

교내 풍력발전기 적용 가능성에 대한 공학적 실험 및 분석

남해해성고등학교

민보경, 김가희, 송서연, 전태양, 조현수, 김승표, 김한울, 노현아, 신서연, 박지민

초록

본 연구는 남해 지역의 강한 풍속과 일정한 풍향이라는 지리적 특성을 바탕으로, 교내에 적합한 소규모 풍력발전기 설치 방안을 탐구하였다. 학교 내 바람이 집중되는 위치를 선정하고, 종이박스·PP·알루미늄 등 서로 다른 재질로 제작한 블레이드의 마찰계수와 발전효율을 비교하였다. 빗면 실험과 전류 측정 실험을 통해 분석한 결과, 표면 마찰이 가장 낮고 강성이 높은 알루미늄 블레이드가 최대 12mA로 가장 높은 전류를 나타냈다. 또한 수평축·수직축 풍력발전기의 구조적 특성을 비교한 결과, 바람 방향 변화가 큰 교내 환경에서는 저속에서도 작동 가능하고 방향 의존성이 낮은 수직축 구조가 더 적합하다는 결론을 도출하였다. 본 탐구는 교내 풍력발전기의 실현 가능성과 설계 시 고려해야 할 핵심 요소들을 제시하며, 향후 친환경 에너지 활용에 기여할 수 있는 기초 자료로서 의의가 있다.

1. 서론

남해는 섬으로, 사방이 바다로 둘러싸여 있어 풍속이 강하고 바람의 방향이 일정하게 유지되는 지역이다. 이러한 기상적 특성은 풍력 발전에 매우 유리한 조건을 제공한다. 이에 착안하여, 남해에 위치한 우리 학교에 소규모 풍력 발전기를 설치해 친환경적으로 전력을 생산한다면 학교 운영비 절감과 탄소 배출 저감에 기여할 수 있을 것이라 판단하였다. 또한 남해군이 친환경 해양 도시 조성을 추진하고 있는 만큼, 학교 차원의 풍력 발전 시도는 지역 사회의 지속 가능한 발전에도 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다. 이를 바탕으로 '학교 내 풍력 발전기 설치 방안 및 기대 효과'를 주제로 탐구를 진행하였다.

2. 본론

1) 위치 선정

학교 내에서 바람이 강하게 부는 곳을 경험에 의한 귀납적 판단으로 몇 군데 선정하였다. 학교에서 서쪽으로 불과 400m 떨어진 곳에 바다가 위치해 있기 때문에 본교는 바람의 영향을 많이

받으므로 풍력 발전기를 설치하기에 적합하다.



귀납적 판단 결과 선정한 장소는 다음과 같다.

- ① 고등학교 앞 건물과 중학교 건물 사이
- ② 고등학교 앞 건물과 뒷 건물 사이
- ③ 오리숲(③에서 왼쪽 나무로 덮인 장소) 입구
- ④ 급식소(④에서 바로 뒷 건물)와 해천관 사이

위 네 장소의 공통적인 특성은 건물과 건물 사이에 위치해 그 바람길이 좁다는 것이다. 이는 베르누이 원리에서 착안할 수 있다. 베르누이 원리는 폭이 좁은 곳에서는 유체의 속도가 빨라지고 압력은 낮아지며, 폭이 넓은 곳에서는 속도가 느려지고 압력은 높아지는 것을 말한다. 베르누이 원리를 모두 충족시키는 전제가 갖추어지지 않아도, 창문을 열면 바람이 세게 들어온다는 현상도 베르누이 원리와 관련이 있다. 이를 통해 바람길이 좁은 장소에서 풍력이 세게 작용한다는 현상은 베르누이 원리와 관련성이 존재한다. 또한 풍향이 일정하게 유지될수록, 난류가 적을수록, 그리고 바람이 한 장소에 집중될수록 풍력 발전의 효율이 높아진다. 네 장소에는 중간에 바람의 흐름에 영향을 주는 장애물이 존재하지 않으므로 풍속을 저해하는 요인이 거의 없었다. 따라서 물리적인 측면에서는 폭이 좁고 바람의 흐름을 방해하는 장애물이 최대한 없는 장소가 교내에 풍력 발전기를 설치했을 때 효과적이라는 사실을 도출하였다.

그리고 풍력발전기의 입지 장소가 사람들의 통행에 방해되지 않아야 하고, 발전 시 소음으로 인한 피해도 최대한 제거해야 한다. 귀납적 판단에 의하면 ①과 ③은 통행량이 비교적 많고, ②는 사람들이 생활하는 건물 사이에 위치해 소음으로 인한 피해가 존재할 수 있다는 것에 유의해야 한다. 따라서 물리적·환경적 조건을 고려해 보았을 때는 ④에 설치하는 것이 가장 적합하다는 결론을 도출하였다. 그리고 최종적인 입지 선정은 추후 풍력발전기를 제작하고 난 뒤 실험을 통해 선정할 것이다.

2) 재질 선정

본 연구에서는 풍력발전기 날개의 재질에 따른 무게와 마찰 계수가 풍력 발전기의 발전 효율에 영향을 미치리라 생각하여, 각기 다른 마찰계수를 가진 종이박스, 플라스틱(제본 도서용 PP 커버), 알루미늄 캔을 이용해 발전기의 블레이드를 제작하고, 그 효율을 측정하는 실험을 진행했다.

날개 소재로 본 실험에서 사용된 재료는 종이, 알루미늄, 플라스틱(PP)의 세 종류이다. 종이는 일반적인 택배 상자에서 절단하여 사용했고, PP 재료는 스프링 제본 도서의 표지로 사용되는 PP 커버로부터 확보했다. 알루미늄 재료는 음료용 알루미늄 캔을 절단한 뒤 납작하게 만들어 사용했다.

① 문헌 조사를 통한 각 재질의 마찰계수 파악

먼저 문헌 조사를 통해 각 재질의 마찰계수를 사전에 찾아보았다. 실제로 실험에 사용했던 것과 완전히 같은 재료의 마찰계수를 측정한 자료는 찾기 어려웠기 때문에, 가능한 한 같은 재질을 가진 소재의 마찰계수 측정값을 찾고자 노력했다. 이러한 한계 때문에, 문헌 조사 이후에 직접 사용한 블레이드를 가지고 마찰계수를 측정하는 실험을 설계했다.

이때, 본 연구에서는 풍력발전기 날개 재질에 따른 효율 변화를 분석함에 있어 동적 마찰계수를 기준으로 삼았다. 풍력 발전기 블레이드는 바람의 운동에너지를 회전 운동으로 지속적으로 변환하는 시스템으로, 가동 중에는 날개 표면과 공기 사이에 지속적인 마찰이 발생한다. 이러한 상황에서 마찰에 의한 에너지 손실은 운동 상태에서임을 가정하고 있으므로, 각 날개 재질별 효율을 비교할 때에도 동적 마찰계수를 비교하는 것이 적합하다고 판단했다. 정지 마찰계수는 블레이드가 완전히 멈춰 있다가 회전을 시작하기 위해 필요한 최소 기동 풍속과 관련이 있으므로, 재질별 발전 효율 평가에는 직접적 영향을 주지 않는다.

재질	동적 마찰계수
종이 박스	0.30 - 0.55
폴리프로필렌 (PP, 0.5mm 기준)	0.15 - 0.25
알루미늄 캔(에폭시/폴리에스터 코팅 표면)	0.18 - 0.30

다음 자료들을 참고하여 각 재료의 동적 마찰계수를 구했다. [Wędrychowicz, P. et al. \(2023\)](#),

Mechanical behavior of aluminum beverage cans with internal varnish layers, Materials (MDPI).
 Acevedo-Sánchez, B. (2025). *Friction coefficient of cardboard packing samples.* Ljevak, I., Zjakić, I.,
 & Banić, D. (2018). *The variability of dynamic coefficient of friction material in flexible packaging.*

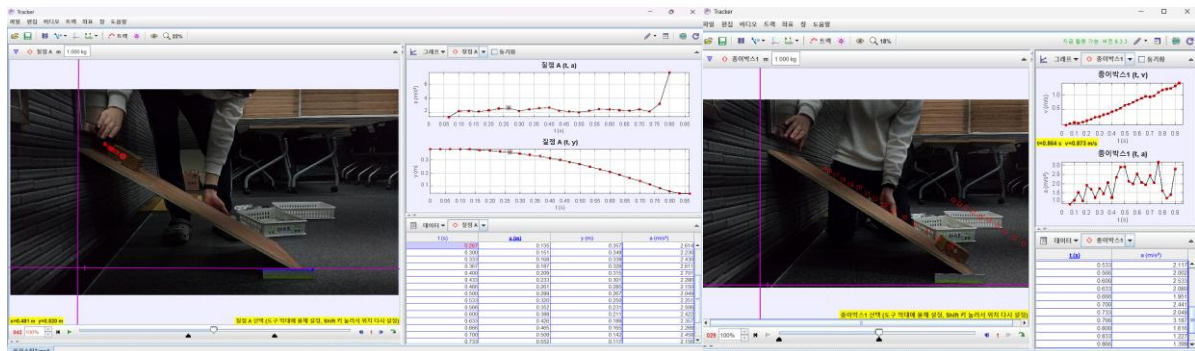
문헌 조사 결과 종이 박스의 동적 마찰계수가 가장 크고, 알루미늄 캔과 폴리프로필렌이 상대적으로 작은 경향을 보였다. 또한 알루미늄 캔과 폴리프로필렌의 동적 마찰계수는 비슷하다. 따라서 이 조사 결과에 의하면 종이 박스가 마찰로 인한 에너지 손실이 많아 효율이 가장 떨어지고, 알루미늄 캔과 플라스틱(PP)의 효율은 비슷할 것으로 예상된다.

② 마찰계수 측정 실험

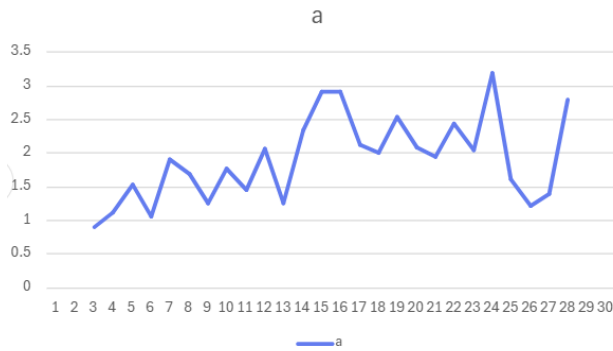
가로 5cm, 세로 3.5cm로 사이각은 약 34.9도가 나왔다.

빗면 위 물체의 수직항력은 $N = mg \cos\theta$ 이, 마찰력은 마찰계수와 수직항력의 곱이기 때문에 물체에 작용하는 마찰력은 $F = \mu mg \cos\theta$ 가 된다. 물체에 작용하는 중력은 빗면 방향으로 $mg \sin\theta$ 가 된다. 따라서 빗면에서 아래로 내려오는 물체에 작용하는 힘은 $F = ma = mg(\sin\theta - \mu \cos\theta)$ 가 되고, 따라서 가속도는 $a = g(\sin\theta - \mu \cos\theta)$ 라는 결론을 얻었다.

마찰계수를 구하기 위해 빗면 위에서 풍력 발전기의 날개로 썼던 재료들을 이용하여 나무도막 밑에 붙인 후 빗면에서 밀어 가속도를 측정하였다.



(tracker를 이용하여 운동을 분석한 모습)



(구한 가속도를 나타낸 그래프)

이론상으로는 가속도를 나타낸 그래프는 상수함수꼴로 나타나야 하는데, tracker를 통해 실제로 분석한 가속도의 크기는 계속 변하였다. 이에 대한 이유를 생각해 보았고, 나무 빗면의 거칠기(마찰계수) 차이라는 생각이 들었다. 나무 빗면의 거칠기를 일정하게 만들 수 없었기 때문에 구했던 가속도들을 평균 낸 결과를 실제 가속도라고 가정하였다.

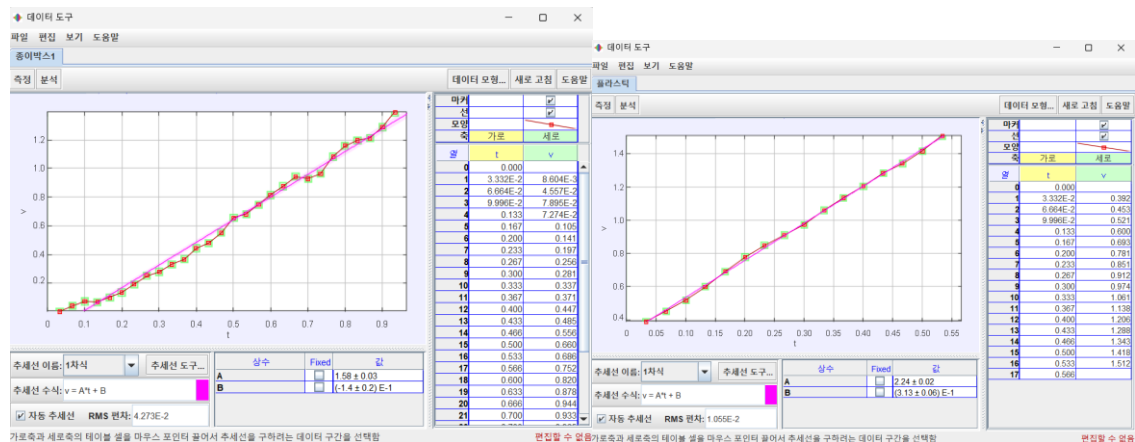
Tracker로 운동을 분석하여 얻은 가속도를 평균을 냈고, 그 결과는 종이박스의 경우에는 1.91, 플라스틱(PP)일 때 2.58, 알루미늄의 경우 2.91의 가속도를 가진다는 것을 알 수 있었다.

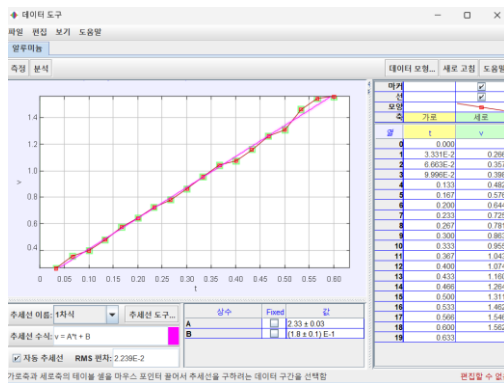
빗면의 탄젠트 값을 구하여 사잇각이 34.9도라는 것을 알 수 있었다.

위에서 구한 값들을 가속도 식에 대입하여 마찰계수를 구하였다.

종이박스의 마찰계수는 0.462, 플라스틱(PP)일 때 마찰계수는 0.375, 알루미늄의 마찰계수는 0.338이라는 결론을 내릴 수 있었다.

Tracker의 분석 결과 가속도의 크기가 일정하지 않았으나, 속도의 증가량은 일정한 양상을 보였다. 따라서 속도 그래프에 1차식 추세선을 그어, 그 기울기를 가속도로 하여 마찰계수를 다시 구해 보았다.





(Tracker를 통해 속도의 그래프에 1차식 추세선을 그은 모습)

그 결과, 종이박스의 가속도는 1.58, 알루미늄의 가속도는 2.33, 플라스틱(PP)의 가속도는 2.24라는 결과가 나왔고, 주어진 가속도를 가속도 식에 대입한 결과, 종이박스의 마찰계수는 0.503, 플라스틱의 마찰계수는 0.421, 알루미늄의 마찰계수는 0.410으로, 가속도의 평균값보다 약 0.1정도씩 상승하는 양상을 보였다. 그러나 마찰계수의 크기가 '알루미늄<플라스틱(PP)<종이박스'라는 경향성은 일치하였다.

③ 날개 재질에 따른 효율 비교

바람으로 인해 축이 돌아가면, DC모터 속 코일이 자석 사이를 지나며 자속이 변하고, 때 패러데이의 전자기 유도 법칙($\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi_B}{\Delta t}$) 따라 유도기전력이 발생한다. 이 원리를 이용해 DC 모터를 발전기로 볼 때 같은 바람 조건에서 측정된 전류가 클수록 날개 재질에 따른 전기적 효율이 높다고 보고 재질별 전기적 효율을 전류 값 비교로 정량화하였다.

저항기의 값을 알고 있다면 옴의 법칙($V = I \times R$)을 적용해 현재 회로에 흐르는 전류를 산출하고, 발전기의 전력 출력을 추정할 수 있으므로 전압계를 사용하여 발전량을 측정하려 하였지만 전압계의 바늘이 움직이지 않아 측정할 수 없었다. 전압의 크기가 미소해 계기의 최소 감도보다 작아 바늘의 움직임이 관찰되지 않은 것이라 추측하였다. 작은 전류에도 점등이 가능한 발광 다이오드(LED)를 이용해서 먼저 발전 여부를 확인하려 하였다. 하지만 더 작은 크기의 전압을 측정할 수 있는 mv 단위의 전압계는 과학실에 없어 전류만 측정해 전력을 정확히 알지 못하더라도 발전기의 상대적인 출력량이나 발전 정도를 비교할 수 있어 mA 단위의 전류계를 사용하였다.

-실험 중 문제 해결 과정

전류 값을 측정하기 위한 장치 DC모터, 전선, 전류계가 각각 정상적으로 작동하는지 차례대로 점검하였다. DC모터는 자석과 코일이 마주 보는 대칭 구조를 가지고 있어 전동기처럼 작동할 수 있다는 점을 이용하여, 처음에 사용했던 DC모터에 1.5V 전지를 연결하였더니 날개가 돌아가지 않아서 다른 종류의 DC모터에 연결하였더니 날개가 돌아갔다. 이 두 모터의 차이를 비교해 보니 처음 사용한 DC모터는 악어 클립 전선으로 연결하였고, 다른 종류의 DC모터는 내장된 전선으로 연결하였다. 그래서 악어 클립 전선에 문제가 있는 것으로 판단하고, 실제로 처음 사용한 DC모터를

악어 클립 전선이 아닌 다른 전선을 사용하여 전지에 연결하니 날개가 돌아갔다. 이로써 DC모터는 모두 작동함과 악어 클립 전선이 제대로 기능하지 않음을 알 수 있었다. 이후 다른 종류의 DC모터를 내장된 전선으로 전류계와 연결하였지만 작동하지 않아 전류계 자체의 문제라 판단하고 다른 전류계를 사용하였다. 그 결과 전류계가 작동하였고 이를 기반으로 실험 장치를 제작하였다.



(전반적인 실험 세팅 및 소재 비교)

각 재질로 동일한 면적의 블레이드 3개를 만들어, 우드락을 이용해 모터에 연결하여 풍력 발전기 형태의 구조물을 만들었다. 블레이드의 면적은 같게 했으나 재료 자체의 특성으로 인해 부피 면에서는 각 블레이드별로 차이가 났다. 종이 박스의 두께가 가장 두껍고, 알루미늄의 두께가 가장 얇으므로 부피는 종이 박스>플라스틱(PP)>알루미늄이라고 볼 수 있다. 그리고 질량의 경우에는 측정한 결과 종이 박스>플라스틱(PP)>알루미늄 순으로 나왔다.



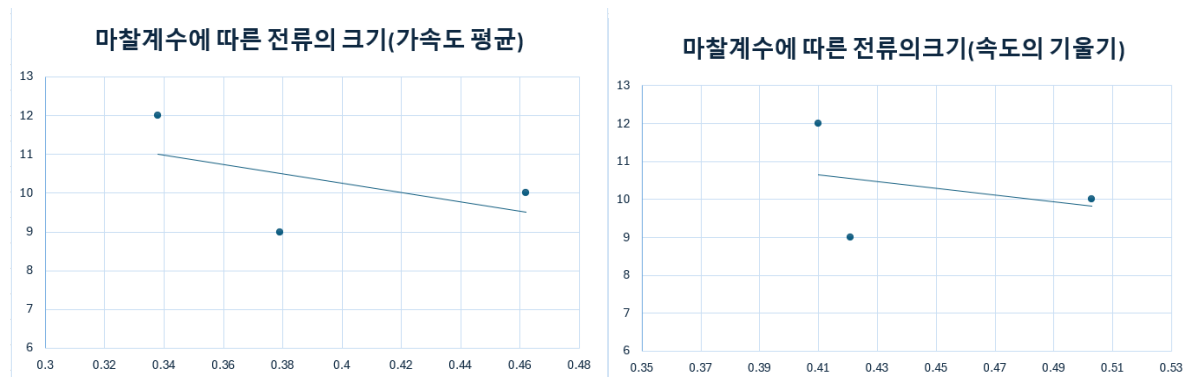
측정 결과, 종이 박스 블레이드에서 최대 전류는 10mA, 플라스틱 (PP) 블레이드는 9mA, 알루미늄 블레이드는 12mA로 나타났다. 이때 출력 전류의 크기는 풍력발전기의 출력 전력에 비례한다고 볼 수 있으므로, 동일한 풍속과 블레이드 면적 조건에서는 최대 전류가 클수록 에너지 변환 효율이 높다고 해석할 수 있다.

알루미늄은 표면이 매끄럽고 운동 마찰계수가 낮은 금속으로 공기 흐름에 대한 항력이 작다. 또한 높은 강성을 지녀 회전 시 블레이드의 변형이 적어, 운동 시 형상이 안정적으로 유지될 수 있을 것이다. 이러한 특성이 바람의 운동에너지를 전기 에너지로 변환하는 효율을 높이는 데 기여한 것으로 판단된다.

종이박스는 표면 거칠기가 크고 마찰계수가 상대적으로 높아, 공기 흐름에 의한 마찰 저항이 크

게 작용했을 것이다. 또한 블레이드의 질량이 커 회전 관성이 크며, 알루미늄과 비교했을 때에는 재료의 강성이 낮아 고속 회전 시 블레이드 끝단의 진동 또는 변형이 발생했을 가능성이 있다. 따라서 이러한 요소들이 효율을 낮추는 데 기여한 것으로 판단된다.

PP는 가볍다는 장점이 있으나, 얇고 유연한 재료 특성상 회전 중 변형이 심하기도 하여, 회전 시 블레이드가 쉽게 휘어지고 공기 흐름이 불안정해진다. 이러한 요인들이 작용하여 PP 블레이드는 가장 낮은 전류값을 기록했다고 추정했다.



위 그래프는 실험 결과로 알아낸 종이박스, 플라스틱(PP), 알루미늄의 마찰계수에 따른 전류의 크기를 가속도를 구한 방식에 따라 나타난 그래프이다. 왼쪽에서부터 순서대로 알루미늄, 플라스틱(PP), 종이박스의 값이다. 각각의 데이터값은 서로 다르지만, 그 경향성은 일치한다는 사실을 알 수 있다. 그래프에 나타난 추세선을 보면, 마찰계수가 줄어들수록 전류의 크기가 상승한다는 것을 알 수 있다. 데이터가 세 개로, 그 양이 작고, 플라스틱(PP) 날개는 마찰계수가 작음에도 전류의 크기가 작아 명확한 경향성이 드러나진 않는다. PP의 최대 전류가 가장 낮게 측정된 이유는 PP가 매우 얇고 유연하여 회전 시 블레이드가 쉽게 휘어지고, 공기 흐름이 불안정해지며 양력이 감소했기 때문인 것으로 보인다. 또한 PP의 질량이 작은 것으로 인해 회전 관성이 부족하고, 지나치게 매끄러운 표면 특성 상 공기층이 쉽게 박리되어 효율이 저하되었을 수도 있다. 반면 종이박스는 마찰계수가 크더라도 PP와 비교했을 때에는 덜 휘어지며 상대적으로 안정적인 회전이 가능해 PP보다 높은 출력을 보였다. 따라서 PP의 특성과, 여러 논문에서 마찰계수가 줄어들수록 블레이드의 회전 효율이 높아진다고 기술하고 있는 것으로 보아, 마찰계수가 줄어들수록 효율이 증가함을 알 수 있다.

실험 결과 표면 마찰이 적고 구조적으로 강성이 높은 재료일수록 공기 흐름의 손실이 줄어들고, 바람의 운동에너지를 보다 효율적으로 전기 에너지로 전환할 수 있는 경향을 확인할 수 있다. 따라서 풍력 발전기 블레이드 설계 시에는 표면 마찰계수와 구조적 강성을 함께 고려하는 설계 접근이 필요하다.

3) 형태 결정

① 수직축

수직축 풍력 발전기는 회전축이 수직으로 된 풍력발전기로, 지면과 수직인 축을 중심으로 날개들이 배열되어 있는 구조로 이루어져 있다. 대표적인 형태로는 사보니우스형, 다리우스형, 복합형이 있다.

사보니우스형은 두개 이상의 반원통형 날개가 편심 배치된 형태로 바람의 항력에 의해 회전을 하여 전력을 생산하는 구조이다. 이 형태는 풍력발전기의 로터가 바람을 받아 처음으로 움직이기 시작할 수 있도록 발생해야 하는 토크가 크기 때문에 초기 회전력이 충분히 확보되어 저속에서도 잘 회전한다는 특징이 있다. 하지만 효율과 전 속도는 낮다는 한계도 존재한다.



다리우스형은 날개가 중심 축을 중심으로 수직 방향으로 배열되어 있으며, 양력에 의해 전력을 생산한다. 이 형태는 수평축과 비교했을 때 축 베어링과 로터의 마찰이 작기 때문에 구동 토크가 작아서 저속에서는 자기동이 어렵고 바람 세기의 갑작스러운 변화에 약하지만, 기동 토크 또한 작아 초반 회전을 안정적으로 시작할 수 있으며 풍속과 회전 속도가 충분한 정격 운전에서의 출력 계수는 우수하다.



복합형은 사보니우스형과 다리우스형의 장점을 결합한 형태이다.

수직축 풍력발전기의 구조적 장점은 바람의 방향에 영향을 받지 않고 전력을 생산한다는 점이다. 수평축 풍력발전기는 바람의 방향에 영향을 많이 받기 때문에 어떤 방향으로 풍력발전기를 설치하느냐에 따라 전력 생산의 효율이 크게 달라진다. 하지만 수직축은 그렇지 않다는 장점이 존재한다. 또한 한국과학기술정보연구원에 따르면 수평축 풍력발전기보다 면적당 발전 효율이 더 높다. 이는 수직축 풍력발전기의 크기가 비교적 작아서 좁은 면적에 많은 수의 발전기를 위치시킬 수 있기 때문이다. 이에 따라 더 효율적으로 토지 활용이 가능하다는 연구결과가 발표된 바

있다.

② 수직축 풍력발전기 제작

-다리우스형

다리우스형 풍력발전기를 가볍고 블레이드 부분이 회전축과 이어져 있어 가장 안정적인 형태로 만들 수 있는 종이컵을 사용해서 만들었다.

그리고 이런 수직축의 다리우스형 풍력발전기가 베르누이 효과가 발생하여 양력을 잘 만들어낼 수 있도록 종이컵을 4등분으로 자르고 말아 접어서 블레이드를 비대칭형 에어포일 형태로 만들었다. 다리우스형으로 제작한 이유는 다른 종이를 재료를 사용해서 날개를 따로 붙일 필요없이 '뚜껑이 없는 비대칭형 원통의 형태에서 이미 내어진 칼집만으로 말아접어서 쉽게 완성할 수 있기에 대량생산 되더라도 조립이 필요 없기에 비전문가도 쉽게 조립할 수 있어서 효과적일 것이라 예상하였다.



그러나 이 풍력발전기는 선풍기로 인공바람을 쐬었을 때 회전하지 않았는데, 그 이유가

첫째, 구조체가 너무 소형이라서 블레이드들 사이의 구멍으로 공기가 들어가고 난류가 생겨서 양력의 생성을 방해해서, 둘째, 블레이드의 방향이 바람의 방향과 일직선이라서 양력이 블레이드가 돌아가는 방향으로 생성되지 않아서, 셋째, 블레이드의 축이 발전기와 고정이 잘 이루어지지 않아서 발전기 자체가 바람을 받으면 휘어지고, 이로 인해 마찰이 발생해서 돌아가지 않아서라

고 생각했다.

-사보니우스형

사보니우스형 풍력발전기를 만드는 과정은 먼저 알루미늄 캔을 잘라 같은 크기의 날개 2개를 만들고 이를 빨대에 연결하여 완성하였다.

처음에는 중심축에서 날개가 나선형으로 붙어있는 모양의 풍력발전기를 제작하였다. 풍력발전기가 작동하게 하기 위해서는 바람이 날개와 수직으로 만나, 잘 밀어낼 수 있는 구조로 풍력발전기를 설계해야 한다. 하지만 초기에 만들었던 구조는 날개 사이의 간격으로 인해 바람이 통과할 수 있는 구조였을뿐더러 날개가 수직으로 배열되어 있지 않아서 바람이 날개를 잘 밀어내지 못하였다. 이에 따라 초기 모델은 작동하지 않았다.



그러므로 이 점을 보완하여 중심축에 지면으로부터 수직인 2개의 날개를 배열하고, 날개 사이의 구멍이 없도록 하였다.



풍력 발전기의 날개의 개수를 정하는 과정에서 2개의 날개가 더 효율적이라고 판단하였다. 그 이유는 날개가 2개인 경우에는 바람이 다른 날개의 등에 부딪혀서 제대로 작동하지 않는 경우가 많고, 마찰이 적을 것이라고 판단하였기 때문에 이러한 부분에서 효율적이라고 판단하였다.

하지만 실제로 풍력발전기를 작동해본 결과, 중심축이 흔들리는 현상을 발견하였다. 이러한 현상의 원인을 찾아본 결과, 날개가 2개인 경우에는 회전하는 각도에 따라 위아래 방향, 좌우 방향으로 위치되는 상태가 반복적으로 나타나면서 진동이 커진다. 이 과정에서 바람의 방향 변화에 민감해져서 터빈 전체가 흔들리므로 중심축이 흔들렸던 것이다.

결과적으로 전력을 생산하는데는 성공했지만 더욱 안정적인 활용을 위해서는 날개를 3개로 늘려야 한다는 한계를 발견하였다.

③ 수평축

수평축 풍력발전기는 회전축이 지면과 평행한 방향으로 놓인 구조의 발전기로, 현재 전 세계에서 가장 널리 사용되는 형태의 풍력발전기이다. 이 발전기는 바람의 운동에너지를 블레이드가 받아 회전 운동으로 바꾸고, 회전축을 통해 발전기로 전달하여 전기를 생산한다. 블레이드는 비행기 날개와 같은 에어포일 단면으로 설계되어 있어, 바람이 블레이드 위아래로 흐를 때 속도 차가 생기고 압력 차가 발생하며 양력이 발생한다. 이 양력이 블레이드를 회전시키는 힘이 되며, 양력의 원리를 이용해 높은 효율로 에너지를 얻을 수 있다.



블레이드는 뿌리에서 끝으로 갈수록 꼬임과 두께가 변하도록 설계되어 있다. 회전 속도가 빠른 끝부분은 얇게 만들어 공기저항을 줄이고, 뿌리 부분은 두껍고 강하게 설계하여 하중을 견딜 수 있도록 한다. 재질은 유리섬유, 탄소섬유 복합재료 등 가볍고 강도가 높은 소재를 사용하여, 긴 시간 회전에도 구조적 안정성을 유지할 수 있다. 또한 블레이드 끝단에는 공기 흐름 난류와 소음을 줄이기 위한 윙렛 구조가 적용되기도 한다.

수평축 풍력발전기는 바람의 방향이 일정할 때 높은 발전 효율을 보인다. 바람을 정면으로 받으면 블레이드가 효율적으로 회전하며, 회전 안정성이 높아 일정한 발전 효율을 유지할 수 있다. 블레이드가 바람의 흐름을 직접적으로 받기 때문에, 같은 풍속에서도 수직축 풍력발전기보다 더 큰 회전력을 얻을 수 있으며, 구조적으로 대형화가 용이하여 실질적인 전력 생산에 유리하다. 이러한 이유로 대부분의 상업용 풍력 발전소가 수평축 구조를 채택하고 있다.

모형 제작 실험에서는 종이박스, 알루미늄 캔, 플라스틱(PP) 등 서로 다른 재질로 3개의 날개를 가진 소형 수평축 풍력발전기를 제작하고, 동일한 세기의 인공 바람을 가하여 회전 정도를 관찰하였다. 세 가지 재질 모두 회전이 확인되었으며, 알루미늄 캔은 마찰계수가 적고 강성이 높아 보다 안정적인 회전을 보였다. 종이박스는 마찰계수가 크고 질량이 커서 진동이 발생해 비교적 원활하게 회전하지 못하였다. 플라스틱(PP)의 경우에도 대조적인 이유로 가볍고 쉽게 휘기 때문에 원활하게 회전하지 못하였다. 이는 수평축 구조가 바람의 운동에너지를 직접 받아 효과적으로 회전력으로 변환할 수 있음을 보여준다.

그러나 수평축 풍력발전기에는 한계도 존재한다. 먼저, 블레이드가 회전할 때 넓은 공간이 필요하기 때문에 건물 사이처럼 좁은 구역에는 설치가 어렵다. 주변 건물이나 구조물로 인해 바람이 난류로 흐르면 효율이 떨어지고, 회전 중 발생하는 소음과 진동이 주변 환경에 영향을 줄 수 있다. 또한 구조가 크고 복잡하여 설치 비용이 높으며, 풍향이 자주 바뀌거나 풍속이 약하고 불규칙한 지역에서는 효율이 급격히 떨어질 수 있다. 이러한 이유로 수평축 풍력발전기는 좁은 공간이나 사람이 많이 밀집한 지역에서는 사용하기 어렵고, 평균 풍속이 초속 4미터 이상인 산지나 해안과 같이 바람이 강하고 일정한 지역에 설치하는 것이 적합하다.

이처럼 수평축 풍력발전기는 양력에 의해 회전하는 고효율 발전기로서, 기술적 안정성과 발전 효율이 높아 대규모 풍력발전 단지의 주된 형태로 활용되고 있다. 동시에 설치 환경과 공간 조건에 따라 효율과 안정성이 달라질 수 있으므로, 설치 전 환경 분석과 최적 설계가 필수적임을 알 수 있다.

④ 실험 결과 비교

풍력 발전기의 전력 생산 효율을 비교하기 위해서 날개가 달린 DC모터의 양극을 아날로그 전류계에 연결했다. 이때 (-)극을 50mA에 연결하여 측정하였다. 선풍기를 이용하여 모두 같은 세기의 바람을 10초 동안 발전기에 공급했다. 먼저 수직축 풍력발전기는 날개 3개의 다리우스형 발전기와 2개의 반원형 날개로 이루어진 사보니우스형 발전기로 2종류가 있다. 다리우스형 발전기는 선풍기의 바람에도 작동하지 않았고 사보니우스형 발전기는 평균 13mA로 전류의 세기가 측정되었다. 다음으로 수평축 풍력 발전기는 공통적으로 동일한 크기의 날개 3개로 이루어졌는데 캔을 이용한 풍력발전기는 12mA, 종이 박스로 만든 발전기는 10mA, 투명 PP는 9mA로 전류의 세기가 측정되었다.

풍력 발전기 종류	수직축 다리우스형	수직축 사보니우스형	수평축 알루미늄 캔 블레이드	수평축 종이 박스 블레이드	수평축 투명 PP 블레이드
전류의 세기 (mA)	작동하지 않음	13	12	10	9

⑤ 이론 기반 실생활 적용 시 비교

학교에 전력을 공급할 풍력발전기를 제작하는 것이므로 학교 외부에 설치하면 거리가 멀기 때문에, 학교 내부에 설치하는 상황에서 고도, 소음, 바람 방향 등 실제 환경을 고려해 수직축과 수평축을 비교해 보고자 한다. 풍력발전기는 고도가 높은 곳에 설치하여 풍속이 빨라 에너지 생산량이 최대가 되도록 해야 한다.

따라서 학교 내부에 설치한다고 했을 때 학교 최고층 건물인 기숙사의 4층 옥상에 설치하는데 일반적으로 4층 건물은 고도가 높지 않아 바람의 세기가 약하다. 따라서 약한 바람에도 발전기가 작동할 수 있어야 한다. 수평축의 경우 회전의 시동 토크가 크다. 그 이유는 수평축의 날개는 양력과 항력, 로터의 공기역학적 특성에 따라 회전 여부가 결정되는데 약한 바람에 의해 만들어지

는 양력은 블레이드의 축 사이 마찰 및 공기 저항을 극복하기엔 그 힘이 부족하기 때문이다.

또한 수평축은 바람이 날개를 스쳐 지나가며 생기는 양력과 항력에 따라 회전한다. 따라서 양력의 경우, 윗면을 더 곡선이 지게 만들어 공기가 아랫면보다 빠르게 흐르게 하고 따라서 윗면과 아랫면의 압력 차를 크게 만들어 양력을 최대화할 수 있고 항력의 경우 바람이 날개에 부딪힐 때 생기는 저항력으로 앞 전을 둥글고 뒷전이 날카로워 공기 흐름의 분리가 덜 발생할 때 최소화된다. 이처럼 수평축은 블레이드의 꼬인 각도에 따라 최대 양력과 최소 항력을 발생시켜 최대 효율을 낼 수 있는 바람의 세기가 정해져 있다.

반면 수직축의 경우 회전 토크가 작는데, 그 이유는 바람의 힘을 직접적으로 받아 회전하기 때문이다. 즉 양력과 항력에 영향 보다는 바람이 불어 날개에 부딪히기만 해도 날개의 표면을 밀어주는 힘에 의해 날개가 회전한다는 것이다. 따라서 고도가 높지 않은 풍속이 약한 곳에 설치할 때는 수직축 날개가 더 적합하다.

두 번째로 학교의 지리적 조건을 고려해 보면 바다가 약 400m 내에 위치해 있는 해륙풍 영향권이므로 낮에는 바다에서 해풍이 불어오고 밤에는 육지에서 바다로 육풍이 분다. 즉 밤낮에 따라 바람의 방향이 바뀐다는 조건 안에서 수직축과 수평축 중 무엇이 더 효율적인지 살펴보아야 한다. 수평축의 경우 로터가 바람의 방향과 나란히 위치해야 하고 기계적으로 날개의 방향을 회전시키기 힘드므로 한 방향에서 불어오는 바람에만 작동하기 쉽다. 수직축의 경우 수직축이 원형으로 존재하기 때문에 어느 방향에서든 바람을 받아 회전할 수 있다. 따라서 해륙풍 영향권인 학교에서 풍력발전기를 설치할 때는 바람 방향에 영향을 받지 않는 수직축이 더 적합하다.

마지막으로 주변에 기숙사 등 주거시설이 있다는 점을 고려하여 소음 발생 면에서 살펴보아야 한다. 수평축의 경우 바람의 마찰이 발생하고 날개 위와 아래의 압력차로 공기가 소용돌이 형태로 회전하며 와류가 형성되기에 소음이 발생한다. 반면 수직축의 경우 바람과의 마찰이 적어 소음이 비교적 적게 발생하기에 소음에 민감한 학교나 주거지에 적합하다.

3. 결론

본 탐구는 남해의 기상적 특징과 학교의 지리적 조건 등 여러 요소를 고려하여, 교내에 풍력 발전기를 설치하고 블레이드의 재질과 축의 형태에 따른 가장 효율적인 전력 생산 방식의 풍력 발전기를 제작하기 위해 진행되었다. 귀납적 판단을 거쳐 건물과 건물 사이 위치해 바람길이 좁아지는 장소 중, 주변 환경에 피해를 끼치지 않는 급식소와 해천관 사이 공간을 가장 적절한 장소로 선정하였다.

문헌 조사와 실험을 통해 재질별 마찰계수를 측정, 비교하여 가장 효율적인 블레이드의 재질을 확인한 결과, 표면 마찰이 적고 구조적 강성이 높은 재질일수록 공기 흐름의 손실이 줄어들고 효

울적으로 전력 생산이 가능하다는 점을 확인하였다. 이 실험에서 알루미늄 재료의 블레이드가 생산한 최대 전류가 12mA로 알루미늄이 가장 효율적인 재료라는 사실을 확인할 수 있었다. 이를 통해 풍력 발전기의 블레이드 설치 시에 표면 마찰계수, 구조적 강성 등의 요소를 고려하여 설계해야 한다는 사실을 확인했다.

날개 외에도 풍력 발전기의 형태를 결정하고 전력 생산에 영향을 미치는 축의 형태를 비교하기 위한 실험을 진행하였다.

실제 상용화되고 있는 수평축의 경우 실험을 통해 수평축 형태의 효율과 여러 특징들을 확인할 수 있었다. 또한 여러 문헌 조사를 통해 탐구를 진행한 결과, 설치 환경과 공간 조건에 따라 풍력 발전기의 효율성, 안정성 등이 달라질 수 있으므로, 풍력 발전기 설계 전 환경 분석과 최적 설계가 필수적임을 알 수 있었다.

풍력 발전기는 풍력, 즉 바람의 힘을 이용하여 전력을 생산하는 발전기이다. 따라서 풍향, 풍속 등의 여러 요소들을 고려하여 설계 및 설치하는 것이 중요하며, 여러 변수가 발생할 수도 있다는 점을 명심해야 한다.

종합적으로 본 탐구를 통해, 교내 풍력 발전기의 설치 가능성과 풍력 발전기를 제작할 때 고려할 요소들의 중요성을 확인할 수 있었다. 이는 향후 친환경적 전력 생산과 풍력 발전 기술 등 지역 사회의 지속 가능 발전에도 기여할 수 있을 것이다.