

1. 가축분뇨 자원화 및 고품질 퇴·액비 제조기술 개발

과제 구성

- 주관연구기관명 : 농촌진흥청 국립축산과학원
- 주관연구책임자 : 김재환
- 공동연구원 : 윤태한, 박치호, 조준희, 최규석, 최태규, 이성탄, 김지연, 최홍림, A. Suresh, 김종우, 편승민, 정광화, 김재환, 곽정훈, 한명석, 정만순, 류종원, 이병오, 서운갑, 박치호, 라창식, Liu LingHao, Rahaman, 손홍수, 전제찬, 이윤진, 양재의, 정규선, 오상은, 김성철, 강우창, 김종진, 김두환, 곽석준, 정재두, 이진우, 한정철, 이영운, 문성훈, 이상락, 김명화, 장원석, 유지연, 이순화, 박치호, 윤태한, 이세한, 정계주, 박은석, 박성묵, 오인환, 송준호, 장철환, 김운걸, 김현승, 오석규, 김재환, 박치호, 곽정훈, 정광화, 박성균, 정만순, 한명석, 김원일, 남홍식, 정규석, 허성기
- 연구기간 : 2007년~2009년
- 세부/협동 과제 구성
 - 가. 제1세부 : 가축분뇨 활성오니정화시설의 이용성 개선 연구
(도드람환경 윤태한)
 - 나. 제2세부 : 혐기성공정을 이용한 가축분뇨 액비화 기술 개발(서울대 최홍림)

- 다. 제3세부 : 맞춤형 퇴비생산 기술 개발(축산원 정광화)
- 라. 제4세부 : 기능성 액비생산 기술 개발(상지대 류종원)
- 마. 제5세부 : 가축분뇨 퇴·액비 중 특정성분 제어기술 개발(강원대 라창식)
- 바. 제6세부 : 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구
(강원대 양재의)
- 사. 제7세부 : 효소복합체를 이용한 양돈슬러리 자원화 과정의 악취제어 기술개발
(진주산업대 김두환)
- 아. 제8세부 : 파쇄옥수수대의 축분퇴비제조 수분조절재로의 활용기술 개발
(건국대 이상락)
- 자. 제9세부 : 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가실증(영남대 이순화)
- 차. 제10세부 : 가축분뇨 액비 살포장치 개발(건국대 오인환)
- 카. 제11세부 : 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC 평가 연구(축산원 김재환)
- 타. 제12세부 : 가축분뇨 액비의 유해물질 관리(농과원 김원일)

요 약 문

I. 제 목

가축분뇨 자원화 및 고품질 퇴·액비 제조기술 개발

II. 연구개발의 목적 및 필요성

2008년도 연간 가축분뇨 발생량은 43백만톤으로서 그 중 84.52%가 자원화(퇴비화 79.2, 액비화 5.3)되고 있고, 정화방류는 4.1백만톤으로 9.5%, 해양배출이 1.5백만톤으로 3.4%, 기타 처리가 1.1백만톤으로 2.6% 수준에 있다. 이름에도 불구하고, 가축분뇨관리 및 이용에 관한 법률 제정('06)과 악취방지법 시행('05) 및 해양오염방지법 강화('05) 등으로 가축분뇨의 자원화 처리에 대한 사회적 요구가 심화되고 있는 실정이다. 특히, '12까지 해양배출의 전면금지가 예정되어 있어 이에 대한 대응책 마련이 시급하다. 그러나 국내외 경제가 어려움에 처해 있어 사료비 및 유류비 등의 비용 상승에 따라 양축농가측면에서는 경영비 상승에 의한 수익성 저하의 압박을 받고 있어 가축분뇨처리에 어려움이 가중 되어 저비용 고효율 처리 방법의 개발이 요구되며, 경종농가측면에서는 비료 등의 농자재가격의 급상승에 따른 화학비료 대체재로서 가축분뇨 퇴·액비의 이용을 기대하고 있다. 그러나, 가축분뇨 농경지 활용 시 농경지 오염을 일부 경종농가 우려하고 있고, 퇴·액비의 품질이 생산농가, 계절, 지역에 따라 다양하여 일률적으로 농경지에 적용하기 어려운 실정에 있다.

따라서, 가축분뇨의 활성오니정화시설 농가 이용성에 있어서는 공정 구성이 불합리한 경우가 많고, 운전방법이 제대로 정립되어 있지 않아 가동율이 저조하였다. 따라서 활성오니정화시설을 액비생산에도 효율적으로 이용할 수 있도록 공정구성 및 운전방법 정립하여 가축분뇨 자원화를 도모하고, 잉여의 가축분뇨는 최소한의 시설 보완으로 안전하게 처리하여 방류할 수 있게 하는 기술개발이 시급한 실정이다. 혐기공정을 이용한 가축분뇨 액비화의 경우는 액비저장조의 액비를 농경지로 환원하였을 때 악취와 고농도 영양물질로 농경지 토양에 오염부하를 가중시키는 결과가 되므로 수질 및 토양, 대기의 오염을 최소화하기 위하여 액비저장조 현장 맞춤형 대체 라군(lagoon)형 혐기소화조의 도입이 필요한 실정이다. 양돈농가의 고액분리기의 경우는 기존의 액상분뇨의 고액 분리는 드럼스크린, 원심탈수, 중력여과 등을 이용하거나 이들을 조합하여 사용하고 있으나 분리효율이 낮으므로 농가의 운영인력 및 운용능력을 고려한 이용이 쉽고 효율이 높은 마이크로버블을 이용한 장치의 개발이 요구된다. 이러한 가축분뇨 처리시설의 선택에 있어서는 현재까지의 시설투자 의사결정 시 대부분의 농가는 초기시설투자비용과 처리물 단위당 처리비용

관점에서 평가하여 왔으나, 초기시설투자비 보다는 유지관리비 및 시설교체비 등 운영비 부분의 과다지출로 인하여 경영압박을 받는 경우가 있기 때문에 시설 전과정에서의 전체비용을 합산하여 분석함으로써 총비용의 관점에서 가장 경제적인 대안을 선택할 수 있도록 의사결정 정보의 제공이 필요하다.

반면 경종농가의 입자에서는 작물마다 요구하는 비효성분의 구성비, 요구하는 시기에 차이가 있으므로 이를 고려한 각 작물재배에 적합한 고품질 퇴비생산기술개발이 시급한데 특정 성분 함량이 높은 기능성 작물생산 요구에 발맞추되 취급이 용이한 펠렛형태의 고품질의 퇴비 생산기술 개발이 요구된다. 뿐만 아니라, 액비의 경우에도 악취가 없게 발효하여 안정화 시켜 용도에 맞게 제품화한 기능성 액비 생산 기술이 필요한 실정이며, 액비의 시용 용도별 기능성액비의 생산체제와 작물생산시스템 확립 될 경우 유용한 농자재로 활용가능성은 매우 높다. 또한 액비를 살포함에 있어서 살포량이 많기 때문에 단시간에 많은 양을 살포할 수 있는 생력화 기술이 필요하며, 살포 균일도가 유지될 수 있어야 하며, 액비의 살포대상 작물이 다양하기 때문에 살포방법도 거기에 맞게 개발되어야 한다.

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

세부과제명	내용 및 범위
1) 가축분뇨 활성오니정화시설의 농가 이용성 개선연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 활성오니정화시설농가의 공정구성 및 운전현황 조사 ○ Pilot 실험을 통한 방류 및 액비 생산을 위한 설계 및 운전 인자 검토 ○ 설계 및 운전인자 검토를 위한 현장실증 시험 ○ 활성오니정화시설농가의 폭기조 혼합액 및 방류수를 이용한 액비 유용성 조사 ○ 방류 및 액비생산을 위한 활성오니시설의 설계 및 운전 매뉴얼 작성 ○ 활성오니시설 미생물 슬러지의 감량화 및 비료화 ○ 고도처리 Pilot 실험을 통한 설계 및 운전인자 도출 ○ 고도처리 설계 및 운전인자 검토를 위한 현장 실증 시험 ○ 고도처리수 및 고도처리부산물의 비료화 기술 개발
2) 혐기공정을 이용한 가축분뇨 액비화 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ MaCoL (지하 혐기소화라군_전처리조 포함) 공정설계를 위한 기초조사 및 이의 설계, 제작, 보완 및 수정 <ul style="list-style-type: none"> - MaCoL의 software적 측면(돈슬러리의 수질특성, 중금속 함량, 항생제, 소독제 등)의 기초조사 - MaCoL의 hardware적 측면(혼합 및 가온형태)의 기초조사 ○ MaCoL 공정 제어변인 도출 및 이의 제어장치설치 <ul style="list-style-type: none"> - 제어변인 : pH, 알카리도, 휘발산농도, 온도, 영양원의 유효성 - 기계적 변인 : 혼합도, 가온효율 등 ○ MaCoL 공정 운영체제 확립, 계절적 시운전 및 이의 최적 운영조건 도출 <ul style="list-style-type: none"> - 계절적 변인 : 기상변인(외기온, 습도, 풍속 등)과 라군 내슬러리 온도 등 상관성 구명

(계속)

세부과제명	내용 및 범위
2) 혐기공정을 이용한 가축분뇨 액비화 기술개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ MaCoL 공정의 계절적 효율평가를 통한 최적운영체계 정립 ○ MaCoL 공정 소화액의 특성분석을 통한 액비로서의 잠재력 평가 ○ MaCoL 공정 실용화를 위한 표준화작업
3) 맞춤형 퇴비생산기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 퇴비가공 공정 및 첨가제 혼합공정개발
4) 기능성액비 생산기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 최적 나노 분리막 개발 <ul style="list-style-type: none"> - SCB 침출 액비의 유기물 제거 능력, 여과량, 오염 저감 등에 영향을 주는 분리막의 재질 등을 검토하여 최적 나노 분리막 개발 ○ 농축액비 및 정제 액비 생산공정연구 <ul style="list-style-type: none"> - 퇴비단 여과수 활용 막분리 공정에 의한 농축액비, 정제액비 생산기술 연구 ○ 기능성액비의 하우스 관비용 적용 시스템 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 시험작물 : 하우스 토마토 ○ 가축분뇨 유래 액비성분과 식물체 유래 재료간의 혼합농축액비 및 정제액비 생산기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 식물부산물 혼합조성물 ○ 기능성액비의 특수작물용 적용 시스템 연구 ○ 주요 조사항목 <ul style="list-style-type: none"> - 작물생육, 병충해, 수량, 품질 및 양분수지 조사
5) 가축분뇨 퇴·액비내 특정 성분제어 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액비를 대상으로한 특정성분 제어기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 질소/인 제어율 조절 기술 확립 - Trouble Shooting을 통한 질소/인 제어공정의 운전기술 최종확립 - 개발된 공정의 운전비용 도출 - 액비로부터 회수된 질소/인자원의 경제적 활용방안 제시 - 개발된 공정의 기존 액비저장조와의 연계운전방법 제시 - Cu, Zn 제어를 위한 적합 chemical source 탐색시도 - 개발된 공정에서의 Cu, Zn 제어율 평가 ○ 고품질퇴비내 특정성분(질소/인) 제어기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 퇴비화 기술의 질소/인 성분제어 효율 평가 - VSC(Vibration Screen Convey) 방법에 의한 질소/인 회수 가능성 분석
6) 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 악취제거 효과에 주요하게 작용하는 반응 기체 및 플라스마 특성 규정 ○ 악취제거를 위한 PCD 장치의 설계 인자 도출, 효율성 평가 및 최적화 실험 ○ 악취제거를 위한 펄스코로나 방전장치를 실험실 규모의 액비저장조에 적용 및 효율성 검증 ○ 펄스코로나 방전장치를 이용한 악취제거 최적 조건 확립 PCD 장치의 악취 제거 효율성의 비교 평가 ○ 현장 적용을 위한 PCD system의 공정 조건 확립 및 최적 환경인자의 도출 <ul style="list-style-type: none"> - PCD-자원화 처리조의 복합 적용 가이드라인의 작성, 보급
7) 효소복합체를 이용한 양돈 슬러리 자원화과정의 악취 제어기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 돈사내 슬러리 악취제어 ○ 양돈슬러리 성상 개선 ○ 기존 액비저장조 적용 ○ 효소복합체의 돈사 적용 ○ 양돈슬러리 액비화 과정의 변화 ○ 양돈슬러리 액비화 효율개선

세부과제명	내용 및 범위
8) 파쇄옥수수대의 축분퇴비 제조 수분조절제로의 활용 기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 파쇄옥수수대의 물리적, 화학적 특성 평가 ○ 파쇄옥수수대 이용 돈분퇴비의 토양내 분해율 조사 ○ 파쇄옥수수대의 우사깔짚 이용 기술(깔짚 교체시기 등)개발 ○ 파쇄옥수수대 깔짚이용 우분의 퇴비제조 기술개발 ○ 파쇄옥수수대 깔짚이용시 분진발생이 가축의 호흡기 질병에 미치는 영향 조사 ○ 파쇄옥수수대의 돈분 및 우분깔짚 퇴비제조 수분조절제 적용표준 설정 및 경제성 분석
9) 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가 실증	<ul style="list-style-type: none"> ○ 실제 농가에서 발생하는 가축분뇨를 대상으로 마이크로버블을 이용한 고효율 고액분리 실증플랜트를 설치하여 분리효율이 우수하고 운전이 안정적이며 유지관리가 편리한 고액분리기를 개발한다.
10) 가축분뇨 액비 살포 장치 개발	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액비살포기 설계, 액비살포기 제작, 살포균일도 분석, 처리용량 규명, 액비 성분분석, 악취분석
11) 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC평가 연구	<ul style="list-style-type: none"> ○ 프로젝트 인자별 비용분석구조 구축 ○ 원가분석명세 체계도 작성 ○ 대안별 생애주기비용 산출 ○ LCC평가 모델개발
12) 가축분뇨 액비의 유해물질 관리	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액비 중 중금속 분석법 비교검토 ○ 액비 중 유해미생물 동정법 비교검토 ○ 액비 중 중금속 함량 모니터링 ○ 액비 중 유해세균 동정법 확립 및 유해 세균 오염 종류 및 정도 모니터링 ○ 벼 액비 연용포장의 유해물질 함량평가 ○ 토양-물-작물체 중금속 수지평가 ○ 토양-물-작물체 유해 세균의 오염 정도 평가

IV. 연구개발결과

〈제1세부과제〉 가축분뇨 활성오니정화시설의 이용성 개선 연구

- 가. 활성오니공정을 근간으로 응집제를 사용하여 물리화학적 방법으로 전·후 처리하는 3개소 농장과 스크린, 침전조등 물리적 방법으로만 전·후 처리하는 2개소 농장의 방류수 BOD, SS등의 농도는 대부분 방류수수질기준 이내로서 처리방법 상이에 따른 큰 차이는 없었다.
- 나. SS 8,285mg/L, BOD 6,001mg/L, T-N 2,117mg/L 인 돈분노슬리리를 F/M비 0.01~0.08 kg-BOD/kg-MLSS · day, 내부반송 약 10Q로 운전한 결과 처리수 평균 BOD, SS 농도는 각각 57mg/L, 81mg/L, T-N 및 PO_4^{3-} -P 농도는 각각 108mg/L, 29mg/L로서 일반지역에서의 방류수 수질기준을 만족할 수 있도록 처리할 수 있었다.

- 다. 후처리로서 SS 및 BOD 제거목적으로 일반적으로 널리 사용되고 있는 화학적 응집공정 도입하여 처리한 결과 처리수의 평균 농도는 BOD, SS, T-N 및 PO_4^{3-}P 각각 36mg/L, 42mg/L, 104mg/L, 15mg/L로 측정되어 수질보호구역에서의 방류수 수질기준 이하로 안정적으로 처리할 수 있을 것으로 판단된다.
- 라. 색도가 10,450도의 생물학적 처리수의 색도를 제거하기 위해 화학적 응집공정과 활성탄 처리한 결과 처리수의 색도 변화는 화학적 응집공정 처리 후 1,921도로 처리원수에 비해 81.6%가 제거되었으며, 활성탄 처리 후의 색도는 356도로 측정되어 처리원수 대비 96%이상 제거함으로써 색도를 효율적으로 처리할 수 있을 것으로 판단된다.
- 마. F/M비 0.01~0.08 kg-BOD/kg-MLSS · day로 운전, 내부반송을 하지 않은 경우 액비의 성상을 조사한 결과 처리수의 경우 T-N, P_2O_5 , K^+ 의 평균농도가 내부반송을 가동한 경우보다 비효성분인 질소 농도는 4.5배 이상 높게 측정되어 액상비료로의 이용성이 충분하다고 판단된다.
- 바. 배추종자를 이용한 발아시험결과, 처리수의 경우 HRT 20day 경우를 제외하고는 내부반송을 유무와 관계없이 모두 희석하지 않고도 85% 이상의 발아율을 나타내었고, 농축슬러지의 경우 내부반송을 가동한 경우에는 처리수와 같이 희석하지 않고도 85%이상의 발아율을 보였으나, 내부반송을 중단한 경우에는 4배 이상 희석하여야 80%이상의 발아된다.
- 사. 비효성분인 질소의 농도가 낮을수록 액비살포량이 증가하면서 그에 따라 살포비용도 비례적으로 증가하게 되어 농가에서는 액비처리에 경제적인 어려움이 발생할 것을 판단되며, 발아실험을 통해 희석할 경우 높은 발아율을 나타내는 액비는 살포 후 파종하기까지 분해되지 못한 유기물들이 분해될 수 있도록 충분한 공백기간을 두거나, 비를 맞춰 희석시킨 후 파종하거나, 충분히 희석될 수 있는 수도작에 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- 아. 따라서 활성오니공정을 이용하여 액비를 생산하기 위해서는 평균 F/M비 0.05kg-BOD/kg-MLSS · day로 운전하면서, 내부반송을 중단하여 비효성분인 질소가 제거되지 않도록 하여 액비를 생산, 농경지에 활용하는 것이 바람직하며, 이는 액비생산 및 액비살포 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

〈제2세부과제〉 혐기성공정을 이용한 기축분뇨 액비화 기술 개발

- 가. 혐기 소화조의 기본적 설계 기준을 알고 돈분뇨 유래의 바이오가스 생산량을 높이기 위해 33일의 체류시간(HRT)과 중온(30~35℃)조건에서 겨울에 20m³의 mUGAD를 운전하였고, 유기물의 유입율은 8 kgVS/600L/일 이었다. 바이오가스와 메탄의 평균 생산율은 각각 3.04m³/일과 2.02m³/일에서 관찰했다.
- 나. 메탄과 CO₂의 농도는 각각 평균 66.3%, 18.5%임을 분석되었다. 상대적인 바이오가스 평균 생산량은 380 L/kg VS_{added}, 메탄은 252 L/kg VS_{added}로 조사되었으며,이 평균값은 실험실연구보고 (252 L CH₄/kg VS_{added})보다는 낮으나, 최근 안정된 바이오가스 실측값은

500~1000 l/kg VSadded 으로 나타나 향후 UGAD가 안정되면 이론값에 근접할 것으로 기대된다.

다. 돈슬러리의 총고체량(TS), 휘발성고형물(VS), 총부유고형물 (TSS), TCO_{Dcr}, SCOD_{cr}, NH₃-N 그리고 유효 PO₄에서 각각 30%, 38%, 48%, 54%, 57%, 18%, 그리고 19%으로 분석되었으며, 향후 안정된 운영상태에서는 특히 유기물의 감소가 현재 보다 두드러질 것으로 여겨진다.

라. mUGAD 모니터링 가이드의 기본적인 운영 요소는 돈분뇨를 이용하여 동절기를 기준으로 제시된 값이다. 바이오가스 측면에서는 여타계절은 동절보다는 우호적이기 때문에 기존 실험자료를 대상으로 메탄생산량과 유기물분해에 관련하여 매우 바람직한 공법임을 확인할 수 있다.

〈제3세부과제〉 맞춤형 퇴비생산 기술 개발

※ 본 과제는 '10년도 완결과제로써 소과제 '가축분뇨 처리향상 및 퇴·액비 평가기준 설정'으로 이관 수행됨.

가. 가공원료의 크기별 가공효율은 1mm 이하의 입경에서 더 높았다.

나. 입경 1mm 이하 퇴비의 가공율을 100으로 하였을 경우 입경 1mm ~ 5mm 퇴비의 가공율은 80% 수준이었다.

다. 퇴비 입경이 적을수록 양분함량은 높아지는 경향이 있었고 수분함량 40% 수준 현물퇴비의 경우 0.1mm 이하의 퇴비중에 함유된 질소농도가 1.538%로 가장 높았다.

라. 가공원료의 전처리 여부가 가공퇴비의 물성특징(경도 및 용해도 등)에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

〈제4세부과제〉 기능성 액비생산 기술 개발

가. 막처리 농축액비는 칼리함량이 상대적으로 높고 질소, 인산 함량이 낮아 농축액비 100%처리구는 양분의 불균형을 초래하여 양액재배에서 토마토의 지상부의 생육이 지연되고 과중이 감소되었다. 그러나 농축액비 20% + 양액 80% 혼합시용구는 대조구인 표준양액과 대등한 토마토 과실 수량을 나타내었다. 따라서 막분리 농축액비 20%에 양액 비료성분을 80% 첨가하여 혼합용액을 조제하면 토마토 양액재배로 활용이 가능 할 것으로 판단된다.

나. 여과액비는 원예연 표준양액 대비 총수량 91%, 상품수량 70%를 나타내어 여과액비 단독 급액으로 토마토의 유기 수경재배 생산이 가능하였다. 막처리 농축액비 100%처리구는 토마토의 지상부의 생육이 지연되고 과중이 감소되어 화학양액 대비 40%의 수량을 나타내었다. 퇴비단 여과액비+부산물, 농축액비+부산물 혼합처리구의 토마토 수량은 대조구 대

- 비 각각 87, 76%를 나타내어 여과액비 단독시용구의 수량에 미치지 못하였다.
- 다. 질소기준으로 여과액비와 농축액비에 양액을 50%: 50% 비율로 혼합하여 균형처방 처리한 경우 표준양액 처리와 대등한 수량을 나타내었다. 결론적으로 토마토 양액재배에서 생육과 수량을 고려할 때 액비와 양액의 50:50 혼합 재배시 수량이 유지되어 가축분뇨 유래 유기액비에 의하여 화학양액을 50% 대체 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 라. 수정재배에서 여과액비의 양액대체 가능성을 평가하기 위하여 양돈농가의 퇴비화 과정 중 여과되어 나오는 퇴비단여과액비(SCB액비)와 화학양액의 혼합 시용이 상추(*Lactuca sativa* L.)의 생육에 미치는 영향을 검토한 결과 여과액비는 칼리함량이 상대적으로 높고 질산태 질소, 인산 함량이 낮아 여과액비 100%처리구는 양분의 불균형을 초래하여 양액재배에서 상추의 지상부의 생육이 지연되어 대조구인 양액 대비 60%의 수량을 나타내었어 수량감소가 있었으나 상추유기농 수정재배의 가능성을 제시하였다.
- 마. 질소기준으로 여과액비와 양액을 40% : 60%혼합시 양액 대비 10%의 수량감소가 있었으나, 여과액비와 양액을 20% : 80% 혼합하여 처방 처리 할 경우 대조구인 표준양액 처리와 대등한 수량을 나타내었다. 이상의 결과에서 여과액비와 양액을 질소기준으로 60% 이상 혼합 할 때 양분불균형이 해소되어 화학양액 100%에 근접하는 수량을 나타내어 여과액비 수정재배 활용시 40%의 화학양액을 절감하는 효과를 기대 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 바. 고형배지경 양액재배에서 화학양액 대체가능성을 검토하기 위하여 여과액비, 농축액비에 양액 및 부산물의 혼합처리가 고추의 생육과 수량에 미치는 영향을 검토한 결과 양액재배에서 고추의 합계수량은 여과액비 단독시용구에서 원예연 표준양액재배 대비 총수량 59% 나타내었으며 농축액비의 경우 양액 대비 14%에 불과하였다. 퇴비단여과액비+부산물, 농축액비+부산물 처리구의 수량은 대조구 대비 각각 60, 54%를 나타내어 여과액비 단독시용구와 비슷한 수량을 나타내어 부산물 첨가 효과가 나타나지 않았다.
- 사. 상추 수정재배에서 SCB 액비 단독 처리구는 대조구인 원예연 양액보다 생육이 저하되었으나 잎의 두께가 두꺼워지는 품질 향상의 효과가 있었으며, SCB 맞춤형액은 화학양액과 대등한 생육을 나타내었다. SCB 액비를 이용하여 맞춤형액을 제조하여 농가현장에 적용한 결과 화학비료의 관행재배와 대등한 생산성을 나타내어 시설작물 추비의 맞춤형재배로 활용이 가능 할 것으로 생각된다.

〈제5세부과제〉 가축분뇨 퇴·액비 중 특정성분 제어기술 개발

- 가. 축분뇨 액비내 질소/인 성분 제어를 위한 새로운 공정을 고안하고 다양한 운전조건하에서의 성분제어 효율과 공정에서의 액비성상 변화를 분석하였다. 또한 축분 퇴비내 질소/인 성분 결정화 조건을 파악하고 축분 완효성퇴비화기술 개발을 위한 다양한 실험을 수행하였다. 고안된 공정에서의 액비중 질소와 인 제어 효율은 약 11-22%와 92-97%이었으며 Mg 원 첨가 없이도 액비중 용해성 인이 약 20%정도 제어되는 것으로 나타나 Mg원 첨가에 의

한 순수 용해성인 제어율은 약 70% 정도인 것으로 파악되었으며 제어된 용해성인의 대부분은 Mg와 NH_4 , PO_4 가 동률비로 반응하는 $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (MAP) 결정체 형성에 의한 것으로 나타났다.

- 나. 디자인된 공정에서의 TS와 SS 제거율은 각각 15~30%, 35~60% 수준이었으며 Cu와 Zn의 감소율은 각각 37%와 43%으로 나타났다. 공정을 batch mode로 운전하면서 ORP와 pH(mV) 변화를 모니터링한 결과 ORP-time profile에서는 특이적인 변화가 관찰되지 않았으나 pH(mV)-time profile에서는 특이적인 시점이 발견되었으며 이시점이 MAP 결정체 형성 완료시점과 일치하는 것으로 판단되어 pH(mV)-time profile을 이용한 공정의 자동제어가 가능한 것으로 판단되었다. 공정에서 회수된 결정체-고형물 혼합물의 물리적/화학적 성상 혹은 특징을 분석한 결과 원심분리된 혼합물중 TS의 함량은 약 26% 정도였으며 TN은 39.7g/kg, TP는 50.3g/kg으로 매우 높은 질소와 인 함량을 나타내었다. 혼합물내 중금속 함량을 분석한 결과 구리와 아연의 함량이 다른 중금속에 비해 비교적 높았으나 그 절대 함량은 모두 매우 낮은 수준이었다. 또한 전자현미경을 이용하여 회수된 혼합물을 관찰한 결과 그 형태는 사방정계의 결정체이었으며 다양한 크기로 존재함을 알 수 있었다. X-ray diffraction study 결과 공정에서 회수된 혼합물의 대부분이 MAP이었으며 pH의 변화를 이용한 MAP 결정체의 순수정제 회수율은 65% 수준이었다.
- 다. Mg원과 PO_4 원의 적정 첨가량 구명을 위해 Mg단독 혹은 PO_4 와 복합첨가한 경우에서의 퇴비화 양상을 관찰한 결과 Mg원과 P원을 분뇨내 질소기준 0.05M 이상으로 첨가시에는 퇴비화를 저해하는 것으로 나타났으며 Mg원의 단독 첨가는 아무런 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. Mg원만을 첨가하여 퇴비화를 진행할 경우 유기물의 분해가 원활히 이루어졌으며 부숙과정중 지속적인 결정체 향성을 얻기위한 Mg원의 적정 첨가 수준은 TN 기준 0.07M이상인 것으로 나타났다.
- 라. 퇴비화 과정에서 형성된 crystal 결정체는 광학현미경을 이용하여 관찰할 수 있었으며 XRD 실험을 통해서도 MAP 결정체 형성을 검증할 수 있었다. 또한 Mg원을 첨가하여 질소와 인의 결정체 형성을 유도할 경우 암모니아 가스의 배출이 감소하여 악취가 감소하는 효과를 얻을 수 있었으며 MAP을 함유한 퇴비를 재활용하여 이용할 경우 품질이 매우 높은 완효성 퇴비를 생산할 수 있었다. 아울러 MAP 함유 퇴비의 재활용 횟수가 증가함에 따라 산성에 대한 완충효과와 완효도가 증가하였다. 퇴비입자별 성상분포는 2.8mm이하에서 높았으며 XRD study 결과 MAP 함량도 2.8mm이하에서 많은 것으로 나타났다.

〈제6세부과제〉 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구

- 가. 축산폐수의 대표 유기물인 아세트산을 이용하여 반응기의 형태가 다른 나선형(screw-type)과 원통형(cylindrical-type) 반응기에 의한 분해효율을 측정한 결과 나선형에서의 아세트산 저감효율은 40 - 70%였으며 원통형에서의 저감효율은 24 - 58%인 것으로 조사되었다.

- 나. 나선형에 비해 원통형의 아세트산 분해 효율이 1 - 15% 정도 낮은 것을 확인할 수 있었는데 이는 원통형 전극의 경우 플라즈마 채널 내에 공간적 제한이 없어 스트리머(streamer)에서 아크(arc)로의 전환 확률이 높아지게 때문이다. 코로나 방전에 있어 스트리머에서 아크로의 전이는 플라즈마 채널이 하나로 집중되는 현상을 가져와 악취물질과 코로나 반응기 내의 전자와의 반응 공간이 줄어들게 되어 처리 효율이 감소하게 된다.
- 다. 나선형 반응기를 이용하여 실제 축산폐수에서 발생하는 아세트산의 저감효율을 측정한 결과 저감효율이 28 - 58%인 것으로 조사되었다. 이는 아세트산 표준물질의 저감효율보다 낮았으며 축산폐수 중의 다양한 악취성분들이 아세트산과 함께 플라즈마 공정에서 분해되기 때문에 아세트산 단일 성분에 대한 분해율보다 다소 감소한 것으로 판단된다.
- 라. 2차년도에는 악취물질의 저감효율을 향상시키기 위해 코로나 플라즈마의 반응기를 개선하여 표준악취물질과 축산폐수에서 발생하는 악취물질의 저감효율을 평가하였다. 파형과 전압, 그리고 주파수를 달리하여 악취물질의 저감효율을 평가함으로써 코로나 플라즈마의 최적 운전 조건을 도출하였다. 코로나 플라즈마를 이용한 총 8가지의 표준악취물질 저감효율은 모두 70% 이상이었으며 암모니아의 저감 효율은 37 - 78%인 것으로 조사되었다.
- 마. 코로나 플라즈마의 조건 변화에 따른 표준악취물질의 저감효율은 주파수의 변화보다는 전압의 변화에 따라 저감효율이 달라짐을 알 수 있었다. 전압이 높아짐에 따라 암모니아 및 표준악취물질의 저감효율이 증가하였으며 악취저감을 위한 코로나 플라즈마의 최적 조건은 2.5Kv 와 1,000Hz의 전압과 주파수에서 저감효율이 가장 높은 것으로 조사되었다.
- 바. 실제 축산폐수에서 발생하는 악취물질과 암모니아의 저감효율을 평가해본 결과 표준악취물질과 마찬가지로 70%이상의 저감 효율이 있는 것으로 나타났다. 축산폐수에서 발생하는 악취물질의 저감효율은 표준악취물질의 저감효율보다 다소 감소하는 경향을 나타냈는데 이는 축산폐수에 함유되어 있는 다양한 악취물질에 의해 플라즈마에 의한 전자의 충돌이 표준악취물질 보다는 감소되어 악취물질 저감 효율이 저하된 것으로 사료된다.
- 사. 코로나 플라즈마의 처리용량에 따른 악취물질의 저감효율을 평가하기 위해 대형 코로나 플라즈마를 이용하여 아세트산의 저감효율을 평가한 결과 소형 코로나 플라즈마에 비해 저감효율이 12 - 24% 정도 감소함을 알 수 있었다. 이는 유속이 빨라짐에 따라 코로나 내부에서 악취물질과 전자와의 접촉시간이 감소하여 악취물질의 저감효율이 감소하는 것으로 사료된다.
- 아. 코로나 플라즈마를 현장에 적용할 때 고려해야할 경제성을 평가하기 위해 처리용량이 50L/min인 소형 코로나 플라즈마를 20개 직렬로 연결할때의 전력량과 소요비용을 산출한 결과 전압의 차이에 따라 전력 소비량은 약 3 - 18W 이고 소요비용은 약 1,572원/월 - 4,245원/월 정도의 경비가 소요될 것이라 예상된다.
- 자. 코로나 플라즈마를 이용한 축산폐수의 악취저감 기법은 적은 전력량과 소요비용으로 효과적인 악취저감 효과를 이룰 수 있으며 2차 오염발생에 대한 문제점이 없어 농가 또는 현장에 유용하게 사용되어질 수 있을 것으로 사료된다.

〈제7세부과제〉 효소복합체를 이용한 양돈슬러리 자원화 과정의 악취제어 기술개발

- 가. 효소복합체와 폭기 처리는 양돈분뇨의 액비화 과정의 암모니아와 황화수소 농도에 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 암모니아와 황화수소 농도는 4주간의 액비화 과정에 지속적으로 감소되었다. 효소복합체의 일정 수준 처리는 양돈분뇨 액비화 과정의 악취저감을 위한 효율적인 수단이 될 것으로 판단된다.
- 나. 효소복합체와 폭기 처리는 양돈분뇨의 액비화 과정의 총질소, 총인 및 암모니아성 질소 농도에 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 효소복합체 처리는 양돈분뇨 액비의 품질 유지와 악취저감을 위한 하나의 기술적 대안으로 충분한 것으로 보인다.
- 다. 효소복합체 살포는 돈사내 공기의 질을 개선하고 양돈장의 부지경계선에서의 복합악취 저감에도 효과적으로 작용하는 것으로 나타났다.

〈제8세부과제〉 파쇄옥수수대의 축분퇴비제조 수분조절재로의 활용기술 개발

- 가. 파쇄옥수수대의 물리적, 화학적 특성을 평가한 결과, 톱밥보다 입자도, 수분흡수율, 용적중 및 통기성이 양호하였으며, 이분해성의 유기물 함량이 높았고, 유해중금속의 함량은 퇴비화 미생물의 발효에 영향을 미치지 않을 수준으로 평가되었다.
- 나. 파쇄옥수수대를 돈분퇴비 제조용 수분조절재로 사용할 경우 톱밥에 비하여 발효성상이 양호하고, 퇴비의 품질도 우수한 것으로 나타났으나 발효과정에서 통기성이 불량해지는 경향이 나타나 톱밥과 2 : 1의 비율로 혼합하여 사용하는 것이 바람직한 것으로 평가되었다.
- 다. 파쇄옥수수대를 한우 깔짚으로 사용한 결과, 관행의 깔짚 재료들에 비하여 사용기간이 길어짐에 따른 이화학적 성상의 변화나 동물의 행동에 부정적인 영향을 미치지 않았다.
- 라. 파쇄옥수수대를 한우의 깔짚으로 사용한 우분은 점도가 높아서 덩어리를 형성하는 경향이 있음. 이로 말미암아 송풍이 원활하지 못하여 퇴비화에 어려움이 있었다. 따라서 옥수수대 펠렛을 깔짚으로 사용할 경우에는 퇴비화 공정을 고려하여 톱밥을 일정 비율(약 50%)로 혼합하여 사용할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

〈제9세부과제〉 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가실증

- 가. 생물학적처리수 고액분리의 경우 고액분리기 운전압력 2.5 kgf/cm^2 , A/S비 0.015, 순환비 3.1로 설정하여 운전시 SS 제거율 약 98.4%, BOD 제거율 약 82.4%, 용해성 T-N 제거율 약 37.3%로 처리 효율이 우수한 것으로 평가 되었고, 유량이 변동이 심한 고부하운전시에도 안정적이고 우수한 처리효율이었으며, 유입유량 $10 \text{ m}^3/\text{hr} \rightarrow \text{SS}$ 제거율 98.5%, 유량유량 $18 \text{ m}^3/\text{hr}$ 증가시 $\rightarrow 95.4\%$ 를 보였다.
- 나. 현장운전관리의 경우 A/S비 조정 등의 예비 운전시간이 불필요하고, 운전조작성 시 고액분리기 운전시 “ON”, 정지시 “OFF” 버튼 조작만으로 운전가능 하였으며, 유지관리성은 고농

도 액상분뇨임에도 불구하고 마이크로버블 발생장치의 막힘 현상 등이 발생하지 않음
다. 생물반응조내의 MLSS는 3,500 ~ 4,000 mg/L로 이었고, 마이크로버블 생성장치를 이용한 산소공급전의 DO(용존산소) 농도는 평균 3.0 mg/L이었다. 탈기장치에 의한 DO 증가율은 3.0 mg/L에서 4.5 mg/L로 증가하였고, 마이크로버블 장치 통과 후 DO 증가율은 4.5 mg/L에서 8.0 mg/L로 높아졌음.

〈제10세부과제〉 가축분뇨 액비 살포장치 개발

- 가. 비닐하우스용 액비살포기 일체형과 분리형을 개발하였는데, 일체형은 납작호스를 이용하고 분리형은 둥근호스를 사용함.
- 나. 인력에 비하여 작업효율을 5배나 올릴 수 있는데 600m² 면적의 비닐하우스에 살포시간이 인력은 90분 액비살포기로는 18분이 소요됨.
- 다. 소요인력은 1/3 로 감소할 수 있는데, 인력살포에는 3명이 필요하나 액비살포기로는 1명으로 족함.
- 라. 액비살포량은 트랙터의 작업속도에 따라 조절 가능하였음.

〈제11세부과제〉 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC 평가 연구

※ 본 과제는 '10년도 완결과제로써 소과제 '가축분뇨 처리향상 및 퇴·액비 평가기준 설정'으로 이관 수행됨.

- 가. 가축분뇨처리시설 및 관련기술 평가 대상업에 중 14 시스템에 대한 시설투자 및 연간 운영비 조사를 실시한 결과, 공정단계별 비목선정 기준 설정은 용이하였으나 연간운영비 부문에 대해서는 비용산출 기준 표준화가 요구되며, 특히 시설의 내용년수, 수선비, 수분조절재 투입 등에 대한 편차가 심하였음.
- 나. 공사비 및 운영비의 객관적 조사를 위해 비용산출 기준에 대한 표준화 작업이 진행되고 있음.
- 다. 현재까지 표준화된 기준 하에서 2개 가축분뇨 공동자원화시설의 공법에 대해 LCC 분석을 적용한 결과 Y공법이 초기투자비는 T공법에 비해 낮아 유리했으나 LCC 측면에서는 동등한 결과를 나타내고 있음.

〈제12세부과제〉 가축분뇨 액비의 유해물질 관리

※ 본 과제는 '11년도 완결과제로써 소과제 '가축분뇨 처리향상 및 퇴·액비 평가기준 설정'으로 이관 수행됨.

- 가. 4월, 6월, 8월, 10월 4회에 걸쳐 채취한 유통액비 33점의 중금속 함량은 카드뮴 0.0001~0.106, 크롬 0.0001~0.495, 구리 0.067~39.43, 니켈 0.06~1.03, 납 0.001~0.291, 아연 0.761~157.41, 비소 0.00025~0.0545, 수은 0.0001~0.0054 mg/L의 범위로 조사됨
- 나. 33점의 시료 중 1점이 가축분뇨발효비료의 아연 기준치인 130 mg/L을 초과하여 관리가 요구되나 나머지 액비의 중금속 함량은 기준보다 낮았음
- 다. 유통액비의 총미생물량은 $5.23 \times 10^5 \sim 1.27 \times 10^3$ (CFU/mL)로 조사되었고, E. Coli O157 : H7균은 검출되지 않았으나, 33점의 시료 중 1점에서 살모넬라균이 검출되었음

S U M M A R Y

Development of technologies for livestock manure treatment and high quality compost/liquid fertilizer production

We did Carried out in order to investigation so that discharges and liquid fertilizer production can use activity sludge clarification facilities we were introduced and we crawled to livestock wastewater disposal processes. Introduction modulus was increased gradually of a stock raising farmhouse at the same time, and we attempted livestock wastewater resources anger and that improve movable modulus.

It was Investigated the operation present situation to running farmhouses and that method of investigation proceeded high level disposal experiment to background. High level disposal experiment did to Pilot experiment of Lap-scale. Used the sample which we drove Pilot and it was happened at excitation and that proceeded adhesion and chromaticity ablation experiment as we classified whether or not Pilot experiment was HRT and inner return. Put a sample of too each experiment and that inquired into budding state of Chinese cabbage seed.

The operation present situation of farm households the concentration such as three places of farms and a screen, deposition cistern effluent BOD of two places of farms that dealt with physical method First · Last treatment, the SS which we used coagulant and dealt with First · Last treatment to physical chemical methods large contrast along most effluent water quality standard treatment method was not to an activity sludge process to bases.

As a result of F/M was empty and having driven to return inner 0.01~0.08 kg-BOD/kg-MLSS · day about 10Q as a result of high level disposal experiment, the average BOD numerical disposal, the SS concentration each 57mg/ L, 81mg/ L, T-N and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ concentration was able to deal so as to be able to be satisfied with an effluent water quality standard as each 108mg/L, 29mg/ L in stations whether or not there was general. Be judged to what as a result of we introduce an adhesion process chemical treatment and having dealt after coagulation, average concentration is measured to 36mg/ L each BOD, SS, T-N and $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, 42mg/L, 104mg/L, 15mg/L and we can deal reliably an effluent water quality standard and that below with in quality of water conservation districts.

F/M ratio 0.01 ~ 0.08 kg-BOD/kg-MLSS · day was drove and as a result of having investigated characteristic of liquid fertilizer, average concentration of T-N, P_2O_5 , K^+ operated inner return in case of disposal numbers if we do not send back the inside and nitrogen concentration is measured 4.5 times ideal to high than cases use anger toward liquid fertilizer is enough and be judged.

It was showed with a germinating rate more than 85% except a HRT 20day case at the budding

experiment which chromaticity above-mentioned disposal chief of state contrast 96% became ablation and that used Chinese cabbage seed at experiment of chromaticity ablation.

As a result, this study was initiated to examine the feasibility of underground anaerobic digestion to convert swine waste into biogas energy. To observe this matter, we constructed a mUGAD at farm scale and operated at mesophilic temperature using swine slurry and subsequently monitored enhanced biogas production and biodegradation of organic wastes. In this study, the basic design standard of anaerobic digester was examined. To enhance the biogas production and quality of liquid fertilizers from swine slurry, modified underground anaerobic digester(mUGAD) was operated at mesophilic (30~35°C) temperature for 33 days HRT with organic loading rate(OLR) of 8 kg VS/600L/day. The average production rates of biogas and methane (CH₄) were observed at 3.04 m³/day and 2.02 m³/day, respectively. The relative average production rates of biogas and CH₄ were explored 380 L/kg VS_{added} and 252 L/kg VS_{added}. Significantly, reduction rate of the parameters were as follows : TS 30%, VS 38%, TSS 48%, TCOD_{cr} 54%, SCOD_{cr} 57%, NH₃-N 18%, available P 19%, fecal coliforms 98% and *Salmonella* 100%. The baseline operation parameters for UGAD and liquid fertilizers from mUGAD using swine slurry were obtained for the entire seasons. The quality of liquid biofertilizers of UGAD is proven to be good enough, which can be used as an eco-friendly liquid fertilizer. This study shows that UGAD is a greatly desirable for anaerobic digestion for swine slurry with regards to high methane yield and biodegradability.

Farmers directly spread the composted manure on their arable land as a powered compost. However, there is difficult problem to solve. Application of the current powered livestock manure compost to crop land is very difficult work due to its heavy weight and its powdered shape. For this reason, this study was carried out to develop pelletized livestock composted manure. In pelletizing process with composted manure, the optimal water content of raw material for pelletizing was around 30~40%. When rice bran was mixed with 5% as a bonding agent on volume basis, the effect of pelletizing process was improved. On a dry matter basis, the contents of N and P of composted manure as a primary material were 1.31%, and 0.58%, respectively. After pelletizing, the contents of compost pelleted were 1.37% and 0.54%, respectively. The same parameters of pelletized compost made by screw type instrument were 1.37% and 0.53%, respectively. The other hand, N and P content of pelletized compost made by pellet mill type instrument were 1.06% and 0.68%, respectively.

This study was conducted to investigate the effects of fermented swine and byproduct liquid fertilizer in fertigation on the growth and yield of lettuce growth. This study was conducted in a

rain-shelter house which was installed in the agriculture farm. Plants were fertilized with swine liquid fertilizer, byproduct liquid fertilizer, mixture of swine and byproduct liquid fertilizer, combined organic and chemical fertilizer and with conventional application as control. The plant weight of lettuce in treatment of SCB liquid fertilizer was severely decreased, but that in treatment SCB and chemical fertilizer(SCB+CF) were decreased 8% compared with control chemical fertilizer.

A novel process for the control of N & P ingredients of liquid compost was designed, and the efficiencies of ingredients control and the changes of composition of liquid compost under various operational conditions were analyzed. Conditions affecting crystallization of N and P were examined, and well-planned experiments were also conducted for the development of slowly releasing solid compost. The control efficiencies of N and P in the designed process were in the range of 11 to 22% and 92 to 97%, respectively. The control efficiency of phosphorus by the addition of Mg source was 70%, showing approximately 20% P control without the addition of Mg source, and most of it was due to the formation of crystal of $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. The average removal efficiencies of TS, SS, Cu and Zn 23%, 48%, 37% and 43%, respectively. The monitoring data of ORP and pH(mV) showed that a specific feature was found on pH(mV)-time profile, but not on ORP-time profile, and the specific point on the pH(mV) curve was considered to be occurred on the completion of crystallization of MAP. The recovered crystal-solid mixture had 26% TS, 39.7g/Kg TN and 50.3g/Kg TP. Although Cu and Zn level were higher than others, the heavy metal content of the mixture was very low. Scanning electron microscopic observation showed that the crystal in mixture had a typical rhombic structure with various sizes. X-ray diffraction study revealed that major portion of the mixture was MAP crystal and 65% of the phosphorus could be recovered in the form of pure MAP crystal. The optimum molar ratio of Mg and PO_4 to the total nitrogen(TN) in swine manure was studied. The temperature profiles revealed that no organic matter was decomposed when 0.1M or more Mg and PO_4 salts were added and that when 0.05M ratio of Mg and PO_4 salts was added, the addition inhibited the composting process. However, the thermophilic condition was readily established if only Mg salt was added. Further, the addition of only Mg salt easily established an optimum thermophilic condition even at a higher level. More than approximately 0.07 molar ratio of Mg with regard to the TN content was acceptable for the proper decomposition of organic matters and the continuous formation of struvite during the composting of swine manure. The MAP crystal formed in the compost during composting could be detected through light microscopic observation and XRD analysis. Also, the rate of ammonia emission was reduced when Mg and P sources were added, and the quality of the compost was enhanced by the recycling of compost and the quality was proportional to the recycling times. Higher N and P ingredients was found in the size of less than 2.8mm and XRD data revealed that this was due to the higher content of MAP in that particle size.

Concerns have been increased to remove odor from livestock manure because of adverse effect on both human and global environment. Recently, non-thermal plasma application to remove odor has been widely used and its feasibility has also been evaluated through several researchers. Therefore, the main purpose of this research is to evaluate odor removal efficiency of pulsed corona discharge plasma (PCDP), one of non-thermal plasma, and to develop odor removal system for field application. The results of our research are as follows:

Removal rate of odorous compound, acetic acid, with different PCDP reactor type, screw-type and cylindrical-type, was 40 - 70% and 24 - 58% respectively. The reason for lower removal efficiency of acetic acid with cylindrical-type is that electrode can be converted from streamer to arc due to space limitation in plasma channel of cylindrical-type reactor. As electrode is converted from streamer to arc, plasma channel is converged to one spot and possibility of collision between electron and odorous compounds is reduced resulting lower removal efficiency. Removal rate of acetic acid from livestock waste was 28 - 58% with screw-type reactor. Compared to standard acetic acid gas, lower removal efficiency was observed. In order to improve removal efficiency of odorous compounds with screw-type reactor, previous reactor was modified and removal rate of volatile fatty acid (VFA) and ammonia was evaluated. All tested VFAs and ammonia was removed over 70% and 37 - 78% respectively. Voltage and frequency were varied to examine effect of PCDP condition on removal rate of VFAs and ammonia. Difference of removal rate with varied frequency was minimal while higher difference was observed with varied voltage. This result indicated that voltage is more effective than frequency for removal rate of odorous compounds.

In general, higher removal rate was observed as voltage and frequency were increased. Optimal voltage and frequency of PCDP was 2.5Kv and 1,000Hz for removal of odorous compound. As treatment capacity of PCDP was increased from 10 L/min to 1,700 L/min, removal efficiency of acetate was decreased about 12 - 24% due to increased flow. Estimated operation cost for PCDP that has treatment capacity of 50 L/min was 1,572 won/month - 4,245 won/month depending on power consumption when 20 of PCDP was connected in series. Since pulsed corona discharge plasma technique has several advantages such as high removal efficiency for odorous compounds, low power consumption, less heat generation, and no harmful by-products, this technique could be adapted for odor removal from liquified fertilizer storage, composting facilities etc.

This study was carried out to investigate the effect of enzyme complex on odor emission from swine slurry and the process of making swine liquid manure. Ammonia and hydrogen sulfide concentrations were significantly decreased by using the enzyme complex of liter per ton level of liquid swine slurry in the manure storage tank according to the time.

Characteristics of liquid swine slurry were affected by the enzyme complex, total nitrogen and

ammonia nitrogen contents were reduced compare with control. Ammonia and hydrogen sulfide concentrations in the finishing pig building and offensive odor compound on the boundary line of swine farm were significantly decreased by spraying in swine finishing building.

In conclusion, the results obtained from this study suggest that using the enzyme complex of liter per ton level of liquid swine slurry for making liquid swine manure may improve the quality of swine liquid fertilizer and reduce odor emission. Also farm scale enzyme complex treatment may improve air quality in finishing pig building and deduce offensive odor compound of swine farm.

Corn stalk pellet was evaluated as a bulking agent for composting of swine slurry. As bulking materials, corn stalk pellet, sawdust, and corn stalk pellet + sawdust (50:50) were mixed with swine slurry to achieve the moisture content of 70%. Composting materials were filled up at a cylindrical fermenter (56L, high 80cm, diameter 30cm) and the fermenter was ventilated 10 min per hour (150 L /m³/min) for 15 days.

Moisture and ash contents, pH and temperature were investigated at every day. The temperature of the corn stalk pellet treatment was always higher and maintained longer compared to that of the sawdust treatment ($P<0.05$). The volume of pile was decreased by twice ($P<0.05$). No significant difference of pH value and moisture content were found in each pile. Total organic matter losses were by 10.53%, 0.72% and 3.14% respectively ($P<0.05$). These results suggest that the corn stalk pellet is more effective than sawdust as a bulking agent in composting of swine slurry.

Several bedding materials, such as sawdust, sawdust pellet, corn stalk pellet(CSP), palm kernel meal pellet(PKMP), CSP+sawdust (50:50) and PKMP+sawdust (50:50), were bedded at the rate of 25kgDM/m² in a 3x6m pen for Korean native steer (10~15 month-old, mean body weight : 375kg) and the changes of chemical components of bedding materials and behavior of steer were investigated for 40days of experimental period. pH, moisture and organic matter contents and concentrations of NH₃-N of litter were analyzed every 10days. And the location in the pen and posture of the steers were measured every 20 min for 24hrs at 0, 20, and 40 days after bedding.

At first 10days of experimental period, significant increase ($p<0.05$) in moisture and significant increase in pH were observed. While no significant differences were found at the rest of the period. Organic matter contents of bedding materials were decreased gradually during whole experimental period. NH₃-N concentrations were increased up to 30days and showed significant differences between bedding materials. Korean native steer had a tendency to move toward the back part of the pen containing relatively less moisture and took the posture of sitting or lying rather than standing, whereas the he bedding materials did not have much influence on the Korean native steers' behavior.

In conclusion, corn stalk pellet is more effective than sawdust as a bulking agent in composting of swine slurry, as well as bedding materials for steers.

For livestock manure's economical and efficient treatment, a proper solid-liquid separation of manure discharged preferentially shall be preceded. Proper and enough solid-liquid separation can treat economical livestock manure by reducing the amount of moisture control such as sawdust. Enough solid-liquid separation increases treatment efficiency with reduction of load in the final treatment of livestock manure.

The existing solid-liquid separation apparatus needs professional knowledge in maintenance and repair. However, most of solid-liquid separation apparatuses until now are a solid-liquid separation apparatus for water treatment not considering the reality of livestock farm. Therefore, the study tested livestock farms for a long time, installing solid-liquid separators with simple maintenance and operation as well as with good efficiency in treatment.

Generally activated sludge with microorganism is applied to treatment of livestock manure discharged from livestock farms. However, in the event of livestock manure, it is necessary to supply enough oxygen for its enough and stable treatment since it has high density of organic matter. However, the existing oxygen supply method with air stone has a demerit of long treatment time since it has a low efficiency. The oxygen supply method with microbubble has a very good merit to make biological treatment of livestock manure in time, space and efficiency. Therefore, the study researched on how to increase biological treatment efficiency of livestock manure with oxygen supply method by micro bubble.

A major problem within the agricultural/farming community concerns the enormous amount of manure produced by livestock; one possible solution to this problem is to use the animal slurry as a liquid fertilizer. While there are several areas where this fertilizer could be used, one promising area of application is within chestnut tree fields. However, since most of these fields are located on slopes of varying grades and not on flat land, a different spread system is required. Generally, chemical fertilizer is spread in the chestnut field manually by hand; not only does this require a great deal of manpower it is also very difficult and hard work.

In our lab experiment, we investigated the relationship between the amount of fertilizer spread and the length of pipe used at varying pressure levels. The hose in our system utilized PVC piping with evenly spaced holes for the fertilizer to dissipate. We initially found that the amount of spread was greatly reduced by reducing pipe pressure. While the difference of the amount of spread during fertilizing was not great, we did find that the reduction of the spread could be correlated to the frictional resistance of the inner lining of the pipe. Based on this, we hypothesized that an increase in pipe pressure would yield a consistent spread. Additionally, a similar outcome could be obtained by regulating the distance of the holes in the pipe and their diameter.

Another area we investigated was the development a spread system for a vinyl based greenhouse

used for planting vegetables. These types of greenhouses are normally six to eight meters wide; the spread system must be contained and capable of operating within this area. The system we designed for use here consisted of the following parts: 1) a reel for the hose, 2) hydraulic motor and cylinder, 3) discharge unit, and 4) a frame with a 3-point hitch link. With this system there are two types of hoses that can be used, a flexible flat hose that can be mounted directly to a tractor or a solid firm hose which usually separated from the tractor. In either case, the discharge unit remains on the tractor. The results of our areas of investigation were promising. We found that by using our spread system overall efficiency was 5 times greater than spreading fertilizer manually.

제 1 장 서 론

〈제1세부과제〉 가축분뇨 활성오니정화시설의 이용성 개선 연구

귀중한 유기질비료 원료인 우리나라 가축분뇨의 연간 발생량은 약 4,117만톤으로서 이중 상당량인 약 600만톤은 유기질비료로서 활용되지 못하고 많은 비용을 지불하면서 정화처리하여 수계로 방류하거나 해양으로 배출하고 있는 실정이다. 한편, 우리나라 농경지 토양의 유기물 농도변화를 살펴보면 1990년대에는 논토양의 경우 약 24g/kg, 밭 토양의 경우 약 26g/kg으로 유기물 농도가 다소 높았으나, 2000년대에 들어서는 각각 약 20g/kg, 23g/kg으로 크게 감소하였으며, 이는 1960년대 농경지 유기물 농도와 비슷한 수준이거나 오히려 낮은 농도를 나타내고 있다. 이처럼 우리나라 농경지가 1960년대보다 유기물농도가 낮고 척박하게 된 원인으로서는 화학비료와 농약사용 농법으로 과다하게 수확만 하였을 뿐, 지력증진에 필수적인 유기질비료를 구하기가 어려워 사용을 기피하였기 때문으로 판단된다. 따라서 쉽게 구할 수 있는 양질의 유기질 비료를 개발하고 나아가 수요자들의 다양한 요구에 부합할 수 있도록 제품화하여 적극적인 사용을 유도, 지력을 증진시킴으로서 안전한 농산물 생산기반을 공고히 하는 것이 시급한 과제로 대두되고 있다. 가축분뇨는 쉽게 구할 수 있는 유기질비료 원료이지만 이를 수요자인 경종농가들의 다양한 요구를 충족시킬 수 있는 고품질의 유기질비료로 가공하는 기술은 제대로 정립되어 있지 않은 실정이다. 비료의 최종 수요처인 농업현황을 살펴보면 농촌인구의 감소와 고령화로 노동력이 부족한 상태이고 농기계 및 자재 개발에 힘입어 다가구 소규모 경영에서 소가구 기업화 경영으로 전환되고 있으며, 노지재배에서 수익성이 높은 시설재배로, 식량작물 재배에서 약용작물, 화훼 등 특수작물 재배로 재배형태 및 작목도 다양해지고 있다. 따라서 손쉽게 구할 수 있는 가축분뇨를 양질의 유기질비료 가공하는 기술 개발도 중요하지만 다양한 재배형태와 작목에 손쉽게 사용할 수 있도록 다양한 형태와 성상으로 개발하는 것이 더욱 중요하다고 사료된다. 가축분뇨를 양질의 유기질비료로 가공시 한번 시비로 작물의 요구량에 부응할 수 있도록 비효성분비나 용출속도 등을 고려하여 각 작물에 적합한 맞춤형으로 가공한다면, 그리고 식량작물에 국한하지 않고 화훼나, 산림, 잔디 등에도 쉽게 사용할 수 있도록 가공한다면 수요자들의 관심을 더욱 모을 수 있을 것이다. 가축분뇨를 퇴액비로 가공하는 기술개발시 안전과 더불어 고려하여야 할 중요사항 중 하나는 가능한 한 기존가축분뇨처리시설을 최대한 활용할 수 있는 방법을 채택하고, 또 모든 가축분뇨를 모두 퇴액비로 가공하여 농경지에 환원한다는 것은 현실적으로 불가능함으로 환원되지 못한 잉여의 가축분뇨를 안전하게 처리하는 기술개발도 병행하는 것이 바람직할 것이다. 축산농가의 분뇨처리 공정으로 과거 활성오니정화시설이 많이 도입되었으나 공정구성이 불합리한 경우가 많고, 운전방법이 제대로 정립되어 있지 않아 가동율이 저조한 실정이다. 활성오니정화시설은 현재

에도 대규모농장을 중심으로 많이 도입되고 있으나 법적수준기준에 부합하도록 처리하더라도 처리수중에는 작물에는 유용하지만 하천으로 유출시 오염물질로 작용하는 물질이 상당량 잔존하게 된다. 따라서 활성오니정화시설을 액비생산에도 효율적으로 이용할 수 있도록 공정구성 및 운전 방법 정립하여 가축분뇨 자원화를 도모하고, 잉여의 가축분뇨는 최소한의 시설보완으로 안전하게 처리하여 방류할 수 있게 하는 기술개발이 시급하다. 따라서, 본 연구에서는 현지 활성오니처리시설 농가 조사와 Lab Scale의 활성슬러지 실험장치를 설치하여 축산농가의 분뇨처리 공정으로 기 도입된, 그리고 도입율이 증가되고 있는 활성슬러지공법의 효율적인 정화처리조건을 검토하고 이와 더불어 간단한 운전조건 조작을 통한 기존의 활성슬러지공법으로 유용한 액비생산이 가능한지를 검토하였다.

〈제2세부과제〉 혐기성공정을 이용한 가축분뇨 액비화 기술 개발

돈분뇨는 매년 평균 1300만 톤씩 발생하여, 한국에서 발생하는 폐수의 가장 큰 부분을 차지하는 것으로 알려져 있다(NIAS, 2005). 일반적으로 함수율이 93% 이상되는 돈슬러리마저 퇴비화나 액비화하는 경향이 있는 데 이는 온실가스발생, 에너지(전기), 톱밥, 왕겨 등 부자재(수분조절제)의 과다소모 등으로 이를 대체할 수 있는 처리공법을 모색하여야 할 때다. 돈슬러리의 기존 호기성소화공법을 대체할 수 있는 에너지회수형, 이산화탄소 저발생, 발효액의 질소함유율 유지 등의 장점이 있는 혐기발효공법이 최근 부각되고 있다.

현재 우리나라 가축분뇨 80여개 공공처리장의 기본공정은 전술한 바와 같이 호기성 생물학적 처리공정을 채택하고 있는 데 이에 혐기공정을 전처리공정으로 적용할 경우, 에너지회수, 온실가스저감의 효과도 얻으면서 액비, 퇴비의 질소함유량을 극대화할 수 있다.

일반적으로 바이오가스나 메탄의 생성량은 휘발성고형물(VS)kg당 또는 CODcrkg당 으로 나타낼 수 있다. Chae 등(2008)은 20일 동안 35°C로 혐기발효 실험결과 돈슬러리로부터 발생되는 메탄생성량은 400l CH₄/kgVS으로 보고하였으나 다른 여러 문헌(Al Seadi, 2004; Bonmati et al. 2001; Husain, 1998; Linke, 1997, Al Seadi, 2004) 에서는 이보다 적은 300 l CH₄/kgVS을 보고하였다. 이론적으로 화학당량적 반응식에 의하면 350 l CH₄/kgCOD_{cr}으로 계산되었다. 이를 바이오가스 생성량으로 환산하면 바이오가스의 메탄함유율을 2/3로 가정하며, Chae(2008)등의 경우 600l Biogas/kgVS, 여러 연구의 경우 450lBG/kgVS, kgCOD_{cr}당 520 l BG를 생성하는 것으로 보고되었다. 일반적으로 kgVS기준으로 300l CH₄, 450 l BG를 kgCOD_{cr} 기준으로는 350l CH₄, 500l BG생성되면 돈슬러리의 경우 이론효율 100%의 기준으로 삼을 수 있을 것으로 여겨진다.

바이오가스 생산에서 가장 중요한 변수는 발효조의 온도를 중온(35°C)상태로 유지하여야 하는데 우리나라의 경우 특히 겨울철 저온 때문에 발효조의 온도를 중온으로 유지하기 위하여 보조열원이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 지하 3~5m의 지온이 15°C 내외임을 인식하여 이의 지열을 이용하고자 하였다. 본 연구를 위하여 기존 서울대 농생대 부속목장에 pilot 규모(20 m³)

의 지하 혐기발효조(under ground anaerobic digester; UGAD)을 완전 재설계하여 발효조내 가온시설과 재순환시설을 제작하여 보완하였으며, 기존 미생물농축조를 제거하고 새로운 미생물 농축조를 제작, 설치하였으며, 배관, 제어장치도 전면 수정·보완하였다. 본격적인 mUGAD를 대상으로 바이오가스 생성의 효율성 실험은 11월부터 시작하였다.

본 연구의 실험목적은 pilot mUGAD (1m³/일)의 바이오가스 생성효율분석과 바이오가스생성에 미치는 영향변수 구명 및 수중혼합기, 가수분해조 등의 운영전략 정립에 있다.

〈제3세부과제〉 맞춤형 퇴비생산 기술 개발

지난 세기 후반부터 본격화되었던 축산업 운영형태의 전업화, 규모화 추세는 최근까지도 지속적으로 이어지고 있다. 국내 양축농가의 전문화는 가축능력의 개량과 축산물의 품질개선, 농가운영기술 발전 등의 측면에서 긍정적 효과를 가져온 반면에 전문화에 따른 사육규모의 대형화는 한정된 지역 내에서 다량의 가축분뇨가 발생하게 되는 원인이 되었고, 심지어는 해당지역에서 수용할 수 있는 가축분뇨 처리능력 한계를 초과하는 상황까지 우려할 수 있는 문제점을 내포하게 되었다. 발생한 가축분뇨를 적절하게 처리하지 못할 경우에는 최근들어 급격하게 높아진 국민들의 쾌적한 생활환경 구현요구와 맞물려져서 축산업이 오염관련 산업으로 인식되어져서 사회적 주목을 받는 결과를 초래하게 될 수 있을 것이다. 따라서 축산업이 지속적으로 유지, 발전되기 위해서는 가축분뇨의 적절한 처리 및 이용체계가 조화롭게 정착된 환경친화적인 산업으로서의 면모를 갖추으로써, 축산을 바라보는 일반인들의 부정적인 시각을 해소하여야 한다. 현재 국내의 기술적, 경제적, 사회적 여건에 비추어볼 때 가축분뇨를 친환경적인 방법으로 처리하는데 가장 적합한 방법은 퇴비화처리에 의한 토양으로의 환원일 것이다. 가축분뇨에는 다량의 유기성 물질들이 함유되어 있어서 처리되지 않은 가축분뇨가 토양 및 수계로 직접 유입될 경우 지하수나 지표수질 그리고 토질에 좋지 않은 영향을 줄 수 있는 것이 사실이지만 이 가축분뇨를 적절하게 처리하여 경작지에 환원한다면 토양을 개량하고 작물생산성을 높일 수 있는 유용한 비료자원으로 재활용될 수 있다는 긍정적 측면이 있다⁽⁶⁾. 과거 우리농업은 식량증산과 다수확을 달성하기 위하여 화학비료와 농약사용에 지나치게 의존해 왔다. 당연한 결과로 토양의 산성화, 투수성 감소, 염류집적 등에 의한 지력저하가 초래되었다. 2005년도의 환경지속성지수(ESI : Environmental Sustainability Index)에 나타난 바에 따르면 우리나라는 조사대상 146개국 중 비료사용량 측면에서 138위(374kg/ha)를 기록하여 세계적으로도 농업여건이 나쁜 편에 속하는 것으로 조사되었다. 그러나 다행히도 최근 들어서 관심이 높아진 친환경농업 추세에 따라 화학비료의 과다사용을 지양하고 퇴비와 액비 등 유기질 비료사용을 늘리고자 하는 농업인들의 인식개선은 농업환경과 인간 모두에게 아주 바람직한 것으로 보여진다⁽⁴⁾. 가축분 퇴비 이용성을 더 높이기 위해서는 화학비료에 비해 가축분 퇴비가 안고 있는 상대적 취약성 개선이 선행되어야 할 것이다. 그 일례로써 가축분 퇴비가 가루형태를 띠고 있음으로 인해서 발생하는 운반 및 살포에 소요되는 노동력, 약취

문제, 부피대비 낮은 비료성분 의 강화방안 등이 시급히 개선되어야할 문제점으로 대두된다. 이와 함께 가축분뇨 퇴비를 경지에 환원할 경우에 가장 중요시해야 할 부분은 퇴비의 품질문제이다. 퇴비화의 궁극적인 목적이 비료로서 토양에 환원할 수 있는 가치를 지닌 유기성 비료 제품을 생산하는 것이기 때문이다. 퇴비 품질개선을 위해 그동안 사료분야에서 이용되어왔던 입상화 기술⁽²⁾을 가축분퇴비에 발전적으로 적용하여 퇴비품질과 이용성을 동시에 개선하고자 하는 연구가 국내에서도 이루어지고 있다⁽⁵⁾. 따라서 본 연구는 가축분 퇴비의 가공에 따른 품질 및 이용성 향상기술을 개발하고 축산 및 경종분야에서 관련 기술을 안정적으로 이용할 수 있도록 하는 목적으로 수행되었다.

〈제4세부과제〉 기능성 액비생산 기술 개발

가축분뇨 발효액비를 시설하우스의 양액이나 관비시스템에 활용하기 위해서는 막힘이 생기지 않게 부유물질의 함량이 70 μ m 이하로 여과되고 무기이온 함량의 감소가 적은 액비가 유리하다고 보고하였다(임 등, 2003). 부유물질이 높은 가축분뇨 발효액비를 관비재배에서 편리하게 여과하는 방법이 실용화되고 있지 않는 실정이었으나 퇴비단 여과액비와 막분리 농축액비는 처리과정 중 부유물질이 제거되고 각종의 무기물과 미량요소들이 함유되어 있어서 농작물의 추비시용과 관비 및 양액재배에 이용이 가능하게 된다. 막분리 기술은 20세기 고분자 화학을 비롯한 재료공학의 발달로 기능성 고분자 재료물질이 개발됨으로 해서 상업적 개발이 이루어지기 시작했다(한국막학회, 1998).

최근 들어 양액재배 생산물의 품질을 높이려는 연구와 시도가 많이 이루어지고 있는데 주로 과채류의 경우 급액되는 양액농도의 변화, 미생물제제나 식물추출물(스테비아 등 고당도식물)의 엽면살포와 관주처리, 키토산, 목초액 및 죽초액 등 신물질의 투입 등으로 다양하게 시도되고 있다.

양액재배는 고효율 농업생산 방식에서 최근에는 친환경적 양액재배에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다(유 와 배, 2005). 또한 미국을 중심으로 유기양액재배에 대한 연구가 이루어지고 있으나(Jarecki, 2005) 우리나라에서는 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다(유 와 배, 2005).

가축분뇨는 퇴비와 액비로 작물에 시용하고 있으나 주로 노지작물에 기비로 이용되고 있는 실정이다. 최근 하우스 재배면적이 증가되고 있으나 시설하우스의 관비·양액재배에 활용이 가능한 액비의 개발에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

우리나라는 화학비료 원료의 대부분을 수입에 의존하고 있어 최근 국제 원자재 가격이 상승하여 비료가격 인상이 농업의 경영비 상승에 매우 큰 요인이 되므로 양액재배에서도 화학비료 대체에 의한 생산비 절감이 필요하므로 화학비료 양액을 절감하기 위하여 가장 저렴한 비료원인 가축분뇨 액비를 활용한 양액 대체 기술이 요구된다.

본 연구는 양액재배에서 액비를 화학비료와 대체하기 위하여 SCB(Slurry composting biofiltration) 퇴비화 과정에 배출되는 여과액비와 막분리 처리과정에서 돈분뇨 슬러리를 한외여과막을 통과하

고 역삼투막 처리에서 역류되어 나오는 농축된 액비를 재료로 하여 부산물과, 양액의 혼합액비를 제조하여 작물 생육과 수량에 미치는 영향과 시설작물재배에서 화학비료 대체 가능성을 연구하였다.

〈제5세부과제〉 가축분뇨 퇴·액비 중 특정성분 제어기술 개발

자연순환농업 구현을 위해서는 가축분뇨의 친환경적 자원화 축진이 무엇보다도 중요하며 유기질 비료의 사용시 자연생태계에서의 물질순환능을 반드시 고려하여야한다. 그러나 그동안의 무계획적인 비료 사용에 의해 대부분의 농경지에서 인과 질소의 집적현상이 발생하여 농경지 60% 이상에서 적정수준을 넘어서는 인산이 검출되고 있으며 비닐하우스에서는 2배 이상의 인산이 축적되고 비료를 많이 뿌린 고랭지 밭에서는 인산의 농도가 3배 이상 증가한 것으로 보고되고 있다. 이러한 농경지 양분과잉은 토양생태계를 구성하는 곤충과 동물이 사라지고 토양산성화원인이 되고 있으며 무엇보다 하천, 호수, 연안바다, 지하수 등으로 유출된 양분은 심각한 수자원 오염발생의 원인이 되고 있기도 하다. 이를 위해 농경지의 양분수지 및 재배작물에 맞춰 살포되는 양분총량을 제한하는 양분 총량제를 2007년에 도입하기로 농림부와 환경부 공동으로 입법 예고한바있으나 축산업계에서는 제시된 양분총량제가 결국에는 사육제한으로 이어져 양축농가들의 생존권을 위협할 것이라는 우려로 인해 반발이 매우 거세게 일어나고 있다. 따라서 체계적인 자연순환 농업 구현과 축산분뇨의 자원화 축진 및 퇴·액비의 수요창출을 통한 축산업계의 근심해소를 위해서는 퇴·액비내 인과 질소의 함유량을 줄여 토양내 물질순환 균형을 맞추어줄 수 있는 기술 개발이 매우 시급한 실정이다.

또한 우리나라 작물재배면적이 약 187만 ha, 연간 사용되는 화학비료의 양이 약 50만톤, 퇴·액비 포함 연간 비료투입성분총량이 76만톤, 작물의 양분 흡수량이 34만톤, 환경으로의 무기물 유출 및 축적이 약 33만톤이라는 농경지의 물질순환구조에관한 연구보고를 근거로 판단할 때 경종농가에서의 화학비료 사용량의 감소화를 유도한다면 토양내 양분축적과 지하수 혹은 지표수로의 양분 유출문제가 해결됨은 물론 이상적인 자연순환농업이 구현될 것이 확실하다. 그러나 우리나라 대부분의 경종농가들의 경우 봄, 가을에 기비로 축분퇴비나 액비를 적량 사용하고 작물이 자라는 여름동안에는 추비로 화학비료에 의존하고 있어 화학비료의 사용이 필요하지 않은 축분 완효성 유기비료를 개발하지 않는 한 화학비료사용량 감소와 축분퇴비 수요창출이 사실상 불가능하다. 따라서 이상적인 자연순환농업 구현의 또 다른 방안은 축분퇴비내 질소/인 성분 제어를 통해 추비(화학비료) 사용이 필요치 않은 친환경 완효성 유기질 비료를 생산하여 경종농가에 보급하는 것이다.

축분완효성유기비료란 비료성분이 크리스탈 결정체 형태로 토양 중에 체류하면서 토양미생물에 의해 서서히 용출되는 비료를 의미한다. 따라서 완효성 유기비료는 한번에 다량의 비료를 시비하여도 농작물에 해가 없어 연간 1-2회 시비로 연중 작물의 필요량을 공급할 수 있으며 시비회

수의 감소로 경종농가의 노동력을 감소시키고 또한 빗물에 잘 녹아나지 않아 토양 중에 체류하는 비료양분이 비를 통해 강이나 계곡, 지하수로 용출되지 않아 경종농가가 선호하는 친환경 비료이다. 또한 축분완효성유기비료는 토양이 산성으로 변해감에 따라 용출량이 증가하면서 토양의 산도를 스스로 알카리성으로 전환시키는 완충 효과가 있어 농경지 관리 및 보호에 효과적이며 작물의 생산량도 증가시켜 경종농가가 매우 선호하는 비료원이 될 것임에 틀림없다.

따라서 퇴·액비내 인과 질소의 함유량을 줄여 토양내 물질순환 균형을 맞추어줄 수 있는 기술개발과 화학비료 대체용 친환경 축분완효성유기비료 생산에 필요한 특정성분 제거기술 개발은 궁극적으로 이상적인 자연순환농업 구현에 크게 기여할 것이다. 이에 본 연구에서는 저농도 액비 혹은 고품질 완효성 퇴비 생산을 위한 축분 퇴·액비내 질소·인 성분 제어 기술 및 공정을 개발하고자 하였다.

〈제6세부과제〉 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구

축산농가 및 축산폐기물 처리시설의 악취 발생은 기존의 대기오염물질과는 달리 주민들의 생활에 경제적, 사회적, 심리적 파급 효과를 가져와 최근 들어 심각한 민원의 소지로 인식되고 있다. 축산폐기물 및 그의 부숙 단계에서 악취로 발생하는 물질들로는 대부분이 휘발성 유기화합물(VOC)들이며 주로 휘발성 지방산(VFAs; Volatile Fatty Acids), 알코올, 황화합물(sulfur containing compounds), 암모니아, 아민류 화합물(amines), 인돌 화합물(indolic compounds), 페놀류 화합물(phenolic compounds) 등이다. 구체적인 휘발성 지방산으로는 acetic acid, propionic acid, isobutyric acid, butyric acid, isovaleric acid, valeric acid, caproic acid, enanthic acid 등이 있으며, 인돌 화합물로는 p-Cresol, indole, skatole 등이 있다. 그 외에 휘발성 황화합물(VSCs; Volatile Sulfuric Acid)로는 황화수소(Hydrogen sulfide)와 메틸 메캅탄(Methyl mercaptan) 등이 있다. Schiffmann et al. (2001)은 돼지 축사로부터 331개의 VOC 악취 물질을 밝혀내었다. 악취물질의 특성은 고농도로 존재하여 단독으로 악취를 유발하는 물질 외에 상당 부분이 아주 낮은 농도로 같이 존재함으로써 복합적으로 냄새를 일으키기도 한다고 보고하였다.

악취를 제거하는 방법에는 흡착법, 수세법, 산화법, 생물학적 탈취법, 효소분해법 등과 같이 물리·화학·생물학적 방법 등이 있으며 악취제거방법의 선정 시 악취물질의 종류와 특성을 고려하는 것이 가장 경제적이며 효과적일 수 있다. 그러나 악취는 여러 물질들이 복합적으로 혼합되어 반응함으로써 발생되므로, 특정한 한 가지 방법만으로는 제거가 불가능하다. 단일 방법으로 처리가 안 될 경우 다른 방법들을 복합적으로 사용하는 경우도 있지만 현장적용을 위한 경제성과 효율성을 검증한 복합적인 기술개발은 현재 미비한 실정이다. 대부분의 악취제거 방법은 물, 화학용액, 물리적 흡착소재 등을 사용하므로 악취 처리후의 부가적인 처리나 재활용 방안 및 안

전성에 대한 대비책이 마련되어야 할 것이다.

악취물질은 휘발성 유기화합물로 구성되어 있고 이들이 복합적인 반응에 의해 악취를 발생시킨다. 유기화합물의 결합을 깰 수 있는 에너지원이 필요하다. 외부 투입에너지원은 악취원인 물질이 보유하고 있는 화학결합의 힘보다 커야 하며, 2차적인 오염원의 발생 및 처리가 필요 없는 친환경적이어야 하고, 경제적이며, 아울러 현장 적용이 용이한 기술이어야 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 악취 제거를 위한 전제조건을 갖춘 방법으로 펄스 코로나 방전 (Pulsed Corona Discharge) 플라즈마 기술을 이용하여 축산폐수로부터 발생하는 악취를 친환경적으로 제거할 수 있는 방법을 모색하였다.

본 연구의 최종 목적은 휘발성악취물질에 대해 처리효율이 높은 펄스코로나 방전 (Pulsed Corona discharge: PCD) 기술을 적용하여 가축분뇨에서 발생하는 악취를 친환경적으로 제거하는 protocol을 개발하고, 이를 현장의 액비제조시설 등에 적용하여 복합적으로 악취를 제거하는 시스템을 구축하는데 있으며 이를 위한 연구내용은 아래와 같다.

- ① PCD 장비의 개발 및 악취제거 효율 극대화를 위한 최적 운전 조건 확립
 - 효율적인 악취제거를 위한 플라즈마의 특성 규명
 - 악취제거를 위한 PCD 장치의 설계인자 도출
 - 실험실 규모의 PCD 장치의 제작 및 운전
- ② PCD 장비의 현장 적용을 위한 시스템 구축
 - 실험실 규모의 액비 저장조에 대한 PCD의 적용성 검증
 - PCD를 이용한 악취제거의 최적 조건 확립
- ③ PCD 장비의 악취저감 효율성 검증
 - 암모니아, 휘발성 지방산, 및 축산폐수를 이용한 PCD의 악취저감 효율성 검증
 - 실험실 규모의 PCD 장비에 대한 현장 적용성 검토

〈제7세부과제〉 효소복합체를 이용한 양돈슬러리 자원화 과정의 악취 제어 기술개발

악취는 자극성을 가진 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 기분 나쁜 냄새를 뜻한다. 낮은 농도의 악취물질이 심한 불쾌감을 유발시키는 경우와 높은 농도에서도 상대적으로 적은 냄새를 유발시키는 경우가 있으나 대부분 다양한 원인물질이 복합적으로 사람의 후각을 자극하여 문제를 발생시키게 된다.

2005년 2월 악취방지법이 시행되면서 축산시설에서 발생하는 악취 대책이 매우 부족한 실정으로 특히 양돈장 악취 저감을 위한 현장적용 기술이 시급히 요구되고 있다. 양돈시설 발생 악취 저감을 위한 돈사 환경개선 기술의 적용이 시급한 실정이며, 냄새, 유해가스 및 먼지의 측정 및 제어에 관한 이론적 배경이 요구되기도 한다.

악취물질 및 유해가스의 주성분은 암모니아 등 아민계열, 황화수소 등 황화합물계, 휘발성 지방산 등이다. 이들 악취 및 유해가스는 돼지의 성장저하와 함께 농장관리자의 건강에도 영향을 미치고 있기 때문에 악취 및 유해가스의 저감은 양돈산업의 지속가능 여부에 영향을 미칠 수 있는 중요한 변수로 등장하였다.

악취, 유해가스 및 먼지의 돼지와 관리자의 건강에 미치는 영향에 관한 자료가 요구되고 있으며, 양돈산업의 안정적 기반 확보와 지속발전을 위하여 양돈시설에서 발생하는 악취, 유해가스 및 먼지제어는 필수적이며, 양돈산업 종사자에 대한 근무환경 개선 또한 반드시 실현되어야 할 것이다. 향후 지속가능한 양돈산업, 친환경, 동물친화, 관리자 친화적 양돈산업으로 자리잡기 위하여 해결해야할 과제가 악취저감이라고 해도 과언이 아닐 것이다. 최근의 이러한 사회적 여건 변화와 제도의 변화에 따라 축산시설 중에서도 가장 악취 민원이 많은 양돈장의 악취대책은 반드시 마련되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 최근 확산되고 있는 가축분뇨를 활용한 자연순환농업의 활성화를 위하여 반드시 요구되고 있는 악취문제에 대한 기술적 대안을 제시하고자 효소복합체 처리가 양돈분뇨의 자원화 과정의 악취 저감에 미치는 영향을 분석하였다.

〈제8세부과제〉 파쇄옥수수대의 축분퇴비제조 수분조절재로의 활용기술 개발

‘자연순환농업’을 성공적으로 구현하기 위해서는 단순히 축분을 퇴비형태로 전환하는 것이 아니라 수요자인 경종농업 종사자가 원하는 ‘상품’을 제조하여야 하나 톱밥을 수분조절재나 깔짚으로 사용하여 제조한 퇴비는 그 품질에서 수요자를 충분히 만족시키지 못하고 있다. 또한 톱밥은 원목수입의 감소, 축산외 농업자재로의 이용(상토제조 등)이 증가함에 따라 가격이 급등하였을 뿐만 아니라, 공급물량이 크게 부족하여 다른 수분조절재(옥수수대, 대패밥, 콩대, palm kernel 등)와 함께 최근 수입량이 크게 증가하고 있다.

옥수수대는 파쇄할 경우 수분흡수율이 약 200%로 매우 높고, 조섬유소 함량이 33%정도이지만 일부가 반추가축의 사료로도 이용될 만큼 톱밥보다는 이분해성 섬유질이 많아 수분조절재로서의 활용가치 뿐만아니라 퇴비화 효율을 증진시켜서 제조된 퇴비의 품질도 높을 것으로 판단된다.

옥수수대의 국내 생산량은 정확하게 파악할 수 없으나 지역에 따라 상당량을 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 중국, 필리핀, 베트남 등지에서 비교적 많은 양을 안정적으로 수입할 수 있음에

따라 최근 농림부가 수분조절재용 수입쿼터 품목으로 배정하였다. 중국산 파쇄옥수수대의 가격은 07년 2월 현재 인천항 상차도 가격으로 140원/kg 미만으로 중국산 톱밥의 170원/kg보다 가격이 저렴하다. 따라서 현재 일본에서는 상당량을 중국으로부터 수입하여 활용하고 있을 뿐만 아니라 국내에서도 전라도 지역을 중심으로 파쇄옥수수대나 옥수수대 pellet형태로 일부 사용이 시작됨에 따라 향후 많은 양이 수입되어 수분조절재나 깔짚으로 축산현장에 이용될 것으로 예상된다.

그러나 파쇄옥수수대를 수분조절재나 깔짚으로 이용하는 기술과 관련한 연구보고는 아직 없다. 파쇄옥수수대를 수분조절재나 깔짚으로 이용하는 기술은 돈·우분퇴비의 품질향상뿐만 아니라 축분퇴비제조 농가의 소득에도 크게 영향을 미칠 것으로 판단되며, 그 활용기술에 대한 축산현장의 애로사항으로 곧 나타날 것으로 예상된다.

따라서 파쇄 옥수수대를 축분 퇴비화에 필요한 수분조절재로 활용하기 위하여 물리, 화학적 특성을 구명하고 축분 발효건조 퇴비제조 공정에 적용할 제반기술을 개발하고 그 경제성을 분석하고자 하였다.

〈제9세부과제〉 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가실증

가축분뇨의 경제적이고 효율적인 처리를 위해서는 먼저, 배출되는 가축분뇨의 적절한 고액분리가 선행되어야 한다. 종래 가축분뇨 원수의 고액분리시 과도한 약품(응집제 및 응집보조제)이 사용되어져 왔으며 효율 또한 낮았다. 과도한 약품의 주입은 다시 슬러지로 발생되면 이것 역시 폐기물로 발생된다. 적절하고 충분한 고액분리는 톱밥 등의 수분 조절제의 사용량을 감소시켜 경제적인 가축분뇨처리가 가능하고 또한, 충분한 고액분리는 가축분뇨의 최종 처리시 부하 경감과 함께 처리효율을 증가시킨다. 대부분의 축산농가에 설치된 기존의 고액분리기는 축산 농가를 위한 장치라기보다는 수처리에서 사용되어져 온 고액분리기를 축산시설에 적용한 것이 대부분이다. 그러므로 고액분리기는 축산농가의 현장 상황을 고려한 시설의 개발 및 적용이 절실히 필요하다.

한편, 축산농가에서 배출되는 가축분뇨의 처리는 일반적으로 미생물을 이용한 활성슬러지법을 이용하고 있다. 활성슬러지법을 이용한 가축분뇨처리는 가축분뇨에 포함된 유기물의 농도가 높아 충분하고 안정적인 처리를 위해서는 긴 체류시간이 필요하다. 활성슬러지법을 이용한 가축분뇨처리에 있어서 가장 핵심적인 요소는 용존산소(DO)의 공급에 달려있다. 효율적인 용존산소의 공급은 가축분뇨처리 시간을 단축시킬 수 있으며, 처리효율을 높일 수 있다. 또한 처리시간의 단축은 가축분뇨처리장의 소요 부지를 감소시키고, 운용비 등의 유지관리비를 절감시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서 기존의 산기석을 이용한 용존산소공급 방법을 대신 혹은 추가적인 시설로 마이크로버블을 이용한 용존산소공급법은 가축분뇨의 생물학적처리에 있어서 시간 및 공간 그리고 효율적인 면에서 대단히 효과적인 장점이 있다. 마이크로버블을 이용한 용존산소공급법의 적용은 경제적 이익과 함께 유지관리적인 측면에서도 활성슬러지의 활성화를 도모하여 안정적인

처리효과를 얻을 수 있다.

따라서 본 연구에서는 1차년도에 실제 농가에 10 m³/day 규모의 마이크로버블 고액분리기를 설치, 가축분뇨의 원수 및 생물학적 처리 후 발생하는 슬러지의 고액분리 처리 효율을 평가하였다. 또한 축산 농가의 특성을 고려한 비정기적인 가동과 비 숙련자의 운전을 고려하여 고액분리 장치의 기계적 안정성 및 운전조작의 편리성을 동시에 평가하였으며, 2차년도에는 마이크로버블을 이용하여 액비 혹은 최종 방류를 위한 활성슬러지 공정의 생물반응조에 용존산소 공급 실험을 실시하였다.

〈제10세부과제〉 가축분뇨 액비 살포장치 개발

가축분뇨를 퇴액비로 이용하고자 하는 사업이 정부의 자연순환농업 정책으로 탄력을 받고 있다. 액비를 이용함에 있어서는 냄새와 살포할 농경지가 있느냐가 관건이다. 슬러리를 고액분리하고 분리된 액체를 폭기해줌으로서 냄새문제를 어느 정도 해결하고 있다. 고액분리의 방법에 따라서 액비의 성분이 달라지며, 연구사업을 통하여 액비의 수요처 확보도 다각도로 이루어지고 있다. 예를 들면 유실수가 심겨진 임야, 간척지, 골프장 등에도 액비시비시험을 하고 있다. 그동안 개발된 방법은 주로 평지에서 사용하는 살포방법이다. 밤나무 밭은 보통 야산에 위치하고 있으며, 인력으로 화학비료를 살포하고 있는 실정이다. 재배 면적 약 8만 ha 연간 약 10만 톤 이상의 밤을 생산하여 그 중 1만 5천 톤을 수출하여 5천만불의 외화를 벌어들이는 중요한 유실수종이다. 밤나무가 노령화와 관리 부족으로 수세가 약해지고 병에 의한 피해가 증가하고 있다. 수령 8~18년 사이에서 생산량이 최대가 되며 20년 이상되면 생산량이 급격히 감소된다. 이와같은 경사지에서는 기계 장비가 올라갈 수 없기 때문에 다른 방법을 강구하여야 한다.

현재 인력으로 화학비료를 살포하고 있으나, 이러한 방법으로는 노동력이 많이 소요되어 큰 면적을 살포하기에는 한계가 있다. 따라서 경사가진 밤나무 밭에 액비를 살포할 수 있는 성능이 좋고 균일하게 살포하는 장치가 필요하다. 본 연구의 목적은 경사지용 밤나무 밭에 액비를 균일하게 살포할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다.

시설하우스 재배면적은 전국적으로 약 10만 ha가 되며, 이 면적에 시금치, 상추, 오이, 토마토, 딸기, 수박 등의 과채류가 재배되고 있다. 일반적으로 노지에 비하여 수확량이 1.4~1.7 배 정도 많은 것으로 되어 있다. 이러한 시설하우스에서 현재는 인력으로 액비를 살포하고 있기 때문에 중노동으로 힘이 많이 들어 기계화하여서 노력을 절감하여야 한다.

〈제11세부과제〉 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC 평가 연구

가축분뇨 처리시설은 시설투자비 및 운영비가 많이 투입되므로 양축농가의 경영에 크게 영향을 미치고 있고, 현재까지의 시설투자 의사결정 시 대부분의 농가는 초기시설투자비용과 처리물 단위당 처리비용 관점에서 평가하여 왔으나, 초기시설투자비 보다는 유지관리비 및 시설교체비 등 운영비 부분의 과다지출로 인하여 경영압박을 받는 경우가 있음. 따라서, 시설투자에 대한 설치, 운영, 유지관리 그리고 최종적인 처분에 이르기까지 전과정에서의 전체비용을 합산하여 분석함으로써 총비용의 관점에서 가장 경제적인 대안을 선택할 수 있도록 의사결정 정보의 제공이 필요하다

특히 가축분뇨 처리시설의 평가 및 최적 선택의 의사결정에 있어서, 시설물은 내구성이 있는 자산이므로 내구연한 전체에 걸친 비용측면에서의 경제성이 고려되어야 하는 바, 이를 위하여 LCC(Life Cycle Cost) 기법의 적용 가능성을 검토하고자 본 연구를 수행하였다..

〈제12세부과제〉 가축분뇨 액비의 유해물질 관리

현재 우리나라 가축분뇨 발생량이 44,000 천톤/년이며, 이중 양돈분뇨가 전체 42%를 차지하고 있으며, 가축분뇨의 80% 정도가 퇴·액비로 재활용되고 있으나 이에 대한 영농 및 인체에 대한 안정성 조사가 미흡한 실정임. 안전 농산물 생산에 대한 국민의 관심 증대와 함께 농산물 생산에 투여되는 농업 자재의 안전성 확인이 필요하며, 농식품은 특별한 가열처리 없이 원료식품을 그대로 섭취하는 경우가 있으므로 식중독 원인균이 식품에 포함되어 있는 경우 식중독을 유발할 수 있으며 특히 최근 들어 신선 농산물이 원인 식품이 된 식중독 사례가 증가되고 있어 농식품에 대한 안전 관리의 중요성이 부각되고 있다.

살모넬라나 *E. coli* O157 등 유해 미생물들은 장관유래 미생물이므로 과거 채소 및 과일류는 이들 세균으로부터 안전한 것으로 여겨져 왔으나, 최근 채소 및 과일류를 매개로 한 대규모 식중독 사고가 빈번하게 일어나고 있어 사회 문제 뿐만 아니라 외교 및 무역마찰의 원인이 되고 있음. 따라서, 동물의 분뇨 혹은 사체와 같은 유기물을 이용한 퇴비의 제조과정에서 적절한 숙성과정을 거치지 않고 비료로 사용될 경우 토양을 오염시키며, 이는 농산물 오염의 원인이 될 수 있다. 이에 따라 액비 품질향상을 위한 액비 내 유해물질(중금속) 및 유해세균 현황을 파악하고 액비 내 유해물질의 농산물로의 전이를 경감시키는 연구를 통하여 안전농산물 생산에 기여코자 본 연구를 수행하였다.

제 2 장 국내외 기술개발 현황

〈제1세부과제〉 가축분뇨 활성오니정화시설의 이용성 개선 연구

축산농가의 분뇨처리 공정으로 과거 활성오니정화시설이 많이 도입되었으나 공정구성이 불합리한 경우가 많고, 운전방법이 제대로 정립되어 있지 않아 가동율이 저조한 실정이다. 활성오니정화시설은 현재에도 대규모농장을 중심으로 많이 도입되고 있으나 법적수준기준에 부합하도록 처리하더라도 처리수중에는 작물에는 유용하지만 하천으로 유출시 오염물질로 작용하는 물질이 상당량 잔존하고 있다. 따라서 활성오니정화시설을 액비생산에도 효율적으로 이용할 수 있도록 공정구성 및 운전방법 정립하여 가축분뇨 자원화를 도모하고, 잉여의 가축분뇨는 최소한의 시설보완으로 안전하게 처리하여 방류할 수 있게 하는 기술개발이 시급하다.

또한 가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률(2007년 9월 28일)과 가축분뇨의 자원화 및 이용 촉진에 관한 규칙(2007년 11월 22일)이 시행되고 2012년 해양배출이 금지됨에 따라 가축분뇨의 자원화 및 이용 기술에 대한 연구가 국내에서 보다 활발하게 이루어지고 있으며, 정부 및 지자체에서도 많은 협력과 아낌없는 지원을 하고 있으며, 가축분뇨 처리시설 뿐만 아니라 생산된 퇴/액비의 이용개선을 위한 유통센터 등의 설치를 통한 인프라 구축과 친환경 축산 교육 및 홍보지원을 강화하고 있는 실정이다.

활성오니정화시설을 이용한 가축분뇨의 정화처리기술은 국내에서도 많은 업체에서 널리 사용되고 있으며, 이를 보다 효율적이고 경제적인 기술을 개발하기 위해 많은 노력을 하고 있다. 또한 자연순환농업의 활성화 정책으로 인해 중간처리수를 액비로 사용할 수 있도록 법이 개정됨에 따라 활성오니정화처리시설의 운전조건변화를 통한 액비생산기술에 대해서도 많은 연구가 진행 중이다. 고농도 유기성물질인 가축분뇨를 정화방류하기 위해서는 장기산화에 의한 유기물 분해·제거와 함께 무산소 또는 혐기조를 두어 내부반송을 실시, 무기염류(질소, 인)를 제거하는 운전기술이 병행되어야 하며, 중간처리수를 유효한 액상비료로 생산하기 위해서는 원료투입량 결정 및 내부반송 중단 등이 운전기술이 요구되므로 이런 조건들을 충족시키는 효율적인 운전방법 및 기술의 정립이 시급한 실정이다. 2006년부터 농촌진흥청에서는 국내 업체를 대상으로 가축분뇨 처리시설 및 관련기술 평가를 실시하여 우수업체를 선정하여 우수한 기술을 현장에 보급하는데 많은 노력을 기울이고 있다. 현재까지 우수한 가축분뇨 자원화 및 처리시설 40여 업체를 선정하였으며, 이들 중 활성오니공정을 이용하는 업체는 15개로 38%정도를 차지하고 있으며, 액비화 및 정화처리를 위한 후처리공정으로 막여과 등의 고도처리방법이 도입되어 현장에 적용되고 있다. 15개의 처리기술 중 연구과제에 적용된 DODRAM T&R 공법도 선정되어 현재 많은 농가 및 공동처리장에 보급하고 있는 실정이다. 기존의 활성오니정화처리공법의 원리를 기본으로 가축분뇨의

전처리 및 후처리 방법에 따른 성상 변화와 고도처리를 위한 새로운 기술 접목을 통한 가장 경제적이고 효율적인 운전 조건을 연구·검토하여 기술확립을 이루어야 할 것이다.

따라서 가축분뇨의 자원화와 정화처리를 위해서는 축산농가의 가축분뇨처리 공정으로 기 도입된, 그리고 점차 도입율이 증가되고 있는 활성오니정화시설을 방류 및 액비생산에 동시에 이용할 수 있는 효율적인 기술을 지속적으로 개발하여 영농에 적용함으로써 가축분뇨 자원화를 도모하여 자연순환농업을 활성화시키고 활성오니정화시설의 이용성을 개선토록 하여야 할 것이다.

〈제2세부과제〉 혐기성공정을 이용한 가축분뇨 액비화 기술 개발

국외에는 EU 및 미국을 중심으로 가축분뇨의 메탄가스화연구 및 실용화는 상당 수준에 이르고 있다. 그러나 미국의 경우, 주로 covered lagoon형 바이오가스 생산시스템을 가지고 있으며, EU의 경우, 주로 반응조형의 바이오가스생산 시스템을 가지고 있다. 이와 관련된 연구는 다량 축적되어 있다. 그러나 본 연구에서 시도하려는 지하형 바이오가스 반응조는 부재하여 우리나라 생산 환경에 맞는 바이오가스 시스템에 대한 자료축적은 필요하다.

국내에서 다양한 종류의 biomass의 메탄전환에 대한 연구는 다음과 같다. 다만 아직도 혐기소화에 대한 연구는 pilot 수준에 머물러 있어 GHG 저감을 위해서 필요한 바이오가스 실용화연구는 적극적으로 추진되어야 할 것으로 판단됨.

연구사업	연구개발의 내용	연구개발성과의 활용현황
농업생명공학 기술개발	형질전환 및 축산자원을 이용한 바이오에너지 생산기술 개발	- 음식물쓰레기 및 가축분뇨 복합 처리용 2상 혐기소화 공정 개발 및 최적화(5톤/일 pilot plant 설치) - 메탄가스 정제용 복합막 및 회수시스템 개발, 순도 90%이상의 메탄가스 회수
신재생에너지 기술개발	농가형 축산분뇨 처리를 통한 바이오가스화 처리공정 개발 실증	- 농가규모 CSTR형(약20톤/일) 바이오가스 생산시설 설치 - 소화액 자원화 및 정화처리 공정 설치
신재생에너지 기술개발	이상혐기공정의 축산폐수 적용을 통한 바이오가스 생산 및 에너지 이용기술 실증 연구	- 축산폐수 공공처리장용 이상혐기성 소화공정 개발 - 이상혐기소화액의 처리를 위해 정화처리 공정 연계 - 생산 가스는 발전시설 연계 전기생산
우수연구센터 육성사업	유기성폐수를 이용한 고율 바이오에너지 생성 연구	- 혐기소화공정 및 혐기미생물공학에 대한 장기 연구과제 수행중 - ASBR(Anaerobic Sequencing Batch Reactor; 혐기 연속 회분식 반응조)을 활용한 슬러지 처리 공정 연구 - 혐기미생물 군집 및 성장역학 분석을 통한 공정 최적화 연구
농업과학 기술연구	가축분뇨 Biogas 에너지화 이용 기술 실용화 연구	- 농가형(10톤/일) 가축분뇨 혐기소화 실편트 설치 - 운전 모니터링 및 바이오가스 생산 모니터링
농업생명공학 기술개발	바이오에너지(Bioenergy) 개발에 관한 연구	- 가축분뇨 음식물 쓰레기 바이오가스 생산력 평가 - 바이오가스 연소시 환경오염 저감 기술 개발 - 바이오작물 생산 및 바이오연료 생산기술 개발

〈제3세부과제〉 맞춤형 퇴비생산 기술 개발

국내 농업인구가 감소하고 고령화되어지고 있는 상황에서 시용이 편리하고 품질이 균일한 퇴비에 대한 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 따라서 유박을 비롯한 유기성 미 발효 곡물을 이용한 펠릿비료가 제조 시판되어지고 있지만 발효가 완료된 가축분뇨 퇴비에 대한 펠릿화기술은 아직 개발되지 않은 상태이다. 일부 산업체에서 펠릿화 기기를 이용하여 가축분 퇴비 펠릿화를 시도하기는 했지만 톱밥과 섬유질이 다량 함유된 가축분 퇴비의 펠릿화에는 적절하지 않은 관계로 활성화되지 못했다. 가축분 퇴비 펠릿화와 관련된 국내의 현재기술 수준은 가축분 퇴비 가공방법을 연구, 개발하는 단계에 있으며 퇴비의 품질관련 기술 역시 초기 단계에 머물러 있다. 국내의 일부 연구기관과 대학 등에서 가축분 퇴비 펠릿화와 관련된 연구가 진행되어진 바가 있는데 주로 가축분퇴비 가공과 관련된 조건구명에 대한 연구가 수행되었으며 더 진보된 형태의 연구 수행내용으로서 펠릿가공에 따른 퇴비의 특성변화에 대한 연구가 수행되었다.

국외의 가축분 퇴비 펠릿화 기술 역시 대량생산을 통한 상업화 단계에까지 이른 경우는 찾기 어렵다. 덴마크와 일본 등에서 퇴비 입상화 기술이 도입되어 있으나 아직까지는 대량생산 또는 퇴비품질 고급화 단계까지는 이르지 못하였고 일본의 경우에는 기초단계의 고품질가축분퇴비가 원예농가를 중심으로 소규모로 공급되고 있는 실정이다. 따라서 퇴비 펠릿화에 대한 국외 기술 역시 이용되는 재료와 형태가 국내기술과 유사한 상태에 있다는 점에서 선도적 기술개발이 필요하다 할 수 있다. 일본의 퇴비소비자를 대상으로 하여 가축분 처리관련 기술들에 대한 선호도 수요조사 결과 펠릿 퇴비화에 대한 수요가 50%를 넘는 것으로 나타나서 일본에서도 퇴비 펠릿화와 관련된 기술개발이 진행되고 있다.

〈제4세부과제〉 기능성 액비생산 기술 개발

액비는 전통적으로 유럽에서 이용되었으며 제조방법에 따라 식물추출액비(herbal tea), 가축분뇨액비(slurry, manure tea), 퇴비발효액비(compost tea), 퇴비여과 액비(compost leachate) 등이 있으며 통상 액비(liquid manure)는 식물, 동물부산물, 생선부산물, 바다부산물(해초 등)을 용도에 따라 한가지 혹은 여러 가지 재료를 혼합하여 혐기 혹은 호기 발효하여 제조하여 사용하고 있으며 상업화하여 제품으로 유통되고 있는 실정이다.

최근 미국을 중심으로 퇴비차(compost tea)는 산업화 되어 다수의 회사가 관련산업(발효장비, 살포장비, 발효자재 등)이 확대되고 있다. 전통적인 퇴비차(compost tea)는 일명 퇴비추출물(compost extracts)이라고 하며 유럽에서 몇백년전에 삼베자루에 퇴비를 넣어 추출한 방법으로 시작되었다. 1970년대에 독일에서 미생물 학자들이 고밀도 미생물이 포함된 퇴비차를 발전시켜 이용하기 시작하였으며, 미국에서 호기성 발효와 박테리아의 성장을 촉진하는 당밀, fungi의 성장을

촉진하는 해초와 휴믹산, protozoa의 생육을 촉진하는 피트모스와 건초를 발효촉진제로 첨가하는 방향으로 연구발전하여 미국농무성에서도 표준제조법과 품질에대한 검토를 하였다.

국내에서는 친환경농업의 발전과 따라 액비에 대한 수요가 증가 되고 있으나 체계적인 연구는 미흡한 실정이다. 민간기업에서 생산하는 액비 제품이 난립하고 있으며 제품의 효과에 대한 검증이 없이 유통되고 있는 실정이다. 제품의 원가 대비 가격이 매우 높아 농민들의 농작물 생산비 증가의 원인이 되고 있다.

국내에서 개발된 SCB 퇴비여과수(compost leachate)액비는 퇴비단의 과수분상태(포화수분 이상)에서 중력에 의해 퇴비여과액이 퇴비단 바닥으로 내려온 진한색의 액비를 말한다. 퇴비여과수는 다량의 수용성 유기물과 박테리아, 칼륨 등을 함유하고 있으며 인산 함량은 낮다. 퇴비여과수는 퇴비로 부터 추출된 효소, 호르몬, 수용성 양분으로 구성되어 있다. 퇴비여과수는 식물에 양분을 공급하여 식물 생육을 촉진하고, 토양구조를 개선하고 토양의보수력을 증진시키는 효과가 있다.

SCB 공법은 농촌진흥청 축산기술연구소에서 개발한 자원화 공법으로서 축산분뇨를 퇴비 및 액비로 자원화한다. 또한, SCB 공법에서 침출 발생되는 여과수액비는 작물생육에 유용한 성분이 함유되어 농가에서 활용하고 있으며 SCB 공법은 정부 보조사업으로서 농가에 보급되고 있는 실정이다.

SCB 여과수액비에 대한 벼, 원예작물, 과수, 수목, 잔디에 대한 시용효과에 대한 연구가 이루어지고 있다. 국내에서 농촌진흥청에서 농가제조 액비에 대한 원료별 화학적 특성을 조사 연구하였다. 최근 국외에서 액비관련 산업이 활성화 되어 감에 따라 새로운 농자재를 활용한 액비 연구가 미국을 중심으로 활성화 되고 있다.

관비재배는 물에 녹인 질소, 칼륨, 칼슘 등의 비료염을 근권부에 직접 공급하고 노동력을 줄이며 비료의 효율성을 높이는 것이 특징이다. 고액분리 액상분뇨는 인산 등 고형분이 함유된 비료 성분 함량이 낮아 토양 흡수력이 높고 작물에 피해를 초래하지 않는 장점이 있다(류, 1996).

노지재배를 주로 하던 과거에는 어느 정도 화학비료를 많이 사용하더라도 염류집적의 문제점이 발생하지 않았지만 비닐하우스를 이용하여 재배하면서 화학비료의 과다사용으로 염류집적으로 수량감소와 품질저하가 현실로 나타나고 있다. 시설원에 토양의 특징은 비료분의 축적이 심하며 일부지역에서는 염류집적의 장애가 발생되고 있는 실정이다. 특히 인산의 경우 전국 시설토양의 평균함량이 $1,092\text{mg kg}^{-1}$ 으로서 과도하게 집적되어 있으며 1970년대 평균함량 811mg kg^{-1} 에 비하여 34.6% 증가되었다(임 등, 2003).

가축분뇨 발효액비를 관비재배에 적용하려면 노즐과 밸브 및 관의 막힘을 예방하기 위하여 반드시 여과 과정을 거쳐야 한다. 막분리 기술은 1948년 Jean Noller에 의해 알코올 수용액과 순수한 물 사이에 선택적 투과성을 가지고 있는 생체막이 위치해 있는 계에서 알코올 수용액 측에서 물이 이동하여 이루는 수두차를 삼투압(Osmosis)으로 설명하면서 꾸준히 연구가 진행되어 19세기 중엽에 이르러 실험실 규모의 막 제조가 이루어졌고, 20세기 고분자 화학을 비롯한 재료공학의 발달로 기능성 고분자 재료물질이 개발됨으로 해서 상업적 개발이 이루어지기 시작했다(한국막학회, 1998).

분리막을 이용한 분리 기술이 산업적으로 제안되기 시작한 것은 1953년 플로리다 대학의 Reid 교수가 미국의 내무부 해수국에 해수의 담수화를 제안하면서부터 시작되었으나 초기의 막투과 유속은 1 L/m²hr (LMH)에 불과하였다. 그러나 1960년 Loeb와 Surirajan이 투과유속이 높고 염분 제거율이 큰 역삼투 분리막을 개발하였으며 이로서 해수담수화에 막분리 공정이 경제성을 갖고 적용하는 계기가 되었다. 이후 많은 시설들이 해수담수화에 적용되었으며 근래에는 해수담수화 이외의 산업폐수에도 그 활용의 범위가 넓혀지고 있는 추세에 있다. 그러나 부유물질이 많고 TDS (Total Dissolved Solids)가 높은 산업폐수는 막분리 공정을 적용하기 위해서는 전처리에 소요되는 비용이 크며 분리막 모듈의 유로 폐색이 쉽게 일어나게 되어 빈번한 세척과 교체주기가 짧아 많은 유지비용이 들게 되었다.

따라서 부유물질이 많은 폐수에는 유로가 상대적으로 넓은 tubular 형의 분리막 모듈의 사용이 효과적이었으나, 분리막 표면의 농도 분극층을 줄이기 위한 적절한 유속을 유지하기 위하여 상당히 많은 유체의 순환량이 필요하며 많은 에너지 비용이 요구되었다(자유아카데미, 2001).

축산분뇨에 적용된 회전판형 분리막은 단순 고액 분리된 축산분뇨의 여과 농축 공정에 나노 분리막의 회전판형 분리막 모듈과 디스크 튜브(DT) 형태의 역삼투 분리막 모듈이 적용되었으며 본 연구에서는 액비로 부속된 축산분뇨를 한외여과막의 회전판형 분리막 모듈과 두루마리형 역삼투 분리막 모듈을 사용하였다. 관비재배용 양돈분뇨 발효액비는 막힘 현상이 생기지 않게 부유물질의 함량이 적게 70 μ m 정도로 여과되며 무기이온 함량의 감소가 적은 것이 유리하다고 보고하였다(임 등, 2003).

가축분뇨 발효액비는 통상 부유물질(suspended solid) 함량이 높아 작물재배에서 기비 시용에 주로 이용되었다. 가축분뇨 발효액비를 관비재배용으로 활용하기 위해서는 관비시스템의 막힘이 생기지 않게 부유물질의 함량이 적게 70 μ m 정도로 여과되며 무기이온 함량의 감소가 적은 액비가 유리하다고 보고하였다(임 등, 2003). 그러나 퇴비단 여과기술이나 막분리 기술의 적용을 통하여 부유물질의 제거가 가능하다.

국내에서 개발된 퇴비단여과액비(compost leachate)는 일명 SCB(Slurry composting biofiltration)이라고 하며 퇴비단의 과수분상태(포화수분 이상)에서 중력에 의해 여과액이 퇴비단 바닥으로 내려온 진한색의 액비를 말한다. 퇴비여과수는 다량의 수용성 유기물과 박테리아, 칼륨 등을 함유하고 있으며 인산 함량은 낮으며 부유물질이 적어 관비, 양액재배에 활용이 가능하다. 퇴비단여과액비는 퇴비로 부터 추출된 효소, 호르몬, 부식산, 수용성 양분으로 구성되어 있다.

SCB (slurry composting and biofiltration)액비는 기존 슬러리 퇴비화 시설의 바닥을 개조하여 퇴비화 효율증진과 액비화 기능을 추가한 방법으로 생산된 액비이다. SCB 여과액비의 특성은 저장액비에 비하여 액상화, 균질화가 높고, 악취가 거의 없으며 비료성분 함량이 낮은 저농도 액비이며 중금속 함량이 매우 낮은 친환경적 액비이다. 퇴비단 여과액비를 제조하면 농작물의 추비시용과 관비 및 양액재배에 이용이 가능하게 된다. 퇴비단 여과 과정에서 배출되는 여과액비는 각종의 무기물과 미량요소들이 함유되어 있는 양질의 유기성 비료이다.

가축분뇨를 이용한 관비재배(김 등, 1997 ; 원 등, 2000)와 농산부산물 발효액비를 이용한 관비재

배(조 등, 2000 ; 주 등, 2001)에 대한 연구가 있다. Jarecki et al (2005)는 퇴비단 여과액비를 이용하여 수정재배를 연구한 결과가 있으나 우리나라에서는 가축분뇨를 활용한 수정재배에 대한 연구는 전무한 실정이다.

〈제5세부과제〉 가축분뇨 퇴·액비 중 특정성분 제어기술 개발

축분은 다량의 질소와 인을 포함하고 있기 때문에 토양에 살포할 경우 심각한 부영양화 등과 같은 환경적 문제를 발생시킨다(1). 따라서 자연으로의 환원전에 적절한 처리가 요구된다. 퇴비화는 고체 유기성 폐기물을 이용하여 친환경적 농작물 생산에 이용할 수 있는 비료를 생산하기 위한 축산 분뇨처리 방법이다. 미생물에 의한 호기성 분해는 높은 열을 발생시켜 잡초발아, 병원균과 파리 유충을 사멸시킨다. 퇴비는 영양분 조절자와 같은 역할을 수행하여 토양의 물리적 성질을 향상시킨다(2). 퇴비화 과정은 온도, 수분함량, pH, 공기공급 그리고 C/N비, 입자크기, 영양소, 자유공기공극(FAS)등의 환경적 변수에 영향을 받는다(3). 분뇨 퇴비는 토양 구조 개선, 토양 유기물양 증가, 토양의 병원성균 생장 억제로 인한 식물성장 향상(4) 등의 이점을 갖지만, 퇴비화가 되지 않은 돈분이나 미완성 퇴비는 오히려 식물과 토양에 해로운 영향을 미친다.

Struvite는 마그네슘, 암모니아 그리고 인이 같은 몰 농도로 반응하여 결정화(MAP, $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$)가 되며 알칼리성 조건하에 형성 된다. Struvite는 사방정계 구조로 결정화되며 백황색이나 황백색으로 피라미드 형태 또는 접시형 운모와 같은 모양으로 형성된다. Struvite는 부드러운 광물질로 1.7의 비중을 지니고 중성이나 알칼리성 조건에서는 잘 녹지 않지만, 산성에서는 쉽게 녹는다(5). Struvite는 산성과 점성이 높은 토양에 효과적이며(6), 비에 쉽게 용해되지 않고, 또한 홍수가 잦은 지역에 성공적으로 사용이 가능한 완효성 비료원이다. 가장효율적인 struvite의 사용 방법은 낮은 용해도의 비료를 필요로 하는 작물에 이용하는 것이며, 사탕수수가 마그네슘 이온을 필요로 하기 때문에 사탕수수에 유용하게 사용된다(7). 폐수로부터 회수된 struvite는 친환경적 비료로 사용되고 있다. 현재 일본의 Unitika Limited가 상업적으로 struvite 비료를 생산하여 미국 비료회사에 판매 하고 있다(8). Munch와 Barr(9)는 화훼에서 struvite 이용에 관해 언급하면서 struvite는 잔디, 나무 묘목, 장식물, 야채 그리고 꽃꽂이 보드에 쓰이는 비료로 이용할 수 있다고 하였다. Struvite는 사계절 동안 매우 느린 속도로 용해되어 영양분을 공급하기 때문에 경작물이 침출 또는 증발과 같은 소실 없이 대부분의 영양분을 이용할 수 있어 결과적으로 자주 공급할 필요가 없다. 그 밖에 많은 양을 한꺼번에 시비해도 작물의 고사가 나타나지 않는다(10). 요소(화학비료)는 매우 빠른 속도로 토양에 질소를 공급하는 반면에 암모니아 휘발(26.5~29.4%), 빗물로의 용출(2.6~7.7%), 침출(4.0~5.0%), 평면 삼출(4.0~5.3%) 그리고 탈질화(4.37~5.0%) 등의 작용으로 많은 양의 질소가 소실된다. 게다가 10%는 사용되지 않으며 오직 38.2~44.8%의 질소만 경작물이 이용한다(11). 연속적인 질소의 대량 소실은 인간과 식물을 포함하여 환경적 위협이 되고 있다. 따라서 가축 분뇨와 폐수로부터 struvite의 대량 생산과 식물에의

효율적인 사용은 친환경적 식량작물 생산에 큰 도움이 될 것이다.

퇴비화내의 struvite 결정화 반응은 질소를 유지할 수 있는 장점이 있다. Struvite 형성은 질소원의 암모니아 가스로의 손실을 상당히 낮춰 퇴비내 암모늄성 질소량을 증가시킨다. 마그네슘과 인의 첨가는 돈분내의 NH_4 와 반응하여 struvite를 형성(12) 시키는 좋은 방법이라 할 수 있다. 알려진 바와 같이 퇴비화 과정에서 유기물질이 활발히 분해되어 암모니아(NH_3)와 같은 다량의 질소가 발생하는데, Kithome et al.(13)은 계분을 25일 동안 퇴비화 후 NH_3 형태로 손실되는 총 질소의 양이 47~62%라고 보고하고 있다. NH_3 발생은 비료로써 퇴비의 품질을 낮추고 악취발생 문제의 원인이 된다.

〈제6세부과제〉 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구

악취를 유발시키는 화학물질로는 황화수소, 메르캅탄류, 아민류, 및 휘발성 지방산(Volatile fatty acid)등이 있으며 이와 같이 자극성이 있는 기체상태의 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감 또는 혐오감을 주는 냄새를 악취라 한다(박 등, 2005; 전, 2006; 정 등, 2007). 특히 이러한 악취 유발 물질들은 매우 낮은 농도에서도 냄새를 유발시키며 단일 물질보다는 다양한 복합 물질들에 의해 인간의 후각 기관을 자극하여 문제를 발생시킨다(박 등, 2005). 악취의 발생원은 하수처리장, 축산시설, 음식물 쓰레기장 및 쓰레기 매립지와 같이 주로 미생물의 발효에 의해 발생하는 곳이 있으며 석유화학공장, 정유공장, 및 철강산업 등과 같이 대규모 산업단지에서 발생하는 경우가 있다(Sutton et al., 1999, 전, 2006). 특히 최근에는 축산산업 규모가 대형화 되어 축사와 가축 부산물 저장소에서 많은 악취가 발생하고 있으며 가축 부산물을 이용하여 비료를 생산하는 퇴비 공장 주변 지역의 악취 민원이 빈번한 실정이다(박 등, 2005).

이와 같은 악취 발생의 효율적인 관리를 위해 우리나라에서는 1995년 대기환경보전법에 의해 악취를 관리대상 물질로 규정하였으며 2005년부터 악취방지법이 시행되어 악취에 대한 법적 규제가 시행되고 있다. 악취방지법에서는 2010년까지 연차적으로 악취물질들을 지정하여 총 22종의 악취유발 물질에 대한 관리가 시행되어질 예정이다 (표 1).

표 1. 지정악취물질의 추가대상물질

시 기	기존 지정악취물질	신설 지정악취 물질
2005년	암모니아 메르캅탄, 황화수소, 다이메틸설파이드, 다이메틸다이설파이드 트라이메틸아민 아세트알데히드 스타이렌	프로피온알데하이드 뷰티르알데하이드 n-발레르알데하이드 iso-발레르알데하이드
2008년	톨루엔, 자이렌, 메틸에틸케톤, 메틸아이소 뷰티르케톤, 뷰티르아세테이트	
2010년	프로피온산, n-뷰티르산, n-발레르산, i-발레르산, i-뷰티르알코올	

또한 악취방지법에서는 악취관리를 위해 공업지역과 기타지역으로 구분하여 배출 기준을 설정하고 있다(표 2).

표 2. 지정악취 물질의 배출허용기준(배출구)

구 분			배출허용기준		엄격한 배출허용기준의 범위 (ppm)
			공업지역	기타지역	
배출구	1	암모니아	10 이하	5 이하	5 - 10
	2	메틸머captan	0.1 이하	0.05 이하	0.05 - 0.1
	3	황화수소	0.5 이하	0.25 이하	0.25 - 0.5
	4	다이메틸설파이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05 - 0.1
	5	다이메틸다이설파이드	0.3 이하	0.15 이하	0.15 - 0.3
	6	트라이메틸아민	0.1 이하	0.05 이하	0.05 - 0.1
	7	아세트알데하이드	2 이하	1 이하	1 - 2
	8	스타이렌	30 이하	15 이하	15 - 30
	9	프로피온알데하이드	2 이하	1 이하	1 - 2
	10	뷰티르알데하이드	0.3 이하	0.15 이하	0.15 - 0.3
	11	n-발레르알데하이드	0.7 이하	0.35 이하	0.35 - 0.7
	12	i-발레르알데하이드	0.2 이하	0.1 이하	0.1 - 0.2
	13	톨루엔	900 이하	450 이하	450 - 900
	14	자일렌	30 이하	15 이하	15 - 30
	15	메틸에틸케톤	440 이하	220 이하	220 - 440
	16	메틸아이소뷰티르케톤	200 이하	100 이하	100 - 200
	17	뷰티르아세테이트	8 이하	4 이하	4 - 8
	18	프로피온산	2 이하	1 이하	1 - 2
	19	n-뷰티르산	0.07 이하	0.035 이하	0.035 - 0.07
	20	n-발레르산	0.1 이하	0.05 이하	0.05 - 0.1
	21	i-발레르산	0.05 이하	0.025 이하	0.025 - 0.05
	22	i-뷰티르알코올	10 이하	5 이하	5 - 10

표 3. 지정악취물질의 배출허용기준(부지경계선)

구 분			배출허용기준		엄격한 배출허용기준의 범위 (ppm)
			공업지역	기타지역	
부지경계선	1	암모니아	2 이하	1 이하	1 - 2
	2	메틸머captan	0.004 이하	0.002 이하	0.002 - 0.004
	3	황화수소	0.06 이하	0.02 이하	0.02 - 0.06
	4	다이메틸설파이드	0.05 이하	0.01 이하	0.01 - 0.05
	5	다이메틸다이설파이드	0.03 이하	0.009 이하	0.009 - 0.03
	6	트라이메틸아민	0.02 이하	0.005 이하	0.005 - 0.02
	7	아세트알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05 - 0.1
	8	스타이렌	0.8 이하	0.4 이하	0.4 - 0.8

(계속)

구 분			배출허용기준		엄격한 배출허용기준의 범위 (ppm)
			공업지역	기타지역	
부 지 경 계 선	9	프로피온알데하이드	0.1 이하	0.05 이하	0.05 - 0.1
	10	뷰티르알데하이드	0.1 이하	0.029 이하	0.029 - 0.1
	11	n-발레르알데하이드	0.02 이하	0.009 이하	0.009 - 0.02
	12	i-발레르알데하이드	0.006 이하	0.003 이하	0.003 - 0.006
	13	톨루엔	30 이하	10 이하	10 - 30
	14	자일렌	2 이하	1 이하	1 - 2
	15	메틸에틸케톤	35 이하	13 이하	13 - 35
	16	메틸아이소뷰티르케톤	3 이하	1 이하	1 - 3
	17	뷰티르아세테이트	4 이하	1 이하	1 - 4
	18	프로피온산	0.07 이하	0.03 이하	0.03 - 0.07
	19	n-뷰티르산	0.002 이하	0.01 이하	0.001 - 0.002
	20	n-발레르산	0.002 이하	0.0009 이하	0.0009 - 0.002
	21	i-발레르산	0.004 이하	0.001 이하	0.001 - 0.004
	22	i-뷰티르알코올	4 이하	0.9 이하	0.9 - 4.0

이와 같은 악취문제를 해결하기 위해 여러 가지 악취제거 기술이 연구되고 있으며 주로 사용되고 있는 공정들에는 연소법, 알칼리 흡수법, 촉매 산화법 등이 있다. 하지만 기존의 처리법들은 제거효율이 높은 장점은 있으나 설비의 소형화가 어렵고 처리 과정에서 2차 오염이 발생할 수 있다는 문제점이 있어 최근에는 경제적이며 고효율적인 저온 플라즈마를 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다(김 등, 1999).

플라즈마(plasma)란 집단행동(Collective Behavior)을 하는 이온, 전자 및 중성 입자로 구성된 이온화된 가스(Ionized Gas)이며, 그 발생 기작에 따라 상이한 물성(전자 온도, 전자 밀도, 이온 온도 등)을 지니게 된다. 특히, 대기압 플라즈마 원의 경우는 탈황(De-SOx) 및 탈질(De-NOx) 등 오염가스의 정화와 일부 미생물의 살균 연구가 진행 중에 있으며, 미국 로스알라모스 연구소(Los Alamos National Laboratory)를 중심으로 생화학 전에서의 미생물 및 독성 물질에 대한 제독(Decontamination) 및 살균(Sterilization) 연구도 진행 중에 있다. 표 4는 이러한 대기압 플라즈마(atmospheric plasma) 장치와 이들의 특성을 보여주고 있고, 이를 이용하여 유해 가스 처리를 할 경우 각각의 플라즈마원의 처리 효율을 비교하여 설명하고 있다. 이 밖의 플라즈마를 이용한 연구로는 핵융합 발전과 관련하여 토카막(Tokamak), 스텔라레이터(Stellarator) 등의 연구가 대표적이며, 현재 국내에서는 한국형 초전도 토카막(Korean Superconducting Tokamak Advanced Research)이 개발 중에 있다. 저압 공정 플라즈마는 현재 반도체 및 산업 공정에서 식각(Eching), 증착(Deposition) 등에 활발히 이용되고 있는 청정기술이다.

표 4. 대기 오염물질을 제거하기 위한 플라스마 장치 및 물성 특성

	Plasma Density	Electron Temperature	Gas Temperature	Electric Field	Treatment Flue Gases
Electron Beam	Very High	Extremely High	Low	Very Low	Acid gases, VOCs
Dielectric Barrier Discharge (silent/surface)	High	Medium	Low	Medium	Oxidation of VOCs or acid gases
Pulsed Corona Discharge (PCD)	High	Medium	Low	High	VOCs
Pulsed Power	Very High	High	Medium	High	Acid gases
Capillary	High	Low	Medium	Low	VOCs
Arc/Plasma Torch	Extremely High	Locally High	Extremely High	Low	ODS/VOCs toxic gases
RF Discharge	High	Medium	High	Low	ODS/VOCs
Microwave Discharge	High	Medium	Medium	Medium	ODS/VOCs

표 4에서 보여주는 바와 같이 펄스 코로나 방전 플라스마는 플라스마 밀도가 높고 전자온도가 중간이며 가스 온도가 낮고 전기장이 매우 높은 에너지 특성을 지니고 있어서 축산폐수 악취의 중요한 구성성분인 휘발성 유기화합물의 처리에 대한 효율이 높은 기술이다. 또한 표 5는 Plasma 및 이외의 방법을 통한 액체 상태의 오염 물질 처리 능력을 보여주고 있다. 대기 VOCs의 처리를 위하여 pulsed corona 방전이 효과적임을 표 1로부터 알 수 있으며 액비저장조 등의 경우 공기 중 습도가 아주 높기 때문에 표 2에서와 같이 액상에서도 pulsed corona 방전이 액상 VOCs의 제거에도 큰 장점을 가짐을 알 수 있다.

펄스 코로나 방전 (Pulsed Corona)을 이용한 악취 제거 방법은 다음과 같다. 대기압 상태에서 전극에 고전압을 인가했을 경우 전극 주변에 생성된 코로나에 의해 높은 전기장이 형성되고 코로나 방전으로 생성된 전자들은 전기장에 의해 가속되어 높은 에너지를 가지게 되며 질량이 큰 이온과 분자들은 가속되지 않아 낮은 에너지를 가지게 되어, 높은 운동에너지의 전자와 낮은 온도의 이온을 지닌 플라스마가 발생한다. 이때, 높은 에너지의 전자가 무거운 분자형태의 VOC와 충돌해서 연결 고리를 끊어버리는 일을 해서 냄새를 제거하는 것이다.

표 5. 플라스마와 기타 전래적인 처리기술의 효율성 비교

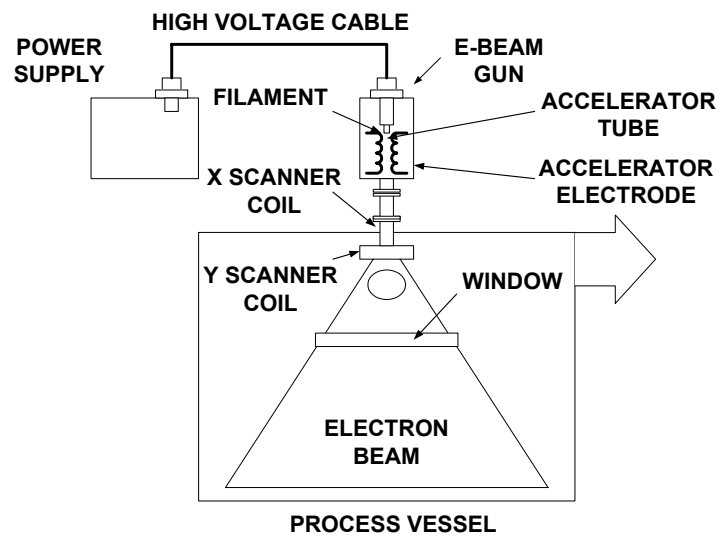
Target Pollutants	UV-C	UV Photo catalyst	Ozone	Electron Beam	Gamma-Ray	Glow Dis-charge	Barrier Dis-charge	Pulsed Corona	Pulsed Arc	Sound Gravel	Cl/ClO ₂
Micro-Organism	◎	△	◎	○	◎	○	○	◎	◎	△	○
Oxidation Power	X	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	X	◎

(계속)

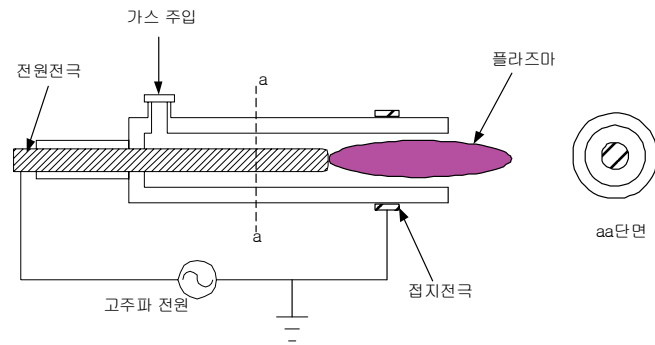
Target Pollutants	UV-C	UV Photo catalyst	Ozone	Electron Beam	Gamma-Ray	Glow Dis-charge	Barrier Dis-charge	Pulsed Corona	Pulsed Arc	Sound Gravel	Cl/ClO ₂
Algae Destruction	○	X	△	X	X	X	X	△	◎	△	X
Urine Components Destruction	X	○	◎	◎	◎	X	△	◎	◎	X	○
VOCs Destruction	X	○	○	◎	○	X	△	◎	○	X	X
Removal of Inorganics	X	△	△	△	△	X	△	○	○	○	X

(◎: Good, ○: Adequate, △: Partial, X: None)

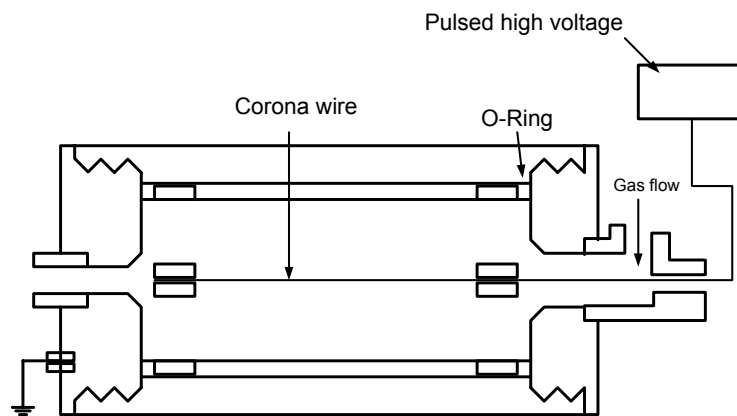
그림 1은 표 4에서 보여주고 있는 주요한 플라스마 장치의 개략도이다. 코로나 방전은 대기압 plasma와 달리 전극의 구조가 간편할 뿐 아니라 기타의 인가 전력 매칭(Power Matching Network) 시스템을 요구하지 않아 다른 플라스마 원보다 경제성이 높다. 예를 들어, 다른 플라스마 원 중 코로나 방전과 비슷한 처리 효율을 가지는 전자빔 선원(electron beam source)의 경우 플라스마 발생, Ion Reflection Part, 그리고 Electron Acceleration Part로 일반적으로 구성되어 있을 뿐 아니라, 플라스마 발생 부분에 있어 경우에 따른 Matching Network의 요구(e.g. RF 방전)와 전극 손상(e.g. 필라멘트 방전)과 더불어 전자의 자유 행정 경로(mean free path)를 고려할 경우 이외에 진공 시스템이 별도로 요구되어진다고 할 수 있다. 이에 반해 코로나 방전은 전극, 즉 반응로와 Voltage Power Supply 등 비교적 손쉽게 그 구성을 할 수 있어 실제 축사의 악취 제거에 보다 경제적이다.



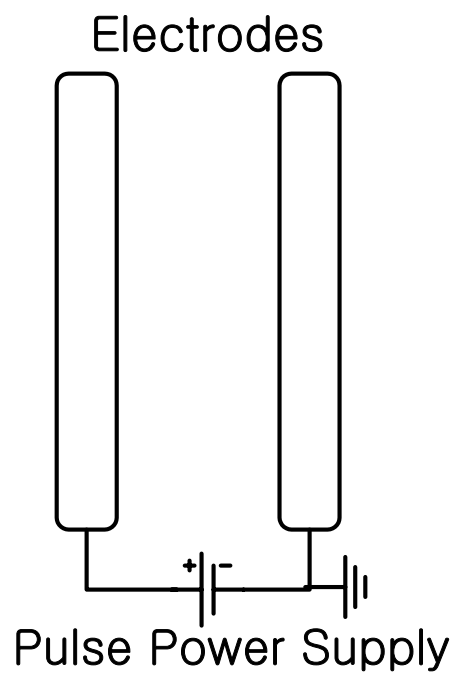
(a)



(b)



(c)



(d)

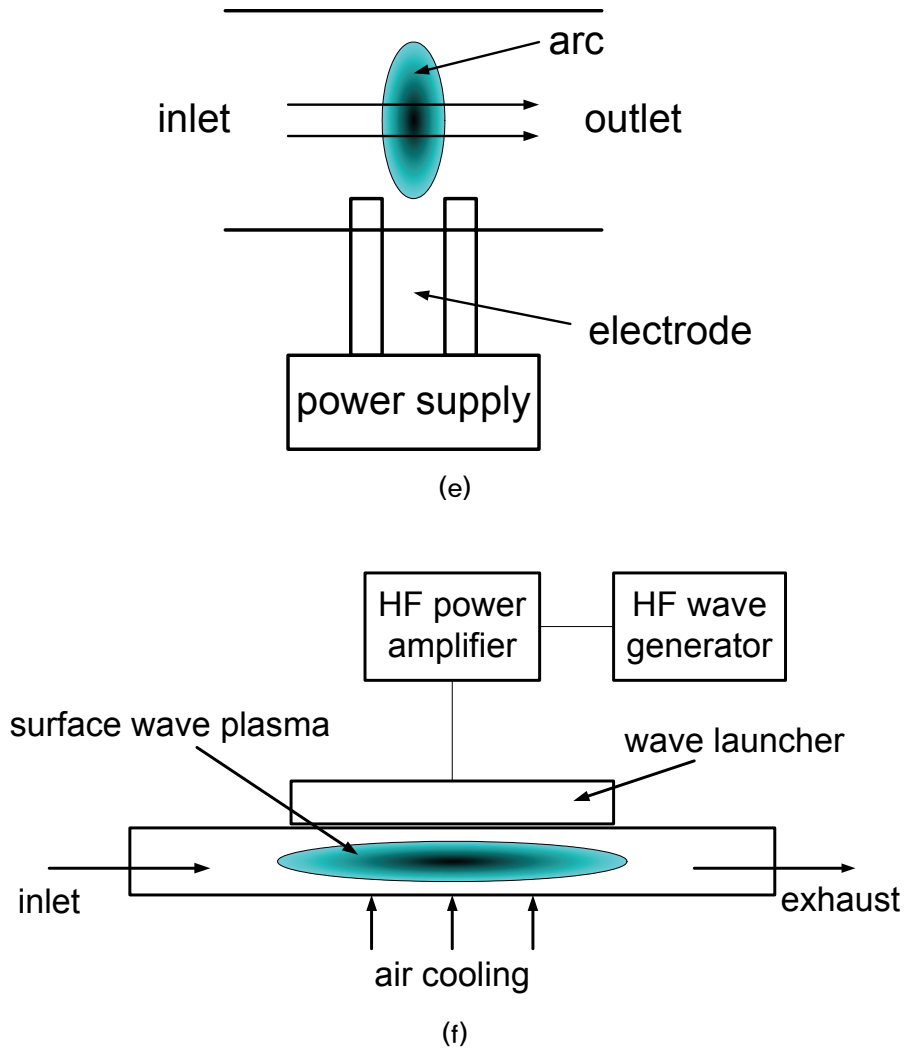


그림 1. 플라즈마를 이용한 오염원 처리 장치 (a) electron beam source, (b) Barrier Discharge, (c) Pulsed Corona, (d) Pulsed Power, (e) Arc/Plasma Torch, and (f) RF/Microwave Plasma.

〈제7세부과제〉 효소복합체를 이용한 양돈슬러리 자원화 과정의 악취 제어 기술개발

1. 환경개선제

소화기관의 미생물과 대사물질은 가축의 생산성에 영향을 미치는데 특히 스트레스를 크게 받는 시기인 어린 가축에 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 출생 후 성립된 미생물은 숙주동물의 소화기능 및 면역기능에 영향을 미침으로서 유익한 혹은 유해한 작용을 하게 된다.

건강한 동물의 장내 미생물은 장내로 유입되는 병원성 미생물에 대하여 민감도가 매우 높다. 이러한 문제를 극복하고 가축의 성장을 촉진하고 사료효율을 개선하는 물질로서 항생제(antibiotics)가 널리 사용되어 왔으나 항생제가 축산물에 잔류되어 사람에게 알레르기 등의 질병을 일으키는 문제(Sedlacek과 Rucki, 1976)와 축산물을 통한 간접적인 항생물질의 섭취가 인체의 내성을 증가시켜서 질병 발생 시 약물치료 효과를 떨어뜨리는 등의 문제(Wu, 1987)가 있을 수 있다. 이러한 이유로 항생제를 대체할 수 있는 미생물로서 생균제에 대한 연구가 광범위하게 진행되었는데, 생균제를 미생물에 의해 생산되는 성장촉진물로 정의하기도 하였고 정상적인 장내미생물 균형유지에 기여하는 미생물이나 물질이라고 하였으며, Fuller(1989)는 항생제적 물질을 배제하고 살아있는 미생물로서 재조명하였다. 이러한 많은 연구자들은 생균제를 살아있는 미생물 혹은 비항생물질로 인식하였는데, 가축에게 급여시 장내에 서식하는 해로운 미생물을 감소시키고, 성장을 촉진하며, 소화기관미생물의 환경을 개선하여 사료의 가치를 증진시킬 수 있다고 하였다.

생균제로 주로 이용되는 균주는 *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus sporogenes*, *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus toyoi*, *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus lactis*, *Streptococcus faecium*, *Streptococcus thermophilus*, *Clostridium butyricum*, *Bifidus themophilus* 등이며, 일반적으로 이러한 균주들을 이용목적에 알맞게 배양한 후 사료에 첨가하는 방법으로 이용된다.

생균제로 이용되는 미생물들의 작용기전들을 열거하면, (1) 장점막 표면에 조밀하게 군집을 형성하여 다른 유해세균이 장점막을 침입하는 것을 막는다(Fuller와 Brooker, 1974). (2) 유산을 생성하여 pH를 저하시켜 유해한 세균들에게는 부적합한 환경을 조성하며, 유산이나 초산은 그 자체가 그람 음성균에 대하여 항균 역할이 있는 것으로 알려져 있다(Underdahl 등, 1982). (3) 유산균에 의해 생성되는 항생물질과 일부 *Lactobacillus*에 의해 생성되는 과산화수소는 각종 세균의 증식을 억제하는데 구체적으로 *Lactobacillus acidophilus*는 acidophilin, lactocidin 및 acidolin성분을, *Lactobacillus plantarum*은 lactolin성분을, *Streptococcus*는 nisin과 diplococcin성분의 항생제를 생산한다(Hill 등, 1970). (4) 병원균에 의해 생산되는 유독성 아민의 합성을 저해하거나 생산된 endotoxin을 해독하는 작용을 한다(Mitchell과 Kenworthy, 1976). (5) 악성종양의 발생을 억제하고 항생효과를 증진시키는 등의 역할로 가축의 증체량과 사료효율을 높게 한다(백, 1989).

가축의 사료로 이용되는 효모 및 생균배양물의 요건(Lyons, 1986)을 열거하면 (1) 사료제조시, 보관 및 소화관 내에서 안정성(stability)을 유지할 수 있어야 한다. (2) 미생물제 속에는 적정량의 생균이 존재하여야 한다. (3) 가축에 대한 안정성(safety)이 있어야 한다. (4) 섭취된 생균이 신속하게 활성을 가지면서 성장률이 높아야 하며, 유기산을 생성하여야 한다. (5) 효모 및 생균배양물의 투여효과가 항상 일정한 수준을 유지하여야 한다. (6) 장관 내에 유용균의 발육증진을 도모함은 물론 정상적인 균총을 유지시켜야 한다. (7) 섭취된 미생물이 장관 내에 도달하여 장점막에 colony를 형성할 수 있어야 한다. (8) 소화관내에 존재하는 분변과 같은 내용물중의 암모니아 함량 저하에 유효하게 작용하는 능력이 있어야 한다. (9) 항생제나 기타의 화학요법제와 같이 이용될 경우 길항작용을 일으키지 않는 것이어야 한다.

한편, 고 등(1997)은 장내 균총은 가축의 생리, 사료의 종류, 약물, 사육환경 등에 의해 영향을 받으며, 이에 따라 장내의 산소농도와 pH 등의 조건이 달라지기 때문에 단일 생균제를 이용하는 것보다는 복합생균제를 이용하는 것이 더 바람직하다고 한 바 있다.

효소제를 사료에 첨가하는 목적은 사료내 항영양인자를 효율적으로 분해하여 사료영양소의 이용율을 높이는데 있으며, 단백질 분해효소 첨가 시 자돈의 증체율과 사료효율이 개선된다.

최근에는 여러 기질에 동시에 작용하는 복합효소제가 개발되어 상용화 되었는데, 민 등(1992)에 의하면 육성비육돈에 복합효소제를 첨가한 사료를 급여한 결과 일당 증체량과 사료효율이 개선되었으며, 자돈사료에 효소제를 첨가한 결과 생산성이 향상되었다고 보고하였다. 그러나 Cunningham과 Brisson(1957)은 단백질과 칼슘 분해효소를 첨가하여도 증체율과 사료효율에는 차이가 없었다고 보고하였다.

단백질 분해효소제(protease)는 미생물을 배양하거나 과일, 동물의 위나 췌장에서 추출하여 제조하며(Beynon과 Bond, 1989; Neutrath, 1989), 식육의 가공 및 연화(Lee, 1986), 물고기 소스의 숙성발효(Suh 등, 1996) 등에 이용되고 있으며, 양조산업, 조미료산업 등 식품공업에 널리 이용되고 있다.

2. 효소제를 포함한 환경개선제의 이용효과

일반적으로 동물체내에서 단백질과 아미노산 등이 분해되면서 발생하는 암모니아는 urea 또는 uric acid로 전환되어 배설되고 생성된 urea 또는 uric acid의 20~25%는 장에서 장내 미생물에 의하여 암모니아로 분해되어 미생물 단백질 합성에 이용되거나 혈액으로 재흡수 되는 것으로 알려져 있다(Wrong 등, 1981).

돈사에서 발생하는 불쾌한 냄새를 유발하는 물질은 75종 이상으로 알려져 있는데, 여기에는 암모니아, 황화합물, 아민 등 여러 가지가 있으나, 대표적인 것들로는 휘발성 지방산(C2-C5), 페놀 및 인돌이다(Spoelstra, 1980). 생균제 급여시 암모니아, 황화수소, 아민류, 인돌, 페놀류 등 독성 및 냄새를 유발하는 물질이 억제되는 것은 Hill(1970)등에 의해 보고된 바 있다.

최와 채(2003)는 버섯재배 폐배지와 생균제를 비육돈에 급여하여 생산성과 돈분 중 가스 및 냄새발생에 미치는 영향을 보고하였는데, 비육돈 사료에 버섯재배 폐배지 단독으로 사용하는 것보다 생균제와 혼합하여 사용하면 돼지의 생산성, 도체성장 및 영양소 소화율에 도움이 되며 특히 생균제를 첨가하였을 때 돈분에서 발생하는 냄새나 유해가스 발생량을 줄일 수 있다고 보고하였다.

길 등(2004)은 생균제를 지속적으로 급여하였을 때 돼지의 성장과 영양소 이용율, 혈중 요소태질소 및 면역능력에 미치는 영향을 조사한 결과 생균제 첨가는 자돈기에는 성장에 유의한 개선 효과가 나타나지 않았으나 지속적인 생균제의 급여를 통하여 육성, 비육기에 성장 증진 효과가 있었다고 하였는데, 이러한 결과는 생균제가 체내에서 적응, 증식할 수 있는 시간이 필요하기 때문에 짧은 기간 동안 사료에 첨가하기 보다는 계속적으로 사료에 첨가하는 것이 돼지에게 성장의 전 기간 동안 끊임없이 일어나는 병원성 환경과의 싸움에서 저항성을 유지하게 하여 그 결과

육성, 비육기에 성장 및 건강이 증진될 것이라 하였다.

조 등(2005)이 보고한 비육돈 사료 내 *Bacillus subtilis* 첨가가 성장, 면역 및 분내 암모니아태 질소에 미치는 영향을 보면, 분내 암모니아태 질소는 차이가 없었다고 보고하였다.

김 등(2006)은 개별 미생물 유래 단백질 분해효소제를 비육돈에 급여하여 생산성, 아미노산 소화율, 혈액성상, 육질특성 및 분내 휘발성 지방산과 암모니아태 질소 함량을 조사한 결과, 분내 휘발성 지방산과 암모니아태 질소 함량에는 영향을 미치지 않았으나 성장률 향상과 아미노산 소화율은 개선되었다고 하였다.

Smith와 Jones(1963)는 양돈사료에 생균의 첨가가 장내의 분뇨중의 대장균수 감소와 유산균수 증가로 성장률과 사료효율을 개선시켰다고 하였다. Collington 등(1988)은 생균제가 이유자돈의 성장과 사료효율을 개선한다고 하였고, Newman 등(1988)도 육성돈의 성장률을 개선시켰다고 하였다. 특히, 고 등(2000)은 육성돈사료에 복합 생균제를 0.5% 첨가하여 일당증체량이 증가하고 0.5%와 1.0% 첨가로 분중 유해가스인 NH_3 와 H_2S 발생량이 감소하였다고($p<0.05$) 하였다.

반추가축에 대해서도 급여 효과가 유의한 것으로 여러 연구자들에 의해 보고되고 있는데, Kochowiez(1976)는 0~10일령의 송아지에게 LBC를 함유한 탈지분유 급여로 27%의 증체량 개선 효과가 있었으며, 최 등(1991)도 송아지에 생균제를 첨가하였을 때 건물섭취량과 사료효율이 향상되고($p<0.05$), 분변중의 *E. coli* 수가 감소하는 효과가 있었다고 하였다.

3. 양돈분뇨의 액비화

국내에서 지금까지 진행된 가축분뇨 처리에 관한 기본 방침은 최대한 자원화 하는 것이며, 이를 위하여 발생된 가축분뇨는 최대한 퇴·액비로 자원화 하되, 자원화가 어려운 경우 정화방류 처리토록 하는 것이다(농림사업시행지침, 2006). 이런 기조에 따라 가축분뇨 처리시설 설치농가 57,000개소 중 91.6%가 퇴비화(순수퇴비화 79.6%) 및 액비화(순수액비화 3.5%, 퇴비화와 액비화 병용 8.5%)에 의한 가축분뇨 처리방법을 채택하고 있고 나머지 8%가 자원화 및 정화방법을 병용하고 있다(이재용, 2005).

가축분뇨 액비화란 돈분뇨 슬러리 등을 비롯한 액체성 가축분뇨를 액비 저장조 내에서 호기적 또는 혐기적으로 발효시킨 다음 비료자원으로서 경작지에 살포하는 방법을 말한다.

가축분뇨 슬러리를 액비자원화 하는 방안으로 2006년 현재 전국에 설치된 액비 저장조는 2,160여 개소에 이르고 있으며, 향후에도 연차적으로 그 숫자가 늘어날 것으로 보여진다(정 등, 2006). 그러나 경종농가에서 양돈분뇨를 액비화하여 사용했을 경우, 당면하고 있는 문제점은 전체 농가 중 절반 이상인 220농가(54.1%)가 악취로 인한 문제라고 하였으며, 22.1%인 90농가는 액비를 뿌릴 수 있는 장비가 부족하다고 하였고, 사용불편 14.5%(59농가), 과다살포 3.4%(14농가), 비용과다 2.9%(12농가), 중금속 1.7%(7농가), 위생 1.0%(4농가), 기타 0.2%(1농가) 순이었다(최동윤, 2006). 따라서 경종농가에서의 액비사용을 활성화시키기 위해서는 무엇보다 먼저, 악취가 없는 균질한 액비를 생산하여 공급하고, 액비 살포능력이 없는 경종농가는 전문 유통업체를 통한

위탁살포가 가장 적합할 것으로 판단된다고 하였다.

경종농가가 액비를 사용하게 된 동기를 조사한 것을 보면, 친환경농산물 생산을 목적으로 한 경우가 121농가로 전체의 29.7%를 차지해 가장 많았고, 화학비료 절감 102농가(25.1%), 농가 스스로 원해서 사용 78농가(19.2%), 주위의 권유 65농가(16.0%), 토양 비옥도 증진 38농가(9.3%), 기타 3농가(0.7%)의 순이었다(최동윤, 2006). 이와 같은 결과는 최근 친환경농산물을 원하는 소비자의 욕구가 증가하고, 농자재 가격의 상승, 즉, 화학비료에 대한 차손보전의 폐지와 무관하지 않은 것으로 사료된다고 하였다. 이에 따라 액비의 품질을 높이거나(김 등, 2005), 액비에서 유용물질을 회수하는 기술에 관한 연구(오 등, 2005; 2006)도 활발하게 이루어지고 있어 액비의 효용성이 더 높아질 것으로 기대된다고 하였다.

4. 악취저감

악취를 유발하는 물질 중에 분뇨를 포함한 양돈시설에서 발생하는 것으로 연구자에 따라 30종에서 200여종에 이르는 많은 물질들이 관여하고 있다고 하였다(Spoelstra 1980; O'Neill과 Phillips 1992; Hartung과 Phillips 1994; Hobbs 등 1995). Table 1은 Hobbs 등(1997)에 의하여 제시된 양돈분뇨 중의 악취물질들이다.

Table 1. Odor detection thresholds for odor ants present in pig slurry

Compound	Odor detection threshold (mg/m ³)
Acetic acid	25 ~ 10,000
Propanoic acid	3 ~ 890
Butanoic	4 ~ 3,000
3-Methyl butanoic acid	5
Pentanoic acid	0.8 ~ 70
Phenol	22 ~ 4,000
4-Methyl phenol	0.22 ~ 35
Indole	0.6
3-Methyl indole	0.4 ~ 0.8
Methanethiol	0.5
Dimethyl sulphide	2 ~ 30
Dimethyl disulphide	3 ~ 14
Dimethyl trisulphide	7.3
Hydrogen sulphide	0.1 ~ 180

돈사내 공기의 질은 돼지의 생명유지와 생산활동에 크게 영향을 미친다. 돈사에서 발생하는 악취, 각종 유해가스 및 먼지는 돼지의 건강과 성장 및 증체에 부정적으로 영향을 미치며, 각종 병원성 물질의 매개, 질병 감수성 저하 및 양돈장 근무인력의 작업 여건을 열악하게 만든다(김

등, 2003).

돼지는 물론 돈사에서 근무하는 관리자의 건강과 직결되는 돈사 환경에 대한 관심이 높아지면서 돈사에서 발생하는 악취는 물론 유해가스에 대한 조절이 시급히 해결하여야 할 문제로 대두되었다.

양돈시설 내부공간에 존재하는 주요 가스들에 대한 영향은 Table 2와 같다.

특히 암모니아는 양돈시설에서 발생하는 악취 중에서 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 돼지는 물론 양돈시설 관리자에게도 여러 가지 부정적인 영향을 미친다. 많은 연구자들이 언급하였듯이 암모니아 조절이 일반적으로 악취 조절과 마찬가지로 통용되었다.

Table 2. Effects of the most common sources on air quality in swine building

sources	Description
Ammonia	돈사에서 발생하는 가장 일반적인 가스. 3,000 ppm 이상이면 치명적임. 허용안전치 25ppm. 돼지와 작업자에 대한 추천치 10ppm 이하.
Hydrogen sulfide	액상 슬러리 취급시 다량 발생. 폐렴과 호흡기 질병감염 감수성 증가. 돼지가 20ppm 농도에서 장시간 노출되면 빛을 싫어하고, 무산소증 및 신경과민 증세 보임. 허용안전치 25ppm 이하.
Carbon monoxide	4,000ppm에서 성돈 폐사. 100~300ppm 수준에서 돼지의 성장이 25%감소.
Carbon dioxide	허용안전치 5,000ppm. 돼지와 작업자에 대한 추천치 1,500ppm 이하. 일반적인 돈사내 수준은 1,400~ 5,000ppm.
Dust	돼지와 사람에 공히 작용. 호흡기 질병 저항력 감퇴. 먼지 입자는 병원성 미생물 매개 역할. 입자가 적은 먼지는 암모니아와 같이 폐 속으로 전이됨. 먼지와 악취유발 물질이 결합되어 이동함.

암모니아는 먼지와 함께 양돈시설 내부 공기의 질을 결정하는 주요 성분이다(Aarnink 1997). 암모니아가 영향을 미치는 뚜렷한 두 가지 문제는 폐렴과 성장 지연 현상이라고 하였으며, 관리자의 건강에도 나쁘다고 지적하였다(Donham 1989; Preller 1995). Donham(1991)은 돈사 내 암모니아 허용치를 제시하였는데, 작업자에 대해서는 7ppm 이상, 돼지에 대해서는 바닥으로부터 1.2m 높이에서 11ppm, 20cm 높이에서 25ppm이면 건강상 문제가 발생된다고 하였다.

김과 김(1999)은 양돈악취는 사람에게는 물론 돼지의 생산능력과 건강상태 및 위생에 영향을 미치며, 양돈 악취 조절을 위한 대안으로 사료조절을 통한 영양학적 방법으로 양돈악취를 제어하는 것이 현실적으로 바람직하다는 견해가 지배적이며, 배설되는 질소와 인을 감소시켜 양돈분뇨 발생량과 악취를 저감시키고자 하는 많은 연구결과들이 보고되었다고 하였다.

Keener 등(1999)은 양돈시설에서 발생하는 악취조절을 목적으로 개발, 적용되고 있는 오존처리 장치를 현장조건에서 검정하기 위하여 터널 환기방식의 비육돈사에 적용한 결과 오존을 0, 0.10 및 0.15ppm 수준으로 처리하고 바닥으로부터 1.8m 높이에서 암모니아와 먼지 농도를 조사하였는데, 오존처리는 암모니아 농도를 58% 감소시켰는데, 먼지는 60% 수준까지 줄어들었음을 확인하였다.

노 등(1995)은 미생물 제제는 분중 질소 배설량 감소 효과에 의한 유해가스 발생 감소로 인하여 사육환경 개선효과가 있으며, 이에 따른 생산성 향상과 돈사 환경개선 효과를 기대할 수 있다고 하였다.

그 외 다른 악취저감재로는 토양 광물질, 발효유기물, 균제 배양물, 미생물 제제 및 각종 유기산류와 같은 화학제품 등의 각종 첨가제가 사용되고 있다.

〈제8세부과제〉 파쇄옥수수대의 축분퇴비제조 수분조절재로의 활용기술 개발

수분조절재나 깔짚으로 주로 이용되고 있는 톱밥을 대체할 목적으로 다양한 섬유성 자원들(대패밥, 콩대, palm kernel, 코코피트 등)이 검토되어 왔으나 파쇄옥수수대를 수분조절재나 깔짚으로 이용하는 기술과 관련한 연구는 국내외에서 찾아볼 수가 없다. 옥수수대는 그간 반추가축의 조사료로 검토되어 우리나라와 일본 등지에서 이용되어 왔으나 영양소함량이 낮고 기호성이 좋지 않아 널리 이용되지는 못하였다.

우리나라에서의 수분조절재 관련 연구는 주로 톱밥, 왕겨 등을 중심으로 진행되어 왔으며, 톱밥과 왕겨를 대체할 대체재로서 분쇄왕겨, 팽연왕겨, 대패밥, 수피, 벼짚 등이 검토되어 왔다. 톱밥 이외의 대부분의 재료들은 수분 흡수율과 퇴비제조후의 토양내 분해율에서 톱밥에 비하여 낮은 효율을 보이는 것으로 나타나 있다.

깔짚 관련 연구도 주로 톱밥, 왕겨 등을 중심으로 진행되어 왔으며 분쇄 또는 팽연 왕겨, 우드 칩 등이 검토되어 왔다(축산연, 1996). 축산연에서의 연구에 의하면 일반적으로 톱밥이 가장 우수한 것으로 나타났고, 계절별로는 여름철 건기가 증발량이 가장 많았고 봄철, 가을철, 여름철 순이었으며 겨울철이 가장 낮았다. 따라서 겨울철에는 깔짚을 자주 교체해 주어야 한다.

깔짚의 재료들은 재료마다 각각의 특성이 다르기 때문에 깔짚의 종류에 따라 물리적 및 화학적 요인이 다르게 나타난다. 외국에서 많은 연구자들은 이와 같은 요인을 가지고 깔짚의 적용성을 평가해왔다(Misselbrook 등, 2005; Chambers 등, 1997; Helle 등, 2000). 예를 들면, Ward (2000) 등은 3가지 깔짚재료 (재활용 신문지, 벼짚 그리고 대패밥)를 검토한 결과 재활용 신문지가 수분흡수율이 높다고 하였으나, Goodrichrich 등(1988)과 Temple 등(1989)은 신문을 깔짚으로 사용할 경우 잉크에 있는 석유화학성분 때문에 독성물질이 배출 될 수 있다는 문제점을 지적하였다. 축분을 재활용할 경우에는 다른 재료에 비해 암모니아가 많이 배출되며(Misselbrook 등, 2005), 가장 널리 사용하고 있는 톱밥과 벼짚은 분진이 많이 날리고, 수분 흡수율이 좋지 않다고 평가하였다(Fleming, 2008).

소들은 일상의 대부분을 우방의 깔짚 위에서 보내기 때문에 깔짚은 소의 복지를 평가하는 지표중의 하나이다. 동물의 복지는 가축의 건강과 생산성에 중요한 역할을 한다(Phillips 등, 2000;

Duncan, 1978; SCAHAW, 2001; Ipps, 1987; Jones 등, 1996). 깔짚은 동물에게 편안함을 제공하여 스트레스를 줄여주며, 습도와 온도를 조절하여 축사 내 환경을 개선시킨다. 이러한 목적으로 이용되는 깔짚은 몇가지 필수조건이 있다. 노를 잘 흡수해야 하고, 분진이 적어야 하며, 동물이 편안함을 느껴야 한다(Steef 등, 2008).

〈제9세부과제〉 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가실증

마이크로버블을 이용한 고액분리장치는 국내외적으로 많은 기술 및 장치가 개발 보급되어져 있다. 그러나 가축분뇨 처리를 위한 고액분리장치는 처리 효율이 낮고, 운전조작이 어려우며 축산농가의 현실을 반영하지 않은 것이 대부분이다. 또한 마이크로버블을 이용한 산소공급장치는 수처리 분야에 일부 도입되고 있으나 가축분뇨 처리시설에 도입한 예는 거의 없는 상태이다. 또한 축산분뇨의 특성상 고농도의 유기물과 유기물에 포화된 기타 기체를 산소공급 이전에 탈기시키고 마이크로버블을 이용하여 산소를 공급하는 것은 본 기술만의 특징이다.

〈제10세부과제〉 가축분뇨 액비 살포장치 개발

액비살포방법으로 평지에서는 액비탱크차에서 고압으로 쏜다든가, 탱크를 농경지 옆에 세워 놓고 호스로 트랙터에 연결하여 살포한다든가, 논에 대는 물과 함께 유입되도록 하는 방법 등이 있다. 액비의 농도가 고농도일 경우에는 호스지표살포기, 액비주입기 등을 사용함으로써 냄새의 확산을 방지할 수 있다. 이어서 경사지에서는 유럽의 경우에 과수원과 포도밭이 이에 해당되는데, 고정식으로 급수장치를 시설하고 있다. 주관, 지관의 내경은 36, 24mm이며, 살포관의 직경은 8~17mm로 하고 있다. 살포관은 허용되는 압력차가 작아야 되기 때문에, 같은 평면에서 200m까지 연결하여 사용한다.

밤나무 개발 보급종으로는 주옥, 광은, 평기, 은산, 이대가 있으며 4~25년생 ha당 3만 3천 kg이 수확된다. 매년 수관 주위에 깊이 30~40cm의 구덩이를 파고 비료를 뿌린 후 흙을 덮는 거의 환상 시비이다. 측공시비는 수관 아래 네 곳을 파고 비료를 주는데 매년 시비위치를 달리하여 준다. 밑거름은 2~3월 잎이 피기전에 주고, 추비는 8월 12~13일이 적기이다. 밤에는 당분(36%), 단백질(3%), 지방(0.6%) 등 5대 영양소를 골고루 함유하고 있다. 다음 표는 수령별 시비 기준표(1주당 :gm)을 나타낸 것이다.

표 1. 시비기준표 (10a당 15본 식재)

비료종류 \ 수령	1-3년생	5년생	8년생	10년생	15년생	20년생
N	1	3	4	6	8	10
P ₂ O ₅	1.5	5	6	8	10	12
K ₂ O	0.5	1	2	2	3	4

조림학 1990 강 등

시비의 종류는 기비·추비로 구분하게 되나 연간 시비량의 대부분을 기비로 준다.

기비는 가을 낙엽 후부터 다음 봄 개엽 전까지의 사이에 퇴비를 넣을 때 동시에 시비한다. 추비는 기비가 부족할 때 사용하는 것으로서 7월경 성장기에 영양상태 및 결실상황을 보아 숙기로부터 1개월 전에 시비한다. 시비의 방법으로 기비는 매년 樹冠 주위의 30-50cm 밖에 깊이 15-30cm의 시비구를 파거나 또는 4 側孔으로 방위를 매년 바꾸어 파고 퇴비와 화학 비료를 사용하고 흙을 덮는다.

액비살포기로는 압력탱크차, 펌프탱크차 등이 사용된다. 이러한 탱크차들은 자체적으로 탱크를 채울 수 있다. 압력탱크차에서 사용되는 압력은 보통 0.5-1.0 bar 정도이다(Kowalewsky & Vetter 1982, Luoma 1982).

지역여건에 따라서는 액비탱크차에서 고압으로 쏜다든가, 탱크를 농경지 옆에 세워놓고 호스로 트랙터에 연결하여 살포한다든가, 논에 대는 물과 함께 유입되도록 하는 방법 등이 있다. 고압을 이용하여 공중으로 쏘는 방식은 암모니아의 대기중 확산으로 유럽에서는 금하고 있다.

기존의 액비살포기는 주로 충돌살포 또는 압력노즐방식으로서 살포변이가 크고 중앙부분에 많이 살포되고 가장자리로 갈수록 살포량이 적어지기 때문에 중복 살포하여야 하는 불편함이 있다(Isensee & Thamsen 1984). 슬러리가 충돌 확산되기 때문에 악취문제도 대두된다. 일반적으로 화학비료에서는 살포균일도를 나타내는 변이계수 10%를 기준으로 하고, 액비에서는 15%까지 주고 있다(Mannebeck 1983). 살포균일도를 개선하기 위하여 중앙분배장치가 있는 호스지표살포기도 개발되었으며 변이계수 7-8%의 양호한 결과를 보여주고 있다(오 등 2000). 또한, 악취감소 효과는 관행살포기의 취기가 440일 때, 냄새는 느끼나 환기가 필요하지 않은 상태인 258로 나타났다(오 & 김 2001). 액비의 농도가 고농도일 경우에는 호스지표살포기, 액비주입기 등을 사용함으로써 냄새의 확산을 방지할 수 있다.

〈제11세부과제〉 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC 평가 연구

Dell'Isola(1995)는 LCC분석은 각 설계대안의 경제수명 범위 안에서 모든 주요 관련비용을 등가 환산한 값으로 대안의 경제성을 평가하는 수법으로 정의 하고, 최적의 대안을 선정하기 위해

서는 LCC분석 후에 미적, 안전성, 환경적 측면 등의 경제외적인 요소를 고려한 평가가 이루어져야 한다고 보고하였다.

미국은 국방부에서 병참지원 평가수단으로 가치분석(Value Analysis)을 발전시켜 LCC (Life-Cycle Cost)로 수행, 민간 건축주, 대학연구소 및 주정부가 서로 역할분담 하는 프로그램을 개발·실시하고 있음. 건축가협회(AIA)는 고객이 LCC분석 결과를 제공받도록 건축사와 컨설턴트들에게 가이드라인을 제정하고, '06년 발주자들에게 최고 가치의 조달, 프로젝트의 질 향상, 작업성능의 증진 등의 항목들 중에서 한가지를 택하여 LCC 도구를 제공하고 있다.

일본의 경우는 LCC기법의 보급과 실용화가 시작되었고, 건축설비 분야의 LCC보급을 목적으로 PC이용 프로그램개발을 추진하였다.

국내에서는 주로 건축, 구조물 등에 대한 LCC평가 방법(건물 냉난방시스템, 하수종말처리시설, 하수도유지관리시설, 시설물관리 최적화 등)에 연구가 활발하고, 최근 이관호 등에 의해 LCA(전과정평가)와 LCC 및 경제성분석의 일반적인 이론과 방법에 근거하여 환경부하 및 비용을 고려한 환경친화적 리모델링 평가기법 등을 제시함으로써 연구범위가 확대되고 있다.

정부는 '99년 '공공건설사업 효율화 종합대책'을 통해 설계금액 500억원 이상 대형 SOC(Social Overhead Capital)사업의 경우 타당성조사 및 기본설계단계에서부터 LCC분석을 의무화하도록 유도하고, '02년부터 공공사업 전반에 확대 적용하고 있다.

가축분뇨 처리시설에 대해서는 시설규모가 적고, 다양한 형태로 설치되고 있어 LCC의 적용가능성에 대한 평가는 이루어지지 않고 있다.

〈제12세부과제〉 가축분뇨 액비의 유해물질 관리

국내에서는 농산물에서 식중독이 발생함에 따라 육류와 생선류에 국한된 식중독 연구가 농산물까지 확대되었으며 초기의 농산물에서 식중독 세균에 대한 접근은 시판중인 농산물에서 병원성 미생물을 오염도를 결정하는 연구로부터 시작하였고, 이후 오염원을 구명하기 위하여 농장에서 관개수, 퇴비, 토양 등에서 병원성 미생물 검출과 관개수, 퇴비 등에 존재하는 병원성 미생물이 작물로의 이행을 증명하는 연구가 진행되고 있음. 농산물 안전성과 관련하여 CODEX 및 EU 국가 등 농산물, 토양에 대한 중금속 등 오염물질 규제기준 확대 움직임으로 농자재에 대한 관리기준 설정이 시급하며, 현재 국내에서는 농산물('07~'08) 및 농업환경('99~'08)의 중금속 모니터링 실시(농진청)하고 있으며, 액비에 대한 중금속 등 유해물질의 모니터링이 부분적으로 수행되고 있음 특히, 우리나라는 생산단계에서 최종소비단계까지 위해분석 (Risk Analysis) 기법을 적용한 생물학적 위해요소 연구 및 최소화 모델 개발 실적은 없으며, 농약·중금속분야에서 단편적으로 연구가 되어 있다

국외에서는 미국 농업연구청 (ARS) 산하 US Salinity Lab에서는 농식품 안전성에 대한 연구가 강화되면서 오염물질에 의한 작물체 오염 예측모델을 가지고 유해미생물에 적용하기 위한 연구

가 추진되고 있고, 분변과 퇴비, 오염된 관개수에 있는 세균, 바이러스 등의 병원성 생물이 농작물로의 이행가능성과 오염된 농작물에서 병원성미 생물의 생존 등을 조사하고 그 결과를 작물체 오염을 예측하기 위한 자료로 활용하고 있다. 미국의 경우 살모넬라 한 가지 세균성 식중독만으로 연간 12~16억 달러의 경제적 손실을 보았다고 보고(USDA, 1992) 하였으며, 1998년 식품안전성 연구를 위해 3,300만불, 범국가적 식품안전성 교육 캠페인 실시를 위해 1,400만불, 연방 식품안전성 감시체계 확대를 위해 700만불을 투자하고, 농무부 산하 농업연구청에서 식품안전성 국가 연구 개발 사업을 1998년 부터 수행하고 있으며, 농식품 중 유해미생물 관리를 위한 연구개발 사업에 중점 투자하고 있으며, 영국 식품과학회는 매년 최근에 문제시되는 또는 주요 연구 관심 분야를 'Hot Topics'로 정하여 제시하고 있으며, 2003년도에 제시한 29개 핫토픽 중 식중독 유발 미생물 관련 주제가 45%(13개)를 차지하였으며 재배환경 중 오염물질의 이동성을 예측하기 위한 소프트웨어 이용이 활발한 실정이다

제 3 장 연구개발수행 내용 및 결과

제1절 연구개발수행 내용

〈제1세부과제〉 가축분뇨 활성오니정화시설의 이용성 개선 연구

1. 농장운전 현황 조사

1) 조사농장 현황

활성오니공정을 근간으로 응집제를 사용하여 물리화학적 방법으로 전·후 처리하는 3개소 농장과 스크린, 침전조등 물리적 방법으로만 전·후 처리하는 2개소 농장으로 구분하여 5개소를 조사하였다. 각각 농장의 사육규모 및 농장형태, 분뇨처리량, 전처리 방법에 따라 분류하여 농장의 차별성을 두어 조사하였다. 돈사의 분뇨처리량은 일 15ton~50ton을 처리하는 농가로서 농장의 형태는 슬러리 돈사와 스크래퍼 돈사를 사용하고 있다.

표 2.1. 조사농장 현황

구 분	농장1(응집제사용)	농장2(응집제사용)	농장3(응집제사용)
사육규모	일괄 6,000두	일괄 8,500두, 위탁 2,500두	8000두
농장형태	슬러리85%,스크래퍼15%	슬러리(100%)	슬러리돈사
분뇨처리량	15ton/day	50ton/day	50ton/day
전처리방법	벨트프레스	데칸타 + 벨트프레스	벨트프레스
후처리	가압부상기	가압부상기	가압부상기
응집제	철염 + 고분자 응집제	철염 + 고분자 응집제	철염 + 고분자 응집제

구 분	농장3(응집제 무사용)	농장5(응집제 무사용)
사육규모	일괄 4,000두	일괄 6,000두
농장형태	슬러리(2%) + 스크래퍼 및 인력수거(98%)	인력수거(100%)
분뇨처리량	25ton/day(희석수 포함)	40ton/day(희석수 포함)
전처리방법	뇨 분리후 경사 스크린 여과	뇨분리후상등수만주입 대규모침전조설치
후처리	-	-

2) 각 공정별 수질 조사

각각 농장의 원수, 1차처리, 폭기조, 방류수를 채수하여 분석하였다. 분석항목은 pH, BOD, SS,

용해성 T-N, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$, Na^+ , K^+ , Mg^+ , Ca^{2+} 으로 하였다.

2. 고도처리 실험

1) 실험디자인 및 방법

Pilot 실험을 통해 활성오니공정에서의 효율적인 생물학적 처리조건을 구하고 민원발생의 원인이 되는 색도를 제거함과 동시에 안정적인 방류기준을 만족하기 위한 고도처리 조건을 구하기 위하여 실험을 진행하였다.

본 연구에 사용된 pilot plant의 공정도를 그림 1에 나타내었다. 반응조는 두께5mm의 투명 아크릴로 제작하였으며 반응조의 유효용적은 33 L이다. 반응조에는 완전혼합을 위하여 교반기를 설치하였고, 송풍기와 기체 유량계 그리고 산기관을 이용하여 공기유량을 2.0~3.0 L/min으로 유지하였다. 정량 Pump를 이용하여 유입유량을 정확하게 조절하였다.

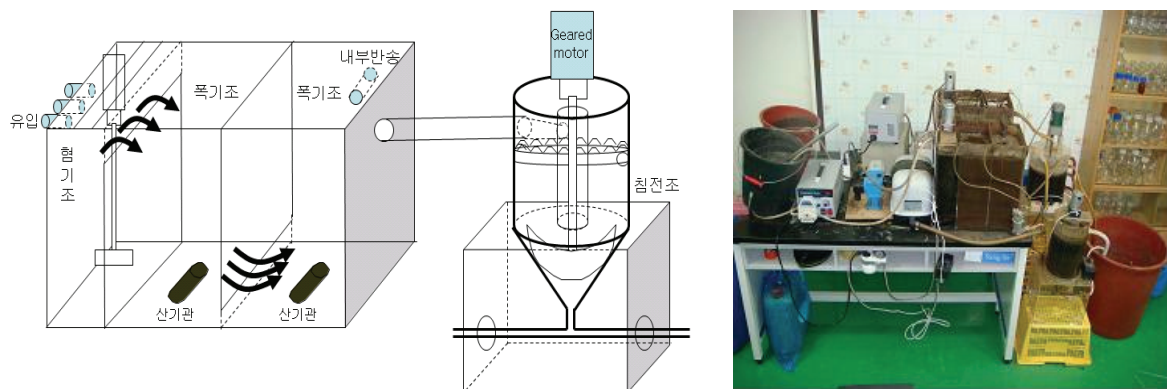


그림 2.1. Pilot실험장치 개략도 및 설치 사진.

2) 공정운전방법

(1) 생물학적 처리

하수처리장의 반송슬러지로 산소흡수율(OUR : Oxygen Uptake Rate)실험을 하여 미생물의 산소흡수율 상태가 가장 양호한 계열의 슬러지를 사용하였으며 반응조에 슬러지와 유입원수를 각각 80%, 20%씩 혼합(MLSS농도 약 3000 mg/L)하여 최초 1일에는 공폭기 운전을 하였으며 수리학적 체류시간(Hydraulic Retention Time)을 10, 15, 20, 25, 30day로 조정하여 예비운전을 하였다. 그 후 반응조의 HRT를 20day(유입유량 : 1.65 L/day) · 25day(유입유량 : 1.32 L/day)를 비교하여맞추어 유입량을 조절하여 공정을 운전하였다. 내부반송은 원수 주입량의 10배(10Q)를 반송되도록 운전하였으며 외부반송은원수 주입량의1배(1Q)로 하였다.

표 2.2. 운전조건

구 분			유량 (ℓ /day)	내부 반송	유입 부하					
					온도 (℃)	pH(-)	SS (mg/ℓ)	BOD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)	PO ₄ ³⁻ -P (mg/ℓ)
내부 반송 고려	HRT:10day	Case1	3.3	11Q	17.8	7.72	5,339	15,034	4,271	34
		Case2			18.8	7.63	13,750	66,408	6,862	50
		Case3			20.6	7.38	2,433	6,567	2,307	30
	HRT:15day	Case1	2.2		17.8	7.72	5,339	15,034	4,271	34
		Case2			18.8	7.63	13,750	66,408	6,862	50
		Case3			20.6	7.38	2,433	6,567	2,307	30
	HRT:20day	Case4	1.65		27.8	8.12	8,553	8,390	2,136	196
	HRT:25day		1.32							
	내부 반송 생략	HRT:15day			2.2	×	21.7	8.17	15,911	10,321
HRT:20day		1.65								
HRT:25day		1.32	27.9	8.29	12,265		10,694	2,146	183	
HRT:30day		1.1								

Case1 : 돈분뇨슬러리를 단순하게 물리적으로 처리한 원수

Case2 : 비육사 분뇨슬러리와 같은 고농도 슬러리 원수

Case3 : 돈분뇨슬러리를 물리·화학적으로 처리한 원수

Case4 : 돈분뇨슬러리를 단순하게 물리적으로 처리한 원수

(2) 유기물 및 색도제거 실험

유기물 제거 실험을 위하여 각각의 Pilot에서 채취된 시료와 농가 처리장에서 운전되고 있는 폭기조에서 채취된 시료를 가지고 화학적 처리를 하여 비교 분석하였다. 화학적 처리는 FeCl₃, Polymer를 사용하였고 유기물이 제거된 각각의 처리수의 색도제거를 위하여 활성탄 처리로 색도 제거 실험을 진행 하였다.

(3) 시료채취 및 분석방법

실험에 사용된 축산분뇨는 인근 하수처리장에 설비된 300톤 규모의 원수 저장조로부터 500L 용기를 이용하여 수거되었으며 실온에 보관하였으며 실온에 보관하면서 실험에 사용하였다. 500L 용기에 저장된 원수를 물과 1:1의 비율로 희석하여 이용하였다.

채취된 sample은 4℃이하의 냉장고에 보관하였으며 각각의 분석항목에 대하여 바로 측정하였다. pH 및 온도는 pH측정기(Mettler-Toledo:Sevengo pH)를 이용하여 측정하였고 T-N, PO₄³⁻-P, Na⁺, K⁺, Mg⁺, Ca²⁺은 이온측정기(Millipore:Waters 590)를 이용하였다. DO측정기(Mettler-Toledo:Sevengo DO)를 이용하여 DO를 측정하였고 BOD는 각각의 시료를 희석하여 용존산소측정기(Eutech: Cyberscan PCD 6500)로 초기 DO를 측정 후 20℃의 인큐베이터에서 5일간 보관 후 측정하여 구하였다. 색도는 UV-VIS 흡광계(Optizen:UV-VIS spectro photo meter)로 측정하였고 MLSS는 Filter paper(Whatman:47mm GF/C)로 Filtering 후 105℃의 오븐에서 2시간동안 처리 후 측정하였다.

3. 발아실험

1) 실험방법 및 시료

발아실험은 내부반송을 가동한 경우와 중단한 경우의 처리수 및 농축슬러지를 채수하여 처리수의 경우 1~5배로 희석, 농축슬러지의 경우 1~20배 희석하여 실험시료를 조제하고 Petri-dish에 탈지면을 깔고 배추종자 50개씩 치상, Blank(증류수)와 각 시료를 10ml씩 주입하여 32~34℃에서 일주일간 배양시켜 발아율을 측정하였다.

〈제2세부과제〉 혐기성공정을 이용한 기축분뇨 액비화 기술 개발

본 연구에서는 20m³의 pilot mUGAD를 서울대학교 농생대 부속목장에서 현장실험을 수행하였다. 발효조에 혐기미생물을 접종하여 약 2개월의 안정화 단계 거친 후, 원돈슬러리 600l/일~1,000l/일 (=OLR 13.3~22.2 kgVS/m³)를 균질화(均質化)·가온(加溫)·가수분해(加水分解)조에서 24시간 체류후 [그림-1]에서 볼 수 있듯이 mUGAD로 인입된다.

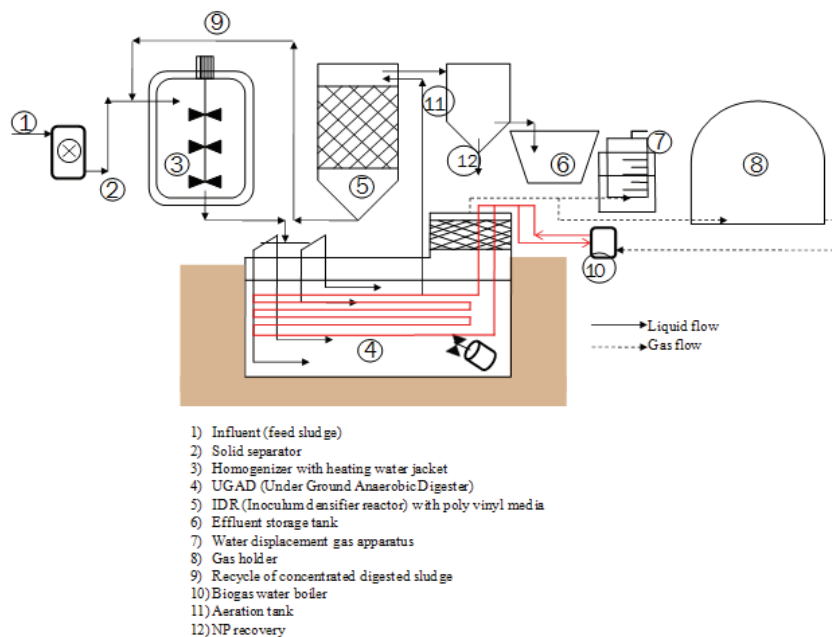


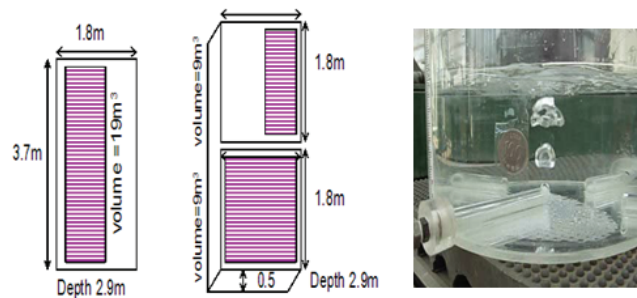
그림-1. pilot mUGAD의 구성공정도.

약 20여일 동안 (=HRT 20일) 체류된다. 발효조에서 제거된 슬러지는 MD(microbes densifier)에서 농축되어 상등수는 질소·인 회수장치로 인입되지만 하부 농축미생물은 다시 발효조로 반입된다.

발효조의 수중교반기는 돈슬러리를 인입되는 가수분해 슬러리와 기존 내부 슬러리와 혼합물을 균질화함으로써 슬러리의 온도도 균일화하여 바이오가스 생성을 극대화한다. 특히 겨울철에 반응조내 온도를 35℃로 유지하는 것은 매우 중요한 문제이기 때문에, 소화조 하단 1/3지점에 excel 가온플라스틱 파이프를 피복하였다. 가온플라스틱관의 온수는 바이오가스 보일러에서 공급할 수 있다.



㉠ UGAD BGP 실상도



㉢ BGP 제원도(좌측) 및 폭기조(바이오가스 간이측정조)

그림-2. pilot mUGAD의 실상도.

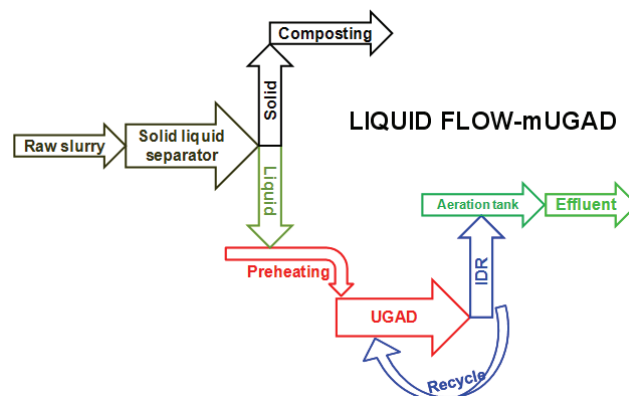


그림-3. pilot mUGAD에서 biomass 흐름도.

〈제3세부과제〉 맞춤형 퇴비생산 기술 개발

본 연구는 가축분뇨 펠렛퇴비를 제조할 수 있는 조건을 설정하기 위하여 파일롯 형태의 시험기를 이용하여 펠렛퇴비 가공과 관련된 기초조건을 수립하는 것을 우선으로 하고 수행되었다. 파일롯형 가공기로서는 압축 스크류형 형태를 지닌 가공기와 펠렛밀형 형태를 지닌 가공기 그리고 링형 햄머밀 타입 가공기를 이용하였다. 이 시험단계에서는 파일롯형 가공기를 이용하여 가공된 펠렛퇴비의 물리 화학적 특성을 분석하여 최적의 가공조건을 설정하도록 하였다. 다음 단계로서는 가공장치 형태설정을 위한 펠렛화 가공관련 기초시험을 실시함으로써 펠렛가공을 위한 시작기의 형태를 결정하는 것이다. 시험재료로써는 돈분뇨와 우분뇨를 발효하여 제조한 가루퇴비를 주 재료로 하고 여기에 미강을 결합성 물질로서 전체량의 5%정도를 부피기준으로 혼합하였다. 가축분 퇴비의 비료 품질을 개선하기 위하여 버섯배지, 게겍질 분말 등의 재료를 동시에 첨가하여 퇴비의 가공효과 및 가공 후 퇴비특성을 분석하였다. 퇴비는 가공 전에 1mm 크기의 체를 이용하여 선별한 후 체를 통과한 분말을 퇴비가공기에 투입하여 가공퇴비를 제조하였다. 제조장치는 수평형 스크류 압출기를 이용하였고 별도로 수평형 펠렛밀 타입의 기기를 이용하여 돈분퇴비의 가공효과를 분석하였다. 수평형 스크루 압출기는 원통형 몸체와 이 몸통의 중앙부위에 설치된 상태에서 회전하여 압력을 발생시키는 직경 4.4mm의 이중복합 스크루, 그리고 펠렛형태의 퇴비가 가공되어지는 홈의 직경이 6.95mm인 압출부로 구성되었다. 별도의 수평형 펠렛밀 타입의 기기는 수평형태로 설치된 압출부와 이 압출부위 위를 회전하면서 퇴비재료를 눌러서 압력을 발생시키는 로울러로 구성되었다. 본 시험에 이용된 각 시험기의 형태를 아래의 그림 1에 도시하였다.

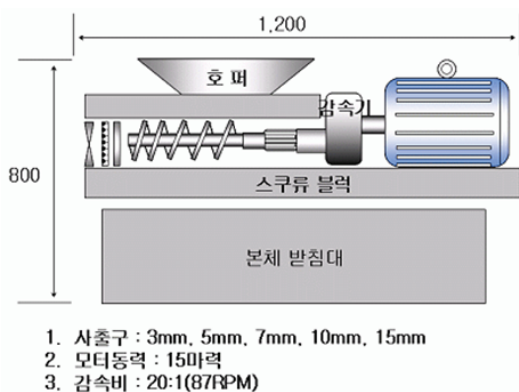


그림 1. 스크루형 시험장치.

그림 1에 나타난 파일롯형 시험 장치는 수평형 스크루 타입의 시험기로서 15마력의 동력을 갖추고 20 : 1 의 감속기를 설치함으로써 시험시 회전속도는 87 RPM으로 고정하여 실험을 실시하였다. 왼쪽 도면은 시험기의 내부구조를 도식화 한 그림이고 오른쪽 사진은 시험기의 실물 모습이다. 다음 단계로써 수평형 밀 타입의 파일롯 형태의 시험기를 이용하여 가축분 퇴비 가공시

험을 실시하였다. 그림 2는 본 시험에 사용된 수평식 평판형 펠렛밀 형태의 가공기와 링형 펠렛 밀 가공기의 모습을 나타낸 것이다.



그림 2. 수평식 평판형 펠렛밀(좌)과 링형 펠렛밀 가공기(우).

그림 2의 왼쪽에 도시된 그림은 수평형 평판식 펠렛밀 타입 가공기의 모습이고 오른쪽 그림은 링형 펠렛밀 가공기의 모습이다. 시험용 재료로는 발효가 완료된 돈분퇴비와 우분퇴비를 사용하였다. 시료의 분석을 위해 가공된 샘플을 채취한 후 시료운송 박스에 담아 실험실로 운반한 뒤 수질오염공정시험법 및 표준분석법에 준하여 즉시 분석을 실시하였다(AOAC, APHA)^{(7),(8)}. 샘플 분석을 위하여 Orion 920A+(pH), AA280FS(무기물), YSI 3100(전기전도도), CARY 300(흡광광도분석) 등의 기기를 이용하였다.

〈제4세부과제〉 기능성 액비생산 기술 개발

1. 막분리 농축액비와 양액 혼합 처리수준에 따른 토마토 양액시험

1) 농축액비 제조 및 이화학적 특성

본 연구의 공시 농축액비는 횡성군 안흥면 농장의 막분리 처리 돈슬러리 농축액비를 사용하였다.

막분리 돈슬러리 농축액비의 이화학적 특성은 표 1과 같다. 농축액비의 부유물질(suspended solid) 함량은 15.2mg/L로 매우 낮아 하우스 관비 재배시 막힘 문제가 발생되지 않는 수준이었다. 농축액비의 질소함량은 1,588mg/L이었으며 하우스 추비용으로 이용이 가능한 수준에 도달하였다.

표 1. 막분리 농축액비의 이화학적 함량

T-N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	T-P (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	Suspended solid (mg/l)
1,588.2	22	216.0	84.4	400.2	852.5	5,885.1	15.2

2) 시험 재료

토마토 재배시험은 2007년에 강원도 횡성군 반곡리 농가 비닐하우스에서 수행하였다. 토마토는 사까다 종묘사의 슈퍼탑 품종을 이용하였고 대목으로 B블로킹(조생토마토)품종을 사용하였다. 토마토 파종은 5월 25일에 실시하였으며 정식은 큐브에서 암면배지로 1화방이 꽃이 피기 시작하는 2007년 7월 25일에 실시하였다. 시험은 2007년 7월 25일에서 2007년 10월 19일 까지 수행하였다.

양액재배 방식은 담액형 양액재배로서 2.88m³(1.2 x 0.4 x 6 m)크기의 배드를 제작하였다. 대조구 양액은 원예연구소의 토마토 배지경 양액재배 전용 배양액으로(N-P-K-Ca-Mg = 9-2-5-4-2 me/L)을 공급하였다. 배양액의 전기전도도(EC)는 생육 초기에 1.6 mS/cm, 생육중기에 1.8-2.0 mS/cm, 생육후기에 1.8 mS/cm으로 조절하였다.

본 시험에 사용한 지하수의 성분함량은 표 2와 같다. 양액재배 농가에 이용되는 원수의 수질분석 결과 EC함량이 82.5 μ S/cm이었으며 양액조성은 지하수의 무기물 함량을 고려하여 조성하였다.

표 2. 사용 지하수 성분함량

T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	EC (μ S/cm)
0.655	0.013	28.1	4.51	0.49	82.5

3) 처리내용

본 시험의 처리내용은 표4와 같다. 각 처리구별 시용량은 질소 시비량을 기준으로 농축액비와 원예연개발양액을 혼합하여 시용하는 조합처리를 두었다(표4). 처리구는 농축액비 단독처리구(CS 100%), 농축액비 80% + 양액20% 혼합처리구(CS 80% + NS 20%), 농축액비 60% + 양액40% 혼합처리구(CS 60% + NS 40%), 농축액비 40% + 양액60% 혼합처리구(CS 40% + NS 60%), 농축액비 20% + 양액80% 혼합처리구(CS 20% + NS 80%), 양액 100% 단독처리구(NS 100%) 등 6개 처리구를 두었다.

4) 조사내용

조사항목은 초장, 줄기직경, 지상부 생체중 및 건물중, 건물율, 엽록소 함량 등을 조사하였다. 과일의 생육조사는 과수, 과중, 배꼽썩음과를 조사하였다. 생육특성은 농촌진흥청이 제시한 농

사시험연구조사기준(농촌진흥청, 1995)에 의거하여 조사하였다.

2. 여과액비의 부산물, 화학양액 혼합액의 토마토 시험

1) 공시액비

본 연구의 공시 액비는 이천군 개척농장의 퇴비단 여과액비와 횡성군 안흥면 신천봉농장의 막 분리 처리 돈슬러리 농축액비를 사용하였다.

여과액비와 농축액비의 성분함량을 높이고 부족한 성분을 보충하기 위하여 액비에 부산물을 혼합하여 조제하였다. 액비와 부산물의 혼합액비 조제방법은 180 L의 여과액비, 농축액비에 골분 0.4 L, 동물성아미노산 180g, 당밀 190g, 해초류추출물 24g, 난각칼슘 0.4 L를 첨가하여 조제하였다. 골분과 난각칼슘은 구연산에 용해하였다.

정제농축액비 제조 과정

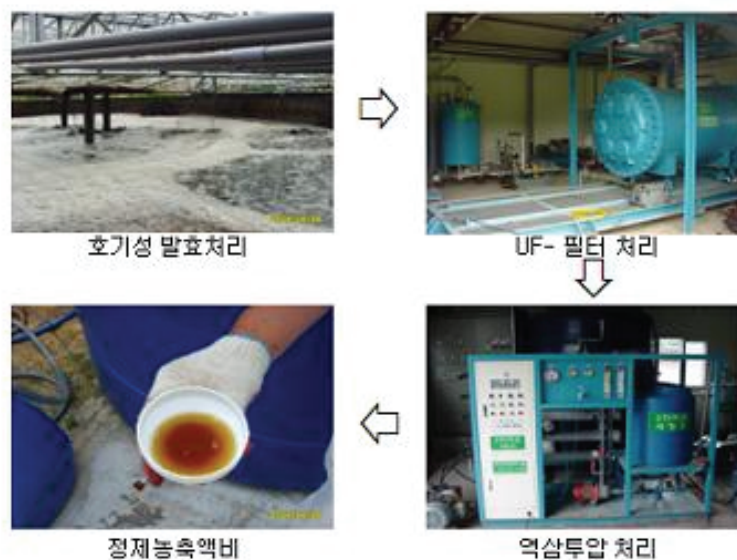


사진 1. 막분리 농축액비 생산 공정.

2) 시험 재료

토마토 재배시험은 2008년에 강원도 횡성군 반곡리 농가 비닐하우스에서 수행하였다. 토마토 파종은 5월 25일에 실시하였다. 토마토는 사까다 종묘사의 슈퍼탑 품종을 이용하였고 대목으로 B블로킹(조생토마토)품종을 사용하였다. 정식은 암면배지에 1화방의 꽃이 피기 시작하는 2008년 7월 21일에 실시하였다. 정식은 20cm 간격으로 1주씩 심어 재식거리가 140× 20cm가 되도록 하였다. 시험기간은 2008년 7월 21일에서 2008년 10월 15일 까지 수행하였다.

양액재배 방식은 고행배지경 양액재배로 70L 용량의 양액통에 양수량 40L/min의 수중 펌프를

사용하여 주야간 매 1시간 마다 15분씩 급액 되도록 하였다. 재배상은 800x70x15cm(길이x너비x 깊이)의 암면배지상 바닥에 0.05mm 두께의 PE필름을 깔았다. 시험구는 임의배치법 3반복으로 배치하였다. 대조구의 양액은 원예연구소의 토마토 배지경 양액재배 전용 배양액(N-P-K-Ca-Mg = 9-2-5-4-2 me/L)을 공급하였다. 배양액의 전기전도도(EC)는 생육 초기에 1.6 mS/cm, 생육중기에 1.8-2.0 mS/cm, 생육후기에 1.8 mS/cm으로 조절하였다. 배양액의 pH는 인산용액으로 조절하였으며 pH는 5.5-6으로 유지하였다.



사진 2. 토마토 양액재배.

본 시험에 사용한 지하수의 성분함량은 표 3과 같다. 양액재배 농가에 이용된 원수의 수질분석 결과 EC함량이 75.2 μ S/cm이었다. 본 연구의 양액조성은 지하수의 무기물 함량을 고려하여 조성하였다.

표 3. 지하수의 성분함량

Total nitrogen (mg/l)	Total phosphorus (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	K (mg/l)	eletronic conductivity (μ S/cm)
0.66	0.012	26.2	4.2	0.4	75.2

3) 처리내용

본 시험의 처리내용은 표2와 같다. 처리구는 질소 시비량을 기준으로 여과액비, 농축액비에 부산물 및 원예연구개발양액을 혼합한 조합처리구를 두었다. 처리구는 여과액비(CL100%)단독처리구, 농축액비 100%(CS 100%)처리구, 여과액비+부산물(CL+BP)혼합처리구, 농축액비+부산물(CS+BP)혼합처리구, 여과액비 50%+양액 50%(CL 50%+NS 50%)혼합처리구, 농축액비 50%+양액50%(CL 50%+NS 50%) 혼합처리구, 대조구로 양액 100%(NS 100%) 단독 처리구를 두었다.

4) 조사내용

조사항목은 초장, 경직경, 지상부 생체중 및 건물중, 엽록소 함량 등을 조사하였다. 과일의 수

량조사는 과수, 과중, 배꼽썩음과를 조사하였다. 토마토 생육조사는 처리구당 20개체를 선정하여 조사하였다. 엽록소 측정치(SPAD reading value)는 간이엽록소측정장치(Minolta Japan, SPAD-502)을 이용하였다. 측정엽은 완전 전개된 중상위 엽으로 하였으며 반복당 5주씩, 1주당 10회씩 측정하여 평균처리 하였다. 기타 생육특성은 농촌진흥청이 제시한 농사시험연구조사기준(농촌진흥청, 1995)에 의거하여 조사하였다.

3. 여과액비와 화학양액 혼합수준에 따른 상추시험

1) 실험재료

본 연구의 공시 액비는 이천군 개척농장 액비를 사용하였다. 공시 여과액비의 이화학적 특성은 표1과 같다. 퇴비단 여과액비의 부유물질(suspended solid) 함량은 352.5mg/L로 낮아 양액 재배시 막힘 문제가 발생되지 않는 수준이었다. 여과액비의 질소함량은 528.6mg/L이었으며 무기태 질소 구성비에서 암모늄태질소가 질산태질소 함량 보다 높았다. 칼륨함량은 1,447.6mg/L으로 질소, 인산에 비하여 상대적으로 높은 함량을 나타내었다. 여과액비의 인산함량이 159.3mg/L으로 낮았다.

표 4. 공시 퇴비단 여과액비의 성분함량

Items	T-N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	P ₂ O ₅ (mg/l)	CaO (mg/l)	MgO (mg/l)	K ₂ O (mg/l)	Suspended solid (mg/l)
Compost leachate	528.6	98	176.6	159.3	45.5	22.7	1,447.6	352.5

2) 시험 방법

상추 양액 재배시험은 2008년에 강원도 횡성군 안흥면 안흥리의 농가 비닐하우스에서 수행하였다. 공시품종은 청치마상추(홍농종묘) 사용하였다. 상추 정식은 2008년 8월 30일에 실시하였다. 실험에 사용된 수경재배 방식은 박막순환 수경재배(NFT방식)으로 하였다. 수경시설은 온실바닥에 400L용 양액탱크를 설치하였으며 재배조는 목재로 폭 45cm, 길이 6m, 높이 60cm 재배조로 만들어 내부를 비닐필름으로 씌웠으며 재배조 중앙에 PVC 파이프를 배관하고 1/8 HP의 모터펌프로 55분 정지 5분 동안 급액하였다.

정식은 20cm 간격으로 1주씩 심어 재식거리를 20×20cm로 하였다. 시험구는 임의배치 3반복으로 배치하였다. 대조구 양액은 원예연구소의 상추 표준양액을 공급하였다. 배양액의 전기전도도(EC)는 1.5 mS/cm으로 조절하였고 배양액의 pH는 인산용액으로 조절하였으며 pH는 6.5로 조절하였다.



사진 3. 액비 양액 시험포장 (SCB 액비등 7개 처리시험).

3) 처리내용

본 시험의 처리내용은 표2와 같다. 각 처리구별 사용량은 질소 시비량을 기준으로 여과액비와 원예연개발양액을 혼합하여 사용하는 조합처리를 두었다.

표 5. 처리내용

처리	퇴비단 여과액비	화학양액
T1	100%	0%
T2	80%	20%
T3	60%	40%
T4	40%	60%
T5	20%	80%
T6	0%	100%

4. 막분리여과/퇴비단여과액비와 부산물, 화학양액 혼합액의 고추 양액재배 시험

1) 액비 제조

본 연구의 공시 SCB 퇴비단여과액비는 경기도 이천군 개척농장의 여과액비를 이용하였으며 농축액비는 횡성군 안흥면 신천봉농장의 막분리 처리 돈슬러리 농축액비를 사용하였다. 여과액비와 농축액비의 성분함량을 높이고 부족한 성분을 보충하기 위하여 액비에 부산물을 혼합하여 조제하였다. 액비와 부산물의 혼합액비 조제방법은 180 L의 여과액비, 농축액비에 골분0.4 L, 동물성아미노산180g, 당밀 190g, 해초류추출물 24g, 난각칼슘 0.4 L를 첨가하여 조제하였다. 골분과 난각칼슘은 구연산에 용해하였다.



사진 4. 액비 혼합조제 후 호기성 발효 (6개 처리구).

2) 시험 재료

고추 재배시험은 2008년에 강원도 횡성군 반곡리 농가 비닐하우스에서 수행하였다. 고추는 길상 품종을 이용하였다. 고추 파종은 5월 25일에 실시하였으며 정식은 큐브에서 암면배지로 2008년 7월 21일에 실시하였다. 시험은 2008년 7월 21일에서 2008년 10월 10일 까지 수행하였다.

양액재배 방식은 고정배지경 양액재배로 70 L 용량의 양액통에 양수량 40 L/min의 수중 펌프를 사용하여 주야간 매 1시간 마다 15분씩 급액 되도록 하였다. 재배상은 800×70×15cm(길이×너비×깊이)의 암면배지상의 바닥에 0.05mm 두께의 PE필름을 깔았다. 정식은 20cm 간격으로 1주씩 심어 재식거리가 140×20cm가 되도록 하였다. 시험구 배치는 임의배치 3반복으로 배치하였다. 각 처리구의 효과를 비교하기 위하여 대조구의 양액은 원예연구소의 고추 배지경 양액재배 전용 배양액을 공급하였다. 1일 양액투입량은 주당 1.2 L으로 하였다. 배양액의 전기전도도(EC)는 생육 초기에 1.6 mS/cm, 생육중기에 1.8-2.0 mS/cm, 생육후기에 1.8 mS/cm으로 조절하였다. 배양액의 pH는 인산용액으로 조절하였으며 pH는 5.5-6으로 유지하였다.

3) 처리내용

본 시험의 처리내용은 표2와 같다. 각 처리구별 시용량은 질소 시비량을 기준으로 여과액비와 농축액비에 부산물과 원예연개발양액을 혼합하여 시용하는 조합처리를 두었다. 처리구는 여과액비 단독처리구(CS 100%), 농축액비 단독처리구(CS 100%)를 두었다. 또한 부산물의 혼합효과를 알아보기 위하여 여과액비, 농축액비에 부산물을 혼합하는 처리구를 두었다. 또한 여과액비, 농축액비 50%에 양액을 질소기준으로 50% 혼합하는 처리구를 두었다. 대조구로 양액단독처리구(NS 100%)를 두었다.

5. SCB 맞춤형액비의 생산 및 상추 수경재배 연구

1) 맞춤형액비 조제 공정 및 적용방법

- (1) 1단계: SCB 액비성분 분석
- (2) 2단계: 작물별 양분기준 설정(토양검정, 표준양액 성분)
- (3) 3단계: SCB액비에 가장 많은 성분인 가리함량을 기준으로 부족한 성분 무기질 비료로 보충(다량원소 보정)하여 맞춤형비료 완성



사진 5. 맞춤형액비 및 부산물 액비.

표 6. 액비 생산공정과 용도

액비 종류	생산기술	용도/효과
SCB 맞춤형액비	SCB액비 ➔ 작물별 부족성분 보충	- 관비 재배 - 양액재배
SCB 미생물 비료	SCB+부산물 배지 (당밀+해초+아미노산) 혼합 ➔ Bacillus, 유산균 등 배양	- 유용미생물 제제로 활용
SCB 유기액비	SCB+유기부산물	- 인삼 등 특수작물 - 유기인증에 활용
SCB 퇴비차액비	SCB+compost tea 조성 (퇴비, 아미노산, 해초, 당밀) ➔ 호기성 발효	- 병원 억제 효과 - 관비, 양액재배 - 유기재배
SCB 기능성 성분첨가 액비	SCB + 셀레늄, 게르마늄 등	- 기능성 산채, 채소 생산

2) SCB 액비를 활용한 제조액비 수경재배 시험

표 7. SCB 활용 상추 수경재배 처리내용

처 리	처 리 내 용
SCB 액비	- SCB 액비
SCB 맞춤형액비	- SCB +상추양액기준으로 부족한 성분 무기질 비료로 조정
SCB 부산물액비	- SCB + 부산물 (350 L 기준 당밀 3.2kg, 해초 400g, 아미노산 1kg)
SCB 퇴비차액비	- SCB + 퇴비화 (350 L 기준 퇴비 20kg, 당밀 3.2kg, 해초 400g, 아미노산 700g)
양 액	- 원예연 상추 양액



사진 6. 맞춤형액비 상추 수경재배 광경.

〈제5세부과제〉 가축분뇨 퇴·액비 중 특정성분 제어기술 개발

1. 액비내 질소/인 성분 제어기술 개발 시험

1) 액비 성분 제어공정 설비 및 장치

(1) 질소/인 성분 제어공정 구조 및 설비

축분뇨 액비내 질소/인 성분 제어를 위한 새로운 공정을 고안하고 실험실 규모로 공정을 설비하였다 (Fig.1). 공정은 Plexiglass로 제작되었으며 공정의 총 용적은 xxL이었다. 반응조내 격막을 두어 호기적부분(그림에서 A)과 무산소부분(그림에서 B)으로 나누었으며 내부호기반응조(A분획) 바닥 부분에 산기관을 설비하여 공기를 공급하였다. 내부호기반응조 바닥은 많은 수의 50mm크기의 구멍을 내어 액비내 고형물과 침전물, 결정체 등이 자유롭게 통과할 수 있도록 디자인하였다. 공정 바닥엔 경사를 주어 설치된 밸브를 통한 침전물 회수가 용이하도록 하였으며 측면벽을 따라 다수의 밸브를 두어 유효용적조절 및 유출수 배출이 이루어지도록 하였다.

산기관을 통한 공기공급과 공기량 조절을 위해 aerator와 flowmeter를 외부에 설비하였으며 유입수로 이용한 액비의 loading과 Mg원 첨가를 위해 정량펌프를 설비하였다.

(2) 컴퓨터 온라인 모니터링 장치

Batch mode의 운전조건하에서의 액비중 인의 농도변화와 ORP 및 pH(mV) 변화와의 상관관계를 파악하고자 Online computer monitoring 장치를 설비하였다. 내부호기반응조에 pH 및 ORP(Ag/AgCl) probes를 설치하고 컴퓨터를 이용하여 1분간격으로 자동 모니터 되도록 하였다. 반응조내 설비된 probes에서 발생하는 전기적 신호를 컴퓨터로 전달은 cable 리본을 통해 이루

어졌으며 모니터링 프로그램은 자체 구성하여 실험을 수행하였다.

2) 실험디자인 및 방법

(1) 실험방법

고안된 공정에서의 질소/인 성분제어 효율과 운전인자를 파악하기 위하여 Table 1에서와 같이 실험을 수행하였다. Run IV를 제외하곤 모두 continuous mode로 운전되었고 batch mode로 운전된 RunIV의 경우에는 1시간 간격으로 액비와 마그네슘원을 loading하였다.

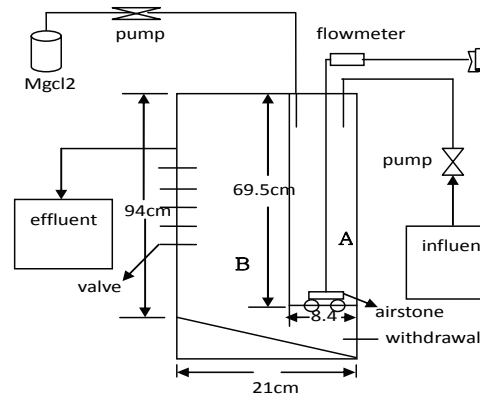


Fig. 1. Pictures and schematic diagram of process with on-line monitoring system.

Table I에서와 같은 실험조건하에서 포기율과 체류시간(HRT)이 질소/인성분제어에 미치는 영향을파악하고 그 결과를 종합하여 성분제어율과 운전 특성을 분석/파악/평가하였으며 질소 성분 제어율을 향상시키기 위한 방안을 모색하고자 Table 2에서와 같이 RunVI, RunVII 실험을 추가로 수행하였다. 디자인된 공정을 운전하면서 액비중 다양한 이온농도의 변화를 관찰하고 Cu와 Zn의 제어율과 추가제어의 필요성을 파악하였으며 반응조 바닥으로부터 회수된 결정체와 고형물 혼합물의 성분과 중금속 함량을 조사하였다.

또한 회수된 혼합물내 $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (MAP) 결정체 형성여부를 파악하기 위하여 X-ray Diffraction study와 주사전자현미경(scanning electron microscope)를 형상분석 실험을 수행하였다. pH의 변화를 이용한 MAP 결정체 정제방법을 고안하고 개발된 방법을 이용한 MAP 순수 정제/회수율을 분석하였다.

(2) 공정운전방법

RunI ~ Run V에서는 고안된 공정을 continuous flow mode와 batch mode로 운전하였으며 유효용적을 12.3L로 유지하였다 (내부호기반응조 기준 유효용적은 2.72L). 유입수와 Mg원의 loading은 동시에 이루어졌으며 Mg원으로 MgCl_2 를 이용하였고 첨가량은 유입수내 용해성인 농도기준 1M비로 유지되었다. 아무런 pH 조절제 사용없이 포기로인한 CO_2 stripping을 유도하

여 첨가된 Mg원과 질소/인 성분과의 결정체 형성을 통한 성분 조절을 시도하였다. 설비된 공정은 동일하게 내부호기반응조 기준 HRT 4시간 조건하에서 운전하였다.

Run VI, VII에서는 공정의 운전방법을 전환하였다(Tab. 2). 반응조내 A구획(내부호기반응조)은 RunI~5에서와 동일하게 연속포기(2.5L/min)하였으나 RunVI, VII에서는 B 부분에도 산기관을 설치하여 1시간 간격으로 간헐포기(2L/min)하였으며 또한 운전조건을 batch mode로 전환하여 2시간 간격으로 액비 및 Mg원을 유입하였다(Fig. 2).

체류시간(HRT)으로는 RunVI의 경우 4시간, RunVII의 경우 240시간이었으며 Mg원은 액비내 용해성 인농도 기준 1.2M비로 주입하였다. RunVI와 VII에서의 운전 sequence와 각 A, B분획별 운전방법 및 액비와 Mg원 유입방법은 Table 3에 나타내었다.

Table 1. Operation conditions for the designed process

	Run I	Run II	Run III	Run IV	Run V
* HRT (hr)	4	4	4	4	1
Aeration Rate(L/min.)	2.5	2.5	7.5	7.5	3
MgCl ₂ (M ratio to O-P)	1	0	1	1	1.2
Operation Mode	Continuous Flow	Continuous Flow	Continuous Flow	Batch	Continuous Flow

* Based on aeration compartment

Table 2. Operation strategies of the process

		Run VI	Run VII
* HRT (hr)		4	240
Aeration Rate(L/min.)	A	2.5	2.5
	B	2.0	2.0
MgCl ₂ (M ratio to O-P)		1.2	1.2
Operation Mode		Batch	Batch

3) 시료채취 및 분석 방법

시험에 사용된 축산분뇨 액비는 인근 양돈 농가에 설비된 200톤 규모의 액비 저장조로부터 2주간격으로 25L 용기를 이용하여 수거되었으며 실온에 보관하면서 실험에 사용하였다. 25L 용기의 액비를 유입수 저장 bucket로 유입하기전 0.75mm mesh 체로 걸러 굵은 고형물을 제거하였으며 유입수와 유출수 시료 채취는 2~3일 간격으로 각 유입/유출수 저장 bucket으로부터 이루어졌다.

채취된 sample은 4℃이하의 냉장고에 보관하였으며 가능한 각각의 분석 항목에 대하여 바로 측정하도록 하였다. 채취된 sample은 1차 원심분리를 하고 Filter paper(Watman, NO. 1541.110)를 이용하여 필터링 후 분석하였다. Orthophosphates (OP), Ammonium nitrogen(NH₄-N)의 분석은 자동수질 분석기(Zellweger:LACHT, QuikChem 8000)를 사용하였으며, TOC(Total

organic carbon)의 분석은 탄소물질 자동분석기인 TOC-5000A (Shimadzu)를 이용하여 분석하였다. 고형물을 포함한 모든 분석 방법은 Standard Method(APHA: American Public Health Association, 1998)에 준하여 시행하였다. 결정화 반응에 의해 양돈액비로부터 침전/회수된 struvite 혼합물의 관찰을 위해 광학현미경(Olympus AX70) 및 전자현미경(SEM)이 이용되었다.

2. 축분퇴비내 특정성분 제어기술 개발 시험

1) 시험용 부속장치 설비 및 운전방법

(1) Lab-scale 부속장치 구조 및 설비

국내에 널리 이용되고 있는 호기적 교반식 퇴비화 시설에 적용이 가능한 축분 퇴비내 질소/인성분 제어기술하고 더 나아가 축분 완료성 퇴비 생산기술을 개발하기 위해 Fig. 3에서와 같이 5개의 실험실 규모의 composting reactor(용량 8L)를 설비하였다.

Composting reactor는 plexiglas로 제작되었으며 단열을 위해 제조된 10cm 두께의 polystyrene 박스내에 설비되었다. Aerator와 산기관을 설비하여 연속적으로 공기가 공급되도록 하였으며 모든 실험에 있어서 aeration flow rate은 0.25L로 유지되었다.

온도 모니터링을 위해 온도 프로브를 reactor내에 설비하고 computer와 연결하여 5분 간격으로 온도가 자동기록 되도록 하였다. Composting reactor의 가스 및 공기 배출구 부분에 1N H₂SO₄ trap를 두어 배출되는 공기내 암모니아 가스를 포집하였으며 자세한 실험용 반응조 모식도는 Fig. 3에 나타나있다.

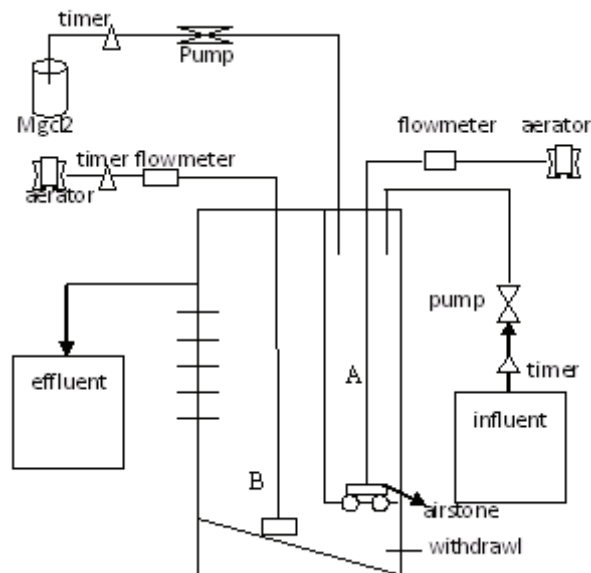


Fig. 2. Schematic diagram of the process for run VI & VII.

Table 3. Operational sequences

	1h	2h	3h	4h	1h	2h	3h	4h
A	Air on				Air on			
B	Air on	Air off	Air on	Air off	Air on	Air off	Air on	Air off
feed&MgCl ₂	off	on	off	on	off	on	off	on

(2) 운전방법

모든 실험에 있어서 돼지분뇨와 톱밥을 혼합하여 수분 함량을 약 65% 수준으로 조절한 후 제작된 composting 반응조에 혼합물을 넣고 완전 밀폐된 조건에서 공기를 연속적으로 주입하면서 호기적 부숙을 유도하였다. Composting을 진행하면서 3일 간격으로 reactor를 열고 내용물을 혼합하여 균일성을 유지하도록 하였으며 외부 온도와 composting 반응조내 온도가 동일할 때 부숙을 중지하였다.

2) 실험디자인 및 방법

(1) 완료성 퇴비생산 기술 개발

호기적 퇴비화 공정에서의 질소/인 성분제어를 통한 완료성 퇴비 생산 기술을 개발하기 위하여 퇴비화 과정중 질소/인 성분의 결정화 가능성을 파악하였다. 이를위해 분뇨내 TN기준 0.35M 수준으로 분뇨와 톱밥 혼합물에 Mg원을 첨가하고 부숙진행 양상과 부숙과정에서의 MAP 결정체 형성여부를 파악하였다.

결정체 형성 가능성을 확인한 후에는 퇴비화 과정중의 질소, 인성분 결정화 조건을 파악하고 분뇨내 TN 기준 적정 Mg원 및 PO₄원을 파악하고자 Mg원과 PO₄첨가량의 수준을 달리하면서 시험을 진행하였다. 또한 Tab. 4에서와 같이 실험을 계획하여 Mg원 단독 첨가와 Mg원과 PO₄의 복합첨가가 퇴비화 과정에 미치는 영향을 파악하였다.

(2) 퇴비의 성상분석 및 완료성 분석

Mg원 및 PO₄의 첨가가 퇴비의 물리화학적 성상변화에 미치는 영향을 파악하기 위하여 분뇨+톱밥 혼합물에 Mg원과 Mg+PO₄를 첨가한 직후와 퇴비화가 종료된 후에 각각의 샘플을 채취하여 다양한 분석을 수행하였다. 먼저 퇴비화 전과 후의 성상을 비교 분석하여 퇴비화 과정에서의 화학적 성분 변화를 분석하였으며 채취된 시료의 X-ray Diffraction 시험과 현미경적 관찰을 통하여 퇴비화 과정에서의 MAP 결정체 형성 여부를 검증하였다.

또한 Mg원을 첨가하여 생산된 퇴비의 완료성을 검증하기 위하여 pH가 다른 각 용액에 시료를 첨가하여 진탕시킨 후 pH의 변화와 용출되는 질소와 인 성분의 변화를 파악하였다.

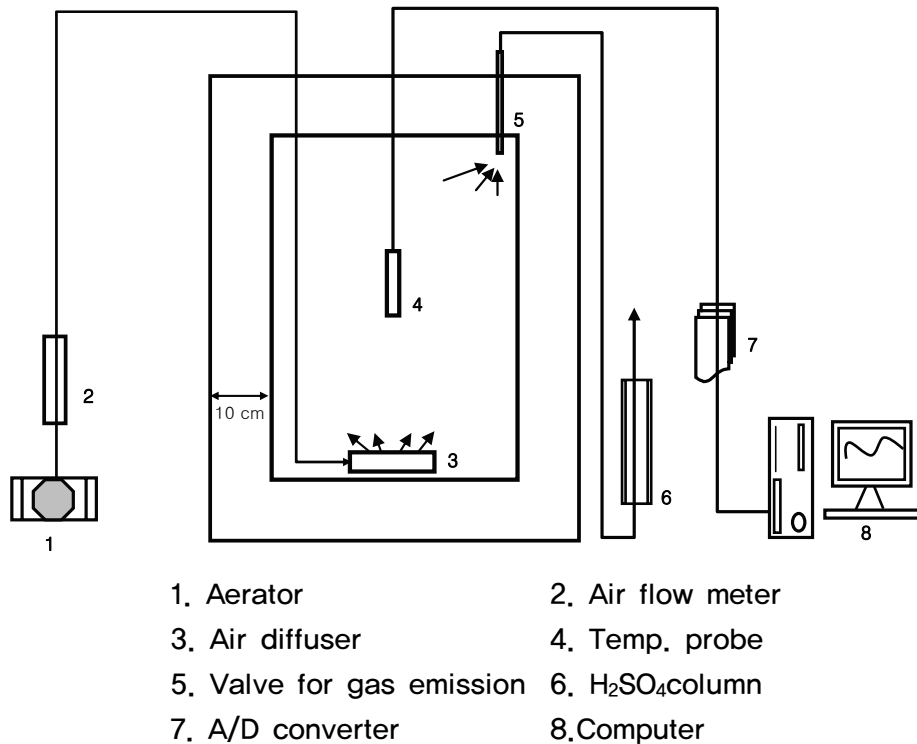


Fig. 3. Schematic diagram of composting facilities.

(3) 질소/인 성분 제어에 따른 악취발생 감소효과 분석

완전 밀폐된 composting reactor를 이용하여 분뇨혼합물을 부숙 시키면서 배출되는 가스내에 함유되어있는 암모니아 가스를 외부에 설치된 H₂SO₄ 용액에 trap되도록 하였다. 각 Mg원과 PO₄원을 첨가한 경우와 무첨가의 경우에 있어서의 H₂SO₄에 녹아든 아모니아 가스의 농도를 비교/분석하여 질소와/인 제어에 따른 악취발생 효과를 파악하였다.

(4) 완효성 퇴비의 품질 증진방법 개발

Mg원을 첨가하여 부숙시킨 퇴비의 완효성과 질소/인 보존효과를 검증한 후 경제적 완효성 퇴비생산과 품질 증진 방법을 모색하고자 Mg원을 첨가하여 생산된 MAP 함유 퇴비의 recycle 효과를 반복 실험을 통해 파악하였다. MAP 함유 퇴비의 recycle은 톱밥 사용량의 50%를 대체 하는 방법으로 이루어졌으며 자세한 사항은 Tab. 5에 나타내었다.

(5) 퇴비의 입자별 성분분석 및 VSC(Vibration Sieve Convey) 적용 가능성 분석

Composting 전/후의 입자 크기 및 입자크기별 질소/인성분 분포를 조사하여 VSC를 이용한 성분조절의 가능성을 파악하였다. 이를위해 vibration sieve를 RPM 250에서 2분간 진동하여 입자크기를 3.5mm>size>2.8mm, 2.8mm>size>1mm, 1mm>size>0.5mm, 0.5mm>size로 선별하고 입자크기별 성분 분포와 입자크기별 성분함량을 분석하였다.

3) 시료채취 및 분석방법

부숙 전과 후의 시료가 각 composting reactor로부터 채취되었으며 4℃의 냉장 상태로 보관하면서 유기물(OM), 총질소(TN), 총인(TP), NH₄-N, PO₄³⁻, pH를 분석 혹은 측정하였다. pH는 증류수를 이용하여 50배로 희석/진탕시킨 후 측정하였고 OM은 550℃에서 4시간 동안 태워 분석하였다. NH₄-N과 PO₄³⁻의 분석은 증류수로 진탕시킨 후 자동 분석기(Quick Chem 8000, LACHAT)를 이용하여 분석하였으며 TP는 Block Digestor(LACHAT, Model-BD 46)을 이용하여 소화시킨 다음 자동분석기를 이용하여 분석하였다. TN은 자동분석기(rapid N, Elementar GmbH)를 이용하여 분석하였으며 모든 기타 분석은 Standard Method(A.P.H.A)에 준하여 이루어졌다.

Table 4. Layout of the experiment

Batch test No	Salt addition		Molar ratio to TN of swine manure				
	Mg	P	C	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄
1	Yes	Yes	0.00	0.02	0.05	0.10	0.15
2	Yes	Yes	0.00	0.01	0.03	0.06	0.09
3	Yes	Yes	0.00	0.01	0.02	0.04	0.06
4	Yes	No	0.00	0.01	0.03	0.06	0.09
5	Yes	No	0.00	0.01	0.025	0.05	0.075

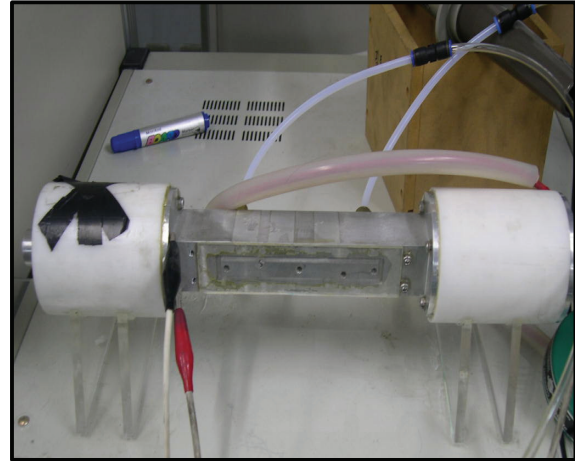
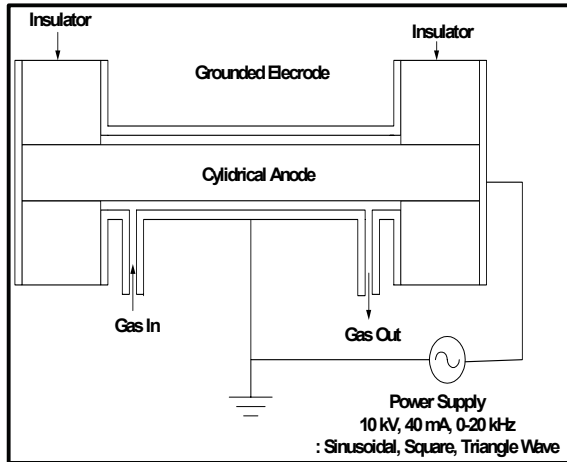
Table 5. Layout of the experiments for compost recycle study

Materials	Control	T	T _R
Mg source	0	1.2	1.2
Sawdust	1	1	0.5
Compost	0	0	0.5
Manure	1	1	1

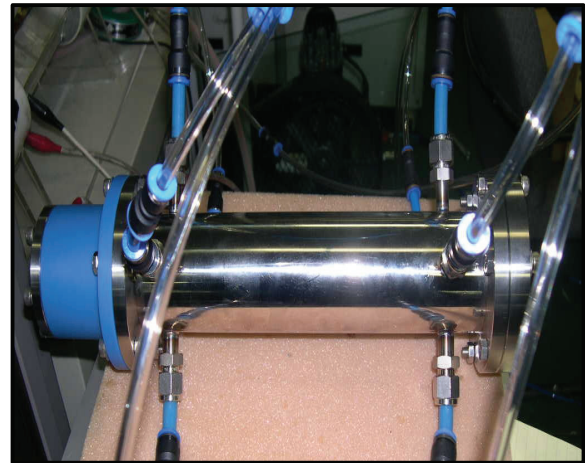
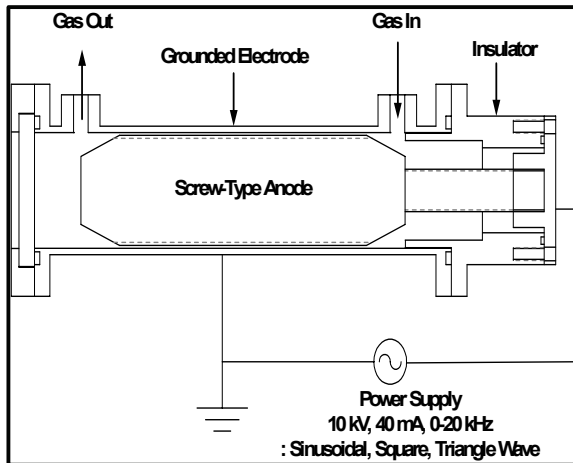
〈제6세부과제〉 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구

1. PCDP(Pulsed Corona Discharge Plasma)장치

악취물질 저감의 효율성을 평가하기 위한 PCDP(Pulsed Corona Discharge Plasma) 장치는 그림 2- 4에 나타난 바와 같이 용량과 반응기의 형태가 다른 세 개의 PCDP를 사용하였다.



(A)



(B)

그림 2. 소형 코로나 반응기의 개략도 및 반응기 (A) 원통형 타입 전극구조의 PCDP, (B) 나선형 타입 전극구조의 PCDP.

그림 2에서 보여지는 소용량의 반응기는 원통형 (cylindrical) 및 나선형 (screw-type)의 금속 양극 (anode)에 고전압을 인가, 이를 둘러싸고 있는 금속의 접지 전극 (Grounded Electrode)과의 방전을 통해 플라즈마를 발생한다. 양극과 음극 사이의 간격은 1 mm로 하였으며 전력인가용으로 사용된 Power Supply는 0 - 70 kHz 대역의 주파수에서 최대 10 kV를 인가할 수 있고, 이에 따른 전류 제한 조건은 20 mA로 설정하였다.

2차년도에서는 그림 3과 같이 1차년도에 제작되었던 PCDP의 악취저감 효율 향상을 위해 양극의 전극을 원형 톱날을 이용하여 제작함으로써 양극과 음극 사이의 전기장(Electric field)을 높이고 낮은 전압으로도 방전이 가능하도록 설계하였다. 또한 처리가스의 균일한 분포를 위해 처리가스 유입과 유출을 4개로 분리하였으며 방전 전압을 최소 1Kv로 낮춤으로써 약 20 watt의 전력 저감의 효과가 있도록 제작 하였다.

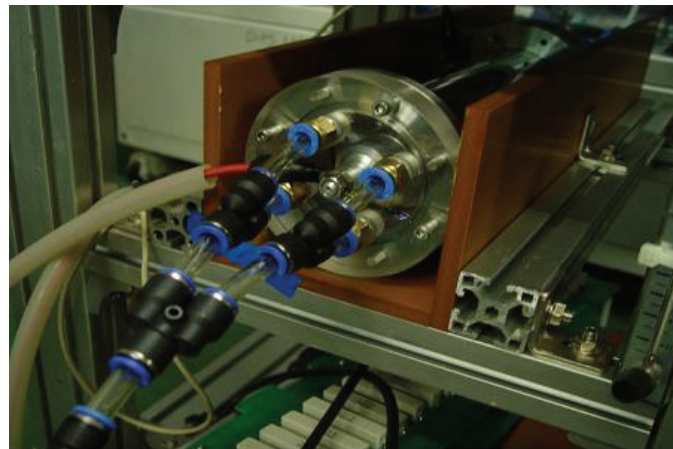
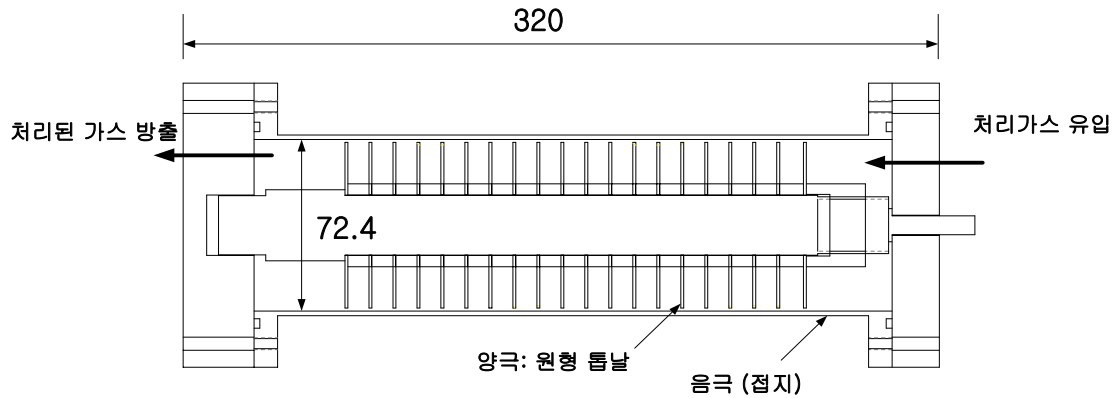
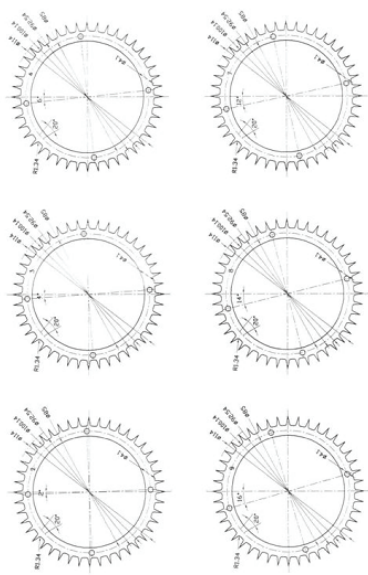
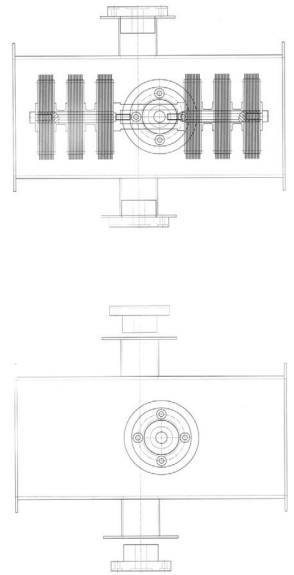


그림 3. 새로운 PCDP의 (A) 개략도 및 (B) 코로나 플라즈마 장치.

그림 4에서 보여주는 대형 용량의 반응기는 원형의 disc plate에서 코로나 방전이 발생할 수 있게 설계되어 있으며, 이러한 disc를 10개로 구성하여 (B)에서 보여주는 바와 같이 하나의 전극을 형성하게 된다. 따라서 전극이 cylinder의 상하에 2~3개씩 장착되기 때문에 하나의 장치에 40~60개의 disc가 배열되게 된다. (C)에서와 같이 각 disc는 일정 각도의 구배를 가지고 배열되어 있기 때문에 악취물질이 원통의 왼쪽에서 오른쪽으로 통과할 때 코로나 방전을 피할 수 없는 cyclone 형태를 유지하므로 처리효율을 증대할 수 있으며 또한 투입되는 Power supply는 220V, 200~400W 정도로 설계하였다.



(A) 코로나 방전 disc



(B) cylinder 형태의 코로나 플라스마 악취제거 장치



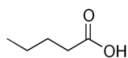
(C) 원통형 악취제거 시험장치

그림 4. 코로나 방전을 이용한 악취제거용 cylinder 장치 prototype.

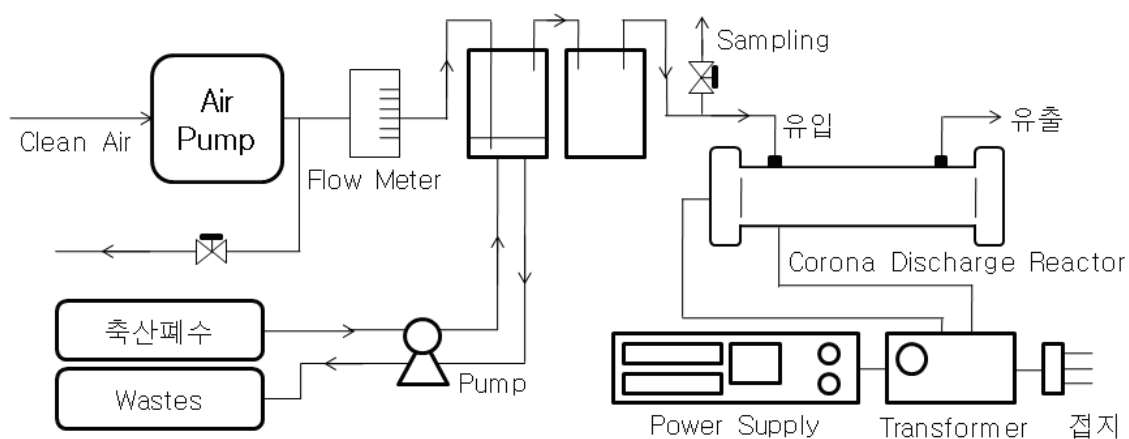
2. 축산폐수 및 표준악취 물질에서의 악취물질 발생

코로나 플라스마 반응기의 악취저감 효율을 평가하기 위해 총 8가지의 휘발성 지방산(VFA, Volatile fatty acid)의 표준용액을 사용하여 악취가스를 발생시켰으며 암모니아 가스발생을 위해 각 1M의 염화암모늄(NH_4Cl)과 수산화나트륨(NaOH)을 사용하였다. 실험에 사용된 휘발성 지방산의 물리·화학적 특성은 표 6에 나타내었다.

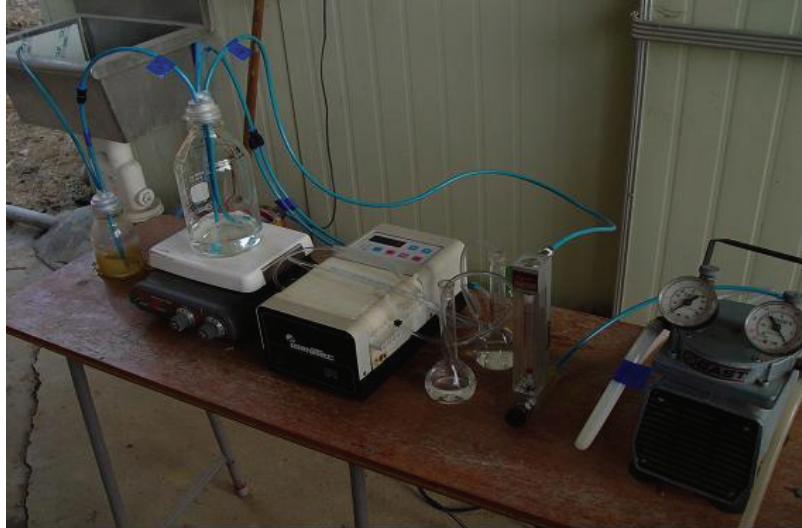
표 6. 휘발성 지방산의 물리·화학적 특성

악취물질	화학식	분자량 (g/mol)	밀도 (g/cm ³)	표준용액 순도 (%)	분자구조
Valeric acid	C ₅ H ₁₀ O ₂	102.13	0.93	99.0	
iso-valeric acid	C ₅ H ₁₀ O ₂	120.13	0.93	99.0	
Phenol	C ₆ H ₅ OH	94.1	1.07	99.0	
Propionic acid	CH ₃ CH ₂ COOH	74.1	0.99	99.0	
Acetic acid	CH ₃ COOH	60.05	1.05	99.0	
p- Cresol	C ₆ H ₅ OH	108.13	1.03	99.0	
3-methylindole	C ₉ H ₉ N	117.0	1.22	99.0	
Butyric acid	CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH	88.11	0.96	99.0	

휘발성 지방산은 다른 악취원인 물질에 비해 끓는점과 증기압이 높아 상온에서는 무기염에 의한 염석효과와 황산첨가에 의한 pH 조절만으로 가스발생이 이루어지지 않기 때문에 적당량의 염화나트륨(NaCl)과 황산(H₂SO₄)을 가스 포집병에 주입한 후 90℃로 가열하여 가스를 발생시켰다(정 등, 2007). 축산폐수는 춘천시 신북읍에 위치한 강원대학교 실습농장에서 시료를 채취하여 실험에 사용하였다. 악취물질 발생 및 포집의 개략도는 그림 5에 나타내었다.



(A)



(B)

그림 5. 코로나 반응을 위한 악취물질의 주입 및 포집의 (A)개략도 및 (B)발생장치.

3. 악취물질 측정

코로나 반응기의 유입전과 유입후에 발생하는 암모니아 가스 측정에는 LMSxi gas analyzer (Kemic Co. Korea)를 사용하였으며 8가지의 휘발성 지방산 분석에는 기체크로마토그래피-불꽃이온화 검출기(Gas Chromatography-Flame Ionization Detector)를 사용하여 분석하였다. 코로나 반응전과 반응후의 시료를 테들러백(tedlar bag, 1L, Supelco, USA)에 포집한 후 헤드스페이스(Head space) 방식으로 시료를 GC에 주입하여 각 악취물질의 농도를 측정하였다. 악취물질 분석에 사용된 GC-FID의 조건은 표 7에 나타내었다.

표 7. GC-FID의 분석조건

	분석조건
컬럼	DB-5 (30m × 0.32mm × 0.25μm)
오븐온도	60℃-3min/ 10℃씩 150℃/ 25℃씩 250℃
주입구 및 검출기 온도	주입구: 220℃, 검출기: 280℃

〈제7세부과제〉 효소복합체를 이용한 양돈슬러리 자원화 과정의 악취 제어 기술개발

효소복합체가 양돈분뇨 액비화 과정의 악취발생에 미치는 영향에 대하여 조사하기 위하여 돈사에서 배출된 슬러리 상태의 양돈분뇨를 5톤 용량의 액비탱크에 효소복합체 처리, 폭기 처리, 효소복합체+폭기 처리 및 아무 처리하지 않은 대조구로 나누어 양돈분뇨의 액비화과정의 경시적 변화를 비교하였다.

또한 돈사에 효소복합체를 살포한 후와 살포전의 돈사내부 공기의 질과 슬러리 성상 및 부지경계선에서의 복합악취 농도를 비교하였다.

양돈분뇨 액비화 과정에 발생하는 악취농도의 경시적 변화를 조사하기 위하여 5톤 용량의 FRP 탱크에 배설된 지 1주일 이상 경과하지 않은 슬러리 상태의 분뇨를 저장하면서 당일, 7일, 14일, 21일 및 28일 경과후의 변화를 조사 비교하였다.

본 시험에 이용된 효소복합체는 amylase, lipase, protease, cellulase, phytase, urease 등을 포함한 오렌지, 레몬 등의 식물체에서 추출한 것이었다. 효소복합체는 분뇨 톤당 L 수준으로 처리하고 폭기는 5HP의 폭기장치를 이용하여 각각의 저장탱크에 분당 4m³의 공기량이 공급되도록 하였다.

돈사에 살포한 현장시험은 사육환경, 사양관리, 기후차이 등의 외부요인에 의한 오차를 최소화하기 위해 동일한 농장에서 비슷한 크기와 수용두수를 가진 육성비육사를 선정하여 효소복합체를 살포한 후와 살포전의 돈사내부 공기의 질과 슬러리 성상 및 부지경계선에서의 복합악취 농도를 비교하였다.

사용된 돈사와 공시동물은 경남 진주의 O농장에서 육성비육돈 300두를 수용하는 밀폐형 육성비육돈사였다. 시험이 수행된 돈사의 형태와 분뇨수거 방식은 판넬로 구성된 무창돈사 및 슬러리 방식이었다.

효소복합체 처리가 양돈분뇨의 액비화 과정의 경시적 변화를 조사하기 위하여 악취와 관련된 암모니아, 황화수소 가스농도를 조사하였으며, 액비화 및 액비성분과 관련된 pH, 온도, 슬러리 고형물 함량, 총질소, 총인, 암모니아성 질소를 분석하였다.

양돈장 현장조건에서의 효소복합체 처리효과를 조사하기 위하여 효소복합체 처리 전과 후의 암모니아, 황화수소 농도 및 부지경계선에서의 복합악취 농도를 비교하였다.

암모니아와 황화수소는 농도 측정은 디지털복합가스측정기(GasAlert Micro 5; BW Technologies, USA)를 사용하였으며, 돈사외부의 중앙환기통풍구 1곳에서 측정하고, 돈사내부의 가스는 돈사를 기준으로 중앙, 입구, 안쪽 등의 좌우 6곳 돈방과 돈사중앙 등 7곳에서 바닥으로부터 20cm 및 120cm 높이에서 오전 10시에서 11시 사이에 각각 조사하였다.

또한 효소복합체 살포 2주 및 4주 후 슬러리 시료를 채취하여, 가축분뇨성분분석실험법(축산연구소, 2006)에 의거 수소이온농도는 pH meter(SG2 -FK, Mettler-Toledo, Switzerland)을 사용하여 측정하였으며, 고형물은 시료를 여과지로 통과시키고 남은 잔유물을 105℃로 2시간 건조시켜 잔

유물을 측정하였다. 암모니아성질소(NH₃-N)는 인도페놀법으로, 아질산성질소(NO₂-N), 총질소(Total Nitrogen) 및 총인(Total Phosphorus)은 흡광광도법으로, 질산성질소(NO₃-N)는 이온크로마토그래피법으로 각각 측정하였다.

복합악취 측정은 국립환경연구원 고시 제 2005-4(2005. 2.)의 “악취공정시험방법”에 따라 악취농도가 가장 높을 것으로 판단되는 부지경계선에서 공기를 펌프를 통해 알루미늄백에 포집하였고, 공기희석관능법으로 채취한 시료를 실험실에서 냄새가 전혀 없는 공기로 냄새가 전혀 나지 않을 때까지 희석하였을 때의 공기희석배수로 다음과 같이 판정하였다.

전체 판정요원의 시료희석배수 중 최대값과 최소값을 제외한 나머지를 기하 평균한 값을 판정요원 전체의 희석배수로 하고 “○” : 시료희석주머니 판정 시 정답, “×” : 냄새주머니 판정 시 오답으로 한다.

〈희석배수산정방법(평가과정)〉

판정요원 구 분	1차 평가		2차 평가 (×30)	3차 평가 (×100)
	1조 (×10)	1조 (×10)		
A	×	○		
B	○	○	○	○ (이후 시료희석배수평가 중지)
C	○	×		
D	○	○	○	×
E	○	○	×	

〈희석배수산정방법(계산과정)〉

판정요원	계산과정	비고	전체의 희석배수
A	$a=\sqrt{(3 \times 10)}= 5.477$	최소(제외)	$\sqrt[3]{(5.477 \times 30 \times 10)}$ $=11.8$
B	b= 100	최대(제외)	
C	$c=\sqrt{(3 \times 10)}= 5.477$	→	
D	d= 30	→	
E	e= 10	→	

당해 시료희석배수에서 감지하지 못한 판정인의 계산값은 한 단계 아래의 시료희석배수 값을 적용한다(예: 10배에서 오답 일 경우 3배수로 산정)

〈제8세부과제〉 파쇄옥수수대의 축분퇴비제조 수분조절재로의 활용기술 개발

1. 실험1

1) 파쇄옥수수대의 물리적, 화학적 특성 평가

입자도, 수분흡수율, 양이온치환능력(CEC), 용적중, 통기성 등의 물리적 특성을 분석하여 톱밥 및 palm kennel과 비교 평가하였다. 또한 Total organic carbon, Total nitrogen, Total phosphorus, Fiber fractions(cellulose, hemicellulose, lignin 등)함량 및 pH 등의 화학적 특성을 톱밥 및 palm kennel과 비교 평가하였다.

2) 파쇄옥수수대의 돈분퇴비 제조 수분조절재로의 적용기술 개발

돈사발생 slurry에 파쇄옥수수대(펠릿)를 단독 또는 톱밥과 2:1 및 1:2의 비율로 혼합하여 수분을 조절하여 pilot scale의 발효건조 퇴비화 장치를 이용하여 통기식으로 발효시켜 톱밥을 사용할 경우와 비교 평가하였다(그림 1). 경시적(발효 0, 5, 10, 20, 30일 및 후숙기)으로 발효성상(물리적, 화학적)을 측정하고, 제조된 퇴비의 품질을 측정하여 수분조절재 사용량, 발효효율 및 퇴비품질 간의 상호관련성을 도출하고, 톱밥과의 혼합사용 여부를 검토하였다.

3) 파쇄옥수수대의 돈분퇴비 제조 수분조절재 적용표준 설정 및 경제성 분석

개발한 적용기술을 토대로 파쇄옥수수대의 돈분 발효건조 퇴비제조 공정에 대한 수분조절재의 적용량(톤/slurry 톤)을 설정하고 제 소요비용을 톱밥과 비교 분석하여 경제성을 평가하였다.



(a)



(c)



(b)



(d)

그림 1. 발효건조 모형시설(a)과 블로와 장치(b), 파쇄옥수수대 펠릿(c)과 톱밥(d).

2. 실험2

총 40일간 파쇄옥수수대 펠릿(corn stalk pellet, CSP), 톱밥(saw dust, SD) 톱밥 펠릿(sawdust pellet, SDP), 팜커널밀 펠릿(palm kernel meal pellet, PKMP)과 SD+CSP (50:50) 및 SD+PKMP (50:50)를 3×6m (18m²)에 10~15개월의 거세한우(평균체중 375kg)를 각각 2두씩 임의 배치한 한우사에 깔짚으로 사용(25kgDM/m²)하여 매 20일 간격으로 깔짚을 sampling하여 화학성분의 변화와 한우의 행동 변화를 조사하였다(그림 1).

행동관찰은 0, 20 그리고 40일에 이루어졌으며, 24시간 동안 20분 간격으로 관찰하였다. 관찰시간은 오전 9시부터 다음날 9시까지 진행되었다. 행동은 우방을 3부분으로 나누어 서기와 눕기 자세를 관찰하였다. 4다리가 모두 깔짚 위에 올려져 있을 시에 서기행동으로 간주하였고, 가슴이 깔짚에 닿았을 때, 가슴과 머리가 깔짚에 닿았을 때 눕기 행동으로 간주하였다.



그림 2. 깔짚시험 우사 및 깔짚적용 장면.

3. 실험3

전라북도 장수군 유전자뱅크에서 12주간 한우 깔짚으로 사용한 파쇄옥수수대를 pilot scale 발효조를 이용하여 퇴비화 특성을 평가하였다.

24~48개월령의 번식한우 100두를 공시하여 5x10m(50m²)인 20개 우방에 나누고 파쇄옥수수대 펠렛과, 톱밥을 건물기준 25kg/m²(톱밥기준 약 5cm 두께)로 각각 10반복으로 깔아주고 12주간 이용하였다.

사용한 깔짚의 퇴비화 조사는 내경 80x150cm인 원통형 발효조를 이용하였다. 발효조 하단에 산기관을 설치하고 Ring blower로 150L/min/m³의 공기를 주입하였다. 발효기간 동안 퇴비단의 온도, 수분함량, pH, 용적, 암모니아 발생량 등의 변화량을 조사하였다(그림 3).



그림 3. 깔짚시험 우사(왼쪽) 및 퇴비화 모형시설의 외부(오른쪽 위) 및 내부장치(오른쪽 아래).

〈제9세부과제〉 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가실증

1. 실험장치 및 방법

1) 마이크로버블 고액분리장치

마이크로버블을 이용한 고액분리기는 기체의 용해효율을 증가시키는 기체용해탱크와 고농도로 용해된 기체용해가압수를 마이크로버블화 시키는 마이크로버블 발생 모듈로 구성되어 있다. Fig. 1에는 기체용해탱크 내부의 기체용해과정을 모식적으로 나타내었다. 기체용해탱크의 가압공

간으로 피처리액(가압수 순환수)의 액포(기포집합체)를 형성시키는 액막화 기술을 적용, 기체와 액체의 접촉면적을 대폭 증가시켜 액체중에 기체를 고효율로 용해시키는 방법을 이용하고 있다. 이렇게 액포를 생성시켜 액막화하는 기술의 적용은 공급된 기체가 대부분 손실 없이 처리액에 용해, 헨리의 법칙에 따라 압력에 대응하는 용해도 부근까지 농도를 높인 고농도 기체용해액의 제조가 가능하다.

Fig. 2에는 마이크로버블 발생장치의 모식도를 나타내었다. 마이크로버블 발생원리는 기액 혼합류와 부압류의 충돌에 의한 전단력을 이용하는 방식으로 축산분뇨의 특성상 마이크로버블 생성장치는 고농도 분뇨 유입시에도 막힘 현상이 발생되지 않는 구조로 제작되어야 한다. 따라서 전단력을 이용한 마이크로버블 생성 방법은 막힘현상이 없고, 압력손실이 낮은 장점이 있다. 또한 비연속적 운전에서도 막힘 현상이 발생되지 않고, 내부식성의 재질로 농가에서 장기간 사용시에도 수리 및 유지보수가 거의 필요치 않는 간단한 구조로 제작되어져 있다.

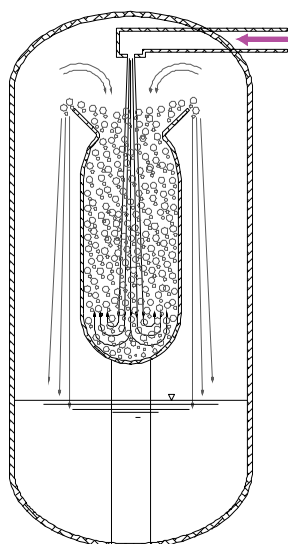


Fig. 1. 기체 용해 장치의 원리.

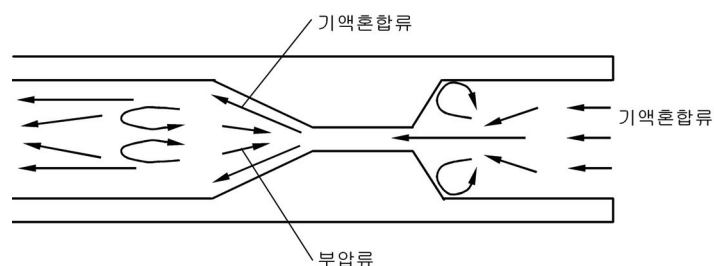


Fig. 2. 마이크로버블 발생 원리.

Fig. 3에는 고액분리장치 구성도를 나타내었고, Fig. 4에는 실제 농가에 설치된 고액분리기의 사진과 마이크로버블이 발생하는 모습을 나타내었다. 고액분리장치는 가압순환펌프의 성능을 높이기 위해 펌프 후단에서 공기를 공급하는 구조로 되어 있으며, 운전정지시에도 가압탱크는 자동 밸브에 의해 일정압력하에서 차단되어, 재 운전시에도 예비운전없이 고농도 기체가 함유된 순환수를 제조할 수 있는 구조로 되어 있다.

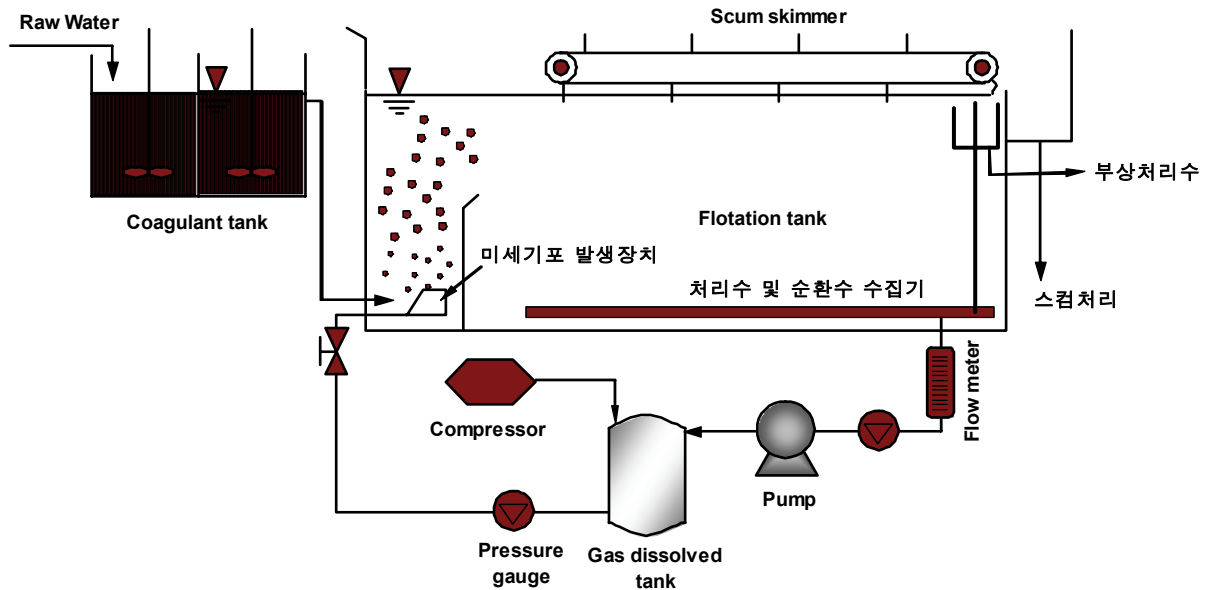


Fig. 3. 고액분리장치 구성도.



Fig. 4. 실제 농가에 설치된 마이크로버블 고액분리기 및 마이크로버블 발생 모습.

본 실험에 적용된 고액분리기의 특징으로는 A/S비의 조정이 불필요하다. 현장에서 부상장치가동전 적정한 A/S비 조정에 일반적으로 30분 이상 소요되나 본 고액분리기는 A/S비가 미리 조정되어져 있어 이러한 불편함이 해결한 장치이고, 운전조작에 있어서는 세부적인 조작도 가능하나 일반적으로는 순환가압펌프의 “ON”과 “OFF” 버튼만으로 운전 가능하다.

2) 마이크로버블 산소공급장치

마이크로버블을 이용한 산소공급 장치의 구성도를 Fig. 5에 나타내었다. 마이크로버블 산소공급 장치는 생물반응조(포기조)내의 물을 탈기장치로 유입시켜 탈기시킨 후 산소용해장치에서 고농도의 산소로 포화시킨 다음 다시 생물반응조로 재순환시키는 구조로 되어 있다. 산소공급장치의 전단에 설치된 탈기 장치는 산소이외의 다량의 기체로 포화된 생물반응조의 물에 대해 먼저

원활한 산소공급을 위해 탈기를 수행한다. 탈기과정에서 대기중의 산소가 일부 공급되어 탈기 효과와 함께 산소공급효과를 동시에 가진다. 이렇게 탈기과정을 거친 물을 산소공급장치로 도입하여 액막화 현상에 의한 산소 공급으로 다량의 산소가 공급된다. 산소공급장치에서 과포화된 물을 포기조내에서 마이크로버블 생성 장치를 이용하여 마이크로버블화 시켜 포기조내의 용존산소 농도를 증가시키게 된다.

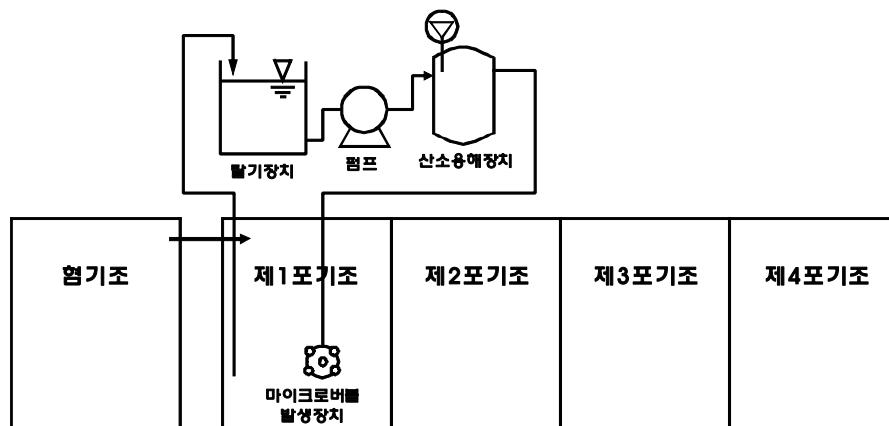


Fig. 5. 마이크로버블을 이용한 용존산소 공급 장치 구성도.

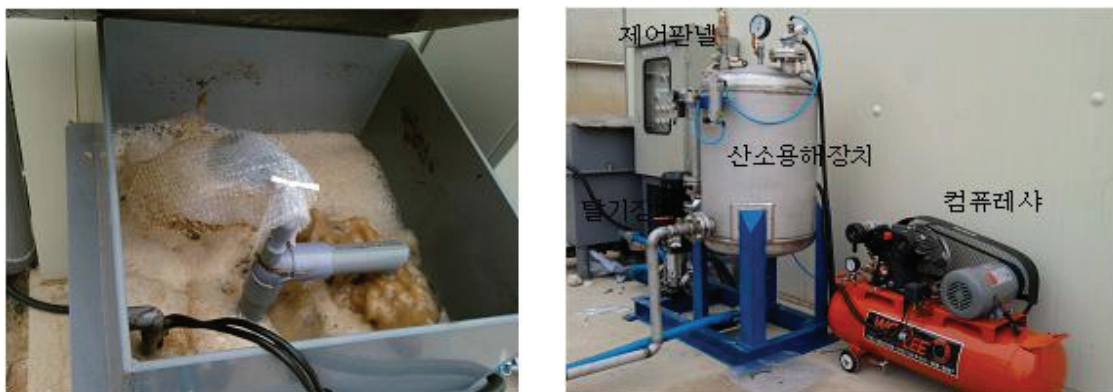


Fig. 6. 탈기 장치 및 용존산소 공급 장치.

Fig. 6에는 실제 농가에 설치된 마이크로버블 생성장치 실제 사진을 나타내었고, Fig. 7에는 생물반응조의 포기조에 마이크로버블을 이용한 산소공급 모습을 나타내었다.



Fig. 7. 마이크로버블을 이용하여 포기조에 산소를 공급하는 모습.

2. 가압부상에 의한 고액분리

부상법은 수중의 고형물 입자를 수면에 부상시켜 제거하는 방법으로서 분리기술의 단위조작임과 동시에 현탁입자의 선별·분리, 용질의 분별에 응용되는 중요한 단위조작의 하나이다. 부상하는 현탁입자에 기포를 붙일 수 있으면, 기체는 밀도가 현저하게 작기 때문에 일반적으로 입자의 부상속도를 현저하게 빠르게 할 수 있다. 또한 침강하는 입자라도 기포를 붙일 수 있으면 부상시킬 수 있으며, 이 방법은 일반적으로 현탁입자의 농축에 있어 침강법 보다 분리속도를 크게 하고, 농축율을 크게 할 수 있는 경우가 많다.

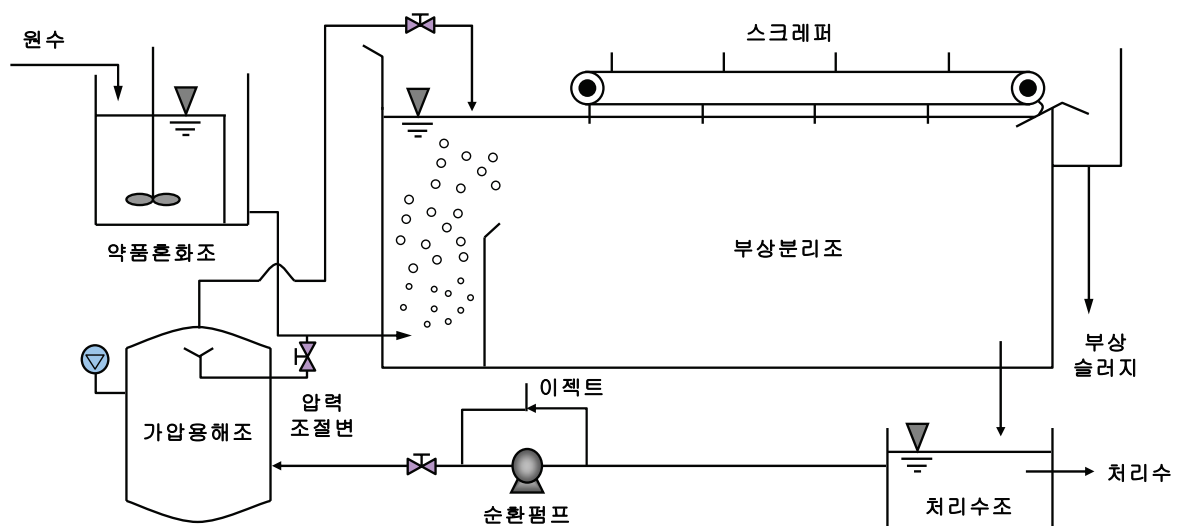


Fig. 8. 부상분리법의 흐름도.

가압부상법에서 중요한 것은 용존량의 문제이다. 현탁액 중에 다수의 미세기포를 발생시키면, 그것이 입자에 부착하고 기포자체의 부력에 의하여 상승한다.

미세기포와 입자간의 접촉부착의 메커니즘은 두 가지로 생각할 수 있다. 하나는 플럭 내부에 미세 기포를 포함하는 것으로 큰 플럭일수록 이 경향이 강하다. 다른 하나는 입자에의 기포 부착이다. 이 부착력은 2상간의 계면장력에 기인하는 분자간 인력이다. 부착강도는 기-고-액계에 작용하는 계면장력으로 추측할 수 있다. 즉 가압부상법은 물에 공기를 약 $3\sim5\text{ kg/cm}^2$ 의 압력으로 용해시켜(공기용해수라 한다.) 상압으로 복원시키면서 처리수와 혼합하는 방법이며, 일반적으로 처리수에 대한 공기용해수의 첨가량은 약 30% 정도이다. 또한 공기량을 많이 필요로 하는 폐수일 때는 폐수의 전량을 공기용해탱크(가압탱크라고도 한다)에 넣는 경우도 있다(전가압, 전량가압이라 한다).

가압부상법의 특징은 첫째, 기포보조에 의하여 부상속도를 크게 함으로써 설비를 작게 할 수 있고, 둘째 자연 상태에서 침강과 부상의 경계에 있는 물질을 분리하고, 셋째 위의 두 항의 효과를 올리기 위한 플럭의 조대화, 그리고 넷째 분리효과를 높이기 위한 pH 조정, 응집제의 주입 등이다.

1) 용해공기량

가압수의 용해공기량 측정은 용해조 설계에 필요 인자이다. 공기의 가압 용해는 Henry법칙에 따르나, 용해장치의 형식, 용해시간, 액 성상 등에 따라 포화용해량이 변화한다. Henry 법칙에 의하면 용해공기량은 압력 및 온도에 관계된다.

방출되는 공기량은 가압상태의 용해량과 대기압 상태의 용해량의 차이므로 이론적으로 다음 식이 성립한다.

$$V_G = C_{so}(P-1) \dots\dots\dots (1.1)$$

위 식에서 C_{so} 는 대기압하의 공기포화농도(mg/L), P 는 가압수 압력(atm), V_G 는 가스 방출량이다. 식(1.1)에 의하여 방출 가스량과 가압력은 직선관계이다. 실제로 가압수로 사용하는 물에서 방출 가스량을 측정한 결과를 Fig. 6와 같이 작성하고, 이론 방출 공기량과 비교하여 분석하여 본다. Fig. 6에서, $\beta=P/P_1$ 라면, 실측치의 관계식은 다음 같이 표시된다.

$$V_G = C_{so}(\beta P-1) \dots\dots\dots (1.2)$$

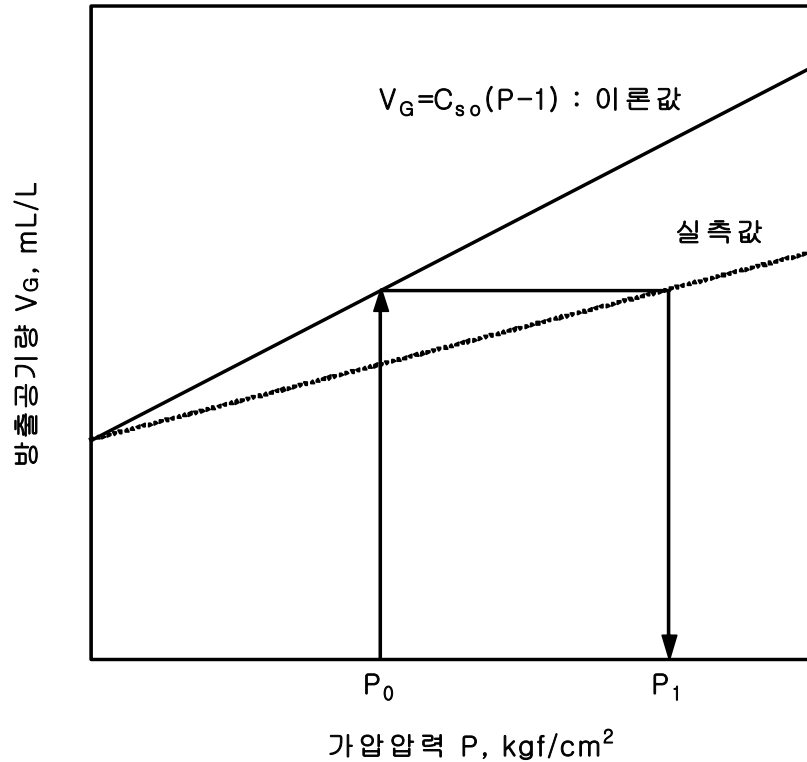


Fig. 9. 압력과 실제 방출공기량과의 관계.

각종 처리 원수에 대하여 β 값을 구해두면 일일이 실험할 것 없이 식(1.2)를 이용하여 방출공기량을 구할 수 있다.

2) 가압용해조

가압수량, 압력, 가압방식(전량가압, 부분가압), 용해효율 f 등을 실험으로 구하고, 그 자료에 의하여 가압용해조의 크기가 결정된다.

가압액의 단위체적당 방출되는 공기량은 압력에 정비례하므로, 압력이 증가하면 유출수 고형물 농도는 감소하고, 부상 고형물 중의 농도는 증가한다.

가압조 내의 공기 용해효율은 가압용해 시스템에 따라 다르나, 일반적으로 체류시간 3~5분으로 용해효율 $f = 50 \sim 60\%$ 정도이다. Hays에 의하면, 용해효율은 가압조 체류시간과 거기에 공급되는 공기량에 관계되며, 공기량을 4.5~10.6 (L공기/L액체)로 한 경우 1.0분 및 2.5분의 체류시간에 대한 공기포화도(용해율)는 각각 20~35%와 36~98%인 것으로 보고되고 있다

Eckenfelder에 의하면, 공기-고형물비(A/S), 공기의 흡수율(S_a), 압력(P) 및 고형물 농도(S_c)간에는 다음 관계식이 성립한다.

$$\text{전량 가압의 경우 : } \frac{A}{S} = \frac{1.3S_a(fP-1)}{S_c} \dots\dots\dots (1.3)$$

$$\text{부분 가압의 경우 : } \frac{A}{S} = \frac{1.3S_a(fP-1)Q_R}{S_cQ} \dots\dots\dots (1.4)$$

$$\text{단, } P(atm) = \frac{p+101.35}{101.35}$$

위 식에서 A/S (mg 공기/mg 고형물), S_a (mL/L), f 는 가압조 압력 P 일 때의 공기용해효율로서 보통 0.3~0.8, S_c (mg/L), Q_R 은 순환 가압수량(m^3/d), Q 는 유입유량(m^3/d), 계수 1.3은 1 mL 공기를 mg로 고치기 위한 환산계수이고, 괄호내(-1)은 부상조가 1기압하에 운전됨을 나타낸다. p 는 부상 압력(kPa)이다.

3) 기존의 가압부상법과의 차별성

본 연구에 적용된 고액분리기는 기존의 가압부상법과 비교하여 공정의 흐름도는 유사하나 가압부상법의 핵심요소인 가압수의 생성방법과 부상에 필요한 마이크로버블 생성 방법에서 큰 차이를 나타낸다. 본 고액분리기는 부상분리 효율뿐만 아니라 운전조작에 있어서도 기존 기술과 차별화 된다. 일반적으로 가압부상법은 A/S비 조정과 같은 예비조정이 필요하나 본 기술은 기체용해탱크에서 기체용해율이 결정되고 빠른 시간안에 가압수가 생성되므로 예비조작 없이 바로 운전이 가능하다. 또한 자동운전에 의하여 시스템의 운전 및 정지가 가능한 특징이 있다.

3. 생물반응조의 산소공급 방법

1) 기포의 직경에 따른 산소 공급 효율

디스크형 포기 방법의 기능적 장점은 미세기포의 배출에 있다. 배출되는 미세기포는 물과의 접촉 표면적을 증가시켜 산소 전달 효율을 증가시킨다. Table 1에 기포 직경에 따른 표면적을 비교하여 나타내었다.

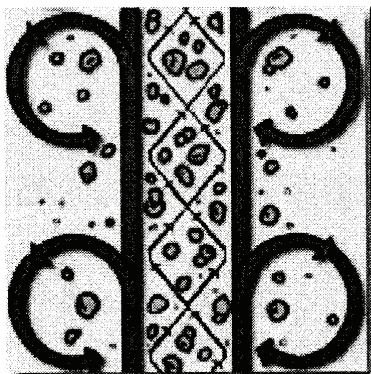
Table 1. 기포 직경에 따른 표면적 비교

직경(mm)	기포수	기포의 총 부피(mm^3)	기포의 총 표면적(mm^2)	표면적 증가율
25.4	1	8,584	2,028	1
12.7	8	8,584	4,055	2
6.35	64	8,584	8,109	4
3.175	512	8,584	16,221	8
0.254	1,000,000	8,584	202,765	100

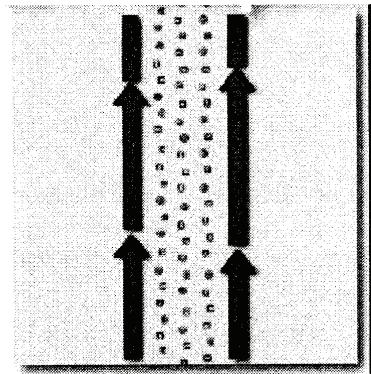
2) 부상속도에 따른 산소 공급 효율

작은 기포는 부력을 작게 하여 기포의 부상속도를 0.3 m/sec 미만으로 감소시켜 수중에서의 노

출시간이 증대되어 산소 전달을 용이하게 한다.



층류상부상(0.31 m/sec 이하)



난류상부상(0.45 m/sec 이상)

Fig. 10. 층류성 부상 및 난류성 부상의 비교.

또한 느린 부상속도는 Fig. 10과 같이 층류성 부상으로 난류성 부상에 비해 작은 물기둥으로 마찰이 적게 부상하는 특징이 있으며, 이에 반해 난류성 부상은 저항의 증가로 몇 배의 동력이 더 요구되며 기포의 빠른 상승으로 낮은 산소 흡수 효율을 나타낸다.

3) 생물반응조의 포기법

○ 기존의 산소공법 방법

활성슬러지 공정에서 포기의 역할은 산소를 효율적으로 용해하는 것과 포기조내의 혼합 및 교반이다. 활성슬러지처리에 있어서 유기물의 처리는 호기성 미생물의 대사 작용에 근거하는 것으로 생물성 슬러지에 유기물이 흡착, 산화와 동화 그리고 플록의 형성 단계를 거치면서 하수의 정화가 진행되어 진다. 이 생물화학적 반응에 불가결한 것이 용존산소이며, 미생물의 호흡 활동에 필요하다. 또한 이 반응을 신속하게 진행시키는 동시에 혼합 및 교반도 중요하며 이러한 교반과 혼합에 의해 미생물과 유기물의 접촉 효과가 촉진된다. 또한 미생물의 분해로 인해 생성되는 탄산가스의 탈기 및 활성슬러지의 침전 방지라는 중요한 작용을 한다.

포기 장치는 활성슬러지법이 고안(1913년) 된 이래, 오늘날까지 여러 방법들이 개발되어져 왔다. 포기 장치는 활성슬러지에 의한 정화의 중심이며 동력 소비도 많기 때문에 포기방식이나 장치의 선정에 충분한 검토가 필요하다.

포기방식이나 장치를 선정할 경우, 주로 다음과 같은 항목에 대해 평가 및 검토가 실시된다.

- 기능성 : 포기효율, 운전 조작의 용이성, 기능성의 폭
- 유지관리성 : 관리의 용이성, 보수 점검의 용이성
- 경제성 : 건설비, 운전비용, 보수 점검 비용

또한 포기 방법으로는 크게 다음과 같이 3가지로 분류하게 된다.

- 산기식
- 기계 교반식
- 병용식

○ 기존의 포기장치 및 포기방법

- 포기식 산기장치

포기조내의 산소공급은 보통 블로워(송풍기)로 공기를 포기조내로 공급하게 된다. 이때 산소 산소 용해 효율은 기포가 작을수록 접촉 면적이 크게 되어 산소 용해 효율이 좋아진다. 현재 많은 종류의 산기장치(diffuser)가 개발되어 실용화 되고 있다. 작은 기포를 발생시키기 위해서는 보다 많은 동력과 또한 산기장치가 폐쇄되기 쉬운 단점도 있어 산기장치의 선정에 주의가 필요하다. 다음 Fig. 11는 산기판 형태의 산기장치를 나타내었다. 산기판은 포기조 바닥에 설치하고 상승하는 기포에 의해 선회 유동을 할 수 있게 만든 것이다. Fig. 12와 Fig. 13에 원형식 산기판과 디스크 산기판을 각각 나타내었다.

이하의 그림에서와 같이 산기장치는 포기조내의 산소공급과 함께 혼합 및 확산을 원활하게 할 수 있는 구조로 되어 있다.

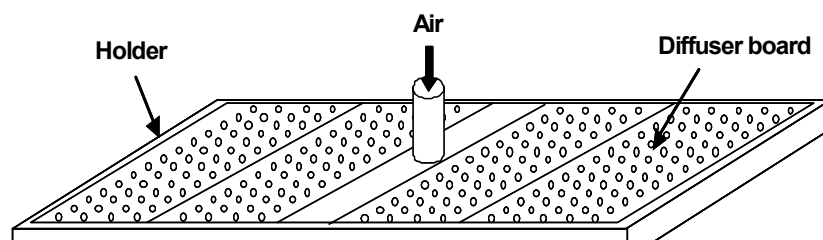


Fig. 11. 산기판(Perforated diffuser)의 모양.

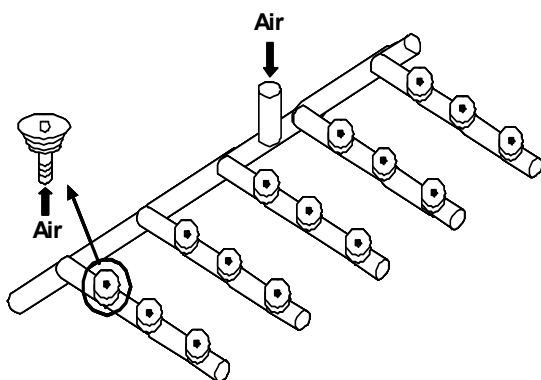


Fig. 12. 원형식 산기판.

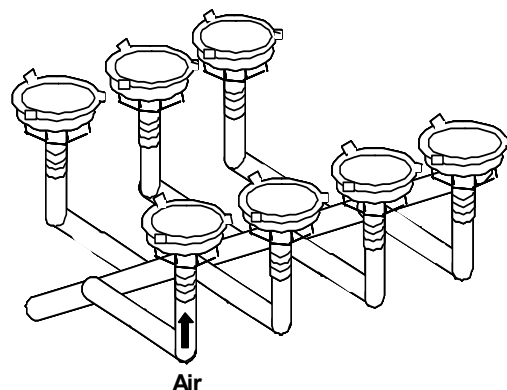


Fig. 13. 디스크 산기판.

- 포기방식

① 선회류 방식

물의 흐름과 평형하게 반응조의 저면 한 쪽에 산기 장치를 배치하여 공기의 확산 흐름에 의해 수류가 선회류로 흐르게 하는 방식

② 전면 에어레이션 방식

기포입자가 작은 산기판을 반응조의 저면 전체에 배치하여 미세한 기포를 반응조 전체에 분산되게 하여 산소 이동 효율을 높이는 방식

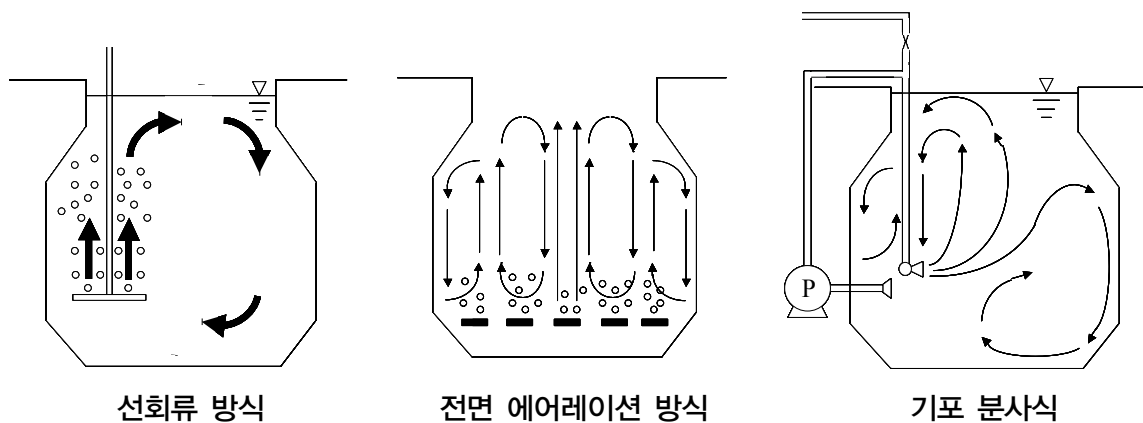


Fig. 14. 생물반응조의 각종 포기 방법.

③ 기포 분사식

탱크내 혼합 액을 펌프에 의해 순환시켜, 그 에너지로 의해 노즐로부터 미세거품이 섞인 기액 혼합 액을 탱크 내부에 고속으로 분사시키는 것으로 산소이동 효율을 향상시키는 방식이다.

- 산소 포기법

산소포기법은 활성슬러지 변법으로 활성슬러지의 기능을 높이기 위해 포기용 공기 대신 산소를 이용하는 것으로 산소 용해도를 3~5배 정도 높게 유지할 수 있는 하수처리법이다. 산소를 이용하기 위해서는 대규모 하수처리장에서는 산소 가스 발생 장치가 필요하게 되고, 산기장치도 산소 가스를 유효하게 포기하기 위해서 복잡한 편이다. 현재 이 에어레이션법은 산소 공급 방법에 의해 여러 가지로 분류되고 있다. 그 중 밀폐형 다단 산소 포기법이 많이 이용되고 있으며, 밀폐식이라 산소의 이용 효율을 높이고 내부는 2~4단의 칸막이 구조로 되어 있다. 유입하수는 반송 슬러지와 함께 반응 탱크 제1단에 공급되어, 제1단의 상부에서 공급된 고농도 산소 가스로 포기를 실시한다. 혼합액과 포기가스는 순차 포기되면서 병류 흐름으로 후단에 보내진다. 또한 반응조내 공급된 산소가스는 순차적으로 재이용되기 때문에 약 90%가 이용된다. 산소의 공급은 제1단의 상부 압력을 검출함으로써 자동적으로 조절된다. 즉 유입 부하가 증가하면 반응조내의 압력이 떨어져 산소의 공급량이 증가하고 반대로 부하가 내려가면 반응조내 압력이 증가하므로 산소

의 공급이 감소하게 된다.

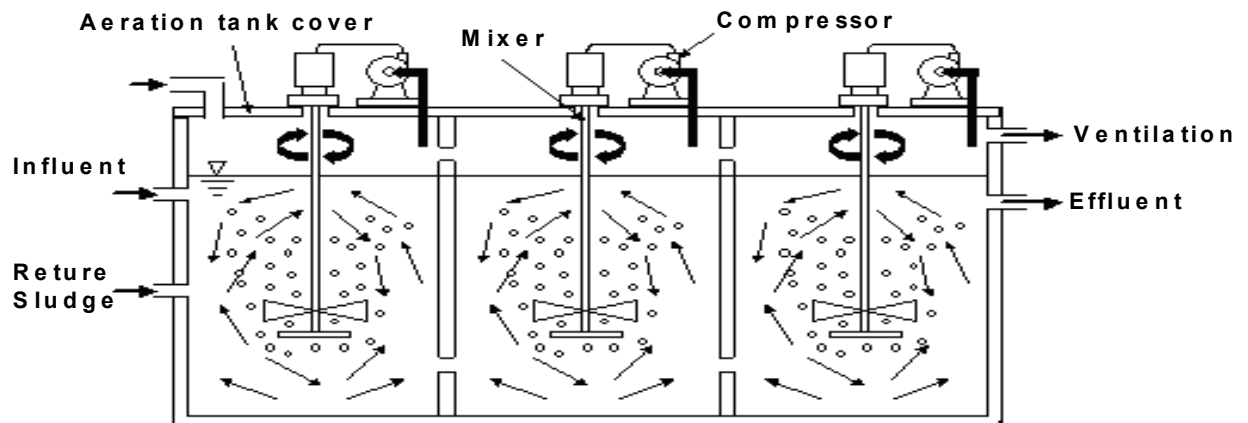


Fig. 15. 다단 산소포기 방식.

- 멤브레인식 산기 장치

멤브레인식 산기장치는 탄력성이 있는 얇은 막으로 지름 0.2~1.0 mm 정도의 가는 구멍 또는 슬릿을 넣고 그 미세 구멍을 통해 기포를 발생시키는 방식의 산기장치이다. Fig. 16에 나타낸 것과 같은 구조적인 특징을 가지고 있다. 송풍 정지시에는 가는 구멍이 막의 탄성 및 두께에 의해 닫히고, 물의 수압에 의해 막은 하부의 지지체에 밀착되어 물이 산기장치 안으로 침투되지 않게 되어 있고 공기가 공급되면 내압이 상승하여 막이 부풀어지면서 미세 구멍으로 기포가 발생된다. 막의 재질로는 복수의 탄성막이 실용화되고 있으며, 하수도용으로는 폴리우레탄 또는 EPDM이 사용되고 있다.



Disk type



Tube type

Fig. 16. 멤브레인식 산기장치.

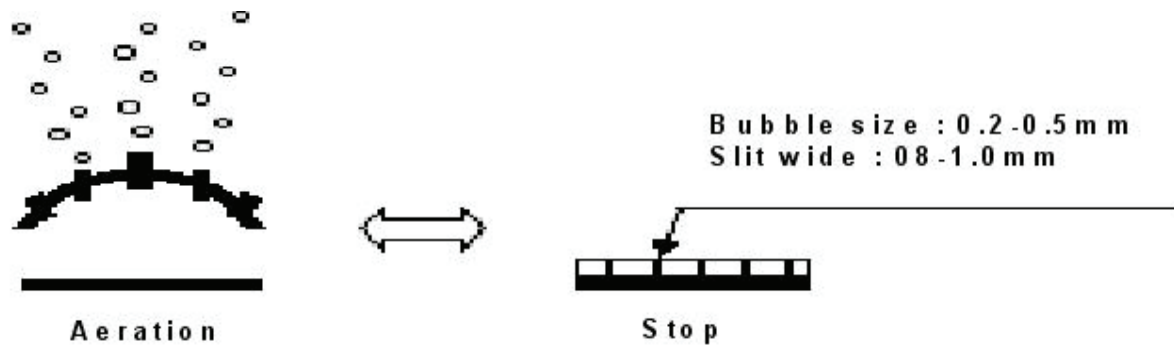


Fig. 17. 멤브레인식 산기장치의 원리.

4) 탈기에 의한 액막식 산소 공급법

물의 액막을 이용한 새로운 산소공급 방법인 액막식 산소공급법과는, 종래의 포기조에 본연구로 고안한 액막식 산소공급 장치를 씌우는 것에 의해, 산소공급의 대상이 되는 물을 모두 액막화(물의 막으로, 수중이 아니게 수면위로 존재하는 물의 거품을 가리키는) 해서 대기에 접촉시켜, 막의 내외에서 산소를 공급하는 것에 의해, 보통 포기의 산소용해 효과에 액막화에 의한 산소용해 효과를 더하는 것으로 의해 산소용해 효율을 향상시킨다고 하는 것이다. Fig. 18에 액막식 산소공급의 단면개념도를 내보인다.

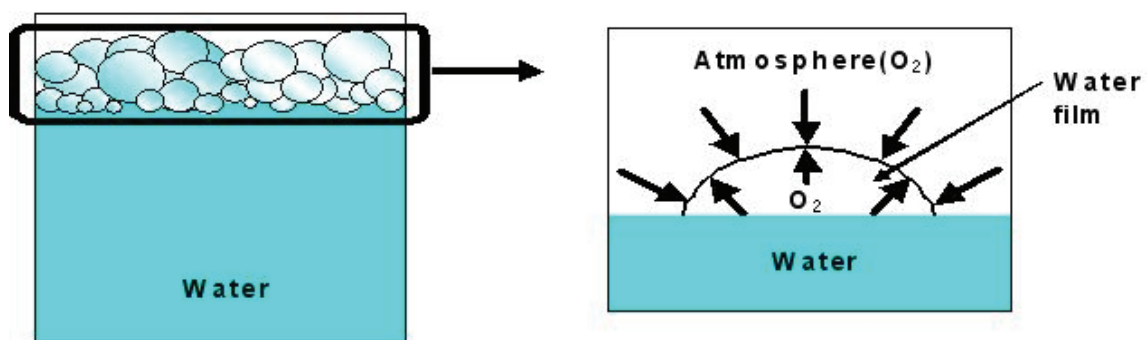


Fig. 18. 액막식 산소공급의 단면 개념도.

5) 산소용해효율 평가

산소용해효율(E_A)는 산기식 포기, 즉 송풍기의 공기를 수중에서 산기하는 포기방법에 대하여 사용되어지는 효율이며, 포기 장치의 성능 평가나 비교 에너지의 효율을 검토할 경우 중요한 지표이며, 수중에서 산기하는 공기의 산소 중량에 대한 산소이동속도(용해 산소중량)의 비율로 나타낸다.

- 총괄산소이동계수

2 중 경계막설에서 기체와 액체 상태의 접촉면(계면)의 양측에 물질이동에 대한 저항을 모델화한 가스경막과 액체경막을 가정하고, 접촉면상에서는 항상 기액평형이 성립한다고 가정한다.

공기중의 산소농도가 액체로 이동할 경우 공기중의 산소농도는 난류상태하에서 일정하다고 가정한다. 또 액측도 포기에 의한 혼합 교반 작용으로 산소농도는 일정하다고 가정할 수 있다. 따라서 산소이동에 대한 저항은 양쪽 경계막내에 존재하는 것 이외는 없는 것으로 가정한다. 산소와 같이 물에 녹기 어려운 난용성 가스의 경우 액체 경계막 저항보다 가스 경계막 저항쪽이 훨씬 작게 된다.

액측의 경계농도를 C_i , 기상중의 산소분압 P 에 평형이 되는 C_s 라 하면 산소이동현상은 액경막 내의 분자확산에서 설명할 수 있다.

Fick의 확산법칙에 따라 분자이동속도는 다음과 같이 정의된다.

$$N = -D \cdot A \frac{dC}{dx} \dots\dots\dots (1.5)$$

식 (1.5)에서 2중 경막설을 적용하면, 산소이동속도는 식 (1.6)과 같이 된다.

$$N = -D \cdot A \frac{C_s - C}{\delta_L} = \frac{D}{\delta_L} \cdot (C_s - C) = K_L \cdot A(C_s - C) \dots\dots\dots (1.6)$$

N =면적 A 를 통과하는 산소이동속도, kg/hr

D =확산계수, m^2/hr

A =기액접촉면적, m^2

dC/dx =기액 접촉면적에 대한 연직방향의 농도구배, $kg/m^3 \cdot m$

δ_L =액경막의 두께, m

K_L =물질이동계수, m/hr

C_s =기액 접촉면적에서 액상에서의 포화산소농도, kg/m^3

C =액상의 산소농도, kg/m^3

식 (1.6)은 체적(V)내에서 산소이동속도를 고려하면, 단위 체적당의 기액접촉면적은 $A/V = a(1/m)$ 가 된다. 그러나 a, K_L 의 실측은 곤란하기 때문에, 일반적으로 $K_L \cdot A/V$ 를 $K_L a$ 로서 일체화시켜서 산소이동을 설명한다.

단위용적당 산소이동속도는 단위시간당 체적내에서의 농도 변화를 의미하므로 식 (1.7)과 같이 표시할 수 있다.

$$\frac{N}{V} = \frac{dC}{dt} = K_L a(C_s - C) \dots\dots\dots (1.7)$$

$K_L a$ =총괄 산소 이동 용량 계수, $1/hr$

dC/dt =단위 시간당의 농도 변화, $kg/m^3 \cdot hr$

〈제10세부과제〉 가축분뇨 액비 살포장치 개발

1. 실험장소

밤나무는 타 과수에 비하여 조방재배가 가능하지만 양호한 생육을 도모하고 경제적인 수익을 얻으려면 평탄지나 완경사지가 적당하다. 경사지는 15도 미만의 완경사지가 대개 겹흙의 깊이가 깊고 배수, 일조량, 통풍 등이 양호하여 비배관리가 양호하다.



그림 1. 밤나무 밭 살포지 전경.

그림 1은 위의 조건을 만족하는 충청남도 부여군 은산면 가중리에 약 1000평의 면적이다.

2. 실험 설계

실험은 모의시험과 현장시험으로 나누어 실험하였다. 실험기간은 2008년 3월부터 동년 10월까지 이루어 졌으며 모의시험은 직경 20mm, 길이 4m 배관 3개를 연결하여 총 길이 12m로 연결하였다. 펌프(한일 Co.)는 최고 압력이 0.4kgf/cm²이며 소압력(0.01kgf/cm²), 중압력(0.25kgf/cm²), 대압력(0.4kgf/cm²)으로 나누어 측정하였다.

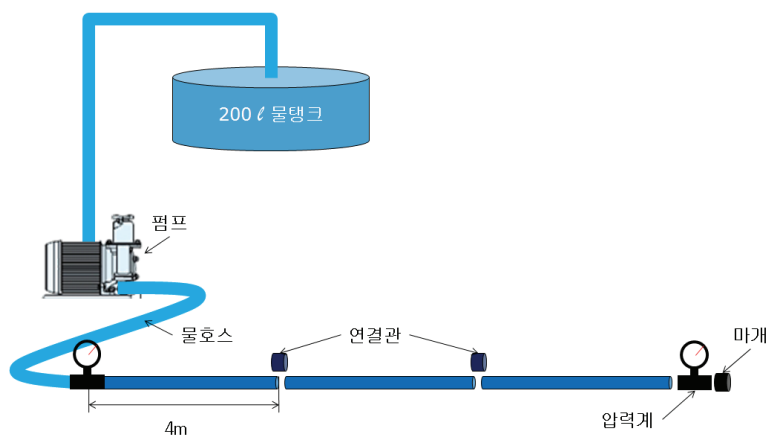


그림 2. 살포 실험 모형도.

사용하고자 하는 액비는 중농도 액비로 단순하면서도 이용이 용이하게 호스에 구멍을 뚫어 사용하고자 하였다. 노즐이나 점적관수에 사용되는 호스는 막힐 염려가 있어 고려하지 않았다. 호스로 운송 살포할 경우에 살포량은 배관내의 마찰저항에 의하여 길이가 길어질수록 감소한다. 관련식은 아래와 같으며 살포 유량은 배관의 지름, 압력차이에 비례하나 배관 길이에는 반비례한다는 것을 알 수 있다. 동점성 계수는 점성 계수를 유체의 밀도로 나눈 값이다. 그 관계를 알아보기 위하여 살포 실험을 배관에 1m 간격으로 3mm 크기의 구멍을 내어 재료는 수돗물로 하여 수행하였다. 그 결과는 아래와 같다.

$$\dot{V} = \frac{\pi r^4 (p_1 - p_2)}{8 \eta l}$$

\dot{V} 유량 r 배관의 반경 $p_1 - p_2$ 배관압력차
 η 동점성계수 l 배관의 길이

표 2. 돈분뇨 액비성분

고 형 물	유 기 물	질 소	인	가 리	마그네슘	pH
1.00%	0.41%	0.13%	43.41ppm	0.21%	13.68ppm	8.99

1) 모의시험

그림 3은 액비 살포 대체 모의실험으로서 배관내의 마찰저항을 최소화 하기위하여 일직선상으로 배관을 설치하였다. 1분을 정확하게 측정하기 위하여 1/100초 초시계를 사용하였다.

액비 살포 대체 모의실험 결과 값을 정확하게 측정하기 위하여 1000ml와 500ml의 매스실린더를 사용하였다.



그림 3. 모의실험 장면.

2) 현장실험

그림 4는 20톤 용량의 저장탱크를 끌어올려 밤나무 밭 위쪽에 설치하여 배관연결 작업을 하고

있는 사진이다. 주 배관은 50mm PE관이며 지관은 25mm PE관을 사용하였고, T자관과 밸브를 사용하여 전체적으로 살포가 가능하도록 하였다.

그림 5는 밤나무 밑에 액비를 살포하는 방법으로 밤나무에 직접 살포 되지 않고, 나무에서 약 1m 떨어진 곳에 살포하도록 하였다. 이유는 나무에 직접 액비를 살포할 경우 짙은 농도의 질소가 나무에 피해를 줄 수 있기 때문이다.



그림 4. 액비저장 탱크 운반 및 설치.

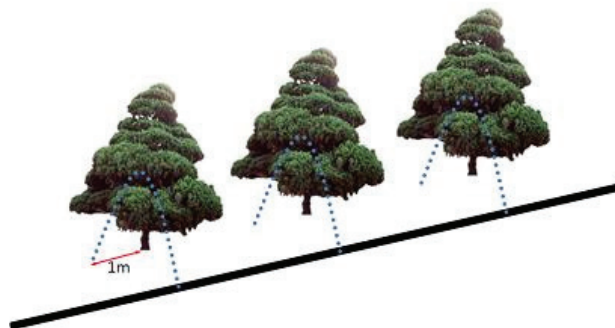


그림 5. 액비 살포 방법.

비닐하우스에 적합한 소형 액비살포기를 설계, 제작하였다. 살포장치의 구성은 권취기, 유압모터, 유압실린더, 배출장치, 호스, 3점링크히치, 호스고정장치, 프레임 등으로 되어있다. 살포 시스템은 일체형과 분리형으로 나뉘어진다. 소형트랙터와 액비탱크차는 기존의 것을 이용하도록 한다.

시중에 나와 있는 호스는 납작하게 접히는 호스와 둥근 호스로 구분된다. 납작하게 접히는 호스는 지름 38, 50, 65mm가 있으며, 아래 그림 1은 호스릴과 배출장치, 프레임을 보여주고 있다. 살포 폭은 대의 길이를 조절하여 좁으로서 가능하다. 작업 중 선회 등에 의한 호스의 꼬임을 방지하는 장치가 이중으로 되어 있다.



그림 1. 납작 호스용 액비살포기.

그림 2는 둥근 호스용 살포장치이며 호스 직경은 32, 50mm가 있고 호스가 가지런히 감길 수 있도록 해주는 장치가 있다. 호스의 길이는 100m 정도는 되어야 하며 유압모타로 감게 되어 있다. 배출호스 끝 부분에는 플라스틱틀이 있어 여기에 충돌되어 액비가 확산되도록 하였다.



그림 2. 둥근 호스용 액비살포기.

살포작업은 충남 부여군 은산면에 소재한 농가의 비닐하우스에서 실시하였다. 비닐하우스 10동에 수박을 재배하는 농가로 연작피해를 방지하기 위하여 벼를 재배하였다. 벼 수확 후 벼짚은 절단하여 그대로 토양위에 깔아 놓은 상태였다.

〈제11세부과제〉 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC 평가 연구

1. 분석의 흐름도

LCC분석을 위하여 우선 프로젝트 인자별 비용분석구조를 구축하는데, 각 공정단계별 비목선정의 기준을 설정하고, 비용산출의 기준을 표준화한다. 이를 위하여 원가분석명세의 체계도를 작

성한 후 원가분석의 신뢰성 검증 방법 및 절차를 수립한다. 그리고, 각 인자별 발생 비용의 현재 가치 환산방법을 설정하여 산출하게 된다.

분석의 흐름도는 아래와 같다.

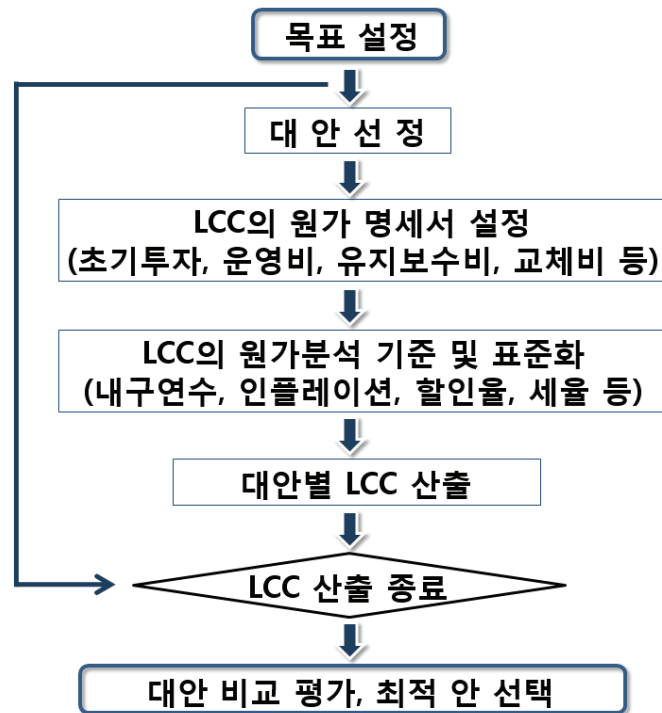


그림 1. LCC 분석 흐름도.

2. 공사비(PV) 산출 방법

LCC 분석의 방법은 아래와 같다.

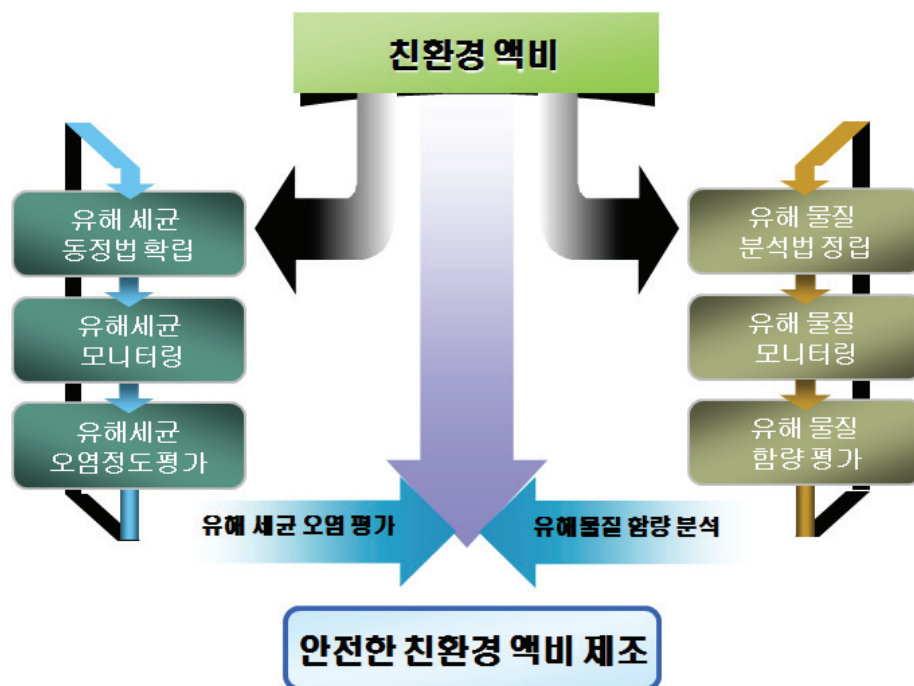
- 공사비 $PV = F_t \times 1 / (1+d)^t$
- 운영비 $PV = A_0 \times \sum (1/(1+d)^t)$
 $PV' = A_0 \times \sum [(1+e)/(1+d)]^t$
- 시설교체비 $PV = F_t \times 1 / (1+d)^t$

〈제12세부과제〉 가축분뇨 액비의 유해물질 관리

1. 연구개발의 추진전략

액비 중 유해물질 분석법을 정립하기 위해 분석 SOP 정립 및 실험실 관리 매뉴얼 작성 및 자

체 정도관리 체계를 확립하고, 액비 중 유해물질 모니터링과 액비 생성원인별 중금속 함량을 측정하며, 액비 연용에 따른 토양내 유해물질 잔류량 평가와 액비시용에 따른 중금속 작물흡수 이행모델의 개발이 수행된다. 또한, 액비 중 유해미생물 동정법을 비교검토 하기 위해 식약공전 동정법과 FDA 동정법을 비교 분석하여 오염 가능 세균의 동정법 확립 (대상균 : E. coli 0157:H7 & Salmonella) 한다. 액비 중 유해세균 모니터링을 위해 액비 샘플 중의 유해 세균 오염 정도 분석하고, 액비 샘플 중 동정 된 유해 세균의 종류를 분류하며, 토양-물-작물체 유해 세균의 오염 정도를 평가하기 위해 토양-물-작물체 유해 세균의 오염 정도 분석 및 평가를 실시토록 함.



2. 연구 내용

1) 액비 시료채취

액비의 시료채취는 전국의 가축분뇨공동자원화 시설, 액비유통센터 및 자영 축산농가 등 15지점을 선정하였고 지역별 시료 채취지점은 표 1과 같다.

표 1. 시료채취지점

구분	경기	강원	충북	충남	전북	전남	경남	계
공동자원화시설					1	1		2
액비유통센터		5	3	1				9
자영축산농가	3						1	4
계	3	5	3	1	1	1	1	15

시료 채취는 4월, 6월, 8월, 10월에 시기별 완숙액비 포장시용 가능시료를 각각 10, 12, 8, 3점을 채취하여 총 33점 채취하여 분석재료로 사용하였다.

2) 액비의 중금속 분석

액비 중 중금속 함량은 수질오염공정시험법에 의거하여 수집한 액비 20 ml를 250 ml kjeldahl flask에 평량 후 conc. HNO₃ 20 ml를 가한 후 하루 밤 방치 후 전열판에 올려놓고 서서히 온도를 높여 250℃에서 2시간 가열 후 냉각하였고 여과 후 기기분석시료로 사용하였다. 수은을 제외한 중금속의 분석은 ICP-OES (GBC Integra XMP, Australia)를 이용하여 측정하였다. 수은의 경우 자동수은분석기(Direct Mercury Analyzer, DMA80, Milestone, Italy)에 직접 액비원액을 주입하여 분석하였다(EPA method 7473).

3) 액비의 미생물 분석을 위한 시료준비

액비 25 ml를 buffered peptone water 225 ml이 담긴 멸균된 stomacher bag에 넣어 10배 희석한 뒤에 stomacher (easyMIX, AES CHEMUNEX, FRANCE)를 이용하여 2분간 균질화하였다. 균질화된 sample은 buffered peptone water 를 이용하여 10배씩 연속 희석하였다.

4) 총호기성균, 대장균군/대장균의 정량적 분석

총호기성균 (total aerobic bacteria) 의 정량적 분석을 위해서 위에서 준비한 시료 1 ml 을 Petrifilm Aerobic Count Plate (3M)위에 분주하여 37℃에서 24-48시간 배양하였다. 배양 후 Petrifilm 위에 형성된 colony 를 계수하여 colony-forming unit(CFU)/g으로 나타내었다. 또한 대장균군(coliform) 및 대장균(*Escherichia coli*)의 정량적 분석을 위해서는 Petrifilm E.coli/Coliform Count Plate (3M)에 분주하여 37℃에서 24-48시간 배양하였다. 배양 후 기포를 가진 blue colony를 *E. coli* 양성으로, 기포를 가진 red colony 와 기포를 가진 blue colony 를 coliform 양성으로 간주하여 계수하였다.

5) *Salmonella* Typhimurium 동정 및 오염수준의 정성적 분석

*S. Typhimurium*의 정성적 분석은 식품공전의 방법에 의해 실시되었다. 검체 25 ml를 무균적으로 취하여 buffered pepton water (BPW, Difco, USA) 225 ml 이 담겨진 멸균된 stomacher bag 에 넣어 stomacher 를 이용하여 2분간 균질화 한 다음 37℃에서 24시간 동안 incubation 하였다. 증균된 액의 1 ml 을 Buffered Rappaport- Vassiliadis Broth (Difco, USA) 9 ml에 넣어 42℃에서 24시간 동안 배양되었다. 2차 증균 배양된 액은 Xylose lysine desoxycholate agar (XLD, Difco, USA) 에 streaking 하였고, 37℃에서 24시간 동안 배양되었다. 배양 후 의심되는 colony는 latex test 로 확인하였고, 더욱 정확한 확정을 위해 colony 를 Tryptic Soy Agar (TSA, Difco, USA)에 계대한 후, API kit (API 20E) 와 Real Time PCR 사용에 의해 *S. Typhimurium* 를 최종 확인하였다.

6) *Esherichia coli* O157:H7 동정 및 오염수준의 정성적 분석

E. coli O157:H7 정성적 분석은 식품공전의 방법에 의해 실시되었다. 검체 25 ml를 무균적으로 취하여 novobiocin antimicrobial supplement (Bacto™ Oxford antimicrobial supplement, Difco)를 첨가한 EC Medium, Modified (mEC, Difco, USA) 225ml 가 담겨진 멸균된 stomacher bag 에 넣어 stomacher 를 이용하여 2분간 균질한 후 42℃에서 24시간 동안 incubation 하였다. 증균된 액은 Sorbitol MacConkey agar (SMAC; Difco) 에 streaking 하였고, 37℃에서 24시간 동안 배양되었다. 배양 후 의심되는 colony는 latex test 로 확인하였고, 더욱 정확한 확정을 위해 colony 를 Tryptic Soy Agar (TSA, Difco, USA)에 계대한 후, API kit (API 20E) 와 Real Time PCR 에 의해 *E. coli* O157:H7 를 최종 확인하였다.

제2절 연구결과

〈제1세부과제〉 가축분뇨 활성오니정화시설의 이용성 개선 연구

1. 농장운전 현황 조사

1) 공정별 평균 수질

2007년 6월 27일부터 2009년 4월 1일까지 각 농장의 활성오니공정별 시료를 채수하여 분석한 결과를 표 3.1에 나타내었다.

표 3.1. 각 공정별 평균수질

단위(-, °C, mg/L)

구 분	pH				BOD				SS			
	원수	1차처리	폭기조	방류	원수	1차처리	폭기조	방류	원수	1차처리	폭기조	방류
농장1	7.52	7.71	6.17	5.47	9,874	2,315	4,062	61	11,251	3,401	24	9
농장2	7.87	8.03	7.38	6.33	28,786	2,729	3,680	30	32,509	7,321	106	17
농장3	7.63	7.99	7.25	6.24	39,147	1,779	4,663	38	26,541	6,185	68	9
농장4	8.47	-	6.88	6.93	2,118	-	5,041	40	2,842	-	56	32
농장5	8.33	-	7.90	7.98	2,820	-	5,748	162	7,003	-	67	71

구 분	용해성 T-N				PO ₄ ³⁻ -P				Na ⁺			
	원수	1차처리	폭기조	방류	원수	1차처리	폭기조	방류	원수	1차처리	폭기조	방류
농장1	1,492	1,484	258	273	66	71	41	34	240	286	255	249
농장2	3,195	2,157	648	561	132	31	24	14	201	253	269	267
농장3	3,076	2,194	684	685	139	43	115	18	290	250	328	311
농장4	724	-	152	157	70	-	34	12	124	-	86	86
농장5	2,593	-	156	250	133	-	30	29	177	-	138	145

구 분	K ⁺				Mg ²⁺				Ca ²⁺			
	원수	1차처리	폭기조	방류	원수	1차처리	폭기조	방류	원수	1차처리	폭기조	방류
농장1	1,588	1,803	1,272	1,169	330	164	91	79	526	305	138	130
농장2	2,617	2,241	2,181	1,857	791	236	127	165	945	455	179	224
농장3	3,131	2,035	1,932	1,712	716	506	343	185	1,016	426	233	181
농장4	551	-	440	424	109	-	27	34	306	-	94	97
농장5	2,163	-	836	846	263	-	67	59	454	-	153	149

활성오니공정을 근간으로 응집제를 사용하여 물리화학적 방법으로 전·후 처리하는 3개소 농장과 스크린, 침전조등 물리적 방법으로만 전·후 처리하는 2개소 농장의 방류수 BOD, SS등의 농도는 대부분 방류수수질기준 이내로서 처리방법 상이에 따른 큰 차이는 없었다. 응집제(FeCl_3^{3+})를 사용하여 전처리하는 농장의 경우 응집제 사용에 따른 폭기조 혼합액중의 Cl^- 이온 농도는 수천 ppm으로서 혼합액을 액비로 사용하고자 할 경우 Cl^- 이온에 대한 주의가 필요하다고 생각된다.

2) 공정별 F/M비에 따른 방류수 BOD농도 변화

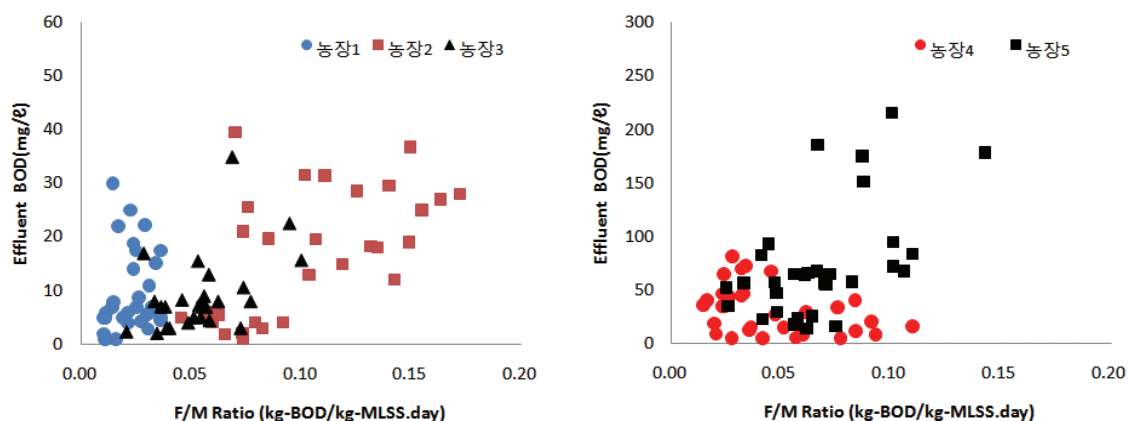


그림 3.1. F/M비(BOD부하)에 따른 방류수 BOD농도 변화.

각 농장별 F/M비(BOD부하)에 방류수 BOD농도를 그림 3.1에 나타내었다.

F/M비의 경우에도 SS부하의 경우처럼 응집제 사용유무와는 큰 차이가 없었으며, 주로 0.01~0.17kg-BOD/kg-MLSS·day 범위로 운전하고 있었다. 그러나 이는 우리나라 하수처리장의 경우 F/M비를 주로 0.1~0.2kg-BOD /kg-MLSS·day 범위에서 운전하고 있다는 것을 감안하면 하수보다는 상당히 저부하로 운전되고 있다는 것을 알 수 있으며, 따라서 하수보다는 돈분뇨슬러리가 난분해성이라는 것도 추론할 수 있다.

방류수의 BOD농도는 전자의 경우는 모두 50mg/L 이하로 안정적으로 처리되었으며, 응집제를 사용하지 않는 농장4의 경우 5~82mg/L로 측정되어 차이가 거의 없이 안정적으로 처리되고 있

었으나 농장5의 경우 14~216mg/L로 측정되어 운전상황에 따라 변동이 심하게 나타났음을 알 수 있었으며 응집제를 사용하는 농장의 경우처럼 50mg/L 이하의 안정적인 처리수질은 나타내고 있지 못했다.

3) 질소부하에 따른 변화

그림 3.2에는 N부하에 따른 방류수의 N농도를 나타내었다.

N부하의 경우에도 응집제 사용유무와는 큰 차이가 없었으며, 주로 0.01~0.10kg- N /kg-MLSS · day 범위로 운전하고 있었다. 그러나 특이한 점은 SS나 BOD의 경우와는 달리 방류수의 N농도는 응집제를 사용하지 않는 농장이 낮게 나타난 경우가 많다. 이는 응집제를 사용하지 않는 농장의 경우에는 희석수 사용으로 원수의 N농도가 낮았기 때문으로 생각된다. 그림 3.3은 N부하에 따른 제거율을 나타낸 것으로서 평균제거율이 67~84%로 나타났다.

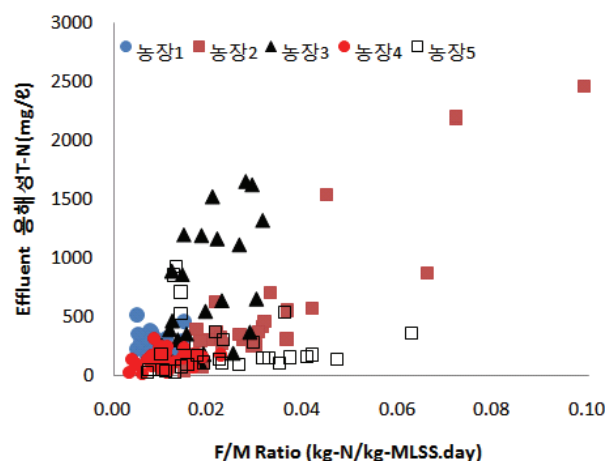


그림 3.2. N(질소)부하에 따른 방류수 T-N농도 변화.

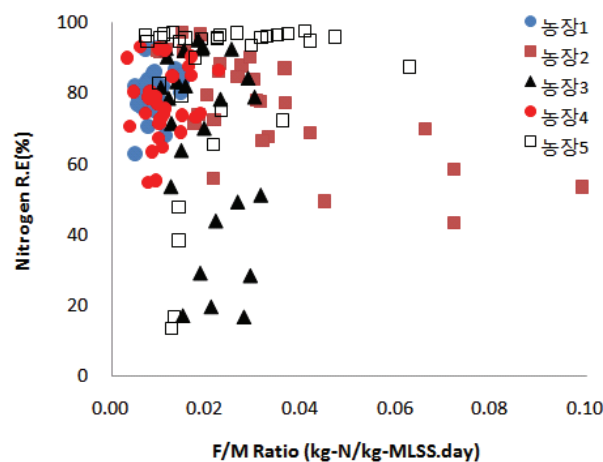


그림 3.3. N(질소)부하에 따른 질소 제거율 변화.

2. 고도처리 실험

1) 내부반송 고려 시

(1) 유입부하변동에 따른 유입하수의 성상 및 MLSS 변화

본 연구의 pilot plant 원수로 사용된 가축분뇨의 성상을 그림 3.4에 나타내었다.

실험조건에 따른 원수성상을 살펴보면 우선 Case1의 경우 평균 BOD 15,034mg/L, SS 5,339mg/L, T-N 4,271mg/L이며, PO_4^{3-} -P는 34mg/L로 나타났으며, 이는 돈분뇨 슬러리를 단순한 물리적인 처리후의 평균 농도로 생각된다. Case2의 경우 평균 BOD 66,408mg/L, SS 13,750mg/L, T-N 6,862mg/L, PO_4^{3-} -P는 50mg/L로 측정되어 농도가 상대적으로 높은 비육사 분뇨슬러리 성상과 유사하게 나타되며, Case3의 경우 평균 BOD 6,567mg/L, SS 2,433mg/L, T-N 2,307mg/L, PO_4^{3-} -P는 30mg/L로 측정되어 돈분뇨슬러리를 물리·화학적으로 처리한 원수성상과 비슷하게 나타났다. 마지막으로 Case4의 경우, Case1의 원수와 같이 단순하게 물리적으로 처리한 원수로 평균 BOD 8,390mg/L, SS 8,553mg/L, T-N 2,136mg/L이며, PO_4^{3-} -P는 196mg/L로 유입되었다.

그림 3.5에서는 유입부하변동에 따른 MLSS농도 변화를 나타내었다. Case1의 경우 초기 3,000mg/L로 시작하여 13,000mg/L까지 비례적으로 상승하였으며, 이는 높은 유입 SS농도의 영향일 것이라 판단되며, HRT 10, 15day 각각 평균 7,733mg/L, 8,306mg/L으로 운전되었다. Case2의 경우 HRT 10, 15day 각각 평균 13,800mg/L, 15,120mg/L으로 운전되었으며, Case1과 유사하게 유입 SS농도에 따라 비례적으로 증가하는 현상이 나타났다. 또한 Case3의 경우에는 각 평균 6,169mg/L, 6,348mg/L으로 운전되었으며, 다른 조건에 비해 안정적인 미생물상태로 Pilot의 운전이 이루어졌음을 알 수 있었다. HRT 조건이 다른 Case4의 경우에는 평균 MLSS농도가 6,802mg/L, 6,726mg/L으로 측정되었으며, Case3의 경우와 유사하게 안정적인 미생물상태를 유지하며 운전되어졌다.

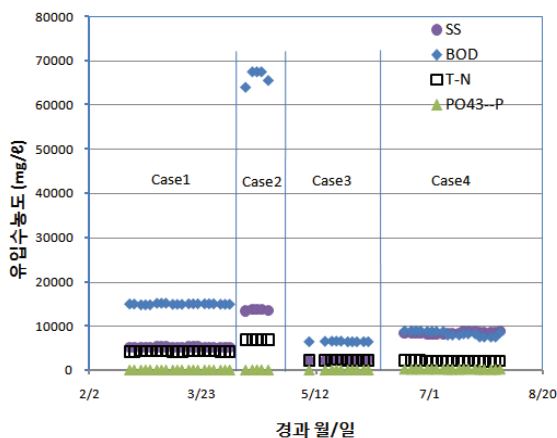


그림 3.4. 유입원수의 항목별 농도변화.

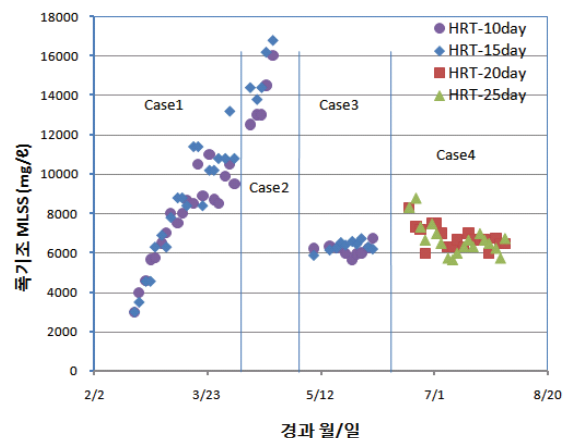


그림 3.5. 유입부하변동에 따른 MLSS 농도변화.

(2) 유입부하변동에 따른 유입수의 C/N 비

일반적으로 생물반응조 유입수의 TBOD/T-N비는 탈질에 미치는 영향이 크기 때문에 운전관리에 중요한 요인으로 영향을 미친다. 탈질이 다음과 같이 반응한다면,



수소공여체는 수중의 유기물이나 미생물체가 대상이 되며, 본 법에서는 외부로부터 유입되는 유기물을 이용하기 때문에 단위 탈질량에 필요한 BOD량/ $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 2.86으로 계산된다. 따라서 생물반응조에서는 TBOD/T-N비가 3이상으로 되지 않으면 유기물 농도를 높이는 방법으로 운전관리 하여야 한다. 그림 3.6에서 나타낸 바와 같이 본 실험에서 사용된 원수의 평균 C/N(TBOD/T-N)비는 Case1의 경우 3.5, Case2의 경우 9.7, Case3의 경우 2.8, Case4의 경우 3.9로 나타나 모든 조건에서는 질소를 충분히 제거할 수 있을 것으로 판단되나, Case2의 경우에는 질소에 비해 유기물의 제거에 많은 어려움이 있을 것으로 판단된다.

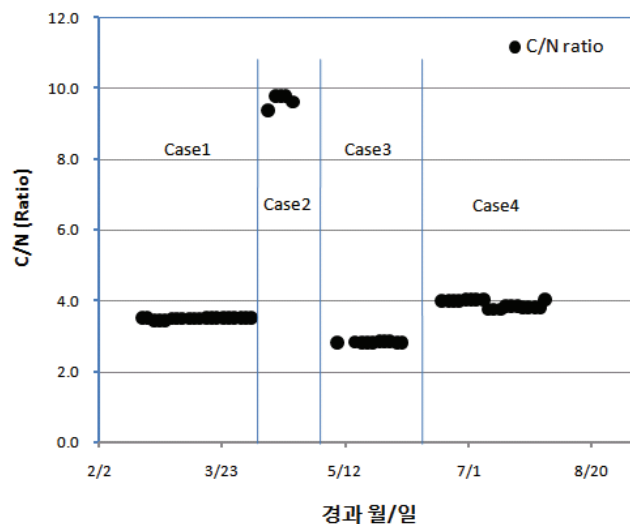


그림 3.6. Pilot plant 유입원수의 BOD/T-N Ratio.

(3) 유입부하변동 및 HRT의 따른 농도변화

유입부하를 조건별로 Case1, Case2, Case3, Case4로 투입하고 총괄 HRT(Hydraulic Retention Time)를 10day, 15day, 20day, 25day로 하고, 반응조 온도 $26\pm 3^\circ\text{C}$, DO $0.2\sim 5.2\text{mg/L}$, pH $7.4\sim 8.2$ 로 하였을 때, 부유물질, 유기물과 총질소 및 인산염 인의 제거율(Removal Rate %)을 알아보았다. 그 결과를 그림 3.7~3.8에 나타내었다.

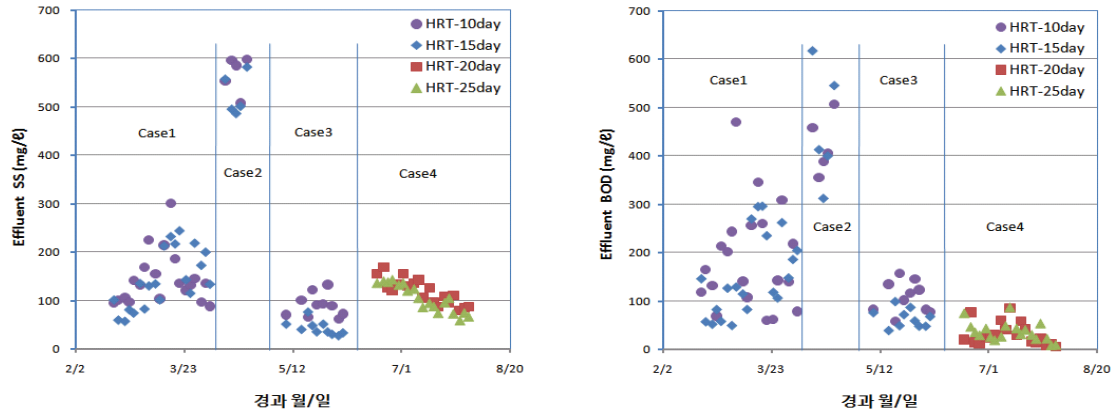


그림 3.7. 유입부하변동 및 HRT변화에 따른 부유물질(SS) 및 생물학적산소요구량(BOD)변화.

우선 수리학적체류시간(HRT)의 증가에 따른 변화를 보면 체류시간의 증가에 따라서 비례적으로 부유물질, 유기물, 총질소 및 총인의 제거율이 증가되었다. 먼저 부유물질의 경우 처리수의 농도가 HRT 10day에 비해 15day에서 조금씩 낮게 측정되었으며, 유기물의 경우 Case1,3에서 체류시간이 10day일 때의 제거율이 15day에 비해 약 15%이상 낮은 것을 볼 수 있었다. Case1,3에서 T-N의 경우 체류시간이 15day인 경우 10day인 경우보다 그 제거율이 약 20~50% 증가되는 것으로 나타났다. 그러나 위에서 언급한 것과 같이 측정된 결과가 방류수기준과 비교해 안정적인 처리가 되지않았음을 알 수 있어 이를 보완하는 실험을 수행하여야 할 것으로 생각된다. 마지막으로 Case4의 경우 HRT를 20, 25day로 증가시키면서 유기물 및 부유물질의 제거율이 99.5% 98.7% 나타나 다른 경우에 비해 상대적으로 높은 효율을 나타내었으나, 영양염류인 질소, 인의 경우에는 다른 조건과 큰 차이를 보이지 않았다. 그리고 인산염인의 제거의 경우 유입농도 자체가 낮게 투입되어 그 제거현상 뚜렷한 경향을 나타내지 않고 있으며, 2차 처리를 통한 제거가 용이하여 인의 제거에는 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

다음으로 유입부하에 따른 변화를 살펴보면, 부유물질, 유기물, 총질소에서는 유입부하의 증가함에 따라 그 처리수의 농도도 높아짐을 알 수 있었다. 인산염 인의 경우 모든 조건에서 비슷하게 측정되었으며, 인의 형태가 인산염 인 형태와 유기인산 형태로 분포하고 있어 정확한 인의 성분측정이 어려웠다.

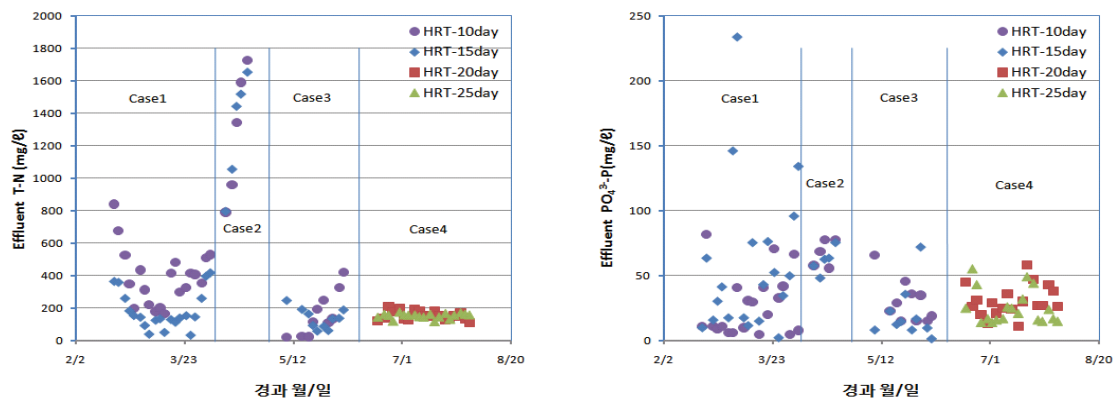


그림 3.8. 유입부하변동 및 HRT변화에 따른 총질소(T-N) 및 인산염 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)변화.

먼저 Case2의 경우 평균처리농도가 SS가 525~568mg/L, BOD가 423~458mg/L, T-N이 1,282~1,294mg/L로 측정되어 비육사의 분뇨와 같은 높은 농도의 유입은 정상적인 미생물처리를 할 수 없음을 보여주고 있다. 단순한 물리적 처리한 처리원수인 Case1의 경우 부유물질은 기타지역 방류수기준치에 만족하게 측정되었으나 BOD와 T-N가 150~186mg/L, 184~384mg/L로 나와 기타지역에서도 안정적인 처리가 어려울 것으로 보이며, 보다 안정적인 처리를 위해서는 HRT를 20시간 이상으로 운전하여야 할 것으로 판단된다. 물리화학적 전처리 거친 원수를 유사한 Case3의 경우에는 BOD와 T-N이 각각 64~107mg/L, 135~162mg/L로 측정되어 기타지역에서의 방류수 기준을 모두 만족하는 수치로 측정되었다. 그러나 Case1, 3의 조건으로 전지역에서 방류가 가능하도록 처리하기 위해서는 처리시간의 증가와 최종 처리수의 2차 처리가 반드시 병행되어야 할 것으로 판단된다. 마지막으로 농도가 상대적으로 농도가 낮은 물리적처리 원수를 사용한 Case4에서는 BOD와 질소의 경우 각각 평균 31~36mg/L, 152~157mg/L로 측정되어 모든 지역에서 방류할 수 있는 수치를 나타내고 있으나, SS 경우 각각 105~108mg/L로 나타나 이 경우 또한 위의 경우와 마찬가지로 모든지역에서 방류하려면 최종방류수를 2차 처리하여야 할 것으로 판단된다.

(4) 유입부하변동에 따른 F/M비 변화 및 HRT, F/M비에 따른 농도변화

본 실험의 F/M비를 유기물(BOD)과 질소변동에 따라 계산하여 표 3.2과 그림3.9~3.10에 나타내었다. 우리나라 하수처리장의 경우 BOD부하를 주로 0.1~0.2kg BOD/kg MLSS·day 범위에서 운전하고 있다는 것을 감안하면, Case 1,3의 경우 일반 하수처리장과 비슷하게 운전되고 있음을 알 수 있고, Case 2의 경우 HRT에 따라 평균 0.29/day와 0.49/day로 운전되어 BOD가 과부하로 운전되어졌음을 알 수 있었다. Case4의 경우 F/M가 평균 0.05~0.06kg BOD/kg MLSS·day로 나타나 다른 조건에 비해저부하로 운전되어졌음을 알 수 있었으며, 일반적으로 돈분뇨슬러리의 경우 난분해성물질이 많이 함유되어있어 또한 질소부하의 경우 모든 조건에서 0.01~0.06kg N/kg MLSS·day로 일정하게 유입되는 것으로 나타나 질소부하에 따른 처리수 제거변화는 뚜렷한 경향을 나타내지 않고 있다.

표 3.2. BOD, 질소부하에 따른 F/M비

구 분	항 목	Case1	Case2	Case3	Case4
HRT-10day	F/M (kg BOD/kg MLSS · day)	0.22	0.49	0.11	-
HRT-15day		0.14	0.29	0.07	-
HRT-20day		-	-	-	0.06
HRT-25day		-	-	-	0.05
HRT-10day	F/M (kg N/kg MLSS · day)	0.06	0.05	0.04	-
HRT-15day		0.04	0.03	0.02	-
HRT-20day		-	-	-	0.02
HRT-25day		-	-	-	0.01

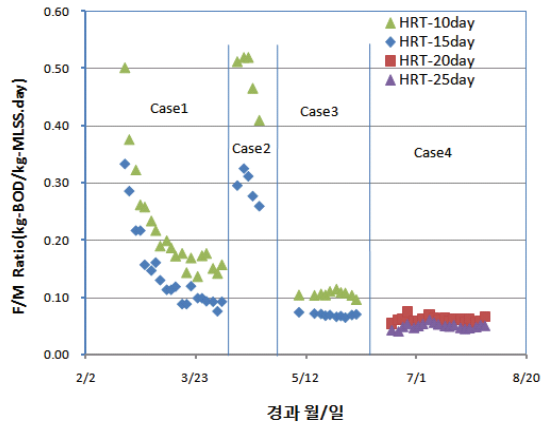


그림 3.9. 유입부하변동(유기물)에 따른 F/M비.

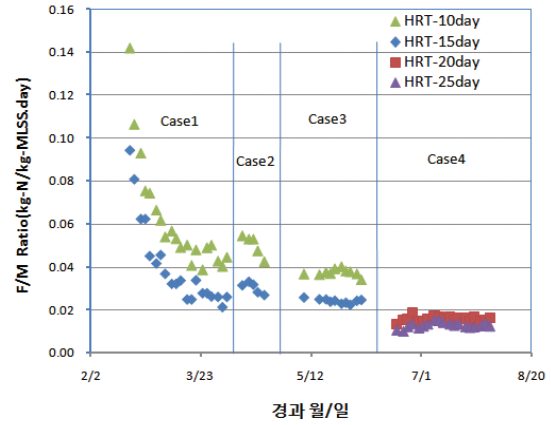


그림 3.10. 유입부하변동(질소)에 따른 F/M비.

F/M비의 변화에 대한 제거효율을 살펴보기 위해 먼저 F/M비(유기물)에 따른 BOD 및 T-N 농도 변화를 그림 3.10~3.11에 나타내었다. 그림에서 나타낸바와 같이 F/M비가 낮아질수록 처리수 수질이 감소하는 경향을 보이고 있다. 질소의 경우 그 현상이 더 뚜렷하게 나타나고 있으며, F/M비(유기물)를 0.05~0.10kg BOD/kg MLSS · day로 유지하는 것이 가장 높은 제거효율을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

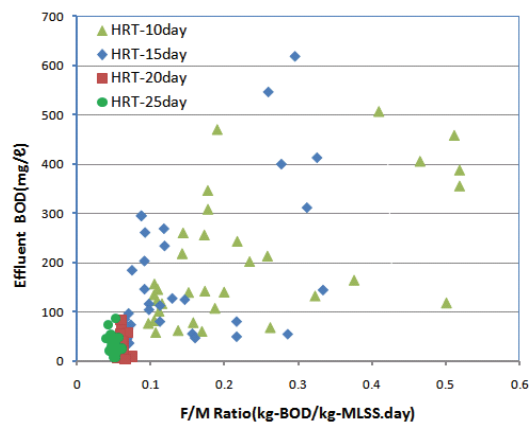


그림 3.10. F/M에 따른 처리수 BOD.

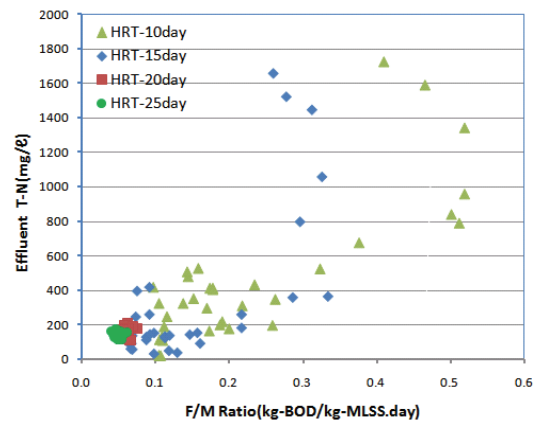


그림 3.11. F/M에 따른 처리수 T-N.

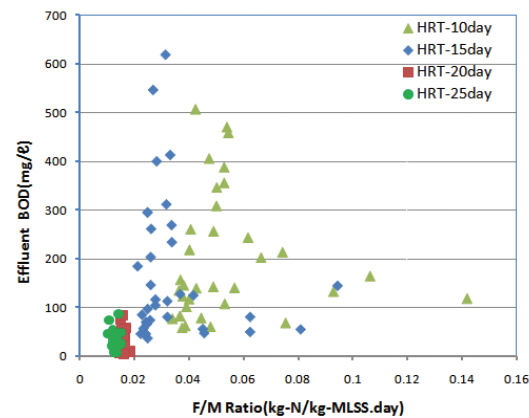


그림 3.12. 질소부하에 따른 처리수 BOD.

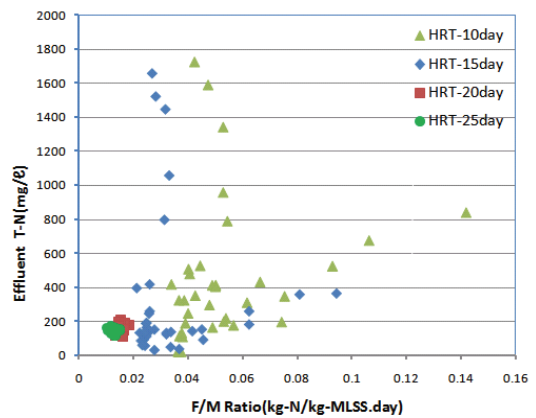


그림 3.13. 질소부하에 따른 처리수 T-N.

또한 질소부하에 따른 BOD 및 T-N농도 변화를 그림 3.12~3.13에 나타내었다. 자세히 살펴보면 HRT 10, 15day에서는 평균 0.02~0.06 kg N /kg MLSS · day로 질소가 유입되었으며 뚜렷한 BOD, 질소제거경향을 보여주고 있지는 않으나, 위에서 언급한 바와 같이 BOD부하와 비슷하게 F/M비가 낮을수록 제거율이 증가하는 것을 알 수 있었다. 또한 HRT 20, 25day에서는 평균 0.01~0.02kg N /kg MLSS · day로 유입되어 BOD와 질소가 유사한 경향으로 제거되어짐을 알 수 있었으며, 질소의 경우에는 평균 152~157mg/L로 측정되어 안정적으로 질소제거가 이루어졌음을 알 수 있었다. 한편, 질소가 1,000mg/L 이상으로 나온 것은 질소부하로 인해 발생한 것이 아니라 BOD부하가 높게 유입되어 질소의 제거가 제대로 이루어지지 않았기 때문이라 생각된다.

(5) BOD용적부하에 따른 농도변화

본 실험의 BOD용적부하를 조건별로 계산하여 표 3.3과 그림 3.14에 나타내었다. BOD용적부하는 활성오니법에서 폭기조의 용적 1m³당 하루에 처리할 수 있는 BOD의 kg수이다. 일반적으로 설계시 폭기조의 크기 결정하는 중요한 인자로 사용되고 있으며, 보통 0.5~0.6kg BOD/m³.day가 적합하다고 알려져 있다. 전체적으로 원수의 성상의 변화가 조건내에서는 큰 변동이 없어 조건별 BOD용적부하는 거의 변동이 없는 것을 알 수 있었으며, Case 1의 경우 조건별 각 평균이 1.9, 1.3kg BOD/m³.day로 계산되어 폭기조 용량에 비해 과부하의 유기물이 투입되어짐을 알 수 있었으며, Case 2의 경우에는 8.5, 5.7kg BOD/m³.day의 평균값으로 유기물이 투입되어져 과부하 및 충격부하가 발생하였음을 알 수 있었으며, 이로 인해 폭기조가 매우 불량하게 운전되었을 것으로 판단된다. 한편, Case 3경우 0.6, 0.8kg BOD/m³.day의 평균값을 나타내고 있고, Case 4의 경우에도 평균 0.4, 0.6kg BOD/m³.day의 유기물이 투입되고 있어 Case 3,4의 조건에서 Pilot 폭기조 용량에 적합한 유입수가 투입되어 운전되어졌음을 알 수 있다.

표 3.3. 폭기조 BOD용적부하

구 분	항 목	Case1	Case2	Case3	Case4
HRT-10day	BOD용적부하 (kg BOD/m ³ · day)	1.9	8.5	0.8	-
HRT-15day		1.3	5.7	0.6	-
HRT-20day		-	-	-	0.5
HRT-25day		-	-	-	0.4

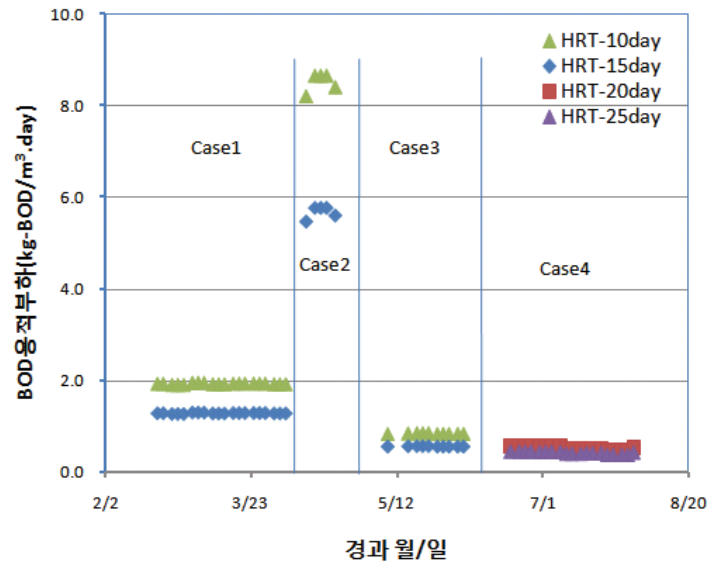


그림 3.14. 조건별 BOD용적부하.

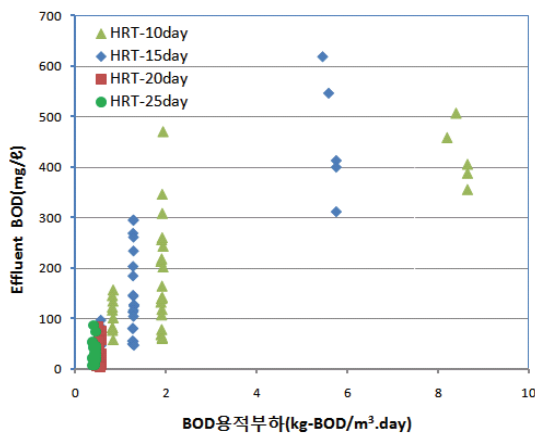


그림 3.15. BOD용적부하에 따른 처리수 BOD.

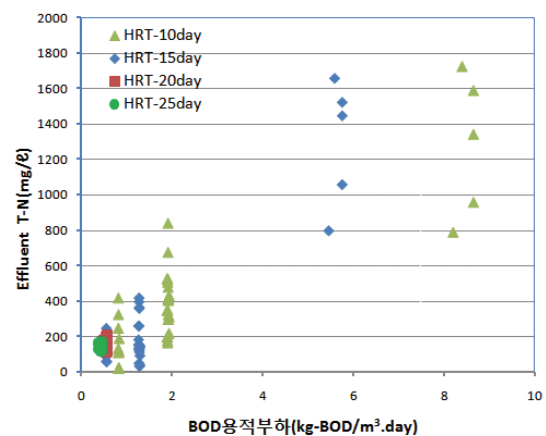


그림 3.16. BOD용적부하에 따른 처리수 T-N.

BOD용적부하 변화에 대한 처리형태를 살펴보기 위해 BOD용적부하에 따른 BOD 및 T-N농도 변화를 그림 3.15~16에 나타내었다. 그림에서 나타낸바와 같이 두 항목 모두에서 BOD용적부하가 낮게 투입될수록 처리수 수질이 감소하는 경향을 보이고 있다. BOD용적부하가 0.8kg BOD/m³.day이하의 경우 BOD와 질소 각각 평균 110mg/L, 170mg/L 이하로 측정되어 유기물뿐만 아니라 영양염류의 제거에도 높은 효율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 다음으로 용적부하가 1.3kg BOD/m³.day인 경우 BOD와 질소가 각각 150mg/L, 180mg/L 이하로 측정되어 위의 경우보다는 조금 높지만 운전조건에 비해 양호한 처리경향을 보여주고 있었으나 1.9kg BOD/m³.day의 BOD용적부하에서는 BOD가 평균 186mg/L, 질소가 392mg/L로 측정되어 안정적인 처리가 이루어지지 않았음을 알 수 있었다. 마지막으로 5.3kg BOD/m³.day이상의 용적부하에서는 평균 BOD 423~458mg/L 평균 질소가 1,282~1,294mg/L로 측정되어 매우 불안정하게 활성오니공정을 운전하였

음을 알 수 있었다.

(6) 유입부하변동 및 HRT에 따른 비질산화속도 및 탈질율

표 3.4와 그림 3.17에서는 유입부하와 HRT에 따른 비질산화속도 및 탈질율을 나타내었다. 비질산화속도의 경우 문헌의 값 $0.03 \sim 0.11 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N/mg MLSS} \cdot \text{day}$ 와 비교하였을 때 HRT 10day의 경우 평균 $0.04 \sim 0.05 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N/mg MLSS} \cdot \text{day}$ 로 일반적인 질산화속도를 나타내고 있었으나, 체류시간이 보다 긴 HRT 15day, 20day, 25day의 경우 $0.02 \sim 0.04 \text{ mg NH}_4^+ \text{-N/mg MLSS} \cdot \text{day}$ 로 질산화속도가 조금 낮은 것으로 나타났으나, 질소제거에는 큰 영향이 없을 것으로 판단된다. 그리고 탈질율의 경우 HRT 10day의 경우 평균 $0.07 \sim 0.09/\text{day}$, HRT 15day의 경우 $0.05 \sim 0.06/\text{day}$, HRT 20day, 25day는 각각 $0.06/\text{day}$, $0.04/\text{day}$ 로 수리학적 체류시간이 길어질수록 탈질율은 감소하는 것으로 나타났다.

표 3.4. 운전조건 및 질소처리인자 평균자료

구 분	항 목	Case1	Case2	Case3	Case4	Reference
HRT-10day	SNR ($\text{mg NH}_4^+ \text{-N/mg MLSS} \cdot \text{day}$)	0.05	0.04	0.04	-	0.03~0.11
HRT-15day		0.04	0.02	0.02	-	
HRT-20day		-	-	-	0.03	
HRT-25day		-	-	-	0.02	
HRT-10day	탈질율 (1/day)	0.09	0.07	0.07	-	-
HRT-15day		0.06	0.05	0.05	-	
HRT-20day		-	-	-	0.06	
HRT-25day		-	-	-	0.04	

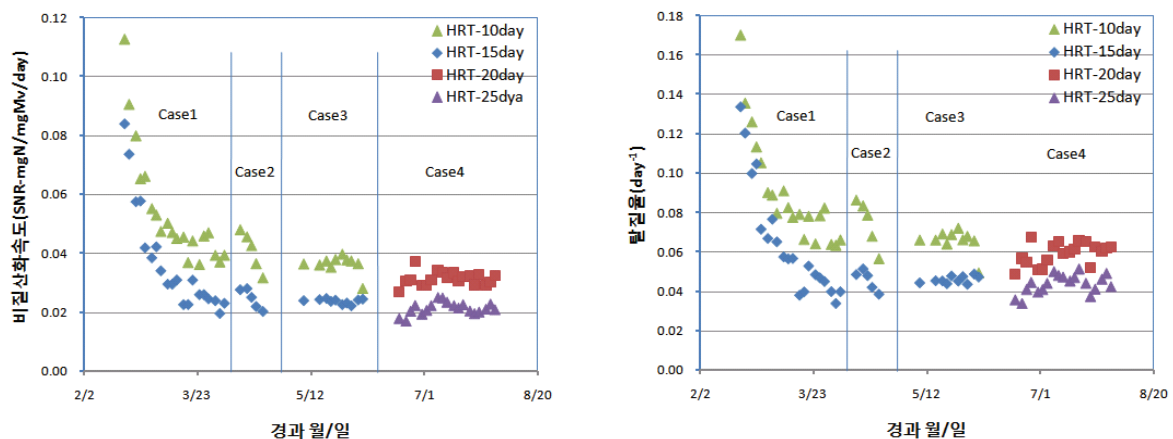


그림 3.17. 유입부하변동 및 HRT 변화에 따른 비질산화속도(SNR) 및 탈질율 변화.

(7) 설계변수 - 산소 요구량

생물학적 처리공정에 있어서 산소소요량은 호기조에서의 BOD제거량과 질산화량에 의하여 결정된다.

먼저 BOD제거에 필요한 산소요구량은 식 1.1에 의해 구해진다.

$$D_B = (C_{BOD-in} - C_{BOD-eff}) \cdot Q_{in} \times 10^{-3} - (L_{NOX-DN} - L_{NOX-A}) \times 2.0 \times 0.45 \dots\dots\dots (식1.1)$$

- 여기서, D_B : BOD산화에 필요한 산소량
 C_{BOD-in} : 유입 BOD농도(mg/L)
 $C_{BOD-eff}$: 유출 BOD농도(mg/L)
 Q_{in} : 유입하수량(m^3/day)
 L_{NOX-DN} : 무산소반응시 NO_X-N 부하량(kg/day)
 L_{NOX-A} : 무산소의 NO_X-A 유출량(kg/day)
 2.0 : 단위 질소당 탈질에 필요량 BOD량($kgBOD/kgNO_X-N$)
 0.45 : 단위 BOD제거당 필요한 산소량($kg/kgBOD$)

질산화에 필요한 산소량은 다음 식 1.2에 의해 구할 수 있다.

$$D_N = \alpha C_{TN-in} \cdot Q_{in} \times 10^{-3} \times 4.57 \dots\dots\dots (식1.2)$$

- 여기서, D_N : 질산화에 필요한 산소량
 α : 0.7 ~ 0.8
 C_{TN-in} : 유입수 총질소농도(mg/L)
 4.57 : 단위 NH_4^+-N 의 질산화에 필요한 산소량($kg/kgNH_4-N$)

슬러지 내생호흡에 필요한 산소량은 다음 식 1.3으로 구할 수 있다.

$$D_E = X \times V_A \times 0.12 \times 10^{-3} \dots\dots\dots (식1.3)$$

- 여기서, D_E : 슬러지 내생호흡에 필요한 산소량
 X : MLSS농도(g/L)
 V_A : 반응조 용량(L)
 0.12 : 단위 MLSS당 내생호흡에 필요한 산소소비량($g/gMLSS/day$)

용존산소 농도 유지에 필요한 산소량은 다음 식 1.4에 의해 구할 수 있다.

$$D_o = C_{OA} \times Q_{in} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (\text{식1.4})$$

여기서, D_o : 용존산소 농도 유지에 필요한 산소량
 C_{OA} : 호기반응시 용존산소 농도 (2.5mg/L)
 Q_{in} : 유입유량

그러므로, 호기조 말단의 평균 DO 2.5mg/L 를 적용하여 계산하면,

$$D_o = 2.5 \times 0.06 \times 10^{-3} = 0.00015 \text{ kgO}_2/\text{day}$$

필요 산소요구량(D)는

$$D = D_B + D_N + D_E + D_o \dots\dots\dots (\text{식1.5})$$

따라서 실제 공기요구량은 식 1.6과 같이 사용될 포기장기(산기관)의 산소전달 효율을 5%로 가정하고 송풍기의 크기를 결정하기 위한 실제 설계부피를 계산할 때의 안전계수는 2로 하며 또한 공기 중의 산소함량이 무게비로 23.3%, 공기의 비중이 1.2kg/m³으로 하여 구할 수 있다.

$$D_{air} = [D \div (a \times n \times f)] \times S \dots\dots\dots (\text{식1.6})$$

여기서, a : 공기중의 산소의 무게비(0.232)
 n : 산소용해율(0.05)
 f : 공기비중 (1.2kg/m³)
 S : 안전계수 (2)

표 3.5. 공기요구량 계산에 필요한 인자

구 분		유입유량 (Q:ℓ /day)	$C_{BOD-in}-C_{BOD-eff}$ (mg/ℓ)	L_{NOX-DN} (kg/day)	L_{NOX-A} (kg/day)	MLSS (mg/ℓ)	V_A (ℓ)	C_{TN-in} (mg/ℓ)
HRT-10day	Case1	3.3	14,848	0.00152	0.00166	7,733	33	4,271
	Case2	3.3	65,985	0.00011	0.00040	13,800	33	6,862
	Case3	3.3	6,460	0.00215	0.00234	6,169	33	2,307
HRT-15day	Case1	2.2	14,934	0.00247	0.00269	8,306	33	4,271
	Case2	2.2	66,308	0.00003	-	15,120	33	6,862
	Case3	2.2	6,567	0.00077	0.00083	6,348	33	2,307
HRT-20day	Case4	1.65	8,355	0.00263	0.00139	6,802	33	2136
HRT-25day		1.32	8,349	0.00201	0.00106	6,726	33	2136

표 3.6. 이론적 필요공기요구량

구 분		산소요구량(kg O ₂ /day)					필요공기량	
		D _B	D _N	D _E	D _O	합계	m ³ Air/day	ℓ Air/min
HRT-10day	Case1	0.022	0.048	0.031	6.6E-06	0.10	12.1	8.4
	Case2	0.098	0.078	0.055	6.6E-06	0.23	27.6	19.1
	Case3	0.010	0.026	0.024	6.6E-06	0.06	7.2	5.0
HRT-15day	Case1	0.014	0.032	0.033	4.4E-06	0.08	9.5	6.6
	Case2	0.066	0.052	0.060	4.4E-06	0.18	21.2	14.7
	Case3	0.007	0.017	0.025	4.4E-06	0.05	5.9	4.1
HRT-20day	Case4	0.005	0.012	0.027	3.3E-06	0.04	5.3	3.7
HRT-25day		0.004	0.010	0.027	2.64E-06	0.04	4.8	3.4

표 3.7. 실제 투입공기량 및 이론적 필요공기요구량의 비교

구 분		이론적 필요공기요구량 (ℓ Air/min)	실제 투입공기량 (ℓ Air/min)
HRT-10day	Case1	8.4	6
	Case2	19.1	
	Case3	5.0	
HRT-15day	Case1	6.6	5.5
	Case2	14.7	
	Case3	4.1	
HRT-20day	Case4	3.7	5
HRT-25day		3.4	4.5

이론적 필요공기요구량을 계산하여 실제 투입공기량과 비교한 결과를 표 3.7에 나타내었다. Case1의 경우 공기공급량이 10~20%으로 부족하여 유기물 및 질소의 처리수 농도가 높게 측정되는 원인의 하나로 판된되며, Case 2의 경우에는 현저하게 적은 공기량이 공급되어 시료의 처리가 제대로 이루어지지 못했음을 알 수 있다. 위의 두 경우의 실험에서 충분한 공기량이 투입되지 않은 이유는 과도한 폭기로 인해 발생한 거품으로 정상적인 실험을 수행할 수 없었기 때문이며, 폭기량이 6 L Air/min이하의 조건으로 Pilot을 운전하여야 실험결과에 영향을 미치지 않을 것으로 나타나 모든 실험에서 6 L Air/min의 공기량을 투입하였다. 한편, Case 3의 경우에는 공기량이 충분하게 공급되어 BOD 및 질소가 각각 평균 64~107mg/L, 135~162mg/L로 제거되어 처리가 원활하게 이루어지고 있음을 알 수 있었으며, Case4의 경우에도 Case1의 경우와 마찬가지로 충분한 공기가 공급되어지면서 유출수의 유기물 및 질소가 각각 평균 35~41mg/L, 152~157mg/L로 나타나 안정적인 처리가 이루어지고 있음을 알 수 있었다.

2) 내부반송 없을 경우

(1) 유입하수의 성상 및 C/N비 변화

본 연구의 pilot plant 원수로 사용된 가축분뇨의 성상을 그림 3.18에 나타내었다.

실험조건에 따른 원수성상을 살펴보면 우선 HRT 25, 30day의 경우 평균 BOD 10,694mg/L, SS 12,265mg/L, T-N 2,146mg/L이며, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 는 183mg/L로 나타났으며, HRT 15, 20day의 경우 평균 BOD 10,321mg/L, SS 15,911mg/L, T-N 2,363mg/L, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 는 176mg/L로 측정되어 이는 돈분뇨 슬러리를 단순한 물리적인 처리후의 평균 농도로 생각된다.

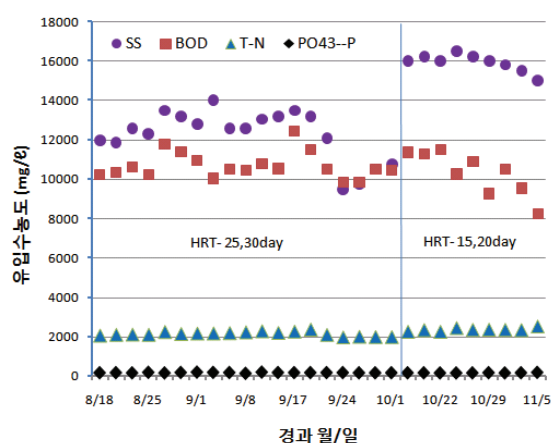


그림 3.18. 유입원수의 항목별 농도변화.

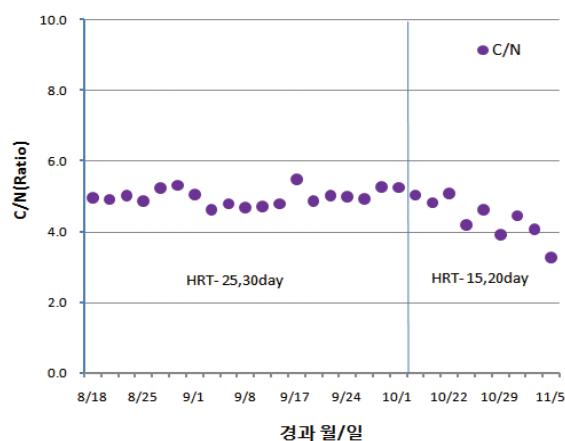


그림 3.19. Pilot plant 유입원수의 BOD/T-N Ratio.

그림 3.19에서 나타낸 바와 같이 본 실험에서 사용된 원수의 평균 C/N (TBOD/T-N)비는 HRT 25, 30day의 경우 5.0, HRT 15, 20day의 경우 4.4로 나타나 모든 조건에서는 질소를 충분히 제거할 수 있을 것으로 판단되었다.

(2) HRT변화에 따른 처리수 농도변화

총괄 HRT(Hydraulic Retention Time)를 15day, 20day, 25day, 30day로 하고, 반응조 온도 $26\pm 3^\circ\text{C}$, DO 0.3~2.8mg/L, pH 6.3~8.1로 하였을 때, 부유물질, 유기물과 총질소 및 인산염 인의 농도변화를 알아보았다. 그 결과를 그림 3.20~3.21에 나타내었다. 우선 수리학적체류시간(HRT)의 증가에 따른 변화를 보면 평균처리농도가 SS의 경우 HRT 15, 20day의 경우 각각 323mg/L, 273mg/L, HRT 25, 30day의 경우 227mg/L, 155mg/L으로 측정되었으며, BOD의 경우 HRT 15, 20, 25, 30day 각각 226mg/L, 189mg/L, 133mg/L, 109mg/L으로 측정되었으며, T-N의 경우도 각각 768mg/L, 646mg/L, 511mg/L, 406mg/L으로 측정되어 HRT가 증가됨에 따라 처리수 농가 비례적으로 낮아짐을 알 수 있었다. 인산염 인의 경우 HRT의 변화와의 일정한 상관 관계없이 평균 35~51mg/L으로 측정되었다.

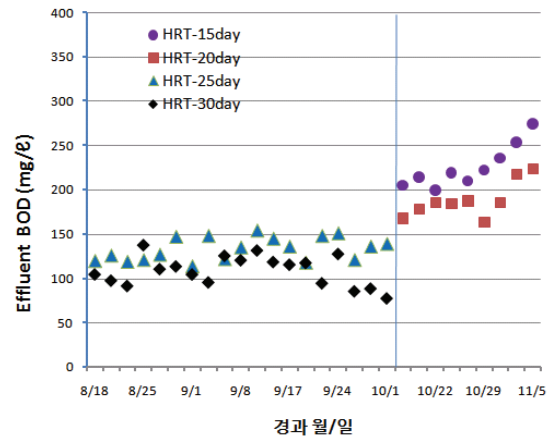
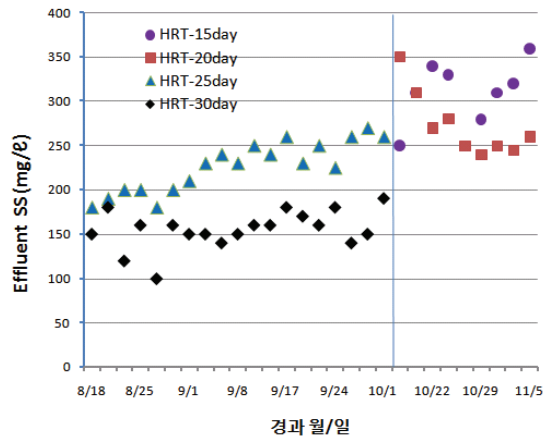


그림 3.20. HRT변화에 따른 부유물질(SS) 및 생물학적산소요구량(BOD)변화.

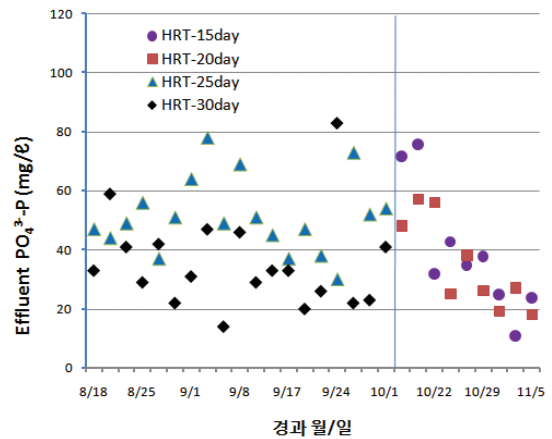
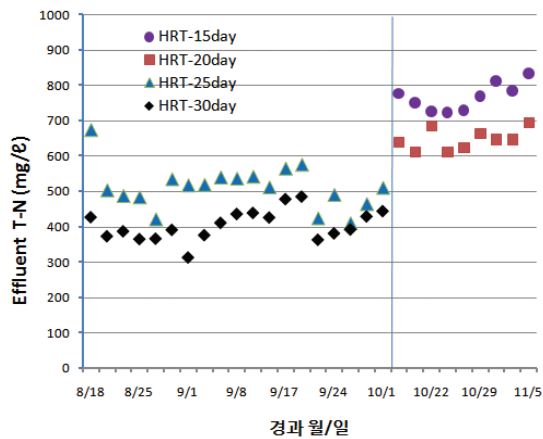


그림 3.21. HRT변화에 따른 총질소(T-N) 및 인산염 인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)변화.

(3) F/M비에 따른 농도변화

본 실험의 F/M비를 유기물(BOD)와 질소변동에 따라 계산하여 표 3.8에 나타내었다. 우리나라 하수처리장의 경우 BOD부하를 주로 $0.1 \sim 0.2 \text{ kg BOD/kg MLSS} \cdot \text{day}$ 범위에서 운전하고 있다는 것을 감안하면, 일반 하수처리장과 비슷하게 운전되고 있음을 알 수 있고, 일반적으로 돈분뇨슬러리의 경우 난분해성 물질이 많이 함유되어있어 또한 질소부하의 경우 모든 조건에서 $0.01 \sim 0.02 \text{ kg N/kg MLSS} \cdot \text{day}$ 로 일정하게 유입되었다.

표 3.8. BOD, 질소부하에 따른 F/M비

구 분	HRT-15day	HRT-20day	HRT-25day	HRT-30day
F/M (kg BOD/kg MLSS·day)	0.11	0.10	0.07	0.08
F/M (kg N/kg MLSS·day)	0.02	0.02	0.01	0.02

F/M비의 변화에 대한 제거효율을 살펴보기 위해 먼저 F/M비(유기물)에 따른 BOD 및 T-N농도 변화를 그림 3.22~3.23에 나타내었다. 그림에서 나타낸바와 같이 F/M비가 낮아질수록 처리수 수질이 감소하는 경향을 보이고 있다. F/M비(유기물)를 0.05~0.08kg BOD/kg MLSS · day로 유지하는 것이 가장 높은 제거효율을 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

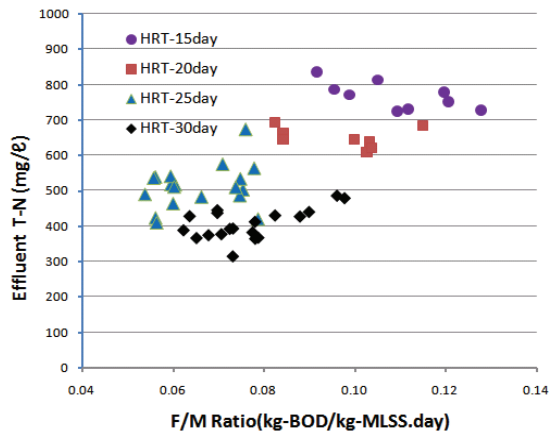


그림 3.22. BOD부하에 따른 처리수 BOD.

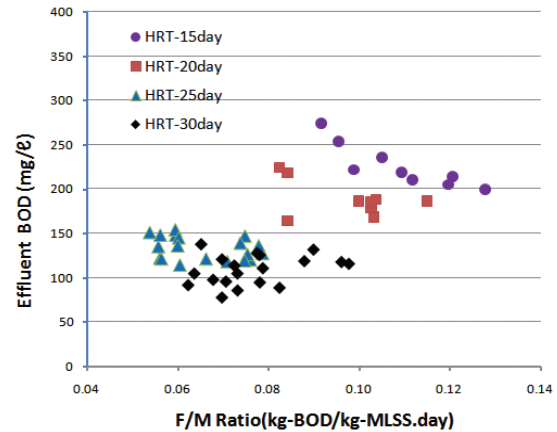


그림 3.23. BOD부하에 따른 처리수 T-N.

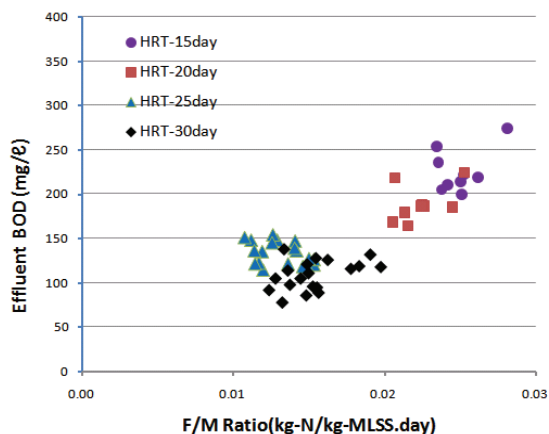


그림 3.24. 질소부하에 따른 처리수 BOD.

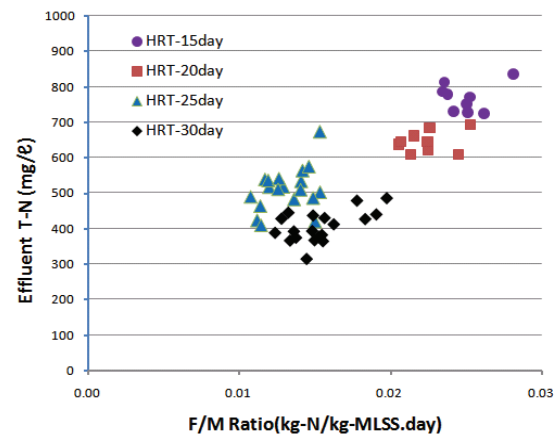


그림 3.25. 질소부하에 따른 처리수 T-N.

또한 질소부하에 따른 BOD 및 T-N농도 변화를 그림 3.24~3.25에 나타내었다. 자세히 살펴보면 전체적으로 평균 0.01~0.03 kg N /kg MLSS · day로 질소가 유입되었으며 뚜렷한 BOD, 질소 제거경향을 보여주고 있지는 않으나, 위에서 언급한바와 같이 BOD부하와 비슷하게 F/M비가 낮을수록 비례적으로 처리수 농도가 낮게 측정되어졌다. 내부반송이 고려된 실험과 비교하여 볼 때 유기물 및 부유물질의 경우 처리수 농도가 조금씩 높게 측정되었으나, 유사한 처리결과를 나타내고 있으나, 질소의 경우 내부반송으로 인한 질소제거 공정이 없어지므로써 질소의 제거효율이 급격히 저하되는 것을 알 수 있었다. 처리수의 질소 평균농도는 HRT별로 406~768mg/L로 나타났으며, 이와 같이 질소가 높은 처리수를 액상비료로의 이용가능성을 검토하기 위해 발아실험을 진

행하였다.

(4) BOD용적부하에 따른 농도변화

본 실험의 BOD용적부하를 조건별로 계산하여 표 3.9에 나타내었다. BOD용적부하는 활성오니법에서 폭기조의 용적 1m³당 하루에 처리할 수 있는 BOD의 kg수이다. 일반적으로 설계시 폭기조의 크기 결정하는 중요한 인자로 사용되고 있으며, 보통 0.5~0.6kg BOD/m³.day가 적합하다고 알려져 있다. 전체적으로 원수의 성상의 변화가 큰 변동이 없었으며, HRT 15, 20, 25, 30day의 경우 각각 평균 0.87, 0.65, 0.54, 0.45kgBOD/m³.day의 유기물이 투입되고 있어 HRT 15, 20day의 경우 조금 높은 부하로 운전되어졌음을 알 수 있었으며, HRT 25, 30day의 경우에는 Pilot 폭기조 용량에 적합한 유입수가 투입되어 운전되어졌음을 알 수 있다.

표 3.9. 폭기조 BOD용적부하

구 분	HRT-15day	HRT-20day	HRT-25day	HRT-30day
BOD용적부하 (kg BOD/m ³ · day)	0.87	0.65	0.54	0.45

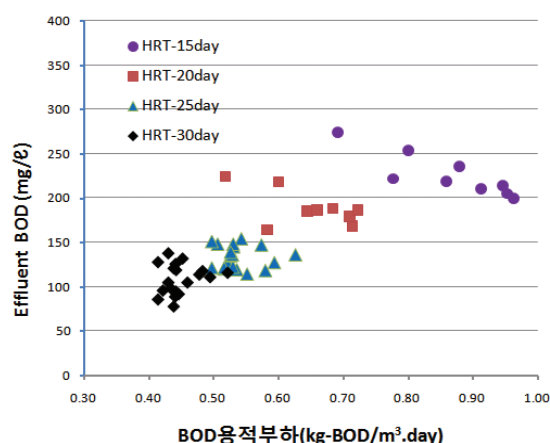


그림 3.26. BOD용적부하에 따른 처리수 BOD.

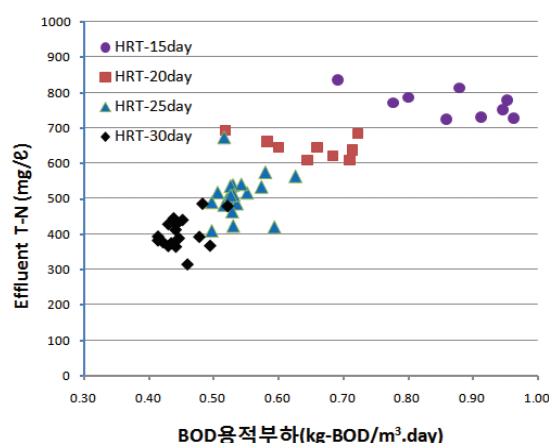


그림 3.27. BOD용적부하에 따른 처리수 T-N.

BOD용적부하 변화에 대한 처리형태를 살펴보기 위해 BOD용적부하에 따른 BOD 및 T-N농도 변화를 그림 3.26~27에 나타내었다. 그림에서 나타낸바와 같이 두 항목 모두에서 BOD용적부하가 낮게 투입될수록 처리수 수질이 감소하는 경향을 보이고 있다. BOD용적부하가 0.6kg BOD/m³.day이하의 경우 BOD가 평균 109~133mg/L, 170mg/L 이하로 측정되어 높은 유기물 제거율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 위에서 언급한 바와 같이 내부반송이 이루어지지 않으므로 써 질소의 제거효과는 떨어지는 것을 알 수 있었으나, 액상비료로써의 충분한 이용가치가 있는 처리수의 생산이 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

(5) HRT-20,25day 비교

진행된 실험을 바탕으로 하여 보다 정확한 운전효율을 알아보기 위하여 HRT-20,25 day로 동일한 방법으로 실험을 진행하여 비교 분석하였다.

(가) 원수의 성상

표 3.10. 원수의 특성

항목	단위	투입원수
C/N		2.9
F/M	kg-BOD/kg-MLSS.day	0.05
pH	(-)	7.75
Temp.	℃	24.8
SS	mg/L	8,285
BOD	mg/L	6,001
용해성 T-N	mg/L	2,117
PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	150

원수는 Y공동자원화시설 유입 돈분뇨슬러리로서 자원화시설로 유입되기전 농장에서 스크린 등을 이용하여 간이적으로 고/액분리한 액상물이다. 표 3.10에서는 Pilot 투입원수 성상을 나타내었다. C/N Ratio와 F/M (kg-BOD/kg-MLSS.day) Ratio는 각각 평균 2.9와 0.05의 조건으로 운전되었으며, SS, BOD, 용해성 T-N, PO₄³⁻-P는 평균285mg/L, 6,001mg/L, 2,117mg/L, 150mg/L으로 투입하여 실험을 진행하였다.

(나) F/M비에 따른 처리수 성상변화

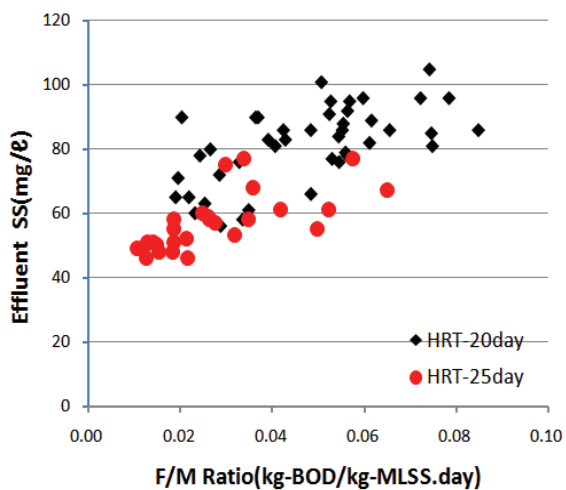


그림 3.28. F/M비에 따른 처리수 SS농도 변화.

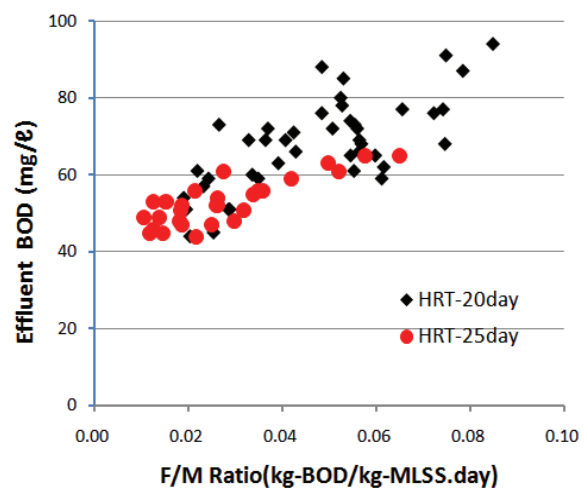


그림 3.29. F/M비에 따른 처리수 BOD농도 변화.

그림 3.28과 3.29에는 HRT와 F/M비에 따른 처리수 SS 및 BOD 농도를 나타내었다. 두 항목 모두 F/M비가 증가함에 따라 비례적으로 처리수 농도가 증가되는 유사한 경향을 나타내었으며, HRT에 따른 각 평균 처리수 농도는 20day의 경우 81mg/L, 68mg/L로 측정되었으며, 25day의 경우 57mg/L, 53mg/L로 측정되어 일반지역의 방류수 수질기준을 만족함을 알 수 있었다.

그림 3.30와 3.31에는 HRT와 F/M비에 따른 처리수의 용해성 T-N농도와 PO_4^{3-} -P 농도를 나타내었다. 위의 SS와 BOD의 경우와 유사한 경향으로 나타났으며, F/M비에 따른 비례정도가 더 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었으며, HRT에 따른 용해성 T-N의 평균 처리수 농도는 20day의 경우 108mg/L, 25day의 경우 80.3mg/L로 측정되었으며 PO_4^{3-} -P의 경우에는 평균농도가 각각 29mg/L, 18.5mg/L으로 측정되어 수질보호구역의 방류수기준인 T-N 260mg/L, T-P 150mg/L 이하로 처리할 수 있음을 알 수 있었다.

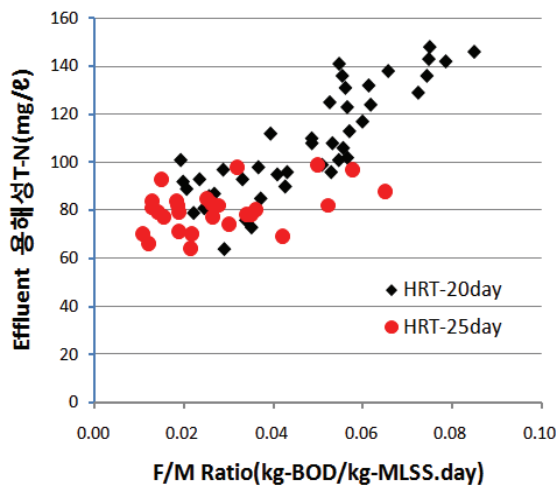


그림 3.30. F/M비에 따른 용해성 T-N 농도 변화.

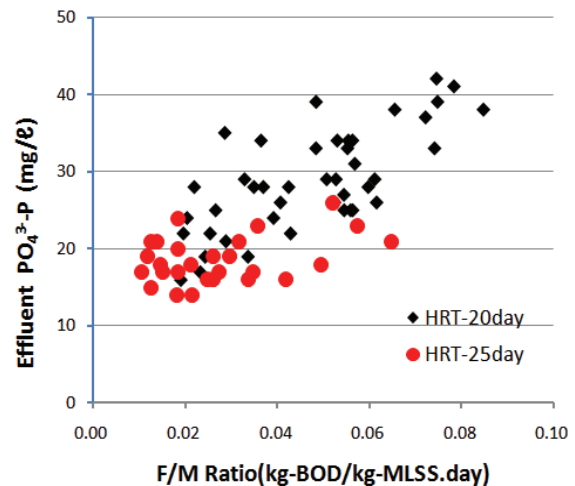


그림 3.31. F/M비에 따른 용해성 PO_4^{3-} -P 농도 변화.

(다) 유기물 및 색도제거를 위한 고도처리 - 응집 및 활성탄 처리

고도처리 실험의 기초자료를 위해 우선 색도제거에 관한 처리방법으로 생물학적 처리수를 응집한 후 활성탄을 이용한 batch실험을 실시하였다. 먼저 응집조건을 살펴보면 $FeCl_3$ 를 주입하여 pH를 5.5~6.0로 맞추고(2ml/L의 주입량) 일반농장에서 보편적으로 사용하고 있는 고분자 응집제(K-350)를 이용하여 응집실험을 실시하였다. 색도제거 실험은 생물학적 처리수를 위의 응집조건으로 응집한 후 상등수를 포집하여 활성탄을 1kg/ton의 비율로 투입하여 그 처리수의 성분을 분석하였다.

표 3.11에는 HRT 20day의 실험조건에서의 Pilot실험의 생물학적 처리수를 이용한 응집처리 및 활성탄처리수의 농도를 측정하여 처리단계별로 각각 나타내었다. 색도의 경우를 살펴보면 10,450도에서 응집처리 후 1,921도로 81.6%의 제거효율을 나타내었으며, 활성탄처리를 할 경우에는 전체제거율 96.6%인 356도로 측정되어 화학적 응집처리 후 활성탄처리는 경제적이고 효과적인 색

도제거방법임을 알 수 있었으며, SS, BOD의 경우에는 응집처리를 통해 각각 52%, 50%가 제거되어 평균농도가 각각 42mg/L, 46mg/L로 측정되었으며, 이는 수질보호구역인 방류수수질 기준인 50mg/L을 만족함을 알 수 있어 후단공정으로 응집처리와 활성탄처리를 병행하면 민원발생원인인 색도를 제거하고 안정적인 방류수질농도로 처리할 수 있을 것으로 판단된다.

표 3.11. 처리단계별 수질자료

구 분	단위	단계별 처리공정		
		생물학적처리	응집처리	활성탄처리
색도	도	10,450	1,921	356
SS	mg/L	89	42	39
BOD	mg/L	66	36	34
T-N	mg/L	114	104	98
PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	69	15	15

3. 발아실험

1) 농장시료 발아실험

표 3.12. 시료채취 시 농장별 실험조

(단위 : mg/L)

구 분			응집제 사용농장			응집제 미사용 농장	
			농장1	농장2	농장3	농장4	농장5
투입원수	BOD	1차	3,520	7,120	4,640	2,570	7,880
		2차	2,560	6,630	9,880	2,205	5,560
	SS	1차	2,100	1,400	1,750	1,800	2,500
		2차	1,850	840	2,667	1,440	2,750
	용해성	1차	2,321	2,611	2,200	785	2,649
	T-N	2차	1,598	904	1,856	503	1,271
HRT(수리학적 체류시간)			45day	20day	26day	14day	20day
내 부 반 송			4Q	6Q	8Q	5Q	6Q
종 자 종 류			배 추				
종 자 사 용 갯 수			각 30개				

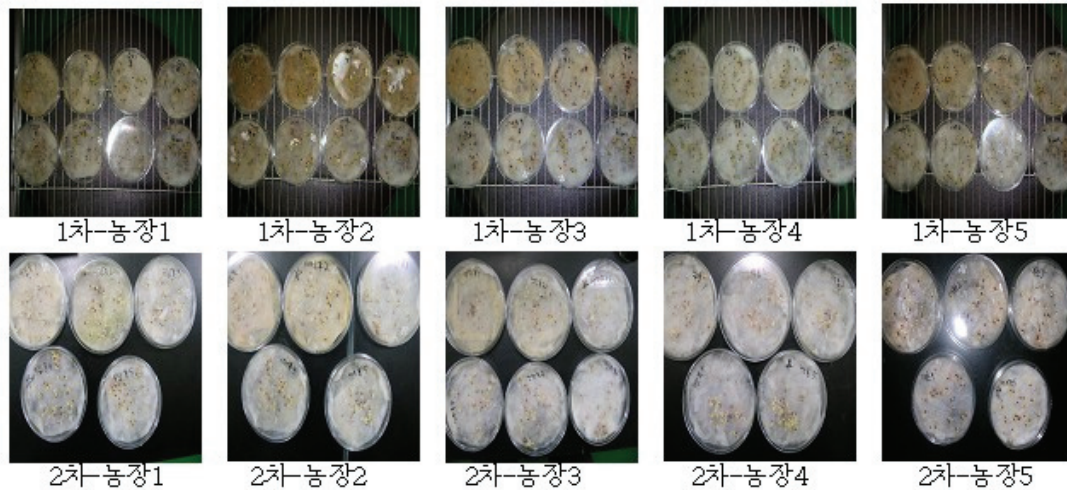


그림 3.32. 각 농장 실험시료별 발아실험.

표 3.13. 각 실험시료 주요항목 측정결과

단위(-, ms/cm, mg/L)

구 분		1차실험						2차실험					
		EC	T-N	NH ₄ ³⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ²⁻ -N	발아갯수	EC	T-N	NH ₄ ³⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ²⁻ -N	발아갯수
blank		0.032	2.3	0.4	1.2	0.4	30	0.031	1	0.2	N.D	0.8	29
농장 1	원수	13.88	206	77	20	109	29	14.97	315	90	N.D	225	29
	2배	7.22	95	40	9	46	29	7.76	169	39	N.D	130	28
	3배	4.99	73	25	14	34	30	5.35	69	11	N.D	58	29
	4배	3.35	50	16	6	28	30	4.02	48	9	N.D	39	29
	5배	3.07	41	13	5	23	28	3.30	28	4	N.D	24	29
농장 2	원수	22.75	224	147	67	10	28	13.81	43	2	36	5	24
	2배	11.82	117	75	32	10	29	7.21	25	1	20	4	30
	3배	8.14	72	49	20	3	30	4.92	20	1	15	4	26
	4배	6.18	52	34	16	2	30	3.75	12	N.D	9	3	28
	5배	4.98	43	29	12	2	29	3.08	9	N.D	7	2	27
농장 3	원수	27.48	1,487	1,470	N.D	17	0	18.73	221	44	167	10	3
	2배	14.56	724	719	N.D	5	0	9.74	139	39	93	7	29
	3배	9.94	576	573	N.D	3	0	6.64	95	38	49	8	29
	4배	7.62	391	390	N.D	1	2	5.06	70	26	41	3	26
	5배	6.25	306	303	N.D	3	6	4.12	63	24	39	N.D	27
농장 4	원수	5.28	144	141	2	1	25	3.65	27	2	15	10	29
	2배	2.76	77	74	2	1	29	1.91	13	1	7	5	28
	3배	1.91	52	50	1	1	29	1.31	11	1	6	4	29
	4배	1.45	39	37	1	1	29	0.99	7	N.D	3	4	29
	5배	1.23	33	30	1	2	29	0.82	4	N.D	1	3	30
농장 5	원수	8.87	310	284	14	12	13	6.07	12	2	5	5	21
	2배	4.70	176	162	11	3	26	3.54	10	1	5	4	27
	3배	3.25	86	82	3	1	27	2.43	7	N.D	4	3	27
	4배	2.45	71	65	4	2	29	1.83	7	N.D	4	3	29
	5배	2.01	36	32	3	1	30	1.51	4	N.D	3	1	29

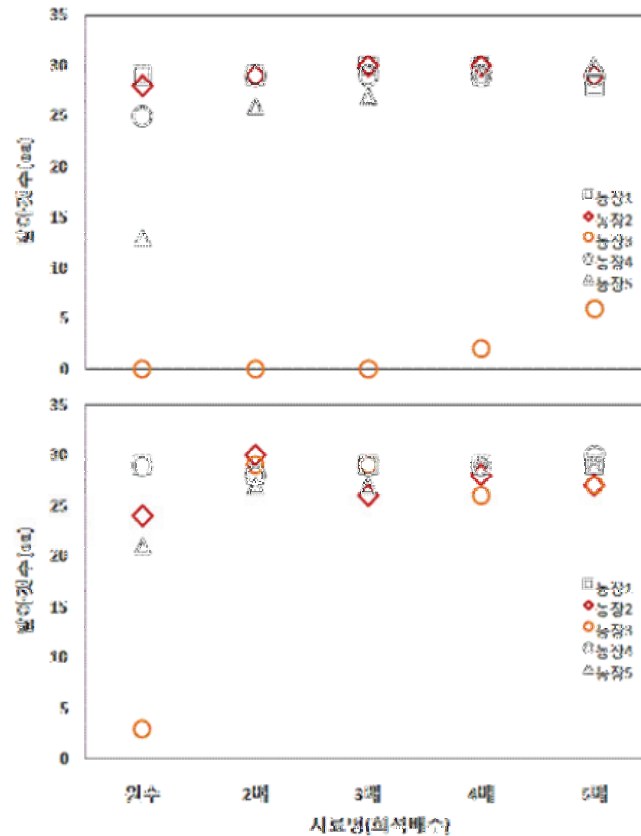


그림 3.33. 각 농장 실험시료별 발아실험결과.

각 농장별로 시료를 채수하여 발아실험한 결과를 그림 3.33에 나타내었다. 응집제를 사용하는 농가의 경우 생물학적 처리가 완료되는 최종미생물 폭기조의 상등수와 응집제를 사용하지 않은 농가의 경우에는 방류하고 있는 최종처리수를 2회에 걸쳐 채수하여 배추씨앗을 이용하여 발아실험한 결과 1차실험에서의 농장3 경우를 제외한 다른 시료들의 경우 배추종자의 발아갯수가 25~30개로 측정되어 매우 유사하게 측정되었으며, 희석하지 않은 원시료를 살펴보다라도 발아된 갯수가 13~29개로 나타나 액상비료로 이용시 비료로서의 유용성이 충분하다고 판단되며, 대부분 시료의 질소가 350mg/L 이하로 측정되어 액비로 이용시 일반적으로 사용되는 액비에 비해 많은 양이 소요되어 액비유통에 대한 문제점이 발생할 것으로 판단되며, 추가적인 조치가 없을 경우 고농도의 질소를 요하는 경우에는 사용이 제한되어져 이용작물에 대한 면밀한 검토도 필요할 것으로 판단된다.

2) Pilot시료 발아실험

(1) 내부반송 고려한 경우

내부반송을 고려한 경우의 시료를 채취하여 발아실험을 진행하는 과정의 조건과 결과를 표 3.14~3.15, 그림 3.34~3.35에 나타내었다.

표 3.14. 시료채취시 Pilot실험조건

구 분		조 건-1	조 건-2
투입원수	BOD	6,650mg/ L	8,310mg/ L
	SS	2,470mg/ L	9,000mg/ L
	용해성T-N	1,723mg/ L	1,809mg/ L
HRT(수리학적 체류시간)		10day, 15day	20day, 25day
내 부 반 송		11Q	11Q
종 자 종 류		유 채	배 추
종 자 사 용 갯 수		각 20개	각 30개

(가) 조건-1 실험결과

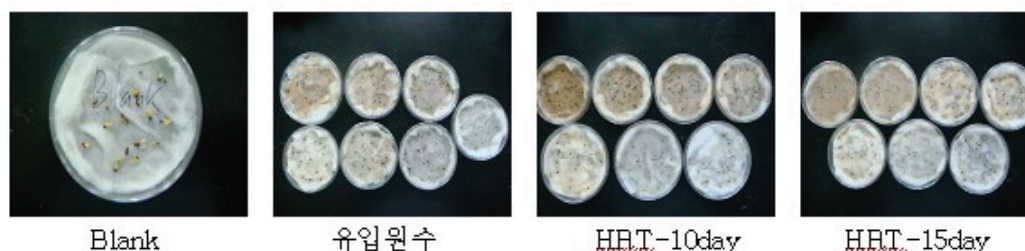


그림 3.34. 조건-1 발아실험.

표 3.15. 각 실험시료 주요항목 측정결과

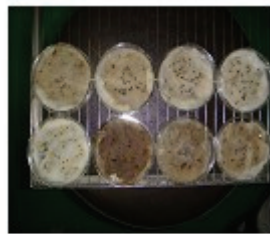
단위(-, ms/cm, mg/ L)

구 분		pH	EC	T-N	P ₂ O ₅	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	발아갯수
blank		7.55	0.03			0.1	0.6	5.3	16
원수슬러리	원수	8.05	31.29	1723	83	1,967	10	213	0
	2배	8.12	16.84	873	71	1,023	7	152	0
	3배	8.16	11.58	736	47	878	5	94	0
	4배	8.15	8.81	439	44	499	4.3	100	1
	5배	8.17	7.28	432	49	531	4	55	0
	10배	8.23	3.83	222	29	270	2	27	5
	20배	8.24	2.01	93	18	117	1	23	12
HRT-10day	원수	8.92	22.96	347	132	5,667	7	148	0
	2배	8.95	12.11	173	86	2,962	5	82	1
	3배	8.96	8.83	118	47	2,061	3	56	3
	4배	8.94	6.42	64	47	1,107	2	25	6
	5배	8.93	5.20	59	17	1,000	2	29	9
	10배	8.92	2.73	27	6	459	1	16	12
	20배	8.91	1.43	19	1	251	0.5	13	13

(계속)

구 분		pH	EC	T-N	P ₂ O ₅	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	발아갯수
HRT-15day	원수	9.02	16.69	177	140	4,159	12.5	83	9
	2배	9.02	8.89	91	83	3,286	8.6	46	10
	3배	9.02	6.09	69	64	2,156	6.2	35	13
	4배	9.02	4.65	51	51	869	3.1	21	16
	5배	9.02	3.78	36	29	767	2.4	18	11
	10배	9.02	1.94	22	27	387	1.7	12	14
	20배	8.96	1.03	12	15	230	1.6	23	16

(나) 조건-2 실험결과



유입 원수



HRT-20day



HRT-25day

그림 3.35. 조건-2 발아실험.

표 3.16. 각 실험시료 주요항목 측정결과

단위(-, ms/cm, mg/L)

구 분		pH	EC	T-N	P ₂ O ₅	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	발아갯수
blank		7.55	0.03			0.1	0.6	5.3	30
원수슬러리	원수	8.07	22.23	1809	552	1372	670	1986	0
	2배	8.17	11.72	872	135	674	311	1042	0
	3배	8.01	9.18	817	105	445	233	693	0
	4배	8.05	6.83	505	56	336	122	389	0
	5배	8.03	5.75	424	17	275	102	300	2
	10배	8.06	3.00	205	20	131	59	170	12
	20배	8.12	1.28	86	12	53	26	69	23
HRT-20day	원수	8.22	10.15	147	47	1544	224	216	30
	2배	8.2	5.39	70	20	782	122	126	30
	3배	8.21	3.75	44	25	539	78	99	29
	4배	8.09	2.87	38	27	388	55	58	30
	5배	8.05	2.31	27	27	308	44	47	30
	10배	7.78	1.22	15	17	159	25	28	30
	20배	7.5	0.53	8	25	63	9	13	30

(계속)

구 분		pH	EC	T-N	P ₂ O ₅	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	발아갯수
HRT-25day	원수	8.28	11.17	168	69	1758	161	229	29
	2배	8.23	5.89	80	29	886	81	115	30
	3배	8.18	4.07	52	17	590	56	79	30
	4배	8.08	3.12	39	10	435	39	55	29
	5배	8.01	2.53	30	10	352	34	53	30
	10배	7.56	1.33	17	10	177	16	27	30
	20배	7.31	0.58	8	5	71	7	14	30

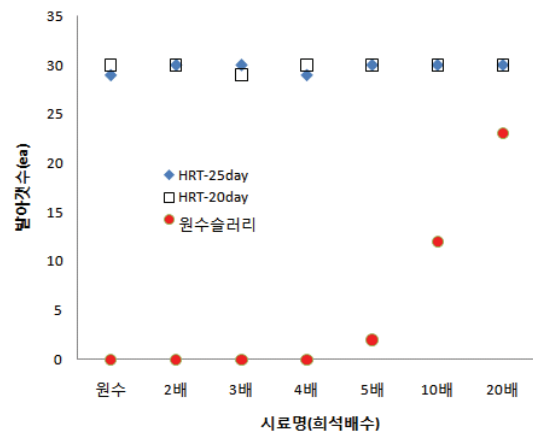
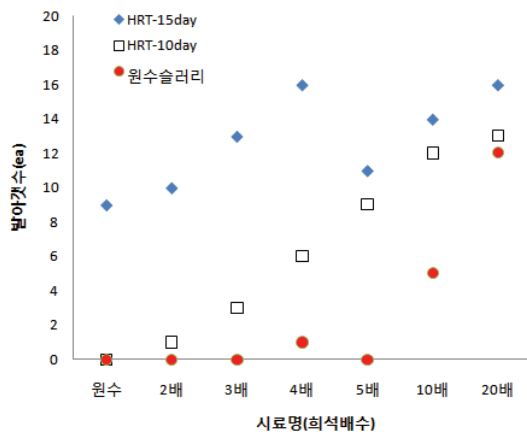


그림 3.36. 조건-1의 실험시료별 발아실험결과.

그림 3.37. 조건-2의 실험시료별 발아실험결과.

조건-1의 경우 원수슬러리, HRT가 10day, 15day에서의 최종처리수와 유채종자를 이용하여 발아실험하였으며, 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 모든 시료에서 발아되는 경향이 유사하게 나타났으며, 원수슬러리의 경우 20배이상, HRT 10day 시료에서는 10배이상 희석하여야 10개 이상의 종자가 발아되었으나, HRT 15day 시료는 2배 희석이상의 희성으로도 10개 이상의 종자가 발아되었다.

원수슬러리, HRT가 20day, 25day에서의 최종처리수와 배추종자를 이용하여 실험한 조건-2의 발아실험 결과를 그림 3에 나타내었다. 원수슬러리는 조건-1의 경우 매우 유사한 결과를 나타내고 있으나 HRT 20, 25day 시료의 경우에는 농장별 발아실험한 결과와 유사하게 나타났으며, 모든 시료에서 29개 이상의 배추종자가 발아되어 액비로서의 가치가 충분하다고 판단된다.

Blank 실험결과에서 나타난 바와 같이 유채종자가 배추종자에 비해 발아능력이 떨어져 조건-1에서 발아된 종자수가 적게 출현되었을 가능성이 있으나, 분뇨슬러리의 처리상태가 조건-1에 비해 조건-2 효과적으로 이루어져 조건-2의 시료에서 유효한 비료성분이 많이 포함되어 있고 충분한 유기물 분해에 의한 발아저해물질의 제거되어 조건-2에서 더 많은 종자가 발아되었을 것으로 판단된다.

(2) 내부반송 고려하지 않을 경우

내부반송을 고려하지 않을 경우의 시료를 채취하여 발아실험을 진행하는 과정의 조건과 결과를 표 3.17~3.18, 그림 3.38~3.39에 나타내었다.

표 3.17. 시료채취시 Pilot실험조건

구 분		조 건-1	조 건-2
투입원수	BOD	10,480mg/ L	9,870mg/ L
	SS	13,000mg/ L	8,500mg/ L
	용해성T-N	1,874mg/ L	1,269mg/ L
HRT(수리학적 체류시간)		25day, 30day	15day, 20day
내 부 반 송		-	-
종 자 종 류		배 추	
종 자 사 용 갯 수		각 30개	

(가) 조건-1, 2 실험결과

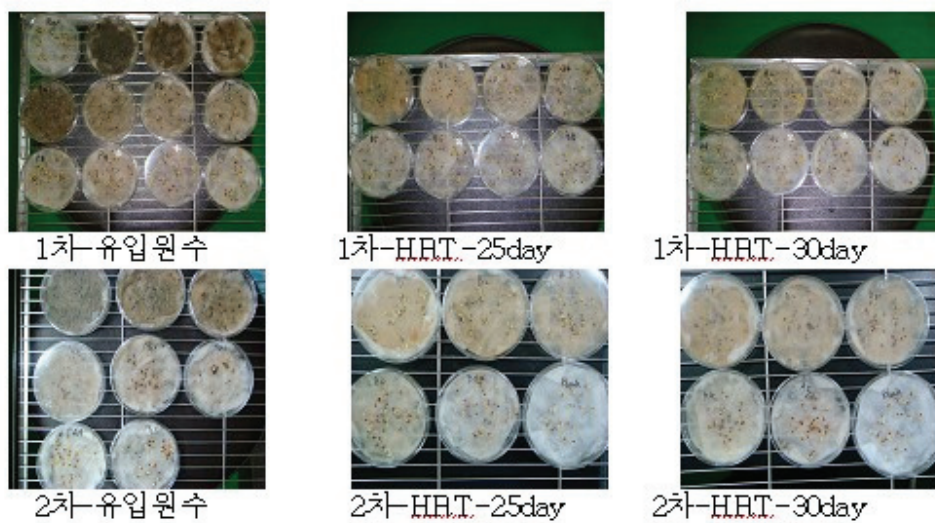


그림 3.38. 조건-1 발아실험.



그림 3.39. 조건-2 발아실험.

조건-1의 경우 원수슬러리, HRT가 25day, 30day에서의 최종처리수와 배추종자를 이용하여 2회에 걸쳐 발아실험 하였으며, 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 모든 시료에서 발아되는 경향이 유사하게 나타났으며, HRT 25, 30day 시료의 경우에는 농장별 발아실험을 한 결과와 유사하게 나타났으며, 모든 시료에서 20개 이상의 배추종자가 발아되어 액비로서의 가치가 충분하다고 판단된다.

원수슬러리, HRT가 15day, 20day에서의 최종처리수와 배추종자를 이용하여 실험한 조건-2의 발아실험 결과를 그림 5에 나타내었다. 원수슬러리는 조건-1의 경우와 매우 유사한 결과를 나타내고 있으나, 원수슬러리의 경우 10배이상, HRT 15day, 20day의 시료에서는 2배이상 희석하여야 10개 이상의 종자가 발아되어 액비로서의 이용가치가 충분하다고 판단되며, 기존의 활성오니시설 운전조건을 간단하게 조작하여 유용한 액비생산이 가능하다고 판단된다.

표 3.18. 각 실험시료 주요항목 측정결과

단위(-, ms/cm, mg/L)

구 분				EC	T-N	P ₂ O ₅	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	발아갯수
BLANK				0.032	2	0	32.5	0.2	1.1	30
조 건 1	1차 실험	원수	원수	32.85	1,827	385	1,450	985	594	0
			5배	9.297	369	179	291	108	60	0
			10배	4.397	133	133	106	42	36	0
			15배	3.064	91	110	73	29	28	10
			20배	2.442	63	71	61	32	29	22
			25배	2.058	54	60	49	26	27	23
		30 day	원수	16.82	386	229	1,275	110	216	28
			2배	8.744	196	128	518	39	76	26
			3배	6.03	132	89	415	29	60	27
			4배	4.645	98	55	356	26	51	29
			5배	3.739	78	57	208	14	30	30
	25 day	원수	18.68	487	277	1,385	112	229	2	
		2배	9.35	251	135	714	45	101	28	
		3배	6.24	187	110	501	37	69	29	
		4배	4.68	129	80	433	24	45	29	
		5배	3.62	98	39	254	16	21	27	
	2차 실험	원수	1배	40.68	1,963	350	1,505	186	250	0
			5배	9.905	380	195	289	44	72	0
			10배	5.381	200	112	154	23	31	0
			15배	3.577	134	69	102	20	13	6
			20배	2.745	97	57	73	13	15	23
			25배	2.295	78	48	61	13	12	20
		30 day	1배	15.36	353	204	1,349	123	143	28
			2배	8.01	145	105	633	58	69	27
			3배	5.36	143	39	402	41	53	28
			4배	4.32	87	23	276	26	31	29
			5배	3.02	45	11	147	16	17	29

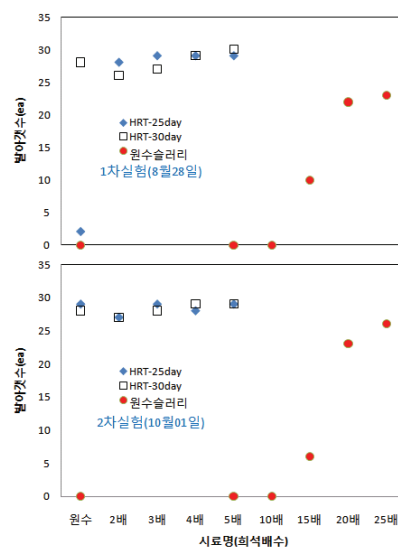


그림 3.40. 조건-1의 실험시료별 발아실험결과.

(계속)

구 분				EC	T-N	P ₂ O ₅	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	발아갯수
조건 1	2차 실험	25 day	1배	15.95	442	224	1,439	129	158	29
			2배	8.404	231	126	669	51	78	27
			3배	5.808	154	94	409	33	54	29
			4배	3.623	118	55	276	23	36	28
			5배	1.918	93	27	149	12	19	29
조건 2	원수	25 day	1배	27.6	2529	218	6079	341	2460	0
			5배	6.63	625	96	1578	79	501	0
			10배	3.59	280	48	651	36	253	10
			15배	2.5	175	37	415	27	169	29
			20배	1.9	132	21	316	19	128	26
			25배	1.61	105	11	252	15	102	27
	20 day	20 day	1배	15.91	595	41	3,330	115	858	0
			2배	8.51	288	23	1,866	69	421	14
			3배	5.81	196	14	1,105	47	344	26
			4배	4.22	152	14	851	22	215	28
			5배	3.61	115	16	365	17	185	29
	15 day	15 day	1배	17.07	797	34	3,058	142	628	0
			2배	8.95	382	18	1,684	82	322	15
			3배	6.18	286	14	1,085	46	221	28
			4배	4.78	204	11	877	32	165	28
			5배	3.84	171	11	598	18	124	29

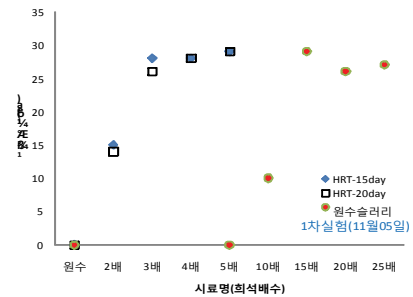


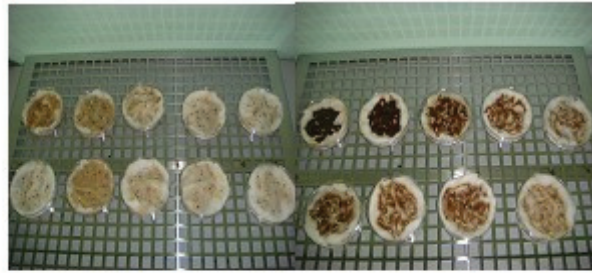
그림 3.41. 조건-2의 실험시료별 발아실험결과.

(3) HRT-20,25day 발아실험

표 3.19, 3.20와 그림 3.42에 처리조건 변화에 따른 처리수 및 농축슬러리 성상과 발아율을 정리하였다. 조건별 내부반송 여부에 따른 전체적인 발아율을 살펴보면, HRT 20day일 경우 내부반송을 하지 않은 처리수의 경우는 2배이상 희석하였을 경우 발아가 정상적으로 이루어지는 것을 알 수 있었으며, 내부반송을 실시한 처리수의 경우에는 희석하지 않고도 95%이상 발아가 되어짐을 알 수 있었다. HRT 25day의 경우에는 내부반송의 유무와 관계없이 희석하지 않고도 85%이상의 발아율을 나타내었다. 또한 내부반송을 하지 않은 농축슬러리의 경우에도 처리수와 유사한 경향으로 나타나 HRT 20, 25day 모두에서 4배 이상 희석한 실험에서 정상적인 발아가 진행되었으며, 내부반송을 한 농축슬러리의 경우도 처리수와 마찬가지로 희석하지 않은 시료에서도 85%이상의 정상적인 발아율을 나타내어 분뇨의 처리일수가 증가할수록 발아율이 증가됨을 알 수 있었으며, 내부반송을 하지 않은 처리수 및 농축슬러리와 같은 액비의 경우 살포 후 파종하기까지 분해되지 못한 유기물들이 분해될 수 있도록 충분한 공백기간을 두거나, 비를 맞춰 희석시킨 후 파종하거나, 충분히 희석될 수 있는 수도작에 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.



HRT-20day



HRT-25day

그림 3.42. HRT-20, 25day 발아실험.

표 3.19. 조건별 실험시료 농도

단위(mg/L)

구 분		T-N	P ₂ O ₅	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
HRT-20day	내부반송중단처리수	871	371	3298	132	178
	내부반송가동처리수	186	128	3434	203	294
	내부반송중단농축슬러지	857	614	1916	131	98
	내부반송가동농축슬러지	429	813	1868	99	162
HRT-25day	내부반송중단처리수	752	352	3256	152	169
	내부반송가동처리수	98	108	3318	156	254
	내부반송중단농축슬러지	775	599	1905	144	105
	내부반송가동농축슬러지	436	789	1777	112	136

표 3.20. 조건변화에 따른 발아율

구 분		HRT-20day		HRT-25day	
		발아개수	발아율(%)	발아개수	발아율(%)
내부반송 중단처리수	1배	13	26.0	43	86.7
	2배	42	84.0	47	93.3
	3배	44	88.0	43	86.7
	4배	48	96.0	48	96.7
	5배	48	96.0	49	98.0
내부반송 가동처리수	1배	48	96.0	45	90.0
	2배	47	94.0	45	90.0
	3배	50	100.0	47	94.0
	4배	48	96.0	48	96.0
	5배	48	96.0	50	100.0
내부반송중단 농축슬러지	1배	2	4.0	0	0.0
	2배	12	24.0	12	23.3
	4배	42	84.0	40	80.0
	6배	46	92.0	45	90.0

(계속)

구 분		HRT-20day		HRT-25day	
		발아개수	발아율(%)	발아개수	발아율(%)
내부반송중단 농축슬러지	8배	46	92.0	46	92.0
	10배	47	94.0	48	96.0
	20배	47	94.0	48	96.0
내부반송가동 농축슬러지	1배	45	90.0	43	86.0
	2배	46	92.0	44	88.0
	4배	44	88.0	45	90.0
	6배	46	92.0	45	90.0
	8배	46	92.0	46	92.0
	10배	47	94.0	47	93.3
	20배	48	96.0	50	100.0



그림 3.43. 운전조건에 따른 발아율.

4. 적 요

- 1) 활성오니공정을 근간으로 응집제를 사용하여 물리화학적 방법으로 전·후 처리하는 3개소 농장과 스크린, 침전조등 물리적 방법으로만 전·후 처리하는 2개소 농장의 방류수 BOD, SS등의 농도는 대부분 방류수수질기준 이내로서 처리방법 상이에 따른 큰 차이는 없었다.
- 2) SS 8,285mg/L, BOD 6,001mg/L, T-N 2,117mg/L 인 돈분노슬러리를 F/M비 0.01~0.08 kg-BOD/kg-MLSS · day, 내부반송 약 10Q로 운전한 결과 처리수 평균 BOD, SS 농도는 각각 57mg/L, 81mg/L, T-N 및 $PO_4^{3-}P$ 농도는 각각 108mg/L, 29mg/L로서 일반지역에서의 방류수 수질기준을 만족할 수 있도록 처리할 수 있었다.
- 3) 후처리로서 SS 및 BOD 제거목적으로 일반적으로 널리 사용되고 있는 화학적 응집공정 도입하여 처리한 결과 처리수의 평균 농도는 BOD, SS, T-N 및 $PO_4^{3-}P$ 각각 36mg/L, 42mg/L, 104mg/L, 15mg/L로 측정되어 수질보호구역에서의 방류수 수질기준 이하로 안정적으로 처

리할 수 있을 것으로 판단된다.

- 4) 색도가 10,450도의 생물학적 처리수의 색도를 제거하기 위해 화학적 응집공정과 활성탄 처리한 결과 처리수의 색도 변화는 화학적 응집공정 처리 후 1,921도로 처리원수에 비해 81.6%가 제거되었으며, 활성탄 처리 후의 색도는 356도로 측정되어 처리원수 대비 96%이상 제거함으로써 색도를 효율적으로 처리할 수 있을 것으로 판단된다.
- 5) F/M비 0.01~0.08 kg-BOD/kg-MLSS · day로 운전, 내부반송을 하지 않은 경우 액비의 성상을 조사한 결과 처리수의 경우 T-N, P_2O_5 , K^+ 의 평균농도가 내부반송을 가동한 경우보다 비효성분인 질소 농도는 4.5배 이상 높게 측정되어 액상비료로의 이용성이 충분하다고 판단된다.
- 6) 배추종자를 이용한 발아시험결과, 처리수의 경우 HRT 20day 경우를 제외하고는 내부반송을 유무와 관계없이 모두 희석하지 않고도 85% 이상의 발아율을 나타내었고, 농축슬러지의 경우 내부반송을 가동한 경우에는 처리수와 같이 희석하지 않고도 85%이상의 발아율을 보였으나, 내부반송을 중단한 경우에는 4배 이상 희석하여야 80%이상의 발아된다.
- 7) 비효성분인 질소의 농도가 낮을수록 액비살포량이 증가하면서 그에 따라 살포비용도 비례적으로 증가하게 되어 농가에서는 액비처리에 경제적인 어려움이 발생할 것을 판단되며, 발아실험을 통해 희석할 경우 높은 발아율을 나타내는 액비는 살포 후 파종하기까지 분해되지 못한 유기물들이 분해될 수 있도록 충분한 공백기간을 두거나, 비를 맞춰 희석시킨 후 파종하거나, 충분히 희석될 수 있는 수도작에 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.
- 8) 따라서 활성오니공정을 이용하여 액비를 생산하기 위해서는 평균 F/M비 0.05kg-BOD/kg-MLSS · day로 운전하면서, 내부반송을 중단하여 비효성분인 질소가 제거되지 않도록 하여 액비를 생산, 농경지에 활용하는 것이 바람직하며, 이는 액비생산 및 액비살포 비용을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

〈제2세부과제〉 혐기성공정을 이용한 기축분뇨 액비화 기술 개발

1. 하절기

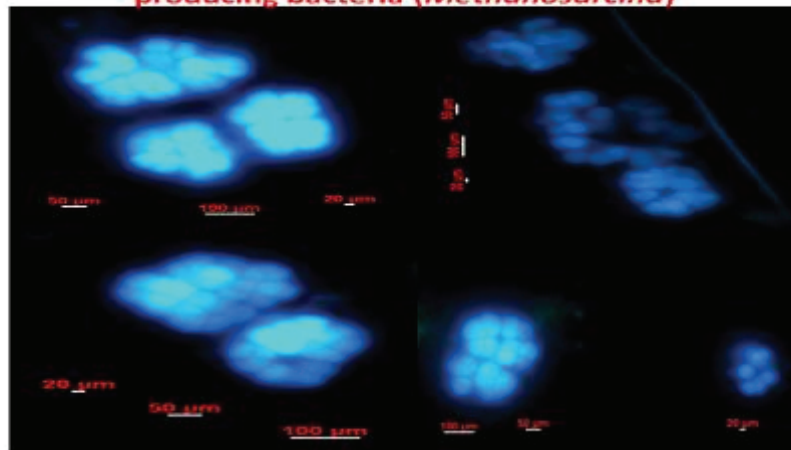
메탄생성균은 구조적으로 다양하고, 특징지을 수 있는 모든 종과 비교하여 특별한 외관을 갖지는 않는다. 메탄생성균은 구균, 간균, 선균, 포도상 구균 등 모든 외관을 갖는다. 하지만 메탄생성균의 세포로부터 산화조건에서의 자기형광발광능을 강하게 인지할 수 있다. 이 현상의 주된 원인은 F420이라는 보조효소에 기인하며, 이는 대부분의 메탄생성균에서 발견된다. 이 화합물은 420nm에서 최고흡수율을 보인다. 이러한 메탄생성균의 형광발광능은 형광현미경을 이용하여 확인할 수 있다.

형광현미경을 이용한 메탄생성균 관찰 과정은 아래와 같다.

- 시료 한 방울을 슬라이드에 올리고 커버글라스로 덮어준다.(원료, CTC첨가된 슬러리, 복원된 슬러리)
- 비형광 오일 한 방울을 을 커버슬립 위에 떨어뜨린다.
- 100배율의 오일렌즈로 형광현미경을 이용해 형광을 관찰한다.
- CTC처리가 된 슬러리를 제외하고는 녹색형광이 발견될 것이다.

원료시료는 높은 밀도의 포도상 구균 형태를 보였으며, 이는 원료시료가 강하고 건강한 메탄 생성균과 관련있다. (Methanosarcina). 이는 소화조에서 주요한 메탄생성균 중 하나이다.

DSR slurry observed under fluorescence microscope Indicates methane producing bacteria (Methanosarcina)



1) 돈슬러리의 특성

돈슬러리의 평균 물리화학적 특성은 표-1과 같다. 돈슬러리의 VS/TS비는 약 71%, CODcr/NH3-N (C/N)비= 25:1 정도로서 돈슬러리는 혐기소화를 가속할 수 있는 원료로 이해된다 (Gerardi, 2003). 돈슬러리의 pH는 6.65으로 적정 범위에 속한다 (산생성박테리아의 효소활성범위는 pH 5.0 이상이어야 하며, 메탄생성균은 6.2 이하에서는 일어나지 않는다, Gerardi, 2003). 평균 TS값은 3.32% (함수율 96.7%)인 액상으로 UGAD로 이송이 용이하다. SCODcr와 BOD5비율은 TCODcr(66592 mg/L)의 각각 50%, 25%로 분석되었다. 분변대장균은 돈슬러리의 병원성 물질의 지표로서(US EPA, 1992), 유입수내 분변대장균(470 CFU/mL)과 살모넬라(3100 MPN/mL)를 분석하였다. [표-1]의 분석결과는 돈슬러리를 처리(병원성물질의 제거공정)하지 않고서는 농경지나 개천에 방류되어선 아니됨을 알 수 있다.

표-1. 돈슬러리의 하절기 물리화학적 특성

물리화학적 변수	원슬러리
pH	6.65
EC (mS/cm)	21.5
TS (%)	3.32
VS (%)	2.35
VS/TS (%)	71
COD/NH ₃ -N	25:1
TSS (mg/L)	13,788
TCOD _{cr} (mg/L)	66,592
SCOD _{cr} (mg/L)	33,002
BOD ₅ (mg/L)	16,914
NH ₃ -N (mg/L)	2,623
Avi.P (mg/L)	2,012
Fecal coliforms (CFU/mL)	470
<i>Salmonella</i> (MPN/mL)	3,100

2) 물리-생화학적 변수 분석

(1) 온도

[표-2]에서와 같이 UGAD시스템에서 40일의 소화기간 동안 네 지점에서 채수한 돈슬러리의 특성에 유의(有意)할만한 물리-생화학적 변화를 나타낸다. 즉, pH는 유입수 6.65에서 유출수 8.03로, UGAD슬러리와 DSR에서는 각각 7.64 와 7.60으로 나타났다. 이는 메탄생성균에 적합한 환경으로 [그림-1]의 혐기미생물은 비중에 의해 DSR의 바닥에 침전된다. EC의 경우, 21.5 에서 13.3 mS/cm 으로 유입·출 간의 변화하였으며, 값은 감소하는 이유는 EC가 미생물이 먹이로 취할 수 있는 용존영양분 (NH₃-N and K 등 양이온)에 의존하기 때문이다.

[그림-5]는 경시적 UGAD온도, 유입수온도, 기온 등의 변화를 나타낸다. 평균 환경온도는 28.4°C이지만 소화조의 액온(液溫)은 33.7°C로 외기온보다 약 5.3°C 정도의 높았다. 이는 지하 혐기 소화조의 장점으로 지상소화조보다 전도(傳導) 열손실이 적음을 알 수 있다. (Philip, 2007).

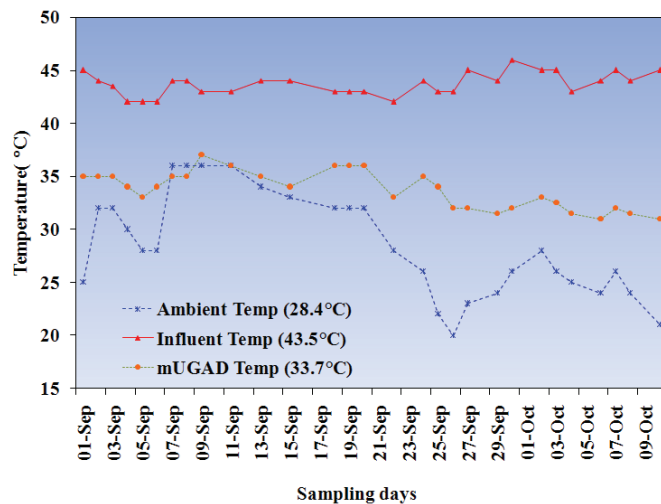


그림-4. UGAD시스템에서 경시적 온도분포.

흥미롭게도, solid 특성을 나타내는 유입수의 TS와 TSS는 각각 3.32%, 1.38%, 유출수는 각각 1.06%, 0.29%로 분석되었다. DSR의 하부에 침전된 TS와 TSS는 평균적으로 4.13%, 2.69%로서 이를 미생물군집(consortium)량을 확보하기 위하여 유입구로 반송시켜 혐기미생물군집을 극대화하여 inoculum으로 재사용한다.

[표-2]에서와 같이 유기물량을 나타내는 TCOD_{cr}, SCOD_{cr}, BOD₅ 농도는 각각 66,592, 33,002, 16,914 mg/L, 관찰되었으며, 양양원인 NH₃-N, 유효인산은 유입수에서 각각 평균 2,623, 2,012 mg/L, 유출수에서 1,184 and 414 mg/L로 분석되었다. 유출수에서는 병원성균도 발견되지 않았다. 따라서 혐기소화 돈슬러리는 위생적 액체비료로 사용될 수 있다.

표-2. UGAD의 네 지점 소화액의 생화학적 특성

생화학적 변수	@유입수	@UGAD	@DSR	@유출수
pH	6.65	7.64	7.60	8.03
EC (mS/cm)	21.5	13.2	10.4	13.3
TS (%)	3.32	1.48	4.13	1.06
VS (%)	2.35	1.00	2.43	0.62
VS/TS (%)	71	68	59	59
COD _{cr} /NH ₃ -N (\approx C/N)	25:1	10:1	42:1	8:1
TSS (mg/L)	13,788	3,733	26,861	2,922
TCOD _{cr} (mg/L)	66,592	15,032	43,526???	9,045
SCOD _{cr} (mg/L)	33,002	5,735	2,053	3,593
SCOD _{cr} /TCOD _{cr} (%)	50.0	38	N/A	40
BOD ₅ (mg/L)	16,914	-	-	3,290

(계속)

생화학적 변수	@유입수	@UGAD	@DSR	@유출수
NH ₃ -N (mg/L)	2,623	1,469	1,050	1,184
Avi. P (mg/L)	2,012	713	1115	414
Fecal coliforms (CFU/mL)	470	-	-	<10
Salmonella (MPN/mL)	3,100	-	-	

(2) pH

pH는 혐기 미생물의 활동에 영향을 미치므로 이를 monitoring하였다. 원슬러리의 pH는 6.13~6.85로서 산성 pH범위로 나타났으나, 나머지 세 측정점은 7.38~8.41 사이로 알칼리 pH 범위로 관찰되었다. 특히 UGAD에서는 pH 범위는 7.60~8.25 사이로 매우 적절한 범위를 유지하였다. 이 범위는 아세트산생성미생물 뿐만 아니라, 혐기성 메탄생성미생물세균에게도 적합한 것으로 보고되어 있어 UGAD의 혐기소화과정 중 문제는 제기되지 않을 것으로 판단된다.

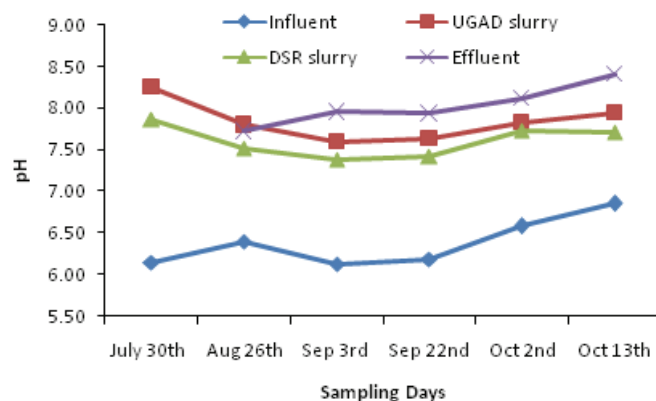


그림-5. UGAD system의 경시적 측정별 pH 변화.

(3) Total Solids (총고형물)/ Volatile Solids (휘발성 고형물)

총고형물(TS)은 [그림-7]에서와 같이 생슬러리의 TS는 3.4%, 배출수에는 약 1.0%가 관찰되었다. 전공정의 TS의 감소율은 68.1%에 이른다. TS중 생분해가능한 고형물을 휘발성 고형물(VS)이라 하는 데, VS변화는 [그림-8]과 같다. 생슬러리의 평균 VS는 2.35%, 배출수에서는 0.62%로 분석되었다. VS/TS비는 60~70%로 나타났다. 전공정 VS감소는 73.6%로서 UGAD시스템의 TS, VS 감소효율제고가 필요한 것으로 판단된다.

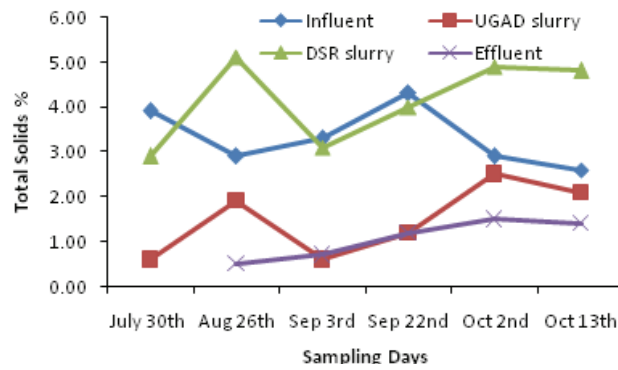


그림-6. UGAD 시스템의 경시적 측정별 TS변화.

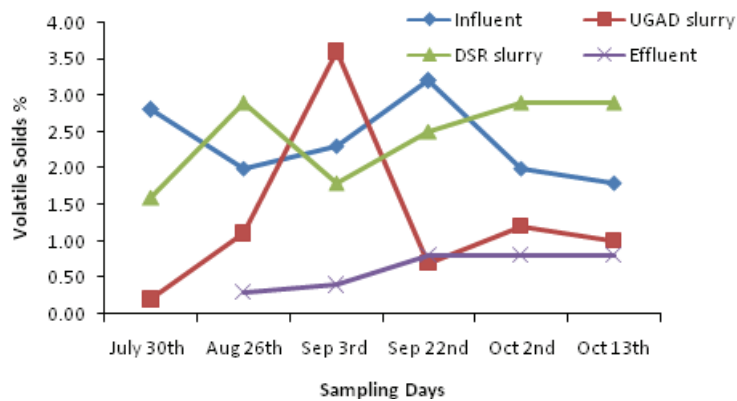


그림-7. 경시적 측정별 VS변화.

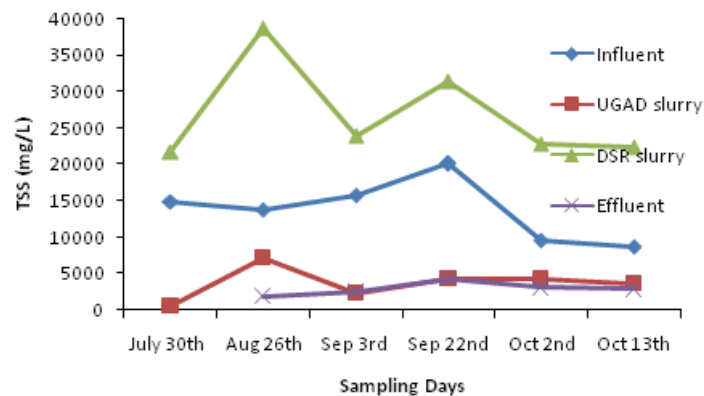


그림-8. 경시적 측정별 TSS 변화.

(4) Total Suspended Solids (총부유고형물)

총부유고형물(TSS)은 측정별 감소가 뚜렷하였다. 원슬러리의 평균 TSS는 13,788 mg/L, 배출수에서는 2,922mg/L로 관찰되어 전(全)공정의 TSS 감소효율은 약 79%로 나타났다. 일반적으로 호기성 시스템의 감소율은 95% 이상에 이므로 혐기소화공정의 TSS 감소효율 제고를 위한 연구가

필요하다.

(5) TCOD_{cr} (Total COD)/sCOD_{cr} (soluble COD_{cr})

TCOD_{cr}의 생슬러리는 평균 농도는 6.65%, 배출수는 0.90%로 관찰되었다. 약 86%의 감소가 나타났다. TCOD중 용해가능한 sCOD_{cr}는 바이오가스생산잠재력 지표로서 매우 중요하다. 생슬러리는 평균 sCOD 농도는 3.3%, 배출수는 0.359%로 관찰되어 약 89% 감소로 나타났다. 이런 높은 sCOD 감소는 바이오가스생산을 제고로 나타난다. 다만 sCOD/TCOD비는 약 40~50%에 머물렀다.

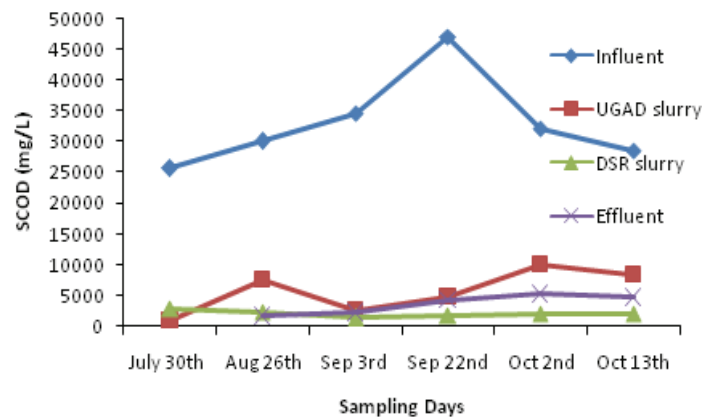


그림-9. sCOD의 경시적 지점별 변화.

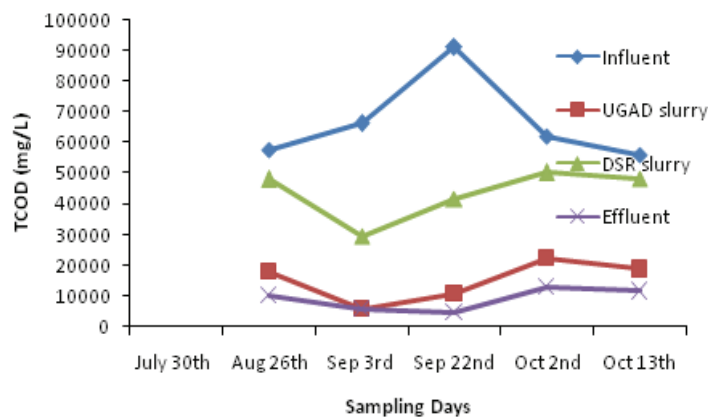


그림-10. 경시적 측정별 총COD_{cr} 변화.

(6) BOD₅

BOD의 원슬러리 평균 16,914mg/L, 유출수에서는 평균 3,290mg/L로 분석되었다. 공정중 총 BOD는 감소는 약 80.6%로서 감소율이 상당히 높았다. 이는 혐기성 소화도 돈슬러리의 유기물 감소효율이 상대적으로 높음을 의미한다.

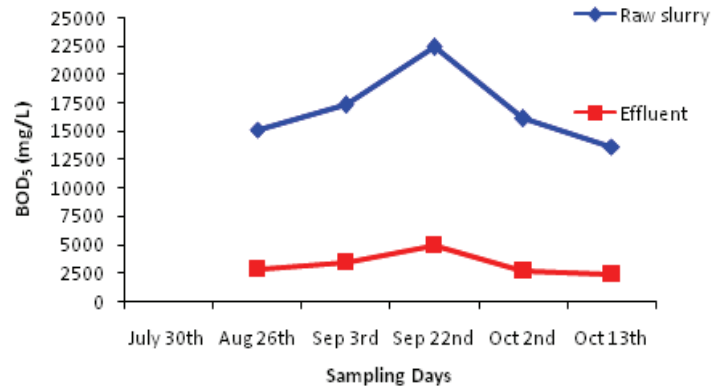


그림-11. 경시적 측정별 BOD₅의 변화.

(7) 암모니아성 질소

암모니아성 질소는 액비(유출수)뿐만 아니라 바이오가스 생산(원 슬러리)에 있어서도 중요한 요소이고, 자유 암모니아성 질소가 많아지면 혐기 미생물의 유해하다. 원슬러리의 암모니아성 질소의 평균 농도는 2,794mg/L, 유출수에서는 1,065mg/L으로 분석되었다. UGAD 소화 시스템에서 암모니아성 질소가 54.9% 감소한 것은 주목할 만하다. 암모니아성 질소농도는 혐기성 세균에게 매우 적합하다.

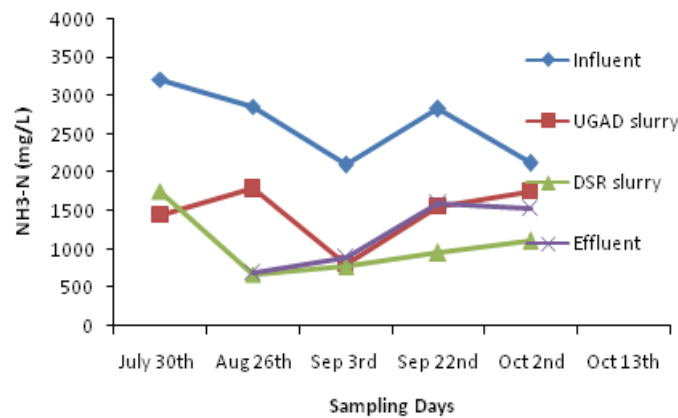


그림-12. 암모니아성 질소의 경시적 측정별 변화.

(8) 가용(可溶) 인

가용 인도 또한 액비(유출수) 뿐만 아니라 바이오가스 생산(원 슬러리)에 있어서 중요한 요소이다. 원슬러리에서 유출수까지의 과정에서 유의(有意)한 감소를 관찰하였다. 원슬러리에서 가용 인 농도는 2,146mg/L로 관찰된 반면 유출수에서는 278mg/L이었다. UGAD시스템에서 가용 인이 79% 감소한 것은 주목할 만하다.

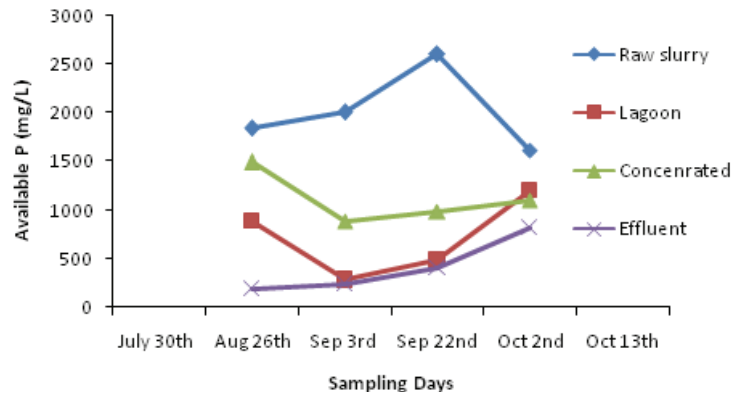


그림-13. 경시적 지점별 가용 인 변화.

3) 미생물학적 변수 분석

(1) 살모넬라와 분변대장균

살모넬라와 분변대장균은 병원성세균으로 가축분뇨에 많이 함유되어 있다. 따라서 토양, 물, 공기, 식물의 오염을 막기 위해 가축분뇨의 액체비료로 살포하기 전에 병원성세균을 제거해야 한다. [그림-14]와 같이 UGAD 처리 혐기소화액에는 병원성미생물이 발견되지 않았다. 혐기조건에서는 독성 미생물이 살 수 없기 때문이다. 그러므로 처리된 돈슬러리(유출수)는 위생적 액체 바이오 비료로 이용될 수 있을 것이다.

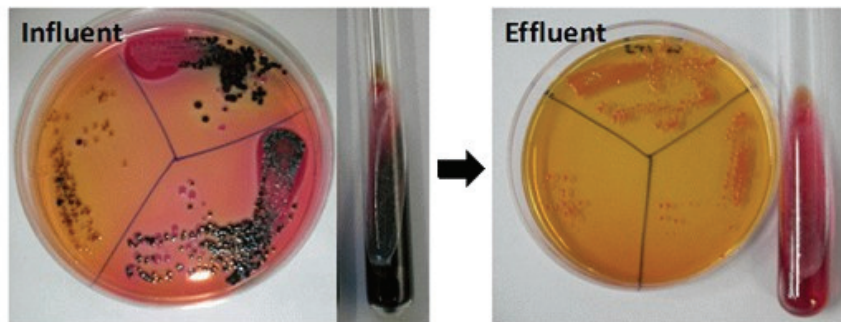


그림-14. UGAD 돈슬러리의 유입수(influent, 좌)와 유출수(effluent, 우)에서 살모넬라의 성장 사진.

4) 바이오가스 생산과 조성

가스 크로마토그래피(HP 6890N, Agilent Technologies, USA)를 이용하여 CH_4 와 CO_2 를 분석하였다. 0.6mL의 가스 샘플은 50°C의 주입 온도로 주입되었고, 오븐 온도는 35°C(5분)에서 225°C로 분당 20°C씩 올렸으며, 헬륨은 가스 운반자로 분당 30mL씩 이용하였다. UGAD의 바이오가스중 메탄비율은 약 67%로 분석되어 상대적으로 다른 원료를 사용하는 AD시스템보다 메탄함유율이 높았다.

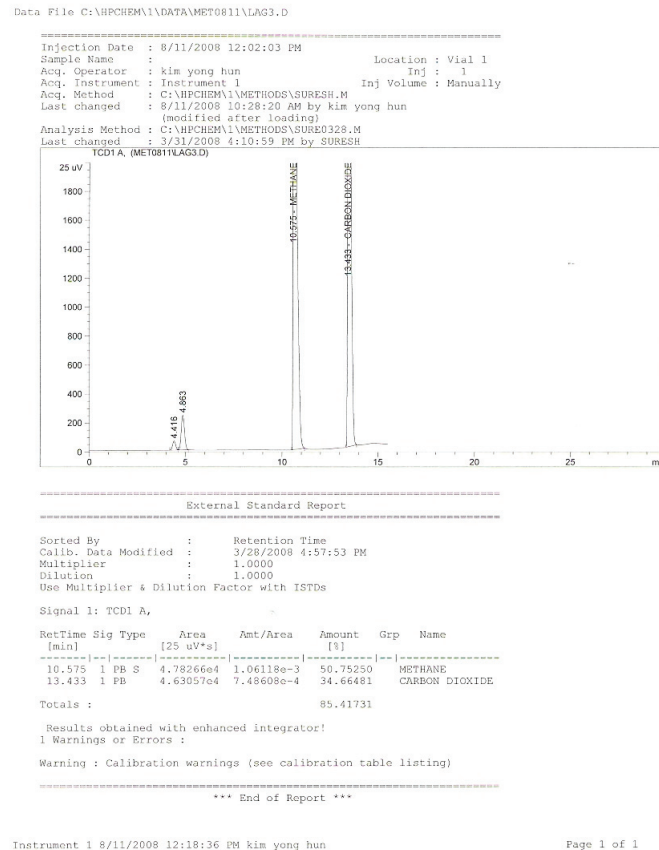


그림-15. UGAD 바이오가스의 메탄함유율 분석 GC.

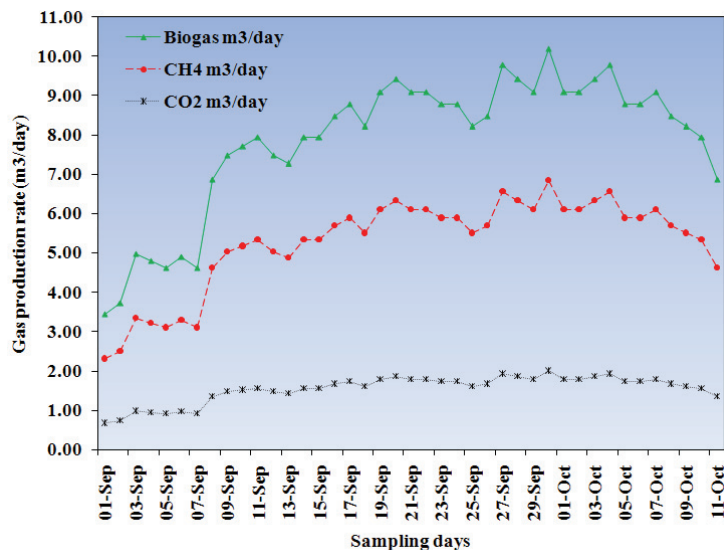


그림-16. 바이오가스중 메탄 및 이산화탄소 점유율 분석.

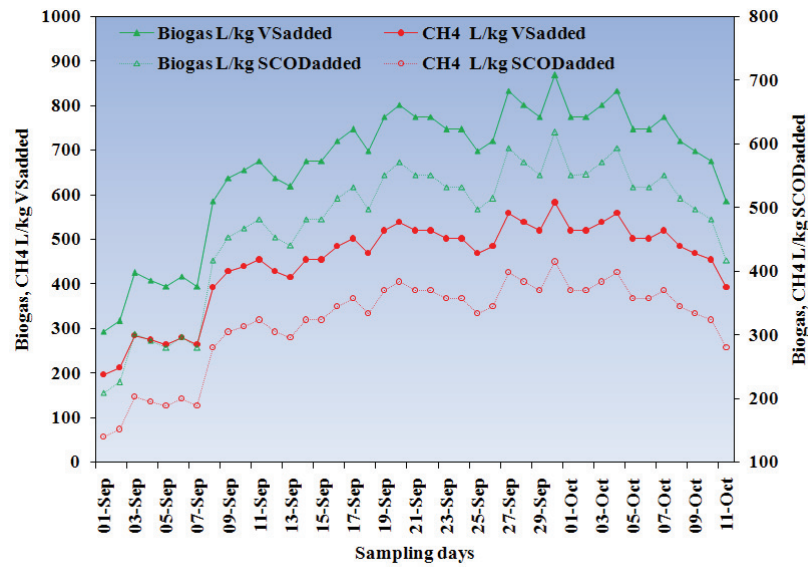


그림-17. 단위유기물당 바이오가스/메탄 생성율.

UGAD 돈슬러리의 혐기소화중 생성된 바이오가스와 메탄의 생성량(m^3/day)과 생성율($\text{L/kg VS}_{\text{added}}$)은 [그림-16], [그림-17]과 같다. 평균 바이오가스와 메탄 생성량은 8.62 와 $5.78 \text{ m}^3/\text{day}$ (300 MJ/day)로 모니터되었다. 단위 유기물당 바이오가스와 메탄 생성율은 각각 $733 \text{ L BG/kg VS}_{\text{added}}$, $495 \text{ L CH}_4/\text{kg VS}_{\text{added}}$, $522 \text{ L BG/kg sCOD}_{\text{added}}$, $350 \text{ L CH}_4/\text{kg sCOD}_{\text{added}}$ 로 산정되어 거의 이론값에 가까울 정도로 효율이 높았다.

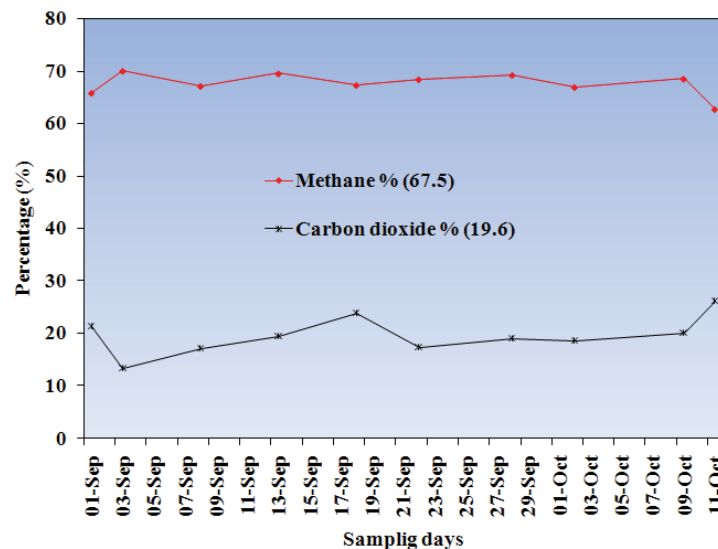


그림-18. UGAD 돈슬러리의 바이오가스 구성물질비.

바이오가스 중 메탄함유량율은 67.5%인 반면 CO₂는 19.6% 정도 이었다. 현장에서의 불꽃 테스트로도 지속적으로 푸른색과 노란색이 섞인 불꽃이 관찰되었다. 결과적으로 674 Btu/ft³ BG 혹은 25 MJ/m³ BG 평균 에너지함량은 돈슬러리를 이용한 UGAD 바이오가스 생산에 근거했을 때 순수한 메탄(1000 Btu/ft³ or 37.3 MJ/m³)이므로 실제 에너지량을 산정할 수 있다.

표-3. UGAD공정 바이오가스 생산량

채취일	슬러리 인입량 500L/Day	바이오가스 생성을 L/Day	바이오가스 총생산량 (m ³ /day)
8-Sep	Q1	7,107	14.2
11-Sep	Q1	7,824	15.6
18-Sep	Q1	7,991	16.0
19-Sep	Q1	9,127	18.3
20-Sep	Q1	9,284	18.6
24-Sep	Q1	8,516	17.0
25-Sep	Q1	7,991	16.0
26-Sep	Q1	8,516	17.0
27-Sep	Q1	9,666	19.3
29-Sep	Q1	9,091	18.2
30-Sep	Q1	8,994	18.0
2-Oct	Q1	9,103	18.2
3-Oct	Q1	8,710	17.4
4-Oct	Q1	8,948	17.9
6-Oct	Q1	8,984	18.0
7-Oct	Q1	8,822	17.6
8-Oct	Q1	8,537	17.1
9-Oct	Q1	8,029	16.1
10-Oct	Q1	7,982	16.0
11-Oct	Q1	6,771	13.5
평균		8,500	17.0

5) 유기성 폐자원의 생분해성

UGAD의 돈슬러리로부터 생성되는 유기성 폐자원 및 병원체의 생분해성은 TS, VS, TSS, BOD₅, TCOD_{cr}, SCOD_{cr}, NH₃-N, 무기 인, 장내 균, Salmonella에 대한 감소율은 [그림 -19]와 같이 각각 68%, 4%, 79%, 86%, 89%, 81%, 55%, 79%, 98%, 100%로 측정되었다. 특히 중온범위에서 병원성균을 사멸하는 등 유기성 폐자원의 biosecurity에 대한 연구를 수행하고 있다. 본 연구에서는 중온범위(30-35° C)에서 실험을 하였으나, 일반적으로 병원체는 고온소화 중 분해된다.

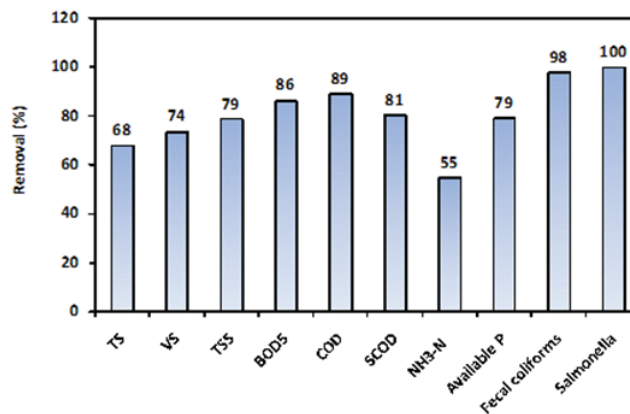


그림-19. UGAD 공정중 생화학적 변수 저감 비율.

6) 바이오가스의 적용

바이오가스가 생성되면 물을 가온(加溫)하거나 요리할 때(라면) 사용할 수 있으나(그림-20) 바이오가스는 압력이 낮아 요리하거나 가열할 때 전용 버너가 필요하기 때문에, 일반적인 가스레인지에서 사용되는 바이오가스는 개선되어야 한다. 바이오가스는 마이크로터빈 기관과 함께 전기를 생산할 수도 있고, 백열램프로 가열하면 약한 백열을 내기도 한다. 또한 높은 열에너지를 갖기 때문에 정제하여 수송(연소 기관, 디젤 기관)에 필요한 연료로 사용될 수 있다.



그림-20. 바이오가스 이용사례.

표-4. 하절기 (봄-여름) 돈슬러리에 영향을 미친 주요 생화학적 변수 및 이들의 평균값

No	기준 변수	평균값	단위
1	UGAD의 체적	20	m ³
2	유입물의 비율	500	L/day
3	수압 유지 시간	40	days
4	평균 바이오가스 생성량	8.5	m ³ /day
5	CH ₄ 농도	67.5	%
6	UGAD 온도	33.7	°C

(계속)

No	기준 변수	평균값	단위
7	유입물의 COD 농도	66,600	mg/L
8	유출물의 COD 농도	9,000	mg/L
9	COD 감소량	89	%
10	TS	3.3	%
11	VS	71	%
12	유입물의 pH	6.65	
13	유출물의 pH	8.03	
14	암모니아 질소	2,600	mg/L
15	무기 인	2,000	mg/L

7) 혐기소화액비

혐기소화액을 액비에는 식물생장 필수적인 요소들 - 질소, 인, 칼륨, 그 외 식물의 성장에 필요한 미량의 금속 광물들 - 이 함유되어 있다. [표-5]에 본 연구의 액비조성이 제시되어 있다. pH는 알칼리에 가깝기 때문에 산성 토양의 객토제로 사용할 수 있다. 또한 병원성균이 완전 사멸되었으므로 건강한 액비로 사용될 수 있다.

표-5. 봄에서 여름까지 돈슬러리에서 얻은 UGAD 액비의 특성

No	생화학적 · 물리적 변수	평균값	단위
1	습도	98.9	%
2	pH	8.03	
3	C:N 비율	8:01	
4	TDS		mg/L
5	유기물	6.2	g/L
6	암모니아 질소	1180	mg/L
7	무기 인	400	mg/L
8	BOD ₅	3300	mg/L
9	<i>Escherichia coli</i>	<10	CFU/mL
10	<i>Salmonella</i>	<0.03	MPN/mL

8) 결론

UGAD 시스템은 유기성 폐자원의 생분해성의 제고 및 고농도 메탄을 함유한 바이오가스 생성량 증진에 중대한 영향을 미친다. 본 연구를 통하여 돈슬러리는 중온 범위에서 혐기소화를 시키면 메탄과 바이오가스는 각각 495, 733 L/kg VS_{added} 생성됨을 밝혔다. 바이오가스 생성률이 5.78 m³ CH₄/day (300 MJ/day)일 때, 메탄 점유율은 67.5%에 이르렀다. 또한, 병원균 및 유기물 농도도 현저히 감소하였다. 그러므로 혐기소화액을 환경 친화적 위생적인 액비로 사용할 수 있으며, 이러한 시스템은 열에너지를 비축할 수 있다. 결과적으로 UGAD의 기본적인 설계와 처리 시설의

기준은 돈슬러리의 혐기소화공정에 매우 효율높은 설비로 검증되었다.

2. 동절기

1) mUGAD의 온도 분포

혐기소화공정과 관련하여 약간의 온도 차이만으로도 모든 생물학적 활동이 영향을 받을 수 있으며, 혐기 미생물 중에서도 특히 메탄 생성 박테리아의 활동이 저해될 수 있다. 메탄 생성 박테리아들은 두 가지 온도 범위에서 활성을 띤다. 즉, 30 ~ 35°C인 중온 범위를 말하며 ([표-6]). 소화조 온도가 32°C 이하로 떨어지면, 휘발성 산과 알칼리의 비율에 유의해야 한다. 21°C까지 내려가면 휘발성 산이 생성되는 속도는 계속 빨라진다. 그러므로 32°C가 최소한으로 유지해야 할 온도이며 최적 온도는 35°C이다.

표-6. 혐기소화에서 메탄생성 온도범위

온도 (° C)	메탄 생성
35	optimum
32~34	lower limit
21~31	적음, 소화조가 “산성”을 띠기 시작
<21	全無, 소화조가 “산성”이 됨

본 연구에서는 매일 소화조, 주변 환경, 그리고 유입되는 돈분뇨의 온도를 측정하였다([그림-21]). 평균 온도는 소화조가 36.7°C, 유입 돈분뇨가 42.3°C였다. 유입 돈분뇨는 가용화조를 통해 45°C로하여 UGAD로 인입시켰다. 이 시스템은 겨울철에도 바이오가스를 생성하기 위한 최적 온도(35°C)를 유지하는 데에 편리하다. 특히 12월 20일, 겨울철 최저 온도(-5°C)를 기록하였으나 소화조의 온도는 31.1°C를 유지하고 있었다. 이를 통해 mUGAD가 겨울철에 매우 적합한 시스템임을 확인할 수 있었다.

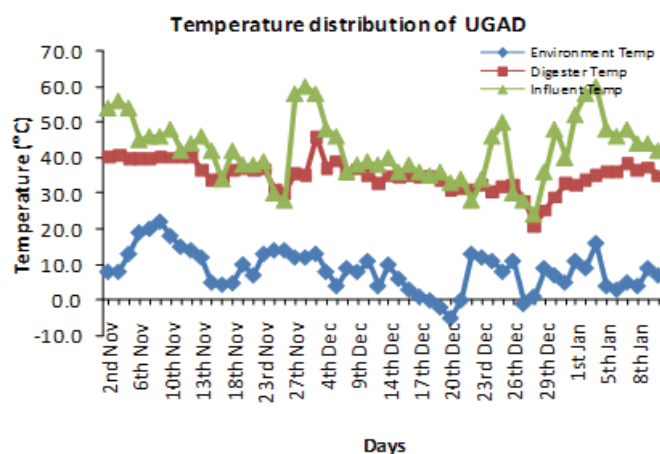


그림-21. mUGAD의 온도 분포.

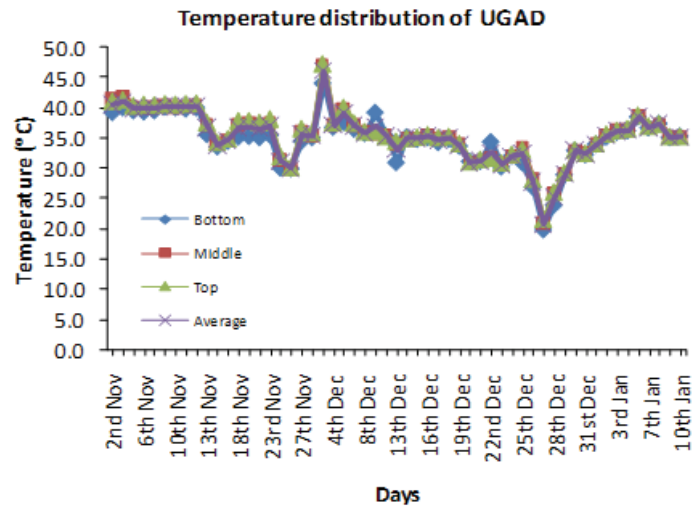


그림-22. mUGAD의 깊이에 따른 온도 분포.

또한 우리는 소화조의 온도 분포를 관찰함으로써 소화조의 깊이에 따른 혼합 효율을 알아볼 수 있었다([그림-22]). [그림-21]의 온도 분포도는 소화조의 하부(36.1°C), 중부(36.9°C), 상부(37°C)에서 각각 일정한 온도가 유지되었음을 보여준다. 소화조의 하부와 다른 부분 사이에는 온도 차이가 미세했다(0.8°C).

2) mUGAD의 pH 및 ORP 변화

효소적 활성도나 소화조의 효율은 pH의 영향을 받는다. 산 생성 박테리아의 최적 효소적 활성도는 pH 5.0 이상일 때이지만, 메탄 생성 박테리아는 pH 6.2 이하에서는 활성을 띠지 않는다. 메탄 생성 박테리아를 포함한 대부분의 혐기 미생물은 pH 6.8 - 7.2 에서 효율이 높다. 혐기 소화조의 pH는 휘발성 산이 생성됨에 따라 낮아진다. 하지만 메탄 생성 박테리아가 휘발성 산을 소모하면서 알칼리가 생성되면 소화조의 pH는 다시 높아져 안정적이 된다. 정상적으로 가동되는 혐기 소화조에서는 휘발성 산이 메탄과 이산화탄소로 전환되면서 pH는 6.8 ~ 7.2 이내로 접어든다. 혐기 소화조의 pH는 바이오가스 중 이산화탄소의 함량에 크게 영향을 받는다.

표-7. 산화-환원 전위와 호흡 조건

ORP (mV)	최종 전자 운반 분자	호흡 조건
>+50	O ₂	호기 혹은 유산소성
+50 to -50	NO ₃ ⁻	혐기 혹은 무산소성
<-50	SO ₄ ⁻	혐기 혹은 황산 환원
<-100	CH ₂ O, organic molecule	혐기 혹은 산, 알코올 발효혼합
<-300	CO ₂ (carbonate)	혐기 혹은 메탄 발효

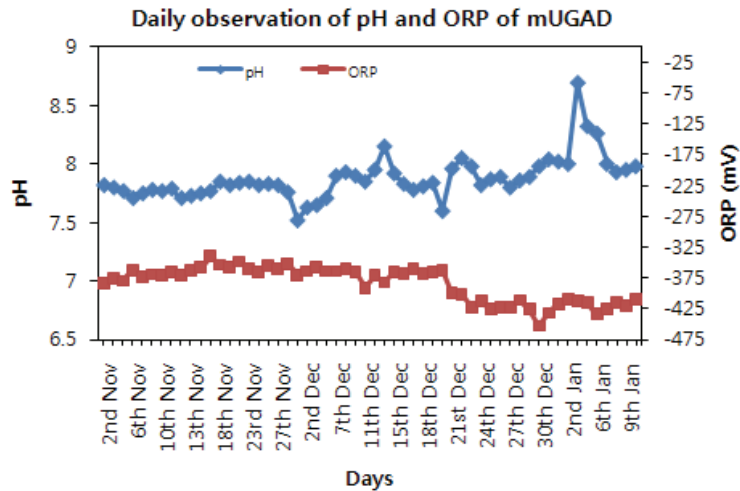


그림-23. pilot 혐기소화공정(mUGAD)에서 pH와 ORP의 경시별 변화.

소화조의 pH와 ORP는 매일 측정하였다. ([그림-23]). 소화조의 pH와 ORP의 평균은 각각 7.80, -366 mV으로 관찰된 pH는 적정값보다 높았는데, 바이오가스 생성량에 직접적인 영향인자로 여겨지지 않는다. ORP는 폐수나 슬러지에서 산화 혹은 환원 반응 시에 각각 분자가 전자를 방출하고 얻는 능력을 나타낸다. 또한 이러한 측정은 일어날 수 있는 호흡 형태의 지표이기도 하다([표-7]). 일반적으로 +50mV보다 높을 때 호기(好氣)호흡이, +50~-50mV일 때는 혐기 호흡(탈질화)이 일어난다. -100mV보다 적을 때는 혐기호흡이 일어난다. -50mV보다 적을 때는 황산(SO_4^{2-})이 환원된다 (이는 발효로 알려져 있다.). -100mV보다 적을 때는 산, 알코올 발효가 함께 일어난다. 메탄 발효는 -200mV보다 적을 때 시작되나 혐기 소화조에 미생물의 혼합 배양에 있어 메탄 발효나 메탄 생성 박테리아의 성장은 ORP가 -300mV보다 적어질 때까지는 일어나지 않는다. 이는 -300mV보다 클 때는 메탄생성박테리아가 다른 발효 미생물과 성공적으로 경쟁하지 못하기 때문이다.

3) 바이오가스의 생산과 조성

개정된 지하혐기소화조(mUGAD) 시스템은 바이오가스의 생산량을 측정하기 위한 가스미터기(극동기전, Model NO. GI.6R)가 장착되어 있다. 현장에서 바이오가스 점화로 시각적 flare를 확인할 수 있었다. 또한 바이오가스 샘플은 Tedlar bag(1L)에 채집하여 250℃에서 TCD 탐지기로 칼럼으로 쌓인 60/80 Carboxen-1000을 이용한 가스 크로마토그래피로 CH_4 , CO_2 , N_2 와 O_2 를 분석하였다([그림-25]). 0.6mL의 바이오가스 시료를 50℃의 삽입온도, 20℃/분에서 35℃(5분)부터 225℃까지 오븐 온도에 투입하고, 헬륨은 30mL/분에서 수송가스로 이용하였다.



그림-24. 가스미터.

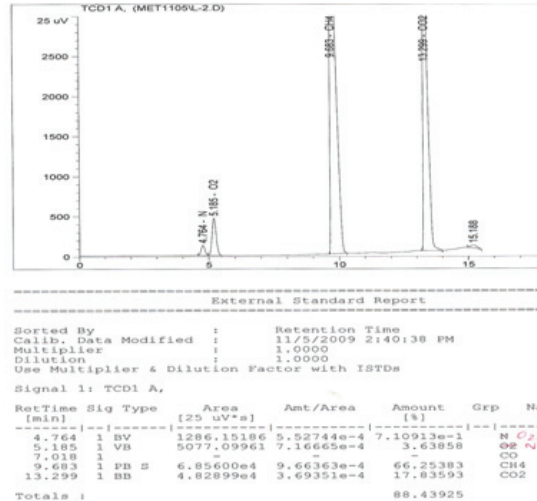


그림-25. 지하 혐기소화조의 바이오가스의 GC분석.

다른 연구보고와 마찬가지로 본 연구의 결과도 [그림-10]과 같이 바이오가스중 메탄올은 66.3%, 이산화탄소는 18.5%, 질소 3.37%, 산소 0.57%, H₂S 0.00ppm, NH₃ 0.00ppm 으로 나타났다. 황화수소와 암모니아 농도도 함께 측정할 예정이다.

지하 혐기소화조를 이용한 돈분뇨의 바이오가스 생산과 메탄 생산율(m³/일), 단위 생산량(L/kg VS_{added})은 각각 [그림-26], [그림-27]과 같다. 평균적인 바이오가스와 메탄 생산율은 2.08과 1.38m³/일(72MJ/일)으로, 평균 바이오가스와 메탄 생산량은 260과 173 l/kg VS_{added}에서 각각 조사되었다. 이러한 평균량은 다른 연구(403 l/kg VS added)에서보다 비교적 적은 값이다. 그러나 약 6주 정도와 안정화단계를 거쳐 바이오가스의 생산은 증가하고 있다.

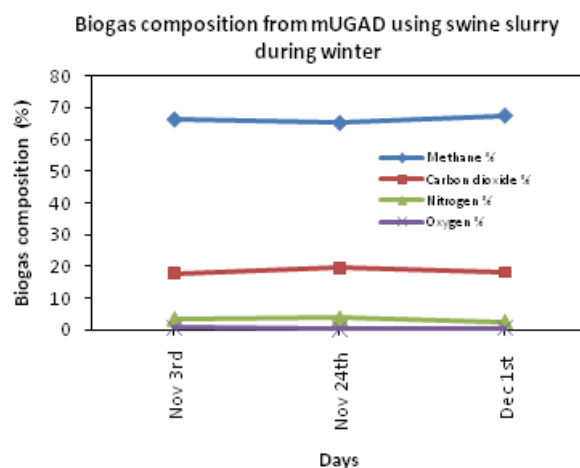
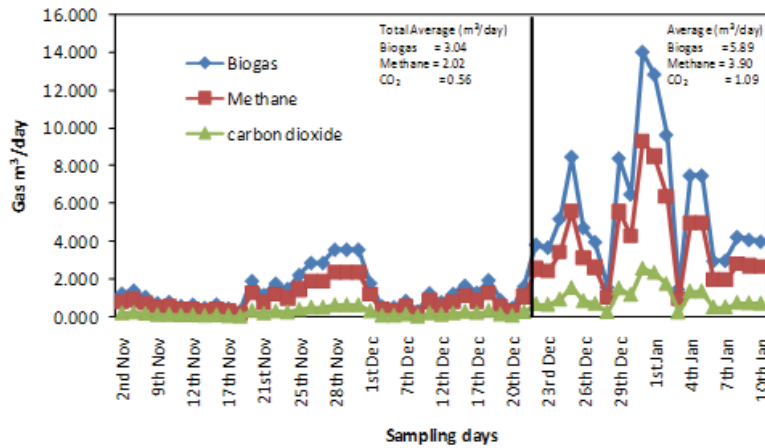


그림-26. 바이오가스의 메탄 및 구성물질 함유율.

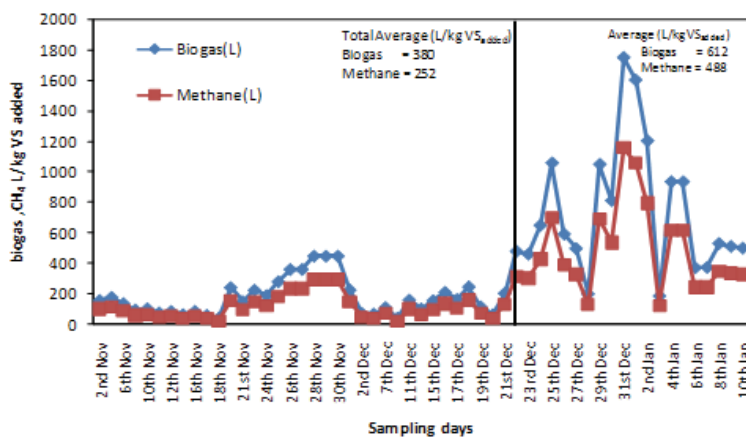


m³/day	Biogas	Methane	carbon dioxide
22nd Dec	3.844	2.549	0.711
23rd Dec	3.692	2.448	0.683
24th Dec	5.2	3.448	0.962
25th Dec	8.473	5.618	1.568
26th Dec	4.74	3.143	0.877
27th Dec	3.987	2.643	0.738
28th Dec	1.6	1.061	0.296
29th Dec	8.4	5.569	1.554
30th Dec	6.500	4.310	1.203
31st Dec	14.000	9.282	2.590
1st Jan	12.820	8.500	2.372
2nd Jan	9.630	6.385	1.782
3rd Jan	1.500	0.995	0.278
4th Jan	7.485	4.963	1.385
5th Jan	7.485	4.963	1.385
6th Jan	2.980	1.976	0.551
7th Jan	3.000	1.989	0.555
8th Jan	4.250	2.818	0.786
9th Jan	4.100	2.718	0.759
10th Jan	4.010	2.659	0.742

그림-27. 중온성 혐기 소화 바이오가스 생산율.

12월 24일에는 8m³/일/600l raw slurry에 1,070/kg COD_{cr}, 12월 31일 14.0m³/일/, 405L/kg VS, 2010년 1월 1일 13.5m³/d, 1,300 l/kgVS 등으로 적어도 500~1,000 l/kgVS로 안정되어 가고 있어 향후 실측자료에 관심이 높다. 2010년 1월 4일 11.0m³/일 등 현재까지 보고된 바이오가스 생성량과 같거나 이보다 두 배 이상 높아 mUGAD의 효율이 상대적으로 매우 높게 나타났기 때문이다. 그러나 응결수의 인입으로 gasmeter의 잦은 고장으로 정확한 바이오가스 생성량을 측정할 수 없어 이의 개선을 시도하고 있다.

농장에서의 점화 테스트를 통해 노란빛이 섞인 파란 불빛이 지속적으로 관찰됨을 알 수 있었다. 전체적으로, 24.7 MJ/m³ (662 Btu/ft³)의 평균 에너지함량은 순(純) 메탄(1000 Btu/ft³ or 37.3MJ/m³)에서 68.2%의 메탄함량 본 연구의 실험을 통해서 알 수 있다.



L/kg VS added	Biogas	Methane
22nd Dec	481	319
23rd Dec	462	306
24th Dec	650	431
25th Dec	1099	702
26th Dec	593	393
27th Dec	498	330
28th Dec	200	133
29th Dec	1050	696
30th Dec	813	539
31st Dec	1750	1160
1st Jan	1603	1062
2nd Jan	1204	798
3rd Jan	188	124
4th Jan	936	620
5th Jan	936	620
6th Jan	373	247
7th Jan	375	249
8th Jan	531	352
9th Jan	513	340
10th Jan	501	322

그림-28. 경시적 바이오가스 및 메탄 및 바이오가스생산량.

3. mUGAD 운영 및 관리

1) 기본요소

mUGAD를 운영하기 위한 기본 항목과 항목의 구성요소는 다음과 같다.

- 소화조 부피 : 미터 단위로 측정한 소화조의 길이, 너비, 깊이에 기초함
- 유입수의 유입 속도 : 리터 단위로 측정한 소화조로 들어오는 비료의 속도
- 슬러리의 체류시간(HRT) : 일 단위로 측정, 소화조의 부피를 일일 유입 슬러리 양으로 나눈 값
- 평균 바이오가스 생산량 : ‘입방미터/일’로 측정한 바이오가스의 평균 생산량
- 바이오가스의 메탄농도 : 부피에 대한 퍼센트로 측정한 바이오가스의 농도
- 소화조 온도 : °C로 측정한 소화조 내용물의 평균 온도
- 유입수의 COD 농도 : mg/L로 측정한 화학적 산소요구량(COD)
- 유출수의 COD 농도 : mg/L로 측정한 화학적 산소요구량(COD)
- COD 감소량 : %로 측정한 유입수에서 유출수가 될 때의 COD 감소량
- 총고형물(TS), 휘발성고형물(VS)의 비율 : 유입수에서 건물(乾物)의 퍼센트와 건물(乾物)에서 유기성 고형물의 퍼센트
- 유입수와 유출수의 pH

이러한 상기 기본항목들은 2009년 11월~현재까지 지속적으로 측정하고 있다. 이 요소들의 일일 평균값은 [표-8]에 정리되어 있다.

표-8. mUGAD의 기본운영요소

S.No	Operating Parameters	Average Value	Units
1	UGAD Volume	20	m ³
2	Influent Flow Rate	600	L/day
3	Hydraulic Retention Time	33	days
4	Average Biogas Production	3.0 (5.9)	m ³ /day
5	Methane Concentration	66.3	%
6	UGAD Temperature	36.7	°C
7	Influent COD Concentration	25,880	mg/L
8	Effluent COD Concentration	11,900	mg/L
9	COD Reduction	54	%
10	Total Solids	2	%
11	Volatile Solids	66.5	%
12	Influent pH	7.61	
13	Effluent pH	7.93	
14	Ammonia Nitrogen	2,045	mg/L
15	Available Phosphorous	625	mg/L

2) 지하혐기소화공정의 모니터링 지침

모든 바이오가스플랜트가 분석적 모니터링은 실시하지 않아 많은 소화조가 실패했다. 모니터링을 위한 분석적 테스트를 수행하는 데 상대적으로 많은 시간과 노력이 들기 때문에 정밀 모니터링 부재의 원인이다. 혐기 소화조 내 박테리아의 활동성을 모니터링하고, 소화조의 운영을 평가, 검사하기 위해 정기적으로 몇 가지 분석적인 테스트를 시행해야 한다. 이러한 테스트는 소화조의 슬러리와 처리슬러리의 분석을 포함한다. 몇 가지 공통된 분석적 테스트의 분석 빈도는 다음과 같다([표-9]). 소화조의 시작 단계나 소화조의 상태가 좋지 않을 경우에는 분석적 테스트가 더 자주 시행되어야 한다.

표-9. mUGAD공정의 슬러리의 권장 분석항목 및 분석빈도

측정항목	모니터링 빈도		
	매일	매주	필요할 때
온도	✓		
pH	✓		
ORP	✓		
Total Solids(총 고체량)		✓	
Volatile Solids(휘발성 고체량)		✓	
Chemical oxygen demand (COD)	✓		
Ammonical-Nitrogen(암모니아성 질소)		✓	
유효 인 (Orthophosphate)		✓	
바이오가스 구성성분 (%)		✓	
바이오가스 생산량	✓		
휘발성 산 (VOC)		✓	
부피(정도)	✓		

3) 불안정한 mUGAD공정의 지표

적정 혼합, 적정 온도 유지 등은 UGAD를 안정적 상태할 때는 혐기 소화조의 운영에 어려움은 없다. 그러나 이러한 상태가 중단되면, 불안정하고 상태가 좋지 않은 소화조가 되게 된다. 많은 조건들이 직접적 혹은 간접적으로 연관되고, 유기물의 과부하, pH의 변화, 온도의 변화, 독성, 미생물의 과다배출, 갑작스런 변화 등이 포함된다. 공기 오염(산소의 존재)도 원인이 될 수 있다.

불안정한 혐기 소화조의 몇 가지 지표가 [표-10]에 나타나 있다. 이러한 지표들은 특정한 소화조 운영 값보다 높거나 낮다. 지표들은 바이오가스 생산량, 메탄 생산량의 감소, 알칼리도와 pH의 감소, 휘발성 고체 분해의 감소, 그리고 휘발성 산 농도와 바이오가스 내의 CO₂퍼센트의 증가 등이 포함된다. 불안정한 소화조의 지표와 관련하여 몇 가지 지침을 알아둘 필요가 있다. 바이오가스의 생산량은 메탄 생산량만큼 의미있지는 않은데, 메탄 생산만이 유기화합물의 최종 분해를 나타내기 때문이다. 메탄 생산량의 감소가 불안정한 소화조와 연관이 있다고 하더라도 메탄 생산량의 감소는 또한 처리 슬러리의 구성 성분의 변화(기질의 감소)와도 관련이 있다.

메탄 생산량과 알칼리도는 상관 관계가 있을 것이고, 이러한 상관 관계는 불안정한 소화조의 지표로 이용될 수 있을 것이다. 메탄 생산량의 감소와 알칼리도의 감소는 메탄 생성 박테리아에 독성이 발생했음을 나타낸다. 메탄 생산량의 감소와 알칼리도의 유의하지 않은 변화는 메탄생성 박테리아와 산 생성 박테리아에게 독성이 발생했음을 나타낸다.

표-10. 불안정한 mUGAD공정의 지표

지표	수준(level)	
pH 변화	감소	
알칼리도 (alkalinity)	감소	
휘발성 고체의 분해	감소	
휘발성 산 농도		증가
바이오가스 생산량	감소	
메탄 생산량	감소	
바이오가스에서 CO ₂ 의 퍼센트		증가

4. 결론

혐기 소화조의 기본적 설계 기준을 알고 돈분뇨 유래의 바이오가스 생산량을 높이기 위해 우리는 33일의 슬러리체류시간(HRT)과 중온(30~35℃)에서 겨울에 20m³의 mUGAD를 운전하였고, 유기물의 유입율은 8 kgVS/600L/일 이었다. 바이오가스와 메탄의 평균 생산율은 각각 3.04m³/일과 2.02m³/일에서 관찰했다. 메탄과 CO₂의 농도는 각각 평균 66.3%, 18.5%임을 분석되었다. 상대적인 바이오가스 평균 생산량은 380 L/kg VS_{added}, 메탄은 252 L/kg VS_{added}로 조사되었으며, 이 평균 값은 실험실연구보고 (252 L CH₄/kg VS_{added})보다는 낮으나, 최근 안정된 바이오가스 실측값은 500~1000 L/kg VS_{added} 으로 나타나 향후 UGAD가 안정되면 이론값에 근접할 것으로 기대된다.

돈슬러리의 총고체량(TS), 휘발성고형물(VS), 총부유고형물 (TSS), TCOD_{cr}, SCOD_{cr}, NH₃-N 그리고 유효 PO₄에서 각각 30%, 38%, 48%, 54%, 57%, 18%, 그리고 19%으로 분석되었으며, 향후 안정된 운영상태에서는 특히 유기물의 감소가 현재 보다 두드러질 것으로 여겨진다.

mUGAD 모니터링 가이드의 기본적인 운영 요소는 돈분뇨를 이용하여 동절기를 기준으로 제시된 값이다. 바이오가스 측면에서는 여타계절은 동절보다는 우호적이기 때문에 기존 실험자료를 대상으로 메탄생산량과 유기물분해에 관련하여 매우 바람직한 공법임을 확인할 수 있다.

〈제3세부과제〉 맞춤형 퇴비생산 기술 개발

1. 수평 스크루형 가공기 이용시험

그림 1의 시험기를 사용하여 시험을 실시하였다. 시험에 사용된 발효퇴비의 입자구성 분포도는 표 1에 나타난 바와 같다.

표 1. 시험에 사용된 발효퇴비의 입자 분포도

구 분	돈분퇴비	우분퇴비
입자크기(단위 mm)	구성비율(%)	구성비율(%)
2mm 이상	12.63	16.45
1.7~2	5.97	5.64
1.4~1.7	36.94	4.97
1.0~1.4	13.51	25.71
0.86~1.0	7.40	4.44
0.6~0.86	13.91	15.19
0.425~0.6	5.97	10.84
0.6 이하	3.67	16.76

시험용 재료 입자구성은 돈분의 경우 1.4~1.7mm 크기의 입자가 36.94%로서 가장 높은 비율을 차지하고 있었으며 우분의 경우는 그보다 약간 작은 1.0~1.4mm의 입자가 25.71%로 가장 높은 비율을 차지하고 있었다. 그림 3은 시험에 사용된 돈분과 우분 퇴비의 모습을 나타낸 것이다.



그림 3. 시험에 이용된 돈분 발효퇴비(좌)와 우분 발효퇴비(우).

그림 3의 우측에 도시된 우분 발효퇴비의 입자도가 좌측에 도시된 우분 발효퇴비에 비해 더 고운 결과를 보이고 있다. 그림 4는 스크루형 시험장치에 의해 가공된 상태의 펠렛퇴비의 모습을 도시한 것이다.



그림 4. 가공된 돈분 펠렛퇴비(좌)와 우분 펠렛퇴비(우).

스쿠루 타입 가공기에 의해 가공된 펠렛퇴비의 형태는 돈분펠렛퇴비에 비해 우분 펠렛퇴비가 더 양호하게 나타났다. 가공원료의 수분함량에 따른 펠렛 가공효율은 표 2에 나타난 바와 같다.

표 2. 원재료 수분함량에 따른 펠렛 가공효율

구 분		수분함량 (%)				
		15	20	40	50	60
원재료	돈분퇴비 가공율	0	0	60	30	0
	우분퇴비 가공율	0	10	95	20	0

표 2에 나타난 바와 같이 스쿠루 타입의 가공기를 사용하였을 때 원료 투입량 대비 펠렛가공 비율은 돈분퇴비의 경우 수분함량 40% 수준일 경우 약 60%정도의 가공효율을 보였으며 우분퇴비의 경우 수분함량 40% 수준에서 약 95% 정도의 가공효율을 나타냈다.

2. 수평형 평판식 펠렛밀 타입 가공기 이용시험

수평형 평판식 펠렛밀을 이용하여 돈분 발효퇴비에 대한 가공시험을 실시하였다. 이 타입의 경우 원재료의 수분함량이 약 30 % 내외일 때가 가공효율이 좋았으며 25 % 미만이 되거나 40% 이상이 되면 가공효율이 급격히 나빠졌다. 이 타입의 파일럿 시험기를 이용하여 제조한 가공 퇴비의 모습은 그림 5에 나타난 바와 같다.



그림 5. 수평형 평판식 펠릿밀 타입 가공기에 의한 펠릿 가공퇴비.

그림 5는 돈분 발효퇴비를 원료로 하여 가공한 펠릿퇴비의 모습이다. 펠릿퇴비화 과정에 따른 영양소 함량변화는 표 3에 나타난 바와 같다.

표 3. 가공에 따른 비료성분 함량변화

(단위 : %)

구 분	유기물	N	P2O5
돈분퇴비	59.1	0.49	0.35
돈분펠릿	60.1	0.53	0.34

표 3에 나타난 바와 퇴비 가공과정에 따른 영양소 손실은 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.

3. 링형 펠릿밀 타입 가공기 이용시험

링형 펠릿밀 가공장치를 사용하여 돈분 발효퇴비를 펠릿화 하였다. 돈분 발효퇴비의 수분함량을 약 38% 정도로 조절하여 가공시험을 실시하였다. 가공효율은 약 60~70% 정도를 나타냈으며 펠릿화 된 퇴비의 외관은 가공 회수에 따라서 개선되는 결과를 보였다. 그림 6은 돈분퇴비의 가공회수에 따른 외관의 변화모습을 도시한 것이다.



(1회 가공)



(재차 가공)



(3차 가공)

그림 6. 가공회수에 따른 가공퇴비 외관.

그림 6에서 보여지 듯이 링형 펠렛기를 이용하여 돈분 퇴비를 가공하였을 경우 가공회수가 늘어남에 따라 펠렛퇴비의 외관이 개선되는 결과를 나타냈다.

4. 스크루 타입 시험기 개선

스크루 형태의 가공기와, 평판식 햄머밀 그리고 링형 햄머밀을 사용하여 퇴비가공을 실시하였다. 그중에서 스크루 형태의 가공기가 수분함량이 높은 상태의 퇴비에 적용하기가 용이하므로 기존 스크루에 대한 개선효과 시험을 실시하였다. 그림 7은 스크루 타입의 펠렛기에 대한 개선모형을 설정한 것이다.



그림 7. 스크루 타입 가공기의 개선을 위한 모델.

그림 7의 좌측에 도시된 스크루는 최초 시험기에 장착된 것으로서 단일 스크루 형태로 구성되었다. 이 타입의 스크루는 피치 사이가 발효퇴비에 의해 폐색이 형성됨으로써 가공압력 손실과 함께 가공효율의 저하가 초래되는 문제가 있다. 그림 7의 중앙에 도시된 그림은 단일 스크루에서 나타난 스크루 폐색 문제를 극복하기 위한 트윈 스크루 형태이다. 이 타입의 스크루를 선택함으로써 폐색 형성이 줄어들고 가공효율이 개선되는 효과를 얻을 수 있었지만 스크루의 규격이 작기 때문에 시간당 약 200kg정도만 가공할 수 있었다. 가공 능력을 확대하기 위하여 그림 7의 우측 그림에 나타난 바와 같이 스크루의 규격을 확대하는 것을 추진하였다.

5. 개선된 스크루 타입 시험기를 이용한 가공효과

1) 펠렛가공의 최적 조건

이 시험에 사용된 퇴비의 입경분포율은 표 4에 나타난 바와 같다.

표 4. 퇴비의 입경분포율

				(단위 : %)	
입경	비율	입경	비율	입경	비율
2.0 mm 이상	14.6	1.0~0.85 mm	5.5	0.3~0.212 mm	7.8
2.0~1.7 mm	5.4	0.85~0.6 mm	14.6	0.212~0.18 mm	2.7
1.7~1.4 mm	4.0	0.6~0.425 mm	14.1	0.18~0.1 mm	4.0
1.4~1.0 mm	13.9	0.425~0.3 mm	9.3	0.1 mm 이하	4.1

이 시험에 사용된 발효퇴비 원료 중 입자 크기별 구성정도를 그림 8에 도시하였다.

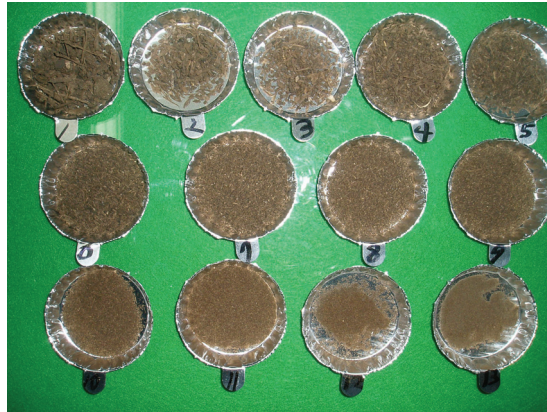


그림 8. 퇴비의 입자크기별 구성비.

상기 퇴비원료의 입자별 유기성분 구성비를 분석한 결과는 표 5에 나타난 바와 같다.

표 5. 입자 크기별 유기성분 구성

(단위 : %)

구 분	질소	탄소	황	수소	C/N
2mm 이상	1.329	20.95	0.447	9.294	24.08
2.0~1.7 mm	0.636	18.11	0.396	9.742	29.46
1.7~1.4 mm	0.582	18.22	0.401	9.688	31.30
1.4~1.0 mm	0.589	18.55	0.402	9.548	31.41
1.0~0.85 mm	0.569	19.15	0.388	9.349	34.22
0.6~0.425 mm	0.645	19.56	0.394	9.312	30.35
0.425~0.3 mm	0.942	23.03	0.431	5.320	24.45
0.1 mm 이하	1.538	27.90	0.700	6.323	18.14

2) 수분함량에 따른 가공효과

원료수분정도별로 가공시험을 수행한 결과, 가공용 원료퇴비의 수분함량이 수평형 스크루 압출기의 경우 30% 내외일 때, 수평형 펠렛밀 타입 압출기의 경우 40% 내외일 때가 펠렛퇴비 가공율이 최고상태에 도달하였다.

3) 미강첨가에 따른 가공효율 변화

미강 첨가조건에서 원 재료의 수분함량에 따른 펠렛 가공율은 그림9 와 같다.

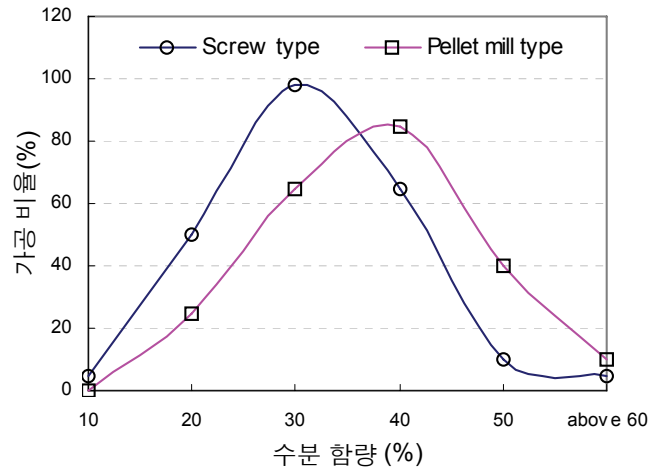


그림 9. 미강 첨가조건에서 원 재료의 수분함량에 따른 펠릿 가공율.

퇴비의 펠릿가공 효과는 미강의 첨가에 의해서 증가 되었는데 미강의 첨가율이 가공대상 전체 퇴비량의 5%에 이르면 퇴비의 가공효율이 급격히 증가하였다.

4) 미강 첨가량에 따른 펠릿퇴비 가공효과

펠릿퇴비 최적가공 수분조건과 약 50% 정도의 가공효율을 보이는 수분조건 등의 두 가지 상황에서 가공대상 퇴비 대비 미강의 첨가량을 부피기준으로 1%에서부터 점차적으로 증가 하였을 때의 펠릿퇴비 가공효과는 그림 10에 도시된 바와 같다.

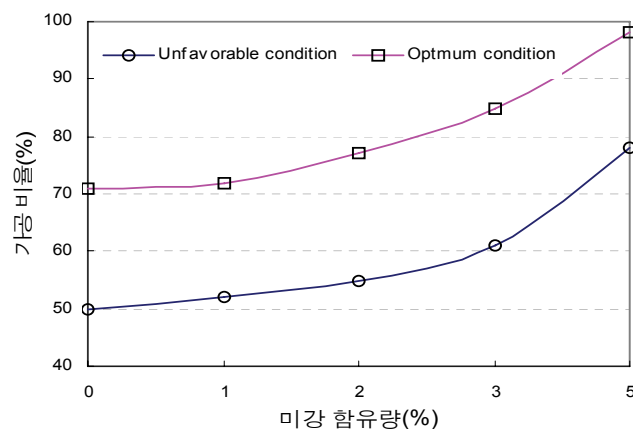


그림 10. 미강 첨가량에 따른 펠릿퇴비 가공효과.

펠릿가공 원료 퇴비에 미강의 첨가량을 늘림으로 인해 펠릿 가공효율이 증가하였다. 부피 기준으로 3% 정도 첨가했을 때 가공효율의 개선효과가 두드러지게 나타나기 시작하였다. 첨가율 5% 수준에 도달하면서부터는 원재료의 수분함량이 가공최적조건에 근접한 처리구에서는 거의

98% 이상의 가공효율을 보였으며 수분함량이 최적이지 않은 처리구 역시 급격한 가공효율 증대를 보인다. 반면에 미강이 많이 들어간 펠릿제품의 보관시 미강 미첨가구에 비해 사상균의 발생이 더 많다는 문제점을 보이고 있어 이 현상의 개선이 필요할 것으로 판단된다.

5) 원재료 특성

본시험 과정에서 펠릿가공 처리시 점착성을 부여하는 결합제로 사용된 미강과, 첨가제로 사용된 점토 그리고 퇴비 원재료의 성분은 표 6에 나타난 바와 같다.

표 6. 원재료 특성

(단위 : %, 건물기준)

구 분	양분 농도 (%)		
	N	P	K
돈분 퇴비	1.40	0.30	0.79
미 강	1.66	1.08	1.70
점 토	0.27	0.08	0.19

본 시험에서 점착제로 사용된 미강이 함유하고 있는 질소와 인산 그리고 칼륨의 함량은 돈분 발효 퇴비에 비해 상대적으로 높은 반면에, 본 시험과정에서 첨가제로 사용된 점토는 퇴비에 비해 각 성분 모두 낮은 함유율을 지니고 있다. 펠릿 가공을 원활히 하고 제조된 펠릿의 품질을 높이기 위하여 가공용 원료퇴비를 약 1mm의 눈 크기를 가진 스크린을 이용해 사전에 선별작업을 하여 체를 통과한 입자를 대상으로 하여 펠릿가공 시험을 실시하였다. 선별과정을 거치는 과정에서 각 퇴비의 화학적 성분특성은 표 7과 같다.

표 7. 선별에 따른 각 퇴비의 화학적 성분

(단위 : %, 건물기준)

구 분	농 도(%)			
	pH	N	P	K
원물 퇴비	7.84	1.40	0.30	0.79
직경 1mm 이상 퇴비	7.88	1.42	0.21	0.74
직경 1mm 미만 퇴비	7.83	1.31	0.58	0.59
펠릿 퇴비	8.22	1.37	0.54	1.23

제조된 펠릿 중에 함유된 질소와 인 그리고 칼륨의 함량이 원료퇴비 중에 함유된 농도에 비해 크게 감소하지 않았거나 오히려 증가하는 현상을 보였는데 이는 선별과정에서 제거된 톱밥 등에 함유된 난분해성 유기물 또는 비 수용성 물질들의 함량이 펠릿퇴비에 적게 함유되어진 데에서 기인한 것으로 판단된다. 중금속류의 농도도 선별과정에서 특이적인 결과를 보여주고 있는데 그

결과는 표 8에 수록되어 있다.

표 8. 선별에 따른 각 퇴비의 중금속 농도

(단위 : %, 건물기준)

구 분	중금속 농도(mg/kg)					
	Cr	Cu	Ni	Cd	Pb	Zn
원물 퇴비	2.60	10.88	4.76	0.83	5.08	46.64
직경 1mm 이상 퇴비	0.84	11.01	6.01	1.80	8.58	43.49
직경 1mm 미만 퇴비	0.35	8.70	5.11	1.51	6.64	41.61
펠렛 퇴비	3.03	7.39	4.15	1.05	4.39	36.26
규제치	150	200	25	2.5	75	500

표 8은 펠렛제조를 위한 퇴비입자별 선별과정에서 중금속류의 특이한 변화과정을 보여주고 있다. 본 시험과정에서 퇴비원료 중의 1mm이상 크기의 물질은 선별기에 의해서 걸러져서 반출되므로 펠렛제조과정에 도입되지 않는다. 펠렛화 되어지는 입경 1mm 이하의 물질 중에 함유된 중금속류의 농도는 원료퇴비에 비해 크게 증가하는 현상을 보이지 않고 있고 일부 물질에서는 오히려 감소하는 경향을 보이고 있다. 반면에 펠렛 제조과정 외부로 배출되는 입경 1mm이상의 조대성 물질에는 중금속류의 농도가 더 높게 함유되어 있다. 이는 제조된 펠렛퇴비의 품질과 직접적으로 연관되어지는 문제로서 완성펠렛퇴비가 중금속 문제에서 보다 자유로울 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 현상은 조대성 물질이 중금속류와 물리적으로 결합하였거나 조대성 물질이 가지는 공극 중에 중금속류를 함유하기 때문에 나타난 현상인 것으로 판단된다. 제조된 펠렛퇴비의 중금속 함량은 비료공정규격⁽³⁾에서 정하는 농도기준에 부합하는 것으로 분석되었다. 표 9는 펠렛 제조 형태별 비료성분 함량의 변화정도를 보여주고 있다. 스쿠루 형태의 제조방법이나 펠렛밀 형태의 제조방법을 취하는 경우 모두 펠렛화 과정에 따른 양분손실 현상은 나타나지 않는다.

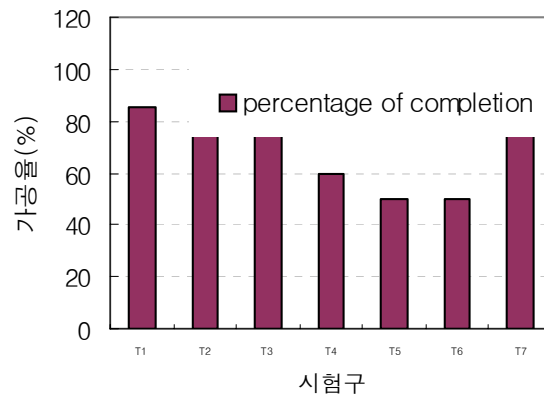
표 9. 펠렛제조 형태별 비료성분 함량의 변화

(단위 : %, 건물기준)

구 분	스쿠루 형태		펠렛밀 형태	
	원물 퇴비	펠렛퇴비	원물 퇴비	펠렛 퇴비
pH	7.83	8.22	1.89	1.73
N	1.31	1.37	0.98	1.06
P	0.57	0.53	0.70	0.68
K	0.58	1.23	0.71	1.10

표 9에서는 펠렛화 된 퇴비가 함유하고 있는 비료성분의 함량이 원료에 비해 오히려 증가하는 경우를 발견할 수 있는데 이는 펠렛화 처리에 의해 퇴비중의 양분이 응축된 현상에 기인한 것으로 보여진다. 이러한 결과는 향 후 퇴비의 부피대비 비료성분 함량강화에 긍정적으로 작용할 수

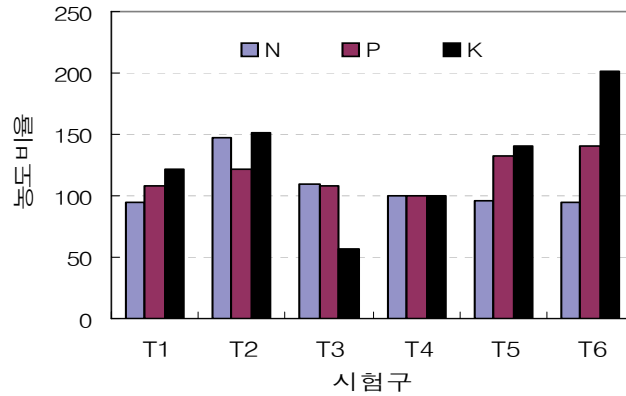
있는 요인이 될 수 있을 것으로 풀이된다. 펠렛 퇴비제조효율은 퇴비원재료의 수분함량과 구성 성분이 크게 영향을 미치는 것으로 나타났는데 원료퇴비의 구성에 따른 펠렛퇴비 가공정도를 그림 11에 도시하였다.



T1 : 돈분퇴비 19 + 버섯배지 퇴비 0.3 + 패각 0.3 + 미강 0.3
T2 : 돈분퇴비와 우분퇴비 혼합 19 + 버섯배지퇴비 0.3 + 패각 0.3 + 미강 0.3
T3 : 버섯배지퇴비 19 + 패각 0.3 + 미강 0.3 + 돈분퇴비와 우분퇴비 혼합 0.3
T4 : 돈분퇴비 19 + 패각 1
T5 : 돈분퇴비 19 + 게껍질 1
T6 : 돈분퇴비 19 + 버섯배지퇴비 1
T7 : 돈분퇴비 19 + 버섯배지퇴비 0.5 + 미강 0.5

그림 11. 원료퇴비의 구성에 따른 펠렛퇴비 가공정도.

그림 11에서 보여지듯이 미강이 혼합된 퇴비원료(T, T2, T3)의 가공율이 타 처리구에 비해 현저하게 높은 것을 알 수 있다. 미강이 섞여지고 가공효율이 높은 처리구 중(T, T2, T3)에서도 돈분단독 퇴비보다는 계분이 섞여진 경우에 더 높은 가공효율을 보였다. 첨가재로 사용한 패각분의 성분함량은 조회분 56.4%, 질소 0.01%, 인 0.04%, 칼슘 37.2% 그리고 염분함량 29% 수준이고 버섯배지의 질소함량은 0.38%, 인의 함량은 0.31% 이다. 게 껍질의 질소와 인 그리고 칼륨함량은 각각 4.1%, 0.03% 그리고 0.157% 수준이었다. 가공효과가 다소 낮은 T6 처리구에 미강을 원재료 부피대비 2.5% 첨가하였을 경우 가공율이 높아지는 결과를 보이고 있다. T4 시험구를 기준으로 한 각 시험구별 영양소 농도를 그림 12에 도시하였다.



T1 : 돈분퇴비 19 + 버섯배지 퇴비 0.3 + 패각 0.3 + 미강 0.3
 T2 : 돈분퇴비와 우분퇴비 혼합 19 + 버섯배지퇴비 0.3 + 패각 0.3 + 미강 0.3
 T3 : 버섯배지퇴비 19 + 패각 0.3 + 미강 0.3 + 돈분퇴비와 우분퇴비 혼합 0.3
 T4 : 돈분퇴비 19 + 패각 1
 T5 : 돈분퇴비 19 + 계껍질 1
 T6 : 돈분퇴비 19 + 버섯배지퇴비 1
 T7 : 돈분퇴비 19 + 버섯배지퇴비 0.5 + 미강 0.5

그림 12. 처리별 영양소농도.

펠릿화된 퇴비중의 질소 함량은 계분 퇴비가 함유된 T2에서 높은 수준을 보였고 인 함량은 T6, 칼륨 함량은 T7 에서 비교적 높은 농도를 보였다. 펠릿퇴비 제조과정에서 압축열과 마찰열에 의해 퇴비의 온도가 상승하는 것이 일반적이다⁽¹⁾. 본 시험과정에서 발생된 암모니아 농도는 퇴비 원료의 특성과 가공 온도에 영향을 받는 것으로 나타났다. 가공시 발생한 암모니아 농도정도를 그림 13에 나타내었다.

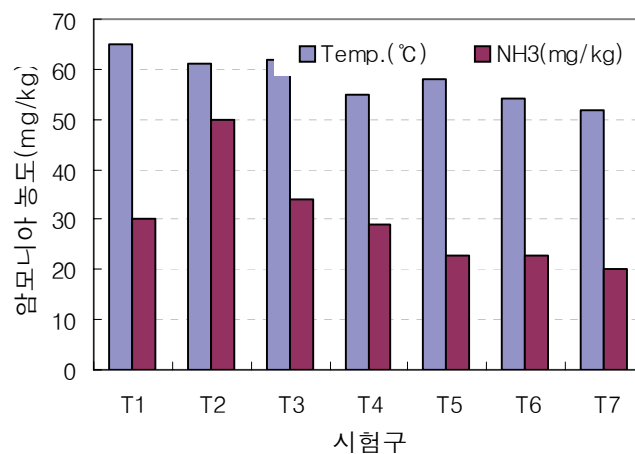


그림 13. 가공시 암모니아 발생농도.

가공온도가 높고 계분이 함유된 T2 처리구에서 암모니아 발생정도가 가장 높았고 동일한 수준의 돈분뇨 퇴비를 함유한 T4, T5, T6, T7의 경우 가공온도와 암모니아 발생량이 정의 상관관계를 보이는 것으로 판단된다. 단 T4의 경우 첨가재료 이용된 폐각이 가공단계에서 퇴비재료의 pH를 상승시키는 역할을 하여 암모니아 발생을 촉진한 것으로 볼 수 있다. 유기물중에 존재하는 암모늄이온은 온도와 pH가 높아질 경우 암모니아로 변환되어 방출되는 것이 일반적인데 본 시험과정 중에서도 재료의 특성과 온도상승 그리고 원료구성에 따른 pH의 변화정도가 펠릿가공시 발생하는 암모니아 농도에 영향을 미친 것으로 판단된다. 본 시험의 펠릿화 과정에서 온도변화에 따라 발생한 암모니아 농도의 변화를 그림 14에 도시하였다.

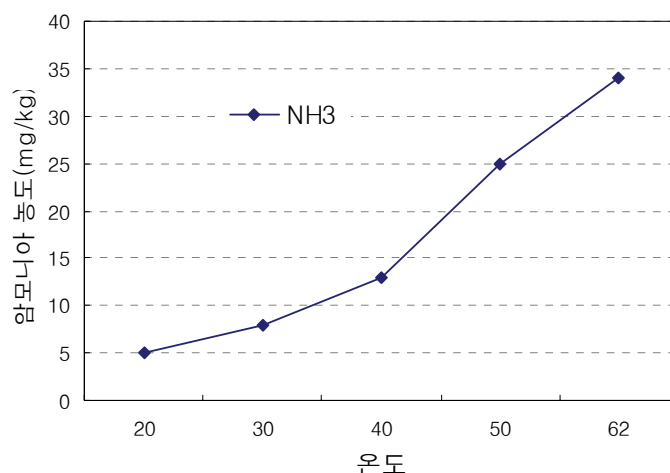


그림 14. 펠릿화 과정시온도변화에 따른 암모니아 농도변화.

동일한 재료로 가공되는 펠릿퇴비에서 발생하는 암모니아 농도는 그림 7에서 보여 지듯이 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 따라서 축분퇴비 펠릿화 과정에서 발생하는 암모니아 농도를 감소하기 위해서는 처리과정에서의 온도저하 방안을 모색하거나 발생된 암모니아를 포집하여 별도로 처리하는 등의 조치가 필요할 것으로 판단된다. 통상적으로 온도가 높아지면 잡초발생 억제⁽¹⁰⁾, 유해세균 활동 억제, 세균사멸⁽¹¹⁾ 등이 이루어지는 것으로 보고되고 있으므로 가공과정에서의 적절한 온도설정 및 관련기술 개발이 필요할 것이다⁽⁹⁾. 본 시험을 통하여 가공된 펠릿퇴비의 형태를 그림 15에 도시하였다.

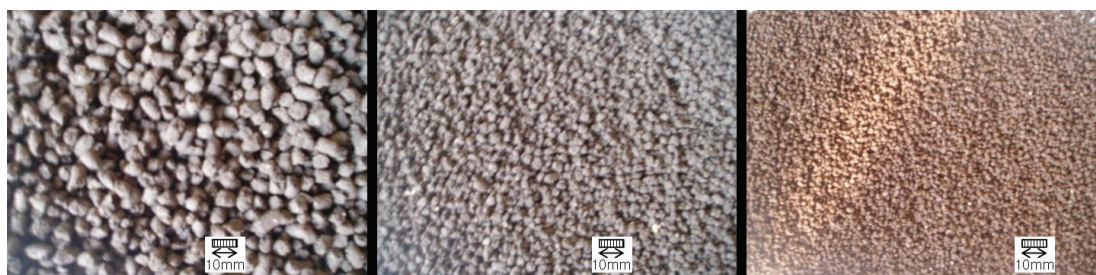


그림 15. 가공된 펠릿퇴비의 형태.

그림 15에서 보여지 듯이 펠렛가공 퇴비의 크기는 맨 좌측 그림에 나타난 약 7 mm부터 맨 우측 그림의 약 2 mm 까지 다양하게 제조 되어진다. 펠렛가공 과정을 거쳐 생산된 펠렛퇴비는 약 한달 여의 기간을 거치면서 부피와 중량변화를 거치게 되는데 그 과정을 그림 16에 도시하였다.

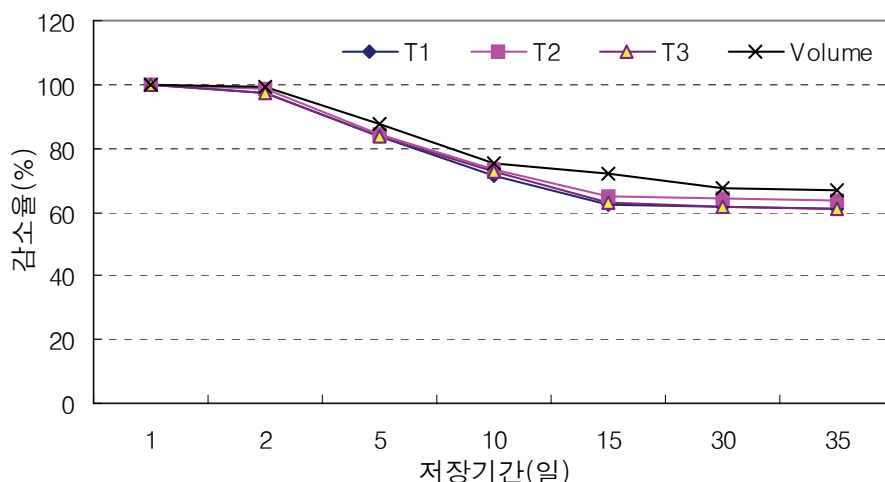


그림 16. 펠렛퇴비 저장기간에 따른 부피와 중량변화.

정상상태의 실온에 보관하였을 경우 펠렛퇴비의 중량은 점차 감소하는 경향을 보인다. 중량의 경우 가공 후 최초 15일 까지는 시간의 흐름에 비례하여 감소하는 경향을 보이고 그 이후부터는 감소율이 낮아지는 결과를 보인다. 중량감소는 원재료의 구성보다는 경과일수에 영향을 더 받으며 이때 상대습도나 온도, 기류 등의 외적요인도 일부 작용할 것으로 판단된다. 부피도 시간의 흐름에 따라 감소하는 경향을 보이는데 중량변화보다는 그 변이가 크지 않은 결과를 보였다. 중량변화 역시 부피변화와 같이 외적요인의 영향을 받는 것으로 보인다. 건조된 펠렛퇴비의 경도를 분석하기 위하여 내압축력 을 분석하였다.

표 10. 펠렛퇴비의 내압축력

(단위 : kg/cm²)

구 분	시 험 구					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
내 압축력	28.40	31.55	25.13	27.38	29.63	28.12

T1 : 돈분퇴비 19 + 버섯배지 퇴비 0.3 + 패각 0.3 + 미강 0.3

T2 : 돈분퇴비와 우분퇴비 혼합 19 + 버섯배지퇴비 0.3 + 패각 0.3 + 미강 0.3

T3 : 버섯배지퇴비 19 + 패각 0.3 + 미강 0.3 + 돈분퇴비와 우분퇴비 혼합 0.3

T4 : 돈분퇴비 19 + 패각 1

T5 : 돈분퇴비 19 + 계껍질 1

T6 : 돈분퇴비 19 + 버섯배지퇴비 1

펠렛퇴비를 제조하기 전에 혼합했던 재료의 종류에 따라 펠렛퇴비 가공품은 각각 25.13~31.55kg/cm² 사이의 내압축력을 보였다. 돈분퇴비와 패각을 혼합한 처리구의 내압축력이 상대적으로 낮았던 반면에 돈분과 계분퇴비에 버섯배지와 패각 그리고 미강을 혼합하여 제조한 펠렛퇴비의 내압축력이 가장 우수한 것으로 나타났다. 경도는 포장과 수송 그리고 시비과정에서 긍정적 작용을 하는 요인으로서 완효성과 속효성 조절과 더불어 퇴비품질개선에 관련한 중요 고려요소가 된다.

6. 적 요

본 연구는 가축분 퇴비의 가공에 따른 품질 및 이용성을 향상시키는 기술을 개발하는 목적으로 수행되었다. 펠렛퇴비의 가공효과 개선 및 관련 기술 개발 그리고 퇴비 이용성 개선이 본 과제 수행에 있어 핵심적 해결요소이다. 본 과제 수행에 있어 지금까지 도출된 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 펠렛퇴비 최적가공조건 설정시험 결과, 돈분발효퇴비의 펠렛가공 효과는 재료의 구성과 혼합을 그리고 퇴비원료의 수분함량에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.
- 2) 스쿠루 형태의 제조방법이나 펠렛밀 형태의 제조방법을 취하는 경우, 두 방법 모두 펠렛화 과정에 따른 퇴비중의 양분손실 현상은 크게 나타나지 않았다.
- 3) 가공온도가 높고 계분이 함유된 처리구에서 암모니아 발생정도가 가장 높았고 동일한 수준의 돈분뇨 퇴비를 함유한 시험구의 경우, 가공온도와 암모니아 발생량이 정의 상관관계를 보이는 것으로 판단된다. 단 첨가재로 이용된 물질이 가공단계에서 퇴비재료의 pH를 상승시키는 역할을 할 경우 암모니아 발생을 촉진한다.
- 4) 정상상태의 실온에 보관하였을 경우 펠렛퇴비의 중량은 점차 감소하는 경향을 보인다. 펠렛퇴비 중량의 경우 가공 후 최초 15일 까지는 시간의 흐름에 비례하는 감소하는 경향을 보이고 그 이후부터는 감소율이 낮아지는 결과를 보인다. 펠렛퇴비의 중량감소 정도는 원재료의 구성보다는 경과일수에 영향을 더 받는다. 부피도 시간의 흐름에 따라 감소하는 경향을 보이는데 중량변화보다는 그 변이가 크지 않은 결과를 보였다.
- 5) 돈분퇴비와 패각을 혼합한 처리구의 내압축력이 상대적으로 낮았던 반면에 돈분과 계분퇴비에 버섯배지와 패각 그리고 미강을 혼합하여 제조한 펠렛퇴비의 내압축력이 가장 우수한 것으로 나타났다
- 6) 가공원료의 크기별 가공효율은 1mm 이하의 입경에서 더 높았다. 입경 1mm 이하 퇴비의 가공율을 100으로 하였을 경우 입경 1mm ~ 5mm 퇴비의 가공율은 80% 수준이었다
- 7) 퇴비 입경이 적을수록 양분함량은 높아지는 경향이 있었고 수분함량 40% 수준 현물퇴비의 경우 0.1mm 이하의 퇴비중에 함유된 질소농도가 1.538%로 가장 높았다.
- 8) 가공원료의 전처리 여부가 가공퇴비의 물성특징에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

〈제4세부과제〉 기능성 액비생산 기술 개발

1. 막분리액비와 양액의 혼합비율 시험

1) 초장 및 분얼수

토마토의 초장은 MS20+NS80% 혼합액에서 192.6cm 으로 대조구인 원예연 양액 처리구의 180.6cm 보다 높았다. 토마토의 초장은 CS 20%+NS 80% > NS 100% > CS 60%+NS 40% > CS 80%+NS 20% > CS 100% 순서로 농축액비의 혼합비율이 높을수록 낮아졌다. 특히 농축액비 100% 원액시용구의 초장은 74.2cm로 매우 저조하였다.

줄기직경의 경우 CS 20%+NS 80%시용구에서 11.8cm로 대조구인 양액재배구와 대등하였다. 농축액비 100% 시용구의 줄기직경은 7.3cm로 가장 적었다. 토마토의 줄기직경은 초장 만큼 처리구 사이에서 현저한 차이를 나타내지 않았다. 화학비료 양액처리구는 양분간의 균형이 맞아 초장과 줄기직경의 증대효과를 가져 왔으나 농축액비를 60%이상 혼합한 시용구는 질산태질소와 인산이 부족한 양분 불균형으로 인하여 정상적인 생육을 나타내지 못한 것으로 사료된다.

표 8. 막분리액비와 양액의 혼합비율에 따른 생육 특성

Treatments	Plant height (cm)	Index (%)	Stem diam. (mm)	Index (%)
CS 100%	74.2d	41	9.73c	74
CS 80+NS 20%	123.9c	67	9.0b	76
CS 60+NS 40%	142.4b	79	9.2b	78
CS 40+NS 60%	162.4b	90	10.2ab	86
CS 20+NS 80%	192.0a	106	11.8a	100
NS 100%	180.6a	100	11.8a	100

CS : Concentrated pig slurry

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

SPAD502를 이용하여 엽록소 측정치를 조사한 결과는 표6와 같다. 생육초기의 엽록소 측정치는 농축액비 20%, 40%, 60% 혼합시용구에서 각각 51.5, 54.5, 51.9로 처리수준간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 또한 CS 80% + NS 20% 혼합시용구와 농축액비 100%시용구의 엽록소측정치는 각각 42.9, 38.9를 나타내어 대조구인 양액처리구의 52.5 보다 많이 낮아졌다. 그러나 CS 20%+NS 80% 혼합시용구는 대조구인 양액재배구에 상당하는 수치의 엽록소측정치를 나타내었다.

생육중기에 농축액비 80%+ 양액 20% 시용구의 엽록소측정치가 49.7로 양액처리구의 59.5 보다 낮아졌다. 특히 농축액비 100% 시용구의 엽록소측정치는 36.2로 영양상태가 매우 불량한 것으로 나타났다. 반면 양액 100% 처리구의 엽록소 측정치는 59.5로 가장 높은 수치를 나타내었다.

표 9. 막분리액비와 양액의 혼합비율에 따른 엽록소 함량

Treatments	10 Aug.	Index.	30 Aug.	Index
CS 100%	38.9c*	74	36.2d	61
CS 80+NS 20%	42.9b	82	40.7c	68
CS 60+NS 40%	51.9a	99	40.9c	69
CS 40+NS 60%	54.5a	104	51.5b	87
CS 20+NS 80%	51.5a	98	49.7b	83
NS 100%	52.3a	100	59.5a	100

CS : Concentrated pig slurry

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

2) 화방수

토마토 정식 80일에 처리구별 개화 및 착과된 화방수는 표7과 같다. 농축액비20%와 양액80%의 혼합시용구(MS 20% + NS 80%)의 토마토는 정식 80일에 6.5 화방에 도달하여 대조구인 원예연전용양액 100% 처리구와 비슷한 화방수를 나타내었다. 반면 농축액비 40, 60, 80% 혼합시용구는 각각 5.9, 5.7, 5.2의 화방수를 나타내어 농축액비 혼합비율이 높을수록 화방수가 낮아지는 경향이였다. 또한 농축액비 100%시용구에서는 3.0 화방수에 불과하여 영양불균형에 의한 생식생장에 심한 장애를 받는 결과를 나타내었다.

토마토의 착과된 화방수는 농축액비 20, 40, 60% 첨가 수준 까지는 대조구와 큰 차이가 없었으나 농축액비 80, 100% 혼합시용구에서는 현저히 감소하였다. 특히 농축액비 100% 시용구에서의 착과된 화방수는 2.4개에 불과하였다.

표 10. 막분리액비와 양액의 혼합비율에 따른 화방수

Treatments	No. of flower cluster	Index (%)	No. of fruit setting cluster	Index (%)
CS 100%	3.0c	48	2.4c	55
CS 80+NS 20%	5.2b	83	3.5b	80
CS 60+NS 40%	5.7b	90	4.2a	100
CS 40+NS 60%	5.9ab	94	4.2a	100
CS 20+NS 80%	6.5a	103	4.5a	102
NS 100% (control)	6.3a	100	4.4a	100

S : Concentrated pig slurry

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

3) 토마토의 과중과 과수

토마토의 주당 과중은 CS 20% + NS 80%처리구에서 1,396g으로 대조구인 양액처리구 보다 다소 높았으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다. 토마토 주당 과중은 농축액비 40%와 양액 60% 혼합시용구에서 1,180g로 대조구에 비하여 6% 감소하였고, 농축액비 60%와 양액40% 혼합구에서 1,162g으로 18% 감소되었다. 또한 토마토 과중은 농축액비80% 양액20% 혼합구에서 691g으로 45% 감소되었다. 특히 농축액비 100% 시용구의 과중은 195g으로 대조구에 비하여 84% 감소하였다.

표 11. 막분리액비와 양액의 혼합비율에 따른 과중과 과수

Treatments	No. of fruiting (No./plant)	Fruit wt. per plant (g/plant)	Index	Mean fruit wt.(g)	BER **(No./plant)
CS 100%	4.5c*	195.6d	16	44.0b	0.5b
CS 80+N 20%	6.4b	691.8c	55	108.1a	0.42b
CS 60+NS 40%	9.4ab	1,062.4b	82	113.6a	1.35a
CS 40+NS 60%	10.8a	1,180.3a b	94	109.3a	0.9b
CS 20+NS 80%	12.0a	1,396.5a	111	116.3a	0.7b
NS 100%	11.1a	1,255a	100	113.1a	0.4b

CS : Concentrated pig slurry

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

** Percentage of Blossom-end rot(%)

4) 엽과 줄기의 건물중

농축액비의 시용에 따른 토마토의 개체당 엽+줄기의 건물중은 표9와 같다. 지상부 엽+줄기의 건물중은 CS 20% + NS 80% 처리구에서 양액 100% 시용구와 대등한 지상부 건물중을 나타내었다. 그러나 농축액비 혼합비율이 40% 이상 처리구에서는 지상부 엽+줄기 건물중이 대조구에 비하여 현저히 저하되었다. 특히 농축액비 100%처리구의 엽+줄기 건물중은 대조구 대비 78% 감소하였다.

표 12. 막분리액비와 양액의 혼합비율에 따른 건물중

Treatments	Dry wt.(g/plant)	Index
CS 100%	23.9e*	22
CS 80 + NS 20%	39.7d	37
CS 60 + NS 40%	53.4c	50
CS 40 + NS 60%	71.6b	67
CS 20 + NS 80%	104.2a	97
NS 100%	107.4a	100

CS : Concentrated pig slurry

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

5) 엽줄기와 과실의 비율

가축분뇨 막분리 여과농축액과 양액 혼합 처리가 영양생장 부위인 엽+줄기 와 생식생장 부위인 과실의 비율을 비교한 결과는 표10와 같다. 영양생장 부분인 엽+줄기의 생체중은 농축액비 사용량이 증가 할수록 감소되었다. 엽줄기와 과실의 비율은 대조구인 양액 처리구에서 가장 높았고 농축액비 사용구는 상대적으로 낮은 경향이였다. 이러한 결과는 가축분뇨 막분리 농축액비 혼합 처리구는 잎줄기가 충분히 자라지 않는 상태에서 영양생장기에 도달하여 엽줄기와 과실의 비율이 낮아진 것으로 사료된다.

표 13. 엽줄기와 과실의 비율

Treatments	Stem and leaf wt. (g/plant)	Fruits(g/plant)	Stem and leaf/Fruits Ratio(FW basis)
CS 100%	161.3f*	44.0b	3.16b
CS 80 + NS 20%	292.4e	108.1a	2.77b
CS 60 + NS 40%	376.2d	113.6a	3.31b
CS 40 + NS 60%	542.6c	109.3a	4.96a
CS 20 + NS 80%	783.9b	116.3a	6.74a
NS 100%	826.9a	113.1a	7.31a

CS : Concentrated pig slurry

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

2. 가축분뇨액비와 부산물 및 양액 혼합에 의한 토마토 양액재배 시험

1) 액비 제조 및 이화학적 특성

퇴비단 여과액비와 막분리 돈슬러리 농축액비의 이화학적 특성은 표3과 같다. 퇴비단 여과액비는 인산, 칼슘, 마그네슘 함량이 낮고 칼륨 함량은 높았다. 농축액비의 부유물질(suspended solid) 함량은 15.2mg/L로 매우 낮아 하우스 관비 재배시 막힘 문제가 발생되지 않는 수준이었다. 농축액비의 질소함량은 620.2mg/L이었으며 하우스 추비용으로 이용이 가능한 수준에 도달하였다.

표 14. 퇴비단 여과액비와 막분리 돈슬러리 농축액비의 이화학적 특성

Items	T-N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	P ₂ O ₅ (mg/l)	CaO (mg/l)	MgO (mg/l)	K ₂ O (mg/l)	Suspended solid (mg/l)
Concentrated slurry	620.2	12	216.0	84.4	318.2	352.5	3,870.1	15.2
Compost leachate	528.6	98	176.6	159.3	45.5	22.7	1,447.6	352.5

여과액비와 농축액비에 부산물을 혼합한 액비의 이화학적성은 표 4와 같다. 축산분뇨 액비에 부산물을 첨가함으로써 인산, 마그네슘, 칼슘 함량이 증가되었다.

표 15. 여과액비와 농축액비에 부산물을 혼합한 액비의 이화학적성

Items	Compost leachate+Byproduct*	Concentrated slurry +Byproduct*
T-N(mg/L)	2,572	1,952
NH ₄ -N(mg/L)	1,640	1,497
P ₂ O ₅ (mg/L)	844	787
K ₂ O(mg/L)	3,040	5,790
CaO(mg/L)	811	1,347
MgO(mg/L)	111.1	300.2
B(mg/L)	2.4	2.0

* 180 L of compost leachate and concentrated slurry mixed with 0.4 L bone meal, 180g amino acids, 190g molasses, 24g seaweed extract and 0.4 L egg calcium

2) 생육특성

토마토의 초장은 여과액비 단독처리구, 농축액비 단독처리구, 농축액비+부산물 혼합처리구에서 초장은 대조구인 양액처리구 보다 작았다. 특히 농축액비 100% 단독시용구의 초장은 173.4cm로 가장 작았다. 그러나 CS 50%+NS 50%, CL50%+NS50% 처리구에서의 초장은 각각 238, 228cm로 대조구인 양액처리구 보다 다소 컸다.

경직경은 농축액비 100% 시용구에서 8.14cm로 가장 적었으나 CL 50%+NS 50%시용구에서 12.3mm로 대조구인 양액재배구와 대등하였다. 이러한 결과는 액비에 화학양액 혼합처리구는 양분간의 균형이 맞아 초장과 줄기직경의 증대효과를 가져 온 것으로 사료된다.

1-4화방 까지의 절간장은 처리구 사이에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 또한 절간수는 농축액비+부산물 혼합처리구에서 11.1개로 가장 높았다.

SPAD502를 이용하여 엽록소 측정치를 조사한 결과는 표5와 같다. 엽록소측정치는 식물체의 질소 영양상태를 나타내는 간접지표이다. 엽록소측정치는 여과액비 처리구에서 51.0로 대조구 보다 낮았으며 농축액비 처리구에서 38.4로 가장 낮았다. 엽록소측정치는 여과액비+부산물(CL+BP)혼합시용구와 여과액비 50%에 양액50% 혼합시용구에서 각각 60.1, 60.8로 대조구인 양액 보다 다소 높았으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

표 16. 가축분뇨액비와 부산물 및 양액 혼합액의 양액재배에 의한 토마토 생육특성

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	SPAD502	Internode length (1-4 flower truss, cm)	No. of nodes (No./plant)
CL	218.6ab*	11.0ab	51.0b	71.7a	9.3b
CS	173.4b	8.14b	38.4c	72.9a	10.6a

(계속)

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (mm)	SPAD502	Internode length (1-4 flower truss, cm)	No. of nodes (No./plant)
CL+BP	234.2a	11.3a	60.9a	78.9a	11.1a
CS+BP	213.1ab	10.8ab	57.5a	71.2a	10.4a
CL50%+NS50%	228.1a	12.3a	60.8a	72.4a	10.4a
CS50%+NS50%	238.0a	11.8a	56.5a	73.4a	10.8a
NS	221.3a	12.4a	58.6a	76.3a	10.8a

CL : Compost leachate, CS : Concentrated pig slurry, BP: Byproduct

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

3) 토마토의 과일 생육

토마토의 1차 수확시 식물체당 평균과수는 여과액비 단독처리구에서 11.9로 대조구 보다 다소 적었으며 농축액비 처리구의 과수는 4.6로 매우 적었다. 또한 과수는 여과액비+부산물, 여과액비 50%+양액50%, 농축액비50%+양액50% 처리구에서 대조구와 대등하였다. 그러나 농축액비+부산물 시용구의 주당과수는 각각 10.2로 양액대조구에 비하여 적었다. 상품과수는 여과액비 50%+양액50%시용구에서 10.2개로 가장 높은 72.3%의 상품화율을 나타내었다. 상품화과수의 비율은 부산물 혼합처리구에서 가장 낮았다.

토마토의 평균과중은 CL50%+NS50%, CS50%+NS50%, 양액처리구에서 무거웠고 농축액비+부산물혼합 처리구에서 가벼웠다.

표 17. 가축분뇨액비와 부산물 및 양액 혼합액의 양액재배에 의한 토마토 과수특성

Treatment	Fruit number per plant	No. of marketable fruit	Marketable fruit ratio(%)	Average fruit wt.(g)	BRE *(No./plant)
CL	11.9b*	7.4b	67.2a	71.4a	0
CS	4.6c	2.9c	63.0a	69.0ab	0
CL+BP	14.1a	6.7b	47.5b	63.6b	0.2
CS+BP	10.2b	5.7bc	55.8b	69.6ab	0.1
CL50%+NS50%	14.1a	10.2a	72.3a	78.9a	2.1
CS50%+NS50%	14.0a	9.4a	67.1a	74.1a	2.3
NS	14.0a	8.9a	63.5a	78.1a	1.0

CL : Compost leachate, CS : Concentrated pig slurry, BP: Byproduct

NS : Nutrient solution, BRE: Blossom-rot emergence(%)

*abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

토마토의 식물체당 과중은 여과액비 단독시용구에서 786g로 대조구에 비하여 28% 감소하였다. 과중은 액비와 부산물 (CL+BP, CS+BP)혼합구에서 691g으로 대조구 대비 45% 적었다. 특히

농축액비 100% 시용구의 과중은 195g으로 대조구에 비하여 71% 감소하였다. 토마토의 식물체당 생체중은 CL 50% + NS 50%처리구에서 1,112g으로 대조구인 양액처리구 보다 다소 무거웠으나 통계적인 유의성은 인정되지 않았다.

표 18. 가축분뇨액비와 부산물 및 양액 혼합액의 양액재배에 의한 토마토의 과중

Treatment	Fruit Wt.(g/plant)	Index	Marketable fruit weight(g/plant)	Index
CL	785.8bc*	72	678.9b	70
CS	317.4c	29	262.3d	27
CL+BP	896.7b	82	606.1bc	63
CS+BP	710.3bc	65	539.8c	56
CL50%+NS50%	1,112.3a	101	968.5a	101
CS50%+NS50%	1,038.4a	95	860.0ab	89
NS	1,092.2a	100	963.2a	100

CL : Compost leachate, CS : Concentrated pig slurry, BP: Byproduct

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

4) 토마토 수량

토마토의 1차 수확시 수량은 여과액비 단독처리구에서 가장 높았다. 2차 수확시 토마토의 수량은 여과액비50%+양액50%시용구에서 대조구인 원예연 표준양액 보다 높은 수량을 나타내었으나 통계적인 유의차는 인정되지 않았다.

토마토의 1차, 2차 합계 수량은 여과액비 단독처리구에서 대조구 대비 91%의 수량을 나타내어 여과액비만을 활용한 유기 양액재배의 가능성을 제시하였다. 퇴비단여과액비+부산물, 농축액비+부산물 혼합처리구의 토마토 수량은 대조구 대비 각각 87, 76%를 나타내어 여과액비 단독시용구의 수량에 미치지 못하였다. 토마토 총수량은 여과액비50%+양액50%, 농축액비50%+양액50% 시용구에서 각각 1,348g, 1,297g로 대조구와 대등한 수량을 나타내어 여과액비와 농축액비를 이용하여 양액재배시 화학양액의 50% 대체가능성을 시사하였다.

표 19. 가축분뇨액비와 부산물 및 양액 혼합액의 양액재배에 의한 토마토 수량

Treatment	1st yield(g/plant)	2nd yield(g/plant)	Total yield(g/plant)	Index
CL	412.0a*	785.8b	1,197.8a	91
CS	209.3b	317.4c	526.7c	40
CL+BP	248.8b	896.7b	1,145.5ab	87
CS+BP	287.1b	710.3b	997.4b	76
CL50%+NS50%	235.7b	1,112.4a	1,348.0a	103
CS50%+NS50%	241.0b	1,038.4a	1,297.4a	99
NS	214.7c	1,096.2a	1,311.1a	100

CL : Compost leachate, CS : Concentrated pig slurry, BP: Byproduct

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

5) 엽과 줄기의 건물중

여과액비, 농축액비 단독 시용구의 엽, 줄기 생체중은 양액 대조구 대비 54%, 16%로 낮았는데 그 원인의 무기태질소중 질산태질소가 부족한 것이 원인이 된 것으로 생각된다. 여과액비+부산물, 농축액비+부산물 처리구의 지상부 엽줄기 생체중도 대조구인 양액처리구 대비 66, 46%를 나타내어 정상적인 영양생장이 이루어지지 않았다. 그러나 CL 50%+NS 50% 처리구에서의 지상부 엽+줄기의 생체 및 건물중은 양액 100% 시용구 대비 각각 14, 35% 높아 과번무가 상태가 된 것으로 추론된다. 여과액비 50%와 양액50% 혼합시용구에서 지상부의 엽, 줄기의 생체 및 건물중이 높았다.

토마토 과중과 엽줄기 비율은 농축액비 단독처리구에서 3.75로 가장 높았다. 이에 비하여 CL 50%+ NS 50%처리구의 과중과 엽줄기 비율이 1.1로 가장 낮았다.

표 20. 가축분뇨액비와 부산물 및 양액 혼합액의 양액재배에 의한 토마토의 엽줄기중과 과중 비율

Treatment	Stem/Leaf Fresh Wt.(g)	Index	Stem/Leaf Dry Wt.(g)	Index	Fruits/Plant Ratio
CL	481.3d*	54	67.9	62	2.49
CS	140.6e	16	21.0	19	3.75
CL+BP	581.1c	66	75.9	69	1.97
CS+BP	408.9d	46	57.2	52	2.44
CL50%+NS50%	1,012.3a	114	148.2	135	1.10
CS50%+NS50%	845.4b	95	123.9	113	1.53
NS	886.7b	100	109.6	100	1.24

CL : Compost leachate, CS : Concentrated pig slurry, BP: Byproduct

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

3. 퇴비단여과액비와 화학양액의 혼합수준 처리에 의한 상추수경재배 시험

1) 정식 후 18일의 생육특성

상추의 엽장은 CL20+NS80% 혼합액에서 17.4cm로 대조구인 원예연 양액 처리구 보다 높았으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

엽수는 여과액비 100% 처리구에서 9.7개로 대조구인 양액처리구 보다 작았다. CL40%+NS60% 시용구의 엽장은 10.2cm개로 대조구인 양액재배구와 보다 다소 적었으나 CL20%+NS80% 시용구에서 11.8개로 양액재배구와 대등하였다. 상추의 근장은 CL40%+NS 60%, CL20%+NS80% 시용구에서 각각 16.8, 15.9cm를 나타내어 대조구인 양액처리구의 9.7cm 보다 길었다.

정식 후 18일의 엽록소 측정치는 여과액비 100, 80%, 40% 혼합시용구에서 각각 35.3, 35.8, 36.8로 처리수준간에 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 여과액비 20%혼합시용구(CL 20% + NS 80%)는 39.5를 나타내어 대조구인 양액처리구 보다 높았다.

표 21. 퇴비단여과액비와 화학양액의 혼합수준 처리에 의한 이식 18일의 상추 생육특성

Treatments	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf number (ea)	Root length (cm)	SPAD 502
CL 100%	14.1c	7.8c	9.7c	11.0c	35.3c
CL 80+NS 20%	14.0c	7.2c	9.0b	9.7c	35.8c
CL 60+NS 40%	16.4b	9.3b	9.2b	12.9b	39.6a
CL 40+NS 60%	16.4b	10.8a	10.2ab	16.8a	36.8b
CL 20+NS 80%	17.4a	10.5a	11.8a	15.9a	39.5a
NS 100%	16.7ab	10.6a	11.8a	9.7c	33.8b

CL : Compost leachate, NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

2) 정식 40일 후 생육특성

상추의 엽장은 CL20+NS80% 혼합액에서 27.1cm로 대조구인 원예연 양액 처리구와 대등한 결과를 나타내었다. 상추의 엽폭은 CL20%+NS 80%시용구에 13.4cm로 대조구 보다 높았으며 상추의 엽수도 CL20%+NS 80%시용구에서 20개로 가장 많았다. 여과액비 100% 처리구의 엽수는 17.3개로 대조구인 양액처리구 보다 적었다. 식물의 양분흡수는 근권부의 뿌리활력에 의해 좌우되는데 상추의 근장은 CL40%+NS60%, CL20%+NS 80%시용구에서 각각 18.9, 18.1cm를 나타내어 대조구인 양액처리구와 대등한 수치를 나타내었다.

정식 후 40일에 여과액비 80% + 양액 20% 시용구의 엽록소측정치가 34로 양액처리구의 32.3 보다 높았다. 그러나 여과액비 100% 시용구의 엽록소측정치는 29로 영양상태가 다소 불량한 것으로 나타났다.

표 22. 퇴비단여과액비와 화학양액의 혼합수준 처리에 의한 이식 40일의 상추 생육특성

Treatments	Leaf length (cm)	Leaf width (cm)	Leaf number (ea)	Root length (cm)	SPAD 502
CL 100%	23.3c	11.6b	17.3c	11.8c	29.0
CL 80+NS 20%	24.0b	11.7b	17.0c	12.7b	33.0
CL 60+NS 40%	24.0b	11.9b	18.3b	15.5bc	31.0
CL 40+NS 60%	25.5ab	11.8b	18.3b	18.9b	32.2
CL 20+NS 80%	27.1a	13.4a	20.0a	18.1a	34.0
NS 100%	27.2a	12.7a	18.7b	18.8b	32.3

CL : Compost leachate, NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

3) 생체 및 건물중

여과액비 100% 단독 처리구에서의 상추의 주당 생체중은 25.8g으로 대조구인 양액시용구 대비 60%의 생체중을 나타내었다. 상추 생체중은 양액의 혼합비율이 높을수록 높은 경향이였으며 CL100%, CL80%+NS20%, CL60%+NS 40%, CL 40%+NS 60%, CL20%+NS80% 처리구에서 각각 25.8, 27.4, 40.4, 41.9, 45.7를 나타내어 대조구인 양액 대비 각각 60, 64, 94, 98, 107% 생체중을 나타내었다. 특히 CL 20%+NS 80%처리구의 상추 생체중은 대조구인 양액처리구 보다 3% 높았다.

표 23. 퇴비단여과액비와 화학양액의 혼합수준 처리에 의한 이식 18일의 상추 생체 및 건물중

Treatments	Fresh Wt.(g/plant)	Index	Dry wt.(g/plant)	Index
CL 100%	25.8	60	3.4	56
CL 80+NS 20%	27.4	64	3.7	63
CL 60+NS 40%	40.4	94	5.4	90
CL 40+NS 60%	41.9	98	5.6	95
CL 20+NS 80%	45.7	107	6.1	103
NS 100%	42.8	100	5.9	100

CL : Compost leachate, NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

정식 후 40일에 상추의 주당 생체중과 건물중은 표6과 같다. 정식 후 여과액비 100% 시용구의 생체 및 건물중은 각각 46.8, 5.4g으로 양액 대조구 대비 각각 42, 40%의 수량을 나타내어 정식 후 18일 보다 수량감소가 더 커졌다. 상추 생체중은 여과액비 20%와 양액 80% 혼합시용구에서 대조구와 대등한 생체중을 나타내었다. 이러한 경향은 건물중에서도 같은 경향이였다.

표 24. 퇴비단여과액비와 화학양액의 혼합수준 처리에 의한 이식 40일의 상추 생체 및 건물중

Treatments	Fresh Wt.(g/plant)	Index	Dry wt.(g/plant)	Index
CL 100%	46.8d	42	5.4e	40
CL 80+NS 20%	68.2c	61	7.9d	58
CL 60+NS 40%	79.4bc	71	9.4c	69
CL 40+NS 60%	94.2b	85	11.3b	83
CL 20+NS 80%	106.8a	96	13.1a	94
NS 100%	111.3a	100	13.6a	100

CL : Compost leachate, NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

4) 수량

퇴비단 여과액비와 양액의 혼합처리에 의한 상추의 1차, 2차 수확의 합계수량은 표7과 같다. 여과액비 100% 시용구에서의 상추의 수량은 양액대비 49%를 나타내었다. 상추수량은 여과액비와 양액의

혼합비율이 40 : 60, 20 : 80%에서 대조구인 양액 대비 각각 90, 98%의 수량에 도달하였다.

표 25. 퇴비단여과액비와 화학양액의 혼합수준 처리에 의한 상추 수량

Treatment	Total yield(g/plant)	Index
CL 100%	186.3e	49
CL80%+NS 20%	248.3d	65
CL60%+NS 40%	291.1c	77
CL40%+NS 60%	344.4b	90
CL20%+NS 80%	374.2a	98
NS100%	383.7a	100

CL : Compost leachate, NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

4. 막분리여과/퇴비단여과액비와 부산물, 화학양액 혼합액의 고추 양액재배 시험

1) 액비 성분 함량

SCB 퇴비단여과액비와 막분리 돈슬러리 농축액비의 이화학적 특성은 표3과 같다. 농축액비의 부유물질(suspended solid) 함량은 15.2mg/L로 매우 낮아 하우스 관비 재배시 막힘 문제가 발생되지 않는 수준이었다. 농축액비의 질소함량은 620mg/L이었으며 하우스 추비용으로 이용이 가능한 수준에 도달하였다. 칼륨함량은 5,885mg/L으로서 질소, 인산에 비하여 상대적으로 높은 함량을 나타내었다. 농축액비의 인산함량이 84.4mg/L으로서 낮았는데, 이는 인산이 대부분 부유물질에 함유되어 있기 때문인 것으로 사료된다.

표 26. 막분리여과, 퇴비단여과액비의 이화학적 성분함량

Items	T-N (mg/l)	NO ₃ -N (mg/l)	NH ₄ -N (mg/l)	P ₂ O ₅ (mg/l)	CaO (mg/l)	MgO (mg/l)	K ₂ O (mg/l)	Suspended solid (mg/l)
Compost leachate	528.6	98	176.6	159.3	45.5	22.7	1,447.6	352.5
Concentrated slurry	620.2	12	216.0	84.4	318.2	352.5	3,870.1	15.2

여과액비와 농축액비의 성분함량을 높이고 부족한 비료성분을 보충하기 위하여 부산물을 첨가한 조제액비의 이화학적 성분함량은 표4와 같다. 부산물액비의 조제방법은 180 L의 여과액비, 농축액비에 골분0.4 L, 동물성아미노산180g, 당밀 190g, 해초류추출물 24g, 난각칼슘 0.4 L를 첨가하여 조제하였다. 골분과 난각칼슘은 구연산에 용해하였다. 부산물을 첨가한 여과액비와 농축액비는 원료액비에 비하여 질소, 인산, 칼륨, 칼슘, 마그네슘 등 주요 비료성분 함량이 높아졌다.

표 27. 막분리여과/퇴비단여과액비에 부산액비물 첨가에 의한 성분함량

Items	Compost leachate+byproduct*	Concentrated slurry +byproduct
T-N(mg/ L)	2,572	1,952
NH ₄ -N(mg/ L)	1,640	1,497
P ₂ O ₅ (mg/ L)	844	787
K ₂ O(mg/ L)	3,040	5,790
CaO(mg/ L)	811	1,347
MgO(mg/ L)	111.1	300.2
B(mg/ L)	2.4	2.0

* 180 L of compost leachate and concentrated slurry mixed with 0.4 L bone meal , 180g amino acids, 190g molasses, 24g seaweed extract, 0.4 L and egg calcium

2) 정식 후 30일의 고추 생육 특성

고추의 초장은 여과액비+양액(CL 50%+NS 50%)시용구, 농축액비+양액(CS 50%+NS50%)시용구에서 양액급액구(대조구)와 대등한 초장을 나타내었다. 그러나 여과액비 단독처리구, 액비와 부산물(CL+BP, CS+BP)처리구의 초장은 55-56cm로 양액(대조구) 보다 작았다. 특히 농축액비처리구의 초장은 42.3cm로 매우 작았는데 그 이유는 막분리 과정 중 양분 불균형이 발생되었기 때문으로 생각된다(표 3).

표 28. 정식 후 30일의 고추 생육 특성

Treatments	Plant height (cm)	Main stem length(cm)	Stem diameter (mm)
CL	55.4c*	20.1b	9.8c
CS	42.3d	18.8c	8.0d
CL+BP	56.3b	20.2b	10.0b
CS+BP	56.7b	18.8c	10.2b
CL50%+NS50%	66.2a	22.3a	12.0a
CS50%+NS50%	63.6a	19.9b	12.1a
NS	62.9a	18.9c	12.1a

CL : Compost leachate, CS : Concentrated slurry, BP : Byproduct

NS : Nutrient solution

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

3) 정식 후 30일의 고추 과수 특성

여과액비50%+양액50%, 농축액비50%+양액50%처리구에서의 과수는 15개로 대조구 보다 많았으나 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 식물체당 과수는 여과액비, 농축액비 단독시용구, 여과액비+부산물 시용구에서 각각 11.7, 4.2, 12.5개로 양액대조구에 비하여 적었다. 특히 농축액비 시용구의 과수는 4.2개로 매우 불량하였다..

고추의 과장은 CL50%+NS50%처리구에서 64.5mm로 가장 컸으며 다음으로 CL, CS+BP, CL50%+NS50%처리구 순서로 컸다. 고추의 과장 역시 농축액비 처리구에서 가장 작았다. 과경은 CL50%+NS50%처리구에서 가장 컸고 농축액비처리구에서 가장 작았으며 다른 처리구 사이에는 통계적인 유의차가 없었다.

고추의 평균과중은 CS50%+NS50%처리구에서 18.2g으로 가장 무거웠으며 다음으로 CL50%+NS50% 처리구, 여과액비처리구 순서로 무거웠다.

정식 후 30일 1차 수확시 생과중은 CS50%+NS50%, CL50%+NS50%처리구에서 각각 273.8g, 267g으로 대조구인 양액 보다 22, 25% 높았다.

표 29. 정식 후 30일의 고추 과수 특성

Treatments	No. of fruit (No./plant)	Length of fruit (cm)	Width of fruit (cm)	Mean fruit wt. (g/plant)	Fruit fresh Wt. (g/plant)
CL	11.7c*	62.1ab	26.2ab	15.2b	178.4c
CS	4.2d	53.4d	24.9c	11.9e	49.8f
CL+BP	12.5c	59.1c	25.4c	14.1c	152.5e
CS+BP	17.0a	62.6ab	25.4c	13.0d	162.1d
CL50%+NS50%	15.0b	60.8b	27.5b	15.7b	267.0d
CS50%+NS50%	15.1b	64.5a	30.3a	18.2a	273.8a
NS	14.4b	62.3ab	27.4b	15.2b	218.4b

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

4) 정식 45일 후 고추과수 특성

식물체당 과수는 1차 수확시와 달리 대조구인 화학양액처리구에서 15.7개로 가장 많았다. 농축액비50%+양액50% 처리구에서의 과수는 14.7개로 여과액비 단독처리구 보다 많았다. 주당과수는 여과액비, 농축액비 단독시용구, 여과액비+부산물 시용구에서 각각 8.1, 2.7, 4.3개로 대조구인 양액급액구에 비하여 현저히 적었다. 또한 과장은 여과액비 처리구에서 68.4cm로 대조구와 대등하였고 여과액비+양액(CL50%+NS50%), 농축액비+양액(CS50%+NS50%), 여과액비+부산물(CL+BP) 처리구에서는 대조구인 양액처리구 보다 다소 낮았다. 과경은 여과액비+양액(CL50%+NS50%)처리구에서 가장 컸다.

표 30. 정식 45일 후 고추과수 특성

Treatments	No. of fruit (No./plant)	Length of fruit (mm)	Width of fruit (mm)	Mean fruit wt. (g/plant)	Fresh Wt. (g/plant)
CL	8.1e*	68.4a	27.0b	18.1a	147.1b
CS	2.7g	62.6b	24.5c	11.9d	40.8c
CL+BP	4.3f	58.5c	26.9b	14.1bc	165.2b
CS+BP	10.5d	63.3b	26.4b	13.0c	165.8b

(계속)

Treatments	No. of fruit (No./plant)	Length of fruit (mm)	Width of fruit (mm)	Mean fruit wt. (g/plant)	Fresh Wt. (g/plant)
CL50%+NS50%	13.1c	61.4ab	30.7a	15.7b	251.7a
CS50%+NS50%	14.7b	64.2a	29.5a	18.2a	282.6a
NS	15.7a	68.5a	28.3a	15.2b	277.2a

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

5) 정식 70일 후 고추생육 특성

초장은 여과액비+양액(CL50%+NS50%), 농축액비+양액(CS 50%+NS50%)시용구에서 68-69cm로 대조구인 양액시용구 보다 다소 컸다. 여과액비 단독처리구, 액비+부산물 혼합(CL+BP, CS+BP)처리구에서의 초장은 각각 63.1, 59cm로 양액(대조구) 보다 낮았다. 농축액비 처리구의 초장은 43.9cm로 매우 낮았다.

엽록소측정치는 식물체 영양상태를 나타내는 간접지표이다. SPAD502를 이용하여 엽록소 측정치를 조사한 결과를 보면 여과액비+부산물 혼용구(CL+BP)와, 여과액비+양액(CS50%+NS50%)처리구에서 각각 68.2, 72.2로 양액처리구와 대등한 엽록소측정치를 나타내어 양호한 질소 영양상태를 나타내었다. 여과액비, 농축액비 단독시용구에서의 엽록소측정치는 각각 62.0, 45.8로 대조구의 75.1에 비하여 현저히 낮았다.

표 31. 정식 70일 후 고추생육 특성

Treatments	Plant height(cm)	Stem Diameter(mm)	SPAD 502
CL	63.1c*	13.1b	62.0d
CS	43.9e	9.7c	45.8e
CL+BP	59.0d	13.4b	72.4b
CS+BP	59.1d	12.8b	69.4c
CL50%+NS50%	68.8a	15.5a	68.2c
CS50%+NS50%	69.1a	15.4a	72.2b
NS	66.8b	14.8a	75.1a

* abcde : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

6) 정식 후 70일 고추 과수 특성

식물체당 과수는 대조구인 양액처리구에서 30.3개로 가장 많았으며 여과액비+양액(CL50%+NS50%), 농축액비+양액(CS 50%+NS50%)처리구에서 23-24개로 양액처리구 보다 적었다. 과수는 부산물혼합처리구(CL+BP, CS+BP)처리구가 여과액비처리구 보다 적었다. 농축액비 단독시용구의 과수는 3.6개로 가장 적었다. 고추의 과장은 여과액비+양액(CL50%+NS50%), 농축액비+양액(CS50%+NS50%)처리구에서 대조구인 양액처리구와 대등한 과장을 나타내었다.

고추의 평균과중은 농축액비+양액(CS50%+NS50%)처리구에서 20g으로 가장 무거웠으며 여과액비, 여과액비+부산물(CL+BP), 여과액비+양액 (CL50% + NS50%)처리구에서는 대조구인 양액

처리구와 대등한 평균과중을 나타내었다. 식물체당 생과중은 여과액비+양액(CL50%+NS50%), 농축액비+양액(CS50%+NS50%)처리구에서 각각 492.3g, 480.4g으로 대조구인 양액시용구와 대등하였다. 농축액비처리구에서 49.8g으로 현저히 떨어지는 경향이였다.

표 32. 정식 후 70일 고추 과수 특성

Treatment	No. of fruit (No./plant)	Length of fruit (cm)	Width of fruit (cm)	Mean fruit wt. (g/plant)	Fruit Wt. (g/plant)
CL	17.9c*	63.7b	25.7c	14.7d	263.7d
CS	3.6f	59.1c	22.3d	14.4d	52.0f
CL+BP	15.8d	62.7b	28.0b	17.7b	279.9c
CS+BP	13.4e	58.4c	27.9b	16.9bc	226.4e
CL50%+NS50%	24.3b	67.4a	28.4b	16.5c	492.3a
CS50%+NS50%	23.9b	68.4a	29.9a	20.0a	480.4b
NS	30.3a	69.4a	29.9a	16.5c	498.8a

* abcdef : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

7) 고추수량

고추의 1차 수확시 수량은 액비+양액(CL50%+NS50%, CL50%+NS50%)혼용구에서 대조구 대비 22-25% 높았다. 1차 수확시 고추수량은 여과액비 단독시용구에서 대조구인 양액시용구 대비 82%의 수량을 나타내었으나 농축액비 단독시용구의 경우 양액 대비 23%에 불과하여 여과액비가 농축액비 보다 초기수량이 현저하게 높은 결과를 나타내었다. 고추의 2차, 3차 수확시 수량은 액비50%+양액50%시용구에서 대조구인 원예연 표준양액과 대등한 수량을 나타내었다.

고추의 1차, 2차, 3차 수확의 합계 생체중은 농축액비50%+양액50%시용구에서 주당 1,037g으로 가장 높은 수량을 나타내었다. 여과액비 단독처리구는 대조구 대비 59%의 수량을 나타내어 여과액비를 활용하여 유기농 수경재배의 가능성을 제시하였으나 수량은 양액재배에 미치지 못하였다. 또한 농축액비 단독시용구의 수량은 원예연 양액(대조구) 대비 14%에 불과하였다.

표 33. 고추수량

Treatment	1st yield (g/plant)	2nd yield (g/plant)	3rd yield (g/plant)	Total yield (g/plant)	Index
CL	178.4c	147.1b	263.7b	589.2b*	59
CS	49.8d	40.8c	52.0c	142.6c	14
CL+BP	152.5c	165.2b	279.9b	597.6b	60
CS+BP	162.1c	165.8b	226.4b	554.3b	56
CL50%+NS50%	267.0a	251.7a	492.3a	1,011.0a	102
CS50%+NS50%	273.8a	282.6a	480.4a	1,036.8a	104
NS	218.4b	277.2a	498.8a	994.4a	100

* abc : Same letters are not significantly different with DMRT at 5% level.

5. SCB맞춤액비 제조 및 상추수경 재배시험

1) 생육특성

상추의 엽장, 엽폭, 엽수는 SCB맞춤액비시용구에서 대조구인 원예연 양액 처리구와 대등한 결과를 나타내었다. 정식 후 36일에 맞춤액비시용구의 엽록소측정치가 22.9로 대조구의 22.4 보다 다소 높았다. 그러나 SCB부산물액비시용구, SCB퇴비시용구에서의 상추 생육 특성과 엽록소측정치는 다소 불량한 것으로 나타났다.

표 34. 상추 생육 특성(정식 후 36일)

처리	엽수(개/주)	엽장(cm)	엽폭(cm)	앞두께(mm)	SPAD502
SCB액비	15.7	12.8	12.1	0.39	21.8
SCB맞춤액비	17.7	14.2	13.1	0.39	22.9
SCB부산물액비	16.1	13.4	12.2	0.41	20.7
SCB 퇴비차액비	16.2	13.2	12.3	0.42	20.1
원예연 상추양액	18.4	14.8	13.6	0.35	22.4

상추의 개체수량은 SCB맞춤액비시용구에서 대조구인 원예연 양액 처리구에 미치지 못하였으나 대조구 대비 93%의 수량을 나타내었다. 그러나 SCB부산물액비시용구, SCB퇴비시용구에서의 상추 건물중은 낮았다.

표 35. 상추 생체 및 건물중(정식 후 36일)

처리	생체중 (g/주)	지수	건물중(g/주)	지수
SCB액비	108.9	70	5.40	72
SCB맞춤액비	145.9	94	6.97	94
SCB부산물액비	119.7	77	5.63	76
SCB 퇴비차액비	113.5	75	5.55	75
원예연양액	155.5	100	7.41	100

표 36. 상추 생육(정식 후 55일)

처리	엽수(개/주)	엽장(cm)	엽폭(cm)	SPAD502
SCB액비	20.5	13.1	11.9	18.5
SCB맞춤액비	29.5	14.0	13.0	19.7
SCB부산물액비	25.4	13.4	12.2	18.3
SCB 퇴비차액비	24.9	13.4	12.3	18.1
원예연 양액	30.5	14.2	13.2	20.9

표 37. 상추 생체 및 건물중(정식 후 58일)

처리	잎 생체중 (g/주)	잎 건물중 (g/주)	줄기 생체중(g/주)	줄기 건물중(g/주)
SCB액비	120.0	8.1	118.5	8.5
SCB맞춤액비	152.5	10.6	138.0	9.9
SCB부산물액비	133.2	9.3	113.5	7.9
SCB 퇴비차액비	120.4	8.9	112.0	7.8
원예연 양액	164.3	11.6	150.4	110.9

표 38. 상추 수량

처리	1차 수량(g/주)	2차 수량(g/주)	총수량 (g/주)	지수
SCB액비	108.9	120.0	228.9	72
SCB맞춤액비	145.9	152.5	298.4	93
SCB부산물액비	119.7	133.2	243.9	76
SCB 퇴비차액비	113.5	120.4	233.9	73
원예연 양액	155.5	164.3	319.8	100

6. 적 요

- 1) 막처리 농축액비는 칼리함량이 상대적으로 높고 질소, 인산 함량이 낮아 농축액비 100%처리구는 양분의 불균형을 초래하여 양액재배에서 토마토의 지상부의 생육이 지연되고 과중이 감소되었다. 그러나 농축액비 20% + 양액 80% 혼합시용구는 대조구인 표준양액과 대등한 토마토 과실 수량을 나타내었다. 따라서 막처리 농축액비 20%에 양액 비료성분을 80% 첨가하여 혼합용액을 조제하면 토마토 양액재배로 활용이 가능 할 것으로 판단된다.
- 2) 여과액비는 원예연 표준양액 대비 총수량 91%, 상품수량 70%를 나타내어 여과액비 단독급액으로 토마토의 유기 수정재배 생산이 가능하였다. 막처리 농축액비 100%처리구는 토마토의 지상부의 생육이 지연되고 과중이 감소되어 화학양액 대비 40%의 수량을 나타내었다. 퇴비단 여과액비+부산물, 농축액비+부산물 혼합처리구의 토마토 수량은 대조구 대비 각각 87, 76%를 나타내어 여과액비 단독시용구의 수량에 미치지 못하였다.
질소기준으로 여과액비와 농축액비에 양액을 50%: 50% 비율로 혼합하여 균형처방 처리한 경우 표준양액 처리와 대등한 수량을 나타내었다. 결론적으로 토마토 양액재배에서 생육과 수량을 고려할 때 액비와 양액의 50:50 혼합 재배시 수량이 유지되어 가축분뇨 유래 유기액비에 의하여 화학양액을 50% 대체 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 3) 수정재배에서 여과액비의 양액대체 가능성을 평가하기 위하여 양돈농가의 퇴비화 과정 중 여과되어 나오는 퇴비단여과액비(SCB액비)와 화학양액의 혼합 시용이 상추(*Lactuca sativa* L.)의 생육에 미치는 영향을 검토한 결과 여과액비는 칼리함량이 상대적으로 높고 질산태질소, 인산 함량이 낮아 여과액비 100%처리구는 양분의 불균형을 초래하여 양액재배에서 상

추의 지상부의 생육이 지연되어 대조구인 양액 대비 60%의 수량을 나타내었어 수량감소가 있었으나 상추유기농 수경재배의 가능성을 제시하였다.

질소기준으로 여과액비와 양액을 40% : 60%혼합시 양액 대비 10%의 수량감소가 있었으나, 여과액비와 양액을 20% : 80% 혼합하여 처방 처리 할 경우 대조구인 표준양액 처리와 대등한 수량을 나타내었다. 이상의 결과에서 여과액비와 양액을 질소기준으로 60% 이상 혼합할 때 양분불균형이 해소되어 화학양액 100%에 근접하는 수량을 나타내어 여과액비 수경재배 활용시 40%의 화학양액을 절감하는 효과를 기대 할 수 있을 것으로 판단된다.

- 4) 고품배지경 양액재배에서 화학양액 대체가능성을 검토하기 위하여 여과액비, 농축액비에 양액 및 부산물의 혼합처리가 고추의 생육과 수량에 미치는 영향을 검토한 결과 양액재배에서 고추의 합계수량은 여과액비 단독시용구에서 원예연 표준양액재배 대비 총수량 59% 나타내었으며 농축액비의 경우 양액 대비 14%에 불과하였다.

퇴비단여과액비+부산물, 농축액비+부산물 처리구의 수량은 대조구 대비 각각 60, 54%를 나타내어 여과액비 단독시용구와 비슷한 수량을 나타내어 부산물 첨가 효과가 나타나지 않았다.

- 5) 상추 수경재배에서 SCB 액비 단독 처리구는 대조구인 원예연 양액보다 생육이 저하되었으나 잎의 두께가 두꺼워지는 품질 향상의 효과가 있었으며, SCB 맞춤액비는 화학양액과 대등한 생육을 나타내었다. SCB 액비를 이용하여 맞춤액비를 제조하여 농가현장에 적용한 결과 화학비료의 관행재배와 대등한 생산성을 나타내어 시설작물 추비의 맞춤재배로 활용이 가능 할 것으로 생각된다.

〈제5세부과제〉 가축분뇨 퇴·액비 중 특정성분 제어기술 개발

1. 액비내 질소/인 성분 제어기술 개발 시험

1) 공정의 질소/인 성분 제어율 평가 및 운전인자 파악

디자인된 공정의 운전인자를 파악하기 위하여 연구방법의 Tab. 1과 같은 운전조건에서의 성분제어율 및 액비 성상변화를 분석하였으며 그 결과를 Tab. 6에 요약하였다.

Aeration 분획조 기준 4시간 HRT, aeration rate 2.5L/min., 연속 운전모드하에서 Mg원을 첨가하면서 운전한 Run I에서의 질소/인 제어율은 암모니아성 질소 29.7%, 용해성 인 92.2%이었으며 Mg원 첨가없이 Run I과 동일한 운전조건에서 운전한 Run II에서의 질소와 인 제어율은 각각 20.2%와 20.1% 수준으로 나타났다.

Run I 보다는 고농도 용해성 인을 함유한 액비를 원수로 사용하면서 aeration rate 7.5L/min.의 조건에서 운전한 Run III에서 aeration rate 증가에 따른 성분제어 효율 증진은 관찰되지 않아 2.5L/min.의 수준의 aeration은 액비를 대상으로한 성분제어에 충분한 것으로 판단되었다. RunIII에서의 질소와 인 제어율은 각각 21.5%와 93.2%이었다.

Run I, II, III, IV 결과를 비교할 때 Mg원 첨가에 의한 크리스탈 결정체 형성에 따른 용해성 인의 경우에는 약 70% 정도인 것으로 판단된다. 이론적으로 크리스탈 결정체 형성에 의한 암모니아성 질소의 제어율은 용해성인 대비 약 16.84% 수준이기 때문에 인과의 결정체 형성에 관여함에 의해 제어된 암모니아성 질소는 낮음에 틀림없다.

Batch mode로 운전된 Run IV에서의 질소 및 인 제어효율은 각각 11.4%와 97%로 용해성 인의 경우 약간 증가하는 것으로 나타났으나 실제 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 질소의 경우 연속운전 모드에서보다 낮은 효율을 보였는데 실제 용해성 인과의 결정체 형성에 의한 암모니아성 질소의 제어율은 높지 않고 제어되는 질소의 대부분이 air stripping에 의해 일어나기 때문에 공정운전에서 얻어지는 질소제어효율은 주로 반응조 및 액비의 pH에 의존적인 것으로 판단된다.

Mg원을 용해성 인대비 1.2M비, aeration rate 1.33L/min/L, HRT 1h 조건에서 운전한 Run V에서는 평균 96%의 용해성인 제어율과 20%의 암모니아성 질소 제어율을 나타내었다. 따라서 디자인된 공정을 HRT 1시간의 조건에서 운전할 때에도 높은 용해성인 제어효율을 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

디자인된 공정에서의 고형물 제거효율은 TS와 SS 각각 15 ~ 30%, 35 ~ 60% 수준으로 연속적인 aeration에 의한 고형물의 flocculation과 침전에 의한 것으로 판단된다.

질소성분 제어율을 증진시키는 방법을 모색하기 위하여 공정의 Tab. 3과 Fig.2와 같이 운전 방법을 전환하고 질소/인 성분 제어율을 분석하였다(Tab. 7). 공정을 batch mode로 전환하고 반응조 B구획을 1시간 간격으로 간헐포기한 경우(Run 6)와 B구획에 공기를 공급하지 않은 경우(RunIV 혹은 Tab. 6의 Run I~V)를 비교분석할 때 Run VI에서와같은 공정운전 방법의 전환은 질소제어율을 증진 시키지 못하는 것으로 나타났다. Run 6의 경우 질소와 인의 제어율은 각각 11%, 88%로 운전방법 전환에 따른 제어율 증진 효과는 관찰되지 않았으며 오히려 다른 Run 보다 감소하는 것으로 나타났다.

그러나 HRT를 길게 제공한 RunVII에서의 질소와 인제어 효율은 각각 58%와 80%로 인 제어효율은 약 15% 감소한 반면 질소제어효율은 2-3배 정도 크게 증가함을 알 수 있었다. 따라서 B 분획조를 간헐적으로 포기하는 조건에서 액비중 질소성분의 제어효율을 증진시키기 위해서는 RunVII에서와 같이 HRT를 길게 유지해야함을 알 수 있었다.

2) ORP와 pH(mV)-time profile 변화 패턴 분석

1시간간격으로 유입수가 loading되는 Semi-Batch 모드 운전하에서의 ORP 및 pH(mV)-time profile을 모니터링하였다(Fig.4). 반응조에서의 pH(mV)-time profile의 변화 패턴을 살펴보면 특이적인 형태를 나타내면서 cycle간 일정하면서도 반복적이면서도 안정적인 변화를 보이는 것으로 나타났다. pH(mV)-time profile을 분석해보면 비록 cycle간 pH(mV) 값의 변화는 크지만 유입수 loading 후 지속적으 감소하다가 어느시점에서 다시 증가하는 감소/증가의 전형적인 sine curve를 나타내는 것으로 나타났다. 그러나 ORP-time profile에서는 특이적이거나 혹은 반복적

인 변화 패턴이 관찰되지 않았다.

액비를 1회 loading하고 7시간 유입이 없는 상태에서의 PO_4^{3-} 농도 변화 패턴을 분석하면서 크리스탈 형성반응진행을 살펴본 결과(Fig.5) 액비와 Mg원이 loading 된 후 20분이내에 crystallization 반응이 완료되는 것으로 나타나고 이 완료시점이 pH(mV) curve가 상승하는 것과 관련이 있는 것으로 관찰됨에 따라 pH(mV)-time profile를 이용한 자동제어가 가능한 것으로 분석되었다. pH(mV)-time profile에서 발생하는 결정화 완료 시점은 Moving Slope Change(MSC) 값의 변화를 추적하여 인식할 수 있는 것으로 나타났다.

Table 6. Efficiencies in each Run

Run 1					
parameters	Influent		Effluent		Efficiency%
	Average	St. Dev.	Average	St. Dev.	
$\text{NH}_4\text{-N}$	3769.63	576.21	2650.99	401.87	29.68
PO_4^{3-}	55.10	22.68	3.05	4.30	92.20
TS	20.8718	2.0820	16.4509	1.2313	21.18
TVS	8.8173	0.8309	7.8136	0.8501	11.38
SS	12.4000	2.8699	5.7909	1.5311	53.30
VSS	10.7318	2.1826	6.0955	1.6321	43.20

Run 2					
parameters	Influent		Effluent		Efficiency%
	Average	St. Dev.	Average	St. Dev.	
$\text{NH}_4\text{-N}$	4453.52	405.38	3556.30	269.16	20.15
PO_4^{3-}	104.41	7.17	83.43	12.80	20.09
TS	22.9511	2.8378	15.5167	1.2356	32.40
TVS	14.4911	2.7514	8.4633	2.2675	41.60
SS	16.3222	3.2274	5.7556	2.0317	64.74
VSS	12.6167	2.2088	5.1000	1.5819	59.58

Run 3					
parameters	Influent		Effluent		Efficiency%
	Average	St. Dev.	Average	St. Dev.	
$\text{NH}_4\text{-N}$	3464.92	456.37	2719.65	949.33	21.51
PO_4^{3-}	437.94	18.84	29.61	14.97	93.24
TS	22.8524	7.7591	16.6245	4.6607	27.25
TVS	14.5923	5.7661	10.3541	3.3577	29.04
SS	16.5227	9.9113	8.1918	3.1791	50.42
VSS	13.5221	7.6464	7.6091	3.1372	43.73

Run 4

parameters	Influent		Effluent		Efficiency%
	Average	St. Dev.	Average	St. Dev.	
NH ₄ -N	2339.65	257.28	2073.62	223.83	11.40
PO ₄ ³⁻	270.27	38.877	8.36	4.106	96.91
TS	22.4124	7.0886	16.3430	0.9741	27.08
TVS	13.6224	4.6685	9.5227	0.6639	30.09
SS	14.0127	6.9534	6.8897	0.7371	50.83
VSS	10.6545	4.6036	5.7876	0.5687	45.68

Run 5

parameters	Influent		Effluent		Efficiency%
	Average	St. Dev.	Average	St. Dev.	
NH ₄ -N	4791.26	502.49	3726.99	438.70	22.21
PO ₄ ³⁻	572.20	20.44	23.42	9.04	95.91
NO _x	4.24	0.41	3.59	0.30	15.28
TOC	8523.86	1339.67	7772.57	176.89	8.81
TS	18.41	5.37	15.69	0.55	14.76
TVS	10.15	1.97	8.80	0.50	13.32
SS	8.07	3.23	5.13	0.51	36.48
VSS	5.85	0.79	4.25	0.31	27.32

note: C, N, P conc.: mg/L, Solid: g/L

Table 7. Efficiencies in Run 6 and 7

Run 6

parameters	Influent		Effluent		Efficiency%
	Average	St. Dev.	Average	St. Dev.	
NH ₄ -N	3028.28	336.86	2697.76	304.46	10.91
PO ₄ ³⁻	334.72	83.29	40.27	8.39	87.97
NO _x	7.76	4.93	7.63	3.50	1.69
TOC	6678.35	2107.68	5802.80	11947.70	13.11
TS	16.39	3.69	14.15	3.37	13.66
TVS	8.47	2.72	7.09	2.31	16.20
SS	5.61	2.73	2.74	1.15	51.20
VSS	4.57	2.20	2.40	0.98	47.52

Run7

parameters	Influent		Effluent		Efficiency%
	Average	St. Dev.	Average	St. Dev.	
NH ₄ -N	2017.92	303.31	850.42	214.95	57.86
PO ₄ ³⁻	176.92	18.95	35.02	9.46	80.21

(계속)

parameters	Influent		Effluent		Efficiency%
	Average	St. Dev.	Average	St. Dev.	
NO _x	9.79	1.77	7.70	2.48	21.36
TOC	4505.25	1.44.69	2410.90	370.43	46.49
TS	13.6972	0.8049	10.4322	1.2896	23.84
TVS	6.5255	0.5013	4.4180	0.5761	32.30
SS	2.6580	0.5044	2.0782	1.0011	21.81
VSS	2.3580	0.3445	1.7898	0.8457	24.10

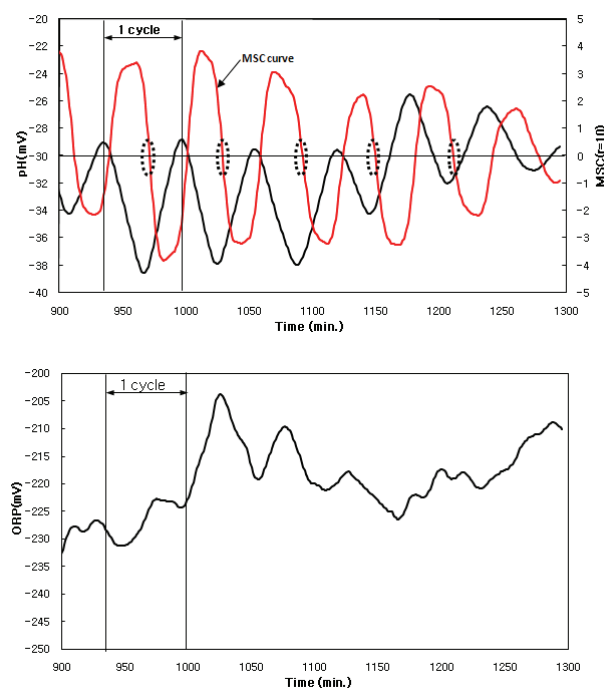


Fig. 4. ORP & pH(mV)-time profiles.

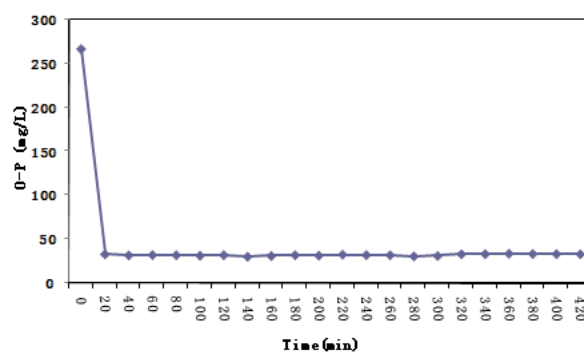


Fig. 5. Tracks of OP during crystallization.

3) 공정에서의 무기이온 성분 변화 분석

공정을 운전하면서 액비내 다른 이온들의 변화를 관찰한 결과(Tab.8), 질소/인 제어과정에서 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} 등의 양이온 농도는 일반적으로 감소하는 반면 SO_4^{2-} , Cl^- 등의 음이온은 증가하는 것으로 나타났다. 양이온 중 Mg^{2+} 이온 농도의 증가는 액비내 질소와 인 제어를 위해 MgCl 을 첨가하였기 때문이며 Cl^- 의 증가도 이와 관련이 있을 것임에 틀림없다.

유입수로 사용된 양돈분뇨 액비내 Cu와 Zn의 농도는 각각 6.4와 8.8 mg/L 수준으로 대체로 낮았으며 공정에서 약 30~40% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 액비내 Cu와 Zn의 농도가 낮고 또한 공정에서 1/3 이상이 제거됨에 따라 양돈분뇨 액비의 경우 Cu와 Zn 제어를 위한 별도의 화학 약품을 사용할 필요가 없을 것으로 판단되었다.

4) 공정으로부터 회수된 결정체 혼합물의 물리화학적 성상 분석

공정에서 회수된 결정체와 고형물 혼합물의 물리적/화학적 성상 혹은 특징을 파악하기 위하여 공정으로부터 회수된 혼합물의 고형물 함량과 혼합물내 질소/인성분 성분 함량 및 중금속 함량을 조사하였다(Tab. 9). 공정 바닥으로부터 회수된 슬러리 형태의 혼합물을 10분간 300rpm조건에서 원심분리하여 상등액을 제거한 후 TS의 함량과 TN, TKP의 함량을 분석한 결과 TS의 함량은 약 26% 정도였으며 TN은 39.7g/Kg, TKP는 50.3g/Kg이었다. 건물을 기준으로 하였을 시에는 TK의 함량은 152.5g/Kg이었으며 TKP의 함량은 193.6g/Kg으로 매우 높은 질소와 인 함량을 나타내었다. 회수된 혼합물내 중금속 함량은 매우 낮았으며 조사된 항목 중에서 copper와 zinc가 각각 17.8ppm과 96ppm으로 다른 항목에 비해 다소 높게 나타났다. 그러나 그린 1급 중금속 함량 허용치에 비해 매우 낮아 회수된 혼합물을 고품질의 완효성 비료원으로서의 사용이 가능한 것으로 밝혀졌다.

또한 공정으로부터 회수된 혼합물을 주사전자 현미경을 이용하여 물리적 형태를 분석한 결과 (Fig. 6) 그림에서와 같이 대부분이 Mg원과 NH_4 및 PO_4 가 화학적으로 반응하여 결정체를 형성한 $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (MAP)인 것으로 나타났으며 그 형태는 사방정계의 결정체 형상인 것으로 밝혀졌다. 200배의 비율로 촬영한 사진의 경우 매우 크기가 거대한 MAP 결정체가 발견되었는데 이는 공정내에서 MAP 결정체가 지속적으로 성장한 결과를 나타내는 것으로서 가축분뇨 저장조에 Mg 원을 지속적으로 첨가시켜준 결과 무려 2cm 크기까지 MAP crystal 성장한 경우도 보고된 바 있다.

Table 8. Ions in liquid composts

Parameter(mg/L)	Influent	Effluent	% change
Na^+	313	122	- 61.02
K^+	2681	1386	- 48.30
Mg^{2+}	16	29	+ 81.25
Ca^{2+}	180	72	- 60.00
Cu^{2+}	6.375	3.995	- 37.33
Zn^{2+}	8.77	5.03	- 42.65

(계속)

Parameter(mg/L)	Influent	Effluent	% change
SO ₄ ²⁻	83	202	+ 143.37
Cl ⁻	1079	1622	+ 50.32

Table 9. Heavy metal contents of the recovered matter from the process

Heavy metal(mg/kg)	Before purification	After purification	Legal level for premium level compost
Copper	17.86	16.06	200
Zinc	95.54	81.44	500
Nickel	0.0	0.54	25
Chromium	0.0	0.0	150
Cadmium	0.0	0.60	2.5
Lead	0.0	0.0	75
Arsenic	0.365	0.295	25

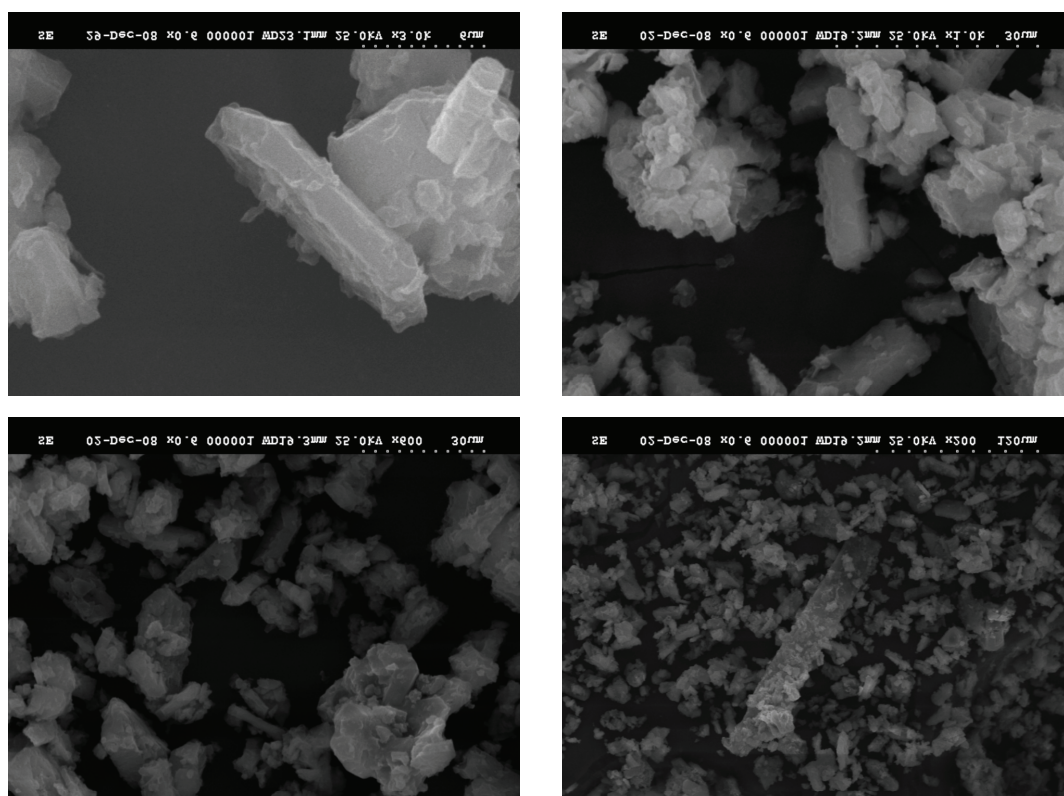


Fig. 6. SEM pictures of recovered matter from process.

공정에서 회수된 혼합물내에 MAP 결정체 함유정도를 파악하기 위하여 X-ray diffraction(XRD) 조사를 하였다. 또한 회수된 혼합물을 순수 정제하는 방법을 고안하고 그 방법을 이용한 MAP 결정체 순수정제 회수율과 정제 전/후의 XRD, 중금속함량 변화, 전자현미경적 형상 변화 등을 분석

혹은 조사하였다. 반응조로부터 회수된 혼합물을 원심분리하여 (3000 rpm, 10 min.) 상등액을 제거하고 침전물만을 회수한 후 pH를 4.5이하로 조절하면서 산성용액에 용해하였다. 그 후 다시 원심분리하여 녹지 않은 고형물을 제거한채 상등액만을 수집하고 pH를 10이상으로 증가시켜 결정체 형성을 유도한 다음 원심분리하여 순수 결정체만을 회수하였으며 정제전의 P 농도와 정제후의 P 농도를 분석하여 MAP 회수율을 조사하였다(Fig. 7). 그 결과 고안된 방법을 이용하여 혼합물내 존재하는 인중 순수 MAP 형태로 정제/회수된 비율은 65%인 것으로 나타났다. 반응조로부터 회수된 혼합물 중 산성용액에 용해되지 않는 불용성 인과 질소의 비율은 각각 4.3%와 10.7%로 분석되었으며 불용성 인을 제거하고 용해성 인중 순수 MAP 형태로의 정제/회수율은 68% 정도인 것으로 분석되었다.

반응조로부터 회수된 혼합물과 고안된 방법을 이용한 정제후 산물의 XRD 결과를 비교/분석한 결과 공정에서 회수된 혼합물의 XRD peak와 $MgNH_4H_2O$ (MAP) reference peak가 거의 일치함에 따라 반응조로부터 회수된 혼합물내에 매우 높은 비율의 MAP이 존재함을 알 수 있었다 (Fig. 8). 또한 고안된 방법을 이용하여 정제/회수한 경우 XRD peak가 커지고 reference와의 일치성이 증가함은 물론 보다 뚜렷해짐에 따라 고안된 방법을 이용하여 정제/회수된 산물의 대부분이 MAP 결정체였음을 알 수 있었다. 반응조로부터 회수된 혼합물의 정제 전/후의 SEM 사진은 Fig. 9에 나타내었다.

2. 축분퇴비내 특정성분 제어기술 개발

1) 축분 호기적 퇴비화 공정에서의 질소/인 성분제어

제작된 밀폐형 반응조를 이용하여 호기적 퇴비화 과정에서의 질소/인 결정체 형성 가능성과 결정체 형성 유도에 따른 퇴비 성상의 변화를 조사하기위하여 축분내 TN기준 0.3M 수준으로 $MgCl_2$ 를 첨가하고 Mg원 첨가에 따른 퇴비화 반응과 퇴비화 과정에서의 질소/인 결정체 형성 가능성 및 그에 따른 퇴비성상의 변화를 분석하였다 (Tab. 9, Fig. 10). 그 결과 0.3M의 고농도 $MgCl_2$ 를 첨가한 경우에서도 유기물의 분해가 활발히 이루어져 퇴비화 과정중 온도상승이 수월하게 이루어졌으며 Mg원을 첨가하여 composting한 경우 용해성 인의 농도는 감소하는 반면 TP의 농도는 증가하는 것으로 미뤄 첨가된 Mg원과 질소 및 인이 반응하여 MAP 결정체가 형성되는 것으로 분석되었으며 축분내 퇴비화 과정중 질소/인 성분의 결정체 형성을 통해 원효성 퇴비의 생산이 가능한 것으로 나타났다.

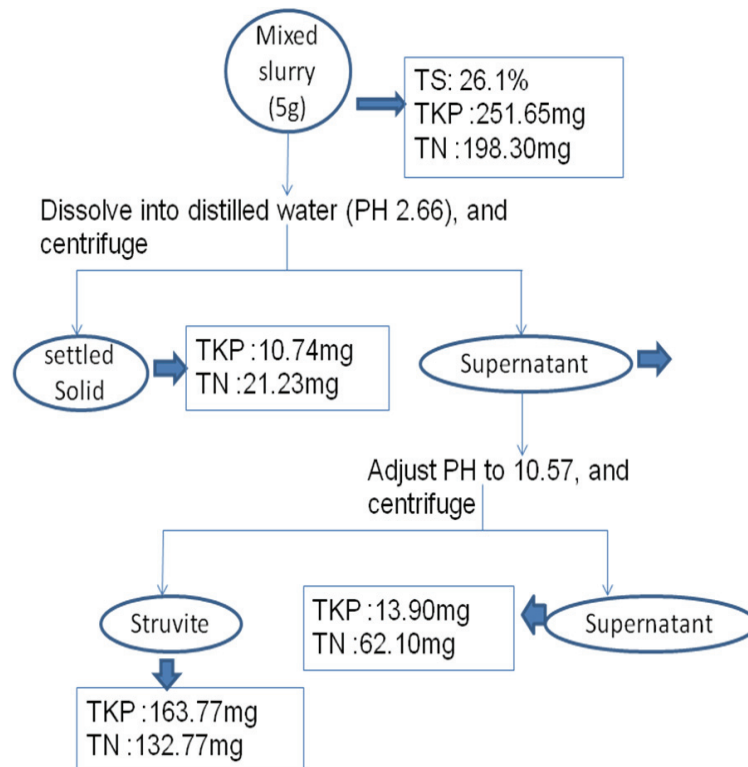


Fig. 7. Purification of MAP.

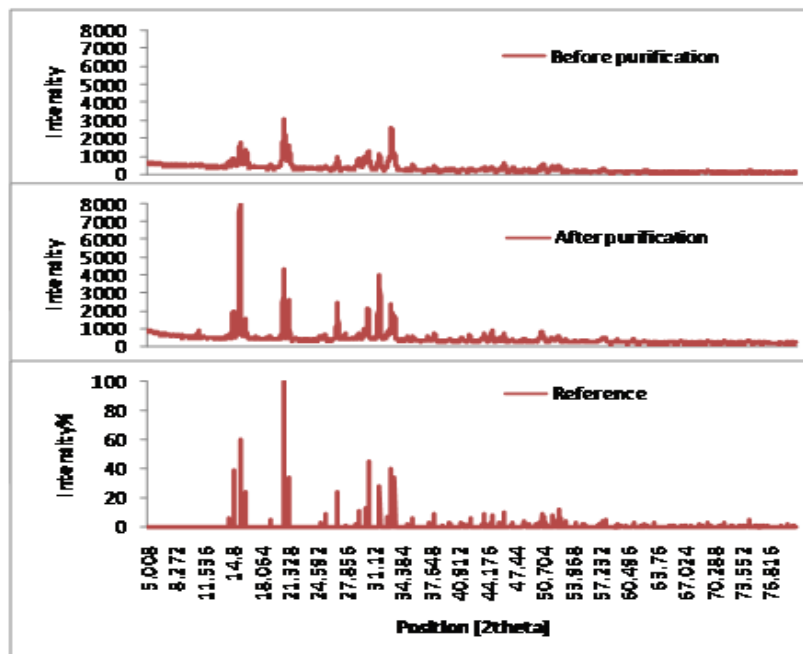


Fig. 8. XRD diffractogram of precipitates before and after purification.

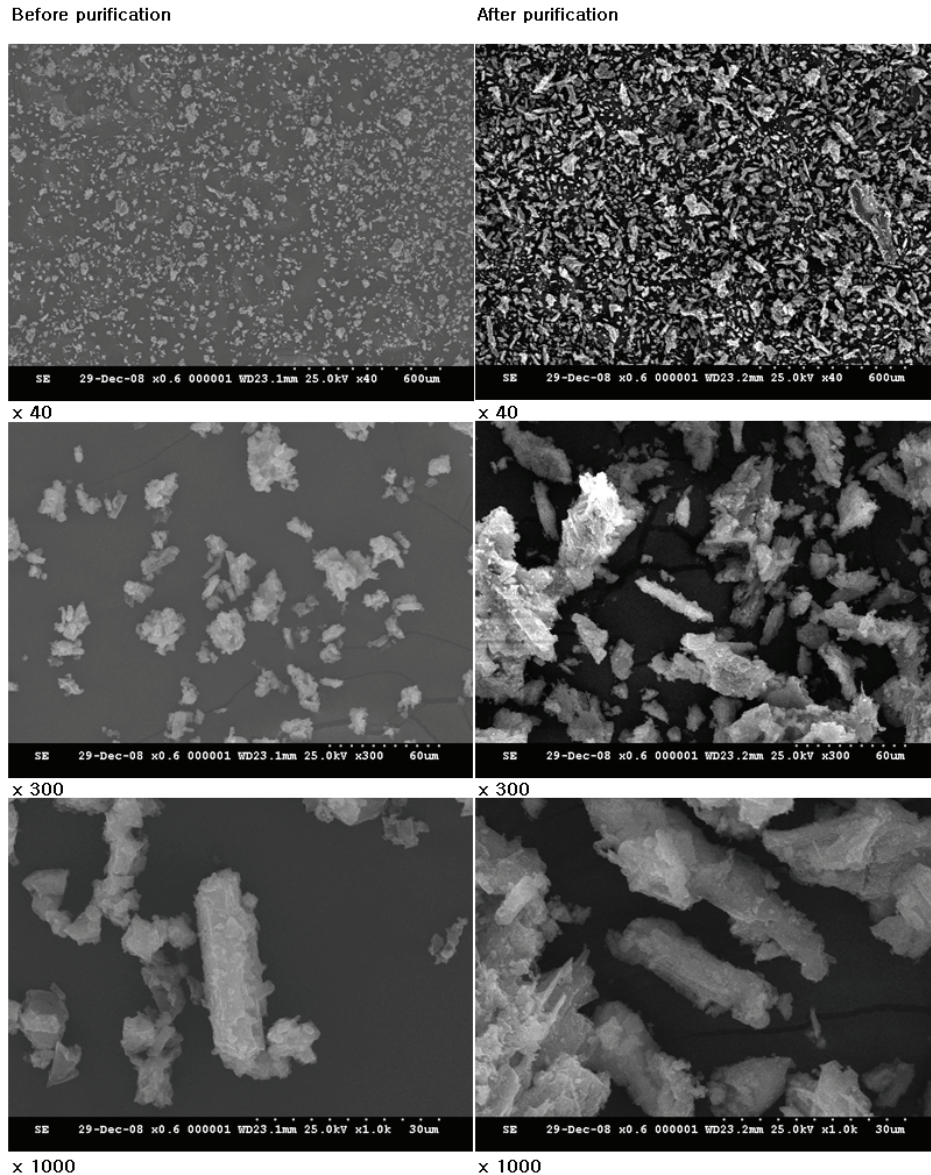


Fig. 9. SEM pictures of the MAP before and after purification.

Mg원 및 PO_4 원의 적정 첨가량 구명을 위해 Mg원을 단독 첨가한 경우와 Mg원과 PO_4 원을 복합 첨가한 경우에 있어서의 퇴비화 양상 변화를 시험한 결과 (Fig. 11, Fig. 12, Tab. 11, Tab. 12), 일정량 이상의 Mg원과 PO_4 원의 복합 첨가는 퇴비화 진행을 저해하는 것으로 밝혀졌다. Fig. 10에 서와 같이 점차 Mg원과 P원 첨가 수준을 낮추며 부숙과정을 모니터링한 결과 N 기준 0.05M 이상 첨가시 퇴비화 반응 저해효과가 나타났다. 따라서 Mg원과 P원의 동시 첨가 시에는 N 몰농도 기준 0.05M 이하로 첨가하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다. 반면 Mg원만을 첨가하여 퇴비화를 진행할 경우 Fig. 11에서 알 수 있는 것과 같이 유기물 분해가 모든 경우에 있어서 용이하게 일어나 퇴비화 반응에 저해영향이 없었음을 알 수 있었으며 퇴비화 전/후의 성상을 분석한 결과 돈분뇨의 부숙과정에서 지속적인 struvite 결정체 형성을 얻기 위한 Mg원의 적정 첨가 수준은

0.07M 이상인 것으로 나타났다. 따라서 Mg원만을 첨가하여 퇴비화를 진행할 경우에는 TN을 기준으로 하여 첨가하는 것 보다는 용해성인(PO_4^{3-})을 기준으로 하여 1~1.2M비로 첨가하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

이에 Mg원을 분뇨내 용해성 인기준 1.2M비로 첨가하고 부숙과정에서의 온도변화와 과 부숙 전/후의 퇴비성상을 분석하였다 (Tab. 13 and Fig. 13). 퇴비화 과정 중 유기물의 분해가 활발히 일어나 온도상승이 용이하게 이루어진 것으로 미뤄 분뇨내 용해성 인 기준 1.2M비의 Mg원 첨가는 퇴비화에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었으며 퇴비화 과정중 MAP 결정체 형성이 용이하게 이루어짐을 알 수 있었다. 1.2M비로 Mg원을 첨가한 경우와 Mg원을 첨가하지 않은 경우를 비교할 때 부숙전과 후의 총인의 농도가 비슷한 반면 용해성인의 농도는 Mg원을 첨가한 경우에 있어서 감소하면서 OP/TP의 비가 감소함을 알 수 있었으며 이를 통해 부숙 과정중 MAP 형성이 용이하게 일어났음을 알 수 있었다.

2) 퇴비의 성상분석 및 완료성 분석

Mg원을 단독으로 첨가하거나 혹은 P원과 복합 첨가하여 부숙을 진행한 시험에서의 부숙전/후의 성상을 분석하면 Mg원과 P원의 동시 처리 혹은 Mg원 단독 처리와 관계없이 고온 호기적 퇴비화 공정에서 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 PO_4^{3-} 원의 크리스탈 형성은 비교적 효율적으로 유도되었으며 Mg원과 P원을 적정수준으로 처리시 퇴비품질을 높임과 동시에 완료성으로 전환시킴을 알 수 있었다.

각 시험구에서 최종 생산된 퇴비품질 분석 결과 Mg원과 P원을 적정수준 이상으로 처리하여 퇴비화 저해 현상이 일어난 경우를 제외하곤 최종 compost의 용해성 인 함량은 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이는 퇴비화 과정에서의 crystallization에 의한 것이며 동반응에 의해 퇴비화 과정에서 질소보존력이 증가하는 것으로 여겨진다.

퇴비화 과정에서의 MAP 결정체 형성 여부를 검증하기 위하여 광학현미경을 이용하여 최종 퇴비내 크리스탈입자를 관찰한 결과 (Fig. 14) 부숙이 완료된 퇴비 입자 사이에서 혹은 퇴비입자에 부착된 형태로 결정체 물질이 발견되었으며 이 물질이 MAP인 것으로 추측되었다. 관찰된 물질의 MAP 결정체와 일치 여부를 추가로 검증하기 위하여 X-ray diffraction study를 수행한 결과 (Fig. 15) Mg원을 첨가하지 않고 부숙을 진행한 경우 MAP reference와 일치하는 peak가 부숙전과 후의 시료에서 발견되지 않은 반면 Mg원을 첨가하여 부숙을 진행한 경우에 있어서는 부숙전과 후의 시료에서 reference와 일치하는 peak가 발견되었다. 부숙전 시료에서 MAP reference와 일치하는 peak의 발현은 Mg원의 첨가시 MAP 결정체가 손쉽게 형성됨을 나타내는 것이라 할수있다. 부숙후 시료의 XRD에서 부숙전 시료에서는 발견되지 않으나 reference와 일치하는 peak가 발견됨에 따라 부숙과정 중에서도 MAP 결정체 형성이 지속됨을 알 수 있었다. 이러한 결과로 미뤄 분뇨와 같이 약 알칼리성 pH 범위를 지니는 재료에 Mg원을 첨가하여 부숙을 진행하는 경우 MAP 결정체의 형성이 용이하고 결정체 형성 기전을 이용한 질소와 인의 제어가 가능함을 알 수 있었다.

3) 성분제어에 따른 악취발생 감소효과

완전밀폐형 반응조로부터 발생하는 가스내에 있는 암모니아 가스를 황산용액을 이용하여 포집한 후 농도를 분석하여 Mg원과 P원 첨가에 따른 악취발생 감소효과를 분석하였다. 그 결과 호기적 고온 퇴비화 공정에서 Mg원과 P 원을 첨가하여 암모니아 질소와 용해성 인의 결정체 형성을 유도할 경우 퇴비화 과정중 암모니아가스가 상대적으로 매우 적게 발생하는 것으로 나타났다 (Fig. 16). 따라서 퇴비화 과정에서의 질소/인 자원의 결정체 유도 방법은 악취발생을 줄일 뿐만 아니라 질소와 인이 토양에서 매우 서서히 용출되는 친환경완효성 비료를 생산함으로써 추비로 사용되는 화학비료의 사용량을 감소시킬 수 있을 것으로 판단된다.

Tab. 10. Comparison of composition

Item	Time	Control	Treatment
pH (value)	Before	7.26	7.45
	After	7.49	7.47
EC (ds/m)	Before	9.78	9.46
	After	9.36	9.11
Moisture (%)	Before	63.5	64.2
	After	62.5	63.7
OM(g/kg)	Before	332.3	326.9
	After	341.1	324.5
TN(g/kg)	Before	8.3	10.6
	After	8.3	24.7
OM/TN(ratio)	Before	40.28	30.73
	After	41.25	13.13
OP(mg/kg)	Before	57.05	1.06
	After	34.78	19.54
TP(g/kg)	Before	2.3	2.0
	After	2.3	3.2
K(g/kg)	Before	1.55	2.71
	After	2.22	3.24
NH4-N(mg/kg)	Before	1590.7	971.0
	After	410.8	200.8
NOx-N(mg/kg)	Before	7.3	12.0
	After	10.4	12.5

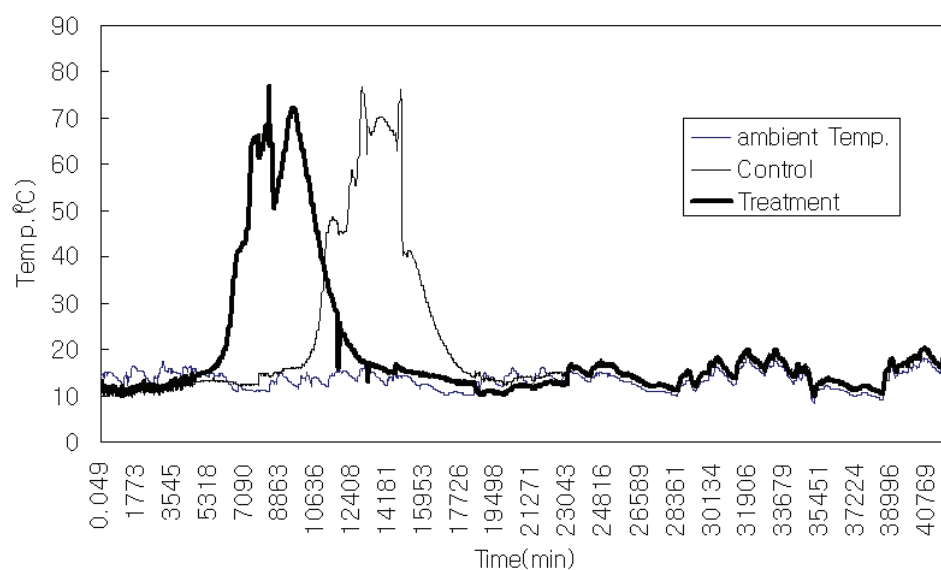
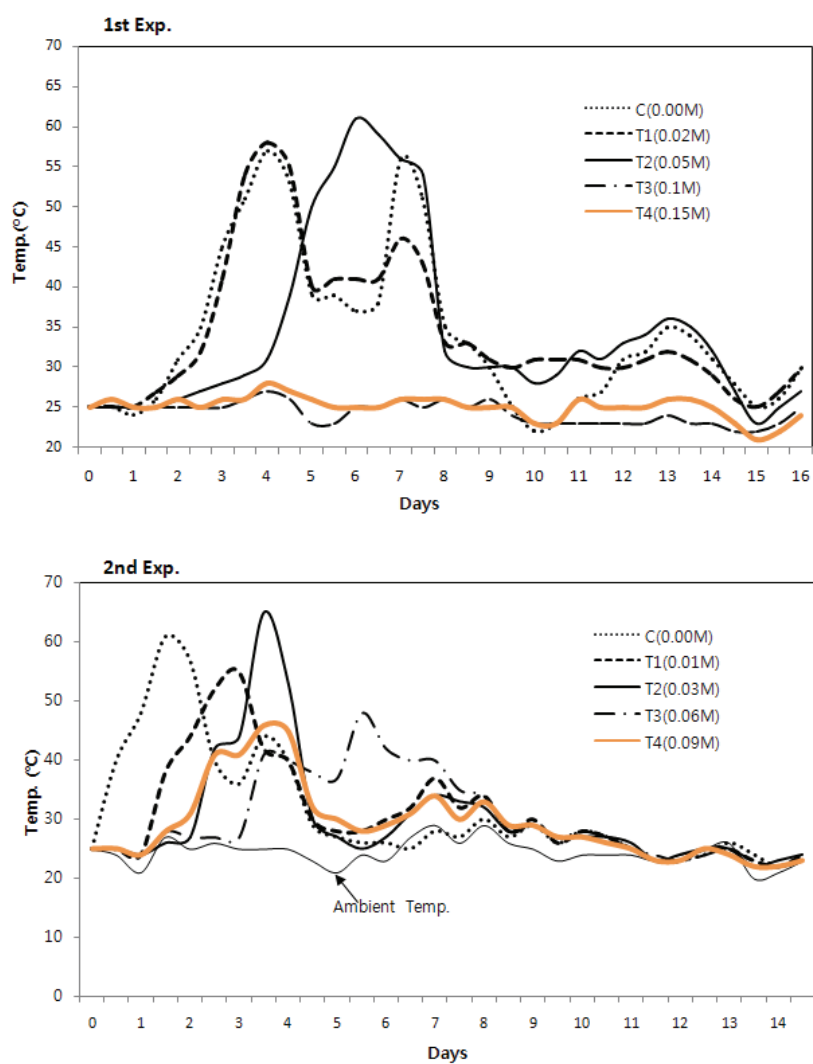


Fig. 10. Temperature changes during aerobic composting.



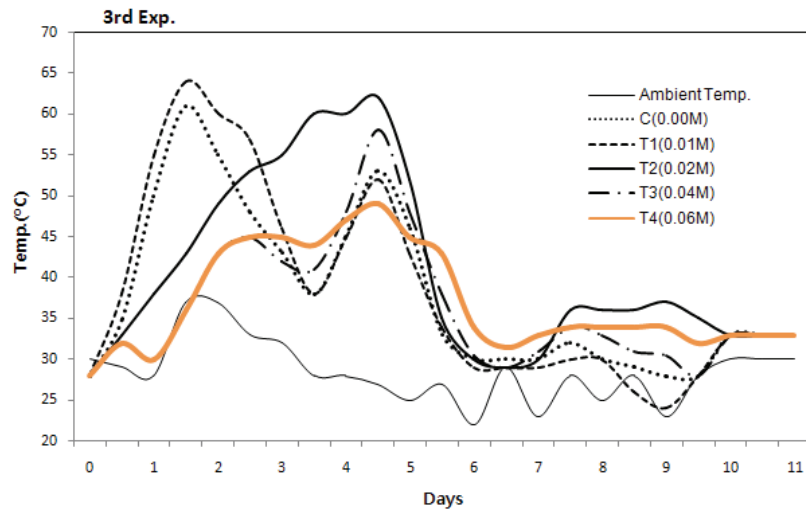


Fig. 11. Composting temperature during the composting when both Mg and phosphate added.

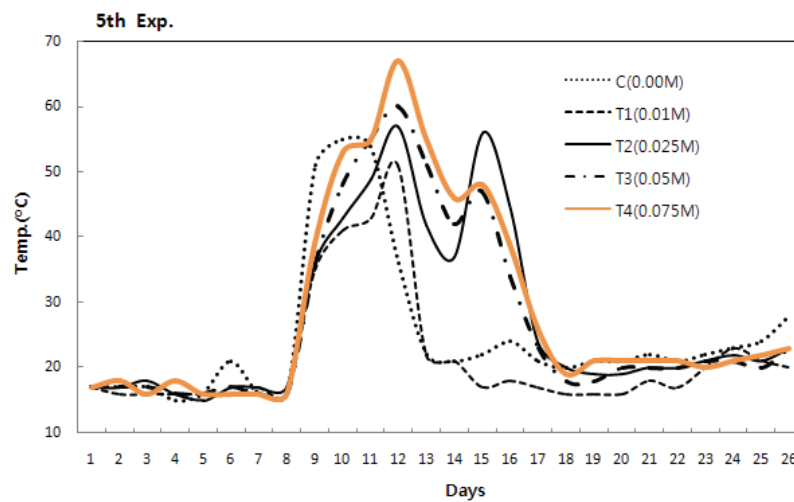
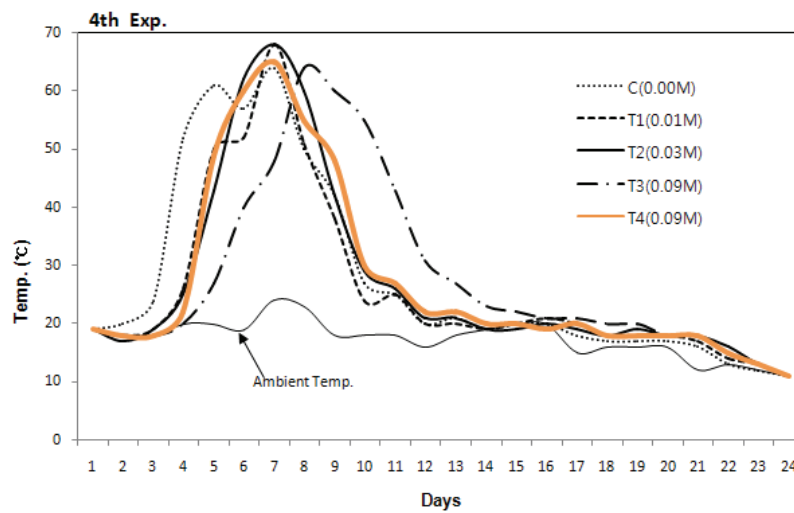


Fig. 12. Composting temperature during the composting when only MgCl_2 added.

Table 11. Mg and PO4 both were added

		1 st experiment				
Parameters		C(0.00)	T ₁ (0.02)	T ₂ (0.05)	T ₃ (0.10)	T ₄ (0.15)
OM(%)	Before	31.8	31.7	31.6	30.9	30.8
	After	31.7	30.6	31.0	33.7	32.4
NH ₄ -N(g/kg)	Before	3.198	2.639	3.392	3.436	3.646
	After	1.416	1.554	1.173	2.964	3.071
TN(%)	Before	1.335	1.457	1.418	1.368	1.430
	After	1.116	1.422	1.199	1.494	1.468
OM/TN(ratio)	Before	23.82	21.75	22.28	22.58	21.54
	After	28.40	21.52	25.85	22.56	22.07
O-P(g/kg)	Before	2.7967	2.5637	5.5856	7.3534	8.2943
	After	3.4095	3.7619	3.6352	7.6435	9.5003
T-P(g/kg)	Before	6.1148	6.4724	7.2458	7.7478	8.5880
	After	7.2364	8.5228	8.0452	9.5294	11.2296
OP/TP	Before	0.4574	0.3961	0.7709	0.9491	0.9658
	After	0.4712	0.4414	0.4518	0.8021	0.8460
		2 nd experiment				
Parameters		C(0.00)	T ₁ (0.01)	T ₂ (0.03)	T ₃ (0.06)	T ₄ (0.09)
OM(%)	Before	32.6	33.4	33.1	32.2	32.1
	After	29.2	29.2	31.7	30.6	32.7
NH ₄ -N(g/kg)	Before	0.973	1.427	1.378	1.289	0.911
	After	1.260	1.010	1.297	0.854	1.001
TN(%)	Before	0.849	1.062	1.016	0.996	1.118
	After	1.175	1.127	1.166	1.174	1.245
OM/TN(ratio)	Before	38.39	31.45	30.61	32.33	28.71
	After	24.69	25.91	27.18	26.06	26.26
O-P(g/kg)	Before	2.349	3.259	5.015	6.126	6.249
	After	2.082	2.305	2.120	2.069	1.789
T-P(g/kg)	Before	6.5086	8.992	9.177	15.079	11.827
	After	4.9814	8.812	8.982	11.169	10.052
OP/TP	Before	0.3609	0.3624	0.5465	0.4063	0.5284
	After	0.4180	0.2616	0.2360	0.1852	0.1780
		3 rd experiment				
Parameters		C(0.00)	T ₁ (0.01)	T ₂ (0.02)	T ₃ (0.04)	T ₄ (0.06)
OM(%)	Before	30.7	31.3	30.6	29.6	29.5
	After	31.1	31.7	26.9	28.9	27.7
NH ₄ -N(g/kg)	Before	1.543	1.213	1.077	1.061	0.885
	After	1.423	1.551	1.572	0.900	1.035
TN(%)	Before	1.229	1.108	0.974	0.953	1.004
	After	1.167	1.211	1.198	0.985	1.126

(계속)

		3 rd experiment				
Parameters		C(0.00)	T ₁ (0.01)	T ₂ (0.02)	T ₃ (0.04)	T ₄ (0.06)
OM/TN(ratio)	Before	24.98	28.25	31.42	31.05	29.38
	After	26.65	26.18	22.45	29.34	24.60
O-P(g/kg)	Before	1.212	1.065	1.446	1.99	2.097
	After	0.959	0.787	0.719	1.239	1.13
T-P(g/kg)	Before	8.8335	9.518	9.2735	10.577	10.2945
	After	8.518	7.862	8.936	10.7695	12.3815
OP/TP	Before	0.1372	0.1119	0.1559	0.1881	0.2037
	After	0.1126	0.1001	0.0805	0.1150	0.0913

Table 12. Only Mg added

		4 th experiment				
parameters		C(0.00)	T ₁ (0.01)	T ₂ (0.03)	T ₃ (0.06)	T ₄ (0.09)
OM(%)	Before	33.5	34.3	34.1	36.1	34.9
	After	31.7	32.6	33.0	33.6	33.4
NH ₄ -N(g/kg)	Before	2.515	2.045	1.600	1.455	1.546
	After	1.067	0.969	1.038	0.874	0.921
TN(%)	Before	1.081	1.100	1.132	1.123	1.149
	After	1.114	1.131	1.172	1.194	1.073
OM/TN(ratio)	Before	30.98	31.18	30.12	32.14	30.37
	After	28.45	28.82	28.15	28.14	31.09
O-P(g/kg)	Before	3.2606	2.7693	2.3612	1.9656	1.9254
	After	5.5374	3.6162	3.0904	1.8042	1.6294
T-P(g/kg)	Before	5.1188	5.9622	5.9404	7.1346	4.7068
	After	5.5602	5.5618	6.2336	6.4182	7.9382
OP/TP	Before	0.6370	0.4645	0.3975	0.2755	0.4091
	After	0.9959	0.6502	0.4958	0.2811	0.2053
		5 th experiment				
parameters		C(0.00)	T ₁ (0.01)	T ₂ (0.025)	T ₃ (0.05)	T ₄ (0.075)
OM(%)	Before	32.5	31.3	32.1	33.2	32.7
	After	34.3	36.8	31.5	33.7	32.7
NH ₄ -N(g/kg)	Before	2.571	1.993	2.782	2.532	2.652
	After	1.596	1.309	1.81	1.749	2.565
T N(%)	Before	1.126	1.300	1.283	1.242	1.259
	After	1.136	1.177	1.158	1.231	1.316
OM/TN(ratio)	Before	28.86	24.07	25.02	26.73	25.97
	After	30.19	31.26	27.20	27.37	24.84

(계속)

		5 th experiment				
parameters		C(0.00)	T ₁ (0.01)	T ₂ (0.025)	T ₃ (0.05)	T ₄ (0.075)
OP(g/kg)	Before	0.344	0.211	0.207	0.044	0.044
	After	0.441	0.397	0.276	0.301	0.047
TP(g/kg)	Before	3.0261	3.0314	2.3842	2.3670	2.2152
	After	2.9675	3.5371	2.4975	2.6609	2.5512
OP/TP	Before	0.1137	0.0696	0.0868	0.0186	0.0199
	After	0.1486	0.1122	0.1105	0.1131	0.0184

Table 13. Only Mg added at 1.2M ratio to soluble P

Parameter		C	T
NH ₄ -N(g/kg)	Before	0.7760	0.8560
	After	0.6060	0.6394
Nox-N(g/kg)	Before	0.0130	0.0050
	After	0.0280	0.0210
TN(%)	Before	1.037	1.263
	After	1.094	1.163
OP(g/kg)	Before	6.9657	6.5878
	After	5.1311	4.4888
TP(g/kg)	Before	8.9780	8.1368
	After	10.9288	10.4708

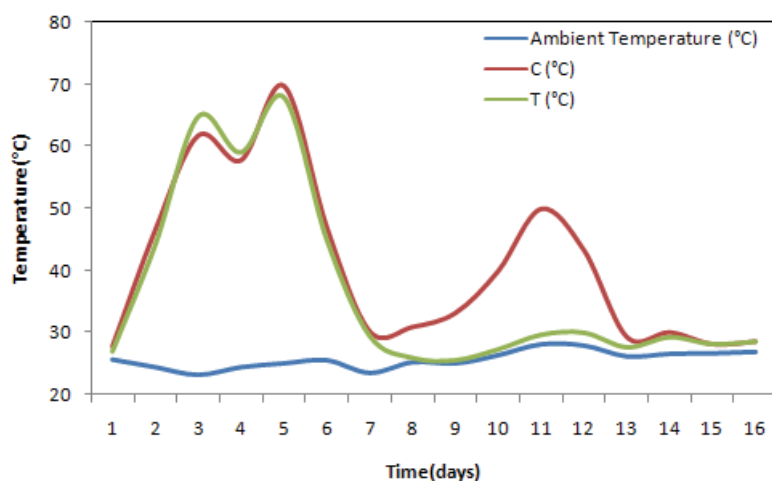


Fig. 13. Temperature change during composting.

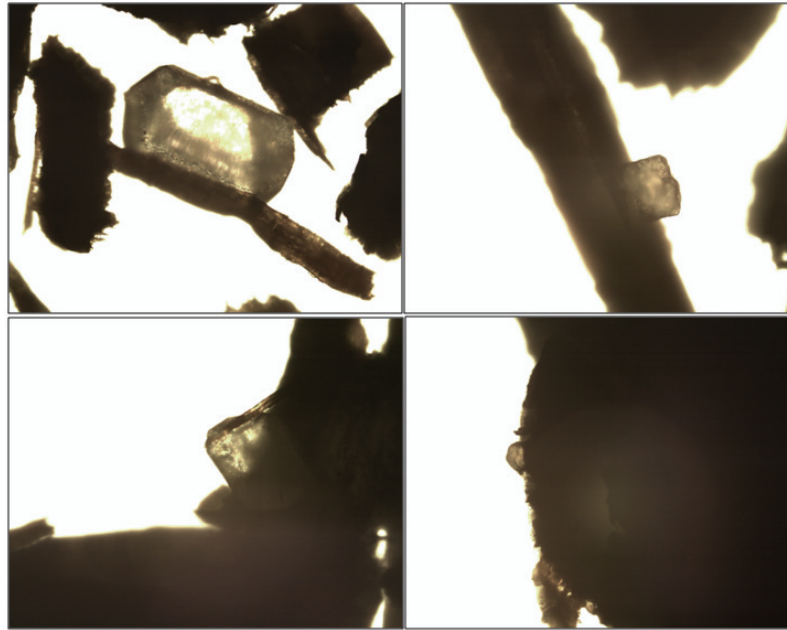


Fig. 14. Pictures of the compost with crystals.

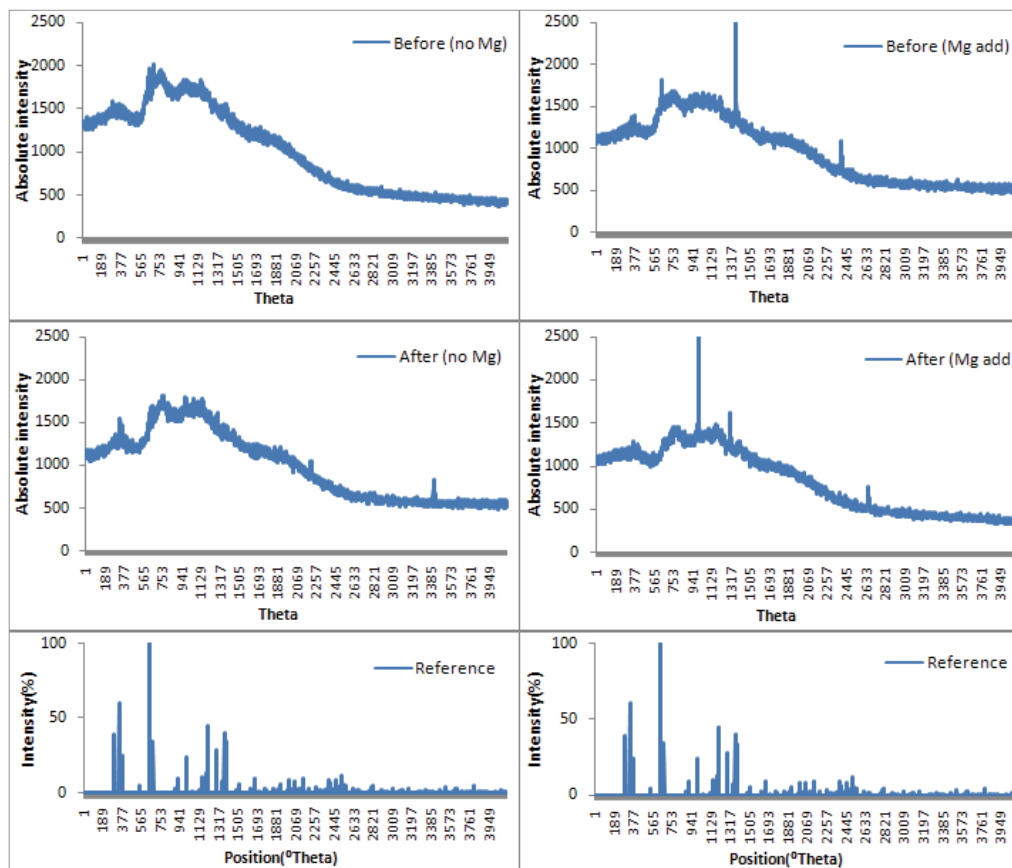


Fig. 15. XRD diffractogram of composts.

4) 완효성 퇴비 품질 증진을 위한 MAP 함유 compost의 recycle 효과

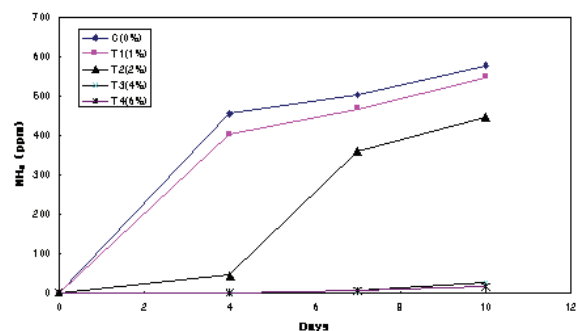
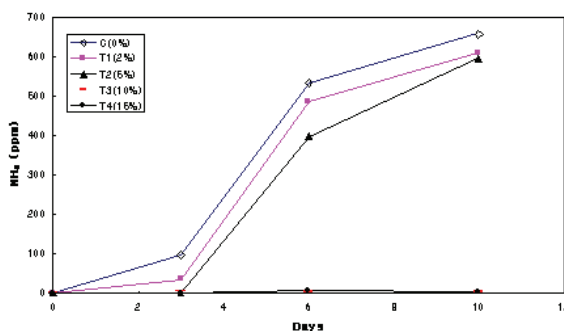
퇴비의 완효성과 품질을 증진시키고자 용해성인(PO_4^{3-})기준 1.2M비로 Mg원을 첨가할 때의 퇴비화 과정의 진행양상과 Mg원을 첨가하여 생산된 compost의 recycle 효과를 분석하였다. 그 결과 compost recycle시 활발한 유기물의 분해로 인해 온도가 지속적으로 높게 상승함을 알 수 있었다. 또한 compost recycle시 질소와 인의 함량이 높아졌으며 속효적으로 이용되는 용해성 형태에서 완효적으로 이용되는 크리스탈 형태로의 전환율이 높아짐을 알 수 있었다 (Fig. 17&18, Tab. 14&15). 따라서 MAP 함유 compost의 recycle은 사용되는 톱밥 사용량을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 품질이 매우 높은 완효성 퇴비를 생산하는 효과가 있는 것으로 판단되었다.

또한 MAP 함유 퇴비를 recycle 시킴에 따른 퇴비의 완효도 변화를 분석하기 위하여 산성용액에 시료를 첨가하여 pH의 변화와 용출되는 용해성인의 양을 분석한 결과 (Fig. 19 & 20), recycle 횟수가 증가함에 따라 용출되는 용해성인의 양이 증가하면서 산성에 대한 완충효과가 높아지는 것으로 나타났다. 중성 pH에서의 용해성인의 용출량은 recycle 횟수가 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며 이러한 결과에 의거 MAP 함유 compost의 recycle이 퇴비의 완효도와 토양의 산성화에 대한 완충도를 증가시키는 효과가 있음을 확인할 수 있었다.

5) 퇴비 입자별 성상 분포 및 VSC에 의한 성분 조절

호기적 퇴비화 공정에서 생산된 퇴비의 입자별 성분 분포도를 분석하기 위하여 Mg원을 1.2M비로 첨가하여 부숙시키고 VSC를 이용(RPM 250에서 2분간) 입자를 크기별로 분류하고 입자크기에 따른 성분함량비를 분석하였다. 입자의 스크린 및 성분 분포 시험에 사용된 퇴비는 Table 13의 T이었다.

입자크기별 질소와 인의 분포를 분석한 결과 비료성분의 대부분이 입자 크기 2.8mm이하에 분포하고 있음을 알 수 있었다. Mg원을 무첨가한 경우와 Mg원을 넣어준 경우를 비교할 때 Mg원을 첨가하여 부숙시켜 MAP 결정체가 형성된 경우 2.8mm이하에서의 비료성분분포도가 점차증가하는 반면 2.8mm이상에서는 비례적으로 감소하는 양상을 보였다 (Fig.21). 이러한 결과로 VSC를 이용한 질소/인 성분 조절이 가능함을 알 수 있었으며 Mg원을 첨가한 경우에서 얻어진 작은 입자 크기에서의 비료성분 증가는 MAP 결정체 형성에 의한 것으로 판단된다.



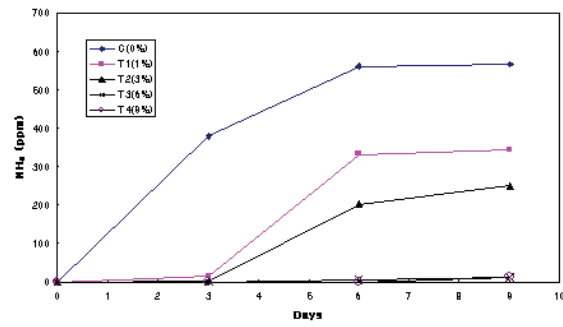


Fig. 16. Comparison of gases emission during composting.

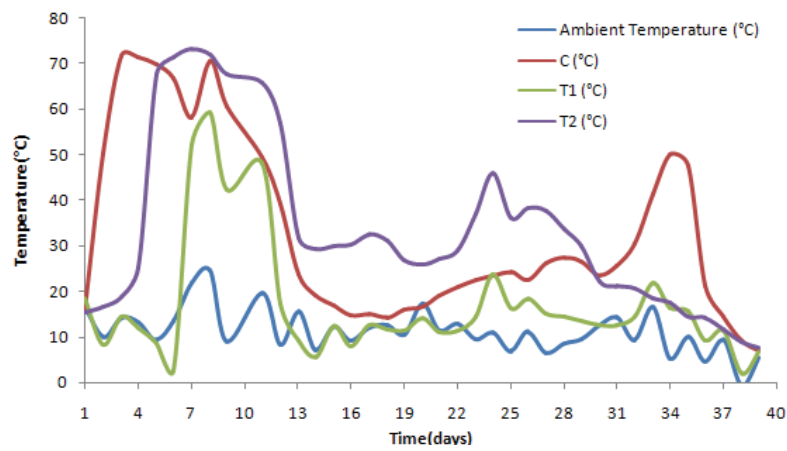


Fig. 17. Patterns of temperature changes during composting.

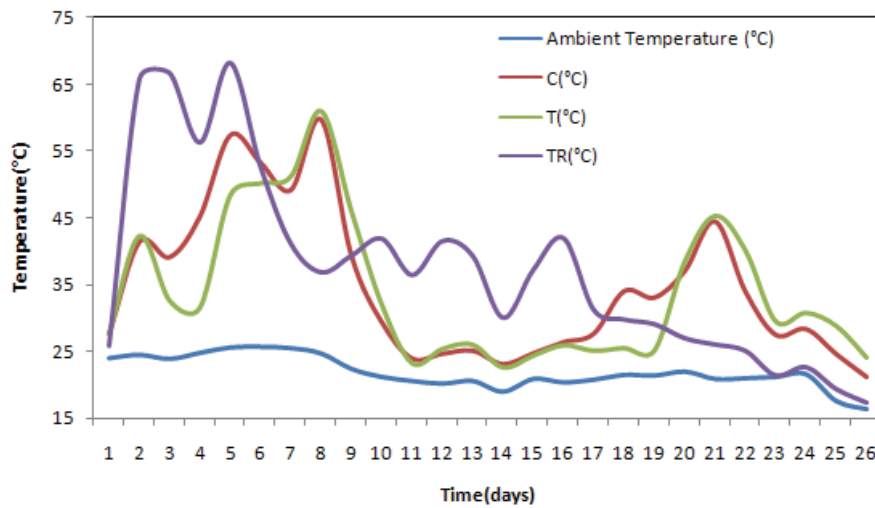


Fig. 18. Patterns of temperature changes during composting (exp2).

Table 14. Recycle effects of composts

Parameters		C	T1	T2
OM(%)	Before	29.5	30.0	30.2
	After	24.5	25.6	28.2
NH ₄ -N(g/kg)	Before	1.325	1.115	0.413
	After	1.154	0.859	0.393
T N(%)	Before	1.240	1.226	1.094
	After	1.201	1.276	1.376
O-P(g/kg)	Before	5.1714	3.1802	3.6189
	After	6.0211	5.7875	2.5553
T-P	Before	6.601	7.796	7.335
	After	7.324	8.005	8.252

C: manure + sawdust, T1: manure + sawdust + Mg source

T2: manure + sawdust (0.5) + compost(0.5) + Mg source,

Compost: final product from composting with 0.03M MgCl₂ to TN

Mg added 1.2M ratio to O-P in manure

Table 15. Recycle effects of composts (exp.2)

Parameter	Exp 2	C	T	TR
NH ₄ -N(g/kg)	Before	2.9080	2.9780	2.7830
	After	1.1480	1.1330	1.6480
NOx-N(g/kg)	Before	0.0256	0.0256	0.0360
	After	0.0633	0.0531	0.0720
TN(%)	Before	1.146	1.197	1.513
	After	1.016	1.152	1.297
OP(g/kg)	Before	4.9230	3.0950	3.1050
	After	4.7020	1.7740	1.9550
TP(g/kg)	Before	5.7159	5.6107	9.0752
	After	6.1436	6.5719	9.7171
Moisture(%)	Before	60.63	61.44	60.68
	After	62.25	59.16	64.38
OM(%)	Before	36.96	35.65	35.68
	After	33.07	35.58	29.12
pH	Before	7.92	7.82	7.76
	After	9.17	8.89	8.97

C: manure + sawdust, T: manure + sawdust + Mg source

TR: manure + sawdust (0.5) + compost(0.5) + Mg source,

Compost: final product from composting with 1.2M MgCl₂ to OP (table 10, T)

Mg added 1.2M ratio to O-P in manure

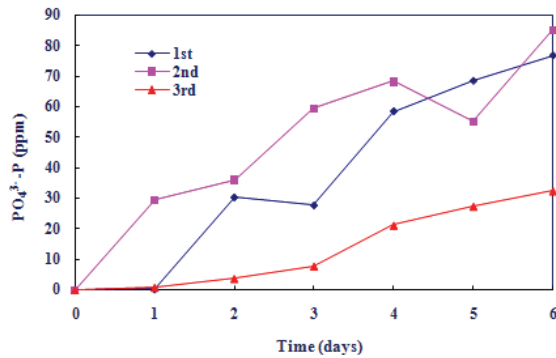


Fig. 19. pH and P in acid solution.

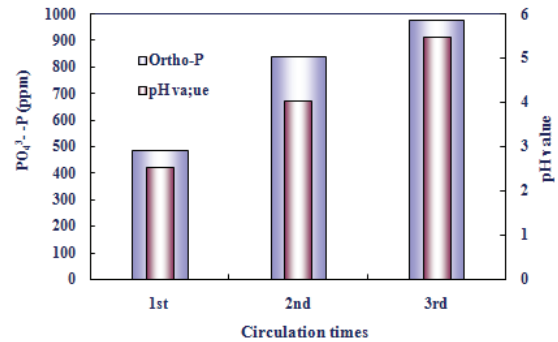


Fig. 20. P solubility in pH 7.0.

Mg원을 용해성인 기준 1.2M로 첨가하여 부숙시킨 퇴비와 무첨가 퇴비의 입자크기별 단위중량당 비료성분과 pH 7.8수준에서 용출되는 용해성 질소와 인의 양을 분석한 결과 총인의 함량은 비슷한 반면 용해성으로 존재하는 PO₄의 농도는 Mg첨가시 크게 낮아지는데 이는 분뇨내에 존재하는 용해성 인이 완효적인 크리스탈 결정체로 변환되었기 때문이다(Fig. 22).

용해성 질소의 함량은 (비록 2.8mm이상 3.35mm이하의 입자에서는 Mg원을 첨가한 경우 높았으나) Mg원을 첨가하지 않은 경우가 약간 높은 반면 총 질소 함량은 Mg원을 첨가하여 부숙시킨 경우에 있어서 높은 것으로 나타났다. 따라서 부숙과정에서의 MAP 결정체 형성은 질소함량 보존 효과와 질소/인이 토양에서 서서히 분해/이용되는 완효적 효과를 동시에 얻을 수 있는 방법임이 확실함을 알 수 있었다.

퇴비화에 따른 입자별 성상변화를 관찰하기 위하여 Table 14의 T1에서와 같이 처리하고 퇴비화 전후의 입자별 성상 변화를 분석하였다(Table 14의 T1 시료). 퇴비화 전후의 시료를 VSC 250rpm에 조건에서 2분간 스크린 한 후 산성용액(pH 4.0이하)에 용해하여 입자별 NH₄와 PO₄³⁻의 농도를 분석한 결과 NH₄-N의 경우 입자크기에 상관없이 모두 퇴비화후에 감소하였다. 그러나 용해성 인의 경우 3.5mm이상의 입자크기에서만 퇴비화 후에 감소하였으며 0.5mm이상 3.5mm이하 입자크기에서는 모두 증가하였다. 퇴비화 후 PO₄³⁻ 농도의 증가폭은 1mm이상 2.8mm이하의 입자크기에서 가장 높은 것으로 나타났다(Fig. 23). 분뇨의 TN 기준 0.03M, 0.035M 수준으로 Mg원을 처리하고 부숙시킨 다음 부숙전 후의 입자 크기별 질소와 인성분 변화를 파악한 실험에서도 동일한 결과를 얻었다(Fig. 24).

Figure 25, 26은 부숙 전/후 물질의 퇴비 입자 크기별 형상과 입자크기별 XRD data를 상분석한 결과를 나타낸 것이다. XRD data를 보면 2.8mm이하의 particle 크기에서 MAP reference와 일치하는 peak가 증가하고 뚜렷함을 알 수 있는데 이는 부숙과정중 형성된 결정체가 2.8mm이하의 입자와 함께 섞여 존재하기 때문으로 판단된다.

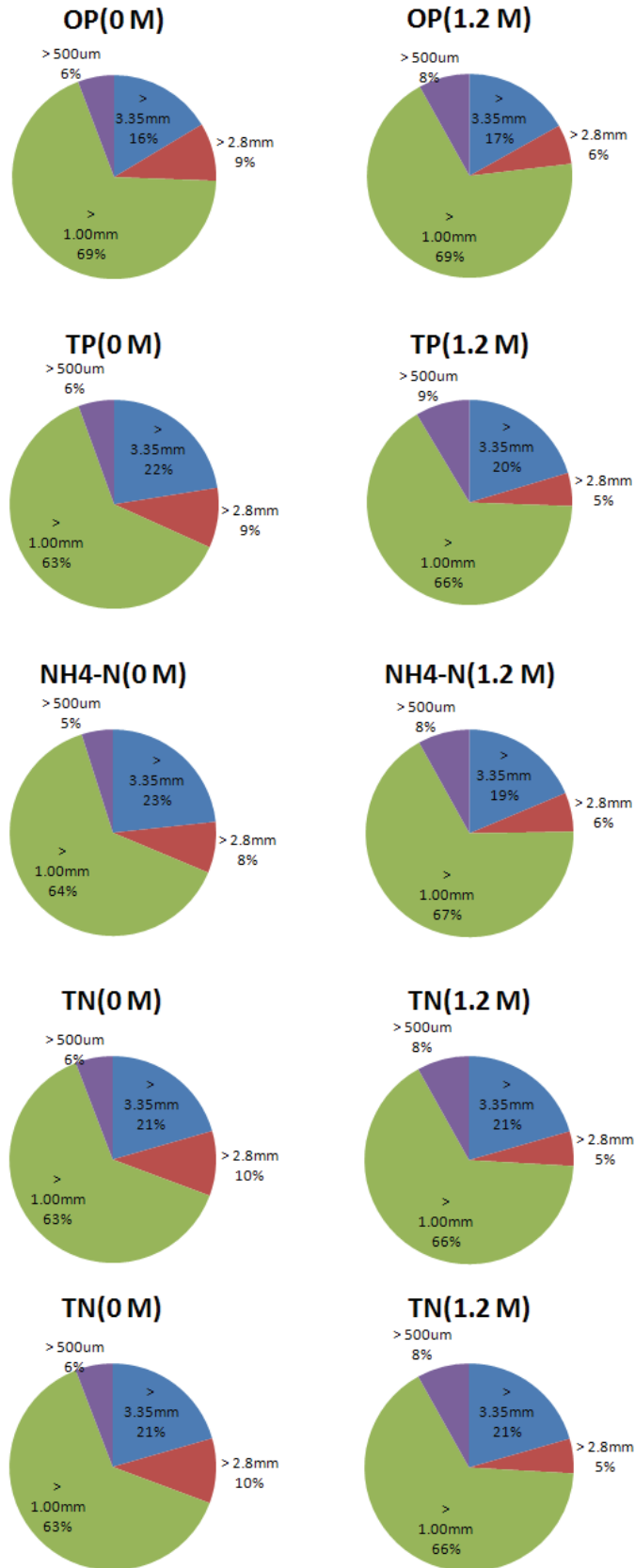


Fig. 21. Composition distribution with particle size.

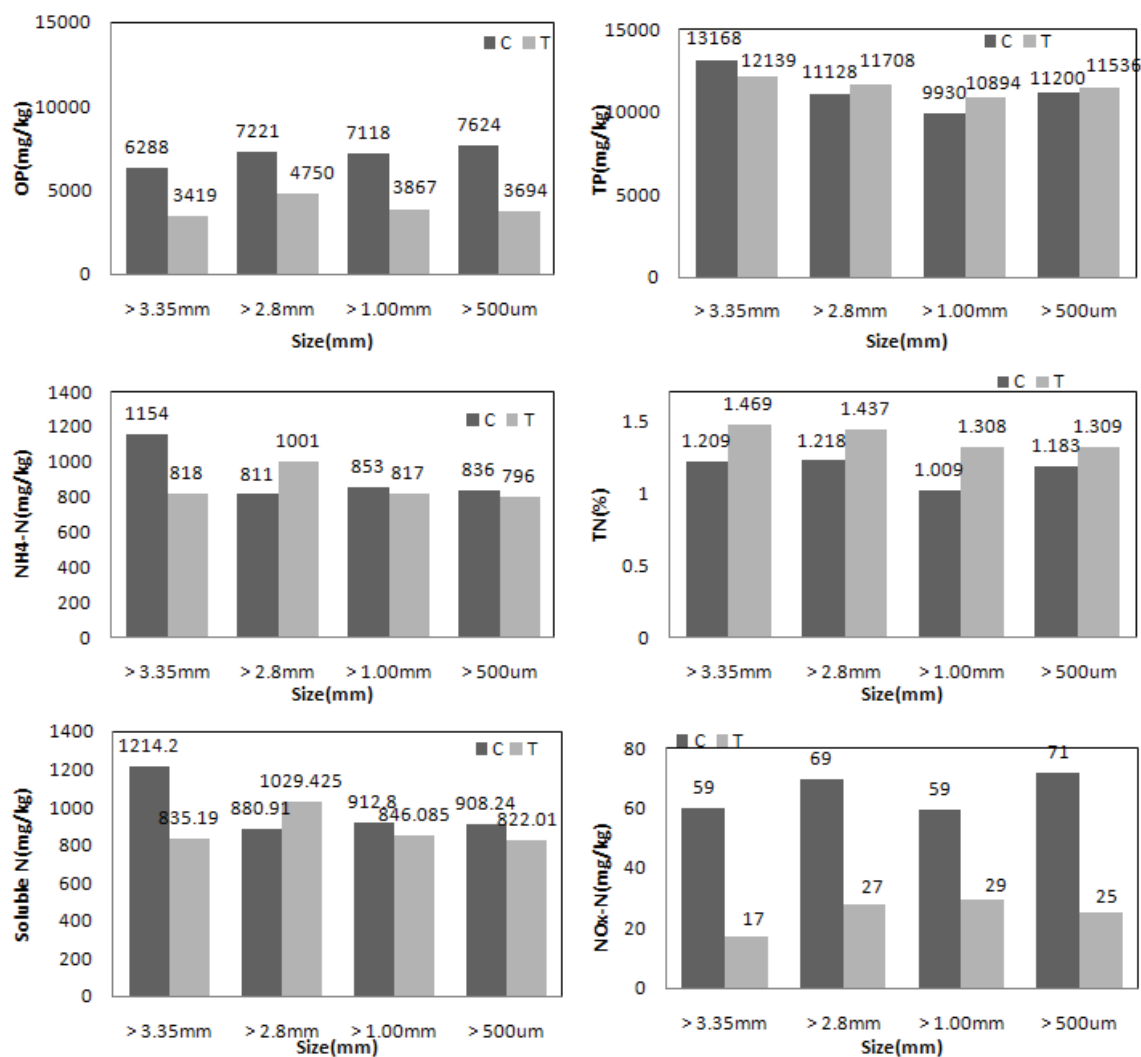


Fig. 22. Nutrient level with particle size.

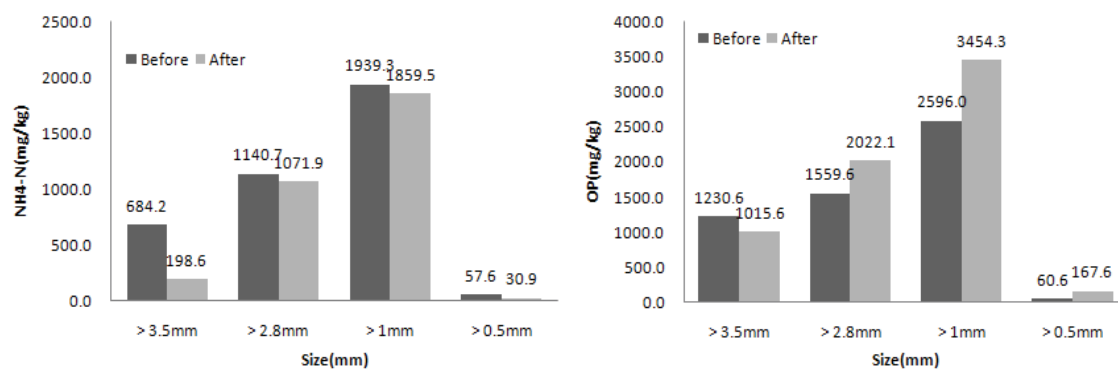


Fig. 23. Composition changes during composting.

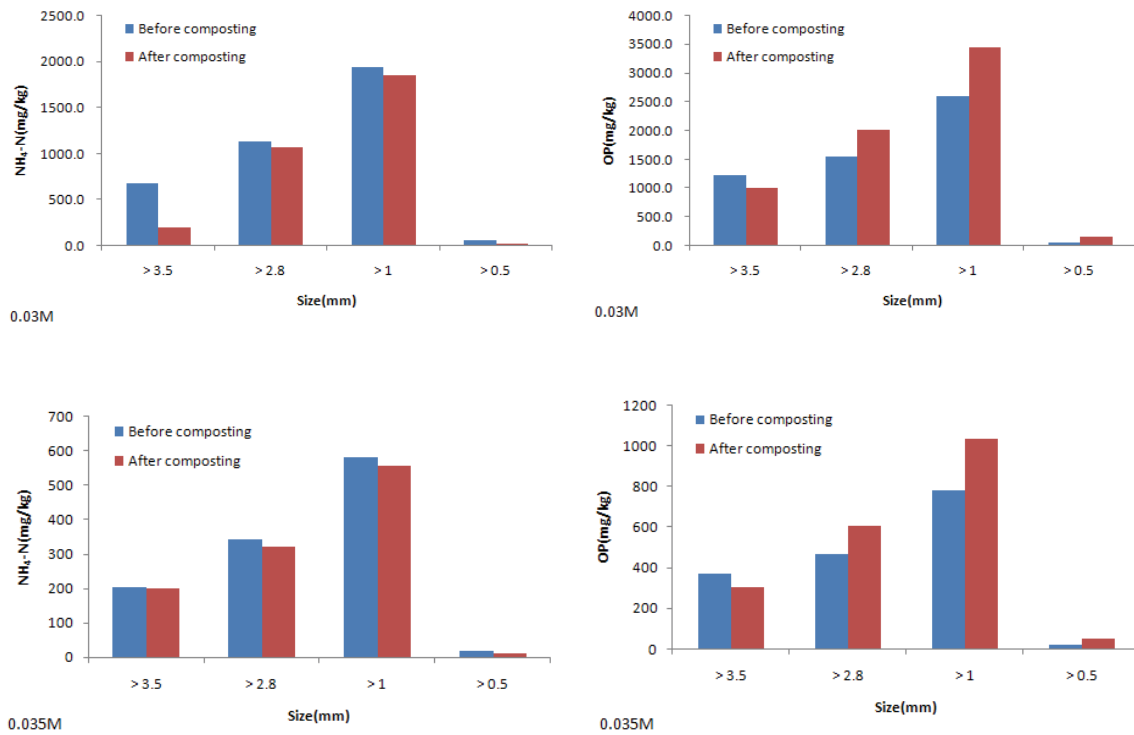


Fig. 24. Variation of composition vs particle size of composts.

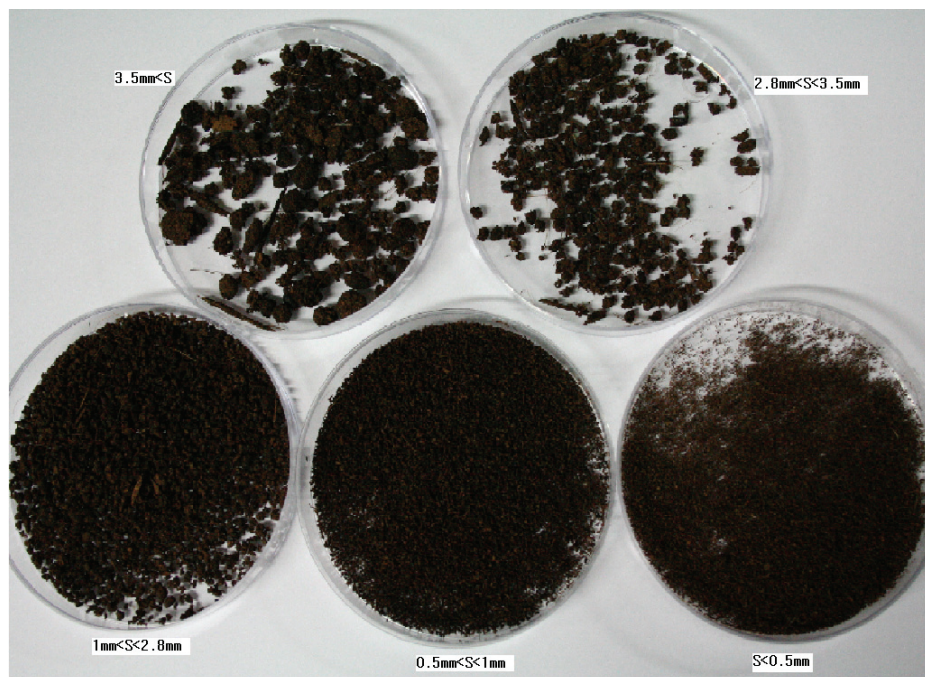


Fig. 25. Picture of the screened compost.

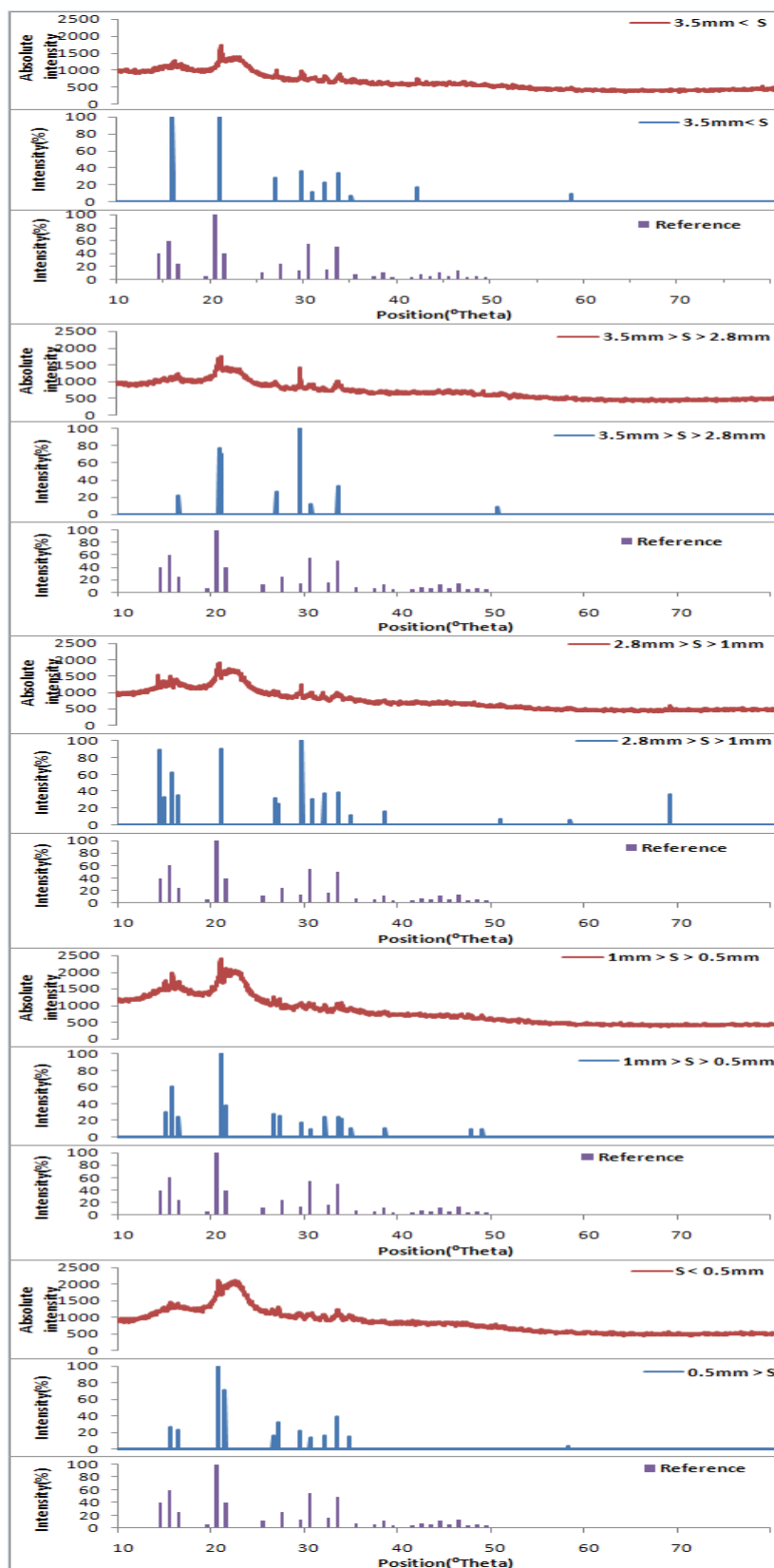


Fig. 26. XRD diffractogram of composts with particle size.

3. 적 요

축분뇨 액비내 질소/인 성분 제어를 위한 새로운 공정을 고안하고 다양한 운전조건하에서의 성분제어 효율과 공정에서의 액비성상 변화를 분석하였다. 또한 축분 퇴비내 질소/인 성분 결정화 조건을 파악하고 축분 완효성퇴비화기술 개발을 위한 다양한 실험을 수행하였다. 고안된 공정에서의 액비중 질소와 인 제어 효율은 약 11-22%와 92-97%이었으며 Mg원 첨가 없이도 액비중 용해성 인이 약 20%정도 제어되는 것으로 나타나 Mg원 첨가에 의한 순수 용해성인 제어율은 약 70% 정도인 것으로 파악되었으며 제어된 용해성인의 대부분은 Mg과 NH_4 , PO_4 가 동률비로 반응하는 $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (MAP)결정체 형성에 의한 것으로 나타났다. 디자인된 공정에서의 TS와 SS 제거율은 각각 15~30%, 35~60% 수준이었으며 Cu와 Zn의 감소율은 각각 37%와 43%으로 나타났다. 공정을 batch mode로 운전하면서 ORP와 pH(mV) 변화를 모니터링한 결과 ORP-time profile에서는 특이적인 변화가 관찰되지 않았으나 pH(mV)-time profile에서는 특이적인 시점이 발견되었으며 이시점이 MAP 결정체 형성 완료시점과 일치하는 것으로 판단되어 pH(mV)-time profile을 이용한 공정의 자동제어가 가능한 것으로 판단되었다. 공정에서 회수된 결정체-고형물 혼합물의 물리적/화학적 성상 혹은 특징을 분석한 결과 원심분리된 혼합물중 TS의 함량은 약 26% 정도였으며 TN은 39.7g/kg, TP는 50.3g/kg으로 매우 높은 질소와 인 함량을 나타내었다. 혼합물내 중금속 함량을 분석한 결과 구리와 아연의 함량이 다른 중금속에 비해 비교적 높았으나 그 절대 함량은 모두 매우 낮은 수준이었다. 또한 전자현미경을 이용하여 회수된 혼합물을 관찰한 결과 그 형태는 사방정계의 결정체이었으며 다양한 크기로 존재함을 알 수 있었다. X-ray diffraction study 결과 공정에서 회수된 혼합물의 대부분이 MAP이었으며 pH의 변화를 이용한 MAP 결정체의 순수정제 회수율은 65% 수준이었다.

Mg원과 PO_4 원의 적정 첨가량 구명을 위해 Mg단독 혹은 PO_4 와 복합첨가한 경우에서의 퇴비화양상을 관찰한 결과 Mg원과 P원을 분뇨내 질소기준 0.05M 이상으로 첨가시에는 퇴비화를 저해하는 것으로 나타났으며 Mg원의 단독 첨가는 아무런 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. Mg원만을 첨가하여 퇴비화를 진행할 경우 유기물의 분해가 원활히 이루어졌으며 부숙과정중 지속적인 결정체 형성을 얻기위한 Mg원의 적정 첨가 수준은 TN 기준 0.07M이상인 것으로 나타났다. 퇴비화 과정에서 형성된 crystal 결정체는 광학현미경을 이용하여 관찰할 수 있었으며 XRD 실험을 통해서도 MAP 결정체 형성을 검증할 수 있었다. 또한 Mg원을 첨가하여 질소와 인의 결정체 형성을 유도할 경우 암모니아 가스의 배출이 감소하여 악취가 감소하는 효과를 얻을 수 있었으며 MAP을 함유한 퇴비를 재활용하여 이용할 경우 품질이 매우 높은 완효성 퇴비를 생산할 수 있었다. 아울러 MAP 함유 퇴비의 재활용 횟수가 증가함에 따라 산성에 대한 완충효과와 완효도가 증가하였다. 퇴비입자별 성상분포는 2.8mm이하에서 높았으며 XRD study 결과 MAP 함량도 2.8mm이하에서 많은 것으로 나타났다.

〈제6세부과제〉 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구

1. 소형 코로나 플라즈마에 의한 악취물질의 저감 효율 평가

1) 반응기의 형태에 따른 악취물질 저감 효과

그림 6은 코로나 반응기에서 플라즈마 발생 시 측정된 인가전압 및 전류 형태를 보여주고 있다. 사인파 (sinusoidal wave) 형태의 파형에 3.5 kV, 500 Hz의 전압을 양극과 접지 전극 사이에 인가하였을 경우, 약 2.5 kV에서 절연파괴 (breakdown)로 인해 플라즈마가 발생된다. 플라즈마의 발생으로 인해 양극과 접지 전극 사이에 전기 저항 (electrical resistance)이 감소하여 전압의 감소와 전류의 증가가 일어난다. 코로나 방전에 있어 스트리머 (streamer)에서 아크 (arc)로의 전이는 플라즈마 채널이 하나로 집중되는 현상을 가져온다. 이 경우 코로나 방전을 이용한 아세트산 및 축산 분뇨의 악취 제거에 있어 반응 공간이 줄어들게 되어 처리 효율이 감소하게 된다.

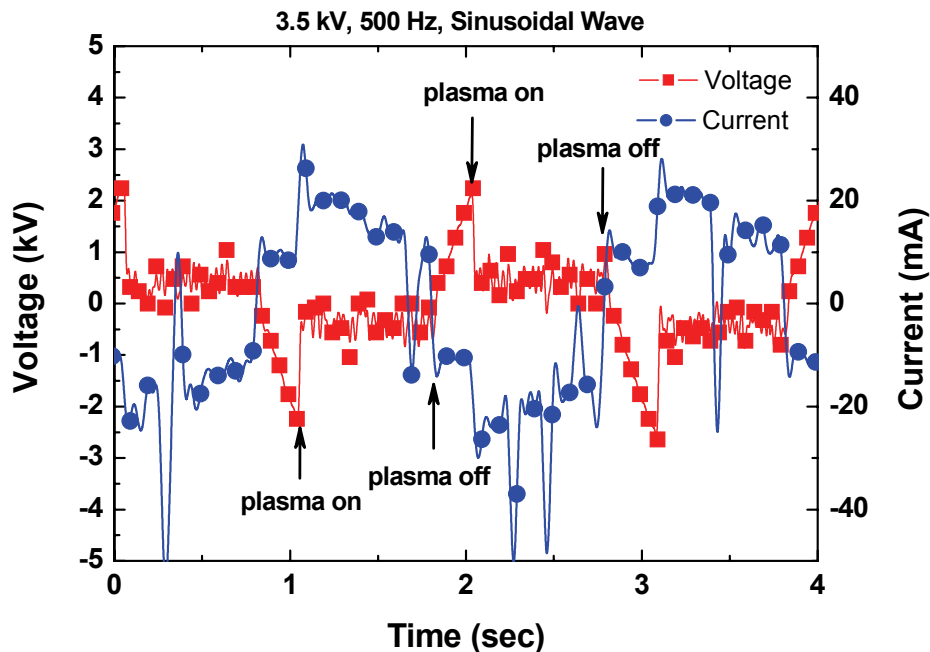


그림 6. 3.5 kV, 500 Hz의 사인파 (sinusoidal wave) 인가 시 측정된 인가 전압 및 전류 파형.

이의 효과는 원통형 전극과 나선형 전극의 전극 구조의 변화 및 인가전압에 따른 처리효율의 변화에서 확인할 수 있었다. 축산폐수의 대표 유기물인 아세트산을 이용하여 나선형(screw-type)과 원통형(cylindrical-type) 반응기에 의한 분해결과를 그림 7에 나타내었다. 10%의 아세트산 수용액과 공기펌프를 사용하여 발생시킨 0.58 mg/m^3 의 아세트산 함유 기체를 3 L/min의 유량으로 유

입시키면서 인가전압을 각각 3.6, 5.0, 그리고 6.0 Kv로 변환시키면서 아세트산의 제거효율을 측정하였다.

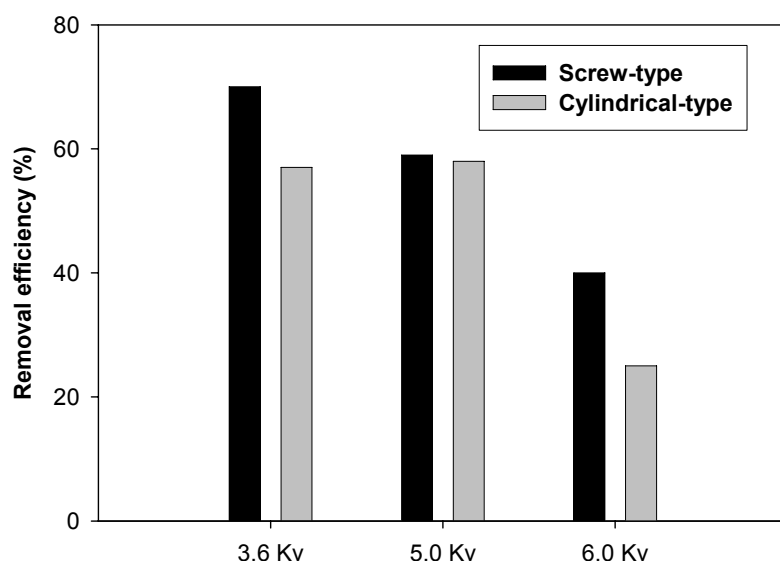


그림 7. 인가전압의 변화에 따른 나선형과 원통형 반응기의 아세트산 제거효율 (초기농도: 0.58 mg/m^3).

나선형과 원통형 반응기의 인가전압에 따른 아세트산의 제거효율은 나선형에 3.6Kv의 전압을 인가하였을 경우 최고 70%의 아세트산이 제거되었으며 원통형에 6.0Kv의 전압을 인가하였을 경우 가장 낮은 아세트산의 제거효율이 있는 것으로 조사되었다. 형태가 다른 두 반응기를 비교하였을 경우 인가전압 3.6, 5.0, 및 6.0Kv의 제거효율차가 각각 13, 1, 15% 정도 원통형보다는 나선형에서의 제거율이 높은 것으로 조사되었다. 이는 반응기의 형태에 따라 발생하는 플라즈마에 의한 것으로 원통형 전극과 나선형 전극의 차이점은 원통형 전극의 경우 플라즈마 채널 내에 공간적 제한이 없어 스트리머에서 아크로의 전환 확률이 높아지게 된다. 이에 따라, 플라즈마와 처리하고자 하는 기체 사이의 반응 공간이 줄어들게 되어 처리 효율을 감소시킨다. 고전압 인가의 경우에서도 비슷하게 인가전압에 따라 플라즈마 채널이 증가하는 것이 아니라 플라즈마의 발생이 소수의 채널에 집중되게 되어 아크로 전이되어 처리 효율을 감소시킨다. 따라서 아크로의 전이를 줄이며 가능한 반응 공간을 넓게 해주는 전극 구조의 개발이 처리 효율을 높이는데 있어 중요하다.

그림 8은 실제 축산폐수와 공기펌프로 발생시킨 악취 가스를 나선형 반응기 (screw-type)로 처리하였을 때의 아세트산 분해 결과이다. 유입속도는 3 L/min 이었으며, 유입가스 중의 아세트산 농도는 0.12 mg/m^3 이었다. 그림 7과 비교할 때, 아세트산의 유입농도가 감소했음에도 불구하고 분해 효율이 다소 낮게 나타났다. 이는 축산폐수 중의 다양한 악취성분들이 아세트산과 함께 플라즈마 공정에서 분해되기 때문에 아세트산 하나의 성분에만 대한 분해율이 다소 감소한 것으로 사료된다.

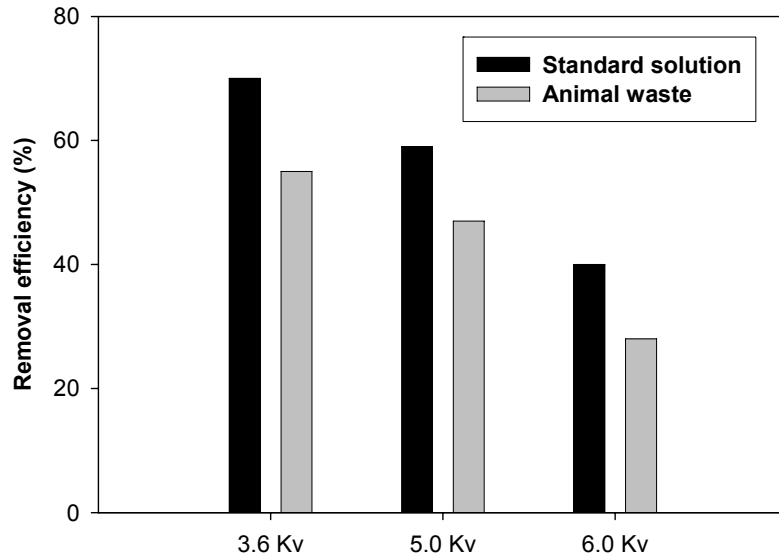


그림 8. 축산폐수와 표준악취물질에서 발생시킨 아세트산의 인가전압 변화에 따른 제거효율 (초기농도: 축산폐수 0.12 mg/m³, 표준 악취물질 0.58 mg/m³).

2) 암모니아 및 휘발성 지방산의 제거 효율 평가 - 표준악취물질

축산폐수시설에서 발생하는 악취 중 높은 비율을 차지하는 암모니아 및 휘발성 지방산의 제거 효율을 평가하기 위해 2차년도에 제작된 나선형 반응기를 사용하였다. 그림 9에 나타난 바와 같이 악취 유입을 위한 장치를 구성한 후 전력 공급기를 통해 코로나 플라즈마를 운용한 후 암모니아 및 휘발성 지방산의 제거 효율을 평가하였다.

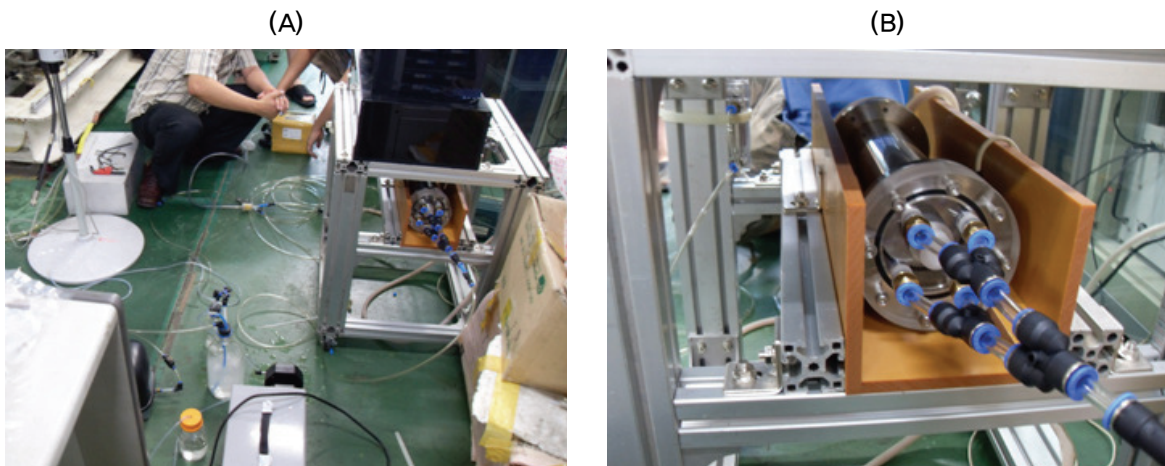




그림 9. 암모니아 및 휘발성 지방산의 저감효율을 평가하기 위한 (A) 약취유입장치 구성, (B) 코로나 방전 반응조, (C) 전력공급기, (D) 코로나 방전.

총 8가지의 휘발성 지방산 표준용액(10mg/L)에 대한 GC-FID의 크로마토그램은 그림 10과 같다.

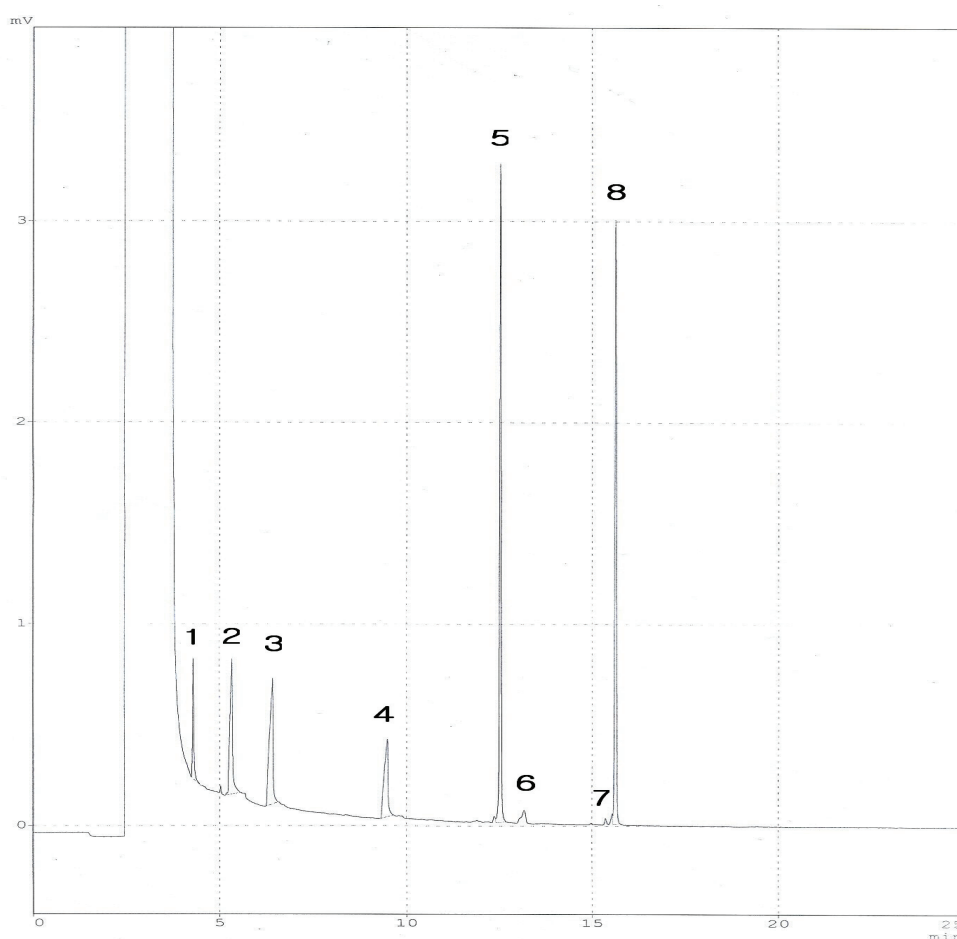


그림 10. 휘발성 지방산에 대한 GC-FID의 크로마토그램(1: 아세트산, 2: 프로피온산, 3: 뷰티르산, 4: 발레르산, 5: 페놀, 6: i-발레르산, 7: 메틸인돌산, 8: p-크레졸).

코로나 플라즈마의 전압 및 주파수의 조건에 따른 악취물질의 저감 효율을 평가하기 위해 표 8에 나타난 바와 같이 총 6가지의 조합을 구성하였다. 파형은 톱니파와 싸인파를 사용하였으며 전압 및 주파수는 파형에 따라 방전이 가장 잘 이루어지는 값을 선정하여 사용하였다.

표 8. 암모니아 및 휘발성 지방산의 저감효율 평가를 위한 코로나 방전의 조건

	파형 (Wave)	전압 (Voltage, Kv)	주파수 (Frequency, Hz)
1	톱니	1.78	1000
2	톱니	1.73	500
3	싸인	2.47	1000
4	톱니	2.50	300
5	톱니	2.50	1000
6	싸인	2.80	1000

각 조건에 따른 암모니아 및 휘발성 지방산의 저감효율은 그림 11과 같다. 가스 발생 장치를 이용하여 발생시킨 표준 악취물질의 초기 농도는 각각 발레르산: 21.9, i-발레르산: 21.9, 페놀: 23.8, 프로피온산: 30.2, 아세트산: 37.3, 크레졸: 20.7, 인돌산: 17.1, 뷰티르산: 25.4 mg/m³ 으로 측정되었다. 코로나 방전 조건에 따른 표준악취 물질의 저감 효율은 발레스산, I-발레르산, 페놀, 크레졸, 및 인돌산의 경우 모든 조건에서 악취물질이 완전히 저감됨을 알 수 있었다. 암모니아의 경우 다른 휘발성 지방산에 비해 저감효율이 낮았으며 조건에 따른 저감효율의 범위는 37 - 78% 인 것으로 조사되었다.

코로나 플라즈마의 주파수 변화에 따른 악취물질 저감 효율을 평가하기 위해 톱니파형에서 같은 전압(2.5Kv)을 인가하고 주파수를 각각 300Hz와 1,000Hz로 변환하여 악취물질의 저감 효율을 평가하여 그림 12(A)에 나타내었다. 주파수를 300Hz에서 1,000Hz로 증가시켰을 경우 프로피온산, 뷰티르산, 암모니아를 제외한 5가지 악취물질에 대해서는 차이가 없는 것으로 조사되었다. 프로피온산과 뷰티르산의 경우 주파수가 증가할 시 악취물질의 저감 효율이 각각 12.5%와 8.5% 정도 증가하는 반면 암모니아의 경우 주파수가 증가함에 따라 암모니아 가스 저감 효율이 6.7% 감소하는 것으로 조사되었다. 프로피온산과 뷰티르산의 경우와 같이 주파수가 증가함에 따라 악취 물질의 저감효율이 증가되는 이유는 주파수 증가에 따른 진동횟수의 증가로 전자와 악취물질의 충돌 횟수가 증대되어 저감효율이 높아지는 것으로 사료된다.

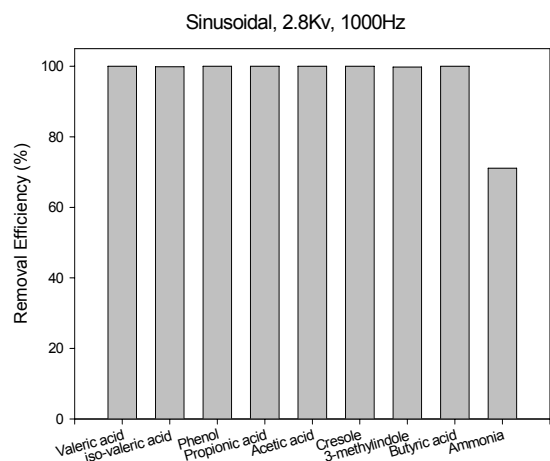
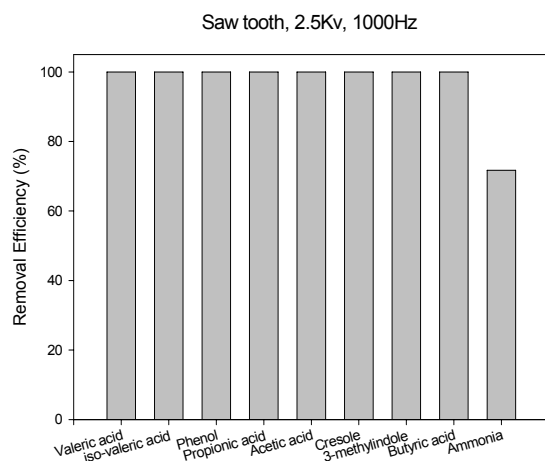
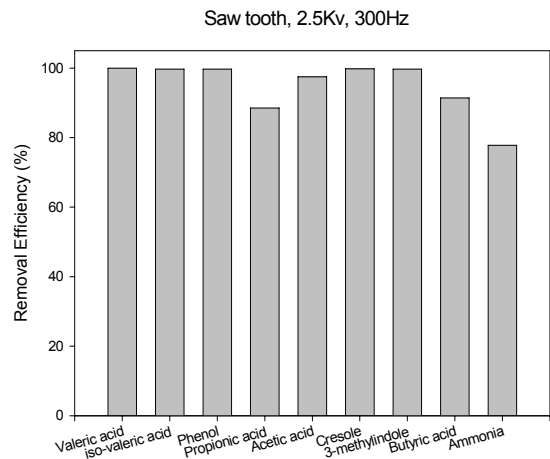
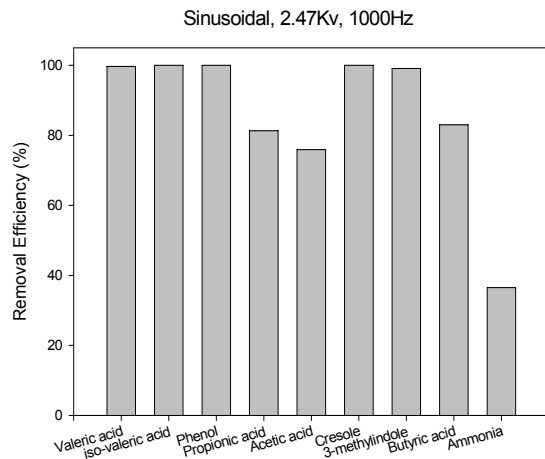
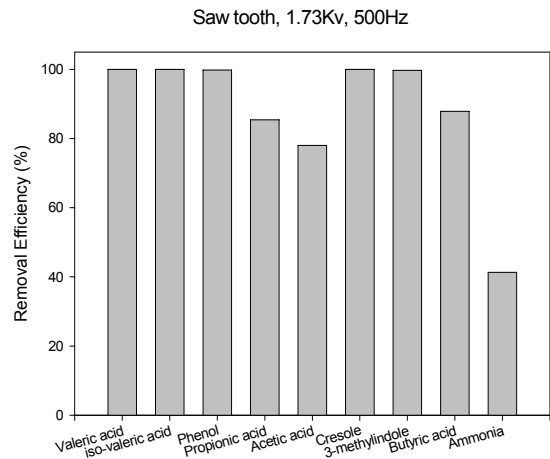
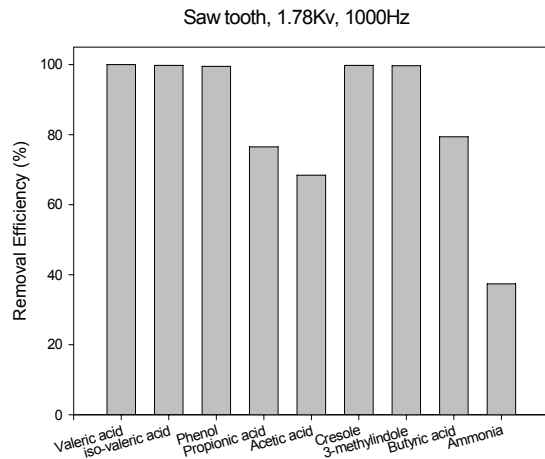


그림 11. PCDP의 조건에 따른 9가지 표준 약취물질의 약취 제거효율.

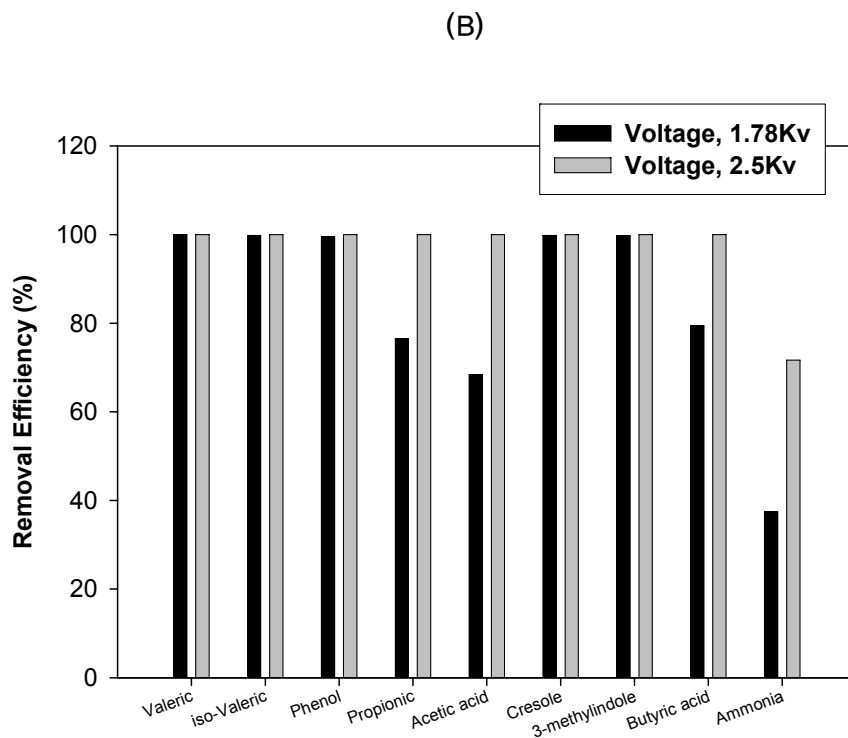
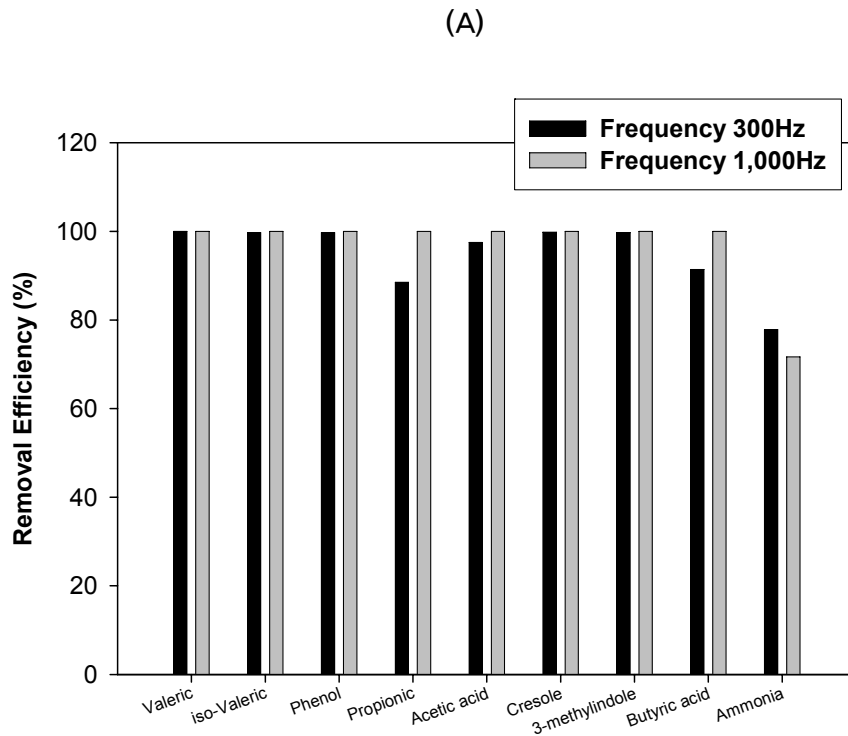


그림 12. 코로나 플라즈마의 (A) 주파수와 (B) 전압 변화에 따른
 약취물질의 저감효율 - 표준약취물질.

코로나 플라즈마의 주파수를 1,000Hz로 일정하게 하고 전압을 각각 1.78Kv와 2.5Kv로 변화시켜 악취물질의 저감을 평가한 결과 프로피온산, 아세트산, 뷰티르산, 및 암모니아를 제외한 악취 물질에서는 저감 효율의 차이가 없는 것으로 조사되었다. 프로피온산, 아세트산, 뷰티르산, 및 암모니아의 경우 전압이 증가함에 따라 악취 저감 효율이 각각 23.5%, 31.6%, 20.6%, 및 34.3%로 증가함을 알 수 있었다. 이와 같이 전압이 증가함에 따라 악취 저감 효율이 감소하는 이유는 전압이 높아짐에 따라 전자들의 증가로 인하여 충돌 횟수가 많아지게 되고 이로 인해 energy dump 현상이 발생하여 악취 저감 효율이 상승한 것으로 사료되어 진다.

동일한 파형에서 전압과 주파수를 변화하여 악취 물질 저감 효율을 평가한 결과 악취 물질의 저감 효율은 주파수 보다는 전압에 더 많은 영향을 받는 것으로 조사되었다. 따라서 악취물질의 저감 효율을 향상시키기 위해서는 최적의 전압 조건이 필요하다고 사료된다.

3) 암모니아 및 휘발성 지방산의 제거 효율 평가 - 축산폐수

코로나 플라즈마를 이용하여 축산폐수에서 발생하는 암모니아 및 휘발성 지방산의 악취 저감 효율을 평가하기 위해 강원대학교 실습농장에서 현탁액 형태의 축산폐수를 채취하였다. 암모니아 및 휘발성 지방산을 발생시키기 위한 장치는 표준악취물질을 이용하여 악취 가스를 발생시켰던 장치와 동일하게 사용하였다. 코로나 플라즈마의 전압 및 주파수 변화에 따른 악취물질 저감 효율을 살펴보기 위하여 표준악취물질에서 사용하였던 조건과 동일하게 실험을 실시하였다(표 8).

GC-FID와 암모니아 가스 측정기를 이용하여 축산폐수에서 발생하는 휘발성 지방산과 암모니아의 농도를 측정한 결과 발레르산과 i-발레르산은 검출되지 않았으며 인돌산이 약 271.0 mg/m³으로 가장 높게 측정되었고 암모니아는 약 222 ppm 정도 검출되었다. 코로나 방전 조건에 따른 암모니아 및 휘발성 지방산의 저감 효율은 톱니파, 1.73Kv, 500Hz 조건에서의 발레르산(65.7%)을 제외하고는 모두 70% 이상의 악취물질 저감 효율을 나타내었다(그림 13).

주파수 변화에 따른 악취물질의 저감 효율을 알아보기 위해 인가전압 2.5Kv에 대해 주파수를 각각 300Hz와 1,000Hz로 변화시켰다. 표준 악취물질 물질에서와 마찬가지로 주파수 변화에 따른 악취물질 저감 효율은 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 가장 큰 차이를 나타낸 악취물질은 페놀로써 주파수가 증가함에 따라 악취물질의 저감효율이 약 10% 정도 증가하였다.

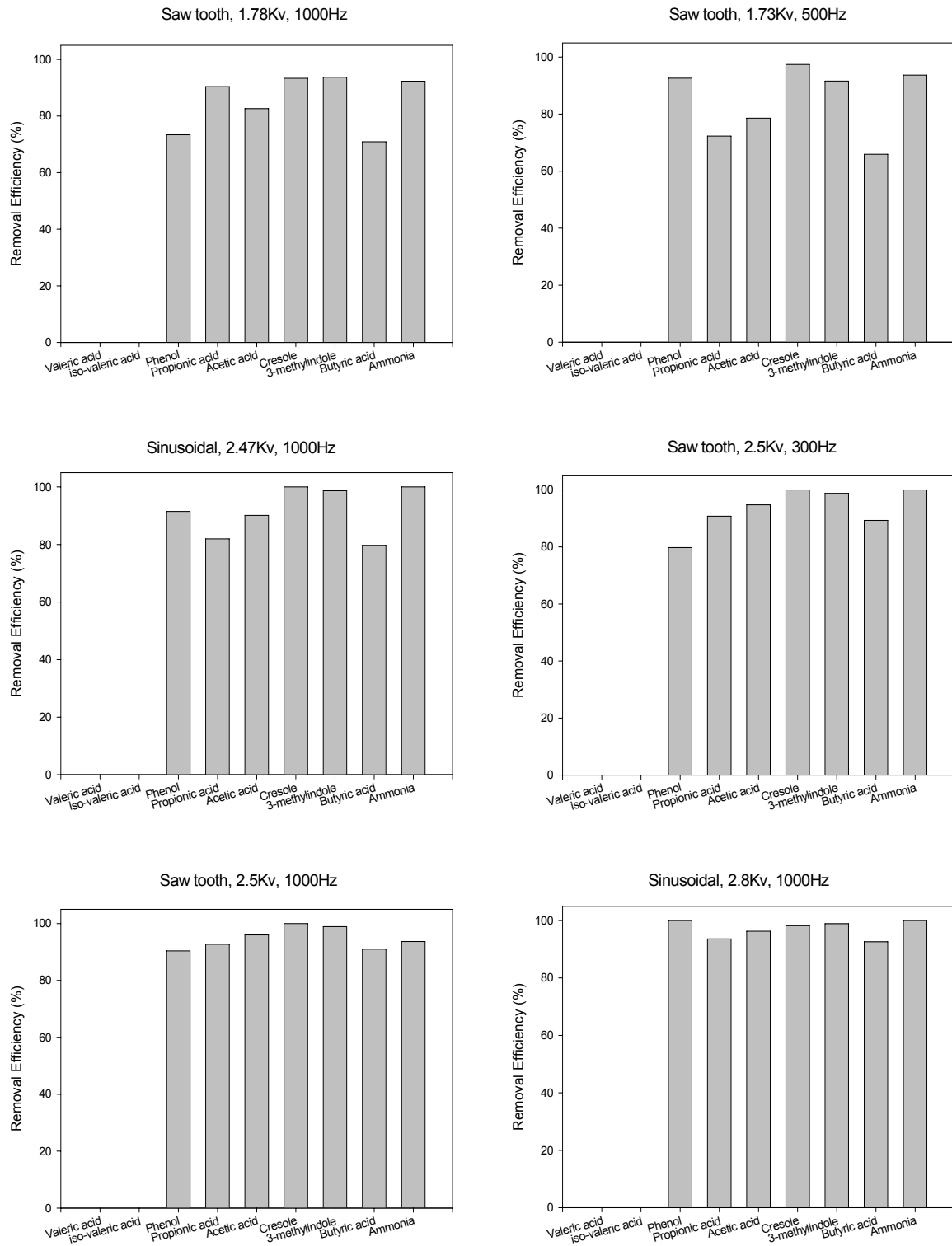
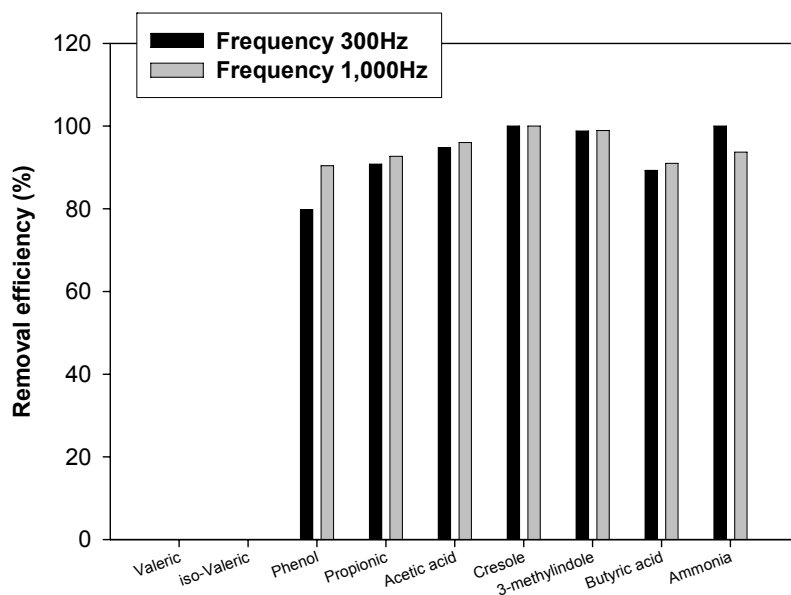


그림 13. 축산폐수에 잔류하는 악취물질에 대한 PCD의 조건별 제거효율.

(초기 유입농도, mg/m^3 , phenol = 11.1, propionic = 236.2, acetic acid = 212.3, cresol = 102.7, 3-methylindole = 271.0, butyric acid = 239, ammonia = 222 ppm)

(A)



(B)

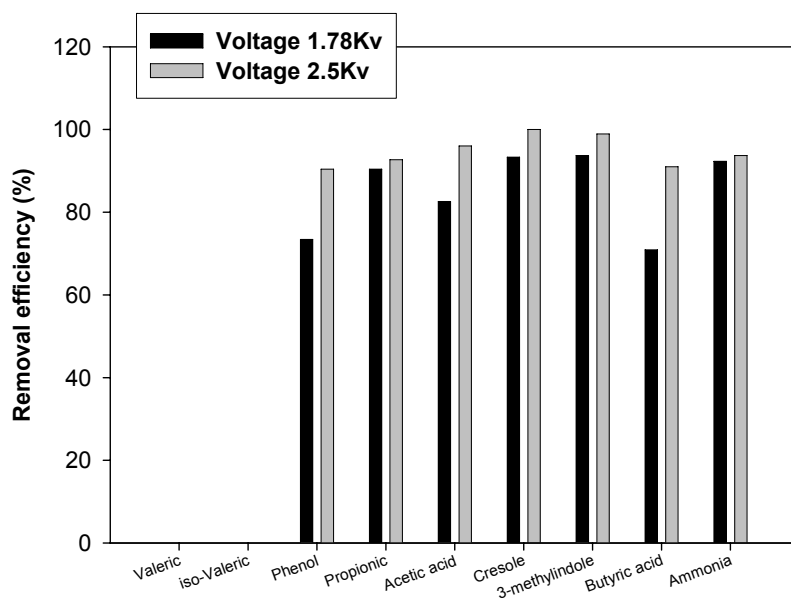


그림 14. 코로나 플라즈마의 (A) 주파수와 (B) 전압 변화에 따른 악취물질의 저감효율 - 축산폐수.

반면에 암모니아의 경우 주파수가 증가함에 따라 악취물질의 저감 효율이 약 7% 정도 감소함을 알 수 있었다.

인가전압의 변화에 따른 악취물질의 저감 효율을 알아보기 위해 주파수를 1,000Hz로 조절하고

전압을 각각 1.78Kv와 2.5Kv로 변환하였다. 그림 14(B)에 나타난 바와 같이 전압의 변화에 따른 악취물질의 저감효율은 전압이 상승함에 따라 악취물질의 저감효율 역시 상승함을 알 수 있었다. 뷰티르산의 경우 전압이 상승함에 따라 악취물질 저감효율이 약 20.1%정도 상승하였으며 페놀과 아세트산의 저감효율은 각각 17.0%, 13.4%인 것으로 조사되었다. 표준악취물질에서와 같이 축산폐수에서도 주파수의 상승보다는 전압의 상승에 따라 악취물질의 저감효율이 증가함을 알 수 있었다.

코로나 플라즈마의 동일 조건에서 표준악취물질과 축산폐수의 악취저감 효율을 평가할 경우 표준악취물질보다는 축산폐수의 악취저감 효율이 다소 낮은 것을 알 수 있었다. 이는 축산폐수에 함유되어 있는 다양한 악취물질에 의해 플라즈마에 의한 전자의 충돌이 표준악취물질 보다는 감소되어 악취물질 저감 효율이 저하된 것으로 사료된다.

2. 대형 코로나 플라즈마에 의한 악취물질의 저감 효율 평가

코로나 플라즈마의 처리 용량에 따른 악취물질의 저감 효율을 평가하기 위해 대용량의 코로나 플라즈마를 이용하여 축산폐수에서 발생하는 악취물질 중 아세트산의 저감 효율을 평가하였다. 축산폐수에서 발생하는 아세트산의 초기 농도는 49 mg/m³ 이었으며 코로나 플라즈마의 유속을 각각 1,700L/min과 3,400L/min으로 달리하여 아세트산의 저감 효율을 측정하였다(그림 15).

측정결과 유속이 1,700L/min에서 3,400L/min으로 2배 증가하였을 경우 아세트산의 저감 효율은 73%에서 67%로 약 6%정도 감소함을 알 수 있었다. 유속이 느린 소형 코로나 플라즈마와 비교해보면 소형 플라즈마의 축산폐수 내 아세트산의 저감효율은 78.6 - 96.3%로써 대형 코로나 플라즈마의 아세트산 저감 효율이 12 - 24% 정도 낮은 것으로 조사되었다. 유속이 빨라짐에 따라 코로나 내부에서 악취물질과 전자와의 접촉시간이 감소하여 악취물질의 저감효율이 감소하는 것으로 사료된다.

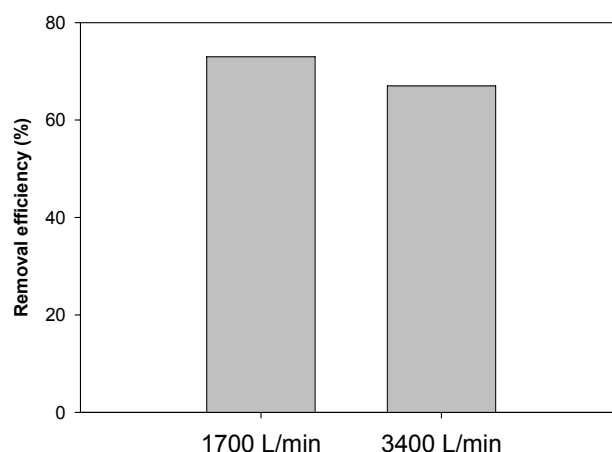


그림 15. 대용량 코로나 플라즈마의 아세트산 제거효율
(초기농도: 49 mg/m³).

3. 코로나 플라즈마의 경제성 평가

악취물질 제거를 위한 코로나 플라즈마를 활용할 경우 소비되는 전력량 및 소요비용을 산출하였다. 코로나 플라즈마가 주로 사용될 수 있는 장소로는 액비 저장조 또는 퇴비화 시설로써 악취물질의 저감효율을 향상시키기 위해 소형의 코로나 플라즈마를 직렬 또는 병렬로 여러개를 설치하여 사용할 수 있다 (그림 16).

따라서 코로나 플라즈마의 전력소비량과 소요비용을 산출하기 위해 처리용량이 50L/min인 코로나 플라즈마를 직렬로 20개 설치하는 것을 가정하여 계산하였다.

◎ 소형 코로나 방전 반응기

- 반응로 제작비 (10 개 제작 기준): 150,000 원/개 × 20 개 = 3,000,000원

- 전원 (200 watt 급 기성품): 300,000원 × 3 개 = 900,000원

(위의 경우 실험실 수준에서 다양한 테스트를 고려한 연구용 반응기에 대한 자료이며, 실제 처리용 (최적화된 상태의 상업용의 경우 기 가격의 1/3이상 제작 단가 하락이 예상됨)

- 1기 당 처리 용량: 50 L/min

- 1기 당 전력 사용량: 0.6 kV - 30 mA (18 watt: 방전시 (peak value))

- 20기 연결 형 처리용량: 1000 l/min (1 m³/min)

- 20기 연결 형 전기료:

SawTooth Wave (2.8 kV Input): 18 W peak

18 W x 20 기 × ~0.45 (Plasma on/Wavelength) x 36.4 원/kWh × 24 시간 × 30일 = 4,245원/월

SawTooth Wave (1.73 kV Input): 3 W peak

1.5 kV x 0.002 A x 20 기 × ~0.03 (Plasma on/Wavelength) x 36.4 원/kWh × 24 시간 × 30일 = 1,572원/월

(본 전기료 계산은 농업용(병)을 기준으로 작성한 것이며, 또한 기존 축산 농가에 있어 전기사용에 따른 기본료를 지불하므로, 이는 제외함.)

톱니파를 기준으로 하여 사용되어 지는 전압에 따라 사용되어지는 전기사용료는 전압이 2.8Kv 일 경우 약 4,245원/월 이였으며 전압이 1.73Kv일 경우에는 약 1,572원/월 정도의 전기료가 사용될 것으로 추정된다. 이와 같이 코로나 플라즈마를 이용한 축산폐수의 악취저감 기법은 적은 전력량과 소요비용으로 효과적인 악취저감 효과를 이룰 수 있으며 2차 오염발생에 대한 문제점이 없어 농가 또는 현장에 유용하게 사용되어질 수 있을 것으로 사료된다.

4. 적 요

휘발성 악취물질에 대해 처리효율이 높은 펄스코로나 방전 기술을 이용하여 가축분뇨에서 발생하는 악취를 친환경적으로 제거하는 프로토콜을 개발하기 위한 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- 1) 축산폐수의 대표 유기물인 아세트산을 이용하여 반응기의 형태가 다른 나선형(screw-type)과 원통형(cylindrical-type) 반응기에 의한 분해효율을 측정한 결과 나선형에서의 아세트산 저감효율은 40 - 70%였으며 원통형에서의 저감효율은 24 - 58%인 것으로 조사되었다.
- 2) 나선형에 비해 원통형의 아세트산 분해 효율이 1 - 15% 정도 낮은 것을 확인할 수 있었는데 이는 원통형 전극의 경우 플라즈마 채널 내에 공간적 제한이 없어 스트리머(streamer)에서 아크(arc)로의 전환 확률이 높아지게 때문이다. 코로나 방전에 있어 스트리머에서 아크로의 전이는 플라즈마 채널이 하나로 집중되는 현상을 가져와 악취물질과 코로나 반응기 내의 전자와의 반응 공간이 줄어들게 되어 처리 효율이 감소하게 된다.
- 3) 나선형 반응기를 이용하여 실제 축산폐수에서 발생하는 아세트산의 저감효율을 측정한 결과 저감효율이 28 - 58%인 것으로 조사되었다. 이는 아세트산 표준물질의 저감효율보다 낮았으며 축산폐수 중의 다양한 악취성분들이 아세트산과 함께 플라즈마 공정에서 분해되기 때문에 아세트산 단일 성분에 대한 분해율보다 다소 감소한 것으로 판단된다.
- 4) 2차년도에는 악취물질의 저감효율을 향상시키기 위해 코로나 플라즈마의 반응기를 개선하여 표준악취물질과 축산폐수에서 발생하는 악취물질의 저감효율을 평가하였다. 파형과 전압, 그리고 주파수를 달리하여 악취물질의 저감효율을 평가함으로써 코로나 플라즈마의 최적 운전 조건을 도출하였다. 코로나 플라즈마를 이용한 총 8가지의 표준악취물질 저감효율은 모두 70% 이상이었으며 암모니아의 저감 효율은 37 - 78%인 것으로 조사되었다.
- 5) 코로나 플라즈마의 조건 변화에 따른 표준악취물질의 저감효율은 주파수의 변화보다는 전압의 변화에 따라 저감효율이 달라짐을 알 수 있었다. 전압이 높아짐에 따라 암모니아 및 표준악취물질의 저감효율이 증가하였으며 악취저감을 위한 코로나 플라즈마의 최적 조건은 2.5Kv 와 1,000Hz의 전압과 주파수에서 저감효율이 가장 높은 것으로 조사되었다.
- 6) 실제 축산폐수에서 발생하는 악취물질과 암모니아의 저감효율을 평가해본 결과 표준악취물질과 마찬가지로 70%이상의 저감 효율이 있는 것으로 나타났다. 축산폐수에서 발생하는 악취물질의 저감효율은 표준악취물질의 저감효율보다 다소 감소하는 경향을 나타냈는데 이는 축산폐수에 함유되어 있는 다양한 악취물질에 의해 플라즈마에 의한 전자의 충돌이 표준악취물질 보다는 감소되어 악취물질 저감 효율이 저하된 것으로 사료된다.
- 7) 코로나 플라즈마의 처리용량에 따른 악취물질의 저감효율을 평가하기 위해 대형 코로나 플라즈마를 이용하여 아세트산의 저감효율을 평가한 결과 소형 코로나 플라즈마에 비해 저감효율이 12 - 24% 정도 감소함을 알 수 있었다. 이는 유속이 빨라짐에 따라 코로나 내부에서 악취물질과 전자와의 접촉시간이 감소하여 악취물질의 저감효율이 감소하는 것으로 사료

된다.

- 8) 코로나 플라즈마를 현장에 적용할 때 고려해야할 경제성을 평가하기 위해 처리용량이 50L/min인 소형 코로나 플라즈마를 20개 직렬로 연결할때의 전력량과 소요비용을 산출한 결과 전압의 차이에 따라 전력 소비량은 약 3 - 18W 이고 소요비용은 약 1,572원/월 - 4,245 원/월 정도의 경비가 소요될 것이라 예상된다.
- 9) 코로나 플라즈마를 이용한 축산폐수의 악취저감 기법은 적은 전력량과 소요비용으로 효과적인 악취저감 효과를 이룰 수 있으며 2차 오염발생에 대한 문제점이 없어 농가 또는 현장에 유용하게 사용되어질 수 있을 것으로 사료된다.

〈제7세부과제〉 효소복합체를 이용한 양돈슬러리 자원화 과정의 악취 제어 기술개발

1. 양돈분뇨 액비화 과정의 악취

효소복합체와 폭기처리가 양돈분뇨 액비화 과정의 악취저감에 미치는 영향을 분석하기 위하여 돈사에서 배출된 슬러리 상태의 양돈분뇨를 5톤 용량의 액비탱크에 저장하면서 암모니아와 황화수소 농도의 경시적 변화를 조사하였다.

1) 암모니아

액비탱크에 최초 옮겨진 양돈분뇨의 암모니아 농도는 30ppm 수준이었으나, 시간이 경과할수록 점차 낮아져 효소복합체와 폭기를 동시에 처리한 경우 4주후 9.9ppm 수준까지 떨어지는 것으로 나타났다.

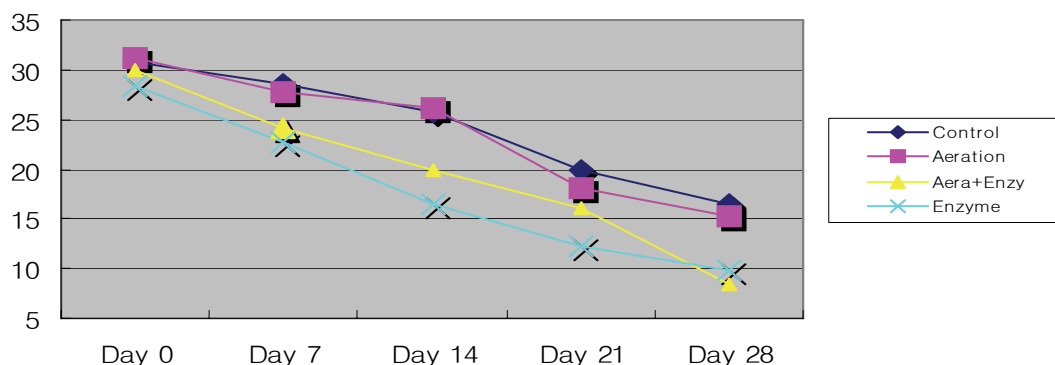


Fig. 1. Changes in ammonia concentration in the swine slurry storage tank.

단순 저장만 하는 대조구의 경우 시간이 경과할수록 암모니아 농도가 점차 떨어지기는 하지만 그 속도가 매우 느리며, 2주 지난 시점에서 25.7ppm, 4주 경과하면 16.5ppm 수준을 나타내었는데, 폭기처리 만 할 경우 대조구와 큰 차이를 보이지 않았다. 반면 효소복합체와 폭기처리를 동시에 할 경우에는 2주후 19.8ppm, 4주후에는 8.4ppm 수준까지 떨어지는 것으로 나타났으며, 효소복합체 단독 처리와는 차이가 없었다.

이러한 결과는 효소복합체 처리가 양돈분뇨의 액비화 과정의 암모니아 저감에 효과적으로 작용하고 있는 것으로 판단할 수 있겠고 적절한 폭기 처리를 병행할 경우 효과가 더욱 향상될 수 있을 것으로 보인다.

암모니아 가스는 주로 분 중에 함유된 뇨산과 미소화 단백질의 분해산물이고, 수분 함량에 의해 많은 영향을 받는다.

온도가 상승할수록 분해율은 빨라지고, pH 5.5까지는 분해율이 낮으나 혐기성으로 될수록 분해율이 상당히 빨라지는데(이 등, 2000), 분뇨와 관련된 악취문제는 근본적으로 분뇨 중 질소 배설량을 저감시켜 암모니아 가스 발생을 저감시키는 것이 가장 중요하다. 생균제와 같은 미생물은 유해한 균의 증식을 억제하거나 유해균을 억제하는 물질을 생산하고(Tortuero, 1973), 세균이나 그 대사물이 암모니아, 황화수소, 각종 아민류, 인돌 및 페놀류 등의 독성물질의 생성을 억제한다(Hill 등, 1970)고 하였다.

2) 황화수소

액비저장 탱크에 저장되어 액비화가 진행되는 동안의 황화수소 농도는 초기에 6.1ppm~6.8ppm 수준이었으며, 효소복합체 처리와 폭기 처리 및 효소복합체와 폭기 동시 처리구에서는 시간이 경과할수록 점차 낮아져 4주후에는 0.1ppm 수준을 유지하였다. 그러나 대조구의 황화수소 농도는 4주 경과 후에도 5.3ppm을 나타내어 여전히 높은 수준이 유지되고 있음을 나타내고 있다.

황화수소는 분뇨에서 생성되는 가스 중 가장 위험하며 매우 낮은 농도에서도 감지가 가능한 물질로, 일반적으로 돼지의 배설물인 액상 슬러리 취급시 다량 발생되며, 폐렴과 호흡기 질병감염 감수성을 증가시킨다고 알려져 있는 불쾌치를 가진 가스이다(김 등, 2003). 특히 산소가 부족한 상태에서 유기물이 분해될 때 발생하는 대표적인 악취물질이며(Huh, 1994), 혐기적인 조건에서는 SO_4^{2-} 로 전환되는 물질이다(정 등, 1998).

가축분뇨에서 발생하는 악취는 NH_3 , H_2S , Mercaptan류 및 휘발성 유기산류 등이 복합되어 있으며, 악취는 유기물이 분해되는 과정에서 생성되는 중간 분해산물이며, 이와 같은 악취물질은 주로 혐기성 조건에서 더 많이 생성되는 특성이 있다(Williams, 1984; Huh, 1994).

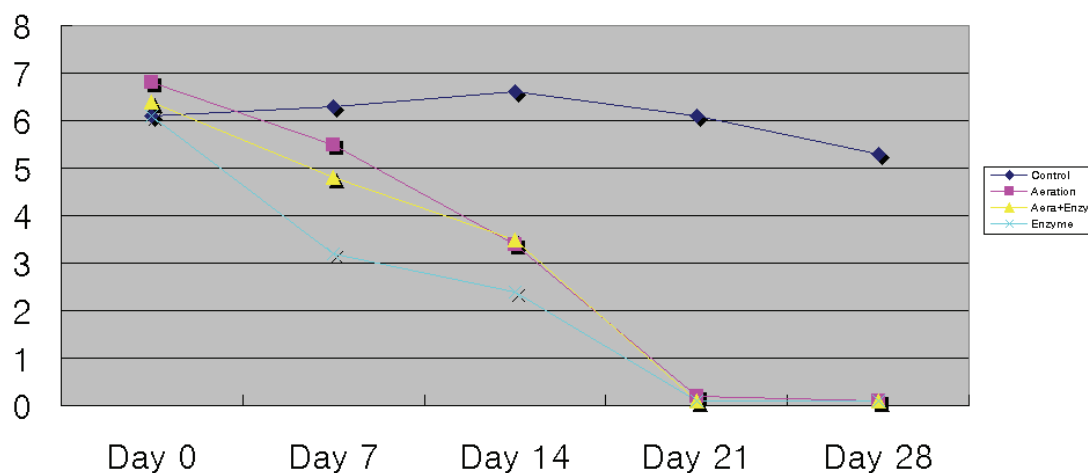


Fig. 2. Changes in hydrogen sulfide concentration in the swine slurry storage tank.

2. 분뇨의 성상

1) 온도, pH, 고형물 함량

액비저장 탱크 내부의 온도는 대조구와 처리구 모두 뚜렷한 차이는 보이지 않았으나 효소복합체 처리구에서 약간 높게 유지되는 특성을 나타내어 4주 경과후의 온도가 대조구에 비하여 3.4℃ 높은 것으로 조사되었다.

양돈분뇨 액비화 과정의 pH 변화를 보면, 효소복합체 처리, 폭기 처리, 효소 폭기 동시 처리 및 아무 처리하지 않은 대조구 모두 큰 차이를 나타내지 않았으며, 초기에 7.20~7.38, 4주 경과후에는 8.12~8.72로 비슷한 수준을 나타내었다.

pH는 침전, 용해, 흡수와 같은 각종 화학적 반응의 진행에 영향을 미치는데 일반적으로 혐기성 분해 단계에서는 산도가 높다(임 등, 2005)는 보고되어 있고 이후 호기적 조건으로 바뀌면서 화학적 반응이 진행되고 있다고 할 수 있는데, 본 시험에서 양돈분뇨의 액비화 과정을 거치면서 측정 한 pH가 효소복합체 처리, 폭기 처리, 효소와 폭기 동시 처리 및 대조구 사이에 큰 차이가 없으나 시간이 경과함에 따라 알칼리성으로 변화된 것으로 조사되어 미생물의 활성도 조건을 충족하고 있는 것으로 보여진다.

Table 1. Changes in the characteristics of swine slurry

Treatment		Control	Aeration	Aeration +Enzyme	Enzyme
Items					
Temperature (°C)	Day 0	23.0	23.9	23.0	25.1
	Day 7	25.8	25.9	25.8	25.8
	Day 14	23.3	23.9	23.3	24.9
	Day 21	21.8	23.5	21.8	24.5
	Day 28	19.5	21.3	19.5	22.9

(계속)

Treatment		Control	Aeration	Aeration +Enzyme	Enzyme
Items					
pH	Day 0	7.20	7.35	7.37	7.38
	Day 7	7.69	8.29	8.25	8.35
	Day 14	8.05	8.56	8.28	8.47
	Day 21	8.08	8.60	8.56	8.68
	Day 28	8.12	8.56	8.69	8.72
Solid contents (%)	Day 0	2.24	2.24	2.24	2.24
	Day 7	2.21	2.10	1.96	1.92
	Day 14	1.96	1.92	1.86	1.85
	Day 21	1.94	1.62	1.64	1.66
	Day 28	1.60	1.50	1.58	1.50

2) 총질소

양돈분뇨 액비화 과정의 총질소 함량 변화를 보면 Fig. 3과 같은데, 대조구 처리구 모두 시간이 경과함에 따라 총질소 함량이 점차 감소되는 경향을 나타내었다.

4주간의 효소복합체 처리, 폭기 처리 및 효소와 폭기 동시처리는 물론 아무 처리를 하지 않은 대조구에서도 액상의 양돈분뇨 중 총질소 함량은 지속적으로 떨어지게 된다. 그러나 4주 후 대조구가 1,584.8ppm인데 비하여 효소복합체 처리구는 2,771ppm으로 상당히 높은 수준의 총질소 함량이 유지되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 양돈분뇨 액비화 과정의 악취발생과 최종 액비의 품질과도 관련되는 것으로 효소복합체 처리는 양돈분뇨의 액비화 과정의 악취제어는 물론 액비 품질의 유지에도 효과적으로 작용할 것임을 시사하는 것이다.

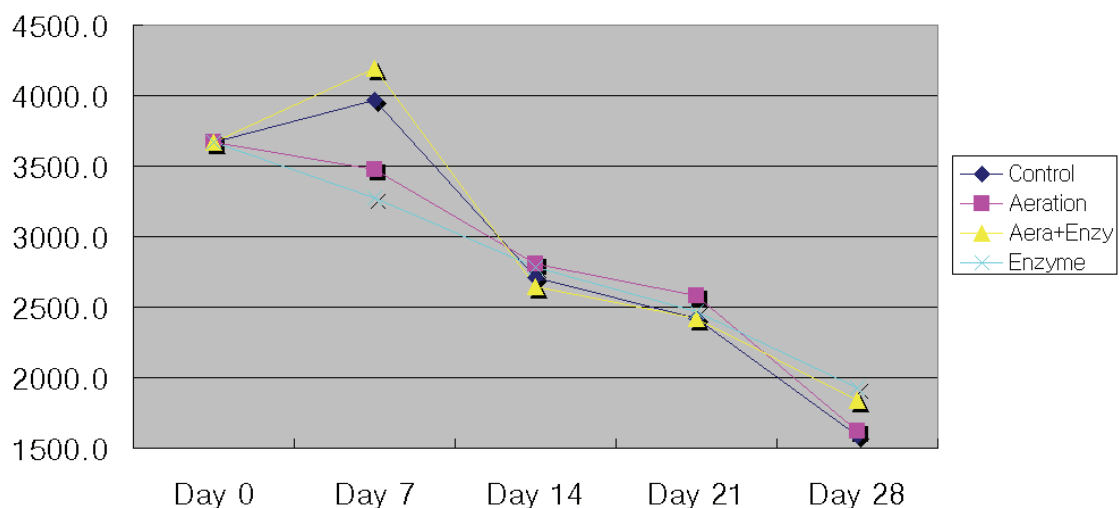


Fig. 3. Changes in total nitrogen contents in the swine slurry.

3) 암모니아성 질소

효소복합체, 폭기 및 효소와 폭기 동시 처리가 양돈분뇨 액비화 과정에 암모니아성 질소 함량 변화에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig.4와 같다.

액상의 양돈분뇨 내 암모니아성 질소 함량의 변화는 아무처리 하지 않은 대조구의 경우 1주 경과 후에 증가하였다가 점차 감소하는 경향을 나타내고 있으나 4주 경과후 721.3ppm으로 상당히 높은 수준을 나타내고 있다.

효소복합체와 폭기 처리 및 동시 처리구에서는 시간이 경과할수록 지속적으로 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 4주 경과후에는 각각 415.7ppm, 487.2ppm 및 451.3ppm 수준을 나타내어 액비화가 진행되는 과정에 암모니아성 질소함량의 감소 속도가 달랐음을 나타내고 있다. 이러한 결과는 효소복합체 처리가 양돈분뇨 액비화 과정에 가장 문제될 수 있는 악취문제 해결에 효과적으로 작용하고 있는 것으로 판단할 수 있으며, 최종 액비의 품질에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

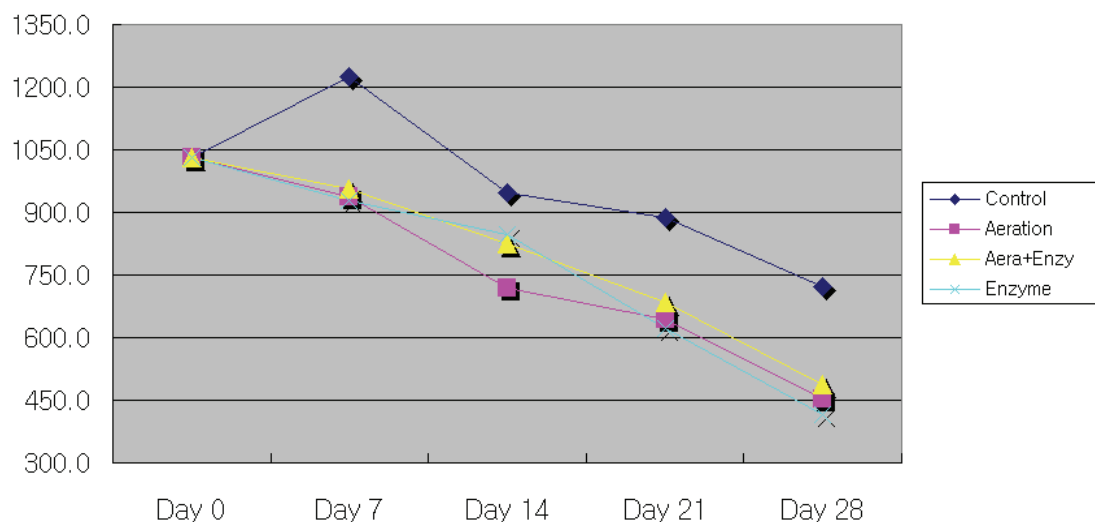


Fig. 4. Changes in ammonia nitrogen contents in the swine slurry.

4) 총인

액상 양돈분뇨의 액비화 과정의 총인 함량 변화를 조사한 결과를 보면, 효소복합체 처리, 폭기 처리 및 대조구 모두 시간이 경과함에 따라 지속적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

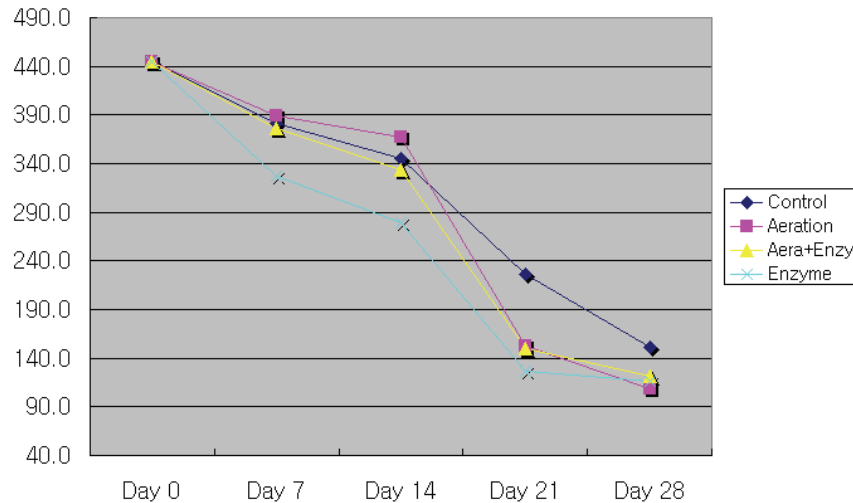


Fig. 5. Changes in total phosphorus contents in the swine slurry.

4주 경과후에는 대조구가 151.4ppm으로 가장 높은 수준이 유지됨을 알 수 있고 효소복합체 처리와 폭기 처리 및 동시 처리는 108.9ppm~121.8ppm 수준으로 대조구에 비하여 월등히 높은 수준으로 인이 제거되었음을 보여주고 있다.

따라서 효소복합체 처리는 양돈분뇨 액비화 과정의 인 제거에 효과적으로 영향을 미치는 것으로 판단되며, 이는 양돈분뇨의 액비 이용에 대한 부정적인 단점 중 하나인 토양내 인 축적으로 인한 토양오염 부담을 경감시킬 수 있는 하나의 기술적 대안이 될 수 있을 것으로 판단된다.

3. 돈사환경 개선

1) 돈사내부환경

효소복합체를 양돈분뇨 발생량 톤당 L 수준으로 희석하여 돈사 내 살포하여 돈사환경 개선에 미치는 영향을 조사한 결과는 Fig. 6과 같다.

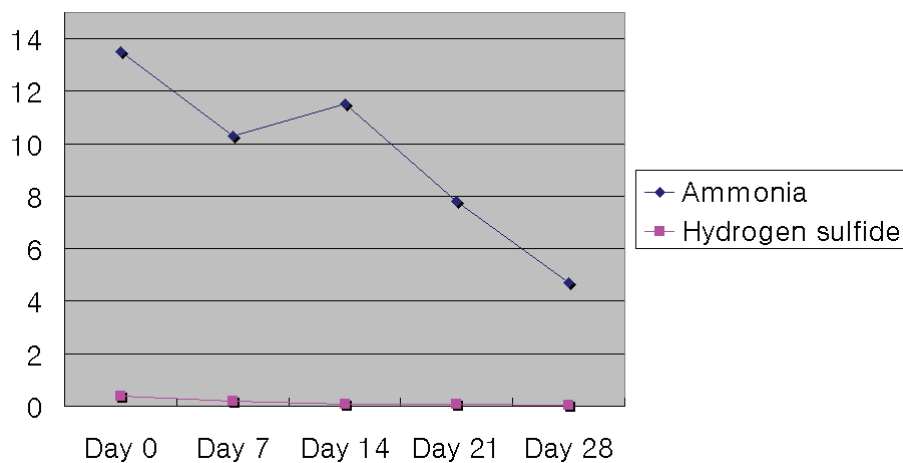


Fig. 6. Ammonia and hydrogen sulfide concentrations in the finishing pig building.

효소복합체 살포는 밀폐형 비육돈사의 암모니아 농도에 뚜렷하게 영향을 미치는 것으로 나타났다으며, 최초 13.5ppm이던 암모니아 농도가 4주 후에는 4.7ppm으로 낮아져 65% 정도의 암모니아 저감 효과가 인정되고 돈사내 공기의 질 상태가 매우 개선됨을 보여준다.

황화수소 농도는 최초 0.37ppm이던 것이 4주후 0.05ppm 수준으로 떨어져 효소복합체가 황화수소 농도의 저감에도 영향을 미치는 것으로 판단되나, 돈사내에서의 황화수소는 기본적으로 낮고 그 차이를 명확하게 설명하기가 어렵다.

암모니아는 가축의 장관내에서 분비된 요소가 요소분해 효소에 의하여 암모니아로 분해되고 (Wrong, 1981), 이러한 암모니아는 가축의 성장을 저해할 수 있으며, 15ppm의 암모니아 가스는 호흡기 계통의 질병을 유발할 수 있다고 보고하였다(Headon과 Walsh, 1994). 따라서 효소복합체 처리는 돈사내 공기의 질에 영향을 미쳐 암모니아 발생을 줄이는 것으로 사료된다. 그러나 본 연구의 이러한 결과에도 불구하고 양돈장에서 황화수소 발생이 외부 평균온도, 돈사내 정화조의 면적, 돈사내 공기의 통풍율 및 사료내 황 함량에 따라 높은 상관관계를 가지고 있기(Avery 등, 1975) 때문에, 단순히 효소복합체 처리에 의한 순수한 효과로 규정하기는 한계가 있을 것으로 사료된다.

2) 복합약취

〈처리 전〉

판정 요원	1차평가		2차평가 (×20)	3차평가 (×30)	계산결과	비 고	희석배수
	1조 (×10)	2조 (×10)					
A	○	○	○	×	20	최대 (제외)	$\sqrt[3]{(20 \times 10 \times 20)}$ = 15.9
B	○	○	×		10	최소 (제외)	
C	○	○	○	×	20	→	
D	○	○	×		10	→	
E	○	○	○	×	20	→	

판정 요원	1차평가		2차평가 (×20)	3차평가 (×30)	계산결과	비 고	희석배수
	1조 (×10)	2조 (×10)					
A	○	○	×		10	최소 (제외)	$\sqrt[3]{(10 \times 10 \times 20)}$ = 12.6
B	○	○	○	×	20	최대 (제외)	
C	○	○	×		10	→	
D	○	○	×		10	→	
E	○	○	○	×	20	→	

〈처리 후〉

판정 요원	1차평가		2차평가 (×20)	3차평가 (×30)	계산결과	비 고	희석배수
	1조 (×10)	2조 (×10)					
A	×	×			3	최소 (제외)	$\sqrt[3]{(5.477 \times 5.477 \times 3)}$ $= 4.5$
B	○	×			5.477	최대 (제외)	
C	○	×			5.477	→	
D	○	×			5.477	→	
E	×	×			3	→	

효소복합체를 매일 1회 돈사 내 살포하여 돈사내 공기의 질과 양돈분뇨의 액비화 과정의 변화를 조사하는 동안, 양돈장 부지경계선에서 측정한 복합악취 농도는 다음과 같다.

본 연구를 수행한 양돈장의 부지경계선에서 측정한 복합악취 농도는 효소복합체 처리 전 희석배수는 각각 15.9와 12.6으로 악취방지법이 정한 배출허용기준을 초과하는 수준을 나타내었으나, 효소복합체 처리 후에는 희석배수 5.4로 배출허용기준에 크게 못 미치는 결과를 나타내었다.

따라서 효소복합체 처리는 돈사 내 공기의 질에 영향을 미치고 분뇨의 발효과정에도 영향을 미치는 것으로 보이며, 돈사 내부 공기가 외부로 배출되어 복합악취를 형성하는데 긍정적으로 기여하여 양돈장의 악취제어에 효과적으로 작용하는 것으로 판단된다.

4. 적 요

본 연구는 효소복합체 처리가 양돈분뇨의 액비화 과정의 악취제어 가능성을 조사하기 위하여 액지저장 탱크에 4주간 저장하면서 효소복합체 처리, 폭기 처리, 효소와 폭기 동시 처리 및 대조구로 나누어 비교하였다. 또한 효소복합체를 돈사에 살포하여 돈사내 공기의 질과 농장 부지경계선에서의 복합악취농도를 조사하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

효소복합체와 폭기 처리는 양돈분뇨의 액비화 과정의 암모니아와 황화수소 농도에 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 암모니아와 황화수소 농도는 4주간의 액비화 과정에 지속적으로 감소되었다. 효소복합체의 일정 수준 처리는 양돈분뇨 액비화 과정의 악취저감을 위한 효율적인 수단이 될 것으로 판단된다.

효소복합체와 폭기 처리는 양돈분뇨의 액비화 과정의 총질소, 총인 및 암모니아성 질소 농도에 영향을 미치는 것으로 조사되었으며, 효소복합체 처리는 양돈분뇨 액비의 품질 유지와 악취저감을 위한 하나의 기술적 대안으로 충분한 것으로 보인다.

효소복합체 살포는 돈사내 공기의 질을 개선하고 양돈장의 부지경계선에서의 복합악취 저감에도 효과적으로 작용하는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 요약하면, 효소복합체 처리는 양돈분뇨 액비화 과정의 악취제어와 고품질 액비 제조 가능성이 충분하며, 돈사 내부 및 양돈장 환경개선과 악취저감 효과가 인정된다.

〈제8세부과제〉 파쇄옥수수대의 축분퇴비제조 수분조절재로의 활용기술 개발

1. 연구 1 : 파쇄옥수수대의 돈분퇴비제조 수분조절재로의 활용기술개발

1) 파쇄옥수수대의 물리적, 화학적 특성

파쇄옥수수대는 톱밥과 비교하여 입자도가 크며, 수분흡수율과 용적중이 각각 1.7배 및 3.0배가 크며, 통기성이 양호하였다(표 1).

파쇄옥수수대의 화학적 조성은 유기물 함량이 88%에 이르며, cellulose와 hemi-cellulose가 유기물의 66%를 차지하였다(표 2). 또한 퇴비발효시나 퇴비완성 후 토양에 시용할 경우 미생물의 성장에 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 예상되는 유해중금속의 함량이 높지 않았다.

표 1. 파쇄옥수수대 펠릿과 톱밥의 물리적 특성

항목		파쇄옥수수대 펠릿	톱밥
입자도 (mm)	>11	93.5	2.3
	11>>5	5.6	12.9
	5>>2	1	36.8
	2>	0.2	47.9
수분흡수율, %		423	254
용적중, kg/m ³		480	160
통기성		양호	불량

표 2. 파쇄옥수수대 펠릿의 화학적 특성

항목	함량	항목	함량
Moisture, %	9	Ash, %DM	5.02
Organicmatter, %DM	88	As, ppm	0.02
TN, %DM	0.95	Cd, ppm	0.28
TP, %DM	0.1	Hg, ppm	0.08
TK, %DM	0.08	Cr, ppm	0.26
Cellulose, %DM	35	Cu, ppm	1.48
Hemi-cellulose, %DM	23	Ni, ppm	0.36
Lignin, %DM	19	Zn, ppm	11.75
pH	6.62	NaCl, %	0.2

2) 파쇄옥수수대의 돈분퇴비 제조 수분조절재로의 적용기술

2차(1일 1회 교반 및 1일 2회교반)에 걸쳐 돈사발생 slurry에 수분조절재로 파쇄옥수수대를 톱밥과 1:0, 2:1, 1:2 및 0:1의 비율로 혼합하여 수분함량을 65~70%로 조정하여 7주간(2주간 1일 1회 또는 2회교반, 5주간 주 1회교반) 통기식으로 발효시켰다.

파쇄옥수수대의 비율이 높을수록 발효종료후의 입자도가 크게 나타났다. 따라서 파쇄옥수수대를 펠릿으로 가공할 경우 입자의 경도를 낮출 필요가 있는 것으로 판단되었다.

파쇄옥수수대의 비율이 높을수록 초기(2주간) 발효속도가 빠르게 나타나 pH가 낮아지며, 발효온도가 높고, 수분 증발량이 많았다. 그러나 파쇄옥수수대 단독(100%)의 경우 발효기간이 길어지는 단점이 나타났다. 따라서 돈사발생 slurry의 호기발효 퇴비화 공정에는 수분조절재로 파쇄옥수수대가 매우 유효한 것으로 판단되나 톱밥과 약 2:1에서 3:1의 비율로 혼합하여 사용하는 것이 바람직 한 것으로 판단되었다.

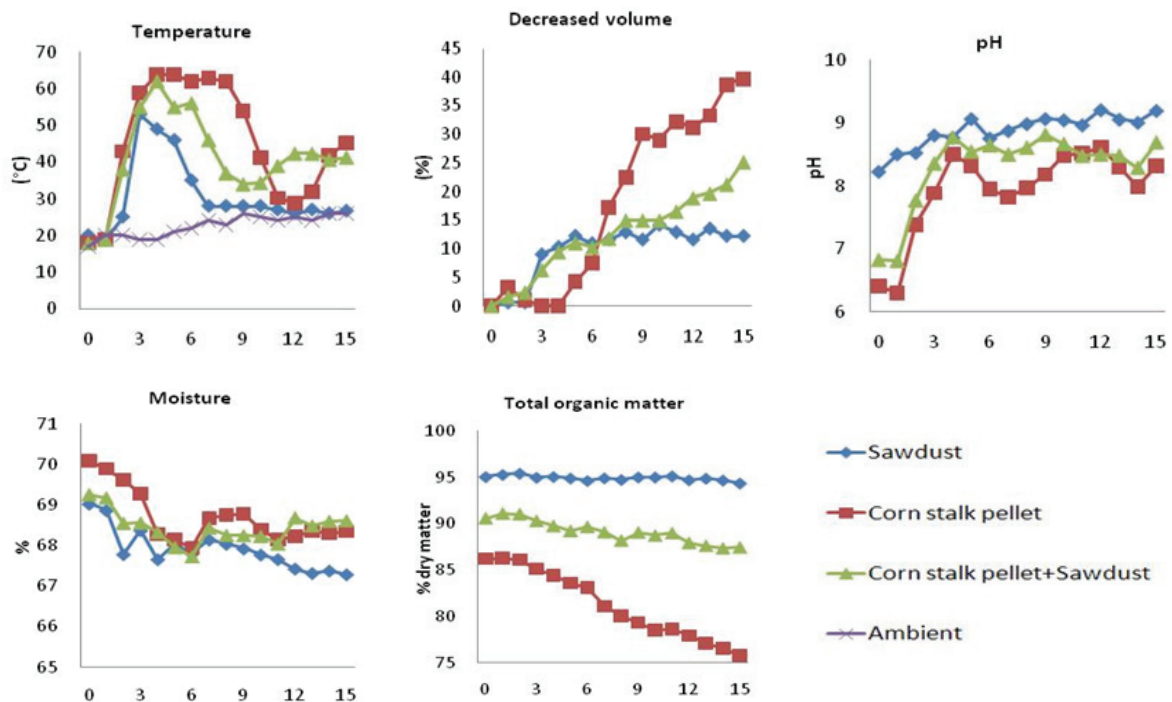


그림 4. 파쇄옥수수대 및 톱밥을 돈분퇴비 제조 수분조절재로 적용한 돈분의 발효특성.

3) 수분조절재로 파쇄옥수수대를 이용한 돈분퇴비의 품질

수분조절재로 파쇄옥수수대를 이용하여 제조(7주간)한 돈분퇴비의 품질을 비료공정규격에 따라 분석, 평가하였다.

7주간의 발효 및 부숙기간을 거친 퇴비는 암모니아취가 거의 나지 않는 우수한 퇴비로 판단되었다. 또한 파쇄옥수수대의 수분조절재 사용 비율이 높을수록 질소, 인산, 칼륨의 함량이 높게 나

타나 퇴비의 품질이 우수한 것으로 판단되었다.

제조된 퇴비의 작물에의 적용성을 평가하기 위하여 알팔파종자를 이용하여 발아율을 조사한 결과 모든 퇴비에서 발아율이 우수한 것으로 나타났다(그림 5).

표 3. 수분조절재별 돈분퇴비의 이화학적 특성

항목	톱밥	옥대	톱+옥	PKM	항목	톱밥	옥대	톱+옥	PKM
유기물(%)	64.92	60.19	63.54	63.17	수은(mg/kg)	불검출	불검출	불검출	불검출
질소(%)	0.55	3.01	1.12	4.14	아연(mg/kg)	155.6	407.4	201.5	584.2
인산(%)	0.72	2.26	1.09	5.59	니켈(mg/kg)	1.81	5.4	3.5	10.07
加里(%)	0.84	2.06	1.45	2.9	염분(%)	0.47	2.41	0.84	1.82
납(mg/kg)	3.18	12.28	5.3	12.22	수분(%)	31.48	17.58	27.32	15.42
카드뮴(mg/kg)	0.07	0.34	0.16	0.51	pH	7.58	8.53	8.43	8.05
구리(mg/kg)	11.25	55.93	22.68	102.12	EC(dS/m)	2.67	7.75	4.35	7.93
크롬(mg/kg)	3.42	22.99	8.82	35.08	MgO(%)	0.25	1.31	0.52	1.55
비소(mg/kg)	불검출	불검출	불검출	불검출	CaO(%)	0.52	2.38	0.94	2.31

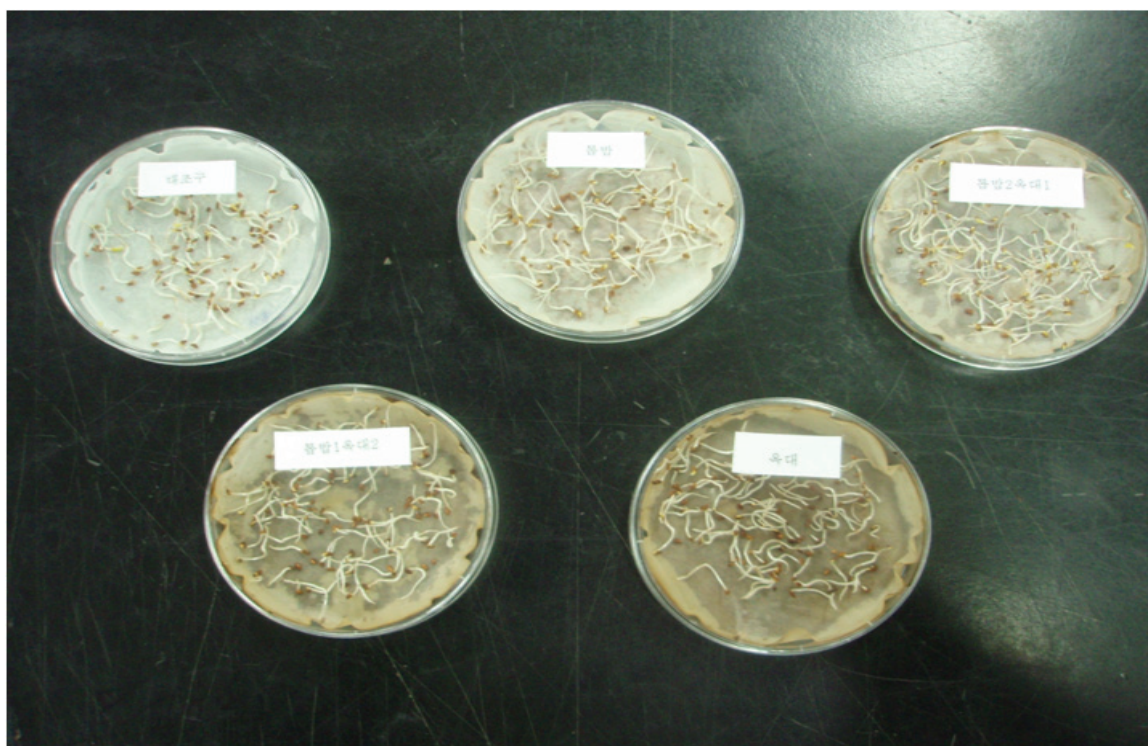


그림 5. 수분조절재로 파쇄옥수수대를 이용하여 제조한 돈분퇴비 액을 적용한 알팔파의 발아율.

4) 파쇄옥수수대의 돈분퇴비 제조 수분조절재 적용표준 설정 및 경제성

개발한 적용기술을 토대로 파쇄옥수수대의 돈분 발효건조 퇴비제조 공정에 대한 수분조절재의 적용량(톤/slurry 톤) 설정 및 경제성 평가는 향후 현장에 대한 적용실험을 거친 후 자세한 결론을 내려야 할 것으로 판단되었다. 그러나 지금까지의 결과를 종합할 때 파쇄옥수수대(펠릿)의 수분조절재 적용 돈분퇴비의 제조공정은 표 4와 같으며, 제조된 퇴비의 가격은 대략 톱밥의 120%정도로 판단되었다.

표 4. 파쇄옥수수대를 수분조절재로 적용한 돈분퇴비의 제조

구분	항목	적용	비고
제조과정	톱밥혼용비율	옥 2 : 톱 1	
	수분함량조절	70%	
	통기량	150L/m ³ /hr	
	교반횟수	1회/일	
	후숙기간	40일 이상	
경제성	원재료가격	180원/kg건물	톱밥:150원/kg건물
	추정퇴비가격	톱밥의150%	

2. 연구 2 : 파쇄옥수수대의 우사 깔짚 이용기술 개발

1) 파쇄옥수수대 펠릿의 한우 깔짚 사용시 화학성분의 변화

파쇄옥수수대의 한우 깔짚 이용시 화학성분과 한우의 행동 변화를 여러 깔짚들과 비교 평가한 결과(그림 6) 수분함량은 각 깔짚 재료별로 차이(7.8~36.1%)가 있었으나 깔짚 사용기간이 진행됨에 따라 점차 차이가 적어져 30일째에는 거의 유의차가 없이 67.5~71.6%의 함량을 나타내었다. 따라서 깔짚 재료의 초기 수분함량이 최종 수분함량에 미치는 영향은 거의 없다고 할 수 있을 것으로 사료된다.

유기물함량은 실험개시시에 건물기준 97~98%였으나 시간이 지나갈수록 변화가 커져 40일째에는 71~75%를 기록하였는데 이는 원재료보다는 우분뇨의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

pH는 각 깔짚 원재료에 따라 상당한 차이를 보여 최종 깔짚 사용 후의 성상에 영향을 미칠 것으로 예상했으나 시간이 지남에 따라 우분뇨의 양이 많아지면서 pH의 차이가 줄어들어 20일 이후에는 유의차가 거의 없어졌다.

NH₃-N의 농도는 우분뇨가 깔짚과 혼합되어 암모니아가 발생하기 시작하는 10일부터 측정을 시작하였는데 PKMP처리구가 다른 깔짚들보다 크게 높은 농도를 보였으나 40일 째에는 다른 처리구와 유의차가 없었다.

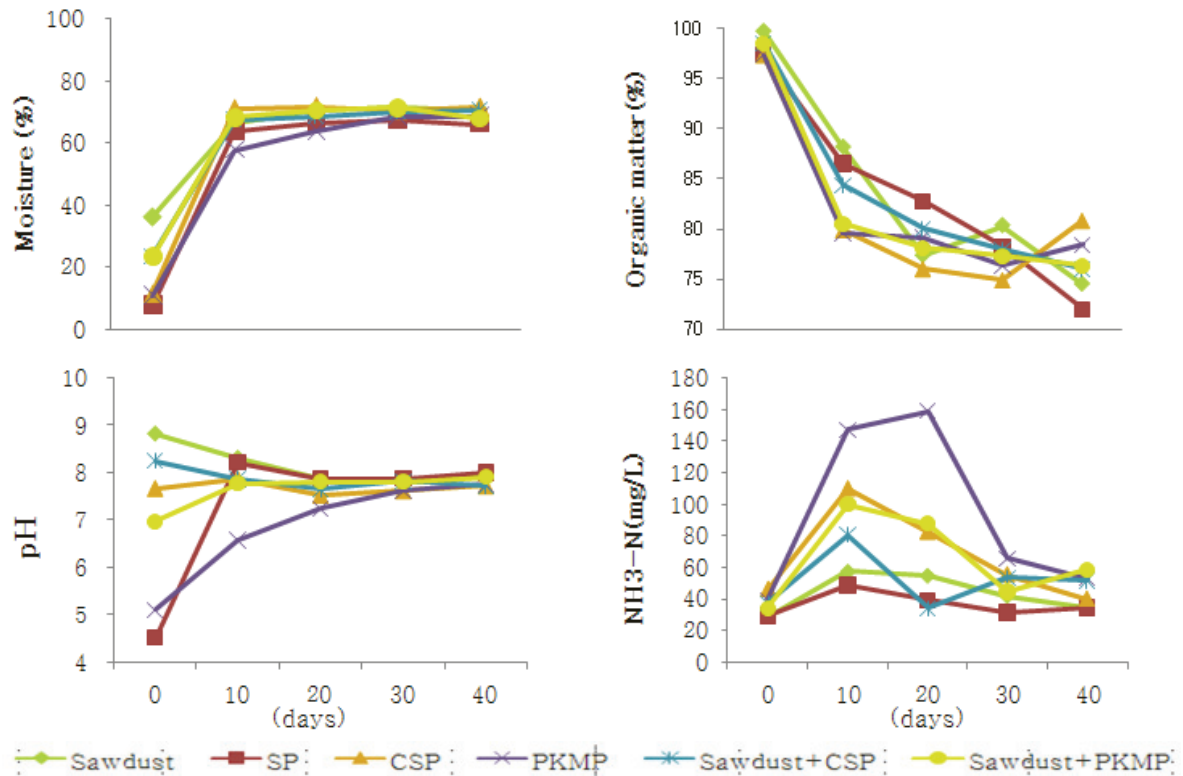


그림 6. 파쇄옥수수대 펠릿의 깔짚 적용시의 화학성분 변화.

2) 파쇄옥수수대 펠릿의 한우 깔짚 사용시 한우행동의 변화

행동변화를 조사한 결과, 깔짚 사용기간이 늘어남에 따라, 앉기 행동의 관찰빈도는 큰 변화가 없었으나, 눕기 행동은 점차 줄어들었으며, 서는 행동은 많이 관찰되었다(그림 7).

수분함량이 가장 낮은 SP처리 구에서는 눕기 행동과 앉기 행동이 상대적으로 높았으며, 서기 행동은 낮았다. 하지만, 수분함량이 가장 높은 CSP구에서도 눕기 행동과 앉기 행동이 상대적으로 높았으며, 서기 행동이 낮았다.

시간 경과에 따라 한우의 위치를 조사한 결과, 수분함량이 가장 높은 앞쪽의 출현빈도에는 큰 변화가 없었으나, 수분이 적은 뒤쪽에는 출현빈도가 증가하였다(그림 8).

결론적으로 한우의 행동은 깔짚의 종류보다 수분함량이 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 따라서 파쇄옥수수대 펠릿은 동물행동에 부정적인 영향을 미치지 않는 것으로 판단되었다.

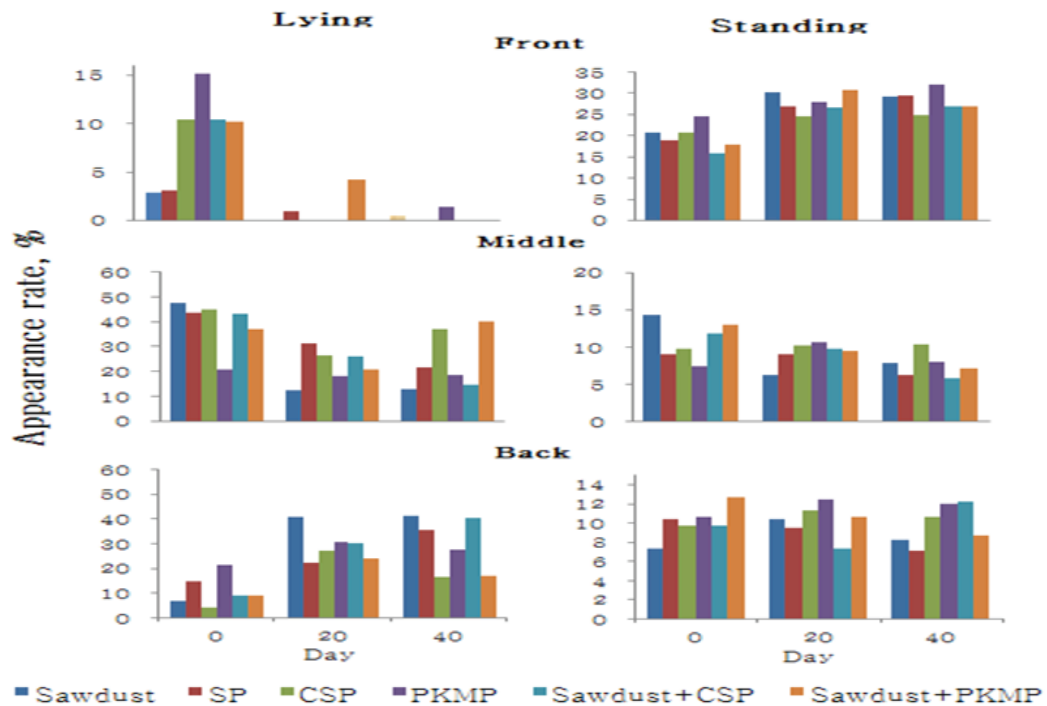


그림 7. 다양한 재료를 깔짚으로 적용한 우사의 우방 위치별 한우의 행동.

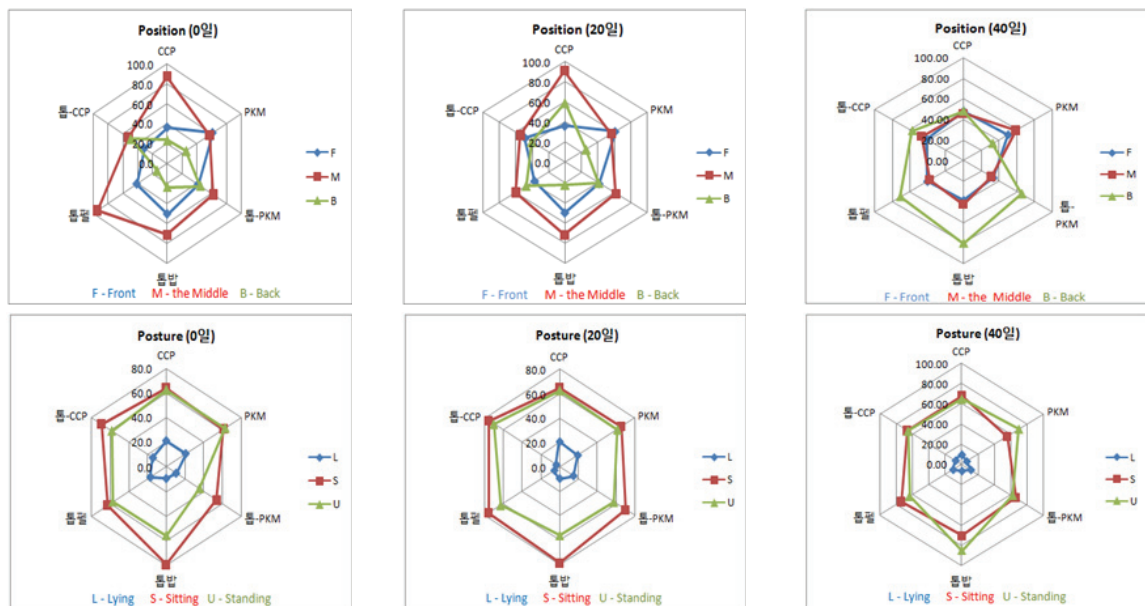


그림 8. 다양한 재료를 깔짚으로 적용한 우사에서 깔짚 사용기간에 따른 한우의 행동변화.

3. 연구 3 : 파쇄옥수수대를 깔짚으로 이용한 우분의 퇴비제조 기술개발

깔짚 사용기간 중 옥수수대 펠렛의 수분함량은 빠르게 증가하여 2주 이후 60%를 상회하였으며, 이후 톱밥보다 높은 함량을 나타내었다. 옥수수대 펠렛의 수분함량이 톱밥보다 높은 것은 수

분함량이 높아진 후 옥수수대 펠렛이 톱밥보다 점도가 높아 통기성이 불량해져서 수분의 증발량이 낮은 것에 기인하는 것으로 판단되었다. 따라서 통기성의 확보를 위하여 일정량의 톱밥과 혼합하여 사용하는 것이 좋을 것으로 판단되었다.

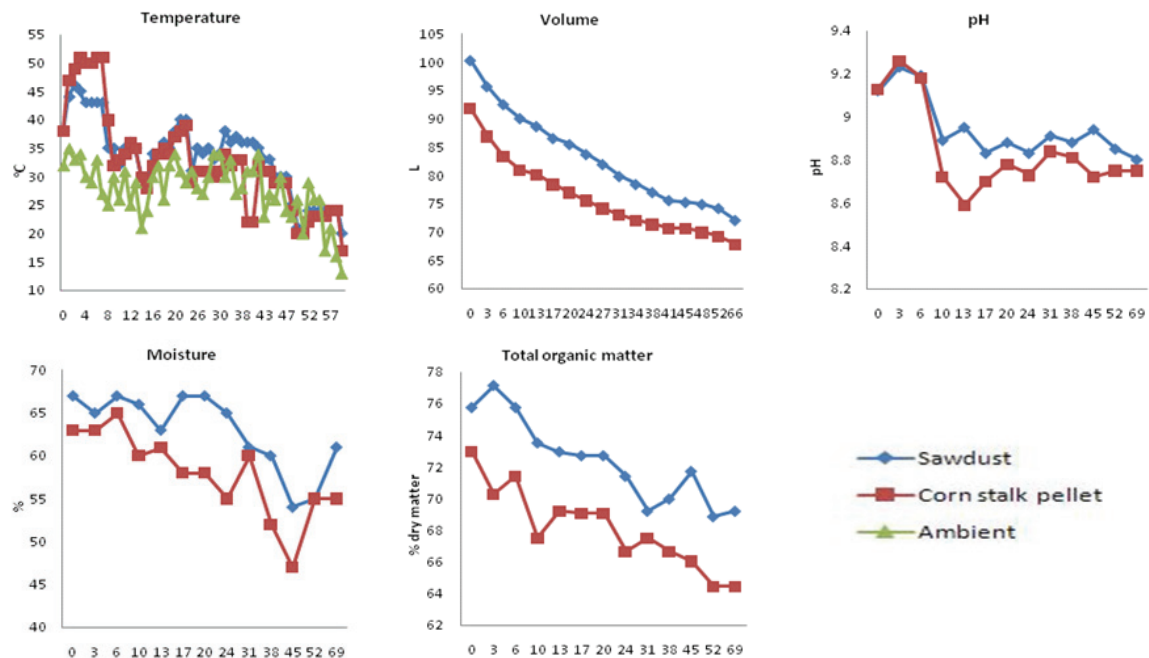


그림 9. 파쇄옥수수대를 깔짚으로 사용한 우분의 퇴비화 특성.

12주간 깔짚으로 사용한 톱밥의 성상은 비교적 작은 알갱이를 형성하고 있는데 반해 옥수수대 펠렛은 큰 덩어리를 형성하였다. 이는 옥수수대 펠렛이 깔짚으로 사용되는 동안 분해가 되는 과정에서 점도가 높아져 큰 덩어리를 형성한 것으로 판단된다.

Pilot-scale의 발효조를 이용한 옥수수대 펠렛의 퇴비화 실험에서 옥수수대 펠렛 깔짚 퇴비단의 온도 상승이 원활하지 않은 단점이 노출되었다.

온도가 상승하지 않은 이유는 옥수수대 펠렛 깔짚의 점도가 높아 수거시 큰 덩어리를 형성한 관계로 덩어리 내부로 송풍한 공기가 들어가지 않아 호기발효 미생물에게 공급되어야 할 산소가 부족하여 미생물의 대사활동이 원활하지 못하였고 따라서 발효열이 생성되지 않았기 때문으로 판단되었다. 퇴비화 개시 전에 덩어리를 파쇄할 필요가 있을 것으로 판단되며, 옥수수대 펠렛을 깔짚으로 사용할 시에는 퇴비화 공정을 고려하여 톱밥을 일정 비율로 혼합하여 사용할 필요가 있을 것으로 판단되었다.



(톱밥)



(파쇄옥수수대)

그림 9. 톱밥과 파쇄옥수수대를 깔짚으로 사용한 우분의 물리적 특성.

표 4. 파쇄옥수수대(펠릿)의 깔짚적용 및 우분퇴비의 이화학적 특성

항목	톱밥	옥수수대 펠릿	항목	톱밥	옥수수대 펠릿
유기물	33.58	34.82	수은(mg/kg)	불검출	불검출
유기물대질소비	33.25	27.84	아연(mg/kg)	202.67	201.19
질소(%)	1.01	1.25	니켈(mg/kg)	4.65	4.98
인산(%)	1.15	1.26	염분(%)	1.06	1.36
加里(%)	1.5	1.7	수분(%)	51.61	46.82
납(mg/kg)	7.11	9.19	pH	9.35	9.16
카드뮴(mg/kg)	0.31	0.27	EC(dS/m)	4.98	5.09
구리(mg/kg)	66.01	70.22	MgO(%)	0.59	0.71
크롬(mg/kg)	11.94	14.91	CaO(%)	1.26	1.44
비소(mg/kg)	불검출	불검출			

표 5. 파쇄옥수수대의 깔짚적용 및 이를 이용한 우분퇴비의 제조

구분	항목	적용	비고
깔짚적용	톱밥혼용비율	옥 1 : 톱 1	
	깔짚적용량	25kg건물/m ²	
	사용일수	40일(봄, 가을기준)	
퇴비제조공정	송풍량 및 일수	150L/m ³ /hr, 14일	
	후숙기간	40일 이상	
경제성	원재료가격	180원/kg건물	톱밥:150원/kg건물
	예상퇴비가격	톱밥우분퇴비의140%	

4. 적 요

파쇄 옥수수대를 축분 퇴비화에 필요한 수분조절재로 활용하기 위하여 물리, 화학적 특성을 구명하고 축분 발효건조 퇴비제조 공정에 적용할 제반기술을 개발하고 그 경제성을 분석하였다.

파쇄옥수수대의 물리적, 화학적 특성을 평가한 결과, 톱밥보다 입자도, 수분흡수율, 용적중 및 통기성이 양호하였으며, 이분해성의 유기물 함량이 높았고, 유해중금속의 함량은 퇴비화 미생물의 발효에 영향을 미치지 않을 수준으로 평가되었다.

파쇄옥수수대를 돈분퇴비 제조용 수분조절재로 사용할 경우 톱밥에 비하여 발효성상이 양호하고, 퇴비의 품질도 우수한 것으로 나타났으나 발효과정에서 통기성이 불량해지는 경향이 나타나 톱밥과 2 : 1의 비율로 혼합하여 사용하는 것이 바람직한 것으로 평가되었다.

파쇄옥수수대를 한우 깔짚으로 사용한 결과, 관행의 깔짚 재료들에 비하여 사용기간이 길어짐에 따른 이화학적 성상의 변화나 동물의 행동에 부정적인 영향을 미치지 않았다.

파쇄옥수수대를 한우의 깔짚으로 사용한 우분은 점도가 높아서 덩어리를 형성하는 경향이 있음. 이로 말미암아 송풍이 원활하지 못하여 퇴비화에 어려움이 있었다. 따라서 옥수수대 펠릿을 깔짚으로 사용할 경우에는 퇴비화 공정을 고려하여 톱밥을 일정 비율(약 50%)로 혼합하여 사용할 필요가 있을 것으로 판단되었다.

〈제9세부과제〉 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가실증

1. 기체용해탱크의 기체용해효율

Fig. 19에는 기체용해탱크와 일반가압탱크 그리고 내부에 노즐 등을 설치한 가압탱크에서의 공기용해효율을 비교하기 위한 실험 장치이다.

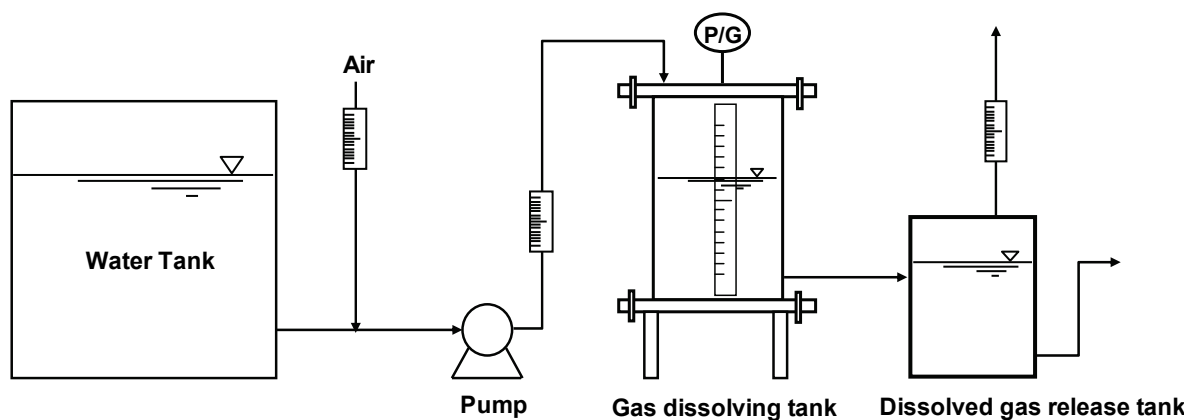


Fig. 19. 공기용해효율 측정 장치 구성도.

비교 실험은 수온 15 °C의 물을 이용하였고, 이때 수중 DO는 6 mg/L 이었다. 기체용해탱크 내부 상부에 분사노즐 및 충돌판을 설치한 packed tank 형태, 기체용해탱크 내부에 아무것도 설치하지 않은 unpacked 형태 그리고 본 신청기술의 액막화 장치를 설치한 형태로 구분하여 실험을 실시하였다. 반응탱크의 사이즈는 동일하게 하여 압력변화에 따른 공기용해율을 비교하였다.

Fig. 20에는 온도 및 압력에 따른 이론공기용해량을 나타내었다. 15 °C에 있어서 이론공기용해량은 절대압 2 kg/cm²에서 54.3 mg/L이었고, 압력 증가에 따라 용해량도 비례하여 증가하며 6 kg/cm²에서는 161.3 mg/L로 보고되고 있다.

Fig. 20에는 Fig. 19의 이론공기용해량과 각 가압탱크를 이용한 공기용해율을 비교한 결과를 나타내었다. 여기서 공기용해율은 이론공기용해량과 비교하기 위하여 실험수에 포함된 공기량을 포함한 결과를 나타내었고, 이론공기용해량과의 비교하기 위하여 운전압력은 절대압력으로 변화하여 표시하였다.

각 절대압력(운전압력+1)에 있어서 이론공기용해량과 비교실험결과, 압력 3 kg/cm²에서 packed tank의 공기용해량은 61.6 mL/L이었고, unpacked tank는 39.5 mL/L이었으며, 기체용해탱크는 73.9 mL/L로 이론공기용해량 75.0 mL/L과 거의 유사한 결과를 얻어, 기체용해탱크의 경우 이론공기용해량의 98.6% 정도까지 공기 용해가 가능하였다. 압력증가에 따라 각 가압탱크에 있어서 공기용해량은 약간씩 감소하는 경향을 나타내었으며, 압력 6 kg/cm²에서 이론공기용해량이 149.4 mL/L인 것에 비해 packed tank는 이론공기용해량의 84.5% 정도로 용해되어 126.3 mL/L이었으며, unpacked tank는 용해량이 64.1 mL/L로 이론공기용해량의 44.5%를 나타내었다.

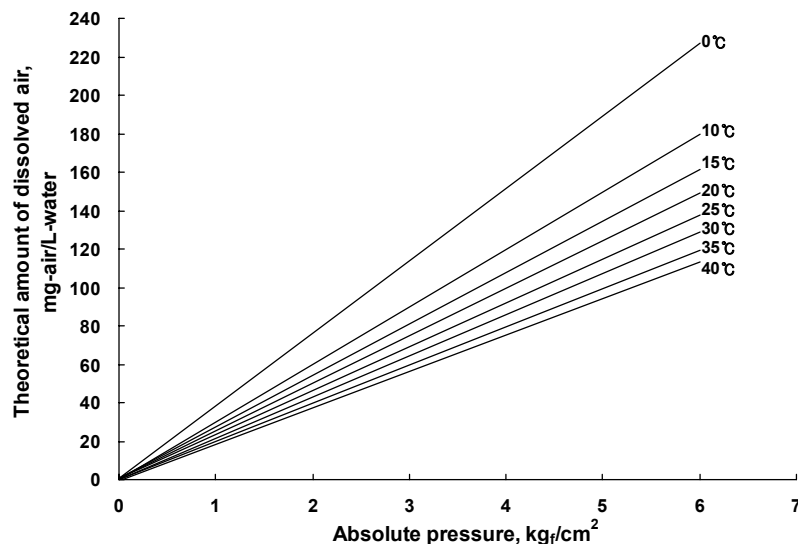


Fig. 20. 온도 및 압력에 따른 이론공기용해량.

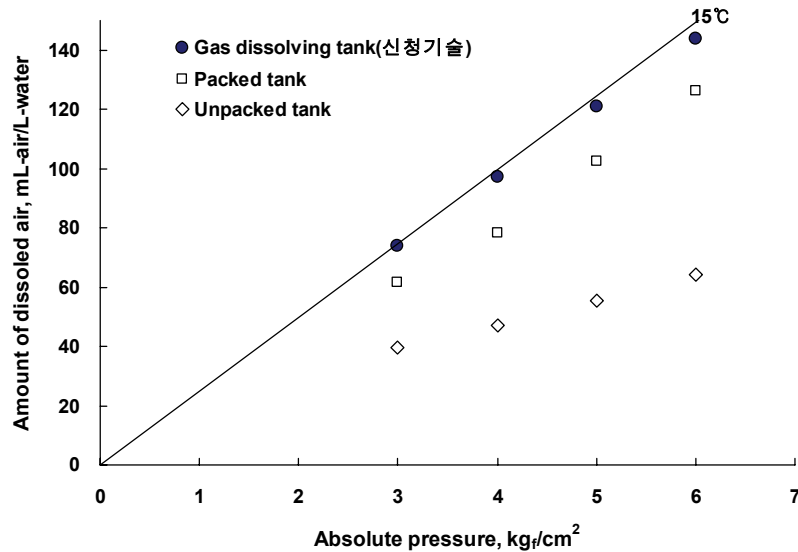


Fig. 21. 이론공기용해량과 각 가압탱크의 공기용해율 비교.

한편, 본 연구에 사용된 기체용해탱크는 압력증가에 따라 이론공기용해량과 약간의 차이만 발생하였고, 4 kgf/cm²에서 97.2 mL/L, 5 kgf/cm²에서 121.0 mL/L, 6 kgf/cm²에서 144.0 mL/L로 이론공기용해량과 비교하면 각각 97.4%, 97.1% 및 96.4%로 거의 이론적인공기용해량에 상응하는 용해효율을 나타내었다.

Table 2에는 이론공기용해량과 각 가압탱크를 이용하여 공기용해율을 비교한 결과를 정리하여 나타내었다.

Table 2. 이론공기용해량과 각 가압탱크의 공기용해율 비교

절대압력 ¹⁾ (kgf/cm²)	이론공기용해량 (mL/L)	Packed tank ²⁾ (mL/L)	Unpacked tank ³⁾ (mL/L)	Gas dissolving tank (신청기술) (mL/L)
3	75.0	61.6	39.5	73.9
4	99.8	78.2	46.9	97.2
5	124.6	102.4	55.4	121.0
6	149.4	126.3	64.1	144.0

1) 절대압력은 운전압력(게이지압력)에서 1 kgf/cm²이 증가된 압력

2) Packed tank : 가압탱크에 공기용해효율 증대를 목적으로 노즐 혹은 충돌판 등을 설치한 가압탱크

3) Unpacked tank : 일반가압탱크로 탱크 내부에 공기용해효율 증대를 위해 설치한 구조 물이나 장치가 없는 일반적 형태의 가압탱크

2. 마이크로버블 생성 모듈의 생성기포 사이즈

마이크로버블 모듈에 의해 발생된 기포의 사이즈를 측정하기 위해 수조내에 마이크로버블을

생성시키고 일정시간 정지한 후 조내의 격벽을 설치 격벽을 통과하여 부상하는 기포를 최대 500 배의 CCD microscope(Moritex, Japan)를 사용하여 촬영하였다. 촬영된 영상으로부터 기포의 직경 및 부상속도를 측정하였다.

한편, 수중에서 기포는 밀도차에 의해 어느 정도의 상승속도를 갖게 된다. 기포의 체류시간은 용해효율에 크게 영향을 미치게 되며, 기포의 입자가 작으면 작을수록 수중에서의 체류시간은 길 어지며 그 만큼 용해효율은 증가하게 된다. 입자의 운동 방정식은 기포의 경우, 관성력=부력-중 력-저항력(마찰력)으로 나타나며 식 (1.8)과 같이 정의 된다.

$$V_p \cdot \rho_p \cdot \frac{dv}{dt} = V_p \cdot \rho_w \cdot g - V_p \cdot \rho_p \cdot g - \frac{1}{2} C_D \cdot A_p \cdot \rho_p \cdot v^2 \dots\dots\dots (1.8)$$

식 (1.8)에서 기포의 직경을 d_p 라 하면,

$$\frac{\pi d_p^3}{6} \cdot \rho_p \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{\pi d_p^3}{6} \cdot \rho_w \cdot g - \frac{\pi d_p^3}{6} \cdot \rho_p \cdot g - \frac{1}{2} C_D \cdot \frac{\pi d_p^2}{4} \cdot \rho_p \cdot v^2 \dots\dots\dots (1.9)$$

wherein, v = terminal velocity, m/sec

ρ_p = mass density of particle, kg/m³

ρ_w = mass density of fluid, kg/m³

g = acceleration due to gravitation, 9.81 m/sec²

d_p = diameter of particle, m

V_p = volume of particle, m³

A_p = sectional area of particle, m²

C_D = dimensionless drag coefficient

그리고, drag coefficient C_D 는 다음과 같이 정의 된다.

$$1 > R_e : C_D = \frac{24}{R_e} = \frac{24\mu}{v\rho_p d_p}$$

$$1 < R_e < 1,000 : C_D = \frac{24}{R_e} + \frac{3}{R_e^{0.5}} + 0.34 \text{ or } = \frac{18.5}{R_e^{0.5}}$$

$$R_e > 1,000 : C_D = 0.34 \text{ to } 0.40$$

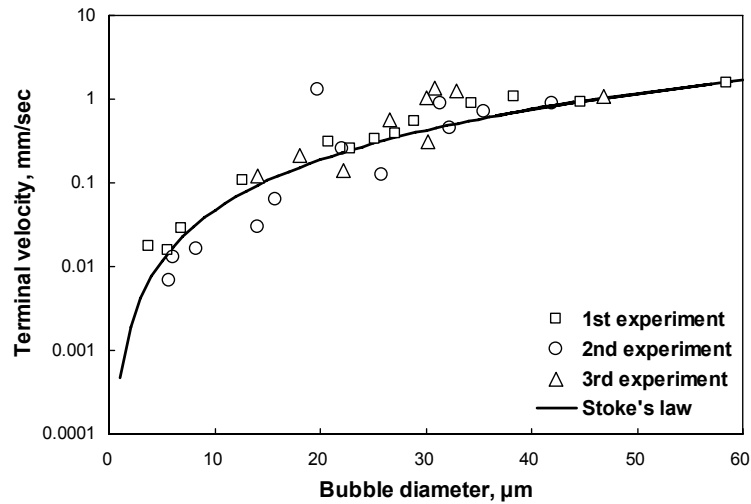


Fig. 22. 마이크로버블의 직경과 종단속도와의 관계.

여기서, 발생된 기포입자는 laminar flow에서 부상한다고 가정하면, 식 (1.9)의 좌변은 “0”이 된다. 따라서 기포의 운동방정식을 이용하고 기포의 여러 가지 직경에 대한 점성저항, 관성저항을 고려하여 종단속도에 이를 때까지의 시간 등을 구하여, 실험에서 얻어진 값과 비교하였다. 그 결과를 Fig. 22에 나타내었다.

Fig. 23에는 실제 버블입자 사진을 나타냈었다. CCD microscope에 의해 촬영된 사진은 CCD 카메라 부근만 촬영이 가능하였고, 생성된 마이크로버블 부상속도에 비해 확대 배율이 높아 버블의 정확한 사이즈를 판별하기는 어려우나, 약 40 μm 이하의 입자가 많은 것으로 관측된다.

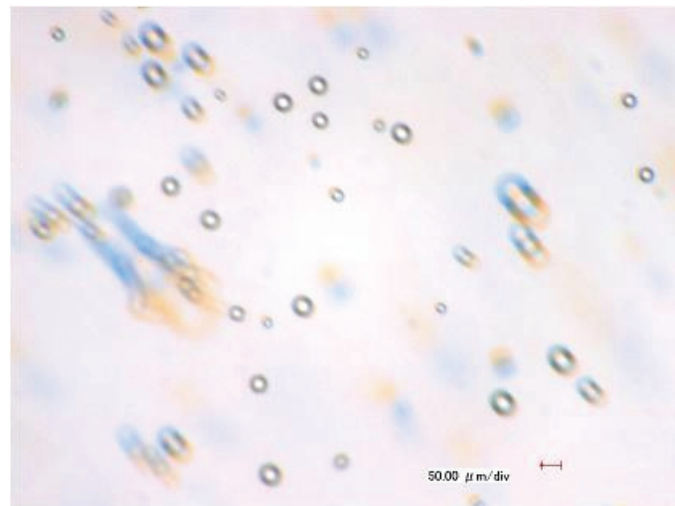


Fig. 23. CCD microscope로 촬영한 마이크로버블 입자.

3. 마이크로버블 부상조에서의 생성 기포량

부상조에서 기포의 공급량과 기포의 농도는 부상조에서 가장 중요한 운전인자중의 하나이며, 미세기포의 발생량은 공기를 이상 기체로 가정하면 물에 대한 공기의 몇 가지 기초적 이론으로 설명되며 기체의 액체에 대한 용해도는 식 (1.10)의 Henry의 법칙으로 설명되며, 비반응성 기체의 용해도는 그 분압에 정비례한다.

$$P_g = K_H \cdot X_g \dots\dots\dots (1.10)$$

P_g : 기체의 용해농도 압력(kPa)

K_H : Henry 상수

X_g : 용해된 기체의 몰분율(mole fraction)

$$= \frac{\text{mole gas}}{\text{mole gas} + \text{mole liquid}}$$

기체의 용해도는 온도, 총용존고형물, 기체의 성상에 따라 영향을 받으며, 일반적으로 최대 용해도는 순수한 기체가 낮은 온도에서 용해될 때 발생한다.

식 (1.10)로부터 가압조에서 용해된 공기가 대기압하로 방출되었을 때 단위부피당 방출되는 공기 질량농도 C_a (mg/L)를 구하는 방법은 Henry의 법칙을 기초로하여 부상조의 용존공기가 포화되고 발생하는 과정을 표현하는 공식으로 발전시킬 수 있으며, 기체포화에 관계되는 공식은 다음과 같다.

$$C_r = f \cdot \frac{P_g}{K_H} \dots\dots\dots (1.11)$$

C_r : 공기의 질량농도(mg/L)

f : 효율

P_g : 대기압과의 압력차(atm)

식 (1.11)에서 가압탱크의 효율을 구할 수 있는 Table 3에 의하면 f 는 가압탱크의 형식에 따라 다음과 같다.

Table 3. 일반적인 공기 가압탱크의 효율

가압조 시스템	효율 Factor(f)	
	범위	일반적인 값
펌프 교반에 의한 공기주입	0.4~0.6	0.5
공기 추출	0.6~0.7	0.6
Unpacked tank*	0.4~0.6	0.5
Packed tank**	0.6~0.8	0.7

* Unpacked tank : 일반가압탱크로 탱크 내부에 공기용해효율 증대를 위해 설치한 구조물이나 장치가 없는 일반적 형태의 가압탱크

** Packed tank : 가압탱크에 공기용해효율 증대를 목적으로 노즐 혹은 충돌판 등을 설치한 가압탱크

가압탱크(Saturator)내에 녹아있는 공기의 농도 C_s 는 다음 식 (1.12)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$C_s = \frac{6.89f(P_g + 14.7)}{K_H} \dots\dots\dots (1.12)$$

C_s : 가압조내 재순환된 공기의 농도(mg/L)

f : 효율

P_g : 가압조내의 압력(psig)

식 (1.12)에서 부상조내에서 발생하는 공기의 농도(C_r)를 다음 식을 이용하여 구한다.

$$C_r = \frac{(C_s - C_a)R_r - k}{1 + R_r} \dots\dots\dots (1.13)$$

C_r : 부상조에서 발생하는 기체의 농도(mg/L)

C_a : 대기압하에서 용액속에 남아있는 기체의 농도(mg/L)

R_r : 재순환율(Q_r :재순환 유량(m^3/s), Q_0 :유입유량(m^3/s)), $R_r = Q_r / Q_0$

k : 유입수의 포화 factor, $k = C_a - C_0$ (C_0 :유입수중의 기체농도)

일반적인 경우 유입수의 포화도는 대기압과 상온에서의 포화도($C_0=C_a$)와 거의 같은 값이므로 $k=0$ 가 된다. 부상공정은 입자-기포의 충돌에 의해 영향을 받기 때문에 발생한 기포의 체적은 기포체적 농도 혹은 기포수 농도로 환산하여 고려하는 것이 효과적이다.

기포체적농도(ϕ)는 일정한 온도를 가정하여 일반적으로 ppm 단위로 표현되며 다음과 같다.

$$\phi_b = \frac{C_r}{\rho_{sat}} \dots\dots\dots (1.14)$$

ϕ_b : 기포체적농도(ppm)
 ρ_{sat} : 포화공기의 밀도(mg/cm³)

공급되는 가압수의 단위 부피당 석출되는 기포의 개수를 의미하는데 석출되는 기포의 단일지름을 d_b 라 하고, 기포수농도(N_b)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_b = \frac{6\phi_b}{\pi \cdot d_b^3} \dots\dots\dots (1.15)$$

N_b : 기포수농도(Numbers/mL)
 d_b : 기포직경(m)

일반적으로 d_b 는 10~120 μm 범위이고 평균 직경은 40 μm 정도이다. 본 신청기술의 경우에는 30 μm 이다. 기포의 평균 직경은 압력이 증가하고 유량이 증가할수록 감소하는 것으로 알려져 있으나, 과도한 압력증가는 거대 직경의 입자도 동시에 생성한다. 그리고 노즐의 형상에 따라 영향을 받으며, 일반적으로 가압조내에서 용해된 공기량의 95% 이상이 기포로 석출되는 것으로 보고되고 있다.

본 실험에 적용된 마이크로버블 부상조의 경우, 부상처리 단계의 인자는 다음과 같이 계산된다. 수온 15 $^{\circ}\text{C}$ 를 기준으로 하면, 공기의 밀도는 1.22 kg/L, Henry 상수는 4.075 kPa/mg · L이다. 장치의 포화효율(f)은 1로 계산하였으며, 운전압력은 2.5 kgf/cm², 순환비는 20%로 하였다.

Table 4. $P_g=2.5 \text{ kgf/cm}^2$ 에서 신청기술의 공기질량농도, 기포체적농도, 기포수

온도 ($^{\circ}\text{C}$)	공기밀도 (mg/cm ³)	Henry상수 (kPa/mg · L)	순환비 (%)	C_r (mg/L)	ϕ_b (ppm)	N_b (No./mL)
15	1.22	4.075	10	9.727	7,973	564,273
			20	17.833	14,617	1,034,500
			30	24.692	20,240	1,432,385
			40	30.571	25,058	1,773,429
			50	35.667	29,234	2,069,000

(계속)

온도 (°C)	공기밀도 (mg/cm ²)	Henry상수 (kPa/mg · L)	순환비 (%)	C_r (mg/L)	ϕ_b (ppm)	N_b (No./mL)
25	1.18	4.989	10	8.273	7,010	496,163
			20	15.167	12,853	909,633
			30	21.000	17,797	1,259,491
			40	26.000	22,033	1,559,370
			50	30.333	25,706	1,819,265

본 장치의 기체용해탱크내의 공기농도와 마이크로버블 생성후의 공기농도는 각각 134.5 mg/L 과 27.5 mg/L이므로,

$$C_s = 134.5 \text{ mg/L}$$

$$C_a = 27.5 \text{ mg/L 이다.}$$

따라서, 공기의 질량농도(C_r)은 35,667 mg/mL가 된다.

기포체적농도(ϕ_b)는 식 (1.14)와 같이 다음과 같이 계산된다.

$$\phi_b = \frac{C_r}{\rho_{sat}} = 29,235 \text{ ppm}$$

그리고, 기포수농도(N_b)는 다음과 같으므로,

$$N_b = \frac{6\phi_b}{\pi \cdot d_b^3} = 2.069 \times 10^{12} / m^3 = 2,069,000 / mL$$

이상의 결과를 참고문헌과 비교 · 정리하여 Table 4와 Table 5에 나타내었다.

Table 5. $P_g = 4.93 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ (483 kPa)과 포화효율 70% 일 때의 기체발생농도, 체적과 밀도

온도 (°C)	공기밀도 (mg/cm ²)	Henry상수 (kPa/mg · L)	순환비 (%)	C_r (mg/L)	ϕ_b (ppm)	N_b (No./mL)
0	1.29	2.719	2	2.22	1,720	51,200
			5	5.38	4,170	124,000
			8	8.37	6,490	194,000
			10	10.27	7,960	238,000
			15	14.74	11,400	341,000

(계속)

온도 (°C)	공기밀도 (mg/cm ²)	Henry상수 (kPa/mg · L)	순환비 (%)	C_r (mg/L)	ϕ_b (ppm)	N_b (No./mL)
4	1.27	3.021	2	1.99	1,570	46,800
			5	4.84	3,810	114,000
			8	7.53	5,930	177,000
			10	9.25	7,280	217,000
			15	13.27	10,400	312,000
20	1.19	4.179	2	1.44	1,210	36,000
			5	3.50	2,930	87,500
			8	5.45	4,560	136,000
			10	6.68	5,600	167,000
			15	9.59	8,030	240,000
25	1.17	4.531	2	1.33	1,140	33,900
			5	3.23	2,760	82,300
			8	5.02	4,290	128,000
			10	6.16	5,270	157,000
			15	8.84	7,560	225,000

※ AWWA, 1992년 자료

4. 가축분뇨 원수를 대상으로 한 고액분리기 성능 평가

원수의 SS 농도가 높아, A/S비 조정을 위해서는 공기공급이 과도하게 많아지게 되며 장치가 거대해 진다. 따라서 본 실험에서는 장치를 소규모로 하고 부상효율을 증대시키기 위해 응집보조제인 전하중화제를 이용한 회분식 실험을 실시하였다.

전하중화제의 투입은 별도의 응집장치가 필요 없어 장치가 간단해 지고, 소규모화가 가능한 장점을 가지고 있다. 일반적인 가압부상장치(고액분리기)에서는 전하중화제만으로 부상효과를 얻을 수 없으나, 본 마이크로버블 고액분리장치의 경우에는 마이크로버블이 음전하를 띄고 있어, 전하중화제의 투입만으로도 충분한 효과를 나타내고 있다. 전하중화제의 투입은 원수의 성상변화를 일으키지 않고, 후단의 생물학적처리나 액비 생산에도 영향을 미치지 않는 장점이 있으며, 일반적인 응집제 투입량보다 소량 투입으로 충분한 효과 기대할 수 있다.

Fig. 24에는 전하중화제 투입량에 따른 SS 제거 변화량을 나타내었다. 전하중화제 0.5% 투입으로 고액분리효율을 최대 95%까지 처리 가능하였다. 응집제의 경우에는 동일량의 처리효율을 얻기 위해서는 약 1.8% 정도의 응집제가 소요되며, 추가적으로 pH 조정을 위한 NaOH 등의 추가 투입도 필요하다.

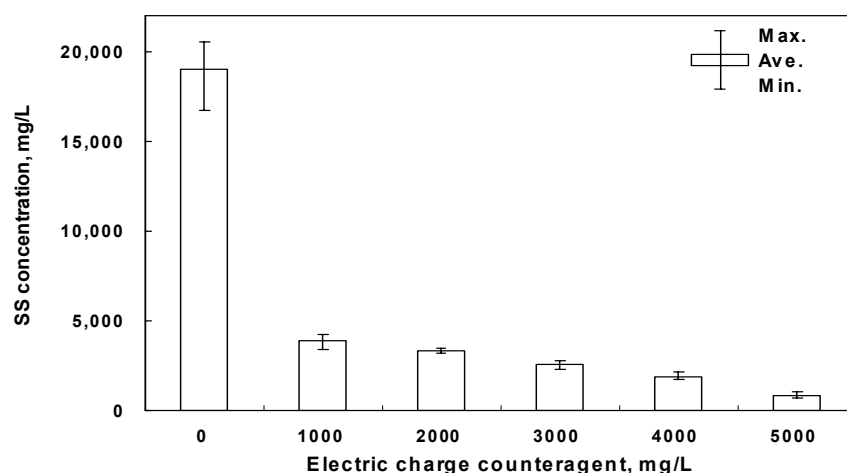


Fig. 24. 전하중화제 투입량에 따른 SS 제거 변화.

5. 생물학적 처리수를 대상으로 한 고액분리기 성능 평가

Table 6에는 생물학적 처리수를 대상으로 한 고액분리기의 운전 결과를 정리하여 나타내었다. 고액분리기의 운전조건은 운전압력 2.5 kgf/cm², A/S비 0.015, 순환비 3.1로 설정하여 운전하였다.

SS의 경우 유입수의 평균 2,000 mg/L이었고, 처리수의 경우 33 mg/L을 나타내어 평균 제거율이 98.4%를 나타내었다. BOD의 경우에도 평균 제거율이 82.4%로 아주 높은 효율을 나타내었다. 특히 용해성 T-N의 경우 유입수 평균 271 mg/L이었고, 처리수 평균 170 mg/L로 약 37.3%를 나타내어서 용해성 물질의 제거율도 상당히 높은 결과를 나타내었다.

Table 6. 고액분리기 운전결과

항 목		생물처리수(폭기조4)	고액분리 후
SS	mg/L	2,000	33
BOD	mg/L	17	3
Na ⁺	mg/L	155	127
K ⁺	mg/L	1,163	989
Mg ²⁺	mg/L	137	66
Ca ²⁺	mg/L	226	84
NH ₄ ³⁺ -N	mg/L	29	5
NO ₂ ²⁻ -N	mg/L	N.D.	N.D.
NO ₃ ²⁻ -N	mg/L	242	165
용해성 T-N	mg/L	271	170
PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	65	134
SO ₄ ²⁻	mg/L	229	594
Cl ⁻	mg/L	852	869

Fig. 25에는 유입유량의 변동에 따른 고부하 운전 조건에서의 SS 제거율 변화를 나타내었고, Fig. 26에는 유입유량 변동에 따른 BOD 제거율 변화를 나타내었다. 농가 특성상 비연속적 운전이 많아 일시적으로 고액분리기 유입유량 변동이 심한 경우가 많다. 따라서 유입유량의 변동에 따른 고액분리기의 효율 평가를 실시하였다.

Fig. 25에서 10 m³/hr는 최초 설시시의 설계 유량으로 이때 SS 제거율은 평균 98.5%를 나타내었다. 동일한 고액분리기를 대상으로 유입유량을 140% 증가하였을 경우, SS의 제거율은 평균 97.6%로 조사되었고, 유입유량이 180% 증가한 경우에도 SS 제거율은 평균 95.4%로 상당히 높은 제거율을 유지하는 것으로 조사되었다.

유입유량 변동에 따른 BOD 제거율 변화는 설계 유량 유입시 83.2%의 평균 제거율을 나타내었고, 유입유량이 140%로 증가한 경우에는 80.7%로 약간 감소하였고, 유입유량이 180%로 설계유량의 1.8배 많이 유입된 경우에는 78.3%를 나타내었다.

이와 같이 본 연구에 사용된 고액분리기의 경우 농가에서 일시적으로 많은 유량을 처리하더라도 처리효율에 있어서는 큰 변화 없이 일정 수준의 처리효율을 얻을 수가 있었다. 이러한 결과는 축산농가의 현실을 감안할 때, 단순히 처리효율뿐만 아니라 현장 상황에 적합한 처리 시설의 도입이 필요한 것으로 판단된다.

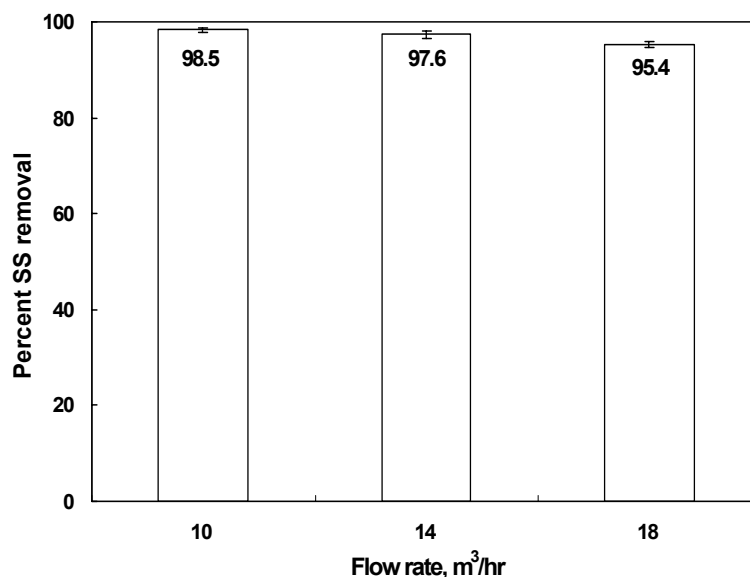


Fig. 25. 유량변동에 따른 SS 제거율 변화.

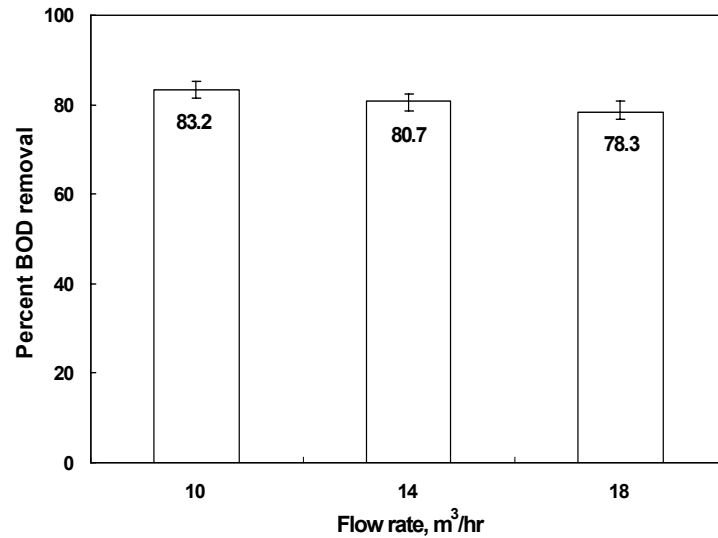


Fig. 26. 유량변동에 따른 BOD 제거율 변화.

현장운전관리 측면에서의 본 고액분리기는 A/S(공기/고형물)비 조정을 위한 예비 운전시간이 불필요하고, 상시 가압탱크내에 다량의 공기를 포함하는 가압수가 준비되어 즉시 운전이 가능한 장점을 가지고 있다. 또한 운전조작에 있어서는 고액분리기 운전시 "ON", 정지시 "OFF" 버튼의 조작만으로 운전이 가능하여 비 숙련자도 충분한 운전이 가능하다. 세부적인 운전조작 변경도 가능하여 현장 상황에 맞는 운전조건을 설정할 수 있다. 유지관리면에서는 고농도의 액상분뇨를 처리하는 고액분리기임에도 불구하고 마이크로버블 발생장치의 막힘 현상 등이 발생하지 않아 유지관리가 편리한 장점이 있다.

6. 탈기에 의한 액막식 산소 공급 효율

탈기에 의한 산소 공급(액막식 산소 공급) 효율과 일반 포기 장치와의 산소용해효율을 비교하기 위한 초기 실험 조건을 Table 7에 나타내었다.

Table 7. 액막식 산소공급에 의한 산소용해 효율의 실험조건

	탈기에 의한 액막식 산소공급	일반 포기
초기 DO (mg/L)	0.10	0.32
수온 (°C)	16.4	16.6
포화 DO 농도 (mg/L)	9.85	9.89
포기량 (L/min)	6.0	6.0
수조 용량 (L)	80	80
에어스톤 깊이 (m)	0.63	0.63

Fig. 27에는 액막식 산소공급과 일반 포기조건에서 약 40분간 수중의 DO 농도를 측정한 결과

를 나타내었다. 탈산소수에 대해 초기 10분간은 두 조건에서 거의 같은 DO 농도를 유지하였으나, 5분 이후부터 액막식 산소 공급방법에서 DO 공급량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이후 포기시간 35분 이후에는 수중 DO가 거의 포화가 되어 같은 농도를 유지하는 것을 알 수 있었다. 두 조건에서 포화농도까지 도달하는 시간을 비교하면 액막식 산소공급의 경우에는 25분이 소요되었고, 일반 포기의 경우에는 33분이 소요되는 것으로 나타나, 액막식 산소공급이 일반 포기보다 효율이 좋은 것으로 조사되었다.

총괄 산소이동 용량계수 K_La 의 계산을 위해 수조내의 탈산소수를 일정 조건하에서 포기하면 수조내의 용존산소농도는 시간의 경과와 함께 대수곡선적으로 증가한다. 이 비정상상태의 농도 변화를 다음과 같이 표시한다.

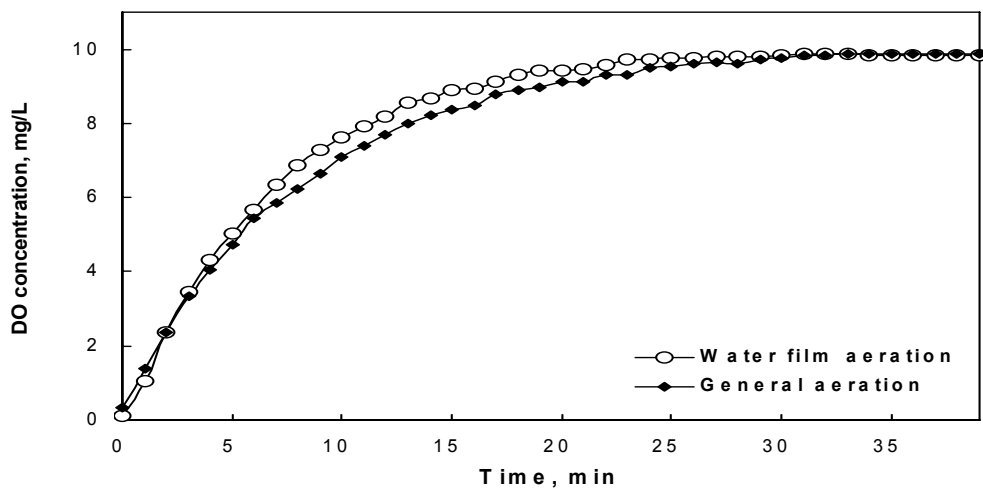


Fig. 27. 액막식 산소공급과 일반 포기시의 DO 농도 변화.

$$\frac{dC}{dt} = K_L a \cdot (C_s - C) \dots\dots\dots (1.16)$$

식 (1.16)을 적분하고, 농도와 K_La 에 대해 정리하면 다음과 같이 된다.

$$C = C_s(1 - e^{-K_L a \cdot t}) \dots\dots\dots (1.17)$$

$$K_L a = \frac{2.303}{t_2 - t_1} \cdot \log \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} \dots\dots\dots (1.18)$$

wherein, C = 수조내의 용존산소농도, mg/L
 t = 포기시간, hr
 C_1, C_2 = 측정시각 t_1, t_2 에 있어서 용존산소 농도, mg/L

또, 액체의 온도가 변하면, 분자확산계수와 점성도가 영향을 받기 때문에 $K_L a$ 가 변화게 된다. 따라서 여기서는 일반적인 상온 20 °C에 있어서 총괄 산소이동 용량계수 $K_L a_{20}$ 을 구하였다. 측정시의 수온 T °C에 있어서 $K_L a_T$ 에서 $K_L a_{20}$ 를 구하는 경우에는 다음의 식을 이용한다.

$$K_L a_{20} = 1.024^{20-T} \cdot K_L a_T \dots\dots\dots (1.19)$$

따라서 DO 측정결과에서 일반포기에 있어서의 총괄 산소이동 용량계수 $K_L a$ 는 다음과 같다.

$$K_L a = \frac{2.303}{t_2 - t_1} \cdot \log \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} = \frac{2.303}{(31-0)/60} \cdot \log \frac{9.89-0.32}{9.89-9.76} = 8.6(1/hr) \dots\dots\dots (1.20)$$

또, 상온 20 °C에서의 $K_L a_{20}$ 은

$$K_L a_{20} = 1.024^{20-T} \cdot K_L a_T = 1.024^{20-16.6} \cdot 8.6 = 9.3(1/hr) \dots\dots\dots (1.21)$$

가 되고, 액막식 산소공급법에 있어서는

$$K_L a = \frac{2.303}{t_2 - t_1} \cdot \log \frac{C_s - C_1}{C_s - C_2} = \frac{2.303}{(31-0)/60} \cdot \log \frac{9.89-0.11}{9.89-9.83} = 12.3(1/hr) \dots\dots\dots (1.22)$$

$$K_L a_{20} = 1.024^{20-T} \cdot K_L a_T = 1.024^{20-16.4} \cdot 12.4 = 13.4(1/hr) \dots\dots\dots (1.23)$$

산소용해 효율($E_A(20)$)은 식 (1.24)와 같이 계산할 수 있다.

$$E_A(20) = \frac{C_s(20) \cdot K_L a_{20} \cdot V \times 10^{-3}}{G_s(20) \cdot \delta} \times 100(\%) \dots\dots\dots (1.24)$$

wherein, $K_L a(20)$ = 20 °C에서의 총괄산소이동용량계수, 1/hr

$C_s(20)$ = 20 °C에서의 포화용존산소농도, mg/L

$G_s(20)$ = 20 °C, 1기압하에서의 통기량, m³/hr

V = 수조의 유효용적, m³

δ = 20 °C, 1기압에서의 공기중 산소밀도, 0.277 kg O₂/m³ air

이상에서와 같이 일반포기의 산소용해 효율은

$$E_A(20) = \frac{9.75 \times 9.3 \times 0.08 \times 10^{-3}}{6 \times 60 \times 1000 \times 0.277} \times 100(\%) = 7.0(\%) \quad \dots\dots\dots (1.25)$$

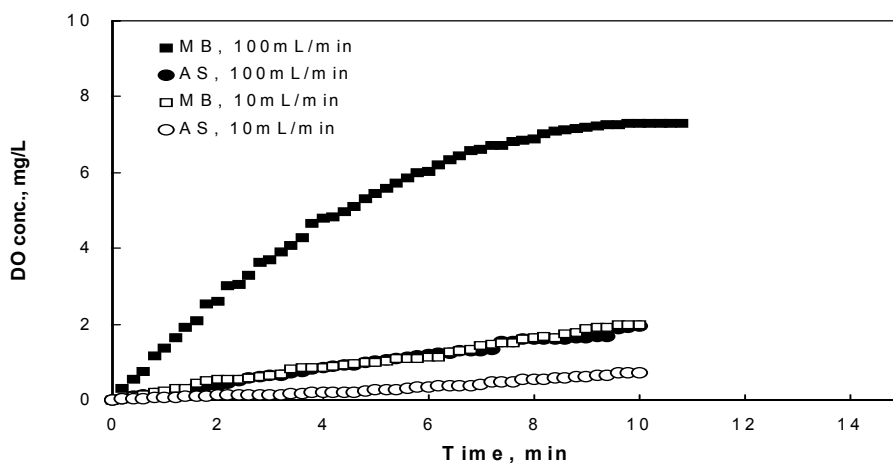
액막식 산소공급법에 의한 산소용해 효율은

$$E_A(20) = \frac{9.48 \times 13.4 \times 0.08 \times 10^{-3}}{6 \times 60 \times 1000 \times 0.277} \times 100(\%) = 10.2(\%) \quad \dots\dots\dots (1.26)$$

이상의 결과와 같이 포기효율의 기본적인 지표가 되는 산소용해 효율(E_A)을 계산한 결과 일반 포기 $E_A(20)$ 은 7.0%이고, 단순 탈기에 의한 액막식 산소공급법의 $E_A(20)$ 은 10.2%의 결과를 얻었다. 따라서 탈기만의 액막식 산소공급법이 일반 포기에 비해 약 40% 이상의 포기효율이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 이 결과에서부터 대기중에 액막을 형성시켜 그 물의 액막의 내외의 공기와 접촉시키는 것에 의해 산소용해 효율을 높일 수 있는 액막식 산소공급법의 특징을 가지고 있고, 일반 포기에 비해 그 포기효율을 개선시키는 것이 확인되었다.

7. 마이크로버블에 의한 산소 공급 효율

Fig. 28에는 산기석과 Microbubble module을 이용하여 수중에 일정량의 공기를 공급할 경우 DO 농도의 경시 변화를 나타낸 것이다. 산기석의 경우, 공기유량 10 mL/min에서 최초 10분간 약 0.73 mg/L의 DO가 증가하였다. 이에 비해 Microbubble의 경우, 공기유량 10 mL/min에서 최초 10분간 1.97 mg/L의 DO가 증가하여 산기석에 비해 2.7배 정도 높은 DO 증가량을 나타내었다. 공기유량을 100 mL/min으로 증가시켰을 경우에는 산기석에서 1.95 mg/L, Microbubble에서 7.29 mg/L로 DO 증가량이 3.7배로 더욱 크게 나타났다.

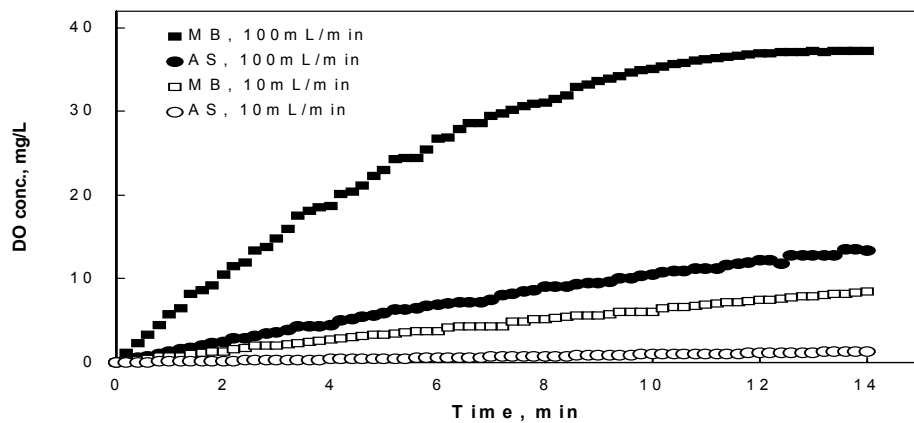


MB:Microbubble, AS:Air Stone

Fig. 28. Microbubble module과 산기석의 용존 산소 농도의 변화.

Fig. 29에는 대기중의 공기 대신에 순산소를 이용하여 산기석과 Microbubble의 DO 공급 능력을 비교하여 나타낸 결과이다. 순산소를 이용한 경우에도 일반 공기를 이용한 경우와 유사한 결과를 나타내었다. 산소유량 10 mL/min에서 산기석의 경우, DO 증가량이 1.00 mg/L이었고, Microbubble의 경우 6.02 mg/L로 일반 공기의 경우보다 DO 증가량이 현격히 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 산소유량을 100 mL/min으로 증가시킨 경우에도 DO의 증가폭은 일반 공기보다 훨씬 높았으며, 산기석의 경우가 10.55 mg/L, Microbubble의 경우가 35.17 mg/L을 나타내었다. 이와 같이 일반 공기를 이용하는 경우나 순산소를 이용하는 경우 모두에서 Microbubble을 이용하는 것이 수중의 DO를 공급하는 데 있어서 아주 효과적인 방법인 것으로 확인되었다.

Fig. 28과 Fig. 29에서 Microbubble을 이용하는 경우, 10분 이후에는 DO의 증가가 미미한 것을 확인할 수 있는데, 이러한 이유는 수중에 DO가 부족할 경우에는 산소를 공급하는 것이 문제가 되지만 수중에 다량의 산소가 공급될 경우에는 수중으로부터 대기로 방출되는 산소가 문제가 될 수 있다. Microbubble의 경우 단시간에 수중에 과량의 산소가 공급되어지기 때문에 일정시간 경과 후에는 수중의 DO 증가량이 현격히 감소하는 것으로 판단된다.



MB:Microbubble, AS:Air Stone

Fig. 29. 순산소의 용존 산소 농도의 변화.

다음은 총괄 산소이동 계수 K_La 를 이용하여 용해 속도를 결정하였다. 총괄 산소이동 계수는 식 (1.27)과 같다.

$$\frac{dC}{dt} = K_La(C_s - C) \quad \dots\dots\dots (1.27)$$

Wherein, C :시간 t 의 용존산소 농도
 K_La :총괄 물질이동 용량계수
 C_s :수도수중의 포화용존산소 농도

산소의 용해효율은 식 (1.28)과 같이 계산하였다.

$$\text{용해 효율}(\%) = \frac{\text{용해 산소량}}{\text{주입 산소량}} \times 100 \dots\dots\dots (1.28)$$

Table 8. 총괄 산소이동 계수와 용해효율

방법		기체유량(mL/min)	$K_La(h^{-1})$	용해 효율*(%)
공 기	Air stone (23 °C)	10	0.54	36.4
	Air stone (23 °C)	100	1.61	9.8
	Microbubble module (23 °C)	10	1.61	98.5
	Microbubble module (23 °C)	100	12.17	36.4
산 소	Air stone (23 °C)	10	0.14	10.5
	Air stone (23 °C)	100	1.82	11.1
	Microbubble module (23 °C)	10	1.06	63.2
	Microbubble module (23 °C)	100	9.91	36.9

* 용해 효율은 10분에서 계산하였다.

공기 용해실험에서 공기유량이 100 mL/min 일 때, 산기석의 경우 총괄 산소이동 용량계수 K_La 은 1.61 h⁻¹로 산소 용해효율은 9.8%였고, Microbubble의 경우 K_La 은 12.17 h⁻¹로 산소 용해효율은 36.4%였다. 공기유량 10 mL/min 일 때는 Microbubble의 경우 K_La 은 1.61 h⁻¹로 산기석의 공기유량 100 mL/min과 같은 결과를 나타내었고, 이 때 용해효율은 98.5%를 나타내었다. Microbubble의 공기유량 10 mL/min과 산기석의 공기유량 100 mL/min의 K_La 이 1.61 h⁻¹로 동일한 값을 나타내었고, 이러한 결과는 기포의 표면적과 상승속도의 차이로부터 공급 공기량이 10배가 차이나지만 동일한 K_La 값으로 인해 용해효율도 그대로 10배 높은 결과를 나타내었다.

산소 용해 실험에서는 산소유량 100 mL/min 일 때, 산기석의 경우 총괄 산소이동 용량계수 K_La 이 1.82 h⁻¹이었고, Microbubble의 경우 9.91 h⁻¹이었다. 산소유량 10 mL/min에서는 산기석의 경우 K_La 이 0.14 h⁻¹, Microbubble의 경우 1.06 h⁻¹로 나타나 전체적인 경향은 공기를 이용한 경우와 유사한 결과를 얻었다. 공기 용해의 경우에는 대기로부터의 용해가 문제가 되지만, 반대로 산소의 경우에는 수중에서 대기로의 방출이 문제가 된다. 공기 대신에 산소를 이용하는 경우 K_La 값이 전체적으로 감소하는 경향을 나타내었으며, 이러한 결과는 순산소 용해 상태에서 대기압하의 분압이 다르기 때문이고, 공기의 용해와 함께 수중의 산소가 대기로 방출된 효과인 것으로 생각된다. 각 실험의 K_La 값과 용해효율을 정리하여 Table 8에 나타내었다.

8. 실제 축산분뇨 처리장에서의 용존산소 변화

Fig. 30에는 일일 처리량이 $Q = 30 \text{ m}^3/\text{day}$ 인 축산분뇨처리장에서 마이크로버블 발생장치의 순환유량을 5Q로 하였을 때 생물반응조에서의 용존산소 변화량을 나타내었다.

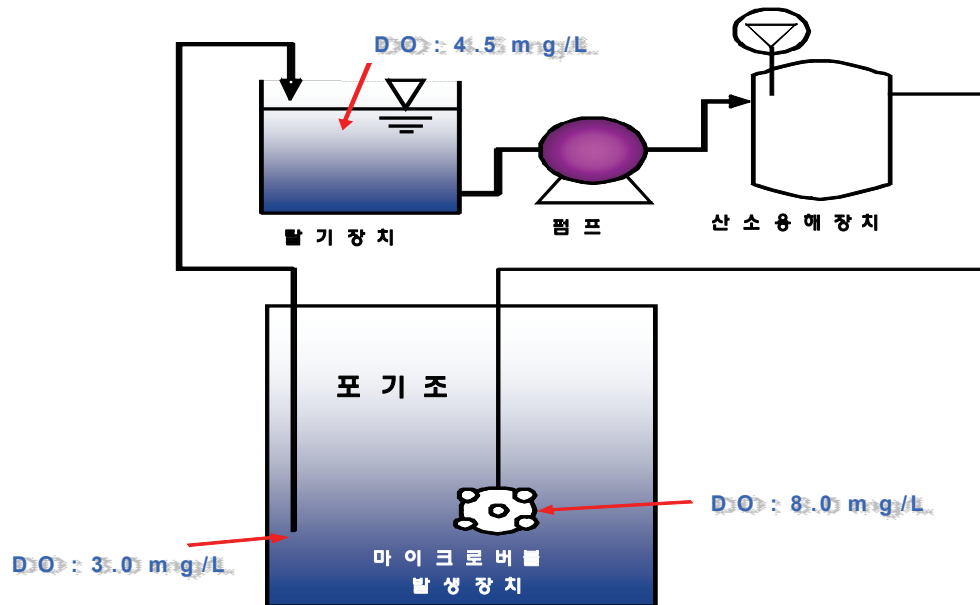


Fig. 30. 마이크로버블 발생장치의 산소 공급 효율.

생물반응조의 포기조 DO가 3.0 mg/L 이었으나, 탈기 작용만에 의해 DO가 4.5 mg/L로 50% 이상 증가하였고, 마이크로버블 생성장치를 통과하였을 때에는 DO가 8 mg/L로 거의 포화상태가 되었다. 실제 생물반응조의 운전에 있어서는 DO가 8 mg/L까지 필요하지 않고, 또한 포기조 낮은 DO의 물과 만나 희석되므로 생물반응조의 상태에 따라 마이크로버블 생성 장치의 가동 시간 및 순환유량을 조절할 필요가 있다.

Fig. 31에서 Fig. 34에는 제1포기조에 마이크로버블 생성 장치를 설치하고 유입유량 대비 5Q의 순환유량으로 산소를 공급하였을 때의 수질변화를 나타내었다.

Fig. 31에는 각 포기조의 DO 농도 변화를 나타내었다. 산기석을 이용한 단독운전에서는 각 반응조의 DO 농도가 3.2 ~ 3.6 mg/L 범위로 운전되었으나, 제1포기조에 마이크로버블을 도입하여 추가운전한 결과 제1포기의 DO가 5.5 mg/L을 나타내었고, 후단으로 갈수록 DO 농도가 감소하였으나 제1포기조에 공급된 DO의 영향으로 후단의 포기조의 DO도 산기석 단독 운전보다는 높은 농도를 유지하였다.

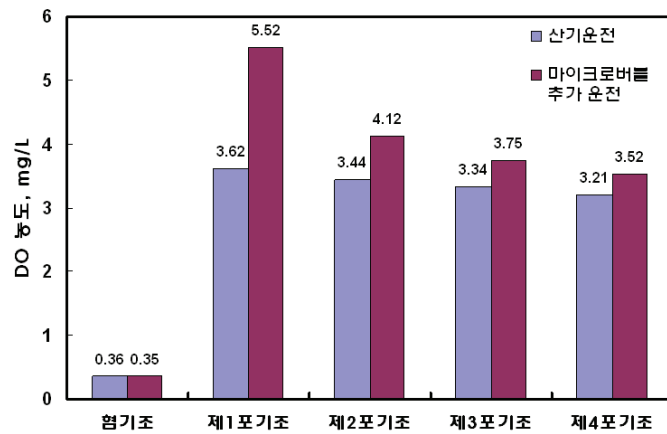


Fig. 31. 생물반응조내의 DO 증가 효율.

Fig. 32에는 마이크로버블에 의한 산소공급에 따른 각 반응조에 있어서의 COD_{Mn} 농도 변화를 나타내었다. 제1포기조에 DO를 추가 공급한 결과 COD_{Mn}의 농도가 약 190 mg/L 정도 더 감소하는 경향을 나타내었고, 이러한 경향은 DO의 추가 공급이 없는 후단 포기조로 갈수록 더 많은 COD_{Mn}이 제거되는 것으로 조사되었다. 제1포기조에서의 COD_{Mn} 제거량의 차이는 190 mg/L이었으나, 제2포기조에서는 325 mg/L로 더욱 증가하였고, 제3포기조에서는 303 mg/L을 나타내었으며, 제4포기조에서는 337 mg/L로 COD_{Mn} 제거량의 차이가 가장 컸다. 제2포기조 이후에는 추가로 용존산소의 공급이 없었으나, 제1포기조에서 충분한 DO 공급에 의해 미생물의 활성이 증가되고 이러한 영향이 후단 포기조로 갈수록 유기물의 제거율을 더욱 증가시킨 것으로 판단된다.

Fig. 33에는 각 반응조의 NH₄-N 농도를 나타내었다. NH₄-N의 변화에 있어서도 COD_{Mn}의 농도 변화와 유사한 결과를 나타내었으며, 제1포기조에 추가 공급된 산소에 의해 질산화율이 최대 20%까지 증가하였고, 이러한 영향은 후단 포기조에도 지속적인 영향을 미쳐 질산화율이 증가된 것으로 조사되었다.

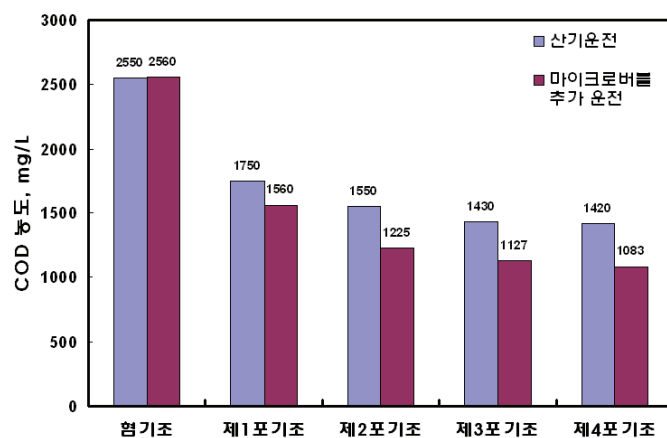


Fig. 32. 생물반응조내의 COD_{Mn} 농도 변화.

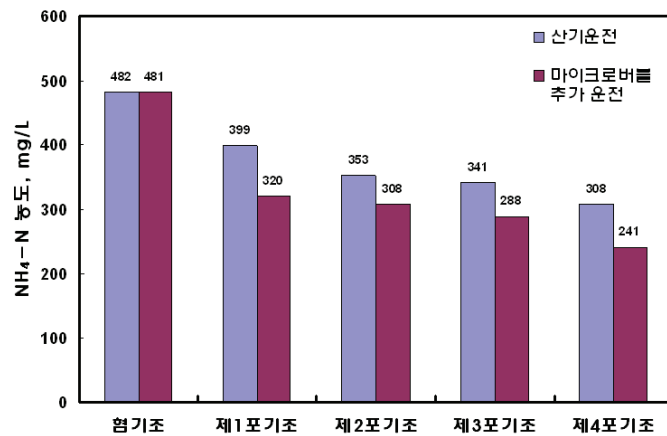


Fig. 33. 생물반응조내의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 농도 변화.

Fig. 34에는 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도 변화를 나타내었다. 마이크로버블에 의한 DO 증가로 유기물의 분해가 증가되고, $\text{NH}_4\text{-N}$ 의 질산화가 증가되는 것으로 조사되었으며, 이러한 결과로 각 반응조에 있어서의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 지속적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이렇게 증가된 $\text{NO}_3\text{-N}$ 은 제4포기조에서 다시 혐기조로 내부순환에 의해 재순환되어 탈질 작용에 의해 질소가 제거되어진다.

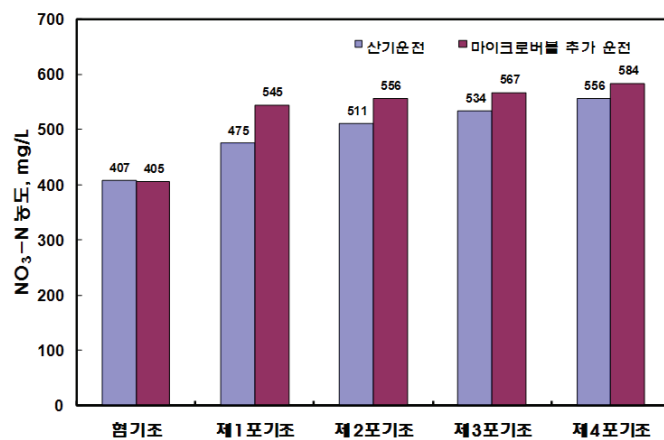


Fig. 34. 생물반응조내의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 농도 변화.

이상의 결과에서와 같이 생물반응조의 충분한 DO 공급은 유기물의 제거효율을 증가시키고, 질소의 제거효율 또한 증가시키는 결과를 나타내었다. 따라서 기존의 산기방식에 의한 DO 공급 방식과 함께 마이크로버블에 의한 DO 공급을 추가함으로써 생물처리공정의 효율을 증대시킬 수 있고, 이러한 결과로 처리시간의 단축을 유도할 수 있을 것으로 기대된다.

〈제10세부과제〉 가축분뇨 액비 살포장치 개발

1. 액비의 종류

액비는 크게 3가지 고농도, 중농도, 저농도 액비로 나뉘어진다. 고농도 액비는 슬러리 축사에서 나오는 가축분뇨를 그대로 탱크에 저장하여 일련의 처리과정을 거쳐 사용하는 액비이다. 장점은 처리방법이 단순하며 고형물을 퇴비화 할 필요는 없으나 냄새를 없애기 위한 노력이 많이 소요된다. 중농도 액비는 축사에서 나오는 슬러리를 고액분리기로 고형물을 분리한 후 액상물을 탱크에 저장하여 폭기과정을 거쳐 냄새를 제거한 후 사용하는 액비이다. 이 방법은 보편적으로 사용할 수 있는 방법이며, 비료성분도 어느 정도 함유하고 있고 냄새를 용이하게 제거할 수 있다. 저농도 액비는 슬러리를 퇴비단 등으로 여과시킨 후, 여과수를 폭기 등의 처리과정을 거쳐 액비를 만드는 것을 의미한다. 장점은 냄새가 거의 없다는 것이며, 단점은 비료성분이 적어 물류비용이 증가하는 점이다.

표 3. 가축분뇨액비의 장단점

액비	처리과정	질소함량	장점	단점
고농도	슬러리상태 그대로	0.4% 이상	비료성분 많음 운송비 소	냄새를 줄이는데 노력이 많이 소요
중농도	고액분리 된 액상물	0.1~0.4%	비료성분 중간	폭기로 냄새 어느정도 감소
저농도	여과시킨 여과수	0.1% 이하	냄새가 거의 없음	비료성분 적음 물류비용 과다

2. 모의실험 결과

1) 일정한 간격에서의 압력에 따른 초기 살포량

압력이 클 때 배관 길이에 따라서 살포량은 감소하는 경향을 나타내었으며 전체적인 유량은 많은 편이다. 1번 구멍의 유량은 분당 1900ml이었으며, 마지막 구멍의 살포량은 1450ml로 450ml가 감소하여 감소율은 24%이었다.

중간 압력에서 전체적인 유량도 1900ml에서 1140ml로 적어지고, 배관길이에서 역시 살포량도 감소하는 경향을 보였다. 첫 번째 구멍의 살포량은 1140ml에서 11번째 구멍의 살포량은 920ml로 220ml가 감소하여 감소율 19%를 나타내었다.

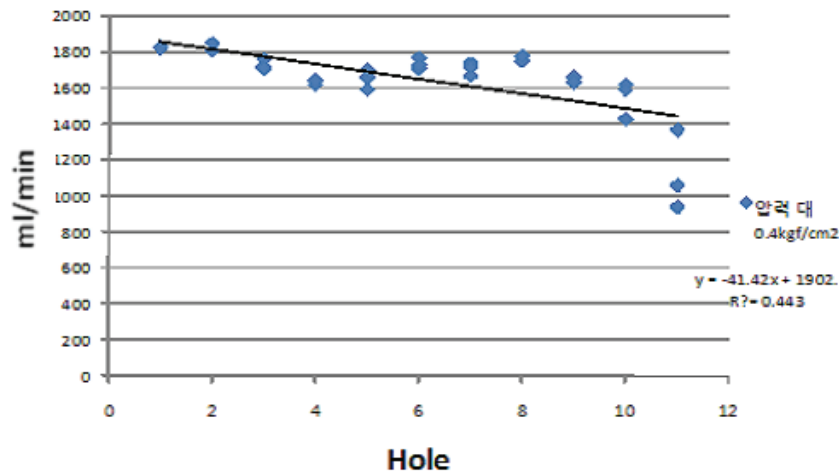


그림 6. 높은 압력에서의 초기 살포량.

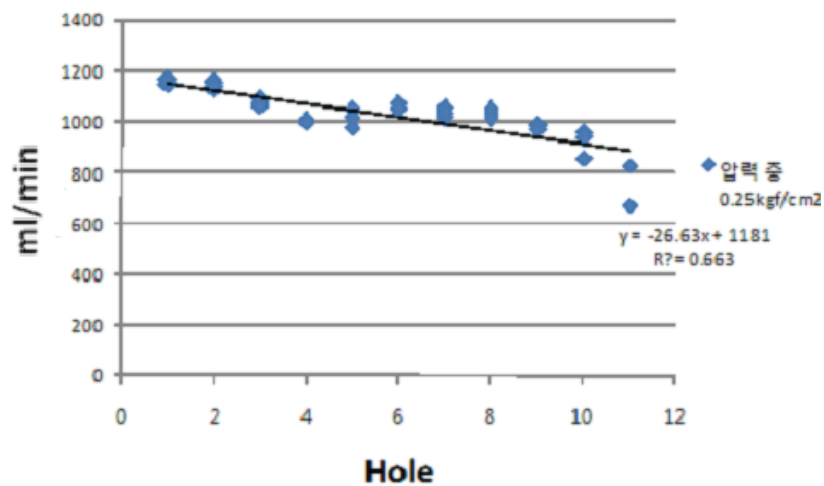


그림 7. 중간 압력에서의 초기 살포량.

압력이 작으면 전체적인 살포량도 감소하며 배관길이에 따라 유량감소의 폭도 커졌다. 첫 번째 구멍의 살포유량 490ml에서 마지막 구멍의 살포량 270ml로 220ml가 감소되어 감소율 45%를 나타내었다.

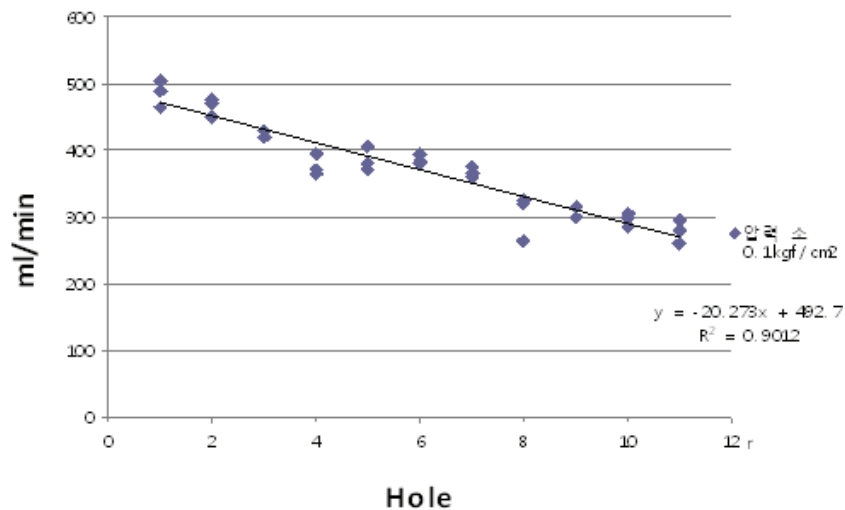


그림 8. 낮은 압력에서의 초기 살포량.

2) 일정한 간격에서의 압력에 따른 살포 중 유량

높은 압력에서는 살포 중에 살포량 감소는 적게 나타났다. 그러나 배관의 마찰저항에 의한 유량감소가 약간 있었다. 처음 구멍의 살포유량 2180ml에서 마지막 구멍의 살포유량 1890ml로 290ml가 감소되었으며 감소율 13%를 나타내었다.

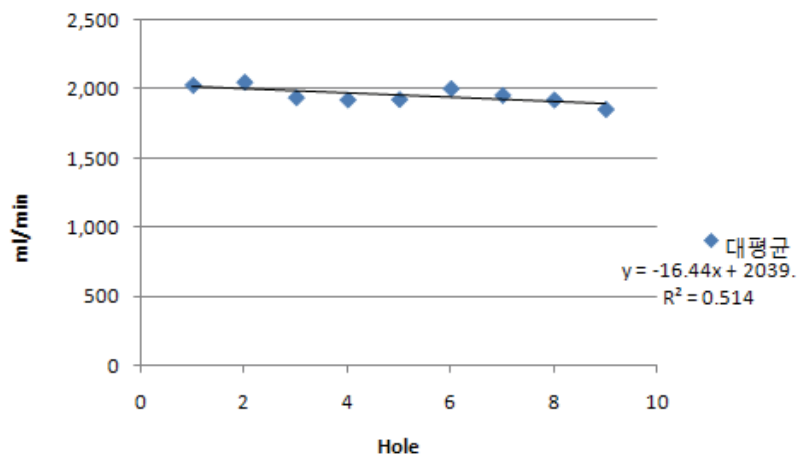


그림 9. 높은 압력에서의 살포 중 유량.

중간 압력에서 전반적인 살포량이 적어지며 마찰저항에 의한 유량 감소가 있었다. 처음 구멍의 살포유량 1510ml에서 마지막 구멍의 살포 유량 1420ml로 90ml가 감소되었으며 감소율은 6%를 나타내었다.

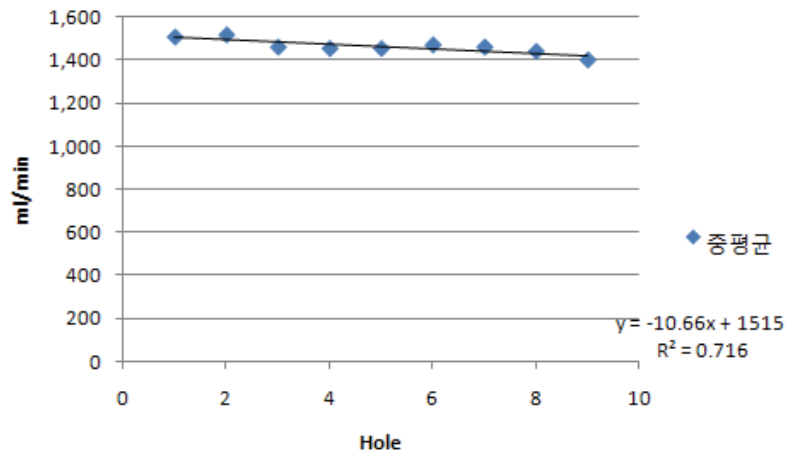


그림 10. 중간 압력에서의 살포중 유량.

낮은 압력에서는 전반적으로 살포량이 적어졌으며 배관내 마찰저항에 의한 살포량 감소는 작아지는 것으로 나타났다. 처음 구멍의 살포유량 990ml에서 마지막 구멍의 살포 유량 950ml로 40 ml가 감소되었으며 감소율은 4%를 나타내었다.

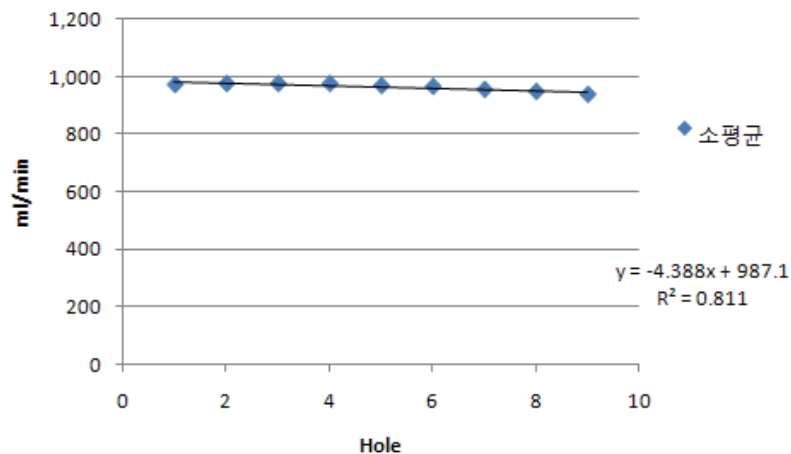


그림 11. 낮은 압력에서의 살포중 유량.

3) 간격이 일정하지 않은 길이에서의 압력에 따른 초기 살포량

높은 압력에서는 살포 중에 살포량 감소는 적게 나타났다. 그러나 배관의 마찰저항에 의한 유량감소가 약간 있었다. 처음 구멍의 살포유량 1450ml에서 마지막 구멍의 살포유량 1280ml로 170 ml가 감소되었으며 감소율 12%를 나타내었다.

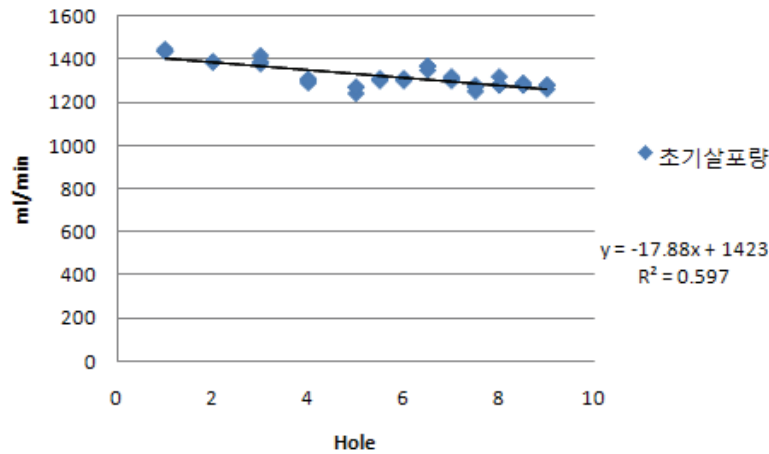


그림 12. 높은 압력에 살포 초기 유량.

4) 간격이 일정하지 않은 길이에서의 압력에 따른 살포 중 유량

높은 압력에서는 살포 중에 살포량 감소는 적게 나타났다. 그러나 배관의 마찰저항에 의한 유량감소가 약간 있었다. 처음 구멍의 살포유량 1620ml에서 마지막 구멍의 살포유량 1510ml로 110 ml가 감소되었으며 감소율 7%를 나타내었다.

따라서 배관의 길이가 길어지면 살포유량도 현저히 줄어들 수 있으므로 이와 같은 관계를 고려하여 배관에 구멍을 뚫어야 한다.

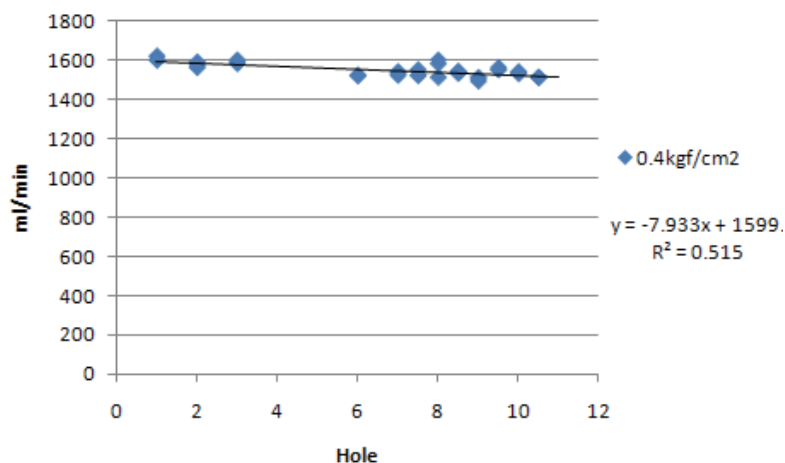


그림 13. 높은 압력에 살포중 유량.

3. 현장시험 결과

현장에서는 살포간격을 임의로 조절하기가 어려우므로 살포 구멍의 크기를 달리했다. 현장시험 결과 초기 살포량은 배관길이에 따라 감소폭이 크며 압력이 작을수록 살포량이 감소한다. 살

포 중 살포유량의 감소폭은 크지 않으나 마찰 저항에 의한 유량 감소가 있어 배관내에 압력이 어느정도 가해지는 것이 살포 균일도 측면에서 유리하다. 모의실험 결과로 밤나무 발에 적용하여 실험을 하였다. 액비탱크에 약 1톤의 액비를 저장 후 측정하였으며, 1차 지선의 배관길이는 총 28m로 구멍의 크기는 1m ~ 10m 까지 직경 4.5mm, 10m ~ 20m 까지 직경 5mm, 20m ~ 28m까지 직경 5.7mm로 하여 구멍을 뚫었고 처음과 중 간, 그리고 끝 지점에서 살포량을 측정하였다. 다음 그림은 배관길이가 총 28m인 배관에서 액비의 살포 중 유량을 측정한 결과 값이다.

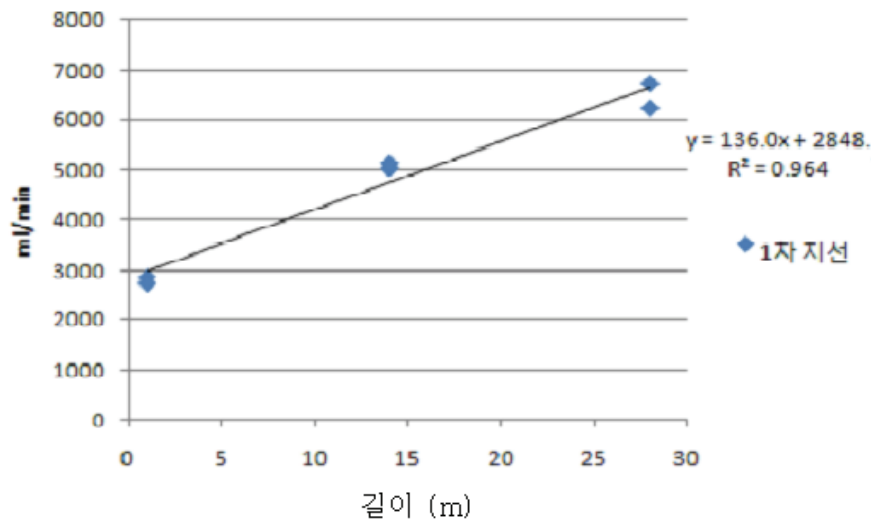


그림 14. 밤나무 발 1차지선 살포 중 유량.

첫 번째 구멍의 살포유량 2870ml에서 마지막 구멍의 살포량 6740ml로 3870ml가 증가되어 증가율 134%를 나타내었다(그림 14). 증가율이 큰 폭으로 나타나 서 구멍의 크기를 조정하여야만 했다.

2차 지선의 배관길이는 총 40m로 구멍의 크기는 1m ~ 14m 까지 직경 4.5mm, 15m ~ 28m 까지 직경 5mm, 29m ~ 40m까지 직경 5.7mm로 하여 구멍을 뚫었고 처음과 중간, 그리고 끝 지점에서 액비량을 측정하였다. 그림 15는 액비의 살포 중 유량을 측정한 결과 값이다.

첫 번째 구멍의 살포유량 4450ml에서 마지막 구멍의 살포량 5230ml로 780ml가 증가되어 증가율 18%를 나타내었다.

구멍의 크기를 바꾸어 1m ~ 14m 까지 직경 5mm, 15m ~ 28m 까지 직경 5mm, 29m ~ 40m까지 직경 5.7mm로 하여 구멍을 뚫었고 처음과 중간, 그리고 끝 지점에서 액비량을 측정하였다. 그림 16은 액비의 살포 중 유량을 측정한 결과 값이다. 첫 번째 구멍의 살포유량 최저 4150ml에서 마지막 구멍의 살포량 5980ml로 1830ml가 증가되어 증가율 44%를 나타내었다.

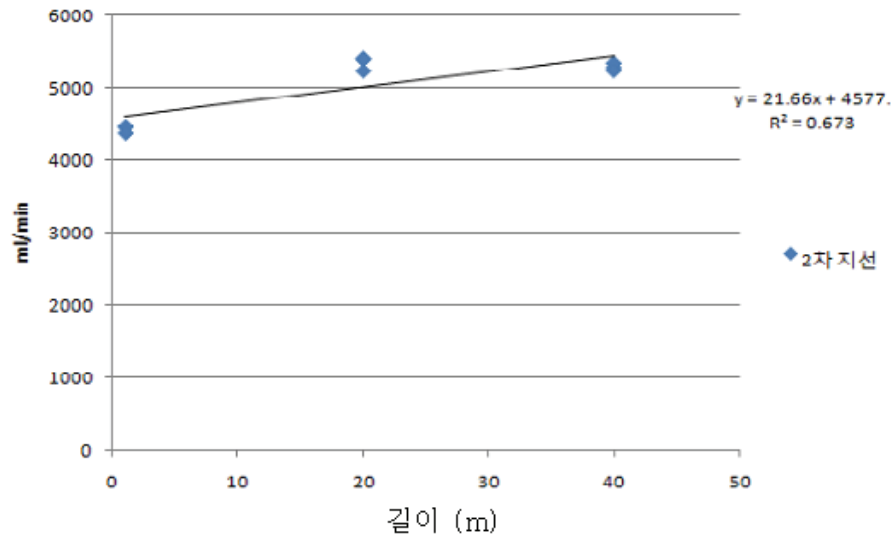


그림 15. 밤나무 발 2차지선 1차실험 살포 중 유량.

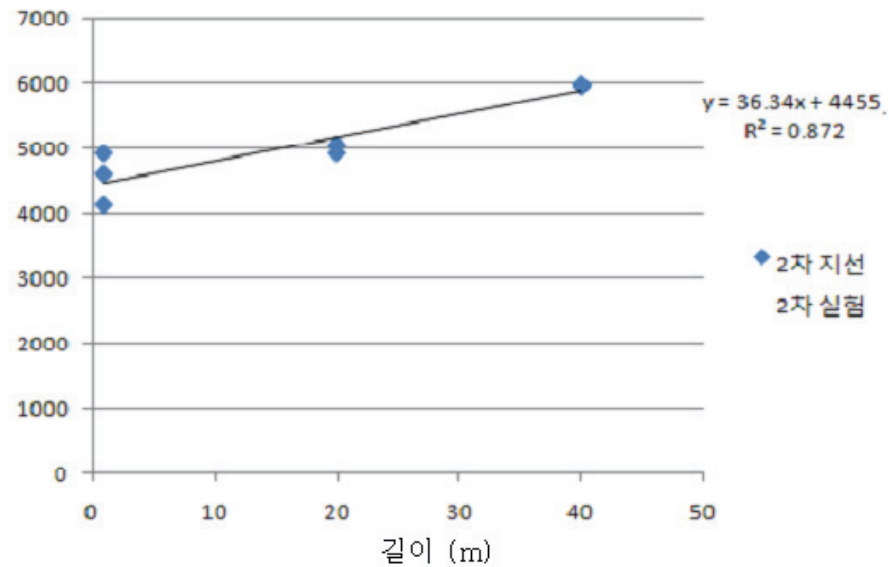


그림 16. 밤나무 발 2차지선 2차실험 살포 중 유량.

그림 17은 2차지선 1차 실험 데이터 값을 가지고 초기 살포 유량을 나타낸 그림이다. 액비가 배관 끝까지 도달 되는 시간은 약 10초 소요되므로 살포 중 유량 값을 60초로 나누어 초당 나오는 값을 가지고 전체 살포유량을 나타내었으며 균일한 살포량을 보여주고 있다.

4. 경사지 살포 시스템

경사지에서 살포시스템은 평지와는 다르게 접근하여야 한다. 두 가지 방법을 고려할 수 있는데, 한 가지는 액비탱크를 위에 설치하고 분뇨차로 액비를 탱크에 저장한 후 필요한 시기에 밸브

를 열어 자체압력에 의하여 살포하는 방법이다(그림 18). 다른 방법은 액비탱크를 아래 설치하여서 분뇨차로 액비를 탱크에 저장한 후에 필요할 때 펌프를 이용하여 살포를 하는 방법이다(그림 19). 지역의 위치조건에 따라서 적합한 방법을 택하여야 한다.

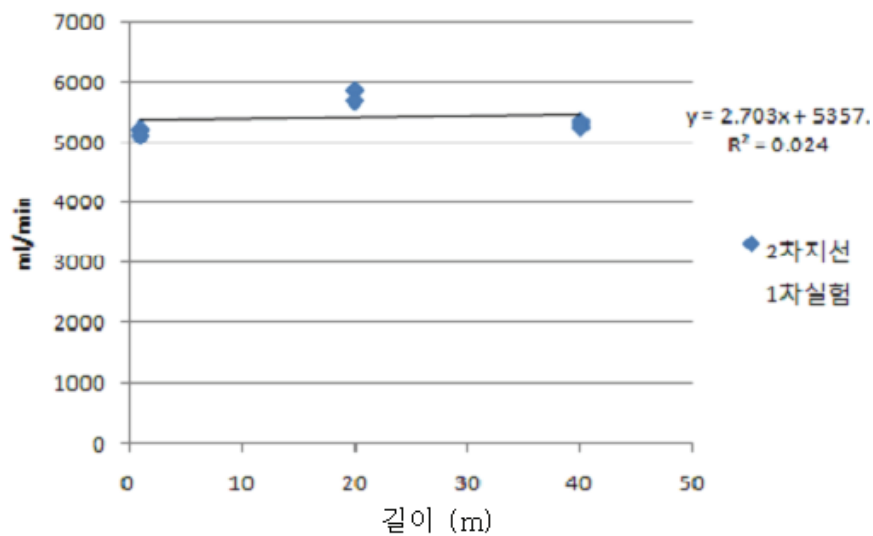


그림 17. 밤나무 밭 2차지선 1차실험 초기 살포 유량.

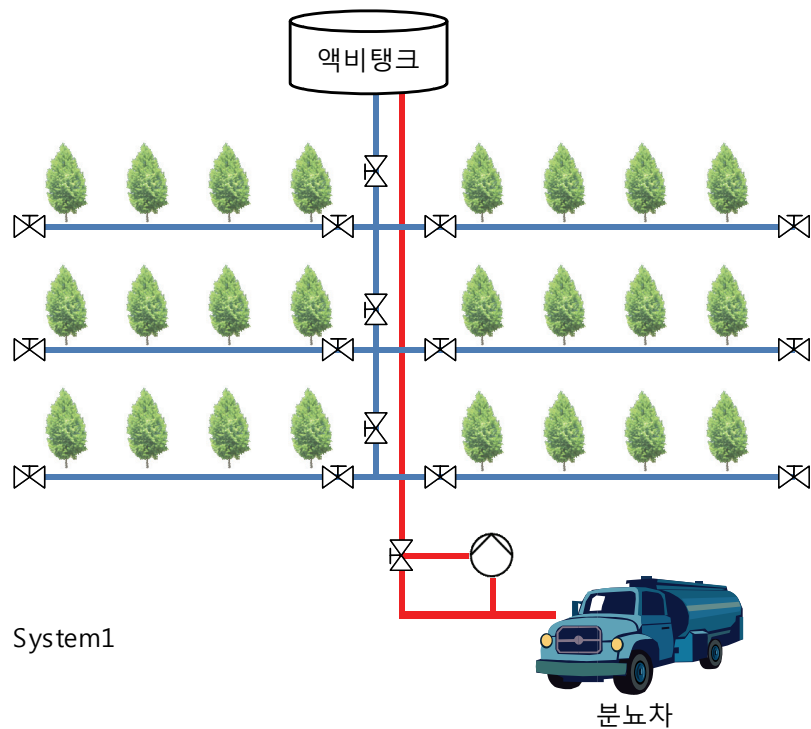


그림 18. 액비탱크를 위에 설치한 경사지 살포시스템.

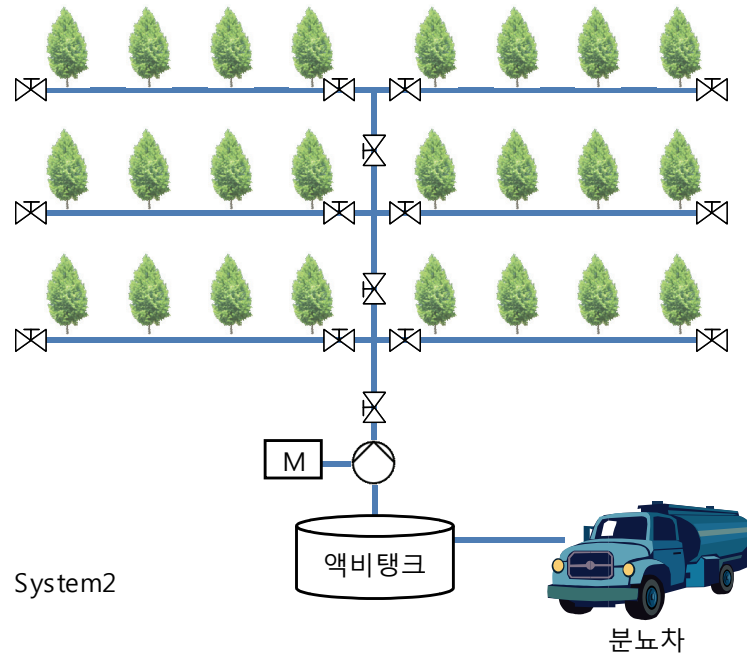


그림 19. 액비탱크를 아래에 설치한 경사지 살포시스템.

5. 요약 및 결론

본 연구는 경사가진 밤나무밭 약 1000평의 면적에 액비탱크를 위, 아래 두 가지 방식으로 설치한 경사지 살포시스템을 통하여 일정한 간격에서의 압력에 따른 초기 살포량과 일정한 간격에서의 압력에 따른 살포 중 유량을 측정 계산하였고, 수차례 액비 살포 모의실험을 거쳐 가장 효율적인 살포 실험 방법을 수행하였다. 이러한 액비 살포 실험을 통해서 일괄적으로 한번에 고루 살포할 수 있는 편리성 및 효율성과 액비를 이용함으로써 화학비료를 절감하는 경제성을 얻을 수 있었다.

6. 적 요

초기 살포량은 배관길이에 따라 감소폭이 크며 압력이 작을수록 살포유량이 감소하였다. 살포 중 살포유량의 감소폭은 크지 않으나 마찰저항에 의한 유량감소가 있었다. 배관 내에 압력이 어느 정도 가해지는 것이 살포균일도 측면에서 유리하다. 구멍과 구멍의 간격 및 구멍크기를 조절하므로 살포량을 일정하게 유지할 수 있다.

액비탱크를 위에 설치하고 액비탱크차로 압력을 가해 액비를 탱크에 채워놓았다가 필요할 때 밸브를 열어 사용하는 방법과 액비탱크를 아래에 설치하고 펌프로 압력을 가해 살포하는 방법이 있으며 입지조건에 따라 적합한 것을 선택한다. 경사지 액비살포의 생력화 및 작업의 편의성을 제공하였다.

43마력의 트랙터(동양 T430)에 권취기가 장착되었으며 $6 \times 100m$ 되는 비닐하우스에 직경 60mm인 납작호스를 깔아 놓고 먼곳에서 부터 살포하여 입구 쪽으로 오도록 하였다. 살포대는 중간 1.5m 양옆으로 1m 씩 해서 3.5m의 지점 양끝에 살포 노즐이 있고 중간에 하나해서 도합 3개의 노즐이 있다. 노즐에서 확산되는 반경이 1m 정도로 되었으며 폭 5.5m로 되어 있고 살포하는 힘에 의하여 퍼지는 것을 감안하면 6~7m 폭의 토양을 살포할 수 있다. 전·후진하면서 살포량을 조절할 수 있다.



그림 3. 액비살포 준비 작업.



그림 4. 액비살포 작업.



그림 5. 액비탱크차와 비닐하우스.

액비탱크는 20톤 용량인데 13톤을 적재하였다. 액비탱크차에는 용적식 펌프가 탑재되어 있어 액비를 일정한 압력으로 밀어내게 된다. 10톤 살포하는데, 12분 7초가 소요되었고, 나머지 3톤을

5분만에 살포하였다. 작업속도는 첫 번째 살포에서 0.5km/hr와 두 번째 살포에서 1.2km/hr이었고, 살포량은 각기 시간당 50m³와 36m³ 이었다. 그림 6에는 작업속도에 따른 살포량을 보여주고 있다. 원하는 살포량에 따른 작업속도를 맞추어주면 면적당 목표 살포량을 얻을 수 있다.

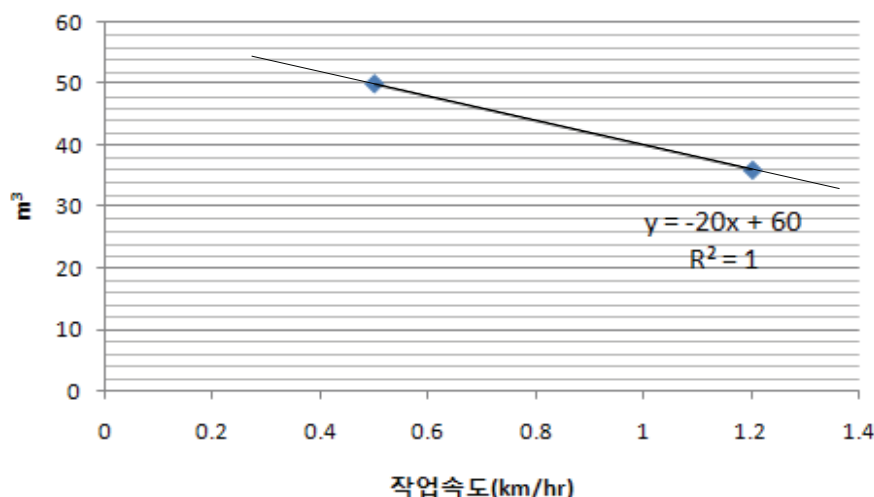


그림 6. 작업속도와 살포량과의 관계.

인력으로 작업을 할 경우에는 3명이 필요하다. 한 사람은 호스를 잡고 살포하고, 두 사람은 호스를 끌어주어야 한다. 6×100m의 비닐 하우스를 살포할 경우에 1시간 30분이 소요된다. 호스는 직경 45mm 짜리를 사용하며 길이 120m의 호스에 액비가 차게 되면 약 190kg의 중량을 끌어야 하고 열악한 작업환경에 노출되며, 살포균일성도 보장되지 않는다. 트랙터에 액비살포기를 장착하여 작업을 할 경우에 소요시간을 18분이라고 한다면 작업 효율은 인력에 비하여 5배나 높다고 할 수 있다. 살포한 후에는 액비가 토양속으로 스며든 후에 로타리 작업을 하여 흙을 뒤집어 준다.

	액비살포기	관행인력살포
작업소요시간 6×100m(600m ²)	18분	90분
작업능력	5배	1
소요인력	1명	3명

고정형 둥근호스일 경우에는 하우스 밖에 권취기를 위치시키고 트랙터에 배출장치만 장착하여 하우스 내로 들어가서 살포작업을 하게 된다.

비닐하우스용 액비살포시스템은 트랙터에 권취기와 배출장치가 장착되는 일체형과 권취기는 액비탱크 옆에 있고 배출장치만 트랙터에 장착되는 분리형으로 구분되며, 농장의 형편에 따라서 선택할 수 있다. 일반적으로 납작호스는 일체형에 사용되고 둥근호스는 분리형에 사용된다. 분리형은 좁은 공간에서 선회 등을 할 때 작업의 활동성을 개선할 수 있다.

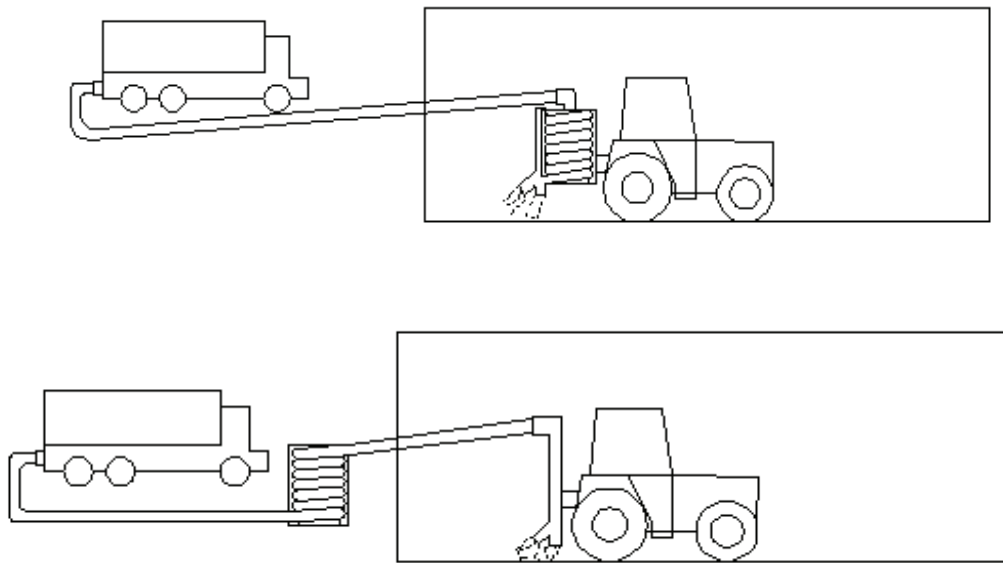


그림 7. 가축분뇨 액비살포시스템(위: 일체형, 아래: 분리형).

액비는 부여군 규암면에 위치한 천농영농조합법인에서 생산되었으며 양돈농가에서 수거해온 슬러리를 벨트프레스 고액분리기를 이용하여 고형물과 액상물을 분리한 후, 고형물은 톱밥과 혼합하여 퇴비화 하고 액상물은 3단계를 거치면서 블로워로 공기를 불어넣어주어 폭기를 시켜 발효가 진행되도록 하였다. 냄새는 거의 없으며 액비의 성분을 분석한 내용은 표 1과 같다.

표 1. 액비성분분석 결과

	T-N	P2O5	K2O	CaO	MgO	중금속
1차	0.2	0.01	0.19	0.01	0	기준치 이하
2차	0.2	0.02	0.19	0.01	0	기준치 이하
3차	0.2	0.01	0.19	0.01	0	기준치 이하



그림 8. 천농영농조합법인의 액비제조시설.

〈제11세부과제〉 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC 평가 연구

1. 가축분뇨 처리유형별, 규모별 시설투자 및 운영비 조사

국내 가축분뇨처리시설업체의 비용분석 구조를 구축하기 위하여 14개 시스템에 대한 초기 시설투자 및 연간 운영비를 조사한 결과 토목건축비는 표준화가 용이한 것으로 나타나나, 시설비는 전기부문과 장비부문이 분리되지 않고 통합 산정하는 경우가 많이 있어 비용분석 시 세분화할 필요가 있다.

표 1. 처리유형별, 규모별 시설투자 산출 현황

(단위 : 천원)

업체	유형	규모	시설비 계	토목건축	시설	전기	장비
B	액비	100톤/일	840,000	720,000	120,000		
SM	액비	"	380,000	261,455	107,369	11,176	
G	액비	"	1,371,000	660,000	378,000	183,000	150,000
Gs	정화	"	1,178,000	539,000	544,000	35,000	60,000
K	퇴비	"	1,870,000	1,140,000	670,000	60,000	
H	퇴비	"	1,811,400	235,000	799,300	300,000	477,100
I	퇴액정	"	2,499,999	906,915	1,273,514	275,020	44,550
C	퇴액정	"	2,070,000	930,000	850,000	80,000	210,000
CH	퇴액정	"	1,290,000	720,000	430,000		140,000
D	액비	5톤/일	138,500	40,000	98,500		
DS	정화	"	92,000	47,000	38,000	7,000	
K	퇴비	"	329,000	222,000	95,000	12,000	
S	퇴비	"	190,000	10,000	180,000		
H	퇴비	"	298,930	45,730	247,200	6,000	

각 시스템별 연간 운영비의 경우는 동일규모의 유사한 공법일지라도 인건비와 약품비 및 수선비 산정 기준에서 차이가 많이 나고, LCC분석에 있어서 중요한 비목인 교체비(수분조절재, 막교체 등)는 누락이 많아 비용분석의 인식도가 낮은 경향을 보이고 있다. 따라서 비목선정 기준과 비용산출 기준의 표준화가 용이하지 않을 것으로 판단된다.

표 2. 처리유형별, 규모별 연간 운영비 산출 현황

(단위 : 천원)

업체	유형	규모	운영비 계	인건비	전력비	약품비	수선비	수분 조절재	막교체	감가 상각비	기타
B	액비	100톤/일	77,546	10,000	24,637		240			41,800	869
SM	액비	"	87,504	24,000	17,107	22,700	1,200			20,309	2,188

(계속)

업체	유형	규모	운영비 계	인건비	전력비	약품비	수선비	수분 조절재	막교체	감가 상각비	기타
G	액비	"	504,343	180,000	19,200		90,000			125,083	90,060
Gs	정화	"	466,681	98,000	21,535	163,885	7,000	31,750		110,802	13,709
K	퇴비	"	640,896	22,000	17,465		3,500	432,000		142,183	23,748
H	퇴비	"	327,773	50,000	24,241		12,000	24,638		212,547	3,345
I	퇴액정	"	565,043	109,500	71,127		120,520			248,839	15,057
C	퇴액정	"	453,421	50,000	115,000	1,000		36,000	20,000	222,221	7,200
CH	퇴액정	"	450,702	82,000	29,882	108,000	22,000	32,850	6,500	136,246	33,224
D	액비	5톤/일	77,505	10,000	4,200	3,024				19,396	40,885
DS	정화	"	28,448	10,950	1,890	7,000				7,616	992
K	퇴비	"	124,855	21,900	9,060		2,000	65,000		22,072	4,823
S	퇴비	"	42,559	8,213	4,049		675			28,975	647
H	퇴비	"	56,507	10,000	2,389		1,200	1,369		41,301	248

2. 주요 비용산출 기준 표준화

현재 추진되고 있는 비용항목의 표준화 중 주요 사항은 표3과 같다.

표 3. 주요 비용산출 기준 표준화

- 토목시설 내구년수 : 공법사 기준 조사
- 기계·전기시설 내구년수 : 공법사 기준 조사
- 주요 기자재 내구년수 : 공법사 기준 조사
- 유지관리비 산정기준 년수 : 공법사 기준 조사
- 에너지 가격 변동율 : 전기 2.2%, 등유 4.0%
- 대수선 산정기준 년수 : 공법사 기준 조사
- 연간 보수비 : 토목·건축 공사비 0.1%, 기계·전기 공사비 0.5%
- 잔존가치에 대한 현가계수 반영 1 - (사용년수/내구년수)
- 물가상승율 : 소비자물가지수와 생산자 물가지수의 평균, 3.28%(1998~2007)
- 이자율 : 장기 정부채권 이율, 국고채 유통수익율(3년, 7.73%)
- 실질이자율(할인율) : 물가 상승률 및 이자율 적용(4.3%)
- 폐기처분비 : 폐기물 전문업체 조사 등

3. 가축분뇨 공동자원화시설에 대한 LCC 적용 가능성

가축분뇨 공동자원화시설 중 1일 처리규모가 100톤인 2개소(Y 공법, T공업)를 대상으로 현재의 기준을 적용하여 LCC분석을 시도하였다. 각 시설에 대한 처리공정도는 그림 2와 같다.

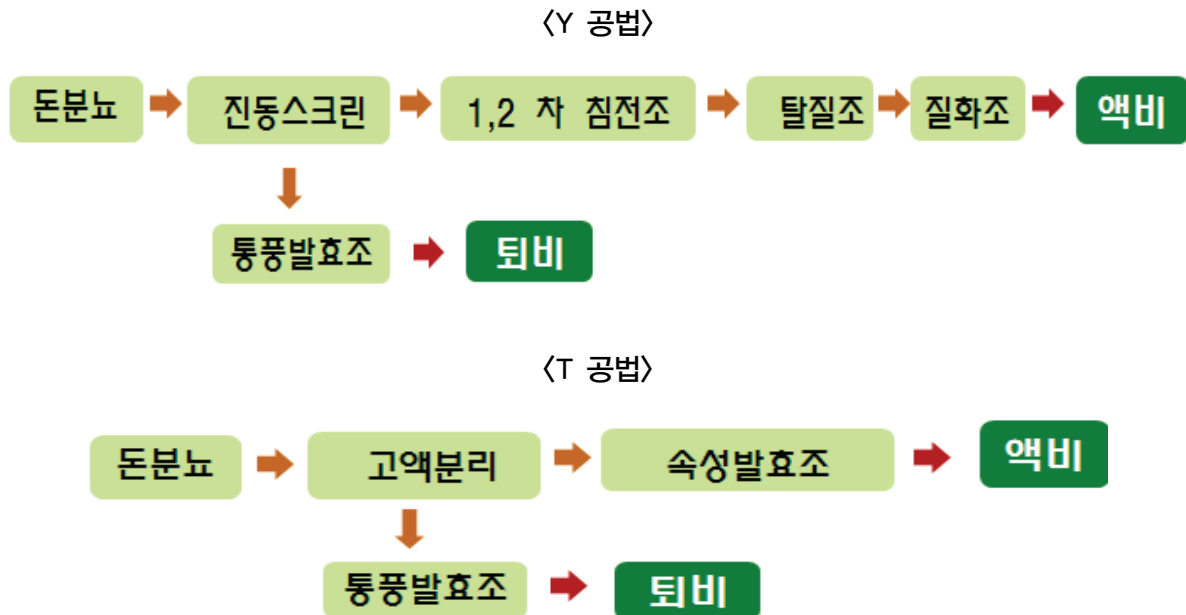


그림 2. 공정 모식도.

2공법을 비교하면 시설비(설계비용, 초기투자비)에 있어서는 Y공법은 2,700백만원인데 비해 T공법은 2,901백만원으로서 T공법이 10%정도 높았으나, 유지관리비는 Y공법이 T공법에 비해 10%정도 낮았다. 이를 LCC로 산출해 보면 Y공법은 총 11,383 백만원인데 비해 T공법은 11,284백만원으로서 Y공법과 T공법 사이에는 차이가 없는 것으로 나타난다. 따라서 초기 시설투자비가 높다고 하더라도 연간 운영비의 차이 여부에 따라 전과정 총비용은 달라지게 됨을 알수 있는 바, LCC적용의 가능성이 있음을 시사한다.

표 4. 가축분뇨 공동자원화시설 공법 간 LCC 분석

(단위 : 천원)

구 분	비 용		LCC		A/B(%)
	Y 공법	T 공법	Y 공법(A)	T 공법(B)	
설계비용	40,000	44,000	51,312	56,443	
초기투자비(공사비)	2,659,907	2,857,156	4,533,100	5,037,891	90.0
유지관리비(년간)	393,852	357,338	6,569,137	5,960,946	110.2
폐기비용	228,963	229,011	228,963	229,011	
총 LCC(백만원)	3,322,722	3,487,555	11,382,512	11,284,291	100.9

4. 적 요

가축분뇨처리시설 및 관련기술 평가 대상업에 중 14 시스템에 대한 시설투자 및 연간 운영비 조사를 실시한 결과, 공정단계별 비목선정 기준 설정은 용이하였으나 연간운영비 부문에 대해서는 비용산출 기준 표준화가 요구되며, 특히 시설의 내용년수, 수선비, 수분조절재 투입 등에 대한

편차가 심하였다.

공사비 및 운영비의 객관적 조사를 위해 비용산출 기준에 대한 표준화 작업이 진행되고 있으며, 현재까지 표준화된 기준 하에서 2개 가축분뇨 공동자원화시설의 공법에 대해 LCC 분석을 적용한 결과 Y공법이 초기투자비는 T공법에 비해 낮아 유리했으나 LCC 측면에서는 동등한 결과를 나타내고 있어 가축분뇨처리시설에 대한 분석기법으로서 가능성이 있음을 시사하고 있다.

〈제12세부과제〉 가축분뇨 액비의 유해물질 관리

1. 액비의 중금속과 총균수 및 유해미생물 수준

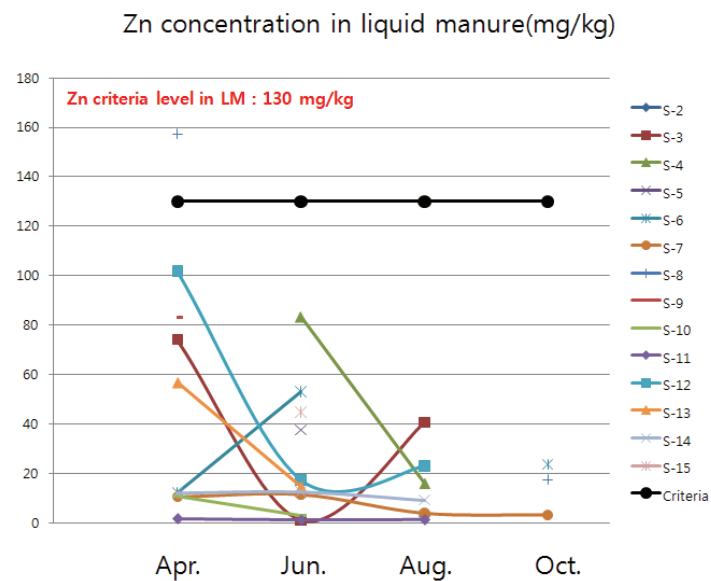
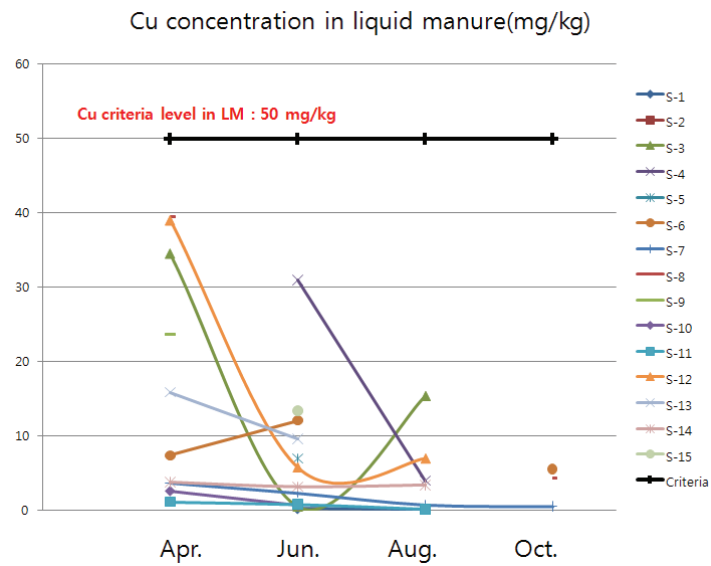
○ 액비 내 중금속 함량(mg/L)

채취시기	채취지점	As	Cr	Ni	Cd	Pb	Zn	Cu	Hg
4월	S-3	0.0024	0.37	0.69	0.061	0.170	74.06	34.47	0.0024
	S-6	0.0026	0.01	0.22	0.002	0.010	12.15	7.36	0.0004
	S-7	0.0148	0.01	0.17	0.001	0.020	10.44	3.67	0.0001
	S-8	0.0017	0.40	0.59	0.052	0.260	157.41	39.43	0.0003
	S-9	0.0011	0.19	0.44	0.014	0.080	83.29	23.64	0.0004
	S-10	0.0014	0.01	0.16	0.004	0.001	10.93	2.55	0.0001
	S-11	0.0021	0.00	0.16	0.001	0.001	1.61	1.09	0.0001
	S-12	0.0009	0.42	1.03	0.047	0.160	101.91	39.03	0.0054
	S-13	0.0013	0.09	0.33	0.012	0.060	56.79	15.83	0.0010
	S-14	0.0015	0.01	0.24	0.002	0.010	12.15	3.75	0.0006
6월	S-1	0.0003	0.14	0.33	0.033	0.020	2.84	0.20	0.0001
	S-3	0.0003	0.50	0.36	0.035	0.010	1.05	0.41	0.0001
	S-4	0.0508	0.37	0.55	0.066	0.180	83.38	30.94	0.0023
	S-5	0.0003	0.19	0.20	0.038	0.048	37.59	6.97	0.0006
	S-6	0.0193	0.22	0.26	0.043	0.128	53.11	12.05	0.0022
	S-7	0.0775	0.02	0.06	0.033	0.036	11.41	2.31	0.0001
	S-10	0.0120	0.11	0.09	0.033	0.291	2.82	0.65	0.0001
	S-11	0.0050	0.04	0.09	0.032	0.014	1.07	0.77	0.0001
	S-12	0.0170	0.03	0.26	0.039	0.089	17.36	5.72	0.0007
	S-13	0.0040	0.03	0.17	0.037	0.005	14.58	9.56	0.0002
	S-14	0.0545	0.14	0.44	0.041	0.056	12.59	3.12	0.0004
	S-15	0.0398	0.24	0.29	0.088	0.097	44.74	13.35	0.0030
8월	S-1	0.0005	0.07	0.16	0.091	0.044	0.76	0.10	0.0001
	S-2	0.0145	0.09	0.91	0.092	0.022	2.70	0.07	0.0001
	S-3	0.0320	0.18	0.25	0.105	0.095	40.61	15.30	0.0010
	S-4	0.0050	0.09	0.15	0.095	0.065	15.84	3.93	0.0004

(계속)

채취시기	채취지점	As	Cr	Ni	Cd	Pb	Zn	Cu	Hg
8월	S-7	0.0058	0.07	0.06	0.101	0.035	3.75	0.74	0.0001
	S-11	0.0040	0.07	0.10	0.100	0.023	1.20	0.13	0.0002
	S-12	0.0210	0.09	0.29	0.096	0.086	22.93	6.93	0.0004
	S-14	0.0100	0.08	0.14	0.099	0.043	9.14	3.38	0.0001
10월	S-6	0.0113	0.08	0.15	0.106	0.055	23.54	5.50	0.0003
	S-7	0.0138	0.06	0.08	0.103	0.056	3.10	0.51	0.0001
	S-8	0.0108	0.10	0.23	0.106	0.061	17.39	4.25	0.0003

○ 액비 중 구리 및 아연함량 채취지점별 변화



○ 액비 내 총균수(CFU/mL)

Site	Apr	Jun	Aug	Oct
S-1		2.53×10^4	3.80×10^4	
S-2			4.37×10^3	
S-3	1.17×10^5	7.57×10^4	6.78×10^4	
S-4		1.96×10^5	4.60×10^5	
S-5		2.73×10^5		
S-6	2.84×10^5	2.90×10^5		2.40×10^4
S-7	2.10×10^5	1.27×10^5	1.03×10^4	9.13×10^3
S-8	5.23×10^5			4.93×10^4
S-9	4.46×10^4			
S-10	1.53×10^4	1.75×10^4		
S-11	1.87×10^3	4.90×10^3	1.70×10^3	
S-12	1.19×10^5	1.27×10^3	6.97×10^3	
S-13	1.64×10^4	1.15×10^4		
S-14	3.57×10^3	4.37×10^3	6.70×10^3	
S-15		3.27×10^5		

○ 액비 내 유해미생물 검출

Site	<i>E. coli</i> O157:H7				<i>Salmonella</i> spp.			
	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.	Apr.	Jun.	Aug.	Oct.
S-1		nd	nd			nd	nd	
S-2			nd				detected	
S-3	nd	nd	nd		nd	nd	nd	
S-4		nd	nd			nd	nd	
S-5		nd				nd		
S-6	nd	nd		nd	nd(S)	nd		nd
S-7	nd	nd	nd	nd	nd(S)	nd	nd	nd
S-8	nd			nd	nd			nd
S-9	nd				nd(S)			
S-10	nd(S)	nd			nd	nd		
S-11	nd	nd	nd		nd	nd	nd	
S-12	nd	nd	nd		nd	nd	nd	
S-13	nd(S)	nd			nd	nd		
S-14	nd	nd	nd		nd	nd	nd	
S-15		nd				nd		

2. 적 요

- 1) 4월, 6월, 8월, 10월 4회에 걸쳐 채취한 유통액비 33점의 중금속 함량은 0.0001~0.106, 크롬 0.0001~0.495, 구리 0.067~39.43, 니켈 0.06~1.03, 납 0.001~0.29, 아연 0.76~157.41, 비소 0.00025~0.0545, 수은 0.0001~0.0054 mg/L의 범위로 조사됨
- 2) 33점의 시료 중 1점이 가축분뇨발효비료의 아연 기준치인 130 mg/L을 초과하여 관리가 요구되나 나머지 액비의 중금속 함량은 기준보다 낮았음
- 3) 유통액비의 총미생물량은 $5.23 \times 10^5 \sim 1.27 \times 10^3$ (CFU/mL)로 조사되었고, E. Coli O157 : H7균은 검출되지 않았으나, 33점의 시료 중 1점에서 살모넬라균이 검출되었음

제 4 장 연구개발목표 달성도 및 대외기여도

제1절 : 목표대비 대외달성도

〈제1세부과제〉 가축분뇨 활성오니정화시설의 이용성 개선 연구

구분	연도	세부연구개발 목표	달성도(%)
1차년도	2007	<ul style="list-style-type: none"> ○ 활성오니정화시설농가의 공정구성 및 운전현황 조사 ○ Pilot 실험을 통한 방류 및 액비 생산을 위한 설계 및 운전인자 검토 	100
2차년도	2008	<ul style="list-style-type: none"> ○ Pilot 실험을 통한 방류 및 액비 생산을 위한 설계 및 운전인자 검토 ○ 설계 및 운전인자 검토를 위한 현장실증 시험 ○ 활성오니 정화시설농가의 폭기조 혼합액 및 방류수를 이용한 액비 유용성 조사 	100
3차년도	2009	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고도처리 Pilot 실험을 통한 설계 및 운전인자 도출 ○ 고도처리 설계 및 운전인자 검토를 위한 현장 실증 시험 ○ 고도처리수 및 고도처리 부산물의 재활용 기술 개발 ○ 방류 및 액비생산을 위한 활성오니시설의 설계 및 운전 매뉴얼 작성 	100

〈제2세부과제〉 혐기성공정을 이용한 가축분뇨 액비화 기술 개발

구 분	세부연구개발 목표	달성도(%)
1차년도 (’07)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 혐기소화조 국내외 운전실태조사 ○ MaCoL 설계, 시공, 기계적 운전, 보완 ○ 대상 돈분뇨시료의 소독제, 항생제, 중금속의 바이오가스 생성민감도 평가 연구 	100
2차년도 (’08)	<ul style="list-style-type: none"> ○ MaCoL 공정 제어변인 도출 및 이의 제어장치설치 ○ MaCoL 공정 운영체계 확립, 계절적 시운전 및 이의 최적 운영조건 도출 	100
3차년도 (’09)	<ul style="list-style-type: none"> ○ MaCoL 공정의 계절적 효율평가를 통한 최적운영체계 정립 ○ MaCoL공정 실용화를위한 표준화작업 ○ MaCoL 공정 소화액의 특성분석을 통한 액비로서의 잠재력 평가 	100

〈제3세부과제〉 맞춤형 퇴비생산 기술 개발

구 분	세부연구 목표	달성도(%)
1차년도 (’07)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 퇴비가공장치형태별 가공특성 분석 ○ 원료형태별 가공 조건설정 	100
2차년도 (’08)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 맞춤형 퇴비가공 형태 설정 ○ 첨가제 이용별 가공효과 및 가공 퇴비특성분석 	100
3차년도 (’98)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 맞춤형퇴비 생산장치 최적형태 ○ 생산량 증대기술 	100
4차년도 (’10)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 맞춤형퇴비 특성 조절기술 개발 ○ 맞춤형퇴비 후처리기술 개발 ○ 맞춤형 퇴비 이용기술 개발 	100

〈제4세부과제〉 기능성 액비생산 기술 개발

구 분	세부연구목표	달성도(%)
1차년도 (’07)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액비 생산공정 개발 ○ 농축액비 생산공정상 액비의 자원화 	100
2차년도 (’08)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액비 제품 개발 ○ 작물생육에 적합한 액비 양분 조성물 개발 	100
3차년도 (’09)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 용도별 기능성 액비 개발 ○ 액비 제품에 의한 작물생산 최적화 	100

〈제5세부과제〉 가축분뇨 퇴·액비 중 특정성분 제어기술 개발

구 분	세부연구목표	달성도(%)
1차년도 (’08)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 액비중 특정성분 제어기술 및 공정 평가/확립 ○ 특정성분제어 축분퇴비화 방법 개발 	100

〈제6세부과제〉 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구

구 분	세부연구목표	달성도(%)
1차년도 (’07)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 악취제거 효과에 주요하게 작용하는 반응 기체 및 플라즈마 특성 규정 ○ 악취제거를 위한 PCD 장치의 설계 인자 도출, 효율성 평가 및 최적화 실험 	100
2차년도 (’08)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 악취제거를 위한 펄스코로나 방전장치를 실험실 규모의 액비저장조에 적용 및 효율성 검증 ○ 펄스코로나 방전장치를 이용한 악취제거 최적 조건 확립 	100

〈제7세부과제〉 효소복합체를 이용한 양돈슬러리 자원화 과정의 악취제어 기술개발

구 분	세부연구목표	달성도(%)
1차년도 (’07)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 양돈슬러리 액비화 과정의 악취제어 ○ 돈사 내부 환경개선 	100
2차년도 (’08)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 효소복합체의 양돈장 적용 ○ 양돈분뇨 액비의 원예작물 재배 효과 	100

〈제8세부과제〉 파쇄옥수수대의 축분퇴비제조 수분조절재료의 활용기술 개발

구 분	세부연구목표	달성도(%)
1차년도 (’07)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 파쇄옥수수대의 물리적, 화학적 특성 평가 ○ 파쇄옥수수대의 돈분퇴비 제조 수분조절재료의 적용기술 개발 	100
2차년도 (’08)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 파쇄옥수수대의 우사 깔짚 이용 기술(깔짚 교체시기 등)개발 ○ 파쇄옥수수대 깔짚이용 우분의 퇴비제조 기술개발 	100

〈제9세부과제〉 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가실증

구 분	세부연구목표	달성도(%)
1차년도 (’08)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 마이크로버블 이용 고액분리기 안정성, 효율성 평가 ○ 기계적 안정성 및 운전관리의 편리성 평가 	100
2차년도 (’09)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 마이크로버블을 이용한 용존산소 공급 농가 실증 ○ 용존산소 공급에 따른 활성슬러지 처리공정의 효율 검토 ○ 에너지 절감효과 분석 	100

〈제10세부과제〉 가축분뇨 액비 살포장치 개발

구분	세부연구목표	달성도(%)
1차년도 (’08)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 경사지용 액비살포장치 개발 	100
2차년도 (’09)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 비닐하우스용 액비살포장치 개발 	100

〈제11세부과제〉 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC 평가 연구

구분	세부연구 목표	달성도(%)
1차년도 (‘09)	<ul style="list-style-type: none"> 프로젝트 인자별 비용분석구조 구축 원가분석 명세 체계도 작성 인자별 발생 비용의 현재가치 환산방법 	100
2차년도 (‘10)	<ul style="list-style-type: none"> 대안별 생애주기비용 산출 불확실성 고려 민감도 분석 방법 LCC평가 모델 개발 	

〈제12세부과제〉 가축분뇨 액비의 유해물질 관리

구분	세부연구 목표	달성도(%)
1차년도 (‘09)	<ul style="list-style-type: none"> 액비 중 유해물질 분석법 정립 유해 세균 동정법 확립 	100
2차년도 (‘10)	<ul style="list-style-type: none"> 액비 중 유해물질 모니터링 유해 세균 오염 모니터링 	

제2절 : 정량적 성과

구 분	논문		특허				학술발표		시책 건의	영농 활용	책자 발간
	SCI	비SCI	국내		국외		국내	국제			
			출원	등록	출원	등록					
총계	5	13	6	1			13	1	5	11	
1년차('07)											
2년차('08)	1	6	2	1			10		2	6	
3년차('09)	4	7	4				3	1	3	5	

□ 논문게재

- A.Suresh. Enhancement of biogas production from swine slurry using modified underground anaerobic digester (mUGAD). Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association (국외, 비SCI)
- A.Suresh. Assesment of compost maturity on their different stages with microbial and biochemical dynamics. Journal of the Korea Organic Resource Recycling Association (국외, 비SCI)

- A.Suresh. Kinetics of Chemical Properties and Microbial Quantity in a Korean Soil Amended with Raw and Processed Pig Slurry. Asian-Australian Journal of Animal Sciences 2009, 22 (5), 732-739 (국외, SCI)
- A.Suresh. Swine Slurry Characterization and Prediction Equations for Nutrients in South Korean Farms. Transactions of the ASABE 2009, 52(1), . 267-273 (국외, SCI)
- A.Suresh. Prediction of the nutrients value and biochemical characteristics of swine slurry by measurement of EC - Electrical conductivity. Bioresource Technology 2009, 100(20), 4683-4689 (국외, SCI)
- Zhu Kun. Effects of Anaerobically Digested Pig Slurry Application on Runoff and Leachate. Chemistry and Ecology 2009, 25(5), 359-369 (국외, SCI)
- 김재환. 가축분뇨 공공처리시설의 처리용량 확대 가능성에 관한 연구. 한국축산시설환경학회지 2009, 15(3) (국내, 비SCI)
- 정광화. 발효퇴비 첨가수준이 돈분퇴비화 초기과정에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 (국내, 비SCI)
- 류종원. 퇴비단 여과액비가 수경재배에서 상추의 생육과 수량에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 2009, 15(51~58) (국내, 비SCI)
- 류종원. 퇴비단 여과액비가 수경재배에서 상추의 생육과 수량에 미치는 영향. 퇴비단 여과액비와 막분리 농축액비를 이용한 고품배지경 양액재배가 고추의 생육과 수량에 미치는 영향. 한국축산시설환경학회지 2009, 15(16~170) (국내, 비SCI)
- 류종원. 퇴비단 여과액비와 농축액비를 이용한 양액재배가 토마토(*Lycopersicon esculentum* Mill.) 생육 및 수량에 미치는 영향. 한국유기농업학회지 2009. 17(357~370) (국내, 비SCI) 등 18건

□ 논문발표

- 윤태한. 활성슬러지공정을 이용한 가축분뇨 액비화 및 정화처리에 관한 연구. 대한환경공학회
- Swine waste treatment using a new digester system consists of digester + anaerobes recycle + removal of N, P and heavy metals. Renewable energy 2008, International conference and exhibition, October 13th -17th 2008. Bexco & Nurlmaru, Busan, Korea., 국외
- 김재환. 가축분뇨 액비유통센터의 활성화에 관한 연구. 한국동물자원과학회
- 김재환. 가축분뇨 공공처리시설의 처리용량 확대 가능성에 관한 연구. 한국동물자원과학회 등 14건

□ 특허

- 최홍림. Integrated Livestock Manure Anaerobic Treatment System with its Production

Space.(Patent No. 10-2007-0034052)

- 정광화외 5명. 가축분퇴비압출가공장치(출원중)
- 류종원. SCB 맞춤형액을 활용한 무농약인증 상추수경재배 기술(출원예정)
- 정광화외 4명. 가축분뇨저장시설 가변 지붕형 덮개(출원중) 등 7건

□ 시책건의

- 김재환외 6명. 농림사업시행지침 '73. 가축분뇨처리지원사업'의 '3) 공동자원화시설 설치 시 유의사항' 완화. 농식품부.
- 류종원외 4명. 퇴비단여과(SCB)액비의 비료공정규격 신설. 농촌진흥청
- 정광화외 4명. 가축분뇨 액비 재활용 조건설정. 농림수산식품부 등 5건

□ 영농활용

- 윤태한. 활성오니 정화시설을 이용한 액비생산기술
- 김재환외 6명. 가축분뇨 종합정보 시스템'의 활용
- 정광화외 5명. 발효퇴비첨가에 의한 퇴비화효과개선
- 정광화외 4명. 가축분뇨 처리시설평가 결과 활용
- 류종원외 4명. SCB 맞춤형액을 활용한 유기양액 및 상추 수경재배 기술 등 11건

제 5 장 연구개발결과의 활용계획

〈제1세부과제〉 가축분뇨 활성오니정화시설의 이용성 개선 연구

가축분뇨의 방류 및 액비생산에 적합한 활성오니시설 공정구성 및 운전관리 기술과 활성오니정화시설로부터 발생된 부산물의 비료화 기술 및 고도처리기술을 제시하여 처리효율을 높이는 데 활용될 것임.

〈제2세부과제〉 혐기성공정을 이용한 가축분뇨 액비화 기술 개발

우리나라 축산환경에 맞는, 기존 액비저장조를 대체할 수 있는, 바이오가스 생산공정 개발 (**MaCoL**: Modified Anaerobic Covered Lagoon)과 이의 안정적인 운전을 위한 센어제어에 기반한 운영체계(운영항목 및 조건 포함)확립하여 잔존 소화액의 고품질 액비화 가 가능하도록 기술을 제시함으로써 자원화 기술향상에 활용함.

〈제3세부과제〉 맞춤형 퇴비생산 기술 개발

퇴비의 사용촉진을 위한 취급이 용이한 펠렛기술을 개발하여 고품질의 퇴비를 생산하더라도 현재의 경우처럼 함수율이나 입자의 크기 및 강도 등이 불균일한 상태로는 인력살포나 기계살포 시 많은 불편이 따름으로 이를 개선하여 경종농가의 퇴비사용을 촉진하는데 활용함.

〈제4세부과제〉 기능성 액비생산 기술 개발

SCB 침출액과 나노 막분리 공정의 현장 실증으로 방류 및 농축액비 생산의 최적 막분리 공정을 도출하여, 하우스 관비 추비용 정제액비 생산기술 및 이용시스템 구축과 하우스 기비용 농축액비 생산기술 및 이용시스템 구축에 활용함.

〈제5세부과제〉 가축분뇨 퇴·액비 중 특정성분 제어기술 개발

퇴·액비내 인과 질소의 함유량을 줄여 토양내 물질순환 균형을 맞추어줄 수 있는 기술개발과 화학비료 대체용 친환경 축분 완효성 유기비료 생산에 필요한 특정성분 제어기술 개발은 궁극적으로 이상적인 자연순환농업 구현에 크게 활용할 것임.

〈제6세부과제〉 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구

축산유래 악취 제거를 위한 전제조건을 갖춘 방법으로 펄스 코로나 방전 (Pulsed Corona Discharge) 플라즈마 기술을 이용하여 축산폐수로부터 발생하는 악취를 친환경적으로 제거하는데 활용함.

〈제7세부과제〉 효소복합체를 이용한 양돈슬러리 자원화 과정의 악취제어 기술개발

효소복합체를 이용하여 양돈슬러리의 액비화 과정의 악취저감기술 개발과 액비화 효율 개선으로 자연순환농업의 조기정착에 활용함.

〈제8세부과제〉 파쇄옥수수대의 축분퇴비제조 수분조절재로의 활용기술 개발

마이크로버블을 이용한 고액분리기를 이용하여 농가실증을 통해 고액분리기의 효율 및 유지관리 등을 검토한 결과 고액분리기의 효율이 우수하고 유지관리가 용이한 장점이 있다. 따라서 마이크로버블 고액분리기의 적용으로 생물처리시설의 효율을 증대할 수 있고, 유지관리비의 절약에 활용함으로서 경영안정에 활용함.

〈제9세부과제〉 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가실증

본 연구의 실험결과를 바탕으로 매뉴얼을 작성, 보급함으로써 축산농가의 분뇨처리 공정으로 기 도입된, 그리고 도입율이 증가되고 있는 활성오니정화시설을 방류 및 액비생산에 동시에 이용할 수 있게 함으로서 가축분뇨 자원화를 도모하고 동시에 최대한 자원화하고 남은 가축분뇨는 활성오니시설을 근간으로 한 최소한의 시설보완으로 부영양화 원인 물질인 질소, 인 뿐 만 아니라 색도물질까지 처리하여 안전하게 방류할 수 있는 시스템 구축함으로서 가축분뇨로 인한 환경오염 저감에 활용함.

〈제10세부과제〉 가축분뇨 액비 살포장치 개발

국내에서는 충돌판 살포기가 관행적으로 사용되고 있으며, 최근에는 지표살포기, 액비주입기 등이 개발되어 있으나 비닐하우스용, 골프장, 과수원, 임산지에 사용할 수 있는 액비살포기는 전무하므로 본 연구를 통해 개발된 장치를 활용 가능토록 함.

〈제11세부과제〉 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC 평가 연구

시설투자에 대한 설치, 운영, 유지관리 그리고 최종적인 처분에 이르기까지 전과정에서의 전

체비용을 합산하여 분석함으로써 총비용의 관점에서 가장 경제적인 대안을 선택할 수 있도록 의사결정 정보의 제공함으로서 LCC평가체계를 구축하여 가축분뇨 처리시설 선정 시 공법별, 공정별 최적의 투자 경제성 평가의 유용한 도구로 활용이 가능하고, 시설관리의 개선 등 다양한 분야에서 폭넓게 적용할 수 있어 시설개선의 경제적 효용성을 극대화할 수 있음.

〈제12세부과제〉 가축분뇨 액비의 유해물질 관리

액비 중금속 기준설정 근거자료 제공함으로서 친환경농산물 품질인증 농가, GAP 농가 등에서 활용 가능토록 하고, 액비 중금속 및 액비 유해 세균 동정 분석 시스템 구축을 통해 도 농업기술원 및 시·군 농업기술센터 분석담당자 등에서 활용토록 하며, 액비에 의한 오염농경지 관리방안 제시에 활용함.

제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

해당사항 없음

제 7 장 기타 중요 변동사항

세부과제명	연구기간	변경	사유
1) 가축분뇨 활성오니정화시설의 농가 이용성 개선연구	'07~'09	변경 없음	
2) 혐기공정을 이용한 가축분뇨 액비화 기술개발	'07~'09	변경 없음	
3) 맞춤형 퇴비생산기술 개발	'07~'10	과제 이관	과제 조기완결 조치로 소과제 '가축분뇨 처리향상 및 퇴·액비 평가기준 설정' 으로 이관하여 계속 수행
4) 기능성액비 생산기술 개발	'07~'09	변경 없음	
5) 가축분뇨 퇴·액비내 특정성분제어 기술 개발	'07~'09	변경 없음	
6) 코로나 플라즈마를 이용한 축산분뇨의 악취물질 제거 연구	'07~'09	'07~'08	연구목표 조기 달성으로 '08년 조기 완결
7) 효소복합체를 이용한 양돈슬러리 자원화과정의 악취제어기술 개발	'07~'09	변경 없음	
8) 파쇄옥수수대의 축분퇴비 제조 수분조절재료의 활용기술 개발	'07~'09	변경 없음	
9) 마이크로버블 이용 고효율 고액분리기 농가 실증	'07~'09	변경 없음	
10) 가축분뇨 액비 살포 장치 개발	'07~'09	변경없음	
11) 가축분뇨 처리시설에 대한 LCC 평가 연구	'09~'10	과제 이관	과제 조기완결 조치로 소과제 '가축분뇨 처리향상 및 퇴·액비 평가기준 설정' 으로 이관하여 계속 수행
12) 가축분뇨 액비의 유해물질 관리	'09~'11	과제 이관	<ul style="list-style-type: none"> 과제 조기완결 조치로 소과제 '가축분뇨 처리향상 및 퇴·액비 평가기준 설정' 으로 이관하여 계속 수행 “축산분뇨 유래 농자재의 유해생물 오염실태 조사 및 원인 구명”(어젠다 13-36-79) 과제와 액비 유해미생물 오염도 조사의 업무중복으로 '10년부터 중금속분야에 국한 집중 수행

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구장비 현황

해당사항 없음

제 9 장 참고문헌

- Aarnink, A. J. A. 1997. Ammonia emission from housing for growing pigs as affected by pen design, indoor climate and behaviour. Ph. D.thesis. Agricultural University Wageningen. The Netherlands.
- Albrici-it J. A. and C. W. Alliston. 1971. Effects of varying the environment upon the performance of dairy cattle. J. animal sci. 32, 566-577.
- Al-Shamrani, A. A., James, A. and Xiao, H., Separation of oil from water by dissolved air flotation, *Wat. Res.*, **36**, p.1503~1512, 2002
- American Public Health Association, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 10th ed., Washington, DC., 1995.
- Andreae, U., T. Papendieck. 1971. Behaviour of dairy cows when choosing a cubicle in loose housing systems. *Der Tierzüchter*, 15:432-435.
- Angelidaki, I., Ahring, B.K., 2000. Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure. *WaterSci. Technol.* 41(3), 189-194.
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis(15th Ed.). Association of Official Analytical Chemists. Washinton, D.C.
- Aoyama M., N. Yoshimura, S. Sugita and R. Kusunose. 2004. Effects of used bedding straw and drying it in sunshine on lying behavior in stable horse. *J. Equine Sci.* 15:67-73.
- APHA. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition
- APHA. AWWA & WEF, Standard methods for the examination of water and waster, 18th Ed. American public Health Association. washington, D. C. 1992.
- APHA., 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, nineteenth ed. American Public Health Association. Washington, D.C.
- APHA-AWWA-WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Ed., American Public Health Association, U.S.A., (2000).
- Bohl, Willi, 1986, Technische Stromungslehre. VOGEL-BUCHVERLAG.
- Byung-Hun Lee, Eun-Jung Park, Woo-Seok Jung.(1995). "Nitrogen and Phosphorous removal from swine wastewater by using intermittent aeration process." *J. Korea Society of Water and Wastewater Treatment Technology*, 3(4) : 31-45
- Byung-Hun Lee, Nam-Hee Lee.(1994). "Swine Wastewater Treatment by Using Water Hyacinth(*Eichhronia crassiper*).", *J. Korea Society of Water and Wastewater Treatment Technology*, 2(2) : 29-38
- Caceres. R., X., Flotats, O., Marfa. 2006. Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during. *Waste Management*, 26:1081-1091.
- Cai, L., J. A. Koziel, Y. C. Lo and S. J. Hoff. 2006. Characterization of volatile organic compounds

- and odorants associated with swine barn particulate matter using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry-olfactometry. *J. Chromatography A*. 1102:60-72
- Chae, K.J., Am Jang., Yim, S.K., Kim In, S., 2008. The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresour. Tech.* 99(1), 1-6.
- Cho, J. W., Amy, G., and Pellegrino, J., Membrane filtration of natural organic matter : Initial comparison of rejection and flux decline characteristics with ultrafiltration and nanofiltration membranes, *Wat. Res.*, **33**(11), p.2517~2526, 1999
- Cho-Hee Yoon, Yong-Suk Kwon. (1996) "The influence of flow characteristics of oxic reactor on organic and nitrogen removal in a swine wastewater treatment system using A₂/O process." *J. KSWQ Dec.*, 12(4) : 463-470
- Cruwys, J. A., R. M. Dinsdale, F. R. Hawkes and D. L. Hawkes. 2002. Development of a static headspace gas chromatographic procedure for the routine analysis of volatile fatty acids in wastewaters. *J. Chromatography A*. 945:195-209
- D. L. E. Bashan, Y. Bashan, Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as a fertilizer (1997-2003), *Water Res.* **38**(2004) 4222-4246.
- Das K, M. Anis, BMN Mohd. Azemi, N. Ismail. 1995. Fermentation and recovery of glutamic acid from palm waste hydrolysate and recovery of glutamic acid from palm waste hydrolysate by ion-exchange resin column. *Biotechnol Bio eng.* 48:551-555.
- Daud, W.M.A.W., Ali, W.S.W., 2004. Comparison on pore development of activated carbon produced from palm shell and coconut shell. *Bioresour. Technol.* 93: 63-69.
- Dong-Joon Han, Jae-Keun Ryu, Youn-Teak Rim, Jay-Myoung Rim. (1998) "Reaction characteristics of piggery wastewater for biological nutrient removal." *J. of KESS*, 20(3) : 371-384
- Dong-Jun Han, Jay-Myoung Rim. (1997) "Treatment of piggery wastewater by anoxic/oxic biofilm process without recirculation." *J. Korea Society of Water and Wastewater Treatment Technology*, 5(3) : 21-29
- Donham, K. J. 1989. Relationships of air quality and productivity in intensive swine housing. *Atmos. Chem.* 19(4):331-369.
- Donham, K. J. 1991. Association of environmental air contaminations with disease and productivity in swine. *Am. J. Vet. Res.* 52(10):1723-1730.
- Drissler, M., Gaworski, C. B. Tucker, and D. M. Weary. 2005. Free stall Maintenance: Effects on Lying Behavior of Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 88:2381-2387.
- Duncan, I.J.H. 1978. The interpretation of preference tests in animal behaviour. *Appl. Anim. Ethol.* 4:197-200.
- Edzwald, J. K., Principles and application of DAF, *Wat. Sci. & Tech.*, **36**(3-4), p.1~23, 1995
- Edzwald, J. K., Walsh, J. P., Kaminski, G. S. and Dunn, H. J., Flocculation and requirements for dissolved air flotation, *Jour. of AWWA*, **84**(3), p.92~100, 1992
- Ericsson, B. and Hallmans, B., Membrane filtration as a pre-treatment method, *Desalination*, **82**, p.24

9~266, 1991

- Fauci. M. F., D. F. Bezdicek, D. Caldwell, R. Finch. 1999. End product quality and agronomic performance of compost. *Compost Science and Utilization* 1(2): 17-29.
- Faure. D. AM. Deschamps. 1990. Physico-chemical and microbiological aspects in composting of grape pulps. *Bio Wastes*, 34:251-258.
- Fleming. K., E.F. Hessel and H.F.A. Van den Weghe. 2008. Evaluation of Factors Influencing the Generation of Ammonia in Different Bedding Materials Used for Horse Keeping. *Journal of Equine Veterinary Science*. 28(4):223-231.
- Frank A. Maurice T. 2005. The importance of straw for pig and cattle welfare: A review. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 92:261-282.
- Fregonesi J. A. 2007. Effects of Bedding Quality on Lying Behavior of Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90:5468-5472.
- Fregonesi. J. A., C. B. Tucker and D. M. Weary. 2007. Overstocking Reduces Lying Time in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 90:3349-3354.
- G. Bortone, S. Gemelli, A. Rambaldi and A. Tilche(1992). "Nitrification, Denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater" *Wa. Sci. Tech.*, 26(5-6), : 977-985.
- Ganjyal, G.M. 2004. Biodegradable packaging foams of starch acetate blended with corn stalk fibers. *J. Appl. Poly. Sci.* 93: 2627-2633
- Gerardi, M.H., 2003. *The microbiology of anaerobic digester*. John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- Goodrich, P. R., B. D. Backus, and D. D. Schroeder. 1988. Limiting the land-application of mixed paper based on metal content. *Biol. Wastes* 24:81-94.
- Govere, E. M., M. Tonegawa, M. A. Bruns, E. F. Wheeler, P. H. Heinemann, K. B. Kephart and J. Dec. 2005. Deodorization of Swine Manure Using Minced Horseradish Roots and Peroxides. *J. Agric. Food Chem.* 53:4880-4889
- Graese, S. L., Snoeyink, V. L. and Lee. (1987) R. G., "Granular activated carbon filter adsorber systems." *J. AWWA*, 79(12) : 64-74)
- Gray K. R, K. Sherman, A J. Biddlestone. 1971. A review of composting Part 1. *Process Biochemistry*, 6:32-36.
- Groenestein C. M, H. G. van Faassen. 1996. Volatilization of ammonia, nitrous oxide in deep-litter systems for fattening pogs. *J. Agri. Engineering Research*. 65:259-274.
- Gupta. S. K. and Sharma. R.(1996) "Biological Oxidation of high strength Nitrogenous Wastewater." *Wat. Res.*, 30(3), : 593-600.
- H. A. J. ,P.C.Fahy,Basis for the control of soil borne plant pathogens with composts, *Ann. Rev. Phytopathology* (1986)93-114.
- Haney. A. L. and E. P. Marbach, 1962. Modified reagents for determination of urea and ammonia. *Clinical Chem. Insty.* 8:130-132.

- Hansen, R. C., Manel, K. M., Keener, H. M. and Hoitink, H. A. J. 1995. The composting process- A natural way to recycle waste-OSUE., Bulletin 792. The Ohio State University. Columbus, OH.
- Hartung, J. and Phillips, V. R. 1994. Control of gaseous emissions from livestock buildings and manure stores. J. Agric. Eng. Res. 57:173-189.
- Hobbs, P. J., Misselbrook, T. H. and Pain, B. F. 1995. Assessment of odors from livestock wastes by a photoionization detector, an electronic nose, olfactometry and gas chromatography-mass spectrometry. J. Agric. Eng. Res. 60:137-144.
- Hobbs, P. J., Pain, B. F., Kay, R. M. and Lee, P. A. 1997. Control of odors by dietary manipulation. Ammonia and odor control from animal production facilities. proceedings of the International Symposium. Vinkeloord, The Netherlands. October 6-10, 1997. pp. 267-272.
- Hogan, J. S., K. L. Smith, K. H. Hoblet, P. S. Schoenberger, D. A.
- Hogan, J. S., V. L. Bogacz, L. M. Thompson, S. Romig, P. S. Schoenberger, W. P. Weiss, and K. L. Smith. 1999. Bacterial Counts Associated with Sawdust and Recycled Manure Bedding Treated with Commercial Conditioners. J Dairy Sci. 82:1690-1695.
- In-Seok Seo, Sang-Ill Lee. (1995) "Nutrient Removals of swine wastewater by the intermittently aerated activated sludge system." J.of KESS, 17(7) : 637-647
- Irps, H., 1987. The influence of the floor on the behavior and lameness of beef bulls. In: H.Wierenga(Eds.), Cattle Housing Systems, Lameness and Behaviour. Martinus Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands, pp. 73-86.
- Isensee, E. u. R. Thamsen. 1984. Verteilgenauigkeit fuer Guellewagen. RKL-Schrift 4.2.0 889-916.
- J. Driver, D. Lijmbach, I. Steen, Why recover phosphorus for recycling, and how?, Environmental Technology 20(1999) 651-662.
- J. M. Agnew., J. J. Leonard., J. Feddes and Y. Feng. 2003. "A modified air pycnometer for compost air volume and density determination". Canadian Biosystems Engineering. 45 : 627-635.
- Jarecki, M. K., C. Chong and R. P. Voropney. 2005. Evaluation of compost leachates for plant growth in hydroponic culture. Journal of Plant Nutrition. 28: 651-667.
- Jean, D. S., Lee, D. J., Expression deliquoring of oily sludge from a petroleum refinery plant, *Waste Management*, 19, p.349~354, 1999
- Jeppsson. K. H. 1999. Volatilization of Ammonia in Deep-litter Systems with Different Bedding for Young Cattle Materials. J. Agric. Engang RES. 73:49-57.
- Jeppsson. K. H. 2000. Carbon Dioxide Emission and Water Evaporation from Deep Litter Systems. J. agric. Engng Res. 77(4):429-440.
- Keener, K. M., Bottcher, R. W., Munilla, R. D., Parbst, K. E. and Van Wickoen, G. L. 1999. Field evaluation of an indoor ozonation system for odor control. In: Proceedings Animal Waste Management Symposium. APWMC. Jan. 27-28. North Carolina State University, Raleigh, NC, pp. 310-313.
- Keys, J. E., L. W. Smith, and B. T. Weinland. 1976. Response of dairy cattle given a free choice of free stall location and three bedding materials. J. Dairy Sci. 59:1157-1162.

- Kim, Y. J., W. J. Choi, S. S. Lim, J. H. wak, S. X. Chang, H. Y. Kim, K. S. Yoon, H. M. Ro. 2008. Changes in nitrogen isotopic compositions during composting of cattle feedlot manure: Effects of bedding material type. *Bioresour Technology*. 99:5452-5458.
- Kowalewsky, H. H. and Vetter, H. 1982. Guellewagen mit besserer Verteilung und Dosierung, *Landwirtschaftsblatt Weser-Ems*, Nr. 12, S. 8-14.
- Kuba, T., and Van Loosdrecht, M.C.M. (1996) "Phosphorous and nitrogen removal with minimal COD requirement by integration of denitrifying dephosphastation and nitrification in a two-sludge system." *Water Research*, 30(7) : 1702-1710
- L. Pastor, D. Mangin, R. Barat, A. Seco, A pilot-scale study of struvite precipitation in a stirred tank reactor: conditions influencing the process, **99**(2008) 6285-6291.
- L. W. Deng, P. Zheng, Z. A. Chen, Anaerobic digestion and post-treatment of swine wastewater using IC-SBR process with bypass of raw wastewater, *Process Biochemistry* **41**(2006) 965-969.
- Luoma, T. S. 1982. Ausbringen und Verteilen von Fluessigmist - KTBL-Schrift 279, Landwirtschaftsverlag GmbH Muenster-Hiltrup.
- M. ,D.D.Shiralipour,W.H.Smith,Compostapplicationimprovessoilproperties,Biocycle (1993)61-63.
- M. Kithome, J. W. Paul, A. A. Bomke, Reducing nitrogen losses during simulated composting of poultry manure using adsorbents or chemical amendments, *Journal of Environmental Quality* (1999)194-201.
- Mannebeck, H. 1983. Umweltfreundliche Technik der Fluessigmist- ausbringung -In: Fluessigmist in der Landwirstchaft, KTBL-Arbeitspapier 80, S. 79-88.
- McCrory, D. F. and P. J. Hobbs. 2001. Additives to Reduce Ammonia and Odor Emissions from Livestock Wastes: A Review. *J. Environ. Qual.* 30:345-355
- Metcalf and Eddy, 폐수처리공학, 동화기술(2004).
- Misselbrook T. H and J. M. Powell, 2005. Influence of Bedding Material on Ammonia Emissions from Cattle Excreta. *J. Dairy Sci.* 88:4304-4312.
- Moser, Eberhard, 1984. Verfahrenstechnik Intensivkulturen. Verlag Paul Parey.
- N. Zhu, Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw, **98**(2007) 9-13.
- Natzke, R.P., D. R. Bray, R. W. Everett. 1982. Cow preference for free stall surface material. *J. Dairy Sci.* 65:146-153.
- NIAS., 1999. Research on the quantity of livestock manure excreted and their characteristics, Research on livestock facility and environment, Annual research report 1999. National Institute of Animal Science. Suwon, South Korea. Available at: www.nlri.go.kr/english/report_08.asp Accessed 12th February 2009.
- NIAS., 2005. Efficiency of composting and purification according to collecting method of pig manure. In Annual Research Report 2005. National Institute of Animal Science, Livestock Environment Research, Suwon, South Korea. Available at: <http://www.nias.go.kr/english/report7.asp> Accessed 12th February 2009.

- O'Neill, D. H. and Phillips, V. R. 1992. A review of the control of odor nuisance from livestock buildings : part 3. Properties to the odorous substances which have identified in livestock wastes or in the air around them. *Journal of Agricultural Engineering Resource* 53:23-50.
- Oh, I. H., J. Lee, R. T. Burns. 2004. Development and Evaluation of a MultiHouse Slurry Application for Rice Paddy Fields. *Applied Engineering in Agriculture* Vol. 20(1) 101-106. American Society of Agricultural Engineers.
- Olson. T. M. 1939. Absorptive Capacity of Different Materials Ordinarily Used for Bedding. *J. Dairy Sci.* 23(4): 355-360.
- Pagans, E., R. Barrena, X. Font, A. Sanchez. 2006. Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. *Chemosphere.* 62:1534-1542.
- Park B. K., J. S. Lee, N. J. Cho., and K. Y. Jung.(2001) "Effect of liquid pig manure on growth of rice and infiltration water quality." *J. Korean Soc., Soil Sci., Fert.*, 34 : 153-157
- Peisker, M. 1994. Influence of expansion on feed components. *Feed Mix* 2 : 26-31.
- Phillips, P.A., Fraser, D., Pawluczuk, B., 2000. Floor temperature preference of sows at farrowing. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 67: 56-59.
- Preller, L. 1995. Respiratory health effects of pig farmers. Assessment of exposure and epidemiological studies of risk factors. Ph. D. thesis Agricultural University Wageningen. The Netherlands.
- R. Kulcu, O. Yaldiz, Composting of goat manure and wheat straw using pine cones as a bulking agent, 2700-2704.
- Raj Kumar, Sompal Singh, Om V. Singh. 2008. Bioconversion of lignocellulosic biomass: biochemical and molecular perspectives. *Ind Microbiol Biotechnol.* 35:377-391.
- Ronaldo B. Saludes, Kazunori Iwabuchi, Fumihito Miyatake, Yoshiyuki Abe, Yoshifumi Honda. 2008. Characterization of dairy cattle manure/wallboard paper compost mixture. *Bioresource Technology.* 99:7285-7290.
- Ruan, J. J., W. Li, Y. Shi, Y. Nie, X. Wang and T. E. Tan. 2005. Decomposition of simulated odors in municipal wastewater treatment plants by a wire-plate pulse corona reactor. *J. Chemosphere.* 59:327-333.
- Sahm, H. Anaerobic wastewater treatment. *Adv. Biochem. Eng. Biotech.* 29:84-115. 1984.
- Shaobing Peng, Ma. Rebecca C. Laza, Felipa V. Garcia and Kenneth G. Cassman. 1995. Chlorophyll meter estimates leaf area-based nitrogen concentration of rice. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 26(7 & 8): 927-935.
- Shi, Y., J. J. Ruan, X. Wang, W. Li and T. E. Tan. 2006. Evaluation of Multiple Corona Reactor Modes and the Application in Odor Removal. *J. Plasma Chem Plasma Process.* 26:187-196
- Sonneverd, C., and N. Straver. 1992. Nutrient solution for vegetables and flowers grown in water or substrates. p. 22~23 presentation voor tuinboud onder glas te Noaldnijk, Netherlands.
- Soo-Koo Lee, Sang-Heun Park, Chang-Ho Cho, Byung-Ran Rim. (1998) "A study on the swine wastewater treatment using sequencing batch reator(I)." *J. Korea Soild Wastes Engineering Society*, 15(1) : 49-56

- Spaelstra, S. F. 1980. Origin of objectionable odours components in piggery wastes and the possibility of applying indicator components for studying odour development. *Agriculture and Environment* 5:241-260.
- Sutton, A. L., K. B. Kephart, M. W. Verstegen, T. T. Canh and P. J. Hobbs. 1999. Potential for reduction of odorous compounds in swine manure through diet modification. *J. Anim. Sci.* 77:430-439
- Tanner, M. K., A. M. Swinker, J. L. Traub-Dargatz, L. A. Stiffler, P. M. McCue, D. K. Vanderwall, D. E. Johnson, and L. M. Vap. 1998. Respiratory and environmental effects of recycled phone book paper versus sawdust as bedding for horses. *J. Equine Vet. Sci.* 18:468-476.
- Taylor, J. S., Mulford, A., Duranceau, S. J., and Barrentt, W. M., Cost and performance of a membrane pilot plant, *Jour. of AWWA.*, **81**(11), p.52~60, 1989
- Temple, G. 1989. Potential uses and problems of using shredded paper for animal bedding. Pennsylvania Recycling Conference April/May 1989, Penn State University, University Park, PA, PEN pages No. 08801720.
- Todhunter, W. D. Hueston, D. E. Pritchard, G. L. Bowman, L. G. Heider, B. L. Brockett, and H. R. Conrad. 1989. Bacterial counts in bedding materials used on nine commercial dairies. *J. Dairy Sci.* 72:250.
- Tucker, C. B and D. M. Weary., 2004. Bedding on Geotextile Mattresses: How Much is Needed to Improve Cow Comfort?. *J. Dairy Sci.* 87:2889-2895.
- U.S. EPA. Design for Nitrogen Control(1993).
- U.S. EPA. Design for Nitrogen Control(1993).
- UNDPEC. 4-7 June. 1985. Utilization of Agricultural residues as energy source for productive activities (RAS/84/001)html. 1999.
- V. M. Elisabeth, K. Barr, Controlled struvite crystallisation for removing phosphorus from anaerobic digester sidestreams, *Water Resource* **35**((2001) 151-159.
- Van Lier, J.B., Tilche, A., Ahring, B.K., Macarie, H., Moletta, R., Dohanyos, M., Hulshoff Pol, L.W., Lens, P., Werstraete, W., 2001. New perspectives in anaerobic digestion. *Water Sci. Technol.* 43(1), 1-18.
- Vikman, M, S. Karjomaa, A. Kapanen, K. Wallenius, M. It vaara. 2002. The influence of lignin content and temperature on the biodegradation of lignocellulose in composting conditions. *Appl Microbiol Biotechnol*, 59:591-598.
- Wagner-Storch. A. M., R. W. Palmer and D. M. Weary. 2006. Factors affecting stall use for different free stall bases. *J. Dairy Sci.* 83:359-367.
- Walker, P. and T. Kelley. 2003. Solid, Organic load and nutrient concentration reductions in swine waste slurry using a polyacrylamide (PAM)-aided solids flocculation treatment. *J. Bioresource Technology*. 90:151-158
- Ward, P. L., J. E. Wohlt, P. K. Zajac and K. R. Cooper. 2000. Chemical and Physical Properties of Processed Newspaper Compared to Wheat Straw and Wood Shavings as Animal Bedding. *J. Dairy*

- Sci. 83:359-367.
- Ward. P. L., J. E. Wohlt and S. E. Katz. 2001. Chemical, physical, and environmental properties of pelleted newspaper compared to wheat straw and wood shavings as bedding for horses. J Anim Sci. 79:1359-1369.
- Wechsler B., J. Schaub, K. Friedli, R. Hauser. 2000. Behaviour and leg injuries in dairy cows kept in cubicle systems with straw bedding or soft lying mats. Appl. Anim. Behav. Sci. 69, 189-197.
- Willig, S., M. Lacorn and R. Claus. 2004. Development of a rapid and accurate method for the determination of key compounds of pig odor. J. Chromatography A. 1038:11-18
- Wu, J. J., S. H. Park, S. M. Hengemuehle, M. T. Yokoyama, H. L. Person, J. B. Gerrish and S. J. Masten. 1999. The Use of Ozone to reduce the Concentration of Malodorous Metabolites in Swine Manure Slurry. J. Agric. Engng. Res. 72:317-327
- X. Q. Liang, Y. X. Chen, H. Li, G. M. Tian, W. Z. Ni, M. M. He, Z. J. Zhang, Modeling transport and fate of nitrogen from urea applied to a near-trench paddy field, **150**(2007) 313-320.
- Xie. R. & A. F Mackenzie.(1986) "Urea and manure effects on soil nitrogen and corn dry matter yields." Soil Science Soc., Am, J. 50 : 1504-1508
- Y. K. Jeong, J. S. Kim, A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting process, **79**(2001) 129-133.
- Yung-Kyu Park, Chul-Hee Lee, Byung-Dae Lee. (1995) "Theoretical analysis for nitrogen removal in anoxic-oxic-anoxic-oxic process including internal recycling." J.of KESS, 17(9) : 873-885
- Zhang, R., T. Yamamoto and D. S. Buddy. 1996. Control of Ammonia and Odors in Animal Houses by a Ferroelectric Plasma Reactor. IEEE Trans. Ind. Applicat. 32(1):113-117
- 강석우. 1990. 조립학.;
- 강성원, 박규홍, 응집과 가압부상공정을 이용한 유화수 내 도데칸 제어에 관한 연구, 대한환경공학회, **26**(4), p.391~396, 2004
- 고광백, 김영관, 윤주환, 임재명, 한무영, 강선홍, 김동진, 김진호, 독고석, 박철휘, 송창수, 조옥상, 폐수처리공학 제4판, 동화기술, 2004
- 과기부. "질소함유 고농도 유기폐수의 생물학적공정 기본설계기술개발."UCN 1926- 6683-6(2000)
- 곽완섭, 박종문. 2003. 육계분 헐기 또는 퇴적발효 사료 제조시 당밀 첨가 및 펠렛화가 사료영양적 가치 및 사료 적응기의 한우 기호성 개선에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지. 45(1) : 87-100.
- 곽완섭. 2002. 호기발효와 펠렛 처리가 육계분의 사료 영양적 성분에 미치는 영향 및 소형 펠렛기의 육계분 성형가능성 평가. 한국축산시설환경학회지. 8(3): 191-198.
- 김광위, 우종화, 이철영, 김두환. 2003. 오존처리가 자돈사내 공기의 질과 자돈의 성장효율에 미치는 영향. 한국동물자원과학회지. 45(6):1061-1066.
- 김기덕, 박창규, 원선이, 유창재. 1997. 가축뇨의 관비재배 기술연구. 경기도원시험연구보고서. 486-492.
- 김동주, 김교선. 1999. NOx 제거용 저온 플라즈마 반응기에서의 플라즈마 화학 및 입자 성장. 강원대학교 산업기술연구소 논문집. 9

- 김두환, 김인배. 1999. 양돈시설 내부의 악취조절에 관한 기술 및 연구 동향. 축산시설환경학회지. 5(3):203.
- 김월미, 조창환. (1986) “발아온도 및 저장기간에 따른 소맥품종의 발아성”Korea J. Breed. 18(4) : 380-387
- 김종국, 이은경, 저압식 부유부상법(LAF)을 이용한 SBR 축산폐수 처리공정 배출수의 SS 제거에 관한 연구, 대한환경공학회지, 26(12) p.1297~1303, 2004
- 김지태. 축산폐수관리 현황 및 정책방향, 가축분뇨자원화에 관한 세미나, 한국가축분뇨자원화협회. 1998. 6
- 김태일, 유용희, 정의수, Antonio J. Barroga, 양창범, 김민균. 2005. 돈 분뇨액비에 미생물 첨가가 배추의 발아지수에 미치는 영향. 축산시설환경학회지. 11(2):135-146.
- 노선호, 문홍길, 한인규, 신인수. 1995. 사료중 성장촉진제가 돼지의 성장에 미치는 영향. 한국축산학회지. 37:66
- 농림부. 2006. 농림사업시행지침서. 제3권(축산). 1275.
- 농촌진흥청 고시 제2005-1호. 2005. 비료공정규격.
- 농촌진흥청. (1999) “친환경농업을 위한 가축분뇨 퇴비, 액비 제조와 이용”
- 농촌진흥청. (2002) “가축분뇨(액비) 이용기술 개발과제 보고서”
- 박귀환, 오길영, 정경훈, 정선용, 차규석. 2005. 축산시설의 악취 특성에 관한 연구. 한국냄새환경학회지. 4(4):207-215
- 손명진 등, 2006, LCC분석을 통한 운영방식별 하수종말처리시설의 경제성 분석, 대한건축학회 학술발표대회논문집 26권1호
- 松井 謙介.(1997) “분뇨처리장의 탈색대작 사례.”첨단환경기술, 5(10) : 20-25
- 안규홍, 송경근, 권지향, 차호영.(1998) “입상 활성탄을 이용한 오수 처리수의 색도 및 유기물 제거” 한국수처리기술연구회, 6(2) : 11-17
- 양상현, 이정수, 용폐수처리와 설계·관리, 동화기술, 2004
- 양원모. 1998. 분무경과 박막순환 양액재배에 따른 시설재배 토마토의 생리·생리 및 형태적 적응에 관한 비교 연구. 전북대 박사논문.
- 오인환, 갈원홍. 1999. 범농가차원의 액비이용체계. 건국자연과학연구지 10(2)211-216.
- 오인환, 김기덕. 2001. 호스지표살포기의 악취감소효과분석. 축산시설환경학회지 7권 2호 119-126.
- 오인환, 이종현, 정대성, 조진우. 2005. 축산폐수에서 질소, 인의 추출을 위한 MPA공정개발. 축산시설환경학회지. 11(3):207-214.
- 오인환, 이종현, 최병현, 명노승, R. T. Burns. 2006. Struvite 형성에 의한 축산폐수의 인 회수기술 개발. 한국농업기계학회 바이오시스템 공학 Vol. 31 No.1 46-51.
- 오인환, 이종형, 최병현, R.T.Burns. 2006. 양돈액비에서 Struvite 형성으로 연속적인 회수기술. 축산시설환경학회지. 12(2):95-1000.
- 오인환, 정우철, 박찬근, 갈원홍. 2000. 호스지표살포기의 살포균일도 분석. 축산시설환경학회지 6권 1호 37-44.
- 오인환. 2000. 액비의 이용체계 및 살포기술개발. 가축분뇨 자원화 및 이용기술 심포지움. 축산기술연구소 117-137.

- 오인환. 2000. 액비의 이용체계 및 살포기술개발. 가축분뇨 자원화 및 이용기술 심포지움. 축산기술연구소 117-137.
- 원선이, 박창규, 조강래, 양장석. 2000. 가축 slurry액비를 이용한 시설고추의 관비재배 효과에 관한 연구. 경기농업연구. 10 : 95~100.
- 유성오·배종향. 2005. 순환식 수경재배에 적합한 토마토 배양액 개발. 한국생물환경조절학회. 14(3): 203-211.
- 이승복, 2000, LCC분석에 의한 시설물 관리의 최적화 방안, 월간 빌딩문화 9(3).
- 이응호·이병일. 1991. 미나리의 수경재배체계 개발에 관한 기초연구 I. 양액조건이 무기양분 흡수와 생육에 미치는 영향. 한국원예학회지. 32(1): 29-42.
- 이재용. 2005. 가축분뇨처리시책, 축산환경시책 및 기술교육. 농림부, 농협중앙회. 5-23.
- 이현수 외, 2007, 총생애주기비용 평가기준 모델연구, 한국건설관리학회.
- 임상철, 이명규. 2003. 유기액비를 이용한 과채류 관비시스템 확립에 관한 연구. 유기성 액비의 조제 및 균질화 기술 개발. 농림부. p 65~82.
- 전준민. 2006. 악취물질 측정 및 분석방법. 공기청정기술. 19(2):42-54.
- 정광화, 박치호, 최동윤, 곽정훈, 양창범, 강호. 2005. 펠릿가공처리에 따른 돈분발효 퇴비와 우분발효퇴비의 물리화학적 특성. 유기물자원학회지. 13(4) : 118-127.
- 정광화, 정의수, 박치호, 곽정훈, 최윤동, 유용희. 2006. 돼지분뇨슬러리의 액비조 내 저장 깊이별 고형물 및 질소, 인의 함량분포에 관한 연구. 축산시설환경학회지. 12(3):161-168.
- 정순성, 2004, 라이프사이클 코스트 분석시 의사결정자를 위한 원가분석명세 시스템에 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 20(3).
- 정탁교, 김만구, 장미옥, 정영림, 차규석. 2006. 알칼리함침필터를 이용한 대기 휘발성 지방산 채취방법. 한국냄새환경학회지. 5(2):90-98.
- 정탁교, 장미옥, 정영림, 김만구, 이민도. 2007. 헤드스페이스-GC/FID를 이용한 대기 중 휘발성 지방산 분석법 개발. 한국냄새환경학회지. 6(2):87-95.
- 조광래, 박창규, 박찬웅. 2000. 오이재배 유박액 시용효과 시험. 경기도원시험연구보고서. 398.407.
- 조균형, 2001, 건축시스템의 라이프사이클을 고려한 에너지비용 산정에 관한 연구, 한국과학재단 특정기초연구 최종보고서.
- 조재원, 멤브레인 공학, 신광문화사, 2004.
- 주선종, 손상목, 김진한. 2001. 하우스 엽채류를 위한 관비재배용 유기액비 개발. 한국유기농업학회지. 83~99.
- 최광수, 최건, 이해일, 김창원, 피혁폐수처리를 위한 공기부상생물막 반응기, 대한환경공학회지, 20(11), p.1591~1598, 1998.
- 최동윤, 노재승, 이상철, 김해녕, 안규정, 조인기. 2006. 양돈분뇨 액비를 이용한 경종농가의 작물 재배 실태조사. 축산시설환경학회지. 12(3):141-150.
- 최동윤, 전병수, 곽정훈, 박치호, 최희철, 강희설, 감재환, 김형호. (2003) “액비이용 실태조사.” 한국축산시설환경학회, 9(1) : 171~179.
- 한국막학회. 1998. 막분리의 기초. 한국막학회. pp.1~28.

한국유기성폐자원학회, 농축산 폐기물의 퇴비화, 동화기술, 1999.

홍대웅, 김수정, 문동호, 주창한, 이종필. 2007. 축산폐수처리시설에서 발생하는 악취물질 배출특성-복합악취 및 12가지 지정악취물질 중심으로-. 한국냄새환경학회지. 6(1):1-9.

홍순달, 김기인, 박효택, 김성수 2001. 시설재배 토마토 잎의 엽록소 측정치와 토양 질소공급능력의 상호관계. 한국토양비료학회지. 34(2): 85-91.

홍지형. 2001. Charateristics of Biodegradation during Recycled Composting Process. 한국도시환경학회지 1(1) : 17-24.

환경부. 수질오염공정시험방법. 2008.

2009년도 국가농업 R&D 시험연구사업보고서

Agenda 11. 자원순환형 친환경유기농업 기술개발

발행일: 2010년 3월 발행

발행인: 농촌진흥청장 김재수

편집인: 연구정책국장 임상종

연구조정과장 박기훈

연구 조 정 과 이경보, 이승돈, 서효원, 김진호, 이점호,
송 진, 김명수, 이충근, 이시영, 강보석,
한만희, 박동구, 허윤찬, 문보흠, 황남희,
조원미
