

풍력 발전과 그 계측학

I. 장치

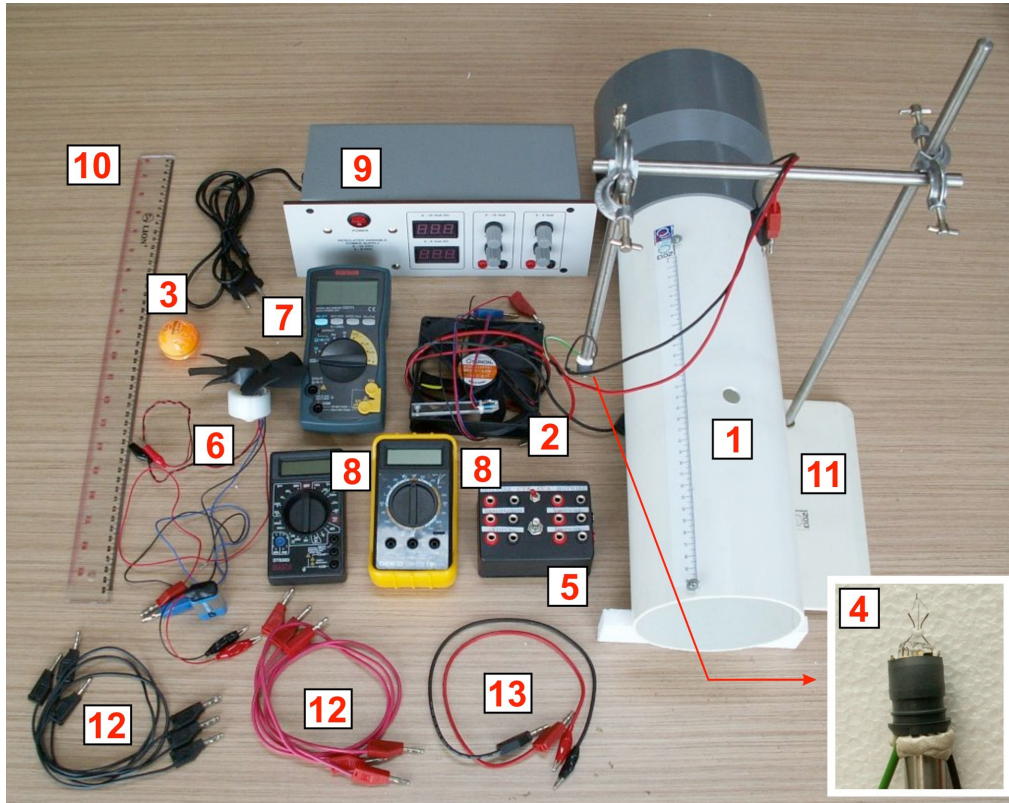


그림 1. 전체 설정

1. 니크롬(니켈-크롬) 와이어가 있는 풍동
2. 컴퓨터 팬: 주파수 센서 포함
3. 탁구공
4. 핫와이어 필라멘트: **필라멘트를 만지지 않도록 주의하세요.**
5. 핫와이어용 전자 박스
6. 터빈: 주파수 센서 포함
7. 디지털 멀티미터(DMM) #1: 주파수 측정용
8. DMM#2 및 #3
9. 전원 공급 장치: 최대 15V 및 최대 9V 출력 조절 가능
10. 자(50cm)
11. 정적 스탠드
12. 양쪽 끝에 바나나 잭이 있는 케이블(3쌍)
13. 양쪽 끝에 바나나 잭과 크로커다일 잭이 있는 케이블(1쌍)

상수 및 데이터:

중력 가속도 : 공기의 질량 밀도 : $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 $\rho_A = 1.2 \text{ kg/m}^3$
 탁구공 지름 :: $d_B = (39.5 \pm 0.1) \text{ mm}$

오류 분석은 필요하지 않습니다.

II. 소개

풍력은 빠르게 확대되고 있는 재생 가능한 청정 에너지원으로, 인구 증가에 따라 그 중요성이 더욱 커지고 있습니다. 풍력은 그림 2와 같이 풍력 터빈을 사용하여 유용한 전력으로 변환할 수 있습니다.

풍력 발전과 풍력 터빈의 물리학 및 관련 계측에 대해 살펴봅니다. 풍속을 측정하는 두 가지 방법, 즉 탁구공 풍속계와 열선 풍속계에 대해 알아볼 것입니다. 마지막으로 풍력 터빈의 물리학 및 전력 변환 효율에 대해서도 살펴봅니다. 한쪽 끝에 흡입 팬이 있어 난류가 아닌 층류의 바람 흐름을 제공하는 풍동을 사용할 것입니다.¹

이 다섯 가지 섹션으로 나뉩니다:

- A. 이론적 배경
- B. 풍동
- C. 탁구공 풍속계
- D. 핫 와이어 풍속계:
 - (1) 항온 방식
 - (2) 정전류 방식
- E. 풍력 터빈



그림 2. 풍력 발전 단지의 풍력 터빈 배열

III. 실험 및 질문

[A] 이론적 배경 [1.0pt]

풍력 발전의 기본적인 이론적 측면과 풍력 터빈의 전력 변환 효율을 살펴봅니다.

¹ 이와 대조적으로, 팬이 터널 안으로 불어오는 풍동은 바람의 흐름이 더 난류입니다.

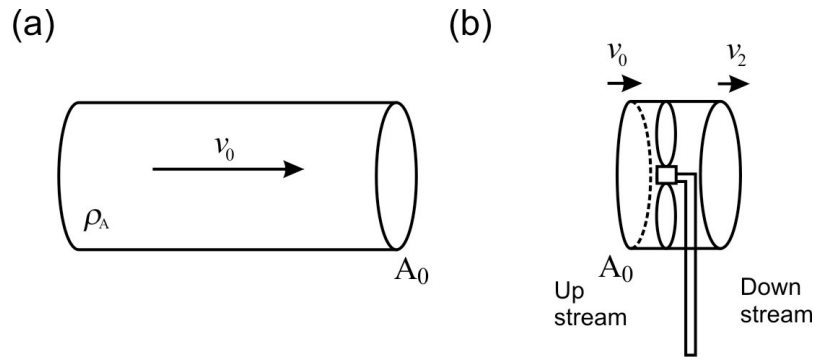


그림 3. (a) 관 모양의 바람 패킷 (b) 바람의 흐름을 가로채는 풍력 터빈

[A.1] 그림 3(a)와 같이 질량 밀도 ρ_A 의 공기 패킷이 단면적 A_0 의 튜브를 통해 흐른다고 생각해봅시다. 바람 속에 포함된 힘을 나타냅니다:

$$P = \frac{1}{2} \rho_A A_0 v^2 \quad (1)$$

n 의 값은 무엇인가? n 은 파트 B.2에서 실험적으로도 결정할 것입니다.

[0.4pt]

[A.2] 이제 그림 3(b)와 같이 동일한 단면적을 가진 바람의 관형 단면을 가로채는 로터 면적 A_0 의 풍력 터빈을 생각해 봅시다. 로터의 속도는 $(v_0 + v_2)/2$ 로 가정할 수 있습니다. 풍력 터빈에서 추출할 수 있는 최대 전력은 다음과 같이 쓸 수 있습니다:

$$P_R = \frac{1}{4} \rho_A A_0 (v_0 + v_2) (v_0^2 - v_2^2) \quad (2)$$

하류의 바람은 λ 만큼 느려지며, 여기서 $\lambda = v_2/v_0$ 입니다. 터빈이 최대 전력을 추출하려면 λ 가 너무 낮거나(바람의 흐름이 멈추기 때문에) 너무 높으면 안 됩니다(터빈이 바람에서 전력을 거의 얻지 못한다는 의미). 풍력 터빈에서 최대 전력을 얻을 수 있는 최적의 λ 값을 구합니다.

[0.4pt]

[A.3] 로터 효율(또는 전력 계수) C_P 를 풍력 터빈의 로터 $P_{(R)}$ 가 용 풍력 P_W 에 대해 추출할 수 있는 전력으로 정의합니다:

$$C_P = \frac{P_R}{P_W} \quad (3)$$

문제 A.2의 답을 바탕으로 C_P 의 최대값을 구하십시오. 이 값을 베츠 효율²이라고 하며, 이는 풍력 터빈의 최대 전력 변환 효율의 이론적 한계를 설정합니다.

[0.2pt]

[B] 풍동 [3.2pt]

² 1919년 이 공식을 도출한 독일의 물리학자 알버트 베츠.

풍동(흡입식 풍동)에서 바람을 불어넣어 풍력발전기 역할을 하는 컴퓨터 팬을 사용하여 바람의 층류를 더 많이 만들 수 있습니다.

풍력 발전 공학에서 모터 또는 풍력 터빈의 회전 속도를 측정하는 것은 중요합니다. 아래 그림과 같이 간단한 광전자 센서 회로를 사용하여 모터의 회전 주파수를 측정합니다. 광센서는 모터가 회전할 때 블레이드의 반사 스트립을 감지하는 한 쌍의 적외선 발광체와 감지기로 구성됩니다(그림 4).

지침 및 경고:

- (a) 그림 4와 같이 광센서 회로를 연결합니다.
- (b) **경고: 오토센서용 배터리의 악어 잭은 매우 약하므로 주의하세요.**
- (c) **경고: 모터 주파수를 읽을 필요가 없는 경우 전원이 소모되지 않도록 배터리를 분리하세요**
- (d) **경고:** 전원 공급 장치에서 전압을 읽어야 하는 경우 DMM(디지털 멀티미터)을 사용하여 더 중요한 수치를 얻을 수 있습니다.
- (e) **경고:** DMM을 암페어 미터로 사용하는 경우 범위 제한에 주의하세요. DMM 퓨즈가 끊어지면 교체용 퓨즈는 한 개만 제공됩니다.

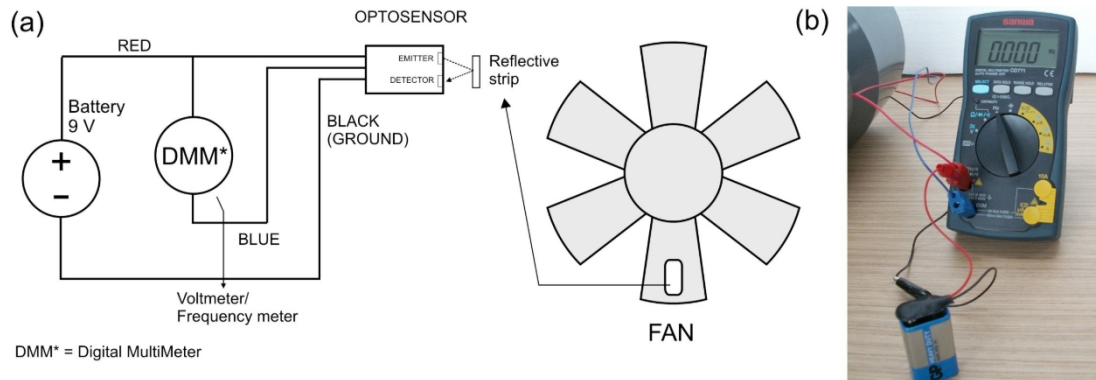


그림 4. 전압계 또는 주파수 측정기로 작동하는 DMM#1에 대한 광센서 출력 연결.

[B.1] 모터에 전원이 공급되지 않는 상태에서 DMM#1을 전압계 모드(DMM에 **V**로 표시됨)로 전환하고 팬을 수동으로 천천히 회전하면 전압이 변화하는 것을 확인할 수 있습니다. 광센서의 신호를 블레이드 회전(또는 시간)의 함수로 대략적으로 플롯합니다. 신호의 주기를 표시합니다.

[0.8pt]

터널 내부의 풍속은 주로 풍력 발전기 모터의 회전 주파수(f_M)에 의해 결정됩니다. 풍속(터널 중앙에서 측정)과 모터 주파수 사이의 관계는 아래 그림 5와 같이 측정되었으며, 간단한 선형 관계를 따릅니다:

$$v = 0.0873 \text{ meter} \times f_M$$

(4)

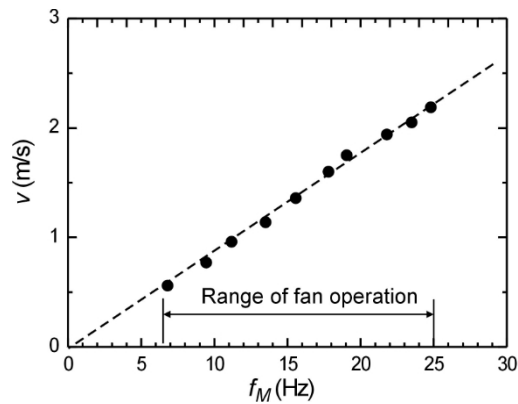


그림 5. 풍속(터널 중앙에서의 풍속) 대 모터 팬 회전 주파수.

[B.2] 모터 팬은 상당히 고정된 기계적 효율(풍력 P_W 의 비율)을 가지고 있습니다.

정격 전압에 대해 모터 팬에 입력된 전력 P_M 에 대해 생성되는 전력: 3V

$< V_M < 12$ V.

이 기계적 효율은 $\eta_M = P_W / P_M$ 으로 주어집니다. 수행

실험을 통해 방정식 1의 풍력 P_W 에 대한 기계적 효율 η_M 과 역률 n 을 구합니다. 연결 다이어그램을 스케치합니다.

[2.4pt]

[C] 탁구공 풍속계 [3.5pt]

풍속 측정은 풍력 공학에서 가장 중요한 계측 활동입니다. 그림 6과 같이 탁구공 진자를 사용하여 풍속을 측정하는 매우 간단한 방법을 살펴보겠습니다.

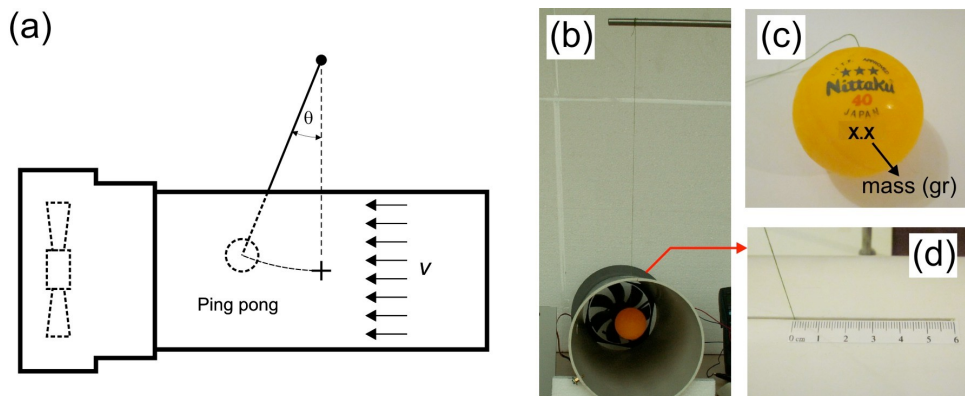


그림 6. 탁구공 풍속계 실험.

작동 원리는 매우 간단합니다. 바람은 항력을 가하고 탁구 진자를 θ 각도만큼 편향시킵니다. 이 항력은 다음과 같이 주어집니다:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A v^2 \quad (5)$$

여기서 C_D 는 물체의 항력 계수, ρ_A 는 유체(공기)의 밀도, A_B 는 탁구공의 단면적, v 는 유체에 대한 공의 속도, m 은 힘의 역률입니다. 탁구공의 질량 m_B (그램 단위)은 그림 6(c)와 같이 공에 적혀 있습니다. 기타 데이터는 2페이지의 **상수 및 데이터**를 참조하세요.

지침 및 경고:

- (a) 그림 6(d) 같이 각인된 눈금자가 있는 슬롯에 진자 실을 삽입합니다. 터널 중앙에 탁구공을 놓습니다.
각인된 눈금자는 편향 각도 θ 를 계산하는 데 도움이 됩니다.
- (b) **경고:** 실과 탁구공 사이의 접합부는 깨지기 쉽습니다. 부드럽게 다루세요.
- (c) **경고:** 탁구 진자가 자유롭게 움직이는지 확인하세요.
- (d) **경고:** 모터 주파수를 읽을 필요가 없는 경우 9V 배터리를 분리하여 전원이 소모되지 않도록 하세요.

[C.1] 풍속 v 를 편향 각도 θ 의 함수로 표현합니다. t포스 다이어그램을 그립니다. 공기의 질량 밀도(ρ_A)와 탁구공의 질량(m_B)으로 답을 표현하십시오.

[0.7점]

[C.2] C_D 와 m 을 구하는 실험을 수행합니다.

[2.8점]

[D] 핫 와이어 풍속계 [6.7pt]

방금 공부한 탁구공 풍속계는 일반적으로 전기 판독이 필요한 실제 응용 분야에는 적합하지 않습니다. 따라서 풍속을 측정하는 또 다른 방법인 열선 풍속계(HWA)에 대해 알아보겠습니다. HWA는 전류가 흐르면서 뜨거워지는 필라멘트를 활용합니다. 바람이 불면 필라멘트에서 열을 빼앗아가는 강제 대류가 발생하여 그림 7과 같이 필라멘트의 온도(따라서 저항)가 떨어집니다(전력을 높여서 보정하지 않는 한). 이 현상을 이용해 풍속을 측정할 수 있습니다. 이 실험에서는 다양한 풍속에 따른 열선의 특성을 연구할 것입니다.

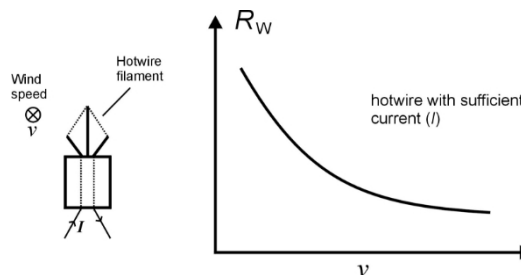


그림 7. 비행기에 바람이 부는 핫 와이어 풍속계

일반 전구의 금속(텅스텐) 필라멘트를 사용하여 전구를 의도적으로 부러뜨려 필라멘트를 노출시킵니다. 작은 온도 변화에도 필라멘트 저항은 선형 관계를 따릅니다:

$$R_w = R_0[1 + \alpha(T_w - T_0)], \quad (6)$$

여기서 R_w 는 온도 T_w 에서 필라멘트의 저항이고, R_0 는 온도 T_0 에서의 저항이며, α 는 저항의 온도 계수입니다. 텅스텐의 경우 값은 $\alpha = 4.5 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ 입니다.

이제 필라멘트와 필라멘트 주변 사이의 열 전달을 고려할 텐데, 이는 자연 대류(외부 바람/유체 이동원 없이), 강제 대류(외부 교란원 포함), 전도(주로 필라멘트의 홀더와 베이스) 및 복사를 통해 발생할 수 있습니다.

필라멘트가 전류와 같은 외부 전력에 의해 가열되고 위의 모든 과정을 통해 주변으로 열을 전달하고 있는 경우를 생각해 보겠습니다. 시스템이 평형에 도달한 후의 전력 균형은 다음과 같이 표현할 수 있습니다:

$$\begin{aligned} \text{핀 입력} &= Q_{\text{강제 대류}} + Q_{\text{자연 대류}} + Q_{\text{전도}} + Q_{\text{방사선}} \\ V_W \cdot I_W &= h'_{AW}(T_W - T_0) + Q_{nc} + Q_{\text{conduction}} + A_W \sigma \epsilon (T_W^4 - T_0^4) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 A_W 필라멘트의 표면적, T_0 실내/주변 온도(아마도 필라멘트의 원래 온도), σ 는 스테판-볼츠만 상수, 방사율, h' 강제 대류 열전달 계수입니다.

열선 필라멘트의 강제 대류의 경우, 강제 대류 과정은 킹의 법칙으로 표현할 수 있습니다: $h' = a' + b'v^c$ 여기서 a' 와 b' 는 상수이고 c 는 풍속의 역률입니다. 필라멘트의 길이가 폭보다 훨씬 크므로 전도에 의한 열 전달은 무시할 수 있습니다. 작은 온도 차이의 경우 $(T_w - T_0)$, $T_w^4 - T_0^4 \approx 4T_0^3(T_w - T_0)$ 따라서 복사열 전달은 $4A_W\sigma\epsilon(T_w - T_0)$ 로 쓸 수 있습니다.

$T_{(0)3}(T_w - T_0) \rightarrow k(T_w - T_0)$ 및 Q_{nc} 는 상수로 간주할 수 있습니다. 이 모든 것을 고려한 후 식 (6)을 다음과 같이 다시 쓸 수 있습니다:

$$V_W \cdot I_W = (a' + b'v^c)A_W(T_w - T_0) + Q_{nc} + 4A_W\sigma\epsilon T_0^3(T_w - T_0), \quad (8)$$

$$= a' + Q_{nc}(T_w - T_0) + 4A_W\sigma\epsilon T_0^3.$$

이제 우리는 일정한 온도의 핫 와이어와 일정한 전류가 흐르는 핫 와이어의 두 가지 방법으로 b/a 와 c 의 값을 결정하는 실험을 수행합니다.

그림 8(a)와 같이 핫와이어 필라멘트를 강철 막대에 장착하고 구멍을 통해 풍동 넣습니다(풍동을 회전할 수 있음). 핫와이어를 풍동 내부에 삽입할 때 핫와이어 필라멘트의 가장 큰 단면이 바람의 흐름과 수직이 되도록 방향을 올바르게 잡아야 합니다(그림 8(b) 참조).

경고: 필라멘트를 만지지 마세요.

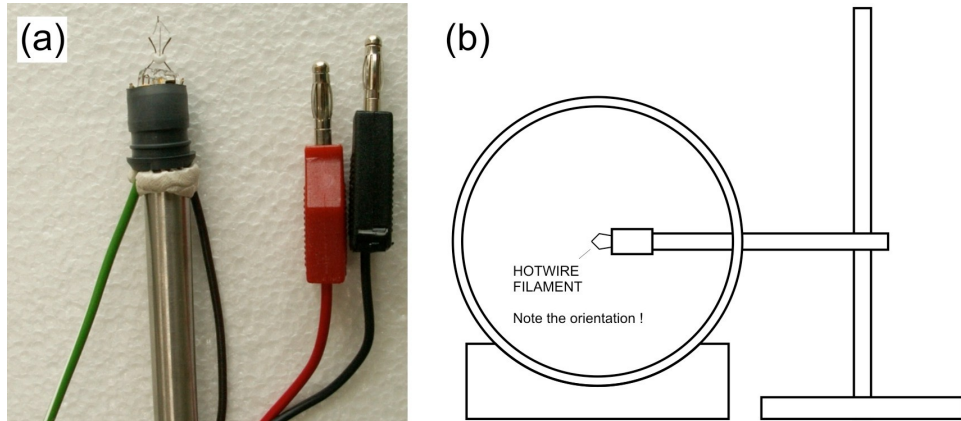


그림 8. (a) 핫와이어 필라멘트 (b) 풍동 내 핫와이어 필라멘트

두 실험을 수행하려면 아래 그림 9를 참조하여 전자 상자에서 제공하는 전자 회로가 필요합니다. 각 실험을 수행하려면 회로의 한쪽 면만 필요합니다. 상자 상단에 CTA(정온 풍속계)와 CCA(정전류 풍속계)라고 표시된 작은 스위치가 있어 이 두 가지를 전환할 수 있습니다.

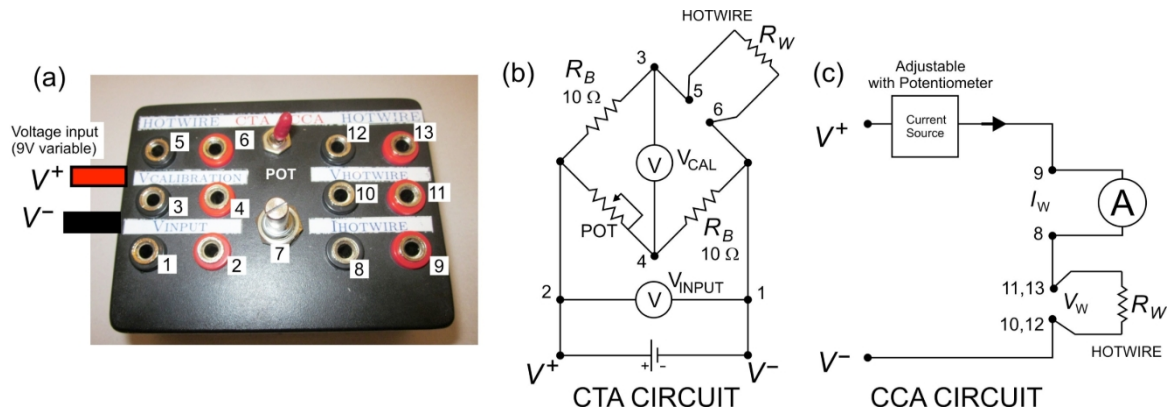


그림 9: (a) 핫와이어 전자 박스 (b) 정온도 풍속계(CTA) 회로 (c) 정전류 풍속계(CCA) 회로.

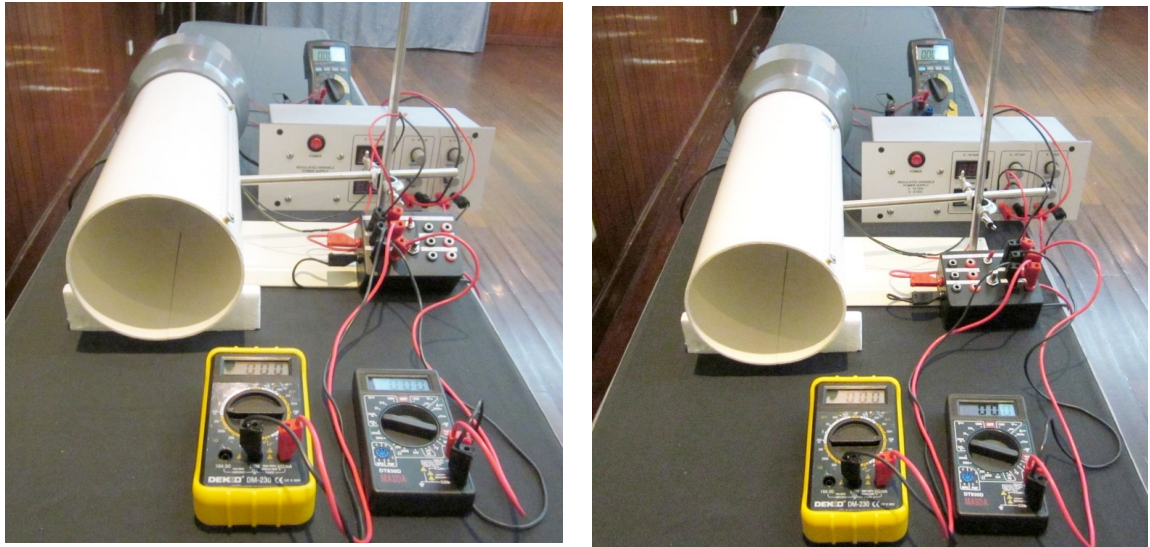


그림 10. (a) 왼쪽의 항온 풍속계(CTA) 설정. (b) 오른쪽의 정전류 풍속계(CCA) 설정.

[D.1] 항온 방식 [3.]

항온 방식은 다양한 풍속에 대해 핫와이어의 온도(따라서 저항)를 일정하게 유지함으로써 수행됩니다. 이를 위해 그림 9(b)와 같이 핫와이어에 가변(POT) 저항이 있는 휘트스톤 브리지를 사용하여 브리지의 균형을 맞춥니다.

먼저 전위차계(POT)를 조정하여 $V_{(CALIBRATION)}$ 0으로 설정하여 브리지의 균형을 맞춥니다. 풍속이 증가하면 $R_{(W)}$ 감소하고 브리지의 균형이 깨집니다. $R_{(W)}$ 복원하고 브리지의 균형을 다시 맞추려면 $V_{(W)}$ $V_{(INPUT)}$ 를 증가시켜) 전력 소모를 늘려야 합니다.

항온 실험에는 다음 공식이 사용됩니다:

$$\frac{W^2}{R_W} (a + bV^c) A (T - T_0) \quad (9)$$

에서 V_W 및 $R_{(W)}$ 는 핫와이어의 전위 및 저항입니다. 핫와이어 전위를 측정하지 않고 대신 휘트스톤 브리지를 통한 전위 강하를 측정합니다(V_{INPUT}). 이렇게 대체하면 위의 방정식 9는 다음과 같이 다시 쓸 수 있습니다:

$$V_{INPUT}^2 = A + Bv^c \quad (10)$$

[D.1.1] A와 B의식을 구합니다.

[0.4pt]

방정식 10을 선형 회귀에 사용할 수 있는 선형 형식으로 다시 작성할 수 있습니다:

$$\ln Y = \ln \frac{B}{a} + C \ln V. \quad (11)$$

[D.1.2] y 란 무엇인가요?

[0.3pt]

[D.1.3] 실험을 수행하여 B/A와 C를 얻으세요!

[2.5pt]

지침 및 경고:

- (a) 전자 상자를 항온(CTA) 모드로 전환합니다.
- (b) 그림 9(b) 및 그림 10(a)에 따라 전선과 잭을 연결합니다. 핫와이어 전자 박스의 전원 공급 장치에서 9V 가변 전압 소스를 사용합니다.
- (c) **경고: 핫와이어 필라멘트를 만지거나 손상시키지 않도록 주의하세요.** 핫와이어가 손상된 경우 **전체 실험 기간 동안 교체용 핫와이어가 1개만** 제공됩니다.
- (d) 전원을 켜기 전에 모든 **연결이 올바른지 주의 깊게 확인하고** 전원 공급 장치의 **모든** 노브가 **아래쪽(왼쪽)으로 완전히 돌렸는지** 확인하세요.
- (e) 전원 공급 장치를 켜고 전자 박스의 전압을 약 1V까지 천천히 높입니다. 그런 다음 휘트스톤 브리지의 전위차계를 조정하여 $V_{(CALIB)} \neq 0$ 이 되도록 해야 합니다. 바람이 불기 전에 전위차계를 조정하여 $V_{(CALIB)} \neq 0$ 이 되도록 합니다. 이 상태의 브리지를 균형 잡힌 상태라고 합니다.
- (f) 밸런스가 맞춰지면 이후 측정을 위해 전위차계로 저항을 변경할 필요가 없습니다.
- (g) **경고: 바람이 불지 않을 때는 핫와이어가 손상될 수 있으므로 2V 이상의 전압을 사용하지 마세요.** 핫와이어가 빛나면 손상된 것입니다. **전체 실험에 핫와이어 교체는 한 개만 허용됩니다.**
- (h) 풍속을 높이고 V_{INPUT} 을 조정하여 브리지의 균형을 다시 맞추니다, 즉, 핫와이어 저항이 초기 값으로 돌아갔습니다.
- (i) 충분한 데이터가 확보될 때까지 (h)단계를 반복합니다. 답안지에 데이터를 기록하고 그래프를 그려서 B/A와 C를 결정합니다.
- (j) **경고: 핫와이어의 전원을 끄기 전에 모터의 전원을 끄지 마세요.** 그렇게 하면 핫와이어가 과열되어 손상될 수 있습니다. **전체 실험에 핫와이어 교체는 한 번만 허용됩니다.**

[D.2] 정전류 방식 [3.5점]

정전류 실험은 정전류 소스 역할을 하는 전자 상자를 사용하여 핫와이어를 통과하는 전류를 일정하게 유지하여 수행합니다. 전류는 상자의 전위차계를 조정하여 조절할 수 있습니다.

정전류 실험에는 다음 공식이 사용됩니다:

$$V_w \cdot I_w = (a + bv^c) \frac{A_w (R - R_0)}{\alpha R_0} \quad (12)$$

는 방정식 8에서 다음과 같이 구할 수 있습니다: $T_w - T_0 = \frac{R_w - R_0}{\alpha R_0}$.

이 실험에서는 먼저 바람이 없을 때($v=0$) R_0 를 측정해야 합니다. 방정식 (12)는 다음과 같이 다시 쓸 수 있습니다:

$$\frac{V_w}{I_w} = \frac{R_0}{k} \frac{V_w \cdot I_w}{I_w} + R_0 \quad (13)$$

[D.2.1] k 의 식을 구합니다.

[0.2pt]

[D.2.2] 실험을 수행하여 R_0 의 값을 결정합니다.

[1.2점]

지침 및 경고:

- (a) 전자 상자를 정전류(CCA) 모드로 전환합니다.
- (b) 그림 9(c) 및 그림 10(b)에 따라 전선과 잭을 연결합니다. 전원을 켜기 전에 전선이 **올바른지 주의 깊게 확인하고** 전원 공급 장치의 모든 노브가 아래쪽(왼쪽)으로 완전히 돌렸는지 확인하세요.
- (c) **경고: 핫와이어가 손상될 수 있으므로 180mA 이상의 전류를 사용하지 마세요.** 핫와이어가 빛나면 손상된 것입니다. **핫와이어 교체는 한 번만 허용됩니다.**
- (d) 전원 공급 장치를 켜고 핫와이어의 전압 또는 전류를 천천히 높입니다.
- (e) 상자의 전위차계를 조정하여 핫와이어의 전류를 제한할 수 있습니다(즉, 전원 공급 장치의 전압을 높여도 핫와이어의 전류와 전압은 증가하지 않습니다). **전자 박스의 안정적인 작동 전압을 위해** 전원 공급 장치의 전압을 **7.5V로 설정하는** 것이 좋습니다.
- (f) 전류를 측정하는 **DMM이 제대로 작동하는지, 즉 판독값이 0이 아닌지 확인합니다.** DMM의 전류 측정 회로는 퓨즈로 보호됩니다. 퓨즈가 끊어지면 DMM은 여전히 작동하는 것처럼 보이지만 전류 측정값은 항상 0이 됩니다.
- (g) 핫와이어의 전류와 전압을 기록하세요.
- (h) 데이터가 충분할 때까지 단계 (g)를 반복합니다. 답안지에 데이터를 기록하고 그 래프를 그려 k 와 R_0 를 구합니다.

이제 항온의 경우와 같이 b/a 와 c 를 결정할 준비가 되었습니다. 방정식 12를 다음 형식으로 다시 작성합니

다:

$$\ln Y = \ln \frac{B}{a} + C \ln V. \quad (14)$$

[D.2.3] 이 경우 y 는 무엇인가요?

[0.2pt]

[D.2.4] 실험을 수행하여 B/A 와 C 를 결정합니다.

[1.9pt]

지침 및 경고:

- 전원을 켜기 전에 전원 공급장치의 모든 노브가 완전히 아래로(왼쪽) 내려가 있는지 확인하세요. 전원 공급 장치를 켜고 핫와이어의 전압/전류를 천천히 높입니다.
- 포텐시미터를 원하는 작동 전류로 조정합니다. 경고: 핫와이어가 손상될 수 있으므로 180mA보다 높은 전류를 사용하지 마세요. 핫와이어가 빛나면 손상된 것입니다. 핫와이어 교체는 한 번만 허용됩니다.
- 모터 풍력 발전기 전압을 높여 바람을 일으킵니다.
- 이 풍속에 대한 핫와이어의 전류와 전압을 기록합니다.
- 풍속을 다시 조정하고 충분한 데이터가 확보될 때까지 단계 (d)를 반복합니다.
- 답안지에 데이터를 기록하고 그래프를 그려서 다음을 결정합니다.

B/A 및 C .

[E] 풍력 터빈 [5.6pt]

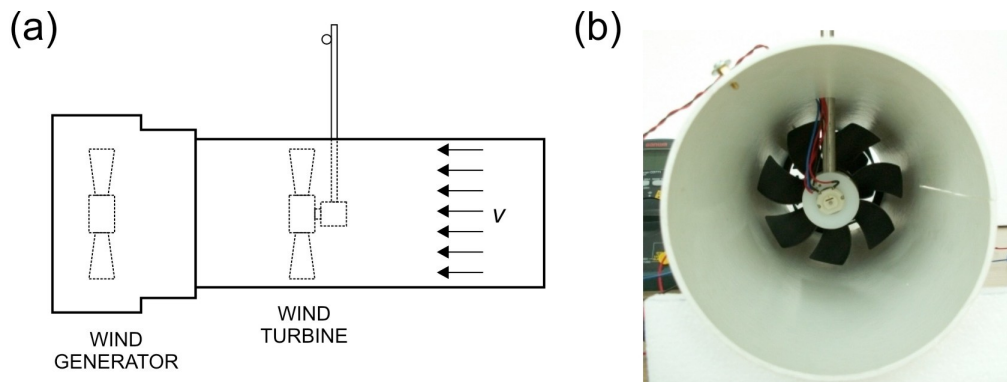


그림 11. 풍력 터빈 실험 설정

풍력 터빈의 물리학을 탐구하고 전력 변환 효율을 조사합니다. 이 실험에서는 간단한 DC 모터를 사용하여 로터의 기계적 동력을 전력으로 변환하는 풍력 터빈 역할을 합니다.

풍력 터빈의 효율을 결정하는 요소 중 하나는 외부 부하입니다. 이 실험에서는 저항성 니켈-크롬(니크롬) 와이어를 사용하여 낮은 저항성을 시뮬레이션함으로써 풍력 터빈의 최대 효율을 생성하는 부하를 조사합니다.

부하($<2\Omega$). 이 부하는 와이어의 길이를 변경하여 변경할 수 있습니다. 악어 클립을 사용하여 와이어에 접촉합니다.

풍력 터빈 효율에 영향을 미치는 주요 매개변수 중 하나는 팁 속도 비율(TSR)이며, 이는 다음과 같이 정의됩니다:

$$TSR = \frac{\Omega R}{v}, \quad (15)$$

여기서 Ω 는 블레이드의 각속도, R 은 블레이드 스윙 영역의 반경, v 는 블레이드 끝의 로터에 걸리는 풍속입니다. 풍속은 터널의 단면에 걸쳐 균일하다고 가정합니다.

모터 터빈에는 아래와 같은 내부 회로가 있습니다. 회전 코일은 모터가 회전할 때 기전력(emf) 전압을 제공합니다. 모터 내부의 로터 코일 저항의 합인 유효 직렬 저항 R_M 이 있습니다. R_M 은 작지만 무시할 수 있는 수준은 아닙니다($<2\Omega$). 따라서 실제 모터를 이상적인 모터로 모델링할 수 있습니다. (코일에 저항이 없는)에 아래와 같이 직렬 저항 R_M 을 더합니다.

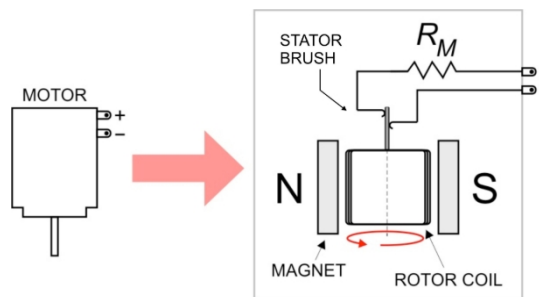


그림 12. 모터의 등가 회로(풍력 터빈)

[E.1] 모터 터빈 R_M 의 내부 직렬 저항을 결정합니다. DC 모터의 로터와 고정자 브러시 사이의 움직이는 접촉(그림 12 참조)은 터빈 블레이드의 위치에 따라 달라지는 추가 저항을 추가할 수 있다는 점에 유의하십시오.

[0.4pt]

[E.2] 니크롬 와이어의 단위 길이당 저항, $\lambda_{(R)}$ (Ω/m 단위)을 결정합니다. 니크롬 와이어의 저항 범위는 케이블에 비해 낮습니다($<7\Omega$).

디지털 멀티미터(DMM)의 저항.

[1.2pt]

정전류 소스가 필요한 경우 정전류 풍속계(CCA) 모드에서 핫와이어 전자 박스를 사용할 수 있습니다. 전류계를 사용해야 하는 경우 DMM#2 또는 #3을 사용하며 정격을 초과하거나 퓨즈가 끊어지지 않도록 주의하세요.

지침:

- (a) 풍동 안에 터빈을 배치합니다. 먼저 터빈의 바나나 잭과 악어 잭을 풍동 내부에서 상단

의 작은 구멍을 통해 연결합니다. 그런 다음 장착된 강철 막대를 삽입합니다(

햇와이어(용)을 구멍에 넣고 그 끝에 터빈을 놓습니다(그림 11 참조).

- (b) 이 실험에서는 풍력 발전기 주파수(풍속을 얻기 위한)와 풍력 터빈 주파수라는 두 가지 주파수를 측정해야 합니다. 그림 13(a)와 같이 연결을 결합하여 이를 수행할 수 있습니다. 검은색 악어 클립을 사용하여 풍력 발전기 또는 풍력 터빈 판독 사이를 전환할 수 있습니다.
- (c) 크로커다일 클립을 사용하여 니크롬 와이어를 모터 터빈에 부하로 연결합니다. 그림 13(b)와 같이 니크롬 와이어의 양쪽 끝에 전압계를 연결하기만 하면 와이어 섹션의 전압을 *별도로* 측정할 수 있습니다.

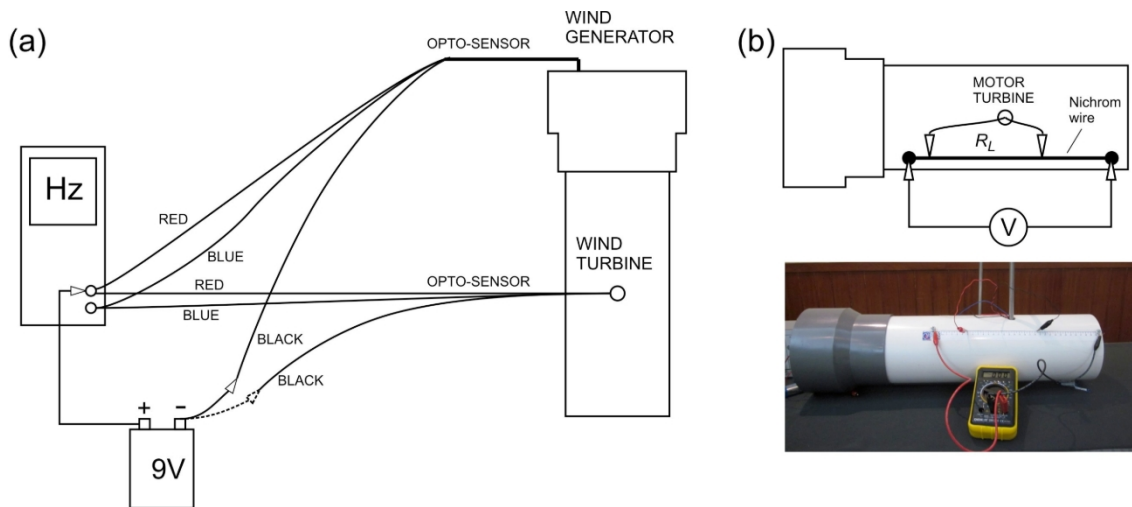


그림 13(a) 두 개의 주파수를 읽기 위한 연결. (b) 니크롬 와이어를 부하로 연결합니다. 전압계는 니크롬 와이어의 양쪽 끝에 연결됩니다.

[E.3] 최대 전력 전달을 위한 최적의 부하 $R_{(L)}$ 결정하기 위한 실험을 수행하십시오. $R_{(L)}$ 에 전달되는 전력과 R_L 또는 니크롬 길이 l 을 비교하여 이론적으로 R_L 에 대해 예상되는 값을 플롯하세요.

[2.4pt]

풍력 터빈 효율 η_{WT} 는 부하 R_L 에 전달되는 전력의 비율로 정의됩니다.

를 사용 가능한 풍력 P_W 로 나눕니다.

[E.4] E.3에서 실험적으로 찾은 최적의 부하 R_L 사용하여 η_{WT} 대 TSR을 플롯합니다.

[1.6pt]