

## | 헤어드라이기에 담긴 열역학적 원리

지구환경과학부 송수환, 수리과학부 김오석, 지구과학교육과 전예림

## INDEX

1. 어떤 바람이 가장 잘 마를까?  
-바람의 종류에 따라 마르는 정도 비교 (이론실험)
2. 드라이기의 열효율계산 (직접 실험)

The background of the image features a series of broad, diagonal bands in a warm orange or gold color. These bands are set against a lighter, off-white background and create a sense of depth and motion through their perspective effect. The bands are slightly curved, giving the impression of flowing or moving across the frame.

어떤 바람이 가장 잘 마를까?



# 어떤 바람이 가장 잘 마를까?

## Factors influencing the rate of evaporation

### Concentration of the substance evaporating in the air

If the air already has a high concentration of the substance evaporating, then the given substance will evaporate more slowly.

### Concentration of other substances in the air

If the air is already saturated with other substances, it can have a lower capacity for the substance evaporating.

### Flow rate of air

This is in part related to the concentration points above. If fresh air is moving over the substance all the time, then the concentration of the substance will decrease with time, thus encouraging faster evaporation. This is the result of the boundary layer at the evaporation surface decreasing with flow velocity, creating a stagnant layer.

### Inter-molecular forces

The stronger the forces keeping the molecules together in the liquid state, the more energy one must get to escape. This is characterized by the melting point.

### Pressure

Evaporation happens faster if there is less exertion on the surface keeping the molecules from launching themselves.

### Surface area

A substance that has a larger surface area will evaporate faster, as there are more surface molecules that are able to escape.

### Temperature of the substance

물체의 온도

If the substance is hotter, then its molecules have a higher average kinetic energy, and evaporation will be faster.

### Density

밀도

The higher the density the slower a liquid evaporates.

In the US, the National Weather Service measures the actual rate of evaporation from a standardized "pan" open water surface outdoors, at various locations around the world. The US data is collected and compiled into an annual evaporation map.<sup>[2]</sup> The measurements range from under 30 to over



어떤 바람이 가장 잘 마를까?

그래서 상대습도를 우선 구해보기로 했다.

### 사용한 가정들

- 드라이기는 10cm 떨어져서.
- 바람의 속도는 변하지 않는다
- 드라이기 바람 : Dry air
- 드라이기에서 나오는 공기덩어리는 정적/단열과정을 겪음.
- 남자의 평균머리둘레 : 57cm
- 반구형태
- 계절별 실내적정온도  
여름 : 27°C / 겨울 : 19°C
- (공기의 밀도)= $1.25\text{kg/m}^3$

### 필요한 자료



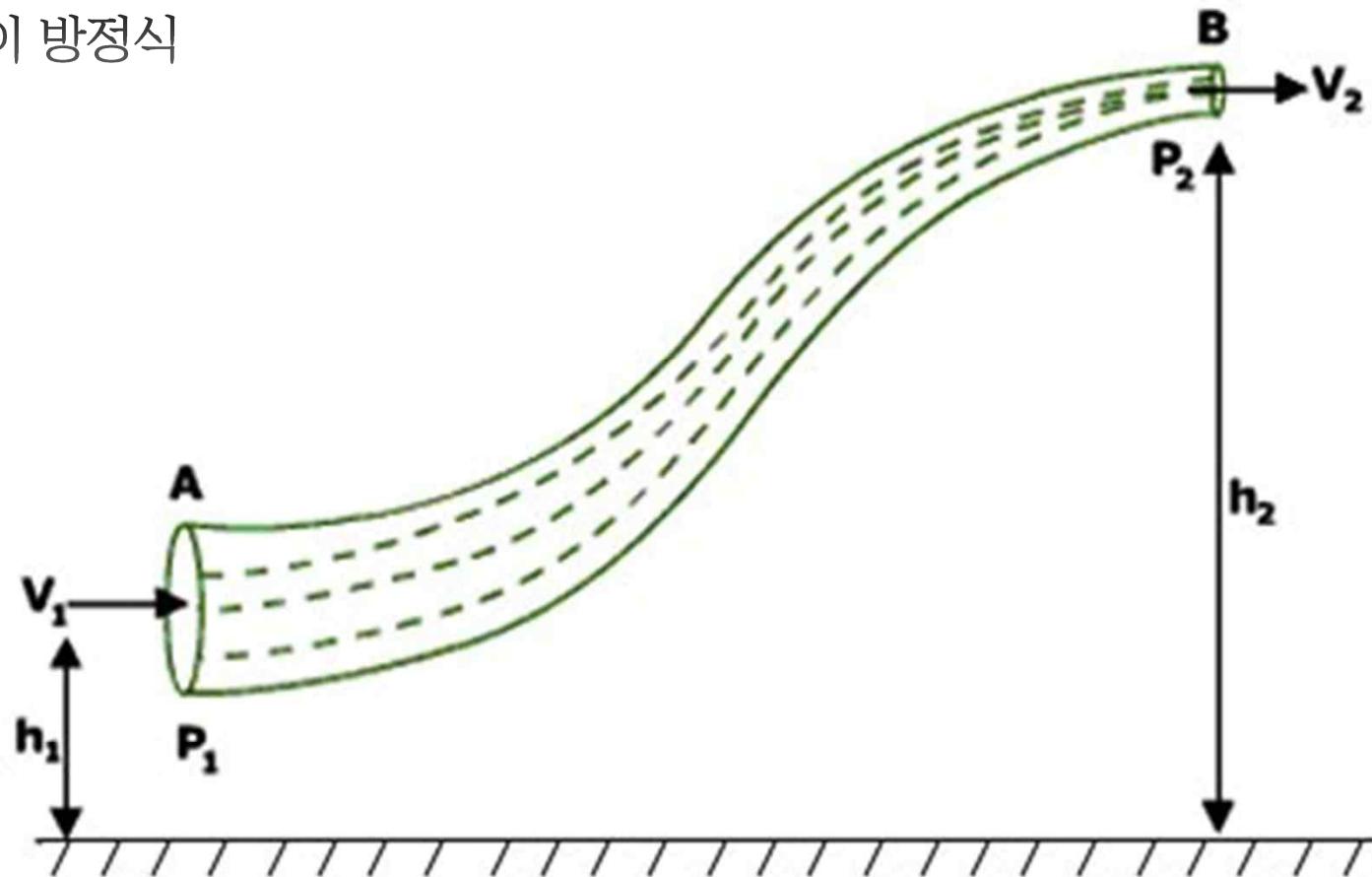
High : 102.3°C / 71.0°C  
Low : 84.5°C / 52.1°C

High: 17.5(m/s) / 7.1(m/s)  
Low: 12.0(m/s) / 4.3(m/s)

온도는 105/70/30°C를 이용

어떤 바람이 가장 잘 마를까?

베르누이 방정식



$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 = \text{일정}$$



## 어떤 바람이 가장 잘 마를까?

베르누이 방정식에 의해서, 속도에 따른 압력의 변화를 알 수 있다.  
→ 6가지 경우

$$P_f = K - \frac{1}{2} \rho v^2$$

단위(Pa)	7.1m/s	17.5m/s
378K	135575.9938	135416.1
343K	123019.7438	122859.8
303K	108669.7438	108509.8



어떤 바람이 가장 잘 마를까?

변화된 압력에 의한 온도와 변화는 이상기체 상태방정식을 이용한다.

$$T = \frac{P_f}{\rho R_d}$$

온도(K)	7.1m/s	17.5m/s
378K	377.9121777	377.4665
343K	342.9121777	342.4665
303K	302.9121777	302.4665

온도가 조금 내려간 것을 확인할 수 있다.

해당 온도에 대한 포화수증기압을 구하자.

$$e_s = 6.11 \exp\left(53.49 - \frac{6808}{T} - 5.09 \ln T\right)$$

포화수증기압(mb)	7.1m/s	17.5m/s
378K	1185.275576	1167.32
343K	309.111606	303.2276
303K	42.23888247	41.17029

드라이기 바람이 불기 전,  
머리카락 위의 공기 내의 수증기량은 6가지 경우 모두 동일하다.  
그러므로 포화수증기압이 가장 큰 온도가 높은 바람이  
상대습도가 가장 낮다고 할 수 있다  
(7.1m/s와 17.5m/s의 값의 차는 매우 작으므로 두 경우의 차는 무시)



## 어떤 바람이 가장 잘 마를까?

그렇다면 바람의 종류는 상관이 없는 것일까?

상관이 있다. 상대습도가 아닌 **바람**의 요소가 별개로 존재하므로.

The amount of evaporated water can be expressed with the [empirical equation](#) as:

$$g = \Theta A (x_s - x) / 3600 \quad (1)$$

where

$g$  = amount of evaporated water (kg/s)

$\Theta$  =  $(25 + 19 v)$  = evaporation coefficient ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{h}$ )

$v$  = velocity of air above the water surface (m/s)

$A$  = water surface area ( $\text{m}^2$ )

$x_s$  = [humidity ratio in saturated air](#) at the same temperature as the water surface (kg/kg) ( $\text{kg H}_2\text{O}$  in kg Dry Air)

$x$  = [humidity ratio in the air](#) (kg/kg) ( $\text{kg H}_2\text{O}$  in kg Dry Air)

**Note!** The units don't match since this is an empirical equation - a result of experiments.



## 어떤 바람이 가장 잘 마를까?

---

여러가지 요소를 고려한, 물의 총 증발량은 다음과 같다.

$$g = \frac{\theta \times A \times (x_s - x)}{3600}$$

g = 총 증발량 (kg/s)

$\theta = (25 + 19v)$ , evaporated water의 비례상수

v = 물 표면에서의 바람의 속도 (m/s)

A = 표면적 ( $m^3$ )

$x_s$  = 포화된 수증기의 humidity ratio (kg/kg)

x = 일반 공기의 humidity ratio (kg/kg) (겨울/여름 각각 다르게 함)



어떤 바람이 가장 잘 마를까?

여름 총 증발량 (kg/600s)	7.1m/s	17.5m/s
378K	0.005937397	0.011924087
343K	0.000265794	0.000579092
303K	1.28028E-05	2.67019E-05

겨울 총 증발량 (kg/600s)	7.1m/s	17.5m/s
378K	0.005959258	0.011972961
343K	0.000287655	0.000627967
303K	3.46631E-05	7.55764E-05



어떤 바람이 가장 잘 마를까?

결론!

빠른 바람이 더 잘 마른다

(그래서 미용실의 빵빵한 터보엔진 드라이기가 좋아보였던 것!)

뜨거운 바람이 더 잘 마른다

집 안에서 말리는 경우라면

계절의 변화에는 큰 상관이 없다

(다만 습도가 높은 수영장의 경우 시간이 조금 더 걸릴 것이다.)

The background of the image consists of several thick, diagonal bands of light orange and white. These bands are slightly curved and overlap each other, creating a sense of depth and motion. The overall effect is reminiscent of a blurred landscape or a stylized architectural rendering.

이 드라이기의 열효율은?



이 드라이기의 열효율은?





이 드라이기의 열효율은?

---

## 실험 시 유의점

1. 소비전력 1000W 드라이기를 사용
2. 물의 온도는 4도씨이다.
3. 증발열=2260j/g
4. 다양한 실험 방법에 따른 편차를 없애기 위해  
모든 경우 드라이기는 10cm 떨어져서 작동시켰다.
5. 머리에 묻은 물의 양을 고정 시켜서 열 효율을 계산하기 때문에 정확한  
측정을 위해 나중에 머리에 묻은 물이 한 방울이라도 떨어지지 않게 충분  
히 짜주고 3분 뒤에 세수 대야의 물을 측정했다.



## 이 드라이기의 열효율은?

### 1. 드라이기로 머리 말리기

2500ml 물이 담긴 세수 대야에 머리 담그고 충분히 머리카락을 짜준 후  
세수 대야에 남는 물의 양은 2462.5ml  
따라서 머리카락에 묻은 물의 양은  
 $2500 - 2462.5 = 37.5\text{ml}$ 이다

시간	투입된 열량(J)	사용된 열량(J)	열효율
5분 3.5초	303500	99798	0.328824
5분 1.2초	301200	99798	0.331335
5분 10.1초	310100	99798	0.321825
5분 35.9초	335900	99798	0.297106
5분 24.8초	324800	99798	0.30726



이 드라이기의 열효율은?

## 2. 냄비 그릇에 물을 넣고 드라이기로 증발시킴

시간	투입된 열량(J)	사용된 열량(J)	열효율
10분 59.6초	659600	99798	0.151301
11분 22.2초	682200	99798	0.146288
11분 49.7초	709700	99798	0.14062
11분 10초	670000	99798	0.148952
11분 34.2초	694200	99798	0.14376



이 드라이기의 열효율은?

### 3. 세수대야에 물을 넣고 드라이기로 증발시킴

시간	투입된 열량(J)	사용된 열량(J)	열효율
14분 5.5초	845500	99798	0.118034
15분 3초	903000	99798	0.110518
14분 49초	889000	99798	0.112259
15분 28초	928000	99798	0.107541
15분 11.4초	911400	99798	0.1095

## 결론

- 실험 설계 당시 세수 대야와 냄비 그릇을 통해 구한 드라이기의 열 효율이 머리카락을 직접 말려서 구한 드라이기의 열 효율과 비슷하거나 더 높을 거라고 예상했다.
- 하지만 오히려 상당히 낮게 열효율이 측정되었는데 드라이기를 통해서 많은 나온 많은 열이 냄비 자체의 온도를 높이는데 많이 사용되었다. 그리고 세수 대야의 경우 바람이 물에 닿는 면적이 좁아 열이 공기 중으로 많이 빠져나갔다.
- 마지막으로 드라이기의 열이 외부로 빠져나가는 양을 없애기 위해 양말을 꽂고 실험을 하였는데, 당연히 아주 높은 열효율을 나타낼 줄 알았는데, 머리카락을 직접 말려서 구한 열 효율과 차이가 크게 나지 않았다. 즉 이를 바탕으로 드라이기의 열 효율이 0.3~0.4 사이라는 결론에 도달할 수 있었다.



경청해 주셔서 감사합니다.