

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O) 비공개() 발간등록번호(O)
농식품연구성과후속지원사업 2019년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-003211-01

태양광 발전 에너지 자립형 고효율 축산폐수 정화장치 개발

최종보고서

2020.07.17.

주관연구기관 / (주)워터테크
협동연구기관 / 강원대학교

농 립 축 산 식 품 부

농림식품기술기획평가원

보고서 요약서

과제고유번호		해당단계 연구기간	2019. 01. 01 ~ 2019. 12. 31	단계구분	(2단계)/(총 2단계)
연구사업명	단위사업	농림식품연구개발사업			
	사업명	농식품연구성과후속지원사업			
연구과제명	대과제명	(해당 없음)			
	세부 과제명	태양광 발전 에너지 자립형 고효율 축산폐수 정화장치 개발			
연구책임자	해당단계 참여연구원 수	총: 6명 내부: 1명 외부: 5명	해당단계 연구개발비	정부: 100,000천원 민간: 34,000천원 계: 134,000천원	
	총 연구기간 참여연구원 수	총: 7명 내부: 1명 외부: 6명	총 연구개발 비	정부: 175,000천원 민간: 59,000천원 계: 234,000천원	
연구기관명 및 소속부서명	(주)위터테크 기술개발부			참여기업명: 없음	
국제공동연구	상대국명: 없음			상대국 연구기관명: 없음	
위탁연구	연구기관명: 강원대학교 산학협력단			연구책임자: 이귀현	

※ 국내외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반과제
-------------------------	------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시 설·장비	기술요 약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기탁 번호											

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설· 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약

- 폭기장치 및 산기장치 개발
- 산소공급장치 및 반응조 개발
- 태양광 발전시스템 설비 및 성능분석
- 실증용 축산폐수 정화장치 설비 및 성능분석
- 축산폐수 정화장치의 경제성 분석

보고서 면수: 65

<요약문>

<p>연구의 목적 및 내용</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 축산폐수 정화를 위한 에너지원으로 태양광 발전 전력을 이용한 에너지 자립형 연속식 축산폐수 정화장치 개발을 연구 목표로 하며, 세부 연구 내용은 다음과 같음. - 폭기장치 및 산기장치 개발 - 산소공급장치 및 반응조 개발 - 태양광 발전시스템 설비 및 성능분석 - 실증용 축산폐수 정화장치 설비 및 성능분석 - 축산폐수 정화장치의 경제성 분석 				
<p>연구개발성과</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 태양광 발전 전력을 이용한 에너지 자립형 연속식 축산폐수 정화 장치 개발 • 특허 등록 2건 • 국내외 학술회지 4건 • 인력양성 5건 				
<p>연구개발성과의 활용계획 (기대효과)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 축산농가의 축산폐수 정화장치 설비의 미흡으로 인해 현재 악취에 의한 다량의 민원이 발생되고 있으나, 본 기술을 통해 민원해결에 다소 도움이 될 것으로 기대됨. • 축산지역 대부분은 청정지역으로 환경적 특성을 감안할 때 본 사업의 기술개발은 청정지역 회복에 큰 도움이 될 것임. • 본 기술을 통해 축산폐수의 정화 후에 생산되는 무취의 생물비료는 작물재배를 위한 농업에서의 활용도가 클 것으로 판단되며, 따라서 본 기술개발 결과의 부가적 경제 가치는 매우 큼. • 축산폐수 정화장치의 가동에 소요되는 에너지를 고 효율 태양광 발전 시스템으로부터 생산된 전력을 이용함으로써 축산농가의 에너지 비용 절약에 큰 도움이 될 것이며, 본 기술의 산업화 가능성이 매우 큼. 				
<p>국문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>축산폐수</p>	<p>태양광</p>	<p>에너지 자립</p>	<p>고효율</p>	<p>정화</p>
<p>영문핵심어 (5개 이내)</p>	<p>Livestock Wastewater</p>	<p>Photovoltaic Cell</p>	<p>Energy Independent</p>	<p>High Efficiency</p>	<p>Purification</p>

< 목 차 >

제 1 장 연구개발과제의 개요 -----	5
제 1 절 연구개발의 목적 -----	5
제 2 절 연구개발의 필요성 -----	5
제 3 절 연구개발 범위 -----	6
제 2 장 연구개발 수행 내용 및 결과 -----	23
제 1 절 연구개발 추진전략 및 방법 -----	23
제 2 절 연구수행 내용 -----	27
제 3 절 연구개발 성과 -----	59
제 3 장 목표 달성도 및 기여도 -----	62
제 1 절 연구 목표 -----	62
제 2 절 목표 달성여부 -----	63
제 3 절 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책 -----	64
제 4 장 연구결과의 활용 계획 -----	65
제 1 절 연구 개발 성과의 활용방안 및 기대효과 -----	65

제 1 장 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목적

축산폐수 정화를 위한 동력원으로 태양광 발전 전력을 이용하는 에너지 자립형 연속식 축산폐수 정화장치 개발을 최종 연구 목표로 하고, 세부 연구 목표는 다음과 같음.

- 폭기장치 및 산기장장치 개발
- 산소공급장치 및 반응조 개발
- 태양광 발전시스템 설비 및 성능분석
- 실증용 축산폐수 정화장치 설비 및 성능분석
- 축산폐수 정화장치의 경제성 분석

제 2 절 연구개발의 필요성

- 기존 제품은 고농도 축산폐수를 대상으로 반응기내에서 산소농도(DO)를 높일 수 있는 호기성 정화처리기술이 미흡하여 악취저감 정화장치의 개발이 지체되고 있음.
- 고농도 축산폐수의 악취저감 정화장치에 대한 생물학적 처리기술에 대해 고농도 산소농도(DO)를 유지시킬 수 있는 반응조를 개발할 필요성이 긴급히 요구됨.
- 축산폐수에 대한 국내의 기술수준은 악취제거기술이 확립되지 못하고 있으며, 따라서 발효액비에 대해서도 정화장치의 미흡으로 악취에 의한 다량의 민원이 발생되므로 이러한 해결을 위해 본 사업은 매우 중요함.
- 국내의 축산업은 비교적 활성화되어 있으나 악취에 의한 민원으로 환경문제가 제기되고 있어 이를 해소할 수 있는 기술개발이 절실함.
- 축산지역 대부분은 청정지역으로 환경적 특성을 감안할 때 본 사업의 기술개발 추진은 매우 적절하다고 판단됨.

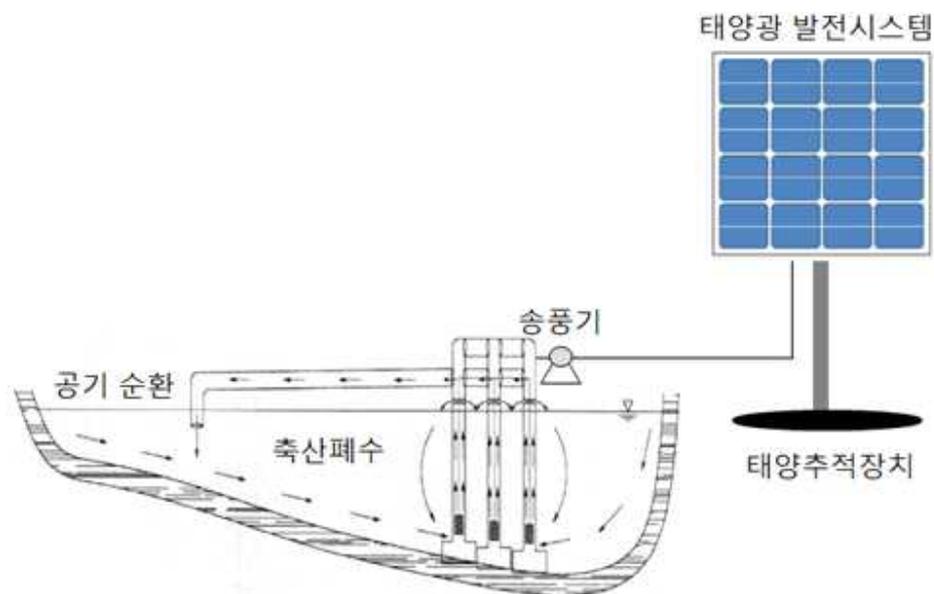
- 본 기술을 통해 축산폐수의 정화 후에 생산되는 무취의 생물비료는 작물재배를 위한 농업에서의 활용 가능성이 클 것으로 판단되며, 따라서 본 기술개발 결과의 부가적 경제 가치는 매우 큼.
 - 축산폐수의 미생물 활성화 극대화를 위한 포기장치의 가동에 태양광 발전 전력을 이용함으로써 축산농가의 에너지 비용 절약과 더불어 효율적으로 축산폐수를 정화 처리할 수 있어, 본 기술은의 산업화 가능성은 매우 큼.
 - 2016년부터 폐기물에 의한 환경오염으로 해양투기 전면 금지에 기인한 축산업계의 침체로 이의 해결책이 시급히 필요한 실정임.
- ✓ 양돈을 비롯한 축산 분뇨처리를 중심으로 한 시급한 축산시설의 환경대책이 필요.
 - ✓ 암모니아 유래의 악취로 인한 근린 주민의 민원 발생 해결이 필요.
 - ✓ 고농도 유기성 축산폐수의 정화처리에 대응하는 기술의 미흡 등 환경악화로 구제역 확산 대책이 필요.
 - ✓ 메탄(CH₄) 생산 및 이용 후 고농도 액비(액상 콤포스트)의 악취로 인한 농가의 외면 해결이 필요.
 - ✓ 축산폐수의 고효율 정화를 위해 저비용의 악취저감 정화장치 개발기술의 확립이 시급.
 - ✓ 일체의 미생물을 사용하지 않고 포기장치 이용에 의해 고농도 유기성 축산폐수를 신속히 정화 처리 할 수 있는 기술개발이 시급히 필요.

제 3 절 연구개발 범위

1. 연구개발의 개요

- 본 기술은 축산폐수에 천연적으로 존재하는 호기성 세균을 활성화 하는 기술로서 용존산소를 8mg/l 이상 유지시켜 고효율로 정화하는 신기술임.
- 본 축산폐수 정화장치의 특징은 BOD기준으로 12,000mg/l 이상의 축산폐수를 20mg/l 이하로 단 기간 내에 정화하여 무취의 안정화 상태로 축산폐수 정화가 가능한 신기술임.

- 본 기술의 핵심적 특징은 산소를 폐액 중에 집중적으로 공급할 수 있도록 개발되는 집중 폭기관을 내장하고 있어 악취의 원인물질인 암모니아가스를 $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$ 로 빠르게 변환하여 탈취함.
- 본 기술은 기존의 정화기술과 달리 폭기기술을 차별화하여 악취 유발의 원인이 되는 휘발성 물질을 조기에 탈기시킬 수 있는 기술로 정화 능력이 매우 뛰어나.
- 축산폐수에 대한 국내의 기술수준은 악취제거기술이 확립되지 못하고 있으며, 따라서 발효 액비에 대해서도 정화장치의 미흡으로 악취에 의한 다량의 민원이 발생되므로 이러한 해결을 위해 본 사업은 매우 중요함.
- 소와 돼지 등 국내의 축산업이 비교적 활성화되어 있으나 악취에 의한 민원으로 환경문제가 되고 있어 이를 해소할 수 있는 기술개발이 절실함.
- 축산지역 대부분은 청정지역으로 환경적 특성을 감안할 때 본 사업의 기술개발 추진은 매우 적절하다고 판단됨.
- 본 기술을 통해 축산폐수의 정화 후에 생산되는 무취의 생물비료는 작물재배를 위한 농업에서의 활용도가 클 것으로 판단되며, 따라서 본 기술개발 결과의 부가적 경제 가치는 매우 큼.
- 축산폐수 정화장치의 가동에 소요되는 에너지를 고 효율 태양광 발전시스템으로부터 생산된 전력을 이용함으로써 축산농가의 에너지비용을 절약할 수 있고, 본 기술의 산업화 가능성이 매우 큼<그림 1>.



<그림 1> 태양광 발전시스템을 이용한 축산폐수 정화장치 개요도.

2. 축산폐수 정화처리 기술

가. 축산폐수 처리방법과 특징

- 축산폐수의 정화처리 방법에는 혐기성 처리와 호기성 처리 방법이 있으나 축산 분뇨를 유기질 액비로서 이용하는 경우, 악취제거가 문제가 되므로 취기제거와 비료효과를 높이는 데는 호기성 처리법이 유용하게 사용됨.
- 호기성 처리법은 표면교반 폭기법, 순환교반 폭기법 및 수중폭기 펌프법 등이 있음.
- 액상 호기성 발효처리는 폭기와 교반을 통해 분뇨 슬러리를 폭기 처리하면 호기성 미생물은 슬러리 가운데 들어 있는 산소를 이용하여 호흡하고 유기물을 분해한 영양원으로 급속히 증식과 동시에 열을 발생하고, 발생된 열에 의해 액온이 상승하고, 미생물군이 각각 적온에서 활동하여 슬러리를 부숙화 시킴.
- 이와 같은 호기성 발효를 달성하기 위해서는 미생물의 영양원이 되는 유기물, 호흡을 위한 산소, 활동에 적당한 온도 및 수분 등의 4가지 조건을 만족해야 하고, 이러한 조건을 만족하는 슬러리에 강력한 교반 폭기를 하면 공기중의 산소가 용해되어 호기성 세균이 발육하여 이분해성 유기물이 급속히 분해되며, 온도 상승과 산도(pH)가 9이상으로서 악취와 병원균이 소멸된 상태의 부식물질이 생산되어 유동성이 좋은 흑갈색의 약체로 변화됨.
- 산소를 충분히 공급하고 교반하는 호기성 미생물 처리와 산소 없이 장기간 혐기성미생물 처리 특성은 <표 1>과 같음.

<표 1> 호기성 및 혐기성의 비교

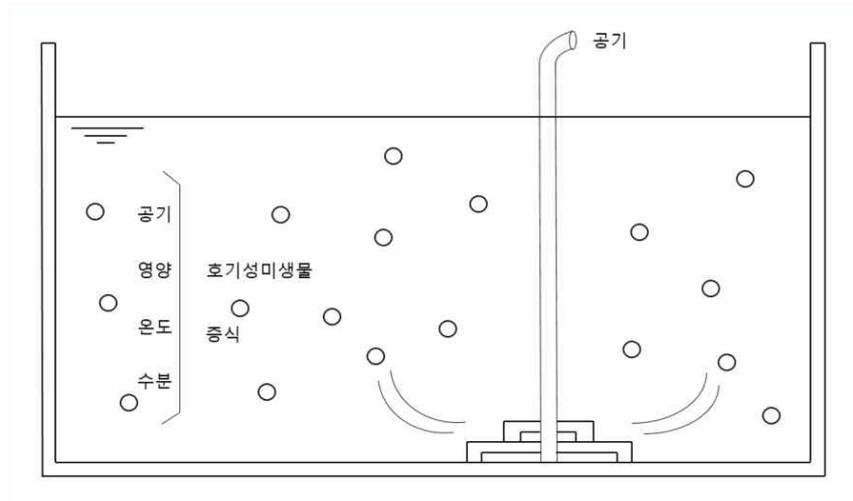
처리 방법 특성	혐기발효 (자연유하식 저류조)	호기발효 (폭기조)
발효속도 (유기물 분해속도)	낮다	빠르다
발효온도	낮다	높다
세균·잡초 종자 미생물	사멸은 적다 혐기성 미생물	거의 다 사멸 호기성 미생물 (산소의 보급 필요)
조정투입에너지	없음	폭기장치 운전(전기에너지)

(1) 혐기성 처리법

- 액상분뇨는 공기 유입이 곤란하므로 산소가 극히 작은 조건에서 활동하는 미생물은 낮은 속도로 유기물을 분해하고, 분뇨 혼합물을 저류조에 투입하여 방치하면 미소화물 등의 부유물질이 부상하여 스크램을 형성하고, 하부의 액상물에는 산소가 부족하여 혐기성 세균이 발육하여 유기물의 혐기성 분해가 진행된다.
- 1단계에서 복잡한 유기물이 각종 혐기성 세균에 의하여 간단한 조성의 지방산과 알코올로 분해되고, 이어서, 분자구조가 큰 유기물은 분자가 작은 물질로 변화되어 액화현상을 일으키며, 이러한 물질이 서서히 분해되어서 최종적으로는 메탄가스와 탄산가스가 되고, 이 과정에서 유화수소, 암모니아 등의 악취 물질이 다량 생산됨.
- 따라서, 미소화물이 많은 가축분뇨의 혐기성 처리는 휘발성 악취성분의 휘산 및 내용액의 교반 또는 경지환원을 위해 살포할 때에 강열한 악취 발생이 큰 문제가 됨.

(2) 호기성 처리법

- 호기성 처리는 산소의 존재 하에서 생육하는 호기성 미생물이 산소를 소화하여 유기물을 분해하는 생화학 반응이며, 이 반응과정에서 유기물은 최종적으로 탄산가스, 수분, 암모니아로 분해되고 동시에 반응열을 발생함.
- 호기성 분해에 관여하는 미생물은 여러 종류가 있으며, 분뇨의 온도와 공기의 혼입량에 따라서 각양각색의 서로 다른 미생물이 활동하고, 일반적으로 최적온도 범위는 중온 미생물(20~40℃)과 고온 미생물(50~70℃)로 분류됨.
- 호기성 액비화를 단열 상태로 하면 반응열에 의해서 온도가 상승하고, 활동하는 미생물도 중온미생물에서 고온미생물로 이동하며, 이러한 60~70℃의 고온유지로서 유기물이 급속히 분해되고 악취가 제거되며, 점성이 저하되어 취급성이 향상하게 됨은 물론, 병원균 등을 사멸하게 됨<그림 2>.



<그림 2> 호기성 처리

(가) 표면교반 폭기방식

- 강력한 교반작용으로 외부에서 공기를 흡입하여 폐액 내부에 임펠러의 각도에 따라 순환시키는 것으로, 작은 기포가 폐액 표면에 발포 층으로 형성되어 열의 방산을 방지하는 동시에 액 중에 기포 체류시간을 길게 하여 호기성에 적정 조건을 이룸.
- 그러나, 폭기 운전을 정지하게 되면 비교적 단시간 내에 혐기성 상태가 되고, 또한, 운전의 정지로서 미소화 물질이 떠올라서 재운전시에 큰 부담이 되므로, 일반적으로 연속운전이 많으므로 전력 소비량과 내용연수가 다소 문제가 될 수 있음.

(나) 순환교반 폭기방식

- 저류조 내에서 언제나 교반과 폭기를 함으로 호기성 처리로서 부속 분해가 촉진되며, 비교적 단시간에 액비 이용이 가능하고, 비료 생산효율도 높게 됨.
- 이러한 처리방법은 저류조와 폭기조를 파이프를 연결하여 강력한 펌프로 저류조에서 폭기조로 투입할 때에 폭기하고, 다시 폭기조에서 저류조에 반송하여 교반과 폭기를 하는 방식임.
- 이러한 폭기 방식은 지상식 폭기조에서 액면이 외부에 노출되어 열의 방산이 많아 폐액의 온도 상승이 어렵고, 순환운전을 중지하는 경우는 스크럼층이 형성되어 혐기상태가 되고 스크럼의 파쇄가 곤란하며, 한냉지에서는 내용물 전체가 동결되기도함.

(다) 수중 폭기 펌프방식

- 발포 현상을 강력하게 하기 위해서 자흡식 수중펌프를 폭기조 내에 설치하여 기포 발생을 높이고, 동시에 모터의 회전 열을 직접 내용액 중에 공급하면 부속열이 촉진되며, 간헐운전(1시간당 15분 운전)에서도 연속운전과 거의 비슷한 성과가 얻어짐.
- 그러나, 수중펌프이므로 미소화물질에 의한 교반날의 마모가 현저하고 펌프의 내용연수가 짧아지는 등의 문제가 있으며, 따라서, 미소화물을 고액분리기로 제거하여 순수한 액상물을 이용하는 것이 바람직함.

나. 액상 축산폐수 처리 이론

- 일반적으로 분뇨중의 유기물이 미생물의 산화(호기성) 또는 환원(혐기성)적용으로 분해되어 최종적으로 분해속도가 느린 부식물질 및 난분해성 유기물이 포함한 안정화된 물질이 되는 과정임.
- 유기물이 호기성 미생물의 활동에 의해 분해되는 과정인 호기성 분해는 생물학적 산화, 합성, 자산화의 생화학 반응으로, 생물학적 산화는 미생물의 호흡작용에 따른 산화 반응이며, 합성은 미생물이 유기물을 산화하여 세포원형질 등의 유기물을 합성하는 반응으로 여기에 필요한 에너지는 생물학적 산화에 의해 얻어지고, 자산화는 합성으로 얻어진 유기물을 산화시키는 반응으로서 내호흡이라 함.
- 처리 말기에는 자산화 반응이 탁월하고, 미생물은 자기분해를 개시하여 미생물 유체와 리그닌 등의 난분해성 유기물이 결합하여 부식물질이 형성되고, 이러한 반응은 각각 반응열을 발생함과 동시에 최종적으로 탄산가스, 물, 암모니아 등을 생성함.

(1) 폭기 시스템

- 폭기(통기 : aeration) 처리는 슬러리에 공기를 강제적으로 보내어 폐액 중에 용존 산소량을 높여 호기성 미생물의 활동을 왕성케 하여 유기물 분해를 촉진하고 고형분의 침전과 스크 형성의 방지를 위한 것임.

- 가축 슬러리의 호기적 분해조정 목적은 호기성균의 증식반응을 이용하여 슬러리 중의 이분해성 유기물을 보다 효율적으로 분해시켜 안정된 유기성 액상물을 만드는데 있음.
- 슬러리에 들어있는 이분해성 유기물을 효율적으로 분해하기 위해서는 슬러리 중의 미생물 생육, 증식 및 대사가 왕성하도록 환경 인자를 합리적으로 제어하여 미생물 반응을 최적화 하는데 있음.
- 미생물 증식에 관계되는 환경인자는 영양원, 산소, 온도, pH 및 수분 등이며 가축 슬러리는 영양원과 수분은 문제가 없으나 산소, 온도, 및 pH 등의 조정이 필요하며, 이 가운데 산소의 조정이 가장 중요함.
- 미생물의 호흡과 기질의 미생물적 산화는 공기(산소)를 연속적으로 공급하여 달성되므로 슬러리에 최소 에너지로서 최대 산소를 어떻게 효율적으로 이동하느냐에 달려 있으며, 슬러리 가운데 미생물군이 많아서 산소 요구량이 큼.
- 슬러리 중에 공급된 산소가운데 미생물이 이용하는 산소는 20% 정도이며 나머지는 대기 중에 방출되며, 이러한 이유로서 호기적 미생물 반응에 효율적인 산소 이동이 중요함.

(가) 슬러리의 폭기 이론

- 슬러리 폭기의 최대 목적은 취기 부하의 경감, 위생증해의 증식억제 등의 환경 조화성의 향상과 액비 쇼크 해소, 사료 작물 오염방지 및 슬러리의 양분적 균질화 등의 작물과 토양 생태계의 적응성 향상 그리고 점성의 저하로서 취급성을 향상시키는데 있음.
- 과잉 폭기는 에너지 손실과 질소 손실과 유기고형물의 감소 등이 발생되므로 적절 폭기량을 유지해야 하고, 가급적 적은 동력비로서 높은 산소이동 용량계수(K_{La})를 얻기 위함임.
- 산소이동 용량계수는 슬러리의 고형물 농도(TS)와 액온에 큰 영향을 받으므로 고형물 농도의 조정 및 액온의 확보가 가능한 시스템이 중요하며, 슬러리 중의 유기물 분해속도를 보면, 산소 이동효율이 분해속도를 지배하므로 산소 이동효율을 높이기 위해서는 산소와 접촉하는 슬러리의 면적을 크게 하여 산소를 광범위하게 확산하는 것이 중요함.

① K_{La} 의 측정

- $K_{La}(h^{-1})$ 는 산소이동을 규정하는 요인이며 폭기장치를 평가하는 계수로서 일반적인 K_{La} 측정은 청수를 가득 채운 폭기장치의 산소이동 속도에서 구하며, 다음과 같이 정의 됨.

$$N/V = dC/dt = K_{La}(C_s - C) \quad (1)$$

여기서, N : 산소이동속도($kg-O_2/m^3h$)

V : 액체용적(m^3)

t : 시간(h)

C : 액중의 용존산소농도($kg-O_2/m^3$)

C_s : 액중의 용존산소 포화농도($kg-O_2/m^3$)

② 통기효율

- 통기효율(산소이용효율)에 미치는 주요 인자는 고형물 농도, 점도, 액온, 비동력 (에어레이터 동력과 슬러리 용적과의 비), 교반력과 산소 확산력 및 통기조의 형상 등이 관계하며, 통기를 하여 산소를 공급하는 경우에 공급된 산소량에 대한 흡수산소량의 %로 표시한 것을 말하며, 폭기장치의 효율 비교에 이용되고 다음과 같이 계산됨.

$$E_A = N_c/QO_2 \times 100(\%) \quad (2)$$

여기서, E_A : 통기효율 또는 산소흡수율(%)

QO_2 : 공급된 산소량($kg-O_2/h$)

N_c : $K_{La}VC_s(kg-O_2/h)$

(나) 폭기시스템

- 폭기장치의 형식은 프로펠러식, 분류식 및 압축공기식 등의 3가지로 구분되며 폭기 시스템은 폭기장치 특성을 고려하여 이용되며, 폭기 시스템은 최적분해 조정을 위한 수단으로 최소 에너지 투입으로 효율적인 산소 이동을 하는 것이 바람직함.

(2) 저류 시스템

(가) 저류조의 용량과 특성

- 슬러리의 저류용기를 처리 프로세스별로 구분하면 투입조(reception pit), 폭기조(aeration tank) 및 저류조(slurry) 등이며, 그 외에 운반이용 라인 도중에 중계조(relay tank)가 있음.

① 투입조 용량 결정

- 일반적으로 저류조 용량 결정은 축사에서 배출되는 슬러리량과 저류기간으로 결정되며 슬러리 배출량은 다음 식으로 계산됨.

$$V = v \times \{R(A + a) \times N \times F\} + b - c \quad (3)$$

여기서, V : 저류조 용적(m³)

A : 가축배설량(kg/두,일)

a : 축사내 세정등 잡용수(kg/두,일)

v : 분뇨비체적(m³/kg) ; v=0.001m³/kg

N : 사양두수

F : 저류일수

b : 오수 유입수(m³)

c : 기설 저류용적(m³)

R : 회수율(반크리너: 90%, 스크래퍼: 80%, 자연 유하구: 95%)

② 폭기조

- 폭기조는 슬러리의 호기성 분해 조정을 목적으로 하며, 용적은 폭기 시스템 성능과 폭기 수준, 고형물 농도 및 가수비율 등에 따라서 결정됨.

③ 저류조와 중계조

- 저류조는 발효조정이 완료된 액상 콤포스트를 일정기간 저장하는 것을 목적으로 하며, 용적은 사양두수와 저장기간에 따라 결정되고, 중계조는 운반이용 라인의 중계 및 저장 등이 목적이며 용량은 시스템의 조직 용량에 따름.

- 전체 시스템의 저장 능력은 투입조, 저류조 및 중계조 등의 총합용량으로 나타내며 폭기조 용량은 제외됨.

(나) 저장용기의 종류별 특성

- 슬러리의 저장 용기는 GL(Glass Lining) 강판조, RC(철근콘크리트)조 및 RC(프리스트레스트 콘크리트)조 등이 있으며, 이들 용기는 각각 구조적인 특성과 시공성, 기능성 및 내구성 등의 특성이 있음.
- GL 강판조는 화학적 내식성이 우수하여 슬러리의 용기로서 내구성이 높은 재질이며 패널 조립식으로 공기 단축과 단위 용적 당 건설비용이 저렴하고 원형조로서 슬러리의 조정이 용이함.
- RC조와 PC조는 슬러리의 생화학적 특성으로 인하여 콘크리트에 부식작용을 가하므로 500m³ 이하의 소형조는 대개 지하식 콘크리트조를 두는데 이것은 안정성 면에서 바람직함.
- 그 외에 라군(lagoon)처리조에서 사용되는 러버시트(rubber sheet)는 가수비가 1 : 10이상, 고형물 농도가 1% 이하에서 사용되고 있으며, 이러한 저위 농도의 슬러리는 유기물보다 청수라는 개념으로 활용되고 있고, 이것은 단위 용적 당 건설비용이 저렴하나 많은 공간이 필요하며 또한, 러버시트 재료의 수명이 짧고 교반기능이 낮아서 라군장치 바닥에 고형물 침전이 일어나기 쉬운 단점이 있음.

다. 액상 콤포스트 제조 기술

(1) 액상 콤포스트화 처리 이론

(가) 분해속도

- 슬러리를 액상 콤포스트화 처리하면 유기물 분해가 빠르고, 최종적인 유기물 분해율은 30%정도이며, 이것은 슬러리로 고형 퇴비와 같이 리그닌 등의 난분해성 섬유가 부식물질을 형성하고 있음을 나타내고, 따라서 유기물의 분해율이 부속 판정과 지표로서는 25~30% 정도임.

(나) 온도

- 퇴비화 진행을 속히 하고 퇴비화물의 농지환원의 안정성을 위하여 퇴비화 과정에서 60~65℃의 고온유지가 중요하며, 슬러리도 강력한 폭기교반으로서 고품퇴비의 경우와 같이 발효를 촉진하고 액온을 상승하여 유기물을 분해하고, 취기 없이 대장균 등이 사멸된 위생적인 액상 비료 생산이 가능함.
- 폭기량을 많이 하면 발효는 효율적이거나 외부에서 과잉공기를 흡인하면 처리액이 냉각되므로 온난한 공기를 사용할 필요가 있고, 한냉지에서는 비닐하우스 또는 퇴비를 통과한 공기를 사용하고 있고, 호기성 폭기처리법으로서는 발효액온의 상승은 대략 25℃ 이임.
- 액온상을 보조수단으로 수중펌프의 모터 회전열을 이용하는 방법도 있으며, 모터 회전열을 이용하는 처리법은 온도상승으로 분뇨의 부숙이 급속히 촉진되고, 고품물이 세분화된 액상으로 되어 증산에 의한 액화 농축도 일어나 점도가 크게 저하되어 반송이 용이하고, 취기도 감소되고 사용이 쉬운 이점이 있음.
- 폭기조를 단열장치로 하고, 발효조 바닥에서 공기를 토출하여 임펠러로 교반하는 방식으로 폭기처리하면 신선 분뇨액 투입 직후에서 온도는 급격히 상승하여 최고 74℃에 도달되는 현저한 액온 상승이 일어남.

(다) 산도(pH)

- 산도 추이를 보면 발효 초기에는 산 생성균에 의하여 일단 저하되거나 유기물 분해로 생성된 암모니아로 급격히 상승되어 피크에 도달된 후에는 암모니아 휘산, 탈질 등으로 저하되어 안정화 되며, 내용액 산도는 24시간 이내는 약간 저하되나, 48시간에는 8이상이 됨.

(라) 산소

- 발효퇴비중의 호기성 세균은 공기 중의 산소를 직접 섭취하여 체내에서 산화작용을 하게 되나, 저류조 내의 요오수는 혐기성 상태이므로 폭기처리로서 처음부터 공기를 혼입해야 하고, 호기성 세균은 액체에 용해된 산소를 섭취하여 증식함으로써, 편성호기성 세균이 주체가 됨.

- 자연조건에서 공기는 액상 분뇨중에 없으므로 폭기와 교반으로 공기의 강제 투입이 필요하며, 산소는 공기 중에 21%가 들어 있어 1기압 20℃의 조건에서 8.84mg/l(ppm=0.08%) 정도가 물에 용해되고, 염류 농도가 높으면 이 용해성도 저하 됨.
- 수중의 용존산소(DO : dissolved oxygen)를 높이는 폭기방법이 유효한 수단이 되나, 단순히 공기를 주입하는 방법은 수중에 기포와 용해율이 낮고, 그대로 대기 중에 방출되어 버리므로, 될 수 있는 대로 작은 기포를 유지하는 것이 필요하고, 적절한 폭기 처리량과 시간을 결정하는 것이 중요함.
- 발효조 저부에서 공기를 토출하여 임펠러에서 교반하는 방법은 산소 이용효율이 낮으나, 실제 미생물 산소요구량에 비해 과잉 공급되어도 대부분의 산소는 이용되어져 배출됨.

(마) 탄질비

- 탄질비는 30 ~ 35가 최적이고 액상퇴비로서는 20이하가 좋으며, 폭기량과 탄질비 저하량의 관계는 $0.3(l/min \cdot kgdm)$ 이하는 발효에 의한 탄소 소비가 작고, 폭기에 의한 암모니아 휘산으로 질소 저하량이 많아서 초기 탄질비보다 종료시점이 높음.
- 콤프레서에 의한 통기와 회전날개에 의한 교반폭기 방식은 산소 이용효율이 낮아 과잉폭기가 필요하나 암모니아 휘산은 피할 수 없으므로, 산소 이용효율을 높이는 이젝터 방식과 심층폭기조 등의 필요함.

라. 축산폐수 정화처리 장치 구성

(1) 펌프(pump)

- 슬러리의 운반과 교반에 사용되는 펌프로는 자흡식 또는 원심(centri-fugal)식, 스네이크(snake)식 및 커팅(cutting)식 등의 형식이 있음.
- 자흡식은 비교적 점도가 낮은 액의 반송에 사용되고 양정은 60m 정도이며, 스네이크식은 비교적 고점성의 슬러리의 반송에 쓰이며 고압 반송이 가능하고 양정이 100m 이상이 되어 포장에 정치배관용으로도 이용되나 돌, 쇠붙이 등의 이물질의 혼입에 주의가 필요함.

- 커팅식은 양정은 적으나 토출량이 많아 벧짚 등의 헝잡물 절단이 가능한 흡입구와 회전날개 외측에 절단 날이 달려 있는 펌프임.

(가) 흡상 펌프

- 슬러리 흡상용 펌프에는 수중펌프와 수직형 수중펌프가 있으며 용량은 각각 120~200 m³/h, 250~360 m³/h이며, 양정은 10~23m, 13~28m, 동력은 4~11 kW, 15~40 kW 정도이며 수직형 수중펌프는 대용량 흡상용에 적합함.

(나) 압송 펌프

- 압송용 펌프에는 스네이크펌프와 원심펌프가 있으며 용량은 각각 30~75 m³/h, 170~240 m³/h이며, 양정은 60~160m, 60~120m이고, 동력은 10~30 PS, 10~50 PS 등임.

(2) 폭기 장치(aerator)

(가) 표면폭기장치

- 폭기조에 투입된 슬러리 표면에서 부유 상태로 슬러리를 폭기 교반하는 장치로서 폭기조 내의 슬러리량이 변동되더라도 폭기량이 일정하고, 이 장치는 순환식과 플로우트식이 있음.
- 순환식은 폭기조에 슬러리를 펌프로 주입할 때에 토출구를 노즐 또는 이젝터로 바꾸어 저류액의 표면에 공기를 보내어 기액접촉을 하는 것으로 액면표층의 스킴 파쇄도 가능함.
- 플로우트식은 저류액의 표면에서 부유하면서 폭기 교반하는 장치로서 회전날개와 임펠러로서 저류액 표면을 교반하는 것과 임펠러 회전에 의한 흡기 덕트에서 공기를 흡입하여 교반과 동시에 공기를 저류액 중에 보내어 폭기하는 것으로, 플로우트식은 저류액의 표면에서 부유하므로 관리가 쉽고, 폭기장치의 위치를 바꾸기 쉬운 이점이 있으나 저류액의 심층부 폭기는 곤란함.

(나) 수중폭기장치

- 저류액중에 폭기장치를 넣어 폭기하는 방법으로 산기식, 원심흡인식, 이젝터식 등이 있으며, 산기식은 폭기조 벽면 또는 저부에 설치된 산기관에 송풍기로 공기를 보내어 토출 전의 공기 상승 에너지로 교반폭기하는 형태로 구조가 간단하여 오수처리용으로 많이 쓰임.
- 원심흡인식은 자흡식 수중 폭기펌프라고도 부르며 이것은 원심식 회전펌프의 임펠러 하부에서 흡입된 슬러리아액을 임펠러 수평축에 설치된 토출구에서 분출하는 것으로 분출시의 흡입압력을 이용하여 공기와 슬러리를 혼합분출하는 구조임.
- 원심흡인식은 펌프가 액 중에 있어 저류액의 거품이 없고 동계작업도 가능하고 모터 발열 이용이 가능하며, 이젝터식은 원심흡인식과 원리가 같은 것으로서 펌프 토출구에 이젝터를 두어 노즐에서 고속의 슬러리를 분출하면서 폭기교반하는 것임.

(다) 소폭기

- 슬러리를 폭기하면 기포가 발생하는데 기포량은 슬러리의 성상과 액온, 부속진행 상황, 폭기량 등에 따라서 다름.

(라) 액상 콤포스트와 폭기량

- 액상 콤포스트화 처리에 소요되는 산소용존량은 분해된 유기물량에서 구할 수 있으나 실제로는 슬러리의 성분 조성고 액온, 교반정도에 따라 용존산소율을 달리하므로 복잡하게 됨.
- 지하식 폭기조의 적정 폭기량은 1~5 m³/hr.ton의 범위로서 폭기운전 방법, TS 농도 등에 따라 폭기량이 다르므로 예비시험에서 조건에 적합한 폭기량과 운전법을 선정해야 함.

(3) 배관자재

- 슬러리의 물리적, 생화학적 특성에서 파이프, 조인트, 밸브 등의 배관자재 특성은 다음과 같은 조건이 구비되어야 함.
 - 관내 벽에 유기물 입자가 부착되지 않을 것.
 - 파이프 재질은 내부식성이고 지표배관은 착탈이 간단하고 경량일 것.
 - 접속 부위는 섬유질 입자의 부착이 되지 않을 것.
 - 파이프의 1개당 단위 길이가 길수록 좋으며 연결부위가 적어야 할 것.
- 파이프의 종류는 염화비닐관, 폴리에틸렌관, 강관 및 주철관 등이며 배관의 접합, 분기 및 굴곡 등에 쓰이는 파이프의 접속공법은 파이프 재료별로 연결구조가 상이함.
- 제수변과 급수전 등의 슬러리의 흐름 차단과 조정에 적합한 밸브는 다이어프램 밸브와 글로브 밸브 등이 사용됨.

3. 연구개발 대상의 국내·외 현황

(1) 국내 기술 수준 및 시장 현황

- 호기성 소화는 부속과 같이 산소를 충분히 공급하면 축산폐수 내에 미생물이 번식하여 질소 및 인화합물과 기타 휘질(Volatile Organic Compounds)을 효과적으로 분해시키며, 호기성 미생물에 의해 열이 발생하게 되어 온도가 상승하면서 저온성 병원균 등 사멸하게 됨.
- 현재 이용되고 있는 폭기방법은 연속적 폭기와 간헐적 폭기법이 있으며, 연속적 폭기방법은 5~15일간 계속인 폭기를 실시함에 따라 운전경비가 과다하게 소요는 단점이 있고, 간헐적 폭기법은 연속적 폭기법의 단점을 보완하기 위해 일일 4~12회 정도 폭기를 실시하며, 폭기시간은 2~6시간(심야 전기이용) 정도로 하나, 대략 10~30일간의 장시간 운전을 실시함.
- 축산폐수의 경우 BOD기준 12,000mg/l 이상의 고농도이므로 악취제거가 매우 어려워 경쟁상대는 미미한 상태임.

- 국내의 경우 액상 콤포스트가 일반적으로 유기물의 분해가 되지 않은 상태여서 포장에 살포시 2차로 15일 이상 악취가 해소되지 않아 민원이 제기되고 있음(최근 강원도 횡성의 경우 양돈폐수를 농장에 대량 살포하여 민원제기로 농장주가 구속된 사례가 있으며, 철원의 양돈농장의 경우도 폐수의 불법 폐기에 의한 법적 제제가 이어짐).
- 2016년부터 축산폐기물 등 해양투기 금지로 특히 양돈농가에 비상이 걸려 있으며, 고농도 축산폐수의 정화기술이 확립되지 않은 상황에서 해양투기도 불가능하여 사업의 미래를 예단할 수 없는 실정임.
- 현재 국내 축산농가에서는 축산폐수 정화장치의 가동에 에너지 비용이 많이 소요되어, 정화장치의 설비를 회피하거나, 장치가 설치되어 있다 하더라도 가동이 간헐적이어서 축산폐수의 효율적이고 지속적인 정화처리에 한계가 있음.

(2) 국외 기술 수준 및 시장 현황

- 일본의 경우 축산폐수 정화처리에 BMW(Bacteria Mineral Water)기술에 의해 생리활성수를 제조하고 있으나 고농도의 경우 90일 이상의 체류시간이 필요해 축산폐수의 전반적 정화처리에는 도움이 되지 못하고 있는 실정에 있음.
- 활성오니법과 그의 변법인 폭기식 혼합 라군(lagoon)법이 이용되고 있으나 방류수질을 유지하기 어렵고, 액비로 사용하기는 매우 부적합한 실정에 있음.
- 유럽의 경우 축산농가에서 축산폐수 정화장치의 가동에 에너지 비용 절약을 위해 태양광 발전 전력과 같은 신재생에너지를 이용하는 경우가 증가하고 있는 추세임.

4. 연구의 독창성 및 차별성

- 본 기술은 축산폐수에 천연적으로 존재하는 호기성 세균을 활성화하는 기술로서 용존산소를 8mg/l 이상 유지시켜 에너지 비용 없이 고효율로 정화처리 하는 신기술임.
- 본 기술의 특징은 BOD기준으로 2000mg/l 이상의 축산폐수를 20mg/l 이하로 1개월 이내에 정화하여 무취상태의 안정상태의 생물비료로 제조 가능한 기술로 정화 능력이 매우 뛰어남.

- 본 기술의 핵심적 특징은 산소를 폐액 중에 집중적으로 공급할 수 있도록 된 집중 폭기관을 내장하고 있어, 기존의 정화기술과 달리 폭기기술을 차별화하여 악취 유발의 원인이 되는 휘발성 물질을 조기에 탈기시킬 수 있는 기술개발로 정화 능력이 매우 뛰어남.
- 본 기술의 악취제거장치는 호기성 반응조에서 폭기장치를 이용하여 산소농도 (DO)를 10mg/l 이상으로 유지함으로 호기성 세균의 급속 증식에 의한 분해촉진으로 악취 원인물질인 단백질 유래의 질소(ammonia, NH₃)원으로 불리는 휘발성 유기오염물질을 air-stripping 효과에 의해 조기에 탈기시켜 BOD 20mg/l 이하로 무기화 처리하여 생물학적으로 안정화시키는 신기술 임.
- 본 기술의 특징은 축산폐수 정화장치의 가동에 고 효율 태양광 발전 전력을 이용함으로 에너지 비용이 소요되지 않는 에너지 자립형 축산폐수 정화처리 장치를 개발하는 것임.

제 2 장 연구수행 내용 및 결과

제 1 절 연구개발 추진전략 및 방법

1. 외부 연구원자원 활용 및 추진전략

(1) 소정의 연구 목표를 달성하기 위해 연구원활용, 기술정보수집, 전문가확보, 관련 기관의 협조 등을 다음과 같이 추진하였음.

- 기술정보 수집
 - ▶ COMPENDEX(Computerized Engineering Index)의 이용
 - ▶ JOIS(JICST Online Information System) 이용
 - ▶ NTIS(National Technical Information Service) 이용
 - ▶ WPI(World Patent Index) 이용
 - ▶ 기타 연구관련 학회 학술지, 관련 연구과제 보고서 및 참고도서의 이용
- 본 연구와 관련된 국내·외의 전문가를 연구 분야별로 확보하여 활용할 계획
 - ▶ 축산폐수처리 및 에너지관련 국내·외 전문가들과 긴밀한 유대관계를 구축하고 자문 및 기술지원을 의뢰
- 관련기관들(축산환경관리원, 농촌진흥청, 한국에너지연구소, 에너지관리공단, 관련 전문가 소속 대학과의 긴밀한 협조체제 구축으로 연구 목표달성을 극대화시킴.
- 외국의 연구기관 및 산업체를 방문하여 관련기술을 파악하고 연구에 활용함
- 미국, 유럽 등 선진국의 선행 연구결과를 면밀히 검토 분석하여 가장 효과적인 방법으로 연구를 추진하였음.

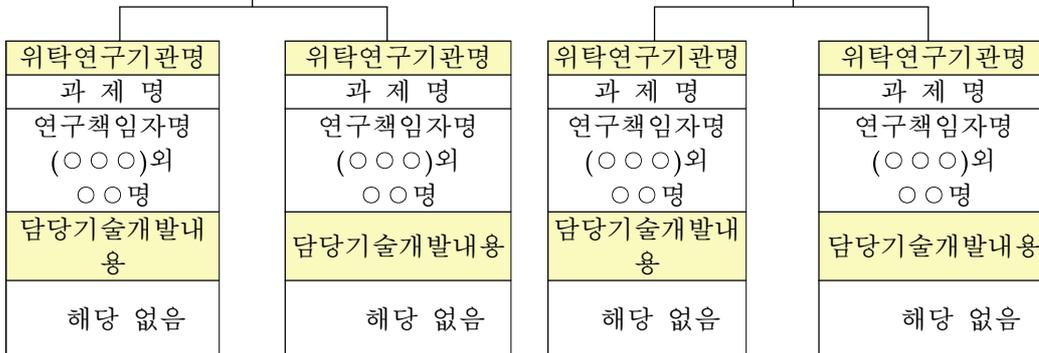
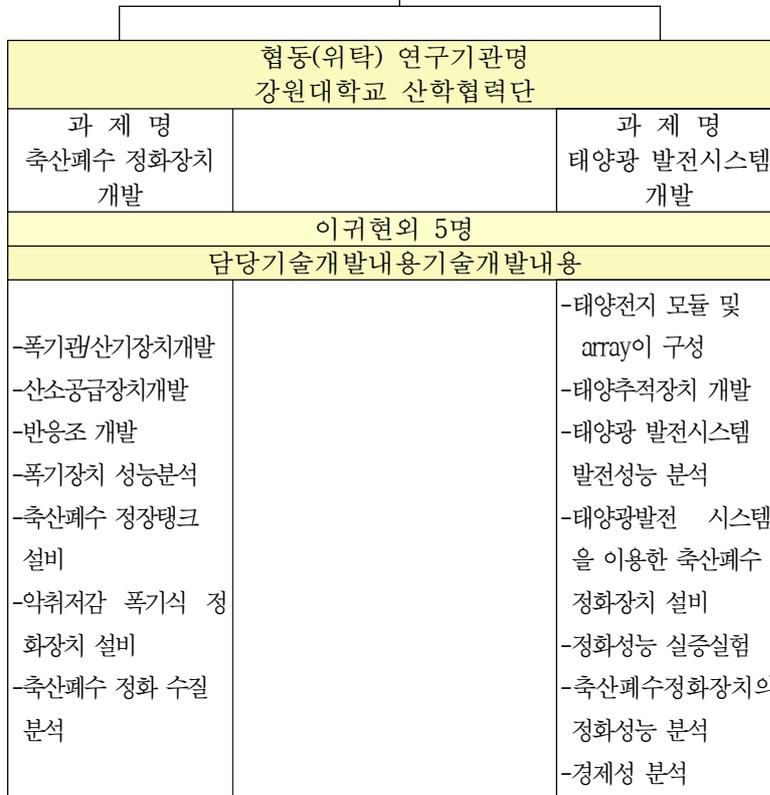
(2) 참여연구원 활용 및 연구개발 전략

- 본 연구에 참여하는 주관연구기관 및 협동연구기관 연구원들의 적절한 연구업무와 역할 분담을 통한 연구개발 목표 달성.
- 기 수행된 연구개발과제와 연계하여 비용절감과 연구개발의 시너지효과 창출.
- 주관기관의 연구 인력을 축산폐수 정화장치 개발 분야에 활용하고, 협동연구기관의 연구 인력을 태양광발전시스템 개발 및 축산폐수 정화장치 개발에 중점적으로 활용하였음.

(2) 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참여 연구원
과제명	태양광 발전 에너지 자립형 고효율 축산폐수 정화장치 개발	주관연구책임자 심재도의 총 6명

기관별 참여 현황		
구분	연구기관수	참여연구원수
대기업		
중견기업		
중소기업	1	1
대학	1	6
국공립(연)		
출연(연)		
기타		



(3) 연구개발 추진 일정

(가) 연구 1차년도

1차년도															
일 련 번 호	연구내용	월별 추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	계획수립 및 자료조사	■													10,000
2	폭기관/ 산기장치 개발	■	■	■	■										15,000
3	산소공급장치 개발				■	■	■	■							15,000
4	반응조 개발						■	■	■						15,000
5	폭기장치 개발								■	■					10,000
6	태양전지 모듈/array 설계/설비	■	■	■	■										15,000
7	태양추적장치 개발			■	■	■	■	■							10,000
8	태양광 발전시스템 발전성능 분석						■	■	■	■					10,000

(나) 연구 2차년도

2차년도															
일 련 번 호	연구내용	월별 추진 일정												연구 개발비 (단위: 천원)	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	계획수립 및 자료조사	■													10,000
2	축산폐수 정장탱크 설비		■	■	■										20,000
3	악취저감 폭기식 정화장치 설비			■	■	■									20,000
4	실증실험용 태양광 발전시스템 설비	■	■	■											30,000
5	실증용 축산폐수 정화장치 설비					■	■	■	■						10,000
6	실증용 축산폐수 정화장치 성능 실험						■	■	■	■					20,000
7	축산폐수 정화 수질 분석										■	■	■		14,000
8	경제성 분석												■	■	10,000

제 2 절 연구수행 내용

1. 축산폐수 정화장치 개발

(1) 고효율 산소공급장치 및 반응조 개발

- 표면 분사형 집중 폭기관을 이용하여 축산폐수 저면의 오수가 펌핑되어 집중 폭기관 내로 유입과 동시에 상승하는 공기압에 의한 부력작용으로 미세기포로 변하여 표면 상부로 분사하도록 하는 반응조를 개발하였음.
- 축산폐수 저면에 쌓여있는 슬러지나 흙 등을 배제하고 하층수를 집중 폭기관 내로 유입시키는 기술로 집중 폭기관 내 산기장치의 장착 위치와 하층수 유입관의 위치 및 방향을 <그림 3>과 같이 효율적으로 설계 및 제작하였음.



<그림 3> 산소공급 폭기장치의 구성도 및 침전물 부상장치 특수가공

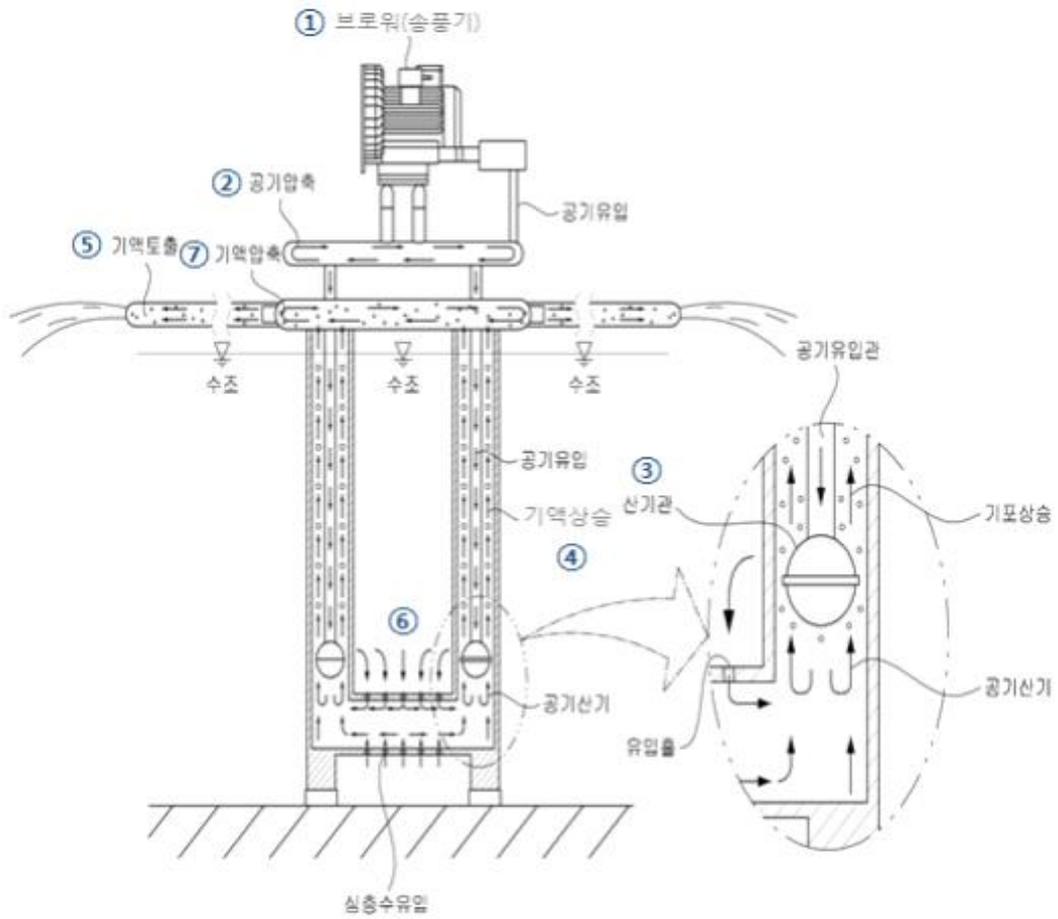
- 하층수를 4기의 집중 폭기관 내에서 폭기처리 후 폭기관 상부에 연결된 연동관으로 부터 수면상부로 상승기류의 기·액 혼합액을 보내는 기술로 집중 폭기관의 구경이 작을수록 높이 상승할 수 있으며 용존산소량에 따른 산소 전달율도 높아지는 것으로 나타남.
- 산소공급장치에 직접 블로워를 탑재할 수 있도록 하는 설계 및 제작 하였음.
- 넓은 면적에 블로워(blower)로부터 자정기가 이격되면 설치가 어렵고 공기의 누수도 심해지기 때문에 수면에 노출된 자정기의 상부에 블로워(blower)를 직접 시공하여 설치할 수 있도록 하여 전기설비를 단순화 할 수 있도록 설계 및 제작 하였음.
- 블로워(blower)의 장기적 가동은 곧 전기료의 비용 증가에 기인하므로 장기적으로는 태양광 을 이용하여 전기를 생산 및 저장하여 블로워(blower)를 직접 가동할 수 있도록 설계 및 제작 하였음.
- 본 연구에서는 부로워(blower)에 의해 공기를 공급하여 집중폭기의 기구(機構)에 의한 산소 공급시스템을 개발하였음.
 - 부로워(blower)로부터 강제 유입된 공기가 집중 폭기관 말단에 설치된 산기관을 통하여 분산되면 기포의 상승부력으로 인하여 폭기관 내에 상승 기류가 발생하고, 이로 인하여 폭기관 하부의 심층수 유입공으로 심층수가 자동적으로 펌핑되어 유입됨
 - 유입된 심층수는 기·액압축관에서 상승하는 공기의 압력에 의해 압축되면서 미세 기포로 전환되면서 공기와의 접촉이 확대되어 용존산소량이 높아지고, 배출관을 통하여 수표면으로 배출됨.
- 집중폭기의 기구(機構)에 의해 하층수를 표층수로 순환시켜 용존산소량을 높임과 동시에 배출단계에서도 공기와의 접촉이 향상되어 용존산소량을 높일 수 있는 효과가 있음
- 본 연구에서 개발된 고효율 산소공급장치가 내장된 반응조는 <그림 4>와 같음.



<그림 4> 고효율 산소공급장치가 내장된 반응조

(2) 폭기장치 개발

- 본 개발 기술의 집중폭기 기구의 작동도는 <그림 5>와 같으며, 집중폭기 기구의 작동 원리는 ① 부로워로 부터의 공기는 ② 공기압축관에서 공기가 압축된 후 ③ 압축된 공기가 공기 유입관을 통해 폭기관 말단에 설치된 산기관을 통하여 분산됨 ④ 분산된 기포의 상승부력으로 인하여 폭기관내에 상승기류가 발생하고, 폭기관 내의 압력이 상승하면서 밀폐된 관 내부의 액면이 수조 액면보다 30cm 이상 상승함 ⑤ 상승된 기·액 은 4개의 배출관을 통하여 밖으로 배출되고, ⑥ 집중폭기관 내·외부의 수압차로 인하여 폭기관 말단 하부 유입 공으로 심층수가 펌핑 유입됨 ⑦ 또한 상승된 기·액 혼합물은 기·액압축관에서 압축되어 상승 공기압에 의해 미세기포로 전환되면서 공기와의 접촉 면적이 확대되어 수조 내 용존 산소량이 증가됨
- 본 연구에서 제작된 축산폐수 정화처리를 위한 집중폭기 기구는 <그림 6>과 같음.



<그림 5> 축산폐수 정화처리를 위한 집중폭기 기구의 작동도



<그림 6> 축산폐수 정화처리를 위한 집중폭기 기구

- 불로워로부터 산기장치에 의해 폭기관 내부에 강제 유입된 공기의 상승 부력작용으로 심층의 폐수가 폭기관 내부로 자연적으로 펌핑되어 유입
- 폭기관 내에서 수직 상승하는 공기의 압력으로 수체는 점차 고밀도 미세기포로 바뀌어 기·액이 혼합된 상태로 수면 상부로 연결된 연장관을 따라 수면위에 강력히 살포되어 산소 전달을 위한 용존산소(DO)를 8mg/l 이상 증가시켜 호기성미생물의 증식을 대수상태조건으로 고 효율적으로 유지
- 폭기기술은 축산폐수처리장 내에 폭기 전용탑(집중 폭기관)을 수직으로 수면 상부까지 세우고 그 폭기관 말단부에 산기장치를 고정하여 산기장치로부터 발생하는 기포의 부력작용으로 수체의 펌핑 효과를 이용
- 집중 폭기에 의하여 조 내의 BOD, SS, 휘발성 유기물질 등의 오염물질은 높은 용존산소량하에서 분해되기 쉬운 조건이 되며 혐기성의 심층수가 집중 폭기관을 따라 수직상승하여 표면으로 순환 이동되고 처리과정을 반복하면서 순환정화처리 과정에 의해 축산폐수가 정화됨.
- 폭기기술은 호소 내에 폭기 전용탑(집중 폭기관)을 수직으로 수면 상부까지 세우고 그 폭기관 말단부에 산기장치를 고정하여 산기장치로부터 발생하는 기포의 부력작용으로 수체의 펌핑 효과를 이용.
- <그림 7>은 본 연구에서 조립중인 폭기시스템이 축산폐수 저장탱크에 내장된 축산폐수 정화장치를 나타냄.
- 이 공법에 의한 정화처리효율은 폭기관 내부에서의 폐수의 순환 즉, 회전수에 따라 그 효율이 결정되는데 폐수의 순환은 오염물질의 제거를 동반하게 되므로 순환회수가 정화처리 단축에 결정적 역할을 함.
- 본 기술은 정화조 내의 폐수는 시간이 경과함에 따라 순환과정을 통하여 집중 폭기관으로 이동되며 산기장치에 의한 부력작용으로 자체 순환함.
- 축산폐수 정화장치의 구조물은 독립적 형태가 아니라 일체화하는 것이 경제적으로 중요하고, 따라서, 축산폐수 정화장치의 최상단에 불로워를 탑재하여 공기 누수를 방지하고 공기관과 폭기관을 차례대로 배치하도록 설계 및 제작하였음.
- 축산폐수 정화장치의 구조물 형태는 정방형으로 안정화 하여 반응기에 수직으로 설치할 수 있도록 하였고 그 규모는 multi형 반응기의 면적과 깊이에 대응하도록 신축성 있는 설계 및 제작하였음<그림 7>.



<그림 7> 축산폐수 정화장치

(3) 태양전지로 모듈 구성

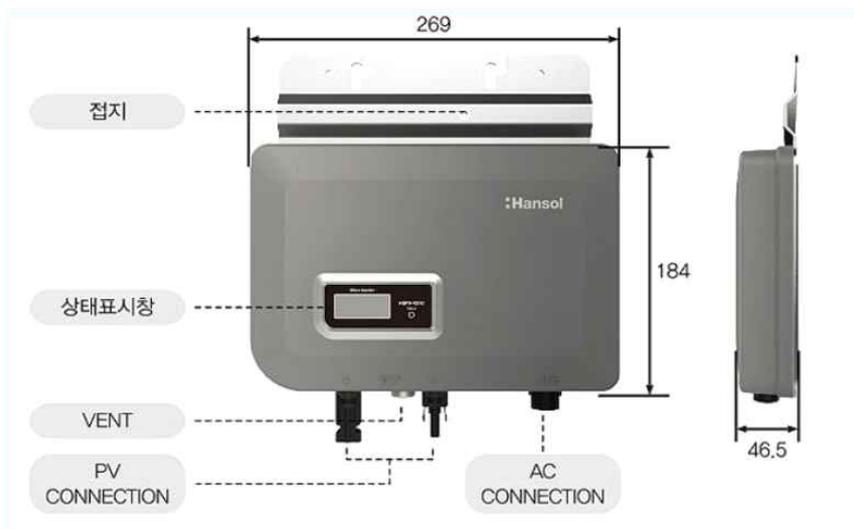
- 태양전지 1개 모듈은 Hanwha Q CELLS 제품(Q.PEAK-G4.1 300)으로 18.9%의 발전효율을 갖는 60개의 단결정 태양전지 셀로 구성되었음<그림 8>.
- 본 연구에 사용된 단결정 태양전지 사양은 <표 3>과 같음.
- 태양전지 품질은 첫째 정격출력의 98%이상을 생산하며 이후 연간 최대 0.6%씩 저하하여, 10년 후에 정격출력의 91.6%, 20년 후에 83% 이상 전력생산이 가능함.
- 태양전지 모듈은 태양광 인버터(Hansol 테크닉스, HPSV-K360)를 설비하여 태양 전지로부터 생산된 직류를 교류로 변환하였음<그림 9, 10>.
- 본 연구에 사용된 마이크로 인버터(Micro Inverter) 사양은 <표 4>와 같음.



<그림 8> PV 태양전지 모듈

<표 3> PV 태양전지 사양

정격출력	300 - 310 Wp
효율	18.9%
최대 시스템 전압	1000V
풍설하중(UL) ²	4000/5400
크기	1670mm × 1000mm × 32mm(프레임 포함)



<그림 9> 류를 교류로 변환시키기 위한 인버터



<그림 10> PV 모듈과 결합된 인버터

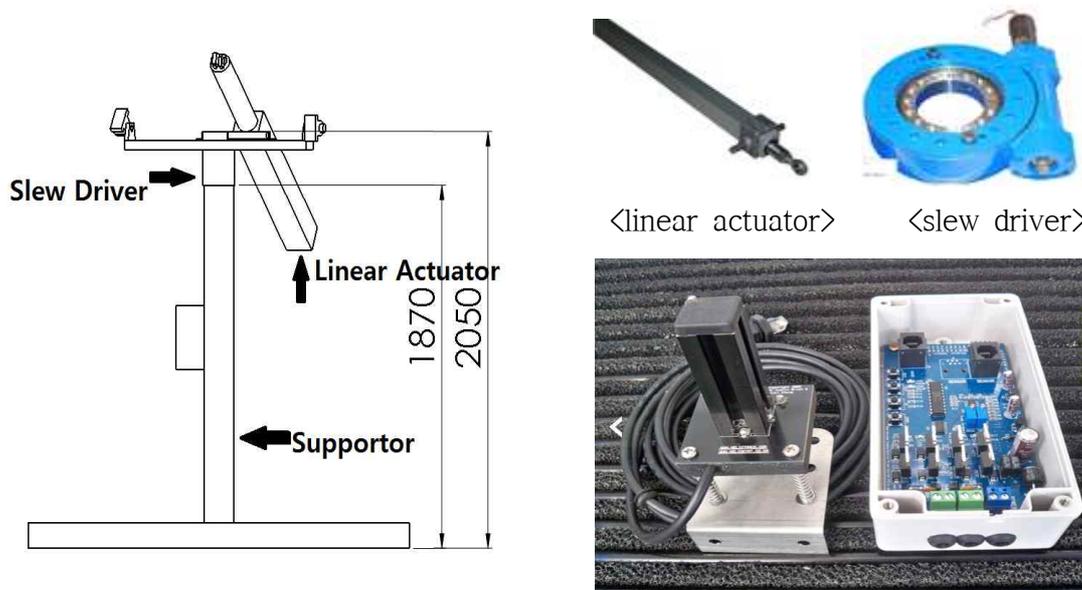
<표 4> 마야크로 인버터 사양

최대 입력전력	330W	AC 출력전류	1.41A
동작전압범위	52V	출력 역율	0.99
MPPT 전압범위	22V-52V	EURO 효율	94.3%
최대 입력전류	10A	최대 인버터 효율	95.0%
No. of MPPT Traking	1	동작온도 범위	-40~+60℃
출력용량	360W	외형치수	269×184×46.5(mm)
AC 출력 전압 범위	220V(±10%)		1.92kg
AC 출력 주파수	39.3HZ-60.5Hz		Black/Wite Character LCD
Connection Phase	1		IP 65/KS C 8564

(4) 태양 추적 장치 제작

- 태양 추적장치는 <그림 11, 12>과 같이 DC 모터를 사용하는 태양 고도각 추적을 위한 linear actuator와 태양 방위각 추적을 위한 slew driver가 있으며, 그리고 추적센서 및 컨트롤러로 구성하였음.

- 태양 추적장치(Dual Axis Solar Tracking Sensor, Heliostat, 한국)는 포토다이오드를 사용하는 광 추적식 센서를 사용하였으며, 광센서의 파장 영역은 400nm ~ 1200nm임.
- 컨트롤러는 태양추적 광센서에서 온 신호를 감지하여 해당 방향의 모터를 구동시키는 역할을 함.
- 태양추적 센서는 동서남북 각 방향으로 포토다이오드를 설치하고 그 중심에 막대를 설치한 형태로 그림자 방향의 포토다이오드가 전류 변화를 감지하면 비교 회로를 통하여 해당 방향의 모터에 전류를 공급하여 구동되는 방식임.
- 태양추적장치의 구동 주기는 6초로 설정되었으며, 추적에 의한 입사각 오차는 0.025° 임.



<그림 11> 태양광 2축 추적 장치와 컨트롤러



〈그림 12〉 컨트롤러가 설비된 태양광 2축 추적장치 실물

(5) 태양광 발전모듈 성능분석

(가) 일사량 및 기상자료 측정

- 전일사량은 일사량계(Pyranometer EQ-08, Middleton Solar, Australia)를 수평으로 설치하여 측정하였으며〈표 5, 그림 13 (a)〉, 일사량 자료는 데이터로거(KL-200, Wellbian system, Korea)를 사용하여 수집하였음.
- 외기온도와 풍속은 기상관측장비(Wireless Vantag Pro2 Plus, Davis Instruments, USA)를 이용하여 측정하였음〈그림 13 (b)〉
- 직달 일사량 측정은 높은 정확도를 갖는 직달 일사량계 (DR01 Direct Pyrheliometer, Hukseflux, Netherlands)를 사용하여, 2축의 태양 추적 장치와 함께 PV 모듈 지지대 상부에 부착하여 태양과 수직을 항상 유지하도록 설치하였고, 측정된 값은 W/m^2 으로 나타나며 data logger(LI-19)에 직접 연결하여 데이터를 수집하였음.
- 직달 일사량계 및 data logger 및 제원은 〈그림 14 (a), (b)〉 및 〈표 6, 7〉과 같음.

<표 5> 일사량계(Pyranometer EQ-08) 사양

제품명	측정범위	스펙트럼 범위	분해능
Pyranometer EQ-08	0 ~ 4000W/m ²	300 ~ 3000nm	0.5W/m ² 미만



(a) 일사량계



(b) 기상관측장비

<그림 13> 전일사량계 및 기상관측장비.



(a) Direct pyrheliometer



(b) Data logger

<그림 14> 직달일사계 및 자료수집장치.

<표 6> 직달일사계 사양

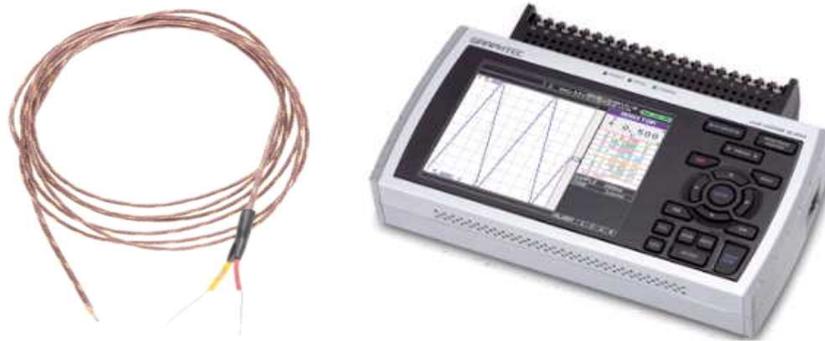
Parameters	Value
Model	DR01
Spectral range(nm)	200 ~ 4000
Response time(s)	18
Full opening view angle(Degrees)	5
Slope angle(Degrees)	1
Irradiance range(W/m ²)	0 ~ 2000
Sensitivity(μ v/w/m ²)	10
Temperature range($^{\circ}$ c)	-40 ~ 80
Temperature dependence(%/ $^{\circ}$ c)	< 0.1

<표 7> Data logger (LI-19) 사양

Parameters	Value
Model	LI-19
Spectral range(nm)	305 ~ 2800
Sensitivity(μ v/wm ²)	15
Measuring range(W/m ²)	0 ~ 2000
Operation temperature range($^{\circ}$ c)	-10 ~ 40
Temperature dependence(%/ $^{\circ}$ c)	< 0.1
Sampling rate(/sec)	1
Memory(samples)	3518
Total size(mm)	138*91*41
Wight(g)	230

(나) PV 모듈 표면온도 측정

- PV 모듈 표면온도 측정을 위해 열전대(Thermocouple)를 사용하였으며, 온도 자료 수집을 위해 데이터로거(GL800)를 사용하였음<그림 15>.
- 열전대는 PV모듈 유리덮개 표면에 설치하여 1분 간격으로 온도 데이터를 수집한 뒤 10분 단위로 평균하여 사용하였음.
- 데이터로거와 열전대의 제원은 <표 8>과 같음.



<그림 15> 열전대 및 data logger (GL800)

<표 8> 열전대 및 Data Logger (GL800) 사양

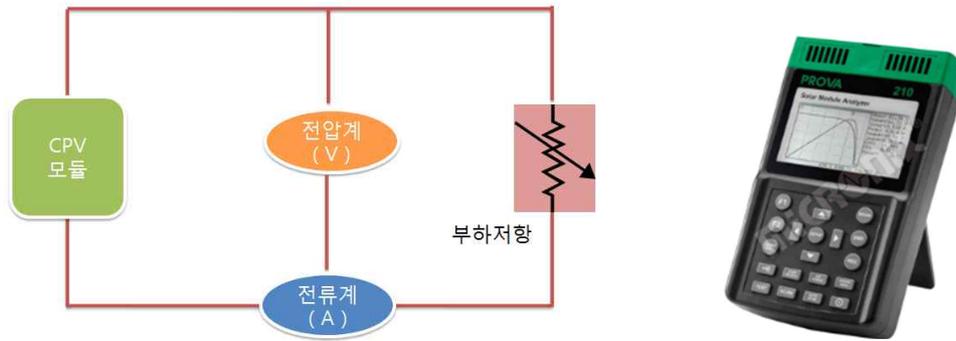
Items	Measurement range	Error range	Note
Thermocouple	-250° C ~ 400° C	$\pm 0.05C + 1.0^{\circ} C$	T-type
Data Logger (GL800)	$-100 \leq TS \leq 1370^{\circ}C$	$\pm (0.05\% \text{ of rdg} + 1^{\circ}C)$	when using K-type Thermocouple

(다) 전압 및 전류 측정

- 전압 및 전류 측정은 PROVA Instruments사의 PROVA 210 solar module analyzer를 사용하여 개방 전압, 단락전류, 최대전압, 최대전류, 최대전력, 충전률(FF : Fill Factor)를 5분단위로 측정하여 10분 평균을 내어 사용하였음.
- 측정범위에서의 정밀도는 <표 9>와 같으며, solar module analyzer의 측정원리는 <그림 16>과 같음.

<표 9> Solar module analyzer 사양

Measurement	Range	Resolution	Accuracy
DC Voltage	0~10V	0.001V	$\pm 1\% \pm (1\% \text{ of } V_{open} \pm 0.1V)$
	10~60V	0.01V	$\pm 1\% \pm (1\% \text{ of } V_{open} \pm 0.1V)$
DC Current	0.01~10A	1mA	$\pm 1\% \pm (1\% \text{ of } I_{short} \pm 9mA)$
	10~12A	10mA	$\pm 1\% \pm (1\% \text{ of } I_{short} \pm 0.09A)$



<그림 16> Solar module analyser

(라) PV 모듈 발전성능 분석

- PV 모듈로부터 생산된 태양광 발전효율을 나타내는 계산식은 식 (4), (5)와 같음.

$$P_{\max} = V_{oc} I_{sc} FF \quad (4)$$

$$\eta = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}} \quad (5)$$

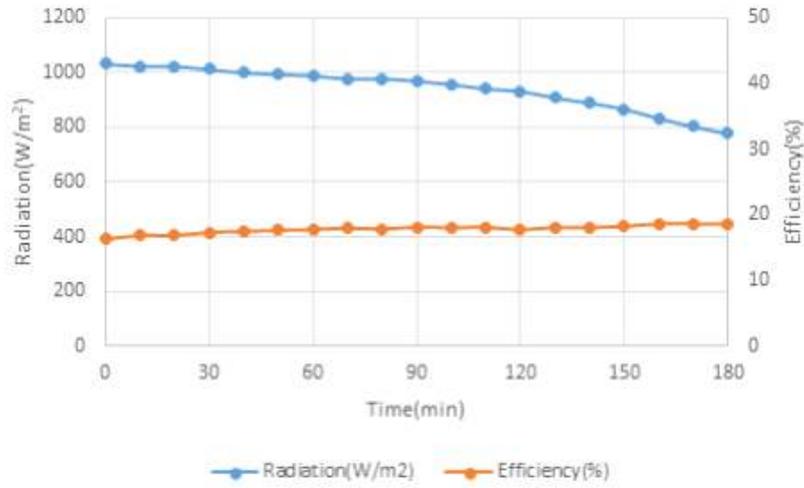
여기서, P_{\max} 는 최대출력, FF는 충전률, η 은 효율, P_{in} 입사된 일사 에너지임.

- PV 모듈의 발전성능 분석을 위해 <그림 17>과 같이 거치대를 제작하여 PV 모듈을 남향 30° 및 45°로 고정하여 성능분석을 수행하였음.
- PV 모듈을 남향 45°로 설치하였을 때 평균 발전효율이 15.07%로 나타났고, 설치각도가 30°일 경우 평균 발전효율이 17.81%로 나타나, 고정식일경우는 설치각도가 45°일 때보다 2.74%가 높게 나타났음<그림 18>.
- PV 모듈의 표면온도에 따른 효율감소율 분석결과 표면온도가 25℃에서 40℃으로 상승하는 동안 45°로 설치된 PV 모듈의 발전효율은 약 4% 감소하였고, 설치각도가 30°일 경우는 약 3% 정도의 발전효율이 감소하는 것으로 나타났음<그림 19>.

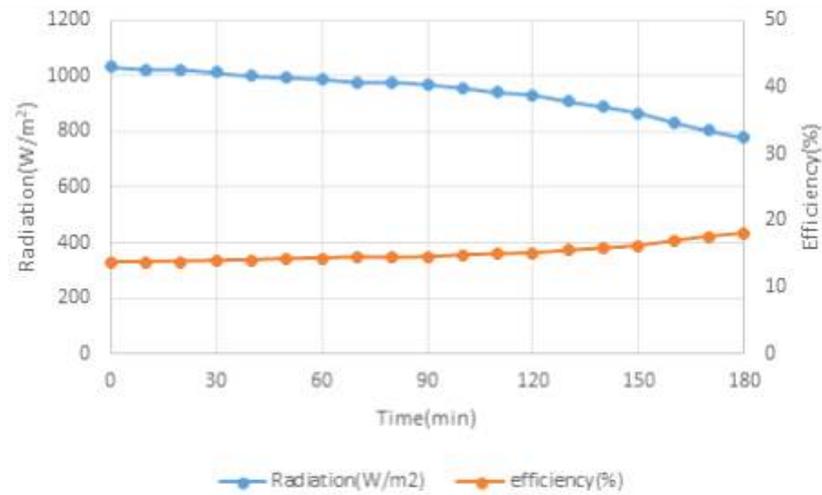
- 추적식 PV 모듈의 발전효율을 분석하기 위해, PV모듈을 태양추적장치에 설치하여 태양추적식 PV 모듈의 발전 성능을 비교분석 하였음<그림 20>
- 추적식 PV 모듈의 발전효율은 평균 21.84%로, 설치 각도가 30°일 경우 보다 약 4%정도 높게 나타났음<그림 20>.
- 추적식 PV 모듈의 표면온도에 따른 효율감소를 분석결과 표면온도가 37.2℃에서 42.3℃로 상승하는 동안 PV 모듈의 발전효율은 약 4% 감소하는 것으로 나타났음<그림 21>.



<그림 17> 남향 30° 및 45°로 설치된 PV 모듈

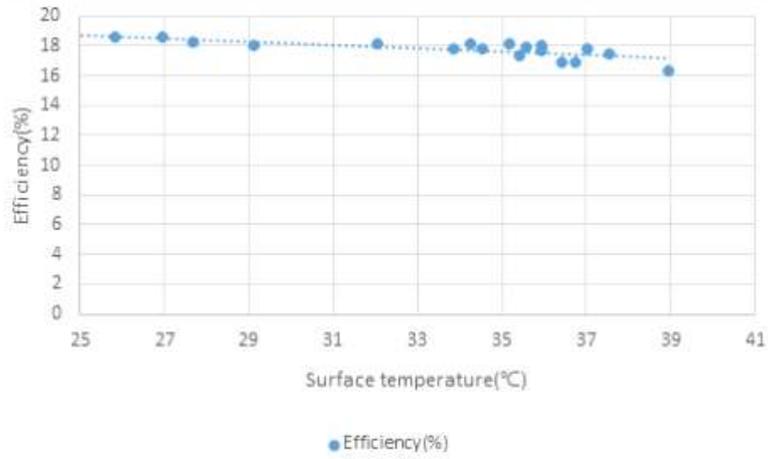


(a) 설치 각도: 30°

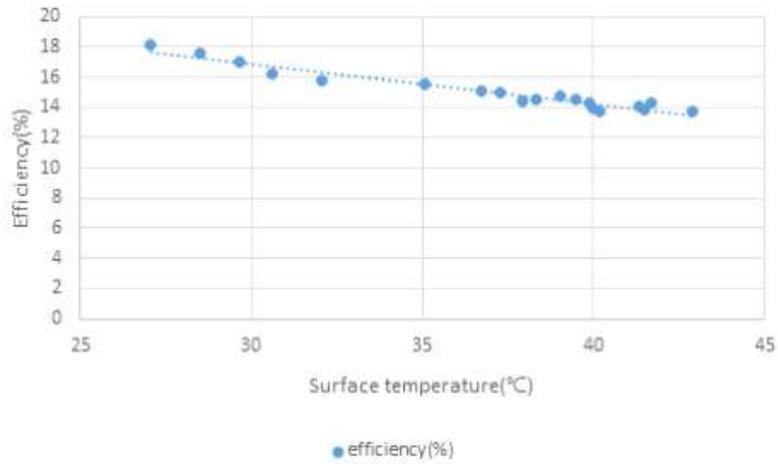


(b) 설치 각도: 45°

<그림 18> PV 모듈의 설치 각도에 따른 발전효율 분석



(a) 설치 각도: 30°

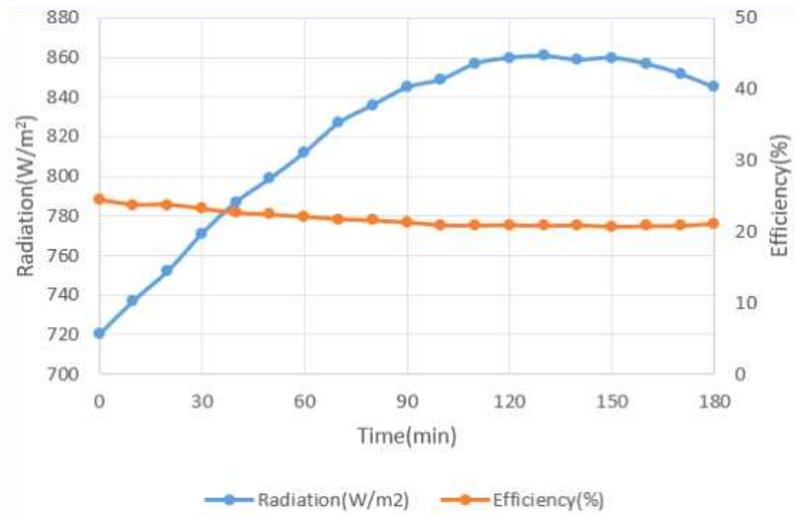


(b) 설치 각도: 45°

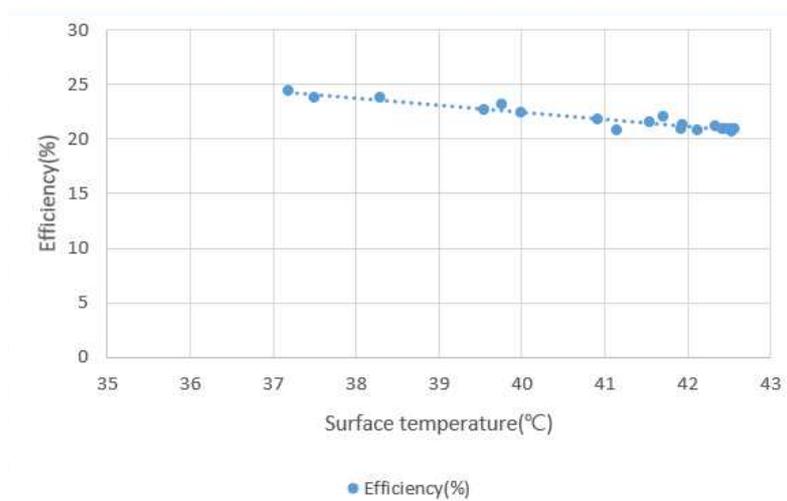
<그림 19> PV 모듈의 표면 온도에 따른 발전효율 분석



<그림 20> 고정식 및 태양추적식 PV 모듈



(a) 일사량에 따른 발전효율 분석



(b) 표면온도에 따른 발전효율 분석

<그림 21> 추적식 PV 모듈의 일사량 및 온도에 따른 발전효율 분석

2. 축산폐수 정화장치 실증 실험

(1) 실증 실험용 축산폐수 정화장치 제작

- 축산폐수 저장 용기 내에 집중 폭기관을 수직으로 수면 상부까지 세우고 폭기관 말단부에 산기장치를 고정하여 산기장치로부터 발생하는 기포의 부력작용으로 폐수의 펌핑 효과를 이용하였음<그림 22>.

- 불로워로부터 발생된 공기를 산기장치에 유동시킴으로, 폭기관 내부에 강제 유입된 공기로 인해 상승 부력작용으로 심층의 폐수가 자연적으로 폭기관 내부로 펌핑되어 유입되게 하였음<그림 23>.
- 배관자재 및 조인트는 내부식성이 좋고, 탈착부착이 간단하며 경량인 PVC 파이프를 이용하여 제작하였음.
- 폭기관 내에서 수직 상승하는 공기의 압력으로 수체는 점차 고밀도 미세기포로 바뀌어 기체 및 액체가 혼합된 상태로 수면 상부로 연결된 연장관을 따라 수면 위에 강력히 살포되어 산소 전달을 위한 용존산소를 증가시켜 호기성 미생물의 증식시킴.
- 축산폐수 정화장치의 최하단부에 1마력의 부로워<그림 24>를 설치하고, 배관의 공기 누수를 방지하기 위해 연결부를 접착제로 고정하여 일체화 하였으며, 공기관과 폭기관을 차례대로 탁부착할 수 있도록 설계 및 제작하였음.
- 본 연구에서 제작된 폭기시스템이 용량 400L의 축산폐수 저장탱크<그림 25>에 내장된 축산폐수 정화장치는 <그림 26>과 같음.



<그림 22> 폭기관 및 산기장치



<그림 23> 실증 실험용 축산폐수 정화장치



<그림 24> 폭기장치의 공기 공급을 위한 브로워



<그림 25> 정화장치 설비를 위한 축산폐수 저장조



<그림 26> 축산폐수 저장조 내에 설비된 정화장치

- 축산폐수의 가동을 위한 에너지는 3kW의 전력을 생산하도록 한국전력 전력망과 계통 연계된 태양광 발전설비로부터 공급되었음<그림 27>.



(a) 태양광 발전을 위한 태양전지 어레이



(a) 태양광 발전설비의 계통연계

<그림 27> 축산폐수 정화장치 가동을 위한 태양광 발전 설비

(2) 축산폐수 정화장치의 실증실험

- 축산폐수 정화장치의 실증실험은 강원대학교 목장에 설비되어 있는 돈사로부터 고액 분리하여 배출되는 액체상태의 축산폐수를 실험재료로 이용하였음.
- 축산폐수 정화장치의 정화성능을 분석하기 위해 정화장치를 가동하지 않은 폐수와 정화처리 된 폐수의 수질을 1주 간격 측정하였고, 총 3주 동안 정화처리 실험을 수행하였음.

- 축산폐수의 수질 측정 항목은 수소이온농도(pH), 용존산소(DO: mg/L), 생물학적산소요구량(BOD: mg/L), 부유물질(SS: mg/L), 총질소(T-N: mg/L), 총인(T-P: mg/L) 임.

(3) 축산폐수 정화장치의 실증실험 결과

(가) 색도 변화

- 외형적으로 정화 처리된 돈분 폐수는 옅은 갈색에서 점점 검은 갈색으로 변화되는 것으로 나타났으나, 정화처리 되지 않은 폐수는 3주 후에도 처리 전과 큰 변화 없는 옅은 갈색을 그대로 나타내었음<그림 28>.



(a) 정화 처리 전의 돈분 액상 폐수



(b) 무처리 폐수(좌측) 및 정화처리 3주 후의 폐수(우측)
 <그림 28> 정화처리 전후의 돈분 액상 폐수 색도 변화

(나) 수질 측정 항목 및 결과

① 수소이온농도(pH)

- 수소 이온 농도 지수 또는 수소 농도 지수는 수소 이온(H⁺)의 해리 농도를 로그의 역수를 취해 나타낸 값으로, 단위는 pH를 사용하고, 화학에서 물질의 산과 염기의 강도를 나타내는 척도로서 사용됨.
- 수용액상에서의 수소 이온 활동도는 물의 해리상수와 다른 이온과의 상호작용으로 나타내며, 중성의 수용액은 수소 이온(H⁺)의 활동도와 수산화 이온(OH⁻)의 활동도가 같으므로 표준 온도 및 압력에서 pH = 7의 값을 갖으며, pH의 값이 7보다 낮으면 산성, 7보다 높으면 염기성이라고 함.
- pH는 폐수처리를 하거나 중화, 응집 등 화학적 처리를 할 때 중요한 역할을 하며, pH 값을 측정하는 데는 전위차측정법, 비색측정법 등이 있음.

② 용존산소량(DO)

- 용존산소량(dissolved oxygen; DO)은 물속에 녹아있는 산소의 양을 말하며, ppm 또는 mg/L의 수치로 나타내고, 수질의 지표로 사용되며, 적조현상과 같이 플랑크톤 등의 생물이 이상 증식하는 경우, 용존산소량이 매우 적어짐.
- 용존 산소 (DO)는 생물학적 변화가 호기성 미생물에 의해 일어나는지 또는 혐기성 미생물에 의해 일어나는지를 판단하는 중요한 인자가 되며, 전자는 자유산소를 사용하여, 유기물질과 무기물질을 무해한 최종 생성물로 산화하는 반면, 후자는 황산염과 같은 특정한 무기염의 환원을 통해 이러한 산화를 일으키는 것으로 최종 생성물이 때로 매우 해로운 것일 수도 있음.
- 이 두 형태의 미생물은 자연에 보편적으로 존재하고 있으므로, 호기성 미생물에 유리한 상태를 유지시키는 것이 대단히 중요하며, 그렇지 않을 경우에는 혐기성 미생물이 자라게 되어, 좋지 못한 상태(nuisance condition)로 바뀔므로 용존 산소의 측정은 오염물질이 유입되는 자연수와 가정하수, 산업폐수, 축산폐수를 정화하는 호기성 처리공정을 호기성 상태로 유지하는 데 있어서 매우 중요함.
- 이상적인 용존 산소의 절대량은 돌턴의 법칙에 의해 기압과 용액의 온도에 좌우되지만, 해수 등의 실질적인 용액의 용존 산소량은 해조류의 번식이나 수온의 급격한 변화 등에 의해 과포화 되는 경우도 있고, BOD (biological oxygen demand)와 함께 물의 오염도를 측정하는 데 사용되기도 함.

③ 생물학적 산소 요구량(BOD)

- 생화학적 산소요구량과 같은 말로, 유기물질에 의한 하천이나 해역의 오염도를 나타낼 때 주로 측정하며, BOD(biological oxygen demand)는 호기성 미생물에 의해 수중의 유기물질이, 일정기간 동안 산화·분해될 때 소비되는 산소량(농도)을 의미함.
- 용존산소(물속에 남아 있는 산소량)의 양은 mg/L 혹은 ppm으로 표기하며, 오염정도가 심할수록 BOD가 높게 나오고, 이는 곧 산소부족으로 인하여 어패류의 생존이 위태로워짐을 뜻함.
- BOD 측정 장치에는 클로메트리법, 폭기법, 산소 센서법, BOD(바이오) 센서법 등이 있고 측정 샘플의 수량, 측정 시간 여유도 등에서 가장 적당한 방법을 선택하는 것이 좋음.

④ 부유물질(SS)

- 입경 2mm 이하의 물에 용해되지 않는 물질을 일컫는 말로 오염된 물의 수질을 표시하는 지표이며, Suspended Solids의 약칭으로 SS 또는 현탁물질 이라고도 하고, 단위는 mg/L 또는 ppm이 이용됨.
- 물속에 현탁되어 있는 모든 불용성물질 또는 입자를 가리키며, 하천에서는 미생물, 모래, 초목 등이 중심이고, 산업폐수에서는 토사, 금속, 기름 성분이 문제가 되지만, 특히 식품공업에서는 원료의 일부가 부유물질이 되기 쉽고, 하천 등 자연수역에 방류되면 물의 탁도를 높이고 외관을 더럽히며, 그 중 생물분해 가능한 유기물질인 용존산소를 감소시킴.

⑤ 총질소(T-N)

- 총질소는 수중에 포함 된 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소, 무기성 질소 및 단백질 아미노산, 폴리펩티드, 요소 등 유기 질소의 총량을 말하며, 질소량을 나타냄.
- 총질소는 동물과 식물에서 유래하고 있기 때문에 모든 물에 포함되어있으며, 또한 폐수, 공장 폐수, 축산폐수 등의 혼입에 의해 증가함.

⑥ 총인(T-P)

- 총인은 호소, 하천 등의 부영양화를 나타내는 지표 중 하나로 물속에 포함된 인의 농도를 의미하며, 인은 질소와 함께 호소와 같은 폐쇄수역 부영양화에 있어 제한기질로 작용함.
- 총인은 입자성 인, 유기성 인, 폴리인산염, 인산염이온 등 수중에 존재하는 인(P)의 총량을 측정된 값을 말하며, 단위는 mg/L로 표기하고, 인은 합성세제와 많이 포함되어 있으며, 축산폐수에는 매우 높은 농도의 인이 함유되어 있음.
- 인은 질소와 함께 과도하게 방류수 내에 존재할 경우에는 방류수역 내 수서생물의 과다성장을 초래하는 등 부영양화를 유발시킬 수 있고 심미적으로 불쾌감을 주는 원인이 됨.
- 인은 화학 형에 긍정적 인 인산, 메타 인산, 피로 인산 등, 무기 인산 농약, 인산 에스테르, 인지질 등의 유기 인 화합물이 있고, 이들이 용존 상태 또는 현탁액 상태로 존재하며, 이 밖에 부식 방지제로서 폴리 인산이 첨가 된 수돗물에는 폴리 인산, 긍정적 인, 인산 이온 등이 존재함.

(다) 수질 측정 결과

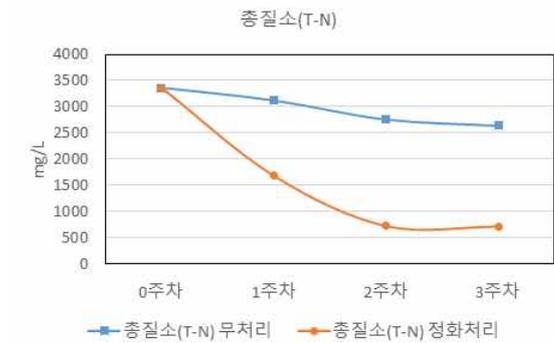
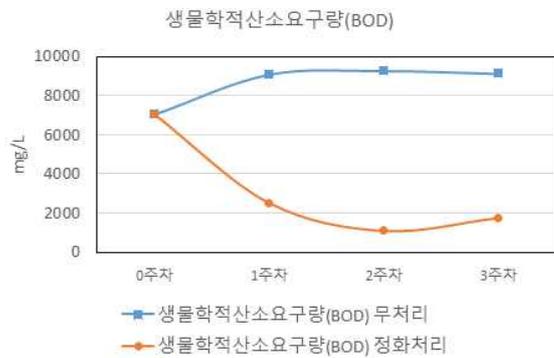
- 액상의 돈분 폐수를 3주 동안 정화처리 하는 동안 매 주마다 수소이온농도(pH), 용존산소(DO: mg/L), 생물학적 산소요구량(BOD: mg/L), 부유물질(SS: mg/L), 총질소(T-N: mg/L), 총인(T-P: mg/L)을 수질 검사한 결과를 <표 10> 및 <그림 29>에 나타내었음.
- 정화처리 되지 않은 폐수의 수소이온농도(pH)는 최초에 7.4에서 3주 후에 7.5로 미소하게 0.1 증가 하였으나, 정화처리 장치에 의해 처리된 폐수의 pH는 7.4에서 9.3으로 1.9 증가하면서 염기성으로 크게 변화하였으며, 정화처리 효과가 매우 큰 것으로 나타났음.
- 정화처리 되지 않은 폐수의 용존산소(DO: mg/L)는 정화처리 장치에 의해 처리된 폐수와 거의 유사하게 3주 처리 후에 0.6에서 0.1로 변화하였으며, 이와 같이 DO에 대해 정화처리 효과를 나타내지 못한 것은, 시료의 채취 후 바로 DO를 측정하지 못하고, 일정시간 저장 후에 측정된 결과로 사료됨.

- 생물학적 산소요구량(BOD: mg/L)은 정화처리 되지 않은 폐수의 경우 최초 7,060.6 mg/L에서 3주 후 9,120.6mg/L로 다소 높아지는 경향을 보였으나, 정화처리 장치에 의해 처리된 폐수의 경우는 정화처리 3주 후 1,764.6 mg/L로 낮아져 5,296 mg/L의 매우 큰 감소를 보여, 정화처리 효과가 매우 우수한 것으로 나타났음.
- 부유물질(SS)은 정화처리 되지 않은 폐수의 경우 최초 2,280 mg/L에서 3주 후 1,366.7mg/L로 다소 낮아지는 경향을 보였으나, 정화처리 장치에 의해 처리된 폐수의 경우는 오히려 정화처리 3주 후 2,416.7 mg/L로 높게 나타났으며, 이러한 결과는 정화처리 되지 않은 폐수의 경우 시간이 경과하면서 부유물질이 하부로 침전되어 저장조의 중간 부위에서 채취된 분석시료에는 부유물질이 적게 포함된 결과로 사료되며, 반대로 정화처리 폐수는 폭기장치에 의해 부유물질이 저장조의 위로 부유하여, 분석시료 채취 시에 부유물질이 오히려 더 많이 포함되어 있어 분석결과 부유물질의 함량이 높게 나타난 것으로 사료됨.
- 총질소(T-N)는 정화처리 되지 않은 폐수의 경우 최초 3,360 mg/L에서 3주 후 2,640mg/L로 다소 낮아지는 경향을 보였으나, 정화처리 장치에 의해 처리된 폐수의 경우는 정화처리 3주 후 710 mg/L로 매우 낮아져, 2,650 mg/L의 매우 큰 감소를 보여 정화처리 효과가 매우 우수한 것으로 나타났음.
- 총인(T-P)은 정화처리 되지 않은 폐수의 경우 최초 240 mg/L에서 3주 후 192 mg/L로 다소 낮아지는 경향을 보였으나, 정화처리 장치에 의해 처리된 폐수의 경우는 정화처리 3주 후 140 mg/L로 매우 낮아져, 100 mg/L의 매우 큰 감소를 나타내어 정화처리 효과가 매우 우수한 것으로 나타났음.
- 정화처리 2주 후의 결과를 조사해 보면, pH는 처리 전 7.4에서 9.1로 크게 증가하였으며, BOD, T-N 및 T-P는 처리 전 7,060.6 mg/L, 3,360 mg/L 및 240 mg/L에서, 2주 처리 후에는 각각 1,107.6 mg/L, 720 mg/L 및 144 mg/L로 크게 낮아졌고, 이는 3주의 정화처리 결과와 큰 차이를 나타내지 않는 것으로 분석되어 정화처리 기간은 2주면 충분한 것으로 판단됨.

<표 10> 액상 돈분 폐수의 정화처리 수질검사 결과

수질측정 항목		0 주차	1 주차	2 주차	3 주차
수소이온농도 (pH)	무처리	7.4	7.4	7.4	7.5
	정화처리	7.4	9.1	9.1	9.3
용존산소 (DO)	무처리	0.6	0.3	0.2	0.1
	정화처리	0.6	0.2	0.3	0.1
생물학적산소 요구량(BOD)	무처리	7060.6	9080.6	9260.6	9120.6
	정화처리	7060.6	2538.6	1107.6	1764.6
부유물질 (SS)	무처리	2280	1540	1720	1366.7
	정화처리	2280	2200	2100	2416.7
총질소 (T-N)	무처리	3360	3120	2760	2640
	정화처리	3360	1680	720	710
총인(T-P)	무처리	240	192	192	192
	정화처리	240	132	144	140

* 본 축산폐수의 수질검사는 공인인증기관인 (자)대한환경건설에서 수행한 결과임.



〈그림 29〉 액상 돈분 폐수 정화처리 수질 검사 결과

3. 경제성 분석

- 태양광발전설비로부터 생산되는 전력을 이용하는 축산폐수 정화장치의 가동에 따른 경제성분석은 양돈 기준으로 사육두수 1,000두로부터 발생하는 축산폐기물을 기준으로 산정하였음<표 11>.
- 양돈 1,000두로 부터 발생하는 양돈 슬러리 중 고액 분리된 액상의 수분함량은 98%를 기준으로 함.

- 양돈 1,000두로부터 하루에 발생되어 정화처리가 요구되는 액상의 축산폐수의 양은 4.4 ton으로 가정하였음.
- 저장조 1개의 크기는 하루에 발생하는 4.4톤의 액상 축산폐수를 저장할 수 있는 용량을 기준으로 하였음.
- 따라서 14일간의 정화처리 기간이 소요됨을 가정하여, 매일 하루에 발생하는 4.4톤의 액상 축산폐수를 처리하기 위해서는 14개의 저장탱크가 필요로 됨.
- 또한 1개의 축산폐수 저장조내에 1개의 정화장치 설비가 요구됨으로, 총 14개의 정화장치가 필요함.
- 정화장치 가동을 위한 전력으로 1개의 정화장치 가동을 위해서는 약 1.5kW의 전력이 필요한 것으로 가정하였고, 따라서 총 14개의 정화장치를 동시에 가동하기 위해서는 총 21kW의 전력이 요구됨.
- 정화장치 1개의 제작에는 약 2,000,000원이 소요되며, 따라서 정화장치 14개의 제작에 28,000,000원이 요구됨.
- 태양광발전설비 1kW당 약 2,500,000원이 소요되며, 따라서 축산폐수 정화장치 10개를 동시에 가동하기 위해서는 21kW 용량의 태양광 발전설비가 필요하고, 따라서 총 52,500,000원이 필요함.
- 따라서, 사육두수 1,000두로부터 발생하는 액상의 축산폐기물을 정화처리하기 위해 필요로 되는 총 설비 금액은 80,500,000원으로 산정됨.
- 축산폐수의 위탁 처리비용은 1톤당 약 20,000원으로, 따라서 1일에 88,000원이 요구되고, 연간 32,120,000원이 소요됨.
- 따라서, 사육두수 1,000두로부터 발생하는 액상의 축산폐수를 정화하기 위해서는 3년간 96,360,000원이 소요되며, 태양광발전 전력을 이용한 축산폐수 정화장치의 설비비는 그 보다 낮은 80,500,000원으로, 따라서 3년 내에 정화장치 설비비가 회수될 수 있을 것으로 사료됨.

<표 11> 규모에 따른 돈분 축산폐기물의 발생량

원료 및 발생량		규모(사육두수, 두)									
		1,000		2,000		3,000		5,000		10,000	
원료 성상	고액분리	고액분리		고액분리		고액분리		고액분리		고액분리	
	여부	고상	액상	고상	액상	고상	액상	고상	액상	고상	액상
	수분함량 (%)	85	98	85	98	85	98	85	98	85	98
발생량 (ton/일)	슬러리	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	고상	4.2	-	8.4	-	12.6	-	21	-	42	-
	액상	-	4.4	-	8.8	-	13.2	-	22	-	44

제 3절 연구개발 성과

1. 국제학술회지

- Seong Geon Hwang, Joo Hee Lee, and Gwi Hyun Lee. 2018. Thermal Efficiency Analysis of Solar Concentrator System Using Nanofluid. AFELiSA 2018 (International Symposium on Agricultural, Food, Environmental and Life Science in Asia, 2018), The 15th International Joint Symposium between Korea and Japan)
- Seong Geon Hwang, Joo Hee Lee, Jae Min Cho and Gwi Hyun Lee. 2019. Verification of the Performance of Agricultural Facility Using CFD Simulation. AFELiSA 2019 (International Symposium on Agricultural, Food, Environmental and Life Sciences in Asia, 2019), The 16th International Joint Symposium between Korea and Japan).

2. 국내학술회지

- 이주희, 황성근, 이귀현. 2018. 태양광-열 복합시스템(PVT)의 효율특성 분석 (Analysis of Performance Characteristics of Photovoltaic Thermal System). 한국 농업기계학회/농업생산무인자동화연구센터 2018년 추계 공동학술대회 초록집 23(2): 53.

- Alsalame Haedr, Seong Geon Hwang, Gwi Hyun Lee, 2019. Modification of Absorber Structure to Increase the Efficiency of Conical Concentrator System, (사)한국농업기계학회, 농업생산무인자동화연구센터, 밭농업기계개발연구센터, 스마트팜 연구센터, 2019년 추계 공동학술대회 초록집: 53.

3. 특허 출원 및 등록

- 특허구분: 디자인, 고안의 명칭: 수질정화기, 출원일: 2018. 11. 12, 출원번호: 30-2018-0052188
- 특허구분: 디자인, 고안의 명칭: 수질정화기, 등록일: 2019. 07. 18, 등록번호: 30-1016296
- 특허구분: 특허, 고안의 명칭: 집중폭기가 적용된 수질정화장치, 등록일: 2019. 08. 28, 등록번호: 10-2017548

4. 인력양성

- 학사: 3명
- 석사: 2명

5. 제품화

- 제품화: 1건

4. 사업화성과 및 매출실적

(1) 사업화 성과

항목	세부항목			성 과
사업화 성과	매출액	개발제품	개발후 현재까지	1.2억원
			향후 3년간 매출	5억원
		관련제품	개발후 현재까지	1억원
			향후 3년간 매출	3억원
	시장 점유율	개발제품	개발후 현재까지	국내 : 1% 국외 : 0%
			향후 3년간 매출	국내 : 5% 국외 : 0%
		관련제품	개발후 현재까지	국내 : 1% 국외 : 2%
			향후 3년간 매출	국내 : 1% 국외 : 3%
	세계시장 경쟁력 순위	현재 제품 세계시장 경쟁력 순위		300위
		3년 후 제품 세계 시장경쟁력 순위		150위

(2) 사업화 계획 및 매출 실적

항 목	세부 항목	성 과			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	2			
	소요예산(백만원)	200			
	예상 매출규모 (억원)	현재까지	3년후	5년후	
		2	3	5	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년후	5년후
		국내	1	5	10
		국외	0	1	2
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획	태양광 발전 에너지 자립형 고 효율 축산폐수 정화장치				
무역 수지 개선 효과	(단위: 억원)	현재	3년후	5년후	
	수입대체(내수)	0	1	2	
	수 출	0	1	2	

제 3 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1 절 연구 목표

- 축산폐수 정화를 위한 동력원으로 태양광 발전 전력을 이용하는 에너지 자립형 연속식 축산폐수 정화장치 개발을 연구 개발 최종 목표로 함.
 - 폭기장치 및 산기장장치 개발
 - 산소공급장치 및 반응조 개발
 - 태양광 발전시스템 설비 및 성능분석
 - 실증용 축산폐수 정화장치 설비 및 성능분석
 - 축산폐수 정화장치의 경제성 분석

제 2 절 목표 달성여부

1. 세부 연구목표 대비 달성도

구분 (연도)	세부연구목표	평가의 착안점 및 기준	달성도 (%)
1차 년도 (2018)	○폭기장치 및 산기장장치 개발	- 폭기장치 및 산기장치 성능의 우수성	100
	○산소공급장치 개발	- 산소 공급장치의 공기 공급 수월성	
	○반응조 개발	- 반응조의 구조적 효율성	
	○태양전지 모듈/array 설비	- 태양광 발전설비의 구조적 안전성	
	○태양추적장치 개발	- 태양추적장치 기능의 우수성	
	○태양광 발전시스템 성능 분석	- 태양광 발전시스템 성능의 우수성	
2차 년도 (2019)	○축산폐수 저장 탱크 설비	- 축산폐수 저장탱크의 구조적 안정성	100
	○악취저감 폭기식 정화장치 설비	- 악취저감 폭기식 정화장치의 기능적 완전성	
	○실증용 축산폐수 정화장치 설비	- 실증용 축산폐수 정화장치의 구조적 우수성	
	○실증용 축산폐수 정화장치 성능 실험	- 실증용 축산폐수 정화장치 성능실험의 적절성	
	○축산폐수 정화 수질 및 경제성 분석	- 축산폐수 정화 수질 및 경제성 분석의 타당성	
최종 평가	○실증용 축산폐수 정화장치 설비	- 실증용 축산폐수 정화장치의 구조 및 기능적 우수성	100
	○실증용 축산폐수 정화장치 성능분석	- 실증용 축산폐수 정화장치 성능의 우수성	
	○축산폐수 정화장치의 경제성 분석	- 축산폐수 정화장치의 경제적 가치의 우수성	

2. 연구성과 목표 및 달성도

성과목 표	사업화지표										연구기반지표								
	지식 재산권			기술 실시 (이전)		사업화					기술 인증	학술성과			교육지 도	인력 양성	정책 활용·홍 보		기 타 (타 연 구 활 용 등)
	특 허 출 원	특 허 등 록	품 종 등 록	건 수	기술 료	제 품 화	매 출 액	수 출 액	고 용 창 출	투 자 유 치		논문		학 술 발 표			정 책 활 용	홍 보 전 시	
												SCI	비 SCI						
단위	건	건	건	건	백만 원	건	백만 원	백만 원	명	백만 원	건	건	건	건	명	건	건		
가중치	20					20			20		10			15		15			
최종 목표	1					1			1		1			2		2			
1차 년도	목 표													1		1			
	달 성	1												2		2			
2차 년도	목 표	1				1			1		1			1		1			
	달 성		2			1								2		3			
최종 달성	2	2				1								4		5			

제 3 절 목표 미달성 시 원인(사유) 및 차후대책

- 현재 연구 기간 부족으로 인해 축산폐수 정화장치에 대한 기술인증을 획득하지 못하였으나, 연구 종료 후에 농림축산식품부에 신기술인증 신청 계획임.
- 연구 종료 후 1명의 신입사원을 채용할 계획임.

제 4 장 연구결과의 활용 계획

제 1 절 연구개발 성과의 활용방안 및 기대효과

1. 연구개발 결과의 활용방안

- 본 연구 결과물을 국내외 학술지에 발표하여 본 연구의 우수성을 검증할 것임.
- 환경 및 에너지관련 전시회에 적극 참여하여 연구개발결과의 우수성을 국내외적으로 홍보할 것임.
- 기술개발 결과를 국내 특허출원하여 지적재산권을 조기에 확보토록 함.
- 기술개발의 파급효과를 극대화하기 위하여 연구개발 및 상용화 적용을 가능한 조기에 추진할 것임
- 연구개발 결과를 토대로 추 후 일본 및 미국의 지적재산권을 확보할 계획임.
- 축산폐수는 악취저감 저화장치에 의해 처리 후 생물비료로 이용가능 하여 부가적 이익 창출이 가능.
- 본 제품의 기술 향상으로 국내 축산업계에 이바지할 수 있어 연간 최소 10억 이상 매출이 기대되며 해외 기술 수출 등에 의한 매출은 연간 최소 100억 이상의 가치를 창출할 수 있을 것으로 사료됨.

2. 기대성과 및 파급효과

- 축산농가의 축산폐수에 의한 악취발생 민원 해결이 가능
- 구제역 및 AI에 의한 매설지로부터 발생하는 악취의 해결
- 해양투기 금지법 발효에 따른 축산농가의 축산폐수 처리 문제에 대한 고충 해결
- 축산업 전반에 본 기술개발품의 보급 활성화가 기대됨
- 본 기술개발 연구에 학생들을 직접 참여하게 태양광 발전 전력을 이용한 축산폐수 악취저감 정화장치의 설계 및 제작기술과 성능분석을 위한 데이터 획득과 분석 방법을 습득하게 함으로써 실제 산업현장에서 필요한 실용적 인력 양성이 될 것임.

주의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 농식품연구성과후속지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 농식품연구성과후속 지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.