

보안 과제(), 일반 과제(O) / 공개(O), 비공개()발간등록번호(O)
2021년도 기술사업화지원사업 2023년도 최종보고서

발간등록번호

11-1543000-004702-01

태양에너지를 이용한 에너지 절약형 고효율 스마트 폭기장치 기반 축산분뇨 액비장치 개발

2024.07.09.

주관연구기관 / (주)워터테크
공동연구기관 / 강원대학교 산학협력단

농림축산식품부
(전문기관)농림식품기술기획평가원

RS-2021
-IP&2104

태양에너지를 이용한 에너지 절약형 고효율 스마트 포기장치 기반 축사투포 예비장치 개발

2024

농림식품기술기획평가원
농림축산식품부

제 출 문

농림축산식품부 장관 귀하

본 보고서를 “태양에너지를 이용한 에너지 절약형 고효율 스마트 폭기장치 기반 축산분뇨 액비장치 개발”(개발기간 : 2021. 04. 01 ~ 2023. 12. 31)과제의 최종보고서로 제출합니다.

2024. 07. 09.

주관연구기관명 : (주)위터테크

심재도

공동연구기관명 : 강원대학교 산학협력단 장철성

주관연구책임자 : 심재도 (인)

공동연구책임자 : 이귀현 (인)



국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제18조에 따라 보고서 열람에 동의합니다.

< 요약 문 >

사업명		2021년도 기술사업화지원사업		총괄연구개발 식별번호		-						
내역사업명		민간중심 R&D 사업화 지원		연구개발과제번호		RS-2021-IP&I04						
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 Y01	50%	2순위 X05	25%	3순위 X09	25%					
	농림식품 과학기술분류	1순위 RC	50%	2순위 RA	50%	3순위	%					
연구개발과제명		태양에너지를 이용한 에너지 절약형 고효율 스마트 폭기장치 기반 축산분뇨 액비장치 개발										
전체 연구개발기간		2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)										
총 연구개발비		총 1,047,000천원 (정부지원연구개발비: 803,000천원, 기관부담연구개발비 : 244,000천원, 지방자치단체: 0천원, 그 외 지원금: 0천원)										
연구개발단계		기초[] 응용[<input checked="" type="checkbox"/>] 개발[] 기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[]		기술성숙도 (해당 시 기재)		착수시점 기준() 종료시점 목표()						
연구개발 목표 및 내용	최종 목표		태양에너지를 융합한 폭기장치를 통해 축산분뇨의 미생물 활성도 축진을 극대화한 고효율의 스마트 폭기식 축산분뇨 액비장치 개발									
	전체 내용		태양에너지를 활용한 에너지 절약형 고효율 폭기장치 기반 고온성 호기성 미생물의 활성도 축진을 극대화하기 위한 스마트 폭기식 축산분뇨 액비처리장치를 개발함									
	1단계 (해당 시 작성)	목표	<ul style="list-style-type: none"> • 스마트 폭기장치 시스템 개발 • 태양열 집광시스템 개발 • 실증용 스마트 폭기식 축산분뇨액비장치 공정시스템 개발 • 점 집광 태양열 흡수기 개발 									
		내용	<ul style="list-style-type: none"> • 자동 환경조절용 스마트 폭기장치 시스템 설계치 구현 • 태양열 집광시스템 집열 성능 도출 구현 • 양돈장 시제품 시스템 구축 • 흡수관 열매체 순환 유로 설계 및 분석 도출 구현 									
	2단계 (해당 시 작성)	목표	<ul style="list-style-type: none"> • 핵심 특허기술에 의한 축산분뇨 액비장치 실용화시스템 개발 • 액비 생산을 위한 태양열 집광시스템 효율화 기술 개발 									
내용		<ul style="list-style-type: none"> • 핵심 특허기술에 의한 축산분뇨 상용화 액비장치 개발 및 분석 • 집광된 태양열을 효과적으로 흡수하기 위한 흡수기의 구조 설계기술 개발 및 시스템 성능 분석 										
연구개발성과	<ul style="list-style-type: none"> • 대 용량 스마트 폭기장치 개발 및 점 집광형 태양열 집광시스템 개발 											
연구개발성과 활용계획 및 기대 효과	<ul style="list-style-type: none"> • 태양에너지를 활용 에너지 절약형 고효율 폭기장치 기반 고온성 호기성 미생물의 활성도 축진을 위한 스마트 폭기식 축산분뇨 액비처리장치의 상용화 기여 • 기술개발의 파급효과를 극대화하기 위하여 상용화 적용을 가능한 조기에 추진 • 축산농가의 축산분뇨에 의한 저 탄소 발생에 의한 온실가스 억제 효과 • 구제역 및 AI에 의한 매설지로부터 발생되는 오염물질의 액비화로 악취 해결 • 해양투기 금지법 발효에 따른 축산농가의 축산분뇨의 처리문제 고충 해결 및 고농도 오염물질 배출 최소화 4대강 등 하천의 녹조발생 억제 효과 											
연구개발성과의 비공개여부 및 사유	-											
연구개발성과의 등록·기탁 건수	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	표준	생명자원		회합물	신품종	
								생명정보	생물자원		정보	실물
	11	4	1									
연구시설·장비 종합정보시스템 등록 현황	구입기관	연구시설·장비명		규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)		ZEUS 등록번호	
국문핵심어 (5개 이내)	태양에너지		에너지 절약형		고효율 스마트 폭기장치		호기성 미생물		액비장치			
영문핵심어 (5개 이내)	solar energy		energy saving		high efficient smart aerator		aerobic microorganism		composting			

< 목 차 >

1. 연구개발과제의 개요 -----	4
2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용 -----	5
3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도 -----	73
4. 목표 미달 시 원인분석 -----	131
5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도 -----	132
6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획 -----	132
참고 문헌 -----	133

최종보고서										보안등급		
										일반[√], 보안[]		
증빙행정기관명		농림축산식품부			사업명	2021년도 기술사업화지원사업						
전문기관명 (해당 시 작성)		농림식품기술기획평가원			내역사업명 (해당 시 작성)	민간중심 R&D 사업화 지원						
공고번호		농림축산식품부 농축 제 2021-41호			총괄연구개발 식별번호 (해당 시 작성)							
					연구개발과제번호		RS-2021-IP82104					
기술분류	국가과학기술 표준분류	1순위 Y01	50%	2순위 X05	25%	3순위 X09	25%					
	농림식품과학기술분류	1순위 RC	50%	2순위 RA	50%	3순위	%					
연구개발과제명		국문	태양에너지를 이용한 에너지 절약형 고효율 스마트 폭기장치 기반 축산분뇨 액비장치 개발									
		영문	Development of the Composting Equipment for Livestock Waste with Basis on High Efficient Smart Aerator for Energy Saving using Solar Energy									
주관연구개발기관		기관명	(주)위터테크		사업자등록번호	713-86-00115						
		주소			법인등록번호	140111-0060539						
연구책임자		성명	심재도		직위	대표이사						
		연락처	직중전화			휴대전화						
			전자우편			국가연구자번호	10106312					
연구개발기간		전체	2021. 04. 01 - 2023. 12. 31(2년 9개월)									
		단계 (해당 시 작성)	1단계	2021. 04. 01 - 2022. 12. 31(1년 9개월)								
			2단계	2023. 01. 01 - 2023. 12. 31(1년 0개월)								
연구개발비 (단위: 천원)		정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비	그 외 기관 등의 지원금				합계			연구 개발비 외 지원금	
		현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계		803,000	9,800	234,200					812,800	234,200	1,047,000	
1단계		1년차	219,000	0	73,000				219,000	73,000	292,000	
		2년차	292,000	0	73,000				292,000	73,000	365,000	
2단계		1년차	292,000	9,800	88,200				301,800	88,200	390,000	
공동연구개발기관 등 (해당 시 작성)		기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고					
							역할		기관 유형			
공동연구개발기관		강원대학교 산학협력단	이귀현	교수			연구 책임자		대학			
위탁연구개발기관												
연구개발기관 외 기관												
연구개발담당자 실무담당자		성명	심재도		직위	대표이사						
		연락처	직중전화			휴대전화						
			전자우편			국가연구자번호	10106312					

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2024년 2월 27일
연구책임자: 심재도

주관연구개발기관의 장: (주)위터테크

공동연구개발기관의 장: 강원대학교 산학협력단



농림축산식품부장관 농림식품기술기획평가원장 귀하

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구개발의 개요

- 본 기술은 축산분뇨에 천연적으로 존재하는 호기성 세균을 활성화하는 기술로서 태양열을 활용하여 폐수를 20℃ 이상 가온하여 고 효율 폭기장치에 의해 용존산소를 8mg/l 이상 유지시켜 효율적으로 정화 처리하여 악취를 제거하고, 고 품질의 액비를 생산하는 신기술임.
- 본 축산분뇨 액비장치의 특징은 BOD기준으로 12,000mg/l 이상의 축산폐수를 2000mg/l 이하 로 단 기간 내에 정화하여 무취의 안정화 상태로 액비 생산이 가능한 신기술임.
- 본 기술의 핵심적 특징은 미생물의 활성화 촉진을 위해 태양열로 폐액의 온도를 적정하게 유지시킴과 함께 산소를 폐액 내에 집중적으로 공급할 수 있도록 하는 집중폭기관을 내장하고 있어 악취의 원인물질인 암모니아가스를 $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$ 로 빠르게 변환하여 탈취함과 동시에 액비를 생산함.
- 본 기술은 기존의 축산분뇨 처리기술과 달리 폭기기술을 차별화하여 악취 유발의 원인이 되는 휘발성 물질을 조기에 탈기시킬 수 있는 기술로 악취저감 및 액비 생산 능력이 매우 뛰어남.
- 본 기술은 축산분뇨에 천연적으로 존재하는 호기성 세균을 활성화 하는 기술로서 용존산소를 8mg/l 이상 유지시켜 고효율로 정화하여 최종산물인 액비를 제조할 수 있는 신기술임.
- 본 기술의 특징은 BOD기준으로 7,000mg/l 이상의 축산분뇨를 2,000mg/l 이하로 2주 이내에 정화하여 무취상태의 안정 상태인 액비 제조가 가능한 기술로 처리능력이 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 액비장치는 호기성 반응조에서 폭기장치를 이용하여 산소농도(DO)를 8mg/l 이상으로 유지함으로 호기성 세균의 급속 증식에 의한 분해촉진으로 악취 원인물질인 단백질 유래의 질소(ammonia, NH_3)원으로 휘발성 유기오염물질을

air-stripping 효과에 의해 조기에 탈기시켜 BOD 2,000mg/l 이하로 무기화 처리하여 생물학적 안정화시키는 신기술임.

- 본 기술은 축산분뇨에 천연적으로 존재하는 호기성 세균의 활성화를 극대화하기 위해 축산폐수를 미생물 활성화에 적합한 온도로 가온시키는데 태양열을 이용하는 기술로 고효율의 정화처리 및 고 품질의 액비 생산이 가능한 신기술임.
- 본 개발품은 축산분뇨의 악취저감 및 정화처리장치에 의해 생산된 친환경 액비로 대별할 수 있으며, 축산분뇨에 의한 악취 저감장치는 양돈장, 축산단지 등 축사에 직접적으로 현장적용 가능하며, 친환경 액비는 생물학적으로 안정화 되어 있는 무기 비료로서 장기보존이 가능하여 노지용 하우스용 농업에 사시사철 이용 가능한 신기술임.
- 본 제품의 최종산물인 친환경 액비는 호기성 세균에 의해 BOD 원인 물질의 조기분해에 의해 생산된 물질로 기존의 액비에 비해 다량의 비료성분을 포함한 생물학적으로 안정화 된 무기비료로 장기보존 및 유통이 가능한 특징이 있음.
- 본 연구는 축산폐수를 미생물 활성화에 적합한 온도로 가온시키는데 태양열을 이용하는 기술로 국내외 최초의 기술로 정화효율이 뛰어나며 에너지 경제성이 우수하여 축산농가에 유용하게 적용될 것임.

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

가. 집광장치 개발

(1) 프레넬 렌즈

(가) 집광을 위한 광학 기술

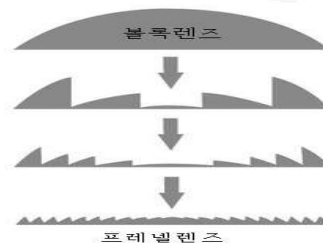
집광장치는 태양열 집열기 분야에서 고온으로 집열하기 위하여 사용되며, 원형집광장치로는 돋보기, 원형프레넬필름, 접시형이 있으며 선형집광장치로는 선형프레넬렌즈, 구유(Trough)형 등이 있다.

일반적인 렌즈를 사용할 경우 구면에 의한 수차를 근본적으로 갖게 되며 이는 집광시 손실량으로 나타난다. 이러한 단점을 해결하기 위해 고안된 렌즈 중의 하나가 프레넬렌즈이다. 프로젝터나 평면 돋보기 등 다양한 분야에서 이용되고 있는 프레넬렌즈를 태양 집광용에서 적용 할 경우는 단순한 썸기 형태의 비구면 형상에서 효율을 극대화하는 방법들이 연구 개발되고 있다.

(나) 프레넬렌즈의 원리

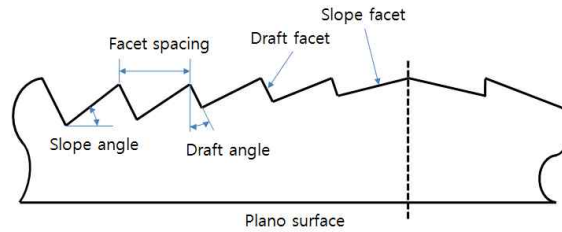
집광형 광학계로 크게 mirror type과 lens type으로 나누어지며 그 중 lens type의 집광형 광학계로 가장 많이 사용되는 것이 프레넬렌즈이다. 프레넬 렌즈의 굴절면의 형태는 그 렌즈의 초점을 결정짓는다. 그러나 굴절면 사이에 있는 재료의 부피는 렌즈의 광학적 특성에 거의 영향을 미치지 않기 때문에, 프레넬 렌즈는 재료의 부피를 최소화하고, 초점은 그대로 유지할 수 있도록 제작된 것이다.

프레넬렌즈의 구조는 중심 부분의 groove들은 plane surface에 거의 평행하고, edge로 갈수록 경사가 가파르게 구성된다. [그림 1]과 같이 프레넬 렌즈는 조각난 형태의 구면 또는 비구면 형상의 단일 렌즈이기 때문에 각각의 segment에서 서로 다른 power를 갖는다.



[그림 1] 프레넬렌즈 표면 groove 설계 원리

프레넬 렌즈는 렌즈를 지나는 광선들에 각각 위상차를 줌으로써 어떤 원하는 평면에 광선들이 집속되게 되고 그곳에서 모든 선속이 보강간섭을 일으키게 된다. 즉 부피가 큰 렌즈를 초점까지의 광로차가 각각 반파장의 정수배가 되는 곳을 잘라서 평면에 붙인 형태가 프레넬렌즈의 형태이다. 따라서 렌즈는 여러 가지 기울기와 폭을 가진 groove로 형성되고, 볼록렌즈처럼 이러한 렌즈들은 두께가 동심원의 ring으로서 곡선면에 변화를 일으킴으로서 감소된다[그림 2]. ring의 폭은 반경의 제곱에 따라 증가하며 그 때 렌즈의 전체 두께는 일정해진다.



[그림 2] 프레넬 렌즈의 구조

다음과 같은 몇 가지 요소가 프레넬 렌즈의 특징을 결정하게 된다. 첫 번째 광학 재질은 사용하고자 하는 파장영역에 대해 투과도가 높아야하고 대구경 가공 시 외형 가공에 문제가 없어야 한다. 두 번째 초점거리는 일반 렌즈에서와 동일하게 중심부 zone에 의해 근축 광학적으로 결정되는 요소이다. 모든 높이에서 각각의 power는 고효율 광학계일수록 일정해야 한다. 세 번째 groove의 개수 및 기울기는 광량의 손실이 없이 광학계에서 굴절이 일어나도록 기하학적인 구조에 의해 결정된다. 모든 투과성 재질은 반사, 흡수, 산란 등에 의해 손실이 일어나는데 이 중에서 경계면에서의 반사에 의한 손실이 중요한 인자가 된다. 매질에서 공기로 입사하는 입사각이 임계각보다 크면 내부 전반사에 의해 모든 광이 상면에 도달하지 못하게 되므로 전반사에 의한 손실을 최대를 줄이기 위하여 각각의 slope angle의 기울기를 조절해야 한다.

이 중에서 경계면에서의 반사에 의한 손실이 중요한 인자로서 광학계의 투과율은 식[1]로 주어진다.

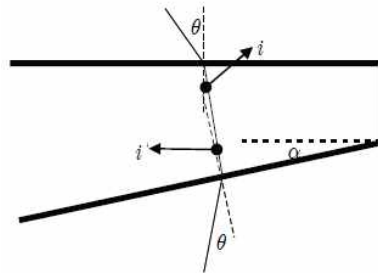
$$T = \left[1 - \frac{\sin^2(\phi_1 - \phi_2)}{2\sin^2(\phi_1 + \phi_2)} - \frac{\tan^2(\phi_1 - \phi_2)}{2\tan^2(\phi_1 + \phi_2)} \right] \times \left[1 - \frac{\sin^2(\phi_3 - \phi_4)}{2\sin^2(\phi_3 + \phi_4)} - \frac{\tan^2(\phi_3 - \phi_4)}{2\tan^2(\phi_3 + \phi_4)} \right] \quad [1]$$

여기서 ϕ_1 은 공기와 물질의 경계면에서의 입사각, ϕ_2 은 공기와 물질의 경계면에서의 굴절각, ϕ_3 은 물질과 공기의 경계면에서의 입사각, ϕ_4 은 물질과 공기의 경계면에서의 굴절각이다.

(다) 프레넬렌즈 설계 요소

태양전지에서 적용되는 방식의 렌즈는 groove in 방식으로 설계해야하고 프레넬 렌즈의 스텝 중심에서의 반경, 렌즈에 사용되는 물질의 공기에 대한 굴절률, 초점거

리, 렌즈의 두께, 스텝 폭의 다섯 가지 변수에 의해 groove의 기울기가 결정된다. 프레넬렌즈에서 입사된 빛이 편향되는 각에 영향을 주는 변수는 입사되는 입사각과 렌즈의 각각의 facet spacing의 기울기를 나타내는 기울기 각이다. [그림 3]은 기울기의 각도와 굴절각 사이의 관계를 나타낸다.

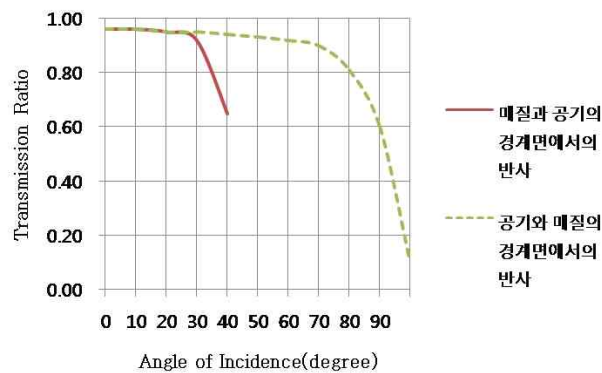


[그림 3] 프레넬 렌즈의 입사각과 기울기각

먼저 입사되어 들어오는 빛의 입사각을 θ 로 정의하면 lens의 첫 번째 면을 통과하여 진행되는 빛의 굴절각을 i 라 하고 그 빛이 다시 lens 두 번째 면을 지나 공기 중으로 굴절되어 나가는 두 번째 면에 대한 입사각은 i' , 굴절각은 θ' 으로 정의한다. Snell's Law에 따라 i, i' 과 θ, θ' 의 관계식은 식[2]와 같다.

$$n = \frac{\sin(\theta)}{\sin(i)} = \frac{\sin(\theta')}{\sin(i')} \quad [2]$$

또한 [그림 3]과 같이 매질에서 공기로 입사하는 입사각이 약 41° 보다 크면 내부 전반사에 의해 모든 광이 상면에 도달하지 못하게 됨을 알 수 있다. 따라서 전반사에 의한 손실을 최대한 줄이기 위해 각각의 slope angle을 조절해야 한다.



[그림 3] 렌즈의 입사각과 투과율

프레넬렌즈 설계에 있어서 핵심은 각 ring의 곡률 중심이 구면 수차를 제거하기 위해 중심으로부터의 거리가 축을 따라 감소한다는 것이다. 구면 수차를 제거하고, 모든 근축 광선이 같은 점에 맺히도록 정밀하게 각 원추의 표면을 잘라야 한다. 프레넬렌즈의 불연속적인 면에 의해 각 과면의 변화는 visible image의 질을 퇴화시킬 수도 있으므로, 각 groove는 빛이 매우 정밀하게 맺히도록 연마되어야 한다. 종래 광학계는 주로 구면을 이용하였는데, 그러한 구면은 광학계의 여러 annular section에서 나오는 광선들이 광축을 따른 여러 가지 점에서 맺혀지는 중구면 수차를 가진 광학계를 만들어낸다.

일반적으로 프레넬렌즈는 평행빔을 향해 groove가 있고, 초점을 향해 plano side가 있는 경우를 주로 다루지만, 프레넬렌즈는 크게 두 가지 경우로 생각할 수 있다. 이 두 가지 경우는 앞에서 설명한 프레넬렌즈의 특징을 결정짓는 Step 중심에서의 반격, 렌즈에 사용되는 물질의 공기에 대한 굴절률, 초점거리, 렌즈의 두께, 그리고 마지막으로 step 폭, 이 다섯 가지 변수에 의해 groove의 기울기가 결정된다고 할 수 있다.

Groove out은 평행빔을 향해 groove가 있고, 초점을 향해 plano Side가 있는 경우로서, 이때에는 양쪽 면에서 굴절이 조금씩 다 일어난다. Groove in은 반대의 경우로서, 광축을 따라 평행하게 진행하는 평행빔에 대해 Plano Side에서 굴절이 전혀 일어나지 않는다.

위 두 가지 경우의 가장 큰 차이는, groove in 경우에, 렌즈의 바깥 표면에 있는 groove가 구면 또는 groove out 렌즈보다 plano surface에 대해 훨씬 더 작은 각도를 이룬다는 것이다. 왜냐하면, plano surface와 이루는 각도가 상대적으로 렌즈의 바깥쪽을 향해 작기 때문에 어떤 렌즈 표면의 작은 warpage나 tilt, 또는 광축에 평행한 광선의 작은 이탈은 광선의 렌즈 표면 사이의 각도에서 실제적으로 매우 큰 이탈을 유도하게 된다.

(라) SOG 프레넬렌즈의 특성

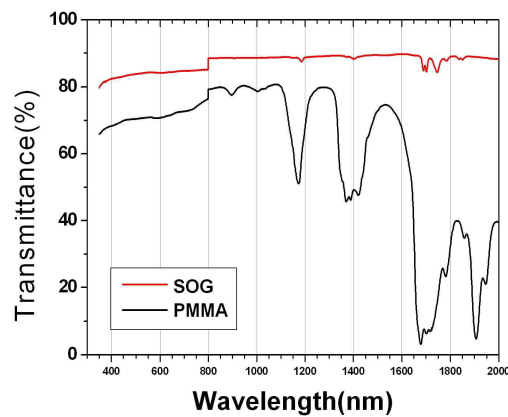
SOG 렌즈의 제작은 광학용 저철분 강화유리에 고투과율 광학실리콘을 일정한 두께로 도포한 후 이를 렌즈 설계에 따른 방식으로 회전 절삭을 통해 렌즈형상을 가공하거나 금형을 사용한다. 광학용 실리콘은 내후성이 뛰어나 자외선에 의한 물성 저하는 거의 없는 것으로 알려져 있으며 굴절률 $n=1.46$ 정도의 투명성을 갖는 오일

컴파운드를 이용한다. 특히 표면장력이 낮고 미독성, 내산화성, 열적 안정성 등으로 인해 광학렌즈의 소재로 매우 적합한 소재이다. 제작은 3.0mm의 저철분 강화유리 위에 0.5mm 두께의 실리콘을 도포한 후 형상가공을 수행한다. [표 1]은 기존의 PMMA 렌즈와 SOG 렌즈의 특성을 비교하여 나타냈다.

[표 1] PMMA 렌즈와 SOG 렌즈의 특성

구분	SOG 렌즈	PMMA 렌즈
비용	높음	낮음
온도환경	-40℃~180℃	-20℃~60℃
무게(t=3mm)	8kg/m ²	1.5kg/m ²
형상가공	어려움	용이함
취급	어려움	용이함
내구성	우수함	약함

[그림 4]에서는 스펙트럼에 따른 SOG 렌즈와 PMMA 렌즈의 투과율 특성을 나타낸다.



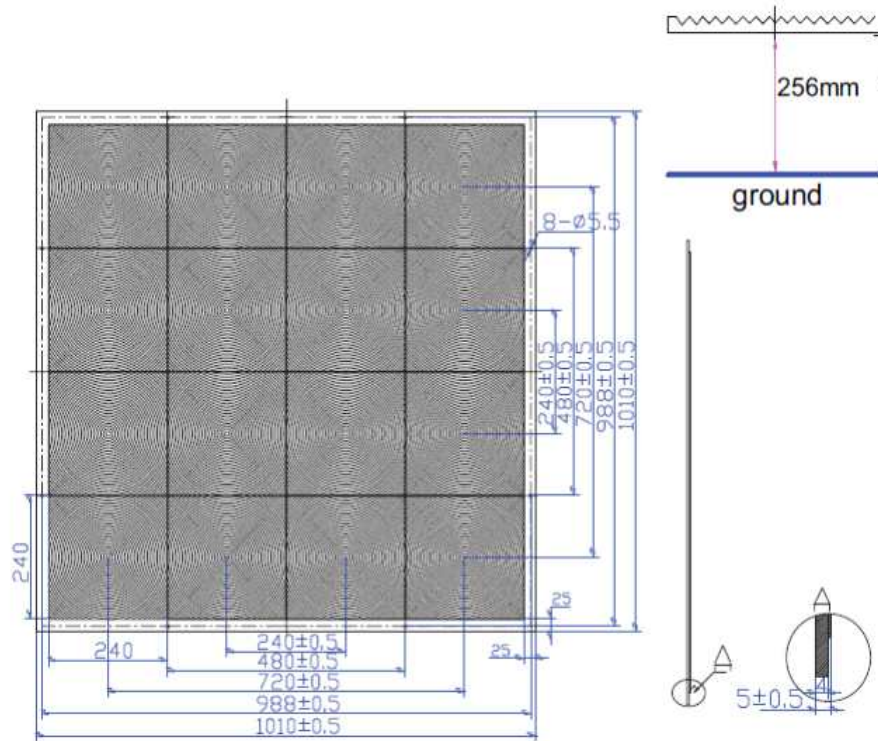
[그림 4] SOG 렌즈와 PMMA 렌즈의 투과율 특성

(2) 프레넬 렌즈를 이용한 태양열 집광기 개발

(가) 집광기 구성

본 실험에서는 집광을 위해 SOG 타입의 프레넬 렌즈를 사용하였다. SOG 타입의 프레넬 렌즈는 저철분 강화유리에 실리콘을 접합하여 제작된 집광장치이며, 투과율이 높고 내후성이 뛰어나며 자외선에 의한 물성 저하가 거의 없는 것으로 알려져 있다. 실험에 사용된 프레넬 렌즈는 하나의 렌즈크기가 240mm × 240mm 이며, 16개

의 렌즈가 하나의 판으로 이루어져 1개의 집광모듈을 구성한 시스템이며[그림 5], 집광기 전체의 집열면적은 $0.24\text{m} \times 0.24\text{m} \times 16\text{EA} = 0.9216\text{m}^2$ 이며, 각 렌즈의 초점거리는 256mm이고, 제조사에서 제공한 프레넬렌즈 제원은 [표 2]와 같다.



[그림 5] 프레넬 렌즈 도면

[표 2] 프레넬 렌즈의 제원

재질	SOG(Silicon on Glass)
렌즈집광면적(A lens)	240mm±0.5mm × 240mm±0.5mm
렌즈 두께(Glass)	4.0mm
렌즈 두께(Silicon)	1.0mm±0.5mm
Groove Pitch	1.0mm
초점거리	256mm
집광비	1:576
투과율	82%
최대 입사각	25.11°

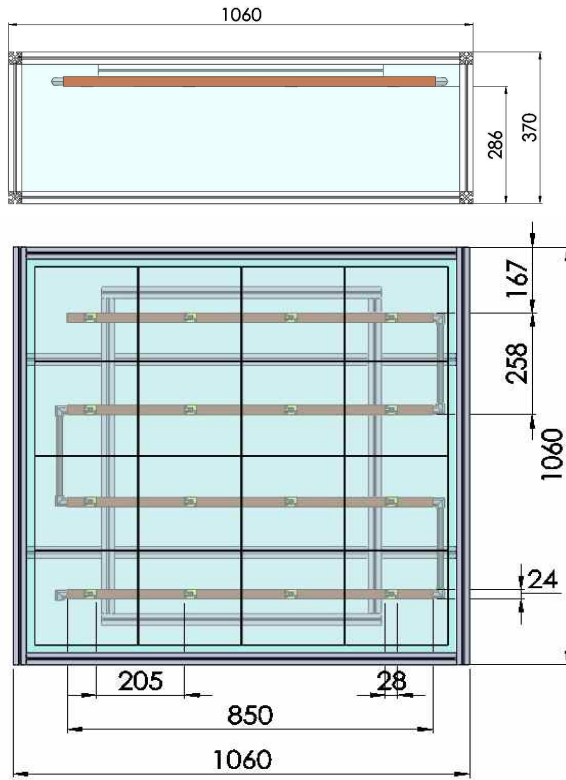
(나) 집광장치 제작

본 연구에서 다 모듈 집광장치의 기본 프레임은 알루미늄 프로파일(Model DF 3030, 30mm×30mm)을 사용하였으며, 제작 과정은 다음과 같다.

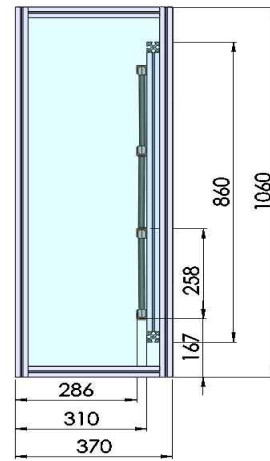
- ① 한 모듈의 집광장치 윗면은 프레넬 렌즈를 알루미늄 프로파일에 고정 시켜 집광기를 구성하였으며, 옆면은 프로파일로 프레임틀 만든 후 아크릴로 막아 외기의 영향을 받지 않도록하였다. 집광장치 내부로의 접근이 가능하도록 뒷면에는 2겹으로 창을 여닫을 수 있도록 제작하였고, 밑면은 아크릴판을 알루미늄 프로파일에 고정하여 외기와의 대류를 차단하였다[그림 6].
- ② 흡수기는 태양열 에너지를 열매체에 흡수시키기 위한 것으로, 사각 동 파이프(외경 24mm×24mm×1.5T, 길이 850mm)를 4개 설치하여 흡수기로 사용하였다. 4개의 흡수기를 알루미늄 프로파일로 제작된 집광장치 하부의 지지대에 고정하였으며, 각 동관 흡수기들은 고무호수로 연결하여 열매체가 'ㄱ'자 모양으로 순환되도록 설계 및 제작하였다[그림 3(a),(b)], [그림 7]. 지지대는 피치 1mm의 볼트를 사용하여 너트의 움직임에 따라 높이 조절을 가능하게 제작하였다.
- ③ 복사 에너지의 흡수율을 높이기 위해 동파이프 표면을 무광택 흑색페인트로 도색하였으며 동파이프의 열이 고정 프레임으로 전달되는 것을 방지하기 위해 단열처리를 하고 고정하였다[그림 8]. 흡수관 주변은 가교발포폴리에틸렌폼 1종(P1) 단열재로 감싸고 초점이 모이는 부분은 24mm×24mm 크기로 절단하였다. 단열재의 전도열전달계수는 0.043W/m K이고 밀도는 20kg/m³, 비열은 2000kcal/kg °C이다.



[그림 6] 집광장치 모듈 실물

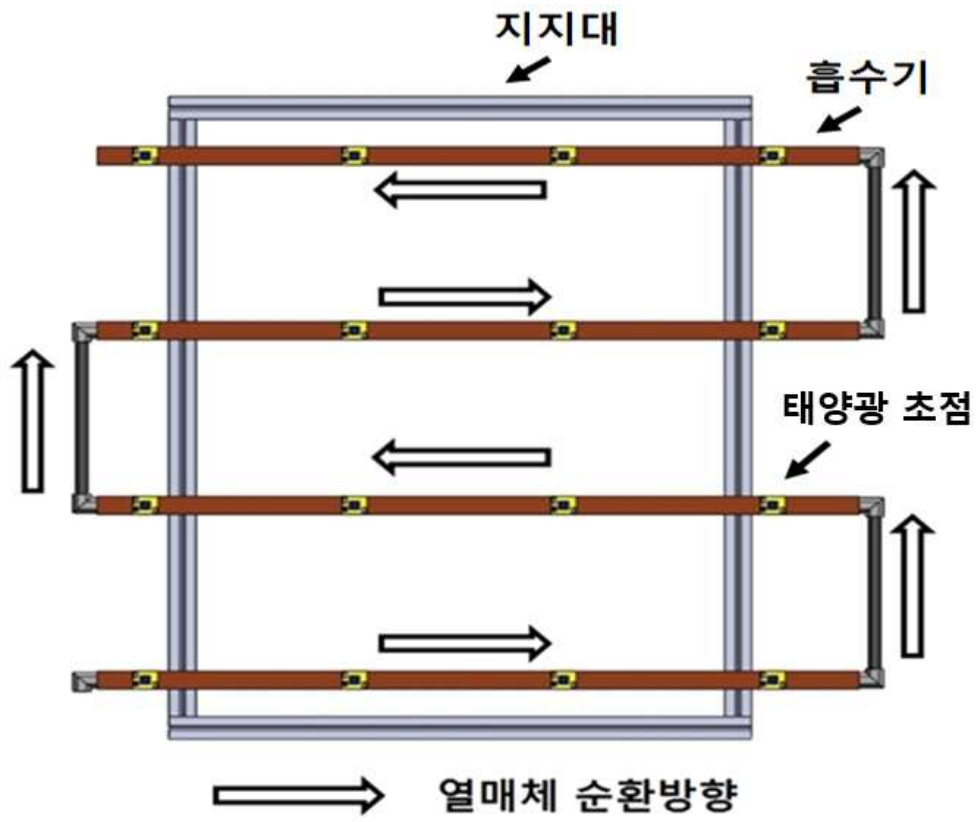


(a) 집광기의 정면도, 평면도



(b) 집광기의 측면도

[그림 7] 프레넬 집광기의 도면



[그림 8] 흡수기 내 열매체 순환경로 및 단열처리

(다) 프레넬 집광장치 제작 과정



㉠ 상부 프레임에 프레넬렌즈 부착



㉡ 측면 및 하부에 아크릴판 부착



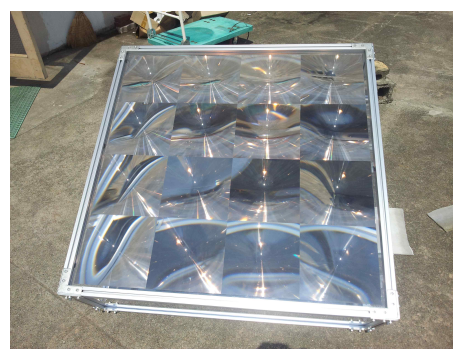
㉢ 하부프레임에 흡수기 부착



㉣ 집광장치 하부에 흡수기 설비



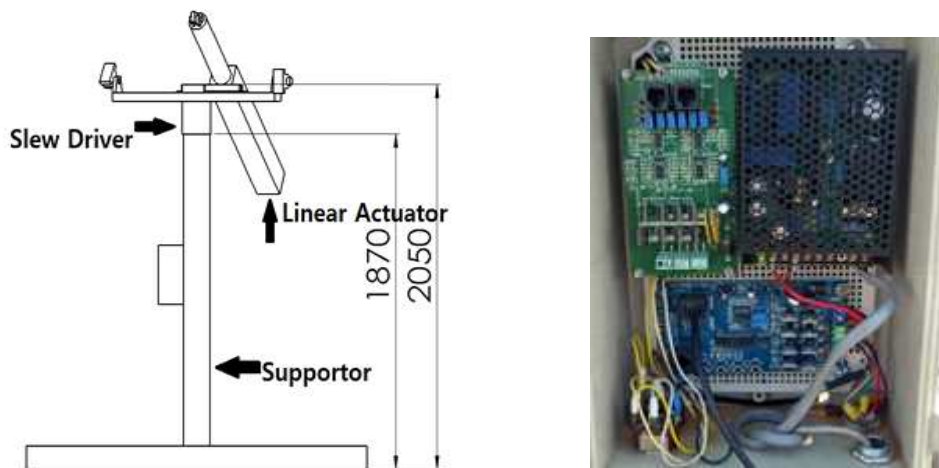
㉤ 집광장치 상부에 프레넬 렌즈 설비



㉦ 프레넬 집광장치 제작 완료

(라) 태양 추적 장치 설비

태양 추적장치는 [그림 9]와 같이 태양 고도각 추적을 위한 linear actuator와 태양 방위각 추적을 위한 slew driver, 그리고 추적센서 및 컨트롤러로 구성하였다. 추적 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 방식이다. 구동 주기는 6초 주기로 설정하였으며, 추적에 의한 입사각 오차는 0.025° 이다.



[그림 9] 태양광 2축 추적 장치와 컨트롤러

(마) 프레넬 집광장치 설비

전체 집광시스템에서 주요 프레임은 알루미늄 프로파일을 이용하여 구성하였고, 집광을 위한 광학장치로는 프레넬렌즈를 사용하였으며, 추적장치는 linear actuator와 slew driver, 추적컨트롤러로 구성하여 2축 정밀 추적이 가능하도록 하였다. 집광된 초점부위에는 발생하는 열에너지를 흡수하기 위하여 사각 동과이프를 부착하고 물을 순환시켜 축열조에 저장 될 수 있도록 구성하였다. 열에너지 획득량을 측정하기 위해서 축열조와 흡수기 입출구에 축열저항센서를 부착하고 data logger로 기록하였다.



[그림 10] 프레넬 집광장치

(3) 집열 효율 계산

흡수관에서 얻어지는 열량을 계산하기 위해서 식[3]을 사용하였으며 여기서 $Q_{absorber}$ 는 단위 시간당 흡수된 열량이며 \dot{m} 은 질량유량, C_p 는 물의 비열, ΔT 는 흡수관의 입구와 출구의 온도차다.

$$Q_{absorber} = \dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [3]$$

투입된 태양 복사 에너지를 산출하기 위해서 식[4]를 사용하였으며 Q_{sun} 은 흡수관에 투입된 열량으로 일사량계에서 측정된 단위면적당 일사량(I_t)와 집열면적(A), 그리고 프레넬렌즈의 집광 효율(η_{con})의 곱으로 계산할 수 있으며 본 실험에서는 법선면 직달일사량을 사용하였으므로 집광효율은 100%를 적용하였다.

$$Q_{sun} = I_t \cdot A \cdot \eta_{con} \quad [4]$$

시스템의 효율을 계산하기 위해서 식[5]를 사용하였으며, 집열기 효율 특성을 분석하기 위해서 식[3-4]를 계산하여 시스템 효율과 비교 분석하였다.

$$\eta_{system} = \frac{Q_{absorber}}{Q_{sun}} \quad [5]$$

$$\eta = \eta_o - a \times (T_r - T_a) / I_a \quad [6]$$

위 두 식에서 η_{system} 은 시스템 효율, η 는 집열기 순간 효율, η_o 은 집열기 최대 효율, T_r 은 흡수기 입구와 출구의 평균 온도로 평판형 집열기에서는 입구온도인 T_i 를 사용하나 집광형 집열기에서는 입출구 온도차가 크기 때문에 평균온도를 사용한다. T_a 는 외부 온도이다.

(4) 집광시스템 성능분석

복합시스템의 집열기 성능 평가 기준은 집열시스템과 동일하게 한국산업규격(KS B ISO 9806-1)를 준수하였으며, 청명한 날 법선면 직달일사량이 700W/m^2 이상이며 변동치가 5분 간격으로 20% 미만, 풍속이 6m/s 미만, 수행하기 이전 10분 동안 10m/s 이상의 돌풍이 없는 기후 조건과 열매체 유속이 2% 이상 변하지 않는 범위에서 이루어 졌다.

(가) 집열시스템의 실험 조건 및 환경

추적식 집광형 태양열 집열기에 대한 설계 및 성능 평가 기준이 없어, 한국산업규격(KS)의 태양열 집열기 시험 방법-제1부: 집열장이 부착된 압력강하가 발생하는 액체식 집열기의 열적 성능(KS B ISO 9806-1 : 2003)과 신재생에너지 설비심사

세부기준의 실외 열효율 시험 조건을 적용하여 실험을 수행하였다. 구름이 없이 청명한 날 유량별로 오전 9시부터 오후 4시까지 진행하였으며, 법선면 직달일사량이 700W/m^2 이상인 경우의 데이터만을 사용하였다. 예비실험을 통해 4l/min 전후에서 효율이 가장 높게 형성됨을 확인하고 4l/min 을 기준으로 그 전후 유량으로 결정하였다. 실험 유량 간격은 최소 1l 이상 차이가 있어야 유량별로 효율 차이를 확실하게 구분할 수 있기 때문에 1l 로 결정하였다.

데이터 취득을 위한 입구와 출구의 온도 센서 위치도 200mm 이내로 제한한 한국산업규격(KS B ISO 9806-1)을 준수하였으며, 본 실험이 열매체 공급온도가 지속적으로 상승하면서 진행되기 때문에, 구간별 평균값에 대한 입구와 출구 온도 허용 범위에 대한 규정은 적용하지 않았다. [표 3]은 한국산업규격(KS B ISO 9806-1)의 측정 변수의 허용 오차 범위 규정이다.

[표 3] 측정 기간 중 측정 변수의 허용 오차 범위

변수	평균값으로부터의 허용 오차	비고
집열면 전일사량	$\pm 50\text{ W/m}^2$	법선면 직달일사량 적용
외기 온도	$\pm 1\text{ K}$	
열매체 유량	$\pm 1\%$	최대허용 범위 : $\pm 10\%$ 이하

열에너지 획득량을 측정하기 위해서 축열조와 흡수기 입출구에 측온저항센서를 부착하고 data logger로 기록하였다. [그림 11]은 집광시스템의 전체 실험장치 나타내고 있으며, 프레넬집광장치는 태양추적장치에 설비되었고, 축열조 및 유량계 및 펌프와 연결하였다.

실험은 유량별로 열매체 용량은 40l , 열매체 입구 온도는 $30^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ 범위에서 진행되었다. 실험은 축열조의 온도를 30°C 로 설정 한 후 열매체를 순환시켜 흡수관 입구에서 열매체 온도가 점차 상승 할 수 있도록 구성하였으며, 유량은 2l/min , 4l/min , 6l/min , 8l/min 로 변경하면서 입구와 출구의 온도를 측정하였다.

[표 4] 집열시스템의 유량별 실험 환경 조건

유량	입구온도(℃)	일사량(W/m ²) (최소/최대)	외기온도(℃)	평균 풍속(m/s)
2l/min	30.0 - 52.0	715/840	2.0 - 9.0	1.0
4l/min	31.0 - 55.0	715/860	9.0 - 22.0	0.6
6l/min	31.0 - 51.0	715/870	12.0 - 21.0	0.8
8l/min	33.0 - 51.0	715/880	11.0 - 21.0	0.7

데이터 수집에 있어 정확한 온도 측정을 위해 흡수관 입구와 출구에 각각 PT100 Ω 측온저항센서(RTD)를 2개씩 설치하고 1분 간격으로 측정하였으며, 보다 정확한 분석을 위해 온도별 평균값을 산출하여 사용하였다. 또한 태양광이 흡수관을 가열시켜 열매체에 흡수되기 위해서는 시간이 소요되고, 또한 유량에 따라 열매체가 흡수관을 통과하는 시간이 약 10초에서 1분 정도 소요됨으로 입력과 출력 사이에 시간 차이가 발생할 수 있어 그 영향을 충분히 반영하기 위해 산출된 결과를 10분 단위로 평균하여 시간평균 효율도 산출하였다.



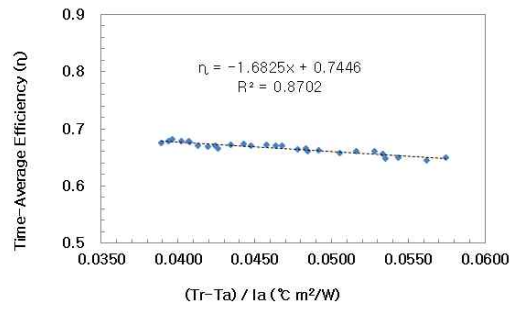
[그림 11] 성능분석을 위한 프레넬 집광장치

(나) 집열시스템의 유량별 효율 비교 분석

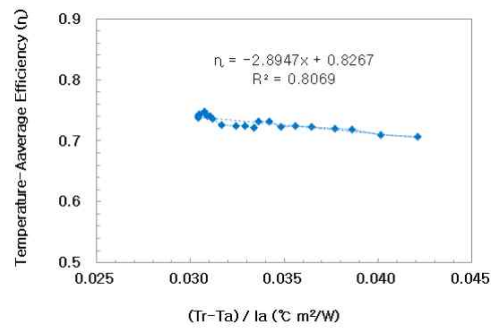
집열시스템의 유량 2ℓ/min ~ 8ℓ/min에 대한 실험 결과를 [그림 12]에 그림으로 나타냈었으며, 그 결과를 분석해 보면 다음과 같다. $(T_r - T_a)/I_a$ 를 기준으로 한 집열 효율을 비교해 보면 유량 4ℓ/min가 최고 효율을 보이며 다음은 6ℓ/min, 2ℓ/min, 8ℓ/min 순으로 분석되었다. 또한 열매체 온도가 증가하면서 모든 유량에서 효율이 감소하는 경향을 보인다. 효율 방정식에 대한 기울기는 6ℓ/min에서 -6.4336로 가장 작게 나타났고 유량이 증가하면서 기울기도 증가하였다. [표 5]에는 집열시스템의 유량별 집열효율을 요약하였다. 이와 같은 결과를 바탕으로 좀 더 세부적으로 분석해 보면 첫째, 대부분의 태양열 집열기에서는, 유량이 증가하면서 흡수율이 높아져 집열기 효율도 증가하지만 대류 열손실도 함께 증가하기 때문에 흡수율과 손실율의 경계점인 임계 유량이 존재하며, 본 시스템에서는 유량 4ℓ/min 전후가 임계 유량임을 확인 할 수 있었다. 둘째, 모든 유량에 대해 열매체 온도가 증가하면서 효율이 감소하는 것은 대기온도와의 차이가 증가함으로 인해 대류 열손실도 함께 증가하여 효율이 감소하는 것으로 이런 현상은 일반적인 집열기의 기본 특성이며, 본 시스템도 같은 특성을 보여준다. 셋째, 유량이 증가함에 따라 효율 방정식의 기울기가 증가하였는데 이것은 열매체 온도가 상승할수록 높은 유량에서 손실이 더 크게 발생한다는 것을 의미한다.

[표 5] 집열시스템의 유량별 효율

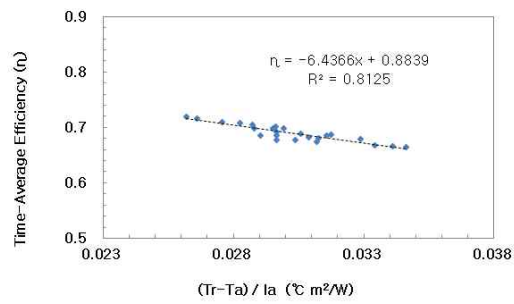
유량	효율	효율 방정식	결정계수(R ²)
2ℓ/min	66.6%	$\eta = -1.6825x + 0.7446$	0.8702
4ℓ/min	72.9%	$\eta = -2.8947x + 0.8267$	0.8069
6ℓ/min	68.9%	$\eta = -6.4336x - 0.8839$	0.8125
8ℓ/min	64.4%	$\eta = -3.9331x - 0.771$	0.8122



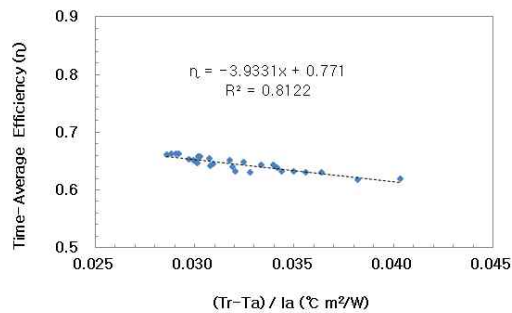
(a) 유량 2L



(b) 유량 4L



(c) 유량 6L



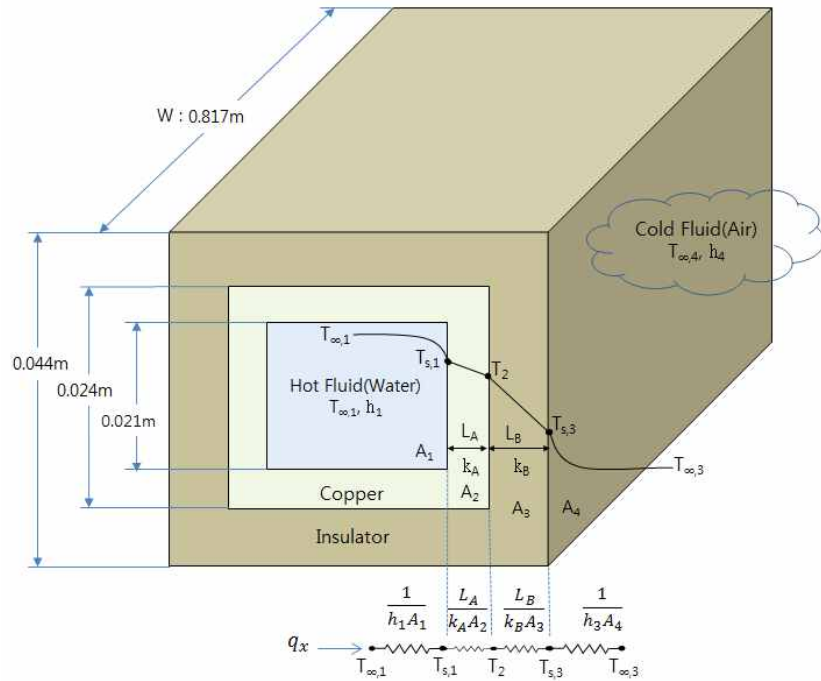
(d) 유량 8L

[그림 12] 유량 변화에 따른 프레넬 집광장치의 집열효율 분석

(5) CFD 해석

(가) CFD 해석을 위한 열전달 계수

열전달 해석을 위해 [그림 13]과 같이 흡수관의 복합벽에 대한 등가회로로 모델을 단순화하고 해석 영역의 경계에 대한 전도열전달계수(k_B)와 대류열전달계수(h_3)을 산출하였다.



[그림 13] 해석 영역에 대한 열전달 등가 회로

[그림 13]에서 열매체와 흡수관 내부 벽면 사이 그리고 단열재와 외부 공기와의 접촉면 사이에서는 대류열전달이 발생하고, 흡수관과 단열재는 두께 방향으로는 전도열전달이 발생한다. 이러한 복합벽에 대한 1차 열전달식은 식[7]로 표현 할 수 있다.

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,3}}{\Sigma R_t} \quad [7]$$

여기서 $T_{\infty,1} - T_{\infty,3}$ 은 총합 온도차이며, 총합 열저항은 ΣR_t 으로 표현된다. 따라서 q_x 는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$q_x = \frac{T_{s,1} - T_{\infty,3}}{[(1/h_1A) + (L_A/k_A A) + (L_B/k_B A) + (1/h_3A)]} \quad [8]$$

위 식을 각 요소별 등가 열회로(equivalent thermal circuit)로 표현 하면 식[9]와 같다.

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{s,1}}{(1/h_1A)} = \frac{T_{s,1} - T_2}{(L_A/k_A A)} = \frac{T_2 - T_3}{(L_B/k_B A)} = \frac{T_{s,3} - T_{\infty,3}}{(1/h_3A)} \quad [9]$$

이 식을 뉴턴의 냉각법칙과 유사한 형식으로 표현하면 다음의 식[10]과 같이 쓸 수 있다.

$$q_x = UA \Delta T \quad [10]$$

여기서 U 는 총괄열전달계수(overall heat transfer coefficient)로 복합벽에 대한 해석에 사용되며 ΔT 는 총합 온도차이다. 식[7]과 식[10]으로부터 $UA = 1/R_{tot}$ 으로 표현 될 수 있고 총괄열전달계수로 표현하면 식[11]와 같으며, 일반적인 방법으로 표현하면 식[12]와 같다.

$$U = \frac{1}{R_{tot}A} = \frac{1}{[(1/h_1) + (L_A/k_A) + (L_B/k_B) + (1/h_3)]} \quad [11]$$

$$R_{tot} = \Sigma R_t = \frac{\Delta T}{q} = \frac{1}{UA} \quad [12]$$

본 해석 모델의 면적 A 는 내부에서 외부로 갈수록 증가함으로 각각의 면적을 A_1, A_2, A_3, A_4 라 가정하면 식[13]는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,3}}{[(1/h_1A_1) + (L_A/k_A A_2) + (L_B/k_B A_3) + (1/h_3A_4)]} \quad [13]$$

식[13]을 총괄열전달계수 U 항으로 표현하면 식[14]와 같고

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,3}}{R_{tot}} = UA(T_{\infty,1} - T_{\infty,3}) \quad [14]$$

총괄열전달계수(U)를 안쪽면적 A_1 항으로 정의하면 식[15]와 같이 된다.

$$U_1 = \frac{1}{(1/h_1) + A_1(L_A/k_A A_2) + A_1(L_B/k_B A_3) + A_1(1/h_3 A_4)} \quad [15]$$

이러한 방법으로 U_2, U_3, U_4 를 구할 수 있으며 총합열전달계수와 면적의 항으로 정리하면 $U_1 A_1 = U_2 A_2 = U_3 A_3 = U_4 A_4 = (\Sigma R_t)^{-1}$ 로 표현된다.

본 해석에서는 흡수관 입구와 흡수관 초점 표면 영역에 투입된 열량의 합과 출구에서의 열량의 차이가 흡수관 주변으로 손실된 열량임으로 $q_x = q_{inlet} + q_{cpv} - q_{outlet}$ 식으로부터 q_x 를 구하고, 실험으로부터 측정된 열매체 온도와 외기온도를 [식 10]에 적용하여 총괄열전달계수 U 를 구하였다. 총괄열전달계수 U 를 구하기 위해 사용한 면적 A 의 가로 길이는 흡수관과 연결 호스를 펼친 길이를 사용했고 세로 길이는 안쪽 길이와 바깥쪽 길이의 평균값을 사용하였다.

총괄열전달계수를 구한 후 식[10]과 식[16]을 같게 놓고 단열재 표면에서의 대류 열전달계수(h_3)를 구한 다음 식[10]과 Fourier의 법칙 공식인 식[17]을 같게 놓고 단열재의 전도열전달계수(k_B)를 구하였다. 단열재의 전도열전달계수(k_B)는 연결 호스 부분은 원형관으로 식[18]을 적용하여 구하였다.

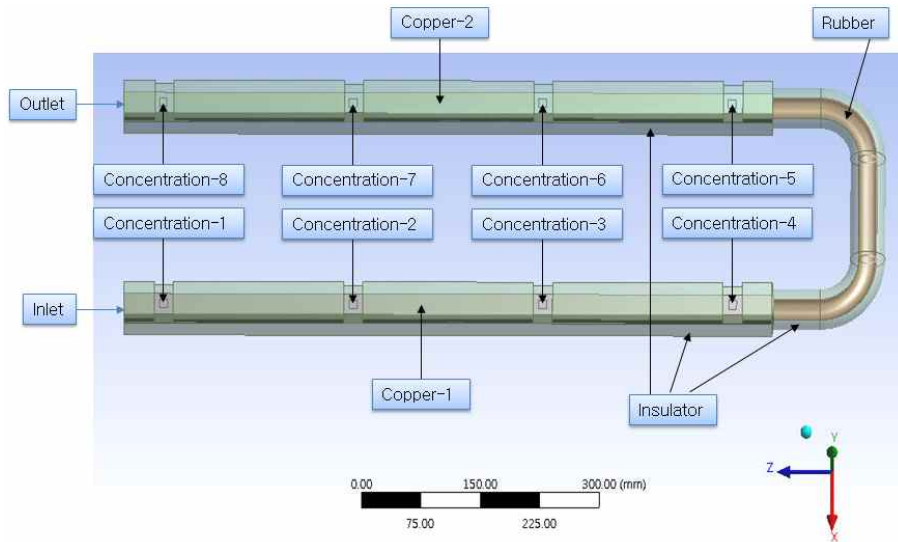
$$q'' = h_3 A_4 (T_{\infty} - T_{s,3}) \quad [16]$$

$$q_x = k_B A_3 \frac{(T_2 - T_{s,3})}{L} \quad [17]$$

$$q_r = \frac{2\pi L k_B (T_2 - T_{s,3})}{\ln(r_2/r_1)} \quad [18]$$

(나) 물성 값 및 경계조건 설정

CFD 해석영역에 대한 재료의 구성과 경계영역에 대한 명칭을 [그림 14]에 표시하였다. 단일재는 전체를 하나의 형상(feature)로 구성하였고 동파이프 흡수관은 Copper-1과 Copper-2로 나누어 설정하였으며 태양광이 모이는 집광영역은 각각 Concentration-1부터 Concentration-8까지 영역 명칭을 부여하였다.



[그림 14] 모델 구조와 해석 영역

해석에 적용할 재료의 물성값 및 경계조건은 [표 6]과 [표 7]과 같다.

[표 6] Cell zone condition

Material	Density(kg/m ³)	Cp(Specific heat)(J/kg · K)	Thermal conductivity(W/m · K)	Remark
Water Liquid	991	4179	0.634	Reference
Air	1.225	1006.43	0.0242	Default
Copper	8978	381	387.6	“
Insulator	40	1210	0.39	Measurement
Rubber	1100	2010	0.13	Reference

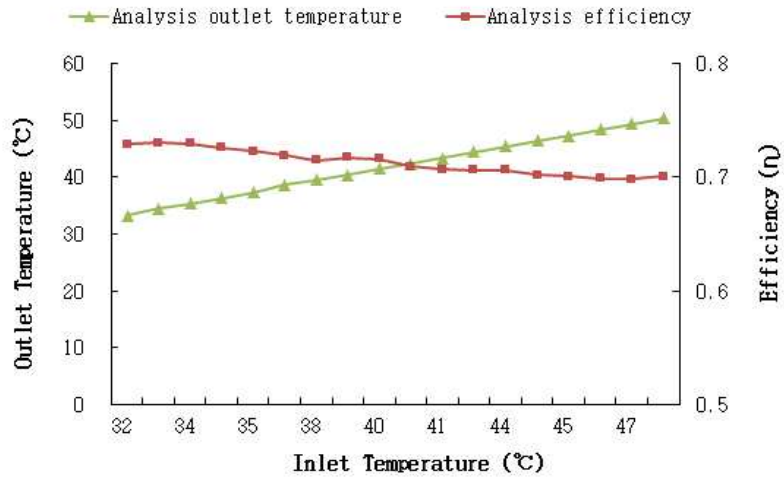
[표 7] Boundary Conditions

Zone name	Type	Boundary condition	Remark
Inlet	Velocity inlet	- 유속 : 유량/단면적 - 입구온도 : 측정값	
Outlet	Pressure outlet	- 기본값 사용	
Concentration-1 ~ Concentration-8	Wall	- Heat transfer coefficient : $20.03\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ - Free stream temperature : 측정값 - External emissivity : 0.94 - External radiation temperature : 측정값 - Heat generation rate : 일사량*렌즈면적	* 단 열 재 표면에서 의 대류 열 전달 계 수 사용
Insulator	Wall	- Heat transfer coefficient : $20.03\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ - Free stream temperature : 측정값	“
Copper-1 ~ Copper-2	Wall	- Heat transfer coefficient : $20.03\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ - Free stream temperature : 측정값 - External emissivity : 0.94 - External radiation temperature : 측정값	“

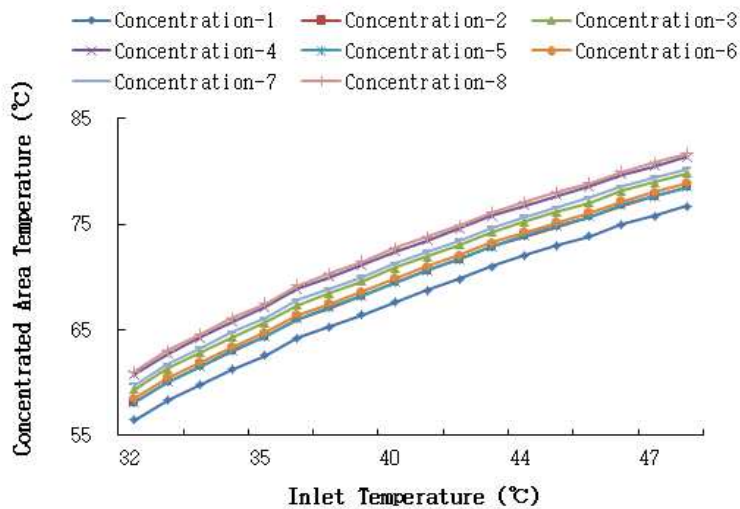
(다) CFD 해석 결과

CFD 해석은 가장 효율이 좋은 집열시스템의 유량인 4ℓ/min과 6ℓ/min에 대해서만 진행하였다. 해석 방법은 실험에서 측정한 입구온도와 유량, 흡수관 주변온도를 경계조건으로 사용하여 해석 한 후 출구 온도를 산출하였다.

[그림 15]은 해석으로 얻은 출구 온도분포이고 [그림 16]은 집광영역의 표면 평균 온도 분포이다. 여기서 입구 온도에 따라 출구 온도는 비례하여 상승함을 알 수 있으며, [그림 16]에서 온도 분포를 전체적으로 보면 입구 온도가 상승하면서 집광영역의 온도가 직선적으로 상승함을 알 수 있다.

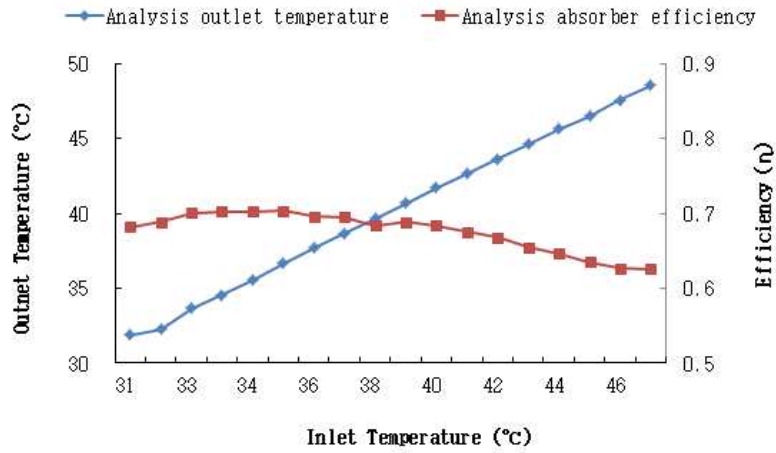


[그림 15] CFD 해석을 통한 출구 온도 및 효율(집열시스템의 유량 4ℓ/min 실험 변수를 이용한 해석)

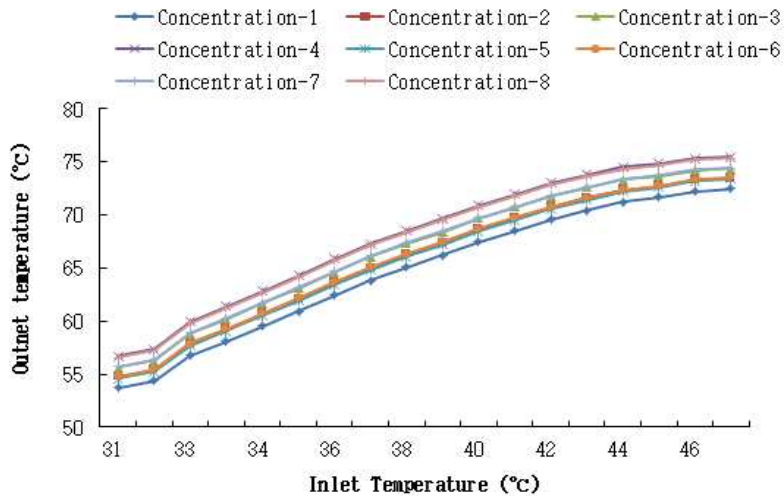


[그림 16] CFD 해석을 통한 집광영역 온도 분포(집열시스템 유량 4ℓ/min 실험 변수를 이용한 해석)

[그림 17]은 복합시스템 유량 6ℓ/min 실험의 측정 결과를 이용하여 출구 온도를 해석한 결과로 흡수관 입구온도의 증가에 따른 출구온도의 증가와 집광 영역의 온도 증가율도 유사한 형태를 보이고 있다.



[그림 17] CFD 해석을 통한 출구 온도 및 효율(집열시스템의 유량 6ℓ/min 실험 변수를 이용한 해석)

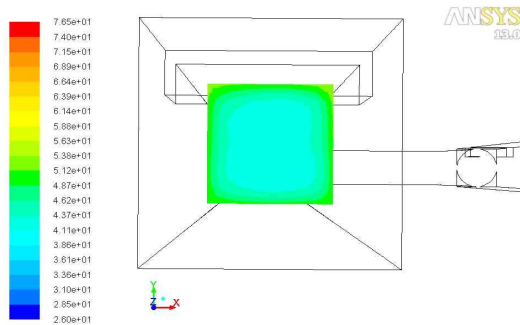


[그림 18] CFD 해석을 통한 집광영역 온도 분포(집열시스템의 유량 6ℓ/min 실험 변수를 이용한 해석)

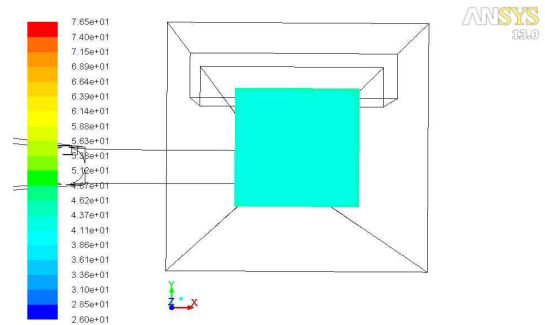
(라) CFD 해석에 의한 흡수관 단면의 온도 및 속도 분포

집열시스템의 유량 4ℓ/min 중 입구온도 40.5℃에 대하여 해석 한 후 해석 단면에 대한 온도 분포를 [그림 19] ~ [그림 30]에 나타내었다. 입구 경계조건으로 유량 4ℓ/min에 대한 유속 0.0756m/s와 입구온도 40,5℃를 주었으며, 흡수관 주변온도는 측정된 값인 20.4℃를 입력하였다. Concentration 영역에 대한 열 발생율은 일사량 847W/m²에 대해 단위체적으로 환산하여 484,186,000W/m³으로 계산하여 입력하였다.

[그림 19]와 [그림 20]은 입구와 출구 단면의 온도 분포로 입구 단면의 유체 온도는 경계조건으로 입력한 40.5℃의 온도분포를 보이나 출구 온도는 흡수관 주변으로 좀 더 높은 온도 분포가 형성되었다.

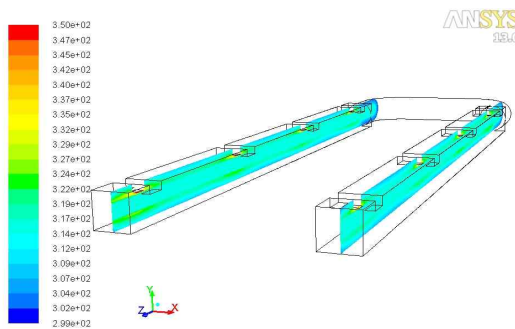


[그림 19] 출구 단면의 온도 분포

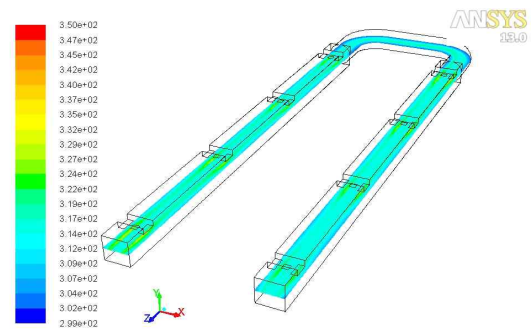


[그림 20] 입구 단면의 온도 분포

[그림 21]과 [그림 22]는 유체의 흐름 방향으로 수직단면과 수평단면에서 본 온도 분포이다. Concentration-1에서 Concentration-8 영역 부근에서 높은 온도 분포가 형성되어 있음을 알 수 있고, 흡수관 입구보다는 출구 영역에서 좀 더 높은 온도 분포가 형성되었다.

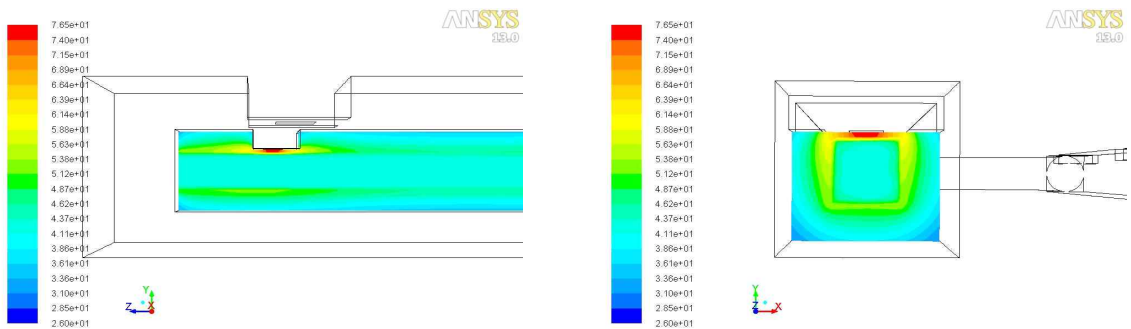


[그림 21] 흐름방향 수직 단면의 온도 분포



[그림 22] 흐름방향 수평 단면의 온도 분포

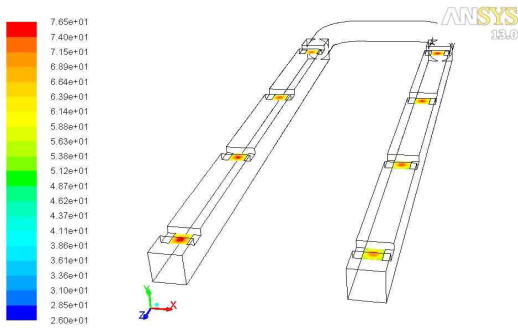
[그림 23]은 출구 부근 흐름방향 수직 횡단면 온도 분포로 Concentration-8 집광 영역의 열이 흡수관 윗면과 아래 면에서 열매체와 단열재로 전달되는 형상을 확인할 수 있으며, 열매체의 흐름에 따라 출구 방향으로 고온 영역이 더 넓게 분포함을 알 수 있다. [그림 24]는 Concentration-8 영역의 수직 종단면 온도 분포로 열전도 계수가 높은 흡수관을 통하여 측면과 바닥부분까지 열이 전달되는 형상을 확인할 수 있다.



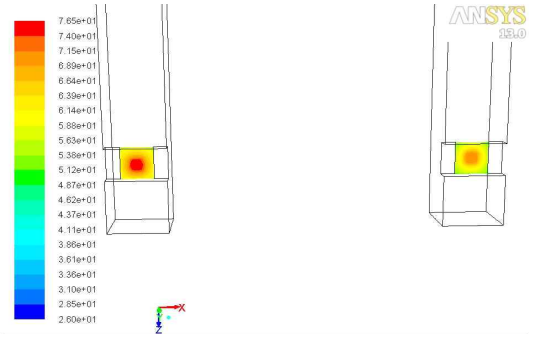
[그림 23] 출구 부근 흐름방향 수직
횡단면 온도 분포

[그림 24] 출구 단면 50mm 앞 위치의 수직
종단면 온도 분포

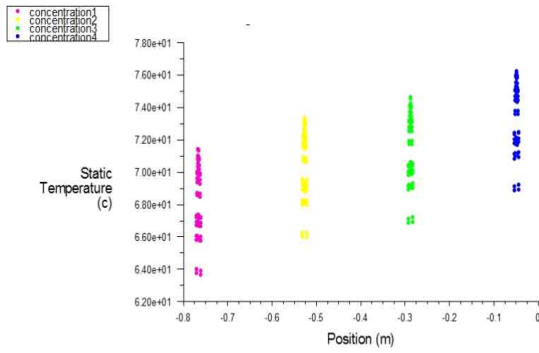
[그림 25]는 사각 흡수관 상단의 온도 분포로 집광 영역을 중심으로 고온의 열이 흡수관을 통하여 전달되는 형상을 보여주고 있으며, [그림 26]은 입구와 출구 부근 집광영역의 온도 분포로 출구 부근의 집광영역이 입구부근 집광영역보다 높은 온도가 형성됨을 알 수 있다. [그림 25]와 [그림 26]은 집광영역의 온도분포를 나타낸 것으로 열매체의 흐름 방향을 따라 온도가 점차 상승함을 알 수 있다. 흡수관 입구 부근인 Concentration-1 영역의 평균 온도는 69℃이고 출구 부근인 Concentration-8 영역의 평균 온도는 74℃이다.



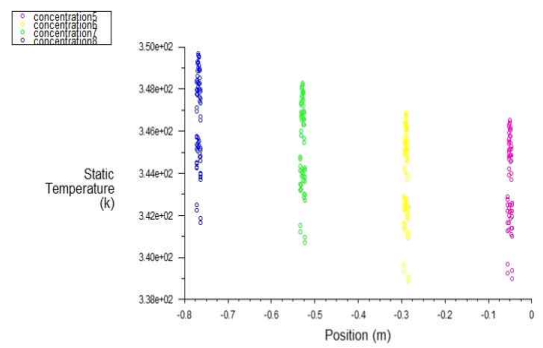
[그림 25] 동파이프 상단면 온도 분포



[그림 26] 입구와 출구 부근 집광 영역의 온도 분포

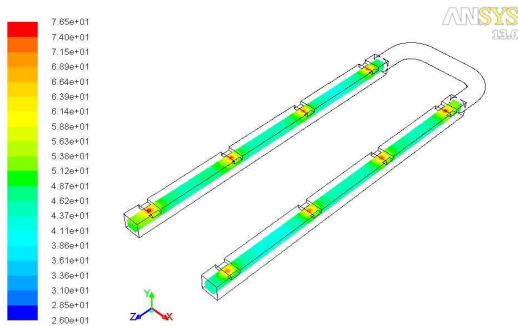


[그림 27] Concentration-1 ~ 4 영역의 온도분포

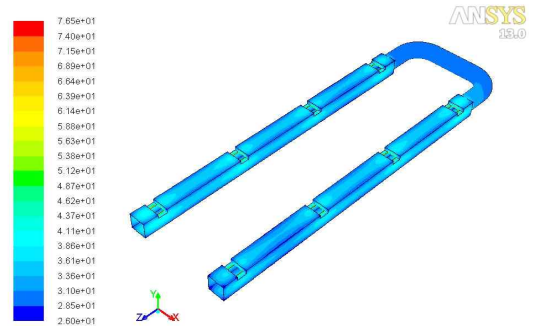


[그림 28] Concentration- 5 ~ 8 영역의 온도분포

[그림 29]는 흡수관인 사각 통파이프의 온도분포이고 [그림 30]은 단열재 표면의 온도 분포다. 두 그림을 통하여 다소 높은 온도의 흡수관과 상대적으로 낮은 단열재의 온도 차이를 확인 할 수 있다.

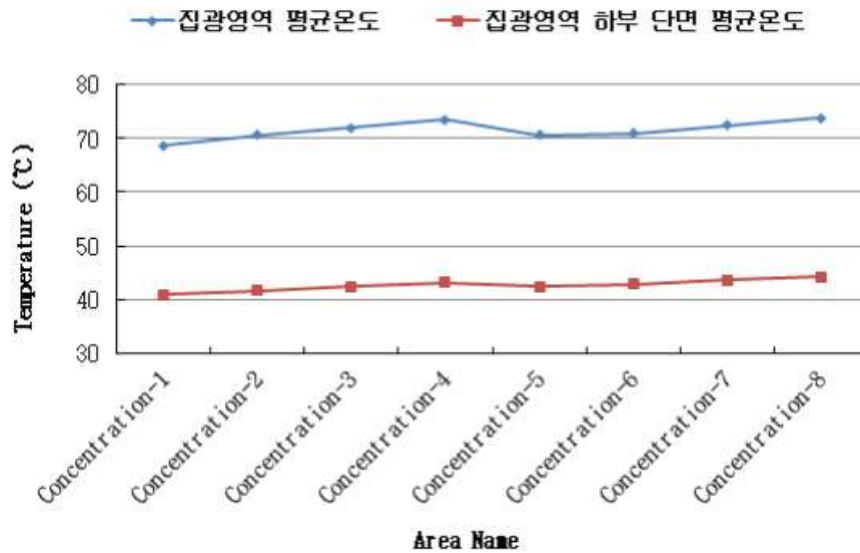


[그림 29] 흡수관 표면의 온도 분포



[그림 30] 단열재 표면에서의 온도 분포

위 해석 결과를 종합해 보면 입구 40.5℃의 열매체를 공급하여 집광영역에서 가열된 후 출구에서 42.5℃로 배출되며, 흡수관의 집광 영역의 평균온도는 입구부터 증가하다가 Concentration-5 영역에서 낮아졌다가 다시 증가하는 양상을 보인다. 집광영역의 온도 및 집광영역 하부 단면에 대한 유체의 온도 분포를 [그림 31]에 나타내었다.



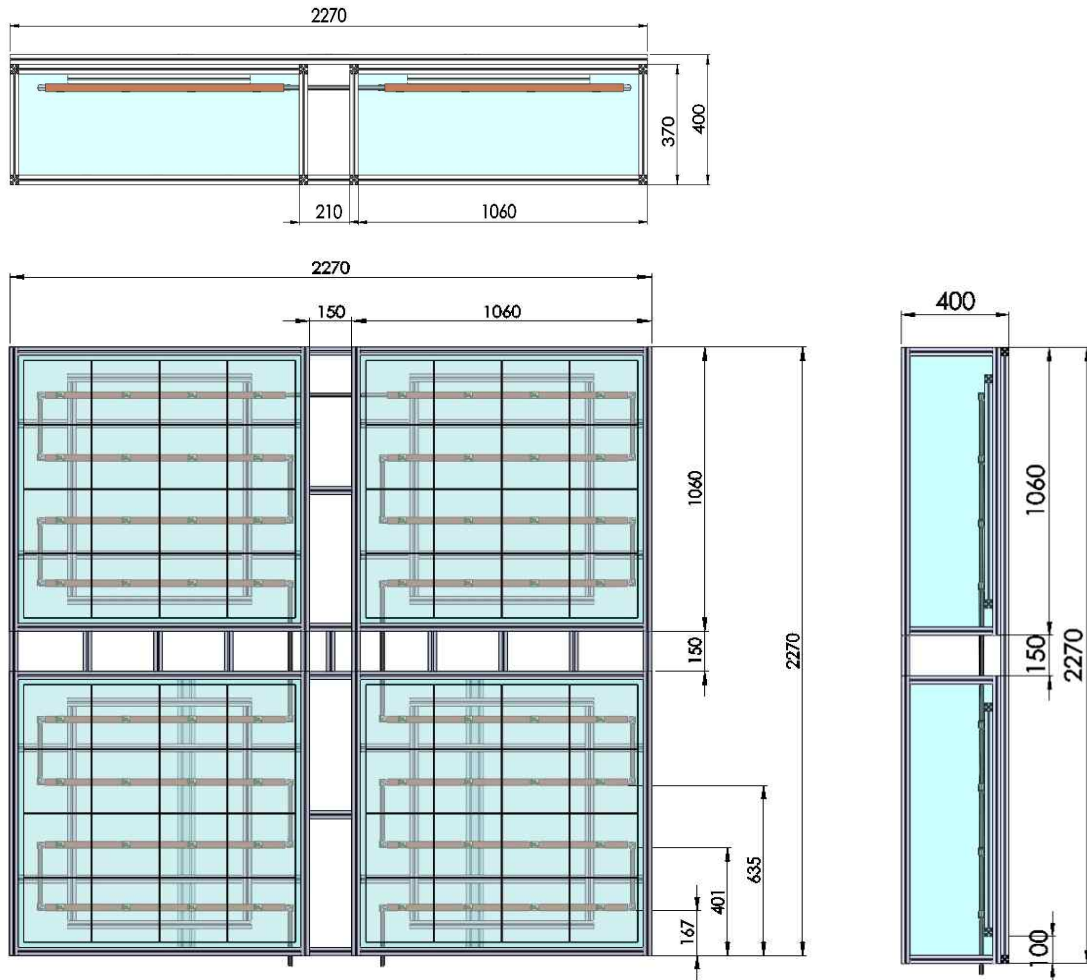
[그림 31] 집광영역의 온도 변화

(5) 다 모듈 집광장치

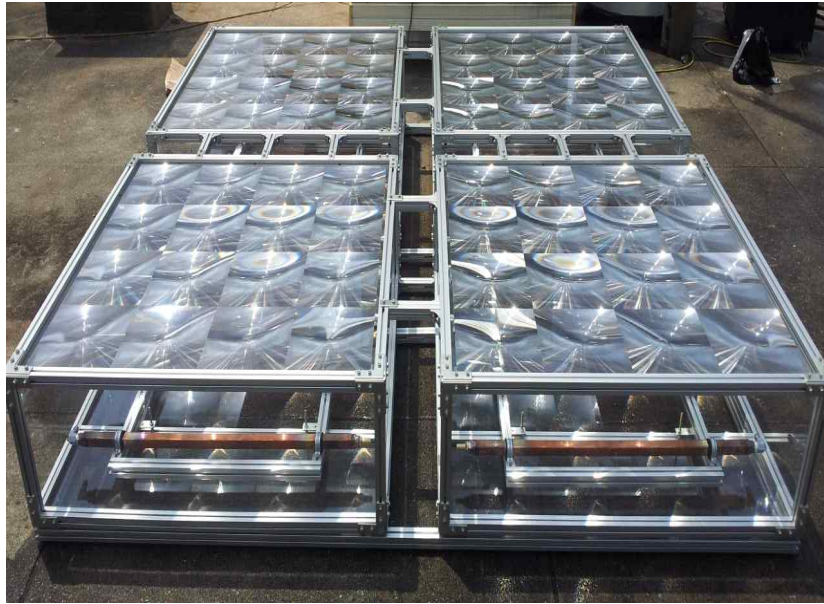
(가) 다 모듈 집광장치 제작

본 연구에서 다 모듈 집광장치의 기본 프레임은 알루미늄 프로파일(Model DF 3030, 30mm×30mm)을 사용하였다. 한 모듈의 집광장치 윗면은 프레넬 렌즈를 알루미늄 프로파일에 고정 시켜 집광기를 구성하였으며, 옆면은 프로파일로 프레임을 만든 후 아크릴로 막아 외기의 영향을 받지 않도록 하였다. 집광장치 내부로의 접근이 가능하도록 뒷면에는 2겹으로 창을 여닫을 수 있도록 제작하였고, 밑면은 아크릴판을 알루미늄 프로파일에 고정하여 외기와 대류를 차단하였다. 흡수기는 태양광 집광영역에서 발생하는 열에너지를 열매체에 흡수시키기 위한 것으로, 사각 동 파이프(외경 24mm×24mm×1.5T, 길이 850mm)를 하나의 모듈 당 집광영역에 4개씩 4개의 집광모듈에 총 16개를 설치하여 흡수기로 사용하였다. 4개의 흡수기를 알루미늄 프로파일로 제작된 집광장치 하부의 지지대에 고정하였으며, 각 동관 흡수기들은 고무호수로 연결하여 열매체가 'ㄱ'자 모양으로 순환되도록 설계 및 제작하였다. 지지대는 피치 1mm의 볼트를 사용하여 너트의 움직임에 따라 높이 조절을 가능하게 제작하였다. 프레넬 렌즈를 통하여 모인 흡수기 표면 초점 부위는 흡수기 지지대의 높이조절을 이용하여 태양광의 집광 면적이 10mm×10mm가 되도록 조정하였다. 집광영역을 제외한 흡수기에는 단열재를 감싸 외부로의 열손실을 줄였다. 흡수관을 감싼 단열재 단면에는 내열성이 강한 캡톤 테이프를 부착하여 고열에 의한 단열재 손상을 방지하였다.

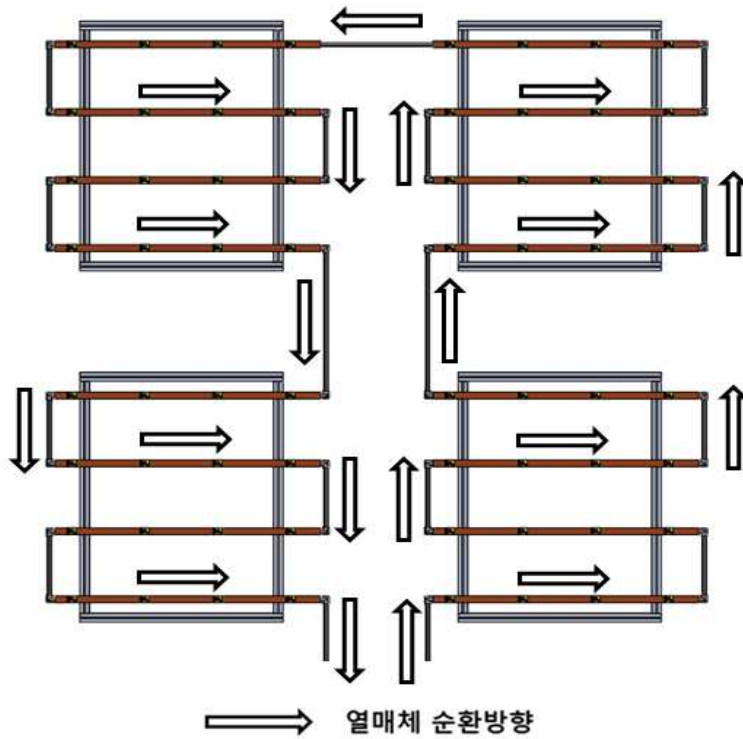
4개의 각 집광장치 모듈을 알루미늄 프로파일을 이용해 제작된 하나의 후방지지대에 고정하여 결합하였으며[그림 32][그림 33], 모듈의 손상 부분이 없는지 점검한 후 태양 추적장치에 결합하여 다 모듈 집광시스템을 설비하였다. 다모듈 집광장치의 열매체 흐름도는 [그림 34]와 같다.



[그림 32] 모듈 4개로 구성된 집광장치 도면.



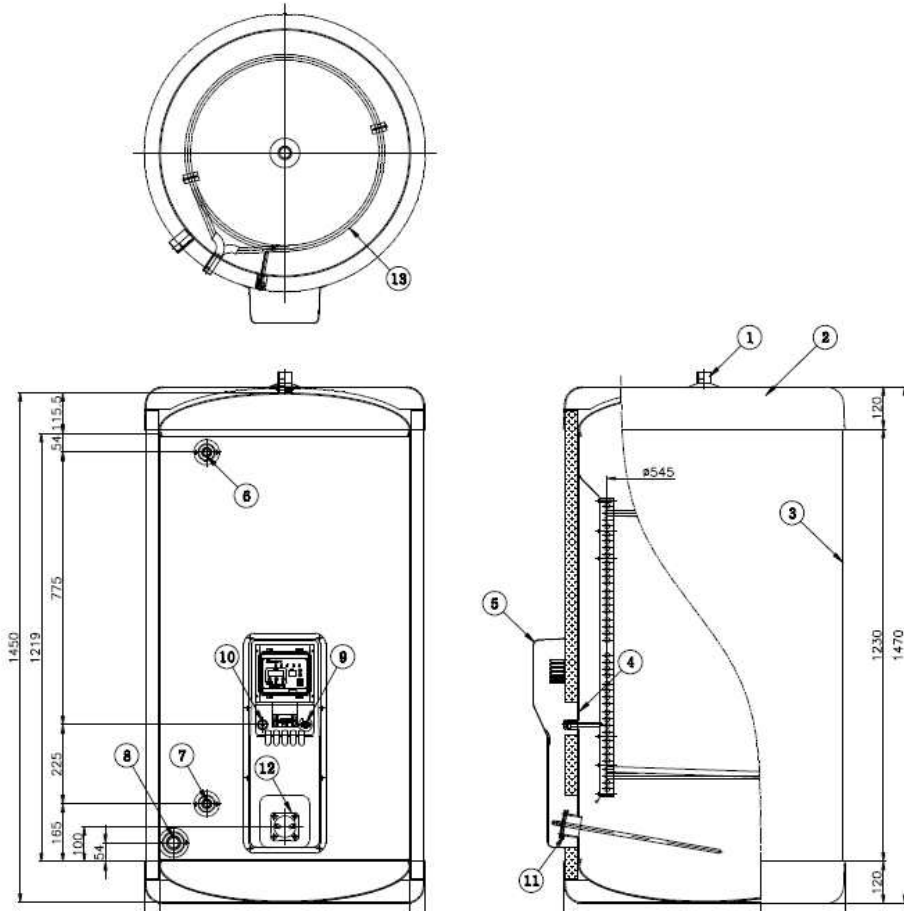
[그림 33] 다 모듈(4개 모듈)이 결합된 집광장치 실물.



[그림 34] 다 모듈(4개 모듈)이 결합된 집광장치 열매체 흐름도.

(6) 축열조 구성

본 실험에서 사용한 축열조(KNPE500-001, 강남태양열, 한국)는 총 용량은 500ℓ이다. 축열조 내통은 외부의 충격이나 온도변화에 강한 열간압연강판(SHPC)재질로 제작되었고, 외부는 폴리우레탄폼으로 단열되어 있으며, 외부 케이스는 칼라 함석판으로 제작되었다. 외부 직경 790mm, 내부 직경 700mm, 높이 1470mm로 제작되었고, 그 내부 용기 안의 열 교환기는 스테인레스강(STS 304)재질로 외경 15.8mm, 두께 1T, 내경 13.8mm, 총 길이 65m이며, 열교환기 표면과 축열조내 유체와의 접촉면적은 3.35m²이다. 열교환기는 스프링 형태로 축열조 내 외측으로 고정되어 있어 열 교환기 내로 집광장치의 흡수기로 부터 열매체가 들어와 순환하며 축열조 내의 물을 가열하는 형태로 축열된다[그림 3-9]. 축열조의 배관 및 연결부는 총 5개이며, 흡수기와 연결된 열교환기 입·출구 2개, 온수이용을 위한 입·출구 2개와, 상부의 급수용 입구 1개로 구성되어 있다. 축열조 내부 물의 온도계측을 위해 축열조 상부의 급수용 입구에 길이가 다른 3개의 온도센서(PT 100Ω)를 설치하여 축열조의 상, 중, 하 온도를 측정 할 수 있게 하였고, 열교환기 입·출구에도 온도센서를 설치하여 총 5곳의 온도를 계측할수 있게 하였다. 축열조의 실물 및 도면은 [그림 35 (a),(b)]와 같다.



13	필교롤러	1 EA	ST3304	Ø15.88
12	히터	1 EA	CU	6KW
11	히터소켓	1 EA	SS41	
10	온도센서	1 EA	항봉	피에스피500BT
9	파수센서	1 EA	.	85N
8	DRAIN	1 EA	SS41	35A, L-80
7	급수구	1 EA	ST3304	15A
6	급탕구	1 EA	ST3304	15A
6	온도플라스틱	1 EA	EGI/온세프장	
4	필크내부	1 EA	SPHC 3.2T	600mm
3	필크외장케이스		알루미늄	T: 0.5
2	PP커버	2 EA	복합 PP	
1	배정소켓	1 EA	SS41	35A, L-80



(a) 축열조 도면

(b) 축열조 실물

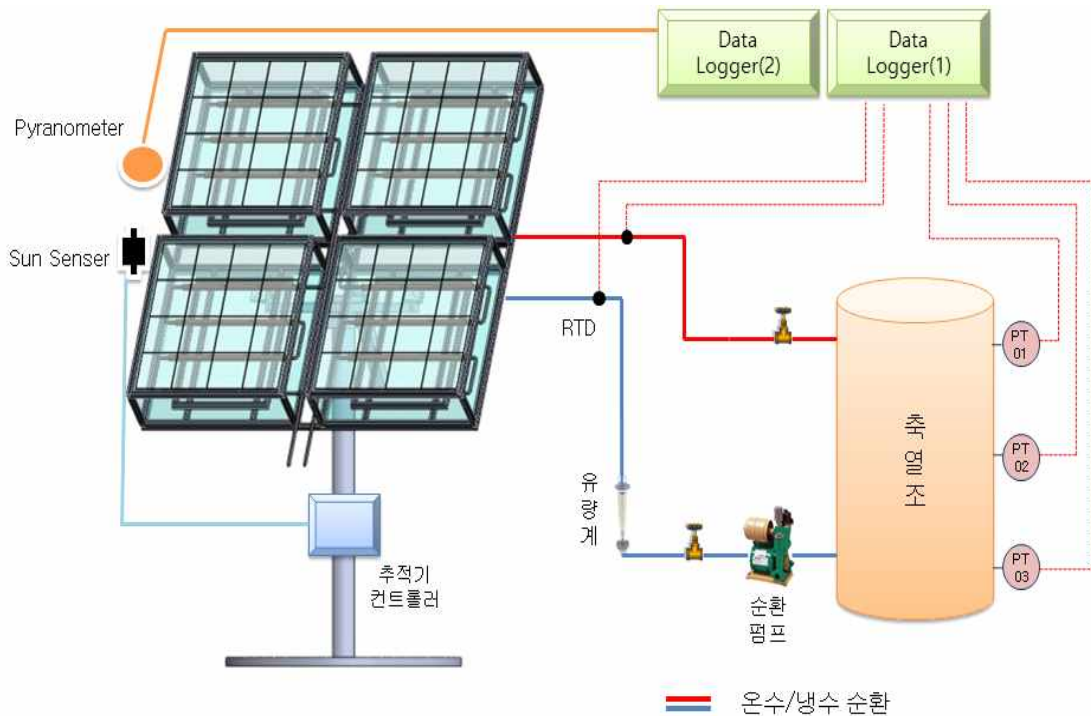
[그림 35] 축열조.

(7) 다모듈 집광 시스템 장치 구성

4개의 모듈로 구성된 다 모듈 집광시스템은 기본적으로 프레넬 렌즈를 통하여 흡수기 표면에 집광된 태양 복사에너지는 흡수기내에 열매체를 순환시켜 회수하는 방식으로 이루어져 있다.

열매체 순환은 축열조 안의 열교환기에서 열매체가 순환펌프에 의해 순환되기 시작하여 유량계의 RTD센서를 거쳐 집광장치의 우측 하단 모듈의 흡수기내로 열매체가 유입되고 우측 상단 모듈, 좌측 상단 모듈, 좌측 하단 모듈의 흡수기를 거쳐 RTD센서를 지나 축열조 열교환기로 다시 들어가게 된다. 열매체는 각 모듈의 흡수기를 지날 때 마다, RTD센서가 부착되어 있어 각 모듈의 흡수기를 통과한 직후의 온도를 측정할 수 있어, 열매체가 1개의 모듈을 순환 할 때부터 4개의 모듈을 다 통과할 때까지의 열매체 온도를 계측 할 수 있다.

본 실험에 사용된 집열시스템의 전체 구성도는 [그림 36]와 같으며, [그림 37]는 태양광 집열시스템 실험장면이다.



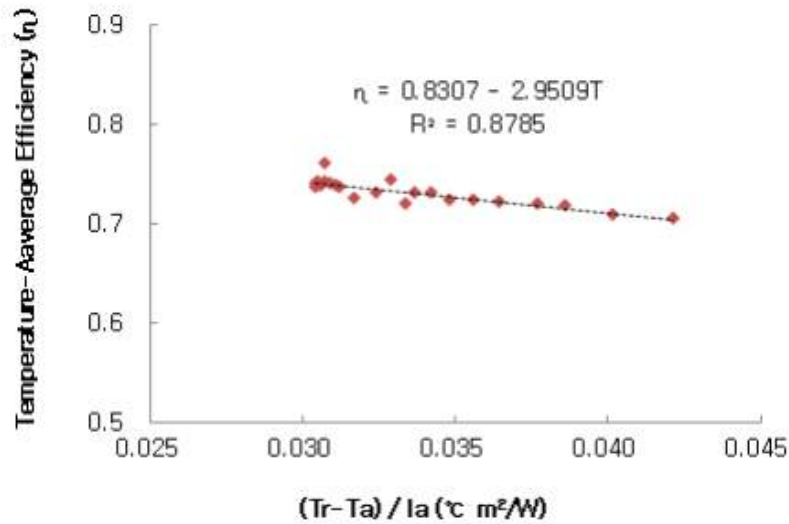
[그림 36] 태양열 집광시스템 구성도.



[그림 37] 태양열 집광시스템.

(8) 다모듈 집광시스템 효율 분석

단일 모듈의 집열 시스템 효율은 4ℓ/min에서 가장 우수하였으며, 따라서 본 다모듈 집열시스템에서는 효율 분석을 위해, 유량을 4ℓ/min에 대해 검증하였다. 분석 결과를 [그림 38]에 나타냈었으며, $(T_r - T_a)/I_0$ 를 기준으로 한 집열효율을 비교해보면 유량 4ℓ/min에서 평균효율 72.5%를 나타내었다. 열매체 온도가 증가하면서 집열효율이 감소하는 경향을 보이며, 집열효율 방정식에 대한 기울기는 -2.9509로 나타났다. 순환 열매체 온도가 증가하면서 집열효율이 다소 감소하는 것은 흡수관 내의 열매체 온도와 대기온도와의 차이가 증가함으로 인해 대류 열손실이 증가하여 효율이 감소하는 것으로 이런 현상은 일반적인 집열기의 기본 특성과 같은 경향을 나타낸다.

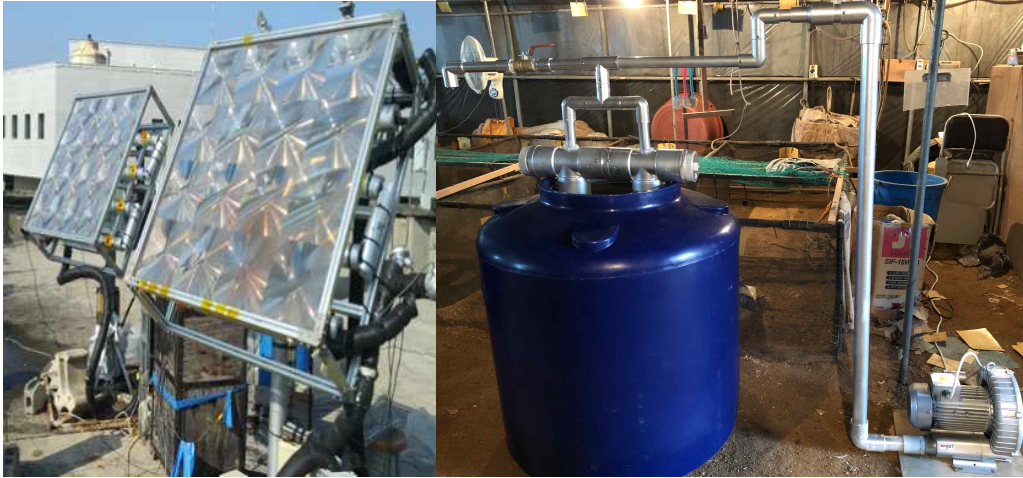


[그림 38] 다모듈 집열시스템의 집열효율 분석.

(9) 태양광 집광시스템을 이용한 실험용 축산폐수 폭기장치

(가) 집광시스템을 이용한 축산폐수 폭기장치 구성

폭기처리는 축산폐수에 공기를 강제적으로 보내어 폐액 중에 용존 산소량을 높여 호기성 미생물의 활동을 왕성케 하여 유기물 분해를 촉진하고 고형분의 침전과 스크럼 형성의 방지를 위한 것이다. 폭기량을 많이 하면 발효는 효율적이거나 외부에서 과잉공기를 흡인하면 처리액이 냉각되므로 온난한 공기를 사용할 필요가 있고, 한랭지에서는 비닐하우스 또는 퇴비를 통과한 공기를 사용하고 있고, 호기성 폭기처리법으로서 발효액온의 상승은 대략 25°C이다. 본 연구에서 태양광 집광시스템으로부터 공급되는 열을 산기장치가 설비된 축산폐수 저장 용기 내의 열교환기로 순환시켜 축산폐수의 온도 상승에 의한 부숙을 급속히 촉진시키고, 취기도 감소시키는 특성이 있다[그림 39]. 폭기장치는 축산폐수 저장 용기 내에 집중 폭기관을 수직으로 수면 상부까지 세우고 폭기관 말단부에 산기장치를 고정하여 산기장치로부터 발생하는 기포의 부력작용으로 축산폐수의 펌핑 효과를 이용하였다[그림 39]. 축산폐수 정화장치의 정화성능을 분석하기 위해 정화장치를 가동하지 않은 폐수와 정화처리된 폐수의 수질을 3주 동안 정화처리 실험하였다.



[그림 39] 태양열을 이용한 실험용 축산폐수 폭기장치 구성

(나) 축산폐수 정화장치의 실험 결과

① 색도 변화

색도 변화는 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 나타내었다[그림 40].

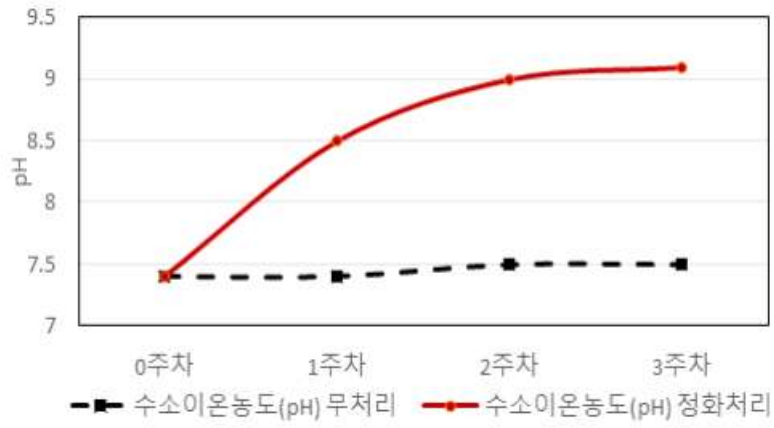


[그림 40] 정화처리 전 돈분 폐수(좌측) 및 정화처리 3주 후의 돈분 폐수(우측)

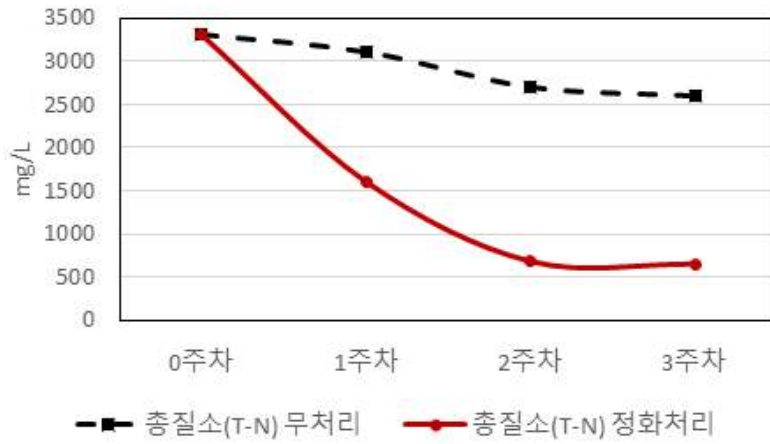
② 수질 측정 결과

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 사용된다. 정화처리 되지 않은 축산폐수의 수소이온 농도(pH)는 최초에 7.4에서 3주 후에 7.5로 미소하게 0.1 증가 하였으나, 정화처리 장치에 의해 처리된 폐수의 pH는 7.4에서 9.1로 1.7 증가하여 염기성으로 큰 변화가 있었으며, 큰 정화처리 효과로 나타났다[그림 41]. 총질소(T-N)는 수중에 포함 된 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소, 무기성 질소 및 단백질 아미노산, 폴리펩티드, 요소 등 유기 질소의 총량을 말하며, 질소량을 나타낸다. 총질소는 동물과 식물에서 유래하고 있기 때문에 모든 물에 포함되어있으며, 또한 폐수, 공장 폐수, 축산폐수 등의 혼입에 의해 증가한다. 실험결과 총질소(T-N)는 정화처리 되지 않은 폐수의 경우 최초 3,300 mg/L에서 3주 후 2,600mg/L로 다소 낮아지는 경향을 보였으나, 정화처리 3주 후 650 mg/L로 매우 낮아져, 1,950 mg/L의 감소를 보여 정화처리 효과가 매우 큰 것으로 나타났다[그림 41]. 총인(T-P)은 호소, 하천 등의 부영양화를 나타내는 지표 중 하나로 물속에 포함된 인의 농도를 의미하며, 인은 질소와 함께 호소와 같은 폐쇄수역 부영양화에 있어 제한기질로 작용한다. 총인은 입자성 인, 유기성 인, 폴리인산염, 인산염이온 등 수중에 존재하는 인(P)의 총량을 측정한 값을 말하며, 단위는 mg/L로 표기하고, 축산폐수에는 매우 높은 농도의 인이 함유되어 있다. 실험결과 총인(T-P)은 정화처리 되지 않은 폐수의 경우 최초 220 mg/L에서 3주 후 182 mg/L로 다소 낮아지는 경향을 보였으나, 정화처리 장치에 의해 처리된 폐수의 경우는 정화처리 3주 후 120 mg/L로 매우 낮아져, 100 mg/L의 매우 큰 감소를 나타내어 정화처리 효과가 매우 우수한 것으로 나타났다 [그림 41].

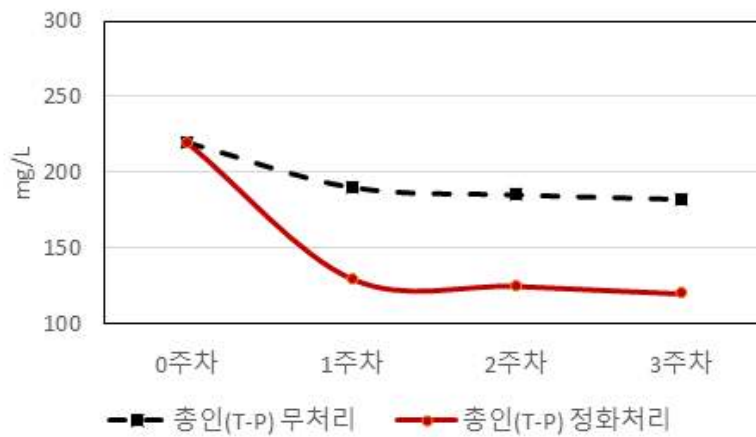
수소이온농도(pH)



총질소(T-N)



총인(T-P)



[그림 41] 돈분 폐수 정화처리 수질 검사 결과

③ 경제성 분석 결과

본 연구에서 축산폐수 폭기장치의 폐수 가온에 필요한 집광시스템의 경제성 분석은 정태적 경제성 평가 방법의 순현재가치법(NPV)을 사용하였다. 순현재가치법(NPV)은 적용이 간편하며 의사결정에 왜곡이 적다는 장점이 있다. 태양열의 평균 에너지 생산량은 690 W/m^2 을 기준으로 하였고, 집광시스템 효율은 72.9%로 하여 등류와 경류 대비 경제성을 분석하였다. 태양열에 의한 연간 수익률은 등류대비 500,800원, 경류대비 710,270원으로 나타났으며, 따라서 집광시스템이 커질수록 비례하여 수익률은 크게 증가할 수 있음을 알 수 있다.

④ 태양광 시스템의 부대설비

태양광시스템은 우기나 흐린 날씨에 대비해, 축열조에 보조열원인 전기 히터가 필히 설비되어야 하며, 용량은 집광장치 1m^2 당 대략적으로 0.7kw 용량의 전기 히터가 필요로 된다.

⑤ 시스템 용량 분석

집광시스템의 집광면적이 4m^2 일 경우 4L/min의 유량으로 정화조 폭기시스템을 이용해 1ton의 축산 폐수처리가 가능하며, 200ton의 축산폐수를 처리하기 위해서는 80L/min의 유량으로 가동되는 800m^2 의 집광면적을 갖는 집광장치가 필요로 된다.

나. 양돈분뇨의 효율적 액비 제조용 폭기장치 개발

(1) 목표 및 내용

(가) 목표 및 내용

○ 목표

ICT기술 융합에 의한 환경조절 자동화 스마트 폭기장치 시스템 개발

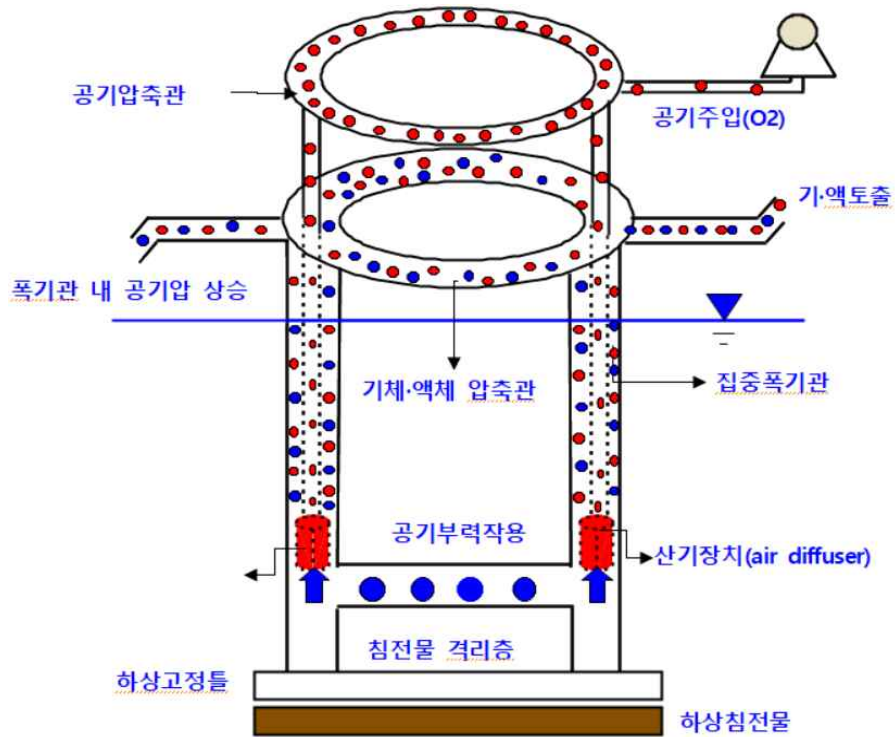
- ONE - STOP 형의 핵심 특허기술에 의한 실증시험용 회분식 모델 개발 Pilot 개발 (현장 시제품 설치)
- 7mg/l 이상 DO 유지를 위한 폭기장치 규격화 설계기술 개발
- 고효율 Air-stripping 기술 개발
- 고효율 DO에 의한 일체 미생물제 무침가 반응조 및 반응장치 신규 개발

○ 내용

- 자동 환경조절용 스마트 폭기장치 시스템 설계치 구현

ONE - STOP 형의 실증시험용 회분식 모델 Pilot 설계치 도출 구현

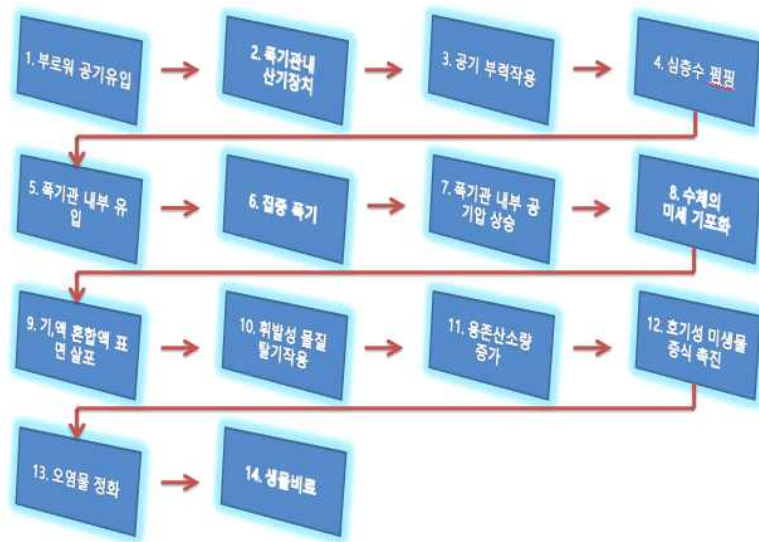
- 용존산소량을 높이기 위한 (브로워blower)의 용량 대비 공기유입관, 공기압축관, 폭기관, 기·액 압축관의 유체해석 및 설계치 구현
- Air-stripping 설계치 도출 구현



- 주석) 1. 혐기상태의 폐수를 집중폭기관 내로 air-pumping에 의해 유입함.
 2. 집중폭기관 내로 유입된 폐수는 부력으로 상승하면서 공기압력에 기포로 변환됨.
 3. 기포화 된 폐수는 수면으로 분사되면서 휘발성 유기물질은 탈취됨
 4. 산소를 함유한 폐수는 호기성으로 변하여 미생물에 의해 분해 촉진됨.
 5. 상기의 순환과정에 따라 축산폐수는 정화되고 악취는 저감됨.

[그림 42] Air - Stripping 탈기장치 및 액비 제조장치 처리 개요도

모델용 축산분뇨 약취저감 및 액비장치 생산 시스템 체계



[그림 43] 축산분뇨 처리에 의한 액비의 생산과정 체계 흐름도.

- 모델용 축산분뇨 약취저감 및 액비장치 설계 및 성능분석
- 액비용 수질 대상 색도, 취기 등 오염물질에 농도에 대한 사전 시험 및 분석
- 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.
- 산소공급장치(개발예정)에 직접 브로워를 탑재할 수 있도록 하는 설계 기술
- 산소로 포화된 물을 상부 수면으로 순환공급하여 정화조 내의 수질오염을 효율적으로 저감시킬 수 있음.



[그림 44] 폭기장치 시제품

본 기술의 핵심적 특징은 산소를 폐액 중에 집중적으로 공급할 수 있도록 개발되는 집중폭기관을 내장하고 있어 악취의 원인물질인 암모니아가스를 $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$ 조기에 변환하여 탈취기술 및 폭기기술을 차별화하여 악취 유발의 원인이 되는 휘발성 물질을 조기에 탈기시킬 수 있는 기술로 정화 능력 상승.



[그림 45] 폭기장치 시제품

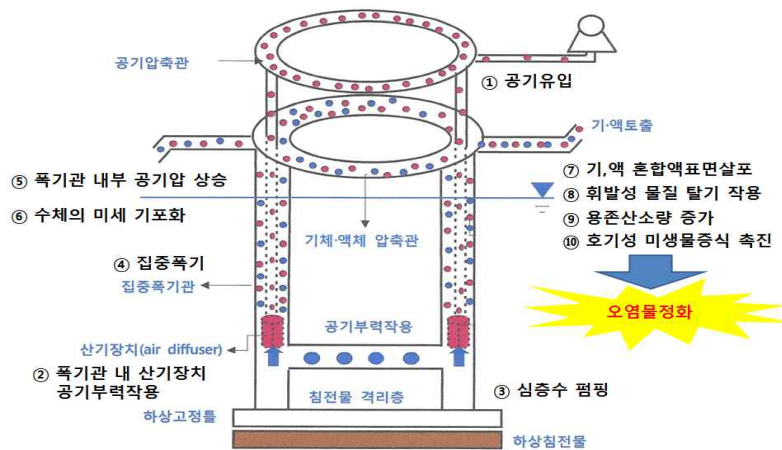
(나) 개발기술 핵심내용

① 핵심 요소기술 주요내용 및 특징

- 본 장치는 표면 분사형 집중 폭기관을 이용하여 폐수가 집중 폭기관 내로 유입과 동시에 상승하는 공기압에 의한 부력 작용으로 미세기포로 변하여 표면 상부로 용해수가 벤추리 효과에 의해 분사되는 기술로 폭기관 내에서 수직 상승하는 공기의 압력으로 기포가 압축되면서 점차 고밀도 미세기포로 바뀌어 기·액이 혼합된 상태로 수면위로 강력히 살포되는 순환 사이클 과정을 반복하여 정화 후 액비 제조

- 좌·우가 폐쇄된 집중 폭기관은 수면 상부까지 연장되어 있어 수조 내의 물 흐름은 상→하로 순환하므로 와류현상(turbulence)에 의한 수질을 교란함이 없이 정체상태를 유지하며 부유물에 의한 거품과 탁도 현상을 제어하므로 고효율 산소공급시스템에 의한 생물학적 수질정화작용을 호기성 미생물에 의해 촉진할 수 있음.

- 기존기술대비 공기 주입장치, 공기 유입관, 집중 폭기관, 산기장치 및 표면분사 장치의 구성이 ONE-STOP 일체화 형태로 구성되어 설비 및 운영관리비를 절감하여 축산업에 있어서 경제적인 수질정화장치를 제공함.
- 순환처리기능으로 정체되어 있는 정화조 내의 혐기상태의 폐수를 집중 폭기장치에 의하여 반복 순환정화처리를 행함으로써 용존산소량을 높이는 한편 일체의 미생물제재를 사용하지 않고 효율적인 수질정화를 조기에 가능하게 함.

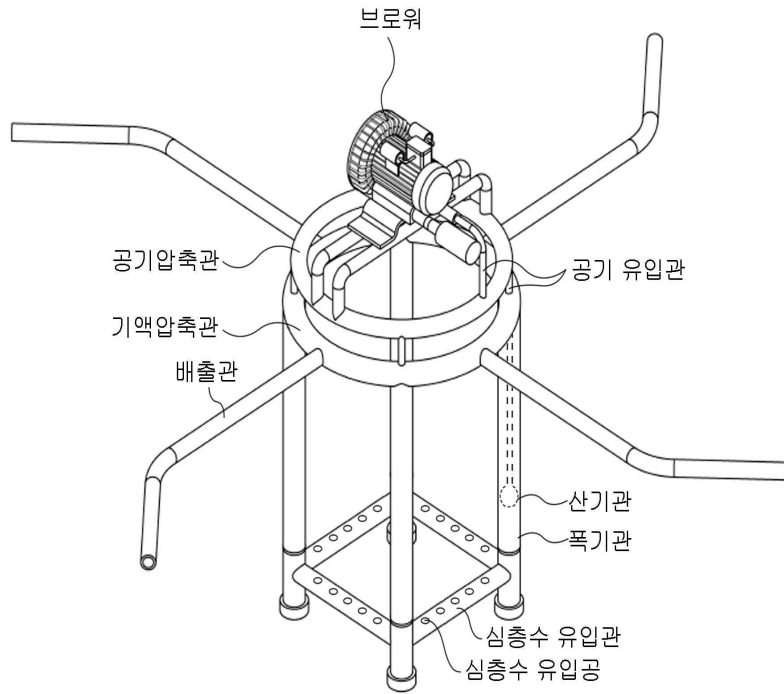


[그림 46] 액비제조 기작

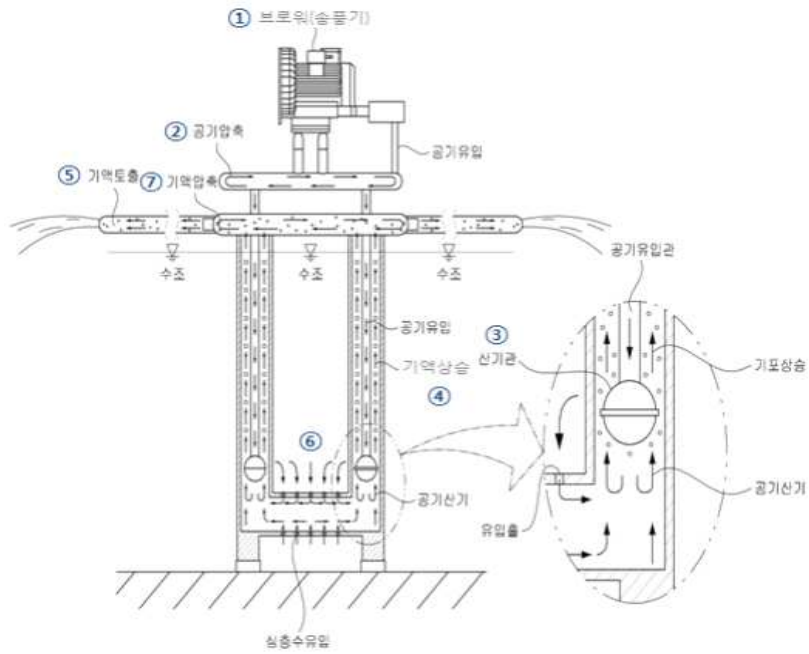
- 본 개발 기술은 부로워(blower)에 의해 공기를 공급하여 고효율 산소공급장치 기구(機構)에 의한 고효율 산소공급시스템에 의한 축산폐수 수질정화장치를 개발하는 것임
- 부로워(blower)로부터 강제 유입된 공기가 집중 폭기관 말단에 설치된 산기관을 통하여 분산되면 기포의 상승부력으로 인하여 폭기관 내에 상승 기류가 발생하고, 이로 인하여 폭기관 하부의 유입공으로 저층수가 자동적으로 펌핑되어 유입
- 유입된 저층수는 기포로 변하여 기·액압축관에서 상승하는 공기의 압력에 의해 압축되면서 미세 기포로 전환되면서 공기와의 접촉이 확대되어 용존산소량이 높아지고, 배출관을 통하여 수표 층으로 배출됨
- 고효율 산소공급장치 기구(機構)에 의해 하층수를 미세기포화 하여 표층수로 순환시켜 용존산소량을 높임과 동시에 배출단계에서도 공기와의 접촉이 향상되어 용존산소량을 높일 수 있는 효과가 있음.

○ 본 개발 기술의 고효율 산소공급장치 기구 및 작동메카니즘은 [그림 47]와 [그림 48]과 같으며, 기구의 작동 원리는 다음과 같음.

- ① 부로워로부터의 공기는 ② 공기압축관에서 공기가 압축된 후 ③ 압축된 공기가 공기유입관을 통해 폭기관 말단에 설치된 산기관을 통하여 분산됨
- ④ 분산된 기포의 부력작용으로 인하여 폭기관 내부에 상승 기류가 발생하고, 폭기관 내의 공기압이 상승하면서 밀폐된 관 내부의 액면이 수조 액면보다 30cm 이상 상승하여 2중 수면 형성
- ⑤ 상승된 기·액 은 4개의 배출관을 통하여 벤추리 효과(Venturi-Effect)에 의하여 표층으로 분사되고, ⑥ 집중폭기관 내·외부의 수압차로 인하여 폭기관 말단 하부 유입공으로 저층수가 자연적으로 펌핑 유입됨
- 이로 인하여 수조 내 저층수에서 표층수까지 순환이 이루어지며 용존산소가 수조 전체로 확산 됨. ⑦ 또한 상승된 기·액 혼합물은 기·액압축관에서 압축되어 상승 공기압에 의해 미세기포로 전환되면서 비 표면적이 확대되어 수조 내 용존산소량의 증가와 더불어 호기성 미생물의 기하급수적인 증식작용과 활성화로 수질정화가 촉진 됨.



[그림 47] 고효율 산소공급장치 일체화 기구



[그림 48] 고효율 산소공급장치 작동 메카니즘

(다) 기존 기술과의 차별성

- 기존의 기술은 다수의 산소공급 튜브와 에어스톤을 이용한 재래적 설비로 용존 산소량(1.5mg/l 이하)이 낮아 혐기화를 초래하고 폭기에 의한 기포 확산으로 수질이 교란되어 배설물 등 부유물질의 상승으로 수질악화를 초래하는 불편함이 있어 이를 해결하고자 고효율 산소공급시스템에 의한 수질정화장치를 개발함.
- 기존기술대비 공기 주입장치, 공기 유입관, 집중 폭기관, 산기장치 및 표면분사 장치의 구성이 one-stop 형태로 구성되어 설비 및 운영관리비를 절감하여 경제적인 수질정화장치를 제공함.
- 본 기술은 축산폐수에 천연적으로 존재하는 호기성 세균을 활성화 하는 기술로서 용존산소를 7.0mg/l 이상 유지시켜 고효율로 정화하는 신기술임.
- 본 축산폐수 정화장치의 특징은 BOD기준으로 12,000mg/l 이상의 축산폐수를 20mg/l 이하로 단기간에 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 뛰어남.
- 축산폐수에 대한 국내의 기술수준은 악취제거기술이 확립되지 못하고 있으며, 따라서 발효 액비에 대해서도 정화장치의 미흡으로 악취에 의한 다량의 민원이 발생하여 이러한 해결을 위해 본 기술은 매우 중요함.
- 소와 돼지 등 국내의 축산업이 비교적 활성화되어 있으나 악취에 의한 민원으로 환경 문제가 되고 있어 이를 해소할 수 있는 기술개발이 절실함.

- 축산지역 대부분은 청정지역으로 환경적 특성을 감안할 때 본 신기술개발 추진은 매우 적절하다고 판단됨.
- 본 기술을 통해 축산폐수의 정화로 제조되는 무취의 생물비료는 작물 재배를 위한 농업에서의 활용도가 클 것으로 판단되며, 따라서 본 기술개발 결과의 부가적 경제 가치는 매우 큼.
- 축산폐수 정화장치의 가동에 소요되는 에너지를 태양추적식 고효율 태양광 발전 시스템으로부터 생산된 전력을 이용하여 축산농가의 에너지비용을 절약할 수 있고, 본 신기술의 산업화 가능성이 매우 큼.

(라) 수질분석 결과에 따른 기존 차돌농장(양돈) 활성오니법과 시제품 신기술의 차별성

본 액비제조용 시제품은 일체형 철골구조물로 특수제작(1.5×1.5×4.0m)하여 실용화를 목적으로 2021.11.01. 강원도 춘천시 신동면 팔미리 차돌농장(양돈)에 설치하여 6개월간의 시범 운전을 거쳐 2022년 07.01부터 2022년 10.31까지 가동하여 수질분석을 하였다.

- ① 본 수질분석은 200톤 원형 정화조에 원수를 투입하여 2022년 7.01 - 7.15까지 14(2주)일간 가동 후 원수, 기존 처리(38℃), 신규 처리(25℃)의 시료를 채취하여 7개 항목에 대한 수질분석을 실시하였으며 용존산소(DO)량은 휴대용 DO METER기로 측정하였다.
- ② pH(수소이온 농도)는 원수(7.4)에 대비하여 유기물의 산화 과정에 의해 알칼리로 변하였고, DO는 공기 중의 DO가 8mg/l에 대하여 원수:0, 기존:1.9, 신규:6.2로 신규 처리장의 DO가 매우 높아 본 기술은 생물학적처리에 매우 효율적으로 판단되었다.
- ③ BOD(생물학적 산소요구량)는 원수:5,410 mg/l, 기존:360 mg/l (제거율:93%) 신규: 193 mg/l(제거율:96%)으로 신규 처리장의 제거율이 높았다.

- ④ COD(화학적 산소요구량)는 기존:8,571 mg/l 신규:2,002 mg/l 기존 처리장은 거의 제거되지 않았으며 신규 처리장의 제거율이 매우 높았다.
- ⑤ SS(부유성 현탁물질)는 기존:14,940 mg/l 신규:260 mg/l로 기존 처리장은 부유물이 높았으며 신규 처리의 제거율이 매우 높게 나타나 본 시제품의 기술성이 뛰어난 증거로 볼 수 있다. 기존 처리장의 경우 폭기 과정에서 와류 형성으로 부상물질이 확산된 것으로 판단된다.
- ⑥ T-N (총질소)는 원수:2,251 mg/l 기존:2,040 mg/l(제거율:9.4%) 신규:321 mg/l (제거율: 86%)로 기존 처리장은 원수에 대비하여 매우 낮은 제거율을 보였으며 신규 처리의 제거율이 매우 높다. 본 공법의 질소 제거율이 뛰어난 증거로 볼 수 있다. 그 원인으로 공기중으로 분사하는 Air-stripping 효과로 판단된다.
- ⑦ NH₃-N (암모니아성 질소)는 원수:51 mg/l 기존:26.5 mg/l(제거율:48%) 신규: 24 mg/l(제거율: 53%)로 기존 처리장은 원수에 대비하여 48%의 제거율을 보였으며 신규 처리장의 제거율은 53%로 다소 높게 나타났다.
- ⑧ T-P(총인)는 기존:493 mg/l 신규:26 mg/l로 기존 처리장은 원수에 대비하여 341mg/l 증가하였으며 신규 처리장의 제거율이 매우 높게 나타났으며 본 시제품의 T-P 제거율이 뛰어난 증거로 볼 수 있다.
- ⑨ 수질분석 결과: 신규 도입기술은 기존기술에 대비하여 DO 공급이 원활하게 이루어져 생물학적 처리기술이 매우 효율적으로 진행되었다. 특히 원수와 대비하여 기존 처리 수의 수질은 황갈색이고, 처리 수의 수질은 흑갈색 무취로 주요 오염물질인 BOD 제거효율이 96%, SS 제거효율이 91%, T-N 제거효율이 86%, T-P 제거효율이 83%로 유기물의 제거효율은 전 항목에 걸쳐 매우 효율적으로 나타났다.

⑩ 양돈 액체 비료(액 비) 성분 검사 결과서

기존 처리장의 액비는(표 1) 함수율(%) 96, 구리(mg/l) 7.4, 아연(mg/l) 29, 염분(%) 0.38, 질소(%) 0.301, 인산(%) 0.023, 칼리(%) 0.972의 결과로 최종 부속 중기에 해당하여 부적합 판정이었다. 그러나 시제품의 액비는(표 2) 함수율(%) 99, 구리(mg/l) 0.46, 아연(mg/l) 3.0, 염분(%) 0.25, 질소(%) 0.097, 인산(%) 0.066, 칼리(%) 0.033의 결과로 최종 부속완료로 적합 판정을 받았다. 대부분 구성성분 함량은 기존 처리 보다 신규 처리의 경우 낮은 결과로 유기물에 대한 오염물질의 제거율과 관련되었다고 판단되며, 액비의 색상은 산화 과정을 거듭하여 황갈색에서 흑갈색으로 변하면 부속완료가 되었다고 육안 판정이 가능하다.

(마) 결론


본 시제품에 의한 회분식 시범 운전에 의한 수질분석은 3 PHASE RING BLOWER(3상 링브로 워, 3KW(공기량 3.4m³/min) 2대에 의한 연속 교대 방식으로 폭기처리를 행하였다. 결론적으로 생물학적 처리기술의 활성오니법으로 처리한 기존 처리 방법은 무엇보다 DO 공급 시스템(2mg/l 이하)이 원활하지 못하여 유기물(기질)에 대한 산화 능력이 부족하여 수질기준에 미달하게 되며 처리 기간이 3개월 이상 장시간 소요된다. 그 원인으로 하상에 장착된 산기장치에 의한 전면 폭기에 의하여 와류가 형성되고 점성이 높은 폐수에 의한 거품발생으로 연속폭기가 불가능하여 간헐폭기를 채택하므로 수질정화에 장시간 소요된다. 그러나 동 생물학적 처리기술의 신기술은 구조적으로 폭기처리와 침전이 동시에 이루어지는 기술의 특징으로 무엇보다 폭기장치가 수면위에 위치하고 있어 거품발생의 문제없이 DO 공급 시스템(6mg/l 이상)이 원활하여 유기물(기질)에 대한 산화 능력이 뛰어나 처리시간에 따라 상징수가 점차 정화되면서 처리 기간을 1개월 이내로 단축할 수 있는 장점이 있다.

[표 8] 활성오니법(기준)과 신기술 처리수 비교 데이터(1회)

수질 측정 기록부								
의뢰인	상호(기관명)	㈜위덕테크			입반현황	시설별	-	
	소재지(주소)	강원도 춘천시 강원대학길 1, 강원대학교 보듬관 701호				종별	-	
	대표자(의뢰인)	-				주 생산품	-	
	환경기술인	-						
의뢰내용	측정용도	참고용						
	대상의 명칭(측정지점)	양돈폐수						
	의뢰 항목	pH 외 6항목						
시료채취	채취용기 및 수량	무균채수병 2 L						
	채취자 의견	특이사항 없음						
	채취일시	2022.07.18	시료 채취자(인수자)		홍 다 정 <i>홍다정</i>			
측정분석방법	측정항목	관련기준	측정분석값			측정분석방법 (기기명)	비고	
			양돈폐수 원수	양돈폐수 기준처리수	양돈폐수 처리수			
	pH	-	-	7.4	8.4	8.6	ES 04306.1b	
	BOD ₅	mg/L	-	5,410.5	359.5	193.1	ES 04305.1c	
	COD _{Mn}	mg/L	-	6,025.0	8,571.4	2,002.0	ES 04315.1b	
	SS	mg/L	-	2,780.0	14,940.0	260.0	ES 04303.1b	
	T-N	mg/L	-	2,251.200	2,040.000	320.800	ES 04363.1a (UV/VIS)	
	NH ₃ -N	mg/L	-	50.5	26.5	24.1	ES 05353.2b (IC)	
	T-P	mg/L	-	151.560	493.440	26.472	ES 04362.1c (UV/VIS)	
	- 이하여백 -							
	분석기간		2022.07.18.-2022.07.25			기술책임자	임 정 하 <i>임정하</i>	
	종합의견							
위와 같이 측정분석 결과를 사실대로 기록함 ※ 본 수질측정기록부는 선전, 소송 및 기타 법적요건으로는 사용할 수 없음 ※ 불검출 : 정량한계(LOQ) 미만 <div style="text-align: right;"> 2022년 07월 26일 상호 : ㈜이엠연구소 소재지 및 : 강원도 춘천시 동내면 대룡산길 80-3 (24408) 연락처 : 033-242-2293 대표자 성명 : 신 민 환 </div>								



[표 9] 활성오니법(기준)과 신기술 처리수 비교 데이터(2회)


수질 측정 기록부								
의뢰인	상호(기관명)	㈜위덕테크			입반현황	시설별	-	
	소재지(주소)	강원도 춘천시 강원대학길 1, 강원대학교 보듬관 701호				종별	-	
	대표자(의뢰인)	-				주 생산품	-	
	환경기술인	-						
의뢰내용	측정용도	참고용						
	대상의 명칭(측정지점)	양돈폐수						
	의뢰 항목	pH 외 6항목						
시료채취	채취용기 및 수량	무균채수병 2 L						
	채취자 의견	특이사항 없음						
	채취일시	2022.07.18	시료 채취자(인수자)		홍 다 정 <i>홍다정</i>			
측정분석방법	측정항목	관련기준	측정분석값			측정분석방법 (기기명)	비고	
			양돈폐수 원수	양돈폐수 기준처리수	양돈폐수 처리수			
	pH	-	-	7.4	8.4	8.6	ES 04306.1b	
	BOD ₅	mg/L	-	5,410.5	359.5	193.1	ES 04305.1c	
	COD _{Mn}	mg/L	-	6,025.0	8,571.4	2,002.0	ES 04315.1b	
	SS	mg/L	-	2,780.0	14,940.0	260.0	ES 04303.1b	
	T-N	mg/L	-	2,251.200	2,040.000	320.800	ES 04363.1a (UV/VIS)	
	NH ₃ -N	mg/L	-	50.5	26.5	24.1	ES 05353.2b (IC)	
	T-P	mg/L	-	151.560	493.440	26.472	ES 04362.1c (UV/VIS)	
	- 이하여백 -							
	분석기간		2022.07.18.-2022.07.25		기술책임자	임 정 하 <i>임정하</i>		
	종합의견							
위와 같이 측정분석 결과를 사실대로 기록함 ※ 본 수질측정기록부는 선전, 소송 및 기타 법적요건으로는 사용할 수 없음 ※ 불검출 : 정량한계(LOQ) 미만								
2022년 07월 26일 상호 : ㈜이엠연구소 소재지 및 : 강원도 춘천시 동내면 대룡산길 80-3 (24408) 연락처 : 033-242-2293 대표자 성명 : 신 민 환								
								

[표 10] 활성오니법(기준)과 신기술 처리수 비교 데이터(3회)


수질 측정 기록부							
의뢰인	상호(기관명)	㈜위터테크			일 반 현 황	시 설 별	-
	소재지(주소)	강원도 춘천시 강원대학길 1, 강원대학교 보듬관 701호				종 별	-
	대표자(의뢰인)	-				주 생산품	-
	환경기술인	-					
의뢰내용	측정용도	참고용					
	대상의 명칭(측정지점)	양돈폐수					
시료채취	의뢰 항목	pH 외 6항목					
	채취용기 및 수량	무균채수병 2 L					
	채취자 의견	특이사항 없음					
측정분석방법	채취일시	2022.08.17	시료 채취자(인수자)		이 가 현 <i>(인)</i>		
	측정항목	관련기준	측정분석값		측정분석방법 (기기명)	비고	
			양돈폐수 기준처리수	양돈폐수 처리수			
	pH	-	-	8.4	7.7	ES 04306.1b	
	EC	µS/cm	-	22.9	18.4	ES 04310.1c	
	BOD ₅	mg/L	-	368.1	144.5	ES 04305.1c	
	COD _{Mn}	mg/L	-	8,399.6	3,044.5	ES 04315.1b	
	SS	mg/L	-	15,380.0	4,020.0	ES 04303.1b	
	T-N	mg/L	-	744.000	482.400	ES 04363.1a (UV/VIS)	
	NO ₃ -N	mg/L	-	불검출	불검출	ES 04361.1a (IC)	
	NH ₃ -N	mg/L	-	불검출	불검출	ES 05353.2b (IC)	
	NO ₂ -N	mg/L	-	0.8	1.8	ES 04354.2a (IC)	
T-P	mg/L	-	450.240	101.136	ES 04362.1c (UV/VIS)		
- 이하여백 -							
분석기간	2022.08.17.-2022.08.29		기술책임자	임 정 하 <i>(인)</i>			
종합의견							
위와 같이 측정분석 결과를 사실대로 기록함 ※ 본 수질측정기록부는 선전, 소송 및 기타 법적요건으로는 사용할 수 없음. ※ 불검출 : 정량한계(LOQ) 미만 2022년 08월 30일 상호 : ㈜이영연구소 소재지 및 : 강원도 춘천시 동내면 대룡산길 80-3 (24408) 연락처 : 033-242-2293 대표자 성명 : 신 민 환							



[표 11] 활성오니법에 의한 기존 차돌농장 액비처리수

퇴비·액비 성분검사 결과서 <액비>					
위탁인	상호 또는 법인명				
	성명	차종원			
	주소	강원도 춘천시 신동면 팔미리 470 기준			
	사업자등록번호/영농조합				
	면적	2,022.9 m ²			
위탁내용	시료종류	<input type="checkbox"/> 가축분퇴비 <input checked="" type="checkbox"/> 가축분뇨발효액			
	축종	<input checked="" type="checkbox"/> 돼지 <input type="checkbox"/> 소·젓소 <input type="checkbox"/> 닭·오리 등 <input type="checkbox"/> 기타			
		시료번호	28		
		접수일자	2022-07-19		
		검사일자	2022-08-03		
	용도				
	분석결과	항목	성적(단위)	적합여부	기준
		부숙도(腐熟度)	부숙중기	부적합	부숙완료
함수율(%)		96	적합	96 - 100%	
구리(mg/kg)		7.4	적합	0 - 70mg/kg	
아연(mg/kg)		29	적합	0 - 170mg/kg	
염분(%)		0.38	적합	0 - 2.0%	
질소(%)		0.301		질소, 인산, 칼리 성분합량 합계 0.3% 이상	
인산(%)		0.023			
칼리(%)		0.972			
<p>* 본 성분검사 결과서는 제출된 시료에 대한 분석결과입니다. 시료채취에 따라 검사 결과는 상이할 수 있습니다. 농촌진흥청 고시 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」 제 10조제1항 또는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령」 제12조의2에 따라 위와 같이 검사결과 결과를 통보합니다.</p> <p style="text-align: right;">2022 년 08 월 04 일</p> <p>분석기관 : 춘천시농업기술센터소장 발급기관 : 춘천시농업기술센터소장 </p>					

[표 12] 신기술에 의한 (주)위터테크 액비 처리수

퇴비·액비 성분검사 결과서 <액비>				
위탁인	상호 또는 법인명			
	성명	차종원		
	주소	강원도 춘천시 신동면 팔미리 470 신		
	사업자등록번호/생년월일			
	면적	2,022.9 m ²		
위탁내용	시료종류	<input type="checkbox"/> 가축분퇴비 <input checked="" type="checkbox"/> 가축분뇨발효액 <input checked="" type="checkbox"/> 퇴지		
	축종	<input type="checkbox"/> 소·젓소		
		<input type="checkbox"/> 닭·오리 등		
		<input type="checkbox"/> 기타		
	시료번호	27		
	접수일자	2022-07-19		
	검사일자	2022-08-03		
용도				
분석결과	항목	성적(단위)	적합여부	기준
	부숙도(腐熟度)	부숙완료	적합	부숙완료
	함수율(%)	99	적합	95 - 100%
	구리(mg/kg)	0.46	적합	0 - 70mg/kg
	이연(mg/kg)	3.0	적합	0 - 170mg/kg
	염분(%)	0.25	적합	0 - 2.0%
	질소(%)	0.097		질소, 인산, 칼리 성분합량 합계 0.3% 이상
	인산(%)	0.066		
	칼리(%)	0.133		
<p>※ 본 성분검사 결과서는 제출된 시료에 대한 분석결과입니다. 시료채취에 따라 검사 결과는 상이할 수 있습니다. 농촌진흥청 고시 「비료의 품질검사방법 및 시료채취기준」 제 10조제1항 또는 「가축분뇨의 관리 및 이용에 관한 법률 시행령」 제12조의2에 따라 위와 같이 검사성적 결과를 통보합니다.</p> <p style="text-align: right;">2022 년 08 월 04 일</p> <p>분석기관 : 춘천시농업기술센터소장 발급기관 : 춘천시농업기술센터소장 </p>				

(2) 시제품 제작과정

㉠ 일체형을 위한 기체 액체 압축관 부착



㉡ 측면 하부 분사공 및 거품제거용 홀 설비



㉢ 하부프레임에 흡입구 부착



㉣ 정4각형 구조물 설비



㉤ 상부에 프레임 설비



㉦ 일체형 정화장치 제작 완료



(가) 시제품 크레인 시공(상부 공기배관 조립)



[그림 49] 200톤 정화조 시제품 투입(1.5×1.5×4.5m), 강원 춘천시 차돌 농장: 수직 파이프형 밀폐식 폭기장치 시공 장면

(나) 200톤 원형 정화조내 정화장치 크레인 안착



[그림 50] 200톤 정화조 시제품 시공 장면

(다) 일체형 폭기장치 가동 장면



[그림 51] 200톤 정화조 시제품 가동 장면

- 고효율 산소공급시스템에 의한 양돈폐수정화 및 액비화 장치 기술 주요 제원

NO	적 요	규 격	단 위	수량	기 타
1	수조 용량(기준)	수량 200	m ³	1	원형수조
2	제 원	1.5×1.5×4.5	m	1	정화장치
3	부로워(blower)	3.0	kw	1	송풍기
4	부로워 공기량	3.4	m ³ /min		
5	폭기관 및 기·액압축관	120	mm	1	파이프
6	공기압축관	80	mm	1	파이프
7	산기용 공기관	25	mm	4	파이프
8	토출용 배출관	80	mm	4	파이프
9	산기관 타공	30	mm	8	자가 가공
10	토출(배출) 높이	4500	mm	4	수면기준
11	물 순환량 (펌핑유량)	5-6	m ³ /min		15분/회
12	미세기포 순환량	5-6	m ³ /min		15분/회

(3) 관련산업 파급효과

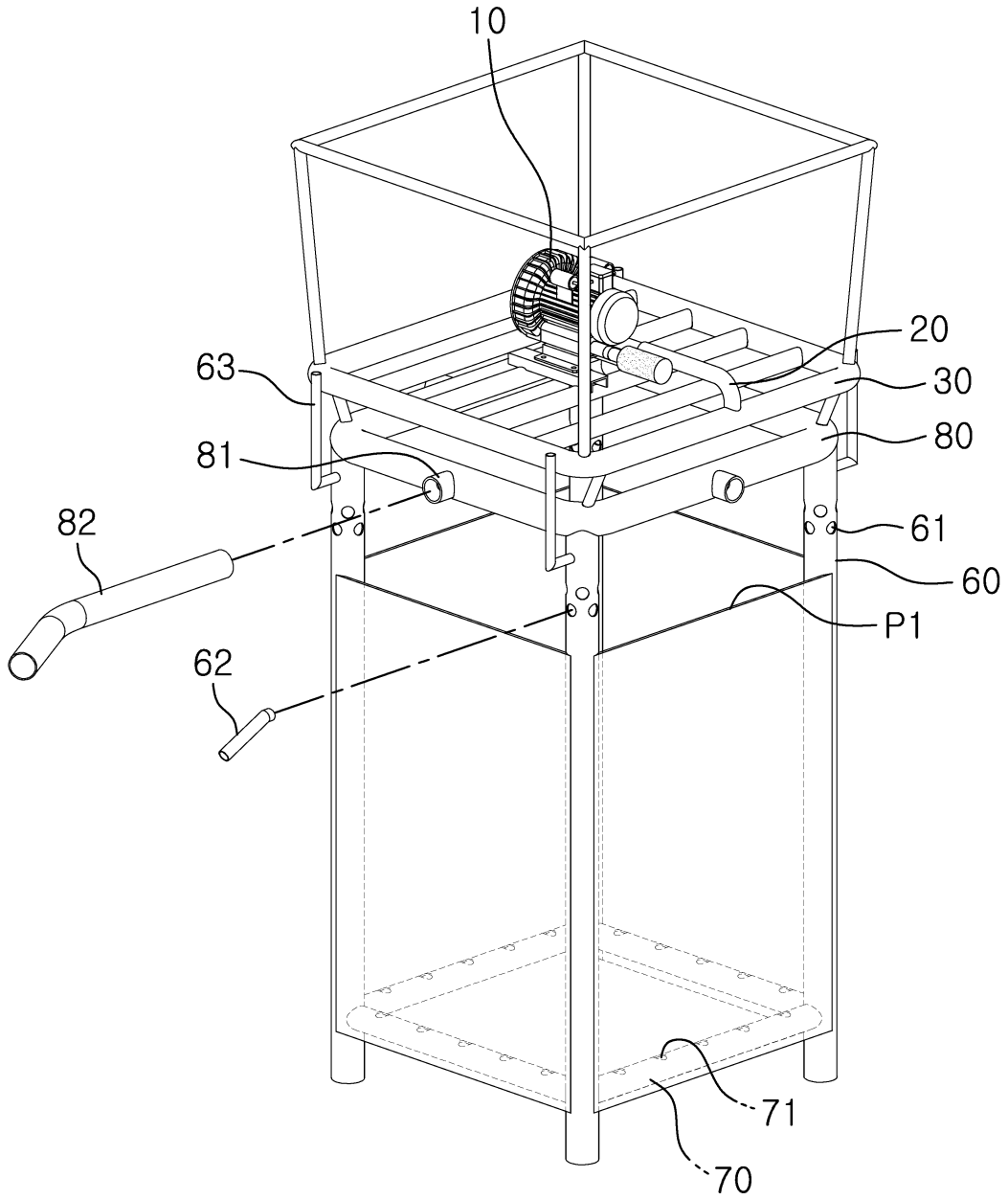
- 축산농가의 축산폐수에 의한 근린 지역 악취발생 민원 해결 가능
- 구제역 및 AI에 의한 매설지로부터 발생하는 악취의 해결
- 해양투기 금지법 발효에 따른 축산농가의 축산폐수 처리 문제 고충 해결 가능
- 축산업 전반에 본 기술개발품의 보급 활성화가 기대됨
- 축산분뇨 악취 저감 트 폭기 정화장치에 의해 처리 후 액비로 이용 가능 하여
본 기술개발의 부가적 이익 창출이 가능
- 본 기술개발을 통한 개발제품의 성능 향상으로 국내 축산업계에 이바지

(4) 특허출원도면(다기능 수질정화장치)

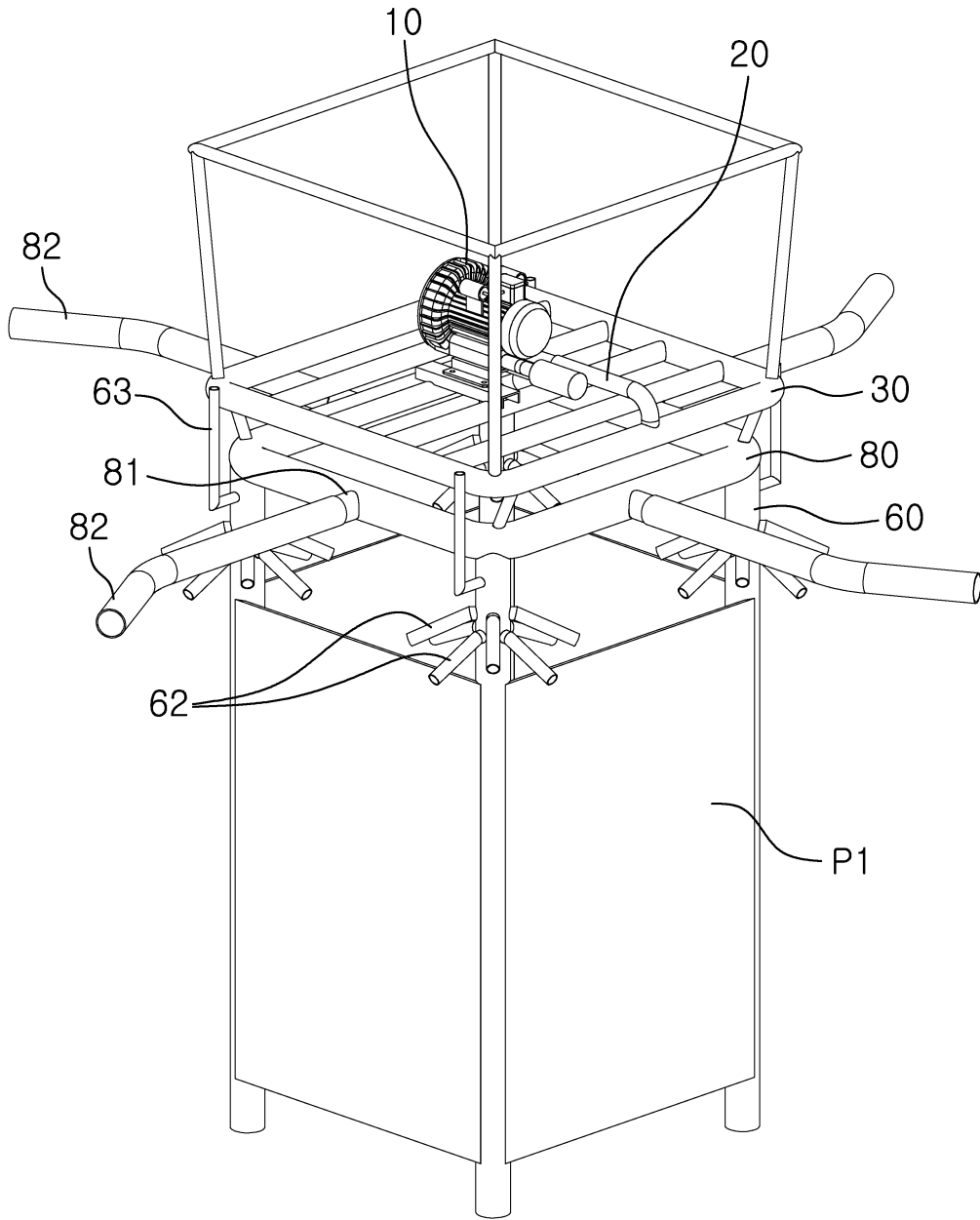
【부호의 설명】

- | | |
|-------------|-------------|
| 10: 블로워 | 20: 공기유입관 |
| 30: 공기압축관 | 40: 공기유도관 |
| 50: 디퓨저 | 60: 집중폭기관 |
| 61: 분출홀 | 62: 배출관 |
| 63: 응집제 투입관 | 64: 모터 |
| 64a: 선회날개 | 70: 하폐수 유입관 |
| 71: 유입홀 | 80: 기액압축관 |
| 81: 토출구 | 82: 연장관 |
| 90: 여과재 | P1: 벽체패널 |
| P2: 바닥패널 | |

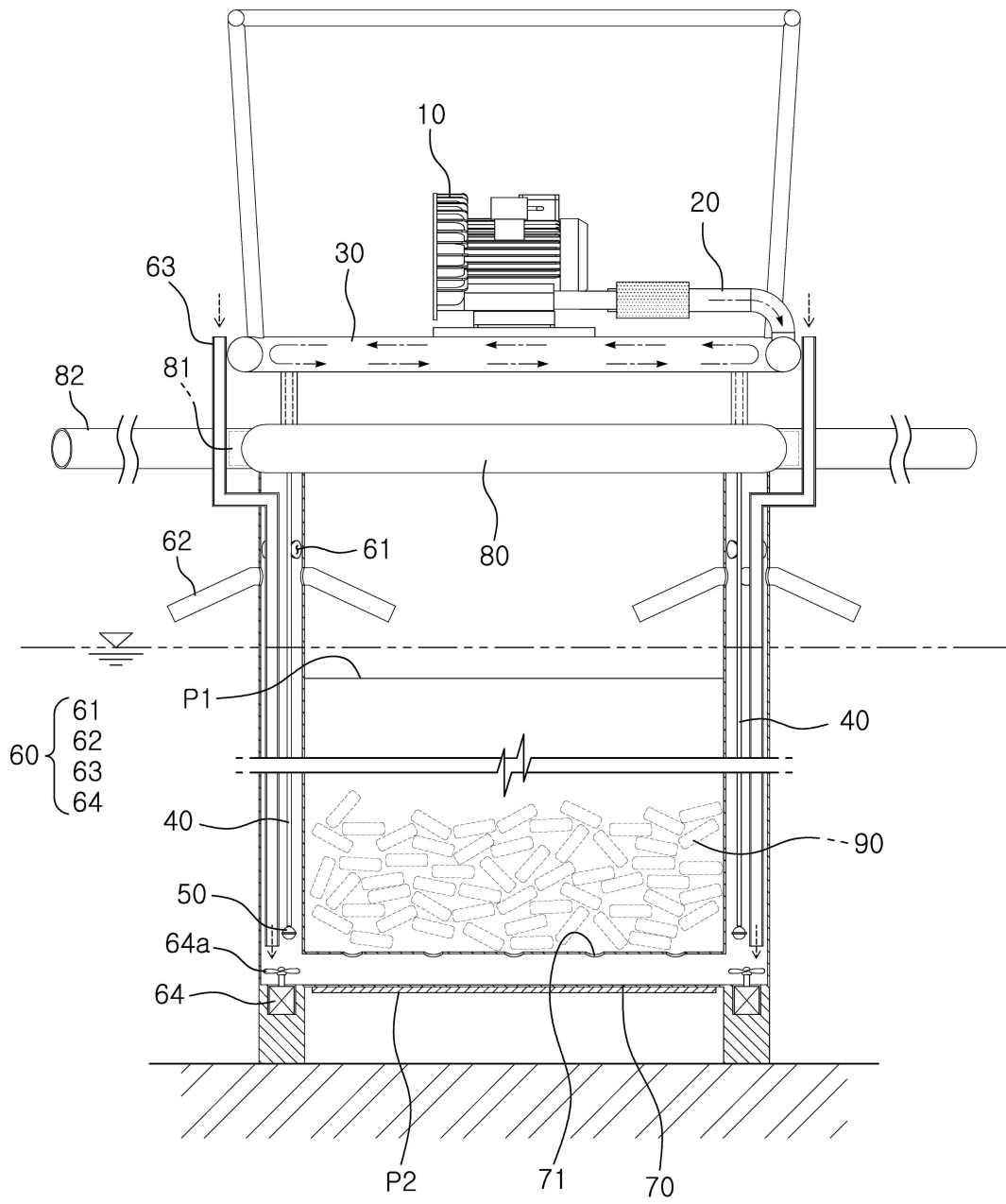
【도면】



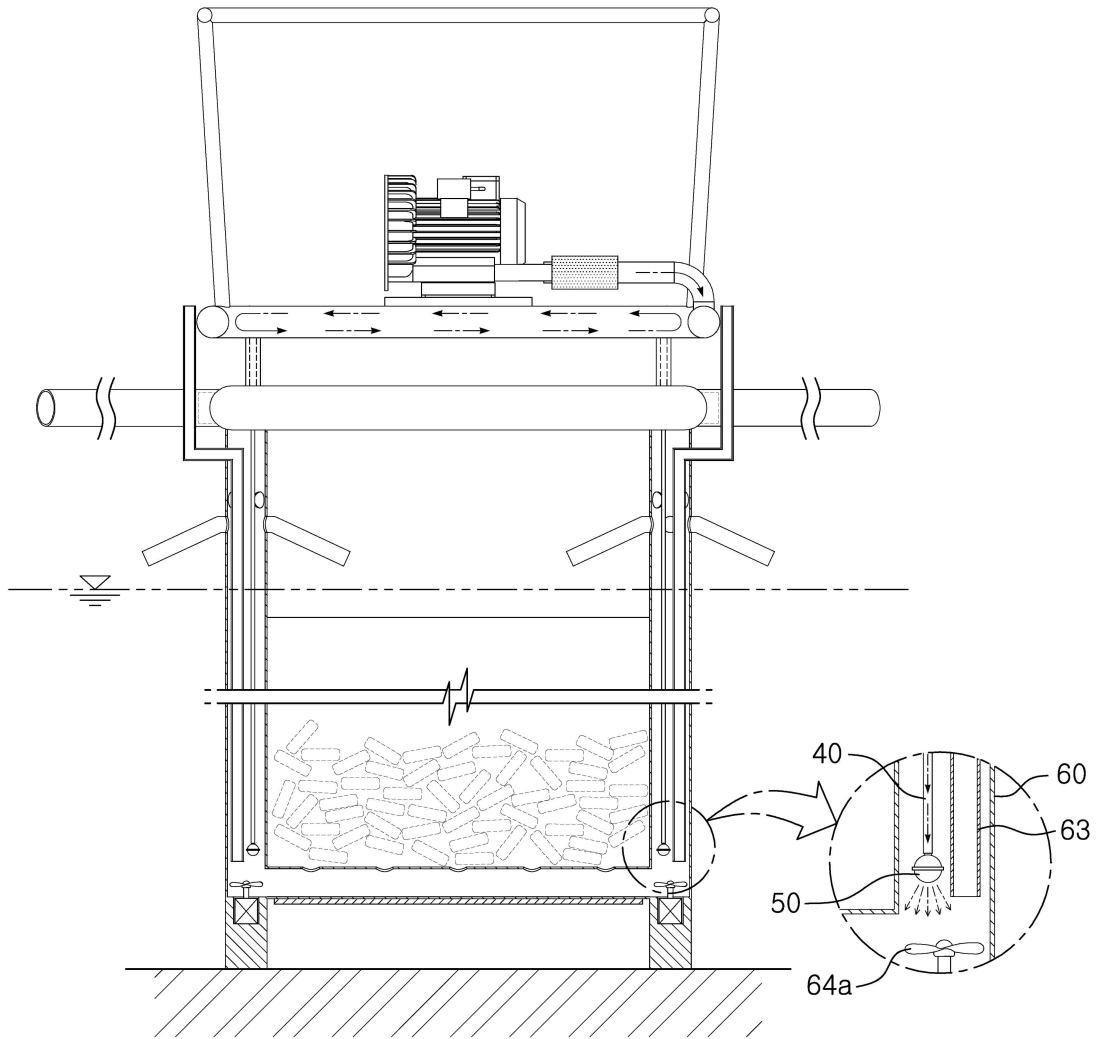
[그림 52] 다기능 수질정화장치 【도 1】



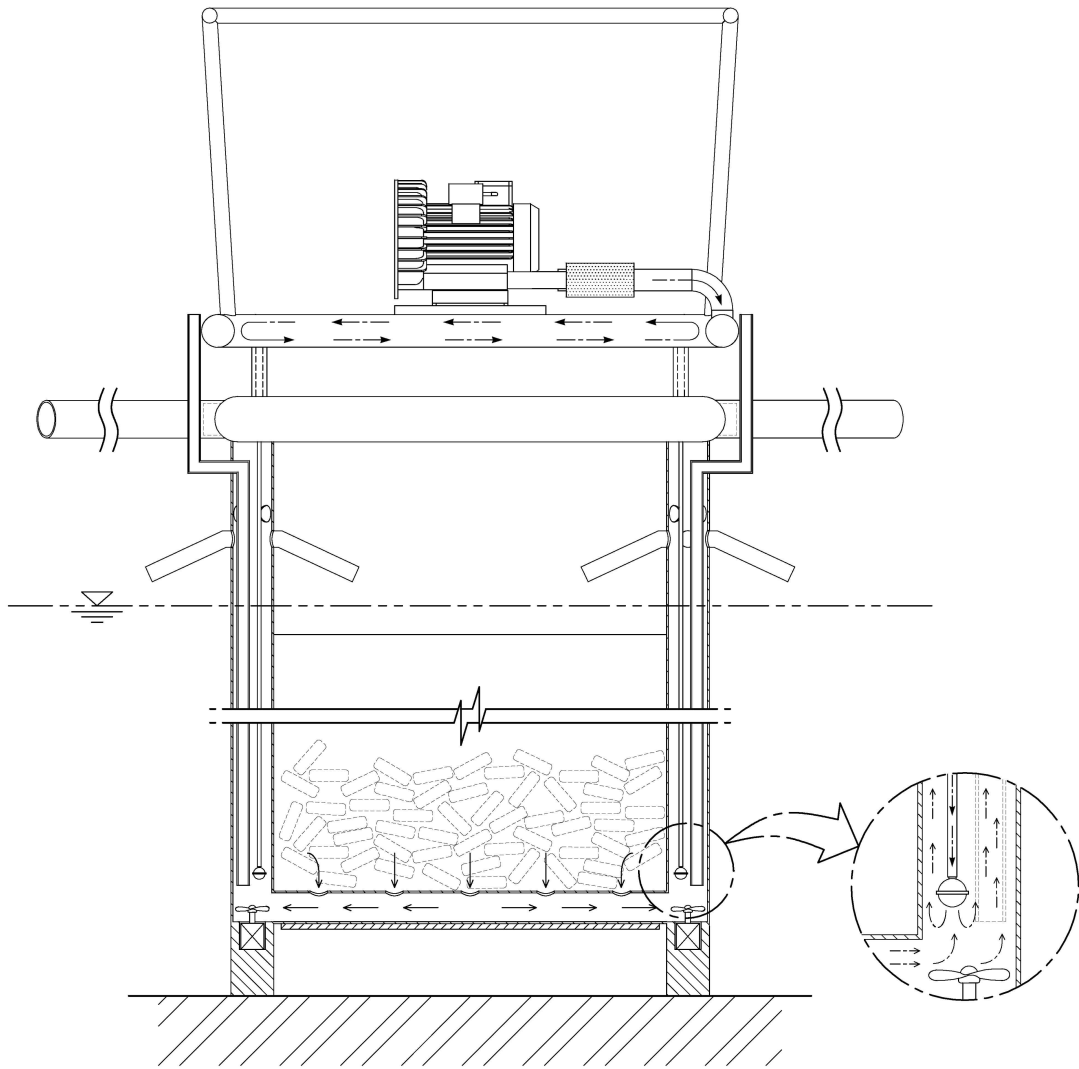
[그림 53] 다기능 수질정화장치 【도 2】



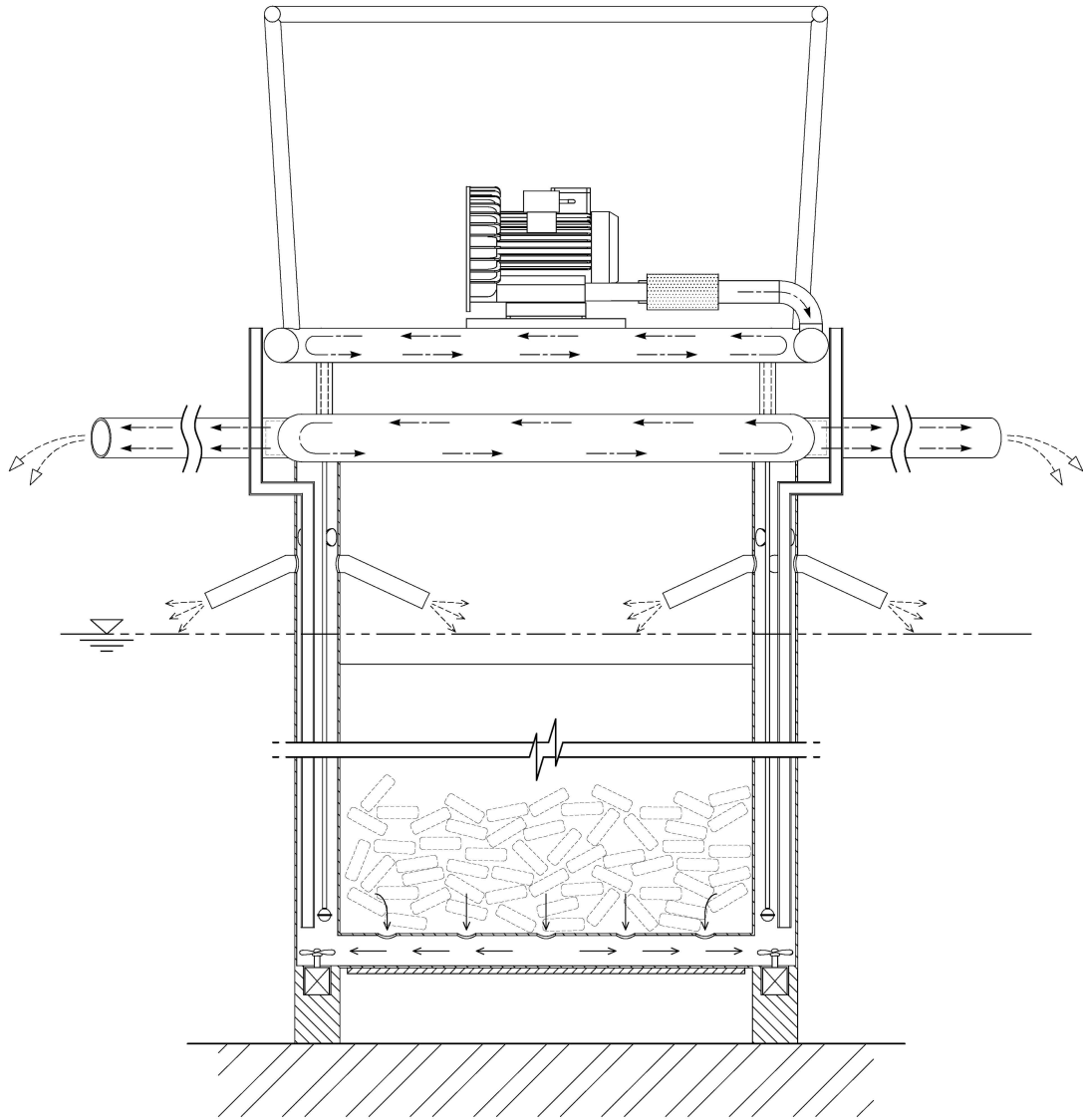
[그림 54] 다기능 수질정화장치 【도 3】



[그림 55] 다기능 수질정화장치 【도 4】



[그림 56] 다기능 수질정화장치 【도 5】



[그림 57] 다기능 수질정화장치 【도 6】

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

가. 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

- 흡수관 열매체 순환 유로 설계 및 분석 도출 구현
 - 태양열 집광시스템 개발 및 집열 성능 도출 구현
 - 자동 환경조절용 스마트 폭기장치 시스템 설계치 구현
 - 양돈장 시제품 폭기장치 시스템 구축 및 설비
 - 양돈장 시제품 폭기장치 시스템 성능 실험 및 분석
-

(2) 정량적 연구개발성과

- 특허출원(목표; 2건): 특허출원 4건을 완료하여 성과목표를 200% 달성하였음
 - 특허등록(목표; 1건): 특허등록 3건을 완료하여 성과목표를 300% 달성하였음
 - SCI급 논문(목표; 1건): 국제학술지(SCI급) 논문 10편을 발표하여, 성과목표를 1,000% 달성하였음
 - 비 SCI급 논문(목표; 1건): SCOPE급 논문 1편을 발표하여 성과목표를 100% 달성하였음
 - 학술발표(목표; 3건): 국내 학술발표 10건을 완료하여 성과목표를 330% 달성하였음
 - 제품화(목표; 1건): 시제품(가축분뇨 액비처리장치) 1기를 제작하여 성과목표를 100% 달성하였음
 - 매출액(목표; 50백만원): 매출액 55백만원을 달성하여 성과목표를 100% 달성하였음
 - 고용창출(목표; 3건): 고용창출 5건을 완료하여 성과목표를 170% 달성하였음
 - 인력양성(목표; 2건): 2명의 석사를 배출하여 성과목표를 100% 달성하였음
 - 홍보전시(목표; 2건): 홍보전시 2건을 완료하여 성과목표를 100% 달성하였음
 - 타 연구활용(목표; 1건): 타 연구과제 1건을 수주하여 성과목표를 100% 달성하였음
-

< 정량적 연구개발성과표 >

(단위 : 건, 천원)

성과지표명		연도	1단계 (2021~2022)	2단계 (2023~2023)	계	가중치 (%)
전담기관 등록·기탁 지표 ¹⁾	특허출원	목표(단계별)	1	1	2	10
		실적(누적)	4		4	10
	특허등록	목표(단계별)		1	1	10
		실적(누적)		3	3	10
	SCI 논문	목표(단계별)		1	1	
		실적(누적)	6	4	10	
	비 SCI논문	목표(단계별)	1		1	
		실적(누적)		1	1	
	학술발표	목표(단계별)	2	1	3	15
		실적(누적)	5	5	10	15
연구개발과제 특성 반영 지표 ²⁾	제품화	목표(단계별)		1	1	10
		실적(누적)	1		1	10
	매출액	목표(단계별)		50	50	10
		실적(누적)		55	55	10
	고용창출	목표(단계별)	2	1	3	10
		실적(누적)	4	1	5	10
	기술인증	목표(단계별)		1	1	10
		실적(누적)				0
	인력양성	목표(단계별)	1	1	2	20
		실적(누적)	2		2	20
	홍보전시	목표(단계별)	1	1	2	
		실적(누적)	2		2	
	기타(타 활용)	목표(단계별)	1		1	5
		실적(누적)	1		1	5
계			9	10	19	100
			25	15	40	90

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	Comprehensive Performance Characterization of a Nanofluid - Powered Dual-Fluid PV/T System under Outdoor Steady State Conditions	Sustainability	Muhammad Imtiaz Hussain	13(23)	Switzerland	MDPI	SCIE	2021.11.26	2071-1050	50
2	Effects of Nanofluids in Improving the Efficiency of the Conical Concentrator System	Energies	Gwi Hyun Lee	15(1)	Switzerland	MDPI	SCIE	2021.12.21	1996-1073	100
3	Thermo-Economic Performance Evaluation of a Conical Solar Concentrating System Using Coil-Based Absorber	Energies	Gwi Hyun Lee	15(9)	Switzerland	MDPI	SCIE	2022.05.05	1996-1073	100
4	Analysis of Particle Size and Concentration in Die Sinking Electric Discharge Machining	Materials	Gwi Hyun Lee	15(14)	Switzerland	MDPI	SCIE	2022.07.15	1996-1944	100
5	Machine Learning-Based Relative Performance Analysis of Monocrystalline and Polycrystalline Grid-Tied PV Systems	International Journal of Photoenergy	Gwi Hyun Lee	2022(0)	United Kingdom	Hindawi Publishing Corporation	SCIE	2022.08.12	1110-662X	100
6	Investigation of dust pollutants and the impact of suspended particulate matter on the performance of photovoltaic systems	Frontiers in Energy Research	Gwi Hyun Lee	10(0)	Switzerland	Frontiers Media S.A.	SCIE	2022.10.10	2296-598X	50
7	Effects of the Glass Cover Absorber for Conical Solar Concentrator on the Thermal Collecting Efficiency	Journal of Biosystems Engineering	Gwi Hyun Lee	47(4)	Korea	Springer	비SCIE (SCOPUS)	2023.01	1738-1266	100
8	Experimental study on impact of high voltage power transmission lines on silicon photovoltaics using artificial neural network	Frontiers in Energy Research	Gwi Hyun Lee	11(0)	Switzerland	Frontiers Media S.A.	SCIE	2023. 11	2296-598X	50
9	Optimal sizing and technical assessment of a hybrid renewable energy solution for off-grid community center power	Frontiers in Energy Research	Gwi Hyun Lee	11(0)	Switzerland	Frontiers Media S.A.	SCIE	2023. 12	2296-598X	50
10	Modeling and optimization of impinging jet pressure using artificial intelligence	Alexandria Engineering Journal	Gwi Hyun Lee	87(0)	Netherlands	Elsevier	SCIE	2024. 01	2090-2670	50
11	Empirical and numerical-based predictive analysis of a single-axis PV system under semi-arid climate conditions of Pakistan	Frontiers in Energy Research	Gwi Hyun Lee	11(0)	Switzerland	Frontiers Media S.A.	SCIE	2024. 02	2296-598X	50

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	2021년 주계 공동 학술대회	조재민, 이귀현.	2021. 10. 27	소노벨 제주	대한민국
2	2021년 주계 공동 학술대회	Alsalamé Haedr Abdalha Mahmood, M. Imtiaz Hussain, Gwi Hyun Lee	2021. 10. 27	소노벨 제주	대한민국
3	2021년 주계 공동 학술대회	M. Imtiaz Hussain, Alsalamé Haedr Abdalha Mahmood, Gwi Hyun Lee	2021. 10. 27	소노벨 제주	대한민국
4	2022년 주계 공동 학술대회	Alsalamé Haedr Abdalha Mahmood, Gwi Hyun Lee	2022. 11. 02	대구 EXCO 컨벤션센터	대한민국
5	2022년 주계 공동 학술대회	M. Imtiaz Hussain, Gwi Hyun Lee	2022. 11. 02	대구 EXCO 컨벤션센터	대한민국
6	2023년 준계 학술대회	Haeder Abdalha Mahmood Alsalamé, Gwi Hyun Lee	2023. 4. 27	KT대전인재개발원	대한민국
7	2023년 준계 학술대회	Kyeong Sik Kang, Gwi Hyun Lee	2023. 4. 27	KT대전인재개발원	대한민국
8	2023년 주계 학술대회	HAM Alsalamé, Gwi Hyun Lee	2023. 11. 2	여수 히든베이 호텔	대한민국
9	2023년 주계 학술대회	Kyeong Sik Kang, Gwi Hyun Lee	2023. 11. 2	여수 히든베이 호텔	대한민국
10	2023년 주계 학술대회	M. Imtiaz Hussain, Gwi Hyun Lee	2023. 11. 2	여수 히든베이 호텔	대한민국

□ 기술 요약 정보

연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용여부	허용방식

□ 보고서 원문

연도	보고서 구분	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

지식재산권(특허)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원				등록			기여율	활용 여부
			출원인	출원일	출원 번호	등록 번호	등록인	등록일	등록 번호		
1	다기능 수질정화장치	대한 민국	(주)위터테크	2022.11. 11	10-2022- 0150809					100	✓
2	제 32류 먹는 샘물등 10건	대한 민국	(주)위터테크	2022.06. 23	40-2022- 0116853		심재도	2024. 02.06	40- 2151114	100	✓
3	제 32류 먹는 샘물등 10건	대한 민국	(주)위터테크	2022.06. 23	40-2022- 0116854		심재도	2024. 02.06	40- 2151115	100	✓
4	제 32류 먹는 샘물등 10건	대한 민국	(주)위터테크	2022.06. 23	40-2022- 0116855		심재도	2024. 02.06	40- 2151116	100	✓

○ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 ✓ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 ✓ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	기타
1	✓									
2			✓							
3			✓							
4			✓							

저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록 번호	저작권자명	기여율

신기술 지정

번호	명칭	출원일	고시일	보호 기간	지정 번호

기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증 기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증 번호		

□ 표준화

○ 국내표준

번호	인증구분 ¹	인증어부 ²	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류 ³	제안/인증일자

○ 국제표준

번호	표준화단계구분 ¹	표준명	표준기구명 ²	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식 ³	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작 업체명	설치 장소	이용 분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)
1	가축분뇨 액비처리장치	2021.11.10	동신공업사	차돌농장	가축분뇨 액비화	3월		

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황

□ 사업화 투자실적

번호	추가 연구개발 투자	설비 투자	기타 투자	합계	투자 자금 성격*

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식 ¹	사업화 형태 ²	지역 ³	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		

□ 매출 실적(누적)

사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
		국내(천원)	국외(달러)		
양계장 폐수처리	2023	55,000		55,000	
합계		55,000		55,000	

□ 사업화 계획 및 무역 수치 개선 효과

성과		친환경 축산폐수 처리장치			
사업화 계획	사업화 소요기간(년)	5			
	소요예산(천원)	1,000,000			
	예상 매출규모(천원)	현재까지	3년 후	5년 후	
		55,000	400,000	800,000	
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	1%	5%	10%
국외					
향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		고효율 폭기장치			
무역 수치 개선 효과(천원)	수입대체(내수)	현재	3년 후	5년 후	
		20,000	100,000	300,000	
	수출	0	50,000	100,000	

□ 고용 창출

순번	사업화명	사업화 업체	고용창출 인원(명)			합계
			2021년	2022년	2023년	
1	청년채용	(주)위터테크	1	1		2
2	연구원	강원대학교 산학협력단	1	1	1	3
합계			2	2	1	5

□ 고용 효과

구분		고용 효과(명)	
고용 효과	개발 전	연구인력	2
		생산인력	2
	개발 후	연구인력	5
		생산인력	4

비용 절감(누적)

순번	사업화명	발생연도	산정 방법	비용 절감액(천원)
합계				

경제적 파급 효과

(단위: 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수)	기타
해당 연도	청년채용 (학위취득)					5 (2)	
기대 목표							

산업 지원(기술지도)

순번	내용	기간	참석 대상	장소	인원

기술 무역

(단위: 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	기 징수액	총 계약액	해당 연도 징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

전문 연구 인력 양성

번호	분류	기준 연도	현황										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타
1		2021 2022		2			2						2

산업 기술 인력 양성

번호	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비
1	과학기술정보통신부	기본연구	태양에너지를 이용한 고 효율의 에너지 절약 형 온실 난방 시스템 개발	이귀현	156,901천원

국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	팜플렛	다해디엔피	팜플렛 제작	2021.01.01
2	홈페이지 제작	㈜아이디코리아	도메인 등록 및 홈페이지 개설	2022.02.17.~2027.02.16

포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설·장비

구축기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여 부 (○/×)	연구시설·장비 종합정보시스템 * 등록여부	연구시설·장비 종합정보시스템 * 등록번호	구축일자 (YY.MM.D D)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성합니다)

- 해당 없음

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성합니다)

- 해당 없음

첨부

✓. 논문(국외 전문학술지 게재(SCIE): 10건, 국내 전문학술지 게재(SCOPUS): 1건
<국외 전문학술지 1>



Article

A Comprehensive Performance Characterization of a Nanofluid-Powered Dual-Fluid PV/T System under Outdoor Steady State Conditions

Muhammad Imtiaz Hussain ^{1,2}, Gwi-Hyun Lee ³ and Jun-Tae Kim ^{4,*}

¹ Green Energy Technology Research Center, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea; imtiaz@kangwon.ac.kr

² Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

³ Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea; ghlee@kangwon.ac.kr

⁴ Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea

* Correspondence: jtkim@kongju.ac.kr; Tel.: +82-41-521-9333

Abstract This paper discusses the effectiveness of simultaneous use of CuO nanofluid and air as a dual-fluid coolant for the thermal management of a photovoltaic/thermal (PV/T) system. Outdoor experimental studies were performed to calculate the discrepancies between indoor and outdoor test findings. The thermal efficiency and the electrical characteristics of the dual-fluid PV/T system were investigated under steady-state test conditions following ISO standards. It was found that the divergence in electrical efficiency between indoor and outdoor-based PV/T testing was significantly higher, while the difference in thermal efficiencies was marginal. It was observed that nanofluid/air, even at the lowest flow rates, outclassed the water/air coolant at higher flow rates in terms of PV/T energy output, which also ultimately helps in reducing the energy requirement for pumping. Unlike conventional solar air heaters, the proposed dual-fluid PV/T system produces a high air temperature when operated with only air at stagnant nanofluid. The maximum PV/T efficiency of approximately 85% was recorded when the nanofluid and air flows were kept at 0.02 kg/s and 0.04 kg/s, respectively. It is concluded that outdoor steady state testing provides comprehensive performance characterization of the nanofluid powered dual-fluid coolant for the PV/T system.

Keywords: nanofluid-powered dual-fluid; PV/T system; indoor and outdoor testing; comparative study



Citation: Hussain, M.I.; Lee, G.-H.; Kim, J.-T. A Comprehensive Performance Characterization of a Nanofluid-Powered Dual-Fluid PV/T System under Outdoor Steady State Conditions. *Sustainability* **2021**, *13*, 13134. <https://doi.org/10.3390/su132313134>

Academic Editor: Paris Fokaides

Received: 5 November 2021

Accepted: 25 November 2021

Published: 26 November 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Solar energy has proven to be an attractive renewable energy source in the context of meeting global sustainability goals and reducing greenhouse gas emissions. It is the most mature technology compared to other renewable technologies when considering both heat and electricity. Solar power has potential to supply nearly 55% of global energy demand. Over the last decade, photovoltaic (PV) technology has become the most popular renewable. The only major concern is its dependency on temperature, as a 1 °C increment in temperature causes a reduction in efficiency of 0.5% [1]. This overheating problem can be overcome by integrating a heat exchanger with the PV module. This approach has led to the development of photovoltaic/thermal (PV/T) technology. The primary purpose of a PV/T system is to generate electricity by controlling the PV temperature, and the secondary purpose is to produce heat. Due to simultaneous production of heat and electricity, the PV/T system offers significantly enhanced energy efficiency compared to conventional solar collectors.

For high-performance energy efficiency of the PV/T system, the heat transfer fluids play an extremely important role. Conventional coolants such as water and air limit the PV/T systems to the low temperature applications. To cope with this problem, the introduction of nanofluids for the solar thermal applications opened up new horizons

5. Conclusions

In order to evaluate the potential benefits of CuO nanofluid and air as a dual-fluid coolant for the PV/T system, an outdoor steady state testing method was adapted. The measure of discrepancies between the outdoor and indoor test results were calculated by comparing the identical dual-fluid PV/T systems under similar operational conditions. Different modes of fluid operations were investigated including, nanofluid/air, water/air, nanofluid, water, and air. Compared to conventional fluids such as water/air or either one, the nanofluid/air showed a significant improvement in the thermal performance of the PV/T system. The maximum primary energy savings efficiency of the PV/T system using nanofluid/air and water/air was 91.6% and 85.4%, respectively. During simultaneous mode of fluid operation, even at the lowest flow rates of 0.008 kg/s for nanofluid and 0.01 kg/s for the air, the overall efficiency of the PV/T system was almost twice higher than that of an air-based only PV/T system. The electrical efficiency from the outdoor based PV/T testing was almost four times higher than that of indoor based testing. Discrepancies in the electrical efficiency calculated with indoor and outdoor-based testing would be helpful to the researchers for estimating the exact performance of the PV/T system. Furthermore, for a dual-fluid PV/T system, when only air is utilized at stagnant nanofluid or water, the trapped liquid-fluid in the copper tubes nanofluid in particular acts as a heat booster, and starts supplementing additional heat to the circulating air, which ultimately results in high air temperature, unlike the case of a conventional solar air heater. High accuracy heating/cooling units to control both the temperatures of both fluids, an electromagnetic flow meter for precise flow control, and triple-calibrated instruments would guarantee the authenticity of the results. The nanofluid powered dual-fluid PV/T system has energy advantages, and could be a valuable solution for buildings having a high ratio of energy demand to limited surface area.

Author Contributions: Conceptualization, M.L.H.; methodology, M.L.H.; formal analysis, M.L.H.; investigation, M.L.H.; resources, J.-T.K.; data curation, M.L.H.; writing—original draft preparation, M.L.H.; writing—review and editing, J.-T.K. and G.-H.L.; visualization, J.-T.K. and G.-H.L.; supervision, J.-T.K.; project administration, J.-T.K.; funding acquisition, J.-T.K. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) and the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE) of the Republic of Korea (No. 20188550000480); Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

Nomenclature

\dot{m}	mass flow rate (kg/s)
c_f	specific heat of the fluid (J/kg °C)
c_a	specific heat of air (J/kg °C)
c_n	specific heat of nanofluid (J/kg °C)
T_i	fluid inlet temperature (°C)
T_{out}	fluid outlet temperature (°C)
$T_{a,i}$	air inlet temperature (°C)
$T_{a,o}$	air outlet temperature (°C)
$T_{n,i}$	nanofluid inlet temperature (°C)

Article

Effects of Nanofluids in Improving the Efficiency of the Conical Concentrator System

Alsalamé Haedr Abdalha Mahmood ¹, Muhammad Imtiaz Hussain ^{2,3} and Gwi-Hyun Lee ^{4,*}

¹ Department of Biosystems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea; salami.hayder@gmail.com

² Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea; imtiaz@kangwon.ac.kr

³ Green Energy Technology Research Center, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea

⁴ Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

* Correspondence: ghlee@kangwon.ac.kr; Tel.: +82-033-250-6495



Citation: Abdalha Mahmood, A.H.; Hussain, M.I.; Lee, G.-H. Effects of Nanofluids in Improving the Efficiency of the Conical Concentrator System. *Energies* **2022**, *15*, 28. <https://doi.org/10.3390/en15010028>

Academic Editors: Dawei Liang and Changming Zhao

Received: 26 November 2021

Accepted: 20 December 2021

Published: 21 December 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Fossil fuels are being depleted, resulting in increasing environmental pollution due to greenhouse gases and, consequently, emerging detrimental environmental problems. Therefore, renewable energy is becoming more important; hence, significant research is in progress to increase efficient uses of solar energy. In this paper, the thermal performance of a conical concentrating system with different heat transfer fluids at varied flow rates was studied. The conical-shaped concentrator reflects the incoming solar radiation onto the absorber surface, which is located at the focal axis, where the collected heat is transported through heating mediums or heat transfer fluids. Distilled water and nanofluids (Al_2O_3 , CuO) were used in this study as the heat transfer fluids and were circulated through the absorber and the heat storage tank in a closed loop by a pump to absorb the solar radiation. The efficiency of the conical concentrating system was measured during solar noon hours under a clear sky. The collector efficiency was analyzed at different flow rates of 2, 4, and 6 L/min. The thermal efficiency, calculated using different heat transfer fluids, were 72.5% for Al_2O_3 , 65% for CuO, and 62.8% for distilled water. Comparing the thermal efficiency at different flow rates, Al_2O_3 at 6 L/min, CuO at 6 L/min, and distilled water at 4 L/min showed high efficiencies; these results indicate that the Al_2O_3 nanofluid is the better choice for use as a heating medium for practical applications.

Keywords: nanofluid; conical concentrator system; performance comparison; thermal efficiency

1. Introduction

Recent progressive development of modern technology continues to increase human energy demand. Referring to the energy consumption for domestic use, the proportion of fossil fuels used, such as oil (44%), coal (29%), natural gas (14%), and nuclear power (11%), being very high, and the contribution of new and renewable energies at only 2% [1]. Accordingly, serious environmental pollution problems are emerging; thus, the need for research and development of new and renewable energy is increasing, leading to increasing investment in this sector worldwide. Moreover, the Korean government has established facilitators for renewable energy and clean technologies, such as the Renewable Energy 3020 Plan [2], the power generation gap support system (Feed-in Tariff—FIT), and the renewable energy portfolio standard (RPS); these are indeed strengthening supports for development and distribution projects.

Among the new and renewable energies, solar energy is considered as a useful energy source in our daily life as it has no environmental pollution and is available in abundance [3]. Available solar energy utilization technologies convert sunlight to direct electricity and heat. In particular, solar heat can be used in various fields and has excellent economic benefits [4,5]. However, due to low energy density, it is difficult to use solar energy

4. Conclusions

In this study, we analyzed the thermal efficiency of a conical solar collector using nanofluids and conventional fluids. Considering different heat transfer fluids at variable flow rates, the heat collection efficiency for the Al_2O_3 nanofluid at flow rates of 2, 4, and 6 L./min were found to be 65.6%, 67.8%, and 72.5%, respectively; whereas, the CuO nanofluid and the distilled water showed lower efficiencies under similar applied conditions.

Compared with the distilled water, the higher efficiency in the cases of the Al_2O_3 and CuO nanofluids can be explained by their superior thermo-physical properties, which help to extract the extra heat accumulated at the absorber surface. Furthermore, distilled water showed marginal changes in efficiency at all the flow rates from 4 to 6 L./min; therefore, it is clear that the distilled water had the lowest thermal conductivity compared with the nanofluids. Moreover, it was deduced that all the heat accumulated in the absorber was not well recovered by the distilled water, even at high flow rate.

This study was focused on the utilization of nanofluids, especially Al_2O_3 and CuO, as heat mediums for efficient utilization of solar energy in conical solar collector systems. Nanofluids have shown better results as heat mediums as compared with distilled water. In addition, the Al_2O_3 nanofluid was found to be more efficient than CuO due to comparatively higher thermal conductivity. On the basis of the obtained results, the study proposes the practical viability of the nanofluids (especially Al_2O_3) as efficient heat mediums to make maximum use of solar energy as a renewable energy source.

Through this study, it was found that the heat collection efficiency of the conical solar collector was improved using nanofluids as potential heat mediums. However, as the nanofluids circulate continuously through the solar collector, the initial state of dispersion stability is not maintained, and aggregation occurs over time; this may adversely affect the solar collector's performance. Therefore, it is considered necessary to study dispersion stability while circulating nanofluids in the conical concentrating system.

Although nanofluids have higher thermal conductivity than distilled water and their efficiency is high, their heat loss is also high, and it is necessary to study heat loss prevention to improve efficiency.

To increase the absorption rate of available sunlight, painting with Vantablack is recommended, because Vantablack paint is capable of absorbing up to 99.965% of light and might be considered a potential solution. In addition, the addition of a copper coil inside the absorber tube could also help to enlarge the surface area of the absorber, hence maximizing the utilization of the solar energy.

Author Contributions: Conceptualization, A.H.A.M.; methodology, A.H.A.M.; formal analysis, A.H.A.M.; investigation, A.H.A.M.; resources, G.-H.L.; data curation, A.H.A.M. and M.I.H.; writing—original draft preparation, A.H.A.M. and M.I.H.; writing—review and editing, M.I.H. and G.-H.L.; visualization, M.I.H. and G.-H.L.; supervision, G.-H.L.; project administration, G.-H.L.; funding acquisition, G.-H.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data sharing not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

Article

Thermo-Economic Performance Evaluation of a Conical Solar Concentrating System Using Coil-Based Absorber

Haedr Abdalha Mahmood Alsalamé ¹, Muhammad Imtiaz Hussain ^{2,3}, Waseem Amjad ⁴, Asma Ali ⁵ and Gwi Hyun Lee ^{1,*}

¹ Department of Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea; salam@kangwon.ac.kr

² Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea; imtiaz@kangwon.ac.kr

³ Green Energy Technology Research Center, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea

⁴ Department of Energy Systems Engineering, University of Agriculture, Faisalabad 38000, Pakistan; waseem_amjad@uaf.edu.pk

⁵ Department of Agricultural and Resource Economics, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea; asmaali@kangwon.ac.kr

* Correspondence: ghlee@kangwon.ac.kr; Tel: +82-033-250-6495



Citation: Alsalamé, H.A.M.; Hussain, M.I.; Amjad, W.; Ali, A.; Lee, G.H. Thermo-Economic Performance Evaluation of a Conical Solar Concentrating System Using Coil-Based Absorber. *Energies* 2022, 15, 3369. <https://doi.org/10.3390/en15093369>

Academic Editors: Dawei Liang and Changming Zhao

Received: 7 April 2022

Accepted: 3 May 2022

Published: 5 May 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract Pollution and the increase in greenhouse gas (GHG) emissions have long been linked to the world's increasing need for fossil fuels to generate energy. Every day, the energy consumption is increasing; therefore, it is important to improve technologies that use renewable energy sources. With the abundant availability of sustainable energy, solar power is becoming a necessity. However, solar energy has a low energy density and therefore requires a large installation area, which requires heat collection and heat storage technology. Much research is now being done on the conical solar systems to improve efficiency including calculating an optimal cone angle, finding the best flow ratio and the best absorber design, etc. Therefore, in this study, thermal performance of a conical solar collector (CSC) was assessed with a new design of concentric tube absorber (addition of a coil) and compared to the existing circular tube absorber. It was found that 6 L/min flow rate of heating medium (distilled water and CuO nanofluid) gave lower payback period and higher solar fraction of the system in both cases of absorber tube, i.e., without coil and with coil. However, comparatively, thermal efficiency of CSC with coil-based absorber was almost 10–12% higher than conventional system (without coil) regardless of type of heating medium used.

Keywords: collecting efficiency; conical solar concentrator; performance analysis; solar energy

1. Introduction

The need for renewable energy is increasing due to increasing industrialization and the over use of fossil fuels, both of which have negative consequences for global climate change. Solar energy is one of the cleanest, most plentiful, and environmentally friendly renewable energy sources. Solar water heaters of various configurations and designs have been utilized for diverse purposes to extract the thermal energy from incoming solar radiation [1]. Recent progressive development of modern technology continues to increase human energy needs. Energy consumption and demand has been increasing worldwide, and researchers are involved in meeting future energy needs [2,3]. The current and expected energy sources are not sustainable such as nuclear power (5%), natural gas (22%), coal/peat (27%), and oil (32%) [1].

The consumption of oil, natural gas, coal and nuclear energy is very high compared to renewable energy, which ultimately leads to pollution problems such as acid rains, ozone layer depletion, and global climate change [4,5].

Renewable energy is a source of sustainable power generation and can potentially minimize pollution problems. The use of renewable energy has increased in recent years,

a lower payback period and higher solar fraction than the absorber tube without coil at optimum flow rate of 6 L per minute. The contribution of solar absorber to reduce heating expenses in both of its cases (with and without coil) is obvious. Therefore, economically, it is good to use for space heating especially in areas, having poor grid connectivity.

Author Contributions: Conceptualization, H.A.M.A.; methodology, H.A.M.A.; formal analysis, H.A.M.A. and M.I.H.; investigation, H.A.M.A. and M.I.H.; resources, G.H.L.; data curation, H.A.M.A. and M.I.H.; writing—original draft preparation, H.A.M.A. and M.I.H.; writing—review and editing, M.I.H., W.A. and A.A.; visualization, M.I.H. and G.H.L.; supervision, G.H.L.; project administration, G.H.L.; funding acquisition, G.H.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry (IPET) through the Technology Commercialization Support Program, funded by the Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Data sharing is not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

Nomenclature

ϕ	nanoparticles concentration
k_{nf}	the thermal conductivity of the nanofluid (W/m·K)
k_{np}	thermal conductivities of the nanoparticles (W/m·K)
k_{bf}	thermal conductivities of base fluid (W/m·K)
Q	useful energy (W)
m	mass flow rate (kg/s)
C_p	specific heat (J/kg°C)
T_o	the outlet temperature of the thermal fluid (°C)
T_i	the inlet temperature of the thermal fluid (°C)
T_a	ambient temperature (°C)
η	thermal efficiency
I	Beam radiation (W/m ²)
A	collector area (m ²)
h	convective heat transfer coefficient (W/(m ² K))
T	Temperature difference between the absorber and ambient air (°C)

References

1. WBA. *Global Bioenergy Statistics 2019*; World Bioenergy Association: Stockholm, Sweden, 2019.
2. Hasanuzzaman, M.; Rahim, N.A.; Saidur, R.; Kazi, S.N. Energy savings and emissions reductions for rewinding and replacement of the industrial motor. *Energy* **2011**, *36*, 233–240. [[CrossRef](#)]
3. Hasanuzzaman, M.; Rahim, N.A.; Hosenuzzaman, M.; Saidur, R.; Mahbubul, I.M.; Rashid, M.M. Energy savings in the combustion-based process heating in the industrial sector. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, *16*, 4527–4536. [[CrossRef](#)]
4. Dincer, I.; Rosen, M.A. A worldwide perspective on energy, environment, and sustainable development. *Int. J. Energy Res.* **1998**, *22*, 1305–1321. [[CrossRef](#)]
5. Colombo, U. Development and the global environment. In *The Energy—Environment Connection*; Hollander, J.M., Ed.; Island Press: Washington, DC, USA, 1992; pp. 3–14.
6. Phuangporipitak, N.; Kumar, S.P.V. Hybrid systems for rural electrification in Thailand. *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2007**, *11*, 1530–1543. [[CrossRef](#)]
7. Stryi-Hipp, G.; Weiss, W.; Mugnier, D.; Dias, P. *Strategic Research Priorities for Solar Thermal Technology*; European Technology Platform on Renewable Heating and Cooling: Brussels, Belgium, 2012.
8. Zambolin, E.; DeI Col, D. Experimental analysis of the thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions. *Sol. Energy* **2010**, *84*, 1382–1396. [[CrossRef](#)]
9. Zhai, H.; Dai, Y.; Wu, J.; Wang, R.; Zhang, L. Experimental investigation and analysis on a concentrating solar collector using linear Fresnel lens. *Energy Convers. Manag.* **2010**, *51*, 48–55. [[CrossRef](#)]

Article

Analysis of Particle Size and Concentration in Die Sinking Electric Discharge Machining

Ata ur Rehman ¹, Waseem Arif ², Muhammad Imtiaz Hussain ^{3,4} , Sajjad Miran ² ,
Salman Hussain ¹ and Gwi Hyun Lee ^{5,*}

- ¹ Department of Industrial Engineering, University of Engineering & Technology Taxila, Taxila 47050, Pakistan; ataehman53@gmail.com (A.u.R.); salman.hussain@uettaxila.edu.pk (S.H.)
 - ² Department of Mechanical Engineering, University of Gujrat, Gujrat 50700, Pakistan; waseem.arif@uog.edu.pk (W.A.); sajjad.miran@uog.edu.pk (S.M.)
 - ³ Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea; imtiaz@kangwon.ac.kr
 - ⁴ Green Energy Technology Research Center, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea
 - ⁵ Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea
- * Correspondence: ghlee@kangwon.ac.kr

Abstract: Electric discharge machining with a powder mix dielectric is a promising technique to harden a work piece's surface using electricity with a high energy density. The quality of the electrical discharge-machined surface is related to its surface integrity in which the surface's roughness, residual stresses, micro hardness and surface micro cracks are some of the major factors. In this research, graphite powder was mixed in a dielectric with a particle size of 20 μm , 30 μm , and 40 μm , with the concentration of the graphite powder ranging from 2 g/L to 4 g/L. Moreover, the peak current and pulse time on were also coupled with an additive of graphite powder to investigate the effect on the surface quality, i.e., the recast layer thickness, micro hardness and crater depth as well as the material removal rate (MRR) and tool wear rate (TWR). A Box-Behnken design was employed to design the experiments and the experimental results revealed that the graphite powder size and concentration coupled with the electrical parameters (peak current and pulse time on) significantly influenced the recast layer thickness, micro hardness, crater size, MRR and TWR. The crater depth and micro hardness were maximized at a higher concentration and particle size, while the recast layer thickness was reduced with a higher grain size.

Keywords: electric discharge machining (EDM); graphite powder; recast layer thickness (RLT); micro hardness; crater size; Box-Behnken design



Citation: Rehman, A.u.; Arif, W.; Hussain, M.I.; Miran, S.; Hussain, S.; Lee, G.H. Analysis of Particle Size and Concentration in Die Sinking Electric Discharge Machining. *Materials* **2022**, *15*, 4932. <https://doi.org/10.3390/ma15144932>

Academic Editors: Jingwei Zhao and Zhongyi Jiang

Received: 9 June 2022
Accepted: 11 July 2022
Published: 15 July 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Electric discharge machining (EDM) is one of the fascinating techniques of the non-conventional machining process in which material is removed from a work piece through a series of discharges that take place between the tool and the work part. EDM is generally used for hard materials which are conductive in nature, for very thin materials which cannot be machined using conventional machining and in the die industry for complex geometry creation. EDM is utilized for single tasks or for small batches. This machining mechanism is based on a thermoelectric process in which materials are eroded from a workpiece when controlled sparks are generated from a tool (electrode) [1].

Materials with high hardness values of above 30–35 HRC, e.g., quenched parts, cannot be machined through conventional milling machines; however, materials with high hardness values can be easily machined in EDM processes because the process is independent of the mechanical properties of the material. Recent trends have shown that micro-EDM processes are increasingly needed; for example, the production of delicate products of a small size requires the use of micro-EDM. Micro-EDM can machine micro holes and

with other input parameters. It was observed from the current study that MRR increases with increased current settings, pulse duration, graphite particle concentration and with a small particle size. The maximum MRR was observed at a peak current of 12 A, pulse time of 45 μ s, particle concentration of 4 g/L and particle size of 20 μ m. TWR sharply increased with an increase in the interaction of the current setting, pulse duration and graphite particle concentration. TWR had an inverse relationship with the particle size. Similarly, microhardness increased with higher values of pulse time on, peak current and powder particle concentration. High hardness (222.8 HV) was observed at 45 μ s pulse time on and at a particle size of 20 μ m. A peak current of 12 A is recommended for optimal hardness. Two parameters, namely peak current and particle size, are more influential on RLT as compared to other parameters. The small RLT was observed at a particle size of 40 μ m, particle concentration of 2 g/L and peak current of 8 A. RLT of 39.76 μ m was observed at a particle size of 40 μ m and pulse time on of 45 μ s. The crater depth is a subset of surface roughness. A similar effect was found for crater depth as that of surface roughness, which was observed by a variation in the parameters. Crater depth increased with greater particle size, pulse time on and peak current. Shallow craters were produced at 15 μ s pulse time on, a particle size of 20 μ m and peak current of 6 A. However, particle concentration is much less influential on crater size. The theoretically predicted values and experimental results of all the response parameters correlated very well and the error percentage was less than 8%.

Author Contributions: Conceptualization, A.u.R. and S.H.; methodology, A.u.R., S.H. and W.A.; software, W.A., M.I.H. and G.H.L.; validation, A.u.R., S.H. and W.A.; formal analysis, M.I.H., G.H.L. and W.A.; investigation A.u.R. and S.M.; resources, S.M. and W.A.; writing—original draft preparation, A.u.R., S.H., S.M. and W.A.; writing—review and editing, S.M., M.I.H., G.H.L. and W.A.; visualization, S.M., S.H. and W.A.; supervision, S.H., S.M., M.I.H., G.H.L. and W.A.; project administration, S.H., S.M., M.I.H. and G.H.L.; funding acquisition, G.H.L. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

Institutional Review Board Statement: Not applicable.

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.








Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Thomson, P.F. Surface damage in electro discharge machining. *Mater. Sci. Technol.* **1989**, *5*, 1153–1157. [[CrossRef](#)]
2. Tripathy, S.; Tripathy, D.K. Surface Characterization and Multi-response optimization of EDM process parameters using powder mixed dielectric. *Mater. Today Proc.* **2017**, *4*, 2058–2067. [[CrossRef](#)]
3. Kansal, H.K.; Singh, S.; Kumar, P. Parametric optimization of powder mixed electrical discharge machining by response surface methodology. *J. Mater. Process. Technol.* **2005**, *169*, 427–436. [[CrossRef](#)]
4. Yongfeng, G.; Yerui, F.; Li, W.; Kelie, D.; Changjin, M.; Lin, T. Experimental investigation of EDM parameters for ZrB₂-SiC ceramics machining. *Procedia CIRP* **2018**, *68*, 46–51. [[CrossRef](#)]
5. Saha, N.; Chakraborty, S.; Dey, P.P.; Das, P.K. Machining of ZrB₂-SiC composites by Wire-EDM technique. *Trans. Indian Ceram. Soc.* **2014**, *73*, 94–97. [[CrossRef](#)]
6. Müller, F.; Monaghan, J. Non-conventional machining of particle reinforced metal matrix composites. *J. Mater. Process. Technol.* **2001**, *118*, 278–285. [[CrossRef](#)]
7. Prihandana, G.S.; Mahardika, M.; Hamdi, M.; Wong, Y.S.; Mitsui, K. Accuracy improvement in nanographite powder-suspended dielectric fluid for micro-electrical discharge machining processes. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* **2011**, *56*, 143–149. [[CrossRef](#)]
8. Bai, X.; Zhang, Q.; Zhang, J.; Kong, D.; Yang, T. Machining efficiency of powder mixed near dry electrical discharge machining based on different material combinations of tool electrode and workpiece electrode. *J. Manuf. Process.* **2013**, *15*, 474–482. [[CrossRef](#)]
9. Jamadar, M.M.; Kavade, M.V. Effect of aluminium powder mixed EDM on machining characteristics of die steel (AISI D3). *Int. J. Mech. Prod. Eng.* **2014**, *2*, 120–123.

Research Article

Machine Learning-Based Relative Performance Analysis of Monocrystalline and Polycrystalline Grid-Tied PV Systems

Asfand Yar ¹, Muhammad Yousaf Arshad ^{2,3}, Faran Asghar,⁴ Waseem Amjad ¹,
Furqan Asghar ¹, Muhammad Imtiaz Hussain ⁵, Gwi Hyun Lee ⁶,
and Faisal Mahmood ¹

¹Department of Energy Systems Engineering, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

²Sitara Chemical Industries Pvt. Ltd., Faisalabad, Pakistan

³Department of Chemical Engineering, University of Engineering and Technology (U.E.T) Lahore, Pakistan

⁴School of Information Management, Nanjing University, Nanjing, China

⁵Agriculture and Life Sciences Research Institute Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

⁶Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea

Correspondence should be addressed to Gwi Hyun Lee; ghlee@kangwon.ac.kr and Faisal Mahmood; faisal.mahmood@uaf.edu.pk

Received 1 March 2022; Revised 17 June 2022; Accepted 11 July 2022; Published 12 August 2022

Academic Editor: Alberto Álvarez-Gallegos

Copyright © 2022 Asfand Yar et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In this research study, the design and performance evaluation of grid-tied photovoltaic systems has been carried out through experimentation, HeliScope simulation, and black-box machine learning methods for data-driven artificial intelligence system performance assessment and validation. The proposed systems are based on 15kWp of monoperk and polyperk, which are separately installed in the industrial sector of Faisalabad, Pakistan. The experimental evaluation of the installed PV modules was performed from November 2020 to August 2021. The performance of the PV modules was evaluated by determining the annual average daily final yield (If), performance ratio (PR), and capacity factor (CF). The study showed that the annual average of daily final yield, performance ratio, and capacity factor for 15kW polyperk was estimated to be 61.94 kWh, 84.17%, and 19.12, respectively. The annual average of daily final yield, performance ratio, and capacity factor for 15kW monoperk was estimated to be 58.32 kWh, 81.42%, and 18.13, respectively. A comparison of final yield is obtained from simulation and real-time systems obtained from polyperk PV and monoperk. A significant mean error exists between the experimentation and simulation results which lie within the range of 1250 to 1470 kWh and 1600 to 1950kWh, respectively. Substantial differences between both aforementioned results were initially tested and highlighted by statistical values; i.e., the standard error lies in-between 5 and 45% in polyperk crystalline and 5 and 25% in monocrystalline PV grid-connected module. Machine learning logistical regression evaluated that monoperk crystalline grid-connected system, experimental work was found to be more reliable with error difference reduces in off-peak months as compared to corresponding simulation study and vice versa for polyperk crystalline grid-connected system. Model accuracy after training and testing produced resulted up to 99.5% accuracy for either grid-connected experimentation or simulation outcomes with validation.

1. Introduction

In any country, energy is one of the key factors for the smooth and faster upgradation of the socioeconomic activities, and it has become a universal fact now. One of the major drivers of economic growth is energy as identified by the government of Pakistan. Therefore, Pakistan requires ade-

quate supplies of energy for the generation of healthy economic activities. The country currently is passing through the worst energy crisis in over 70 years. The energy crisis has led to the hindrance of socioeconomic progress below the level of critical sustainability and tolerance of the people. Pakistan has a land area of 881,913 km² consisting of a population of 211.117 million [1]. In 2019, Pakistan's electricity

evaluation results are likely the same and coherent. In the case of polyperk crystalline grid-connected studies, a greater significance and accuracy lies within the simulation and experimental studies, and the likelihood of probability is significant as seen in Tables 6 and 7. Model accuracy after training and testing produces results of up to 99.5%. Simulation results are likely most favorable in predicting the performance evaluation of maximum yield in grid-connected systems. During off-peak (i.e., winter season), the error difference increases due to various factors such as module angle, line losses, cdl dimension, and temperature invariability.

5. Conclusions

In this research, a comparative study was conducted for two solar systems of 15 kW. The systems primarily included monoperk and polyperk crystalline. From the study, it was observed that maximum yield was produced, in winters, by monoperk, while during summers, polyperk displayed enhanced efficiency. In Faisalabad, polyperk has proven to be efficient considering the high rates of temperature whereas monoperk, consequently, reduced the efficiency of the solar system. The annual average of daily final yield, performance ratio, and capacity factor for 15 kW polyperk was estimated to be 61.94 kWh, 84.17%, and 19.12, respectively. The annual average of daily final yield, performance ratio, and capacity factor for 15 kW monoperk was estimated to be 58.32 kWh, 81.42%, and 18.13, respectively. The efficiency can also be attributed to the quality of the system. For example, good quality inverter requires quality plates for enhanced efficiency. Additionally, the production of a 430-watt panel was noted as 400 watts. Furthermore, according to the applied machine learning module, a significant difference was observed in the considered PV module types (i.e., mono- and polyperk). A machine learning modeling study using logistical regression was applied to determine the greater significance of experimentation results in monoperk crystalline with an accuracy of 99.5%, while the results in polyperk using simulation studies are more accurate and recommended in the evaluation of PV-connected grid. Depending upon observed parameters and frequency period, the model elucidated a better understanding of the performed real-time analysis leading to both cost and time saving for the installation of similar projects in the region. Furthermore, better performance can be achieved from installed systems if factors such as dust, tilt angle, and shadow effects are considered before the installation of PV systems.

Data Availability

Data will be available on request. For data-related queries, kindly contact Faisal Mahmood (faisal.mahmood@uaf.edu.pk).

Conflicts of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this research article.

Acknowledgments

The authors acknowledge the support of the Department of Energy Systems Engineering and Punjab Bio-Energy Institute (PBI), University of Agriculture, Faisalabad, for facilitating data collection. This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through the Technology Commercialization Support Program, funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

References

- [1] Government of Pakistan Finance Division, "Pakistan economic survey," 2019, https://www.finance.gov.pk/survey_1920.html.
- [2] M. S. Adaramola and E. E. T. Vågnes, "Preliminary assessment of a small-scale rooftop PV-grid tied in Norwegian climatic conditions," *Energy Conversion and Management*, vol. 90, no. 2015, pp. 458–465, 2015.
- [3] L. M. Ayompe, A. Duffy, S. J. McCormack, and M. Conlon, "Measured performance of a 1.72 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland," *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 2, pp. 816–825, 2011.
- [4] G. C. Bakos, "Distributed power generation: a case study of small scale PV power plant in Greece," *Applied Energy*, vol. 86, no. 9, pp. 1757–1766, 2009.
- [5] D. Chemisana and C. Lamnatou, "Photovoltaic-green roofs: an experimental evaluation of system performance," *Applied Energy*, vol. 119, pp. 246–256, 2014.
- [6] P. Ferrada, F. Araya, A. Marzo, and E. Fuentealba, "Performance analysis of photovoltaic systems of two different technologies in a coastal desert climate zone of Chile," *Solar Energy*, vol. 114, pp. 356–363, 2015.
- [7] T. Khatib, K. Sopian, and H. A. Kazem, "Actual performance and characteristic of a grid connected photovoltaic power system in the tropics: a short term evaluation," *Energy Conversion and Management*, vol. 71, pp. 115–119, 2013.
- [8] A. H. A. Al-Waeli, M. T. Chaichan, H. A. Kazem, K. Sopian, and J. Safaei, "Numerical study on the effect of operating nanofluids of photovoltaic thermal system (PV/T) on the convective heat transfer," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 12, pp. 405–413, 2018.
- [9] A. H. Al-Waeli, H. A. Kazem, K. Sopian, and M. T. Chaichan, "Techno-economical assessment of grid connected PV/T using nanoparticles and water as base-fluid systems in Malaysia," *International Journal of Sustainable Energy*, vol. 37, no. 6, pp. 558–575, 2018.
- [10] H. A. Kazem, J. Yousef, M. T. Chaichan, and A. H. Al-Waeli, "Experimental and deep learning artificial neural network approach for evaluating grid-connected photovoltaic systems," *International Journal of Energy Research*, vol. 43, no. 14, pp. 8572–8591, 2019.
- [11] J. Y. Kim, G. Y. Jeon, and W. H. Hong, "The performance and economical analysis of grid-connected photovoltaic systems in Daegu, Korea," *Applied Energy*, vol. 86, no. 2, pp. 265–272, 2009.
- [12] K. A. Kumar, K. Sundareswaran, and P. R. Venkateswaran, "Performance study on a grid connected 20 kW p solar photovoltaic installation in an industry in Tiruchirappalli (India),"



OPEN ACCESS

EDITED BY
Muhammad Amjad,
University of Engineering and
Technology, Lahore, Pakistan

REVIEWED BY
Amjad Hussain,
University of Engineering and
Technology, Lahore, Pakistan
Muhammad Farhan,
University of Engineering and
Technology, Lahore, Pakistan
Yanwei Hu,
Harbin Institute of Technology, China

*CORRESPONDENCE
Gwi Hyun Lee,
ghlee@kangwon.ac.kr

SPECIALTY SECTION
This article was submitted to Solar
Energy, a section of the journal
Frontiers in Energy Research

RECEIVED 11 August 2022
ACCEPTED 23 September 2022
PUBLISHED 10 October 2022

CITATION
Tamoor M, Hussain M, Bhatti AR,
Miran S, Arif W, Kiren T and Lee GH
(2022), Investigation of dust pollutants
and the impact of suspended particulate
matter on the performance of
photovoltaic systems.
Front. Energy Res. 10:1017293.
doi: 10.3389/fenrg.2022.1017293

COPYRIGHT
© 2022 Tamoor, Hussain, Bhatti, Miran,
Arif, Kiren and Lee. This is an open-
access article distributed under the
terms of the [Creative Commons
Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use,
distribution or reproduction in other
forums is permitted, provided the
original author(s) and the copyright
owner(s) are credited and that the
original publication in this journal is
cited, in accordance with accepted
academic practice. No use, distribution
or reproduction is permitted which does
not comply with these terms.

Investigation of dust pollutants and the impact of suspended particulate matter on the performance of photovoltaic systems

Muhammad Tamoor¹, Muhammad Imtiaz Hussain²,
Abdul Rauf Bhatti³, Sajjad Miran³, Waseem Arif³, Tayybah Kiren⁴
and Gwi Hyun Lee^{5*}

¹Department of Electrical Engineering and Technology, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan, ²Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon, Korea, ³Department of Mechanical Engineering, University of Gujrat, Gujrat, Pakistan, ⁴Department of Computer Science (RCET), University of Engineering and Technology, Lahore, Pakistan, ⁵Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

The purpose of this study is to investigate the potential of airborne particulate matter (PM10 and PM2.5) and its impact on the performance of the photovoltaic (PV) system installed in the Sargodha region, being affected by the crushing activities in the hills. More than 100 stone crushers are operating in this region. Four stations within this region are selected for taking samples during the summer and winter seasons. Glass-fiber papers are used as a collection medium for particulate matter (PM) in a high-volume sampler. The concentration of PM is found above the permissible limit at all selected sites. The chemical composition, concentration, and the formation of particulate matter (PM10 and PM2.5) layers on the surface of the photovoltaic module varies significantly depending on the site's location and time. The accumulation of PM layers on the PV module surface is one of the operating environmental factors that cause significant reduction in PV system performance. Consequently, it leads to power loss, reduction of service life, and increase in module temperature. For the PV system's performance analysis, two PV systems are installed at the site, having higher PM concentration. One system is cleaned regularly, while the other remains dusty. The data of both PV systems are measured and compared for 4 months (2 months for the summer season and 2 months for the winter season). It is found that when the level of suspended particulate matter (PM10 and PM2.5) increases, the energy

Abbreviations: PV, photovoltaic; W, watt; kW, kilowatt; kWh, kilowatt hour; MWh, megawatt hour; A, ampere; V, volt; SLD, single-line diagram; PR, performance ratio; AC, alternating current; DC, direct current; MPPT, maximum power point tracking; NOCT, nominal operating cell temperature; GH, global horizontal irradiance; POA, plane of the array; DH, diffuse horizontal irradiance; DNI, direct normal irradiance; Ta, ambient temperature; Tm, PV module temperature; Ws, wind speed at proposed site; E, solar irradiation on photovoltaic module; PM, particulate matter; NAAQS, National Ambient Air Quality Standard; EPA, Environmental Protection Agency; CI, cleanliness index; and ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers.

system is 7451.85, 7430.91, 6892.06, and 6892.06 W, and the average power produced by the dusty PV system is 6893.8, 6885.3, 6155.6, and 6155.6 W May, June, December, and January, respectively. It was found that when the level of suspended particulate matter (PM10 and PM2.5) increases, the energy generation of the dusty PV system is reduced by 7.48% in May, 7.342% in June, 10.68% in December, and 8.03% in January under bad air quality, 439.177 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and 535.76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in the summer and winter seasons, respectively, as compared to the photovoltaic energy generation system that is regularly cleaned. Based on the obtained results, it is recommended that the negative impact of PM on the performance of the PV system should be considered carefully during the decision-making process of setting solar energy generation targets in the regions with a high level of particulate matter.

Data availability statement

The original contributions presented in the study are included in the article/Supplementary Material; further inquiries can be directed to the corresponding author.

Author contributions

Conceptualization, MT, AB, and SM; methodology, MT, MH, AB, and SM; software, MT, SM, WA, TK, MH, and GL; validation, MT, AB, SM, and GL; formal analysis, MT, MH, GL, and TK; investigation, MT, AB, and SM; resources, MT, SM, and MH; writing—original draft preparation, MT, AB, SM, and TK; writing—review and editing, MT, AB, SS, MH, and GL; visualization, MT, AB, SM, TK, and WA; supervision, AB, SS, MH, and GL; project administration, MT, AB, SM, MH, and GL; funding acquisition, MH and GL. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

References

- Abderrezak, M., and Fathi, M. (2017). Experimental study of the dust effect on photovoltaic panels' energy yield. *Sol. Energy* 142, 308–320. doi:10.1016/j.solener.2016.12.040
- Ahmed, A., and Maaser, T. (2019). "Impact of climate change and high PV penetration on power factor profile," in 2019 IEEE industry applications society annual meeting (IAS), 1–6.
- Al-Badra, M. Z., Abd-Elhady, M. S., and Kandil, H. A. (2020). A novel technique for cleaning PV panels using antibiotic coating with a mechanical vibrator. *Energy Rep* 6, 1633–1637. doi:10.1016/j.egyr.2020.06.070
- Alnasser, T. M., Mahdy, A. M., Abbas, K. I., Chaichan, M. T., and Kazem, H. A. (2020). Impact of dust ingredients on photovoltaic performance: An experimental study. *Sol. Energy* 195, 651–659. doi:10.1016/j.solener.2019.12.008
- Andrea, Y., Pogrebnaya, T., and Kichonge, B. (2019). Effect of industrial dust deposition on photovoltaic module performance: Experimental measurements in the tropical region. *Int. J. Photoenergy*, 1–10. doi:10.1155/2019/1892148
- Andreani, L. C., Bozzola, A., Kowalczyk, P., Lucidini, M., and Redonci, I. (2019). Silicon solar cells: Toward the efficiency limits. *Adv. Phys.* X 4(1), 1548305. doi:10.1080/23746149.2018.1548305
- Ikun, N. B., Wilbert, S., Nouri, B., Lenca, I., Hackebrink, D., Kanatzidis, A., et al. (2022). Measurement of diffuse and plane of array irradiance by a combination of a pyranometer and an all-sky imager. *Sol. Energy* 232, 232–247. doi:10.1016/j.solener.2021.11.064
- Bono, M. D. (2018). *What is solar energy and how do solar panels work?* USA: SunPower Corporation.
- Chaichan, M. T., Kazem, H. A., Al-Waeli, A. H., and Sopian, K. (2019). The effect of dust components and contaminants on the performance of photovoltaic for the four regions in Iraq: A practical study. *Renew. Energy Environ. Sustain.* 5, 3. doi:10.1051/rees/2019009
- Chaichan, M. T., and Kazem, H. A. (2018). *Generating electricity using photovoltaic Solar plants in Iraq*. Springer. doi:10.1007/978-3-319-75031-6

Funding

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2022R1F1A1062793); Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

Acknowledgments

The authors gladly acknowledged the continued support of the Department of Electrical Engineering and Technology, GC University Faisalabad.

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

The reviewer AH and reviewer MF declared a shared affiliation with the author TK at the time of the review.

The handling editor declared a shared affiliation with the author TK, MPS at the time of the review.

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors, and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Effects of the Glass Cover Absorber for Conical Solar Concentrator on the Thermal Collecting Efficiency

Haedr Abdalha Mahmood Alsalamé^{1,2} · Jae Min Cho^{1,2} · Gwi Hyun Lee^{1,2}

Received: 27 September 2022 / Revised: 4 November 2022 / Accepted: 7 November 2022 / Published online: 3 January 2023
© The Author(s), under exclusive licence to The Korean Society for Agricultural Machinery 2022

Abstract

Purpose In this study, a conical solar concentrating system using a glass cover on the absorber is proposed to improve thermal efficiency and reduce convective heat loss. The purpose of covering the absorber with a glass tube is to restrict the direct contact of ambient air with the absorber surface. To increase the surface area of the absorber, a copper coil was inserted between the inner and outer tubes.

Methods Using the aforementioned two configurations, a series of experiments was performed with variable fluid flow rates and similar climatic conditions. To locate the optimal performance of the conical concentrator system, different fluid flow rates were tested such as 2 L/min, 4 L/min, 6 L/min, and 8 L/min. As a result of the performance test of the conical concentrator system according to the change of ambient air, it showed the highest efficiency at a critical flow rate of 6 L/min, and the heat collecting efficiency of the conical concentrator with the glass cover absorber was 4.15% higher than that of the double coil absorber.

Results The performance test of the conical concentrator according to the difference between the inlet temperature and the ambient temperature, when $(T_i - T_a)/I$ is 0 at 6 L/min, the heat collection efficiency of the double coil absorber and the glass cover absorber was 81.66% and 81.05%. The reason for the low heat collecting efficiency is that the loss from the transmittance, absorption, and reflectance of sunlight due to the glass cover is greater than the loss of convective heat at a 0°C difference.

Conclusions The difference between the inlet temperature and the ambient air temperature increased, and the overturn phenomenon occurred. As the temperature difference increased, the heat-collecting efficiency of the conical concentrator with the glass cover absorber was higher. The highest heat-collecting efficiency of a conical concentrator with a glass cover absorber can be interpreted as the low heat losses to ambient air due to the presence of a glass cover.

Keywords Conical concentrator · Convective heat loss · Critical flow · Glass cover · Thermal efficiency

Introduction

The energy subject is now perceived as one of the world's most required challenges. The depletion of environmental pollution and non-renewable customary energy resources (oil, coal, natural gas, etc.) linked with the immense growth

in global energy consumption is leading to an unsustainable situation, i.e., a threatening and unavoidable increase in ecosystem disruptions. In practice, these disruptions are taken into account in inevitable soil and environmental contamination, continued increases in energy costs, armed services conflicts linked with fossil energy resources, and so on. On the other hand, frequent access to energy is still largely restricted to the so-called industrialized world. In total, 4/5 of the world's population remains confronted with numerous barriers to accessing it. Renewable energy sources have seemed as an authentic and acceptable alternative to this difficult issue considering that they are infinite in our timescale, non-polluting, and naturally distributed around the world. Also, solar energy has seemed to be one of the most intriguing renewable energy possible scenarios due to its large potential and

✉ Gwi Hyun Lee
ghlee@kangwon.ac.kr

¹ Department of Biosystems Engineering, College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, Chuncheon, South Korea

² Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, South Korea

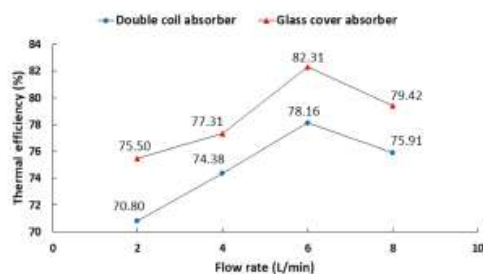


Fig. 15 Average efficiency according to flow rate

Summary and Conclusion

The heat collection efficiency of the double coil absorber and the glass cover absorber was 81.66% and 81.05%, respectively, in the performance test of the conical concentrator based on the difference between the inlet temperature and the ambient temperature when $(T_i - T_a)/I$ is 0 at 6 L/min. The low heat collecting efficiency is due to the fact that the loss from sunlight transmittance, absorption, and reflectance due to the glass cover is greater than the loss of convective heat at a 0 °C difference. As a result of the increasing difference between the inlet temperature and the ambient air temperature, the overturn phenomenon occurred. The heat collecting efficiency of the conical concentrator with the glass cover absorber increased as the temperature difference increased. The lowest heat losses to ambient air due to the presence of a glass cover can be interpreted as the highest heat collecting efficiency of a conical concentrator with a glass cover absorber. Therefore, to minimize the heat loss, the research shall be conducted to improve heat collection (Argon, Krypton, Xenon) as a filling medium into the air layer between low iron glass, outer diameter, and permeate. When supplementing this, it is judged that the heat loss coefficient of the collector can be reduced.

Funding This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry (IPET) through the Technology Commercialization Support Program, funded by the Ministry of Agriculture, Food, and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048–3).

Declarations

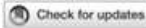
Conflict of Interest The authors declare no competing interests.

References

Alsalam, H. A. M., Hussain, M. I., Amjad, W., Ali, A., & Lee, G. H. (2022). Thermo-economic performance evaluation of a conical solar concentrating system using coil-based absorber. *Energies*, 15(9), 3369. <https://doi.org/10.3390/en15093369>

- Choi, B. W., & Yang, Y. J. (2014). Study on Thermal efficiency according to configuration change and contact resistance of solar collector with single evacuated tube-type. *Korean Society for Energy*, 23(4), 189–195. <https://doi.org/10.5855/ENERGY.2014.23.4.189>
- Do, S. J., & Yang, Y. J. (2018). Evaluation of solar collector to introduce natural convection in water tank to obtain warm water. *The Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 17(2), 22–29. <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.2.022>
- Farzan, H., Zaim, E. H., & Ameri, M. (2020). Study on the effect of glazing on performance and heat dynamics of asphalt solar collectors: An experimental study. *Solar Energy*, 202, 429–437. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.04.003>
- Hwang, J. Y. (2017). *Experimental and numerical study on the performance of conical solar collector system*. Unpublished MS thesis. Kangwon National University.
- Hwang, S. G. (2020). *A study on the enhancement of thermal efficiency of conical concentrator using nanofluids*. Unpublished MS thesis. Kangwon National University.
- Kim, K. S., Kang, G. H., & Yoo, G. J. (2008). The analysis of optical characteristics of glasses for PV module application. *The Korean Solar Energy Society*, 98–103. <https://koreascience.kr/article/CFKO200835536015389.page>
- Kim, J. H., Kang, J. G., & Kim, J. T. (2009). Experimental performance comparison of water type glazed and unglazed PV-thermal combined collectors. *Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 9(4), 37–42. <https://koreascience.kr/article/JAKO200930360545063.page>
- Kim, & Choi Jun-bo. (2011). Development and market prospects of low iron high transmittance float glass. *Korean Ceramic Society*, 14(6), 34–41. <https://koreascience.kr/article/JAKO201111436237488.pdf>
- Lee, J. H. (2020). *A study on the efficiency improvement of photovoltaic-thermal system using nanofluids*. Unpublished MS thesis. Kangwon national university.
- Mahmood, A. H. A. (2021). *Efficiency improvement of the conical solar concentrator system with the coil absorber*. Unpublished MS thesis. Kangwon national university.
- Na, M. S. (2018). *Agricultural dryer for energy saving with conical solar concentrating system*. Unpublished MS thesis. Kangwon national university.
- Na, M. S., Hwang, J. Y., Hwang, S. G., Lee, J. H., & Lee, G. H. (2018). Design and performance analysis of conical solar concentrator. *Journal of Biosystems Engineering*, 43(1), 21–29. <https://doi.org/10.5307/JBE.2018.43.1.021>
- Park, J. Y., & Kim, Y. J. (2019). The effects of renewable energy in agricultural sector. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 20(1), 224–235. <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.1.224>
- Soudani, M. E., Aiadi, K. E., Bechki, D., & Chihi, S. (2017). Experimental and theoretical study of Parabolic trough collector (PTC) with a flat glass cover in the region of algerian sahara (Ouargla). *Journal of Mechanical Science and Technology*, 31(8), 4003–4009. <https://doi.org/10.1007/s12206-017-0747-3>
- Toğrul, İT., & Pehlivan, D. (2003). The performance of a solar air heater with a conical concentrator under forced convection. *International Journal of Thermal Sciences*, 42(6), 571–581. [https://doi.org/10.1016/S1290-0729\(03\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S1290-0729(03)00023-1)

Springer Nature or its licensor (e.g. a society or other partner) holds exclusive rights to this article under a publishing agreement with the author(s) or other rightsholder(s); author self-archiving of the accepted manuscript version of this article is solely governed by the terms of such publishing agreement and applicable law.



OPEN ACCESS

EDITED BY
Leonardo Micheli,
Sapienza University of Rome, Italy

REVIEWED BY
Omveer Singh,
Gautam Buddha University, India
Muhammad Arshad Shehzad Hassan,
University of Faisalabad, Pakistan
Muhammad Saad,
Sungkyunkwan University, Republic of
Korea
Ali Rohan,
Robert Gordon University,
United Kingdom

*CORRESPONDENCE
Gwi Hyun Lee,
✉ ghlee@kangwon.ac.kr
Aashir Waleed,
✉ aashir.walid@uet.edu.pk

RECEIVED 27 July 2023
ACCEPTED 06 November 2023
PUBLISHED 16 November 2023

CITATION
Javed MR, Hussain MI, Usman M,
Asghar F, Shahid M, Amjad W, Lee GH and
Waleed A (2023), Experimental study on
impact of high voltage power
transmission lines on silicon
photovoltaics using artificial
neural network.
Front. Energy Res. 11:1267947.
doi: 10.3389/feeng.2023.1267947

COPYRIGHT
© 2023 Javed, Hussain, Usman, Asghar,
Shahid, Amjad, Lee and Waleed. This is an
open-access article distributed under the
terms of the [Creative Commons
Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use,
distribution or reproduction in other
forums is permitted, provided the original
author(s) and the copyright owner(s) are
credited and that the original publication
in this journal is cited, in accordance with
accepted academic practice. No use,
distribution or reproduction is permitted
which does not comply with these terms.

Experimental study on impact of high voltage power transmission lines on silicon photovoltaics using artificial neural network

Muhammad Rameez Javed¹, Muhammad Imtiaz Hussain²,
Mudassar Usman¹, Furqan Asghar³, Muhammad Shahid¹,
Waseem Amjad³, Gwi Hyun Lee^{4*} and Aashir Waleed⁵ ^{1*}

¹Department of Electrical Electronics and Telecommunication Engineering, University of Engineering and Technology, Faisalabad Campus, Faisalabad, Punjab, Pakistan, ²Agriculture and Life Sciences Research Institute Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea, ³Department of Energy Systems Engineering, University of Agriculture, Faisalabad, Punjab, Pakistan, ⁴Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea

The recent trend of renewable energy has positioned solar cells as an excellent choice for energy production in today's world. However, the performance of silicon photovoltaic (PV) panels can be influenced by various environmental factors such as humidity, light, rusting, temperature fluctuations and rain, etc. This study aims to investigate the potential impact of high voltage power transmission lines (HVTL) on the performance of solar cells at different distances from two high voltage levels (220 and 500 KV). In fact, HVTLs generate electromagnetic (EM) waves which may affect the power production and photocurrent density of solar cells. To analyze this impact, a real-time experimental setup of PV panel is developed (using both monocrystalline and polycrystalline solar cells), located in the vicinity of 220 and 500 KV HVTLs. In order to conduct this study systematically, the impact of HVTL on solar panel is being measured by varying the distance between the HVTL and the solar panels. However, it is important to understand that the obtained experimental values alone are insufficient for comprehensive verification under various conditions. To address this limitation, an Artificial Neural Network (ANN) is employed to generate HVTL impact curves for PV panels (particularly of voltage and current values) which are impractical to obtain experimentally. The inclusion of ANN approach enhances the understanding of the HVTL impact on solar cell performance across a wide range of conditions. Overall, this work presents the impact study of HVTL on two different types of solar cells at different distances from HVTL for two HV levels (i.e., 220 and 500 KV) and the comparison study of HVTL impact on both monocrystalline and polycrystalline solar cells.

KEYWORDS

transmission lines, electromagnetic waves, high voltage, photovoltaics, artificial neural network-ANN

increase in electromagnetic field strength. Figure 9B expresses the impact of 500 KV lines on the extended range of polycrystalline panels using an Artificial Neural Network (ANN). The ANN, based on deep learning, precisely models the entire voltage spectrum and calculates the impact of HVTL at different distance levels. The obtained results as visualized through curves, indicate that as the distance increases between PV panel and HVTL, the output power increases. On the other hand, when the solar panel moves closer to the HV lines, the output power decreases. The results trend obtained through ANN method is like the results as received through experimental setup. The experimental findings further indicate that the HVTL impact on the open circuited voltage and power of solar panels is greater at the 500 KV level as compared to the 220 KV level. This is attributed to the presence of a stronger magnetic field intensity surrounding the solar module. Additionally, the choice of material also plays a role and monocrystalline materials are less impacted by HVTL as compared to polycrystalline materials under both 220 KV and 500 KV voltage levels.

5 Conclusion

This comprehensive study contributes to our understanding of how HVTLs can influence the performance of solar cells, providing valuable information for the development and implementation of solar energy systems in the presence of high voltage power transmission lines. The solar energy has become a popular candidate in the recent world due to its outstanding advantages. However, it has been observed that solar production performance may get impacted with various environmental factors and thus there is utmost need to explore the possible effect of these factors. This research work focuses on investigating the impact of high voltage power transmission lines (HVTL) on solar cells, specifically at two voltage levels: 220 and 500 KV. Additionally, it also presents a comparative analysis of the HVTL impact on both monocrystalline and polycrystalline solar cells at different distance levels between HVTL and solar panels. The study aims to understand how the presence of HVTLs affects the performance of solar cells, considering factors such as power production and photocurrent density. To achieve this, an experimental setup is established, incorporating both monocrystalline and polycrystalline solar cells and is placed in the proximity of 220 and 500 KV HVTLs. The obtained results show that the electromagnetic fields generated by HVTL reduce the output power of solar panels and deteriorates their performance. It is further noticed that the impact of HVTL on solar panels gets stronger on moving the panels closer to the HVTL due to increase in electromagnetic strength of HVTL. Moreover, the 500 KV HVTL impacts more the solar panels as compared to 220 KV HVTL due to stronger EM waves generated by 500 KV. This study is also evaluated by varying the material of panels and concludes that the monocrystalline panels are less affected by HVTL in comparison to polycrystalline due to their higher solar efficiency with reference to polycrystalline panels.

Data availability statement

The original contributions presented in the study are included in the article/supplementary material, further inquiries can be directed to the corresponding authors.

Author contributions

MJ: Data curation, Formal Analysis, Methodology, Validation, Visualization, Writing—original draft. MH: Software, Validation, Visualization, Writing—review and editing. MU: Investigation, Methodology, Writing—review and editing, Formal Analysis. FA: Investigation, Writing—review and editing, Methodology. MS: Data curation, Writing—original draft, Methodology. WA: Investigation, Writing—review and editing, Project administration. GL: Formal Analysis, Project administration, Writing—review and editing, Resources. AW: Conceptualization, Formal Analysis, Investigation, Project administration, Supervision, Validation, Writing—review and editing.

Funding

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2022R1F1A1062793); Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

Acknowledgments

The authors acknowledge the support of the Department of Energy Systems Engineering, University of Agriculture, Faisalabad and Department of Electrical, Electronics and Telecommunication Engineering, University of Engineering and Technology, Faisalabad Campus for providing the research and testing facility.

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



OPEN ACCESS

EDITED BY
Shahzada Qamar Hussain,
RMIT University, Australia

REVIEWED BY
Saif Ur Rehman,
COMSATS University Islamabad, Pakistan
Muhammad Abdul Basit,
Institute of Space Technology, Pakistan

*CORRESPONDENCE
Gwi Hyun Lee,
gilee@kangwon.ac.kr

RECEIVED 26 August 2023
ACCEPTED 16 November 2023
PUBLISHED 06 December 2023

CITATION
Tamoor M, Bhatti AR, Hussain MI, Miran S,
Kiren T, Ali A and Lee GH (2023), Optimal
sizing and technical assessment of a
hybrid renewable energy solution for off-
grid community center power.
Front. Energy Res. 11:1283586.
doi: 10.3389/fenrg.2023.1283586

COPYRIGHT
© 2023 Tamoor, Bhatti, Hussain, Miran,
Kiren, Ali and Lee. This is an open-access
article distributed under the terms of the
[Creative Commons Attribution License
\(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use, distribution or
reproduction in other forums is
permitted, provided the original author(s)
and the copyright owner(s) are credited
and that the original publication in this
journal is cited, in accordance with
accepted academic practice. No use,
distribution or reproduction is permitted
which does not comply with these terms.

Optimal sizing and technical assessment of a hybrid renewable energy solution for off-grid community center power

Muhammad Tamoor¹, Abdul Rauf Bhatti¹,
Muhammad Imtiaz Hussain², Sajjad Miran³, Tayybah Kiren⁴,
Asma Ali⁵ and Gwi Hyun Lee^{6*}

¹Department of Electrical Engineering and Technology, Government College University Faisalabad, Faisalabad, Pakistan, ²Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea, ³Department of Mechanical Engineering, University of Gujrat, Gujrat, Pakistan, ⁴Department of Computer Science (RCET), University of Engineering and Technology, Lahore, Pakistan, ⁵On Farm Water Management Wing of Agriculture Department Punjab, Lahore, Pakistan, ⁶Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea

Decentralized energy generation systems based on renewable sources have significant potential to assist in the sustainable development of developing countries. The small-scale integration of hybrid renewable energy systems in off-grid communities has not been thoroughly researched. The primary objective is to develop a preliminary design for a PV/biogas hybrid system that can meet the energy needs of an off-grid community center. A survey was conducted to calculate the energy demands of an off-grid community center and a hybrid renewable system has been designed to supply the electricity. The optimum designed system is evaluated by the PVSYS simulation software and SuperPro Designer software. The annual production of the PV system is 34428 kWh/year, specific production is 1118 kWh/kWp/year, and the performance ratio is 81.72%. All the factors that contribute to energy loss are considered in designing a PV system. The average operating efficiency of the inverter is 92.6%, and global inverter losses are 2752.4 kWh. The biogas simulation findings show an adequate match with the composition of conventional biogas and contains 89.64% methane and 5.99% carbon dioxide content. Two sensitivity analyses of biogas based on hydraulic retention time and moisture content have been performed. Measurements readings of hourly data are used to analyse the performance of PV, biogas system as well as the hybrid system performance. At day time, the maximum power generation of the hybrid PV/Biogas and the maximum load demand of the community at that time are 25.2 kW and 24.31 kW, respectively. At night time, the maximum power generation of the hybrid system and the maximum load demand are 9 kW and 8.3 kW, respectively. The power factor (PF) of the system fluctuates between 0.92 and 0.98 and the frequency of the system is constant at 50 HZ.

KEYWORDS

solar photovoltaic, hybrid Energy system, community service, simulation tool, biogas

Measurements of power generation from hybrid, photovoltaic, and biogas system, the loads have been recorded for 15 days to investigate and evaluate the performance of the renewable energy-based hybrid system. The maximum generated power of a photovoltaic system is 25.2 kW, while the maximum generated power of a biogas system is 8 kW. In day time, the maximum power generation of the hybrid photovoltaic-biogas and the maximum load demand of the community at that time are 25.2 kW and 24.31 kW, respectively. At night time, the maximum power generation of the hybrid system and the maximum load demand are 9 kW and 8.3 kW, respectively. The photovoltaic system is capable of supplying the demand for most of the time. When PV produces low power, the power share from the biogas system is required to meet the load demand. The PF of the system fluctuates between 0.92 and 0.98 and the frequency of the system is constant at 50 HZ.

The photovoltaic-biogas hybrid power system has an excellent future because of its operational flexibility in minimizing potential power shortages, both seasonally and at all times of the day, and ensuring a more reliable and efficient supply of power for regions connected to the grid and off-grid. The Sustainable Development Goals (SDG) and other important worldwide environmental and socioeconomic development initiatives/programs would both benefit from increased use of power from renewable sources because of its efficiency and minimizing of carbon footprints. The proposed PV/Biogas hybrid system might also be viewed as a clean development mechanism if the government provides appropriate technical assistance and financing. As a new business opportunity, it will be more attractive to private investors. Finally, this research should convince decision-makers to use the implemented methodology in this work to have the optimum solution for practical renewable energy applications towards reliable solutions.

Data availability statement

The original contributions presented in the study are included in the article/supplementary material, further inquiries can be directed to the corresponding author.

References

- Abbasi, T., Tauseef, S. M., and Abbasi, S. A. (2011). *Biogas energy*, 2. New York, USA: Springer Science & Business Media.
- Admasu, A., Bogale, W., and Mekonnen, Y. S. (2022). Experimental and simulation analysis of biogas production from beverage wastewater sludge for electricity generation. *Sci. Rep.* 12 (1), 9107. doi:10.1038/s41598-022-12811-3
- Aggarwal, M., and Gupta, V. (2009). "Biogas as future prospect for energy dependency and rural prosperity in India: statistical analysis and economic impact," in 2009 Systems and Information Engineering Design Symposium (IEEE), 45-48.
- Alfonso-Solar, D., Vargas-Salgado, C., Sánchez-Díaz, C., and Hurtado-Pérez, E. (2020). Small-scale hybrid photovoltaic-biomass systems feasibility analysis for higher education buildings. *Sustainability* 12 (21), 9300. doi:10.3390/su12219300
- Ali, M. Y., Hassan, M., Rahman, M. A., Kafy, A. A., Ara, L., Javed, A., et al. (2019). Life cycle energy and cost analysis of small scale biogas plant and solar PV system in rural areas of Bangladesh. *Energy Procedia* 160, 277-284. doi:10.1016/j.egypro.2019.02.147
- Ali, S., Yan, Q., Irfan, M., and Chen, Z. (2022). Evaluating barriers on biogas technology adoption in China: the moderating role of awareness and technology understanding. *Front. Environ. Sci.* 10, 887084. doi:10.3389/fenvs.2022.887084
- Al-Najjar, H., El-Khozondar, H. J., Pfeifer, C., and Al Afif, R. (2022a). Hybrid grid-tie electrification analysis of bio-shared renewable energy systems for domestic application. *Sustain. Cities Soc.* 77, 103538. doi:10.1016/j.scs.2021.103538
- Al-Najjar, H., Pfeifer, C., Al Afif, R., and El-Khozondar, H. J. (2022b). Performance evaluation of a hybrid grid-connected photovoltaic biogas-generator power system. *Energies* 15 (9), 3151. doi:10.3390/en15093151
- Antar, M., Lyu, D., Nazari, M., Shah, A., Zhou, X., and Smith, D. L. (2021). Biomass for a sustainable bioeconomy: an overview of world biomass production and utilization. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 139, 110691. doi:10.1016/j.rser.2020.110691
- Bedana, D., Kamruzzaman, M., Rana, M. J., Mustafa, B. A. A., and Talukder, R. K. (2022). Financial and functionality analysis of a biogas plant in Bangladesh. *Heliyon* 8 (9), e10727. doi:10.1016/j.heliyon.2022.e10727
- Buragohain, S., Mohanty, K., and Mahanta, P. (2021). Hybridization of solar photovoltaic and biogas system: experimental, economic and environmental analysis. *Sustain. Energy Technol. Assessments* 45, 101050. doi:10.1016/j.seta.2021.101050
- Celli, G., Ghiani, E., Loddo, M., Pilo, F., and Pani, S. (2008). "Optimal location of biogas and biomass generation plants," in 2008 43rd international universities power engineering conference (IEEE), 1-6.

Author contributions

MT: Writing-original draft. AB: Conceptualization, Supervision, Writing-review and editing. MH: Funding-acquisition, Resources, Writing-review and editing. SM: Project-administration, Validation, Writing-review and editing. TK: Formal-analysis, Software, Writing-review and editing. AA: Data-curation, Writing-review and editing. GL: Funding-acquisition, Resources, Writing-review and editing.

Funding

The author(s) declare financial support was received for the research, authorship, and/or publication of this article. This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2022R1F1A1062793); Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.



Contents lists available at ScienceDirect

Alexandria Engineering Journal

journal homepage: www.elsevier.com/locate/aej



Original article

Modeling and optimization of impinging jet pressure using artificial intelligence

Sajjad Miran^a, Muhammad Imtiaz Hussain^b, Tahir Abbas Jauhar^a, Tayybah Kiren^c,
Waseem Arif^a, Gwi Hyun Lee^{d,*}

^a Department of Mechanical Engineering, University of Gujrat, Pakistan

^b Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon, South Korea

^c Department of Computer Science (RCET), University of Engineering and Technology Lahore, Pakistan

^d Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, South Korea



ARTICLE INFO

Keywords:
Impinging jet
Pressure distribution
Nozzle to Plate Distance
Artificial Intelligence

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) can be used to model efficient processes. In this paper, AI and CFD are employed to maximize the wall pressure of the impinging jet, which has a wide range of industrial and technological applications. Firstly, the CFD model is validated with the experimental results for various geometrical and flow rate configurations ($H/D = \{1, 2, 3, 4, 5, 10, 20\}$, where H is nozzle to flat plate distance and D is nozzle diameter, and Reynolds Number (Re) ranges ($Re = \{15,000, 25,000, 30,000\}$). In explanatory data analysis, Pressure and D are slightly negatively correlated. Re and D show a negative relation of -0.2 whereas a slight negative relation appears for D vs H/D . Re vs H/D have a positive correlation of 0.2 . Various activation functions were explored to find that tangent hyperbolic performed best model fit under AI. The Artificial Neural Networks (ANNs) are applied to train the model with minimized least squared error. Finally, the trained model is optimized for the maximum wall pressure over the distance. The maximum pressure obtained from the trained model is 383.83 KPa.

1. Introduction

Turbulent impinging jets present an interesting case for investigation due to their significance in many industries and their ongoing role in the growth of humankind's physical understanding of turbulence in general. Turbulent jets have become commonplace in today's technological society in many areas such as propulsion, heat transfer using jet impingement, combustion, or buoyant plume exiting the exhaust of cars, factories, and homes. A considerable amount of investigation has been carried out on the behavior of impinging jets, especially concentrated on flow and heat transfer characteristics [1].

The impingement phenomenon consists of different regions. Fig. 1 shows the region-based classification of various impinging jet zones [1–3]. Classification starts with region-I being the free jet portion, region-II being the impingement zone, and the region-III being the axisymmetric wall jet portion. Other than these three regions, region-IV represents the jet's core, and region V represents the ambient pressure region. The boundary layer is developed in region II and then after going through a transition state the flow enters a turbulence regime. These

regions are identified in a series of experimental studies.

The various regions of impinging jets have been studied experimentally including single, two-plane parallel, and submerged jets. Wolfshtein studied the planer turbulent impinging jet experimentally [4]. Elbanna and Gahin used an experimental method to investigate the two-plane parallel jets; the measured properties are the mean velocity, the turbulent intensity, and Reynolds shear stress [5]. Amano and Brandt studied the characteristics of turbulent submerged axisymmetric incompressible jets impinging on flat plate [6]. Araújo et al. used Laser Doppler Anemometry (LDA) to study the flow characteristics of a single round free jet impinging perpendicularly and obliquely on a large plate [7]. Kotonsky developed an engineering methodology based on an empirical database and analytical fluid dynamic models for the prediction of propulsive lift system-induced aerodynamic effects for multiple lift jet VTOL aircraft operating in the hover made in and out of ground effect [8].

Hydrodynamic studies of impinging jets were performed to support validation of turbulence models as well. Deshpande and Vaishnav made flow structure and surface shear stress measurements on a submerged

* Corresponding author.

E-mail address: gblee@kangwon.ac.kr (G.H. Lee).

<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.12.048>

Received 15 April 2023; Received in revised form 2 December 2023; Accepted 22 December 2023

Available online 5 January 2024

1110-0168/© 2024 The Author(s). Published by Elsevier BV on behalf of Faculty of Engineering, Alexandria University This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

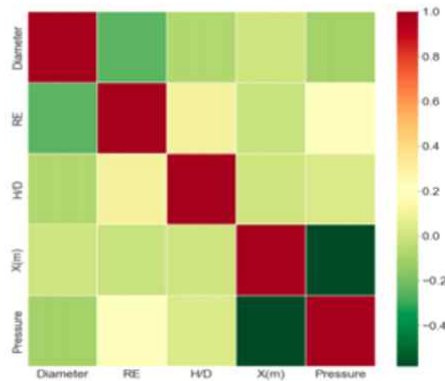


Fig. 14. Correlation map of the variables with pressure.

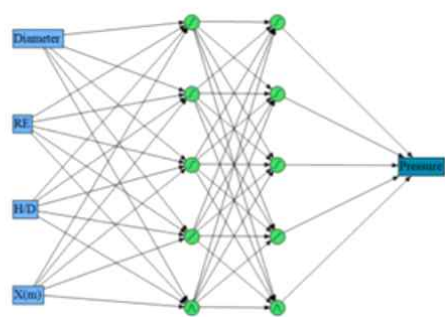


Fig. 15. Neural network model.

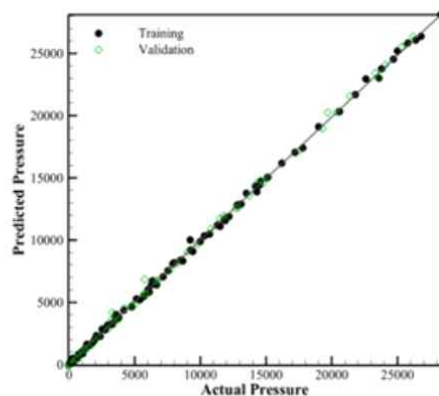


Fig. 16. Comparison of actual and predicted pressure for training and validation data.

activation function. The overall result of this combination was a significant improvement in the model accuracy of approximately one percent. This advantage is noteworthy when compared to the actual

experimental setup, which is costly and time-consuming for obtaining the required values, or the time and computational cost incurred in performing CFD. However, the present model has certain limitations, such as the number of diameters used for training the ANN. The model may provide accurate predictions for $D=3$ mm and 5 mm; however, for relatively smaller or larger diameters, considerable variations from the actual pressure value might arise.

The present study reports the optimal values of variables that maximize pressure in the impinging jet system. This finding has important implications for the control of process equipment in automated systems. Specifically, the control of the variable of choice can be utilized to achieve active pressure variations and perform desired tasks. An example of such an application is the autonomous pressure washers. Further investigation is required to fully explore the potential of this approach and its applicability to other industrial and technological contexts.

6. Conclusions

This paper presents a neural network model for multiphase physics. The model provides simple numerical relationships to predict pressure values for various input parameter combinations. The optimization of the model allows for the prediction of pressure values within the limits of the input parameters. This study contributes significantly to the field by:

1. Providing experimental data for various combinations of independent variables.
2. Validating the CFD model using the k- ϵ turbulence model.
3. Correlations of various input parameters on output pressure.
4. Investigating the limitations of different activation functions.
5. Impact of activations functions on the model's performance through the application of ANN.

The value of pressure becomes 383.83 KPa with control variables $Re=3000$, $D=4.7$ mm, and $H/D=1$ at $x/D=0.05$. The minimum positive pressure value is 48.08 Pa at $x/D=1.85$. This paper presents a potential control strategy for industrial pressure machinery. The proposed strategy utilizes a combination of model-based control and machine learning techniques to optimize for the required pressure values and maintain consistent performance. The strategy may involve developing a dynamic model of the machinery and using it to predict the optimal input values for maximum pressure output. The model presented in this study may be then refined using the machinery's actual values to improve its accuracy and adaptability to changing operating conditions in future studies.

Funding

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. 2022R1F1A1062793); Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- [1] S.D. Barrewar, M. Joshi, P.O. Sharma, P.S. Kalos, B. Bakthavatchalam, S. S. Chougale, K. Habib, S.K. Saha, Optimization of jet impingement heat transfer: a



OPEN ACCESS

EDITED BY
Peng-Yeng Yin,
Ming Chuan University, Taiwan

REVIEWED BY
Ammar Necaibia,
Renewable Energy Development Center,
Algeria
Hai Wang,
Zhaoqing University, China

*CORRESPONDENCE
Muhammad Mubashar Omar,
||| mubi_mahmood@yahoo.com
Gwi Hyun Lee,
||| ghlee@kangwon.ac.kr

RECEIVED 13 September 2023
ACCEPTED 26 December 2023
PUBLISHED 09 February 2024

CITATION
Saeed F, Ghafoor A, Hussain MI, Ikram K,
Faheem M, Shahzad M, Amjad W, Omar MM and
Lee GH (2024), Empirical and numerical-based
predictive analysis of a single-axis PV system
under semi-arid climate conditions of Pakistan,
Front. Energy Res. 11:1293615.
doi: 10.3389/fenrg.2023.1293615

COPYRIGHT
© 2024 Saeed, Ghafoor, Hussain, Ikram,
Faheem, Shahzad, Amjad, Omar and Lee. This is
an open-access article distributed under the
terms of the [Creative Commons Attribution
License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). The use, distribution or
reproduction in other forums is permitted,
provided the original author(s) and the
copyright owner(s) are credited and that the
original publication in this journal is cited, in
accordance with accepted academic practice.
No use, distribution or reproduction is
permitted which does not comply with these
terms.

Empirical and numerical-based predictive analysis of a single-axis PV system under semi-arid climate conditions of Pakistan

Farwa Saeed^{1,2}, Abdul Ghafoor², Muhammad Imtiaz Hussain³, Kamran Ikram¹, Muhammad Faheem², Muhammad Shahzad⁴, Waseem Amjad⁴, Muhammad Mubashar Omar^{4*} and Gwi Hyun Lee^{5*}

¹Department of Agricultural Engineering, Khawaja Fareed University of Engineering and Information Technology, Rahim Yar Khan, Pakistan, ²Department of Farm Machinery and Power, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Agriculture Faisalabad, Faisalabad, Pakistan, ³Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea, ⁴Department of Energy Systems Engineering Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Agriculture Faisalabad, Faisalabad, Pakistan, ⁵Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, Republic of Korea

Power generation from fossil fuels is the biggest challenge in the next half of the century. Alternative power generation techniques such as solar photovoltaic (PV) show potential to act as a future fuel with a challenge to efficiently convert the harvested solar energy into electrical power. This investigation conclusively focused on setting a 2.160-kW solar PV system capable of working at a higher efficiency by developing a mechanical structure that optimizes power production and minimizes energy losses. In addition to that, solar PV system efficiencies at various tracking positions, performance coefficients during rainy and sunny days, and system degradation rates have also been investigated. The PVsyst v6.8 simulation tool was used to obtain the simulated results, which were compared with the actual experimental results. The parameters considered for the investigations include ambient temperature, irradiance, solar PV module surface temperature, solar PV voltage and current, wind velocity, and atmospheric turbidity. The solar PV system was evaluated based on two modes, namely, M₁ (no tracking/ fixed type) and M₂ (manual tracking by changing the position of the solar PV system every hour). The predictive results obtained using PVsyst v6.8 concluded that total energy production from the installed system was 3,242 kWh/yr and 3,984 kWh/yr for M₁ and M₂, respectively. The performance ratio (PR), obtained from simulation, was 72% and 78% for M₁ and M₂, respectively, which was consistent with the experimental results, i.e., 70% and 72% for M₁ and M₂, respectively. Similarly, the power conversion efficiencies under standard temperature and conditions for both modes, simulated and experimental, were found to be 16.50% and 12.75%, respectively. The estimated degradation rate was observed in the range of -0.6% to -5.0%.

KEYWORDS

photovoltaic, solar tracking system, three-point manual tracking, performance ratio, standard temperature and conditions

investigation, methodology, supervision, and writing–review and editing.

Funding

The author(s) declare financial support was received for the research, authorship, and/or publication of this article. This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korean government (MSIT) (No. 2022R1F1A1062793) and the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry (IPET) through the Technology Commercialization Support Program, funded by the Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

References

- Abu-Khader, M. M., Badran, O. O., and Abdallah, S. (2008). Evaluating multi-axis sun-tracking system at different modes of operation in Jordan. *Renew. Sustain Energy Rev.* 12, 864–873. doi:10.1016/j.rser.2006.10.005
- Ahmad, S., Shafie, S., and Mohd Zainal Abidin Ahmad, A. K. N. S. (2013). On the effectiveness of time and date-based sun positioning solar collector in tropical climate: a case study in Northern Peninsular Malaysia. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 28, 635–642. doi:10.1016/j.rser.2013.07.044
- Ali Memon, Q., Rahimoon, A. Q., Ali, K., Fawad Shaikh, M., and Ahmed Shaikh, S. (2021). Determining optimum tilt angle for 1 MW photovoltaic system at Sukkur, Pakistan. *Int. J. Photoenergy* 2021, 1–8. doi:10.1155/2021/5552637
- Anjum, S., and Beg, S. (2018). Design and performance Analysis of A grid connected solar photovoltaic system. *IOSR J. Eng. (IOSR/EN)* 08 (08), 06–10.
- Arbab, H., Jazi, B., and Rezagholizadeh, M. (2009). A computer tracking system of solar dish with two-axis degree freedoms based on picture processing of bar shadow. *Renew. Energy* 34, 1114–1118. doi:10.1016/j.renene.2008.06.017
- Arham Hashmi, S. A., Usman, M., Junaid, M., Badshah, S., and Nawaz, A. (2018). "Design & fabrication of gravity based solar tracker applied on scheffler reflector," in 2018 International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET), Islamabad, Pakistan, 10th–12th September 2018, 1–4. doi:10.1109/PGSRET.2018.8686031
- Baykara, Z. S., Figen, H. E., and karaismailoglu, M. (2020). "Environmental issues and social issues with renewable energy," in *Comprehensive renewable energy book*. 2nd Edition.
- Caton, P. (2014). Design of rural photovoltaic water pumping systems and the potential of manual array tracking for a west-african village. *Sol. Energy* 103, 288–302. doi:10.1016/j.solener.2014.02.024
- Chang, T. P. (2009a). The gain of single-axis tracked panel according to extraterrestrial radiation. *Appl. Energy* 86 (7), 1074–1079. doi:10.1016/j.apenergy.2008.08.002
- Chang, T. P. (2009b). Performance study on the east-west oriented single-axis tracked panel. *Energy* 34, 1530–1538. doi:10.1016/j.energy.2009.06.044
- Chowdhury, M. E. H. (2019). Amith khandakar, belayat hossain, and rayaan abouhasera. A low-cost closed-loop solar tracking system based on the sun position algorithm. *Hindawi J. Sensors* 2019, 11. doi:10.1155/2019/3681031
- Dubey, R. (2016a). An integrated framework of joint venture success. *IJSBA* 5, 1. doi:10.1504/IJSBA.2016.078248
- Dubey, R., Chattopadhyay, S., Kuthanazhi, V., John, J., Ansari, F., Rambabu, S., et al. (2016b). O.S all-india survey of PV module reliability, 1–164.
- Dubey, R., Chattopadhyay, S., Kuthanazhi, V., Kottantharayil, A., Singh Solanki, C., Arora, B. M., et al. (2017). Comprehensive study of performance degradation of field-mounted photovoltaic modules in India. *Energy Sci. Eng.* 5, 51–64. doi:10.1002/ese3.150
- Eke, R., and Sentruk, A. (2012). Performance comparison of a double-axis sun tracking versus fixed PV system. *Sol. Energy* 86, 2665–2672. doi:10.1016/j.solener.2012.06.006

Conflict of interest

The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's note

All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors, and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

ESMAP (2021). *Energy sector management assistance program*.

Faheem, M., Jizhan, L., Akram, M. W., Khan, M. U., Yonphet, P., Tayyab, M., et al. (2020). Design optimization, fabrication, and performance evaluation of solar parabolic trough collector for domestic applications. *Energy sources*, 1–20. doi:10.1080/15567036.2020.1806407

Ghafoor, A., Munir, A., Ahmed, T., Nauman, M., Amjad, W., and Zahid, A. (2019). Investigation of hybrid solar-driven desalination system employing reverse osmosis process. *Desalination Water Treat.* 178, 32–40. doi:10.5004/dwt.2020.24996

Harijan, K. (2008). *Modeling and Analysis of the potential demand for renewable sources of energy in Pakistan*. Pakistan: Mehran University of Engineering and Technology.

Huang, B. J., Huang, Y. C., Chan, G. Y., Hsu, P. C., and Li, K. (2012). Improving solar PV system efficiency using one-axis 3-position sun tracking. *Energy Procedia* 33, 280–287. doi:10.1016/j.egypro.2013.05.069

Krishnan, S. K., Kandasamy, S. K., and Subbia, K. (2021). Fabrication of microbial fuel cells with nanoelectrodes for enhanced bioenergy production. *Nanomater. Appl. Biofuels Bioenergy Prod. Syst.*, 677–687. doi:10.1016/B978-0-12-822401-4.00003-9

Kumar, N. M., Gupta, R. P., Mathew, M., Jayakumar, A., and Kumar Singh, N. (2019). Performance, energy loss, and degradation prediction of roof-integrated crystalline solar PV system installed in Northern India. *Case Stud. Therm. Eng.* 13, 100409. doi:10.1016/j.csite.2019.100409

Lavanya, B. G., Nagesh, H., and Naganagowda, H. (2018). Simulation based performance evaluation of 10MW grid connected solar power PV plant. *Int. Res. J. Eng. Technol.* 5 (7), 387–391.

Li, Z., Liu, X., and Tang, R. (2010). Optical performance of inclined south-north single-axis tracked solar panels. *Energy* 35, 2511–2516. doi:10.1016/j.energy.2010.02.050

Li, Z., Liu, X., and Tang, R. (2011). Optical performance of vertical single-axis tracked solar panels. *Renew. Energy* 36, 64–68. doi:10.1016/j.renene.2010.05.020

Mehdi, G., Ali, N., Hussain, S., Zaidi, A. A., Hussain Shah, A., and Azeem, M. M. "Design and fabrication of automatic single Axis solar tracker for solar panel," in 2019 2nd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies, Sukkur, Pakistan, January 30–31, 2019.

Muhammad, Ya'u. J., Tajudeen Jimoh, M., Baba Kyari, I., Abdullahi Gele, M., and Musa, I. (2019). A review on solar tracking systems: a technique of solar power output enhancement. *Eng. Sci.* 4 (1). doi:10.11648/j.es.20190401.11

Nageh, M., Abdullah, M. P., and Yousef, B. (2021). "Energy gain between automatic and manual solar tracking strategies in large scale solar photovoltaic system- 12 cities comparison," in IEEE International Conference in Power Engineering Application (ICPEA), Shah Alam, Selangor, Malaysia, 8th to 9th March 2021.

NTDC (2008). Electricity demand forecast. Available at: <http://www.ntdc.com/loadforecastpdl>.

Otieno, O. R. (2015). *Solar tracker for solar panel*. Kenya: University of Nairobi.

√. 국내 학술회의 발표: 10건

<국내 학술회의 발표 1>

(사)한국농업기계학회/2021년 추계공동학술회

코일형 흡수기를 장착한 집광시스템의 성능분석 Efficiency Analysis of Conical Solar Concentrator with Coil Absorber

조재민¹ 이귀현^{2*}
Jae Min Cho¹ Gwi Hyun Lee^{2*}

¹강원대학교 바이오시스템기계공학과

²Department of Biosystems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

²강원대학교 스마트농업융합학과

²Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

초록(Abstract)

전 세계적으로 기술이 발전하고 성장함에 따라 에너지 사용량이 급격히 증가하고 있다. 에너지원 중 화석 연료의 사용량이 월등히 높는데, 이는 에너지화에 들어가는 비용이 저렴하고, 지구상에 고르게 분포하며 큰 에너지를 생산할 수 있기 때문이다. 하지만 급격한 팽창을 보이고 있는 국내 에너지 소비량의 증가를 화석 연료만으로 충족시키기에는 과도한 온실가스 배출로 기후변화와 지구 온난화에 영향을 준다는 문제점이 있다. 따라서, 에너지 소비가 증가하고 온실가스 배출이 증가하고 있는 현시점에서 친환경적이고, 지속 가능한 에너지인 신·재생에너지로서의 에너지전환이 필요한 시점이다.

따라서 본 연구에서는 신재생에너지인 태양열을 효과적으로 이용하기 위한 원추형 집광기의 흡수기를 이중 코일형으로 제작 및 설비하여, 원추형 집광기의 집열성능을 분석하였다. 제작된 이중 코일흡수기는 원추형 집광기의 고정 장치에 의해 중앙에 고정되며, 태양열의 흡수율을 높이기 위해 흡수기 표면에 무광 흑색으로 도장되었다. 원추형 집광시스템의 최고효율을 얻기 위해 태양추적시스템을 적용하여 원추형 집광기에 태양에너지가 수직으로 입사할 수 있도록 실험을 수행하였다. 작동유체는 물을 사용하였으며, 작동유체의 유량을 2 L/min, 4 L/min, 6 L/min, 8 L/min으로 변경하면서, 유량에 따른 이중 코일 흡수기를 장착한 원추형 집광기의 성능실험을 수행하였다. 유량이 6 L/min 일 때 이중 코일흡수기를 적용한 원추형 집광시스템에서의 평균 집열효율은 78.16%로 최고효율을 나타냈으며, 2 L/min, 4 L/min, 8 L/min 일 때 각각 70.80%, 74.38%, 75.91%로 나타났다.

키워드(Keywords)

집열시스템, 집광기, 태양열, 신재생에너지

사사(Acknowledgement)

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 기술사업화지원사업의 지원을 받아 연구되었음(No. 821048-3)

*교신저자: 이귀현(ghlee@kangwon.ac.kr)

Effectiveness Analysis of the Absorber Type for Conical Solar Concentrator Using Nanofluid

Alsalam Haedr Abdalha Mahmood¹, M. Imtiaz Hussain²,
Gwi Hyun Lee^{3*}

¹Department of Biosystems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

²Agriculture and Life Sciences Research Institute Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

³Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

Abstract

Recently, the progressive development of modern technology continues to increase human energy demand. Energy usage is increasing globally, and researchers have enormously fulfilled future energy demands. The current and expected energy sources are not sustainable. Therefore, clean renewable energy is becoming a necessity. As one of the options, many studies have been conducted on solar energy systems. However, solar energy is low in energy density and requires a lot of installation area, requiring heat collection and heat storage technology. By now, many researches have been conducted on the conical solar system to improve the efficiency, such as an optimum conical angle, calculation of the best flow rate, an absorber shape, etc. The changes inside the absorber tube by adding the coil between the inner and outer tubes are also related to the efficiency improvement of the conical concentrator system. Therefore, in our current work, thermal efficiencies of the existing circular absorber tube without coil and new circular absorber tube with coil installed in the same conical concentrator system were compared. For efficiency analysis, the flow rate is kept steady at 6L/min. CuO-water nanofluid were used as heating media. The conical solar collector (CSC) efficiency with the new coil circular absorber was compared with that of the (CSC) with an existing circular absorber without the coil. As a result, the coil absorber's thermal efficiency was increased over 10 % in comparison with that of an existing circular absorber tube using the CuO-water nanofluid.

Keywords

Conical Solar Collector, Thermal Efficiency, Solar Energy

Acknowledgment

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

*Corresponding Author: Gwi Hyun Lee (ghlee@kangwon.ac.kr)

(사)한국농업기계학회/2021년 추계공동학술대회

Heat Transfer Enhancement in Concentrating Solar Collector with Wire-mesh Concentric Tube Absorber

M. Imtiaz Hussain¹ Alsalam Haedr Abdalha Mahmood² Gwi Hyun Lee^{3*}

¹Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

²Department of Biosystems Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

³Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, 24341, Korea

Abstract

This paper utilizes a wire mesh concentric tube absorber for a conical solar collector (CSC) for improving uniformity of heating and convection heat transfer coefficient between the absorber surface and circulating fluid. Temperature distribution uniformity along the circumference and axial distance of the absorber is very important to minimize the thermal stress and thus, heat loss to ambient air. A cone-shaped solar collector usually reflects incident solar radiation non-uniformly onto the entire absorber's length because of its diverging shape. Therefore, to cope with this problem, a concentric tube absorber with longitudinal wire meshes in the flow passage is suggested in this study. The thermal performance of the wire mesh absorber is compared with a reference identical absorber without wire mesh. Different aspects of heat and fluid flow in the concentric tube absorber with and without wire mesh are predicted using ANSYS Fluent software. For model validation, the experimental data of the reference conical solar collector are compared with the results from the proposed model. Based on the comparison, an optimized wire mesh absorber model for the conical solar collector is developed and analyzed in detail under different operating conditions. Effect of the wire mesh absorber on the system performance was investigated by considering thermal efficiency, convection heat transfer coefficient, friction factors, Colburn factors, and pumping power. It is found that by incorporating wire mesh in the flow passage, the thermal performance of the collector enhanced significantly. It has also been observed that the thermal efficiency of the absorber with wire mesh is increased by 30% compared to that of reference concentric tube absorber. Furthermore, heat losses are reduced notably and thus improve the uniformity of the temperature distribution across the absorber length.

Keywords:

Conical solar collector, Wire mesh concentric tube absorber, Numerical analysis, Model validation

Acknowledgment

This work was supported by Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

*Corresponding author: Gwi Hyun Lee (ghlee@kangwon.ac.kr)

<국내 학술회의 발표 4>

(사)한국농업기계학회/2022년 추계공동학술대회

High Solar Flux Dryer for Various Agricultural Products

M. Intiaz Hussain¹ Gwi Hyun Lee^{2*}

¹Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University,
Chuncheon, Korea

²Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University,
Chuncheon, Korea

Abstract

The main purpose of this paper is to develop a solar dryer capable of drying various agricultural products. The solar agricultural products dryer consists of a conical concentrators, heat storage tank and dryer. The inside temperature of the dryer is controlled by the control box, which consisted controller (FOX-2001, Daesung ENG, KOREA), magnetic switch, earth leakage breaker, operation lamp, temperature relay, timer relay and digital temperature compensated crystal oscillator (DTXCO). Pumpkin and carrots were used as agricultural products. For the performance evaluation, the time required to reach the set temperature and the humidity were measured. It was observed that the inside chamber temperature was kept at the set temperature for 10 hours. Experimental results showed that the drying times which take to reach the set drying temperature of 40℃, 50℃, and 60℃ were 20 minutes, 45 minutes, and 60minutes, and the temperature inside the dryer was maintained well at the set temperature for 10 hours. The experimental results were considered to be suitable for drying various crops. For future study, simulations will be used to analyze the temperature distribution inside the dryer and to modify the system for a smoother drying. Economic analysis will also be carried out to demonstrate that the proposed solar agricultural product dryer is economic energy-saving devices for farmers.

Keywords

High flux, Solar dryer, Experimental study

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

*Corresponding author: Gwi Hyun Lee (ghlee@kangwon.ac.kr)

The Influence of the Glass Cover Absorber on the Thermal Efficiency of a Conical Solar Concentrator

Haeder Abdalha Mahmood Alsalame¹ Gwi Hyun Lee^{1*}

¹Department of Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract

A conical solar concentrating system with a glass cover on the absorber is proposed in this study to improve thermal efficiency and reduce convective heat loss. The purpose of covering the absorber with a glass tube is to prevent direct contact of the absorber surface with ambient air. A copper coil was inserted between the inner and outer tubes to increase the surface area of the absorber. Various tests were carried out using the two configurations indicated above under varying fluid flow rates and similar environmental conditions. Different fluid flow rates, including 2 L/min, 4 L/min, 6 L/min, and 8 L/min were evaluated to determine the conical concentrator system's optimum performance. The conical concentrator system tested for performance according to changes in ambient air showed the highest efficiency at a critical flow rate of 6 L/min, and the conical concentrator with the glass cover absorber had a thermal efficiency that was 4.15% higher compared to the double coil absorber.

Keywords

Glass cover, Conical concentrator, Critical flow, Convective heat loss, Thermal efficiency

Acknowledgments

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

* Corresponding Author: Gwi Hyun Lee (ghlee@kangwon.ac.kr)

Assessment of the Thermo-Economic Performance of a Conical Solar Concentrating System Utilizing a Coil-Based Absorber

Haeder Abdalha Mahmood Alsalamé¹, Gwi Hyun Lee^{1*}

¹Department of Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Korea

Abstract

Global demand for fossil fuels to produce energy has long been associated with pollution and rising greenhouse gas (GHG) emissions. Every day, the energy consumption is increasing; therefore, it's critical to advance renewable energy-using technologies. With the abundant availability of sustainable energy, solar power is becoming a necessity. However, solar energy has a low energy density and therefore requires a large installation area, which requires heat collection and heat storage technology. Much research is now being done on the conical solar systems to improve efficiency including calculating an optimal cone angle, finding the best flow ratio and the best absorber design, etc. Therefore, in this study, thermal performance of a conical solar collector (CSC) was assessed with a new design of concentric tube absorber (addition of a coil) and compared to the existing circular tube absorber. It was found that 6 L/min flow rate of heating medium (distilled water and CuO nanofluid) gave lower payback period and higher solar fraction of the system in both cases of absorber tube, i.e., without coil and with coil. However, comparatively, thermal efficiency of CSC with coil-based absorber was almost 10-12% higher than conventional system (without coil) regardless of type of heating medium used.

Keywords

Glass cover, Conical concentrator, Critical flow, Convective heat loss, Thermal efficiency

Acknowledgments

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

*Corresponding author: Gwi Hyun Lee (ghlee@kangwon.ac.kr)

Performance Analysis of Fresnel Concentrator Using Nanofluid

Kyeong Sik Kang¹, Gwi Hyun Lee^{1*}

¹Department of Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

Abstract

Solar energy is an infinite energy source, which can be used for heating system with producing the hot water by absorbing and storing solar heat. Previously, solar heat collectors mainly use water as the thermal medium for absorbing and storing heat. With the recent development of nanotechnology, nanofluids using nanoparticles have been studied and used. In order to improve the efficiency of the Fresnel concentrator, nanofluid and water were applied as the thermal medium of the system and compared after performance analysis. A nanofluid was a fluid prepared with dispersing nanoparticles having high thermal conductivity using distilled water as a base fluid. Nanofluids have higher thermal conductivity than common heat media such as water, so it can possible to expect an increase the efficiency of the concentrator. In this study, nanofluids were fabricated by adding aluminum nanoparticles at a concentration of 0.05% and to improve the dispersion stability of the nanoparticles, the surfactant CTAB was added at 1/10 times, 1 time, and 10 times based on the CMC concentration. Among them, 1/10 times the highest thermal conductivity was selected as the thermal medium of the concentrator. The experiment was conducted for 240 minutes under the same conditions on a clear day using water and aluminum nanofluid as a thermal medium. As the results of the experiment, nanofluids showed higher efficiency than water, and among them, the higher the flow rate, the higher the efficiency.

Keywords

Solar energy, Thermal energy, Nanofluids, Fresnel concentrator

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

*Corresponding author: Gwi Hyun Lee (ghlee@kangwon.ac.kr)

Comparative Evaluation of Two Types of Fresnel-lens Solar Collectors for Agricultural Facilities

HAM Alsalamé¹, Gwi Hyun Lee^{1*}

¹Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

Abstract

Sustainable farming and reducing the agricultural industry's environmental impact rely on efficient solar energy use in agricultural facilities. Fresnel-lens solar collectors, known for their solar thermal energy capture potential, are of interest. This study compares linear and spot Fresnel lenses to determine their suitability for enhancing crop output and energy sustainability in agriculture. Both collector types were tested under identical weather and operational conditions, ensuring fair comparisons with similar storage capacity and lens surface areas. Both systems featured circulating pumps for convective heat transfer and dual-axis solar trackers. The spot collector outperformed the linear one with superior thermal efficiency and higher energy yield per unit area. Increasing storage capacity reduced payback time and increased electricity savings for both. The spot collector performed 10% better than the linear one. Notably, adjusting the greenhouse heat exchanger's inflow rate showed promise for achieving required plant growing temperatures for various crops

Keywords

Solar energy; Spot Fresnel lenses; linear Fresnel lenses; Experimentation

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

*Corresponding author: Gwi Hyun Lee (ghlee@kangwon.ac.kr)

CFD-Based Evaluation of the Efficiency for Solar Collectors with Fresnel Lenses

Kyeong Sik Kang¹, Gwi Hyun Lee^{1*}

¹Department of Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

Abstract

The main objectives of this study are to evaluate the performance of a solar thermal collection system utilizing Fresnel lenses through CFD simulation. Solar energy is an infinite energy source, and it can be used for heating and thermal systems. The efficiency of solar thermal energy systems is primarily dependent on the efficiency of the collector unit, leading to the development of various solar thermal systems. In this research, CFD numerical analyses were conducted on two types of solar collection systems using Fresnel lenses to maximize the efficiency of solar energy collection. The first system consists of 16 small Fresnel lenses, a square pipe through which the heat transfers medium flows, and the collector component, forming a flat plate type collector. The second system comprises a single large Fresnel lens and a double-cylinder shell-type absorber that absorbs heat from the lens. To perform CFD analysis, the geometry of the solar thermal collection system was created using 3D modeling software, and a mesh was generated on the 3D model. Subsequently, ANSYS Fluent 2022 R2 software was used to establish the physical models describing the fluid dynamics and heat transfer within the solar thermal collection system, along with setting boundary conditions involving external heat sources. Numerical analysis was then conducted using the software, and the results of both systems were analyzed. While the flat plate collector averaged 60-70% efficiency, a single large Fresnel lens with the double cylindrical shell absorber outperformed it by approximately 5% with an average efficiency of 65-75%. A satisfactory agreement was found when comparing the experimental data from previous studies with the results of this research. In the future, it is anticipated that this system can be further analyzed under various conditions, including different heat transfer media and solar radiation levels. A solar collector of the single large Fresnel lens had demonstrated higher efficiency, and it is believed that improvements in performance and cost-related challenges could make it suitable for applications requiring high energy efficiency, such as hot water supply and heating and cooling systems.

Keywords

CFD Simulation, Solar Thermal Collection Systems, Renewable Energy, Heat Transfer, Comparative Analysis

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

*Corresponding author: Gwi Hyun Lee (ghlee@kangwon.ac.kr)

Performance Optimization of High Concentration Photovoltaic System

M. Imtiaz Hussain¹, Gwi Hyun Lee^{2*}

¹Agriculture and Life Sciences Research Institute, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

²Interdisciplinary Program in Smart Agriculture, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

Abstract

This study describes CFD analysis and experimentation of a high concentration photovoltaic thermal (PV/T) system, with the aim of locating the optimal power outputs against different operating conditions. This system consists of multiple high-concentration solar cells and Fresnel lenses aligned against each solar cell, and mounted on a dual axis tracking system. Energy performance analysis has been performed by considering variations in flow rate, solar irradiation and ambient temperature. The thermal and electrical power outputs also varied with changes in the ambient temperature and available solar radiation. Through the numerical and experimental studies an optimum flow rate was located at a given irradiation and ambient temperature. The relatively high value of PV/T power was observed against the optimum flow rate. A minimal deviations of <6% was observed between the numerical and experimental findings.

Keywords

High-PV/T; CFD analysis; Optimum flow rate; Experimentation

Acknowledgement

This work was supported by the Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture and Forestry (IPET) through Technology Commercialization Support Program, funded by Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (MAFRA) (No. 821048-3).

*Corresponding author: Gwi Hyun Lee (ghlee@kangwon.ac.kr)

<전문 연구 인력 양성 2>

문서확인번호:38340-89957-103115-001
본 증명서는 <http://hcv.citech.kr/A003> 에서 원본 여부를 확인할 수 있습니다. (발급일로부터 180일간)

학 위 수 여 증 명 서

제 2022C22 - 00904 호

성 명 : 알살라미 헤이드르 압달라 마흐무드 성별 : 남
생 년 월 일 : 1994년 11월 26일
소 속 : 일반대학원 바이오시스템공학과
전 공 : 바이오시스템공학전공
과 정 : 석사과정
학 위 명 : 공학석사(바이오시스템공학과)
입 학 일 : 2019년 3월 4일
학 위 수 여 일 : 2022년 2월 22일
학위 등록 번호 : 강원대2021(석)430

위 사실을 증명합니다.

2022년 10월 31일

강 원 대 학 교 총



춘천시 강원대학길1(효자동) 춘천캠퍼스 학사지원과 TEL : 033)250-8272
삼척시 중앙로 346 삼척캠퍼스 교육지원과 TEL : 033)570-6211

√. 기타(타연구활용): 1건

<타 연구활용 1>

표준협약서

(전문기관 및 주관연구기관 협약용)

연구개발사업명	기본연구				
연구개발과제명	태양에너지를 이용한 고 효율의 에너지 절감형 온실 난방 시스템 개발				
협약연구개발비	42,791 (단위:천원)				
부처	과학기술정보통신부	전문기관	한국연구재단		
주관연구기관	강원대학교 산학협력단 단장	주관 연구책임자	이귀현		
연구 개발비	(단위:천원)				
	구분	정부출연금	기업부담금	기타	계
	1차 연도	42,791			42,791
	2차 연도	57,055			57,055
	3차 연도	57,055			57,055
	4차 연도				
	5차 연도				
	6차 연도				
	7차 연도				
	8차 연도				
계	156,901			156,901	
총 연구개발 기간	2022년 06월 01일부터 2025년 02월 28일까지				
다년도 협약 기간	2022년 06월 01일부터 2025년 02월 28일까지				
당해연도 연구 기간	2022년 06월 01일부터 2023년 02월 28일까지				

위 연구 개발 과제의 수행에 관하여 전문 기관과 주관 연구 기관 및 주관 연구 책임자는 다음의 협약 내용에 따라 협약을 체결한다.

2022년 06월

[협약 당사자]

전문기관 : 한국연구재단 이사장
(과학기술정보통신부 장관 업무대행)

주관연구개발기관 : 강원대학교 산학협력단 단장

주관연구책임자 : 이귀현

소 속 : 강원대학교

직급(위) : 교수

- 첨부서류
1. 협동과제목록 1부(2개 이상의 세부과제로 구성된 경우에만 해당)
 2. 연구개발비 집행계획서 1부 (2개 이상의 세부과제로 구성된 경우에만 해당)

√. 시제품 제작: 1건

<시제품 제작 1: 가속분뇨 액비처리장치>



강원도 춘천시 신동면 팔미리 489번지 차돌농장 설치

√. 지식재산권(특허 출원): 1건

<특허 출원 1>

관인생략

출원번호통지서

출원일자 2022.11.11
특기사항 심사청구(유) 공개신청(무)
출원번호 10-2022-0150809 (접수번호 1-1-2022-1203887-07)
(DAS접근코드B924)
출원인명칭 (주)위터테크(1-2015-058876-4)
대리인성명 김정현(9-2001-000021-4)
발명자성명 심재도
발명의명칭 다기능 수질정화장치

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 이용하여 특허로 홈페이지(www.patent.go.kr)에서 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 은행 또는 우체국에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정, 정정신고서)]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
4. 기타 심사 절차(제도)에 관한 사항은 특허청 홈페이지를 참고하시거나 특허고객상담센터(☎ 1544-8080)에 문의하여 주시기 바랍니다.
※ 심사제도 안내 : <https://www.kipo.go.kr>-지식재산제도

√. 지식재산권(특허 출원 및 등록): 3건

<특허 1>



<특허 2>



<특허 3>

상표등록증
CERTIFICATE OF TRADEMARK REGISTRATION

등록 제 40-2151116 호
Registration Number

출원번호 제 40-2022-0116855 호
Application Number

출원일 2022년 06월 23일
Filing Date

등록일 2024년 02월 06일
Registration Date

상표권자 Owner of the Trademark Right
(주)위터테크(140111-*****)
강원도 춘천시 강원대학길1, 강원대학교 보듬관
701호(효자동)

상표를 사용할 상품 및 구분
List Of Goods
제 32 류
먹는 샘물등 10건



2024년 02월 06일

특허청장
COMMISSIONER,
KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE



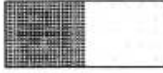
QR코드로 현재기준
등록사항을 확인하세요



특허청
Korean Intellectual
Property Office

√. 고용창출:

- (주) 워터테크: 2건<고용창출 1>박지원, <고용창출 2>심상배



출력일시 : 2022.03.25 11:37

4대 사회보험 사업장 가입자 명부						
확인용						
발급번호	20220325804363	발급일시	2022-03-25 11:40	사업장 관리번호	92128929721	
구분	국민연금	건강보험	산재보험	고용보험		
사업자등록번호	713-86-00115	713-86-00115	713-86-00115	713-86-00115		
사업장 명칭	(주)워터테크	(주)워터테크	(주)워터테크	(주)워터테크		
■ 가입 내역(발급일자 현재기준) 1 / 1						
연번	주민(외국인) 등록번호	성명	자격취득일			
			국민연금	건강보험	산재보험	고용보험
1	550424-1*****	심상배	미가입	2022.03.07	2022.03.07	2022.03.07
2	590318-1*****	심재도	미가입	2021.04.01	미가입	미가입
3	930302-1*****	심일승	2015.09.01	2015.09.01	미가입	미가입
4	960914-2*****	박지원	2021.12.27	2021.12.27	2021.12.27	2021.12.27
이 하 여 백						
<p>▷ 이 확인서는 [사업장 관리번호]를 기준으로 가입여부가 표기됨을 알려 드립니다.</p> <p>▷ [-]는 가입내역이 확인되지 않은 자료로서 축인이 날인되지 않습니다.</p> <p>▷ [위 가입내역은 국민연금공단, 국민건강보험공단, 근로복지공단의 자료를 기초한 자료이며 사실과 다를 경우 해당 기관으로 직접 문의하시기 바랍니다.]</p> <p>※ 제주도 소재 사업장 소속 근로자인 경우 「제주특별자치도 설치 및 국제자유도시 조성을 위한 특별법」에 따라 가까운 고용노동부지청(고용센터)로 문의하시기 바랍니다.</p> <p>▷ [산재보험]의 경우 자격취득일은 근로자 고용일을 뜻하며, 건설업 및 발목업 등 [자진신고 사업장]은 근로자 고용정보 신고대상이 아니므로, [고용일(자격취득일)]을 표기하지 않습니다.</p>						
위와 같이 국민연금 가입내역을 확인합니다.		위와 같이 건강보험 가입내역을 확인합니다.		위와 같이 산재보험 가입내역을 확인합니다.		
국민연금 이 사		국민건강보험 이 사		근로복지공단 춘천지사		
▷ 위 확인서는 4대사회보험 정보연계시스템에서 제공하는 자료로서 4대사회보험 포털사이트(www.4insure.or.kr)의 [증명서 발급사실 확인] 메뉴에서 발급사실을 확인할 수 있으며, 발급일로부터 90일까지 가능합니다. *첨별한 정보연계서비스, 4대 사회보험이 함께 합니다.*						

- 강원대학교 산학협력단: <고용창출 3>무함마드 임티아즈 후세인

(1) 근로계약 1

[서식]

근로 계약서

강원대학교 산학협력단장 장철성(이하 “갑이라 한다)과 연구책임자 이귀현 이하 “을”이라 한다)은(는) Muhammad Imtiaz Hussain(이하 “병”이라 한다)을(를) 채용함에 있어 다음과 같이 근로계약을 체결한다.

제1조(계약기간) : 2021년 06월 01일부터 2022년 05월 31일까지

제2조(직위) : 연구교수

제3조(근무시간 및 근무장소)

- ① 근무시간 : (월~금요일) 9시 00분부터 18시 00분까지(상근)
- ② 휴게시간 : (월~금요일) 12시 00분부터 13시 00분까지(1시간)
- ③ 근무장소 : “을”이 지정하는 장소에서 연구 업무를 성실히 수행하여야 한다.

제4조(업무내용) : 연구 업무를 담당하되, 상세한 업무분장은 “을”의 지시에 따른다.

제5조(보수) ① 참여 연구과제 인건비 예산 내에서 매월 25일 다음과 같이 지급한다.

재원명	지원기관	인건비 지급기간 (연구기간)	월 급여* (법정본인부담금포함)
축산분뇨 액비장치 효율화를 위한 에너지 절약형 태양열 시스템 개발	㈜위터테크	2021.06.01.-2022.02.28. (2021.04.01.-2023.12.31.)	1,827,370 원
		2022.03.01.-2022.03.31. (2021.04.01.-2023.12.31.)	2,088,580 원
		2022.04.01.-2022.05.31. (2021.04.01.-2023.12.31.)	1,914,440 원
월별 급여 요약	2022.03.01.-2022.03.31.		2,088,580 원
	2022.04.01.-2022.05.31.		1,914,440 원

* 월 급여는 4대보험 기관부담금 및 퇴직금을 제외한 금액

- ② “을”은 4대보험 기관부담금 및 퇴직금을 참여 연구과제 인건비 예산 내에서 별도 재원을 확보하여 “갑”이 지급·납부할 수 있도록 하여야 한다.
- ③ 퇴직금은 월 급여의 1/12에 해당하는 금액(원단위 절사)을 참여 연구과제 인건비 예산 내에서 매월 별도로 적립하여 “병”이 실제 퇴직할 때 지급한다.



제6조(복무 및 의무)

- ① 주휴일, 관공서의 공휴일에 관한 규정에 따른 공휴일, 근로자의 날은 유급휴일로 한다.
- ② 연차유급휴가는 「근로기준법」을, 특별휴가는 「국가공무원 복무규정」을 준용한다.
- ③ “을”은 “병”의 복무를 철저히 관리하여야 한다.
- ④ “병”은 재직 중 강원대학교의 제 규정을 준수하여야 한다.

제7조(계약의 해지) 다음 각 호에 해당하는 경우 “갑”은 본 계약을 해지할 수 있다.

- 1. 본 계약사항을 위반한 경우
- 2. 신체·정신상의 이유로 업무를 수행하기 곤란할 경우
- 3. 강원대학교 명예를 훼손하거나 품위를 손상시키는 행위를 한 경우
- 4. 연구과제의 종료, 연구비 예산 감축 등의 사유로 계약의 해지가 불가피 한 경우


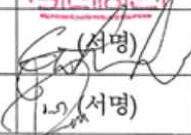
제8조(연구과제 비밀유지 및 결과물 귀속) ① “병”은 연구업무 수행과 관련하여 지득한 일체의 사항에 대하여 “갑”과 “을”의 허락 없이는 외부에 발표하지 못한다.

- ② “병”이 창조, 개선, 작성, 생산한 모든 연구결과물의 그 권리는 “갑”의 소유가 된다.

제9조(기타) ① 본 계약서 해석상 의문이 있을 때에는 “갑”, “을”과 “병”이 합의하여 정하되, 합의되지 않을 경우 “갑”이 정하는 바에 따른다.

- ② 참여 연구과제명 및 보수 등에 변경이 있을 경우 사전에 변경계약서를 “갑”에게 제출하여야 한다.
- ③ 본 계약서는 3통을 작성하여 “갑”, “을”, “병”이 각 1부씩 보관한다.

2022년 2월 일

(갑)	강원대학교 산학협력단장 장철성	 (직인)  (서명)
(을)	연구책임자 이귀현	
(병)	Muhammad Imtiaz Hussain (후세인)	
주 소: 강원도 춘천시 효자로150번길 36-1 (효자동) 105호		

(1) 근로계약 2

근로계약서

강원대학교 산학협력단장 장철성 (이하 "갑"이라 한다)과 연구책임자 이귀현(이하 "을"이라 한다)은(는) 무함마드 임티아즈 후세인 (이하 "병"이라 한다)을(를) 채용함에 있어 다음과 같이 근로계약을 체결한다.

제1조(계약기간) : 2021년 06월 01일 부터 2024년 05월 31일 까지

제2조(직위) : 연구교수

제3조(근무시간 및 근무장소)

- ① 근무시간 : (월~금요일) 09시 00분부터 18시 00분까지(주 40시간 근무 기준)
* 주 40시간 미만 근무의 경우 근무 시간 별도 첨부(별첨 3)
- ② 휴게시간 : 근무시간 내 1시간 이상
- ③ 근무장소 : "을"이 지정하는 장소에서 연구 업무를 성실히 수행하여야 한다.

제4조(업무내용) : 연구 업무를 담당하되, 상세한 업무분장은 "을"의 지시에 따른다.

제5조(보수) ① 참여 연구과제 인건비 예산 내에서 매월 25일 다음과 같이 지급한다.

재원명	지원기관	연구기간	인건비 지급기간	월 급여* (법정본인부담금포함)
축산분뇨 액비장치 효율화를 위한 에너지 절약형 태양열 시스템 개발	(주)위터테크	2022-01-01 ~ 2022-12-31	2022-03-01 ~ 2022-03-31	2,088,580원
축산분뇨 액비장치 효율화를 위한 에너지 절약형 태양열 시스템 개발	(주)위터테크	2022-01-01 ~ 2022-12-31	2022-04-01 ~ 2022-07-31	1,914,440원
축산분뇨 액비장치 효율화를 위한 에너지 절약형 태양열 시스템 개발	(주)위터테크	2022-01-01 ~ 2022-12-31	2022-08-01 ~ 2022-08-31	1,048,500원
축산분뇨 액비장치 효율화를 위한 에너지 절약형 태양열 시스템 개발	(주)위터테크	2022-01-01 ~ 2022-12-31	2022-09-01 ~ 2022-12-31	1,048,500원
축산분뇨 액비장치 효율화를 위한 에너지 절약형 태양열 시스템 개발	(주)위터테크	2023-01-01 ~ 2023-12-31	2023-01-01 ~ 2023-05-31	1,048,500원
축산분뇨 액비장치 효율화를 위한 에너지 절약형 태양열 시스템 개발	(주)위터테크	2023-01-01 ~ 2023-12-31	2023-06-01 ~ 2023-08-31	1,048,500원
축산분뇨 액비장치 효율화를 위한 에너지 절약형 태양열 시스템 개발	(주)위터테크	2023-01-01 ~ 2023-12-31	2023-09-01 ~ 2023-12-31	1,048,500원
태양에너지를 이용한 고 효율의 에너지 절약형 온실 난방 시스템 개발	한국연구재단 (EZBARO)	2022-06-01 ~ 2023-02-28	2022-08-01 ~ 2022-08-31	1,310,610원
태양에너지를 이용한 고 효율의 에너지 절약형 온실 난방 시스템 개발	한국연구재단 (EZBARO)	2022-06-01 ~ 2023-02-28	2022-09-01 ~ 2023-02-28	1,310,610원
태양에너지를 이용한 고 효율의 에너지 절약형 온실 난방 시스템 개발	한국연구재단 (EZBARO)	2023-03-01 ~ 2024-02-29	2023-03-01 ~ 2023-05-31	1,310,610원

태양에너지를 이용한 고 효율의 에너지 절약형 온실 난방 시스템 개발	한국연구재단 (EZBARO)	2023-03-01 ~ 2024-02-29	2023-06-01 ~ 2023-08-31	1,310,610원	
태양에너지를 이용한 고 효율의 에너지 절약형 온실 난방 시스템 개발	한국연구재단 (EZBARO)	2023-03-01 ~ 2024-02-29	2023-09-01 ~ 2023-12-31	1,310,610원	
태양에너지를 이용한 고 효율의 에너지 절약형 온실 난방 시스템 개발	한국연구재단 (EZBARO)	2023-03-01 ~ 2024-02-29	2024-01-01 ~ 2024-02-29	2,359,110원	
2022년 하반기 이귀현의 박사후활용 지원사업(Muhammad Imtiaz Hussain)	강원대학교 산학협력단(춘천-박사후)	2022-09-01 ~ 2023-08-31	2022-09-01 ~ 2023-05-31	923,080원	
2022년 하반기 이귀현의 박사후활용 지원사업(Muhammad Imtiaz Hussain)	강원대학교 산학협력단(춘천-박사후)	2022-09-01 ~ 2023-08-31	2023-06-01 ~ 2023-08-31	923,080원	
태양에너지를 이용한 고 효율의 에너지 절약형 온실 난방 시스템 개발 (2024.03.01~)	한국연구재단 (EZBARO)	2024-03-01 ~ 2025-02-28	2024-03-01 ~ 2024-05-31	2,359,110원	
2023년 하반기 이귀현의 박사후활용 지원사업(무함마드 임티아즈 후세인)	강원대학교 산학협력단(춘천-박사후)	2023-09-01 ~ 2024-08-31	2023-09-01 ~ 2024-05-31	923,080원	
월별 급여 요약(2022년)					
1월	0원	5월	1,914,440원	9월	3,282,190원
2월	0원	6월	1,914,440원	10월	3,282,190원
3월	2,088,580원	7월	1,914,440원	11월	3,282,190원
4월	1,914,440원	8월	2,359,110원	12월	3,282,190원
월별 급여 요약(2023년)					
1월	3,282,190원	5월	3,282,190원	9월	3,282,190원
2월	3,282,190원	6월	3,282,190원	10월	3,282,190원
3월	3,282,190원	7월	3,282,190원	11월	3,282,190원
4월	3,282,190원	8월	3,282,190원	12월	3,282,190원
월별 급여 요약(2024년)					
1월	3,282,190원	5월	3,282,190원	9월	0원
2월	3,282,190원	6월	0원	10월	0원
3월	3,282,190원	7월	0원	11월	0원
4월	3,282,190원	8월	0원	12월	0원

* 월 급여는 4대보험 기관부담금 및 퇴직금을 제외한 금액

- ② "을"은 4대보험 기관부담금 및 퇴직금을 참여 연구과제 인건비 예산 내에서 별도 재원을 확보하여 "갑"이 지급·납부할 수 있도록 하여야 한다.
- ③ 퇴직금은 월 급여의 1/12에 해당하는 금액(원단위 절사)을 참여 연구과제 인건비 예산 내에서 매월 별도로 적립하여 "병"이 실제 퇴직할 때 지급한다.

제6조(복무 및 의무)

- ① 주휴일, 관공서의 공휴일에 관한 규정에 따른 공휴일, 근로자의 날은 유급휴일로 한다.
- ② 연차유급휴가는 「근로기준법」을, 특별휴가는 「국가공무원 복무규정」을 준용한다.
- ③ "을"은 "병"의 복무를 철저히 관리하여야 한다.
- ④ "병"은 재직 중 강원대학교의 제 규정을 준수하여야 한다.

제7조(계약의 해지) 다음 각 호에 해당하는 경우 "갑"은 본 계약을 해지할 수 있다.

- 1. 본 계약사항을 위반한 경우
- 2. 신체·정신상의 이유로 업무를 수행하기 곤란할 경우
- 3. 강원대학교 명예를 훼손하거나 품위를 손상시키는 행위를 한 경우
- 4. 연구과제의 종료, 연구비 예산 감축 등의 사유로 계약의 해지가 불가피 한 경우

제8조(연구과제 비밀유지 및 결과물 귀속) ① "병"은 연구업무 수행과 관련하여 지득한 일체의 사항에 대하여 "갑"과 "을"의 허락 없이는 외부에 발표하지 못한다.


② "병"이 창조, 개선, 작성, 생산한 모든 연구결과물의 그 권리는 "갑"의 소유가 된다.

제9조(기타) ① 본 계약서 해석상 의문이 있을 때에는 "갑", "을"과 "병"이 합의하여 정하되, 합의되지 않을 경우 "갑"이 정하는 바에 따른다.

② 참여 연구과제명 및 보수 등에 변경이 있을 경우 사전에 변경계약서를 "갑"에게 제출하여야 한다.

③ 본 계약서는 3통을 작성하여 "갑", "을", "병"이 각 1부씩 보관한다.

2023년 08월 25일

(갑)	강원대학교 산학협력단장 장철성	 (장철성20230825)
(을)	연구책임자 이귀현	(이귀현20230825)
위임	연구책임자 는 근로계약서상의 (을)의 의무를 연구책임자 에게 위임합니다.	
(병)	무함마드 임티아즈 후세인	(무함마드 임티아즈 후세인20230825)
	주 소 : 강원도 춘천시 효자로150번길 36-1 (효자동)	

✓. 홍보 실적: 2건
 <홍보실적 1: 팸플렛 제작>

양식장에서 고효율 산소공급장치를 이용한 수질정화장치

워터테크만의 수질정화장치 효과 및 장점

과제명: 양식장에서 고효율산소공급장치를 이용한 수질정화장치

핵심기술
 1. 양식장 크기에 따른 표준 규격 설계기술
 2. 브로워 용량 대비 최적 설계 기술
 3. 심층수의 표준수로의 적정 유통량을 유지하기 위한 설계 기술.

수질정화장치의 설명

특허증 보유

수경채배장치

수질정화장치 특허사진(일본, 미국, 중국 특허보유)

워터테크만의 사업의 필요성

세계적으로 수산업은 동물성 단백질을 제공하는 식량산업으로서의 중요성 뿐만 아니라 인류에게 필수 영양분을 제공한다는 점에서 중요한 산업으로 인식되고 있음. 수산물도 안정적으로 생산할 수 있는 양식산업에 관심이 커짐에 따라 최근 많은 국가들이 양식업을 국가 차원의 전략산업으로 발전시키기 위해 노력하고 있음.

국내 양식단지 현황은 양식여장 개발가능 해역 한정 및 어장 환경 악화, 등으로 육상양식장 개발이 증가하고 있는 추세이며, 현재 육상양식장 개발은 순환여과식, 저수유식, 바이오플록 등 양식 기술 및 기자재의 발달로 육상양식장 개발여건 성숙단계로 육상양식장 개발에는 많은 시설비와 고도의 기술이 소요되고 있는 상황.

육상 양식장에서의 중요한 기술요인은 수질관리이며, 적절한 수질관리는 양식성중에 매우 중요한 역할을 하며, 수질 요인은 양식동물의 건강과 직결적으로 관계되어 있으며, 양존산소가 부족하거나 염분이나, 아질산염 또는 황화수소 등과 같은 오염의 부적절한 현상이 노출되면 바로 스트레스와 질병발생과 연결됨.

기대성과 및 활용방안

공기의 유입만으로 용존산소량을 높임과 동시에 심층수를 표준수로 순환시켜주고, 배출단계에서도 공기와의 접촉이 증가되어 적은 동력으로 용존산소량을 높일 수 있음.

기존 기술 대비 단순한 구성으로 되어 있어 설치가 간단하면서도 양식장 내 용존산소량을 높게 유지할 수 있어 양식장 운영관리를 절감할 수 있음.

워터테크 사업 내용

- 미세기포를 포함한 용해수를 투출시켜 수산양식장의 해수에 많은 양의 기포 산소를 공급함으로써 물리적, 중금속, 유해가스, 퇴적된 사료찌꺼기 및 배설물 등과 같은 이물질들 부상 분리시켜 제거가 가능함

- 이물질을 제거한 후 다시 양식 어매류가 서식할 수 있는 최적의 수질로 정화하여 재공급하며, 폐수 및 슬러지 등의 폐기물의 배출을 최소화할 수 있고 어매류의 생존율을 높일 수 있음

부호회유기유입 - 폭기관내 산기장치 - 공기 부력작용 - 심층수유통
 수체의 미세 기포화 - 폭기관내부 공기질 상승 - 침출 폭기 - 폭기관 내부 유입
 기계 오염액 표전 탈포 - 위험성 물질 제거 작용 - 용존 산소량 증가 - 호기성 미생물 유식 촉진 - 오염물 정화

워터테크

(우24341) 강원도 춘천시 강원대학길1, 강원대학교 보듬관 701호
 TEL 033 256 1107
 Email: jedoshim9981@naver.com
 http://watertec.co.kr

<홍보실적 2: 홈페이지제작>

홈페이지 주소: <http://watertec.co.kr>



√. 매출액:

- 정화장치

[별지 제11호 서식] (적색)

세금계산서 (공급자용)		책 번호	35 권 27 호
		일련번호	23 - 0055
공급자	등록번호 113-86-00115 상(법인명) 호 (주)워터테크 사업장주소 강원주천시강원대학길 업태 제조업 품목 정화장치	등록번호 826-81-00546 상(법인명) 호 다그루주식회사 사업장주소 강원주천시권문길 26 업태 제조업 품목 가	(인)
작성	공급가액	세액	
년 월 일 공란수	백 십 억 천 백 십 만 천 백 십 일	십 억 천 백 십 만 천 백 십 일	
2023 8 14 3	50000000	5000000	
월 일	품 목	규 격	수 량
8 14	양재정화장치	1식	1
	실제		
단 가	공급가액	세 액	비 고
50,000,000	50,000,000	5,000,000	
합계금액	현 금	수 표	어 음
65,000,000	✓		
외상미수금			이 금액을 영수함. (영수증 첨부)

22226-28132 원 96.2.27 개정

나. 목표 달성 수준

추진 목표	달성 내용	달성도(%)
○ 특허출원 2건	○ 특허출원 4건을 완료하여 성과목표를 200%로 달성하였음	○ 200
○ 특허등록 1건	○ 특허등록 3건을 완료하여 성과목표를 300% 달성하였음	○ 300
○ SCI급 논문 1건	○ 국제학술지(SCI급) 논문 10편을 발표하여, 성과목표를 1,000% 달성하였음	○ 1,000
○ 비 SCI급 논문 1건	○ SCOPE급 논문 1편을 발표하여 성과목표를 100%로 달성하였음	○ 100
○ 학술발표 2건	○ 국내 학술발표 10건을 완료하여 성과목표를 500%로 달성하였음	○ 500
○ 제품화 1건	○ 시작용(가축분뇨 액비처리장치) 1기를 제작하여 성과목표를 100% 달성하였음	○ 100
○ 매출액 50백만원	○ 매출액 55백만원을 달성하여 성과목표를 100% 달성하였음	○ 100
○ 고용창출 3건	○ 고용창출 5건을 완료하여 성과목표를 170% 달성하였음	○ 170
○ 인력양성 2건	○ 2명의 석사를 배출하여 성과목표를 100% 달성하였음	○ 100
○ 홍보전시 2건	○ 홍보전시 2건을 완료하여 성과목표를 100% 달성하였음	○ 100
○ 타 연구활용 1건	○ 타 연구과제 1건을 수주하여 성과목표를 100%로 달성하였음	○ 100

4. 목표 미달 시 원인분석

가. 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

- 해당 없음

나. 자체 보완활동

- 해당 없음

다. 연구개발 과정의 성실성

- 연구계획 일정에 따라 연구원의 적절한 역할 분담과 함께 연구를 성실하게 수행하고 있음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

- 구제역 및 AI에 의한 매설지로부터 발생하는 악취의 해결
- 축산농가의 축산폐수에 의한 근린지역 악취발생 민원 해결 가능
- 해양투기 금지법 발효에 따른 축산농가의 축산폐수 처리문제 고충 해결 가능

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

- 축산업 전반에 본 기술개발품의 보급 활성화가 크게 기대됨
- 축산분뇨 악취저감 스마트 폭기 정화장치에 의해 처리 후 액비로 이용가능 하여 본 기술 개발의 부가적 이익 창출이 가능할 것임
- 본 기술개발을 통한 개발제품의 성능 향상으로 국내 축산업계에 이바지할 수 있어 국내 매출 뿐만 아니라, 해외 기술 수출 등으로 활용이 가능할 것임

< 연구개발성과 활용계획표 >

구분(정량 및 정성적 성과 항목)		연구개발 종료 후 5년 이내	
국외논문	SCIE	1	
	비SCIE	1	
	계	2	
국내논문	SCIE		
	비SCIE		
	계		
특허출원	국내	3	
	국외		
	계	3	
특허등록	국내	3	
	국외		
	계	3	
인력양성	학사	1	
	석사	1	
	박사	1	
	계	3	
사업화	상품출시	3	
	기술이전		
	공정개발		
제품개발	시제품개발	2	
비임상시험 실시			
임상시험 실시 (IND 승인)	의약품	1상	
		2상	
		3상	
	의료기기		
진료지침개발			
신의료기술개발			
성과홍보		3	
포상 및 수상실적			
정성적 성과 주요 내용			

참고문헌

1. 김진근. 2012. 태양열에너지 산업동향과 경남의 현황. 경남발전, (119): 87-99
2. 김경택, 이덕주, & 박성준. 2012. 실물옵션을 이용한 신재생에너지 R&D의 경제적 가치 및 최적 적용시점 평가. 대한산업공학회지, 38(2): 144-156
3. 김용빈. 2017. 원자력, 신재생 에너지의 영향력에 따른 우리나라 에너지부문 온실가스 배출 요인 분석. 에너지경제연구, 16(1): 119-162
4. 김종완, & 박상철. 2016. 의무할당제도 개선을 통한 신재생에너지 산업의 발전전략. 에너지공학, 25(4): 110-123
5. 박동우. 2014. 원추형 태양열 집광기의 성능분석 연구. 강원대학교 대학원 석사학위 논문.
6. 허주녕, 신지영, 이두호, & 손영석. 2013. 평판형 태양열 집열기의 압력강하 및 열전달 성능 향상에 관한 수치해석적 연구. 한국마린엔지니어링학회지, 37(4): 316-323
7. 황재홍, 유연태, 송성윤, 이재형, & 장길수. 2017. 주요 OECD 국가의 신재생에너지 확대 보급 정책과 국내 적용 방안. 대한전기학회 학술대회 논문집: 63-64
8. 황준열. 원추형 태양열 집열 시스템의 성능분석을 위한 실험 및 수치 해석. 2017. 강원대학교 대학원 석사학위 논문.
9. Ali A. H. H. 2017. Performance assessment and gained operational experiences of a residential scale solar thermal driven adsorption cooling system installed in hot arid area. Energy and Buildings, 138(Supplement C), 271-279
10. Imtiaz Hussain M., Lee G H, & Kim J. 2017. Experimental validation of mathematical models of identical aluminum and stainless steel engineered conical solar collectors. Renewable Energy, 112(Supplement C): 44-52
11. Imtiaz Hussain M., & Lee G. H. 2014. Thermal performance evaluation of a conical solar water heater integrated with a thermal storage system. Energy Conversion and Management, 87(Supplement C), 267-273
12. Khaled MAHDI and Nadir BELLEL. 2016. Simulation of a conical solar collector for steam generation. International proceedings of chemical, biological and environmental engineering, Vol. 91.

13. Texas solar energy society. 2015. Solar Energy Facts You Should Know. Available from: <http://www.txses.org/solar/content/solar-energy-facts-you-should-know>>.
14. Zambolin E, Del Col D. 2010. Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions. *Solar Energy* 84: 1392–1396.
15. Zhai H, Dai YJ, Wu JY, Wang RZ, Zhang LY. 2010. Experimental investigation and analysis on a concentrating solar collector using linear Fresnel lens. *Energy Conversion and management*. 51: 48–55.
16. Zhao C, Youa S, Weic L, Gaod H, Yub W. 2016. Theoretical and experimental study of the heat transfer inside a horizontal evacuated tube. *Solar Energy* 132: 363–372.

주 의

1. 이 보고서는 농림축산식품부에서 시행한 2021년도 기술사업화지원사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 농림축산식품부에서 시행한 2021년도 기술사업화지원사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.