

대한기계학회 주최

제13회 전국학생설계경진대회(2023년)

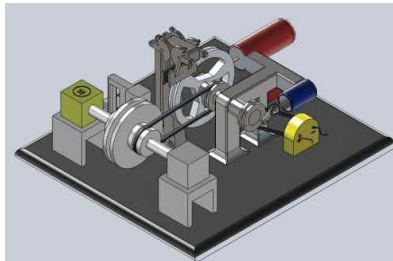
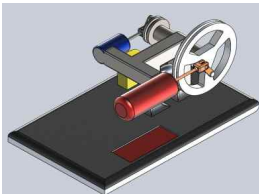
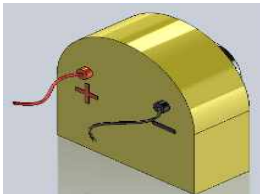
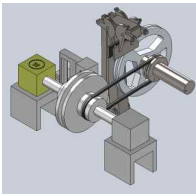
설계 최종 보고서

참가부	고등부 ()				
참가분야	공모주제 () / 자유주제 ()				
참가팀명	탐건				
설계제목	도서·벽지 지역 정전을 대비한 비상용 스텔링 발전기				
지도교수/교사	(소속) 미래고등학교 (성명) 공상의 (연락처) (이메일)				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	김라온섭	미래고등학교			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	김라온섭	미래고등학교 / 3학년	
2	손지호	미래고등학교 / 1학년	
3			
4			
5			
6			

설계 요약문

참가분야	공모주제 (○) / 자유주제 ()									
참가팀명	탐건									
설계제목	도서·벽지 지역 정전을 대비한 비상용 스텔링 발전기									
대표자명	김라온섭									
요약문	최근 이상 기후에 의한 고립 사례가 많아지고 있다. 특히 장기 고립은 에너지 부족 등 2차 피해(정전, 저체온증)의 위험을 높이며, 이런 위험은 도심보다 도서·벽지 지역에서 치명적이다. 우리는 이런 피해를 줄이기 위해 고립 상황의 여건을 고려하여 다양한 연료를 사용할 수 있도록 한 스텔링 발전기를 설계하기로 했다.									
										
	기관부	발전부	조작부							
										
	열->운동 에너지 전환	가정 규격에 맞는 전력	간편한 동력 제어							
우리는 열사이클, 전자기유도 원리에 의하여 스텔링 발전기를 구성하고, 이를 제어하기 위한 조작부(시동 및 제동)를 설계하였다. 또한, 이를 구현하기 위해 당초 목표(0.45kW)의 1/100 모형(4.5W)을 제작하기로 했다. 그 결과 400~500℃의 온도차에서 4.5W를 발전하는 스텔링 발전기를 제작하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.										
<table><tr><td>결론</td><td>내용</td></tr><tr><td>장단점</td><td>연료의 제약이 없고 간단한 구조지만 발전까지 많은 시간 소요</td></tr><tr><td>의의</td><td>스텔링 발전기를 이용한 비상용 전기 생산의 가능성 확인</td></tr><tr><td>기대 효과</td><td>산간, 벽지 지역 장기 고립 시 생존율 상승</td></tr></table>			결론	내용	장단점	연료의 제약이 없고 간단한 구조지만 발전까지 많은 시간 소요	의의	스텔링 발전기를 이용한 비상용 전기 생산의 가능성 확인	기대 효과	산간, 벽지 지역 장기 고립 시 생존율 상승
결론	내용									
장단점	연료의 제약이 없고 간단한 구조지만 발전까지 많은 시간 소요									
의의	스텔링 발전기를 이용한 비상용 전기 생산의 가능성 확인									
기대 효과	산간, 벽지 지역 장기 고립 시 생존율 상승									

1. 설계의 필요성 및 목적

이상 기후로 인한 폭우/폭설로 고립 사고가 이어지고 있다. 도서 벽지 지역은 도로와 교량, 전신주, 수도관의 붕괴로 인해 고립, 조난되는 경우 자립 탈출이 불가능하고 구조에 오랜 시간이 걸린다. 시중에는 이런 상황을 대비한 비상용 발전기가 마련되어 있어 고립된 지역에 양수기, 통신을 위한 전력을 공급하고 있다.

그러나 상용 발전기는 연료 수급이 어려운 고립 상황에서는 지속해서 사용할 수 없다. 또한, 복잡한 구조를 지니고 있어 고장 발생 시 전문가 없이 수리할 수 없다. 이로 인해 필요할 때 발전기를 사용하지 못할 위험이 있다. 따라서 장기간 고립·정전 시에도 생존율을 높일 수 있는 스텔링 발전기를 설계하고자 한다.



<자료 1. 이상 기후로 인한 고립 상황(SBS 뉴스)>

2. 설계 핵심 내용

(1) 설계 문제의 정의

재난 상황 정의		설계 문제 정의
	장기간 고립으로 인한 전력 부족 → 생존환경 악화로 위험성 증가 (식량보존불가, 통신두절)	가전용품 사용 가능한 자가 발전
사용환경 정의		설계 문제 정의
	재난 시 대응역량이 부족한 도서, 벽지 지역 → 고립 재난의 장기화 가능성 큼 → 연료 수급 어려움	어떤 연료로도 작동 가능한 발전기
사용자 정의		설계 문제 정의
	신체기능 및 인지기능이 저하된 노약자 → 복잡한 조작 및 큰 힘을 낼 수 없음	쉽게 조작 가능한 발전기

(2) 설계의 독창성 및 접근 방법

1) 설계 방법 및 배경

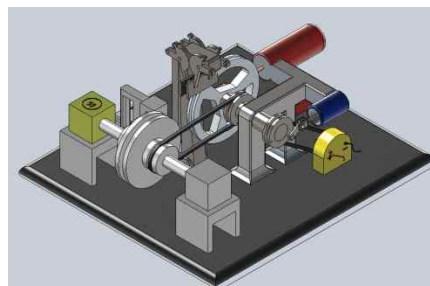
우리는 위에서 정의한 세 가지 문제를 해결하기 위해 각 문제에 대응하는 방안을 마련하였다. 그 결과 각 요구조건을 구체화하고 해결방안을 제시할 수 있었다.

특히 방과 후를 통한 전공 심화 과정 중 열 원동기의 일종인 외연기관에 대해 학습하며, 자주 쓰이지는 않지만 가장 신뢰성 있는 스텔링 엔진에 대해 관심을 가지게 되었다. 우리는 이 신뢰성에 집중하여 스텔링 발전기를 설계하기로 했다.

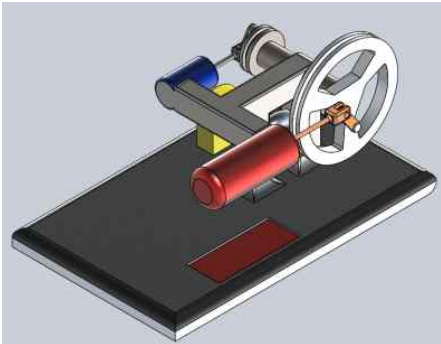
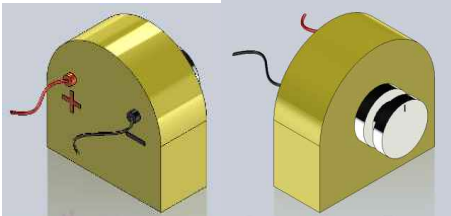
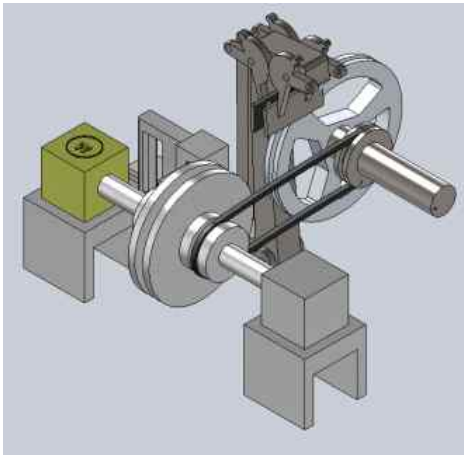
설계 배경(요구조건)	설계 문제	해결방안
전력 부족	가전용품 사용 가능한 자가발전	생존에 필요한 전력을 생산할 수 있는 규모의 발전기 필요 → 목표 발전량 : 450Wh (냉장고, 보온매트 등 고려)
연료 수급의 어려움	어떤 연료로도 작동하는 발전기	어떤 연료로도 작동하는 외연기관 사용 *단, 생존에 필요한 물을 쓰지 않는 기관 → 스텔링 엔진 적용
낮은 신체 능력	쉽게 조작 가능한 발전기	적은 힘으로도 작동할 수 있는 발전기 → 지레의 원리 및 발판 등 이용 (힘의 이득과 체중 활용)

이를 기반으로 각 부품의 역할을 정의하였으며, 그와 관련된 이론적 기반을 탐색하였다. 이론적 기반으로부터 실제로 스텔링 발전기 제작을 위해 정해야 하는 핵심 요소가 무엇인지 결정하고, 그 값을 정하기 위해 설계 근거를 마련하였다.

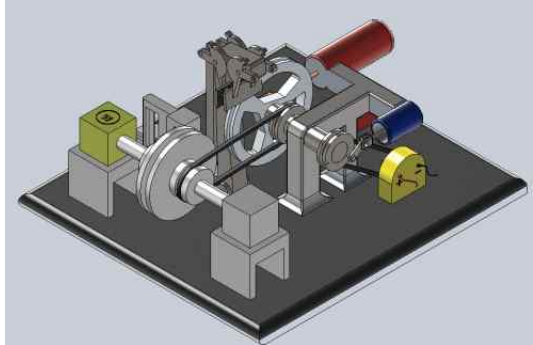
다만 시제품 제작 시 실제 출력을 그대로 구현하기에는 여러 제약점이 있어 이를 당초 목표하던 출력(0.45kW)의 1/100(4.5W)로 축소하여 구현한 모의 장치를 구성하게 되었으며, 그 과정에서 발견한 구현상의 제약조건을 해결하고자 하였다. 이러한 과정을 통해 설계된 스텔링 발전기 및 각 부품의 역할은 다음과 같다.



<자료 2, 스텔링 발전기>

부품	주요 요소	부품의 역할		
기관부		1. 열에너지를 운동 에너지로 변환 2. 직선운동을 회전운동으로 변환		
		설계요소	이론적 관계식	주요값
		플라이휠	$v = \frac{\pi DN}{1000} [m/s]$	원주속도 (10m/s) (원심력)
		실린더	$\sigma = F/A$ $= F/2tl [N/m^2]$	실린더 두께(t)
부품	주요 요소	부품의 역할		
발전부		1. 운동 에너지를 전기 에너지로 변환 2. 가정 규격에 맞는 전력 조건으로 변환		
		설계요소	이론적 관계식	주요값
		목표 전력량	$H_{kW} = IVt [kWh]$	회로 전압(V) 회로 저항(Ω)
		유도 전기	$\epsilon = -n \frac{d\Phi}{dt} [V]$	
		회로 구성	$V = IR [V]$	
부품	주요 요소	부품의 역할		
조작부		1. 최초 작동을 위한 시동력 투입 2. 비상정지 및 제동		
		설계요소	이론적 관계식	주요값
		시동장치	$W = F \cdot L [N \cdot m]$	시동력(F)
		제동장치	$f = \mu Q$	수직력(Q)

2) 설계의 독창성

내연기관 발전기와 스텔링 발전기 비교	
기존 비상용 발전기	스텔링 발전기
	
복잡한 작동 조건 (정확한 사이클 분할 필요)	간단한 작동 조건 (관성에 의한 사이클 순환)
잦은 고장 (연료분사 등 부속장치 필요)	적은 고장 (적은 부품 수)
제한적인 연료(등유, 휘발유 등) 사용 (휘발성 연료의 장기간 보관 어려움)	다양한 연료 사용
→ 언제 재난이 있을지 모르는 상황에서 스텔링 엔진은 내연기관보다 신뢰성이 높다. * 스텔링 발전기가 유지보수 및 신뢰성이 좋고 연료 보관의 제약이 적음	

우리는 이번 설계 과제의 목적을 **비상 상황에서 스텔링 발전기의 쓰임새를 검증**하는 것으로 설정했다.

스텔링 엔진의 아이디어가 오래된 만큼, 이를 활용한 발전기는 이미 여러 차례 시도되었다. 그러나 대부분 상품성을 갖지 못하고 실패했다. 우리는 과거 스텔링 엔진의 실패의 원인이 접근 방식에 있다고 보았다.

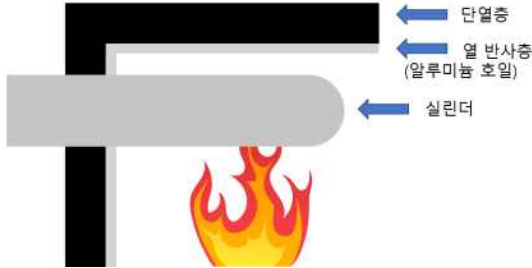
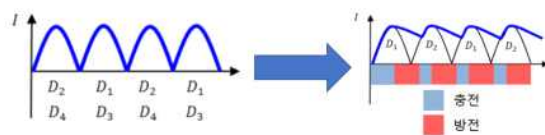
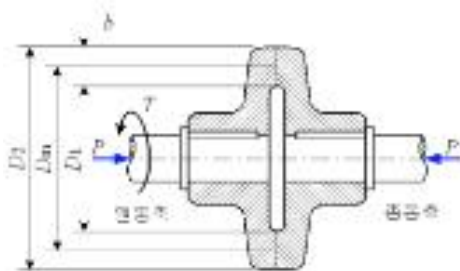
스텔링 엔진은 높은 이론적 효율과 간단한 구조, 다양한 열원을 활용한다는 장점이 있지만, 내연기관과 비교했을 때 출력을 키우기 어렵고, 작동에 필요한 시간이 길다는 약점을 가지고 있다. 따라서 산업기계에서 요구하는 고출력, 즉시성이라는 특성과는 전혀 맞지 않는 구조였다.

즉, 스텔링 엔진은 내연기관에 비교하여 산업상 경제성이 없다. 우리는 그러한 특성을 고려하여 스텔링 발전기의 다른 활용방안을 제시하고자 했다. 바로 재난 물자로서의 쓰임새다.

스텔링 엔진은 구조가 간단한 만큼 부품 수가 적어 고장의 여지가 적다. 또한, 폭발의 위험이 낮으며, 작동 조건이 까다롭지 않아 쉽게 작동할 수 있다. 이런 특징은 재난 상황에서 매우 큰 장점이 된다. **재난 시에는 필요할 때 언제든지 기능할 수 있어야 하기** 때문이다.

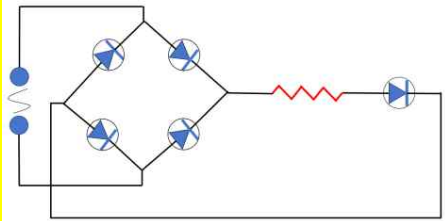
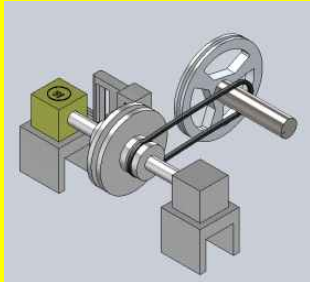
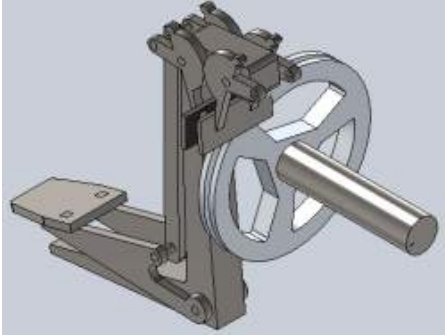
우리는 스텔링 엔진 모형을 이용하여 1/100 출력의 모의 장치를 설계하였으며, 생활 폐기물 연소 시 일반적인 온도인 400~500℃의 열원으로 스텔링 발전기의 작동을 구현하고자 하였다.

3) 설계의 제약조건 및 문제 해결 방법

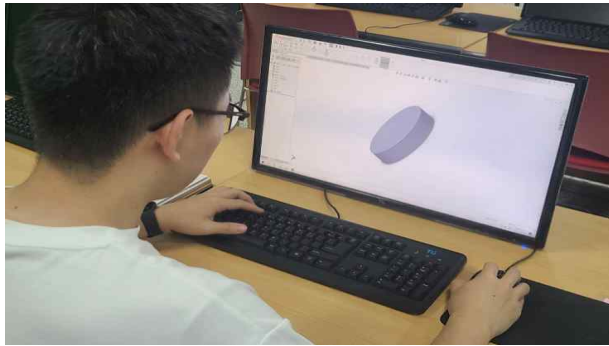
구분	제약조건	문제 해결 방법	
기관부	열이 집중되지 못하고 확산되어 효율 저하 (저효율)		열 반사식 연소실을 구현하여 효율 개선
발전부	발전기의 회전운동에 따른 유도 전기가 일정하지 않음 (불규칙 전류)		정류회로를 통해 직류로 변환
조작부	시동 순간에는 동력을 입력하고, 작동 중에는 분리되어야 함 (동력 단속)		마찰클러치 통해 단속 기능 구현
	제한된 공간 범위에서 충분한 제동력을 확보해야 함 (토크 < 제동력)		레버식 블록 브레이크 설치하여 힘의 이득을 얻음

(3) 설계 내용

1) 각 부품별 설계내용

기관부		
부품명	형상	주요 설계 내용
플라이휠 (제작)		- 당초 설계기준(원주속도) : 10m/s - 축소 모형의 플라이휠 지름 : 60.5[mm] ▶ 회전수가 과도하여 원주속도를 1m/s로 수정
실린더 두께 (구매) (성능 검증)		- 당초 설계기준(재질) : 유리 ▶ 내부 관찰의 필요가 적고, 강한 내압력을 얻기 위해 주철(GC200)로 수정 - 실린더 내경 : 12 [mm] 기준 - 실린더 최소 두께 : 0.48[mm] - 실린더 실제 두께 : 0.50[mm] ▶ 실제 두께 > 최소 두께이므로 사용 가능
발전부		
부품명	형상	주요 설계 내용
회로설계 (제작)		- 1/100 모형 목표 출력 : 4.5W - 고속 충전기 기준 전압 9V 적용 ▶ 발전 모터에서 불규칙 전류 발생하여 정류회로 구성 ▶ 직류 9V 기준 저항 : 75Ω
조작부		
부품명	형상	주요 설계 내용
시동장치 (제작)		- 임의의 순간 동력 단속을 위한 마찰클러치 적용 - 고장 시 문제 인식 및 수리가 쉬운 벨트 사용 ▶ 필요 전달력 $F > \frac{H_W}{v} = \frac{4.5[W]}{10[m/s]} = 0.45[N]$
브레이크 (구매)		- 제동력은 토크보다 커야 함 - 레버 브레이크로 필요한 힘의 크기↓ - 직관성 및 체중을 싣기 위해 발판 식으로 제작 ▶ 제동력 $f = \mu \frac{M}{L} > \frac{2T}{D} = \frac{2 \times 0.45}{0.1} = 9[N]$

2) 제작 과정(사진)



제품 모델링



회로 제작



조작부 구현



시제품 제작

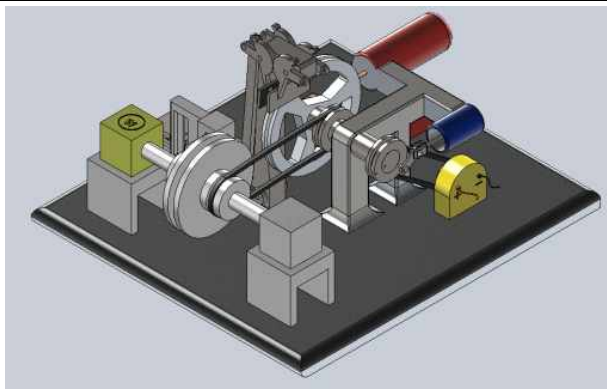
3. 설계 수행 일정

설계 진행 내용	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
아이디어 선정 및 제안서 작성	■						
기반 이론 탐색		■					
작동 구조 및 재료 선정		■					
중간 보고서 작성			■				
시제품 설계				■			
시제품 제작					■		
최종보고서 작성						■	
발표 준비 (PPT제작 및 프리젠테이션 준비)							■

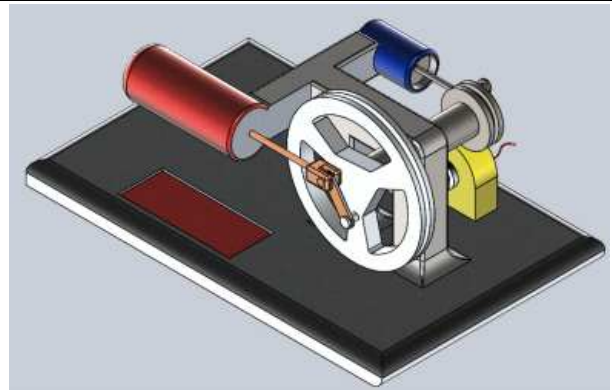
4. 설계 결과물

(1) 최종 결과물 형상 및 작동원리

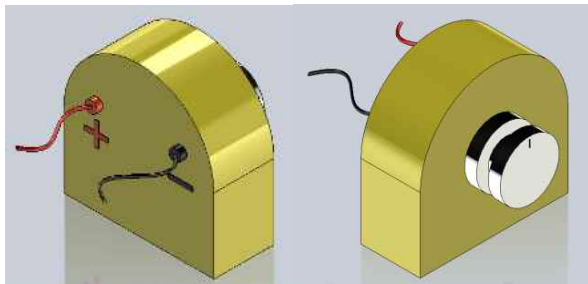
1) 결과물 모델링



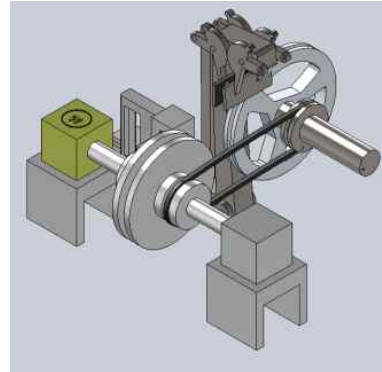
1. 제품 전체 사진



2. 기관부(스털링엔진)



3. 발전부



4. 조작부(시동장치 및 브레이크)

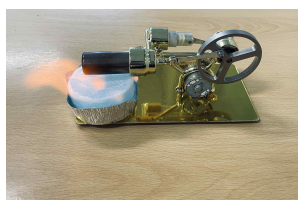
2) 시제품 형상 및 작동과정



1. 발열

열원(가연성 폐기물)의 연소로 열에너지 공급

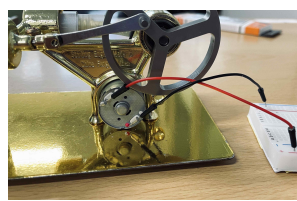
온도 : 400~500℃



2. 스텔링엔진 작동

공급된 열에 의해 스텔링 사이클 순환

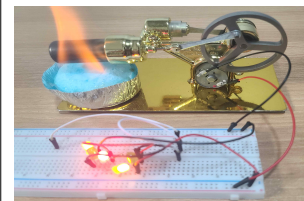
가열 2분 후 작동



3. 전력 생산

회전에 의해 전력 생산

생산 전력 : 4.5W 이상



4. 전기 사용

생산된 전력의 사용

모형 기준 1W LED 5개

(2) 최종설계 결과물의 장단점 및 의의

1) 설계 결과물의 장단점

번호	장점	단점
1	연료의 제약이 없어 기존의 발전기의 문제점을 해결하였다.	제작 여건의 한계로 모형으로 제작하여 실제 효율성을 검증하지 못했다.
2	일반폐기물의 발열로도 발전할 수 있어 비상시 열을 활용할 수 있다.	전기제품 사용을 위한 전력을 생산하기까지 많은 시간이 필요하다.
3	정비가 간단한 구조에도 신뢰성 높은 작동을 보여 높은 안정성을 지닌다.	간단한 구조를 유지하며 높은 효율을 내기 어렵다.

우리는 스텔링 발전기가 연료 제약, 잦은 고장 등 기존 내연기관 발전기가 가진 문제점을 해결할 수 있다는 것을 확인하였다. 일상에서 배출되는 폐기물 연소 시의 열로도 작동하여 재난 상황 시 충분히 활용할 수 있다. 또한, 내연기관보다 구조가 간단하고 안정적인 작동을 보인다.

다만 이처럼 극히 단순한 구조를 유지하며 성능을 높이는 것은 어려울 것으로 보인다. 기밀성 유지 및 냉각장치 등 부속설비를 사용하지 않으면 효율을 높이기 어렵기 때문이다. 또한, 스텔링 엔진을 제작할 수 없어 모형을 사용하였다. 그로 인해 당초 목표했던 성능을 확인할 수는 없었다.

2) 설계 결과물의 의의

설계 결과물의 의의
1. 고립 시 전력을 공급할 신뢰성 높고 연료 제약 없는 스텔링 발전기의 가능성 확인
2. 시행착오를 통한 공학적 지식 확장

기존의 내연기관 발전기를 대체하는 스텔링 발전기를 통해 도서 벽지 지역에 제한 없고 신뢰성 있는 에너지 공급 방안을 제시할 수 있었다. 또한, 제품 구현 과정에서 실린더와 브레이크 요소 설계 등 기계 분야의 지식을 심화하였고 전기 분야로 확장하여 융합적 사고를 발휘할 수 있었다.

5. 활용방안 및 기대효과

번호	활용방안	기대효과
1	고립 위험 지역(도서벽지 등) 발전기 보급	장기 고립 재해 발생 시 생존율을 높일 수 있다.
2	학교, 마을회관 등 재난 대피소 보급	통신과 식량을 공급하는 대피소의 비상 전력을 공급할 수 있다.
3	생활 폐열을 활용한 전력 수급	건물의 폐열을 수집해 에너지 효율을 높일 수 있다.

<참고문헌>

- 발전부 수식 : 공무원 물리(예문사, 2015년 출판)
- 기관부 및 조작부 수식, 열 원동기 : 기계일반(일진사, 2015년 교육과정)