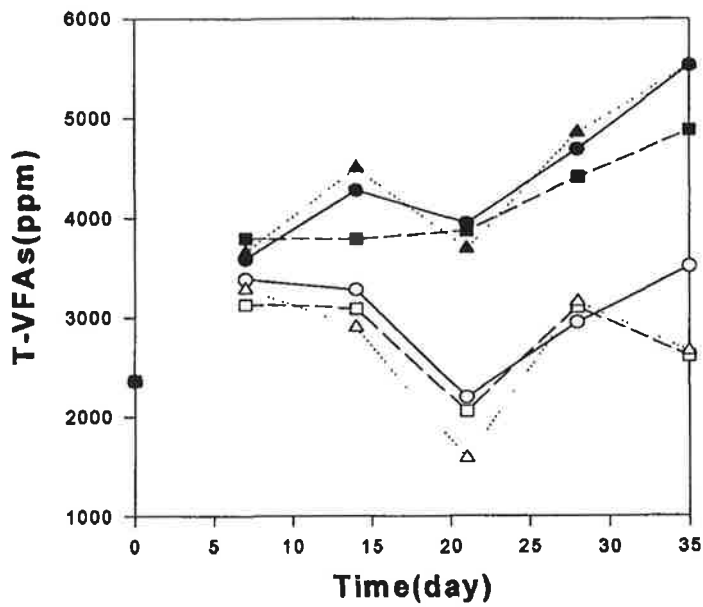


그림 2-13. 인공양돈분뇨 반응기의 높이에 따른 VFAs 변화

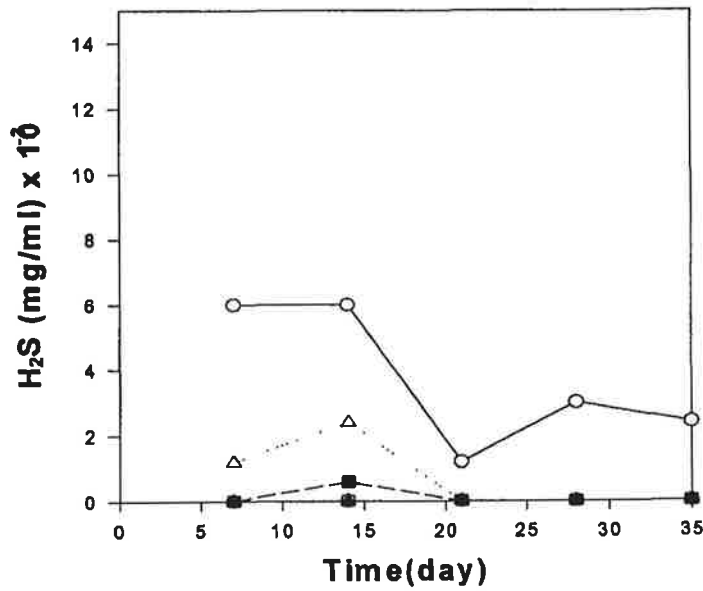


그림 2-14. 인공양돈분뇨 반응기의 높이에 따른 H₂S 변화
 S.P.(A)(○-:T-1 -□-:T-2 -△-:T-3), S.P.(C)(●-:T-1 -■-:T-2 -▲-:T-3)

사. 미생물상의 변화

광합성세균의 균체수는 그림 2-16과 같이 점차적으로 감소하고 있으며, 높이에 따라 균체수 감소율에 차이가 있었다. S.P.(A)의 균체 감소율은 T-1>T-2>T-3의 순으로, S.P.(C)에서도 동일한 경향을 보였다. 각 지점 공통적으로 광합성세균의 접종농도가 높을수록 감소경향이 둔화되는 모습을 보였으며, 특히, S.P.(C)의 균체감소율이 S.P.(A)에 비해 낮았다. 광합성세균의 균체량은 S.P.(C)가 처리구별로 10~100배정도 높으며, 이는 광합성세균이 증식했다기보다는 고형물입자와 같이 침강하여 높은 밀도를 유지하는 것으로 사료된다. 접종농도가 동일한 T-2와 T-3를 빛의 유무에 따라 비교해 보면, 자연광 조건하에서 10배~100배이상 높은 농도로 유지되는 것을 알 수 있었다.

황산염환원세균은 높이에 따른 균체수 차이가 적었고, 모든 처리구에서 10^7 MPN/ml부근을 유지하였다(그림 2-17). 특히, 각 반응기에 있어서 상부인 S.P.(A)지점의 균체수가 하부인 S.P.(C)지점의 균체수에 비하여 상대적으로 높은 균체수를 유지하며, 광합성 세균의 균체수 분포와 반대현상을 보여주었다.

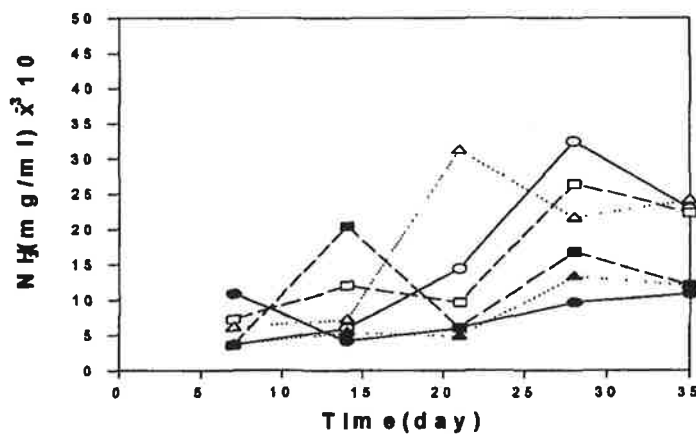


그림 2-15. 인공양돈분뇨 반응기의 높이에 따른 NH₃ 변화

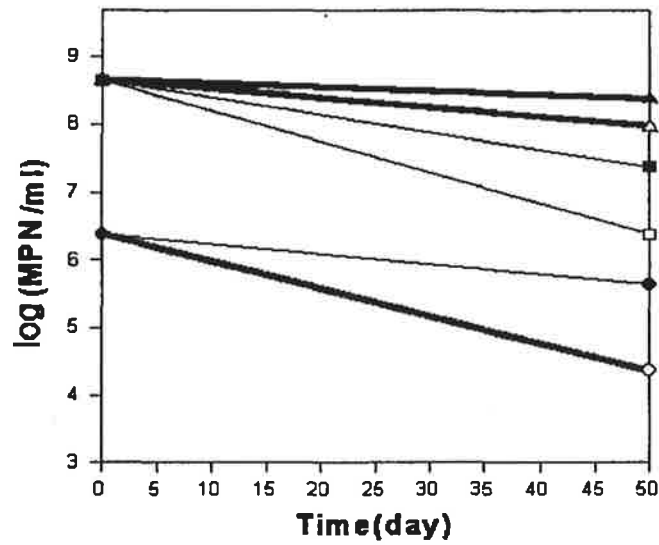


그림 2-16. 인공양돈분뇨 반응기의 높이에 따른 PTB 변화
 S.P.(A)(○-:T-1 -□-:T-2 -△-:T-3), S.P.(C)(●-:T-1 -■-:T-2 -▲-:T-3)

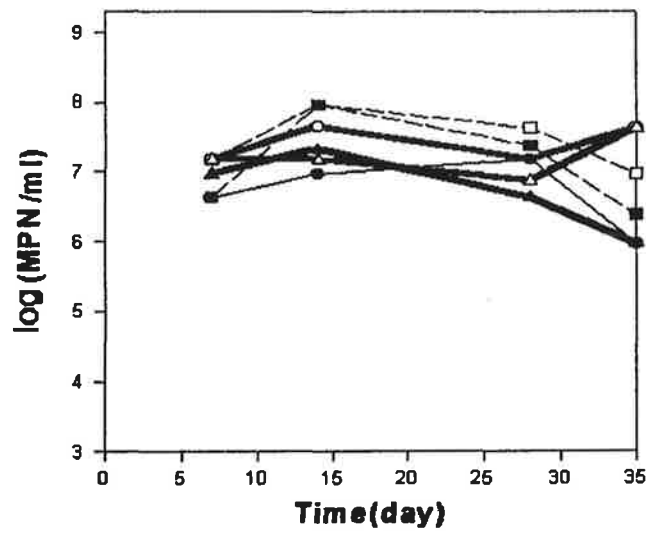


그림 2-17. 인공양돈분뇨 반응기의 높이에 따른 SRB 변화
 S.P.(A)(○-:T-1 -□-:T-2 -△-:T-3), S.P.(C)(●-:T-1 -■-:T-2 -▲-:T-3)

2. 광합성세균을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술

가. pH 및 산화환원전위(ORP)의 변화

실험기간동안 반응기 내부의 pH 변화는 그림 2-18과 같다. 공기주입에 의한 차이를 보여주는데, 공기를 주입하지 않은 대조구와 T-2의 경우가 공기를 주입한 T-1 처리구에 비해 전반적으로 낮게 유지되었다. 특히 대조구와 T-2는 동일한 혐기성 조건하에서도 14일 이후 상이한 경향을 보였는데, 이는 미생물 접종에 따른 차이를 보여주는 것으로서, 대조구의 pH는 유기물 분해에 따른 유기산 혹은 황산염환원에 의한 황화물이 용해되어 T-2 처리구에 비해 상대적으로 낮은 것으로 사료된다¹⁹⁾.

실험기간동안 ORP의 변화는 그림 2-19와 같다. 공기를 주입하지 않은 대조구는 실험기간동안 -300mV이하로 가장 낮게 유지되었다. 동일하게 공기를 주입하지 않은 T-2 처리구의 경우에도 21일경까지는 동일한 변화상을 보여주었으나, 28일 전후로는 -150mV까지 빠르게 증가한 후 대조구와는 다른 경향을 보였다. 반대로 실험기간동안 공기를 주입했던 T-1 처리구에 있어서는 -200mV이상을 유지하였으며, 약간씩 증가하는 경향을 보였다.

나. BOD₅ 및 휘발성 저급지방산(VFAs)의 변화

실험기간동안 생물학적산소요구량(BOD₅)의 변화는 그림 2-20과 같다. Williams는 악취 문제에 가장 폭넓게 적용시킬 수 있는 것으로서 BOD₅를 지목했었는데,^{8),9)} 각 처리구의 BOD₅변화는 VFAs나 각종 가스 생성물과 관계가 깊은 것으로 나타났다. BOD₅의 변화를 살펴보면, 대조구의 경우에는 14일 이후 난분해성 물질의 재분해에 의해 증가되는 현상이 관찰되었으며, 50일 경과시에 농도는 1,133 mg/l 이었다. T-1의 경우는 공기주입에 의하여 14일째에 초기 BOD₅의 85%가 분해되었으며, 실험 종료시까지 계속 감소되었다. 광합성세균을 주입한 T-2의 경우에는 21일째까지 55%정도가

감소하였고, 50일 경과시에 T-1, T-2는 각각 111 mg/l 과 242 mg/l 으로서, 대조구와 커다란 차이를 보였다.

휘발성저급지방산(VFAs)의 경우에도 BOD와 비슷한 경향을 보여주고 있는데(그림 2-21), 50일 이상이 경과하면서 모든 반응기에서의 농도가 동일해졌다. 대조구의 경우에, 감소되던 VFAs는 유기물의 재분해 및 산생성 반응에 의해 21일째에 409 mg/l 까지 증가하였으며, 이후 자연적인 분해에 의해 50일경에는 79 mg/l 으로 감소되었다. T-1의 경우는 공기 주입에 의해 7일을 전후하여 초기 VFAs의 82%가 제거되었으며, 이후에는 그 변동폭이 작았다. T-2의 경우는 14일을 전후하여 초기 VFAs의 75%가 감소되었으며, 특히 VFAs의 수치가 가장 높은 3일을 기준으로 한 감소율은 83%였다. 이는 광합성세균이 저급지방산 가운데 초산, 프로피온산 등의 저분자 물질에 대한 분해능력이 높는데 기인한 것으로 판단된다.⁵⁾

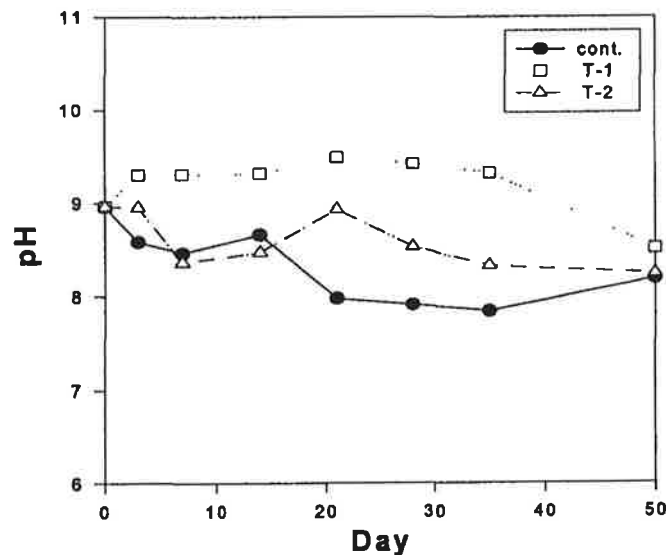


그림 2-18. 처리구에 따른 반응기의 pH 변화

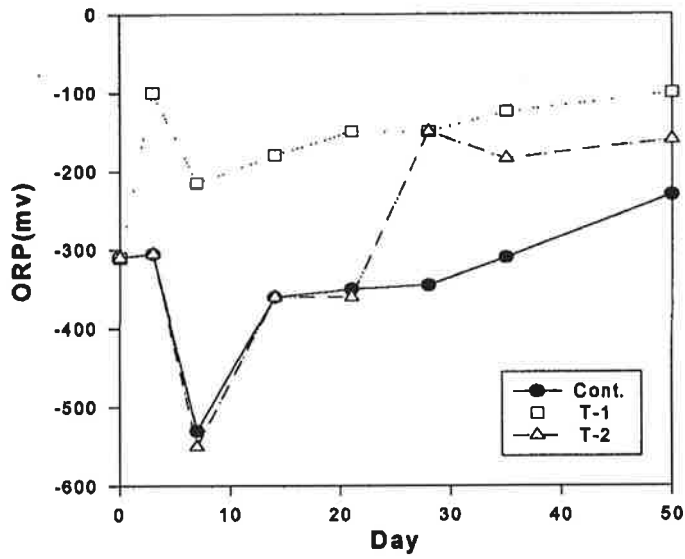


그림 2-19. 처리구에 따른 반응기의 ORP 변화

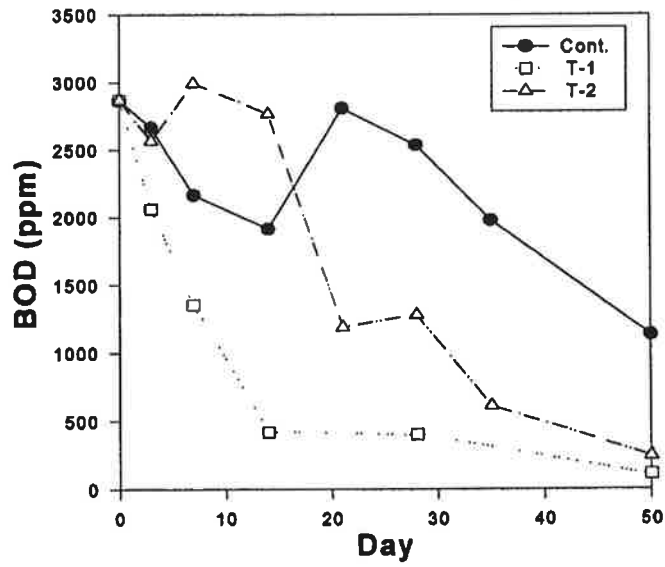


그림 2-20. 처리구에 따른 반응기의 BOD 변화

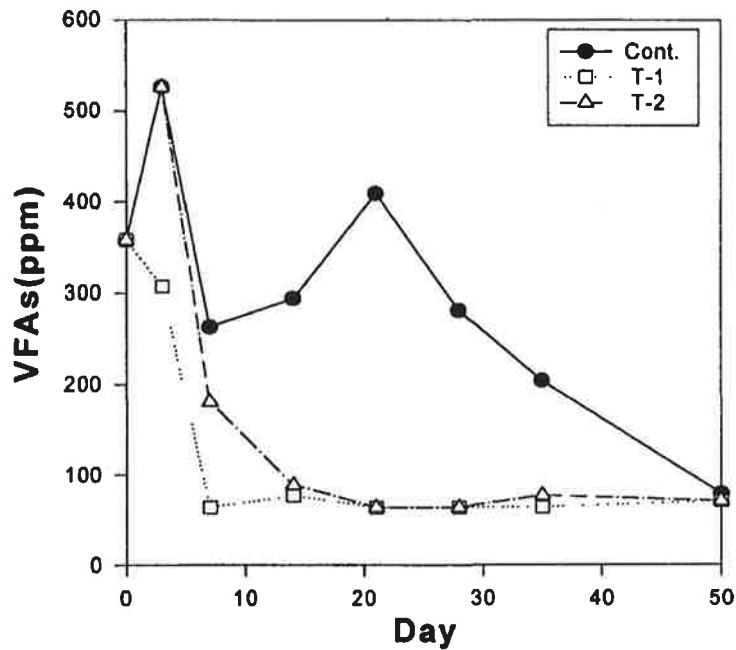


그림 2-21. 처리구에 따른 반응기의 VFAs 변화

다. 황화수소(H_2S) 및 암모니아(NH_3)의 발생

여러 악취성분 중 황화수소와 같은 환원황화합물은 영향력이 크며, 자극성이 있는데,^{2),11)} 그림 2-22에서와 같이 실험 시작 후 28일 전후에 가장 큰 변화를 보였다. 대조구의 경우 7일 전후부터 발생한 황화수소는 28일 전후에 가장 많은 양이 발생하였으며, 전반적으로 감소하여 50일경에는 발생하지 않았다. 이는 전 실험기간 동안 거의 발생하지 않는 T-1이나, 실험 전 반부에 약간 발생하다가 21일 전후로는 전혀 발생하지 않은 T-2와는 큰 차이를 보여준다. 황화수소는 황산염이 환원되면서 발생되게 되는데, 특히 황산염환원세균의 변화와 밀접하였다(그림 2-25).

암모니아의 경우는 처리구에 따라 많은 차이를 보였다(그림 2-23). 유기물 중에 포함된 질소는 자연생태계에서 일반적으로 미생물에 의하여

NH₄-N로 무기화되어지고 계속해서 질산화가 진행되어 최종적으로 혐기상태에서 탈질되지만, 무기화된 질소는 pH의 변화에 따라 농도의 평형상태가 변하게 된다. 실험기간동안 공기를 주입하지 않은 대조구와 T-2에서의 암모니아는 전반적으로 감소하는 경향을 보였다. 반대로, T-1의 경우는 처리기간 중 높은 농도를 나타내고 있으며, 21일 이후에 최고점을 보이다가 감소하였는데 이는 pH의 상승에 따른 무기 암모늄 이온의 탈기현상과 관계가 있는 것으로 사료된다.

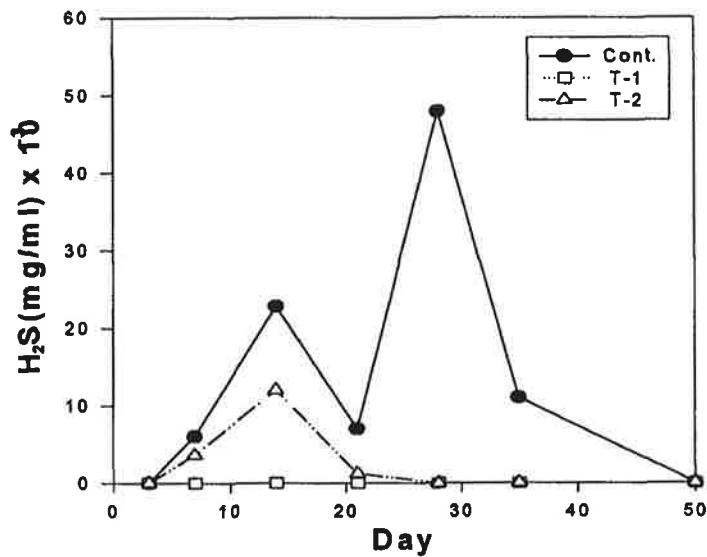


그림 2-22. 처리구에 따른 반응기의 H₂S 변화

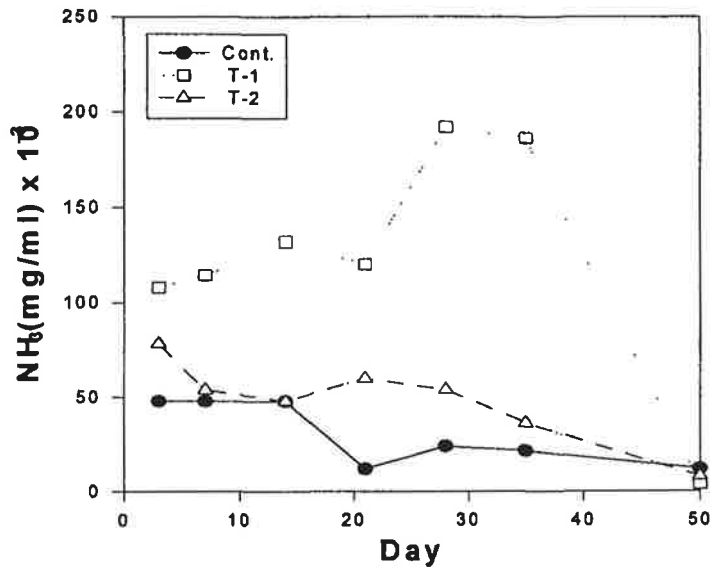


그림 2-23. 처리구에 따른 반응기의 NH₃ 변화

라. 미생물상의 변화

그림 2-24는 실험기간 중 광합성세균의 변화를 나타낸 것이다. 광합성세균을 접종하지 않은 대조구 및 T-1은 10³(MPN)/ml 이하로서, 실험시작 후 처리기간 중 계속해서 감소하는 경향을 보여주었는데, 이러한 광합성세균의 검출은 시료를 채취한 J농장이 본 균체를 별도 용도로 사용하기 때문인 것으로 사료된다. 광합성세균을 처리한 T-2의 경우는 실험시작 후 21일경까지는 초기의 균체수가 유지되었으나 21일째 이후 감소하였는데, 이는 14일을 전후하여 VFAs가 100 mg/l 이하로 낮아진 것에 기인된다고 판단된다.

그림 53은 황산염환원세균의 변화를 나타내었다. 황산염환원세균은 공기 주입여부에 따라 T-1과 대조구 및 T-2사이에 상반되는 경향을 보였다. 황산염환원세균은 공기를 주입하는 T-1에서는 계속해서 감소하였으나, 대조구 및 T-2의 경우는 21일경까지는 증가한 후 감소하였다. 특히 T-2는 21일까지는 1.5×10⁸(MPN)/ml로서 높은 균체농도를 보였으나, 21일 이후

대조구에 비해 더 낮은 농도로 감소됨을 보였다. 이러한 감소현상은 28일 이후 ORP의 변화 및 VFAs의 감소와 밀접한 것으로 사료된다.

그림 54는 호기성일반세균의 변화이다. 호기성일반세균은 황산염환원세균의 변화와 반대되는 경향을 보였다. 대조구와 T-2의 경우 21일까지 급격하게 감소한 후 시간 경과에 따라 증가하였는데, 특히 28일 이후 대조구는 증가하고 있으나, T-2는 감소되었다. 공기를 주입한 T-1의 경우에는 21일까지는 증가한 후 감소하였는데, 이는 실험초기에 공기주입으로 인하여 미생물의 Biomass가 증가되었으나, 탄소원이 고갈된 21일 이후 10배 이상 급격히 감소되는 것을 알 수 있었다.

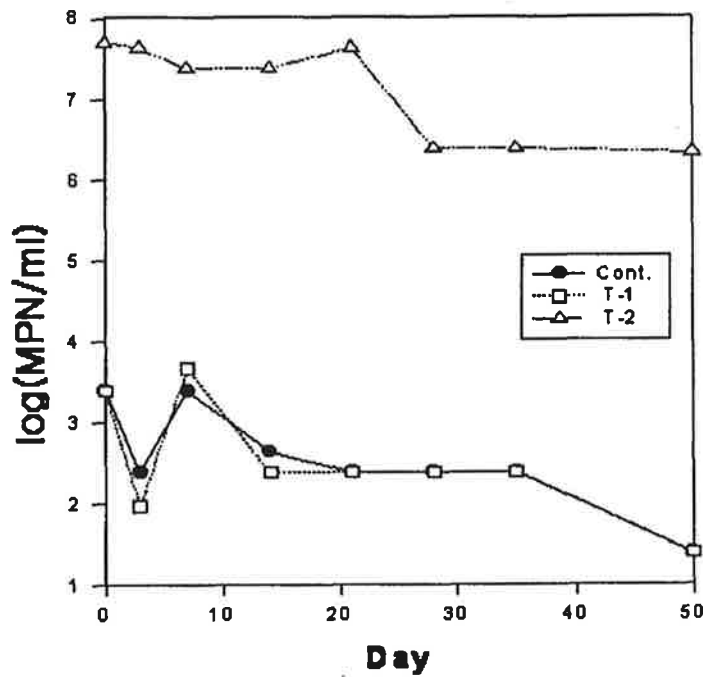


그림 2-24. 처리구에 따른 반응기의 광합성세균(PTB) 변화

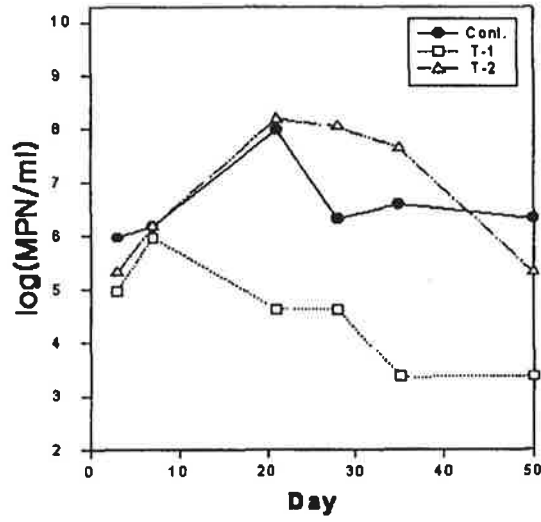


그림 2-25. 처리구에 따른 반응기의 황산염환원세균(SRB) 변화

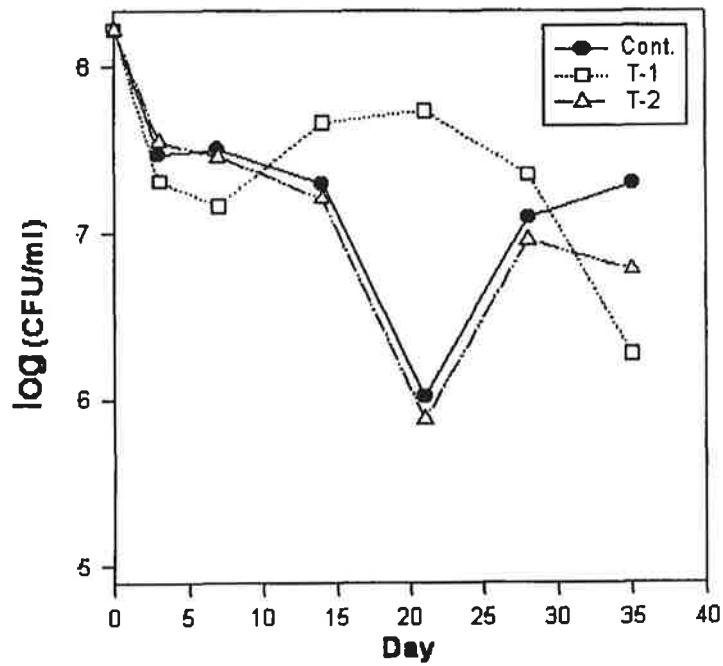


그림 2-26. 처리구에 따른 반응기의 일반세균(HTB) 변화

3. 교반을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술

가. pH의 변화

무취화 관리중 pH의 변화를 그림 2-27에 제시하였다. 대조구는 초기 pH 8.5정도에서 감소하여 실험 3일차부터 pH 7.5~8.0의 범위를 유지하고 있었다. 이는 혐기성 상태에서는 고분자물질이 각종 세균에 의하여 저분자물질(VFAs : 휘발성저급지방산)로 분해되어지는 과정에서 생성되는 VFAs가 축적³⁾ 혹은 황산염환원에 의한 황화물로 인해 pH가 낮아지는 반면¹⁹⁾ 처리구의 경우 실험 7일차부터 상이한 경향을 보였는데 이는 교반에 따른 차이를 보여주는 것으로서, 비교적 VFAs가 적게 생성되면서 pH 8.0~8.5의 범위를 유지하는 것으로 사료된다.^{3),15)}

나. TS, T-N, T-P의 변화

실험기간중 TS의 변화는 그림 2-28에 제시하였다. 대조구는 Sampling 지점에 따라 큰 변화를 보여주는 반면 처리구는 TS 4%를 유지하였다. 이는 대조구의 경우 정치상태에서 부유물이 격자구조를 형성하며 집단적으로 침강하는 계면침강의 특성에 따른 변화에 기인한 것이며^{7),17)}, 교반을 해준 처리구의 경우는 교반시킨 슬러리를 살포할 때에 훨씬 균일하다는 보고¹⁴⁾와 동일하게 균일성을 확보하고 있는 것으로 사료된다. 또한 TN 및 TP의 변화는 그림 2-29와 그림 2-30에 각각 제시하였다. TS의 변화와 유사한 경향을 보여주고 있었다. 이때 실험 30일차 대조구의 Sampling C지점에서 TS, TN 및 TP가 급격히 감소하는 것은 시료채취시 사용하였던 Vandon sampler의 오작동에 기인한 것이다.

대조구의 경우 침강이 일어나면서 하부로 갈수록 TN과 TP의 농도가 증가하는 경향을 보이고 있는 반면 처리구의 경우는 TN과 TP의 농도가 깊이 관계없이 균일성을 확보하고 있는 것을 볼 수 있었다. 이는 특정한

처리에 의한 것보다는 교반 또는 무교반에 따른 차이이므로 혼합을 함으로써 균일성을 확보할 수 있다는 것을 시사하는 것으로 일반 저장액비의 방법을 적용할 경우 나타날 수 있는 장기저장 중 시용에 따른 성분 불균일성 문제를 해결할 수 있는 방법으로도 접근이 가능할 것이라 사료된다.

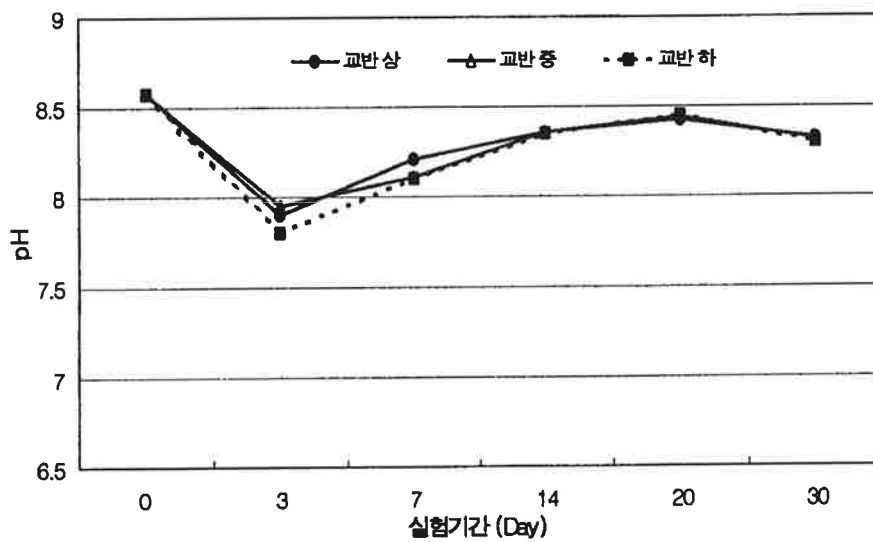
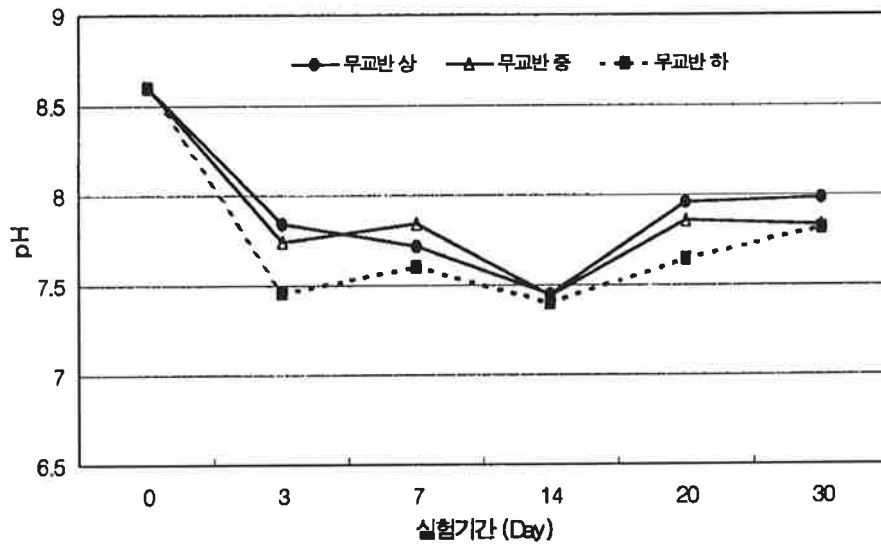


그림 2-27. 운전조건에 따른 반응기의 pH 변화

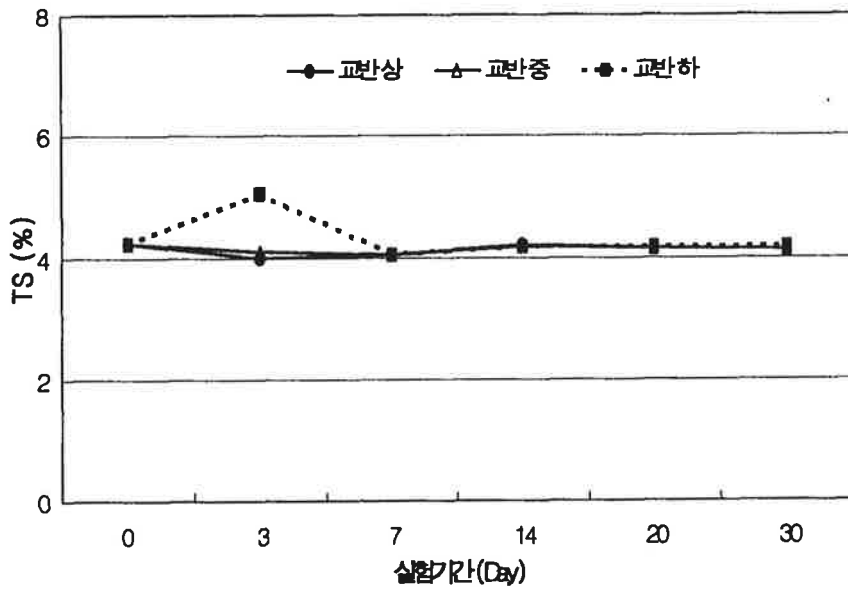
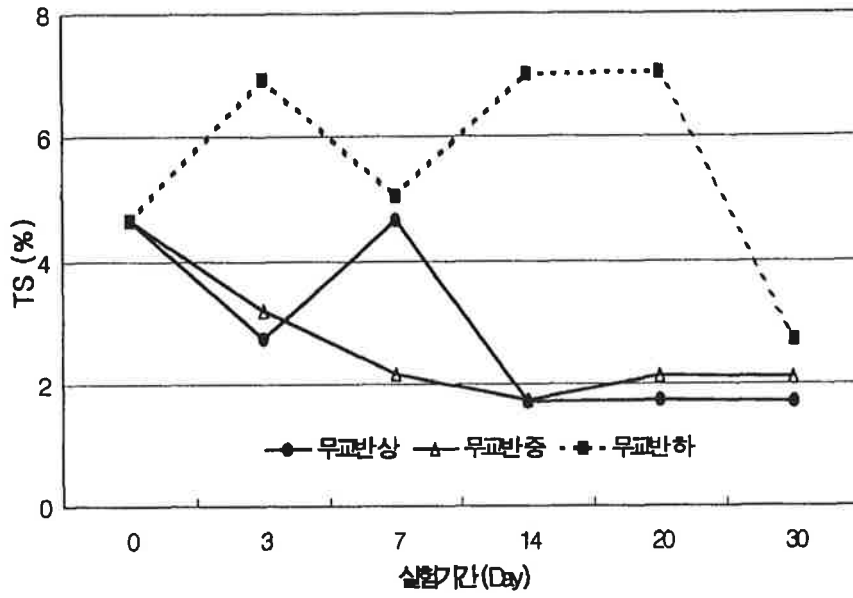


그림 2-28. 운전조건에 따른 반응기의 TS 변화

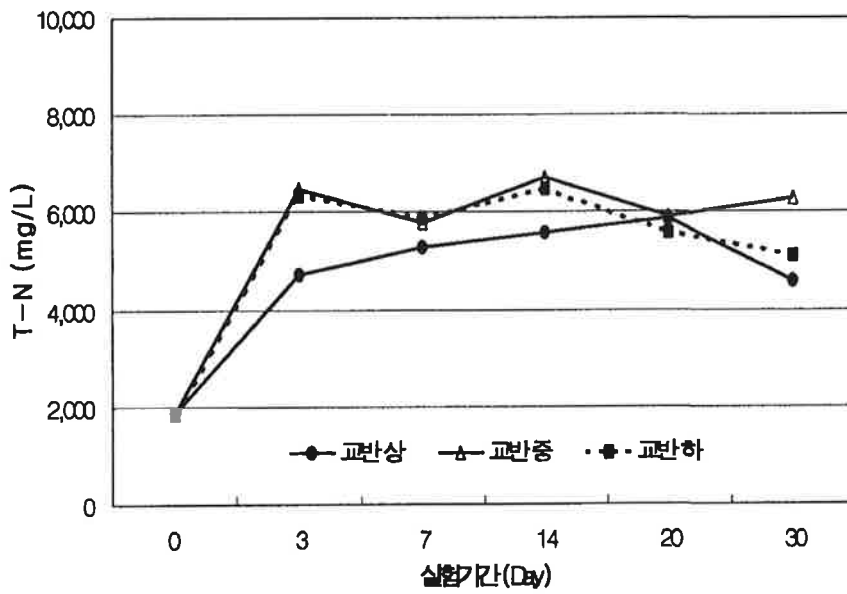
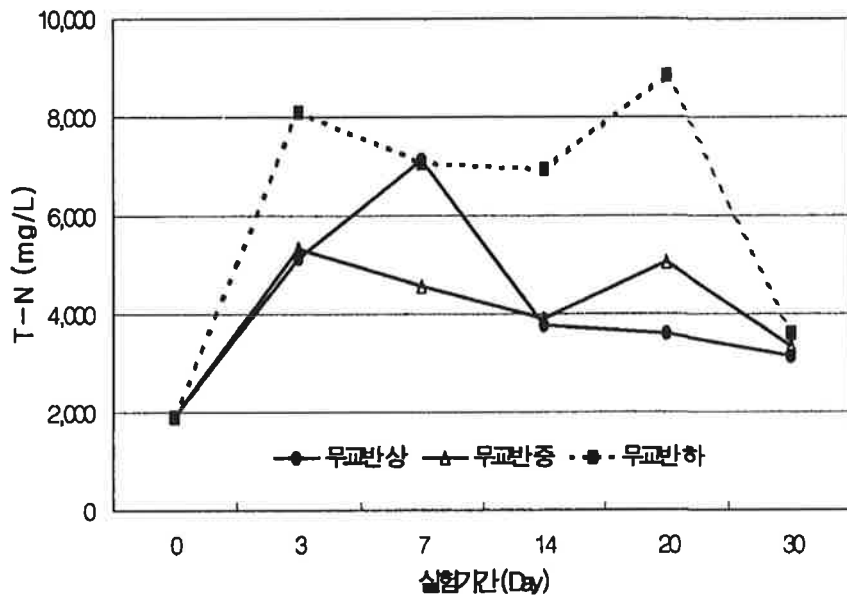


그림 2-29. 운전조건에 따른 반응기의 T-N 변화

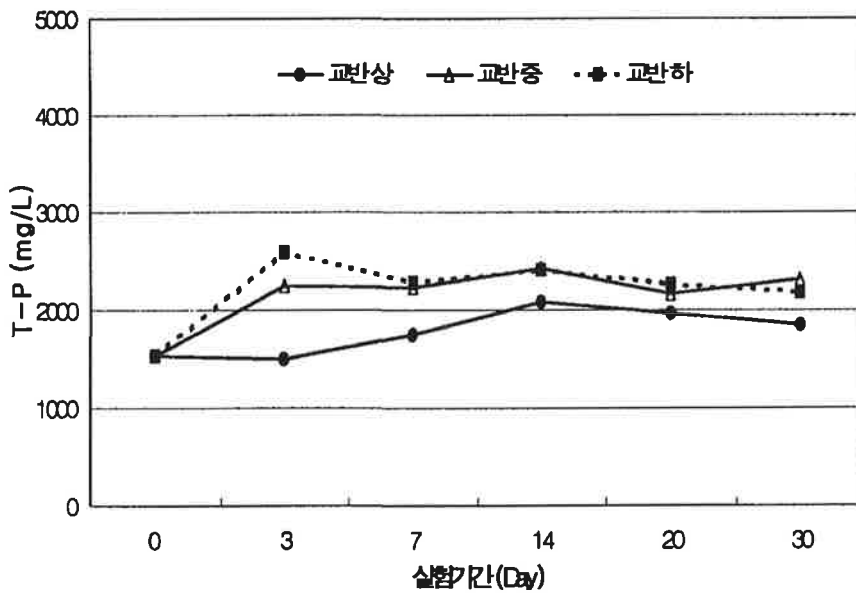
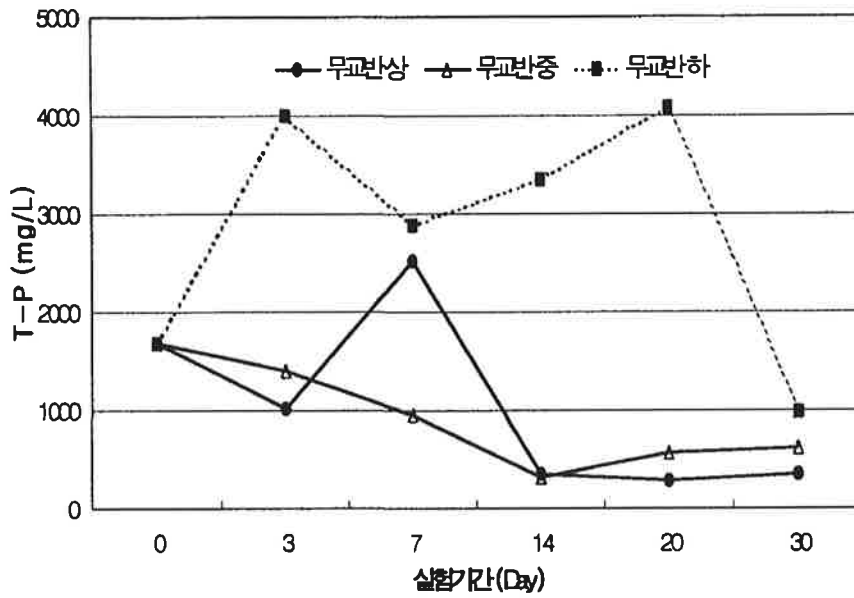


그림 2-30. 운전조건에 따른 반응기의 T-P 변화

다. 암모니아(NH_3) 및 황화수소(H_2S), 휘발성 저급지방산(VFAs)의 변화 Detect tube method를 이용하여 그 액이 발생할 수 있는 NH_3 와 H_2S 의 절대발생량을 측정하였다. NH_3 는 그림 2-31, H_2S 는 그림 2-32에 제시하였다. 배설된 분뇨는 미생물들에 의해 부패되는데, 암모니아는 이런 과정에서 생성되는 최종산물이라 할 수 있다. 사람의 경우 약 5~50 mg/l의 암모니아 농도가 지속되면 냄새를 맡을 수 있고, 100~500 mg/l에서 눈의 점막 등을 자극하고, 2,000~3,000 mg/l에서 호흡곤란을 야기하고, 10,000 mg/l에서는 유독한 것으로 보고된 바 있다¹⁾. 돼지의 경우, 암모니아 양이 증대는 식욕부진, 호흡장애, 경련(convulsion)등을 일으킬 수 있는 것으로 밝혀졌다.

이러한 NH_3 는 pH와 관련성이 있으며^{4),6)}, 처리구에서 발생량이 비교적 많은 것은 처리구의 pH가 대조구에 비하여 비교적 높은 범위에 있기 때문으로 사료되었다. 그러나 교반을 하더라도 NH_3 가 급격히 발생하지는 않음을 알 수 있었다. 이는 공기주입에 따른 NH_3 의 발생이 증가하였다는 보고¹⁶⁾와는 상이한 결과였다. H_2S 와 같은 황화합물은 불쾌도가 높은 물질로서²⁾, 단백질 분해시 Cystein이 *Proteus motgenii*나 *streptococcus*등의 미생물에 의해 분해되거나, 황산염이 황산염환원세균에 의해서 환원되면서 최종 환원물질로서 발생하게 된다. H_2S 는 대조구에 비하여 처리구에서 발생량이 적었으며, 실험 20일차부터는 거의 발생되지 않았음을 볼 수 있었다. 이는 교반을 함으로써 환원과정이 저해되어짐에 기인하는 것으로 사료된다.

VFAs는 BOD성 물질로서^{8),9)} 감소 및 제거가 요구되고 있다. 그림 2-33은 VFAs의 변화를 보여주고 있다. 대조구의 경우 Sampling 지점에 따라 농도가 상이한 반면 처리구의 경우는 일정한 경향을 보이고 있었다. 또한 전체적으로 대조구에 비하여 VFAs가 낮은 농도를 보이고 있음을 알 수 있었다. 그러나 실험 7일 후부터는 처리구에서의 VFAs가 증가하는 경향을 나타내고 있으므로 공기를 주입하거나, 저분자물질의 기질이용성이 뛰어난 미생물로써 자연계에 널리 존재하는 광영양세균

의 접촉을 통하여 VFAs 제거 및 H₂S 발생량을 감소했다는 보고¹⁶⁾를 본 실험에 적용한다면 보다 유용한 결과를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

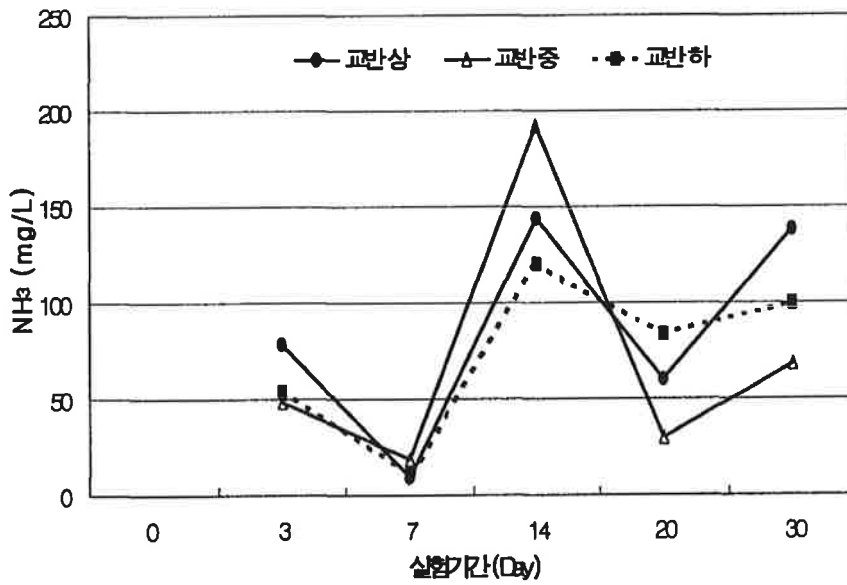
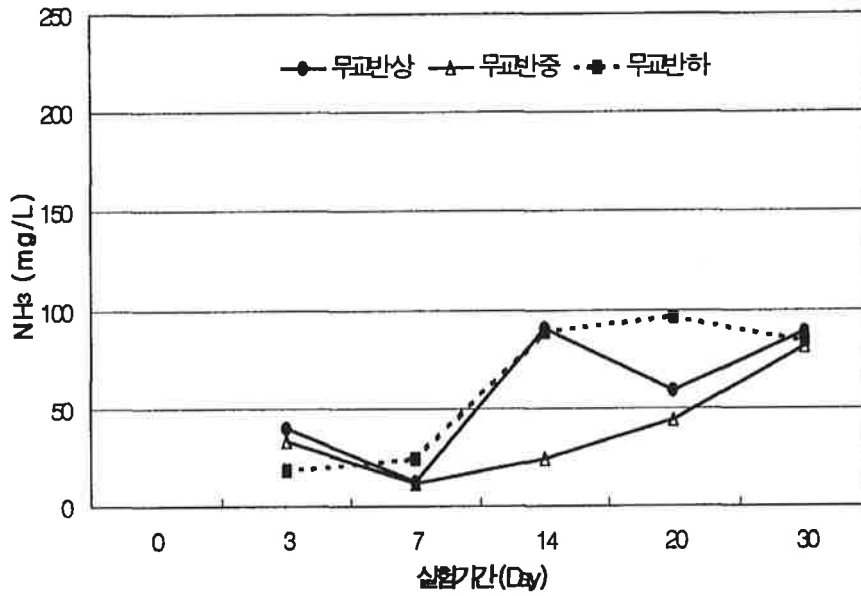


그림 2-31. 운전조건에 따른 반응기의 NH₃ 변화

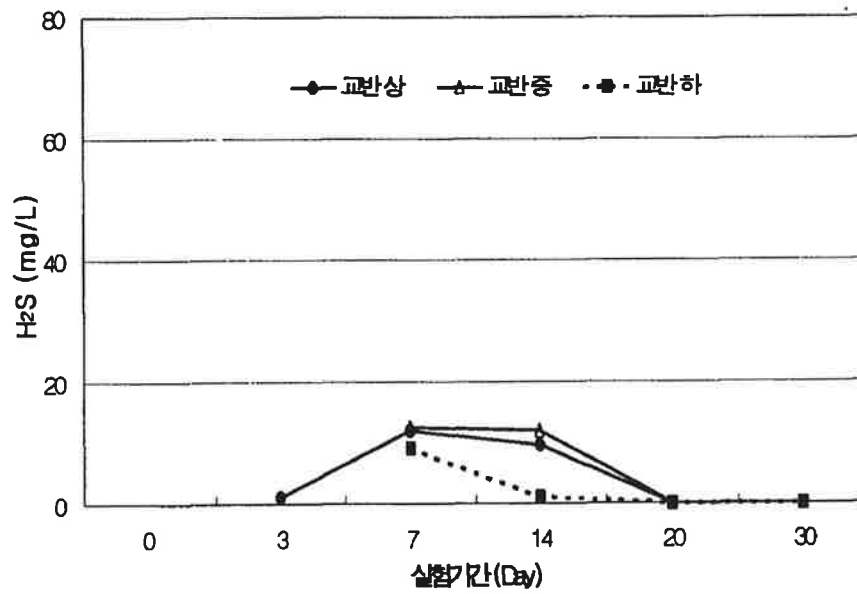
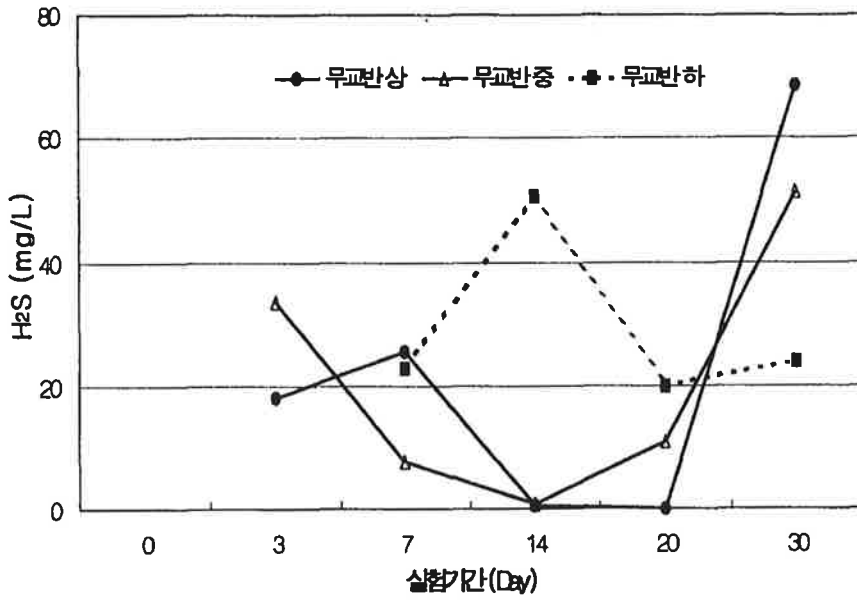


그림 2-32. 운전조건에 따른 반응기의 H₂S 변화

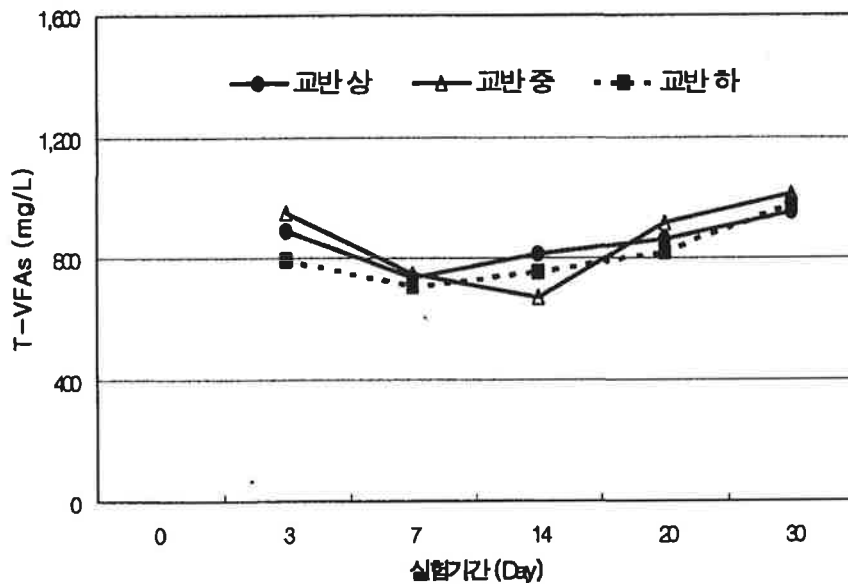
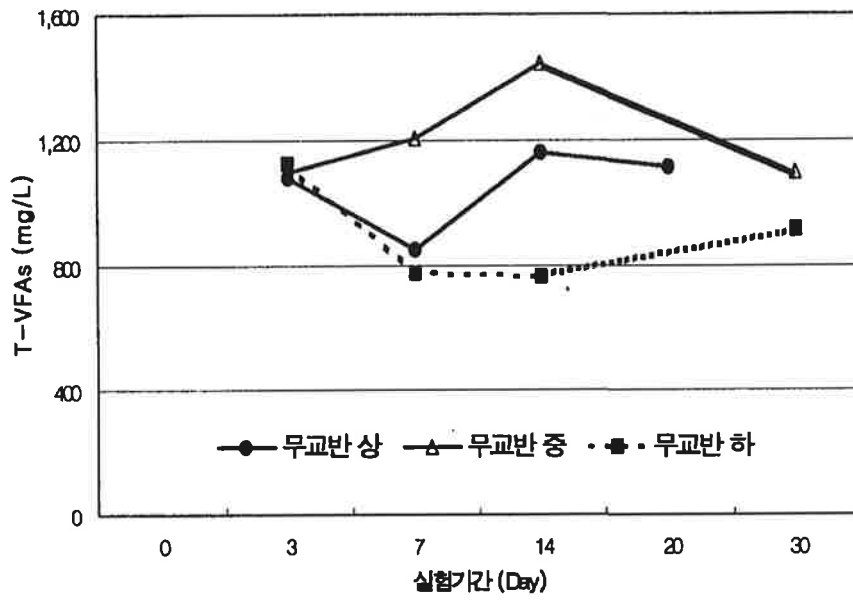


그림 2-33. 운전조건에 따른 반응기의 T-VFAs 변화

제 4 절 결 론

1. 양돈슬러리의 무취화 관리기술 개발

가. 각 반응기에서 고형물과 액상물의 계면이 안정화되는 시기는 10일 전후였으며, 이러한 고액상의 분리에 의해 pH, ORP, VFAs, 미생물상 등이 각각 상이한 경향을 가졌다. 이러한 상하부의 경향 중 Headspace 취기강도는 특히 상부액상(S.P.(A))의 농도와 밀접한 경향을 보였다.

나. 광합성 세균 접종 후 7일째 Headspace의 취기강도는 「T-1>T-2>T-3」였으며, 이후에도 유사한 경향이였다. 실험기간동안 각 반응기의 최고 취기강도는 T-1이 4.82, T-2와 T-3는 2.63이었으며, 처리 후 21일 경과 후에 T-2와 T-3의 취기강도는 2이하로 적합하였다.

다. 상부액상(S.P.(A))에서의 휘발성지방산, 황화수소등은 광합성 세균의 군체량이 많을수록 더 많이 감소하였고, 취기강도의 변화와 유사하였다.

라. 광합성 세균의 생육은 혐기·자연광상태인 T-3에서 양호하였으며, 전반적으로 상부액상(S.P.(A))에 비해 하부고형상(S.P.(C))에 많이 존재하였다. 이러한 광합성 세균의 거동은 혐기성 세균인 황산염환원균에 영향을 주었다.

2. 광합성세균을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술

급속액상부숙반응기로부터 발생되는 발효처리 배출액의 장기 저류시 발생하는 악취를 제거하기 위한 방안을 도출하고자, 배출액에 공기주입방법 및 광합성 세균 접종법을 적용하고 각 처리에 따른 반응기 내부의 변화상을 관찰하였다.

가. 배출액은 정치상태에서 보관될 때, 유기물의 재분해에 의해 휘발성저급지방산의 증가(526mg/ℓ), 황화수소의 발생량 증가 경향을 나타내었다. 휘발성저급지방산과 황화수소가 처리구와 동일한 농도로 변화하기까지 50일 이상이 필요하였으며, 공기중으로 휘산되는 암모니아의 절대발생량은 처리구중 가장 적었다.

나. 공기주입 처리구의 경우는 공기주입에 의해 BOD 및 VFAs가 빠르게 제거되었는데, 14일째까지 초기 BOD의 85%, VFAs는 82%가 감소되었다. 휘발성저급지방산의 감소와 더불어 황화수소는 실험기간동안 전혀 발생하지 않았으나, 공기주입으로 인한 질소의 무기화와 암모니아성 질소의 탈기에 의해 대조구에 비해 최고 8.6배 이상 높았다.

다. 광합성세균의 접종은 공기주입처리구에 비하여 그 감소속도는 늦지만 BOD제거, VFAs제거, 황화수소 발생량의 감소등의 효과를 기대할 수 있었으며, 특히 공기중으로 휘산되는 암모니아의 절대발생량도 낮아 악취 발생제어를 통한 액비의 자원화시에 유리할 것으로 기대된다.

3. 교반을 이용한 발효처리물의 무취화 관리기술

본 연구은 급속액상부숙기술을 이용하여 처리한 후, 배출된 Efflux를 진동스크린하였고, Screen 처리된 Efflux의 장기간 보관시 무취화를 위한 관리방안에 관하여 Pilot scale로 연구한 결과는 다음과 같다.

악취물질인 VFAs와 H₂S는 교반시가 무교반시에 비하여 감소되었으며, H₂S의 경우 20일 이후 발생되지 않았다. 또한 교반만을 통한 무취화 저류시에도 균일성을 확보할 수 있었다. 반면, NH₃는 전반적으로 증가하는 경향을 볼 수 있었다. 이에 대한 검토는 보다 보완되어야 할 것으로 사료된다.

또한 Screen 처리된 Efflux의 무취화 관리기술은 돈사내부에서의 사육환경개선 및 작업여건 개선등의 효과를 가져오며, 더불어 휘발성 지방산 농도를 낮추게되어 파리와 같은 병해충의 감소효과를 가져 올 것으로 기대된다. 더불어, 액비의 자원화 정책을 추진하고 있는 국내의 현시점에 비추어 본다면, 액비의 장기보관시와 농지환원시 민원의 감소효과와 액비이용시의 혐오감 감소효과 및 혼합을 함으로써 균일성이 확보되어 자원화 정책의 현장기술로서 이용되어질 수 있을 것으로 사료된다.

제 3 장 급속액상부숙기술의 가스 자원화기술

제 1 절 서 론

최근 축산의 형태가 전문화, 기업화되면서 영농에 이용할 수 있는 한계를 넘어서 호소, 하천 및 지하수 오염뿐만 아니라 토양오염, 악취민원의 원인이 되고 있다. 이러한 분뇨처리에 있어서 사용되는 급속액상부숙기술은 가축분뇨를 처리할 때 발효와 증발을 통한 감량화를 초점으로 하여 주입된 공기와 영양물질이 미생물에 의해 처리되는 생물학적 처리법의 일종으로써, 발생하는 처리액은 액비로써 이용이 가능하다. 이때 지속적인 공기주입 및 pH 상승에 따라 질소 성분중 암모니아(NH_3) 휘산과정이 발생하게 되며, 특히 pH 8이상이 되면 휘산량이 증가하게 된다.

질소의 암모니아 휘산과정은 먼저 질소가 호소에 의하여 가수분해되어 $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 로 전환되고, 이어서 암모니아가 휘산되는 과정을 거친다. 이 과정은 명백히 pH의존적이며 암모니아 휘산이 이루어지는 pH는 7이상으로 알려져 있고, pH8 이상이 되면 휘산량이 크게 증가한다. 용액에서의 NH_4^+ 와 NH_3 의 조성비가 pH 7이하에서는 거의 대부분이 NH_4^+ 상태로, pH 9.28에서는 1:1, 그리고 pH 10이상에서는 거의 대부분이 NH_3 의 형태로 존재하게 된다. 따라서 암모니아의 휘산이 발생하는 원인은 pH의 상승으로 기인된다고 볼 수 있다. 또한 강한 폭기에 의해서도 쉽게 휘산이 이루어진다. 암모니아가스(NH_3)의 일반적인 합성원리를 살펴보면, 원료는 N_2 와 H_2 이며 이는 공기와 물 또는 화석연료등의 탄화수소화합물로부터 얻어진다. 이를 원료로 전해법, 고체연료 가스화법, 원유또는 중유분해법, 나프타, 천연가스, LPG개질법 등의 방법을 통해 탈황, 개질, 변성, 탄산제거, 정화, 합성의 공정을 거쳐 암모니아 가스가 생산되고 있다. 암모니아는 주로 단백질이 부패 및 분해할 때 발생되며 사람의 경우 약 5~50ppm의 암모니아 농도가

지속되면 냄새를 맡을 수 있고, 100~500 mg/l 에서는 눈의 점막 등을 자극하고, 2,000~3,000 mg/l 에서 호흡곤란을 야기하며, 10,000 mg/l 에서는 유독한 것으로 보고된 바 있고, 돼지의 경우 암모니아 양의 증대는 식욕부진, 호흡장애, 경련 등을 일으킬 수 있는 것으로 밝혀졌다. 분뇨에서 발생되는 암모니아가스는 동물 체내의 단백질, 요산이 미생물의 작용에 의해 분해될 때에 중간생성물로서도 생성되고 시안아미드화 될 때에 생성된다. 이렇게 배출된 $\text{NH}_4\text{-N}$ 은 자연상태의 열과 바람 등에 의해 NH_3 형태로 기화하게 된다. NH_3 는 염기계통의 물질로써 산과 반응시키면 훌륭한 질소비료로 이용될 수 있다. NH_3 의 발생은 pH 8이상에서 뚜렷하므로, acid에 통과시키면 $\text{NH}_4\text{-N}$ 형태로 acid에 포집된다. 그리고 pH를 낮게 지속적으로 유지시켜주면 연속적인 포집이 가능하며 농축되는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도 역시 짙어진다. 급속액상부숙기술의 가동에 따라 발생하는 다량의 가스상 물질의 이용은 대기로 방출되는 오염물질의 저감에 필수적이며, 이를 이용한 자원화 방안 중 포집의 방법은 이후 진행될 비료원으로서의 다양한 적용범위를 가진다. 따라서 본 연구는 급속액상부숙기술의 운영 중 발생하는 암모니아 가스의 효율적인 자원화방안에 대한 고찰을 위해 시행되었다.

제 2 절 재료 및 방법

1. 가스발생물의 성상분석

가. 실험장치 및 방법

반응기에서 배출되는 가스의 일반적인 성분분석을 수행하기 위하여 수분 증발장치부를 완전밀폐하지 않고 배출되는 가스의 일부분을 포집·응축하였다. 배출되는 가스의 성상분석장치는 가스 흡입부와 가스 냉각부 두 부분으로 분리되어 있으며, 각각의 모양은 그림 3-1, 그림 3-2, 그림 3-3에 제시하였다.

급속액상부숙기술의 특징은 반응기의 내부온도가 45~55℃ 이상의 고온으로 유지할 수 있는 특징이 있다. 따라서, 반응기의 외부로 배출되는 가스는 온도가 반응기의 내부온도와 거의 동일하기 때문에 배출되는 가스의 성분 분석에 있어서 수도수를 이용한 냉각방법을 이용하였다. 가스의 응축단계는 배출가스의 일부분을 흡입모터를 이용하여 흡입한 후, 수도수를 순환시키는 냉각관을 통과시켜 응축한 다음 분석에 이용하였다.



그림 3-1. 가스응축장치의 전면사진



그림 3-2. 가스응축장치의 가스 흡입부 사진



그림 3-3. 가스응축장치의 가스 냉각부 사진

2. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Lab Scale

가. 실험장치 및 방법

실험에 이용할 NH_3 는 여주 “J농장”에 가동중인 급속액상부숙기술의 수분증발장치와 연결된 가스 흡입부로 배출된 가스를 수도수를 통한 냉각응축 후 분석하여 이를 기초로 시약을 통해 인위적으로 제조하였다. 인공제조된 NH_4Cl 수용액은 $\text{NH}_4\text{-N}$ 을 기준으로 $3,000 \text{ mg/l}$ 이며 임의 선정된 포집액(acid)으로 각각의 포집능에 대해 검토하였다. 또한 시약을 통한 실험 결과와의 비교를 위해 실제 양돈분뇨를 실험에 사용하였으며, 분뇨는 경기도 여주에 위치한 “J농장”의 분뇨를 사용하였으며, 분과 뇨의 혼합형태로 냉장보관상태로 유지시켜 성상의 변화를 최소화하였다. 이를 재료로 급속액상부숙기술과 유사한 가동조건인 40°C 의 온도유지와 $150\text{ml/min} \cdot \text{l}$ 의 공기를 주입시켰으며 여기서 배출되는 암모니아 가스를 각각의 산에 포집시켰다. 실험은 첫번째, 인공제조한 시약을 이용한 수용액상 실험이며 두번째, 기체상 실험으로 시약을 이용한 acid별 포집과 실제 분뇨에서 발생하는 암모니아가스의 acid 포집이다.

1) 수용액상 실험

삼각플라스크에 임의 설정한 각각의 산을 100ml(pH=1, KH_2PO_4 의 경우 초기pH는 4.36)씩 넣은 후 여기에 임위제조한 NH_4Cl 용액($\text{NH}_4\text{-N}$ 기준 3,000 mg/l, pH=9)을 주입하며 pH를 측정하였다(n=4).

2) 가스상 실험

가) 10 l Bottle에 임위제조한 NH_4Cl ($\text{NH}_4\text{-N}$ 기준 3,000 mg/l) 4 l 를 채워 40°C, 150ml/min · l 의 공기를 주입하면서 교반해 주었다. 이때 배출된 가스를 분주하여 각각 HCl(100ml, pH=1), HNO_3 (100ml, pH=1), H_2SO_4 (100ml, pH=1), KH_2PO_4 (100ml, 초기pH=4.36)에 첨가하는 수상치환법으로 암모니아가스를 포집하였다. (n=2)

나) 실제 분뇨에서의 암모니아 가스의 포집효율 도출을 위해 채취한 분뇨를 10 l bottle에 4 l 채운후, 40°C, 150ml/min · l 의 공기를 주입하면서 교반해 주었다. 이때 배출된 가스를 분주하여 각각 HCl(100ml, pH=1), HNO_3 (100ml, pH=1), H_2SO_4 (100ml, pH=1), KH_2PO_4 (100ml, 초기pH=4.36)에 첨가하는 수상치환법으로 암모니아가스를 포집하였다.

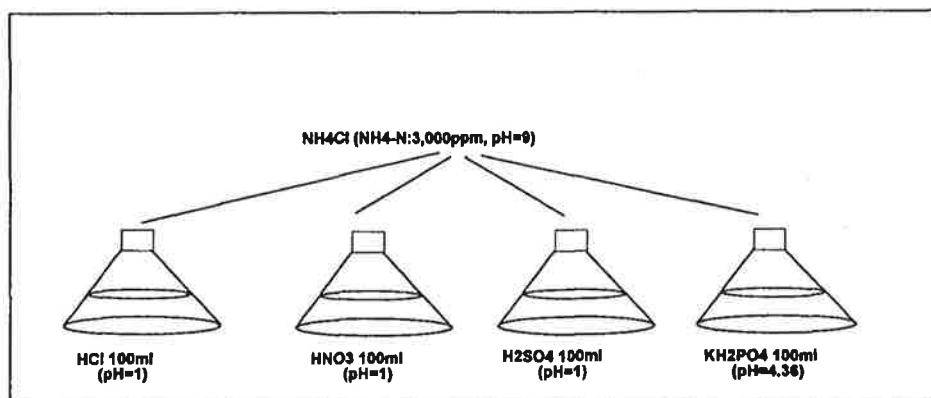


그림 3-4. NH_4Cl 용액을 이용한 포집 acid별 pH 실험방법

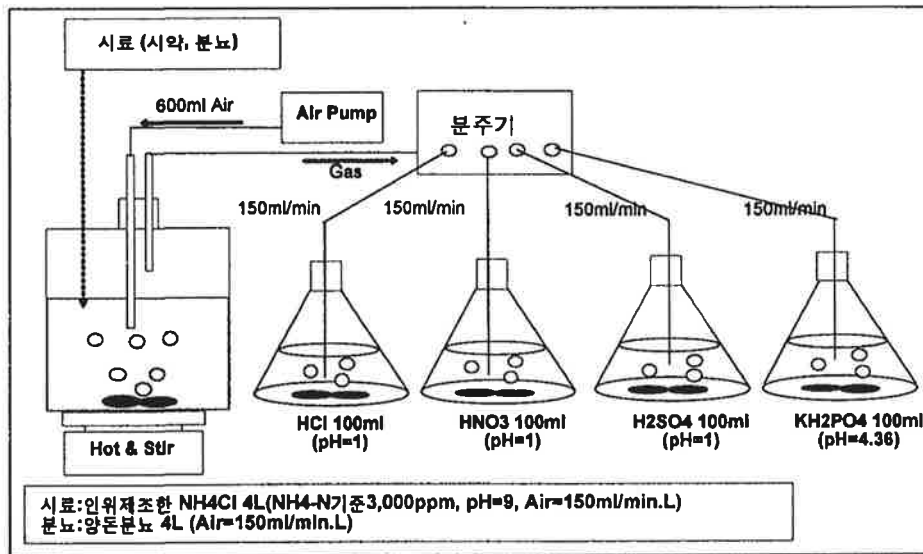


그림 3-5. NH₄Cl 용액으로부터 발생하는 NH₃의 산용액별 농축실험장치

3. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Pilot Scale

가. 실험장치 및 방법

급속액상부숙 반응기에서 배출되는 암모니아가스의 자원화를 위한 농축 장치는 흡입부와 농축조로 되어 있으며, 농축조는 Step-1(수도수)과 Step-2(산용액)로 구성되었다. 흡입부는 급속액상부숙 반응기의 수분증발 장치에서 배출되어지는 수증기를 흡입하여 농축조로 유입시키며, 또한 수 증기의 유입시, 수증기에 포함된 이물질 제거하기 위하여 제진 필터를 부착한 1Hp Blower를 설치하였다. Step-1과 Step-2의 크기는 가로×세로×높이가 50cm×50cm×60cm로써, 총 용적 150ℓ, 내산성의 Sus재질로 제작 되었으며, 유입되는 가스의 유출을 막기 위해서 밀폐형으로 제작하였다.

Step-1과 Step-2의 가스 유입라인에 L자형의 분산폭기구를 설치하여 유 입가스의 폭기 및 포집수의 순환을 유도하였다. 농축조의 정면에 pH와 온 도센서를 부착하여, 포집시간에 따른 pH 및 온도를 측정하였으며, 농축조

의 하단에 배출밸브를 부착하여 시료의 채취와 내부액을 배출하였다. 그림 3-6은 실험에 사용된 가스제어 및 자원화 시스템(Pilot Scale)의 전경 사진이다.

실험방법은 금속액상부속 반응기에 120mesh 스크린 처리한 분뇨를 250 l (21cm)투입, 농축조는 Step-1, Step-2에 각각 수도수와 산을 25 l (10cm) 투입하여 실험을 수행하였으며, Step-2에서는 Lab Scale 실험에서 암모니아 가스의 농축효율이 좋았던 황산과 인산을 이용하였다. 실험에 사용된 황산은 시약용 황산(H_2SO_4 시판 36.4N)을 희석하여 1N로 제조하였고, pH의 보정은 하지 않았으며, 인산은 KH_2PO_4 의 시약을 이용한 1M의 제일인산칼륨 용액이었다.



그림 3-6. 가스제어 및 자원화 시스템 전경-(Pilot Scale)

제 3 절 결과 및 고찰

1. 배출가스의 성상분석

급속액상부숙기술의 운전시 배출되는 가스의 응축액을 분석한 결과, 표 3-1에서 보여지는 것과 같이 다른 성분들보다는 질소의 함량이 매우 높게 나타나고 있었으며, 이때의 질소성분은 T-N이 2,135~3,742 mg/l, NH₄-N이 1,873~2,337 mg/l, NO₃-N이 1.5~9.2 mg/l로써, 총 질소의 대부분인 93%가 NH₄-N의 형태로 존재함을 알 수 있었으며 이는 향후 새로운 질소 원료로의 이용 가능성을 시사하는 것으로 사료되었다.

2. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Lab Scale

가. NH₄Cl(aq)을 이용한 산용액내 NH₃ 포집실험

NH₄Cl 수용액(NH₄-N 기준 3,000 mg/l, pH=9)을 각 acid(100ml)에 투입 하면서 pH=7에 도달하기까지의 투입량을 알아본 결과는 그림 3-7과 같다. 100ml의 고정된 acid의 양에 대해 투입된 NH₄Cl의 양이 많을수록 포집된 NH₄-N의 농도가 높았으나 투입된 NH₄Cl 양의 차가 큰 것에 비해 농도차가 적은 것은 수용액 상태로 투입된 NH₄Cl과 acid와의 회석이 이루어져 원액의 농도인 2,980mg/l에 이르지 못한 채, 상대적으로 그 차이가 적은 것으로 사료된다. 실험결과 H₂SO₄와 KH₂PO₄의 완충능력이 뛰어났으며, pH=7에 도달하기까지 H₂SO₄의 경우는 HCl과 HNO₃에 비해 9배, KH₂PO₄는 8배 가량 투입량이 많았다. 특히, 순수시약으로서의 포집능을 측정하기 위해 pH=1의 보정을 하지 않은 KH₂PO₄의 경우에 초기 pH가 4.36으로 시작되었음에도 불구하고 H₂SO₄와 비슷한 양의 투입량을 보임으로써 가장 좋은 완충능을 보인다고 할 수 있다.

나. NH₄Cl(aq)을 이용한 산용액내 NH₃ 가스 포집실험

시약을 이용한 가스 포집의 경우에는 수용액상 실험에 비해서 pH의 상승이 이뤄지지 않았는데 이유는 72시간까지의 저온, 저폭기 상태가 지속되어 NH₄-N의 NH₃로의 휘산이 적게 일어났기 때문으로 추측되며 pH의 변화폭은 가스상 실험에서도 H₂SO₄, KH₂PO₄의 순으로 나타났다(그림 3-8).

다. 신선분뇨를 이용한 산용액내 NH₃ 가스 포집실험

분뇨를 이용한 실험의 경우, 분뇨의 pH는 서서히 증가하는 것으로 나타났다는데, 이는 가온과 공기주입에 따른 것으로 추측된다(그림 3-9). TS(%)와 VS(%)가 증가한 것은 증발로 인한 수분의 감소에 의한 것으로 판단되며, T-N과 NH₄-N 농도가 감소하는 경향을 보이는 것은 NH₃로의 휘산에 의한 것으로 여겨진다.

분뇨를 이용한 가스포집의 경우 순수시약을 이용한 실험과 비교하여 NH₄-N의 포집농도가 전체적으로 현저하게 낮은 수치를 보이는 것은 발생되는 가스의 양이 적은 것에 기인하며, 이에 따라 72시간이 지난 후의 분뇨의 T-N농도는 974 mg/l, NH₄-N농도 역시 초기와 비교해 약 350 mg/l의 차이만을 보이고 있는데 이는 가스상 실험에서와 마찬가지로 분뇨의 초기 pH가 낮았고 이의 지속시간이 길어져 NH₃의 적정발생 pH인 9이상에도달하지 못하여 가스상 암모니아의 증발량이 상대적으로 적었기 때문으로 추측된다.

한편, 분뇨를 이용한 실험에서도 H₂SO₄와 KH₂PO₄의 포집효율이 뛰어났으며, KH₂PO₄의 경우에는 3일간 분뇨의 T-N 감소량인 974 mg/l 중 962 mg/l의 포집결과를 보여 휘산된 질소성분중 98.7%의 포집을 이룬 것으로 나타났다.

표 3-1. 급속액상부숙기술의 배출 Gas 성분(n=3)

(단위 : mg/ℓ)

항목	pH	T-N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	T-P	F-
농도	>8.6	2,535	1.5	4.23	2,337	117	8.3
항목	SO ₄ ²⁻	Br ⁻	Cl ⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺
농도	47.5	N·D	30.7	38.9	N·D	24.1	412.6

* N·D : Not Detected

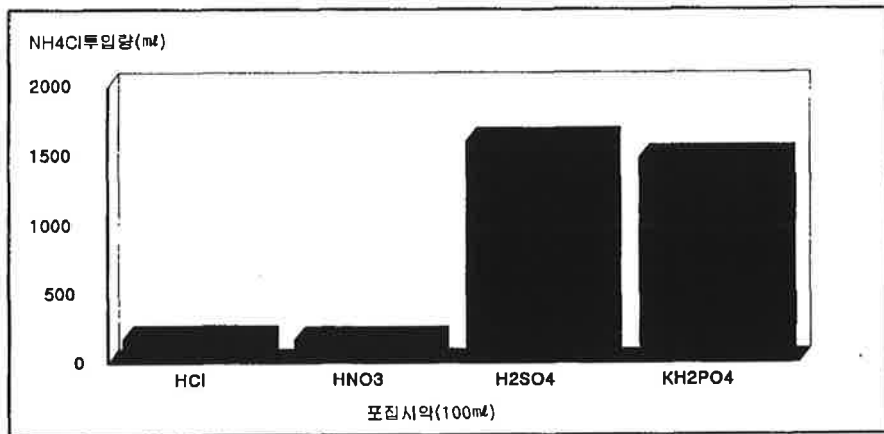


그림 3-7. 각 산용액에 있어서 pH 7에 도달하기 위한 NH₄Cl(aq)의 주입량 비교

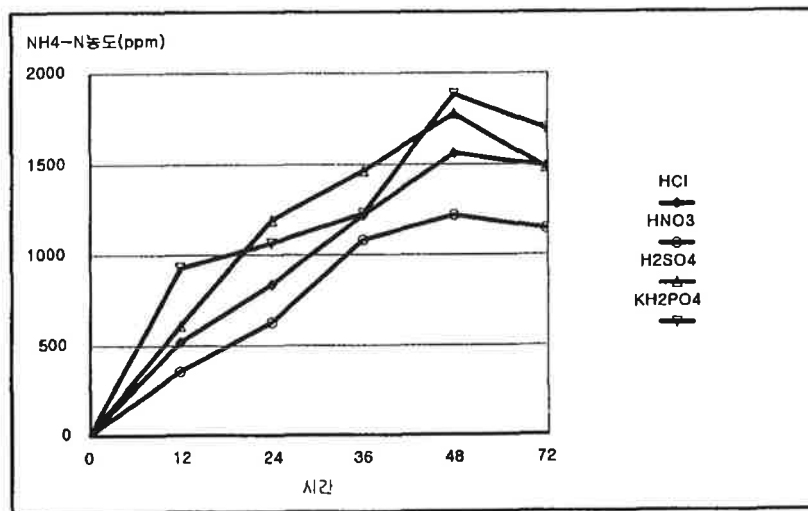


그림 3-8. 각 산용액에 있어서 NH₃의 농축농도 비교

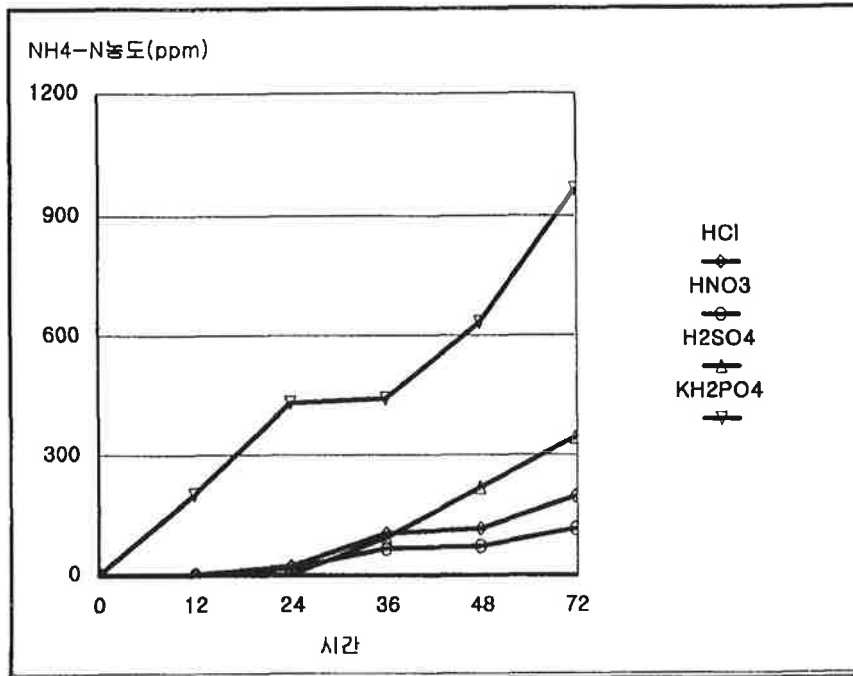


그림 3-9. 신선분뇨를 이용한 산용액내 NH₃ 가스 포집농도

3. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Pilot Scale

가. 반응기의 가동시간에 따른 암모니아가스의 농도변화 특성

가스제어 및 자원화 시스템의 Pilot Scale 실험에서는 급속액상부숙 반응기의 가동 중, 수분증발장치에서 배출되는 가스의 정상분석결과 대부분이 암모니아로 배출되는 것을 알 수 있었으며, 분뇨를 투입하여 가동하였을 때, 가동시간에 따른 암모니아 가스의 농도변화를 알아보하고자 하였다. 그림 3-10은 급속액상부숙 반응기의 가동에 있어서 수분증발장치를 통하여 배출되는 암모니아가스의 가동시간에 따른 농도변화를 나타내었으며, 수분증발장치를 통하여 배출되는 암모니아가스의 농도변화를 측정하기 위하여 현장에서의 측정이 용이한 검지관을 이용하였다. 1차 실험의 경우, 수분증발장치를 통하여 배출되는 암모니아가스 농도가 12~24시간까지 최고 2,000 mg/l 이상을 유지하였으나, 36시간이 경과한 후에는 500mg/l로 낮아졌다.

하지만, 새로운 분뇨를 투입하였을 경우 다시 암모니아 가스의 농도가 증가되는 것을 볼 수 있었다. 그러나 새로운 분뇨를 투입하지 않은 2차 실험의 경우, 반응기의 가동 후 24시간까지는 1차 실험과 동일한 양상을 보이고 있는 반면, 새로운 분뇨를 투입하지 않음으로 인하여 가동시간이 경과됨에 따라 점차 수분증발장치를 통하여 배출되는 암모니아가스의 농도가 60시간 이후에는 200 mg/l로 낮아짐으로써, 반응기의 가동시간에 따라 외부로 배출되는 암모니아가스의 발생농도가 변화됨을 알 수가 있었다.

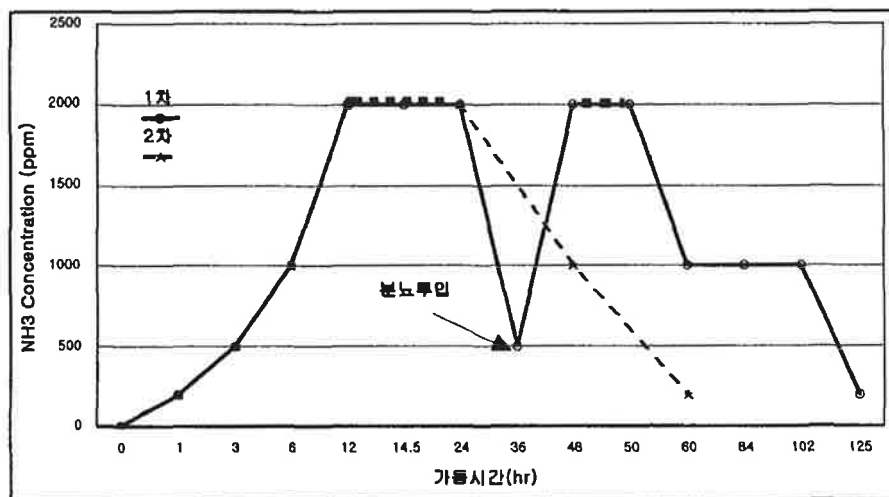
나. 수도수를 이용한 Step-1에서의 암모니아 농도변화 특성

수분증발장치를 통하여 배출되는 암모니아 가스의 농축가능성을 확인하기 위하여 수도수를 이용하였으며, Step-1에서의 포집시간에 따른 pH 및 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도변화를 그림 3-11에 나타내었다.

2회에 걸친 실험에서 1차 실험의 경우, 초기 pH 7.85에서 36시간 경과 후 최고 pH 9.52를 나타내었으며 이후의 pH는 9.4~9.5의 범위를 유지하는 것으로 나타났다. 이때의 암모니아 농도는 60시간이 경과한 후에는 3,000 ~ 3,420 mg/l의 범위에서 일정하게 유지되었다. 2차 실험의 경우, 초기 pH 8.77에서 48시간이 경과 후 최고 pH 9.40을 나타내었으며, 이때의 암모니아 농도는 3,340 mg/l로써 각각의 실험에서 암모니아가스의 농도가 변화하는 시점이 약간의 차이를 보이고 있었으나, 2회의 실험 모두 pH 9.4~9.5의 범위에서는 암모니아의 농도가 변하지 않고 일정하게 유지되는 것으로 나타났다. 각각의 실험에서 수도수를 이용하여 포집할 수 있는 암모니아 가스의 농도는 약 3,000~3,500 mg/l이었다. 1차 실험에서 36시간까지의 암모니아 농도가 2차 실험에서 보다 낮게 측정된 이유는 가동 후, 12시간 경, 반응기가 2시간동안의 정지로 인한 것과 36시간 이후에 새로운 분뇨를 투입한 뒤, 수도수의 암모니아 농도가 급격히 상승하는 현상을 보임

으로써 초기의 분뇨가 오랫동안 방치되어 분뇨에 포함되어진 암모니아가 신선분뇨보다 낮았기 때문으로 사료된다.

또한, 가스자원화 실험에 있어서 포집이 진행되는 동안 급속액상부속 반응기에서 발생하는 수증기를 흡입함으로써 Step-1의 내부수위가 상승할 것으로 판단하였으나, Pilot Scale의 흡입라인과 Blower에서의 물고임 현상으로 인하여 수위상승에 대한 결과는 도출하지 못하였다. 그러나 흡입라인에 생성되어 있는 물을 인위적으로 배출하여 측정하여 보았을 때, 약 250 ml-700ml/3h 정도이였으므로 흡입라인의 물고임 현상을 제거하였을 경우에는 Step-1의 내부수위가 상승될 것으로 사료된다.



--- 부분의 농도는 2,000mg/l 이상임.

그림 3-10. 반응기의 가동시간에 따른 수분증발장치에서의 암모니아 가스 농도의 변화

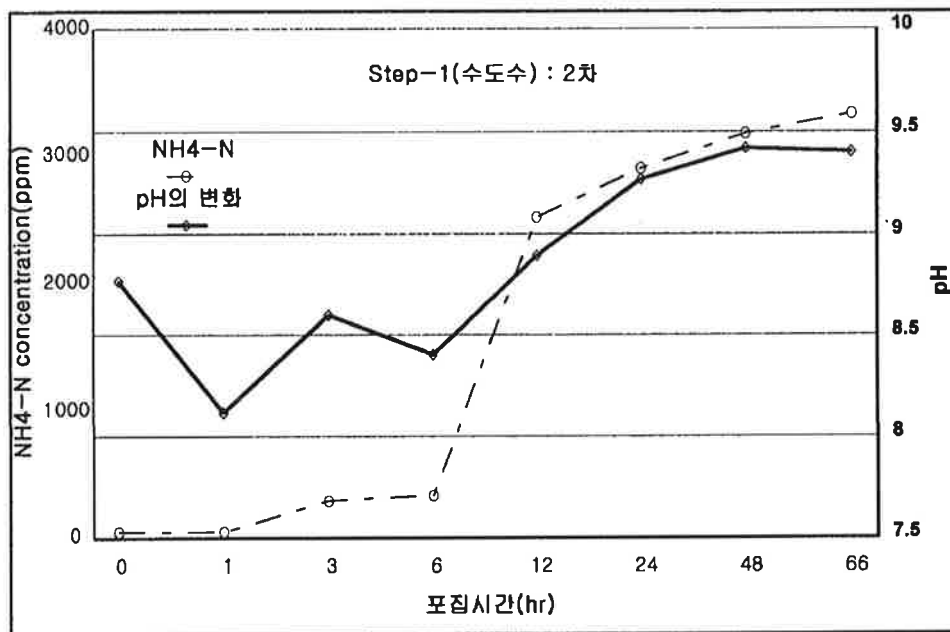
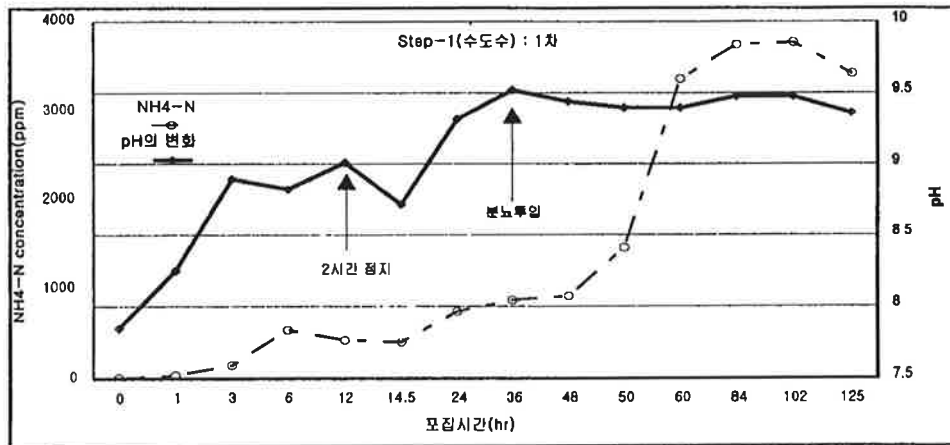


그림 3-11. Step-1에 있어서 포집시간에 따른 수도수의 pH 및 NH₄-N 농도 변화

다. 황산과 인산을 이용한 Step-2에서의 암모니아 가스의 농축 특성

Step-1에서의 암모니아 가스포집 결과는 pH 9.4~ 9.5를 유지하며 NH₄-N의 농축이 진행되지 않았다. 따라서 고농도로 농축된 암모니아 가스를 이용하기 위하여 Lab Scale에서 암모니아가스의 포집효율이 우수했던 황산과 인산을 이용하여 암모니아가스의 농축실험을 수행하였다.

그림 3-12는 암모니아가스 농축조인 Step-2에서 황산과 인산을 이용하여 수분증발장치에서 배출되어지는 암모니아 가스를 포집하였을 때, 포집 시간에 따른 pH와 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도변화를 나타낸 것이다. pH의 경우, 황산과 인산을 사용하였을 때, 각각 60시간, 12시간동안 일정하게 유지되는데, 이것은 Step-1에서 암모니아 가스가 농축되는 시간으로 판단되어지며 이후, Step-1에서 과포화되어 외부로 배출되어지는 암모니아 가스가 Step-2로 유입되기 때문인 것으로 사료된다.

황산과 인산의 암모니아 가스의 포집시간에 따른 농축효율은 반응기의 가동상태 및 pH의 범위가 동일하지 않음으로 인하여 명확히 비교하기에는 어려움이 있으나, pH의 변화에 따른 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도 변화를 통하여 농축효율을 비교하였다. 이때의 기준은 Step-2의 pH가 상승하기 시작하는 시점을 기준으로 하였으며, 시간은 각각 60시간과 12시간이 경과한 후였다.

황산의 경우, 65시간 동안 pH가 0.59~0.69까지 pH 0.1 상승되었으며, 이때의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도는 1,694mg/l에서 4,170mg/l로 약 2,476mg/l가 상승하였다. 인산의 경우는 54시간동안 pH 4.31~5.19까지 pH 0.88 상승되었으며, 이때의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도는 373mg/l에서 1,251mg/l로 약 878mg/l가 상승하였다. 황산수와 인산수의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도가 약 1,598mg/l의 차이를 보였으나, 황산의 경우는 pH 0.1을 변화시키는 동안 1,598mg/l의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 가 농축된 것이기 때문에 인산의 pH상승폭인 pH 0.88을 상승하였을 때의 암모니아 농도는 더욱 높을 것으로 사료된다.

또한, 그림 3-12의 Step-2(황산 및 인산)와 그림 3-13의 Step-2(일정 pH의 황산)의 그림에서 황산과 인산의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농축에 따른 pH의 변화를 살펴보았을 때, 황산의 경우, $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도가 증가하여도 pH는 0.57~0.59로써 큰 변화가 없었으나, 인산의 경우는 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도가 증가함에 따라 pH가 4.32~5.29로써 황산보다 높은 pH의 증가를 보였다. 따라서, 황산과 인산을 이용한 암모니아가스의 농축효율에 대한 비교에서 황산이 인산보다 높은 농축효율을 가지고 있는 것으로 판단된다.

Step-2의 황산실험에서 Step-2의 pH를 2.0으로 일정하게 유지하기 위하여 산자동주입장치를 설치하였으나, 포집시간이 작은 이유로 최대 농축농도는 도출하지 못하였으나, 이는 계속하여 연구해야할 과제이며, 부식성이 강한 황산을 이용함에 따른 경제성 문제 또한 고려해야할 것으로 사료된다.

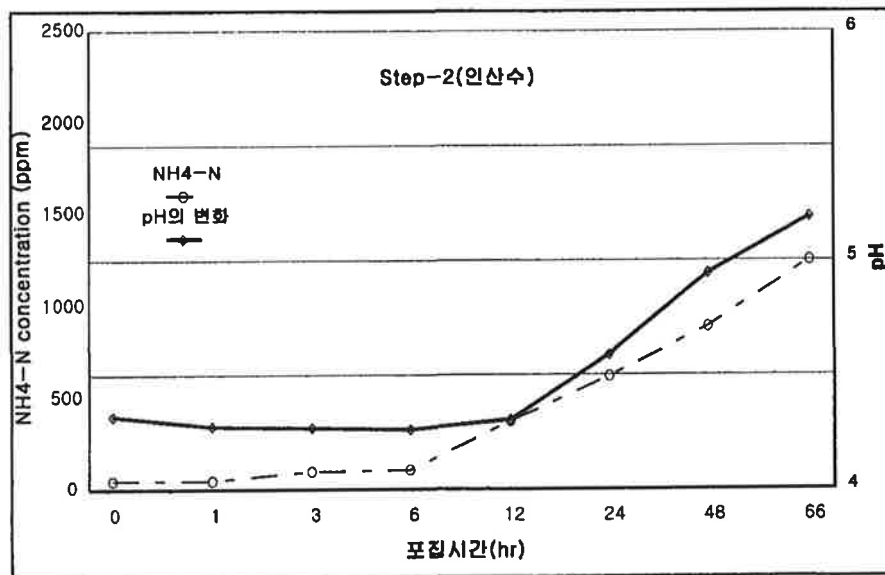
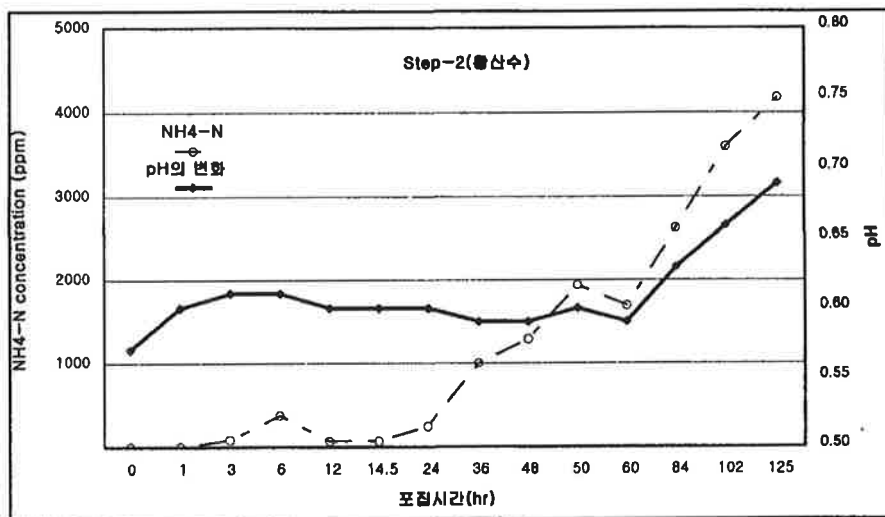


그림 3-12. Step-2에 있어서 포집시간에 따른 황산수와 인산수의 pH와 NH₄-N농도

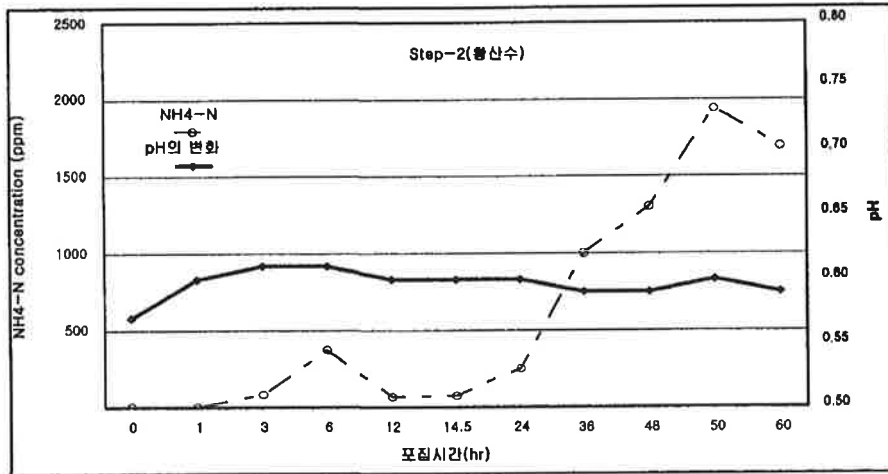


그림 3-13. Step-2에 있어서 일정 pH 조건하(pH = 2.0) 포집시간에 따른 황산수의 pH와 NH₄-N농도

제 4절 결론

1. 배출가스의 성상분석

질소성분은 T-N이 2,135~3,742 mg/l, NH₄-N이 1,873~2,337 mg/l, NO₃-N이 1.5~9.2 mg/l 로써, 총 질소의 대부분인 93%가 NH₄-N의 형태로 존재함을 알 수 있었으며 이는 향후 새로운 질소원으로서의 이용 가능성을 시사하는 것으로 사료되었다.

2. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Lab Scale

암모니아의 자원화를 위한 포집용액의 결정 및 실제 분뇨에서의 NH₃ 포집에 대한 결과는 다음과 같다.

- 가. 수용액상 및 가스상 실험과 실제 분뇨에 있어서, 공통적으로 황산(H₂SO₄)과 제1인산칼륨(KH₂PO₄)이 가장 뛰어난 효율을 보였다.
- 나. 금속액상부속기술을 기초로한 실제 분뇨 실험에 있어서, 분뇨에서

10%(약8%)정도의 암모니아가 휘산되었으며, 이중에서 제일인산칼륨으로 포집한 경우의 포집율은 98% 이상을 나타내었다.

3. 가스제어 및 자원화 시스템의 개발 - Pilot Scale

- 가. 반응기의 가동 중, 수분증발장치를 통하여 배출되는 암모니아 가스의 농도는 분뇨를 투입하였을 경우, 12~24시간동안 약 2,000mg/ℓ 이상이 유지하다 점차 낮아지는 경향을 보였다.
- 나. 수도수를 이용한 암모니아를 농축한 결과, pH가 pH 9.4~9.5로 유지되었고, 이 때, $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도는 3,000~3,500mg/ℓ 이었다.
- 다. 황산과 인산을 이용하여 암모니아 가스의 농축효율을 실험한 결과, 황산의 경우, 65시간 동안 pH가 0.59~0.69까지 pH 0.1 상승되었으며, 이때의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도는 약 2,476mg/ℓ 가 상승하였다. 인산의 경우는 54시간동안 pH 4.31~5.19까지 pH 0.88 상승되었으며, 이때의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 농도는 약 878mg/ℓ 가 상승됨으로써, 황산이 인산보다 암모니아 가스의 농축효율이 높은 것으로 사료되었다.

참 고 문 헌

1. Bruce, J. M. 1981. Ventilation and temperature control criteria for pigs. In Environmental Aspects of Housing for Animal production (Clack, J. A. ed). London., 197~216
2. Coleman. R. N., Feddes, J. J. R. and West, B. S. 1991. : What is odour and the potential for its control? In proc. Western Branch Meeting. Canadian Society of Animal Production, Chillwack (Abstract)
3. Hiroishi Tanaka, Kazutaka Kuroda and Michihiro Yonaga.1991. Biological removal of VFA from animal waste. Anim. Sci. Technol. 63(1). 54-59.
4. Lockyer D.R., B.F. Pain.1989. Ammonia emissions from cattle, pig and poultry wastes applied to pasture. Environmental Pollution. 56. 19-30.
5. Myung-Gyu Lee and Michiharu Kobayashi. 1992.Deodorization of swine sewage by addition of a phototrophic bacterium, Rhodoseudomonas capsulata. Soil Sci. Plant Nutr. 38(4). 767-770
6. Takashi Osada, Kiyonori Haga and Yusuo Harada.1991. Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge unit with the intermittent aeration process. Wat. Res. 25(11). 1377- 1388.
7. W. Wesley Eckenfelder. 1989. Jr. Industrial water pollution control. second edition. 66-67.
8. Willams A.G..1984. Indicators of piggery slurry odour offensiveness. Agricultural wastes. 15-36.
9. Zhu J., Bundy D.S., Li X. and Rashid N..1997. The hindrance in the development of pit additive products for swine manure odor control-A review. J. Environ. Sci. Health A32(9&10). 2426-2448.

10. 강현. 1996. 환경영양평가-악취 환경영양평가-. 동화기술. 219~268
11. 김기현, 김동균, 윤종만, 1995. 축산환경의 오염 잠재력 : 축산 오염 물질의 발생과 대기환경계 순환. 축산시설환경학회. 1(2) 154~164
12. 김노중. 1996. 악취현황과 탈취신기술(I). 첨단환경기술. 8월호. 56~61.
13. 신항식, 송영채, 배병욱. 1995. 유기성폐기물의 혐기적 분해특성(II) : 울속단계 평가를 위한 모델. J. of KSEE Vol. 17, No. 6, 533~542,
14. 오인환. 1998. 가축분뇨의 액비화기술. 가축분뇨 처리기술개발동향 제4회 학술심포지움. 축산시설환경학회. 27-43.
15. 이명규, 고현준, 김명중, 신경섭, 양진모. 1997. 공기주입량에 따른 양돈분뇨중 악취 제거 특성연구. 축산시설환경학회지. 3(2). 115-123.
16. 이명규, 권오중, 정진영, 태민호, 허재숙. 1998. 고온호기산화법으로 처리된 양돈분뇨 배출액의 무취화관리방안에 관한 기초연구. 축산시설환경학회지. 5(2). 123-132.
17. 이명규, 권오중, 정진영, 태민호, 허재숙. 1998. 광합성세균을 이용한 고농도 양돈슬러리의 무취화 관리방안에 관한 연구. 축산시설환경학회 4(2) : 137~147.
18. 이상형. 1997. 유럽국가의 환경에 대한 법 규제. 일본양돈계, 1997. 10월호.
19. 오태선. 김환기. 1998. 황산염환원균(SRB)에 의한 유기성폐기물의 분해특성. 대한환경공학회지 20(6) : pp 761~769.
20. 차기철. 김동진. Tatusuya Noike. 1994. 혐기성 산발효에 있어서 기질 분해의 특성과 세균군의 분포에 미치는 온도의 영향. J. of KSEE Vol. 16, No. 8, 995~1005

VI. 액비의 이용체계 및 살포기술 개발

Development of Spreading Technique and Slurry Utilization System

연구기관 : 건국대학교
연구책임자 : 오인환
연구원 : 성시홍
연구원 : 정우철
연구원 : 박찬근
연구원 : 김기덕
연구원 : 공창환
참여기업 : 협성공작소
참여기업연구원자 : 갈원홍
참여기업연구원자 : 방효왕
참여기업연구원자 : 손현호
천원목장 : 지병주
도드람양돈조합 : 진길부
이천농업기술센터 : 박홍계

여 백

- 710 -

요 약 문

I. 제 목

액비의 이용체계 및 살포기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

가축 사육에 의한 분뇨배설량은 연간 약 3,540만톤으로 추산되며, 여기에 함유되어 있는 비료 성분은 질소가 약 23만 M/t, 인산이 약 7만M/t, 그리고 칼리가 약 9만M/t이 된다. 이렇게 비료 함량이 풍부한 가축분뇨는 자원으로 재활용하여야 한다. 축분의 경우에는 재활용에 많은 진전을 보고 있으나 분뇨혼합, 즉 슬러리의 경우에는 그렇지 못한 형편이다. 따라서, 혼합분뇨를 액비로 이용하는 기술을 개발하여 가급적이면 슬러리 형태의 액비로 농경지에 이용하도록 하는 것이 경제적이다.

액비이용에 있어서 해결되어야 할 문제로는 농경지확보, 살포기술개발, 약취감소 등을 들 수 있다. 대부분의 축산농가는 살포할 수 있는 농경지가 거의 없기 때문에 어떻게 하면 축산농가와 경종농가를 연계하는가 하는 점도 중요하다. 따라서, 가축 분뇨의 이용을 확대하기 위하여는 인근 경종농가, 특히 벼재배에 이용하는 방안을 강구하여야 한다. 우리나라 농경지의 60%를 차지하는 논외 벼재배에 슬러리를 이용할 수만 있다면, 이는 살포경지면적을 확대하는 의미가 되는 동시에 자원을 더욱 효율적으로 활용하게 된다. 그러나, 논 토양은 주로 습지로 단단하지 못하기 때문에 액비살포기의 진입이 곤란한 경우가 허다하며, 또한 멀리 떨어져

있기 때문에 특수한 살포기술의 개발이 요망된다. 축산농가와 살포할 논이 멀리 떨어져 있을 경우에 트랙터의 왕복 운반에 소요되는 시간은 크며, 이에 관한 대책도 요구된다.

살포기술에서는 살포의 균일성 문제가 대두된다. 균일하게 살포하여야 최대의 작물수확량을 기대할 수 있다. 기존의 충돌판식 액비살포기는 중앙부분에 많이 살포되고 가장자리로 갈수록 살포량이 적어지기 때문에 중복하여 살포하여야 하는 불편함이 있다. 액비의 살포에 있어서는 악취 문제도 대두된다. 따라서, 생력화를 도모하며 살포의 균일성이 보장되고, 악취를 감소할 수 있는 액비살포기의 개발이 요구된다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

가축분뇨의 액비이용에 있어서 살포기술, 악취저감기술, 운반기술에 대한 개발을 하며 연계체계구축 및 경제성에 관하여 분석을 한다. 아울러, 국외에서 최근에 개발된 살포 시스템을 조사 분석하여 우리 나라에 적용 가능 여부를 검토하며 최적의 시스템을 구성한다. 필요한 액비살포기를 제작하여 시험 가동하며 성능, 처리 용량, 작업 소요시간, 악취 감소 효과 등에 관하여 분석한다.

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1997)	액비살포기 모델선정 살포균일도 분석	관행액비살포기에 관한 자료분석 액비이용체계 분석 표준형 호스지표살포기 제작 살포균일도 측정대 제작 적정로타회전수 규명 논토양 경도조사에 관한 자료조사
2차년도 (1998)	간접주입기 개발 이동식 컨테이너탱크 개발	간접주입기(스프링해로우, 디스크해로우)제작 살포균일도 측정 적정로타회전수 규명 악취감소효과 규명 컨테이너 탱크 제작 운반성능 분석
3차년도 (1999)	액비주입기 개발 액비이용시스템 확립	시작품 제작(디스크 코울터, 작구기) 악취감소효과 규명 성능시험 평가 토양종류별 살포기 액비이용 경제성 분석

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구개발결과

근거리에서는 기존의 액비살포기 또는 지표살포기를 이용하여 살포하는 방식으로 액비살포기가 축산농가의 저장탱크에서 살포 포장까지 왕복 이동한다. 포장이 멀리 떨어져 있는 경우에는 중간저장조를 이용하며 중간저장조에서는 펌프에 호스가 지표살포기까지 연결되어 있어 펌프의 압력으로 포장에서 살포한다. 논외 액비이용에서는 이동 거리, 논 토양의 경도, 악취 등의 문제를 고려하여서 시스템을 결정한다.

로타회전수와 살포량과의 관계에서 고형물함량이 적은 액비에서는 분배장치의 로타 회전수가 중고속에서 변이계수 10%의 양호한 결과를 얻었다. 낙농슬러리에서도 로타의 회전수가 저속에서 중고속으로 갈수록 살포균일도가 개선되어 각기 12.5%, 9.6%, 7.2%를 나타내었다. 양돈슬러리에서도 저속보다는 고속에서 변이계수 8.1%로 양호한 결과를 보였다.

소형의 분배장치시험에서 고형물분리 액비의 시험결과에 의하면 분배장치 로타의 회전수가 180rpm, 310rpm, 450rpm으로 증가할수록 분산계수는 각각 8.1%, 7.0%, 6.2%로 낮아져 고속회전에서 살포균일도가 향상되었다. 고형물함량이 높은 낙농슬러리를 시료로 한 시험에서는 변이계수가 23-51%로 높았으며, 짚 등의 이물질이 많은 슬러리는 구경 50mm의 큰 분배장치를 사용하는 것이 유리하다.

악취의 실험에서 낙농슬러리를 살포할 경우에 냄새측정기로 측정된 결과에 의하면 관행살포기가 평균 270으로 취기를 충분히 느끼고 피로움이 생기는 정도였고, 지표살포기, 그리고 지표살포기와 디스크해로우의 조합에서는 각기 217, 182로 보통사람의 후각으로는 냄새를 느끼지 못하는 상태이었다.

양돈슬러리에서 냄새측정기로 측정된 악취강도는 관행살포기에서 440으로 취기가 불쾌감을 느낄정도였고, 지표살포기에서 258로 냄새를 느끼나 환기가 필요치 않은 상태였다. 그리고 지표살포기와 디스크해로우의 조합에서 184로 보통사람으로는 냄새를 느끼지 못할 정도이었다. 이상의 결과에 의하면 개발된 호스지표살포기는 악취감소측면에서 탁월한 효과가 있는 것으로 입증되었다.

지표살포기 표준형은 일반적인 토양환경과 여건에서 사용하며, 살포된 슬러리를 흙으로 덮어줄 경우에 사질토에서는 스프링해로우를, 잔유물이 있는 점토질의 논토양에서는 디스크해로우를 조합하여 사용한다. 토양의

수분함량이 높아 토양경도가 낮을 경우에는 호스이송방법을 택하는 것이 유리하다.

액비이용에 있어서 소요되는 비용은 m^3 당 3200원에서 6800원 정도이다. 살포거리가 멀 경우에는 이동식 컨테이너탱크를 중간저장조로 이용함으로써 작업성능을 3-6배 정도 향상시킬 수 있다.

2. 활용에 대한 건의

- * 가축분뇨를 슬러리 형태로 논에 액비로 이용한다면 가축분뇨문제를 가장 경제적으로 해결할 수 있다.
- * 살포균일도와 악취감소측면에서 호스지표살포기를 이용하면 벼 재배에서 중요한 우수한(CV 6~8%) 살포균일도를 얻을 수 있으며 악취 감소효과도 현저하다.
- * 살포작업성능 개선으로 이동식중간저장조를 이용하면 원거리 살포에서 작업성능을 3~6배 향상시킬 수 있으며 환경친화적이다.
- * 축산농가와 경종농가의 연계이용시스템을 구축함으로써 액비이용체계를 확립한다.
- * 현재 정부에서 시행하고 있는 액비 이용 시범사업에 개발된 시스템을 적용하여 액비이용을 촉진할 수 있다.

SUMMARY

I. Title

Development of spreading technique and slurry utilization system

II. Objectives and Necessity

The animal wastes are produced about 35 million tons per year and they contain a lot of fertilizer components, such as 230 thousand M/t of N, 71 thousand M/t of P and 91 thousand M/t of K. These animal wastes abundant with fertilizer should be recycled as resources. While the dung is proceeded in recycling as a compost, the slurry is not effectively recycled yet. Therefore, it is desirable to develop a technique which can be used for recycling the slurry in the arable land easily.

In using the slurry, there are some problems to be solved, such as available land, spreading technique, reducing the odor. Because most of the livestock farms, especially swine farms have hardly possess arable land, it is important to link the livestock farms to the rice farms. The paddy field is more than 60% of the arable land. If the slurry is utilized in paddy field it means the extend of spread land and using the resources more effectively. Since the paddy field is sometimes not solid enough, it is occasionally difficult to work with

the tank spreader. Sometimes it is located far away from the livestock farm and a special spreading technique is necessary. The uniformity of spreading quantity is important in the spreading technique. The maximum amount of harvest without environmental pollution could be expected in case of applying uniform amount of slurry. The conventional slurry spreader spreads large in the middle part compared to the border.

Otherwise, it could be affected by the wind and cause odor problem. Therefore, it is needed to develop a slurry spreader to insure the spread uniformity and to reduce odor problem.

III. Scope of the Study

Year	Contents	Scopes of the study
1st year (1997-98)	<ul style="list-style-type: none"> • Model selection of slurry spreader • Design spreading uniformity measurement 	<ul style="list-style-type: none"> • Analysis on the conventional slurry spreader and the slurry utilization • Construction of the hose slurry spreader • Construction of the measuring equipment • Examination of the optimal rotor speed • Study on the soil hardness
2st year (1998-99)	<ul style="list-style-type: none"> • Design of hose slurry spreader with different harrows • Design of mobile container tank 	<ul style="list-style-type: none"> • Construction of the spring and disk harrow combination • Examination of the optimal rotor speed • Examination of the odor reducing effect • Construction of the mobile container tank • Analysis on transport performance

Year	Contents	Scopes of the study
3st year (1999-00)	<ul style="list-style-type: none"> • Design of slurry injector • System of slurry utilization 	<ul style="list-style-type: none"> • Construction of the injector with disk coulter • Examination of the odor reducing effect • Evaluation of the working performance • Classification of the model of hose slurry spreader according to the soil • Economical evaluation

IV. Results and Suggestion for Practical Use

1. Results

It is well known for the livestock manure to be recycled in the land as an economical and environmentally friendly method. Especially, the slurry might be useful for the paddy field, which is over 60% of the arable land in Korea, but the utilization is not widely extended. In using the slurry, there are some problems to be solved such as available land, uniform spread and odor control.

To improve the uniformity of slurry spreading and to reduce the odor problem, a hose slurry spreader was developed, which spread the slurry near to the surface of the soil. The uniformity of slurry spreading was investigated. In case of dairy cattle slurry, which contains 8.2% of dry matter, the uniformity has the best result of CV 7.2% by high rotor speed of 330 rpm than low or middle speed. In swine slurry, which contains 13.6% dry matter has shown the best result of 8.1% CV by 250 rpm of high rotor speed. A high speed of rotor has built a sufficient pressure in the distributor and discharged

a uniform quantity of slurry through the hoses. Therefore, in practical use one should work with rotor speed of about 300 rpm to maximize the uniformity of slurry spreading.

Odor test was done with the swine slurry. While the conventional spreader shows value 440, the hose slurry spreader and its combination of disk harrow show value 258 and 184 respectively. With the air dilution sensual test and a 3-point odor bag, the conventional spreader shows 66.9 or 35.4 point and by the hose slurry spreader is 9.7 or 11.1 point. By the continuous odor test with dairy slurry, the hose spreader and its combination with disk harrow have shown respectively 217, 182 on average whereas the conventional spreader has shown an average of 270 with a maximum of 351. So, the developed spreader has a greater effect in reducing odor problem than the conventional one.

It is recommended to spread certain amount of the slurry for paddy field equivalent to the chemical fertilizer based on the N-content. It means 22 tons of swine slurry per ha. Because most of the livestock farms possess less arable land, a system of linking farms is necessary to utilize the slurry crossover the farms. The cost of slurry utilization including filling, transport, spreading and brokerage is 3200-6800 won/m³ in accordance with the transport distance.

2. Suggestion for practical use

If the slurry is utilized in the paddy field, the animal waste problem can be solved economically. Using the hose slurry spreader,

one can obtain the best spread · uniformity (CV 6~8%) which is important in the paddy field and the odor reducing effect is obvious.

One can get the working performance more than 3~6 times in more than 5 km transport distance by using the mobile container tank as an intermediate and this method is environmentally friendly than the construction a storage tank in the paddy field. If the slurry utilization by linking the livestock farms with the rice farms is established and if this system is applied to the slurry utilization model project carried by the government, the slurry utilization can be promoted.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	724
Paragraph 1. Purpose and extent of study	724
Paragraph 2. Contents and extent of study	725
Paragraph 3. Expected effects and application	726
Chapter 2. Spreading System	727
Paragraph 1. Classification of slurry spreading system	727
Paragraph 2. Classification of spreading system according to soil hardness	728
Chapter 3. Analysis on the Spreading Uniformity	730
Paragraph 1. Introduction	730
Paragraph 2. Materials and method	730
Paragraph 3. Conclusions and discussion	733
1. Distributor with 50mm outlet	733
2. Distributor with 30mm outlet	739
Chapter 4. Analysis on the Reducing Effect of Odor	743
Paragraph 1. Introduction	743
Paragraph 2. Materials and method	744
Paragraph 3. Conclusions and discussion	745
Chapter 5. System of Slurry Utilization	750
Paragraph 1. Classification of hose slurry spreader	750

Paragraph 2. Classification of storage tank	756
Paragraph 3. Link system of livestock farms to the rice farms	760
Paragraph 4. Mobile container tank	762
Chapter 6. Summary	765
References	767

목 차

제 1 장 서 론	724
제 1 절 연구개발의 목적과 범위	724
제 2 절 연구개발의 내용 및 범위	725
제 3 절 기대효과 및 활용방안	726
제 2 장 살포시스템	727
제 1 절 액비살포시스템의 분류	727
제 2 절 토양상태에 의한 분류	728
제 3 장 살포균일도 분석	730
제 1 절 서 설	730
제 2 절 재료 및 방법	730
제 3 절 결과 및 고찰	733
제 4 장 악취저감효과 분석	743
제 1 절 서설	743
제 2 절 재료 및 방법	744
제 3 절 결과 및 고찰	745
제 5 장 액비이용체계	750
제 1 절 호스지표살포기의 사용목적에 따른 분류	750
제 2 절 저장시스템의 종류	756
제 3 절 축산농가와 경종농가의 연계체계	760
제 4 절 이동식 저장탱크	762
제 6 장 적 요	765
참고문헌	767

제 1 장 서론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위

가축 사육에 의한 분뇨배설량은 연간 약 3,540만톤으로 추산되며, 여기에 함유되어 있는 비료 성분은 질소가 약 23만 M/t, 인산이 약 7만M/t, 그리고 칼리가 약 9만M/t이 된다. 이렇게 비료 함량이 풍부한 가축분뇨는 자원으로써 재활용하여야 한다. 축분의 경우에는 재활용에 많은 진전을 보고 있으나 분뇨혼합 즉 슬러리의 경우에는 그렇지 못한 형편이다. 따라서, 혼합분뇨를 액비로 이용하는 기술을 개발하여 가급적이면 슬러리 형태의 액비로 농경지에 이용하도록 하는 것이 경제적이다.

액비이용에 있어서 해결되어야 할 문제로는 농경지확보, 살포기술개발, 악취감소 등을 들 수 있다. 대부분의 축산농가는 살포할 수 있는 농경지가 거의 없기 때문에 어떻게 하면 축산농가와 경종농가를 연계하는가 하는 점도 중요하다. 따라서, 가축 분뇨의 이용을 확대하기 위하여는 인근 경종농가, 특히 벼재배에 이용하는 방안을 강구하여야 한다. 우리나라 농경지의 60%를 차지하는 논외 벼재배에 슬러리를 이용할 수만 있다면, 이는 살포경지면적을 확대하는 의미가 되는 동시에 자원을 더욱 효율적으로 활용하게 된다. 그러나, 논 토양은 주로 습지로 단단하지 못하기 때문에 액비살포기의 진입이 곤란한 경우가 허다하며, 또한 멀리 떨어져 있기 때문에 특수한 살포기술의 개발이 요망된다. 살포시의 조건을 살펴보면 표 1과 같다. 축산농가와 살포할 논이 멀리 떨어져 있을 경우에 트랙터의 왕복 운반에 소요되는 시간은 크며 이에 관한 대책도 요구된다.

살포기술에서는 살포의 균일성 문제가 대두된다. 균일하게 살포하여야 최대의 작물수확량을 기대할 수 있다. 기존의 충돌판식 액비살포기는 중앙부분에 많이 살포되고 가장자리로 갈수록 살포량이 적어지기 때문에

중복하여 살포하여야 하는 불편함이 있다. 액비의 살포에 있어서는 악취 문제가 대두된다. 따라서, 생력화를 도모하며 살포의 균일성이 보장되고, 악취를 감소할 수 있는 방법으로 개발된 호스지표살포기의 살포기술을 규명하고자 한다.

표 1-1. 액상분뇨의 살포조건

작 물 재 배	농 장 경 영	환 경 보 전
질소흡수개선 최적의 시기에 살포 적정 살포량	화학비료절약 경영비의 감소 이송성능증대 살포기술의 경제성 살포성능의 향상	악취감소 질소용탈의 감소 하천으로 유실감소 토양의 비옥도 유지

제 2 절 연구개발의 내용 및 범위

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1997)	액비살포기 모델선정 살포균일도 분석	관행액비살포기에 관한 자료분석 액비이용체계 분석 표준형 호스지표살포기 제작 살포균일도 측정대 제작 적정로타회전수 규명 논토양 경도조사에 관한 자료조사
2차년도 (1998)	간접주입기 개발 이동식 컨테이너탱크 개발	간접주입기(스프링해로우, 디스크해로우)제작 살포균일도 측정 적정로타회전수 규명 악취감소효과 규명 컨테이너 탱크 제작 운반성능 분석
3차년도 (1999)	액비주입기 개발 액비이용시스템 확립	시작품 제작(디스크 코울터, 작구기) 악취감소효과 규명 성능시험 평가 토양종류별 살포기 액비이용 경제성 분석

가축분뇨의 액비이용에 있어서 살포기술, 악취저감기술, 운반기술에 대한 개발을 하며 연계체계구축 및 경제성에 관하여 분석을 한다. 아울러, 국외에서 최근에 개발된 살포 시스템을 조사 분석하여 우리 나라에 적용 가능 여부를 검토하며 최적의 시스템을 구성한다. 필요한 액비살포기를 제작하여 시험 가동하며 성능, 처리 용량, 작업 소요시간, 악취 감소 효과 등에 관하여 분석한다.

제 3 절 기대효과 및 활용방안

분뇨처리문제와 관련하여 현재 적절히 사용되지 못하고 있는 액상분뇨를 액비화 할 경우에 축산농가가 안정적인 토대 위에서 축산업을 영위할 수 있으며, 또한 분뇨처리방법 중 가장 경제적인 방법이기 때문에 UR협상 이후에 침체상태에 있는 축산농가의 국제경쟁력을 향상시킬 수 있다. 액상분뇨를 정화하지 않고 자원으로 재활용한다는 측면에서 토양의 유기물 함량을 증가시킬 뿐만 아니라 양축농가에게 흙을 살린다는 긍지를 갖게 한다. 다른 한편, 토양과의 관계에서 약탈적 농업이 아니라 액상 콤포스트는 지속적 농업을 가능하게 하고 유기농업을 지원하는 효과가 있다. 전체 농경지의 60% 이상을 차지하는 논에의 액비이용의 실용화로 국가적인 차원에서 경비절약-경종농가의 화학비료절감, 축산농가의 처리비용절약-과 자원의 재이용을 도모한다. 가축분뇨의 이용활성화로 양축농가의 경영입지를 확고히 한다.

현재 정부의 주도로 행하여지고 있는 양돈분뇨의 비재배 시범사업에 본 시스템을 적용함으로써 생력화를 도모하고, 이용을 촉진한다.

제 2 장 살포시스템

제 1 절 액비살포시스템의 분류

우리 나라에 적용 가능한 살포 시스템은 그림 1과 같이 세 가지로 나누어 볼 수 있다. 시스템 1은 근거리에서 기존의 액비살포기 또는 지표살포기를 이용하여 살포하는 방식으로 액비살포기가 축산농가의 저장탱크에서 살포 포장까지 왕복 이동한다. 시스템 2는 포장이 멀리 떨어져 있는 경우로 중간저장조를 살포포장 옆에 설치하며 탱크탑재 트럭이 운반하는 역할을 하고 중간저장소에서 포장까지는 시스템 1과 같은 방법이나 펌프에 호스가 지표살포기까지 연결되어 있어 펌프의 압력으로 포장에서 살포한다. 액비를 토양에 근접하여 살포하기 때문에 악취의 확산을 사전에 방지하는 효과가 있다. 시스템 3도 살포 포장이 멀리 떨어져 있는 경우이나 악취문제로 인근에 주거지역이 없는 곳에서만 가능하다.

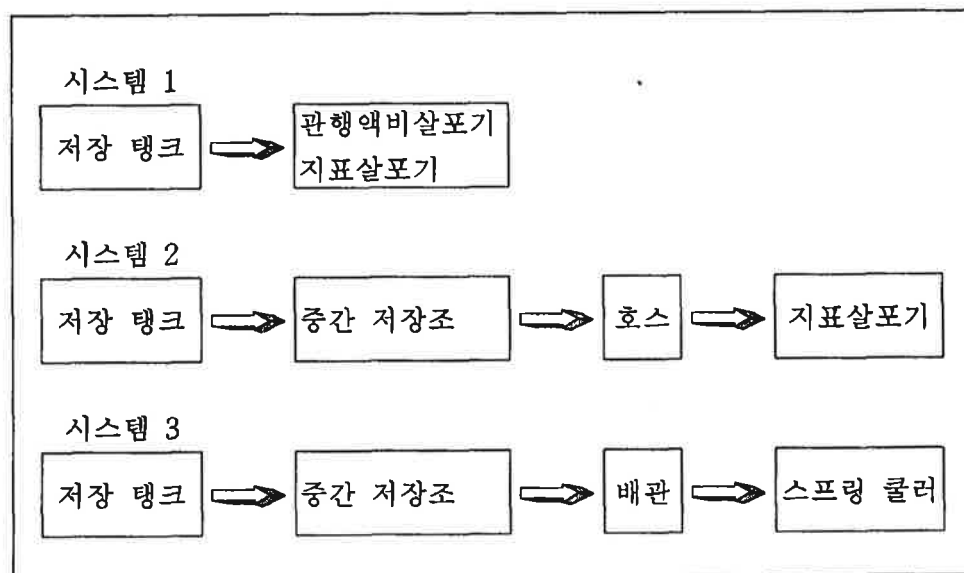


그림 2-1. 액비살포시스템의 분류

제 2 절 토양상태에 의한 분류

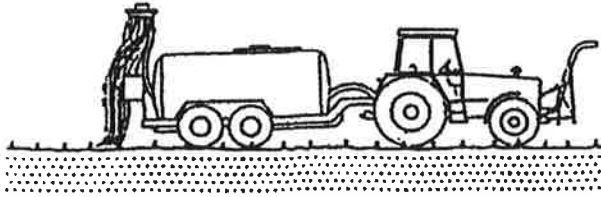
논의 액비이용에서는 이동 거리, 논 토양의 경도, 악취 등의 문제를 고려할 때 시스템 1에서 관행살포기 대신에 지표살포기를 이용하든가 시스템 2가 적당한 것으로 사료된다. 봄 이앙전이나 가을 추수후에 논토양의 수분함량은 10-30% 사이가 되며, 우리나라의 여러지역에서 논토양의 경도를 측정하여 트레일러의 용량을 예측한 결과를 표 2에 나타내었다. 이 결과에 의하면 논토양의 경도가 상이함을 알 수 있다 (이, 1997). 경우에 따라서는 논에 5-6톤 중량의 액비살포기가 들어갈 수 있는가 하면, 어떤 경우에는 1-2톤밖에 들어갈 수 없다. 경도가 높은 토양에는 시스템 1로 작업을 하며 경도가 낮은 토양에서는 시스템 2의 호스이송방식을 도입하는 것이 유리하겠다.

표 2-1. 토양경도에 의하여 예측된 트레일러용량(kg)

지 역	예측된 트레일러 용량	지 역	예측된 트레일러 용량
평 택	1. 2300 - 2600	안 동	1. 1500 - 3500
	2. 5000 - 6400		2. 4800 - 5200
강 화	1. 6400 - 6700	상 주	1. 3600 - 5200
	2. 1000 - 3300		2. 6300 - 8300
김 포	1. 1900 - 5000	밀 양	1. 2500 - 6500
	2. 4800 - 6000		2. 6100 - 8800
남 양	1. 130 - 1400	김 해	1. 5900 - 7500
	2. 1400 - 2000		2. 2900 - 4300
아 산	5600 - 7000	익 산	5600 - 7000

외국에서 사용되고 있는 액비살포기에 관한 자료 등을 토대로 우리나라의 실정에 적합한 살포시스템을 구성하여 그림 2에 나타내었다. 즉, 논 토양의 특성을 고려하였으며 악취를 적게 발생하는 방식을 선정하였다.

시스템 1



시스템 2

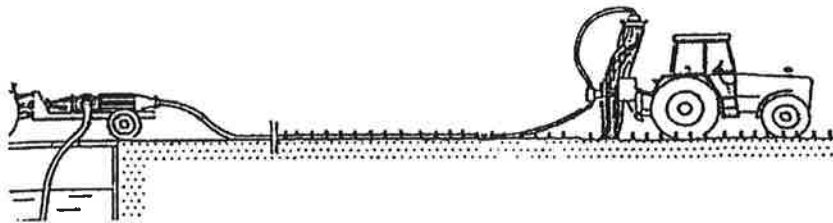


그림 2-2. 호스지표살포기의 이용시스템

제 3 장 살포균일도 분석

제 1 절 서설

가축분뇨에는 작물이 필요로 하는 비료성분이 골고루 함유되어 있다. 따라서, 퇴비나 액비로 활용하여 토양에 환원하는 것이 여러가지 처리방법 중에서도 가장 경제적이며 환경친화적이라 할 수 있다. 슬러리 상태의 가축분뇨를 액비로 이용함에 있어서는 살포농경지의 확보, 살포성능, 약취감소, 살포의 균일성 문제 등이 해결되어야 한다. 적정한 양이 균일하게 살포되어야 환경을 오염시키지 않으면서 최대의 작물수확량을 기대할 수 있다. 살포량이 많거나 적으면 작물의 생육에 영향을 준다. 살포가 균일하지 못하여 편차가 $\pm 35\%$ 나면 수확손실이 곡물에서 5-12%, 옥수수류의 경우에 3-10%나 발생한다는 보고도 있다 (Isensee & Thamsen 1984).

기존의 액비살포기는 주로 충돌살포 또는 압력방식으로서 살포변이가 크고 중양부분에 많이 살포되고 가장자리로 갈수록 살포량이 적어지기 때문에 중복 살포하여야 하는 불편함이 있고, 또한 바람에 예민하다. 슬러리가 충돌확산되기 때문에 약취문제도 대두된다. 따라서, 생력화를 도모하며 살포의 균일성이 보장되고, 약취를 감소할 수 있도록 슬러리를 토양표면에 가깝게 살포하는 호스지표살포기를 개발하여 살포균일도를 분석하고자 한다.

제 2 절 재료 및 방법

호스지표살포기의 살포장치는 중양분배장치, 구동유압모터, 유압실린더, 3점링크히치, 프레임, 호스고정장치 등으로 구성되며 작업폭 6.0m의 액비살포기로 하였다.

중앙분배장치는 하우징, 로타, 유압모타, 연결호스 등으로 구성되어 있다. 로타는 트랙터의 유압으로부터 유압모타가 회전함에 따라서 같이 돌게 되어 있다. 펌프로부터 슬러리가 로타안으로 유입되면 로타의 양날개에 있는 구멍과 하우징에 있는 구멍이 일치될 때 배출되는 원리이다. 중앙유입구의 직경을 통한 유량과 배출구를 통한 유량이 같게 되도록 배출구의 직경을 결정하였다. 호스는 길게 늘어뜨려 지표면에 거의 닿을 정도로 하였으며, 이동 중에는 유압장치에 의하여 접을 수 있고 들어올릴 수 있도록 제작하였다.

중앙분배장치에 있는 로타의 회전속도는 유압모타에 의하여 조절되며, 배출량은 로타의 회전수에 의하여 변하게 된다. 일반적으로 50mm 직경의 호스가 사용되나 중량을 감소하고 공간점유를 적게 하고자 중앙분배장치를 소형으로, 즉 배출구의 직경이 30mm가 되도록 제작하여 살포의 균일도를 측정하였다. 슬러리의 종류로는 고흥물이 분리된 액비, 낙농 슬러리, 양돈 슬러리를 택하였으며, 직경이 작은 분배장치의 균일도 시험에는 고흥물이 분리된 액비와 낙농 슬러리를 택하였다. 분배장치의 모타 회전수는 저속, 중속, 고속의 3단계로 하였으며, 각기 3회 반복으로 시험을 수행하였다.

살포의 균일성을 측정하기 위한 측정대를 제작하였다. 분배장치의 로타 회전수를 조절하기 위하여 VS 모타(3마력) 또는 트랙터(LG, 65마력)의 유압장치를 이용하였고, 호스 수 20까지 가능하도록 실린더를 20개 설치하였으며 실린더의 이동은 체인이동방식을 택하였다.

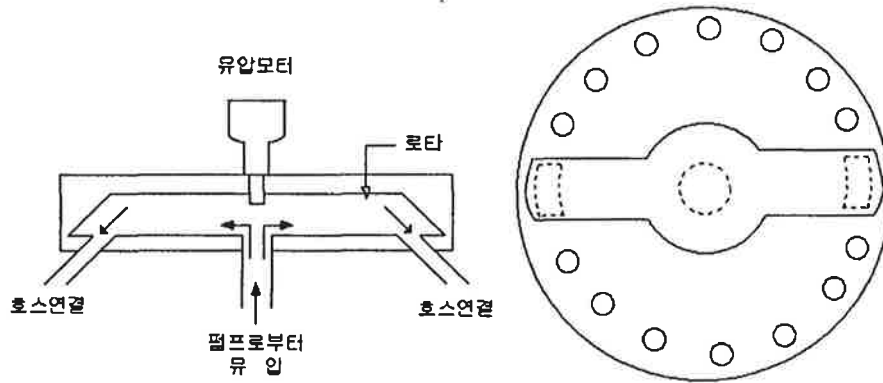


그림 3-1. 중앙분배장치의 내부구조

슬러리를 담아놓는 소형의 중간 저장탱크를 제작하였다. 중간 저장탱크로는 FRP 재질, 시판 컨테이너 등을 검토하였으나 강도, 취급, 밀폐성 등의 면에서 적당치 않아서 컨테이너 형식(1.8×1×3.8)으로 제작하였다. 중간 저장탱크와 살포장치 사이에는 트랙터로 구동하는 압축나사식 모노펌프 (ROTA 85/2)를 이용하여 슬러리를 이송하였다.

표 3-1. 시험에 사용된 재료 및 조건

	시료의 고형물 함량 (%)		로타 회전수 (rpm)	
	배출구경 50mm	고형물분리액	0.1	저 속
	낙농슬러리	8.2	중 속	100~200
	양돈슬러리	13.6	고 속	200 이상
배출구경 30mm	고형물분리액	0.15	저 속	200 이하
	낙농슬러리	7.2	중 속	200~400
			고 속	400 이상

제 3 절 결과 및 고찰

1. 분배장치의 배출구경 50mm

고형물함량이 적은 액비에서는 분배장치의 로타 회전수가 중고속에서 변이계수 10%의 양호한 결과를 얻었다. 저속보다는 중고속에서 분배장치 내에 요구되는 압력이 형성되어서 살포균일도가 양호한 것으로 판단된다. 낙농슬러리에서도 로타의 회전수가 저속에서 중고속으로 갈수록 살포균일도가 개선되어 각기 12.5%, 9.6%, 7.2%를 나타내었다. 양돈슬러리에서도 저속보다는 고속에서 변이계수 8.1%로 양호한 결과를 보였다.

가. 고형물이 분리된 액비 (건물함량 0.1 %)

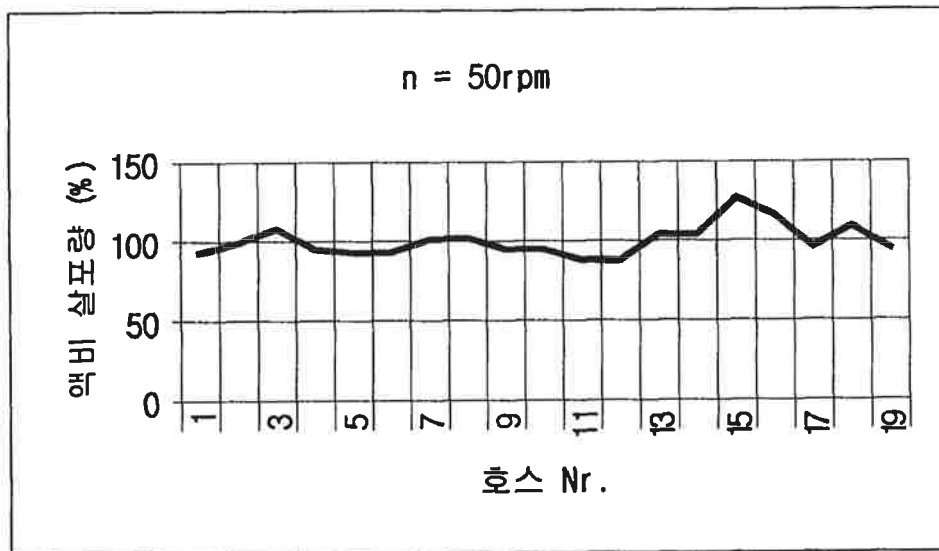


그림 4. 고형물 분리액의 살포 균일도 (로타 회전수 50rpm)

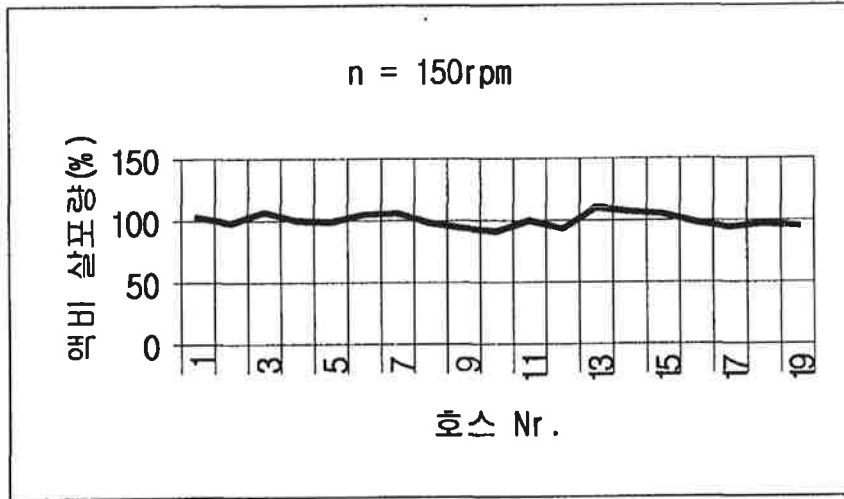


그림 3-2. 고히형물 분리액의 살포 균일도 (로타 회전수 150rpm)

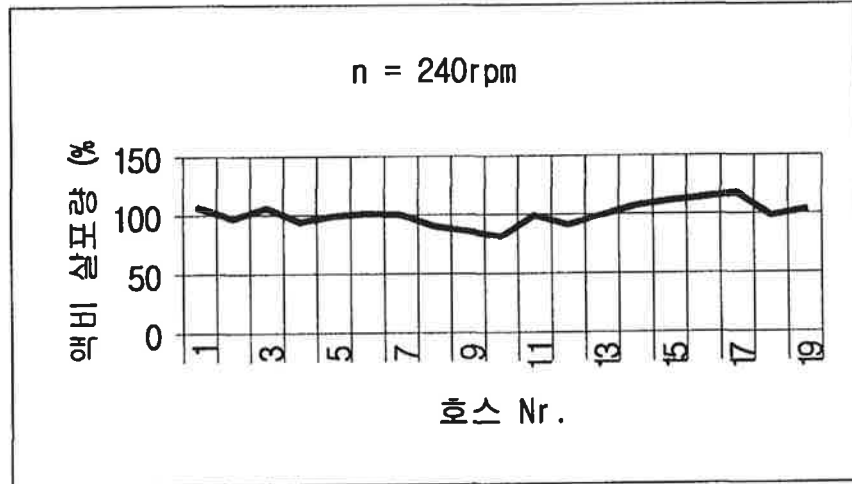


그림 3-3. 고히형물 분리액의 살포 균일도 (로타 회전수 240rpm)

나. 낙농 슬러리 (건물함량 8.2 %)

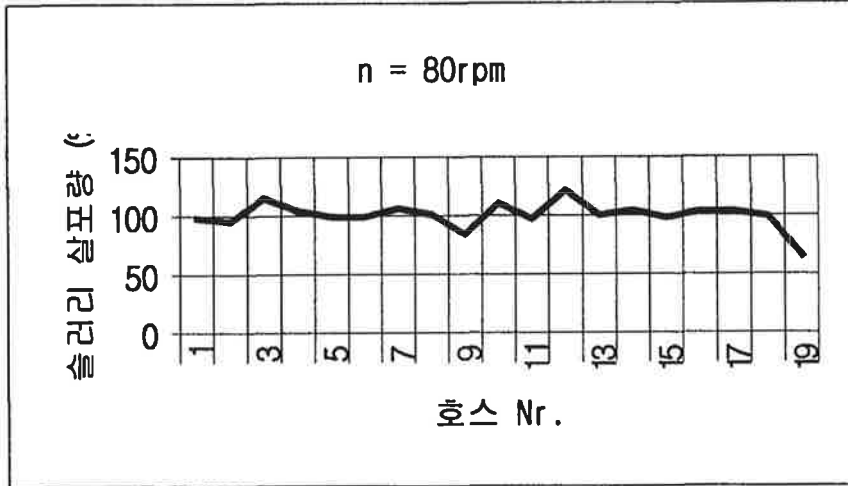


그림 7. 낙농 슬러리의 살포균일도 (로타회전수 80rpm)

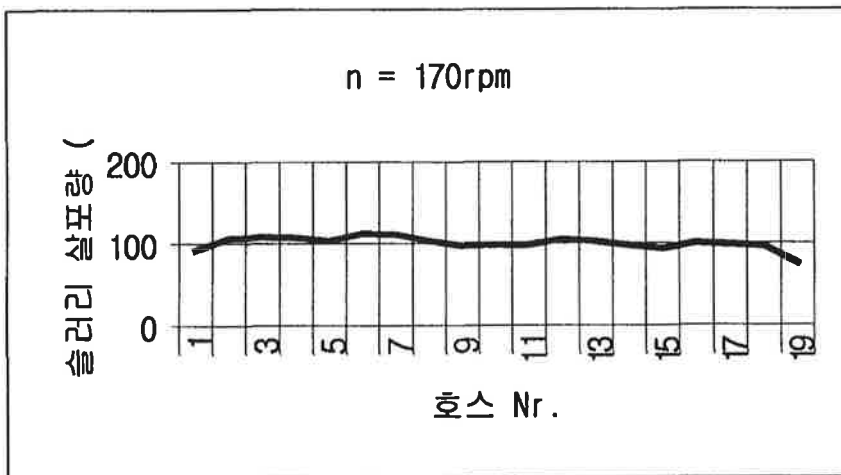


그림 3-4. 낙농 슬러리의 살포 균일도 (로타 회전수 170rpm)

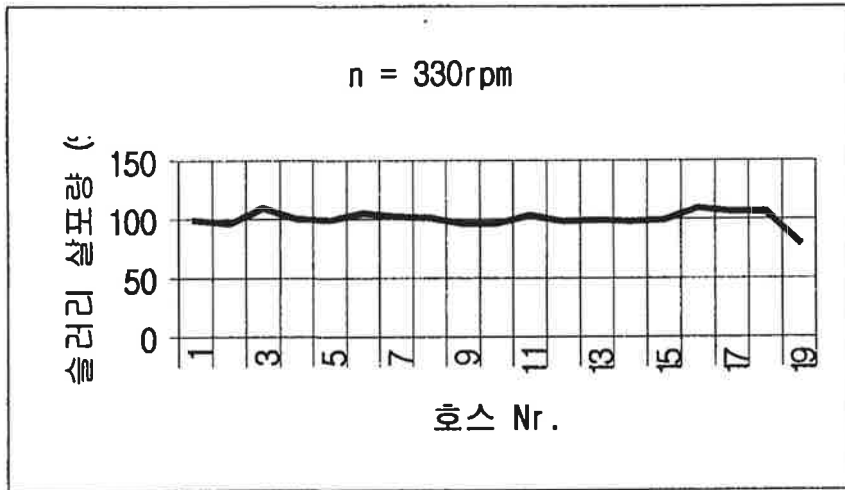


그림 3-5. 낙농 슬러리의 살포 균일도 (로타 회전수 330rpm)

다. 양돈 슬러리 (건물함량 13.6 %)

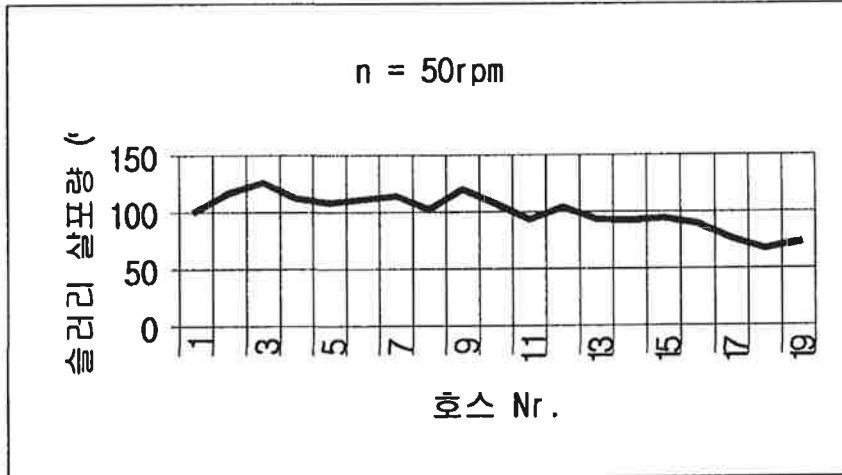


그림 3-6. 양돈 슬러리의 살포 균일도 (로타 회전수 50rpm)

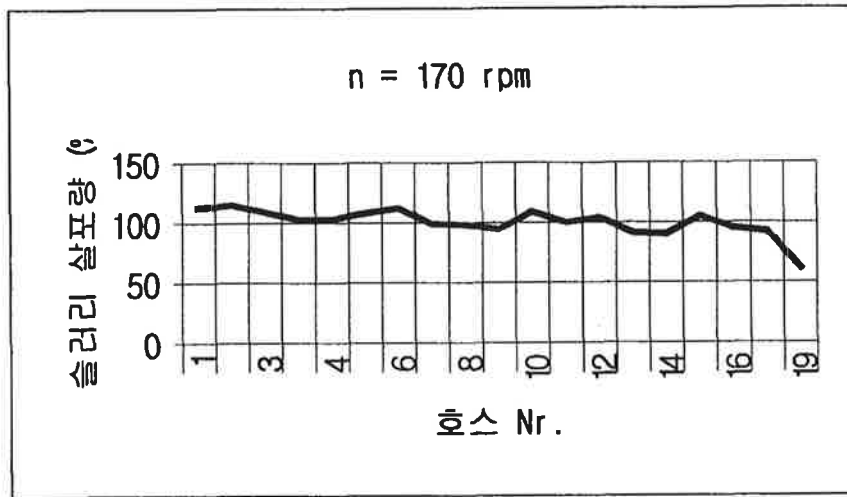


그림 3-7. 양돈 슬러리의 살포 균일도 (로타 회전수 170rpm)

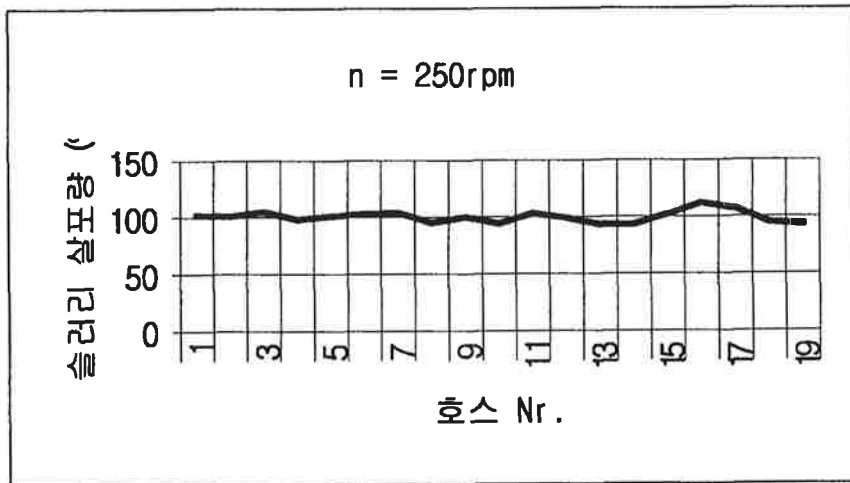


그림 3-8. 양돈 슬러리의 살포 균일도 (로타 회전수 250rpm)

표 3-2. 재료와 로타회전수에 따른 변이계수

재 료	로타회전수(rpm)	CV(%)
고형물분리 액비	50	12.3
	150	10.1
	240	10.6
낙농 슬러리	80	12.5
	170	9.6
	330	7.2
양돈 슬러리	50	12.9
	170	14.4
	250	8.1

슬러리의 경우에 저속, 중속에서는 처음의 호스에 살포량이 많고 나중으로 갈수록 살포량이 적어지는 경향을 보이거나, 고속에서는 고른 살포량을 보이고 있다. 그 이유는 회전수가 적음에 따라 한번의 회전이 전배출구에 영향을 주지못한다는 것을 알 수 있으며, 전체의 배출구에 고른 영향을 주기 위하여는 일정한 회전수 이상이 되어야 한다는 것을 보여주고 있다.

화학비료의 살포에서는 편차가 $\pm 10\%$ 이하가 요구되며, 슬러리의 경우에는 $\pm 15\%$ 이면 만족할만 하다고 할 수 있다. 기존의 충돌판살포기의 경우에 살포량의 변이계수는 25 - 27%를 나타내고 있으나, 개발된 호스지표살포기의 경우에는 300rpm 전후의 고속에서 변이계수 7 - 8%의 양호한 결과를 보여주고 있다. 이 살포체계에서는 펌프와 살포장치의 용량이 서로 맞아야 하며 분배장치에 충분한 압력이 형성되어야 한다.

2. 분배장치의 배출구경 30mm

소구경의 분배장치의 살포균일도 시험에서 고형물 분리액에서는 양호한 결과를 얻을 수 있었으나 낙농슬러리에서는 막힘 등의 문제로 결과가 좋지 않았다. 고형물 분리액의 건물함량은 0.15%이었으며, 살포균일도 시험 결과는 아래와 같다.

액비의 고형물함량이 낮을 경우에는 분산계수가 8.1%(180rpm), 7.0%(310rpm), 6.2%(450rpm)으로 로타의 회전수가 높을수록 살포균일도는 더욱 양호한 성적을 얻었으나, 고형물함량이 높은 슬러리에서는 분산계수가 23 - 51%로 높게 나타나서 슬러리를 살포할 경우에는 큰 분배장치로 직경 50mm의 호스를 사용하는 것이 유리한 것으로 판명되었다.

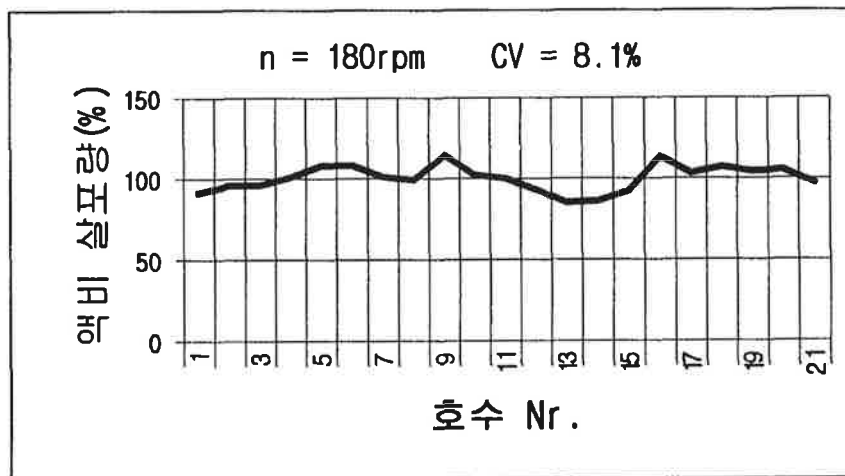


그림 13. 고형물 분리 액비의 살포균일도(로타 회전수 180rpm)

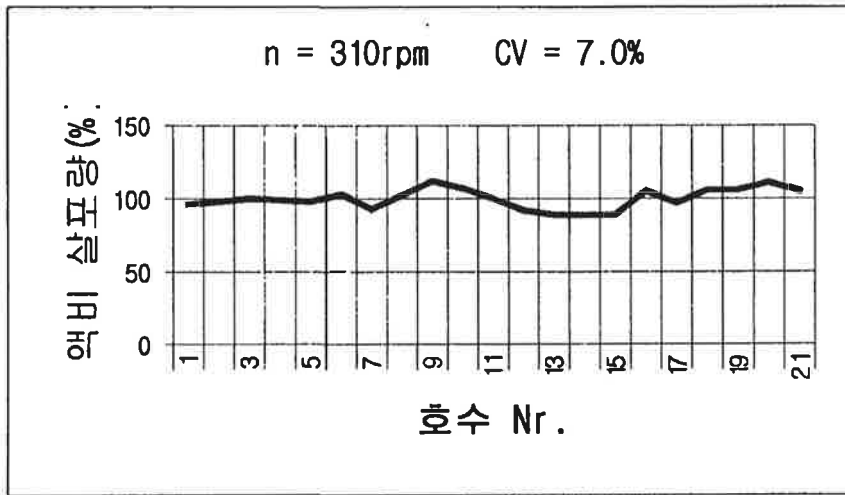


그림 14. 고형물 분리 액비의 살포균일도(로타 회전수 310rpm)

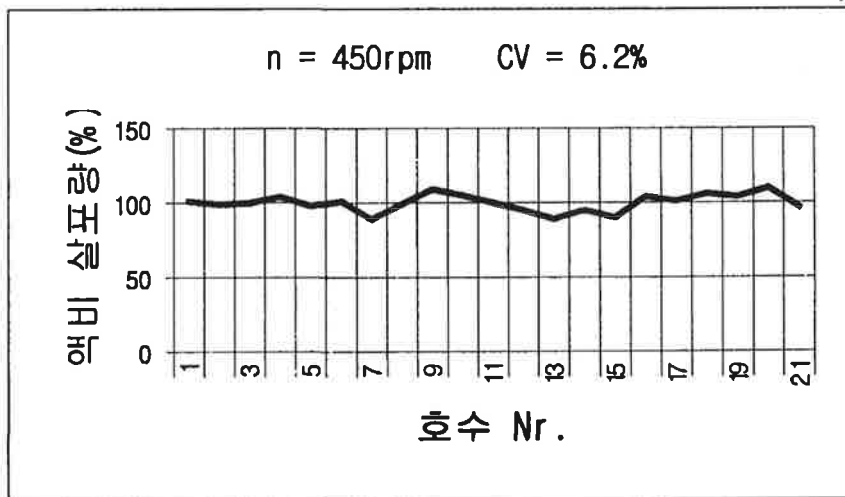


그림 15. 고형물 분리 액비의 살포균일도(로타 회전수 450rpm)

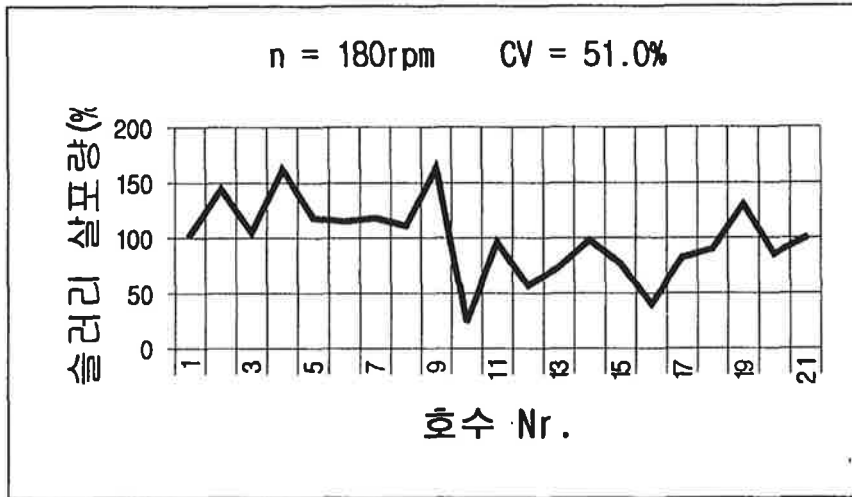


그림 3-9. 슬러리의 살포균일도(모타 회전수 180rpm)

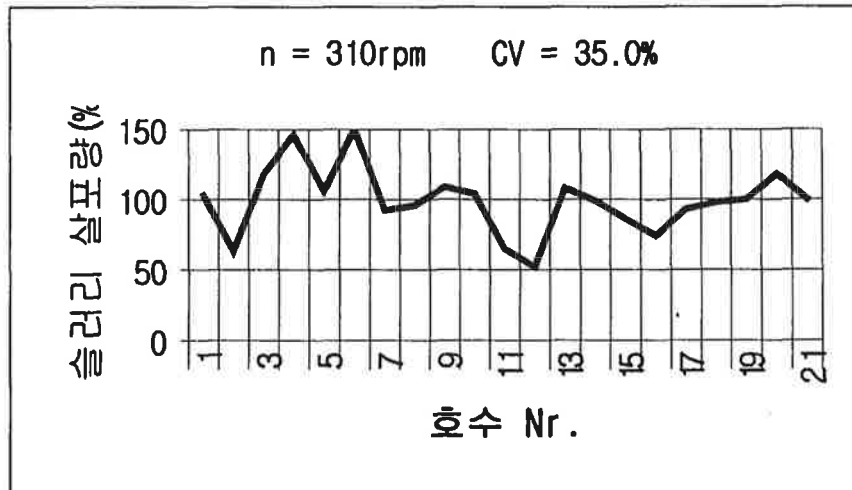


그림 3-10. 슬러리의 살포균일도(모타 회전수 310rpm)

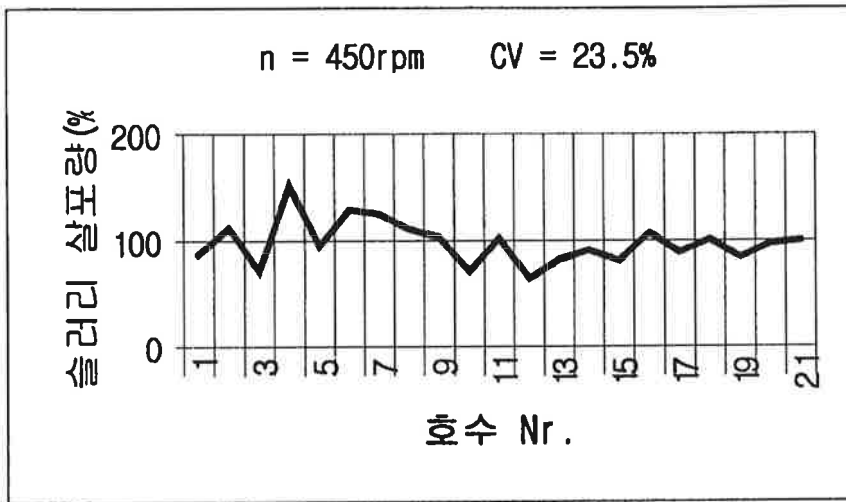


그림 3-11. 슬러리의 살포균일도(모타 회전수 450rpm)

제 4 장 악취저감효과 분석

제 1 절 서설

가축분뇨의 살포시에는 악취가 발생하며, 바람에 의하여 휘산되어서 민원의 요인이 되고 있다. 덴마크의 한 조사에 의하면 축산경영에서 발생하는 악취중, 암모니아의 배출유형별 비교에서 농경지 시용 40%, 축사 35%, 분뇨저장 시설 20%, 방목 5%로 농경지에서의 살포 이용에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 우리나라의 경우에는 국토면적이 협소하여 농경지 인근에 주거지가 있기 때문에 악취저감 문제는 더욱 중요하다고 할 수 있다. 국제적으로는 기후협약을 맺어 온실가스의 발생을 줄여가고자 각국이 노력하고 있는 실정이다.

가축분뇨에서 악취를 감소하는 방법으로 미네랄 성분이 주로된 첨가제를 사용하여 악취성분을 흡수감소하는 방법이 있으나 제제의 비용이 추가로 든다. 슬러리를 호기성 처리하여 악취성분을 변화 또는 휘산시키는 경우도 있으나 질소성분이 암모니아가스의 형태로 대기중으로 날아가기 때문에 대기오염과 비료성분의 손실을 초래한다. 그외에도 액비살포기의 종류와 살포방식에 따라서도 악취발생이 달라진다. 기존의 층돌방식이나 고압분사방식은 바람의 영향을 많이 받으며 악취입자를 멀리까지 휘산시키게 한다. 이와같은 이유로 독일의 액비규정에서는 살포방향이 상향하는 살포장치의 사용을 금하고 있다. 따라서, 살포시 악취를 감소시키는 방법의 개발이 필요하며 토양표면에 근접하여 살포하는 호스지표살포기의 악취감소효과를 관행살포기와 비교하여 규명하고자 한다.

제 2 절 재 료 및 방 법

악취의 측정방법으로는 관능법이 많이 사용되고 있다. 최근에 개발된 냄새측정기(KALMOR -Σ)를 이용하여 악취를 측정하였으며, 공기회석 관능법으로 분석한 결과와 비교하였다. 다음 표에는 냄새측정기의 기준치와 실용적 의미를 나타내었다.

Σ 치	실용적 의미	평 가
0~180	냄새를 느끼지 않는 쾌적한 공기	◎
180~220	보통의 사람은 냄새를 느끼지 못함	○
220~250	냄새는 느껴지나 특별히 환기는 필요없음	△
250~350	취기를 충분히 느끼고 괴로움이 생김	▲
350 이상	취기가 불쾌감을 느낌	■

관능법에서는 냄새봉지의 회석배수를 단계별로 증가시키면서 회석하게 된다. 5명의 판정원이 냄새를 맡아 냄새가 나지않을 때까지 회석배율을 각각 구하게 하여 각 판정원의 냄새감지 한계회석배수 중 최대치와 최소치를 제외한 나머지를 기하평균한 값을 판정인 전체의 냄새감지 한계회석배수로 한다.

3점 비교식 냄새봉투법에서는 3개의 봉지중 한 개를 냄새가 있는 봉지로 하여 판정원이 알아맞추는 방법으로 평균정답율이 0.58 이상인 경우에는 계속 회석하여 실시한다. 계산식은 아래의 식(1)과 같다. 처음 계산하여 평균정답율이 0.58 이상이면 회석배수의 10배 회석배수로 다시 선택 작업을 실시한다. 그리하여 0.58 미만이 되었을 때 식(2)에 의하여 냄새지수가 결정된다.

$$r_1 = \frac{(1 \times A + 0.33 \times B + 0 \times C)}{\text{판정회수}} \quad (1)$$

$$\text{냄새지수 } Y = 10 \log (M \times 10^{\frac{r_1 - 0.58}{r_1 - r_0}}) \quad (2)$$

A: 정답 수 B: 답없음 수 C: 틀린답 수 M: 당초 회석배수

r_1 : 처음 판정작업에서의 평균정답을 r_0 : 두번째 판정작업에서의 평균정답을

3점비교식 관능측정법의 계산예

관행살포기(낙농슬러리: 생분뇨)

$$1\text{회판정 } r_1 = \frac{(1 \times 18 + 0.33 \times 0 + 0 \times 0)}{18} = 1 \quad (\text{따라서 사용불가})$$

$$2\text{회판정 } r_2 = \frac{(1 \times 11 + 0.33 \times 6 + 0 \times 1)}{18} = 0.721$$

$$3\text{회판정 } r_0 = \frac{(1 \times 7 + 0.33 \times 6 + 0 \times 5)}{18} = 0.499$$

$$Y = 10 \log (100 \times 10^{\frac{0.721 - 0.58}{0.721 - 0.499}}) = 26.351$$

제 3 절 결과 및 고찰

낙농슬러리로는 호스지표살포기, 그리고 여기에 스프링해로우와 디스크 해로우를 조합한 살포기로 시험을 하였다. 냄새측정기로 측정된 수치에서는 차이를 확인할 수 없었던 반면에 관능시험법에서는 지표살포기가 조합형보다 높게 나타났다. 공기회석 관능법에서 지표살포기는 31.07, 지표살포기와 해로우 조합에서는 11.45로 되어서 방법간에 차이가 있으나 냄새측정기의 결과와 일치하지않는 이유는 시료채취에서 문제가 있었던 것으로 사료된다.

표 4-1. 악취측정치(낙농슬러리, 건물함량 7.3%)

지표살포기	작업중	최고치	250
		최저치	210
		평 균	230
		작업10분 후	146~154
지표살포기+스프링해로우	작업중	최고치	293
		최저치	230
		평 균	250~255
		작업10분 후	160
지표살포기+디스크해로우	작업중	최고치	240
		최저치	185
		평 균	225
		작업10분 후	149

* 외기 : 100 기준

표 4-2. 악취관능시험 측정치

살포기 종류	공기회석관능법
지표살포기	$\sqrt[3]{30 \times 10 \times 100} = 31.07$
지표살포기+스프링해로우	$\sqrt[3]{30 \times 10 \times 5} = 11.447$
지표살포기+디스크해로우	$\sqrt[3]{30 \times 10 \times 5} = 11.447$

악취의 연속측정 실험에서는 냄새측정기로 관행살포기가 평균 270, 지표 살포기 217, 지표살포기와 디스크해로우 조합에서는 182로 나타났다. 관행 살포기의 수치 270은 취기를 충분히 느끼고 피로움이 생기는 정도였으나, 다른 두가지 방법에서는 보통사람의 후각으로는 냄새를 느끼지 못하는 상태로 악취감소효과가 양호하였다.

표 4-3. 악취측정치(낙농슬러리, 건물함량 8.9%)

관행살포기	지표살포기	지표살포기+디스크해로우
PM05:00 측정(1회살포)	PM04:00 측정(3회왕복)	PM03:30 측정(2회왕복)
10초 간격	10초 간격	10초 간격
285	213	177
310	207	181
351	210	188
326	212	179
295	235	190
260	240	174
226	222	167
232	211	198
209	201	196
203	214	168
평균 269.7	평균 216.5	평균 181.8

* 외기 : 100 기준

양돈슬러리에서 냄새측정기로 측정한 악취강도는 관행살포기에서 440으로 취기가 불쾌감을 느낄정도였고, 지표살포기에서 258로 냄새를 느끼나 환기가 필요치 않은 상태였으며, 그리고 지표살포기와 디스크해로우의 조합에서 184로 보통사람으로 냄새를 느끼지 못할 정도로 되어서 우수한 악취감소효과를 얻을 수 있었다.

표 4-4. 악취측정치(양돈슬러리, 건물함량 4.0%)

관행살포기	작업중	최고치	687
		최저치	194
		평균	440.5
		작업10분 후	
지표살포기	작업중	최고치	332
		최저치	185
		평균	258.5
		작업 5분 후	165~185
지표살포기+디스크해로우	작업중	최고치	246
		최저치	123
		평균	184.5
		작업10분 후	120~147

* 외기 : 100 기준

표 4-5. 악취관능시험 측정치

악취관능측정법 살포기 종류	공기회석관능법	3점비교식 냄새봉투법
관행살포기	$\sqrt[3]{10 \times 100 \times 300} = 66.94$	35.44
지표살포기	$\sqrt[3]{3 \times 10 \times 30} = 9.65$	11.16
지표살포기+디스크해로우	$\sqrt[3]{3 \times 10 \times 30} = 9.65$	11.01

공기회석 관능법과 3점비교식 냄새봉투법에서 보면 역시 관행살포기에서는 냄새지수가 66.9 또는 35.4로 높게 나타났으며, 지표살포기 또는 그 조합형에서는 9.7 또는 11.1로 낮았으며 방법간에 차이는 없었다.

표 4-6. 악취측정치(낙농슬러리)

지표살포기(라군)	관행살포기(생분뇨)	관행살포기(라군)
AM11:00 측정(2회왕복)	AM12:00 측정(3회왕복)	PM12:00 측정(1회살포)
10초 간격	10초 간격	10초 간격
175	152	346
182	179	541
289	149	569
253	192	718
206	245	635
196	391	531
271	378	622
236	272	648
301	302	526
274	223	427
237	209	478
180	227	568
	366	630
	265	471
평균 233.33	평균 253.57	평균 550.71

협기성 발효가 진행된 슬러리를 가지고 관행살포기로 살포하였을 때에는 표 10 에서 보는바와 같이 냄새측정기의 수치가 551로 불쾌감을 느낄 정도로 아주 높았으며, 생분뇨를 가지고 살포하였을 때가 254로 취기를 충분히 느끼는 상태였고, 지표살포기로 협기성 발효된 슬러리를 살포하였을 때에는 233으로 냄새는 느껴지나 특별히 환기가 필요없는 정도이었다. 3점비교식 관능측정법으로 생분뇨를 관행살포기로 살포하였을 경우의 취기지수는 26이었다. 각 측정방법 간의 상관관계에 관하여는 앞으로 검토가 이루어져야 하겠다.

제 5 장 액비이용체계

제 1 절 호스지표살포기의 사용목적에 따른 분류

액비살포기에는 진공살포기, 펌프살포기, 단순살포기 등이 있다. 진공탱크살포기는 이물질에 예민하지 않은 것이 큰 장점이다. 저장탱크로부터 슬러리를 흡입함에 있어서 측사 아래 지하저장탱크일 때 가장 적합하다. 측사 밖에 저장탱크가 시설되어 있는 경우에는 살포기탱크에 충전할 때 보통 기존에 있는 펌프를 이용한다. 이러한 경우에는 자체 인입이 가능한 탱크차를 갖출 필요는 없으며 압력살포기로서도 충분하다.

압력살포기는 단순살포기보다는 한 단계 발전된 형태이다. 여기서 살포를 위한 회전체는 덮개로 씌워져 있다. 압력살포기는 진공살포기와 비교함에 있어서 다음과 같은 장단점을 갖는다. 장점은 구입과 수리점검에 대한 비용이 적게 소요되고 살포장치에 고압을 줄 수 있다는 점이다. 그외에 조약한 고형물도 기계적으로 파쇄하며 내용물이 살포중에도 항상 교반되는데, 이 점은 침전이 잘되는 양돈분뇨에 특히 중요하다.

살포의 균일도를 얻기 위하여는 펌프살포기가 적합하다. 여기에는 회전 피스톤펌프나 원심나사펌프가 장착되어 있어 높은 압력을 형성한다. 고압과 파쇄기능은 특히 분배장치가 막힐 염려가 있는 경우에 유리하다. 펌프살포기는 균일한 길이방향의 살포를 가능하게 하고, 자체적으로 충전가능하며, 중간저장조에서 본 탱크로의 이송에도 사용될 수 있다. 단점은 높은 투자비용과 공회전시 이물질에 약한 점 등이다.

표 5-1. 액상분뇨살포기의 비교

살포기	노동시간/ ha	살포용량 (m ³ /h)	자본소요 (백만원/m ³)	장 점	단 점	적합성
진공 살포기	1.25~8	6~40	1.5~2.4	예민하지않음 적 절한 자본 소요 양호한 살포	교반성능 낮음	낮은 점도 또는 교반 장치와 연계
펌프 살포기	1.25~8	6~40	2~3	양호한 살포 1인 작업	예민성	제한된 교반 효과로 소규모의 탱크
단순 살포기	1.0~8	6~50	1.2~2	예민하지않다 취급용이	살포 균일성 이즘 떨어짐 펌프와 연계 하여 사용	대규모 시설

개발된 호스지표살포기의 여러 모델을 토양환경과 사용조건에 따른 분류를 하면 표 5-2와 같다.

표 5-3. 호스지표살포기의 사용조건에 따른 분류

일반적인 토양	: 표준형 호스지표살포기
토양의 경도가 낮을 경우	: 호스이송+호스지표살포기
악취저감이 엄격히 요구되는 경우	
간접주입 논토양 점토, 잔유물	: 호스지표살포기+디스크해로우
발토양 사질토	: 호스지표살포기+스프링해로우
직접주입	: 액비주입기

일반적인 토양조건인 경우에는 표준형으로서 액비탱크에 호스지표살포기를 이용한다. 끌고루 살포하며 악취 감소효과도 만족할 만한 수준이다. 토양의 수분함량이 높아서 액비탱크를 끌고 논에 들어갈 수 없을 경우에는 트랙터에 살포장치만 부착하여 살포작업을 하며 슬러리는 호스를 이용하여 이송한다.

악취의 저감이 엄격히 요구되는 경우에는 두가지 방법이 있는데, 살포를 하고 흙으로 덮어주는 경우와 토양속에 직접 주입하는 경우이다. 살포한 후 흙으로 덮어주는 경우에는 토양의 종류에 따라서 구분되는데 논 토양으로 점토질이며 토양표면에 짚등의 잔유물이 많을 경우에는 디스크헤로우를 부착하여 슬러리가 살포된 토양을 뒤집어 주는 방법이 좋고, 토양이 사질토이며 잔유물이 적을 경우에는 스프링헤로우를 부착하여 슬러리가 살포된 토양위를 살포조의 중간에 위치한 스프링날이 흙을 긁으면서 덮어주는 방법을 택하도록 한다. 토양속에 액비를 주입하고자 하는 경우에는 디스크코울터로 먼저 토양을 자르고 작구기로 토양속을 파고들면서 슬러리를 주입하는 방법이다. 토양표면에 있는 잔유물과 토양을 디스크코울터가 잘라주기 때문에 뒤이은 작구기가 파고들기가 용이하며, 동력요구를 최소화 할 수 있다.

표 5-4. 액비의 살포량 예견표

목표 살포량	필요한 작업속도		살포기의 작업거리
	탱크를 비우는 시간		
	3분	4분	
m ³ /ha	km/h	km/h	m
10	13.3	10.0	1,666
15	8.8	6.6	1,111
20	6.6	5.0	833
25	5.3	4.0	666
30	4.4	3.3	555
35	3.8	2.8	472
40	3.3	2.5	416

(탱크용량 4m³, 작업폭 6m)

펌프를 이용할 경우에는 펌프로타의 회전수를 맞추어 살포량을 정한 후에 목표살포량에 해당되는 작업속도로 트랙터를 운전함으로써 적적량을 살포할 수 있다. 살포량을 조절하는 방법으로는 분배장치에서 나가는 양과

트랙터의 작업속도에 의하여도 달라진다. 일반적으로 표 13에서 보는 바와 같이 목표살포량을 정한 후에 배관을 통한 살포량을 일정하게 한 후 트랙터의 작업속도를 해당되는 목표살포량에 맞추어 운전하는 방식을 택하게 된다.



그림 5-1. 호스지표살포기의 작업광경



그림 5-2. 디스크헤로우조합형의 작업광경

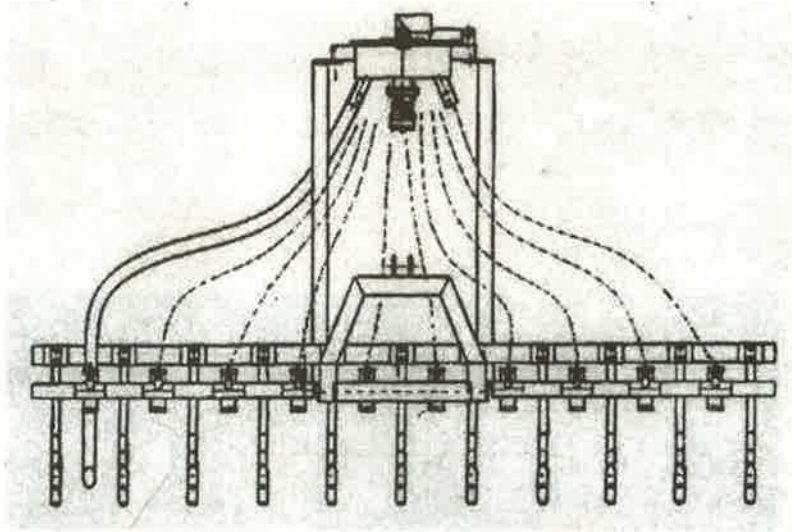


그림 5-3. 스프링해로우조합형의 설계도면



그림 5-4. 스프링해로우조합형의 작업광경

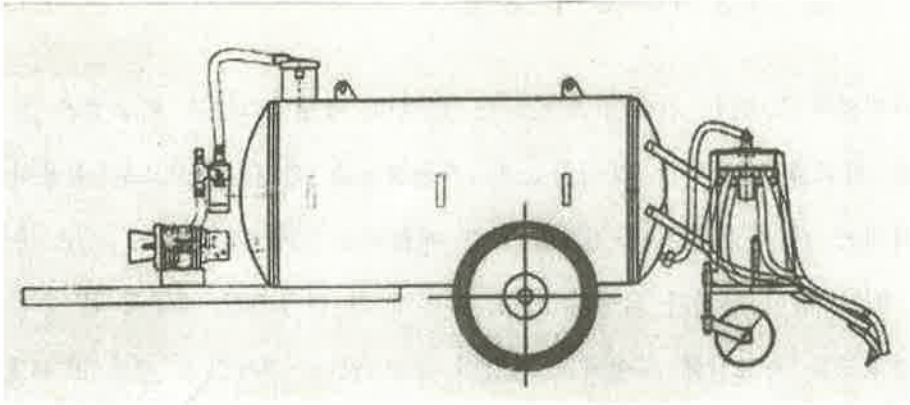


그림 5-5. 액비주입기의 설계도면



그림 5-6. 액비주입기의 작업광경

제 2 절 저장시스템의 종류

액비이용에 관한 기술에 수반되는 슬러리 저장시스템과 이송펌프 등에 관한 자료를 수집하여 분석하였다. 가축분뇨를 환경친화적으로 이용하기 위하여는 긴 저장기간, 즉 6개월 동안 배출되는 양을 저장할 수 있는 충분한 저장용량이 전제가 되어야 한다. 이렇게 긴 저장기간 때문에 큰 용적의 저장탱크를 축사밖에 시설하는 경향이 늘고 있다. 축사밖에 저장하는 것이 유리한 이유로는 장기 저장의 용이함, 액상분뇨의 균일한 교반, 축사안에서의 저장기간 동안에 생기는 침전층과 부유층의 방지, 그리고 그것에 의하여 향상된 축사의 환경 등을 들 수 있다.

저장탱크의 위치 선정은 시설의 확장, 차량의 접근, 이웃농가의 시설 등을 염두에 두고 결정하여야 한다. 또한 축사내의 제분방법과 저장탱크와는 서로 밀접한 관계에 있다.

액상분뇨의 저장은 탱크의 형태에 따라 개방된 지하탱크, 복개된 지하탱크, 중간 저류조가 있는 지상탱크, 중간저류조가 없는 지상탱크, 그리고 라군 등으로 구분된다 (표 5-5).

언덕이 있다든가 축사와 분뇨탱크사이에 경사가 있을 경우에 가급적 기계를 적게 사용하도록 한다. 지리적인 조건이 부합할 때, 즉 지하수위가 낮고 단층수가 없을 때, 개방된 지하탱크를 시설하면 토목공사비를 절약할 수 있다. 분뇨는 자연적인 경사에 의하여 축사로부터 저장탱크로 유입된다. 탱크의 높이는 안전을 위하여 지상으로부터 50cm 정도 높게 하며, 그위로 1.8m의 높이로 접근방지책을 세운다.

복개가 된 지하탱크는 일반적으로 탱크의 용량이 250m³ 미만일 때 고려의 대상이 된다. 이러한 지하탱크는 면적이 협소하여 지상탱크를 시설할만

한 마땅한 곳이 없을 때 권장된다. 지하탱크 위로 차량도 지나갈 수 있도록 하기 위하여는 덮개가 30톤의 하중을 견딜 수 있어야 한다. 이와 같이 모든 면이 밀폐된 탱크는 악취의 감소 측면에서 유리하다.

큰 저장 용적에서는 지상탱크가 표준이다. 이러한 시설은 지하토층, 지하수위, 비용면에서 지하탱크가 곤란할 경우에 행하여진다. 이 시스템에서는 여러 동의 축사로부터 중간 저류조로 연결시켜 수집하는 것이 가능하다. 중간저류조의 용적은 15~30cm³이며, 이곳에서 본 저장탱크로 펌프된다. 중간저류조와 저장탱크 사이에는 배관으로 연결되어 있고, 두개의 밸브가 설치되어 있어서 교반을 할 때 이용된다. 경우에 따라서는 중간저류조없이 펌프조를 설치하기도 한다.

저장탱크의 크기는 분뇨 발생량, 주어진 저장기간외에도 교반 시스템에 의하여 달라진다. 저장용량이 약 800cm³ 이상에서는 두개의 저장탱크로 시설하는 것이 유리하다. 왜냐하면, 작은 탱크들이 교반하기에 용이하기 때문이다. 주로 사용되는 저장탱크의 직경은 8~18m이며, 위쪽은 개방되어 있고 벽의 높이는 6m까지이다. 벽의 높이는 분뇨의 종류와 사용하는 교반기술에 따라 달라진다. 그리고 바닥면에는 유출구 쪽으로 1%의 경사를 준다.

라군식으로 저장을 할 경우에 액상 분뇨에 의하여 지하수나 지표수의 오염이 발생하여서는 안된다. 주위의 득은 수표면보다 최소한 0.5m 이상은 되어야 한다. 일반적으로 라군의 깊이는 2~3m 정도이다. 바닥면은 작업이 이루어지는 유출쪽으로 1~2%의 경사를 주도록 한다. 바닥과 옆면에는 합성수지의 비닐을 깔아야 하며, 두께는 최소한 2mm는 되어야 한다. 재료의 인장강도는 200N/cm²가 되어야 하며, 복개를 할때 지표쪽으로 1m 정도 여유있게 흙을 덮도록 한다.

저장탱크의 재료로는 철근 콘크리트, 강, 목재, 그리고 형 콘크리트 등이

사용되며, 강은 평판 또는 굴곡이 있는 강판으로 아연도금이 되었거나 유리에 에나멜칠이 되어 있다. 재료에 따른 기능면에서의 차이는 없고, 견고성이나 내구연한에서도 작업이 전문성있게 수행되면 거의 같다고 볼 수 있다. 지하탱크는 기계적인 손상이나 온도 변화에 의한 영향이 적다. 강판으로 된 저장탱크는 분해 해체할 수 있는 것이 장점이 된다. 최근에는 합성수지 재질의 저장탱크도 보급이 되고 있으며 가격면에서는 유리하나 내구연한에 관한 실증자료는 없는 형편이다.

저장탱크는 500m³ 이상의 대규모 용량일 경우에는 유리섬유로 강화한 강재질의 지상 저장탱크가 유리하며, 축사와 저장탱크사이에 경사가 져있을 경우에는 콘크리트재질의 지하 개방저장탱크가 비용면에서 유리하나 안전에 대비하여야 한다.

축사밑의 분뇨구 자체를 크게 하여 저장탱크로 이용하는 방법에서는 살포하기 전에 순환을 시키고 펌프로 퍼내게 된다. 이 방법은 저장기간이 짧은 경우에 건축비 면에서 유리하나 6개월 이상일 경우에는 축사밖에 저장하는 것이 권장된다. 축사 지하의 분뇨구에 분리벽 등을 설치하여 액상분뇨가 순환이 가능하도록 하며, 교반장치(프로펠라)를 설치하여 살포하기 전에 교반시킨다. 분뇨구의 깊이는 소용돌이가 발생하는 관계로 최소한 1.2m는 되도록 한다. 이 방법에서는 교반시에 유해가스가 발생하기 때문에 축사의 통기가 잘되도록 하거나 가축들을 운동장으로 내보내야 한다.

저장용량을 산정함에 있어서 혼합처리시에서는 소의 경우에 성우 한마리 당 하루에 45~50ℓ, 분리처리에서는 노 발생량만을 고려해서 15~20ℓ를 기준으로 한다. 저장탱크의 용량은 최소한 6개월 이상이 되도록 하며, 마리당 한달에 약 1.5m³를 기준으로 하여 설계한다. 돼지의 경우에는 한 마리당 하루에 6~8ℓ를 기준으로 한다.

표 5-5. 액상분뇨의 저장시스템

탱크 종류	자본소요 (만원/m ³)	장 점	단 점	적합성
지하 복개 저장탱크	6-10	재이송이 필요 없고, 면적 이용 극대화	시설비 과다	협소한 농가 축사와 탱크 사이에 경사
지하 개방 저장탱크	3-6	자본 소요가 적다 재이송이 필요없다	안전 사고 위험	축사와 탱크 사이에 경사
중간저류조와 지상 저장탱크	5-9	용적이용의 극대화	재펌프에 대 한 노력필요	용량 500m ³ 이 상의 대규모
자동펌프조와 지상 저장탱크	4-8	용적이용의 극대화 이송의 자동화 자본 소요가 적다	고도의 펌프 기술	대규모 자동화 농장

표 5-6. 펌프 종류의 비교

펌프 종류	회전수 (rpm)	운반용량 (ℓ/분)	자본소요 (백만원)	장 점	단 점	적합성
수중원심 펌프 (전기모터) 6-25kW	1460	2000-6000	6-8	이물질에 예민 하지 않으며 취급이 용이	흡입성능의 한계	자동 제어 다양한깊이
수중원심펌프 (트랙터 동력) 25-55kW	1620 -1840	3500-7000	8-10	고성능	높이 조절에 제한 준비시 간 소요	대규모탱크 고점도
압축나사펌프 (트랙터동력) 15-30kW	-540	-2000	6-7	압력안정 컴팩트	이물질과 공 회전에 예민	액비살포기 장착과 고정 식 시설
로타리펌프 (전기,트랙터) -55kW	-540	-5000	8	압력안정 컴팩트	이물질에 약 간예민	고정식 시설

제 3 절 축산농가와 경종농가의 연계체계

우리나라의 경우에 양축농가는 자체적으로 소유하고 있는 농경지가 적기 때문에 경종농가와 연계하여 가축분뇨를 이용하는 체계가 강구되어야 한다. 이러한 체계는 개별농가에서 이루어지기보다는 범 농가차원의 조직이 필요하다.

범 농가차원의 가축분뇨이용조직은 경제적으로 생태적으로 필요한 제도이다. 그림 25에서는 액비이용의 제도적 체계를 나타내었다. 가축분뇨센터는 공급자의 가축분뇨를 필요로 하는 수요자에게 중개한다. 수요자는 작물 재배에 요구되는 양만큼을 사용하고 주어진 농경지에 적절하게 살포하여야 한다. 슬러리는 시간적으로 공간적으로 이러한 조직을 통하여 더욱 잘 분배가 되며, 토지와 연계되는 축산의 골격을 유지할 수 있다. 비료성분의 이용이 향상되며, 또한 있을지도 모를 지하수나 지표수로의 질소용탈도 최소화 한다. 중개된 슬러리의 주고 받음과 비용부담은 시장원리에 의하여 이루어져야 한다. 기본적으로 작업을 수행함에 있어서 발생하는 비용은 보상 받을 수 있어야 한다. 대략적인 계산에 의하면 소요되는 비용은 m³당 3200원에서 6800원 정도이다.

- (1) 가축분뇨생산자는 담당행정부서에 가축분뇨이용 증명을 제시하여 허가를 취득한다.
- (2) 가축분뇨생산자는 분뇨중개소에 발생신고를 하고 중개소는 수요자를 알려 준다.
- (3) 가축분뇨수요자는 보유하고 있는 농경지를 중개소에 제시하고 가축분뇨를 수납한다

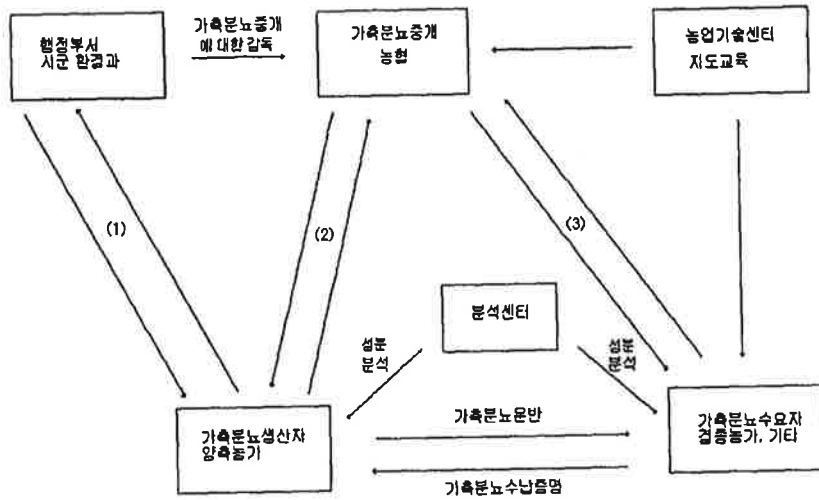


그림 5-7. 액비이용의 제도적 체계

그 내역으로는

- 액비 살포기의 탱크로 충전하는 비용 800원
- 거리 km 당 운반비 400원
- 포장에 살포비용 1600원

여기에 m²당 400원의 중개수수료가 추가된다.

양축농가 즉 공급자는 액비 살포기 탱크로의 충전에 대한 비용과 운반 그리고 소개 수수료를 부담하고 수요자는 포장에 살포하는 비용을 부담하는 것을 원칙으로 한다. 그리고 거리에 따른 비용이 추가로 가산된다. 관련된 농가에서 작업을 직접 수행하지 않는다면 비용을 부담하여야 한다.

액비화를 권장하는 의미에서 현재 퇴비에 20ℓ 포대당 700원씩 정부에서 보조를 해주는 것과 같이 액비의 이용에서도 수요자 부담비용을 정부에서 지원해주면 액비화의 촉진에 도움이 되겠다.

표 5-7. 액비이용에 소요되는 예상비용

거 리 km	공 급 자		수 요 자 살포 원/m ³	합 계 원/m ³
	충전운반 원/m ³	중개 수수료 원/m ³		
1	1200	400	1600	3200
2	1600	400	1600	3600
4	2400	400	1600	4400
6	3200	400	1600	5200
8	4000	400	1600	6000
10	4800	400	1600	6800

제 4 절 이동식 저장탱크

이동식 저장탱크의 작동은 다음과 같다. 원하는 장소로 이동하기 위하여 트랙터에 탱크전면의 견인히치를 연결하고, 유압연결호스를 체결하여 유압으로 견인후레임을 상승시키고 원하는 위치에 고정시킨다. 그리고, 바퀴의 유압을 작동시켜 바퀴를 나오게 하여 이동위치에 고정시킨다. 그런 후에 트랙터로 이동하여 목적지까지 운반한 후, 유압의 압력을 풀어서 견인후레임을 하강시키고 바퀴가 들어가게 하여 컨테이너를 내려앉히는 방법으로 고정시키게 된다 (그림 5-9).

그리고, 트럭으로 운반해오는 가축분뇨를 이곳에 임시 저장한다. 중간 저장된 분뇨는 액비살포기 또는 트랙터로 구동되는 펌프를 이용하여 농경지에 설치된 배관 또는 호스를 통하여 장거리 이송하여 살포한다.

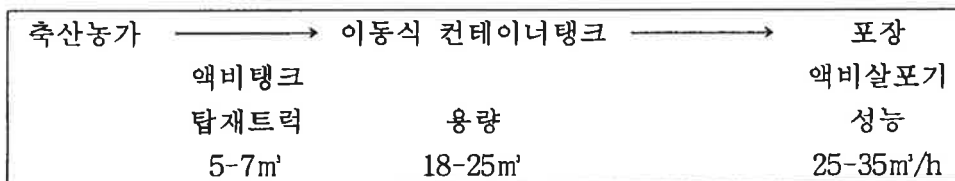


그림 5-8. 이동식 컨테이너 탱크의 이용체계

이러한 시스템의 작업성능에 관하여 살펴보면 다음과 같다. 예를 들어 양돈 1,000두 사육규모일 때, 분뇨발생량은 6개월에 900톤 정도가 된다. ($5\text{kg}/\text{두}/\text{일} \times 1000\text{두} \times 180\text{일} = 900\text{톤}/6\text{개월}$) 이 양을 논에 슬러리 25톤/ha을 살포한다면 농경지 36ha가 필요하게 된다.

관행방법으로 10km의 운반거리에서 트랙터에 액비탱크를 장착하여 운반 시에는 1회 운반 및 살포에 소요되는 시간은 약 1 시간이 소요된다. 1회에 5톤을 운반한다고 보면 8시간 작업에 하루 살포량은 40톤으로 900톤 살포에 23일이 소요됨을 알 수 있다. 이동식 중간저장조 사용시에 시간당 살포량을 30톤이라 하고, 하루에 8시간 작업하면 하루에 240톤을 살포하게 되며 약 4일이 소요된다. 결국 중간저장조를 이용한다면 운반거리에 따라서 3-6배의 작업성능을 얻을 수 있다. 작업이 단시일에 이루어져서 농번기의 농가들에게 시간적 여유를 줄 수 있다. 운반용량 5m³에서 거리가 1, 3, 5km 로 될 때, ha당 작업소요시간은 2.4, 4.7, 6.7시간으로 각기 두배, 2.8배가 증가하는 것으로 나타났다. 컨테이너는 이동식으로 제작하여서 작업을 할 때에는 포장에 고정시켜서 중간저장 역할을 하고, 작업이 완료되었을 때에는 농장에서 보관하도록 한다.

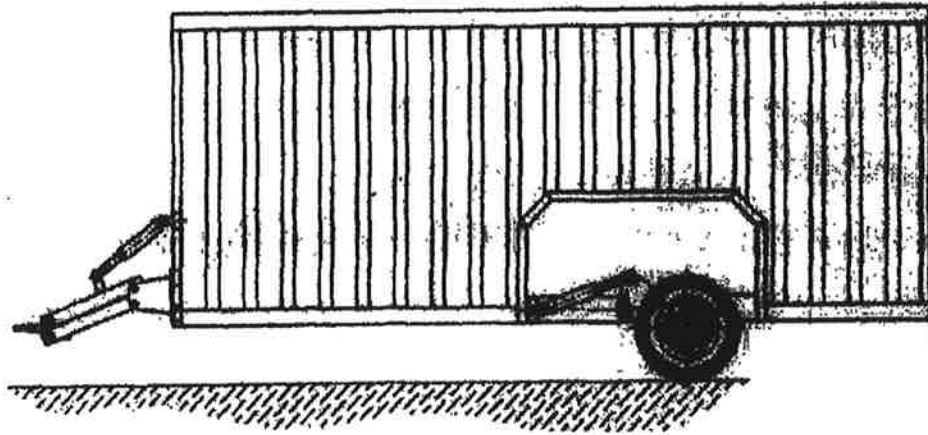


그림 5-9. 이동식 컨테이너탱크의 설계도면

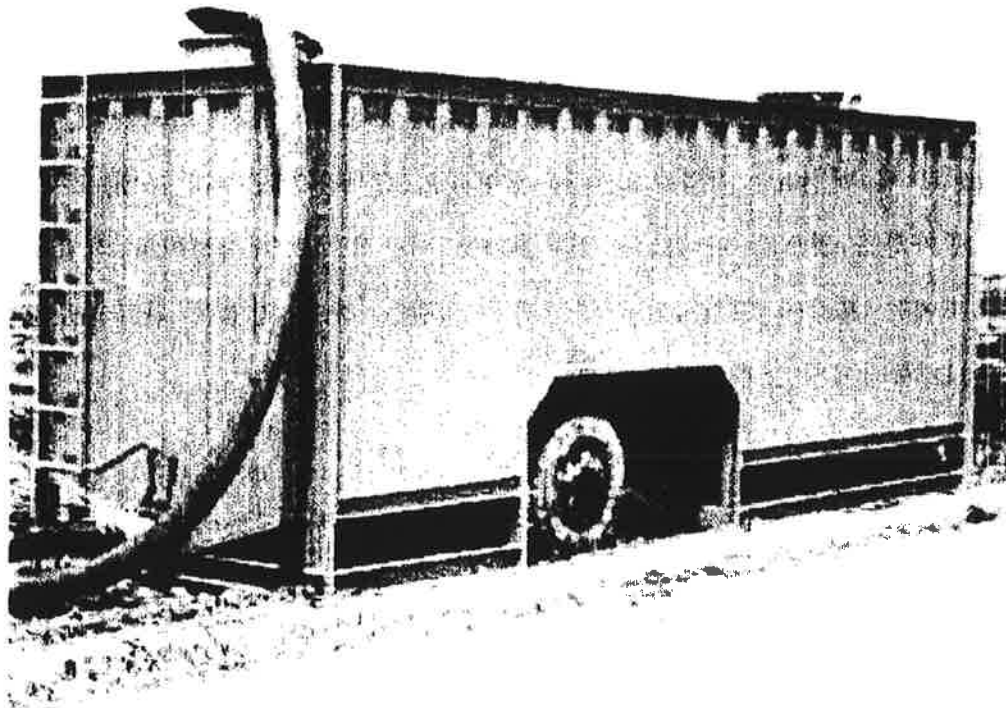


그림 5-10. 이동식 컨테이너탱크

제 6 장 적 요

근거리에서는 기존의 액비살포기 또는 지표살포기를 이용하여 살포하는 방식으로 액비살포기가 축산농가의 저장탱크에서 살포 포장까지 왕복 이동한다. 포장이 멀리 떨어져 있는 경우에는 중간저장조를 이용하며 중간저장조에서는 펌프에 호스가 지표살포기까지 연결되어 있어 펌프의 압력으로 포장에서 살포한다. 논외 액비이용에서는 이동 거리, 논 토양의 경도, 악취 등의 문제를 고려할 때 시스템 2가 적당한 것으로 사료된다.

고형물함량이 적은 액비에서는 분배장치의 로타 회전수가 증고속에서 변이계수 10%의 양호한 결과를 얻었다. 낙농슬러리에서도 로타의 회전수가 저속에서 증고속으로 갈수록 살포균일도가 개선되어 각기 12.5%, 9.6%, 7.2%를 나타내었다. 양돈슬러리에서도 저속보다는 고속에서 변이계수 8.1%로 양호한 결과를 보였다.

소형의 분배장치시험에서 고형물분리 액비의 시험결과에 의하면 분배장치 로타의 회전수가 180rpm, 310rpm, 450rpm으로 증가할수록 변이계수는 각각 8.1%, 7.0%, 6.2%로 낮아져 고속회전에서 살포균일도가 향상되었다. 고형물함량이 높은 낙농슬러리를 시료로 한 시험에서는 변이계수가 23-51%로 높았기 때문에 큰 분배장치로 직경 50mm의 호스를 사용하는 것이 유리하다.

악취의 실험에서 낙농슬러리를 살포할 경우에 냄새측정기로 측정한 결과에 의하면 관행살포기가 평균 270으로 취기를 충분히 느끼고 괴로움이 생기는 정도였고, 지표살포기, 그리고 지표살포기와 디스크해로우의 조합에서는 각기 217, 182로 보통사람의 후각으로는 냄새를 느끼지 못하는 상태이었다.

양돈슬러리에서 냄새측정기로 측정한 악취강도는 관행살포기에서 440으

로 취기가 불쾌감을 느낄 정도였고, 지표살포기에서 258로 냄새를 느끼나 환기가 필요치 않은 상태였다. 그리고, 지표살포기와 디스크해로우의 조합에서 184로 보통사람으로 냄새를 느끼지 못할 정도이었다. 이상의 결과에 의하면 개발된 지표살포기는 악취감소측면에서 탁월한 효과가 있는 것으로 입증되었다.

표준형 지표살포기는 일반적인 토양환경과 여건에서 사용하며, 살포된 슬러리를 흙으로 덮어줄 경우에 사질토에서는 스프링해로우를 잔유물이 있는 점토질의 논토양에서는 디스크해로우를 조합하여 사용한다. 토양의 수분함량이 높아 경도가 낮을 경우에는 호스이송방법을 택하는 것이 유리하다.

액비이용에 있어서 소요되는 비용은 m³ 당 3200원에서 6800원 정도이다. 살포거리가 멀 경우에는 이동식 컨테이너탱크를 중간저장조로 이용할 경우에 작업성능을 3-6배 정도 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

1. 오인환 1996. 가축분뇨의 처리방법별 장단점. 가축분뇨 자원화방안 심포지움 31-47 축산기술연구소, 축산신문
2. 오인환 1997. 액비화 시설모델개발에 관한 연구. '96 축산분뇨처리 기술개발 77-116 건국대학교 동물자원연구센터
3. 오인환 1998. 가축분뇨의 액비화 기술개발. 한국축산시설환경학회 학술 심포지움 27-43
4. 이규승 1997. 연구보고서. 성균관대학교
5. 정이근 1999. 가축분뇨퇴비.액비제조와 이용. 농업과학기술원
6. 한정대 1997. 새로운 가축분뇨처리기술. 축산기술연구소
7. Dewws, T.,L.Schmitt, U.Valentin and E.Ahrens, 1990 : Nitrogen losses during the storage of liquid livestock manure, Biological wastes, 31, 241-250
8. Haiger, A. 1974. Biometrische Methoden in der Tierproduktion. BLV Verlagsgesellschaft
9. Hartung, J.and V.R. Phillips, 1994 : Control of gaseous emissions from livestock building and manure stores. J. Agric. Engng. Res. 57, 173-189.
10. Isensee, E. u. R. Thamsen 1984. Verteilgenauigkeit fuer Guellewagen. RKL-Schrift 4.2.0 889-916
11. Kowalewsky, H. H. and Vetter, H. 1982. Guellewagen mit besserer Verteilung und Dosierung - Landwirtschaftsblatt Weser-Ems, Nr. 12, S. 8-14
12. Luoma, T. S. 1982. Ausbringen und Verteilen von Fluessigmist -

- KTBL-Schrift 279, Landwirtschaftsverlag GmbH Muenster-Hiltrup
13. Mannebeck, H. 1983. Umweltfreundliche Technik der Flüssigmistausbringung-In: Flüssigmist in der Landwirtschaft, KTBL-Arbeitspapier 80, S. 79-88
 14. Sommer S.G. 1992. Ammonia volatilization from cattle and pig slurry during storage and after application in the field. The Danish Institute of plant and Soil Science. Denmark
 15. Vetter, H. und G. Steffens. 1986. Wirtschaftseigene Düngung. DLG-Verlag Frankfurt(Main)

VII. 퇴비 및 액비의 작물별 시용기준 설정

Establishment of Standards on Compost and Liquid Manure
Application for Crop Cultivation

연구기관 : 농업과학기술원
연구책임자 : 정 이 근
연구원 : 정 광 용
연구원 : 박 경 배
연구원 : 박 백 균
연구원 : 이 중 식
연구원 : 조 남 준
연구원 : 전 원 태
연구원 : 박 홍 재
협조연구기관 : 도드람양돈조합
책임자 : 진 길 부

여 백

- 770 -

요 약 문

I. 제 목

퇴비 및 액비의 작물별 사용기준 설정

II. 연구개발의 목적 및 중요성

본 연구는 축산농가에서 발생하는 가축분뇨를 비료원으로 토양-작물순환 시스템에 적용하여 가축분뇨의 비료적 가치, 가축분뇨의 토양 시용시 영양성분의 침출수로 용출되는 정도, 가축분뇨 시용에 의한 작물의 수량성 등을 종합하여 평가한 다음 작물별 가축분뇨 안전사용기준을 설정하는데 있음.

가축분뇨의 처리수단은 정화 방류, 자원화 등 여러 가지 방법이 있으나 경제성이나 환경문제를 감안할 때 비료자원으로 활용하는 것이 가장 바람직하다. 가축분뇨는 화학비료 사용이 일반화 된 1970년대 이전까지는 매우 유익한 작물의 영양원인 동시에 토양개량제로 활용이 되었으며, 현재도 가축분뇨를 퇴비화 및 액비화하여 농경지에 활용하고 있으나, 현재 대부분의 농가에서는 가축분뇨 중의 비료함량을 전혀 고려하지 않고 화학비료와 함께 가축분뇨를 농경지에 과다하게 사용함으로써 토양의 염류집적에 의한 염류장해 등 작물피해가 발생하고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 작물별로 가축분퇴비 및 액비의 적정 사용기준을 설정하여 농가에 보급함으로써 친환경적으로 가축분뇨를 자원화하여 농경지에 순환이용하는데 있음.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

가. 연구개발 목표

연구개발 내용	연구 목표
<ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분 및 가축분퇴비 사용기준 설정 ○ 가축분액비(양돈) 사용기준 설정 - 농가실증시험 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작물별 가축분 및 가축분으로 제조된 퇴비의 사용기준 설정 ○ 작물별 가축분(액비)의 사용기준 설정

나. 연차별 연구개발 목표와 내용

구 분	연구개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (1997년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 작물별 가축분 및 가축분으로 제조된 퇴비의 사용기준 설정 ○ 벼와 보리에 대한 가축분액비 사용기준 설정 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분 및 가축분퇴비 사용기준 설정 - 자료수집 및 분석 - 표준영농교본 작성 ○ 작물별 가축분액비 사용기준 설정 - 벼에 대한 액비 사용효과 구명 - 보리에 대한 액비 사용효과 구명
2차년도 (1998년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 벼와 보리에 대한 가축분액비 사용기준 설정 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 논에 대한 가축분뇨(액비) 사용 농가 농가 실증시험 - 액비추천기준 설정 - 액비 사용도양의 환경영향 평가 - 벼 생육량 분석
3차년도 (1999년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 벼와 보리에 대한 가축분액비 사용기준 설정 ○ 호밀에 대한 가축분뇨(액비) 사용기준 설정 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 논에 대한 가축분뇨(액비) 사용 농가 농가 실증 시험 - 액비 추천기준 설정 - 액비 사용도양의 환경영향 평가 - 벼 생육량 분석 ○ 벼·보리에 대한 가축분뇨(액비) 사용 기준 설정 - 자료수집 및 분석 - 표준 영농교본 작성 ○ 호밀에 대한 가축분뇨(액비) 사용기준 설정 - 호밀에 대한 액비 사용효과 구명

IV. 연구개발결과 및 활용에 대한 건의

가축분뇨 퇴비 및 액비의 작물별 사용기준 설정에 관한 시험결과는 다음과 같다.

1. 가축분 및 가축분퇴비의 작물별 사용량은 질소기준에서 인산기준으로 설정하였으며, 벼 등 57개 작물을 118개로 구분하여 설정하였음.
2. 가축분퇴비 사용량 계산식은 다음과 같다.
작물별 인산시비량 ÷ 퇴비중 인산함량(%) × 100 = 퇴비 사용량(kg 10a⁻¹)
3. 인산기준 퇴비 사용시 부족한 질소 및 칼리는 화학비료로 보충하도록 하였다.
4. 벼에 대한 돈분뇨 액비 사용시기별 수량은 화학비료구(728kg 10a⁻¹)에 비해 월동전 액비사용은 액비 150% 사용구에서 94, 4월사용은 100% 사용구에서 100, 5월 사용은 100% 사용구에서 97%로 돈분뇨 액비 사용적량은 수확후 월동전 사용은 질소시비량(N 11kg 10a⁻¹)의 150%, 이앙전 사용은 100%이었다.
5. 액비사용량이 많을수록 병해충 및 도복이 심하였으며, 토양침투수중 NO₃-N 함량도 액비사용량이 많을수록, 액비 사용시기가 벼 이앙기와 가까울수록 높았으며, 이앙직전 사용한 액비 200%구는 7월 중순까지도 음용수 수질기준 10mg ℓ⁻¹ 이상이었다.
6. 화학비료 및 돈분뇨와 우분뇨 액비를 논토양에 질소 11kg 10a⁻¹ 해당량을 공시하여 항온(25℃)하면서 주기적으로 NH₄-N 함량을 조사한 결과 액비사용구에서 약간 낮게 나타났으나, 화학비료구와 거의 비슷한 함량을 나타내었다.
7. 액비처리별 침투수중 질산태질소 용탈량은 화학비료구 2.6kg 10a⁻¹ 이었으며, 액비 100% 2.8, 액비 200% 5.0, 액비 300%와 400% 사용구는

- 12.8 로 화학비료구와 액비 100% 시용구가 비슷한 경향이였다.
8. 보리에 대한 돈분뇨 액비시용시 수량은 화학비료구($307\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)에 비해 액비 100% 시용구와 액비 150% 시용구는 각각 12, 4% 감소되었으며, 액비 100% + 화학비료 추비구와 액비 200% 시용구는 11~12% 증수되었다.
 9. 보리 재배시 침투수중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 대체적으로 낮았으나, 1년차 ('98) 시험에서는 액비 150% 및 200% 시용구에서 4월 초에 $10\text{mg } \ell^{-1}$ 를 초과하였다.
 10. 시험후 토양화학성은 대조구에 비해 유효 P_2O_5 및 치환성 K, Ca 는 약간 높아지는 경향이었고, Mg와 유기물은 차이가 없었다
 11. 호밀에 대한 액비시용시 호밀 수량은 화학비료구($463\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)에 비해 액비 100% 및 150%시용구에 화학비료 추비구가 각각 99, 100%로서 비슷한 경향이였다.
 12. 옥수수에 대한 돈분뇨 액비시용시 옥수수 이삭 생체중수량은 화학비료구($1,475\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)에 비해 액비 100% 시용구는 29% 감소되었으나, 액비 200% 및 300% 시용구는 각각 5~16%의 증수되었다.
 13. 시험후 토양의 화학성은 액비시용구에서 유기물 및 유효인산 함량이 증가되었다.
 14. 가축분뇨(액비)의 농가사용실태를 63개 시군 452농가를 대상으로 조사한 결과 벼 등 37개 작물에서 액비를 사용하고 있었으며, 작물별로 $0.7\sim 37.5 \text{ ton } 10\text{a}^{-1}$ 까지 무분별하게 사용하고 있었다.
 15. 가축분뇨(액비)의 작물별 시용량은 액비중 질소성분을 기준으로 벼 등 32개 작물을 대상으로 설정하였다.
 16. 가축분뇨(액비)의 작물별 시용량 계산식은 다음과 같다.

$$\text{작물별 질소시비량} \div \text{액비중 질소함량}(\%) \times 100 = \text{액비 시용량}(\text{kg } 10\text{a}^{-1})$$

SUMMARY

This study was conducted to establish standards on compost and liquid manure application for crop cultivation. The results are summarized as follows;

1. The basic element for determination of the amount of livestock waste or compost application for crop cultivation was changed from N to P. And the number of crop which was determined application amount were increased from 57 to 118.
2. The amount of compost applied is determined at this rate :
$$\text{Crop P needs} \div \text{P content in compost} \times 100 = \text{Amount of compost applied (kg } 10\text{a}^{-1}\text{)}$$
3. The N and K which lack with compost application according to this equation were supplemented with chemical fertilizer.
4. With liquid manure application time the yields of rice was 94% at 150% application rate in treatment before winter, and 100% and 97% of chemical fertilizer treatment (728kg 10a⁻¹) at 100% rate in April and May treatment, respectively. As the results, proper amount of liquid manure applied were 150% and 100% of chemical fertilizer recommended amount at after harvest and before planting time, respectively.
5. The plant injury by disease and insects, and NO₃-N content in infiltration water were increased with increase the amounts of liquid manure applied. With the time of liquid manure application, those were increased as application time is closer to planting

- time. When it applied at just before planting with 200% rate, $\text{NO}_3\text{-N}$ content was higher than $10\text{mg } \ell^{-1}$ until middle of July.
6. With the incubation of liquid manure with $11\text{kgN}10\text{a}^{-1}$ rate at 25°C , the $\text{NH}_4\text{-N}$ content at liquid manure treatment was a little low but it was not big different with chemical fertilizer treatment.
 7. The amount of $\text{NO}_3\text{-N}$ which was leached out were $12.8\text{kg}10\text{a}^{-1}$ in liquid manure treatment with 300% and 400% rate, $5.0\text{kg}10\text{a}^{-1}$ in 200% rate, and $2.8\text{kg}10\text{a}^{-1}$ in 100% rate which amount was similar with chemical fertilizer treatment of $2.6\text{kg}10\text{a}^{-1}$.
 8. With liquid manure treatment, yields of barley decreased 12% and 4% at 100% and 200% application rate compare to chemical fertilizer treatment, respectively, but it was increased 11~12% at liquid manure(100%)+chemical fertilizer treatment.
 9. With liquid manure treatment of 150% and 200% rate, the $\text{NO}_3\text{-N}$ contents in infiltrationwater at barley cultivation field were higher than $10\text{mg } \ell^{-1}$ in early April.
 10. After experiment, available P_2O_5 , exchangable K and Ca content in soil were increased a little, but Mg and OM contentl did not show any difference.
 11. With liquid manure treatment of 100% and 150% with addition of chemical fertilizer,yields of rye were 99 and 100% compare to chemical fertilizer application of $463\text{kg}10\text{a}^{-1}$.
 12. With liquid manure treatment, yields of corn decreased 29% at 100% application rate,but it showed 5~16% increse at 200 and 300% application rate compare to chemical fertilizer application of $1,475\text{kg}$

$10a^{-1}$.

13. After experiment, OM and available phosphorus content in soil were increased with liquid manure treatment.
14. The results of survey on state of liquid manure usage which was conducted with 452 farmhouse at 63 region showed it was used 37 crops and its amount applied was different from 0.7 to $37.5 \text{ ton}10a^{-1}$ with different crops.
15. The amount of liquid manure applied was determined with N content in the manure and number of crops which were decided application amount were 32 including rice.
16. The amount of liquid manure applied is determined at this rate :
$$\text{Crop N needs} \div \text{N content in manure} \times 100 = \text{Amount of liquid manure applied (kg } 10a^{-1}\text{)}$$

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	782
Chapter 2. Research History	784
Chapter 3. Materials and Methods	790
Chapter 4. Results and Discussion	795
1. Determination of Application Amounts of Animal Waste and Animal Waste Compost	795
a. Problems of Current Standards for Compost Usage	795
b. Standards of Animal Waste Compost Usage in Korea and foreign country	796
1) Standards of Animal Waste Compost Usage in foreign country	796
2) Standards of Animal Waste Compost Usage in Korea	798
c. Determination of Application Amounts of Animal Waste and Animal Waste Compost	800
1) Use of Experiment for Determination of Application Amounts of Compost	800
2) Use of Chemical Analysis	802
2. Establishment of Amount of Liquid Manure Applied for Crop Cultivation	824
a. Rice	824

1) Growth of Rice Plant with Amounts and Application	
Methods	824
2) Site Study on Determination of Application Amounts	830
b. Barley	837
c. Rye	839
d. Corn	840
3. Status and Problems of Usage in Farmhouse	842
4. Determination of Application Amounts of Liquid Manure	843
a. Use of Chemical Analysis	843
 Chapter 5. Conclusions	 848
 Chapter 6. References	 850

목 차

제 1 장 서 론	782
제 2 장 연구사	784
제 3 장 재료 및 방법	790
제 4 장 결과 및 고찰	795
1. 가축분 및 가축분퇴비 시용량 결정	795
가. 현행 퇴비 시용기준의 문제점	795
나. 국내외 퇴비 시용기준	796
1) 외국의 퇴비 시용기준	796
2) 우리 나라의 축분퇴비 시용기준	798
다. 가축분 및 가축분 퇴비 시용량 결정	800
1) 퇴비 시용량 결정 시험 결과	800
2) 화학분석치를 이용한 시용량 결정	802
2. 작물에 대한 액비 시용량 기준 설정	824
가. 벼에 대한 돈분뇨(액비) 시용기준 설정	824
1) 시용량 및 시용 방법별 벼의 생육상황	824
2) 시용량 결정을 위한 농가현장 연구	830
나. 보리에 대한 돈분뇨(액비) 시용기준 설정	837
다. 호밀에 대한 돈분뇨(액비) 시용기준 설정	839
라. 옥수수에 대한 돈분뇨(액비) 시용기준 설정	840

3. 가축분뇨(액비) 농가 사용실태 및 문제점	842
4. 액비사용량 결정	843
가. 화학분석치를 이용한 사용량 결정	843
제 5 장 적 요	848
인용문헌	850

제 1 장 서 론

농업활동에 의한 환경오염 가능성은 화학비료의 과다사용과 유출에 의한 수질오염, 적절하게 처리되지 못하고 무단 방류되는 축산분뇨 등이 주이다. 이외에도 강우에 의해 토양과 함께 유실되는 영양성분 등이 있다. 특히 가축분뇨는 자연에 방치할 경우 수질오염, 악취발생 및 위생악화 등 심각한 환경문제를 일으킬 수 있으므로 사회적인 문제로 대두되고 있다. 가축분뇨는 화학비료 사용이 일반화되기 전까지 대부분의 농촌에서 작물의 영양원 또는 토양 개량제로 활용되었다. 그러나 '70년대 이후 국민 소득증대와 식수준의 향상으로 육류 소비량이 증가됨에 따라 가축사육두수가 증가되어 지역에 따라서는 가축분뇨가 농경지면적 대비 한계 부하량을 초과하게 되었다. 더욱이 최근에는 축산물이 수출상품으로 부각되고 있어 가축분뇨에 의한 환경문제의 심각성이 가중되고 있다.

우리나라의 돼지 사육두수는 1980년도까지 1,784천두에 불과하였으나, 1999년도에는 7,864천두로서 1980년 대비 4.3배 증가되었으며, 1999년도 기준 우리나라의 연간 가축분뇨 배설량은 약 34백만톤에 이르고 있다.

가축분뇨에 대한 환경규제는 점차 강화되고 있는 추세이며 이는 가축분뇨 중의 질소, 인산, 세균 및 유기물함량이 높아 지표수 및 지하수를 오염시키고 인축의 피해와 호소 및 하천의 부영양화를 초래하기 때문이다.

현재까지 고품분 처리방법은 톱밥을 부재료로 이용하는 호기성 퇴비화 기술이 보급되고 있으나 톱밥의 품귀와 가격상승, 톱밥의 과다혼입에 의한 퇴비의 품질 저하가 새로운 문제점으로 대두되고 있다. 퇴비 제조비용과 다 등을 보완하기 위하여 최근에 액비화 기술이 심도있게 검토되고 있으나 액비는 운반·보관 문제와 더불어 살포시기, 악취에 의한 민원 등 제약요인이 많아 활용량이 제한될 수 밖에 없으며, 현재까지 액비 제조기술, 액비

살포기 개발 및 환경을 고려한 적절한 사용기준 등이 정리되지 못한 상황이었기 때문에 농경지에 액비살포가 어려운 실정이다.

또한 생분뇨 또는 슬러리 상태의 비료효과에 대하여 초지 및 사료작물에서 일부 연구가 이루어졌으나 경지면적이 넓은 논토양에 대한 활용 연구는 최근에 시작하고 있는 상태이다. 특히 액비는 기계로 살포하여야 하므로 지형이 불균일한 밭토양보다 기계의 진입이 용이하고 슬러리 살포가 용이한 논토양에서의 활용이 확대되어야 가축분뇨의 자원화 효율이 높아질 것으로 판단된다.

따라서 본 연구는 축산농가에서 발생하는 가축분뇨를 비료원으로 토양-작물순환 시스템에 적용하여 가축분뇨의 비료적 가치, 가축분뇨의 토양 시용시 영양성분의 침출수로 용출되는 정도, 가축분뇨 시용에 의한 작물의 수량성 등을 종합하여 평가함으로써 가축분뇨 안전사용기준 설정에 기여코자 한다.

제 2 장 연구사

우리 나라에서 가축분뇨에 의한 상수원 수질 오염문제가 1980년 하반기 부터 제기되면서 가축분뇨를 유기질비료의 원료로 자원화 하여야 한다는 논의가 나오기 시작하였다(유, 1996). 가축분은 본래 풀이나 짚과 같은 깔 개와 함께 퇴적 발효시켜 구비로 이용하여 왔으나 축산경영의 규모 확대로 처리방법이 다양해지고 있으며 현재는 발효퇴비 또는 슬러리 형태의 액비 로 배출되고 있다.

가축분의 비료적 가치에 대하여 정(1995)은 '93년 현재 우리 나라 가축분 뇨 발생량은 연간 우분뇨 24,571 천톤, 돈분뇨 12,982 천톤, 계분 2,622 천 톤이고 이들 가축분뇨 중의 총 비료성분 함량은 우리 나라 경지의 3요소 시비기준 소비량을 상회하고 있어 이를 자원화 한다면 화학비료 100%를 대체할 수 있는 양이라고 하였다.

가축분뇨에는 질소와 인과 같은 영양 염류 함량이 높기 때문에 정화되지 않고 인근 수계에 유입되면 수질오염을 유발하고, 토양에 과다 사용되면 염류집적이 일어나며, NH_3 , H_2S , VFA, mercaptan, carbonyl 화합물 등 인 축에 해로운 물질들이 방출되어 대기를 오염시키므로 환경오염 문제가 야 기된다고 하였다(정, 1998).

성분조성에 관한 일본의 자료(藤原, 1993)를 보면 분과 뇨를 분리하였을 때 수분함량은 생우분과 생우뇨에서 각각 80.1, 92.5%이었고 질소, 인산, 칼리의 함량은 각각 생우분에서 0.44, 0.35, 0.35%, 생우뇨에서 1.00, 0.01, 1.50%이었으며, 돈분뇨의 경우는 수분함량이 생분에서 69.4%, 생뇨에서 94.0%이었고 질소, 인산, 칼리의 함량은 생돈분에서 각각 1.10, 1.70, 0.46%, 생돈뇨에서는 0.50, 0.05, 1.00%이었다. 캐나다의 자료(Xie et al, 1986)를 보 면 건물기준으로 가축분뇨의 질소, 인산, 칼륨 함량은 각각 발효 우분퇴비

에서 20.0, 10.6, 27.1 g kg⁻¹, 생우분에서는 22.0, 11.3, 33.3 g kg⁻¹, 돈분액 비에서는 25.0, 23.2, 35.9 g kg⁻¹이었다. 가축분 중의 유기물 조성에 대하여 川(1993)는 우분에서는 건물중의 77.9%가 유기물이고 셀룰로스가 19.9%, 리그닌이 22.2%이었으며, 돈분에서는 80.1%가 유기물이고 셀룰로스가 9.0%, 리그닌이 17.6%로 낮았으며 조지방 함량이 15.7%로 우분의 4.5%에 비해 높다고 하였다.

가축분뇨의 비효에 대해서 권 등(1994)은 질소의 가용화율이 계분발효퇴비와 돈분발효퇴비에서는 50% 이상, 우분발효퇴비는 30%라고 하였고 일본의 농림수산성 농업연구센터(1985)의 보고에서는 가축분의 무기화율은 계분 70%, 우분 20%, 돈분 35%라고 하였다. 또한 藤原(1993)은 우분에서는 함유 성분 중에서 질소의 30%, 인산의 60%, 칼리의 90%가 비료로서 유효하고, 돈분의 경우는 질소와 인산의 70%, 칼리의 90%가 비료로서 유효하며 노에서는 성분 함량의 거의 100%가 비료로서 유효하다고 하였으며 생돈분의 비료성분은 분에 대한 노의 혼합비율에 따라 달라진다고 하였다.

가축분의 질소 무기화율은 토양의 차이, 기후, 가축분 조성파 관리요인(Barbarika et al., 1985; Bernal & Kirchmann, 1992; Douglas & Magdoff, 1991)에 의해서 영향을 받는다. Miller et al.(1990)은 질소가 1.6~2.2% 함유된 가축분 시용에서 질소의 무기화율이 시용 첫해에는 40~50%, 다음해에 10~20%, 그 다음해에 5%이었다고 하였다. 그러나 Klausner et al.(1994)에 의하면 낙농 가축분을 공시한 옥수수 재배시험지에서 가축분의 유기질소가 5년간 무기화된 양은 총 34%이었고 1년차에는 16%, 2년차에는 10%이었으며 3년, 4년, 5년차에 각각 3, 3, 2%이었다고 하였다. 한편 藤原(1993)는 우분 중에서 질소는 지효성으로 작물의 양분흡수에 적합치 않을 경우가 있으므로 우분 단용보다는 화학비료와 병용하는 것이 바람직하며 적정량은 기비 질소의 약 30%가 좋을 것이라는 의견을 제시하였다.

한편 논토양에 대한 연구에서는 淺見(1971)은 시비한 무기태 질소는 일부가 유기화되며, 유기화된 질소중 약 50%가 다시 무기화 된다고 하였다. 原田(1974)는 담수논에서는 토양 질소 중 무기태 질소는 2~3%에 불과하며, 시비된 질소에서 연유된 유기태 질소는 단기간에 무기화가 일어나지만, 시용 유기물이나 토양부식에 결합되어 있는 유기태 질소는 무기화 속도가 완만하다고 하였다. Paul & Beauchamp (1995)에 의하면 중질소(N¹⁵)를 이용한 실내실험에서 유기화-무기화의 상호전환(turnover)은 우분 슬러리액비를 가한 토양이 비료만을 시용한 토양에 비해 크게 일어났다고 보고하였다.

논토양에서 유기물의 시용효과에 관하여 황 등(1984)은 퇴비를 시용함으로써 시비질소의 이용율을 증가시키고 토양 잔존량이 많아 질소 손실을 줄일 수 있다고 하였다. 志賀 등(1982)은 수도 1작기 동안 유기물 중의 질소 이용율은 6~12%에 불과하지만 질소의 첨가로 인하여 유기물의 질소 이용율은 더욱 높아진다고 하였다. 또한 이 등(1995)은 벼에서 유기물의 시용에 의해 시비 질소의 이용율이 30% 더 증가되었다고 하여 가축분을 혼용했을 때는 화학비료의 이용율이 더욱 커지는 것으로 보고하였고, Anderson et al.(1973)도 우분 장기 연용 시험에서 우분과 질소비료를 혼용하였을 때 최고 수량을 나타냈다고 보고하였다. 한편 山縣 등(1996)은 풋트시험에서 작물간 유기태 질소의 흡수능력 차이를 비교하고 벼는 옥수수과 같은 작물에 비해 유기태 질소의 흡수능이 큰 특성을 지닌 작물이라고 하였다.

가축분의 시용량에 관하여 일본의 關東東海 지구 각 현의 기준치를 1984년 農業研究센터가 집계한 것(藤原, 1993)을 보면 논 10a당 시용량은 생분 1.0~2.5ton, 건조분 0.3~2.0ton, 액상구비 1.0~2.5ton 으로 낮게 설정되어있고 보통밭과 채소 및 과수원에서는 상한선이 3~7ton 까지 높게 설정되어 있다.

농촌진흥청(1993)의 가축분 이용 실태조사 결과를 보면 과채류 재배농가의 84.4%가 유기질 비료원으로 가축분을 이용하고 있고 시용량은 10a당 평균 배추, 양파, 상추 및 고추에서 각각 1,124, 1,395, 1,770, 1,830kg이었다. 농촌진흥청(1998)에서 설정한 잠정적인 가축분뇨시용 권장량은 퇴구비를 기준하여 우분퇴비는 퇴구비와 동일량으로, 돈분퇴비는 40% 해당량, 계분퇴비는 35% 해당량으로 하였다. 이 등(1999)은 1 ton 당 총질소 함량은 퇴비(수분 75%) 4kg, 가축분뇨 7~18kg, 가축분톱밥퇴비 6~9kg이고 이들의 1톤당 유효질소성분은 각각 1kg, 4~12kg, 2~4kg이라고 하였다.

밭토양에서 수행한 시용량 시험 결과를 보면 Magdoff & Amadon (1980)은 식질토양에서 10년간 재배한 싸일리지용 옥수수 시용적량은 연간 생중으로 22 ton ha⁻¹이었으며 이 양은 평균 질소 성분량으로 300 kg ha⁻¹에 해당한다고 하였다. Jokela(1992)는 질소 비료를 매년 112 kg ha⁻¹ 시용할 때까지 싸일리지 수량이 증가되었으나 가축분을 시용한 조건에서는 질소 비료는 유의한 증수효과를 보이지 않았다고 하였다.

가축분액비의 시용방법에서 Beauchamp(1983)는 우분액비 질소의 유효도는 요소 또는 무수암모니아태 질소의 약 1/2에 해당되지만 우분액비를 주입기로 시용했을 때는 무기태질소 이용율이 60%가 되고 표면시비를 하면 1/3로 낮아진다고 하였으며 그 원인은 우분액비에 있는 암모니아태 질소의 많은 양이 휘산되기 때문이라고 하였다. 또한 Beauchamp 등(1992)은 5월 초 포장에서 우분액비 시용 후 6~7일간에 걸쳐 측정된 결과 암모니아태 질소의 24~34%가 휘산에 의해 손실되었다고 하였다. Heck(1931)에 의하면 우분액비를 혐기상태에서 저장할 때 광물성 기름을 가해 표면 피복을 해 줌으로서 질소의 손실을 감소시킬 수 있다고 하였다. Paul & Beauchamp(1994)는 17~22℃ 온도하에서 고품의 생우분, 우분퇴비, 황산암모늄을 처리하고 8주간 옥수수의 질소 흡수량을 본 결과 각각 2, 8, 36%

이었다고 하며 우분의 초기 질소 분해속도가 느린 것을 지적하였다.

논토양에서 白石 등(1976)은 벼에 대한 구비의 당년 시용 적량은 100~140 ton ha⁻¹이었고, 연용의 경우는 100 ton ha⁻¹ 시용했을 때 증수효과가 인정되었다고 하였으며, 井上(1985)는 벼재배에서 우분 50 ton ha⁻¹시용으로 화학비료 50%의 감비 효과가 있었고 100 ton ha⁻¹시용했을 때는 100% 대체효과가 있었다고 하였다. 이 등(1999)은 논토양의 돈분톱밥퇴비 시용량 결정을 위한 시험에서 10a당 돈분퇴비 10ton과 20ton 시용구에서 각각 최고수량이 얻어졌으나 돈분 4.2ton 시용구와 유의한 수량 차이가 없기 때문에 환경과 경제성 면에서 4.2 ton 10a⁻¹ 시용이 적절하다고 하였다.

화학비료와 대비한 가축분의 비료 평가에 있어서 Xie & Mackenzie(1986)는 돈분과 생우분 및 우분퇴비를 공시한 싸일리지 옥수수 시험에서 건물중과 질소 시용량 간의 회귀식은 가축분 질소와는 직선관계식을, 요소와는 2차관계식이 나타났다고 하였으며 건물 수량에 미친 요소 질소 1kg은 가축분 질소 1~4kg과 같았다고 하였다.

토양의 화학성 변화에 대하여 Sommerfeldt et al(1988)은 가축분을 11년간 연용시 토양유기물과 T-N의 축적은 6~8년까지는 유의하게 증가되다가 해가 지날수록 감소되어 Michaelis-Menten 식을 따른다고 하였으며 유기물의 증가 속도는 연간 30 ton ha⁻¹ 시용시에 0.07%, 180 ton ha⁻¹ 시용시에 0.57%가 증가되었다고 하였다.

Magdoff & Amadon(1980)은 최대수량을 얻기 위해서는 가축분과 질소 비료의 혼용이 필수적이라고 하였고 질소비료의 장기연용은 pH가 떨어지고 토양 중 P, K, Ca 및 Mg이 감소하나 가축분의 시용으로 이것이 보상되어 P, Ca, K가 증가하며 Mg 만은 증가되지 않는다고 하였다. 신 등(1994)의 연구에서 계분톱밥퇴비를 4년간 연용하면서 고추와 배추를 재배했을 때 토양유기물 함량은 시험 전 0.9%에서 3.1%로, 유효인산은 368에서

1,890 mg kg⁻¹으로, 치환성칼리는 0.2에서 1.4 cmol⁺ kg⁻¹로 증가되었다고 하였으며, Meek et al.(1982)은 가축분을 180 ton ha⁻¹ 수준으로 4년간 사용하고 그 후 5년간 사용하지 않은 토양조건에서 유기물함량은 시험 전 1.9%에서 2.9%로 증가되었다가 무시용 5년차에서는 1.8%로 감소되었다고 보고하였다.

질산태 질소의 용탈에 관한 연구를 종합하면 가축분 질소와 비료 질소는 다같이 NO₃-N로서 토층을 통해 용탈되어 지하수 오염원으로 작용하며 가축분 질소에서 보다는 비료질소로부터 오는 NO₃-N용탈이 더 많고 토층 내 NO₃-N함량도 높다는 연구결과가 많다(Kimball et al., 1972; Beauchamp, 1983; Xie & Mackenzie, 1986; Comfort et al., 1987).

제 3 장 재 료 및 방 법

1. 가축분 및 가축분퇴비의 작물별 시용기준 설정

가. 가축분 및 가축분퇴비 시용기준 설정

지금까지 퇴비의 작물별 시용기준은 퇴비중 질소함량을 근거로 하여 시용량을 설정하여 사용하여 왔고, 퇴비 종류도 볏짚이나 산야초를 원료로 하여 제조된 퇴비를 10a당 1,000~5,000kg까지 시용토록 되어 있다.

현재 대부분 농가에서는 가축분 및 가축분 퇴비를 사용하고 있지만 가축분 퇴비의 양분함량을 전혀 고려하지 않고 과거에 일반퇴비와 같이 취급하고 있으며, 퇴비와 함께 화학비료를 혼용하고 있어 일부 양분의 과다집적에 의한 염류장해 등 작물생육에 피해가 발생하고 있는 실정이다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 그동안 국내외에서 이루어졌던 시험연구사업 및 문헌 등을 수집·분석하여 퇴비의 시용기준을 질소기준에서 인산기준으로 재설정하였으며, 계분, 우분, 돈분 및 가축분퇴비를 구분하여 벼 등 57개 작물을 118개로 구분하여 시용량 조건표를 작성하였다.

나. 표준영농교본 및 책자 발간

재설정된 작물별 가축분 및 가축분퇴비 시용량을 근거로 하여 '97년 12월에 환경농업을 위한 『퇴비제조와 이용』이라는 표준영농교본 3,000부를 제작하여 농촌진흥청 산하기관, 도농업기술원, 시군농업기술센터에 배부하여 시험연구사업 및 농업인 기술지도에 활용토록하였다. 그동안 표준시비량이 바뀐 작물이 많아 퇴비시용량을 재 조정, 작물별 액비시용량을 추가하여 '99년 12월에 친환경농업을 위한 『가축분뇨 퇴비·액비 제조와 이용』이라는 책자 1,000부를 발간·배부하여 현장에서 활용토록 하였다.

2. 가축분뇨 액비의 작물별 사용기준 설정

가. 벼에 대한 돈분뇨(액비) 사용효과

본 연구는 '97~'99년에 걸쳐 경기도 수원과 이천에서 시험을 실시하였다. 수원시 서둔동에 위치한 공시토양은 화동 식양토로서 미숙답이었다. 화학적 성질은 pH 5.6, 유기물 22 g kg⁻¹, 유효인산 23 mg kg⁻¹로 낮았고, 치환성 양이온은 K 0.39, Ca 2.61, Mg 0.99 cmol⁺ kg⁻¹이었다. 공시한 돈분액비(PS, Pig Slurry)는 수원시 양돈농가에서 발생한 액비로 T-N 0.39, P₂O₅ 0.40, K₂O 0.26%이었다.

돈분액비 처리는 화학비료(N-P₂O₅-K₂O, 110-70-80 kg ha⁻¹)를 대조로 하고 돈분액비중 전질소 함량을 기준하여 시비질소량(110 kg ha⁻¹)의 100, 200, 300, 400%에 해당하는 돈분액비 사용구를 두어 무비구를 포함한 6개 처리를 난괴법 3반복으로 배치하였다. 구당면적은 36m²(4×9m)로 하였고 돈분액비는 이앙 1개월 전에 전면 살포하였다.

침출수의 NO₃-N 함량조사를 위하여 처리구당 3 반복으로 토층 30, 60, 90cm 깊이에 porous ceramic cup을 설치하였다. 침출수중 NO₃-N는 Ion Chromatography(Dionex 300)로 분석하였다. 안산벼를 공시하여 5월 25일에 30x15cm 간격으로 이앙하였으며 기타 시비방법과 재배 및 조사방법은 농촌진흥청 표준재배법(농촌진흥청, 1966)에 준하였다.

이천시에 위치한 공시토양은 화동 식양토로서 미숙답이었다. 화학적 성질은 pH 6.0, 유기물 21 g kg⁻¹, 유효인산 110 mg kg⁻¹ 이었고, 치환성 양이온은 K 0.51, Ca 2.08, Mg 1.30 cmol⁺ kg⁻¹이었다. 공시한 돈분액비는 이천 양돈농가의 슬러리 돈사에서 발생한 액비로 T-N 0.50, P₂O₅ 0.94, K₂O 0.72%이었다.

돈분액비 처리는 화학비료(N-P₂O₅-K₂O, 110-70-80 kg ha⁻¹)를 대조로

하고 돈분액비중 전질소 함량을 기준하여 시비질소량(110 kg ha^{-1})의 100, 150, 200 %에 해당하는 돈분액비 시용구를 두었다. 액비 시용시기별 시용 효과를 보고자 액비는 3시기에 걸쳐 시용하였는데, 벼 수확후 월동전, 4월과 5월에 처리를 하였으며, 단반복으로 구당면적은 $1,100\text{m}^2$ 로 하였다.

침출수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량조사를 위하여 처리구당 3 반복으로 토층 60cm 깊이에 porous ceramic cup을 설치하였다. 안산벼를 공시하였으며, 침출수중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 및 시비방법과 재배 및 조사방법은 수원포장과 같이 동일하게 하였다.

나. 보리에 대한 돈분뇨(액비) 시용효과

본 연구는 '97~'00. 6월 까지 경남 밀양에서 시험을 실시하였다. 공시토양은 덕평 식양토로서 화학적 성질은 pH 5.5, 유기물 36 g kg^{-1} , 유효인산 127 mg kg^{-1} , 치환성 양이온은 K 0.34, Ca 3.6, Mg $1.3 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 이었다. 공시한 돈분액비(PS, Pig Slurry)는 밀양시의 양돈농가에서 발생한 액비로 T-N 0.68, P_2O_5 0.28, K_2O 0.27%이었다.

돈분액비 처리는 화학비료(N- P_2O_5 - K_2O , 130-100-100 kg ha^{-1})를 대조로 하고 돈분액비중 전질소 함량을 기준하여 시비질소량(130 kg ha^{-1})의 100, 150, 200%에 해당하는 돈분액비 시용구와 액비 100%에 화학비료 추비구를 두어 무비구를 포함한 6개 처리를 난괴법 3반복으로 배치하였다. 화학비료 사용은 질소는 기비 50%, 추비 50%, 인산과 칼리는 전량 기비로 사용하였다. 돈분액비는 보리파종 15일 전에 전면 살포하였다.

침출수의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량조사를 위하여 처리구당 3 반복으로 토층 30, 60cm 깊이에 porous ceramic cup을 설치하였다. 침출수중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 Ion Chromatography로 분석하였다. 알보리를 공시하여 10월 28일에 휴림세조파로 파종하였으며, 파종량은 $15 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이었다. 작물재배 및 조사방법은 농촌진흥청 표준재배법(농촌진흥청, 1966)에 준하였다.

다. 호밀에 대한 돈분뇨(액비) 시용효과

본 연구는 '99. 11~'00. 4월에 걸쳐 수원에서 시험을 실시하였다. 공시토양은 사양토로서 화학적 성질은 pH 7.6, 유기물 12 g kg^{-1} , 유효인산 344 mg kg^{-1} , 치환성 양이온은 K 0.22, Ca 6.2, Mg $1.1 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 이었다. 공시한 돈분액비(PS, Pig Slurry)는 수원시의 양돈농가에서 발생한 액비로 T-N 0.31, P_2O_5 0.26, K_2O 0.25%이었다.

돈분액비 처리는 화학비료(N- P_2O_5 - K_2O , 150-120-120 kg ha^{-1})를 대조로 하고 돈분액비중 전질소 함량을 기준하여 시비질소량(150 kg ha^{-1})의 100, 150, 200%에 해당하는 돈분액비 시용구와 각각 액비처리구에 화학비료 추비구를 두어 무비구를 포함한 8개 처리를 단반복으로 배치하였다. 화학비료 사용은 질소는 기비 50%, 추비 50%, 인산은 전량기비, 칼리는 기비와 추비를 각각 60 : 40으로 사용하였다. 돈분액비는 호밀파종 15일 전에 전면 살포하였으며, 10월 29일에 휴림세조파로 파종하였고, 파종량은 $15 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ 이었다. 작물재배 및 조사방법은 농촌진흥청 표준재배법(농촌진흥청, 1966)에 준하였다.

라. 옥수수에 대한 돈분뇨(액비) 시용효과

본 연구는 옥수수에 대한 액비시용 효과를 검토하고자 경기도 이천시에서 2,000년도에 시험을 실시하였다. 공시토양은 양토로서 화학적 성질은 pH 4.5, 유기물 14 g kg^{-1} , 유효인산 92 mg kg^{-1} 로 낮았고, 치환성 양이온은 K 0.35, Ca 2.58, Mg $0.9 \text{ cmol}^+ \text{ kg}^{-1}$ 이었다. 공시한 돈분액비(PS, Pig Slurry)는 이천시의 양돈농가에서 발생한 액비로 T-N 0.52, P_2O_5 0.35, K_2O 0.29%이었다.

돈분액비 처리는 화학비료(N- P_2O_5 - K_2O , 171-30-69 kg ha^{-1})를 대조로 하고 돈분액비중 전질소 함량을 기준하여 시비질소량(171 kg ha^{-1})의 100,

200, 300%에 해당하는 돈분액비 시용구를 두어 무비구를 포함한 5개 처리를 난괴법 3반복으로 배치하였다. 화학비료 시용은 질소는 기비 50%, 추비 50%, 인산과 칼리는 전량기비로 시용하였다. 돈분액비는 4월 14일에 전면 살포하였으며, 4월 29일에 줄뿌림으로 파종하였고, 파종량은 2kg/10a이었다. 작물재배 및 조사방법은 농촌진흥청 표준재배법(농촌진흥청, 1966)에 준하였다.

3. 가축분뇨(액비) 농가 사용실태 및 문제점

1999년도에 전국을 대상으로 농촌진흥청 원예축산과와 각 시군농업기술센터의 도움을 받아 가축분뇨(액비) 농가 사용실태를 조사하였다. 전국을 대상으로 조사를 하였으나, 최종 취합 결과는 63개 시군 452 농가에서 벼 등 37개 작물에서 사용하였고, 사용면적은 4,449ha, 시용량은 10a당 0.7ton에서 최고 37.5ton 까지 나타났다.

4. 액비시용량 결정

작물별로 가축분뇨 액비시용량 결정은 토양의 특성과 작물별 화학비료 시용량에 따라 액비시용량은 차별화될 수 있다. 이를 위해서는 토양과 액비에 대한 시용전 분석이 필요하다.

액비 시용량은 가축분뇨(액비) 중의 비료성분을 분석하여 결정하되 분석이 곤란할 경우 가축분뇨 액비 종류별 평균 성분함량을 이용하여 계산하도록 하였다. 가축분뇨(액비)는 퇴비와 달리 인산성분 보다 질소성분이 높아서 액비 중 질소성분을 기준으로 시용량을 결정하였다.

제 4 장 결과 및 고찰

1. 가축분 및 가축분퇴비 시용량 결정

가. 현행 퇴비 시용기준의 문제점

지금까지 작물별 퇴비의 시용기준은 질소함량을 근거로 하여 시용량을 설정하여 왔고, 퇴비 종류도 벗짚이나 산야초를 원료로 하여 제조된 퇴비를 10a당 1,000~5,000kg까지 시용토록 되어 있다. 그러나 대부분의 농가에서는 가축분 및 가축분 퇴비를 사용하고 있지만 가축분 퇴비 중의 비료함량을 전혀 고려하지 않고 과거에 사용하던 일반퇴비와 같이 취급하여 퇴비와 함께 화학비료를 혼용하고 있어 일부 양분의 과다집적으로 작물생육에 피해가 발생하고 있는 실정이다.

가축분퇴비 중의 질소성분을 기준으로 하여 시용량을 결정한 57개 작물 평균 가축분 시용량에 따른 인산비료 과다투입 비율이 계분 158, 돈분 275, 우분 227, 가축분퇴비 334%에 달하고 있다. 무에서는 57개 작물 중 인산투입비율이 가장 많은데 계분은 453, 돈분 786, 우분 648, 가축분퇴비가 954%나 된다. 한편 '95년 현재 전체 논면적의 37.7%(428천ha)에서 인산, 칼리가 과다하게 집적되어 있고, '80~'90년대 질소, 인산, 칼리적정량(질산태질소 : $150\sim 200\text{mg kg}^{-1}$, 인산 : $200\sim 400\text{mg kg}^{-1}$, 칼리 : $0.41\sim 0.70\text{cmol}^+ \text{kg}^{-1}$) 이상으로 축적된 면적비율이 각각 21.3, 70.5, 59.2% 수준에 달하고 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 시용 유기물질이 비료적 효과인지, 물리성 개량효과가 있는 것인지 특성을 잘 파악하여 정확하게 시용해야 할 것이다. 비료적 효과가 높은 계분, 돈분, 우분, 가축분퇴비는 비료성분을 분석하여 결정하되 인산성분을 기준으로 시용량을 결정하면 다른 성분의 토

양집적을 방지할 수 있다. 즉 질소성분으로 시용량을 결정할 경우보다 절감효과는 57개 작물 평균치를 보면 계분 26, 돈분 57, 우분 48, 가축분퇴비 65%로 평균 51%를 절감할 수 있다.

표 4-1. 질소기준 유기물 시용량 및 유기물 중 비료성분량(kg 10a⁻¹)

유기물	구 분	시 비 량			유기물 시용량 및 비료량		
		질 소	인 산	칼 리	질 소	인 산	칼 리
계 분	평 균	15.2	10.8	13.4	880	14.5(158)	4.1(35)
	무	28.0	5.9	15.4	1,618	26.7(453)	7.6(49)
돈 분	평 균	15.2	10.8	13.4	1,691	25.2(275)	3.2(27)
	무	28.0	5.9	15.4	3,111	46.4(786)	5.9(38)
우 분	평 균	15.2	10.8	13.4	3,771	20.8(227)	3.3(28)
	무	28.0	5.9	15.4	6,829	38.2(648)	6.1(40)
가축분 퇴 비	평 균	15.2	10.8	13.4	1,507	30.6(334)	9.8(83)
	무	28.0	5.9	15.4	2,772	56.3(954)	18.0(117)

- 평균 : 벼 등 57개 작물 3요소 시비량 평균치(15.2-10.8-13.4kg 10a⁻¹)
- 김장 무 3요소 시비량 : 28.0-5.9-15.4kg 10a⁻¹
- ()내는 시비량 대비 유기물중 비료량 비율임.

나. 국내외 퇴비 시용기준

1) 외국의 퇴비 시용기준

가) 일본의 축분퇴비 시용기준

일본은 기본적으로 가축분 퇴비의 경우 퇴비 중의 질소를 기준으로 시용량을 결정한다. 시용량 결정에는 아래와 같은 산출식을 적용하며, 화학비료 대체율과 퇴비 중의 질소 이용효율을 고려하여 결정하는 것이 특징이다.

퇴비 시용량 산출(톤/10a) :

$$\text{질소시비량(kg/10a)} \times \text{대체율/100} \times 100/\text{퇴비중 비료성분 함유율} \times 100/\text{비효율} \times 10^{-3}$$

가축분 퇴비 중의 성분을 분석할 수 없을 경우는 축분 또는 축분퇴비 중의 질소함량을 기준으로 조건표를 만들어 이용하고 있다. 그러나 축분 중의 인산함량이 너무 높기 때문에 토양 중 인산성분의 집적을 방지하기 위한 시비기준도 고려하고 있다.

나) 미국의 가축분뇨 시용기준

미국은 전통적으로 가축분뇨를 슬러리 액비로 초지에 살포하는 관리방식을 채택하고 있다. 그러나 최근 축분뇨 과다살포에 의한 토양오염, 인근수계 오염 및 지하수 오염 등에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 각 주마다 지역실정에 알맞는 시용기준과 방법 등이 별도로 적용되고 있다. 그러나 공통적으로 적용할 수 있는 가축분뇨의 시용기준은 아래와 같은 단위면적당 축분뇨 수요량 산출식을 이용한다.

$$10a당\ 질소\ \text{〇〇}kg\ 에\ 해당하는\ 가축분뇨\ 환산 = \frac{FGN}{(NC)(NR)(A)(D)}$$

여기서 FGN은 작물별 질소 시비량(kg/10a), NC는 가축생분 중 질소함량(kg N/1,000 kg), NR은 분뇨 관리상태에 따른 질소 잔류비율, A는 분뇨 중 질소의 시용 연차별 유효화율, D는 시용 후 탈질량을 제외한 잔존질소의 비율이다. 이 기준은 질소의 대사특성, 즉 질소가 대기순환을 하는 성분임을 감안하여 매우 복잡한 지표들을 적용하고 있는 것이 특징이다. 이와 같은 복잡한 수식에 의한 사용량 결정방법 보완을 위해 일부 주에서는 축종별, 작물별 및 분뇨 형태별 사용량 조건표를 만들어 농가에서 이용토록 하는 지역도 있다. 최근 미국의 가축분뇨 활용상의 특징은 과다살포에 의한 환경오염을 최소화하려는 쪽으로 전환이 되고 있는 점이다.

다) 네델란드의 퇴비 시용기준

네델란드는 우리나라와 같이 경지면적에 비하여 가축사육밀도가 높은 나라이다. 발생하는 분뇨는 전량 농경지에 환원하여 왔기 때문에 유럽지역 중 가축분뇨에 의한 토양 중 양분집적과 지하수 중 질산염 오염문제가 심각한 나라 중에 하나이다. 따라서 네델란드의 퇴비 품질기준은 유럽의 다른 나라보다 엄격하고 퇴비 시용기준 또한 매우 낮게 적용하고 있다(표 4-2).

표 4-2. 네델란드의 퇴비 중 인산기준 퇴비시용량

작 물	P ₂ O ₅ 투입량(kg 10a ⁻¹)
식용작물	12.5
옥 수 수	'94. 12. 31 까지 15.0, '95. 1. 1부터 12.5
목 초	'94. 12. 31 까지 20.0, '95. 1. 1부터 12.5

* 자료 : '92 ORCA.

일반퇴비의 경우는 식용작물에 대해서 연간 300kg 10a⁻¹ 수준, 그리고 초지에는 150kg 10a⁻¹ 정도로 매우 낮은 기준을 적용하고 있다. 깨끗한 퇴비에 대해서는 식용작물에 600kg 10a⁻¹까지 허용하며, 초지에 대해서는 300kg 10a⁻¹로서 일반퇴비의 2배를 적용하고 있다. 이와는 별도로 토양 중에 투입되는 인산함량을 근거로 작물별 최대 사용량을 결정하기도 한다.

2) 우리 나라의 축분퇴비 시용기준

우리 나라의 가축분퇴비 시용기준은 전통적으로 사용하던 농가퇴비를 기준으로 지도하고 있다. 그러나 가축분퇴비는 비료성분 함량이 높아 일반퇴비와 동일하게 사용할 경우 토양 중 양분 집적문제가 있어 별도의 기준을 적용할 필요가 있어 시비처방 기준에 준한 퇴비 시용량을 가축분 종류별로

가감하여 사용토록 한 기준이 있다. 또한 최근 시설재배지와 채소재배지에 인산집적을 예방하기 위하여 토양중 인산함량을 기준으로 가축분퇴비 사용량을 차별화하는 기준을 설정하고 있다.

가) 토양검정에 의한 시비처방기준

현행 토양검정에 의한 시비처방기준으로 설정된 퇴비사용량은 토양중 유기물함량을 기준으로 처방을 하고 있다. 토양 검정결과 토양 유기물함량이 2.0% 미만인 경우는 퇴구비 $1,600\text{kg } 10\text{a}^{-1}$, 유기물 2.1~3.0%인 토양은 $1,200\text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, 유기물 함량 3.1% 이상인 토양은 $800\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 의 퇴비 사용을 권장하고 있다. 이 퇴비기준은 과거의 벧짚퇴비를 기준으로 정한 기준이며, 가축분 퇴비 이용시에는 분뇨 중의 양분함량을 고려하여 차별하여 적용토록 하고 있다. 우분퇴비는 벧짚퇴비와 동일하게 취급을 하나 돈분퇴비는 우분퇴비의 40% 수준, 계분퇴비는 35% 수준으로 사용량을 낮게 추천하고 있다.

우리 나라에서 퇴비의 사용기준은 이상과 같은 네가지 기준이 활용되고 있다. 토양 중 인산과 퇴비 중의 인산함량을 기준으로 설정된 기준은 정확한 분석기술을 바탕으로 설정된 기준으로서 작물의 생산성 보다는 토양환경 보존에 더 중점을 두고 있다고 생각된다.

한편 농토배양 기준과 시비처방 기준은 가축분퇴비와 같은 상용품이 일산화되기 전이므로 토비를 작물 양분공급원으로 생각하기 보다는 토양개량제로서의 기능에 더 중점을 둔 기준이라고 생각된다. 작물이 필요로 하는 양분은 화학비료로 공급을 하고 퇴비는 토양의 이화학성과 생물상 개선을 위한 개량제로 공급하는 것을 전제로 설정된 기준이라고 볼 수 있다.

나) 토양중 인산함량을 근거로 설정된 기준

축분퇴비는 앞에서 언급한 바와 같이 가격이 고가이기 때문에 과다사용

은 경제적 손실을 초래할 수 있다. 현재는 퇴비 중의 성분량이 가장 높은 인산함량을 기준으로 시용기준을 설정하여 지도자료로 활용을 하고 있다. 표 4-3은 토양 중의 유효인산 함량을 기준으로 퇴비 사용 한계량을 설정한 자료이다. 표에서 보는 바와 같이 토양 중 인산함량이 150mg kg⁻¹ 미만인 경우는 1,200kg 10a⁻¹ 이상까지 시용이 가능하나 토양 중 인산이 200mg kg⁻¹ 이상인 경우는 900kg 10a⁻¹, 300mg kg⁻¹ 이상은 500kg 10a⁻¹ 미만, 그리고 400mg kg⁻¹ 이상인 토양은 가축분퇴비 사용을 자제토록 하고 있다. 이는 축분퇴비 중의 인산함량과 인산의 가용화율을 고려할 때 매우 현실적인 대안이라고 판단된다.

표 4-3. 토양 인산함량에 따른 축분퇴비 사용량

토양유효인산 (mg kg ⁻¹)	101-150	151-200	201-250	251-300	301-350	351-400	400이상
가축분퇴비 (kg 10a ⁻¹)	1,287- 1,106	1,102- 922	918-737	734-553	549-368	365-184	0

* 자료 : '97 농과원. 적용회귀식 : $y = -3.687x + 1,659.17$ (x=토양중유효인산, mg kg⁻¹)

다. 가축분 및 가축분 퇴비 시용량 결정

가축분퇴비는 퇴비중의 양분함량 토양 중의 양분 집적형태 등으로 보아 현행 퇴비 시용기준을 재설정하는 것이 타당하다고 판단된다. 특히 일본이나 유럽에서 적용하는 퇴비 시용기준, 즉 토양 중의 염류집적을 예방하고 폐기물을 자원화 하기 위한 노력들은 우리의 실정과 유사하다고 판단된다.

1) 퇴비 시용량 결정 시험 결과

가축분퇴비는 적정량이 사용될 경우에는 토양의 pH 교정, 토양 유기물 함량 증가 및 작물에 양분 공급효과가 있으나, 가축분퇴비도 다량 사용

하거나 연용할 경우에는 토양 중의 인산, 칼리 등 염류집적으로 토양의 질을 악화시키고 작물의 수량을 감소시킬 수 있다. 표 4-4는 '95~'96년 2년간 전국 농협퇴비공장 65개소를 대상으로 조사된 성적으로서 계분을 제외하고는 가축분 및 가축분퇴비 중에 질소함량보다는 인산함량이 높은 것으로 조사되었다.

표 4-4. 가축분 및 가축분퇴비(부산물비료)의 비료성분 함량조사('95~'96. 농과원) (단위 : %)

종 류	수 분	질 소	인 산	칼 리
계 분	66.7	1.73	1.65	0.47
돈 분	75.2	0.90	1.49	0.19
우 분	80.0	0.41	0.56	0.09
가축분퇴비	41.5	1.01	2.03	0.65

* 가축분퇴비 비료성분 함량 : 인산>질소>칼리

* 작물의 비료 요구량 : 질소>칼리>인산

표 4-5. 옥수수에 대한 돈분퇴비 시용효과 비교('96. 농과원)

처 리 내 용	수 량(kg 10a ⁻¹)
3요소구(화학비료구)	8,303(100)
돈분퇴비 2.5톤/10a	8,270(100)
돈분퇴비 5.0톤/10a	7,185(87)

* 화학비료구 시비량 : 질소 - 인산 - 칼리 = 20-15-15 kg 10a⁻¹

* 퇴비 시용량 2.5톤은 질소 약 20kg에 해당하는 양임

옥수수에 대한 돈분퇴비 시용효과를 보면 화학비료구와 돈분퇴비 2.5ton 10a⁻¹ 시용구가 수량이 비슷한 것으로 나타났는데 이는 돈분퇴비를 질소기준으로 시용한 결과로서 수량면에서는 비슷한 경향을 나타냈으나(표 4-5), 표

4-6과 같이 퇴비시용량을 질소기준으로 시용함으로써 년차적으로 인산 및 칼리가 토양에 과다하게 집적되어 토양염류장해 등 많은 문제점을 안고 있다.

표 4-6. 가축분퇴비 연용에 따른 채소재배지 토양화학성 변동('94. 농과원)

구 분	1년차		2년차		3년차		4년차	
	화학비료	축분퇴비	화학비료	축분퇴비	화학비료	축분퇴비	화학비료	축분퇴비
pH(1:5)	5.9	6.6	6.0	6.9	6.0	7.2	5.8	7.2
유기물(g kg ⁻¹)	11	16	11	23	11	24	10	31
인산(mg kg ⁻¹)	369	786	376	850	381	1,020	392	1,230
칼리(cmol ⁺ kg ⁻¹)	0.25	0.60	0.30	1.35	0.30	1.60	0.40	3.30
수량(지수)	100 (고추)	102	100 (양배추)	87	100 (고추)	122	100 (배추)	95

* 퇴비 시용량은 작물별 질소비료 시용량 해당

표 4-7은 토양중에서 인산의 유효화율을 검토하기 위하여 3가지 토양에 퇴비 4종류를 각각 공시하여 항온기에서 4주간 항온 후에 측정된 결과로서 가축분퇴비 중의 인산성분의 유효화율은 화학비료(인산)와 유사하다는 결과를 나타내었으며, 표 4-8과 같이 포장시험에서도 가축분퇴비중의 인산은 화학비료(인산)와 유사하기 때문에 가축분퇴비를 인산기준으로 시용하고 부족한 질소와 칼리는 화학비료로 보충하여 벼와 옥수수를 재배한 결과 토양중 인산함량은 화학비료와 비슷하나 수량은 증가하는 경향을 나타내었다.

2) 화학분석치를 이용한 시용량 결정

가축분퇴비 중 질소성분을 기준으로 시용량을 결정할 경우 가축분 시용량에 따른 인산비료 과다투입 및 염류집적에 의한 작물생육장해가 우려되므로 인산성분을 기준으로 시용량을 결정한다. 가축분 및 가축분퇴비 중 인산성분의 유효화율은 화학비료(인산)와 유사하므로 인산기준으로 시용량을 결정하고 부족한 질소와 칼리는 화학비료로 보충하여 준다.

표 4-7. 첨가 유기물중 인산의 토양중 유효화율을 기준한 유기물중 60% 과염소산(HClO₄) 가용인산의 비료당량('97. 농과원) (항은 4주후)

유 기 물	사 양 토	양 토	식 양 토	평 균
톱밥부숙 우분	0.84	0.70	0.81	0.78
톱밥부숙 돈분	1.48	1.01	1.89	1.46
톱밥부숙 계분	0.95	0.86	1.03	0.95
벗 짚 퇴 비	0.80	0.76	1.22	0.93

표 4-8. 축분퇴비 인산기준 시용효과 확인시험 결과('96. 농과원)

작 물	처 리	수량(kg 10a ⁻¹)	토양인산(mg kg ⁻¹)
벼	화학비료구	475	167
	인산기준 퇴비구	546	176
옥수수	화학비료구	8,303	463
	인산기준 퇴비구	8,744	506

* 인산기준으로 가축분퇴비 시용후 부족성분(N, K)은 화학비료로 보충

작물별 가축분 및 가축분퇴비 시용량은 가축분 중의 비료성분을 분석하여 결정하되 분석이 곤란할 경우 표 4-9에 있는 가축분 종류별 3요소 평균 성분함량을 이용하여 계산하면 된다.

표 4-9. 가축분 종류별 3요소 평균 성분함량 (단위 : %)

종 류	수 분	질 소	인 산	칼 리
계 분	66.7	1.73	1.65	0.47
돈 분	75.2	0.90	1.49	0.19
우 분	80.0	0.41	0.56	0.09
가축분퇴비	41.5	1.01	2.03	0.65

작물별로 표준시비량을 적용할 때와 토양검정 후 시비량을 적용할 때를 잘 구분하여 다음 계산식을 이용하여 가축분 시용량을 결정한다. 작물별

표준시비량 및 가축분 및 가축분 퇴비의 3요소 평균 성분함량을 이용하여
 사용량을 결정할 때는 가축분의 인산기준 사용량 조건표를 참조하면 된다
 (표 4-10, 4-11, 4-12, 4-13).

조건표 활용시 돈분, 우분, 계분, 가축분퇴비 사용량의 단단위 숫자는
 반올림하여 작성하였고, 사용량이 $50\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 미만일 때는 하한선을 $50\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 로 작성하여 사용토록 하였다.

<작물별 가축분 사용량 및 퇴비중 비료량 계산>

- 가축분 사용량($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)
 - = [작물별 표준시비량 ÷ 가축분 중 성분량(%)] × 100
 - = [작물별 토양검정 시비량 ÷ 가축분 중 성분량(%)] × 100
- 가축분 중 비료량($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$) =
 - = [가축분 사용량 × 가축분 중 성분량(%)] ÷ 100

<가축분의 분석자료가 건물중일 때 현물중으로 수분보정>

- 현물중 성분함량(%) = 건물중 성분함량 × (100 - 수분함량) ÷ 100

<가축분의 분석자료가 현물중일 때 건물중으로 수분보정>

- 건물중 성분함량(%) = 현물중 성분함량 × 100 ÷ (100 - 수분함량)

<참 고>

- 아래 표기한 작물은 질소 표준시비량보다 가축분 및 가축분퇴비 중
 질소함량이 많은데 이러한 작물은 질소기준으로 가축분 및 가축분퇴
 비 사용량을 환산하여 사용하고, 인산과 칼리는 화학비료로 보충하도
 록 한다.
 - 계분 : 땅콩(기경지, 개간지), 참깨(기경지, 개간지, 2모작지)
 - 돈분 : 땅콩(기경지, 개간지), 참깨(기경지, 2모작지)
 - 우분 : 땅콩(기경지), 참깨(2모작지)
 - 가축분퇴비 : 땅콩(기경지, 개간지)

표 4-10. 인산기준 계분의 시용량 조건표

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			계 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	계분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
벼	일반계	11	4.5	5.7	270	4.7	1.3
	다수계	15	5.8	7.8	350	6.1	1.6
보 리	겉보리	9.1	7.4	3.9	450	7.8	2.1
	쌀보리	9.1	7.4	3.9	450	7.8	2.1
	맥주보리	7.8	7.4	3.9	450	7.8	2.1
콩	기경지	3.0	3.0	3.4	180	3.1	0.8
	개간지	6	8	6	490	8.5	2.3
옥수수	보통옥수수	17.4	3.0	6.9	180	3.1	0.8
	단옥수수	14.5	3.0	6.0	180	3.1	0.8
	풋베기옥수수	20	15	15	910	15.7	4.3
고 추	노지	19.0	11.2	14.9	680	11.8	3.2
	시설	22.5	6.4	10.1	390	6.7	1.8
	밀식	19	12.3	15.5	750	13.0	3.5
토마토	노지	24	16.4	23.8	990	17.1	4.7
오 이	노지	24	16.4	23.8	990	17.1	4.7
딸 기	노지	19	5.9	10.9	360	6.2	1.7
	시설	9.6	4.9	7.4	300	5.2	1.4
참 외	노지	25	7.7	16	470	8.1	2.2
수 박	노지	20	5.9	12.8	360	6.2	1.7
호 박	노지	20	13.3	12.6	810	14.0	3.8
가 지	노지	30	12.6	21.4	760	13.1	3.6
생 강	노지	24	9.3	7.2	560	9.7	2.6
당 근	노지	20	9.6	12.2	580	10.0	2.7
무	노지	28	5.9	15.4	360	6.2	1.7

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 계분시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			계 분 시 용 량			
		질소	인산	칼리	계분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾	
고구마	기경지	5.5	6.3	15.6	380	6.6	1.8	
	개간지	9	9	24	550	9.5	2.6	
감 자	일반계	10	8.8	13	530	9.2	2.5	
	가공용	15	15.8	13	960	16.6	4.5	
	남부해안	10	8.8	13	53	9.2	2.5	
양 파	노지	24	7.7	15.4	470	8.1	2.2	
마 늘	노지	25	7.7	12.8	470	8.1	2.2	
상 추	노지	20	5.9	12.8	360	6.2	1.7	
배 추	노지	32	7.8	19.8	470	8.1	2.2	
시금치	노지	25	5.9	11.9	360	6.2	1.7	
사 과	비옥지 1-4년	2	1	1	60	1.0	0.3	
		5-9년	2	1	2	60	1.0	0.3
	*	10-14년	5	2	3	120	2.1	0.6
		15-19년	10	5	8	300	5.2	1.4
		20년이상	15	8	12	490	8.5	2.3
	척박지	1-4년	2	1	1	60	1.0	0.3
		5-9년	4	2	3	120	2.1	0.6
		10-14년	8	5	5	300	5.2	1.4
		15-19년	15	8	12	490	8.5	2.3
		20년이상	20	12	20	730	12.6	3.4
배	비옥지 1-4년	2	1	1	60	1.0	0.3	
		5-9년	3	3	3	180	3.1	0.9
		10-14년	10	5	8	300	5.2	1.4
		15-19년	17	8	15	490	8.5	2.3
		20년이상	20	13	20	790	13.7	3.7
	척박지	1-4년	2	1	1	60	1.0	0.3
		5-9년	6	4	5	240	4.2	1.1
		10-14년	15	8	12	490	8.5	2.3

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 계분시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			계 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	계분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
배	척박지 15-19년	20	13	20	790	13.7	37
	20년이상	25	18	25	1,090	18.9	51
유 자	일반토양 5년	13	8	9	490	8.5	23
	10년	15	11	13	670	11.6	31
	15년	19	14	16	850	14.7	40
	20년이상	25	16	20	970	16.8	46
	비옥지 1-2년	2	1	1	60	1.0	0.3
복숭아	3-4년	3	2	2	120	2.1	0.6
	5-10년	7	4	6	240	4.2	1.1
	11년이상	13	7	10	420	7.3	2.0
	척박지 1-2년	2	1	1	60	1.0	0.3
	3-4년	5	3	4	180	3.1	0.9
포 도	5-10년	11	6	9	360	6.2	1.7
	11년이상	18	10	15	610	10.6	2.8
	비옥지 1-2년	2	1	1	60	1.0	0.3
	3-4년	3	2	2	120	2.1	0.6
	5-10년	7	4	5	240	4.2	1.1
단 감	11년이상	13	7	10	420	7.3	2.0
	척박지 1-2년	2	1	1	60	1.0	0.3
	3-4년	5	4	4	240	4.2	1.1
	5-10년	10	6	8	360	6.2	1.7
	11년이상	18	10	15	610	10.6	2.9
밤나무	성목	25	12	24	730	12.6	3.4
	1년	0.92	0.55	0.48	50	0.9	0.2
	2-3년	5.15	5.12	4.8	310	5.4	1.5
	4년	10.12	5.52	7.92	335	5.8	1.6
	5-6년	13.24	5.52	10.56	340	5.9	1.6
	7-9년	17.66	10.46	15.84	630	10.9	3.0

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 계분시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준소비량(kg 10a ⁻¹)			계 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	계분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
밤 나 무	10-14년	26.48	16.16	21.6	980	17.0	4.6
	15-19년	35.5	26.8	32.16	1,620	28.0	7.6
	20-25년	44.34	32.32	42.72	1,960	33.9	9.2
감 굴	온주 5년	13	20	13	1,210	20.9	5.7
	10년	15	28	18	1,700	29.4	8.0
	15년	25	35	25	2,120	36.7	10.0
	20년 이상	28	40	28	2,420	41.9	11.4
뽕 나 무	신규조성	25	11	15	670	11.6	3.1
	밀식기성	30	13	18	790	13.7	3.7
목 초	조성용	8	20	7	1,210	20.9	5.7
	관리용	28	20	24	1,210	20.9	5.7
유 채	고정품종(점파)	10	8	8	490	8.5	2.3
	1대잡종(점파)	15	8	8	490	8.5	2.3
백하수오	점파	3	4	4	240	4.2	1.1
지 황	점파	12	12	16	730	12.6	3.4
길 경	산파	17	20	20	1,210	20.9	5.7
반 하		35	30	50	1,820	31.5	8.6
구약감자	점파	15	12	15	730	12.6	3.4
구 기 자		14	14	14	850	14.7	4.0
지하수오		14	12	8	730	12.6	3.4
황 기	조파	7	8	12	490	8.5	2.3
백 지	조파	9	3	5	180	3.1	0.9
황 련	이식재배	6	6	10	360	6.2	1.7
스테비아	산파	10	10	10	610	10.6	2.9
박 하		12	6	5	360	6.2	1.7
맥 문 동		16	18	18	1,090	18.9	5.1
울 무		9	6	6	360	6.2	1.7
향 부 자		8	6	10	360	6.2	1.7

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 계분사용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			계 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	계분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
더 덕		6	6	6	360	6.2	1.7
장 미	온실	58	58	48	3,520	60.9	16.5
국 화	온실	22	22	20	1,330	23.0	6.3
	노지	50	17	17	1,030	17.8	4.8
카네이션	온실	50	60	100	3,640	63.0	17.1
구 근 류	노지	20	12	12	730	12.6	3.4
1 년 초	절화	12	9	12	550	9.5	2.6
	노지	20	20	15	1,210	20.9	5.7
연 초	황색종	9.8	5.3	18.8	320	5.6	1.5
	버어리종	17.6	9.5	33.8	580	10.0	2.7

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 계분시용량 중의 비료량임.

표 4-11. 인산기준 돈분의 시용량 조건표

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			돈 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	돈분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
벼	일반계	11	4.5	5.7	300	2.7	0.6
	다수계	15	5.8	7.8	390	3.5	0.7
보 리	겉보리	9.1	7.4	3.9	500	4.5	1.0
	쌀보리	9.1	7.4	3.9	500	4.5	1.0
	맥주보리	7.8	7.4	3.9	500	4.5	1.0
콩	기경지	3.0	3.0	3.4	200	1.8	0.4
	개간지	6	8	6	540	4.9	1.0
참 깨	기경지	2.9	3.1	3.2	210	1.9	0.4
옥수수	보통옥수수	17.4	3.0	6.9	200	1.8	0.4
	단옥수수	14.5	3.0	6.0	200	1.8	0.4
	풋베기옥수수	20	15	15	1,010	9.1	1.9
고 추	노지	19.0	11.2	14.9	750	10.1	1.4
	시설	22.5	6.4	14.9	430	3.9	0.8
	밀식	19	12.3	15.5	830	7.5	1.6
토마토	노지	24	16.4	23.8	1,100	9.9	2.1
오 이	노지	24	16.4	23.8	1,100	9.9	2.1
딸 기	노지	19	5.9	10.9	400	3.6	0.8
	시설	9.6	4.9	7.4	330	3.0	0.6
참 외	노지	25	7.7	16	520	4.7	1.0
수 박	노지	20	5.9	12.8	400	3.6	0.8
호 박	노지	20	13.3	12.6	890	8.0	1.7
가 지	노지	30	12.6	21.4	850	7.7	1.6
생 강	노지	24	9.3	7.2	620	5.6	1.2
당 근	노지	20	9.6	12.2	640	5.8	1.2
무	노지	28	5.9	15.4	400	3.6	0.8

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 돈분시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준소비량(kg 10a ⁻¹)			돈분시용량				
		질소	인산	칼리	돈분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾		
고구마	기경지	5.5	6.3	15.6	420	3.8	0.8		
	개간지	9	9	24	600	5.4	1.1		
감 자	일반계	10	8.8	13	590	5.3	1.1		
	가공용	15	15.8	13	1,060	9.5	2.0		
	남부해안	10	8.8	13	590	5.3	1.1		
양 파	노지	24	7.7	15.4	520	4.7	1.0		
마 늘	노지	25	7.7	12.8	520	4.7	1.0		
상 추	노지	20	5.9	12.8	400	3.6	0.8		
배 추	노지	32	7.8	19.8	520	4.7	1.0		
시금치	노지	25	5.9	11.9	400	3.6	0.8		
사 과	비옥지	1-4년	2	1	1	70	0.6	0.1	
		5-9년	2	1	2	70	0.6	0.1	
		10-14년	5	2	3	130	1.2	0.3	
		15-19년	10	5	8	340	3.1	0.6	
		20년이상	15	8	12	540	4.9	1.0	
	척박지	1-4년	2	1	1	70	0.6	0.1	
		5-9년	4	2	3	130	1.2	0.3	
		10-14년	8	5	5	340	3.1	0.6	
		15-19년	15	8	12	540	4.9	1.0	
		20년이상	20	12	20	810	7.3	1.5	
	배	비옥지	1-4년	2	1	1	70	0.6	0.1
			5-9년	3	3	3	200	1.8	0.4
			10-14년	10	5	8	340	3.1	0.6
			15-19년	17	8	15	540	4.9	1.0
20년이상			20	13	20	870	7.8	1.7	
척박지		1-4년	2	1	1	70	0.6	0.1	
		5-9년	6	4	5	270	2.4	0.5	
		10-14년	15	8	12	540	4.9	1.0	

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 돈분시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			돈 분 시 용 량			
		질소	인산	칼리	돈분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾	
배	척박지 15-19년	20	13	20	870	7.8	1.7	
	20년이상	25	18	25	1,210	10.9	2.3	
유 자	일반토양 5년	13	8	9	540	4.9	1.0	
	10년	15	11	13	740	6.7	1.4	
	15년	19	14	16	940	8.5	1.8	
	20년이상	25	16	20	1,070	9.6	2.0	
복숭아	비옥지	1-2년	2	1	1	70	0.6	0.1
		3-4년	3	2	2	130	1.2	0.3
		5-10년	7	4	6	270	2.4	0.5
		11년이상	13	7	10	470	4.2	0.9
	척박지	1-2년	2	1	1	70	0.6	0.1
		3-4년	5	3	4	200	1.8	0.4
		5-10년	11	6	9	400	3.6	0.8
		11년이상	18	10	15	670	6.0	1.3
포 도	비옥지	1-2년	2	1	1	70	0.6	0.1
		3-4년	3	2	2	130	1.2	0.2
		5-10년	7	4	5	270	2.4	0.5
		11년이상	13	7	10	470	4.2	0.9
	척박지	1-2년	2	1	1	70	0.6	0.1
		3-4년	5	4	4	270	2.4	0.5
		5-10년	10	6	8	400	3.6	0.8
		11년이상	18	10	15	670	6.0	1.3
단 감	성목	25	12	24	810	7.3	1.5	
밤나무	1년	0.92	0.55	0.48	50	0.5	0.1	
	2-3년	5.15	5.12	4.8	340	3.1	0.6	
	4년	10.12	5.52	7.92	370	3.3	0.7	
	5-6년	13.24	5.52	10.56	370	3.3	0.7	
	7-9년	17.66	10.46	15.84	700	6.3	1.3	

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 돈분시용량중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			돈 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	돈분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
밤 나 무	10-14년	26.48	16.16	21.6	1,090	9.8	2.1
	15-19년	35.5	26.8	32.16	1,800	16.2	3.4
	20-25년	44.34	32.32	42.72	2,170	19.5	4.1
감 굴	온주 5년	13	20	13	1,340	12.1	2.6
	10년	15	28	18	1,880	16.9	3.6
	15년	25	35	25	2,350	21.1	4.5
	20년 이상	28	40	28	2,690	24.2	5.1
뽕 나 무	신규조성	25	11	15	740	6.7	1.4
	밀식기성	30	13	18	870	7.8	1.7
목 초	조성용	8	20	7	1,340	12.1	2.5
	관리용	28	20	24	1,340	12.1	2.5
유 채	고정품종(점파)	10	8	8	540	4.9	1.0
	1대잡종(점파)	15	8	8	540	4.9	1.0
백하수오	점파	3	4	4	270	2.4	0.5
지 황	점파	12	12	16	810	7.3	1.5
길 경	산파	17	20	20	1,340	12.1	2.6
반 하		35	30	50	2,010	18.1	3.8
구약감자	점파	15	12	15	810	7.3	1.5
구 기 자		14	14	14	940	8.5	1.8
지하수오		14	12	8	805	7.2	1.5
황 기	조파	7	8	12	540	4.9	1.0
백 지	조파	9	3	5	200	1.8	0.4
황 련	이식재배	6	6	10	400	3.6	0.8
스테비아	산파	10	10	10	670	6.0	1.3
박 하		12	6	5	400	3.6	0.8
맥 문 동		16	18	18	1,210	10.9	2.3
울 무		9	6	6	400	3.6	0.8
향 부 자		8	6	10	400	3.6	0.8

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 돈분시용량중의 비료량임.

작 물	구 분	돈분시비량(kg 10a ⁻¹)			돈 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	돈분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
더 덕		6	6	6	400	3.6	0.8
장 미	온실	58	58	48	3,890	35.0	7.4
국 화	온실	22	22	20	1,480	13.3	2.8
	노지	50	17	17	1,140	10.3	2.2
카네이션	온실	50	60	100	4,030	36.3	7.7
구 근 류	노지	20	12	12	810	7.3	1.5
1 년 초	절화	12	9	12	600	5.4	1.1
	노지	20	20	15	1,340	12.1	2.5
연 초	황색종	9.8	5.3	18.8	360	3.2	0.7
	버어리종	17.6	9.5	33.8	640	5.8	1.2

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 돈분시용량중의 비료량임.

표 4-12. 인산기준 우분의 시용량 조건표

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			우 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	우분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
벼	일반계	11	4.5	5.7	800	3.3	0.7
	다수계	15	5.8	7.8	1,040	4.3	0.9
보 리	겉보리	9.1	7.4	3.9	1,320	5.4	1.2
	쌀보리	9.1	7.4	3.9	1,320	5.4	1.2
	맥주보리	7.8	7.4	3.9	1,320	5.4	1.2
콩	기경지	3.0	3.0	3.4	540	2.2	0.5
	개간지	6	8	6	1,430	5.9	1.3
땅 콩	개간지	4.0	22.3	19.6	3,980	16.3	3.6
참 깨	기경지	2.9	3.1	3.2	550	2.3	0.5
	개간지	8	20	9	3,570	14.6	3.2
옥수수	보통옥수수	17.4	3.0	6.9	540	2.2	0.5
	단옥수수	14.5	3.0	6.0	540	2.2	0.5
	풋배기옥수수	20	15	15	2,680	11.0	2.4
고 추	노지	19.0	11.2	14.9	2,000	8.2	1.8
	시설	22.5	6.4	10.1	1,140	4.7	1.0
	밀식	19	12.3	15.5	2,200	9.0	2.0
토마토	노지	24	16.4	23.8	2,930	12.0	2.6
오 이	노지	24	16.4	23.8	2,930	12.0	2.6
딸 기	노지	19	5.9	10.9	1,050	4.3	0.9
	시설	9.6	4.9	7.4	880	3.6	0.8
참 외	노지	25	7.7	16	1,380	5.7	1.2
수 박	노지	20	5.9	12.8	1,050	4.3	0.9
호 박	노지	20	13.3	12.6	2,380	9.8	2.1
가 지	노지	30	12.6	21.4	2,250	9.2	2.0
생 강	노지	24	9.3	7.2	1,660	6.8	1.5
당 근	노지	20	9.6	12.2	1,710	7.0	1.5
무	노지	28	5.9	15.4	1,050	4.3	0.9

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 우분시용량 중의 비료량임.

작물	구분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			우분시용량			
		질소	인산	칼리	우분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾	
고구마	기경지	5.5	6.3	15.6	1,130	4.6	1.0	
	개간지	9	9	24	1,610	6.6	1.4	
감자	일반계	10	8.8	13	1,570	6.4	1.4	
	가공용	15	15.8	13	2,820	11.6	2.5	
	남부해안	10	8.8	13	1,570	6.4	1.4	
양파	노지	24	7.7	15.4	1,380	5.7	1.2	
마늘	노지	25	7.7	12.8	1,380	5.7	1.2	
상추	노지	20	5.9	12.8	1,050	4.3	0.9	
배추	노지	32	7.8	19.8	1,390	5.7	1.3	
시금치	노지	25	5.9	11.9	1,050	4.3	0.9	
사과	비옥지	1-4년	2	1	1	180	0.7	0.2
		5-9년	2	1	2	180	0.7	0.2
		10-14년	5	2	3	360	1.5	0.3
		15-19년	10	5	8	890	3.6	0.8
		20년이상	15	8	12	1,430	5.9	1.3
	척박지	1-4년	2	1	1	180	0.7	0.2
		5-9년	4	2	3	360	1.5	0.3
		10-14년	8	5	5	890	3.6	0.8
		15-19년	15	8	12	1,430	5.9	1.3
		20년이상	20	12	20	2,140	8.8	1.9
배	비옥지	1-4년	2	1	1	180	0.7	0.2
		5-9년	3	3	3	540	2.2	0.5
		10-14년	10	5	8	890	3.6	0.8
		15-19년	17	8	15	1,430	5.9	1.3
		20년이상	20	13	20	2,320	9.5	2.1
	척박지	1-4년	2	1	1	180	0.7	0.2
		5-9년	6	4	5	710	2.9	0.6
		10-14년	15	8	12	1,430	5.9	1.3

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 우분시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			우 분 시 용 량			
		질소	인산	칼리	우분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾	
배	척박지 15-19년	20	13	20	2,320	9.5	2.1	
	20년이상	25	18	25	3,210	13.2	2.9	
유 자	일반토양 5년	13	8	9	1,430	5.9	1.3	
	10년	15	11	13	1,960	8.0	1.8	
	15년	19	14	16	2,500	10.3	2.3	
	20년이상	25	16	20	2,860	11.7	2.6	
복숭아	비옥지	1-2년	2	1	1	180	0.7	0.2
		3-4년	3	2	2	360	1.5	0.3
		5-10년	7	4	6	710	2.9	0.6
		11년이상	13	7	10	1,250	5.1	1.1
	척박지	1-2년	2	1	1	180	0.7	0.2
		3-4년	5	3	4	540	2.2	0.5
		5-10년	11	6	9	1,070	4.4	1.0
		11년이상	18	10	15	1,790	7.3	1.6
포 도	비옥지	1-2년	2	1	1	180	0.7	0.2
		3-4년	3	2	2	360	1.5	0.3
		5-10년	7	4	5	710	2.9	0.6
		11년이상	13	7	10	1,250	5.1	1.1
	척박지	1-2년	2	1	1	180	0.7	0.2
		3-4년	5	4	4	710	2.9	0.6
		5-10년	10	6	8	1,070	4.4	1.0
		11년이상	18	10	15	1,790	7.3	1.6
단 감	성목	25	12	24	2,140	8.8	1.9	
밤나무	1년	0.92	0.55	0.48	100	0.4	0.1	
	2-3년	5.15	5.12	4.8	910	3.7	0.8	
	4년	10.12	5.52	7.92	990	4.1	0.9	
	5-6년	13.24	5.52	10.56	990	4.1	0.9	
	7-9년	17.66	10.46	15.84	1,870	7.7	1.7	

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 우분시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			우 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	우분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
밤 나 무	10-14년	26.48	16.16	21.6	2,890	11.8	2.6
	15-19년	35.5	26.8	32.16	4,790	19.6	4.3
	20-25년	44.34	32.32	42.72	5,770	23.7	5.2
감 곶	은주 5년	13	20	13	3,570	14.6	3.2
	10년	15	28	18	5,000	20.5	4.5
	15년	25	35	25	6,250	25.6	5.6
	20년 이상	28	40	28	7,140	29.3	6.4
뽕 나 무	신규조성	25	11	15	1,960	8.0	1.8
	밀식기성	30	13	18	2,320	9.5	2.1
목 초	조성용	8	20	7	3,570	14.6	3.2
	관리용	28	20	24	3,570	14.6	3.2
유 채	고정품종(점파)	10	8	8	1,430	5.9	1.3
	1대잡종(점파)	15	8	8	1,430	5.9	1.3
백하수오	점파	3	4	4	710	2.9	0.6
지 황	점파	12	12	16	2,140	8.8	1.9
길 경	산파	17	20	20	3,570	14.6	3.2
반 하		35	30	50	5,360	22.0	4.8
구약감자	점파	15	12	15	2,140	8.8	1.9
구 기 자		14	14	14	2,500	10.3	2.3
지하수오		14	12	8	2,140	8.8	1.9
황 기	조파	7	8	12	1,430	5.9	1.3
백 지	조파	9	3	5	540	2.2	0.5
황 련	이식재배	6	6	10	1,070	4.4	1.0
스테비아	산파	10	10	10	1,790	3.3	1.6
박 하		12	6	5	1,070	4.4	1.0
맥 문 동		16	18	18	3,210	13.2	2.9
울 무		9	6	6	1,070	4.4	1.0
향 부 자		8	6	10	1,070	4.4	1.0

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 우분시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			우 분 시 용 량		
		질소	인산	칼리	우분 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
더 덕		6	6	6	1,070	4.4	1.0
장 미	온실	58	58	48	10,360	42.5	9.3
국 화	온실	22	22	20	3,930	16.1	3.5
	노지	50	17	17	3,040	12.5	2.7
카네이션	온실	50	60	100	10,710	43.9	9.6
구 근 류	노지	20	12	12	2,140	8.8	1.9
1 년 초	절화	12	9	12	1,610	6.6	1.4
	노지	20	20	15	3,570	14.6	3.2
연 초	황색종	9.8	5.3	18.8	950	3.9	0.9
	버어리종	17.6	9.5	33.8	1,700	7.0	1.5

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 우분시용량 중의 비료량임.

표 4-13. 인산기준 가축분 퇴비의 시용량 조건표

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			가축분퇴비 시용량		
		질소	인산	칼리	가축분퇴비 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
벼	일반계	11	4.5	5.7	220	2.2	1.4
	다수계	15	5.8	7.8	290	2.9	1.9
보 리	겉보리	9.1	7.4	3.9	370	3.7	2.4
	쌀보리	9.1	7.4	3.9	370	3.7	2.4
	맥주보리	7.8	7.4	3.9	370	3.7	2.4
콩	기경지	3.0	3.0	3.4	150	1.5	1.0
	개간지	6	8	6	390	3.9	2.5
참 깨	기경지	2.9	3.1	3.2	200	2.0	1.3
	개간지	8	20	9	990	10.0	6.4
	2모작지	2.9	6.2	3.2	390	3.9	2.5
옥수수	보통옥수수	17.4	3.0	6.9	150	1.5	1.0
	단옥수수	14.5	3.0	6.0	150	1.5	1.0
	풋배기옥수수	20	15	15	740	7.5	4.8
고 추	노지	19.0	11.2	14.9	550	5.6	3.6
	밀식	19	12.3	15.5	610	6.2	4.0
	시설	22.5	6.4	10.1	320	3.2	2.1
토마토	노지	24	16.4	23.8	810	8.2	5.3
오 이	노지	24	16.4	23.8	810	8.2	5.3
딸 기	노지	19	5.9	10.9	290	2.9	1.9
	시설	9.6	4.9	7.4	240	2.4	1.6
참 외	노지	25	7.7	16	380	3.8	2.5
수 박	노지	20	5.9	12.8	290	2.9	1.9
호 박	노지	20	13.3	12.6	660	6.7	4.3
가 지	노지	30	12.6	21.4	620	6.3	4.0
생 강	노지	24	9.3	7.2	460	4.6	3.0
당 근	노지	20	9.6	12.2	470	4.7	3.1
무	노지	28	5.9	15.4	290	2.9	1.9

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 가축분 퇴비 시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			가축분퇴비 시용량			
		질소	인산	칼리	가축분퇴비 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾	
고구마	기경지	5.5	6.3	15.6	310	3.1	2.0	
	개간지	9	9	24	440	4.4	2.9	
감 자	준고냉지	15	15.8	13	780	7.9	5.1	
	남부해안	10	8.8	13	430	4.3	2.8	
양 파	노지	24	7.7	15.4	380	3.8	2.5	
마 늘	노지	25	7.7	12.8	380	3.8	2.5	
상 추	노지	20	5.9	12.8	290	2.9	1.9	
배 추	노지	32	7.8	19.8	380	3.8	2.5	
시금치	노지	25	5.9	11.9	290	2.9	1.9	
사 과	비옥지	1-4년	2	1	1	50	0.5	0.3
		5-9년	2	1	2	50	0.5	0.3
		10-14년	5	2	3	100	1.0	0.7
		15-19년	10	5	8	250	2.5	1.6
		20년이상	15	8	12	390	3.9	2.5
	척박지	1-4년	2	1	1	50	0.5	0.3
		5-9년	4	2	3	100	1.0	0.7
		10-14년	8	5	5	250	2.5	1.6
		15-19년	15	8	12	390	3.9	2.5
		20년이상	20	12	20	590	6.0	3.8
배	비옥지	1-4년	2	1	1	50	0.5	0.3
		5-9년	3	3	3	150	1.5	1.0
		10-14년	10	5	8	250	2.5	1.6
		15-19년	17	8	15	390	3.9	2.5
		20년이상	20	13	20	640	6.5	4.2
	척박지	1-4년	2	1	1	50	0.5	0.3
		5-9년	6	4	5	200	2.0	1.3
		10-14년	15	8	12	390	3.9	2.5

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 가축분퇴비 시용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			가축분퇴비 시용량		
		질소	인산	칼리	가축분퇴비 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
배	척박지 15-19년	20	13	20	640	6.5	4.2
	20년이상	25	18	25	890	9.0	5.8
유 자	일반토양 5년	13	8	9	390	3.9	2.5
	10년	15	11	13	540	5.5	3.5
	15년	19	14	16	690	7.0	4.5
	20년이상	25	16	20	790	8.0	5.1
	복숭아	비옥지 1-2년	2	1	1	50	0.5
포 도	3-4년	3	2	2	100	1.0	0.7
	5-10년	7	4	6	200	2.0	1.3
	11년이상	13	7	10	350	3.5	2.3
	척박지 1-2년	2	1	1	50	0.5	0.3
	3-4년	5	3	4	150	1.5	1.0
	5-10년	11	6	9	300	3.0	2.0
	11년이상	18	10	15	490	5.0	3.2
	비옥지 1-2년	2	1	1	50	0.5	0.3
	3-4년	3	2	2	100	1.0	0.7
	5-10년	7	4	5	200	2.0	1.3
	11년이상	13	7	10	350	3.5	2.3
	단 감	척박지 1-2년	2	1	1	50	0.5
3-4년		5	4	4	200	2.0	1.3
5-10년		10	6	8	300	3.0	2.0
11년이상		18	10	15	490	4.9	3.2
성목		25	12	24	590	6.0	3.8
밤나무	1년	0.92	0.55	0.48	50	0.5	0.3
	2-3년	5.15	5.12	4.8	250	2.5	1.6
	4년	10.12	5.52	7.92	270	2.7	1.8
	5-6년	13.24	5.52	10.56	270	2.7	1.8
	7-9년	17.66	10.46	15.84	520	5.3	3.4

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			가축분퇴비 사용량		
		질소	인산	칼리	가축분퇴비 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
밤 나 무	10-14년	26.48	16.16	21.6	800	8.1	5.2
	15-19년	35.5	26.8	32.16	1,320	13.3	8.6
	20-25년	44.34	32.32	42.72	1,590	16.1	10.3
감 곶	온주 5년	13	20	13	990	10.0	6.4
	10년	18	28	18	1,380	13.9	9.0
	15년	25	35	25	1,720	17.4	11.2
	20년 이상	28	40	28	1,970	19.9	12.8
뽕 나 무	신규조성	25	11	15	540	5.5	3.5
	밀식기성	30	13	18	640	6.5	4.2
목 초	조성용	8	20	7	990	10.0	6.4
	관리용	28	20	24	990	10.0	6.4
유 채	고정품종(점파)	10	8	8	390	3.9	2.5
	1대잡종(점파)	15	8	8	390	3.9	2.5
백하수오	점파	8	4	4	200	2.0	1.3
지 황	점파	12	12	16	590	6.0	3.8
길 경	산파	17	20	20	990	10.0	6.4
반 하		35	30	50	1,480	14.9	9.6
구약감자	점파	15	12	15	590	6.0	3.8
구 기 자		14	14	14	690	7.0	4.5
지하수오		14	12	8	590	6.0	3.8
황 기	조파	7	8	12	390	3.9	2.5
백 지	조파	9	3	5	150	1.5	1.0
황 련	이식재배	6	6	10	300	3.0	2.0
스테비아	산파	10	10	10	490	4.9	3.2
박 하		12	6	5	300	3.0	2.0
맥 문 동		16	18	18	890	9.0	5.8
울 무		9	6	6	300	3.0	2.0
향 부 자		8	6	10	300	3.0	2.0

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 가축분퇴비 사용량 중의 비료량임.

작 물	구 분	표준시비량(kg 10a ⁻¹)			가축분퇴비 시용량		
		질소	인산	칼리	가축분퇴비 (kg 10a ⁻¹)	질소 ¹⁾	칼리 ²⁾
더 덕		6	6	6	300	3.0	2.0
장 미	온실	58	58	48	2,860	28.9	18.6
국 화	온실	22	22	20	1,080	10.9	7.0
	노지	50	17	17	840	8.5	5.5
카네이션	온실	50	50	100	2,960	29.9	19.2
구 근 류	노지	20	12	12	590	6.0	3.8
1 년 초	절화	12	9	12	440	4.4	2.9
	노지	20	20	15	990	10.0	6.4
연 초	황색종	9.8	5.3	18.8	260	2.6	1.7
	버어리종	17.6	9.5	33.8	470	4.8	3.1

※ 질소¹⁾ 와 칼리²⁾는 인산기준 가축분 퇴비 시용량 중의 비료량임.

2. 작물에 대한 액비 시용량 기준 설정

가. 벼에 대한 돈분뇨(액비) 시용기준 설정

1) 시용량 및 시용 방법별 벼의 생육상황

액비 처리별 벼 생육상황은 표 4-14와 같이 유수형성기의 초장은 무비구 66.9cm에 비해 표준구는 72.5cm이었다. 액비 시용구는 질소 전량을 기비로 처리한 100% 액비구의 경우 77.5cm로서 표준구보다 더 컸다. 특히 액비 시용량이 증가됨에 따라 초장도 증가되어 액비 300% 시용구의 경우 101.2cm로서 표준구보다 40%가 더 증가되어 액비 과다사용은 벼의 도장을 초래할 수 있음을 확인하였고, 액비 400% 처리구는 300% 처리구보다 오히려 감소되고 있어 액비 과다살포는 벼 생육에 부정적인 영향을 나타냄을 알 수 있었다. 벼의 질소 시비량 중 기비량 5.5kg에 해당하는 질소량을 액

비로 처리하고 화학비료를 추비로 처리한 경우도 액비 사용량이 증가됨에 따라 초장은 표준구에 비하여 현저히 증가되는 경향이였다.

표 4-14. 생육상황 및 엽색

처 리	유 수 형 성 기 (7. 21)		
	초장(cm)	경수(개)	엽색*
무비구	66.9	11.9	28.3
표준구(N 11)	72.5	14.7	33.0
질소전량 ¹⁾			
액비100%(N 11)	77.5	16.6	33.6
액비200%(N 22)	93.0	22.6	34.2
액비300%(N 33)	101.2	26.1	35.6
액비400%(N 44)	96.5	28.1	37.9
질소기비 ²⁾			
액비100%(N 11)			
액비200%(N 16.5)	75.9	16.6	32.5
액비300%(N 22)	74.3	16.9	35.6
액비400%(N 27.5)	83.8	17.9	37.6
	88.7	21.2	39.2

1) 질소 시비량의 100%를 액비로 사용(전량 밀거름)

2) 질소 시비량의 50%는 액비(밀거름), 50%는 화학비료(추비)

* SPAD 502(Minolta) 측정

벼의 줄기 수도 초장과 같은 경향으로 줄기수는 토양 중에 투입되는 질소 량에 비례하여 증가되었다. 벼의 엽색은 벼 생육 중의 영양상태를 평가하는 간접지표로 이용되고 있다. 무비구는 엽색이 28.3으로 담록색이었으나 표준 구는 33.0 으로서 무비구보다 17% 더 짙은 색을 나타내고 있다. 질소 전량 100%와 기비 100%구는 표준구와 유사한 반면, 질소 전량 및 기비질소량이 많아 질수록 엽색도도 높아졌다. 200% 이상 시용구는 표준구를 정상적인 생 육상태로 평가할 때 병해충 발생 우려와 벼 수량구성요소에 부정적인 영향

을 미칠 것으로 평가되었다.

벼 재배기간 중 병해충 발생과 도복을 조사한 결과(표 4-15)는 벼 생육 상황(표 4-14)과 관계가 큰 것으로 나타났다. 화학비료만을 처리하는 표준구를 대조구로 평가할 때 액비 시용구는 시용량이 증가됨에 따라 병해충 발생량도 현저히 증가되었다. 또한 도복도 액비 전량 200% 시용구는 2, 액비 300% 시용구는 5, 400% 시용구는 액비 100% 시용구보다 9배 더 높았다. 질소 과다에 의한 벼의 병해충 피해와 도복문제는 이미 교과서에도 소개되는 기초이론이다. 그러나 퇴비의 경우 퇴비 중의 질소는 대부분 유기태 질소로서 완효성으로 존재하기 때문에 화학비료에 비하여 작물이 이용할 수 있는 비율이 극히 낮은 것으로 평가되고 있다. 그러나 표 4-14 및 표 4-16에서 보는 바와 같이 돈분뇨 슬러리 액비의 비효는 표준구에 사용한 요소의 질소 비효보다도 벼 생육에 더 효율이 높은 것으로 나타났다. 즉 돈분뇨 액비 중 질소의 벼 이용율은 요소 중의 질소 이용율보다도 더 높을수도 있음을 암시하는 자료로서 금후 액비 시용량 결정에 고려하여야 할 사항이라고 판단된다.

표 4-15. 병해충 발생 및 도복

처 리	이삭도열병 (%)	문고병 (%)	흑명나방 (%)	벼멸구 (마리/20주)	도복 (0~9)
무비구	0	0.4	1.4	0	0
표준구	1.3	6.3	4.3	2	0
질소전량					
액비 100%	1.1	7.5	7.8	0	0
액비 200%	2.3	18.7	10.9	5	2
액비 300%	3.4	26.9	12.7	14	5
액비 400%	4.8	45.7	18.7	17	9
질소기비					
액비 100%	0.4	5.4	5.1	0	0
액비 200%	0.9	11.7	5.5	4	0
액비 300%	2.7	32.9	7.7	23	2
액비 400%	2.5	40.5	5.7	15	3

표 4-16은 액비 시용량별 벼 수량 구성요소와 수량차이를 평가한 자료이다. 포기당 이삭수는 표준구와 비교할 때 액비 100% 시용구는 동일하나 액비 200% 이상 시용구는 더 증가되는 경향이였다. 반면에 등숙율과 천립중은 액비 시용량이 증가될수록 감소되어 주당수수와 수당입수의 증가를 수량으로 연결시키지 못하였다. 수량은 액비 100% 전량 시용구와 질소기비 100~200% 시용구는 표준구보다 1~2%의 수량 증가가 있었으나 나머지 처리구에서는 감소되었다.

표 4-16. 수량구성요소 및 수량

처 리	주당수수 (개)	수당입수 (개)	등숙율 (%)	천립중 (g)	정조수량 (kg 10a ⁻¹)	지수
무비구	13.0	86	95.8	29.1	448	63
화학비료	18.6	90	97.2	27.5	715	100
질소전량						
액비100%	18.6	89	96.7	27.0	728	102
액비200%	20.4	94	93.9	25.2	688	96
액비300%	21.0	94	87.4	24.8	660	91
액비400%	21.9	94	83.4	24.4	657	92
질소기비						
액비100%	18.4	90	97.0	26.2	722	101
액비200%	18.3	94	96.6	27.2	725	101
액비300%	19.4	92	94.3	24.5	690	97
액비400%	22.7	95	87.5	24.2	687	96

그림 4-1은 화학비료, 돈분뇨 및 우분뇨 액비 준 논토양에서 주기적으로 암모니아태 질소를 측정 한 결과이다. 10a당 질소 11kg 해당량을 요소와 액비를 시용하고 항온(25℃) 담수상태에서 1주일 간격으로 암모니아태 질소 함량을 조사한 결과 액비시용구에서 화학비료보다 약간 낮게 나타났으나 거의 비슷한 함량을 나타내었다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 돈분뇨 액

비의 질소 시비반응은 화학비료인 요소와 유사하다고 판단된다. 따라서 벼에 대한 돈분뇨 슬러리 액비의 시용량 결정은 액비중의 질소를 기준으로 질소기준 전량시용도 가능하며, 질소전량 시용시 시용량은 200% 이내에서 결정이 될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 액비 200% 시용구의 질소 투입량은 $22\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 에 해당하기 때문에 토양의 특성에 따라서는 질소과다에 의한 피해가 우려된다. 액비를 기비량 기준으로 200% 시용한 처리구도 전체 질소 투입량은 $16.5\text{kg } 10\text{a}^{-1}$ 에 해당하며, 특히 추비를 화학비료로 보충하는 번거로움 때문에 바람직하지 않을 것으로 판단된다.

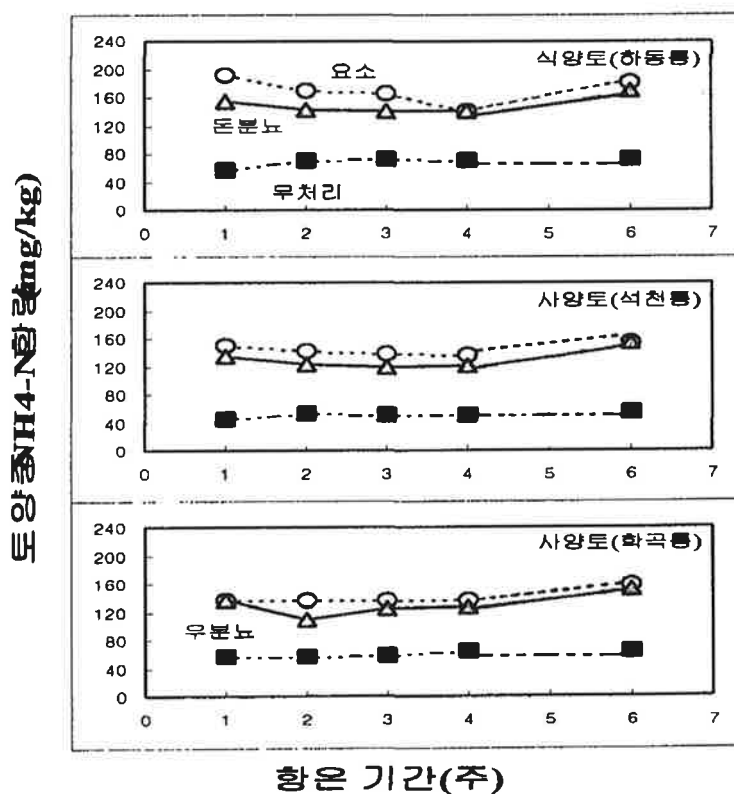


그림 4-1. 향온기간에 따른 토양중 암모니아태 질소함량 변화

벼에 대한 질소 과다시비의 영향은 벼 생육뿐만 아니라 주변환경, 즉 지하수 및 지표수의 수질오염으로 나타난다. 특히 지하수 중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 유아에 청색증을 유발하는 오염원으로서 우리 나라는 $10\text{mg } \ell^{-1}$ 를 음용수 수질기준으로 설정하고 있다. 본 연구에서도 표 4-17에서 보는 바와 같이 지하 침투수중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도를 조사하였다.

표 4-17. 침투수중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량($\text{mg } \ell^{-1}$)

처 리	토 심 (cm)	조 사 시 기				
		5. 25	6. 9	6. 22	7. 6	7. 20
표준구	90	6.88	5.64	2.26	0.57	-
질소전량						
액비 100%		7.57	5.03	1.18	0.02	-
액비 200%		14.04	11.58	8.04	3.07	-
액비 300%		29.13	27.75	24.17	17.83	17.86
액비 400%		30.16	16.45	2.70	0.84	-
질소기비						
액비 100%		1.93	5.21	-	-	0.39
액비 200%		1.13	4.13	0.98	1.25	1.19
액비 300%		6.22	3.60	0.97	1.43	0.70
액비 400%		18.15	12.12	11.69	7.27	0.01

표준구의 경우 이양초기에도 최대 $6.88\text{mg } \ell^{-1}$ 로서 기준치 이내이었다. 그러나 액비 사용량이 증가됨에 따라 지하 침투수중의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 최대 $30.16\text{mg } \ell^{-1}$ 로서 기준치의 3배를 초과하는 경우도 있으며, 액비 300% 전량 시비구의 경우는 7월 20일 까지도 $17.9\text{mg } \ell^{-1}$ 의 높은 농도를 나타내고 있다. 액비를 질소 시비기준 기비에 해당하는 양을 처리한 경우는 400% 시용구에서도 $18.2\text{mg } \ell^{-1}$ 로서 전량 액비를 처리하는 경우보다 낮았다. 또한 표 4-18에서와 같이 액비처리별 침투수 중 질산태질소 용탈량은 화학비료구와 액비 100% 시용구에서는 비슷한 반면 액비 100% 이상 시용구에서

는 많은 양의 질산태질소가 용탈됨을 알 수가 있다. 이상과 같이 작물의 생육과 벼수량을 고려할 때 벼의 질소 시비량 11 kg 10a⁻¹를 초과하는 액비 사용은 수량에는 영향을 주지 않으면서 주변 환경오염만을 초래하는 것으로 평가할 수 있다.

표 4-18. 액비처리별 침투수중 질산태질소 용탈량 (단위 : kg 10a⁻¹)

처 리	무비구	화학비료	액비사용량(질소 시비량 대비)			
			100%	200%	300%	400%
질소시비량	0	11	11	22	33	44
용 탈 량	1.4	2.6	2.8	5.0	12.8	12.8

* 용탈량 : 벼 이앙후 2주~4주까지 조사한 누적량임.

* 침투수 채취 깊이 : 30, 60, 90cm

2) 사용량 결정을 위한 농가현장 연구

표 4-19. 돈분뇨(액비) 사용시기 및 사용량별 벼 생육상황

처 리	유수형성기(7. 21)		
	초장(cm)	경수(개)	엽색*
무비구	56.8	17.3	31.4
표준구	66.8	19.0	36.0
수확후사용(1월)			
액비100%	66.0	22.4	35.1
액비150%	67.2	22.3	33.1
액비200%	70.9	27.0	35.4
4월 사용			
액비100%	86.1	26.4	38.3
액비150%	82.3	29.8	36.8
액비200%	87.7	31.1	40.9
5월 사용			
액비100%	76.2	24.6	35.8
액비150%	76.8	28.8	35.6
액비200%	85.2	29.0	40.0

* SPAD 502(Minolta) 측정

벼의 초장, 경수, 엽색의 액비 시용량별 반응은 표 4-19와 같이 이미 앞에서 고찰한 결과와 같다. 또한 액비 시용시기가 이앙기에 가까울수록 초장, 경수 및 엽색은 더 높거나 진하였다. 또한 병해충과 도복정도도 앞의 시험결과와 유사한 경향이였다. 더욱이 액비 시용량이 증가할수록 문고병 발생비율이 높았으며, 이앙 직전 살포시에는 동일한 처리수준에서도 병해충 발생정도와 도복율이 동시에 높아지는 경향이였다(표 4-20).

벼 수량은 가을 시용구의 경우 액비 200% 시용구는 표준구와 동일하였으나, 액비 100% 시용구는 표준구보다 13% 낮았다. 4월에 액비를 시용한 처리구는 100% 시용구나 200% 시용구간의 수량차이가 없었으며, 5월 시용구는 액비 200% 시용구에서 약간 수량이 감소되었다(표 4-21). 이와 같은 수량차이는 수량구성요소에서 알 수 있는 바와 같이 수확 직후 액비살포구는 포기당 이삭수가 확보되지 못하였고, 이앙 직전에 다량 살포구는 이삭당 벼알수는 확보되나 등숙율이 상대적으로 낮은데 원인이었다.

액비 살포량이 많은 경우 이삭도열병, 문고병 및 흑명나방의 피해와 수확기 도복에 의한 등숙율 저하가 수량감소로 나타난 것으로 판단된다. 액비 살포후 이앙시점까지의 기간이 긴 경우 액비 중의 질소 손실을 간접적으로 확인할 수 있었다. 그러나 4월과 5월 액비 시용구의 경우는 앞의 시험결과와 같이 액비 중의 질소 함량을 고려하여 표준구 질소시비량($11 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$)의 100%를 액비로 사용하는 것이 벼에 대한 안전 시용기준이라고 할 수 있다.

표 4-20. 병해충 발생 및 도복

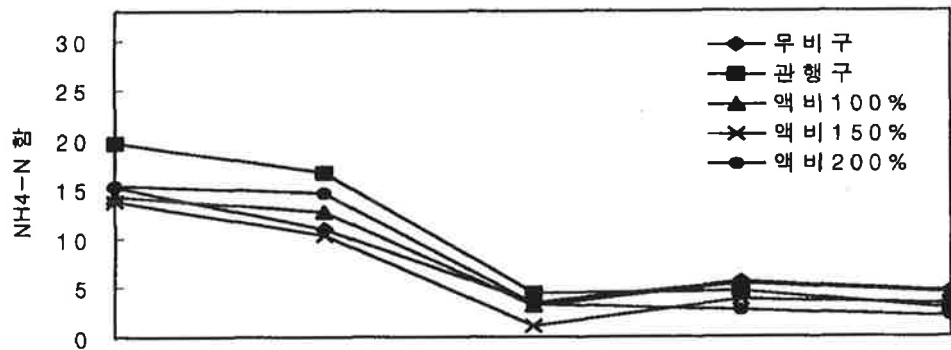
처 리	이삭도열병 (%)	문고병 (%)	흑명나방 (%)	벼멸구 (마리/20주)	도복 (0~9)
무비구	0	1.6	2.4	0	0
표준구	1.6	22.3	5.8	5	0
수확후 시용					
액비 100%	0.3	16.5	5.5	0	0
액비 150%	0.6	20.7	5.7	7	0
액비 200%	1.7	26.9	5.7	8	0
4월 시용					
액비 100%	1.5	35.4	7.8	4	2
액비 150%	2.4	33.7	10.9	14	0
액비 200%	3.8	42.9	12.7	23	6
5월 시용					
액비 100%	0.5	30.3	5.9	5	0
액비 150%	1.8	37.6	11.5	12	1
액비 200%	2.9	43.5	12.4	25	5

표 4-21. 벼 수량 구성요소 및 수량

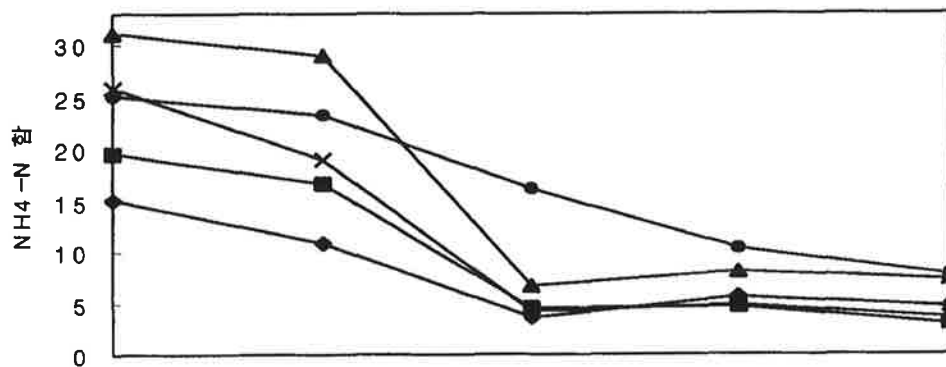
처 리	주당수수 (개)	수당입수 (립)	등숙율 (%)	천립중 (g)	정조수량 (kg/10a)	지수
표준구	19.0	95	93.5	29.7	671	100
수확후 시용						
액비 100%	14.2	91	95.6	30.8	583	87
액비 150%	17.2	94	96.0	29.4	666	99
액비 200%	20.0	96	93.9	29.3	671	100
4월 시용						
액비 100%	18.8	95	89.2	27.9	665	99
액비 150%	21.6	91	88.8	28.9	705	105
액비 200%	19.6	115	85.7	27.9	651	97
5월 시용						
액비 100%	18.3	90	95.2	30.1	661	98
액비 150%	20.1	104	93.3	29.0	683	102
액비 200%	20.3	115	86.2	28.0	640	95

그림 4-2는 액비 처리량 및 시기별 토양 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량 변동을 측정된 결과이다. 수확 직후 액비 시용구는 4월 또는 5월 액비 시용구에 비하여 토양 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량은 낮았다. 또한 이는 표 4-19의 생육상황과 일치되는 결과를 보이고 있다. 실제 논토양에서 질소는 토양환원의 영향으로 $\text{NH}_4\text{-N}$ 형태로 존재한다. 반면에 밭에서는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 으로 존재하는 점을 고려할 때 논에서 토양 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 벼의 생육은 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다. 시험 중 병해충 발생과 수확기 도복이 심했던 이양전 액비 200% 시용구는 다른 처리보다 후기까지 토양 중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량이 높았으며, 이때 벼의 생육은 좋았으나,

<수확후 시용>



<4월시용>



<5월 시용>

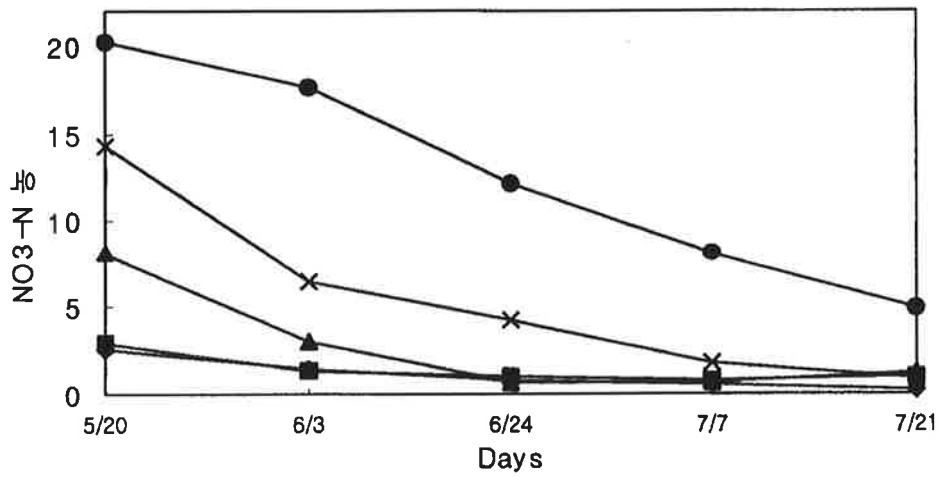
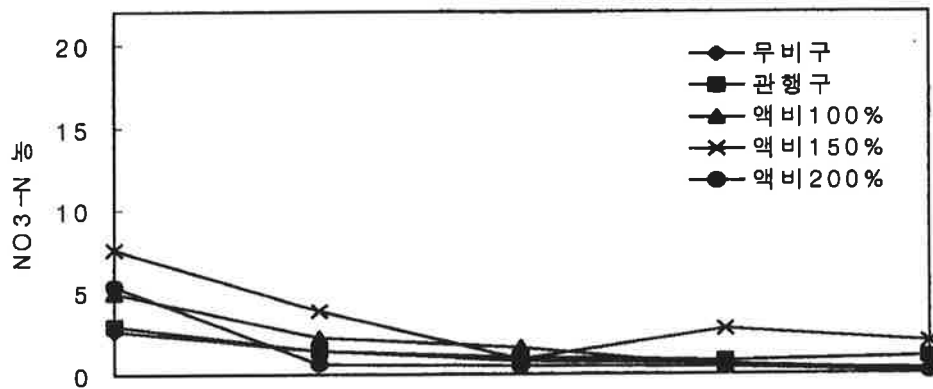


그림 4-2. 액비 시용시기에 따른 토양중 $\text{NH}_4\text{-N}$ 함량(mg kg^{-1}) 변화

<수확후 시용>

<4월 시용>



<5월시용>

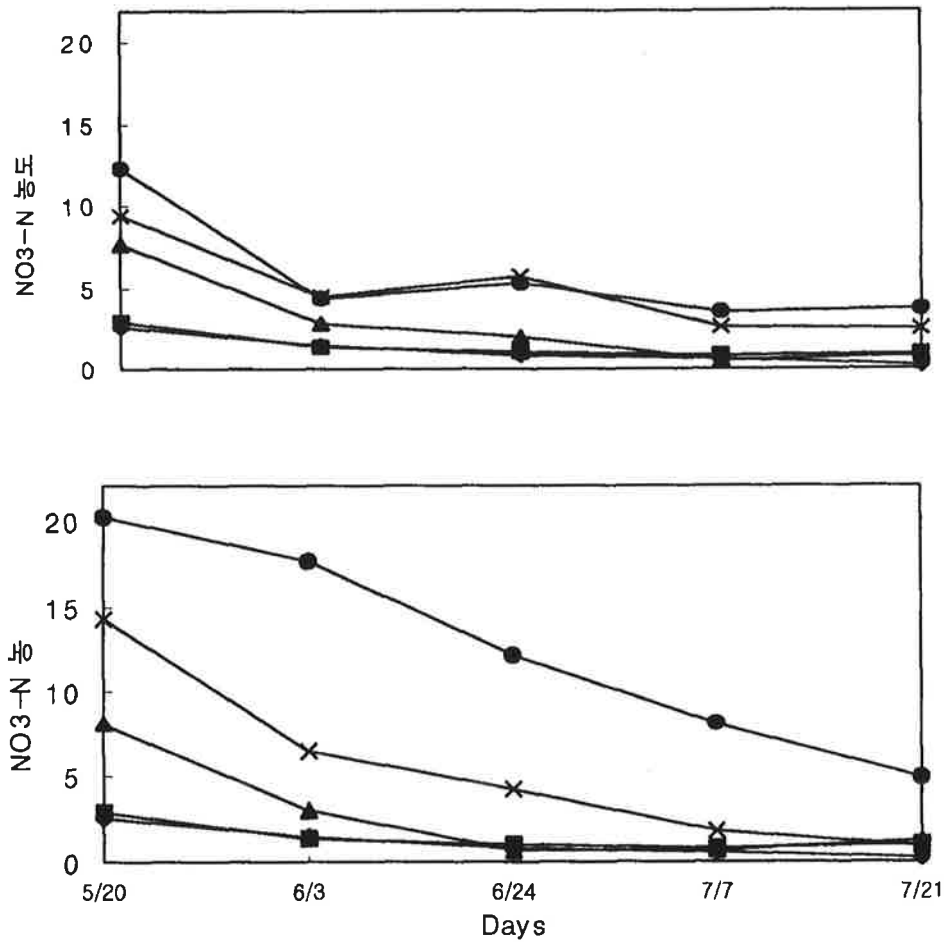


그림 4-3. 액비 시용시기에 따른 토양 침투수중 NO₃-N 농도(mg l⁻¹) 변화

수량은 오히려 감소되는 결과를 초래하였다. 논토양의 작토층은 대부분이 환원상태이기 때문에 NH₄-N 형태로 존재하나 일부는 NO₃-N으로도 존재하며, NH₄-N이 작토층에서 용탈되는 경우 작토층 밑의 환원상태가 발달된 심토층에서 NO₃-N으로 산화된다. NO₃-N은 음이온이므로 토양입자에 흡착되지 못하고 지하 침투수를 따라 용탈이 된다.

그림 4-3은 토양 침투수 중의 NO₃-N 함량 변화를 조사한 자료이다. 액

비 사용량이 많을수록, 그리고 액비·사용시기가 벼 이앙기와 가까울수록 지하 침투수 중의 NO₃-N 함량은 높았다. 5월 액비 사용구의 경우 액비 사용량이 증가함에 따라 지하 침투수 중의 NO₃-N 함량도 비례하여 상승하였다. 특히 액비 200% 수준은 이앙직전 사용한 경우 7월 중순까지도 음용수 수질기준 10mg ℓ⁻¹ 이상에 달하고 있다.

농업과학기술원 시험포장의 연구결과와 농가 현장연구 결과를 종합해 볼 때 벼에 대한 액비의 적정 수준은 수확 직후 액비를 살포하는 경우는 벼 질소시비량의 150%, 4월과 5월 이앙 전에 사용하는 경우는 100% 내외가 적정 수준이라고 판단된다(표 4-22). 이 기준치 이상의 액비 사용은 병해충 발생과 도복으로 수량감소와 주변환경 오염을 유발할 수 있기 때문에 바람직하지 않다고 판단된다. 또한 액비 중의 질소 조성이 속효성과 완효성이 조합된 형태이기 때문에 화학비료와 같이 분시하지 않고 전량 기비로 사용이 가능한 장점이 있다.

표 4-22. 돈분뇨(액비) 사용시기별 도복 및 벼 수량

구 분	무비 재배	화학비료 재배	시기별 액비 사용량(질소 시비량 대비)								
			벼 수확후 월동전			4월(월동후)			5월(이앙전)		
			100%	150%	200%	100%	150%	200%	100%	150%	200%
액 비 사용량 (ton 10a ⁻¹)	0	0	2.2	3.3	4.4	2.2	3.3	4.4	2.2	3.3	4.4
수 량 (kg 10a ⁻¹)	594	728	655	685	665	729	724	706	708	699	692
지 수	82	100	90	94	91	100	99	97	97	96	95
도 복 (0~9)	0	0	0	0	0	0	0	6	0	1	5

- 수량은 정조수량임('97~'99 3년 평균)

나. 보리에 대한 돈분뇨(액비) 시용기준 설정

월동작물인 보리는 벼와는 달리 액비 100%+ 화학비료 추비구와 액비 200% 시용수준에서 표준구보다 수량이 높았다(표 4-24). 액비 100% 시용구는 12%, 150% 시용구는 4% 정도 감소되었다. 이와 같은 결과는 호기적 상태인 밭에서는 유기물 분해가 촉진되고 무기화된 질소는 초기 생육기나 월동 중에 손실이 많았기 때문으로 판단된다. 보리의 경우 액비 살포시기가 10월이며, 보리 영양생장기는 4~5월로서 액비살포 후 보리가 질소를 이용하기 전에 질소 손실을 초래한 결과로 판단된다. 벼의 경우도 수확후 액비살포구는 동일한 액비 시용수준에서도 이양전 액비살포구와 수량차이를 보이고 있는 점으로 보아 액비 살포시점과 작물 재배시기의 차이가 액비 시비반응에 더 영향을 주는 것으로 나타났다. 보리의 수량구성요소 중 직접적으로 수량에 영향을 준 요소는 m^2 당 수수이었다(표 4-23). 지하 침투수 중의 NO_3-N 함량도 논상태보다 더 낮았다. 그러나 표 4-25의 NO_3-N 함량은 벼의 경우 수확후 액비 살포구의 NO_3-N 함량과 비교할 때 절대량은 적은 수준이 아니라고 판단된다. 더구나 벼의 경우 수확후 액비살포구는 $10mg\ l^{-1}$ 이상은 초과하지 않는데 반하여 보리 재배구에서는 액비 150% 이상 살포로서 기준치 $10mg\ l^{-1}$ 를 초과하고 있다. 따라서 논상태보다는 밭토양에서 NO_3-N 용탈이 더 많다고 판단된다. 4월 23일과 5월 12일 조사결과는 전 처리구에서 $6mg\ l^{-1}$ 이하로 안정이 되었으나 겨울철에 지하로 침투되는 NO_3-N 을 고려할 때 보리의 경우도 액비 살포량은 질소 시비기준 100%로 고정시키고 작황에 따라 화학비료를 추비하는 것이 보리 수량과 환경을 고려할 때 안정된 수준이라고 판단된다.

표 4-23. 연차별 수확기 보리 생육특성

구 분	간장(cm)			m ² 당 수수			수당립수(개/주)			천립중(g)		
	'98	'99	'00	'98	'99	'00	'98	'99	'00	'98	'99	'00
무 비	73.5	58	55.0	91	273	142	46.1	34.9	43.3	29.9	28.1	36.0
화학비료	84.9	74	59.3	339	327	275	45.1	53.2	49.0	27.2	30.0	35.0
액비 100%	82.8	71	59.8	262	311	192	44.8	46.8	48.3	27.8	28.9	36.6
액비 100%+ 추비	-	76	62.2	-	344	308	-	53.5	51.0	-	28.9	35.7
액비 150%	89.7	74	60.1	265	348	236	43.9	49.9	50.0	28.5	29.5	34.5
액비 200%	88.2	82	63.9	345	333	228	41.5	52.7	51.7	27.6	31.6	36.2

표 4-24. 액비사용에 따른 연차별 수량 변화

구 분	수 량 (kg 10a ⁻¹)				평균 지수
	'98	'99	'00	평균	
무 비	170	174	115	153	50
화 학 비 료	351	345	224	307	100
액 비 100%	312	273	229	271	88
액 비 100% + 추비	-	410	270	340	111
액 비 150%	325	337	225	296	96
액 비 200%	352	407	274	344	112

표 4-25. 연차간 토양용액중의 NO₃-N의 함량변이 (mg l⁻¹)

구 분	월/일 (토심 cm)	'98				'99					'00
		4 2 (40)	4 13 (39.5)	4 23 (35)	5 12 (51.5)	3 15 (38.0)	3 25 (21.0)	4 10 (41.5)	5 4 (84.5)	5 25 (29.0)	6 10 (관수)
무 비	30	2.80	0.93	2.30	1.90	1.58	2.52	3.83	1.93	2.17	1.56
	60	2.20	0.17	0.94	0.02	1.03	1.81	4.29	2.04	0.77	0.96
화 학 비 료	30	3.24	1.38	0.65	0.06	6.31	3.70	1.42	1.53	1.07	3.54
	60	7.4	6.70	1.06	0.12	5.15	3.04	1.54	1.48	1.13	4.40
액 비 100%	30	1.10	0.82	0.33	0.43	3.26	2.65	1.01	2.48	2.77	1.60
	60	7.63	1.52	0.75	0.12	3.88	3.11	1.63	1.72	0.93	4.68
액 비 100%+ 추비	30	-	-	-	-	6.50	3.17	1.68	2.06	0.50	2.44
	60	-	-	-	-	4.45	3.49	1.63	6.61	1.68	5.50
액 비 150%	30	2.05	1.23	0.57	0.50	4.55	2.88	1.49	2.32	1.04	2.52
	60	10.3	2.82	1.09	0.90	5.36	4.38	1.66	2.66	2.81	5.79
액 비 200%	30	5.10	5.24	0.36	0.41	6.29	4.75	1.56	3.86	0.63	3.37
	60	16.3	10.98	5.25	0.91	6.38	4.72	2.33	3.34	5.54	6.76

* ()는 강수량 임

시험후 토양화학성은 대조구에 비해 유효 P_2O_5 및 치환성 K, Ca 는 약간 높아지는 경향이었고, Mg와 유기물은 차이가 없었다(표 4-26).

표 4-26. 시험후 토양의 화학성

구 분	pH (1:5)	OM ($g\ kg^{-1}$)	Av. P_2O_5 ($mg\ kg^{-1}$)	Ex Cations ($cmol^+ kg^{-1}$)			
				K	Ca	Mg	Na
무 비	5.54	29.8	143	0.64	6.68	1.55	0.28
화 학 비 료	5.07	31.4	215	0.74	4.50	1.35	0.24
액 비 100%	5.46	33.1	229	0.70	5.80	1.65	0.30
액비 100% + 추비	5.39	33.8	229	0.64	5.24	1.44	0.28
액 비 150%	5.39	32.2	233	0.86	6.11	1.83	0.32
액 비 200%	5.25	35.2	253	0.76	5.86	1.81	0.36

다. 호밀에 대한 돈분뇨(액비) 시용기준 설정

호밀에 대한 돈분뇨 액비효과를 검토하였으나, 월동후 생육이 왕성할 시기에 봄 가뭄으로 인하여 전체적으로 수량이 저조하였다. 표 4-27에서 보는 바와 같이 화학비료구에 비하여 액비 100%구와 150%구는 47%, 액비 200%구는 35%의 수량감소가 있었으나, 액비시용구에 화학비료를 월동후 영양생장기에 추비해 줌으로서 화학비료구와 수량이 비슷한 경향이였다. 이는 보리와 마찬가지로 액비살포 후 호밀이 질소를 이용하기 전에 질소 손실을 초래한 결과로 판단된다. 호밀의 경우도 액비 살포량은 질소 시비 기준 100%로 고정시키고 화학비료를 추비하는 것이 호밀 수량과 환경을 고려할 때 안정된 수준이라고 판단된다.

표 4-27. 호밀 수량

처 리	무비구	화학비료	액비100%	액비100% + 추비	액비150%	액비150% + 추비	액비200%	액비200% + 추비
건물수량 (kg 10a ⁻¹)	159	463	218	459	219	461	301	458
지 수	34	100	47	99	47	100	65	99

시험후 토양의 화학성은 시험전 토양과 비슷한 경향이였다(표 4-28).

표 4-28. 시험후 토양의 화학성

구 분	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av.P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex. Cations (cmol ⁺ kg ⁻¹)			
				K	Ca	Mg	Na
무 비	7.6	12	358	0.26	5.1	1.3	0.10
화 학 비 료	7.5	11	367	0.28	5.4	1.3	0.09
액 비 100%	7.8	10	331	0.21	6.0	1.1	0.07
액 비 100%+추비	7.4	11	366	0.25	5.4	1.2	0.09
액 비 150%	7.9	11	350	0.24	6.2	1.6	0.08
액 비 150%+추비	7.6	13	366	0.23	5.8	1.2	0.07
액 비 200%	7.8	13	364	0.22	5.7	1.5	0.10
액 비 200%+추비	7.5	12	383	0.26	5.4	1.4	0.08

라. 옥수수에 대한 돈분뇨(액비) 시용기준 설정

옥수수에 돈분뇨 액비를 100%, 200%, 300% 시용하고, 생육상황을 조사한 결과는 표 4-29와 같다. 옥수수의 초장, 엽수, 생체중은 액비시용량 증가에 따라 증가하는 경향이였으며, 액비 100% 시용구는 생육이 화학비료구 보다 떨어졌으며, 액비 200%구는 비슷한 경향이였고, 액비 300% 시용구의 경우 엽수의 증가는 없었으나, 생체중은 크게 증가되었다.

표 4-29. 액비처리별 옥수수 생육 상황

처리내용	초장(cm)	엽수(개/주)	생체중(g/주)
무비구	131.2	11.0	353.7
표준시비구	212.8	14.4	755.0
액 비 100%	189.0	13.6	530.4
액 비 200%	216.4	14.6	806.1
액 비 300%	225.8	14.2	978.3

※ 조사일 : 6월 28일(파종후 60일)

또한 옥수수 수확기 생육 및 수량은 표 4-30에서 보는 바와 같이 초장, 간엽생체중, 이삭생체중, 총생체중 공히 액비사용량 증가에 따라 증가하는 경향을 보였으며, 파종 후 60일째와 마찬가지로 액비 200% 시용구의 생육 상황이 화학비료구와 유사하였다. 옥수수 수량에 직접 영향을 미치는 이삭생체중을 보면 화학비료구에 비해 액비 100% 시용구는 29% 감소되었다. 액비 200% 및 300% 시용구는 각각 5~16%의 수량증가가 있었다. 그러나 액비사용 적량은 금후 환경에 미치는 영향을 검토하여 설정되어야 할 것으로 생각된다.

표 4-30. 옥수수 수확기 식물체중 생육 및 수량

처리내용	초장(cm)	간엽생체중(kg 10a ⁻¹)	이삭생체중(kg 10a ⁻¹)	총생체중(kg 10a ⁻¹)
무비구	191	1,163	408	1,571
표준시비구	323	5,228	1,475	6,703
액 비 100%	283	3,800	1,051	4,851
액 비 200%	320	5,474	1,543	7,017
액 비 300%	337	6,834	1,708	8,542

※ 조사일 : 8월 7일(파종후 100일)

한편 시험후 토양의 화학성은 표 4-31에서 보는 바와 같이 액비시용구

에서 유기물, 유효인산함량이 약간씩 증가하였으며, 그밖의 성분변화는 없는 것으로 나타났다.

표 4-31. 시험후 토양의 화학성

처리 내용	pH (1:5)	OM (g kg ⁻¹)	Av. P ₂ O ₅ (mg kg ⁻¹)	Ex.cation(cmol ⁺ kg ⁻¹)			Clay (%)
				K	Ca	Mg	
무비구	4.58	18	95	0.35	2.58	0.9	15.3
표준시비구	4.80	21	127	0.36	2.68	0.9	15.3
액 비 100%	4.83	21	123	0.32	2.49	0.8	15.3
액 비 200%	5.22	23	133	0.37	2.79	1.0	15.3
액 비 300%	5.25	23	130	0.36	2.75	1.1	15.3

3. 가축분뇨(액비) 농가 사용실태 및 문제점

표 4-32와 표 4-33은 1999년도에 전국을 대상으로 농촌진흥청 원예축산과와 각 시군농업기술센터의 도움을 받아 가축분뇨(액비) 농가사용 실태를 조사한 결과이다. 현재 많은 농가에서 가축분뇨(액비)를 사용하고 있는 것으로 추정되나 조사된 결과는 63개시군 452농가만 조사되었다. 벼 등 37개 작물에서 액비를 사용하고 있었으나 작물별로 0.7~37.5ton 10a⁻¹까지 무분별하게 사용하고 있는 것으로 나타났다. 표 4-33에서와 같이 액비중의 질소 투입량이 현행 질소시비 기준량보다 8.6배(호박) 많은 작물이 있고, 대부분 작물에서 많은 양의 액비를 사용하고 있어 작물피해 및 환경오염이 우려된다. 이와 같은 결과는 그동안 가축분뇨처리 기술들이 보급되어 있으나 실효성이 적어 농경지를 가축분뇨 처리수단으로 활용하고 있기 때문으로 생각된다.

가축분뇨에는 많은 양의 비료성분을 함유하고 있어 과다 사용시에는 작물

피해는 물론, 토양이나 지하수를 오염시킬 수 있기 때문에 농경지에 사용시에는 작물별로 적정 사용량을 준수하여 사용하여야 될 것이다.

표 4-32. 가축분뇨(액비) 농가사용 현황('99. 6 전국조사)

시 군	사용농가수	작물종류	사용면적	시 용 량	비 고
63	452	벼 등 37	4,449ha	0.7~37.5 ton 10a ⁻¹	과다 사용으로 작물피해 발생

4. 액비사용량 결정

가. 화학분석치를 이용한 사용량 결정

작물별로 가축분뇨 액비 사용량 결정시 고려할 점은 토양의 비옥도와 액비중의 비료성분 함량에 대한 분석결과이다. 토양의 특성을 고려하여 액비 사용량은 차별화될 수 있다. 이를 위해서는 토양과 액비에 대한 사용전 분석이 필요하다. 따라서 가축분뇨 액비가 실용화되기 위해서는 토양과 액비를 검정할 수 있는 시군 농업기술센터의 참여가 반드시 필요하다.

액비 사용량은 가축분뇨(액비) 중의 비료성분을 분석하여 결정하되 분석이 곤란할 경우 표 4-34에 있는 가축분뇨 액비 종류별 평균 성분함량을 이용하여 계산하면 된다.

가축분뇨(액비)는 질소성분이 높고, 질소무기화율이 화학비료와 비슷하기 때문에 액비 중 질소성분을 기준으로 사용량을 결정한다. 인산 기준으로 액비 사용량을 결정할 경우 액비 사용량에 따른 질소비료 과다 투입으로 작물의 병해충 발생 및 도복, 등숙률 저하가 우려되며, 질산염 등이 지하수로 침투되어 환경을 오염시킬 수 있으므로 사용시에는 액비 중 비료성분함량을 매년 분석하여 사용량을 산출하고 적정량을 반드시 준수하여야 한다.

표 4-33.작물별 가축분뇨(액비) 사용량 및 액비중 질소함량

작 물	농가 액비사용 실태		작물별 질소시비량 (kg 10a ⁻¹)		액 비 추천량 (ton 10a ⁻¹)
	액비사용량 (ton 10a ⁻¹)	액비중질소 비료량(kg)	질소전량	액비추천시 질소시비량	
벼	0.7~10.0	3.2~46.0	11.0	11.0	2.4
	6.0~12.0	27.6~55.2	7.8	7.8	1.7
콩	1.0~18.0	4.6~82.8	3.0	3.0	0.7
옥수수	0.7~25.0	3.2~115.0	17.4	17.4	3.8
수수	3.0	13.8	-	-	-
고추*	1.0~10.0	4.6~46.0	19.0	10.3	2.2
오이*	9.4	43.2	24.0	11.2	2.4
수박*	1.0~2.0	4.6~9.2	20.0	8.0	1.7
호박*	37.5	172.5	20.0	10.0	2.2
가지*	14.0	64.4	30.0	13.0	2.8
생강	10.0	46.0	24.0	24.0	5.2
무*	5.0	23.0	28.0	10.0	2.2
감자	3.0~20.0	13.8~92.0	10.0	10.0	2.2
양파*	6.0~14.0	27.6~64.4	24.0	8.0	1.7
마늘*	6.0~12.0	27.6~55.2	25.0	9.0	2.0
마	1.5	6.2	-	-	-
배추*	9.4~20.0	43.2~92.0	32.0	11.0	2.4
파*	10.0	46.0	25.0	10.0	2.2
기타경엽채	2.5~13.0	11.5~59.8	-	-	-
사과(20년생)*	0.8~3.0	3.7~13.8	20.0	12.0	2.6
배(20년생)*	1.5~10.0	6.9~46.0	20.0	14.0	3.0
복숭아(11년생)*	1.5~18.0	6.9~82.8	13.0	9.1	2.0
포도(11년생)*	1.0	4.6	12.0	7.8	1.7
단감(성목)*	2.0~4.0	9.2~18.4	25.0	13.0	2.8
밤나무(11년생)*	2.5~12.0	11.5~55.2	26.5	16.0	3.5
대추	5.0~10.0	23.0~46.0	-	-	-
호맥	6.0~10.0	24.6~41.0	20.0	20.0	4.3
수단그라스	5.0~25.0	27.5~115.0	-	-	-
목초	1.0~30.0	4.6~138.0	28.0	28.0	6.1
담배	2.0~13.0	9.2~59.8	-	-	-
약초	5.0	23.0	-	-	-

※ 표시작물은 질소시비량의 기비량만 액비로 사용

- 질소비료량 및 액비추천량의 계산은 액비중 질소함량 평균치(0.46%)
사용

작물별로 기준시비량을 적용할 때와 토양검정 후 시비량을 적용할 때를 잘 구분하여 다음 계산식을 이용하여 가축분 시용량을 결정하고, 작물별 기준시비량 및 가축분뇨(액비) 종류별 3요소 평균 성분함량을 이용하여 시용량을 결정할 때는 가축분뇨(액비)의 질소기준 시용량 조건표를 참조하면 된다(표 4-35).

<액비 시용량 및 액비 중 비료량 계산>

<p>○ 액비 시용량 및 액비 중 비료량 계산</p> <p>- 액비시용량($l/10a$) =</p> <p>[질소시비량($kg/10a$) ÷ 액비 중 T-N함량(%)] × 100</p> <p>[토양검정 질소시비량($kg/10a$) ÷ 액비 중 T-N함량(%)] × 100</p> <p>- 액비 중 비료량($kg/10a$) =</p> <p>[액비 시용량 × 액비 중 성분량(%)] ÷ 100</p>
--

<표 4-34> 가축분뇨 액비 종류별 비료성분 함유량 (단위 : %)

축종	액비	질소	인산	칼리	자료출처
소	액상구비	0.31	0.07	0.49	'99 축산연
	노	1.00	0.01	1.50	'92 농업기술대계(일본)
	처리수	0.10	0.08	0.09	'86 농기연
돼지	액상구비	0.46	0.26	0.35	'99 농과원
	노	0.50	0.05	1.00	'92 농업기술대계(일본)
	처리수	0.11	0.15	0.19	'86 농기연

* 노 중에는 특히 인산함량이 적음

표 4-35. 작물별 가축분뇨(액비) 시용량 조건표 (단위 : ton 10a⁻¹)

작 물	N 시비 기준(kg)	소			돼 지		
		액상구비	뇨	정화처리수	액상구비	뇨	정화처리수
1. 벼1모작	11.0	3.5	1.1	11.0	2.4	2.2	10.0
2. 벼다수계	15.0	4.8	1.5	15.0	3.3	3.0	13.6
3. 쌀보리	9.1	2.9	0.9	9.1	2.0	1.8	8.3
*4. 맥주맥	7.8	2.5	0.5	7.8	1.7	1.6	7.1
5. 콩	3.0	1.0	0.3	3.0	0.7	0.6	2.7
6. 참깨	2.9	0.9	0.3	2.9	0.6	0.6	2.6
7. 땅콩	3.0	1.0	0.3	3.0	0.7	0.6	2.7
8. 고구마	5.5	1.8	0.6	5.5	1.2	1.1	5.0
*9. 식용 단옥수수	14.5	4.7	1.5	14.5	3.2	2.9	13.2
10. 보통 옥수수	17.4	5.6	1.7	17.4	3.8	3.5	15.8
11. 목초	28.0	9.0	2.8	28.0	6.1	5.6	25.5
*12. 고추	10.3	3.3	1.0	10.3	2.2	2.1	9.4
*13. 토마토	13.6	4.4	1.4	13.6	3.0	2.7	12.4
*14. 오이	11.2	3.6	1.1	11.2	2.4	2.2	10.2
*15. 딸기	7.0	2.3	0.7	7.0	1.5	1.4	6.4
*16. 참외	13.0	4.2	1.3	13.0	2.8	2.6	11.8
*17. 수박	8.0	2.6	0.8	8.0	1.7	1.6	7.3
*18. 가지	13.0	4.2	1.3	13.0	2.8	2.6	11.8
*19. 호박	10.0	3.2	1.0	10.0	2.2	2.0	9.1
20. 감자	15.0	4.8	1.5	15.0	3.3	3.0	13.6
*21. 마늘	9.0	2.9	0.9	9.0	2.0	1.8	8.2
*22. 당근	6.0	1.9	0.6	6.0	1.3	1.2	5.5
*23. 무	10.0	3.2	1.0	10.0	2.2	2.0	9.1
*24. 양파	8.0	2.6	0.8	8.0	1.7	1.6	7.3
25. 생강	24.0	7.7	2.4	24.0	5.2	4.8	21.8
*26. 복숭아 (11년생)	9.1	2.9	0.9	9.1	2.0	1.8	8.3
*27. 단감 (성목)	13.0	4.2	1.3	13.0	2.8	2.6	11.8
*28. 감귤 (20년생)	12.5	4.0	1.3	12.5	2.7	2.5	11.4
*29. 사과 (20년생)	9.0	2.9	0.9	9.0	2.0	1.8	8.2
*30. 배 (20년생)	14.0	4.5	1.4	14.0	3.0	2.8	12.7
*31. 포도 (11년생)	7.8	2.5	0.8	7.8	1.7	1.6	7.1
*32. 뽕나무	12.0	3.9	1.2	12.0	2.6	2.4	10.9

- 10a당 작토 10cm내의 토양 기상 25m'를 감안하여 액비의 최대살포량은 25톤을 상한으로 하였음.
- *표시 작물은 밑거름만을 적용하였고 그외의 것은 전체 시비 기준량임.
- 본 조건표는 가축분뇨(액비)의 비료화에 따른 규격이 연구 제정되어 시행되기 전까지 과다 시용에 의한 농작물의 피해나 환경오염을 방지하기 위한 잠정적인 사용농가의 지도기준으로만 적용.

제 5 장 적 요

가축분뇨 퇴비 및 액비의 작물별 사용기준 설정에 관한 시험결과는 다음과 같다.

1. 가축분 및 가축분퇴비의 작물별 사용량은 질소기준에서 인산기준으로 설정하였으며, 벼 등 57개 작물을 118개로 구분하여 설정하였음.
2. 가축분퇴비 사용량 계산식은 다음과 같다.
작물별 인산시비량 ÷ 퇴비중 인산함량(%) × 100 = 퇴비 사용량(kg 10a⁻¹)
3. 인산기준 퇴비 사용시 부족한 질소 및 칼리는 화학비료로 보충하도록 하였다.
4. 벼에 대한 돈분뇨 액비 사용시기별 수량은 화학비료구(728kg 10a⁻¹)에 비해 월동전 액비사용은 액비 150% 사용구에서 94, 4월사용은 100% 사용구에서 100, 5월 사용은 100% 사용구에서 97%로 돈분뇨 액비 사용적량은 수확후 월동전 사용은 질소시비량(N 11kg 10a⁻¹)의 150%, 이앙전 사용은 100%이었다.
5. 액비사용량이 많을수록 병해충 및 도복이 심하였으며, 토양침투수중 NO₃-N 함량도 액비사용량이 많을수록, 액비 사용시기가 벼 이앙기와 가까울수록 높았으며, 이앙직전 사용한 액비 200%구는 7월 중순까지도 음용수 수질기준 10mg l⁻¹ 이상이었다.
6. 화학비료 및 돈분뇨와 우분뇨 액비를 논토양에 질소 11kg 10a⁻¹ 해당량을 공시하여 항온(25℃)하면서 주기적으로 NH₄-N 함량을 조사한 결과 액비사용구에서 약간 낮게 나타났으나, 화학비료구와 거의 비슷한 함량을 나타내었다.
7. 액비처리별 침투수중 질산태질소 용탈량은 화학비료구 2.6kg 10a⁻¹ 이었으며, 액비 100% 2.8, 액비 200% 5.0, 액비 300%와 400% 사용구는

12.8 로 화학비료구와 액비 100% 시용구가 비슷한 경향이였다.

8. 보리에 대한 돈분뇨 액비시용시 수량은 화학비료구($307\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)에 비해 액비 100% 시용구와 액비 150% 시용구는 각각 12, 4% 감소되었으며, 액비 100% + 화학비료 추비구와 액비 200% 시용구는 11~12% 증수되었다.
9. 보리 재배시 침투수중 $\text{NO}_3\text{-N}$ 함량은 대체적으로 낮았으나, 1년차 ('98) 시험에서는 액비 150% 및 200% 시용구에서 4월 초에 $10\text{mg } \ell^{-1}$ 를 초과하였다.
10. 시험후 토양화학성은 대조구에 비해 유효 P_2O_5 및 치환성 K, Ca는 약간 높아지는 경향이였고, Mg와 유기물은 차이가 없었다
11. 호밀에 대한 액비시용시 호밀 수량은 화학비료구($463\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)에 비해 액비 100% 및 150%시용구에 화학비료 추비구가 각각 99, 100%로서 비슷한 경향이였다.
12. 옥수수에 대한 돈분뇨 액비시용시 옥수수 이삭 생체중수량은 화학비료구($1,475\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)에 비해 액비 100% 시용구는 29% 감소되었으나, 액비 200% 및 300% 시용구는 각각 5~16%의 증수되었다.
13. 시험후 토양의 화학성은 액비시용구에서 유기물 및 유효인산 함량이 증가되었다.
14. 가축분뇨(액비)의 농가사용실태를 63개 시군 452농가를 대상으로 조사한 결과 벼 등 37개 작물에서 액비를 사용하고 있었으며, 작물별로 $0.7\sim 37.5 \text{ ton } 10\text{a}^{-1}$ 까지 무분별하게 사용하고 있었다.
15. 가축분뇨(액비)의 작물별 시용량은 액비중 질소성분을 기준으로 벼 등 32개 작물을 대상으로 설정하였다.
16. 가축분뇨(액비)의 작물별 시용량 계산식은 다음과 같다.
작물별 질소시비량 ÷ 액비중 질소함량(%) × 100 = 액비 시용량($\text{kg } 10\text{a}^{-1}$)

인 용 문 헌

1. 권순익, 정광용, 박우균. 1994. 유기성 폐기물의 비료성분 표준단위 설정. 농업기술연구소 시험연구보고서 : 74~100.
2. 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법.
3. 농촌진흥청. 1993. 농가 시비실태 조사 보고서.
4. 농촌진흥청. 1995. 농사시험연구 조사기준.
5. 농촌진흥청. 1996. 식량작물 기술지도 지침.
6. 농촌진흥청. 1998. 환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비·액비제조와 이용.
7. 신용광, 이용환, 황광남. 1994. 원예작물에 대한 유기물 연용효과 시험. 농업기술연구소 시험연구보고서 : 297~301.
8. 유철호. 1996. 축산자원화 법안 이런 내용 필요하다. 가축분뇨 자원화, 조사료증산 방안 심포지움 : 71~82.
9. 이기상, 허일봉. 1995. 벼 재배시 질소양분 행동에 관한 연구. 농업과학 기술원 시험연구사업보고서(농업환경부편) : 346~349.
10. 이상민, 유인수, 이춘수, 박양호, 엄명호. 1999. 논토양에서 돈분퇴비 시용량 결정에 관한 연구. 한국토양비료학회지 32(2) : 182~191.
11. 이춘수, 오세환. 1999. 흙살리기와 시비기술. 농협중앙회.
12. 정광용. 1998. 가축분뇨 액비이용의 활성화 방안. 환경친화형 가축분뇨 처리기술 심포지움. 축산기술연구소 : 85~102
13. 황광남, 김원출, 박문희, 정광용, 고재영, 박준규. 1984. 토양유기물 함량별 시비질소 이용에 관한 연구. 농업기술연구소 시험연구보고서 : 287~294.
14. 淺見輝男. 1971. 水田土壤中における窒素化合物の有機化および無機化に関する研究(第2報). 新たに有機化そすた窒素化合物の無機化過程の相違.

- 日土肥誌 : 22~25.
15. 井上桓久. 1994. 環境負荷軽減のための施肥管理技術: 環境調和形 農業生産における土壌管理技術に関する 第4會 研究會, II-1-1~II-2-5.
 16. 志賀一一, 長谷川徹, 沖村逸夫, 1982. 化學肥料單用及び堆肥連用 水田土壌における施肥窒素の動向. 愛知縣農試研報 14 : 53~59.
 17. 白石道夫, 伊藤 信. 1976. 水稻に對する家畜ふん尿の 大量施用, 家畜ふん尿處理利用に關する成果發表會 講演要旨 : 36~42.
 18. 日本 農林水産省 農業研究センター .1985. 農耕地における有機物施用効果 : 381.
 19. 原田登五郎. 1974. 水田土壌の地力窒素 : 17~55.
 20. 早川岩夫. 1993 資材の特性と利用. 農業技術大系(7) : 3~11.
 21. 藤原俊六郎. 1993. 肥料の特性と利用. 農業技術大系(7) : 287~292.
 22. 山縣眞人, 阿江教治, 大谷 卓. 1996. 作物の生育反應に及ぼす有機態窒素の效果. 日土肥誌 64(4) : 345~352.
 23. Anderson F. N. & G. A. Peterson. 1973. Effects of continuous corn(*Zea mays* L.), manuring, and nitrogen fertilization on yield and protein content of the grain and on the soil nitrogen content. *Agronomy Journal* 65 : 697~700.
 24. Babarika, A., L. P. Sikola, & D. Colacicco. 1985. Factors affecting the mineralization of nitrogen in sewage sludge applied to soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49 : 1403~1406.
 25. Beauchamp. E. G, G. E. Kidd & G. Thurtell. 1983. Ammonia volatilization from liquid dairy cattle manure in the field. *Can. J. Soil Sci.* 62 : 11~19.
 26. Bernal, M. P. & H. Kirchman. 1992. Carbon and nitrogen

- mineralization and ammonia volatilization from fresh, aerobically and anaerobically treated pig manure during incubation with soil. *Biol. Fertil. Soils* 13 : 135~141.
27. Comfort, S. D., P. P. Motavalli, K. A. Kellig & J. C. Conberse. 1987. Soil profile N, P and K changes from injected liquid dairy manure or broadcast fertilizer. *Trans. ASAE* 30 : 1364~1369
28. Douglas, B. F. & F. R. Magdoff. 1991. An evaluation of nitrogen mineralization induce for organic residues. *J. Environ. Anal.* 20 : 368~372.
29. Heck A. F. 1931 Conservation and availability of the nitrogen in farm manure. *Soil Sci.* 31 : 335~363.
30. Jokela W. E. 1992. Nitrogen fertilizer and dairy manure effects on corn yield and soil nitrate. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56 : 148~154.
31. Kimball, J. M., R. J. Bartlett, J. L. McIntosh & K. E. Varney. 1972. Fate of nitrate from manure and inorganic nitrogen in a clay soil cropped to continuous corn. *J. Environ. Qual.* 1 : 413~415.
32. Klausner, S. D., V. R. Kamneganti & D. R. Bouldin. 1994. An approach for estimating a decay series for organic nitrogen in animal manure. *Agron. J.* 86 : 897~903.
33. Magdoff, F. R. & J. F. Amadon 1980. Yield trends and soil chemical changes resulting from N and manure application to continuous corn. *Agron. J.* 72 : 161~164.
34. Meek, B., L. Granharn & T. Donovan. 1982. Long term effect of manure soil nitrogen, phosphorous, potassium, sodium, organic matter and water infiltration rate. *Soil. Sci. Am. J.* 46 : 1014~1019.

35. Miller, R. W. & R. L. Donahu, & J. U. Miller. 1990. Soils. An introduction to soils and plant growth. 6th ed. Prentice-Hall International, Inc. : 182~224, 270~278.
36. Paul, J. W. & E. G. Beauchamp. 1994. Short-term nitrogen dynamics in soil amended with fresh and composted cattle manures. Can. J. Soil. Sci. 74 : 147~155.
37. Paul, J. W. & E. G. Beauchamp. 1995. Availability of manure slurry ammonium for corn using ^{15}N -labelled $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Can. J. Soil Sci. 75 : 35~42.
38. Sommerfeldt, T. C. Chang & T. Entz. 1988. Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen, and decrease carbon to nitrogen ratio. Soil Sci. Soc. Am. J. 52 : 1668~1672.
39. Xie, R., & A. F. Mackenzie. 1986. Urea and manure effects on soil nitrogen and corn dry matter yields. Soil Sci. Soc. Am. J. 50 : 1504~1508.

여 백

- 854 -

VIII. 퇴비 및 액비 연용시 지력증진 및 환경영향 평가

Environmental Nutrition Evaluation and Increase of Soil Fertility
by Composts and Slurry Application.

연구기관 :	건국대학교
연구책임자 :	육완방
연구원 :	이상락
연구원 :	박균성
연구원 :	김성태
연구원 :	차용복
연구원 :	진길부
연구원 :	최기춘
연구원 :	안승현
연구원 :	김성석
연구원 :	곽병관
공동연구기관 :	경기도축산위생연구소
연구원 :	백한승
연구원 :	신종광

여 백

- 856 -

요 약 문

I. 제 목

퇴비 및 액비 연용시 지력증진 및 환경영향 평가

II. 연구개발의 목적 및 중요성

최근 우리나라의 축산업은 전업화와 자동화에 따른 사육규모의 증가로 농업의 경쟁력 향상에 많은 기여를 하였지만, 가축분뇨의 발생량을 연간 4,500만톤 이상으로 증가시켜, 결국 환경오염 문제로 인하여 처리와 자원화에 위해 많은 어려움을 안게 되었다.

그러나 가축분뇨는 일반 산업 폐기물과는 달리 작물생산을 위한 비료효과가 높기 때문에 이를 환경보전적으로 자원화 할 수 있는 방안이 제시될 수 있다면 작물의 생산성 향상은 물론 토양개량을 위해서도 화학비료보다도 좋은 효과를 가져올 수 있기 때문에 환경친화적 농업으로의 유도할 수 있는 장점이 있다. 특히 우리나라 경작지 토양은 유기물 함량이 미국이나 일본 등의 4.0-5.0 보다 평균 2.0% 정도로 비옥도가 매우 낮기 때문에 토양 개량을 위해서도 지속적으로 많은 양의 유기질 비료인 가축분뇨의 투입이 요구되고 있다.

기후풍토가 외국과는 현저히 다른 우리나라에서는 외국의 규제나 법률을 그대로 인용할 경우 작물의 생산은 물론 환경에도 커다란 문제를 야기시킬 수 있으므로 우리는 우리나라의 기후풍토에 알맞는 자원화 방안을 모색하여야 한다. 그 외에도 경제적인 측면에서 볼 때 양축 농가에서 분뇨처리를 위해 투자되는 비용은 결국 가축 생산비의 상승으로 이어지기 때문에 가축분뇨를 우리의 여건에 알맞는 가장 경제적인 방법으로 처리하는 것은 물론

이를 자원화 할 수 있도록 홍보와 교육을 병행하는 것도 매우 중요하다고 본다.

가축분뇨의 비료로서의 자원화는 지력증진이나 농업생산성 향상에 기여를 하나 가축분뇨는 화학비료와 달리 가축의 종류, 사양형태 및 처리형태에 따라 비료성분이 다르고 또 성분에 따라서도 그 이용효율이 현저하게 다르게 나타나고 있다. 그러므로 가축분뇨의 무계획적이고 장기적인 사용은 특히 질소나 인에 의한 환경오염을 야기시키게 된다. 특히 많은 양의 질소는 NO₃-N의 형태로써 하천이나 지하수를 오염시켜 부영양화를 일으키거나 또는 식수로서 이용 시 유아에게는 methemoglobin 혈증을 유발 질 식사의 위험이 있거나, 성인에 있어서는 nitrosamine 등을 생성 위암발생을 유발하게 된다. 이러한 이유로써 선진국에서는 이미 이에 대한 강력한 규제를 시행하고 있다.

이에 본 연구에서는 가축분뇨의 초지 및 사료작물에 대한 연용시 목초와 사료작물의 생산성, 지력증진 및 환경영향 평가를 위하여 초지나 사료작물에 대하여 가축분뇨 별로 시비기준 설정과 사용효과, 화학비료와 가축분뇨의 효율적인 조합 및 가축분뇨의 사용에 따른 환경오염도를 규명하기위해 수행하였다.

Ⅲ. 연구개발 내용 및 범위

가축분뇨는 작물에서 높은 사용효과를 나타내는데 이는 분뇨 중의 유기 성분과 무기 성분이 가장 이상적으로 균형있게 조성되어 있고 그 성분조성과 농도도 작물 생육에 가장 적당하기 때문이다. 또한 분뇨의 토양 환원은 지력유지에도 커다란 기여를 할 수 있다. 그러나 가축분뇨의 이용은 그 처리형태와 사용량, 기후조건, 계절, 토양 및 작부형태 등 여러 가지 요인에 의해서 효과면에서도 많은 차이를 나타내며 일반작물에 비해 높은 생산성

이 요구되는 사료작물이나 초지의 생산을 위해서는 더 많은 양분의 요구량 특히 더 높은 질소의 시비가 요구되고 있기 때문에 잘못 처리된 분뇨나 이용방법은 우리의 환경을 더욱 오염시킬 수 있다.

특히 가축분뇨의 처리 방법에 따라서는 작물의 생산, 지력증진을 위한 분뇨의 이용효율이나 환경에 미치는 영향이 매우 상이하게 나타나고 있다.

이러한 이유로서 본 연구는 초지와 사료작물에 대하여 가축분뇨의 종류별로 시용효과와 시용수준을 규명하고 동시에 가축분뇨와 화학비료의 효율적인 조합, 지력증진 효과 및 분뇨시용에 따른 환경오염에 미치는 영향을 종합적으로 규명하기 위하여 초지와 사료작물에 대하여 가축분뇨의 종류별로 효율적이고 환경 보전적인 시용기준을 설정하기 위한 연도별 주요 연구개발 목표별 세부 연구개발 내용 및 범위는 다음과 같다.

구 분	연구 개발 목표	연구개발 내용 및 범위
1차년도 (97년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 토양별 작물별 시용적량 추정 ○ 분뇨별 시용효과 규명 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 초지, 사료포에 시용 생산성 조사
2차년도 (98년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분뇨 시용시 분뇨의 유실량 규명 ○ 가축분뇨 시용시 토양환경에 미치는 영향 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 분뇨중 양분고려 시용 ○ 양분 유출량 중점 조사
3차년도 (99년)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 환경부하 규명 ○ 화학비료 절감 방안 마련 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 가축분뇨 연용시의 환경부하량조사 ○ 토양중 양분 유출량 조사 ○ 가축분뇨의 시용범위 재검증

또한 이와 같은 연구를 수행하기 위하여 본 연구에서는 다음과 같은 4개의 세부 연구과제를 동시에 수행 이를 종합적으로 검토하였다.

- 발효돈분의 처리형태와 화학비료의 시용수준이 사일리지용 옥수수의 생산성 및 사료가치에 미치는 영향

- 경사지에 대한 가축분뇨 시용시 옥수수의 생산성과 양분의 유실에 관한 연구
- 가축분뇨의 처리 형태와 시용수준이 영년초지에 있어서 목초의 생산성, 지력증진 및 환경에 미치는 영향
- 가축분뇨의 처리형태별 시용시기가 영년초지에 있어서 분뇨의 이용효율 및 목초의 생산성에 미치는 영향

IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

가축분뇨의 초지 및 사료작물에 대한 연용 시 목초와 사료작물의 생산성, 지력증진 및 환경오염평가를 위하여 가축분뇨의 종류별로 시용효과와 시용수준을 규명하고 동시에 가축분뇨와 화학비료의 효율적인 조합, 지력증진 및 환경오염에 미치는 영향을 종합적으로 규명하기 위하여 초지와 사료작물에 대하여 아래의 가축분뇨별로 자원화를 위한 효율적이고 환경보전적인 시용기준을 설정하기 위해 얻어진 결과를 다음과 같이 활용을 건의한다.

- 1) 가축분뇨의 처리형태별 시용효과는 액비 > 퇴구비 또는 무톱밥 발효돈분 > 톱밥발효돈분의 순으로 높게 나타났다.
- 2) 가축분뇨와 화학비료의 가장 효율적인 시용비율은 가축분뇨를 N 함량기준 200kgN/ha을 기비로 추가적인 화학비료의 시용량은 표준 시비량의 1/2수준으로 시용하는 것이 가장 효율적이었다.
- 3) 가축분뇨의 토양 유기물 함량증가에 미치는 효과는 무톱밥발효 돈분과 톱밥발효돈분이 가장 높았고, 액비와 화학비료는 거의 비슷하였다.
- 4) 초지에 있어서 가축분뇨 및 화학비료에 의한 환경에 미치는 영향은 질소기준 시비량 400kg/ha 수준까지에 있어서도 NO₃의 용탈량은 결코 25ppm을 초과하지 않기 때문에 우리나라 초지에 있어 분뇨의 과

잉시비는 환경에 거의 영향을 미치지 않았다.

- 5) 경사지에서의 옥수수에 대한 분뇨시용 시 옥수수의 생산성 및 사료가치는 경사도가 증가 할수록 현저하게 감소되었고 유기물과 N의 유실량도 경사도와 시비량의 증가와 비례하여 증가하였으며 강우기에 유실량이 현저히 높아 경사지에서의 하절기 분뇨시용은 규제할 것을 건의 한다.
- 6) 우리나라에서의 가축분뇨 시용시기는 목초의 생산성과 사료가치 및 지력증진에 가을이나 봄간에 거의 차이를 나타내지 아니 하므로 외국과 같이 동절기의 시용규제와는 반대로 농한기인 동절기의 분뇨살포를 권장하도록 건의한다.

SUMMARY

To establish the recycling system of animal manure for environmental preservation, this experiment was, first, to investigate the effects of continuous application of animal manure in the fields of grassland and forage crops.

on forage productivity, efficiency of nitrogen utilization, improvement of soil fertility and the environmental pollution, second, to decide the fertilization rate of animal manure by the types of animal manure, third, to find the efficient combination between mineral fertilizer and animal manure for improvement of the forage productivity and soil properties, and environmental preservation from 1996 to 2000.

1. The fertilization effect by the type of animal manure was the highest with the slurry and the lowest with swine manure fermented with sawdust.

The fertilization effect by the type of animal manure was the highest with the slurry and followed by Feedlot manure(CFM) and sawdust(SMF),and the lowest with swine manure fermented with sawdust.

2. Pasture plants and corn productivity yielded greatly with the combination of 200kgN/ha swine manure and 100kgN/ha mineral fertilizer.
3. OM content of the soil was the highest with swine manure fermented with/without sawdust. OM content with slurry

application was similar to the trend of mineral fertilizer application.

4. The concentration of nitrate leaching in mixed grassland did not exceed 25ppm in 400kgN/ha animal manure and mineral fertilizer treatment.
5. Corn productivity and nutritive value significantly decreased as the slope increased. However, the amount of nitrogen and organic matter in the runoff waters increased as the slope and application levels of animal manure increased.
6. Herbage productivity and nutritive values for the autumn and spring were found to be the same whereas the values for the summer appeared to be different.

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	866
Chapter 2. The Effects of the Application level of Fermented Swine Manure and Additional Mineral Fertilizer on Productivity and Nutritive Value of Corn for Silage	870
Chapter 3. Study on Productivity of Corn and Nutrient Runoff of the Soil by Application of Swine Manure in the Slopes	884
Chapter 4. The effects of the type and application level of swine manure on herbage productivity, improvement of soil fertility and environment in mixed grassland.	902
Chapter 5. The effects of the type and application season of animal manure on herbage productivity and utilization efficiency of animal manure in mixed grassland.	917

목 차

제 1 장 서 론	866
제 2 장 발효돈분의 처리형태 및 화학비료 사용 수준이 사일리지용 옥수수의 생산성과 사료가치에 미치는 영향	870
제 3 장 경사지에 대한 가축분뇨 시용시 옥수수의 생산성과 양분의 유실에 관한 연구	884
제 4 장 가축분뇨의 처리형태와 시용수준이 영년초지의 생산성, 지력증진 및 환경에 미치는 영향	902
제 5 장 가축분뇨의 처리형태별 시용시기가 영년초지에 있어서 분뇨의 이용효율 및 목초의 생산성에 미치는 영향	917

제 1 장 서 론

제 1 절 연구개발의 목적과 범위

우리나라 농업의 특징은 복합 영농을 추구하는 서구와는 달리, 축산업과 일반 경종농업이 분리되어 있고 가축사육두수에 비해 가축분뇨를 환원 이용할 경지가 부족하며 여기에 축산업의 형태도 자급사료가 아닌 수입에 의존하는 배합사료 중심으로 되어 있어 배설된 분뇨가 토지에 환원되지 못하고 과잉생산을 지속하고 있는 악순환을 거듭하고 있다. 이로 인하여 이용되지 못하거나 과잉 살포된 가축분뇨는 악취, 토양과 수질오염등의 원인이 되고 있어 이에 대한 대책이 절실히 요구되고 있다. 이러한 문제는 가축사육두수의 밀도가 높은 경기, 충청지역을 중심으로 일부 축산업이 발달한 지역일수록 큰 문제로 대두되고 있다.

이와 같이 가축분뇨는 질이 좋은 비료자원임에도 불구하고 이를 효율적으로 이용하지 못하여 환경오염원으로 전락되었기 때문에, 그동안 정부는 물론 학계에서도 이를 자원화하므로서 환경오염에 대한 문제점을 최소화하기 위해 많은 노력을 하여왔다.

정부에서는 그동안 1990년도 이후 6천억원 이상을 투입 가축분뇨처리 사업과 병행하여 관련법규와 제도, 기술개발을 위한 연구용역등 많은 노력을 기울여 왔으나, 획기적이고 일관된 처리와 자원화방안을 도입하지 못하고 있는 실정이다.

가축분뇨의 시용은 가축의 종류, 사양형태, 분뇨의 처리 방법은 물론 같은 분뇨라 할지라도 작물의 종류, 시용수준, 시용시기, 기후, 토양 등에 따라 그 이용 효율이 현저히 다르게 나타나고 있다. 예로서 화학비료는 물론

많은 양의 가축분뇨사용에 있어서도 가축분뇨에 함유된 질소와 인은 완전히 이용되지 못하고 많은 양이 강우와 함께 그대로 하천으로 유입, 하천이나 호수의 부영양화를 초래하며, 그 중 일부 질소는 NO₃-N의 형태로서 지하로 용탈 지하수까지도 오염, 이를 식수로 이용시 유아에게는 methemoglobin 혈증을 유발시켜 질식사의 위험이 있고 성인에 있어서는 장내에서 nitrosamine 등을 생성 위암발생의 위험이 높기 때문에 이에 대한 강력한 규제를 시행하고 있다.

이와 같이 분뇨의 시비효과는 물론 환경에 미치는 영향도 매우 현저한 차이를 나타내기 때문에 이미 많은 국가에서는 이를 제도화하여 강력히 규제하고 있지만 가축의 사양형태는 물론 기후풍토가 현저히 다른 우리나라에서는 외국의 권장이나 규제를 그대로 도입 대처할 경우 작물의 생산성은 물론 환경문제에도 커다란 오류를 범할 수가 있다. 그러므로 우리나라의 농업구조, 사양형태, 기후풍토는 물론 경제적인 측면까지도 고려 우리의 여건에 가장 적합한 가축분뇨의 자원화 방안을 마련해야 한다. 이와 같은 이유로 본 연구에서는 야기될 수 있는 상기된 문제점들을 해결 조사료의 생산성 향상은 물론 생태계 보존을 위한 환경오염 방지대책을 세우고자 다음과 같은 세부 목적하에 본 연구를 수행하였다.

첫째, 초지 및 사료작물에 대한 가축분뇨별 시료효과의 규명에 의한 목초와 사료작물의 생산을 위한 가축분뇨별 적정 시용수준을 제시하고

둘째, 가축분뇨와 화학비료의 효율적인 조합에 의한 지력증진 효과와 가축분뇨사용에 따른 환경오염도를 규명 하므로써 환경오염 방지대책을 세운다.

제 2 절 연구의 범위 및 방법

본 연구는 앞에서 기술한 목적인 가축분뇨에 의한 지력증진 및 환경영향 평가는 가축분뇨의 종류별 사용수준과 사용효과, 가축분뇨와 화학비료의 효율적인 조합, 지력증진 및 환경오염에 미치는 영향을 종합적으로 규명하기 위하여 초지와 사료작물에 대하여 가축분뇨의 효율적이고 환경보전적 자원화를 위한 4개의 세부시험을 3개년간에 걸쳐 다음과 같이 수행하였다.

첫째, 제 2장의 “발효돈분의 처리형태의 화학비료의 사용수준이 옥수수의 생산성 및 사료가치에 미치는 영향”으로 사료작물에 대한 돈분의 처리 형태별 사용효과와 화학비료와 가축분뇨의 적절한 조합에 의한 사료작물의 생산성과 지력증진효과를 파악하였고,

둘째, 제 3장의 “경사도에 대한 가축분뇨 사용시 옥수수의 생산성과 양분유실에 관한연구”를 통하여 우리나라와 같이 경사지가 많은 곳에서 사료작물을 재배시 사료작물의 생산성은 물론 경사도별 계절별로 erosion에 의한 양분유실량을 측정, 경사지에서의 가축분뇨에 의한 환경오염과 그 대책을 제시하였으며,

셋째, 제 4장의 “가축 분뇨의 처리형태와 사용수준이 영년초지에 있어서 목초의 생산성, 지력증진 및 환경에 미치는 영향”으로 초지에 대한 가축분뇨의 종류별 사용효과와 지력증진에 의한 사용수준을 제시하였고, 가축분뇨의 종류별 사용수준별로 N의 지하용탈에 의한 지하수의 오염에 미치는 영향을 정확히 파악 제시하였다.

넷째, 제 5장의 “가축분뇨의 처리형태별 사용시기가 영년초지에 있어서 분뇨의 이용효율 및 목초의 생산성에 미치는 영향”에 있어서는 기후풍토가 외국과 다른 우리나라에 있어 가축분뇨의 이용효율을 정확히 규명 효율적인 이용시기 결정을 위해 외국에서 살포가 금지된 가을과 가장 효율적인 봄으로 가축분뇨의 사용시기를 나누어 살포시 목초의 생산성과 분뇨의 이

용효율을 측정 우리의 조건에 알맞는 살포시기를 규명하였다.

이상의 4개의 세부시험이 서로 유기적인 관계를 가지면서 우리나라에서 가축분뇨가 더 이상 폐기물이나 환경오염물질이 아닌 유용한 유기질비료로서 자원화하고 동시에 환경보전을 위한 방안을 제시하는 기술개발에 중점을 두고 연구를 수행하였다.

제 2 장 발효돈분의 처리형태 및 화학비료 시용 수준이 사일리지용 옥수수의 생산성과 사료가치에 미치는 영향

The Effects of the application Rate of Fermented Swine Manure and additional Mineral Fertilizer on Productivity and Nutritive Value of Corn for Silage

SUMMARY

This study was conducted to investigate the effects of the application level of fermented swine manure and additional mineral fertilizer on productivity and nutritive value of corn for silage. Swine manures used in this study were the compost of swine manure fermented with sawdust(SMFWS) and swine slurry(SS). This study was arranged in split-split plot design. Main plots were the types of swine manure, such as SMFWS and SS. Subplots were the application rate of swine manure, such as 100, 200 and 400kgN/ha, and sub-subplots were the application rate of mineral fertilizer, as urea, such as 50 and 100kgN/ha.

The results obtained were summarized as follows ;

1. The application effect of slurry(SS) in corn was higher than that of sawdust(SMFWS).
2. Dry matter yield and crude protein content increased as application level of swine manure increased. However, TDN content not affected by swine manure.

3. In effective combination between sawdust(SMFWS) and slurry(SS), corn productivity improved by the applications of 200kgN/ha swine manure and 100kgN/ha mineral fertilizer.
4. Organic matter content in the soil of sawdust(SMFWS) treatment was higher than that of SS treatment.
5. Total nitrogen content of the soil was hardly influenced by the type and application level of swine manure.

제 1 절 서 설

근래 수입조사료와 곡물가격의 급등으로 인하여 자급 조사료의 중요성이 새롭게 대두되기 시작했고, 특히 조사료에 대한 인식이 부족한 우리로서는 매년 막대한 양의 조사료를 수입(1997년 3,413천톤)해야 하는 상황에 처해 있기 때문에 조사료 기반이 취약한 현 시점에서 양질조사료 공급확대, 국내외부존 조사료자원의 개발, 목초 및 사료작물재배를 위한 우량 종자공급 체계 확립, 조사료 생산기계화로 인한 인력난 해소, 초지 및 조사료 관련제도 개선 등이 더욱 강조되고 있다. 설상가상으로 가축사육의 집단지화, 규모화, 전업화 추세에 따라 양축규모의 증가는 가축분뇨의 발생량을 연간 4,500만톤이상(농림부, 1997)으로 증가시켰는데, 이는 산업폐수 및 생활폐수와 비교하면 매우 적은 양이나 부유물질과 BOD함량이 높아 실제로는 환경오염에 막대한 영향을 주고 있기 때문에 축분뇨의 효과적인 처리 및 활용방법에 많은 관심과 투자가 필요하게 되어 양축업자들은 분뇨의 효과적인 처리방안이라고 하는 커다란 난제를 극복해야 하는 실정이다. 그러나 가축분뇨는 토양의 지력을 증진시키고(Freeze와 Sommerfeldt, 1985; Campbell등, 1986; Sommerfeldt등, 1988; 신 1999), 식물의 영양원으로 이용될 수 있는 비료성분이 풍부하게 포함되어 있기 때문에 분뇨를 적절한

방법으로 부숙시켜 이용하면 토양의 물리화학적 및 미생물상이 개선되어 환경농업을 유도할 수 있다(Sommerfeldt와 Chang, 1985, 1987). 그런데 가축분뇨의 처리과정에서 건조나 발효효율을 높이기 위하여 수분조절제인 톱밥이나 왕겨 등이 첨가되는데 이는 가축분뇨의 발효효율을 높여줄 수 있는 장점이 있는 반면, 분뇨처리량의 증가 및 톱밥가격의 상승등에 의한 축산 경영비 상승 등을 가져오는 단점이 있다. 또한 톱밥이나 왕겨를 첨가한 만큼 처리, 운반 및 살포 등을 위한 노동력이나 장비의 소요량이 증가됨은 물론 유기질 비료로서의 가치나 효율면에서 첨가한 만큼 질소나 기타 식물 영양소, 특히 질소의 함량이 낮고 C/N비가 너무커서 토양의 지력증진이나 작물의 생산성 향상에 많은 애로점을 야기시키고 있다. 이러한 이유로 톱밥이나 왕겨 등이 첨가된 분뇨와 첨가되지 않은 분뇨의 이용에 따라 사료 작물의 생산성과 사료가치에 미치는 효과 등을 파악한다는 것은 분뇨의 효율적인 이용면에서 대단히 중요하다.

따라서 본 연구는 가축분뇨의 처리형태별 시용수준과 함께 추가적인 화학비료의 수준이 사료작물의 생산성, 사료가치 및 지력증진에 미치는 효과를 조사하여 가축분뇨의 이용성 증진에 의한 효율적인 시용방법을 제공하기 위한 자료로 활용하고자 본 연구를 수행하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

1. 시험장소 및 토양

본 시험은 1997년부터 1999년까지 3개년에 걸쳐 경기도 광주군 소재 경기도 축산기술연구소내 초지 및 사료작물포장에서 수행하였으며 토양은 점토함량이 34.7%인 미사질 식양토로서 유기물 함량이 2.22%, 전질소 0.14%, 인산 212.2mg/kg 가리 0.68me/100g를 함유하였다.

2. 시험설계 및 재료

본 시험에 이용된 옥수수(*Zea mays* L.)는 중만생종인 Pioneer 3352였으며, 시험설계는 돈분의 종류(톱밥발효돈분, 액상발효돈분)를 주구, 분뇨 N 시용수준(100, 200 및 400 kgN/ha)을 세구, 요소시용수준(50 kgN/ha, 100 kgN/ha)을 세세구로 하는 세세구 배치법 3반복으로 배치하였으며 시험구 면적은 각각 15m²(3m × 5m), 파종간격은 60cm × 20cm로 하였다.

시용된 톱밥발효돈분은 경기도 양평축협에서 제조한 전질소 0.46%, 유기물 62%, 수분 43% 정도의 시판 퇴비이며, 액상발효돈분은 전질소가 0.5%로 광합성 세균을 투입 약 3개월간 완전발효시킨 것을 이용하였다.

3. 생산성과 사료가치

옥수수의 생산성은 파종(4월 25일) 후 107일째에 예취한 다음 옥수수의 암이삭과 대를 분리, 생초수량을 조사하였으며 건물수량은 2그루의 암이삭과 대를 시료로 채취하여 정확히 칭량한 다음 80℃ 열풍 건조기에서 96시간 건조 후 칭량하여 ha당 DM 수량으로 환산하였다.

건조된 시료는 20 mesh의 wiley mill로 분쇄, 실험실내 desiccator에 보관하였다가 조단백질 함량은 Kjeldahl 정량법으로 분석하였다(AOAC, 1983). NE₁(net energy for lactation) 및 TDN 함량은 Jurgens(1988) 방법을 수정하여 계산하였다.

TDN 수량은 Pioneer Hi-bred사가 제시한 공식 TDN 건물수량=(경엽건물수량 × 0.582) + (암이삭 건물수량 × 0.85)에 의하여 계산하였다(Holland 등, 1990).

또한 본 시험에서 얻은 모든 결과는 SPSS/PC⁺ 통계 package를 이용하여 유의성을 검정하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 건물수량

돈분의 처리형태(톱밥발효돈분, 액상발효돈분) 및 요소사용에 따른 사일리지용 옥수수의 건물수량은 표 2-1과 같다.

발효돈분의 형태에 따른 3개년간의 평균적인 건물수량은 연도간에 차이는 있으나 액상발효돈분 시용구가 톱밥발효돈분 시용구에 비하여 높은 수량을 나타내었으며, 톱밥 및 액상발효돈분 시용구 모두 시용수준의 증가에 따라 건물수량도 증가하였다. 추가적인 요소의 시용수준에 따라서는 요소 100kgN/ha 시용시 50kgN/ha 시용시에 비하여 확실하게 증가하는 경향을 보였다.

돈분의 처리형태별로 가장 높은 수량은 톱밥발효돈분과 액상발효돈분 모두 400kgN/ha와 요소 100kgN/ha 시용시에서 각각 13.4kg/ha와 14.9kg/ha으로 역시 액상발효돈분에서 더 높았다.

톱밥 및 액상발효돈분 시용구 모두 N 시용수준이 증가에 따른 건물 수량의 증가는 요소 100kgN/ha 시용시가 50kgN/ha 시용시보다 증가되었다.

건물수량에 미치는 요소의 추가적인 시용효과는 먼저 요소 50kgN/ha 시용시는 톱밥발효돈분 시용시 돈분시용량이 100kgN/ha에서 400kgN/ha으로 증가함에도 불구하고 8.3ton/ha으로 건물수량의 증가가 겨우 0.8ton/ha에 불과하였다. 액상발효돈분 시용시에는 톱밥발효돈분에 비하여 많은 증가를 보였으며, 그 증가는 11.4ton/ha에서 13.7ton/ha로 2.3 ton/ha의 증가를 보여주고 있다. 그러나 추가적인 요소의 시용량이 100kgN/ha의 경우 분뇨 처리형태별 추가적인 요소의 시용효과는 톱밥발효돈분에서 더욱 현저하여 톱밥발효돈분 시용량 100kgN/ha에서 400kgN/ha으로 증가에 따라 건물수량은 10.5ton/ha에서 13.4ton/ha으로 2.9ton의 증가를 보였고 액상발효 시용시

의 추가적인 요소의 시용효과는 더욱 높아 12.1ton/ha에서 14.9ton/ah으로 2.8 ton의 증가로 거의 같은 증수의 효과를 보여 액상발효돈분보다는 톱밥 발효돈분에서 요소의 시용수준이 높을수록 분뇨의 시용효과는 증가한다는 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과는 톱밥 첨가시 C/N율의 증가가 높아 N의 이용효율이 낮은 톱밥발효돈분에 요소를 첨가함으로써 C/N율의 저하로 인한 N의 이용효율이 증가된 것으로 사료된다.

또한 옥수수의 건물수량에 관한 상호작용효과를 분석한 결과, 돈분의 발효형태와 돈분의 시용, 돈분의 발효형태와 요소시용, 돈분의 시용과 요소시용 사이의 상호작용효과는 크지 않은 것으로 나타났다.

표 2-1. 돈분의 처리형태 및 요소의 시용수준별 옥수수의 건물수량 (ton/ha)

분뇨시용수준	년 도	톱밥발효돈분			액상발효돈분		
		1/2구	1/4구	평 균	1/2구	1/4구	평 균
100kgN/ha	1997	9.8	10.7	10.2	11.3	10.9	11.1
	1998	9.4	8.3	8.9	9.8	9.4	9.6
	1999	12.2	10.4	11.3	15.3	13.9	14.6
	평 균	10.5	9.8	10.2	12.1	11.4	11.8
200kgN/ha	1997	13.2	11.2	12.2	11.2	11.9	11.5
	1998	10.5	8.7	9.6	10.5	10.0	10.2
	1999	13.6	10.8	12.2	21.1	15.5	18.3
	평 균	12.5	10.2	11.3	14.3	12.4	13.3
400kgN/ha	1997	13.7	11.0	12.3	12.3	13.1	12.7
	1998	10.8	8.7	9.8	12.1	10.1	11.1
	1999	15.8	12.3	14.0	20.4	17.8	19.1
	평 균	13.4	10.6	12.0	14.9	13.7	14.3
평 균		12.1	10.2	11.2	13.8	12.5	13.1

2. 사료가치

돈분의 처리형태별 사용수준 및 추가적인 요소의 사용에 따른 옥수수의 사료가치에 미치는 영향은 표 2-2, 2-3, 2-4에 나타난 바와 같다. 먼저 조단백질 함량은 액상발효돈분이 톱밥발효돈분에 비하여 더 높았고, 돈분의 처리형태별 사용수준이나 요소의 사용수준의 증가는 연도간에는 수확시기로 인하여 약간의 차이는 있으나 전체적으로 사용수준의 증가에 따라 비례하여 조단백질 함량도 증가하였지만 추가적인 요소 사용수준의 증가 5.90 → 6.03, 6.04 → 6.25% 보다는 돈분 사용수준의 증가에 따라 5.81 → 6.20 및 6.45%로 더 높은 증가를 보여주고 있다.

TDN함량은 돈분의 처리형태간에는 각각 58.8 및 59.3으로 거의 차이를 보이지 않았고, 분뇨 사용수준의 증가에 따라서는 약간의 감소내지는 거의 차이를 나타내지 않았으며 추가적인 요소의 사용수준의 증가도 미미한 정도의 TDN 감소를 보여 분뇨의 종류나 사용수준은 TDN함량에는 거의 영향을 나타내지 않았음을 보여주고 있다.

이는 N 사용에 따른 사료가치에 대하여 Voigtlander 등(1971), Meister와 Lehmann(1982)에 의해 많은 연구 결과가 보고되었지만, 육과 Jacob(1990)은 N 사용이 화분과 목초의 생육을 촉진시키는 효과가 있으나 N 사용수준의 증가함에 따라 NE_1 은 감소되었다고 하였는데 이는 N 사용수준의 증가에 따라 TDN이 감소된 경향을 나타내고 있다.

또한 신(1999)도 분뇨종류별 추가적인 요소사용에 따른 옥수수의 사료가치에 관한 연구에서, 발효우분 120kgN/ha과 요소 80kgN/ha 사용과는 발효우분 360kgN/ha과 80kgN/ha사용구보다 0.3% 증가되었으나 발효돈분 120kgN/ha과 요소 80kgN/ha 사용구보다 1.3% 감소되었다고 보고하였고, 또한 Min(1998)은 목초의 사료가치에 미치는 액상우분사용 평가 시험에서

분뇨의 사용수준 보다는 초종 및 품종에 따라 사료가치의 차이가 발생한다고 보고하였다.

또한 건물수량과 질소함량으로부터 산출된 옥수수에 의한 3개년간의 평균적인 N 생산량은 액상발효돈분 사용시 131kg/ha로 106kg에 불과한 톱밥발효돈분에 비해 현저히 높은 경향을 보여 톱밥발효돈분보다는 액상발효돈분의 N 이용율이 훨씬 높다는 것을 나타내고 있다.

분뇨의 처리형태별 사용수준의 증가에 따른 N생산량은 톱밥발효돈분의 증가량 18kg 보다는 액상발효돈분에서 45kg으로 훨씬 더 높았고, 추가적인 요소의 사용효과는 액상발효돈분에서의 증가량 18kg 보다 톱밥발효돈분에서 25kg으로 더 높은 사용효과를 나타내었다.

이상의 결과에서 볼 때 분뇨의 처리형태별 사료가치에 미치는 효과는 액상발효돈분이 더 높았지만 추가적인 요소의 사용효과는 톱밥발효돈분에서 높은 C/N비로 인하여 더 높은 사용효과를 보여주고 있다.

3. 지력증진

가축분뇨의 처리형태별 사용수준과 추가적인 요소사용에 의한 3개년간의 사용결과 토양의 유기물 함량에 미치는 영향은 표 5에서 보는 바와 같이 분뇨의 처리형태별 토양의 유기물 함량은 옥수수의 생산성과는 달리 액상발효돈분보다는 오히려 톱밥발효돈분 사용시 더 높은 함량을 나타내었으며, 특히 액상발효돈분의 경우 그 사용수준의 증가에도 불구하고 거의 차이를 보이지 않았다.

표 2-2. 돈분의 처리형태 및 요소의 사용수준별 옥수수의 조단백질 함량(%)

분뇨사용수준	년 도	톱밥발효돈분			액상발효돈분		
		요 소		평 균	요 소		평 균
		100kg	50kg		100kg	50kg	
100kgN/ha	1997	6.03	6.02	6.03	5.90	5.97	5.93
	1998	5.35	5.40	5.37	5.41	5.46	5.43
	1999	6.28	5.75	6.02	6.13	6.00	6.07
	평 균	5.89	5.72	5.81	5.81	5.81	5.81
200kgN/ha	1997	6.05	6.08	6.07	6.32	6.37	6.34
	1998	5.61	5.46	5.53	5.94	5.56	5.75
	1999	5.97	6.13	6.05	6.65	6.15	6.40
	평 균	5.87	5.89	5.88	6.30	6.03	6.16
400kgN/ha	1997	6.28	5.97	6.13	6.78	6.75	6.77
	1998	6.18	6.13	6.16	6.07	5.52	5.79
	1999	6.50	6.43	6.47	7.03	6.55	6.79
	평 균	6.32	6.18	6.25	6.63	6.27	6.45
평 균		6.03	5.90	5.96	6.25	6.04	6.14

표 2-3. 돈분의 처리형태 및 요소의 사용수준별 옥수수의 TDN 함량(%)

분뇨사용수준	년 도	톱밥발효돈분			액상발효돈분		
		요 소		평 균	요 소		평 균
		100kg	50kg		100kg	50kg	
100kgN/ha	1997	61.1	60.1	60.1	59.8	63.5	61.7
	1998	62.0	60.1	61.1	60.5	59.0	59.8
	1999	56.0	57.4	56.7	58.5	57.2	57.9
	평 균	59.7	59.2	59.7	59.6	59.9	59.8
200kgN/ha	1997	59.1	58.4	58.8	59.5	63.0	61.3
	1998	60.3	58.8	59.6	58.2	58.4	58.3
	1999	55.9	59.3	57.6	57.5	57.0	57.3
	평 균	58.4	58.8	58.7	58.4	59.5	59.0
400kgN/ha	1997	60.2	59.2	59.7	59.9	63.4	61.7
	1998	58.2	58.0	58.1	58.8	61.6	60.2
	1999	56.3	58.5	57.4	56.9	58.6	57.8
	평 균	58.2	58.6	58.4	58.3	61.2	59.9
평 균		58.8	58.9	58.9	58.8	60.2	59.6

표 2-4. 돈분의 처리형태 및 요소의 사용수준별 옥수수의 N 생산량(kg/ha)

분뇨사용 수준	년 도	톱밥발효돈분			액상발효돈분		
		요 소		평 균	요 소		평 균
		100kg	50kg		100kg	50kg	
100kgN/ha	1997	88	101	95	114	102	108
	1998	73	69	71	78	82	80
	1999	164	93	129	152	133	143
	평 균	108	88	98	115	106	111
200kgN/ha	1997	129	110	120	111	119	115
	1998	91	75	85	84	74	79
	1999	130	99	115	237	154	196
	평 균	117	95	107	114	116	130
400kgN/ha	1997	137	96	117	134	161	148
	1998	91	78	85	116	85	101
	1999	167	124	146	239	192	216
	평 균	132	99	116	163	146	155
평 균		119	94	108	131	123	132

그러나 톱밥발효돈분 사용시에는 그 사용수준의 증가에 따라서 토양유기물도 확실한 증가를 나타내었다.

추가적인 요소사용수준의 증가는 약간의 증가를 보였지만 서로간에 유의적인 차이를 보여주지는 않았다. 또한 토양질소 함량에 돈분의 처리형태나 사용수준 및 추가적인 요소의 사용은 톱밥발효돈분 400kg/ha 사용시에만이 약간 높았지만, 분뇨의 종류나 사용수준 모두간에 거의 영향을 미치지 않았다.

표 2-5. 돈분의 처리형태 및 요소의 사용수준별 옥수수의 토양 유기물 함량(%)

분뇨사용수준	톱밥발효돈분			액상발효돈분		
	1/2구	1/4구	평 균	1/2구	1/4구	평 균
100kgN/ha	2.79	2.78	2.79	2.57	2.61	2.59
200kgN/ha	2.82	2.81	2.82	2.38	2.49	2.43
400kgN/ha	3.19	2.93	3.06	2.45	2.53	2.49
평 균	2.93	2.84	2.89	2.47	2.54	2.50

표 2-6. 돈분의 처리형태 및 요소의 사용수준별 옥수수의 토양 질소 함량(%)

분뇨사용수준	톱밥발효돈분			액상발효돈분		
	1/2구	1/4구	평 균	1/2구	1/4구	평 균
100kgN/ha	0.20	0.20	0.20	0.20	0.19	0.20
200kgN/ha	0.19	0.21	0.20	0.19	0.21	0.20
400kgN/ha	0.23	0.22	0.23	0.21	0.19	0.20
평 균	0.21	0.21	0.21	0.20	0.20	0.20

제 4 절 결과 요약

본 연구는 발효돈분 사용시의 추가적인 N 사용수준에 따른 사일리지용 옥수수의 생산성 및 사료가치에 미치는 효과를 조사하기 위하여 돈분의 종류(톱밥발효돈분, 액상발효돈분)를 주구, 분뇨 N 사용수준(100, 200, 400 kgN/ha)을 세구, 요소의 사용수준(50, 100 kgN/ha)을 세세구로 하여 가축 분뇨의 이용성에 미치는 영향을 파악하고자 수행하였다.

1. 옥수수에 대한 사용효과는 액상발효돈분이 톱밥발효돈분보다 더 높았다.
2. 사용수준은 분뇨 N 400kg과 화학비료 1/2사용 수준까지도 건물수량, 조단백질함량은 지속적으로 증가되었지만, TDN에는 거의 영향을 미치지 않았다.

3. 돈분과 화학비료의 가장 효율적인 시용 비율은 돈분 200kgN/ha와 화학비료 1/2(100-60-60)에서 였다.
4. 토양유기물의 증가에는 톱밥발효돈분이 더 높았고, 시용수준의 증가에 따라 비례하여 증가하였다.
5. 토양 질소함량에는 분뇨의 종류나 시용수준 모두 거의 영향을 미치지 않았다.

참 고 문 헌

1. AOAC. 1990. Official Methods Analysis. 15th edn. Association Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
2. Campbell, C.M., M. Schnitzer, W.B. Stewart, J.V.O. Biederbeck. and F. Selles.1986. Effect of manure and fertilizer on properties of a Black Chernozem in Southern Saskatchewan. Can. J. Soil Sci. 66:601-613.
3. Freeze. B.S. and T.G. Sommerfeldt. 1985. Breakeven hauling distances for beeffeedlot manure in southern Alberta. Can J. Soil Sci. 65:687-693.
4. Holland, C., W/ Kezar, W.P. Kautz, e.j. Kazowski, W.C. and Reinhart. 1990. The Pioneer forage manual-A nutritional guide. Pioneer Hi-Bred Int., Des Moines, IA.
5. Jurgen, M.H. 1988. Evaluating feedstuffs of farm livestock. p.53. In Animal feeding and nutrition(6th ed.). Kemdall-Hunt Publishing Dubuque.
6. Meister, E.u.J. Lehmann. 1982. Ertrag unt Futte-qualitat verschiedener Kunstwie-senmischungen in Abhangigkeit der Schnit- thaufigkeit und Stickstoffdungung. Mitt. Schweiz. Landw.30:225-244.
7. Min, D.H. 1998. Assessing the effectiveness of forage crops to utilize nitrogenfrom dairy manure. ph. D. Thesis. Department of Natural Resources Sciencesand L and scape Architecture. University of Maryland at Collage Park.
8. Sommerfeldt, T.G., C. Chang and T. Entz. 1988. Long-term annual

- manure applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio. Soil Sci.Soc. Am J. 52:1667-1672.
9. Sommerfeldt, T.G. and C. Chang. 1985. Changes in soil properties under annual applications of feedlot manure and different tillage practices. Soil Sci. Soc. Am j.54:983-987.
 10. Sommerfeldt, T.G. and C. Chang 1987. Soilwater properties as affected by twelve annual applications of cattle feedlot manure. Soil Sci. Soc. Am J. 51:7-9.
 11. Voigtlander, G., F. Madel and u.F.J. Blaha. 1971.Entwicklung und Leistung von Grunlandansaaren im Vergleich zuDauerbestanden in 6 Nutzungsjahren. Z.F.Acker-U.Pflanzenbau. 134:93-112.
 12. 신동은. 1999. 축종별 액상분뇨와 질소시용량이 양질조사료의 수량, 사료가치 및 토양특성에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위논문.
 13. 육완방, H. jacob. 1990. 영년채초지에 있어서 혼파조합에 관한연구 III. 예취빈도와 질소시비수준이 사료가치에 미치는 영향. 한국낙농학회지 12(1): 33-42.

제 3 장 경사지에 대한 가축분뇨 시용시 옥수수의 생산성과 양분의 유실에 관한 연구

Study on Productivity of Corn and Nutrient Runoff of the Soil by
Application of Swine Manure in the Slopes

SUMMARY

This study was conducted to investigate the effects of application levels of swine manure fermented with sawdust(SMFWS) and degree of the slope on productivity of corn, and nitrogen and organic matter runoff in corn cultivation soil. Main plots were the degree of slope, such as 0(0%), 5(8.75%) and 10(17.5%), and the subplots were the application levels of SMFWS, such as control, 200kgN/ha and 400kgN/ha. SMFWS was superimposed on each lysimeter. Lysimeter was constructed with 0.33m width, 3m length and 0.4m height.

The results obtained were summarized as follows ;

1. Dry matter(DM) yield of corn decreased as the slope increased and increased significantly as application level of SMFWS increased. DM yield of corn decreased by continuous cultivation of corn.
2. Total nitrogen(TN) content of the whole corn decreased as the slope increased, but increased as application level of SMFWS increased.
3. TN yield of corn decreased as the slope significantly increased, but increased as application levels of SMFWS increased.

4. The amount of nitrogen and organic matter in the runoff waters increased as the slope and application levels of SMFWS increased in corn cultivation soil.
5. The runoff of nitrogen and organic matter in corn cultivation soil was more affected by the increase of the slope than application levels of SMFWS.

제 1 절 서 설

WTO체제하의 농축산물 무한개방 경쟁시대가 도래되고 IMF가 지속됨에 따라 우리 나라 축산업계는 최대의 시련을 맞이하고 있다. 설상가상으로 환경에 대한 규제가 강화되고 국민들의 쾌적한 환경에 대한 욕구가 증가됨에 따라 가축분뇨처리 문제는 축산업계에 또 하나의 중요한 난제가 되고 있다.

가축분뇨에는 질소·인산·칼리 등의 다량요소 뿐만 아니라 철·구리·아연·망간 등의 미량원소도 포함되어 있어 작물에 대한 종합적인 양분 공급원으로 가능하므로, 적정 환원용 토지를 확보 활용한다면 자급사료생산 기반구축, 환경문제 완화 그리고 WTO와 IMF등 국제경쟁력 시대에서 값싸고 부가가치가 높은 양질의 농축산물을 생산공급하여 축산경영비 감소를 유도하여 축산 경쟁력을 강화 할 수 있다.

특히 우리 나라의 경지는 경사지가 많고 강우량이 집중되어 있어 양분의 유실량이 많아 토양 비옥도가 낮기 때문에 가축분뇨를 유기질 비료원으로서 경지에 환원하는 기술의 확립은 무엇보다 중요하다.

그러나 가축분뇨가 비료원으로 토양에 환원할 때 주로 문제가 되는 것이 질소와 인산인데, 질소를 과잉 시용하면 토양 중 암모늄태 질소 농도가 높아져서 작물 뿌리의 농도장해와 작물체 내의 질산태 질소 함유율이 높아져

가축이 섭취한 경우에는 질산중독을 일으킬 수 있으며(윤과 최, 1999; Goh Vityakon, 1986), 흡수되지 못하는 질소는 휘산(Frost 등, 1990; Pain 등, 1990), 탈질(Stevens 등, 1989), 용탈(육, 1999; Davies 등, 1996), 유실(Gilley 등, 1999)되는데, 휘산이나 탈질 되는 질소는 그 양이 매우 적으나 강우에 의해 유실되거나 용탈되는 양은 많기 때문에 지하수에 유입되어 지하수 오염의 원인이 된다(Jarvis 등, 1987; Pye, 1983).

지금까지 우리 나라는 목초나 사료작물의 생산성 향상을 위한 분뇨시용량 규명에 관한 연구가 대부분이지만(육 등, 1999; 육, 1992ab) 근래 환경오염에 관한 인식이 새로워 짐에 따라 분뇨의 비료성분에 관한 이동시스템에 많은 관심을 가지게 되었다. 특히 우리나라는 기후적인 여건과 특성 때문에 분뇨성분이 지하로의 용탈보다는 지표로의 유실이 더 많을 것으로 사료되기 때문에 본 연구에서는 경사도별로 수분조절제로서 가장 많이 쓰이는 톱밥을 첨가한 발효돈분을 이용하여 Erosion과 함께 양분유실에 의한 환경오염을 방지하면서 사일리지용 옥수수의 생산성을 향상시킬 수 있는 적절한 분뇨의 시용량을 결정하여 분뇨의 이용성을 증대시키는데 그 목적이 있다.

제 2 절 재 료 및 방 법

본 시험은 1997년 3월부터 1999년 10월까지 3년에 걸쳐 건국대학교 축산대학 초지 및 사료작물 시험포내에 제작된 lysimeter를 이용하여 수행하였으며 lysimeter에 충전된 토양의 특성은 표 3-1에 나타낸 바와 같다.

표 3-1. 본 실험에서 이용된 토양의 화학적 성질

pH (1:5H ₂ O)	TN (%)	OM (g/kg)	P ₂ O ₅ (mg/kg)	Exchangeable Cations(cmol ⁺ /kg)				C.E.C (cmol ⁺ /kg)
				K	Ca	Mg	Na	
5.1	0.11	1.93	193.0	0.3	3.5	1.7	0.2	9.2

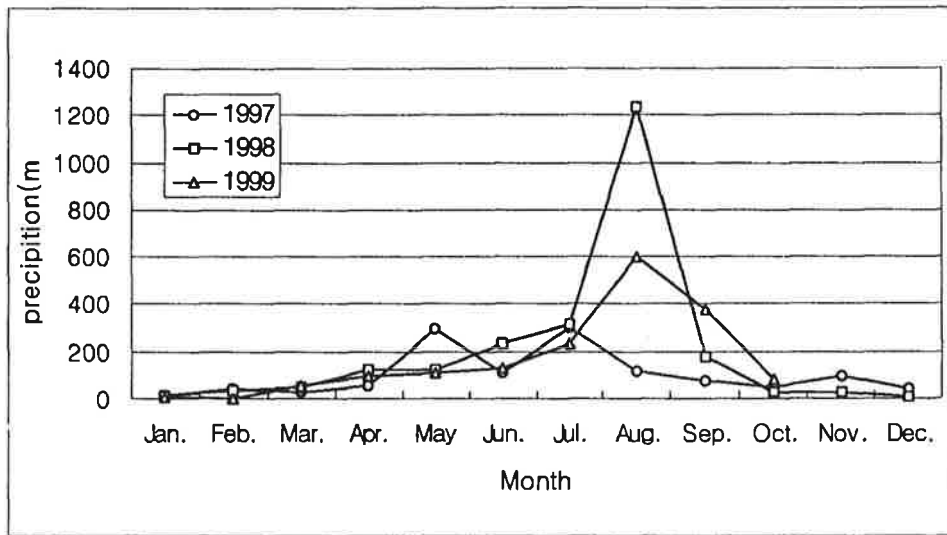


그림 3-1. 실험 수행기간동안 서울지역의 월별 강수량

시험이 수행되어진 3년 동안의 기상조건은 그림 1에서 보는 바와 같이 7월부터 9월까지 집중적인 강우현상을 나타내었다.

본 시험에 이용된 초종은 중만생종 옥수수(*Zea mays* L.)인 Pioneer 3352였으며, 시용된 톱밥발효돈분은 전질소 함량이 0.46%, 유기물이 62%, 수분 43%를 함유한 것으로 약 6개월 이상 완전발효시킨 것을 사용하였다.

시험구의 배치는 lysimeter의 경사도 {0° (0%), 5° (8.75%), 10° (17.50%)} 를 주구, 톱밥발효돈분 시용수준(0, 200, 400kgN/ha)을 세구로 하여 2반복으로 수행하였다.

본 시험에 이용된 lysimeter는 가로 0.33 m × 세로 3 m × 높이 0.4 m였으며 옥수수 파종은 각각 1997년에는 4월 28일, 1998년에는 4월 25일, 1999년에는 4월 25일에 실시하였으며, 20cm 간격으로 2립씩 점파하고 출현이 양호한 1개체를 재배하여 조사하였다.

옥수수의 생산성은 파종 후 110일째에 예취 암이삭과 대를 분리하여 생초수량을 조사하였으며, 건물수량은 80°C 열풍 건조기에서 96시간 건조 후 칭량하였고 질소의 이용효율은 시료를 kjeldahl법에 의해 분석 건물수량으

로부터 산출하였다.

유실수 중의 유기물과 전질소량은 옥수수 파종 직후부터 다음해 파종 전까지 일정한 간격으로 시료를 채취하여 유기물은 Tyurin법으로, 전질소 함량은 Kjeldahl 정량법으로 분석(AOAC, 1993)한 후 총 유실량을 계산하여 산출하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 건물수량

경사도별 톱밥발효돈분 시용에 따른 사일리지용 옥수수의 건물수량은 표 3-2와 같다. 경사도가 증가함에 따라 건물수량은 감소되는 경향을 보였고, 톱밥발효돈분 시용수준이 증가함에 따라 건물수량도 증가하는 경향을 나타냈다. 연도별 경사도에 따른 건물수량은 1차년도와 2차년도에는 비슷한 경향을 보였으나, 3차년도는 1차년도와 2차년도에 비해 현저한 수량감소를 나타냈다.

표 3-2. 경사도와 톱밥발효 돈분의 시용수준에 따른 옥수수의 건물수량(g/m²)

경 사 도	년 도	분 뇨 시 용 수 준(kgN/ha)			
		0	200	400	평 균
0 °	1997	778	989	1,356	619
	1998	937	988	1,159	748
	1999	141	267	617	1,044
	평 균	619	748	1044	803
5 °	1997	769	857	90	572
	1998	935	958	216	703
	1999	1,256	1,082	412	917
	평 균	572	703	917	731
10 °	1997	569	785	1,176	499
	1998	836	915	1,023	624
	1999	91	173	393	864
	평 균	499	624	863	662
평 균		563	692	942	732

톱밥발효돈분 시용수준에 따른 건물수량을 비교해 보면, 100과 200kgN/ha 시용구에서는 1차년도에 비해 2차년도에서 약간의 증가를 보였으나 400kgN/ha 시용구에는 오히려 2차년도에서 감소되는 결과를 나타냈다. 3차년도에는 모든 시험구에서 1차년도와 2차년도에 비해 무시용구에서는 약 6배정도, 200kgN/ha 시용구에는 약 4배정도, 400kgN/ha 시용구에는 약 2배정도의 수량감소를 나타냈다.

이와 같이 시용수준의 증가에 따른 건물수량의 상대적으로 적은 감소는 분뇨 유기물의 축적에 기인된 것으로 생각된다.

경사도가 증가함에 따라 건물수량은 감소되는 경향을 보였으나 유의차는 나타나지 않았다. 그러나 톱밥발효돈분 시용수준의 증가에 따라 건물수량은 유의적으로 증가하였다. 그리고 경사도별 및 톱밥발효돈분 시용에 따른 연도별 건물수량은 비교해 보면 1차, 2차 년도는 3차년도에 비해 현저하게 감소되는 결과를 나타냈다. 경사도와 톱밥발효돈분시용 사이의 상호작용 효과는 인정되지 않았으나 3차년도에서는 상호작용 효과가 나타났다.

건물수량에 미치는 종합적인 결과는 경사도보다는 분뇨의 시용수준에 따라 더 많은 차이를 보여주었고 경사도에 따른 시비의 영향은 시비수준이 낮을 때보다는 높을수록 경사도의 증가에 따라 건물수량의 감소가 많았다.

Siegenthaler등(1994)은 발효돈분의 시용량을 증가시킴으로써 옥수수의 건물수량을 증가시킬 수 있다고 하였는데 이는 본 시험과 유사한 연구결과를 나타냈다. Long과 Gracey(1990)도 액상발효돈분을 시용함으로써 사초의 수량을 증가시켰다고 하였고 Wightman등(1996)은 액상발효돈분은 액상발효우분에 비해 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 함량이 높기 때문에 화분과 작물의 생육에 유리하다고 보고하였다.

이상의 결과에서 나타난 바와 같이 옥수수의 생장은 경사에 따라 민감한 반응을 보이므로 경사도를 고려한 적정량의 양분을 공급하는 것이 옥수수

의 성장을 정상적으로 유도 할 수 있을 것으로 보인다. 그리고 3차년도에 옥수수의 생장이 현저하게 감소되는 현상을 보였는데 이는 연작으로 인한 토양내 필수영양소 고갈 또는 작물의 자감작용(autotoxicity)에 의한 것으로 추정할 수 있는데, Leather(1983) 및 Anderson(1993)은 옥수수를 자감작용의 가능성이 있는 작물이라고 보고하였다. 따라서 옥수수는 연작장해 효과가 크게 나타나므로 토양의 물리화학을 고려한 작부체계의 도입과 유기성 비료의 공급이 매우 중요할 것으로 생각된다.

2. 질소(N) 함량

경사도 및 톱밥발효돈분 시용에 따른 사일리지용 옥수수의 질소함량은 표 3-3과 같다. 경사도가 증가함에 따라 옥수수의 질소함량은 감소되는 경향을 보였고, 톱밥발효돈분 시용수준이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈다.

표 3-3. 경사도와 톱밥발효돈분의 시용수준에 따른 옥수수의 질소함량 (%)

경 사 도	년 도	분 뇨 시 용 수 준(kgN/ha)			
		0	200	400	평 균
0 °	1997	0.74	0.86	0.87	0.82
	1998	0.70	0.71	0.72	0.71
	1999	0.84	0.89	0.91	0.88
	평 균	0.76	0.82	0.83	0.80
5 °	1997	0.76	0.80	0.87	0.81
	1998	0.65	0.65	0.69	0.66
	1999	0.80	0.83	0.86	0.83
	평 균	0.74	0.76	0.81	0.77
10 °	1997	0.68	0.70	0.80	0.73
	1998	0.62	0.66	0.77	0.68
	1999	0.72	0.77	0.82	0.73
	평 균	0.67	0.71	0.76	0.72
평 균		0.72	0.76	0.80	0.76

실험결과, 경사도가 증가함에 따라 사초내 질소함량은 감소되는 경향을 보였으나, 0° 와 5° 사이에는 유의차가 나타나지 않았다. 그러나 경사도 10° 에서는 유의적으로 감소되는 결과를 나타냈다. 톱밥발효돈분 시용구의 질소함량은 무시용구에 비해 증가하는 경향을 보였으나 유의차는 나타나지 않았다. 경사도별 및 톱밥발효돈분 시용에 따른 연도별 N 함량을 비교해 보면 1, 2차년도는 3차년도에 비해 경미하게 감소되는 경향을 보였으며, 경사도와 톱밥발효돈분시용 사이의 상호작용 효과는 나타나지 않았다.

이상의 결과에서 보는 바와 같이 질소함량에 미치는 경사도나 톱밥발효돈분의 시용수준에 따라 비슷한 경향으로 감소 또는 증가를 보였는데 경사도가 증가함에 따라 사초내 질소함량이 감소되는 경향은 강우에 의해 시용된 톱밥발효돈분이 경사로 인하여 질소성분이 유실되어 옥수수의 생장에 영향을 주었기 때문인 것으로 보인다. 그리고 톱밥발효돈분 시용수준이 증가함에 따라 사초내 질소함량은 지속적인 증가를 보였는데 이는 Voigtlander 및 Jacob등(1987)의 연구 결과와도 일치하였다.

최(1999)는 발효돈분시용량이 증가함에 따라 옥수수 전식물체내 질소함량은 증가하였다고 하였으며 신(1999)도 액상발효돈분 240kgN/ha 시용구에서 옥수수 전식물내 질소함량이 대조구(화학비료구)에 비해 0.08% 증가하였다고 보고하였는데 본 시험에서도 유사한 결과를 나타내었다.

3. 질소(N) 수량

경사도 및 톱밥발효돈분 시용에 따른 사일리지용 옥수수의 질소(N) 수량은 표 3-4와 같다. 경사도가 증가함에 따라 질소수량은 감소되는 경향을 보였으나 톱밥발효돈분 시용수준이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 연도별 경사도 및 톱밥발효돈분 시용에 따른 질소수량은 3년차 < 2년차 < 1년차 순으로 나타났으며 3차년도는 1차년도에 비해 약 3배 이상의

수량감소를 나타냈다.

실험결과, 경사도가 증가함에 따라 질소수량은 감소되는 경향을 보였으나 유의차는 나타나지 않았다. 그러나 톱밥발효돈분 시용수준의 증가에 따라 질소수량은 유의적으로 증가하였다. 그리고 경사도와 톱밥발효돈분시용 사이의 상호작용효과는 인정되지 않았지만 경사도 보다는 시용수준간에 차이가 많았으며 경사도가 낮을 때보다는 높을수록 시용수준간의 상대적인 차이는 더 커서 10° 일때의 시용수준간의 차이는 2배 이상에 달하였다.

표 3-4. 경사도와 톱밥발효돈분의 시용수준에 따른 옥수수의 질소 수량(mg/m²)

경 사 도	년 도	분 뇨 시 용 수 준(kgN/ha)			
		0	200	400	평 균
0 °	1997	577	846	1,184	869
	1998	653	704	830	729
	1999	128	236	565	310
	평 균	453	595	860	636
5 °	1997	585	748	1,097	810
	1998	561	625	750	645
	1999	72	178	355	202
	평 균	406	517	734	552
10 °	1997	387	551	940	626
	1998	519	607	685	604
	1999	64	141	322	176
	평 균	323	433	649	468
평 균		394	515	748	552

이상의 결과에서 나타난 바와 같이 경사에 따라 질소수량이 감소되었는데, 이는 톱밥발효돈분내 비료성분이 강우에 쉽게 유실되어 옥수수의 엽생장에 영향을 주었기 때문으로 사료된다.

4. 유실수 중의 유기물량 및 질소량

경사도 및 톱밥발효돈분 사용에 따른 옥수수 재배지에서의 환경오염에 미치는 영향을 간접적으로 파악하기 위한 유실수 중의 유기물과 질소량을 조사한 결과는 표 5, 6과 같다. 경사도가 증가함에 따라 유기물과 질소의 유실량은 증가하는 경향을 보였으며, 톱밥발효돈분 사용수준의 증가에 의해서도 유실량도 증가하는 경향을 나타내었다.

표 3-5. 경사도와 톱밥발효돈분의 사용수준에 따른 옥수수의 유기물 유실량(mg/m²)

경 사 도	년 도	분 뇨 시 용 수 준(kgN/ha)			
		0	200	400	평 균
0 °	1997	962	1,258	1,275	1,165
	1998	869	1,838	1,677	1,461
	1999	905	1,190	1,921	1,339
	평 균	912	1,429	1,624	1,322
5 °	1997	2,535	2,624	4,385	3,181
	1998	3,284	4,275	4,960	4,173
	1999	1,336	1,958	2,291	1,862
	평 균	2,385	2,952	3,879	3,072
10 °	1997	5,377	7,438	8,754	7,190
	1998	4,400	5,421	6,682	5,501
	1999	2,664	4,099	4,769	3,844
	평 균	4,147	5,653	6,735	5,511
평 균		2,481	3,345	4,079	3,302

톱밥발효돈분 사용수준에 따라 유기물의 유실량은 증가하는 결과를 보여 200kgN/ha와 400kgN/ha 사용구간에 통계적으로 유의적인 차이가 있었고, 질소의 유실량은 경사도의 증가에 따라 현저한 증가를 보여 경사도 0° 는 5° 와 10° 보다 유의적으로 매우 낮은 유실량을 나타내었다. 그러나 경사도 5° 와 10° 사이에서는 유의차가 나타나지 않았다.

유기물과 질소유실에 미치는 경사도와 톱밥발효돈분의 시용수준 상호간의 차이는 분뇨수준 보다는 경사도의 증가에 따라 더 많은 유실량을 나타내었고, 특히 질소유실에서는 5° 400kgN/ha 수준과 10° 200kgN/ha 수준에서 비슷한 수준을 보여주었다.

이와 같이 경사도가 낮을 경우 유기물과 질소량이 감소된 것은 톱밥발효돈분에 함유된 유기물 성분이 토양유실 보다는 지력증진에 관여한 것으로 보이며, 경사지(5°, 10°)에서는 강우에 의해 다량의 유기물이 유실 또는 용탈된 것으로 사료된다. 또한 톱밥발효돈분 시용구에서 무시용구에 비해 유기물과 질소의 유실량이 높게 나타난 것도 톱밥발효돈분에 함유된 성분이 집중 강우에 의해 다량으로 유실되어 유기물과 질소량을 증가시킨데 기인된 것으로 생각된다.

표 3-6. 경사도와 톱밥발효돈분의 시용수준에 따른 옥수수의 질소 유실량(mg/m²)

경 사 도	년 도	분 뇨 시 용 수 준(kgN/ha)			
		0	200	400	평 균
0 °	1997	520	633	753	635
	1998	757	843	949	850
	1999	598	1,174	1,189	987
	평 균	625	883	963	824
5 °	1997	1,097	1,602	1,666	1,455
	1998	798	1,072	1,072	981
	1999	1,153	1,567	2,309	1,676
	평 균	1,016	1,413	1,682	1,376
10 °	1997	1,182	1,685	2,782	1,883
	1998	798	1,237	1,240	1,092
	1999	1,222	2,220	3,081	2,174
	평 균	1,067	17,14	2,368	1,716
평 균		903	1,337	1,671	1,305

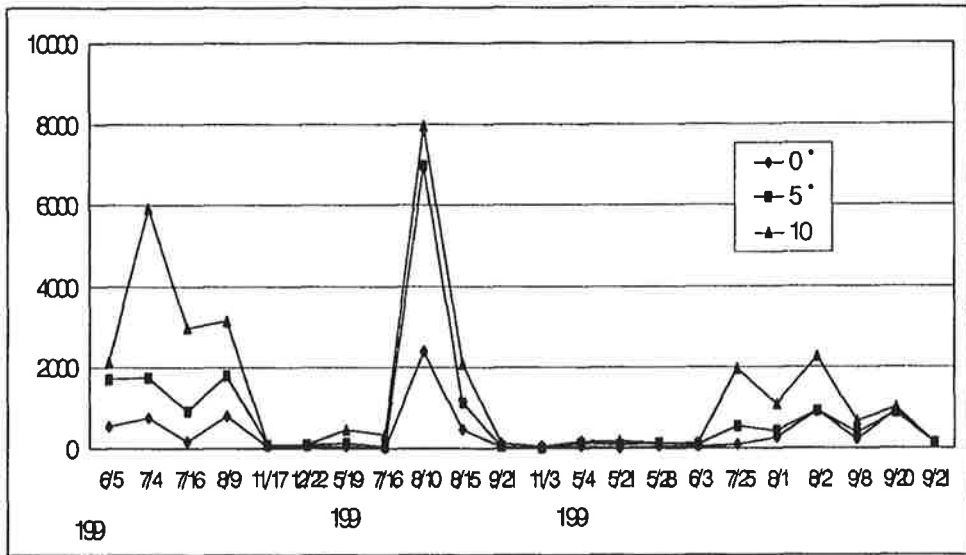


그림 3-2. 경사도에 따른 수중 유기물 유실량(mg/m³)

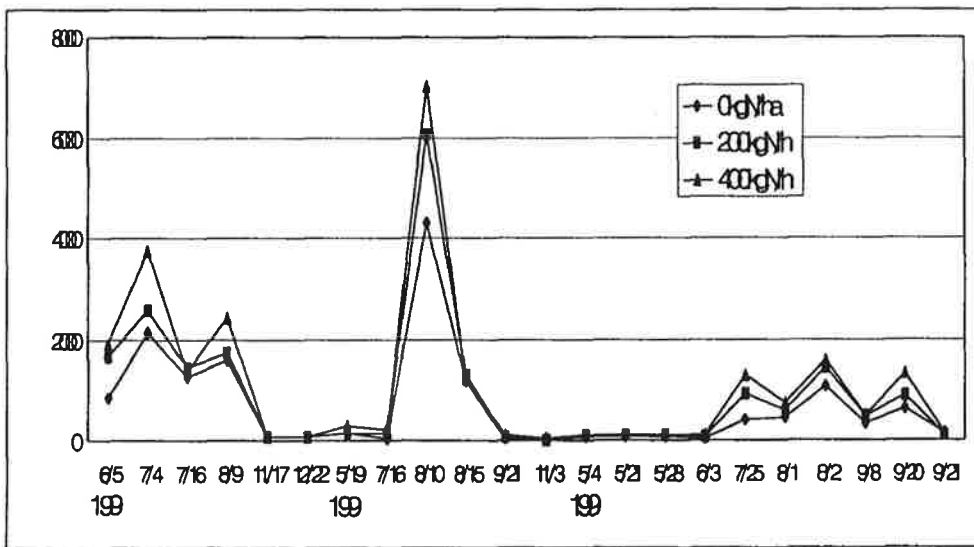


그림 3. 분뇨의 시용량에 따른 유실수중 유기물 유실량(mg/m³)

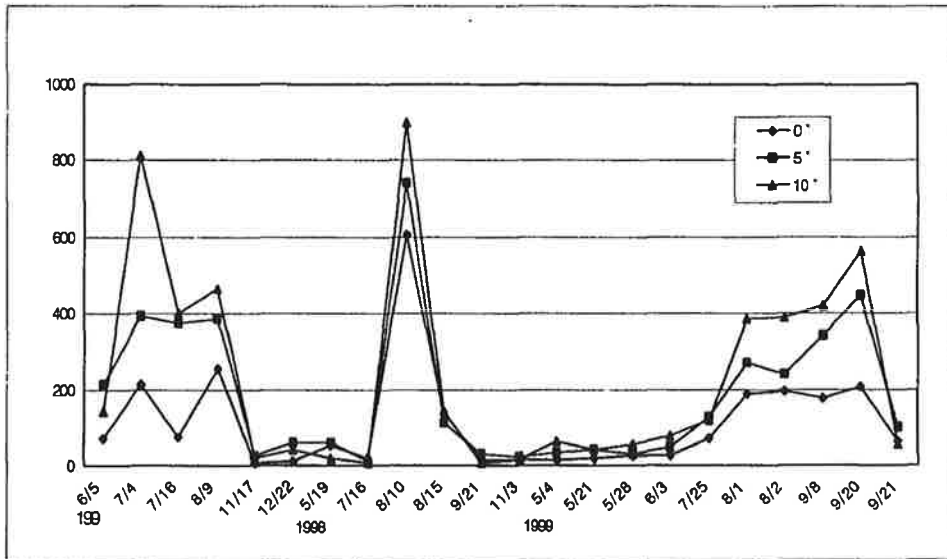


그림 3-4. 경사도에 따른 수중 전질소 유실량(mg/m³)

또한 시험기간 3년간의 월별 유실수층의 유기물과 질소의 유실량을 보면 그림 3-2, 3-3, 3-4, 3-5에 나타난 바와 같다.

여기에서도 경사도나 시용수준이 증가할 수록 더 높은 유실량을 보여주고 있지만 그 유실량은 유실이 적은 시기보다는 유실량이 높은 시기에 더 많았음을 잘 나타내고 있다.

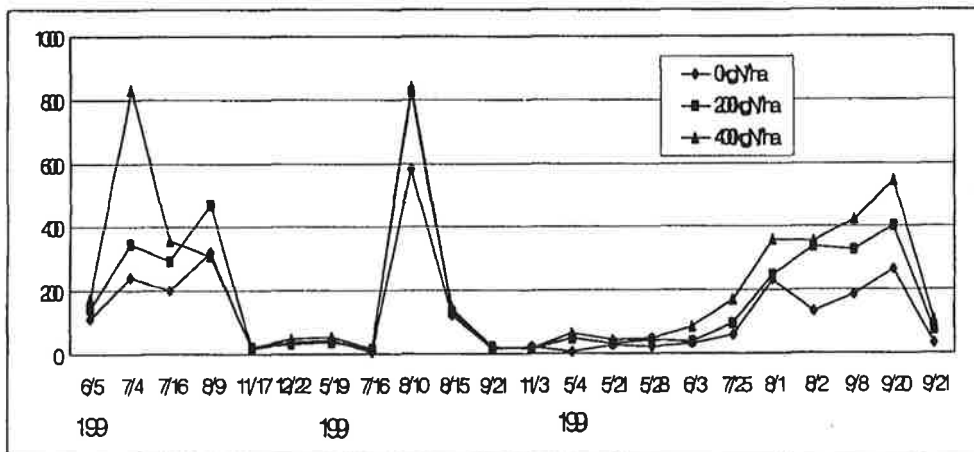


그림 3-5. 분뇨의 시용수준에 따른 수중 전질소 유실량(mg/m³)

특히 우리나라에서는 용탈이나 유실이 동절기에 더 많다는 유럽과 달리 주로 강우가 집중되어 있는 7-8월에 그 유실량도 매우 높았음을 보여주고 있다.

이상의 결과에서 처럼 톱밥발효돈분 시용량의 증가에 따른 유기물 유실량의 증가는 Gilley 등(1999)의 연구 결과와도 유사한 경향을 나타냈다. 그 외에도 신(1999)은 액상발효돈분의 시용량이 증가할수록 토양 내 유기물 함량이 증가된다고 하였고, 분뇨는 토양을 개선하는 효과(Campbell 등, 1986)가 있을 뿐만 아니라 토양 내 유기물함량을 증가시킨다고 하였다 (Sommerfeldt 등, 1988).

표 3-7. 경사도와 톱밥발효돈분의 시용수준에 따른 옥수수의 NO₃⁻ 함량(ppm)

경 사 도	년 도	분 뇨 시 용 수 준(kgN/ha)			
		0	200	400	평 균
0 °	1997	2.70	14.00	29.10	15.27
	1998	5.90	9.60	21.40	12.30
	1999	25.60	29.30	32.00	28.97
	평 균	11.40	17.63	27.50	18.85
5 °	1997	27.60	33.60	40.30	33.83
	1998	10.20	19.60	34.60	21.47
	1999	27.90	30.23	33.30	30.81
	평 균	21.90	27.81	36.07	28.59
10 °	1997	42.70	68.10	106.20	72.33
	1998	13.20	20.50	52.20	28.63
	1999	30.27	31.00	33.87	31.71
	평 균	28.72	39.87	64.09	42.22
평 균		20.67	28.44	42.55	30.55

제 4 절 결과 요약

본 연구는 가축분뇨의 시용 수준과 경사도가 옥수수의 생산성과 질소 및 유기물 유실에 미치는 영향을 조사하기 위한 것으로, lysimeter(가로 0.33 m × 세로 3 m × 높이 0.4 m)를 이용하여, 경사도 {0° (0%), 5° (8.75%),

10° (17.50%)} 를 주구, 톱밥발효돈분 시용수준(0, 200, 400kg N/ha)을 세 구로 하여 수행된 연구결과는 다음과 같다.

1. 건물수량은 경사도가 증가함에 따라 감소되는 경향을 보였으며, 톱밥 발효돈분 시용 수준의 증가에 따라 건물수량은 증가 하였다. 그리고 옥수수 건물수량은 년차적으로 감소하는 결과를 나타냈다.
2. 옥수수의 질소함량은 경사도가 증가함에 따라 감소되는 경향을 보였 으며, 톱밥발효돈분의 시용수준의 증가함에 따라 증가하는 경향을 보 였다.
3. 질소수량은 경사도가 증가함에 따라 감소되는 경향을 보였으며, 톱밥 발효돈분 시용수준의 증가에 따라 질소수량은 유의적인 증가를 나타 내었다.
4. 질소와 유기물의 유실량은 경사도와 톱밥발효돈분 시용량의 증가에 따라 모두 증가 되는 경향을 보였다.
5. 옥수수 재배지에서 질소와 유기물의 유실량은 분뇨의 시용 수준 보 다는 경사도의 증가시 더 증가되었다.

제 5 절 참고문헌

1. Anderson, R.L. 1993. Crop residue reduce jointed goatgrass (*Aegliops cylindrica*) seeding growth. *Weed Technol.* 7:717~722.
2. AOAC. 1990. Official methods of analysis(15th ed.). Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
3. Campbell, C.M., M. Schnitzer, W.B. Stewart, J.V.O. Biederbeck., and F. Selles. 1986. Effect of manure and fertilizer on properties of a Black Chernozem in southern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 66:60

1~613.

4. Davies, D.B., T.W.D. Garwood, and A.D.H. Rochford. 1996. Factors affecting nitrate leaching from a calcareous loam in East Anglia. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 126:75~86.
5. Frost, J.P., R.J. Stevens, and R.J. Laughlin. 1990. Effects of separation and acidification of cattle slurry on ammonia volatilisation and on the efficiency of slurry nitrogen for herbage production. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 115:49~56.
6. Gilley, J.E., B. Eghball, J.M. Blumenthal, and D.D. Baltensperger. 1999. Runoff and erosion from interrill areas as affected by the application of manure. *Transactions of the ASAE* 42(4):975~980.
7. Goh V.M., and P. Vityakon. 1986. Effects of fertilizers on vegetable production 2. Effects of nitrogen fertilizers on nitrogen content and nitrate accumulation of spinach and beetroot. *N.Z.J. Agr. Res.* 29:485~494.
8. Jarvis, S.C., M. Sherwood, and J.H.A.M. Steenvoorden. 1987. Nitrogen losses from animal manures from grazed pastures and from applied slurry. In: Van Der Meer, H.G., R.J. Unwin, T.A. Van Dijk and G.C. Ennik. (eds) *Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste* pp 195~212. Dordrecht, the Netherlands : Martinus Nijhoff.
9. Leaders, G.R. 1983. Weed control using allelopathic crop plant. *J. Chem. Ecol.* 9(8):983~989.
10. Long, F.N.J., and H.I. Gracey. 1990. Herbage production and nitrogen recovery from slurry injection and fertilizer nitrogen application.

Grass and Forage Science 45:77~82.

11. Pain, B.F., R.B.Thompson, Y.J. Rees, and J.H. Skinner. 1990. Reducing gaseous losses of nitrogen from cattle slurry applied to grassland by the use of additives. Journal of Science of Food and Agri. 50:141~153.
12. Pye, V.I. 1983. Groundwater contamination in tje United States. Workshop on Groundwater Resources and Contamination in the United States(Summary and Papers). Natl. Sci. Foundation. Washington. D.C.
13. Siegenthaler, A., B. Stauffer, F.X. Stadelmann, W. Stauffer, and H. Hani.1994. Excessive use of organic wastes in agriculture and field trial. Proceeding of 7th Technical Consultation on the ESCORENA Network on Animal Waste Management Bad Zwischenahn, Germany. pp137~149.
14. Sommerfeldt, T.G., C. Chang, and T. Entz. 1988. Long-term annual manure applications increase soil organic matter and nitrogen and decrease carbon to nitrogen ratio. Soil Sci. Soc. Am J. 52:1667~1672.
15. Stevens, R.J., H.I. Gracey, D.J. Kilpatrick, M.S. Camlin, D.G.O'Neill, and McLaughlin. 1989. Effective data of application and form of nitrogen on herbage production in spring. J. Agri. Sci., Cambrige 112:329~337.
16. Voigtlander, G. / H. Jacob, 1987. Grunland wirtschaf und Futterbau. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
17. Wightman, P.S. M.F. Franklin, and D. Younie. 1996. The response

of mini-swards of perennial ryegrass-white clover to simulated rainfall following liquid manure application. Grass and Forage Sci. 51:325~332.

18. 육완방. 1992a. 가축분뇨의 이용형태가 목초의 생산성, 지력증진 및 환경오염에 미치는 영향. 동물자원연구센터 증장기 연구과제 중간보고서.
19. 육완방. 1992b. 초지에 대한 가축분뇨의 시용. 한초지. 12:122~126.
20. 육완방, 최기춘, 안승현, 이종갑. 1999. 액상발효우분 시용시기와 시용량이 호밀 경작지 토양의 NO_3^- 함량에 미치는 영향. 한초지. 19(2):141~146.
21. 윤창, 최기춘. 1999a. 질소시비 수준이 생육단계별 수단그라스계 교잡종의 질산염 축적 및 수량에 미치는 영향. 한초지. 19(1):81~88.
22. 신동은. 1999. 축종별 액상분뇨와 질소시비용량이 양질조사료의 수량, 사료가치 및 토양특성에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위논문.
23. 최동호. 1999. 돈분의 처리형태와 시용수준이 silage용 옥수수 생산성 및 지력증진에 미치는 영향. 건국대학교 석사학위논문.

제 4 장 가축분뇨의 처리형태와 시용수준이 영년 초지의 생산성, 지력증진 및 환경에 미치는 영향

The effects of the type and application level of swine manure on herbage productivity, improvement of soil fertility and environment in mixed grassland.

SUMMARY

This study was conducted to investigate the effects of the type and application level of swine manure on herbage productivity, efficiency of nitrogen utilization and environmental pollution by the leaching of nitrogen compounds in mixed grassland. The field experiment was carried out on established grassland sward growing on silt clay loam soil. Main plots were the types of swine manure, such as swine manure fermented with sawdust(SMFWS), swine manure fermented without sawdust(SMF) and swine slurry(SS), and mineral fertilizer(Urea). Subplots were the application levels of swine manure, such as 100, 200 and 400kgN/ha,

The results obtained were summarized as follows ;

1. Herbage productivity, nutritive value and nitrogen yields were the highest with mineral fertilizer and followed by swine slurry and SMF. and the lowest with SMFWS. As compared with dry

matter(DM) yield by application of mineral fertilizer(100%), the DM percents of SMFWS, SMF and SS were 90.6, 80.9 and 76.8%, respectively.

2. Organic matter(OM) content of the soil was increased by the application of swine manure. OM content was the highest with SMFWS and the lowest with mineral fertilizer.
3. The amount of nitrate leaching by type and application levels of swine manure was the highest in the end of Aug. and early of Sep. for the seasons and ranged from 10 to 25ppm

제 1 절 서 설

목초의 생산을 하는데 있어 초지에 대한 시비는 그 영양소 요구량을 가능한 한 가장 저렴한 가격으로 충족시킨다는 것이 매우 중요하며, 그러한 목적을 위한 가축분뇨의 이용은 경제적인면 외에도 목초 생산을 위해서나 양분의 순환에 의한 환경친화적인 농업을 위해 매우 의미가 있는 것이다.

그러나 가축분뇨는 그 자체가 유기물질로 이루어진 매우 비료 가치가 높은 물질이다. 가축의 사료, 영양소 함량, 소화율에 따라 그 가치는 매우 상이하게 나타나고 있다.

가축분뇨는 화학비료와는 달리 시용을 위한 작물의 종류, 토양, 기후, 시용시기 및 시용수준 등에 따라 분뇨중에 함유된 양분의 이용효율이나, 지력에 미치는 영향이 다르고 시용 후 환경에 미치는 영향이 매우 다르게 나타나고 있다. 특히, 가축분뇨의 처리형태에 따라서는 분뇨중 질소의 이용효율이 다르고 지속적인 분뇨만의 시용에서도 질소의 환경에 미치는 영향은 화학비료와 같을 수 있다고 하였다(Ruppert, 1985; Ryoo, 1994, 1997). 이와 같이 분뇨중의 질소는 다량 시용시 mineral화와 질산화 과정을 통하여 생

성된 NO_3 는 식물에 의해 모두 흡수되지 않고 많은 양이 결국 지하수와 함께 용탈되어 식수를 통하여 우리 인간에게 직접적으로 해를 미치게 된다. 즉, 생후 4개월 미만의 유아에게는 methemoglobin 혈증을 유발시켜 질식사 위험이 있으며(Bewig, 1976; Sunkel, 1983), 성인에게는 식수나 음식물을 통한 다량의 NO_3 섭취는 체내에서 amin 등의 물질과 결합 위암발생의 위험이 높은 nitrosamin이나 다른 질소 화합물의 생성을 초래 위암을 초래할 수가 있다(Selenka, 1982; Oertli, 1985; 정 등, 1993; 육 등, 1997a, 1997b, 1999).

이러한 이유로서 많은 양의 질소비료나 가축분뇨의 사용은 하천오염 등에 의한 환경파괴 외에도 인간의 건강에 커다란 문제가 야기될 수 있기 때문에 유럽국가들은 이미 1980년대부터 식수중의 NO_3 함량을 90mg/l에서 50mg/l으로 하향조정, 강력히 규제하고 있다(E.E.C., 1980).

그러나 우리나라에서는 처리형태에 따른 가축분뇨의 환경친화적 자원화를 위한 정확한 사용기준도 설정되어 있지 않을 뿐더러 우리나라의 기후풍토는 외국과는 현저히 달라 외국의 자료를 그대로 적용할 경우 많은 문제점을 야기시킬 수 있기 때문에 우리의 조건에 알맞는 처리방법은 물론 이의 자원화를 위한 효율적인 이용방법에 대한 연구가 필수적으로 수행되어야 한다.

이러한 이유로서 본 연구에서는 영년초지에 있어 화학비료와 함께 분뇨의 처리형태별로 그 사용수준에 따라 목초의 생산성과 질소의 이용효율은 물론 질소의 용탈에 의한 환경에 미치는 영향을 규명하기 위해 용탈수 중의 NO_3 함량을 측정하므로써 환경오염 방지 대책을 위한 가축분뇨의 정확한 사용수준을 제시하고자 본 실험을 수행하였다.

제 2 절 재 료 및 방 법

본 시험은 1998년부터 1999년까지 2개년간에 걸쳐 경기도 광주군 곤지암 소재 경기도 축산기술 연구소내의 사료작물 초지 시험포에서 수행하였으며 시험포장의 토양과 기상 상황은 표 4-1과 그림 4-1에 나타난 바와 같다 동일하였다.

표 4-1. 본 실험에서 이용된 토양의 화학적 성질

P ₂ O ₅ (mg/kg)	OM (g/kg)	C.E.C (cmol ⁺ /kg)	Exchangeable Cations(me/100g)				pH (1:5H ₂ O)
			Ca	K	Mg	Na	
212.2	2.22	14.3	4.25	0.68	1.98	0.20	5.06

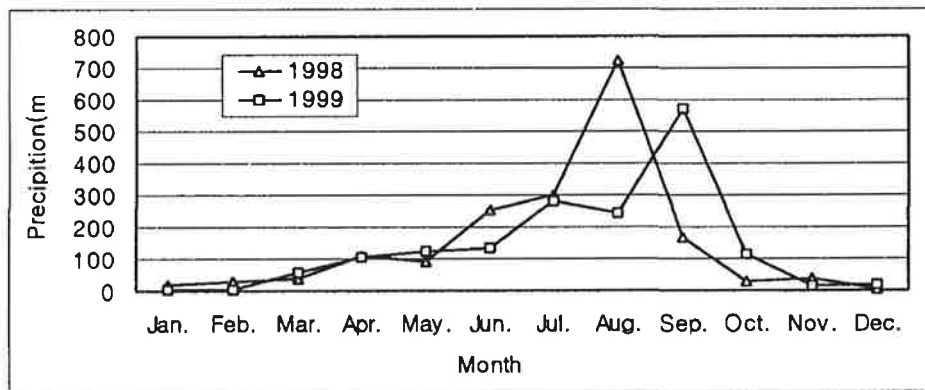


그림 4-1. 실험 수행기간동안 곤지암 지역의 월별 강수량

시험구의 배치는 시비종류(가축분뇨의 처리형태)를 주구로 하며 화학비료, 톱밥발효돈분, 무톱밥발효돈분 및 액상발효돈분을 사용하였고, 사용수준은 N을 기준으로하여 100, 200 및 400kgN/ha로 하는 분할구 배치법 3반법으로 하였다.

목초지의 조성은 1997년 9월초 Orchardgrass 17kg, Tall fescue 13kg과 Kentucky bluegrass 5kg 비율로 ha당 총 35kg을 파종하였으며 시험구의

면적은 15m²(3m×5m)로 하였고, 시바시기는 봄 생육개시 이전과 3번초 예취로 2회 분할 시용하였다.

조사항목은 목초의 건물수량, 목초의 사료가치(조단백질, TDN), N생산량 및 토양조사는 제 1, 3, 4장의 시험과 동일하게 수행하였으며, N의 용탈에 의한 환경오염에 미치는 영향을 조사하기 위한 NO₃의 측정은 suction cup 을 그림 2와 같이 시험구당 3개씩 1m 깊이로 설치 매 2주 간격으로 1주 진공, 1주 휴식으로 2주 간격마다 용탈수를 채취 NO₃함량을 분석하였다 (Czertski, 1971; 육, 1990).

제 3 절 결과 및 고찰

1. 건물수량

가축분뇨의 처리형태 및 시용수준별 목초의 건물수량에 미치는 연구결과는 표 4-2에서 보는 바와 같다. 먼저 가축분뇨의 처리형태별 건물수량에 미치는 평균적인 영향은 가축분뇨 처리형태와 관계없이 화학비료에 비하여서는 낮으며, 분뇨의 종류간에는 액상발효돈분 > 무톱밥발효돈분 > 톱밥발효돈분의 순으로 그 시용효과가 높았다. 연도간에도 평균적인 수량에서 차이는 있지만 가축분뇨의 종류간에는 거의 같은 경향을 나타내고 있다.

이와 같이 가축분뇨의 시용수준을 N의 함량에 따라 동일하게 하였음에도 불구하고 가축분뇨가 화학비료에 비하여 낮은 생산성이나, 분뇨간에도 차이가 나는 것은 분뇨중의 총 N함량보다는 무기태 N의 함량에 따른 결과로 사료된다(Vetter와 Steffens, 1986; Ruppert 등, 1985).

또한 분뇨의 시용수준에 따른 시용효과는 가축분뇨의 처리형태에 따라 약간의 차이는 있으나 400kgN/ha 수준까지는 지속적으로 증가하는 경향을 보였다.

표 4-2. 가축분뇨의 처리형태와 사용수준별 건물수량(ton/ha)

분뇨사용 수준	년도	화학 비료	톱밥발효 돈분	무톱밥발효 돈분	액상발효 돈분	평균
100kgN/ha	1998	14.45	10.91	11.27	14.68	12.83
	1999	10.09	9.02	8.69	9.49	9.32
	평균	12.27	9.96	9.98	12.09	11.07
200kgN/ha	1998	15.75	13.46	14.03	14.35	14.40
	1999	11.90	8.12	9.79	10.06	9.97
	평균	13.82	10.79	11.91	12.20	12.18
400kgN/ha	1998	16.77	14.00	13.16	15.12	14.76
	1999	13.93	8.17	10.10	11.42	10.91
	평균	15.35	11.09	11.63	13.27	12.83
평균		13.82	10.62	11.18	12.52	12.03

400kgN/ha 수준까지의 사용에서의 문제점은 표 4-2에서 보는 바와 같이 화학비료와 액상발효돈분의 경우 1번초에서 너무 높은 수량으로 인하여 도복현상을 나타내기 때문에 화학비료나 액상발효돈분의 사용량 400kgN/ha는 결과적으로 너무 높은 수준으로 사료된다. 그러나 톱밥발효돈분 또는 무톱밥발효돈분의 경우에는 그와 같은 경향을 보이지 않았다.

표 4-3. 가축분뇨의 처리형태별 사용수준에 따른 예취시기별 건물수량(ton/ha)

		화학비료	톱밥발효돈분	무톱밥발효돈분	액상발효돈분	평균
1번초	건물수량	6.07	4.62	5.01	7.05	6.77
	비율	44	43	45	46	44
2번초	건물수량	2.90	1.45	1.62	2.05	2.01
	비율	21	14	14	17	17
3번초	건물수량	2.76	2.23	2.10	2.39	2.37
	비율	20	21	19	19	20
4번초	건물수량	2.09	2.33	2.45	2.29	2.29
	비율	15	22	22	18	19
계	건물수량	13.82	10.62	11.18	12.52	12.03
	비율	100	100	100	100	100

동시에 액상발효돈분의 경우 년중 건물수량의 분포가 톱밥발효돈분이나 무톱밥발효돈분의 경우와는 달리 화학비료의 경우와 비슷하게 1, 2번초에 집중되어 있어 화학비료와 같이 속효성의 비료효과를 나타내기 때문에 기비로서의 효과와 함께 분할 사용하는 것도 점진적으로 고려해야 할 것으로 사료된다.

2. 사료가치

가축분뇨의 처리형태별 사용수준에 따른 목초의 조단백질 함량에 미치는 영향은 건물수량에서와 비슷하게 시비의 종류별 효과는 화학비료의 경우 가장 높았고, 다음으로 액상발효우분 이었으며 톱밥발효돈분이나 무톱밥발효돈분의 경우 같은 수준이었다. 이와 같이 화학비료나 액비에서의 높은 단백질함량은 낮은 C/N비 또는 높은 무기태 N함량에 기인된 것으로 사료된다.

표 4-4. 가축분뇨의 처리형태와 사용수준별 조단백질 함량(%)

분뇨사용수준	년 도	화학 비료	톱밥발효 돈 분	무톱밥발효 돈 분	액상발효 돈 분	평 균
100kgN/ha	1998	13.7	13.1	13.0	13.8	13.4
	1999	13.2	13.1	13.3	13.1	13.2
	평 균	13.5	13.1	13.1	13.5	13.3
200kgN/ha	1998	15.0	13.4	13.8	14.4	14.2
	1999	13.6	13.4	13.6	13.5	13.6
	평 균	14.3	13.4	13.7	14.0	13.9
400kgN/ha	1998	16.2	14.2	13.6	15.0	14.8
	1999	15.6	13.7	13.8	14.9	14.5
	평 균	15.9	14.0	13.7	14.9	14.6
평 균		14.6	13.5	13.5	14.1	13.9

또한 분뇨의 사용수준별 조단백질 함량은 전체적으로 지속적인 증가를 보여 주고 있으며, 이 역시 톱밥발효돈분이나 무톱밥발효돈분에 비하여 액상발효돈분이나 화학비료의 경우 더욱 확실한 증가를 보여주고 있다. 특히 화학비료의 경우 낮은 사용수준(100kgN) 보다 사용수준이 높아 질수록 더 확실한 증가를 보여주고 있다. 이러한 경향은 지속적으로 N시비 수준을 증가할 경우 건물증가는 증가후 다시 감소를 보이지만, 조단백질 함량은 건물수량의 감소에도 불구하고 지속적인 증가를 보인다(Roth, 1970)는 Voigtänder와 Jacob(1987)의 경우와도 같은 경향을 보여주고 있다.

사용된 가축분뇨의 이용효율을 측정하기 위해 건물수량과 N함량으로부터 산출한 가축분뇨의 처리형태별 사용수준에 따른 N생산량은 건물수량이나 조단백질 함량과 마찬가지로 화학비료의 경우 평균 300kg으로 가장 현저하게 높았고, 다음으로 액상발효돈분의 281kg, 무톱밥발효돈분의 236kg 및 톱밥발효돈분의 229kg 순이었다.

표 4-5. 가축분뇨의 처리형태와 사용수준별 N 생산량 (kg/ha)

분뇨사용수준	년 도	화학비료	톱밥발효돈 분	무톱밥발효돈 분	액상발효돈 분	평 균
100kgN/ha	1998	307	223	221	317	267
	1999	208	190	185	197	195
	평 균	258	207	203	257	231
200kgN/ha	1998	369	289	302	321	320
	1999	254	172	211	211	212
	평 균	312	231	256	266	266
400kgN/ha	1998	432	325	280	367	351
	1999	348	176	220	273	255
	평 균	390	251	250	320	303
평 균		320	229	236	281	267

N수준에 따른 영향은 N 사용수준이 증가할수록 비례하여 증가하였고, 특히 화학비료와 액상발효돈분의 경우 100kgN 수준에서는 같은 효율을 나타내었지만 N수준이 증가할수록 화학비료의 이용효율이 더 높았으며 마찬가지로 톱밥발효돈분 또는 무톱밥발효돈분과 액상발효돈분간에도 비슷한 경향을 보여주고 있다.

3. 토양유기물과 N함량

토양유기물 함량에 미치는 가축분뇨의 처리형태와 그 사용수준별 사용효과는 2년간의 사용결과 톱밥발효돈분의 경우 3.82%로 가장 높았고, 화학비료와 액상발효돈분이 3.60 및 3.58%로 가장 낮아 목초의 건물수량이나 조단백질 함량과는 반대의 경향을 보여주고 있다. 이러한 경향은 돈분의 유기물 함량이 화학비료나 액비에 비해 높기 때문으로 사료된다.

또한 분뇨의 사용수준의 증가에 의해서도 유기물 함량은 많은 증가를 보였는데 이러한 경향은 사용수준의 높고 낮음이나 분뇨의 종류에 관계없이 일정한 증가를 보여 주었다.

표 4-6. 가축분뇨의 처리형태와 사용수준별 토양유기물 함량(%)

	화학비료	톱밥발효돈분	무톱밥발효돈분	액상발효돈분	평균
100kgN/ha	3.41	3.63	3.61	3.48	3.53
200kgN/ha	3.68	3.77	3.72	3.55	3.68
400kgN/ha	3.71	4.05	3.83	3.70	3.82
평균	3.60	3.82	3.72	3.58	3.68

표 4-7. 가축분뇨의 처리형태와 사용수준별 토양 질소 함량(%)

	화학비료	톱밥발효돈분	무톱밥발효돈분	액상발효돈분	평균
100kgN/ha	0.26	0.28	0.28	0.27	0.27
200kgN/ha	0.27	0.27	0.29	0.29	0.28
400kgN/ha	0.28	0.31	0.33	0.29	0.30
평균	0.27	0.29	0.30	0.28	0.28

또한 토양중의 N함량은 분뇨의 종류간에 큰 차이를 보여주지는 않았지만 무틀밥발효돈분의 경우 0.3%로 가장 높았고, 그 다음으로 튼밥발효돈분, 액상발효돈분 그리고 화학비료가 0.27%로 가장 낮았다.

분뇨의 시용수준에 따른 영향은 N시용수준과 비례하여 100kgN 구의 0.27%에서 400kgN 구의 0.30%으로 지속적인 증가를 보여주었다.

4. 용탈수 중의 NO₃ 함량

가축분뇨의 환경오염에 미치는 영향을 파악하기 위하여 처리형태별 시용수준에 따른 NO₃의 용탈을 suction cup을 지하 1m 깊이로 설치, 2주 간격으로 조사한 결과는 그림 4-2와 4-3과 같다.

먼저 돈분의 처리형태별 평균적인 NO₃의 용탈은 그림 2에서와 같이 분뇨간에 확실한 차이를 보여주지 않았고, 단지 화학비료 시용구에서도 4-8월 중에만 가축분뇨에 비해 5ppm 정도 높았으며, 계절적으로는 강수량에 따라 강수량이 많았던 8월 하순에 약간 높았지만 결코 20ppm을 초과하지 않았고 5ppm도 초과하지 않았다.

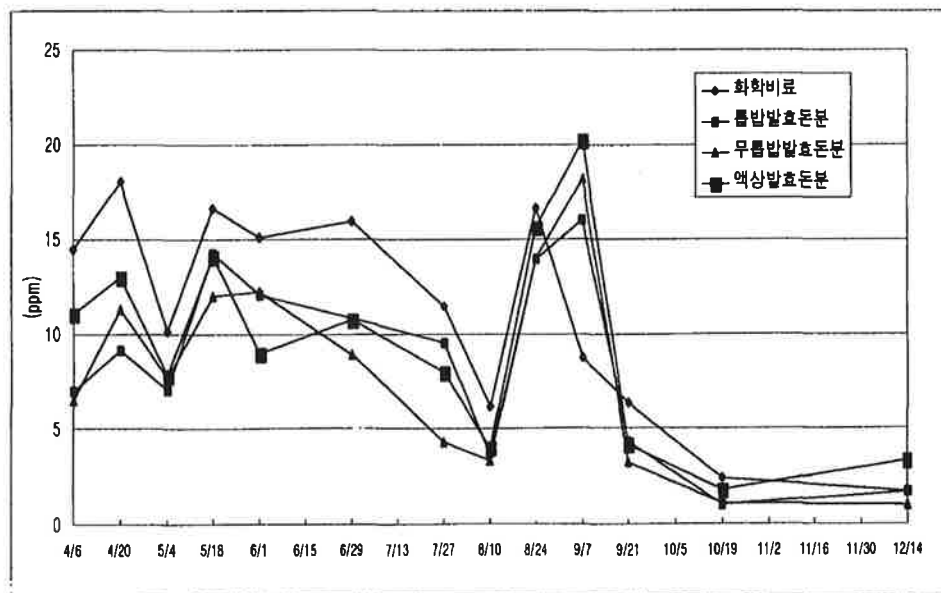


그림 4-2. 돈분의 처리형태에 따른 계절별 용탈수 중의 NO₃⁻ 함량(ppm)의 변화

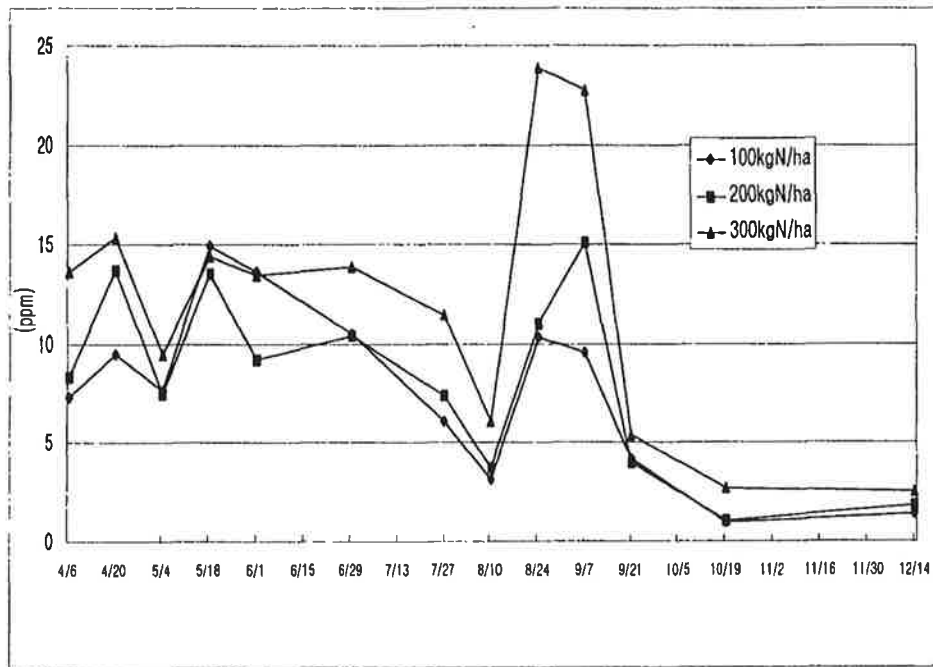


그림 4-3. 분뇨의 시용수준별 계절별 용탈수 중의 NO₃⁻ 함량(ppm)의 변화

또한 가축분뇨의 N시용수준에 따른 NO₃의 용탈은 그림 3에서와 같이 분뇨 N의 시용수준과 비례하여 나타났지만, 용탈량이 가장 높았던 8-9월에 400kgN 시용구에서도 결코 25ppm을 초과하지 않았고 분뇨의 종류에서와 같이 건조기인 10월 부터는 5ppm도 초과하지 않고 있어 지하수에서의 NO₃ 함량을 50ppm으로 규제하고 있는 유럽(E.E.C., 1980)의 규제치 보다도 오히려 낮은 경향을 보여 주고 있다.

이러한 결과는 영년초지에서는 높은 N 시용수준에도 불구하고 N의 용탈이 결코 많지않다는 지금까지의 Amberger(1983), Kolenbrande(1969), 육(1996), Linville와 Smith(1971), Dressel과 Jung(1983), Merz(1928) 등의 많은 연구 결과와도 일치하고 있다.

제 4 절 결과요약

본 연구는 가축분뇨의 처리형태별 사용수준에 따른 목초의 생산성과 질소의 이용효율 및 질소의 용탈에 의한 환경오염에 미치는 영향을 파악하기 위하여 화학비료, 톱밥발효돈분, 무톱밥발효돈분 및 액상발효돈분을 100, 200, 400kgN/ha 수준으로 시용했을 때의 연구 결과는 다음과 같다.

1. 화학비료와 분뇨의 처리형태별 목초의 생산성과 사료가치 및 N생산량에 미치는 시용효과는 화학비료 > 액상발효돈분 > 무톱밥발효돈분 > 톱밥발효돈분의 순이었다 (건물수량 : 화학 비료(100), 액상발효돈분(90.6), 무톱밥발효돈분(80.9), 톱밥발효돈분 (76.8)).
2. 토양 유기물 함량에 미치는 영향은 화학비료 < 액상발효돈분 < 무톱밥발효돈분 < 톱밥발효돈분의 순이었다.
3. 가축분뇨의 처리형태나 사용수준에 따른 NO₃의 용탈은 시기적으로는 8월 하순 9월 초순에 가장 높았으며 N 사용수준 400kg/ha 수준까지에서도 서로간에 차이는 매우 적었고 NO₃ 함량도 결코 25ppm을 초과하지 않았다.

참 고 문 헌

1. Amberger, A. 1983. Stickstoffaustrag in Abhängigkeit von Kulturart und Nutzungsintensität im Ackerbau und Grünland, Nitrat-ein Problem für unsere Trinkwasserversorgung. Arbeiten der DLG, Band 177. DLG-Verlag : 83-94.
2. Bewig, F. 1976. Hygienische Bedeutung der NO₃ unter Berücksichtigung der Bereiche des Wasserwerks Mussum. Forschung u Beratung, Reihe C. 30 : 90-94.
3. Czeratzki, W. 1971. Saugvorrichtung für kapillar gebundenes Bodenwasser. Landbauforschung Volkenrode. 21 : 13-14.
4. Dressel, J., J. Jung. 1983. Nährstoffverlagerung in einem Sandboden in Abhängigkeit von der Bepflanzung und Stickstoffdüngung (Lysimeterversuche). Landw. forsch. 36. Kongressband.
5. European Economic Community. 1980. Council directive on the quality of water for human consumption, -Official journal 23. No. 80/778/EEC 229. 11-29.
6. Geyer B. und H. Marschner. 1990. Charakterisierung des Stickstoffversorgungsgrades bei Mais mit Hilfe des Nitrat-Schnelltests. E. Pflanzenernhr. Bodenk., 153.341-348.
7. Kolenbrander, G.J. 1969. Nitrate content and nitrogen loss in drainwater. Neth. J. Agric Sci. 17 : 246-255.
8. Merz. H. U. 1988. Untersuchungen zur Wirkung von unbehandelter und methanvergorener Rindergülle auf den N-Umsatz unter *Dactyulis glomerata* L. sowie auf das Keimverhalten verschiedener

- pflanzenarten. Disstation. uni. Hohenheim.
9. Oertli, J.J. 1985. Magenkerbs, NO_3^- , Gemusekonsum und Vitamine. Schwei Landw. Forsch. 25(1) : 1-11.
 10. Roth, D. 1970. Auswirkung steigender Stickstoffgaben auf den Gehaltan Inhaltsstoffen im Weidefutter. Tierzucht 24. 62-64.
 11. Ruppert, W., M. Stichlmair, J. Bauchhen β , H. M. Blendl, A. Haisch, K. Hammer, U. Hege, R. Juli, L. Melian, W. Nurnberger, J. Rieder, P. Rintelen, K. Rutzmoser, W. Weber, A Wurzinger, and H. Zeisig. 1985. Daten und Imformationen zum Gulleinsatz in der Landwirtschaft. Sond. Bayer. Landw. Jahrbuch. 62. . 8:899-966.
 12. Ryoo Jong Won, 1994. Wirkungen reduzierter Düngungs und Nutzungintensität auf einer landschaftstypischen Grünlandfläche des Württembergischen Allgäus Dissertation, uni. Hohenheim.
 13. Selsnda, F. 1982. Gesundheitliche Aspedte von Nitrat, Nitrit und Nitrosamunen. Vortrag auf der wasserfachlichen Aussprachetagug in Hamburg am 2. 3. 1983.
 14. Sunkel, R. 1983. Nitratbelastung des Trinkwassers furch die Landnutzung, Z. Kulturtechn. u. Flurbereinig. 24. 180-185.
 15. Vetter. H, G. Steffens, 1986 wirtschaftseigene Düngung, DLG- erlag, Farankfurt(Main).
 16. Voigtländer, G., H. Jacob. 1987. Grünlandwirtschaft und Futterbau. V Verlag Eugen Ulmer Stuttgart.
 17. 류종원, 1997. 초지에서 액상분뇨 시용이 토양의 질소동태와 NO_3^- 용탈에 미치는 영향. 한초지. 17(1) : 43-50.
 18. 육완방. 1990. 영년혼파초지에 있어서 예취빈도와 질소시비 수준이

- NO₃-N의 유실에 미치는 영향. 한초지 10(2), 84-88.
19. 육완방, 금종성, 차용복, 김날렬, 이종민, 1997,a. 가축분뇨 시용에 의한 작물의 생산성과 분뇨의 지표 유출 및 용탈에 의한 수질오염 대책에 관한 연구. '97 축산분뇨처리 기술개발 연구결과보고서 건국대학교 동물자원연구센터.
 20. 육완방, 이인덕, 윤세형, 1996 가축분뇨의 종류와 질소의 시비수준이 초지의 생산성, 지력 증진 및 환경오염에 미치는 영향. 건국대학교 동물자원연구센터 중장기 연구과제 결과보고서 : 188-210.
 21. 육완방, 차용복, 금종성, 이종민, 한영근, 1997,b. 액상구비의 시용시기와 시용수준이 호밀의 생산성에 미치는 영향. 한초지 17(1), 75-81
 22. 육완방, 최기춘, 안승현, 이종갑, 1999 액상발효우분의 사용시기와 시용량이 호밀경작지 토양의 NO₃-함량에 미치는 영향. 한초지 19(2)141-146.
 23. 정호석, 육완방, 방호범. 1993. 액상구비 및 요소의 시용수준이 Orchard-grass 초지의 생산성과 토양중 NO₃-N 함량에 미치는 영향. 한초지. 13(4) : 278-285.

제 5 장 가축분뇨의 처리형태별 시용시기가 영 년초지에 있어서 분뇨의 이용효율 및 목초의 생산성에 미치는 영향

The effects of the type and application season of animal manure on herbage productivity and utilization efficiency of animal manure in mixed grassland.

SUMMARY

This study was conducted to investigate the effects of the type and application season of animal manure on herbage productivity, efficiency of nitrogen utilization in mixed grassland. Main plots were the types of animal manure, such as cattle feedrot manure(CFM), swine manure fermented with sawdust(SMFWS) and cattle slurry(CS). Subplots were the seasons of animal manure application, such as application in autumn or in spring as single dressing, and application in autumn and spring as a 50:50 split dressing.

The results obtained were summarized as follows ;

1. Herbage productivity and nutritive value were hardly influenced by type and application season of animal manure.
2. Nitrogen efficiency of SMFWS was lower than that of CFM and CS.

3. Organic matter(OM) content in the soil by application season of animal manure was the highest with a dressing-application in spring and the lowest with two dressing-application in autumn and spring. OM content among animal manure treatments was the highest with CFM and the lowest with CS
4. Nitrogen content of the soil was hardly influenced by the type and application season of animal manure.

제 1 절 서 설

지난 30여년 동안 우리나라의 주요 가축사육두수는 현저하게 증가되어, 식생활 개선에 의한 국민건강에 많은 기여를 한 반면 이는 결과적으로 4500만톤에 달하는 많은 가축분뇨가 발생, 이를 비료자원으로의 환원이 제한적인 우리나라에서는 결국, 커다란 환경오염원으로 전락하게 되었다.

이를 위한 대책으로 지금까지 법적으로나 기술적으로 많은 연구가 수행되어져 왔지만 양축농가나 이를 사용하는 농가에서도 이에 대한 정확한 자료가 부족, 점점 더욱 심각한 문제로 대두되고 있다.

제 2 절 재 료 및 방 법

본 시험은 3개년간에 걸쳐 경기도 광주군에 위치한 경기도 축산기술 연구소내의 북동향의 경사도가 5 °정도인 사료작물 초지 시험포에서 수행하였으며, 시험포장의 토양성분은 표 5-1과 같다.

표 5-1. 본 실험에서 이용된 토양의 화학적 성질

P ₂ O ₅ (mg/kg)	OM (g/kg)	C.E.C (cmol ⁺ /kg)	Exchangeable Cations(me/100g)				pH (1:5H ₂ O)
			Ca	K	Mg	Na	
212.2	2.22	14.3	4.25	0.68	1.98	0.20	5.06

시험구의 배치는 가축분뇨의 종류별로 그 적정 사용시기를 파악하기 위해 가축분뇨의 종류인 퇴구비, 톱밥발효돈분 및 액상발효우분을 주구로 분뇨의 사용시기를 가을, 봄, 및 가을/봄 분할시용을 세구로 하는 분할구 배치법 3반복으로 하였다.

분뇨의 사용수준은 N함량을 기준으로 200kg/ha씩으로 하였고, 시험포장은 Orchardgrass, Tall fescue 및 Kentucky bluegrass를 각각 17, 13 및 5kg씩 파종한 영년 혼파 초지로서 시험구의 면적을 10m² (2m × 5m)로 하였다.

목초의 생산성은 연중 4회에취 생초를 정확히 칭량 후 그 중 약 500g을 채취, 80℃ 열풍건조기에 48시간 건조 후 칭량하여 ha당 건물수량을 구하였다. 건조된 시료는 wiley mill로 분쇄, 조단백질 함량은 kjeldahlit(AOAC,1990)으로 TDN 함량은 Jurgens(1988)방법을 수정 계산하였다.

토양은 시험구별로 6개소에서 10cm깊이로 채취, 건조 후 N은 kjeldahl법으로 유기물은 Tyurin법으로 분석하였다.

제 3 절 결과 및 고찰

1. 건물 수량

가축 분뇨의 처리형태별 사용시기에 따른 건물수량에 미치는 3개년간의 연구결과는 표 5-2과 같다.

표 5-2. 가축분뇨의 처리형태와 시기별 건물수량 (ton/ha)

분뇨의 종류	년 도	가 을	봄	봄/가을 분시	평 균
퇴 구 비	1995	9.36	10.45	10.49	10.10
	1996	11.12	10.86	11.25	11.08
	1997	12.36	11.47	12.16	12.00
	평 균	10.95	10.93	11.30	11.06
톱밥발효돈분	1995	10.65	10.19	9.88	10.24
	1996	11.31	10.79	10.74	10.95
	1997	10.44	9.42	10.80	10.22
	평 균	10.80	10.13	10.47	10.47
액상발효우분	1995	10.59	10.24	9.93	10.25
	1996	11.96	10.23	10.72	10.97
	1997	12.99	12.31	11.69	12.33
	평 균	11.85	10.93	10.78	11.18
평 균		11.20	10.66	10.85	10.90

가축분뇨의 처리형태별 평균적인 건물수량은 년도별 서로간에 차이는 있으나, 액상발효우분, 퇴구비, 톱밥발효 순이었지만, 확실한 차이를 가져오지는 못하였다.

본 연구에서 가장 중요한 분뇨의 종류별 시용시기에 따른 건물수량은 퇴구비에서는 분할시용시 높았고, 가을과 봄 시용간에는 차이가 없었으며, 톱밥발효돈분은 가을, 분할시용, 봄 순이었고, 액상발효우분은 가을, 봄, 분할시용순으로 평균적으로는 가을, 봄/가을분시, 봄의 순으로 시용효과가 높았지만 서로간에 거의 차이를 보여주지 못하였다. 이러한 결과는 분뇨의 시용시기 특히 액비에 있어서의 시용시기는 목초의 수량에 많은 영향을 미치기 때문에 (Vetter와 Steffens, 1986, Ruppert등, 1985, Philipp, 1990, Galler, 1989등) 동절기에 분뇨의 시용시기를 제한하고 있는 유럽과는 확실한 차이를 나타내고 있어 우리나라에서는 유럽과 달리 동절기의 분뇨살포를 제한하지 말고 오히려 휴경기인 동절기에 분뇨를 살포하기 위한 농업인력의 분산과 분뇨의 저장기간 및 시설의 조절을 위한 지속적인 연구가 필요하다고 본다.

그러나 우리나라는 시험 4에서와 같이 우기에 분뇨의 유출 및 지하로의 N 이동이 클 수 있기 때문에 우리나라에서의 분뇨살포는 오히려 강우량이 많은 6-8월에 제한이나 규제하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

2. 사료 가치

가축분뇨의 처리형태별 시용시기에 따른 목초의 사료가치에 미치는 영향은 표 5-3, 5-4, 5-5, 5-6에 나타난 바와 같다. 먼저 목초의 조단백질함량은 표 2에서와 같이 분뇨의 종류간에 차이는 있으나 유의적인 경향을 보여주지는 못하였고, 시용시기에 있어서도 평균적으로는 분할시용시 약간 높았지만, 퇴구비에서는 봄 시용시, 톱밥발효돈분은 분할시용시에 또 액상발효우분의 경우에는 봄으로 일정한 경향이나 확실한 차이를 보여주지 못하는 것은 건물수량에서와 비슷한 경향이었다.

또한 NDF나 ADF 및 TDN은 분뇨의 종류나 시용시기간에 있어서도 거의 차이를 보이지 않았다.

표 5-3. 가축분뇨의 처리형태와 시용시기별 목초의 조단백질 함량(%)

분뇨의 종류	년 도	가 을	봄	봄/가을 분시	평 균
퇴 구 비	1995	11.3	11.8	11.7	11.6
	1996	13.0	13.2	13.4	13.2
	1997	15.3	14.0	14.6	14.6
	평 균	13.2	13.0	13.2	13.1
톱밥발효돈분	1995	11.2	11.1	11.5	11.3
	1996	12.8	12.3	12.1	12.4
	1997	13.5	13.0	14.8	13.8
	평 균	12.5	12.1	12.8	12.5
액상발효우분	1995	11.4	11.7	12.6	11.9
	1996	13.1	13.8	12.9	13.3
	1997	14.0	14.2	13.4	13.8
	평 균	12.8	13.2	12.9	13.0
평 균		12.8	12.8	13.0	12.9

표 5-4. 가축분뇨의 처리형태와 사용시기별 목초의 NDF 함량(%)

분뇨의 종류	년 도	가 을	봄	봄/가을 분시	평 균
퇴 구 비	1995	72.6	70.7	69.9	71.1
	1996	69.8	65.8	69.2	68.3
	1997	64.0	65.0	64.8	64.6
	평 균	68.8	67.2	68.0	68.0
톱밥발효돈분	1995	70.3	69.2	72.5	70.7
	1996	68.5	68.6	68.6	68.5
	1997	65.7	67.0	65.2	66.0
	평 균	68.2	68.3	68.8	68.4
액상발효우분	1995	70.6	72.0	70.8	71.1
	1996	68.2	69.8	68.2	68.7
	1997	67.9	69.1	67.9	68.3
	평 균	68.9	70.3	69.0	69.4
평 균		68.6	68.6	68.6	68.6

이상에서 보는 바와 같이 분뇨의 사용시기는 목초의 사료가치에는 거의 영향을 미치지 않기 때문에 우리나라에 있어 분뇨의 이용시기는 기후 등에 의한 살포시기를 고려하는 것도 중요하지만 목초의 생리 생태적인 면도 고려, 사용하는 것이 중요하다고 사료된다.

표 5-5. 가축분뇨의 처리형태와 사용시기별 목초의 ADF 함량(%)

분뇨의 종류	년 도	가 을	봄	봄/가을 분시	평 균
퇴 구 비	1995	33.4	34.2	33.0	33.5
	1996	34.3	33.4	34.5	34.0
	1997	31.9	32.0	32.4	32.1
	평 균	33.2	33.2	33.3	33.2
톱밥발효돈분	1995	33.6	33.2	33.7	33.5
	1996	33.5	34.4	34.2	34.0
	1997	33.4	32.6	32.0	32.6
	평 균	33.5	33.4	33.3	33.4
액상발효우분	1995	33.2	33.4	33.4	33.3
	1996	34.6	33.1	33.6	33.8
	1997	33.0	33.0	33.4	33.2
	평 균	33.6	33.1	33.5	33.4
평 균		33.4	33.2	33.4	33.3

표 5-6. 가축분뇨의 처리형태와 시용시기별 목초의 TDN 함량(%)

분뇨의 종류	년 도	가 을	봄	봄/가을 분시	평 균
퇴 구 비	1995	62.5	61.9	62.9	62.4
	1996	61.8	62.6	61.7	62.0
	1997	63.7	63.6	63.3	63.5
	평 균	62.7	62.7	62.6	62.7
톱밥발효돈분	1995	62.3	62.7	62.3	62.4
	1996	62.5	61.8	61.9	62.0
	1997	62.6	63.2	63.6	63.1
	평 균	62.5	62.5	62.6	62.5
액상발효우분	1995	62.7	62.5	62.6	62.6
	1996	61.5	62.8	62.4	62.2
	1997	62.8	62.9	62.5	62.7
	평 균	62.3	62.7	62.5	62.5
평 균		62.5	62.7	62.6	62.6

가축분뇨의 처리형태별 시용시기에 따른 N의 이용효율을 파악하기 위해 목초의 건물생산과 N 함량으로부터 산출된 목초에 의한 N생산량은 분뇨의 처리형태간에 있어서는 톱밥발효돈분이 퇴구비나 액상발효우분에 비하여 확실히 낮은 이용효율을 나타내고 있는데, 이러한 이유는 톱밥에 함유된 리그닌을 포함한 높은 탄소함량으로 인하여 높은 C/N비를 나타내기 때문으로 사료된다. 분뇨의 시용시기에 따른 N생산량은 유럽의 경우에서와는 반대로 가을, 분할시용, 봄의 순이었지만 큰 차이가 없었다. 즉 우리나라에 있어 목초의 사료가치나 분뇨 N의 이용효율면에서도 앞의 건물수량에서 언급된 바와 같이 유럽의 시용시기에 있어서의 영향과는 반대의 결과나 서로간에 거의 영향을 미치지 않음을 보여주고 있다.

표 5-7. 가축분뇨의 처리형태와 사용시기별 목초의 N 생산량 (kg/ha)

종 류	년 도	가 을	봄	봄/가을 분시	평 균
퇴 구 비	1995	158	191	183	177
	1996	229	227	240	232
	1997	298	248	274	273
	평 균	228	222	232	228
톱밥발효돈분	1995	181	176	169	175
	1996	227	212	206	215
	1997	223	191	239	218
	평 균	211	193	205	203
액상발효우분	1995	184	175	191	183
	1996	248	227	220	232
	1997	282	276	248	269
	평 균	238	226	220	228
평 균		225	214	219	219

3. 토양 유기물과 N함량

가축분뇨의 처리형태와 사용시기가 토양의 유기물 함량과 N함량에 미치는 영향은 표 5-8과 표 5-9에 나타난 바와 같다.

먼저 분뇨의 처리형태별 토양유기물에 미치는 영향은 퇴구비,톱밥발효돈분, 액상발효우분 순으로 확실한 차이를 나타내었고, 사용시기에 따른 유기물함량은 봄과 가을 사용간에는 서로간에 약간의 차이가 있으나 분할사용시에는 퇴구비, 톱밥발효돈분 및 액상발효우분 모두 가장 낮은 유기물 함량을 보여주고 있다.

표 5-8. 가축분뇨의 처리형태와 사용시기별 토양 유기물 함량 (%)

분뇨의 종류	가을	봄	봄/가을 분시	평 균
퇴구비	3.53	3.38	3.33	3.41
톱밥발효돈분	3.33	3.40	3.03	3.25
액상발효우분	3.07	3.45	2.91	3.14
평 균	3.31	3.41	3.09	3.27

표 5-9. 가축분뇨의 처리형태와 시용시기별 토양 질소 함량(%)

분뇨의 종류	가을	봄	봄/가을 분시	평 균
퇴구비	0.22	0.23	0.23	0.23
톱밥발효돈분	0.21	0.21	0.23	0.22
액상발효우분	0.22	0.21	0.21	0.21
평 균	0.22	0.22	0.22	0.22

또한 토양질소 함량은 가축분뇨의 처리형태간에는 퇴구비, 톱밥발효돈분, 액상발효 우분순으로 높았으나 그 차이는 거의 없었고 시용시기 간에는 가축분뇨의 처리형태에 따라서는 약간의 차이는 있으나 평균적으로 볼때 차이를 나타내지는 않았다.

이상의 결과 우리나라에서의 가축분뇨의 시용시기에 대한 결정은 목초의 건물수량, 사료가치 및 토양에 미치는 영향을 종합적으로 고려해 볼 때 동절기에 분뇨 특히 액비의 시용을 법적으로 규제하고있는 유럽의 경우에서와 달리 오히려 농한기인 동절기에 분뇨의 살포를 권장하고, 반대로 강수량이 많아 지표유실이나 N의 용탈이 높은 강수량이 많은 6-8월에는 오히려 분뇨의 살포를 규제하는 것이 분뇨의 이용 효율제고는 물론 분뇨에 의한 환경오염을 줄이는 가장 효율적인 방안이라고 사료된다.

제 4 절 결과요약

본 연구는 영년초지에 있어서 가축분뇨를 처리형태별로 시용시기를 달리 했을 때 목초의 생산성과 분뇨의 이용효율을 조사하기 위하여 퇴구비, 톱밥발효돈분 및 액상발효우분을 가을, 봄 및 가을/봄 분할 시용하여 수행된 연구결과는 다음과 같다

1. 가축분뇨의 시용시기는 목초의 생산성과 사료가치에 분뇨의 처리형태 간에 있어서도 거의 차이를 나타내지 않았다.

2. 가축분뇨의 N이용효율은 퇴구비와 액상발효 우분보다 톱발효돈분이 낮았다.
3. 가축분뇨의 시용시기별 종류별 토양유기물 함량은 봄 시용시 가장 높았고, 분할시용시 가장 낮았으며, 분뇨간에는 퇴구비에서 가장 높았고, 액상발효 우분에서 가장 낮았다.
4. 토양 질소 함량에는 분뇨의 종류나 시용시기는 거의 차이를 나타내지 않았다.

참 고 문 헌

1. AOAC. 1990. Official Methods of Analysis(15th ed). Association Official Analytical Chemists, Arlington, Verginia.
2. Galler.J. 1989. Gülle, Leopold Stocker Verlag Graz-Stuffgart
3. Jurgen, M.H. 1988. Evaluating feedstuffs of farm livestock. p. 53. In; Animal feeding and nutrition(6th. ed). Kemdall-Hunt Publishing Dubugue
4. Philipp W. 1990. Gülle1990, Landwirtschaftskammer Schleswig-Holstein
5. Rupert, W., M. Stichlmair, J. Bauchhen ß, H.M. Blendl, A. Haisch. K.Hammer, U. Hege, R. Juli, L. Melian, W. Nürngerger, J. Rieder, P.Rintelen, K. Rutzmower, W. Weger, A. Wurzinger, H. Zeisig. 1985. Daten und Imformationen zum.
6. Vetter H, G. Steffens, 1986. Wirtschaftseigene Düngungj DLG-Verlag.Frankfurt(Main)
7. 육완방, 차용복, 금종성, 이종민, 한영근. 1997 액상구비의 시용시기와 시용수준이 호밀(*Secale cereal L.*)의 생산성에 미치는 영향. 한초지. 17(1) 75-81.
8. 육완방, 최기춘, 안승현, 이종갑. 1999 액상발효우분의 시용시기와 시용량이 호밀 경작지 토양의 NO-3함량에 미치는 영향. 한초지, 19(2). 141-146.