

대한기계학회 주선

제12회 전국학생설계경진대회(2022년)

설계 최종 보고서

참가부	대학부 (<input checked="" type="checkbox"/>)				
참가분야	공모주제 (<input checked="" type="checkbox"/>) / 자유주제 (<input type="checkbox"/>)				
참가팀명	ASD Lab.				
설계제목	스털링 엔진 구조를 활용한 미세먼지 포집용 마찰대전 정전기 발전기 시스템 개발				
지도교수/교사	(소속) 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 (성명) 박 진 형				
대표자 (신청인)	성명	소속	연락처 (휴대폰)	E-mail	주소
	박현서	한국기술교육대학교 기계공학부			

참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	박순용	한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부	
2	이재량	한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부	
3	지성호	한국기술교육대학교 일반대학원 메카트로닉스공학과	

설계 요약문

참가분야	공모주제 (<input checked="" type="checkbox"/>) / 자유주제 (<input type="checkbox"/>)
참가팀명	ASD Lab.
설계제목	스털링 엔진 구조를 활용한 미세먼지 포집용 마찰대전 정전기 발전기 시스템 개발
대표자명	박현서
요약문	<p>설계배경 야외에 설치하는 미세먼지 집진기로는 가로등, 쿨링포그, LED액정과 함께 설치되는 장치가 시중에 나와 있었다. 하지만 이는 전기 공급을 필요로 하며 상당한 크기를 가지고 있다. 제안하는 설계안은 태양에너지 및 폐열을 활용하여 자가발전식으로 미세먼지를 포집 및 제거할 수 있는 장치이며 이는 친환경적이며 고압 전원장치가 필요하지 않는 장점이 있다.</p> <p>설계내용 태양열을 에너지원으로 스텔링 기관을 작동시켜 기계적 에너지로 변환하고, 이를 마찰대전나노발전기(Triboelectric Nanogenerator, TENG)를 활용해 전기적 에너지로 변환하여 미세먼지 포집기를 작동하는 설계안을 제안한다. 야외에서 작동 가능한 설계안을 도출하였으며 그 성능을 검증하였다.</p> <p>설계결과 스털링 기관의 고온부를 30℃로 가열된 상태에서, 600rpm으로 회전하는 TENG의 출력 성능은 157.7V, 4.75μA이다. 미세먼지 포집용 전극에 인가하기에 충분한 전압임을 확인하였다.</p> <p>기대효과 본 설계안은 버려지는 에너지들을 활용하는 친환경적인 미세먼지 제거장치이다. 이를 제품화하여 도심속 공원과 빌딩숲 곳곳에 설치된다면 악화되는 도심 대기 환경 개선에 기여할 수 있다.</p>
설계프로젝트의 입상 이력	해당 사항 없음

스털링 엔진 구조를 활용한 미세먼지 포집용 마찰대전 정전기 발전기 시스템 개발

박현서*·박순용**·이재량**·지성호***·박진형***

*한국기술교육대학교 기계공학부

**한국기술교육대학교 메카트로닉스 공학부

***한국기술교육대학교 일반대학원 메카트로닉스 공학과

Development of Triboelectric Nanogenerator for collecting fine dust using Stirling Engine Structure

Hyunseo Park*, Soonyong Park**, Jaerang Lee**, Sungho Ji**, and Jinhyoung Park***†

* Department of Mechanical Engineering, Korea University of Technology and Education

** Department of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education

*** School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education Graduate School

Key Words: Triboelectric Nanogenerator(마찰대전 나노발전기), Stirling Engine(스털링 기관), Turbo Fan(터보팬), particulate Matter(미세 먼지)

초록: 본 설계는 태양에너지를 스털링 기관을 통해 기계적 에너지로 변환하고 Free-standing mode를 적용한 마찰대전 발전기(Triboelectric nanogenerator, TENG)를 활용하여 전기적 에너지로 변환한다. TENG 기반의 자가발전 미세먼지 포집 시스템을 개발하는 것을 목적으로 한다. 제작된 TENG는 Aluminum (Al) 전극과 Polytetrafluoroethylene (PTFE)를 유전체로 사용하였고 원형의 Poly Methyl Methacrylate (PMMA)에 다수의 전극과 유전체의 날(깃)을 가진 형태로 제작하였다. 풍속과 회전수에 따른 TENG의 발전 성능을 평가하였다. 포집 효율을 높이기 위해 터보팬을 사용하여 흡입하도록 하였고 성능을 평가하였다. 600rpm으로 구동하는 경우 157.5V, 4.75 μ A의 출력 성능을 확인하였다. 제작한 장치를 실외의 미세먼지를 효과적으로 포집하고, 주기적으로 호퍼를 비워줌으로써 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract: This design converts solar energy into mechanical energy through a Stirling engine and converts it into electrical energy by using a triboelectric nanogenerator (TENG) with free-standing mode. The purpose is to develop a self-generation system that operates a fine dust collector by TENG. The fabricated TENG used Al electrodes and PTFE as dielectrics. The output power TENG according to wind speed and rotation speed was evaluated. When driving at 600rpm, the 157.5V and 4.75 μ A was confirmed. It is expected that the device can effectively collect outdoor fine dust and remove it by periodically emptying the hopper.

1. 서론

대한민국을 포함한 전 세계는 여러 상황에서 발생하는 대량의 미세먼지를 제거하기 위해 노력해오고 있다. 미세먼지는 내연 기관으로 구동하는 자동차를 포함한 공장, 가정 내 등의 다양한 상황에서 발생하고, 온도와 일조량에 영향을 주어 밀, 옥수수, 쌀 등의 곡물 재배량에 부정적인 영향을 준다.⁽¹⁾ 또한, 흡입 시 체내에서 염증 반응을 유발하고, 백혈구 수의 증가, 호흡기를 포함한 심혈관 질환 및 암의 발생 원인으로 작용할 수 있다.⁽²⁾

† Corresponding Author, jhpark98@koreatech.ac.kr

경제적인 생산 활동에도 제약을 유발하는데 일 평균 손실은 1586억 원, 연평균 미세먼지 주의보 발령 일수 25.4일을 고려하였을 때 연간 총 4조 230억 원의 손실이 발생한다.⁽³⁾ 이처럼 미세먼지는 공중보건을 포함한 사회, 경제적 문제로 점차 위험도가 증가하여 여러 공기 청정장치에 사용되는 집진장치가 개발되었다. 집진에는 기계식(여과식) 집진, 습식 집진, 전기적 집진 방식을 사용한다. 기계식(여과식) 집진은 필터를 통과하는 기체에서 먼지를 걸러내는 방식으로 대부분 공기청정기에 적용된 방법이지만, 점도가 높은 입자에 대한 여과 능력과 압력 손실, 필터의 주기적인 교체가 문제점으로 제기된 바가 있다. 습식 집진은 물을 활용하여 먼지를 세정, 분리하는 방식으로 액체와 기체에서 분리할 수 있지만, 폐수가 발생하는 문제점을 가진다. 전기적 집진은 정전기력을 이용한 방식으로 범용성이 높고 유지 보수가 쉬운 점이 있지만, 집진 된 먼지가 전기적 중성을 띄게 되면 재비산할 수 있는 문제점이 있다.⁽⁴⁻⁶⁾ 따라서 우리는 기계식 집진과 전기적 집진 방식의 장점을 극대화하고 단점을 보완하는 설계를 구상하였다. 두 필터용 전극을 배치하여 각각 기계적, 전기적 집진의 역할을 할 수 있게 하였다. 또한, 필터의 하단부에 호퍼(Hopper) 설치하여 재비산을 방지하였다. 이러한 전극에 전기장을 발생시켜주기 위해 TENG를 사용하였고, 이 TENG는 태양 빛으로 구동하는 스텔링 기관, 외부의 풍력으로 구동하는 팬으로 출력 성능을 향상했으며, Free-Standing Mode를 적용하였다. TENG의 성능은 157.5V, 4.75 μ A로 확인되었고, 코로나 방전을 발생시키지 않는 낮은 전압이기에 오존이 발생하지 않는다. 따라서, 태양 에너지뿐만이 아닌 풍력을 사용하여 미세먼지 집진을 하며 그 성능과 효율에 대해 평가하였다.

2. 전체 설계 과정

본 설계안은 야외에 설치되며, 우선 태양열에 의해 스텔링 기관이 작동하여 동력을 전달, 터보팬에 유입되는 풍력을 이용하여 TENG를 작동시키며, 최종적으로 미세먼지 필터에 전압을 공급하게 한다. 첫 번째로 야외에서 태양열에 의해 고온 부의 충분한 온도 상승이 필요하기에 프레넬 렌즈를 통해 집광을 유도하였다. 두 번째로 스텔링 기관의 높은 rpm과 달리 토크는 높지 않았기에 TENG와 터보팬을 회전, 작동시킬 충분한 토크의 증대가 필요하였다. 토크의 증대를 위해 1:2 기어비를 갖는 감속 기어트레인을 적용하였다. 세 번째로 기어를 통해 증가한 토크가 TENG와 터보팬의 성능을 확인과 평가를 위해 송풍기를 이용해 일정한 바람을 터보팬에 유입시켰고 그 성능을 평가하였다. 마지막으로 필터를 작동시킬 충분한 전압을 출력할 수 있는 TENG와 효과적인 필터를 설계하여야 했다. TENG의 경우 발전 면적을 달리하여 그 출력 성능을 평가하였다. 마지막으로 필터를 거친 후 집진 된 먼지를 모아 재비산을 방지하는 호퍼를 제작하였다.



Fig. 1 (a) Overall design and (b) Schematic and (c) Exploded view.

제작한 장치는 Fig. 1(a)와 같다. 프레넬 렌즈에 의해 집광 된 태양광이 스텔링 기관의 고온 부의 온도 상승을 유발하여 스텔링 기관이 구동하고, 터보팬으로 유입되는 풍력으로도 구동한다. 이 과정을 통해 TENG가 작동하고 미세먼지 집진 필터 전극에 전력을 공급한다. Fig. 1(b)에 따라 습기에 취약한 TENG와 터보팬, 와류실(Vortex Chamber)을 외부 환경으로부터 분리하였다. 분해도는 Fig. 1(c)와 같다. 케이스는 PMMA로 두께 5mm와 10mm를 사용하였다.

2.1 실험 환경 및 계측 장비

우리가 설계한 장치의 각 부분에 대한 평가는 24°C, 습도 40%에서 진행하였다. 부분별로 그 성능을 평가하기 위해 아래와 같은 계측 장비를 사용하였다. 스텔링 기관의 고온 부의 온도를 높여주기 위한 열풍기(GHG 16-50, BOSCH, Baden-Württemberg, Germany)를 사용하였고, 고온 부의 온도를 측정하기 위한 적외선 온도계(GM320, FULLTEM, Daegu, Republic of Korea)를 사용하였다. TENG의 출력 확인을 위해 오실로스코프(TBS 2072, Tektronix, Oregon, U.S.A.), 전류 증폭기(DLPCA-200, Femto, Berlin, Germany), 고압 프로브(P5100A, Tektronix, Oregon, U.S.A.), DC 모터(K7DS1, GGM, Gyeonggi, Republic of Korea)를 사용하였다. 터보팬에 일정한 풍량의 유입을 위한 송풍기(BP-650, Wuyi Ruite Tools, China)와 풍속 확인을 위해 풍속계(MS6252A, MASTECH, Pennsylvania, U.S.A.)를 사용하였다. 기어와 축을 제작하기 위해 Polyjet 3D printer (Stratasys, objet260, Minnesota, U.S.A.)를 사용하였다.

2.2 스텔링 기관

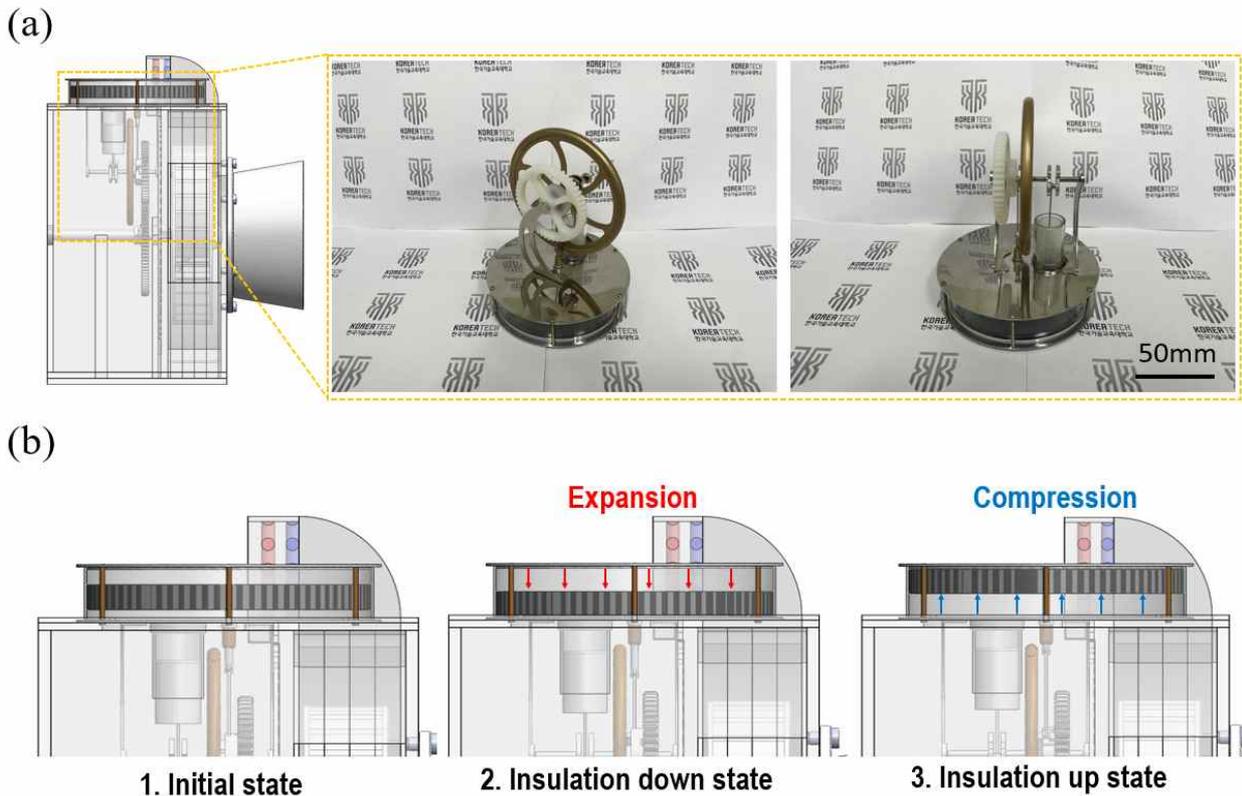


Fig. 2 (a) Schematic of Stirling Engine and (b) Working Mechanism of Stirling Engine by Heat.

사용한 스텔링 기관은 Fig. 2(a)와 같다. 작동 원리는 Fig. 2(b)에서와같이 두 개의 금속판 사이의 닫힌 공간 안의 기체를 서로 다른 온도에서 압축, 팽창시켜 열에너지를 운동에너지로 바꾸는 장치이다. 스텔링 기관은 하나의 작동 유체에 두 개의 피스톤을 설치하여 크랭크축을 회전시킨다. 두 개의 피스톤이 위상차를 갖고 사인 곡선으로 왕복운동을 하는 사이클로 구현된다. 고온 부에서 열을 받아 압력이 높아진 작동 유체는 절연판을 아래 방향으로 움직이며 팽창된다. 이때 발생한 회전에너지로 피스톤이 아래 방향으로 움직이고 절연판 (두 개의 금속판 사이 검은 판)은 위로 올라간다. 이후 작동 유체는 저온 부를 만나 압력이 낮아지고 이는 다시 피스톤을 위 방향으로 끌어올리게 된다. 피스톤의 상하 운동이 축에 연결되어 동력이 발생하고 그 동력을 사용하였다. 이 과정을 반복하며 태양열에 의해 구동하며 동력을 발생시킨다.

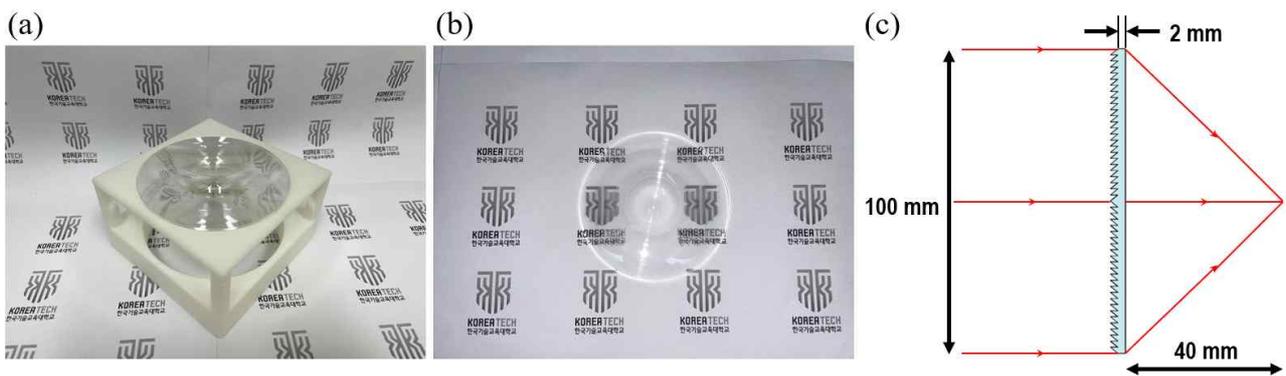


Fig. 3 (a) Schematic of Fresnel Lens and support fixture and (b) Lens and (c) Dimension of Lens. Scale bar is 50mm.

스텔링 기관의 고온 부의 상부에 설치한 프레넬 렌즈는 Fig. 3(a)와 같다. Poly Lactic Acid (PLA) 소재의 지지대와 프레넬 렌즈를 결합하여 제작하였다. 사용한 렌즈는 Fig. 3(b)와 같다. 프레넬 렌즈는 Fig. 3(c)와 같이 표면에 일련의 동심원을 이루고 음각으로 홈을 낸 형상이며, 입사하는 태양광을 한 점에 모이게 해주는 기능을 한다.⁽⁷⁾ PMMA 소재로, 두께 2mm, 지름 100mm이다. 렌즈의 표점 거리가 40mm 이기에 효과적으로 고온 부에 집중되도록 지지대의 높이를 설계하였다.

2.3 터보팬과 와류실

미세먼지 집진 효율과 유입되는 공기의 유량을 높이기 위해 터보팬을 적용하였다. 스텔링 기관이 작동함과 동시에 흡입부로 공기가 유입되도록 설계하였고 Fig. 4(a)와 같다. 스텔링 기관의 동력을 받는 TENG의 회전자와 같은 축에 결합하였다. 소재는 PLA 필라멘트로 3D Printer를 활용하여 제작하였고 Fig. 4(b)와 같이 와류실 내부에 위치한다.

터보팬을 효율적으로 구동하기 위해 Fig. 4(c)에 따라 제작하였다. 터보형 송풍기 중 회전차의 회전 원심력에 의해 작동하는 원심식을 적용하였다. 깃은 효율이 가장 높아 보일러의 강제통풍, 터널의 환기에 적용되는 후경 깃으로 설계하였다. 깃과 바깥 둘레가 이루는 각(β_2)은 112.5° , 깃 수(z)를 32개로 설계하였다. 깃폭(b_1)는 29mm 설계하여 깃폭과 팬의 안지름(D_1)의 비는 0.3으로 설계하였다. 이에 따라 최고 효율 점의 풍량이 $0.3m^3/s$ 이상으로 작동하게 하였고, 최고 효율 점에서의 송풍기의 압력이 $50mmAq(kg/m^2)$ 이상이며, 최고 압력효율이 40%로 구동하게 설계하였다.⁽⁸⁾

결과적으로 터보팬이 회전함에 따라 높은 효율로 공기를 흡입하여 와류실을 따라 필터로 유동하도록 설계하였다.

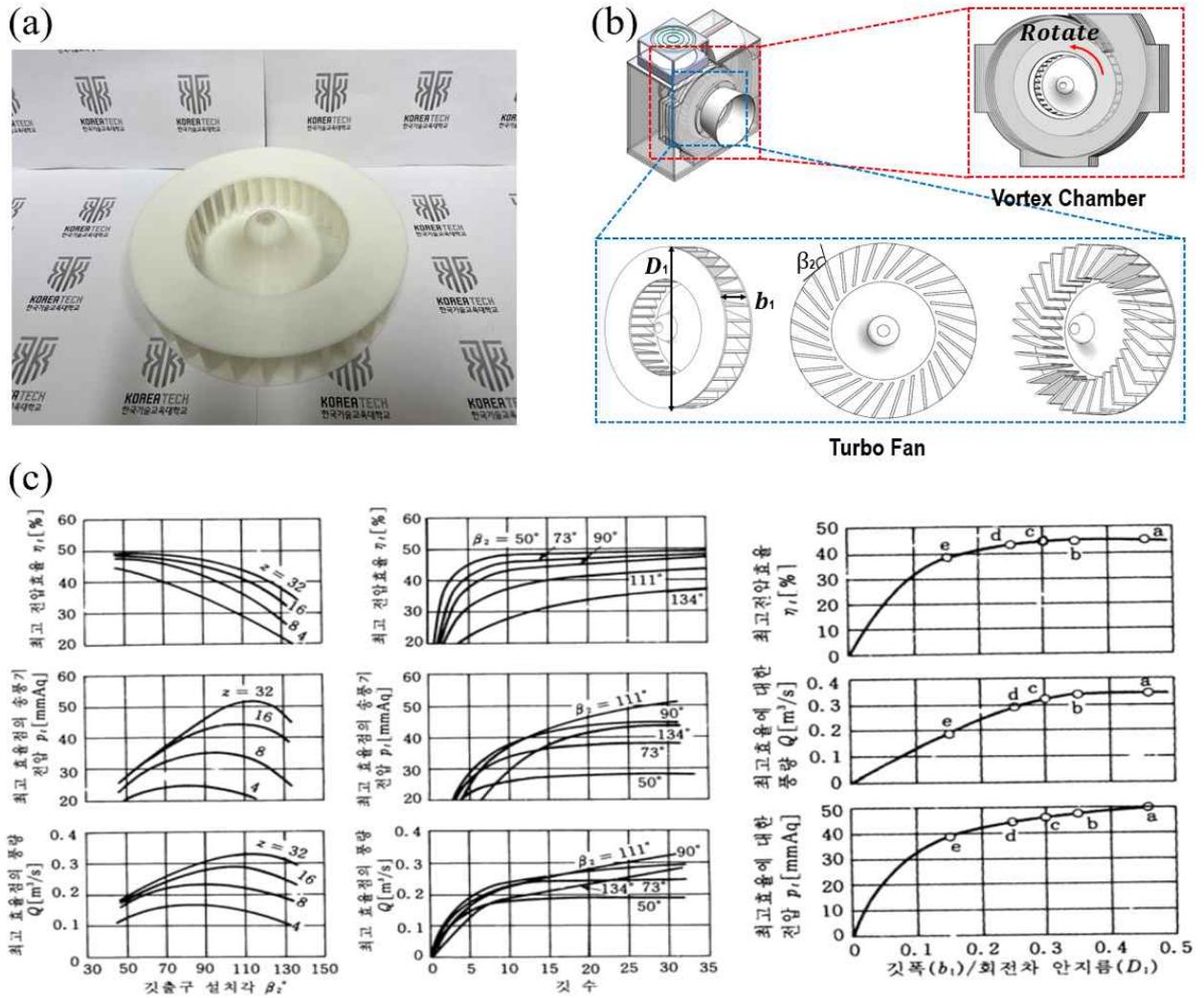


Fig. 4 (a) 3D model of Turbofan and (b) 3D view of Turbofan and Vortex Chamber and (c) Comparison graph of parameters.

터보팬에 의해 흡입된 공기는 와류실로 유입된다. 와류실은 Fig. 5(a)와 같고 두께 10mm의 PMMA 4겹을 결합하여 제작하였다. 그 형태는 Fig. 5(b)와 같은 아르키메데스 나선식을 적용하였다. 아르키메데스 나선식은 와류실 설계 시 많이 참고되어 적용되며, 최대 풍량과 최고 효율 점에서의 풍량이 크다는 장점이 있다.⁽⁸⁾

또한, 압력 저하 방지와 유입된 공기가 와류실을 따라 오직 미세먼지 필터 부로만 이동하게 만들기 위해 두께 5mm의 PMMA 2겹을 터보팬의 외부에 더 결합하였다.

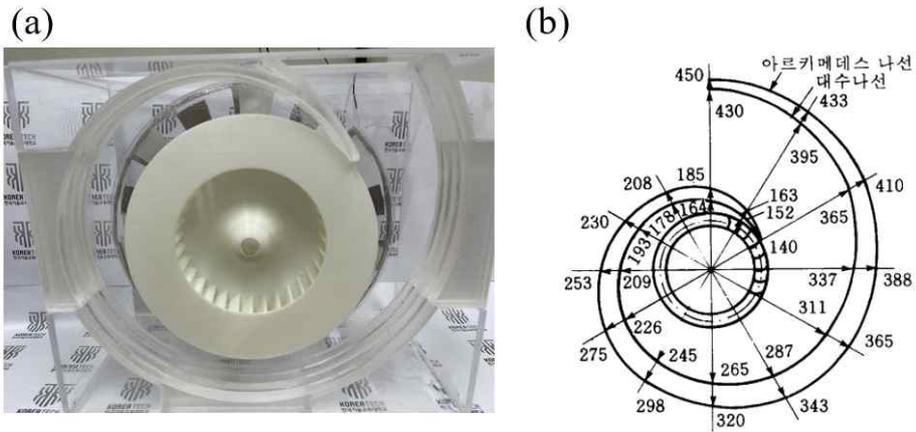


Fig. 5 (a) Front view of Turbopan and Vortex Chamber and (b) Archimedean Spiral.

2.4 기어 트레인과 축

스털링 기관에서 발생하는 동력이 TENG와 터보팬이 결합한 축에 효과적으로 전달될 수 있어야 하기 때문에 기어트레인을 설계하였다 (Fig. 6). 기어와 축은 Polyjet 3D Printer로 제작하였고 Digital ABS Filament 515와 Digital ABS Filament RGD 531의 조합으로 제작되었다. Polyjet 3D printer는 매끄럽고 정밀한 파트, 프로토타입을 생산하는데 적합한 3D 프린팅 장비이다. 현미경 수준의 레이어 해상도와 0.1mm 수준의 정밀도를 갖추어 얇은 벽과 복잡한 기하학적 구조를 쉽고 빠른 시간에 제작할 수 있다는 장점을 갖추고 있다.⁽⁹⁻¹¹⁾ 각각 기어는 모듈 1.0, 인벌류트 치형 곡선(Involute Spline)에 따라 제작하였으며 잇수는 각각 50, 100개이다. 50개의 이를 갖는 기어는 스텔링 기관의 축과 결합했고, 100개의 이를 갖는 기어는 TENG, 터보팬과 함께 동일 축선 상에 결합하였다.

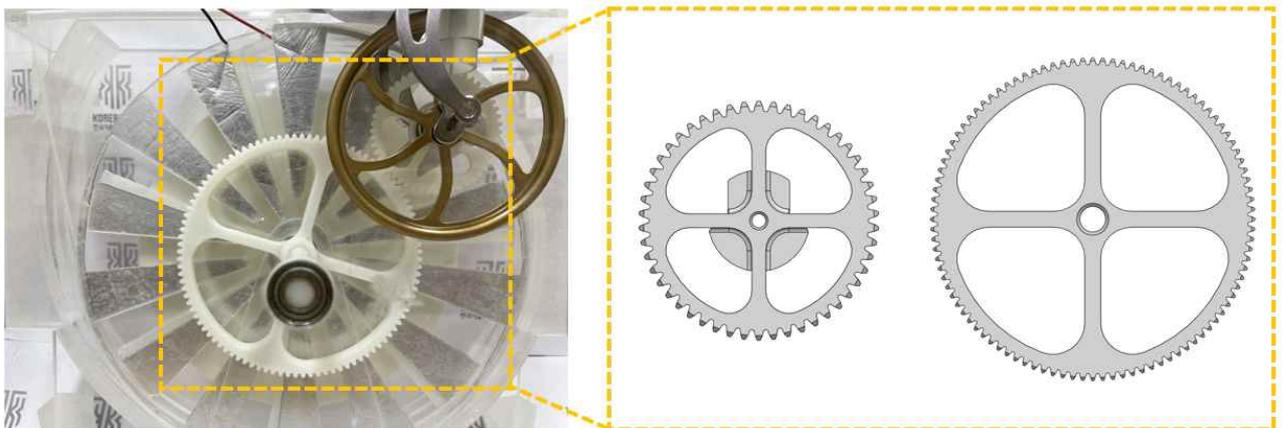


Fig. 6 Back view of device and Spur Gear.

2.5 TENG 제작

TENG는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 효과적으로 전환할 수 있다. TENG의 4가지 작동원리는 Contact-Separation Mode, Sliding Mode, Free-Standing Mode, Single Electrode Mode가 있다.

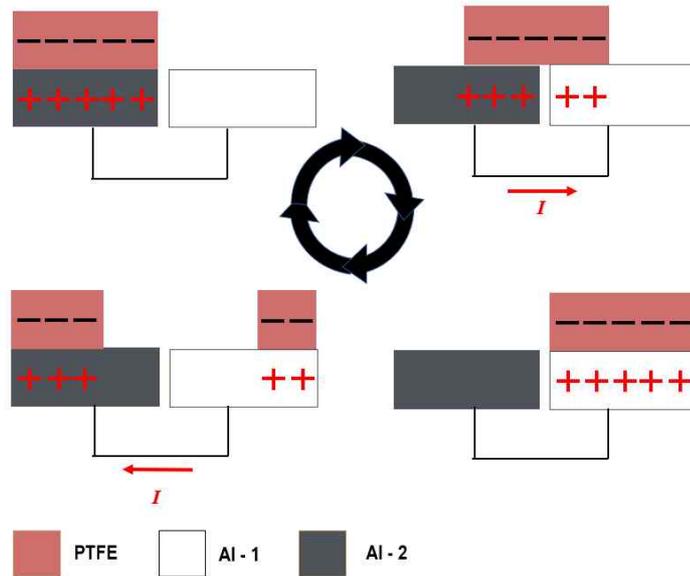


Fig. 7 Working Mechanism of Free-standing mode of TENG.

이중 축의 회전을 효율적으로 이용하기 위해 Free-Standing Mode를 적용하였다. Free-Standing Mode는 수평으로 전극이 나열되어 있기에 전기장 감쇠 효과(Electrostatic Screening Effect)가 있지 않기 때문에 높은 에너지 변환 효율을 갖는다.⁽¹²⁾ 작동원리는 Fig. 7과 같고 사용한 유전체는 PTFE이며 전극은 Al(Aluminum)을 사용하였다. 초기 상태에서 PTFE와 Al이 접촉하고 있음에 따라 PTFE가 음극으로 유전 분극이 된다. 이에 의해 Al -1의 양전하가 Al -2로 이동한다. PTFE가 오른쪽으로 이동하면 Al -2가 Al -1에 비해 높은 전위차를 가지며 이에 따라 양전하는 Al -1에서 Al -2로 이동하기 시작한다. PTFE가 더 오른쪽으로 이동하여 Al -1과 완전히 겹쳐지게 되면 모든 양전하는 Al -1으로 이동한다. 위와 같은 과정을 반복하며 교류 전압을 발생시킨다.

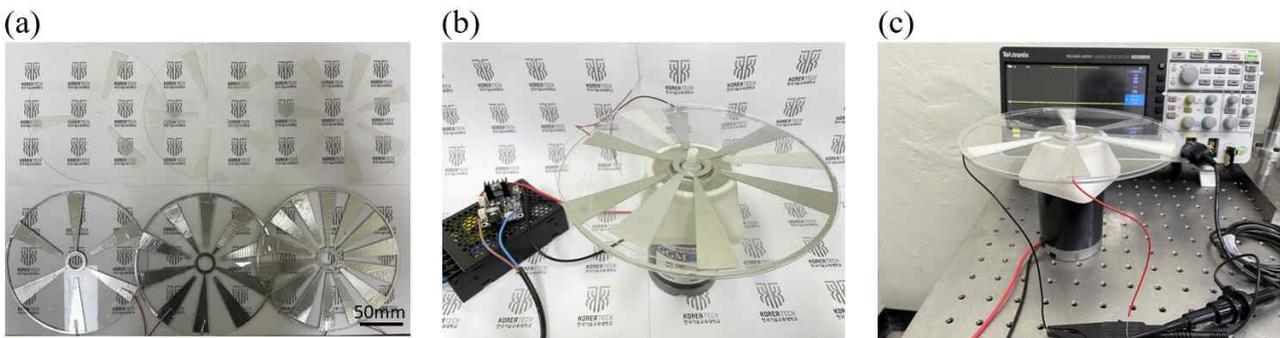


Fig. 8 (a) Output test plate; 3, 5, 7 blade and (b) Experiment with DC motor and (c) Connect with the Oscilloscope

위와 같은 원리를 적용하여 Al과 PTFE 각각의 날의 개수에 따른 접촉 면적의 변화를 파라미터로 설정하였다. 출력 성능의 차이를 먼저 실험하기 위해 Al과 PTFE 날의 크기는 유지하여 Fig. 8(a)와 같이 3, 5, 7개로 실험하였다. 각각의 면적은 동일하게 11.151cm^2 이며, 정지해있는 Al 전극이 부착된 판은 PMMA 두께 2mm, 회전자인 PTFE가 부착된 판은 PMMA 두께 1mm이다. Al과 PTFE는 PMMA 두께 0.5 mm로 제작하여 그 위에 테이프로 된 Al, PTFE를 부착하였다. 회전하는 TENG의 출력 성능 실험을 진행하기 위해 Fig. 8(b),(c)와 같이 DC 모터를 사용하여 진행하였다. 정지해있는 Al 판과 회전하는 PTFE 판을 500, 1000, 1500rpm으로 회전시켜 출력 성능을 평가하였다.

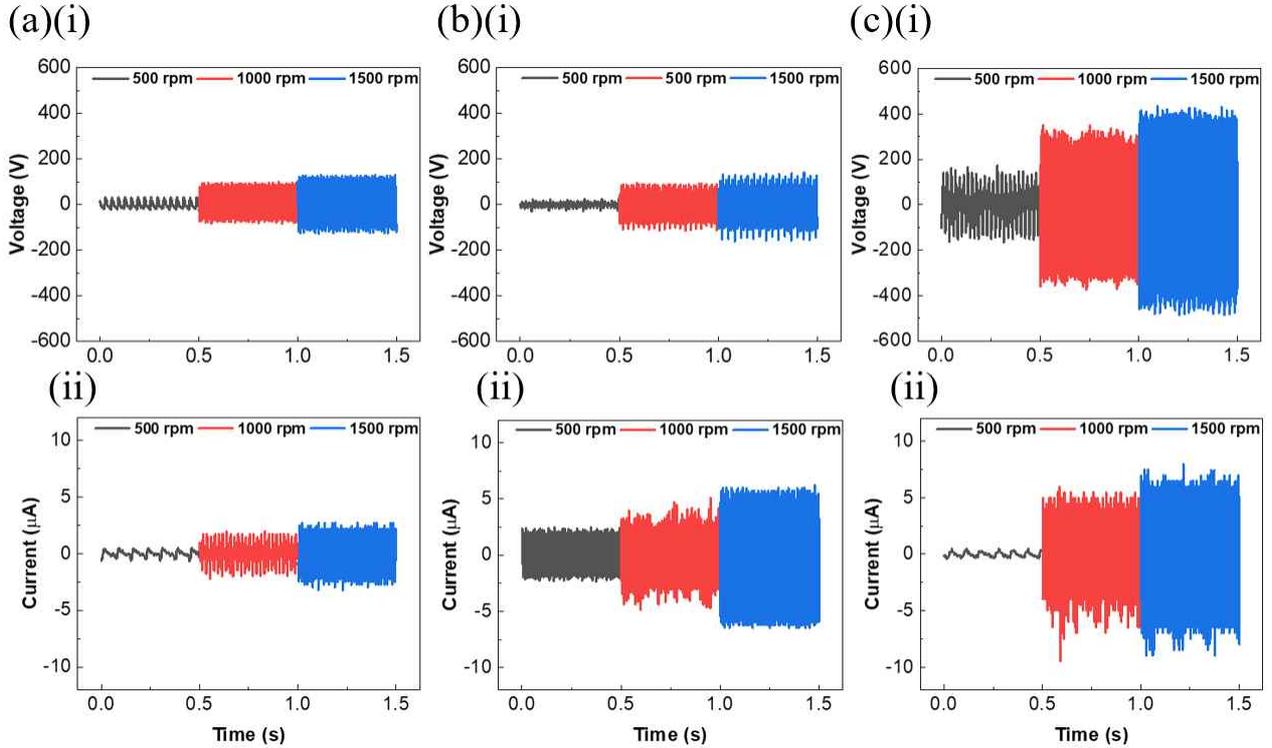


Fig. 9 Output Graph of TENG; 3,5,7 Blade and 500, 1000, 1500 rpm.

실험 결과는 Fig. 9와 같다. Fig. 9a (i),(ii)는 3개의 날로 실험한 결과이다. 1500rpm에서 $200 V_{pp}$, $2.5 \mu A$ 의 출력을 확인할 수 있었다. Fig. 9b (i),(ii)과 Fig. 9c (i),(ii)는 각각 5개, 7개 날의 출력 전압과 전류 결과이다. 결과 중 5개, 7개의 날은 1500rpm에서 각각 $300 V_{pp}$, $5 \mu A$ 와 $800 V_{pp}$, $6 \mu A$ 의 출력을 확인할 수 있었다. 결과적으로 7개의 날이 가장 높은 전압을 발생시킴을 확인하였다. 또한, $5 \mu A$ 이하의 전류 출력을 확인할 수 있었다. 이는 상관관계식 (1)을 따른다.

$$\Delta V = -\frac{Q}{S\epsilon_0} \left(\frac{d_1}{\epsilon_{r1}} + x(t) \right) + \frac{\sigma x(t)}{\epsilon_0} \quad (1)$$

Q 는 두 전극(Al -1, Al -2) 이동한 전하, S 는 유전체와 전극의 접촉 넓이, ϵ_0 는 진공 유전율이며, ϵ_{r1} 과 d_1 는 각각 유전체의 유전율과 그 두께, σ 는 마찰대전 전하 밀도, $x(t)$ 는 전극과 유전체 사이의 거리이다.^(12,13) 위 식에서 $x(t)$ 는 전극과 유전체가 접촉하고 있기에 0이라고 하였을 때 마찰대전 효과로 발생한 전압은 유전체와 전극의 접촉 넓이인 S 의 증가에 비례하게 된다. 따라서 Al 날의 개수를 증가시킴으로 접촉 넓이의 증가로 출력 전압은 높아지게 된다. 결과적으로 7개의 날을 갖는 발전판의 출력이 가

장 높음을 알 수 있었다.



Fig. 10 Schematic of TENG Plate.

이 결과에 기반하여 Fig. 10과 같이 7개의 날을 갖도록 실제 설계에 적용하였다. 정지된 AI이 붙은 PMMA 판의 위, 아래에 홈 형상을 추가하여 프레임의 구멍과 합쳐져 정지해있도록 했으며, 회전하는 PTFE 판은 모양의 구멍을 뚫어 축의 형상과 맞추어 함께 회전하도록 제작하였다.

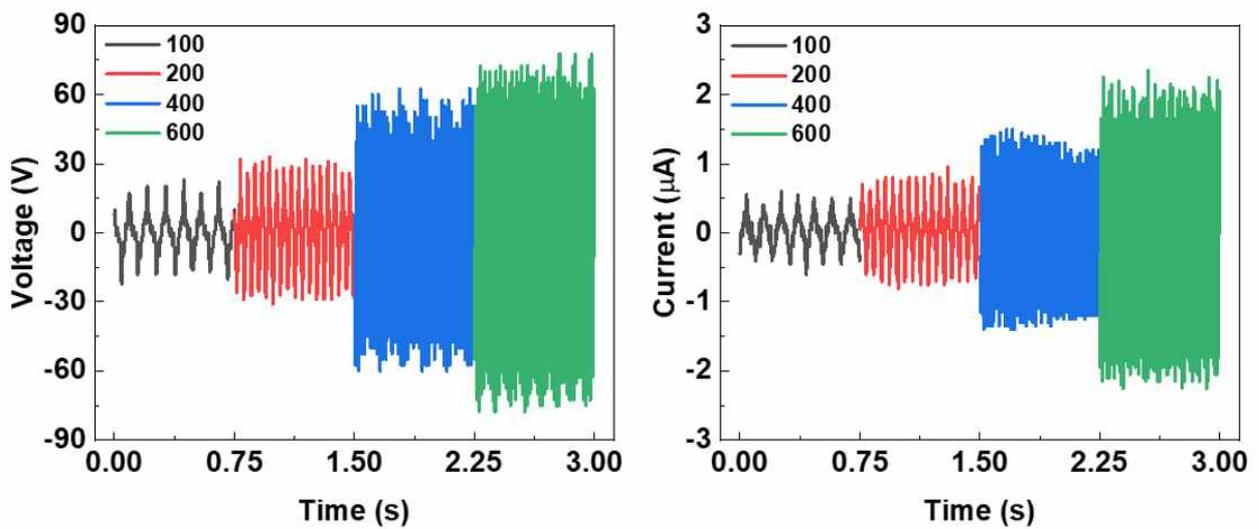


Fig. 11 Output Graph of TENG rotating at 100, 200, 400, 600 rpm.

실외기, 건물 지하 주차장의 환기장치의 배기구에서부터 일상생활 풍속을 송풍기를 이용해 터보팬에 붙어 넣어줌과 동시에 스텔링 기관의 고온 부의 온도를 열풍기를 이용해 30℃까지 올려준 후 TENG의 출력 성능을 실험하였다. 풍속계를 이용해 20~3m/s의 풍속을 갖는 것을 확인하였고 그에 따라 회전수를 측정하였다. 각 회전수의 출력 성능은 Fig. 11과 같다. 출력은 높은 회전수일수록 출력이 높아짐을 확인할 수 있었으며, 최고 출력은 600rpm에서 157.5V, 4.75 µA를 얻을 수 있었다.

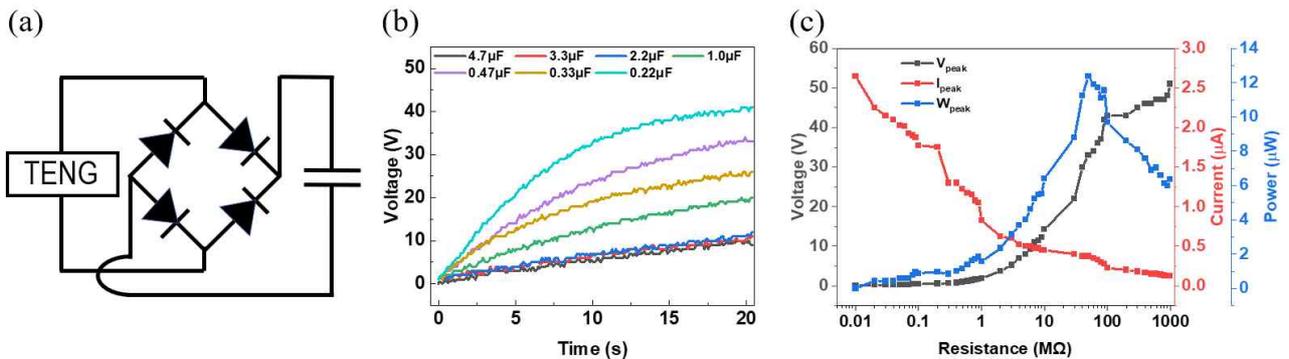


Fig. 12 (a) Circuit of TENG to Capacitor and (b) Graph of Charging various Capacitor and (c) Graph of Power of TENG.

이를 바탕으로 커패시터 충전 능력을 측정하였다. 측정을 위해 Fig. 12(a)와 같이 회로를 구성하여 진행하였다. 사용한 커패시터와 그 충전 능력은 Fig. 12(b)와 같다. 이 중 $2.2\ \mu\text{F}$ 의 커패시터를 완충하는 데 20초가 소요됨을 알 수 있었다. 추가로 Fig. 12(c)와 같이 가변저항을 사용하여 전력을 비교하였다. P_{Peak} 값은 $12.375\ \mu\text{W}$ 임을 확인할 수 있었다.

2.6 필터

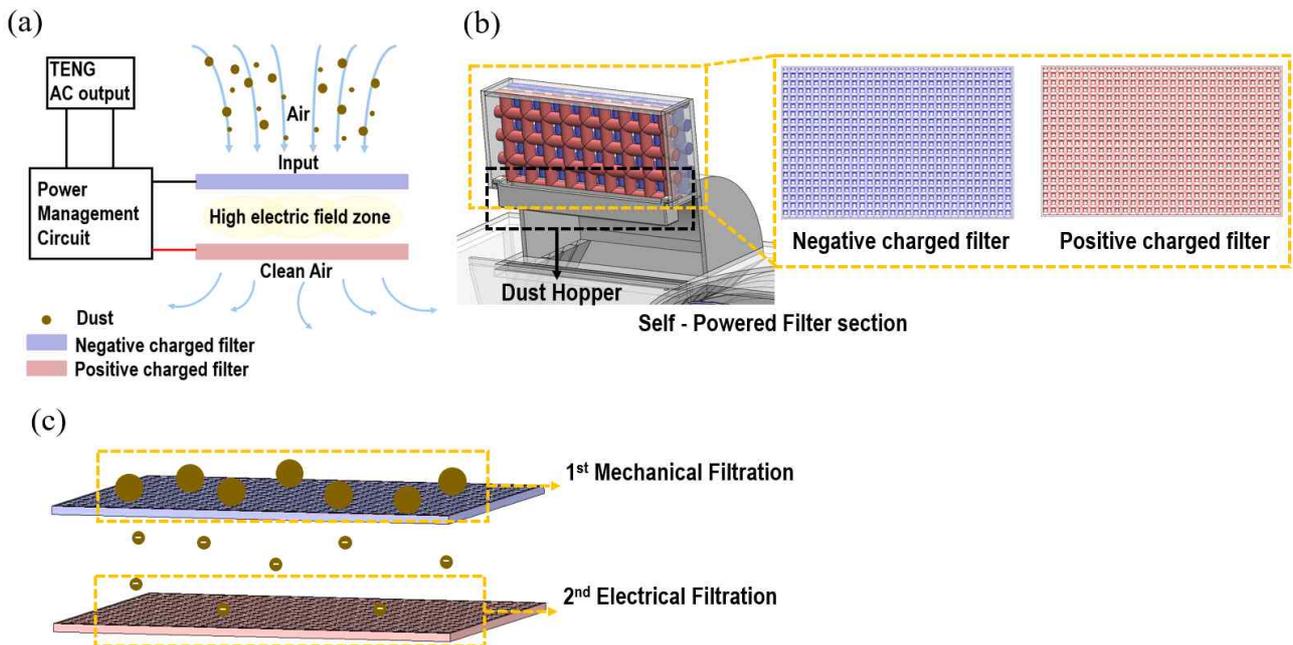


Fig. 13 (a) Working mechanism of Filtration and (b) Mesh type metal filter and hopper and (c) Filtration of fine dust.

TENG와 정류기를 거친 출력은 미세먼지 필터의 전극으로 이동한다. Fig. 13(a)에서 Mesh 구조의 금속

전극을 배치하여 높은 전기장을 이루도록 고정한다. 미세먼지가 음극으로 잘 대전 되는 특징을 이용하여 대전시킨 후 양극으로 대전 된 전극에 집진 되도록 한다. Fig. 13(b)와 같이 와류실을 통과한 공기의 배출구에 설치하였고, 전극에 전기장이 생성되지 않을 때 수직으로 떨어져 아래의 호퍼(Hopper)에 가라앉아 모이게 하였다. PMMA에 두 전극을 고정한 구조이기에 호퍼에 모인 먼지를 직접 꺼내어 제거하기 쉽게 설계하였다. Fig. 13(c)에서 음의 전압이 인가되는 1차 전극은 PM2.5~PM10 이상의 크기를 갖는 입자를 걸러내는 기계적 필터의 역할과 통과되는 작은 크기의 입자를 음극으로 대전시킨다. 양의 전압이 인가되는 2차 전극은 음극으로 대전 된 미세먼지 입자를 포집시키는 정전기식 필터 역할을 한다. 두 과정에서의 미세먼지는 최종적으로 모두 호퍼로 떨어지게 된다.

3. 결과

우리는 태양열 에너지와 실외의 바람을 이용하여 구동하는 실외 미세먼지 포집 장치를 제작하였다. 외부의 전력 공급원 없이 가동 가능하며 자가 발전으로 작동하기에 설치 장소가 자유롭다. 태양열 에너지에 의한 온도차를 이용하여 스텔링 기관에서 기계적 에너지를 발생시키고, TENG를 구동시켜 전기적 에너지로 변환하였다. 최종적으로 전기적 에너지를 미세먼지 필터용 전극에 인가하여 미세먼지 포집을 할 수 있음을 입증하였다. 30℃의 고온 부로 구동되는 스텔링 기관과 600rpm으로 회전하게 해주는 바람으로 157.5V, 4.75 μ A의 출력 성능과 2.2 μ F의 커패시터를 20 초안에 충전시키는 것을 확인할 수 있었다. 우리가 설계한 장치의 장점은 실외의 환경에서 태양열을 포함하여 열을 받을 수 있는 환경 또는 바람이 불어주는 환경 두 환경 중 한 가지만 충족되더라도 구동할 수 있다. 장치를 구동하는 과정에서 오존 발생을 포함한 환경 오염을 유발하는 요소는 포함되어있지 않다. 또한, 미세먼지 포집 시스템의 케이싱을 기밀하게 밀봉하여 외부 습도에 의해 TENG의 출력 성능이 저하되는 것을 방지하였다. 기대 효과는 실외의 미세먼지, PM으로 인한 태양열복사 효과의 증가로 지구온난화를 막을 수 있음에 기여할 수 있다. 본 장치의 스텔링 기관의 고온 부의 금속관이 외부로 노출된 점과 터보팬 내부로 큰 이물질의 유입을 보완하면 실제로 활용할 수 있으며, 이에 따라 실외의 미세먼지를 효과적으로 포집하고 주기적으로 호퍼를 비워줌으로써 제거할 수 있다.

참고문헌

- [1] Zhou, L., Chen, X. and Tian, X., 2018, "The impact of fine particulate matter (PM2.5) on China's agricultural production from 2001 to 2010," *J. Clean Prod.*, Vol. 178, pp. 133~141.
- [2] Shin, D. C., 2007, "Health effects of ambient particulate matter," *J. Korean Med. Assoc.*, Vol. 50(2), pp. 175~182.
- [3] 한국경제연구원, 2019, 새로운 경제시스템 창출을 위한 경제주평, 한국경제주평, Vol. 19-10(통권 833호),
- [4] 박평화, 2020, "최신 에어필터 기술-공기청정기용 에어필터 동향," *Air Cleaning Technology*, Vol. 33(1), pp. 31~37.
- [5] 경대승., 2019, "미세먼지 처리기법 원리 및 기술 개발 동향," *국토*, Vol. 452, pp. 34~41.
- [6] 김상도, 박영옥 and 강용, 2008, "원심력이 적용된 여과포집장치와 기존 집진장치의 성능비교," *한국 대기환경학회지*, Vol. 20, No. 6, pp. 739~748.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Fresnel_lens
- [8] 하재현, 박무순, 김명규, 2011, "유체기계", 진영사, 제 6편 저압식 공기기계
- [9] Tee, Y. L., Peng, C., Pille, P., Leary, M. and Tran, P., 2020, "PolyJet 3D printing of composite materials: experimental and modelling approach," *The Journal of The Minerals, Metals & Materials Society*, Vol. 72, pp. 1105~1117.
- [10] Tappa, K. and Jammalamadaka, U., 2018, "Novel Biomaterials Used in Medical 3D Printing Techniques,"

J. Funct. Biomater. Vol. 9(1), pp. 17.

- [11] Castiaux, A. D., Pinger C. W., Hayter E. A., Bunn, M. E., Martin, R. S. and Spence. D. M., 2019, "PolyJet 3D-printed enclosed microfluidic channels without photocurable supports," *Anal. Chem.*, Vol. 91, No. 10, pp. 6910~6917.
- [12] Choi, Y. S., Kim, S. -W and Kar-Narayan, S., 2021, "Materials-related strategies for highly efficient triboelectric energy generators," *Adv. Energy Mater.*, Vol. 11, No. 7, pp. 2003802.
- [13] Wang, J., Ding W., Pan L., Wu C., Yu H., Yang, L., Liao, R. and Wang Z. L., 2018, "Self-powered wind sensor system for detecting wind speed and direction based on a triboelectric nanogenerator," *Acs Nano*, Vol. 12, No. 4, pp. 3954~3963.